

## カラビ不変量とオイラー類

坪井 俊 (数学科)  
tsuboi@ms.u-tokyo.ac.jp

円周の恒等写像とアイソトピックな微分同相のなす群を  $\text{Diff}(S^1)_0$  とし、この円周を境界とする円板の面積要素  $\Omega = dx \wedge dy$  を保つ恒等写像とアイソトピックな微分同相のなす群を  $\text{Diff}_\Omega(D^2)_0$  とする。スメールの定理とモーザーのアイソトピーを使えば、全射準同型  $\text{Diff}_\Omega(D^2)_0 \rightarrow \text{Diff}(S^1)_0$  のカーネル  $\text{Diff}_\Omega(D^2, \partial D^2)$  は可縮であることがわかる。境界上で恒等写像であるような面積要素  $\Omega$  を保つ部分同相のなす群  $\text{Diff}_\Omega(D^2, \partial D^2)$  にはカラビ不変量と呼ばれる準同型  $\rho : \text{Diff}_\Omega(D^2, \partial D^2) \rightarrow \mathbb{R}$  が定義される。

さて、曲面群  $\pi_1(\Sigma_g)$  のこれらの群への表現を考えるとき、カラビ不変量とオイラー類について、次の定理が成立することがわかった。

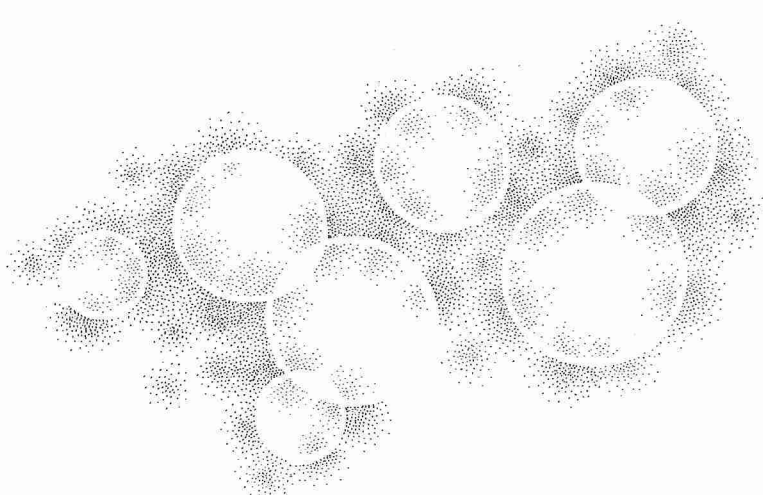
**定理。** 準同型  $\Psi : \pi_1(\Sigma_g) \rightarrow \text{Diff}(S^1)_0$  が与えられたとする。ここで  $\pi_1(\Sigma_g) = \langle a_1, \dots, a_{2g}; [a_1, a_2] \dots [a_{2g-1}, a_{2g}] \rangle$ 、添え字  $i$  に対し、 $\Psi(a_i) \in \text{Diff}(S^1)_0$  の拡張  $h_i \in$

$\text{Diff}_\Omega(D^2)_0$  をとる。このとき、 $\rho([h_1, h_2] \dots [h_{2g-1}, h_{2g}])$  は  $\Psi$  により定義される  $\Sigma_g$  上の  $S^1$  束のオイラー類の基本類  $[\Sigma_g]$  上での値の非零定数倍である。

系として、 $\Psi$  が  $\text{Diff}_\Omega(D^2)_0$  への表現に拡張されるならば、 $\Psi$  により定義される  $\Sigma_g$  上の  $S^1$  束は自明であることがわかるが、これは三松佳彦氏の次の一般的な定理の特別な場合となる。

**定理 (三松佳彦)。** ファイバーに横断的な葉層をもつ  $n$  次元多様体上の  $D^n$  束が、横断的に 2 点以上の台を持つホロノミー不変測度を許容するならば、 $D^n$  束のオイラー類は自明である。

我々の結果は群  $\text{Diff}_\Omega(D^2)_0$ ,  $\text{Diff}(S^1)_0$ ,  $\text{Diff}_\Omega(D^2, \partial D^2)$  のコホモロジー類のついでの関係式であるが、河澄響矢氏により、この関係式は群の完全列  $1 \rightarrow \text{Diff}_\Omega(D^2, \partial D^2) \rightarrow \text{Diff}_\Omega(D^2)_0 \rightarrow \text{Diff}(S^1)_0 \rightarrow 1$  に付随するスペクトル系列からも得られることがわかっている。



## サブミリ波望遠鏡をつくる

山本 智 (物理学専攻)  
yamamoto@phys.s.u-tokyo.ac.jp

サブミリ波は、波長が1から0.1mm程度の電波のことです。周波数で言うと300GHzから3000GHzで、ちょうど電波と遠赤外線の間にあたります。この領域には、原子の微細構造スペクトル線や基本的分子の回転スペクトル線が多数存在します。星間分子雲から来るそれらのスペクトル線をサブミリ波望遠鏡を用いて観測することで、星形成の場である星間分子雲の物理状態や化学状態を詳しく調べることができます。世界的にみると、そのような観測は1980年代中頃から始まり、ハワイのマウナケア山頂（標高4200m）には口径15mと10mの2つのサブミリ波望遠鏡が稼働しています。

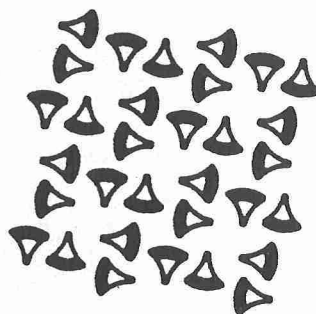
サブミリ波は大気に含まれる水蒸気によって強く吸収を受けるので、宇宙からのサブミリ波を観測するには標高が高く、しかも乾燥した場所ですなくてはなりません。数年前まで、わが国にはそのような条件を満たす適当な観測サイトがないと考えられてきたため、サブミリ波天体観測はこれまで大きく遅れをとってきました。そのような状況の中で、私たちが目をつけたのが富士山頂です。分子科学研究所や国立天文台のグループと共同して、サブミリ波の大気透過度を評価する測定装置を富士山測候所の協力を得て山頂に設置し、2年間にわたって測定を行いました。その結果、サブミリ波の透過度はマウナケア山頂にひけをとらないほどよいことがわかりました。

そこで、私たちの研究グループでは、COE形成プログラム「初期宇宙の探求」（代表：佐藤勝彦教授）のプロジェクトの一つとして、可搬型サブミリ波望遠鏡を開

発して、富士山頂で運用する計画を進めています。望遠鏡の口径は1.2メートル。集光力では大口径のものにはかないませんが、広がった星間分子雲の大局的構造を捉えるにはむしろ大いに適しています。私たちのねらいは中性炭素原子の放つ492GHz（波長0.6mm）のスペクトル線です。炭素は、星間分子雲の物理状態、進化段階によって、炭素イオン、中性炭素原子、一酸化炭素などの形態をとります。中性炭素原子のスペクトル線を観測してその分布を一酸化炭素や炭素イオンの分布と比べることで、炭素の存在形態という物質的視点から、銀河における星間分子雲の形成過程を解明し、その中での化学進化に迫ろうと考えています。

望遠鏡はすでに完成しており、国立天文台野辺山観測所構内に仮設置して試験運用をしています。サブミリ波でも300GHz帯であれば野辺山観測所から条件によっては観測できます。私たちは、昨年12月に、一酸化炭素の回転スペクトル輝線（ $J=3-2$ ：345GHz）をオリオン座分子雲で観測することに成功し、また、いくつかの巨大分子雲でその広がりを明らかにしました。この試験観測は今年の5月くらいまで続け、7月には富士山頂へ運び上げます。そして、秋ごろから中性炭素原子スペクトル線の本格的観測を始める予定です。

この計画を進めるにあたっては、気象庁東京管区气象台、浅間大社のご協力をいただいています。また、理学部事務の皆様には多大なるご支援をいただいています。この場をお借りして厚くお礼を申し上げます。



## 太陽アクシオンの直接検出実験

蓑輪 眞 (物理学教室・COE 研究拠点 初期宇宙研究センター)  
minowa@phys.s.u-tokyo.ac.jp

素粒子物理学において、理論的には存在することが予測されているけれどまだ発見されていない素粒子がいくつかある。アクシオン (axion) と呼ばれる素粒子もその一つである [1,2]。この粒子は、素粒子に働く「強い力 (strong interaction)」を記述する理論に内在する、非対称性を取り除くために考え出されたものである。電気的には中性、スピンも 0 である。質量は理論的には予言できないが、電子よりもずっと軽いと考えられている。

もしアクシオンが本当に存在すれば、太陽内部にある大量の黒体放射の光子と、やはり太陽内部にある原子核等の電磁場とが相互作用して平均エネルギー約 4 keV のアクシオンを発生することがわかっている。これらは太陽アクシオンとよばれる。太陽アクシオンは太陽光と同時に大量に地上に降り注いでいると考えられる。これを地上に用意した強磁場により再び光子 (X線) に転換して検出しようというのが、太陽アクシオンの直接検出実験である。

このために、高エネルギー加速器研究機構の山本明教授と共同で、レーストラック型で 20mm×90mm×2300mm の有効領域を持つ超伝導電磁石を開発した。この超伝導電磁石は、小型の冷凍機で直接コイルを冷却する直冷式で、液体ヘリウムを全く必要とせず、低温装置のエキスパー

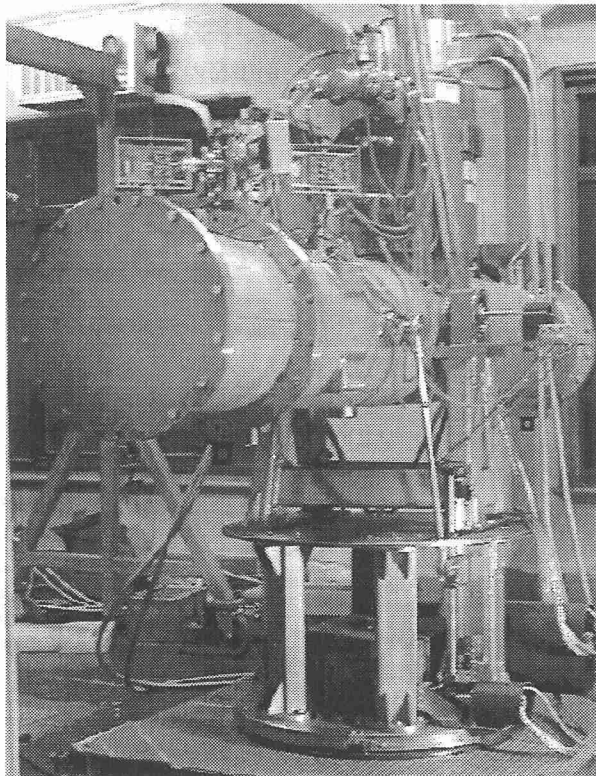
トのいない実験室でも長期間連続して運転することができる。また、永久電流モードで運転することもあって、運転経費が安くなっている。

X線検出器には、低温で動作する PIN フォトダイオードを複数使っている。また、光学式望遠鏡と同じように、磁石を常に太陽の方に向けてるように回転架台をコンピュータで制御するようになっている。

昨年の暮れから既に観測が始まっており、質量 0.1 eV 以下の領域では世界最高の感度を持っていることが確認された。この装置は、太陽アクシオン観測専用の超伝導電磁石装置としては世界で初めて稼働したものであり、これまで誰も見たことのないデータが出てきている。今後の改良により、もっと重い質量の領域でも世界最高の感度になる予定であり、太陽からアクシオンが放射されているのか否かについての結論を出したいと考えている。

### 参考文献

- [1] 蓑輪 眞、数理科学 29 巻 2 号 (1991年), p.43 (サイエンス社).
- [2] P.Sikivie, パリティ 12 巻 10 号 (1997), p.29 (丸善).



理学部旧一号館地下室に設置された太陽アクシオン検出装置

# 一次元レドックス共役分子、オリゴフェロセニレンの物性

西原 寛 (化学専攻)

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

近年、ポリアセチレンなどの“導電性高分子”と呼ばれる一次元  $\pi$  共役ポリマーが脚光を浴びている。高い導電性だけでなく、電荷貯蔵やクロミズム、発光など、様々な特性を持っているためである。我々は、この導電性高分子に遷移金属錯体を融合した新しい物質系の開発に取り組んでいる。その中に、サンドイッチ型有機金属化合物であるフェロセンを、直接または共役系リンカーを介して連結した一次元ポリマーがある。このポリマーも一種の“導電性高分子”であるが、高分子ユニットが可逆なレドックス応答をするという点で、一般の導電性有機高分子とは異なっている。したがって、フェロセン系共役高分子は、“レドックス核の一次元共役結合系”とみなせるユニークな物質である。

レドックス共役系においては、「その物性が“隣接核間相互作用”に基づいてどこまで総合的に理解できるか？」という命題がある。我々は、オリゴおよびポリ(1,1'-フェロセニレン)の可溶性誘導体を用いて、この問題に取り組んでいる。例えばレドックス特性に関しては、測定した7量体(図)までのオリゴフェロセニレンの多段階電子移動の熱力学が、隣接二核間相互作用に加えて三

核間相互作用を取り入れた考え方によってクリアーに説明できることを明らかにした。その際、実験的に求められた三核間相互作用エネルギー  $u_{OXR}$  は二核間相互作用エネルギー  $u_{OR}$  (O, Rはそれぞれ酸化体ユニット、還元体ユニットを表す)に比較して5分の1程度の小さい値 ( $-3.7 \text{ kJ mol}^{-1}$ ) である。この結果は基本的にポリフェロセニレンが、局在した電荷分布が酸化状態によって変動するような一次元共役系と見なせることを示している。

その他に調べたオリゴフェロセニレンの混合原子価状態(OとRが混在する酸化状態)における電子的異性体の構造や、O-R間の電子移動に伴う光学吸収(ITバンド)の結果も、隣接核間相互作用に基づいて解析することが分かってきた。オリゴフェロセニレンは最も単純な一次元レドックス共役系の一つであるが、レドックス分子と  $\pi$  共役鎖との組み合わせは多種多様であるので、様々な一次元構造に加えて二次元、三次元系の構築も可能である。このような多重性を示す物質系を組み立ててその謎を解き明かすのは、化学者としての欲求を満たすものであると同時に、応用性をもつ物質の設計指針に役立つものと考えている。

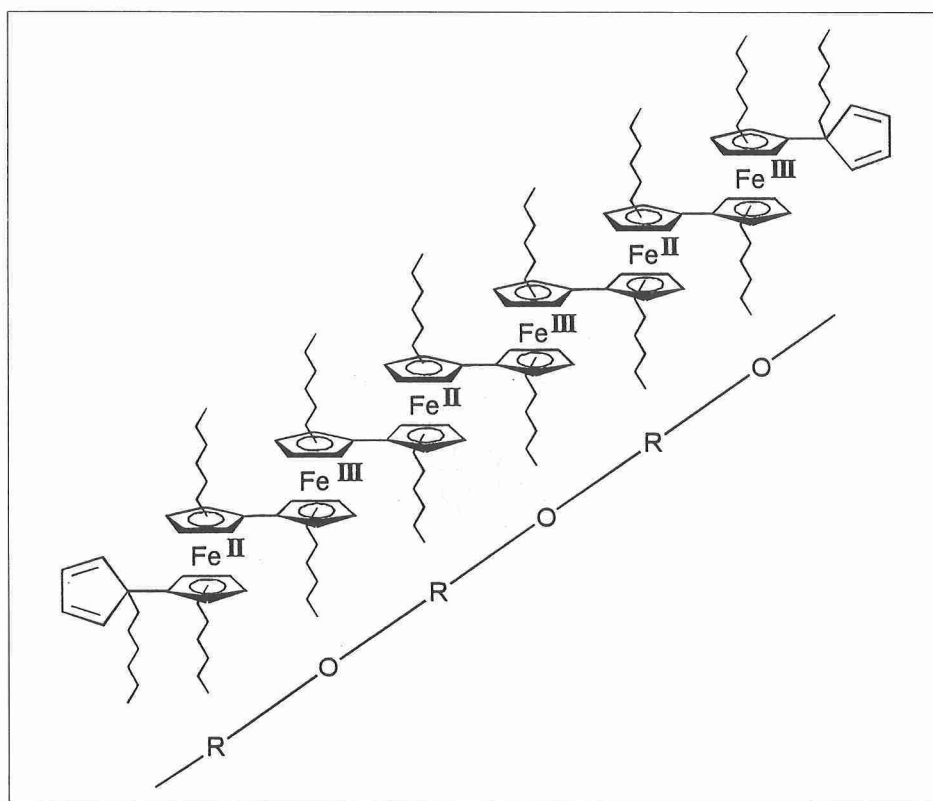


図 オリゴフェロセニレン誘導体(7量体)の3+の電子構造の概念図

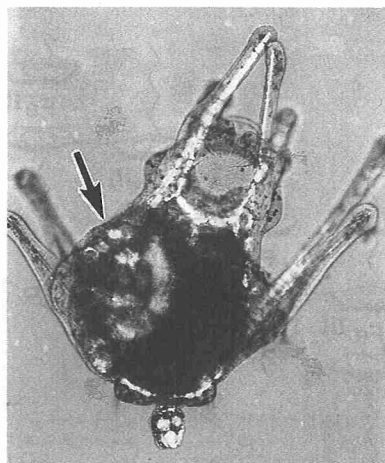
## 動物の発生と左右非相称性

雨宮 昭南 (生物科学専攻)  
shonan@biol.s.u-tokyo.ac.jp

我々の体は、基本的に左右相称性であるが、内臓などの配置には左右非相称性が認められる。この左右非相称性は、個体発生上は安定で、例えば、我々の心臓は通常体の左側に生じ、右側に作られることは無い。

動物の中で、最も原始的とされる海綿動物と腔腸動物以外の多細胞動物は、全て左右相称動物とされ、口と肛門を結ぶ体軸（前後軸）を通る左右相称面を持っている。その中で、棘皮動物のみは例外的に、2次的に左右相称性を放棄し、成体は5放射相称型を作るようになった。しかし、その系統発生過程を反映して、幼生は完全な左右相称性を示す。左右相称型幼生から5放射相称型の成体が生じる過程は、例えばウニでは、原腸胚期に原腸先端から左右に1対生じる体腔囊のうち、左側体腔囊のみが発達して成体原基（写真、矢印）となり、この成体原基を中心として5放射相称型の成体型ウニができる。ウニ幼生の発生過程において、外見上、左右相称性が崩れるのは、左側体腔囊から成体原基が形成される時期であるが、実際にはそれ以前に幼生の左右相称性は失われている。32細胞期のウニ胚の植物極端に生じる4個の極細胞は、他の細胞とは極めて異なった性質を持っている。この細胞は卵割の時期を通じて分裂せず、胞胚期になって1度だけ分裂して8個となり、再び、分裂を停止する。

我々の研究室で明らかにされたところでは、原腸胚後期に原腸先端両側に1対の体腔囊が形成されると、この8個の極細胞はその左右体腔囊に不等配分される。この時の極細胞の不等配分の様式によって、ウニの種は2つのグループに分けられる。1つのグループでは、8個全ての極細胞が左側体腔囊に配分され、もう1つのグループでは、左側に5個、右側に3個の割合で配分される。いずれの場合でも、基本的に左側体腔囊の方に多くの極細胞が配分されることになる。極細胞が左側体腔囊に多く配分されることと、左側体腔囊が成体原基を作ることの因果関係は単純ではない。極細胞の発するシグナルと、極細胞が周囲の細胞から受け取るシグナルが、微妙なタイミングで複雑に関わりあっている可能性がある。ウニ幼生は細胞数も少なく、単純なボディプランをもち、しかも、成体原基の左側での形成という、明瞭な左右非相称性を示すから、左右非相称性の成立の機構を研究するには有利な材料である。さらに、棘皮動物が左側に成体原基をつくる機構と、5放射相称型を作る機構とは互いにリンクしていると考えられており、棘皮動物に於ける左右非相称性成立機構の研究は、系統発生上の棘皮動物のボディプラン確立の機構につながる可能性を含んでいる。



# 「光回復酵素－生きながらえるべきか、死すべきか」

三谷 啓 志 (生物科学専攻)

mitani@biol.s.u-tokyo.ac.jp

近年、オゾン層破壊にともなう紫外線の増加により、皮膚ガンの増加をはじめとする様々な生物影響が懸念されている。太陽光紫外線の生物学的影響（日焼け、皮膚老化、免疫抑制、発ガン等）はDNAのピリミジン塩基（チミンとシトシン）が隣り合っている箇所にて共有結合が生じてできるシクロブタンピリミジン2量体（CPD）と（6-4）光産物（(6-4) PD）の2種類が原因であると考えられている。これらは、除去修復系によってDNAから取り除かれ、その部分では、DNAの相補鎖をもとに新たに正常DNAが合成される。

しかし、多くの生物種では、太陽光に含まれる長波長紫外線から青色光の光を吸収し、そのエネルギーで紫外線で生じた共有結合を開裂する光回復酵素が存在している。これは、紫外線損傷修復しか行えないが、きわめて合理的な機構である。長い間、光回復酵素は、CPDのみを修復すると考えられていたが、最近、藤堂らは、ショウジョウバエからCPD光回復酵素に類似した新たな光回復酵素である(6-4) PD光回復酵素を発見した。一方、植物では、光回復酵素によく似た一群の蛋白質が、青色光受容体として、形態形成の光制御を支配していること等が次々に報告され、現在その機能解明が脚光をあびている。

我々は、魚類の光回復酵素の研究を進めてきた。2種類の光回復酵素がともに可視光により転写誘導されることを明らかにし、この誘導現象に、可視光により生じる細胞内光増感物質由来の酸素ラジカルを介したシグナル伝達系が、関与している可能性を示した。さらに、このカスケードは、除去修復も活性化するものと考えられる。古くから研究の進んでいた、大腸菌や酵母ではこのよう

な現象が観察されていなかったが、その後、植物やプランクトンで同様の報告がされ、多くの生物には、明け方に、太陽光を感じ、昼間に急増することを予期して、光回復酵素を増産したり、DNA修復系を活性化することで紫外線防衛機能を強化するという巧妙な仕組みが存在すると考えられるようになってきた。そのため、紫外線増加時の生物影響を予測する際にもこのような適応的なDNA修復の変動は大きな因子として考慮する必要がでてきた。

また、我々は、CPD光回復酵素を恒常的に高発現するメダカ細胞株を樹立し、この細胞を用いて紫外線誘発の細胞死（アポトーシス）とCPDの関係を解析している。この細胞を用いると、可視光照射により、紫外線損傷量を任意にコントロールすることができる。アポトーシスは、紫外線損傷で生じる突然変異等が原因となる細胞社会の秩序の乱れを回避するために、細胞を自爆的に殺す機構と考えられている。すなわち、紫外線照射された細胞は、『(DNA修復をして)生きながらえるべきか、(ガン化して他の細胞に迷惑をかけないために)死すべきか』の選択を迫られるわけである。我々の結果では、紫外線にさらされると、細胞は、形態変化を起こし、次に細胞の急激な断片化が起こる（図参照）。しかし、大線量をあびて形態変化を起こしても、過剰発現した光回復酵素で、CPDを可視光下で修復してやれば、アポトーシスは起きず、形態も元に戻り、増殖を再開した。このことから、『DNA損傷の量を監視して、ある量以下になったらアポトーシスの回避のシグナルを出す（自殺を思い止めさせる？）』新たな機構の可能性を考え、現在その解析方法を模索しているところである。

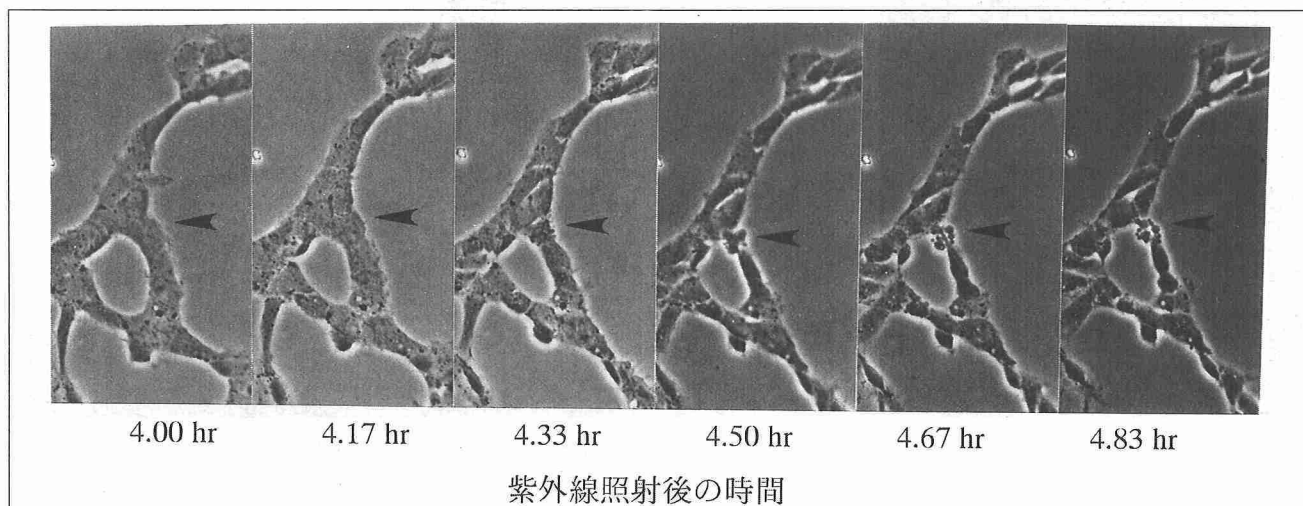


図 紫外線照射後の細胞死（アポトーシス）の時間経過（上段は紫外線照射後の時間を示す。）

## 御前崎沖南海トラフのガスハイドレート

松本 良 (地質学専攻)  
ryo@geol.s.u-tokyo.ac.jp

ここ数年、海洋のガスハイドレートが地球科学分野で注目されている。国内産エネルギー資源の乏しいわが国では次世紀の天然ガス資源としての期待も大きい。サイエンスの立場から言うと、地球表層環境を支配する炭素サイクルに介入する巨大な炭素シンクとしての意義が特に注目される。

半分ほど水で満たした圧力容器の中にメタンガスを入れ40気圧とし、次に全体の温度をゆっくり下げてゆくと、5°Cほどで容器内の圧力が急に低下し始める。覗き窓から中の様子を観察すると、気液境界付近に白いふわふわした氷のような結晶が生成しているのが分かる。これがメタンハイドレートであり、圧力の低下は、メタンハイドレート中に多量のメタンガスが取り込まれたことを意味する。メタンハイドレートを作る水分子とメタンガス分子の比はほぼ6:1である。このことは、メタンハイドレート結晶中にはそれ自身の150倍ほどの容量のメタンガスが取り込まれていることを意味する。写真は私たちのラボで合成した純粋なメタンハイドレートである。

メタンハイドレートは低温と高圧で安定に存在する。このため、天然で最も広く分布する場所は大陸周辺の海底堆積物である。海底の圧力は数10～数100気圧、温度は数°C以下であり、堆積物はメタンガスの原料となる有機物を豊富に含むため、メタンハイドレートの生成条件としては理想的である。実際、世界中の縁海で海底面から数100メートルまでの堆積物中からガスハイドレート

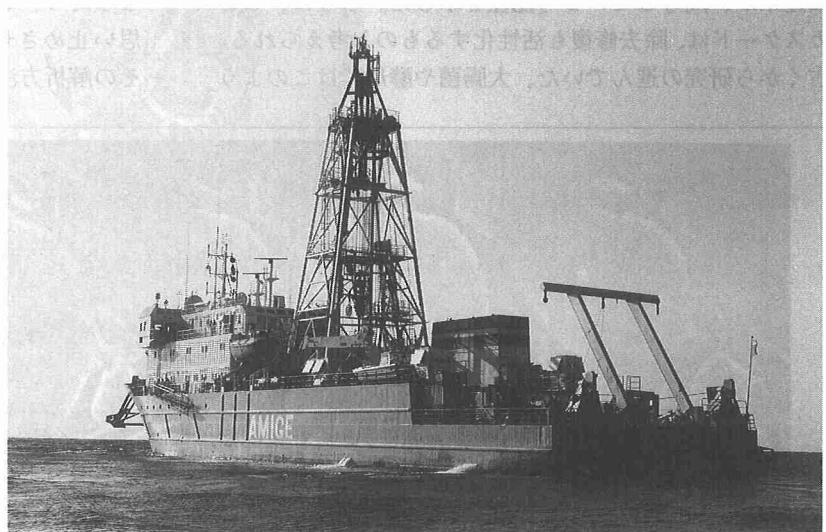
が報告されている。

わが国の周辺に限って見ると、音響探査などの間接的な証拠から、駿河湾から九州宮崎沖へ連なる海溝域の陸側斜面に分布すると予想されているが、実際に堆積物を回収しての研究は殆ど行われていない。水深約1000メートルの御前崎沖で、昨年秋にガスハイドレート掘削調査が行われた。調査では海底から250メートルまでのボーリング、堆積物試料の回収、堆積物に含まれる間隙水の化学分析、同位体分析などが行われた。ガスハイドレートは水と同様に‘凍結’する際塩分が排除される。また、‘凍結’の際、酸素同位体の分別も起きる。このため、船上に回収されたコア試料から水を絞り出して化学組成、同位体組成の分析をすると、元々その堆積物中にどれくらいのガスハイドレートが含まれていたかが計算出来る。24時間眠らない掘削船の3畳ほどの狭いラボで、12時間交代の作業を1カ月間続けた結果、南海トラフ域におけるガスハイドレートの水平的、垂直的分布、周辺域で見られる冷湧水との密接な関係が初めて明らかになった。

ハイドレートは、地球史に度々繰り返された劇的な環境変動、生物の絶滅事件に大きく関わっている可能性がある。ガスハイドレートの環境へのインパクトを定量的に評価出来るには、海底堆積物中のガスハイドレートを正確に知らなければならない。今回の掘削および99年度中に予定されている掘削調査はハイドレート科学の発展に極めて重要な意味を持つと言える。



1. 実験室で合成されたメタンハイドレート。



2. 御前崎沖で海底下の天然ガスハイドレートのボーリング調査をする掘削調査船。

# 人口「還流移動」発生率のエスティメーション

江崎 雄 治 (地理学専攻)  
esaki@geogr.s.u-tokyo.ac.jp

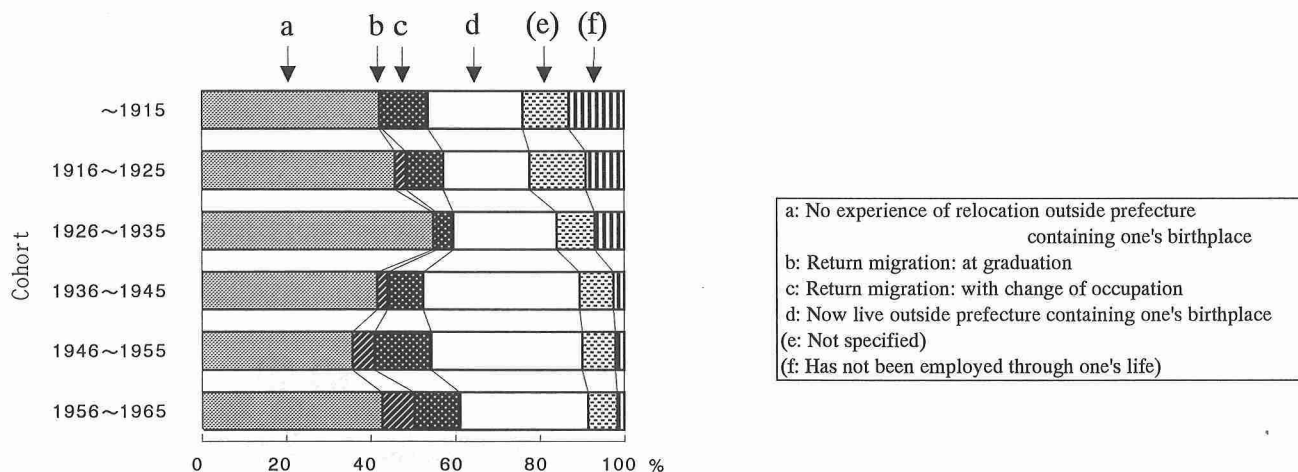
地理学においては具体的地域=フィールドの視座から自然-人間系の相互作用プロセスを解明することを主眼としており、人文地理学の立場はこの系のダイナミズムに対する人為的インパクトの側面を考究することであると言える。この「人為的インパクト」を顕示的に代替する指標については、少なくともマクロレベルでの議論においては当面「人口」が最も適すと考えられる（人口集中・過密がもたらす都市生態系への負荷等については、改めて述べるまでもないであろう）。

このような議論をモデル化する際の基礎となるのが人口推計である。これまで人口推計については主として形式人口学において数理的なアプローチが続けられてきたが、ここでは出生死亡の双方のみからモデルを開発する段階で既に多くの労苦が積み重ねられており、「人口移動」ですら元来は攪乱要因として軽視されてきた。そして（このことと相互に関連すると思われるが）、人口移動については公的なデータ整備が相対的にかなり不十分な状況にある。確かに都道府県間の移動数の時系列比較などは国勢調査報告等の分析によって可能であるが、これら既存データの根本的問題は、移動のシーケンス、つまり同一人の居住経歴を知り得ない点であり、地方出

身者の還流移動（一般的には人口「Uターン」と呼ばれる）という極めて基本的な現象の発生率についてさえ直接的な把握はこれまで不可能であった点を強調したい。つまりそれまでの人口移動に関する論考では、出自や経歴を問わない移動量全体のバランス変化をもって「向都離村の減少」「Uターンの増加」を推測していたに過ぎないのである。

そのような中でようやく1986年以降5年ごとに厚生省人口問題研究所（現国立社会保障・人口問題研究所）による本格的な全国標本調査「人口移動調査」が実施されることとなり、居住経歴の詳細な把握が可能になりつつある。そこで筆者らは1991年実施調査の素データを借り受け、地方圏出身者の還流移動経験率の見積もり等を行った。図は男性についてコーホートごとに居住経歴構成をみたものである。やはり戦後世代はやや値が大きく学卒・転職を合わせ経験率は20%程度で推移しているのが分かる。なお図は略すが、地域ごとの比較ではほとんど差がみられなかった。

今後さらに分析を続け、移動推計の議論に資する研究成果を出していきたい。



図：わが国における地方圏出身男性の居住経歴パターン  
 図中bが「学卒時のUターン」、cが「転職を伴うUターン」にそれぞれあたる。  
 なおここでいう地方圏とは北海道・東北、北陸・甲信越、中国・四国、九州・沖縄地方に含まれる道県をさす。



## 異方性表面を用いた表面原子配列制御

朝倉 清高 (スペクトル化学研究センター)  
askr@chem.s.u-tokyo.ac.jp

異方性を持つ基板を利用し、原子配列を制御して触媒活性を示す元素を基板上に並べることは、原子・分子レベルで構造を規定した高機能触媒開発へ繋がっていくものと期待される。しかし、高活性をしめす触媒は一般に高分散されており、長距離秩序を持つとは限らないため、LEED や RHEED といった回折法が役に立たない場合があり、表面上に高分散した元素の局所構造解析手法を開発していく必要がある。私たちは、この目的を達するため in-situ 偏光全反射蛍光 XAFS (X-ray Absorption Fine Structure) 法という手法を開発してきた。この方法は、局所構造情報を与える XAFS 信号の強度が X 線の偏光方向と化学結合方向とのなす角度に依存することを利用したもので、表面敏感で、立体的な局所構造を与えようという特徴を持つ。さらに、理学系研究科化学専攻、岩澤康裕教授、田旺帝博士、および物質構造研究所放射光実験施設との共同研究で、TiO<sub>2</sub>(110) 表面上に超純水を用いて形成した Mo 種は、TiO<sub>2</sub>(110) の異方性表面構造を反映して、その Mo-Mo 結合が酸素列に垂直にまたぐような Mo dimer 構造をとって、TiO<sub>2</sub>(110) 上に高分散して存在していることを、この in-situ 偏光全反射蛍光 XAFS 法により見出した。

TiO<sub>2</sub>(110) 表面は、図 1a に示すように [001] 方向に酸素列を持つ異方性表面構造を持つ。図 2 に、TiO<sub>2</sub>(110) 表面の 3 つの異なる方向から測定した XAFS 信号を示した。[001], [110] 方向では、周期の長い振動が、徐々に減衰することが観測されるが、[110] 方向には、周期の短い振動が観測され、Mo-Mo 結合の存在を示唆している。われわれは、様々な既知の Mo 酸化物から、

切り出した部分構造をモデル構造として、偏光依存 XAFS 信号を計算し、実験値と比較検討した結果、表面 [110] 方向に 0.335 nm の Mo-Mo 結合をもつ Mo 酸化物ダイマー構造がもっとも実験値をよく再現した。さらに下地の TiO<sub>2</sub>(110) 表面の構造を考慮して、解析を進めた所、図 1b に示すような [001] 方向に伸びた酸素列の中の 2 個の酸素を Mo が共有し、その酸素列をまたぐ形の Mo ダイマー構造で存在していることを見出した。この時、Mo ダイマーに共有される 2 個の酸素列中の酸素は、Mo との相互作用の結果、TiO<sub>2</sub>(110) 表面本来の位置から歪められていることがわかり、この歪みが Mo のダイマー形成の駆動力になっているものと推察した。

一方、少量の Na, K, を含む蒸留水をもちいて、Mo を TiO<sub>2</sub>(110) 表面に分散させた試料に対して、偏光全反射蛍光 XAFS の測定を行うと、3 方向同じ XAFS 信号を与える。すなわち、上述したような非対称構造が出現しない。詳しい解析の結果 Mo は正四面体構造を持つ [MoO<sub>4</sub>] 構造をとっていることがわかった。表面に存在する Na や K との相互作用の結果、こうした正四面体構造が安定化したものと考えられる。

このように、本研究は、in-situ 偏光全反射蛍光 XAFS 法が高分散して長距離秩序を持たない表面物質の構造を解き明かす新しい表面解析手法となりうることを示唆するとともに、基板表面の構造や不純物により、その上に形作られる物質の構造を制御できることを示しており、このことは、今後の新規触媒の設計や開発に一つの指針を与えるものと考えられる。

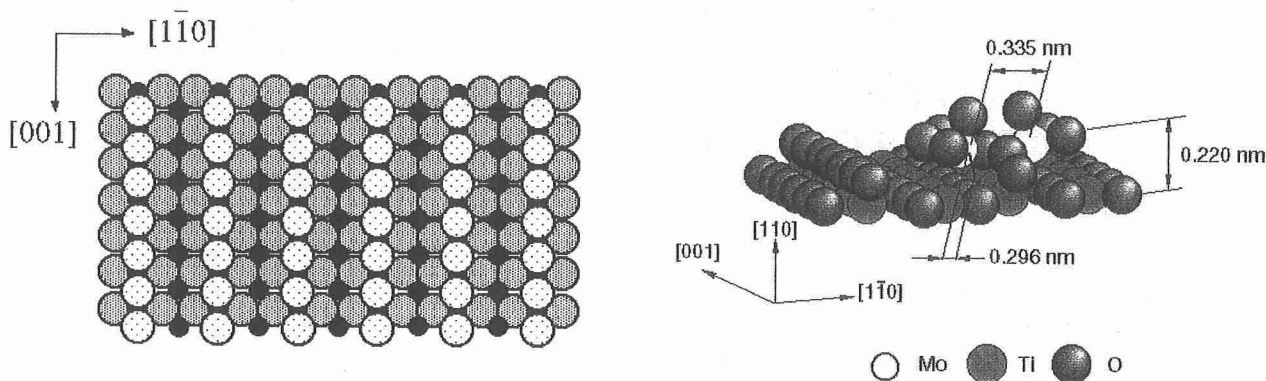


図 1 a) TiO<sub>2</sub>(110) : 大きな円は酸素、小さな黒丸は Ti<sup>4+</sup> である。明るい酸素は表面につきだした酸素列、暗い酸素はもう一段下の酸素、Ti<sup>4+</sup> はこの酸素とほぼ同じ高さにある。 b) 本研究で提案する Mo 酸化物ダイマー構造、Mo-Mo 距離は 0.335 nm である。

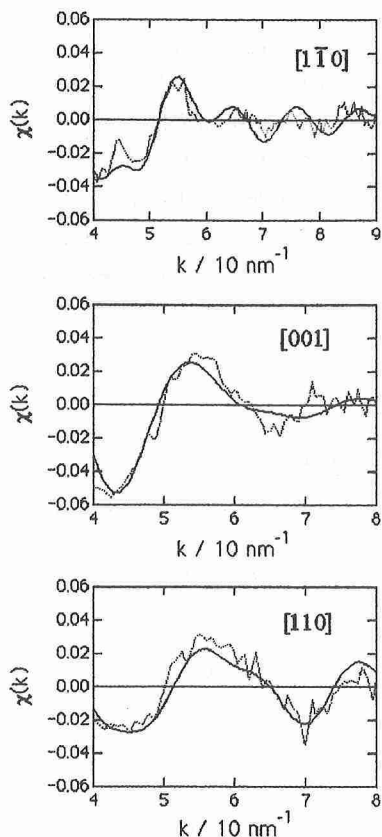


図2 in-situ 偏光全反射蛍光 XAFS 信号(波線)と図 1b でしめしたモデル構造を元に計算した信号(実験)上から、 $[1\bar{1}0]$ ,  $[001]$ ,  $[110]$  方向に X 線の電場ベクトルが向いている。

## 宇宙線生成希ガスからみた火星隕石の歴史

長尾 敬介 (地殻化学実験施設)  
nagao@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp

火星隕石の一つ ALH84001 に太古の生物の痕跡が発見されたとして、一躍有名になった火星由来の隕石は現在12個存在する。これらの隕石の故郷を火星とする強力な論拠の一つは、火星探査機 Viking によって測定された火星大気と同様の希ガスが Shergottite と分類される隕石中に発見されたことである。

ここでは、宇宙線照射による核反応(主として核破砕反応)で隕石中に生成蓄積される宇宙線生成希ガス同位体を分析することにより分かってきた、火星隕石の火星からの脱出の歴史について紹介する。一般に、母天体からメートルサイズ以下の小さい天体として宇宙空間に放出された隕石中には、宇宙線照射による核反応の結果、新しい核種が地球に落下するまで生成される。このような宇宙線生成核種の中、安定核種からは宇宙空間に存在した期間(宇宙線照射年代)を、放射性核種からは地球落下後現在までの期間(落下年代)などが推定される。図は、このようにしてわかった火星隕石が何年前に火星から脱出したかを示したものである。同じ岩石学的タイプの隕石が同時に脱出していること、EET79001 の80万年から ALH84001 の1440万年の間に五回から六回の脱出イベントがあったらしいことがわかる。もしこれが実

際の火星からの隕石脱出に対応しているとすれば、少なくとも数百万年に一度は火星から地球まで隕石が届いていることになる。

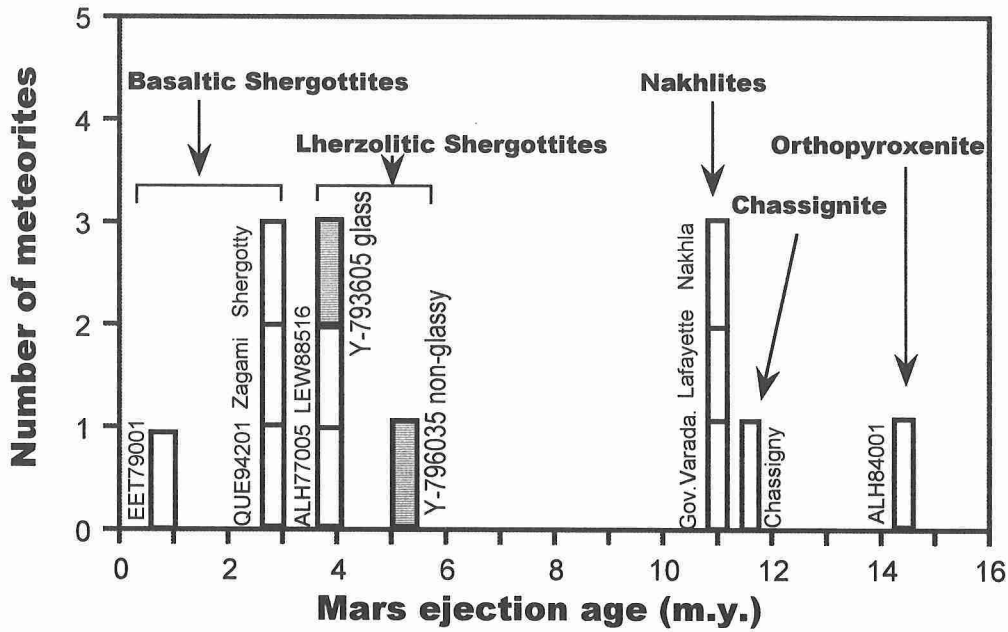
以上の結果に関連して、最近われわれが調べている Yamato-793605 について述べる。この日本の国立極地研究所が保有している 16 g という小さい火星隕石は、岩石学的にはレゾライトに属し、ALH77005 および LEW88516 と極めて類似していることが報告されている。これら二つの火星隕石の脱出年代は図に示すように約 380 万年である。Yamato-793605 は、おそらく火星から放出された時の衝撃溶融でできたガラス部分と溶けた形跡のない結晶質部分とからなる。結晶質部分を分離して測定した結果は540万年を示し、明らかに他の二つのレゾライト隕石より古い。スイスのベルン大学の全岩分析結果も430万年という、やや古い年代を示した。しかし、レゾライトのような火星表面にありふれているとは思えない同質岩片が、時代がわずかに違う別々のイベントで火星表面から放出されたとは考えにくい。その後、われわれのグループはガラス質の部分だけを分離して分析し、360万年という他のレゾライト質隕石 ALH77005 および LEW88516 とほぼ一致する年代を得

た。この結果から次のようなシナリオが考えられる。これら三つの隕石は火星のほぼ同じ所に存在していて、Yamato-793605 が表面付近で火星大気による遮蔽で減衰した弱い宇宙線に照射されていたが、約 380 万年前に起きた火星表面への天体の衝突で同時に火星から脱出した。Yamato-793605 中のガラスはこのときの衝撃による加熱溶融でできたため、それまでに蓄積していた宇宙

線生成核種を失って他の二つのレゾライト隕石と同じ脱出年代を示すことになった。

火星隕石の研究は、探査機による分析では不可能な高精度の分析や、サンプルリターンでカバーしきれない地域の研究を推進する上で、今後さらに重要になってくるであろう。この観点からも、半数の 6 個が発見されている南極での今後の隕石探査に注目する必要がある。

火星からの脱出年代を示すヒストグラム



## 天の川銀河の地図をつくる

長谷川 哲 夫 (天文学教育研究センター)  
tetsuo@ghz.mtk.ioa.s.u-tokyo.ac.jp

宇宙に数千億あると言われる銀河。その一つである天の川銀河に、私たちは住んでいる。では天の川銀河はどのような銀河かという、これが意外にわかっていない。中野駅あたりから東京方面を見渡して、新宿や銀座や霞ヶ関が互いにどう位置しているかを探るのは難しい。同様に、銀河円盤の地理を知ることは、その辺境に住む私たちにとって決して易しいことではない。天の川銀河の地図づくりが今も続けられる所以である。

天の川に漂う星間ガスの地図を描くために、私たちは二台の専用電波望遠鏡を設計・製作し、一つを国内の野辺山高原、もう一台を南米のチリ共和国において観測を進めてきた。ヨーロッパおよびチリの研究者との国際共同研究としてチリに移設された装置(写真1)は、日本からは見えない南の天の川の観測を一昨年より続けている。チリと野辺山で得た観測データをつなぎ合わせて、天の川に沿って長さ180度のパノラマを作ると、写真2の「地図」ができ上がった。これは一酸化炭素の発する波長1.3mmの電波で見た天の川の、世界で初めての地図だ。写真中央に横に伸びる帯は銀河中心のガス雲である。それをはさんで上半分でプラス(私たちから遠ざかる運

動に相当する)下半分でマイナスの速度を示すのは、回転する銀河円盤。そしてその中に幾つも見えるすじ状のパターンは渦巻きの腕に対応する。この地図を別の波長で観測した地図と比べることにより、天の川に漂うガスの性質の違いを調べることができる。

特に教訓的だったのは銀河円盤の様子が北半分と南半分とでずいぶん違っていたことである。世界の天文観測装置は北半球に多く、北の観測データだけから(銀河の対称性を信じて)銀河の全体像を描くことも過去になされてきた。しかしそれは歪んだ銀河像をもたらしていたようだ。天文学の南北問題である。初心にもどり、曇りのない目で天の川の30万光年を見渡す作業がまだまだ必要だ。

日本の天文学者はいま、21世紀初頭にチリの高地に大規模な電波望遠鏡アレイを建設する計画を推進している。それが実現すれば「南北問題」が雲散霧消するのはもちろん、遠く宇宙初期の銀河の誕生から近くは隣で誕生する惑星までをこの目で見る事が可能になると期待が集まっている。私たちの小さな望遠鏡がそのパイロット役を果たせるよう、私たちはさらに観測を進める。

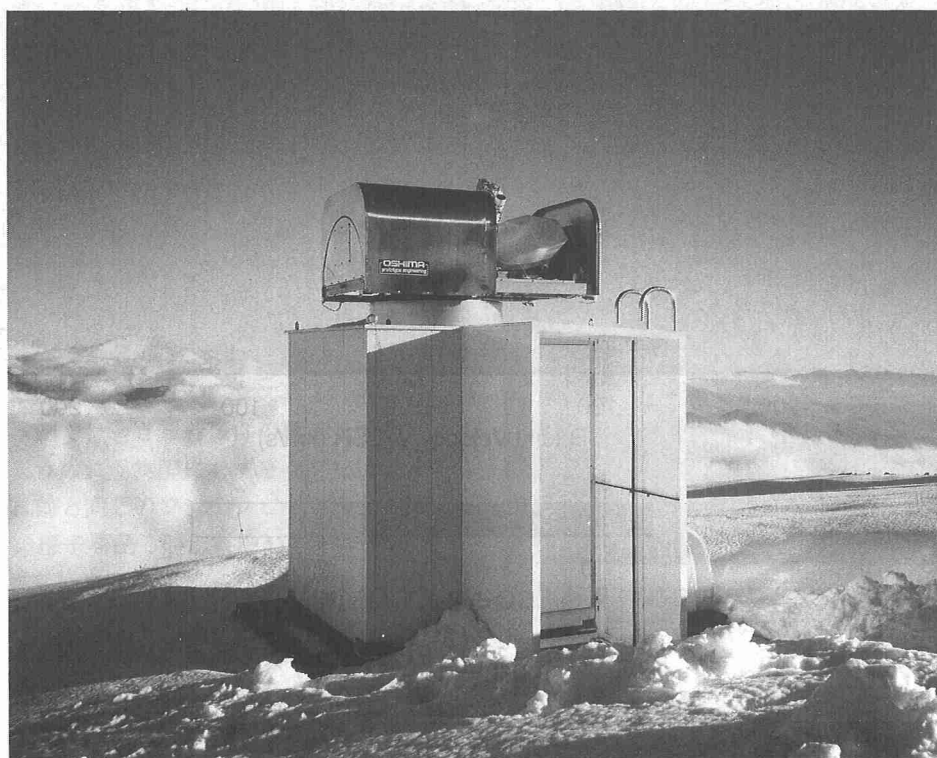


写真1: チリのアンデス山中で、日本から見えない南の天の川の観測を続ける、東大の60cm電波望遠鏡。昨年はエル・ニーニョの影響でしばしば大雪に見舞われた。

(撮影: 澤田剛士)

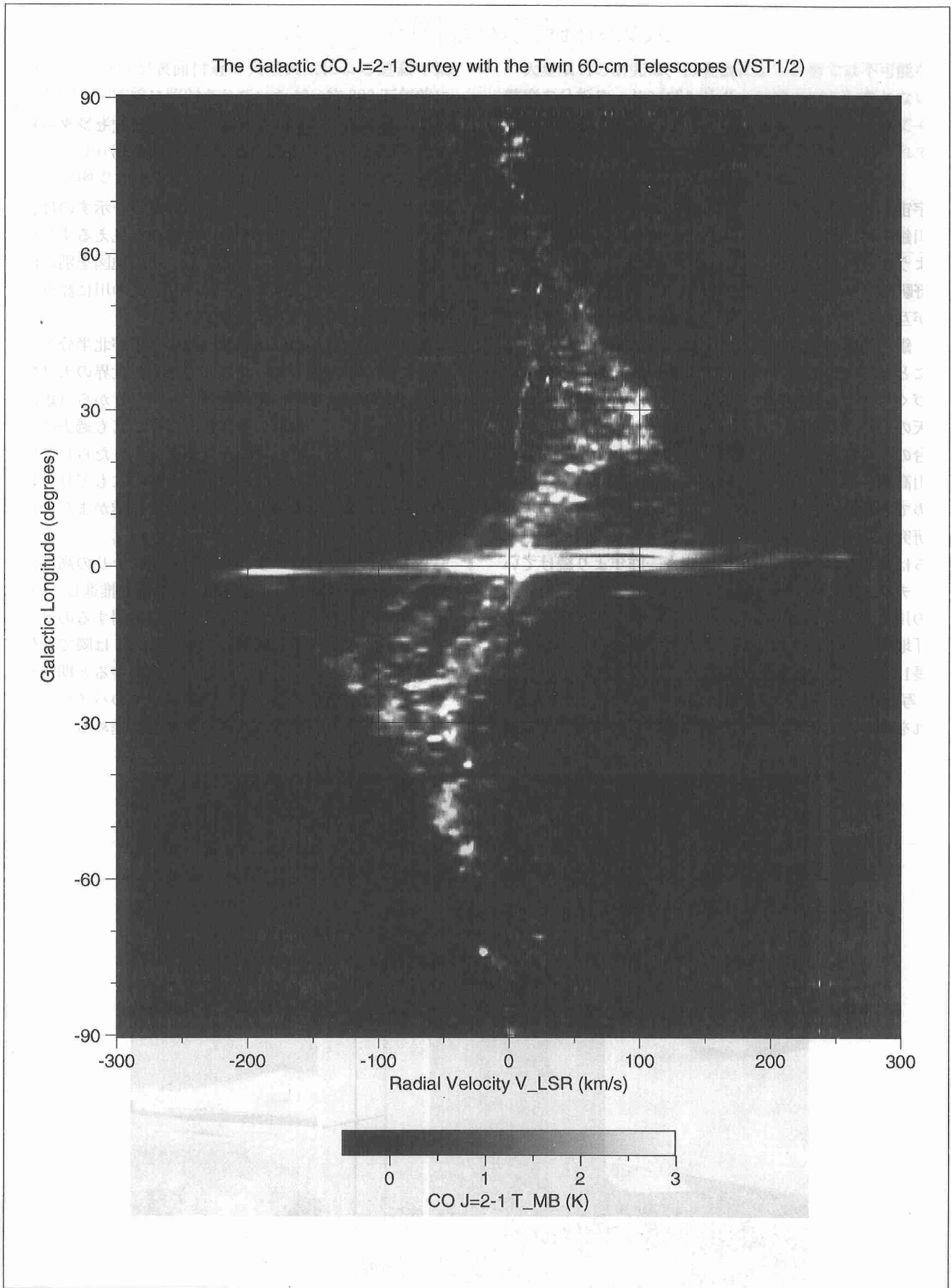


写真 2 : 南北二台の60cm電波望遠鏡により作られた、一酸化炭素 CO 分子の電波で見た天の川の地図。縦軸は銀経、すなわち銀河系中心から天の川に沿って測った角度、横軸は電波のドップラー効果から測定したガスの速度で、銀河の回転パターンが見えている。