

## 超関数の面白さ

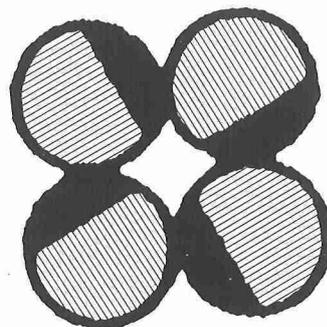
片岡清臣 (数学科)  
kiyoomi@ms.u-tokyo.ac.jp

佐藤超関数に基づく偏微分方程式系の超局所解析学は1970年初めに佐藤幹夫・河合隆裕・柏原正樹の3氏によって基礎が確立されました。L. Schwartz のディストリビューションの理論が一つの式で自然に書き表せないような可微分関数を基礎としている事を不自然と考え、佐藤先生は解析関数を基礎とする超関数の理論を考案しました。

線形偏微分方程式系の超局所解析はこの超関数を基礎に、層やコホモロジーといった代数的な道具を使いながら方程式の特性多様体の接触幾何学的性質と超関数解の構造との関連を調べる理論です。上記3氏は擬微分作用素やフーリエ積分作用素などのハード的な裏付けの下に私が修士課程に入る前にはほぼすべての線形偏微分方程式系に対する決定的な構造定理を得ました。しかし色々な面白い問題、例えば波動の回折や屈折の超局所理論など、はこの定理ではカバーできない例外的な場合に属しています。

3氏の決定的な構造定理後、私が関係することで大きく進歩したものは境界値-混合問題の理論、代数解析的エネルギー問題、層のマイクロ台の理論、そして第2超局所解析があります。これらは互いに関連しあって波動

の回折や屈折、また物理では決して現れないような退化した作用素の解析にも役立ちます。すべての線形偏微分方程式系の問題を扱えるところまではまだ遠いですがそれでも思いがけないことが次々とみつかっています。例えば佐藤超関数はノルムによる量的評価が全くできない、と考えられていたのですが同じ関数の複素共役とのテンソル積を考え、得られた2倍の変数の超関数(或いはそれを部分変数について積分したもの)に対してエルミート半正定値性による不等号を定義します。そうすると通常の放物型方程式や波動方程式の解に対するエネルギー評価式が再定式化でき、従来の超局所解析ではカバーできなかったこの種の問題も扱うことができるようになりました。また層のマイクロ台の理論というのは柏原教授らによる微分方程式向けとは限らない一般理論なのですが、従来微分方程式の解の一つ一つを考察してきたところから思考を1ランクアップし、一つの微分方程式の解の全体をひとつの関数のようにみなしてその特異性の集合を考えていく理論です。この方法の利点は超関数解に関する定理をより扱いやすい解析関数解などに関する同種の定理から代数的な操作や評価だけで直接導ける事です。



# 動き始めたTAMA300レーザー干渉計重力波検出器

坪野 公 夫 (物理学専攻)  
tsubono@phys.s.u-tokyo.ac.jp

昨年9月より、300m基線長をもったレーザー干渉計重力波検出器 (TAMA300) の運転を開始した。これによりすぐに重力波が見つかる可能性は小さいが、重力波検出に向けての大きな一歩であることは間違いがない。現在世界各地で大型レーザー干渉計を用いた重力波検出器の建設が進められているが、日本のTAMAでは、欧米のLIGO (アメリカ)、VIRGO (フランス、イタリア) GEO (ドイツ、イギリス) 計画に先駆けて実際の観測を開始することが可能になった。

一般相対性理論によると、重力は4次元空間の曲がりとして表現されるが、重力波はそのような時空のひずみが光速で伝播する現象である。重力波は、中性子星連星の合体や、超新星爆発のような激しい天体現象にもなって発生し、途中の物質によってほとんど減衰することなく空間を伝播して、この地上にも届いているはずである。「重力波天文学」は、電磁波によるこれまでの天文学に対して、相補的な情報をもたらすと期待されている。

TAMA300は、国立天文台三鷹キャンパスに建設されたレーザー干渉計である。図1に示したように、TAMA300は基本的には2本の腕をもったMichelson型レーザー干渉計である。それぞれの腕は光共振器 (Fabry-Perot cavity) を作り、これにより実質的な光路長をかせぎ、干渉計の感度を上げている。

このようなレーザー干渉計に重力波が入射すると、2本の腕から戻ってきた光が作る干渉縞に変化をもたらすので、重力波を光検出器の電気信号としてとらえることができる。レーザーとビームスプリッターの間におかれたリサイクリングミラーは、干渉計内部の実質的な光パワーを増大する役目をもっている。

昨年 (1999年) 9月17日から20日にかけて、最初の干渉計運転とデータ取得を行った。このときの干渉計の構成は、リサイクリング部を除けば最終的なセットアップと同じものである。最長8時間近くの連続運転を達成し、夜間に限れば94%の時間帯でデータ取得が可能であった。現在、ここで取られたデータから重力波を抽出する解析を進めている。現在の検出器の感度は、最初の目標である phase I 感度より数倍悪いレベルであるが、今後は、観測と装置の改良のための期間を交互に設定し、データの蓄積と最終的な感度達成の両方の実現をはかっていく予定である。

## 参考文献

- [1] 坪野公夫、21世紀の重力波天文学— TAMA プロジェクトの現状—、  
日本物理学会誌 54-5 (1999) 328-336.

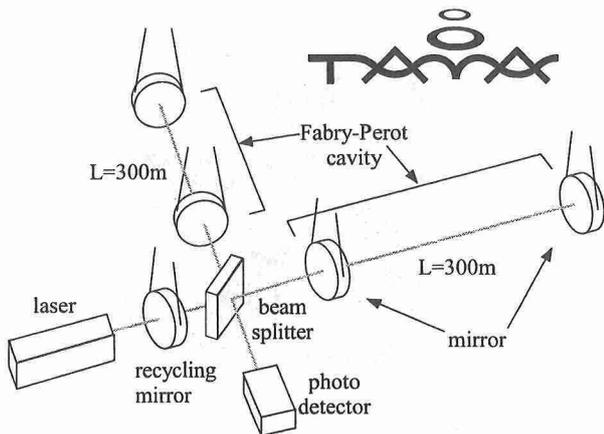


図1 TAMA300 レーザー干渉計の概念図

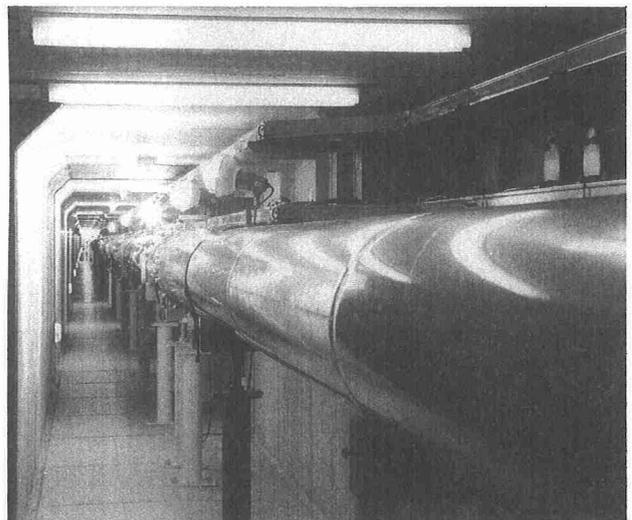


図2 三鷹の国立天文台地下に設置された全長300mのレーザービーム用真空パイプ

## Bファクトリー始動する

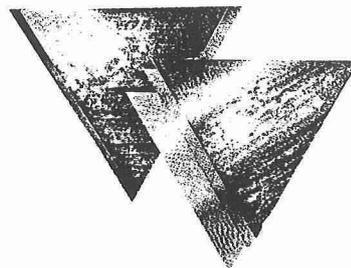
相原 博 昭 (物理学専攻)  
aihara@phys.s.u-tokyo.ac.jp

高エネルギー加速器研究機構に昨年6月完成したBファクトリーを使って研究している。Bファクトリーとは、B中間子（ $b$ クォークと反 $u$ または反 $d$ クォークの結合した粒子）を大量に（設計値では、年間100万個程度）作り出すことのできる最新鋭加速器である。当研究室では、このBファクトリーのビームに最も近いところ（ビーム中心から3cm程度）に半導体技術を駆使した高精度荷電粒子検出器を持ち込んで、B中間子が崩壊する様子とその反粒子である反B中間子が崩壊する様子を詳細に調べ、予想されるわずかな相違を検出しようとしている。一般に、粒子と反粒子は、その電荷が逆である以外は、その振る舞いに違いはない。が、中性B中間子をよくよく調べてみると、ほんの少しだけ異なる振る舞いをするであろうと予言されている。しかも、このわずかな違いは、そもそも物質にどうして質量があるのかを説明する、現代素粒子理論の根幹にあるメカニズムに関係しているというのである。物理の世界においては、対称だと思っていたものが、そうでないとき、その非対称を引き起こすメカニズムを研究することで、より基本的な物理法則（原理）の発見に到達するということがしばしば起こる。粒子と反粒子の対称性の破れは、質量の起源は何かという物理の基本問題を解く鍵になるというのである。

とは言え、この高尚なテーマに行き着く前にクリアしなくてはいけないことがある。我がグループが製作した検出器が設計どおりの性能をあげているのか、出てきた

信号は本当に正しいのか、要するに何かチョンボをやらかしていないのかを、検証することである。質量の起源が、我が検出器の「誤作動」にあってはならないのである。我々の測定しようとしている非対称性は、B中間子の崩壊2000回のうち1回程度にしか出現しない。しかも、寿命約1.5ピコ秒という短いB中間子の一生のうちでしか起こらない。我々の検出器は、この短寿命なB中間子がBファクトリーで生成され、崩壊するまでに飛ぶおよそ200ミクロンの行程を正確に測定し、Bと反Bの生まれてから死ぬまでに見せるわずかな違い（崩壊するまでに飛ぶ距離の分布の違い）を検出するように設計されている。従って、これまでに得られたデータを使って、B中間子や既に他の実験で正確に測定されている粒子の寿命が再現できるのか、非対称があるはずのない事象（コントロールサンプル）を集めて、我が測定器が人為的な非対称を作り出していないかどうかなどを、研究室総動員で黙々とチェックしているところである。

現在までのところBファクトリーのインテンシティは未だ十分でなく、我が検出器で観測された、粒子反粒子の非対称性を示すであろう崩壊事象は、まだ数事象にすぎない。目的とする崩壊事象を100個ぐらい集めると、質量の起源の手がかりがつかめるはずである。今年は、Bファクトリーにとっても、当研究室にとっても正念場である。



# 北太平洋大気海洋系の10年規模変動

中村 尚 (地球惑星物理学専攻)  
hisashi@geoph.s.u-tokyo.ac.jp

数年周期のエル・ニーニョ/南方振動 (ENSO) という気候系の最も顕著な振動現象に強く影響される北太平洋で、より長周期の自然変動が着目され始めたのは10年程前である。70年代後半以降約10年、アリューシャン低気圧が以前より強く中緯度北太平洋で広く海水温が低い傾向が指摘され、10年規模気候変動 (DICE) の存在が示唆された<sup>(1)</sup>。以来殆どの研究では、その原因をほぼ同時期に持続した熱帯太平洋の高温傾向に求めた。即ち、水温の高まった熱帯で積雲対流が活発化した影響で、中緯度北太平洋上空に特定の循環偏差が励起され、それと伴に地表のアリューシャン低気圧が強まって中緯度海洋から奪う熱が増えたからという解釈である。これは、ENSOの遠隔影響の仕組みをそのままDICEに適用した解釈で、中緯度水温偏差の空間規模には大気偏差のそれ (1万km程度) が反映される。だが、より長周期のDICEでは中緯度海洋がより主体的な役割を担う可能性もある。その場合、水温偏差の空間規模は高々海洋循環系の規模 (数千km) である<sup>(2)</sup>。事実、北太平洋において周期7年以上の水温変動は循環系の境界に当たる海洋前線や沿岸に集中する<sup>(3)</sup>。実際はこれら中高緯度DICEとは別に熱帯DICEが存在するので、従来のように太平洋全体に経験直交関数 (EOF) 展開を施せば、面積比の大きな熱帯に拡がる偏差が優先的に選択され、それに中高緯度の偏差が人為的に結合されてしまう<sup>(2)</sup>。

そこで、我々は中緯度北太平洋<sup>(3)</sup>、及び熱帯を含む北西太平洋に限って周期7年以上の変動の統計解析を行ない<sup>(4)</sup>、各々のケースで最も卓越する変動として北太平洋独自のDICEを抽出することに成功した。これを特徴付ける三陸沖の亜寒帯前線帯 (黒潮を含む亜熱帯循環系と親潮を含む亜寒帯循環系との境) の水温変動は、低緯度の変動とは有意な同時相関を持たないことが判った。地上にはアリューシャン低気圧の変動、上空にはPNAパターンと呼ばれる典型的な停滞性大気循環偏差を伴う。これに我々が定式化したロスビー波の活動度フラックス<sup>(5)</sup> ( $W$ ) を適用した<sup>(3)</sup>。波の局所的群速度ベクトルと擬運動量 (力学的保存量) との積に等しい $W$ が発散する場所では、大気循環偏差が何らかの強制を受け励

起されたと推察される。 $W$ が亜寒帯前線上空で強く発散し亜熱帯で赤道向きである事実は、PNAの励起源が中緯度にあることを強く示唆する。1970年ころの亜寒帯前線帯が平年より暖かい時期には、アリューシャン低気圧に伴う西風も弱まって海面から奪われる熱が減る。西風の弱まりは、亜寒帯前線を南へ横切る海洋表層のエクマン流だけでなく親潮自体も弱体化させ、北方から前線帯への低温水の移流も弱まる。80年代半ばのような寒冷期にはこれらの状況は反転する。即ち、付随する大気偏差は亜寒帯前線帯の水温偏差を維持・強化するよう働く。従来の観測的研究では熱帯・亜熱帯の変動と混同されがちだったが、こうした複数の過程を通じた正のフィードバックの存在と $W$ の分布から、中緯度北太平洋大気海洋系独自のDICEを捉えたものと考えられる。但し、このフィードバックの一部を成すところの亜寒帯前線帯の水温偏差が如何にしてPNAを励起するかの詳細は、その応答の速さや大気循環の内部変動の大きさが妨げとなっており、基本的な問題にも拘わらず、いまだ明確に捉えられていない。また、系を振動させる符号反転の仕組みについても、現在までに提示された諸説はいずれも決定的な説明とはなっていない。我々は、大気・海洋の数値モデルの結果も踏まえて、これらを探究中である。

## 参考文献

- (1) T. Nitta, S. Yamada: *J. Meteor. Soc. Japan*, **67**, 375 (1989); K. E. Trenberth: *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 988 (1990).
- (2) H. Nakamura, T. Yamagata: *Science*, **281**, 1144 (1998).
- (3) H. Nakamura, G. Lin, T. Yamagata: *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2215 (1997).
- (4) H. Nakamura, T. Yamagata: in "Beyond El Niño: Decadal Climate Variability", A. Navarra ed., Springer-Verlag, p. 69 (1999).
- (5) K. Takaya, H. Nakamura: *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 2985 (1997).

## 分子振動の代数論的構造

山内 薫 (化学専攻)  
kaoru@chem.s.u-tokyo.ac.jp

量子力学形成期から今日に至るまで、分子振動は分子分光学による観測およびその解釈に基づいて理解されてきた。そしてこれまでの先達の努力は、基準振動に基づいた振動力場展開法の開発に集約される。しかし、レーザー分光学の発展によって多原子分子の高振動励起状態の振動構造が観測されるに従い、微小振動に立脚したこの振動力場展開モデルは強く変更を求められることになった。

我々はこれまで代数アプローチと呼ばれる理論<sup>(1)</sup>に着目し、高振動励起状態の複雑な振動形態をこの理論に基づいて理解する努力を行ってきた。代数アプローチは、原子核物理で成功を取めたIBM (interacting boson model) を基礎としており、リー代数の構造を利用して分子の振動ハミルトニアンを記述する。この方法ではモース (Morse) あるいはポシュ・テラー (Poschl-Teller) などの非調和振動子を代数的に扱うことができるため、非調和性の影響が大きくなる高振動励起状態に対して見通しのよい記述を与えることが期待される。実際我々はこの代数アプローチを用いることによって高振動励起状態の振動波動関数が容易に記述できることを示した<sup>(2)</sup>。

一方、代数アプローチのハミルトニアンは、分子座標を用いて記述された従来の分光学的ハミルトニアンとの対応関係が不明確であること、そして、多重項量子数を保存するために共鳴構造に制限があるという問題点を持つ。これらの問題点を克服するために我々は、 $U(2)$  代数アプローチを拡張した「代数的振動力場展開法」と呼ばれる方法を開発した<sup>(3)</sup>。代数的振動力場展開法では、非調和振動子の生成・消滅演算子によって定義された座標・運動量に相当する演算子を用いることによって、従来の分光学的ハミルトニアンとの明確な対応関係を保持しつつ、高振動励起状態を非常に少ない基底関数を用いて表現することができる。図1に、代数的振動力場展開を用いて実測の振動エネルギー構造から抽出した、 $SO_2$  高振動励起状態の波動関数を示す。図1(a)-(c)は、振動量子数の増加に伴い  $SO_2$  の振動がノーマルモードからローカルモード的な形態に変化することを示している。

高振動励起状態における多原子分子の振動形態を知ることが、化学反応素過程を理解する上で不可欠である。分子固有の代数論的構造に着目するこの代数アプローチの重要性は、今後広く認識されていくものと思われる。

## 参考文献

(1) F. Iachello and R.D. Levine, *Algebraic theory of molecules* (Oxford University, Oxford, 1995).

(2) T. Sako and K. Yamanouchi, *Chem. Phys. Lett.* **264**, 403 (1997).

(3) T. Sako, K. Yamanouchi, and F. Iachello, *Chem. Phys. Lett.* **299**, 35 (1999).

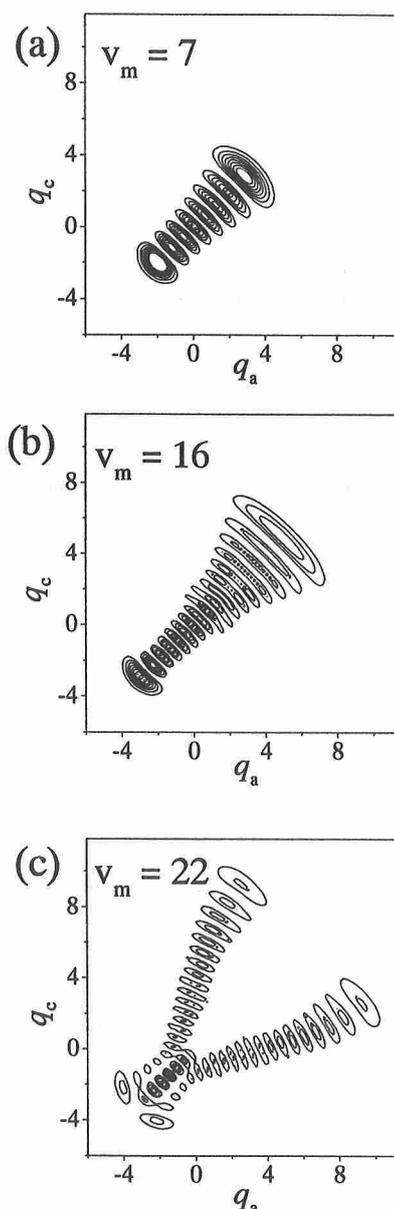


図1  $SO_2$  の振動波動関数：縦軸、横軸は無次元 S-O 伸縮座標を表す。また  $v_m$  は多重項量子数を表す。

# 生体分子と計算

坂本 健作 (生物化学専攻)  
sakamoto@biochem.s.u-tokyo.ac.jp

生体分子の特徴は、とりわけ複雑で精密な構造にある。このような構造はどうやって作られるのだろうか？一般に、構造体に必須な要素は「素材」であり、そして「計算」である。これは人工的な建造物を考えてみると良くわかるのだが、建物の建造には、各部品の規格・強度を揃え、必要量を見積もり、全体の強度に至るまで様々な計算を行うことが必要である。また、素材を加工し、部品を組み立てるプロセスは、計算結果の「実装」であると言えるだろう。これをそのまま生体分子に当てはめると、どうなるだろう？DNA やRNA 分子はヌクレオチドが、タンパク質ならばアミノ酸が直鎖状に結合したポリマーであり、2本鎖DNAの規則的な二重らせん構造以外は、1本鎖が複雑に「折り畳まる」ことで構造を形成する。ヌクレオチドやアミノ酸が「素材」であるならば、この「折り畳み」のプロセスは、まさに「計算」に等しい。だとすれば、このプロセスから計算力を引き出し、数学的な計算に利用できるかもしれない。

このような考えから、情報科学専攻の萩谷研究室と共同研究を行い、充足可能性問題の簡単な一例を、一本鎖DNA (ssDNA) の「折り畳み」によって実際に解くことに成功した。計算スキームのポイントは図示した。塩基配列によって「変数」をコードして数学的計算に利用するという計算パラダイム (DNA コンピュータ (1)) は、計算機科学者である L. Adleman によって創始された (1994年)。彼の発想の原点は、DNA を、情報を記録したテープと見なし、情報処理の主体には酵素 (タンパク質) という一種のナノマシーンを持ってくることである (2)。筆者らの研究は、DNA が単なる記録テープではなく、計算を実行する主体にもなり得ることを示している。ssDNA の折り畳みによる「計算」は、比喩でもなく、単なる解釈でもなく、「どのような種類の問題で、どの程度のサイズの問題を解くことができるだけの計算力であるか？」という具体的な議論が可能対象になった。

- 1) 「DNA コンピューター (G. パウン, G. ローゼンバーグ, A. サローマ著) (シュプリングー・フェアラーク東京) は、今のところこの分野のまとまった唯一の解説書である。
- 2) 日経サイエンス1998年11月号「DNA コンピューターが数学の問題を解いた」(L. Adleman)

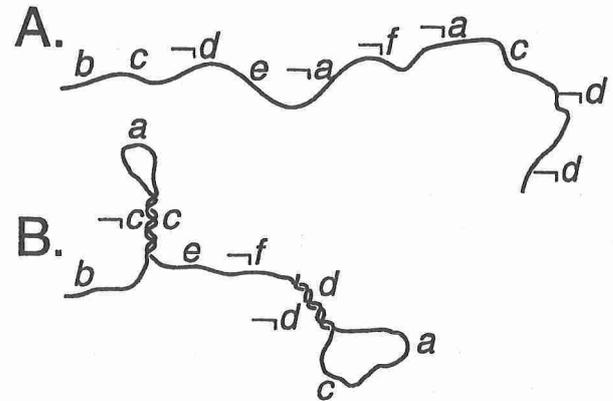


図 「文字列」中の「文字」どうしの照合を、ssDNAが二次構造を形成する(折り畳まれる)ことによって行う。矛盾した文字の組み合わせを持つ文字列を除くことで「解」を得ることができる。「文字」とは「変数(x)」、およびその「否定( $\neg x$ )」のことであり、文字列は決まったルールによって生成されるが、ここでは2例示した。変数とその否定のペアを、相補的な塩基配列によってコードすることで、矛盾を含む文字列はヘアピン構造を形成することになる(B)。無矛盾の文字列はヘアピンを形成しない(A)。

## 生殖腺刺激ホルモン放出ホルモンの新しい生理機能を求めて

朴 民 根 (生物科学専攻)  
biopark@biol.s.u-tokyo.ac.jp

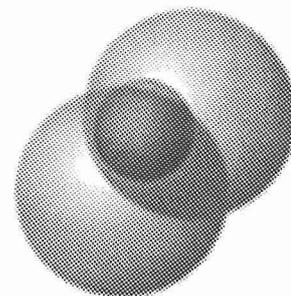
生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン (GnRH, gonadotropin-releasing hormone) はアミノ酸10個からなるペプチドホルモンで、脳下垂体における生殖腺刺激ホルモン (GTH) の分泌を促進し、脊椎動物の生殖活動に重要な役割を果たす重要なホルモンとして命名された。しかし研究が進むにつれ、GnRH は視床下部のみならず生殖腺・乳腺、胎盤などの生殖関連器官をはじめ、副腎、視床下部以外の脳・免疫系細胞・網膜そして脾臓など幅広い器官で分泌されていることが明らかになってきた。このような結果はGnRHが脳下垂体以外の器官で何らかの新しい生理的機能を担っている可能性を示唆している。

GnRHをはじめとするホルモンはその受容体を通じてのみ生理的機能を果たすことができる。多様な組織で発現されているGnRHがどのような生理機能を持っているかを解明するには受容体側からの研究も必要となる。近年GnRH受容体のmRNAがクローニングされ、GnRH受容体も脳下垂体・生殖腺・副腎・脳などの様々な組織で発現されていることも確認された。現在まで、in situ hybridizationによりその発現の部位が最も詳しく調べることができたのは卵巣である。

卵巣でGnRH受容体を主に発現している部位は卵胞である。正常な卵胞でのGnRH受容体は主に顆粒膜細

胞で発現され、卵胞の成熟に伴いその発現も強くなる。原始卵胞 (primordial follicle) からは受容体の発現は検出されないが、前胞状卵胞 (preantral follicle) と初期の胞状卵胞 (early antral follicle) になる頃から検出できるようになる。その後、成熟に伴いその発現量は多くなり、主に外側の顆粒膜細胞で発現が見られ、内側の顆粒膜細胞と卵丘細胞では発現が見られない。一方、閉鎖卵胞では卵胞の発育段階とは関係なく顆粒膜細胞で大量の発現が検出される。正常な卵胞の莢膜細胞 (theca cell) ではたまたま弱い発現が見られることもあるが、閉鎖卵胞の莢膜細胞ではより強い発現がみられる。またこのような閉鎖卵胞から由来すると思われる間質細胞からもGnRH受容体の発現がみられ、GnRHは卵胞の正常な発育のみならず、閉鎖過程にも深く関与していることが示唆されている。

以上のようにGnRHは脳下垂体でのGTH分泌という生理機能以外にも、生殖腺をはじめとする様々な組織でその受容体を通じて未知の生理的役割を持っていると思われ、今後その生理機能と機構の解明が待たれる。また、GnRH受容体を発現する組織の多様性はGnRH情報伝達系の起源と進化の研究にも重要な糸口を提供するものと考えられる。



## 群体性ボルボックス目の系統学的研究： ボルボックスはどのように進化したのか

野崎久義 (生物科学専攻)  
nozaki@biol.s.u-tokyo.ac.jp

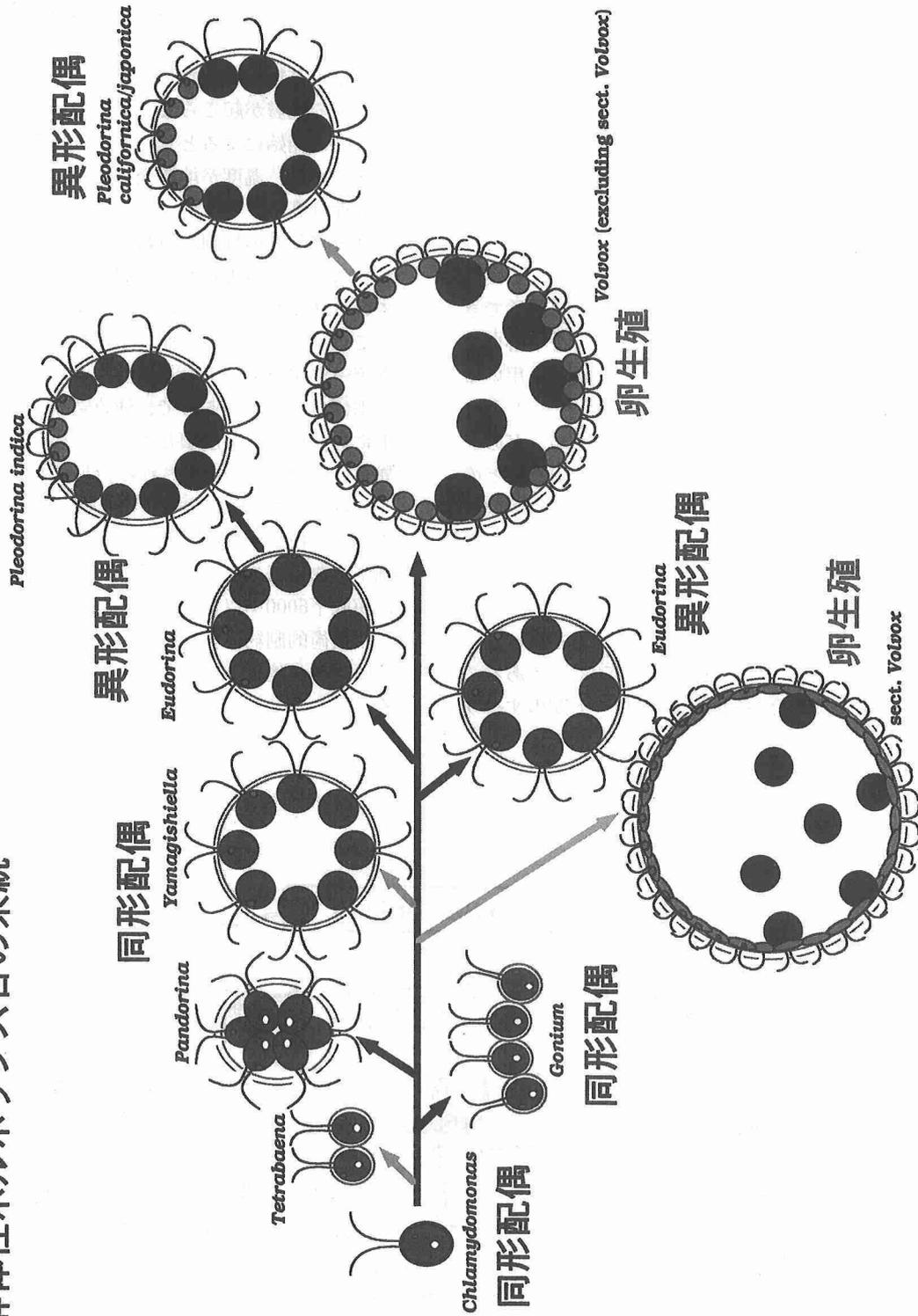
群体性ボルボックス目は淡水産の緑藻類で、クラミドモナス型の2鞭毛性の細胞が定数個集合した群体をもち、“ボルボックス傾向”と呼ばれる“細胞が遊泳性のままで細胞数が増加する傾向”をもつ代表的なグループである。これらの生物群では細胞数の増加と共に非生殖細胞の分業化及び有性生殖の異型配偶化が認められるので進化生物学的に非常に興味深い (Kirk 1998)。伝統的な進化仮説では、*Volvox* はそのような進化系列の末端に位置し、その直前の生物として *Volvox* のように小さな非生殖細胞が分化した *Pleodorina*、非生殖細胞の分化していない *Eudorina* が通常考えられていた。この“ボルボックス傾向”の具体的進化の道筋を明らかにするために我々はこれらの生物の生殖過程並びに栄養群体等の合計41組の形態的形質を基に、分岐系統学的解析を実施した (Nozaki & Ito 1994)。その結果、*Eudorina* から *Pleodorina*、*Volvox* への漸進的進化系列が1個解析された。また、4細胞性の *Gonium sociale* は群体性ボルボックス目の最も基部に位置する原始的な生物であると示唆された。従って *G. sociale* を基に新組み合わせ *Tetrabaena socialis* と新科、テトラバエナ科 (*Tetrabaenaceae*) を提案した。推測されたこれらの系統関係を客観性の高いDNAの塩基配列のデータによる検証のために葉緑体蛋白質コード *rbcL* 遺伝子および *atpB* 遺伝子合計 2256 塩基対のデータを用いた分子系統学的解析を最近我々は実施したが、テトラバエナ科の系統的位置等はこれらのデータでは高い信頼度で支持または否定することができなかった (Nozaki et al. 1999)。従って、*psaB* 遺伝子 1494 塩基対、*psaA* 遺伝子 1491 塩基対、*psbC* 遺伝子 780 塩基対を *rbcL-atpB* 遺伝子に更に付加した計 6021 塩基対に基づく 47 種類の系統解析を実施した (Nozaki et al. in submission, 野崎 2000)。その結果、1994 年の形態学的データに基づく系統解析と同様にテトラバエナ科が他の群体性ボルボックス目の基部に位置すると高い信頼度を伴って示唆された。また、このような塩基配列データでは *Volvox* は 2 個の系統群に分離し、片方の系統群の中で *Pleodorina* の一系統群が退行進化の結果生じた可能性が示唆された。実際の進化系列では平行進化で *Volvox* は複数生まれ、その中から *Pleodorina* が生まれる“逆ボルボックス傾向”もあるらしい。ようやく系統解析の研究が終了しそうである。しばらく塩基配列の決定だけに時間を費やした為、実際の生物を忘れてしまったようでもある。

### 引用文献

- Kirk, D. L. 1998. *Volvox*: Molecular Genetic Origins of Multicellularity and Cellular Differentiation. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Nozaki, H. and Itoh, M. 1994. Phylogenetic relationships within the colonial Volvocales (Chlorophyta) inferred from cladistic analysis based on morphological data. *J. Phycol.* 30: 353-365.
- Nozaki, H., Ohta, N., Takano, H. and Watanabe, M. M. 1999. Reexamination of phylogenetic relationships within the colonial Volvocales (Chlorophyta): an analysis of *atpB* and *rbcL* gene sequences *J. Phycol.* 35: 104-112.
- 野崎久義 . 2000. 「緑藻類の多様性と進化—群体性ボルボックス目」、岩槻邦男・加藤雅啓 (編)、「多様性の植物学」第2巻、東大出版会。



葉緑体ゲノム *psaA-psaB-psbC-atpB-rbcL* 遺伝子 6021 塩基対から推測された  
 群体性ボルボックス目の系統



## 地震発生帯の深海掘削

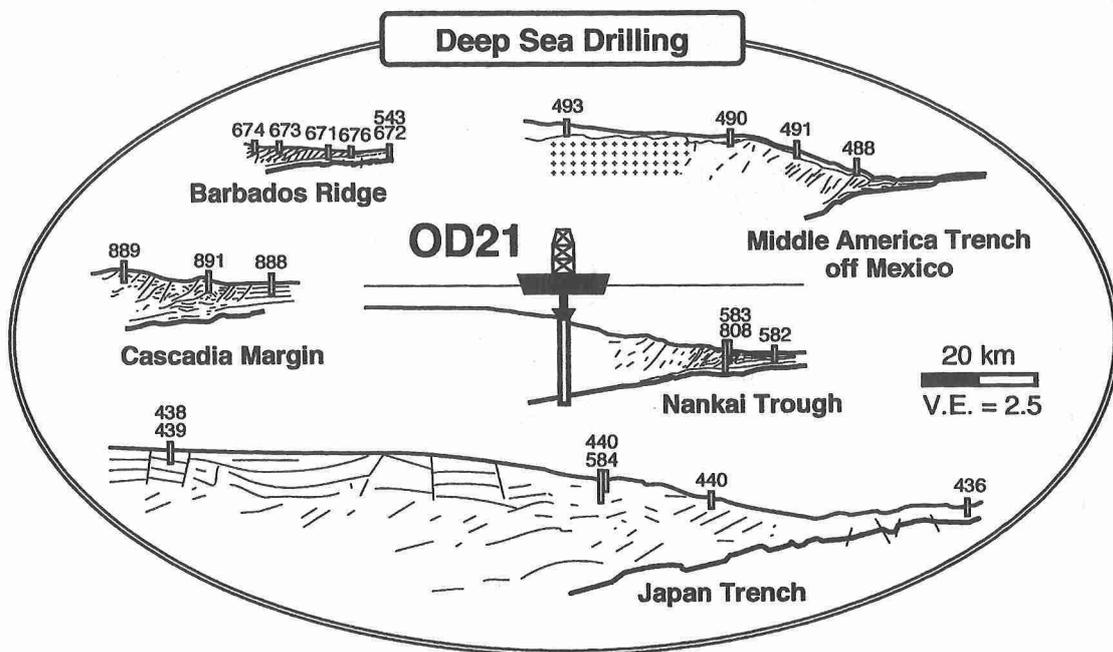
芦 寿一郎 (地質学専攻)  
ashi@geol.s.u-tokyo.ac.jp

1995年の兵庫県南部地震以降、その震源となった野島断層をはじめ、日本各地で活断層の掘削が盛んに行われ、プレート内地震の震源付近の物理化学条件や岩石物性の研究が進んでいる。トランスフォーム断層であるサンアンドレアス断層でも、掘削による震源付近の岩石採取・地震観測が実施されている。一方、プレートの沈み込み境界では、前弧域の構造発達の解明などを目的とした浅い掘削孔は数多いが、地震発生に関して直接に議論できるものはない。現在、海洋科学技術センターを中心に計画・建造が進行しつつある「地球深部探査船」を用いると、地震発生帯の掘削も可能となる。

プレートの沈み込み境界における巨大地震が、どのような条件下で生じているのか、また破壊する岩石がどのようなものであるのかを知るには、実際に岩石を回収するとともに現場で各種の観測をする必要がある。「地震の発生帯がどこであるのか」については、Hyndmanらによる一連の研究がある。彼らは、南海トラフ・アメリカ西海岸などの温度構造と地震の分布の関係を調べ、地震の発生領域がある温度範囲(約100~350°C)であることを指摘した。地震の発生開始は、プレート間のすべり

面の粘土鉱物が脱水し強度が増加することにより、そして深部で地震が起こらなくなるのは、温度上昇による塑性流動の開始によるとした。これは現在のところ仮説にすぎないが、温度が地震発生の重要な要因となっている可能性は高い。

地震発生帯の掘削地点は、地下の構造が詳しく調べられており、かつ現在および過去の地震活動がよく分かっている必要がある。このような条件に当てはまる地域としては、地震の活動履歴を示す古文書とともに、物理探査データが充実している東海沖から四国沖の南海トラフが挙げられる。ところで、沈み込み帯は、強い側方応力下であり掘削孔が崩壊しやすく、炭化水素ガスや流体の異常水圧の存在が推定される。建造計画中の掘削船では、これらの問題を解決するライザーシステムが導入される。ただし、技術上の問題から、当面は水深2500m以浅から掘削しなくてはならず、地震発生帯に到達するには、実に海底6000m以上の掘削が必要となる。現在、このような技術的制約のもと、地質学・地球物理学・地球化学の研究者が集まり掘削地点の選定を行っている最中である。



世界の代表的な沈み込み帯の断面と掘削地点。掘削孔上の数字は国際深海掘削計画 (DSDP, ODP) による掘削点番号。深海地球ドリリング計画 (OD21) による地震発生帯の掘削予想図を中央に示す。

# 塵に取り囲まれた地球

五十嵐 丈 二 (地殻化学実験施設)

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

地球は、46億年前に原始太陽系星雲の中で塵が集まって出来たとされている。我々は、希ガス同位体比を手掛かりとして、その出生の秘密を探る研究を行なっている。

岩石の中には、ごく僅かに希ガスが含まれている。たとえば、ネオンランプなどに充填されているネオンという希ガスは、海洋地殻を構成する玄武岩に、主成分元素のシリコンや酸素などに混じっておよそ十兆分の一の割合で含まれている。地球人口の一万倍のなかの、たった数人がネオンである。

ネオンは、質量数 20、21、22 の 3 つの同位体からなる。質量分析技術の飛躍的な進歩により極微量の希ガス同位体分析が可能になり、玄武岩のネオン同位体比が地球大気の数値とは異なることが発見された。このネオン同位体比の謎解きが始まったのは、十年ほど前のことである。

大気中のネオンの $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$  は 9.8 で、太陽（太陽風のネオンを計測した値）は 13.7 である。データが増えるにつれ、地球深部起源の玄武岩やダイヤモンドの $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$  は 9.8 と 13.7 の間を埋め尽くすような様々な値を取ることがみえてきた。岩石試料には大気成分による汚染（コンタミネーション）がつきものである。地球深部のネオンは太陽と同じ同位体比を持ち、様々な割合で大気の汚染を受けた岩石試料が我々の手にもたらされるのだと、誰もが考えた。これは、「太陽ネオン仮説」と呼ばれている。

ところが、はなしはそう単純ではないのである。我々は、ネオン同位体比のデータベースを作成し、そのヒストグラムを描いてみた。それは、図のように奇妙な分布を示す。これを、大気と太陽（太陽風）の 2 成分の単純な混合で説明することは難しい。

この分布を複数のガウス分布の重ね合わせで表すと、図に示す 3 成分モデルが最適であることがわかる。面白いことに、大気成分 (9.8) に対応するピーク以外の 2 つのピークは、始原的隕石に特徴的な成分 (10.7) と、宇宙塵のネオンの平均値 (12.1) と一致している。これが偶然であるとは考えにくい。

宇宙塵は大きき数ミクロンから数十ミクロンの微粒子で、深海底の堆積物などに混じってごく稀にみつかると、宇宙塵に含まれているネオンは、宇宙空間をさまよっている間に太陽風のネオンが埋め込まれたものである。そのネオンが表面から拡散で失われるときの分別効果などのために、 $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$  は隕石とも太陽風とも異なる固有の同位体比を持つようになる。

マンタルの広い範囲に宇宙塵起源のネオンがあるとすると、そのネオンを供給するために必要な宇宙塵の量は $10^{19}$ キログラム程度と推定できる。これは現在の地球に

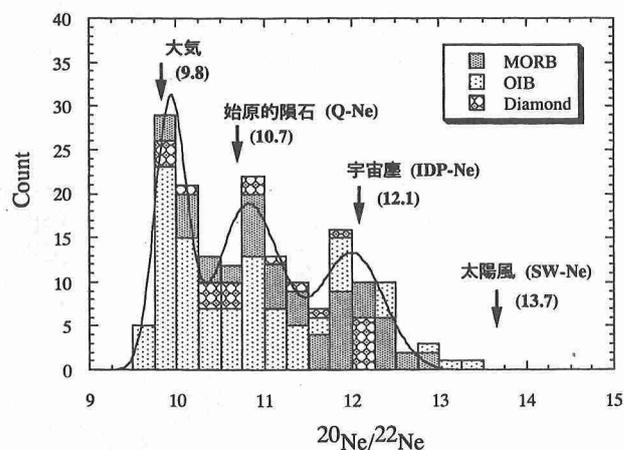
降下している宇宙塵が同じ割合で、地球が出来てから 46 億年間降下したとした量の数千倍という、膨大なものである。

地球は過去に、大量の塵に取り囲まれていたことがあるに違いない。この「塵」は、隕石と同じネオン同位体比を持つと考えられる原始太陽系星雲中のもともとの原材料の塵ではなく、星雲ガスが晴れ上がって太陽風の照射を受けた塵でなければならない。

大量の塵はどのようにして出来たのだろうか。

地球集積の最終段階で、巨大衝突によって原始地球の一部がはぎ取られて月が形成されたという説（ジャイアント・インパクト説）がある。このような大規模な衝突があったとすれば、大量の岩石が 2000 度以上に加熱されて蒸発してしまうことが、シミュレーションで示されている。蒸発した岩石の冷却、再凝縮の過程で、大量の塵が生成される。マンタルのネオンは、このイベントを記録しているのかもしれない。

ゴミ箱の隅から隅まで丹念に調べ上げてようやく探当てた、大事件の犯人の決定的な証拠。「えー、私はあなたに最初にお会いしたときから、わかってました。」探偵小説のようにいつもうまくいけばいいのだが。



代表的なマンタル起源物質である、MORB（中央海嶺玄武岩）、OIB（海洋島玄武岩）、ダイヤモンドのネオン同位体比の積算ヒストグラム。曲線は、最小二乗法で決めた 3 成分の重ね合わせモデル。

## 木曾観測所 2 k CCDカメラ

吉田重臣 (天文教育研究センター)  
yoshida@kiso.su-tokyo.ac.jp

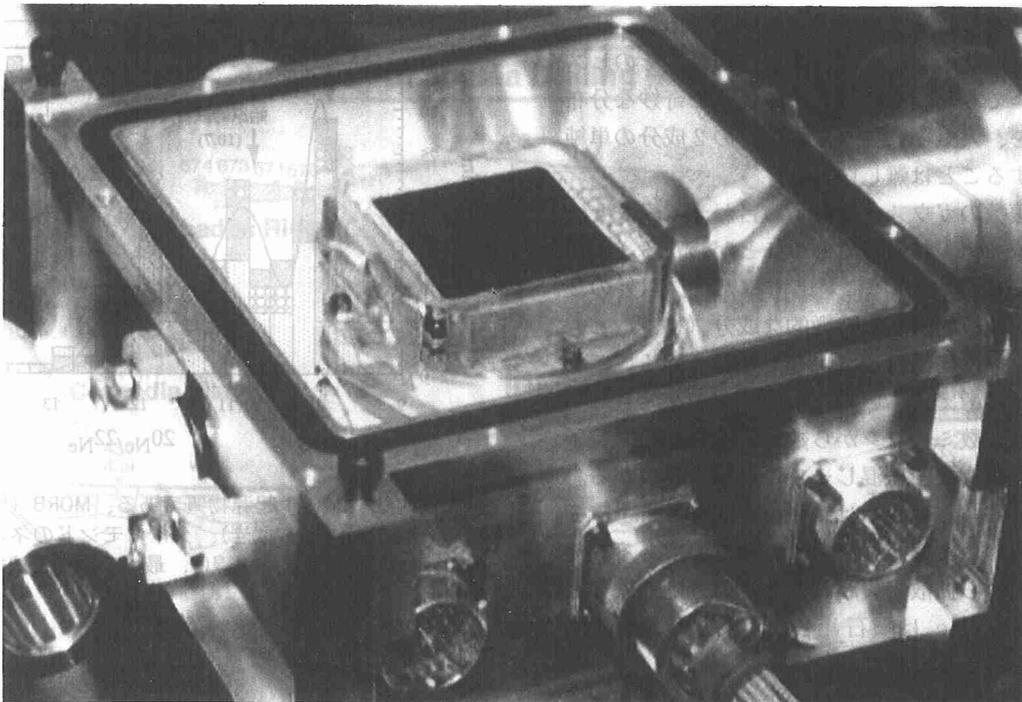
天文学教育研究センター木曾観測所は105cmシュミット望遠鏡を擁し全国共同利用施設としてさまざまな天文現象を対象として観測業務を行なっている。シュミット望遠鏡は、通常の反射望遠鏡で用いる放物面鏡ではなく球面鏡を主鏡とし、筒先に4次曲面の補正レンズを置いて球面収差を補正する光学系構成になっている。通常の放物面鏡では収差のない撮像範囲が30分角程度（おおむね月の大きさ）であるのに対し、シュミット望遠鏡では6度角四方の広い範囲にわたって良好な恒星像が得られる。望遠鏡焦点距離は3300mmで、焦点面での像スケールは、62.6秒角/mmである。したがって、有効焦点面はおよそ36cm四方となる。このようなシュミット望遠鏡の視野が広いという特徴から、各種天体の探査に主として用いられている。

1974年の望遠鏡設置以来、観測は36cm角の特殊大型写真乾板を用いて行われていた。微光天体の検出を目的とすることから、超高感度の乾板にさらに増感処理を施すのだが、それでもいわゆる量子効率は数%に満たない。すなわち、望遠鏡で集光した光の9割以上は使われずに逃がしていることになる。これに対し、近年急速に普及しているCCDを代表とする固体撮像素子では、低価格のものでも量子効率は50%を越え、さらに技術の進展に

より100%に迫るものが入手できるようになっている。このような検出器を用いることにより、写真乾板のおよそ20倍の光量が得られるわけで、これは望遠鏡を約4.5倍大きくしたことに相当する。

このようなわけで木曾観測所でもCCD素子を観測に用いるようになった。CCD素子の置き所はその大きさがシュミット望遠鏡の有効焦点面積に比べてはるかに小さい点にある。木曾観測所で当初用いていたものは1cm角でわずか12分角四方を見ることしかできなかった。しかし、この問題も近年では大型の素子が製造されるようになって解消しつつある。現在は48mm角・2048×2048画素の素子を用いたカメラを製作して実際の観測を開始している。これにより、太陽系外縁部天体・宇宙初期に誕生した恒星・遠方銀河などさまざまな天体の野心的な探索観測が緒についたところである。

シュミット望遠鏡の広い視野を生かす別の手法として、光ファイバーを用いた多天体分光観測がある。これは、焦点面上の多数の天体の位置に集光口を置き、その光を光ファイバーを通しひとまとめにして分光器に送り、これら天体のスペクトルを一度に得るという考えである。現在オーストラリアUKシュミット望遠鏡との共同製作計画を進めている。



冷却用クライオスタットに納められた2048×2048画素CCD素子。これにのぞき窓のついたふたをし、望遠鏡焦点部に設置して観測する。