

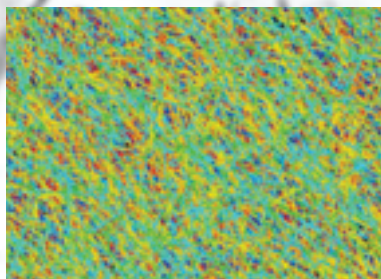
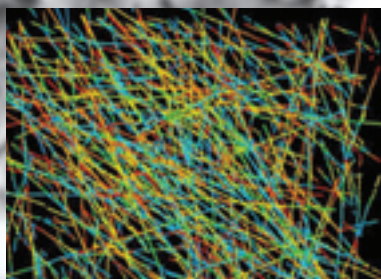
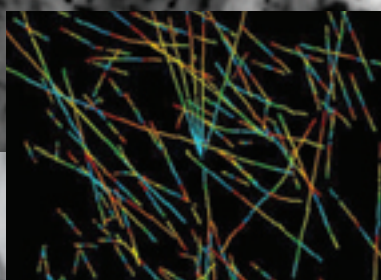
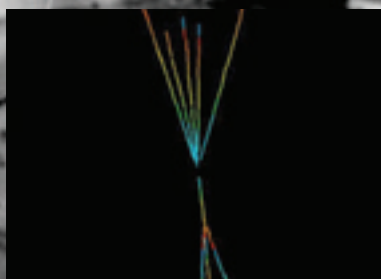
# 理

8

# philosophia

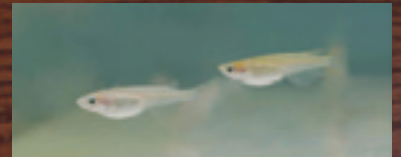
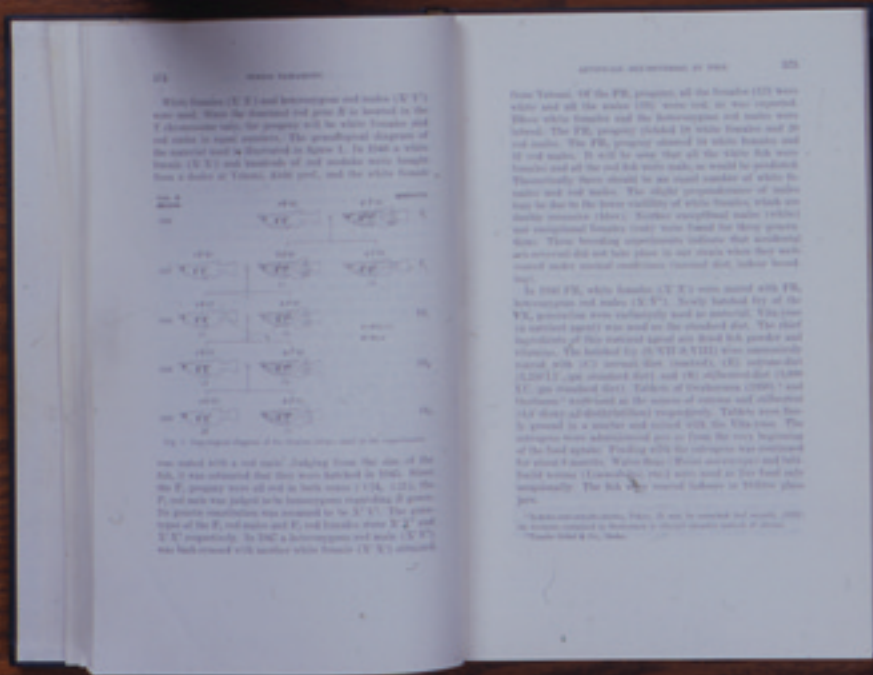
## 特集「素粒子世界を歩く」

- 04 | 理学懇話会より 三田二郎
- 02 | 時を語るもの 堀 寛
- 03 | 理のエッセイ ジャック・ガリゲ
- 08 | 理の先端をいく 山口茂弘 / 山口 靖
- 12 | 講義探検 分子遺伝学II / カフェ・ダヴィッド
- 14 | 特別企画 安藤雅孝
- 18 | 理学部交差点



山本時男教授記念論文集

# 山本時男博士— オスをメスに、メスをオスに変えたメダカ博士



1945年5月14日、第2次大戦の大空襲で名古屋大学の生物学教室は全焼し、灰塵となった。その日までメダカの受精を研究していた山本時男は研究室の4人と信州木崎湖畔に疎開<sup>\*1</sup>を余儀なくされた。しかしこの半年の空白が山本を変えた。ここでメダカがヒトを含めた性分化の研究に最適な実験動物だと気がついたのだ。ヒトの性はまず遺伝的にX、Y染色体で決まるのだが、場合によっては発生途中で揺らぐ<sup>\*2</sup>。メダカの性も同様にX、Yで決まる。そこでメス(XX)は常にシロメダカに、オス(XY)はヒメダカになる、そのように体色を見ればすぐに遺伝型がわかるメダカ系統<sup>\*3</sup>を使えば“揺らぐ性”の機構がわかるだろう。こうして孵化したばかりの稚魚の飼料のなかに女性ホルモンを混ぜて与えると、遺伝的には

XYでオスとなるべきヒメダカがメスとして発育し、立派に卵を産むことができることを発見した。また逆にXXでメスになるはずの稚魚に男性ホルモンを与えればオスに転換することにも成功した(1958年)。当時から脊椎動物の外形や第二次性徴が性ホルモンによって支配されることはよく知られていたが、性の分化そのものが簡単に転換し、それが子孫を残せる親にまでなることは驚きであった。

ゲノム時代の今日、このYを決める遺伝子が分離同定された。そしてこの遺伝子の支配下で働く遺伝子群を解明することが、サカナからヒトまで脊椎動物に共通する性分化機構を知ることとされている。メダカは今やそのトップスイマーである。

( 山本時男 命理学専攻教授 堀 寛 )



やまもとときまさ  
山本時勇(1906-1977)  
元名古屋大学理学部教授、日本学士院賞(1976)

#### 写真の説明

山本のこれらの研究は実に根気と丹念さによって行われた。長い世代にわたるメダカを自ら多数飼育し、特に春から夏にかけての繁殖季節には、屋外の飼育場所で長時間の作業を続けていた。現在は理学館の建物に置き換わり昔の面影はないが、あのあたりはかつて広い草むらの圃場で、そこが山本の作業場であった。そこに直径約60cm大の常滑焼きのスイレン鉢(写真は当時のもの)を数百個も並べ、水換え、餌やり明け暮れた。陶器の鉢がメダカにやさしいためである。それが終わると研究室よりはむしろ今池のスギウラという名曲喫茶に入り浸り、もっぱら論文作成に集中した。店には山本用の特別席とメダカ模様の灰皿まで用意されていたという。写真\*4は山本が性転換につかったメダカでメス(左)が白く、オス(右)は緋(あか)い。緋色の遺伝子とオス決定遺伝子は強く連鎖しており、体色をみればオスメスがわかる。その染色体上の連鎖を交配によって確認した、その手順を示したのが本の図である。

\*1 疎開:戦火を逃れて都会から田舎に転居すること、あるいは被災後に転居すること。

\*2 揺らぐ性:私たちが男になるか、女になるのか。ヒトの場合は親から来たXとYという性染色体の組み合わせが重要で、まずはそれに従い性は決まる。XXの組み合わせなら女性、XYであれば男性である。しかし発生過程でこの性ホルモンなどの外因や別の遺伝的な内因により揺らぎ、不完全な性になることが知られている。最近では環境ホルモンの影響などで、この性も二次的に揺らいでしまうことがよく知られている。

\*3 性染色体Xの上には女性の緋色遺伝子を、Y染色体の上には優性の緋色遺伝子をもつ系統(名前はdrR)を使う。drRのメスはXXだが緋色遺伝子は劣性なのでシロ、XYはオスになるがYが優性の緋色遺伝子をもつので緋(あか)いメダカになる。

\*4 drRメダカ:写真提供はナショナルバイオリソースプロジェクト・メダカ  
(NBRP-Medaka <http://shigen.lab.nig.ac.jp/medaka/>)



理のエッセイ ジャック・ガリグ 多元数理科学専攻助教授

## プログラムにはバグがつきもの?

我々の生活の中で、コンピュータ・プログラムが数え切れないほど多くのところで動いている。エレベーター、自動改札機、飛行機、銀行、炊飯器、そしてパソコン。役割と重要性はさまざまであるが、ちゃんと正しく動いているのか、とふっと思ったりする。パソコンの場合では問題はかなり深刻だ。プログラムが突然暴走したり、画面が真っ青になったりとははらさせられる。こんなものを使わせて恥ずかしく思わないのか。飛行機で使われているのもそう変わらないものだと思うと怖くなる。

プログラマーが恥ずかしいと思わないのは、多分「プログラムにはバグがつきもの」だと思っているからだろう。では、なぜ飛行機が落ちないのか。それはバグが必ずあると知っているから、3つの違うプログラムを同時に動かして、正しい答えを多数決で決めているからだ。エレベーターや自動改札機はなぜ止まらないのか。それはやっていることが単純で、完全にテストできるからだろう。バグがいやなら、機能を削るしかないという論法になる。

確かに、複数の入力を取るプログラムでは、すべての場合をテストしようとすると、テストの数が指数的に増えていくので、完全なテストは単純なものにしか使えなさそうだ。しかし、本当にすべての具体的な場合をテストしないといけないのか。プログラムは命令の集まりだが、各命令の動きはテストしなくてもわかる。論理規則を用いて、小さな単位に集まった命令が期待通りの動きをしていることも証明できる。同様に、プログラム全体の期待している動きを形式的に記述すれば、論理規則によってプログラムの動きが期待と一致していることも証明できる。この証明がバグのないことを保証する。

証明の規模が大きいときには、論理規則の使い方の人為的過ちを避けるため、計算機で証明を行うことになる。この方式はすでに飛行機やペースメーカーなど、高い安全性が求められているところで使われている。今後、もっと多くのものに広がるとバグが少なくなるはずだが、理論的な理由から証明の構築を完全に自動化することは不可能なので、証明をつくるのにかなりの労力を要する。そのため、この方法はまだ一般のプログラムでは普及していない。

数理論理学などの研究によって、正しさの一部を自動的に証明する体系や、証明の作成を支援する方法が強化されていくが、それでも普通のプログラムにはまだまだバグがつきもの?

| Jacques Garrigue |

多元数理科学専攻助教授。1971年フランス生まれ。パリ高等師範学校卒業生。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。開数量型プログラミング言語Objective Camlの開発にも携わっている。

# 素粒子世界を歩く

三田 一郎 素粒子宇宙物理学専攻教授

なにが世界をつくっているのか。素粒子物理学はこんな素朴な疑問から始まった。

20世紀初頭に確立された相対論と量子論によって原子構造の解明が進み、次々と新たな素粒子が私たちの前に姿を現した。

まだ見ぬ素粒子の世界へ迫ろうとする研究の最前線では、素粒子を支配している法則や階層構造の仕組みについて、さまざまな成果が上げられている。これまでに何がわかったのか。今、何がわからないのか。

三田一郎教授に素粒子物理の歴史をたどってもらった。(2004年11月30日、第8回理学部懇話会より)



Ichiro Sanda | 1944年生まれ。1969年プリンストン大学大学院博士課程修了。Ph.D. 専門は素粒子論。ロックフェラー大学準教授などを経て、1992年より現職。1980年、当時未発見であったB中間子の存在を予測して、100%近いCP非保存が存在することを予言。

## 素粒子を見る

素粒子物理学を一言で表せば、「素粒子を見る」学問ということになります。素粒子が「見える」ようになったのは、霧箱の発見からです。水やアルコールの蒸気を飽和状態に置き、線を出す放射性物質をあてると、線は電荷をもっていますから、まわりに気体分子が凝縮して軌跡が見える、これが素粒子を「見た」最初です。霧箱の発見によって、ウィルソンが1927年にノーベル賞をうけました。霧箱を用いることで、宇宙から素粒子が降ってくるのがヘスによって発見されました。さらに、電子の反粒子、すなわち、陽電子が発見されました。反粒子はディラックが理論的に予言し、アンダーソンが実験で検証しました。測定器はさらに発展し、霧箱の他に泡箱\*1や原子核乾板\*2も用いられるようになります。湯川秀樹先生が核力を説明するためにその存在を予言した中間子は、1947年にパウエルによって、原子核乾板を用いて発見されています。

この時期、サイクロトロンという加速器が発明されます。原理はきわめて簡単です。交流電源があって、荷電粒子の軌道にあわせてプラスになったりマイナスになるので、粒子がまわっているうちに電圧で加速されてエネルギーを得て飛び出していくというものです。ロレンスが1931年にコインの大きさのサイクロトロンをつくることに成功し、9年後にはさらに大きなものをつくりました。加速器が大きくなるにつれて、素粒子物理学者の夢はどんどん大きくなります。「力とは何か」「物質の根源は何か」「もっとも基本的な理論を探して理解したい」「自然の秩序を全部理解したい」といった根源的なテーマを追求するようになりました。ただし、この加速器開発の時期は人類の負の遺産である第二次世界大戦に重なっており、マンハッタン計画など軍事的な開発の恩恵を受けて、その後の加速器の開発や高エネルギー物理学の発展があったことも忘れてはなりません。

## クォークの発見

中間子が見つかった後、いろいろな素粒子がぞくぞくと発見されました。そのなかに特に、K中間子などの奇妙(ストレンジ)なふるまいをするものがあります。これらの粒子は宇宙線のなかにまれに見つかり、多くの場合、一对のV字型の軌跡を残します。いつも対で生成されることから、これらの粒子はある保存量を運ぶと考えられます。ゲルマンはこれをストレンジネスと名付けました。ところが、V字型の軌跡を残して崩壊するときにはストレンジネスは保存しない。霧箱のなかを数センチも走ってから崩壊することから、寿命は非常に長い。中性子の崩壊や中間子の崩壊と同程度になります。これらの崩壊は「電磁力」や「強い力(核力)」とは別の「弱い力」によって引き起こされるのです。「弱い力」では、他の力では保たれる保存量や対称性が、しばしば破れます。パリティ非保存がその典型例です。

これらたくさんの素粒子を統一的に理解する

ために、基本粒子による複合模型を最初に提唱したのは名古屋大学の坂田昌一<sup>\*3</sup>です。私の所属する素粒子論研究室の創立者である坂田先生は、電荷1の陽子、電荷ゼロの中性子にストレンジネス1のラムダ粒子を加えた3つを基本粒子として、他の素粒子はこれらの複合状態であるとする素粒子模型をつかって世界に提唱しました。これが坂田模型です。ただし、詳しく調べてみるとうまくいきませんでした。ゲルマンは、もっと不思議な基本粒子を考えました。アップクォーク(u)、ダウンクォーク(d)、さらにもう1つ、ストレンジクォーク(s)です。これらの粒子は陽子の電荷に比べて3分の2とかマイナス3分の1とか、半端な電荷を持っている。ゲルマンがいうには、3つのクォーク<sup>\*4</sup>と3つの反クォークから9個のメソンができるはずなのですが、それまでに見つかった中間子は、中間子やK中間子など9個ありました。また3つのクォークから陽子ができているとすると、中性子も3つのクォークの異なる組み合わせで

きる。そういうものは陽子の他に7種類あることになります。さらに10種類の粒子も別に存在することになります。ゲルマンはそのうちの1つ、まだ見つかっていない粒子をオメガ( $\Omega$ )と名付け、その質量を予言しました。実験で探してみると確かに存在しました。ゲルマンはこの研究により1969年にノーベル賞を受賞しました。

現在では、クォークはさらに3種類あることがわかっています。チャームクォーク(c)、ボトムクォーク(b)、トップクォーク(t)です。チャームクォークはリヒターとティンによって発見されました(1974-76)。これに先立って、名大物理学教室の丹生潔<sup>\*5</sup>は、この4つめのチャームクォークの存在を宇宙線実験で確認していました。ボトムクォークとトップクォークの存在は、小林誠<sup>\*6</sup>、益川敏英<sup>\*7</sup>によって理論的に予言されました。「弱い力」の示すCP対称性の破れという性質が、6種類のクォークの存在を仮定することで自然に説明できることを発見したのです(小林・益川理論、1973)。予言され

たボトムクォークは1977年にレーダーマンによって、トップクォークは1995年にフェルミ国立研究所のテバトロンという加速器で、それぞれ発見されています。

当初、多くの素粒子論研究者はクォークの存在を信じていませんでした。提唱者のゲルマン自身も、「キジの肉を使ったグルメな料理の1つとして、キジの肉の間に子羊の肉のスライスをはさんで料理をする。するとおいしいキジの肉の料理ができる。でも子羊の肉は食べないで捨ててしまう。クォークも同じようなものだ。数学的にクォークを使って計算して、その答えをとっておいてから、クォークは捨てるのだ」と、彼の本に明確に書いています。

一方、日本の名古屋大学ではもともと坂田先生が複合模型を提唱していましたし、丹生先生が4番目のチャームクォークを実験で確認していました。そういう環境で大学院をすごした益川さんと小林さんは、その後、京都大学で、5番目、6番目のクォークを仮定したCP対称性の破れの理論をつくったのです。当時、クォークに懐疑的だったアメリカで行われていた研究は現在ほとんど使われません。その一方で、小林・益川理論は世界中の研究者に使われています。そういう意味で、彼らの研究はオンリーワンであったことがあらためてわかります。



\*1 泡箱

急激な減圧によって過熱状態になったある種の液体を荷電粒子が通過すると、液体は局所的に加熱され、泡を生ずる。この原理を用いて粒子の飛跡を観測する装置。1952年、グラスラーによって発明された。

\*2 原子核乾板

荷電粒子の通過によって、現象可能な臭化銀の結晶粒を形成させ、粒子の飛跡を記録する特別な写真乾板。

\*3 坂田昌一(1911-1970)

元名古屋大学教授(本誌第2号P.2参照)。

\*4 クォーク

クォークの名前は、J・ジョイス著の「フィネガンズ・フェイク」に現れる鳥の鳴き声から、ゲルマンによって名付けられた。

\*5 丹生潔(1925-)

名古屋大学名誉教授。原子核乾板を用いた宇宙線実験を推進し、X粒子(現チャーム粒子)を発見。名古屋大学に基本粒子(F)研を創設し、同粒子の性質解明を行った。

\*6 小林誠(1944-)

高エネルギー加速器研究機構、原子核研究所所長(本誌第2号P.21参照)。

\*7 益川敏英(1940-)

京都産業大学教授。京都大学名誉教授(本誌第2号P.21参照)。

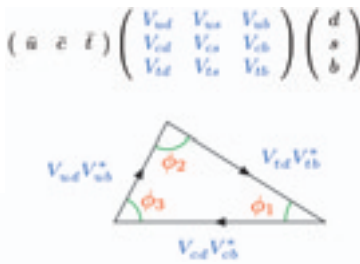


図1 クォークの混合を与える小林・益川行列ユニタリー行列のため、行列要素に  $V_{ud}V_{ub}^* + V_{cd}V_{cb}^* + V_{ud}V_{cd}^* = 0$  の関係があり、三角形を用いて図示することができる。三角形の内角  $\phi_i$  がCP対称性の破れをあたえる複素数位相を表す。実験値は  $\phi = 60 \pm 14^\circ$ 。

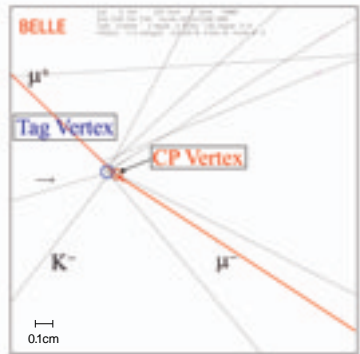


図3 B中間子-反B中間子の混合衝突する電子と陽電子のエネルギーがわずかに異なるように加速器が設計されているため、生成された2つのB中間子が崩壊するまでの時間(位置)がずれる。先に青丸内で崩壊した粒子は、この点からK(ストレンジクォークを含む)が生成されていることから、B中間子(ボトムクォークを含む)と同一とされる。もう一つの粒子はこの時刻で反B中間子(反ボトムクォークを含む)でなければならぬが、その後、赤丸内で崩壊するまでの時間( $t$ )の間に、CP非対称性の効果でB中間子になったり、反B中間子になったりする。

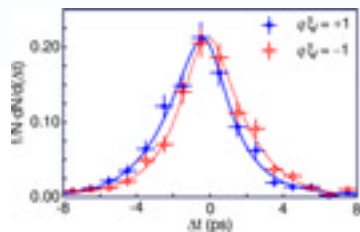
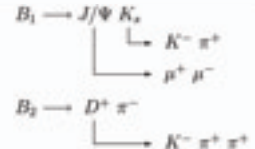


図4 CP非対称性の測定CP対称性の破れの効果により、時間  $t$  後にB中間子(青線)であるか、反B中間子(赤線)であるかによって崩壊する確率が異なる。この青線と赤線のずれからCP非対称性を測定する。



図2 B中間子の崩壊高エネルギーの電子と陽電子を衝突させて生成されたB中間子と反B中間子が崩壊する様子。崩壊過程が次のように完全に再構成された事例。



### B中間子系のCP対称性の破れ

ニュートンの力学の法則とマクスウェルの電磁気学の法則に従う、電荷をもった粒子の運動は、鏡に映したとしても同じ法則に従っていて矛盾がありません。これがパリティ(P)対称性です。電荷を逆符号にしても、電磁場も逆転すれば、やはり、矛盾がありません。これが荷電共役(C)対称性です。これを合わせたものがCP対称性です。量子力学では粒子に伴う波の振幅は複素数を使って表し、CP変換は“複素共役をとる”操作になります。面白いことに、素粒子の「弱い力」の作用では、このCP対称性が成り立たないのです。クローンとブリッチは1964年にストレンジクォークを含むK中間子が崩壊するとき、CP対称性の破れが存在することを発見したのです。小林・益川理論は、このCP対称性の破れを理論的に裏付けることができます。この理論で中心的な役割を果たす小林・益川(KM)行列は、クォーク間の混合を表すものです。電荷の同じt、c、uの組とb、s、dの組それぞれのクォークを“回転”で混

ぜるときにズレとして生じます。ところが、6種類以上のクォークが存在すると、この“回転差”行列に複素数の位相が残ります。これがCP対称性を破る効果を生じるのです(図1参照)。

K中間子の反応では、CP対称性の破れは、大きくても0.2%程度であることがわかっていました。小林・益川理論でもこの程度の大きさになることが裏付けられます。

これに対して、私は、小林・益川理論によってもボトムクォークを含むB中間子の反応であれば、CP対称性の破れが70%にもなることを、1980年に予言しました。予言するというのはある意味で賭けのようなものなのですが、ボトムクォークを含む中間子が発見される以前に、理論的に予言できたことはうれしかったですね。

この予想が本当かどうか、実験で確認したいと考えた私は、加速器のある研究所に行ってはB中間子の世界でCP非対称性を測定する実験を提案しました。当時はどの研究所もとりあってく

れませんでした。10年くらいしてみると、米国、ドイツ、日本の3つの研究所で私の提案した実験を始めました。ドイツの試みは頓挫し、スタンフォードのBaBar(ババール)と高エネルギー研のBelle(ベル)とが競って5年かかって加速器を建設し、測定を行い、2001年に両者同時にB中間子系のCP対称性の大きな破れを発見しました(図2、図3、図4参照)。Belleは、全部で200人以上が参加する国際共同研究です。名大物理学教室の大島隆義<sup>\*8</sup>教授のグループもここでいっしょに研究しています。

### 何がわかっていないのか？

6種類のクォークは、電荷が2/3のものと-1/3のものをペアにして、3世代と数えます。電子とニュートリノもペアになります。これと同種のもはレプトン<sup>\*9</sup>とよばれ、やはり、3世代あります。2世代目はミューオンとミュニュートリノ、3世代目はタウオンとタウニュートリノです。タウニュートリノは2000年に名大物理学教室の丹羽公雄<sup>\*10</sup>教授

# 素 粒 子 論 研 究 の 小 史

1911	霧箱による荷電粒子の軌跡の観測(C.T.R.ウィルソン)	•1927ノーベル賞受賞
1911-12	宇宙線の発見(V.F.ヘス)	•1936ノーベル賞受賞
1931	サイクロトロン発明(E.O.ローレンス)	•1939ノーベル賞受賞
1932	陽電子の発見(C.D.アンダーソン)	•1936ノーベル賞受賞
1935	核力の中間子論(湯川秀樹)	•1949ノーベル賞受賞
1939-45	第二次世界大戦	
1942	マンハッタン計画	
1947	中間子の発見(G.F.パウエル)	
1956	ハドロン複合模型の提案(坂田昌一)	
	パリティ(P)対称性の非保存の発見(C.N.ヤン, T.D.リー)	•1957ノーベル賞受賞
1964	電荷共役 - パリティ(CP)対称性の非保存の発見(J.W.クロニン, V.L.フィッチ)	•1980ノーベル賞受賞
	クォーク(アップ(u),ダウ(d),ストレンジ(s)-クォーク)模型の提唱(M.ゲルマン)	•1969ノーベル賞受賞
1967-73	陽子と重水素核による電子の深部非弾性散乱の研究(J.I.フリードマン, H.W.ケンドール, R.E.テイラー)	•1990ノーベル賞受賞
1971	宇宙線中でのX粒子(チャーム(c)-クォークの中間子)の発見(丹生潔)	
1973	小林・益川理論の提案と3世代クォークの存在の予言(小林誠, 益川敏英)	
1974-76	J/ψ 粒子(チャーム(c)-クォーク)の発見(B.リクター, S.C.C.ティン)	•1976ノーベル賞受賞
1977	B中間子系における大きなCP対称性の破れを予言(三田一郎, I.I.ビギ)	
	粒子(ボトム(b)-クォーク)の発見(L.M.レーダーマン)	
1987	カミオカンデによる宇宙ニュートリノ検出(小柴昌俊)	•2002ノーベル賞受賞
1995	トップ(t)-クォークの発見(テバトロン, フェルミ国立研究所)	
1998	スーパーカミオカンデによる大気ニュートリノ混合の発見(戸塚洋二)	
2000	タウニュートリノ(τ)の発見(丹羽公雄, 名古屋大学F研グループ)	
2001	KEK BファクトリーでのB中間子系における大きなCP対称性の破れの発見(大島隆義, 名古屋大学N研グループ)	

のグループによって発見されました。30年間だれもタウニュートリノをつかまえることができなかったものを、名古屋大学のユニークなオンリーワンの技術でつかまえたということです。これで役者がそろったわけです。

ではなぜ3世代の素粒子が存在するのか。これはわかっていません。また、クォークやレプトンの質量もまちまちです。ニュートリノは1エレクトロンボルト以下の小さな質量をもつと考えられていますが、トップクォークはその約1兆倍です。なぜこのような値をとるのか。これもよくわかっていません。素粒子の質量はヒッグス機構とよばれるメカニズムで生成されるのですが、そこで主役となるヒッグス粒子は未発見なのです。さらに、なぜ、素粒子には「電磁力」「強い力」「弱い力」と「重力」の4つの力が働くのか、4つの力の違いはどうして生じるのか、という問題もあります。

これらの問題はどうか解かれるのか。魅力あるアイデアとして大統一理論があります。高エネルギー

の世界では、力はもともと種類しかなく、クォークとレプトン同じ素粒子の一部だったと考えるのです。新たに“超対称性粒子”を導入すると、実際、3つの力の結合定数がよく近似で一致するのです。「重力」も含めた統一を狙う超弦理論・M理論<sup>\*11</sup>も研究されています。

ただ、超弦理論の研究について気になっていることがあります。素粒子理論を研究しようと大学院に入ってくる若者の多くが、「超弦理論をやりたい」とか「重力の量子論をやりたい」というわけです。しかし、そのおかげで若い学生が何人もだめになっています。若い研究者は他人の夢を見るより自分の夢を見てほしい。

## オンリーワンをめざせ!

21世紀の高エネルギー実験の展望はどのようなものでしょうか。現在、スイスにあるCERN研究所でLHCという加速器を建設中です。2007年から実験がスタートする予定で、ヒッグス粒子<sup>\*12</sup>や

\*8 大島隆義(1946-)

素粒子宇宙物理学専攻教授。米国ロチェスター大学研究員、東京大学原子核研究所助手、高エネルギー物理学研究所助教授を経て、1995年より現職。高エネルギー素粒子物理学(N)研を率い、KEK BファクトリーのBelle検出器の開発に参画。現在、タレットンに関する実験・解析を精力的に行い、素粒子標準模型を超えるフレーバー数非保存事象の探求を進める。

\*9 レプトン

電子やニュートリノなど、「強い力」の作用を受けない素粒子の総称。レプトンはギリシャ語で「軽い粒子」の意味。

\*10 丹羽公雄(1946-)

素粒子宇宙物理学専攻教授。基本粒子(F)研を率い、最先端の原子核乾板・飛跡全自動解析装置を用いて、2000年にタウニュートリノの直接検出を達成する。現在、スイスCERN研究所と共同で長基線ニュートリノ振動実験(OPERA)を押し進める。

\*11 超弦理論・M理論

弦(ひも)や膜(ブレーン)のさまざまな振動状態を用いて、素粒子の種類や相互作用の統一的な理解を試みる理論。とくに、重力の量子論の運動が矛盾なく記述できるため、量子重力理論の候補として精力的に研究されている。代数幾何学など現代数学との関連も深く(本誌第7号P.8参照)。

\*12 ヒッグス粒子

素粒子標準理論の仮説によれば、現在知られている素粒子の質量は、いずれも、真空中に一樣に分布するヒッグス場の効果で生じたものと考えられている。ヒッグス粒子は、この場の揺らぎによって生成される。ヒッグス粒子の発見によって、この質量起源の仮説を検証することができる。

\*13 超対称性粒子

素粒子には、同種の粒子が複数存在するときのふるまいに応じて、フェルミオンとボソンとよばれる異なる2つの種類がある。ところが、超対称性とよばれる変換操作によれば、このフェルミオンとボソンを結びつけることができる。このとき、フェルミオンにはボソンの、ボソンにはフェルミオンのパートナーが存在することになる。現在知られている素粒子に対する仮想的なパートナーを超対称性粒子とよぶ。

超対称粒子<sup>\*13</sup>などがみつかるかと期待されています。その後の計画として期待されているものに線形加速器があります。今までの円形の加速器は、加速中に電子が大きく曲げられるので、光を放射して、どうしてもエネルギーがむだになります。真っ直ぐに加速すればそういうことはありません。だいたい10kmで500GeVの加速器をつくる計画で、100億ドルくらいかかります。この計画は世界的な共同研究ですが、それによって成果を出しても羊の群れの一匹に過ぎないことになります。1000人規模の国際共同研究などになれば、ノーベル賞ももらえない。私はもっと独自の道を行くべきだと思います。Belleの加速器は、アメリカと同時に建設をスタートしたにもかかわらず、現在までに達成された性能はそれをはるかにしのぐものです。小柴昌俊先生のニュートリノ物理学などもだれもやろうとしていなかったことです。すべての研究はオンリーワンをめざすべきである、ということをお伝えして締めくくりにしたいと思います。



Shigehiro Yamaguchi

1969年生まれ。1993年京都大学大学院工学研究科修士課程修了。同年、京都大学化学研究所助手。2003年名古屋大学助教授。2005年より現職。専門は有機合成化学。特に典型元素化合物の機能開拓に焦点を当て、研究を展開。

## 新しい分子合成から 有機エレクトロニクスに挑む

山口茂弘 物質理学専攻教授

### 有機エレクトロニクス

有機エレクトロニクス、あるいは“プラスチック”エレクトロニクスとよばれる分野が、今、世界中で脚光を浴びている。液晶に代わるディスプレイ技術として注目される有機EL(エレクトロルミネッセンス、電界発光)素子や、電子デバイスの新たなスイッチング素子となる有機薄膜トランジスタなどである。有機ELにいたってはすでに携帯電話やデジタルカメラに実用化されている。これまで、シリコンに代表される無機材料が用いられてきたこれらの技術を有機分子に置き換える。その一

番の魅力は、やはり有機分子ならではの応用の可能性であろう。折り曲げられるフレキシブルディスプレイや、可溶性有機半導体を使ったプリント集積回路など、その可能性はつきない。

### 分子に求められる特性

この分野で主役となるのが、炭素-炭素不飽和結合(結合)がつながった電子系分子である。電子の非局在化<sup>\*1</sup>により、半導体としての性質や可視領域での蛍光といった特異な電

氣的・光学的特性をもつ。では、これらの分子を有機エレクトロニクスへ応用することを考えた場合、実際にどんな物性が求められるのか。もちろん各々の局面では細かい要請があるものの、大きくいえば、ホール(正孔)を運ぶ、光る、電子を運ぶ、の3つの基本特性が挙げられよう。これらの特性において真に優れたものをつくることは、この分野の飛躍的な進歩へとつながる。ここで有機化学が威力を発揮する。

### 典型元素アプローチ

有機化学は、新しい分子を創り出す土台となる学問である。分子の電子状態や、三次元的構造、固体状態での並び方などを考えてデザインすることにより、望みの特性をもつ分子を創り出すことができる。逆にいえば、いかに分子をデザインするかがミソである。筆者らのアプローチは、有機化学のなかでも、特にホウ素やケイ素などの典型元素<sup>\*2</sup>に注目したものである。個々の典型元素の特性をうまく生かした分子設計により、従



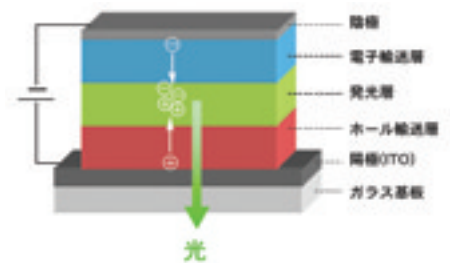


図1 有機EL素子  
 典型例として三層型構造を示す。各々の有機層の役割は、陽極側からホール(正孔)輸送層、発光層、電子輸送層の3つである。陽極からホール輸送層に注入されたホールと、陰極から電子輸送層に注入された電子とが、発光層内において再結合し一重項励起子が生じる。そこから基底状態に戻る際に放出されるエネルギーが光(蛍光)として得られる。

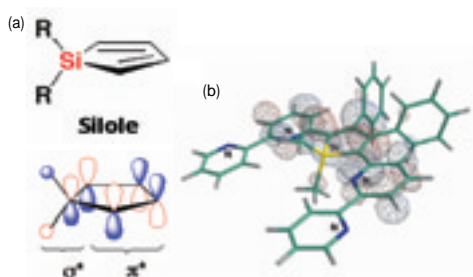


図2 シロール電子系  
 (a) シロールの最低空軌道(LUMO)における軌道相互作用と(b)高い電子輸送能をもつ2,5-ビス(ピリジリル)シロールのLUMO。ケイ素上の2つの環外結合(シロール環形成にあずかっている結合)の $\sigma^*$ 軌道と $\pi$ 軌道との相互作用により、高い電子受容性を実現される。

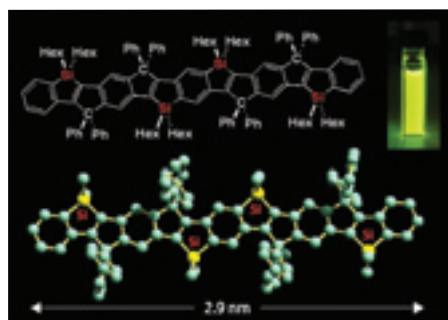


図3 ラダー型オリゴ(*p*-フェニレンビニレン)の蛍光とX線結晶構造

来のC、N、Oを中心とする有機化学では実現できないような新たな機能をもつ分子を創り出すことが可能になる。

このアプローチによりこれまで一連の電子系分子を合成してきた。その中で、ケイ素を含んだ5員環であるシロール環を基本構造に用いた電子系分子が、実際に、有機ELの電子輸送材料<sup>3</sup>としてきわめて高い性能をもつことを見いだした。その“電子を運ぶ”能力は、世界でもトップクラスであり、すでにELディスプレイへの実用化も始まっている。研究室発の1つの分子合成がテクノロジーに発展していく例である。

### 元素の個性をひきだす

筆者が、分子の“機能”に魅せられたのは、実は分子の“光る”という性質である。“自分のつくった”化合物に、反応チェック用のUVランプを当ててみる。すると、化合物が実にきれいな光(蛍光)を発する。この時に味わえる感動は、新しい分子合成に携わるものの醍醐味である。上述のシロ

ール化合物の化学も、ここから始まった。「なぜケイ素だとこんな蛍光を発するのか」という疑問から、その電子状態の理解に取り組むなかで、電子輸送性という新たな機能が見つかったのである。

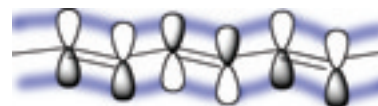
このシロール化合物の電子輸送能の発現には、実は、シロール環内における軌道相互作用が大きく寄与している。詳しくは図2を参照されたいが、5員環という骨格に典型元素を組み込むことにより、元素の“個性”が最大限に引き出される。この5員環構造を基本骨格にしたデザインが筆者らの分子設計の特徴となっている。

### 究極の材料をめざして

では、“光る”あるいは“電子を運ぶ”という特性において究極の分子を創り出すにはどうすればよいのだろうか。1つの考え方は、共役が最も有効に起こり、かつ、分子構造がゆらがないように、強固にかつ平面に固定された電子系骨格を創ることである。この考えから、最もポピュラーな

#### \*1 電子の非局在化

結合を形成する電子は普通その特定の結合に局在するが、共役系(電子系)の場合には、結合を形成する電子は1つの結合に局在するのではなく、共役系全体に広がることができる。これを非局在化という。



#### \*2 典型元素

一般に、典型元素は、周期表の1、2、13~18族までを指すが、ここでは、13族から16族までの元素に焦点をあてることとする。これらの元素群は、電子数、電気陰性度、配位数などの点で多様性に富む。

#### \*3 電子輸送材料

電子輸送材料には、電極からの電子の注入のしやすさと高い電子移動度の2つの特性が求められる。このうち、前者の特性は材料の電子親和力と関係づけられる。正孔輸送能をもつ有機材料に比べて、電子輸送能をもつ材料の開発は一般に難しく、特に、酸素共存下でも安定に電子輸送性を示す化合物は少ない。その開発は、依然この分野のトピックスの1つである。

#### \*4 オリゴ(*p*-フェニレンビニレン)

有機EL素子に初めて応用された高分子系共役材料のモデル化合物。その合成法の多様性、簡便性から最も広く研究されてきた材料の1つである。しかし、そのラダー型誘導体の合成はこれまで報告例がまったくなかった。

共役系の1つであるオリゴ(*p*-フェニレンビニレン)を題材に選び、これを典型元素を含む5員環骨格で固定したラダー型電子系をデザインした。それらの合成に方法論の開拓から取り組み、ごく最近、独自に開発したシンプルな環化反応を用いて環が13個つながったオリゴマー(図3、全長約3ナノメートル)まで合成することに成功した。これまでで最長のラダー型オリゴ(*p*-フェニレンビニレン)である。また、この他にも、硫黄、セレンを含んだヘテロアセン類やホウ素を導入した配位型電子受容性電子系分子など、いくつかのタイプの“平面ラダー型”電子系の合成をすすめている。これらは、まだ世に生み出されたばかりのものであり、その物性評価については現在検討中であるが、このアプローチにより、元素の個性がうまく光・電子特性に反映された「この元素だからこそこんな材料ができる」といえるような分子系の創出につながればと期待している。そこから分子を中心とした新たな科学が広がるにちがいない。



Yasushi Yamaguchi | 1955年静岡県生まれ。東北大学大学院理学研究科修了。工業技術院地質調査所、名古屋大学大学院理学研究科などを経て、2001年より現職。専門は地球科学、リモートセンシングなど。

# リモートセンシングにより 地球環境の変動を探る

—— 気候変動の将来予測に向けて ——

山口 靖 地球環境科学専攻教授

## リモートセンシングとは？

子どものころ、裏山に登って街を眺めた経験のある方は多いであろう。初めて飛行機に乗ったとき、窓から見下した街や野山が、まるで地図のように見えるのに感激した。さらに高くを飛ば人工衛星から地球を眺めると、地球の表情や環境変化などをとらえることができる。人工衛星などにセンサを搭載し、電磁波の反射・放射を用いて非接触で情報を得る技術をリモートセンシングとよぶ。リモートセンシングは、観測範囲の広域性、周期的な観測能力などの利点のため、さまざまな分野で利用されている。

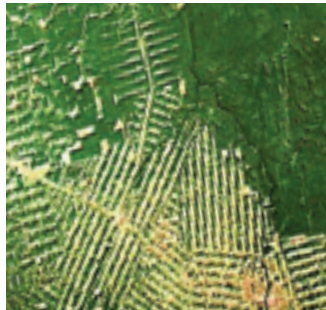


図1 アマゾンの人植者による森林伐採の例 (Maruyama and Yamaguchi, 2004; データ提供INPE)。約180km四方の範囲を撮影している。

## 本当に森林は減っているのか？

人間による森林破壊や、気候変動による砂漠化などにより、世界の森林は急激に減っているとされている。たとえばアマゾンの人植者による森林伐採は、衛星からも明瞭にとらえることができる(図1)。森林の植物は、光合成によって大気中の二酸化炭素を吸収・固定している。もし森林が減少しているのなら、大気から植物への炭素のフローも減少していることになる。一方、人類は、化石燃料の消費によって多量の二酸化炭素を大気中に放出してきた。近年の地球温暖化は、これに起因するとされている。しかし、これまで放出した二酸化炭素のうち、現在も大気中に残留している量は約半分にすぎず、残りは陸域の植物や海洋が吸収したと考えられている。つまり植物や海洋は、温暖化の進行をある程度抑制してきたといえる。地球温暖化防止が盛んに議論されているが、温暖化の正確な将来予測

のためには、大気中の二酸化炭素濃度の予測が不可欠であり、それには植物による二酸化炭素吸収量の見積もりが鍵を握っている。

人為的に放出された二酸化炭素を植物が固定してきたのであれば、植物の量は増えているのではないか。しかし一方で、前述のように森林減少を危惧する声もある。いったい世界全体として植物は増えているのか、減っているのか。これを現地調査でコツコツ調べるのは、対象地域が広すぎるため不可能である。そこでリモートセンシングの出番となる。植物の葉は、可視光を強く吸収するが、近赤外線は強く反射する。これを衛星から観測することにより、植物の分布や量を知ることができる。私たちは、1980年以降の衛星データを使って植物の変化を調べてみた。

## 緑が濃くなりつつある地球

結論からいえば、世界全体としては陸域の植物は増えている(図2)。ただし増えているという

意味は、北半球中高緯度の寒冷地域等において、既存の植物の量(葉の枚数など)が増加していると同時に、温暖化により植物の生育期間が長くなっているということであり、分布域の拡大はあまりないらしい。同様の結果は米国の研究者も報告しており、「緑が濃くなりつつある地球」と表現している者さえいる。さらに植物が大気中の二酸化炭素を固定する量(純一次生産量)も増加している(図3)。森林破壊が憂慮されている現状からは意外に思われるが、寒冷地域では気温や二酸化炭素濃度の上昇により、植物の生育条件が向上していると考えれば納得できる。

## 気候変動の将来予測に向けて

このように植物は、気候変動の影響を受けるだけでなく、炭素循環を通じて温暖化の進行をある程度抑制してきたともいえるが、この効果が今後も有効に働き続けるという保証はない。実は森林生態系全体として考えれば、植物による二酸化炭素吸収と同時に、土壌中の微生物による有機物分解や呼吸によって二酸化炭素が放出されており、温暖化の進行によってこれが大幅に増えるとの予測もある。従って、温暖化で植物が増えているから安心だと短絡的に考えるのは、間違いである。温暖化の将来予測のためには、植物を含む生命圏の働きを無視することはできない。私たちは、地球システムを構成する地圏、大気圏、水圏、生命圏の間の相互作用について、観測結果とモデルを組み合わせることで解明を進め、気候変動の将来予測につなげたいと考えている。

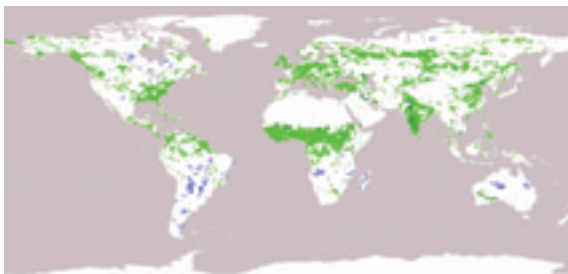


図2 衛星データによる1980年以降の植物の増減の解析結果 (Kawabata et al., 2001)。緑色の地域で増加、青色の地域で減少している。特に北半球の中高緯度や熱帯域での増加が目立つ。

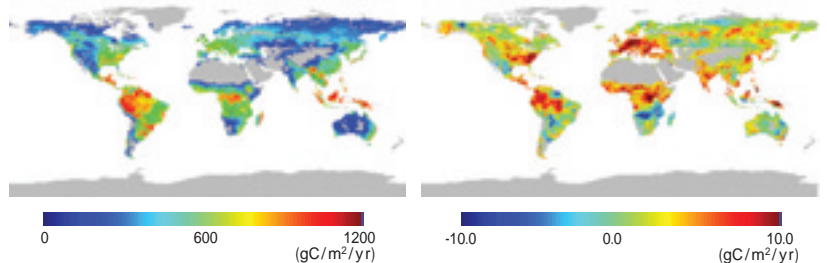


図3 陸域植物による1980年以降の純一次生産量の年平均値(左)と増減(右) (Sasai et al., 2004)。年平均値は熱帯雨林で大きい。世界全体では純一次生産量も増加していることがわかる。

# 論理的思考過程を重視する

【分子遺伝学 II・3年後期】——— 松本邦弘 生命理学専攻教授

「昔、生物は嫌いでした」。松本先生の口から聞かれた言葉だ。生物学の記憶中心の授業形態に嫌悪感を抱いていた先生が、分子生物学に興味をもつ転機となったのが学部3年生のときに受けた授業だという。この話を聞くと、その授業がどのようなものだったのか、だれもが興味を抱くだろう。今回、松本先生の授業に参加した私にはそれが容易に想像できる。

講義の題目は「分子遺伝学」。あるシグナルがあってそれを受け取るアンテナがある。アンテナを介したかたちでシグナル情報が変換され、核に伝わり、どのような応答が起こるか、という話を、アフリカツメガエルなどの実験動物の研究から得られたさまざまなシグナル伝達経路の代表例を使って紹介する講義である。

授業中に必要な専門知識の量はわずかだという。授業は、先生の質問に対し指名された学生が解答するという対話形式で行われている。ここで先生はつねに学生に対し、自身と「対等なディスカッション」を要求していた。分子生物学は論理的思考過程を重視する。知識のみに頼った模範解答は必要とされない。そのことが、授業前に白紙のA4紙を配布することに表れている。「成績とサイエンスのセンスは必ずしも一致しない」

と先生は力説し、授業後回収したA4紙を見せてくれた。そこには先生がいう「学生の、予想もしない、フレッシュなアイデア」がびっしりと綴られていた。「模範解答を示す前に、学生自身のアイデアを書いてもらう」と先生は言う。「ルールにのってない学生一人ひとりのアイデアが、非常に斬新で面白い」と先生は語った。

無論、「面白い」のは先生だけではないようだ。授業が終わって、学生たちに感想を聞いてみると、「面白いです」「楽しい」「教科書では学べない」「将来の研究につながる」といった声を聞くことができた。

「対等なディスカッション」はときに学生にとって負担になるのでは、という危惧したことはまったくの杞憂に過ぎず、教室全体が「面白さ」を共有していた。この授業が、単に知識を与えるだけの授業ならば、このような「面白さ」は成立していないだろう。ここに私は、「真にインタラクティブな授業」を体験することができたと断言できる。学部時代に松本先生が受けた感銘は、今も先生自身の授業に息づいている。

(取材・植松大輔 物質理学専攻博士前期課程2年)



Kunihiko Matsumoto

1951年生まれ。アメリカのDNA X分子生物研究所主任研究員などを経て、1990年より現職。専門は分子遺伝学。現在の研究テーマは増殖・発生・分化を制御するシグナル伝達機構。

# 風景のようなオフィスアワー

【カフェ・ダヴィッド】——— 坂内 健一 多元数理科学専攻助手

理学部館内の壁や扉に、何かアートのようなポスターが貼られている。「カフェ・ダヴィッド」。それはコーヒーなどを飲ませる喫茶店のような空間を想像させる。実際「カフェ・ダヴィッド」は、多元数理科学研究科の建物の2階のヒルベルトスペースとよばれる場所で行われる、2003年度から始まった、教員やティーチングアシスタントを交えたオフィスアワーである。オフィスアワーは教員が学生の質問や相談に応ずるための決まった時間を設ける制度であり、普通、学生が各先生の研究室を訪れるという形式で行われるが、学生にしてみれば敷居の高さを感じ、入りづらいという気持ちをもつことは否めない。「目的はだれでも気軽に質問のできる空間をつくることでした。今では学部1年生から博士課程の学生に至るまでの縦のつながりを生み、質問を受ける自分にとっても刺激となる場になっています」。カフェ・ダヴィッドの発案者である坂内先生は語る。

数理学科では、数学の基本的な考え方を確実に身につけさせるため、教え方にさまざまな工夫を凝らしている。坂内先生が担当されている学部の演習でも、例えば、学部1年生時に大学数学の最初の壁となるであろう「 $\cdot$ 」証明法に関して、「任意の  $>0$  に対して、ある  $>0$  が存

在して...」と定義を覚えさせるだけでなく、なぜそう定義するかを説明することによりその概念を教えている。

多くの人にとって数学を学ぶことのイメージは、数式が羅列された参考書を片手に一人で黙々と机に向かって... というものではないだろうか。「数学の理論は本や論文から学ぶことも可能ですが、専門家から直接話を聞くことにより、その理論の意味や意義など、本質的な考え方を教わることができます」と、坂内先生は人との交流により学ぶことをとても大切に考えている。「カフェ・ダヴィッド」の意義はまさにそこにある。

では、オフィスアワーの様子についてふれよう。ティーチングアシスタントたちがコーヒーを用意して待っていると、学生がすーっと入ってきてご飯を食べたり本を読んだりくつろぎ始めた。そして、どちらからでもなく質疑応答が繰り返されるようになり、最終的には狭い空間に人があふれていた。私はこの状況に驚きもあったが、とてもうらやましく感じた。先輩、あるいは、後輩と議論し合うことのできるこの貴重な場が他の分野でも広く普及していくためにも、数理学科にお立ち寄りの際はのぞいてみてはどうだろうか。

(取材・森隆雄 物質理学専攻博士前期課程1年)



Kenichi Bannai | 1972年生まれ。専門は整数論、その中でも幾何学的な直感を大事にする「数論幾何学」である。現在は、L-関数、テータ関数やボリログ関数など、整数論に現れるさまざまな特殊関数の整数論的な性質を調べることに興味をもっている。

# 理学は地震になにができるのか？

安藤雅孝 附属地震火山・防災研究センター長

<インタビュー> 山口 勝 NHKアナウンサー



Masataka Ando | 附属地震火山・防災研究センター長。1943年生まれ。  
1974年理学博士(東京大学)、京都大学を経て、2000年より現職。

昨年10月23日の新潟県中越地震、同じく12月26日のスマトラ沖地震と大きな被害を出した地震災害が続いている。そこで本誌では環境学研究科附属地震火山・防災研究センター長である安藤雅孝教授を招いて特別理学懇話会を開催した。聞き手であるNHKアナウンサーの山口勝さんは、環境、防災、科学技術と社会をテーマにさまざまな番組のキャスターを務めておられているほか、本学環境学研究科において博士(環境学)を取得している。地震研究の最前線や東海地震の予知について活発な議論が展開された。

(2004年12月16日、特別理学懇話会より)

## 中越地震は予測できたか？

山口 まずは新潟県中越地震についてお話をお聞きしたいと思います。実は私も、新潟中越地震のあと、「クローズアップ現代」と「NHKスペシャル」の番組取材を行いました。番組では、今回は強い余震がなぜたくさん起きるのかという問題に対して、地震があった地層は新しく柔らかいので1回の地震で歪みが開放されないため、何回も地震が起きるのではないかと、という仮説をたてて説明をしました。

安藤 新潟県中越地震は、マグニチュード6.8、土曜日の夕方5時56分に起きました。マグニチュード6以上の余震が4回起きていますが、これはマグニチュード6.8の地震としては非常に珍しいことです。兵庫県南部地震以来、震度7も初めて観測されました。本震は小平尾断層おひらうという断層の上で発生しました。全国の大学がいつせいに余震観測をしてわかったのですが、1本の断層が動くとその真横でまた他の断層が動き出すということで、複雑な断層運動をしました。兵庫県南部地震では、大きい余震がほとんどありませんでしたが、こういう地震も起きるということを知っておく必要があります。

山口 このあたりは地震が起こることが予測できていたのでしょうか。

安藤 地元の方は「地震が起きるなんて思って



新潟県中越地震で半壊した商店

いなかった」「地震がないところだ」といっておられましたが、実際には、ユーラシアプレートと北米プレートが幅広くぶつかりあっている境界にあたり、「歪み集中帯」と呼ばれているところにありました。歪み集中帯は日本海東縁から新潟へ入り、岐阜県の北あたりをとおり、神戸へ続いているようです。現在、日本中にはGPSが1200点設置されていますが、これを解析することで歪み集中帯の位置がわかってきました。このような場所に当たりますから地震が起きることはわかっていました。

## なぜ地震は起こるのか？

山口 今、プレートという言葉が出ましたが、地震の起こるメカニズムを説明していただけますか。

安藤 地球の表面はプレートとよばれる厚さ100kmほどの岩盤でおおわれています。プレート

は7枚の大きなものといくつかの小さなものが組みあわされたもので、それぞれは1年に1～10cmの早さで異なった方向に動いています。これがプレートテクトニクスという考え方です。プレートには、大陸をのせている大陸プレートと、海底にある海洋プレートとがあり、大陸プレートの方が海洋プレートより先軽くてきています。それぞれのプレートがぶつかり合うことで、重い方が軽い方にもぐり込み、このため山脈をつくられたり地震が起こったりします。

山口 地震の種類としてプレート境界型地震や内陸直下型地震という言葉もよく耳にしますが、

安藤 プレートとプレートがぶつかり合って歪みがたまり、一気にエネルギーが放出されるのがプレート境界型地震です。南海地震や東南海地震、東海地震はこのプレート境界型地震です。この地震は地震の揺れとともに津波の被害が心配されます。もう一つの内陸直下型地震はプレートの歪みがプレート内にある断層で放出されるもので、兵庫県南部地震や新潟県中越地震がこれにあたります。プレート境界型地震に比べると地震としての規模は小さくなりますが、震源から近いため被害は大きくなり、予測がむずかしいのも大きな特徴です。

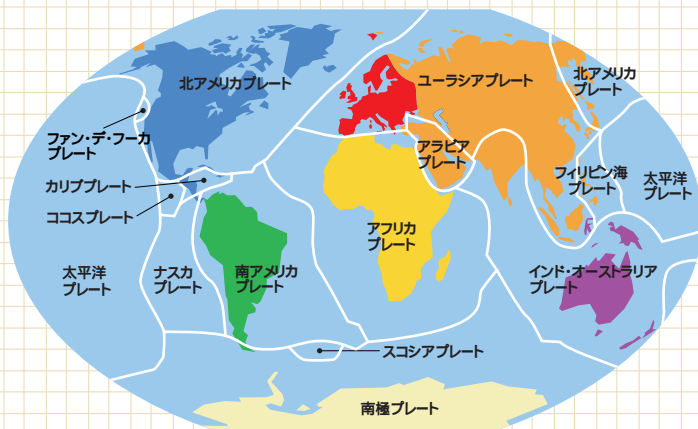


図1 プレートにおおわれた地球

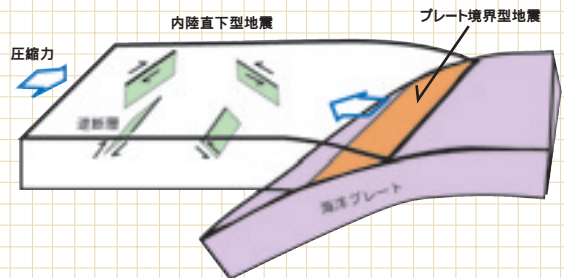


図2 プレート境界型地震と内陸直下型地震

### 注目集める南海トラフ

山口 次に東海地震についてお聞きます。1960年代70年代にいわれた駿河湾地震と、この数年間でいわれている東海地震とは、その地震像がずいぶん変わってきていると思います。具体的には東海地震だけでなく、東南海地震、南海地震を含めた、駿河湾から紀州沖につづく南海トラフが震源として注目されるようになってきました。

安藤 昭和19年12月7日に東南海地震が起こりました。和歌山県新宮市付近から最初の断層面上の破壊がはじまり、ジェット旅客機の10倍くらいの速さでその破壊が北西に進みますが、駿河湾の手前で止まってしまいました。東海地震が危惧された要因はここにあります。この地震の2年後、昭和21年12月21日には南海地震が起きています。過去、南海トラフでは2年以内に連動して地震が起こっていることがわかっています。前回の東南海地震の時には、それと連動するようなかたちで東海地震はなかった。ですから、60年も経って東海地震が単独で起きるのか正直のところわかりません。

山口 大規模地震対策特別措置法は、この東海地震を想定してつくられた法律ですね。我々一般市民は「予知できるなら予知してほしい」とつい思ってしまうが。

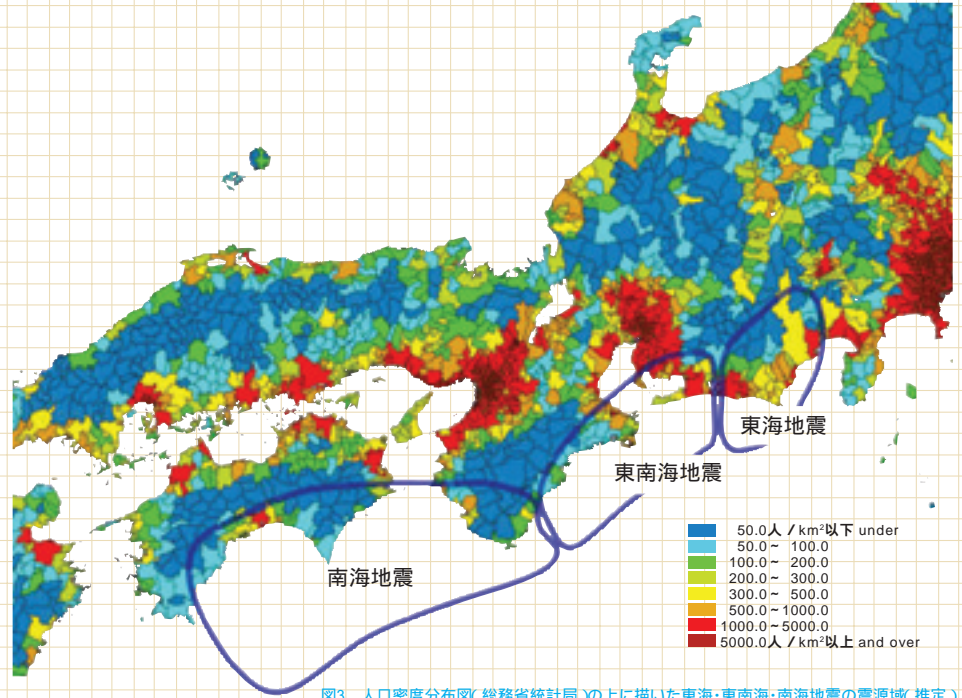


図3 人口密度分布図(総務省統計局)の上に描いた東海・東南海・南海地震の震源域(推定)

安藤 東海地震を予知できるというシナリオは、昭和19年地震直前にたまたま測量してつかめたデータを基本にして考えられたものです。しかし、それは測量の誤差かもしれない。本当に地震の前兆なのかどうかは判定ができません。私が考える東海地震を予知できる確率は、甘く見て6%くらいで、あとの94%は無理ではないでしょうか。地震予知をもとに防災計画をたててはいけないと思います。地震防災は、予知できたらどうするかではなく、地震が起きたらどうするかに力を入れるべきではないでしょうか。

山口 専門家がこういうスタンスで東海地震を

位置づけている、ということを知った上で地震について考える必要がありますね。

安藤 私は、東海地震が単独で起きるかどうか疑問をもっています。それより先南海トラフ全体を観測することが大切だと考えています。

山口 附属地震火山・防災研究センターによる南海トラフを対象とした海底の地殻変動の測定もそうした考えがもともなったものですね。

安藤 ええ、そうです。日本列島の地殻の動きは1200点のGPSで常時監視されていますが、大きな地震の震源域となる海底の観測は空白のままです。これをカバーするためキネマティック

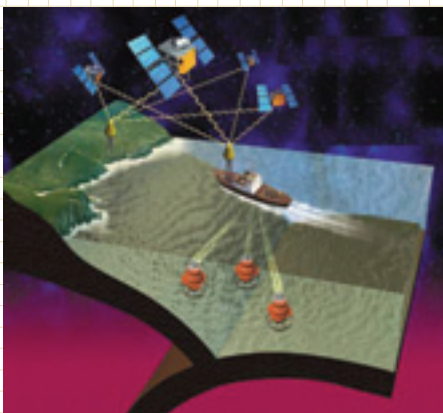


図4 海底地殻変動観測概念図(「ニュートン」2002年6月号掲載)





GPSと超音波測定法を組み合わせることで海底の動きを探っています。

### アスペリティと低周波微動

山口 現在の地震学の最前線というどんなことになるのでしょうか。

安藤 一つはアスペリティがあります。アスペリティとは突起という意味で、地震学では固着域とか固着面といわれることもあります。アスペリティは断層と断層が強く接触するところを指し、これを見つけていることが地震を予知するきっかけになるのではと期待されています。

山口 具体的な成果は上がっているのでしょうか。

安藤 1944年の南海地震に関しては、アスペリティの様子はかなりよくわかってきました。陸の下にもぐり込んだ海山がアスペリティの役割をするとか、1944年南海地震の際に強い地震波を出した領域(アスペリティ)が特定されたとか、いろいろあります。1854年安政地震や1707年宝永地震の震度分布を使って、アスペリティの分布を調べるということもしています。一方、アスペリティの周辺では、断層面の接触は弱く、地震も起こさずゆっくりとすべりだすこともあります。

山口 アスペリティの規模はどれくらいのものでしょうか。

安藤 南海トラフでは数10kmオーダーですね。

もう一つの発見はつくばにある防災科学技術研究所によるもので、深さ30~40キロメートルの地点で深部低周波微動を見つけました。地表から30~40キロメートルというのはちょうど巨大地震の断層の一番深いところにあたります。深部低周波微動は微弱な信号のため、深さ100mとか200mの静かな孔の底に設置した地震計からやっと発見されました。火山性の地震に似ていることや発生場所が移動することから、何らかの流体が関与していると考えられます。流体がプレートとプレートの間を移動するため、これによりプレートがすべりだすと想像されます。これが地震予知につながるかどうかどうかわかりませんが、今後に向けた理解に結びつくのではないかと思います。その後、カナダのバンクーバー付近でも、同じような発見がありました。

### 地震研究とは「植林事業」である

山口 さきほど現在の地震学では予知はむずかしいというお話がありました。しかし1970年代には「もしかしたらできるかもしれない」と考えられていました。理学としての地震学について先生の思いをお聞かせいただけますか。

安藤 現在、地震学の理解と地震予知の目標



の間には大きな距離があるのは事実です。しかし、将来予知ができるようにするためには、自然現象としての地震についてさらに深く理解することが必要です。私は、地震研究は植林事業のようなものだとも考えています。50年後、100年後のためにも今、私たちは研究をしている。

山口 名古屋大学では、災害対策室を中心に研究者、行政、マスコミの人たちが集まって地震災害に関する懇話会を開いておられます。

安藤 4年前に名古屋大学に来て一番感心したのは、そうした会が開かれていることでした。組織が大きくなるとこの種のことはできなくなりますが、お互いに教えあう関係で、なかなか良いことだと思っています。こうしたところでも研究の成果を役立てていければと考えています。

### インタビューを終えて

山口 勝

「地震を防ぐことはできない。しかし、地震とはなにかを知ることはできるかもしれない」。地震学の大きな目的は、そこにあるのかもしれない。しかし「地震とはなにか」を知ることはたやすいことではない。ヨーロッパのある学者は言った。「地震の大きさは、マグニチュードで表せばいいのに、なぜ日本には震度があるのか。M7と震度7を誤解する人が多いから震度はやめてしまえばいい」。地震のない国の地震学者の言葉だと思う。日本に地球物理学会はなく、地震学会がある。

日本のある地震学者は言った。「地震とは、地下で断層破壊が起こる現象であって、地表が揺れる現象は、地震動というべきだ。マスコミは混同している」。これは学者内の言葉。地震とは、地が揺れる現象として最初に認識され、言葉が生まれたはずである。日本の古語では、「なみふる」、大地が振れるという意味だ。「地震となにか」を追求することの難しさと魅力は、そのあたりにあると思う。

さて、今一度、本当に「地震を防ぐことはできない」のだろうか。あなたの地震の定義に照らしてどう考えますか。



Masaru Yamaguchi

NHKアナウンサー。1965年生まれ。日本地震学会広報委員、なみふる編集委員。2005年4月に名古屋放送局から東京アナウンス室に異動。現在、「地球大好き・環境新時代」「BSディベートアワー」のキャスターを務める。

## 同窓生から

### 科学の「わくわく感」を伝える

読売新聞北海道支社編集部記者  
吉田典之(よしだ のりゆき)

「化学科は就職が一番。でも、指導も研究も非常に厳しい」。学生のころ聞いた話が、野依先生のことであったと悟ったのは十数年も後、先生がノーベル賞を受賞したときのことでした。

ノーベル賞の報道は、新聞社の科学部の仕事の典型といえるものです。秋になると、10月上旬の発表に向け準備が始まります。候補者の業績を調べ、予定稿や資料写真を用意します。特に有力な候補には当日、すぐに対応できるように記者も張りつきます。

でも、予想された人が実際に選ばれるかどうか、だれにもわかりません。それだけでなく、まったく知らない人が選ばれることもあります。島津製作所の田中耕一さんはその1人。そんな時は、各社、白紙のスタートで取材合戦を繰り広げることになります。

科学部記者は、自分のバックグラウンドと興味を生かし、科学の最先端を追い続けることができる、やりがいのある仕事です。苦勞のしどころといえば、むずかしい話をどのように一般の人々にわかりやすく伝えるか、という点につきまします。たとえば、野依先生の研究の「触媒」や「不斉合成」などはその一例です。また、宇宙論や素粒子理論など、複雑な理論になるとまず自分自身が理解するのに苦心惨憺します。

科学を、一般の人にわかりやすく伝える「科学コミュニケーター」の必要性が今関心を集めています。新聞記者もその一端ですが、理論や理屈だけでなく、わからなかったことがわかった「すっきり感」や、新たな未知が現れる「わくわく感」、そこに挑戦する研究者たちの奮闘ぶりを折り込むことで、文章が読者の心いきいきと響いていくのではないかと、東京本社科学部から異動した現在も、工夫の日々です。(物理学科1989年卒)



## キャンパス通信

### 職業としての研究者を知る

生命理学専攻博士前期課程2年  
有元真琴(ありもと まこと)

大学4年生のとき、交換留学生として卒業研究をマンチェスター大学の研究室で行いました。研究室に所属して実験をするのは初めてだったので、日本と比べてなにが違うのか、という質問には、普通だと思うよ、とそこは答えていました。その後名古屋大学で2年間過ごし、今では日本の研究室の様子もわかってきました。

マンチェスターの研究室を思い返してもっとも印象的なのは、研究者たちです。みんないろいろな考え方をもっていました。所属していた研究室のメンバーの半分は英国外の出身の女性でした。いろんな国に行きたいから、という理由で数年ごとに研究室を移るとい人が何人かいました。そのうちの1人はロシア語、英語、ポルトガル語を使いこなしていました。とても多趣味な人で、乗馬、油絵、犬の散歩、ジムといつも楽しそうでした。別の女性は小学生の娘さんにイギリスの教育を受けさせるためにイギリスの研究室に移ってきたといっていました。私と入れ違いに研究室から出ていった女性は留学経験に感動し、外交官になりたいと意気込んでいました。また、授業でしりあった30歳の友だちは、将来自分の研究室を立ち上げるため講師として大学で働きながら執筆活動をしていました。ある年輩の研究者は、自分は理論が苦手だけど体を動かして実験することが好きだからずっと研究員をつづけてきたといっていました。また、別の研究者は7年間実家にさえ帰らずに、ほぼ毎日実験をしてきたようでした。

今考えると、私はそのころ、職業としての研究者を意識せず当たり前感じていました。だから、日本に帰ってきて研究者を志す友だちが、研究者というのは生き方だと、とらえているような気がして違和感を覚えました。



## 書籍紹介

### 「私たちは暗黒宇宙から生まれた - ALMAが解き明かす宇宙の全貌」

素粒子宇宙物理学専攻教授  
福井康雄(ふくい やすお 編)

アルマ  
ALMA(Atacama Large Millimeter/submillimeter Array:アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計)は直径12mの高精度アンテナ64台と超高精度アンテナ16台を組み合わせる干渉計方式の巨大なハイテク電波望遠鏡で、日米欧が共同でチリ・アンデスの標高5000mの高原に建設することを計画している。ミリ波やサブミリ波という、電波と遠赤外線の間電磁波を観測することで、光では見えない「暗黒」の宇宙の観測を目的としており、2012年の本格運用開始を目指している。

本書にはこのALMA計画に関わる10人の研究者が登場、それぞれがALMAによって宇宙の何がわかるのか、ALMAにどのような技術が使われるのかを語っている。文章はすべてインタビューをもとに書き起こされたものだから、とく難解になりがちな専門的な説明も話し言葉にすることでわかりやすく伝わるような工夫がなされている。

本書には他の科学書では味わえない魅力がもう一つある。「最先端研究の中身や問題点は理解できたが、それによって研究者自身がどんな面白さややりがいを感じているのか、そこがやっぱりよくわからない」。科学書を読んでいてこんな不満を感じることはないだろうか。そもそも自分はなぜ宇宙に興味をもったのか、研究を続けててなになが面白いのか、一番の苦労はなんなのか、本書からはこんな研究者たちの生の声が聞こえてくる。最先端の科学がぐっと身近に感じられるのは、実はこうした研究者の肉声が聞こえてきたときだったりする。ノーベル賞を受賞した小柴昌俊氏は巻頭の寄稿でこう語る。「若い天文屋さんには、新しい結果を出してニヤリとする快感をぜひ味わってほしいものです」。天文屋になりたい人はもちろん、広く「理」に興味をもっている人に読んでほしい一冊だ。(K)



私たちは暗黒宇宙から生まれた - ALMAが解き明かす宇宙の全貌  
福井康雄編 / 日本評論社 /  
2004年12月発行 / 1,400円

## 事務部だより

### 英国の大学を訪問して

事務部庶務掛  
久保出洋子(くぼで ようこ)

名古屋大学職員海外研修として、平成16年11月に事務職員3名で海外に出張することとなり、訪問先はアメリカドイトとイギリスの大学の中から3人で相談して英国のブリティッシュカウンシル(ロンドン)ならびにウォリック大学(ウォリック)シェフィールド大学(シェフィールド)の2大学に決めました。

ブリティッシュカウンシルは、英国の公的な国際文化交流機関であり、留学生の受け入れや施策などを中心に話を聞くことができました。なかでも印象的だったのは、英国という国の「イメージ」に重点を置いた広報活動に力を入れていることでした。シンガポールでは「UK」というロゴマーク入りの蛍光色のバスを街に走らせて宣伝したり、ホームページを利用して、英国の学問、芸術、文化まで幅広い分野について紹介しています。特に優秀な人材を多く輩出している中国、インドなどアジアからの留学生の受け入れに重点をおいて取り組んでいるとのことでした。

本学と交流のあるウォリック大学とシェフィールド大学では、副学長、人事、学生就職支援および国際交流担当の職員から、実務に始まり大学の運営方法まで丁寧な説明を受けました。

1961年に設立されたウォリック大学では、キャンパス内に併設されたカフェテラスやバー、映画館等を見学でき、大学内の環境や住人である学生・職員に対する考え方の違いに驚きました。

シェフィールド大学では、名古屋大学に事務職員として在職したことがある女性と会い異国での留学生活の話を聞くことができました。言葉や習慣の違いにとまどいながら、自分の夢に向かって勉学に励み、充実した毎日を過ごしている姿を目のあたりにし、同世代の自分を振り返ってしまいました。



ブリティッシュカウンシルにて

# 研究会・学会スケジュール

## 第3回坂田・早川記念レクチャー

開催日：2005年4月23日(土)  
 開催場所：名古屋市科学館サイエンスホール(名古屋市)  
 主催：名古屋大学大学院理学研究科・名古屋市科学館  
 問い合わせ：中村光廣 名古屋大学大学院理学研究科 助教授  
 nakamura@flab.phys.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-2443  
 前号でお知らせしていたものが上記に延期されました。

## 第207回アメリカ電気化学会(ECS) 「フラーレン・ナノチューブに関するシンポジウム」

開催日：2005年5月15日(日)~20日(金)  
 開催場所：ケベック カナダ)  
 主催：アメリカ電気化学会(ECS)  
 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

## 地球惑星科学関連学会2005年合同大会

開催日：2005年5月22日(日)~26日(木)  
 開催場所：幕張メッセ国際会議場(千葉市)  
 主催：地球惑星科学合同大会運営機構  
 問い合わせ：鷲谷 威 附属地震・火山防災研究センター 助教授  
 sagiya@seis.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-3043

## 第18回国際植物科学会議 XVIII International Botanical Congress

開催日：2005年7月18日(月)~23日(土)  
 開催場所：ウィーン(オーストリア)  
 主催：国際植物科学会議  
 問い合わせ：町田泰則 名古屋大学大学院理学研究科 教授  
 yas@bio.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-2502

## 第14回公開セミナー「天文学の最前線」

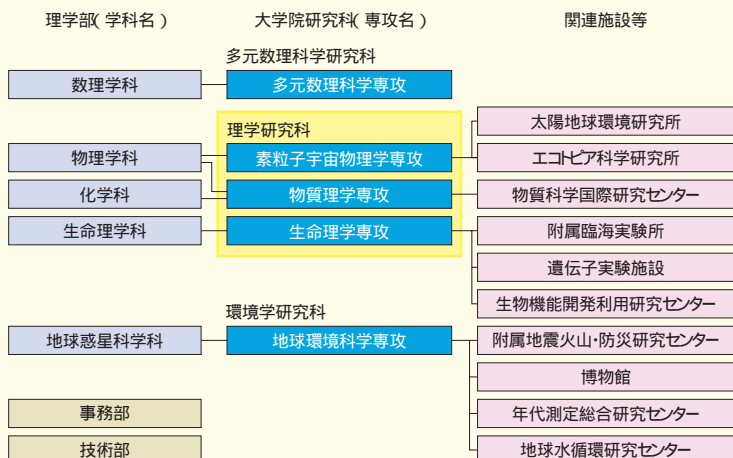
開催日：2005年8月20日(土)~8月22日(月)  
 開催場所：名古屋大学IB電子情報館(20日)  
 名古屋市科学館サイエンスホール(21日)名古屋市科学館  
 名古屋大学シンポジウム(22日)  
 主催：名古屋大学大学院理学研究科・名古屋市科学館  
 問い合わせ：大西利和 名古屋大学大学院理学研究科 助教授  
 onishi@a.phys.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-2839

## 代数幾何学国際研究集会 Moduli and Compactifications

開催日：2005年9月28日(水)~30日(金)  
 開催場所：名古屋大学理学部1号館  
 主催：Moduli and Compactifications 組織委員会  
 問い合わせ：金銅誠之 名古屋大学大学院多元数理科学研究科 教授  
 kondo@math.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-2815

# 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

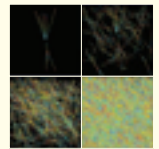
「物質の究極はなんだろうか」。古代ギリシャ時代を含めて、太古から人間の心をとらえて放さないテーマである。20世紀の多くの発見を経た素粒子物理学の到達点を、三田一郎先生がていねいに解説してくれた。なかでも心を揺さぶった一節は、理論家である三田先生が、自ら実験施設に乗り込み、B中間子をつかった実験計画の大切さを説いたこと。迫力あるお話であった。理論は理論、実験は実験という枠にはまらない発想と頑張り、日本のBファクトリー計画の成功につながったのである。我が身に置き換えて、参考にさせていただきたいものである。(福井)



10年前、神戸大学赴任中に兵庫県南部地震に出あった私には、地震とは「とてつもなく恐ろしいもの」である。三宮-西宮間のJR運転再開と同時に名古屋大学へ転任した私は、ちょっとした揺れにも部屋を飛び出し、太い柱に背をつけて直立していた。本学の教員は、そんな私を見て笑ったものだった。しかし、現実に東海・東南海地震が近づいている現在、皆さんも笑っていらなくなる。十分な備えをしたいものだ。(山本)

## 表紙説明

中央の図はタウニュートリノの反応によって生成されたタウレプトンの飛跡を記録した画像。背景は画像のもとになった原子核乾板に記録された粒子の飛跡。丹羽公雄教授率いる物理学教室F研グループの行ったDONUT実験から。



# 理 philosophia — No.8 April 2005

2005年4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)  
 中西知樹(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)  
 鈴村和夫(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2005年10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)

