

免疫系における動く遺伝子の起源

坂野 仁 (生物化学専攻)
sakano@hongo.ecc.u-tokyo.ac.jp

免疫系が多様な抗原を識別し排除するという不思議は、リンパ細胞において抗原受容体遺伝子が再構成されるという発見によって説明がつく様になった。この遺伝子を動かすメカニズムは、本来安定不変に保持されるべきDNAにとっては両刃の刃であり、時として染色体異常やガン遺伝子の活性化を促し、白血病やリンホーマの原因ともなりうる。免疫系がこの様なリスクを抱えながら、あえてDNA構造を再構成する背景には、様々な種類の病原体を抗原受容体遺伝子を多様化することによって迎え撃つという特殊な事情があった。

さて、この遺伝子をダイナミックに動かすメカニズムの起源であるが、最近の研究によれば、トランスポゾンと呼ばれる動くDNAエレメントを介して進化の過程で偶発的に免疫系に持ち込まれたと考えられている。このトランスポゾンはバクテリアから高等生物迄、広くその存在が知られており、植物でもトウモロコシの実の模様やアサガオの花の斑入りの原因である事が判っている。また、やっかいな免疫系の病気をもたらす、エイズウイルスや白血病ウイルスなどレトロウイルスも、広い意味でのトランスポゾンだと考えられている。

抗原受容体遺伝子は、断片化された遺伝子片を様々な組み合わせで持ち寄る事により、 10^6 を越す種類の遺伝子配列を作り出している。この遺伝子小片を寄せ集める

反応が、その昔宿主の染色体に割って入ったトランスポゾン挿入の逆反応、即ち切り出し反応に相当すると考えるのである。

さてサルモネラ菌では、宿主の生体防御システムをかいくぐる為、抗原となる鞭毛の発現を時折変化させている。この抗原性を変換させるフラジェリン遺伝子のon/offを決めるスイッチとして、ここでもトランスポゾンが利用されている。更に興味深いことに、このバクテリアの抗原性変換のシステムと、我々高等生物の免疫系に見られる遺伝子再構成の機構とは実に酷似しているのである。最近の研究によれば、基質としての組み換え領域近傍のDNA構造と、遺伝子を動かす組み換え酵素の構造が、免疫系とバクテリアのシステムとで瓜二つであり、これら二つの組み換え反応の素過程もほぼ同じである事が判明した。バクテリアが宿主免疫系のアタックを免れる為に使い始めたトランスポゾンを、宿主の免疫系もまた病原体排除という目的の為に用いていたとは何とも皮肉な話ではある。

科学における発見が多くの場合そうである様に、ふたを開けてみればその鍵は意外なところにあったという例として、今日はちょっと風変わりな「免疫学」の話を紹介した。

ツメガエルの発生における卵割期から形態形成期への転換 (MBT) のしくみ

— 偶然に与えられた謎解きゲームの楽しみ (と、苦しみ?) —

塩川 光一郎 (生物科学専攻)
xlshioka@biol.s.u-tokyo.ac.jp

ツメガエルの発生過程では、単一の細胞であった受精卵は12回の活発な細胞分裂 (卵割) を行い、細胞数約4,000の中期胞胚となる。この直後に、細胞周期 (特にG1) が長くなり、それまで同調的であった分裂が非同調となる。また、細胞のあるものは運動性を発揮するようになり、胚当りの転写活性は目に見えて上昇する (細かくいうと、mRNA、tRNA、次いでrRNAという順序で転写が活性化される)。胞胚期の終わりにみられる

このような変化は、初期発生段階の大きな節目と見なされ、特にMBT (midblastula transition; 中期胞胚変移) と呼ばれている。MBTの後、胚は更に細胞の数を増やし、個々の細胞の発生運命を決定しながら分化し、複雑な体制を実現する。われわれの研究室では、これらの過程を、特に遺伝子発現調節、という観点から種々研究しているが、学生諸君には多くの場合、彼らが卒業した後、とりあえずこの場所でもやっていけるように、

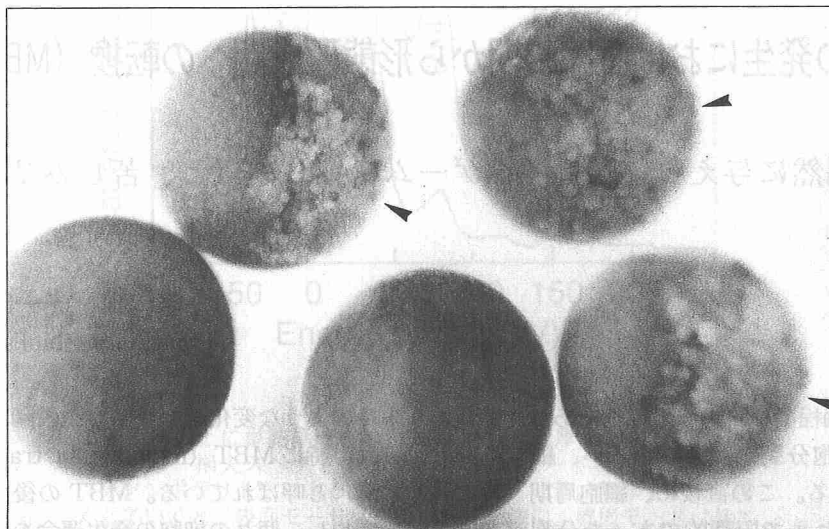
という考えから、ねらいを付けた遺伝子の“クローニング”（広い意味での、遺伝子操作）から研究をスタートさせることが多い（少し現実妥協型すぎるが）。

しかし、たまには“ねらいを付ける”遺伝子が最後になるまで分からない、というタイプの研究もある。上述のMBTのしくみであるが、これがほとんど分かっていない。われわれは、千葉大薬学部の五十嵐教授の指導を得て、ツメガエル胚のMBTとポリアミンの関係について調べてみた。さしたる関係にはわかには見つからないということだったが、そこでクローニングした(Shinga et al. BBA, 1308, 31, 1996)ポリアミン代謝のキー・エンザイム、S-adenosylmethionine decarboxylase (SAMDC)のmRNAをツメガエル受精卵に注入したところ、胞胚後期（つまりMBT直後）に細胞が突然バラバラになり発生停止を起こすという奇妙な現象に偶然出会った（下の図の矢印は、2細胞期に片方の割球にmRNAを注入した場合である。バラバラになった細胞は等張液中では生きつづける；Shibata et al., submitted）。この反応は時計仕掛けのように決ってこの時期に起こるので、ひょっとするとこれがMBTのしくみの解明に役立つかも知れないと考えた。

SAMDCはS-adenosylmethionine(SAM)を脱炭酸するもので、ふつうはこれを過剰発現させるとポリアミンのうち、プトレシンがスペルミジンに、スペルミジンはスペルミンに変わると考えられるが、実際にはそう単純にはいかない（これにはたぶんわけがあって、それを試すために現在、関係遺伝子のクローニングを行っている）。では、SAMの量の低下が原因なのか？調べてみると、確かにSAMにも変化がある。では、どうしてそれが細胞のバラバラ“事件”となるのか？SAMに変化があればメチル化反応にも変化があるかもしれない。母

性mRNAの翻訳は止まるのか？接着のためのカルシウムは？いろいろと疑問がわく。私などは、バラバラになる直前・直後の細胞のDNA、RNA、タンパクの生合成はどうなっているだろうか、ぜひ調べてみたい、と思う。現象を見つけた学生の方は、むしろ、この反応を起こす真の原因（責任）分子は？それは単数か？複数か？早く知りたい。さしあたって、この胚をレスキュー、また、他の手段でmimicできないか、いろいろ試してみる。推理が正しく行われれば、これらのことはまさに絵に描いたように、実行可能なはずである。

現在、まだ種々調べている“捜査段階”であるが、ここでいいたいのは、このような珍しい現象に出っくわすチャンスは、実はあまりないということである（たぶん珍しい！なぜかという、私も初めて見たし、ツメガエル発生の分子生物学会（コロラド）およびポリアミンのゴードン会議（ニュー・ハンプシャー）の2つの国際学会でも話してみたが、そういう現象を知っている、という人にはついに会わなかったから）。このような場合、その謎解きの作業は、意外な発見の連続であり、スリルに満ちた楽しいものである。しかし同時に、さしあたって似たことをやっている仲間（あるいは競争相手）も、前例となる研究もほとんど無いので、それなりの苦勞（苦しみ？）も無いわけではない。しばらくの間は、研究の“流行”（流行も、現代の学生にとっては、けっこう重要なのである！）とも縁遠くなる。そういう“地味な”ことをやっても仕方がないよ、最先端から遅れるよ、という声も聞こえてくる。足を棒にして、ひとり、犯人の足跡を捜して回る“刑事さん”のような日々が、やがて来るかも知れない。この現象を見つけた本人には、ラッキーであったかも知れないが、案外、ご難であったかも知れない、とつい思ってしまうこのごろである。



特異なマツバラン地下茎の分裂組織

加藤 雅 啓 (生物科学専攻)

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

植物は、動物と違って、茎や根の先端で細胞増殖と分化ひいては器官・組織形成を持続する。その結果、茎は伸長を続け、茎に沿って葉や枝がつくられる。一般に、葉の配列には規則性（葉序）があり、また被子植物では葉の腋にできた芽が伸長して枝ができるので、枝の位置も一定である。このような規則性に対して、予測できないような不規則な分枝がマツバランの地下茎にみられる。マツバランはシダ植物の一員で、その中でも基本器官の1つである根がないなどのために原始的とみなされている。

茎の分枝は茎頂の分裂組織、とくに始原細胞がどのような挙動をとるかによって決まる。例えば、二又分枝は一般には、元の始原細胞が分裂能を失ってふつうの体細胞になるとともに、近傍の分裂組織から2個の始原細胞が新生し、それらを出発点にして起こる。ところが、マツバラン地下茎は特異な始原細胞形成と曖昧な形態を示す。始原細胞の3側面から次々に切り出された派生細胞

が斜分裂を繰り返して、その中に始原細胞と同じ形態で、引き続き自身の派生細胞を切り出す細胞（新しい始原細胞）をつくることが今回わかった（図1）[ふつう、派生細胞はもとの細胞壁と直交した面で分裂する（図2）]。しかも、全派生細胞の70-80%が新しい始原細胞を生み出すが、その内のおおよそ半分は最終的には途中で始原細胞とはならず消える。どの細胞が消え、どの細胞が始原細胞として残るかについては、規則性は見あたらない。しかも、始原細胞が相対的にいろいろな分裂能をもつことによって、他に類例をみないさまざまな様式の分枝が生じる。

マツバランの地下茎は葉をつけない点でも普通の茎と大いに異なっている。マツバランの地下茎に似た器官は現生の植物には見あたらないが、初期（約4億年前）のある維管束植物の軸状器官で不規則に分枝するものと類似しているので、「生きた化石器官」と呼べるものかもしれない。

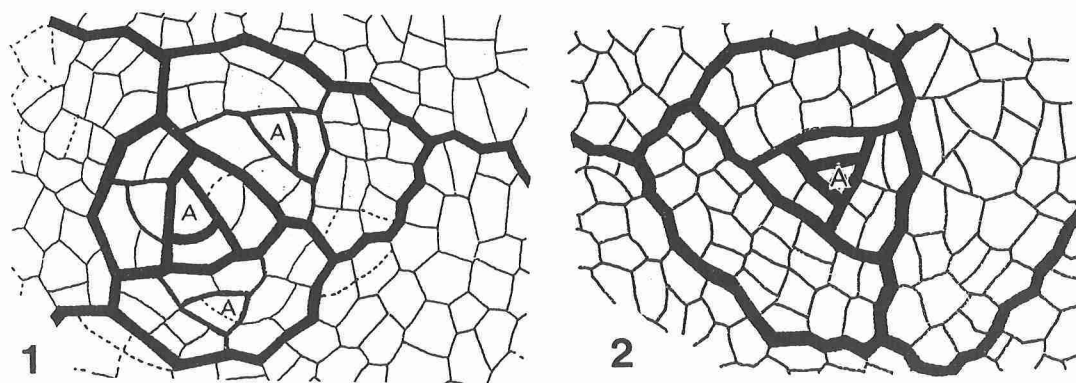


図1、2. 茎頂の細胞配列。Aは始原細胞、太線は派生細胞の輪郭、中太線は斜分裂面を示す。1、マツバラン地下茎。2、マツバラン地上茎（他のシダ植物の茎も同じ）。

下部マントル結晶粒成長の直接実験に成功！

鳥海光弘 (地質学専攻)

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

地球は深さ5乃至40kmから2900kmまでマントルであり、その下部は中心核とよばれ、主に鉄の合金から構成される。上部マントルはかんらん石、マントル遷移層はスピネルを主成分結晶としているが、下部マントルは $MgSiO_3$ ペロフスカイトと MgO が主成分結晶である。マントルは 10^6 – 10^7 に及ぶレーリー数のいわゆるハードタービュランス状態にあり、プリューム運動、プレート運動、および大規模な対流運動などが起こっている。こうした運動の解析にはかんらん石、スピネル、およびペロフスカイトの応力–歪み速度関係（構成則）を必要とする。しかし、25GPaという超高压条件での長時間実験はきわめて困難なために、現在までかんらん石を除いて、マントル条件下の直接実験によるレオロジイの決定に必要な基礎実験は行われなかった。レオロジイの基礎実験には直接変形実験、格子拡散実験、および粒成長実験がある。今回、われわれのグループは世界で初めて25GPa、1600–1900°において、ペロフスカイトとペリクレス多結晶体の長時間粒成長実験に成功した (Yamazaki, D., Kato, T., Ohtani E., and Toriumi, M, Science, 274, 2052-2054)。これは現在の超高压実験技術ぎりぎりの実験であり、このグループ（山崎大輔、加藤工、大谷栄治、鳥海光弘）以外にはこの実験技術がなくほとんど独壇場である。引き続き、格子拡散実験も成功している。

多くの金属や酸化物および塩化物結晶の場合粒成長則は $G^n - G_0^n = kt$ と表され、べき指数は3となっている。ところが、この実験はペロフスカイトおよびペリクレスについてもべき指数 n は10.6、および10.8という

値であった。すなわち粒成長は進まないという結論を得た。このことは超高压における粒成長のロッキングが起こったといえよう。つまり、表面エネルギーよりも弾性エネルギーを駆動力とする粒成長が起こることを示した。このプロセスが現実のマントルで起こることは下部マントルの流動則に大きな効果を与える。

通常下部マントルのレオロジイは拡散クリープであろうと推定されている。もしそうでなく、転位クリープであれば下部マントルは異方的となり、地震波の記録から読みとれるだろう。しかし、多くの地域が下部マントルの地震波速度の異方性は発見できない。拡散クリープによる粘性率は結晶粒子径 $\eta^{-1} = A\sigma/G^m \exp(-Q/RT)$ のべき乗の関係にあり、 $m=2$ または3である。そこで下部マントルの粒子径が小さく保たれる場合は粘性率はきわめて小さい。プレートは下部マントルに沈み込む際にスピネルが分解してペロフスカイトとペリクレスとなる。このとき粒子径はきわめて小さくかつそのままの状態に保たれることになる。周囲の下部マントルが地球初期の粗粒の状態であれば沈み込むプレートは下部マントルで大変に粘性率が周囲より小さくなる。またそのままコアマントル境界に達しても粒子径は変化しないことになり、結果的にコアマントル境界は低粘性層となることが示される。粒成長と格子拡散が実験的に決定されると粘性率の絶対値そのものが決定されることになり、きわめて重要である。また地球のみならず、惑星一般にペロフスカイトやペリクレスは普遍的な結晶であり、惑星科学の重要な基礎量を決めたことになる。



Ca-K 長石の発見

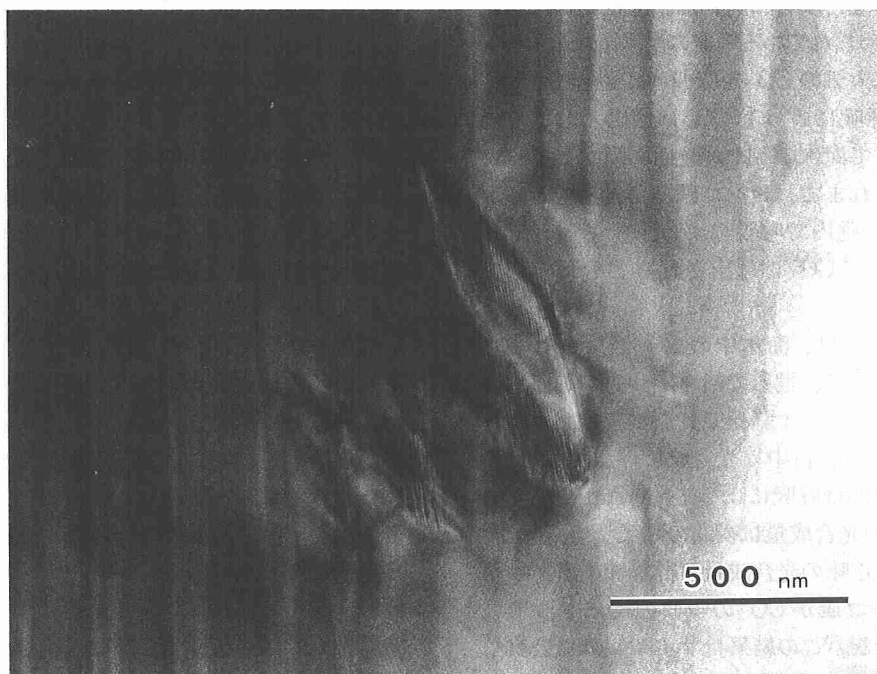
田賀井 篤 平 (鉱物学専攻)
tagai@min.s.u-tokyo.ac.jp

星 岳 志 (鉱物学専攻)
hoshi@min.s.u-tokyo.ac.jp

地殻の主要構成鉱物である長石は K 長石 - Na 長石 - Ca 長石の 3 成分系で表されるが、天然には K 長石 - Na 長石及び Na 長石 - Ca 長石の 2 つの固溶体系列のみが知られており、それぞれアルカリ長石、斜長石と呼ばれている。もう一つの固溶体系列である Ca 長石 - K 長石系列は存在しないとされてきた。

プレカンブリア期の斜長岩には、Labrador 閃光として知られる赤色から青色に及ぶ干渉色で特徴づけられる斜長石がしばしば見られる。このような干渉色は、冷却過程で離溶した成分が少し異なる 2 相の斜長石が互いに層状に規則正しく重なり合っていると考えられている。このような斜長石を高分解能透過型分析電子顕微鏡で観察したところ、離溶組織の中に K と Ca に富んだ包有物を発見した。このような包有物は試料全体に存在する。産地の異なったプレカンブリア期の斜長岩について調べ

たところ、全ての斜長岩中の斜長石に同様な包有物が発見されたことから、このような包有物は普遍的に存在すると思われる。分析電子顕微鏡による nm オーダーの組成分析の結果、包有物は長石の組成を有しており、中心部は K 長石で周辺部は Ca 長石と K 長石の互層になっている。包有物の周辺部の Ca 長石と K 長石はしばしば規則正しく互層しており、このような場合には回折図形に衛星反射が観測される。また、この包有物の長石は、ホストの斜長石と結晶学的な方位を共有しており、斜長石の結晶化と相分離の過程の中で生じたと考えられる。斜長石中に存在する K 成分の挙動は、従来は全く明らかにされていなかったが、本研究の結果が 1 つの解を与えた。このような Ca 長石 - K 長石系列の長石は、初めて発見されたもので、その形成過程の解明は、プレカンブリア期の斜長岩の生成条件の解明をもたらす。



斜長石中に見られる Ca-K 長石の包有物。斜長石に見られる筋状の組織は、離溶した 2 相の斜長石で、一方は Na に富み、他方は Ca に富む。包有物の中心部は K 長石で、周辺部には K 長石と Ca 長石の互層による縞模様が見られる。

Hoshi & Tagai (Amer. Mineral. in press)

サンゴ礁と炭素循環

茅 根 創 (地理学専攻)

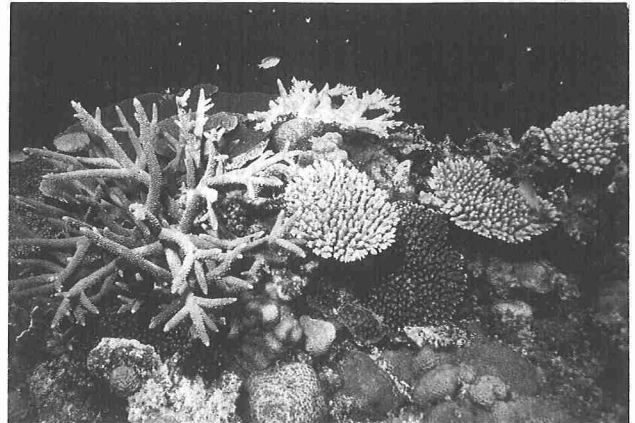
kayanne@geogr.s.u-tokyo.ac.jp

サンゴ礁は、熱帯の海岸線を縁取る生物が作った地形で、海洋でもっとも高い生物種の多様性を持っています。サンゴ礁を作る造礁サンゴは、イソギンチャクの仲間の刺胞動物（宝石サンゴやクラゲもこの仲間）です。しかしイソギンチャクとは異なり、クローンが集まって群体を作り、その下に炭酸カルシウムの骨格を作ります。数mmのサンゴ個体が数千から数万集まって群体を作り、その骨格は大きいもので数mになります。さらにこの骨格や破片などが積み重なって、サンゴ礁という数10kmにも及ぶ巨大な地形を作ります。

造礁サンゴはまた、細胞内に藻類を共生させています。この共生藻（渦鞭毛藻）は単細胞で直径 $10\mu\text{m}$ と微細ですが、サンゴの表面積 1cm^2 あたり数100万個もいて、活発に光合成をします。サンゴ礁における光合成生産量は、単位面積ではすべての生態系の中で最大です。サンゴ礁の多様な生物群集は、この光合成生産によって維持されています。サンゴ礁地形は、光合成の受光面積を拡大するとともに、生物に住みかを提供します。

サンゴ礁における光合成と石灰化は、来世紀の温暖化に関係して研究が進められている地球の炭素循環と関わっています。光合成は大気中の CO_2 を吸収する過程ですが、その逆反応である呼吸によって CO_2 は放出されます。一方、石灰化に伴って海水のpHが酸性に傾くと、 CO_2 が放出されます。これまで、サンゴ礁では光合成で固定された CO_2 はサンゴ礁内で呼吸によって全て戻ってしまう、石灰化に伴って CO_2 は放出されると考えられていました。

私達の研究グループは、海水中の CO_2 濃度を計測する装置を新たに開発して、世界で始めてサンゴ礁海水の CO_2 濃度を琉球列島やパラオ諸島で計測しました。サンゴ礁海水の CO_2 濃度は、日中は光合成に伴って200ppm以下まで減少し、夜間は呼吸によって500ppmに上昇します。しかし、日中の光合成量は夜間の呼吸量を上回り、さらに1日当たりの正味の光合成量（群集純生産）は石灰化を上回り、サンゴ礁が CO_2 の吸収の場になっていることがわかりました。この結果はサイエンスに公表したのですが、たちまちたくさんの方の反論をもらいました。反論に対する議論を通じてわかったことは、「そもそもサンゴ礁は・・・」という議論が無意味であるということと、サンゴ礁が CO_2 の放出源であるという考えのベースに、サンゴ礁を取り囲む熱帯の海は栄養分に乏しいから同じ栄養物の中で循環させているだけだ（総生産は大きいけど純生産は0）という考えがあるということでした。



沖縄県慶良間諸島のサンゴ群集

現在の目標は、サンゴ礁の炭素循環に窒素やリンなどがどのように関わっているか、これらの物質がサンゴ礁と外洋、大気との間でどのようにやりとりされているか、それが、サンゴ礁の地形や生物群集あるいは光、流れなどの物理環境によってどのように駆動されているかを明らかにすることです。これまでに、サンゴ礁ではラン藻などが大気から窒素を取り込む窒素固定が卓越していることがわかりました。さらに、こうした炭素などの循環が過去の環境変動に伴ってどのように変化したか、将来どのように変化するかについても研究を進めています。サンゴ骨格は年輪を持っており、その解析によって過去数100年間の環境変動を週単位で読みとることができます。

研究グループは、東京大学の地理が中心になって、東京大学海洋研究所、名古屋大学大気水圏科学研究所、工業技術院の地質調査所・電子技術総合研究所・計量研究所、海洋バイオテクノロジー研究所など様々な機関と分野から構成されています。現地調査に参加する研究者は多いときでは30人になり、深夜まで測定を続け、現地でも得られたデータについて何時間も議論を続けます。こうした研究によって、そもそもサンゴ礁は CO_2 の吸収源か放出源かという議論をこえて、サンゴ礁における炭素循環メカニズムを解明し地球規模変動とのフィードバック機構を考察するとともに、サンゴ礁という地球上でもっとも複雑で特徴的で、さらにいえば美しい生態系/地形が、どのように形成され維持されているかを解明したいと考えています。

精子運動調節の分子機構

稲葉 一 男 (臨海実験所)
inaba@mmbs.s.u-tokyo.ac.jp

受精を効率良く行わせることは、生物の種の存続のために極めて重要である。卵と精子の出会いの効率を高めるために、生物は生殖行動や配偶子(精子、卵)放出の同時性等、さまざまなシステムを獲得してきた。その中で受精に先立った精子の運動性の変化は、周囲の環境に直接さらされる遊離細胞である精子にとって最もダイナミックな過程の一つである(図1)。我々の研究室では精子運動調節の分子機構、および体外(海水、淡水)、体内(雌性生殖器内)といった生物の受精環境の変化に伴った精子運動調節機構の変遷についてウニ、ホヤ、魚類(ニシン、サケ科魚類、カレイ)および哺乳類(ハムスター)等の生物を用いて研究を進めている。

精子の鞭毛の中央には9本のダブルレット微小管と2本のシングレット微小管からなる軸系が存在する(図2)。ダブルレット微小管に結合しているモーター分子であるダイニンが隣のダブルレット微小管を滑らせることが鞭毛運動の原動力となっており、この滑り運動が何らかの機構で屈曲波に変換され鞭毛運動が起こると考えられている。

パク質のリン酸化が起こること、そのリン酸化反応の調節に高分子量プロテアーゼであるプロテアソームが関与すること等が明らかとなった。以上の機構の大まかなところはあらゆる生物の精子で共通していると考えられるが、細部での分子調節機構、例えばカリウムイオンの透過性の変化に至る過程などでは生物種によって多少のパラエティーが存在するらしい。

精子運動性の調節機構の研究は、細胞外情報の受容機構やそれに応答した細胞内情報伝達系、それに引き続く細胞運動系等の調節機構を研究する上で好適なシステムである。同時に、生物の進化、生息環境の変化に伴った細胞応答システムおよびそれを構成する分子群の変遷機構を研究する上でも興味深いテーマである。現在は精子の運動性の変化を引き起こす分子機構の全貌を明らかにする目的で主に研究を進めているが、将来的には周囲の環境に応答した運動調節機構の変遷に必要な遺伝子プログラムの改編機構についても研究を広げていきたいと考えている。

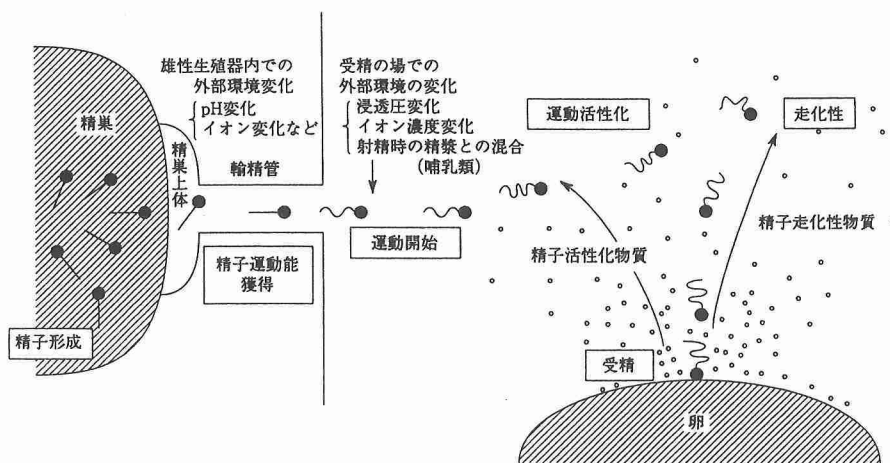


図1 精子の形成から受精に至るまでの精子運動性の変化の模式図。

精子運動性の変化は、放精された精子が周辺のイオン環境や卵由来の物質による刺激を細胞膜を介して受け取り、タンパク質のリン酸化を主体とした細胞内情報伝達系を経た後、最終的に鞭毛内の運動装置である軸系が活性化される結果起こると考えられる。

我々の最近の研究から、周辺のイオン環境変化や卵由来の物質によって精子細胞膜のカリウムイオンの透過性が変化すること、それに伴い精子膜のアデニル酸シクラーゼ(cAMPを合成する酵素)の活性がカルシウム依存的に変化すること、cAMP依存的プロテインキナーゼによりダイニンサブユニットを含むいくつかの軸系タン

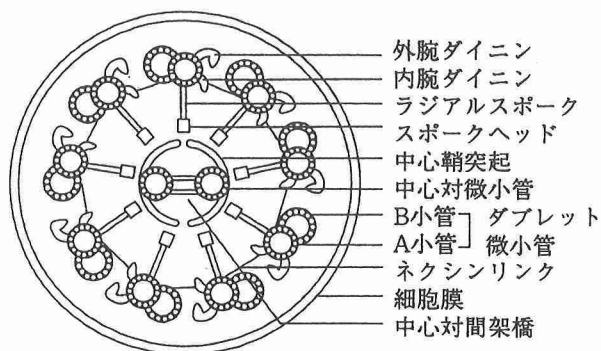


図2 精子鞭毛(断面)の構造。

X線スペクトロスコピーによる新しい表面吸着水素定量法の開発

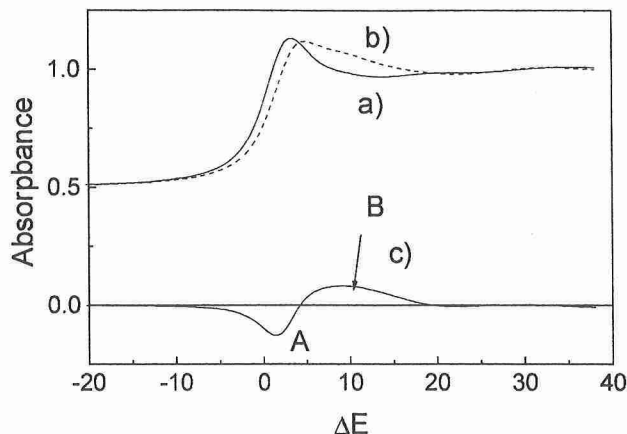
朝倉 清高 (スペクトル化学研究センター)

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

Pt の L_3 吸収端付近の X 線吸収スペクトルを測定すると、 L_3 吸収端直上に white line と呼ばれる強度の強い吸収ピークが出現する。これは、内殻の 2p 電子が結合に関わる 5d 軌道へ遷移することで生じるものである。この white line の強度は Pt の電子状態を反映し、又、透過力の強い X 線の吸収現象を利用しているため、対象サンプルの存在雰囲気の影響を受け難いという特徴を持ち、in-situ 分光法として注目されている。Pt を微粒子化し、表面原子の割合が増すと、この white line の形状がガスの吸着に伴い変化することが知られている。¹⁾ さて、Pt 微粒子は水素化、脱水素、水素化分解、deNOx などの工業触媒として広く用いられている。吸着種が微粒子上にどれだけ吸着しているかを in-situ 反応条件下で知ることは、表面反応のメカニズムを理解し、有効な触媒を設計していく上で重要である。しかしながら、吸着種とりわけ、水素の吸着量を反応条件下で知ることは困難である。そこで、われわれはこの Pt の L_3 吸収端を系統的に測定し、解析することで、これまで難しいとされてきた Pt 微粒子上の吸着水素を定量できることを見いだした。²⁾⁻⁴⁾

白金に水素を吸着させると、white line の高エネルギー側がブロードニングする。(図1)水素吸着前後の差スペクトルを取ると、X線吸収端よりも 8eV 高エネルギー側に新たなピークが出現し、このピークは微粒子の存在状態、微粒子の大きさ、共吸着ガスの吸着量によらず、常に同じ位置に出現し、そのピークの強度は表面に吸着した水素の量にのみ比例することを見出した。(図2)^{2,3)} 従来、水素吸着に伴うスペクトルの変化は、微粒子から吸着種へ電子が移動し、Pt 粒子の空いた d 軌道の状態密度が増すためであると考えられてきたのに対し、われわれは、このピークが水素吸着により変化した新しい電子状態への遷移により生じたものであるという新しい解釈を提案した。²⁾ この新しい電子状態の存在は、密度汎関数法に基づく、理論計算によっても確認することができた。⁵⁾ 本手法は、いくつかの吸着種が共存して進行する触媒反応条件下で、さまざまな反応に関与する吸着水素量を決定できることから、表面反応メカニズムの解明に役立つものと期待される。⁴⁾

- 1) H.Yoshitake et.al., J.Chem Soc., Faraday Trans., 88, 503, (1992)
- 2) K.Asakura et.al., Proc. 11th Int. Congr. Catal., 101, 911(1996)
- 3) T.Kubota et.al., Chem. Phys. Lett., 256, 445(1996)
- 4) T.Kubota et.al., Catal. Lett. 46, 141(1997)
- 5) N.Watari et.al., J.Chem. Phys. 106, 7531(1997)

図1 Pt L_3 X線吸収スペクトル

a) が水素吸着前、b) が水素を吸着させた後のスペクトルである。Pt の大きさは約 10 Å 程度の超微粒子で SiO_2 上に高分散している。c) は、b) から a) を差し引いたスペクトルで、B と呼ばれるピークが観測され、このピーク的位置は、吸着量、Pt の大きさ、共吸着種の種類や量によらず、一定のところに現れる。

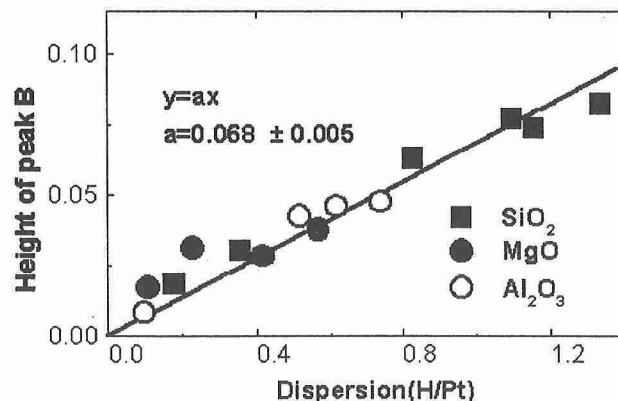


図2 吸着量 (H/Pt) とピーク B の高さのプロット

様々な担体 (SiO_2 , MgO , Al_2O_3) にせ、Pt の L_3 X線吸収スペクトルを測定したところ、粒子の大きさや存在状態によらず、各プロットは一本の直線にのった。これを逆算すれば、いくつもの水素が表面にあるかが分かる。

原子核プローブで宇宙を探る

久保野 茂 (原子核科学研究センター)
kubono@cns.s.u-tokyo.ac.jp

宇宙の進化において、原子核反応は不可欠の働きをしているにも関わらず、重要な核反応過程がよく理解されていない。これらの原子核過程を一つ一つ明らかにすることにより、進化の過程の検証と理解が得られる。つきつめると個々の原子核の性質によって、進化のシナリオが変わってくる。よく知られている太陽ニュートリノ問題がその一つにあげられる。

特に近年のこの分野における興味は、新星や超新星などの爆発的現象における核反応連鎖である。これらの現象では、地上にある安定な原子核ばかりでなく、非常に短寿命の放射性核種が核反応を引き起こすことが予想されている。宇宙では、水素が最も多い元素であり核燃焼し易いことから、水素を含む爆発的核燃焼過程が色々なサイトで重要な働きをすることが予想される。この過程は、rp-過程 (rapid-proton process) と呼ばれ、安定な原子核より多くの陽子を含んだ陽子過剰核を巻き込んで起こる。基本的には、主に陽子捕獲反応とベータ崩壊による冷却との競争過程である。陽子捕獲反応 ($A + p \rightarrow B + \gamma$) の反応率は、図1にあるように、宇宙における問題のサイトの温度によってきまる最適エネルギー (有効温度) 領域に、陽子の共鳴状態が存在するかどうかで、大きく変わる。

原子核科学研究センターのSFサイクロトロン施設では、このrp-過程に関わると予想される原子核反応に共鳴状態が有るかどうかの探査と、その性質を調べる研究を行ってきた。特に、この爆発過程の始まりから初期の反応連鎖の研究で、新しい共鳴を多数発見した。これらの結果を基に新しく評価した核反応の点火温度が図2にまとめられている。

実験の結果、シナリオの大きな変更を要求される事になった典型的な例は、 $^{19}\text{Ne} \rightarrow ^{20}\text{Na}$ 過程である。この過程では、有効温度領域に新しい共鳴が発見され、点火温度がこれまでの予想に比べて約半分の $2.2 \times 10^8 \text{ K}$ 程度となった。従って、rp-過程が典型的に起こると考えられる新星爆発では、一旦 $^{15}\text{O} \rightarrow ^{19}\text{Ne}$ 過程に火がつくと、これまでの予想に反して、炭素、酸素などがネオンやマグネシウム、アルミニウム、珪素などに大量に変換されることが期待されるに至った。

しかしながら、この研究ではもう一つの重要な物理パラメータ、共鳴強度を実験的に決める必要がある。これらを調べる研究実験がこれからの課題である。最終的には、これらの物理的パラメータが判れば、宇宙における爆発の温度や密度等々の条件が確定できる。また、地球、

太陽系を構成する物質の主要成分が、高温高密度下の爆発的核現象から作られてきた事を考えると、その歴史を遡ることにより、宇宙の歴史を理解する手がかりともなる。

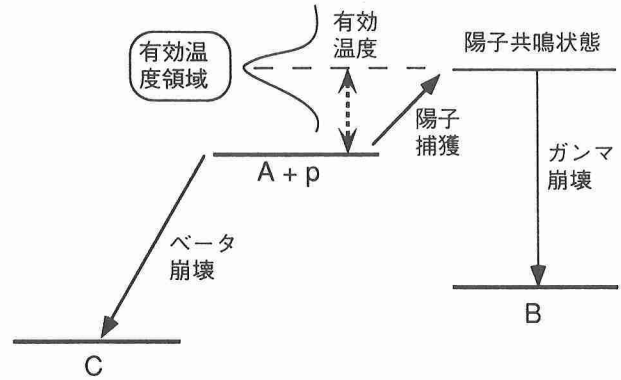


図1：陽子捕獲反応とベータ崩壊の競争過程。有効温度領域における共鳴状態の有無とその性質が鍵。

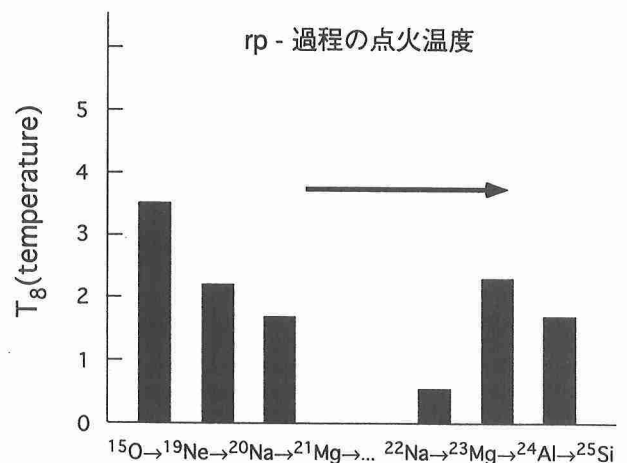


図2：SFサイクロトロンで得られたデータを基に評価したrp-過程の点火温度。温度は、 10^8 K 単位。

薩摩硫黄島の火山ガス中のフッ素化合物

森 俊 哉 (地殻化学実験施設)
mori@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp

火山噴気ガスの化学組成を知るためには、噴気地帯まで出かけていき、ガスを採取し、実験室に持ち帰って分析するのが現在一般的に行われている方法である。近年、簡便性と安全性の面から遠隔測定法の開発が行われてきている。私は数年前から赤外分光放射計を用いた火山ガス成分の遠隔測定に取り組んでいる。この手法では従来の分析法では確認が困難であった微量な成分でも、赤外分光で高い感度が得られる成分ならば測定が比較的容易である。このような微量成分の一つが SiF_4 である。 SiF_4 が火山ガス中に存在することは示唆されてきたが、実際に分析した例はなく、火山ガス中のフッ素化合物としては HF だけが考えられてきた。しかし最近になって、赤外分光を用いた遠隔測定により SiF_4 が実際に存在することが明らかになったのである。

昨年10月に私たちは九州の南約50kmのところ位置する薩摩硫黄島という火山島で火山ガス成分の遠隔測定を行った。薩摩硫黄島には硫黄岳という標高約700mの火山があり、現在活発な噴気活動を続けている。この島は平家物語にも登場し、俊寛の流刑の地である。平家物語の一節に硫黄岳が当時も噴気を上げていたことが書き記されていて、長期に渡って噴気活動が続いていることが

わかる。夜間に硫黄岳に登り火口を覗き込むと、火口底や山肌が所々ポーッと赤く光っている。これは噴気温度が非常に高温（最高880℃を超える）のため噴気口が赤熱しているのである。

我々は硫黄岳のクレーターリムに赤外分光放射計を設置し、火口底から放出される火山ガスの遠隔測定を行った。観測した赤外スペクトルを調べると火山ガス成分による赤外吸収が見える。例えば、硫黄岳で測定したスペクトルには SO_2 , HCl , SiF_4 といった火山ガス成分の吸収がはっきりと見えた。また、もう少し詳しく調べると、 HF の吸収も確認できた。

先にも触れたように、火山ガス中のフッ素化合物としては HF が一般的に考えられているが、今回の測定で薩摩硫黄島硫黄岳から大気中に放出される火山ガスの場合、 SiF_4 が HF に対してモル比で半分から同等程度存在することがわかった。この結果は火山ガス中のフッ素化合物に対する今までの常識とは異なるものである。今後は火山ガス中の SiF_4 の生成過程などを検討していく予定である。また、火山ガスの遠隔測定法の特徴を生かした研究を更に進めて行きたい。



山頂から噴気を上げる硫黄岳。手前左に見えるのは稲村岳。

重力マイクロレンズ事象における位置天文学の重要性

吉井 讓 (天文学教育研究センター)

yoshii@omega.mtk.ioa.s.u -tokyo.ac.jp

わが銀河系の渦巻銀河の観測によると、銀河回転速度は銀河中心近くから可視物質分布がほとんど無くなる外側の領域に至るまで延々と平坦で減衰の兆候を見せない。一方、銀河円盤部を広く覆う球状星団の速度分散は銀河中心から測って数10kpc に至るまでほぼ一定値を保っている。恒星系の力学の観点からすれば、銀河重力場は等温ガス球のそれに似ていて、銀河系の重力物質が銀河半径に比例して際限なく増大することを意味している。ところが銀河系や渦巻銀河の物質分布は、指数関数的であって際限なく広がっているわけではない。

それでは、私達を甚だ不安にさせている暗黒重力物質はどのような形態でどの範囲に広がっているのだろうか。この問題は銀河の形成・進化の問題を通じて宇宙論にまで係わる、天文学上極めて重大な問題となっている。暗黒重力物質の正体として MACHOs (Massive Compact Halo Objects = 褐色矮星、白色矮星、中性子星、ブラックホール、等々) が候補の一つとされている。もし銀河系可視部を広く覆う暗黒ハローの重力源が大量の見えない MACHOs であるなら、その重力レンズ効果によって背景の星々の増光現象がある確率で検出されるはずである。このような予測に基づいて、幾つかの観測グループによって、大小マゼラン雲や銀河系バルジの数百万星の光度変化の監視が開始された。そして1993年に初めて大マゼラン雲の一粒の星の明るさが一ヶ月程度の間7倍も増光する現象が観測された。現在では大マゼラン雲や銀河系中心方向で、あわせて百個近い増光現象すなわち MACHOs 候補が報告されている。

増光現象の検出確率に基づいて MACHOs が暗黒ハロー重力場を与えているかどうか確かめるためには、MACHOs の質量と距離が必要である。しかしながら、測光観測から得られる増光現象の情報は、全てアインシュタイン環の半径 (通常は千分の一秒角以下で、MACHOs の質量と視差の関数) を単位として与えられているために、MACHOs の質量も距離も確定できない。増光現象ごとのアインシュタイン環の半径を決定し且つ距離を決めるためには、測光データの他に、背景星と MACHOs の相対固有運動と年周視差を、増光現象が“見えている”間に決定しなくてはならない。

公転する地球上から増光現象を観測しているにもかかわらず、増光現象の伝統的記述では年周視差効果は省略されてきた。我々は、この省略されてきた効果を厳密に考慮して増光現象の天球上での記述を完成した。また、背景星の2つの像をスペースからの光干渉技術によって分解しそれらの位置変化を観測することによって、MACHOs の相対固有運動と視差を同時に決定する方法を提案した。この記述法によれば、固有運動と年周視差の競合次第で、増光現象の光度曲線が非対称になったり反復する場合もあり、鋭い二重ピークの光度曲線でさえ MACHOs の年周視差効果によって再現できる。これらのきみょうな光度曲線は MACHOs とは無関係として除外されてきたので、従来の MACHOs 候補数は過小評価されている。我々の記述法に基づいて増光現象の検出確率の再検討が観測グループによって開始されており、その結果を心待ちにしている今日此頃である。

