



特集「金属酵素の活性中心を我が手でつくる」

- 04 | 理学懇話会より◇巽 和行
- 02 | 時を語るもの◇半田暢彦／山本鋼志
- 03 | 理のエッセイ◇町田泰則
- 08 | 理の先端をいく◇森 郁恵／伊藤正行
- 12 | 講義探検◇有機金属化学特論2／細胞学Ⅰ
- 14 | 特別企画座談会◇名大理学部国際化
- 18 | 理学部交差点

時を語るもの

## 菅原健 博士 — 「地球にとっての水」を見つめて



「化学者の手がまったく入っていない湖沼を取り上げることが、生命現象の研究に新しい道を開くのではなかろうか」。

1922年、菅原博士は、直径わずか400メートルに満たない高須賀沼をフィールドとして湖沼研究に、化学的な手法を持ち込んだ。とくに、有機物質量を炭素、窒素などの生元素量に換算することを通して湖沼における物質変化や物質移動を定量化することに成功し、システム論的な考え方で湖沼における物質循環系をまとめ、「Lake Metabolism」(湖沼代謝)という概念を確立した。この概念は、戦後の湖沼科学の再開に際し国内外に流布し、湖沼研究の世界的発展の契機となった。

菅原博士は、長年地球化学、海洋学の国際組織の発展に尽くすとともに、とくに、海水、河川水、岩礁水などを対象に「地球にとっての水」研究の発展に尽力した。これが、名古屋大学水質研究施設(後の大気水圏科学研究所)の創設(1957)へとつながった。すでにこのとき、将来の地球環境変化への危惧を見通し、現在の地球環境研究において常識化されている物理系、化学系および生物系研究者の連携・協働の重要性を意識した組織構成にした点は慧眼といえる。

(名古屋大学名誉教授 半田暢彦、地球環境科学専攻助教授 山本鋼志)





菅原 健 (1899-1982)  
元名古屋大学理学部教授。日本学士院賞(1958)

◇自著「たまゆら」巻頭の近影にふれて

1964年6月2日の朝、Oceanography & Marine Biology\*1のための原稿の仕上げに大童になっている時、不用意に写真家に襲われて、猶予なくとられたのがこの写真である。

できてみると、無様、行儀の悪さの限りが写っている。上衣の外にとび出したネクタイ、あわててまらめた膝掛など。でもありのままに良いと慰める人もあって眺めていると不思議と忘れかけていた記憶がその中からよび起こされてくるのである。

偶然着ていた服は、柴田先生\*2が名大退職の記念にと賜った生地で作ったものであった。

タイプライターは重ねて訪ねたナボリの記憶がつながる。その臨海実験所で行なった講演の謝礼として受け取ったオリヴェッティで、所長ピーター・ドールン博士\*3の厚意がこもっている。しみのついたネクタイにも、虫目のできかかった膝掛にも記憶の数々がしみついているのである。

バンドラの箱の話がある。この写真は何度開いてみても常に新たに神の恩寵が限りなく湧いてくる、新説「私の大切なバンドラの箱」である。

(「たまゆら」菅原健著、中央公論事業出版、1960より抜粋)

\*1 Oceanography & Marine Biology  
海洋学・海洋生物学  
\*2 柴田謙次(1882-1980)  
元名古屋大学理学部教授  
\*3 Peter Dohrn(1917-)  
元ナボリ臨海実験所所長

バック写真提供:原口和夫氏、  
左の写真は「たまゆら」に掲載されたもの。



理のエッセイ◎町田泰則 生命理学専攻教授

## 「理」という漢字は

「理」という漢字は、へんである「王」とつくりである「里」からなり、「王」は宝石を、「里」はしま模様を意味している。同時に、古代から巨大建築や彫刻に用いられてきた大理石には目には見えないすじがあり、石工がこれを割るときにノミを当てる場所、つまりそこに当てれば、力を入れずとも石は自然に割れる場所を意味している。理学部とはそういうことを学び、研究する場所だ。

本理学研究科の重点化を提案した頃、「理学部の英語訳は何というのでしょうか?」と、元理学部長の山内脩先生と話したことがある。「そうですね、それに当たる西洋の言葉はないでしょう。School of Science では意味が今ひとつ違いますね」とおっしゃった。日本の大学の制度は明治初頭、ドイツから輸入したといわれている。その時、「理学部」と実際に命名したのはだれか、私は知らない。福沢諭吉は、その著書「学問のすすめ」の中で、「学問とは広き言葉にて、無形の学問もあり、有形の学問もあり。心学、神学、理学等は形なき学問なり、天文、地理、窮理、化学等は形ある学問なり」と述べている。そのころの理学は哲学を、窮理は物理を意味していた。2000年前のアリストテレスは、今の私たちでも魅了されるようなことを、「形而上学」の冒頭で書いている。「すべての人間は、生まれつき知ることと欲する」と。最近数百年の間に、人類は、洋の東西を問わず、学問体系を発展させ科学技術を開発・深化させ、膨大な量の知識を手中にした。しかし、「理」の志は2000年前と少しも変わらない。

一方、福沢は、「論語読んで論語知らず」のような知識を強く戒め、経済のため、国のため、人のために役に立つ学問が大事であるともいっている。

科学史には、数百年おきに、真に巨星というにふさわしい人々が登場してきた。アイザック・ニュートン、チャールズ・ダーウィン、アルバート・アインシュタインなど。私の専門である分子生物学では、巨星という表現がふさわしいかどうか迷うこともあるが、ジェームズ・ワトソンとフランシス・クリックもそうかもしれない。それと同時に私たちは、巨星の間には、多数の星が輝いていることを知っている。そこには、福沢が指摘したような学問に関わった学者など多様な科学者がいる。

国立大学法人の理学研究科はいかにあるべきか、自ずと答えはある。大理石のすじを見極めれば、大いに役に立つと信じている。

Yasunori Machida

生命理学専攻教授。1948年生まれ。1978年名古屋大学大学院理学研究科博士課程満了。理学博士。名古屋大学、京都大学大学院教授を経て、1999年より現職。平成14年度「21世紀COEプログラム」に採択された「システム生命科学:分子シグナル系の統合」の拠点リーダー。

# 金属酵素の活性中心を我が手でつくる

巽 和行 物質科学国際研究センター長

金属元素は多様で特異な反応性を示し、炭素原子などの軽い元素にはない機能を秘めている。

その性質をたくみに利用し、植物や動物の生命活動を支えているのが金属酵素だ。

近年、金属酵素の構造が次々と明らかになり、その活性中心を人工的につくり、

酵素機能の仕組みを解き明かそうとする研究が活発になってきた。

複雑な金属酵素活性中心の合成に取り組む巽和行教授に講演をお願いした。

(2005年6月16日、第9回理学懇話会より)



Kazuyuki Tatsumi

1949年奈良県生まれ。1976年大阪大学大学院基礎工学研究科修了。  
現在の専門は無機化学。分子の世界の美しさに魅せられている。

## 金属酵素とは何か

我々の自然界には活性中心に金属原子を持つ酵素、金属酵素がたくさんあります。図1の周期表で赤色で囲ってあるのが、植物や動物に微量ながら存在し、それがないと生命活動が維持できないという金属元素です。これらの金属元素を含む酵素が生体内でどのような役割を担っているかは、生物学者や無機化学者のホットで重要な研究対象となっています。たとえば、赤血球中で酸素を取り込み、運び、貯蔵するという役割を担っているヘモグロビンは鉄原子を含んでいることをご存じでしょう。鉄原子が肺で酸素を受け取り、それを身体のすみずみまで運搬して離すという「反応」をたくみに、実に効率よく行っています。

金属酵素の活性部位が硫黄原子または硫黄を含むアミノ酸と結合していることはしばしばあります。硫黄は金属原子との親和性が高く、また、柔軟な電子状態をとるために好都合なのですが、硫黄を含むアミノ酸は2種類しかありません。その1つがシステインです(図2)。このアミノ酸は酵素活性部位を支えるだけでなく、金属を還元してシステイン2分子で硫黄-硫黄結合をつくる、あるいは逆に、硫黄-硫黄結合を切断して金属を酸化することができます。もう1つがメチオニンです。

1																	13
H																	B
Li	Be															B	
Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Al					
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga					
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In					
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl					

図1 「生きる」ために必要な金属元素

■ …金属酵素に含まれる元素 ○ …薬に使われている金属元素



メチオニンの中性硫黄原子も金属と結合しやすく、生体内で金属を取り込む重要な働きをしています。

これらのアミノ酸以外に、硫黄イオン(S<sup>2-</sup>)が金属原子を連結してクラスターをつくり、複雑な酵素活性部位を形成している場合があります。たとえば、鉄1原子にシステイン4つ結合したものの、鉄が2個のもの、3個のもの、さらに鉄4原子と硫黄4原子がサイコロ型構造をしたクラスター\*1(4Fe4S)が知られています。これらは、見えない化合物であると思われるかもしれませんが、あらゆる植物および動物中に普遍的に存在しており、鉄の酸化還元挙動を使って生体内で電子を伝達する役割を担っています。

最近、生命体の還元反応をつかさどる新しい金属酵素の構造が次々と明らかにされてきました。還元系金属酵素は空気中で不安定で取り扱いが困難なため、これまで研究が遅れていたのですが、この重要な酵素群の活性部位は、硫黄を含む実に興味深い金属クラスターから構成されていることがわかってきました。これまでの無機化学合成手法では到達できない特異な構造をしており、「我が手でつくる」人工合成の標的化合物として世界的に注目を集めています。その代表例がニトロゲナーゼ\*2(窒素固定酵素)です。

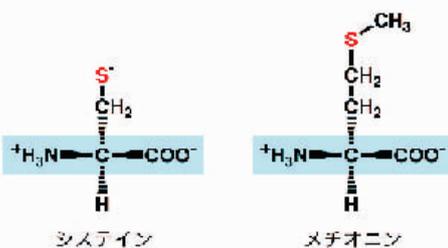


図2 硫黄を含むアミノ酸

## 自然の営みを支える

ニトロゲナーゼはマメ科の植物の根に共生する根粒バクテリアのなかに存在し、空気中の反応性に乏しい窒素分子を熱も圧力もかけない温和な条件で、アンモニア(NH<sub>3</sub>)に還元できるすばらしい機能をもっています。植物が成長するためには窒素肥料が必要で、それはニトロゲナーゼによって窒素をアンモニアに変換するというプロセスを経てつくられています。動物は植物を食料としているわけですから、ニトロゲナーゼが自然の営みを支えていることとなります。一方、工業的にアンモニアを合成するハーバーボッシュ法があり、ニトロゲナーゼと同じくらいの量の窒素を固定しています。しかし、鉄の酸化物を触媒に用いるハーバーボッシュ法では、500℃以上あるいは数百気圧という非常にエネルギーを消費するプロセスでつくられていることを考えると、ニトロゲナーゼの機能を知り、それを新たな省エネルギー工業プロセスの開発に利用することがどうしても必要です。

ニトロゲナーゼは鉄-タンパク質とモリブデン鉄-タンパク質という2種類のタンパク質が2つずつ集まっており、金属クラスターからなる活性中心が窒素固定反応の触媒となっています(図3)。鉄-タンパク質には4Fe4Sクラスターの活性部位

があり、モリブデン鉄-タンパク質にはP-クラスターおよびFeMo-co(鉄モリブデン補酵素)とよばれている活性部位があります。どれも、金属硫黄クラスターです。4Fe4SクラスターからP-クラスター、そしてFeMo-coへと電子が受け渡され、FeMo-coで窒素分子からアンモニアがつくられると考えられています。

この酵素反応では特に、P-クラスターとFeMo-coが重要であり、この2つの金属クラスターからなる活性部位を人工的につくり出すことができれば、窒素を固定するニトロゲナーゼの機能の本質に迫ることができるわけです。P-クラスターは鉄と硫黄のみからなっており、真ん中の硫黄が6つの鉄に囲まれていることが特徴です。FeMo-coはモリブデン1個と鉄7個を含む硫黄クラスターで、真ん中には窒素または酸素と思われる軽い原子が包まれています。どちらも、化学的に前例のない非常に変わった構造をしています。私たちは、これらのクラスター活性部位の人工合成に挑戦しています。

### \*1 クラスター

金属クラスターを意味し、近接した金属原子を3個以上含む化合物をさす。

### \*2 ニトロゲナーゼ

大気中の窒素をアンモニアに変換する酵素。この反応過程を窒素固定とよぶ。

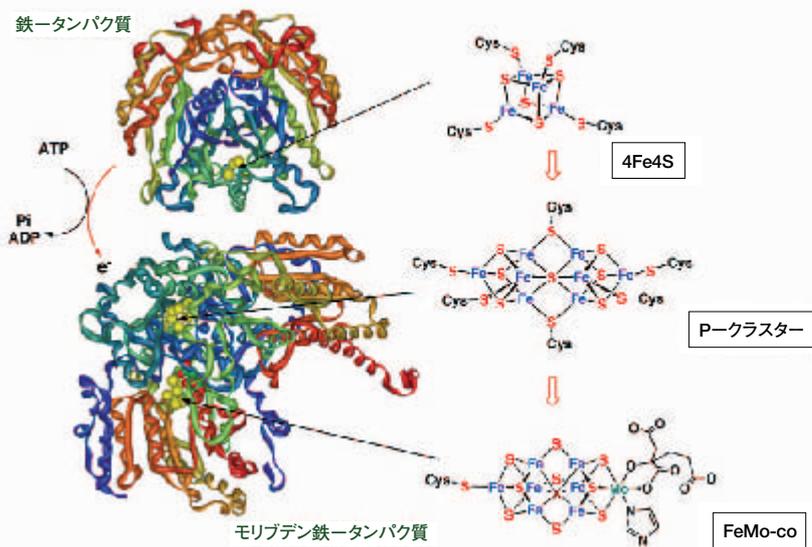


図3 金属硫黄クラスターからなるニトロゲナーゼ金属酵素の活性中心

(左)鉄-タンパク質とモリブデン鉄-タンパク質の構造(Protein Data Bankに登録されている座標1MIYを元に作成)。黄色の小球の集まりは、各タンパク質に含まれる金属クラスターを示している。(右)ニトロゲナーゼ活性中心を形成する金属クラスターの構造。窒素固定反応の際には、各クラスターの間に電子が矢印の向きに受け渡されていく。

## P-クラスターを初めてつくる

4Fe4Sのサイクロ型クラスターの合成は、1970年の初めに達成されました。鉄の塩化物にシステインに相当するチオラート\*3と硫黄を混ぜることによって、このサイクロ型4Fe4Sクラスターを合成することができます。一定の条件設定が必要ですが、条件設定さえ間違わなければ、学部4年生の学生でも比較的簡単に合成できます。しかし、この手法ではP-クラスターやFeMo-coはつくれません。世界中の化学者がいろんな合成経路を考案して、これらの人工構築をめざしましたが、結局はサイクロ型やそれに類似したものしかできませんでした。P-クラスターやFeMo-coは生物しかつくりえない、あるいは、タンパク質のなかでしか安定に存在し得ないのではないかと、悲観的に考えられるようになっていました。

しかし最近、われわれの研究室でP-クラスターやFeMo-coを「我が手で作る」きっかけが見つかりました。ブレークスルーとなったのが、図4左に示す反応です。この反応では出発原料に、サイクロ型4Fe4Sクラスター合成に用いられた鉄の塩化物ではなく、鉄のアמיד\*4錯体と特殊なチオラートを使います。従来の4Fe4Sクラスター合成法は、極性溶媒中で負電荷を帯びた化合物を生成するのに対し、われわれの方法では非極性溶媒に溶ける中性クラスターを合成することができる点が大きく違います。鉄のアמיד錯体、特殊なチオラート、硫黄などの反応試剤の量を調整することによって、P-クラスター骨格が合成できることを偶然見つけました。得られた黒い結晶の構造を解析すると、8つの鉄と7つの硫黄からなるクラスターで、その中の1つの硫黄が6つの鉄に結合したP-クラスター骨格構造を完全に再現する化合物でした。今まで生物にしかできないと思われていたP-クラスターを初めてつくり出すことができました。その結果、P-クラスターの構造と電気的性質の相関や、磁気的な性質の解明、さらには生物がいかんしてP-クラスターを構築しているかといった基礎研究の端緒が初めて開かれました。

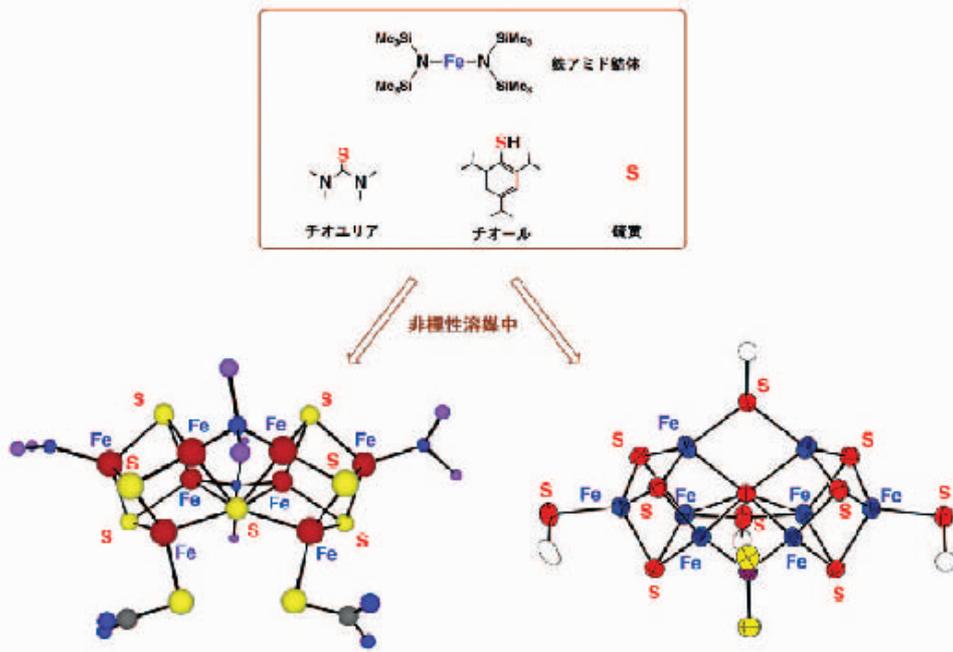


図4 新たな合成概念によるニトロゲナーゼ活性中心の人工構築

(左) P-クラスターの骨格構造を再現する鉄硫黄クラスター錯体 (右) トポロジー的にFeMo-co骨格構造を再現するクラスター錯体

## FeMo-co合成への挑戦

さて、次はFeMo-coです。FeMo-coは鉄と硫黄だけではなく、モリブデンも入っているため、話はさらに複雑になります。FeMo-coのモリブデンの部分ではモリブデンに硫黄が3つ結合しています。そこでわれわれは、五角形シクロペンタジエニルのモリブデン錯体に硫黄原子が3個結合した化合物をつくり、これをモリブデン部分のモデルとして、鉄と硫黄を組み上げていくことを考えました。詳細は省きますが、モリブデンが1つ、鉄が5つ、硫黄が9つ入ったクラスターをつくることに成功しました(図5)。現在のところFeMo-coに一番近い化合物で、モリブデンが片方にしかない左右非対称のクラスターが、モリブデン、鉄、硫黄を混ぜることにより自動的に構築されるということは重要な発見です。この化合物に鉄があと2個入れれば、FeMo-co骨格になります。

一方、P-クラスターの合成方法を少し修正することによって、モリブデンはまだ入っていませんが、FeMo-coの骨格構造そのものに迫ることができ

ました(図4右)。両側に4Fe3S部分があり、それらが真ん中に6つの鉄に結合した硫黄があるとところはP-クラスターと類似していますが、内側の6つの鉄の間をチオラートまたはアミドが架橋していることが違ってきます。両端の鉄の一方をモリブデンに置き換え、真ん中の元素を硫黄でなく酸素原子または窒素原子とすれば、基本的にはFeMo-coの骨格構造がつくれることになります。われわれ無機合成化学者にとって「夢」といわれているFeMo-co合成も、近い将来できるのではないかと夢を抱かせます。

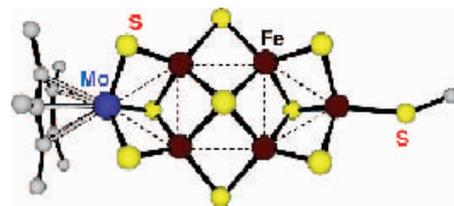
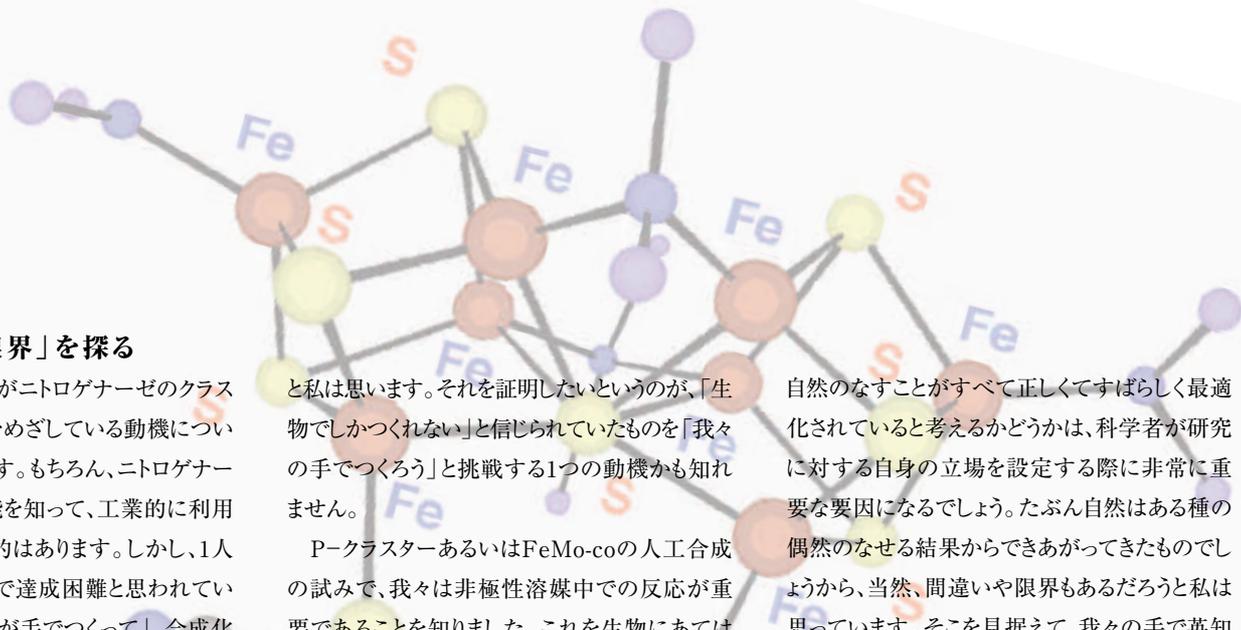


図5 FeMo-co活性中心に迫るモリブデン鉄硫黄クラスター錯体



## 自然の「英知と限界」を探る

それでは、われわれがニトロゲナーゼのクラスター活性中心の合成をめざしている動機についてお話ししたいと思います。もちろん、ニトロゲナーゼの見事なまでの機能を知って、工業的に利用したいという明確な目的はあります。しかし、1人の化学者として、複雑で達成困難と思われている重要な化合物を「我が手でつくって」、合成化学の力量を示したいという、強い欲求が1つの動機となっています。それはあらゆる学術研究にもあてはまる動機でしょうね。

もう1つは、生物が自然界でこのような複雑な化合物をいかにつくっているかを知りたいという知的欲求です。そのためには、実験室で実際に合成して、その反応を解析する必要があります。われわれ化学者は「生物がつくれるものは基本的にはわれわれの手でもつくれるはずだ」という期待をもっています。P-クラスターやFeMo-coのような化合物は、これまでいろいろな理由から「人の手でつくることができない」と思われていた化合物です。「自然でしかつくれない、だから、自然は非常に神秘的に満ちたものである」とあきらめてしまいがちですが、私はそうは考えたくはありません。

自然の営みは、我々が知っている(または将来に知るであろう)物理や化学の原理の下で機能しているはずですが、非常に複雑ではあります、そのもとにあるのは物理や化学の基本原則であろうと私は思っています。確かに自然界の構築物には我々の現在の理解をはるかに超えた複雑さはあるかもしれませんが、自然の営みがわかってくればくるほど、たとえば高校生あるいは中学生でも説明できるようになる。そういうものが自然ではないでしょうか。自然は、我々の知識が足りないためにやたら難しく見えるだけではないか

と私は思います。それを証明したいというのが、「生物でしかつくれない」と信じられていたものを「我々の手でつくろう」と挑戦する1つの動機かも知れません。

P-クラスターあるいはFeMo-coの人工合成の試みで、我々は非極性溶媒中での反応が重要であることを知りました。これを生物にあてはめると、水は極性の溶媒ですから、それが無い疎水性条件下で水の極性の影響を受けずにクラスターをつくっているのではないかと推測できます。そういう環境と比較的単純な原料さえ整えられれば、非常に変わった構造をもつP-クラスターあるいはFeMo-coでも自己集散的にできるのではないかと考えられます。実際、ニトロゲナーゼのクラスター活性中心は、疎水性タンパク環境の中に埋め込まれています。また、実験室での合成では、クラスター構成原子を1つずつ積み上げていくのではなく、限られた数の原料試薬を混ぜ、反応条件を設定してクラスターを一気に合成しているわけです。それがある程度うまくいくということは、ある環境さえ整えば、そのクラスターは複雑な手順を経ずに「自然と」つくられていくものであろうと思えます。

自然が人智のおよばない英知をもっていることは事実です。しかし、だからといって、自然および

自然のなすことがすべて正しくてすばらしく最適化されていると考えるかどうかは、科学者が研究に対する自身の立場を設定する際に非常に重要な要因になるでしょう。たぶん自然はある種の偶然のなせる結果からできあがってきたものでしょうから、当然、間違いや限界もあるだろうと私は思っています。そこを見据えて、我々の手で英知と同時に限界も探ろうというのが、この「金属酵素の活性中心を我が手でつくる」研究を行っている我々の基本姿勢です。もちろん、私は自然が好きで、「自然は素晴らしい」とは思っています。現在の人間はそれほど賢くなく、自然に比べてずっと愚かだとも思っています。だからといって、「自然は万能である」という考え方はしたくありません。少しずつわれわれの知識、技術を積み重ねて行き、生物がつくっているものをわれわれ自身でつくっていきながら、自然の力に迫っていきたいと思っています。

### \*3 チオールとチオラート

SH基をもつ一連の化合物をチオールとよび、チオールから水素イオンを除いた陰イオンをチオラートという。

### \*4 アミド

アンモニアに類似したアミン(NR<sub>3</sub>)から置換基をひとつ取り除いた陰イオンのこと。NR<sub>2</sub>と書く。



# 動物行動はどう決まる？

—線虫神経回路研究からのチャレンジャー—

森 郁恵 生命理学専攻教授



Ikue Mori

1957年東京生まれ。Washington University博士課程修了。九州大学理学部助手、名古屋大学大学院理学研究科助教授を経て、2004年より現職。専門は行動遺伝学、分子生物学。「何度読んでも新しい発見がある」といわれる論文を書き、「奥深く美しい」と形容される研究をするのが目標。

## 線虫から脳のしくみを知る

「その場の空気を読む」という表現がある。我々「ヒト」は、無意識ではあっても、相手の表情や言動が、微妙に変化することを認識しながら会話を進める。相手の性格を考慮して話し方を変えることもあるだろう。他者とのコミュニケーションを成立させることは、非常に高度に発達した脳の

活動の結果である。わたし達は、このような高次神経機能を解き明かすために、体長1ミリメートルの線虫*C.elegans*を材料として研究を行っている。神経細胞（ニューロン）は、互いにつながりあって連絡しあい、神経回路を形成する。線虫*C.elegans*を使って神経研究をする最大の利点は、

302個のニューロンから構成される神経回路の全容が解剖学的にわかっていることである。高等な動物になるほど、ニューロンの数は増加し、神経回路は複雑になり、脳構造を形成するようになる。しかし、重要なのは、ニューロンの物理化学的性質は、動物の進化を通じてほとんど変化していないことである。ヒトのコミュニケーションスキルは神経進化のたまものであるが、高度な神経活動の根本原理は、線虫神経系の中に潜んでいるはずであるという信念のもと、わたし達は、日夜実験に励み議論を重ねている。

## 温度走性研究の突破口を開く

線虫*C.elegans*は、餌（大腸菌）を与えて飼育されると、餌のない温度勾配上で飼育温度へ向かって移動する（温度走性：図1）。この温度走性の論文\*1が1975年に発表されて以来、神経系の可塑性\*2が直接的に観察される行動として多くの研究者の注目を集めていたが、次の論文が出ない時期が長く続いていた。

わたしは、アメリカ留学を終え、1989年に赴任先の九州大学で温度走性の研究に着手した。まず、温度走性異常変異体を単離して、温度走性にどのような遺伝子の働きが重要なのかを明らかにしていった。同時に、それらの遺伝子が、どのニューロンでどう作用するのかを知るために、温度走性の神経回路を決めることが必要だった。そこで、幼虫期の線虫個体を麻酔して顕微鏡下で個々のニューロンを同定し、レーザー照射によって目的とするニューロンを殺傷し、成虫になったところで温度走性に異常がどうかどうかを検証する実験を行った。この研究成果は、最初の温度走性の論文が発表されてから、ちょうど20年目にあたる1995年に発表した（図2）。

## 記憶が行動を決める

これまでの研究から、温度を感じるニューロンや、温度と餌条件の関連付けに重要だと考えられるニューロンで機能する遺伝子がかなりわかってきた。たとえば、カルシウム依存性脱リン酸化酵

素カルシニューリンは、温度を感じる温度受容ニューロンの活性をチューニングしていること、カルシウムセンサーNCS-1は、温度情報処理ニューロンにおいて、新しい温度を記憶する過程に必要であることがわかった。

最近、我々は、線虫*C.elegans*に飢餓を体験させた場合は、温度勾配上で、飢餓体験温度を避けるように移動することを見いだした。そこで、飢餓の体験に関わらず常に飼育温度へ移動する飼育温度忌避異常を示す変異体を単離し、温度記憶と飢餓の関連付けの過程に関与する遺伝子を同定していきたいと考えている。これらの解析により、神経系の可塑性、記憶・学習機構の全体像が見えてくると期待している。

### 神経回路動態の仕組みを探る

わたしの現在の関心事は、神経回路動態に関する普遍理論を構築することである。そのために、神経回路の生理学的解析が必須と考える。その第一歩として、カルシウムモニターであるカメレオンタンパク質 (cameleon) を、温度受容ニューロンで発現させ、温度変化に対する応答を測定した (図3)。その結果、温度受容ニューロンは温度上昇に反応することがわかった。興味深いことに温度上昇への応答は、線虫*C.elegans*が記憶している飼育温度に依存することも明らかになった。今後、温度情報の記憶と処理をつかさどっているニューロンの活動のイメージングなどを行いながら、その意義を解明したい。さらに、コンピューターシミュレーションも視野に入れて、今後の研究を展開したいと思っている。K.ローレンツ、N.ティンバーゲン、K.フォン・フリッシュが、動物行動学を確立し、ノーベル医学生理学賞を受賞してから4半世紀以上が過ぎた。2004年に「遺伝子と行動」というテーマのゴードン会議\*3が初めて開催され、2006年に2回目が開催されることにも象徴されるように、この分野は、遺伝子技術の発達と多様なモデル動物の適用にともない、今まさに新しい局面を迎えている。

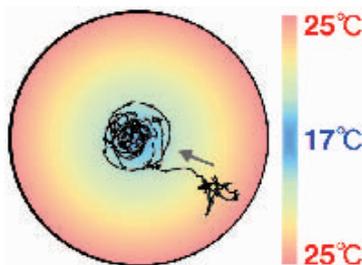


図1 温度走性行動

線虫*C.elegans*は、15°Cから25°Cで通常に飼育されると、その温度を記憶する。この図では、17°Cで飼育された線虫個体が、同心円状の温度勾配上に置かれた時、1時間後には17°Cの領域に移動した軌跡 (矢印の方向) を示す。

### 温度走性の神経回路

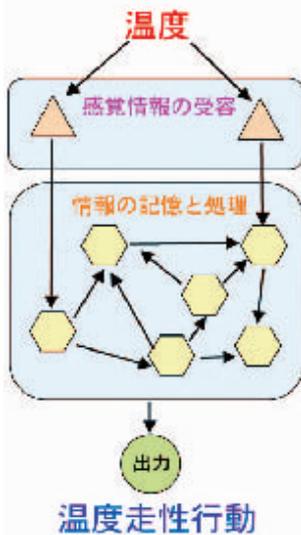


図2 温度走性の神経回路

レーザー殺傷実験により同定された温度走性に関与する神経回路。この回路では、まず、温度の受容が行われ (感覚情報の受容)、温度や餌条件の記憶や2つの情報の関連付けが行われ (情報の記憶と処理)、その結果として、温度走性行動として出力される。矢印は、ニューロンとニューロンの連絡をつかさどるシナプス結合。

(I. Mori and Y. Ohshima, Nature 376, 344-348, 1995より)。

#### \*1 温度走性の論文

線虫*C.elegans*の温度走性行動は、1975年に、E. HedgecockとR. Russellによって最初に報告された (E. Hedgecock and R. Russell, PNAS 72, 4061-4065, 1975)。

#### \*2 神経系の可塑性

神経回路を構成するニューロン (神経細胞) の信号発生やニューロン間の信号伝達が変化する性質のこと。この性質は、動物の記憶の根幹であると考えられている。

#### \*3 ゴードン会議

国際的に活躍している研究者が集う会議。年間を通して、多数のテーマで開催されている。開催地は、主にアメリカ。

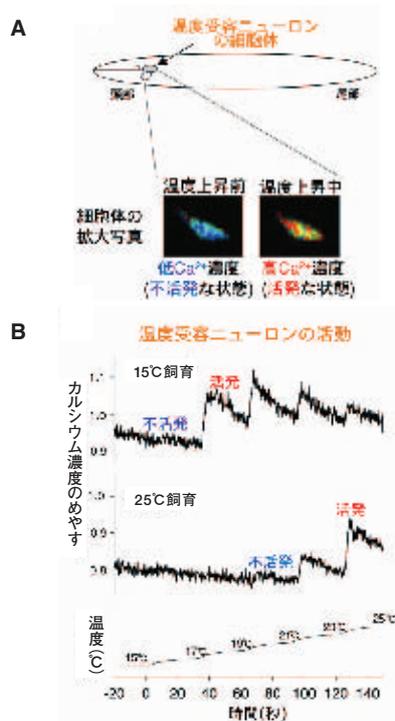


図3 温度受容ニューロンの活動のイメージング

(A) ニューロンの活動が上がると、カルシウム濃度が上昇する。カルシウム濃度をモニターするカメレオンタンパク質を発現している温度受容ニューロンは、温度上昇に応答し、異なる波長の蛍光を発する。写真左は温度上昇前に、写真右は温度上昇中に対応し、青色は、低Ca<sup>2+</sup>濃度、赤色は、高Ca<sup>2+</sup>濃度を表す。(B) ニューロンの温度上昇に応答する性質は、線虫*C.elegans*が記憶している飼育温度 (例: 15°C、25°C) に依存する。

# 強相関電子系の軌道自由度から見える 新たな物理世界

伊藤 正行 物質理学専攻教授

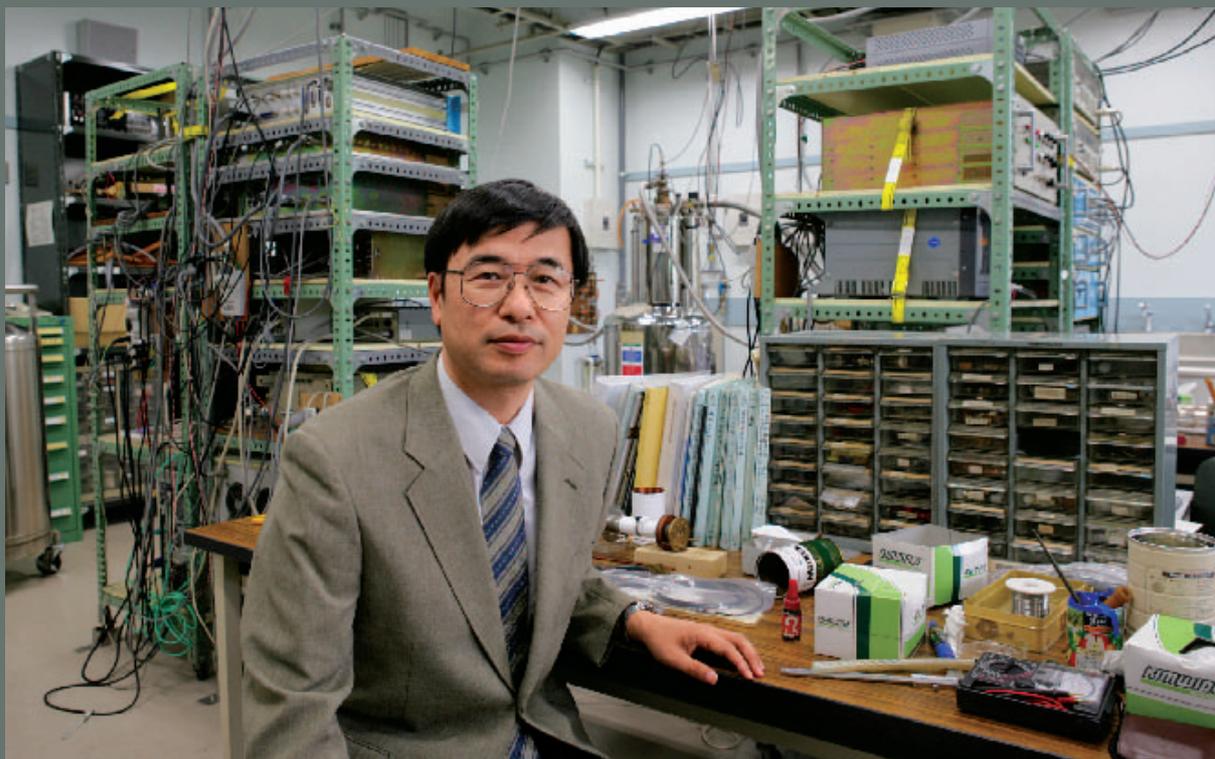
## 強相関電子系とは

現代は、コンピューターによる情報社会である。このコンピューターは、半導体物理学から生まれた半導体材料・エレクトロニクスによって支えられている。最近、半導体を超える次世代の電子材料として、強相関電子材料が注目され始めている。磁場によって抵抗が大きく変化する巨大磁気抵抗効果を利用するハードディスクは、記憶容量が飛躍的に増すために熾烈な材料開発の競争が行われているが、強相関電子材料は次世代のその有力候補の1つとして注目されている。このような強相関電子材料では、半導体中の電子とはまったく異なった物理法則に従う電子を制御

することによって生じる多彩な新機能<sup>\*1</sup>が期待されている。この新機能性材料を支えるのが強相関電子系物理学である。

強相関電子系とは、固体中で電子と電子の間に強い反発力が働いている電子系のことである。半導体中では、電子間相互作用は無視できるほど弱いので、その中の莫大な数の電子の運動を独立な1個の電子の運動と同等と見なして記述することができる(バンド理論)。一方、強相関電子系では、その強い相互作用のために電子は互いに相関をもって運動するためバンド理論は破綻し、新たな概念と理論を

必要とする物理現象が現れる。1986年に発見された高温超伝導銅酸化物はその典型例であり、反強磁性絶縁体<sup>\*2</sup>にキャリアを導入すると金属になり、さらに、高い転移温度をもった超伝導まで出現する。これ以外にも、遷移金属酸化物<sup>\*3</sup>において、巨大磁気抵抗効果などの多彩な物性<sup>\*4</sup>が見つかってきた。これらの物性は、私たちがもっていた物理概念を大きく書き換えながら、強相関電子系物理学は進展し続けている。このような強相関電子系物理学の分野において、最近誕生した軌道物性の研究について紹介しよう。



Masayuki Ito

1956年三重県生まれ。東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。千葉大学理学部助手・助教授を経て、2001年より現職。専門は核磁気共鳴。強相関電子系の特異な物性発現機構の解明をめざした研究を進めている。

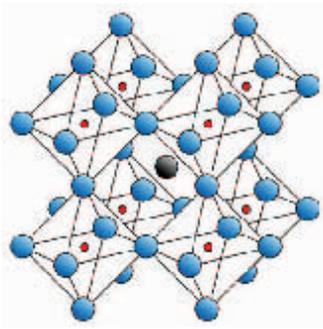


図1 代表的な3d遷移金属酸化物の結晶構造であるペロブスカイト型構造。遷移金属イオン(赤丸)が立方体の頂点に位置し、酸素(青丸)が立方体の頂点に取り囲まれている。

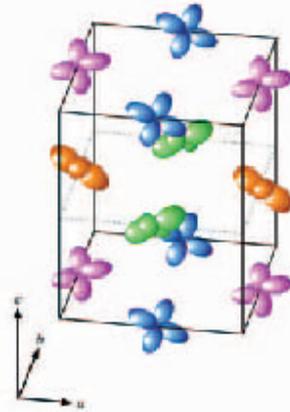


図2 YTiO<sub>3</sub>における軌道秩序  
4つのTiサイトで異なる電子軌道をもつ。



図3 LaMnO<sub>3</sub>で提案されている軌道波のモデル

## 電子がもつ3つの性質

強相関電子系の物性は、電子がもつどのような物理量に起因するのだろうか。1つは、物質の電気的性質を生み出す電荷である。2つ目は、電子の自転運動によって生まれるスピンであり、これは磁氣的性質を決める。従来の強相関電子系の研究は、専らこれら2つの物理量で示される物性が表舞台として注目されてきた。しかし、電子は、原子核のまわりを運動する軌道運動の自由度をもっており、これに起因する物性があるはずである。この第三の物理量がある種の物質では、物性を決める主役であり、そこに新しい物理が秘められていることが段々と明らかにされつつある。未開拓の軌道物性の中にこそ、強相関電子系物理の研究に新展開をもたらすような現象が秘められているかもしれない。そのような期待を抱かせる。

## 電子軌道を見る

それでは、電子がどのような軌道状態をとるかを見るにはどうしたらよいであろうか。これは大変難しく、軌道物性の研究がこれまであまり行われてこなかった最大の理由である。測定手段の開発こそ最も重要な急務であった。しかし、ここ数年ほどの間に、日本の実験グループの努力により、共鳴X線散乱<sup>\*5</sup>、偏極中性子散乱<sup>\*6</sup>、核磁気共鳴(NMR)<sup>\*7</sup>などの測定手段が軌道状態を観測する手段として有効であることがわかってきた。私たちのグループは、NMRを用いた軌道の観測方法の開発と物性研究について先導的な役割を果たし、とくに、NMRが電子軌道のかたちを見ることができる強力な手段であることを示した。これは、電子と原子核との間に働く超微細相互作用とよばれる相互作用によって、NMRスペクトルが電子軌道を敏感に反映することをうまく利用したものである。また、実験室規模の装置で簡単

に測定できる点もNMRの長所である。一方、共鳴X線散乱などの散乱実験は、加速器や原子炉などの大型施設を使う必要がある。また、軌道状態の長距離秩序のパターンを調べる上でとくに有効であり、それぞれ相補的な手段であるといえよう。

## 軌道物性の世界

このような測定手法の開発によって、私たちは、軌道物性の世界を見ることが可能になってきた。最も研究されてきた物質は、図1に示すペロブスカイト型構造とよばれる構造をもつ3d遷移金属酸化物である。チタン酸化物YTiO<sub>3</sub>では、異なる電子軌道が図2に示すように配列した状態(軌道秩序)をとることが明らかになった。また、電子軌道を励起すると、それが波として伝わる新しい励起状態(軌道波)も存在することが示された(図3)。最も興味あるのは、軌道液体である。これは、あなたも電子軌道が液体のようにふるまう状態と考えられている。私たちのグループは、最近、チタン酸化物やバナジウム酸化物で、多様な軌道秩序を見出すとともに、大きな軌道ゆらぎを初めて観測した。残念ながら、軌道液体は現実の物質では見つかっていない。しかし、強相関電子系の分野では、物性開拓と同時に物質開発が盛んに行われており、近い将来、現実の物質が見出されるであろう。その時、軌道液体がいかなるふるまいを見せてくれるか楽しみである。また、軌道励起・ゆらぎを媒介とした超伝導の可能性もあり、銅酸化物で現れる高温超伝導よりはるかに高い転移温度をもつ超伝導の出現が期待されている。

軌道自由度は電荷・スピンの自由度とも密接に関係しており、軌道状態を制御することによる電子物性の開拓も進められている。それを利用

した強相関電子材料、強相関フォトニクス技術などの開発もすでに始まっている。このように、軌道物性物理学は誕生して間もないが、強相関電子系物理学における新しい物理学概念の構築のみにとどまらず、軌道自由度をうまく利用した強相関電子材料・エレクトロニクスの開発・物質設計においても今後ますますその重要性が高まるであろう最先端の研究分野である。

### \*1 多彩な新機能

強相関電子材料は、磁場、光、圧力、電場などの外部からのわずかな刺激に対して劇的にその物性を超高速で変える特徴をもち、それを利用した多彩な高機能をもった新しいデバイス(例えば2つの高温超伝導薄膜を薄い絶縁体薄膜ではさんだ高温超伝導ジョセフソン接合など)の開発も進められている。

### \*2 反強磁性絶縁体

電子スピンがつくる原子磁石の向きが周期的に反平行にそろった秩序状態(反強磁性秩序状態)をとる絶縁体。

### \*3 遷移金属酸化物

遷移金属元素を含む酸化物で、強相関電子系をもつ典型的な物質群。最も研究されている遷移金属酸化物は、周期律表のScからZnまでの元素を含む3d遷移金属酸化物である。電子軌道は、s、p、d、f軌道と呼ばれる軌道からなる。遷移金属元素では、一番外側のd軌道は10個までの電子を収容できるが、完全に電子で満たされていないときは、スピンと軌道の自由度が残り、特異な物性を引き起こす原因になる。

### \*4 多彩な物性

高温超伝導、巨大磁気抵抗効果以外にも、強い電子間相互作用によって起きる金属絶縁体転移(モット転移)、異常なスピン状態間の転移(スピン転移)、電子間相互作用によって生じる電荷の長距離秩序(電荷秩序)など、多彩な物性が見つかっている。

### \*5 共鳴X線散乱

原子の共鳴状態のエネルギーをもつX線を物質に入射し、励起状態にある原子の対称性と電子軌道に関する情報を得ることができる実験手段。

### \*6 偏極中性子散乱

スピン偏極した中性子を物質に入射し、散乱された中性子を解析することによって電子軌道と電子スピンの情報が得られる実験手段。

### \*7 核磁気共鳴(NMR)

電磁波を物質に照射し、その応答から物質のミクロな電子状態を観測する実験手段。電子軌道と電子スピンについての情報を得ることができる。病院で用いられているMRI装置はこの核磁気共鳴を利用している。

# 英語による実践的講義

【有機金属化学特論2/修士・前期】— 伊丹健一郎 物質科学国際研究センター助教授



この講義は、物質理学専攻化学系の大学院生に対し行われ、有機反応における遷移金属触媒の基礎と応用について解説している。古典的な有機化学では実現不可能だった分子変換反応が遷移金属の助けを借りることでうまくいき、一昔前では夢だと思われた化合物があつという間に手に入る。魔法のようだが、サイエンスがしっかりと根底にある、魅力的な分野である。野依良治教授らのノーベル賞受賞によっても示されているように、有機化学・有機合成に革新をもたらした手法であり、現在では、大学だけでなく化学産業においても「ものづくり」の必須ツールになっているようだ。この現状をふまえて、学生らが今後、実社会においてこのツールを使いこなせるように講義内容が工夫されている。また、学生各自が扱っている分子の合成実験に応用できるように、トラブルの対処法など実験上のスキルも紹介している。

講義の構成は、まず重要な化学反応を示した原著論文の歴史的意義と位置づけを解説し、新たな分子設計にこの反応を利用するうえでのヒントを与えてくれる。原著論文を大事にするのは、学生に先人たちの業績の偉大さも感じてもらうねらいがあるようだ。教科書的方法の解説もち

ろん行うが、これに対する反論や異論を先生自らの国内・海外での体験をふまえて本当に必要な知識だけを秘伝のごとくシンプルに紹介してくれる。このように実践重視の講義は、生命理学専攻に属する私にとってはとても新鮮だった。

この講義、実は英語で行われている。幸い、レジュメが配られているため、これを眺めていけばついていくことはできるだろう。難しい話題になると理解できずに聞き流してしまう部分も多くなるかもしれないが…。

数年前は、英語で行われる専門の授業はほとんどなかった。このような機会を得られる今の学生はとてもうらやましいと思う。私自身、学会参加の機会が増えるにつれ、もっと英語の勉強しておけばよかったとよく後悔する。この講義では、英語で研究内容を説明するときに有用な言いまわしがたくさんでくる。

社会に出れば化学に限らず英語力の必要性を日々感じるのではないか。学生の皆さんは、研究室での実験のために、科学英語の実践のために、この講義に参加してみてもどうだろうか。

(取材・佐藤健大 生命理学専攻博士後期課程3年)



*Kenichiro Itami*

1971年生まれ。1998年京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年、京都大学大学院工学研究科合成・生物化学専攻助手。2005年より現職。専門は有機合成化学。特に「3次元空間の精密有機建築化学」をめざした研究を展開。

# 10年後の成果につながる授業

【細胞学Ⅰ／3年生前期】 ————— 小田洋一 生命理学専攻教授

黒板にシナプスの絵が繰り返し描かれる。シナプスとは神経細胞と神経細胞の接合部だ。刺激を受けた一方の神経細胞は、シナプスを介して隣の神経細胞へと情報を伝達する。その際に情報は強められたり、弱められたり、次の刺激に対して準備したりする。経験によって変化するこの機構を「シナプスの可塑性」という。講義は「シナプスの可塑性」の研究の歴史をたどりながら進められていく。プロジェクターには引用された実験結果が映し出され、黒板はわかりやすい概略図と解説で埋めつくされる。だんだん自分のシナプスの活動する音が聞こえてくるような気さえしてくる。

小田先生の研究によれば、1つのシナプスが外部からの刺激によって変化する機構は、生物の学習と記憶の形成と深い関わりをもつという。その一方で「1つのシナプスで起こる反応を見るだけでは脳の働きを完全に理解することはできません。実際の運動は、集合体としてのニューロン群がシナプスを介して神経回路を形成し機能することで成立している。そのことを学生たちに伝えたい」とも話す。現在我々もつ複雑な神経回路は、生物の進化の産物として成立しており、脳の機能にも進化の歴史が埋め込まれてい

るようだ。

講義後、学生に話を聞いてみると、「小田先生の授業は新鮮だ」という。そして小田先生にとってもこの授業は新鮮だという。「これまで所属していた、大阪大学の基礎工学部生物工学科や大学院機能研究科では、学生は入学当初から脳に関する講義を受けていましたが、名古屋大学理学部では脳の話は初めて聞く人がほとんどのようです」。だとすると教えるのは大変なのではないか。「確かに難しい面もあります。初めて学ぶ学生にとって敷居が低くなるように工夫しています」とのこと。実際授業では、図が繰り返し描かれ、初めて授業を受ける筆者でも、神経細胞のイメージが頭の中にすんなり入ってくる。

工夫を重ねて教えるのはある期待があるからだろう。「“理学”を学んだ人間のポテンシャルは、これまでと異なるアプローチを生み、脳の仕組みについて新しい発見をもたらしてくれるはず」と小田先生。脳の仕組みと働きについての研究では、10年ごとに革新的な成果が上がっているらしい。10年後、世界を揺るがす発見するのはこの学生たちかもしれない。講義後、質問にならぶ学生の姿を見ていたらそんな気がしてきた。

(取材・林隆正 地球環境科学専攻博士後期課程3年)



Yoichi Oda | 1951年生まれ。大阪大学基礎工学部生物工学科、バリのパスツール研究所招聘研究員、大阪大学大学院生命機能研究科助教授などを経て、2005年より現職。専門は神経生理学。現在の研究テーマは脳の基本構造にもとづいた機能構築。

## 座談会

# 進んでいますか？ 名大理学部国際化

情報化が進み世界はぐんと小さくなった。

もはや、世界の動きと無関係ではいられない現代社会にあって、大学にも真の国際化が求められている。

母国を離れ教員や留学生として日本に、名古屋大学理学部にやって来た彼らに

理学部の国際化について率直に語ってもらった。



ジャック・ガリグ  
*Jacques Garrigue*

多元数理学専攻助教授。1971年フランス生まれ。パリ高等師範学校卒業。1992年渡日。1995年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。理学博士（東京大学）。専門はプログラミング言語の基礎理論、とくに型システムに興味を持っている（本誌第8号P.3参照）。



トリアナ・ウイディアンティ  
*Triana Widiyanti*

化学科4年。1980年インドネシア生まれ。高校卒業後、留学試験を受け、2001年日本に留学。大阪で日本語を勉強後、2002年名古屋大学理学部に入学。専門は有機化学。

### <出席者>

サイモン・ウォリス 地球環境科学専攻助教授

ジャック・ガリグ 多元数理学専攻助教授

トリアナ・ウイディアンティ 化学科4年

ジョアン・ドーンソン 素粒子宇宙物理学専攻博士前期課程1年

大峯 巖 理学研究科長・理学部長（進行）

## だから私は日本にきました

**大峯** 本日は、名古屋大学理学部をグローバルな視点で語っていただくため、さまざまな経歴や立場の外国の方にお集まりいただきました。まずは、自己紹介を兼ねて、日本にいらした経緯をお話してください。

**ウォリス** イギリス出身のサイモン・ウォリスです。柔道をやっていたので、一度、本場でやってみたかと思っていただけるところ、奨学金をもらえることになり、15年ほど前に来日しました。日本に来たもう1つの理由は、地球科学の研究者として、プレートの収束境界にある日本列島は、地質学的に大変興味深い研究対象だったからです。✓

です。実は私も日本のマンガを読んでいて、小さいころから日本に興味を持っていました。いまは修士1年生として、素粒子宇宙物理学を学んでいます。名古屋大学を選んだのは、インターネットで福井先生の研究を拝見し、おもしろそうだったからです。

**大峯** ほう。インターネットも役に立つんですね。実際に日本に来て、印象はいかがでしたか？

**ウォリス** 最初は京都大学にいたんですが、世界第2位といわれた経済大国・日本の代表的な大学であるにもかかわらず、あまりにも建物が古くて汚いことに驚きました。

**ドーソン** 私は名古屋大学に入る前に、まず仙台で日本語の勉強をしたのですが、日本人はとても親切だと思いました。

## 日本の学生はなぜ眠るのですか？

**大峯** 皆さんの国の大学と日本の大学との大きな違いはどこでしょうか。

**ウォリス** 私は、教員としては日本のシステムしか知りませんが、いちばん大きな違いは教育でしょう。オムニバス形式の授業は、いろんな人が担当し、だれが責任者なのかわからなくなってしまってますね。



サイモン・ウォリス  
*Simon Wallis*

地球環境科学専攻助教授。1962年イギリス生まれ。オクスフォード大学卒業。1989年日本学術振興会の奨学生として京都大学に留学。2001年より現職。専門は地球の地殻構造。

ジョアン・ドーソン  
*Joanne Dawson*

素粒子宇宙物理学専攻博士前期課程1年。1980年イギリス生まれ。大学を卒業後、2002年日本に留学。仙台で日本語を勉強後、2004年名古屋大学大学院理学研究科に入学。専門は宇宙物理学。

**ガリグ** ジャック・ガリグです。13年前に留学生として来ました。姉が日本に住んでいたこと、私が興味を持っていた自然言語処理の分野では日本がトップクラスだったからです。名古屋大学には、去年の10月、多元数理科学研究科の助教授として来たばかりです。

**ウィディアンティ** インドネシアから来たトリアナ・ウィディアンティといいます。日本のマンガやアニメを通して、中学生のときから日本に興味があり、高校卒業後、留学のため来日し、2002年に名古屋大学に入学しました。

**ドーソン** イギリスから来ましたジョアン・ドーソン

**ガリグ** 賛成です。大学時代に2カ月、日本の企業の研究室で研修を受けたのですが、そこは真新しいビルで、25階から大阪城を見下ろす素晴らしい環境だったので、大学に来てギャップの大きさにとまどいました。それでも、私がいるコンピュータ・サイエンスは比較的キレイな方ですけれど。

**ウィディアンティ** 私は、日本に来る前は、日本という国は古い文化も残っているし、技術も発達しているユニークな国だと思っていました。でも、実際に来てみたら、昔ながらの日本らしさは少なくなってしまうことがわかって、ちょっとショックでした。

**大峯** そうですね。あれは、よくないですね。オムニバスの授業は、その学科の全体を把握するためのもので、いわばコンビニ的なんですね。僕も、日本に来ていちばんビックリしたのは、そういう授業でした。

**ウォリス** それから、学生の授業に対する真剣さも違います。入学するのは難しいけれど、入ってしまえば、下手をすれば出席するだけで単位が取れてしまうのは問題ですね。

**大峯** おっしゃる通りです。たとえばアメリカは、ピューリタニズムの影響か、ものすごく正直であることを求められ、成績をつけるにも厳格ですね。

それに比べ、日本の文化というのは、「なんとなくあつてしまう」感じといいますか、そういうところがありますね。それでも、毎年2〜3割の留年が出ますし…。

**ガリグ** フランスは日本に似ています。私の知っている大学では、「低い点を付けないように」といわれたこともありますし、留年も多いです。

**ウォリス** オクスフォードでは、留年は珍しく、3年目に卒業試験を受けて、不合格だとそのまま退学して就職するようですね。

**大峯** 日本では、長く留年する人におもしろい人材がいると考える風潮があるんですが、イギリスの制度だと、そういう人は大学からいなく✓

ば授業に出る必要はありません。ですから授業中に居眠りするなんてあり得ません。どうしてもねむたいときは家で寝ます。

**ウォリス** そのせいか、4年生で研究室に入ってくるときには、多くの学生はあまり専門知識が身につけていないですね。ただ、基本的にはみんな優秀なので、ていねいに教えていけば、いいものが返ってくるようになります。最近、そこに力を入れるようにしています。

### 長すぎませんか？ 授業時間

**大峯** 日本の大学は、法人化などで過渡期にあ

る学生がいてもしからぬ先生が多いのもどうかと思います。

**大峯** なるほど。大学の教育改革のためには、科目数を減らし、1コマの時間を短くして成績評価を厳しくする、というところでしょうか。研究の場としての名古屋大学はいかがですか？

**ウォリス** 講座制があまりきつくないというのは、名古屋大学理学部のいいところだと思います。やりたい研究があれば自由にやらせてくれるし、周囲の人も応援してくれます。

**ドーソン** 国民性の違いかもしれませんが、私のいる研究室ではそうではないのですが、他の



なるわけですね。

**ドーソン** ええ、本当にできない人は、1年生が終わる前に退学してしまいますね。

**大峯** なるほど。そうすると、ウォリスさんは、いま、成績評価はかなり厳しいですか。

**ウォリス** 試行錯誤しています。最初は、おしゃべりしている人を追い出したり、寝ている人を起こしたりしていましたが、あまり効果がないので、最近、できるだけ学生が眠らないような授業を心がけてます。

**ドーソン** イギリスでは成績は出席に関係なく試験の結果だけで決まりますから、試験さえできれ

り、教育改革にも取り組んでいるところですが、問題点を指摘していただけますか。

**ウォリス** 授業のヒトコマ90分というのは長すぎますね。教員の方も、90分間喋りつづけるのはしんどいですし(笑)。イギリスでは、45分か1時間の授業が多いです。

**ガリグ** フランスでも、たしか1時間くらいで、2時間の授業のときは、途中で休憩があったと思います。

**ウィディアンティ** インドネシアは、週に2回から3回で、1回1時間です。

**ウォリス** それから、授業中におしゃべりしてい

留学生から聞いた話では、日本では研究室に遅くまでいることが評価されるような面があるようです。

**ウィディアンティ** 有機化学は、朝10時から実験が終わるまで研究室にいます。いつ終わるかわかりませんので、お弁当を2つもって来ています(笑)。

**大峯** それは、名大の化学の伝統ですね。名古屋大学出身の岸さんというハーバード大学の化学者は、月曜日から土曜日まで、毎日9時から夜中の1時まで研究を続けたことで有名でした。

**ウォリス** それができる分野とできない分野はありますけれどね。マスターコースとドクターコース

の学生は、本当に一生懸命やっていますよ。

### 成績評価をもっと厳しくしないと

**大峯** では、名古屋大学は、国際大学といえるでしょうか。

**ドーソン** 留学生センターからの留学生に対する大学のサポートは充実していると思います。

**ウィディアンティ** 私は、学部にはいた3年間は大変でした。チューターはいましたが、日本人はシャイなのか、外国人にあまり話しかけてくれなかったのが、さみしかったですね。ただ、4年生になって研究室に入ってから、そういうこともなくなり

本語で記入しなければならなくて、とても困ってました。最初くらいは、英語で書いてもいいようにしてもいいのではないのでしょうか。

**大峯** たしかに、そういうサポートはないですし、最初くらいはやるべきでしょうね。

**ガリグ** ヨーロッパで国際大学といわれるところは、一部の授業が英語で行われたりしていますけれど…。

**ドーソン** 日本でも、ごく一部にそういう授業があるようですよ。

**大峯** 問題は、授業の内容が国際レベルに達しているかどうかですね。

識も同程度です。

**大峯** インドネシアの大学はどうですか？

**ウィディアンティ** インドネシアは、試験も成績評価も、もっと厳しいです。日本は科目が多すぎて、つい「とりあえず合格しよう」と考えてしまい、何を勉強しているのかわからなくなってしまうこともあります。

### 私ならここを変えますね

**大峯** 最後に、私なら名古屋大学のここを変えたいというところがあればお聞かせください。

**ウィディアンティ** 図書館に英語の新しい教科書が少ないので、それを充実させてほしいと思います。

**大峯** それは早急に手を打ちましょう。

**ウォリス** 国際学術コンソーシアム(AC21)など、いろんな挑戦をしているのは好感がもてますが、問題は、その次の展開が見えてこないところです。

**大峯** それは、最も大切な部分ですね。私が思うに、名古屋大学は歴史的に、どちらかというと権威主義を嫌う人材が集まって、やりたいことを自由にやるという学風なんです。ですから、AC21のように1つの目的に向かって次の展開を構築するというのは、得意ではないんですね。

**ガリグ** 名古屋大学というより、文部科学省の問題ですが、お金のルーズなところが気になります。たとえば、予算を獲得してきたのに使い切れず残してしまうと、余った予算を繰り越せないせいで、むだなことに使ったりするのが、ヘンですね。

**ドーソン** 私は、先ほども言いましたが、留学直後の事務手続きなどが英語でできるといいと思います。

**大峯** 貴重なご意見、ありがとうございます。最後にお尋ねしますが、みなさん、名古屋大学は好きですか？

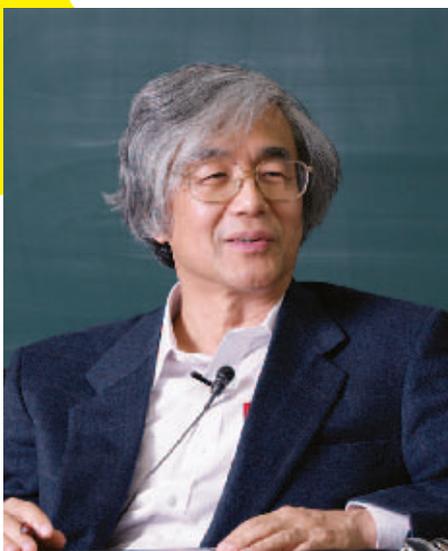
**ドーソン** 正直に言いますが、好きです(笑)。

**ウォリス** 好きなところも、好きになれないところもあり…。答えにくい質問ですが、本当に嫌いなら、ここにはいません。

**ガリグ** 私はまだ着任して間もないですが、好感を持っています。

**ウィディアンティ** 研究室に入って、好きになりました。

**大峯** まだまだ国際化についてはいろいろな課題があることがわかりました。今日はどうもありがとうございました。



## 大峯 巖

**Iwao Ohmine** | 理学研究科長・理学部長。物質物理学専攻教授。1977年ハーバード大学大学院修了。Ph.D.専門は理論化学。とくに液体のダイナミクス、溶液や生体内の化学反応、液体の結晶化過程などの理論研究(本誌第3号P.4参照)。

ましたけれど。

**ドーソン** そうですね。私も、最近になって、ようやく日本人の親しい友人ができたところですが、まだ友人の大部分が留学生です。

**大峯** 名古屋大学には、外国人は1200人くらいいて、人数的には多いのですが、まだまだ国際大学とは言い切れないのかもしれないですね。直接、留学生から、困っているという話を聞くことはありますか。

**ドーソン** 私の知り合いの留学生なんですが、日本に来たばかりでほとんど日本語がわからない時期に、入学の事務手続きの書類がすべて日

**ウォリス** 国際化には、他国の大学との単位互換制度の採用も1つの手段だと思いますが、名古屋大学は、成績評価をもっと厳しくしないと、提携条件を満たすことができません。

**大峯** そうなんですよね。それは、名古屋大学に限らず日本の大学では、どこも同じことがあるようです。日本の大学の授業のレベルは、国際的に見てどうでしょうか。

**ガリグ** コンピュータ・サイエンスの分野では、少なくとも、日本とフランスで習っている内容はだいたい同じですね。ですから、評価がしっかり行われているかどうかは別として、卒業するときの知

## 「愛・地球博」特集

### マンモス研究とその後

地球環境科学専攻教授  
小澤智生 (Tomowo Ozawa)

この3か月間、私は、「愛・地球博」の冷凍マンモスのDNAの塩基配列を読み解く作業に没頭する日々を送った。5月末に、ミトコンドリアゲノムの全塩基配列を決定し、急ぎ論文にとりまとめ『Nature』誌に電子投稿し、6月18日に国際シンポジウムで口頭発表を行った。肩の重荷をおろしほっとする間もなく、科学雑誌などからマンモス研究についての執筆依頼がどっとやってきた。

本原稿の締め切り前日になって、友人から驚きのメールを受け取った。ネアンデルタール人のミトコンドリアDNAの解読を行い現代人との系統関係を明らかにしたことで有名なマックスプランク研究所のペーボ博士のグループが、私の行った研究と同じ研究を行い、6月22日に国際分子生物学・進化学会で発表したとのことだった。彼らの講演要旨には、ヤクーツク近郊で発掘された1万2000年前のケナガマンモスのミトコンドリアゲノムの全塩基配列決定を行い、配列データの比較からマンモスはアジアゾウにより近縁であるという結論が書かれていた。早速、ペーボ博士のホームページを見ると、その研究結果は論文として投稿済みとなっていた。扱ったマンモスの個体は異なるとはいえ、名古屋大学とマックスプランク研究所で独立にケナガマンモスのミトコンドリアゲノムの全塩基配列を決定し、ゾウ類の系統関係についてまったく同じ結論を得て、ほぼ同時に学会発表を行い、論文をともに投稿済みであるということなる。レビューにまわっている私の投稿論文がこのことによってどう扱われるかは、今はわかる由もない。心血を注ぎ研究した「愛・地球博」のユカギルマンモスは、思いもよらぬ体験を私にさせてくれている。



## 「愛・地球博」特集

### 21世紀のウォードの箱

物質理学専攻教授  
伊藤 繁 (Shigeru Itoh)

北極圏の寒く弱い光の下でも、元気に生きる植物の光合成メカニズムを解き明かすことで、光合成の起源から現在の状態、さらに光合成電池の開発など未来のエネルギーの可能性を探る。これが「21世紀のウォードの箱」プロジェクトの目的だ。ウォードの箱とは、19世紀イギリスの医師、N.ウォードがお茶やゴムの木を生きのまま運ぶために開発した木箱のこと。光合成の仕組みや進化・人工化を研究する私たちの研究室にこのプロジェクトへの協力依頼が来た。

まずは北緯72度のアラスカ最北端で実際に研究を行い、コケ、草本類を採取した。それを北極圏の気候を再現したハイテクコンテナに梱包し、陸路、海路約6000キロを、生かしたまま密閉状態で日本まで運んだ。愛・地球博の会場では本邦初公開の北極圏の可憐な花や植物約20種を、現地の環境を再現しつつわかりやすく展示した。

展示の舞台となったのは、名古屋商工会議所がパビリオン「モリゾーキッコロメッセ」に3月25日から4月24日まで出展した「モノづくりランドシンフォニア」だった。プロジェクトの様子は50分の報道番組(テレビ愛知「葉・輝く」)にもなり、「高柳記念奨励賞」「文部科学大臣賞」を受賞している。

見た目は小さな極地の植物だが、人類が宇宙空間など厳しい環境で活動するための知恵やエネルギーが秘められている。その無限の可能性を研究し、万博の場でわかりやすく展示紹介することで、未来への提言になればと考えた。小さな植物の「未来へのメッセージ」が、見た人たちに伝わったならばこれ以上の喜びはない。



アラスカパロー北極海の流氷上にて。右が筆者。右下はアラスカンポピー。

## キャンパス通信

### 文科省ビデオ大賞を受賞

物質理学専攻教授  
渡辺芳人 (Yoshihito Watanabe)

平成14年～15年に、理学部を構成する5つの部局(化学、生命理学、物理学、数理学、地球惑星科学)がすべてCOEプログラムに採用されたことを受けて、平成15年8月に理学部・理学研究科の研究を紹介するビデオ作成の具体化が始まった。

当初、学科によってビデオに期待する内容は大きな開きがあったものの、高校生を対象に、名古屋大学理学部の研究の最前線をわかりやすく紹介する内容で作成された。ただし、それぞれの学科の研究の単なる羅列的な紹介になることを避け、物理学と数学が相互に刺激しながら発展し、地球環境や生命理学は化学や物理の視点からも研究が進んでいることなど、学問が相互に関連していることを理解してもらう工夫がなされている。

同時に、研究が国際的な規模で展開され、若い研究者が育っている様子も紹介するという欲張りな構成になっている。

取材・シナリオづくりから始まり、撮影・編集・ナレーションの吹き込みなどに約半年を費やし、約30分のビデオが平成16年3月に完成となった。幸運にも、このビデオが第46回科学技術映像祭(平成17年)で文部科学大臣賞に輝くことになった。審査の過程で、「こんな大学に入ってみた」という評価をいただき、表彰式の際、「最近の風潮である、『この研究はこんなことに役立つ』といった点には全くふれず、研究の面白さ、深さを追求しているところが良い」と、有馬前文部科学大臣にお褒めの言葉をいただいた。ぜひ、大勢の方々にご覧いただきたい。



※このビデオ(DVDに収納)に関するお問い合わせは名古屋大学理学部庶務掛(電話052-789-2394、FAX052-789-2800)まで。

## 事務部だより

### 明るくなった理学部事務部

事務部庶務掛長  
近藤龍夫 (Tatsuo Kondo)

学内に新しい目を見張るデザインの建物が増えている。理学部C館2階の理学部中央事務室も最近、遅ればせながら内装を一新した。この改修の目的は、入りやすく明るい窓口をつくり、訪問者にも気持ちの良い「理学部の顔」とすることである。手狭で使いにくかったスペースも約2倍にひろげ、あわせて、トイレも改修した。

大峯理学研究科長の指導のもと事務部でデザインを練り、平成17年2月から4月にかけて工事が行われた。C館1階には教務関係の事務が入り、同2階には庶務・人事関係の事務が入ることとなった。倉庫代わりに使われていたスペースを見直して、事務スペースも広く確保することができた。また、教授会などの場である理学部C館2階大会議室についても、会議机と椅子もこの機会に一新した。約40年間理学部教授会等を支えてきた机や椅子に代わり、落ち着いた色の木地で作られた大きな会議机(220cm×110cm)と座り心地の良い機能的な椅子が配置された。

ちなみに、この改修に先立ち、平成17年1月には多元数理科学研究科事務室の改装も行われた。白を基調としたクロス張りの天井や壁面、落ち着いた色のレザーの床、明るい木目調の新しいデザインの机等が配置され、これまでの事務室のイメージとはまったく違う事務室が生まれた。実は、中央事務室の改装等にもこれは大いに参考になった。

改装から半年を経て、利用者の学生や教職員の評判も上々である。事務職員も毎日快適な職場環境の中で業務に従事している。ついでに折りに、ぜひ同窓生の方々にものぞいてみていただきたい。



リニューアルされたC館1階事務室。カウンターと小テーブルが訪問者を迎える。

# 研究会・学会スケジュール

## 名古屋大学21世紀COEプログラム

「宇宙と物質の起源:宇宙史の物理学的解説」

### 第3回ORIUM-COEシンポジウム

開催日: 2005年11月11日(金)・12日(土)  
 開催場所: 名古屋大学シンポジウム(11日)・名古屋大学豊田講堂(12日)  
 主催: 名古屋大学21世紀COEプログラム  
 「宇宙と物質の起源:宇宙史の物理学的解説」  
 問い合わせ: 岡本祐幸 名古屋大学大学院理学研究科 教授  
 okamoto@phys.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-3528

### 第1回国際配位空間化学会議

開催日: 2005年11月14日(月)・15(火)  
 開催場所: 岡崎コンファレンスセンター(岡崎市)  
 主催: 文部科学省科学研究補助金特定領域研究「配位空間化学」  
 問い合わせ: 渡辺芳人 名古屋大学大学院理学研究科 教授  
 yoshi@nucc.cc.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-3049

### 第5回名古屋国際数学コンファレンス

#### Geometric Quantization and Related Complex Geometry

開催日: 2005年11月16日(水)~19日(土) 名古屋大学理学部1号館  
 開催場所: 名古屋大学野依記念学術交流館コンファレンスホール  
 主催: 名古屋大学多元数理科学研究科  
 問い合わせ: 小林亮一 名古屋大学大学院多元数理科学研究科 教授  
 ryoichi@math.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-2432  
<http://www.math.nagoya-u.ac.jp/ja/research/conference/2005/nagoya.html>

### 第5回細胞周期制御国際会議

開催日: 2005年11月21日(月)・22日(火)  
 開催場所: 愛知厚生年金会館(名古屋市)  
 主催: 文部科学省科学研究補助金特定領域研究「細胞周期制御」  
 問い合わせ: 西田育巧 名古屋大学大学院理学研究科 教授  
 nishida@bio.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-2472

### 第2回韓日カーボンナノチューブ会議

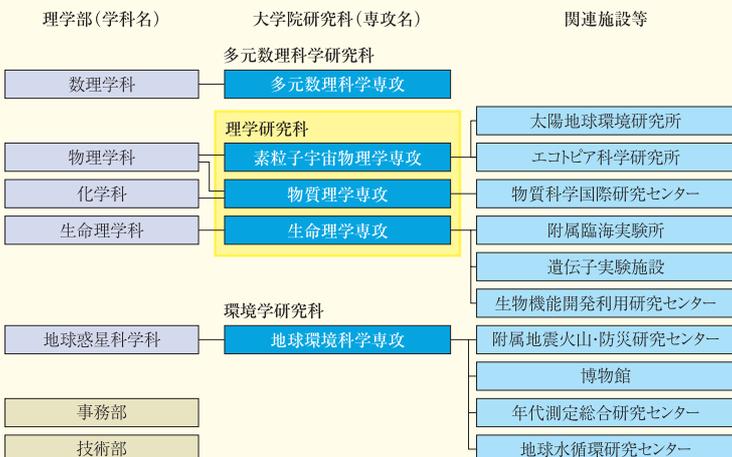
開催日: 2005年11月27日(日)~30日(水)  
 開催場所: 松島ホテル大観荘(宮城県宮城郡松島町)  
 主催: 独立行政法人日本学術振興会  
 問い合わせ: 篠原久典 名古屋大学大学院理学研究科 教授  
 noris@cc.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-2482

### 第21回国際生物学賞記念シンポジウム「かたちの分子生物学」

開催日: 2005年11月30日(水)・12月1日(木)  
 開催場所: 名古屋大学野依記念学術交流館コンファレンスホール  
 主催: 名古屋大学  
 独立行政法人日本学術振興会  
 問い合わせ: 町田泰則 名古屋大学理学研究科 教授  
 yas@bio.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-2502

## 組織図

理学部・理学研究科・多元数理科学研究科・環境学研究科(地球環境科学専攻)



## 編集だより

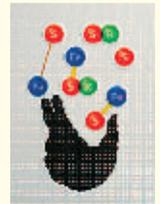
ニトロゲナーゼの活性中心にある金属クラスターは複雑な構造をしている。このような複雑な化合物をどのようにしてつくるのか、聞いて驚いた。金属原子や硫黄原子を1つずつつけていくのだと思っていたら、適切な材料を適切な条件で反応させると、複雑なクラスターが一気にできあがってくるのだという。つまり、ある条件で安定な化合物であるからこそ、生体内で存在しうるといわげか。複雑な化合物の合成はチャレンジするという意義だけではなく、新たな知的発見をもたらすものであることを再認識した。(西川)



「21世紀のワードの箱」の記事をいただく際、極地の環境を保って運ぶための多くの技術や人々の知恵の話をお聞きしました。異なる分野の方との協調がいかに興味深いかを話してくださった。個々の研究で力を示す我々が、テーマによって、学科や研究室をまたいで協力するスタイルをもっと増やしても良いのではないかとこの言葉が印象的であった。本誌のような研究内容の発信が、新しい研究協力へと展開していくことを我々は期待する。(小林)

## 表紙説明

鉄、銅、モリブデンなどの金属原子を活性中心にもつ金属酵素は生物の生命活動を支える重要な役割を果たしている。しかし、その構造は、自然界にごく普通に存在していることが信じられないほど複雑だ。この金属酵素の活性中心を人工的に合成しようという研究が注目を集めている。化学の手が自然の力に迫ろうとしている。



## 理 *philosophia*

No.9 October 2005  
2005年10月15日発行

広報委員 大峯 巖(研究科長)  
 近藤孝男(副研究科長)  
 佐藤正俊(評議員)  
 粟田英資(数理学科)  
 福井康雄(物理学科)※委員長  
 菊川芳夫(物理学科)  
 小林義明(物理学科)  
 西川周一(化学科)  
 森 郁恵(生命理学科)  
 古賀章彦(生命理学科)  
 山本鋼志(地球惑星科学科)  
 森本正廣(事務長)

編集発行 名古屋大学理学部・大学院理学研究科広報委員会  
 〒464-8602 名古屋市千種区不老町

ご意見、ご感想をお待ちしています。  
 本誌の原稿執筆や取材などにご協力いただける方を求めています。  
 広報委員会までご連絡ください。  
 なお、ご投稿などの採否については当委員会にお任せください。  
 次号は2006年4月頃発行の予定です。

制作 株式会社電通

・本誌記事、写真等の無断複写、転載を禁じます。  
 ・本誌は再生紙および大豆油インクを使用しています。  
 (大豆油インクとは、石油系溶剤にかわり大豆油を使用したもの。揮発性有機化合物が大気中へ排出されるのを減少させ、また廃棄物の生分解がはやく、再生紙化も容易で環境にやさしいインクです)

