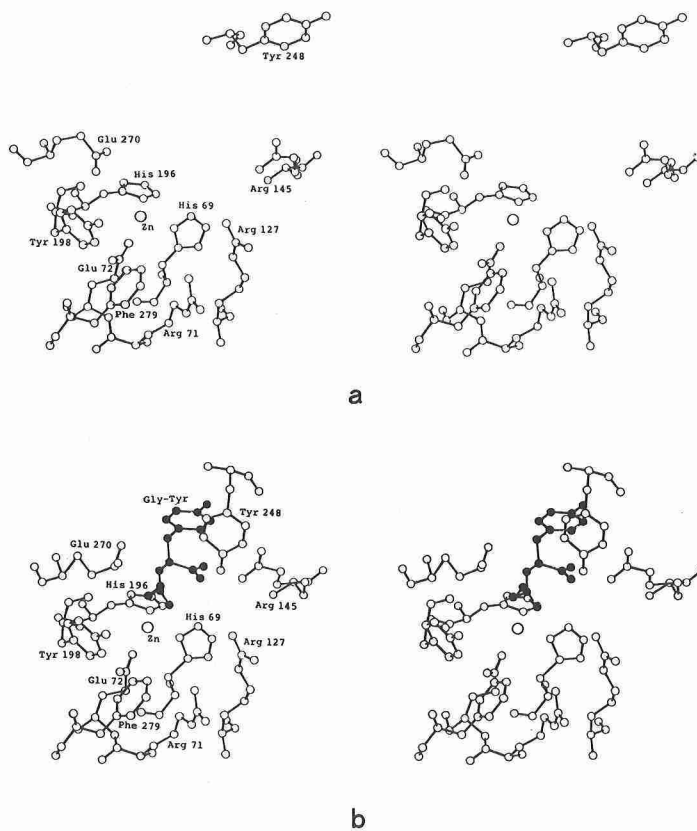


廣 報

東京大学理学部

(題字は柴田雄次名誉教授)



目 次

曜日の公式など	岩 堀 長 慶… 3	電子顕微鏡写真からの三次元像再	
銀河系プラズマの研究	海野和二郎… 5	構成 — 特に筋収縮などの生物物	
学会で発表出来ない研究	佐佐木行美… 7	理への応用 —	若 林 健 之…12
最近の核融合研究	遠 山 潤 志… 8	<学部消息>	17~19

タンパク質の分子構造と機能 II

(表紙説明)

今回も前号にひき続いて、ブルックヘブン国立研究所編集のタンパク質データバンクに収められている結晶構造データから、酵素タンパク質カルボキシペプチダーゼAの構造を立体図に描いてみた。

カルボキシペプチダーゼAは牛の膵臓から得られるタンパク質分解酵素で、分子量は34600、活性部位に亜鉛イオンを1個もち、いろいろな点で前号のサーモライシンとよく似ている(研究の歴史はカルボキシペプチダーゼのほうがはるかに古い)。

表紙のaはこの酵素の活性部位付近の構造で、亜鉛の近くにあるアミノ酸残基のうちで機能発現に関与していると考えられているものを選び出して描いてある。亜鉛の配位子としては2個のヒスチジン(His69, His196)とグルタミン酸(Glu72)、触媒作用をもつ残基としてはチロシン(Tyr248)とグルタミン酸(Glu270)、基質との結合に関係するものとしてはアルギニン(Arg145)が考えられている。残

りの残基(Arg71, Arg127, Tyr198, Phe279)は大きな基質が結合するときのサブサイトを構成するものである。bはこの酵素に基質グリシルチロシン(黒い玉で示してある)を結合させたときの構造で、Tyr248, Glu270, Arg145が動いていることがわかる。特にTyr248は約12Åも移動して基質に近づいてきており、基質の結合によるコンホメーション変化(誘導適合)の典型的な例であるとされている。

このX線結晶解析は、昨年ノーベル化学賞を受賞したW.N.Lipscombらの業績によるものであるが、これに対してB.L.Valleeらはこの酵素の活性部位の構造が水溶液中と結晶中で大きく異なっている可能性を分光学的研究によって示し、その後現在に至るまで熱い論争が続いている。非常に多くの研究がなされている酵素であるだけに、この論争のゆくえは興味深い。

(生物化学教室 田隅三生)

曜日の公式など

岩 堀 長 慶 (数学)

広報委員の鈴木秀夫先生から暦のことなどで何か書くようにと御話があった。暦については天文学教室の方々が居られるのに素人の出る幕でもないと思うので、以前、雑誌「数理科学」(昭和49年1月号、その後「広瀬秀雄編・暦」としてダイヤモンド社より単行本になった)に書いた駄文を若干変形して、暇つぶし用の話をさせて頂く。主題は次の如きものである。いま一週間の長さを現行の如く7日としないうでN日とする、そして、或る日付(例えば1977年1月1日)を第1曜日と定め、以下順に翌日を第2曜日、翌々日を第3曜日、……と定め、第N+1日からは元へ戻って循環的に再び第1曜日、第2曜日、……と定めて行く。過去の日についても(グレゴリオ暦の起点たる1582年10月15日までは)同様にして曜日の番号を定めることにする。このとき、勝手な「Y年M月D日」の曜日番号はどうなるか? それを表わす簡単な式はみつかるであろうか? — というのが問題である。

注 1582年10月15日の前日はユリウス暦の最後の日で、1582年10月4日である。ついでながら1582年は本能寺の変のあった年である。

例を若干述べよう。

- 例1. $N=7$, 普通の七曜(日, 月, 火, 水, 木, 金, 土)
- 例2. $N=10$, いわゆる十干(甲, 乙, 丙, 丁, 戊, 己, 庚, 辛, 壬, 癸)
- 例3. $N=12$ いわゆる十二支(子, 丑, 寅, 卯, 辰, 巳, 午, 未, 申, 酉, 戌, 亥)
- 例4. $N=23$, バイオリズム論(?)での身体状態(P)の変化の周期(と称されている)
- 例5. $N=28$, 同上, 感情状態(S)の変化の週期
- 例6. $N=33$, 同上, 知性状態(I)の変化の週期

例1~3では基準にとる日の曜日は慣行のものがあって統一されている。例4~6では、考察すべき人の生年月日を第1曜日にとる。(以下のP, S,

Iの状態は正弦曲線に従うものとされているようである。しかし人が体験する大小のショックによりP, S, Iがどのようにずれるかの考察をバイオリズム論では行っていないようである。)

さて、上述の問題の答はすこぶる簡単な式で与えられる。(証明は略す。上述の拙稿を参照されたい。)

Y年M月D日の曜日を第A曜日とすると、次の式が成り立つ。いまYの下2桁の数字をyとし、 $(Y-y)/100$ をCとする。(従ってC+1が世紀を表わす数である。)

$$36524C + 365y + 30M + D + \left\lfloor \frac{C}{4} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{3M-7}{5} \right\rfloor = W$$

とおく、すると $W + \text{const}$ をNで割った余りがAに等しい。

ただし記号 $\lfloor \dots \rfloor$ は……の小数以下を切り捨てた値を表わす。(例えば $\lfloor 4.58 \rfloor = 4$ の如く。) constの値は基準にとる日の曜日に応じて調整する定数値で、Y, M, Dには無関係である。もう一ついっておかねばならぬ重要なことは、1月2月はそれぞれ前年の13月14月として上の公式を用いねばならない。例えば1977年1月1日の(Y, M, D)は $Y=1976$ (従って $C=19$, $y=76$), $M=13$, $D=1$ である。

上述の公式はNの具体的な値に応じて簡約化されるのが普通である。例1~3についてはconstの値もきまるから、その簡約形を下に書いてみよう。

例1. Aは

$$\left\lfloor \frac{C}{4} \right\rfloor - 2C + y + \left\lfloor \frac{y}{4} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{26(M+1)}{10} \right\rfloor + D - 1$$

を7で割った余り(A=0, 1, 2…のときそれぞれ日, 月, 火, …)

例2. Aは

$$4C + \left\lfloor \frac{C}{4} \right\rfloor + 5y + \left\lfloor \frac{y}{4} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{3M-7}{5} \right\rfloor + D - 1$$

を10で割った余り(A=1, 2, …, 9, 0に応じてそれぞれ甲, 乙, …, 癸)

例3. Aは

$$8C + \left\lfloor \frac{C}{4} \right\rfloor + 5y + \left\lfloor \frac{y}{4} \right\rfloor + 6M + \left\lfloor \frac{3M-7}{5} \right\rfloor + D + 3$$

を12で割った余り (A=1, 2, ..., 11, 0 に応じてそれぞれ子, 丑, ..., 亥)

例4. Y₀年M₀月D₀日に生れた人のY年M月D日におけるPの値はW-W₀+1を23で割った余りである。(W₀は(Y₀, M₀, D₀)でのWの値)

上の公式がわかれば、これを一々計算しないで図表化して一ぺんに結果の早見ができる。例えば例1の図表化は次のようになる。

七 曜 表

	7	11	月	
	10 4 12	3 8	日	
	1 ① 9 6 2 ② 5			
月	A G F E D C B		1 8 15 22 29	
火	B A G F E D C		2 9 16 23 30	
水	C B A G F E D		3 10 17 24 31	
木	D C B A G F E		4 11 18 25	
金	E D C B A G F		5 12 19 26	
土	F E D C B A G		6 13 20 27	
日	G F E D C B A		7 14 21 28	
年 周期 28年	77 78 79 * ⑧ 81 82		19世紀	
	83 * ④ 85 86 87 *			
	⑧ 89 90 91 * ② 93			
	94 95 * ⑥ 97 98 99			
1900 * * * * *		20世紀		
* 1 2 3 * ④ 5				
6 7 * ⑧ 9 10 11				
* ⑫ 13 14 15 * ⑩				
17 18 19 * ⑫ 21 22		20世紀		
23 * ⑫ 25 26 27 *				
⑥ 57 58 59 * ⑥ 61				
62 63 * ④ 65 66 67				
* ⑧ 69 70 71 * 72		20世紀		
73 74 75 * ⑦ 77 78				
79 * ⑧ 81 82 83 *				

例えば1898年5月10日の曜日は、5月と10日の交叉点にあるDを求め、1898年の真上のDを左に辿って火曜日となる。(閏年○印の1月2月は月の欄の①と②を使うものとする。)

例3の図表化は次のようになる。

十二 支 表

	①	2 ②	1	月	
	3 12 10 8 6 4	11 9	7 5	日	
子	A L K J I H G F E D C B				
丑	B A L K J I H G F E D C			2 14 26	
寅	C B A L K J I H G F E D			3 15 27	
卯	D C B A L K J I H G F E			4 16 28	
辰	E D C B A L K J I H G F			5 17 29	
巳	F E D C B A L K J I H G			6 18 30	
午	G F E D C B A L K J I H			7 19 31	
未	H G F E D C B A L K J I			8 20	
申	I H G F E D C B A L K J			9 21	
酉	J I H G F E D C B A L K			10 22	
戌	K J I H G F E D C B A L			11 23	
亥	L K J I H G F E D C B A			12 24	
年 周期 19世紀	71	⑦ ⑦	⑦ ⑧	19世紀	
	73 ⑧ 78 69 83 74 81 79 70 77 75 82				
	87	② ③ ④			
	89 ⑥ 94 85 99 90 97 95 86 93 91 98				
1900			20世紀		
3 10 1 ⑧ 6 13 ④ 2 9 7 14 5					
⑫ 15 11 ⑩					
19 26 17 ⑫ 22 29 ⑫ 18 25 23 30 21					
⑫ 31 27 ②			20世紀		
35 42 33 ④ 38 45 ⑥ 34 41 39 46 37					
④ 47 43 ④			(16年周期)		

同じ要領で1948年2月1日の十二支を求めてみよう。②月と1日の交叉点にHがある。1948年の真上でHを探して、この日が辰の日であることがわかる。

付記 大安・赤口・先勝・友引・先負・仏滅といふいわゆる六輝は、周期的ではないので、上のような公式は作れない。これの決め方は旧暦を用いる。旧暦のM月D日の六輝の決め方は次の通りである。

$M+D$ を6で割った余りをRとする。 $R=0, 1, 2, \dots, 5$ に応じてそれぞれ、その日は大安、赤口、 \dots 、仏滅となる。例えば仲秋の名月の日(旧暦の8月15日)は $8+15=23$ を6で割って5余るから、仏滅となる。旧暦の月が変わるとき、六輝のジャンプが生ずるのは上のような理由による。

銀河系プラズマの研究

海野和三郎(天文)

膨張宇宙が始まって以来現在までに 10^{10} 年、銀河形成はそのごく初期の 10^6 年くらいの年令のときになされたと考えられている。以来、銀河系は宇宙膨張からとり残された形で、大局的には 10^{10} 年の時間尺度の進化の様相を示している。太陽系は銀河中心のまわりを 200km/s くらいの速度で 10^8 年くらいの周期で回転しているが、この銀河回転の速度は局部銀河群すなわちアンドロメダ星雲、大小マゼラン雲などの各銀河がもつ固有運動の速度と同程度の大きさであり、このことが宇宙乱流からの銀河形成という考えを支持している。このように、銀河系の大局的構造は宇宙進化の様相を物語るものであるといえる。また、銀河系内部の構造すなわち銀河中心核と渦巻き腕をもつ銀河円盤、その中の恒星の形成と進化、恒星による星間空間の(重元素放出)汚染、汚染物質をもとにした太陽系の形成などは宇宙物質の具体的な進化にはかならない。私たちの「銀河系プラズマの研究」はこうした背景に立って、重力プラズマとしての銀河系とその中の電離ガスとしてのプラズマの振舞いとを研究することを目的としている。

銀河系プラズマの観測的研究には大型の光学望遠鏡および大気圏外観測とが不可欠である。しかるに、わが国には大型宇宙望遠鏡がなく、したがって東京天文台を中心機関として現在直径45m鏡とこれを中心とする大型電波干渉計の建設が計画されており、全国の天文学研究者が待望久しいものとなっている

が、一日も早く建設したいものである。総合研究のメンバーにも大型宇宙電波望遠鏡の関係者が数多く含まれている。

ところで、銀河系プラズマには二つの意味がある。一つは電氣的クーロン力が粒子間に作用している電離プラズマの意味であるが、もう一つはクーロン力の代わりに重力を考える重力プラズマの意味である。重力プラズマの構成要素は恒星及び星間物質であり、陰陽の存在しない引力のみのプラズマである点の特徴である。距離の逆二乗に比例する遠隔力が作用する点では電離プラズマも重力プラズマも同じであるので、両者の間には多くの類似と相違とがある。よく知られている銀河系の渦巻き構造は回転する重力プラズマの不安定性に起因する密度波と考えられている。こうした不安定性機構を論ずる方法論と結果は多くの場合電磁プラズマの場合と対応がつく場合が多い。電磁プラズマにおける磁場と重力プラズマにおける回転とは共に弾性的な復元力を示す点で類似である。一方、引力のみの重力プラズマでは一方的に凝縮をおこすことがあり、これを阻止する機構が働かなければブラック・ホールとなって視界から消えてしまうことになる。ブラック・ホールを構成粒子とする重力プラズマを考えるのも浮世ばなれした面白いテーマかもしれない。セイファート銀河中心核やクェーサーと俗に呼ばれる稠密なガスと恒星の系にはとてつもない活動性があるから、宇宙では何事でもおこり得ることを覚悟しておく必要がある。

大まかにいうと、銀河系プラズマでは重力プラズマとしての性質が大局的な場を支配し、電離プラズマとしての性質が実際に観測される物理的な状態を支配している。この二面性と両者の間の有機的な関連が銀河系プラズマの研究を魅力的なものにしている。銀河の腕では衝撃波現象がおこり、圧縮されたガスは濃い星間雲に分裂し、星間塵を多量に含んだ分子雲から恒星の誕生が始まる。星間分子といえば、以や CH や CN などが知られているのみであったが、マイクロ波電波天文学が発達した結果 H_2 、 CO 、 OH 、 H_2O など簡単な分子からメチルアミン、エチルアルコールなどかなり複雑な分子に至る 10^2 個のオーダーの分子が発見されている。水素や炭素などの同位体を含む分子の線スペクトルも観測され、星間分子化学は今や花ざかりを迎えている。メチルアミンは一時外国でジャパニーズモレキュールと呼ばれたことがあった。これは量子力学的計算から、実験室の測定、天文学的同定に至るわが国の研究者の寄与が大きかったことよっている。GNPではないが、わが国の科学もいつの間にか実力をつけていて学際的協力が有効になってきていることの一例であろう。いたずらに境界領域の振興を叫ぶのは百害あって一利しかないが、他分野の研究をお互いよく知りあいつり入れることは大事なことである。星間分子についてはその形成機構、メーザー機構など興味深い研究テーマが多い。また、銀河中心の活動性などに対して分子線が構造や運動を決定するプローブの役割をすることの意味も大きい。そのほか、オリオン星雲は恒星誕生の場として知られているが、いくつかの著名な赤外線星やその附近は活潑な分子雲の集合である。激しい時間変動をするメーザー機構や複雑な有機化合物の存在をみると、星間雲があたかも生物であるかの如き錯覚をおぼえることがある。

ところで典型的な天体プラズマといえばカニ星雲であろうか。その中心には 10^3 年ばかり前に爆発した超新星の名残が中性子星となり、今も毎秒30回ほどの回転をするパルサーを形成している。地上では得られない超超高密度の中性子星内部は素粒子物理学、超流動物性物理などの研究対象であるが、強磁性下の量子力学の実験場でもある。30 Hzの重力波に対して理学部でも平川研でその検出が計画され、目下妖しく不可思議な話題を提供しているのは周知の事実である。30 Hzのプラズマ波はパルサー磁気圏の動力となっており、高エネルギー粒子雲が数 100 km/s で噴出し、あたりはX線をはじめシンクロトロン輻射に満ちている。

現在パルサー以上の華麗さで多くの研究者を引っ付けているのはX線星である。中でも白鳥座やヘルクレス座の著名なX線星の正体はブラック・ホールや中性子星であろうという考えが有力である。これらは連星系の伴星であって相手の主星からの質量放出を強い重力下でうけとめている。X線や光学的変光から自転や公転の軌道運動が知られるが、最近では主星の才差運動によってプラズマ流がX線星の赤道面に傘形のひずんだ円盤を形成するようなモデルまでつくられている。

以上、話題があちこちと飛んでまとまりのない結果となってしまったが、銀河系プラズマの研究対象はこのほかにも数限りない。人間の知性が宇宙を研究する能力をもっていることを知ったニュートン以来の天文学の宿命でもある。最後に、やはり、大型宇宙電波望遠鏡の早期建設を期待して、皆様の御支援をお願いして止まない次第である。原稿依頼の趣旨をまちがえて総合研究の報告のようなものを書いてしまったことをおわびする。

学会で発表出来ない研究

佐佐木 行 美 (化学)

渾水の為グリーンイングランドの名とは程遠い英国のオックスフォード、ニューコレッジで、先年8月にモリブデン討論会が催された。世界中からこの元素に興味をもつ、化学者や工業界の人達百人餘を集めた合宿同様の研究会はその間一夜の豪雨で、縁がよみがえった事件もあり、大変楽しい四日間だった。終了した日、「車を迎えにやるからお乗り下さい。」という怪電話が発端となり、幾分007的な気分で国立水理研究所を訪問するはめになった。出来たての美しい研究所での討論が終わった後、やはりモリブデンの溶液化学に興味をもつ若いT氏と妙に気が合い、一緒にテムスの上流を散歩しながらおしゃべりを楽しんだ。昔日本でも広く読まれたJerom K. Jeromeの“ボートの三人”というテムスの舟遊びを扱ったユーモア小説の舞台である事でしたらく話が弾んだ。もつとも彼によれば、あのユーモアは幾分時代遅れなので、今となっては何がおかしいのか頭をひねる難解なジョークも多いとの事だった。

晩は遂にロンドンに帰るのを諦め、彼が自分で改造した古い民家で夕食をとり、やはりモリブデンの化学をやる、T氏の同僚を加えて炉辺で殆んど夜の明ける迄、ポストコンフェレンスの会話が続き事になった。

話題は何故我々三人は化学をやるのか、又特にモリブデンを扱うかという問題に集中した。学会や論文では研究を行う動機として種々もつともらしい理由をあげているが、皆この元素をいろいろな意味で殆んど感情的に好きらしいという事に皆意見が一致した。

筆者のあげたこのモリブデンの魅力は、同じ族のクロムやタングステンに比べると、その化学反応がバラエティーに富み、生じる化合物の構造も多様で華やかな中に何か気まぐれな点がある事であった。その点タングステンは教条主義的で鈍重、空想力に

欠けゲルマン的な暗さがあるが、モリブデンは軽くてラテン的な味がある。この最後の発言は失敗で、北ドイツ出身のK氏からゲルマン的とは何かという点で、長々と反論される事になったが、化学者のあるタイプは元素や化合物を擬人化して感じているという点では皆同意見だった。

ではテーマの選択は恋愛と同じだろうかT氏が言ったのに対し他の二人は何でもやれば面白くなるか、社会的要求をあげたが、話すうち次第に皆、特定の物質や反応に“異常な愛情”をもつ化学者の実例を思い出して来た。水銀にコンプレックスを持つと称して何時でも机の上にそのガラス瓶を置いて銀色の表面を眺めているハンガリーの分析化学者。自宅の台所で種々の色のコバルト錯体を合成している退職教授。又ヒ素の話が好きで、口頭試験の時、無関係な質問にも学生がヒ素にひっかけて答えると気嫌のよい老先生等滑稽な例にことかかない。

K氏によると、この所謂“趣味の問題”は、各化学者の深層意識に支配されている物である。たとえば、有名なルーマニアの某氏は幼時に何か輪に関する心理的な傷を受け、(指輪でも壊したんじゃないか?)それをいやす為に無機環状化合物に関する膨大な研究を行ったに違いない。又研究や実験が、かくれた欲望の昇華行為である事を示す例はいくらかもある……。一杯気嫌の彼の話はなかなか説得力があったが、三人とも心理学は読みかじっただけなので、アニメとかトラウマとか知ったかぶりの用語を使って、夢では水や池は性を意味するなら同じ様な意味をもつ化合物もあるのだろうか、いや分子の夢なんか見た事がないといった素人の議論に終わってしまった。

このテーマは発展して、学生に適した研究課題を選ぶ際に我々は無意識に一種の心理分析をやっているのではないだろうか。又適性を見出すのに分析心理学が使えようかという議論になった。ユング

の様に多くの単語をあげ、学生がどの様に反応するかを呼吸の変動でしらべるのはどうかという提案もあったが、未知の物質名では何の感動も無いだろうし、おそらく反応があるのは、アルコールと青酸カリ位だろうという反論が有力だった。

最後の結論は学生を幾つかのタイプに分けてそれぞれに適したテーマを考える事は可能ではないかという事であった。

鉱物の結晶格子の様に無限の三次元パターンに魅力を感じる人間。環を好む者。中心に金属原子の様に核がありその周りはやわらかい分子(金属錯体)を好む者。有機分子の様にどこといて核のない分子を好むタイプ。上記の様に幾何学的にしっかりした構造を持たず、巨大でぐにゃぐにゃした生

体分子、プロテイン等を好ましいと感じるタイプ。不変の明瞭な構造を好む科学者。変化爆発にしか興味のない者。ここまであげた時に三人とも酔眼もうろうとして来て、これ等のタイプの判別法については次の会合に議って散会する事になった。

T氏は大いにハッスルして、バシュラーの化学哲学とユンクの中世錬金術の分析心理学的研究を読破したら、又集まろうと気炎を上げて居たが、それも一夜の夢だったらしく、其後何の連絡もない。

帰国した筆者に又学生にテーマを選ぶ季節がめぐって来たが、あの晩あれ程よい考えだと思った薄気味の悪い質問で学生諸君を悩ます気にはもうなれないのは少々残念である。

最近の核融合研究

遠山潤志 (物理)

昨年10月6日~13日、西独Berchtesgadenに於て、IAEA主催第6回プラズマ物理と制御核融合研究国際会議が開かれた。BerchtesgadenはMünchenの東南東約180kmにある山岳保養地である。ババリア・アルプスの麓に位置し、周囲をWatzmann, Hoher Göllなどの山々に囲まれ、南にKönigsseeという高原湖を従え、大変すばらしい場所で、会議の合間に近くの山に登ると、会議などどうでもいいという気分させられる。この会議は3年に1度の割合で開かれていたが、核融合研究のスピードアップに伴い、1974年の前回東京会議以降2年に1度と開催間隔が短縮された。今回は30ヶ国、405人が参加し、日本からも39名が出席した。世界最大のトカマクであるアメリカのPLT(Princeton Large Torus)、ソ連のT-10(写真参照)が稼働開始後初めての国際会議で、それらの実験データの発表が最大のトピックスであった。PLTは主半径:1.3m、プラズマ断面の半径:40cm、T-10は主半径:1.5m、プラズマ断面の半径:37cm

である。両装置とも稼働後間もないので、所期の目標値までいっていないが、トロイダル磁場:35kG、プラズマ電流:400kA、放電時間:約1秒の運転でエネルギー閉じ込め時間:40~60msecの結果を出し、装置を大きくすれば、閉じ込め時間がのびるということを示し、まずまずの成果と思われる。

トカマクが核融合炉実現に一番近い位置に現在あるので、焦点をこれに絞って、会議後訪れたいくつかの研究所を紹介する。西独の核融合研究のセンターは、München郊外のGarchingにあるMax-Planck-Institut für Plasmaphysikで、Pulsator Iというトカマクがディスラプティブ不安定に関する面白いデータを出している。またWendelstein VII Aというステラレータではトカマク運転も行い、ステラレータの方が優れていると主張している。非円形断面トカマクASDEX(Axially Symmetric Divertor Experiment)のトロイダルコイルが据付け中であった(写真参照)。Aachenに近いKernforschungsanlage Jülich

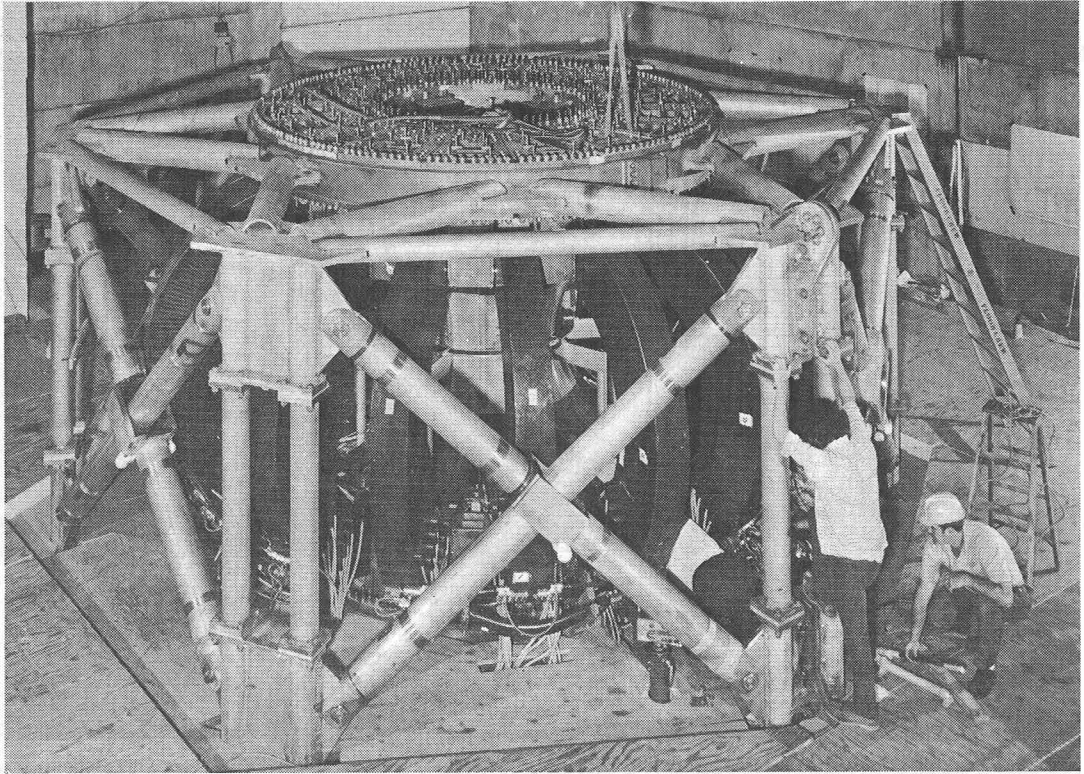


写真1 PLT (Princeton Large Torus)

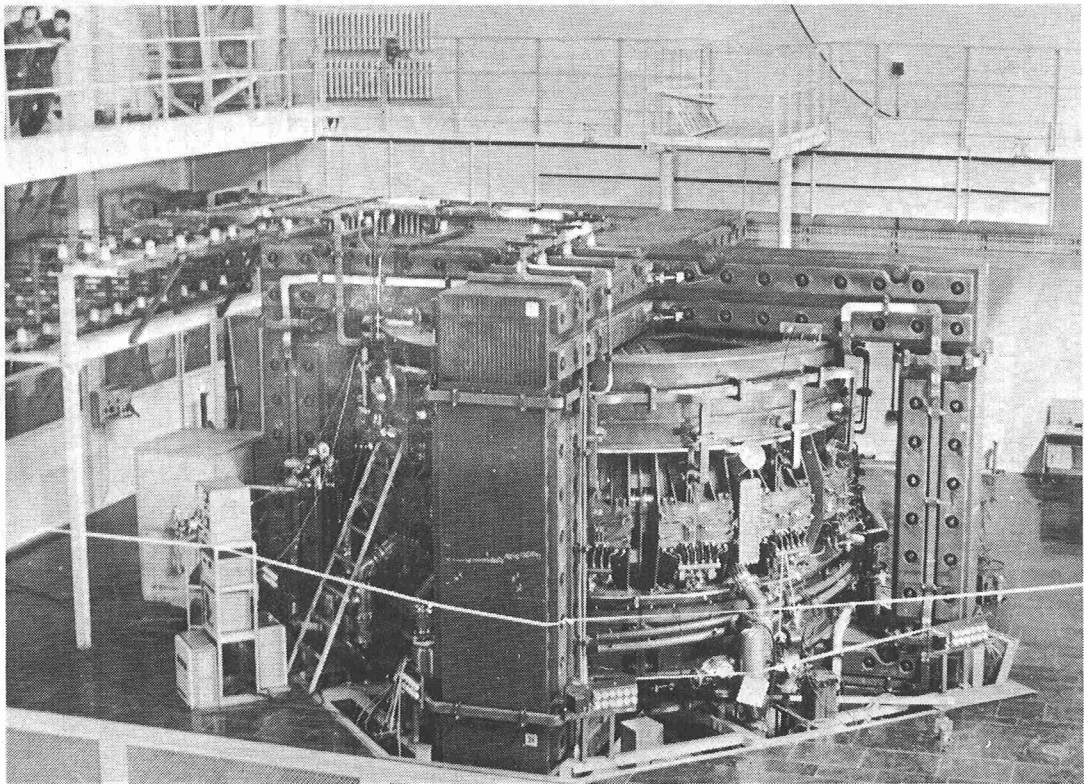


写真2 T-10 (ソ連)

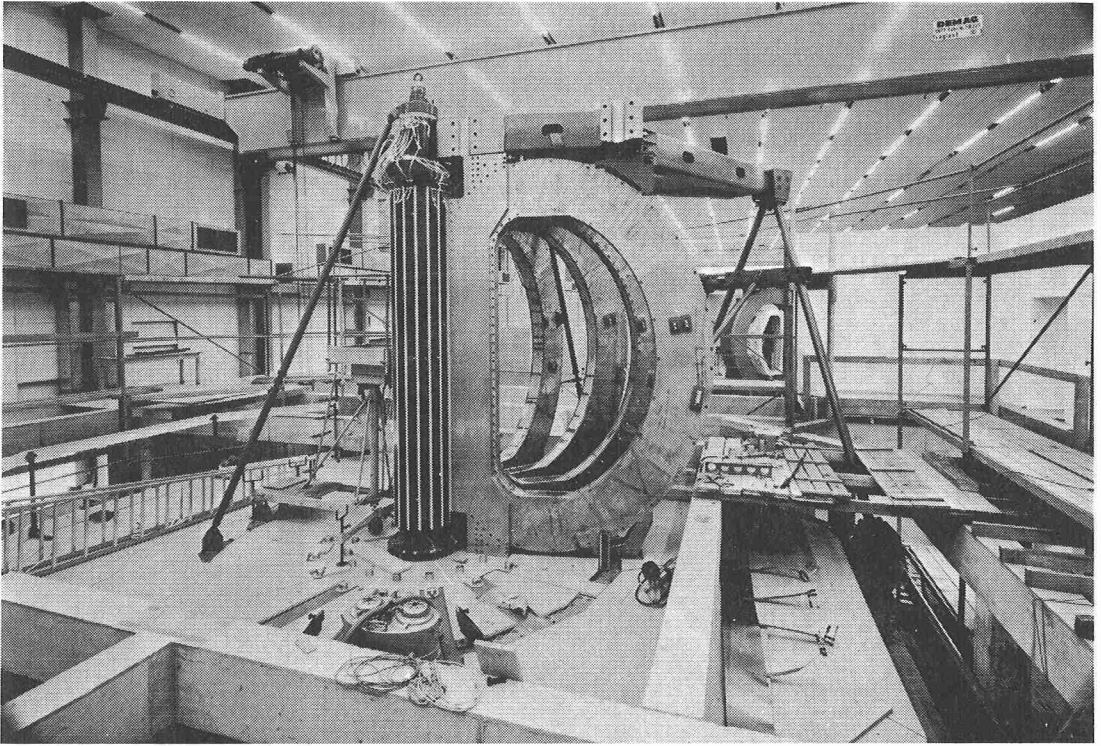


写真3 ASDEX (独) のトロイダルコイル

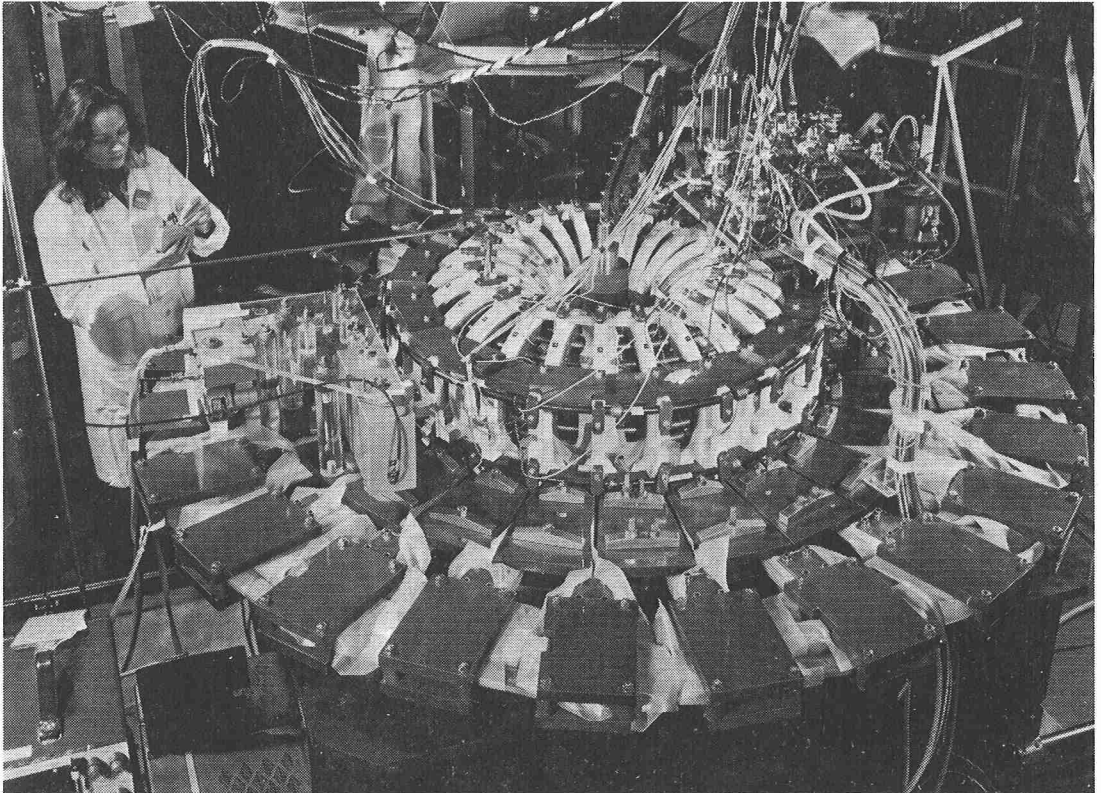


写真4 TOSCA (英)

では Plasma-Wall Interaction を調べるトカマクの計画を出している。フランスではバリ郊外の Fontenay-aux-Roses にあるトカマク TFR がよい成果をあげたが、改造の為解体中である。ここでは TFR に続く Torus II の proposal を出している。EC では JET (Joint European Torus) を建設しようとし、1975年に最終計画案を作りあげたが、設置場所について閣僚理事会における合意が成立せず、未だ建設に着手されていない。この為、英、独、仏夫々の国内の proposal も中途半端の状態におかれている。冬季オリンピックの行われた Grenoble にフランスのもう一つのセンターがある。Petula 及び Wega という装置により高周波加熱の実験が行われている。イギリスでは Culham 研究所に DITE, Cleo, Levitron, TOSCA (写真参照) 等種々なトラスがある。IAEA 会議で DITE (Divertor Injection Tokamak Experiment) がダイバータ効果の有効性を示す実験データを発表し、注目を浴びた。

アメリカの Princeton では吉川庄一さん、岡林典男さんをはじめ多くの日本人が活躍している。ST, FM-1, ATC は解体され、先述の PLT のみ動いている。現在研究所内で、非円形断面トカマク PDX (Poloidal Divertor Experiment) の真空容器、ポロイダルコイル等が製造されている。MIT は Alcator により、強磁場、高密度の運転を行い、(閉じ込め時間) × (密度) の記録を出した。テネシーにあるオークリッジ国立研究所は ORMAK を使い、360 kW 中性粒子入射を行い、イオン温度を3倍弱上げるのに成功した。ただし、電子温度がなぜ上らないかが今後の問題であろう。

San Diego の General Atomic では大河千弘さん、玉野輝男さんの Doublet II A が稼働中である。非円形断面の有効性を示すことが実験の目標で、現在、更に大きい Doublet III を建設中である。

このような欧米の状況の中で日本の核融合研究を考えてみる。吉川庄一さんの努力により原研が約1千億円をかけ、JT-60 (主半径: 3 m, 従半径: 95 cm のトカマク) を1981年を目標に建設しようとしている。これはソ連の T-20, Princeton の TFR (Tokamak Fusion Test Reactor),

EC の JET と並ぶ大型トカマクである。しかも T-20 の建設時期が少し後であるのと、JET は先述のようにもたもたしているため、世界的にみて大事なプロジェクトである。あらゆる努力をして JT-60 を成功させねばならないが、最大の問題点は組織にある。日本の核融合の分野では Big Project をやるトレーニングがされていない。Princeton の PLT は当初設計の 50 kG の実験ができず、70% の 35 kG に現在留まり、その他、真空排気系、ポロイダルコイルのフィーダー等トラブルが続出している。PLT の2倍以上も大きい装置を今までの実績からみるとジャンプのありすぎる状態で作るのだからかなり慎重になる必要がある。アメリカと違って装置製作を完全にメーカーに頼らざるを得ない日本では、現在やろうとしている方式 — 原子力5社の技術水準を均等にあげる為、製作を5社で分担する — ではうまくまとまらない。一つに絞るべきである。

大学の役割は人材養成にあるが、これにも問題がある。大学の物理実験で何をすべきか — 必ずしも核融合と結びつかない、いわゆる基礎実験をやれという立場と核融合を志向した実験をやれという立場があるが、大きな装置が判る為には、ある程度以上大きな実験装置の経験が必要である。では現実どんなテーマがあるだろうか。Oak Ridge の理論グループが FCT (Flux Conserving Tokamak) を TNS (The Next Step: TFR の次にやる実験という意味) にすべきだと主張している。急速に強力な中性粒子入射を行い高ベータトカマクを作る提案で必然的にプラズマ断面は非円形 — “D型” になる。我々はトロイダル磁場 4.4 kG, 主半径: 40 cm, プラズマ断面: 20 cm × 56 cm の非円形断面トカマクを理一号館内につくり、次のような実験結果を今回の IAEA 会議に報告した。①整形磁場により、D型断面のプラズマが得られた。②プラズマ電流は円形断面に比べ増し、MHD の性質は円形断面と同じであった。ただし、トロイダル磁場が弱いため、非円形断面が高ベータ化に有利かどうかのテストは難しいと思われる。以上の状況から、トロイダル磁場: 30~50 kG, 主半径: 40 cm, プラズマ断面: 20 cm × 60 cm の非円形断面トカマクを理学部、工学部共

同で東大に作り、電子サイクロトロン共鳴追加熱により、非円形断面と高ベータの関係を調べることを提案する。

MITはAlcatorで高密度実験をしてマイルストンの役割を果たした。しかもアメリカで重点に

金を投下した所ではなく、University-tokamakである。JT-60の保険という意味でそれに要する費用の数を東大非円形断面トカマクに投じて悪くないのではなからうか。

電子顕微鏡写真からの三次元像再構成

— 特に筋収縮などの生物物理への応用 —

若林健之 (物理)

生物における運動 — 例えば筋肉収縮、細菌の遊走、原形質流動、細胞分裂など — の分子レベルでの機序の理解の為に電子顕微鏡による構造解析が果たした役割は大きく、蛋白質などの生体高分子の構造を高い分解能で観察でき、その大きさ・概形そして他の蛋白質分子との相互作用の様式などを明らかにしてきた。特に最近の進歩として電子顕微鏡写真から蛋白質分子の三次元像を再構成する方法の確立があり、電子顕微鏡法を更に強力なものとした。

これまで、蛋白質分子のグロスな形の知見は沈降・拡散・粘度、流動複屈折、光散乱、X線小角散乱、偏光解消などから得られ、分子内部のミクロな又はローカルな構造を知るには旋光分散・円二色性、紫外・可視・赤外吸収スペクトル、ESR、NMR、蛍光などが活用されてきたが、PerutzやKendrewらがX線結晶解析法を用いて蛋白質の分子構造を解き、構造と機能の理解を飛躍的に高めたのも、それが蛋白質分子の三次元像を高い分解能で総体として明らかに出来たためであろう。

しかしX線結晶解析法は蛋白質分子を結晶化し、通常二つ以上の同型置換体を得なければならないという制約をもつ。単純な酵素蛋白質は結晶化しやすいが、複合酵素や分子集合体を作って機能するようにデザインされた蛋白質(筋肉の収縮をもたらすフィラメントを構成するアクチンやミオシン、細菌性鞭毛を構成するフラジェリン、バクテリオファージのコート蛋白質など)は良い結晶が得られていない例が多い。

電子顕微鏡像からの三次元像再構成法はX線結晶

解析法のこのような弱点を克服するものとして、蛋白質のX線結晶解析法の発祥の地、分子生物学研究所(ケンブリッジ)でKlugを中心として提起され実用段階に入った研究法である。

X線結晶解析法は蛋白質分子の構造を約1Åの分解能で明らかにできたが、電子顕微鏡写真ではそれほど良い分解能は得られず、装置自体の限界は約2Åであり、蛋白質分子像は試料作製の困難もあり、負染色法により10~30Åの分解能が得られ、グルコース包埋法により7Åの分解能に達している。これは蛋白質分子中の α -ヘリクスの確認に十分な分解能である。

しかし生物試料のコントラストは非常に低く電顕像の画像情報としての信号/雑音比は低く、電子計算機で画像を処理し信号/雑音比を向上させて後はじめて蛋白質分子像を高い分解能で観察できる。

三次元像再構成法は複数種の蛋白質の相互作用の様式を三次元的に直接観察できるので、生物物理・生化学的研究にとって貴重な知見を与えるものであるが、試料作製・電子顕微鏡法・画像情報処理の三つの技術を駆使する必要があり装置の制約もあるため、現在の所、外国では分子生物学研究所(ケンブリッジ)、ロックフェラー大(ニューヨーク)、ピオツェントルム(バーゼル)などで三次元再構成に成功しているにすぎないが、これからこの研究法は広く用いられるであろう。

これまで三次元像再構成法により分子構造が15~30Å程度の分解能で明らかにされた例としてはT₄

ファージの尾部, タバコモザイクウイルス, ヘモシアニン, 筋肉の細いフィラメント, クロマトイド体, 種々の球状ウイルスなどがあり, 細菌の紫膜を構成するバクテリオロドプシンについてはグルコース包埋法を用いて7 Åの分解能が得られている。

これらの例はすべて何らかの対称性を持ち正三角二十面体対称性 (icosahedral symmetry) をもつ球状ウイルス, 二次元結晶格子対称性をもつ紫膜の他はすべてラセン対称性をもつ。ラセン対称性をもったものが成功例に多いのは, 試料を一方向から見た電顕像が三次元情報を十分含んでいる場合が多いからであり, 正三角二十面体対称性の場合には二つの独立な方向からの電顕像が要り, 二次元結晶格子の場合は試料を種々の角度に傾斜させて得た電顕像の画像情報を集積してはじめて三次元情報が揃うので, より困難な仕事となる。

私達が研究している筋肉の細いフィラメントはCaイオンによる筋収縮制御の場であり, アクチン(分子量4.2万), トロポミオシン(分子量7.0万), トロポニン(分子量8.0万)が7モル:1モル:1モルの割合で集合した(細胞内では細いフィラメント1本は46個のトロポニン分子を含む)ラセン対称性をもった分子集合体であり, 電顕像から15 Åの分解能で三次元像を再構成できる。私達は筋収縮制御の際に細いフィラメントに生じている三次元的構造変化を探る目的で細いフィラメントの収縮可能な状態(活性状態)を代表するアクチン-トロポミオシン複合体(図1(a))と収縮できない状態(阻害状態)を代表するアクチン-トロポミオシン-トロポニンT-トロポニンI複合体(図1(b))の三次元像を再構成した。

球状に囲んだ領域はアクチン分子, 紐状に囲んだ部分はトロポミオシン分子の一部である。活性状態ではアクチンとトロポミオシンの結合がゆるいが, 阻害状態では著明に緊密となっている。

図2はアクチンとトロポミオシン(白丸は活性状態, 黒丸は阻害状態, 大きい丸は平均フーリエ法により求めた夫々の状態の位置)の相対的位置をフィラメントの上方から鳥瞰したもので阻害状態ではトロポミオシンは約10 Åだけアクチン分子の方へシフトしていることを示す。

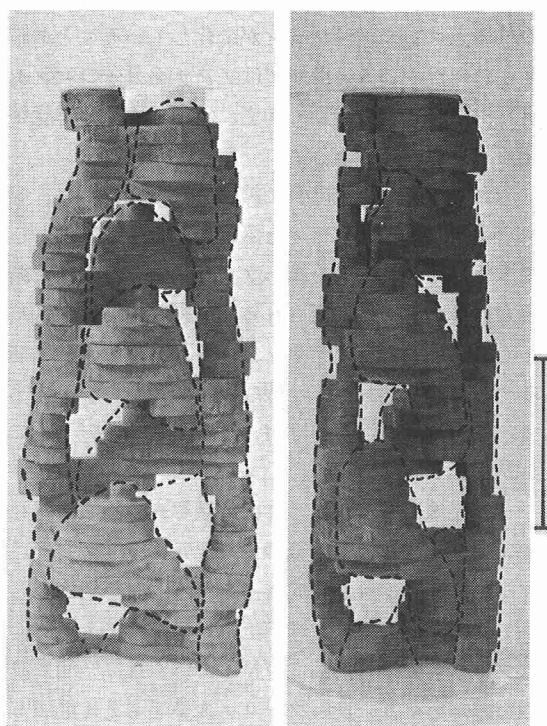


図1 筋肉の細いフィラメントの活性状態(a)と阻害状態(b)の三次元像 (分解能15 Å, 右のスケールは50 Å)

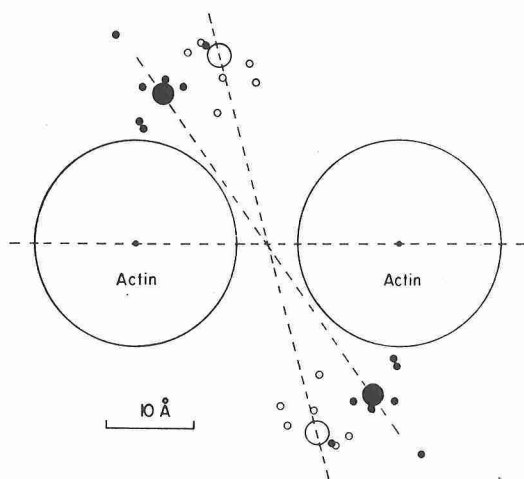


図2 筋肉の細いフィラメントにおけるアクチンとトロポミオシン(白丸は活性状態, 黒丸は阻害状態)の鳥瞰図

こうして収縮阻害が生ずる際トロポミオシン分子の位置とコンホメーションが変化していることが確認されたが、 15\AA 分解能ではアクチン分子のコンホメーション変化は識別できず、現在 10\AA の分解能を得るべく努力している。

これらの知見と筋肉のX線回折像の知見から、トロポミオシンがアクチンと緊密に結合する結果として太いフィラメントと細いフィラメントの安定な結合が立体障害的に邪魔されるために収縮阻害をもたらされるとする「ステリック・ブロック仮説」が筋収縮制御の分子レベルの機序の作業仮説として提唱され検討されている。(cf. Nature(1975) Vol. 256, 543-544)

三次元像再構成のためには電顕写真の画像情報をデジタル化し大型計算機で二次元フーリエ変換、フーリエ・ベッセル合成などを行う。計算機によるフーリエ変換の前に、光回折計を用いてアナログ的にフーリエ変換し、画像の持っている最高空間周波数を確かめたり、良いフーリエ変換を与える電顕写真を迅速に選択する。

画像のデジタル化には自動二次元マイクロデンシトメーターを用い、数万～数十万点での光学密度を測り、デジタル化された画像情報を一旦磁気テープに貯え、大型計算機に入力する。このようなデンシトメーターは約五千万円で市販されているが、私達はこれを科研費一般研究(B)、特定研究の援助を受け、物理教室の回路室・金工室の協力の下に約2年がかりで製作した。計算のためのプログラムはFORTRAN語で約四千行であり、計算の中間結果の保存のために6メガバイトのファイル領域を利用し、計算は多くのステップでの中間結果をチェックしながら進めるので、電話回線を用いた公衆網TSSの利用により研究室と大型計算機センターを結びつけて能率を上げている。

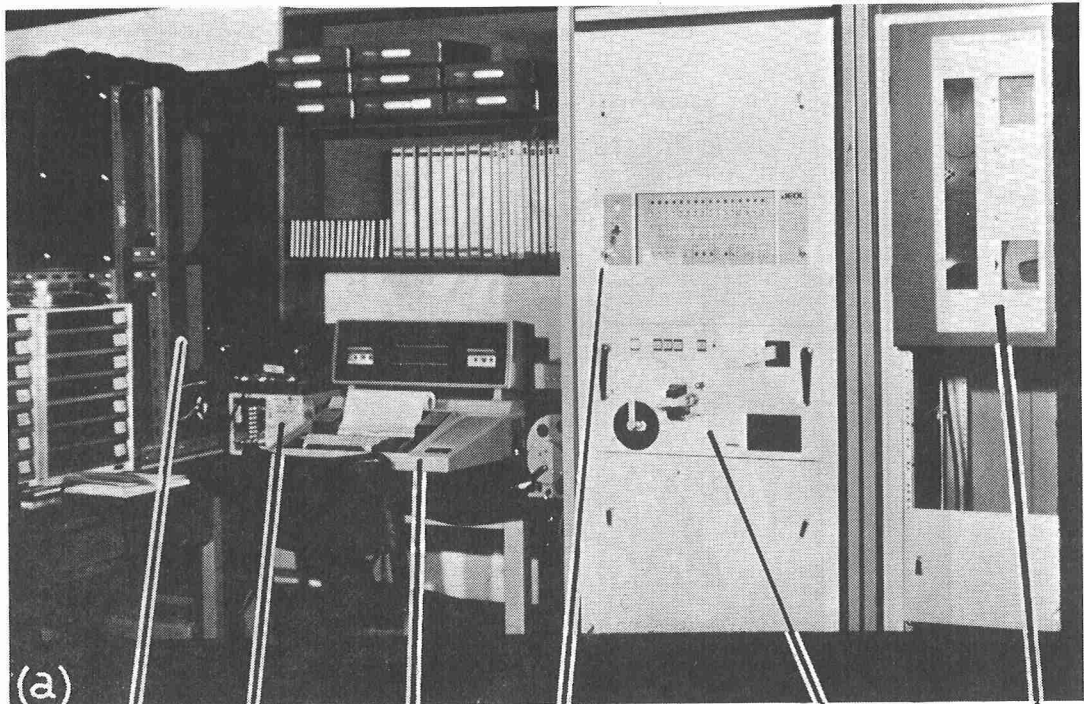
こうして作り上げたささやかな画像解析システム(図3)を用いて、大学院生の白木原康雄君と私は細菌が遊走するのに使っている鞭毛の構造解析を飯野教授(植物)が分離された直線型鞭毛について行い、 20\AA の分解能で三次元像を再構成するのに成功した(図4)。得られた三次元像は期待以上のもので、鞭毛を構成する蛋白フラジリンは分子集合体

に組み込まれると二つの異なる形をとることが直接的に証明され、分子間には極めて著明な相互作用があることも示された。現在は 12\AA 分解能のフーリエ合成の作業が進行している。

これ以上電顕写真の分解能を高めることは市販の電子顕微鏡をそのまま用いるのでは難しいので大学院生の窪田道典君と私は二次元電子増倍板(micro-channel plate)を電子顕微鏡の鏡筒中で用いて試料への電子照射量の最少化する研究を進めており、これを用いて筋肉の細いフィラメントや細菌性鞭毛の構造を 10\AA より良い分解能で明らかにすることを目指している。

三次元再構成法は電子顕微鏡写真をその出発点としており、そこに生ずる可能性のあるアーテファクトについて慎重に考慮すべきで、電顕写真のフーリエ変換とX線回折像との類似性に着目し、同一試料について電顕観察とX線回折法とを並行して行うことが重要であり、これまでも筋肉の細いフィラメント、タバコモザイクウイルス、紫膜などでは両方法のデータを比較しつつ研究がなされ、得られた三次元像の解釈をより容易で安全なものにしてきている。X線回折像は試料のフーリエ変換の強度を与えるが位相角は与えない。一方電顕写真のフーリエ変換はその両方を与えるので、フーリエ解析を基軸とした三次元像再構成法とX線回折法を組み合わせることは魅力があり、特にシンクロトロン放射(SOR; Synchrotron orbital radiation)によるX線は平行性のよい強力なX線源であり、収縮しつつある筋肉の筋フィラメントの小角への回折像を 10 msec の時間分解能で記録でき、時間分解能のほとんどない電子顕微鏡法の弱点を補うことができる。現在ドイツ・シンクロトロン(DESY)を用いた研究が欧州分子生物研究所(EMBL)で始められているが、一日も早い日本のフォトン・ファクトリー計画の実現を私達は待っている。

先に電子顕微鏡法における試料への電子照射量最少化についてふれたが、それは生物試料が電子照射により傷害を受けるためである。電子で物を見ようとする場合、試料が電子によって傷害を受けるのならば、一旦試料に当たった電子からは最大限の情報を絞り取るべきであり、このような目的に合った電子



(a)

DENSITOMETER

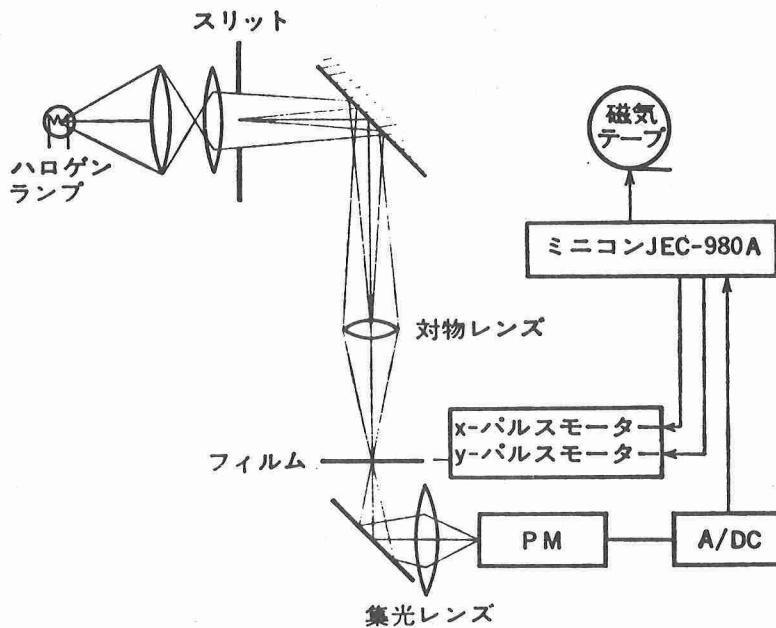
PULSE MOTOR DRIVER

MINI-COMPUTER

KEY BOARD PRINTER/CASSETTE MT

PAPER TAPE PUNCHER/READER

MAGNETIC TAPE DRIVE



(b)

図3 画像解析システム全景(a)とデンストメーターのブロック図(b)

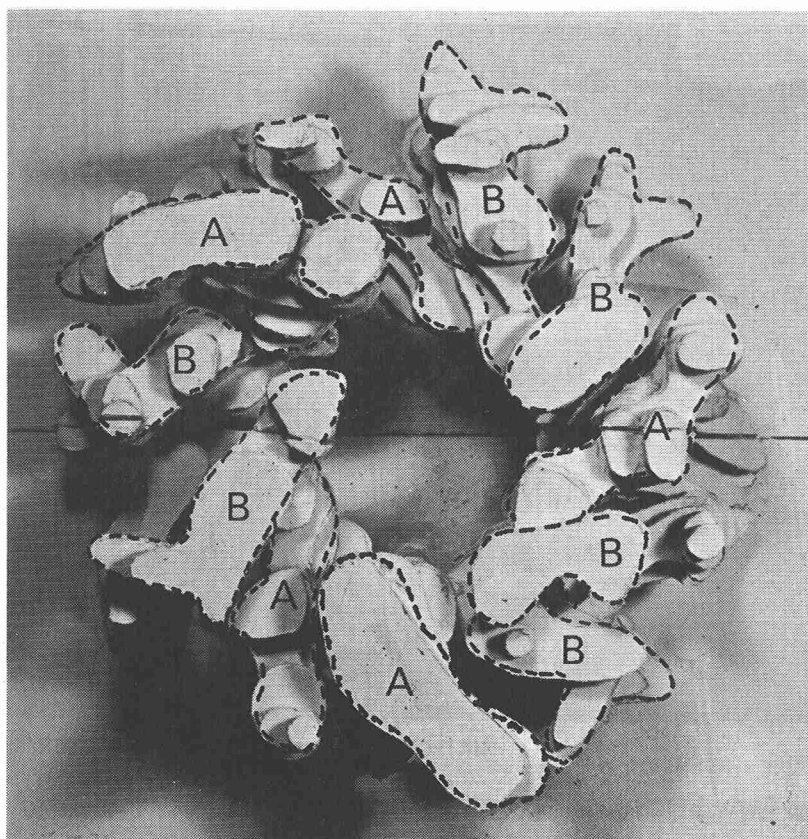


図4 サルモネラ菌 (*Salmonella typhimurium*) の鞭毛の三次元像 (分解能 20 \AA , 右のスケールは 50 \AA) の鳥瞰図。点線でフラジェリン分子を囲んである。A, B 2つのコンフォメーションがある。

顕微鏡として透過型走査電子顕微鏡 (STEM; scanning transmission electron microscope) がある。

STEMはCrewe (シカゴ大) らによって開発された電子顕微鏡で冷電界放射電子銃を用い、電子ビームを 3 \AA 以下に絞って試料に当て、弾性散乱と非弾性散乱を散乱角の差によって分別し、非弾性散乱した際のエネルギー損失を測定することにより散乱を起させた原子の核種を区別できる。これらの特色は生物試料の低いコントラストを向上させる上にも有用である上、画像情報を写真フィルムを媒介とせず直接に得ることができる点でも三次元像再構成法にマッチした型の電子顕微鏡と云える。一億円近くするとはいえ、日本の大学では一台も稼動していないのは残念なことであり、様々な可能性を秘めたこの電子顕微鏡と三次元像再構成法の結合による新たな飛躍を期したい。

医学部から数年前に物理教室へ移って来た時、私達はいくつかの期待を持っていたが、特に物理の方々の発想法、研究方法や実験技術を「門前の小僧…」式に習うこともその一つであった。

実際、私達が自動マイクロデンストメーターを自ら組み立てる際にミニコンピューターによるオンライン制御の手法を学ぶことにより、比較的容易に高性能で信頼性のある装置を極めて安価に作る事が出来たのは、物理教室という環境のお蔭にほかならない。私達はこれからも生体における運動の分子レベルでの機序をとことんまで理解することを目指して研究する中で、ある場合は電子シンクロトロンのお世話になり、電子と生物試料との相互作用を考えたり、分子遺伝学の力を借りたりする必要に迫られることになるかと存じますが、どうぞこれからも宜しくお願い致します。

(1977.1.3)

<学部消息>

教授会メモ

11月理学部会合日誌

11月17日(水)定例教授会

化学新館講堂

11月8日(月)	理学系	15.00~15.30	1. 前回議事録の承認
" 10日(水)	教官懇談会	14.00~16.00	2. 人事移動等報告
" 11日(木)	教務委員会	13.30~15.30	3. 日本学術振興会奨励研究員の受入れについて
" 12日(金)	定例学生大会	13.00~17.00	4. 教務委員会報告(寺山)
" 16日(火)	名誉教授懇談会	18.00~20.00	
" 17日(水)	教授会	13.30~15.00	
" 24日 "	外国人学生の会	16.30~18.30	
" 25日(木)	会計委員会	13.30~15.30	

12月15日(水)定例教授会

化学新館講堂

1. 前回議事録の承認
2. 人事移動等報告
3. 人事委員会報告(野田)
4. 教務委員会報告(寺山)
5. 会計委員会報告(田村)

12月理学部会合日誌

12月7日(火)	主任会議	12.00~13.00
" 8日(水)	人事委員会	10.30~11.10
" " "	教務委員会	13.30~15.30
" 13日(月)	理学系	15.00~16.20
" 15日(水)	教授会	13.30~17.00

人事異動

[助手]

教室	官職	氏名	発令年月日	異動内容	備考
物理	助手	金田行雄	51.11.16	名古屋大学助手工学部へ転任	
物理	助手	神部勉	51.11.16	東京大学助手理学部へ配置換	宇航研より
化学	助手	西郷和彦	51.11.16	埼玉大学講師昇任	工学部
物理	助手	塚田捷	51.12.1	分子科学研究所助教授昇任	
物理	助手	久保謙一	51.11.1	休職	
物理	助手	永宮正治	51.11.2	休職	
物理	助手	永山国昭	51.11.24	休職	
鉱物	助手	小沢徹	51.12.1	復職	
人類		宝来聡	51.12.1	助手へ採用	

[講師以上]

教室	官職	氏名	発令年月日	異動内容	備考
情報科学	教授	米田信夫	51.11.6	文部教官教育職(-1)等級(東京大学教授理学部)へ採用する	

外国人客員研究員

教室	国籍	氏名	現職	研究期間
化学	フランス	VERGOTEN Gerard	Laboratoire de Physique U. E. R. de Pharmacie Maitre-assistant	51.12.15~52. 3.15

海外渡航者

所属	官職	氏名	渡航先国	渡航期間	渡航目的
化学	教授	向山光昭	ドイツ連邦共和国	10. 4~11. 9	有機合成化学の研究
地質	"	木村敏雄	大韓民国	10. 4~10.15	韓国地質学における講演および地質見学旅行
情報	"	後藤英一	ドイツ連邦共和国 連合王国	10.11~10.25	IFIP(国際情報処理学連盟)総会出席及び研究連絡
地理	"	吉川虎雄	ニュージーランド	10.16~10.28	ニュージーランドの第四紀地殻変動調査
地球	"	竹内均	オーストラリア ニュージーランド	10.19~11. 4	環境における総合調査のため
地質	"	久城育夫	アメリカ合衆国	10.22~11.27	岩石学の研究
物理	"	有馬朗人	オランダ イスラエル	10.27~11.13	原子核物理における新しい発展についてのシンポジウム出席及び研究連絡
情報	助教授	国井利泰	アメリカ合衆国	10. 8~10.31	第2回ソフトウェア工学国際会議出席及びデータ・ベースの研究技術調査
地理	"	鈴木秀夫	オーストラリア ニュージーランド	10.19~11. 4	環境における総合調査のため
物理	講師	遠山潤志	ドイツ連邦共和国	10. 2~11.15	第6回プラズマ物理及び制御核融合研究国際会議出席並びにプラズマ物理学の研究
物理	"	三須明	アメリカ合衆国	10.21 ~52. 1.15	グラファイトの光学的および磁気光学的性質の圧力依存性の研究
人類	助手	丹野正	ザイール ケニア	10. 1 ~52. 2. 26	赤道アフリカ森林地域におけるエソノサイエンスと生態人類学の研究
地理	"	米倉伸之	ニュージーランド	10.16~11.21	ニュージーランドの第四紀地殻変動調査
物理	教授	和田昭允	ドイツ連邦共和国 オランダ 連合王国 アメリカ合衆国	11. 6~11.26	酵素工学の現状の調査及び研究打合せ
化学	"	不破敬一郎	アメリカ合衆国	11.14~12. 3	分析分光連合第三年会・第9回国際分光会議・第6回国際原子分光会議出席並びに標準物質の微量元素分析法の検討と標価に関する共同研究実施
物理	"	山崎敏光	アメリカ合衆国 カナダ	11.19~12. 9	中間子による原子核・物性の研究
化学	"	斉藤信房	アメリカ合衆国	11.28~12. 5	標準物質の微量元素分析法の検討と標価に関する共同研究実施

所属	官職	氏名	渡航先国	渡航期間	渡航目的
物理	助手	今里 純	アメリカ合衆国 カナダ	11.15～12. 5	中間子による原子核・物性の研究
植物	教授	下郡山 正己	インド	12.19～12.29	第1回顕花植物の生殖生理に関する国際シンポジウム出席及び研究連絡
人類	助教授	尾本 恵市	オーストラリア シンガポール マレーシア	12. 7～12.26	蛋白多型からみた太平洋地域人類集団の遺伝的多様の研究実施
情報	"	国井 利泰	アメリカ合衆国	12.18～ 1.20	ソフトウェア工学の将来に関する研究会出席及び研究連絡

佐々木, 小林研初優勝

全理学部バレーボール大会終わる

第5回事務長杯争奪全理学部バレーボール大会は51年10月4日から、大会史上最高43チーム258人が参加して始まった。研究室対抗戦の性格を持っているため毎試合観客、選手、応援団が一体となった熱戦が繰り広げられた。決勝戦は11月22日午後3時から1号館中庭コートで佐々木, 小林研(物理)とブラックホール(物理)の間で行なわれた。ブラックホールは一丸先生の奮闘で1セットを取り優勢になったかに見えたが、佐々木, 小林研も粘り強く、1時間半に及ぶ熱闘の末2対1で佐々木, 小林研が勝ち初優勝を遂げた。

そのあと閉会式が行なわれ、事務長より同チームに優勝杯と副賞ビール2ダースが手渡された。3位はゴールドブレンズ(化学)。4位はポツリヌスA(物理)であった。そのほか、通常とは逆に女子5人に男子1人を入れたカトチャンズはベスト8に入る大活躍を見せ、特別賞を受けた。

第6回大会からは理職組が、最優秀選手を特に表彰するとのことなのでこの大会も一層発展し、学生、

教職員の健康の増進と交流に大いに寄与するだろうと思われる。



編集：

木下 清一郎(動物)	内線 3361
鈴木 秀夫(地理)	内線 3288
田 隅 一生(生化)	内線 7372