

《研究紹介》

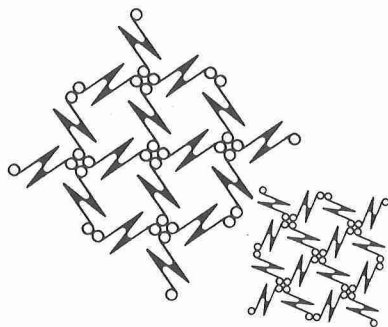
リーマン面のモジュライ空間、 数学のいろいろな分野の出会いの場所

森田 茂之 (数学科)
morita@ms.u-tokyo.ac.jp

リーマン面とは、その名が示す通りリーマンが導入した概念であり、一変数の多価解析関数が“真に定義されている場所”を表わすものである。幾何学的には、複素平面を切ったり貼ったりしてできる曲面のことといえる。一方ふつう曲面というと、空間の中におかれた滑らかな曲面が連想され、それらは本来の意味でのリーマン面とは関係がなさそうである。ところが、実はそのような任意の曲面にはリーマン面の構造が一意的に入ることが知られている。今流に言えば、リーマン面とは1次元複素多様体のことであり、曲面とは2次元の(実)多様体のことである。したがって上記のことを大ざっぱに表わすと、複素1次元の幾何学 \equiv 実2次元の幾何学、と書けることになる。より正確には、コンパクトリーマン面 \equiv 非特異代数曲線 \equiv 定曲率曲面という等式が成り立つわけだが、このようなことは高次元では全く見られない現象である。さてリーマン面のモジュライ空間とは、そのようなリーマン面(ただし種数は固定する)を全て集めてできる空間のことであり、驚くほど豊かな構造を持つ空間である。他の自然科学と同じように、現代数学も多くの専門分野に細分化されているのであるが、リーマン面のモジュライ空間はそのような状況を超越して、ほとんど全ての数学の分野と本質的な関わりを持っている。最近

はよく知られているように、弦理論が展開される場所として数理物理学でも重要な役割を演じている。

私がこの空間と出会ったのは、もう15年近く前になる。それ以来ずっとトポロジーの立場からこの空間を研究して来た。リーマン面のモジュライ空間は、もともとは代数幾何学あるいは複素解析学と呼ばれる分野の研究対象であり、何十年にもわたって多くの研究成果が得られて来ている。トポロジーの立場からの研究は、ごく最近になって始まった全く新しい観点からのものであるが、古典的な手法による研究と互いに補い合う関係にあり、異なる分野の間の理想的な交流が実現することになった。この空間は調べれば調べるほど分からないことが多くなり、まだまだ神秘的なヴェールをまとったまともいえる。それでも最近、何人かの研究者による、ホッジ理論と呼ばれる代数幾何学の手法を用いた研究と、トポロジーの立場からの研究がうまく組み合わさって、新しい知見を得ることができた。そしてその延長上には、いくつかの分野にまたがる思いがけない問題が登場してきた。遠い将来のことになるかも知れないが、代数幾何学とトポロジーに加えて、整数論を交えた三つの輪によるある大団円を夢想する日々を過ごしている。



言葉と計算機

辻井潤一 (情報科学専攻)

tsujii@is.s.u.-tokyo.ac.jp

インターネットの普及による情報の氾濫は、その利便性と同時に情報公害という負の側面も持っている。雑多な情報をたれ流すだけでなく、個別な情報の相互関係を構造化し、自分の興味と関連のある情報をそれらの相互関係まで含めて教えてくれるシステムの必要性を感じている人は多いであろう。

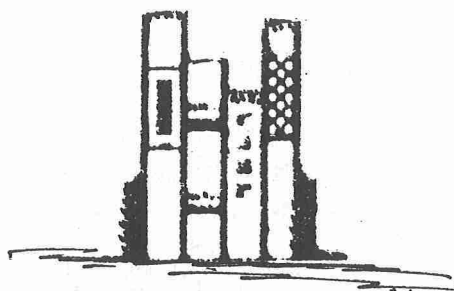
このような情報相互間の関係、情報の構造ともっとも密接に関連するのが、言葉による情報である。画像、音声、グラフィックスといった情報メディアが、マルチメディアの時代として一時期もてはやされたが、これらのメディア情報を解釈し、構造化する機能を持つメディアは、言葉以外にはありえない。情報氾濫の負の側面を解消する第一歩は、ネットワーク中に膨大に流通するテキストを何らかの形で組織化することである。

この種の研究は、究極のところ、人間と同じように言葉（テキスト）を解釈・理解する人工のシステムをつくることになる。人間とおなじような知的能力を持った人工システムを作ること、80年代の科学技術のキーワードの一つとなった人工知能、認知科学の研究となる。ただ壮大な目的を持った人工知能、認知科学は、具体的な研究の方法論が確立せず、足踏みの状態が続いている。

我々の研究室では、人間の知と人工物の知との類似性を性急に結び付けることはせず、計算機科学のもとで発展してきた計算論的な手法を徹底し、これを言葉を処理する人工システムの構成に適用すること、すなわち、言語の計算論的な取り扱いに徹底することを目的に、研究を進めている。

この立場は、理論言語学から得られた知見をそのまま鵜のみにしてシステム化するのではなく、計算・処理の観点からそれらを再構成する研究となる。理論言語学が、人間の外的な言語行動の記述を中心にするのに対して、そのような外的な行動をひき起こす処理の理論を構築すること、その理論を現在の計算機科学の到達点から行なうことを目指す。このような計算機科学からのアプローチが、理論言語学の提案するモデルの単なるコピーではない、Non-Trivialな計算のモデルに到達したとき、心理学・大脳生理学といった人間の内的処理に関する学問領域との交流が有効なものとなる。すなわち、認知科学、人工知能の目指した、学際的な研究が可能となる。

研究室では、このような基本方針のもとに、短期的なターゲットとしては、情報氾濫を解消する知的情報検索システムのための要素技術の研究を行なっている。



ガモフテラー巨大共鳴クエンチング現象の決着

酒井 英 行 (物理学専攻)

sakai@phys.s.u-tokyo.ac.jp

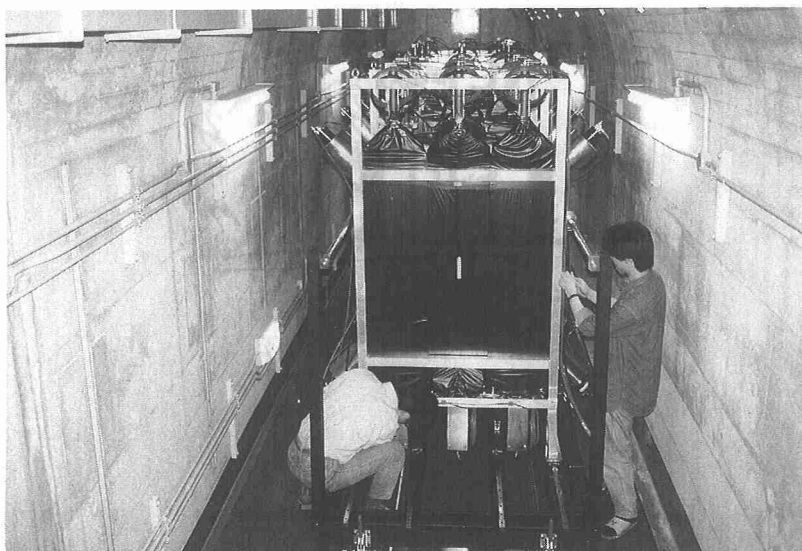
岡 村 弘 之 (素粒子物理国際研究センター)

原子核の特徴的な集団運動に巨大共鳴がある。陽子と中性子が空間的に逆位相で振動する双極型巨大共鳴は約半世紀ほど前から知られていたが、スピンの振動する巨大共鳴は(ガモフテラー型とよばれている)、1980年代になって米国インディアナ大学で発見された。発見が遅れたのは、実験的に難しい(p,n)反応の中性子を精密に測定しなければならなかったからである。このガモフテラー巨大共鳴は、10MeV程度の励起エネルギーに現れるが、その大きさ(遷移強度)を足し合わせると、ある極限の「和則値」になることが理論的に池田らによって1960年代に予言されていた。

そこでインディアナ大学の実験から強度の和が求められたが、理論的に予測される和則値の半分程度しか得られなかった。これは「クエンチング現象」と呼ばれ多くの議論を引き起こした。量子力学的には、強度が消えてなくなることはないで、どこかより高い励起エネルギーへ移っているはずである。その当時、主に二つのモデルが理論的に提案された。第一は、核子以外の自由度(デルタ粒子)の寄与によるものであり、ガモフテラー巨大共鳴の強度が300MeVというとても高く励起エネルギーの高いデルタ粒子状態に移動するというモデルだ。第二は、1粒子1空孔という簡単な構造を持つガモフテラー状態が、より複雑な2粒子2空孔状態と混合して、比較的励起エネルギーの低い50MeV程度までの領域に分散しているというものである。前者は、クオークのスピン反転振動に対応するようなものであることから、多くの人の興味を引いた。その一方で後者は、有馬朗人(前東大総長)らによって強く主張されていたが、テンソル相互作用によるものであり、当時は世界の中では少

数派であった。このクエンチング現象は、それ以来、理論と実験の両面で多くの研究がなされたが、決定的なこととは言えずに解決されないまま現在に至っていた。

我々は、全国共同利用施設である大阪大学核物理研究センターに中性子実験施設を建設し、従来は測定の難しかった高速中性子を、その偏極度まで含めて精度よく高い効率で測定できる検出器(NPOL2)を開発、設置した。最近この装置を使い、偏極陽子ビームによる⁹⁰Zr(p,n)反応の測定を行った。実験ではバックグラウンドの少ないスペクトルが得られ、励起エネルギー50MeVまで多重極展開法を使って、ガモフテラー遷移強度を高精度で求めることができた。その結果は、上に述べた「クエンチング」機構に決定的な結論を与えるものであった。すなわち、和則値のほぼ114%にあたる遷移強度が見つかったのである。これには、実験的に分離出来ない荷電ベクトル型スピン単極巨大共鳴の寄与が含まれているので、それを理論的モデル計算により差し引くと、最終的に和則値のほぼ100%に近い強度が得られた。この実験結果は、ガモフテラー強度が、クオークのスピン反転状態の様な高励起状態へ移っているのではなく、有馬らが主張していたテンソル力により「クエンチング」が起こっていることを示している。そして、ここ10年来の懸案であったクエンチング現象をめぐる議論に実験的決着をつけることができた。またこの現象は、核内パイ中間子場とも深く関係していることから、その波及効果も大きいと考えられ、今後の研究の一層の進展が期待される。尚、この研究は大学院生の若狭智嗣君を中心に進められた。



酒井研究室で開発した高感度中性子偏極度計(NPOL2)を正面から写したものである。大きさ1m×1m×0.1mの二次元位置感知型中性子検出器が1m間隔で6台設置されている。高速中性子は手前側から入射する。上記の実験では、この装置が使われた。若狭智嗣君(右)と野中敬正君(左)が調整作業を行っている。

金属－絶縁体転移近傍の強相関電子系

藤 森 淳 (物理学専攻)

fujimori@phys.s.u-tokyo.ac.jp

固体内電子の電子間クーロン反発に起因する強く相関した運動（電子相関）の問題は、磁気相転移、磁氣的ゆらぎ、金属－絶縁体転移、伝導電子の有効質量繰り込み、高温超伝導など多彩な現象を引き起こしており、その解明は現代の物性物理学の大きな目標のひとつとなっている。特に、金属－絶縁体近傍では電子相関の効果が顕著になり、バンド理論をはじめとする平均場理論的な描像や、弱い相互作用に対して有効な摂動論的取扱いが破綻するために、新しい物理的概念の構築が求められている。我々は、光電子分光という実験的な手段を用いて金属－絶縁体近傍に位置する強相関物質における電子状態の研究を、近年系統的に行っている。

金属－絶縁体転移をはじめとする相転移現象を引き起こすには、何らかのパラメータ（伝導帯のバンド幅、伝導電子数、温度、圧力など）を系統的に変化させる必要がある。そして臨界点に向かって異常を示す物性量（比熱、帯磁率、電気抵抗、電荷圧縮率など）を測定することによって、電子系の臨界的な振舞いを調べる。これらの物性量は伝導電子の有効質量に比例し、金属側から臨界点に向かって発散すると理論的に予言されてきている。我々は光電子分光により伝導電子の有効質量を調べる方法をいくつか提案した。ひとつは、スペクトル強度分布をフェルミ液体論とスペクトル強度の総和則に基づいて解析する方法であり、もうひとつは、フェルミ準位のシフトから電荷圧縮率を求める方法である。前者は主にバンド幅制御系（遷移金属酸化物 $\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x\text{VO}_3$ など）

における金属－絶縁体転移近傍の質量繰り込みの研究に、後者は電子数制御系（高温超伝導体 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ など）における質量繰り込みの研究に用いられ、次のような意外な結果を得た。（１）バンド幅制御による金属－絶縁体転移では、金属側から臨界点に向かって有効質量が発散する傾向を見せない。（２）バンド幅制御による金属－絶縁体転移の絶縁体側で、バンド端電子の有効質量がバンド理論に比べて発散的に大きくなっている。（３）電子数制御による２次元系の金属－絶縁体転移の金属側では、電荷圧縮率から求めた有効質量と比熱から求めた有効質量が大きく異なった臨界的振舞いを示す。（１）から（３）のいずれも強相関電子系の物理の根幹に関わる問題である。とくに（３）の結果は、１次元電子系で破綻していることが知られているフェルミ液体描像が、２次元電子系でも臨界点近傍で破綻していることを示しており、高温超伝導体について提唱されているいろいろな新超伝導メカニズムに関連しても興味深い。

光電子分光は上記のように他の物性測定と相補的な新しい情報を与えるために、電子相関効果、転移近傍の臨界現象の理解を深めるのに重要な役割を果たす。光電子分光を用いた研究をさらに系統的に発展させていく必要がある。その場合、測定精度の向上（高分解能化、低温化）、対象物質の拡大とともに、新しい物質（例えばバンド幅制御で転移点を横切れる物質系、など）の開発も強く望まれるし、理論家との連携、他の実験家とのコミュニケーションも不可欠である。

不規則銀河の進化

嶋 作 一 大 (天文学専攻)

shimasaku@astron.s.u-tokyo.ac.jp

晴れた日に郊外に出て夜空を見上げると、天の川が白い帯のように空を横切っているのがわかる。よく知られているように、太陽系は銀河系という星の大集団に属しており、天の川はその銀河系を真横から見た姿である。銀河系のような星の集団は銀河と呼ばれるが、宇宙空間には銀河が無数に存在していることがわかっている。もし我々が銀河系の外に出て周囲を見回すと、目にうつる

天体はほとんどすべて銀河のはずである。その意味で、銀河は宇宙を構成する基本的な天体といえる。

銀河がどのようにして生まれ、どう進化してきたかは、天文学の最大の関心事であると同時に、最大の未解決問題の一つである。この問題へはさまざまなアプローチがあるが、一つは銀河における星形成の歴史をまず明らかにすることである。銀河はもともとはガスの塊だったは

ずであり、時間とともにガスから星が生まれてゆく。銀河でいつどれだけの星が生まれたか—星形成史—を明らかにすることは、銀河進化を解き明かすきっかけとして特に有効かつ基本的な第一歩である。

銀河は楕円銀河、渦巻銀河、不規則銀河の3種類に大別される。このうち楕円銀河と渦巻銀河の星形成史についてはある程度理解が進んでいるが、不規則銀河についてはこれまで何もわかっていないに等しかった。不規則銀河は光度自体は他の2種の銀河より概して暗いが、数の上では他を圧倒しており、銀河進化を解き明かす上で鍵となっている種類の銀河である。

我々は、この不規則銀河の星形成史を、現在見られる不規則銀河のスペクトル（実際に使用したデータは広帯

域での色）とガスの量から推定することに成功した。スペクトルの形からは、どんな年齢の星がどんな比率で存在するかの手がかりが得られる。ガスの量からは、もとのガスのうち現在までに何割が星になったかが推定できる。解析の結果、不規則銀河は、これまでの大方の理解とは異なり、約50-100億年前に最初の星形成を始め—すなわち誕生し—、その後は渦巻銀河と同様の効率でガスから星を作ってきたことがわかった。現在の宇宙年齢は約100-200億年なので、不規則銀河の年齢は宇宙年齢の半分程度しかないということになる。一方で、楕円銀河と渦巻銀河の年齢は宇宙年齢に近いと考えられている。なぜ不規則銀河が遅れて誕生したのか、その理由を明らかにすることが今後の課題である。

最も重い二重結合化合物ジビスマテンの合成

岡崎 廉治 (化学専攻)
okazaki@chem.s.u-tokyo.ac.jp

代表的な有機化合物であるオレフィン、アゾ化合物、ケトンなどの14-16族元素を含む二重結合を持つ化合物は、安定であり古くから多数の研究が行われている。それに対し、第3周期以降の元素（大きい原子番号を持つという意味でしばしば重い元素と呼ばれる）により構成される二重結合化合物は、著しく不安定となり合成が困難となるため、それらの化合物の研究は大幅に立ち遅れていた。しかし近年、かさ高い置換基で高反応性の二重結合を立体的に保護し安定化するという手法を用いて、いくつかの重い元素の二重結合化合物が合成できるようになってきた。我々の研究室においては、独自に開発したかさ高い立体保護基（2,4,6-トリス[ビス(トリメチルシリル)メチル]フェニル基、以下Tbt基と略記）を用いて、すでに14族-16族二重結合化合物(重いケトン)をいくつか安定に合成・単離することに成功している。最近このTbt基による立体保護を活用して、安定元素中最も原子番号の大きい元素(最も重い元素)であるビスマス間に二重結合をもつ化合物ジビスマテン Tbt-Bi=Bi-Tbt が合成できた。ジビスマテンは、濃紫色結晶で酸素、水のない条件下では極めて安定である。X線結晶構造解析の結果、2つのビスマス間の距離は2.823 Åであり、

通常の2つのビスマス間の単結合距離より約6%短く、二重結合性をもつことがわかった。また、Bi-Bi-Cの角度はTbt基のような極めて大きな置換基がついているにもかかわらず79.6°と著しく小さい。この事実は、第6周期の二重結合化合物ではその二重結合が sp^2 混成軌道でなく、ほぼ純粋の6p軌道から成るという理論的予測を実証したものである。

また、このジビスマテンの結晶を空気にさらすと酸素と反応し2日程で酸素とビスマスが交互に位置する4員環化合物(ジオキサジビスマタン)に変化する。大変興味深いことに、この反応は完全に単結晶相を保持したまま起る。すなわち、ジビスマテンの単結晶がそのままジオキサジビスマタンの単結晶になる。これは単結晶相を保持して起る分子間反応のはじめての例である。通常は反応が起ると結晶形が変わり、結晶が壊れるが、我々の化合物の場合はTbt基が極めて大きいためビスマス周辺の変化が結晶全体に大きな乱れを生じなかったため、このような大変珍しい現象が観測できたのであろう。

本研究は第6周期の元素でさえ二重結合化合物が安定に存在しうることを実証した点で意義深いと考えている。

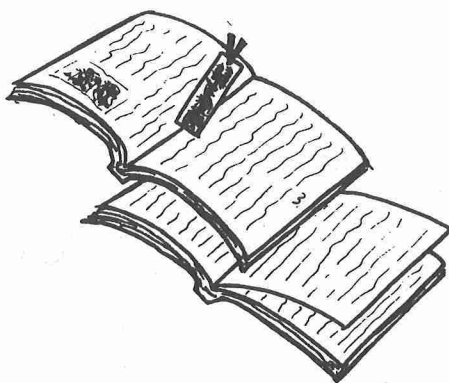
S x I 蛋白質の RNA 結合ドメインの高次構造解析

武藤 裕 (生物化学専攻)

muto@putaro.biochem.s.u-tokyo.ac.jp

ショウジョウバエの性決定に関与する Sxl 蛋白質は、通常よく知られる RNA binding domain (RBD) をタンデムに二つもつ RNA 結合蛋白質であり、tra 遺伝子の pre-mRNA のオールタナティブスプライシングを調節し、ショウジョウバエの性決定を行なっている。RBD ドメインは、RNP1, RNP2 と呼ばれる共通配列によって代表されるドメイン構造であるが、この二つの RBD (RBD1-RBD2) のうち RBD1 は、この共通配列とのホモロジーが低い。現在まで X 線結晶解析や NMR などで構造解析がなされた RBD は、すべてこの共通配列を保存しているものであった。そこでわれわれは、Sxl 蛋白質のタンデムに繋がった 2 つの RBD 分子の高次構造を NMR 法によって明らかにした。RBD1 の構造解析のために溶解度をあげた変異体を作成し NMR 法による構造解析をおこなった。この結果 RBD1 の高

次構造は、RBD2 と類似しており、四本の β ストランドによって構成される逆平行 β シート構造を二本の α ヘリックスが裏打ちしている構造をとることがわかった。しかし、アミノ酸構成をみると RBD1 は、従来から知られている RBD とは、異なるいくつかの特徴をもつ。一般に RBD は、RNP1, RNP2 と呼ばれる共通配列 (それぞれ 3 番目と 1 番目の β ストランドに対応する) を持ち、RBD2 は、この特徴を備えているのに対して、RBD1 は、RNP1, RNP2 にあたる部分の保存が悪い。とくに RNA 分子との認識に重要であると考えられる RNP2 の芳香族アミノ酸が Ile 残基に置換している。また、一般に RBD では、2 番目と 3 番目の β ストランドをつなぐループ部分に荷電を持ったアミノ酸がよく現れるのに対して、RBD1 では、この部分が芳香族アミノ酸に富んでいることが明らかとなった。



染色体の端に共生するもの

藤原 晴彦 (生物科学専攻)

haruh@uts2.s.u-tokyo.ac.jp

通常、真核細胞の染色体は直鎖状のDNAからなる。直鎖状DNAの末端はふつうの複製酵素では複製できないため、細胞分裂のたびに短くなってゆく運命にある。テロメラーゼは、このような染色体末端(テロメア)の減少に歯止めをかける特殊な酵素で、自らに含まれるRNAを鋳型として末端にDNAを付加する(図-A)。ヒトでは、この酵素は生殖細胞やガン細胞以外では発現しておらず、我々は親から受けついで十分に長い染色体の端を年老うごとに“かじるように”生きている。おおげさに言えば、テロメラーゼのおかげで多くの高等生物は子孫に不足なく遺伝情報を伝えることができる。

しかし、昆虫の一部にはテロメラーゼがないと目される種が存在する。たとえばショウジョウバエでは世代を越えて染色体が端から消失していく。ではなぜハエは種として存続しうるのか? このような昆虫では、染色体がある程度短くなると特殊なレトロトランスポゾン(以下レトロポゾン)が染色体末端に転移してことなきを得ているらしい(図-B)。つまり、レトロポゾンが常に染色体の端を形成し、その消失と転移の平衡によって染色体が維持されている。レトロポゾンは、自らのコード

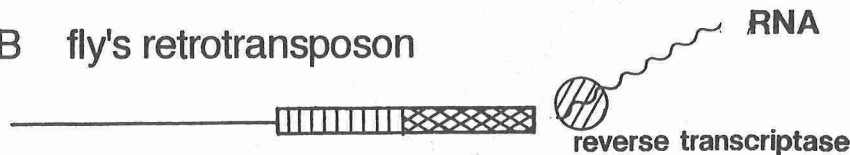
する逆転写酵素を利用して宿主ゲノム内を飛び回る利己的な転移因子のひとつであるが、この場合は宿主のために犠牲的に働いている。

他の昆虫、カイコでは染色体の端にテロメラーゼの合成する特徴的な反復配列があるが、その配列中に一群のレトロポゾン(TRAS)が数多く挿入されている(図-C)。TRASが宿主のテロメアの機能に寄与しているかどうかはまだ不明であるが、テロメラーゼが働かないような危急の際に機能している可能性が考えられる。このレトロポゾンは染色体末端の配列のみを標的にしている点できわめて特異である。つまりTRASはテロメア配列にのみ転移が可能な転移因子と考えられる。このような部位特異的レトロポゾンにとっては、テロメラーゼによって常に挿入部位が供給される染色体末端は安住の地かもしれない。テロメラーゼと昆虫の上記の2種類のレトロポゾンは、すべてテロメアを標的とし、また逆転写活性をもつ。いずれの場合も、テロメアはRNAからDNAへと複製が向かう特殊な場所といえる。ある種のレトロウィルスもしくはレトロポゾンが共生した結果、染色体DNAは環状から線状へと進化できたのだろうか?

A telomeric repeat



B fly's retrotransposon



C TRAS

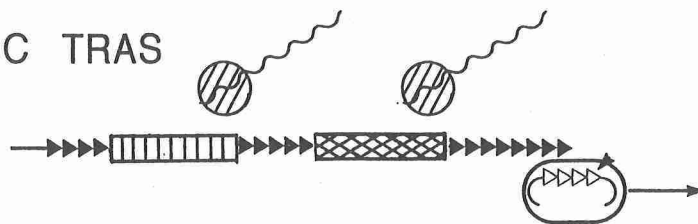


図 染色体末端(テロメア)の種々の構造

▶テロメア反復配列   レトロトランスポゾン

右端がそれぞれ染色体の端となるモデル

クラミドモナスのアクチン欠失変異株

広野 雅文 (生物科学専攻)

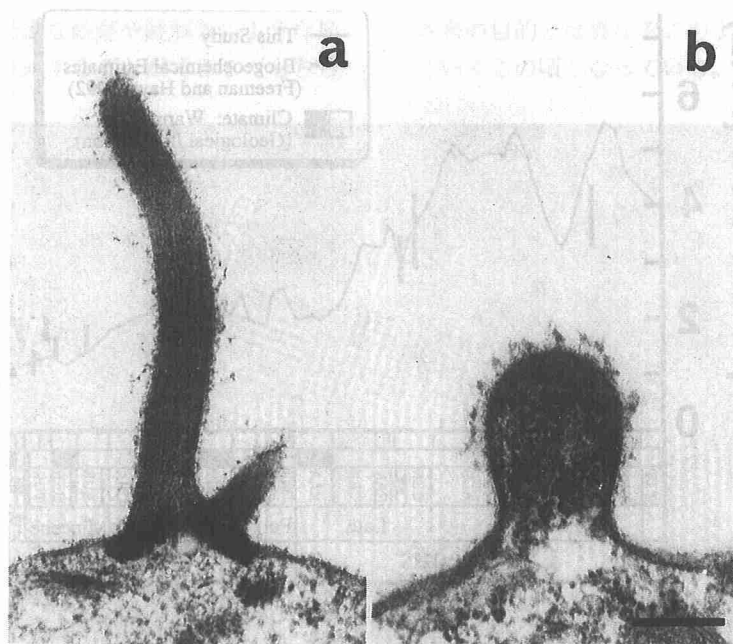
hirono@uts2.s.u-tokyo.ac.jp

筋肉の構成蛋白質として知られるアクチンは、筋細胞だけでなくすべての真核生物の細胞に存在し、細胞運動、細胞質分裂などできわめて重要な役割を担っている。したがってアクチンを持たない細胞は生存できないと考えられ、この蛋白質を完全に欠失した突然変異体は、生物の種類を問わず、これまで単離されたことはなかった。ところが緑藻類のクラミドモナスで、通常のアクチンを完全に欠失している変異株 (ida5) が単離された。

クラミドモナスは2本の鞭毛を使って遊泳する単細胞生物である。当研究室ではこの鞭毛運動の分子機構を研究するために、運動の原動力を発生している一群の蛋白質複合体 (ダイニンと呼ばれる) 欠失変異株を多数単離している。ida5 もそれら変異株の1つである。野生株の複数のダイニンにはアクチンがサブユニットとして結合しているが、ida5 に存在するダイニンにはアクチンの代わりにそれに似た別の蛋白質が結合していた。そこで遺伝子を調べたところ、ida5 はアクチン遺伝子が大きく欠失し、mRNA を全く発現していないことが判明した。この生物には通常のアクチン遺伝子は1つしかな

いので、細胞内には少なくとも一般的なアクチンは全く存在しないと考えられる。抗体による検定もこの考えを支持している。

アクチンを欠損している細胞は様々な機能異常を示すことが期待されるが、意外なことに ida5 の増殖は正常であった。細胞質分裂も正常に行われていることが観察された。しかし、有性生殖に際しては、配偶子から伸長する接合管 (アクチン繊維束を中心に含む構造) が異常になり (図参照)、そのために接合効率が著しく低下していることがわかった。このことは、重合して接合管を形成できるようなアクチンが存在しないことを示唆している。細胞質分裂が正常であるのは、もともとクラミドモナスの細胞質分裂にはアクチンが関与していないか、あるいはこの変異株では普通のアクチンに代わる蛋白質が働いているかのどちらかの理由によるものであろう。後者だとするとどのような蛋白質が機能しているのだろうか。我々は ida5 の内腕ダイニンに結合している新蛋白質がその有力候補と考えて、現在その遺伝子の単離を試みている。



図の説明

a : 野生型クラミドモナスの接合管の電子顕微鏡像。縦方向にアクチン繊維が走っている。

b : アクチン欠損変異株 (ida5) の接合管。中には顆粒状のものがつまっており、アクチン繊維は見えない。bar は0.3 μ m。

物質循環と地球システムの変動

田近英一 (地質学専攻)

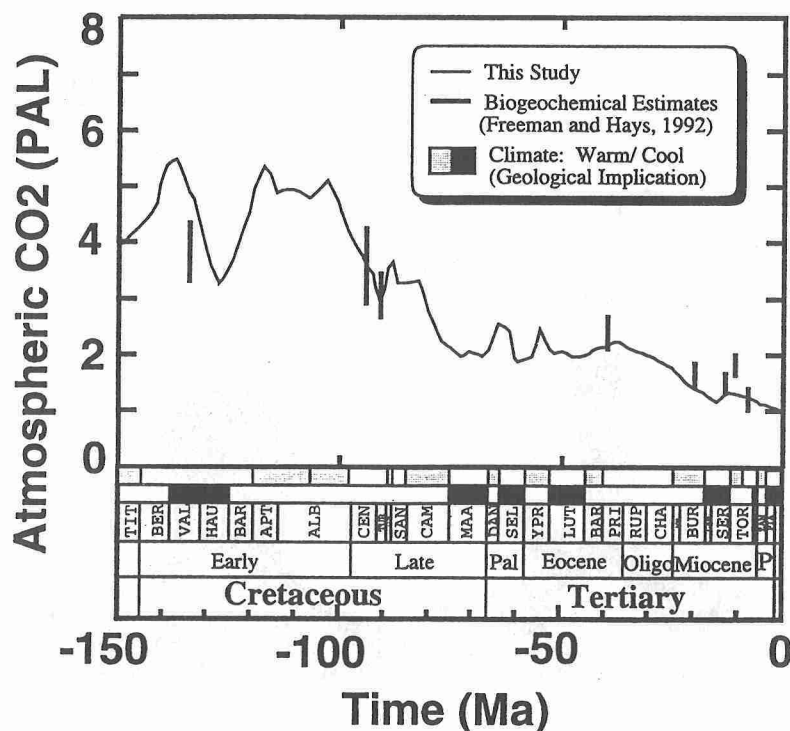
tajika@geol.s.u-tokyo.ac.jp

地球環境の安定性と変動性の解明には、物質とエネルギーの輸送過程を考慮した「地球システム」のモデリングが重要な鍵を握っている。特に、地球史における気候変動の主要因は大気中の二酸化炭素濃度の変動であると考えられるため、それをコントロールしている物質循環の理解が重要となる。ただし、システムの安定性や変動特性は、注目する時間スケール（数年なのか数十億年なのか）によって、その支配的な現象や要因が全く異なる。地球史におけるさまざまな変動の時間的階層構造に注目し、それらの関係を明らかにしていく視点が必要である。

地球環境の変動とは、地球史に渡る二酸化炭素濃度の長期的減少傾向からの「ゆらぎ」として理解できる。そのゆらぎは、地球システムの変動に起因したものである。地球システムは、多様な構成要素（大気、海洋、生物圏、地殻、マントルなど）とプロセス（地球化学的過程、地球物理学的過程、生物過程など）を含む。したがって、それら相互の関係を定量的に表現する地球システムのモデリングによって、地球の変動に関する多種多様な情報

を、同じモデル上で評価し合うことが可能となる。

筆者は、地球システムのモデリングとその数理解析手法の確立を目指すとともに、実際にさまざまな時間スケールにおける地球システムのモデリングを通じて、その安定性及び変動特性の解明に取り組んでいる。最近、そのようなモデルを用い、火成活動の記録や生物活動を反映した炭素同位体の記録などの情報を入力として与えることで、白亜紀以降（1億5千万年前～）の地球システム変動の復元を行なった。その結果（出力のひとつである大気中の二酸化炭素濃度の変動）を図に示す。モデルからの推定結果は、過去の二酸化炭素濃度の地球化学的推定値と調和的だけでなく、これまで定性的に求められていた気候変動の地質学的推定と見事に一致する。このようなモデルの解析によって、物質の挙動（物質の分布やフローの時間変化）に関する情報を得ることができるようだけでなく、気候変動の全体像（どんな要因がどの程度の寄与を果たすことで生じたのか）を明らかにすることができるようになると期待される。



図：白亜紀以降（過去1億5千万年間）の大気中の二酸化炭素濃度の推定結果（PAL = 現在の相対値、Ma = 100万年）。縦線は地球化学的な推定結果。

電子顕微鏡の中の鉱物

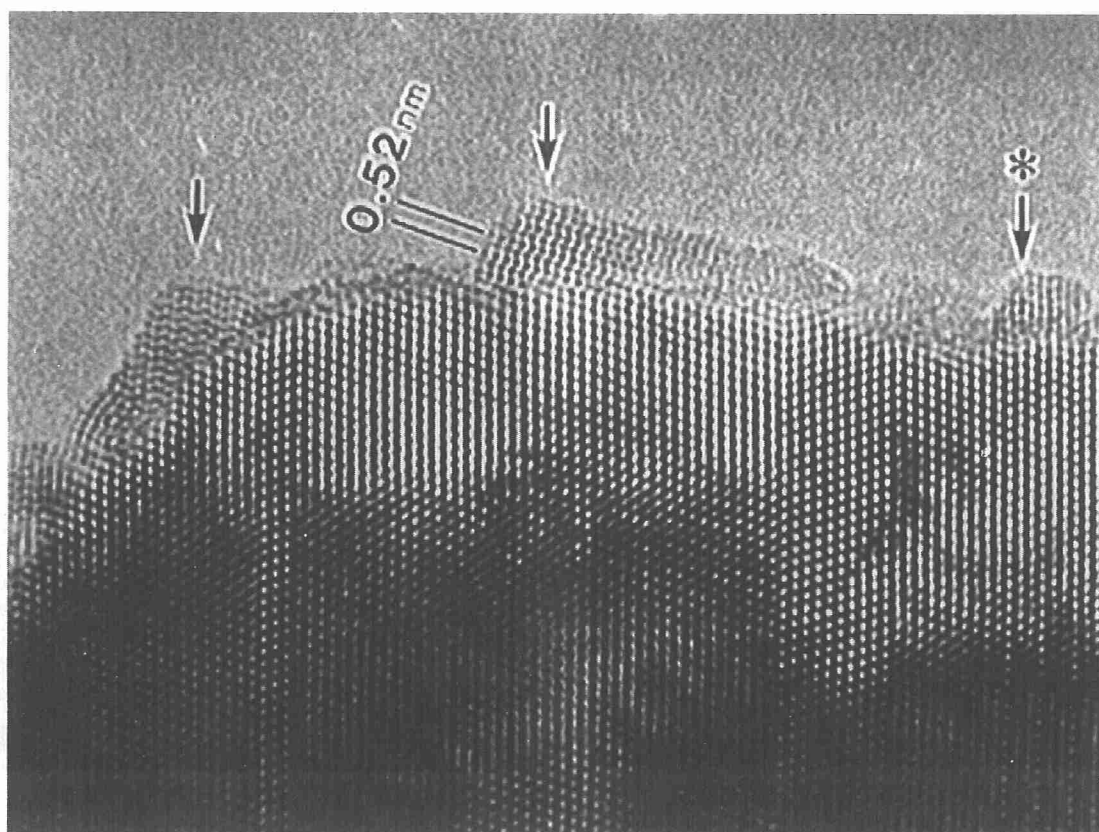
小暮敏博 (鉱物学専攻)

kogure@min.s.u-tokyo.ac.jp

企業での製品開発の仕事から古巣の教室に戻り、研究を始めてはや10ヶ月が経った。会社時代にいろいろと透過電子顕微鏡 (TEM) の仕事をしてきたため、こちらに来てそのほとんどが TEM を用いた研究となっているが、当然のことながら観察する試料は会社時代とは全く異なっている。会社では無機材料を用いた製品開発が主であったが、工業的に利用されている無機材料は、概して天然の鉱物に比べその組成、構造がかなり単純なものが多い。もちろんその物質の諸特性をその利用目的のために十分制御しなくてはならないのであるから、その構造の解析ひとつにしてもかなりの定量性を持った結果が要求されることが多いし、表面の一原子層レベルのことが問題になることもある。そしてそんな経験を持ちながら TEM の中で天然の鉱物を見ると、(単に単位格子内の原子配列にとどまらず) その構造の複雑さに思わず観察に熱中してしまう。材料開発であるならば、そのような構造に再現性があるか、他の諸特性とどのように関連しているかそしてしては実用化できる技術になるかどうか等新しい発見の後には膨大な課題が発生するのだが、基礎科学の世界ではそのようなことをあまり考えなくていい(?)分、より精細な観察や謎解きのような形成メカニズムの解明等に没頭することができる (もちろ

んその観察、研究の学問的な重要性は十分考えなくてはいけないだろう)。

何だか研究紹介というにはふさわしくない内容なので話を変えるが、TEM 中で鉱物の原子構造を観察していると、真空及び電子線照射という電顕に必然的な観察条件のため、その観察中に様々な構造変化をまのあたりにすることが多い。地球科学という分野からするとあまり重要ではない (天然にはあり得ない) 問題だろうが、今まで材料開発をやっていた人間としてはとても興味深い現象も見られる。例えば下の図は硫化亜鉛 (ZnS、鉱物名は閃亜鉛鉱) に電顕内で長時間電子線を当てたときの現象であるが、ZnS の表面に酸化亜鉛 (ZnO) の結晶 (矢印) が形成されてきている。真空中で蒸気圧の小さいイオウが放出され、残された亜鉛が雰囲気(?)の酸素と反応するものと考えているが、このふたつの構造は例えば ZnS がこの場合は fcc であるのに ZnO は完全に hcp であり、また格子間隔も ZnO の方が20%近く小さい。そのため下図の ZnO のエピタキシャルな成長には ZnO のいろいろな“工夫”が見られる。それを説明するスペースはないので (図参照ということで) 省略するが、本来の目的とは異なるこのような観察結果が着実に増えていくこの頃となっている。



東南アジアのモンスーン気候を探る

松本 淳 (地理学専攻)

jun@geogr00.geogr.s.u-tokyo.ac.jp

東南アジア諸国では、日本と同様にモンスーン気候がみられる。しかし日本とはだいぶ季節が違っており、ほとんどまったく雨が降らない乾季と、毎日のように雨が降る雨季とに、一年が大きく二分される。雨季にはしばしば洪水が起こり、乾季には水不足に悩まされるやっかいな気候である。しかも雨季に降る雨の年々の変動は大きく、雨の多寡はそのまま農業生産に結びつく。工業が発達してきたとはいえ、いまだ稲作を中心とする農業が国の経済を大きく左右する国が多いこの地域にとって、雨季の雨はまさに命の水である。

しかしながら、複雑な気候システムの中でおこるアジアモンスーンの雨季の変動をもたらす根本的なメカニズムについては、今なお不明の点が多い。なかでもインドシナ半島やインドネシア多島海を中心とした東南アジア地域は、政治的理由などから気候データの整備や観測システムの遅れがめだち、雨季の雨の変動の実態さえもよくつかめていないのが現状である。

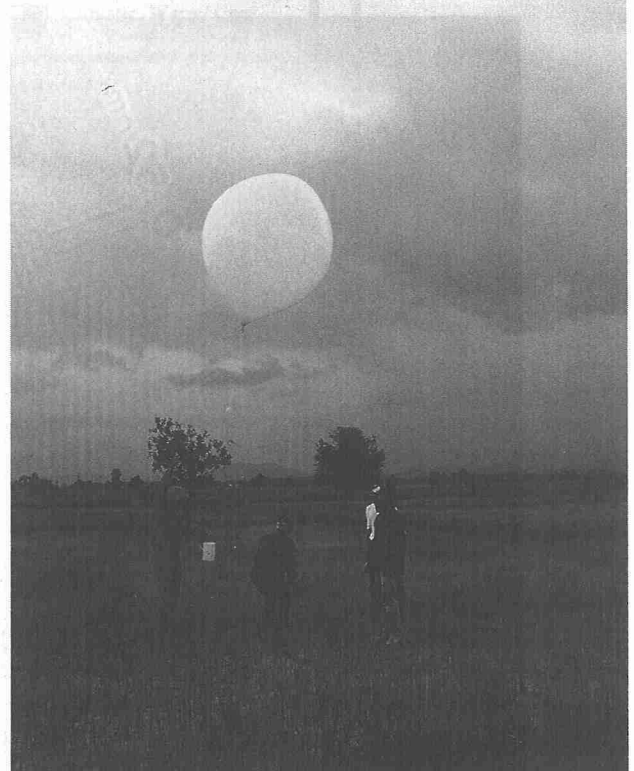
そこで最近では、この東南アジアの雨をターゲットにその季節および年々の変動とそれをもたらすメカニズムの研究を進めている。研究そのものは気象データがそろっていれば、計算機を使ってできるものである。しかし欧米諸国で作られたデータセットはインターネットで入手できても、アジアのデータはまだ足でかさがないと入手できないものがほとんどである。そんなわけで近年は東南アジア各国の気象台を飛び回って、データ収集を進めている。今年はビルマ（ミャンマー）・タイ・インドネシア・バングラデシュを訪ねて、降水量のデータを集めつつある。実際に気象台に行ってみると、データの集め方や整理の仕方にも国による違いが大きく、その国の国民性がうかがえて意外におもしろい。さてこうして集まったデータを解析してみた結果、インドシナ半島のタイ平

原部が、東南アジアで最初に雨季が始まる場所らしいことがわかってきた。

どうしてこの地域で最初に雨季が始まるのか？ この謎を解くことがこれからの研究課題である。幸い気象学の世界では、大きな国際共同観測計画（略称を GAME という）が進められており、東南アジア地域などで1998年を中心に大規模な気象観測を行う計画である。今年の夏はこの観測計画の予備調査として、タイの中北部のスコタイという町の近くで、大学院生や他大学研究者・タイ気象局の職員らとともに、ラジオゾンデを使った上空の気象観測を実施した。通常タイでの上空の観測は1日1回しかされていないところを、1日8回という高頻度で行った。熱帯地方で顕著な日変化の実態をとらえるためである。徹夜での観測は大変だが、我々のとったデータはすぐにファックスでバンコクにあるタイ気象庁の本庁に送られ、そこから日本をふくむ全世界の気象庁に送られて、数値予報のもととなるデータとしても使われた。これらの充実したデータによって、新しい東南アジアのモンスーン像が見えてくることを期待して、研究をすすめている。



写真：タイの全面的な協力で作られた観測施設。
この他高さ10mの気象観測用タワーも作られている。



写真：雨の中でのラジオゾンデの放球。

植物のプログラムされた細胞死

福田 裕 穂 (植物園)

sfukuda@hongo.ecc.u-tokyo.ac.jp

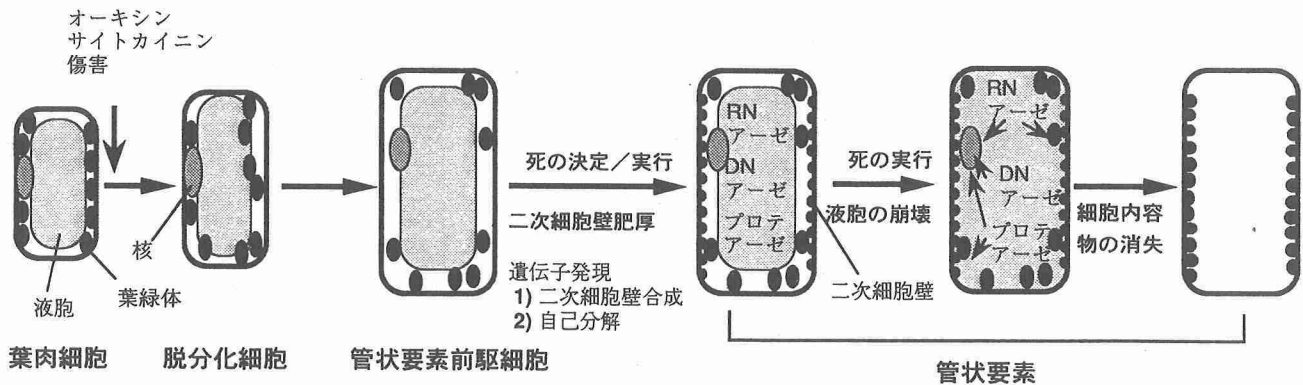
多細胞生物は、その進化の過程で自らの細胞の一部を殺す能力を獲得した。この個体における積極的な細胞死はプログラムされた細胞死と呼ばれ、個体全体のホメオスタシスを保ち、また複雑な体制を形成するための特定の細胞領域の除去、特殊な組織・細胞の形成、環境ストレスへのすばやい対応など、多細胞生物の生命活動の根幹をなしている。

植物においては、個体発生過程の様々な局面で細胞死がプログラムされていることが明らかになってきている。花の形成過程では、単性花での雄性あるいは雌性器官の細胞死による除去から、葯の発達後期過程での花粉成熟や花粉散布のための特定の細胞の死まで様々な細胞死がある。また、栄養器官の発達過程でも、たとえば、維管束組織の道管は細胞のプログラムされた死より空洞となるし、葉の老化、花の萎凋、一年生植物における植物個体の死も「すり切れた死」というだけでなく、その死のプロセスには秩序だったプログラムが存在する。また、常に厳しい環境にさらされており、外界の環境に柔軟に対応しなくてはならない植物は、環境ストレスに対して、プログラム細胞死で応答する。たとえば、ウイルスや細菌の感染に対して、植物は過敏反応を起こし、感染部位周辺の細胞を積極的に自殺させることにより、感染の拡大を防ぐ。

私たちは、研究の一環としてこのような植物における細胞死の問題を、道管細胞の分化を例として研究している。

植物の水の通り道、道管は、死んだ細胞からつくられ

る中空の管である。この道管は環状、らせん状などの二次細胞壁を沈着させた管状要素と呼ばれる細胞がつながってできたものである。管状要素分化過程では、二次細胞壁の形成に続いて、自己分解が起こり、細胞は死ぬ。個体内で起こる管状要素形成を経時的に追うのは難しいので、私たちは、自分たちで開発した *in vitro* の単細胞分化転換系を用いて解析している。この過程の電子顕微鏡観察から、細胞死を導く細胞内構造の破壊は、液胞膜の崩壊により引き起こされることが明らかになった。そして、この細胞死の過程は、動物細胞で見られるアポトーシスの様式ではなく、むしろ細胞内膜系に膨張型の変化が起こるネクローシスの様式に近いことが示された。この細胞死の過程では、あの種のシステインプロテアーゼや特殊な核酸分解酵素が働く。たとえば、システインプロテアーゼの活性を抑制してしまうと、管状要素中の核が消失せずに、そのまま残ってしまう。最近、このシステインプロテアーゼの発現が植物のステロイドホルモンの合成阻害剤により、抑制されることが明らかになった。このような結果から、管状要素形成過程での細胞死は、特定の植物ホルモンや様々なタンパク質の発現を必要とする積極的なプロセスであり、細胞死の実行の初期には、細胞自らが細胞内の液胞に核酸分解酵素やプロテアーゼを積極的に蓄積し、続いて起こる液胞の崩壊により、蓄えられた加水分解酵素が細胞質中に放出し、一気に細胞質の分解を引き起こすものと考えられるようになった。



図の説明：

管状要素の分化とプログラムされた細胞死

ヒヤクニチソウの葉から単離した光合成細胞は、単細胞のまま管状要素に分化転換する。管状要素分化の後期には、様々な加水分解酵素が液胞中に蓄積され、液胞の崩壊とともに、細胞質中に放出され、核を含む細胞内容物を急激に分解し、死に至ると考えられる。

夢の素粒子ビーム「超低速ミュオン」の発生と利用

永 嶺 謙 忠 (中間子科学研究センター)
nagamine@mslaxp.kek.jp

三 宅 康 博 (")

下 村 浩 一 郎 (")

中間子科学研究センターのKEK分室では、1990年からミュオン科学研究者の長年の夢であった超低速ミュオンを発生し新しい科学研究を展開するプロジェクトを進めてきた。ミュオンは500MeVの高エネルギー陽子ビームから生まれるため、数eVから数keVのエネルギーのミュオンをビームとして得ることは非常に困難であるとされてきた。いっぽうもしこのようなビームが生まれると、飛程が原子層の暑さのオーダーとなるため、新しい物質表面の研究や素粒子原子の超精密分光など基礎原子物理学研究が可能になる。

我々がとった方式は次の通り。500MeV陽子ビームライン上に高温タングステン標的を置き、表面から発生する熱エネルギーミュオンニウム(μ^+e 状の中性原子)をパルス状レーザーで共鳴解離することにより、超低速正ミュオン(μ^+)を得る。その際発生する μ^+ はイオン加速及収束のための静電レンズ系によって輸送され、磁

気質量分析を経てビームとして取り出し、実験室で検出し、利用に供することとした。装置の主要部を図1に示す。

長い建設期間とレーザーを中心とする技術開発研究をへて、1994~95年にかけて本格的なビーム発生に成功した。その後、発生メカニズムの研究を進めたのち、利用研究に着手した。9 keVのミュオンがスピン遍極している事実を使って、表面の磁気的な性質を高感度で調べることが可能になる。最初の実験では、スピン遍極を消失させることで知られているマイラーを基盤として、50Aと100Aの金の蒸発膜をつくり、ミュオンの飛程が50Aであることに対応して、100Aでは信号が出て50Aでは信号がでていないことを確認した(図2)。この実験事実は、10Aのオーダーの標的が素粒子ビームの研究の対象になることが示されている。現在、磁性薄膜の臨界現象など、表面磁性の動的なふるまいを調べる実験がスタートしている。

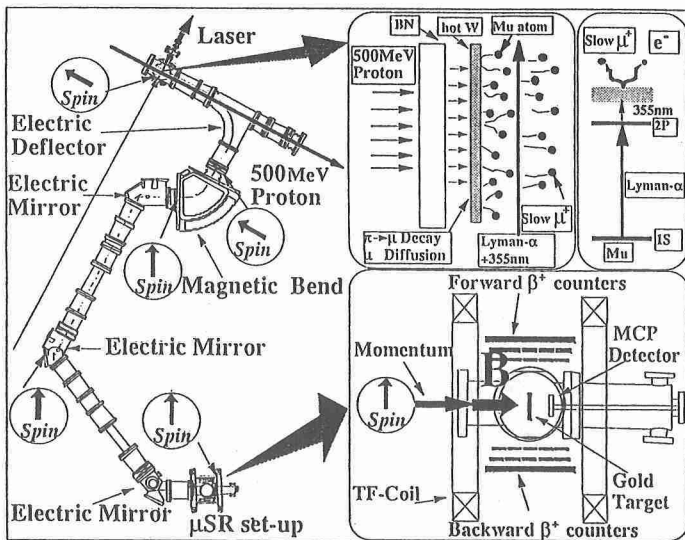


図 1

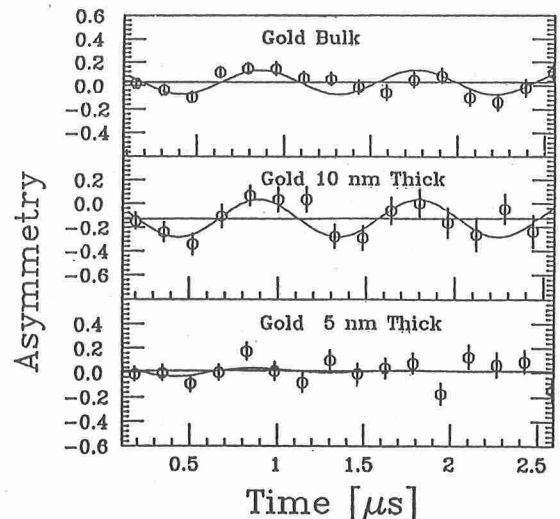


図 2

カナリア諸島火山活動の起源

中井 俊一 (地殻化学実験施設)
nakai@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp

地球上の火山活動の大部分はプレートの境目である中央海嶺と沈み込み帯で起こっているが、これらは上部マントルを起源としている。これに対してホットスポットと呼ばれる下部マントル起源のプレート内の火山活動も存在し、量的には少ないがマントルの化学組成を考察するうえで重要な情報を与えてくれる。ホットスポットは合衆国のイエローストーンなど大陸上にも見られるが、特に目を引くのはハワイなどの海洋上の火山島である。

スペイン領のカナリア諸島は大西洋モロッコ沖の延長600kmの火山諸島である。カナリア諸島は一般に下部マントルからのホットスポット起源の火山活動で生じたと考えられているが、ハワイなどの典型的なホットスポットと比較し(1)プレート運動による火山活動の移動が明瞭でない(2)個々の火山島の活動期間が長く2千万年以上に達するものもあり、また複数の活動期がある、という特徴がある。以上のことからこの諸島の火成活動の起源に関しては他のモデルを考えている研究者もいる。

我々は下部マントル物質の検出に有効なヘリウムを用いてこの問題について考察した。ヘリウムには ^3He と

^4He の二つの同位体があるが、上部マントル起源の物質の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 同位体比の最高値は大気の8倍程度なのに対し、下部マントル起源の物質の同位体比はそれより高く大気の30倍に達する測定結果も報告されている。1995年9月下旬に文部省の国際学術研究として、本施設の脇田教授、カナリア諸島火山研究所からの客員研究員のNemesio Perez 博士と中井が現地で試料採取を行った。

これまでに噴気ガス、鉱泉ガス、地下水溶存ガス中のヘリウムを分析し、(1)諸島最西端のラパルマ島のタブリエンテ カルデラ内の鉱泉から放出される二酸化炭素ガスは大気の9.6倍の高い同位体比を持つヘリウムを含む、(2)諸島の西ほどヘリウム同位体比が高い傾向が見られる、という結果を得た。(1)の特徴はマグマが脱ガスの進んでいない下部マントル成分を含んでいることを示す。(2)の特徴は、火山活動がラパルマ島の下に達するプリュームを起源とするモデルにより説明できる。研究をより発展させるためには、火山岩から分離したカンラン石などの鉱物中のヘリウム同位体比を測定することが望ましく、現在ガス抽出装置を制作中である。



テネリフェ島のテイデ山。富士山よりやや低い(3,716m) この火山がカナリア諸島の最高峰である。

円盤状銀河の3次元的構造

濱 部 勝 (天文学教育研究センター)

hamabe@mtk.ioa.s.u-tokyo.ac.jp

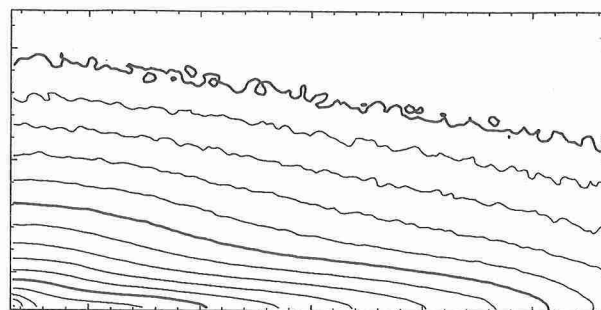
系外銀河は非常に遠方の巨大な天体であって、一つの銀河を様々な方向から見てその性質を探ることは不可能である。そこで、一般にその性質は、性質や形状の似たものを様々な方向から見ていると思われる多数の銀河の観測によって調べられる。そうして得られた結論の一つは「一般に銀河の多くは、見かけ上2つの異なる形をした成分、すなわちバルジと呼ばれる球体部分およびディスクと呼ばれる円盤状部分を重ね合わせたような構造をしており、多くの銀河はその成分の比率を変えることで(第0近似として)説明できる」ということである。

個々の銀河の性質は上記2つの成分を分解することによって調べられることが多いが、これまではこれらの成分の光度分布について経験的に得られたモデルを仮定することが多かった。従って、解析の結果はこのモデルに強く依存していたことになる。

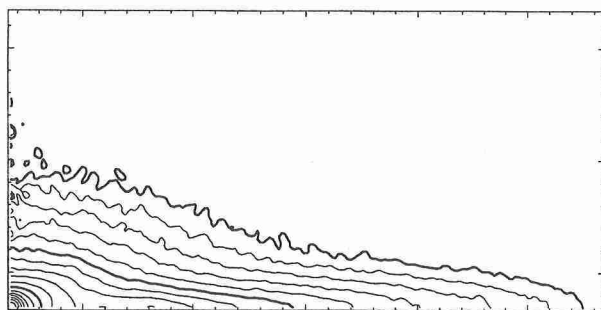
そこで我々は、モデルに依存せず直接的に天球上に投影された光度分布から直接銀河内の光度分布を求める手法を開発して、その構造を調べた。その基本原理は、仮に球状で中心からの距離のみによる有限の光度分布があれば、ある半径以上の部分における見かけの光度分布はその半径以内の光度分布によらず、外側から順にタマネギの皮を剥くようにして光度分布を推定していけるということである。

実際には技術的な問題もあるが、たとえば真横(銀河の回転軸に垂直な方向)から見えていると思われる銀河についてこの原理を適用して3次元の光度分布を求め

たものが下図である。我々は、この分布から銀河円盤に垂直な方向の構造を調べ、銀河形成の足跡を探ろうとしている。



IC 335 (surface brightness distribution)



IC 335 (volume emissivity distribution)

付図説明

(上) 観測から得られた2次元光度分布

(下) 2次元光度分布を元に得た3次元光度分布

