

Ⅱ 部

目 次

1. 昭和63年度研究課題および利用報告書	1
1.1 昭和63年度研究課題一覧と利用報告書提出状況（実績4000点未満）	2
1.2 昭和63年度利用報告書（実績4000点以上）	12
2. ユーザ発表論文	221
2.1 ユーザ論文一覧	221
2.2 プロジェクト別論文別刷提出状況	247

1. 昭和63年度研究課題および利用報告書

昭和63年度の研究課題のうち、利用実績が4,000点(C P U10時間)未満のプロジェクトに関しては1.1項に研究課題名の一覧として記載した。また利用実績が4,000点(10時間)以上のプロジェクトに関しては提出された利用報告書の全文を1.2項に掲載した。

《略号の説明》

1. 利用分野
分……………分子科学
生……………生理学
基……………基礎生物学

2. プロジェクトコードの第1字目

分子科学関係	所内	A
	課題・協力研究	B
	施設利用	C～G
生理学関係	所内	I
	共同研究	J
	施設利用	K～N
基礎生物学関係	所内	O
	共同研究	P
	施設利用	Q～T

3. 利用区分

所内……………分子研, 生理研あるいは基生研の所内利用
課……………課題研究
協前……………協力研究前期
協後……………協力研究後期
施……………施設利用 A, B
共……………生理研あるいは基生研の共同研究

4. 利用点数の実績/許可

実……………利用点数実績
許……………利用許可点数

1.1 昭和63年度研究課題一覧と利用報告書提出状況（利用点数実績4,000点未満）

（平成元年6月末現在）

プロジェクト コード	研究課題名	所属	代表利用者 (メンバー数)	点数 (実績/許可) 利用報告書 提出状況 (×印は未提出)
〈分子科学〉				
協力研究・前期				
B O 7	超励起分子の動力学過程の理論的研究	九大・総合理工・ 分子工学	中島慶治 (1)	2950/5200 ×
B P 4	アセトアルデヒドの $S_1^1(n, \pi^*)$ における前期解離過程の研究	神戸大・理・化 学	馬場正昭 (1)	0/1200 ○
B P 5	μ -オキソ架橋を持つ二核遷移金属錯 体の構造と物性に関する研究	金沢大・教養・ 化学	千田 齊 (1)	0/1600 ○
B P 6	遷移金属錯体の溶液及び固体状態にお ける構造解析	名大・理・化学	柏原和夫 (1)	716/2000 ○
B P 7	16員環クラウンチオエーテルを補助配 位子とするモリブデン錯体の特異な化 学的性質と分子構造との相関	阪府大・総合科 学・総合科学	安達知浩 (1)	1012/3200 ○
B P 8	固体に於ける相転移と電子構造の理論 的研究	筑波大・物理学 系	久保 健 (1)	2069/4400 ○
B Q 0	気相反応機構の反応座標の理論的研究	広島大・理・化 学	芳信一朗 (1)	816/6800 ○
B Q 1	金属イオン-アミンの協同効果による 生体基幹物質の反応制御	東大・工・合成 化学	矢野重信 (1)	0/2800 ○
B Q 2	糖類を配位子に持つ遷移金属錯体の構 造	福岡大・理・化 学	山口敏男 (1)	0/800 ○
B Q 3	非弾性衝突の準古典近似	東工大・理・応 用物理学	中村正人 (1)	2512/3200 ○

プロジェクト コード	研究課題名	所属	代表利用者 (メンバー数)	点数 (実績/許可) 利用報告書 提出状況 (×印は未提出)
協力研究・後期				
BA4	典型金属を含む化合物の理論的研究	大阪学院短大	酒井章吾 (1)	3095/14000 ○
BD0	衝突によるエネルギー移動とM _J 依存性	神戸大・理・化学	加藤肇 (1)	2252/4000 ○
BP8	固体に於ける相転移と電子構造の研究	筑波大・物理学系	久保健 (1)	275/2800 ○
BQ4	高分子-不純物相互作用に対する結晶軌道法による取り扱い	信州大・繊維・素材開発化学	青木百合子 (1)	3122/7200 ○
BQ5	ペプチド金属クラスター相互作用系の研究	東理大・理・化学	山村剛士 (1)	1144/3600 ○
BQ6	DNAと相互作用する生理活性物質の合成と構造及びその相互作用機構の解明	東大・理・化学	雨谷敬史 (1)	0/400 ○
施設利用 (B)				
CB0	蛋白質のX線結晶構造解析と精密化	名大医短	佐々木教祐 (3)	0/6800 ○
CB2	酵素反応および薬物受容体の量子力学的および動力学的研究	北里大・薬・薬品物理化学	梅山秀明 (5)	1730/14800 ○
CE1	不安定化学結合の研究	理化学研究所・解媒研究室	野村興雄 (1)	1288/7200 ○
CE3	イオン分子反応の素過程	東北大・科学計測研究所	楠勲 (4)	0/10000 ○
CK2	電子密度解析による原子の酸化状態の研究	茶女大・理・化学	細矢治夫 (3)	2637/7600 ○
CO6	分子力場及びab initio 計算による有機化合物の立体配座の研究	横国大・工・物質工学	広田穰 (2)	798/5600 ○

プロジェクト コード	研究課題名	所属	代表利用者 (メンバー数)	点数 (実績/許可) 利用報告書 提出状況 (×印は未提出)
CT5	水溶性高分子, 生体高分子あるいはそのモデル物質の相互作用に関する分子軌道法による研究	阪工大・工・一般教育	影本彰弘 (8)	1524/4000 ○
CV4	分子の赤外強度のab initio 計算	東京工芸大・工・工業化学	植村允勝 (1)	1572/8000 ○
CX9	フルポテンシャル-LAPW法による金属表面の電子構造の研究	阪大・基礎工・物性物理工学	吉森昭夫 (2)	3138/22400 ○
DB7	低配位の状態にあるリン化合物のab initio計算	東大・理・化学	吉藤正明 (1)	0/6000 ○
DD6	カルコゲン, ホスフィンが配位した金属錯体の構造と性質	名大・理・化学	喜多雅一 (4)	2820/5200 ○
DF9	III-V族化合物半導体上におけるHCl脱離過程の理論解析	東京農工大・工・工業化学	関寿 (1)	0/4800 ○
DH9	遷移金属の化学結合と局所原子構造の量子論	名大・工・応用物理学	太田幸則 (2)	0/7600 ○
DJ3	マイクロ波分光法による分子構造の研究	広島大・理・化学	角本輝充 (3)	3825/5200 ○
DJ7	核に働く力および力の定数の軌道分割による分子構造, 分子間相互作用, 遷移状態, 反応経路の解析	東大・教養・化学	石田俊正 (1)	2173/4400 ○
施設利用 (A)				
CA7	遷移金属錯体の単結晶X線回折の解析	岐阜大・工・応用化学	川村尚 (2)	347/3200 ○
CB4	ヘモグロビンの動的立体構造	名大・理・物理学	妹尾康喜 (1)	2504/3200 ×
CE9	高分子固体の巨視的変形に及ぼす分子運動の光学的ならびに力学的解析	名工大・工・材料工学	前田松夫 (8)	0/3200 ○
CF2	金属化合物の電子状態	兵庫教育大・学校教育	足立裕彦 (1)	30/3200 ○

プロジェクト コード	研究課題名	所属	代表利用者 (メンバー数)	点数 (実績/許可) 利用報告書 提出状況 (×印は未提出)
CF5	H S F 恒等式を用いた電荷密度及びス ピン密度の計算	東理大・理・化 学	石田和弘 (1)	2309 / 3200 ○
CF8	有機化合物の自動構造解析	豊橋技科大	佐々木 慎一 (12)	59 / 2800 ○
CG1	ライブラリプログラムの利用	信州大・工・工 業化学	鈴木 哲 (1)	0 / 400 ○
CH2	固体表面における低速希ガス・イオン・ 原子と固体表面の電荷交換	奈良教育大・教 育・技術	六田 嘉明 (1)	0 / 3200 ×
CH5	金属-金属結合の研究	名工大・工・化 学	尾中 証 (1)	300 / 800 ○
CH6	励起金属原子の分子による消光過程に 対する非経験的M C S C F 計算	青山学院大・理 工・化学	松本 志郎 (5)	3189 / 3200 ○
CJ1	マイクロ波分光法による分子構造の研 究	静大・教養・化 学	尾形 照彦 (1)	1635 / 3200 ○
CJ6	有機化学にたいする計算化学的手段の 適用	北大・理・化学 第二	大沢 映二 (6)	3214 / 3200 ○
CK6	分子集合体の理論的研究	阪大・薬・製薬 化学	高木 達也 (4)	2163 / 2800 ○
CL4	蛍光解析による蛋白質構造の研究	三重県立看護短 大	田中文夫 (1)	566 / 3200 ○
CN1	蛋白質-核酸相互作用の構造化学的研 究	東工大・理・生 命理学	竹中 章郎 (3)	1500 / 3200 ○
CN3	溶液中の金属錯体に関する熱力学的構 造化学的研究	東工大・総合理 工・電子化学	石黒 慎一 (4)	674 / 3200 ○
CN6	無機材料の結晶解析	名工大・工・材 料工学	大里 齊 (1)	5 / 2800 ×
CO1	ピリジン, ピリミジン誘導体の活性ア ルキル基の反応性の分子軌道法による 検討	福岡大・薬・製 薬化学	後藤 良宣 (4)	3183 / 3200 ○

プロジェクト コード	研究課題名	所属	代表利用者 (メンバー数)	点数 (実績/許可) 利用報告書 提出状況 (×印は未提出)
CO3	分子のポテンシャル曲面と電子密度曲面の計算科学	中京大・教養・情報科学	秦野 甯世 (1)	3080/ 3200 ○
CP7	磁気吸収スペクトル解析	名工大・工・応用化学	高橋 憲助 (2)	179/ 3200 ○
CQ4	複素環化合物の構造解析	名芸大・一般教育・化学	長谷川 勘一 (3)	2875/ 3200 ○
CQ6	分子軌道法による有機化合物の立体配座解析	名城大・薬・製薬学	寺田 幸正 (1)	234/ 2800 ○
CR7	リン酸化合物の電子状態の計算	東洋大・工・教養	本多 満男 (1)	644/ 2000 ○
CT3	6,6-ジメチルフルベンとイソベンゾフランとの反応	茨城大工短・工業化学	東 美和子 (1)	2426/ 3200 ○
CU9	テトラシアノ(X ₂)金属錯体の分子軌道計算	名市大・薬・製薬学	後藤 正文 (2)	2818/ 3200 ○
CV8	ジセレノゲルマンの光分解によるジメチルゲルミレンの生成と直接観測	東大・教養・化学	友田 修司 (1)	0/ 3200 ×
CW0	重合反応の反応規制や立体規制に関する研究	阪大・理・高分子学	蒲池 幹治 (1)	2233/ 3200 ○
CW1	DV-X α 法による遷移金属錯体の分子内電荷移動に関する研究	東工大・理・化学	海津 洋行 (5)	3088/ 3200 ○
CX1	固体における分子・イオンの回転運動と配向無秩序	名工大・工・化学	尾崎 芳昭 (1)	0/ 800 ○
CY6	分子の電子状態と分子スペクトル	岐阜薬科大・薬・製造薬学	宇野 文二 (2)	3818/ 4000 ○
CY7	高分解能赤外・遠赤外スペクトルの解析	城西大・理・化学	中川 邦明 (1)	3766/ 3200 ○
CZ0	光分解によって生成するラジカルのMO計算による研究	新潟大・理・化学	徳江 郁雄 (2)	3572/ 3600 ○
DA2	分子の構造とその反応性に関する理論的研究	山口大・教養・化学	堀 憲次 (2)	3159/ 3200 ○

プロジェクト コード	研究課題名	所属	代表利用者 (メンバー数)	点数 (実績/許可) 利用報告書 提出状況 (×印は未提出)
DB0	非線形Coupled Oscillatorにおけるカ オスの解析	茨城大・理・化 学	寺 阪 利 孝 (2)	299 / 3200 ○
DB2	ジアリールエチレン類の分子構造	東大・教養・化 学	小 川 桂一郎 (1)	3 / 2800 ○
DB9	生体高分子と異物分子の分子間相互 作用モデルの研究	東京都臨床研・生 命情報工学研究室	神 沼 二 真 (3)	2536 / 3200 ○
DC7	分子動力学法及びX線回折法による溶 融塩及びガラスの構造解析	千葉大・工・合 成化学	持 永 純 一 (6)	1167 / 3200 ○
DD3	蛋白質分子の構造エネルギー解析	早大・社会科学	輪 湖 博 (1)	0 / 3200 ○
DE6	ウレアーゼ活性と阻害剤の研究	富山医薬大・薬・ 薬科学	篠 田 裕 之 (1)	2760 / 3200 ○
DF1	低次元物性の数値的方法による研究	筑波大・物理学 系	高 田 慧 (2)	3043 / 3200 ○
DF2	典型元素における超原子価化合物の性 質	広島大・理・化 学	山 本 陽 介 (1)	0 / 3200 ×
DG7	ヘテロおよびイソポリ酸塩の結晶構造	東大・理・化学	佐佐木 行 美 (4)	1218 / 3200 ○
DH0	反応性中間体のMO計算	名大・工・応用 化学	沢 木 泰 彦 (3)	3270 / 3200 ○
DH2	機能性色素の分子軌道計算と構造相関	阪府大・工・応 用化学	中 澄 博 行 (2)	3180 / 3200 ○
DH3	多原子協同系電磁界系の量子カオス	久留米工大・工・ 電子情報工学	大 野 稔 彦 (1)	879 / 3200 ○
DI0	カチオンラジカルの電子状態	広島大・工・応 用理化学	塩 谷 優 (2)	2979 / 3200 ○
DI7	純粋流体と流体混合物の分子熱力学	金沢大・自然科 学・物質科学	G. CIOCCA (1)	2455 / 3200 ○
DJ5	金属錯体の分子軌道計算	愛知県立大	田 浦 俊 明 (1)	989 / 3200 ○

プロジェクト コード	研究課題名	所属	代表利用者 (メンバー数)	点数 (実績/許可) 利用報告書 提出状況 (×印は未提出)
D J 6	硫黄架橋モリブデンおよびタングステ ンクラスターの分子軌道	岡山理科大・理・ 化学	柴原隆志 (4)	210/ 3200 ○
D J 8	遷移金属錯体の結晶構造と物性	関西学院大・理・ 化学	御厨正博 (1)	677/ 3200 ○
D J 9	遷移金属錯体の立体配座	広島大・理・化 学	中沢浩 (3)	2813/ 3200 ○
D K 0	固体及び分子集合体における電子-格 子相互作用に関する理論的研究	工業技術院・電 総研・基礎部	浅井美博 (1)	0/ 3200 ○
D K 1	反応衝突の理論的研究	名大・教養・化 学	高塚和夫 (1)	31/ 3200 ○
D K 2	ハイゼンベルグハミルトニアンを用い た高スピン有機分子の電子状態の計算	阪市大・理・化 学	手木芳男 (3)	3240/ 3200 ○
D K 4	N, N, N', N', -テトラメチル-P -フェニレンジアミン (TMPD) 分 子の励起三重項状態の平衡構造最適化 及び振動解析	早大・理工・化 学	高橋博彰 (2)	3259/ 3200 ○
D K 8	強誘電体の分子構造に関する理論計算	早稲田高等学校	齋藤俊和 (1)	2973/ 3200 ○
D K 9	フェニルカチオンの超共役安定化	九大・機能物質 科学研究所	園田高明 (2)	3729/ 3200 ○
D L 0	金属蛋白質の電子移動反応の機構	名城大・理工・ 一般教養	高倍昭洋 (1)	3038/ 3200 ○
D L 3	MO法による有機化合物の物性, 反応 性の解明およびX線解析法による有機 分子構造の検討	三重大・工・工 業化学	村田滋 (1)	129/ 1600 ○
D L 4	原子間ポテンシャルにおける分子効果	岡山理科大・理・ 応用物理学	中川幸子 (1)	257/ 3200 ○
D L 5	短寿命ラジカルとラジカル対のC I D E Pスペクトルの解析	京大・理・化学	富永圭介 (1)	614/ 3200 ○

プロジェクト コード	研究課題名	所属	代表利用者 (メンバー数)	点数 (実績/許可) 利用報告書 提出状況 (×印は未提出)
DL 6	π 電子系の共役におけるポテンシャルエネルギーと電子の運動エネルギーの役割	星薬科大・薬物理学	市川 紘 (3)	3020 / 3200 ○
DL 7	トリチウムの β 崩壊エネルギースペクトルにおける分子効果とニュートリノ質量決定	東大・宇宙線研究所	荒船 次郎 (4)	1784 / 3200 ○
DL 8	接触分析法において触媒として作用する金属錯体の構造化学的熱力学的研究	筑波大・化学系	小堤 和彦 (3)	430 / 3200 ○
DL 9	生体の反応機構の解析	国立がんセンター 研究所・生物学部	五百城 義和 (1)	0 / 3200 ○
DM 0	秩序性分子集合体の表面構造特性の研究	北大・工・合成 化学工学	山崎 巖 (6)	1398 / 3200 ○
DM 1	非線型DLAのパターン形成	静大工短・機械 工学	長谷 隆 (1)	2634 / 3200 ○
DM 2	BDシミュレーションによる生体系の動力学	北里大・衛生・ 応用物理学	佐藤 猛 (2)	5 / 3200 ○
DM 3	極性液体の理論的研究－RAM理論によるpolar hard dumb-bell liquidsの分布関数の計算－	名大・工・化学 工学	野村 浩康 (2)	2822 / 3200 ○
DM 4	分子力場計算によるシクロデキストリン包接化合物の分子構造	三重大・工・資 源化学	佐藤 博保 (2)	2382 / 3200 ○
DM 5	酵素、補酵素および生体関連化合物の構造、電子状態、生体活性機能に関する分子軌道研究	熊本大・工・応 用化学	大久保 捷敏 (3)	500 / 3200 ○
DM 6	シリルラジカルとクロロカルボニル化合物の反応機構の研究	大阪府立放射線 中央研究所	岡 邦雄 (2)	707 / 2800 ○
DM 7	分子及び分子集合体の電子構造と電子的性質	広島大・理・物 性学	関 一彦 (4)	684 / 3200 ○
DM 8	テルリドおよびスタナンと炭素求核剤との反応に関するab initio 計算	阪大・工・応用 精密化学	神戸 宣明 (4)	519 / 3200 ○

プロジェクト コード	研究課題名	所属	代表利用者 (メンバー数)	点数 (実績/許可) 利用報告書 提出状況 (×印は未提出)
所 内				
AB0	低温温度計の目盛付け	機器センター	木村啓作 (2)	55/400 ○
AB1	分子軌道法による分子及び分子集合体の電子構造の計算	分子集団	森健彦 (4)	3098/3600 ○
AB2	イオン-分子反応におけるポテンシャル面とトラジェクトリー計算	分子集団	小谷野猪之助 (4)	3971/5600 ○
AB8	光化学反応及び分子線反応実験のデータ解析	分子集団	正 阜 宏 祐 (5)	1556/9200 ×
AC1	UVSOR用分光器の波長較正Ⅲ	極端紫外光実験 施設	福井一俊 (6)	382/3600 ○
AC6	EXAFSによる触媒構造の研究	分子構造	宇田川康夫 (4)	1299/3600 ○
AC7	気相における化学反応素過程の研究	電子構造	花崎一郎 (6)	1018/10800 ○
AD7	有機結晶及び半導体表面での電子移動反応の研究	電子構造	吉原経太郎 (5)	2542/7200 ×
AF0	生体色素の共鳴ラマン散乱とその振動解析	分子構造	北川禎三 (1)	0/400 ○
AG1	貯蔵リング内におけるビーム運動の解析及び新光源シミュレーション	極端紫外光実験 施設	米原博人 (4)	550/1200 ○
AH0	様々な状態での分子集合体の物理及び化学的性質	分子集団	丸山有成 (3)	1128/1200 ○
AH3	サリチルアルデヒドのプロトン移動のab initio 計算	分子集団	長岡伸一 (1)	3873/4000 ○
AH6	機器センター共同利用実験装置におけるデータ処理	機器センター	玉井尚登 (2)	1939/7200 ○
AJ0	分子クラスターの電子状態の研究	電子構造	西 信 之 (4)	56/10800 ○

プロジェクト コード	研究課題名	所属	代表利用者 (メンバー数)	点数 (実績/許可) 利用報告書 提出状況 (×印は未提出)
A J 2	錯体の反応と構造の解析	錯体化学実験施設	中 島 清 彦 (2)	1984 / 3600 ○
A K 5	超励起状態の関与する動的過程の研究	理 論	H. S U N (1)	3328 / 3600 ○
A K 6	D N A と生理活性物質との相互作用	錯体化学実験施設	黒 田 玲 子 (1)	8 / 800 ○
A K 7	導電性有機物質の構造と物性の研究	分子集団	薬 師 久 彌 (3)	53 / 2000 ○
A K 9	二原子分子の超励起状態の理論的研究	理 論	S. N. R A I (1)	2639 / 3600 ○
A L 0	シンクロトロン放射を用いた酸-水系の研究	分子集団	E. N A G Y (1)	3560 / 3600 ○
A L 1	大環状ポリアミン金属錯体の構造化学	錯体化学実験施設	木 村 栄 一 (3)	1 / 800 ○

<生 理 学>

施設利用 (A)

K A 4	生理的活性物質の電子状態	京大・医・医学	品 川 泰 子 (1)	1118 / 2800 ○
K A 7	生理活性物質の動的構造と活性の相関	徳島大・薬・生 物薬品化学	寺 田 弘 (3)	1643 / 1600 ○

<基礎生物学>

施設利用 (A)

Q A 5	拡散ボルテラモデルのPersistence と大域的安定性	静大・工・応用 数学	竹 内 康 博 (1)	1533 / 1600 ×
-------	-------------------------------	---------------	----------------	------------------

所 内

O A 5	光合成色素系におけるエネルギー転移機構の解析	細胞生物学	三 室 守 (1)	13 / 3600 ○
-------	------------------------	-------	--------------	----------------

1. 2 昭和63年度利用報告書（利用点数実績4,000点以上）

利用報告書目次

（利用許可点数8,000点未満）

ホストゲスト包接現象の理論的研究	櫻井 実・他	15
MC-SCF法を用いたいくつかの分子に対する理論的考察	伊藤 礼吉・他	16
燃焼計測のためのレーザー励起蛍光過程のシミュレーション	吉川 典彦・他	17
結合間電子非局在化機構と分子および反応の設計	稲垣 都士・他	18
熔融炭酸塩型燃料電池の電解液に関する研究—溶液構造と動的性質	小浦 延幸・他	19
面・分子干渉におけるエネルギー交換	加藤 征三・他	20
非電解質溶液の分子論的研究	村上 幸夫・他	21
親電子付加に関する理論的研究	湊 敏	22
メスbauer分光法とMO法によるアンチモン(V)化合物の電子状態の研究	矢永 誠人・他	23
分子集合体および生体系における光化学初期過程の研究	富宅 喜代一・他	24
ブロンズ系化合物における新型超伝導探究	佐藤 正俊・他	25
凝縮相におけるミュー中間子の運動	北原 和夫	26
金属錯体の結晶構造と分子運動の研究	池田 龍一・他	27
CI法による高精度計算	P. J. KNOWLES	28

（利用許可点数8,000点以上）

典型金属を含む化合物の理論的研究	酒井 章吾	29
遷移金属化合物の構造，電子状態，触媒作用に関する分子軌道研究	榑 茂好	33
高温超伝導酸化物における電子およびスピン相関の研究	山口 兆	37
金属酸化物のPUMP n計算	山口 兆	39
光分解反応のポテンシャル曲面の理論計算	藪 下 聡	41
水のエネルギー揺らぎに関する理論的研究	田中 秀樹	43
遷移金属原子の励起エネルギーとイオン化エネルギー	関谷 雅弘	45
ヨウ化リチウムホルムアミド溶液の分子動力学計算	伊藤 澄子	49
ルテニウム錯体触媒によるメタノールC-H活性化の機構理解	板垣 弘昭	51
非共役ジエンの分子内環状付加反応の理論的取扱	大作 勝	53
非極性凝縮相媒体中におけるイオン-電子再結合過程の理論的研究	宇佐見 義之	55
蛋白質立体構造の変化と運動	郷 信広・他	57
固体メタンおよび水の物性の研究	片岡 洋右・他	59
ポリアセチレンの電子構造および分子構造の研究	田 仲 二朗・他	63

素反応過程の経路と動力学機構の研究	笛野高之・他	65
イオンの溶媒和過程の理論計算	生田茂	69
分子軌道法による化学相互作用系の理論計算	藤本博・他	71
光化学反応機構に関する量子化学的研究	津田穰・他	73
励起分子と触媒系の電子状態と化学反応	中辻博・他	75
表面および不純物系の電子状態	浅田寿生・他	79
非電解質水溶液の計算機実験	中西浩一郎・他	81
分子動力学シミュレーションによる溶融塩の輸送現象及び構造の研究	岡田勲・他	85
分子の電子状態に関する理論的研究	西本吉助・他	87
反応中間体および遷移状態の電子状態の分子軌道法による計算	小西英之・他	89
分子のSCF-CI計算	大野公男・他	91
分子の電子状態と化学反応に関する研究	平尾公彦・他	95
固体水素中のミューオンの運動	石田義明・他	97
遷移金属化合物および合金の電子構造	森永正彦・他	99
気相・液相・固相における分子の電子状態の研究	斉藤昊・他	101
固体表面と遷移金属の電子状態	寺倉清之・他	103
有機化合物のラジカルイオンの電子状態に関する研究	志田忠正・他	105
有機ラジカルの電子状態のMO計算	山本正夫・他	107
半導体表面、マイクロクラスターおよび準結晶の構造と電子状態	山口豪・他	109
ビスクロアルカンの親電子的開環反応の理論的研究	山辺信一	111
新規な興味ある分子及び反応系設計の理論的研究	永瀬茂・他	113
アミンの熱分解反応機構の研究	浜田嘉昭・他	117
鎖状および粒子状分子集合体における密度相関と相安定性の研究	岡本宏・他	119
均一系・不均一系の電子移動反応の機構	垣谷俊昭・他	121
分子の励起状態に関する理論的研究	岩田末廣・他	123
金属および金属酸化物クラスターの電子状態と反応性に関する量子化学的 研究	山口克・他	127
化学反応の動的過程に関する理論的研究	山邊時雄・他	129
モデルポテンシャルを用いた分子計算	酒井嘉子・他	131
表面・界面・クラスターでの電子過程	塚田捷・他	133
高分子鎖の電子構造とNMR化学シフト	安藤勲・他	137
金属およびその混合物のガラス状態のシミュレーション	能勢修一・他	139
ロジウム錯体による触媒反応の活性中間体に関する研究	山川仁	141
中・大員環状化合物の立体配座	深沢義正・他	143
ガラス構造の計算機シミュレーション	井上博之	145
有機合成反応の分子軌道論的研究	阿知波一雄・他	147

水溶液中におけるアミノ酸の平衡構造と電子構造	正村 真佐雄	149
バンド理論による化合物の電子構造	竹ヶ原 克彦・他	151
有機化合物の回転異性化と分子振動	田 隅 三 生・他	153
常磁性分子の電子状態と化学反応に関する量子化学的研究	市川 恒樹・他	155
イオン分子反応の理論的研究	阿部 康夫・他	157
固体及び固体表面の電子状態	柳瀬 章・他	159
分子動力学法による過冷却液体の構造変化	円谷 和雄・他	161
気相および液相における化学反応の理論的研究	加藤 重樹・他	163
非晶質薄膜の構造解析	難波 徳郎	167
分子、固体および表面の電子状態の理論的研究	里子 允敏・他	169
低次元性電導体の動的性質に関する理論的研究	和田 靖・他	171
分子振動の旋光強度の理論計算	菅田 宏	173
スルフェン酸の分解反応及びチオールとの反応における反応性の理論的研究	作道 栄一・他	175
遷移金属酸化物の電子状態と触媒活性	藤井 恒男・他	177
生物における形態形成の研究	関村 利朗・他	179
分子の電子状態及び化学反応機構に関する理論的研究	諸熊 奎治・他	181
マイクロ波分光およびレーザー分光による分子構造の研究	廣田 榮治・他	185
遷移金属錯体の構造および反応機構に関する研究	太田 哲男・他	187
金属錯体の構造化学	磯邊 清・他	189
量子化学プログラムの開発と金属錯体の電子構造の研究	柏木 浩・他	191
分子の動的諸過程の理論的研究	中村 宏樹・他	193
不安定分子種の理論的研究	W. T. BORDEN	195
金属の相転移に関する理論的研究	那須 奎一郎・他	197
溶液内化学反応の理論	大峰 巖・他	199
炭化水素の熱的異性化過程の理論的研究	P. N. SKANCKE	203
軽原子移行化学反応過程の研究	S. C. PARK	205
フェニルナイトレンの電子状態の理論的研究	茅 幸二・他	209
価電した伝導性ポリマーのバイエルス不安定性の分子軌道法的研究	今村 詮	211
可視・紫外・真空紫外レーザー多光子励起による原子分子の高電子励起状態の研究	森田 紀夫・他	213
小さな分子の励起状態での振動一回転エネルギー準位の計算	P. R. BUNKER	215
溶液内化学反応の理論	Y. S. KONG	217
古典トラジェクトリー法による化学反応の動力学計算	Y. XIE	219

分 OK の 施

実 4,114
許 6,400

ホスト-ゲスト包接現象の理論的研究

A Theoretical Study of Host-Guest Inclusion Phenomena

○ 櫻井 実(東工大・工), 青山 紀人(東工大・工), 谷江 洋(東工大・工)

1. 研究目的・内容 シクロデキストリン(CD)をはじめとする大環状化合物(ホスト)のゲスト選択性及び触媒活性の起源を理論化学的に解明し, 高機能性大環状化合物を分子設計するための指導原理を与える。具体的には, 本年度では次のことを行った。i) CD 空洞内静電ポテンシャルのホストコンホメーション依存性を検討し, ゲスト選択性との関連を論じた, ii) CD の触媒活性の起源を調べるため, 例としてフェニルシアノ酢酸アニオンの脱炭酸反応をとりあげ, "疎水性ポケット"の役割について論じた。

2. 研究方法・計算方法 分子量1000程度のCD分子のMO計算には, 半経験的MO, 特に, 反応座標を求めるときには, QCP EのMVDQCプログラムを用いた。また, 既存のプログラムに溶媒効果を含む静電ポテンシャル計算のためのサブルーチンを付加している。

3. 研究成果

i) CD分子の静電的性質 まず, CD空洞内に静電ポテンシャルの勾配が生ずる原因を電子密度解析より考察した。その結果, グルコース残基のC6炭素の正電荷(0.2~0.3)が主要なsourceであることが判明した。続いて, 一般水酸基のコンホメーション, 多分わち, C5-C6-O₆-Hの二面角と静電ポテンシャルの関係を調べた。その結果, 6個の水酸基のうち一つがトランス配座をとると勾配が30%ほど減少することを見いだした。この結果とメチル化CDの静電ポテンシャルとの比較より, ゲスト選択性と一般水酸基のコンホメーションとの関係を明らかにした。

ii) 脱炭酸反応への触媒効果 フェニルシアノ酢酸アニオンがCDに包接される場合, 反応部位は水中に露出し, フェニル環部位はCD空洞内に局在化していると考えるのが自然である。この時反応分子は不均一誘電体的環境に存在していると考えられることができる。本研究では, 従来われわれの開光・発表させてきた触媒効果理論によりゲストの周りの環境を近似し, 活性化エネルギーに与える包接の効果と調べた。ここでは, フェニル環をとり囲むCD空洞と比較的低誘電率の媒質とみなしたところ, 活性化エネルギーの低下がみられ実験値の傾向を再現することができた。この低誘電率媒質の大きさ・ゲストの包接の深さに対する依存性を調べたところ, 実験から予想されるgeometryをもつ時, 十分な活性化エネルギーの低下が起ることを示した。以上より, 酵素-基質系における反応活性部位周辺の疎水性ポケットの存在が, 酵素の触媒能に大きくcontributeしている, と結論した。

4. 発表・出版実績

(1) 櫻井ら, 第7回シクロデキストリンシンポジウム, 1988年10月東京,
(2) 櫻井ら, 5th International Symposium on Cyclodextrin, 1988年9月, アラバマ, USA, (3) 青山ら, Chem. Letts., 1988, 949-952, (4) 櫻井ら, J. Incl. Struct., THEOCHEM, LRC, 267-281 (1988), (5) 櫻井ら, Bull. Chem. Soc. Jpn., 61, 425-429 (1988), (6) 櫻井ら, Bull. Chem. Soc. Jpn., 印刷中(1989年6月号予定), (7) 櫻井ら, Carbohydr. Res., 投稿中, (8) 櫻井ら, Chem. Letts., 投稿中, (9) 櫻井ら, 日本化学会春季年会, 1989年4月, 京都, (10) 櫻井ら, 高分子学会, 1989年5月, 神奈川, (11) 青山ら, J. Inclusion Phenomena, 印刷中

分	CK9 施
実	6,580
計	7,600

MC-SCF法を用いたいくつかの分子に対する理論的考察

Multi-Configurational SCF Studies on Some Molecule

○伊藤礼吉、笹金光徳、市原晃、久保田明生、藤井俊明、吉田和彦（早大理工）

1. 研究目的, 内容

本プロジェクトはいくつかの小分子について基底および励起状態の非経験的分子軌道計算を行うことを目的としている。本年度はMC-TDHF法およびGUGAによるFULL-CIおよびBSSEのcounterpoise補正とsize-consistency補正を加えたSDCI (Price & Stone's formulaによる)を用いて計算を行った。

(A) MC-TDHF法を用いたLiHの周波数依存分極率の計算 (笹金光徳)

閉殻配置だけによるMC-SCFを用いて得られた解を非摂動参照状態とするMC-TDHF法を用い、二原子分子LiHについて、周波数依存分極率のLength formとVelocity formによる値を求め、比較検討した。Born-Oppenheimer近似の範囲内におけるRaman散乱強度、ポテンシャル曲線、分極率および双極子モーメントの核間距離依存性について検討した。

(B) He-H, He-He⁺およびHe₃の相互作用エネルギー解析 (市原晃)

He-H, He-He⁺分子についてGUGAによるFULL-CI法およびcounterpoise法によるSDCI法を用いて $X^2\Sigma^+$, $A^2\Sigma^+$, $B^2\Pi$, $C^2\Sigma^+$ 各状態の相互作用ポテンシャル曲線を求めた。counterpoise法による計算結果はFull-CIの結果に対して平衡核間距離および相互作用エネルギーの面で十分よい近似となっていることが示された。

He₃についてはSDCI法におけるcounterpoise補正計算 (三体における補正の理論式は独自に開発した) の相互作用エネルギー値は直線型He-He-Heおよび正三角形He₃の両方について十分信頼のおける近似値となっていることを確認した。

2. 発表, 出版実績または予定

- 1) 笹金, 森, 市原, 伊藤; 分子構造総合討論会 1988年 10月, 東京.
- 2) 市原, 笹金, 伊藤; 分子構造総合討論会 1988年 10月, 東京.
- 3) 市原, 笹金, 伊藤; Bull. Chem. Soc. Jpn. 61 (1988) 3141.
- 4) 市原, 伊藤; Bull. Chem. Soc. Jpn. 62 (1989) 1410.
- 5) 市原, 伊藤; Bull. Chem. Soc. Jpn. 62 (1989) (accepted).

分	CP9	施
実	6,733	
許	6,800	

燃焼計測のためのレーザー励起蛍光過程のシミュレーション

Simulation of Laser-Induced Fluorescence Mechanism for Combustion Measurement

○吉川典彦, 出口祥啓, 藤井浩, 平柳剛, 歌代健一 (豊橋技術科学大学)

1. 研究目的・内容

本年度は火炎中のOHラジカルの温度・濃度計測法を確立するため, 蛍光過程のシミュレーションプログラムを作成し, エキシマ・色素レーザーを用いた実験計測結果との比較によって, 従来よりも精度の良いモデルを確立することを目指した。

2. 研究方法

従来多く用いられた飽和蛍光モデルに替わり, 準飽和領域でも計測可能とするために, OHの各エネルギー準位間遷移方程式に定常仮定を用いて温度を決定し, 更に, 飽和曲線を求めて濃度を決定するという方法をとった。また, 従来の遷移定数には不確定な要素もあり, シミュレーションと測定結果との差を最小にするように, これら定数の値を変化させて, 最終的にモデルを決定した。

3. 研究成果

図1はメタン-空気予混合火炎中にOHの(O-O)バンドP₁(5)吸収線(310.123nm)を発振して得た蛍光スペクトルとシミュレーションを比較したものである。回転量子数N=0~29の59個のエネルギー準位を考慮して計算を行ない, 主要な35本のスペクトル線について実験と計算の差が最小となるように温度を決定した。図2はレーザー強度とQ₁(4)ライン(308.328nm)蛍光強度の関係を示す。これから飽和度が65.5%であることがわかる。本研究で得た主要な結果を以下にまとめる。

(1) 大気圧下では, OHの励起準位数密度を飽和させることが困難であり, シミュレーションから飽和曲線を求め, 濃度を決定する方法を確立した。

(2) この方法では, OHの温度・濃度を求めるうえで消光, 緩和速度の絶対値を必要とせず, 蛍光法の適用範囲が広がると考えられる。

4. 発表・出版実績または予定

出口, 吉川, 大竹 日本機械学会論文集B編投稿中

出口, 吉川, 大竹 34回岡崎コンファレンス, 63年12月岡崎

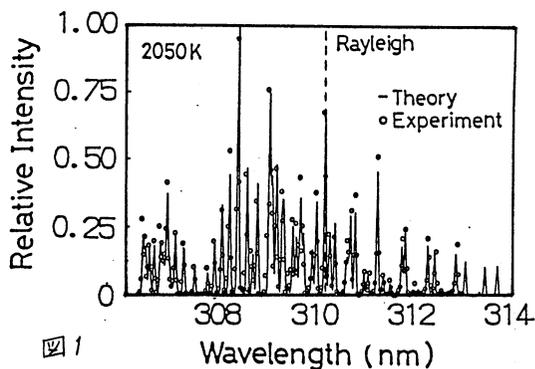


図1

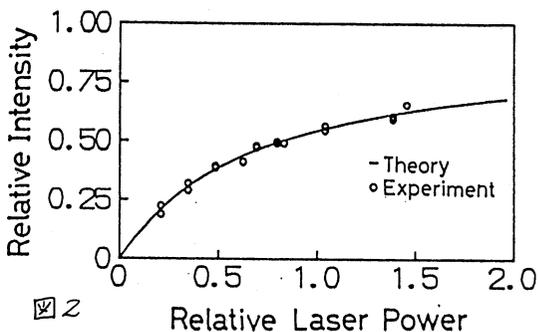


図2

分	CU5 施
実	5,435
許	6,400

結合間電子非局在化機構と分子および反応の設計

Mechanism of Electron Delocalization between Chemical Bonds and Design of Molecules and Reactions

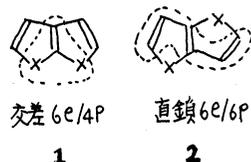
○ 稲垣都士 (岐大工)、西沢嘉洋 (岐大工)、漆畑雅博 (岐大工)、後藤なをみ (名文理造)

1. 研究目的・内容

電子が化学結合間で非局在化する機構を解明し、分子および反応の理論設計のための基礎を構築することを目的とする。(1)飽和窒化水素 (NH_2NHNH_2 , $\overline{\text{NHNHNH}}$ など) における N-N 結合間、孤立電子対の非局在化を定量的に評価し、炭化水素との比較検討を通して、この未知分子群の諸性質を明らかにする。(2)軌道位相の連続条件からとも安定と予測される交差 6e/4p 系と直鎖 6e/6p 系が、どちらが安定かを評価するため、それらを部分構造にもつヘテロ縮合五員環芳香族異性体の相対的安定性を明らかにした。

2. 研究方法・計算方法

GAUSSIAN 80・82 プログラムを用いて最適化構造を求めた。化学結合間の電子非局在化の評価は電子配置解析法によった。



3. 研究成果

16種類の基底関数を用いて NH_2NH_2 の最適化構造を求めた結果、N-N 結合距離の実験値に最も近い値を与えたのは 3-21G であった。この基底関数を用いて種々の窒化水素を計算した結果、鎖状分子の N-N 結合距離 (1.44-1.45 Å) は $\text{NH}_2\text{-NH}_2$ と同程度であるが、環状分子では 3員環、4員環とも長い (1.51 Å)。この点は、シクロプロパンの結合が短い炭化水素と異なる。原因は孤立電子対から N-N 結合へのジェミナル非局在化が大きいためである。

ヘテロ縮合五員環芳香族は、X=S, NH の場合 2 の異性体の方がわずかに安定である。トリエン部分の両端面の非局在化が 1 と 2 で大きく異なる。中央の二重結合の分極の度合に、1 と 2 で差は少ない。したがって、直鎖 6e/6p が安定性を決定していると考えられる。

X=O, N⁻ の場合、1 と 2 の相対的安定性に殆んど差はなかった。この場合、中央二重結合の分極の方が、両端二重結合間の非局在化より 1 と 2 で大きく異なっていた。この結果は、交差 6e/4p は直鎖 6e/6p ほど支配的でないことを示唆している。つまり、直鎖 6e/6p の方が交差 6e/4p より安定であると考えられる。

4. 発表・出版実績または予定

山辺、漆、稲垣 J. Chem. Soc., Chem. Commun., 1988, 532

山辺、漆、関、稲垣 J. Am. Chem. Soc., 110, 6047 (1988)

稲垣、今井、森 Bull. Chem. Soc. Jpn., 62, 79 (1989)

後藤、川地、稲垣 第57回日本化学会秋季年会、63年9月仙台

稲垣、漆畑 第19回中部化学関係学協会連絡協議会、63年10月名古屋

分	CW7 施
実	5,010
計	5,200

溶融炭酸塩型燃料電池の電解液に関する研究

— 溶液構造と動的性質 —

Studies on the electrolyte for the molten carbonate fuel cells.

— Structure and kinetic properties of the electrolyte —

○小浦延幸, 藤本延和 (東理大理工)

1. 研究目的・内容

溶融炭酸塩型燃料電池は、オンサイト発電用あるいは大規模な発電用として、現在研究開発が活発に行なわれている。その中でも電解液は、電池構成要素として電池性能や電極性能を大きく左右するので、電解液についての物理的・化学的知見を得ることは非常に重要である。我々は、Al/FeS₂型溶融塩二次電池の電解液であるAlCl₃-NaCl系溶融塩の、溶液X線回折およびMD法コンピューターシミュレーションによる解析を行ない、液体自身の物性に深く関与している溶融塩の液体構造やその動的性質についての研究を行ってきた。本研究は、その解析方法を応用し、溶融炭酸塩の液体構造およびその動的性質について、MD法シミュレーションによる解析を試みたものである。

2. 研究方法・計算方法

シミュレーション方法は、前報の50mol%Li₂CO₃-50mol%K₂CO₃系の方法を基に行なった。基本セル中には、Li⁺およびK⁺をそれぞれ108個とCO₃²⁻108個を配置し、二体ポテンシャルはHuggins-Mayer型ポテンシャルを用いた。各イオンの自己拡散係数Dは、平均自乗変位<ΔR²>より、次のアインシュタイン式から求めた。

$$\begin{aligned} \langle \Delta R^2 \rangle &= \langle (r(t) - r(t_0))^2 \rangle \\ &= 6D \cdot t + C \end{aligned}$$

平均自乗変位は、時間間隔0.5×10⁻¹³sとして時刻t₀を10点とり、その全イオン平均から求めた。プログラムは、分子研登録ライブラリーMDAN03のベクトル版を作製し(登録コードCR3V, AS3V MDAN03)、これの炭酸塩用に改良を加えたプログラムを作製して使用した。

3. 研究成果

50mol%Li₂CO₃-50mol%K₂CO₃溶融塩のX線回折法ならびにMD法各々から得られた干渉関数はFig.1のようになり、シミュレーションを実験値によく一致させることのできたことを示している。このシミュレーションから得られた平均自乗変位は、Fig.2のようであり、この直線部の傾きから求めたLi⁺、K⁺、CO₃²⁻各イオンの自己拡散係数はそれぞれ、2.44×10⁻⁹、1.67×10⁻⁹、0.222×10⁻⁹m²/sとなった。

4. 発表・出版実績または予定

藤本, 小浦, 第2回分子シミュレーション討論会
63年12月東京

藤本, 小浦, 電化, 投稿中

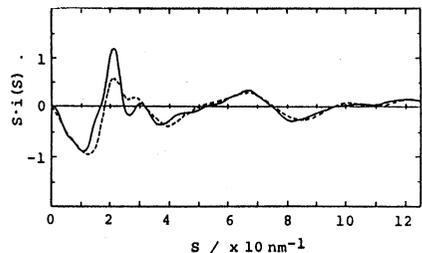


Fig.1 Interference functions S·i(S) of 50mol%Li₂CO₃-50mol%K₂CO₃ melt.
— : MD, - - - : X-ray

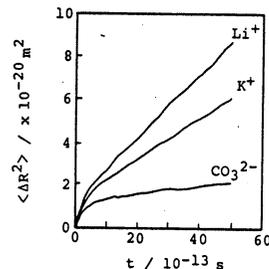


Fig.2 Mean square displacement of Li⁺, K⁺, and CO₃²⁻.

分	022 施
実	5,006
許	4,800

面・分子干渉におけるエネルギー交換

Energy Transfer in Gas-Surface Interaction

○加藤征三（三重大工）、宇佐美勝（三重大工）、上野幸彦（三重大院）、
京極肇（三重大院）

1. 研究目的・内容

蒸着・蒸発など薄膜形成に伴う反応あるいは燃焼反応等における面・分子干渉の機構を解明するためには、面を取り巻く場の分子の挙動および分子と面との干渉によるエネルギー移動の詳細を知り、内部自由度間でのエネルギー移動をも明らかにする必要がある。本研究は、面・分子干渉におけるエネルギー交換過程をシミュレーション計算により明らかにし、各種薄膜製造過程あるいは燃焼時における諸問題を解析して、工学的適用の検討を行うものである。

2. 研究方法・計算方法

計算法としては、直接シミュレーションモンテカルロ法（DSMC法）を用いた。前年度の計算においては、二次元空間上でのシミュレーションに対してDSMC法のベクトル化を考え、加速率8以上を達成したが、今回は、軸対称三次元空間上でのシミュレーションにおいて、前年度とほぼ同様なベクトル化手法によって加速率の増加がS-820/80上の新コンパイラで可能であるか検討した。また、境界面がかなりの熱容量を持つにもかかわらず、気体分子によるエネルギー輸送によって温度変化を生ぜしめるために、気体分子運動の時間スケールと固体内熱伝導の時間スケールとを異なる大きさに設定して計算する手法を考案した。同時に取り扱う分子数としては $1/kn=20$ 以下の計算において約14万個を、それ以上の密度においては約50万個を扱った。

3. 研究成果

希薄気体中におかれた円柱フィン（スパイン）からの熱伝達に関してシミュレーションを行った。まず、単原子分子を仮定し、並進自由度のみによるエネルギー輸送の計算を剛体球モデルを用いて解いた。気体分子のエネルギー輸送は物理的シミュレーションで、固体内熱伝導は数学的差分法でといったハイブリッド手法を用いることにより、時間スケールの極端な違いにもかかわらず安定した解が得られた。つぎに、回転の自由度をもつ二原子分子の計算を検討したが、近似的な分子モデルにもかかわらず、計算で得られた結果は実験結果とよい一致を示した。S-820/80の新コンパイラにおいて以前のプログラムのままではベクトル化が不可能であった一様乱数の発生部分の計算は、乱数の発生ルーチンだけのDOLoopを設けることによりベクトル化可能になった。結果として、加速率10以上のDSMC法プログラムを作成できた。

4. 発表・出版実績

M. Usami, T. Fujimoto, and S. Kato, 16th Int. Symp. Rarefied Gas Dynamics, July 1988, Pasadena, USA.

宇佐美・加藤 希薄気体流れの可視化研究会、1989年4月、京都

宇佐美・藤本・加藤 日本伝熱シンポジウム、1989年5月、仙台

分	DC6 施
実	6,389
許	6,400

非電解質溶液の分子論的研究

Molecular Interaction of Nonelectrolyte Solutions

○村上幸夫、田村勝利、鷺見浩一(阪市大・理)

1. 研究目的、内容 — 溶液のエンタルピー、体積、熱容量等の熱力学量測定から、成分分子の形状や大きさの違いが溶液の物性に及ぼす影響が注目されている。これらの巨視的量を計算機シミュレーションから得られる微視的情報と関連づけて理解することを目的とする。今年度は、成分分子の大きさの違いによる影響を調べるため、 σ 値の異なる Lennard-Jones 分子から成る二成分溶液系の Monte Carlo 計算を行い、このモデル溶液系の過剰エンタルピー、 H^E 、過剰体積、 V^E を求めた。同時に MC 計算から得られる動径分布関数より成分分子の自由体積を評価する方法を導出し、その値を求めた。

2. 研究方法、計算方法 — 選んだモデル溶液系は、LB-1-3系と称されるもので、各成分の ϵ, σ の値は次の通りである。

成分 1 $\epsilon_1 = 119.8 (\text{K}) \quad \sigma_1 = 2.788 \text{ \AA} \quad (\epsilon_2/\epsilon_1) = 1.0$
成分 2 $\epsilon_2 = 119.8 (\text{K}) \quad \sigma_2 = 4.022 \text{ \AA} \quad (\sigma_2/\sigma_1)^3 = 3.0$

異種分子間相互作用は Lorentz-Berthelot 則に従うとした。プログラムは通常の N.T.V アンサンブルのものである。粒子数は 108 ケ、温度は 100 K とした。約 100 万の配置を発生させ後半 50 万の配置から種々の量を求めた。濃度はモル分率で 0.1 ~ 0.9 まで 0.2 きざみでとった。モデル純液体や溶液の熱力学量の圧力依存性を求めるため、各濃度で密度の異なる 9, 8 英を選び計算を行った。それらの値を最小二乗法にかけて圧力依存性を求めた。特定の圧力での値は、その係数より求めた。

3. 研究成果 — 計算の結果、 H^E は全体的に正の値をとり、特に低圧では S 字状の濃度依存性を示した。 V^E は全体として負の値をとり圧力増加に伴いその絶対値は減少する。この結果を自由体積との関連において考察するため、自由体積 v_f を以下のようにして求めた。自由体積は次のように定義される。

$$v_f = \int_{cell} \exp \{ -\beta (\phi(R) - \phi(0)) \} dR$$

ここで $\phi(0), \phi(R)$ は各 2 分子が cell 中心にある時、cell 中心から R 離れている時分子が受けるポテンシャルエネルギーである。いわゆる“ぬりつがし近似”の代りに、近傍分子を動径分布関数に従ってぬりつがしてやると、 $\phi(0), \phi(R)$ は次式で表わされる。

$$\phi(0) = \rho \int \psi(r) g(r) dr \quad \phi(R) = \rho \int \psi(r-R) g(r) dr$$

ここで、 $\psi(r)$ はペアポテンシャルである。このようにして求めた自由体積から、次のように自由体積の溶液と純粋状態の差を定義した。

$$\Delta v_f = v_{f, soln} - (\sum_1 v_{f,1}^* + \sum_2 v_{f,2}^*) \quad v_{f, soln} = \sum_1 v_{f,1} + \sum_2 v_{f,2}$$

ここで、 $v_{f,i}, v_{f,i}^*$ は各々、i 成分の溶液中及び、純粋状態での自由体積である。 v_f と Δv_f との相関を調べたところ、圧力・濃度に関係なく非常に良い相関を示した。

4. 発表・出版実績又は予定

藤原・鷺見・大路・村上 日本化学会 58 春季年会 1989 年 4 月 京都
藤原・鷺見・大路・村上 Fluid Phase Equilibria 投稿予定

分	DDP	施
実	5,932	
許	6,000	

親電子付加に関する理論的研究

Theoretical Study on Electrophilic Additions

○ 湊 敏 (奈良大学)

1. 研究目的・内容

本研究は、有機化学反応の基本となる反応の1つである親電子付加の反応経路を分子軌道計算に基づいて求め、新しい結合の生成・旧結合の消滅・反応に伴う分子の変形の要因を軌道相互作用の立場から明らかにし、親電子付加の反応機構を明らかにしようとするものである。本年度は、カチオンによるシクロプロパン環の開環反応の機構とその立体選択性について考察した。

2. 研究方法・計算方法

カチオンによるシクロプロパンの開環は、カチオン (H^+ , Cl^+ , Br^+) の種類により、異なった生成物 (E^+ -保持, E^+ -反転) を与えることが知られている。本研究では、この原因を明らかにするために、シクロプロパンと H^+ (1), シクロプロパンと Cl^+ (2), シクロプロパンと Br^+ (3) という3つの反応系をモデルとして選んだ。分子軌道計算は、MIDI-1, MIDI-1(*)基底を用いて、GAUSSIAN80により行った。まず、(1)~(3)の反応系について、反応に関与する中間体および遷移状態の構造をエネルギー勾配法により求めた。次に、求められた構造が安定中間体であるか遷移状態であるかを確かめるために振動解析を行った。

3. 研究成果

反応(1)と反応(2),(3)はまったく異なった反応機構で進行することが分かった。図に反応機構の概略を示した。反応(1)では、まず H^+ がシクロプロパンに接近し中間体 (a) を生成する。(a) は安定中間体ではなく反応の遷移状態になっており、エチレンとメチルカチオンのイオン・コンプレックスを生成する。これが求核試薬の攻撃を受け最終生成物を与える。一方、反応(2), (3)においては、 Cl^+ (Br^+) がシクロプロパンに接近すると中間体 (b) が生成する。これは安定中間体であり、Zigzag型に分解し、求核試薬の攻撃を受け最終生成物を与える。この差は、カチオンの孤立電子対の存在により説明されることが分かった。

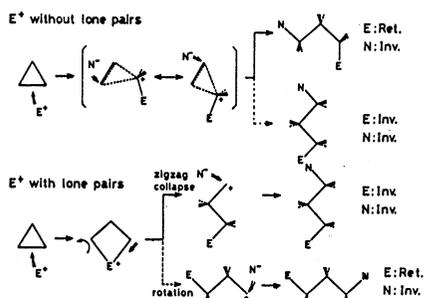
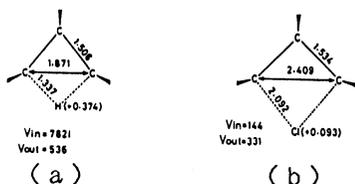


図. 反応機構の概略

4. 発表・出版実績

山辺, 湊, 稲垣, J. C. S. Chem. Comm., 532(1988).

湊, 山辺, J. Am. Chem. Soc., 110, 4586(1988).

山辺, 湊, 関, 稲垣, J. Am. Chem. Soc., 110, 6047(1988).

企画	DG1 施
実績	5,987
考許	6,000

メスバウアー分光法とMO法によるアンチモン(V)化合物の電子状態の研究

Studies of the Electronic States of Organoantimony(V) Compounds by Means of Mössbauer and MO Calculation

○矢永誠人(都立大理)・遠藤和豊(都立大理)

1. 研究目的・内容

メスバウアー分光法における異性体シフトの測定により、化合物内の原子核位置における電子密度を定性的に議論した研究は数多く報告されているが、定量的に議論した研究例は少ない。このメスバウアー原子の化学状態に関する情報を与えるパラメータである異性体シフト δ は、次式のように、

$$\delta = (4c/5Er) \pi Z e^2 R^2 (\Delta R/R) \{ |\psi(0)|_A^2 - |\psi(0)|_B^2 \} \quad \dots (1)$$

原子核に関する量すなわち原子核の励起に伴う核電荷半径の増加の割合($\Delta R/R$)と、電子状態に関する量すなわち化学状態の違いに基づく原子核位置における軌道電子密度の線源と吸収体での差との積で表される。従って、原子核位置での電子密度の定量的な考察には、 $\Delta R/R$ も精度よく求めることが必要になる。本研究では、 ^{121}Sb についての $\Delta R/R$ の値と精度よく求めることを目的とした。

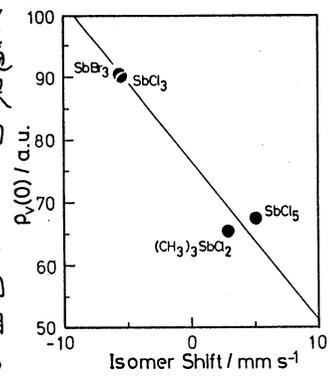
2. 研究方法・計算方法

式(1)に従って ^{121}Sb の $\Delta R/R$ の値を求めるとは、種々のアンチモン化合物について、異性体シフト δ の値とアンチモン核位置での電子密度を知る必要がある。本研究では、分子1個としての δ の値を得るために、凍結溶液状態において ^{121}Sb メスバウアースペクトルの観測を行った。核位置での電子密度については、Hartree-Fock法による分子軌道計算により求めることとした。Huzinagaによるminimal basis setsを用いて構造最適化を行った後、Stromberg及びHuzinaga-DunningのD2 basis setsを用いての計算によりアンチモン核位置での電子密度を求めた。計算には、生田茂氏所有のプログラムHÖNDOS5を使用した。

本法では相対論的効果の補正が必要となるが、これについては、Sb原子のs種類の電子配置についてHÖNDOS5による原子軌道計算を行い、核位置での電子密度を求め、各々、相対論的効果を考慮して行われたBandらによる結果との比をとり、その平均値、2.73を補正因子とした。

3. 研究成果

内殻の電子の核位置での電子密度は、化合物によらずほぼ一定であるので、原子価電子のみを考慮することとした。右図は4種の化合物についての結果を示したものである。 $\rho_v(0)$ は相対論的効果の補正を行った値である。 $R=1.2 \times A^{1/3}$ として、このグラフの傾きより、 $\Delta R/R = -(11 \pm 2) \times 10^{-4}$ という値を得た。現在、他の化合物についても同様に行っており、さらに信頼度の高い $\Delta R/R$ の値を求めているところである。



4. 発表・出版実績

矢永・遠藤・中原・生田・三浦・高橋・竹田 放射化学討論会, 1988年10月東海村
 矢永・遠藤・中原・生田・三浦・高橋・竹田 Hyp. Int. 投稿中

分子集合体および生体系における光化学初期過程の研究

分 ADP 所内

実 4,063
許 7,200

Photophysics Photochemistry of Molecular Assemblies and Biological Systems

玉井尚登、山中孝弥、[○]富宅喜代一（分子研機器センター）

1. 研究目的・内容

光化学初期過程としての電子移動や励起エネルギー移動およびプロトン移動などはピコ秒、サブピコ秒領域の時間スケールで起ることが多く、またこれをコントロールするためには分子場として特殊な幾何学構造を必要とする。この様な場として、有機分子の空間的な配列を人工的にコントロールしたラングミュア・プロジェクト（LB）多層膜、あるいは配向の決まった結晶を取り上げ、その蛍光減衰曲線や時間分解蛍光スペクトルをピコ秒レーザーを使って調べる。こうして、特殊な幾何学構造や表面構造と励起エネルギー緩和および反応の関係を実験的に明らかにし、新しい機能性分子組織体の設計指針を与えることを目的とする。

2. 研究方法・計算方法

各種有機分子を累積したLB単分子膜、多層膜や結晶を作成し、蛍光減衰曲線および時間分解蛍光スペクトルをピコ秒シンクロナス励起モード同期色素レーザーを光源とする時間相関単一光子計数法を用いて測定した。蛍光寿命は、修正 Marquardt アルゴリズムに基づく非線形最小二乗法によるデコンボリューションにより解析した。最適パラメーター（ χ^2 二乗、Durbin-Watson 統計量）を得るためチャンネルシフト法を適用した。時間分解スペクトルの解析には、非線形最小二乗法プログラム SALS を用いた。

3. 研究成果

（1）LB単分子膜、多層膜における励起エネルギー緩和（玉井）・・・単分子膜中における色素分子の分布は不均一なフラクタル構造をとっていると考えることにより、多くの色素分子の励起エネルギー緩和をよく説明できることがわかった。時間分解蛍光スペクトルの温度および濃度依存性から、基底状態ダイマーと寿命の関係を各種色素について調べた。また、シアニン色素間のベクトル的な励起エネルギー輸送のダイナミクスと層状構造の関係を実験的に明らかにし、蛍光減衰曲線の多成分解析を行った。その結果、層状組織構造に対応した外殻から内殻へのエネルギー輸送が数十ピコ秒以内に起こっているが、輸送効率は50%程度と悪く層内における分子の不均一分布を反映することがわかった。

（2）1-A-C結晶のプロトン移動反応（富宅、山中）・・・核酸塩基対のモデル化合物として知られている1-アザカルバゾール結晶について、二量体とプロトン移動反応で生成する互変異性体の蛍光の立ち上がり、減衰速度の温度依存性、時間分解蛍光スペクトルおよび重原子効果を検討し、反応速度の構造依存性およびトンネル効果の寄与を明らかにした。

4. 発表・出版実績または予定 山崎、玉井、応用物理 57 (1988) 1842; I. Yamazaki et al., J. Phys. Chem., 92 (1988) 5035; N. Tamai et al., Chem. Phys. Lett., 147 (1988) 25; M. Mimuro et al., BBA, 973 (1989) 153; N. Tamai et al., Biochem., 28 (1989) 3265. 富宅、山中、他、1989年分子構造討論会発表予定。

分	AG5 所内
実	4,527
許	5,600

ブロンズ系化合物における新型超伝導探究

Search of New Type Superconductors in
Ternary Transition Metal Oxides (Bronzes)

○佐藤正俊（分子研）、小野田雅重（分子研）、社本真一（分子研）、世良正文（分子研）、山形伸一（分子研）

1. 研究目的・内容—導電性遷移金属酸化物、ブロンズ、及びその類似酸化物に対して主に、新型超伝導物質探索の観点から、それらの構造と物性について極低温 X 線四軸回折装置、電子顕微鏡（SEM、EPMA）と種々の物性測定装置（電気抵抗、熱電能、比熱、磁化率、トンネル効果、等）を用いて研究を行っている。特に最近は、高い超伝導転移温度（ T_c ）をもつ銅酸化物系における構造・物性研究に焦点を絞り、その超伝導機構を解明する努力を続けている。

2. 研究方法・計算方法—計算機の使用は、①結晶構造の精密解析、②X線粉末回折パターンの Rietveld 解析、③超伝導体における電子トンネル効果の解析、④ESR スペクトルのシュミレーション、を主な目的として行われる。頻繁に使用しているプログラムは、UNICS III（桜井、小林）と RADI EL（Coppensら）である。また、昭和63年度は、田中らにより作製された Rietveld 解析用プログラム（Jpn. J. Appl. Phys. 19, 1757（1980））が、分子研計算機センターで使用可能となった。

3. 研究成果—昭和63年度は、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{CuO}_{6-y}$ の単結晶構造解析^{1,2)}と、 $\text{Y-BaCu}_3\text{O}_{7-y}$ と同型の構造をもつ $\text{LaBaCaCu}_3\text{O}_{7-y}$ 、 $\text{NdCaCu}_3\text{O}_{7-y}$ 、 $\text{LaBaSrCu}_3\text{O}_{7-y}$ の X 線粉末回折パターンの Rietveld 解析^{3,4)}を行った。 $\text{Bi}_2\text{-Sr}_{2-x}\text{CuO}_{6-y}$ は、いわゆる Bi-Cu 酸化物 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4}$ の一つ（ $n=1$ ）で、基本的には Bi_2O_2 二重層の間に一枚の CuO_2 層が挿入され、その間に SrO が配置した構造を持つ。しかし、この系には、大きな変調構造が存在することが構造研究の初期の段階で見いだされており、精密な構造解析は非常に困難であると考えられてきた。今回、我々は、 $n=1$ の物質の変調周期が整合的であることを明らかにした上で、単結晶 X 線解析を行い、この物質の変調構造を精密に決定し、変調構造の起源、ホールキャリアの発現機構等を解明することができた。 $n \geq 2$ の物質では、変調構造が非整合的であるため、通常結晶構造解析は不可能であるが、今回の結果は、 $n \geq 2$ の物質群における変調構造、及びホールキャリア発現機構に対しても近似的に適応できると考えられる。 $\text{LaBaCaCu}_3\text{O}_{7-y}$ 、 $\text{NdBaCaCu}_3\text{O}_{7-y}$ 、 $\text{LaBaSrCu}_3\text{O}_{7-y}$ に対しては、2価のアルカリ土類イオンと3価のランタン系イオンの混在性を明らかにすることを目的として、Rietveld 解析を行った。この研究は、キャリア密度を制御する過程を確立するという観点から意義がある。解析の結果、3価イオン（ La^{3+} 、 Nd^{3+} ）位置に、2価イオン（ Ca^{2+} 、 Sr^{2+} ）の混在化が認められ、またその量が、各々のイオン半径と強く相関していることが明らかになった。

4. 発表・出版実績

1) M. Onoda and M. Sato: Solid State Commun. 67, 799 (1988).

2) 小野田、佐藤: 日本物理学会 昭和63年10月 広島大学。

3) H. Fujishita, S. Shamoto, M. Onoda and M. Sato: Jpn. J. Appl. Phys. in press.

4) 藤下、社本、小野田、佐藤: 日本物理学会 平成1年3月 東海大学。

分	AJ9 所内
実	6,918
許	7,200

凝縮相におけるミュー中間子の運動

Motion of Mu-meson in Condensed Matter

○北原和夫 (東工大理, 分子研)

1. 研究目的・内容

固体水素中に入射したミュオンのスピン緩和の実験が Barsov (1985) によって初めて行われ、殆どパラ水素だけからなる固体水素中でも緩和が観測された。緩和の機構として考えられることは、ミュオンが水素原子と共に分子を形成し、水素分子におけるオルトパラの区別がなくなることである。陽子3個と電子2個からなる系の基底状態の計算 (山口ら, 1983) によると、正三角形の固い構造の分子 (振動数 3000cm^{-1} の振動モードをもつ) が形成される。よって、 $\text{H}_2\mu^+$ の分子が固体水素中で形成される可能性がある。本研究では、固体中であることの特徴をとらえるために、 $\text{H}_2\mu^+$ のクラスタの安定構造を求め、その振動モードを調べて、振動によるスピン緩和の可能性の有無を調べ、回転による内部電流による磁場との結合、回転によるスピン間の双極子相互作用の変動などによるスピン緩和について評価を行う。

2. 研究方法・計算方法

$\text{H}_2\mu^+$ の構造と振動モードの計算は、分子研の CI プログラムを用いた。

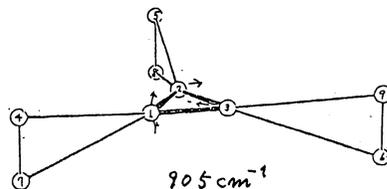
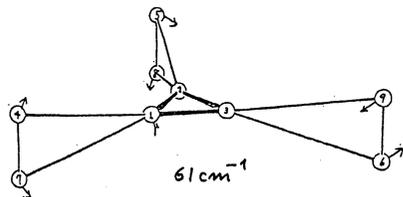
3. 研究成果

$\text{H}_2\mu^+$ の系では、 61cm^{-1} というソフトな振動モードが存在するが、この振動は外側の水素原子の振動であって、中にある $\text{H}_2\mu^+$ は固く 905cm^{-1} 程度の硬い振動をしている。よって、予想通り、 $\text{H}_2\mu^+$ の回転振動 (硬い振動) による双極子相互作用の変動が主要な機構である、と考えられる。内部電流による磁場は、J 次元のとき $\omega \sim 10^6\text{Hz}$ 程度で $\sim 10^{-10}\text{sec}$ としても実験値と合わない (これは解析的な結果)。

4. 発表・出版実績または予定

北原, 滝本, 西田, 石田, 青柳, 岩田: 特定
研究中間子科学「関連する物性ならびに原子
分子の理論」研究会 64年1月, 大阪

北原, 安田, 中村, 甲元: 物理学会年会, 平成
元年3月 平塚 (非同期系における μ 中間子
のスピン緩和)



分	AKZ 所内
実	6,506
許	7,200

金属錯体の結晶構造と分子運動の研究

Studies on Crystal Structure and Molecular Motion
in Metal Complexes

○池田龍一、増田秀樹、石川 厚、多井 豊（分子研）

1. 研究目的・内容

(1) 新しい構造や化学物性を示す金属錯体の結晶中における構造相転移の存在を明らかにし、相転移に於て結晶構造や構成分子・イオンの運動の自由度がどのような影響を受け、また温度変化と共にそれらの運動モードがどの様に変化していくかを、X線回折、磁気共鳴、熱分析などの方法を用いて明らかにする。(池田、石川、多井)

(2) 又、生体系に於て分子認識や生体内反応の能率化等に必須且つ重要な働きをしていると考えられている、芳香環を有するアミノ酸(チロシン、トリプトファン、ヒスチジン、フェニルアラニン)に於ける側鎖芳香環の存在意義を明らかにするために、これら芳香族アミノ酸と芳香性アミンを含む三元系金属錯体をモデルとして、スペクトル挙動、結晶構造、分子軌道計算から検討する。(増田)

2. 研究方法・計算方法

(1) 最近開発されたquadrupole echo法を用いて、 $^2\text{H-NMR}$ の固体高分解能スペクトルのパルス間隙依存性及び温度変化の測定を行うことにより、従来の $^1\text{H-NMR}$ スペクトルからは得られなかった分子運動についての詳細な定量的情報が得られる。理論スペクトルを計算して、シミュレーション法により、分子の運動モード、運動の速さ、 eQq 値の平均化の程度の温度変化を決定した。使用プログラムは新たに開発したRJUMPF,SPCSIM,マトリックスの対角化、フーリエ変換などを含む。(池田、石川、多井)

(2) 芳香環-芳香環相互作用(face-to-faceスタッキング、edge-to-face配向)がタンパク質の構造の安定化、分子認識に重要な役割を果していることはよく知られており、それら結合様式を検討するために、モデル錯体を合成しX線結晶構造解析を明らかにし、更に、MO計算により考察した。使用したプログラムはUNICSIII(結晶構造解析)、QCPE(Extended Huckel MO)である。(増田)

3. 研究成果

(1) 今まで運動状態がよく分かっていなかったジメチルアンモニウムイオンの結晶中での 180° flip運動の存在が明白にされ、更にflipの速さの温度変化を定量的に決定した。又、イオン内のCNC、DNDの結合角も正確に決定することができた。別の方法によって明らかにした対陰イオン SnCl_6^{2-} 、 TeCl_6^{2-} の 90° jump運動が極端に低温から起こっているという異常な現象は陽イオンのジメチルアンモニウムイオンのflip運動がトリガーとなってこれらの錯イオンの運動が誘起されるという陽・陰イオンの運動のカップリングによって理解することができた。(池田、石川、多井)

(2) $\text{Cu(L-alanine)(phenanthroline)(NO}_3\text{)}$ とインドールとの錯体に於てface-to-faceとedge-to-faceの両方の相互作用様式をもつ構造が見いだされた。前者の場合、軌道の対称性の検討からインドールのHOMOとフェナントロリンのLUMOが接近していることが分かり、吸収スペクトルからもHOMO-LUMO型のCT錯体を形成していることが分かった。又、後者の場合、electron richなインドール五員環と正に荷電している水素原子との静電的相互作用によるものと考えることができた。(増田)

4. 発表・出版実績または予定

池田、McDowell NMR討論会、63年9月札幌

池田、石川、中村、McDowell 錯塩討論会、63年10月徳島

池田、久保、McDowell、J. Phys. Chem. 印刷中

増田、小谷、山内 Inorg. Chem., 28, 624 (1989)

高妻、増田、山内 J. Am. Chem. Soc., 111, 3431 (1989)

増田、小谷、杉森、山内 生体機能関連シンポジウム、1年6月群馬

令 AK4 所内
実 5,032
許 5,600

CI法による高精度計算

High Accuracy Configuration Interaction Studies

Peter J. Knowles (Univ. of Sussex, Brighton, U.K.)

1. 研究目的

- (7) Internally-contracted法に基くCASSCF Multi-reference CI計算のためのプログラムコードMOLPROのHITAC S820への移植
- (イ) NaCl, NaBr, NaIの解離過程のポテンシャル曲線と相互作用項の計算

2. 計算方法

ポテンシャル曲線の計算は、以下のTZP+fレベルの基底関数を用い、

Na:(12s9p2d1f/6s5p2d1f), Cl:(12s10p2d1f/6s6p2d1f),
 Br:(15s13p6d1f/8s9p4d1f), I:(18s15p9d1f/12s10p6d1f).

internally contracted MR(multi-reference)-CI法により行った。CI計算のための分子軌道基底としてイオン結合状態と共有結合状態を1:1の重みで平均したCAS(complete-active-space)SCFにより求めたものを用い、active spaceとして(3σ1π),(2σ2π)の場合を考えた。得られたadiabaticポテンシャル曲線E1(R),E2(R)をdiabaticポテンシャル曲線V11(R),V22(R)に変換することにより相互作用項V12(R)を求めた。

$$V12(R)=(E2-E1)\sin[\theta(R)]\cos[\theta(R)]$$

ここでθ(R)は2行2列のadiabatic双極子モーメント行列を対角化する変換の角度を示す。

3. 研究結果

V12の交差点における値を表1に示す。ab initio計算によるV12はNaBr,NaIの場合過大評価しているが、波動関数の精度に敏感に依存するこの種の物理量としては良い一致を示している。

Table I . Off-diagonal coupling matrix elements V_{12} (1/cm)

Molecule	NaCl	NaBr	NaI
Crossing R (bohr) ^a	17.9	15.4	13.3
V_{12}			
CASSCF(31)-MRCI	16.8	141	544
CASSCF(22)-MRCI	19.7	156	599
Grice-Herschbach	20	97	403
zewail et al.			~350

^a Estimated values based on the Rittner model.

4. 研究成果

K. Yamashita, K. Morokuma and P. J. Knowles, Ab initio study of the ionic-covalent curve-crossing in NaCl, NaBr and NaI, to be published.

分	BA4 協前
実	10,755
評	10,800

典型金属を含む化合物の理論的研究

Theoretical studies on the organic compounds

with main metals

○酒井章吾 (大阪産業大学)

1. 研究目的・内容

金属原子、および金属クラスターと種々の分子との錯体の研究は、金属-分子間の相互作用の性質、および金属触媒の反応機構を理解する上で重要であり、近年実験、理論の両面から注目されている。特に典型金属、AlとCOの錯体、Al·CO, Al(CO)₂の研究はマトリックス中でのIR, ESRの研究が行なわれている。これらのスペクトルによる研究では、Al·CO 錯体はほとんど見つからず、Al(CO)₂ 錯体が主な生成物であることが報告されている。またAl(CO)₂ 錯体の構造においては、IR およびESRの実験からCALCの角は~110°と予測された。一方、最近のHartree-Fock計算によるとCALCの角度は70~74°と非常に小さな角度であった。そこで本研究においては、CALC角の異常性とAl_n(CO)_mのより大きな錯体の構造および安定性をab initio MO法を用いて調べた。

2. 研究方法・計算方法

分子錯体の構造はab initio MO法(3-21G basis set)を用いて、構造最適化を行った。また、エネルギーに関しては、多体摂動法MP_n/6-31G(d) (n=2,3,4)を用いて計算した。錯体の電子状態はFoster-BoysによるLocalized Molecular Orbitalを求め、Centroids Analysisを行なった。これらの計算はGAMESS (North Dakota version) およびGAUSS 82プログラムを用いた。

3. 研究成果

α) Al·CO この錯体の基底状態は、直線型、²π状態であり、種々の方法で求められた、構造およびAl-CO間の安定化エネルギーを表Iに示す。表から計算方法によりAl-C結合の長さが大きく変化しているのかわかる。すなわち、電子相間の効果により、結合の長さが増える、減る、している。一方、安定化エネルギーは、2~5 kcal/mol 程度の大きさであり、この錯体のポテンシャルは、非常にflatであり、非常に弱い相互作用であることが明らかとなった。

表I. Al·COの平衡構造と安定化エネルギー

$$\text{Al} \overset{R_1}{\text{---}} \text{C} \overset{R_2}{\text{---}} \text{O} \quad (2\pi \text{ State})$$

Opt. Method	Geometry (Å)		Relative Energy (Kcal/mol)						
	R ₁	R ₂	3-21G			6-31G(d)			
			HF	MP2	MP3	HF	MP2	MP3	MP4(SDTQ)
HF/3-21G	3.486	1.127	-2.01	-3.64	-3.28	-0.79	-2.15	-1.82	-2.09
HF/6-31G(d)	3.740	1.113				-0.87	-1.85	-1.60	-1.79
MP2/3-21G	2.289	1.177		-5.73	-5.67		-3.97	-2.42	-3.89
MP2/6-31G(d)	2.128	1.165					-4.70	-3.32	-4.41

b) $Al \cdot (CO)_2$ 計算された平衡構造を表IIに示す。この錯体の基底状態は 2B_1 であり、スピン密度は Al の $b_1(\pi)$ 軌道にはほぼ局在している。表より Correlation および Basis sets dependency は、あまり大きくないことがわかる。また角 $C-Al-C$ (θ_1) は $70 \sim 74^\circ$ であり、計算方法によらないことが明らかである。また安定化エネルギーは $16 \sim 22$ kcal/mol と非常に大きな安定化が得られる。同じ系の cation

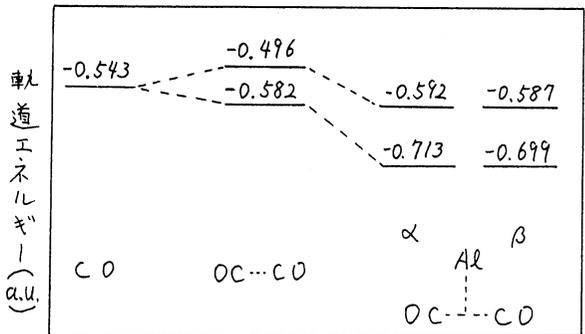
表II $Al \cdot (CO)_2$ の平衡構造



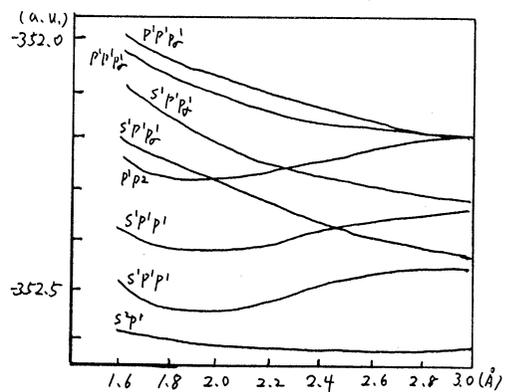
		R_1	R_2	θ_1	θ_2
$Al(CO)_2$	HF/3-21G	2.264	1.131	72.4	169.0
	MP2/3-21G	2.144	1.177	72.4	166.9
	MP2/6-31G(d) (k.v.j)	2.089	1.165	69.6	165.9
	MP2/6-31G(d) (k.v.j)	2.071	1.165	74.0	166.5
$Al(CO)_2^+$	HF/3-21G	3.020	1.121	78.1	177.9
	MP2/6-31G(d) (k.v.j)	2.780	1.146	73.3	175.6

の構造を求めた。(表II) $Al-C$ 結合は、neutral の場合より若干長い。構造 ($C-Al-C$ 角) および安定化エネルギー ($17 \sim 23$ kcal/mol) は、ほぼ同じであり、この錯体の結合様式に π 電子はほとんど影響していない。一方この結合は、 Al の sp^2 混成の2つの空軌道と CO の π 軌道の相互作用によるという解釈が Kasai, Chenier によって提唱されている。しかし sp^2 混成のモデルとして AlH_2^- (1A_1)、および AlH_2^{2-} (2B_1) と、この錯体に対して LMO Centroids Analysis を行なつた結果、 sp^2 混成とは考えにくい。また CO 同志の接近により、neutral の錯体で $OC \cdots CO$ の部分は、HF/3-21G で 5.6 kcal/mol 不安定化している。 CO の π 軌道、 $OC \cdots CO$ の π 軌道から作られる a_1 ($\sigma_n + \sigma_n$)、および b_2 ($\sigma_n - \sigma_n$) 軌道。そして錯体でのそれぞれの a_1 および b_2 軌道の軌道相関図を右に示す。これより、錯体での a_1 軌道が非常に大きく安定化していることが見られる。すなわち、2つの CO の π 軌道は Al の空の p 軌道 (a_1) との相互作用により、大きく安定化する。これにより、 Al の a_1 軌道 (p) と π 軌道の重なりを大きくするために、 π 軌道 (CO 同志) が近づく。すなわち、 $C-Al-C$ の角度を異常に小さくしている要因の一つであると考えられる。

次に $Al \cdot CO$ 錯体に対して、 Al の種々の電子状態に対する $Al-C$ 結合を変化させた場合のポテンシャルエネルギー曲線を右図に示す。計算は、 Al 原子の valence orbital 内でのみの励起配置を含めた MC-SCF/3-21G - CI 計算を行なつた。図より Al 原子の $3s$ 軌道から π 型 p 軌道への励起により $Al-C$ 結合が大きく安定化している。すなわち、 Al 原子の $3s$ 軌道と



Orbital Correlation Diagram



COの π 軌道との反擾相互作用が非常に大きく、Al-CO錯体では、あまり安定化が得られず、またAl(CO)₂錯体においては、角 θ (AlCO)が180°からずれている原因の一つであると考えられる。以上のようにAl原子の3S軌道とCOの π 軌道の反擾およびAl原子の空のP軌道(a₁対称性)とCOの π 軌道との相互作用が重要であることが明らかとなった。

一方、共役系に対して提唱されている電子の非局在化、軌道位相連続条件からAl(CO)₂の安定性を説明することができる。

すなわち、上記の結論から、電子供与軌道としてAl 3S軌道(S) 2つのCOの π 軌道(m_1, m_2) また電子受容軌道としてAl原子の3P軌道(a₁対称性)(P)を考える。

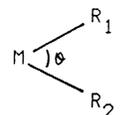
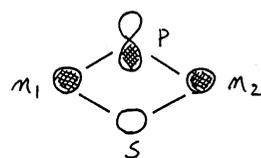
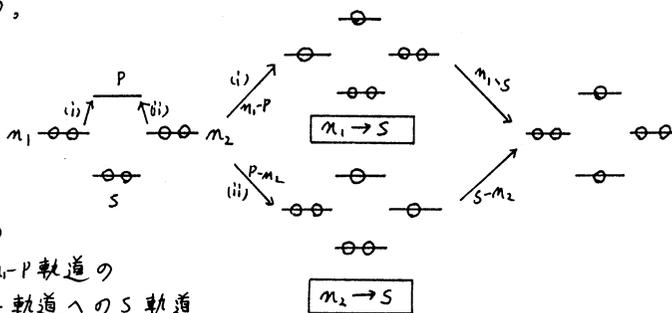
まず一方の m_1 軌道からP軌道への電子の移動経路(ii)、この過程は m_1 -P軌道の相互作用である。次に m_1 に空いた軌道へのS軌道

からの電子の移動 m_1 -S軌道相互作用、またもう一方の m_2 軌道からP軌道への電子の移動経路(iii)ではP- m_2 軌道相互作用であり、 m_2 に空いた軌道へのS軌道からの電子移動 m_2 -S軌道相互作用である。経路(i)ではS- m_1 -P軌道相互作用が関与し、経路(ii)ではS- m_2 -Pが関与し、上図のような環式軌道相互作用が関与している。軌道の位相の連続性は右図に示すように、電子供与 m_1 および m_2 とS軌道は逆位相であり、かつ供与軌道(m_1, m_2)と受容軌道では、同位相となり、軌道位相連続条件を満たしている。

次に、これら3の軌道の関与をさらに一般化させるために、右図のようなMR₁R₂のモデルでの構造をHF/3-21Gレベルで計算した。Mとしては種々の原子(metal)、R₁、R₂としては、 π 軌道を持つ分子として、COおよびCN分子を考慮した。Chargeは系の電荷であり、MetalのStateは、モデルとして考えたMetal原子の電子配置である。

これらの結果を右に示した。表より次の結論が一般的に見い出される。

(1) Metal原子は第2周期の原子では軌道の広がり小さいので π 軌道間の反擾が大きくなりすぎて、小さな θ 角に存在し、それゆえMetal原子は第3周期



Metal	Charge	Metal State	R ₁	R ₂	θ
C	+1	S**2 Pai**1	CO	CO	180.0
B	0	S**2 Pai**1	CO	CO	180.0
Be	0	S**2 Pai**0	CO	CO	180.0
Li	0	S**1 Pai**0	CO	CO	102.1
Si	+1	S**2 Pai**1	CO	CO	80.3
Si	+1	S**1 Pai**2	CO	CO	101.1
Si	0	S**2 Pai**2	CO	CO	78.9
Si	0	S**2 Pai**1	CO	CN	83.7
Si	0	S**2 Pai**0	CN	CN	93.9
Si	0	S**1 Pai**1	CN	CN	117.6
Al	+1	S**2 Pai**0	CO	CO	78.1
Al	+1	S**1 Pai**1	CO	CO	92.5
Al	+1	S**0 Pai**2	CO	CO	180.0
Al	0	S**2 Pai**1	CO	CO	72.4
Al	0	S**1 Pai**2	CO	CO	87.3
Al	0	S**2 Pai**0	CO	CN	74.7
Al	0	S**1 Pai**1	CO	CN	102.8
Al	0	S**1 Pai**0	CN	CN	113.3
Al	0	S**0 Pai**1	CN	CN	180.0
Al	-1	S**2 Pai**0	CN	CN	91.7
Al	-1	S**1 Pai**1	CN	CN	112.6
Al	-1	S**0 Pai**2	CN	CN	180.0
Al	-2	S**2 Pai**1	CN	CN	91.2

以上(第4周期以上は計算して
いない)でなければ特異構造は
示さない。

(2) s軌道の電子供与性が重要で
あり、その被占性(s^2, s^1, s^0)が
小さくなるに従って、角θが大
きくなる。

(3) π軌道の電子の被占性(2, 1, 0)が小さくなるに従って、角θが大きくなる。しかし、
この変化は、他の変化にくらべて影響は小さい。

(4) 同じ電子配置の場合、電気陰性度(軌道エネルギーに対応してくる)の小さいMetalの
方が角θが小さくなる。

Mg	0	S**2	Pai**0	CO	CO	-----
Mg	0	S**1	Pai**1	CO	CO	82.7
Mg	0	S**1	Pai**0	CO	CN	87.8
Mg	0	S**0	Pai**0	CN	CN	180.0
Mg	-1	S**2	Pai**0	CO	CN	-----
Na	0	S**1	Pai**0	CO	CO	75.3

c) Al_2 $Al_2(CO)_n$ の構造を調べるために Al_2 の電子状態、構造、および Dissociation Energy を計算した。電子配置は $^3\Pi_u, ^3\Sigma_g^-, ^1\Sigma_g^+$ および $^1\Delta_g$ を求めた。各状態を HF/3-21G および MP2/3-21G で平衡距離を求めた。平衡距離においては、電子相関の効果は、そんなに大きくなく、HF で十分であると考えられる。また Bauschlicher の $SO(1)+Q(554P2d)$ の計算結果と比較しても、少し長めではあるが、HF/3-21G での構造とあまり違わなかった。また Dissociation Energy においても、Bauschlicher の結果と、MP4(SDTQ)/6-31G(d)/3-21G では、ほぼ同じ結果が得られた。それぞれ MP3m MP4/6-31G(d) // HF/3-21G によって得られる結果で、構造および、エネルギー面でも十分であると考えられる。最も安定な状態は $^3\Pi_u$ であり、次に $^3\Sigma_g^-, ^1\Sigma_g^+, ^1\Delta_g$ にあった。それぞれの Dissociation Energy は MP4(SDTQ)/6-31G(d) // HF/3-21G で、-28.23 (-28.69), -27.01 (-27.62), -17.16 (-20.02) および -13.69 Kcal/mol である。() 内の値は Bauschlicher の値を示した。

d) $Al_2 \cdot CO, Al_2(CO)_2$ 上の4つの状態 ($Al_2: ^3\Pi_u, ^3\Sigma_g^-, ^1\Sigma_g^+, ^1\Delta_g$) から生成する $Al_2 \cdot CO$ および $Al_2(CO)_2$ 錯体の安定構造および安定化エネルギーを求めた。その結果、 $Al_2 \cdot CO$ 錯体においては、($^3\Sigma_g^-$) Al_2 から生成する錯体は直線構造であり、他は、Side to head (head to head ではない) な構造を示す、これは、先に Al の s 軌道と、CO の π 軌道との反撥を示したが、この影響によるものと考えられる。また $Al_2 \cdot (CO)_2$ 錯体においては、($^3\Sigma_g^-$) Al_2 から生成する錯体は、安定な構造として存在するか、他はすべて、 $Al_2 \cdot CO$ と同様 side by head 構造を示した。相対安定性は、($^1\Delta_g$) Al_2 から生成する $Al_2 \cdot CO$ が安定であり $^3\Pi_u, ^3\Sigma_g^-, ^1\Sigma_g^+$ の順になる。また $Al_2(CO)_2$ では ($^3\Pi_u$) Al_2 から生成する錯体が最も安定であり、 $^1\Delta_g, ^1\Sigma_g^+$ の順になった。

2. 発表・出版実績または予定

酒井、分子構造総合討論会、1988年10月東京

酒井、M.S.Gordon, K.D.Jordan. J. Phys. Chem. 92, 7053 (1988)

酒井、J.Deisz, M.S.Gordon J. Phys. Chem. 93, 1888 (1989)

酒井、井本、THEOCHEM 印刷中

酒井、Chem. Phys. 投稿中

酒井、井本、笹野、J. Phys. Chem. 投稿中

分	BA5	協前 協後
実	33,392	
許	33,751	
	33,600	
	36,800	

遷移金属化合物の構造・電子状態・触媒作用に関する分子軌道研究

An Molecular Orbital Study of Stereochemistry, Electronic Structure, and Catalytic Ability of Transition metal compounds

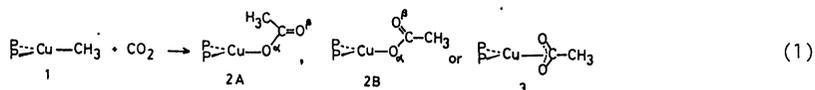
○榊 茂好 (熊本大工)

1. 研究目的、内容

遷移金属錯体は典型金属化合物・無機金属塩などと異なり、種々の有機化合物と相互作用し、付加錯体を形成する。この相互作用、言わゆる配位結合は、本質的には電荷移動相互作用であるが、場合によっては静電・分極相互作用の寄与も大きく、 π 、 σ 供与相互作用、逆供与相互作用と呼ばれる二方向の電荷移動を含む例も多く、複雑で多様性に富むことから分子科学的に興味深い研究対象となっている。この配位結合は、配位した有機分子を活性化したり、あるいは不安定中間体を安定化したりすることから、遷移金属錯体の触媒作用の origin の一つとなっている。

最近、多くの反応の最終生成物である CO_2 、あるいは豊富に存在するが安定で反応性に乏しい N_2 を化学的に有用な物質に変換しようとする CO_2 固定、 N_2 固定が注目されている。生物界では、常温常圧でこの困難な反応が行なわれているが、遷移金属錯体に N_2 、 CO_2 を配位させ活性化すれば、人工的な触媒系でも過酷な条件下で CO_2 、 N_2 固定が可能と期待される。

本年度は、 CO_2 固定に関連して興味を持たれている遷移金属- CO_2 錯体、並びに CO_2 固定の重要な素反応過程と考えられている金属-アルキル錯合への CO_2 挿入反応について分子軌道研究を行なった。具体的には、(1) $Ni(PH_3)_2(CO_2)$ の *ab-initio* MO-SD CI 研究を行ない、配位結合距離、配位子の歪みなど構造に対する電子相関効果を検討すると共に、CI level で電荷分布・配位結合性など電子状態に関する知見を得た。(2) $Cu(CH_3)(PH_3)_2$ の $Cu-CH_3$ 結合への CO_2 挿入反応 (eg. (1) 参照) について *ab-initio* MO/MP2 研究を行ない、反応



経路・活性障壁を、既に検討が終了している $Cu-H$ への CO_2 挿入反応と比較し、 CO_2 挿入反応の特徴・遷移状態の構造・中心金属の役割などを明らかにした。

2. 研究方法・計算方法

$Ni(PH_3)_2(CO_2)$ の *ab-initio* MO-SD-CI 研究には MELD フォロウアップを使用し、Hartree-Fock (HF) level での結合性・電荷分布の検討には INSPACK フォロウアップを使用した。C, O, P 原子には MIDI-4 を、H 原子には (4S/2S)、Ni には MIDI-4 相組みの (13S 7p 5d) に 4p 軌道用の 3 個の primitive Gaussian function と diffuse d-primitives ($\zeta = 0.10$; even-tempered criterion により決定) を加えた (13S 9p 6d) を contract した [5S 4p 3d] を用いた。検討

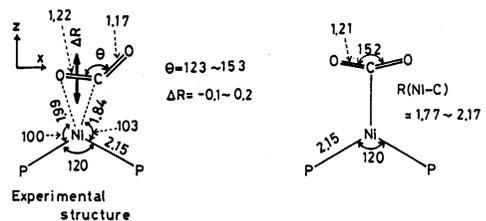


Fig. 1 Examined structures of $Ni(PH_3)_2(CO_2)$

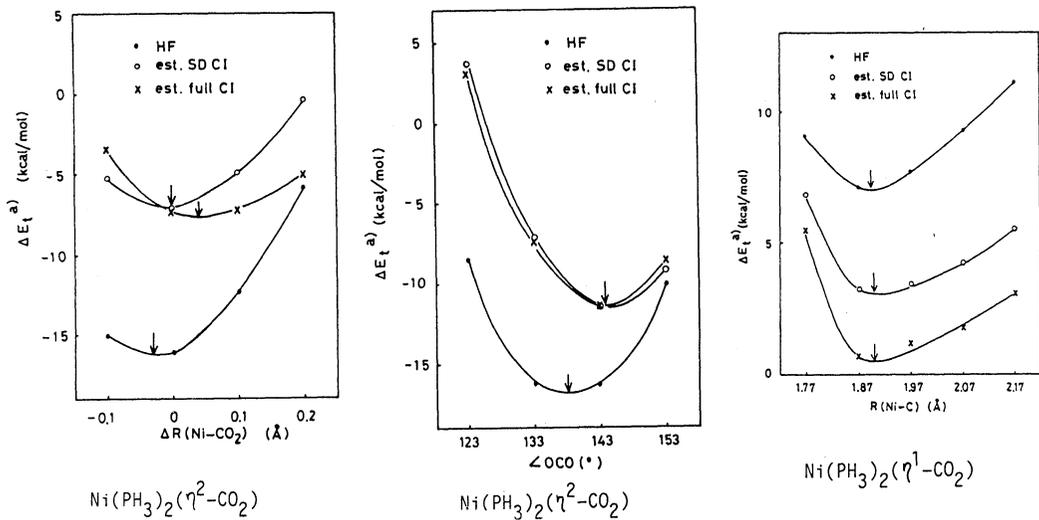


Fig. 2 E_t vs. geometrical parameters such as Ni-CO₂ distance and OCO angle a) 50 Å separation.

この geometry を Fig. 1 に示した。η²-side on 構造では Ni(PH₃)₂ 部、CO₂ 部を Ni(PCy₃)₂(CO₂) の X 線構造解析に等しくとり、CO₂ を X のまわりの構造で Z 軸に沿って平行移動させ、又、OCO 角を変化させた。η¹-C 配位では R(Ni-C) = 1.97 Å で R(C-O)、OCO 角を HF level で最適化し、Ni-C 距離を変化させた。SD-CI 計算は virtual orbital を K-orbital に変換した後、Perturbation selection (threshold 5x10⁻⁵ hartree) 後、行なった。

Cu(CH₃)(PH₃)₂ と CO₂ の反応については、主に Gaussian 82 と IMSPACK プログラムを使用した。三種の Basis set, BS I, BS II, BS III を用いたが、いずれも昨年 CuH の CO₂ 挿入反応に用いたものと同じであるので説明は省略する。いずれも split-valence 型であるが、最も小さい BS-I で構造を最適化し、BS II, BS III sets を用いて電子状態を議論した。

3. 研究成果

3.1 Ni(PH₃)₂(CO₂) の配位結合性・電子状態に関する ab-initio MO SD-CI 研究: Fig. 2 に Ni(PH₃)₂(CO₂) の Ni-CO₂ 距離に對する電子相関効果を示した。η¹-C 配位では、電子相関の導入により Binding energy (BE) は正に近づく、最適 Ni-C 距離はほとんど変化しないが、η²-side on 配位では、電子相関の導入により BE は小さく、Ni-CO₂ 距離は長くなる。昨年検討した Ni(PH₃)₂(C₂H₄) は、η²-配位構造を持つが、電子相関の導入により BE は増大するのに対応的である。これらの相違は、電子状態の相違にもとずくと考えられる。η²-side on の Ni-CO₂ 距離は HF, CI-level いずれも実験値に良く一致しているが、OCO 角は、CI-level では 143° となり実験値に比べ大きくなる。この点は SD-CI 以上の方法の使用が必要とされる事を示している。

η²-side on 配位の BE は CI-level では kcal/mol であり、約 7 kcal/mol と算定される BSSE (Boys の方法) を補正しても十分正である。

Table 1 Occupation numbers of several important natural orbitals

	η ² -side on		η ¹ -C	
	expt.st.	50 A	opt.	50 A
32a'	1.981 CO ₂ π, nπ	1.973 CO ₂ nπ	14b ₁ 1.978 CO ₂ nπ	1.974 CO ₂ nπ
10a''	1.976 CO ₂ nπ	1.977 CO ₂ nπ	4a ₂ 1.976 CO ₂ nπ	1.976 CO ₂ nπ
33a'	1.946 (Ni dπ+CO ₂ π*) ^b	1.982 Ni dπ	19a ₁ 1.954 (Ni d+CO ₂ π*) ^b	1.977 Ni d _{x²-y²}
34a'	0.061 (Ni dπ+CO ₂ π*) ^a	0.038 CO ₂ π*	20a ₁ 0.056 (Ni d+CO ₂ π*) ^a	0.035 CO ₂ π*

一方、 η^1 -C 配位では CI-level で $+0.4 \text{ kcal/mol}$ であり、もし BSSE 補正を行わずに相当正になる。この結果は $\text{Ni}(\text{PR}_3)_2(\text{CO}_2)$ では η^1 -C 配位が存在してはならない事象に対応している。

HF-level での電子状態は諸態のエネルギー分割法 (EDA) で検討したが、 η^2 -side on, η^1 -C 配位共に $\text{Ni } d \rightarrow \text{CO}_2 \pi^*$ の逆供与相互作用の寄与が大きい。実際 CO_2 配位による

electron density の差を検討すると $\text{Ni } dx$ 軌道の density が減少し、 CO_2 部分、特に O 原子上に density が増加している (Fig. 2)。CI-level での配位結合性・電子状態は、Natural Orbital の occupation number (Table 1), difference density (Fig. 2), CI 展開係数から検討した。電子相関には $\text{CO}_2 \pi x \rightarrow \pi^*$, $\text{Ni } 3d \rightarrow 4d$ (Table 1 では省略) などの $(\text{Ni } dx - \text{CO}_2 \pi^*)^b \rightarrow (\text{Ni } dx - \text{CO}_2 \pi^*)^a$ 励起電子配置の寄与が大きい。また、 $\text{CO}_2 \pi x \rightarrow \pi^*$, $\text{Ni } 3d \rightarrow 4d$ は 50 \AA separation でも寄与は大きく、結局 $\text{Ni}-\text{CO}_2$ 配位結合は $(\text{Ni } dx - \text{CO}_2 \pi^*)^b \rightarrow (\text{Ni } dx - \text{CO}_2 \pi^*)^a$ 励起電子配置により改善される。この事は Table 1 の NO の occupation number にもより現われている。言い換えると $\text{Ni } d \rightarrow \text{CO}_2 \pi^*$ 逆供与相互作用は HF-level では充分記述できず電子相関効果の導入が必要である。CI level と HF-level の difference density (Fig. 2 B) では、電子相関の導入が Ni-C 間、O 原子付近の density を減少させ、C 原子、 $\text{Ni } dx$ 軌道付近の density を増大させている。これは HF-level での density の変化 (Fig. 2 A) と逆であり、電子相関は HF-level での主に逆供与相互作用による density の変化を緩和する方向に作用している。同様の結果は $\text{Ni}(\text{PH}_3)_2(\eta^1\text{-CO}_2)$, $\text{Ni}(\text{PH}_3)_2(\text{C}_2\text{H}_4)$ にも見られる。

η^2 -side on のみ電子相関導入により BE が減少する (上述)、これは free の CO_2 では $\pi x \rightarrow \pi^*$ の励起電子配置により CO_2 電子状態改善が大きいのに対し、 $\eta^1\text{-CO}_2$ 錯体では逆供与相互作用が強いため C-O は 1.5 重結合程度になり電子相関導入による改善が小さくなり BE が減少したものと考えられる。

3.2 $\text{Cu}(\text{CH}_3)(\text{PH}_3)_2$ への CO_2 挿入反応に関する ab-initio MO/MP2 研究: $\text{Cu}(\text{CH}_3)(\text{PH}_3)_2$ への CO_2 挿入反応の生成物として、 η^1 及び η^2 -carboxylate 型の $\text{Cu}(\eta^1\text{-OCOCCH}_3)(\text{PH}_3)_2$ (2A, 2B), $\text{Cu}(\eta^2\text{-O}_2\text{CCH}_3)(\text{PH}_3)_2$ (3), η^1 -carboxyl 型の $\text{Cu}(\eta^1\text{-COOCH}_3)(\text{PH}_3)_2$ が考えられるが、 η^1 -carboxyl 型は類似の $\text{Cu}(\eta^1\text{-COOH})(\text{PH}_3)_2$ が η^1 - 及び η^2 -carboxylate 型葉性体に比し著しく不安定であること。その理由が $\text{Cu}(\text{I})$ 錯体に共通であることから検討から除外した。2A, 2B, 3 の相対安定性を Table 2 に示したが、Basis set 及び電子相関依存性が大きい。この点にについては現在モデル系にについては詳細な検討を加えているが、最も良い BS III set では 3 が最も安定であること。電子相関の導入は 2B より 3 より安定にすることから、3 が最終生成物であり、反応は exothermic であると結論できる。 $\text{Cu}-\text{CH}_3$ への CO_2 挿入反応は C-C 間距離と反応座標として検討した。 CO_2 の接近と共に、 CH_3 配位子はその向きを Cu 方向から CO_2 方向に変え、同時に、

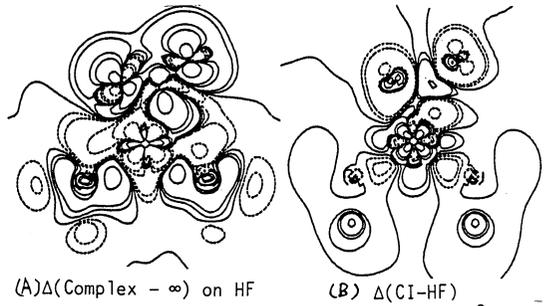


Fig. 3 Difference density maps of $\text{Ni}(\text{PH}_3)_2(\eta^2\text{-CO}_2)$

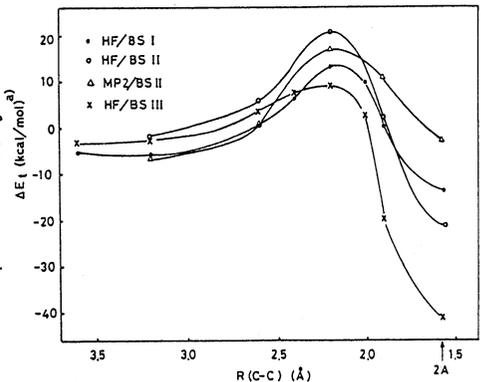
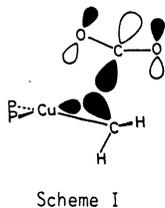


Fig. 4 Energy change by the CO_2 insertion into $\text{Cu}-\text{CH}_3$ bond

Cu-P₂面より下にずれてゆく。CO₂はOをCuに近づけながらCH₃に接近し遷移状態付近(R(C-C)=2.2 Å; Fig. 4)ではR(Cu-O)=2.42 Åとなり、配位結合圏内に入っている(Fig. 5)。エネルギー変化はBasis set, 電子相関依存性が大きく、定量的議論は現在行なっているモデル系での詳細な検討を待たなければならず、このBasis setでもCu-Hへの挿入反応に比べCu-CH₃への挿入反応の方が活性障壁は高い(Table 2)。従ってCu-Hへの挿入反応に比べCu-CH₃への挿入反応の方が困難であると言える。遷移状態付近で諸態のエネルギー分割を行なったところ、Static相互作用(ES+EX)は反発、Cu(CH₃)₂(PH₃)₂からCO₂への電荷移動が安定化に大きく効いていること、CO₂→Cu(CH₃)(PH₃)₂の電荷移動の寄与はCu-Hへの挿入反応における値に比べ大きく、Cu-CH₃への挿入反応では無視できない寄与を示すことが明らかとなった(Table 3)。にもかかわらずCu-CH₃への挿入反応の活性障壁が高いのはCu(CH₃)(PH₃)₂からCO₂への電荷移動による安定化が、Cu-Hへの挿入反応に比べ小さいためである。これは



Scheme I

は、CH₃配位子の原子価軌道は方向性のある lone-pair 軌道であるが、遷移状態付近では、Fig. 5, Scheme Iに示すようにCuとCO₂の中間方向に傾いており、CO₂のπ軌道との重なりが不十分な差がある。一方、H配位子は方向性の無い1s軌道が原子価軌道であるため、CO₂のσ軌道との重なりが良く、電荷移動が容易に起こるためである。遷移状態付近では、Cu(CH₃)(PH₃)₂からCO₂への電荷移動によりCH₃とCO₂の間に電荷が蓄積し(Fig. 6A)、一方CO₂からCu(CH₃)(PH₃)₂への電荷移動によりCuとOの間に電荷が蓄積することから、四中心型遷移状態を経て反応が進行することが明らかとなった。

4. 成果: 榊, 大久保, *Inorg. Chem.*, 27, 2029 (1988), 榊, 大久保, 古賀, 諸熊, *ibid.* 28, 103 (1989), 榊, 大久保, *Inorg. Chem., J. Phys. Chem.*, in press. 分子構造討論会('88, 10A)有機金属討論会('88, 11A)大阪他

Table 2 Relative stabilities of products and activation barrier of CO₂ insertion into the Cu-CH₃ bond (kcal/mol).

Method/Basis set	HF/BS I	HF/BS II	MP2/BS II	HF/BS III
Relative stability to 1+CO ₂				
2A	-13.8	-21.3	-2.7	-41.7
2B	-36.8	-43.4	-20.8	-62.4
3	-38.6	-41.7	-21.8	-64.8
Activation Barrier ^a				
into Cu-CH ₃	19	23	23	12
into Cu-H	8	13	13	5

a) Relative to R(C-C)=3.2 Å.

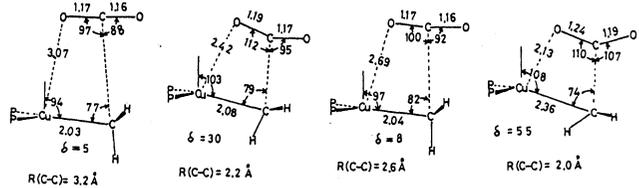


Fig. 5 Geometry change in the CO₂ insertion

Table 3 Energy decomposition analysis of an interaction between Cu(CH₃)(PH₃)₂ and CO₂ (kcal/mol)^a

R(C-C)	ΔE	ΔDEF		ΔINT	ΔES	ΔEX	ΔCTPLXA	ΔCTPLXB	ΔR
		total CuMeP ₂ CO ₂					(CuMeP ₂ →CO ₂)	(CO ₂ →CuMeP ₂)	
Insertion into Cu-CH ₃									
3.6	10.9	9.8	2.1	8.2	-1.1	-31.1	45.5	-9.8	-3.4
Insertion into Cu-H									
1.8	4.9	11.4	-0.4	11.8	-7.3	-41.9	64.8	-22.0	-4.1

a) Relative value to either R(C-C)=3.2 Å or R(C-H)=2.8 Å.

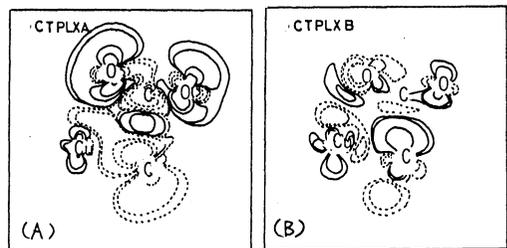


Fig. 6 Difference density maps of CO₂ insertion into Cu-CH₃ bond near transition state (2.2 Å)

分	BG5	協前
実	35,143	
評	36,400	

高温超伝導酸化物における電子およびスピン相関の研究

Theoretical Studies of Electronic and Spin Correlation Effects for High-Tc Oxide Superconductors

山口 兆 (阪大基礎工)

1. 研究目的・内容

本研究は昨年度実行した金属酸化物の *ab initio* PDHF計算と最近数多く得られたような光電子スペクトル等の実験値より、これらの物質に適用出来る有効ハミルトニアンを導出し、電荷およびホール分布、電子励起エネルギー等を求めることを目的とする。

2. 研究方法・計算方法

最近問題になっている高温超伝導銅酸化物はホールを導入された状態では反強磁性体であることより、この系は電子相関の強い場合に使用されるハバードハミルトニアンで記述されることを考えてよい。

$$H = \sum Tab a^\dagger b + \sum Uaa n_{a\uparrow} n_{b\downarrow} + \sum Ubb n_{b\uparrow} n_{b\downarrow} \quad (1)$$

ここで、 Tab は図1に示される共有積分 (*transfer integral*) であり、 Uaa (Ubb) は一中心反強積分である。 Uaa の値は分光学的 *data* より自由原子に対して求められたものに γ -因子をかけることにより決定された。一方、 Tab の値は金属イオン間の有効交換積分、電荷移動励起エネルギー、*ab initio* PDHF *data* を再現するよう決定された。本年度は(1)式を小数系のクラスターに適用したので、その対角化は全ての *valence bond* (VB) 配座を考慮する *full VB CI* 法により実行した。プログラムは自作である。

3. 研究成果

本研究ではまず MO_2 , MO_3 ($M = Cu, Ni, Co, Fe, Mn$) にホールを1個導入した状態を考え、そのホールの分布を求めた。この場合、 M は正のII価、 O は負のII価の状態を基準にした。*full VB CI*より、 Cu, Ni 系では主としてホールは酸素サイトに導入されることが、 Fe, Mn では金属サイトにホールが導入されることが判明した。次に、酸素サイトのどの p 軌道 (図1の $p\sigma$ or $p\pi$) にホールが導入されかを解明するため、図1の $T1(\pi)$, $T1(\sigma\pi)$ と $T1(\sigma)$ の比をパラメータとする *full VB CI* 計算を実行した所、 $t > 0.9$ の領域では $p\pi$ 軌道にホールが入る π ホール状態が、 $t < 0.8$ の領域では $p\sigma$ 軌道にホールが入る σ ホール状態が最安定状態が存在することが示された。極く最近の実験では σ ホール状態を示唆する *data* が多いため、より大至くクラスターについては σ ホール状態を詳細に調べることにした。まず、 MO_2 系でホールの導入されている場合の MM 間の有効交換積分 (J_{MM}) を求めた所、 CuO 系での $|J_{CuCu}|$ が 1000

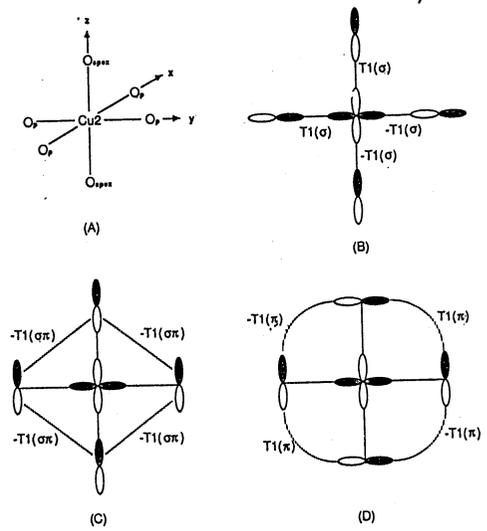


図1 CuO_2 平面における軌道相互作用

図2 full VB CI法によるホール密度の分布およびスピンの分布: (A) MOM系クラスター, (B) OMO MO系クラスター (C) MOMOM系クラスター

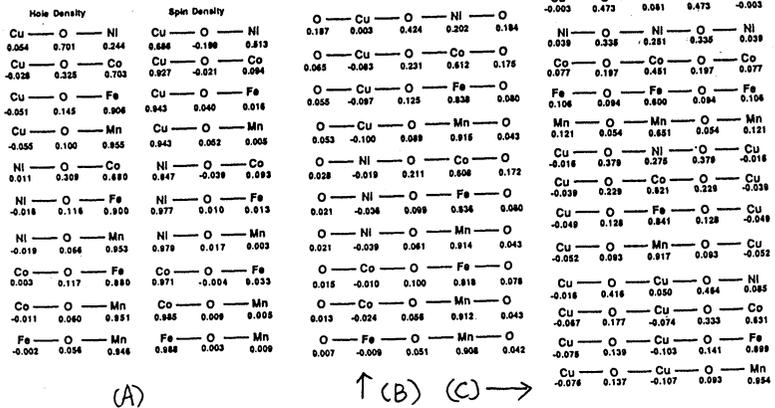
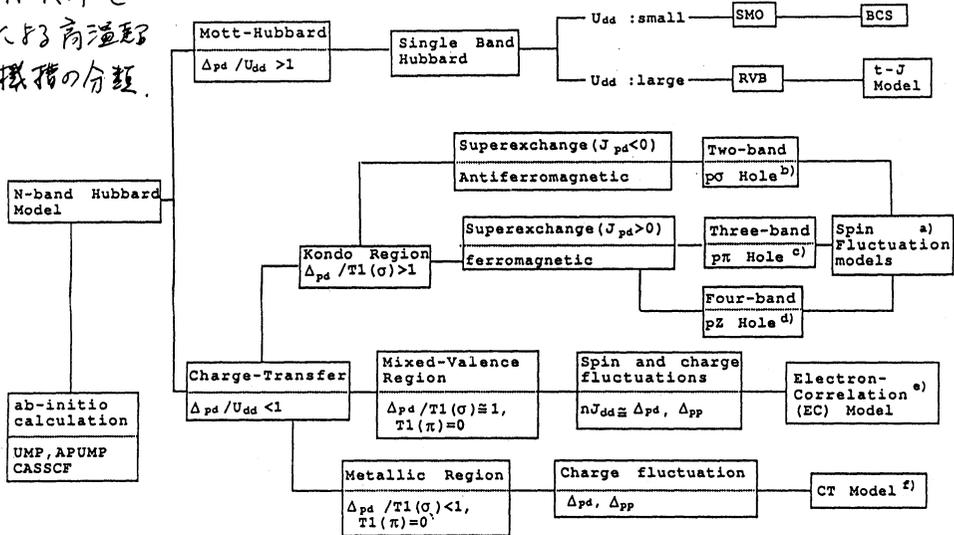


図3. N-バンドモデルによる高温超伝導機構の分類.



σ^{-1} より大きく存った。これは0か3Mハの電荷移動エネルギー Δ_{pd} が Cu の場合小さく存ったことに起因している。さらに, MOM, OMO, MOMOM クラスターに1個導入した場合のホールの分布状況を説明するため, full VB CI 計算を実行した。結果を図2にまとめた。図2よりホールは Cu, Ni 系クラスターでは酸素サイトに入る傾向があるが, Fe, Mn 系の場合は金属サイトに入る傾向を示し, MO_{1.6} の場合と大きく一致した。従って, 上記傾向はクラスターサイズに依存しないと結論された。

上記結果より, 銅酸化物超伝導体に適用可能と考えられる機構について考察した。結果を図3にまとめた。まず, 酸化物を Δ_{pd} と U_{dd} との大小関係により, Mott-Hubbard 型と CT 型に分類した。さらに, CT 型では Δ_{pd} と $Tl(\sigma)$ の大小関係により3つの領域に分類した。各領域では素励起のタイプが異なるので, クーリアーペア形成の要因も異なることとなる。我々の計算では今後 EC モデルを詳細に調べる必要性を示す。

4. 発表・出版

数種の都合もあり, 後期分の紙にまとめて示すことにします。

分	B&S 協賛
実	40,104
許	40,400

金属酸化物の POMP_n 計算

POMP_n Calculations of Transition Metal Oxides

○山口 兆 (阪大基礎工)

1. 研究目的・内容

本研究は近似的Kスピン射影 (AP) を実行した UHF MP_n (APOMP_n) 法で金属酸素化合物における金属酸素結合エネルギーなどの程度計算可能性を検討し、その実用性と限界を明らかにすることを目指した。

2. 研究方法・計算方法

APOMP_n 法は正確なKスピン射影した UMP_n (EOMP_n) および MR UHF CI 法の近似法として提案されたものである (計算法は 62 年度報告参照)。計算は分子研の G82, G86 プログラムを使用して実行された。

3. 研究成果

APOMP_n 計算を Cu₂, Cr₂, CrCH₂⁺, MnCH₂⁺, CrO⁺, MnO⁺ 等について実行した。Cu₂ の結合エネルギー (De) は APOMP₄ 法で 44 kcal/mol (Re=2.31 Å) であり、実験値 47 kcal/mol (Re=2.22 Å) をよく再現している。しかし、Cr₂ のそれは 14 kcal/mol (Re=2.8 Å) であり、実験値 36 kcal/mol (Re=1.69 Å) とは大きく異なる。APOMP₄ 法の結果は CASSCF 法の結果と同程度である。従って、Cr₂ については、TZ basis レベルではなく、G, F functions 等を含むより高精度の基底関数を使用する必要があると言えよう。一般に金属間 S-S 結合エネルギーは APOMP₂ (TZ) 法で良好に計算されるが、d-d 結合エネルギーは半分以下程度であると言えよう。そこで、次に d-p 結合エネルギーの場合を調べるために MX (X=O, CH₂) 系の計算を実行した。図 1, 2 に MnCH₂⁺, MnO⁺ のポテンシアル曲線を示した。図 1, 2 及び APOHF (UHF) 法は MnCH₂⁺ の場合 浅い結合状態を与えながら、MnO⁺ では反結合型のポテンシアル曲線を与えるにすぎないことがわかる。一方、OMP 法で電子相関

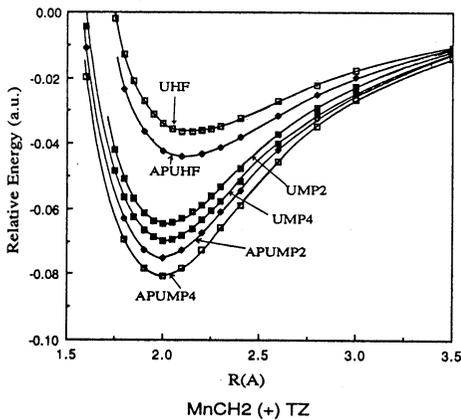


図1 TZ basis における MnCH₂⁺ のポテンシアル曲線

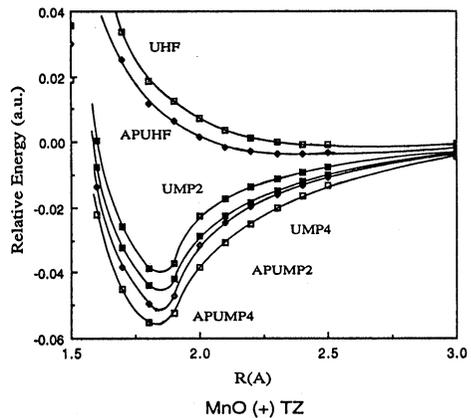


図2 TZ basis における MnO⁺ のポテンシアル曲線

補正を更行すると，ポテンシャル面の形状は著しく改善され，さらに APOMP 法でより結合状態が強くなることが理解される。しかし，APOMP4 (TZP) 法による $MnCH_2^+$ の結合エネルギーは 58 kcal/mol ($R_e = 1.98 \text{ \AA}$) であり，実験値 76 kcal/mol ($R_e = 2.00 \text{ \AA}$) の 60% 程度を再現していることが分る。 MnO^+ の場合も，これより 44, 57 kcal/mol となり，比較的一致は良くなるが未だ不十分であると言えよう。表 1 に示すように CrO^+ の場合でも計算値は実験の 6割程度である。以上の結果より，APOMP4 法による $d-p$ 結合エネルギーは実験の 6~8割程度を再現していると結論される。

APOMP および ASSCF 法の結果は前期の報告で述べた金属酸化物の N -band ハートマンモデルの結果の解釈に利用出来る。例えば， CuO , Cu_2O クラスタの TZ basis を使用した APOMP, ASSCF 計算では酸素原子の $2p-2p$ 結合エネルギーは 90% 以上正しく計算されているが，金属-酸素原子間の $3d-2p$ 結合エネルギーは尚々 70% の程度でしかない。従って， $(2p-2p)$, $(3d-2p)$ 結合を表現する transfer 種分 $T1(\pi)$, $T1(\sigma)$ の比 $\alpha = T1(\pi)/T1(\sigma)$ 値が $ab initio$ 計算では比較的大きく計算されることを予想させる。この事は $ab initio$ 法では π -ホール状態よりも安定に計算される傾向を示すものと言えよう。

Table 1 Bond dissociation energies D_0 (kcal/mol) for chromium methylene cation, manganese methylene cation, chromium oxide cation and manganese oxide cation calculated by the TZPII basis set.

Method	$CrCH_2^+$	$MnCH_2^+$	$CrO^+(^4\Pi)$	$CrO^+(^4\Sigma^-)$	MnO^+
UHF	11.3	21.0	-2.9	-11.1	0.4
UMP2	36.3	49.9	34.0	30.6	39.8
UMP3	36.1	50.0	28.0	24.0	34.9
UMP4	39.5	52.8	37.5	35.1	41.6
UMP ∞^a)	40.1	53.2	38.9	36.7	42.3
APUHF	14.7	26.4	2.9	-4.6	5.0
APUMP2	40.9	56.8	41.9	39.2	47.0
APUMP3	40.6	56.9	35.5	32.0	41.7
APUMP4	44.3	60.0	45.7	43.9	48.8
APUMP ∞^a)	44.9	60.4	47.1	45.7	49.6
exp. ^{b)}	65 \pm 7	96 \pm 4	77 \pm 5		57 \pm 3

a) The ∞ -th order correlation energy
 $E_\infty = (E_2 + E_3) / (1 - E_4/E_2)$;
 Pople et al. [25].
 b) Ref. 18.

4. 発表・出版

山口, 高厚, 留野, 中筋, 村田 Jpn. J. Appl. Phys. 27, L766 (1988).
 山口, 高厚, 留野, 那須, Physica C 153-155, 1213 (1988).
 山口, 中野, 浪元, 留野, Jpn. J. Appl. Phys. 27, L1835 (1988).
 山口, 中野, 浪元, 留野, Jpn. J. Appl. Phys. 28, L899, L672 (1989).
 山口, 高厚, 留野, The Role of Oxygen in Chemistry and Biology (Elsevier, Pub Co. Ando Ed.) p 263 (1988).
 山口 「新機能材料の設計」(89 先端科学技術開発年鑑, 技術出版, 1989) p 212 (1989).
 山口 鏡化学 鏡鏡子 「異常原子価」(学全出版) p 25. (1988).
 山口, 那須, 諸熊 「分子設計技術」(サイエンスフォーラム) p 27 (1989).
 山口, 山本, 那須, 固体物理 24, 350 (1988).
 山口 「電子-光機能性高分子」(吉野敏, 講談社サイエンス177, 1989) p 169 (沖6章)

分	BH6 協後
実	20,868
許	21,200

光分解反応のポテンシャル曲面の理論計算

Theoretical Calculations of Potential Energy Surfaces of Photo-dissociation Reactions

○ 藪下 聡

1. 研究目的・内容

CH₃I, ICN等のヨウ化物の光分解反応は古くから研究されてきたが、最近特に興味を持たれている問題に、生成物の回転励起がある。例えばICNのAバンド(λ=210~300nm)において $ICN + h\nu \longrightarrow I^*(^2P_{1/2}) + CN(X^2\Sigma^+, low N'')$
 $I(^2P_{3/2}) + CN(X^2\Sigma^+, high N'')$

の様に、終状態の電子状態と回転分布の間に強い相関があることが報告されている。またICNについては、この回転励起を再現する様なポテンシャル曲面がGoldfieldらにより作られ、このチャンネル依存性は二枚の励起ポテンシャル面間の非断熱相互作用によって生じるとされた。このモデルの妥当性を調べるため、CH₃I, ICN両分子についてスピン軌道(SO)相互作用を種々の方で取り入れたCI計算を行ない、この光分解反応に関与する励起ポテンシャル面をAb-initio法で求めた。

2. 研究方法・計算方法

ヨウ素の様な重原子系の理論計算においては、相対論的有効内核ポテンシャル(RECP)の方法が有用である。Hay-WadtとChristiansenらの二つのRECPをI原子に使用して比較した結果、励起エネルギーで約0.2eVの差があったが特にSO分裂様式に違いは無かった。またRydberg用の基底関数は特に必要無いことがわかったので、主にHay-WadtのRECPをI原子に、また標準的なDZPを他の軽原子に使用する。全電子系のハミルトニアンはスピンの依存しないH^{SF}とSO部分であるH^{SO}の和で表わせるが、H^{SF}+H^{SO}を直接対角化するSO-CI法と、最初H^{SF}を対角化しその数個の固有ベクトルの作る空間内でH^{SF}+H^{SO}を対角化するPERT-CI法の比較を行なう。またL-S結合法を使用することでSに関する収束性を調べる。励起エネルギーを特に基底状態の平衡位置で精度良く求め、今まで不確定だったAバンドの帰属を行なう。各励起状態のポテンシャル面の持つ異方性及び交差位置を調べ、生成物の回転励起との関係を調べる。計算に用いたプログラムはCOLUMBUSで、SO-CI, PERT-CI部分は我々が開発した。SO部分には、DnakoとSchlesingerの見いだしたU(2m)群のgeneratorとU(m)群のgeneratorの積の関係式から出発してセグメント積表現を導出し、それを使用してプログラムをベクトル化した。同様の表現はGouldとChandlerらによっても以前与えられたが、本質的な誤りを含むことが判明した。

3. 研究成果

CH₃Iについては、m→σ*励起から生じる³Q_σと¹Q_±曲面間のconical-intersectionが生成物CH₃の回転励起の原因となり得ること、また回転軸の方向、チャンネル依存性等は最近のPemisら及びHoustonらの実験結果を説明しうるものである。以下ではICNの結果を述べる。表-1に実験的平衡核配置における値の電子励起状態(m_π→σ*)の全エネルギーを示す。参照関数としては(σ, π, m_π, π*, σ*)のうち、解離過程で重要になるもの

をすべて、さらに解離極限でI上のPoとP_πを等価に扱う様に選び、それらからの一電子励起も考慮したPOLCI法によるものである。1Σ⁺, 3¹Π⁺状態も含めたPERT CI法とSO CI法の違いは1Π₁状態でも0.1 eV以下であり、さらにS=2の配置関数を含めても0.01 eV程度の影響しかないことがわかる。双極遷移可能な低励起状態へのエネルギーを、特に平衡位置で重要な参照関数を使ったMRSDCI法によるものと合わせて表-2に示す。3Π₀₊への励起エネルギー5.05 eV (246 nm)は吸収最大波長250~260 nmとよく対応し、また3Π₁, 1Π₁も \tilde{A} 吸収帯に含まれ、この吸収帯がCH₃Iと同様なm_π→σ*に帰因することを示している。CN化合物の特徴であるπ→π*励起は高エネルギー側に位置し、π→σ*とともに \tilde{A} 吸収帯に帰属しうる。以前 \tilde{A} 吸収帯がπ(m_π)→π*状態から成っていると仮定して作った相関図が、この光分解反応の説明に使われたが、この仮定が誤りであることがわかった。またπ(m_π)→π*の電子配置はavoided crossingを経て実験的にはほとんど検出されていないCN(2Π)状態に相関するから、多少励起過程にこの成分が混っても、この分解反応には重要でないと思われる。図-1に直線解離のポテンシャル曲線(POLCI)を示す。3Π₀₊と1Π₂の交差は平衡位置より0.71 Å外側でおきる。Galdfieldらのモデルは交差が0.14 Å外側で起き、非断熱相互作用はΩ=0と2の状態間で非常に大きいと仮定しているが、我々の結果はΩ=0⁺と1の状態間で非常に弱い。平衡核間距離、解離エネルギー、励起エネルギー、解離極限でのSO分裂エネルギー等は実験値と比較的良好に一致しているので、以前のモデルの再検討が必要であろう。

4. 発表・出版実績又は予定
 荻下 32回 岡崎コンフェレンス, 63年 9月
 荻下, 諸熊 Chem. Phys. Lett, 153, 517 (1988)
 荻下, 諸熊 Theo. Chim. Acta, 投稿予定
 荻下, 鄭, 諸熊 J. Phys. Chem, 投稿予定

表-1. Comparison of the theoretical methods on ICN (Exp. Geom) (POL CI / Hay-Wadt DZP)

State	Singlet+Triplet		Singlet+Triplet+Quintet SOC1
	PERT CI 1Σ ⁺ , 3Π ⁺ , 1Π ⁺	SOCI	
X ¹ Σ ⁺ , *	-103.634 197	-103.634 998	-103.635 000
3Π ₂	.459 537	.460 577	.460 916
3Π ₁	.452 315	.453 585	.453 849
3Π ₀ ⁻	.439 010	.440 654	.440 921
3Π ₀ ⁺	.438 029	.439 801	.440 031
1Π ₁	.415 754	.417 817	.417 846

表-2. Excitation Energy of ICN (Exp. geom)

State	MRSDCI/DZP Hay-Wadt+ Dunning	POLCI/DZP Hay-Wadt+ Dunning	POLCI/TZP Christiansen et al.
	Δ E (eV)	Δ E (eV)	Δ E (eV)
3Π ₁	4.67	4.94	5.06
3Π ₀ ⁺	5.05	5.31	5.49
1Π ₁	5.67	5.91	6.10

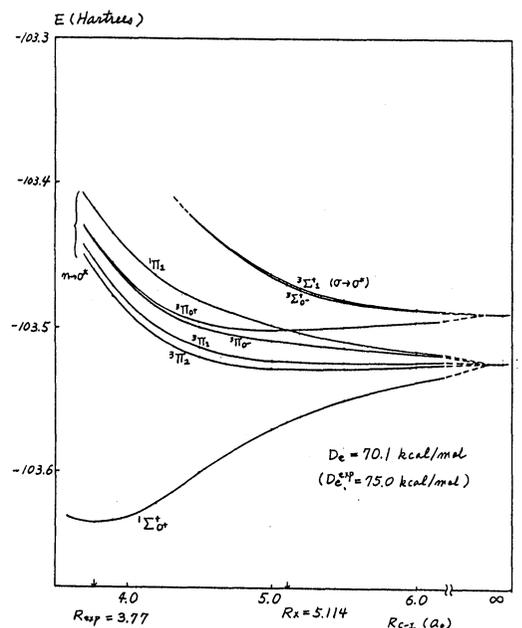


図-1 POLCI Potential Curves of ICN

分	19,233
協	30,035
議	20,000
実	33,200
許	

水のエネルギー揺らぎに関する理論的研究

Theoretical Study on Energy Fluctuation in Water

○田中秀樹

京大工

1. 緒言

我々は数年前、水の分子動力学(MD)計算によって、個々の水分子のポテンシャルエネルギー揺らぎが運動エネルギーに比べて非常に大きいことを発見した。この大きな揺らぎは水に特徴的であり、特異な水の熱力学的性質と密接に関わりあっていると予想される。本研究では、このエネルギー揺らぎを水分子間の相互作用と分子運動、分子集団としての協同的な振舞いとに関連づけ、液体としての水の性質を微視的な視点から解明することを目的とする。

現在までに揺らぎの周期が0.01ピコ秒と1ピコ秒の二種類に分けられ、前者が分子間振動に、後者が水素結合の空間的な変化に対応していることを明らかにしてきた。このような分子の動きが、協同的な運動としてどのように記述されるかを検討する。

2. 方法

水分子間の相互作用はJorgensenのTIP2Sを、遠距離の補正はEwaldのsumまたは遠距離で二次微分まで連続になるような補正を行った。粒子数は216または64個、温度は298K、密度は0.9970g/cm³とし、遅い揺らぎの大きさと頻度を調べるため、MD計算を100ピコ秒まで延長した。このようにして得たI-構造から適当な時間平均(0.2ピコ秒)によりV-構造を求めた。さらに一連のI-構造を不連続なポテンシャル極小の配置に対応させる(Q-構造)。またQ-構造で規準振動解析を行い、分子間振動の状態密度をもとめる。Q-構造間の遷移の障壁を求めることは非常に大きな自由度の最適化に相当し、蛋白質の構造間の転移に用いられる方法を応用した。

3. 結果および考察

(a) ある分子のV-構造のエネルギーを図1に示した。この水分子のエネルギーが-12.5kcal/mol以上に上昇するのは約10回/100ピコ秒である。

(b) ポテンシャル極小構造をQuenchingと呼ばれる方法で求める。これにより水の基本構造を求め、その時間変化を解析した。このようにして求めたQ-構造の時間変化を図2に示してある。これにはt=2.34psからt=2.35psにおける各分子の変位の大きさが太線で描かれている(点線はt=2.34psにおける水の水素結合を表している)。図より明らかのように、右下20個の水が集団的に動いている。このようなcollective motionが水の基本構造の主な変化である。このような局在した集団運動が時間と共に位置を変化させて、例えば円弧を描いたり空間的に突然広がったり、また消えたりする。このような運動は水分子の結合が弱いところで起こっている。このような集団運動の大きさを、もっと量的に表すには次のようなモーメント比を計算すれば良い。

$$r = \langle \Delta R^4 \rangle / \langle \Delta R^2 \rangle^2$$

rが小さければ非局在的变化、rが大きければ局在的変位を表している。図3より明らか

のように、 r は4-6位であり、これは30-50位の水が集団運動の単位をなしていることを示している。

(c) ポテンシャルエネルギー極小の位置での規準振動解析を行い、分子間振動の状態密度を求めた(図4)。分子間振動のみでは室温での水の性質の一部しか記述できず、エネルギー極小間の遷移が重要であることが分かった。一部の振動に対しては調和振動的でないが、非調和性の大きさを調べるために、エネルギーを規準座標に対して2次から4次の多項式で展開した時の2次係数に対する比を表1に示す。またこのような遷移の障壁は非常に低く、通常の熱運動で容易に越えられることが判明した。

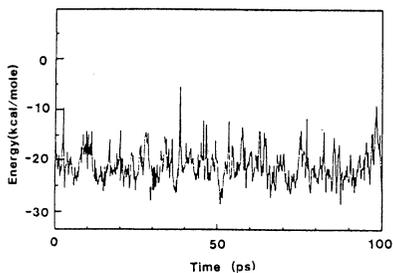


図1 水分子のV-構造でのポテンシャルエネルギーの時間変化

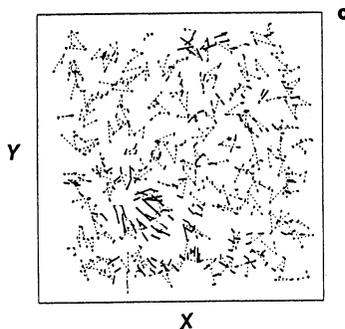


図2 Q-構造から隣接するQ-構造への変化による各水分子の動き

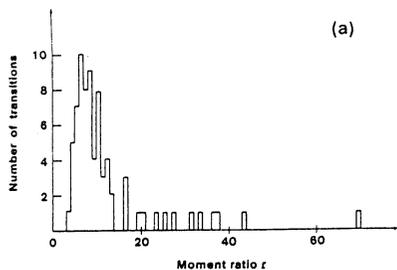


図3 モーメント r の分布

表1 規準振動のポテンシャルエネルギーに占める非調和項の割合。

Frequency/cm ⁻¹	$\langle C_3 \rangle / C_0$	$\langle C_4 \rangle / C_0$
0 - 100	0.0213	0.0311
100 - 200	0.0147	0.0045
200 - 300	0.0158	0.0051
300 - 400	0.0360	0.0105
400 - 500	0.0129	0.0030
500 - 600	0.0026	0.0008
600 - 700	0.0019	0.0006
700 - 800	0.0058	0.0009
800 - 900	0.0835	0.0014
900 - 1000	0.0729	0.0145

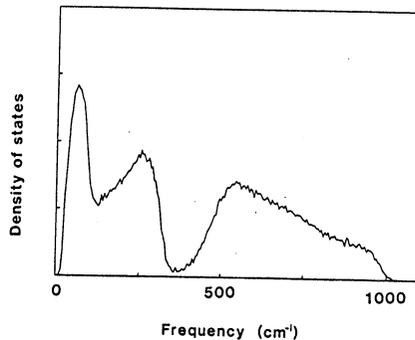


図4 分子間振動の状態密度

4. 発表. 出版実績または予定

- (1) 大峰, 田中, Wolynes, J.Chem.Phys. 89, 5825(1988)
- (2) 大峰, 田中 分子構造総合討論会 88年10月 東京
- (3) 田中, 大峰 分子シミュレーション討論会 88年12月 東京
- (4) 田中, 大峰, J.Chem.Phys. 投稿中

分	BMS	協前 協後
実	22.511	
許	8.553	
	21.200	
	23.200	

遷移金属原子の励起エネルギーとイオン化エネルギー

Excitation Energies and Ionization Energies for Transition Metal Atoms

○ 関谷 雅弘 (北大理)

1. 研究目的・内容

分子内の遷移金属原子の電子状態は、原子の励起状態やイオン状態に近いと言われている。1980年頃から遷移金属原子の電子状態の研究が行なわれてきている。それらの理論研究を整理すると、第一周期前半の遷移金属原子の第一励起エネルギーは、MCSCF ないしは原子価 CI 計算によって 0.4 eV 程度の差で実験値を再現する。しかし、後半の原子 (Mn ~ Cu) の第一励起エネルギーは実験値と 0.7 eV 以上の差がある。3s、3p 電子の電子相関を考慮すると励起エネルギーは 0.1 eV 程度減少するが、実験値とはまだ有意の差がある。

本研究では、Mn 原子と Ni 原子を中心に後半の原子の電子状態を解析し、後半の原子に見られる誤差の原因究明を試みた。

2. 研究方法・計算方法

RHF 法および CI 法に基づき、Mn 原子の 6S ($3d^5 4s^2$) 基底状態と 6D ($3d^6 4s^1$) 励起状態、Ni 原子の 3F ($3d^8 4s^2$)、 3D ($3d^9 4s^1$) および 1S ($3d^{10}$) の各状態について 3d と 4s の原子価電子の電子相関を考慮した MR-SDCI 計算を行なった。Huzinaga ら制作の ATOMHF と Sasaki ら制作の ATOMCI を一部改良して計算を実行した。以下で計算方法について簡単に説明する。

基底関数は Slater type orbital (STO) を使い、1s、2s、2p 軌道用の内側 (1s 型 2 個、2s 型 2 個、3s 型 2 個、2p 型 4 個) の関数と 3s、3p、3d、4s、4p 軌道用の外側 (3s 型 8 個、3p 型 8 個、3d 型 10 個) にわけて軌道指数 ζ を決めた。内側の関数は Tatewaki と Sekiya [Tatewaki'87] を参考にし、外側の基底関数は『even tempered』の手法によって決めた。4f 型と 5g 型の関数はそれぞれ 8 個使用した。これらの基底関数は上記各状態の numerical HF [Hay'77] のエネルギーを 0.0005 a.u. 以内で再現する。

各状態の占有軌道は各々の状態の RHF 軌道を使用し、電子相関用の軌道は予備的な CI 計算を行なって得られた NO を使用した。

参照関数は原子価電子配置といくつかの重要な CSF を選択した (表 1 の脚注)。重要な 3 ~ 4 電子励起の電子相関を考慮するため、重要な 2 電子励起の電子配置も参照関数に加え、1 ~ 2 電子励起 CI を摂動選択の手法を用いて計算した (表 1 の中では参照関数 III と略記)。表および図の中のエネルギーは、摂動選択により捨て去った CSF からの寄与も含んでいる。

多電子励起の効果 E_q は、Davidson [Davidson'74] の式

$$E_q = (1 - C_0^2) \times E_d$$

によって見積った。ここで、 E_d は電子相関エネルギー、 C_0 は参照関数の係数である。ただし、MR-SDCI 計算では、 E_d および C_0^2 を次の式で定義した。

$$\Psi_0 = \sum_{j=1}^{N_{\text{ref}}} C_j \Phi_j, \quad C_0^2 = \langle \Psi_0 | \Psi_0 \rangle$$

$$E_d = E_{c_1} - \langle \Psi_0 | H | \Psi_0 \rangle / \langle \Psi_0 | \Psi_0 \rangle$$

ただし、 Φ_j は参照関数、 C_j は CI によって得られた参照関数の係数、 N_{ref} は参照関数の個数、 E_{c_1} は CI の全エネルギーである。上記の式を用いた Davidson の式の複数個の参照関数への拡張による有用性は Bunker らによって確かめられている。

本研究では非相対論のハミルトニアンを使用しているので、直接に励起エネルギーを実験値と比較することはできない。Martin と Hay [Martin'81] の結果から相対論の効果を実験値に繰り込んだ "補正した実験値" を導入し、励起エネルギーについて議論した。

3. 研究成果

a) Mn 原子

表 1 に Mn 原子の励起エネルギーを示した。 $3d^6 4s^1$ 参照関数 I による SR-SDCI 計算によって得られた 6D 状態の励起エネルギーが 2.58eV である。これを Bauschlicher ら [Bauschlicher'82] の結果と比較すると約 0.2eV 改善している。この差は主に基底関数に起因している。多電子励起の効果 E_q を含めるとその励起エネルギーは 2.42eV となる。"補正した実験値" との差は約 0.5eV である。

($3d^5({}^6S) 4d^1$) $4s^1$ CSF を加え、 6D 状態について NO の繰り返し計算を行なうと、全エネルギーは 0.004a.u. 低下する。得られた励起エネルギーは 2.46eV、 E_q を含めると 2.30eV となる。SR-SDCI 計算の結果に比べると約 0.12eV 改善している。 6D 状態の $3d$ イオン核の電子配置は 5 個の上向きの $3d$ 電子と 1 個の下向きの $3d$ 電子によって構成されている。($3d^5({}^6S) 4d^1$) $4s^1$ CSF は、主に下向きの $3d$ 電子の電子相関を記述するための参照関数になっており、 6D の電子状態に重要な寄与をしている。

6S 状態 (8 参照関数)、 6D 状態 (30 参照関数) の結果も表 1 に示した (参照関数 III)。その多電子励起の効果 E_q を含む全エネルギーは 6S 基底状態、 6D 状態の結果 (参照関数 II) とよい一致を示している。得られた励起エネルギーは 2.36eV となり、 E_q を考慮すると 2.33eV となる。多電子励起の効果 E_q の絶対値は 0.1eV 程度と小さく、原子価 CI によって得られる励起エネルギーは $2.33 \pm 0.1\text{eV}$ とおもわれる。"補正した実験値" との差は約 0.4eV となる。

Botch らの MCSCF の結果と比較すると励起エネルギーは 0.7eV 以上低下しており、これは明らかに $3d$ と $4s$ 電子の電子相関に起因している。Bauschlicher らの結果と比較すると 0.3eV 以上の差がある。この差は、基底関数と CI の空間の違いから生じている。基底関数に起因する誤差は 0.2eV 程度、CI 空間、 $3d$ 電子の動径方向の電子相関の不足と多電子励起の不足に起因する誤差は 0.1eV 程度とおもわれる。

3d 電子の動径方向の電子相関を取り込むために $3d^5(^6S)4d^14s^1$ CSF は重要である。しかし、そのような CSF を考慮した MCSCF 計算によって励起エネルギーを求めても十分な精度は得られず、さらに原子価電子の電子相関の効果も取り込む必要がある。この二つの要因を取り込むことによって Mn 原子の励起エネルギーは前半の遷移金属原子と同程度の計算精度で電子状態を記述できる。

b) Ni 原子

図 1 に Ni 原子 3D 基底状態 (○印)、 3F 状態 (△印) と 1S 状態 (□印) の全エネルギーおよび E_q を含むエネルギー (●、▲、■印) と参照関数の重みの関係を示した。ただし、全エネルギーには捨て去った CSF からの寄与が含まれている。参照関数の重みが 95 % を越えると、 E_q を含む全エネルギーの値は参照関数の重みに依存せずほぼ一定になっており、 E_q を含む全エネルギーは Full CI の結果をかなり良く再現していると思われる。図 1 の極限から励起エネルギーを求めると、 3F 状態の励起エネルギーは 0.22 eV、 1S の励起エネルギーは 1.52 eV となり、“補正した実験値”と良い一致を示す。

3F 状態のエネルギーは参照関数の重みにほぼ比例しながら低下している。しかし、 3D 基底状態は、重要な 2 電子励起の CSF を参照関数に加えると急激にエネルギーが低下し、3 ~ 4 電子励起の CSF が電子状態に重要な寄与をしていることがわかる。 1S 状態にも 3D 基底状態と似た傾向が見られる。

最良の結果 (図 1 の右端の●、▲、▲印) から励起エネルギーを求めると、 3F 状態の励起エネルギーは 0.18 eV、 1S の励起エネルギーは 1.48 eV となり、図 1 から見積った励起エネルギーと良い一致を示す。

本研究では 3s3p 電子の電子相関の効果は考慮されていない。その効果は Bauschlicher ら [Bauschlicher'88] の MCPF (modified coupled pair function) や SR-SDCI の結果によると、 3F と 1S 状態の励起エネルギーを押し上げる傾向がある。これらのことより、3s、3p 電子相関を考慮すると、計算値はさらに“補正した実験値”に近づくことが期待できる。本研究で行なった MR-SDCI 計算は、基本的には Bauschlicher ら [Bauschlicher'88] の MR-SDCI 計算と同じである。しかしながら、得られた励起エネルギーを比較すると、 3F 状態、 1S 状態ともに 0.1 eV 以上の差があり、本計算結果の方が“補正した実験値”によく一致している。この差は主に基底関数の精度に起因しているとおもわれる。

以上の結果をまとめると、 3D 状態、 1S 状態の励起エネルギーには多電子励起の効果が重要な寄与をあたえている。Ni 原子では 3d 電子の数が多いためその電子相関エネルギーが前半の原子に比べるとかなり大きく、その多電子励起の効果も大きい。実際、Cr 原子の原子価 CI 計算によって見積られた E_q は、 7S 状態が $-0.0037a.u.$ 、 5D 状態は $-0.0032a.u.$ であり、Ni 原子に比べると 1/5 以下である。前半の原子に対しては多電子励起に起因する励起エネルギーの誤差は 0.1eV 程度と考えられるが、Ni 原子では 0.2 ~ 0.7eV におよんでおり、3 ~ 4 電子励起の CSF が電子状態、励起エネルギーに重要な寄与を与えている。

4. 発表・出版実績または予定

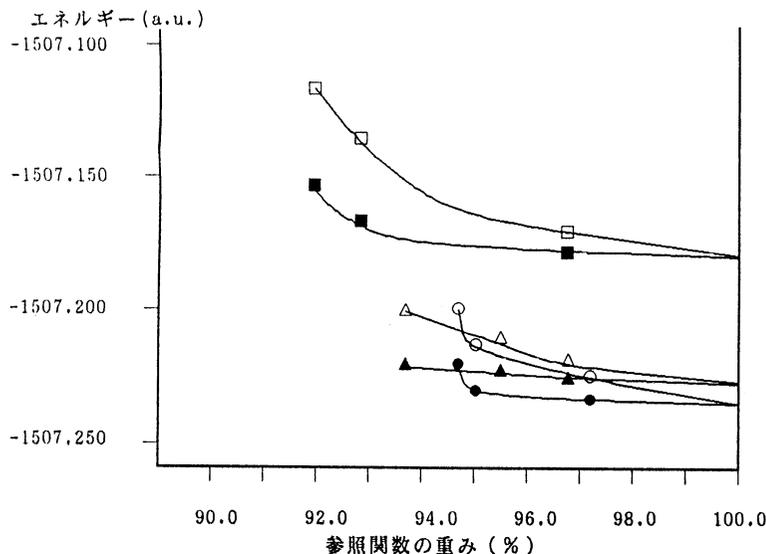
関谷、柏木、佐々木 Chem. Phys. Lett. 投稿予定

表1 Mn原子⁶D状態の励起エネルギー(eV)とNi原子³Fと¹S状態の励起エネルギー^{a)}

	Mn原子 ^{b)}		Ni原子 ^{c)}	
	⁶ D(3d ⁶ 4s ¹)		3F(3d ⁶ 4s ²)	1S(3d ¹⁰)
MCSCF ^{d)}	3.07		-0.340(-0.325)	2.484(2.261)
SR-SDCI ^{e)}	2.77(2.86)		0.071(0.123)	1.669(1.633)
Present		Present		
参照関数 I ^{f)}	2.58(2.42)	参照関数 III ^{l)}	0.21 (0.18)	1.55 (1.48)
参照関数 II ^{g)}	2.46(2.30)	推定値 ^{m)}	0.22	1.52
参照関数 III ^{h)}	2.36(2.33)			
実験値 ⁱ⁾	2.15	実験値 ⁱ⁾	0.03	1.74
補正した実験値 ^{j)}	1.90	補正した実験値 ^{j)}	0.39	1.53

- a) ()内は Davidson の補正值 E_qを含む。 b) 基底状態は⁶S(3d⁵4s²),
 c) 基底状態は³D(3d⁶4s¹), d) [Botch'81], e) [Bauschlicher'82]
 f) ⁶S基底状態は 3d⁵(⁶S)4s²と3d⁵(⁶S)4p². ⁶D状態は 3d⁶(⁶D)4s¹.
 g) ⁶S基底状態は f)と同じ. ⁶D状態は f)のCSFと3d⁵(⁶S)4d¹4s¹.
 h) ⁶S基底状態は 8個. ⁶D状態は 30個. i) [Moore'49].
 j) [Martin'81]の結果から相対論効果を補正した実験値. k) [Bauschlicher'88].
 l) ³D基底状態は 29個. ³Fと¹Sは 22個. m) 図1より推定.

図1 Ni原子の全エネルギー



○ : ³D基底状態(3d⁶4s¹) △ : ³F状態(3d⁶4s²) □ : ¹S状態(3d¹⁰) 黒ぬりは E_qを含むエネルギー

参考文献

Bauschlicher C.W.Jr., Walch S.P., and Partridge H., 1982, J.Chem.Phys. 76, 1033.
 Bauschlicher C.W.Jr., Siegbahn P., and Pettersson L.G.M., 1988, Theor. Chim. Acta. 74, 479.
 Botch B.H., Dunning T.H.Jr., and Harrison J.F., 1981, J.Chem.Phys. 75, 3466.
 Davidson E.R., 1974, "The World of Quantum Chemistry", Daudel R. and Pullman B., eds.,
 (Dordrecht, Netherlands).
 Hay P.J., 1977, J.Chem.Phys. 66, 4377.
 Martin R.L. and Hay P.J., 1981, J.Chem.Phys. 75, 4539.
 Moore C.E., 1949, "Atomic Energy Levels", Natl.Bur.Std.(U.S.)Circ.No.467, (U.S. GPO Washington D.C.)
 Tatewaki H. and Sekiya M., 1986, J.Chem.Phys. 85, 5895.

分	B09	協前 協後
実	9.755	
許	6.005	
	11.600	
	10.400	

ヨウ化リチウムホルムアミド溶液の分子動力学計算

A Molecular Dynamics Study of LiI in Formamide Solution

○伊藤登子(東工大工学部)

1. 研究目的・内容

液体状態におけるイオンの有機溶媒中を分子動力学法を用いて明らかにし、実験値である溶液X線構造解析法により得られている静的諸量(イオンの最近接分子数、最近接距離)および電導法により得られている動的諸量(イオンの拡散係数など)との比較を行なう事を目的としている。複雑な分子構造を持つ有機分子を含むMDを運用する前に、単純なイオン性融体の高圧下でのMDを分子研の計算機を用いて行ない、諸物性値を得たのここに報告する。

2. 研究方法・計算方法

イオンとアミド分子のポテンシャルの決定には、溶媒分子のまわりに種々の配向でリチウムイオン又は、ヨウ化物イオンを置き *ab initio* SCF法を用いて安定化エネルギーを算出する。ホルムアミド分子、リチウムイオンの計算には3-21 G基底を使い、ヨウ化物イオンの基底関数には有効内殻ポテンシャルを使った。運用したプログラムは Gaussian 80, Gaussian 82 であり、ポテンシャルの fitting には $\delta AL\delta$ を用いる。一方、イオン性融体のMDには、Born-Mayer-Huggins 型のポテンシャル関数を用い温度一定で数千ステップ運動させた後、内部エネルギー一定でシミュレーションを行ない 10500 step (42ps) 分について解析を行なった。

3. 研究成果

ホルムアミド分子に対して約300点の位置にリチウムイオン、又はヨウ化物イオンを配し、安定化エネルギーを算出した。現在、それらのデータの編集作業をしており、ポテンシャル関数の形を検討している。

イオン性融体のMDについては高圧下のヨウ化リチウム融体について解析を行なった。図1に二体相関関数を示す。最近接ピークは Li^+ と I^- の相互作用によるものであり、273 pm であり、X線解析法での 285 pm より幾分近距離に表れた。又、平均配位数は4.6と解析された。表2に種々の方法で得られた異符号イオン間の最近接ピーク位置と配位数をまとめた。図2に各イオンの角度相関関数を示す。両イオンとも 90° と 180° にピークを持つ事より、6配位8面体構造のサイトに異符号イオンが存在している確率が高いと考えられる。常圧下でのMDでは、4配位正四面体サイトに異符号イオンが存在するという計算結果も得られているので、圧力をかけた事により顕著な構造変化が起ったと考えよう。又、高圧下でのMDにおいて、 Li^+ の拡散係数は $1.75 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 I^- の拡散係数は $0.28 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ であった。常圧下での Li^+ の拡散係数は $34.7 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、 I^- の拡散係数は $13.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ であった。実験では Li^+ の拡散係数は電導法により $11.0 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ と報告されているが、 I^- については現在までのところ報告例がない。

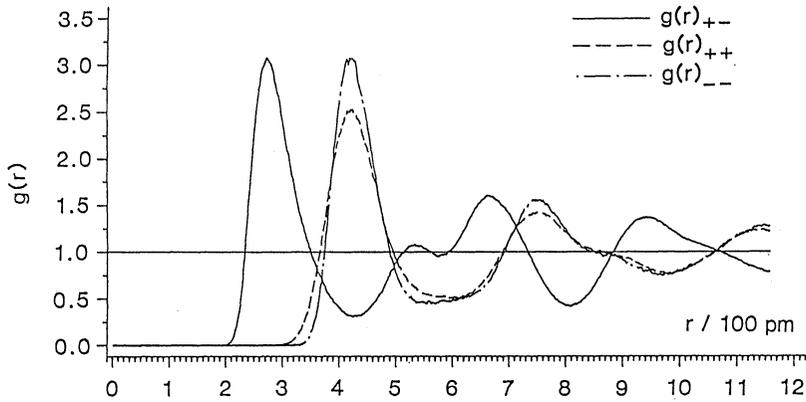


Fig. 1 Pair correlation functions.

Table 1. Characteristic values of the pair correlation functions and the coordination numbers n_{ij} . R_i , r_{M_i} and r_{m_i} give the distance in pm where for the i -th time $g(r)$ crosses unity, has a maximum and a minimum, respectively.

	R_1	r_{M_1}	$g(r_{M_1})$	R_2	r_{m_1}	$g(r_{m_1})$	$n(R_2)$	$n(r_{m_1})$
Li-I	234	273	3.07	351	428	0.31	4.6	5.9
Li-Li	366	422	2.51	497	~597	0.61	10.2	14.2
I-I	375	421	3.15	490	~547	0.44	10.5	12.4

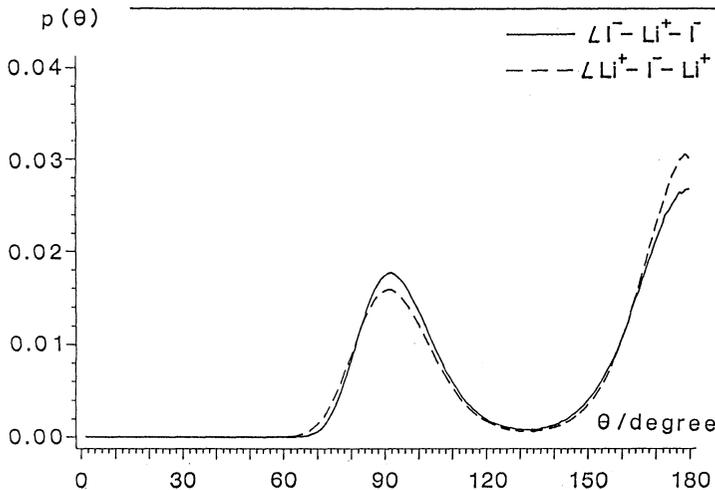


Fig. 2 Angular correlation functions within R_2 .

4. 発表、出版実績または予定

伊藤 第2回分子シミュレーション討論会、1988年12月 東京

伊藤 Z. Naturforsch. 投稿準備中

Table 2. Comparison of the first neighbor distance and the coordination number between cation and anion.

Method	$g_{+-}(\text{pm})$	n
X-ray	285	5.6
MC	260	4.3
MC	260	4.2
MD	~273	—
MD (this work)	273	4.6

分	BP	協前
実	9.802	
計	13.200	

ルテニウム錯体触媒によるメタノール C-H 活性化の機構理解

Mechanism Elucidation on Catalytic C-H Activation of Methanol

○板垣弘昭(東大工)

1. 研究目的・内容

触媒サイクルに組み込まれた遷移金属錯体の反応性解析は、触媒最適設計を通して化学技術の進展に直接寄与する極めて重要な量子化学的研究課題である。特に C-H 結合の開裂と形成、H-H 分子の生成と活性化という正逆両反応過程を同一条件下で追跡できるアルコールの脱水素/カルボニル化合物の水素化反応は、遷移状態を素反応過程の両側から検討することができるので興味深い。新規錯体種 $[Ru(OAc)Cl(PEtPh_2)_3]$ にメタノールからホルムアルデヒドと水素を生成する触媒作用のあることが初めて見出され、アセタトニ座配位に置換したメトキシ配位子が C-H 切断を受け、ヒドリド中間体に変わるという機構が提案された。活性を向上させるにはメタノールの C-H 結合切断をより円滑に行なうことが必要である。配位メトキシ基の C-H 切断機構の MO レベルでの解析を通し、高活性をもつ錯体触媒の設計指針を得ることを本研究の目的とする。

2. 研究方法・計算方法

錯体種 $[Ru(OAc)Cl(PH_3)_3]$ にメタノール分子がホスフィンに対し trans 位に配位した錯体、およびクロリドに対し trans 位に配位した異性体それぞれについて最適化構造を求め、エネルギー値と比較検討する。プログラムは ab initio 法 (Gaussian 82) を用いた。構造の最適化はエネルギー勾配法を用い、RHF 法により行なった。基底関数は、Ru には相対論的有効内殻ポテンシャル近似と原子価 double- ζ 基底、O, C, H 各原子には 3-21G, Cl, PH_3 配位子には STO-2G 基底系をそれぞれ採用した。

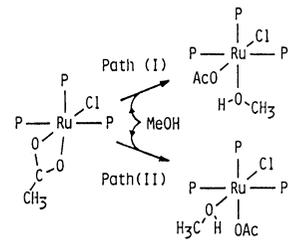


Fig. 1 Methanol Coordination to the Sites Available for C-H Bond Splitting

3. 研究成果

3.1 錯体種 $[Ru(OAc)(MeOH)Cl(PH_3)_3]$ の構造と相対エネルギー

活性錯体種 $[Ru(OAc)Cl(PH_3)_3]$ へのメタノールの配位方法は、Fig. 1 に示すように 2 通りある。メタノールがホスフィンまたはクロリドのどちらの配位子の trans 位に配位しやすいかを知るため、以下の計算を行なった。

メタノールがホスフィンに対し trans 位に配位した錯体 (2)

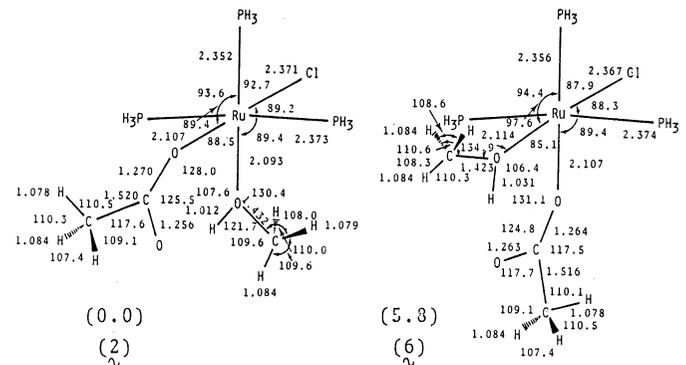


Fig. 2 Optimized Geometries of (2) and (6)
The bond distances are in angstroms and angles in degrees.
Relative energies are in kcal/mol.

とクロリドに対し trans 位に配位した錯体 (6) の最適化構造を Fig. 2 に示す。いずれの場合においてもアセト配位子内の $\angle \text{OCO}$ (125.5° (2), 124.8° (6)) はメタノール配位前 (118.1°) より大きく、また Ru-O ($\eta^1\text{-OAc}$) 距離 (2.11 \AA ; (2), (6)) は配位前 (2.16 \AA , 2.19 \AA (Fig. 3)) より短い値となった。単座配位になると、アセト 2 座配位子…中心金属間のひずみは緩和すると考えられる。一方、(2) は (6) より 5.8 kcal/mol 安定と算出された。したがってメタノールはホスフィンに対し trans 位により配位しやすいと予想される。

3.2 [Ru(OAc)Cl(PH₃)₃]によるメタノール C-H 活性化

これまでの計算結果を総合すると、メタノール配位から C-H 切断過程までの構造における特徴およびエネルギープロファイルは、Fig. 3 のように要約される。

3.2.1 構造

i) 活性錯体種 (1)

では、ホスフィン配位子に対し trans 位の酸素と中心金属間の距離 (2.19 \AA) がクロリドに対し trans 位の酸素と中心金属間の距離 (2.16 \AA) より長い。これはホスフィンより π donor 性の強いクロリド配位子から中心金属を介して、trans 位の酸素原子へ電子が非局在化し結合が強め

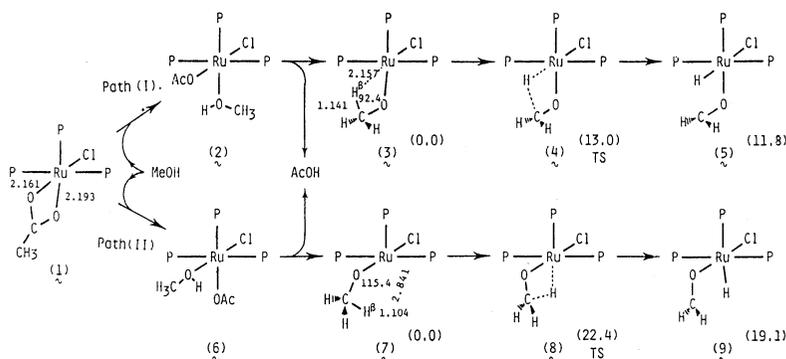


Fig. 3 Structural Feature and Energy Profile for Methanol C-H Bond Splitting with [Ru(OAc)Cl(PH₃)₃]

The reactant, transition and product stages for C-H bond splitting are indicated by the sets of (3)/(7), (4)/(8) and (5)/(9), respectively. The bond distances are in angstroms and the angles in degrees. Relative energies are in kcal/mol.

られるためである。ii) Path (I) の原系錯体 (3) は H^β と Ru 原子間に agostic 相互作用がみられるのに対し、(2) の場合は認められなかった。

3.2.2 エネルギープロファイル

i) メタノールがホスフィンに対し trans 位に配位した構造 (2) の方がクロリドに対し trans 位に配位した構造 (6) より 5.8 kcal/mol 安定と算出された。ii) 配位メトキシ基の C-H 結合切断に要する活性化エネルギー値は、Path (I) で 13.0 kcal/mol , Path (II) で 22.4 kcal/mol と算出され、明らかに Path (II) の方が大きな値となった。MO 解析から、Path (I) ではクロリド配位子の強い σ donor 性のため遷移状態は大きく安定化することが明らかとなった。したがってエネルギープロファイルを根拠に、活性錯体種 [Ru(OAc)Cl-(PEtPh₂)₃] によるメタノールの脱水素反応は Path (I) で進行すると推論した。

以上の計算結果から、メタノールの C-H 結合を円滑に行なうには強い σ donor 性を持つ配位子をヒドリド引き抜きに用いる空配位座の trans 位に置くことよという指針を得た。

4. 発表・出版実績または予定

板垣・篠田・奇藤 第 35 回有機金属化学討論会 63 年 11 月 吹田

分	BP3	論前 協後
実	28,697	
許	21,573	
	28,800	
	21,600	

非共役ジエンの分子内環状付加反応の理論的取扱い

A Theoretical Treatment to the Intramolecular Cycloaddition
Reaction in Nonconjugate Dienes

○ 大作 勝 (広島大理)

1. 研究目的、内容

鎖状非共役ジエンは光化学反応により、ビシクロ化合物に閉環することが知られている。ここでジエンは、ビシクロ[n,2,0]アルカンで表わされる平行化合物とビシクロ[n,1,1]アルカンで示される交差化合物を生じる。またこれら両生成物の割合は、分子中に存在する炭素数、置換基の存在の有無その他に依存するという。

本研究では、この実験結果を説明するため適当なモデル化合物をとりあげ、反応経路に沿っての分子構造の変化、エネルギーの変化を求めた。

2. 研究方法、計算方法

全ての分子軌道計算は、Gaussian 82プログラムパッケージを用いた。分子構造は、エネルギー勾配法を用い、如何なる仮定をも設けず完全に最適化した。基底関数としては、3-21Gおよび6-31G*を用いた。6-31G*基底を用いた計算では、UHF/3-21G計算にて得られた分子構造を用いた。電子相関は、2次のMøller Plessett摂動法によった。対象とする化学種として、1,4-ペンタジエン(A)をとりあげた。

3. 研究成果

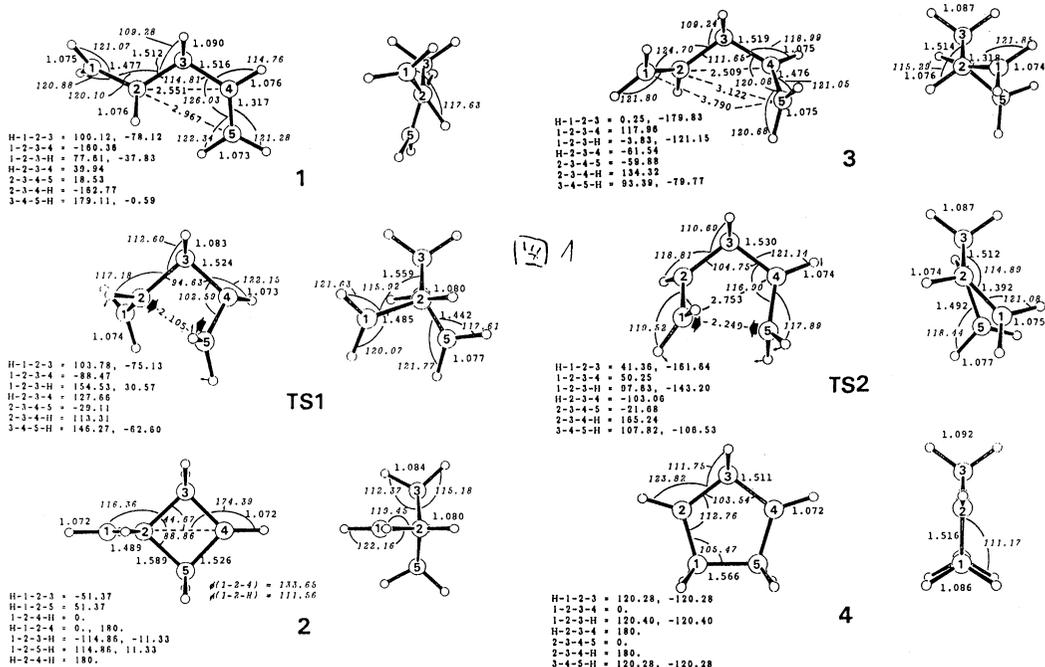
励起3重項状態におけるAの最適化構造とエネルギーについて述べる。分子形1,2,3,4,および遷移状態TS1,TS2の構造を求めた(図1)。これによると分子形1では、励起はC₁-C₂結合に局在しており、この結合の周りでメチレン基は基底状態の場合に比して90°回転している。一方、もう一つの2重結合は、平面のままである。分子形3ではこれとは逆に、C₄-C₅結合のみが励起され、C₁-C₂結合は、平面のまま残る。分子形1における2個の2重結合間の距離、すなわちC₂--C₅は2.967 Åである。一方分子形3におけるC₂--C₄またはC₂--C₅の距離は、2.509、3.122 Åである。これらの距離は、十分に意味のある相互作用をするのには、離れ過ぎていると思われる。

交差閉環及び平行閉環に至る遷移状態として、TS1, TS2を決定した。これらの状態は、振動解析の結果から確認した。TSsはそれぞれ1個ずつの虚の振動数を持ち、これらの振動モードを眺めてみると、C₂とC₅間またはC₁とC₅間で新しい結合が形成されるような振動であることが分る。

分子形1,2,3,4,TS1,TS2の相対的なエネルギーの大きさは、図2に示した。ここで1,3のエネルギーはほとんど等しく、これらのエネルギーを基準とすると、交差閉環となるか、平行閉環となるかは、TS1とTS2の高さによってほぼ決まることが分った。この計算結果は、実験結果をうまく再現している。

スピンコンタミネーションの除去

TS1とTS2の場合における期待値<S²>は、2よりかなり大きな値を持っている：TS1 2.3898(UHF/3-21G), 2.4013(UHF/6-31G*); TS2 2.3368(UHF/3-21G), 2.3391(UHF/6-31G*).



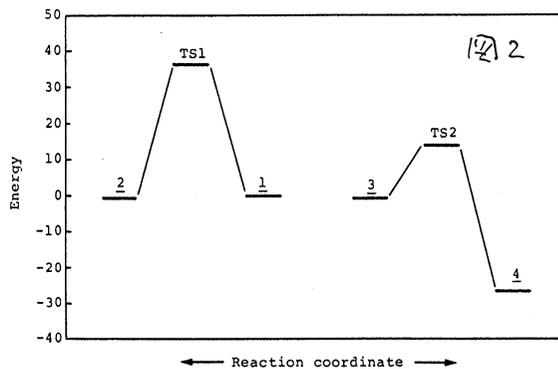
これより3重項状態の正しいエネルギーを得る為には、スピンコンタミネーションの除去が必要であることが分る。ここでスピンコンタミネーションの除去は、山口氏らの方法(Theor.Chim.Acta, 73, 337 (1988))によった。この方法によるスピンコンタミネーションの除去により、TS1とTS2の³UHFエネルギーの低下は、3-21G, 6-31G*, UMP2/6-31G*基底に対して7.3-9.3kcal/molであるとした。

スピン密度

これらのラジカルの性質について知るために、スピン密度を表(Table)1に示した。分子形1では、ほとんどのスピンのC₁及びC₂上に局在しており、1からTS1になるにつれて、C₄上の密度が増加し、C₅上のそれは減少する。2になると、スピンは再びC₁, C₄上に局在する。3→TS2→4の場合にも、同じようなことが見られる。

Table 1. Atomic spin densities on the C atoms at the UHF/3-21G level

	C1	C2	C3	C4	C5
1	1.30	1.36	-0.11	0.24	-0.18
TS1	1.37	1.16	-0.18	1.50	-1.07
2	1.45	-0.21	-0.06	1.57	-0.00
3	-0.23	0.31	-0.10	1.38	1.30
TS2	-0.96	1.26	-0.29	1.50	1.11
4	-0.18	1.57	-0.39	1.57	-0.18



4. 発表、出版実績又は予定

大作、諸熊；分子構造総合討論会、元年9月札幌
 大作、諸熊；JCS *perkin* 投稿中

分	7,559
実	8,336
許	11,200
	9,200

非極性凝縮相媒体中における、イオン-電子再結合過程の理論的研究

Theoretical study of electron-ion recombination process
in condensed phase.

○ 宇佐見 義之 (東工大. 理)

副題) 電子-イオン再結合反応の理論的研究、～ Debye 理論の修正相違への拘限～

研究目的・内容

凝縮相中でおこる 1) 電子の輸送過程, 及び 2) イオン-電子再結合反応について我々は非平衡統計力学の立場から理論的な研究を行った。

1) 電子の輸送過程

こゝでの目的は、新坂、旗野³⁾が実験から得た結果 (液体アルゴン、液体メタン中にある電子の移動度の外部電場依存性) を理論的に説明することにある。筆者らは上記媒体中にある電子は、次の Boltzmann 型輸送方程式に従って運動するとした。

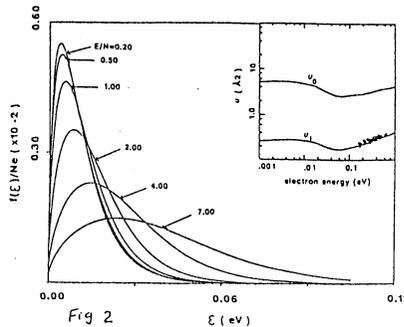
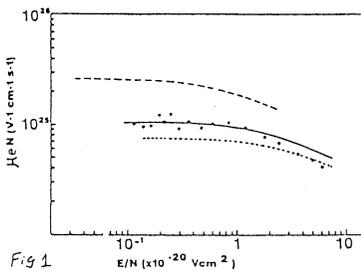
$$\frac{\partial f}{\partial t} - eE \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathbf{r}} = \frac{1}{p^2} \frac{\partial}{\partial p} p^2 \mathcal{L} f + N\nu \int d\Omega [f(\mathbf{p}, \Omega, t) - f(\mathbf{p}, 0, t)]$$

$$\mathcal{L} \equiv \frac{m}{\hbar^2} \frac{p}{e} \left(\frac{p}{m} + T \frac{\partial}{\partial p} \right)$$

輸送方程式の定常解をルジャンドル多項式の展開の型に求める。展開の一次まで考慮し、更に散乱の断面積がエネルギーに依らずに一定であるとして、運動量分布函数、エネルギー分布函数、電子移動度、平均エネルギーなどの量を求め、実験と比較した結果、次のような結論が得られた。

研究成果

(i) 旗野³⁾が得た実験結果をほぼ再現する結果が得られた。従ってこの場合の電子の運動は上述の輸送方程式によって記述され得る。またこのことは、アルゴン・メタンの電子散乱断面積が、凝縮状態において、入射エネルギーに対してほとんど一定であるということを示唆している。



(ii) エネルギーの分布関数を求め、外部から電場をかけたことにより、これが如何に Maxwellian からずれてくるかを具体的に求め、その幅を示した。このことは、断面積が一定であるエネルギー領域の目安にもなっている。(Fig. 1 液体アルゴン中の電子移動度の電場依存性。Fig. 2. エネルギー分布関数が加えられた電場によって Maxwellian からずれてくる様子)

2) イオン-電子再結合反応

イオン-電子再結合定数の外部電場依存性を説明する為、以下のような解析を行った。フラーメス型方程式から前述の運動量分布 $g_0(p)$ が実現している実空間へ射影する。

$$\frac{\partial}{\partial t} f(v, p, t) = -(\Gamma_0 + \Gamma_1) f(v, p, t), \quad \Gamma_0 \equiv \frac{1}{p_0} \frac{\partial}{\partial p} p^2 \left\{ -\frac{v p}{M_0} \left(\frac{p}{m} + T \frac{\partial}{\partial p} \right) \right\} + k + e E \frac{\partial}{\partial p}$$

$$\Gamma_1 \equiv \frac{p}{m} \frac{\partial}{\partial v} + F(v) \frac{\partial}{\partial p}$$

$$P f(v, p, t) = g_0(p) \int dp f(v, p, t) \equiv g_0(p) g(v),$$

$$\text{すなわち} \quad \frac{\partial}{\partial t} g(v, t) = \partial_v [A_{uv} \partial_v + B_{uv} F_v - \frac{v p_u}{m}] g(v, t)$$

この型の実空間の拡散方程式が得られた。 $g_0(p)$ の漸近形を用いて $A_{uv}, B_{uv}, \langle p_u \rangle$ を評価した後、再結合定数の外部電場依存性を見積ると、低電場では実験と同じオーダーの値、高電場では減少傾向が得られ、実験結果の一部を説明する結論が得られた。

実際の計算では、プログラムは積分の routine を除いて自作のものである。また以上の成果は下記の業績が示す通り、金子一代(東工大)、滝本淳一(分子研)、北原和久(東工大、分子研)、各々の共同研究によるものである。

発表・出版実績、予定

- 1) K.Kaneko, Y.Usami, and K.Kitahara, J.Chem.Phys., 89, 6420, (1988)
- 2) K.Kaneko, J.Takimoto, Y.Usami, and K.Kitahara, J.Phys.Soc.Japn., 投稿予定
- 3) 金子一代、東工大、博士論文(1989)
- 4) 宇佐見義之、金子一代 分子構造総合討論会、1988年10月東京。
- 4) 金子一代、宇佐見義之、滝本淳一、北原和夫、 日本物理学会、1988年9月広島。

分	CA4 施
実	38,270
許	38,800

蛋白質立体構造の変化と運動

Changes and dynamics of protein conformation

○郷信広（京大理）、入佐正幸（京大理）、伊倉貞吉（京大理）、麻野英三（京大理）、高橋勝利（京大理）

1. 研究目的・内容

蛋白質やDNAのような生体高分子は生理的環境下において特有の構造を形成し、しかも平均構造のまわりでの微弱な揺らぎを有すと考えられている。このような運動はその生物学的機能において本質的である。ここで計算機シミュレーションによる方法が有力な研究手段となってくる。計算機シミュレーションの方法には主として、分子動力学法、規準振動解析法及びモンテカルロ・シミュレーション法の3つがある。これまで我々は主に規準振動解析法とモンテカルロ・シミュレーション法とを開発、改良及び利用して研究を行ってきた。今回は、球状蛋白質ポーパイン・パンクリアティック・トリプシン・インヒビター（BPTI）に対しモンテカルロ・シミュレーションを行い、その生状態における構造を解析した。

2. 研究方法・計算方法

Metropolis のモンテカルロ・シミュレーション法を改良した非等方的歩幅のモンテカルロ・シミュレーション法を利用した。ここでは、独立変数として規準振動モードに対応するスケールされた協同変数を使用している。このことにより、計算時間を飛躍的に短縮することができた。また随時、立体構造エネルギーの極小化を行った。我々の用いている立体構造エネルギーは、原子間の結合角と結合長とを一定の値に固定し、結合の回転角のみを独立変数として記述されたものである。シミュレーションの結果の解析には、主として平均二乗変位を用いた。

3. 研究成果

モンテカルロ・シミュレーションは、300k で、 5×10^6 ステップ、2.5~25 nsec の時間スケールに対して行われた。この解析から分子の動力学の様相が次のように浮かび上がってきた。

(1) 揺らぎの描像

生状態での構造の熱的揺らぎの範囲内において、エネルギー面は多数の極小点を持っていた。これらの極小点は立体構造空間でクラスターを形成して分布していた。 10^{-14} 秒から 10^{-10} 秒までの時間領域における動力学は同じクラスターに属するエネルギー極小構造間の遷移と各エネルギー極小構造の周りの振動との重ね合わせで記述できる。 10^{-9} 秒またはそれより長い時間領域ではクラスター間の構造遷移が起こっていた。蛋白質の動力学はこのように少なくとも2つの層からなる階層性を持つことが判明した。図-1において、a の遷

移がクラスター内のもの、bがクラスター間のものである。

(2) パッキング・トポロジー

局所構造遷移（側鎖や主鎖やフラグメントの構造のそれぞれの多重構造のうちの一つから別のひとつへの遷移）に伴う構造変化には2種類あることがわかった。ひとつはパッキング・トポロジー（立体構造において互いに接触しているが共有結合はしていない原子の組の集合）の変化を伴うものであり、もうひとつは伴わないものである。我々は、前者を塑性的な変形、後者を弾性的な変形と呼ぶことにした。弾性的な変形では、空間的に近い原子同士の変位ベクトルは互いに似ている。すなわち、小さな領域での変形は小さい。しかし、規準振動の低振動モードの側でよく知られているように、これらの小さな変形は累積されて分子全体は比較的大きく構造を変えうるであろう。一方、塑性的な変形では、小さな領域での原子の相対変位が大きい。すなわち、小さな領域での変形は大きい。小さな領域内の変形に対しては、弾性的な変形よりも塑性的な変形のほうがより柔らかいと言えるであろう。図-2は弾性的な変形を、図-3は塑性的な変形を示したものである。

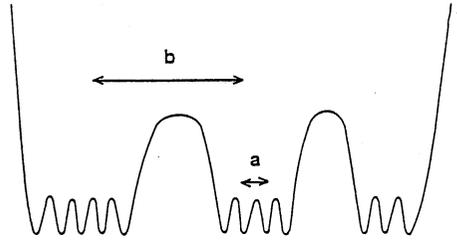
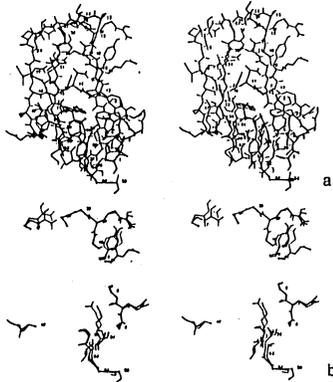


図-1 エネルギー面の構造と蛋白質の動力学的階層構造の模式図

(図-2)



(図-3)

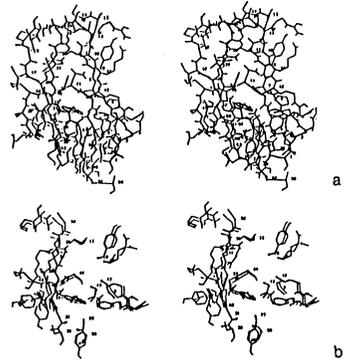


図-2,3 局所的構造遷移を示す図 (a) 比較する2つのエネルギー極小構造のうちの一つの立体図 (b) 2つのエネルギー極小構造間の遷移において、局所構造遷移を起こしている部位の2つのエネルギー極小構造での構造を太線と細線で表している

4. 発表・出版実績または予定

J.Higo and N.Go, J.Comp.Chem., in press.

D.Kohda, N.Go, K.Hayashi and F.Inagaki, J.Biochem., 103, 741-743 (1988)

T.Noguti and N.Go, Proteins, a series of five papers, in press.

N.Go and T.Noguti, Chem.Scripta (Proc. Nobel Symp.), in press.

分	CA8 施
実	53,634
許	54,400

固体メタンおよび水の物性の研究

Study of the properties of solid methane and water

○片岡洋右（京大理），岡田謙吉（岐阜大教養），辰巳武（京大理），
松本充弘（京大理），木村光男（京大理）

1. 研究目的・内容

水は体積の温度依存性に見られるような顕著な熱力学量の異常性が有名である。同時に粘性係数の圧力依存性等に見られるように輸送係数にも異常性が知られている。

われわれはすでに Carravetta と Clementi が非経験的分子軌道法の計算から求めた水-水間2体ポテンシャル関数(CCモデル)を使い、流動相における水の非経験的状態方程式を、分子動力学計算(Molecular Dynamics)から決定し、得られた熱力学量が半定量的に実験値と合うことを報告した。

今回は同じ剛体分子モデルを仮定して輸送係数を計算して実験値と比較すると共に水の輸送係数の異常性のミクロのレベルでの理解を目指す。

2. 研究方法・計算方法

MDの方法は通常のみクロカノニカルMDであり、一つのMDのランの中では分子数N, 体積V, 全エネルギーは一定である。

基本セルの中の分子数を $N=216$, (一部のランでは1000)とし、立方体的な周期境界条件を仮定した。並進と回転運動を共にVerletのアルゴリズムにもとずいて、時間刻みを $dt=0.5fs$ として解いた。初期分子配置は前回得られた熱平衡状態にあるサンプルである。標準的には4万ステップ(=20ps)のランを数回繰り返して統計平均をとった。

相互作用の内exp関数の部分は基本セルの半分でカットし、クーロン項はEwaldの方法で和をとった。

プログラムはCCP5プログラム・ライブラリの中のMDMPOLをもととして作った。

3. 研究成果

まずMCYポテンシャルを仮定し、分子数 $N=1000$ と 216 の系で時間相関関数の方法により水の輸送係数(自己拡散係数, ズリ粘性係数, 体積粘性係数, 熱伝導率)を求め512の系と比較した。顕著な分子数依存性は見つからなかった。そこで以下では $N=216$ とする。

シミュレーションは圧力 $P=50MPa$ にほぼ対応する状態点と体積 $V=18cm^3/mol$ の場合をまず実行し、次に低温での輸送係数の体積依存性を見るためのいくつかの体積についても行った。

圧力 $P=50MPa$ のもとでの自己拡散係数 D の温度依存性を図1に示す。いくつかの体積で温度依存性を求めその結果を内挿して、温度一定の条件下での自己拡散係数 D の体積依存性を求め図2に示した。低温度では低圧の液体状態から少し圧力をかけて体積が若干減少したところで拡散係数が極大を示すことがわかる。この傾向は実験結果と良く対応している。ただし極大に対応する体積は実験値より少し大きい。これはCCポテンシャルでの水素結合距離が実験値より少し長いためである。

水は低圧のもとで温度を下げると液体状態が不安定になり結晶化する。今回はこの液

相の限界を状態方程式から求めた。今回は一定体積のもとでの D の温度依存性から $D = 0$ となる温度を求め先の圧縮率 $\kappa_T = \infty$ の温度と比較した。図3に示すように両者は計算誤差内で一致する。

圧力 $P = 50 \text{ MPa}$ のもとでのズリ粘性係数 η_s の温度依存性を図4に示す。温度一定の条件下でのズリ粘性係数 η_s の体積依存性を図5に示した。計算値の大きさの程度は実験値と一致している。低温度では低圧の液体状態から少し圧力をかけて体積が若干減少したところでズリ粘性係数が極小を示すことがわかる。この傾向は実験結果と良く対応している。ただし極小に対応する体積は実験値より少し大きい。

体積粘性係数とズリ粘性係数の比 η_B / η_s を図6に示した。このときの圧力は計算値は $P = 50 \text{ MPa}$ であり、実験値では $P = 0.1 \text{ MPa}$ である。低温領域では体積粘性係数の方が大きい。これは実験値と傾向が合っている。臨界温度以上になるとこの大小関係は逆転することを計算値は示している。

圧力 $P = 50 \text{ MPa}$ のもとでの熱伝導率の温度依存性を図7に示した。実験値の傾向と同じく中間温度において極大を示す。臨界温度付近では密度が急激に減少するので、この水の熱伝導率の異常性は常温領域で温度の増加関数であることに本質がある。そこで体積 $V = 18 \text{ cm}^3 / \text{mol}$ の下での熱伝導率の温度依存性を計算した(図8)。この図においては回転運動の寄与と並進運動の寄与を別々に示してある。回転運動の寄与が全体の大部分でありこれの温度依存性が温度に対して増加関数であることがわかる。これらの温度依存性を熱伝導率に關係する時間相関関数の各自由度毎の寄与として表2に示した。

水のズリ粘性係数に關係する相関関数は単純液体の場合と異なり時間の関数として振動的である。この周波数は熱伝導率に關係する相関関数にもあらわれる。これは回転運動と並進運動のカップリングを示している。

各輸送係数に關係した相関関数の時定数を解析した。ズリ粘性係数と体積粘性係数の相関関数には2-3個の減衰時定数が含まれそれらは 0.01, 0.1, 1.0 ps のオーダーで広く分布していることが分かった。

以上述べた水の輸送係数の計算には実験値を参考にしてパラメータを合わすといったことはいっさい行っていない。それにもかかわらず計算により得られた輸送係数の大きさの程度とその温度・体積依存性はほぼ実験結果と対応している。そこで剛体分子としての取扱で水の輸送係数の異常性を議論できることが分かった。

4. 発表・出版実績または予定

- 1) 松本, 片岡 J. Chem. Phys. 90, 2398 (1989).
- 2) 片岡 Bull Chem. Soc. Jpn. 62, 1421 (1989).
- 3) 岡田, 尾崎, 横 Can. J. Chem. 66, 676 (1988).
- 4) 片岡 R&D コンピューティング要覧 198 (1988).
- 5) 片岡 未来産業技術 4, 814, (1988).
- 6) 松本, 片岡 分子構造総合討論会 昭和63年 10月 東京
- 7) 片岡 分子シミュレーション討論会 昭和63年 12月 東京
- 8) 片岡 溶液化学討論会 昭和63年 12月 東京
- 9) 岡田 日本化学会春季年会 平成1年 4月 京都
- 10) 片岡 日本化学会春季年会 平成1年 4月 京都

表 1 MCY 模型による水の輸送係数の分子数依存性

	MCY water			CC water	obs
N	1000	512	216	216	obs
T/K	300 ± 2	296	295 ± 1	298 ± 1	298
$V/\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$	18	18.018	18	18	18.050
P/MPa	829 ± 7	843	832 ± 12	248 ± 8	20
$U/\text{kJ mol}^{-1}$	-28.23 ± 0.06	-28.3	-28.46 ± 0.05	-31.5 ± 0.05	-33.9
C_x	1.6		1.5	1.9	4.1
$D/10^{-9} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$	2.9 ± 0.1		2.4 ± 0.3	3.9 ± 0.3	2.85
$\eta_s/10^{-3} \text{kg ms}^{-1}$	0.4 ± 0.2	0.6	0.6 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.9
$\eta_a/10^{-3} \text{kg ms}^{-1}$	0.8 ± 0.2	0.8	1.1 ± 0.4	0.9 ± 0.4	1.2
$\lambda/W \text{mK}^{-1}$	1.6 ± 0.3	1.35	1.3 ± 0.3	1.1 ± 0.3	0.59

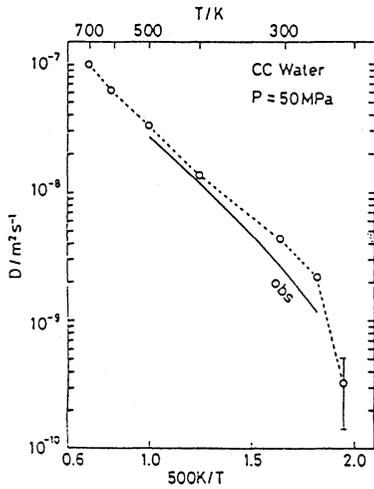


図 1 自己拡散係数 D の温度依存性, 圧力 $P = 50 \text{ MPa}$.

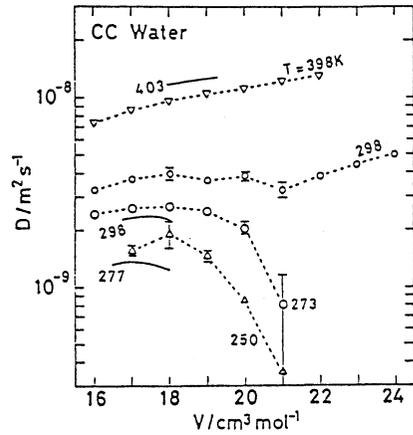


図 2 自己拡散係数 D の体積依存性

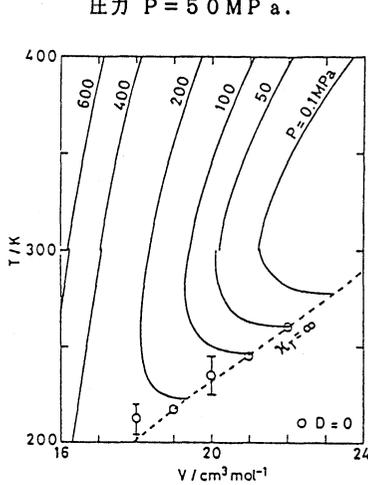


図 3 状態方程式における $\kappa_T = \infty$ の温度と $D = 0$

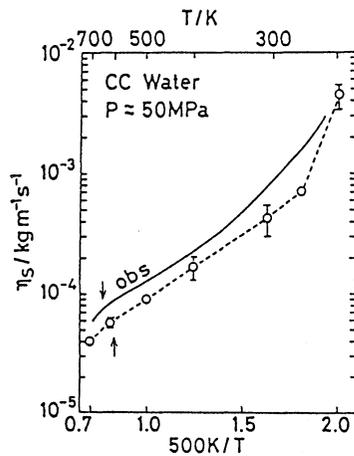


図 4 ズリ粘性係数 η_s の温度依存性, 圧力 $P = 50 \text{ MPa}$.

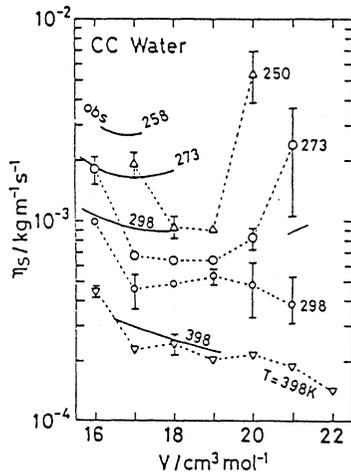


図5 ズリ粘性係数 η_s の体積依存性

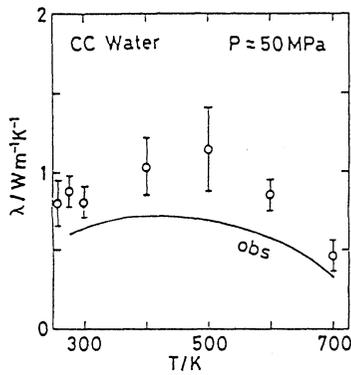


図7 熱伝導率 λ の温度依存性,
圧力 $P = 50 \text{ MPa}$.

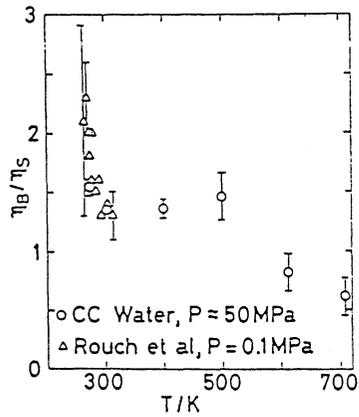


図6 体積粘性係数とズリ粘性係数の比
 η_B/η_s 対温度プロット.

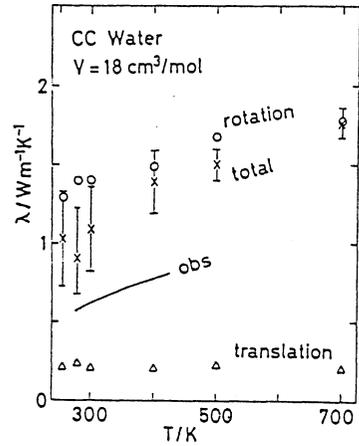


図8 熱伝導率 λ の温度依存性,
体積 $V = 18 \text{ cm}^3/\text{mol}$.

表2 水の熱伝導率の各自由度からの寄与, $V = 18 \text{ cm}^3/\text{mol}$

		T/K	
		298	702
Rotational	$\int_0^\infty \frac{\langle S(t) \cdot S(0) \rangle}{\langle S(0)^2 \rangle} dt$	10^{-15} s	
	$\frac{\langle S(0)^2 \rangle}{3k_B T^2 V}$	$10^{15} \text{ W m K}^{-1} \text{ s}^{-1}$	
	λ_{ROT}	W m K^{-1}	
Translational	$\int_0^\infty \frac{\langle S(t) \cdot S(0) \rangle}{\langle S(0)^2 \rangle} dt$	10^{-15} s	
	$\frac{\langle S(0)^2 \rangle}{3k_B T^2 V}$	$10^{13} \text{ W m K}^{-1} \text{ s}^{-1}$	
	λ_{TRANS}	W m K^{-1}	
		0.36	0.32
		3.9	5.6
		1.4	1.8
		5.0	5.5
		4.0	3.7
		0.20	0.20

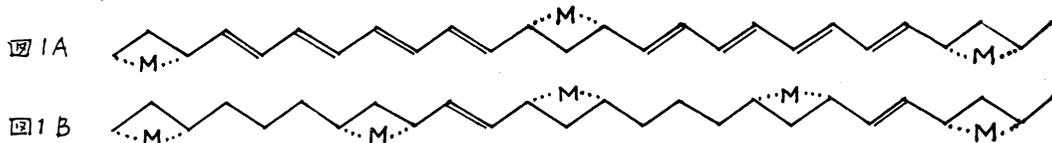
分	081	施
実	19,321	
許	20,000	

ポリアセチレンの電子構造および分子構造の研究

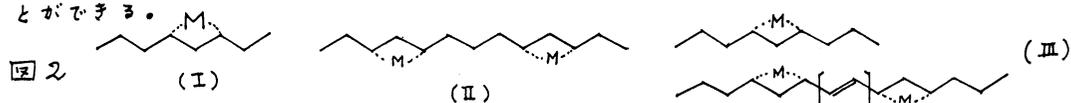
ELECTRONIC AND MOLECULAR STRUCTURE OF POLYACETYLENE

○ 田仲二朗 (名大理)、田仲智津子 (名大理)

1. 研究目的・内容 ポリアセチレンは電子受容体または電子供与体でドーピングすると、ドーピング濃度が、電子受容体で $-(C_{32})^+$ 以下、電子供与体では $-(C_{12})^-$ 以下では、生成物には電子スピンのなく、この組成では閉殻構造である。この時の構造を考えるためのモデル分子として C_{14} までの偶数鎖に2個のLiが配位した化合物について、すでに最適化した分子構造を求めた。計算の結果は、図1Aに示すように、Liは、炭素鎖に配位して C_3Li で1つの閉殻を形成し、2個の C_3Li グループにはさまれた偶数個の炭素からなる炭素鎖には、結合交替がある通常のポリエン構造になっている。この状態より更にドーピングが進むと実験的には常磁性が観測されるようになる。また赤外スペクトルの実験でもフリーキャリアが見出され、はっきりと電子構造に変化が生じる。これは上記の2個の C_3M グループにはさまれた偶数鎖上に、もう1個のドーパントが配位し、電荷とスピンの炭素鎖に注入された状態(ポーラロンの出現)に相当するものと考えられる。(図1B) 63年度には、この図1Bの電子構造を調べることを目的とした。



2. 方法 上図1Bの構成単位として、図2のI, II, IIIの構造を持つ化合物を考えることができる。



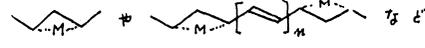
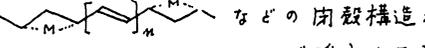
これらそれぞれのグループに相当するモデル分子として、(I) C_6H_8Li , $C_9H_{10}Li$, $C_9H_{10}Na$, $C_{12}H_{14}Li$; (II) $C_9H_{11}Li_2$; (III) $C_9H_{11}Li$, $C_{12}H_{14}Li_2$ について、基底関数 3-21G, STO-3G を用い、GAUSSIAN 82を用いて分子構造の最適化を行って分子軌道求めた。

3. 結果 (I)の化合物 $C_{12}H_{14}Li$ 等は、二重項でそのMOは、 C_3M グループの片側は奇数鎖でラジカル、反対側は偶数鎖で分極したポリエンの形をしており、HOMOには、 C_3M の炭素原子と、それに隣接する炭素原子(α スピン軌道ではラジカル側、 β スピン軌道ではポリエン側)の原子軌道の寄りが大きい。

(II)の化合物 $C_9H_{11}Li_2$ は、 C_3M グループ2個の間にラジカル鎖を持っており、そのHOMOには(I)と同じく C_3M グループの炭素原子の原子軌道が寄るが、この他に中央のラジカル C_3 のHOMOの寄りがあ。2個の C_3M グループに対応するHOMOとNHOMOの分裂の大きさは、1.09 eVである。

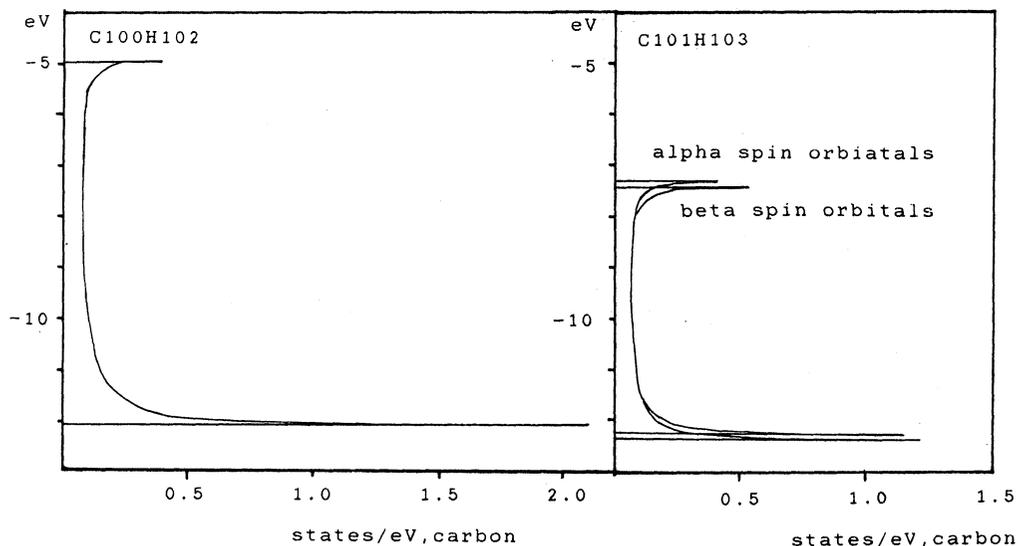
(III)の化合物 $C_9H_{11}Li$ は両端に C_3 ラジカル鎖、中央に C_3M グループが入っている。また、

$C_{12}H_{14}Li$ は両端に C_3 ラジカル鎖、中央に $C_6H_6Li_2$ グループが入っている。これらの化合物は、三重項の場合に、分子構造を最適化することができたが、一重項では最適化できなかった。(Ⅳ)の化合物でも、(Ⅰ)、(Ⅱ)と同じく、HOMO に対し寄与の大きい原子軌道は、アルカリ金属の配位した部位の炭素原子原子軌道である。

分子鎖の中に  や  などの閉殻構造があつて、この構造2個の間にラジカルを閉じこめると、そのラジカルは、ほぼ孤立して存在するので、これが常磁性の原因になるものと考えられる。また上述のように、アルカリドープしたポリエンのHOMOには、ドープした部位の炭素軌道の寄与が大きい。このグループが分子鎖上に複数できると共に、ラジカルがその間にはさまれて複数できてくると、 C_3M の炭素原子軌道の寄与の大きいHOMOは、分裂し、 α スピン軌道が昇位する。その結果イオン化し易くなる。この軌道が電気伝導に寄与するものと想像される。

ドーピングによる電導性の発現には、HOMOの近傍の状態密度が関係する。これを求めるためには、ドープした長鎖ポリエンのMO計算が必要である。これまでに得られた低分子のFOCK行列の要素から長鎖についてのFOCK行列を作ることが考えられる。その第一歩として、純粋のポリエンとポリエンラジカルについて、次の計算を行った。 $C_{10} \sim C_{16}$ のポリエンと、 $C_7 \sim C_{15}$ ラジカルについて、基底関数STO-3G, Gaussian 82を用いて分子構造を最適化し、その分子構造を用いて、Monster Gauss 81により重なり行列とS'行列を取出し、対称直交化の方法によって、変換し、直交規格化した基底関数に対するFOCK行列F'を求めた。このF'行列の要素を用いて長鎖ポリエンに対するF'行列を作って、これを対角化して軌道エネルギーを求めた。図3に1例として、 $C_{100}H_{102}$, $C_{101}H_{103}$ の結果を示した。ラジカル α スピン軌道と β スピン軌道の状態密度の和を、ポリエンの状態密度と対応させ比較すると、HOMOの近傍の状態密度はラジカル鎖の方がポリエン鎖より大きいことがわかった。 図3 Density of States of

Polyene and polyene radical.



4. 発表 田仲, 田仲 分子構造総合討論会, 63年10月東京; 日本化学会年会元年4月京都.

分 CB7 施
実 69,076
許 72,000

素反応過程の経路と動力学機構の研究

Paths and Dynamical Mechanisms of Elementary Reactions

阪大基礎工 ○ 笛野高之・山口 兆・高原洋一・中野雅由・横山啓一・高根慎也
横田幹夫

1. 研究目的

4 原子分子 HNOO と HNCO の単分子反応過程の経路とポテンシャルエネルギー変化とを明らかにし、気相反応 NH+O₂ および高温における HNCO の異性化熱分解の実験的研究への指針を得ることを目的とする。

2. 計算方法

構造最適化と反応経路の追跡は、IMSPACK GAUSSIAN 70,80 あるいは 82 を用いる SCF あるいは MC-SCF 計算によった。使用した基底関数は、対象によって STO-3G,6-31G** である。反応の始原系・生成系・遷移状態 (TS) の大部分について、振動解析を実施した。ジラジカルの場合には、経路上の主要点において multi-reference double-excitation (MRD)CI 計算を行うことを持って常法とした。電子配置の選択のための最小 threshold は、CI 次数が 8000-10000 に納まるように選び (T_m = 5~20 μhartree)、threshold T を増加させたときの結果から、外挿によって T → 0 におけるエネルギー E_{c1}(T→0) を得た。さらに、電子相関の評価を高精度化すべく、Langhoff-Davidson 摂動補正を施した "full CI" 推定値をもって CI エネルギー E_{c1} とした。

3. 研究成果

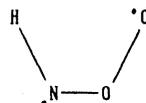
3. 1 HNOO 系

(A) 構造と電子励起エネルギー

HNOO の基底状態はニトリル水素 HNO の O 酸化物の構造 (図 1) をとり、シス体とトランス体が可能である。

HNOO の電子励起状態は 1,3-ジラジカル 構造をとり、(図 1)、シスおよびトランス体のいずれについても、1 重項と 3 重項のおのおのに対して ππ(A'), πσ(A''), σπ(A''), σσ(A') 形の構造が可能である。シス体の場合について、これらの最適構造と励起エネルギーを表 1 に示す。

励起



基底

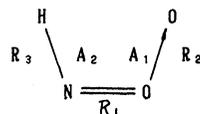


図 1. cis-HNOO

表 1. HNOO の最適構造 (6-31G**) と励起エネルギー Δ E

		Singlet					Triplet			
		$\tilde{X}^1(A''')$	$^1\pi\pi$	$^1\pi\sigma$	$^1\sigma\pi$	$^1\sigma\sigma$	$^3\pi\pi$	$^3\pi\sigma$	$^3\sigma\pi$	$^3\sigma\sigma$
最適構造	R ₁ (A)	1.287	1.339	1.333	1.374	1.396	1.365	1.338	1.368	1.377
	R ₂ (A)	1.258	1.290	1.386	1.273	1.365	1.317	1.374	1.271	1.380
	R ₃ (A)	1.015	1.014	1.013	0.999	0.999	1.012	1.014	1.000	0.995
	A ₁ (deg)	118.8	114.7	110.3	108.6	98.2	111.4	110.2	108.7	104.1
	A ₂ (deg)	105.5	104.6	107.0	127.7	129.7	104.0	106.8	127.0	125.4
Δ E _{c1} (eV)		(0)	4.69	1.60	3.80	4.44	1.42	1.68	3.63	5.21

* MC(2配置)-SCF b) E_{c1} = -205.03443 a.u.

基底状態（シスおよびトランス）の CI 計算の結果は表 2 に示すごとくである。

ジラジカル の 励起エネルギーは、図 2 に示すように、シス体とトランス体では僅かに異なる。励起状態のうちで最も安定なのは cis- ${}^3\pi\pi(A')$ である。

表 2. $\text{HN}(\tilde{X}^1A')$ の電子構造

	cis	trans
エネルギー		
MC-SCF ^{a)}	-204.55251	-204.55170
CI, T \rightarrow 0	-205.00525	-205.00436
CI, "full"	-205.03443	-205.03381
電子配置 C ²		
closed ^{b)}	0.8083	0.7993
(2a'') ²		
\rightarrow (3a'') ²	.0852	.0942
(8a')(1a'')		
\rightarrow (12a')(3a'')	.0062	.0059

^{a)} 2 配置-SCF/6-31G**

^{b)} (1a'')²... (10a'')² (1a'')² (2a'')²

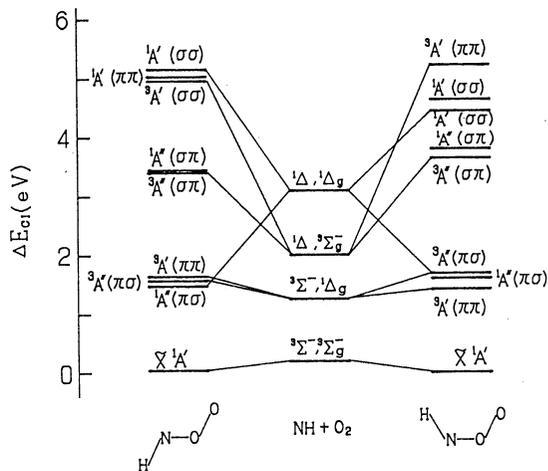
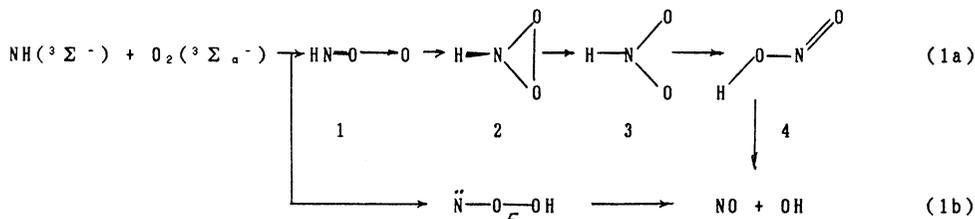


図 2. $\text{HN}(\text{O})$ の励起エネルギー (MRD-CI/6-31G**)

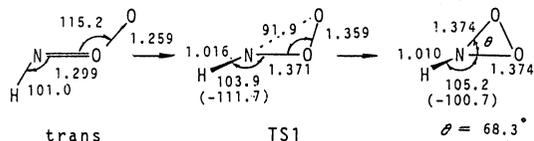
(B) 単分子反応¹⁰⁾

$\text{HN}(\tilde{X}^1A')$ は $\text{NH}({}^3\Sigma^-)$ の O_2 への付加によって生成し、気相では、最終的に $\text{NO} + \text{OH}$ となる。その行程 (pathway) として、次の 2 通りが考えられる。



反応 (1a) および (1b) の経路を MC-SCF 計算によって追跡したところ、いずれも $1(\tilde{X}^1A')$ の異性化段階、すなわち環化反応 $1 \rightarrow 2(1A')$ と 1,3-H 移動反応 $1 \rightarrow 5(1A')$ が律速であることがわかった。これら素過程の遷移状態と生成物の最適構造を図 3 に示す。

環化



1,3-H 移動

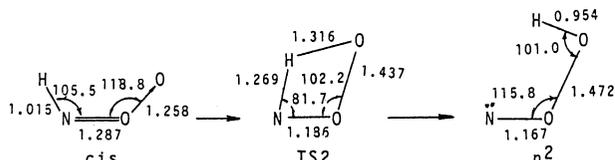


図 3. $1(\tilde{X}^1A')$ の異性化反応における最適構造

の高さも含めて、結果を図5に示す。

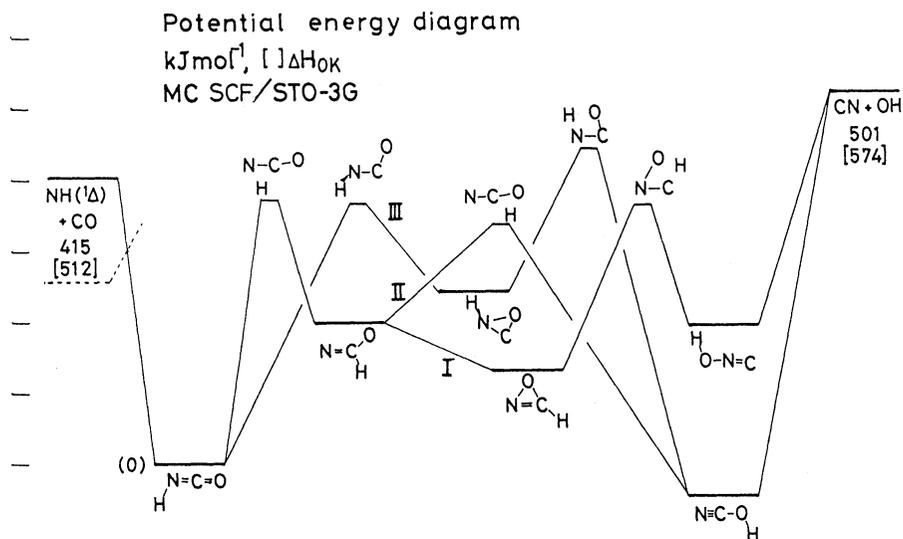


図5. HNC-O系のポテンシャルエネルギー
 (MC-SCF/STO-3G)

現段階では、精密な議論はできないが、過程(3b)の可能性が最も高いように思われる。基底関数への依存性ならびに電子相関の効果について、さらに検討する必要がある。

4. 発表論文

- 1) T.Fueno, M.Fukuda and K.Yokoyama, Chem.Phys., 124, 265(1988).
- 2) T.Fueno and M.Kamachi, Macromolecules, 21, 908(1988).
- 3) T.Fueno, J.Mol.Structure(Theorem), 170, 143(1988).
- 4) T.Fueno and R.J.Buenker, Theoret.chim.Acta(Berl.), 73, 123(1988).
- 5) K.Yamaguchi, Y.Takahara, T.Fueno and K.N.Houk, Theoret.chim.Acta(Berl.), 73, 337(1988).
- 6) Y.Takahara, K.Yamaguchi and T.Fueno, Chem.Phys.Lett., 157, 211(1989).
- 7) Y.Takahara, K.Yamaguchi and T.Fueno, Chem.Phys.Lett., in press.
- 8) M.Nakano, K.Yamaguchi and T.Fueno, Nonlinear Opt., in press.
- 9) M.Nakano, K.Yamaguchi and T.Fueno, Mol.Cryst.Liq.Cryst., in press.
- 10) 北池宏至・横山啓一・笛野高之 第5回化学反応討論会, 大阪(1989).
- 11) 横山啓一・三宅克二・笛野高之 第5回化学反応討論会, 大阪(1989).

分	CB8 施
実	12,607
許	11,600

イオンの溶媒和過程の理論計算
—分子内水素結合エネルギー—

Theoretical study on the solvation of the ions
Intramolecular hydrogen-bond energy
○生田 茂 (都立大・教養)

1. はじめに

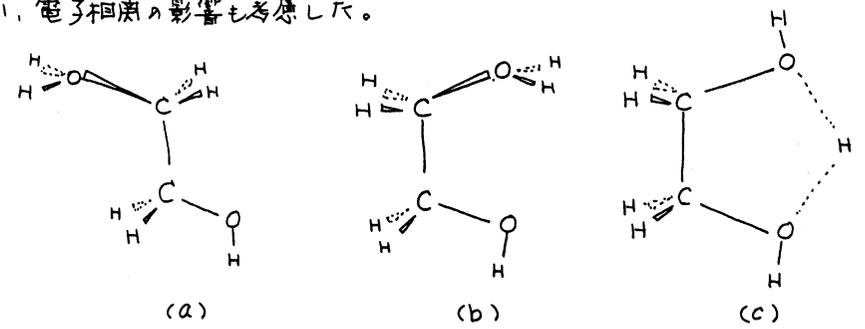
二つの塩基を有した分子のプロトン親和力は、一つの塩基しか持たない分子に比べて大きいことが知られており、分子内水素結合による安定化によるものと解釈されている。

著者らは、これまで ethylene glycol と ethylenediamine のプロトン付加体の構造と分子内水素結合エネルギーの計算とを行い、してきた。プロトン付加体の対称性と C_s として構造最適化とを行い、MP2/DV95** 法でエネルギー計算と行うと、gauche型(b)と C_{2v} 型(c)はほぼ同じエネルギーとなった。¹⁾

今回は、プロトン付加体の構造と C_s にとめることとやり、完全な最適化とを行い、MP3/DV95** 法によるエネルギー計算とを行い、分子内水素結合エネルギーを求めた。さらに、HF/3-21G 法による構造最適化、振動解析とを行い、求めた構造が global minimum であることを確認する。

2. 方法

ethylene glycol と ethylenediamine のプロトン付加体の構造と、HF/6-31G* HF/3-21G, MP2/3-21G 法と用いて最適化した。プロトン付加体の構造として次の trans型(a)、gauche型(b)、 C_{2v} 型(c)の三つを仮定した。gauche型については HF/3-21G 法と用いて振動解析とを行い、全ての振動数が実数であり global minimum であることを確認した。gauche型と C_{2v} 型については、mp2/3-21G 法と用いた構造最適化とを行い、電子相関の影響も考慮した。



HF/6-31G*法で求めた構造と用いて、MP3/DV95**法でエネルギーを計算し、trans型(a)とのエネルギーの差から、分子内水素結合エネルギーを求めた。 C_{2v} 型については、CI計算(SDCI/6-31G*)とを行い、その電子状態について考察した。

計算には、GAUSSIAN 82、North Dakota版 GAMESS プログラムを使用した。

3. 結果と考察

ethylene glycol のプロトン付加体の gauche 型の HF/6-31G* 法による最適化構造の Z-matrix を表 1 に示す。又, ethylene glycol, ethylenediamine のプロトン付加体の trans, gauche, C_{2v} 型の種々の方法により求めた全エネルギーを表 2 に示す。HF/6-31G* 法で求めた gauche 型の最適化構造は、以前に C_s 対称性と保持して求めた構造とはかなり異なっている。四つの main atom (= 2 つの酸素原子と 2 つの炭素原子) は、同一平面上には存在せず、その二面角は 46.4° である。

Hartree-Fock レベルにおける安定性は、いずれのプロトン付加体においても gauche, trans, C_{2v} 型の順となる。すなわち、MP3/D95** レベルにおける安定性は、gauche, C_{2v} , trans 型の順となる。

HF/3-21G 法で求めた gauche 型のプロトン付加体の振動数は全て正の値となり、この構造が global minimum であることと示している。HF/6-31G*, MP2/3-21G 法で求めた最適化構造は HF/3-21G 法で求めたものと極めて類似しており、いずれの方法においても gauche 型の構造が global minimum であることと示している。

分子内水素結合エネルギーは、ethylene glycol, ethylenediamine のプロトン付加体において、それぞれ、MP3/D95** レベルで、11.9, 10.3 kcal/mol となる。これらの水素結合エネルギーは最も安定な構造である gauche 型における値である。

ethylenediamine のプロトン付加体の分子内水素結合エネルギーの実験値は Kebarleらによって 12.6 kcal/mol^2 と求められており、本計算結果は良く一致している。

電子相関を取り込むことによって、 C_{2v} 型が大きく安定化する原因は、C-C や C-O 結合の電子がそれぞれの反結合性の軌道や O-H-O からなる軌道へ励起することにより、電子が非局在化し、bridged proton に電子がたまることによると考えられる。

4. 発表論文

S. Ikuta and O. Nomura, Chem. Phys. Lett, **154**, 71 (89)

References

- 1) S. Ikuta and O. Nomura, J. Molec. Struct. (THEOCHEM), **153**, 315 (87).
- 2) R. Tamagnini and P. Kebarle, J. Am. Chem. Soc., **95**, 3504 (73)

謝辞: 本研究を行うにあたり、North-Dakota 州 GAMESS を提供して下さいました M. W. Schmidt 博士に感謝します。

表 1. Z-matrix of form b

HF/6-31G*						
C1						
C2	C1	1.515				
O3	C1	1.404	C2	103.9		
H4	O3	0.951	C1	112.4	C2	-178.1
H5	C1	1.083	O3	112.5	H4	64.6
H6	C1	1.083	O3	111.4	H4	-58.9
O7	C2	1.506	C1	103.4	O3	46.4
H8	C2	1.077	C1	114.9	O3	160.7
H9	C2	1.076	C1	113.1	O3	-68.0
H10	O7	0.975	C2	108.1	C1	-36.5
H11	O7	0.961	C2	116.8	C1	-164.2

表 2. Computed total energies (in hartree)

Method	Form a	Form b	Form c
protonated ethylene glycol			
HF/3-21G ^{a)}		-228.00633	-228.00467
MP2/3-21G ^{a)}		-228.43343	-228.42847
HF/6-31G ^{a)}	-229.22778	-229.24475	-229.22438
HF/D95V ^{a)}	-229.30609	-229.32200	-229.30537
MP2/D95V ^{a)}	-229.94084	-229.96071	-229.95075
MP3/D95V ^{a)}	-229.97260	-229.99157	-229.97978
protonated ethylenediamine			
HF/6-31G ^{a)}	-189.63601	-189.65121	-189.63143
HF/D95V ^{a)}	-189.69392	-189.70801	-189.68971
MP2/D95V ^{a)}	-190.31859	-190.33568	-190.32986
MP3/D95V ^{a)}	-190.36280	-190.37913	-190.37058

^{a)} Geometry optimized.

^{b)} Geometry optimized by HF/6-31G*.

分 CC₂ 施

実 9,540
許 9,600

分子軌道法による化学相互作用系の理論計算

MO Theoretical Studies of Chemically Interacting Systems

○藤本 博(京大工)、川崎真一(京大工)、角田 誠(京大工)、大脇成義(京大工)、神部 恭久(京大工)、辻村典之(京大工)

1. 研究目的・内容

本研究は、分子間相互作用や化学反応にみられる選択性を制御する因子について電子論的見地から考察する事を目的としてきた。二分子間の化学相互作用や反応、分子における化学結合などは軌道相互作用の簡潔な概念で整理され、化学のひろい分野に明快な見通しを与えている。他方、分子軌道計算は高い信頼性を有し、実験だけでは捕捉できない化学種および現象に対して有用な情報を提供している。この両者をつなぐ簡便な方法論として相互作用軌道対の方法を導き、歪みをもった有機分子の反応にみられる位置および立体選択性、¹⁾ 種々の置換基の立体効果、電子効果が有機反応に及ぼす影響などについて考察してきた。²⁾ また、これらの結果に基く新規の反応性の尺度を定義し、従来の反応性理論ではとり扱えない大型の系に対しても良好な結果が得られることを示してきた。以下に、一重項カルベンのオレフィン二重結合に対する付加反応の機構に関する考察とチイルラジカルの二重結合に対する付加にみられる置換基効果に関する考察の結果について報告する。

2, 3. 研究方法および研究成果

一重項カルベンのオレフィン二重結合に対する付加反応については、Hoffmann による近似的な反応経路の計算を初めとして多数の計算結果が報告されている。最近、Houk らは種々の置換カルベンの付加反応について遷移状態の構造を定め、エネルギーを比較している。この反応の特徴は、反応の初期と後期で相互作用する軌道が入れ替わる点である。たとえば、カルベンの LUMO は反応の初期にはオレフィンの HOMO と相互作用して電子の非局在化に寄与するが、生成物のシクロプロパンではオレフィン部分の LUMO と重なって結合を作る。したがって、反応の中期あるいは遷移状態付近では違った型の軌道相互作用が入混じり、その表現は単純でないと思される。図 1 には、種々の置換基をもつ一重項カルベンがエチレンに付加する場合について求めた反応を制御する 2 組の相互作用軌道対 (ϕ'_1, ψ'_1) と (ϕ'_2, ψ'_2) を示す。³⁾ 電子供与性の強い置換基が付くに従い、カルベンの軌道 ψ'_1 はそのひろがり分子面に垂直の方向からずれ始め、これと対をなすエチレンの軌道 ϕ'_1 は一つの炭素上に局在するようになる。これに比較すれば (ϕ'_2, ψ'_2) の変化は小さい。この一連の変化は、それぞれのカルベン付加の遷移状態構造について計算しても、ある同じ構造を仮定して計算しても観測される。さらに、基底関数系を大きくとって計算しても、その変化は明瞭である。つまり、図 1 に示される相互作用軌道対の変化は置換基に本質的なものであり、これを解析すれば置換基の違いによる反応性の違いが理解できる。この結果から、次のことが言える。電子受容性の強いカルベンである CCl_2 などが付加する場合には、 ψ'_1 は主にカルベンの LUMO、 ϕ'_1 はエチレンの HOMO から構成され、また、 ψ'_2 はカルベンの HOMO、 ϕ'_2 はエチレンの LUMO から構成される。これらの系においては電子の非局在化が容易におこり、遷移状態は反応の早い時期に現れて活性化エネルギーは小さい(遷移状態の現れない場合もある)。図 1 より二つの新

しいC-C結合は協奏的に生成することが明らかである。電子受容性の弱いカルベンであるC(OH)₂などが付加する場合には、カルベン、エチレンの双方においてHOMOとLUMOが強く混じ

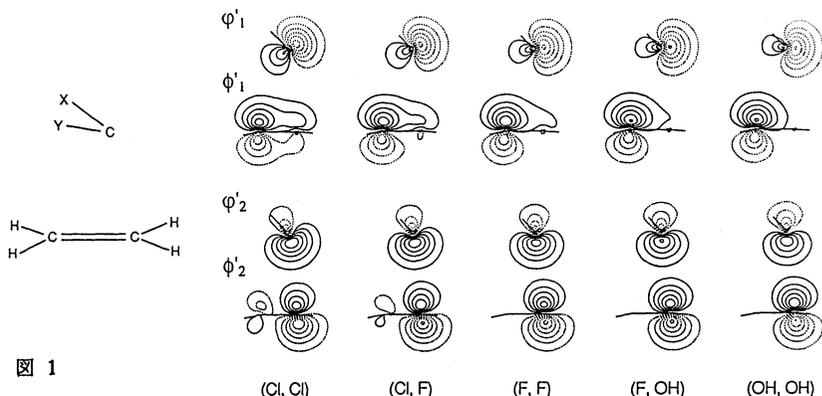


図 1

り合う。これらのカルベンおよびオレフィンがもとの電子配置を保ったままでは大きな交換斥力が働くので、両者の接近とともに、カルベンおよびオレフィン分子それぞれの内部でHOMOからLUMOへ電子昇位した電子配置が強く混ざり込むようになり、図1に示されるような変化をもたらす。必然的に、遷移状態は反応の遅い時期に現れ、大きな活性化エネルギーを伴う。また、二つのC-C結合生成の度合には明らかな差がみられる。この観点から、実験事実、従来の計算結果を統一的に矛盾なく説明できる。図1の結果を

使えば、他のカルベンの反応性を予測できる。たとえば、電子求引性の置換基-CNと電子供与性の置換基-OHを有するカルベンの反応性はCN基によって支配され、C(OH)₂などよりは、むしろCFClに近い反応性を示すことが予測される。

上記の考え方を少し変形して応用することにより、孤立分子に対する新しい反応性の尺度を個々の反応様式に対して定義することができる。図2には、チルラジカルのオレフィン二重結合への付加に対して、フェニル基の置換基Xおよび不飽和結合の置換基R₁、R₂を変化させた場合の反応速度定数kと計算から求めた反応性の尺度とをプロットしてある。⁴⁾ 同程度の相関は様式の異なる他の反応についてもみられる。このことは、化学的な相互作用が局所的な現象であり、反応性の予測にはその特性の適切な表現が重要であることを示唆する。

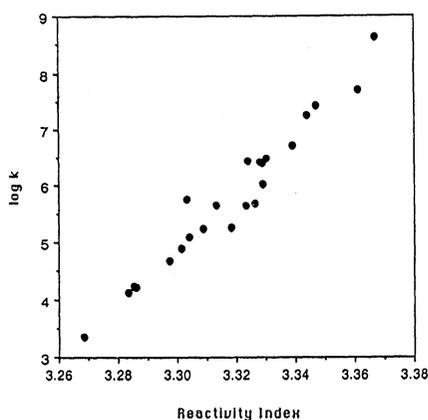
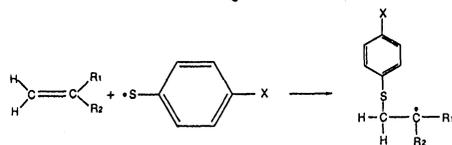


図 2



X = H, CH₃, Cl, OCH₃, NO₂

(R₁, R₂) = (H, C₆H₅), (H, CN), (COOCH₃, CH₃), (H, OCOCH₃), (H, OC₄H₉)

4. 発表

藤本、矢吹、福井 THEOCHEM 印刷中。

藤本、水谷、遠藤、神部 J. Org. Chem. 印刷中。

藤本、大脇、遠藤、福井 投稿中。

藤本、角田、畑山 投稿予定。

分	CC1	施
実	20,181	
計	31,600	

光化学反応機構に関する量子化学的研究

Quantum Theoretical Research on Photochemical Reaction Mechanism

(千葉大業) ○津田 穰、笈川節子、森下陸夫

1、研究目的・内容

本課題では、*ab initio* MO法を用いて、光化学反応などにより生起する、気相中の不安定化学種が関与する反応素過程を明らかにすることを目的としている。本年度は、昨年度に引き続き、有機金属気相合成法(MOCVD)によるGaAs混晶の成長機構に関する研究を行い、以下の結果[1-4]を得たので報告する。

2、研究方法

MOCVDによるGaAs結晶の(100)面の成長では、特にAs(100)面上のGa層の単原子層成長制御が著しく困難である。この理由を明らかにし、Gaの単原子層成長を起こす条件を探るために、*ab initio* MO法で反応のポテンシャルエネルギー変化を計算した。基底関数系にはMIDI-1を用い、遷移状態構造から反応系、生成系に至る最小エネルギー経路を計算した。活性化エネルギーについては、Moeller-Plessettの2、3、4次摂動計算を行い、電子相関の効果を検討した。計算には分子研ライブラリプログラムGAUSSIAN82を用いた。

3、研究成果

GaAs結晶のAs(100)面にアルキルガリウム分子が近付くと、両者間に相互作用が起こりAsのlone pairがGa原子へ配位したCharge Transfer型の中間体が形成され、アルキルガリウム分子がAs面に安定に吸着されることが、昨年度の研究から分かっている(安定化エネルギー 9.84kcal/mol)。結晶成長が起こるためには、この吸着されたGa原子と隣接したAs原子との間で、もう一つGa-As結合が形成されなければならない。そこで、ポテンシャルエネルギー面を探索し、この反応の遷移状態を決定する計算を行った。ここで、As面を表すために、2ヶのAs原子が隣合ったモデル系を選び、結合しているGa原子はH原子で置き換えた。また、アルキルガリウム分子も、アルキル基をH原子で置換したGaH₃分子で表した。

図1に得られた遷移状態構造を示す。次に、この遷移状態構造から出発して、生成系及び安定中間体に至る最小エネルギー経路を計算した。全体のポテンシャルエネルギー変化を図2に(図中Dが遷移状態)、また、遷移状態付近の構造変化を図3に示す。これらの図から、Ga単原子層成長の様子が良く分かる。すなわち、はじめAs原子に結合していたH原子は、As面上に寝た形をしているが、アルキルガリウム分子が吸着すると、そのGa原子に結合したH原子(実際にはアルキル基)に引き寄せられるように上方に動き、遷移状態構造ではAs-H、Ga-H結合は共に切れればH₂分子が生成した形となっている。遷移状態からは徐々にH₂分子(実際には炭化水素分子)が解離していき、2ヶのAs原子間にGaブリッジが完成する。

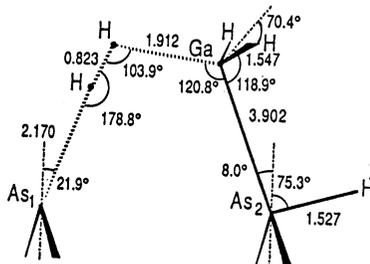


図1 GaAs単分子層成長反応の遷移状態構造

Table 1. The activation energy for the ALE growth of a Ga layer on the (100) As surface

Method of Calculation ^{a)}	Activation Energy (kcal/mol)
RHF	44.25
MP2	36.36
MP3	37.06
MP4	36.49

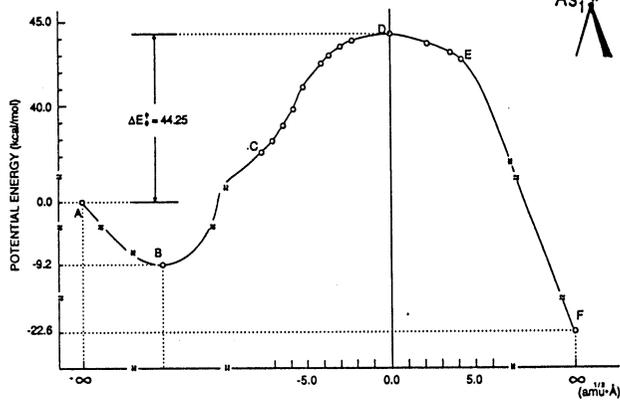


図2 GaAs単分子層成長反応最小エネルギー経路のポテンシャルエネルギー変化

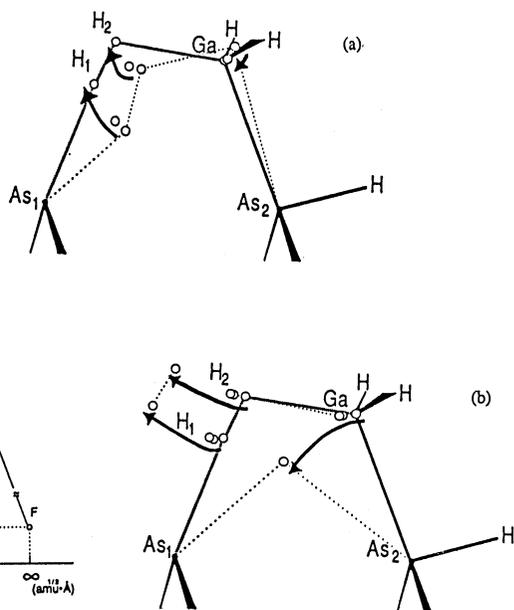


図3 遷移状態付近の構造変化
(a) 反応系から遷移状態へ
(b) 遷移状態から生成系へ

反応が一段階で進み、反応途中の中間体形成で得られた安定化エネルギーがそのまま次のGa-A結合生成の活性化エネルギーに使われるとすると、反応系全体のGa単原子層成長の活性化エネルギーは44.3 kcal/molである(図2)。この値はRHF計算値であるが、Moeller-Plessettの2、3、4次摂動計算を行い、電子相関の効果を検討すると、表1のように低下し、MP4計算で36.5 kcal/molとなった。成長面が正に帯電した状況下では、ポテンシャルエネルギー変化は単調減少で、活性化エネルギーは全くないことは昨年度報告した。

最近、尾関らは新しいGaAs単原子層成長法を報告したが、その中で膜成長速度がAs表面に吸着されたトリメチルガリウム(TMG)の選択吸着に依存する反応速度式で表されることを示した。この時、TMG分解の活性化エネルギーは、実験温度440-560℃で42 kcal/molであった。この値はTMGの気相単分子分解の活性化エネルギー64.4 kcal/mol [4]と比べてかなり小さい値であるが、表1に示すアルキルガリウム吸着に始まるGa単原子層成長の活性化エネルギーの計算値に極めて近い値であることが分かった。

今年度は、この他、シラン分解機構 [5]、Wolff転位機構 [6]、分子メカニクスによる糖-蛋白相互作用 [7]の研究を行なった。

4. 発表、出版実績

- [1] 津田、森下、笈川; Jpn. J. Appl. Phys., 27, L960-L963 (1988)
- [2] 森下、津田、笈川; 分子構造総合討論会 1988年10月 東京
- [3] 津田、森下、笈川; The 9th International Conference on Crystal Growth, 1989年8月 仙台; J. Crystal Growth, submitted.
- [4] 笈川、津田、森下; J. Crystal Growth, 91, 471-480 (1988)
- [5] 津田、笈川; J. Chem. Phys., submitted.
- [6] 津田、笈川; Chem. Pharm. Bull., 37, 573-575 (1989)
- [7] 梅本、笈川、菅原、相田; J. Biomol. Str. Dynamics., 6, 593-608 (1988)

分 002 施
 実 152,277
 許 200,000

励起分子と触媒系の電子状態と化学反応

Electronic Structure and Chemical Reaction of Excited
 Molecules and Catalytic Systems

(京大工) ○中辻 博、水上 善博、中尾 武寿、伊沢 勝、中井 浩巳、
 江原 正博、齊藤 真司、杉本 学

1. 研究目的・内容

本課題では、主に次の3つの研究テーマについて、理論計算を行った。

- (1a) Van der Waals分子の基底状態と励起状態のポテンシャル曲線に関する研究。
- (1b) 遷移金属錯体の励起状態とイオン化状態に関する研究。
- (1c) ラジカルの超微細結合定数の計算法の開発。

2. 研究方法・計算方法

- (2a) SAC/SAC-CI法 (SAC85プログラム) を用いた。
- (2b) SAC/SAC-CI法 (SAC85プログラム) を用いた。
- (2c) 波動関数はGauss展開法で求めスピン密度はSlater型基底を用いて求めた。SAC-CI法 (SAC85プログラム) による。

3. 研究成果

(3a) 希ガスのダイマーや希ガスハライドの励起状態は紫外外部でレーザー発光する系として知られておりその電子状態やダイナミクスは注目を集めている。そこで我々はSAC/SAC-CI法を用いてAr₂の基底状態、励起状態のポテンシャルエネルギー曲線を求めた。

SAC/SAC-CI法を用いてVan der Waals分子の研究を行う利点は：

- 1. 基底状態、励起状態ともにバランス良く有効に電子相関が取り込まれているため、分光学的な実験との定量的な一致が良い。
 - 2. ポテンシャル曲線の全体にわたってHartree-Fock関数が主配置となる状態が存在し、これがSAC法の良い参照関数となっている。
 - 3. size-consistencyを満たすために解離極限での記述がよい。
- などである。

Ar₂のポテンシャルエネルギー曲線： Fig.1はAr₂の基底状態と4s, 4p Rydberg励起状態とAr₂⁺のポテンシャル曲線である。基底状態はrepulsiveな曲線となるが、約8bohrでpotential minimum (D₀=15.7 meV) を持ち、これは実験値 (7.107bohr, D₀=12.2meV) を良く再現している。Ar₂の励起状態のポテンシャル曲線はAr₂⁺のそれを用いて定性的な説明ができる。Rydberg電子の結合エネルギーへの寄与は小さいので、曲線の性質は電子のぬける軌道に依存する。Ar₂の場合外核はσ_g (3p_z) π_u (3p_{x,y}) π_g (3p_{x,y}) σ_u (3p_z) であるが、σ_uから電子がぬける場合の励起状態Σ_u⁺は反結合性が弱まるためエネルギーの安定が得られbound stateになる。π_gからの励起Π_gは浅いbound また、結合性のσ_g, π_uからぬける場合に基本的にrep

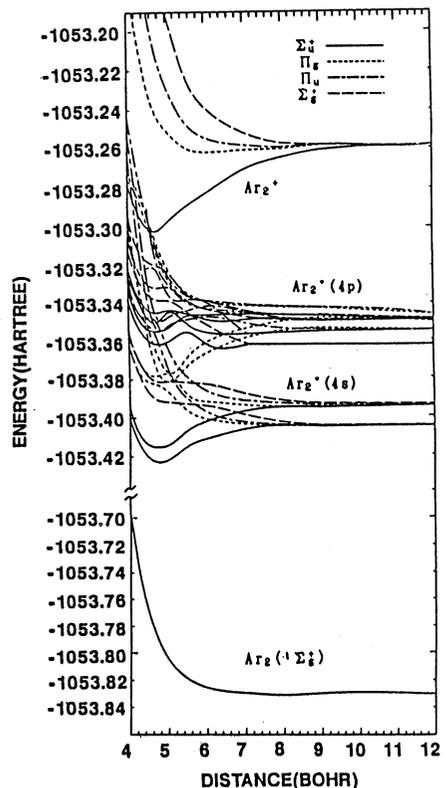


Fig.1 Ground, excited and ionized states of Ar₂ calculated by SAC/SAC-CI theory.

ulsive な形が予想される。Ar₂⁺ の結果は上の説明を素直に表現しているが、Ar₂ の励起状態の場合、同じ対称性の間の avoided crossing 等が起こりその形はより複雑である。解離極限では、励起した Ar atom と基底状態の Ar atom へと解離してゆく。

分光学的実験との対応： 分光スペクトルとの対応を見るためには spin-orbit coupling の効果を取り込む必要があるが、我々は semi-empirical な atoms-in-molecule の方法を用いてこれを行った。4s Rydberg 励起の結果について Fig.2 に示す。実験的には基底状態のポテンシャルミニマムからの A(1_u), B(0_g⁺), C(0_g⁺) への吸収スペクトルと X(0_g⁺) 基底状態への発光スペクトルが観測されており我々の結果とあわせて Fig.2 に示す。特に吸収スペクトルの一致は良い。発光スペクトルは repulsive な基底状態へのものであり寿命が短いため broad なバンドとなり発光波長の同定は容易ではないがスペクトルの maximum をとり比較した。分光定数の値は ωe は実験値と良い一致をみたが De はやや小さな値を得た。新井らによって観測された A(1_u) からの吸収スペクトルの実験は興味深い。彼らが同定した Σ⁺_u → Σ⁺_g への吸収スペクトルは我々の計算では 1_u → 0_g⁺, 1_g, 2_g への吸収に対応し彼らのスペクトルに見られる discrete な構造は振動構造以外に電子状態の違いによるものも含まれていることが示される。我々の結果と実験で得られたスペクトルの対応を Fig.2 に示す。解離極限では Ar atom の励起スペクトルとの対応ができ実験との一致は良好で正しい解離極限が得られていることがわかる。以上のように、SAC/SAC-Cl 法を用いたファンデルワールス分子 Ar₂ の基底状態、励起状態の研究は定量的に実験値と良い一致を示す結果が得られた。今後、様々なファンデルワールス分子を理論的に研究する上で SAC/SAC-Cl 法が有用であることを示す良い試金石たり得る結果を得たと思われる。

(3b) 遷移金属錯体である RuO₄, OsO₄ は、約 11eV までの電子スペクトルと光電子スペクトルが観測されているが、その同定は決定的なものではない。そこで、これらの遷移金属錯体の励起状態とイオン化状態に関する理論的研究を行った。

基底状態と Metal-Oxygen 結合： 基底状態について、電子相関を取り入れた計算を行うと、主に、HOMO(Oxygen) → LUMO(Metal) の励起配置の混合が重要であることが解った。そこで、SCF法および SAC法による net charge を調べると、電子相関を考慮することにより、結合のイオン性が緩和されていることが解った。正四面体構造をとる中心金属は、3個の d軌道と s軌道により d³s 混成軌道を作っている。0sの方が Ru よりも s, d とともに 0 の 2p 準位に近いので相互作用をしやすく、また、s-d の splitting が 0s の方が Ru よりも小さいので混成軌道を作り易いと考えられる。以上の事から、0s-0 結合の方が Ru-0 結合よりも強いことが予想されるが、force constant の実験からもこの事実は支持され、この M-0 結合の違いが以下の励起スペクトルとイオン化スペクトルの違いに現れる。

励起状態： RuO₄, OsO₄ の実験、理論スペクトルを各々 Fig.3, Fig.4 に示す。観測されている全領域についての ab initio 理論計算は、今回のものが初めてであり、RuO₄, OsO₄ とともに大きく 3 領域に分けられる。A の領域の遷移は Oxygen → Metal の charge transfer、B の領域では Metal → Metal、C の領域では Oxygen → Metal, Oxygen → Oxygen (Rydberg) の励起が起こっている。実験家の Foster 達は、RuO₄ では 7.69eV, OsO₄ では 8.06eV から Oxygen の Rydberg 励起が始まると帰属しているが、今回の結果によると、RuO₄ では約 11eV, OsO₄ では約 10eV から始まるという結果になった。また、0s-0 の方が Ru-0 よりも相互作用が強いため、A, B の励起エネルギーは RuO₄ よりも OsO₄ の方が高くなっていることが解る。B の領域については、振

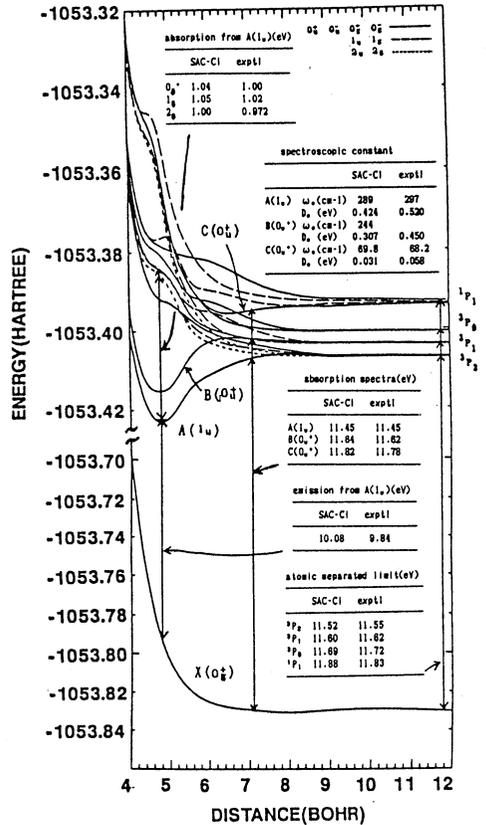


Fig.2 4s Rydberg excited states of Ar₂ with spin-orbit coupling, compared with experiments.

(3C) ESR法やマイクロ波分光で観測されるラジカルの超微細結合定数(hfsc)は、原子核の位置での波動関数の形に依存する局所的な量であり、その理論的再現は、かなり難しいとされてきた。本研究では、既に明らかになっている2つの重要な条件、(1)スピン相関と(2)電子相関、を考慮したうえで、更に重要な条件として(3)加藤のcusp条件

$$\lim_{r \rightarrow \text{nuc.}} \left(\frac{d}{dr} \ln \rho(r) \right) = -2Z$$

を考慮したhfscの計算方法を考案し、検討を行った。cuspとは波動関数の持つ核の位置での「尖頭」を意味する。

まず、(1)(2)の効果は、我々が開発したSAC-CI法を用いることで考慮した。但し、エネルギーとhfscは異なった性質による量であるため、hfscを求めるのに必要な配置が失われることを避ける意味で、configuration selectionは行なわなかった。これを行わなくても、SAC-CI理論では通常のCI計算に比べてハミルトニアン行列の次元はかなり小さくなり、本研究で対象とした分子 (Table 1参照) の計算での対角化は容易であった。

(3)の条件を取り入れるためには、基底関数にスレーター型関数(STO)を用いる方法を考えた。STOはcuspを持つ関数であり、本質的に(3)の条件を満足しうる。通常用いられるガウス型関数(GTO)では、積分計算には好都合である反面、cusp条件を満たさない。そこで、SCFおよびSAC-CIの積分計算にはSTO-NGで表現されるGTOを用い、hfscを計算する際にこのGTOを元のSTOで置き換えて計算することにした。GTOによる積分は、Nが十分大きければSTOの積分値の良い近似となる。この波動関数のSTO展開法は、現在広く利用されているプログラムを、僅かに修正するだけでよいという利点も併せ持っている。

以上の方法による、いくつかのorganic, inorganic radicalのhfscの計算結果をTable 1に示す。何れも実験値との一致は良好である。Table 2には、 H_2O^* のhfscについて、様々な基底関数による結果を示した。STOがGTOと比較して、ほぼcusp条件を満足していること、従ってhfscについてもはるかによい結果を与えていることがわかる。また、STO基底を用いると、GTOやeven-tempered basisで見られるジレンマが解消されて、一般に良い(エネルギー的に低い)波動関数ほど良いhfscを与えるという、理論的に自然な結果が得られている。これは、今後理論を改善していく上で極めて興味深く、大切な結果であると考えている。

4. 発表・出版実績

1. 中辻、松崎、米澤、J.Chem.Phys. **88**, 5759 (1988).
2. 北尾、中辻、J.Chem.Phys. **88**, 4913 (1988).
3. 百瀬、中辻、志田、J.Chem.Phys. **89**, 4185 (1988).
4. 中辻、小森、北尾、Lecture Notes in Chemistry, **50**, edited by D.Mukherjee, Springer-Verlag, pp.101-122(1989).
5. 中辻、伊沢、J.Chem.Phys. 投稿中.
6. 中井、中辻、触媒討論会、1988年10月、仙台.
7. 中辻、日本化学会秋期年会、1988年10月、仙台.
8. 中辻：中尾、中辻：中井、中辻：中辻、杉本：中辻、水上、分子構造総合討論会、1988年11月、東京.
9. 伊沢、中辻、ESR討論会、1988年11月、仙台.
10. 齊藤、中辻、日本化学会春期年会、1989年4月、京都.

Table 1 Hyperfine splitting constants (hfsc's) calculated with STO basis.

Molecule	Nucleus	Theoretical	Experimental ¹⁻³
H_2	H	327.4	333.7
	H_2O^*	O H	-20.2 -24.1
CH_4	C	25.6	29.7
	H	-29.6	-24.7
	CH_3Cl	Cl H H	-12.1 24.5 24.0
CH_3H	C	-12.3	
	H	29.6	34
	H	7.8	13
Cl_2O	C	-13.7	-15.6
	H	30.4	43.7
	O	-18.3	
Cl_2OCH	C	-8.6	
	H	30.8	
	O	-23.9	43
HCO^*	C	-29.8	-36.8
	H	119.4	132.7, 90.3
	O	-19.9	
CH_3Cl	Cl	-1.1	-8.6
	H_{ortho}	51.4	69.5
	H_{meta}	34.1	34.2
	H_{para}	102.2	107.6
HCO	C	119.0	131.0
	H	119.0	127.0
	O	-18.3	

¹The sign(-) is based on the present theoretical result. ²The citations of the experimental values are given in the individual tables.

Table 2 Hyperfine splitting constants and cusp values of H_2O^* by SAC-CI theory.

Basis set	STO-NG/GTO				STO				Energy
	M's	H	O	Cusp	M's	H	O	Cusp	
STO									
0 B2P									
H 1s(p(1,8))	-21.91	-21.35	0.00	-0.70	-26.93	-24.03	-18.18	-2.59	-75.72677
H 1s(p(1,8))	-21.19	-23.84	0.00	-0.67	-28.17	-26.38	-18.18	-2.56	-75.78014
H 1s((1,0)1s2s(0,8))	-19.56	-21.73	0.00	-0.70	-29.17	-24.00	-18.18	-2.50	-75.73259
H 1s((1,0)1s2s(0,5))	-20.53	-21.78	0.00	-0.68	-27.84	-24.18	-18.18	-2.47	-75.73437
H 1s((1,0)1s2s(0,5))	-1.78	-18.14	0.00	-0.67	-8.19	-24.80	-18.05	-2.81	-75.71280
0 B2P	-19.56	-21.73	0.00	-0.70	-29.17	-24.00	-18.18	-2.50	-75.73259
p(Dunn1es) ^a	-23.45	-23.18	0.00	-0.70	-30.83	-25.73	-18.18	-2.52	-76.80200
0 Clmest ^b	-22.48	-21.56	0.00	-0.70	-24.10	-24.38	-18.17	-2.50	-75.73256
GTO									
Dunn1es(4sp/2s) ^a	-23.10	-23.18	0.00	-0.69					-75.72156
Primitive	-19.70	-20.35	0.00	-0.73					-75.76559
Even-temperad ^c	-18.48	-20.44							-75.85014
Exptl.	29.7	25.1	-18.00	-2.00	29.7	25.1	-18.00	-2.00	

^a) B2P and B2S mean nominal and accurate basis sets of Bagus and Gilbert. ^b) p(Dunn1es) means that the Dunn1es (Sp)/2Sp set is used for p functions. ^c) (11sSp1/2s1p) primitive basis set.

分	CC7	施
実	20,758	
評	23,600	

表面および不純物系の電子状態

Electronic Structure of Surfaces and impurity systems

9 浅田寿生, 星野敏春, 中島伸治 (静岡大学工業短期大学部)
 兼原 弘

局在軌道法による非周期系の電子状態の研究

不純物系や分子系などの非周期系の電子状態の計算には、各原子に中心をとり局在軌道基底として用いるのが有効であるが、最小基底組を用いる場合、各基底は、対応する自由原子波動関数よりやや収縮した関数を用いるのがより争が経験的に知られている。我々はこれにて、その収縮した関数を基底として最小基底組をポーラリゼーションから求める等の実際的な処方を提案し、検討を加えて来たが、本研究は、これと不純物系に適用して、その電子状態を明らかにせんとしていたのである。

I. 半導体中ミュオニウムの電子状態の研究 (星野, 浅田)

1. 研究目的, 内容

ダイヤモンド, Si, Ge, GaP, GaAs の五つの半導体において、ミュオニウム (Mu^+) の (内部) 磁場には二種類あることが実験的に確かめられている。その中の一つは等方的で、正四面体格子向位差が対称性をもつ。他の一つは、非等方的で、前者の Mu に比べて24%近く小さい値を示し、永らく、その存在位置は不明とされ、異常ミュオニウム (Mu^*) と言われて来た。最近の Symons 等の推測および Estle 等のクオースター計算の結果より Mu^* は、ボンドを大きく押し広げて、その中心に μ^+ が位置している (それを中心として零点振動している) と推測される。

本研究は、無限結晶中の不純物を扱う厳密な定式化であるグリーン関数法を用いて、上記の欠乏四面体格子系を取り入れ、電子相関も local spin density 近似の範囲内に取り入れて、半導体中の Mu (Mu^* を含む) の電子状態を明らかにせんとするものである。

2. 研究方法, 計算方法.

- (1) 局在軌道を用いた型解析関数で展開し、最近格点原子を含むクオースターの中で、収縮した局在軌道を求める。
- (2) この局在軌道と最小基底組として、母体の self-consistent なバンド構造を求める。
- (3) バンド計算の結果を用いて、母体のグリーン関数を計算する。
- (4) Dyson 方程式によって、不純物系グリーン関数、電荷密度を求める。
- (5) 不純物系の total energy を求める。

3. 研究結果.

今回はダイヤモンド中の Mu^* について計算を行った。図1. に Dyson 方程式で不純物領域としてったクオースターを示す。この配置で $\langle 111 \rangle$ 方向に C-C ボンドを Estle 等の平衡位置 (42% 伸長) の近傍で変化させ total energy を計算した。現在までには、minimum energy を与える伸長度は求められていない。これは C(1)-C(2) 間隔を変化させても、bond-bending の効果を正しく取り入れるためには、もう一つ外側の

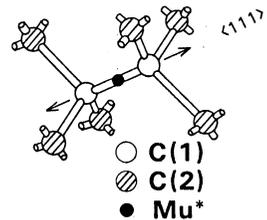


図1. 不純物領域

C原子まわりの不純物領域に取り入れられるという事柄による。total energyの計算の値はC_g-Muのクラスターでは十分に大きくなりと推定される。以下の計算結果は、C_g-Mu に対応するものであるが、電荷分布その他の解析から、不純物による引き起こされる変化は、図1の不純物領域に十分局在しているためtotal energyの誤差を降ろす。図1a clusterで十分であると言える。

図2は、局在軌道(LO)と、それに対応するAO原子軌道(LO)のradial functionを示したものである。LOには十分大きな振幅が見られる。図3にはs_gやs_uの状態密度と不純物系状態密度の変化を示している。価電子帯内の下側に広いエネルギー範囲で状態が現れているのを見ることが、電荷分布の解析から、これはC(1)-Mu^{*}-Cu(1)の間の中心結合の状態であることがわかる。禁止帯中には一つの状態が現れるが majority spinの状態のみが占有されているが、その波動関数はMuのまわりにあるC原子にそれぞれ中心をもつ混成軌道から構成され、その電子分布はMu核(μ)上では零である。伝導帯の下部には鋭いピークがある。これはπ結合状態である。この様子を構造より、μのFermi contactへの寄与は、価電子帯電子の波動関数がμ上では minority spinのものが大きくなるという効果が価電子帯の正の酸化による効果に打ち勝つことにより負の値を帯びる。双原子相互作用からの寄与はC(1)-μの間隔によって決定される。

表1は、伸長度42%付近での内部碰撞のFermi-contact分Aと双原子相互作用分2Bを求めたもので、実験と比較の良い一致を示していることがわかる。

Total energyの柱小化による平衡位置の決定および電荷状態の効果を検討はまた行っているが引き続きやって行く予定である。

4. 発表, 出版業績, 又は予定

- (1) 聖野, 深田, 寺倉: 日本物理学会(昭和63年秋)
- (2) 深田, 聖野, 寺倉: 日本物理学会(平成元年春)
- (3) T. Hoshino, T. Asada, K. Terakura
Phys. Rev. B 39 5468-5471

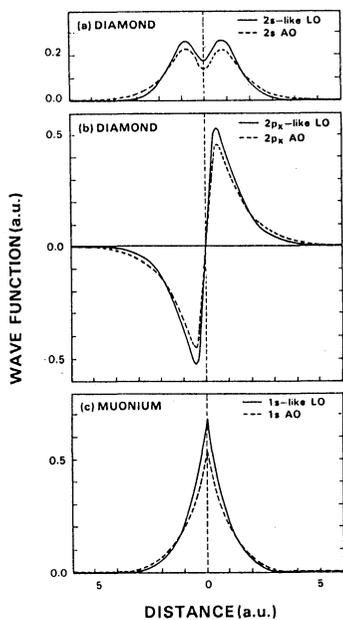


図2. 局在軌道(LO)と対応する自由原子軌道(AO)

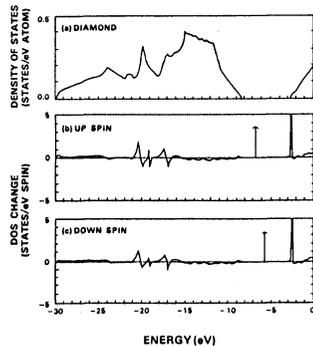


図3. 状態密度

	λ (%)			Expt.*
	40	42	44	
A (MHz)	-136.4	-137.0	-137.4	-206
2B (MHz)	429.1	400.1	372.9	374

表1. 内部碰撞係数 A, 2B
λ: 伸長度(%)

分	CD 施
実	47,073
許	50,000

非電解質水溶液の計算機実験

COMPUTER EXPERIMENTS ON AQUEOUS SOLUTIONS OF NONELECTROLYTES

○中西浩一郎，高宮正昭，水谷泰久，稲田勲，野村和宏（京大工），
足達義則（名工大情報処理教育センター）

1. 研究目的・内容

計算機実験の手法を用い，実験室での測定では得られない微視的な情報を直接計算することによって，水溶液中の各分子の構造とダイナミクスを調べ，疎水性相互作用などの特殊な分子間相互作用の本質を分子レベルで解明することを目的とする。これまでのプロジェクトとの継続性を考慮し，題名と主目的に変化はないが，実際には水溶液のモデルとなる，経験的ポテンシャル（主としてLennard-Jones）で相互作用する系の流体（気相を含む）状態全般のシミュレーションも，副次的な目的としている。63年度は具体的には次のような計算を行った。

- (1) アセトン無限希釈水溶液の分子動力学（MD）計算結果とその詳細な解析
- (2) 二次元古典流体系への密度汎関数法の応用とモンテ・カルロ（MC）計算
- (3) LJ分子クラスターの安定性と相転移のMD計算
- (4) ベンゼン+メタノール系の分子間ポテンシャルのMO計算にもとづく決定
- (5) ベンゼン+メタノール溶液のMC計算

2. 研究方法・計算方法

用いた方法は（a）分子のGeometryのエネルギー勾配法による決定と，水素結合性二量体のMO計算，MOデータの非線形最小自乗法による分子間ポテンシャルのパラメータの決定，（b）メトロポリス・スキームによるMonte Carlo 計算および（c）分子動力学計算であり，（a）の一部を除き，自作のプログラムによった。

計算時間の多くは（1）のMD計算，（4）のMO計算および（5）のMC計算のために使われた。

3. 研究成果

(1) アセトン無限希釈水溶液の分子動力学計算

粒子数 216個（アセトン分子 1 個，水分子 215個），密度0.99704 g/cm³，マイクロカノンカル（NEV）アンサンブルで分子動力学計算を行った。総ステップ数は 84,000 steps で，そのうち解析に用いたのは系が平衡に達したのちの 51,000 steps である。ここでの時間間隔は $\Delta t = 4.0 \times 10^{-12}$ secであり，これは 20.4 psec に相当する。

分子間相互作用ポテンシャル関数として、水-水間に対してはJorgensen らによるTIP4Pポテンシャルをわれわれが修正したものを用いた。アセトン-水間に対してはAb initio MO計算(6-31G**基底, 電子相関なし)から、アセトンのまわりの水の様々な配置での相互作用エネルギーをサンプリングし、それを用いて相互作用site間の12-6-3-1の逆べき型関数の各項の係数を最適化することにより新たに求めたものを用いた。サンプリングの数は182個であり、MO計算による各配向でのアセトン-水間の相互作用エネルギーとその配向でのポテンシャル関数からのエネルギー値との相関関係を見ると、標準偏差は1.62 kJ/molであった。

得られたポテンシャル関数から、メチル基の炭素とカルボニル基を含む平面でのポテンシャル等高線マップを描いたものが図1であり、カルボニル基のローンペアの方向に2つの鋭い谷(最小値 -25.7 kJ/mol)が見られる。尚、前年度4-31G**基底のポテンシャル関数を報告したが、最小値が-34.1 kJ/molと低すぎたのでこれは用いなかった。

分子動力学計算から得られた静的諸量であるが、系の温度とポテンシャルエネルギー値を純水のものとならべて表1に示す。これから次のことがわかる。

a. アセトン水溶液の全系のポテンシャルエネルギーは純水のものよりも低下しており、これは無限希釈状態での水和エンタルピー ΔH が負であることと対応している。

b. 全系のポテンシャルエネルギーの低下の内訳を見ると、水-水による低下はほとんどなく、溶質-水による寄与の方が著しい。

また、空間分割によって溶質分子の疎水基および親水基領域の静的諸量を求めたが、そのうち疎水基領域の水-水によるポテンシャルエネルギーの低下はほとんど見られず、疎水性水和に対応する結果は得られなかった。

(2)(3)

前者については、下記口頭発表の要旨6)にゆずる。後者については次年度に広範な計算を予定しているので、ここでは省略する。

(4) ベンゼン+メタノール系の分子間ポテンシャル

次項のMC計算のための分子間ポテンシャル関数のうち、ベンゼン二量体およびベンゼン+メタノール間のものをMO計算を用いて決定した。これらの系の分子間相互作用は比較的弱いので、ST0-3G basis setによるMoller-Presset 二次摂動計算(MP2)を二量体の各配置について行い、分子間部分を下のような式に整理し、係数を最適化によって、表2のように求めた。これにもとづいて描いたエネルギー等高線図より、ベンゼン-ベンゼン、ベンゼン-メタノールのエネルギー極小はそれぞれ-1.1と-3.4 kJ/molであった。

(5) ベンゼン+メタノール溶液のモンテ・カルロ計算

前項に決定した二つのポテンシャルとJorgensenによるメタノール二量体ポテンシャルを用いて、約10モル%のメタノールを含むベンゼン溶液のMC計算をMetropolisスキームによって行った。計算の概要をまとめると、NTVアンサンブルを用い、 $N = 108$ (内、メタノール11)、 $T = 298.15$ K、 V は実験値より定めた。初期配置はメタノールを系内に均

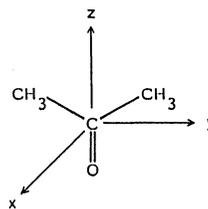
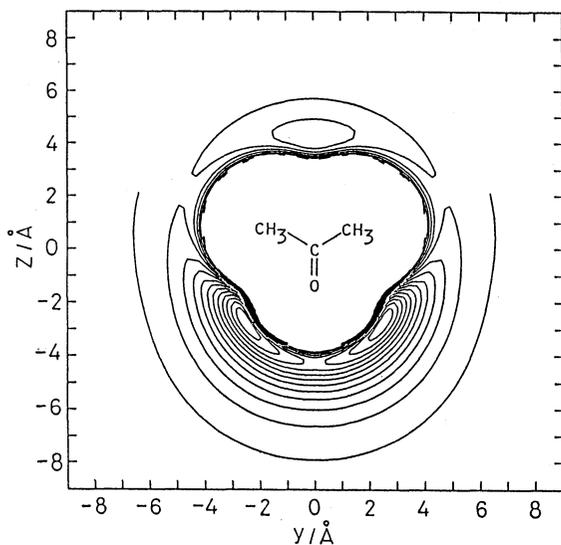


図1. アセトン-水間の
ポテンシャル等高線マップ

BENZENE-BENZENE $V = \sum \{A_{ij}/r_{ij} + B_{ij}/r_{ij}^4 + C_{ij}/r_{ij}^6 + D_{ij}/r_{ij}^9 + E_{ij}/r_{ij}^{12}\}$

i, j	A_{ij}	B_{ij}	C_{ij}	D_{ij}	E_{ij}
C-C	0.518741472601	-0.547395386202	-0.360753495703	0.394856192105	0.629341896906
C-H	-0.518741472601	0.380740661902	-0.296197744703	0.334185071104	0.581509201005
H-H	0.518741472601	-0.274220231502	0.212782161002	0.155119385504	0.567301879604

表2

ベンゼン+ベンゼン及び
メタノール+ベンゼンの
ポテンシャル関数と係数
の最適値

BENZENE-METHANOL $V = \sum \{Q_{ij}/r_{ij} + A_{ij}/r_{ij}^3 + B_{ij}/r_{ij}^6 + C_{ij}/r_{ij}^{12}\}$

i, j	Q_{ij}	A_{ij}	B_{ij}	C_{ij}
C-O		-0.436027181402	-0.462718712803	0.805064194306
-H	-0.113312656702	-0.402767496001	-0.121413466503	0.143924195406
-M	-0.192472678802	0.444445480902	-0.487627158303	0.358550999807
-L	0.152892667802			
H-O		0.371396863902	-0.193922040603	0.118692378905
-H	0.113312656702	-0.617626294501	0.174656262903	0.162677921205
-M	0.192472678802	-0.277775784402	-0.391700962803	0.573438663806
-L	-0.152892667802			

$R_{OL} = 0.831728637800$ (O-L間距離)

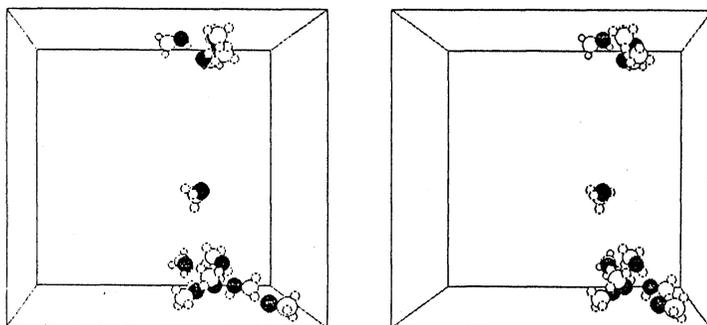


図2 ベンゼン+
メタノール溶液中の
メタノール分子(11
個)の分布

一に分布させ、160 万ステップまで計算した。これによってエネルギーはほぼ定常に達している。計算結果により、メタノールの溶液中での分布を見ると、80万ステップ付近ですでにメタノール分子のうち7個は自己会合してクラスター状となっている。定常状態に達したと考えられる100 万ステップ以後では9個のメタノール分布がゆるい結合のクラスターを形成している(図2参照)。すなわち、メタノールのモノマー分率は10%程度でありこのことは、分光学的に知られている結果とよく対応している。分子対相互作用エネルギーの分布を見ると、メタノール間の相互作用エネルギーは -10 から -25 kJ/mol の間にブロードに分布しており、中心は -17 kJ/mol 付近にあることがわかった。

この系は典型的な会合溶液であり、メタノールの会合はlyophobic interaction とよばれるべきもので、疎水性相互作用との関連で興味があり、次年度にも引き続いて、若干の異なるメタノール組成での計算を予定している。

4. 発表・出版実績又は予定

- 1) M. Takamiya & K. Nakanishi, Fluid Phase Equilibria, 41, 215(1988).
- 2) K. Kinugawa & K. Nakanishi, J. Chem. Phys., 89, 5834(1988).
- 3) 中西浩一郎, 現代化学, No.215, 21(1989).
- 4) 中西浩一郎, 田中, 山本編「計算物理学と計算化学」, 第9章, 海文堂, 1988.
- 5) K. Nakanishi, Proc. Int'l. Sym. Supercritical Fluids, Vol. 1, 217, Nice, 1988.10.
- 6) 高宮正昭, 中西浩一郎, 第二回分子シミュレーション討論会, 1988.12, 東工大
- 7) 稲田勲, 田中秀樹, 中西浩一郎, 同上
- 8) 足達義則, 中西浩一郎, 日本化学会年会, 1989.4, 同志社大
- 9) 田中秀樹, 中西浩一郎, 同上

表1. アセトン無限希釈水溶液のポテンシャルエネルギーと純水のポテンシャルエネルギー

系	T	E _t	E _w	E _a
アセトン水溶液	297.09	-42.21	-42.11	-64.89
純水	301.00	-42.08	-42.08	—

T : 系の温度 (K)

E_t : 全系のポテンシャルエネルギー (kJ mol⁻¹)

E_w : 水のポテンシャルエネルギー (kJ mol⁻¹)

E_a : アセトンのポテンシャルエネルギー (kJ mol⁻¹)

分 CD1 施
実 10,924
許 11,200

分子動力学シミュレーションによる 熔融塩の輸送現象及び構造の研究

Transport Phenomena and Structure of Molten Salts Studied
by Molecular Dynamics Simulation

○岡田 勲、岡崎 進、巾崎潤子、遠藤 聡、大鳥範和、松本守彦、堀之内洋（東工大総理工）

1. 研究目的・内容

主としてクーロン相互作用の支配するイオン性液体である熔融塩を対象として、その静的及び動的性質を分子動力学計算により分子論的に明らかにすることを目的として、熔融LiOH並びにLi₂O-SiO₂ガラス融体に対する分子動力学シミュレーションを行った。ここでは、NO₃⁻イオン等他の多原子イオンと比較して、質量、慣性モーメント、大きさがかなり小さく、また一方で大きな双極子モーメントにより対金属イオンとの相互作用に大きな異方性を有しているなど、融体におけるイオンの動力学を議論していく上で最も興味深い粒子のひとつであるOH⁻イオンに注目し、特に偏光ラマン散乱測定からの回転緩和と関連させながら、融体中のイオンの並進、回転の動力学を中心に報告する。

2. 研究方法・計算方法

rigid rotor modelでのMD計算におけるLi⁺-OH⁻イオン間ポテンシャルに関しては、MD計算からのものを、経験的に多少修正して用いた。計算は、Li⁺イオン、OH⁻イオン各256個、合わせて512個のイオンに対し、通常通り周期境界条件のもとでpredictor corrector法を用いNEVアンサンブルで行った。時間ステップは0.25 fsであり、5000~16000ステップについて平均をとった。温度は767 Kであった。

3. 研究成果

系のポテンシャルエネルギーは-1091 kJ/molであり、これは実験値-1024 kJ/molとよく一致した。また、動径分布関数 g_{Li-O} の第一ピークの位置も1.95 Åであり、常温の結晶における値1.96 Åと比較して妥当である。

Fig. 1にLi⁺イオン並びにOH⁻イオンの並進の速度自己相関関数の結果を示す。図から明らかのように、Li⁺イオンの速度自己相関関数は一見して周期の異なるふたつの波の重ね合わせからなっており、Li⁺イオンの並進運動には、定性的に言って周期の速い振動モードと周期の遅い振動モードの二種類があるということを示している。これらのことは、相関関数の第一極小値が-0.5近くにも及び、長時間にわたって単一の振動構造を有する熔融LiNO₃や、水溶液中のLi⁺イオンの挙動とは大きく異なっており興味深い現象である。ここで、周期の速い方の振動モードは、この並進の速度自己相関関数及びOH⁻イオンの角速度の自己相関関数のpower spectrumの比較から、後に述べるOH⁻イオンの振子運動と大きな相関を有していることがわかる。

Fig. 2には、MDから求めたOH⁻イオンの回転に関する自己相関関数 $1/2\langle\cos^2\theta(t)-1\rangle$ を示す。ここで、 $\theta(t)$ は回転角であり、時刻0におけるOH軸と、時刻tにおけるそれとのなす角である。図には、偏光ラマン散乱測定からの結果も同時に示している。両者の一致は満足できるものであり、実験に基づく解析もMD計算も真実に近い妥当な結果を与えているものと結論づけることができる。この系に対しても、一般によく示されているように、小さなtにおける速い緩和と大きなtにおけるそれよりゆっくりした緩和のふたつの過程が示されている。ここで注目すべきことは、小さな

tにおける緩和が他の系と比較して極めて大きなこと、さらには明確に振動的挙動を示していることである。特に、後者は、他の系では見られない特異なふるまいである。そこで、OH⁻イオンの回転運動をより詳細に検討するために、ある時刻を基準として、各イオンごとに $\cos\theta(t)$ の時間展開を求めた。あるOH⁻イオンに対する結果をFig. 3に示す。明らかにイオンの回転運動は、速い周期の大きな振動構造を有している。これは、図中に同時に示してある、MD計算に基づく768 Kの熔融LiNO₃（実際は多少分解する）におけるNO₃⁻イオンの回転挙動とは相当異なっている。また、OH⁻イオンの角速度の自己相関関数をFig. 4に示す。この図においても一周期40~50 fs程度の速くて大きな、そして長時間にわたる振動的な挙動がよく示されている。これは、OH⁻イオンの振子運動ないしは歳差運動に基づくものであろうが、このような周期の速い大きな振動回転は、その慣性モーメントが極めて小さい（NO₃⁻イオンの約1/42）こと、また金属イオンとの相互作用において大きな異方性を有していることなどによるものと考えられる。一方、Fig. 3より、さらに長い時間スケールにおいてながめると、OH⁻イオンは、振動回転しながら、比較的ゆっくりと回転している。つまり、自由回転（~20 fs）とそれに引き続く衝突の繰り返しをもって、大きな時間スケールでの回転運動を形成しているわけである。このことは、J-あるいはM-extended modelの妥当性がある程度支持するものである。

4. 発表・出版実績または予定

- 1) Baluja, 遠藤, 岡田, Z. Naturforsch. 43a, 1065(1987).
- 2) 岡崎, 岡田, J. Chem. Phys. 90(1989). 印刷中
- 3) 遠藤, 岡田, Z. Naturforsch. 投稿中
- 4) 岡崎, 大鳥, 岡田, J. Chem. Phys. 投稿予定
- 5) 巾崎, 岡田, J. Non-Cryst. Solids 投稿予定
- 6) 岡崎, 大鳥, 岡田, 第2回分子シミュレーション討論会, 63年12月, 東京
- 7) 巾崎, 岡田, 日本化学会春季大会, 元年4月, 京都

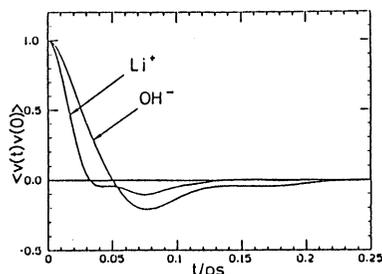


Fig. 1 Velocity autocorrelation functions for Li⁺ and OH⁻ ions in molten LiOH at 767 K.

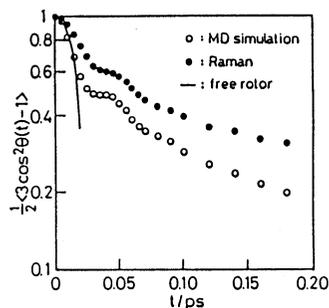


Fig. 2 Calculated and observed rotational autocorrelation functions of OH⁻ ions in molten LiOH at 767 K and 773 K, respectively.

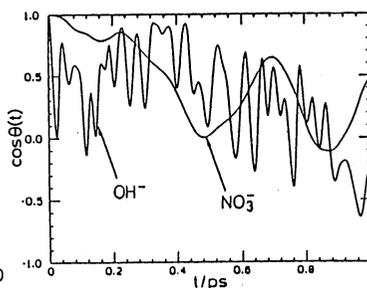


Fig. 3 Time evolution of $\cos\theta(t)$ for arbitrarily selected OH⁻ and NO₃⁻ ions in molten LiOH and LiNO₃, respectively.

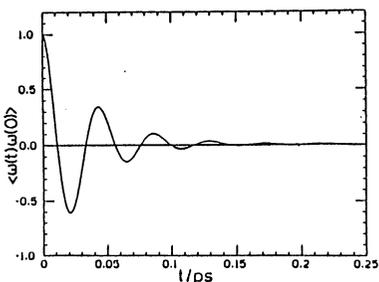


Fig. 4 Angular velocity autocorrelation function of OH⁻ ion in molten LiOH at 767 K.

分 CD5 施	
実	24,391
許	45,600

分子の電子状態に関する理論的研究

Theoretical Studies of the Electronic Structure of Molecules

○西本五助(阪市大理)、北浦和久、甲斐栄子、田中英次、荒川透、横井克典、錢福橋、本多一彦、大田芳久、福富信也、村形哲伸

1. 研究目的および内容

① 水素結合系におけるプロトン移動の機構と外部場の影響の研究の一環として、本年度は reaction field 法による溶媒効果の研究をした。

② 液体、固体中分子クラスターモデルのシミュレーションに依る分子間ポテンシャル関数を提案したが、本年度はこれを band についで transferable に作るように発展させた。

③ 液体 HF の特異な熱力学的性質の原因を説明するためにモンテカルロシミュレーションを行い、得られた結果を参考にして分配関数を導くことにより種々の熱力学量を求め、この液体の特異性が分子間ポテンシャルによることを示すことにした。

2. 研究方法・計算方法

上記①、②、③の各テーマについて以下の方法を用いた。

① 多原子分子に適用された Born の水和数、 $E_{\text{int}}^{\text{sol}}$ は次式で書かれる。

$$E_{\text{int}}^{\text{sol}} = -\frac{1}{2}(1-\epsilon^{-1}) \sum_A \sum_B Q_A Q_B / R_{AB} = -\frac{1}{2} \sum_A V_A^{\text{R}}$$

$$V_A^{\text{R}} \equiv \sum_B (1-\epsilon^{-1}) Q_B / R_{AB} \quad ; \quad V_A^{\text{R}} : \text{reaction field.}$$

ϵ は溶媒の誘電率、 Q は原子の net charge、 R_{AB} は原子間距離である。これを CNDO 方法と組み合わせ、reaction field を含めた分子軌道計算を行うプログラムを作成した。

② 昨年報告した tail を単純に無視した LMO を用いる方法は限界があることが分かった。LMO を Löwdin の直交基底に変換して tail をカットし、それと自分子の対応する band に埋め込んだ Löwdin 逆変換を行う方法に改良した。この方法により、目的分子の LMO に極めて近いポンドオ-ビタルを得ることができ、分子対毎に最適化した band-band 相互作用ポテンシャルをほぼ同程度の精度を持つ分子間ポテンシャル関数を導くことができた。

③ 我々が提案した分子間ポテンシャル関数を用い、単次元格子 125 分子、メトリック スクエアリング法でモンテカルロシミュレーションを行い、平衡に達するまでの 10,000 ステップ (125 x 10,000 CPU) を増え、その後の 10,000 ステップを統計平均を行い、分配関数の 10 桁までを決定するために 3 通りの密度に ついて各々温度をかけたシミュレーションを行った。

3. 研究結果

① 前年度はクラスターモデルで溶媒効果の研究したが、最近距離を考慮するに限りがあるため、本年度はまず第一に reaction field モデルに基づいて、溶質-溶媒相互作用を考慮したモデルハミルトニアンを用いて分子軌道計算を行った。ホムブアミド二量体プロトン移動が生成されたイオン対は溶媒の分極による大きく安定化する。プロトン移動のエネルギー曲線は double well となり、その居性化障壁は溶媒の誘電率に大きく依存することが明らかとなった (図 1)

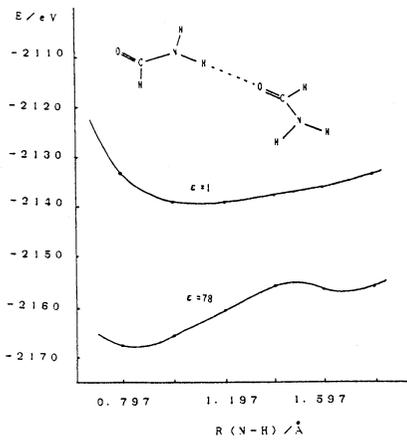


図1. ホルム酸二量体のプロトン移動のポテンシャルエネルギー曲線。

	OH	OH*	$\sigma=4$	$\sigma=6$
H ₂ O	1.08	0.72	2.85	0.0
CH ₃ OH	1.30	2.59		
EtOH	1.06	0.86		
tBuOH	5.96	4.08		

	CH	CH*
CH ₄	1.00	1.35
CH ₃ OH	1.31	6.58
EtOH	1.00	1.35
tBuOH	5.45	4.33

表. LMO と BO の比較.
OH, OH* などは OH 結合の結合性, 反結合性軌道を示す。

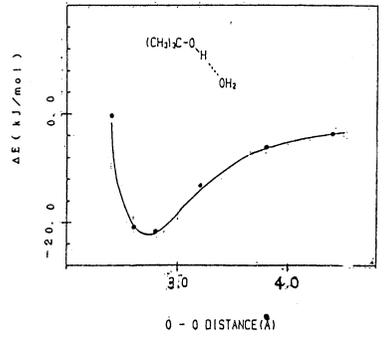


図2. (CH₃)₃COH...H₂O のポテンシャルエネルギー曲線。○は ab initio (STO-3G). エネルギー単位は kJ/mol. 距離は Å.

② 表1. 分子の LMO (中) と、標準分子の LMO を目的分子に埋め込んで求めた近似的 LMO (ボンドオービタル, BO) と比較したものである。OH ボンドの BO は H₂O 分子、CH ボンドの BO は CH₄ を標準分子とした。表中の数値は $(\int(\text{中})d\tau)^2 \times 100 (\%)$ を示す。LMO と BO の差異は数%程度であり、BO が極めど LMO に近いことが分る。図2は、標準ボンドの bond-bond 相互作用ポテンシャルを用いた (CH₃)₃COH...H₂O のポテンシャルカーブを計算した結果を示す。ab initio エネルギーを良く再現したことが分る。

③ m 分子系のエネルギーを以下のように表す。

$$E = E_0 \cdot N_H + m \cdot E + \sum_{j=1}^m (\eta_j + \nu_j) h\nu_j$$

N_H は結合 (水素結合) の本数で E₀ は結合1本当りのエネルギー、E は密度12のみ依存する background エネルギーで、中項は振動子のエネルギーである。分配関数は2項3項の種と分る。

$$Z_0 = \sum_{N_H=0}^{\text{MAX}} g_{N_H} \exp(-E_0 \cdot N_H / kT)$$

$$Z_p = \exp(-E_0 / kT)$$

$$Z_0 = \prod_{j=1}^m \left\{ 1 / \sinh(h\nu_j / 2kT) \right\}$$

g_{NH}, E₀, E, 中項などはポテンシャルは MC の結果を再現するように決定された。通常に大きな kT は "結合項" の寄与は小さい。

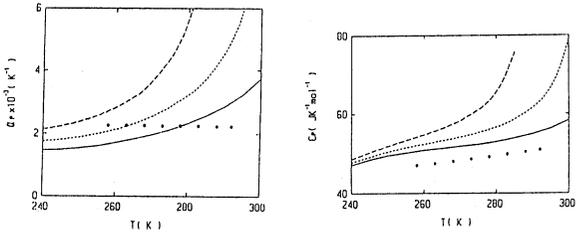


図3. 分配関数から求めた定圧熱容量 Cp, 定温圧縮率 Kt と実験値(○)の比較。—, ---, ····· は理論値である。振動子項は対応近似をとり分る。

大田, 西本, 田中, 馬場 彰本, Bull. Chem. Soc. Jpn., 投稿中. 梶井, 西本 Chem. Phys. Lett. 144, 353 (1988)
長村, 竹内 西本, Bull. Chem. Soc. Jpn., 61, 3389 (1988). 梶井, 梶井, 西本 西本 Chem. Phys. 125, 269 (1988)
本多, 北村, 西本 分子構造総合討論会 (1988年10月(東京), 村形, 北村, 西本, 同左
福富, 大田, 西本, 同上

分	CD7 施
実	8,211
許	8,400

反応中間体および遷移状態の電子状態の分子軌道法による計算

A Calculation on the Electronic Structures of Reaction Intermediates and Transition States by Molecular Orbital Methods

○山西英之, 中田尚男, 石小蘭, 藤川千枝, 岡庭博之 (愛知教育大)
 桜井寛, 武田直仁 (名城大)

1. 研究目的・内容

種々の化学反応における中間体や遷移状態等の電子状態を分子軌道法を用いて計算し、その構造・性質の検討を通して、反応メカニズムの理論的アプローチを行うことを目的としている。本年度は主に、マズスペクトロメトリーにおけるフラグメントイオン形成の理論的検討の一環として(i)~(iii)、さらに有機合成反応における立体選択性の理論的検討として(iv)について研究した。

2. 研究方法・計算方法

種々のイオンや遷移状態等の構造推定を行うとともに、反応のポテンシヤルエネルギー曲線やMO計算で得られる諸量等を用いてフラグメントイオン機構を検討し、また、立体選択性には振動論やポテンシヤル近似を用いた検討を行った。今回の報告書の範囲では、計算方法として ab initio 法 (GAMESS), MINDO/3 法, CNDO/2 法および INDO 型錯体計算法を用いた。

3. 研究成果

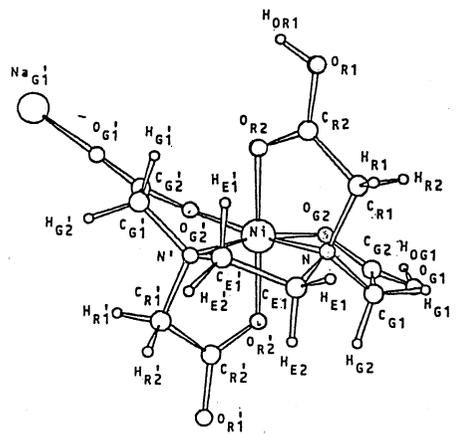
i) フラグメントイオンおよびペリダジンから生成するニトロ陽イオンの構造推定とフラグメントイオン

ペリダジンおよびペリダジンは電子イオン化により共にニトロ陽イオンとなりうすが、閉環構造をとっているときは、窒素原子の非共有電子対から電子が1つずつとれたペリダジアルとして構造が推定された。一方、開環構造をとるときは、窒素原子は形式上の陽電荷をもち、炭素原子と同じ共道混成となることが示された。フラグメントイオンにおいても、形式上の陽電荷は窒素原子が引き受けやすい形の構造の結合様式が示され、窒素原子を2個含む場合は窒素原子間の距離が離れたほうが安定である。

さらに、アリルカチオン型共役が関与するイオンは著しく安定になることが示された。

ii) Ni edta 錯体の FAB MS におけるフラグメントイオン機構

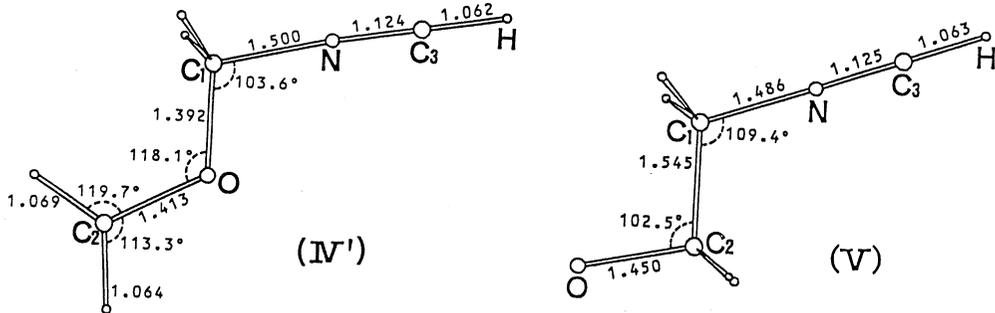
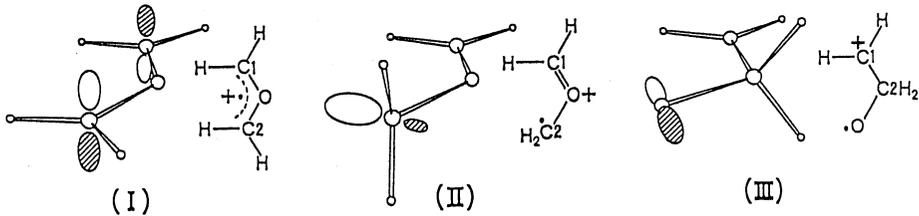
Ni edta 錯体の Na⁺ 付加体を分子イオン種とし、Na⁺ 付加位置の予測とともに、そのイオンからの結合断裂位置を結合強度指数を用いて推定した。また、2個の Na⁺ を含む分子イオン種からのフラグメントイオン m/z 132 において、ab initio 法による構造推定から、Na⁺ は O と N の非共有電子対に配位し、環状構造をとって安定化するなどの知見が得られた。



[M + Na]⁺, M: Ni²⁺・Y⁴⁻・2H⁺
 (Y⁴⁻: (-OOCCH₂)₂NCH₂CH₂N(CH₂COO)₂)₂

iii) オキシラン ラジカルカチオンとシアニ化水素との反応におけるディストニックイオンの構造と反応性

オキシランから生成するラジカルカチオンとアセトニトリルとのイオン-分子反応において、 CH_2^+ がニトリル側に転移することが知られている。ニトリルの代りにシアニ化水素を用い、3-21G基底による *ab initio* 計算を行った。反応の第1段階は、イオンと分子の付加体の生成と考えられるが、オキシランの環状構造を保った付加体イオンの存在は不安定となるものと予想され、付加反応の過程で、オキシランの南環型ラジカルカチオン (I)~(III) へのシアニ化水素の付加として検討した。(IV) および (IV'), (V) はディストニックイオン (電荷と不対電子が別々の原子に局在するイオン) であり、これらのイオンの反応性の観点から CH_2^+ の転移反応を検討した。



iv) 1,3-双極性付加環化反応におけるサイト選択性

非対称ビリジニウムメタリドと活性アルケンとの1,3-双極性付加環化反応におけるサイト選択性に対する静電相互作用の寄与を検討した。

4. 発表実績

松本, 池見, 小西, 石, 内田, 青山
小西, 藤川
小西, 石, 松本, 内田
藤川, 小西, 中田
岡庭, 小西, 中田, 桜井
黒野, 松下, 横田, 小西, 伊佐

J. Heterocycl. Chem. 25, 689 (1988).
32nd Okazaki Conference, 1988年9月, 岡山市
日化第58春季年会, 1989年4月, 京都府田辺市
質量分析連合討論会, 1989年5月, 東京.

"
"

分	CE	施
実	112,785	
許	120,000	

分子の SCF - CI 計算

SCF - CI calculation of Molecules

○大野公男(北大 理), 佐々木不可止(同), 田中皓(同), 野呂武司(同), 竹下幸一(同)
 長内有(同), 寺嶋秀美(同), 庄田孝行(同), 山本裕一(同), 村上弘(同), 望月祐志(同),
 阪井健男(同), 大槻一雅(同) (1989年4月8日) *学習院大計算センター, + 三菱化成)

1. 研究の目的, 内容

本プロジェクトでは分子の電子状態の研究を主に SCF - CI 法により行っている。
 以下各計算の目的を列挙する。

- i) フリーベースポルフィンの励起状態: Soret帯に對する励起エネルギーに関して, 従来, 実験値と計算値の一致が悪かった。その主な原因を探るため精度の高い計算手法により計算を行う。
- ii) 2, 4ペンタジエナールの励起状態: 我々は以前に視物省レチナールの電子構造を調べた旨の論文, 4ペンタジエナールを取り上げて計算を行ったが, 吸収強度が最も強い値の励起状態(B状態)への励起エネルギーが, 計算値と実験値とで1.6eVも違った。前年度へキサトリエンに対して計算手法の改良を旨として計算を行い, 良い結果を得たので, この手法にならって2, 4ペンタジエナールの計算を再度行う。
- iii) 超伝導物質 YBa₂Cu₃O₇ において, CuO₂ 面内の O の 2p 軌道に空孔が出来るかと言う議論がある。又超伝導のメカニズムに磁氣的相互作用が重要であると考えられている。ここでは 1) CuO₂ 面の O の 2p 軌道に空孔が生じるか, 2) CuO₂ の二次元面と CuO の一次元鎖の部分との相互作用について, Cu₃O₁₂ から分子クラスターを用いて *ab initio* SCF CI 計算を行う。
- iv) 多参照関数 1, 2 電子励起 CI の枠内に 4 電子励起の効果を近似的に取り込んだ方法を定式化して, プログラムを作成する。

2. 計算方法

計算の大部分は JAMOL3, MICA3 を用いて計算を行った。上記 iv) については既成の CI と異なるので, ここではその方法について概略を述べる。

参照関数を $\{\varphi_a\}$, そこからの 1, 2 電子励起関数を $\{\psi_i\}$, 残りの多電子励起関数を $\{\psi_s\}$ とする。これら関数の組は規格直交の完全系をなすとする。以下インデックス a, b, c, \dots が参照関数, i, j, k, \dots が 1, 2 電子励起関数, s, t, u, \dots が 3 電子励起以上の多電子励起関数を示すのに用いる。参照関数空間, 1, 2 電子励起関数空間, 多電子励起関数空間への射影演算子を P, Q, R とする。以下では参照関数を零次の関数, 即ち主要な関数とする真の波動関数 Ψ_a を考える。真の関数 Ψ_a は

$$\Psi_a = \sum_b \varphi_b \alpha_{ba} + \sum_i \psi_i \beta_{ia} + \sum_s \psi_s \gamma_{sa} \quad (1)$$

と表わされる。

ここではその関数を

$$\Psi_a = \sum_b \{ \varphi_b + \sum_i \psi_i C_{ib} + \sum_s \psi_s D_{sb} \} \alpha_{ba} \quad (2)$$

と表す。ここで $\{C_{ib}\}$ $\{D_{sb}\}$ は

$$\sum_b C_{ib} \alpha_{ba} = \beta_{ia}, \quad \sum_b D_{sb} \alpha_{ba} = \gamma_{sa}, \quad (\text{全ての } a, i; s=1,2) \quad (3)$$

の解として一意的に定義される。電子のハミルトニアンを H とし

$$(H - E_a) \Psi_a = 0 \quad \text{を } P, Q, R \text{ 空間の各要素に射影して}$$

$$\sum_b \{ H_{cb} + \sum_i H_{ci} C_{ib} - E_a \delta_{cb} \} \alpha_b^a = 0, \quad (4)$$

$$\sum_b \{ H_{jb} + \sum_i H_{ji} C_{ib} + \sum_s H_{js} D_{sb} - E_a G_{jb} \} \alpha_b^a = 0, \quad (5)$$

$$\sum_b \{ \sum_i H_{xi} C_{ib} + \sum_s H_{xs} D_{sb} - E_a D_{xb} \} \alpha_b^a = 0. \quad (6)$$

を得る。この方程式を厳密に解く事は勿論不可能である。ここでは以下に示すレーリー-シレディングナーの摂動法を用いて、(5)、(6)に於いて $\{C_{ib}\}$ と $\{D_{sb}\}$ を木の式を導出する。

H は非摂動項 $H_0 = PHP + QHQ + RHR$, 摂動項 $V = PHQ + QHP + QHR + RHQ$, と分けて $H = H_0 + \lambda V$ とし、又 $H_{ab} = H_{aa} \delta_{ab}$ と対角化されていると仮定する。

$$C_{ia} = \sum_{n=1}^{\infty} \lambda^n C_{ia}^{(n)}, \quad D_{sa} = \sum_{n=2}^{\infty} \lambda^n D_{sa}^{(n)}$$

$$\alpha_{ab} = \delta_{ab} + \sum_{n=2}^{\infty} \lambda^n \alpha_{ab}^{(n)}, \quad E_a = H_{aa} + \sum_{n=2}^{\infty} \lambda^n \Delta E_a^{(n)}, \quad (7)$$

と置いて、

$$\sum_i (H_{aa} \delta_{ji} - H_{ji}) C_{ia}^{(1)} = H_{ja}, \quad C_{ia}^{(2)} = 0,$$

$$\sum_i (H_{aa} \delta_{ji} - H_{ji}) C_{ia}^{(3)} = \sum_s H_{js} D_{sa}^{(2)} - (\sum_i H_{ai} C_{ia}^{(1)}) C_{ja}^{(1)} - \sum_{b \neq a} \sum_i H_{bi} C_{ia}^{(1)} G_{jb}^{(1)},$$

$$\sum_s (H_{aa} - H_{xs}) D_{sa}^{(2)} = \sum_i H_{xi} C_{ia}^{(1)}, \quad D_{sa}^{(3)} = 0, \quad (8)$$

と、 C と D の3次までを定義する式を得た。(8)の最初の式は1, 2電子励起関数に対する線形代数方程式であり、3番目の式もそうであるが $D_{sa}^{(2)}$ を必要とする。 $D_{sa}^{(2)}$ は4番目の式が定義するが、解く事は不可能である。ここでは $D_{sa}^{(2)}$ の内、3, 4電子励起に対して結合電子対近似(CEPA)様の近似を行い、更に高次励起の項を無視して、各 a 毎に、1, 2電子励起空間に対して $C_{ia} = C_{ia}^{(1)} + C_{ia}^{(2)} + C_{ia}^{(3)}$ が従うCEPAに良く似た方程式を導出した。この C_{ia} を(4)に代入して E_a, α_{ab} が求められる。以上道筋のみ述べた。プログラムはMICA3を改造して作成した。

3. 研究成果

1) フリーベースポルフィンの励起状態; ポルフィンの $Soret$ 帯に関して、いくつかの励起エネルギーの計算があるが、実験値との一致は要がった。その原因としては用いた基底関数が最小基底関数系、或いはそれに振がった軌道を加えた程度の簡単なものであり、不充分である事が考えられる。更に計算はCIによっているが、 π 軌道内の励起に限られたもの、或いは0電子の励起を含めてもCIの近似度としては程度の低いものであった。そこで、我々はこの二点を改善した計算を行った。基底関数としては Duijneveldt の基底関数から split valence の基底を作り、各ピロール環中心に振がった $p\pi$ 軌道を加えた。まず基底状態に対する SCF 計算を行い、その電子配置からの1電子励起 CSFs による自然軌道繰り返し計算を行い、励起状態記述するのに適した MO & 参照関数を選択を行った。基底状態の計算には SCF 関数を参照関数とした。これらの参照関数からの1, 2電子励起 CI を行うが、効率良く計算を行うために、2,5-dimethylmaleopyrrole の計算から得られる自然軌道(NO)を基にして、CNO (composit Natural orbital) 法により相関記述に重要と考えられるMOを作成して計算を行った。結果を次頁の表1に示す。 π CI は π 軌道の中での外電子が励起する CSFs からなる CI、 $\sigma\pi$ CI-1 は σ から

1つの電子の励起を含むCI, $\sigma\pi$ CI-2 は σ からの2電子励起を含むCIである。
 本計算においてはC, Nの1S及び2Sに相当するMOは凍結殻として扱っている。長嶋に

表1 フリーベースポルフィンの励起エネルギー(eV)

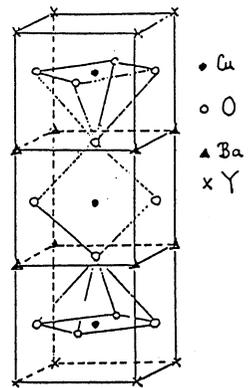
	π CI	$\sigma\pi$ CI-1	$\sigma\pi$ CI-2	exptl
Q bands $^1B_{2u}$	2.27	2.75	1.97	2.02
$^1B_{2u}$	3.48	3.25	2.66	2.39
(Soret) $^1B_{3u}$	4.27	4.44	3.41	3.15
$^1B_{2u}$	4.50	3.95	3.24	3.15

より最小基底による π CIの結果は上から2.25, 3.45, 4.65, 5.23と本計算の π CIとほとんど差がない。本計算と実験値とを比べると $\sigma\pi$ CI-1は π

CIに比べて改善されるものと、多少改善になる状態があるのに対して、 $\sigma\pi$ CI-2は実験と大変良い一致を与える。従ってCI計算において σ の2電子励起を含む事が大変重要であるとの結論を得た。

ii) 2, 4ペンタジエナルの励起状態: 我々は以前にペンタジエナルの計算を行ったが、強吸収の励起状態Aの励起エネルギーが実験値4.6eVに対して計算値6.2eVと、1.6eVも差が出てしまった。そこで前年度は計算手法の改善(基底関数, CIの近似法の精度を上げる)を計る計算と実験値が多い等電子系ヘキサトリエンに対して行った。その結果は前年度報告通り、実験値と計算値の大変良い一致を得た。そこで、2, 4ペンタジエナルについても、ヘキサトリエン同様の手法で計算を行った。その結果、得られた励起エネルギーは5.9eVであった。前回の計算からペンタジエナルの問題となっている励起状態はNO iterationによって約0.3eV励起エネルギーが低下する事を考慮してその分を差し引いても5.6eVとなり実験値とは1eV合わない。この不一致は一つに実験値が気相での実験によるものでなく溶媒効果を全くない事、更に励起状態の平衡構造が基底状態のそれとかなり異なっている可能性があって、その結果このように大きな違いが出たのではないかと推測している。

iii) 超伝導物質 $YBa_2Cu_3O_7$: この系については右図に示すクラスターを取り、CuとOにsplit valence基底関数を用いたSCF及びCI計算を行った。YとBaは実電荷が近似し、その電荷は $\Delta Y = 1.2$, $\Delta Ba = 0.8$ とし、電子数は199として扱った。このクラスターの辺から電子が取りやすいかを調べる目的でイオン化エネルギーを求めたが、両端の CuO_2 からなる2次元面の酸素p軌道から取りやすいとの結果を得た。そのイオン化エネルギーは ΔCI で0.2eV, ΔSCF で3.8eVと電子相関を取り入れることが大変重要である事が示された。この2p軌道は CuO_2 面内においてCu-O軸に垂直な軌道(いわゆる $p\pi$)である。この事から2次元面の酸素の $p\pi$ 電子は動きやすく、bulk状態を考えると、 $p\pi$ hole outならず $p\pi$ holeも考慮に入れる必要がある事を示唆している。上図クラスターの安定状態の電子構造は銅のd軌道に各1つのholeが来、更に(a)中間層Cu-O鎖の酸素p軌道、或いは(b) CuO_2 面とCu-O鎖を橋渡しする酸素p軌道に空孔が出来る。超交換相互作用も記述出来る簡単なCI計算によって種々のスピンの状態のエネルギーを計算した結果、上記a, bいずれの場合にも両端の2次元面銅スピンと中間層Cu-O内のスピンの結合は弱く、スピン結合が変る事による励起エネルギーはa, b各々の場合ごとに約 170cm^{-1}



と 25 cm^{-1} である。この値は大変小さく、絶対値そのものは信頼出来ないが、兩者間のスピン結合はゆらぎや小事を示している。YBa₂Cu₃O_{6+x} 結晶において約 405°K と 40°K に磁氣的相転移が起り、両者は面内のスピントラストレーションに起因しているとの説があるが、この結果はその説とのかかわりがある可能性が高いと思われる。

4. 発表、出版実績の予定

i) 学会発表

- 1) 望月祐志, 田中皓, 大野公男; 日本化学会, 1988年9月, 仙台,
- 2) 田中皓; サ32回, 岡崎コンファレンス, 1988年9月 岡崎
- 3) 庄田孝行, 野呂武司, 大野公男; 同上,
- 4) 阪井健夫, 田中皓, 寺嶋秀美; 分子構造総合討論会, 1988年10月, 東京,
- 5) 館脇洋, 田中皓; 同上,
- 6) 竹下幸一; 同上,
- 7) 竹下幸一, P. K. Mukerjee, 田中皓, 大野公男; 同上,
- 8) 山本祐一, 野呂武司; 同上,
- 9) 村上明德, 同上
- 10) 田中皓, 館脇洋; 東大物性研究会, 1988年12月, 東京,
- 11) 山本祐一, 野呂武司, 大野公男; 分子研究会, 1989年1月, 岡崎

ii) 発表論文

- 1) 望月祐志, 田中皓, 大野公男, 館脇洋, 山本茂義; *Chem. Phys. Letters* 152, 457 (1988)
- 2) 山本祐一, 野呂武司, 大野公男; *Coll. Czech. Chem. Comm.* 53, 2266 (1988)
- 3) 望月祐志, 田中皓, 大野公男, 館脇洋; *Phys. Rev. B*, in press
- 4) 田中皓, 阪井健夫, 寺嶋秀美; 投稿中

分 施
CE6

実 31,719
許 32,000

分子の電子状態と化学反応に関する研究

Study of the Electronic Structure of Molecules and the Chemical Reaction

○平尾公彦（名大 教養）、丹羽淳（名大 教養）、和佐田裕昭（名大 理）、
小峯俊英（名大 理）、小畑繁樹（名大 理）

1 使用したプログラム

SCF計算に関しては、分子科学研究所計算機センターに登録されているGAUSSIAN 80、GAUSSIAN 82 および HONDO 7 を用いた。電子相関の計算に関しては、当研究室において開発したプログラムを用いた。

2 研究成果

(1) 電子間の座標をあらわに含む波動関数

量子化学計算の誤差は、多電子波動関数と一電子関数から来るものである。波動関数の近似では、クラスター展開法やCI法の発展によりその誤差を最小限にとどめる指針がわかってきた。一方、波動関数は一電子関数の汎関数であり、一電子関数は原子軌道で展開される。しかし、基底関数の収束は悪く、これは、部分波の問題として知られている。

われわれは、波動関数の特異点に注目して電子間の座標を含む波動関数を導入することで、電子の軌道という簡潔な描像を保持したまま、基底関数系からの誤差を評価する理論を開発した。摂動論に応用した結果では、原子については厳密解の98%に近い値が算出されている。

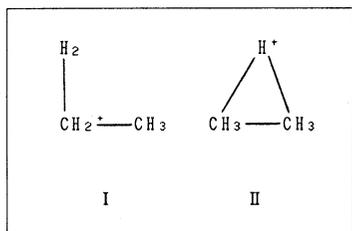
(2) アンモニア二量体の理論的研究

アンモニア二量体は、水の二量体との類推から、linear構造であろうといわれてきたが、最近、これに疑問を投げかける実験結果が相次いで報告されている。本研究ではこの点について明らかにするためアンモニア二量体の構造と安定性を計算した。DZPではlinear構造が極小構造であり、cyclic構造は遷移状態であることがわかった。両者のエネルギー差は、わずか0.41Kcal/molでありこの両者を結ぶIRCが存在する。この理論計算の結果から、真の極小はcyclic構造の近くにあり、この極小点付近でのzero-point vibrationを考慮することで様々に対立する実験結果を統一的に解釈できることがわかった。現在、basis set を上げてより精度の高い計算を実行中である。

(3) Protonated ethane の構造異性体の振動解析

Protonated ethaneは、高圧マスマスペクトルおよび理論計算によって図に示す2つの異性体の存在が確認されている。最近Leeらによりこれら異性体の赤外スペクトルが測定され分子構造を反映した情報が得られるようになってきた。本研究においてはI、II両者の基準振

動解析を行いLeeらの実験結果も踏まえた上で、従来理論的にも実験的にも議論のあった両異性体の分子構造についての検討を行った。計算はbasis setとしてDZに分極関数を2つ加えたものを使用しSCFレベルでの構造最適化を行った。この構造を用いてMP2計算を行った。



さらに基準振動解析を行いLeeらの実験結果と比較検討を行った。計算はHONDO 7によった。MP2計算の結果は、IIがIにくらべて2.5kcal/molだけ安定でありさらに高圧下で特異的に生じる 3100cm^{-1} 近傍の吸収は、IIの基準振動解析の結果と一致した。また高圧下でのイオン化エネルギーもIIのそれと一致した。

(4) リン酸エステルの加水分解反応の研究

多くの生体分子に含まれているリン酸エステルの加水分解のメカニズムについて研究を行なった。リン酸エステルの加水分解は、五配位中間体を経て進行すると考えられている。本研究では、リン酸の平衡構造及び加水分解反応における五配位中間体のモデルとしてリン酸と水酸化物イオンとのcomplexをとりあげた。Basis setとして、3-21Gにリン原子上に分極関数を加えたものを用いた。SCF計算の結果、complexには二つの極小構造が存在していることが明らかとなった。さらに、これらの極小構造間を結ぶポテンシャルエネルギー曲線を計算した。得られた極小構造および遷移状態構造において、より精度の高いBasis set (DZ、DZP、DZPにアニオン関数を加えたもの)を用いて計算を行った。その結果、二つの極小構造間のエネルギー差は12.22から16.16 Kcal/molであった。また、エネルギーの高い極小構造から低い極小構造に異性化するために越えねばならないエネルギー障壁は0.50から1.94 Kca/molであり、Pseudorotationによる異性化は、容易に進行することがわかった。現在、リン酸モノアニオン及びリン酸ジアニオンの場合についてもPseudorotation異性化のメカニズムを調べている。これにより、リン酸エステルの加水分解における五配位中間体の役割を明かにしたい。

3 発表・出版実績または予定

- 1 P. Kebarle, G. W. Dillow and K. Hirao, Faraday Discus. Chem. Soc., 85, 23-35 (1988)
- 2 K. Hirao, J. Compt. Phys., 80, 232-242 (1989)
- 3 E. Kawai, K. Kawasaki and K. Hirao, Japanese J. Applied Phys., 28, 247-251 (1989)
- 4 K. Hirao and P. Kebarle, Can. J. Chem., in press
- 5 J. A. Sunner, K. Hirao and P. Kebarle, J. Phys. Chem., in press
- 6 H. Wasada and K. Hirao, Chem. Phys, submitted for publicaton.

分	CF6 施
実	9,710
許	11,200

固体水素中のミューオンの運動

Motion of Muon in solid hydrogen

(東工大理) ○石田義明, 金子一代, 西森 拓, 眞井智宏, 寺門弘訓

1. 研究目的・内容

Barsov 等によって行われたパラ水素からなる固体水素中にミューオンを入射する実験で観測されたスピン緩和の現象を解析する為に、まず第一にミューオンが固体水素中に飛び込んだ時に格子がどういう風に歪んでどのような安定状態になるのかを調べなければならない。固体水素は H_2 分子が互いに結合して HCP 格子を作っているような構造なので、ミューオンは H_2 に捕らえられ $H_2\mu^+$ の束縛状態をとると考えられる。この $H_2\mu^+$ の安定な構造は正三角形になり、これは固い分子を形成する。この $H_2\mu^+$ 分子が HCP の最近接の 12 個の H_2 の中心で振動、回転をしていると思われる。そこで我々は $H_2\mu^+$ のまわりに H_2 を 3 個くっつけた $H_3\mu^+$ を考える。(計算が簡単な為)。振動解析によりスピンと結合するモードを見つける。また回転による磁場や双極子とスピンの相互作用を解析する。

2. 研究方法・計算方法

分子研の GAMESS を使って、 $H_3\mu^+$ の安定な構造を決定し、振動解析をした。

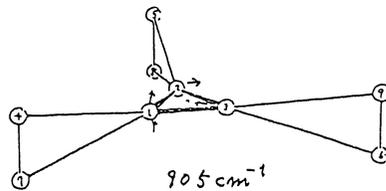
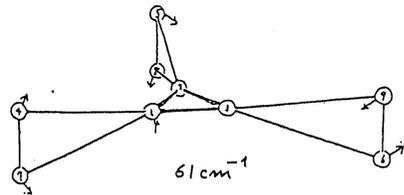
3. 研究成果

この安定な構造は右図のようになり、やはり固い $H_2\mu^+$ のまわりに H_2 が 3 つくっついたようになっている。

振動解析をしてみると一番遅いモードは外側の H-H の振動 (91 cm^{-1}) であり、中心の $H_2\mu^+$ の振動は図のような振動 (905 cm^{-1}) であった。

この振動による双極子相互作用のスピン緩和への寄与が考えられる。

また $H_2\mu^+$ の内部電流による磁場のスピンへの寄与は上述した場合に比べるとかなり小さいことが分かった。



- ・北原，滝本，西田，石田，青柳，岩田：
特定研究中間子科学「関連する物性並びに原子分子の理論」研究会，
S 6 4，1月，大阪

分	CH8 施
実	27,894
許	30,400

遷移金属化合物および合金の電子構造

Electronic Structures of Transition Metal Compounds and Alloys

○ 森永正彦、江崎尚和、斎藤淳一、伊藤涉 (豊橋技術科学大学)

1. 研究目的・内容

分子軌道理論を基にして、従来とは違った立場から金属・合金の物性を調べてきた。本研究では、今まで電子論によりあまり議論されなかった機械的性質の問題を取り上げた。電子構造と機械的性質は一見無関係に思えるが、原子間の結合という点でつながっている。例えば、せん断変形を考えると、変形により元の原子間の結合は切れ、新しい結合が生じることがわかる。この変形の抵抗がいわゆるパイエルス応力である。本研究では、最近注目されている金属間化合物 $TiAl$ の延性改善の指針を得るため、分子軌道計算を行った。

2. 研究方法・計算方法

$TiAl$ は、図1(a)に示すように $L1_0$ 型の結晶構造をとる。合金元素の添加による延性改善の効果を調べるため、この構造を基にして、(b)の Ti 置換型クラスター、 $MTi_{10}Al_8$ および(c)の Al 置換型クラスター、 $MAl_{10}Ti_8$ を考えた。ここで M は合金元素で、 Al 、 Si 、 Mg の他、 $3d$ 、 $4d$ 遷移金属を選んだ。DV- $X\alpha$ 法により、これらクラスターの電子構造を計算し、 M と周りの原子の間の結合の大きさや方向性に注目して解析した。計算には、兵庫教育大学の足立裕彦氏が開発したプログラムを用いた。

3. 研究成果

(1) 合金化に伴う結合次数の変化 図2に、合金元素が Ti 原子と置換したとき、また図3に、 Al 原子と置換したときの結合次数の計算結果を示す。合金元素 M が遷移金属の場合、 $M-Al$ 間、 $M-Ti$ 間の主な結合は、それぞれ $Md-Al p$ 、 $Md-Ti d$ 結合である。そこで図2、3に、これらの結合次数を示した。図中の 'Total' は、それら2つの和である。図2において、 $M=Ti$ は、置換していない純 $TiAl$ の結果である。 Ti 原子を他の $3d$ 遷移金属で置換すると、 $Md-Ti d$ 結合は周期表の順に単調に減少するが、 $Md-Al p$ 結合は、 V で小さなピークを示した後減少している。一方、図3の Al 置換の場合、置換前の $M=Al$ の結果に比べ、 $3d$ 遷移金属(特に Ti 、 V 、 Cr 、 Mn) を入れると、 $Md-Ti d$ 結合は著しく増加している。しかし、 $Md-Al p$ 結合の増加は、それほどではない。

(2) 非化学量論組成と電子密度 $TiAl$ は広い非化学量論組成域をもち、 Ti -rich 側で

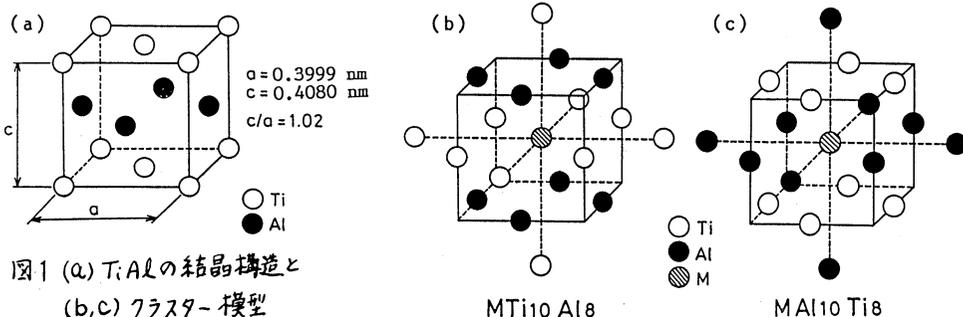


図1 (a) $TiAl$ の結晶構造と
(b,c) クラスター模型

延性がある。組成による電子結合の変化を調べるため、(100)原子面の差電子密度 ΔP_1 , ΔP_2 を計算した(図4)。ここで ΔP_1 , ΔP_2 は次のように定義した。

$$\Delta P_1 = P[\text{AlTi}_{10}\text{Al}_8] - P[\text{TiTi}_{10}\text{Al}_8], \quad \Delta P_2 = P[\text{TiAl}_{10}\text{Ti}_8] - P[\text{AlAl}_{10}\text{Ti}_8]$$

従って、 ΔP_1 は、Al-rich側で、Ti原子をAl原子で置換した場合の、また ΔP_2 は、Ti-rich側で、Al原子をTi原子で置換した場合の電子密度の変化に対応する。図4で実線は、置換により電子密度が増えた領域を、点線は減った領域を示す。図4(a)では、 $\Delta P_1 < 0$ の領域が広がっており、Al原子がTiサイトに入ると原子間の結合が弱まっている。一方図4(b)では、 $\Delta P_2 > 0$ の領域が広がっており、Ti原子がAlサイトに入ると、原子間の結合が強まっている。このように、延性のあるTi-rich側では、原子間の結合(d-d結合)が増えていることがわかる。

(3) 原子間の結合と延性 種々の金属間化合物の機械的性質の実験データを、電子論の立場から考えると、同じ結晶構造でも、p-d結合の大きな化合物は脆く、d-d結合の大きな化合物はよく延びる。これは多分p-d結合の異方性のため、塑性変形の抵抗であるパイエルス応力が高くなり、変形しにくくなるためであるとして理解できる。従って、TiAlにおいて、合金元素の添加により延性を高めるためには、Md-Al p結合を弱め、Md-Ti d結合を高めることが重要である。図2, 3の結合次数の結果から、Ti置換はこの条件に合致しないことがわかる。Al置換の場合、特にTi, V, Cr, Mn, Mg等を添加したとき延性の改善が期待できる。実際このことは、実験により確かめられている。このように電子論に基づいて、金属間化合物の延性改善のための指針が得られた。

4. 発表・出版実績または予定

- (1) 森永, 湯川, 足立, 鎌土 J. Less-Common Metals 141, 295(1988)
- (2) 湯川, 森永, 村田, 江崎, 井上 Superalloys 1988, pp. 225-234
- (3) 森永 昭和63年度科研費研究成果報告書(1989年, 3月)
- (4) 森永, 齊藤, 湯川, 足立 Acta metall. 投稿中
- (5) 森永, 那須, 足立, 齊藤, 湯川 J. Phys. 投稿中
- (6) 伊藤, 齊藤, 森永, 湯川 日本金属学会 1989年 春期大会(横浜) 発表

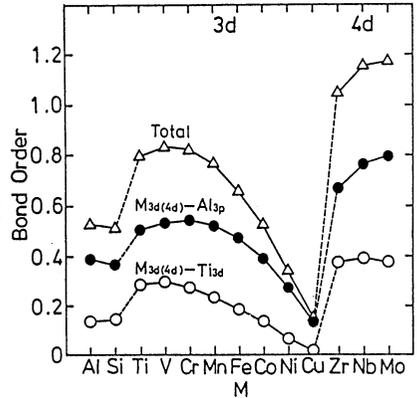


図2 M Ti₁₀ Al₈ クラスターの結合次数

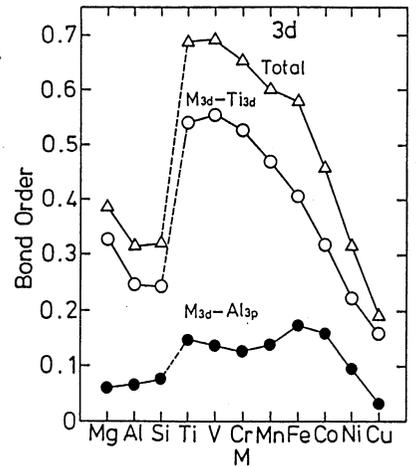


図3 M Al₁₀ Ti₈ クラスターの結合次数

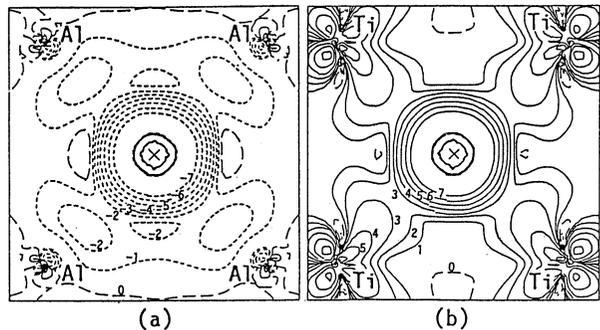


図4 差電子密度分布 (a) ΔP_1 , (b) ΔP_2

るために振動解析も行なった。用いたプログラムはGaussian82である。

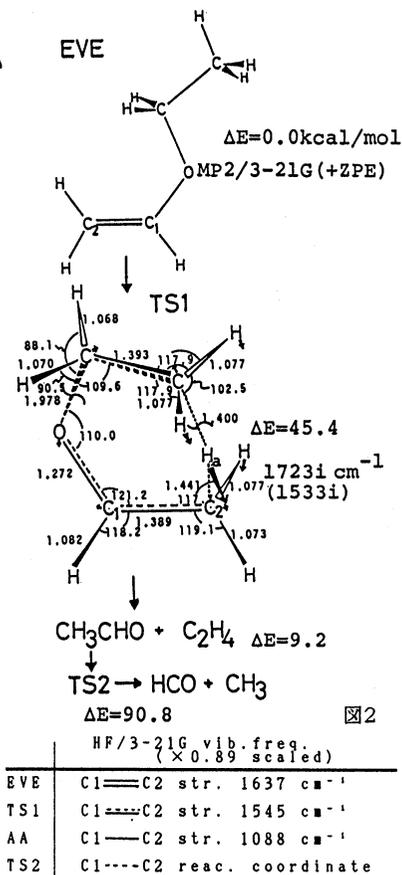
3. 研究成果

EVEには3つの内部回転自由度があるため実験では構造決定が困難であるが計算により構造最適化した結果4つのコンフォメーションを得た(図1)。一方分解に関するいくつかの第一段階の遷移状態を求めた結果、TS(1)であることを確かめた。この構造はtightな6-中心の配置を取り、速度定数を算出した結果 $\log A = 12.3s^{-1}$ 、 $E_a = 43.4kcal\ mol^{-1}$ となり実験結果とよい一致を示している。図2はEVEの分解経路に沿ったstationary pointにおける最適化構造を図示したものである。COが生成し易いということはAAの分解に関するC₁-C₂伸縮振動が充分励起していることを意味する(TS2)。もし第一段階の分解過程で次の反応を、特に励起し易い配置を取るならば、これは定性的に活性化を説明し得るものになる。EVE分解のTS(1)における反応座標に沿った振動モードでは、転移するH原子の変位ベクトルが顕著であるが、回転自由度の大きい鎖状のEVEが遷移状態では非常にtightな構造を取りC₁-C₂も含めて形成された環全体が一時的に活性化されている。またHが転移する際メチル基の回転を促す配置をとるためC₁-C₂が励起され易いのではないと思われる。さらに興味深いこととしてC₁-C₂伸縮振動の振動数の変化を見るとAAに比べてEVEが分解する際に経るTS(1)は $457cm^{-1}$ も過剰に励起されているため、もし生成するAAが熱平衡に達する前に次の分解過程に移行するならば、TS(2)の生成すなわちAAの分解を促進するように思われる。

同様の現象が実験でギ酸エチル、酢酸エチル、ジヒドロピラン等について見られたが第一段階の遷移状態のモードから実験に対する有用な知見が得られている。

4. 発表・出版実績または予定

- 1) 齊藤、榎下、角本、佐々木、今村 J. Phys. Chem. 92, 4371(1988)
- 2) 今村、谷、諫田 J. theoret. Biol. 135, 215(1988)
- 3) 藤、今村、諫田 J. theoret. Biol. 136, 79(1989)
- 4) 今村、叶、竹歳 Bull. Chem. Soc. Japan. 62, 979(1989)
- 5) 鈴木、今村 Int. J. Quantum Chem. in press
- 6) 青木、今村、渡辺 J. Mol. Struct.(Theochem) in press
- 7) 今村、牛尾、加藤、大藤 Tetrahedron 投稿予定
- 8) 下藤、齊藤、今村 J. Phys. Chem. 投稿予定
- 9) 今村、谷、藤 生物物理 28, 42(1988)
- 10) 前川、今村 日本生物物理学会第26回年会 1988年9月名古屋
- 11) 叶、藪下、今村 分子構造総合討論会 1988年10月東京
- 12) 藤、今村 分子生物学会年会 1989年1月分子研



分 〇Lb 施
実 24,792
許 39,200

固体表面と遷移金属の電子状態

The Electronic Structure of Solid Surfaces and Transition Metals

〇寺倉清之（東大物性研），石田浩（東大物性研），朴琦宅（東大物性研），
滝沢聡（東大物性研）

1. 研究目的・内容

密度汎関数における局所密度近似を基礎として、固体のバルクの物性，表面および界面での物性を電子論的に調べる。我々が最近扱ってきた問題は、酸化物高温超伝導体の基礎物性， SiO_2 の高圧相の探索，金属中微量元素による固溶体硬化，貴金属-遷移金属合金の相安定性，金属および半導体表面でのアルカリ吸着などである。適切な計算手法は扱う系および問題に依存しているので、計算手法の開発は常にプロジェクトの中でかなりのウエイトを占めることになる。

2. 研究方法・計算方法

計算方法の共通の基礎は密度汎関数法における局所密度近似である。この基礎の上で、FLAPW法，ASW法，擬ポテンシャル法によって具体的な計算を行った。酸化物高温超伝導体および SiO_2 はFLAPW法で，金属中微量元素および合金の相安定性はASW法で，固体表面のアルカリ吸着は擬ポテンシャル法で扱った。

3. 研究成果

3-1 酸化物高温超伝導体の電子状態

昨年度から引き続き行っている計算であるが、今年度は各原子の状態をより詳しく解析し、ホールが主として存在する軌道を議論した。また、核4重極共鳴で得られる電場勾配の解析を始め、かなりプロミシングな結果を得た。しかしながら、電場勾配は原子の磁気モーメントに強い依存性を持っておるにも拘らず、密度汎関数法での局所密度近似では、高温超伝導体の磁氣的性質を正しく再現できないという深刻な問題がある。この点を含め、プログラムをいくつかの点で補強する必要があることが判明し、今後継続して研究することになっている。

3-2 SiO_2 の高圧相

SiO_2 は地球科学で重要な物質であり、その高圧相についての議論が過去10年程の間に盛んに行われた。ルチル構造が知られている多形の中では最も高密度であり、高圧相と見なされているが、蛍石構造がより高い圧力の下では安定になるのではないかという推測がなされたことがある。しかし、これはその後の電子状態計算で否定された。我々は、60 GPa以上の高圧下では、パイライトと同じ対称性（ P_3 ）を持つ SiO_2 がルチル構造よりもエネルギー的に安定になることを示した。

3-3 Al基合金での固溶体硬化

Alに少量のLiを添加するとヤング率が增大することが見出された。Li添加は合金の比重を小さくするので、Al-Li合金は航空機材料として重要視されている。種々の添加物による弾性の変化を電子論的に調べその機構を明らかにした。

一般的な傾向として、添加によって格子定数が小さくなる場合は固溶体硬化が期待される。興味深いことに、Li金属の格子定数はAlのものより大きい、LiをAlに添加すると格子定数が小さくなる。この結果は擬ポテンシャルの一次摂動理論で説明することができることを示した。

3-4 貴金属-遷移金属合金の相安定性

(Ni, Pd, Pt)のいずれかと(Cu, Ag, Au)のいずれかとからなる9種類の2元合金に対してその相安定性(析出型, 秩序合金形成型, 一様固溶体形成型)を調べた。これらの合金は全て、原子当たりの価電子数は同じであるが、合金相図は種々の変化を示している。これも昨年度からの継続の研究であるが、いくつかの点を補強した。例えば、Cu-Ptの特異なCuPt構造, Cu-PdでのCsCl構造の安定性を議論した。計算結果は実験で知られている相図と非常によく対応を示す。また、合金の生成熱を構成金属の格子定数の相違からくる弾性エネルギーの寄与と、化学結合による寄与に分解することにより、各系の特徴を際立たせることができた。

3-5 固体表面でのアルカリ吸着

固体表面でのアルカリ吸着は古くから研究されてきた対象であるが、電子状態の詳しい解析はごく最近になって行われるようになった。我々は、アルカリ吸着による仕事関数の変化の機構の解明と、それに関連する実験の解析を行った。具体的計算は下地をジェリウムで近似したものから、現実的なAl下地の場合、そして更にSi下地へと発展させてきた。いずれの場合においても、従来のGurneyの描像とは質的に異なる結果を得た。即ち、吸着の量(被覆率)に依らずに吸着原子はほぼ中性であり、仕事関数の被覆度依存性を決めるのは単なる電荷移動ではなく、吸着原子と下地の共有結合の被覆度依存性によることを示した。

4. 発表・出版実績または予定

- 1) 朴琦宅, 寺倉清之, 小口多美夫, 柳瀬章, 池田稔: J. Phys. Soc. Jpn. 57 (1988) 3445.
- 2) 朴琦宅, 寺倉清之, 松井義人: Nature 336 (1988) 670.
- 3) 神藤欣一, 寺倉清之: Phys. Rev. B 39 (1989) 4月号.
- 4) 滝沢聡, 寺倉清之, 毛利哲雄: Phys. Rev. B 39 (1989) 5792.
- 5) 石田浩, 寺倉清之: Phys. Rev. B 38 (1988) 5752.
- 6) 石田浩: Phys. Rev. B 38 (1988) 8006.

分	0.7	施
実	11,846	
許	12,000	

有機化合物のラジカルイオンの電子状態に関する研究

Studies on the Electronic Structure of Radical-Ions of Organic Compounds.

○志田忠正（京大・理）、加藤立久（京大・理）、百瀬孝昌（京大・理）、山口真（京大・理）

1、研究目的・内容

我々の研究室では低温マトリックス法を用いることにより、通常不安定なラジカルイオンを安定に生成し、その分光学的および磁気的情報を得ることができる。本研究の目的は、我々が観測した分子について ab-initio 計算を行い、実験・理論両面からのデータを相補的に取り扱うことによって、1) 実験で得られた新しい事実を分子軌道法の立場から正しく理解すること、2) 多原子分子のラジカルイオンについての計算が現在どの程度実験結果と一致し、未知の化学種についての計算による予測がどの程度信頼できるか、といった ab-initio 計算の適用限界を調べること、および3) 未知の化学種について実際に計算による予測をおこない反応中間体などの同定に役立てる、といった事にある。今年度は特にイオウを含む化合物のラジカル構造および電子状態の計算を行った。

2、研究方法・計算方法

使用した ab-initio 法のプログラムは、IMSPACK（東大、加藤重樹氏所有）、Gaussian82、GAMESS、および SAC85（以上分子研公開）である。

3、研究成果

(1) イオウを含む化合物のラジカル計算

酸素を含む化合物のラジカルに関しては、実験・理論共に今まで数多くの研究がなされているが、イオウを含む化合物のラジカルに関しては研究例がほとんどない。最近我々は、イオウを含む化合物のラジカルイオンの異性化に関する実験的研究を行っているが、その多様性のために反応中間体がほとんど同定できていない。そこでその同定を目的として、反応中間体としてもっとも考えられやすい vinylthio radical (CH_2CHS) についてその構造および電子状態の計算を行った。

イ) 構造 vinyl radical の場合と同様に vinylthio radical においても "doublet instability" の問題がある。実際 RHF 計算を行うと $\text{C}=\text{C}\cdot$ および $\cdot\text{C}=\text{C}$ に対応する両方の構造の所にポテンシャルの安定点が存在する (図 1 参照)。そこで構造を決定するために 3 つの面外 π 軌道に 3 つの電子を配置さ

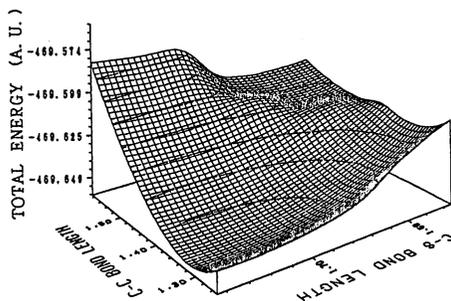


図 1、RHF による CH_2CHS のポテンシャル曲面

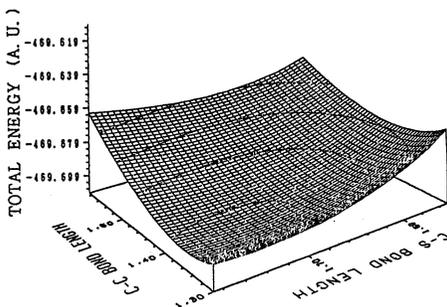


図 2、MCSCF による CH_2CHS のポテンシャル曲面

せたMCSCF計算を行った。(基底関数にはDZに分極関数をいれたものを用いた。)その結果、安定構造はイオウ中心のC=C-S \cdot 構造であり、炭素中心の \cdot C=C=S構造に対応するところには安定点がないことが明らかになった(図2参照)。最適構造はr(C=C)=1.366Å, r(C-S)=1.722Å, <SCC=122.9°である。これはvinoxy radicalが炭素中心のラジカルであることと非常に対照的であり、イオウ原子の特徴が現れている。

ロ) 電子状態 基底電子状態はvinoxy radical同様 $^2A'$ であるが第一励起状態の $^2A'$ がvinoxy radicalに比べてかなり近いところにあり、その断熱的なエネルギー差は約6.3 Kcal/molであることが分かった。表1にはSAC-CI法で求めた励起エネルギーおよび振動子強度を示す。可視領域に3つの励起状態があり、第一励起はn(S)- π (S)、第二励起は π (C)- π (S)、第三励起は σ (CS)- π (S)の性格を持っている。この第三バンドが他のalkylthio radicalで見えている第一バンドに相当する(例えばmethylthio radical(CH₃S \cdot)の第一バンドは3.29eV)。

ハ) 電子親和力 vinylthio radicalに電子が付加した閉殻型アニオンの計算からvinylthio radicalの電子親和力の下限が0.86eVと求められ、十分な電子親和力を持つことから上のアニオンは安定に存在することが分かった。このことはnegative ion mass spectroscopyによってvinylthio radicalのアニオンが観測されているのではないかというS. Moranらの報告を裏付けている。

(2) 等方的超微細結合定数(HFCC)の計算

今までHFCCの計算は非常に困難であるとされてきたが、我々は京大工学部の中辻先生との共同研究により、活性分子の構造を注意深く決定した上でSAC-CI法を用いれば十分に定量的な結果が得られることを示した(J. Chem. Phys. 89, 4185(1988))。今年度は米国のL. B. Knight教授との共同研究によりCH₃F $^{+}$ の水素のHFCCが非常に大きな値をとることに興味を持ちこのカチオンラジカルの構造決定およびHFCCの解析を行った。その結果、この分子の基底状態は 2E でありJahn-Teller効果によって縮退がすこし解け、約0.003a.u. $^2A''$ が安定であることがわかった。さらに実測の水素の大きなHFCCをSAC-CI法により定量的に再現することができ、大きなHFCCを示す原因の考察を行うことができた。

4. 発表・出版実績または予定

百瀬、志田 J. Chem. Phys. 88, 7258 (1988)

百瀬、中辻、志田 J. Chem. Phys. 89, 4185 (1988)

山口、百瀬、志田 投稿準備中

L. B. Knight, T. Momose, T. Shida 投稿準備中

百瀬、志田 Gordon 会議(ラジカルイオン) 1988年6月 Wolfeboro

高橋、百瀬、志田 分子構造総合討論会 1988年10月 東京

山口、志田 第31回放射線化学討論会 1988年10月 東京

百瀬 分子研研究会「スピン化学の新展開」 1988年12月 岡崎

表1、励起エネルギーおよび振動子強度

state	energy(eV)	f
$^2A'$	0.334	0.000001
$^2A''$	3.516	0.029475
$^2A'$	4.204	0.002527

分 施 8 施

実 7,495
許 9,200

有機ラジカルの電子状態のMO計算

Ab initio MO Calculation of Electronic Structures
of Organic Radicals

○山本正夫(奈良女大理)・竹内孝江(奈良女大理)・樋口紀子(奈良女大理)

1. 研究目的・内容

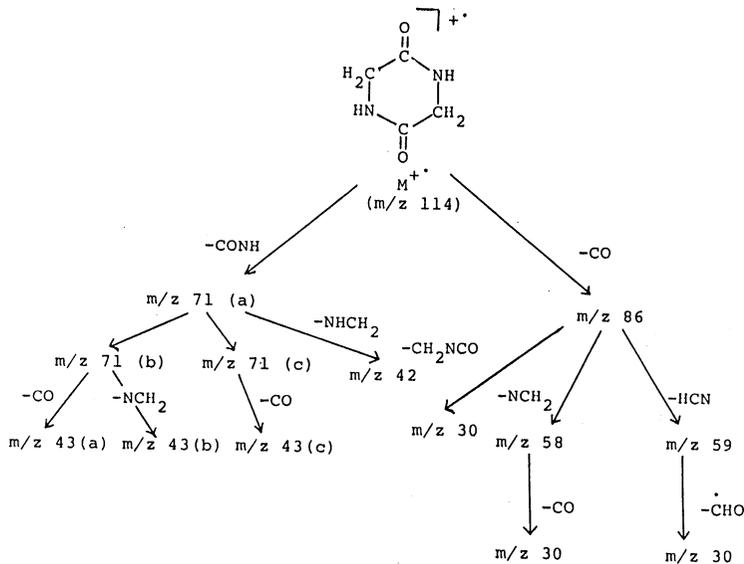
我々は、環状ジペプチドの骨格結合開裂位置を予想する基礎データを得るために、環状ジペプチドを合成し、そのマススペクトルを測定した。環状ジペプチド類のマススペクトルの研究例は少なく、そのフラグメンテーションはSvec, Szafranekらによって若干報告されているに過ぎない。我々も衝撃電子エネルギーを変化させてEIマススペクトルを測定し、さらに70eVでの精密質量測定と、B/Eリンク走査法によるメタステーブルイオンの測定をもとに、フラグメント化機構を研究した。

環状ジペプチドのフラグメンテーションについての理論的研究の第一歩として、cyclo-(Gly-Gly)のフラグメント化機構を ab initio MO 計算により考察した。

2. 研究方法・計算方法

計算は、まず可能な反応機構を設定し、中性分子と分子イオン、生成物および反応経路中に現れる反応中間体、遷移状態の構造を UHF(STO-3G基底)で最適化し、エネルギーは UHF(4-31G基底)で計算した。(Fig.1)

プログラムは INTERPOLATIONのオプションを使うため主に IMSPACKを用い、ラジカル種に関しては、GAUSSIAN80 で ANNIHILATIONを行った。



3. 研究成果

Fig.2 に cyclo-(Gly-Gly) の中性分子と分子イオンの最適構造を示す。両者の結合距離を比較すると、下線を付した N5-C6 の結合距離が、カチオンラジカルになると伸び、隣の C4-N5 結合が短くなっている。bond population も N5-C6 が最小、C4-N5 が最大になった。また、N2-C3-C4-N5 の二面角が約 20° 変化し、N2、C3、C6 のなす平面から N5 だけずれた構造になる。(中性分子では N2、C3、N5、C6 は同一平面上にある。) したがって、変角運動により N5-C6 結合が開裂しやすく、それにより C4-N5 結合の二重結合性が増加し、C3-N4 結合が切れて [M-CONH] の m/z 71 が生成することを、計算結果が示唆している。

また、[M-CO] の m/z 86 も同様に変角で環開裂して生成すると考えられる。

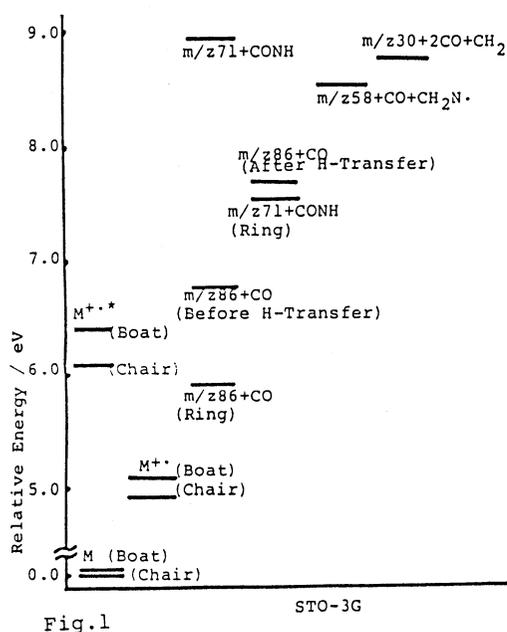


Fig.1

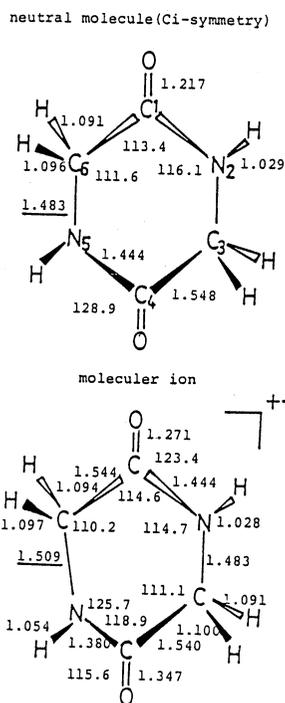


Fig.2

4. 発表・出版実績または予定

- 山本、堀口、横田、田中、樋口、竹内、竹村, 質量分析連合討論会, 1988年 5月 名古屋
- 竹内、J.C.Lorquet, 質量分析連合討論会, 1988年 5月 名古屋
- 古田、竹内、山本, 質量分析連合討論会, 1988年 5月 名古屋
- 竹内、田中、山本, 日本化学会秋季年会, 1988年 9月 仙台
- 樋口、山本、竹内、西本, 日本化学会春季年会, 1989年 4月 京都
- 長村、竹内、西本, Bull.Chem.Soc.Jpn., 61, 3387(1988)
- 山本、横田、堀口、竹内, 質量分析, 印刷中
- 山本、堀口、横田、田中、竹内、竹村, Adv.Mass Spectrom., 印刷中
- B.Leyh, T.Takeuchi, J.C.Lorquet, Adv.Mass Spectrom., 印刷中

分 CN5 施
実 9,157
許 9,200

半導体表面、マイクロクラスターおよび準結晶の構造と電子状態

Structure and Electronic States of Semiconductor Surfaces, Micro-Clusters and Quasicrystals

° 山口豪、森田省吾、藤間信久（静岡大工）

1. 研究目的・内容

第一に、半導体表面の原子構造および電子状態を求める。第二に、貴金属・遷移金属マイクロクラスターの電子状態を求める。第三に、準結晶の原子構造を求めることである。

2. 研究方法・計算方法

第一の課題については、局在軌道法を用いた分子軌道計算プログラムを作成し、Siなど半導体表面の不对電子状態を求めた。すなわち、Si(111)表面の 2×1 再構成構造について、いわゆる Pandey の π -結合鎖モデルに基づき、エネルギー・バンド構造を電算機により求めた。また、上記表面のステップの再構成した原子構造を求め、その電子状態を計算する予定である。

第二の課題については、DV-X α -LCAO法によって、貴金属マイクロクラスターを例にとって電算機による計算が可能な立方対称なCuクラスターの電子状態を計算した。また、DV-X α 法のプログラムをスピン偏極の場合に拡張し、遷移金属マイクロクラスターの電子状態を求めた。

第三の課題については、準結晶の構成要素であると思われる5回対称クラスターの構造因子を電算機により求めた。これを基にして、3次元の準結晶の原子構造モデルを提案する。

3. 研究成果

第一の課題については、上記 Pandey モデルの π -結合鎖モデルのバンド・ギャップを得るには鎖を表面平行方向から傾けねばならないこと、価電子帯の分散を得るには不对電子の向きを原子のボンド方向から傾けねばならないことが分かってきた（実績9、10、13、17）。我々は、これらのことをちゃんと吟味した後論文として纏めたいと思っている。なお、この計算は ab initio 計算であるので、CPU時間としてはかなり多量に消費した。

第二の課題のうち、まず貴金属マイクロクラスターの電子状態については、次のことが分かった（実績2、3、4、7、12、19）。すなわち、①価電子準位は、3d原子軌道成分が支配的な3d準位と、4s原子軌道成分が支配的な4s準位に分けられる。②3d準位は、エネルギー的には密に分布し、空間的にはクラスターを構成する各原子付近に局在している。③4s準位は、エネルギー的にはいくつかのグループを形成し、離散的に分布している。空間的にはクラスター全体に広がっている。これらのグループは、クラスターサイズが大きくなるにつれてエネルギー位置があまり変化しない3d準位を飛び越えるように、下がっていく。最高被占有準位は4s準位である。④これらの4s準位は殻模型の準位に良く対応している。

次に、遷移金属マイクロクラスターについては、次のことが分かった（実績4、5、6、8、12、16、21）。すなわち、①価電子準位は、同様に、空間的に原子付近に局在する3d準位と、クラスター全体に広がる4s準位に分けられる。4s準位は、エネルギ

一的にいくつかのグループをつくり、各グループはそれぞれ殻模型の準位に対応している。
 ② 3d準位は最高被占有準位付近に密に分布し、3d準位よりも下にある4s準位の状態数の分だけ3d準位上に不対ホールができる。この3dホールによる磁気モーメントには、不連続なサイズ依存性が現れる。
 ③ 磁気モーメントは、クラスターを構成する原子、とくに、中心よりも周囲の原子に局在している。

第三の課題については、準結晶の原子構造の構成要素である種々の5回対称クラスターの構造因子は、k空間において準周期性を示すことがわかった。また、5次元→2次元、6次元→3次元への射影によって作られた、それぞれ、2、3次元の準結晶の構造因子は、2、3次元の5回対称クラスターの構造因子によって、その特徴的な様子は説明できることが分かった(実績1、11、14、15、18、20)。また、このことを基に、3次元準結晶の原子構造モデルを得たので、現在、論文として纏めつつある。

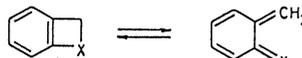
4. 発表・出版実績または予定

- 1) 山口、藤間 J.Phys.Soc.Jpn. 57(1988)4206-4218
- 2) 山口、藤間 Z.Phys.D-Atoms, Molecules and Clusters 印刷中
- 3) 藤間、山口 J.Phys.Soc.Jpn. 印刷中
- 4) 藤間、山口 静岡大学大学院電子科学研究科研究報告書 第10号 印刷中
- 5) 藤間、山口 J.Phys.Soc.Jpn. 投稿中
- 6) 藤間、山口、菅野 J.Phys.Soc.Jpn. 投稿中
- 7) 山口、藤間 4th Intern. Symposium on Small Particles and Inorganic Clusters, Marseille, France 63年7月
- 8) 山口、藤間 Intern. Workshop on Future Prospect of Microcluster Research, Sendai 63年11月
- 9) 山口 日本応用物理学会 東海表面セミナー 63年6月
- 10) 山口 同上 関西表面セミナー 63年11月
- 11) 山口 東北大学金属材料研究所「準結晶」短期研究会 63年8月
- 12) 山口 東京大学物性研究所「マイクロクラスターの諸問題」短期研究会 64年1月
- 13) 山口 文部省科学研究費 重点領域「新物質相としての固体表面の理論」研究会 63年10月
- 14) 山口 文部省科学研究費 重点領域「準結晶の電子状態・物性の理論」研究会 63年12月
- 15) 山口 同上 元年2月
- 16) 山口 文部省科学研究費 特定研究「新しい光磁気材料の開発と物性研究」研究会 元年1月
- 17) 山口、原田 日本物理学会 63年10月
- 18) 山口、藤間 同上 同上
- 19) 藤間、山口 同上 同上
- 20) 山口 日本物理学会 元年3月
- 21) 藤間、山口 同上 同上

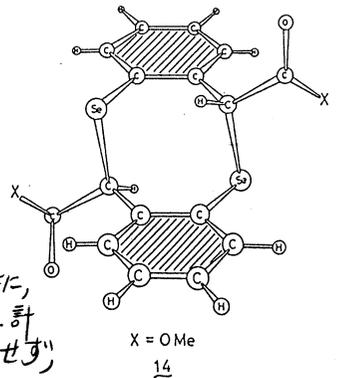
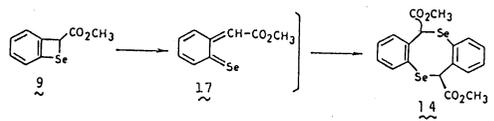
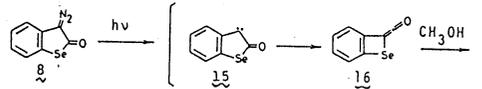
分 005 施
 実 30,744
 許 30,800

ビツクロアルカンの親電子的開環反応の理論的研究
 A Theoretical Study on the electrophilic ring-opening reaction of bicyclo-alkanes

○山 辺 信 一 (奈良教育大学)

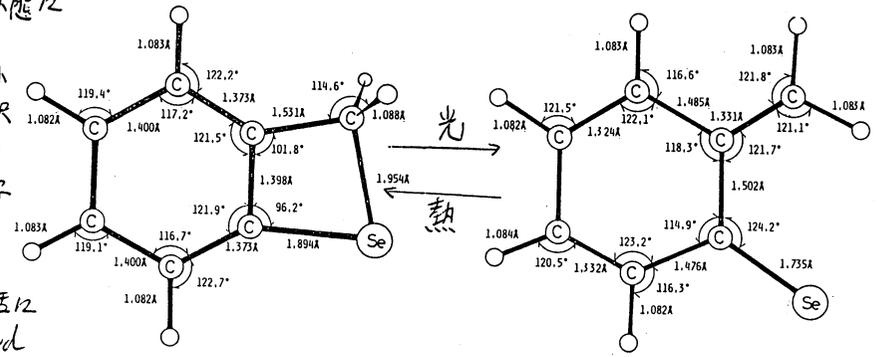
1. ベンゼン誘導体の光2量化反応 (X=S, Se) 

右上図で、異性原子Xが硫黄原子で、
 strained benzenoid形とホム-quimoid形が
 原子価異性化を起すと考えられている。今回、
 Xがセレン原子で、これら両方の形の誘導体
 の合成を試みた。2つの平衡を調べよう
 としたことであるが、結果は光化学的に生じた
 斬奇な2量体が得られ、2の異なる縮合環
 生成物は得られなかった。14が光2量化で
 与えられたと考え、2のホム-quimoid形での[4π+4π]型
 軌道相互作用が重要となる。



向故、2ではなく、2を経由して光2量化で14が
 得られたかを調べるため、母体分子(置換基-COOMe無し)の
 分子軌道を計算した。下図の STO-3G 基底最適化構造
 のエネルギーを比較すると、基底状態では、左の strained
 benzenoid形が約50 kcal/mole 安定となった。すなわち、2では
 従来考えられているホム-quimoid形は存在しない。ところが反転に、
 最低励起状態T₁ではホム-quimoid形が50 kcal/mole より安定と計
 算された。この計算結果より、2の異性体間の平衡は存在せず、
 2₀, T₁ それぞれの状態に

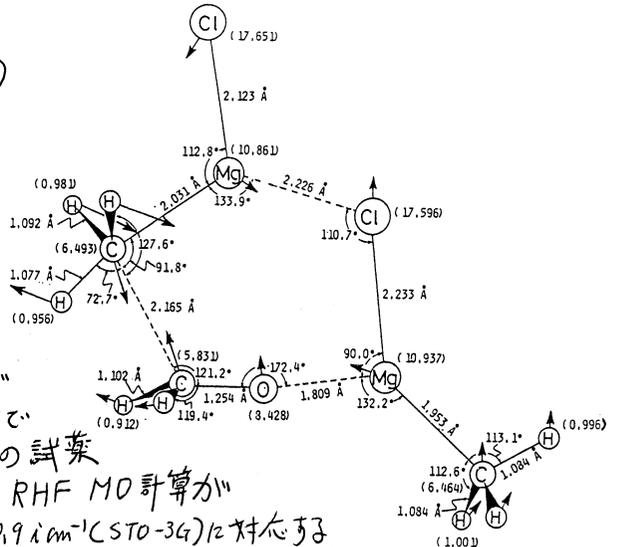
あいて、strained
 benzenoid形、ホム
 quimoid形が選択
 的に存在することが
 判明した。光化学
 的反應で生じた
 ホム quimoid形が
 適当なエネルギー
 により、2₀の strained
 benzenoid形に
 変化する経路を
 考えられるが、



ホム quimoid形における T₁-互軌道位相の一致は有利に2量化反応を
 与えたと予想される。実際、2ではなく14が生成物であつたわけが、
 セレン原子の環化付加反応における高い
 反応性が認められた。

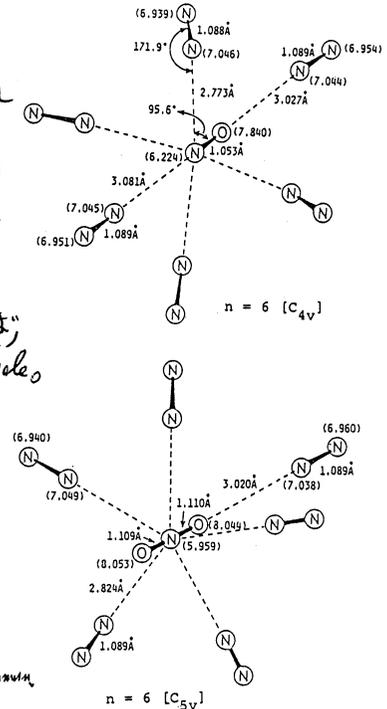
2. グリニヤール反応の遷移状態(TS)

標題の反応は有機化学の代表的なものであるが、機構上の信頼できる説明はあきらかに乏しい。わが国丸山和博氏や E.C. Ashby のイオン (PL) 機構と一電子移動 (SET) 機構の比較が見られる程度である。SET は第3グリニヤール試薬、還元されるイオン、及び極性の高い溶媒中で起り易い。よってここで用いたモデル、ホルムアルデヒドと2分子の試薬 Me-Mg-Cl は PL 機構の範囲であり、RHF MO 計算が許される。右上図に求めた TS で、 $500,91 \text{ cm}^{-1}$ (STO-3G) に対応する振動モードを示した。いわゆる "cyclic termolecular TS" の具体化であるが、特徴が1つ見られる。C-C 共有結合がいま形成されておらず、振動モードもその箇所に着目している点である。Non-synchronous な構造であり、原因はカルボニル炭素上の π 電子雲とメチル陰イオンの交換斥力である。cyclic な形をうまく利用して、カルボニル炭素上での求核的付加が起っていることがわかった。つまり、交互に陽イオン性、陰イオン性の原子が配列され、生かされる C-C 結合箇所の反応性を高めている。



3. $\text{NO}^+(\text{N}_2)_n$ と $\text{NO}_2^+(\text{N}_2)_n$ 気相クラスターの構造

ニトロシルイオン NO^+ 、ニトロイルイオン NO_2^+ はそれぞれ一酸化炭素、二酸化炭素と等電子分子であり、最近、気相で各種の気体分子と会合することがわかった。弱い分子間で会合しているが、その結合エネルギーが理論的ほどの程度の精度で再現されるかを調べた。いよいよ基底を調べたが、このような系のエネルギーは RHF/6-31+G* の精度がほぼであることが判明した。この方法で、例えば、 $\text{NO}^+ \cdots \text{N}_2$ 実測 -4.61 kcal/mole に対し、計算 -4.03 kcal/mole となる。また、 $\text{NO}_2^+ \cdots \text{N}_2$ では、 -4.60 に対し -4.15 であった。高R いよいよ基底クラスター、 n で計算しても、誤差は 0.7 kcal/mole であった。結合に関する原子それぞれでの、拡張基底の効果調べられた。



出版実績、予定。

山辺, 湊, 関, 船垣, J. Amer. Chem. Soc., 110, 6047 (1988)
 山辺, 湊, Bull. Chem. Soc., Japan, 61, 4449 (1988)
 平岡, 山辺, Chem. Phys. Lett., 154, 139 (1989)
 山崎, 島上, 岡崎, 山辺, 野居, J. Org. Chem., 54, 2404 (1989)
 平岡, 山辺, J. Chem. Phys., 90, 3268 (1989)

Bull. Chem. Soc. Japan
 印刷中 24件,
 J. Chem. Soc. Chem. Commun.
 印刷中 1件,
 投稿中 6件

分 07 施
 実 64,164
 許 69,200

新規な興味ある分子及び反応系設計の理論的研究

Theoretical Study and Design of Chemically Interesting Systems

○永瀬茂, 工藤貴子, 鞍掛稔也, 郭副林, 中野真理 (横浜国大教育)

1. 研究目的・内容

ケイ素は周期表において炭素の直近下位にある元素であるので、有機化学において中心的な役割をなしている炭素化合物に匹敵するあるいはそれ以上の物性と機能が期待できる。本研究は、新規な有機ケイ素化合物の構築とその安定性と反応性の制御を理論的観点から明らかにすることを目的とする。このために、未だに夢の化合物であるケイ素を含む芳香族及び反芳香族化合物と多面体及び多環状化合物を主に取り上げ、その芳香族性・歪み・結合の特性を *ab initio* 分子軌道計算を用いて解明することを試みた。これらのケイ素化合物がこれまでの炭素化合物と如何に類似しているのかあるいはいかに相違しているのかを特徴づけるために、更に高周期の同族元素であるゲルマニウム、スズ、鉛を含む対応化合物に対しても同様の計算をおこない比較検討をした。そして、これらの高周期典型元素の特性を利用した新規な興味ある分子設計の理論的予測を行った。その結果、これらのいくつかはごく最近には実験的にも合成されるに至り、その電子的性質から機能性材料への応用も期待され始められている。

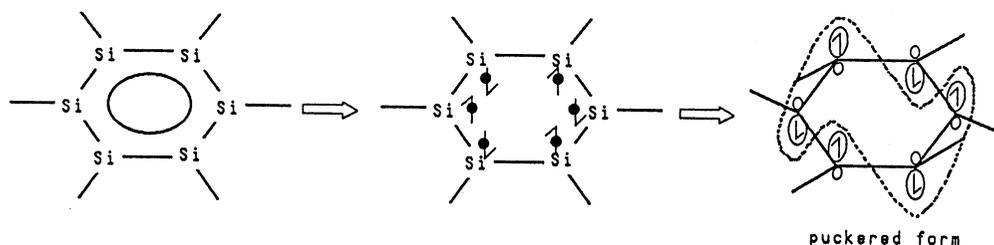
2. 計算方法

ab initio 分子軌道計算は、double-zeta + polarization 基底関数を主に用いて実行した。必要に応じて、さらに大きな基底関数或は有効内殻ポテンシャル法を用いた。電子相関の効果は、GVB, MP, CI法により計算した。使用したプログラムは、GAUSSIAN82, GAUSSIAN86, HONDOである。

3. 研究成果

(a) 芳香族化合物と反芳香族化合物

ベンゼン (C_6H_6) の炭素骨格をケイ素で置換したヘキサシラベンゼン (Si_6H_6) は、 6π 電子を持つことからベンゼンと同様の芳香族性を持ち、 D_{6h} 対称性の正六角形の平面構造をとると予想されてきた。しかし、平面構造は遷移状態であり、 D_{3d} 対称性を持つ幾分ねじれたイス型の非平面構造をとることを見出だした。



ヘキサシラベンゼンの6員環骨格には幾分ラジカル性があり、その芳香族性は6個の π 電子の環状非局在化によるよりも、各々のケイ素原子上に反強磁性的(α -スピンと β -スピンの交互)に局在化した π 電子のスピン密度波によっている。この π 電子の反強磁性的な局在化傾向が非平面構造と高反応性の原因になっている。この傾向は、ベンゼン骨格をゲルマニウム、スズ、鉛で置換していくにつれて更に増し、鉛のベンゼン(Pb_6H_6)では非平面構造は平面構造よりも約64kcal/molも安定になる。

ケイ素、ゲルマニウム、スズ、鉛を骨格に持つベンゼンの興味ある性質は、その原子価異性体であるデュワーベンゼン、ベンズバレン、プリズマン等とのエネルギー差が減少し(図1)、炭素化合物では非常に不安定な三角柱構造のプリズマンが最も安定になることである。これは、高周期第4b族元素には不飽和結合よりも飽和結合を形成しようとする強い傾向と、比較的low歪みの化合物を形成することができる性質があるからである。

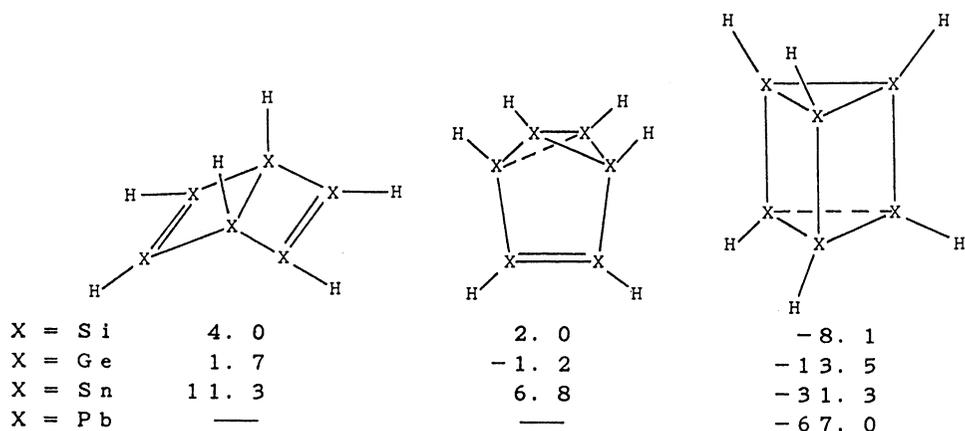
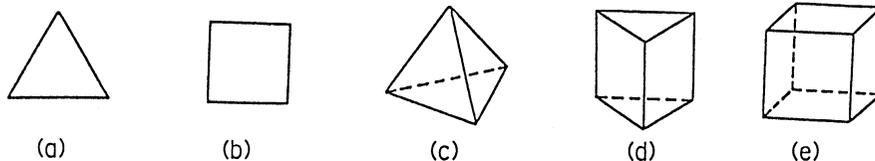


図1 原子価異性体のベンゼン(D_{6h})に対する相対安定エネルギー(kcal/mol)

反芳香族性のシクロブタジエンの炭素骨格をすべてケイ素で置換したテトラシラシクロブタジエン(Si_4H_4)はポテンシャルエネルギー面上のエネルギー極小点にはなり得ない。これは、隣接元素のリングが4 π 電子系の平面構造のテトラホスファシクロブタジエン(P_4)を形成することが出来るのと対照的である。

(b) 多面体及び多環状化合物



シクロアロパン、シクロブタン、テトラヘドラン、プリズマン、キューバンは、それぞれ幾何学的に美しい、三角形(a)、四角形(b)、四面体(c)、三角柱(d)、立方体(e)の平衡構造を持つ高歪み化合物である。これらの炭素化合物とその炭素骨格をケイ素ですべて置換した化合物の歪みエネルギーを表1に示す。炭素化合物の(a)と(b)は同程度の歪みを持つが、

ケイ素化合物(b)の歪みエネルギーの値は(a)より約22kcal/mol、炭素化合物の(b)より約10kcal/mol小さい。これらの性質は多面体構造(c)-(e)においても反映され、その結果四員環を数多く含むほどケイ素化合物は炭素化合物より極めて低歪みになる。四員環が融合したビシクロ化合物やアロペランでも同じことが言える。ケイ素のこの特性は、炭素化合物では非常に合成困難な多面体あるいは多環状化合物をケイ素の導入により安定化できるという意味で、分子設計上非常に興味ある結果である。この低歪み化の傾向

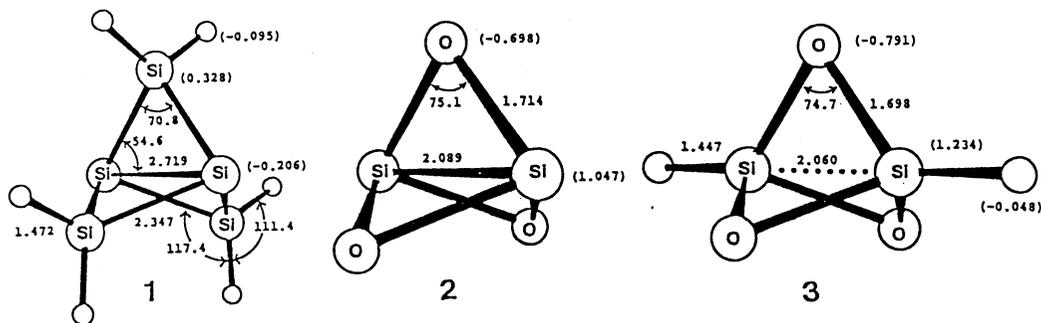
Table 1. Strain Energies (kcal/mol).

X =	C	Si	Ge	Sn	Pb
(a) X ₃ H ₆	28.7	39.2	39.4	36.6	33.7
(b) X ₄ H ₈	26.7	17.2	15.2	12.2	10.1
(c) X ₄ H ₄	141.4	140.3	140.3	128.2	119.3
(d) X ₆ H ₆	145.3	118.2	109.4	93.8	65.2
(e) X ₈ H ₈	158.6	99.1	86.0	70.1	59.6

は、表1に示す様に、ゲルマニウム、スズ、鉛の順に更に顕著になる。四員環のみからなるキュバン系では特に効果的で、Pb₈H₈の歪みはC₈H₈より100kcal/molも小さくなる。

(c) 異常に短い結合距離

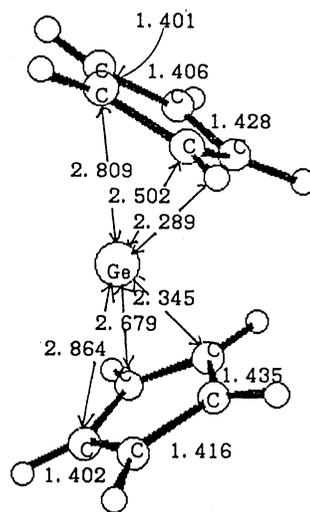
ケイ素三員環を数多く含む多面体あるいは多環状化合物は、高歪みと弱い結合性格のために“bond stretch isomerism”を起こす。例えば、三員環のみからなるテトラシラテトラヘドランは、ほとんどエネルギー障壁無しに二つの結合が同時に切れ異性化してしまう。大きな可能性を持つケイ素化学が炭素化学と同じ広がりを持つためには、この欠点を無くすることが重要である。電子論的にbond stretchがいかにかに制御出来るかの一例を示す。



3個の三員環が縮合した構造を持つ[1.1.1]アロペランの炭素骨格をケイ素で置換した化合物(1)では、中心の橋頭位間結合はラジカル性を持ちその距離は2.719Åまで長くなる。これは、(1)の電荷分布(括弧内の値)より明らかなように、中心のSiSi部分の空の反結合性 π^* 軌道への多量の電子の流れ込みによる。この電子移動を抑えることにより、結合の伸縮を制御することが出来る。例えば、電気陰性度の大きい酸素原子で(1)の周辺を置換した化合物(2)では、その橋頭位間Si-Si距離(2.089Å)は、驚くことにSi-Si三重結合に匹敵する程異常に短くなる。更に興味ある事は、化合物(2)の水素化は橋頭位間結合を切断するにも関わらず、化合物(3)に見られるように非結合橋頭位間距離はむしろ短くなる。これは、HSiSiHの π^* 準位がSiSiより高いことによる。ケイ素の三重結合が多くの試みにも関わらずまだ合成されていない現在、(2)と(3)は非常に興味深い化合物である。

(d) サンドイッチ化合物

鉄などの遷移元素を中心原子とするフェロセンなどと比較研究することにより、ケイ素やゲルマニウムなどの典型元素を中心原子とするサンドイッチ化合物の安定性と構造を支配する電子論的因子を明らかにした。ケイ素やゲルマニウムのサンドイッチ化合物は、右図に示す様にシリレン的性格やゲルミレン的性格を相当に持つ。しかし、ダイカチオン化するとフェロセンと同じような直線形の D_{5d} 構造が最も安定になることを見出した。



ゲルマセンの C_s 構造

(e) ラジカルカチオン XH_4^+ ($X = Si, Ge, Sn, \text{ or } Pb$)

XH_4^+ の T_d 構造は Jahn-Teller 変形により、 C_{2v} をとるとこれまで計算されてきたが、 C_s 構造が最も安定であることを今回初めて見出した。 C_s 構造の安定性 (kcal/mol) は、Si(10) < Ge(14) < Sn(20) < Pb(24) の順に大きくなる。しかし、 $XH_2^+ + H_2$ への分解反応への速度論的安定性 (kcal/mol) は、Si(14) > Ge(8) > Sn(5) > Pb(4) の順に減少する。

4. 発表、出版実績

- 鞍掛稔也、鈴木克彦、永瀬茂、日本化学会第57秋季年会、1988年9月仙台
工藤貴子、永瀬茂、日本化学会第57秋季年会、1988年9月仙台
永瀬茂、工藤貴子、分子構造総合討論会、1988年10月東京
工藤貴子、永瀬茂、分子構造総合討論会、1988年10月東京
鞍掛稔也、永瀬茂、分子構造総合討論会、1988年10月東京
永瀬茂、日本化学会第58春季年会、1989年4月大阪
永瀬茂、工藤貴子、J. Chem. Soc., Chem. Commun., 54 (1988)
山高博、永瀬茂、J. Org. Chem., 53, 3232 (1988)
工藤貴子、永瀬茂、Chem. Phys., 122, 233 (1988)
永瀬茂、工藤貴子、鞍掛稔也、J. Chem. Soc., Chem. Commun., 1063 (1988)
工藤貴子、永瀬茂、Chem. Phys. Lett., 148, 73 (1988)
永瀬茂、中野真理、Angew. Chem. Int. Ed. Engl., 27, 1081 (1988)
永瀬茂、中野真理、J. Chem. Soc., Chem. Commun., 1077 (1988)
赤坂健、永瀬茂、矢部明、安藤亘、J. Am. Chem. Soc., 110, 6270 (1988)
吉藤、新津、豊田、稲本、広津、桶口、polyhedron, 7, 2213 (1988)
永瀬茂、工藤貴子、Organometallics, 7, 2534 (1988)
永瀬茂、Angew. Chem. Int. Ed. Engl., 28, 329 (1989)
工藤貴子、永瀬茂、Chem. Phys. Lett., 156, 289 (1989)
赤坂健、矢部明、永瀬茂、安藤亘、日本化学会誌、印刷中

分	CPØ 施
実	11,480
許	11,600

アミンの熱分解反応機構の研究

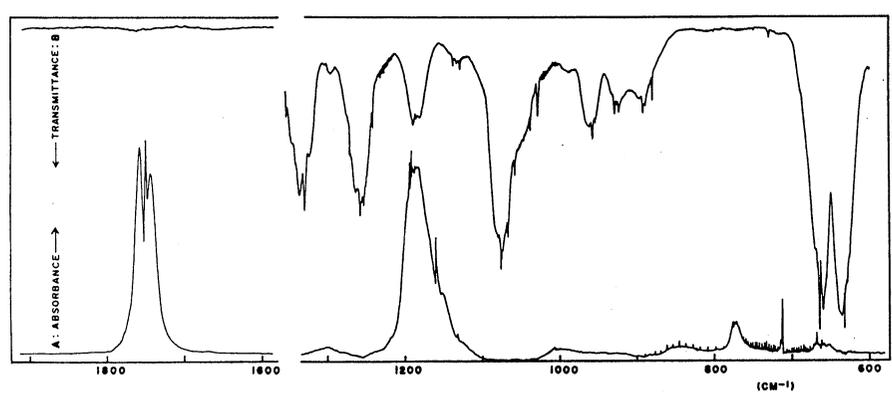
Study on the Pyrolytic Process of Amines

○ 浜田嘉昭、平川暁子、板井昭子（東大薬）

1. 研究目的・内容： $-NH_2$ 基あるいは $>NH$ 基を持ったアミン類分子を熱分解すると、分子内水素移動、脱水素、骨格解離などの反応の結果、 $C=N$ 基を持ったイミン、 $C=C-NH_2$ 基を持ったエナミンなどの分子が生ずる。これらは化学的に活性な反応中間体であり、実験室系で数秒から数分の寿命である。従来未知のこれら分子を実験的に検出し、分子軌道法計算と組み合わせて新分子の同定を行なうこと、構造・分子内力場・反応機構を解明することを目的としている。

2. 研究方法・計算方法： アミン分子の加熱分解生成物を高感度・高速なフーリエ変換赤外分光器を用いて振動回転スペクトルを測定する。Gaussian 82プログラムを用いて、可能性のある分子種について最適化構造と分子内調和振動力場を計算する。基底関数は一連のアミン・イミンを統一的に比較する為に4-31G(N^2)を用いている。この力場を用いて基準振動解析を自作のプログラムで行う。実測スペクトルの位置・強度・形状、理論計算による生成可能分子の相対的安定性・予測スペクトルを比較検討し、経験的に確立しつつある反応機構の形式を考慮して、新分子の同定を行なう。

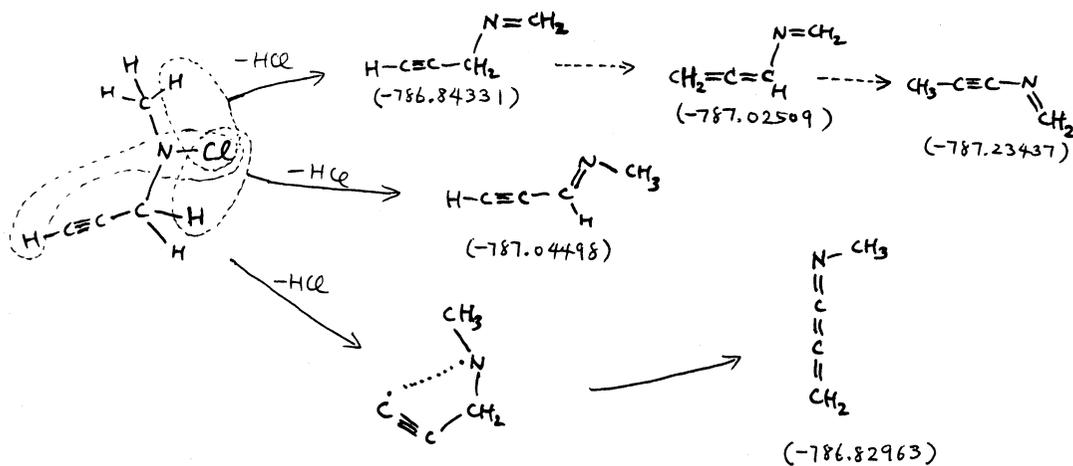
3. 研究成果： ガス状のN-メチルプロパルギルアミン(NMPG)をN-chlorosuccinimide (NCS)粉末状に流すと、アミノ基の水素がCl原子に置換したN-クロロメチルプロパルギルアミン(NCIPGAM)になる。これを直後に連結した石英管(20cm, 10mmφ)中で加熱し(300~400℃)、直ちに赤外吸収セルに導入する。蒸気圧5Torr程度で分解能 $0.5cm^{-1}$ のスペクトルを測定した。下図がその結果である。(上側がNCIPGAM、下側が分解生成物) 観測スペクトルから、いくつかの論点を挙げると、



- 1) $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}$ 基は存在しない。(このグループ振動は $\sim 3350, 600\sim 700\text{cm}^{-1}$ に強い吸収あり)
- 2) $\text{H}_2\text{C}=\text{X}$ -基は存在しない。(このグループ振動は $900\sim 1000\text{cm}^{-1}$ に強いC-type吸収あり)
- 3) 異常に強い 1750cm^{-1} バンドについて:

- i) C_3 程度までの既知分子のカルボニル伸縮とは一致しない。
 - ii) Prolate top即ち、細長い分子のA-typeバンドである。
 - iii) C, Nなどの重原子を4つ以上、NMPGと同程度の重さの分子である。
 - iv) 多重結合の伸縮振動である。但し二重結合が分離して二つ以上あることはない。
- $\text{C}=\text{C}=\text{C}, \text{C}=\text{C}=\text{N}$ タイプの2連累積結合ではない。

この分子の候補として、化学式 $\text{C}_4\text{H}_5\text{N}$ に属する5つの幾何異性体についてAb initio MO計算を行なった結果、エネルギー的には一番不安定であるが鍵となるバンドの実測値—理論計算値の対応が2-aza-2,3,4-pentatriene($\text{CH}_3-\text{N}=\text{C}=\text{C}=\text{CH}_2$)として大きな矛盾がないことが分った。現在、更に詳細な点について検討中である。一方、NCSの代りにBr化剤であるN-bromosuccinimide(NBS)を用いると全く異なった生成物が出来る。これはエネルギー的に最安定な $\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{C}-\text{N}=\text{CH}_2$ である可能性が高い。下図に脱HClと分子内水素移動によって出来得る異性体を示した。この反応プロセスについても検討中である。



()内は全エネルギー, a.u.

4. 発表・出版実績:

- | | |
|-------------------|---|
| 1) 浜田、藤原、Buijs | J. Mol. Spectrosc. <u>129</u> , 354 (1988). |
| 2) 天辰、浜田、坪井 | J. Mol. Spectrosc. <u>129</u> , 364 (1988). |
| 3) 浜田、坪井、池田、中田、田隅 | Chem. Phys. <u>125</u> , 45 (1988). |
| 4) 浜田、坪井、中田、田隅 | Chem. Phys. <u>125</u> , 55 (1988). |
| 5) 竹尾、杉江、松村、浜田 | 日本化学会春期年会、1989年4月京都。 |
| 6) 浜田、杉江、竹尾 | 日本化学会春期年会、1989年4月京都。 |

分	022 施
実	12,223
許	12,400

鎖状および粒子状分子集合体における密度相関と相安定性の研究

Study of density correlations and phase stability of the assemblies of chain and/or particle like molecules

○ 岡本 宏 (名工大), 矢戸秀彦 (名工大), 渡辺義信 (名工大), 加藤元士 (名工大)

1. 研究目的, 内容

鎖状ポリマーのスケーリング理論はいくつかのモデルの上にくみだてられているが、何れにおいても実在のポリマー、或は格子ポリマーとの対応が充分には明晰ではない。何れのモデルも極めて長いポリマー長を前提としているが、その基準が実は与えられていない。ここでは有限長ポリマーのスケーリングをくりこみ群の文脈に従いながら、しかし従来理論の枠組からは離れて、数値実験的に構築してみる。

2. 研究方法, 計算方法

2.1 基礎方程式 格子ポリマーの統計がくりこみ群の文脈下で記述できるとすれば、ポリマー鎖上で距離 r だけ離れた2点間の相関 $P(r; n, \eta_\alpha, \alpha=1, 2, \dots)$ は、

$$P(r; n, \eta_\alpha, \alpha=1, 2, \dots) = S^{-d} P(r'; n', \eta'_\alpha, \alpha=1, 2, \dots) \quad (1)$$

$$r = S r'$$

によって、くりこみ変換後の相関 $P(r')$ と関係づけられる。ここで S は粗視化比、 n, n' は変換前後の重合度、 $\eta_\alpha, \eta'_\alpha$ はポリマー要素間の相互作用である。今 $P(r)$ を用いて得られる m 次のモーメントを $\langle r^m \rangle$ とするとき、換算モーメント $M_{p_m}^m$ を

$$M_{p_m}^m = \langle r^m \rangle / \langle r^m \rangle^{m/m} \quad (2)$$

と定義すればこれがくりこみ群変換に対して不変であることが直ちに判る。

$$M_{p_m}^m = M_{p_m}^{m'} \quad (3)$$

すなわち、パラメータ空間の流線上で任意の $M_{p_m}^m$ はそれぞれ一定値をとる。従って、ある特別の換算モーメントを M_{ref} とすれば、有限長格子ポリマーの統計が2次元パラメータ空間内でスケールされているときは

$$M_{p_m}^m = M_{p_m}^m (M_{ref}) \quad (4)$$

であり、3次元パラメータ空間内でスケールされるときは、2つの M_{ref} , M_{ref1} と M_{ref2} を用いて

$$M_{p_m}^m = M_{p_m}^m (M_{ref1}, M_{ref2}) \quad (5)$$

で与えられることに注意。

2.2 計算法 SC 格子と FCC 格子のポリマーを考えた。Monte Carlo シミュレーションは、Reptation と Metropolis のアルゴリズムを組合せて行ない、Boltzmann 分布に従う出現確率をもつ格子ポリマーを多数 (50,000 程度) 作成した。短かいポリマー ($n \leq 17$) については正確な数え上げ法を採用している。要素間相互作用には最近接

2要素間相互作用 η , 最近接3要素間相互作用 ξ を用いた。これらの格子ポリマーの形態を用いて、末端間距離の相関、慣性半径の分布、擬似慣性半径の分布、等について $M_{r,m}^m, M_{s,m}^m$ 等を算出した。

3. 研究成果

a) 2次元パラメータ空間では格子ポリマーの統計をスケール記述することはできなかつた。Fig. 1 に種々の m, η, ξ をもつ種々のポリマーを用いて得られたプロット $M_{r,4}^6$ vs. $M_{r,2}^4$ を示す。明らかに式(4)は満足されていない。

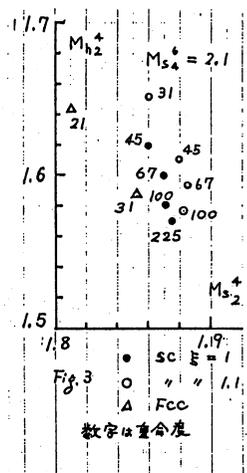
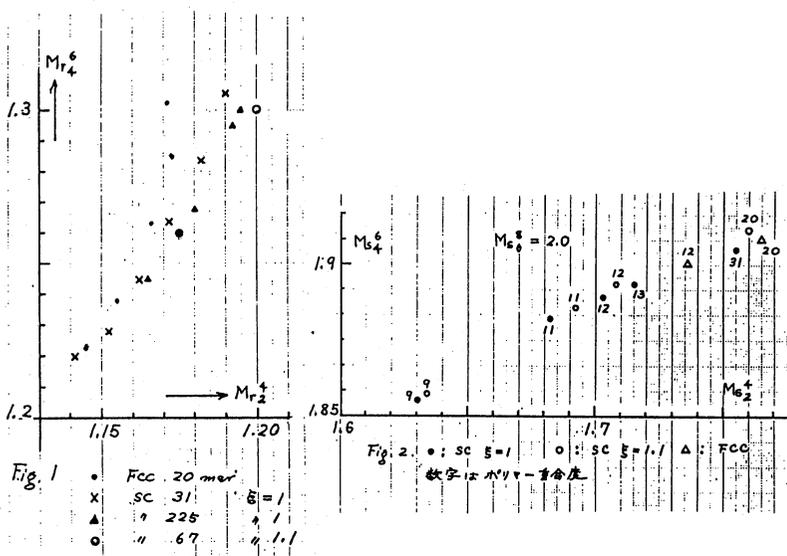
b) 式(5)を確認するためには3次元プロットが必要である。結果を見やすくするため3次元プロットの断面表示を行なった。Fig. 2 に $M_{s,6}^8 = 2.0$ という条件下でのプロット $M_{s,4}^6$ vs. $M_{s,2}^4$ を示す。SC, FCC の区別なく、種々の m, η, ξ をもつポリマー各点がほぼ一本の曲線上にあり

$$M_{s,4}^6 \cong M_{s,4}^6(M_{s,6}^8, M_{s,2}^4)$$

が成立することを示す。Fig. 3 に示すのは、 $M_{s,4}^6 = 2.10$ という条件下でのプロット $M_{h,2}^4$ vs. $M_{s,2}^4$ である。1本の曲線というよりは相接近した3本の曲線であり、厳密には、

$$M_{h,2}^4 \neq M_{h,2}^4(M_{s,4}^6, M_{s,2}^4)$$

c) 有限長ポリマーの統計とスケール変数間の Master Curve 又は Master Surface として表現することはできない。しかし $\pm 1 \sim \pm 0.1\%$ 程度の Allowance を認めた Master Shell を用いて表現することはできる。



発表

矢野, 岡本 第44回物理学会年会 講演 平塚

渡辺, 加藤, 岡本 同上

分	CQ3 施
実	12,905
許	19,200

均一系・不均一系の電子移動反応の機構

Mechanism of Electron Transfer Reactions in Homogeneous and Heterogeneous Systems

◦ 垣谷俊昭(名大理)、別府良孝(愛知技術短大)

1. 研究目的・内容

電子移動反応は物質のエネルギー変換をつかさどる重要な化学反応である。生体系においては、光合成系における光誘起電荷分離と電子移動が光合成の初期過程を形成し、ミトコンドリアにおける電子伝達鎖が内呼吸の中核機構の役割を果たしている。このような電子移動のおこるしくみ、さらには、それら高い効率を維持するための速度制御を行っている機構を物理化学的に解明することが、今日緊急の課題となっている。

我々はこれまで、電子移動のおこる場、あるいは環境のゆらぎが速度制御に果たす役割について特に注目し、理論的モデルを設定し、モンテカルロシミュレーションによる研究を行ってきた。昨年度は荷電分子のまわりの環境(溶媒)が誘電飽和しているときの電子移動速度への影響を調べた。すなわち、誘電飽和がおこることにより、電子移動速度のエネルギー・ギャップ則が大きき修正されることが明らかになった。今年度は、その仕事の延長として、誘電飽和状態の構造と安定性とゆらぎの性質について詳しく調べた。

2. 研究方法・計算方法

モンテカルロシミュレーションの計算にあたって、我々は次のような分子モデルを用いて、そのための独自のプログラムを製作した。溶媒分子・溶質分子は半径が a , r_0 の球形の剛体と仮定する。溶媒分子は中心に実状双極子能率 μ をもち、溶質分子は中心に実状電荷 z をもつ。半径 R の大きな球状の容器に N 個(約400個)の溶媒分子を入れる。容器の中心に溶質分子を固定する。空間充填率は0.45である。モンテカルロシミュレーションは1万回もしくは2万ステップを行い、最初の1千ステップを統計平均から除いた。

この計算では、まず誘電飽和層の厚みを求めることが重要である。そこで図1Aに示すように、溶媒分子が中心の溶質分子と接する位置(r_0+a)から l_1 の厚みをもった殻が誘電飽和域であるとする。溶媒分子の存在する空間を球殻に分割する。第1殻の厚みは 0.1\AA から徐々に大きく変化させるが、第2殻の厚みは 1.1\AA に固定する。図1Aの case a と b では、第1殻も第2殻も飽和域にある。case c では、第1殻は飽和域にあるが、第2殻はほとんど飽和域の外にある。case d と e では第1殻の一部が飽和域にあり、第2殻は飽和域の外にある。さて、各殻での中心方向への平均の分極を座標軸にとり、それに対する自由エネルギー曲線を描き、その曲率の相対値を C_1, C_2 等とする。各殻に属する溶媒分子数 N_1, N_2 等とする。もし、第2殻が飽和域の外にあれば、 C_2/N_2 は常に一定値(今の場合、0.0040)をとる。第2殻が飽和域の中又は飽和域をまたぐならば、この一定値より大きな値となる。図1Bに概略図を示す。 l_1 は第1殻の厚みである。第1殻の厚みを小さい値から徐々に大きくしていくと、 C_2/N_2 は大きな値から減少していき、やがて

0.0040の値になる。その境目の l_1 が飽和域の厚み l_s になる。実際には、シミュレーションを行くと明確な l_s は得られず、 l_{s1} と l_{s2} にはさまれた中間域が出現する。 l_{s1} が真の飽和域と見れよう。

3. 研究成果

各種分子パラメータに対して得られたシミュレーションの結果を表Iにまとめる。Case Iでは中性溶質であるので、誘電飽和はおこらない。このときの C_{s1}/N_{s1} の値0.0040が非誘電飽和の基準値となる。 $(C_{s1}$ と N_{s1} は l_1 か l_{s1} の値をとったときの C_2 と N_2 を示す)。Case II-VIではその値を増加させたときの効果を調べており、 l_{s1} は徐々に増大し、 l_{s2} は急激に増大する。すなわち、飽和域は荷電の大きさと共に増大するか、中間域はもっと急速に増大する。Case VII-Xは μ の値を増加させたときの効果を調べており、このとき l_{s1} と l_{s2} は複雑な変化を示す。すなわち、 μ が0.5Dから1.0Dに増加すると l_{s1} と l_{s2} は増大するが、1.0Dを越えて増加すると l_{s1} と l_{s2} はむしろ減少する。この原因は、双極子・電荷相互作用は μ の一次の依存性をもつのに対し、双極子・双極子相互作用は μ の二次の依存性をもつことによる。Case XI, XIIは溶媒の半径 r_0 を増大させたときの効果を調べており、 l_{s1} と l_{s2} の値は共に大巾に減少する。 C_{s1}/N_{s1} の値もある程度減少するが、0.0040の値より大分大きい。Case XIIIは溶媒の半径を増大させたときの効果を調べており、Case VIIIと比べると、 l_{s1} 、 l_{s2} 共に増大しているのは意外である。 C_{s1}/N_{s1} の値もわずかながら増大している。

以上をまとめると、球状の簡単な分子モデルを仮定すると、いろいろな分子パラメータに対して誘電飽和域が変化しなから、しかし、安定に存在することを確認された。今後は、もう少し実際の分子形に近いモデルを用いて、また、分子内の電荷分布も考慮してシミュレーションを行い、上の計算結果と比較する必要があろう。また、今回無視した電子分極率の効果も調べる必要があろう。

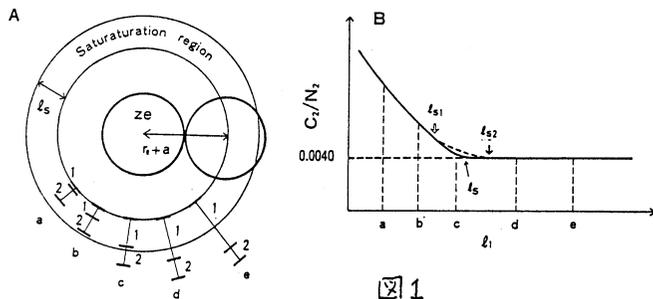


図1

Case	a(Å)	r ₀ (Å)	μ(D)	z	l _{s1} (Å)	l _{s2} (Å)	N _{s1}	C _{s1} /N _{s1}
I	2.2	2.2	2.0	0	-	-	-	0.004 ^a
II				0.5	0.6	0.9	4.6	0.011
III				0.75	1.0	1.5	6.8	0.019
IV				1.0	1.4	2.2	7.9	0.027
V				1.5	2.0	5.5	10.1	0.058
VI				2.0	2.2	9.0	11.4	0.118
VII		0.5	1.0	0.8	1.6	5.0	5.0	0.009
VIII		1.0		1.2	3.0	6.3	6.3	0.020
IX		3.0		1.0	2.2	7.6	7.6	0.031
X ^b		4.0		0.3	1.3	4.6	4.6	0.039
XI		1.1	2.0	2.6	4.6	7.0	7.0	0.048
XII		3.3		0.5	1.5	6.8	6.8	0.016
XIII	3.3	2.2		2.5	4.2	6.2	6.2	0.025

表I

4. 発表・出版実績などは予定

a) 秦野・斎藤・垣谷・又賀

J. Phys. Chem. 92/1008 (1988).

b) 秦野・垣谷・吉森・斎藤・

又賀. J. Phys. Chem. 投稿中.

分 CR4 施
実 144,211
許 145,600

分子の励起状態に関する理論的研究

Theoretical Studies of Excited States of Molecules.

○岩田末廣、長村吉洋、井上敏宏、橋本健朗、中村建介、
小関英資、常見憲男、南部伸孝 (慶応大理工)

種々の研究課題を実施したが、そのうち、四つの課題についてここでは報告する。

1. SCF法による分子のエネルギーの軌道因子に関する解析的微分法

1.1 序 ab initio MO計算によって電子波動

関数を求める際には変分的に決定するが軌道因子 α も、各系に対して最適であることが望まれる。本研究では、SCFエネルギーの α に関する解析的微分を計算するプログラムを開発した。

1.2 計算 RHFエネルギーの α に関する微分は、方位量子数が x, y, z それぞれエネルギー計算に必要なものより2つ増加した Gauss型関数の積分が必要となる。この高方位量子数の分子積分の計算のためにMcMurchie-Davidsonの方法を使った。

1.3 結果 表1.1は水素分子について、各原子に4つのGTFをおき、 α を最適化した結果をいくつかの結合距離についてまとめた。短い結合距離では α は増加傾向にあり結合領域の重なりを減らす傾向が見られる。一方結合距離を伸ばすと徐々に原子の値に近づく。図には水素分子で各原子に4つのGTFを置き分子で最適化した α を使ったものを基準としSTO-4G, DZ, 及び原子で最適化した4Gの電荷密度のずれを結合距離を変えてプロットした。いずれもSTO-4Gのずれが大きく特に短い距離で著しい。

Table1 The optimized molecular orbital exponents for H₂ molecule at various bond lengths, R(Å).

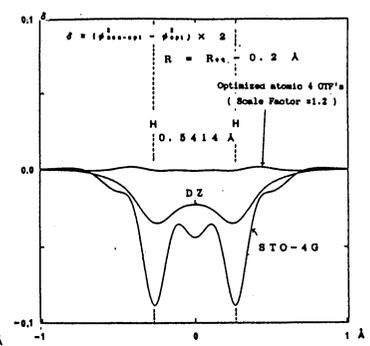
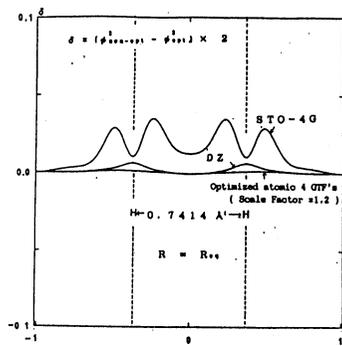
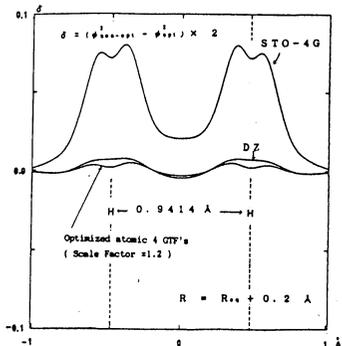
The criterion of optimization is MAX | $\partial E / \partial \ln \alpha_i$ | \leq 0.0001.

Exponent	MO Coef.	S. F. ^{a)}	Exponent	MO Coef.	S. F. ^{a)}
R = 0.3414	E = -0.8029910		R = 0.9414	E = -1.1063540	
21.5448	0.013	1.287	18.5756	0.010	1.195
3.20986	0.102	1.279	2.67524	0.070	1.168
0.746135	0.258	1.296	0.541005	0.295	1.103
0.200484	0.223	1.282	0.138866	0.264	1.067
R = 0.5414	E = -1.0861665		R = 1.1414	E = -1.0689807	
18.3551	0.013	1.187	15.5647	0.011	1.094
2.68989	0.092	1.171	2.24387	0.080	1.069
0.659475	0.266	1.218	0.454863	0.305	1.012
<u>0.173995</u>	<u>0.238</u>	<u>1.184</u>	<u>0.122019</u>	<u>0.289</u>	<u>1.000</u>
R = 0.7414 ^{b)}	E = -1.1271431		R = 1.3414	E = -1.0292276	
18.7500	0.010	1.201	13.9497	0.012	1.036
2.87528	0.070	1.211	2.00399	0.086	1.011
0.638470	0.279	1.198	0.409429	0.303	0.960
0.159403	0.264	1.143	0.113978	0.269	0.967

Atomic optimized 4-GTF's for H atom

Exponent ^{a)}	Scaled by 1.2 ^{b)}
13.0078	18.7312
1.96208	2.82539
0.444526	0.640118
0.121949	0.176607

a) Scale factor calculated by ((molecular α)/(atomic α))^{1.2}.
b) Experimental bond length.



2. アセチレンの光解離過程に関するMCSCF計算

2.1 序 アセチレンに真空紫外光を照射するとさまざまな分解生成物ができるが、Wodtke と Lee の分子線の実験よりその初期過程は C_2H_2 から C_2H と H への解離であることが明らかにされた。最近、藤井らはアセチレンの第一励起状態からの蛍光スペクトルを測定した結果、215.97 nm 以上のエネルギー領域では急激に強度が減少することを見出した。しかも、このエネルギーが Wodtke と Lee によって測定された C_2H と H への解離エネルギーとほぼ一致することから、蛍光量子収率の急激な減少はアセチレンの A^1A_u 状態に状態における前期解離と結論した。しかしいずれの実験もアセチレンと等電子的である $H-C\equiv N$ についての定性的なポテンシャルエネルギー曲線に基づいて議論しており、励起状態から $C-H$ 結合切断にともなって交差している解離的な他の電子状態への乗り移りを考えている。そこで我々は、アセチレンの励起状態におけるふるまいを理論的立場から検討するために、どのような電子状態が $C-H$ 結合の解離に参与しているのか、そのポテンシャルエネルギー面がどの様になっているのかを明らかにした。

2.2 計算方法 理論計算は、*ab initio* MCSCF (多配置SCF) 法を用い、アセチレンの基底、および第一励起一重項状態 (A 状態) について安定構造ならびに反応の中間状態について計算した。基底関数は DZ 及び DZP を用い 4 つの CH, CH' 4 つの π, π' 軌道における全ての可能な電子配置 (8 軌道 8 電子) を考慮した。

2.3 結果と考察 図 2.1 にはアセチレンの基底状態および A 状態における解離にともなうポテンシャルエネルギー関係をまとめてある。解離後は C_2H の励起状態 $^2\Pi$ に交差なくつながっており他の電子状態は何ら関与していないことがわかる。アセチレンの A 状態からは C_2H の第一励起状態が生成する事、およびアセチレンの $C-H$ 解離に対する熱力学的データが $120 \pm 3 \text{ kcal/mol}$ であることを考えると Wodtke と Lee によって得られた解離エネルギー $133 \pm 2 \text{ kcal/mol}$ は C_2H の励起状態へのエネルギーであると結論してよい。さらに、アセチレンの A 状態からの緩和過程には、*cis-trans* 異性化と $C-H$ 結合の解離の両方が重要な役割を果たしている事本研究により示唆された。

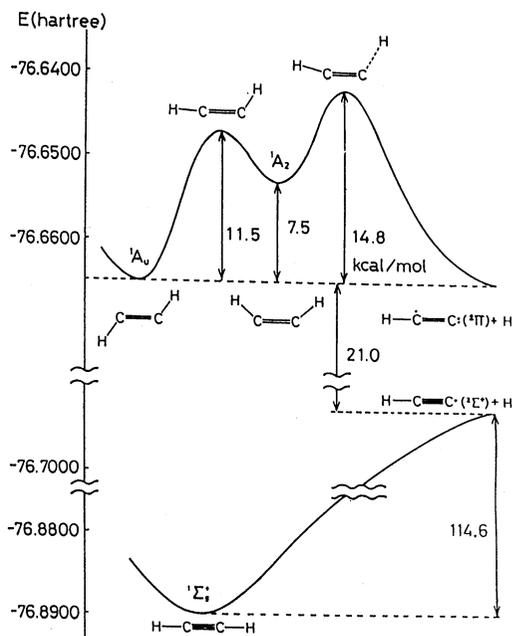
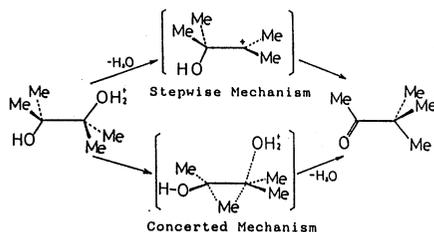


Fig.2.1 アセチレンの基底状態および第一励起状態におけるポテンシャルエネルギー面の概略図

3. ビナコール転位の反応機構

3.1 ビナコール転位反応は Wagner-Meerwein 転位反応などとなりカルボニウムイオンを経由して進む転位反応の一つとして知られている。特に脱離基側の炭素原子が三級の場合やベンジル位に当たる場合には中間体カルボニウムイオンが安定で寿命を持つため C-C結合の回転がビナコール転位反応を有機精密合成に利用する上で一つの問題点となっている。一方近年の理論計算によりエチルカチオンやプロピルカチオンではカチオン中心が炭素原子上に極在化した古典的カルボカチオンは安定構造ではなく、非古典的架橋構造を取っていることが示されている。こうした中で我々は段階的機構において中間体として考えられる β -ヒドロキシエチルカチオンの安定性について検討し、カチオン中間体を経る段階的機構の他に、中間体を経ない協奏的機構について理論的に考察した。



3.2 まず β -ヒドロキシカチオンの種々メチル置換体について安定性を検討した結果、カチオン中心が一級、二級である場合には安定構造を持たず直ちに分子内水素転位により対応するケトンまたはアルデヒドに単分子的に変換する。またカチオン中心が三級となる場合には超共役により安定な中間体として存在し得る事が示された。プロトン化したエタンジオールからの脱水によるカチオンの生成に必要なエネルギーは脱離基側炭素原子が一級、二級、三級となるに従って大きく変化する。一方、協奏的機構について種々のプロトン化エタンジオールのメチル置換体の転位反応について遷移状態と活性化エネルギーを求めたところ脱離と同時に転位基の求核的な攻撃を伴うため図 3.1 に示す様に一級、二級、三級の变化に対する活性化エネルギーの変化は小さい。段階的機構の結果を合わせると、一級、二級の場合には協奏的な遷移状態が脱水によるカチオンの生成よりもエネルギー的に低いのに

対し、三級の場合には脱水によるカチオンの生成が協奏的な転位よりも容易に起こることがわかった。しかし三級カチオンは二つのメチル基による超共役によりかなり安定化されているため、このカチオン種からの転位にはさらに約 10 kcal/mol 程度のエネルギー障壁を越えねばならず結果的には、やはり協奏的な転位よりも不利である。プロトン化した

1,2-エタンジオールからの水素転位反応について、協奏的機構として通常考えられている脱離基とは逆側からの転位(trans転位)に対し脱離と同方向からの転位(cis転位)も同程度の活性化エネルギーで進行することがわかった。さらに転位能の違いを調べるために水素とメチル基の双方が転位可能な場合について検討したところ、水素原子の転位が優先することがわかった。これは水素の転位能が大きいというよりむしろ転位せずに残るメチル基により転位の遷移状態が安定化されているためと思われる。

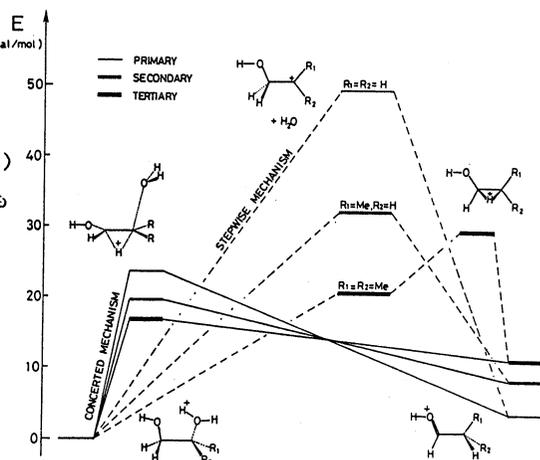


図 3.1 1,2-ジオールの 1,2-水素転位反応における協奏的(実線)機構と段階的(虚線)機構のエネルギーダイアグラム

4. SiOとその陰イオンの双極子モーメントと周波数依存分極率の結合距離依存性

4.1 目的 星間分子として知られているSiOの基底状態 $X^1\Sigma^+$ と陰イオンの二つの近接した状態 $^2\Pi$ と $^2\Sigma^+$ のポテンシャルエネルギー曲線と双極子モーメントと分極率を計算し、SiOと低速電子との相互作用についての基礎データを求める。

4.2 研究方法と計算方法 基底関数として、MIDI4* に s と p diffuse 関数を各原子上に2個ずつ加えた。各状態について scf MO をもとめた。双極子モーメントと静的分極率は scf MO に対する有限場近似を用いても計算した。周波数依存分極率は、以前われわれが開発した CI ハミルトニアン行列から直接求める方法を使った。

4.3 研究成果 平衡結合距離と断熱電子親和エネルギー(力)およびその他の物理量の計算結果を表4.1にまとめた。陰イオンの基底状態は $^2\Sigma^+$ であるが、 $^2\Pi$ と $^2\Sigma^+$ の準位は非常に近接していて、長い結合距離では準位は逆転する。CO分子と関連して興味ある。

表 4.1

	結合距離 (re/A)			ad. (CI) $\Delta E/eV$	双極子モーメント/debye			静的分極率/a.u.	
	scf	CI	exp.		scf	finite	CI	$\alpha_{ }$ (CI)	α_{\perp} (CI)
SiO $X^1\Sigma^+$	1.50	1.55	1.51	0.00	3.71	3.71	2.52	59.6	23.6
SiO- $^2\Sigma^+$	1.52	1.55	----	1.11	-13.40	-13.43	-13.43	408.8	758.7
SiO- $^2\Pi$	1.55	1.67	----	1.59	-0.63	-0.66	1.65	175.3	135.0

5. その他の研究課題.

5. 1 Radiative association reaction $C^+ + H_2$ のポテンシャルエネルギー曲面.

前年に引続き研究を進め、無限遠で3重に縮重した三つの状態の3次元のポテンシャルエネルギーと遷移モーメント曲面を計算して、radiative associationの可能性を検討した。

5. 2 HOCl と HOF の光解離断面積の計算.

この研究も前年に引き続けているが、擬2原子モデルの近似の範囲内で、光吸収断面積の計算を終え、論文を発表した。HOClについては、従来の理論計算と異なり、紫外部に2本の幅広い吸収があるという実験報告を支持する結果となり、HOClがO₃ depletion cycleに寄与する可能性があることを示した。さらに、3次元ポテンシャルエネルギー曲面を求めて、解離過程の動的研究を進めている。

5. 3 ネオンイオンクラスターのポテンシャルエネルギー曲面.

5. 4 BeO のポテンシャルエネルギー曲線と Be--O 結合.

5. 5 ランチョス法の数値解法への応用と共鳴状態の研究.

5. 6 2次元有限要素法の応用.

6. 出版・発表 [1] T.Kimura, N.Sato, S.Iwata, J.Comput.Chem.,9,827,(1988)
 [2] Y.Osamura, Chem.Phys.Lett.,145(6),541,(1988) [3] Y.Osamura, T.Takeuchi, K.Nishimoto, Bull.Chem.Soc.Jpn.,61(10),3387,(1988) [4] K.Hashimoto, S.Iwata, J.Phys.Chem.,93,2156,(1989) [5] M.Aoyagi and Y.Osamura, J.Am.Chem.Soc.,111(2),470,(1989) [6] S.Nambu, K.Nakata and S.Iwata, Chem.Phys., in press [7] K.Nakamura, Y.Osamura and S.Iwata, Chem.Phys., in press [8] Y.Osamura, Theor.Chim.Acta, in press [9] Y.Osamura, F.Mitsuhashi, S.Iwata, to be submitted [10] K.Hashimoto, N.Yoda, Y.Osamura, S.Iwata, to be submitted [11] K.Hashimoto, Y.Osamura, to be submitted その他学会発表十数件

分 51 施
 実 13,712
 許 15,200

金属および金属酸化物クラスターの電子状態と反応性に関する
 量子化学的研究

A Quantum Chemical Study on the Electronic States and Reactivity
 of Metal and Metal Oxide Clusters

○山口 克(京府大)、小林久芳(京府大)、吉田郷弘(京大工)、西村靖雄(京大工)

1. 研究目的・内容 - 酸化マグネシウムは典型金属酸化物でありながら水素やメタン分子を解離吸着するという興味ある性質を示す。実験的研究によりこれらの分子中のH-H、C-H結合はマグネシウムおよび酸素原子のサイトでヘテロリティックに解離するといわれている。本課題では非経験分子軌道計算により、MgO(100)表面での水素およびメタン分子の解離吸着反応について調べたので報告する。

2. 研究方法・計算方法 - MgO(100)表面として図1に示すような立方体のMg₄O₄クラスターを用いた。解離吸着のモデルとして水素分子の場合は、ヘテロリティック解離型(Mg-H/O-H型)および2種のホモリティック解離型(2(O-H)型と2(Mg-H)型)を考えた。一方、メタン分子ではHとCH₃、MgとOの組合せによりそれぞれ2種類のヘテロリティック解離型(Mg-H/O-CH₃型とMg-CH₃/O-H型)および2種類のホモリティック解離型(O-H/O-CH₃型とMg-H/Mg-CH₃型)を考えた。これらの7種類のモデルについて解離吸着系の構造を最適化する計算を行った。(Mg₄O₄クラスター内のMg-O結合長は2.106Åに固定してある。)計算の精度はHartree-Fockレベルであり、基底関数はsplit-valence型を用い、GAUSSIAN82プログラムを使用した。

3. 研究成果 - 最適化された構造におけるエネルギーを表1に示す。水素分子吸着では、2(O-H)型とMg-H/O-H型の両方で安定化が得られた。予想に反して前者の方が8 kcal/mol程安定化エネルギーが大きい結果が得られた。一方、メタンで安定化が得られたのは4種の中でMg-CH₃/O-H型のみであった。安定化が得られた3種のモデルの構造を図1に示す。

Mg-H/O-H型とMg-CH₃/O-H型について

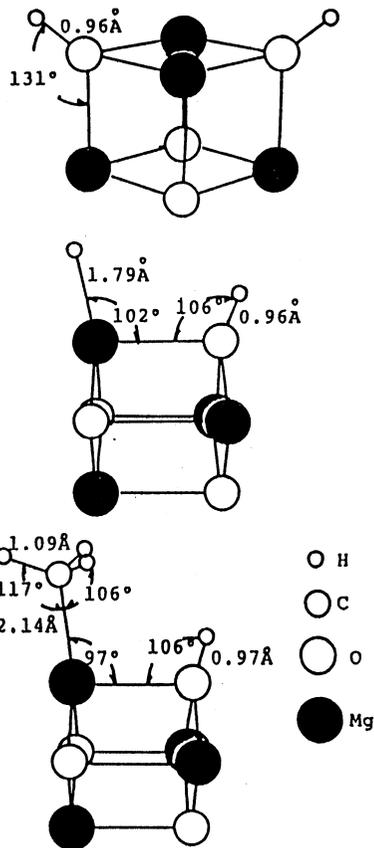


図1

表1 Mg₄O₄+H₂およびMg₄O₄+CH₄解離吸着系のエネルギー

吸着型	相対エネルギー (kcal/mol)
Mg-H/O-H	-37.3
2 [O-H]	-44.9
2 [Mg-H]	+157.7
Mg-H/O-CH ₃	+21.9
Mg-CH ₃ /O-H	-21.6
O-H/O-CH ₃	+36.0
Mg-H/Mg-CH ₃	+155.3

負のエネルギーが安定化を表す。

ての反応経路に沿ったエネルギー変化を図2に示した。Mg-H/O-H型では実質的に活性化エネルギーを必要としないで水素分子が解離することが、またMg-CH₃/O-H型では6 kcal/molの活性化エネルギーでメタンのC-H結合が開裂することが示された。しかし、2 [O-H]型について同様に調べた結果、70 kcal/molという非常に高いエネルギーの遷移状態を経なければならぬことがわかった。このため解離吸着系は安定であってもこの反応は進行しないと思われる。

図3はH-H、C-H結合の弱まる様子と、Mg-H、Mg-C、O-H結合が形成される様子をMullikenの結合populationから評価したものである。結合の交替が主に反応の初期に起こることが読み取れるが、さらに次の事柄がわかる。① H-H結合長が0.73から0.86 Åに、C-H結合長が1.08から1.30 Åに伸びるとそれぞれの結合populationは約半分に減少する。② 水素、メタンいずれの場合も始めの段階ではO-H結合の形成が先行する。③ C-H結合populationの減衰はH-H結合populationのそれよりも急である。これは、水素原子のs軌道は球対称のためH-H結合を部分的に残しながら新しい結合を形成できるのに対して、メチル基のsp³混成軌道は方向性が強く、混成軌道のローブの方向がH原子からMg原子へと回転すると、C-H結合が急激に弱まるためと思われる。

以上のようにMgO表面での水素およびメタン分子の解離吸着過程では、両分子ともヘテロリティックに解離する場合にのみ、低い活性化エネルギーの反応経路が得られ、実験事実と一致する結果になった。ステップの凹部を再現するような、より大きなクラスターを用いたとしても、O-O（またはMg-Mg）原子間距離はMg-O原子間距離の√2倍であるため、ホモリティックな解離吸着経路は有利にはなりにくいと思われる。むしろ、Mg原子上に解離吸着した水素原子が酸素原子上に移動する反応の方が起り易いのではないかと考えられる。

4. 発表・出版実績または予定 - 小林、山口、伊藤、第62回触媒討論会（B）、1988年9月仙台。

H.Kobayashi, M.Yamaguchi, and T.Ito, Hokkaido University International Symposium: Acid-Base Catalysis, p.96-99. Nov. 28-Dec 1, 1988, Sapporo.

小林、山口、伊藤、第63回触媒討論会（B）、1989年3月京都。

H.Kobayashi and M.Yamaguchi, Surface Science, in press.

H.Kobayashi, M.Yamaguchi, and T.Ito, J.Phys.Chem. to be submitted.

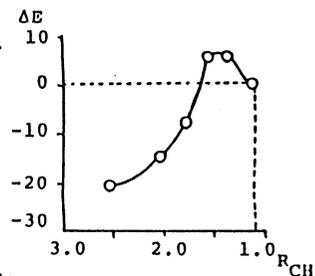
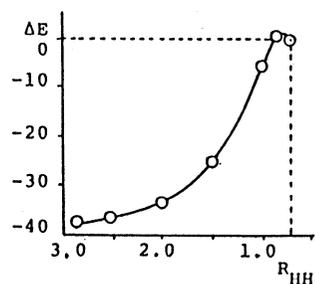


図2

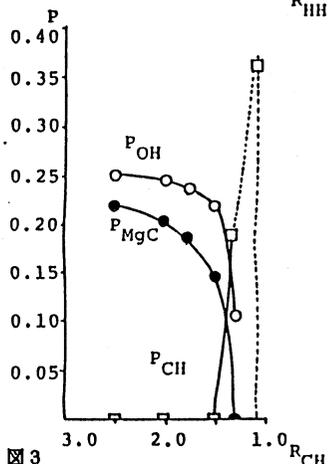
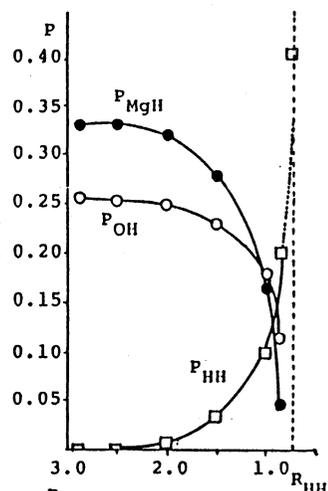


図3

分	CS3 施
実	18,777
許	22,000

化学反応の動的過程に関する理論的研究

A Theoretical Study on the Dynamic Aspects of Chemical Reaction

○山邊時雄、立花明知、田中一義、笛野博之、鈴木哲夫、石川滋、黒崎讓
(京大工) 片桐秀樹、川村尚(現、岐阜大工)

1. 研究目的

本研究グループは主に ab initio 分子軌道法を用い、化学反応の動的過程及び種々の分子種の電子状態に関する理論的研究を行うことを主目的としている。具体的テーマとして以下のものを取り上げた。

- (1) 化学反応素過程に関する、極限的反應座標(IRC)を用いる反応路解析
- (2) 分子集合体のダイナミクス
- (3) 酸化銅クラスターモデルにおける振電相互作用

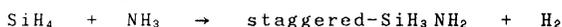
2. 研究方法、計算方法

分子軌道及びポテンシャル面の計算には Gaussian82 プログラムを用いた。IRC の追跡に必要なエネルギー勾配の計算には、これらの他に HONDG プログラムを用いた。非断熱的な電子状態の解析は、Gaussian80 及び Gaussian82 に必要なサブルーチンを付け加えることにより行った。

3. 研究成果

(1) 化学反応素過程に関する、極限的反應座標(IRC)を用いる反応路解析

高温材料として知られる窒化ケイ素セラミックスの原料粉体の製法の一つに、CO₂ レーザー照射下でのシランとアンモニアの気相反応による方法が報告されている。本研究ではこの気相反応を対象とし、その最も基本的と考えられる次の反応



について IRC に基づく反応路解析を行った。図 1 にこの反応の IRC に沿った相対エネルギー値 (RHF/3-21G(••)) を示す。s < 0, s = 0, s > 0 はそれぞれ反応物、遷移状態、生成物に対応している。s = -8.0 付近ですでにエネルギー値が 15 kcal/mol を越えていることは注目に値する。また、図 2 にこの反応の IRC に沿った結合角の変化を示す。点線で示されたシランの ∠HSiH が s = -5.0 で約 160° という大きな値をとっている。従って、この反応の反応初期における大きな相対エネルギー値は、このようなシランの変形に起因するものと考えられる。実際の反応が CO₂ レーザー照射下で進行することを考慮すれば、この変形はシランの振動モードをレーザーが励起することにより促進されるものと考えられる。

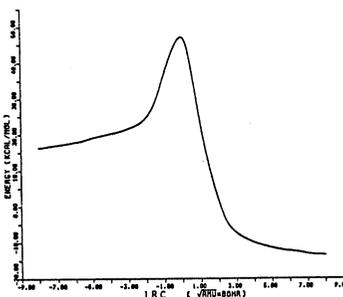


図 1

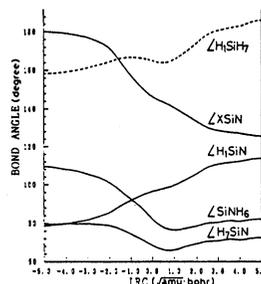


図 2

(2) 分子集合体のダイナミクス

分子クラスターなどの大振幅振動を伴う系の動的過程を取り扱う理論の一つとして全角運動量を保存する内部座標ハミルトニアンを用いた動的振動論を展開し、応用として IClX (X = He, Ne) van der Waals (vdW) 分子の振動前期解離 (VP) 過程を取り扱った。IClHe 又は IClNe から VP 過程によって生じる ICl の回転分布はどちらの場合も逆転分布となり、IClNe の方が IClHe より大きな角運動量量子数 J に対してピークを生じる、という実験結果が報告されている。そこでフェルミの黄金則に基づいて VP 過程の遷移確率を計算し、始状態分布と

して適当な統計分布を仮定することにより、実験結果と定性的に一致する終状態分布を得た。

(3)酸化銅クラスターモデルにおける振電相互作用

酸化物高温超伝導体の発見に伴って、新たに様々な超伝導機構が提唱されている。この関連に於て、我々はCooper対形成の振電相互作用の評価を行っている。我々の振電相互作用ハミルトニアンは、摂動展開を用いることなく閉じた形で得られ、さらに軌道、振動モード特有の振電相互作用の評価が可能である。本研究では、銅酸化物超伝導体のCu-O二次元面の構造単位であるCuO4クラスターの振電相互作用をab-initio分子軌道法を用いて計算した。

Cooper対形成の有効相互作用は、

$$V_{\text{eff}}^{ij} = V_{\text{coul}} - \Delta_{ij} = \langle \psi_i(1)\psi_j(2) | \frac{1}{r_{12}} | \psi_i(2)\psi_j(1) \rangle - \sum_n \langle \psi_i | \frac{\partial F}{\partial Q_n} | \psi_j \rangle|^2 / (\epsilon_i - \epsilon_j)^2$$

ここで V_{coul} 、 Δ_{ij} はそれぞれクーロン反発エネルギー、振電相互作用エネルギーであり、 ϵ_i, f, Q_n はそれぞれ軌道エネルギー、dynamic Fock 演算子、基準振動座標である。

CuO結合距離はLa₂CuO₄のオルソ相の値から1.90, 1.91Åとした。基底関数はCuにはMINI-2, OにはMIDI-2を用いた。表1に[CuO4]-5における有効相互作用の値をあげる。HOMOは ψ_{33} である。HOMOおよびLUMOはCu3d $x^2-y^2 - O2p$ の反結合性軌道である。HOMO-LUMO散乱過程における振電相互作用は小さく、引力には寄与しない。

一方、これより下の軌道には大きな振電相互作用エネルギーと非常に小さいクーロン反発エネルギーを生じる散乱過程がある。図3にそれらの軌道相と散乱に寄与する振動モードを示す。軌道相は互いに結合軸を入れ替えた形であり、これらの散乱過程は2次元性を帯びているといえる。この2次元性は、軌道間の重なりを小さくしてクーロン反発エネルギーを減少させ、軌道エネルギー差を減らして振電相互作用エネルギーを増加させる。さらに ψ_{32} 、 ψ_{33} はほとんどO2pからなり、これらの軌道に注入されたホールが超伝導のキャリアとなると考えられる。また、2次元性を持つ空軌道間に電子が注入されれば、電子がキャリアの超伝導が起こると考えられる。

表 1

i	j	V_{coul}^{ij}	Δ_{ij}	V_{eff}^{ij}
33(b _{2u})	37(b _{2u})	0.0287	0.0010	0.0277
33(b _{2u})	34(a ₁)	0.0520	0.0000	0.0520
32(b _{2u})	33(b _{2u})	0.0077	0.0189	-0.0111
28(b _{2g})	29(b _{2g})	0.0000	0.1232	-0.1232
28(b _{2g})	27(b _{2g})	0.0084	0.0809	-0.0725

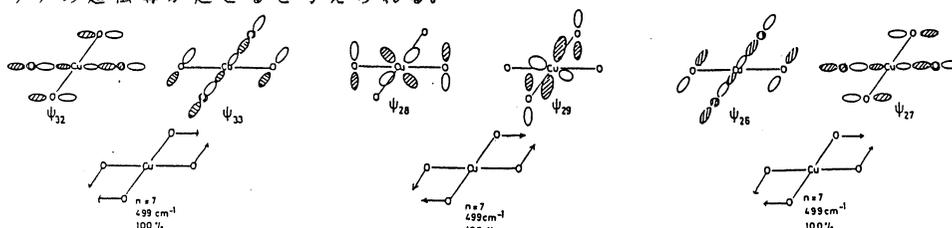


図 3

4. 出版実績

立花 “High-Temperature Superconducting Materials” ed. by W.E.Hatfield and J.H.Miller, Jr. (Marcel Dekker, New York, 1988) 立花 Int.J.Quantum. Chem. 34, 309(1988). 立花・笛野・小泉・山邊・福井 J.Phys.Chem. 92, 935(1988). 立花 Int.J.Quantum Chem. 35, 361(1989). 立花・笛野・黒崎・山邊 J.Am.Chem.Soc. 111, 806 (1989). 立花・井上・長岡・山邊 J.Phys.Chem. 93, 220(1989). 立花・石川・井上・山邊 Chem.Phys.lett. 154, 403(1989). 立花・小泉・村島・山邊 Theor.Chim.Acta, in press. 立花・小泉・田中・山邊・福井 J.Mol.Struct.THEOCHEM, in press. 立花・笛野・石川・山邊 Chem.Phys.lett.submitted.

分	CS5 施
実	10,091
許	12,000

モデルポテンシャルを用いた分子計算

The Use of the Model Potentials in Molecular Calculations

○酒井嘉子 (九大・教養) 三好永作 (九大・教養)

1、研究目的

最近の研究により、モデルポテンシャル法による分子計算は、全電子 ab initio 計算と比較し得る信頼度を持つてきた。本研究において、すでに遷移金属 (Sc~Hg) に対して、モデルポテンシャルのパラメーターの二つのセット (sd-MP と spd-MP) を系統的に決め、いくつかの遷移金属元素を含む分子に適用し、基底状態の平衡核配置、励起エネルギー、イオン化エネルギー、電子親和力などで全電子計算とのよい一致を得た。また、典型元素 (Li~Rn) についてのモデルポテンシャルのパラメーターも新しく決定し、これらの原子を含む系の計算でも成功をおさめている。これらのモデルポテンシャルをさらに金属錯体など多くの系に適用し、モデルポテンシャルの信頼性をチェックしながら、これまで全電子計算では手の届かなかった第5、第6周期の重原子を含む系や大きな系の電子構造を調べる。

2、研究方法・計算方法

N個の価電子を持つ分子のハミルトニアンを、モデルポテンシャルを用いて表せば、

$$H = \sum_{i=1}^N h^{mp}(i) + \sum_{i,j}^N 1/r_{ij} + \sum_{a,b} (Z_a - n_a)(Z_b - n_b)/R_{ab}$$

ここで、a, bは原子の番号であり、i, jは電子についてはしる。Z_a, n_aはa原子の核電荷と内殻電子数を表す。h^{mp}(i)は次のような擬一電子演算子である。

$$h^{mp}(i) = -\Delta_i/2 + \sum_a \{ V^{mp}(r_{ai}) + \sum_k^{n_a} B_{ak} | \phi_{ak}(r_{ai}) \rangle \langle \phi_{ak}(r_{ai}) | \}$$

V^{mp}(r_{ai})は原子aについて決められたモデルポテンシャルであり、最後の項は内殻軌道に関するシフト演算子である。原子について決められたモデルポテンシャルを用いて、①AX₃分子 (A = As, Sb; X = F, Cl, Br, I) の平衡核間距離と双極子モーメントをSCF計算で求め、②MF₆分子 (M = Cr, Mo, WおよびAu) の電子親和力をSD-CI計算で求めた。

使用プログラムは主にJAMOL3およびMICA3である。

3、計算結果

3-①AX₃についての計算

平衡核間距離と双極子モーメントの計算結果をTable1、Table2に示す。使用した基底関数のセットMP1とMP2は次のようなものである。最外殻のs, p電子のみを考慮した計算を行った。

	MP1	MP2
As:	(311/311/1*),	(311/311/1*1*),
Sb:	(411/311/1*),	(411/311/1*1*),
F:	(31/31),	(31/31/1*),
Cl:	(31/31),	(31/31/1*),
Br:	(41/41),	(41/41/1*),
I:	(411/311),	(411/311/1*),

TABLE I. Geometries of AX₃ molecules.

	r_e (Å)				θ (deg)			
	MP1	MP2	ÅE	Expt. ^a	MP1	MP2	AE	Expt. ^a
AsF ₃	1.735	1.699	1.751 ^b 1.693 ^c	1.708	95.5	95.5	95.6 ^b 95.4 ^c	95.9 ± 0.4
AsCl ₃	2.217	2.186		2.162	98.8	98.9		98.6 ± 0.6
AsBr ₃	2.386	2.355		2.329	100.0	100.0		99.7 ± 0.3
AsI ₃	2.584	2.579		2.557	101.5	101.0		100.2 ± 0.4
SbF ₃	1.920	1.885	1.874 ^c	1.879	94.5	94.4	93.6 ^c	95.0 ± 0.8
SbCl ₃	2.388	2.359		2.333	97.1	97.3		97.2 ± 0.9
SbBr ₃	2.541	2.520		2.490	98.1	98.4		98.2 ± 0.6
SbI ₃	2.750	2.737		2.719	99.3	99.6		99.1

^b All electron (AE) calculation in the present work. As(433111/4321/41*) and F(521/41).

^c As(14s11p6d)/[10s8p3d], Sb(15s11p8d)/[10s7p5d], and F(9s5p1d)/[3s2p1d].

TABLE II. Dipole moments of AX₃ molecules (D).

	MP1	MP2	Expt. ^a
AsF ₃	3.79	3.14	2.815 ± 0.025
AsCl ₃	2.92	2.02	2.1 ± 0.3
AsBr ₃	2.31	1.52	1.7 ± ?
AsI ₃	1.30	0.80	0.96 ± 0.4
SbF ₃	5.45	4.79	
SbCl ₃	4.44	3.47	3.9 ± 0.4
SbBr ₃	3.74	2.88	2.8 ± 0.4
SbI ₃	2.83	2.07	1.58 ± 0.4

AsF₃についてMP1、MP2とも全電子計算の結果をよく再現していることが分かる。また、ハロゲンの原子番号が増えるにしたがって、A-X結合距離、X-A-Xの結合角とも増加する実験値の傾向をよく再現している。双極子モーメントについては、MP1では実験値より大きい値を与え、ハロゲンにもd型の分極関数を使ったMP2では実験の結果をよく再現している。

3-②MF₆の電子親和力についての計算

CrF₆、MoF₆、WF₆およびAuF₆の電子親和力のSD-CIのレベルで計算した。金属にはs p d-MPセットを使い、中心金属にf型、フッ素にd型の分極関数を入れ、valence tripleの基底関数を使った。それぞれ、8.24、5.37、3.85および9.56 eVの値を得た。MoF₆とWF₆については実測値があり、その値とよく一致した。

4、発表・出版実績または予定

藤永、酒井、三好 分子構造総合討論会、1988年10月東京

三好、酒井、藤永 分子構造総合討論会、1988年10月東京

三好、酒井、三好 J. Chem. Phys. 88, 1470 (1988).

三好、酒井 J. Comput. Chem. 9, 719 (1988).

三好、酒井、村上、岩城、寺嶋、庄田、河口 J. Chem. Phys. 89, 4193 (1988).

酒井、三好 J. Chem. Phys. 89, 4452 (1988).

三好、酒井 J. Chem. Phys. 89, 7363 (1988).

甲木、酒井、三好 Surface Sci. 印刷中

分	076	施
実	53,801	
計	55,200	

表面・界面・クラスターでの電子過程

Electronic processes at surface, interface and cluster.

塚田 捷, 島 信幸, 田仲由喜夫, 影島博之 (東大・理)

1. 研究目的・内容

半導体表面は結晶内部と著しく異なる多彩な再構成構造をとる。その電子論的起源の解明は、半導体表面・界面の新しい機能を探る上で基本的である。Si(100)表面は、応用面でも重要な表面であり、他の面に比べ詳しい実験がなされている。本研究ではこの表面の構造や、アルカリ吸着現象などの電子論的な解明を目指している。

i) Si(100)2X1/アルカリ吸着系の電子状態

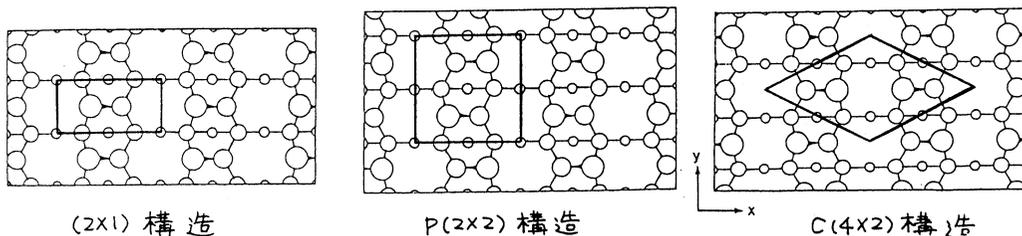
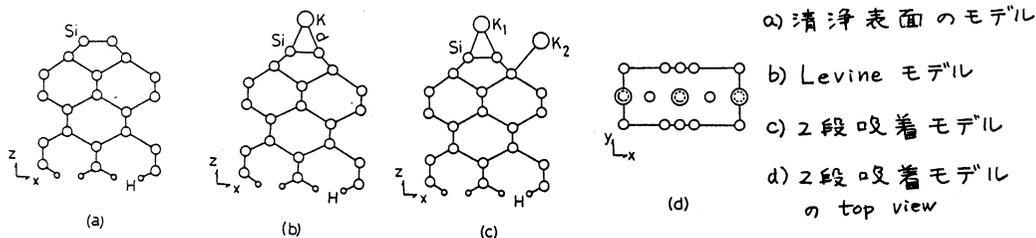
この系は2量体の列の上にアルカリ原子が吸着し(走査トンネル顕微鏡:STMによる観測がある)、1次元的な金属原子鎖系が出来るため、特異な構造を持つ表面新物質相として注目される。吸着構造としてはdimerの畝上にのみアルカリ原子が吸着しているLevine模型と、dimer列の中間の窪みにもアルカリ原子が吸着している2段吸着模型とがある。吸着状態についてイオン結合的であるか共有結合的であるかの2説ある。またこの表面が金属的であるか半導体的であるかについても実験家の意見が分かれている。我々は電子論的な立場からこれらの問題を解明するため、Si(100)2X1/Kについて2つの構造模型を用いて電子状態の計算を行い、表面状態の詳細を調べる。

ii) Si(100)表面の構造と電子状態

Si(100)2X1表面は2量体構造をとることが知られているが、STMで見た室温でのそのマイクロ構造は単純ではない。非対称2量体の種々の2次元配列構造や、2量体空格子周辺の対称2量体構造などが観察される。さらに低温にして行くと、p(2x2), c(4x2)構造が現われることが実験で観測されている。表面の構造としては非対称dimer2X1構造模型が理論的に提唱されているが、dimerの2X1配列構造から計算されるバンド状態は、最近行われた単結晶資料を用いた角度分解光電子分光(ARUPS)の実験を説明することが出来ない。我々は種々の配列構造の表面についてバンド計算を基にした各表面構造の全エネルギーの計算と構造最適化を行うことにより、この表面の状態を電子論的に解明する。

2. 研究方法・計算方法

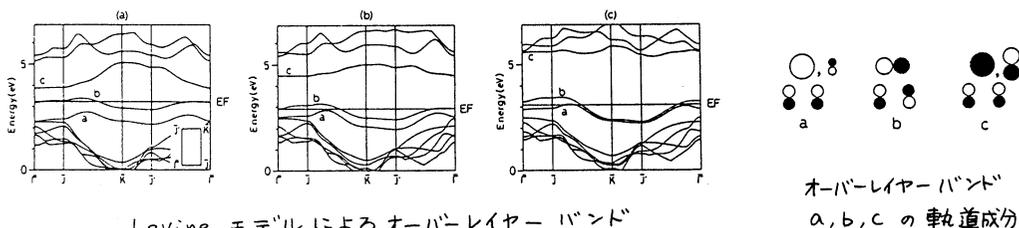
i) Si(100)2X1/K表面を反対側にH原子をつけた10層の薄膜で置き換え、DV-X α -LCAO法($\alpha=0.7$)によってバンド計算する。原子基底は、Siには1s-3p、Kには1s-4p迄のnumericalな物を用いる。表面のdimerには対称構造を仮定する。Si-Si間距離にはbulkの値(2.34Å)を用いる。Si-H間距離は1.49Åである。清浄表面(Si₁₆H₄)の計算の他に、吸着状態を調べるために、Levine模型(KSi₁₆H₄)に於いてのSi-K間距離には3つの場合; (a) d(Si-K)=3.5Å, (b) d(Si-K)=3.1Å, (c) d(Si-K)=2.6Åを仮定してバンド計算を行う。(a)は原子半径の和、(b)はSEXAFSの実験による値、(c)はCiraciらの擬ポテンシャル法によって最適化された値である。2段吸着模型(K₂Si₁₆H₄)では、1つ目のK原子は(b)の位置に置き、2つ目のK原子は表面側にさらに1.1Å近づける。前者と後者の相対位置は、光電子散乱の実験から決められた値である。



ii) Si(100)表面を10層から成る薄膜と真空領域との繰り返し構造から成る3次元系(repeated slab model)で置き換え,ノルム保存の擬ポテンシャル-平面波展開法でバンド計算する。交換相互作用は $X\alpha$ 法で取り入れる。全エネルギー及びHellmann-Feynman力を計算し,準ニュートン法で最適構造を捜す。単位胞が大きいため,平面波を有効に使うために, Si原子の擬ポテンシャルにはソフトなもの(その妥当性はSiのbulk状態の計算で確かめられた)を用いた。平面波のcut offエネルギーは2.4Ryで, 3.0Ry迄増やしても結果は変わらない。平面波展開数はc(4X2)系でおよそ1600から1700である。表面構造には3種類,非対称(2X1)構造(Si₂₀)、p(2X2)構造(Si₄₀)、c(4X2)構造(Si₄₀)の対称性を仮定して計算した。最初にdimer配列の違いが全エネルギーにどの様に影響するかを調べるために,表面第2層より内部の原子位置は,非対称(2X1)構造でCohenらが最適化した構造を基にした物を3種類の対称性に共通に用いる。表面dimerの原子位置にはCohenらが上の計算で最適化した物を用い,向きだけを対称性に応じて変える。全エネルギーを比較するために,共通の単位胞を使った計算を行った。(2X1)構造とc(4X2)構造については,さらに構造最適化も行う。p(2X2)構造については計算時間不足のため構造最適化計算は出来なかった。c(4X2)構造についても同じ理由で十分な構造最適化ではない(全ての力が 4×10^{-3} Ry/a.u以下)が,全エネルギー,電子状態などは殆ど収束している。

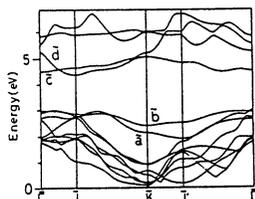
3. 研究成果

i)(a)-(c)の構造によるバンド構造を図に示す。Levine模型に於いては,アルカリの価電



a) $d(k-si) = 3.5 \text{ \AA}$ b) $d = 3.1 \text{ \AA}$ c) $d = 2.6 \text{ \AA}$

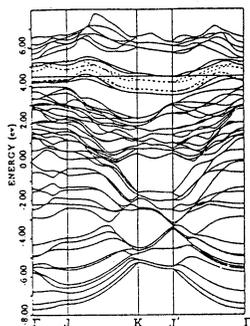
子軌道と2量体の π 、 π^* 表面状態より成る3つのオーバーレイヤーバンド、a,b,cができ、その内の1つ、bがフェルミ準位と交差し、金属的になる。3つのバンドの、 Γ 点付近での軌道成分を図に示す。バンドaは主にK4s軌道とdimer π 状態間の結合状態、バンドbはK4 p_x 軌道とdimer π^* 状態間の結合状態である。バンドcはK4s軌道及びK p_z 軌道とdimer π 状態間の反結合状態である。バンドの図(a)~(c)から分かるように、K原子が表面に近づくにつれて、バンドbは押し下げられ、バンドcは押し上げられる。これらの振舞いは、軌道成分の解析とコンシステントであり、共有結合性を示している。K原子の電荷のMulliken解析をすると、(a)~(c)いずれの場合もおよそ+0.1で殆ど中性である。これらの事実からアルカリ原子と表面との結合は共有結合的であり、Si表面でアルカリ吸着原子が完全にイオンになるというCiraciらのモデルは不適当であることが分かる。(この結論は、石田らの擬ポテンシャル法による計算によっても支持されている。) 2段吸着模型では4枚のオーバーレイヤーバンド、a,b,c,dがあるが、完全に満ちた2つのバンド、a,bと、空の上のバ



2段吸着模型の
オーバーレイヤーバンド

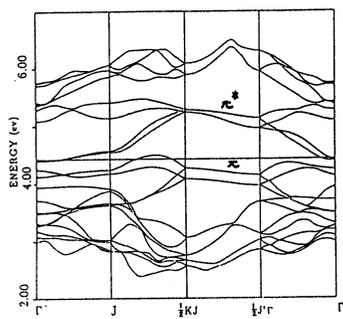
ンド、c,dとの間には1~2eVのギャップがあり半導体的である。また満ちたバンド間の間隔は約0.8eVである。このような特徴はARUPSの実験とよく対応する。現時点ではLevine模型と2段吸着模型とのどちらがSi(100)2X1/K表面の構造であるかは結論できない。資料の作成条件によって両方の構造が実現している可能性もある。

ii)(2X1)構造では、非対称な2量体ダングリングボンドの結合型 π 状態と反結合 π^* 状態の2つの表面状態バンド間の間隔は対称2量体構造面の場合に比べて広がるものの、わずかの重なりが残って半金属的である。これは従来のCohenグループの結果とは異なる見知である。この結果は薄膜の厚さを変えても変わらない。(2X1)構造のバンド状態が半導体的にならない1つの理由として、局所密度汎関数法ではoccupied stateとunoccupied state間のエネルギーギャップが小さめにでる問題との関連が考えられる。他の可能性としては、

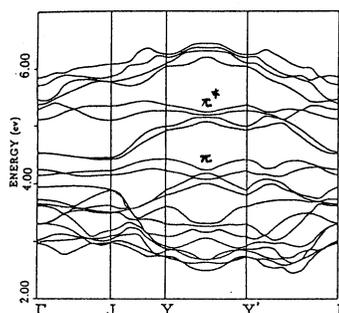


(2X1) 構造

— 非対称ダイマー
- - - 対称ダイマー

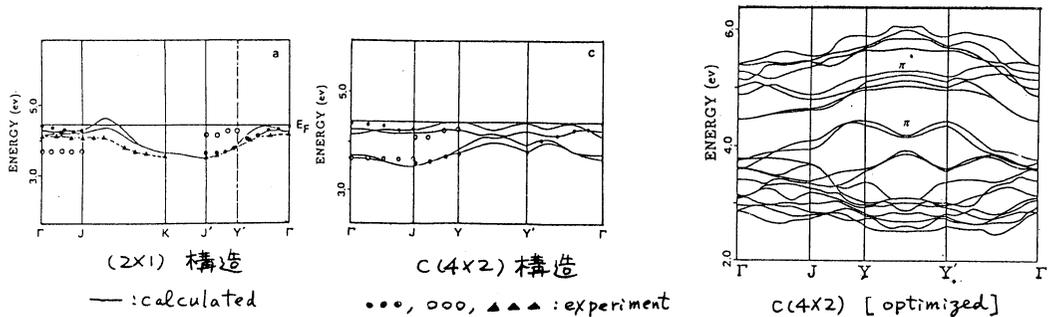


p(2x2) 構造



c(4x2) 構造

後述するように実験で観測している半導体的な表面が純粋な(2X1)構造ではない場合である。この問題を完全に明らかにするには、準粒子の方法を使って電子状態を計算する必要がある。p(2X2)構造では、フェルミ準位付近のバンドの重なりはごく小さくなるもののやはり半金属的である。c(4X2)構造ではバンド間に小さなギャップが開き、半導体的となる。その理由は、2X1構造の時に現われるフェルミ面は、単位胞をc(4X2)に広げた場合、c(4X2)のブリルアンゾーンの境界付近に集まるため、J点付近の π 状態と、J'付近の π^* 状態間に新たな混合が生じるためである。全エネルギーを比較すると(2X1)構造はp(2X2)構造とc(4X2)構造より不安定であること(それぞれ0.013eV/dimer, 0.023eV/dimer)、また後二者のエネルギー差は(2X1)構造とのエネルギー差と比べて小さいことが分かった。いちばん安定なのはc(4X2)構造で、これは低温での実験結果と一致している。p(2X2)構造でエネルギーが下がるのは、(2X1)構造に比べてdimer同士が避け合う配置になっているため、電子間のクーロン反発エネルギーを得するためである。c(4X2)構造でエネルギーが下がるのは、上に述べた π と π^* 状態の混合により電子が局在するためイオンコアによるポテンシャルエネルギーを得するためである。c(4X2)構造によるバンド分散と実験との比較が図に示してある。



主に折返しの効果により、(2X1)構造では計算に対応しなかった実験の分散部分がc(4X2)構造では計算に非常によく対応する。p(2X2)構造のバンド分散でも実験との対応はよい。p(2X2)構造とc(4X2)構造との全エネルギーの差が小さいことを考え合わせて、室温での(2X1)構造がp(2X1)構造とc(4X2)構造との混合状態であると仮定すると、従来の考え方は理解できないARUPSの実験結果を解釈できる事になる。2つの構造が混在するためには第2層目の原子のy方向への変位は小さくしなければならず、従ってその場合第2層以下の原子配列はここでの計算で仮定したような物に近いと考えられる。(2X1)構造、c(4X2)構造を最適化すると、2量体を形成することによる変位はかなり深い層にある原子にまで及んでいる。(2X1)構造とc(4X2)構造との全エネルギー差は0.067eV/dimerとさらに大きくなる。(2X1)構造のバンド分散は殆ど変わらないが、c(4X2)構造のバンド分散では、コンダクションバンドの極小位置がJ点からGamma点に移る。この変化は低温での実験にかかるはずである。最適化された原子配置は、電子散乱などから実験的に求められた位置とよく一致する。

4. 発表・出版実績または予定

石田 浩, 島 信幸, 塚田 捷, 朱 梓忠, 寺倉清之: 物理学会秋の分科会, 1988年10月、広島
朱 梓忠, 島 信幸, 塚田 捷: 物理学会年会, 1989年3月、平塚

M.Tsukada, N.Shima, Z.Zhu, H.Ishida and K.Terakura: to be published in
"Metallization and Metal-Semiconductor Interface" ed. by I.P.Batra (Plenum 1989)
Z.Zhu, N.Shima and M.Tsukada: submitted to Phys. Rev. B

分	17,305
実	17,600
許	

高分子の電子構造とNMR化学シフト

Electronic Structure and NMR Chemical Shift of Polymer Chains

○安藤 勲、安藤 慎治、黒子 弘道（東工大工）

1. 研究目的・内容

高分子鎖は固体において分子運動が束縛されているためにそのNMR化学シフトは特定のコンホメーションについてテンソル量として得られる。この量からコンホメーション、電子構造などに関する情報が得られる。このような情報を正しく引き出すにはどうしても量子化学的手法を通してNMR化学シフトを解釈する必要がある。これまで、このような観点から、いくつかの合成高分子の¹³C NMR化学シフトおよびテンソルを私共の開発したTight-Binding MO法と化学シフト理論とを結び付けた方法により計算し、高分子鎖の¹³C NMR化学シフトと電子構造、コンホメーションの関係を明らかにしてきた。本研究では高分子鎖間相互作用を¹³C NMR化学シフトから追求するために多数鎖のモデルについて量子化学計算を行った。

2. 研究方法・計算方法

本研究では、高分子鎖を直接評価することのできるTB近似を用いたSum-Over-States (SOS)法を用い、さらに、鎖間相互作用を直接考慮するために7本鎖モデルを用いて計算した。この7本鎖モデルによって結晶構造における鎖間相互作用を考慮することが可能となり、結晶形の違いに起因する化学シフト差を評価することができる。プログラムは私共が開発したものを、スーパーコンピュータを用いて計算を実行した。

化学シフトは以下の式に基づいて計算された。

$$\sigma_A^a(k) = \frac{\mu_0 e^2}{6\pi m_0^2} \sum_{\nu}^A \sum_{\nu'}^A P_{\nu\nu'}(k) \langle \varphi_{\nu}(r) | r^{-1} | \varphi_{\nu'}(r) \rangle$$

$$\sigma_{A,ab}^b(k) = -\frac{\mu_0 \hbar^2 e^2}{4\pi m_0^2} \sum_m^{\text{occ}} \sum_n^{\text{unocc}} \sum_j^A \langle r^{-3} \rangle_{2p} ({}^1E_n^n - {}^1E_0)^{-1}$$

$$\sum_j^B \sum_l^B (X(j, m, n, \beta, \gamma) X(l, n, m, \gamma, \alpha)$$

$$- Y(j, m, n, \beta, \gamma) Y(l, n, m, \gamma, \alpha)$$

$$+ X(j, m, n, \gamma, \alpha) X(l, n, m, \beta, \gamma)$$

$$- Y(j, m, n, \gamma, \alpha) Y(l, n, m, \beta, \gamma))$$

where

$$P_{\nu\nu'}(k) = \sum_m^{\text{occ}} C_{\nu n}^*(k) C_{\nu' m}(k)$$

$$X(j, m, n, \beta, \gamma) = C_{j m}^{R\beta} C_{j n}^{I\gamma} + C_{j n}^{R\beta} C_{j m}^{I\gamma} - C_{j n}^{R\gamma} C_{j m}^{I\beta} - C_{j m}^{R\gamma} C_{j n}^{I\beta}$$

$$Y(j, m, n, \beta, \gamma) = C_{j m}^{R\beta} C_{j n}^{R\gamma} - C_{j m}^{R\gamma} C_{j n}^{R\beta} + C_{j m}^{I\beta} C_{j n}^{I\beta} - C_{j m}^{I\gamma} C_{j n}^{I\beta}$$

$${}^1E_m^n - {}^1E_0 = \varepsilon_n - \varepsilon_m - J_{nm} + 2K_{nm}$$

$$J_{nm} = \frac{1}{N} \sum_j \sum_{\nu} \sum_{\mu} C_{\nu n}^* C_{\mu m}^* C_{\nu n} C_{\mu m} \gamma_{AB}^{0j}$$

$$K_{nm} = \frac{1}{N} \sum_j \sum_{\nu} \sum_{\mu} C_{\nu n}^* C_{\mu m}^* C_{\mu n} C_{\nu m} \gamma_{AB}^{0j}$$

3. 研究成果

ポリエチレン (PE) は安定な斜方晶と準安定な単斜晶があり、両者ともそのコンホメーションは ALL-TRANS である。単斜晶 PE の結晶構造については X 線回折により結晶格子定数は詳しく求められているが、斜方晶 PE については厳密なデータは得られていない。斜方晶および単斜晶 PE の結晶格子定数等のデータを表 1 に示す。

Table 1 Geometrical data of PE

	Orthorhombic	Monoclinic
a (Å)	7.418	8.09
b (Å)	4.946	4.79
c (Å)	2.54	2.53 (f.a.)
α (deg)	90	90
β (deg)	90	107.9
γ (deg)	90	90
Setting (deg)	41.2	0

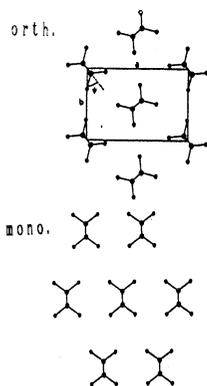


Fig. 1

VanderHartらは単斜晶の ^{13}C NMR化学シフトは斜方晶のそれに比べ約1.4ppm低磁場にシフトすることを報告している。PEは前述のように斜方晶、単斜晶共、そのコンホメーションは同一であり、結晶型の違いは鎖の相対的な位置関係であるため、通常行われている1本鎖計算ではこの化学シフトの違いを評価することはできない。そこで本研究では7本鎖モデル(図1)を用い鎖間相互作用を考慮することにより両者の結晶型の違いを評価した。

Table 2 Comparison of observed and calculated valence energy (eV) of PE

	Upper band ($C_{2p} + H_{1s}$)			Gap	Lower band (C_{2s})			Band gap
	Top	Bottom	Width		Top	Bottom	Width	
Experiment	8.8	15.5	6.7	2.0	17.5	24.7	7.2	
Orthorhombic ^a	9.252	21.773	12.521	1.049	22.822	43.114	20.292	9.990
Monoclinic	9.247	22.689	13.442	0.156	22.845	42.918	20.073	9.882

TB-INDO/S-SOS法を用いて計算した電子エネルギーの結果を表2に示す。半経験的MOでは価電子バンドのupper bandとlower bandの間のgapが正しく評価されない傾向があることが報告されているが、本研究で得られた7本鎖モデルによる結果は、この傾向を正しく評価している。

計算されたPEの ^{13}C NMR化学シフトは単斜晶が-61.8ppm、斜方晶が-61.6ppmであり、単斜晶は斜方晶に比べ低磁場側にシフトしている。これは、実測を定性的に再現しており、この方法が鎖間相互作用を十分議論できる方法であることが示された。さらに、この結果は、結晶型の違いを議論するには鎖間相互作用の考慮が必要であることを示しており、特に、PEの場合は鎖間相互作用を考慮することによって初めて、結晶型の違いを評価することが可能となった。今後は、これらの結果をふまえて、鎖間距離と化学シフトの関係を明確にし、鎖間相互作用の変化を伴うような構造変化と化学シフトとの関係をさらに詳細に議論する予定である。

4. 発表・出版実績または予定

- 黒子・山延・安藤 J. Chem. Phys., 89, 5216 (1988)
 石井・黒子・山延・安藤 J. Chem. Phys., 89, 7315 (1988)
 黒子・山延・安藤 J. Mol. Struct., 印刷中
 黒子・安藤 J. Chem. Phys., 投稿予定
 安藤・黒子・山延 M A C R O 8 8, 88年8月京都
 黒子・山延・安藤 N M R 討論会, 88年9月札幌

分	DA8 施
実	7,087
許	24,000

金属およびその混合物のガラス状態のシミュレーション

Computer simulation of vitreous states of metals and their mixtures.

○能勢修一、米沢富美子、中西秀、坂本昇一、森弘之、我妻浩幸、後藤健、長尾辰哉（慶大理工）

1. 研究目的・内容

多くの物質で液体を急冷するとガラス状態を得ることができる。ガラス状態では粒子の拡散、巨視的な変形がほとんど起こらない点で固体的であるが、その構造は、結晶のようなはっきりとした規則性を持たず、むしろ多くの点で、液体と共通した性質を示す。

このような不規則系を理論的に取り扱うのは、規則性がないために困難なことが多い。このプロジェクトでは、シミュレーションによりガラス状態をつくり出し、そのデータを用いて、ガラス状態の特徴を見い出して行くことを目的とする。

2. 研究方法・計算方法

今までは、原子間に実効的な対ポテンシャルを考えて、シミュレーションを実行してきたが、今年度からは、電子の波動関数をあらわに考慮して、量子力学的に原子間相互作用を計算しながら原子を動かしていこうとする新しいシミュレーション法（Car-Parrinello法）を用いる予定にしていたが、プログラムの作製に手間取り、年度内に本格的な計算を実行することは出来なかった。

3. 研究成果

上述のように、アモルファス系に応用したシミュレーションは実行できなかったので、プログラム作製の過程でCar-Parrinello法について考察したその原理及び適用できる範囲について述べる。

従来の分子動力学シミュレーションでは、粒子配置の変化による電子状態の変化を考慮することが難しく、あらかじめ、種々の粒子配置（主に2個の対）について計算したエネルギーを、良く再現するように実効的なポテンシャルを定めてから古典的な力学法則に従って、粒子の運動を調べていた。もちろん、量子化学的な手法を用いて電子の波動関数、エネルギー準位を定め、その断熱ポテンシャルを用いて、粒子の運動を考えることもできるが、そのままでは、計算の手間が大変で、通常100個以上の粒子を用いるシミュレーションに適用することは、とうてい不可能である。

現在、結晶のバンド計算で主流となっているのは、密度汎関数法である。電子に対し、一体近似を行なったハミルトニアンで考えるが、これを対角化して解いていく通常の解法では、粒子が運動するシミュレーションに適用したとき、必要とする計算機の容量（基底の数の2乗が必要）、計算時間の点で問題がある。CarとParrinelloは、密度汎関数法を基礎に、電子の波動関数を

$$\mu d^2\psi_i/dt^2 = -H_1\psi_i + \sum_j \lambda_{ij}\psi_j \quad (1)$$

という古典的な運動法則により変化させていく方法を考え出した。ここで、 H_1 は一体近似的なハミルトニアンである。この方法では、粒子の座標と波動関数が同時に変化していく。計算の段階では、基底の数程度の容量が必要である。

全体のエネルギーを、摩擦項を加えるか、運動エネルギーのスケーリングにより徐々に下げていくと、最終的に、粒子及び波動関数の動きがなくなったとき、最も安定な粒子配置とそれに対する H_1 の正しい固有関数が得られる。このように、最安定構造を探す手法を simulated annealing と呼んでいる。

Car-Parrinello法を、simulated annealing に適用することは、冷却過程を適切に行なえば原理的な問題はない。一方、有限温度のシミュレーションに応用するためには、次の2点について考えてみなければならない。(a) どの程度正しい固有関数となっているか、(b) 粒子の配置の変化により、エネルギー準位の順序の変化が生じ、基底状態が正しく求められない場合が起きないか。

(a) の点は、方程式の時間平均を行なうと、左辺は0となるので、それぞれ平均されたハミルトニアン、固有関数、固有値は、古典的な温度揺らぎ kT の誤差の範囲で正しい関係を満たしている。通常、電子のエネルギーは $1 \text{ eV} = 10^4 \text{ K}$ の程度であるから、常温においては、かなり良い精度でこの条件は満たされている。

(b) の準位の順序の変化が問題となるのは、占有状態と非占有状態の間である。従って、絶縁体、半導体のように、エネルギーギャップのある場合には問題とならない。ただし、金属のようにフェルミ準位付近に準位が分布している場合には、注意が必要である。

4. 発表

能勢 日本物理学会 63年10月 広島

米沢・能勢・坂本 in 'Ordering and Organization in Ionic Solutions.'

p 660. 1988, World Scientific Publishing Co. Pte Ltd., Singapore.

分	DBI 施
実	9,427
許	10,000

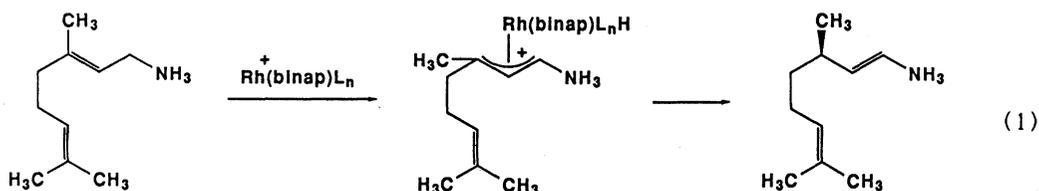
ロジウム錯体による触媒反応の活性中間体に関する研究

A study on Active Intermediates in Rhodium Catalyzed Reactions

○ 山川 仁 (金城学院大学)

1. 研究目的・内容

不斉ビスホスフィン(BINAP)を配位子に持つロジウム錯体はオレフィン類の不斉水素化反応の良好な触媒である。このロジウム錯体を触媒に用いると、アリルアミン誘導体であるゲラニルアミンにエナンチオ選択的に1,3-水素移動を起こすことができる(1式)。この反応においてエナンチオ選択性が決まるのはRhにゲラニルアミンが窒素原子で配位している段階であると考えられる。ついで、2個の α 位水素のうちの1個がRhによって選択的に引き抜かれて π -アリル錯体が生成する。しかし、このロジウム-ゲラニルアミン錯体を実験的に単離し、あるいは核磁気共鳴スペクトル等の測定手段によって構造を決定することはきわめて困難であるとされている。そこで、分子軌道法によってこの中間体の構造を計算し、高い選択性が現れるメカニズムを検討した。



2. 研究方法・計算方法

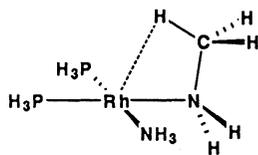
反応中間体に、3配位と4配位のともに配位的に不飽和な錯体が推定される。本研究では4配位の $\text{Rh}(\text{PH}_3)_2(\text{NH}_3)(\text{NH}_2\text{CH}_3)$ [1]と $\text{Rh}(\text{PH}_3)_2(\text{NH}_3)(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2)$ [2], 3配位の $\text{Rh}(\text{PH}_3)_2(\text{NH}_2\text{CH}_3)$ [3]と $\text{Rh}(\text{PH}_3)_2(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2)$ [4]の構造を計算した。これらの錯体において開裂する α 位水素結合と中心金属の間に存在し、エナンチオ選択性を決定している相互作用について検討した。プログラムは分子研ライブラリーのGAUSSIAN 80, 82 (RHF, energy gradient法)を用いた。基底関数はRh原子にHayのpseudopotential, Rhと各アミン配位子の原子価AOにDZ型を, PH_3 , NH_3 , 内殻AOにはminimalを用いた。

3. 研究成果

α 位水素引き抜きの反応には2通りの反応機構が考えられる。第一はassociativeな機構で図-1に示したようにアミンがaxialを向いた4配位子錯体が中間体である。18電子説によればこの錯体のRhは16電子でさらに水素を引き抜く能力がある。第二はdissociativeな反応機構で中間体は図-2に示したように3配位の錯体でアミンがequatorialに向き、 α 位の水素がRhと相互作用することが可能である。この錯体のRhは14電子で前者より配位力が強い。以上、2種類4個のモデルについてその分子構造を検討した。

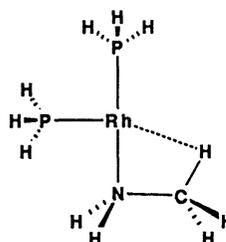
$\text{Rh}(\text{PH}_3)_2(\text{NH}_3)(\text{NH}_2\text{CH}_3)$ [1]の構造。

図-1に示した様なアミンがeclipsedの初期構造から最適化を行なったところ、N-C結合のまわりに 180° 回転し、 α 位水素とRhとがまったく相互作用を持たないstaggered formへ



[1]; R = H, [2]; R = CH=CH₂

Figure 1. Axial Conformation Intermediates.



[3]; R = H, [4]; R = CH=CCH₂

Figure 2. Equatorial Conformation Intermediates.

変化した。この構造からの反応には相当の活性化エネルギーを必要とすると考えられるので今後さらに検討する予定である。

Rh(PH₃)₂(NH₃)(NH₂CH₂CH=CH₂) [2] の構造.

α位水素が2重結合のアリル位でもあるためかなり活性化されていると考えられるが、[1]と同様の構造を持つことがわかった。

Rh(PH₃)₂(NH₂CH₃) [3] の構造.

図-2に示したように agostic相互作用を持ちうる初期構造を仮定して最適化を行なった。メチルアミンの配座は最適化にともない、eclipsedから staggeredへと変わった。最適化構造を図-3に示した。α位水素とRhとの距離は3.064, 3.067Åであり、相互作用は存在していない。

Rh(PH₃)₂(NH₂CH₂CH=CH₂) [4] の構造.

図-2の構造から最適化した。RhとH(α位, アリル位)は強い相互作用を持ち、最適化に伴いその距離は減少して約2.2Åまで接近した。この構造では agostic相互作用が存在している。アミンがこのような配座をとりα位水素の引き抜きが起これば高いエナンチオ選択性が現れると推定される。同時に、二重結合もRhに接近し、配位するため、N-C結合のまわりに回転し、staggered formに変化した。この構造ではα水素とRhが離れて固定されるためα水素の引き抜きは起きにくいと考えられる。このdissociativeな反応機構で、二重結合のRhへの配位と競合してα位水素の引き抜きが起これば1式の反応は進行すると考えられる。

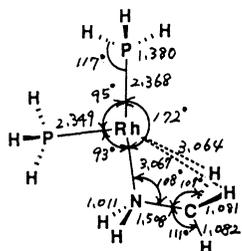


Figure 3. Optimized Structure of [3]

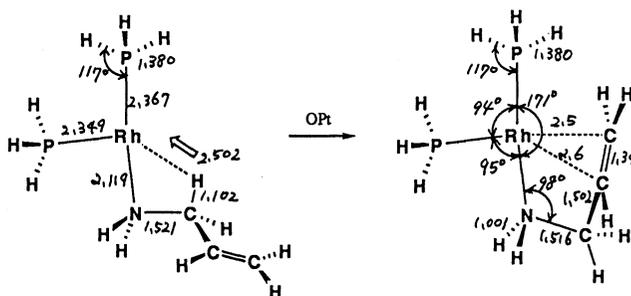


Figure 4. Optimization of [4].

4. 発表・出版実績

計算が完了しだい発表する。

分 DB4 施

実 17,555
許 19,200

中・大員環状化合物の立体配座

The conformation of medium and large ring compounds

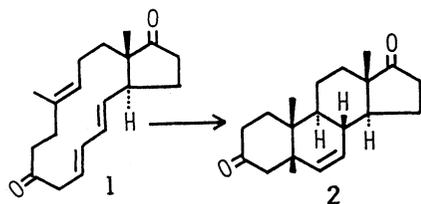
○ 深沢義正、笛吹修治、岡島俊哉（広島大理）

（研究目的・研究内容）

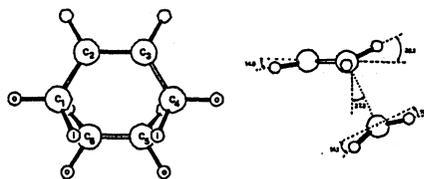
現在、有機合成の中心課題のひとつに高選択性の追求がある。特に立体選択性は高い不斉誘導の問題とも密接に関連しており、いずれの場合も正確な反応機構の理解が不可欠である。そこで我々は、反応の詳しい理解の一助として分子力場法を利用することを考えた。分子力場法は元来、化合物の基底状態における安定な構造及びエネルギーを求めるために開発された方法である。このため、同法は主に静的な系へ適用され、熱力学的支配の反応生成物の予測などに有効であることが証明されてきた。しかしながらすべての反応が分子力場法で取り扱える熱力学支配とは限らず、特に有機合成に多用される反応は動力学支配のものも少なくない。このような場合にはそれぞれの生成物を与える遷移状態の構造やエネルギーを直接に比較する必要がある。しかしながら有機反応機構の研究において遷移状態の詳細な構造まで立ち入った議論はあまり大きな進展は見せておらず、我々が有機合成に利用する反応の多くは今だに研究者の直感に基づく作業仮説的な遷移状態の構造を用いて選択性の議論が行なわれているのが現状である。現在、遷移状態に関しては非経験的分子軌道法（*ab initio*法）が最も信頼性の高い結果を与えることが知られている。しかしながら、我々が有機合成において実際に直面する複雑な分子の反応の遷移状態をこの方法で計算することは実際的ではない。そこで我々は、最初 Houkらによって提唱され、比較的小さい分子において立体選択性の予測に成功を納めてきた、*ab initio*-MM2遷移状態モデリング法をより大きな分子の行なう反応に適用した。使用したプログラムは、分子研の登録プログラム、GAUSSIAN 82及びMM2プログラムである。

（研究方法・研究結果）

我々は、今回、14員環内に組み込まれた Diels-Alder反応系を用いるステロイド骨格合成の際の立体選択性を調べた。すなわち、図1に示すように大環状化合物 **1** の Diels-



（図1）



（図2）プタジエンとエチレンの Diels-Alder反応の遷移状態

Alder反応によって生成するステロイド化合物の立体化学を遷移状態モデリング法を用いて考察した。**1**の分子内 Diels-Alder反応の反応中心の構造は、Houkらがすでにプタジエンとエチレンの遷移状態を *ab initio*法(STO-3G)で求めており、その構造に固定した。さらに、残りの、反応に直接関与しないと思われる炭素鎖の最安定な構造を求めるため、反応中心以外の炭素鎖の取り得るあらゆる可能な配座を我々が開発した MMRSプログラム

分	DC4 施
実	10,527
許	12,800

ガラスの構造の計算機シミュレーション

Computer Simulation of Glass Structures

○井上 博之

1. 研究目的・内容

非晶質・ガラスの構造の持つ本質として3次元的にガラスの構造自体を記述することは、不可能である。これに対して、種々の分析方法によりガラスの構造は、断片的ではあるが多くの構造情報を取り出すことができるようになってきた。これらの構造情報を満足する3次元的なガラスの構造モデルの記述は、今後のガラスの材料設計の上においても、非晶質の科学の発展の上においても極めて重要であると考えられる。現状では、最良な3次元的なガラスの構造モデルの作製方法として分子動力学が挙げられる。この方法を用いた酸化物ガラスの構造シミュレーションは、1976年に Woodcock らによって初めて報告されて以来、多くの報告があるが、如何なる原子間ポテンシャルを用いるべきかは、現在でも極めて重要な問題である。本研究は、酸化物ガラスとして SiO₂ ガラスを取り上げ、原子間ポテンシャルの再検討を量子化学計算を基に行い、実際にシミュレーションを行った。

2. 研究方法・計算方法

計算手順の説明の前に本研究における前提条を以下に示した。

イ) 本来、多体問題として取り扱われる分子のポテンシャルエネルギーを極めて単純な2体ポテンシャルとして、また、必要があれば3体ポテンシャルとして近似する。

ロ) 2体ポテンシャルは、以下の式で表される Born-Mayer 型を使用する。

$$\Phi_{ij} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Z_i Z_j}{r} + B_{ij} \cdot \exp\left(-\frac{r}{\rho}\right) \quad (1)$$

この式中の $Z_{Si}, Z_O, \rho_{Si-O}, \rho_{O-O}, B_{Si-O}, B_{O-O}$ のパラメータを量子化学計算より求める。

具体的には、

① SiO₄H₄ のクラスターを用い Si-O の結合距離び対するポテンシャルエネルギー変化と個々の原子に働く力より、(1)式で表される Si-O, O-O の2体ポテンシャルのパラメータを求めた。

② SiO₄H₄ のクラスター中の1つの酸素原子を Si-O の結合距離を一定にして、O-Si-O の結合角を変化させ、その酸素原子に働く力より、O-O の2体ポテンシャルの検討と O-Si-O の3体ポテンシャルの必要性に対する検討を行った。

③ Si₂O₇H₆ のクラスターを用い、Si-O-Si の結合角の変化に対する Si 原子に働く力の変化より、Si-O-Si の3体ポテンシャルに対して検討を行った。

上記における量子化学計算には、GAUSS80H (東京大学大型計算機センターのLibrary)を用いた。計算条件は、Roothaan の制限 Hartree-Fock、基底関数には STO-3G とし、全エネルギーと各原子核に働く力を求めた。

④ 求めたいいくつかのパラメータを用いて、分子動力学法を用いて SiO₂ ガラスの構造モデルを作製した。分子動力学法のプログラムには、2体ポテンシャルのみを用いたものと3体ポテンシャルをさらに付加したものを作製した。従来通りにクーロン力の計算には、Ewald の方法を用い、分子科学研究所電算機センターの HITAC S-820 にて計算を行った。シミュレーションでは初期座標を乱数で与え、徐々に運動エネルギーを取り除くことこによって冷却し、構造モデルとした。

3体ポテンシャルの導入方法を以下に示す。

① Si-O の原子間距離が、ある値以下の場合に結合しているとし考える。この結合している Si-O の作る Si-O-Si, O-Si-O に対して 3体ポテンシャルを適用する。

② 3体ポテンシャルを計算では、力で与え、その方向と大きさは、上記の量子化学計算を基にした。発散を防ぐために3体内部において力のバランスと角運動量保存則を考慮し、さらに、全エネルギー

を一定に保つために Si-O の結合距離の関数を付加した。

3. 研究成果

上記の①の方法で量子化学計算とある程度一致の得られたパラメータを Fig.1 に示す。横軸に Φ_{Si-O} の極小値を与える Si-O の距離を 縦軸に 0-0 が異種電荷を持つと仮定した場合の Φ_{O-O} の極小値を与える O-O の距離でプロットした。さらに、②の方法で O-Si-O の角度変化を O-O のポテンシャルによってほぼ再現できるパラメータを実線で示した。図中の実線よりも下にあるパラメータを用いる場合には、O-Si-O の 3 体ポテンシャルが必要であり、実線より上は、O-O の反発が大きすぎることを示している。②と③の方法により、3 体ポテンシャルは、 $\Phi_{O-Si-O} = f*(\theta - 109.472)^2$ 、 $\Phi_{Si-O-Si} = f*(\theta - 90)^2$ で近似できることがわかった。

Fig.1 の実線上に示したパラメータを用いてシミュレーションを行った場合、Si 原子の酸素配位数は、 4 ± 0.05 とほぼ 4 配位を示し、その結合距離もこれまでの X 線回折の結果と一致した。また、Fig.1 中の実線より下のパラメータを用いた場合、2 体ポテンシャルだけでは、Si 原子の配位数が 4 より大きくなり、3 体ポテンシャルを付加して、4 配位となる。例として、Fig.1 で * をつけたパラメータを用い、2 体ポテンシャルのみと 3 体ポテンシャルを付加した場合の Si 原子の酸素の積算配位数を Fig.2 に示す。さらに、Fig.1 の実線上のポテンシャルを用いた場合と、* をつけたパラメータに 3 体ポテンシャルを付加した場合の O-Si-O の角度分布を Fig.3 に示した。明かに、3 体ポテンシャルを用いることによって SiO₄ 四面体の order があがっていることがわかる。

現在の段階では、ポテンシャルパラメータを 1 つに絞りきることができなかつたが、さらに、物性などのシミュレーションとあわせてポテンシャルの最適化を検討中である。さらに、SiO₂ 系だけでなく、P₂O₅ 系への試みも検討中である。

4. 発表

井上、金澤 日本セラミックス協会年会、
1989年 5月 東京

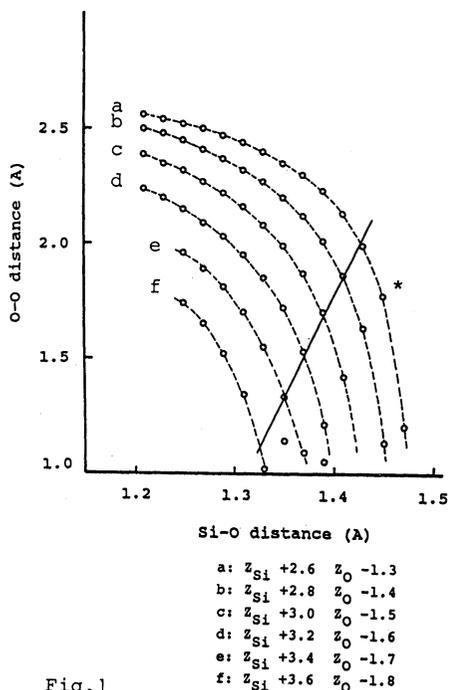


Fig.1

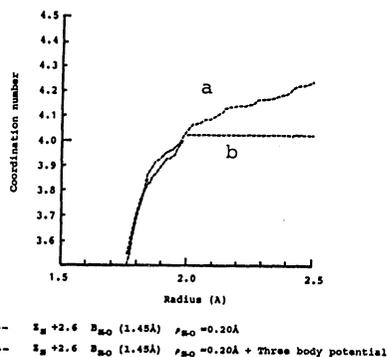
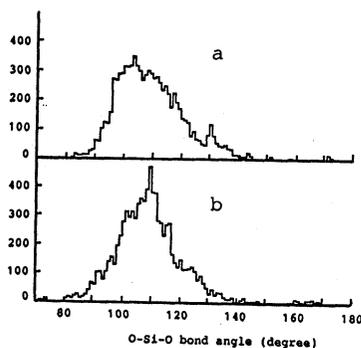


Fig.2



a: pairwise potentials
b: pairwise potentials+ Three body potentials.

Fig.3

有機合成反応の分子軌道論的研究

DEZ 施
実 20.275
計 22.800

Theoretical Studies on Organic Synthetic Reactions using MO Theory

(静岡県大・薬) ° 阿知波一雄, 寺尾良保, 今井信行, 青野雅博, 常盤広明, 高橋寿

[研究目的・内容]

前年度に引き続き本プロジェクトは分子軌道計算を用いて実際の有機合成反応の既知実験事実を理論的に解析し, 更に反応及びそれに基づく物理量の予測を行って実験化学に対する分子軌道理論の有効性を立証することを主たる目的とした.

具体的な課題としては以下のものを本年度は取り上げた.

- (i) 種々のプロキラルな基質化合物の選択的不斉水素化に用いられる光学活性phosphine-Rh錯体の不斉触媒配位子設計・新概念の理論的確立
- (ii) 環内に歪みをもつ飽和環状ケトンの $n \rightarrow \pi^*$ 遷移に基づく旋光性の起源の理論的解析, および旋光強度の理論計算値と経験的対称則からの予測値との比較.
- (iii) 実際の合成戦略に用いられる種々の1,3-dipole環状付加反応の反応経路解析に基づく選択性の理論的考察.

[研究方法・計算方法]

計算には分子研の登録プログラムGaussian 82をはじめとして, GAMESS (Schaefer版, North Dakota版), MNDOC, MOPAC, HONDO7, RPAC等を使用した. また, Rh錯体の定性的計算にはQCPE #344を大分子用(原子数500程度)に書き直したものを使用した.

ヘテロ原子含有cyclohexanone誘導体の旋光強度は, 半経験的なMNDOC(AM1)法に基づいてDipole-Velocity matrixから遷移モーメントを求めることによって算出した. またab-initio RPA近似による旋光強度計算も一部行った.

Rh錯体の基質配位体の安定性に関するエネルギー計算はRh原子にWadt-Hayらの相対論的有効内殻ポテンシャルを置いて, RHFおよびMP2法によって実行した. その際に他の原子にはHuzinagaらの(533/53), (53/5)系のBase Setを用いた. さらに共鳴積分hrsを加重平均した拡張Hückel法に基づいて計算したSustmannの軌道間相互作用エネルギーにより, 実際のbis-phosphine配位子(p-Ph-置換BCPM, BPPM誘導体)の置換基効果の理論的考察を行った.

1,3-dipole環状付加反応の反応経路計算には半経験的なAM1法及びab-initio RHF, MP2法を用い, 遷移状態を含めて最適化計算を実行した. またその最適化構造を用いて種々の置換ylideの反応選択性をフロンティア分子軌道理論により定性的に考察した.

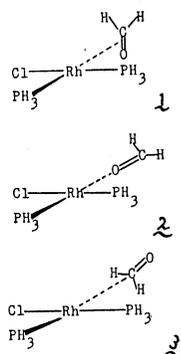
[研究成果]

(i) カルボニル基質が配位したcis-bisphosphine Rh錯体は η^2 -side-on配位が最も安定であることがRHF, MP2レベルでのab-initio法により判った. この結果に基づきカルボニル配位子とRhの相互作用はback-donation支配的であると考えられる. また, カルボニル, 無置換オレフィン, 及び電子吸引基を持ったオレフィンが各々配位したRh錯体におけるphosphine置換基の効果は, Rh-基質間のback-donationの強さ及び水素分子付加の際の重要な軌道間相互作用を支配するRhのdxz(or dyz)軌道のエネルギーレベルに反映することが判った.

Table Total Energies of Carbonyl Coordinate Isomers of $Rh(PH_3)_2Cl(H_2C=O)$ Complexes

Complex	Total Energy (a.u.)	Relative Energy (kcal/mol)	Orbital Population of Rh d-Orbital
1	-1280.068549	0	1.7057
2	-1280.042683	16.2	1.6466
3	-1280.004311	40.3	1.6672

All calculations for the closed-shell ground states of the present complexes are carried out on the basis of the Moller-Plesset Perturbational Method. We adopted a valence double-zeta basis set for Rh with a relativistic effective core potential, (11s,8p)/(3s,2p) set for P and Cl, (8s,4p)/(2s,1p) set for C and O, (4s)/(1s) set for H.



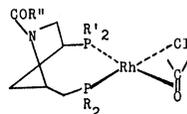
すでに提出したbisphosphine-Rh錯体設計の新コンセプトによれば、カルボニル基質の場合、カルボニルのtrans-位にあるリンへの電子供与性置換基の導入は水素分子の酸化的付加反応の反応速度を速めるものと予測される。拡張Hückel法によってBCPM類似体を計算したところ、電子供与基であるcyclohexyl基が導入されたBCPMは対応するBPPMと比較してd_{yz}軌道の活性化、back-donation相互作用の増加(Net Chargeの増加)がみられ、そのコンセプトを理論的に支持する結果を得た。

またBPPMにおいてカルボニル基質とtrans-配位になるリンのphenyl基にp-N(CH₃)₂, p-OCH₃を導入したときも同様の効果があることが判った。さらにプロキラルな基質化合物が各種置換オレフィンのときもそのコンセプトを支持する計算結果が得られた。

Molecular Orbitals of Chiral Pyrrolidinebisphosphine-Rhodium Complexes

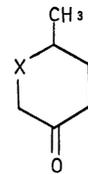
	BPPM	BCPM	BCPP	BCCP
Total Energy(eV)	-4082.228	-3716.845	-3715.694	-3353.254
Total Basis	216	196	196	176
Rh d _{yz} (eV)	-9.3801	-9.3554	-9.3647	-9.3418
Rh δ ⁻ , >C=O δ ⁺	---	+1.369	-0.254	+1.500
E(kcal/mol) ^{a)}	1.23	1.25	1.26	1.27

a) Sustmann's second-order perturbation energy



BPPM: R=Ph, R¹=Ph, Rⁿ=OBu^t
 BCPM: R=Ph, R¹=Cy, Rⁿ=OBu^t
 BCPP: R=Cy, R¹=Ph, Rⁿ=OBu^t
 BCCP: R=Cy, R¹=Cy, Rⁿ=OBu^t

(i i) ヘテロ原子をもつcyclohexanone誘導体のn→π*遷移に基づく旋光性はOctant則に対してX=NH, Oのときはそのヘテロ原子が"consignate"であるが、X=Sのときは"dissignate"であることが実験的に報告されている。今回、AM1法による旋光強度の計算によりSのときの強いdissignate効果はSの存在によるcyclohexane環の歪みとカルボニル基のBendingに起因するものであることが判った。



X=NH, O, S

(i i i) N,O,S-ylideとアセチレンおよびエチレンとの1,3-dipole環状付加反応の遷移状態をAM1法で決定した。また当研究室で新たに開発したベンジル、ベンジリデン置換基をもつS-ylideの反応選択性をフロンティア分子軌道理論によりうまく説明できた。

[発表・出版実績または予定]

H. Tokiwa, M. Kamiya, J. Mol. Struct. (THEOCHEM), 181, 25 (1988)

常盤, 高橋, 森本, 赤堀, 阿知波 日本薬学会第109年会, 1989年4月名古屋

井口, 森本, 阿知波 日本薬学会第109年会, 1989年4月名古屋

井口, 森本, 阿知波, 第35回有機金属討論会, 1988年11月大阪

分	DE3	施
実	10,318	
許	10,400	

水溶液中におけるアミノ酸の平衡構造と電子構造

The equilibrium structures and electron structures of amino acids in aqueous solution

○ 正村 眞佐雄 (岡大歯)

1. 研究目的・内容

(A) 水溶液中の CH_3NH_3^+ の構造を予想すること、と (B) 活性点中の薬物の構造は、気相中 (厳密には、真空中) のその薬物の構造で近似されることが多い。しかしながら、 RNH_3^+ 型薬物の場合、この近似が不適当であることを示唆することである。

2. 研究方法・計算方法

使用プログラムは、GAUSSIAN 82 と MOPAC である。エネルギー勾配法を使用して、分子中のすべて、あるいは、一部の内部座標を最適化した。

(A) 気相中の $\text{CH}_3\text{NH}_3^+(\text{H}_2\text{O})_n$ ($n=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10$) と $(\text{H}_2\text{O})_3\text{CH}_3\text{NH}_3^+(\text{H}_2\text{O})_m$ ($m=0, 1, 2, 3, 6$) クラスターの構造を、MINI-1 と 4-31G によって決定した。これらの気相クラスターの構造に基づいて、水溶液中の CH_3NH_3^+ の構造を予想した。

(B) 気相中の RNH_3^+ の構造の特徴を調べるために、 $\text{R} = \text{CH}_3, \text{C}_2\text{H}_5, \text{C}(\text{CH}_3)_2\text{H}, \text{C}(\text{CH}_3)_3, \text{CH}_2\text{F}, \text{CHF}_2, \text{CF}_3, \text{CH}_2\text{COOH}$ と H_2NCH_2 を使った。共鳴構造 $\text{R}^+\cdots\text{NH}_3$ (I) の RNH_3^+ への寄与を、分子軌道法と共鳴法を組み合わせた方法によって分析した。活性点中の RNH_3^+ のモデルとして、 $\text{CH}_3\text{NH}_3^+(\text{F}^-)_3$ を使用した。3-21G を使用した。6-31G* を小さな分子種に適用した。

3. 研究成果

(A) 表は、つぎのことを示している。(1) $\text{CH}_3\text{NH}_3^+(\text{H}_2\text{O})_n$ の n が大きくなると、(i) CH_3 上の電荷 (q_{CH_3}) は、 $(\text{H}_2\text{O})_n$ の方へますます流れるので、共鳴構造 $\text{CH}_3^+\cdots\text{NH}_3$ の CH_3NH_3^+ への寄与は、だんだん小さくなる。その結果、C-N 結合距離、 CH_3 上の電荷と C-N 間のポピュレーション ($P_{\text{C-N}}$) は、 CH_3NH_2 のそれらの値にだんだん近づく。(ii) 最も外側の H_2O の H の電荷 (q_{H}) は、だんだん小さくなる。(iii) $(\text{H}_2\text{O})_n$ は、N-H の H をより強くひきつけるので、N-H 結合距離は、だんだん長くなる。(iv) $n-1 \longrightarrow n$ に伴うこれらの変化は、だんだん小さくなる：第二水和圏の CH_3NH_3^+ の構造に対する影響は、第一水和圏のそれの $1/3$ である。十番目の水の影響は極めて小さい。(2) MINI-1 の C-N、N-H と C-H 結合距離の場合、それぞれ $-0.03, -0.05, -0.05 \text{ \AA}$ だけ修正すれば、妥当な値になる。 $\text{CH}_3\text{NH}_3^+(\text{H}_2\text{O})_n$ のデータに対して、最小二乗法を適用すると、 $p = a q_{\text{H}} + b \cdots$ (1) を得る。ここで、 p は構造パラメータ、 CH_3 上の電荷あるいは C-N 間のポピュレーションである。 p と q_{H} の相関係数は、大部分 0.99 以上である。(1) 式に $q_{\text{H}} = (\text{H}_2\text{O})_n$ の最も外側の H の電荷 ($n \longrightarrow \infty$) $\doteq (\text{H}_2\text{O})_7$ の最も外側の H の電荷を代入すれば、 $\text{CH}_3\text{NH}_3^+(\text{H}_2\text{O})_n$ ($n \longrightarrow \infty$) のそれぞれのパラメータを予想できる。 $(\text{H}_2\text{O})_3 + \text{CH}_3\text{NH}_3^+(\text{H}_2\text{O})_n \longrightarrow (\text{H}_2\text{O})_3\text{CH}_3\text{NH}_3^+(\text{H}_2\text{O})_n$ の反応による $\text{CH}_3\text{NH}_3^+(\text{H}_2\text{O})_n$ の構造の変化 (Δp) を考える。 Δp と

q_{CH_3} の間に高い相関がある： $\Delta P = e q_{\text{CH}_3} + f \dots (2)$ 。また、 $(\text{H}_2\text{O})'_k \text{CH}_3\text{NH}_3^+(\text{H}_2\text{O})_n$ のH'の電荷($q_{\text{H}'}$)は、 q_{CH_3} と高い相関がある： $q_{\text{H}'} = g q_{\text{CH}_3} + h \dots (3)$ 。(2)と(3)式に $q_{\text{CH}_3} = \text{CH}_3\text{NH}_3^+(\text{H}_2\text{O})_n (n \rightarrow \infty)$ の CH_3 の電荷を代入すれば、 $k=3, n \rightarrow \infty$ のときの ΔP と $(\text{H}_2\text{O})'_k \text{CH}_3\text{NH}_3^+(\text{H}_2\text{O})_n$ のH'の電荷を予想できる。H'の電荷($k=3, n \rightarrow \infty$)は、モノマー H_2O のHの電荷と同じだったので、 $\Delta P(k, n \rightarrow \infty)$ は、 $\Delta P(k=3, n \rightarrow \infty)$ と同じであるにちがいない。 $\text{CH}_3\text{NH}_3^+(\text{H}_2\text{O})_n (n \rightarrow \infty)$ の構造を $\Delta P(k, n \rightarrow \infty)$ で修正すれば、水溶液中の CH_3NH_3^+ の構造を得る。(B)気相中で、共鳴構造Iは、 RNH_3^+ へ27-76%寄与している。 R^+ が安定なほど寄与率は大きくなる。(i)Iは、 $\text{RNH}_3^+(\text{F}^-)_3$ へほとんど寄与しないこと、と(ii)活性点中の電場のために、活性点中の R^+ の安定性は、気相中の R^+ の安定性と異なることから、活性点中でのIの RNH_3^+ への寄与率は、気相中のそれとちがうと予想される。すなわち、活性点中の RNH_3^+ の構造は、気相中のその構造と異なるにちがいない。

4. 発表・出版実績または予定

(A) 正村 Chem. Phys. Lett. 投稿予定 (B) 正村 構造活性相関シンポジウム、63年12月 京都 ; 正村 THEOCHEM 投稿予定
データチェックが完全に終わっていないので、データは、若干まちがっているかもしれない。

The structures of $\text{CH}_3\text{NH}_3^+(\text{H}_2\text{O})_n$ in the gas phase and CH_3NH_3^+ in aqueous solution.

MINI-1	C-N	N-H	C-H	$\angle\text{NCH}$	$\angle\text{CNH}$	q_{CH_3}	q_{H}	$P_{\text{C-N}}$
$n=0$	1.553	1.059	1.128	108.5	111.0	0.340		0.271
1	1.537	1.077	1.125	109.2	110.6	0.272	0.338	0.284
2	1.529	1.079	1.123	109.6	110.3	0.236	0.318	0.289
3	1.525	1.079	1.122	109.8	109.9	0.210	0.306	0.291
4	1.523	1.083				0.195	0.296	0.293
5	1.521	1.085				0.184	0.293	0.294
6	1.519	1.086				0.175	0.291	0.295
9	1.516	1.091				0.152	0.280	0.297
10	1.516					0.146	0.281	0.297
CH_3NH_2	1.504	1.037	1.120	111.2	108.6	0.045		0.316
$n \rightarrow \infty$	1.512	1.093	1.119	110.5	108.9	0.131	0.270	0.299
$\text{CH}_3\text{NH}_3^+_{\text{aq}}^{\text{a)}$	1.516	1.086	1.123	110.0	108.9	0.161	0.270	0.297
4-31G	C-N	N-H	C-H	$\angle\text{NCH}$	$\angle\text{CNH}$	q_{CH_3}	q_{H}	$P_{\text{C-N}}$
$n=0$	1.526	1.010	1.076	108.2	111.0	0.487		0.059
1	1.511	1.018	1.076	108.7	110.8	0.442	0.461	0.080
2	1.502	1.021	1.076	109.0	110.5	0.404	0.453	0.098
3	1.495	1.022	1.076	109.2	110.1	0.372	0.445	0.113
4	1.493	1.024				0.361	0.442	0.117
5	1.490	1.025				0.351	0.441	0.122
6	1.488	1.026				0.342	0.439	0.126
CH_3NH_2	1.450	0.994	1.084	111.1	116.4	0.219		0.211
$n \rightarrow \infty$	1.465	1.034	1.076	110.1	108.9	0.259	0.420	0.171
$\text{CH}_3\text{NH}_3^+_{\text{aq}}$	1.470	1.029	1.077	109.5	108.9	0.284	0.420	0.149

^{a)}The C-N, N-H and C-H bond distances are corrected by -0.03, -0.05 and -0.05 Å.

分	DE9 施
実	7,823
許	18,400

バンド理論による化合物の電子構造

Electronic Structures of Compounds by Band Theory

○HTT原克考, 播磨尚朝*, 金田保則, 清水幸弘(東北大理), *昭和63年9月まで.

1. 研究目的・内容

昨年度に引き続き酸化物超伝導体の参照系として, La_2NiO_4 及び Nd_2CuO_4 型構造をもつ La_2CuO_4 の電子構造を調べた.

a) La_2NiO_4 について.

我々は昨年度, K_2NiF_4 型構造をもつ La_2CuO_4 の反強磁性秩序状態の電子構造を APW 法と局所スピン密度近似 (LSDA) で調べた. その結果, 従来の LSDA では反強磁性状態は安定に存在しない事が示された. 同様の結果は LCAO 法による Leung 達¹⁾ の計算でも得られている. 一方擬ポテンシャル法による白石達²⁾ また LMT0 法による初貝³⁾ の計算によると, LSDA で安定な反強磁性状態が得られたとの報告がある. 従って, LSDA 即ち一体近似バンド理論でこの系の反強磁性秩序状態が説明できるかどうかの疑問が残っている. 一方, La_2NiO_4 はやはり K_2NiF_4 型構造を持ち, かつ磁気的性質が La_2CuO_4 と酷似していることが報告された. フェルミ準位近傍では Ni-d 成分が増加し, よって反強磁性秩序状態がより安定化されると期待される事から, LSDA で反強磁性状態の電子構造を調べた.

b) Nd_2CuO_4 型構造をもつ La_2CuO_4 について.

従来のすべての酸化物超伝導体では, 超伝導を起す荷電担体は正孔であった (p 型). 平成元年1月, 荷電担体が電子である (n 型) 全く新しい型の超伝導体 $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ が報告された. この系の結晶構造は Nd_2CuO_4 型と呼ばれるもので, 次の様な構造上の特徴をもつ. K_2NiF_4 型では Cu-O が 8 面体構造をもち, これが 2 次元のネットワークを作っている. 一方, Nd_2CuO_4 型では, CuO_2 面の Cu の上下に酸素が存在せず, 従って Cu-O は正方形の構成要素より成り, これが 2 次元のネットワークを作っている. 我々はこの様な結晶構造上の違いが, 超伝導荷電担体が正孔もしくは電子と変る事とどの様な関連を成すかを調べる目的で, 電子構造を計算した.

Nd の様な不完全充足 4f 殻をもつ希土類化合物を一体近似バンド理論で扱ると, フェルミ準位近傍に 4f バンドが密集する. 我々は主にフェルミ準位近傍の電子状態に興味があるので, 4f 殻が空の La 化合物 (即ち La_2CuO_4) で計算を行った.

[文献] 1). T.C. Leung et al., Phys. Rev. B37, 384 (1988). 2). K. Shiraiishi et al., Sol. St. Commun. 66, 629 (1988), 最近の基底の数を増した再計算では反強磁性状態は不安定であるとの報告がある. 白石・上村, 日本物理学会誌, 44, 188 (1989).

3). Y. Hatsugai and T. Fujiwara, Sol. St. Commun. 65, 1271 (1988).

2. 研究方法・計算方法

従来と同様、自己無撞着APW法により計算を行った。またLSDAはGunnarssonとLundqvist(1976)により導出されたものを使用。

3. 研究成果

a) La_2NiO_4 について[詳細は次節4-8)を参照したい]

まず最初に、常磁性状態の電子構造を調べた。基本的には、 K_2NiF_4 型 La_2CuO_4 の電子構造と同じであるが、Ni-d軌道がCu-d軌道に比べ、束縛エネルギーが小さい事、よってより広がった性質をもつ事より、更に占有電子数が1個減少した事により、フェルミ準位近傍の状態にNi-d成分が増加した。

次に中性子散乱実験で測定された反強磁性秩序状態に対応する電子状態も調べた。しかし、LSDAではこの反強磁性状態は安定化せず、金属状態となる。これは良く知られたLSDAの不備によるものであり、 La_2CuO_4 の場合と同様、交換ポテンシャルに補正を加えた。交換ポテンシャルを1.5倍した所、副格子の磁化が $1.0\mu_B/\text{Ni}$ となり、 0.027Ry のバンド・ギャップが生じた。 La_2CuO_4 の場合、この補正は2倍であったことから、状況は良くなっている。

b) Nd_2CuO_4 型 La_2CuO_4 について[詳細は次節4-7)を参照したい]

K_2NiF_4 型、 Nd_2CuO_4 型いづれもOサイトに2種類に分れる。CuO₂面内のOをO₁と呼び、他をO₂と呼ぶ。以下両型のバンド構造を比較する。Cu-d(x^2-y^2)とO1-p軌道の結合・反結合バンドが大きく分離する。 K_2NiF_4 型ではCu-O1の距離が 1.904\AA であったものが 1.973\AA と大きくなった事により、これらの分離幅は 0.50Ry となり約 0.08Ry ほど小さい。フェルミ準位はこの反結合バンドの中心に位置し、やはり半分離されたバンドになる。次に K_2NiF_4 型ではフェルミ準位直下に位置していたCu-d($3z^2-r^2$)とO2-p軌道との反結合バンドが、 Nd_2CuO_4 型ではO2の位置が変わったことにより、消失した。

我々の計算結果では、フェルミ準位近傍に他の電子的バンドは存在しない。従って、Cu 3d軌道のフーロン相互作用を考えると、Cu-d(x^2-y^2)とO1-pの反結合バンドがフェルミ準位で分離し、占有されたバンドは2p的性質を、非占有バンドは3d的性質をもつ。従ってd-p軌道正孔(p型)は2p的また電子(n型)は3d的性質をもつ様になる。この点に関しては、実験的に詳しく調べる必要がある。

4. 発表・出版実績

- 1) 倉田, 酒井, 糟谷 日本物理学会, 63年10月広島
- 2) 高山, 播磨, 酒井, 糟谷 日本物理学会, 63年10月広島
- 3) 477原, 糟谷 日本物理学会 元年3月平塚
- 4) 清水, 酒井, 糟谷 日本物理学会 元年3月平塚
- 5) 金田, 477原, 酒井, 糟谷 日本物理学会 元年3月平塚
- 6) 糟谷, 477原 *Superconducting Materials*, eds. S. Nakajima and H. Fukuyama (JJAP Series 1, 1988), p. 251.
- 7) 477原, 糟谷 *Solid State Commun.* 70, 637 (1989)
- 8) 477原, 糟谷 *Solid State Commun.* 70, 641 (1989)

分 DFb 施
 実 7,746
 許 8,000

有機化合物の回転異性化と分子振動

Rotational Isomerization and Molecular Vibrations of
 Organic Compounds

○田隅三生（東大理）、石橋孝章（東大理）、吉田 弘（東大理）
 今井 豊（東大理）

1. 研究目的・内容

我々はab initio MO法の振動分光学への応用として次に示す研究を行った。

- (1) 2,4,6-オクタトリエンの基準振動解析
- (2) 1,2-エタンジアミンの赤外光誘起回転異性化に関する研究
- (3) 一置換ベンゼンの分子力場の解明
- (4) エチレングリコールの配座エネルギー計算

2. 研究方法・計算方法

Ab initio MO計算はGAUSSIAN82（分子研ライブラリ）を用いた。構造最適化ならびに振動計算は、2,4,6-オクタトリエンおよびベンゼンに関しては RHF/6-31Gのレベルで行い、1,2-エタンジアミンに関しては RHF/4-31G(N*)のレベルで行った。基準振動解析はGAUSSIAN82により計算された直交座標表現の力の定数をグループ座標表現のものに変換した後、スケールリングを行い実行した。

3. 研究成果

(1) 2,4,6-オクタトリエンの基準振動解析

前々年度のプロジェクトにおいて定めた1,3,5-ヘキサトリエンのスケール因子を転用して、全トランス形2,4,6-オクタトリエンの振動計算を行った。スケール因子の転用性は良く振動の帰属に有用であったが、実測値に種々の異性体のバンドが含まれている可能性があり、今後純粋に異性体を単離して測定を行う必要がある。

(2) 1,2-エタンジアミンの赤外光誘起回転異性化に関する研究

1,2-エタンジアミン ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$) を低温アルゴンマトリックス中に単離し、赤外光を照射すると回転異性化が起こる。この異性化に関わる3種類の異性体の帰属を確実なものとするため4種類の異性体 ($G^+G^+G^-$ 、 TG^+G^- 、 G^+TG^- 、 TTT) について振動解析を行った。結果の詳細を以下に示す。

[異性体間のエネルギー差] 今回得られた結果を表1に示す。

[ゴーシュ形の振動計算] 2種類のゴーシュ形に対して共通のスケール因子を用いて、 $G^+G^+G^-$ については54個の実測値に対して標準偏差 6.0cm^{-1} 、 TG^+G^- については39個の実測値に対して標準偏差 8.9cm^{-1} という値を得た。 $G^+G^+G^-$ 、 TG^+G^- 共に計算値は実測値とほぼ満足できる程度に一致した。

[トランス形の振動計算] ゴーシュ形で得たスケール因子を用いて G^+TG^- と TTT について振動解析を行った。その結果 G^+TG^- については21個の実測値に対して標準偏差 19.4cm^{-1} 、 TTT については同じ21

表1. 1,2-エタンジアミンの異性体間のエネルギー差

kcal/mol	calc I	calc II	obs
T ⁺ G ⁺ G ⁻	0	0	0
G ⁺ G ⁺ G ⁻	0.14	0.26	-0.3±0.2
G ⁺ T ⁺ G ⁻	1.12	1.14	——
T ⁺ T ⁺ T	1.14	2.20	——

calc I : 今回の計算結果
 calc II : Radom等の計算結果
 obs : Marstokk, Møllendalの実験結果
 (マイクロ波分光)

個の実測値に対して標準偏差 12.6cm^{-1} という結果を得た。TTTの方が G^+TG^- より一致の度合がやや良いが異性体の帰属には不十分である。このようにトランス形ではゴーシュ形の場合よりかなり一致が悪くなっており、特に G^+TG^- では NH_2 縦ゆれ振動に関する計算値の不一致が著しい。分子内水素結合しているゴーシュ形($G^+G^+G^-$, TG^+G^-)と分子内水素結合していないトランス形(G^+TG^- またはTTT)では異なったスケール因子を使う必要があると考え、トランス形についてはN原子に関係する4つのスケール因子のみを再調整した。その結果、 G^+TG^- については標準偏差 18.0cm^{-1} とあまり改善されなかったが、TTTについては標準偏差 8.3cm^{-1} とほぼ満足いく結果が得られた。この結果から、赤外光照射によって増加する異性体をTTTと帰属することができた。

(3) 一置換ベンゼンの分子力場の解明

一置換ベンゼンの分子力場を確立するために環特有のグループ座標を定義しab initio MO法を用いて力場を定めた。次に、このようにして定めた一置換ベンゼンの力場をトルエンおよびスチルベンに適用して基準振動解析を行った。

スチルベンについては最低電子励起一重項状態(S_1)の振動の帰属も試みた。表2に S_0 スチルベンの基準振動解析の結果を示す。

(4) エチレングリコールの配座エネルギー計算

エチレングリコールの安定な異性体を明かにするために、RHF/6-31G**のレベルでエネルギーを計算した。なお、計算に用いた構造はC.V. Alsenoyらにより4-21Gで構造最適化されたものを用いた。その結果を表3に示す。

表2. S_0 スチルベンの赤外吸収スペクトル (単位: cm^{-1})

	$\text{HB}_1^{\text{a)}$	$\text{R}_3^{\text{b)}$	$\text{CH}_e^{\text{c)}$	C-Ph
d_0	1332(1329)	1300(1306)	1221(1215)	1267(1267)
d_2	1316(1321)	1308(1301)	950(939)	1258(1259)
d_{10}	1030(1032)	1302(1292)	1235(1234)	1165(1166)
d_{12}	1035(1039)	1283(1289)	905(931)	1193(1179)
^{13}C	1330(1328)	1299(1306)	1221(1214)	1260(1257)

括弧内は計算値

a) ベンゼン環水素の変角振動 (Wilson's notation: ν_3)

b) ベンゼン環の伸縮振動 (Wilson's notation: ν_{14})

c) オレフィン水素の変角振動

表3. エチレングリコールのエネルギー差

	/kcal mol $^{-1}$
TGG $^-$	0.00
GGG $^-$	0.71
G $^-$ GG $^-$	1.21
TTT	1.76
TTG	2.07
GTG $^-$	2.11
GTG	2.48
GGG	3.76
TGT	4.68
TGG	3.91

4. 発表・出版実績または予定

吉田、田隅 XIth International Conference on Raman Spectroscopy, 1988年9月

吉田、田隅 分子構造総合討論会、2B17、1988年10月 東京

石橋、中田、田隅 分子構造総合討論会、3B07、1988年10月 東京

吉田、田隅 日本化学会第58春季年会、2IA12、1989年4月 京都

吉田、田隅 J. Chem. Phys., 89, 2803(1988)

吉田、古川、田隅 J. Mol. Struct., 194, 279(1989)

分	DF	施
実	8,978	
許	11,200	

常磁性分子の電子状態と化学反応に関する量子化学的研究

Quantum Chemical Studies on Electronic State and Chemical Reaction
of Pramagnetic Molecules

○市川恒樹(北大工)・田地川浩人(北大工)・小笠原正明(北大工)・穂刈信幸(北大工)

[研究目的・内容]

我々は、放射線化学の分野における現象、特に、溶媒和電子(捕捉電子)やラジカル種等の放射線照射初期生成化学種や反応中間体の研究、およびラジカルの溶媒和についての研究を行っている。本課題では、分子軌道法をはじめとする理論的アプローチを用いて、分子間相互作用、分子構造および反応速度について、理論的な解釈を得ることを目的としている。本年度の課題は、[A] メチルラジカルによる水素引き抜き反応へのトンネル効果の寄与、[B] 溶媒和電子の構造と電子状態¹⁾²⁾、[C] 遷移金属水和錯体の構造とg-tensor異方性³⁾⁴⁾である。

[研究方法]

SCF-MO計算は、JAMOL3、GAMESS、およびGaussian82を、MR-SD-CI計算はMICA3を用いた。また構造最適化および振動解析はGAMESSを用いた。反応速度定数の計算は、Millerらのトンネル効果を考慮したRRKM理論、および、LeRoyの方法を用いて計算を行い古典的反應速度定数との比較を行った。

[研究成果]

[A] メチルラジカルによるメタノールからの水素原子引き抜き反応は、1) 大きな同位体効果を示す、2) 反応速度のアレニウスプロットが低温では直線から大きく外れる、3) 液体ヘリウム温度においても反応が進行するという特徴を持っている。我々は、この反応の反応速度に対してトンネリングおよび、反応経路の選択がどの様に影響を与えるかに興味を持ち、研究を行ってきた。昨年度は、RRKM理論を用いて、S-saddle point を通過する反応系路上で、トンネリングを考慮した反応速度計算を行い、メタノールのCH₃基とOH基からの水素原子引き抜き反応の比較を行った。本年度は、本反応のポテンシャルエネルギー面をab-initio MO法により求め、その面上で反応経路を決定し、遷移状態理論を用いて温度に対する反応速度定数の計算を行った。Fig. 1に、本反応のポテンシャルエネルギー面を、2次元の質量加重座標で示した。面上の点線は反応経路を示している。経路(A)は、Saddle pointを通過するminimum-energy-pathである。また、トンネリングを考慮した場合、エネルギー障壁が高くとも、障壁の厚みが薄ければ、より反応が進行しやすいことも考えられるので、メタノールがメチルラジカルに配位した状態にゼロ点振動エネルギー分を加えた始原系の状態から、生成系側の等エネルギー点へ直線的に抜ける反応経路(B)でも反応速度の計算を行い、経路(A)との比較を行った。Fig. 2に両経路で反応が進行した場合の温度に対する反応速度定数の変化を1/Tプロットで示した。温度が低下するにつれて、反応に対するトンネリングの寄与が増大し、アレニウスプロットは直線から大きく外れていく。さらに、200K付近から低温では、経路(B)が経路(A)よりも反応速度が大きくなり、この温度域では反応はSaddle pointを通過せずに、より高いエネルギー障壁をトンネリングによって進行していることが判った。これより、本反応は、トンネリングにより反応が進行する際に反応経路の変化が起こり低温での反応の進行を促進していることを明らかにした。

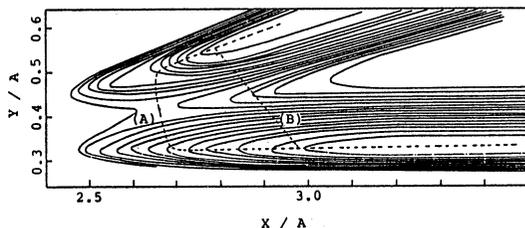


Fig.1 Potential energy contour map of the reaction $\cdot\text{CH}_3 + \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CH}_4 + \cdot\text{CH}_2\text{OH}$.

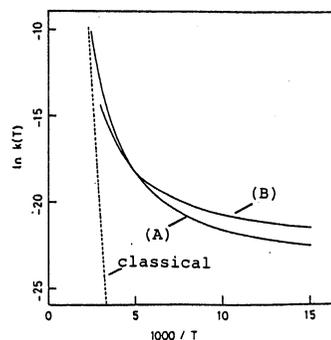


Fig.2 Arrhenius plot of calculated rate constants. Solid lines indicate the rate constants of the reaction along path (A) and (B) in Fig.1. Dashed line indicates the classical rate constants.

[B] 溶媒和電子

溶媒和電子(捕捉電子)はその還元力が非常に大きいため放射線照射初期過程において重要な役割を担っている反応中間体の一つである。そのため、溶媒和電子の構造および性質を明らかにするため多くの研究がなされてきた。水和電子の構造に関する研究では、Kevan によって1980年に電子スピネコー法のデータをもとに提出された構造モデルがよく知られている。このモデルでは、第一溶媒和シェルは電子を6つの水分子が取り囲んでいる正八面体によって構成されておりOH基が中心の電子に配向することによって電子は安定化している。この構造は長い間水和電子の構造モデルとして取り扱われてきたが、最近ツベッコフらは電子スピネコーのデータを詳細に再検討して最近接の水分子は6個ではなく2個であるという新しい結果を示した。また気相における実験では H_2O^- 分子、および水のダイマーアニオン($\text{H}_2\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}$)も見つかっており、電子がこれら少数の分子にどの様に捕捉されているのかを知ることは溶媒和電子の構造および電子状態を知る上で重要である。本研究では、ab-initio MO法により水和電子の第一溶媒和シェルを水2分子系からなるモデルとして取扱い、その電子状態および構造、特に光吸収スペクトル等の分光学的性質について理論的考察を行った。計算に用いた基底関数は、藤永の(621/51)+diffuse(Rydberg-like)[Func-I], Func-I+s-type(cavity)[Func-II], およびダイマーの回りを取り囲むようにs-type関数を置いたFunc-I+(surface function) [Func-III]の3つを用い、構造最適化の後、MR-SD-CI法により電子状態を求めた。Fig. 3に水ダイマーアニオンにおける過剰電子の軌道の等高線図を示した。電子は2つの水分子のRydberg-likeな軌道の重なりによって作られた新しい軌道(1s-like)に入っていることがわかる。しかし電子は完全に-1価で中心にlocalizeしているわけではなく、両サイドの水分子上にも分布している。これは、過剰電子が入ってくるにより分子性アニオンの要素も僅かに入ってくることを示唆している。Fig. 4に Func-IとFunc-IIIを用いてMR-SD-CI法によって計算した励起エネルギーを示した。新しく surface-stateの関数を加えることにより、第二励起以降のエネルギーが大きくシフトしている。(特に $2^2\text{Ag} \leftarrow 1^2\text{Ag}$ のシフトが著しい。) Population解析の結果、これらの電子遷移の特徴として、第一励起は、cavity内のlocal-excitation (bound-bound), 第二励起以降は、cavityから外に飛び出す遷移 (bound-free) であることを明らかにした。

[発表・出版実績または予定]

- 1) 田地川, 小笠原, M. Lindgren, A. Lund, J. Phys. Chem., 1988, 92, 1712.
- 2) 田地川, 小笠原 J. Phys. Chem. (投稿中)
- 3) 田地川, 市川, 吉田, J. Am. Chem. Soc. (投稿中)
- 4) 田地川, 市川, 吉田, J. Am. Chem. Soc. (投稿中)
- 5) 田地川, 塩谷 分子構造総合討論会 1988年10月東京
- 6) 穂刈, 田地川, 吉田 分子構造総合討論会 1988年10月東京
- 7) 田地川, 小笠原 放射線化学討論会 1988年10月東京
- 8) 穂刈, 田地川, 吉田 放射線化学討論会 1988年10月東京
- 9) 田地川, 小笠原, 吉田 日本化学会春期会 1989年 4月京都
- 10) 西平, 石橋, 田地川 日本化学会春期会 1989年 4月京都

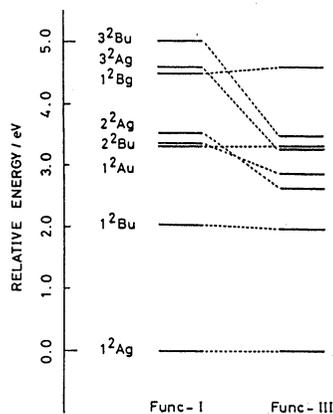


Fig.3 Contour maps of molecular orbitals for excess electron in the hydrogen-bridged water-dimer anion in the 2^2Ag ground state. Solid line and dashed line indicate the positive and negative amplitudes, respectively. (A) 2^2Ag ground state. (B) 2^2Ag excited state.

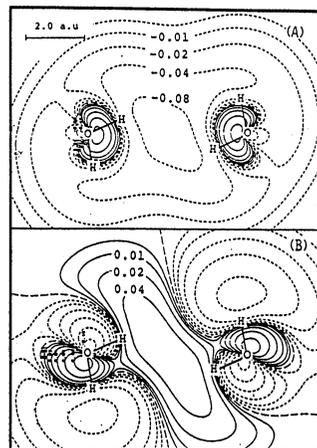


Fig.4 Energy levels of low-lying double ground and excited states of the hydrogen-bridged water-dimer anion calculated at ab-initio-MR-SD-CI+Q level with function I (in left) and function III (in right).

分	DGZ	施
表	9,718	
許	10,000	

イオン分子反応の理論的研究

Theoretical Study on Ion/Molecule Reaction

○阿部康夫、岡田 聰（阪府放中研）

1. 研究目的・内容

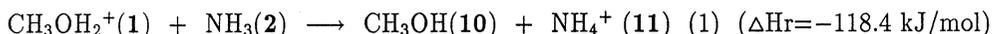
高温低圧条件下 (403 K, 1.17×10^{-4} torr) でプロトン化メタノールとアンモニアの気相イオン分子反応を行なうとプロトン移動のみが観測され、 S_N2 反応は全く検出されない。反応熱を計算するとプロトン移動よりも S_N2 反応の方が発熱量が大きい。ポテンシャルエネルギー的には起こり得る反応が何故検出されないかを *ab initio* 法により Gibbs の自由エネルギー変化を求めて検討した。

2. 研究方法・計算方法

分子軌道計算はすべて、分子研ライブラリープログラム GAUSSIAN82 を用い、RHF 法で行なった。構造は 3-21G 基底を用いて最適化した。安定中間体および遷移状態は振動解析により確認した。エネルギー値は MP3/6-31+G**//RHF/3-21G で求め、電子相関の効果を取り入れた。自由エネルギーは基準振動数 (0.9 倍に縮小) をもとにして計算した。

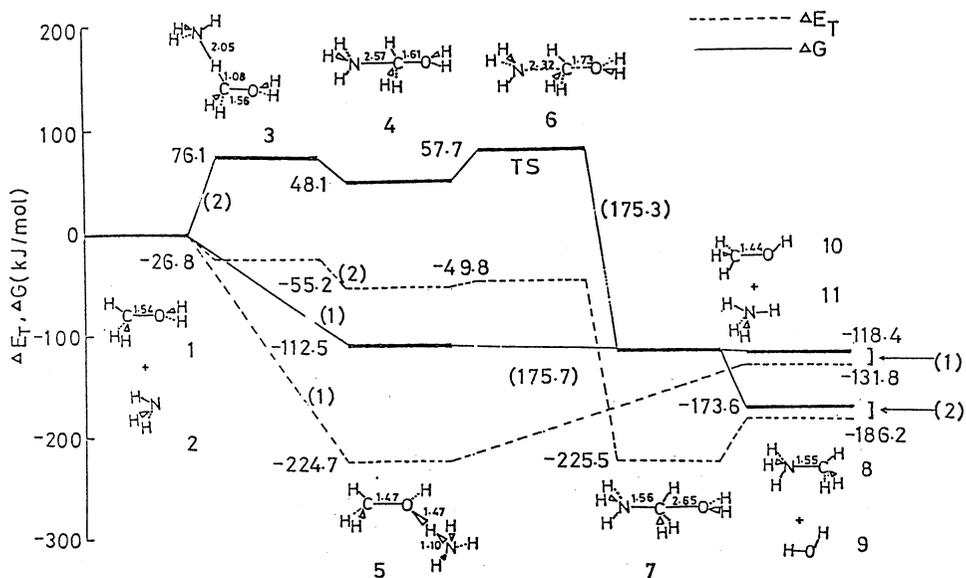
3. 研究成果

プロトン化メタノールとアンモニアの反応は次式で表わせる。



反応 (1) に対して一つの安定中間体 (5) と反応 (2) に対して二つの安定中間体 (4,7)、二つの不安定中間体 (3,6) を求めた。これらの反応の電子エネルギー (破線) 及び高温低圧条件下の Gibbs の自由エネルギー (実線) 変化を図に示す。負の値は原系よりも安定であることを示す。TS は S_N2 反応の遷移状態を示し、振動解析で虚数の振動数一つ ($302.1i \text{ cm}^{-1}$) を確認した。結合距離は Å 単位である。プロトン移動の過程で安定な水素結合錯体 (5) が生成する。これがメタノール (10) とアンモニウムイオン (11) に解裂する際、電子エネルギーでは吸熱反応であるが、自由エネルギーでは発熱であることからプロトン移動の反応速度定数が大きいことを説明できる。

高温低圧条件下では ion-dipole 錯体形成による並進エントロピーの減少の程度は非常に大きい。このために熱力学的に不安定になる。特に反応 (2) では E_T レベルはすべて原系よりも下にあるが G レベルでは大きなエネルギー障壁を持つ。このようにして、 S_N2 反応の速度が遅いことは $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ の $-T\Delta S$ 項に帰することにな



る。かりに、この反応を低温高圧の反応条件で行なえば S_N2 反応 (2) はプロトン移動 (1) の反応と競合するようになるであろう。このような条件下では Gibbs の自由エネルギーレベルは E_T レベルに近くなり、反応 (1) は 5 から 10 と 11 への解裂が起こりにくくなる。気相 S_N2 反応はエンタルピー変化と同じようにエントロピー変化にも左右される。基本的には S_N2 反応における ion-dipole 錯体形成による安定化は $-T\Delta S$ のエネルギー障壁よりも大きくない。 S_N2 反応の反応性は圧力 P と温度 T によって決まる。

4. 発表・出版実績および予定

- 岡田、阿部、谷口、山辺 J. Chem. Soc. Chem. Comm. 印刷中
 岡田、阿部、谷口、山辺、湊 Bull. Chem. Soc. Jpn. 印刷中
 阿部、岡田、谷口、山辺 日本化学会 1988年9月 仙台
 岡田、阿部、谷口、山辺 日本化学会 1988年9月 仙台
 阿部、岡田、谷口、山辺 日本化学会 1989年4月 京都府田辺

分	D&S 施
実	11,718
許	26,400

固体及び固体表面の電子状態

Electronic States in Solids and Surfaces

○柳瀬章（阪府大総合科） 宮原俊治（阪府大総合科） 播磨尚朝（阪府大総合科）

1. 研究目的・内容

昭和62年度に客員として開発したポテンシャルの型を仮定しないバンド計算のプログラムを利用して、結晶固体の電子状態を計算する。バンド計算による一電子状態の計算結果は、結晶構造や構成元素の特徴をよく反映しており、固体の電子状態を考える出発点となっており、多体問題を考える上でも物質特有のパラメーターはバンド計算の結果から導かれる。対称とする物質は高温超伝導帯に関連する酸化物、価数揺動状態（高濃度近藤状態や重い電子系と呼ばれている物も含めて）に関連するCe、Yb、U化合物、及び金属の表面・吸着層とする。

2. 研究方法・計算方法

既に開発したプログラムを用いて上記の計算を実行する。既存のプログラムではまだ不十分なくつかの点があるのでその改良を行う。具体的には

- ・スピン軌道相互作用の効果を取り入れて、適用できる物質を多くし、計算結果から得られる情報も豊富にする。

- ・最適化の点でまだ不十分な点があるので、その改良を行う。

- ・自己無撞着のポテンシャルを得るより良いアルゴリズムの開発を行う。

- ・表面、表面吸着層の電子状態の計算プログラム開発を行う。

があげられる。

また、大量の計算結果の解析を行うプログラム開発も同時に行う。

3. 研究成果

従来の計算プログラムはスピン軌道相互作用の効果を取り入れられておらず、適用できる物質に制限があったが、今年度の研究開発でポテンシャルの型を仮定する場合の計算方法ながらこの効果を取り入れて自己無撞着にポテンシャルを計算できるプログラムがほぼ完成していくつかの物質に適用した。このプログラムは対称性も考慮されており、結果の解析が容易である。また、低次元物質にも適用できるポテンシャルの型を仮定しない計算方法のプログラムにも同様の方法でスピン軌道相互作用の効果を取り入れる事が出来るが、これは次年度以降に行う予定である。

今年度に行った物質とその成果を以下に示す。

- ・ギャップを持つ価数揺動物質として知られるYbB12やCeNiSnでは、スピン軌道相互作用を取り入れた計算で、初めて、バンド計算による結果でギャップ持つ可能性が示された。

- ・高温超伝導体として知られるLa₂CuO₄でも斜方晶系で初めてスピン軌道相互作用の効果を取り入れた計算を行い、伝導帯のスピン軌道相互作用による分裂幅が約60K程度

であり、対称性から必ず半金属的になりキャリアー濃度は数パーセントであると見積った。
・重い電子系あるいは価数揺動系の参照系として研究されている $UB12$ 、 $YCu2$ 、 $CeNi$ 、 $LaNi$ の計算も行いフェルミ面の解析を行っているところである。 $YCu2$ についてはフェルミ面の極値断面積とドハースファンアルフェン効果との比較を行い主要なフェルミ面については良い一致を得た。

その他にも、価数揺動系を中心として、いくつかの物質で計算を行っているが、まだ計算を終了していない。

4. 発表・出版実績または予定

柳瀬、播磨 International Conference on Crystal Field Effect, 88年8月,
Frankfurt, FRG

柳瀬、柳沢、播磨 International Conference on Magnetism, 88年8月,
Paris, France

播磨、柳瀬 「遷移金属、稀土類、アクチナイド元素を含む遍歴電子系の理論」研究会、
88年12月豊中

播磨、柳瀬 「アクチナイド化合物の物性」理論部門合同研究会、89年1月箱根

柳瀬、播磨 日本物理学会第44回年会、89年3月平塚

播磨、宮原、柳瀬 「アクチナイド化合物の物性」(フェルミ面の研究班)研究会、
89年5月仙台、発表予定

播磨、宮原、柳瀬 International Conference on the Physics of HIGHLY CORRELATED
ELECTRON SYSTEMS, 89年9月, Santa Fe, USA 発表予定

分子動力学法による過冷却液体の構造変化

分	D18	施
実	18,111	
許	21,600	

A Molecular Dynamics Study of Supercooled Liquids

○円谷和雄 (明大工)、渡邊 誠 (明大工)、近藤鋭治 (明大工)、
石橋 清 (明大工)、三浦 淳 (明大工)

1. 研究目的・内容

本研究は、分子動力学 (MD) 法により単体液体金属の急冷過程をシミュレートし、それにより得られた金属ガラスの局所構造をボロノイ多面体解析により調べ、同構造とその安定性について調べたものである。

液体金属を実験的に冷却すると、その液体は融点直下で結晶化するため、長い間金属ガラスは存在しないと考えられてきた。しかしながら、金属といえども急冷することによりガラス形成が可能であることが、1960年 Duwezらによって、Au-Si 二元合金系において初めて見出された。以来、合金ガラスについての研究が理論的および実験的に行なわれてきている。とはいえ、金属系におけるガラス化は、二成分以上の合金液体を急冷したときにのみ形成されており、単体金属液体のガラス化は、未だ成功していない。金属ガラスにおける原子の構造の本質を理解するためには、その単純さのゆえに、まず、単体金属ガラスの構造を解析することが必要である。しかしながら、実験的には、同ガラスを形成させるために必要な冷却速度が、未だ得られないため、その解析を行うことは困難である。

仮に、単体金属ガラスが実験的に得られたとしても、次の理由により、同ガラスの原子の構造を解析することは困難である。すなわち、実験的には、主としてX線あるいは中性子線回折により得られる構造因子をフーリエ変換して求められる二体分布関数によって評価されている。同関数はガラスを構成する全原子にわたる平均量であり、かつ動径方向への1次元関数であるので、これを用いてガラス中の個々の原子の周囲の3次元原子配列を解析することは不可能である。事実、ガラスにおける二体分布関数は、その第2ピークに分裂が現れることが、実験的にもコンピュータシミュレーションにおいても確認されているがその原因は未だ不明である。

本研究では、これらの問題点を解決するため、MD法による計算機実験を行ない、単体モデルガラスの局所構造をボロノイ多面体解析により調べた。

2. 研究方法・計算方法

本研究で行ったMDシミュレーション並びにボロノイ多面体構造解析には、我々が独自に開発したプログラムを使用した。シミュレートしたモデル物質は、振動型二体間ポテンシャルを持つナトリウム (粒子数864個) である。まず、融点より10K高い (381K) 液体を作成し、そこから温度の下げ幅を40Kとして階段状に温度を下げる。その際、各温度における等温保持時間を100steps (0.5ps) とする。この過程における冷却速度は $8 \times 10^{13} \text{K s}^{-1}$ である。これとは別に、各温度において、さらに2000steps (10ps) 間のシミュレーションを行ない、その間の各原子の座標と速度のデータから解析を行なった。

系のポテンシャルエネルギーとWendt-Abrahamパラメータ (二体分布関数における第一極小値に対する第一極大値の比) の温度依存性を調べた結果、この系の冷却過程では120Kにおいてガラス転移が存在することが確認された。本研究では、その温度以下のガラス状態 (21K) について解析した。

3. 研究成果

(1) 単体ガラスにおける局所構造とその安定性を解析するため、各原子のポテンシャルエネルギーとボロノイ多面体の形状との関係を調べた。その結果、

- i) 同多面体の4角面数および6角面数が増加すると、同多面体の中心原子のエネルギーは高くなる。
- ii) 5角面数が増加するとそのエネルギーは低くなる。

ことが明らかになった。すなわち、12個の5角面のみから構成される13原子20面体クラスターの中心原子は、ポテンシャルエネルギー的に最も安定である。

(2) ボロノイ多面体の形状と、その中心原子のまわりに存在する原子の配列状態との関係を調べるため、局所二体分布関数を求めた。この関数は、ある特定の多面体形状を持つ中心原子から見た二体分布関数である。20面体クラスターの中心原子から求めた局所二体分布関数の第2ピークは、最も顕著に分裂することを見出した。この分裂は、同関数の第1ピーク内に存在する12個の近接原子が20面体配位もって秩序化しているため、その外側に位置する原子にも配位の秩序化がおよびこれが第2ピークの分裂になる。さらに、分裂した2つのピーク位置は、系平均の二体分布関数のそれらに一致していることが明らかになった。すなわち、ガラス構造に共通してあらわれる二体分布関数における第2ピークの分裂の原因は、これまで説明されていなかったが、この研究によりこれはガラス中に存在する局所的に安定な20面体クラスターの存在に原因している。

(3) 20面体クラスターの中心原子のポテンシャルエネルギー的安定性の原因について調べた。まず、近接原子(二体分布関数の第1極小値距離以内に存在する原子)のみから得られるポテンシャルエネルギーを求めると、このエネルギーは長距離相互作用を考慮した場合のエネルギーの80%を占める。この関係は、ボロノイ多面体の形状に依存しない。すなわち、各原子のエネルギー的安定性は、近接原子の配列状態のみに依存する。次に、近接原子の配列状態(平均位置、局在化の度合、配位数)と、その中心原子のエネルギーとの関係を調べた。その結果、20面体クラスターの中心原子の安定性は、近接原子の位置の局在化が著しいことに原因していることを明らかにした。

(4) 単体ガラスの緩和と変形過程における20面体クラスターの数と空間分布の変化について調べた。まず、急冷により得られたガラスを等温アニールし、これにより構造緩和過程を再現し、その間の変化を調べた。その結果、同過程では20面体クラスターの数がアニール時間と共に増加する。さらに、同クラスターの空間分布を調べた結果、緩和の初期段階においては、単独な20面体クラスターが増加し、その後、連結した20面体クラスター(double icosahedral cluster)が増加する。これとは別に、ガラスの剪断変形過程をシミュレートした結果、20面体クラスターの数は、変形を受けても変化しないことが明らかになった。これらのことは、20面体クラスターが局所的に安定であることに原因している。

4. 発表・出版実績

渡邊、円谷	J. Chem. Phys.	88,	1991 (1988).		
円谷、渡邊、池田	Transactions	ISI J	28,	869	(1988).
円谷、渡邊	Phys. Rev. B		投稿中		
渡邊、円谷	Phys. Rev. B		投稿中		
渡邊、円谷	日本物理学会	秋の分科会	(6aE4-9)	1988.10	広島市
渡邊、円谷	日本物理学会	秋の分科会	(6aE4-10)	1988.10	広島市
渡邊、酒井、円谷	日本物理学会	春の分科会	(29pW-12)	1989.4	平塚市
渡邊、栗林、円谷	日本物理学会	春の分科会	(29pW-13)	1989.4	平塚市
渡邊、円谷	日本金属学会	秋期大会	(722)	1988.11	吹田市
酒井、渡邊、円谷	日本金属学会	春期大会	(10)	1989.4	横浜市
栗林、渡邊、円谷	日本金属学会	春期大会	(11)	1989.4	横浜市

分	DI9 施
実	50,199
許	54,400

気相および液相における化学反応の理論的研究

Theoretical study on chemical reactions in gas and liquid phase.

○加藤 重樹(東大教養)、天辰 禎晃(東大教養)、黒田 啓(東大教養)

1. 研究目的・内容

本研究課題では、気相および液相における化学反応の機構にフッマ研究をおこなうことである。今年度は、特に溶液内での光化学過程にフッマ研究をおこなった。具体的には、(i) *N,N*-ジメテルアミノベンゾニトリルの励起状態でのポテンシャル面と水分子との相互作用ポテンシャルの計算、(ii) 反応経路モデルの溶液内反応への拡張、(iii) ナトリウムフラスタの構造と反応性にフッマの考察をおこなった。

2. 研究方法・計算方法

N,N-ジメテルアミノベンゾニトリルの励起状態のポテンシャル面の計算は、CI法によりおこなった。昇太119の基底関数を用いたため手持ちのプログラムでは実行することができず、新たに積分変換、行列要素生成、対角化のプログラムを作製した。特に、積分変換、対角化のプログラムはベクトル化をおこなひ、計算の効率を上げた。また、上記(ii)の課題では、反応自由エネルギー面の計算をモンテカルロ法によりおこなった。そのプログラムを作製した。計算の効率を上げるためベクトル化をおこなった。S820ではM680に比べて20倍以上加速された。その他、分子間ポテンシャルの決定や計算結果の解所用プログラムを作製した。

3. 研究成果

i) *N,N*-ジメテルアミノベンゾニトリルのポテンシャル面

N,N-ジメテルアミノベンゾニトリルは極性溶媒中で電荷移動状態が形成することが知られており、その励起状態の電子構造、ポテンシャル面にフッマは不明な点が多い。そこで我々は、CI法により励起状態のポテンシャル面の計算をおこなった。CI計算は2つの基底関数(MINI4とP軌道E splitした基底とMIDI4)を用いておこなった。前者では、ジメテルアミノ基の内部回転角と面外角の25個の組にフッマ、後者では平面と垂直構造にフッマ計算をおこなった。計算の結果、 S_0, S_1 状態は、分子の構造の変化に対し電子構造の変化は小さいが、 S_2 状態は、3個の電子配置の組合せから分子構造の変化に応じて主要な電子構造が入れ換ること。また、 S_2 状態は外場に対し極めて不安定であることが分かった。本研究の目的はこの分子の極性溶媒中での挙動を知ることであるため、 S_2 状態のポテンシャル面は外場に対して安定な遷移表現をとる必要があり、これは、 S_2 状態の3個の電子配置間の遷移モーメントを消去するような変換をほどこすことにより求めた。以上の計算により、 S_0, S_1 状態を含めた5個の状態のポテンシャル面が得られた。これを2つの角度の関数で表現した。図1にポテンシャル関数に対角化して得られた断熱ポテンシャルを示した。 S_0 及び S_1 状態はジメテルアミノ基の内部回転に対し単調にエネルギーが増加している。また、 S_2 状態は、平面構造では主に2個の電子配置を記述されるが、内部回転角の増加に伴って電荷移動配置の重みが増し、垂直構造では電荷移動配置のみを記述される。重要な点は、 S_2 状態

のエネルギーも内部回転角の増加と共に増加することにあり、これは、エチレン等の分子の場合と異なる。次に、*N,N*-ジメチルアミノベンズニトリルと水分子との相互作用を分子間ポテンシャルを構築することにより調べた。分子間ポテンシャルは、静電項と exchange-exclusion 項の和で表わされるとし、前者は溶媒分子の各電子状態の電子密度を用いて静電ポテンシャルを計算し、それを再現するように各原子上の実電荷の値を決めるという方法を用いた。また、後者は Gordon-Kim 法により求めた。図2に、本研究により求めた *N,N*-ジメチルアミノベンズニトリルと水分子の錯体の安定構造を示し、表1に、 S_0 および S_1 状態での錯体の安定化エネルギーを示した。図より、 S_0 状態では A, B, C, D の4通りの安定構造が得られたが、 S_1 状態では図の A, B 型と同じになった。表より S_0 状態では D 型が最も安定となり、これは実験事実と一致している。また、 S_1 状態の A 型が S_0 状態よりも双極子モーメントが大きいのにもかかわらずこの錯体の吸収スペクトルは blue shift を示すことが知られているが、表の C, D 型では、 S_1 状態の A 型が S_0 状態より安定化が小さく、その差も実験値と良く対応している。以上の結果は、少数の溶媒分子を含む系では局所的な相互作用が重要な役割を果たすことを示している。また、 S_2 状態についても計算をおこなったが、少数の水分子を含む錯体では電荷移動状態は生成しないとの結論を得た。

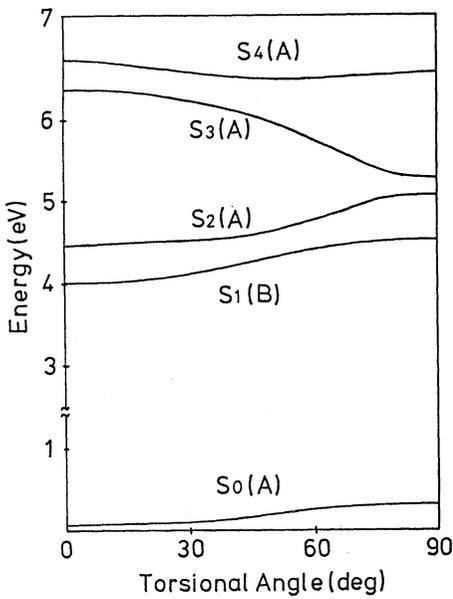


図 1

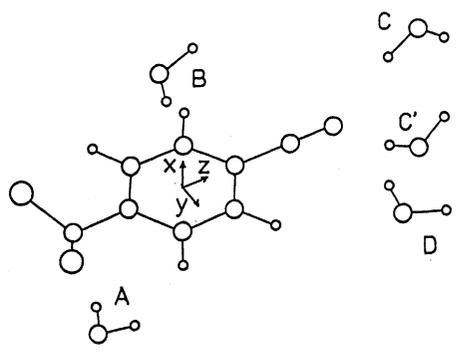


図 2

表 1. DMABN · H₂O の安定化エネルギー

	S_0	S_1
A	2.70	3.20
B	2.89	—
C	3.73	3.65
D	4.26	3.89

ii) 反応経路モデルの溶液内反応への拡張

反応経路モデルは気相の化学反応の機構や熱力学を調べる上で有用な役割りを果たしてきたが、本研究ではこのモデルを溶液内反応に拡張することとを試みた。溶液内反応では事実上無限個の溶媒分子を含むためのその運動を固体化した *solvation coordinate* を選ぶ必要がある。ここでは、1つのポテンシャル面上的反応の場合、*solvation coordinate*

$S = \beta W_2(R, \theta_2)$ 、そのポテンシャル面の反応の場合は、 $S = \beta (W_1(R, \theta_1) - W_2(R, \theta_2))$

として内部座標と S にフリーな自由エネルギー面を定義し、それに基づいて反応のハミルトニアンを導いた。本報告では、このモデルを適用した水溶媒中でのジメテルアミノベンゾニトリルの初起状態での電荷移動状態生成の機構にフリーな計算結果を示す。先づ

各電子状態での平衡分布にフリーなモンテカルロ法により計算をおこなった。計算は、

554個の水分子と N,N -ジメテルアミノベンゾニトリルにフリーな、温度 $298.15K$ 、密度

$1g/cm^3$ とし、周期境界条件を課して実行した。図3に、 $S_0 \sim S_2$ 状態のジメテルアミ

ノ基の内部回転角に対する *potential of mean force* を示した。ここでは *umbrella*

サンプリングを用いた。図より、 S_0 と S_1 状態のポテンシャルは、気相の場合(図1)

とほとんど変化せず若干回転障壁が増加した。一方、 S_2 状態のポテンシャル面は、気

相のそれと非常に異なり、壁直線が安定となった。これは、極性溶媒中では電荷移動

状態が生成されるということと対応している。図4に S_1, S_2 状態からの発光に対応する

$S_1 - S_0, S_2 - S_1$ 間のエネルギー差の分布を示した。 $S_2 - S_0$ のエネルギー差は長波

長側に大きくシフトし、その幅が広いことがわかる。これは、図3に見られるように、

S_2 状態では電荷移動状態が安定化し、また、 S_2 状態のポテンシャル面が平坦になっ

ていることによる。次に、電荷移動状態生成の機構を論じるため、自由エネルギー面

$F(\tau, S)$ を計算した。自由エネルギー面は、 $F(\tau, S) = -\beta \ln P(\tau, S) + C$ として

与えられる。ここでは、 S_1 状態から S_2 状態への非断熱遷移を取り扱うための各電子状態に

対応した $F_1(\tau, S), F_2(\tau, S)$ を求めた。図5に自由エネルギー面 $F(S, \tau)$ を

solvation coordinate S の関数として表わしたものを示した。 S_1 状態の安定度は

$S = -15$ 、 S_2 状態の安定度は $S = 48$ となった。また、 S_1 状態から S_2 状態への遷移

の活性化エネルギーは約 $4 kcal/mol$ と計算された。図6に、 $S = -15, 0, 48$ にお

ける自由エネルギーの値とジメテルアミノ基の内部回転角 τ の関数として示した。 S_1 状態

にフリーな $\tau = 0^\circ$ 、 S_2 状態では $\tau = 90^\circ$ が最も安定となることを分かる。

また、 S_1 と S_2 状態のエネルギーが一致する点 ($S = 0$) では、 $\tau = 27^\circ$ が自由エネル

ギーが最小となる。これは、 S_1 状態から S_2 状態への非断熱遷移を越すため

にはジメテルアミノ基の内部回転が必要であり、そのモードが *solvation coordinate* と

強く結合していることを意味している。

反応経路モデルの溶液内反応への拡張は、*Norrish type II* ジラジカルの三重項・一重項

遷移にフリーなモデルも適用している。このテーマでは分子の内部回転と電子の自由度を含めた

拡散方程式を作り、それに基づいて状態間遷移の機構を論じることを企図している。理

在電子状態の計算は本稿終了している。

iii) Na クラスタの構造と反応性

Na のクラスタの電子状態を SCF 法で計算し、軌道の性質と反応性の相関にフリーな

調べた。結果は Fe クラスタの反応性と良い相関を見出した。

図3

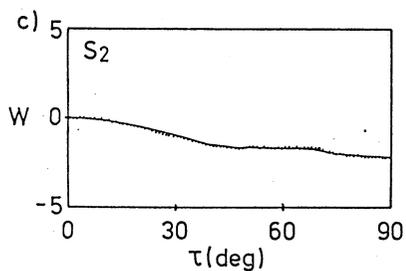
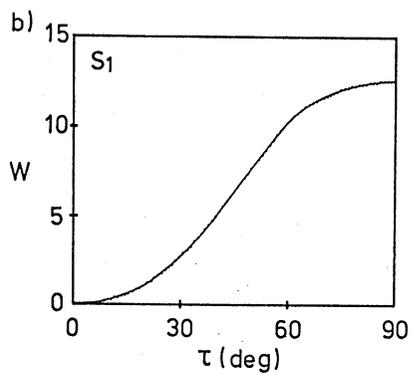
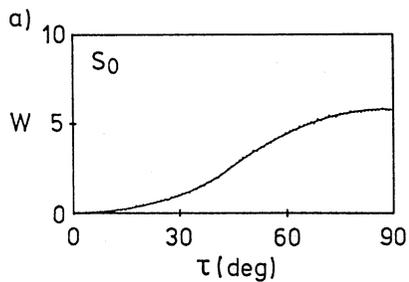


図4

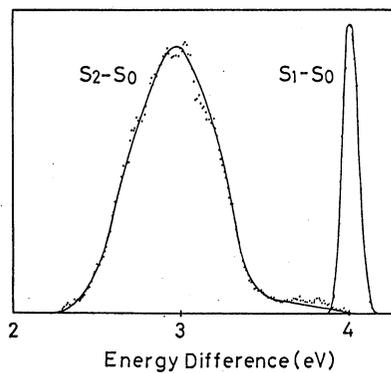


図6

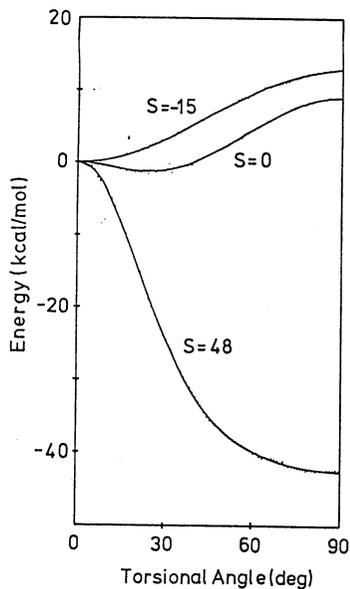
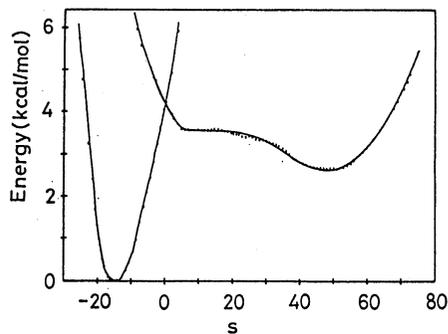


図5



4. 発表

加藤, 分子構造討論会; 天辰, 加藤, 分子構造討論会; 黒田, 加藤
; 分子構造討論会; 天辰, 加藤, J. Chem. Phys. 投稿準備中;
加藤, 天辰, J. Chem. Phys. 投稿準備中.

令	DJ1	施
実	8.646	
許	9.600	

非晶質薄膜の構造解析

Structural Study of Amorphous Thin Films

○難波徳郎（東大生研）

1. 研究目的

通常のディフラクトメータを用いた等傾角法により非晶質薄膜のX線回折測定を行った場合、基板からの散乱強度がバックグラウンドとして含まれ、薄膜試料自体の散乱強度が充分に得られず、構造情報が得られないことがある。薄膜X線回折装置(TFD)は、試料表面近傍からの散乱X線が主に観測されるため、通常の測定方法の場合よりも大きな散乱強度が得られる。しかし、散乱強度の角度依存性が明確にされていないため、非晶質薄膜の構造研究に応用されることはなかった。本年度の研究では、散乱強度の詳細な解析を行い、測定データの定量的な取り扱いを可能にすることで補正方法を確立し、さらに、得られた手法を実際の薄膜材料に応用し、その構造解析を試みた。

2. 研究方法

TFDの光学系の配置は、基本的には通常のディフラクトメータと同様である(図1)。受光ソーラースリット(SL₂)のコリメータの配置が90°異なっており、散乱X線束を平行ビームに規制する働きをしている。このSL₂の影響により、TFDで観測される散乱強度(試料の吸収に基づく強度変化、吸収因子)は、回折角依存性を示す(図2、実線)。一般的に、ある微小部分での強度変化は、次のようなX線の吸収に基づく式で与えられ、これをX線が照射された全ての範囲にわたって積分することにより、ある回折角における強度変化を求めることができる。

$$I = I_0 \exp(-\mu t). \quad (1)$$

ここで、 I 及び I_0 は散乱及び入射X線の強度、 μ は試料の線吸収係数、 t はX線の透過距離である。この式では、試料内での強度変化しか考慮されていない。実際には、入射X線は強度一定ではなく分布を有しており、また、散乱X線もソーラースリット(SL₂)及びモノクロメータ(M)で強度が変化する。この入射及び散乱X線の強度変化を考慮するために、微小部分の位置を表す2つのパラメータを用いてこれらの強度変化を記述し、その重積分により散乱強度を求めた。

3. 研究成果

入射及び散乱X線の強度変化を式1に導入することで、図2に破線で示したような実測曲線とよく一致する曲線を再現することができた。そこで、この計算方法を薄膜試料の場合に拡張し、補正関数を求めた。薄膜試料の強度補正は、次のような手順により行われる。まず、基板からの散乱強度を分離するために、全散乱強度に含まれる基板からの散乱強度を見積り、これを差し引くことで薄膜単体の散乱強度を求める。そして、吸収補正により角度依存性の無い散乱強度が得られる。最後に、等傾角法の場合と同様に、非干渉性散乱、Lorentz-偏光因子、原子散乱項の補正などの一般的な処理により動径分布関数(PDF)が得られる。¹⁾

真空蒸着法により非晶質酸化タングステン(a-WO₃)薄膜(膜厚800nm)を作成し、上記の手法によりPDFを得た(図3、実線)。4 Å弱に見られるシャープな第2ピークは、主に最近接W-Wの原子対によるものであり、Wは高い規則性をもって配列していることが分かる。WO₃ 8面体から形成されるネットワークもいわゆるガラスのようなランダムなものではなく、結晶に見られるような規則配列を伴ったものであることが予想される。そこで、WO₃系の結晶構造からPDFを算出し比較してみた。ピーク位置が最も良く一致したのは、hexagonal-WO₃とWO₃·1/3H₂Oであった。これらの結晶は、共にc軸に垂直な面内にWO₃ 8面体から成る3及び6員環を形成している。a-WO₃膜は、nmオーダーの微小なクラスターから構成されているとする考え方が一般的であることから、クラスターの内部ではこの2つの結晶に似た原子配列をとっていることが予想された。次に、サイズと形状の異なるクラスターモ

デルを作成し、最近接W-Wの配位数を計算し、実測のPDFから求めた配位数と比較してみた。WO₃·1/3H₂Oを基にしたモデルでは、配位数を満たすためには非常に大きなサイズが必要となるため、hexagonal-WO₃の方が適当であると判断した。こうして得られたクラスターモデルは図4に示したような構造をとっている。3、6員環は投影面内にあつて、垂直方向に4員環が形成されている。このモデルから求めたPDFは、図3に示したように実測のPDFと非常に良く一致していた。^{2,3)}

以上、TFDにより得られる散乱強度の補正方法とともに、非晶質薄膜の構造解析の方法論を確立することができた。

4. 発表・出版実績

- 1) T.Nanba I.Yasui, Anal.Sci., 印刷中
- 2) T.Nanba I.Yasui, Solid State Chem., 投稿中
- 3) 難波、安井 日本セラミックス協会春季年会、1989年5月東京

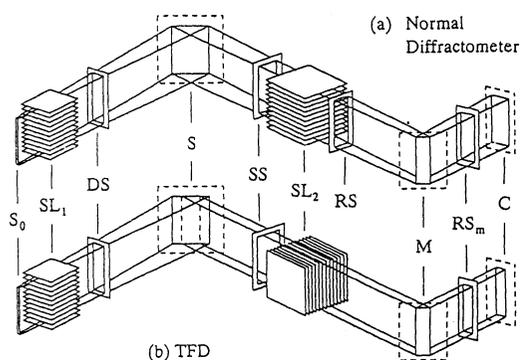


Fig.1 Optical arrangement of normal diffractometer(a) and TFD(b).

S ₀ : X-ray source	SL ₁ : soller slit
DS : divergence slit	S : Specimen
SS : scattering slit	SL ₂ : soller slit
RS : receiving slit	M : monochromator
RS _m : monochromator slit	C : counter

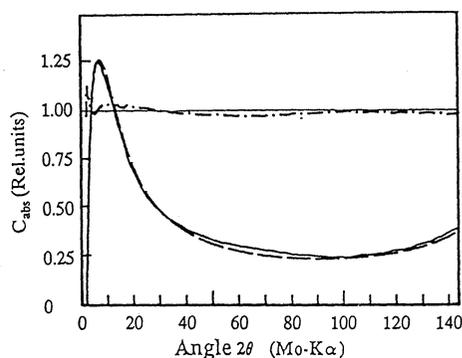


Fig.2 Observed(solid line) and calculated(broken line) correction functions C_{abs}(α=2°). The values were normalized to 1.00 at 2θ = 2α.

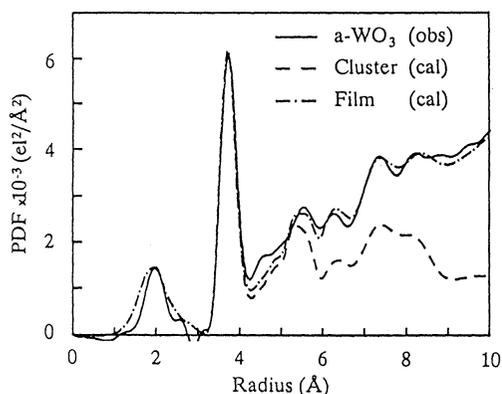


Fig.3 Observed and calculated PDF from the structural model.
 solid line : observed PDF,
 broken line : PDF in one cluster,
 chain : total PDF as a film including the interaction between the clusters.

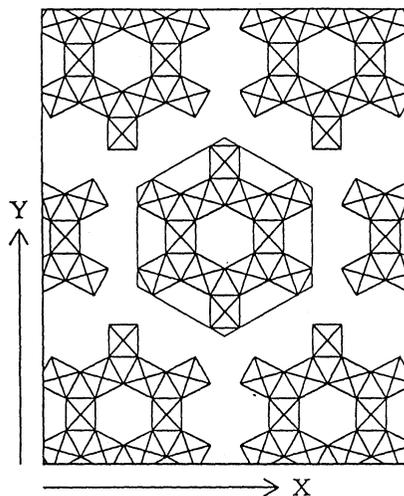


Fig.4 Structural model for a-WO₃ thin film projected along Z direction. The lines exhibit the edges of WO₆ octahedra to explain the configuration of the octahedra, and the outer arrows indicate 20Å.

分	DJ2	施
実	24,293	
許	39,200	

分子、固体および表面の電子状態の理論的研究

Theoretical Studies on Electronic Structure of
Molecules, Solids and Surfaces.

○里子允敏(日大文理)、久保康則(日大文理)

1. 研究目的・内容

固体表面では電場や光による吸着・脱離過程、分子・超微粒子の動的過程、固体ではf電子を含むランタン・アクチニド系金属間化合物の諸物性等の観測され、興味を集めている。しかし強電場や強レーザーにたいし表面原子がどのように結合がきれ、分子や超微粒子として飛び出すのかといったのミクロな過程の理論的研究は少ない。また原子内電子相関の強い4f電子系の伝導機構を第一原理の電子状態に基づいて研究した例は少ない。この研究は電場中での吸着分子・超微粒子の電子状態、重い電子系の電子状態を求める理論手法を開発するとともに、それに基づき表面構造安定性と脱離の動的過程、4f電子状態と伝導機構を理論的に研究することを目的とする。

2. 研究方法と研究成果

2. 1 固体表面上の分子・微粒子の動的過程

(1) 研究方法・計算方法

LDF- $X\alpha$ 法による原子に働く力はクラスター内の原子間相互作用による力と電場による力 $F^{ext} = (Z - \int \rho(r) dv) E(R) + \int \rho(r) (E(r) - E(R)) dv$ との和で与えられる。ここに $E(R)$ はクラスター外の点電荷による電場の和、 Z は原子核の電荷、 $\rho(r)$ はLCAO- $X\alpha$ 法より求められる原子の電荷分布関数である。酸化物表面をクラスター近似、クラスター以外は点電荷によるポテンシャルとして計算した。動的計算法は、原子の位置座標、原子の波動関数を同時に時間の各ステップ毎に解くカール・スプライザーの方法を取った。ただし相互作用ポテンシャルをLDF-力解析法により求めた。

(2) 研究成果

(A) 吸着子に及ぼす表面での電場効果

酸化物表面MgO上の吸着子OH⁻とH⁺に及ぼす表面電場の影響を調べた。固体内のO原子と区別するためOH基の酸素を以下においてO_aと書くことにする。Mg表面原子のon-top位置でのOH基の平衡位置は、それぞれMg-O_a, O_a-H距離3.65Bohr, 1.64Bohrと得られた。またエッジ、コーナ等の格子欠陥があると、表面電場が大きくなり、OH基の距離は更に短く、より強い結合となる。したがって、格子欠陥付近のMg原子に吸着したOH基は、OH基として切れやすく、塩基性はより強くなると言える。酸化物表面での吸着子の振舞いは表面に印可した電場とポテンシャルの大きさ、いかえると格子欠陥の隣接数で説明できること等が分かった。

(B) 固体表面における内殻電子励起による脱離

固体表面・超微粒子において、光や電子により内殻電子を励起させると、原子・分子が脱離する。この機構として、Menzel-Gomer、Knotek-Feibelman、Coulomb-explosionなど諸説議論されているが、まだ明らかではない。金属原子のon-topの位置に吸着した酸素原子が脱離すると仮定し、吸着位置を変えて計算した。吸着酸素の電荷をかえた計算から、表面ではO⁻の状態で吸着し、O⁺で脱離をする事が分かった。また Knotek-Feibelman機構によると内殻励起とAuger過程によりO⁺ができ、Mg²⁺との静電的な反発力により脱離すると

いわれているが、計算した結果、0の2p正孔は局在してなく、そのため結合ができ、単純に斥力とはならない。0の電子励起によるHの脱離は反結合への電子励起により理解できる事などが得られた。

(C)超微粒子の動的過程

また表面と微粒子とのエネルギー移動をとり入れるため、固体をIndented Modelとして、プログラムを拡張し動力学計算を行った(数理学参照)。

2. 2 ランタン・アクチニド系の電子状態と運動量分布

(1) 研究方法・計算方法

高温超伝導物質としては La_2CuO_4 、重い電子系の物質としては RB_6 ($R = \text{La}, \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}$) をそれぞれ選ぶ。 La_2CuO_4 は高温超伝導物質の母体とみなされる。又、 LaB_6 は一電子描像が良く成立することが知られており、価電子としてf電子を含む $R = \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}$ 物質の良い電子状態参照系となる。 La_2CuO_4 、 RB_6 ($R = \text{La}, \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}$)の電子構造はFLAPW法で自己無撞着に計算する。得られた電子密度から陽電子のポテンシャルを求め、基底状態($k=0$)の陽電子を計算する。得られた電子状態、陽電子状態を使い陽電子消滅による運動量分布を計算する。

(2) 研究成果

(A) La_2CuO_4 の電子状態

一電子近似に基づく La_2CuO_4 の陽電子状態はLa、及び長軸方向のO-サイト面にかたよって分布するため、それに起因する構造が運動量分布に顕著に見られるが、実測された構造との対応は良くない。一方、隣接したエネルギー値の励起状態($k=0$)を考慮した運動量分布は実測された構造をかなり良く再現する。このことは、 La_2CuO_4 内に入った陽電子は異方的電荷分布に対し再分布する効果が重要なことを指摘し、この系の陽電子消滅による運動量分布を調べるには電子状態と陽電子状態の自己無撞着な計算が必要であることがわかった。

(B) RB_6 ($R = \text{La}, \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}$)の電子状態

LaB_6 の陽電子消滅による運動量分布の計算結果は、実測値と良く対応し、X点を中心としたラグビーボール状のフェルミ面(電子面)が確認された。又、 $R = \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}$ に対し実測された運動量分布は、 $R = \text{La}$ の場合と同様の構造が理論、実験共に見いだされた。これらの事実は、陽電子のf電子状態との消滅がかなり小さいため、実質、 LaB_6 と同様のフェルミ面を見ている結果であるということが、理論値より明示された。そこで、実験、理論の両結果を定量的に解析することにより、f電子の伝導電子との混成の度合いが明かになり、これらの系のf電子相関ポテンシャルについて重要な情報が得られることがわかった。

3. 発表・出版実績又は予定

里子他：日本物理学会 1988年秋(広島)1989年春(平塚) 表面界面分科、

数理学 1988年10月号(p9-p15)、表面科学の基礎と応用 1989年出版予定、

C.Satoko他：submitted in Surf.Science. C.Satoko他：Appl.Surf.Sci.33,277(1988).

久保他：日本物理学会 1988年秋(広島)、1989年春(平塚)、アクチニド化合物物性研究会1989年5月(仙台)

Y.Kubo他：Phys.Rev.20,1(1989).

分	DK3	施
実	19,144	
許	19,200	

低次元性電導体の動的性質に関する理論的研究

A Theoretical Study on Dynamical Properties of Low-Dimensional Conductors

○和田 靖、大淵泰司、伊藤浩之、寺井 章、岩野 薫、中谷正吾、米満賢治、針谷喜久雄、古川信夫、間野 肇、大槻東巳（東大理）

1. 研究目的・内容

共役高分子のひとつであるポリアセチレンは、その基本的な構造、その中に存在し得るソリトン、及び、ドーピングを行った時発現する高い電気伝導度等の理由により、この分野の研究の中心的物質である。ポリアセチレンは、本来は半導体だが、ドーピングを行い、電子、または、ホールを増やしたとき、1%以上のドーピング濃度で急激に電気伝導度が上がることが知られている。その大きさは、研究の初期の段階ですでに $10^3 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ 程度で、最近では Cu その他の金属と比べても遜色のないサンプルも合成されている。ところが、パウリ帯磁率は 5、6% ぐらいのドーピングまでは、ほとんど零のままである。このことは、電気伝導がスピンを持たないキャリアによることを示し、荷電ソリトンが電気伝導に大きく関わっていることを示唆している。

ところが、以上の荷電ソリトンによる電気伝導という考え方には、大きな問題が存在する。それは、電子をポリアセチレン鎖に与えた後のドーパントが、クーロンポテンシャル源として働き、生成された荷電ソリトンをその近傍にピンしてしまい、その自由な運動を抑制してしまうということである。簡単な計算では、そのときの束縛エネルギーは、0.3eV 程度と評価され、これは、室温程度でもなかなかソリトンが自由な状態に励起されにくい事を意味している。以下、この電子のサイトエネルギーを変える不純物をサイト不純物という事にする。また、ドーパントの混入による格子の乱れや、トランス鎖の中に存在するシス部分などは、電子のホッピングエネルギーを変化させると思われ、その効果も無視できない。以下、このタイプの不純物をボンド不純物という。これらの問題に対する理論的考察は多くの理論家によって試みられているが、まだ、推測の域を出ていない。

2. 研究方法・計算方法

前年度に引き続き、低濃度のドーピング領域におけるポリアセチレン中のソリトンと不純物との関わりを数値シミュレーションによって求めた。扱ったモデルは、前年度と同様の拡張された Su-Schrieffer-Heeger (SSH) モデルである。

$$H = \sum_n (-t_0 + \alpha(u_{n+1} - u_n) + V_b(n))(C_{n+1}^\dagger C_n + h.c.) + \sum_n V_s(n) C_n^\dagger C_n + \frac{K}{2} \sum_n (u_{n+1} - u_n)^2 + \frac{M}{2} \sum_n \dot{u}_n^2$$

ここで、 C_n, C_n^\dagger は、n 番目のサイト上の電子の消滅、生成演算子、 u_n は、n 番目の C-H 単位の鎖方向の変位、 K はばね定数、 M は C-H 単位の質量、 $V_s(n)$ 、 $V_b(n)$ がそれぞれ短距離、ランダムなサイト、ボンド不純物に相当する。ランダム系に特有な多数の準安定状態を扱うため、iteration の方法を用いる。つまり、iteration を始める格子の初期変位もランダムに変え、異なる準安定状態を求める。同じ準安定状態に複数回収束するときは、その回数をその状態の統計的重率と見なす。

3. 研究成果

研究方法・計算方法で説明した方法による計算の結果、次のようなことがわかった。

(A) サイト型、ボンド型両方に共通の結果

サイト型では、不純物に誘起された電荷密度の揺らぎにより、ボンド型では、不純物による直接の格子変形により、新たにソリトン対が発生する。ソリトンには、不純物にピンされ強く変形されたものと、ピンされずほとんど自由なものがある。ソリトンのまわりのフォンの局在モードのうち、純粋な系では赤外不活性である shape mode も活性になる可能性がある。

(B) サイト型、ボンド型で異なる結果

ソリトンのピン止めの束縛エネルギーは、サイト型の場合は必ず正だが、ボンド型の場合は負になることもありうる。サイト型の場合に見いだされるソリトン、いままで知られていたタイプのものに限られるが、ボンド型の場合には荷電共役対称性のために、新しいタイプのソリトンの存在が明らかになった。特に、電荷、スピントともに零であるソリトン、ともに fractional なソリトンが興味深い。

(C) サイト型遠距離力の結果

前年度と同じモデルで、より広いドーパント濃度領域で動的電気伝導度の振舞いを調べた。その結果、2-6%の濃度範囲で、ほとんど自由なソリトンの存在が確かめられた。

以上の結果の中で、ほとんど自由な荷電ソリトンの存在はソリトンによる電気伝導というメカニズムを示唆すると思われる。ただ、一次元の鎖では、そのようなソリトンも不純物の間の自由な領域に閉じ込められると予想されるので、次元を上げて、複数鎖のモデルを考察することが今後の課題である。

4. 発表・出版実績または予定

Y. Wada, A. Terai, K. Iwano, Y. Ono and Y. Ohfuti: A Soliton in Polyacetylene: Optical and Dynamical Activities, International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals, Santa Fe, USA, June 1988.

大淵、和田 日本物理学会（分科会）、63年10月 広島大学

寺井、和田 日本物理学会（分科会）、63年10月 広島大学

岩野、和田 日本物理学会（分科会）、63年10月 広島大学

中谷 日本物理学会（分科会）、63年10月 広島大学

岩野、小野、寺井、和田 日本物理学会（年会）、元年3月 東海大学

針谷、和田、K. Fesser 日本物理学会（年会）、元年3月 東海大学

中谷 日本物理学会（年会）、元年3月 東海大学

K. Iwano, Y. Ono, A. Terai, Y. Ohfuti and Y. Wada: submitted to J. Phys. Soc. Jpn.

Y. Ohfuti, K. Iwano, Y. Ono, A. Terai and Y. Wada: to be submitted to J. Phys. Soc. Jpn.

分	DK7 施
実	32,412
許	35,200

分子振動の旋光強度の理論計算

Theoretical Calculation of Vibrational Optical Activity

○菅田 宏 (阪大蛋白研)

1. 研究目的・内容

赤外領域における分子振動遷移に対する円偏光二色性 (IRCD, VCD) は、光学活性分子の絶対構造、コンホメーション、分子間相互作用等の新しい研究手段として、その有用性が示され注目されている。これまでVCDスペクトルの解釈は、主として経験的モデルに基づいて行われてきたが、その遷移磁気双極子能率の見積りに限界があった。そこで本研究では、β-アミノアルコールの分子内水素結合系のVCDの理論計算を行い、IRCDのコットン効果とコンホメーションの関係を明らかにする。

2. 研究方法・計算方法

基準振動 i に対する吸収強度 (ϵ) および円偏光二色性強度 ($\Delta\epsilon$) は、双極子強度 (D) および旋光強度 (R) と次式で関係づけられる。

$$D_i = |\langle 1_i | \mu | 0_i \rangle|^2 = 10^3 \ln 10 (3hc/8\pi^3 N) \int \epsilon(\lambda) / \lambda d\lambda$$

$$R_i = \text{Im} \{ \langle 0_i | \mu | 1_i \rangle \cdot \langle 1_i | m | 0_i \rangle \}$$

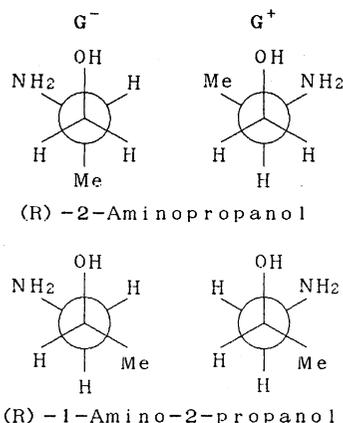
$$= 10^3 \ln 10 (3hc/32\pi^3 N) \int \Delta\epsilon(\lambda) / \lambda d\lambda$$

ここで μ および m は電気および磁気双極子演算子である。

基準振動解析、双極子強度および旋光強度の計算に必要なデータを取り出すよう GAUSSIAN 82 を改良するとともに、各基準振動の対する双極子強度および旋光強度を計算するためのプログラムを整備した。2-アミノエタノール $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ 、(R)-2-アミノプロパノール $\text{NH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{OH}$ 、および (R)-1-アミノ-2-プロパノール $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{OH}$ について、酸素および窒素原子にのみ分極関数を取り入れた 6-31G(*) 基底を用いて *ab initio* HF 法で分子内水素結合の安定構造を求めた。得られた各安定構造に対して解析的に計算したエネルギー二次微分から基準振動を計算するとともに、双極子強度および旋光強度を計算した。

3. 研究成果

表 1 に 3 種の β-アミノアルコールについて得られた分子内水素結合の安定構造に対するエネルギーと H-O-C-C-N-lp (lp: lone pair) に関するコンホメーションを示す。2-アミノエタノールの最も安定な構造は水酸基が供与体である $G^-G^+G^-$ の分子内水素結合構造で、アミノ基が供与体である TG^+T , G^+G^+T , TG^+G^+ および $G^+G^+G^+$ 構造に比べ約 10 kJ/mol 安定である。(R)-2-アミノプロパノールでは、水酸基が水素結合供与体となる構造のうち $G^+G^-G^+$ が $G^-G^+G^-$ より約 1.5 kJ/mol



m o l 安定である。(R)-1-アミノ-2-プロパノールでは、水酸基が水素結合供与体となる構造のうち $G^+G^-G^+$ が $G^-G^+G^-$ より約 $4 \text{ kJ} / \text{mol}$ 安定である。

図1に、(R)-2-アミノプロパノールの基準振動に対する双極子強度(D)および旋光強度(R)の計算結果を示す。OH伸縮振動およびNH₂の対称、逆対称伸縮振動の旋光強度は、 $G^+G^-G^+$ と $G^-G^+G^-$ では逆符号を示し、これらのバンドに対するVCDのコットン効果が、コンホメーションを反映していることがわかる。VCD測定の難易の目安となる異方性因子 $g = 4(R/D)$ は、OH伸縮振動では、 $4 \sim 5 \times 10^{-5}$ であるのに対し、NH₂伸縮振動では $2 \sim 3 \times 10^{-3}$ と約2桁大きいことが注目される。

表1. β -アミノアルコールの安定構造とエネルギー

	2-Aminoethanol					(R)-2-Amino-propanol		(R)-1-Amino-2-propanol	
	$G^-G^+G^-$	TG ⁺ T	G^+G^+T	TG ⁺ G ⁺	G ⁺ G ⁺ G ⁺	$G^+G^-G^+$	$G^-G^+G^-$	$G^+G^-G^+$	$G^-G^+G^-$
τ (H-O-C-C)	-44°	-177°	72°	-168°	-73°	43°	-44°	43°	-44°
τ (O-C-C-N)	58°	60°	58°	66°	64°	-57°	58°	-57°	57°
τ (C-C-N-H1)	78°	-56°	-51°	-178°	-174°	164°	-168°	163°	-157°
τ (C-C-N-H2)	-163°	61°	66°	-60°	-56°	-78°	73°	-79°	84°
energy (HF)	0.0	8.4	9.1	7.2	9.5	0.0	1.4	0.0	4.1
/kJ (MP2)	0.0	10.3	9.5	10.1	11.2	0.0	1.6	0.0	3.5

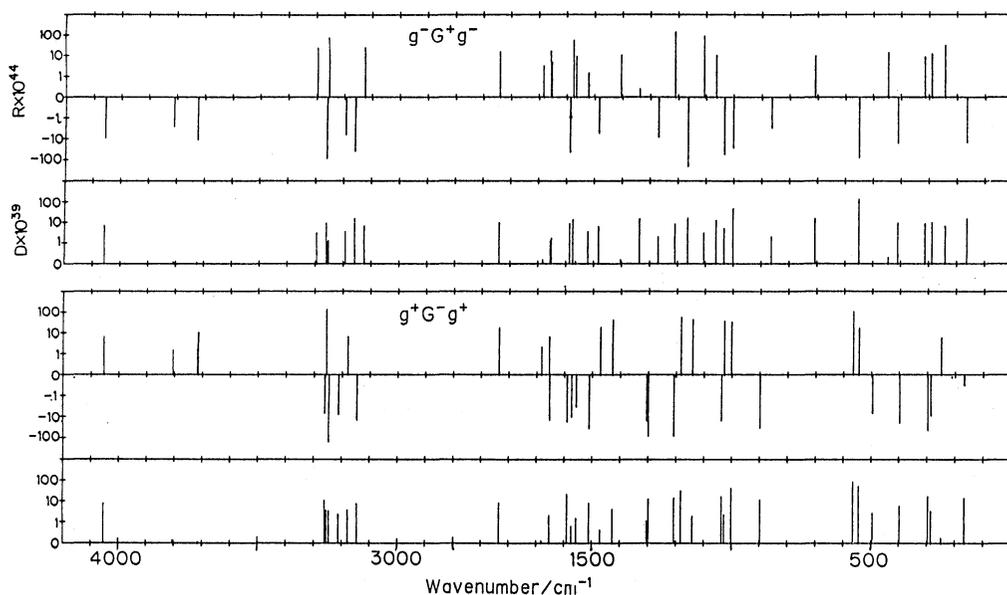


図1. (R)-2-アミノプロパノールの基準振動に対する双極子強度および旋光強度

4. 発表・出版実績

菅田・諸熊、分子構造総合討論会、63年10月、金沢

分 DL1 施
 実 26,760
 許 27,600

スルフィン酸の分解反応及びチオールとの反応における
 反応性の理論的研究

Theoretical Study of the Reactivity of Sulfenic Acids for
 Decomposition and Reaction with Thiols.

○作道栄一(富山大工), 吉村敏章(富山大工), 丹羽美隆(富山大工),
 曾我真一(富山大工)

1. 研究目的・内容

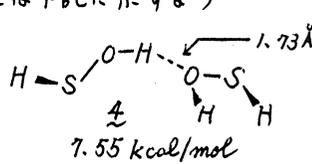
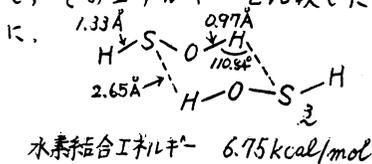
チオール(RSH)を酸化すると, スルフィン酸(RSO_2H)やスルホン酸(RSO_3H)が得られるが, このときに通る重要な中間体としてスルフェン酸($RSOH$)が考えられている。しかしながら, スルフェン酸は通常不安定で, 2分子が直ちに脱水縮合してチオールスルフィナート($RS(O)SR$)を生成するので現在までに単離されたものはわずか8例に過ぎない。そのためスルフェン酸に関する研究はほとんどないが, 生体内やいろいろな場でスルフェン酸の関与する反応は当然考えられる。そこで従来より我々はスルフェン酸のその高い反応性及びその原因を検討するために, 比較的安定なスルフェン酸を用いて, 分解反応やチオールとの反応に関して動力学的に研究を行ってきた。その結果, 従来より非常に速いと予想されていたスルフェン酸とチオールの反応よりもスルフェン酸同士の脱水縮合(分解反応)の方がはるかに速くしかも2量体を形成して反応が進んでいるらしいことが分ってきた。そこで, この分解反応がどのような2量体及び反応機構によって進んでいるのか, 又その高い反応性の原因はどこにあるのかを理論的に予想するために *ab initio* 法による分子軌道計算を行なった。

2. 研究方法・計算方法

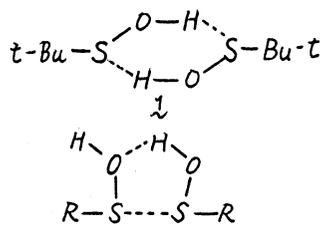
スルフェン酸のモデル化合物として $HSOH$ を選び2種類の水素結合2量体, 酸触媒下の2量体, 遷移状態, S-S結合2量体, 及び $HCC(O)CH=CHSOH$ をモデルとした隣接基関与による安定化について, 構造及びエネルギーを計算した。プログラムは Gaussian 82 を用い基底関数として構造最適化には硫黄だけに *d* 軌道を含む 3-21G(*) を用い, エネルギー計算には 6-31G* を用い MP 2 レベルの電子相関を計算した。

3. 研究成果

スルフェン酸の2量体に関しては, J.R.Shelton等(1973)が1のような6員環の構造を提案している。S...H水素結合は一般に弱いものであるが, この場合 *Conjugate Chelation* の効果によって特別に強くなることも考えられる。一方, スルフェン酸が脱水縮合しやすい原因として, F.A.Davis等は, 1978年以來ずっと2のような水素結合によって遷移状態が安定化されると主張している。そこでこれらの2つの水素結合体を構造最適化し, そのエネルギーを比較した。結果は下記に示すように,

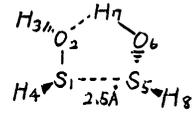


MP 2 / 6-31G* // 3-21G(*)

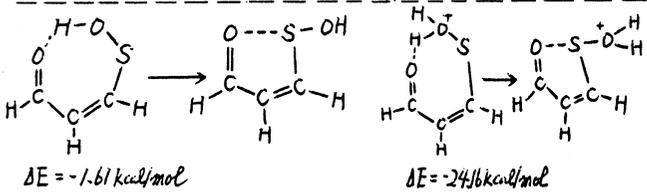
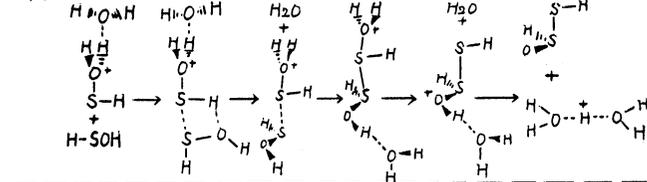
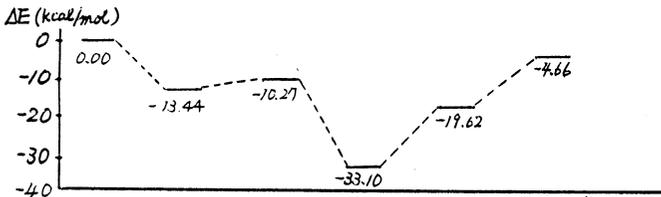
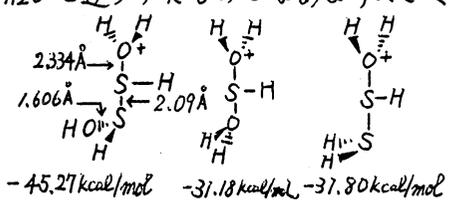
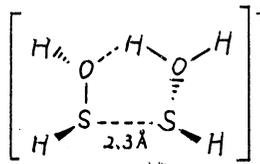


水素結合エネルギーは3より先の方が少し強いが, いずれにしても特別に強いものではなくアルコールの水素結合程度である

ことが分った。そこで先から脱水縮合が進むように構造を変形させ S-S の距離を 2.5 Å に固定し、6-31G* を用いて構造最適化を行なったが S₁-O₂ 結合 (1.654 Å) が伸びる傾向になくエネルギーは 5391 kcal も不安定化した。さらに S₁-O₂ 結合を 2 Å に伸ばすと 1575 kcal も不安定化し、Population analysis の結果、S-S 結合は、生成する方向にないことが分った。また UHF にて計算を行なった結果、電子構造にも無理があることが分った。



一方、スルフェン酸の分解反応は酸触媒作用を非常に受けやすいので、プロトン化したスルフェン酸についても同様の計算を行なったが、この場合も全く反応する傾向にないことが分った。これらのことより、F.A. Davis 等の主張する水素結合環状遷移状態には非常に無理があると考えられる。そこで別の反応機構としてプロトン化したスルフェン酸の後側からスルフェン酸を近づけたところ 45.27 kcal/mol も安定化し、しかもその構造はほとんど生成物に近いものとなった。この安定化は H₂S や H₂O を近づけたものではあまり大きくなくスルフェン酸が特別である。このように大きな安定化がスルフェン酸の高い反応性の原因である可能性があるため、もう少し溶液反応に近づけるためにもう一分子の水を加えて反応 process を計算した。結果は下図の通りである。



が考えられる。そこで、どちらが安定であるかエネルギーを計算して比較した。いずれも、Back side からカルボニル基が相互作用した方が安定であることが分った。これらの結果は、今までの考えをくつ返すものであり、今後スルフェン酸の安定性を議論するのに役立つものと思われる。

4. 発表・出版実績または予定

吉村、丹羽、作道、古賀、諸熊 日本化学会第57秋季年会(仙台)
 吉村、丹羽、作道、古賀、諸熊 Bull. Chem. Soc. Jpn 投稿予定

これらの反応には特に遷移状態は見つからなかったが、さらに多数の水が関与すると遷移状態が現れる可能性がある。いずれにしても遷移状態のエネルギーはあまり高くなるとは考えられず、スルフェン酸の高い反応性を十分説明できる。

次に 1-アントラキノンスルフェン酸が安定である理由をモデルを用いて計算した。このスルフェン酸は分子内で水素結合をするために安定であるといわれてきたが、隣接カルボニル基が、Back side をブロックしていること

分 DL2 施	
実	5,111
許	9,200

遷移金属酸化物の電子状態と触媒活性

Electronic Structure and Catalytic Activity of Transition Metal Oxides

○藤井恒男, ミツ井功 (信大工)

1. 研究目的

多孔性ガラス等に担持した遷移金属酸化物は、配位不飽和性が高く、特異な光触媒反応を示す例が多い。この様子をクワスタマーモデルとして扱う上で最適であり、遷移金属としてCrに例にとり、酸化クロムの結合末端-OHとした構造をとり上げ、その基底状態と励起状態における、不飽和炭化水素、O₂等との相互作用を検討し、特に光触媒メカニズム反応について、その機構を検討する。

2. 研究方法・計算方法

多孔性ハイコ-ルガラス等の細孔表面上にCrO法で担持された遷移金属酸化物をそのクワスタマーモデルとし、端はHで閉じる。CrO₂ / 2, CrOH₂SSにあり、基底状態と励起状態における、結合距離と結合角を決定する。Crは+2電子の価数をも考慮する。Crの基底状態は高永の価数のM₁L₂を、O, Hは相対比のS₁O-3 Crを用いた。

3. 研究成果



CrO(OH)₂のクワスタマーモデル。

○CrO(OH)₂の基底状態

左図のクワスタマーモデルを用い、R, θをパラメータとして、最適構造を決定した。
R = 1.45Å, θ = 0°を得た。

○CrO(OH)₂の三重項状態

-基底状態と同様に R = 1.65Å, θ = 50°を得た。

実験によつて、ESRスピンフットル、発光スピンフットル、発光寿命の測定から、メタセミス反応は三重項状態であると報告されている。計算結果は、三重項状態において、表面酸素が大きく表面へ近づき、折れ曲がるため、Crのd軌道が空向へ突き出すことかわかった。従つて、この突き出す軌道と、接近する分子とが相互作用し、吸着し、反応へと進行するにシテ予測される。この結果は、実験結果と一致した。

4. 発表

ミツ井, 藤井, 野村, 飯本, 安藤, 分子構造総合部論文集, 88年10月東京

生物における形態形成の研究

基	QAb 施
実	9,660
許	10,000

Theoretical Study of Pattern Formation in Biology

○ 関村利朗（中部大工）、宮島佐介（中部大工）、三村昌泰（広島大理）
栄 伸一郎（広島大理）、垣内孝弘（中部大工）、藤本行敏（中部大工）

1. 研究目的・内容

単一細胞、および多細胞体制としての器官・個体の形態が、その構成要素である分子細胞などからどの様な機構によって形成されるかという問題は、生物科学において解明が急がれる重要課題の一つである。この問題では、個々の固有な研究と同時にそれらの結果の一般性を議論する必要がある。本プロジェクトでは、コンピュータ・シミュレーションおよび理論的解析により、リボソーム（脂質二重層膜小胞）の形態形成、細胞性粘菌の分化パターン形成、モンシロ蝶の鱗粉細胞配列機構、また癌細胞の増殖・伝染病の伝播等を扱う成長模型等の探求を遂行し、比較研究によりそれらに存在する共通性、また相違点を明確にしていく事を目指す。

2. 研究方法・計算方法

●リボソームの形態形成の研究：超分子としての細胞および細胞内小器官のモデルとしてのリボソームは幾何学的対称性の高い形態をし、また一定の仕方では形態変換を行う。リボソームは脂質分子の二重層膜からなる小胞である。この膜は二次元液晶構造を持ち、膜に沿う方向へのズレ・エネルギーを蓄える事は出来ないが、膜に垂直方向での力学的弾性曲げエネルギーは蓄える事が出来る。リボソーム全体の形態の安定性を、三次元形態全体に亙って蓄えられる曲げエネルギー最小の原理から検討する。また、表面積を一定に保ち、リボソーム内の体積を変化させた時の動的形態変化もあわせて検討する。シミュレーションでは、リボソーム全体の体積、表面積、曲げエネルギーの評価は数値的多重積分によって行う。

●モンシロ蝶の鱗粉細胞配列機構の研究：モンシロ蝶の鱗粉配列パターンには著しい規則性が観察されている。発生過程における細胞分化、細胞変形、細胞間接着力による細胞選別移動等を考慮した現実的なモデルを二次元離散モデルの枠内で考え、分析する。コンピュータ・シミュレーションは論理計算が中心になっている。

●寿命を考慮した成長モデルの研究：この数年来、著者らが提案してきた寿命を考慮した成長モデルは、癌細胞の増殖のモデルとして提出されたEden Modelを一般化したものであり、伝染病の伝播、森林の火災等のモデルとして提案されたEpidemics Modelである。細胞分裂時間、伝染病で伝染能のある期間、火が近くの木に熱を与えている期間等の時間（寿命）の長さが、それぞれのパターンに及ぼす影響について多くのシミュレーションを行い興味ある結果を得、その臨界現象的性格を明らかにしてきた。

3. 研究成果

●リボソームの形態形成の研究：全表面積一定の条件下で、リボソームのいろいろな三次元形態について曲げエネルギーをコンピュータ・シミュレーションおよび数理的解析により評価し、以下の主要な3つの結果を得た（関村、宝谷；1988,1989）。

i) 赤血球型をはじめ、楕円型、三角形型等幾何学的対称性の高い形態が、それぞれ、

曲げエネルギーの極小値に対応し、エネルギー的に安定な形である。

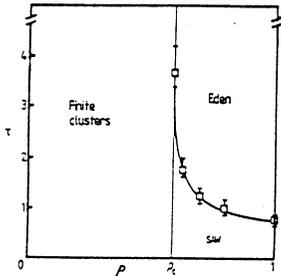
ii) 全表面積を一定に保ちながら体積を変化させるとエネルギー的に形態変換が起こりうる。例えば、最初赤血球型のリボソームが体積減少に伴って楕円型、三角形型等へ一定の順序で形態変換可能である。

iii) 上述の2つの結果はリボソームのサイズに依らないで成立する。

以上、実験結果とも比較・検討し、リボソームの形態は非常に簡単な原理、即ち、膜に蓄えられる力学的曲げエネルギーを最小にするように決っているものと考えられる。

● 細胞性粘菌の分化パターン形成の研究: 分化パターンに関する最初の解析(関村、小淵; 1986)に次いで、パターン形成過程における細胞移動経路・移動速度の解析を行った。その結果、細胞選別要因として、cAMPに対する差次的走化性に加えて、差次的細胞間接着性が不可欠であり、かつ細胞間接着は予定柄細胞と予定胞子細胞が互いに混じり合うように働くべきである事が再確認出来た(関村、小淵; 1988)。

● 寿命を考慮した成長モデルの研究: 要素の寿命 τ と濃度 P の相関を表す結果を図に示した(縦軸は τ 、横軸は要素の濃度 P)。成長要素が十分に有り、しかも寿命が比較的に長い場合には無限に大きなクラスターが生じ、そのフラクタル次元は常に Eden Model と同じになる。また Finite と記された領域では成長要素が臨界濃度 P_c (正方形格子では 0.5727) より少なく成長はいつも途中で止まりクラスターは有限サイズに留まる。Saw と記された領域では高分子的な成長となる。このモデルが Per-



colation Problem の site-bond problem と非常に類似している事は J.Stat.Phys. (宮島他; 1987) で述べた。今回は臨界現象でよく見られる境界領域(相転移領域)での異常について調べた。i) $P=1$ に固定して $\tau \rightarrow \tau_c (=0.8) \rightarrow 0$ とし、システムの寿命 τ の発散の様子を調べる。Saw 成長から Eden 成長へ移り変わる点 τ_c をもって τ と考えた。 $\tau \sim (\tau_c - \tau)^{-\beta}$ とするとき $\beta \sim \frac{13}{4}$ が得られている。これは全く新しい指数で他の Exponent との関連についてはこれからの吟味に依存している。ii) $P < 1$ のときは現在計算中である。iii) τ は固定、 $P \rightarrow P_c(\tau) \rightarrow 0$ のとき平均のクラスターの大きさ S の発散の様子について議論した。 $S \sim (P_c - P)^{-\gamma}$ とするとき $\gamma = 2.36$ が得られており、従来の Percolation Problem での数値と全く同じであり、この事についての考察はまだ行われていない。i), iii) は新しい興味ある結果であるが理論的分析はこれからである。

4. 発表・出版実績または予定

4. 発表・出版実績または予定

- 1) 関村、宝谷: 2nd Japan-China Bilateral Symposium on Biophysics(京都, 1988), 97.
- 2) 関村、宝谷: Forma 4 (1989), in press.
- 3) 関村、小淵: J.theor.Biol. 122, 325(1986).
- 4) 関村、小淵: Science on Form 3, 67(1988).
- 5) 宮島、関村編: Proceedings of Nagoya Meeting on Pattern Formation(1988), KTK Scientific Publishers/Tokyo.
- 6) 宮島、ブンデ、スタンレイ: J.Stat.Phys. 47, 1(1987).
- 7) 宮島、長谷川、ブンデ、スタンレイ: J.Phys.Soc.Japan 57, 3376(1988).
- 8) ブンデ、宮島: Phys.Rev. 38, 2099(1988); J.Phys. A21, L345(1988).

分	AAの所内
実	503,946
許	504,000

分子の電子状態及び化学反応機構に関する理論的研究

Theoretical Studies on the Electronic Structure of Molecules and the Mechanism of Chemical Reactions

○諸熊奎治、山下晃一、古賀伸明、Andrea Dorigo、福永宏雄、川村浩、鮫島圭一郎、小澤忠弘、沢辺恭一、天辰禎晃（分子研理論研究系分子基礎理論第一部門）

1. 研究目的、内容

本研究グループは、以前より主にab initio分子軌道法を用い、分子の電子状態や化学反応機構について理論的研究を行ってきた。本年度の主な研究テーマは、昨年に引き続き、1) 光やレーザーによる励起状態における化学反応、2) 遷移金属錯体の分子構造と反応機構、3) 選択的有機化学反応の理論的解析などである。

2. 計算方法

電子状態の計算、ポテンシャル面の計算にはab initio SCF法、MCSCF法、CI法、Moller-Plesset摂動法、エネルギー勾配法などの計算方法を用いた。使用したプログラムは、主にGAUSSIAN82、GAUSSIAN86、MELD、GAMESS、COLUMBUS、MOLPRO88、IMSPACKである。

3. 研究成果

A. NaX (X=Cl, Br, I) の光解離過程における遷移状態スペクトロスコピー (山下)

ハロゲン化アルカリの解離過程においては、イオン結合的な基底状態と共有結合的な第一励起状態のポテンシャル曲線が交差する。これらの状態間の非断熱相互作用の大きさにより、第一励起状態に束縛状態が得られる場合がある。本研究では、まず ab initio 計算によりNaX(X=Cl, Br, I)の解離過程のポテンシャル曲線と相互作用項を求めた。計算は、TZP+f基底を用いたstate-averaged CASSCF-MRCI法により行った。次に分子系と pump および probeの2種のレーザー場との相互作用を考慮し、時間に依存した波束の運動を定式化し、束縛状態の波束の運動を追跡した。計算結果はほぼZewailらのfemto秒を用いた実験結果を再現し、化学結合が切れる領域でのポテンシャル曲線や動力学を実験的に検証しうる可能性があることを理論的に明らかにした。

B. 一般化遷移状態理論と反応座標モデルにもとづいた状態選択反応速度 (山下)

反応物の振動状態を選択励起した場合の反応速度定数について、反応座標方向の運動と振動モード間の結合が大きい、すなわち反応座標の曲率が大きい場合について振動の非断熱性を考慮したモデルを検討した。実験的に反応速度に対する振動励起の影響が調べられている次の反応系について、反応座標の曲率と遷移状態の位置との関連をHF/MP2/6-31G*計算により解析し、各々の反応における振動非断熱性の特性を考察した。



反応(1)の場合、曲率は反応物側(s=-1.4)で反応物のHCl伸縮振動に対応するモードと反応座標の結合により極大を持ち、古典的トラジェクトリー計算により得られた反応断面積に振動非断熱性の影響がみられた。反応(2)の場合、曲率の大きな領域は生成物側(s=1.2)にあり、反応物から遷移状態近傍までは振動断熱性が仮定できる事がわかった。

C. CH₃Iの光解離反応の動力学 (天辰)

CH₃Iの光解離反応は、実験、理論の両面で多くの研究があり、その動力学は疑似直線三原子分子として取り扱われてきた。しかし、最近の実験的研究では、この取扱の枠を越えた結果がいくつか報告され、また理論的にもこの可能性が予測されている。そこで本年度は、この動力学を理論的に検討する第一ステップとして、CH₃Iのポテンシャル面を得るための計算を行った。まず、9個の内部自由度のうち、3つのCH結合の伸縮振動の自由度を除く残り6つの内部自由度を種々に変えて、スピン-軌道相互作用を含みCI計算を行い、エネルギーを求めた。次に各点でのエネルギーをdiabaticな基底に変換し、これらの値を解析関数にfitした。

D. 電子スペクトルの溶媒効果: H₂CO[¹A₂(n→π*)]-H₂O系の分子間ポテンシャルと吸収スペクトルシミュレーション (福永)

ホルムアルデヒドの¹A₂(n→π*)遷移の吸収スペクトルの振動構造の溶媒効果を考察することを目的として水の水の間の分子間ポテンシャルおよび水と相互作用したホルムアルデヒドの(n→π*)遷移の遷移モーメントのfittingと気相スペクトルのシミュレーションを行った。ポテンシャルの計算は、基底状態についてはHF法、励起状態についてはEHP法を用い、(9s5p1d/4s)/(3s2p1d/2s)基底を用いて行った。ポテンシャルと遷移モーメントはホルムアルデヒドの規準座標の関数で、振動の波動関数は調和関数の線形結合で表した。遷移モーメントを解析的に計算することによって気相スペクトルをシミュレートし、実測とのよい一致を得た。

E. Rh錯体によるCH結合活性化とアルカン錯体中間体 (古賀)

近年、配位不飽和な遷移金属錯体中間体による、アルカンのCH結合活性化が注目をされている。そこで、配位不飽和な中間体のモデルとしてRhCl(PH₃)₂を選び、それへのCH₄の酸化的付加のポテンシャル面のab initio MO法による検討を行った。構造最適化にはHF法を、エネルギー計算にはMP法を、基底関数はsplit valenceレベルを用いた。その結果、反応は二つのCH結合がRhと相互作用しているメタン錯体と三中心の遷移状態を通して進むことが明らかになった。しかし、energeticsには電子相関の効果が非常に大きい。MP4法では反応は全体として、24kcal/mol発熱で、メタン錯体からの活性化エネルギーは3kcal/molであり、非常に進み易い反応である。電子相関の効果に関しては、局在化軌道を用いたMP2法によって解析し、反応熱、活性化エネルギー、メタンの結合エネルギーへの影響の要因を明らかにした。

F. {CpRu}₂(μ-H)₂の構造と結合 (古賀)

X線結晶構造解析やIR、NMRによるスペクトルで実験的に研究されている上記のRu複核錯体の構造及び電子状態をab initio HF法、MP2法によって検討した。基底関数はRuとHにはDZ、CpにはSTO-3Gを用いた。その結果、RuRu結合に垂直な鏡映面を持ち、その面上に4つのヒドリドが存在する構造を持つことが明らかとなった。これは、二つのH₂が配位しているとするX線の結果ではなく、4つの等価なHの存在を示すスペクトルの結果を支持する。18電子則によればRu間に三重結合が存在するが、分子軌道の解析の結果Ru間には結合は存在せず、4つの橋掛けした二電子三中心RuHRu結合を持つことが明らかとなった。

G. Ti-Me結合へのオレフィン挿入機構 (川村)

Ziegler重合機構のなかで最も重要と考えられるオレフィン挿入反応のモデル反応(CH₃TiCl₂⁺ + C₂H₄ → CH₃TiCl₂(C₂H₄)⁺ → (遷移状態) → C₃H₇TiCl₂⁺)をab initio MO法により研究した。Ti-Cσ結合軌道がtriplet instabilityを起こすため、CH₃錯体でRHF,UHF/3-21G(Ti; MIDI4,basis set I)で構造最適化を行い、二つの構造を比較した。PUMP2とCASSCF-MRCIレベル(C;6-31G⁺,Ti;MIDI4,basis set II)ではRHF構造が安定であった。したがって、反応のenerge

ticsの計算はPUMP2/II//RHF/Iで行った。このモデル挿入反応では活性化エネルギーは必要ではなかった。今後さらに他のステップについても検討する予定である。

H. MgO表面への水素吸着反応機構 (沢辺)

MgOは酸塩基触媒として興味ある物質であり、触媒反応の例としては、液体窒素温度での水素重水素交換反応などがある。MgOの反応活性サイトは、その配位数によって反応性が異なり、 $Mg_{3c}-O_{3c}$ と各サイトの原子の配位数が3であるような低配位の活性サイトは様々な反応を起こすには最も望ましい反応サイトといえる。この配位サイトの表面のモデルとして、 $(MgO)_4$ の立方体をモデルクラスターとして用いて水素吸着反応機構をab initio計算によって研究した。結果としては、次の4つが得られた。①水素は遷移状態においてすでに分極を起こしており、そのままイオンのように解離吸着をする。②2つの錯体状態が得られ、それらの錯体からの反応経路は遷移状態前に合流する。③MgOの分極を記述するためには、クラスターの周りにマデルングポテンシャルを置く必要がある。④水素の吸着エネルギー計算は電子相関の考慮が必要であり、15.0 kcal/mol(MP2/6-311+(H,O)G)である。

I. The 1,4-addition to C=C-C=O groups of simple nucleophiles (alkylmetals and X-, X=OH, NH₂, CH₃). (Dorigo) In particular, the diastereoselectivity of the addition to systems having a chiral γ -carbon atom is being investigated as a function of steric and electronic properties of the substituents at that center. In the reaction of alkylmetals, we have found that the conformational preference of a substituent at γ -C depends primarily on its effect on the developing metal - oxygen interaction in the transition state.

J. The reaction of cuprates with conjugated C=C bonds (conjugate addition) and with allylic halides (SN₂' reaction). (Dorigo) Cuprates are d-orbital nucleophiles and as such prefer a different approach to the substrate from that calculated for more 'conventional' nucleophiles. We have calculated that stable complexes are formed between lithium dimethylcuprate and a) 1,1-dicyano-ethylene and b) allyl chloride. The consequence of this type of approach on the diastereoselectivity typically observed in such processes is now being investigated.

K. The Wittig reaction of substituted phosphonium ylides with aldehydes. (Dorigo) The preference usually observed for the formation of the Z olefins is as yet unexplained, although steric effects involving the substituents at the phosphorus may play a major role. In order to calculate the relative energies of the transition structures involved, quantum chemical methods are being used as the basis for molecular mechanics calculations, which are more suitable for the investigation of large systems.

L. The nature of the bonding to 'hypervalent' atoms. (Dorigo)

While several investigations have been performed on simple molecules, such as tetra-, penta-, and hexahydrides, our research focusses on species more closely related to systems of interest experimentally. The influence on the stability of hypervalent molecules of a) the inclusion of d orbitals at the hypervalent atom, b) the effect of electron correlation, and c) the effect of enforced proximity on ligands is

being investigated.

M. ノルボルネン誘導体へのハイドロボレーションにおける位置及び立体選択性の要因 (小澤)
六員環を置換基に持つノルボルネン誘導体、tricyclo[6.2.1.0^{2,7}]undec-2(7)-ene(1)のハイドロボレーションでは容易にBH₂の転位が起こり、2級のアアルコールのみが位置及び立体選択的に得られる一方、五員環を持つノルボルネン誘導体、tricyclo[5.2.1.0^{2,6}]dec-2(6)-ene(2)では転位は起こらず、3級のアアルコールのみが得られることが実験的に知られている。この違いの要因を明らかにするために、非経験的分子軌道計算を行った。1のBH₂付加体では六員環内に9kcal/molの歪エネルギーが生じる一方、2では五員環内に歪は生じない。1ではこのため付加体が不安定でBH₂が脱離し、転位し易いことが解った。

N. 有機化合物の分子内長距離電子移動及び三重項励起移動の立体電子効果 (岐島)

これまで行ってきた分子内長距離電子移動(ET)の理論的研究の続きとして、ET: D⁻-Sp-A → D-Sp-A⁻、正孔移動(HT): D-Sp-A⁺ → D⁺-Sp-A、三重項励起移動(TT): ³D'-Sp-A → D'-Sp-³Aの速度に対する立体電子効果の研究を、Sp=1,4-cyclohexadiyl、D=A=vinylであるモデル化合物を用いて行った。反応速度は始状態と終状態間の行列要素の自乗に比例する。この行列要素はvinylのconformationに大きく依存し、α水素とcisもしくはその近傍で、低いエネルギーと大きな行列要素を持つ。行列要素の大きさはET、HT、TTによって大きく異なる。特にTTの小さな行列要素の値は、1電子過程であるETやHTと異なり、TTが2電子過程であることに由来する。

4. 共同研究

本研究グループは、国内外の研究者と以下のような共同研究を行っている。

- A. 遷移金属錯体の構造、電子状態、触媒作用の理論 (熊大 楢)
- B. イオン・分子衝突における電荷移行反応のポテンシャル面 (東北大 楠)
- C. 分子振動の選考強度の理論計算 (阪大蛋白研 菅田)
- D. 古典トラジェクトリー法による化学反応の動力学計算 (復旦大 Xie)
- E. 小さな分子の励起状態での振動一回転エネルギー準位の計算 (NRC(Canada) Bunker)
- F. メチレンシクロブタンの熱異性化反応の理論 (トロムゼ大 Skancke)

5. 論文

1. N. Koga and K. Morokuma, J. Am. Chem. Soc., 110, 108 (1988).
2. H. Shiraishi, K. Ishigure, and K. Morokuma, J. Chem. Phys., 88, 4637 (1988).
3. N. Koga, S.Q. Jin, and K. Morokuma, J. Am. Chem. Soc., 110, 3417 (1988).
4. C. Daniel, N. Koga, J. Han, X.Y. Fu, and K. Morokuma, J. Am. Chem. Soc., 110, 3773 (1988).
5. K. Yamashita and K. Morokuma, J. Phys. Chem., 92, 3109 (1988).
6. K. Morokuma, W.T. Borden, and D.A. Hrovat, J. Am. Chem. Soc., 110, 4474 (1988).
7. Y. Aoki, A. Imamura, and K. Morokuma, J. Chem. Phys., 89, 1147 (1988).
8. S. Nakamura and K. Morokuma, Organometallics, 7, 1904 (1988).
9. S. Yabushita and K. Morokuma, Chem. Phys. Lett., 153, 517 (1988).
10. S. Sakaki, T. Aizawa, N. Koga, K. Morokuma, and K. Ohkubo, Inorg. Chem., 28, 103 (1989).

分	AAZ 所内
実	9,092
許	9,200

マイクロ波分光およびレーザー分光による分子構造の研究

Study of Molecular Structure by Microwave and Laser Spectroscopy

- 廣田栄治(分子研), 山田千穂(分子研), 遠藤泰樹(分子研), 川口運太郎(分子研), 金森英人(分子研), 梶田雅穂(分子研), 伊藤治彦(分子研), 鈴木俊法(分子研), 藤竹正晴(分子研), R. Tipping (Univ. Alabama, 分子研), E. A. Cohen (JPL, 分子研)

1. 研究目的, 内容

高分解能分光法によって分子の構造およびこれに関連するその他の諸性質を明らかにすることを目的とする。対象としてとりあげる分子は、放電、光分解、化学反応等によって生成する短寿命のもので、とくに不対電子をもつフリーラジカルや分子イオンに注目する。これらの分子の高分解能スペクトルは一般に微細および超微細構造を示すので、その解析を通じて電子構造に関する貴重な情報をえる。短寿命分子の高分解能スペクトルを観測することによって、化学反応論、環境科学、天文学から半導体工業に至る多くの関連分野において、これらの分子種を追跡する手がかりを与え、これらの分子がどのような役割を演じているかを明らかにする。光分解によって生成する短寿命分子の高分解能スペクトルを時間分解測定し、光化学反応機構解明に資する。以上の主要テーマの他に、分子科学上重要と判断される分子についての精密分光、新しい分光学的手法の開発等を行う。

2. 研究手法・計算方法

実験手段は、マイクロ波およびラジオ波、固定波長赤外カスレーザー(CO_2 , N_2O , CO), CO_2 レーザー励起遠赤外レーザー、可変波長赤外半導体レーザーを光源とした分子分光法、あるいはこれらの光源を2つ以上用いた二重(多重)共鳴法である。短寿命分子は放電により連続的に、あるいはエキシマレーザー光、水銀光分解によりパルス的に生成した。後者では反応生成物の非平衡分布を観測した。測定した高分解能スペクトルの解析は次のように行う。電子、振動、回転、微細および超微細相互作用をふくめた分子のハミルトニアンを作り、適当な基底関数系を用いてエネルギー行列をもとめ、その固有値を計算する。このプロセスを遷移の始状態と終状態について個別に行い、遷移周波数をもとめる。実験を開始する前に分子定数を用いてスペクトルを予想し、これに従って実測を行い順次分子定数を改善して行くのが一般的な方法である。十分な数の実測値がえられれば、最小二乗法(線型および非線型)によって分子定数を決定する。電場および磁場によるスペクトル変化(シュタルクおよびゼーマン効果)の解析も全く同様である。分解能が不十分でスペクトルが完全に分離解析できないときはシミュレーションによる解析を行うこともある。実験データは分光器附属のミニコンピュータによって一度フロッピーディスクに蓄積された後、計算センターに転送、格納、処理される。

3. 研究成果

(1) 赤外半導体レーザー運動学的分光法によるフリーラジカルの構造とダイナミックス
 昨年度にひきつづき CCH ラジカルにおける振電相互作用を明らかにするため、 CCD の $\nu_2 + \nu_3$ バンドを観測、解析した。また $CH_3I \rightarrow CH_3 + I$, $Cl_2SO \rightarrow Cl + ClSO$ あるいは $2Cl + SO$ の光解離過程を CH_3 , Cl の赤外遷移をモニターすることによって追突した。

一方アレンあるいはシアセチレンを光分解し、 C_3 の ν_3 バンドを観測した。この分子は、とくに ν_3 状態において擬似直線的であることが予測されていたが、今回の結果はその予測とよく対応することを示した。非直線性についてさらに情報をえるため、変角振動の第1, 第2励起状態からのホットバンドを観測、解析した。またハロゲン化ビニルを光分解し、ビニルラジカルを生成、 CH_2 縦ゆれ振動バンドの観測に成功した。この分子はCH面内変角振動が二極小ポテンシャルをもっているため、今回観測したバンドも2個のサブバンドから成立していることを示した。しかし約 0.05 cm^{-1} のバンドオリジンの差がトンネル効果による分裂とどのような関係にあるのか不明である。その他 $N_2O \rightarrow N_2 + O$, $O + CH_4 \rightarrow CH_3 + OH$ の反応, $SO_2 \rightarrow SO + O$, $O + C_2H_4 \rightarrow \dots$ の反応の解析を行っている。前者では CH_3 , OH を赤外半導体レーザーにより、後者ではビニキシ, CHO 等をマイクロ波分光により観測した。(2)分子イオンの分光 シアノアセチレンと水素の混合物を放電することにより HC_3NH^+ を生成し、 ν_3 バンドを観測、解析した。前に報告されていた ν_3 バンドのJの帰属を確認した。(3)フリーラジカルの高分解能分光 昨年度にひきつづき、 LiO の回転および振動回転スペクトルを測定した。 KO については $^2\Pi$ 基底状態と $^2\Sigma^+$ 励起状態両方の回転スペクトルを同時に解析している。新たに RbO の回転スペクトルを検出した。さらに AlO のマイクロ波スペクトルの観測に成功し、超微細構造定数を決定した。(4)シリレンおよび関連分子の分子構造 昨年度にひきつづき $SiCl_2$ の回転スペクトル測定を $v_1=1$ および $v_3=1$ 状態に拡張し、両者の間のコリオリ相互作用をとり入れて解析した。二つの振動状態の差を 5.40 cm^{-1} と決定するとともに、分子構造、調和および非調和力場について詳細な情報もえた。基底状態の Cl 核回極子結合定数を決定し、 $Si-Cl$ 結合が $Cl \rightarrow Si$ のbackdonationのため軸対称から大きくずれた電荷分布をもっていることを示した。次いでジクロルカルベンについて同様の測定を行い、 $C-Cl$ のbackdonationはさらに大きいこと、しかしイオン性はほとんどないことを示した。一方シランの放電プラズマ診断のため SiH_2 ν_2 バンドを観測し、精密な分子定数もえた。(5)無極性分子の分子構造 シクロブタン $1,1,3,3-d_4$ の回転スペクトルを観測し、各遷移が約70 MHzのパックリング分裂を示すことを見出した。この分裂の回転依存性は小さく、その大部分はトンネル効果による分裂と考えられる。

4. 発表および出版実績

後藤, 板橋, 加藤, 西脇, 山田, 廣田, 第35回応物講演会, 1988.10, 富山。西脇, 板橋, 加藤, 後藤, 山田, 廣田, 同上。板橋, 加藤, 西脇, 後藤, 山田, 廣田, 同上。加藤, 板橋, 西脇, 後藤, 山田, 廣田, 同上。山田, 廣田, 板橋, 加藤, 西脇, 後藤, 同上。松村, 金森, 川口, 廣田, 分子構造総合討論会, 1988.10, 調布。金森, 廣田, 同上。田中, 藤竹, 廣田, 同上。藤竹, 廣田, 同上。山田, 藤竹, 廣田, 同上。西脇, 板橋, 加藤, 後藤, 山田, 廣田, 第36回応物講演会, 1989.4, 千葉。板橋, 加藤, 西脇, 後藤, 山田, 廣田, 同上。藤竹, 廣田, 日化第58春李年会, 1989.4, 京都。山田, 藤竹, 廣田, 同上。川口, 松村, 金森, 廣田, 同上。金森, 廣田, 同上。山田, 板橋, 加藤, 西脇, 後藤, 金森, 廣田, 同上。Kajita, Kawaguchi, Hirota, *J. Mol. Spectrosc.* 127, 275 (1988). Hirota, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 324, 131 (1988). Yamada, Hirota, Yamamoto, Saito, *J. Chem. Phys.* 88, 46 (1988). Hirota, Endo, *J. Mol. Spectrosc.* 127, 527 (1988). Endo, Hirota, *J. Mol. Spectrosc.* 127, 540 (1988). Endo, Hirota, *J. Mol. Spectrosc.* 127, 535 (1988). Tiemann, Kanamori, Hirota, *J. Chem. Phys.* 88, 2457 (1988). Momose, Endo, Hirota, Shida, *J. Chem. Phys.* 88, 5338 (1988). Kanamori, Hirota, *J. Chem. Phys.* 88, 6699 (1988). Yamada, Hirota, *J. Chem. Phys.* 88, 6702 (1988). Suzuki, Hirota, *J. Chem. Phys.* 88, 6778 (1988). Itabashi, Kato, Nishiwaki, Goto, Yamada, Hirota, *Jpn. J. Appl. Phys.* 27, L1565 (1988). Kanamori, Tiemann, Hirota, *J. Chem. Phys.* 89, 621 (1988). Kawaguchi, Hirota, Ohishi, Suzuki, Takano, Yamamoto, Saito, *J. Mol. Spectrosc.* 130, 81 (1988).

分 AA3 所内

実 53,816
許 54,000

遷移金属錯体の構造および反応機構に関する研究

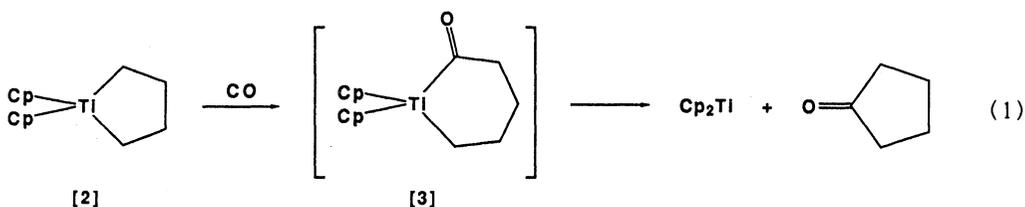
Structures and Reaction Mechanisms of Transition Metal Complexes

真島和志・太田哲男・太田(前田)太恵子(化学試料室)

1. 研究目的・内容

a) BINAP-Ru(II) 錯体を用いると種々のオレフィンやケトンの不斉水素化を行うことができる。Ru(binap)(OCOCH₃)₂にHX(X=ハロゲン)を加えて合成されるRuX₂(binap)の化学式で表される錯体は、β位に置換基をもつケトンを非常に高いエナンチオ選択性で不斉水素化することがわかった。X線解析によって[1](X=Cl, Y=BF₄)の分子構造を明らかにした。

b) ビス(シクロペンタジエン)チタナシクロペンタン[2]は一酸化炭素と反応しシクロペンタノンを高収率で与える(1式)。アシル錯体[3]がこの反応の中間体と考えられているが非常に不安定なためスペクトルによってさえ、検出されていない。われわれはα位の炭素の一つを酸素に置き換えることによって、安定なチタンアシル錯体を単離することに成功した。これまで、4属遷位金属のアルキルメタロセンと一酸化炭素の反応によって得られる錯体にはη²-アシル錯体しか知られていないが、X線構造解析によりこの錯体はη¹-アシル構造を有することがわかった。そこで、η¹-アシル錯体の構造・反応性について非経験的分子軌道法を用いて考察した。



2. 研究方法・計算方法

a) X線構造解析. 新規に得られた[1](X=Cl, Y=BF₄)の結晶解析をUNICS III, CRYSTANシステムを利用して行なった。

b) ab initio MO 計算.

不安定反応中間体のシミュレーションモデルとしてTiCl₂(-CH₂CH₂CH₂CH₂CH₂CO-)の構造の最適化を行なった。このモデルではシクロペンタジエニルをClに置き換えた。プログラムは分子研ライブラリーのGAUSSIAN 82(RHF, energy gradient法, Murtaugh-Sargent法)を用いた。計算に使用した基底関数は、Ti, C, O, Hの価電子AOにsplit-valence qualityのものを、各内殻電子AOとClにはminimalを用いた。

3. 研究成果

a) 錯体[1](X=Cl, Y=BF₄)の分子構造を図-1に示した。図-1からRuは4配位であり、ベンゼンが脱離することにより3配座空くことがわかる。P(1)-Ru-ClとP(2)-Ru-Clはいずれも約90°である。これは6配位Ru(II)の構造と類似している。

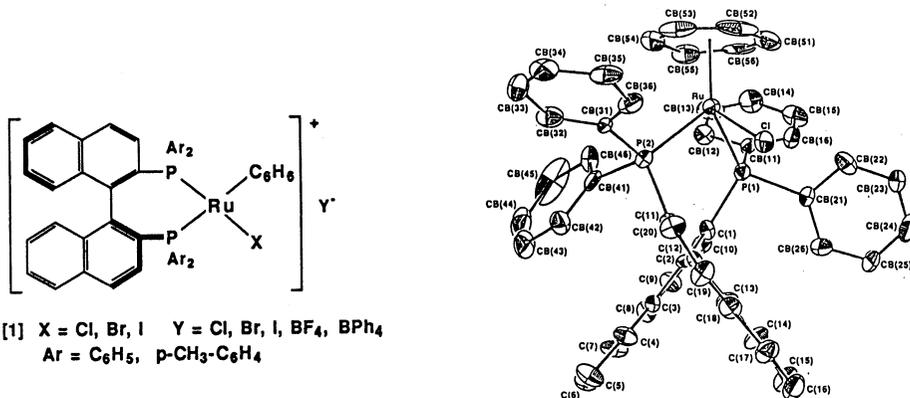


Figure 1.

b) これまでに、反応中間体 [3] の構造シミュレーションモデルとして TiCl₂(COCH₃)(CH₃) [4] の構造の最適化を行なった (図-2)。非環状分子の場合、実測でも計算でも η²-アシル構造をとることがわかった。さらに、メチル基を OH に置き換えても配位様式は同じであった。

今回、環状構造がアシル基の配位様式に及ぼす効果について検討するため、中間体 [3] のシクロペンタジエニル基を Cl で置き換えた環状モデル、TiCl₂(-CH₂CH₂CH₂CH₂CH₂CO-) [5] の構造の最適化を行なった。[5] の構造最適化は gradient 法では収束せず、Murtaugh-Sargent 法によった。最適化した構造を図-3 に示した。

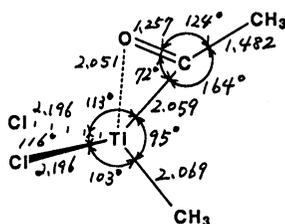


Figure 2. Optimized Structure of TiCl₂(CH₃)(COCH₃) [4].

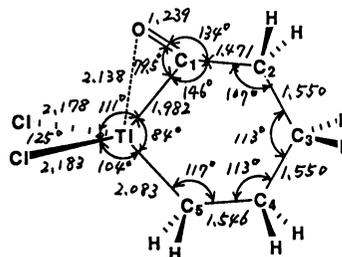


Figure 3. Optimized Structure of [5].

図-2 と図-3 を比較すると、[5] は環状構造によって角 Ti-C₂-O は 72° から 79.5°、Ti と O の距離は 2.051 から 2.138 Å と大きくなっている。また、角 Ti-C₁-C₂ は 164° から 145.9° に小さくなり環状構造では張力が加わっていることがわかる。しかし、この結果は最初の予想とは異なり環状構造による張力は意外に小さく、[5] は η²-アシル錯体となっていることが分かった。また、[5] では角 C₁-Ti-C₅ が 84° と小さくなることにより、C₁ と C₅ が接近しシクロペンタノンの生成にいくらか有利になっていると考えられる。C₁ 炭素がカルベンの性格を持っているかについてはこの構造からは明らかでない。

4. 発表・出版実績

太田・高谷・北村・永井・野依 第34回有機金属討論会，1987年11月京都。
 投稿予定。

分	AA5 所内
実	7,685
許	8,000

金属錯体の構造化学

Structural Study on Coordination Compounds

・磯邊 清(分子研), 島海幸四郎(分子研), 大塩寛紀(分子研), 小澤芳樹(分子研)
林 宜仁(分子研), 馬越啓介(分子研), 海老原昌弘(分子研)

1. 研究目的・内容

単結晶X線回折法, EXAFS法やESR, NMRスペクトロスコピー等の構造解析手段を用いて金属錯体の分子構造および結晶構造を明らかにし, 金属錯体の化学的性質や固体物性との関連を調べることを主たる目的とする。

昨年度に引き続き, 金属と酸素原子あるいはイオウ原子より構成されるフェン骨格が集積したクラスターの合成を行い, 混合金属, 原子価をもつ有機金属酸化物および硫化物クラスターを得た。これらの中には特異な置換反応, 酸素原子交換反応, 多電子移動, 酸化触媒能を示すものがある。これらの反応性がクラスター中の異種あるいは同種金属間での相互作用, M-OやM-Sの結合の性質とどのように結びついているか解明している。一方金属錯体を基本単位とする新しいタイプの分子集合体の開発とその基礎研究を行い, しており, ハロゲン架橋Mⁿ⁺-X⁻-Mⁿ⁺混合原子価錯体のもつ電気的および光学的性質と構造との関連性, 特にM-Xの結合についての正確な情報を得る。また多核金属錯体における混合原子価状態の安定化および金属間の磁気的相互作用の制御という基本的な問題解明のため, 架橋有機配位子の設計とそれを用いた錯体の合成を行っている。

2. 研究方法・計算方法

酸化物および硫化物クラスターは $[Cp^*MCl_2]_2$ とそれぞれ $M'O_4^+$, VO_3 あるいは $M'S_4^{2-}$ (M=Rh, Ir, M'=Mo, W, $Cp^*=C_5Mes$)との反応より合成し, 室温あるいは低温で結晶構造を決定する。とくに金属間距離, M-O, M-O', M-S', M-S'距離と¹H, ¹³C, ¹⁷O, ⁵¹V, ⁹⁹Tc, ¹⁰³Rh, ¹⁸⁷Wの化学シフトとの関連をみる。ハロゲン架橋一次元金属錯体などの興味ある物性を示す金属錯体を合成し, 単結晶X線解析法により結晶構造および構造パラメータを決定する。光物性や磁気的性質と構造との相関を明らかにし, 物性の本質を明らかにするとともに, 分子設計の基礎データとする。また金属複核錯体における金属間相互作用を架橋配位子で制御する目的で, ピラジンを架橋配位子とする銅複核錯体を合成し, それらの構造磁気的, 電気化学的性質, MO計算により銅1価-2価混合原子価状態の発現の可能性について検討した。

X線構造解析には, 分子研ライブラリーに登録されている構造解析用のプログラムシステム, UNICSⅢ, MULTAN78, ORTEPなどを利用し, 精密解析には, RADIEL等のプログラムを用いている。また分子軌道計算には拡張ヒュッケル近似法のICON・FORTプログラム, 磁化率の計算にはSALSを用いた。

3. 研究成果

Rh-VとしてIr-Vからなる酸化物クラスター $[(MCp^*)V_6O_{19}]$ (M=Rh, Ir)を合成した。そのX線構造解析の結果, めずらしい四重立方体型のクラスターで, しかも V_6O_{19} 骨格をもつ最初の例であることを明らかにした。またこのものは $V=O$, $V=O_b$, $V=O_c$ (O : 末端, O_b : 架橋, O_c : 八面体の中心に位置)の三種の結合をもち¹⁷O NMRとの化学

シフト値との対応が見ついた。また O_b が選択的に水中の酸素原子と交換することも、クラスターの骨格構造と $V-O_b$ 結合が長くないことからうまく説明が見ついた。また以前に合成した三重立方体型 $[RhCp^*MoO_4]_4$ がシクロヘキサンの酸化を触媒して選択的にエポキシシクロヘキサンを与えるが、反応条件下でクラスターが $[RhCp^*ClMoO_4]$ に変化し、それが触媒活性となっていることを明らかにした。さらに $[MCp^*WO(U_2-S_2)(U_2-S)_2]_2$ や関連するイオウクラスターの合成に成功し、その結晶構造を明らかにした。いずれも閉殻構造をもつ金属イオンを用いたにもかかわらず、いくつかのクラスターでは $M-M'$ の距離の短いものが見ついた。

ハロゲン架橋一次元金属錯体については、シクロヘキサジミンを配位子として含む Pt , Pd , Ni 系の金属錯体を合成し、結晶解析によりその構造を決定した。この結果、一次元 $Ni^{II}-Cl-Ni^{II}$ 錯体は一次元 $Ni^{II}-Br-Ni^{II}$ 錯体と同様に、マイエルズ歪みのないハロゲン架橋一次元金属錯体であることが明らかとなり、電気物性等と矛盾がないことが明らかとなりつつある。また、X線カメラ法によるX線回折実験から、一次元 $Pt-X-Pt$ や $Pd^{II}-X-Pd^{II}$ 錯体における構造の二次元性が明らかとなり、物性の次元性との相関が今後の問題となっている。

さらに合成したピラジン架橋銅複核錯体については、その構造、磁気的および電気的性質をX線構造解析、各種スペクトルスコピーにより明らかにした。またMO計算は、この系が、金属原子間に架橋ピラジン配位子を通した強い電子的、磁気的相互作用により混合原子価状態を安定化させるのに不適当な系であることを示唆した。しかしながらピラジンを化学修飾し、架橋配位子に2つの異なる配位環境を作り出すことにより銅1価-2価混合原子価状態を作り出し得ることを明らかにした。

4. 発表・出版実績または予定

林・小澤・磯邊 *Chem. Lett.*, 425 (1989).

張・小澤・林・磯邊 *J. Organomet. Chem.*, 1989 印刷中

小澤・林・磯邊 錯塩化学討論会, 1988年10月徳島

海老原・鳥海・磯邊・齋藤 錯塩化学討論会, 1988年10月徳島

鳥海, 金尾, 梅津, 大吉, 山下, 伊藤 *J. Coord. Chem.*, 19, 209 (1988).

鳥海, 和田, 三谷, 坂東, 山下, 藤井 *J. Am. Chem. Soc.*, 111, 2341 (1989).

呉, 鳥海, 齋藤 *Acta Crystallogr.*, C45 (1989) 印刷中

金, 伊藤, 鳥海, 山下 *Acta Crystallogr.*, C45 (1989) 印刷中

鳥海, 山下, 金, 伊藤 第38回錯塩化学討論会, 1988年10月徳島

大塩, 鳥海, 坂東 *Chem. Lett.*, 1713 (1988)

大塩, 鳥海 錯塩化学討論会, 1988年10月徳島

分	AA6 所内
実	139,054
許	162,000

量子化学プログラムの開発と金属錯体の電子構造の研究
 Development of Programs for Quantum Chemistry
 and Investigation of Electronic Structure of
 Metal Complexes

○ 柏木 浩, 長嶋雲兵, 山本茂義, 望月祐志, 佐久間俊広 (分子研)

1. 研究目的・内容

このプロジェクトは a. 量子化学プログラムの開発と b. 金属錯体の電子構造の理論的研究から成り立っている。

1 a. 開発またはレベルアップしながら使用している主なプログラムは次の 4 本である。

- (イ) 分子軌道計算のプログラム J A M O L 4
- (ロ) C A S S C F 計算のプログラム J A S O N 2
- (ハ) 原子の C I 計算のプログラム A T O M C I
- (ニ) 分子のモデリングプログラム K O R I N

1 b. 理論研究については C u O₂ 錯体の C I 計算など 3 b. で示す進展が見られた。

2. 研究方法・計算方法

1 a. に示すプログラムを主に使い、多種のシステムに適用する。詳しくは 3. を参照。

3. 研究成果

3 a. プログラムのレベルアップ

- (イ) J A M O L 4、J A S O N 2 について新 F O R T R A N コンパイラに適合させるための修正を行い、ライブラリに登録した。若干計算速度が上った。J A M O L 4 について、数百軌道の計算の場合にファイル容量を減らす改良を行った。
- (ロ) 伊奈技官の協力で K O R I N / I R I S プログラムの開発にとりかかった。これはグラフィック・ワークステーション I R I S の上で、分子軌道、電子密度

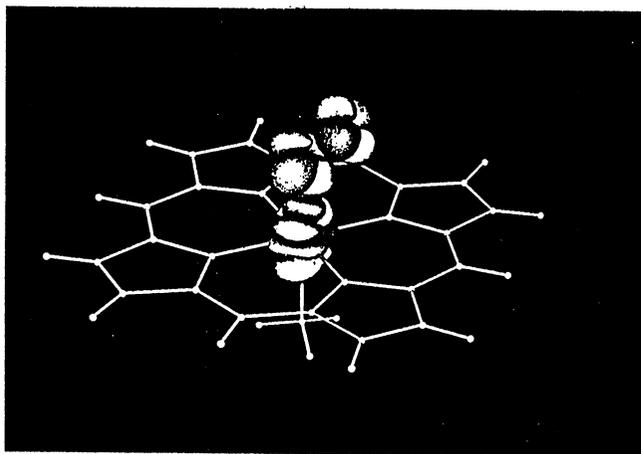


写真 1 FeP(NH₃)O₂ 錯体の C A S S C F と R H F の電子密度の差。

などの回転、縮小、拡大などを可能にするものである。従来のKORIN/RAMTEKと同様に多種の表現を組み合わせた上に運動を行わせるため、3次元曲面、断面などをポリゴンで構成する。3月末段階でサンプル画像が得られるようになっている。

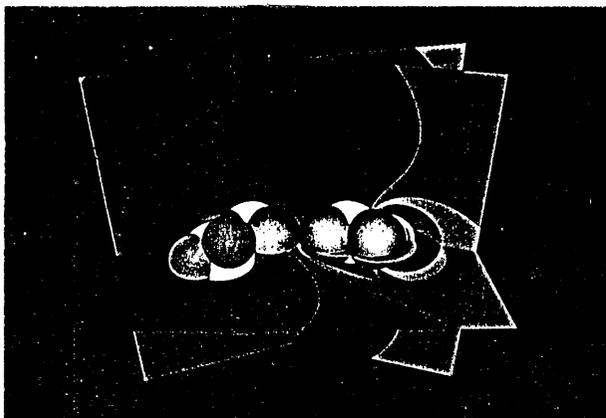


写真2 Mg-グリシン-グリシンエステル錯体と周囲の静電場。

3 b. 理論研究の成果

今回は多種類の研究の中から次の3点について報告する。

- (イ) $\text{FeP}(\text{NH}_3)_2\text{O}_2$ 錯体について *minimal basis* の CASSCF 計算を行い RHF とは大幅に異なる解を得た。(写真1参照) この解の信憑性を確認するため *extended basis* による RHF/CASSCF 計算を実行中である。
- (ロ) CuO_2 錯体について *Valence Full CI/MRSDCI* による基底状態の構造最適化と振動解析を行った。構造は *end-on* 型で伸縮振動の波数も実測と大変よく一致した。光吸収による励起状態は *side-on* 型から線型分子へ遷移していくことも明らかになった。これは北大からの受託学生望月君を主とする研究の成果である。
- (ハ) KORIN を用いてグラフィカルに反応予測をすることを試みた。Mg-グリシン-グリシンエステル錯体ではエステル基の根元の炭素を OH^- が求核的に攻撃して加水分解反応を起こす。錯体周辺の静電場の画像から攻撃可能な位置の選別が可能である。(写真2参照) これは中京大の秦野助教授との共同研究である。

4. 発表・出版

*S.Yamamoto, U.Nagashima, T.Aoyama and H.Kashiwagi,
J. Compt. Chem. 9,627(1988).

*M. Saito and H.Kashiwagi, Chem. Phys. Lett. 155,557(1989).

分	AD4 所内
実	163,293
計	180,000

分子の動的諸過程の理論的研究

Theoretical Studies of Molecular Dynamic Processes

○中村宏樹, 岩井正博, 大崎明彦, 桑田清彦 (分子研)

1. 研究目的・内容

励起分子の関与する動的諸過程, 原子分子過程における非断熱遷移, 化学反応素過程の動力学等々分子の動的諸過程の理論的研究を行い、各種過程のメカニズムの解明, 遷移確率, 断面積, 反応速度等の諸量の評価方法の開発及び具体的評価を行う事を目的とする。

2. 研究方法・計算手法

(1) 高励起分子の動的過程

起励起分子の関与する動的過程を多チャンネル量子尺損理論を用いて研究する。重要な物理量は電子相関に基づく電子結合とリードベリグ状態の遷移を特徴づける断熱的量子尺損である。光イオン化, 自動イオン化, 解離性再結合過程, 結合性イオン化等々の諸過程が統一的に調べられる。プログラムはすべて我々自身で作成したものである。

(2) 化学反応素過程の動力学

(i) 共線系超球座標の利用による原子移行反応の研究

回転運動に関する瞬間近似及び断熱近似を用いる事により、重原子移行及び軽原子移行の3次元反応を2次元問題化し超球座標で有効に取扱う事が出来る。超球座標を固定した時の固有値問題は差分法で解き、超球半径に沿っての散乱問題はR-行列伝播法により緊密結合の式を解いて解明する。漸近領域では超球座標をヤコビ座標に接続して計算効率を高める。以上の取扱いは、3次元反応の取扱いが容易になると同時にメカニズムの理解が進む。プログラムはすべて我々自身で作成している。

(ii) 反応における回転状態分布の研究

回転遷移は振動遷移と異なり運動学的因子によって主に支配されていること、及び反応におけるポテンシャルエネルギー曲面の稜線の重要性に着目し、非-動力学的計算をしないで回転分布を予測する理論を考案した。殆ど終向チャンネルにおける回転非弾性遷移に対してはIOS (Infinite Order Sudden) 近似を適用し、粒子粗積えによる遷移に対しては歪曲波近似を単純化したものを用いる。IOS-DW近似と呼ぶ。プログラムは勿論我々独自で作成したものである。

(iii) 反応自由度と振動自由度の分離による化学反応過程の解釈

自由度を分離する新しい手法を考案し反応遷移の新しい解釈を試みる。

(3) 非断熱遷移の研究

2準位非断熱遷移に対する半古典論を用いて、各種非断熱遷移問題の研究を行っている。プログラムはすべて独自で作成したものである。

3. 研究成果

(1) 高励起状態の解析

NO分子の多光子イオン化実験を解析し、超励起状態に関する情報を求めた。これを用いて、解離性再結合過程の研究を行っている。原子の2電子励起状態を集団運動の立場から論じ分子モデルに対して微視的立場からの根拠づけを行った。

(2) 反応素過程の動力学

- (i) 瞬間及び断熱近似に基づく超球座標の方法を $d\mu + t \rightarrow d + t\mu$ (d はデューテロン, t はトリトン, μ はミュオン), $Cl + H_2 \rightarrow HCl + H$, $O + HCl \rightarrow OH + Cl$ 等に通用し一部の結果をすでに発表した。 $d\mu + t$ 系の場合のポテンシャル曲線図と3次元反応断面積、及び反応速度の結果を図1~3に示す。又、一般の化学反応に対しては遠心力ポテンシャル一定の近似を導入し、有効に断面積と反応速度定数が計算出来る事を示した。
- (ii) IOS-DW近似を更に使、易くした独立事象近似を用いて回転遷移を研究した。 $H + H_2$, $D + H_2$, $H + D_2$ 系に適用してその有効性を示した。

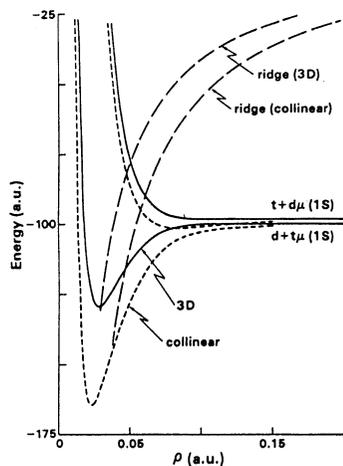


FIG. 1 Adiabatic potential curves for $d\mu(1s) + t \rightarrow d + t\mu(1s)$. —, with the effect of hindered rotation. ----, without the effect of hindered rotation (potential curves for collinear configuration). - - -, potential ridge line.

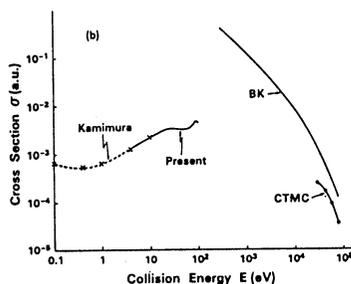


FIG. 2. Reaction cross section as a function of E . (a) Present result. (b) Comparison with other calculations. CTMC, classical trajectory Monte Carlo. BK, Brinkman-Kramers approximation. Kamimura (— × —), quantum mechanical.

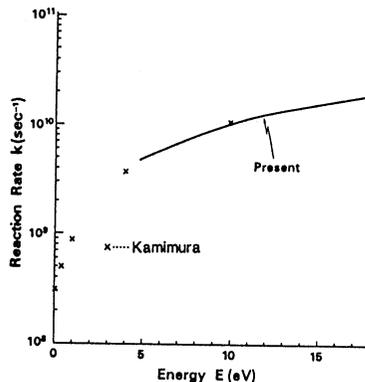


FIG. 3. Reaction rate as a function of incident energy.

4. 発表・出版実績

- 1) A. Ohsaki, H. Nakamura and M. Baer, *Phys. Rev. A* **38**, 2798 (1988).
- 2) A. Ohsaki, H. Nakamura and J.C. Park, *Comp. Phys. Commun.* **52**, 291 (1989).
- 3) M. Nakamura and H. Nakamura, *J. Chem. Phys.* **90**, 4835 (1989).

分 ADB 所内	
実	17,947
許	18,000

不安定分子種の理論的研究

Theoretical Studies of Unstable Species

Weston Thatcher Borden (University of Washington, Seattle, WA 98195, USA)

1. Research Objectives

Two different projects were pursued. The first involved recalculation of the singlet-triplet splitting in oxyallyl and determination of whether a pair of alkyl substituents would make the ground state a singlet. The second project investigated hydrogen bridging in C_2H_7 cation, radical, and anion and involved calculation of the C-C distance at which symmetrical hydrogen bridging becomes favorable in each of these species.

2. Research Methods and Programs Used

For the first project MCSCF and contracted CI calculations were performed using MOLPRO. For the second project MOLPRO was used to carry out MCSCF calculations, and Gaussian 86 was used to perform RHF, UHF, and MP2 calculations.

3. Research Results

Multi-reference SD-CI calculations on the parent oxyallyl found that the lowest singlet and triplet states lie within one kcal/mol of each other. CI calculations on dimethyloxyallyl, performed subsequently at the University of Washington, showed that the two alkyl groups confer a singlet ground state on the substituted diradical.

At the optimized D_{3d} geometry for symmetrically bridged $H_3C-H-CH_3$ the C-C distance was found to increase from about 2.5 Å for the cation to 2.7 Å for the radical to 2.9 Å for the anion. Only for the cation is this geometry an energy minimum; for the radical and anion it is a transition state. Both of these findings can be attributed to the population in the radical and anion of the $3a_{2u}$ orbital. This orbital is C-H non-bonding but C-C antibonding; so populating it increases the C-C distance.

Additionally, mixing between this high-lying orbital and $4a_{1g}$ is responsible for making asymmetric distortion of the D_{3d} geometry energetically favorable in the radical and in the anion.

4. Publication

A manuscript describing the results on oxyallyl and dimethyloxyallyl is being prepared for submission. Additional calculations on C_2H_7 and

related systems are in progress in order to better define the circumstances under which symmetrical hydrogen bridging is likely to occur. When complete, this latter set of computational studies will also be submitted for publication.

分	AE6 所内
実	59,519
許	60,000

金属の相転移に関する理論的研究

Theoretical Study for Phase Transition of Metals

○那須奎一郎, 林秀光, 巻本孝一(以上: 分子研), 鈴木正人(広島大理, 分子研)

1. 研究目的・内容

A) 金属酸化物高温超伝導体に関する理論的研究

Cu-O型金属酸化物にみられる高温超伝導現象は、種々な角度から現在理論的な研究が行われているが、現段階では超伝導の機構解明を達成するまでにはいたっていない。本研究では、格子振動と一重電荷揺ぎの協力効果という観点から、このCu-O型金属酸化物の転移温度 T_c を試算する。

B) 一次元ハロゲン架橋型混合原子価金属錯体に於ける、電荷移動励起子の非線型格子緩和とソリトン、ポーロン生成。

一次元ハロゲン架橋型混合原子価金属錯体の光学的性質に関して、現在種々な実験的研究が国内外で行われている。これまでの実験結果を総合すると、この物質を光で励起すると、混合原子価状態を一部、単独原子価状態にもどす様な電荷移動型励起子が生成され、これが格子緩和の過程で、電荷密度波状態に固有の非線型励起子であるソリトン・ポーロンに緩和すると考えられる。本研究では、これらの非線型格子緩和過程を解明する。

C) 半導体表面に於ける非断熱的電荷移動の動力学

半導体に分子が衝突し、その結果として、電子又は正孔が、半導体の連続的準位に分子から移動すると、この動力学的プロセスは、ペニング・イオン化現象や表面色素失活等々の問題に関連して、実験的には種々な場合に登場する基本的な現象である。しかし、その理論的側面に関しては、今なお未解明な問題が多い。電荷移動の確率が何によって支配されているのかという事すら解明されていない現状である。我々は本研究で、半導体表面に分子が衝突する際に、分子から電子が半導体に移動する素過程を非断熱的効果も含めて、理論的に解明する。

2. 研究方法・計算方法

A) に関しては、分岐関数の計算が主であり、これは経路積分の形式に表現して、CP Aでzero次グリーン関数を求め、残りの効果はRPAやラダール展開により計算を進める。

B) に関しては、平均場理論と変分法によるくり返し計算を行う。

C) に関しては、実時間表示に基づき、トロットター公式を用いて数値的な厳密解を時間の関数として求める。

3. 研究成果

A) に関しては、CPA, RPA, ラダ-展開等を用いて、三重項励起子二個を介した超伝導現象を記述する理論を作る事に成功した。これによれば、 T_c は100K程度となり、又、フォノン機構と協力して δ 波対を作りうる事がわかった。

B) に関しては、この電荷密度波状態に於ける、電荷移動型励起子の特性、ソリトンやポラロン対の特性等を解明する事ができた。更に励起子がソリトン対に非線型格子緩和を通して緩和していく径路を解明する事ができた。

C) に関しては、分子から半導体が非断熱的に電荷移動を起す際の確率が、如何なる性質を χ が関して、極めて新しい概念を提出する事ができるようになった。特に固体の連続状態の中が確率には大変重要な効果をおよぼす事が判明した。 χ が小さく、 δ ときは単に不可逆性をもたらすのみであるから、移動確率は増加するが、 χ が大きくなるにしたがって電子の通歴性が増加するために、半導体-分子間の相互作用自体が小さくなり、移動確率は減少する。この事は本研究ではじめて解明されたものである。

4. 発表・出版実績または予定

鈴木正人, 那須奎一郎 日本物理学会発表予定

三島昭臣, 那須奎一郎 日本物理学会発表予定

那須奎一郎 日本物理学会発表予定

分 AE 研 所内

実 282,164
許 324,000

A theoretical study of chemical reactions in solutions

○大峰 巖, 青柳 睦, 北尾 修, 笹井理生(分子研)

我々は次の様な課題に対して研究を行った。

- (1) 水のダイナミックス(大峰)
- (2) 溶媒中でのエネルギー失活過程(北尾, 大峰)
- (3) ポリアセチレンの励起状態の緩和過程(笹井)
- (4) 電荷移動を含む気相反応(青柳)

この中で(1)に対して詳しく述べる。

水は最も一般的な溶媒であり、かつ電子的、動力学的に大きな溶媒効果を化学反応に及ぼす。水自身幾つかの特異的性質を持ち、多くの研究によりその物理化学的性質が明らかになってきている。しかし分子過程における水の運動の時間スケール、空間スケールを対象とすると一般的な平均化を行うことが出来ず、水の持つ多体系としての力学が陽に表れ、その記述は大変難しい。水素結合によって結ばれたある集団的な運動が、水の運動の基本となっており、この相関の強い運動の記述が最も重要である。

我々は水の多体の相互作用の様相を調べる為に、まずそのポテンシャル・エネルギー面の性質を解析した。このために、① Quenching 法を用いて水の局所的エネルギー最低状態の構造(Inherent Structures または Quenching Structures と呼ぶ)を求め、そこで② Normal Modes の解析を行い、③ Inherent Structures 間を結ぶ反応経路(Reaction Coordinate)とその遷移状態におけるエネルギーの山の高さの分布を調べた。

Q-structures

周期境界条件のもとに MD 計算を行い、トラジェクトリーを 10 fs (または 2 fs) 毎に時間分割し、各時刻に対する局所的最低エネルギー状態を求め、その構造(Q-structure)を解析した。水分子 216 個の系に対しては約 100 の、また 64 個の系に対しては約 600 の Q-structures を求めた。また異なる温度に対しても同様の解析を行った。ここで Q-structure を求めるには Mass-weighted steepest descent 法(Quenching 法)を用いた。一回の Quenching に要する時間は 216 個の系で約 1 時間、64 個の系で 2~4 分である。図 1 に 64 個の水分子の系に対する Q-structure, Q_i (i は時刻を表す)、の全系のポテンシャル・エネルギーがかかっている。全系のエネルギーは約 20 kcal/mole 近く、揺らいでいる。すなわち、Reaction Coordinate に沿って非常に大きなエネルギーの揺らぎが Q-structure 同士の間でも存在している。1 つの Q_i から次の Q_{i+1} への各水分子の変位の様子が図 2 に示されており、幾つかの水分子が集団的に運動しているのがわかる。この様な局所的な水分子の集団運動が水の骨格運動の基本であり、この上に振動エネルギーが乗っている。

Reaction Coordinates

ある 2 つの minima 状態 Q_i と Q_{i+1} の間を結ぶ経路で最低のエネルギーの山(Transition

State) を越えていく Steepest descent pass を Reaction Coordinate と呼ぶ。今取り扱っているような多自由度系（水分子 216 個の系で 1296 次元、64 個の系で 384 次元；1 水分子当り 6 つの自由度）に対しては正確な TS, RC を高速に決定する方法はないが、我々は多少正確度を犠牲にする事に依って TS, RC を決定した。ここで用いたアルゴリズムは、

$$E_{i,i+1}(q_1, q_2, \dots, q_m) = \sum \epsilon(q_i) + \lambda \sum (r_{j,j+1} - l/m)^2$$

ここで

$$q_0 = Q_i, \quad q_{m+1} = Q_{i+1}$$

すなわち、 Q_i と Q_{i+1} を結ぶ経路を（長さ l ）を m 個の点で等分割し、各分割点 q_j での系のポテンシャルエネルギー $\epsilon(q_j)$ の総和を最小にするように各 q_j を決定する。求めた q_1, q_2, \dots, q_m とその内挿により“RC”が定義されるこの経路上でのエネルギーの最高点を“TS”とする。これらは本当の RC, TS の近似解になっており“TS”の Energy は TS よりも多少高い。この方法によって水分子の系に対して約 50 の“RC”と“TS”を決定した。ここでは $m = 9$ 又は 19 を用いた。その 1 例が図 3 及び 4 に示してある。図 3 より分子よりに $Q - Q$ を結ぶ水分子の運動は Least Motion、すなわち等間隔の回転、直線最小運動ではなく周りの水分子の運動と強く couple している。この no least motion pass は least motion よりもずっとエネルギーが低く（図 4）、TS の高さは後者のその約 $1/3$ 以下である。RC のポテンシャルエネルギーの形は非対称 (Asymmetric) なものが一般的である。我々が調べた約 50 個の TS のエネルギーの高さはほとんど約 3 ~ 7 kcal/mole 位であるが、時には 20 kcal/mole に達しているものがある。もし、各自由度に均等にエネルギーが分配されると仮定し単純な推量を行うと、この山を越していく頻度は、 $\nu e^{-E/kT}$ で $100 \sim 200 \text{ cm}^{-1}$ の運動、384 自由度、室温とすると $E = 20 \text{ kcal/mole}$ に対して

$$\nu e^{-E/kT} \sim 3 \times 10^{-12} \text{ 回 / psec}$$

しか起こらないはずであるが、現実にはピコ秒当り何回かおきている。よって水のこのような Barrier crossing 問題は単純な RRKM 的な考えでは説明できない。

Overall Q-Structures

トラジェクトリーのある時刻 t における座標 $R(t)$ （これを I-structure とよぶ）とその $Q(t)$ の間には大きな位置の差があり、そのエネルギーの差は Vibrations によるポテンシャルエネルギーの増加分と見なせる。もし調和近似が成立するとするとこれは運動エネルギーと同じオーダーである。 $R(t)$ は時間とともになめらかに変化していくが対応する $Q(t)$ が激しく変化することがあり、 $Q(t)$ は運動の記述に積極的に意味を持たないようにも見える。しかし、以下に述べるように $Q(t)$ の overall structure が不変である時間帯が多く存在し、その間の変化が水の運動の骨格運動の変化を示している。図 6 に I-structure の異なる時間 t_i, t_j の間の distance matrix

$$\Delta R_{ij} = R(t_i) - R(t_j)$$

で $|\Delta R_{ij}|^2 < 40 \text{ \AA}^2$

のものすなわち距離の近いものを黒丸で示している。ここで t_i は 10 fs ごとに discretize した i 番目の時刻、また図 7 には対応する Q-structures 間の distance matrix

$$\Delta Q_{ij} = Q_i(t_i) - Q_j(t_j) \text{ で } |\Delta Q_{ij}|^2 < 40 \text{ \AA}^2$$

が黒丸で示してある。図5よりわかるように、I-structure は時間とともにスムーズに変化していくある長さの時間帯でほぼ同じ構造を保っているが次の時間帯へ間で大きな変化を起こす。この変化には図3のような分子の集団的運動がかかわっているが、それにもなうエネルギーの変化量は大きくない(図4)。すなわち、ある phase のそろった所で大きな集団的变化が引き起こされていると考えられる。

Low T cases

ある時刻 t_{957} (i.e. $t=1914\text{fs}$) における Q structure では全系のポテンシャル・エネルギーが低い。ここで各水分子に $T_{kin.}=400$ K の運動エネルギーをボルツマン分布的にばらまきトラジェクトリーを走らすと、しばらくしてエネルギーはポテンシャルエネルギーにもほぼ均等に分配されていく。 $t = \text{数 ps}$ 後の温度は約 170 K であり、その後徐々に上昇していく。このトラジェクトリーに沿った Q-structure, RS, TS, Normal Mode などを同様に解析した。このような低い温度でも系はゆっくりと変化していく(図6)。TS の高さは室温の場合の TS の高さよりもずっと低い。即ち低い山を選びながら系は時間変化していく。また RC はいくつかの低い周波数の Normal Modes と大きく overlap する。Defect にそった Normal Mode の displacement にそって運動していく。このような運動は一般に RRKM 的にすべての自由度に等分的にエネルギーが分布されながら変化していくと考えられる。さらに Q_{957} に低い運動エネルギーを与えたトラジェクトリーでは available な minima が極度に少なくなり、 $T_{kin.}=100$ K では 2 つの minima となる。これは Ar でいわれている 2-state 状態と同様である。

結論

水のミクロなレベルでの運動に関するポテンシャル・エネルギー面の様相を Q-structures の時間変化、Reaction Coordinates, Transition State や Normal Modes Analyses を用いて調べた。TS のエネルギーの高さの分布は多くは数 kcal/mole であるが、時として 20 kcal/mole 以上にも及ぶ。一般の TS theory では水の運動は表せない。これは水の強い水素結合のために運動が集団的かつ非線形的に少数自由度エネルギーが集中するためであろうと考えられる。Reaction Coordinate は Nonleast Type であり強い mode 間の結合が存在する。

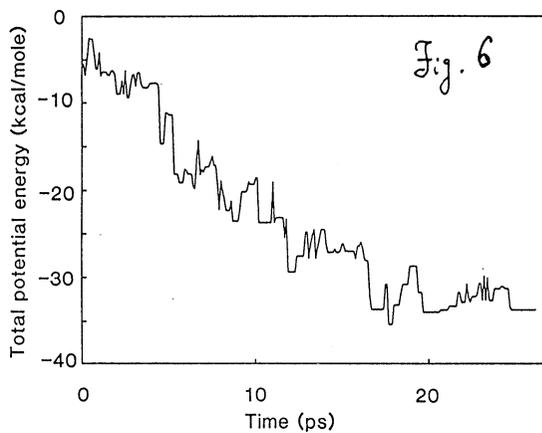
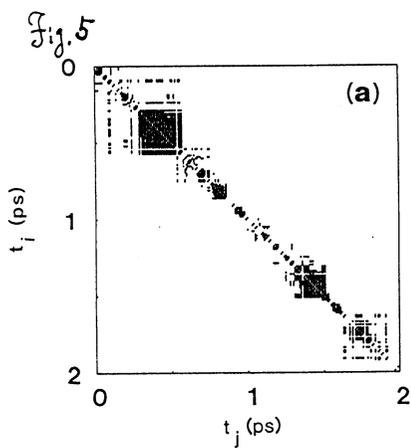
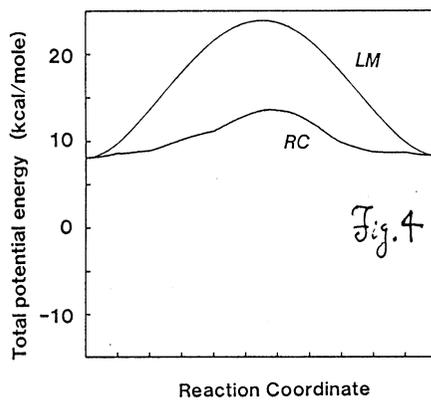
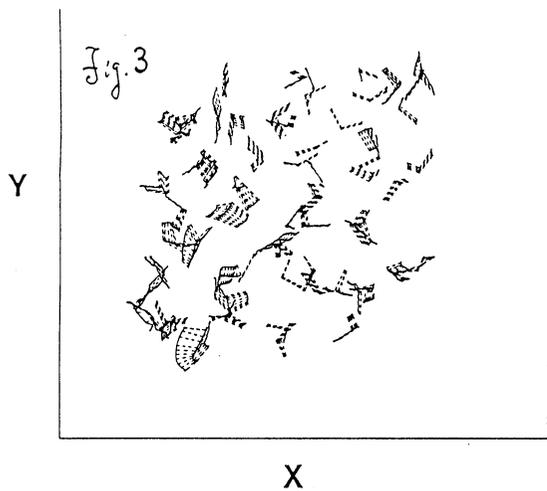
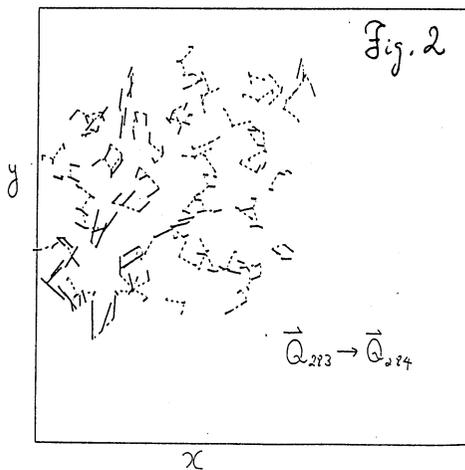
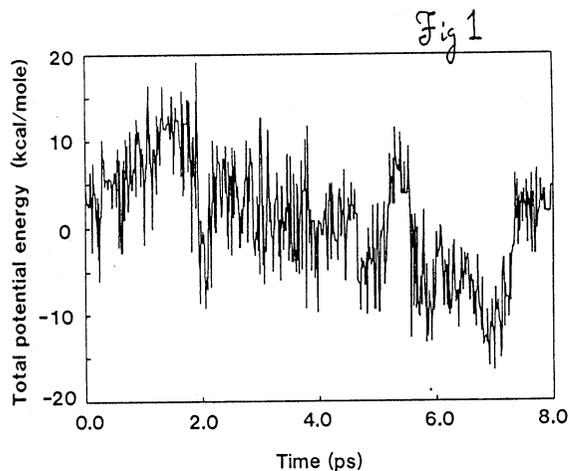
これらの水の運動の集団性は化学反応に大きな(溶媒)効果を及ぼすはずで、水の中での光励起分子のエネルギー散逸や Solvated Electron の熱緩和の異常な速さの原因となって考えられる。

発表

- 1) 大峰, 田中, Wolynes J. Chem. Phys. 89, 5852 (1988).
- 2) 田中, 大峰 J. Chem. Phys. (投稿中).
- 3) 滝本, 笹井 Phys. Rev. B (in press).
- 4) 笹井 Int. J. Quantum Chem. (in press).
- 5) 大峰 日本物理学会 1988年10月(広島).

6) 大峰, 田中 分子構造総合討論会 1988年10月(東京).

7) 大峰, 田中 ゴードン会議 1988年7月(米国, ニューハンプシャー).



分	A15 所内
実	28,832
許	28,800

炭化水素の熱的異性化過程の理論的研究

Theoretical Studies of Thermal Rearrangements
of Hydrocarbons

P.N. Skancke (University of Tromsø)

1. The purpose of the reaearch project was to scrutinize parts of the potential surface for the thermal degenerate rearrangement of methylenecyclobutane, and for the thermal conversion of spiropentane to methylenecyclobutane. It was aimed at localization and description of all possible intermediates and transition states.
2. Geometry optimizations were performed at RHF and UHF levels using a split-valence basis. Energies were calculated using CASSCF calculations and Møller-Plesset perturbations to fourth order with extended basis sets (6-31G*). Programs applied were GAUSSIAN82 and GAMESS.
3. The thermal degenerate rearrangement of methylenecyclobutane is found to go through an intermediate stabilized by pi-electron delocalization in the allylic moiety. The transition state between methylenecyclobutane and the intermediate is predicted to have a CCCC dihedral angle of 67° and one CH₂ group perpendicular to the CCH₂ group within the allylic moiety. The CASSCF calculations suggest a barrier height of 49 kcal/mol. Exploratory calculations on the conversion of spiropentane to methylenecyclobutane suggest that the process is initiated by a peripheral bond fission in spiropentane.
4. P.N. Skancke, N. Koga, and K. Morokuma,
J. Am. Chem. Soc. 1989, 111, 1559.

分	AJ3 所内
実	19,794
許	20,000

軽原子移行化学反応過程の研究

Study of light atom transfer reactions

Seung C. Park (Kangwon National University)

1. Research Objectives

Recently Nakamura et al. have developed new quantum mechanical method, the constant centrifugal potential approximation (CCPA), to evaluate reaction cross sections and rate constant for the atom-diatom chemical reactions and have shown to be a powerful method with cost of accuracy. In this work, we employed the adiabatic bend approximation and the CCPA to calculate quantum mechanical cross sections and rate constants for the O + HCl and O + DCl systems. The objectives of this work are followings. First, we evaluate quantum mechanical cross sections and rate constants for the systems which has not yet been reported although this system is very important in both theoretical and experimental point of view. Second, quantum effects and isotope effects are expected and these are very significant in light atom transfer reactions, we would like explain the phenomena in this study.

2. Research Methods and Programs Used

A) The adiabatic bend approximation

The adiabatic bend approximation is conventionally formulated into following single equation in the hyperspherical coordinates.

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2\mu} \left(\frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) + W_{\ell_i}(\rho, \theta; n) - E_n \right] \Phi_n = 0, \quad (1)$$

where W_{ℓ_i} represents an effective potential including the centrifugal potential of angular momentum

ℓ_i . The reaction cross sections and rate constants for the vibrational transitions $v_i \rightarrow v_f$ are expr-

essed as

$$\sigma(v_i \rightarrow v_f : E_t) = \frac{\pi}{k_i^2} \sum_{\ell} (2\ell + 1) \bar{P}_{v_i \rightarrow v_f}^{\ell}(E_t), \quad (2)$$

and

$$k(v_i \rightarrow v_f : T) = \frac{\hbar^2}{(2\pi\mu_{A,B,C}\kappa T)^{3/2} F_{rot}} \sum_{\ell} (2\ell + 1) \int_0^{\infty} dE_t e^{-E_t/\kappa T} \bar{P}_{v_i \rightarrow v_f}^{\ell}(E_t), \quad (3)$$

B) The constant centrifugal potential approximation

Since a large number of ℓ 's are required in order to obtain converged cross sections, the whole calculation in adiabatic bend approximation is still very time consuming. Therefore we employed the CCPA in which the centrifugal potential is replaced by the value at certain representative position on the so called potential ridge line. The transition probability at angular momentum ℓ is replaced by the s-wave probability with collision shifted:

$$P_{v_i \rightarrow v_f}^{\ell}(E_t) \approx P_{v_i \rightarrow v_f}^{\ell=0}(E_t - B^{\dagger}\ell(\ell + 1)), \quad (4)$$

where

$$B^{\dagger} = \hbar^2/2\mu R^{\dagger 2} \quad (5)$$

Replacing the summation over ℓ by the corresponding integral with respect to energy,

$\epsilon = E_t - B^{\dagger}\ell(\ell + 1)$ we have

$$\sum_{\ell} (2\ell + 1) P^{\ell}(E_t) \approx \frac{1}{B^{\dagger}} \int_0^{E_t} d\epsilon P^{\ell=0}(\epsilon) \quad (6)$$

Similarly with use of equation (4), we can reach

$$\sum_{\ell} (2\ell + 1) \int_0^{\infty} dE_{\ell} e^{-E_{\ell}/\kappa T} P^{\ell}(E_{\ell}) \approx \left[\sum_{\ell} (2\ell + 1) e^{-B^{\dagger} \ell(\ell+1)/\kappa T} \right] \int_0^{\infty} d\epsilon e^{-\epsilon/\kappa T} P^{\ell=0}(\epsilon) \quad (7)$$

Insert these expressions into eqs.(2) and (3), we can get the expression of the CCPA cross section and rate constants.

3. Research Results

In this report, we present only brief feature of our results. Fig.1 and Fig.2 show the rate constants for the transition between the ground vibrational states in comparison with experimental results and quasiclassical trajectory calculations for the O + HCl and the O + DCl reactions, respectively. In Fig.1 and Fig.2 the experimental results are scattered wide range and it is very difficult to decide what are the correct rate constants at different temperature. However the adiabatic and the CCPA results are in good agreement with experimental results, especially high temperature region. At lower temperature region, the quasiclassical trajectory results is lower than our quantum mechanical results. This is mainly due to tunneling effect in light atom transfer reactions. More details of results and discussions for the tunneling and isotope effects as well as initial excited state contributions in rate constant will be published elsewhere soon.

4. Publication

- i. S.C. Park, A. Ohsaki and H. Nakamura, (in preparation).
- ii. A. Ohsaki, H. Nakamura and S.C. Park, *Com. Phys. Comm.* **52**, 291 (1989).

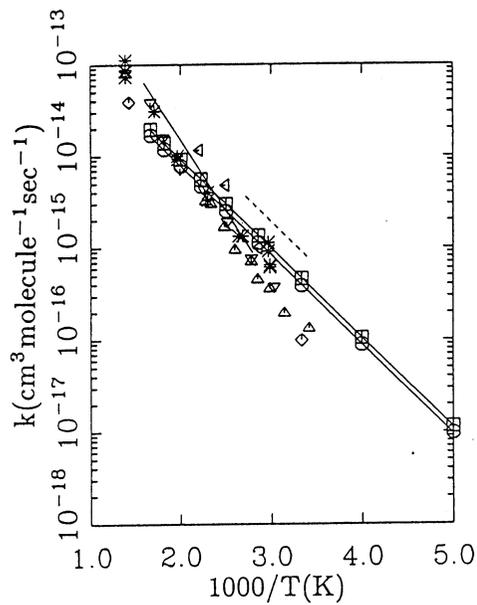


Fig. 1. Semilog plots for rate constants as a function of $10^3/T$ for $O + HCl(0) \rightarrow OH(0) + Cl$. Present adiabatic results ($\square - \square$) and the CCPA results ($\circ - \circ$) The experimental results of Brown and Smith (Δ), Hack *et al.* (\ast), Ravishankara *et al.* (\triangleleft), Singleton and Cvetanovic (∇), Wong and Bells (—, without symbol), Balakhin *et al.* (- - -, with out symbol) and Quasiclassical trajectory results by Persky and Broida (\diamond).

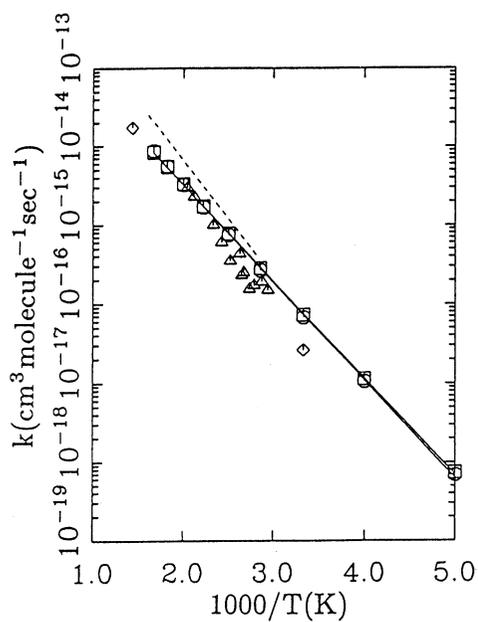


Fig. 2. Semilog plots for rate constants as a function of $10^3/T$ for $O + DCl(0) \rightarrow OD(0) + Cl$. Present adiabatic results ($\square - \square$) and the CCPA results ($\circ - \circ$) The experimental results of Brown and Smith (Δ), Wong and Bells (- - -, without symbol) and Quasiclassical trajectory results by Persky and Broida (\diamond).

分 AJ7 所内
実 28,612
許 28,800

フェニルナイトレンの電子状態の理論的研究

Theoretical Study of Phenyl Nitrene

○茅 幸二, 小沢啓一郎(慶応大理工)

< 1 > 研究目的

フェニルナイトレン ($\text{Ph}-\dot{\text{N}}$) は芳香族ラジカルの中でも最も基本的な分子の一つであり、アゾの光分解過程の中間体として重要な役割を果たしていることが知られている。これまでの研究は低温マトリックス中によるものがほとんどであったが、我々は気相における $T_1 \rightarrow T_0$ 遷移に関する電子スペクトルを得ることに成功した。本研究では実験的に得られたフェニルナイトレンの超音速自由噴流中における L I F スペクトルによる実験結果を解析する目的で、*ab initio* MCSCF 法により基底状態および最低励起三重項状態の構造を求め振動解析を行なうとともに、三重項状態間の 0-0 遷移エネルギーを求めた。

< 2 > 研究方法・計算方法

理論計算は、*ab initio* MCSCF 法によりプログラム“GAMESS”を用いて行なった。フェニルナイトレンの基底状態およびいくつかの励起状態における分子構造は、解析的エネルギー勾配法を用いて求めた。さらに、最も低い2つの三重項状態については振動解析も行なった。基底関数は STO-3G 及び 3-21G を使い、MCSCF においては7個の π 軌道及び n 軌道における全ての可能な電子配置を考慮した。

< 3 > 研究成果

図1にフェニルナイトレンの基底状態 (T_0) 及び最低励起三重項状態 (T_1) における最適化構造を示す。基底状態及び最低励起三重項状態ともに平面形が安定で C_{2v} 対称を持っている。基底状態はわずかにキノイド形構造をとっているがほぼベンゼンの基底状態の構造とよく類似している。一方励起状態では C-C 結合距離にかなりの差がみられ、キノイド形構造へ大きく変形した構造をとっている。最低励起三重項状態は $\pi\pi^*$ ($\pi_4 \rightarrow \pi_5$) によるもので、電子状態は基底状態と同じ 3A_2 であり、エネルギー差は 3-21G 基底で 3.13 eV (STO-3G では 3.06 eV) となった。両電子状態について振動解析を行ない零点振動エネルギーを補正すると 0-0 遷移エネルギーの計算値は 3.01 eV となり実験で得た超音速自由噴流中の L I F スペクトルの値 3.37 eV (27143 cm^{-1}) と比較するとわずかに小さい値を示した。これは MCSCF 法が励起状態のエネルギーを低く見積る傾向があるためであると考えられる。

図2には基底状態及び最低励起三重項状態における基準振動を示す。実験で得られたいくつかの振電バンドのうち典型的な6員環振動モード(1, 6a, 6b, 7a, 12など)が低波数領域に観測され、計算によって得られた値が10~20%大きく見積ってしまうことを考慮に入れるとよく一致していると考えられる。さらにケイ光スペクトルにより計算値には表れていない強い発光が 2202 cm^{-1} に観測されておりこれが他の電子状態であるかどうかを確かめるためにより高い三重項状態や一重項状態のエネルギーを MCSCF 法により計算したが該当するエネルギー領域には近い電子状態が存在しないことからフェニルナイトレン生成後異性化によって生じた化学種ではないかと予想される。

本研究において、理論計算では長村吉洋氏に大変お世話になり、また実験でも石田亨氏にお世話になった。ここで両氏に感謝の意を表します。

< 4 > 発表・出版実績

・小沢、石田、長村、富宅、茅、分子構造総合討論会 2P66 1988年10月東京

・K.Ozawa, T.Ishida, K.Fuke and K.Kaya Chem.Phys.Letters 150,249(1988)

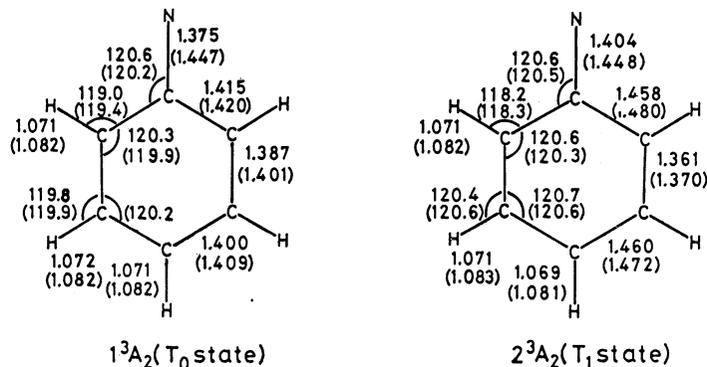


図1 フェニルナイトレンの最適化構造 ()内は ST0-3G

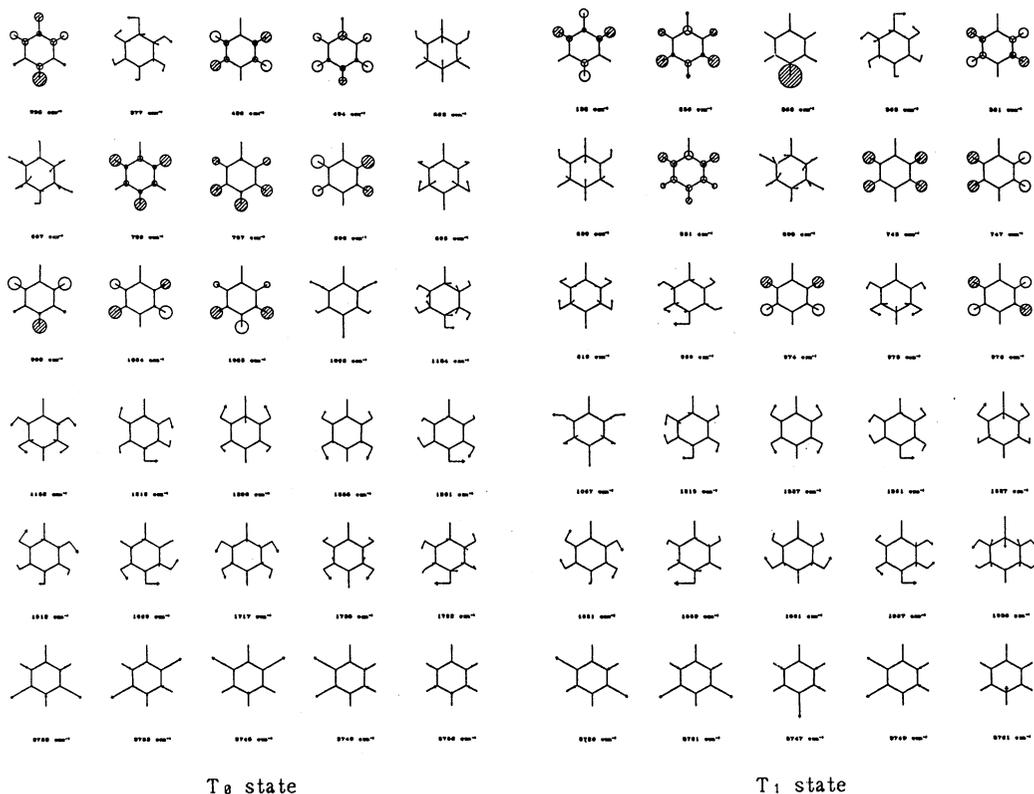


図2 フェニルナイトレンの基準振動

分 AJ8 所内
実 23,367
許 23,600

価電した伝導性ポリマーのペリエル不安定性の分子軌道法的研究

A Molecular Orbital Study on the Peierls Instability of Charged Conducting Polymers

○今村 詮（広島大理）

1. 研究目的

分子のイオン化ポテンシャルや、電子親和力の大きさは、その分子が他の分子と相互作用したときの電子のやり取りのし易さを表わす尺度としてよく用いられる。これらの量が、分子の構造とどの様に関連するかを見るためには、Hoffmann や筆者によって提唱され、用いられているThrough Space/Bond相互作用による解析が有効であることが知られている。ここで、本研究においてはこの解析方法を用いて、高分子、特に導電性高分子のエネルギー帯構造が、高分子の構造のどの部分を反映して決定されるかを明らかにする。この構造と、エネルギー帯構造の関係が明らかになれば、次に、導電性を有するようなエネルギー帯を持つドーパされた高分子の系を得るには、どの様な高分子ドーパ系を合成すればよいかについての指針が与えられる。すなわち、Through Space/Bond相互作用の概念を用いることによって、望ましい物性、特に導電性を有する高分子ドーパ系に対する分子設計の指針を与えることが本研究の目的である。

2. 研究方法・計算方法

ab initio法 (STO-3G) によりFockの行列要素と重なり積分を計算する。得られた行列要素の内、着目するThrough Space相互作用に該当するものを零として固有値問題を解けば、着目した相互作用をカットした場合のエネルギー値がもたまることになる。また、この変分計算により求められた行列要素の内、高分子と添加物の間のThrough Space相互作用をカットしたものを零次の解とし、そこへ今カットした特定のThrough Space相互作用に対する行列要素を摂動項として摂動エネルギーを求めた。なお、これらの計算にはPoly Gaussian74を用いた。

3. 研究成果

これまで、ポリアセチレン、およびその誘導体のエネルギー帯構造と分子構造との関連を系統的に調べるために、ポリアセチレン、ポリフルオロアセチレン、ポリヒドロキシアセチレンを取上げた。そして、これらの高分子に Through Space/Bond相互作用解析を行ない、分子構造とエネルギー帯構造との関連を調べた。その結果、ポリアセチレンにおいて、エネルギーギャップが生じるのは、主鎖部分の直接結合していないC-C間のThrough Space相互作用と、やはり直接結合していないC-H間のThrough Space相互作用のCoupling項によることがわかった。このCoupling項の内容をより詳細に検討した結果、LUMO σ^* 軌道の位相とNLUMO σ^* 軌道の位相が密接に関連することがわかった。これは本質的に化学反応におけるWoodward-Hoffmann則の場合の位相の問題と同じであることがわかった。そこで、この位相の関係を巧みに用いて分子構造を変化させてエネルギーギャップを小さくすることを試みたが、置換基の変化、構造の変化で多少エネルギーギャップは小さくなるが、導電性を高めるような大きな変化はなかった。

そこで、ドーパントを加えた高分子の系に対して、エネルギー帯構造を計算し、より導電性の高い系を求めた。すなわち、ポリモノヒドロキシアセチレン、ポリジヒドロキシアセチレン、ポリモノフルオロアセチレン、およびポリジフルオロアセチレンにベリリウムをドーパした構造を考えて、エネルギー帯構造を求めた。このいずれの系においても、エネルギーギャップは、ドーパしていない系に比して著しく減少した。その結果をまとめて表1に示す。この表からもわかるように、ポリアセチレンに置換基を付けてもエネルギーギャップは少ししか減少しなかったのに対して、Beをドーパントとして加えると顕著に減少していることがわかる。特にポリジフルオロアセチレンにBeを2個ドーパさせると、エネルギーギャップは2.09 eVまで減少する。この2.09 eVという値はSTO-3G基底のab initio法によるSCF計算によって得られたものである。一方、ポリアセチレンに対してSuhaiらが非常によい基底を用いて、電子相関の効果も含めて計算し、エネルギーギャップが3 eVまで小さくなることをみだしている。したがって、このBeをドーパした系において、よりよい基底を用い電子

表1 ドープした置換ポリアセチレンのエネルギーギャップ (STO-3Gによるab-initio計算, 単位eV)

高分子	ドーパなし	Be 1個	Be 2個
ポリアセチレン	8.33		
ポリビトキシアセチレン	7.31	3.26	
ポリヒドロキシアセチレン	6.18	2.60	2.35
ポリメチルアセチレン	8.18	3.04	
ポリプロピルアセチレン	7.71	2.87	2.09

表2 Through Space 相互作用の寄与 ($k=180^\circ$)

相互作用	HOMOエネルギー (in a.u.)	変化量 (in a.u.)
Cut Be-COH	-0.340	0.000
Add Be-O	-0.354	-0.014
Add Be-H	-0.410	-0.070
Add Be-OH	-0.167	0.173
Full	-0.203	0.137

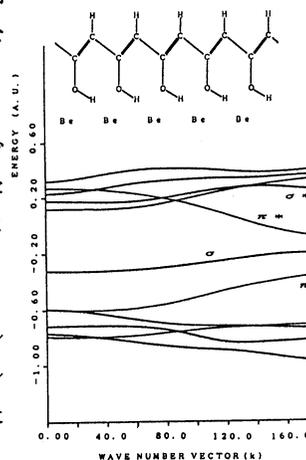
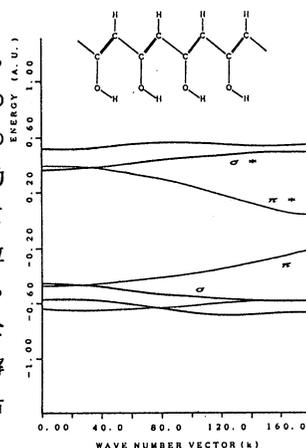
相関の効果も含めるとエネルギーギャップが消失すると考えられる。すなわち表1に示したドーパした系は、導電性の高い金属的な高分子の系と考えられる。

そこで、ドーパされた系のエネルギーギャップがどの様な因子によって小さくなったかをみるためにThrough Space/Bond相互作用解析を行なった。このドーパした系の伝導帯は、主としてポリアセチレン主鎖部分にある π 軌道の性質を有しており、そのバンド構造も、ドーパされていない系のものと形はほとんど変わらず、単に平行移動して低くなっているだけであった。一方、価電子帯は主にBe eの部分の寄与によって、その位置はドーパされていない高分子系のエネルギーギャップの真中付近に位置し、いわば半導体において不純物単位がエネルギー帯を作っている形になっていることがわかった。そこで、このドーピングの効果を見るために、系として最も簡単なポリモノヒドロキシアセチレン-Be系をとりあげてThrough Space/Bond相互作用解析を行なった。この系に対するエネルギー帯構造をドーパしていない系と比較して右図に示す。この系においてBeと高分子間の相互作用を全てカットして、 $k=180^\circ$ におけるHOMOのエネルギーを求めた。ついでその系に順次、Be-O間とBe-H間の相作用を加え、更にBe-O間とBe-H間の相互作用を同時に加えた計算も行なった。その結果をまとめると表2の様になった。大変興味あることは、Be-O間、Be-H間相互作用を個々に加えるとエネルギーが低下し、バンドギャップを大きくするのに対して、両者を同時に加えるとエネルギーが上昇してバンドギャップを減少させることである。この原因をポリアセチレンの時と同様に摂動論を用いて解析したところ、この場合もやはり軌道の位相が大きい役割を果たしていることがわかり、またもや本質的にはWoodward-Hoffmann則の場合の位相の問題と同じであることがわかった。

今後、ポリアセチレン系にとどまらず、他に導電性を有する系に対してもドーパントを変えて同様の解析を進め、望ましいエネルギー帯構造を有する高分子ドーパント系を探る。また、高分子の末端効果や、一部に格子欠陥のあるソリトンなどの系についての計算方法を確立して、その新しい方法による分子設計も試みる予定である。

4. 発表・出版実績または予定

- 1) 林慎一郎、青木百合子、今村 詮、分子構造総合討論会、東京 (1988)
- 2) 林、青木、今村 Synthetic Metal に投稿準備中



分	AK0 所内
実	1b,319
許	1b,400

可視・紫外・真空紫外レーザー多光子励起による原子分子の高電子励起状態の研究

< 理論計算による原子の2電子高励起状態の解析 >

Study of highly excited electronic states of atoms and molecules by VIS/UV/VUV laser multiphoton excitation

森田紀夫 鈴木敏史 (分子研・分子構造学第一研究部門)

1. 研究目的・内容

各種の近似が有効となる無限個数多体問題とは異なり、少数多体系の挙動の理解はその扱いの難しさ故に困難な問題のひとつである。原子の2電子励起状態はクーロン力の結ぶ少数多体系の最も基本的なもののひとつでありその詳しい理解は、殻力の結ぶ少数多体系である原子核の挙動との比較という観点からも興味深い。ここ10年程度の間に先達が行ってきた超球座標を用いたシュレジンガー方程式の近似解法や群論を用いた研究によって、少なくとも比較的低い2電子励起状態は $X-Y-X$ 型(X :電子、 Y :殻またはコア)の対称直線3原子分子と同様の電子相関を保ち振動回転しているという描像が確立されてきている。また最近では、分子研の岩井氏等は配置間相互作用の場を第2量子化するという手法により、対称性の破れたエネルギーの低い状態が存在してそれを振動回転させることによって元の原子のスペクトルを再現させることができるというエレガントな仕事をしている。この「対称性の破れた状態」こそが古典的な分子の構造であり、本当の分子も(Hamiltonianはやはり対称なので)本来ここから出発するべきものである。またこの記述が超伝導状態の電子や光のコヒーレント状態の記述と数学的に一致していることも興味深い。以上のような進展にも拘らず、これらの議論の多くは異なったシェル間の相互作用を露には考慮していないものであり、より励起が高くなってその効果を取り入れなければならないような場合については殆どわかっていない。このような領域では、分子的な描像が乱れて行くだけなのか、より分子像が顕著になるのか、或は水分子のような非対称な構造が現れる可能性はないか等の興味もたれる。本研究者は最近レーザーの多段多光子励起によってC a原子の2電子高励起状態のスペクトルを観測してきている。本研究は、非経験的理論計算の結果がこのような領域に於て、まずどの程度実際のスペクトルを再現できるか、そして良い一致が得られた場合にはその電子状態がどのようになっているか等を上に述べた事柄を念頭において調べることを目的としている。

2. 研究方法・計算方法

最も簡易な計算方法としては通常のCI計算によるものが考えられるが、2電子励起状態のような自動電離状態ではその固有状態の真偽に問題のある場合も多く、また自動電離幅の大きく違う準位が縮退している時にはその様子を正確に掴むことが難しい。自動電離幅自身もまた実験との比較に於いては重要な情報である。従って本研究ではCI法は補助的に用い、主たる計算はR-行列法と多チャンネル量子欠損理論による方法を用いた。

多チャンネル量子欠損理論(MQDT)は束縛状態、自動電離状態、連続状態を通じて統一的に記述できる有用な理論として有名である。しかし、相互作用領域をブラックボックスとして扱うこの理論はそれ自身のみで非経験的計算を成すことはできない。それ故、固有量子欠損やその固有ベクトルなどのいわゆるMQDTのパラメーターを別の方法で求めてやる必要がある。この研究ではR-行列法によってこの相互作用領域の計算を行い、上のパラメーターを求めることとした。但し、R-行列法のなかでも、ある与えられたエネルギーに対して相互作用領域とクーロン領域との境界上の対数微分 b についての変分法を実行して b を求めるという、U. Fano等によって始められた固有チャンネルR-行列法を用いている。この変分計算は b についての一般化固有値問題に帰着される。

本研究者の周辺で、原子のこの種の計算にふさわしいプログラムコードを手にいれることが難しかったため、勉強も兼ねてこれを自作することにした。計算手順はC. H. Greene等にならい、およそ次の通りである。① 与えられたエネルギー領域に於いて適切な境界を定め、変分関数を構成する2電子基底関数を作る。この際、変分法の収束性と安定性を良くするため大部分の基底を境界で0になるものを取り、これに境界で0でない少数の関数を混ぜる。このため、基底全体は非直交系であり、これが計算時間を増大させるが収束性は極めて良い。尚、コアは分極効果を取り入れたfrozen-coreとし、そのパラメーターは実験値に合わせて決めた。② 対数微分 b に関する一般化固有値問題を解いて固有値 b と固有

ベクトルを求める。その固有関数と微分の境界面上の値をもとの基底関数で展開した係数を得る。これらは各開チャンネルごとにひとまとまりとなる(表面調和関数系を成す)。③ その展開係数を2種のクーロン関数とその微分の線形結合の境界上の値に一致させ、このときの結合定数の2組の行列を得る。この行列から多チャンネル量子欠損理論に於ける反応行列を得る。④ 反応行列を対角化して固有量子欠損と固有ベクトルを求める。⑤ 以上の計算(①を除く)をエネルギーを変える毎に行い、MQDTパラメータのエネルギー依存性を求める。⑥ 以下、通常のMQDTに則って、任意のエネルギー分解能で振動子強度や散乱行列などを求める。また、各共鳴エネルギーに於ける波動関数を求め、電子相関図を描いてみる。

以上が概略であるが、2電子原子と言えども実験で得られているような $n=10$ 程度の高い励起状態を記述するためには相互作用領域を半径 $100a.u.$ 余りにとる必要があり、そこを張る2電子基底関数も 1500 以上とる必要がある。尚、このプログラムコードでは名古屋大学数値演算パッケージ(NUMPAC)の中から14のサブルーチンとそれらが参照する10の孫サブルーチンを使用している。

3. 研究成果

本年度はCPU時間の大半をプログラムコードの制作に費やしたため、本格的な計算は次年度以降に予定している。しかし、本年度内にも比較的低いエネルギー領域で予備的な計算を行っており良好な結果を得ている。図1(a),(b)はその例であり $4s4p$ 状態から S^* 状態への遷移断面積をR-行列法とMQDTによって計算したものである。図1(a)の方は実験の結果はないが、図1(b)に見える $6s9s$, $6s10s$, $6s11s$ は実験結果とエネルギー、線幅ともに実験結果とよい一致を示している。また、図2(a),(b)はCI計算によって求めた $9s^2$ 状態の電子相関図である。図2(a)は r_1-r_2 相関を示すが、 $r_1=r_2$ に極めて大きなピークがある。このピークを通る $r_1^2+r_2^2=$ 一定の円周上での $\tan^{-1}(r_1/r_2) - \cos^{-1}(\hat{r}_1 \cdot \hat{r}_2)$ の相関を図2(b)に示す。通常の直線3原子分子模型では $\cos^{-1}(\hat{r}_1 \cdot \hat{r}_2) = 180^\circ$ にピークがあるはずであるが、この場合は 146° にある。これは前述の非対称型3原子分子的構造の兆候かとも思われるがこの点については更に研究を進める必要がある。いずれにしても本格的な研究はこれからであり、今後の進展に期待したい。

4. 発表・出版実績または予定

森田：14回日本物理学会年会、シンポジウム「2電子励起状態-分子模型の周辺」；1989年3月

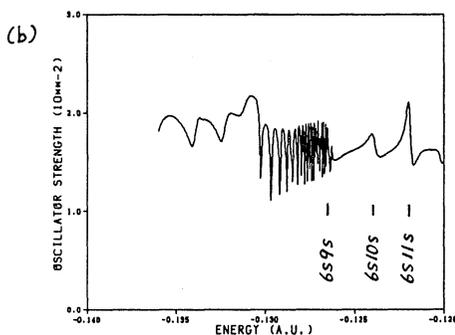
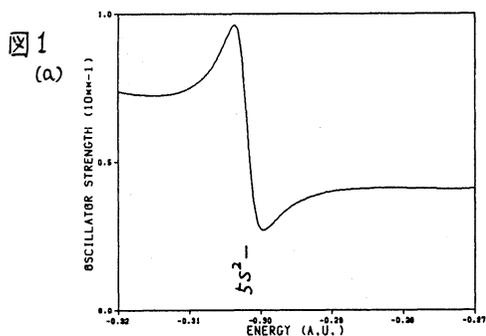
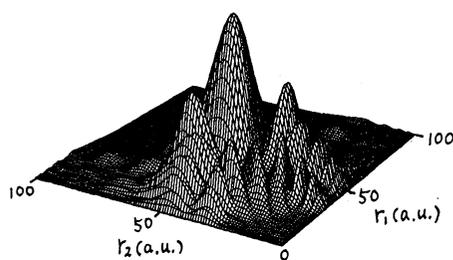
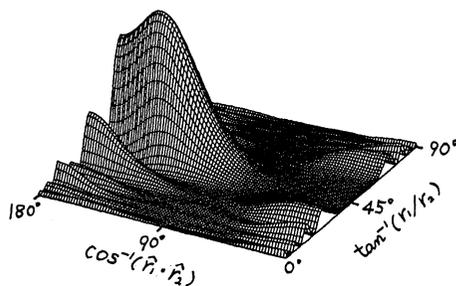


図2 (a)



(b)



分	AKI 所内
実	17,836
許	18,000

小さな分子の励起状態での振動一回転エネルギー準位の計算

Vibration-Energy Level Calculations of small Molecules in
Excited Electronic States

P. R. Bunker (National Research Council, Ottawa, Ontario, Canada)

1. Research Objectives

CCN^+ and CNC^+ might be important constituents of interstellar gas clouds, but their spectra have not yet been discovered in the laboratory. The isoelectronic neutral molecule CCC has a strong electronic band system, the $\tilde{A}-\tilde{X}$ band system, in the 4050 Angstrom region, and CCN^+ and CNC^+ may have analogous band systems. We therefore wished to calculate the T_e values for these bands as an aid to their experimental discovery. We decided to perform calculations of the $T_e(\tilde{A})$ values for CCC, CCN^+ and CNC^+ in parallel; the comparison of the CCC results with experiment will enable us to judge the accuracy of the calculations.

2. Research Methods and Programs Used

We used the MELD program system with a double zeta plus polarization basis, and we performed a singles and doubles CI calculation at several linear geometries for each of the three molecules in each of the two (\tilde{X} and \tilde{A}) electronic states. We also made the Davidson correction to account approximately for the effect of quadruple excitations. The points obtained for each electronic state of each molecule were fitted to an expansion of the potential function in Morse oscillator like coordinates $y_i = 1 - \exp(-2\Delta R_i)$ in order to obtain the equilibrium bond lengths and the energy at the minimum.

3. Research Results

Previous calculations of the ground electronic states of CCC, CCN^+ and CNC^+ have been performed by Kraemer and Yoshimine (Chem. Phys. Letters 90, 145 (1982) and J. Mol. Spectrosc. 107, 191 (1984)) and calculations on the excited (\tilde{A}) state of CCC have been performed by Chabalowski, Buenker and Peyerimhoff (J. Chem. Phys. 84, 268 (1986)). No previous calculations have been performed on

the excited (\tilde{A}) states of CCN^+ and CNC^+ . The experimental results for the $\tilde{A}-\tilde{X}$ band system of CCC are in a paper by Gausset, Hertzberg, Lagerqvist and Rosen (Astrophys. J. 142, 45 (1965)).

For the CCC molecule we obtained $T_e(\tilde{A})$ values of 4.7 eV (SCF), 3.7 eV (SDCI) and 3.3 eV (SDCI + Davidson correction) to be compared with the experimental value of 3.1 eV. The equilibrium bond length in CCC was obtained for the ground (\tilde{X}) state as 1.285 Å (SCF), 1.301 Å (SDCI), and 1.308 Å (SDCI + Davidson correction), and for the \tilde{A} state as 1.295 Å (SCF), 1.311 Å (SDCI) and 1.320 Å (SDCI + Davidson correction). The experimental R_e values for these states are unknown. Kraemer and Yoshimine obtain an R_e value for the ground state of 1.290 Å in their SDCI + Davidson correction calculation.

For CNC^+ the ground (\tilde{X}) state R_e values were calculated as 1.249 Å (SDCI) and 1.256 Å (SDCI + Davidson correction), and for the excited (\tilde{A}) state as 1.253 Å (SDCI) and 1.265 Å (SDCI + Davidson correction). The $T_e(\tilde{A})$ values were calculated as 4.8 eV (SDCI) and 4.4 eV (SDCI + Davidson correction). If these values follow the same trend as for CCC it would suggest an experimental $T_e(\tilde{A})$ value of 4.2 eV, and that this band system will have its origin around 3000 Å. We may perform more elaborate calculations to refine the accuracy of this prediction.

For CCN^+ the ground (\tilde{X}) state R_e values were obtained as $R_e(\text{CC})=1.395$ Å (SDCI) and 1.399 Å (SDCI + Davidson correction) and $R_e(\text{CN}) = 1.184$ Å (SDCI) and 1.197 Å (SDCI + Davidson correction).

4. Publication

K. Yamashita, P. R. Bunker and K. Morokuma, The A-X electronic band systems of the CCN^+ and CNC^+ molecules, to be published.

分	AK3 所内
実	38,403
許	39,600

溶液内化学反応の理論

A theoretical study on chemical reactions in solution

Young Sik Kong (IMS and Chonbuk National Univ.)

Introduction

Liquid Argon dynamics is investigated by using

1. Molecular dynamics
2. Quenching method
3. Transition state and reaction coordinate searching method

In order to understand the dynamical coupling of reacting system and solvent, we first analyse the liquid dynamical behavior by examining the potential energy surfaces. We choose the liquid Argon (Ar) as an simple example.

Method

Molecular dynamics calculation is performed by using the standard method for 108 atomic system. The periodic boundary condition used. The interaction potential is Lenard-Jones type up a certain distance, beyond which it is smoothly truncated. This was necessary to obtain the exact location of quenched structures. Quenching is performed by using the steepest descent method solving the first order differential equations. The trajectory is quenched in a certain intervals (10fs) to local minima, called inherent structures. Then the transition states and reaction coordinates connecting among the inherent structures successively visited by the system are determined by the new technique, which is obtained by modifying the Elber and Karplus method.

Results and Discussions

Fig.1 shows the total potential energies of the system at the inherent structures successively visited by the system. We can see there are essentially two energy domains; the higher energy domain at $t=10.05\sim 10.5\text{ps}$ and $t>10.8$, and the low energy domain around $t=10.5\sim 10.8\text{ps}$. Energy fluctuation is about 0.2kJ/mole per particles (that is, about 5kcal/mole for the total system with 100 particles). The configuration at high energy inherent structure is shown in Fig.2a, which exhibits the rather random amorphous structure. On the other hand,

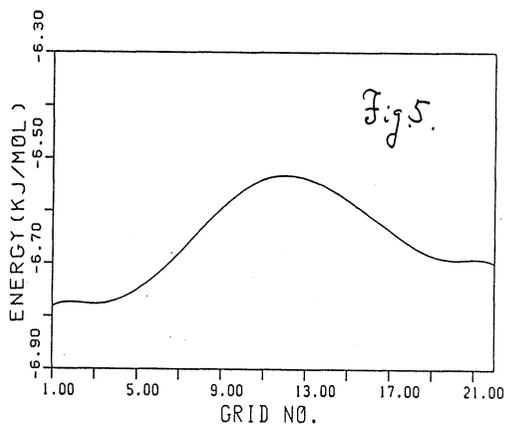
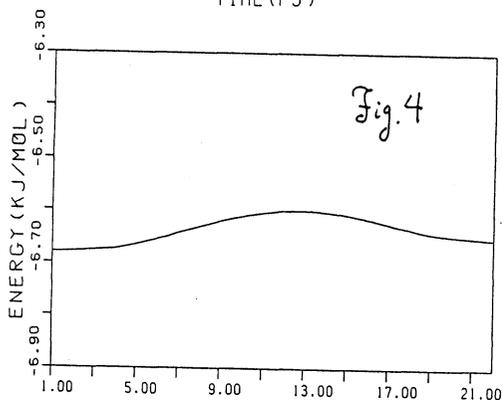
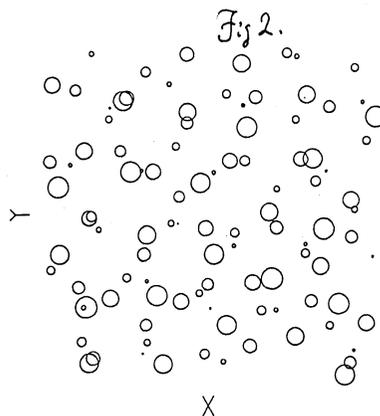
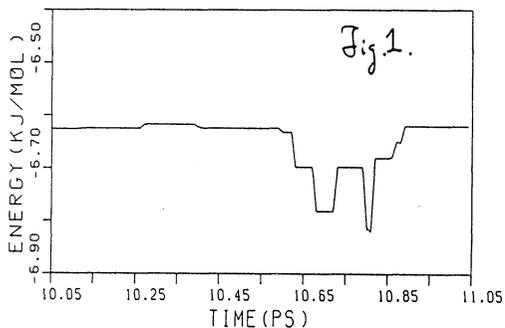
the low energy inherent structure yields the very ordered crystal like structure,

The atomic displacements associated with a distinct transition from an inherent structure to the next are rather small and localized in the high energy configurations. In the low energy region, the system is near crystalized and shrinks about 15% in the volume. The successive inherent structures in this region, are, thus, mutually distinctively different in translation but not in the structure from,

The transition state and reaction coordinates connecting these successive inherent structures are then determined by the newly developed method. Examples are shown in the Fig.4 for a transition in the higher energy region and in Fig.5 for that in lower energy region. We can see in Fig.4 that energy barrier heights are fairly low for the transition in the high energy region; they are less than 0.1kJ/atom. On the other hand, the energy barriers in low energy region are larger than ~ 0.3 kJ/atom. This fact indicates that the dynamics must be a ballistic process.

Publication

In preparation.



分	AK8 所内
実	4,352
計	9,200

Ying Xie (Fudan Univ., Shanghai, China)

1. 研究目的

反応物を選択励起した場合の反応確率や、生成物における内部エネルギー分布などの解析に基づいて化学反応の微視的過程を解明しようとする試みは大いに成功し、Polanyiが提唱した、反応の遷移状態の位置が振動、並進励起の動力学を決定するとする理論モデルは多くの実験結果を説明した。一方、回転励起の反応に及ぼす影響については回転状態を初期選択することが実験上困難であるため、研究例が少なく、その効果の一般性も明らかでない。本研究では、実際にPolanyiらが実験を行っている反応 $\text{Na}+\text{HCl}$ について、非経験的分子軌道計算により求めたポテンシャル面上で準古典軌道計算を行い、反応断面積に対する反応物 HCl の振動、回転及び並進状態の初期選択励起の効果を理論的に検討する。特に回転励起の影響とポテンシャル面の形状の関連について考察する。

2. 計算方法

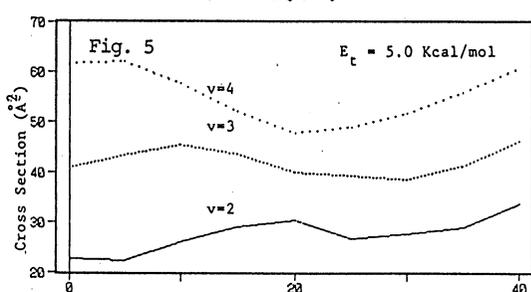
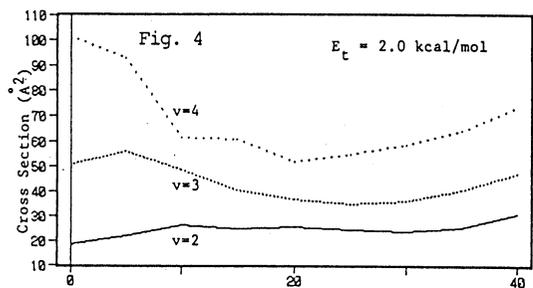
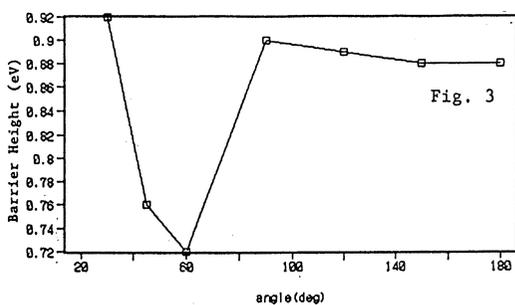
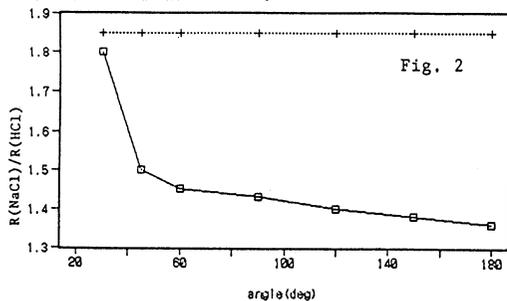
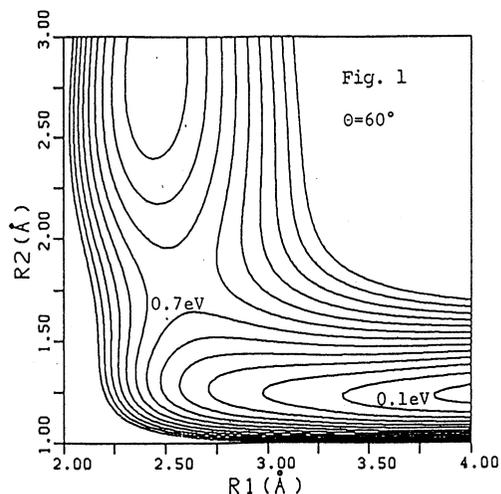
断熱ポテンシャル面としては、Wadt-HayのECPを用い、MR (multi-reference) SD-CI法により $\text{NaCl}(\text{R1})$ 、 $\text{HCl}(\text{R2})$ 結合距離及び NaClH 結合角(θ)を変化させて500以上の幾何構造において基底状態のエネルギー値を計算し、それらをMurrell-Sorbie型関数に最適化したものを使った。準古典軌道計算に際して振動、回転状態および並進エネルギーとしてそれぞれ、 $v=2-4$ 、 $J=0-40$ 、 $E_t=2.0-5.0\text{kcal/mol}$ を初期選択し、各々の初期状態について5000トラジェクトリーをサンプルした。

3. 研究結果

図1に $\theta=60^\circ$ の場合のポテンシャル面を示し、図2、3にそれぞれ結合距離の比 $\text{R1}/\text{R2}$ とエネルギー障壁の値の角度依存性を示す。ほぼ全ての角度において $\text{R1}/\text{R2}$ は $1.86(=\text{Re}(\text{NaCl})/\text{Re}(\text{HCl}))$ より小さく、これらの幾何構造は生成物側に存在することを意味する。また $\theta=60^\circ$ においてエネルギー障壁は最小(16.7kcal/mol)となり、 $\theta=100^\circ$ 以上ではほぼ一定である。したがって、遷移状態は生成物側に位置し (late barrier), Polanyi則から反応性は反応物の振動励起により大いに高められるが、並進エネルギーには余り影響されないと予測される。また遷移状態が曲がった構造を持つことから反応に有利な配向があると考えられる。反応 $\text{Na}+\text{HCl}$ 及び一般的な $\text{M}+\text{HX}(\text{M}=\text{Li}, \text{Na}, \text{K}, \text{Rb}; \text{X}=\text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I})$ 系については、ShapiroらによるVB法に基づいた半経験的なポテンシャル面の計算例がある。彼らによると反応 $\text{Na}+\text{HCl}$ の遷移状態はほぼ直線型で反応物側に位置し (early barrier), ab initio 計算と全く異なった結果を与えている。他の反応 $\text{Li}+\text{HF}$ 、 $\text{Li}+\text{HCl}$ についても、ab initio 計算とShapiroらの遷移状態の構造は非常に異なっている。

図4、5に断面積の初期振動、回転、並進状態依存性に関する準古典軌道計算の結果を示す。まず振動励起は予測どおり反応性を高め、Polanyiらの実験結果と一致する。並進エ

エネルギーについては逆に反応性が弱められるという結果が得られた。回転励起については、振動励起の程度が小さい場合、その反応性への影響が少ないが、 $v=4$ の場合、回転励起の影響が顕著に現れている。回転量子数 J を増加させると、まず断面積は減少し、次に $J=20$ 付近で極小値をとった後、さらに J を増加させると断面積は増加する。これらの特徴的な傾向は回転の反応性に対する二種の異なった効果、即ち、配向の喪失とエネルギーの増加として説明できる。反応に対して有利な配向がある場合($\text{Na}+\text{HCl}$ の場合、 $\theta=60^\circ$)、回転励起によりそれが失われ反応性が減少する。ある臨界値 J_c を過ぎると今度は有利な配向に遭遇する確率が J に依存しなくなり、回転エネルギーは単に障壁を越えるためのエネルギーとして働く。従って J の増加と共に反応性は増す。計算結果はほぼ定性的にPolanyiら[1]の実験結果を再現している。ただ実験的には $J_c=11$ と得られており計算値 $J_c=20$ と異なる。これはエネルギー障壁の計算値が実験的に予測されている 10kcal/mol に対して過大評価していることによると考えられる。以上、動力学計算により *ab initio* ポテンシャル面の妥当性が検討できた。



4. 研究成果

1. 山下、謝、諸熊、化学反応討論会、1989(大阪)発表予定。
2. K. Yamashita, Ying Xie and K. Morokuma, Theoretical Study on the effect of Reagent Excitation in the Reaction $\text{Na} + \text{HCl}$, to be published.

(文責: 山下)

2. ユーザ発表論文

当センターの利用に基づいて発表された論文のうち当センターに別刷が提出されたものを2.1項に掲載した。発表年度は必ずしも1988年度に限らず、初めて提出されたものはその年度の分として載せてある。またプロジェクト別の提出状況を2.2項に掲載した。提出論文の管理はプロジェクト単位で行っているため、複数プロジェクトにまたがる論文の場合でも、明確にプロジェクト名が添付されずに提出されたものは提出者の所属するプロジェクトのみの成果と見なされる。

2.1 ユーザ論文一覧

今年度提出された論文別刷数は計211件である。以下にその標題、著者名、発表誌名を掲載する。掲載順序は原則として当センターへ提出受付された順に通し番号をふってある。

- 1: Correlation between Molecular Orbital Distributions in the Intermolecular Interaction: Diels-Alder Reaction Systems
Hideo KUBODERA and Hideaki UMEYAMA / J.Synth.Org.Chem., 45(1987)1073
- 2: Reproduction of Ab Initio Electrostatic Potential with Classical Fractional Point Charges
Hideo KUBODERA, Setsuko NAKAGAWA and Hideaki UMEYAMA / Chem.Pharm.Bull., 35(1987)1673
- 3: Electrostatic Interaction Energy and Solvent Accessibility in the Methotrexate-Reduced Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate-Dihydrofolate Reductase Ternary Complex
Katsuichiro KOMATSU, Setsuko NAKAGAWA, Hideaki UMEYAMA and Haruki NAKAMURA / Chem.Pharm.Bull., 35(1987)1880
- 4: Reproduction of Ab Initio Electrostatic Potential with Classical Fractional Point Charges for Biological Molecules: Dopamine, Gamma-Aminobutyric Acid, and Acetylcholine
Hideo KUBODERA and Hideaki UMEYAMA / Chem.Pharm.Bull., 35(1987)3087
- 5: Correlation between Molecular Orbital Distributions in Drug-Receptor Interaction: Diels-Alder Reaction Systems and Dihydrofolate Reductase System

- Hideo KUBODERA and Hideaki UMEYAMA / Chem.Pharm.Bull., 35
(1987)4377
- 6: Photo- and Radiation-Sensitive Materials in Microlithography
M.TSUDA / Mat.Sci.Rep., 2(1987)185
- 7: Ab Initio Calculations of Hydrogen Transfers. A Computational Test
of Variations in the Transition-State Structure and the Coefficient
of Rate-Equilibrium Correlation
Hiroshi YAMATAKA and Shigeru NAGASE / J.Org.Chem., 53(1988)3232
- 8: Monte Carlo Simulation of Phase Transition of a Spherical Latex
System with Sogami's Potential
Mitsuhiro MATSUMOTO and Yosuke KATAOKA / "Ordering and
Organization in Ionic Solutions", (1988)574
- 9: Temperature Variation of Nuclear Magnetic Resonance Line Shape in
Solid CHD₃
Kenkichi OKADA, Yoshiaki OZAKI and Kazuo MAKI / Can.J.Chem.,
66(1988)676
- 10: Determination of the Stabilities and Structures of X⁻(C₆H₆)
Clusters (X=Cl, Br and I)
Kenzo HIRAOKA, Susumu MIZUSE and Shinichi YAMABE / Chem.Phys.
Lett., 147(1988)174
- 11: Gas-Phase Clustering Reactions of CN⁻ and CH₂CN⁻ with CH₃CN
K.HIRAOKA, S.MIZUSE, S.YAMABE and Y.NAKATSUJI / Chem.Phys.Lett.,
148(1988)497
- 12: Solvation of Halide Ions with H₂O and CH₃CN in the Gas Phase
Kenzo HIRAOKA, Susumu MIZUSE and Shinichi YAMABE / J.Phys.Chem.,
92(1988)3943
- 13: Ab Initio Structures of Transition States in Electrophilic Addition
Reactions of Molecular Halogens with Ethene
Shinichi YAMABE, Tsutomu MINATO and Satoshi INAGAKI /
J.Chem.Soc., Chem.Comm., (1988)532
- 14: Comparative Study of E2 and S_N2 Reactions between Ethyl Halide and
Halide Ion

- Tsutomu MINATO and Shinichi YAMABE / J. Am. Chem. Soc., 110
(1988)4586
- 15: Reliability of AM1 in Conformational Analysis of Unionized Amino Acids
M. MASAMURA / J. Mol. Struct., Theochem, 168(1988)227
- 16: An Efficient Algorithm for Solving Eigenvalue Problems of the Type $HC = SCe$ or $FC = SCe$
M. MASAMURA / J. Comput. Chem., 9(1988)257
- 17: Ab Initio Calculation for the Interaction Energy of He-H
Akira ICHIHARA, Kohtoku SASAGANE and Reikichi ITOH /
Bull. Chem. Soc. Jpn., 61(1988)3141
- 18: Molecular Structure and Conformational Stability of Ethyl Methyl Disulfide: A Model of Cystine
Masaru OHSAKU and Norman L. ALLINGER / J. Phys. Chem., 92(1988)4591
- 19: Zigzag Collapse of Four-Membered Rings Generated by Additions of Halonium Ions to Cyclopropanes
Shinichi YAMABE, Tsutomu MINATO, Masahiro SEKI and Satoshi INAGAKI / J. Am. Chem. Soc., 110(1988)6047
- 20: A Theoretical Study on Bromochlorination
Shinichi YAMABE and Tsutomu MINATO / Bull. Chem. Soc. Jpn., 61
(1988)4449
- 21: Stabilities of the $N_3^+(N_2)_n$ Cluster Ions with $n=1-11$
Kenzo HIRAOKA and Shinichi YAMABE / Chem. Phys. Lett., 154(1989)139
- 22: Photochemical Dimerization of a Benzoselenete Derivative
Shoko YAMAZAKI, Keijiro KOHIGAMI, Megumi OKAZAKI, Shinichi YAMABE and Toshio ARAI / J. Org. Chem., 54(1989)240
- 23: How are Nitrogen Molecules Bound to NO_2^+ and NO^+ ?
Kenzo HIRAOKA and Shinichi YAMABE / J. Chem. Phys., 90(1989)3268
- 24: An MO Study of Fragmentation Mechanism of Ethane and Propane Radical Cations
Yoshihiro OSAMURA, Takae TAKEUCHI and Kichisuke NISHIMOTO /
Bull. Chem. Soc. Jpn., 61(1988)3387

- 25: Promotion of the Proton Transfer Reaction by the Intermolecular Stretching Mode: Application of the Two-Dimensional Finite Element Method to the Nuclear Schrödinger Equation
Nobuyuki SATO and Suehiro IWATA / J.Chem.Phys., 89(1988)2932
- 26: Application of the Higher Order Finite-Element Method to One-Dimensional Schrödinger Equation
Toshiyasu KIMURA, Nobuyuki SATO and Suehiro IWATA / J.Comput.Chem., 9(1988)827
- 27: A Theoretical Study of the Potential Energy Surface of Butadiene in the Excited States
Mutsumi AOYAGI and Yoshihiro OSAMURA / J.Am.Chem.Soc., 111 (1989)470
- 28: Ab Initio Self-Consistent-Field Molecular Orbital Study on the Hydration of Three Oxidation States of Beryllium in Aqueous Solution
Kenro HASHIMOTO and Suehiro IWATA / J.Phys.Chem., 93(1989)2165
- 29: Development of a Program for MCSCF Calculations with Large Basis Sets
Shigeyoshi YAMAMOTO, Umpei NAGASHIMA, Tomoo AOYAMA and Hiroshi KASHIWAGI / J.Comput.Chem., 9(1988)627
- 30: Ab Initio CAS SCF/MRSDCI Study of the CuCH₂ Cluster
Yuji MOCHIZUKI, Kiyoshi TANAKA, Kimio OHNO, Hiroshi TATEWAKI and Shigeyoshi YAMAMOTO / Chem.Phys.Lett., 152(1988)457
- 31: Interchain Effect ¹³C Nuclear Magnetic Resonance Chemical Shift and Electronic Structure of Polyoxymethylene Chains in the Solid State
Hiromichi KUROSU, Takeshi YAMANOBE and Isao ANDO / J.Chem.Phys., 89(1988)5216
- 32: Effect of Interchain Interactions on ¹³C Nuclear Magnetic Resonance Chemical Shifts and Electronic Structures of Polyacetylene in the Solid State as Studied by Tight-Binding Molecular Orbital Theory
Takahiro ISHII, Hiromichi KUROSU, Takeshi YAMANOBE and Isao ANDO / J.Chem.Phys., 89(1988)7315

- 33: Intermolecular Hydrogen-Bonding Effect on ^{13}C NMR Chemical Shifts of Glycine Residue Carbonyl Carbons of Peptides in the Solid State
Shinji ANDO, Isao ANDO, Akira SHOJI and Takuo OZAKI /
J.Am.Chem.Soc., 110(1988)3380
- 34: Intramolecular Hydrogen Abstraction and Insertion of Singlet Ethylnitrene
Takayuki FUENO / J.Mol.Struct., Theochem, 170(1988)143
- 35: Mechanism of the Reaction $\text{NH}(\Delta^1)+\text{NO}\rightarrow\text{N}_2\text{O}+\text{H}$ in the Gas Phase
Takayuki FUENO, Masayuki FUKUDA and Keiichi YOKOYAMA / Chem. Phys., 124(1988)265
- 36: Ab Initio SCF Study of the Addition of the Methyl Radical to Vinyl Compounds
Takayuki FUENO and Mikiharu KAMACHI / Macromolecules, 21(1988)908
- 37: Dynamical Phase Transitions in Cluster Growth Processes Where Growth Sites Have a Finite Lifetime
Armin BUNDE and Sasuke MIYAZIMA / J.Phys.A: Math.Gen., 21 (1988)L345
- 38: A Generalized Diffusion-Limited Aggregation Where Aggregate Sites Have a Finite Radical Time
Sasuke MIYAZIMA, Yutaka HASEGAWA, Armin BUNDE and H.Eugene STANLEY / J.Phys.Soc.Jpn., 57(1988)3376
- 39: Ising Spin System on Penrose Tiling
Sasuke MIYAZIMA, Takashi ODAGAKI and Seiji MIYASHITA / Suppl. Trans.JIM, 29(1988)481
- 40: Diffusion-Limited Aggregation in Which Cluster Sites Have a Distribution of Reaction Times
Armin BUNDE and Sasuke MIYAZIMA / Phys.Rev.A, 38(1988)2099
- 41: Regioselectivity in the 1,3-Dipolar Cycloaddition Reaction of Unsymmetric Pyridinium Dicyanomethylides with Dimethyl Acetylenedicarboxylate and Methyl Propiolate: An Example of Dipole-Dipole Control of Regioselectivity?
Kiyoshi MATSUMOTO, Yukio IKEMI, Hideyuki KONISHI, Xiao-lan SHI,

- Takane UCHIDA and Kinuyo AOYAMA / J.Heterocyclic Chem., 25
(1988)689
- 42: Elementary Process of the Thermal Decomposition of Alkyl Gallium
Setsuko OIKAWA, Minoru TSUDA, Mutsuo MORISHITA, Masao MASHITA and
Yasuo KUNIYA / J.Cryst.Growth, 91(1988)471
- 43: Epitaxial Growth Mechanism of the (100) As Surface of GaAs — The
Effect of Positive Holes —
Minoru TSUDA, Mutsuo MORISHITA, Setsuko OIKAWA and Masao MASHITA
/ Jpn.J.Appl.Phys., 27(1988)L960
- 44: Intermolecular Nuclear Overhauser Effect and Atomic Pair Potential
Approaches to Wheat Germ Agglutinin - Sugar Binding
K.UMEMOTO, S.OIKAWA, M.AIDA and Y.SUGAWARA / J.Biomol.Struct.
Dynam., 6(1988)593
- 45: Time-Resolved Resonance Raman Studies of the Photochromic Reaction
of 6-Nitro-1',3',3'-Trimethylspiro[2H-1-Benzopyran-2,2'-Indoline]
Hiroaki TAKAHASHI, Hideki MURAKAWA, Yoshiki SAKAINO, Tomoyuki
OHZEKI, Jiro ABE and Osamu YAMADA / J.Photochem.Photobiol.,
A: Chemistry, 45(1988)233
- 46: Resonance Raman Studies of the Structures and Vibrational
Assignments of the Ground State the Triplet State and the Radical
Cation of N,N,N',N'-Tetramethyl-p-Phenylenediamine
Hiroaki ISAKA, Jiro ABE, Tomoyuki OHZEKI, Yoshiki SAKAINO and
Hiroaki TAKAHASHI / J.Mol.Struct., 178(1988)101
- 47: Medium Effects on the Molecular Electronic Structure
Part 2. The Application of the Theory of Medium Effects in the
Framework of the CNDO and INDO Methods
H.HOSHI, M.SAKURAI, Y.INOUE and R.CHUJO / J.Mol.Struct.,
Theochem, 180(1988)267
- 48: A Molecular Orbital Study of Cyclodextrin Inclusion Complexes. I.
The Calculation of the Dipole Moments of α -Cyclodextrin-Aromatic
Guest Complexes
Masaki KITAGAWA, Hajime HOSHI, Minoru SAKURAI, Yoshio INOUE and

- Riichiro CHUJO / Bull.Chem.Soc.Jpn., 61(1988)4225
- 49: A Possible Model of Aromatic-Guest Recognition in Paracyclophane-Guest Inclusion Processes
Norihito AOYAMA, Minoru SAKURAI, Masaki KITAGAWA, Yoshio INOUE and Riichiro CHUJO / Chem.Lett., (1988)949
- 50: Substituent Effects on the Reaction of 2-(Substituted phenyl)-4,5-dihydro-4,4,5,5-tetramethylimidazol-1-oxyl 3-Oxides with Nitric Oxide: An Experimental and MNDO Study
Osamu SHIMOMURA, Kazuhisa ABE and Minoru HIROTA / J.Chem.Soc. Perkin Trans.II, (1988)795
- 51: Ab Initio SCF-SDCI Prediction of Type II Spectra and Geometry of Hydrogen Dichloride Ion, (ClHCl)⁻
Toshikazu SAITOH and Reikichi ITOH / J.Mol.Struct., 177(1988)449
- 52: Ab Initio Calculation for the Interaction Energy of He-He⁺
Akira ICHIHARA and Reikichi ITOH / Bull.Chem.Soc.Jpn., 62
(1989)633
- 53: ESR Studies on Structures and Dynamics of Propane and n-Butane Radical Cations: Determination of the Activation Energies of Methyl Group Rotation and the Hyperfine Coupling Constants of the Out-of-Plane Methyl Protons
Kaoru MATSUURA, Keichi NUNOME, Kazumi TORIYAMA and Machio IWASAKI / J.Phys.Chem., 93(1989)149
- 54: An Ab Initio Study on the Intramolecular Hydrogen Bond of Protonated Ethylene Glycol and Ethylenediamine
Shigeru IKUTA and Okio NOMURA / Chem.Phys.Lett., 154(1989)71
- 55: Diode Laser Spectroscopy of the ν_3 (CN Stretch) Band of HCNH⁺
Masatoshi KAJITA, Kentarou KAWAGUCHI and Eizi HIROTA / J.Mol.Spectrosc., 127(1988)275
- 56: Microwave Spectroscopy of HCO⁺ and DCO⁺ in Excited Vibrational States
Eizi HIROTA and Yasuki ENDO / J.Mol.Spectrosc., 127(1988)527
- 57: The Submillimeter-Wave Spectrum of the Deuterated Vinyloxy Radical,

CD₂CDO

- Yasuki ENDO and Eizi HIROTA / J.Mol.Spectrosc., 127(1988)535
- 58: The Millimeter- and Submillimeter-Wave Spectrum of the DCO Radical
Yasuki ENDO and Eizi HIROTA / J.Mol.Spectrosc., 127(1988)540
- 59: Infrared Diode Laser Spectroscopy of the PS Radical
Kentaro KAWAGUCHI, Eizi HIROTA, Masatoshi OHISHI, Hiroko SUZUKI,
Shuro TAKANO, Satoshi YAMAMOTO and Shuji SAITO / J.Mol.
Spectrosc., 130(1988)81
- 60: The Vibrational Assignment for the A²Π-X²Σ⁺ Band System of the SiN
Radical: The 0-0 Bands of ²⁹SiN and ³⁰SiN
Chikashi YAMADA, Eizi HIROTA, Satoshi YAMAMOTO and Shuji SAITO /
J.Chem.Phys., 88(1988)46
- 61: Diode Laser Spectroscopy for Monitoring the Yield of Metastable Cl
from Photodissociation of Simple Molecules
Eberhard TIEMANN, Hideto KANAMORI and Eizi HIROTA / J.Chem.Phys.,
88(1988)2457
- 62: The Submillimeter-Wave Spectrum of the ¹³CH₃O Radical
Takamasa MOMOSE, Yasuki ENDO, Eizi HIROTA and Tadamasa SHIDA /
J.Chem.Phys., 88(1988)5338
- 63: Infrared Diode Laser Kinetic Spectroscopy of the CCD Radical ν₃
Band
Hideto KANAMORI and Eizi HIROTA / J.Chem.Phys., 88(1988)6699
- 64: Infrared Diode Laser Spectroscopy of Lithium Hydride
Chikashi YAMADA and Eizi HIROTA / J.Chem.Phys., 88(1988)6702
- 65: Optical-Optical Double Resonance (Stimulated Emission Pumping)
Spectroscopy of HCF
Tetsuo SUZUKI and Eizi HIROTA / J.Chem.Phys., 88(1988)6778
- 66: Infrared diode Laser Spectroscopy of SO in the a¹Δ State Generated
by the Photolysis of Cl₂SO at 193 nm
Hideto KANAMORI, Eberhard TIEMANN and Eizi HIROTA / J.Chem.Phys.,
89(1988)621
- 67: Measurement of the SiH₃ Radical Density in Silane Plasma using

- Infrared Diode Laser Absorption Spectroscopy
 Naoshi ITABASHI, Kozo KATO, Nobuki NISHIWAKI, Toshio GOTO,
 Chikashi YAMADA and Eizi HIROTA / Jpn.J.Appl.Phys., 27(1988)L1565
- 68: Infrared Diode Laser and Microwave Spectroscopy of Molecular Ions
 E.HIROTA / Phil.Trans.R.Soc.Lond.A, 324(1988)131
- 69: Superlattice Structure of Superconducting Bi-Sr-Cu-O System
 Masashige ONODA and Masatoshi SATO / Solid State Commun., 67
 (1988)799
- 70: Atomic Structure of Quasicrystals. I. Structure Factor of
 Icosahedral Clusters
 Tsuyoshi YAMAGUCHI and Nobuhisa FUJIMA / J.Phys.Soc.Jpn., 57
 (1988)4206
- 71: Lattice Vibrations and Thermal Diffuse Scattering in Low-Energy-
 Electron-Diffraction of the Si(111)2x1 Structure
 Tsuyoshi YAMAGUCHI and Kazuhiko HARADA / Appl.Surf.Sci., 33/34
 (1988)31
- 72: Thermal Diffuse Low-Energy Electron Diffraction on the Si(111)2x1
 Structure
 Tsuyoshi YAMAGUCHI and Kazuhiko HARADA / Phys.Rev.B, 38(1988)3400
- 73: Electronic States of Reconstructed Structure of Si(111)2x1 Surface
 Shogo MORITA and Tsuyoshi YAMAGUCHI / Shizuoka Daigaku Daigakuin
 Denshi Kagaku Kenkyuka Kenkyu Hokoku, (1988)15
- 74: The Lowest Metal-to-Bipyridine Charge-Transfer Excited State of
 [Cr(2,2'-Bipyridine)(CO)₄]
 Hiroshi KOBAYASHI, Youkoh KAIZU, Hitoshi KIMURA, Hideyo MATSUZAWA
 and Hirohiko ADACHI / Mol.Phys., 64(1988)1009
- 75: X-Ray Crystal Structure and Electrochemical Property of a Novel
 Monohydroxo-Bridged Binuclear Cobalt(II) Complex with N,N',N'',N'''-
 Tetrakis(2-aminoethyl)-1,4,8,11-tetraazacyclotetradecane
 Masahiro MIKURIYA, Sigeo KIDA, Takamitsu KOHZUMA and Ichiro
 MURASE / Bull.Chem.Soc.Jpn., 61(1988)2666
- 76: Inversion of Stereoselectivity by Hydrophobic Interligand

- Interactins. Preparation, Structure, and Stereoselectivity of
 {N,N'-Ethylenebis(1,1,1-trifluoro-4-amino-2-pentanonato)}(L-amino
 acidato)cobalt(III)
 Yuki FUJII, Homare SHINOHARA, Masahiro MIKURIYA, Sigeo KIDA and
 Yoshie KONISHI / Bull.Chem.Soc.Jpn., 61(1988)3511
- 77: Synthesis, Properties, and Crystal Structure of Binuclear
 Nickel(II) and Palladium(II) Complexes of Tridentate Thiolic
 Ligands with NNS-Donor Set
 Makoto HANDA, Masahiro MIKURIYA, Zhuang Jin ZHONG, Hisashi OKAWA
 and Sigeo KIDA / Bull.Chem.Soc.Jpn., 61(1988)3883
- 78: Thiolate-Bridged Binuclear Nickel(II) Complex with Thioether
 Pendant Groups
 Makoto HANDA, Masahiro MIKURIYA, Hisashi OKAWA and Sigeo KIDA /
 Chem.Lett., (1988)1555
- 79: A Novel μ -Carbonato-Bridged Binuclear Nickel(II) Complex with
 N,N',N'',N'''-Tetrakis(2-aminoethyl)-1,4,8,11-
 tetraazacyclotetradecane
 Masahiro MIKURIYA, Ichiro MURASE, Eiji ASATO and Sigeo KIDA /
 Chem.Lett., (1989)497
- 80: First-Principles Study of the Coverage Dependence of the Electronic
 Structure of Alkali-Metal-Metal Surfaces: Na on Al(001)
 H. ISHIDA and K.TERAKURA / Phys.Rev.B, 38(1988)5752
- 81: Theory of the Alkali-Metal Chemisorption on Metal Surfaces
 H. ISHIDA / Phys.Rev.B, 38(1988)8006
- 82: Electronic Theory for Phase Stability of Nine AB Binary Alloys,
 with A = Ni, Pd, or Pt and B = Cu, Ag, or Au
 Satoshi TAKIZAWA, Kiyoyuki TERAKURA and Tetsuo MOHRI / Phys.Rev.
 B, 39(1989)5792
- 83: Theoretical Evidence for a New Ultra-High-Pressure Phase of SiO₂
 Key Taeck PARK, Kiyoyuki TERAKURA and Yoshito MATSUI / Nature,
336(1988)670
- 84: Implications of Band-Structure Calculations for High-T_c Related

Oxides

- Key Taeck PARK, Kiyoyuki TERAOKURA, Tamio OGUCHI, Akira YANASE and Minoru IKEDA / J.Phys.Soc.Jpn., 57(1988)3445
- 85: A Cooper Pairing Mechanism Mediated by the Virtual Exchange of the RVB Quanta
Yoshihiro ASAI / J.Phys.Soc.Jpn., 57(1988)3491
- 86: The Madelung Energy in Copper-Oxide-Based Ceramics
Jun KONDO, Yoshihiro ASAI and Sumiaki NAGAI / J.Phys.Soc.Jpn., 57(1988)4334
- 87: The Effect of Amino Acid Substitution on Protein-Folding and -Unfolding Transition Studied by Computer Simulation
Hiroshi TAKETOMI, Fumiaki KANO and Nobuhiro GO / Biopolymers, 27(1988)527
- 88: Normal Modes of Vibration in Bovine Pancreatic Trypsin Inhibitor and Its Mechanical Property
Tetsuo NISHIKAWA and Nobuhiro GO / PROTEINS: Struct.Funct.Gene., 2(1987)308
- 89: Selectivities of Aromatic Methyl Metalation. Unexpectedly Strong Interactions of Carbanions with Aromatic Rings
Satoshi INAGAKI, Takeo IMAI and Yoshio MORI / Bull.Chem.Soc.Jpn., 62(1989)79
- 90: Thermoelectric Power of Organic Superconductors — Calculation on the Basis of the Tight-Binding Theory
Takehiko MORI and Hiroo INOKUCHI / J.Phys.Soc.Jpn., 57(1988)3674
- 91: Crystal and Electronic Structures and Physical Properties of $T_c=10.4$ K Superconductor, $(BEDT-TTF)_2Cu(NCS)_2$
H.URAYAMA, H.YAMOCHI, G.SAITO, S.SATO, T.SUGANO, M.KINOSHITA, A.KAWAMOTO, J.TANAKA, T.INABE, T.MORI, Y.MARUYAMA, H.INOKUCHI and K.OSHIMA / Synthetic Metals, 27(1988)A393
- 92: An Organic Superconductor, $(BEDT-TTF)_3Cl_2(H_2O)_2$, and Some Other BEDT-TTF Conductors
Takehiko MORI, Ping WANG, Kenichi IMAEDA, Toshiaki ENOKI, Hiroo

- INOKUCHI, Fumiko SAKAI and Gunzi SAITO / *Synthetic Metals*, 27
(1988)A451
- 93: Electronic Properties of New Organic Conductors Based on 2,7-Bis(methylthio)-1,6-dithiapyrene (MTDTPY) with TCNQ and p-Benzoquinone Derivatives
Kenichi IMAEDA, Toshiaki ENOKI, Takehiko MORI, Hiroo INOKUCHI, Mitsuru SASAKI, Kazuhiro NAKASUJI and Ichiro MURATA / *Bull.Chem.Soc.Jpn.*, 62(1989)372
- 94: Structural Studies and Vibrational Analyses of Stable and Less Stable Conformers of 1,3,5-Hexatriene Based on Ab Initio MO Calculations
H.YOSHIDA, Y.FURUKAWA and M.TASUMI / *J.Mol.Struct.*, 194(1989)279
- 95: Infrared and Raman Spectra of Trans, Trans-1,3,5,7-Octatetraene and Normal-Coordinate Analysis Based on Ab Initio Molecular Orbital Calculations
H.YOSHIDA and M.TASUMI / *J.Chem.Phys.*, 89(1988)2803
- 96: Structure and Optical Properties of a Thermochromic Schiff Base. Thermally Induced Intramolecular Proton Transfer in the N,N'-Bis(salicylidene)-p-phenylenediamine Crystals
Naomi HOSHINO, Tamotsu INABE, Tadaaki MITANI and Yusei MARUYAMA / *Bull.Chem.Soc.Jpn.*, 61(1988)4207
- 97: Charge Transfer Complexes Based on the Twin-TCNQ-Type Acceptor 11,11,12,12,13,13,14,14-Octacyano-1,4:5,8-anthradiquinotetramethane (OCNAQ)
Tamotsu INABE, Tsutomu MITSUHASHI and Yusei MARUYAMA / *Bull.Chem.Soc.Jpn.*, 61(1988)4215
- 98: Crystal Structure of the Electrochemical Product of Potassium Dicyanophthalocyaninatocobalt(III). Novel Two-Dimensional Stacking Interaction of Phthalocyanine
Tamotsu INABE and Yusei MARUYAMA / *Chem.Lett.*, (1989)55
- 99: SAC-CI Calculations of the Excited and Ionized States of Conjugated Molecules

- H.NAKATSUJI, O.KITAO and M.KOMORI / "Aspects of Many-Body Effects in Molecules and Extended Systems", D.MUKHERJEE ed., Springer-Verlag, (1988)101
- 100: Cluster Expansion of the Wave Function. Valence Excitations and Ionizations of Pyridine
O.KITAO and H.NAKATSUJI / J.Chem.Phys., 88(1988)4913
- 101: Ab Initio Theoretical Study on the Reactions of a Hydrogen Molecule with Small Platinum Clusters: A Model for Chemisorption on a Pt Surface
H.NAKATSUJI, Y.MATSUZAKI and T.YONEZAWA / J.Chem.Phys., 88 (1988)5759
- 102: Calculation of Isotropic Hyperfine Coupling Constants by the Symmetry Adapted Cluster Expansion Configuration Interaction Theory
Takamasa MOMOSE, Hiroshi NAKATSUJI and Tadamasa SHIDA / J.Chem.Phys., 89(1988)4185
- 103: Structural Stability of Transition-Metal 13-Atom Clusters
Yukinori OHTA / J.Phys.Soc.Jpn., 57(1988)2609
- 104: Bond Energies and Defect Forces around Divacancies in Bcc Transition Metals
Yukinori OHTA / Physica B, 149(1988)11
- 105: Cluster Model Investigation of the Electronic State and Chemical Bond in Cuprous and Cupric Oxide
H.ADACHI and M.TAKANO / Physica C, 157(1989)169
- 106: Electronic Structure of Magnesium Containing Various Alloying Elements
M.MORINAGA, N.YUKAWA, H.ADACHI and S.KAMADO / J.Less-Common Metals, 141(1988)295
- 107: High Performance Single Crystal Superalloys Developed by the d-Electrons Concept
N.YUKAWA, M.MORINAGA, Y.MURATA, H.EZAKI and S.INOUE / Superalloys, (1988)225
- 108: Gas Kinetic Approach for Electron Mobility in Dense Media

- Kazuyo KANEKO, Yoshiyuki USAMI and Kazuo KITAHARA / J.Chem.Phys.,
89(1988)6420
- 109: Photoabsorption Spectra and Photodissociation of S_2Cl_2 in the
Vacuum Ultraviolet
Ikuo TOKUE, Atsunari HIRAYA and Kosuke SHOBATAKE / Chem.Phys.
Lett., 153(1988)346
- 110: Computer Assisted Structure-Taste Studies on Sulfamates by Pattern
Recognition Method Using Graph Theoretical Invariants
Tohru OKUYAMA, Yoshikatsu MIYASHITA, Shigehiko KANAYA, Hiroyuki
KATSUMI, Shin-ichi SASAKI and Milan RANDIC / J.Comput.Chem.,
9(1988)636
- 111: Introduction of Two-Dimensional NMR Spectral Information to an
Automated Structure Elucidation System, CHEMICS. Utilization of 2D-
INADEQUATE Information
Kimito FUMATSU, Yutaka SUSUTA and Shin-ichi SASAKI / J.Chem.Inf.
Comput.Sci., 29(1989)6
- 112: Molecular Dynamics Study of Homogeneous Nucleation and Growth in a
Metal Liquid
K.TSUMURAYA, M.S.WATANABE and Sinai K.IKEDA / Transactions ISIJ,
28(1988)869
- 113: Electronic Structures in $BaPb_{1-x}Bi_xO_3$ and in La_2CuO_4
Tadao KASUYA and Katsuhiko TAKEGAHARA / JJAP Ser.1:
Superconducting Materials, (1988)251
- 114: Electronic Band Structure of Nd_2CuO_4 Type Cu Oxide
Katsuhiko TAKEGAHARA and Tadao KASUYA / Solid State Commun.,
70(1989)637
- 115: Electronic Band Structure of Paramagnetic and Antiferromagnetic
 La_2NiO_4
Katsuhiko TAKEGAHARA and Tadao KASUYA / Solid State Commun.,
70(1989)641
- 116: Theoretical Investigation of the Interaction Potential of Helium
Trimer

- Akira ICHIHARA and Reikichi ITOH / Bull.Chem.Soc.Jpn., 62
(1989)1410
- 117: X-Ray Structure of a Sterically Protected 1-aza-3-phospha-allene
Masaaki YOSHIFUJI, Takashi NIITSU, Kozo TOYOTA, Naoki INAMOTO,
Ken HIROTSU, Yoshihiko ODAGAKI, Taiichi HIGUCHI and Shigeru
NAGASE / Polyhedron, 7(1988)2213
- 118: Is Tetrasilatetrahedrane Kinetically Stable?
Shigeru NAGASE and Mari NAKANO / Angew.Chem.Int.Ed.Engl., 27
(1988)1081
- 119: Ab Initio Calculations of Hydrogen Transfers. A Computational Test
of Variations in the Transition-State Structure and the Coefficient
of Rate-Equilibrium Correlation
Hiroshi YAMATAKA and Shigeru NAGASE / J.Org.Chem., 53(1988)3232
- 120: Interesting Bonding between the Inverted Germanium Atoms in
Pentagerma[1.1.1]propellane and Derivatives. A Theoretical Study
Shigeru NAGASE and Takako KUDO / Organometallics, 7(1988)2534
- 121: Reaction of Dimesitylsilylene in a Cryogenic Oxygen Matrix: IR
Spectroscopic Observation of a Silylene-Oxygen Adduct
Takeshi AKASAKA, Shigeru NAGASE, Akira YABE and Wataru ANDO /
J.Am.Chem.Soc., 110(1988)6270
- 122: Unusually Short Phantom Bonds Containing Si and P Atoms. A
Theoretical Study of 2,4,5-Trioxa-1,3-disilabicyclo[1.1.1]pentane
and its Phosphorus Dication Analogue
Shigeru NAGASE, Takako KUDO and Toshiya KURAKAKE / J.Chem.Soc.,
Chem.Comm., (1988)1063
- 123: Bicyclo[1.1.0]tetragermane and Bicyclo[2.2.0]hexagermane; An Ab
Initio Study of Bicyclic Germanium Compounds
Shigeru NAGASE and Mari NAKANO / J.Chem.Soc., Chem.Comm.,
(1988)1077
- 124: The GeH_4^+ Radical Cation. An Ab Initio Study of its Ground-State
Structure and Kinetic Stability
Takako KUDO and Shigeru NAGASE / Chem.Phys.Lett., 148(1988)73

- 125: Jahn-Teller Distortions in SnH_4^+ and PbH_4^+
Takako KUDO and Shigeru NAGASE / Chem.Phys.Lett., 156(1989)289
- 126: Large Local Energy Fluctuations in Water. II. Cooperative Motions and Fluctuations
Iwao OHMINE, Hideki TANAKA and Peter G.WOLYNES / J.Chem.Phys., 89(1988)5852
- 127: A Modified Van der Waals One-Fluid Approximation Based on a Simple Perturbed Hard-Sphere Equation of State
Masaaki TAKAMIYA and Koichiro NAKANISHI / Fluid Phase Equilibria, 41(1988)215
- 128: Molecular Dynamics Simulations on the Hydration of Fluoroalcohols
Kenichi KINUGAWA and Koichiro NAKANISHI / J.Chem.Phys., 89(1988)5834
- 129: Formation of Doubly Excited States of HCl in Collision with the $\text{He}(2^3\text{S}_1)$ Atom: An SCF-CI Calculation of the Potential Energy Surfaces of the He-HCl System
Kiyohiko SOMEDA, Nobuhiro KOSUGI, Tamotsu KONDOW and Kozo KUCHITSU / J.Phys.Chem., 93(1989)35
- 130: Structure of an L-Tyrosyl-L-histidine-Copper Complex Involving an Axial Copper(II)-Phenol OH Bonding. Implication for Substrate Binding at the Active Site of Tyrosinase
Hideki MASUDA, Akira ODANI and Osamu YAMAUCHI / Inorg.Chem., 28(1989)624
- 131: Structure and Properties of a Pterin-Containing Ternary Copper(II) Complex, $[\text{Cu}(\text{bpy})(\text{PC})(\text{H}_2\text{O})] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (bpy = 2,2'-Bipyridine; PC = Pterin-6-carboxylate). Implications for the Active-Site Copper-Cofactor Bonding in Chromobacterium violaceum Phenylalanine Hydroxylase
Takamitsu KOHZUMA, Hideki MASUDA and Osamu YAMAUCHI / J.Am.Chem.Soc., 111(1989)3431
- 132: Sulfur Inversion in and Molecular Structure of meso-3,4-Diethyl-3,4-dimethyl-1-phenylthiolanium Tetrafluoroborate

- Michinori OKI, Yasuhisa YAMADA and Shigeru MURATA / Bull.Chem. Soc.Jpn., 61(1988)707
- 133: Rotamer Populations and Molecular Structure of 9-Isobutyl-1,4-dimethoxytriptycene: Further Evidence for the Presence of CH₃...O Hydrogen Bond
Michinori OKI, Naoyoshi TAKIGUCHI, Shinji TOYOTA, Gaku YAMAMOTO and Shigeru MURATA / Bull.Chem.Soc.Jpn., 61(1988)4295
- 134: Orientation Distribution Function in Off-Angle Re-Drawing of Rolled High Density Polyethylene Film with the Plastic Slip Model
Takashi TORII, Sadao HIBI, Katsuhiko SUMITA, Hirofumi MAKINO, Matsuo MAEDA and Eiji NAKANISHI / Kobunshi Ronbunshu, 45(1988)371
- 135: Orientation Distribution Functions of Off-Angle Re-Drawing in Rolled High Density Polyethylene Films, Calculated with the Plastic Slip Model
Takashi TORII, Sadao HIBI, Katsuhiko SUMITA, Yoshito KURYU, Matsuo MAEDA and Eiji NAKANISHI / Kobunshi Ronbunshu, 45(1988)391
- 136: Crystal Structures of [VO(sal-L-ala)(OCH₃)(CH₃OH)](sal-L-ala=N-salicylidene-L-alaninate) and {[VO(sal-L-ala)]₂O}₂·2CH₂Cl₂, and the Catalytic Activity of These and Related Complexes on Asymmetric Oxidation of Methyl Phenyl Sulfide with t-Butyl Hydroperoxide
Kiyohiko NAKAJIMA, Masaaki KOJIMA, Koshiro TORIUMI, Kazuo SAITO and Junnosuke FUJITA / Bull.Chem.Soc.Jpn., 62(1989)760
- 137: Synthesis and Structure of Completely Spin-Coupled Trinuclear Copper(II) Complex, [Cu(dm_g)₂{Cu(bipy)(CH₃OH)}₂](NO₃)₂, Bridged by Bis(dimethylglyoximate)cuprate(II) Dianion
Dominique LUNEAU, Hiroki OSHIO, Hisashi OKAWA and Sigeo KIDA / Chem.Lett., (1989)443
- 138: Modified Oxidation Number As Applied to Carbon Compounds. Electron Number Analysis with Ab Initio Molecular Orbital Wave Functions
Keiko TAKANO, Mari OKAMOTO and Haruo HOSOYA / J.Phys.Chem., 92(1988)4869
- 139: Unimolecular Thermal Reaction of Formaldoxime at High

- Temperatures: Experiments and Calculations
- Ko SAITO, Koso MAKISHITA, Terumitsu KAKUMOTO, Takaharu SASAKI and Akira IMAMURA / J.Phys.Chem., 92(1988)4371
- 140: Application of Quantum Chemistry to Biology: Some New Currents
Akira IMAMURA, Seiji TANI and Hiroyuki TOH / Seibutsu Butsuri, 28(1988)260
- 141: Molecular Orbital Study on the Metabolic Pathway through the Diol Epoxide Form of Carcinogenic Benzene in Comparison with Benzo[a]pyrene
Akira IMAMURA, Seiji TANI and Katsuya KANDA / J.Theor.Biol., 135(1988)215
- 142: Whether Zn^{2+} for the Polymerase System was Selected Inevitably or by Historical Accident
Hiroyuki TOH, Akira IMAMURA and Katsuya KANDA / J.Theor.Biol., 136(1989)79
- 143: A Theoretical Study of the Ionized State of Polymers with the Localized Molecular Orbital Method
Akira IMAMURA, Kehong YE and Masahiro TAKETOSHI / Bull.Chem.Soc.Jpn., 62(1989)979
- 144: Potential Energy Surfaces for the Reaction Si + H₂O
Shogo SAKAI, Mark S.GORDON and Kenneth D.JORDAN / J.Phys.Chem., 92(1988)7053
- 145: Theoretical Studies of the Insertion Reactions of Atomic Carbon and Silicon into Methane and Silane
Shogo SAKAI, John DEISZ and Mark S.GORDON / J.Phys.Chem., 93(1989)1888
- 146: Triphenylmethane Dye Ethynologues with Absorption Bands in the Near Infrared
Shuzo AKIYAMA, Shinichi NAKATSUJI, Kenichiro NAKASHIMA, Mituaki WATANABE and Hiroyuki NAKAZUMI / J.Chem.Soc.Perkin Trans.I, (1988)3155
- 147: Topology and Spin Alignment in Model Compounds of Organic Ferro-

and Ferri-magnets

- Koichi ITOH, Takeji TAKUI, Yoshio TEKI and Takamasa KINOSHITA /
J.Mol.Electron., 4(1988)181
- 148: Low- and High-Temperature Structure of (E)-2,2'-Dimthylstilbene
Keiichiro OGAWA, Hiroshi SUZUKI, Tosio SAKURAI, Kimiko KOBAYASHI,
Akira KIRA and Koshiro TORIUMI / Acta Cryst., C44(1988)505
- 149: Nonlinear Lattice Relaxation Process of Charge Transfer Exciton in
Quasi One-Dimensional Halogen-Bridged Mixed-Valence Metal Complexes
— Self-Trapped Excitons, Solitons and Polarons in CDW —
Keiichiro NASU and Akiomi MISHIMA / Rev.Solid State Sci., 2
(1988)539
- 150: Nonlinear Lattice Relaxation of Photogenerated Charge-Transfer
Excitation in Halogen-Bridged Mixed-Valence Metal Complexes. I.
Soliton and Self-Trapped Exciton
A.MISHIMA and K.NASU / Phys.Rev.B, 39(1989)5758
- 151: Nonlinear Lattice Relaxation of Photogenerated Charge-Transfer
Excitation in Halogen-Bridged Mixed-Valence Metal Complexes. II.
Polaron Channel
A.MISHIMA and K.NASU / Phys.Rev.B, 39(1989)5763
- 152: Time-Resolved Fluorescence Spectra of D-Amino Acid Oxidase: A New
Fluorescent Species of the Coenzyme
F.TANAKA, N.TAMAI and I.YAMAZAKI / "Ultrafast Phenomena VI",
T.YAJIMA, K.YOSHIHARA, C.B.HARRIS, S.SHIONOYA eds., Springer-
Verlag, (1988)610
- 153: Dynamics of Proteins in the Picosecond Region
Fumio TANAKA / Rev.Laser Eng., 15(1987)992
- 154: Ab Initio Molecular Orbital and Resonance Raman Studies of the
Structure of the Lowest Triplet State of N,N,N',N'-tetramethyl-p-
phenylenediamine
Jiro ABE, Tomoo MIYAZAKI and Hiroaki TAKAHASHI / J.Chem.Phys.,
90(1989)2317
- 155: Self-Exchange Velocities in Molten Equimolar Li(Cl, Br) Predicting

- an Anion Chemla Effect
Shipra BALUJA, Akira ENDOH and Isao OKADA / Z.Naturforsch.,
43a(1988)1065
- 156: The Effect of Lifetime of Elements in the Eden Model and DLA
Sasuke MIYAZIMA / Sci.Form, 3(1988)59
- 157: Cell Movements in the Pattern Formation of Dictyostelium Discoideum
Toshio SEKIMURA and Youichi KOBUCHI / Sci.Form, 3(1988)67
- 158: Density Functional Theory for Hidden High- T_c Superconductivity
Akitomo TACHIBANA / "High-Temperature Superconducting Materials",
William E.HATFIELD, John H.MILLER,Jr. eds., Marcel Dekker,
(1988)99
- 159: Shape Wave in Density Functional Theory
Akitomo TACHIBANA / Int.J.Quant.Chem., 34(1988)309
- 160: Application of the Mermin Entropy Principle to the "Apparatus"
Density Functional Theory
Akitomo TACHIBANA / Int.J.Quant.Chem., 35(1989)361
- 161: Extended Orbital Vibronic Constant and Attractive Force for
Superconductivity in a Molecular Model of Polyacetylene
Akitomo TACHIBANA, Shigeru ISHIKAWA, Takayuki INOUE and Tokio
YAMABE / Chem.Phys.Lett., 154(1989)403
- 162: Theory of "Dynamic" Hydrogen Bonding: Vibronic Effect in Proton
Dynamics
Akitomo TACHIBANA, Takayuki INOUE, Masataka NAGAOKA and Tokio
YAMABE / J.Phys.Chem., 93(1989)220
- 163: Reaction Ergodography for a Model of Siloxane Bond Formation in
Organosilane Polymers
Akitomo TACHIBANA, Hiroyuki FUENO, Yuzuru KUROSAKI and Tokio
YAMABE / J.Am.Chem.Soc., 111(1989)806
- 164: A Study of the Applicability of the Renormalization Group Idea to
Multichain Lattice Systems by Numerical Experiments
Hiroshi OKAMOTO / J.Chem.Phys., 88(1988)5095
- 165: Investigation of the Structure and Reactivity of Cobalt(III)

- Carbonato Complexes by Using EHMO Calculation
Toshiaki TAURA / Inorg.Chim.Acta, 158(1989)33
- 166: Mechanism of the Wolff Rearrangement
Minoru TSUDA and Setsuko OIKAWA / Chem.Pharm.Bull., 37(1989)573
- 167: Synthesis and Conformation of 1,1,10,10-Tetramethyl[3.3]metacyclophane
Yoshimasa FUKAZAWA, Yoshiya TAKEDA, Shuji USUI and Mitsuaki KODAMA / J.Am.Chem.Soc., 110(1988)7842
- 168: Characteristic Features of CO₂ Insertion into a Cu-H Bond. An Ab Initio MO Study
Shigeyoshi SAKAKI and Katsutoshi OHKUBO / Inorg.Chem., 27
(1988)2020
- 169: Electronic Structure and Enhanced Reactivity of Carbon Dioxide Coordinated with a Rhodium(I) Complex. An Ab Initio MO Study
Shigeyoshi SAKAKI, Tetsuro AIZAWA, Nobuaki KOGA, Keiji MOROKUMA and Katsutoshi OHKUBO / Inorg.Chem., 28(1989)103
- 170: Potential Energy Surfaces for Rotational Excitation of CH₃ Product in Photodissociation on CH₃I
Satoshi YABUSHITA and Keiji MOROKUMA / Chem.Phys.Lett., 153
(1988)517
- 171: Self-Consistent-Field Iterative Transfer Perturbation Method and Its Application to the Interaction between a Polymer and a Small Molecule
Yuriko AOKI, Akira IMAMURA and Keiji MOROKUMA / J.Chem.Phys., 89(1988)1147
- 172: Chair and Boat Transition States for the Cope Rearrangement. A CASSCF Study
Keiji MOROKUMA, Weston Thatcher BORDEN and David A.HROVAT / J.Am.Chem.Soc., 110(1988)4474
- 173: A Theoretical Study of the Thermal Degenerate Rearrangement in Methylene-cyclobutane
P.N.SKANCKE, N.KOGA and K.MOROKUMA / J.Am.Chem.Soc., 111

- (1989)1559
- 174: Rearrangement through Berry Pseudorotation and Olefin Insertion of d^8 Five-Coordinate $Rh(H)(C_2H_4)(CO)_2(PH_3)$. An Ab Initio MO Study
Nobuaki KOGA, Su Qian JIN and Keiji MOROKUMA / J.Am.Chem.Soc.,
110(1988)3417
- 175: Ab Initio MO Study of the Full Catalytic Cycle of Olefin
Hydrogenation by the Wilkinson Catalyst $RhCl(PR_3)_3$
C.DANIEL, N.KOGA, J.HAN, X.Y.FU and K.MOROKUMA / J.Am.Chem.Soc.,
110(1988)3773
- 176: An ESR Study on Solvated Electrons in Water and Alcohols:
Difference in the g Factor and Related Analysis of the Electronic
State by MO Calculation
Hirotsugu SHIRAIISHI, Kenkichi ISHIGURE and Keiji MOROKUMA /
J.Chem.Phys., 88(1988)4637
- 177: Theoretical Study of the Absorption Process during Chemical
Reactions: Potential Surface and Classical Trajectory Study on K +
NaCl
Koichi YAMASHITA and Keiji MOROKUMA / J.Phys.Chem., 92(1988)3109
- 178: Theoretical Investigation of the Platinum Ketene Complex
 $Pt(PR_3)_2(CH_2=C=O)$ and Carbene Complex $Pt(PR_3)_2(CH_2)(CO)$
Shinichiro NAKAMURA and Keiji MOROKUMA / Organometallics, 7
(1988)1904
- 179: Orthogonality Constrained Calculations of MC SCF Excited States in
Non-Adiabatic Regions
S.MATSUMOTO, M.TOYAMA, Y.YASUDA, T.UCHIDE and R.UENO / Chem.Phys.
Lett., 157(1989)142
- 180: Studies of Liquid Water by Computer Simulations. VI. Transport
Properties of Carravetta-Clementi Water
Yosuke KATAOKA / Bull.Chem.Soc.Jpn., 62(1989)1421
- 181: Ab Initio Molecular Orbital Calculations of Effective Exchange
Integrals for Transition Metal Oxides and Halides: Strong
Superechange Interactions and High Tc Superconductivity

- Kizashi YAMAGUCHI, Yoichi TAKAHARA, Takayuki FUENO and Keiichiro NASU / *Physica C*, 153-155(1988)1213
- 182: Ab Initio MO Studies on Structure and Reactivity of Superoxo Transition-Metal Complexes
K.YAMAGUCHI, Y.TAKAHARA and T.FUENO / "The Role of Oxygen in Chemistry and Biochemistry", W.ANDO, Y.MOROOKA eds., Elsevier, (1988)263
- 183: Possible Organic Analogues to Copper Oxides: Applications of a J-Model
Kizashi YAMAGUCHI, Yoichi TAKAHARA, Takayuki FUENO, Kazuhiro NAKASUJI and Ichiro MURATA / *Jpn.J.Appl.Phys.*, 27(1988)L766
- 184: Extended Hubbard Models for Transition Metal Oxides and Halides: Importance of Spin and Charge Fluctuations in Charge Transfer Metals
Kizashi YAMAGUCHI, Masayoshi NAKANO, Hideo NAMIMOTO and Takayuki FUENO / *Jpn.J.Appl.Phys.*, 27(1988)L1835
- 185: A Two-Band Hubbard Model for Clusters of Doped Copper Oxides and Other Metal Oxides: Populations of Holes and Spin Densities by the Full VB CI Method
Kizashi YAMAGUCHI, Masayoshi NAKANO, Hideo NAMIMOTO and Takayuki FUENO / *Jpn.J.Appl.Phys.*, 28(1989)L479
- 186: A Four-Band Hubbard Model for Doped CuO₅ and Related Clusters. Populations of Holes on Apex Oxygens Determined by the Full VB CI Method
Kizashi YAMAGUCHI, Hideo NAMIMOTO, Masayoshi NAKANO and Takayuki FUENO / *Jpn.J.Appl.Phys.*, 28(1989)L672
- 187: Potential Energy Curves of Fluorine, Nitrogen and Ethylene Calculated by Approximately Projected Unrestricted Hartree-Fock and Møller-Plesset Perturbation Methods
Y.TAKAHARA, K.YAMAGUCHI and T.FUENO / *Chem.Phys.Lett.*, 157 (1989)211
- 188: Elementary Process of the ALE Growth of a Gallium Layer in MOVPE

- Minoru TSUDA, Mutsuo MORISHITA, Setsuko OIKAWA, Masao MASHITA and Yasuo KUNIYA / Eighth Record of Alloy Semiconductor Physics and Electronics Symposium, (1989)9
- 189: Growth Model with Phase Transition: Drift-Diffusion-Limited Aggregation
Takashi NAGATANI / Phys.Rev.A, 39(1989)438
- 190: Pattern Formation in Nonlinear Diffusion-Limited Aggregation
Takashi NAGATANI and Yoshiyuki USAMI / Phys.Rev.A, 39(1989)2169
- 191: Phase-Space Path Integrals in Terms of a Phase-Space Distribution Function
Kazuo TAKATSUKA / Phys.Rev.Lett., 61(1988)503
- 192: On the Electron Affinities of Hexafluorides CrF_6 , MoF_6 , and WF_6
Eisaku MIYOSHI, Yoshiko SAKAI, Akinori MURAKAMI, Hiroaki IWAKI, Hidemi TERASHIMA, Takayuki SHODA and Takashi KAWAGUCHI / J.Chem.Phys., 89(1988)4193
- 193: Theoretical Study of Geometries and Dipole Moments of AsX_3 and SbX_3 ($\text{X}=\text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{and I}$) Molecules
Yoshiko SAKAI and Eisaku MIYOSHI / J.Chem.Phys., 89(1988)4452
- 194: Theoretical Study on Electronic Structures of AuF_6 and Its Anions
Eisaku MIYOSHI and Yoshiko SAKAI / J.Chem.Phys., 89(1988)7363
- 195: Applications of the Model Potential Method to Transition Metal Compounds
Eisaku MIYOSHI and Yoshiko SAKAI / J.Comput.Chem., 9(1988)719
- 196: Infrared Spectrum of NH_2Cl : Amino Wagging and Inversion
Yoshiaki HAMADA, Satoru FUJIWARA and Henry BUIJS / J.Mol. Spectrosc., 129(1988)354
- 197: Infrared Spectrum of N-Chloromethylenimine
Yoshiaki AMATATSU, Yoshiaki HAMADA and Masamichi Tsuboi / J.Mol. Spectrosc., 129(1988)364
- 198: Infrared Spectrum of Cyclopropylamine
Yoshiaki HAMADA, Masamichi Tsuboi, Izuho IKEDA, Munetaka NAKATA and Mitsuo TASUMI / Chem.Phys., 125(1988)45

- 199: Infrared Spectrum of Isopropylamine
Yoshiaki HAMADA, Masamichi TSUBOI, Munetaka NAKATA and Mitsuo
TASUMI / Chem.Phys., 125(1988)55
- 200: Superjacent and Subjacent Orbitals Participations for Kinetically-
Controlled Cycloaddition Reactions of 2H-Cyclohepta[b]furan-2-ones
and 8,8-Dicyanoheptafulvene to 2,3-Bis(methoxycarbonyl)-7-
oxabicyclo[2.2.1]heptadiene
Guan Rong TIAN, Shigeru SUGIYAMA, Akira MORI, Hitoshi TAKESHITA,
Miwako HIGASHI and Hiroyuki YAMAGUCHI / Bull.Chem.Soc.Jpn., 62
(1989)1136
- 201: Synthetic Photochemistry. XLIX. Synthesis and Photoisomerization of
2-Acetyl-2-azatricyclo[6.2.2.0^{1,5}]dodeca-4,6,9,11-tetraen-3-one. An
MO Explanation of the Cycloaddition of Cyclohepta[b]pyrrol-2(1H)-
ones
Guan Rong TIAN, Akira MORI, Hitoshi TAKESHITA, Miwako HIGASHI and
Hiroyuki YAMAGUCHI / Bull.Chem.Soc.Jpn., 62(1989)1567
- 202: Optical Activities of Saturated Ketones: Nonplanarities of Carbonyl
Chromophores and Chiral Perturbational Effects of Substituents
Hiroaki TOKIWA and Mamoru KAMIYA / J.Mol.Struct., Theochem, 181
(1988)25
- 203: Application of Thin Film Diffractometer to Structural Study of
Amorphous Thin Films
Tokuro NANBA and Itaru YASUI / Anal.Sci., 5(1989)257
- 204: An Ab Initio MO Calculation on the Structures of Vanadium Oxide and
Niobium Oxide Clusters Supported on Silica and Alumina
Hisayoshi KOBAYASHI, Masaru YAMAGUCHI, Tanehiro TANAKA, Yasuo
NISHIMURA, Hiroshi KAWAKAMI and Satohiro YOSHIDA / Hyomen Kagaku,
8(1987)186
- 205: Geometrical and Electronic Structures of Ni/SiO₂ and Ni/TiO₂
Systems. Quantum Chemical Approach to Metal-Support Interactions
Hisayoshi KOBAYASHI and Masaru YAMAGUCHI / Proc.9th Int.Cong.
Catal., (1988)1098

- 206: Quantum Chemical Study of Metal Oxide Catalysts. Structures of Vanadium Oxide and Niobium Oxide Clusters Supported on Silica and Alumina
Hisayoshi KOBAYASHI, Masaru YAMAGUCHI, Tsunehiro TANAKA, Yasuo NISHIMURA, Hiroshi KAWAKAMI and Satohiro YOSHIDA / J.Phys.Chem., 92(1988)2516
- 207: Ab Initio MO Study of Adsorption of CO Molecule on TiO₂ Surfaces
Hisayoshi KOBAYASHI and Masaru YAMAGUCHI / Surf.Sci., 214 (1989)466
- 208: An Ab Initio MO Study on the Structure Dependence of Mössbauer Spectra in Iron Porphyrin Complexes
Minoru SAITO and Hiroshi KASHIWAGI / Chem.Phys.Lett., 155 (1989)557
- 209: 薬物—受容体相互作用とコンピュータグラフィックス：ジヒドロ葉酸還元酵素—NADPH—メソトレキセート系
小松克一郎、梅山秀明
防菌防黴誌 15 (1987) 469
- 210: 触媒の量子化学—表面・分子相互作用系の視点から—
中辻 博
数理科学 (1988) 46
- 211: A b i n i t i o 計算による銅酸化物クラスターの電子状態
山口 兆、山本茂義、那須奎一郎
固体物理 24 (1989) 350

2.2 プロジェクト別論文別刷提出状況（平成元年6月末現在）

〈コード〉	〈名 前〉	〈メンバ数〉	〈論文数〉	〈論文番号〉
AA0	諸熊奎治	(12)	10	169 170 171 172 173 174 175 176 177 178
AA2	廣田榮治	(12)	14	55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68
AA3	太田哲男	(2)	0	
AA5	磯邊清	(6)	3	136 137 148
AA6	柏木浩	(5)	4	29 30 208 211
AB0	木村啓作	(2)	0	
AB1	森健彦	(4)	4	90 91 92 93
AB2	小谷野猪之助	(4)	0	
AB8	正畠宏祐	(5)	1	109
AC1	福井一俊	(6)	0	
AC6	宇田川康夫	(4)	0	
AC7	花崎一郎	(6)	0	
AD4	中村宏樹	(4)	0	
AD6	W.BORDEN	(1)	1	172
AD7	吉原經太郎	(5)	0	
AD8	富宅喜代一	(2)	0	
AE6	那須奎一郎	(4)	5	149 150 151 181 211
AE8	大峰巖	(4)	1	126
AF0	北川禎三	(1)	0	
AG1	米原博人	(4)	0	
AG5	佐藤正俊	(5)	1	69
AH0	丸山有成	(3)	4	91 96 97 98
AH3	長岡伸一	(1)	0	
AH6	富宅喜代一	(2)	0	
AI5	P.SKANCKE	(1)	1	173
AJ0	西信之	(4)	0	
AJ2	中島清彦	(2)	2	136 137
AJ3	S.PARK	(1)	0	
AJ7	茅幸二	(2)	0	
AJ8	今村詮	(1)	6	139 140 141 142 143 171
AJ9	北原和夫	(1)	1	108
AK0	森田紀夫	(2)	0	
AK1	P.BUNKER	(1)	0	
AK2	池田龍一	(4)	2	130 131
AK3	Y.KONG	(1)	0	

〈コード〉	〈名 前〉	〈メンバ数〉	〈論文数〉	〈論文番号〉
AK4	P.KNOWLES	(1)	0	
AK5	H.SUN	(1)	0	
AK6	黒田玲子	(1)	0	
AK7	薬師久彌	(3)	0	
AK8	Y.XIE	(1)	0	
AK9	S.RAI	(1)	0	
AL0	E.NAGY	(1)	0	
AL1	木村栄一	(3)	0	
BA4	酒井章吾	(1)	2	144 145
BA5	榑茂好	(1)	2	168 169
BD0	加藤肇	(1)	0	
BG5	山口兆	(1)	8	181 182 183 184 185 186 187 211
BH6	藪下聡	(1)	1	170
BJ8	田中秀樹	(1)	1	126
BM5	関谷雅弘	(1)	0	
B07	中島慶治	(1)	0	
B09	伊藤澄子	(1)	0	
BP0	板垣弘昭	(1)	0	
BP3	大作勝	(1)	1	18
BP4	馬場正昭	(1)	0	
BP5	千田斉	(1)	0	
BP6	柏原和夫	(1)	0	
BP7	安達知浩	(1)	0	
BP8	久保健	(1)	0	
BP9	宇佐見義之	(1)	2	108 190
BQ0	芳信一朗	(1)	0	
BQ1	矢野重信	(1)	0	
BQ2	山口敏男	(1)	0	
BQ3	中村正人	(1)	0	
BQ4	青木百合子	(1)	1	171
BQ5	山村剛士	(1)	0	
BQ6	雨谷敬史	(1)	0	
CA4	郷信広	(5)	2	87 88
CA7	川村尚	(2)	0	
CA8	片岡洋右	(5)	3	8 9 180
CB0	佐々木教祐	(3)	0	

〈コード〉	〈名 前〉	〈メンバ数〉	〈論文数〉	〈論文番号〉
CB1	田仲二郎	(2)	0	
CB2	梅山秀明	(5)	6	1 2 3 4 5 209
CB4	妹尾康喜	(1)	0	
CB7	笛野高之	(7)	10	34 35 36 181 182 183 184 185 186 187
CB8	生田茂	(1)	1	54
CC0	藤本博	(6)	0	
CC1	津田穰	(3)	6	6 42 43 44 166 188
CC2	中辻博	(8)	5	99 100 101 102 210
CC7	浅田寿生	(4)	0	
CD0	中西浩一郎	(6)	2	127 128
CD1	岡田勲	(7)	1	155
CD5	西本吉助	(11)	1	24
CD7	小西英之	(7)	1	41
CE0	大野公男	(13)	2	30 192
CE1	野村興雄	(1)	1	54
CE3	楠勲	(4)	0	
CE6	平尾公彦	(5)	0	
CE9	前田松夫	(8)	2	134 135
CF2	足立裕彦	(1)	3	74 105 106
CF5	石田和弘	(1)	0	
CF6	石田義明	(5)	1	108
CF8	佐々木慎一	(12)	2	110 111
CG1	鈴木哲	(1)	0	
CH2	六田嘉明	(1)	0	
CH5	尾中証	(1)	0	
CH6	松本志郎	(5)	1	179
CH8	森永正彦	(4)	2	106 107
CJ1	尾形照彦	(1)	0	
CJ6	大沢映二	(6)	0	
CK0	櫻井実	(3)	3	47 48 49
CK1	斉藤昊	(6)	5	139 140 141 142 143
CK2	細矢治夫	(3)	1	138
CK6	高木達也	(4)	0	
CK9	伊藤礼吉	(6)	4	17 51 52 116
CL4	田中文夫	(1)	2	152 153
CL6	寺倉清之	(4)	5	80 81 82 83 84

〈コード〉	〈名 前〉	〈メンバ数〉	〈論文数〉	〈論文番号〉
CL7	志田忠正	(4)	2	62 102
CL8	山本正夫	(3)	1	24
CN1	竹中章郎	(3)	0	
CN3	石黒慎一	(4)	0	
CN5	山口豪	(3)	4	70 71 72 73
CN6	大里齊	(1)	0	
C01	後藤良宣	(4)	0	
C03	秦野甯世	(1)	0	
C05	山辺信一	(1)	10	10 11 12 13 14 19 20 21 22 23
C06	広田穰	(2)	1	50
C07	永瀬茂	(5)	10	7 117 118 119 120 121 122 123 124 125
CP0	浜田嘉昭	(3)	4	196 197 198 199
CP7	高橋憲助	(2)	0	
CP9	吉川典彦	(5)	0	
CQ2	岡本宏	(4)	1	164
CQ3	垣谷俊昭	(2)	0	
CQ4	長谷川勘一	(3)	0	
CQ6	寺田幸正	(1)	0	
CR4	岩田末廣	(8)	5	24 25 26 27 28
CR7	本多満男	(1)	0	
CS1	山口克	(4)	4	204 205 206 207
CS3	山邊時雄	(8)	6	158 159 160 161 162 163
CS5	酒井嘉子	(2)	4	192 193 194 195
CT3	東美和子	(1)	2	200 201
CT5	影本彰弘	(8)	0	
CU5	稲垣都士	(4)	3	13 19 89
CU9	後藤正文	(2)	0	
CV4	植村允勝	(1)	0	
CV6	塚田捷	(4)	0	
CV8	友田修司	(1)	0	
CW0	蒲池幹治	(1)	1	36
CW1	海津洋行	(5)	1	74
CW7	小浦延幸	(2)	0	
CX1	尾崎芳昭	(1)	0	
CX9	吉森昭夫	(2)	0	
CY6	宇野文二	(2)	0	

〈コード〉	〈名 前〉	〈メンバ数〉	〈論文数〉	〈論文番号〉
CY7	中川邦明	(1)	0	
CZ0	徳江郁雄	(2)	1	109
CZ2	加藤征三	(4)	0	
CZ4	安藤勲	(3)	3	31 32 33
DA2	堀憲次	(2)	0	
DA8	能勢修一	(8)	0	
DB0	寺阪利孝	(2)	0	
DB1	山川仁	(1)	0	
DB2	小川桂一郎	(1)	1	148
DB4	深沢義正	(3)	1	167
DB7	吉藤正明	(1)	1	117
DB9	神沼二真	(3)	0	
DC4	井上博之	(1)	0	
DC6	村上幸夫	(3)	0	
DC7	持永純一	(6)	0	
DD3	輪湖博	(1)	0	
DD6	喜多雅一	(4)	0	
DD8	湊敏	(1)	4	13 14 19 20
DE2	阿知波一雄	(6)	1	202
DE3	正村真佐雄	(1)	2	15 16
DE6	篠田裕之	(1)	0	
DE9	竹ヶ原克彦	(3)	3	113 114 115
DF1	高田慧	(2)	0	
DF2	山本陽介	(1)	0	
DF6	田隅三生	(4)	4	94 95 198 199
DF8	市川恒樹	(4)	0	
DF9	関寿	(1)	0	
DG1	矢永誠人	(2)	0	
DG2	阿部康夫	(2)	0	
DG5	柳瀬章	(3)	1	84
DG7	佐佐木行美	(4)	0	
DH0	沢木泰彦	(3)	0	
DH2	中澄博行	(2)	1	146
DH3	大野稔彦	(1)	0	
DH9	太田幸則	(2)	2	103 104
DI0	塩谷優	(2)	0	

〈コード〉	〈名 前〉	〈メンバ数〉	〈論文数〉	〈論文番号〉
DI7	G.CIOCCA	(1)	0	
DI8	円谷和雄	(5)	1	112
DI9	加藤重樹	(2)	0	
DJ1	難波徳郎	(1)	1	203
DJ2	里子允敏	(2)	0	
DJ3	角本輝充	(3)	1	139
DJ5	田浦俊明	(1)	1	165
DJ6	柴原隆志	(4)	0	
DJ7	石田俊正	(1)	0	
DJ8	御厨正博	(1)	5	75 76 77 78 79
DJ9	中沢浩	(3)	0	
DK0	浅井美博	(1)	2	85 86
DK1	高塚和夫	(1)	1	191
DK2	手木芳男	(3)	1	147
DK3	和田靖	(11)	0	
DK4	高橋博彰	(2)	3	45 46 154
DK7	菅田宏	(1)	0	
DK8	齋藤俊和	(1)	1	51
DK9	園田高明	(2)	0	
DL0	高倍昭洋	(1)	0	
DL1	作道栄一	(4)	0	
DL2	藤井恒男	(2)	0	
DL3	村田滋	(1)	2	132 133
DL4	中川幸子	(1)	0	
DL5	富永圭介	(1)	0	
DL6	市川紘	(3)	0	
DL7	荒船次郎	(4)	0	
DL8	小堤和彦	(3)	0	
DL9	五百城義和	(1)	0	
DM0	山崎巖	(6)	0	
DM1	長谷隆	(1)	2	189 190
DM2	佐藤猛	(2)	0	
DM3	野村浩康	(2)	0	
DM4	佐藤博保	(2)	0	
DM5	大久保捷敏	(3)	2	168 169
DM6	岡邦雄	(2)	0	

〈コード〉	〈名 前〉	〈メンバ数〉	〈論文数〉	〈論文番号〉
DM7	関一彦	(4)	0	
DM8	神戸宣明	(4)	0	
KA4	品川泰子	(1)	0	
KA7	寺田弘	(3)	0	
OA5	三室守	(1)	0	
QA5	竹内康博	(1)	0	
QA6	関村利朗	(6)	6	37 38 39 40 156 157

編集後記

センターレポートも出し続けてとうとう10冊目になってしまいました。毎年センターレポートの発行準備をする段となると憂鬱になると同時にまた一年が過ぎたなという思いを強く抱きます。そして原稿が揃って面倒な校正が終わると最後にこの編集後記が悩みの種になります。毎年これを書いているとだんだん書く材料が無くなっていくからです。編集後記の無いセンターレポートを一度作ってみようかなと思ったりもしますが最後はやっぱり何か書かないと落ちつかなくて10回目となりました。こんな無駄話はこれくらいにしてと．．．．

5月に生まれて初めて九州にいきました。いままで岡山より西の土を踏んだことがなかったのでたいへん感激しました。遠くに来た実感を味わえるように(?)飛行機を避けて新幹線で往復し、太宰府、有田、佐世保、長崎、雲仙と回りました。太宰府ではもう少し頭が良くなるようにお守りを買ひ、有田では本物の(高価な)焼物の数々と製作の苦勞を目にして認識を改めさせられました。佐世保では弓張岳から佐世保湾を一望し、長崎では一通りの観光地に足を運びました。しかし初めて目にした原爆資料センターの展示が重く心に焼き付いています。あとは島原の鯉、雲仙地獄の強烈な硫黄の臭いが印象的でした。雲仙から長崎への帰り、私一人しか乗っていない、夕暮れの中を走る湾岸バスからみた海の眺めが忘れられません。島鉄バス雲仙営業所の親切な女性とともに。

(伊奈 諭)

岡崎国立共同研究機構

分子科学研究所電子計算機センター・センターレポート

1989年 8月発行

No.10 (1988年 4月～1989年 3月)

編集・発行 分子科学研究所電子計算機センター

〒444 愛知県岡崎市明大寺町字西郷中38番地

電 話 <0564> 54-1111 (代表)