

## 《研究紹介》

### 数理ファイナンス

楠 岡 成 雄 (数学科)

私が現在、専門として最も力をいれている研究分野が数理ファイナンスである。数理ファイナンスを研究していると聞くと妙な顔をする人達がいる。数学はしばしば純粋数学と応用数学の二つに分けられるが、おまへのやっているのは不純数学ではないかと言う人もいる。これは全くの誤解なのだが、数理ファイナンスと聞けば、金儲けの数理と連想するのは無理もない。では現在の数理ファイナンスとはいったいどのようなものであるのか、ここで述べさせて頂く。

経済現象の説明に、ありとあらゆる概念が自然科学や数学から借用されてきた。古くはカタストロフィーや相転移現象で経済恐慌を説明しようとしたし、最近では株価を説明するのに、フラクタル、カオス、複雑系などを用いる人達もいる。そういった説明は経済現象のある側面をうまくついているのだが、当然ではあるがそれですべてが説明できるわけではない。しかも、ひとたびある理論で株価が予見できるとなると、裏をかくて儲けようとする人達が出てきて、その人達の行動により、理論は結局はずれるようになっていく。

株価や有価証券の価格に関する理論は、すべての人がその理論を信じて儲けようと行動しても、儲ける方法が存在しない場合に限って、安定な理論となる。儲ける方

法がないことを no arbitrage (無裁定) という。この考え方は 1973 年に Black と Scholes により導入され、現代の数理ファイナンスの基となった。no arbitrage の考えに基づけば「株価はマルチンゲール」という結論に達する。マルチンゲールとはランダムウォークを一般化したもので、要するに株価は予測不能となる。この結論は一部の株価予想の研究者の受け入れられるものでなく、大論争が行われている。今日ではこのマルチンゲールモデルを基にデリバティブ (派生証券) の価格を計算するということが実際に金融機関で真剣に行われている。

私は現在、(1) 取引費用のデリバティブの価格への影響の研究、(2) 長短金利の期間構造の確率偏微分方程式モデルの研究といったことを行っている。現在の所、研究の結論は複雑で、金融機関で実務に用いられるような代物ではないが、実務でも役にたつ形にまでもっていきたいと考えて研究している。

数理ファイナンスが理学の範疇に入るのかどうかはわからない。しかし、その基礎となる数学は高度で、東大ではおそらく理学部数学科でのみ講義されている数学的知識が必要となる。これも理学部の果たすべき役割かと思っている。

## 論理関数処理とネットワーク・結び目・統計物理の不変多項式の計算 — 計算の本質の解明 —

今 井 浩 (情報科学専攻)  
imai@is.s.u.-tokyo.ac.jp

自然科学の諸問題を一度「計算」という観点から眺めると、そこには多くの情報科学的諸問題が実在しており、情報科学的方法論が幅広く適用できる。この稿では、この広さを同時に伝えることのできる話を紹介する。コンピュータの基本的動作原理は 0 と 1 で記述され  $1 + 0 = 1 \times 1 = 1$  とか  $1 + 1 = 1 \times 0 = 0$  とかの演算に従って動いている。論理関数は、0 か 1 が並んだ長い入力列が与えられたとき、0 か 1 を出力する関数で、この動作

原理の根幹をなしている。一見、論理関数は簡単かもしれないが、100個の 0 か 1 が並ぶ列全てに対する出力を表で覚えるとなると、2 の 100 乗 (約 10 の 30 乗) のサイズの表を扱うことになり、たかが 100 入力で手に負えなくなる。1990 年代に入って 2 分決定グラフ (BDD と呼ばれる) という表現法が提案されて、この分野でブレークスルーがあった。BDD の精神は、表での「同じ部分構造を共有」することにより、実用的関数をコンパクト

に処理することである。研究室では、これまでに BDD の理論的解析・並列実装などの研究成果を上げてきた。BDD の研究は、その精神の「同じ部分構造の共有」が計算に関する幅広い問題での有効な解決手法であることから、それを拡張して、とても関係があるとは思えない色々な問題を解くことができる。どの地図も 4 色で塗れるというグラフ 4 色定理、ネットワーク耐故障信頼度、ひもが結ばれているかといった結び目理論の Jones 多項式、統計物理でのスピンや浸透のモデルの不変量など

の計算問題について、これまで解けなかったサイズの問題を解くことができるようになる（一方、これら計算問題の本質的難しさも示されている）。ここで面白いのは、情報科学の基礎としての論理関数処理に対する BDD という方法論が、他の種々の計算に絡んだ問題の計算部分の本質をついていることである。研究室の研究テーマは、まさしく計算の背後に潜む本質を見抜くことであり、これはその一つの典型例である。他のテーマも含めて、研究室ホームページを参照して頂ければ幸いである。

## 超対称性理論

柳 田 勉 (物理学専攻)  
yanagida@phys.s.u-tokyo.ac.jp

超対称性とは、一口で言うならばボーズ粒子とフェルミ粒子をいれかえる対称性である。ボーズ粒子とフェルミ粒子は統計性が異なるため、互いにまったく異質なものと考えられてきた。そのため、ボーズ粒子とフェルミ粒子を対等に扱う超対称性理論が相対論的場の理論として発見されたのは、わずか二十数年前のことである。当時この理論は、数学的にコンシステントなものとして定式化されただけで物理への応用はあまり真剣には考えられなかった。しかし最近になって、この超対称性理論は、素粒子物理のより基本的理論として注目されている。ここでは、その理由について説明したい。

自然の極微の世界の解明を目指して進展してきた素粒子物理学は、標準理論の予言するほぼ全ての素粒子が発見され、新しい時代をむかえようとしている。未発見の素粒子はヒッグスと呼ばれるスカラー粒子のみとなった。このヒッグス粒子には理論的なパズルが存在する。ヒッグス粒子のようなスカラー場は、一般に量子力学の効果により無限大の質量を持つ。ところが、標準理論によればこのヒッグス粒子の質量は高々数 100GeV 程度でなければならない。このような無限大の質量は、すでに発見されているクォークやレプトンのようなフェルミ粒子やゲージ粒子には現われない。そこでまず思いつくのは、ヒッグス粒子を基本粒子ではなくフェルミ粒子から作られる複合系とする考えであろう。そうすれば、ヒッグス粒子の質量に無限大は現われず、標準理論の要請を満足できる。しかし、この考えは、近年の大型加速器を用いた精密実験により否定された。

超対称性理論は、上記の困難を見事に解決する。量子力学的効果のうちボソン粒子によるものとフェルミ粒子によるものが互いに相殺し、ヒッグス粒子の質量に現われた無限大の発散が消え去る。これが現在、素粒子物理で超対称性理論が大きく取り上げられている理由である。素粒子の標準理論を超対称化するのには容易なことである。そればかりではない。超対称化した標準理論ではじめて、弱い相互作用、電磁相互作用、強い相互作用の三つの相互作用の結合定数の高エネルギーでの統一が可能であることがわかった。つまり、超対称性理論は素粒子の大統一理論には欠かせぬ考えとなっている。

さて、超対称化した標準理論では、知られている粒子には必ず超対称変換により結ばれる相棒がいる。例えば、電子にはその相棒のスカラーの電子がいる。超対称性が成り立っていれば、スカラー電子の質量は電子の質量と等しいはずである。もちろん、スカラー電子はまだ見つかっていないので、超対称性は破れてなければならない。破れの大きさは、数 100GeV 程度であろう。さもなくば、ヒッグス粒子の質量を標準理論の要請する数 100GeV にとどめておけない。この考えが正しければ、多くの超対称性の粒子が数 100GeV の領域に存在するはずである。また最近、理論の詳細を調べることにより、最も軽いヒッグス粒子の質量が 150GeV 以下であることが分かった。私は、このヒッグス粒子を含め超対称性理論が予言する多くの新しい素粒子が発見される日が、近い将来にやって来ると信じている。

# 量子可積分粒子系の研究

和 達 三 樹 (物理学専攻)

wadati@monet.phys.s.u-tokyo.ac.jp

調和振動子の運動方程式や波動方程式は、与えられた初期条件に対して解くことができる。このような力学系を、完全積分可能系、略して可積分系という。上の2例は線形方程式であるから、可積分系であることを示すのは容易である。非線形波動の研究において発見されたソリトンは、粒子のように振舞う波のかたまりであり、互いの衝突に対して安定であるという驚くべき性質を持っている。なぜソリトンが安定に伝播し続けるのかといえば、それはソリトン方程式が可積分系であるからである。このように、可積分系は秩序ある規則的な運動を記述する。一方、この対極にあるのがカオス系であり、初期条件に敏感に依存する不規則な運動を示す。

量子論的な粒子系に対して、こうした非線形科学の視点からの研究が本格的になったのは、この10年といってよいであろう。古典ハミルトニアン系が可積分であるための条件は、1) 自由度の数だけ独立な保存量がある、2) それらの保存量は包含的（ポアソン括弧が交換すること）である、の2条件であることが知られている。これを、リウビルの定理という。保存量を保存演算子、ポアソン括弧を交換子と読みかえて、量子論における可積分性を定義する。我々は、1次元量子粒子系において、逆2乗型長距離相互作用系（カロジェロ・モーザー模型やサザーランド模型とよばれる）やそれらが内部自由度（スピン）を持った系が量子可積分系であることを証明した。それらの固有関数は、ジャック多項式などの直交対称多項式であることがわかった。量子力学でよく知られた古典直交多項式を多変数に一般化したものとなっている。物理学的には、これらの量子多体系は、朝永・ラティンジャー流体や排他統計（ボゾンでもフェルミオンでもない）を持つ粒子系を実現したものである。

量子可積分系は多数の保存演算子を持っている。このような場合、保存則に対応して対称性がある、と考えるのが理論物理学の常套手段である。実際、これらの量子可積分系では、カレント代数、量子W代数、ヤンギアン等の興味深い対称性が背後に存在することがわかった。

最近の話題の1つに、境界条件の問題がある。無限系や周期的境界条件に他に、系の可積分性を壊さない境界条件にはどのようなものがあるであろうか。可積分系における3粒子散乱は、粒子衝突の順序に依らないという関係式で特徴づけられる（図1）。一方、境界のある可積分系については、境界（壁）に衝突する2粒子の振舞いに対して、壁への衝突と2粒子の衝突が順序によらないという関係式が必要になる（図2）。この2つの関係式をみたす量子可積分系が構成できる。例えば、1次元ハバード模型は可積分系であるが、両端に磁場や化学ポ

テンシャルが加えられた場合も可積分系であることがわかった。

ハミルトニアン系が可積分であるかどうか、という問題は、天体力学から始まる最も古い歴史をもつ基本的な問題である。量子論に舞台を移したのが、今回の研究紹介であり、物性物理学・素粒子物理学の基礎問題と密接な関連を持つとともに、多くの興味深い数理科学的課題を提供している。

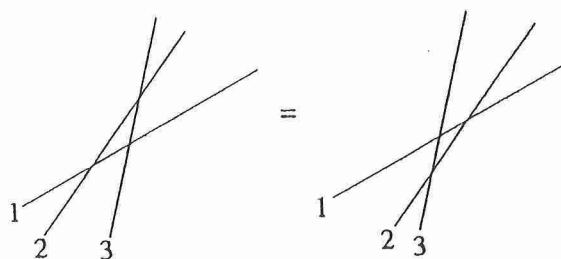


図1 可積分系での3粒子散乱行列がみたす関係式（ヤン・バクスター関係式）

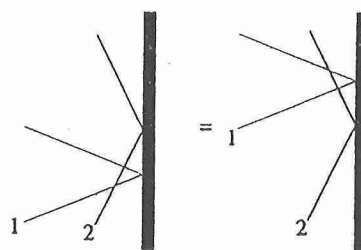


図2 境界が系の可積分性を保つための関係式（境界ヤン・バクスター関係式）

# 地球型惑星の比較テクトニクス

阿 部 豊 (地球惑星物理学専攻)

ayutaka@geoph.s.u-tokyo.ac.jp

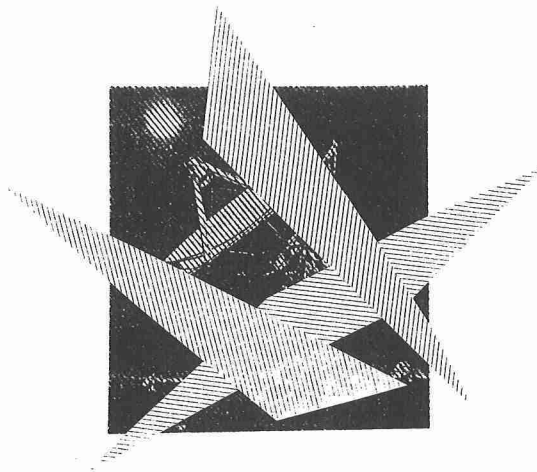
地球ではプレート運動が様々な地学現象を支配していることは良く知られている。しかし、プレート運動が起こっている惑星は地球以外には他に知られていない。また、どのような条件が満たされればプレート運動が生じるかも明らかにされていない。プレート運動発生を明らかにすることは地球という惑星をよりよく理解する上で重要である。

この問題を考える上では大きさが殆ど地球と同じである金星との比較が有効であろう。とりわけ、地球で「プレート」に相当する地表から数百キロメートルの深さまでの比較が重要と思われる。この問題に関連して、金星と地球では地表付近100kmほどの範囲の粘性率分布が大きく異なっていることが示されたので、これを紹介したい。

探査機による観測によって金星の表面にはコロナやアラクノイドとよばれる地形が多数見出された。これは数百キロメートルサイズの円形の割れ目を伴う地形であり、マントルから上昇してきた暖かくて軽いプリュームが、地表付近の比較的堅い層に浮力を加えることによって生じたと考えられている。地球のマントルでも同様の暖かくて軽いプリュームの上昇はおこっている。しかし、地球ではこのようなサイズの円形の割れ目は見あたらない。あるという報告もないわけではないが、少なくとも金星の場合のように顕著ではない。そこで円形割れ目が発生する条件を粘弾性体・弾性体のモデルを用いて検討した。

その結果、金星の円形割れ目は、マントル深部から上昇してきたプリュームが地下10~20kmの深度という比較的浅いところまで進入し、地殻に大きな応力を加えると発達することがわかった。地球では「プレート」の下面に相当する、深さ100kmほどのところに大きな粘性率の変化があり、それよりも浅い部分は深い部分に比べてけた違いに堅い。地球の場合、この深度でプリュームの上昇が止まるので地殻にはあまり大きな力が加わらない。逆に言えば、金星で比較的浅いところまでプリュームが進入することは、金星では地球の「プレート」に対応するような粘性率構造がないことを意味する。要するに、金星では「プレート」に相当する堅い部分がそもそもないか、あるいは極めて薄いと考えられる。

粘性率分布の違いの一因は金星と地球の地表温度の違いにあらう。これに加えて、金星マントルに水がないことも関係しているかもしれない。地表温度を規定している要因として、大気はもちろん重要である。ここでは詳しく述べる余裕がないが、地表温度にも大気を介して微妙なところで水の存在量が影響している。一方、「プレート」に相当する粘性率構造の有無と、プレート「運動」が起こることの間には大きな開きがある。今後、「プレート」構造の成因とともに、「動く」ための条件を明らかにしていく必要がある。



# 有機分子と固体表面の相互作用—表面 XAFS による研究

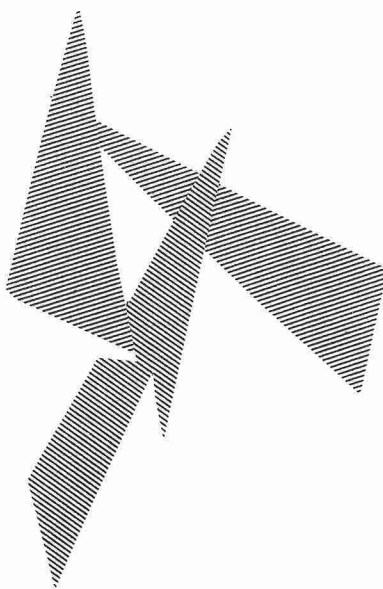
太田 俊明 (化学専攻)

ohta@chem.s.u-tokyo.ac.jp

有機分子が清浄な金属や半導体の表面に降ってきたとき、表面でどのような振る舞いをするだろうか。十分低温では多層に物理吸着し、温度を上げていくと多くは脱離して化学吸着した単分子層のみが表面に残る。さらに温度を上げていくとそのまま脱離するか、あるいは、解離したり表面で様々な化学反応を起こす。このような原子分子と固体表面の相互作用は、化学における長くからの研究主題であった。これまでもこの表面現象はいろいろな方法で調べられてきたが、新しい手法の開発により、また別の側面から分子吸着の問題を見ることができるようになる。我々はこの5-6年、放射光を光源にした表面 XAFS と呼ばれる手法を中心にして、様々な有機分子の金属表面での吸着、解離、脱離、化学反応などの詳細を調べてきている。表面 XAFS は内核吸収端近傍の吸収微細構造 (NEXAFS) とそれより高エネルギー側の幅広い吸収に見られる波打ち構造 (EXAFS) とにわけられるが、直線偏光性を持った放射光の偏光依存性を用いると、前者からは吸着分子の配向性や基板からの電荷移動量がわかり、後者からは吸収原子の吸着サイトや吸着分

子の構造変化、基板原子との距離がわかる。電子線を用いる方法に比べて吸着分子の脱離や解離は起こりにくいこと、回折手法に比べて長周期の規則性が不要なことなどの長所を持っている。

最近、我々は、くの字型の  $\text{SO}_2$  を Ni 基板に吸着させたとき、寝た構造をとるが、Pd 基板上では一つの S-O が基板と平行に、もう一つが基板に立った構造をとることを見いだした。そして、Ni 基板上に 1 原子層 Pd を蒸着した表面に  $\text{SO}_2$  を吸着させると、ちょうど中間の吸着構造をとる。このような基板金属の電子状態や構造の違いによる分子の吸着状態の変化は金属と分子の相互作用を調べる上で非常に重要な知見を提供してくれる。さらに、この方法を用いて金属表面上での熱化学反応の追跡を行っているが、基板の状態によって、単なる解離反応や、 $2\text{SO}_2 \rightarrow \text{S} + \text{SO}_4$  や  $3\text{SO}_2 \rightarrow \text{S} + 2\text{SO}_3$  のような不均化反応が観測されている。今後の課題として、表面 XAFS をプローブとし、放射光のエネルギー可変性、偏光性を利用したサイト選別化学反応による特異な表面新物質相の開発などに取り組む予定である。



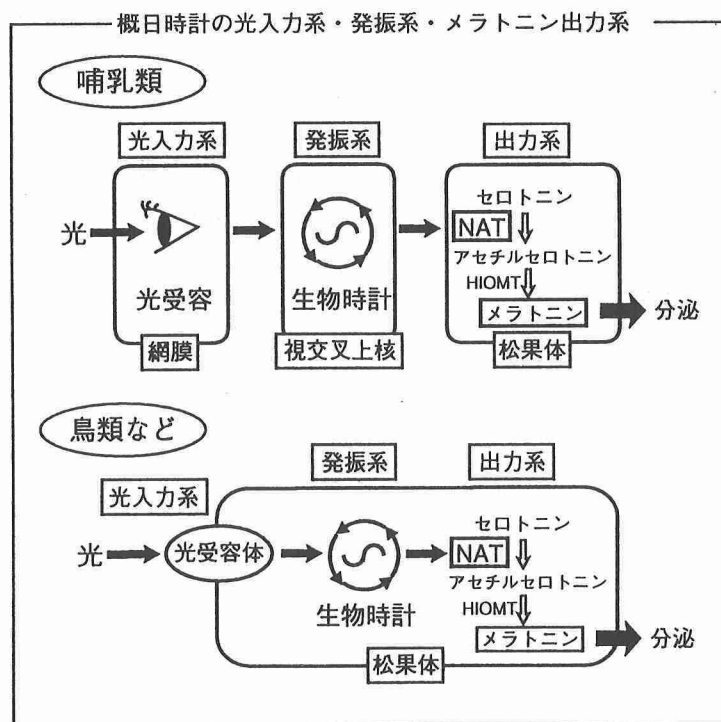
# 脳の光受容体ピノプシンと生物時計

深 田 吉 孝 (生物化学専攻)  
sfukada@hongo.ecc.u-tokyo.ac.jp

私たちの睡眠・覚醒のように、約一日の周期をもつ生物リズムを概日リズム (サーカディアンリズム) と呼ぶ。動物の概日リズムは体内に存在する生物時計 (概日時計) によって支配されており、時計細胞で発生した時刻シグナルにしたがって、多くの生理現象が制御されている。例えば、脳の松果体はメラトニンというホルモンを夜間に活発に合成・分泌する。「概日」という名の通り、この生物時計は自分自身で「おおよそ一日」のリズムを刻んで発振しているが、これを正確に24時間に同調させているのが、外界の明暗シグナルである。哺乳類においては、概日リズム発現に必要な3要素、つまり光入力系・発振系・メラトニン出力系は3つの異なる組織 (それぞれ網膜・視交叉上核・松果体) にわかれて存在している。一方、鳥類など哺乳類以外のある種の脊椎動物の松果体には、メラトニン出力系のみならず光入力系と発振系が共存している (図を参照)。

私共は、ニワトリ松果体の cDNA ライブラリーから新しいタイプの光受容体 (351アミノ酸残基からなる)

をコードする遺伝子をクローニングし、これが松果体に特異的に発現していることを突きとめた。この遺伝子産物は11シス型レチナールと結合して青色感受性を示したが、そのアミノ酸配列はロドプシンなどの網膜光受容体とは大きく異なり、進化のかなり初期の過程でロドプシンなどと分岐したものと推定された。そこで、松果体細胞 (pinealocyte) に発現する光受容蛋白質 (opsin) という意味から、この光受容体をピノプシン (pinopsin) と名付けた。全体のアミノ酸配列はかなり異なるが、ピノプシンはロドプシンと同様、7回膜貫通型の典型的なG蛋白質共役受容体である。したがって松果体においてピノプシンが受容した光情報は、G蛋白質を介して生物時計の発振系へ流れ込み、その位相を調節していると推定できる。この光情報の伝達経路を探ることにより、概日時計の発振系の分子メカニズムつまり生物が時を刻む仕組みを知ることができるのではないかと期待している。



## 図の説明

哺乳類においては、概日時計の発振系は視床下部の視交叉上核に存在する。ここで発生した時刻情報はニューロンを介して、例えば松果体に伝えられ、メラトニン合成系の酵素活性が夜間に急上昇する。NAT はセロトニン N- アセチル転移酵素、HIOMT はヒドロキシインドール-O- メチル転移酵素の略。このうち、特に NAT 活性が夜間に上昇するため、メラトニン合成量が日周変動する。松果体で合成されたメラ

トニンは血液中に分泌され、夜間に全身にゆきわたる。また、網膜で受容した光情報によって発振系の位相は外界の明暗サイクルと同調する。これが光入力系である。一方、ニワトリなど、哺乳類以外のある種の動物では、光入力系・発振系・メラトニン出力系という3要素が一つの松果体細胞に共存し、優れた実験材料となる。



# エチオピアにおける古人類学調査

諏訪 元 (生物科学専攻)

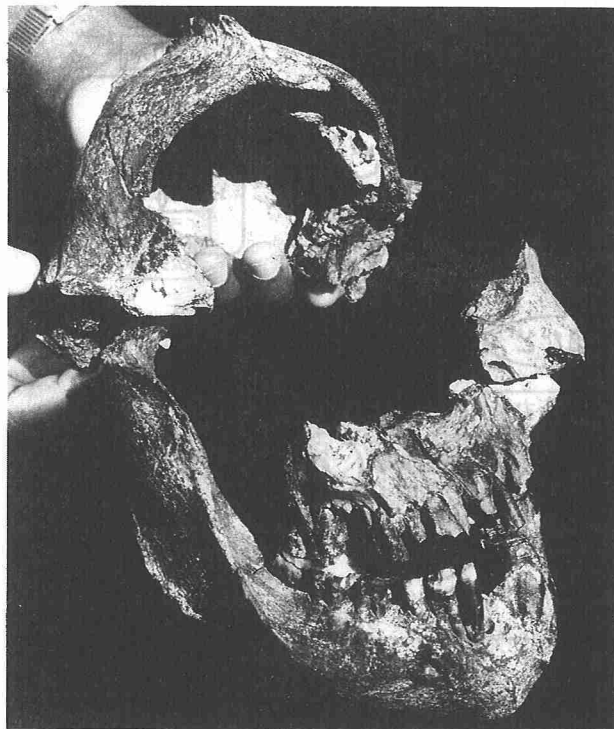
suwa@uts2.s.u-tokyo.ac.jp

古人類学とは英語の paleoanthropology の訳語であるが、時々間違えられるように「古い」人類学もしくは「古い人類」の学を意味するのではなく、化石記録を活用し人類進化の実体を可能な限り解明することを目指す研究分野である。狭義には化石人類そのものに関する研究を意味し、広義には先史学、年代学、古生物学、古環境学などの側面をも包括する。当分野の発展には「発見」といった、研究者側がコントロールできない面もあるが、世界各地で年々、質、量ともに充実してきている化石標本の蓄積は偶然によるものではなく、的を絞った学術調査によるものである。

我々の研究グループは10年前からエチオピアで野外調査を継続している。調査活動は様々であるが、地溝帯における系統だった遺跡・化石産出地の分布・性状調査、特定調査地の再評価、特定調査地の重点調査などを含む。主だった成果はアフール三角地帯のアワッシュ川中流域調査およびエチオピア地溝帯南西端のコンソ遺跡群調査によって得られている。前者の一環として、類人猿とアウストラロピテクスの特徴が混在する440万年前の人類祖先を発見し、これを新属新種のアルディピテクス・

ラミダスとして1994・95年に発表した。当時は歯牙形態特徴を中心に結論を導いたが、以後、追加標本が相当数出土しており、より全身レベルの解明を目下進めている。

コンソ遺跡群は、日本・エチオピアの共同調査として、1993年より継続中である。約140から190万年前の遺跡であり、人類化石としてはアウストラロピテクス・ボイセイとホモ・エレクトスが出土している。本調査地の層序・年代・古地形の大枠が目下整理されつつあり、今後は出土する動物相、先史遺物などの解釈をより詳細に進める予定である。哺乳動物化石としては同定可能なもの約7000点ほどを採集・発掘し、このうち16点が人類化石である。標本のキュレーションならびに研究は全てエチオピア国立博物館にて調査隊員が行うため進行にはままならないものがあるが、古生物標本の一次同定作業を終え、オールドヴァイ渓谷、トゥルカナ湖周辺の同時代動物相とは予想外に異なる面が多いことが判明し、目下、これをさらに分析中である。コンソのボイセイ猿人標本は世界でも第一級のものを含む。目下、既存の他地域標本との比較研究を進めているが、やはり独特な形態特徴が目立ち、同種の多型性を強く示唆している。



コンソ遺跡群から出土したアウストラロピテクス・ボイセイの頭蓋骨化石、142万年前の推定年代をもつ。

# ヒトゲノム多様性保存システムとしての民族の細胞銀行

石 田 貴 文 (生物科学専攻)

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

人類学のように多様性と特異性を土台として研究がすすめられる分野では、多くの集団、多くの個体に関するデータが必要です。そこで、血液を中心として生体試料を得るフィールドワークが多数なされてきましたが、生命科学の技術の進歩にともない遺伝子を、しかも、生きた状態で将来に残すことが重要になってきました。折しも、人類の遺伝的多様性を保存する、すなわち、世界の民族を対象とした細胞銀行を創るという動きが、アメリカ主導型の事業として計画されました。その計画では数百万ドルかけて、世界の400民族から1万人規模のバンクを創るというものでした。日本においても早急な体制作りの必要性を感じたのですが、先立つものが不如意であるため思うにまかせませんでした。

そこで「フィールドからラボへ」・「安い・易い」を目指して、古い試料や少ない試料から簡便で安全な方法で細胞株をつくる技術改良に取り組むことにしました。その結果、採血後3日以内と言われていたものが、10日経った1ccの血液からでも効率よく細胞株化できるようになりました。また、費用に関して言えば、欧米で1検

体当たり200ドルかかるところが、我々の技術では現在6,000円代まで軽減されました。経費の点から未だこの領域に参入していない国内外の研究者にとっては福音となるでしょう。過去14年にわたりアジアの色々な民族の調査とラボワークをしてきた経験を活かして、これまでに20民族800検体、すなわち、ヒトゲノム多様性計画の1割近くが達成されてしまいました。

本研究遂行の過程で得られるヒト細胞株は、もちろん倫理的な問題はこれからも検討していかなくてはならないのですが、遺伝的変異研究、遺伝性疾患の研究や変異原検索等、多研究分野で利用可能な人類の共有しうる知的資産として期待されます。現在ヒトゲノム多様性計画はHUGOの企画にも盛り込まれていますが進んでいません。私たちの研究は立ちはだかる障壁を低くし、ヒトゲノム多様性計画における情報発信基地としてヒトゲノム計画にも貢献できるでしょう。実際、インドネシア・シンガポール・マレーシア・タイの研究者への講習もおこない、国際交流も含めた技術移転にもお役に立てたようです。



マレー半島の先住民マニ族と共に (1989年の調査時に撮影。さて、この写真の中に日本人は何人いるのでしょうか?)



# 動物硬組織の結晶内タンパク質

遠藤 一 佳 (地質学専攻)

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

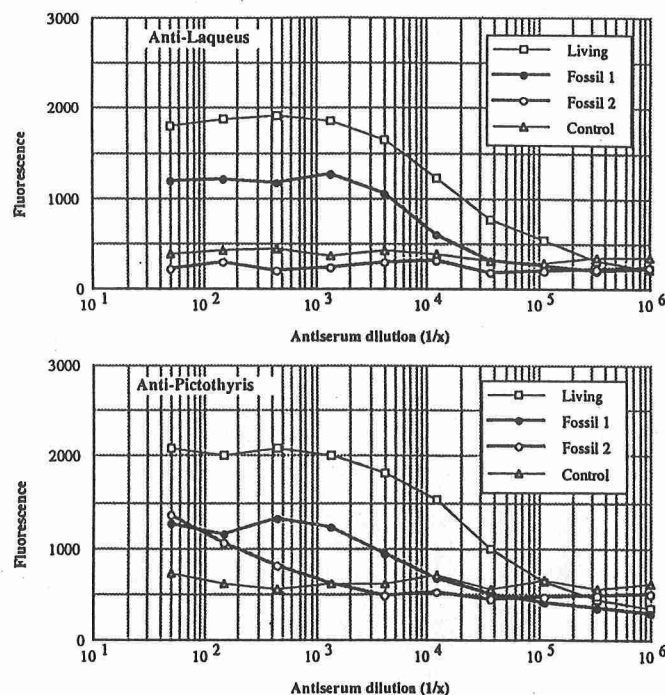
もし20世紀の科学の成果をただの一文しか21世紀に伝えられないとしたら、「物質は原子からできている」という文章を伝える、と述べた有名な科学者がいるらしい。異論もあろうが、先の文意から敷衍される微視的な（原子、分子レベルの）ものの見方が今世紀の科学に多大な影響を及ぼしたことは確かだ。意外に思われるかもしれないが、そのような影響を受けた分野の一つに古生物学も含まれる。1950年代から60年代にかけて、化石や地層中に残された有機分子の研究を行う分野として分子古生物学は誕生した。

当時は、炭化水素やアミノ酸などの低分子化合物が研究対象の中心であったが、その後、タンパク質（ペプチド）が分子化石として知られるようになり、80年代に入ってDNAがそのリストに加わった。低分子の分子化石の研究は特に過去の環境の指標としてその地歩を固め、一方化石DNAの研究は一世を風靡し、少なくとも過去5万年の絶滅生物の系統関係の推定において市民権を得た。その中であって、化石タンパク質は置き去りにされた感がある。

しかし、化石タンパク質も捨てたものではないと私は思う。その理由の一つは、潜在的な保存量の豊富さである。ペプチド結合の強度から考えて、DNAが保存されている特殊な化石においては、必ずタンパク質も保存さ

れていると予想できる。しかも単に系統推定の指標として使うのであれば、その情報量においてDNAと遜色がない。さらにタンパク質は、無脊椎動物の硬い分泌物（貝殻やサンゴなど）というごく普通に産出する化石にも含まれる。特に、これら動物硬組織を構成する個々の鉱物結晶の「中」に存在が知られるもの（結晶内タンパク質）は、化石中に保存される可能性が高い。アミノ酸のラセミ化率を利用した地層の年代測定も、こうした結晶内タンパク質に着目することによって精度が高まると予想される。

またこれらの動物の硬組織は、例えば幾多の貝殻を想像すればわかるように、美しくも多様な姿を見せる。このきわめて精巧なセラミックスを生物は常温常圧で合成しているが、それには硬組織に含まれる有機物（特にタンパク質）が重要な働きをしているとされる。また、進化的に、動物における硬組織形成は、約5億5千万年前の「カンブリア紀の爆発」に端を発する。しかし、それがどのような過程で成立したのかまだ説明がついていない。もしかしたら、硬組織に含まれるタンパク質にその謎を解く鍵があるかもしれない。そんなことを考えながら、現在結晶内タンパク質の一つ（ICP-1）をコードする遺伝子のクローニングを行っている。



図：絶滅した腕足動物の貝殻化石（1：8万年前、2：100万年前）から検出されたタンパク質。現生2種の結晶内タンパク質に対する抗体を用いた結果をそれぞれ示す（横軸：抗血清の濃度、縦軸：反応の強さ）。形態学的に近縁とされる種に対する抗血清は100万年前の化石抽出物とも反応する（下段）。コントロールは同じ地層から採集した二枚貝化石の抽出物。

# 活断層の地下構造を探る

池田 安 隆 (地理学専攻)

ikedata@geogr.s.u-tokyo.ac.jp

日本列島は、年間数cmから10cmの速さで動く海のプレートによって圧縮されて変形する一種の造山帯である。プレートの収束運動によって生じる応力は、地殻の上部(15-20km以浅)では主として無数に存在する断層がずれることによって解消される。日本列島の活断層は数千年から数万年に一度の割合でくり返し活動し、その際地震を発生して大きな被害をもたらす。一方、下部地殻とそれ以深では地震を起こすような急激な破壊が発生しないので、粘性流動が生じているものと考えられている。変形様式の全く異なる上部地殻と下部地殻の境界には、ほぼ水平に横たわる大規模なすべり面(デコルマンと呼ぶ)が存在し、上部地殻内に発達する無数の活断層はこのすべり面に収斂していると予想される。地形・地質学的に観測される地表変形のパターンから見ると、東北や中部・近畿地方の地下には、このようなデコルマンが上部地殻のもっと浅い部分にも何層かあると推定されるが、その実体はほとんど分かっていない。我々が空中写真判読や地表踏査でマッピングした活断層も、ひと皮ふた皮と地層を剥いでいけば、恐らく様相は一変してしまうに違いない。

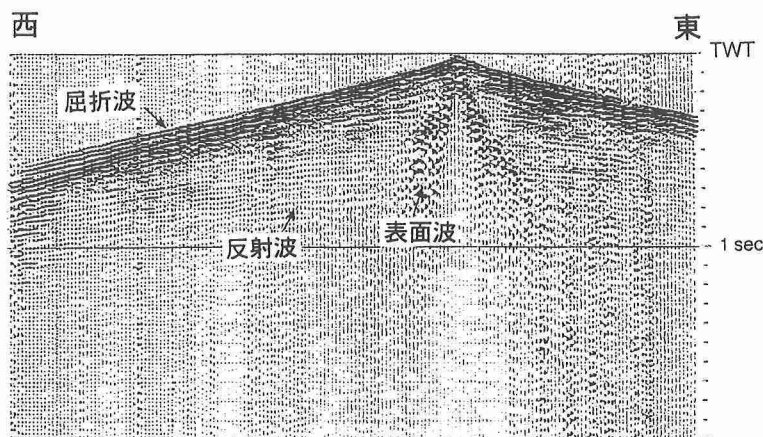
我々は、平成8年度に地震研究所に導入された反射法地震探査システムを用いて、活断層の地下構造を解明する研究を始めた。反射法地震探査とは、人工的に発生させた地震波を用いて地下の地質構造を探る調査技術であり、石油資源の探査を目的として高度に発達した。地震研究所に導入されたシステムは、広帯域のスイープ震源とデジタルテレメトリー方式の受信/記録装置からなり、最大2km程度までの深度の地下構造を高分解能で探査できる。さらに高エネルギーの震源を用いれば、地殻スケールの探査にまで対応できる本格的なシステムである。

最初の実験は、昨年7~8月に秋田県の千屋断層を横切る長さ6.5kmの測線で行った。この断層は1896年の陸羽地震の震源断層であり、我々の実験は図らずも震災100周年目に行われた。二度目の実験は、中部地方を南北に横切る大断層である糸魚川静岡構造線の北部、神城盆地で昨年10月に実施した。両実験とも、全国の大学から15名を超える研究者(学生を含む)が参加した。参加者の専門は、地形学・地質学・地震学と多岐にわたり、まさに学際的な研究チームとなった。実験で得た膨大なデータは現在解析中であるが、予備的な解析の結果、千屋断層は地下1kmぐらいで低角のデコルマンに移行し、ずれの総量が2kmを超えるらしいことが分かった。

活断層の地下構造の解明は、内陸直下型地震の危険度評価に資するばかりでなく、今後続々と蓄積されるであろうGPSによる地殻歪みデータや稠密地震観測網による微小地震データとあわせて、断層を駆動するメカニズムや日本列島の現在のテクトニクスを理解する上で重要な役割を果たすと考えられる。



写真：震源車。荷台中央の白い箱は油圧発生装置。荷台最後部に付いている油圧バイブレーターで路面を揺する。長野県神城盆地にて。



図：千屋断層（秋田県）での反射記録（shot gather）の一例。横軸は探査測線に沿う距離；縦軸は時間（往復走時）。10m間隔で180チャンネル分配置した地震計の波形記録を測線に沿って並べてある。発信点の位置は図の中央やや右より。地下の地層境界からの明瞭な反射波がとらえられている。

# 環境変化への適応過程における情報伝達機構のはたらき

岡 良 隆 (臨海実験所)

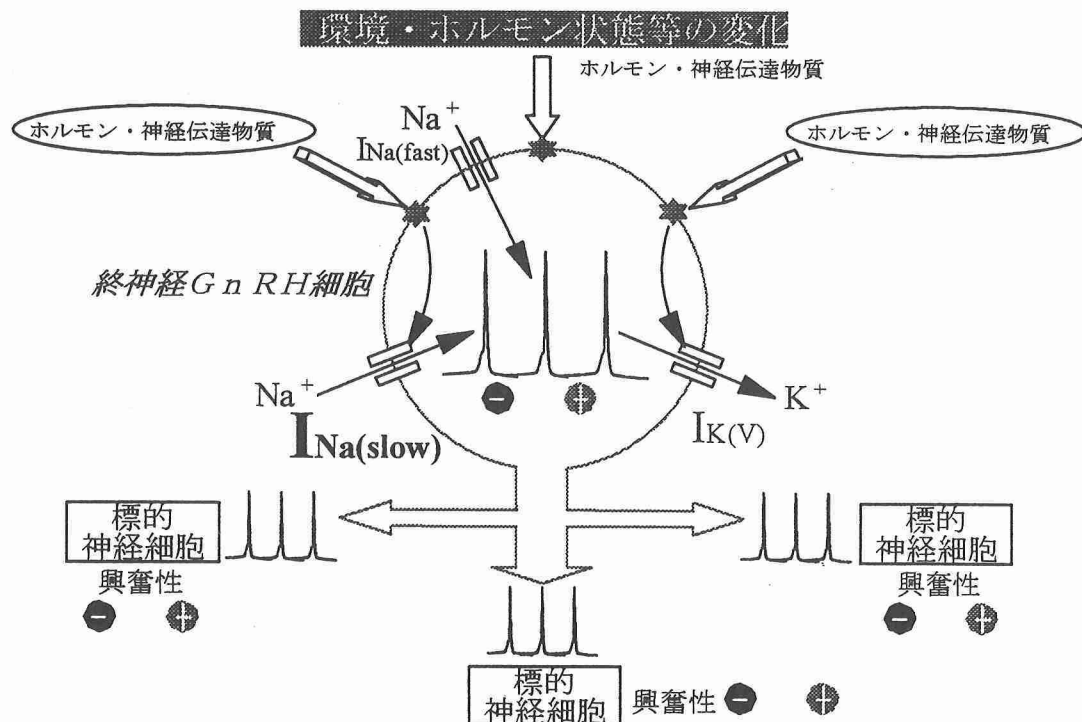
okay@mmbs.s.u-tokyo.ac.jp

イオンチャンネルは神経細胞に存在して脳内の電気の信号の生成に関っているだけでなく、内分泌細胞や卵細胞・精子等にも広く存在して細胞外環境が細胞内情報伝達系のトリガーを引く際に有効に使われている。私たちは、環境の変化に適応するために動物が進化の過程で獲得した情報伝達機構の重要な担い手としてのイオンチャンネルと細胞内情報伝達系に注目して主に2つのテーマについて研究を進めている。

ペプチドニューロン系 動物は外界からの入力に対して常に一定した応答を示すのではなく、環境の変化を的確に受け止め、これに対して適応的かつ合目的に柔軟な応答をする能力を備えている。これを可能にしているのが情報の伝達系としての神経系・内分泌系である。私たちは、環境変化の受容系と行動・内分泌的適応の仲介をする重要な役割を演じているものの1つがペプチドニューロン系であると考えている。本研究で主な対象とするゴナドトロピン(生殖腺刺激ホルモン)放出ホルモン(GnRH)は、視索前野で産生され、外的・内的環境の変化に応じて正中隆起に投射する軸索終末から分泌されて下垂体からのゴナドトロピン放出を調節する「向下垂体ペプチドホルモン」として従来から知られてきた。

この際 GnRH ニューロンは感覚情報からホルモン分泌への情報変換の役割を担っている。私たちはこれに加えて、正中隆起ではなく脳内に広く投射して各脳部位の機能の調節にかかわる神経修飾物質として働くと考えられる終神経 GnRH 系および中脳 GnRH 系の存在を証明してきた。この、構造的・機能的に多様な GnRH 神経系の存在の証明は私たちが魚類脳の特性を生かして、世界に先駆けて証明した。本研究では、脊椎動物の GnRH 神経系を主な題材として、脊椎動物が環境変化に対応して柔軟な生理的応答をする基礎としての神経系・内分泌系における細胞内情報伝達機構のしくみを、主に生理学における最先端的手法を用いて、また、生化学的・分子生物学的手法も取り入れながら解明しようとしている。

卵細胞・精子 卵細胞・精子の活性化等については従来主に生化学的な手法で研究されており、活性化に必要な細胞内情報伝達系をイオンチャンネルがトリガーすることが示唆されてきた。私たちはそのメカニズムをより直接的に探るため、従来この分野ではあまり用いられてこなかった電気生理学や分子生物学の手法を用いた研究を始めている。



終神経 GnRH 系の神経修飾作用に関するモデル。

# ミュオン触媒核融合実験の進展

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

松崎禎市郎・石田勝彦・中村哲 (理研)

坂元眞一・河村成肇 (中間子科学研究センター)、他

重い電子と考えられる素粒子負ミュオンが触媒し、寿命百万分の2秒の間に連鎖的に誘発する2重水素(D)と3重水素(T)との間の核融合現象の研究が、理研・東大理・原研アイソトープ部・電総研・RAL(英、ラザフォードアップルトン研)の共同研究チームによって大きな進展をみた。この実験は、14MeV核融合中性子と、反応生成物 $^4\text{He}$ にミュオンが付着し連鎖反応の終止に対応する特性X線とを、同時に測ることを行っている。10年程前に中間子科学研究センターKEK分室において始められた実験手法を、理研がRALにつくったミュオン施設で得られる大強度パルス状ミュオンビームとTが崩壊することによって生ずる $^3\text{He}$ 不純物を完全に除去している高純度標的系とを駆使し、最先端の実験が進行している。次のことが判った。

- i) T濃度30%の液体D-Tで、ミュオン1個当りの融合中性子発生数は140~200個になり、T濃度の最適化により、科学的ブレークイーブに対応する300個/ミュオンに近づく条件が得られることが期待される。
- ii) X線スペクトル(図1)から得られる $^4\text{He}$ へのミュオン付着率は0.4%以下であり、理論の予測0.6%と異なっている。
- iii)  $^4\text{He}$ に付着したミュオンからの原子X線は、 $K\alpha$ (全量子数 $n=2 \rightarrow n=1$ )が主体で、 $K\beta$ ( $n=3 \rightarrow n=1$ )が理論予測に比べ非常に弱く、興味ある未知の原子過程を示唆している。
- iv) 固体D-Tでは $^3\text{He}$ の累積による核融合回数の著しい減少が観測されていて、 $^3\text{He}$ のその場除去の重要性を示している。

この実験は、本年夏頃に完結する予定である。

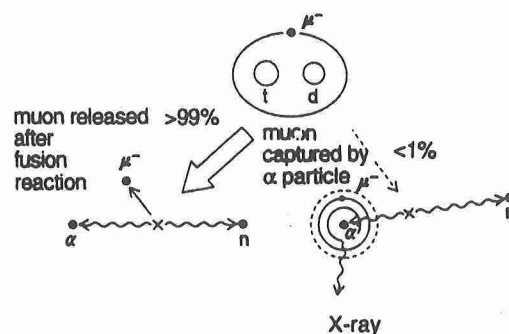
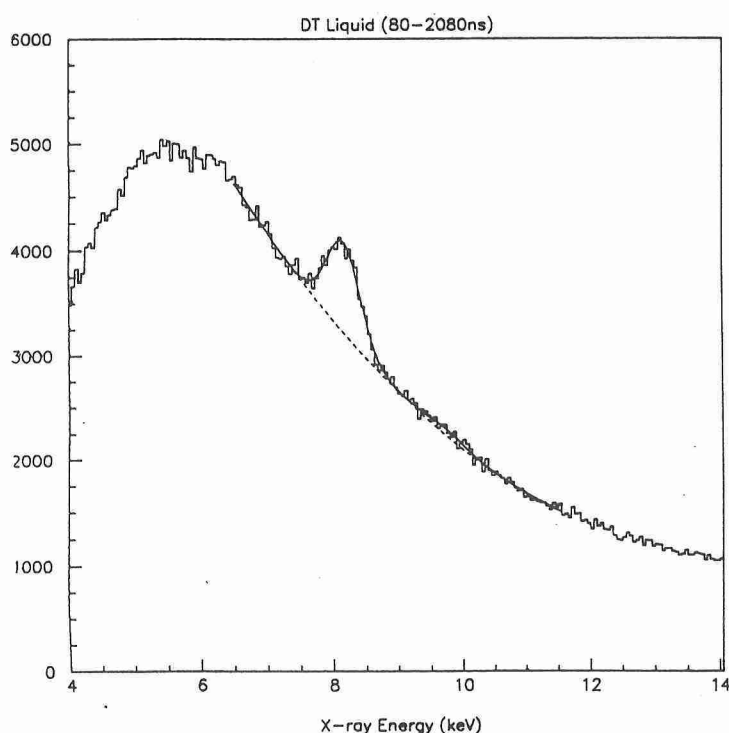


図1 強力なパルス状ミュオンと高純度液体D-T(T濃度28%)標的をもちいて得られたミュオン・アルファ付着現象によるX線のスペクトル。Tのベータ崩壊の制動輻射バックグラウンドの上に8.2KeVの $K\alpha$ X線がきれいに見えている。

# 地震の傷跡はどのように癒されていくのか

五十嵐 丈 二 (地殻化学実験施設)

iga@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp

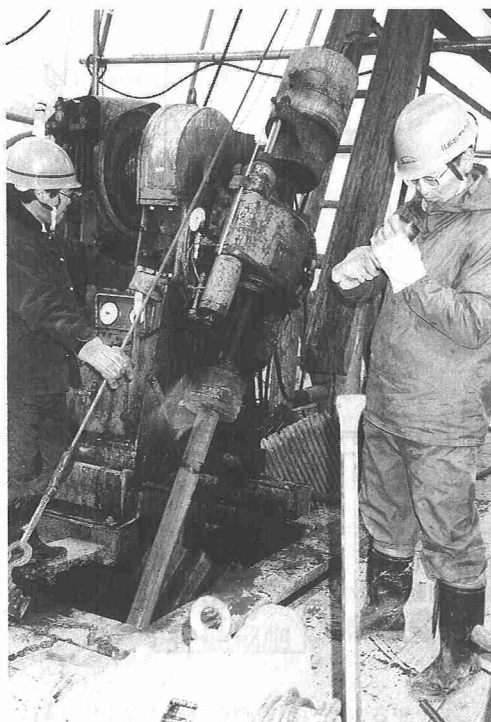
今や、「活断層」という言葉は広く人々に知られるようになった。活断層は、地震の傷跡である。地震によって出来た傷跡は、長い年月をかけて癒されていくが、やがて地殻応力とその破壊限界強度に達すると、再び地震が発生する。地震が一度発生してから同じところで再び発生するまでの一サイクルは、内陸のマグニチュード7クラスの地震の場合、平均して数千年とされている。

兵庫県南部地震で淡路島の北西部に現れた地震断層は、淡路島の地下深くで開始した地殻の破壊が巨大な活断層に沿って約17kmも上昇して地表まで達したことを物語っている。このような、出来立てのホヤホヤの巨大な傷跡は、内陸地震発生に至るメカニズムを理解するうえで極めて貴重な研究対象である。この傷跡を、地表だけでなく地下深部まで調査するために、「断層解剖計画」が国立大学や国立の研究機関の共同研究として開始された。断層破碎帯を縦、横、斜めに切るように、深度500m, 800m, 1800mの3本の井戸が掘削され、様々な分析が行われている。地殻化学実験施設では、掘削された井戸の地下水の水位と湧出量の連続観測や、井戸の掘削時に採取された深部断層岩中に含まれるガスの同位体比測定などを行い、断層解剖計画に寄与してきている。

1997年2月9日から13日の5日間にわたり、深度1800m観測井において注水試験が行われた。注水による地下

深部の間隙水圧変化が断層破碎帯とその周辺にどのような影響を及ぼすかを調べるのが目的である。期待される変化は、地下水の流動電位による地電位変化、誘発地震、そして隣接する深度500mと800mの観測井の水位と湧出量変化などである。我々が担当している水位と湧出量の観測により、地下深部の断層破碎帯における平均的な透水率が推定できる。

ところで、兵庫県南部地震に伴って淡路島北部の広い地域で地下水や温泉の異常な湧出がみられた。これは地震によって地殻に微小な亀裂が形成されるなどの変化が起こり、帯水層の透水率が高くなったためと考えられる。地表で観察される異常湧水は徐々に地震前の状態に戻りつつあるが、深部の断層破碎帯では地震発生後2年以上経過した現在でも、高い透水率が維持されていることが期待できる。やがて地下水に溶けているミネラルの析出などにより亀裂が塞がれていき、それに伴って帯水層の透水率も低下していくだろう。しかし、地震直後の地殻の癒着過程を実際に観測した例はなく、ほとんどわかっていないと言ってよい。(数千年という内陸地震サイクルのタイムスケールと比較すれば、地震後2年経過したとはいえ、「地震直後」である。)同様な注水試験を5年後、10年後と繰り返して調査を続けていく予定である。



淡路島の野島断層における斜めボーリングの様子



# 地上望遠鏡からの中間赤外線観測

片 坐 宏 一 (天文学教育研究センター)  
kataza@mtk.ioa.s.u-tokyo.ac.jp

天文学の新しい発展をもたらすもののひとつに観測技術の進歩がある。そして今では $\gamma$ 線から電波にわたる電磁波での観測がなされ、それぞれの波長域でさらなる高感度、高波長分解能、高空間分解能をめざして観測技術が進展している。

私が今とりくんでいるのは中間赤外とよばれる波長が10から20ミクロン程度の波長域である。このあたりでは我々の観測にとって邪魔な存在である大気の吸収の少ない、したがって地上からでも観測できる波長域がある。そして、そのような大気の窓とよばれる観測可能な波長域の中に、宇宙空間に存在する個体微粒子からの放射帯や、比較的高い励起状態にある原子の輝線を多く含んでいる。

この波長域での観測はこれから大きく観測限界を引き上げることが期待できる。それは、望遠鏡が今世代交替の時期にあり、これまでの口径4メートル級の倍の8メートル級のものが建設中であることと、この波長域での2次元アレイ検出器が開発されたためである。

日本でも国立天文台が中心になってハワイのマウナケア山頂に口径8mの望遠鏡を建設中である。私はこの望遠鏡に取り付ける観測装置の一つとして中間赤外での長スリット分光と撮像のできる観測装置の開発を行って

る。

一口に観測装置の開発と言ってもすべきことは実に多岐にわたっている。その中には観測装置本体の設計とその実現に必要な技術開発は当然であるが、それだけではない要素もある。

特にこの中間赤外という波長域では、望遠鏡はもとより大気も透過率が比較的高いといっても残りの放射率の部分で熱輻射を出している。この熱放射に取り囲まれた状態の中での観測を実現するために必要な観測手法を調べることも重要な開発要素である。

この4年間程の間に私は、本番の観測装置の設計だけでなく、この観測手法を調べるためにプロトタイプ of 観測装置を製作し、観測を行って来た。その結果、望遠鏡の副鏡を振動させて3Hz程度の周波数で観測点を変えることが必要であるということ、副鏡振動では光学系のわずかな違いに起因するオフセットがのるのでこれを補正するために数分おきに望遠鏡全体のみる方向を変える必要があることなどがはっきりして来た。

これらの結果は今建設中の望遠鏡の副鏡制御システム等にも反映しつつ、あと2年以内に迫った本番装置での観測のスタートにむけて準備を進めている。

