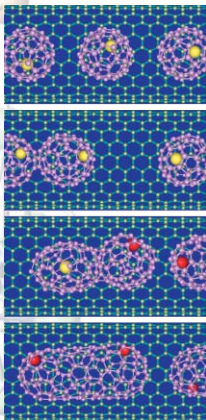
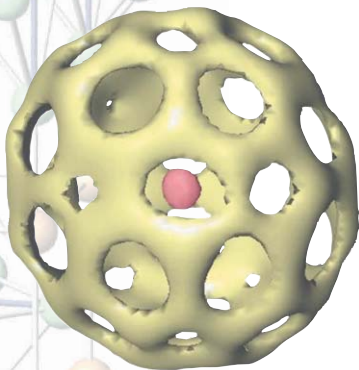
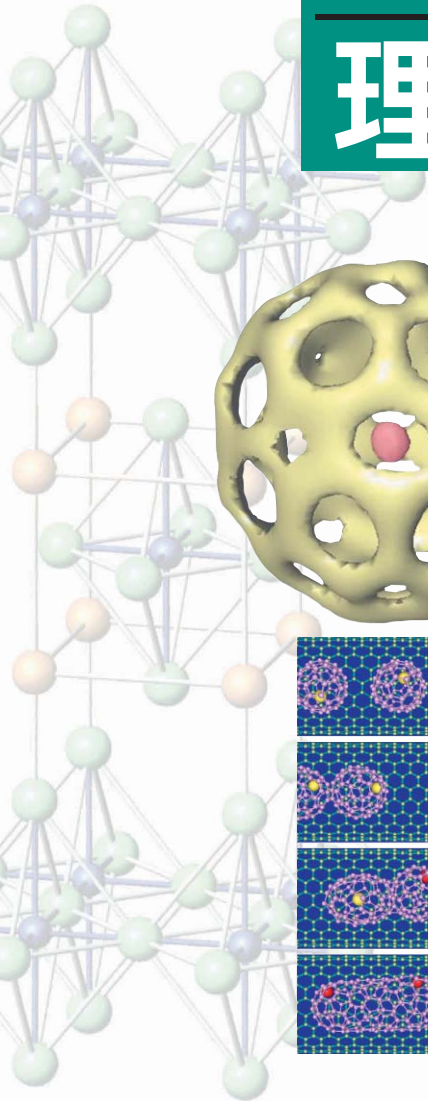


# 理

# 2

# philosophia



## 特集 新物質を創る

インタビュー 佐藤正俊

寄稿 篠原久典

時を語るもの 三田二郎

理のツセイ 福井康雄

理の先端を行く 安藤雅孝 / 佐藤 肇

講義紹介 分子生理学 / 現代物理学序論

施設紹介 遺伝子実験施設

トピックス 文化功労者

理学部交差点

4

9

2

3

14

18

22

21

20

時を語るもの

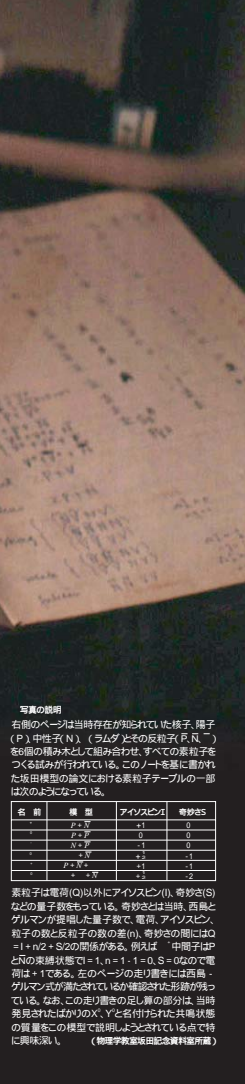
# 坂田模型誕生の瞬間

物質の究極はどのような存在なのだろうか。この人類共通の謎に挑む素粒子物理学は、物質の根源を問う物理学の一分野である。坂田昌一博士は、1956年、このノートの1ページに、素粒子のなりたちについての新しいアイデアをメモした。いわゆる坂田模型の誕生である。坂田模型では、さまざまな粒子が、陽子、中性子、そしてラムダ粒子という当時知られていた粒子と、それらの反粒子の組み合わせとして説明される。坂田模型は、素粒子物理学のその後の発展を大きく切り開いた画期的なアイデアである。なお、鉛筆の走り書きの足し算の部分(左下)は、当時発見されたばかりの2つの新粒子の質量をこの模型で説明できるか試みた跡であり、興味深い。

(素粒子宇宙物理学専攻教授 三田 一郎)

坂田昌一(1911-1970)元名古屋大学理学部教授  
恩賜賞・日本学士院賞受賞(1950)。





#### 写真の説明

右側のページは当時存在が知られていなかった粒子、陽子(P)、中性子(N)、(ラムダとその反粒子 $\bar{P}$ 、 $\bar{N}$ )を6個の積み木として組み合わせ、すべての素粒子をつくる試みが行われている。このノートを書かれた坂田模型の論文における素粒子テーブルの一部は次のようになっている。

名前	構成	アイソスピンI	奇妙さS
$\Lambda$	$P + \bar{N}$	+1	0
$\Sigma$	$P + P$	0	0
$\Sigma$	$N + P$	-1	0
$\Xi$	$\bar{P} + N$	+2	-1
$\Xi$	$P + \bar{N}$	-1	-1
$\Omega$	$\bar{P} + \bar{N}$	+2	-2

素粒子は電荷(Q)以外にアイソスピン(I)、奇妙さ(S)などの量子数をもっている。奇妙さは当時、西島とゲルマンが提唱した量子数で、電荷、アイソスピ、粒子の数と反粒子の数の差(n)。奇妙さの間には $Q = I + n/2 + S/2$ の関係がある。例えば「中間子はPと $\bar{N}$ の束縛状態 $=1$ 、 $n=1-1=0$ 、 $S=0$ なので電荷は+1である。左のページの走り書きには西島・ゲルマン式が満たされているが確認された形跡が残っている。なお、この走り書きの足し算の部分は、当時発見されたばかりのX、Yと名付けられた共舞状態の質量をこの模型で説明しようとしていた点で特に興味深い。(物理学教室坂田記念資料室所蔵)



南米チリのアタカマ砂漠よりアンデス山脈を望む

## 理のエッセイ

# アンデスの雨——福井康雄

南米のアンデス山脈の中ほどに、乾燥しきった地域がある。チリのアタカマ砂漠である。年間の降雨量は100ミリメートルにも満たない。海拔2000メートルをこえる山々は茶がっせて、草木もほとんどない。わずかにサボテンが点々とならんでいる。

1997年、ここに事件がおこった。急な豪雨である。ペルー沖にうまれた高温海域、エルニーニョの影響であった。雨に慣れないこの一帯も、あちこちに川をつくり、山に降った水を懸命に海に流し込んだ。道路もズタズタに寸断された。

豪雨からふた月がたった。復旧した道路を走る私たちは、突然、山一面が黄色に染まっていることに驚いた。近寄って見ると、名も知らぬ黄色の小花が咲き競っている。何十年前、雨の恵みを得た植物の種子が、乾燥に耐えてひたすら雨の再来を待っていたのである。さらに何週間かがたつと、一帯は薄いブルーに染まった。別の種子の開花である。やがて、小さな羽虫が飛びまわり、つられるように、

小鳥のさえずりがあたりを包んだ。砂漠地帯が、にわかにくるおいある空間に変貌した。私たちは、生命の営みの妙に心をうばわれていた……。

ここで、物語が終われば美しいのだが、現実には次の生き物を用意していた。ねずみの大量発生である。

乾燥したこの一帯には、世界各国の天文台が多い。晴天に恵まれた気候は、宇宙観測にぴったりなのである。天文台には望遠鏡があり、ケーブルが電力と観測情報を運ぶ。ねずみたちは、ケーブルをかじっては各自の歯の長さを調整する。ねずみと天文学者の戦いが展開された。

名古屋大学が96年にチリに設置した電波望遠鏡「なんてん」も、ねずみの害の例外ではなかった。「なんてん」天文台には、大学院生と教官がいつも3人くらい滞在し、マゼラン雲などの星の誕生を研究している。ねずみ退治用のわなやブザーを、電子機器のすきまに詰めこんでチリに発送する作業は、豪雨から5年たった今も続いている。

福井康雄(ふくいやすお)

素粒子宇宙物理学専攻教授。1961年、大阪府生まれ。1979年、東京大学大学院理学系研究科天文学専攻修了。専門は電波天文学。チリ共和国に電波望遠鏡「なんてん」を設置し、星の生まれるガスの雲を観測を行っている。

# 新物質を創る

新しい物質を創造することによって、  
これまでは考えられなかった物質物理学の可能性が見えてきた。  
今回は、高温超伝導体と、  
ナノテクノロジーの主役、サッカーボール分子に焦点をあて、  
名古屋大学理学部での研究成果を紹介しよう。

## インタビュー

### 超伝導が拓く物質科学の時代

### 佐藤正俊



佐藤正俊(さとう まさとし)

物質物理学専攻教授。高城島出身。1974年理学博士(東京大学大学院理学系研究科物理学専攻)。専門は、超伝導など興味ある物質の開発と物性研究。文部省科学研究費重点領域研究「高温超伝導の科学」(1992-1994)の「電子物性・超伝導機構班」および同「モト転移近傍の異常金属相」(1995-1997)の「銅酸化物の異常金属相と高温超伝導物性班」班長。また、科学技術振興事業団「戦略的基礎研究推進事業」低次元異常金属の開発、研究リーダー(1996-2001)。

#### インタビュー

平島大(ひらしま たい)  
物質物理学専攻教授。1988年理学博士(東京大学大学院理学系研究科物理学専攻)。専門は、物性理論、広報委員。

金属に電気抵抗があることは、理科の授業で習うオームの法則としてよく知られている。電気抵抗の値は、温度が下がると小さくなる。では、どんどん温度を下げたととき、最後はどのようなのだろうか。金属中の電流の担い手が電子であることがわかってきた20世紀はじめ、そんな疑問をもって極低温の世界を開拓したのがオランダの物理学者H.カマリン・オンネスである。抵抗はどこまでも下がり続けるのか、それとも電子もいつかは凍りついて電気を運べなくなるのか? 実験結果はまったく予想もしていないものだった。水銀の電気抵抗は、絶対温度\*14.2K(セ氏マイナス約270度)で突然ゼロになってしまった。1911年、超伝導現象の発見 物質科学の新しい時代の幕開けである。

その後の研究の焦点の1つは、新しい超伝導物質探索に向けられた。高い温度でも超伝導になる物質があれば、電気抵抗ゼロの夢のような金属が日常的に使えるかもしれない。しかし、多くの人々の努力にもかかわらず、高温超伝導物質はなかなか発見されなかった。ブレークスルーは、IBMチューリッヒのJ.ペドロリツとクミュラーによって

たされた。1986年、彼らはある種のセラミックス(要は焼き物である)が30Kを超える温度で超伝導になる兆候があると報告した。この発見がきっかけとなって世界中で爆発的な研究が進み、同じような構造をもつ物質の探索が行われ、わずか数年のうちに最高転移温度は135Kに達した(図1)。新しく発見された高温超伝導物質にはみな銅原子と酸素原子からなるネットワークがあることが知られている。そのため、これら一連の物質は、銅酸化物(あるいは単に、酸化物)高温超伝導体とよばれている。

酸化物高温超伝導体の発見は、応用研究だけでなく、基礎研究に深く影響を与えてきている。こうした最新の研究について、わが国の超伝導研究のリーダーの1人である佐藤正俊教授にお話をうかがった。

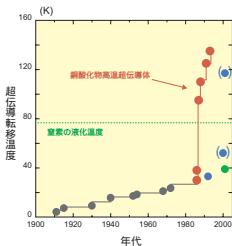


図1 1911年の超伝導発見以後の最高転移温度の歴史的变化。発見から70年たったにもかかわらず20K程度しか上昇しなかった。銅酸化物高温超伝導体(●)の発見がもたらした衝撃の大きさがわかるだろう。現在では、圧力をかければ転移温度は160K程度まで上昇することが知られている。

は、フラーレンC<sub>60</sub>を用いた超伝導体(ただし、52Kと117Kの超伝導(図中、括弧がついている)は、現在まだ広く確認されるまでは至っていない)。ほかはCaMg<sub>2</sub>Ni<sub>2</sub>(MgB<sub>2</sub>)、

## 銅酸化物高温超伝導体の科学、物質の科学

酸化物高温超伝導体が発見された1986年前後の世界の超伝導研究はどのような状況だったのでしょうか？

佐藤 より高い転移温度で超伝導になる物質を探す努力は続けられていたのですが、思うように転移温度が上がらず、悲観的なムードもあったと思います。それまで知られていた機構では、転移温度は40K程度までしか上がらないので、いかにどう意見もあつた。しかし、日本では高い転移温度をめざすことだけにとらわれない研究が盛んに行われ、多方面から長期的に、根本的問題が取り扱われていました。残念ながら銅酸化物の発見こそ逃しましたが、その当時の日本の研究方向は間違っていなかったし、その土壌があつたおかげで高温超伝導発見以降、日本から重要な成果を出すことができたと思います。

超伝導現象の本質的な部分は1957年のBCS理論によって説明されたというのですが、その後も日本で超伝導研究が続けられた理由は何だったのでしょうか？

佐藤 確かに、BCS理論の出現は、超伝導の基本を明らかにしたという意味で、大きな進歩でした。しかし、超伝導の機構はそれだけなのかなは、よくわかっていませんでした。また、電子同士の電気的な反発力の影響も、理論的にはよく解明されていませんでした。こうした問題は、物質のふるまいの本質にかかわることだという考え方が日本では強く、その後の超伝導の深い理解につながったと思います。

\*1 絶対温度  
セツ氏マイナス273.15度を、絶対温度0K(ケルビンとよむ)とする。セツ氏0度は、273.15K。絶対温度から273.15を引けば、セツ氏温度が求められる。室温の液化温度は、約77K=セツ氏マイナス約196度。「高温」超伝導といつても、日常感覚からはまだまだ低温である。

### <超伝導の応用>

身近な応用としては、医療用MRI(magnetic resonance imaging 磁気共鳴画像)に用いられる超伝導磁石があげられる。これは、年間数百億円の世界といわれる。また、素粒子実験や核融合実験においても広く用いられている。さらに、リニアモーターカーにおいても、超伝導磁石が使われる。しかし、酸化物高温超伝導体以前の超伝導体は、すべて高価な液体ヘリウム(1リットル当たり約1000円)で冷やさなければ使えなくなると、使い勝手が悪かった。現在、酸化物高温超伝導体の実用化がはじまりつつある。

### <BCS理論>

超伝導の謎は、発見から50年近く経て、1957年にアメリカの3人の物理学者J.バーディーン、レコーバー、J.シュリーファーによって解かれた。この理論は3人の名前の頭文字からBCS理論とよばれる。従来の超伝導はこの理論によって説明される。BCS理論の骨子はクーバー対とよばれる電子対形成にある。通常の金属では電子はバラバラに運動しているが、超伝導状態では2個の電子が対をついて運動する。これがクーバー対である。では、そもそも同じ電荷をもって互いに反発しあうはずの電子が対をつくるのはなぜだろうか。金属中では、電子は原子がつくる格子の中を飛びまわっている。BCS理論では、この格子の振動が仲立ちをして、2つの電子の間引力を生じさせると考える。BCS理論の基礎にあるのは、20世紀になってからつくりあげられた、量子力学というミクロの世界を記述する新しい理論と、この理論に基づく固体中の電子対である。



自身で作成した銅酸化物高温超伝導体の巨大単結晶(桌上的黒いかたまり)を前に語る佐藤教授。

したいという空気が日本では強く、その後の超伝導、そして物質のふるまいについての深い理解につながったと思います。

酸化物高温超伝導が発見された直後の盛り上がりは大変なものだったそうですね。

佐藤 1988年にスイスで行われた国際会議に行く途中で列車に同席したアメリカのある研究者が、「本当に忙しいというのはどういうことか、そのとき知った」といっていたのを思い出しますが、まったく同感でした。研究者としてはとても幸せでした。

それだけの盛り上がりの理由はやはり転移温度が高い、ということだったのでしょうか？

佐藤 当初に研究に加わってきた人の多くにとって、やはり「高温」というのが魅力だったのでしょう。転移温度が77Kを超えると、液体ヘリウムではなくてもっと安い液体窒素で冷やせばよいので、応用上のメリットが大きいですからね。でも、はじめから物理学のとても基本的な問題が見つかったと思っていた人も多かったと思います。新たな超伝導物質探しにしても、単に2目目のドジョウをねらうだけでなく、何が本質かを見極めることに興味をもった人も多かったのではないのでしょうか。銅酸化物の性質をいろいろ調べていくうち、転移温度より高い温度でも、われわれのよく知っているふつうの金属とは様子が違うことがわかってきました。こうして、この超伝導の問題は、何か本質的に新しい問題なのではないかと考える人がさらに増えてきました。

われわれの知っている金属と、うのはたとえば銅とか金とかのことですか？

佐藤 そうです。ふつう固体中の電子のふるまいはバンド理論<sup>\*2</sup>といわれる理論でよく表されます。バンド理論では、電子が固体の中で「波」として運動していると考えます。バンド理論によって多くの物質がなぜ導体(金属)なのか、あるいは絶縁体なのか理解できます。半導体などはバンド理論でよく説明されます。ところが、酸化物高温超伝導体はどれもバンド理論では到底説明できず、電子は「波」というより「粒子」としての性質を強く示します。

量子力学では波と粒子の二重性<sup>\*3</sup>ということがよくわかりますが、ここでもその問題が顔をだすのですね。

佐藤 電子が波だとすると結晶中全体に広がるのですが、高温超伝導体中では電子は原子位置に1つずつ居座って、お互い反発しあって身動きがとれないような状態

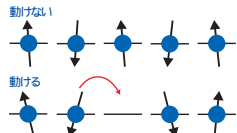


図2 電子が互いに反発しあって動けないモット絶縁体状態の模式図(上)。矢印は、電子磁石(スピン)の向きをあらわす。そこから電子をとりだして、すきま(=孔、もしくは正孔)をつくると、そのすきまを使って電子が動き出せるようになり、金属状態になる(下)。このとき、電子磁石の向きもばらばらになっていく。

態になっています(図2)。このような状態はモット絶縁体といわれています。電子はそれ自身小さな磁石のようなものですから、このとき全体としてもある特別な磁気的な性質をもちます(反強磁性状態<sup>\*4</sup>)。このま

\*2 バンド理論

真空中では、電子はどのような運動エネルギーの値もあることができるが、原子が規則的に並んだ固体中では、ある特定の範囲のエネルギー値しかとることができず、この特定のエネルギー領域のことをエネルギーバンド(帯)とよび、これに基づいて固体中の電子のふるまいを記述する理論をバンド理論とよぶ。エネルギーバンドが生じる理由は、「波」としての電子の干渉効果にある。

\*3 波と粒子の二重性

電子などミクロな世界を記述する物理学の理論は、量子力学とよばれる。電子などの量子力学に従う粒子は、あるときは「粒子(つぶがつぶ)」として、あるときは「波」としてふるまうように見える。これを波と粒子の二重性といふ。

\*4 反強磁性状態

鉄やニッケルのように磁石に引寄せられる物質、あるいは磁石自身は、強磁性体とよばれる。簡単にいうと、これらの物質中では磁石としての電子がみな同じ向きにそろっている。反強磁性状態では、電子磁石が交互に逆方向を向いてそろっている。

までは電気は流れないのですが、ここから少し電子をとりさるとすきま（=孔、もしくは正孔）ができて、それがなんとか動くことができる。すると、電流を運べる、すなわち、金属になる、さらに超伝導を示してしまおうわけです。

ゼロ抵抗で電流が流れる超伝導現象が、逆に電流をまったく流さない絶縁体のすぐ近くで見つかったということですね。

佐藤 その絶縁体が、バンド理論では記述できないものだったというところが大事だと思います。ちょっと極端な言い方をすると、電子の小さな磁石の海の中を孔が動き回るというような、それまでだれも考えたことのないような舞台で、常識を超えた高い転移温度がでてきたわけです。バンド理論の枠組に収まらない、まったく新しい枠組が求められたのです。酸化物高温超伝導体の発見が、物質科学の将来に決定的な影響を与えたといつてよいと思います。

発見から15年以上たって酸化物高温超伝導体の問題はどの程度解決されたのですか？ その新しい枠組みというもののはつくられたといつてよいのですか？

佐藤 ふつうの超伝導体と同じようにクーバー対がつくられていることは、すでに確かめられました。その意味ではBCS理論の枠内です。ですが、クーバー対をつくる際の仲立ちとなるのが格子振動ではなく、磁気的な相互作用を仲立ちとしていることがわかってきました。その磁気的な相互作用がとても強いことが高い転移温度の理由

になっていること、クーバー対のかたむき対称性がふつうの超伝導体のものとは違っていることなどについては、多くの人の意見が一致しています。はじめのころはまさに百家争鳴の状態、意見の違いばかりが強調されていましたが、最近はそれぞれの共通点もはっきり、理論的基盤も見えはじめました。ただ、新しい枠組みがつくれたと言い切るのにはまだ早いのではないかと思います。要は、電子同士の相互作用をきちんと扱いなさい、ということなのです。しかし、言うのはやさしいですが、これをきちんと扱うのはなかなかたいへんなことです。

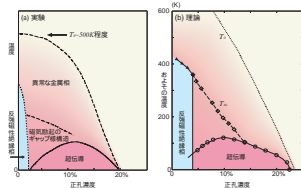
佐藤先生をはじめとする名古屋大学理学研究科の人たちほどのような研究をしてくれましたか？

佐藤 私自身は、タリウムの2201系とよばれる新超伝導物質をはじめて発見したこともあります。基本的には新物質の開発より、超伝導発現機構の研究に重点をおいてきました。名大グループ全体としてもそうです。電気抵抗などのマクロな性質を調べるだけではなく、中性子散乱や光の散乱といった手法を使ってミクロな性質も調べ、酸化物高温超伝導体の全体像を確立することを目指してきました。とくに、酸化物高温超伝導体の本質を表すと考えられる相図を提案しました（図3a）。もちろん、これは他の人たちの研究成果も参考にして描いたものですが、温度を下げてい

### <中性子散乱>

中性子を物質にあてて、中性子が散乱される様子から物質の性質を調べる手法。中性子自体も小さな磁石と考えることができるので、固体中の原子（磁気モーメント）の配列や運動を探る手段としてたいへん有効である。熱中性子とよばれるエネルギーの低いものを使うので、危険性も少ない。物質科学研究にはなくてはならない研究手段である。現在では、生体情報の研究にも用いられている。国内では、茨城県東海村の原子力研究所において中性子散乱実験が行われている。

図3 (a)実験で得られた銅酸化物の相図。縦軸は温度、横軸は正孔濃度。横軸の一番左側、正孔（=すきま）がまったくなくときには、図2(上)に示したような反強磁性のモット絶縁体状態になっている。図2(下)のように、電子を少しとりさって正孔を少し入れれば、すきまをつくる超伝導が現れる。転移温度はかまから、バンド理論では説明できない異常な性質が見られる。とくに、転移温度より高温でもエネルギーギャップが生じ始めている。(b)理論による相図(物質理学専攻 黒田義浩教授、松浦民房教授提供)。実験で観測される特徴をよく再現することに成功している。



\*5 エネルギーギャップ

通常の金属では、もっともエネルギーの低い状態と次にエネルギーの低い状態の間のエネルギー差はほとんどゼロである。ところが、超伝導状態ではこの差はゼロではない。つまり、2つの状態のエネルギーに「とび」（ギャップ）があり、これが超伝導状態の特徴の1つである。BCS理論では、このエネルギーギャップの大きさは、ちょうどクーバー対を壊すに必要なエネルギーに等しいとされる。

\*6 巨大磁気抵抗

ある種のマンガン酸化物は、適当に条件を整えると、わずかな磁場によってその電気抵抗の値を大きく変化させることができた。この現象を巨大磁気抵抗 (Colossal Magnetoresistance: CMR) とよび、さまざまな応用の可能性が考えられる。

ように現れてくるかについて、自分たちで積み重ねてきた成果をベースにして築いた描像が含まれています。

この図のとこに特徴があるのですか？

佐藤 超伝導の種ともいえるクーバー対が、もうすでに室温付近、あるいはそれより高温から徐々に現れて、「エネルギーギャップ」\*5 が高温から見えはじめるなど、いろいろ驚くべき性質をもたらすことがこの図にふくまれていて、興味をひきます。最近、私と同じ物質理学専攻におられる黒田教授と松浦教授のグループがこの相図を理論的にうまく説明することに成功しました。私はこれは大きな成果だと思います。少なくとも正しい理解に向かう大きな基盤を与えました (図3b)。

酸化物高温超伝導体の研究もようやく終盤に入ったところでしょうか。この15年をふりかえってみて、酸化物高温超伝導がもたらしたものは何だったのでしょうか？

佐藤 ちょうど大きな隕石が地上に突っ込んだあと、はじけて光る玉を撒き散らした、とでもたとえるとよいでしょうか。高温超伝導体にかぎらず、その周辺で新しい課題をいくつももたらしました。その多くは「相互作用する」電子系に関するものですが、それらを通して間違いなくわれわれの物質観 - 「物質とは、金属とは何なのか」という理解 - が格段に深められたと思います。また、物質の作成や測定方法も進歩しましたし、いろいろな新物質が合成されました。中には、とても奇妙な超伝導物質なども見つかります。残念ながら転移温度は低いのですが、こうした研究の中から新たな応用へ

の可能性も生じてきていると思います。巨大磁気抵抗物質\*6などがその例です。

新しい超伝導物質という、フラーレンC<sub>60</sub>の超伝導や国内で発見され新聞などでも広く報道されたMgB<sub>2</sub>の超伝導(転移温度39K)の発見が記憶に新しいところですが、酸化物高温超伝導体とのかわりはあるのですか？

佐藤 MgB<sub>2</sub>は、バンド理論で理解できるようですし、また、格子振動を仲立ちとする従来型の超伝導と考えると間違いなさそうです。その意味では銅酸化物高温超伝導体とは一線を画すべきかもしれませんが、従来型のもので40K近い転移温度が実現したことは、従来型でももう少し高い転移温度に手が届くのではないかと期待させてくれます。

最後に超伝導研究を含む物質科学研究の今後の発展の方向について、聞かせていただけますか？

佐藤 物質研究は応用に直接結びつく可能性があるのも、それが一方の研究推進力だと思います。もう一方で、応用とは直結しなくても自然に対する理解を深めてくれるような物質科学研究もあります。幸いなことに酸化物高温超伝導体は両方の要素をもっていて、新物質開発と新しい物理概念を築くことが一体となった、物質科学の新時代の幕開けをもたらしたと思います。このような新しい時代においても、長い目で見れば、自然をより深く理解したいという情熱とこだわりこそが、もっとも重要な力ではないでしょうか。



## 寄稿

# カーボン・ナノテクノロジーへの挑戦 フライレンからピートボットへ

篠原久典



篠原久典(しのは5・ひさのり)  
物質理学専攻教授。1953年埼玉県生まれ。1979年京都大学大学院理学研究科博士後期課程中退。専攻は物質科学、とくにフライレン、カーボン・ナノチューブなどのナノ炭素物質の創製と探索。ナノ炭素物質の基礎研究から実用化研究まで、幅広く研究・開発を進めている。

サッカーの祭典、日韓共催ワールドカップももうすぐ。日本は決勝トーナメントに残れるだろうか？最近ではいろいろな模様のサッカーボールが増えているが、物質科学では五角形と六角形からなるサッカーボール構造をもつナノスケールの炭素物質「フライレン」がある。フライレンの発見後、カーボン・ナノチューブが、さらにその中にフライレンをとりこんだ「ピートボット」などのナノ炭素物質が次々と発見された。これらのナノ炭素物質は、ナノサイエンス・ナノテクノロジーのトップランナーとして現在、注目を浴びている。これらの新しい炭素物質の現状と展望はどのようなものであろうか。

### C<sub>60</sub>をはじめとするフライレンの発見

1960年代後半から、天文学では正体不明の光の吸収スペクトル「拡散星間バンド\*1」がどのような分子によるものか問題となっていた。一方、電波天文学者や化学者は、マイクロ波を用いて宇宙にどのような分子や微粒子が漂っているのかを調べていた。H.クロー(サセックス大学)は拡散星間バンドには長い鎖状炭素分子が関連していると予想し、1985年にR.スモーリー(ライス大学)と共同研究をはじめた。ここから、予想もしなかったフライレンなどのナノ炭素物質の歴史がはじまることとなった。

彼らはグラファイトに強いレーザー光をあて、多くの炭素原子からなるクラスター\*2を得た。クラスター中の炭素原子数はいろいろあったが、60個の炭素原子からなるクラスター(C<sub>60</sub>)が特別に多く観測された。彼らは実験・議論を繰り返し、C<sub>60</sub>はサッカーボール構造の安定な分子であると予想した(図1)。

\*1 拡散星間バンドは、星のスペクトルに見られる幅の広い吸収した領域の吸収帯(バンド)をさす。遠い星から来る光の一部は、星間空間の原子分子などに吸収され、地球まで届かない。そのため、スペクトルの一部が欠け領域となる。

\*2 マイクロスターともよばれる。一般に、数個から100個程度までの原子または分子の集合体をさす。それ以上を超微粒子とよぶ。フライレンは炭素のクラスターである。

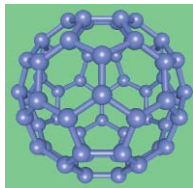


図1 C<sub>60</sub>のサッカーボール構造

\*3 多面体の頂点の数 (V)、辺の数 (E)、面の数 (F) の間には  $V + F = E + 2$  の関係がある。詳しくは本誌16ページを参照のこと。

\*4 「フラーレンの発見」に関して、R.カール、H.クロフト、スモーリーの3氏にノーベル化学賞が贈られた。サッカーボール型のC<sub>60</sub>は、1990年代後半に芳香族化合物の構造・物性の研究を行っていた大澤映二(当時北海道大学、豊橋技術科学大学名誉教授)により、非平面の芳香族分子の例として独自に予想されていた。大澤の論文は日本語で書かれていたこともあり、クロフトたちの歴史的ともいえる1985年のNatureの論文に引用されることはなかった。しかし、ノーベル賞記念講演においては、3氏とも大澤の論文を引用している。

\*5 1ナノメートル=100万分の1メートル=10オングストローム

モントリオール万国博で半球状ドームを設計した建築家バックミンスター・フラーにちなんで、サッカーボール状炭素分子に「フラーレン」と粋なよび名をつけた。実験開始からわずか2週間での大発見であった。現在では、炭素原子が集まってできる球殻状物質はC<sub>60</sub>だけではなく、C<sub>80</sub>、C<sub>90</sub>、C<sub>100</sub>など大きなものも知られている。

フラーレンと同じように炭素だけからできている物質に、黒鉛やダイヤモンドがある。これらの物質は六角形に結合した炭素原子だけからできているが、フラーレンのような球状構造を六角形だけで作ることはできない。実際にサッカーボールを見てみると、20個の六角形と12個の五角形のあることがわかる。オイラーの多面体定理<sup>\*3</sup>から、五角形が12個あれば六角形が2個以上の $n$ 個かつであっても多面体をつくれることが知られており、C<sub>60</sub>をはじめとする一連のフラーレンはこの定理を満足している。ナノスケールのサッカーボール分子がどのようにつくられていくのか、フラーレンは幾何学の点から本当に興味深い。

C<sub>60</sub>とその大量合成法の発見後、フラーレン科学は爆発的に発展し、1996年のノーベル化学賞につながった<sup>\*4</sup>。現在では、フラーレンが超伝導体、半導体、さらに強磁性体になることも知られている。また、リチウムイオン電池、燃料電池や光学素子への応用も急ピッチに進んでいる。一方、HIVウイルスの酵素反応の阻害剤など医薬・薬学への応用にも期待が寄せられている。

## 革新的材料 金属内包フラーレン

C<sub>60</sub>は直径約1ナノメートル (nm)<sup>\*5</sup>の球形の「カゴ」である。この「カゴ」の中には真空の空間がある。この空間に原子を入れることができれば、フラーレンの構造や性質はどうなるであろうか?

原子を内部に取り込んだフラーレンを「内包フラーレン」という。とくに金属原子を内

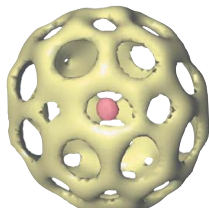


図2 X線回折によるスキャンジウム金属内包フラーレンの電子密度分布(赤色はスカンジウム原子)

包する「金属内包フラーレン」に関してさまざまな研究が進んでいる(図2)。金属内包フラーレンの中には、La<sub>2</sub>@C<sub>80</sub>、Y<sub>2</sub>@C<sub>82</sub>、Sc<sub>2</sub>@C<sub>84</sub>、Sc<sub>3</sub>@C<sub>84</sub>(@は内包を示す)などのように複数の金属原子を内包するものもある。どのように内包フラーレンができていくのかはまだ分っていない。しかし、C<sub>60</sub>より大きなC<sub>82</sub>やC<sub>84</sub>などに優先的に金属が取り込まれること、内包原子の種類や原子数により、フラーレンのカゴのかたちや大きさが変化することが知られており、内包フラーレンの形成に関係していると考えられている。

金属内包フラーレンでは、内包金属原子からフラーレンへ2、3個の電子の移動が

おきている。たとえば、 $\text{Sc}@C_{82}$ では、Sc原子から2個の電子が $C_{82}$ のカゴに移動し、電荷の分布は $\text{Sc}^{2+}@C_{82}^{2-}$ と書ける。金属を入れることにより、カゴの表面に電子を閉じ込めることができたのである。さらに、金属原子の種類や数を変えることで、カゴに移動する電子の数をコントロールすることもできる。このようにカゴ表面が電子過剰となった金属内包フラーレンは、ふつうのフラーレンには見られない電子的性質をもち、ナノスケールの電子材料として非常に注目されている。

医学への応用研究も進んでいる。磁気共鳴画像 (MRI) の造影剤もその一例である。従来の造影剤は、ガドリニウムイオン ( $\text{Gd}^{3+}$ ) がある種の分子で包まれた構造をとっており、体内の状態によって造影能が大きく変化するという問題点があった。ガドリニウム内包フラーレンを造影剤に用いると、ガドリニウムイオンを安定に保つことができることがわかり、従来の20倍もの造影能をもたせることも可能となった (図3)。このような医学への応用はさらに進んでいこう。

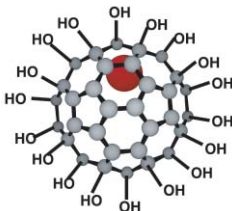
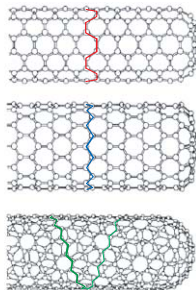


図3 MRI造影剤用の水溶性金属内包フラーレン  $\text{Gd}@C_{82}(\text{OH})_n$  ( $n=35 \sim 45$ )

## 新素材カーボン・ナノチューブ

フラーレンがナノスケールのサッカーボールであるのに対し、カーボン・ナノチューブは文字通りナノスケールのチューブである。カーボン・ナノチューブの発見も偶然であった。1991年、当時の研究者の関心はフラーレンにのみ注がれていた。このとき、だれも注意を払わなかったフラーレン生成反応の「副産物」の中から、飯島澄男<sup>\*6</sup>はカーボン・ナノチューブを発見したのである。

カーボン・ナノチューブは約 $1\text{nm}$  ( $10^{-9}\text{m}$ ) の直径をもつ超極細チューブ状分子で、長いものは $0.1\text{mm}$  ( $10^{-4}\text{m}$ ) にもなる。カーボン・ナノチューブは軽くて強い新素材であり、ディスプレイなどの電子エミッター<sup>\*7</sup>の材料、水素吸蔵材料<sup>\*8</sup>、原子間力顕微鏡<sup>\*9</sup>の探針などの応用研究が進められている。とくに、ナノエレクトロニクスへの応用は非常に注目されている。カーボン・ナノチューブ表面の炭素の六角形の配列には3種類ある (図4)。アームチェア型は金属、



アームチェア型

ジグザグ型

キラル型

図4 3種類のカーボン・ナノチューブ

\*6 日本電気基礎研究所特別主席研究員および名城大学理工学部教授(兼務)、独立行政法人産業総合研究所・新炭素系材料開発研究センター(兼務)、2002年度最優秀賞・日本学士院賞受賞。

\*7 電子銃ともいう。ディスプレイには赤、青、緑の蛍光管があり、電子エミッタから放出された電子が色蛍光管にあたることで、さまざまな色が実現できる。

\*8 水素を溜め込む材料。電気自動車などで使用される燃料電池では、水素吸蔵材料から取り出した水素と酸素との反応からエネルギーを得ている。

\*9 試料表面を探針でなぞり(走査する)と、探針と試料表面の間には、原子のレベルで働く力(原子間力)が働く。この原子間力の情報から、試料表面の様子をナノスケールでとらえる装置。走査プローブ顕微鏡 (SPM) の1種。

ジグザグ型は、サイズによって金属にも半導体にもなる。このようにカーボン・ナノチューブは純炭素物質でありながら金属のような電気伝導度をも示し、さらに構造によって電気特性を変化させるユニークな物質である。この性質を用いたナノスケールのダイオード動作も、すでに実験的に確かめられており、直径1nmの超極細線による電子回路、さらには角砂糖程度の大きさのコンピュータへと夢は広がる。

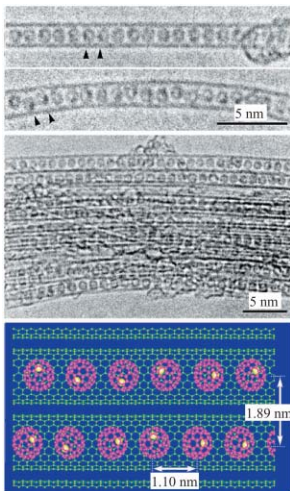


図5 ガドリニウム金属内包フラーレン(  $Gd@C_{60}$  )内包するカーボン・ナノチューブの電子顕微鏡写真(上)とそのモデル図(下)

### ビーボット(フラーレン内包の単層カーボン・ナノチューブ)による新しい展開

フラーレンとカーボン・ナノチューブは同時に生成されるにもかかわらず、これまでは別々に発展を遂げてきた。しかし、1998年にペンシルベニア大のグループによって、 $C_{60}$ がカーボン・ナノチューブに内包されているハイブリッド物質が偶然に発見された。このフラーレン内包単層カーボン・ナノチューブは、その姿から「ビーボット」(peapod=サヤエンドウ)とよばれている。

金属内包フラーレンを内包したビーボットは、2000年にわれわれと名城大学との共同研究チームによってはじめて合成された(図6)。このビーボットでは、金属内包フラーレンからナノチューブへの電子移動により、ナノチューブの電気特性を自在に変化させることができる。さらに、最近のわれわれと筑波大学の共同研究によりビーボットのエネルギーバンドが金属内包フラーレンがある部分とない部分で変化することも明らかになった。「ナノダイオード」が実現できそうである。金属内包フラーレンの電子的性質を変えることで、ビーボットのエネルギーバンドを自由にコントロールすることも可能となる。ナノハイブリッド物質ビーボットによる新しいナノテクノロジーの今後の展開が期待される。

ビーボットの中では、ふつうでは決して見られない金属内包フラーレンの集合や融合のような化学反応をおこすことができる。最近の発見である(図6)。ナノチューブの空間を用いる「ナリアクター」内で、さまざまな化学反応を効率良く起こすことができる。新規物質の合成にも、ナノチューブは大きな役割を果たすことであろう。

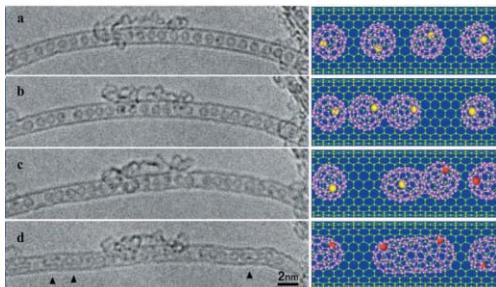


図6 カーボン・ナノチューブ内での化学反応（金属内包フラーレンの融合反応）の電子顕微鏡写真（左）とそのモデル図（右）

## 最後に

40年以上も前に、デック・ファインマンが将来、電子ビームを用いた数個の原子幅のエッチングができるようになり、それを使うとコンピュータの回路がナノスケールでできるようになる」とナノテクノロジーとナノスケールサイエンスの世界を予言した。21世紀となった今日、私たちはこの予言の実現に着実に近づいている。中でも、金属内包フラーレン、カーボン・ナノチューブ、さらにビーボットなどのナノ炭素物質は、電子・電気関連産業、情報工学、さらに医療、エネルギー、環境問題にもナノスケールの世界から大きく貢献していくであろう（図7）。

物理化学研究室ホームページ  
<http://nano.chem.nagoya-u.ac.jp/>

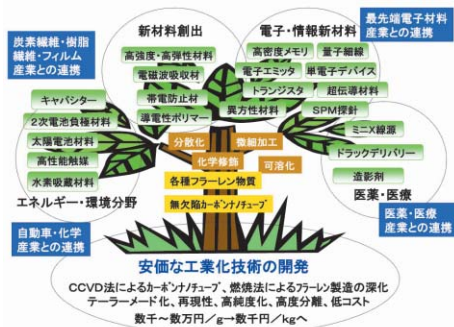


図7 フラーレンとカーボン・ナノチューブを用いたナノテクノロジーの応用分野

## 海底の動きを直接測る

安藤雅孝



安藤雅孝(あんどうまさたか)  
 附属地震火山観測研究センター教授。1943年秋田県生まれ。1974年理学博士(東京大学)。京都大学を経て、2000年より現職。専門は地震学。次の南海トラフの地震の兆しをなんとか捉え、できれば発生時間も予測したい。先のことかもしれないが、それに向け研究を一步でも近づけたい。

日本列島には、3つのプレートが押し寄せその下にもぐりこむ。西日本の太平洋側に走る南海トラフ(舟状海盆)からは、フィリピン海プレートが沈みこむ。フィリピン海プレートは誕生してから1500万年程度と若く、まだ十分に成長していない。このため、プレートは薄く重くならず、ゆるやかな角度で日本列島の下に沈みこむ。この形状が、巨大地震が陸の近くにおこる原因となり、地震の被害を大きくする。

南海トラフには、巨大な地震がほぼ100年の間隔でおこる(図1)。記録に残る最古の地震は684年におきた。「地震のために、土佐(今の高知市)に津波が押し寄せ、土地が沈み、温泉が一時枯れた」との記述が残されている。短い記述の中に、白

鳳の地震がプレートの沈みこみによる巨大地震であることが読み取れる。その後、南海トラフには、十数回巨大地震が繰り返しておきた。20世紀に入って、1944年東南海地震と1946年南海地震がおきた。これらの地震は津波と強震動を引きおこし、西日本の各地に大きな被害を与えた。そして、現在、次の巨大地震発生が心配されている。

日本列島の地殻の動きは、1200点のGPS観測点により、常時監視されている。世界でもっとも優れた精度と密度の高い観測網(GEONET)により、数mm程度の動きも見逃さない。

GEONETのおかげで、地震や火山活動、地下でのわずかな土地の変形も捉えられるようになった。しかし、この優れた観測網も海底下の様子を知るには力不足である。日本列島の主な変動は海底下で進行する。海で直接変動を観測することなしには、日本列島の動きは理解できない。

そこで、附属地震火山観測研究センターでは、海底の動きを測る新しい手法の開発を始めた。GPSと音響的な手法を併せ用いた方法である(図2)。まず、海底の動きを監視する「道しるべ」(海底局、図3)を海底に設置する。海底局を取り囲むように、何百、何千点で測定し、海底局の位置を求める。この手法は、地震の震源やGPS受信機の位置の決め方に似ている。もちろん、船の位置は正確に知らなければならない。キネマティックGPSの手法を用いて、船の位置や揺れの様子を測定中連続的に追跡する。上記のようにして求めた水平方向の位置決定精度は6cmで

ある。上下方向はその2倍程度である。今後さらに精度は向上をめざす必要がある。

沈み込む海洋プレートとそれに抵抗する陸側のプレートが接する面が将来の巨大地震の断層(図1の長方形)である。この面の接触の様子はさまざまである。ある場所はぴったりと固着、ある場所ではずるとすべるようだ。その中間型もある。このような不均質な接触の仕方は、地震へ至る過程や地震の前兆現象、地震の発生様式などを決める大きな要因である。大断層の真上で測る広域の海底地殻変動観

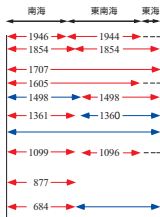


図1 南海トラフに発生した巨大地震の時期と位置  
赤実線は発生時期が古文書から読み取れるもので信頼性が高い。青実線は、いまだ意見が一致していない。ぬいし液状化などの現象から推定された地震で、発生時期・位置ともかなり幅があるものである。ここでは、幸川(1992)が推定した液状化発生時期の中央値を発生時期とした。地図上の長方形は、将来おきる巨大地震の推定断層の位置(断層はゆるく陸に向かって傾斜している)を示す。

測(図4)は、多くの謎を解き明かしてくれるはずである。

将来は、海底ケーブルにより海底局へ電気を供給し信号を取り出す必要もある。海上局をブイで浮かべ、海底で測定した記録を人工衛星に連続的に送ることも可能である。また、複数の海底局を設置し、海底間の距離の変化を精密に測定できるだろう。海での新しい測定方法が、日本列島や周辺で進む変動を明らかにする鍵となるはずである。これからは楽しみである。

附属地震火山観測研究センターホームページ

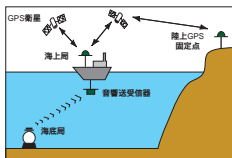


図2 海底地殻変動測定システム  
船の位置や揺れは、キネマティックGPS\*の手法を用いて決める。位置の決められた船から、超音波を発信する。海底局は船からの信号を受信すると、信号を船に送り返す。この間にかかった時間から船と海底局の間の距離を決める。このように測定を海底局のまわりで数多く行い、海底局の位置を決める。



図3 船上での海底局(赤色)投入前の点検作業

\* キネマティックGPS

移動局(この場合は船)の位置を基準局(この場合は陸上の固定点)に対して精度良く決める技術。複数のGPS衛星から送られてくる電波波の位相を連続的に追跡して、移動局の位置を決める方法。この方法を用いると、数センチ程度の精度で相対位置が決まることと可能で、高精度な移動局の位置を必要とする分野で利用されている。基準局の受信データを断層で移動局に送り、両者のデータの電波位相相から相対位置を算出するリアルタイム方式もある。

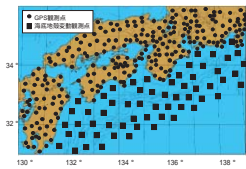


図4 海底地殻変動観測のための海底局の設置位置案  
名大では、駿河湾、伊豆半島沖、東海沖、紀伊半島四国沖の順序で展開する予定である。最終的には、他機関や大学と調整して、機器や手法の開発と観測を行うことになる。

美しき多面体の世界、  
不思議な多様体の世界

佐藤  
肇



佐藤 肇(さとら-はじめ)  
多元数理科学研究科教授。1944年生まれ、東北大助教授などを経  
て1995年より現職。専門は位相幾何学、微分幾何学。



私たちが、たとえばダイヤモンドを見て美しいと感じるのは、どういった心の働きがおこっているのだろうか。

私は本物のダイヤモンドなどじっくり見たことはないが、プラハのガラス製品の安物の土産物屋で、正8面体のかたちのキーホルダーが、照明を受けて輝いているのに、心をうばわれて、この世のものとは思えないような気がしたことがある。

審美眼の貧弱さの問題はともかくとして、一般に私たちが目の前にあるものを美しいと感じる要素の1つに、繰り返し、または対称性といったものがあると思う。まったく雑然と生えている木々よりは、ある一定の規則で並んでいる植木のほうが、見る人の心にリズム感とダイナミズムを生み出し、美しさを感じさせる。

面がすべて同じ正多角形で、凸な図形を正多面体という。正多面体では、すべての頂点のまわりは同じかたちになる。このようなものは、正4面体、正6面体=立方体、正8面体、正12面体、正20面体の5種類しかないことは、紀元前4世紀ごろのピタゴラス学派の学者によって示された。プラトンはこの世界の物質は、空気、水、火、土からなるという「4元素説」を継承し、宇宙を加えた5つと、正多面体のそれぞれを対応させた。

正多面体は5種類しかないということは、18世紀の数学者オイラーがみつけた定理を使うとより簡単に証明できる。

正多面体の条件から、面は正多角形ではあるが、2種類以上のものがあらわれてもよいとしたものを準正多面体という。このようなものの分類は、2000年近くたった16世紀末の天文学者J.ケプラーによって



はじめてなされた。準正多面体はいずれも美しいかたちをしており、正多角形に厚みをつけたようなものを除くと13種類しかない。いずれも、正多面体の頂点の部分を同じように切り落とすことによってつくることができる。

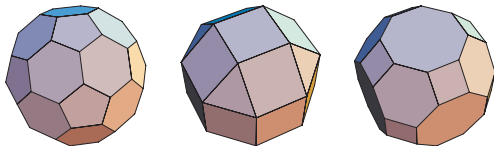
幾何学で調べられた図形が、また何百年もたってから炭素原子のかたちとしてみつかったのが、 $C_{60}$ である。数学は理論的な推論から、みつかっていない物質、またはかな未来を予測する。

私たちの暮らしている地球は、近くだけを見るとxy平面と同じように思えるが、大域的には、球面のかたちをしている。同じように私たちの住んでいる宇宙は、近くだけを見るとxyz空間と同じように思えるが、大

域的なかたちをだれも知らない。この地球や宇宙のような、局所的にはn次元の空間と同じ大域的な空間をn次元多様体という。

理論的にn次元多様体がどれだけあるか分類するのが20世紀の幾何学の目標の1つであった。2次元多様体は、オイラー数だけで決定されるが、それと同じように、5次元以上の多様体も分類されて、3、4次元だけに特別な現象がおこることがわかった。この事実は、私たちがなぜ3次元空間に生きていて、それ以上の高い次元の空間に存在しなかったかということと深くかかわっていると思われる。

私たちが、時間を含めての4次元にしか存在しなかった理由の、理論的解明も、そう遠い未来のことではないであろう。

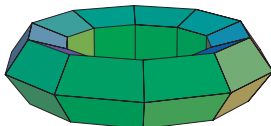


#### 準正多面体の例とオイラーの多面体定理

サッカーボールの表面は12個の正5面体、20個の正6面体からなっており、面の数は合わせて32である。また、辺の数は90、頂点の数は60であることがわかるから、 $32 - 90 + 60 = 2$ により、確かにオイラーの多面体定理が成り立っている。他の2つの準正多面体についても、 $(8+18) - 48 + 24 = 2$ と $(12+8+6) - 72 + 48 = 2$ とにより、定理が成り立っていることがわかる。

#### ドーナツ型の多面体

永遠にまわっても球面にならないものはオイラー数が異なる。この多面体は、 $5 \times 10 = 50$ の面、 $5 \times 10 + 5 \times 10 = 100$ の辺、 $5 \times 10 = 50$ の頂点を持っており、オイラー数は0になっている。



大学は研究の場であるとともに、教育の面においても大きな役割を果たしている。いま話題の講義を、他学科の学生に新鮮な視点でレポートしてもらった。



森 郁恵(もりのいさ)  
生命理学専攻助教授。1957年生まれ。  
Washington大学生物医学系大学院博士課程修了。  
Ph.D.1998年より現職。専門は、分子神経遺伝子。

【分子生理学・3年前期】  
森 郁恵 助教授

## 無意識の感覚を意識せよ

観葉植物と水の流れるオブジェのあるデスク。そんな生命力溢れた研究室で仕事に取り組んでいるのが、線虫*C.elegans*(シー・エレガンス)の温度走性の分子機構と神経制御機構について第一線の研究を行っている、森郁恵先生だ。私たちはセーターの襟がチクチクするといった感覚があっても、それをいつの間にか感じなくなっていたり、暗い部屋からふっと明るい部屋へ出たとき、まぶしく感じられたとしても、数分もすればそのまぶしさを感じなくなっていたりすることがある。何気ないことのようにだが、よく考えると不思議なことに思える。チクチクした感触を感じなくなったのは、セーターからの刺激が止まったわけではないし、まぶしさを感じなくなったのは、部屋の明かりが弱まったわけではないからである。

なぜ刺激を感じなくなるのかというと、人間のもつ感覚機構のうち「感覚順応」という働きのおかげであるという。つまり「チクチクが気にならないように」また「まぶしく感じないように」私たちの脳が、そういった感覚をコントロールしているというのだ。「たとえば、外から聞こえてくる車の音なんか、ずっと気になっていたら、講義の内容に集中できないでしょ。こんな風は何気ない日常を考えてみると、順応の仕組みがないと、人間は、生きていけないんですよ」と先生は微笑む。このようにさまざまな感覚機構のメカニズムがわかるということで、私たちの「心」の謎もわかっていくのでは、とささ感じられた。

私たちの感じる感覚というのは、外界からの「刺激」が感覚器官を通して伝達され、脳で処理されることによってはじめて捉えられるのだという。つまり私たちは感覚というものを脳で感じているのだ。先生は「この講義を通して、人間は、このような無意識的な感覚の受容と順応を絶えず行っている、ということに気づいてほしい」と熱く語る。

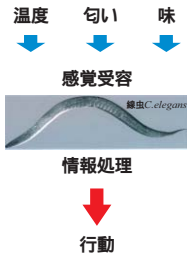
先生の研究対象は、エレガントな名前をもつ

線虫*C.elegans*(正式名*Caenorhabditis elegans*)である。体は透明、全長1mmほどの土壌自生性線虫で、なんと1個の受精卵から959個の細胞になるまでの全過程と、302個ある神経細胞が5000力所以上でつながっている様子がすべて明らかにされているという。その様子を記した本を私も見せていただいたが、正直その緻密さに感動すら覚えてしまった。

先生の講義では、生物のさまざまな感覚機構やその分子機構、そしてその感覚情報が、どのようにして神経系、私たちがいうところの脳へ伝わるかといった神経伝達機構、さらには線虫*C.elegans*と哺乳類の感覚に関する分子機構の類似性などについても触れているという。チクチクするセーターがなぜ気にならなくなるのか、ということは素朴であらながら、私にとっては新鮮で、非常に興味深い問いに感じられた。

(取材・西谷 篤 理学部数理学科3年)

E-mail m46920a@nucc.cc.nagoya-u.ac.jp  
分子神経生物学研究室ホームページ  
<http://bunshi3.bio.nagoya-u.ac.jp/bunshi0/index.html>





池内 了(いけうち りょうじ)

素粒子宇宙物理学専攻教授。1944年兵庫県生まれ。1972年京都大学大学院理学研究科修了。専攻は天体物理学で、星の進化、星間物質の構造、銀河の形成、観測的宇宙論と、研究対象もより大きなものに移ってきた。宇宙の暗黒時代から現代の天体が誕生する過程を現在の重要課題としている。

【現代物理学序論

・1年前期

池内 了教授

# 日常を科学の目で見る

「地球の上で西へ向かう飛行機と東へ向かう飛行機とを見たら、どちらもそれぞれの方向に同じスピードで飛びます。でもこの飛行機を宇宙から見たらどうですか。地球の自転で飛行機より速いから、東へ向かう飛行機はすごいスピードで前方に飛んでいきます。でも、西へ向かう飛行機は後ろ向きに進んでいるように見えるんです。ある現象も、一点からだけ見るのではなく、幅広い視点から柔軟に見てほしい。」

大学に入学したばかりの1年生に対して開かれる講義は、決して物理学のすすめだけではないのだそう。考える上でのポイントのおき方と、幅広く柔軟な視点を養うことが目的だ。

「野依教授のノーベル賞は、化学物質の右手型と左手型という話です。でもあーいう右左という問題は物理にもあるし、生物にもあるんです。いろいろな分野で共通した問題って多いんですよ。だからある現象を1つの分野の枠内だけで考えるのではなく、科学というバックグラウンドの中で他の分野とも関連づけて考えしてほしいんです」。池内先生の講義では、物理学を通して科学する者としての姿勢を学ぶことができる。

「教員は落語家の精神を持つことが大事」が池内先生の持論。「講義にはいくつか話のネタをもっていきます。その中から学生の興味をひきそうな話題を探りあげる。そして思いがけない視点から話をして学生をギョッとさせたい」。そう語る池内先生の話のネタは身近で日常的な話題ばかり。たとえば包丁にいくつも種類がある理由。「料理人じゃなくても、普通の家の台所には2、3本の包丁がある。なぜだかわかりますか。切るものによって摩擦が違うからです。牛肉と魚と野菜を思い浮かべればわかるように、切るものに含まれている水分や細胞の硬さによって、包丁の刃と切るものとの間に生じる摩擦が違ってくる。摩擦によって細胞を壊すと味が落ちるので、何を切るかという用途によって、使う包丁の刃の角度が違ってきます。経験的には野菜用や肉用など使い

分けていられるけれど、摩擦の物理としてはまだわかっていないことが多い。」

他にもプランコのごぎ方やアイスのてんぷらのつくり方、と話は多岐にわたる。しかし、どれも物理的要素が隠れているのだそうだ。

「まず入り口で落語のように学生をひきつけ、そして思いがけないところに物理があることに気づかせる。身のまわりにある物事をさまざまな科学的視点から見る癖をつけてほしい」という池内先生の講義を、一度聴講してみてもはどうだろうか。

(なお、現代物理学序論は、前半を池内先生が担当し、後半は物質物理学専攻の伊藤繁教授と和田信雄教授が担当する。)

(取材・溝口眞正 理学部生命理学科4年)

天体物理学研究室(理論)ホームページ  
<http://www.a.phys.nagoya-u.ac.jp/teaching/index-j.html>



イラスト/ 所中きよし

# 施設紹介 遺伝子実験施設

## 植物ゲノム研究における大きな成果

生物学はこの半世紀の間に劇的な発展をとげてきた。とくに近年のゲノム生物学の発展はめざましく、数年前には思いもよらなかったヒトや植物の全ゲノム情報が明らかにされた。名古屋大学においても理化学部、医学部、農学部、工学部などで、遺伝子やゲノムを基礎とする研究が活発に行われている。遺伝子実験施設は、学内共同利用施設として、1984年に創設された。遺伝子研究のための自動DNA塩基配列決定装置やDNAマイクロアレイ解析装置などの各種大型設備を備えている。本学における組換えDNA実験の安全確保に中心的な役割を果たすのもその目的の1つだ。1999年に、新たに「植物ゲノム解析分野」が設置され、既設の「遺伝子解析分野」を合わせて6名の専任教員で運営している。

### 世界ではじめて葉緑体ゲノムの全塩基配列を決定

施設の特筆すべき研究成果は、1986年に世界で最初にタバコの葉緑体ゲノムの全構造を決定したことである。写真はそのときの記念がきで、施設見学者の方にプレゼントしている。その後、イネ、クロマツ、クロレラ、マツバラン、ヒメリガネグケの葉緑体ゲノムの全構造をつぎつぎと決めた。また、葉緑体の進化にかかわると考えられている、光合成を行うバクテリアシアバクテリア)のゲノム解析もほぼ終了した。これらの解析結果は植物ゲノム研究における大きな成果である。

植物ゲノム研究の中核として本施設では、全国の植物ゲノム研究の中核拠点としての業務や学内外の研究グループの受け入れと支援を行っている。とくに、国際的に高水準のプロジェクト研究をめざし、植物固有の現象、たとえば光合成や光周性などを念頭においたゲノム研究を、理学研究科生命理学専攻の大学院生と力を合わせて活発に行っている。植物ゲノムの研究は、新しい農作物をつくり、地球環境の保全にもつながる夢のある研究である。

### ゲノムは生物の設計図

「ゲノムって何?」とよく聞かれる。ゲノムとは、生物がもっている全遺伝子セット、すなわち生物をかたちづくり、生命活動を支える設計図みたいなものだ。名大祭(6月)や名大見学会(8月)で施設を公開している。見学だけでなく、中高校生を対象にDNAを扱った簡単な体験学習を計画している。ただし、研究、教育、啓蒙活動をする上で本施設が手狭になってきたのが一番の悩みだ。ゲノムや遺伝子についての疑問や質問など大歓迎である。専任教員に電話や電子メールなどで気軽に問い合わせしてほしい。

(遺伝子実験施設教授 杉田 謙)

遺伝子実験施設ホームページ  
<http://www.gene.nagoya-u.ac.jp/about.html>



葉緑体ゲノム全構造決定の記念がき



自動DNA塩基配列決定装置



植物培養室

## 理学部卒業生の岸、小林、益川の3博士が文化功労者に

平成13年度の文化功労者に本理学部卒業生の岸義人博士、小林誠博士、益川敏英博士の3氏が選ばれた。

岸博士は昭和12年生まれ、名古屋大学理学部を卒業後、名古屋大学助教授などを経て、現在ハーバード大学教授。専門は有機合成化学。天然に存在するさまざまな化合物を自在に実験室でつくり出すことは人類の夢であり、新しい薬品の開発などを通して、われわれの生活にあたる影響もはかりしれない。岸博士は、フグ毒の成分であるテトロドトキシン、制がん作用のある抗生物質マイトマイシンなどの合成につぎつぎに成功したが、中でもイワシナギンチャクとよばれるサンゴの仲間のもつ猛毒物質バリトキシンの全合成の成功(1994年)は、天然有機化合物合成の金字塔とされている。バリトキシンはきわめて巨大な分子であり、その構造は1981年から82年にかけて、本研研究上村博士と岸博士らの共同研究によって解明された。しかし、同じような構造をもつ化合物(立体異性体)が無数に存在するため、その人工合成は不可能ではないかとも思われていた。岸博士はさまざまな合成手法を開発しながら、10年以上の歳月をかけてついに全合成に成功した。ちなみに、岸博士は、中西善爾博士(平成11年度文化功労者)、野依良治博士(2001年ノーベル化学賞)とともに故平田義正名古屋大学名誉教授の薫陶を受けている。

小林博士は昭和19年生まれ、名古屋大学理学部卒業後、京都大学助手などを経て現在高エネルギー加速器研究機構教授。益川博士は昭和15年生まれ、名古屋大学理学部卒業後、京都大学助手などを経て現在京都大学基礎物理学研究所所長。お二人とも専門は素粒子物理学、名古屋大学素粒子理論研究室の先輩後輩の間柄である。物質

を構成する粒子には必ずそれと対をなす「反粒子」とよばれる、もとの粒子とは逆の特性をもつ粒子が存在する。たとえば電子と対をなす反粒子は陽電子とよばれている。電子がマイナスの電荷をもっているのに対して陽電子はプラスの電荷をもっている(陽電子は現在医療に用いられることが劇)。はるか昔「ビッグバン」とよばれる宇宙創生のとき「粒子」と「反粒子」は回数つくり出されたはずである。ところが現在われわれの世界は「粒子」のみからなっている。一体「反粒子」はどこへ行ってしまったのか? この問題は「CP対称性の破れ」の問題とよばれている。小林、益川両博士は共同でこの問題を解く鍵を見つけた。物質の最小構成要素はクォークとよばれる粒子であるが、1970年ごろには4種類のクォークがあることが知られていた。小林、益川博士は、クォークが6種類(以上)あればCP対称性の破れが説明できることを示した(小林・益川模型)。その後の実験によって実際に6種類のクォークがあることが確かめられ、また、三田博士(現名古屋大学理学研究科)の提案による新しい実験によってCP対称性の破れがはっきりと確かめられ(2001年)、小林・益川模型の正しさと意義はゆるぎないものとなった。

(平島 大)



ハーバード大学での岸博士。1982年にバリトキシンの立体構造が解明されたころ、学生からおくれたバースデーケーキには、バリトキシンの構造式が描かれている

小林氏



益川氏

大学院時代の小林博士と益川博士。そのほかにも大貫義郎名誉教授(前列一番左)、沢田昭二名誉教授(前列左から3人目)の顔も見える

## 同窓生から

理学部卒業生に期待される地域社会での活躍

多治見市長 / 西寺雅也(にしでら まさや)

現在は岐阜県多治見市の市長をつとめ、この4月で8年目になります。みなさんぜひ多治見市のHPを一度開いてみてください。そして、みなさんのまちのHPも。多分HPの内容が違うことにお気づきになると思います。多治見市のHPは案内・お知らせ型のHPとは違っています。多治見市ではHPを情報公開、情報提供のツールにしようとしていて。行政と市民の信頼関係が決して良好ではないことに頭を痛めている自治体は多く、そのため、今「説明責任」が問われています。そして、大胆に「市民参加」の市政を実現していくためには情報公開、情報提供することが前提になっています。HPもその重要な役割を担っています。

地方分権が急速に進んできた現在は、これまで中央集権的な仕組みの中で動いていた自治体にとって経験のない時代といえます。国や県に依存した行政から、自己決定、自己責任の行政へと転換していかなければなりません。それは政策形成能力がその自治体にあるかどうかで、まちが変わってしまうことでもあります。かつてのように全国一律、横並びのナショナルミニマムの時代から、各自治体が自ら政策を選んで地域をつつていく時代へ、そして市民が自治体を選んで住む時代へと変化が求められているのです。



名古屋のベッドタウンとして人口が増加してきた多治見市も、人口増加が止まったことで開発圧力が急速に失われてきました。このまま推移すれば、「団塊の世代」が極めて多い団地が市内に点在する多治見市では、その住民が10年後、20年後一斉に高齢化し、ほとんど年金生活者になってしまうという課題を抱えています。少子高齢化の影響が一挙に顕在化する事が予測されることから、多治見市では10年後、20年後の地域社会がどのように変化し、今から将来に向けて何をすべきか調査研究を始めています。未来に向けて「夢」を描くのではなく、これからの人口減少、少子高齢化に対応していくに自治体が生き延びるかを考えなければならぬ厳しい時代になってきました。20年後は、現在、自治体が抱えている事務事業の2分の1、3分の1しか行えなくなると考えて、行政を変えていこうと努力しています。

地域社会や自治体が変わりつつある現在、NPOのような活動は今後、地域を支える大切な力になっていきます。その一方で市民の活動状況を見ると退職後の男性たちの多くが社会的な活動をしていないという実態があり、せっかく優秀な能力や実績がありながら、無為にときを過ごしていると思えないケースが見受けられます。超高齢化社会を考えたとき、こうした人材をどう活用し、どう社会に貢献してもらえばいいかは地域を支えるための課題の1つです。そのとき、理学部の卒業生たちは大いに活躍いただけるものと思います。それぞれ自分の住まう地域で自ら問題意識をもって、活躍してもらえ、活動の場がなければ、自分でつくるという気概をもって、取り組んでもらえることをどの地域も望んでいます(数学科1968年3月卒業)。

多治見市ホームページ <http://www.city.tajimi.gifu.jp>

## キャンパス通信

全日本大学駅伝に理学部生が出場  
化学科4年 / 木全美帆(きたま みほ)

平成13年11月4日、第33回全日本大学駅伝対校選手権大会が熱田神宮から伊勢神宮までの8区間、106.8キロで行われた。名古屋大学は3年ぶりの出場、25校中唯一の国立大学であった。正月の箱根駅伝にも名を連ねる強豪がぞろぞろ中で、名古屋大学のタイムは5時間34分46秒、18位と大健闘。この駅伝に理学部から2名が出場した。

1区を走った内藤聖貴さんは物理学科Jx研(宇宙物理学研究室・X線グループ)に在籍している学部4年生(当時)。この大会に向け、夏ごろから距離を増やし走りこんできた。卒論などの研究に忙しくて、必ず夕方からの練習には参加し夜遅くまで練習することも多かったという。

8区でアーカーをつとめたのは嘉賀正泰さん。嘉賀さんはとでもユニークな経歴の持ち主である。本業は、愛知県立日進高校の数学の先生。全日本で走ることを目標に休職し、現在は大学院多元数理科学研究科に在籍している。嘉賀さんも練習では距離を増やし走りこみ、この区間で立命館、福岡、四日市大学に逆転し18位に入ると力となった。

この大会で東海地区は関西地区の大学に勝ち、今年度の出場枠を3つ獲得したそうである。夢に向かって走りつける二人をこれからも応援していきたい。



©朝日新聞社 嘉賀正泰さん(右)と内藤聖貴さん(中央奥)

## 事務部だより

ノーベル賞授賞式を垣間見て  
事務部総経理掛 / 後藤隆文(ごとう たかひろみ)



左から、総務部企画広報室・佐藤重明専門員、筆者(後藤)、物質科学国際研究センター・北村進人教授、野依良治教授、結子夫人、中村ゆり子秘書

スウェーデン王立科学アカデミーは、野依良治先生に2001年度のノーベル化学賞を贈ることを決定し、昨年12月10日、その授賞式がストックホルム市内のノーベルエンサートホールで行われた。

理学部に来るまでは、私にとってノーベル賞は縁遠いどころか雲の上の世界の話であったが、理学部に来てからは当時学部長でいらした野依先生が候補者であること知り、毎年10月には自分のことのようにその発表を心待ちにするようになった。

日本では、こうした授賞式は厳か且表現されるところだが、ノーベル賞では、厳肅かつ華麗といった表現が適切だと感じた。

授賞式では、カール16世グスタフ国王から賞をいただいた野依先生が大学ではこれまで拝見したことのない最高の笑みでこたえられ、正に「世界のヨリ」を知らしめる21世紀の幕開けにふさわしい歴史的瞬間だった。この瞬間を間近に拝見させていただいたことは、この上ない感激であり、こうした役割を与えていただいたことに感謝するとともに、事務官としては国際的に活躍される先生方の研究に対する理解をより深め、堅固なサポート体制づくりを推進しようと気持ちを新たにしたい。

## 【研究会・学会スケジュール】

### アメリカ電気化学会(ECS)春学会年 「フラーレンとカーボン・ナノチューブの科学」シンポジウム

開催日:2002年5月12日(日)~16日(木)  
開催場所:アメリカフィラデルフィア  
主催:アメリカ電気化学会(ECS)  
問い合わせ:藤原 久典 名古屋大学大学院理学研究科 教授  
http://www.electrochem.org/meetings/future/201/meeting.htm  
TEL:052-789-2482

### 新規素材探索研究セミナー

開催日:2002年5月20日(月)  
開催場所:赤羽ビル5F 511(名古屋市中)  
主催:新素材研究会  
問い合わせ:上村 大輔 名古屋大学大学院理学研究科 教授  
http://org.chem.nagoya-u.ac.jp/itoku-a/index.html / TEL:052-789-3654

### 文部科学省科学研究所補助金

特定領域研究(A)「未解明生物現象を司る量子化学物質 第4回シンポジウム」  
開催日:2002年5月21日(火)~22日(水)  
開催場所:千原ライフサイエンスセンター  
主催:文部科学省科学研究所補助金特定領域研究協賛班  
問い合わせ:上村 大輔 名古屋大学大学院理学研究科 教授  
http://org.chem.nagoya-u.ac.jp/itoku-a/index.html / TEL:052-789-3654

### 第2回日本蛋白質科学会年會

開催日:2002年6月13日(水)~15日(土)  
開催場所:名古屋国際会議場  
主催:日本蛋白質科学会  
問い合わせ:堀 通子 名古屋大学大学院理学研究科 教授  
http://edpex104.bcnsj.or.jp/pjs2002/ / TEL:052-789-2512

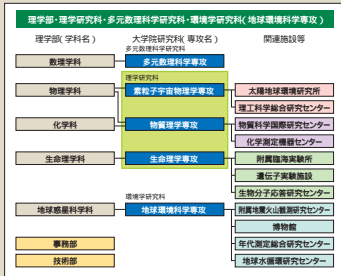
### 第8回国際天文学連合アジア・太平洋地域会議

開催日:2002年7月2日(火)~5日(金)  
開催場所:一橋記念講堂(東京)  
主催:日本天文学会天文学研究委員会、日本天文学会、国立天文台  
問い合わせ:池内 了 名古屋大学大学院理学研究科 教授  
http://www.astro.isas.ac.jp/conference/aprm2002/ / TEL:052-789-2427

### 第2回多元数理国際シンポジウム「Discrete Groups and Moduli」

開催日:2002年9月2日(月)~5日(木)  
開催場所:名古屋大学大学院多元数理科学研究科  
主催:名古屋大学大学院多元数理科学研究科  
問い合わせ:全崎 誠之 名古屋大学大学院多元数理科学研究科 教授  
http://www.math.nagoya-u.ac.jp/kondo/2002/workshop.html  
TEL:052-789-2815

## 組織図



## 理

## philosophia No.2 April 2002

2002年4月15日発行



### 表紙説明

上:銅酸化物高温超伝導体の一つである $(LaSr)CuO_4$ の結晶構造(青の丸が銅原子、緑の丸が酸素原子、オレンジの丸がランタンまたはストロチウム原子)、中心:線図によるカンザワム金属内包フラーレンの電子密度分布(本文10ページ参照)、下:カーボン・ナノチューブ内の化学反応モデル図(本文12、13ページ参照)

### 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

〒466-8602 名古屋市中千種区不老町  
TEL 052-789-2394 FAX 052-789-2800  
E-mail kouhou@sci.nagoya-u.ac.jp  
URL http://www.sci.nagoya-u.ac.jp/kouhou/index.html

制作/株式会社電通

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、ご投稿などの報告については広報委員会にお任せください。次号は2002年10月発行の予定です。

## 編集だより

理philosophiaの第2号をお届けます。今回は「新物質を創る」と題して、高温超伝導とフラーレンを特集しました。

本誌名は、学内の応募から広報委員会でご選別しました。生命理学専攻博士研究員の浜田達さんの作品です。「理」は、理学の理ですが、もともと「玉の文理、あやめ(文目)のあること」といいます。そのあやめを磨きだすことを理治と、ら(白川 静訓)のごと。そこから、物事に備わった筋道、さらには宇宙の根本、という意味を含むようになったということです。philosophiaは、ギリシャ語で「賢(sophia)を賢する(philein)」から生まれた単語であり、広く哲学を意味します。深く真理を究めんとする理学者の心意気を、感じていただけるでしょうか。

早速、読者の方々から創刊号についてのご意見を多数いただきました。ありがとうございます。大いに参考にさせていただきます。ここでは、アンケートはがきの中から、いくつかご紹介いたします。

大学での教育の「今」がテーマでとても面白いです(50代、女性)。

野依さんの記事がインパクト大です。タイムリが良かったですね。広報誌としてスマートで大変良いと思います。継続を願います(60代、男性)。

あの大学がこんなことをするなんて、びっくりした(30代、男性)。

年をとって、やや難し「感じ」があった。もっと早くからほしかった(70代、男性)。

卒業以来つながりが切れてしまった感があり、非常に寂しく思っていました。ぜひ継続して読みたいと思います(40代、女性)。

大学の学部が外の社会にアピールすることは、非常に大切。ただし、偉い先生方の自己満足の記事ばかりではすくつまらなくなるので、外部の手ぬい意見も必要では(30代、男性)。

なお、創刊号の講義紹介の講義名「地球環境セミナー」は「惑星環境学」の誤りでした。おわびして訂正します(広報委員会)。

### 広報委員

山下廣順(研究科長)  
郷 通子(評議員)  
大峯 淑(評議員)  
林 孝宏(数理学科)  
福井康雄(物理学科) 委員長  
平島 大(物理学科)  
斎藤真司(化学科)  
外本 寛(生命理学科)  
渡邊誠一(地球惑星科学科)  
水野昭一(事務長)

・本誌記事、写真等の無断転写、転載を禁じます。  
・本誌は再生紙および大豆インクを使用しています。