

理

6

philosophia

特集「数学者の楽しみ、数学の未来。」

座談会 宇澤 達 / 藤原 宏 / 伊藤由佳理 / 菊川芳夫 / 大峯 巖

時を語るもの 一宮 彪彦

理のエッセイ 藤井直之

理の先端をいく 阿波賀邦夫 / 中西 彊

講義探検 生理学 / 電磁気学

施設紹介 年代測定総合研究センター

理学部交差点

2

3

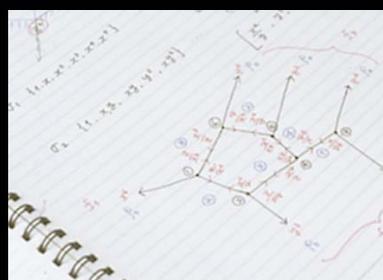
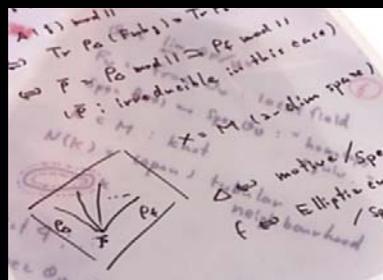
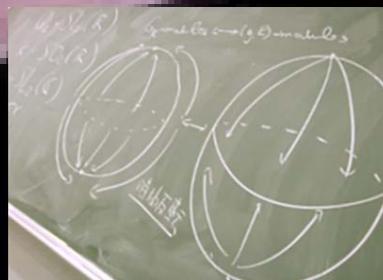
18

14

16

10

4



時を語るもの

上田良二博士

電子回折研究の記念碑





うえ だりょうじ
上田良二 (1911-1997) 元名古屋大学理学部・工学部教授

エピタキシャル成長法は、半導体製造プロセスをはじめとする、現代の先端技術の1つである。現在では電子回折や電子顕微鏡などによる「その場観察」が盛んに用いられているが、上田良二博士は世界に先駆けて、真空蒸着装置を備えた反射電子回折装置を作製し、エピタキシャル成長の「その場観察」を行った。その回折図形の詳細な解析により、初めて、蒸着膜が連続膜にはならず、サブミクロンの結晶として飛び飛びに成長する、いわゆる島状成長となることを明らかにした。戦争中に行われたこの研究は、戦後、世界的に大きな反響をよび、わが国の電子回折研究のレベルの高さを改めて世界に認識させた。上田博士は、オリジナルな研究にはオリジナルな装置が必要であり、大学の工作室こそが、それを実現するために必要不可欠であるとして、名古屋大学理学部や工学部応用物理学教室の工作室の充実に努められた。上田博士の電子回折に関する研究は、わが国における電子回折法および電子顕微鏡法に関して世界をリードする多くの研究を開花させた出発点として位置づけられる。

(名古屋大学名誉教授 一宮彰彦)

エピタキシャル成長：ある結晶が、下地となる他の結晶表面で、規則的な原子配列の影響を受けて、堆積して成長する現象。



理のエッセイ

地球内部を「照らし」て見る — 藤井直之

かつて「地学」では「まず、自然を見る目を育てる」というキャッチフレーズのもと、ありのままの自然を注視・観察し、それをできる限り正確に写し取る、ということをもっとも基本の、科学的な鍛錬・教育の中心に据えていた。そこには、「人の知らないことは無限にあり、そのなかで人が理解できる部分を知ることができれば十分である」という概念が基本にあった。これは、日本人の根底にある共通の思想「万物は神である」と整合的で受け入れやすい考えとなって日本の学問を支配してきたように見える。

もちろん、物事(現象)をできる限り詳しく知って記述することは、科学において必要不可欠なことである。しかし、めったに起きない現象に関しては、ありのままの自然を見ること自体が容易ではない。そのためには、常日頃から「めったに起きない現象」に関わる変化を詳細にイメージできることが先決である。とくに、自然現象を扱う地球科学では、ほとんどの研究対象が実験室スケールでは再現できない。そのため、「繰り返し再現される(経験する)ことが真実に近づく基本である」という近代科学の手法が有効には使えない。

計算機科学も実験科学も非常に限定された環境下でのシミュレーションしかできない。そのシミュレーションも、めったに起きない現象が実際に起きてみなければ、どの程度の精度で再現できていたのかが判定できないのである。

地震発生や大噴火の予知・予測に関する研究は常にこの問題に直面している。めったに発生しない巨大地震や大噴火をできる限り詳しく視るために、これまでは観測機器を設置してその発生を根気良くじっと待つという「待ちの姿勢」が基本であった。が、1つのことのみに集中していると頭が固くなるし、1人の研究者が生涯にわたってじっと「待ち続ける」には必ずと限界がある。これを避けるために、頻繁に起きるやや小さな類似の現象に多くの研究努力が払われることになる。そして、受動的な観測から能動的な観測へという流れが必然的に生まれる。

我々は今、プレートが沈み込んで微小な地震を起こしている地下数十kmでのうごめきを、精密に制御された地震波や電磁波で「照らし」出すという計画を実現するために必死となっているところである。

藤井 直之(ふしい・なおき)
地震火山・防災研究センター教授。1942年生まれ。1969年に東京大学大学院博士(後期)課程中退。理学博士(東京大学)。現在の専門は固体地球惑星物理学。地球と惑星の火山活動に興味を持っているが、阪神淡路大震災後は地震発生の予知・予測の基本的問題や社会的問題で忙殺されている。



写真の説明

この装置は上田良二博士によって設計され、工作室において製作された、世界初のエピタキシャル成長「その場観察」電子回折装置である。それ以前は、蒸着後に空気中に取り出し、回折装置に導入して観察したため、酸化や空気中の元素吸着による影響を受けていた。真空蒸着装置を組み込んだことにより、疑いのない実験を可能にしたことは画期的なことであった。この装置はエピタキシャル成長の歴史の上でも、また電子回折の歴史の上でも記念碑的な装置である(名古屋大学博物館蔵)。

数学者

の楽しみ数学の未来。

数学は一般社会や生活にどう役立っているのか。
私たち人間に何をもたらすのか。
理学の中で数学の持つ意義と、そこから創造されるものは何か。
わかっているようでよくわからない数学をめぐって、
数学を探求する若き数学者たちと、
数学を使って素粒子物理を切り開く研究者に、その奥深い世界を語ってもらった。

宇澤 達 多元数理科学専攻教授
藤原 一宏 多元数理科学専攻教授
伊藤由佳理 多元数理科学専攻講師
菊川 芳夫 素粒子宇宙物理学専攻助教授
大峯 巖 理学研究科長(進行)

数学って何？

大峯 まず、数学は厳密なものなのかというところからお聞きましょう。

藤原 数学は人類が生まれて以来、付き添って発展してきたものだと思います。いわゆる四大文明が生じた頃に数学が生まれています。ヨーロッパ人はストーリーをギリシャからスタートさせたがるのでユークリッド幾何*1が数学の基本だという言い方をしますが、実際には幾何はエジプトで発達していますし、アラビア記数法*2といわれるように代数はアラブで発達しました。

宇澤 数学者の思考には、代数的な思考、つまり記号を操作して考える人と、幾何学的なイメージで考える人の2パターンあります。

幾何学的な人が絵を書いて「これが証明だ」というと、記号を操作して考える人は「それは絵だから厳密でない」という。記号を操作するタイプの人が計算で証明すると、片方は「絵がないから間違い」という。それくらい考え方は違います。

菊川 理論物理でも基本的に幾何学と代数学を使います。アインシュタインの一般相対性理論は大変、幾何学的ですし、ストリング理論*3も幾何学的です。でも代数的な面も強い。数学が厳密なものであるかどうかについては、物理学は自然に基づいているので制約が多いのですが、数学は人間っぽくて自由度が高い気がします。人間の想像力でどんどんつくっていきける。物理の世界では、道具であるはずの数学の論理を活用して、次の物理を切り開くと

いう側面もあります。

藤原 現代の数学はロジックが世界共通なので、基本ルールさえ学べば無人島で1人でもできる。まったく違う考え方や文化的背景をもつ人同士でも、数学という土俵の上では、共通の言葉でディスカッションすることができます。

数学者は、数学を どうとらえているか

大峯 数学で、問題が解けるときのというのは、どんな感じのものなのでしょうか。

宇澤 「わかった!」と思う瞬間は、まだ言葉にはなっていない気がします。

菊川 物理もそれに近い。理論屋の場合は数式から導いてくることもあります。別の概念との間の関係がふっと見えてくる感じがあります。

伊藤 子どもは言葉を知らないうちから自然にパズルやおもちゃで遊びます。その感覚に言葉を加えて、論文になるような気がします。考えるときにはイメージみたいなものが、まず先にあります。字が読めない子どもが、字の書いてあるパズルをつなげていくような感じでしょうか。

藤原 私は整数論^{*4}のなかでも数論幾何学^{*5}に近い分野にいますが、たぶん一般の人が想像を絶するようなことを考えてます。同じイメージを持ちゃいけないものを同じに考えると、2とか3とか5とかポツポツしかない素数全体を直線のように考えたり、普通、幾何的でないと思われているものにも、幾何のイメージをバンバンあてはめたり。宇澤 玉石には筋が走っているそうですね。それを見つけてコンと打てばパカッと割れるという。まさに「理」ですが、数学者はそういうものを探している雰囲気があります。柔らかいものにはないけれど、堅くて構造があるものはパカッと割れる。

菊川 わかった、と思うときは非常に切り口がきれいですね。

大峯 ところで、年齢の高い数学者をあま

り知らないのですが。

宇澤 ゲルファント^{*6}は「数学者は年齢とともにやり方を変えていくべきで、年を取ってきたら概念的なところ、大雑把さを生かした数学に移らなきゃいけない」と言っています。彼はいま90歳で現役です。厳密なスタイルの数学をやっている人はつぶれやすいが、ゲルファントはどこかで悟りをひらいたようです。小平先生^{*7}も書いていますが、イタリア学派^{*8}というおもしろい学派では定理の証明を聞かない。普通の人は信心が足りないから証明が必要だけど、大量に例を見ている人は証明がなくても定理がわかる、と。

菊川 ロシアの人たちはネチネチ、コツコツと細かい計算をする。その中からユニークなものが出てくるし、深く探求していくので独創性の高い仕事ができる気がします。数学では20代からすごい仕事をする人も多い。物理屋は理論なら30代前半、実験は40代を過ぎてからでしょうか。実験では、いろいろなことを体で覚えなきゃいけませんから。

伊藤 「数学は若いうち」というのは男性の基準だとも思います。男の人たちがバリバリ仕事できる30~40代の間、女性は子育てに追われて自分の時間がとれません。子どもが大学生になって急にたくさん仕事をするようになった女性数学者を何人も知っています。数学の研究だけさせてくれる環境があったら最高ですね。

大峯 数学者にとって、いちばんの醍醐味はなんですか。

伊藤 証明ができたとき。その瞬間はまだ言葉になっていなくて、論文に書いてはじめて言葉としてわかってもらうのですが、やはり「できた!」という瞬間がいちばんです。肝心の定理の証明だけではなく、いろいろな例を計算しているとき「この例でもいける、これでもいける」というときも「あの予想は正しいんだ」とい興奮を感じて楽しいですね。

大峯 実際に証明ができたかどうかかわらないときってありませんか。



宇澤 達(うざわ・とる)
多元数理科学専攻教授。1959年生まれ。エール大学数学科博士課程修了。2002年より現職。専門は表現論。実数体・ p -進数体・有限体という四則演算ができる体の上では、それぞれに代数群の表現論が構築されるが、解析・幾何・代数の手法を用いて、それら表現論の間の類似性を調べることに興味を持っている。

*1 ユークリッド幾何
ユークリッド(紀元前三世紀頃活躍)が「原論」としてまとめ上げた。当時の幾何学の集大成。高校までで習う初等幾何はこの一部である。

*2 アラビア記数法
現在一般に使われている数の表示法。1、2、3...9、0の10個の記号ですべて表示ができるという利点を持つ。0の発見はインドを起源とする大発見だといわれており、アラビアに伝わり洗練された。

*3 ストリング理論
ひも理論。自然界を構成しているさまざまな素粒子が、すべて一次元的な<ひも(ストリング)>の振動で記述できるとする理論。

*4 整数論
「数論」とも言われる。0、 ± 1 、 ± 2 ...のような整数を対象とし、その間に成り立つ関係を研究する。素朴な対象であるが、素朴すぎる故の難しさがあり、その研究には代数、解析、幾何すべての手法が使われる。

*5 数論幾何学
整数論と幾何学(特に代数幾何学)が融合した学問分野。19世紀から夢想されていたが、1950年代から60年代にかけ爆発的に進歩した。

*6 I.ゲルファント(1913 -)
20世紀最大の数学者の一人。若いときの解析学(特に関数解析や表現論)における仕事に始まり、その興味は数学を超え、科学の全分野に及ぶ。ゲルファント-ゼムナーを主催し、多数の世界的研究者を育成したことも大きな業績。

*7 小平先生(1915 - 1997)
小平邦彦はリーマン面の理論を高次元化し、1954年に日本人として初めて数学のノーベル賞といわれるフィールズ賞を受賞。

*8 イタリア学派
20世紀前半にイタリアで興った代数幾何学の学派。19世紀に発達した代数曲線論を一般化した代数曲面の理論を、その類いまれな直感力により構築した。



藤原 一宏(ふじわら・かずひろ)
多元数理科学専攻教授。1964年生まれ。東京大学大学院理学系研究科修士課程数学専攻修了。2001年より現職。専門は数論幾何。現在は数論的な多様体とそのL関数のつながりを研究している。

藤原 正直言って難しい。雑誌に投稿しても、5年10年たって多くの人目に触れないと本当に合っているのかわからない、というリスクがあります。

宇澤 そういう意味では、自分で納得しやすい証明のほうがいい。いろいろ調べて「やっぱりこれだ」というのと、スカッとした方向で二通りでできたらいいんじゃないでしょうか。

菊川 物理は結構、泥臭いやり方をします。ファインマン⁹でもそれほどスマートではなかったようで、彼は最初から一般化せず、とにかく非常に具体的に問題を設定して仮説を立てて1つ1つ計算していく。ただそのスピードがものすごい。数学もそういう泥臭いことをしているんですね。

日本の数学教育の抱える問題

大峯 数学と社会とのかかわりはどういうものでしょうか。

宇澤 社会科学に対する数学の応用は、かなり実用面ですすんできています。数学のオートマトン¹⁰の理論を用いたチョムスキー¹¹の理論は、コンピュータプログラムでコンパイル¹²を書くとき役にたっています。一方、お金や数字を扱う経済学から新しい数学がでてきたかという、ちょっとわからないですね。

大峯 数学の役に立ち方は、もっと深い部分にあるという気がします。

伊藤 いろいろな職種の人に数学がどのように役立っているかを聞いたのですが、面白かったのは文系の人が「論理的思考をもっと訓練しておくよかった」と言っていることです。論理的思考を鍛えておくと、仕事の算段を考えると、数学でいう場合分けのように、効率的にできるというのです。数学には論理的思考が強調されるところがあるのかもしれませんが、数学を専攻していたわけではない人たちが、即座に「数学の重要性」を答えてくれたこと自体、驚きでした。

大峯 飛躍がないと山の向こうにはいきませんね。その訓練をしているのが数学ではないでしょうか。そういうことを1、2年生に教えていますか。

伊藤 「数学展望」という講義で教えています。現在、1年生に線形代数¹³を幾何学的に見る話やその応用など、学部の講義ではできないような内容を紹介しています。幾何学的なイメージを持つと、もっといろんなことが考えられるようになって数学の世界もひろがるのではないのでしょうか。数学的な直感も、幾何学的なイメージがあると違ってくると思います。

藤原 日本の高校数学の教科書の内容はアジアで最低レベルかもしれません。アジアのほかの国々が日本よりできないというイメージは、まったくの誤解です。特に日本では論理的思考力がものすごく低下しました。本来、段階的に場合分けをするということは数学だけの問題ではないはずですが、これができない。できない人たちにまずそれが必要であることを納得してもらうことが必要です。今は自分で本を読んで勉強する人が非常に少なくなりました。数学というのはある程度、1人で行うのに向いている学問ですが、本を読む力が落ちてはそれも難しい。

大峯 本を読むということは、「ことば」の力を学ぶということですね。

伊藤 教科書も1人で読めなかったり、演習の解答を略解にすると途中の計算を省略しないものを要求する学生がいます。証明問題を解かせると、文章が日本語として成り立っていなかったり。高校までの教育で作文や数学の証明問題が省かれたせいでしょう。数学を考えるのはイメージだと言いましたが、言語を失うということはそれを他人に伝える手段がなくなってしまうことです。数学に限らず、これはとても危険なことだと思います。

菊川 皆さん、小中高時代は学校の教科書以外に、どの程度数学の本を読んだんですか。

*9 R.ファインマン(1918 - 1988)
米国の理論物理学者。量子電磁力学の繰り込み理論を定式化し、朝永振一郎、シュウィンガーとともにノーベル物理学賞を受賞(1965年)。経路積分量子化法、ファインマン・ダイアグラムを考案。ユニークな発想と奇抜な行動でも知られる。すぐれた講義録に「ファインマン物理学」(岩波書店)がある。

*10 オートマトン
有限個の状態をとる機械。現在の状態と入力によって次に遷移する状態が決まる。記憶があるかないかなどによって、いろいろなオートマトンが定義できる。例えば、記憶装置のない有限状態オートマトンでは、人間が使用している自然言語は記述できないことが、チョムスキーによって証明されている。

*11 N.チョムスキー(1928 -)
人間がどのようにして言語を習得するのか、言語の満足すべき記述は何か、という問いから出発して普遍文法を構想し、言語学・心理学に革命を起こした。文法にいくつかのレベルを設定して生成される言語を特徴づけた仕事は、オートマトンの理論に大きな影響を与えた。

*12 コンパイル
人間がプログラミング言語で記述したプログラムを、計算機が実行できる形式に変換するソフトウェア。

*13 線形代数
線形性をもつ線形写像・線形空間などの対象を研究する数学。大学の数学教育における重要な基礎の1つ。

藤原 中学時代から幅広く読みましたが、高校時代、図書室に専門書や数学の本が豊富にそろっていたので、好奇心を刺激されて、数学に限らずとにかく多読しましたね。いい意味での濫読ですが、幅広い知識を深く広く身につけるにはよかったです。

菊川 小学校の教科書には「考え方」という節がありました。私は小学3年生のとき、電車が橋に入ってから抜けるまでの時間を計算する考え方が全然わからなくてパニックになりました。家族にも聞きまくり、家族会議まで開いて考えました(笑) 結論を導くためのうまい考え方の筋道みたいなものを教えてもらった記憶がありますが、ああいうところは絶対に抜いてはいけません。納得させないといけません。それができない限り、次のステップへ進めません。

藤原 自然現象などさまざまなものについて簡単なモデルをつくり、それを解くということをするといふ。現実は何を説明しているかを考える訓練が日本人には根本的に欠けています。長い間、科学を輸入してきた日本人の非常に弱いところです。新しい数学を作っていくということに関して弱い。宇澤 僕自身、そういう訓練をどこで受けたか考えてみると、中学・高校の物理の授業だった気がします。電気抵抗のレポートとかで。

伊藤 私も高校の物理のレポートは、教科書の「公式」をいろんな角度から考察できて楽しかったです。とても丁寧に覚えてもらえてうれしかったのを覚えています。自分なりに「公式」を理解しようとするのを先生が暖かく見守ってくれていたんですね。

藤原 日本の大学の自然科学系でいちばん弱いのはそこです。日本の科学は概念をつくっていくところが弱い。数学の学習も問題を解くところから入るのが典型的ですが、解けないときは問題を変えちゃえばいい。やさしい問題のほうがエッセンシャルなものを含んでいます。いちばん筋が悪いのは、与えられた問題を与えられた方

法で解こうとすることです。解けない問題があったら問題を作り変えてもいいし、与えられた方法で解かなくてもいい。そうすれば数学はやさしくなるし、楽しくなる。教育の場ではたぶん最初に、いちばん難しい方法を強制されている気がします。

名古屋大学多元数理はなにをめざすか

藤原 最近、大学あるいは高校までの課程で基礎訓練が提供されているかどうかがあやしい。日本は、文系・理系に分けるという世界的にも稀で非常にわけのわからないことをしていますが、数学の基礎訓練というのは単に数学だけではない。世界的に活躍したければ英語が必要で、論文を書くにはきちんとした日本語の文章が書けなければいけません。なのに、数学だけできる人のほうが多いような間違った基礎訓練をしています。

菊川 物理もそれを実感しています。研究者は、普通の意味で国語がちゃんとできないといけません。最終的に自分が何かを主張していきたいとき必要になってくるのは、どう論理をつくって説明していくか、それがうまくできるかということです。研究者には必ず文章力、構成力が要求されます。

大峯 ところで、物理や数学には女性研究者は多いのですか。

菊川 素粒子物理は極端に少ないです。

藤原 京都で国際数学会議があったとき、物理学者でもあるウーレンバック^{*14}という女性が「数学はまだ進んでいる。物理はこういうところで女性がメインのスピーカーになったことはない」と言っていました。女性に来てもらうにはどうしたらいいのかなあ。

伊藤 女性の先生の存在も大きいですね。イタリアは学部生の過半数が女性ですが、教授陣にも女性が多いから、学生の励みになるようです。

宇澤 フランスのエコール・ノルマル・シュペリオール(高等師範学校)^{*15}は、7年くら



伊藤由佳理(しとう・ゆかり)
多元数理科学専攻講師。名古屋大学理学部数学科卒。
東京大学大学院数理科学研究科数理科学専攻博士課程修了。2003年より現職。専門は代数幾何。特異点解消やその幾何学的構造などを研究しており、物理学との関連にも興味を持っている。

*14 K.ウーレンバック(1942 -)
解析学者。幾何学での業績も多く、素粒子物理学で出てくるヤン・ミルズ方程式の数学的取り扱いが特に有名。女子学生、女性数学者のためのサマースクール(Program for Women in Mathematics)を企画、運営するなど女性研究者育成にも貢献している。

*15 エコール・ノルマル・シュペリオール
1794年創設。1985年に女子校と合併して現在の形となる。フランスの大学校の中で主に研究者、高校教員の養成を行う。ガロア、アダマールなど有名な数学者が輩出している。



菊川 芳夫(きくかわ・よしお)
素粒子宇宙物理学専攻助教授。1963年生まれ。名古屋大学大学院理学研究科修了。京都大学理学部助手を経て1999年より現職。専門は素粒子論、場の量子論。素粒子の質量の起源に興味をもち、カイラル対称性に関する研究を行っている。

*16 M.ヴェルニユ(1943 -)
表現論の幾何的、代数的、解析的な面においてすぐれた仕事を残した。エコール・ノルマル・シュペリオール出身。

*17 幾何学化
幾何学概念を共通言語として普遍化をはかっている。例えば偏微分方程式系は局所的には解けることが多い。解が全体に広がるかどうかを見るためには、局所と大域のずれが何かを考える必要がある。現代の幾何学は問題を大域的にとらえるための共通言語を提供している。

*18 言語学と生命
この2つには次のような共通点がある。人間の言語はいくつかのアルファベットの組み合わせによって強力な表現力を持つシステムを構成している。生命もやはりDNAの中にある4文字のアルファベットの組み合わせから生まれている。

*19 水
本誌第3号特集「水、その不可思議なもの」参照。

*20 グラフ理論
数学的にはグラフとは、頂点の集まりと、その頂点を結び辺を指定することによって定まる。現在ではネットワークの理論など、さまざまな数学の分野との連関が見出されつつある。

*21 F.ラムゼー(1903-1930)
パトランド・ラッセルの学生の一人。「クレタ人の予言者が『クレタ人はみんな嘘つきだ』といった」というタイプの逆理を解消するために、数学基礎論における「型(タイプ)の理論」をみ出した。例えば、グラフ理論におけるラムゼーの定理は「グラフの頂点の数が多くなるとある種の秩序が生まれる」とことを主張するものであり、ラムゼー理論と呼ばれる美しい理論の原型となっている。

い前まで定員が男女半々でした。そうした環境の中で、女子校の校長だったサミュエルという数学者が、高校の先生になることしか頭になかった学生たちを励まして、ヴェルニユ^{*16}など有名な数学者が5、6人出ました。見本があると出やすくなりますね。

伊藤 ラテン系の国も女性が多いですが、それは数学者がお金にならないから(笑)。国民全員が働いている国も女性の数学者が多い。女性が仕事を持つのが当然なので、いろんなサポートがあるからでしょう。数学に限らず、日本は企業でも女性が少ない。大峯 名大の多元数理にも、未来を明るくするアイデアが必要ですね。

藤原 大学院の教育システムを変えつつあります。名大の修士課程は、数学科出身でなくても入れることが反響を呼んでいます。基礎トレーニングをもう一度やり直せるカリキュラムになっているため、他の学科から入ってきやすい。

宇澤 他の学科から入ってきやすくなるのは、いろいろな意味で大事なことだと思います。以前ある大学で、論文が良かったので工学部出身の人をとろうとしたら周りに反対されました。数学科を卒業したから数学者というわけではない。自分の目で見て人を探らなければうまくいかないと思います。学部から数学科に入って狭い環境のなかで生き残った人だけを相手にしていると排他意識が強くなりますし、外と関係しないほうがいいと思ってしまう。そんなメンタリティをもってしまうのはよくないでしょう。

藤原 日本の大学の人材育成システムの欠陥だと思います。名古屋大学は昔から数学の人材流動性が高い。長くいる人ばかりだと解り合えずぎて説明をしなくなります。名古屋大学は論理を大切にするといい。昔のことも説明しないとわからないし、お互いの言うことも聞かないと事情がわからない。で、都合の悪いことは忘れちゃえばいい(笑)。そういう名古屋大学のいいところが世間によく伝わっていな

い気がします。

伊藤 私は名古屋大学理学部の卒業生ですが、2年生のときクラスの女子学生たちと気軽に参加した自主ゼミ合宿で、抽象的な群という概念や代数学に触れて楽しかったことを覚えています。でもそれ以上に印象深かったのは、院生が自分の研究について語ってくれたことです。翌年の自主ゼミでは、現在の研究の原点となる広中平祐先生の「特異点と結び目」に出会いました。いっしょに合宿した女性たちはその後、理学部のいろいろな学科に進み、メーカーや大学に就職したりして研究者として頑張っています。互いに女性の少ない環境で心の支えとなり、研究者としての夢を語り合い、励ましあってきました。そんな人たちと名古屋大学で出会えた私はとても幸せだと思いますし、これからの学生にもそんな環境作りのお手伝いが少しでもできたらいいなと思っています。

21世紀の数学テーマ

藤原 20世紀の数学研究のキーワードの1つは幾何学化^{*17}だったと思います。幾何学的な直感を使って調べていくというものです。

大峯 21世紀はどうなりますか。

宇澤 僕がやりたいのは言語学と生命^{*18}です。そういうところはこれからどんどん伸びていく気がします。

藤原 情報理論がもっと幾何学化すると思います。たとえば何人かの人間のいろいろな関係を今までのようにグラフとしてとらえるのではなく、幾何学的な構造としてとらえる。3人、4人の関係を3角形、4面体としてとらえるという幾何学化という処理の仕方が進む気がします。いや、すでに進みつつあります。

菊川 生命、生物という分野への物理からのアプローチもいろいろありますが、物理なりの制約がある気がします。数学者のア

ブローチには広がりがあったいい。

宇澤 大学の中でもっとオープンに自由闊達な話をしながら考えたいですね。

大峯 僕の専門の水^{*19}でも、「ゆらぎ」からはまって数学的問題は山ほどあります。でも数学者に聞いても、あるところから議論が止まってしまいます。数学的な追究を途中でやめちゃうのか、ダイナミカルな幾何学的構造の変化をグラフ理論^{*20}にする数学的手段がまだないのか。学問は今、いろいろな系があってランダムに見えるんだけど秩序がある、という方向に向かっていきますね。そういうところの数学的構造がすごく大事な気がします。

宇澤 あえて名前を出すとすればケンブリッジ大学のラムゼー^{*21}みたいな人が出るような学科にしたいと思います。ラムゼーはグラフ理論でも、星空で星の配置が変わっても星座が見つかるかとか、貯蓄の理論とかを研究している人です。学生が何人かの先生と話していると、あるところで話が止まってしまふ。先生ごとの話のギャップを自分で埋められる力がつくといいですね。

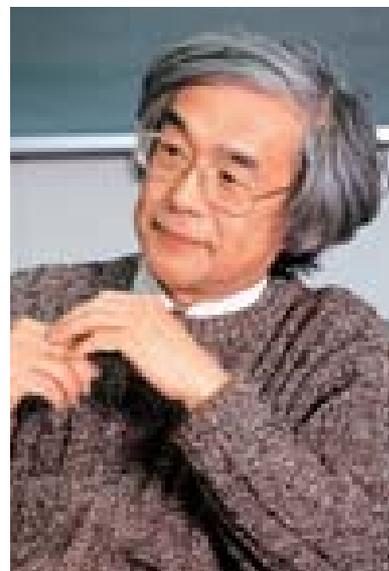
ハンガリーやイスラエルにはコンピューターがらみの離散解析^{*22}に強い人が何人かでていし冒険心にも富んでいるので、こちらへ来て新しいカリキュラムをつくってくれないかな、と思っています。

菊川 そういう新しいカリキュラムの講義やセミナーにはでてみたいですね。多元数理にはストリング理論に関する数理を専門にする人も多くて、物理とのオーバーラップもあるのですが、そういう人たちと交流があるかという点必ずしもそうでない。それに数学の他の分野で何が問題になっているかをもっと頻繁に聞きたい。もっと互いに気楽に聞き合えるようなクラスがあるといいですね。こんなに近くにいるのに、と残念な気がします。

大峯 研究者はみんな、途中で数学をやり直したほうがいいかもしれませんね。

伊藤 学科間の垣根がもっと低くなるといいですね。

大峯 「中年科学者のための数学コース」とか(笑)。楽しそうですね。今日はどうもありがとうございました。

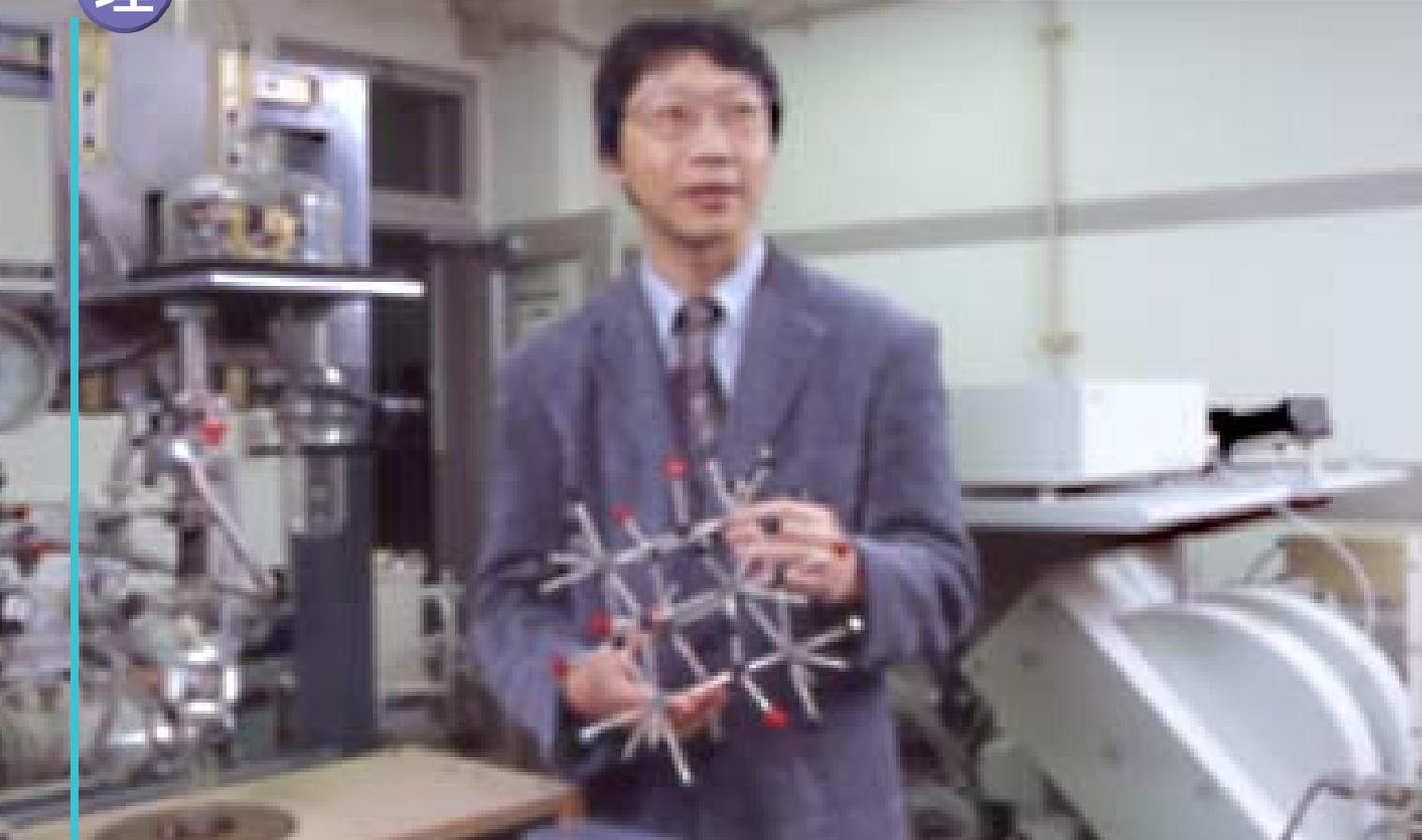


大峯 巖(おおみね・いわお)
理学研究科長・理学部長。物質理学専攻教授。1977年ハーバード大学大学院修了。Ph.D.専門は理論化学。特に液体のダイナミクス、溶液や生体内の化学反応、液体の結晶化過程などの理論研究。

*22 離散解析
微分積分が連続量を扱うのに対比して、離散解析ではとびとびの値をとるものを扱う。実際に計算機で扱えるのはとびとびの値であるので、計算機の発達とともに重要性を増してきた分野である。

多元数理科学研究科ホームページ
<http://www.math.nagoya-u.ac.jp/ja/>



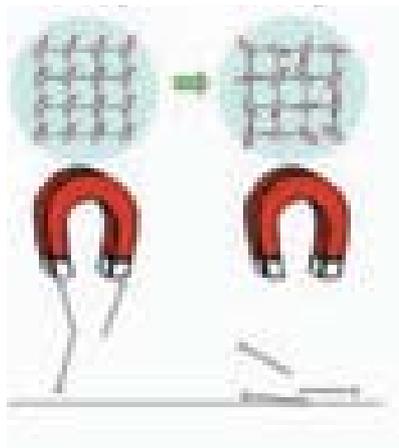


分子がつくる新しい磁石 — 阿波賀邦夫

阿波賀邦夫(あわが・くにお)
物質理学専攻教授。1959年生まれ。1988年
東京大学大学院理学系研究科単位取得退学。
同年、岡崎国立共同研究機構分子科学研究
所助手。1992年東京大学教養学部助教授を
経て、2001年より現職。専門は物性化学。特に
分子の機能開拓に関心をもつ。

図1 温度による磁性の変化
磁石内部では、各原子上の対電子がつく
る磁気モーメントがすべてそろっているため、
強い磁性を示す。しかし、キュリー温度(T_c)
以上に温度を上げると、磁気秩序は失われる。

$T < T_c$ $T > T_c$



電子はスピンする

磁石の性質は、人類が最も古くより親し
んできた物理現象の1つである。離れてい
ても互いに引き合う性質は太古より知られ
ていたし、現代の日常生活においても磁石
はいたるところで応用されている。私たちの
いただく磁石のイメージは、鉄のような固さや
重さ、必ず南北を示す不変性だろうか。こ
こでは、このようなイメージとは対極にあるよ
うな、柔らかく、溶けやすく、香りたち、燃やせばな
くなってしまふ「有機物の磁石」をつくろうと
いう分子磁性研究の発展を紹介しよう。

マクロな磁石の起源をミクロなスケールま
で探っていくと、原子の中の電子にたどり
着く。電子などの電荷を帯びた粒子が円
運動すると、運動の面とは垂直な方向に
磁気モーメント(=ミクロな磁石)が生じる。
同様に、電子が自転(スピン)したり原子核
のまわりを公転することによって、ミクロな磁
石が形成される。日常の磁石とは、これらミ

クロな磁石がすべて同一方向にそろい、マ
クロなサイズでS極とN極を生じたものであ
る(図1)。

しかし、磁石といえども、温度を上げてい
くとミクロ磁石は熱によって乱れてバラバラ
の方向を向いてしまい、磁石の性質は弱まっ
てしまう。磁石の性質が弱くなる境目の温
度は、キュリー温度(T_c)とよばれる。たとえ
ば鉄のキュリー温度は769度であり、この温度
以上では鉄といえども弱い磁性しか示さぬ。

化学結合を「つくらせない」化学

有機分子で磁石をつくろうとすると、まず
立ちあがるのが「化学結合の壁」である。
有機分子内での原子同士の結合を詳しく
見ると、2個の対になった電子が関係する。
電子はそれぞれにミクロ磁石なのだが、結
合するときにはお互いの磁気モーメントがキ
ャンセルし、磁石の性質を示さない結合をつ
くってしまう。棒磁石を2つ近づけると、それ
ぞれのS極が相手のN極とくっついて安定す

様子を思い浮かべればよい。

マクロ磁石をつくるためには、結合をつくらない孤立した電子(=不対電子^{*1})を1個の分子内につくり、しかも分子をあつめてマクロなかたまりにする段階で、隣り合う分子のミクロ磁石が打ち消し合わないようにならなければならない。不対電子をもつ有機分子は、有機ラジカルとよばれる。有機ラジカル分子の設計と配列制御を同時にこなし、化学結合をつくらせない化学を実現して、ようやく有機物磁石が作りだせるはずだ。

有機物磁石の可能性^{*2}が研究者に初めて意識されたのは1960年代だったが、それ以降多くの化学者が挑戦し、さまざまな有機ラジカルが試みられた。その中で、世界初の有機物磁石の発見に成功したのは、我々のグループである(1989年、1991年)我々が見つけたこの分子は、金属をまったく含まないp-NPNN^{*3}である。そのキュリー温度は低く、-272.5(絶対温度0.65K)という極低温であった。

p-NPNNは不対電子を1個もつ有機ラジカルである(図2)この分子構造の中で、不対電子は分子全体には分布せず、ピンク色を配した部分に局在している。結晶構造を見ると、不対電子同士が互いに避けあうように存在している様子がわかる。不対電子を局在させ、互いに遠ざけて配列させる。これが化学結合をつくらせない化学の中身である。p-NPNN以降、多くの有機物磁石(有機強磁性体)が国内を中心に発見され、徐々にではあるがそのキュリー温度も上昇している。

20年後には、キュリー温度が室温以上のものも登場するかもしれない。有機物磁石は簡単に水に溶けたりよく燃えるなど、まわりの環境の変化によく応答する画期的な磁石である。その性質を利用した、温度、光、圧力の変化を感知するマルチセンサーなど、我々の想像を越える多彩な応用が期待される。

自在にスピン系をつくる化学

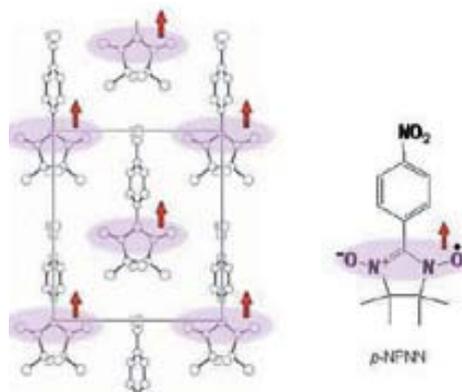
分子磁性研究の意義は、単に有機物磁石ができることを示すだけでなく、分子設

計や結晶設計によって、化学が自在に物質の磁気特性を操ることができることを示した点にある。これがブレーク・スルーとなり、堰を切ったように、次々と新しい研究トピックスが登場し、最近では、一見対極にあるようなナノサイエンスとバイオサイエンスの領域にさえ進出している。

マンガン12(Mn12)とよばれるクラスター分子は、文字通り12個のマンガン(Mn)イオンを含む直径1.5ナノメートル^{*4}程度の円盤状分子である(図3)。磁化曲線には大きなヒステリシス^{*5}が現れ、1分子が磁化された記憶を留めることを意味している。この分子を用いれば、現在のものに比べ10万倍も高密度な磁気メモリをつくることも可能である。

このように分子磁性研究は、単分子磁石、ナノ磁石、さらにはセンサーとしても注目を集め、今後さまざまな領域への展開に期待が高まる最先端分野である。

分子機能化学研究室ホームページ
<http://www.chem.nagoya-u.ac.jp/awagak/>



*1 不対電子

電子は原子や分子内で軌道を形成する。1つの軌道には、右巻きと左巻きの異なる自転(スピン)の性質をもつ2個の電子が入ることができる。このようなスピンのペアをつくらず、1個しか軌道に入っていない孤立した電子を不対電子とよぶ。不対電子をもつラジカル分子は、一般に不安定で反応性に富む。

*2 有機物磁石の可能性

1967年に、基底(エネルギーが最も低い)状態が5重項高スピンの分子(分子内で4個の不対電子が整列したもの)が伊藤公一(大阪市大)およびE.ワッサーマ(ベル研)らにより独立に発見された。これらの発見により、不対電子の整列による強磁性体(磁石)の可能性が予想された。

*3 p-NPNN

パラニトロフェニルニトロニルニトロキサイドの略。

*4 ナノメートル

1ナノメートル(nm)は0.000000001(1×10⁻⁹)メートル(m)

*5 ヒステリシス

履歴現象ともいう。物質がある状態(A)から異なる状態(B)へ変化させる場合、AからBへ行くときとBからAに行くときで、その通り道が異なる現象。図3では、磁場(横軸)の変化のさせ方により、Mn12の磁化(縦軸)の通り道(値)が異なっていることがわかる。

図2 p-NPNNの分子構造と結晶構造

図右のp-NPNN分子は、ベンゼン環にニトロ基(NO₂-)がついたニトロフェニル基(ピンク色)と上の部分とニトロニルニトロキサイド(ピンク色)と下の部分が、パラ位ベンゼン環を間にした対称的な位置で結合している。NO₂の黒丸が不対電子を表す。ニトロニルニトロキサイド部分の2つのNOが等価であるため、不対電子はそのどちらかの酸素近傍に存在する。図左のp-NPNNの結晶では、各分子のスピンの向きをそろえている。

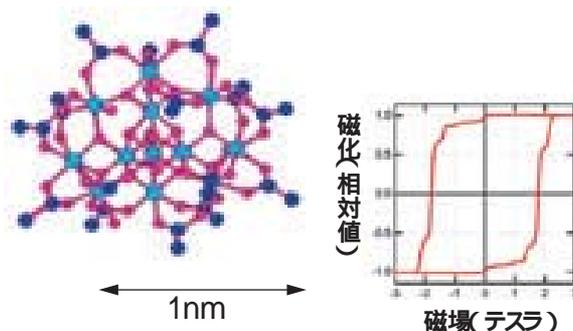


図3 マンガン12(Mn12)の構造と磁化曲線

Mn12(左)のコア部分はそれぞれ12個のMn原子と酸素原子からなり、16個の酢酸イオンがMn原子を架橋している。うすい青色がMn原子を、赤、青は酸素原子、炭素原子を表す。磁化曲線(右)の磁化(縦軸)は最大磁化を1.0とした値を示している。測定は絶対温度1.8Kで行ったもの。



200keV 偏極電子源装置の前で

新素粒子の発見に挑む 中西 彊

中西 彊（なかにし・つとむ）
素粒子宇宙物理学専攻教授。1945年、徳島市生まれ。京都大学理学部卒業、名古屋大学大学院理学研究科修了。名古屋大学理学部助手、助教授を経て1994年より現職。専門は高エネルギー加速器物理学。ヒッグス粒子や超対称性粒子の解明に興味をもち、リニアコライダー計画において偏極電子ビーム実験を実現するための研究を行っている。

物質の起源にせまる高エネルギー実験

宇宙は137億年前にビッグバンによって誕生した。ビッグバンの瞬間は途方もない高温だったはずだが、それから3分後の宇宙は約1億度まで冷え、膨張を続けた現在

の宇宙は、絶対温度3度まで冷えてきた。誕生直後の宇宙の成り立ちを理解するには、物質の素材である素粒子がビッグバン以降どのように生成され、反応してきたかを調べる必要がある。それには高エネルギーまで加速した素粒子を衝突させて反応を調べたり、未発見の基本粒子を直接つくり出してやるのが最も確実である。

現在の人類がつくることができる高エネルギーとはどの程度のもなのか。計画中の電子加速器の最高エネルギーは $0.5\text{TeV}^*1 = 5 \times 10^{11}$ 電子ボルトであり、電子と陽電子^{*}を衝突させるリニアコライダー^{*}（線形衝突加速器）で達成される見込みである（図1）。このエネルギーは温度に直すと1億度の5000万倍にあたり、ビッグバンの 1×10^{-10} 秒後までさかのぼることになる。

鍵をにぎる電子スピン

素粒子は小さくて測定は容易でない。2つの素粒子を高エネルギーで衝突させると、いろいろな反応が起きて新しい粒子が生まれる。新粒子の質量の上限値は、衝突エネルギーで決まる。ちなみに 0.5TeV は陽子の質量の500倍にあたりヒッグス粒子^{*4}や超対称性粒子^{*5}とよばれる未発見の粒子がこのあたりの質量をもつという理論的予想がある。これまでの実験によるとヒッグス粒子の質量は少なくとも陽子の100倍以上でなくてはならない。リニアコライダーによってこの値が約10倍引き上げられ、ヒッグス粒子を実験的に見つけ出し、その性質を詳しく調べられる可能性がある。ヒッグス粒子の発見は「現在の素粒子になぜ質量があるか」という根源的な問いに答える画期的な意味をもつ。

素粒子同士に働く力の性質を調べるとき、鍵となるのが「スピン」とよばれる素粒子が自転する性質である。電子は大きさ $1/2$ のスピンをもち、「右巻き」が「左巻き」の2つの状態しかとり得ない。不思議なことに、ある種の力^{*6}は左巻きの電子のみに作用し、同じ電子なのに右巻きには働かない。もし

ろえることができれば、この性質を逆に利用して素粒子間の力を詳しく調べることができる。そのためには、右巻き(左巻き)の電子だけからなるビーム=「偏極電子ビーム」をつくる必要がある。

92%の偏極電子源の開発に成功

スピンのそろった電子ビームをつくる最も有効な方法が、偏極電子源の開発である。この開発自体が多様な物理と高度な技術を含む。

偏極電子源は次の2つのメカニズムからなる(図2)。まず、右巻きレーザー光(右旋円偏光)を半導体*7)にあてると、価電子帯にある電子のうち左巻きの電子のみが選択的に伝導帯へ励起される。次に、左巻き電子が半導体表面から真空中に飛び出してくる。ただし、このように動作するには、半導体内部の伝導帯と価電子帯のポテンシャルを巧妙な凸凹型に調節し、しかもその表面から電子が飛び出しやすくするという、困難な技術的課題を解決する必要があった。これを解決できた1991年に初めて、それまで最高40%だった偏極度を世界に先駆けて一気に92%に引き上げることができた(図3)。米国のスタンフォード線形加速器研究所などの大研究所でも同様の開発はなされていたが、我々の成果はこれを大きくしのぐものであった。

私たちは現在、レーザー光のように細くて平行性の良い偏極電子源の開発にも取り組んでいる。例えば、次世代の放射光源を目指すERL計画*8)の成否は、このような電子源の実現にかかっている。そのために手づくりした200keV偏極電子源装置(12ページ写真)によって、現時点で世界最高性能のビームの実現が期待されている。偏極電子源の将来に夢を託して、若手といっしょに研究を楽しみ、理の先端に行くことになれば幸いである。

高エネルギースピ物理研究室ホームページ
<http://spin.phys.nagoya-u.ac.jp/>

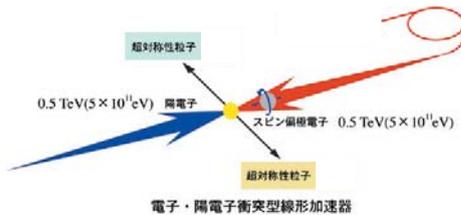


図1 リニアコライダー
 建設が計画されている次世代のリニアコライダーにおける電子と陽電子は最終的に0.5TeVのエネルギーに到達する。このような高エネルギーの電子と陽電子を正面衝突させることによって、さまざまな素粒子をつくり出し、素粒子間に働く力の性質を解明することが可能になる。

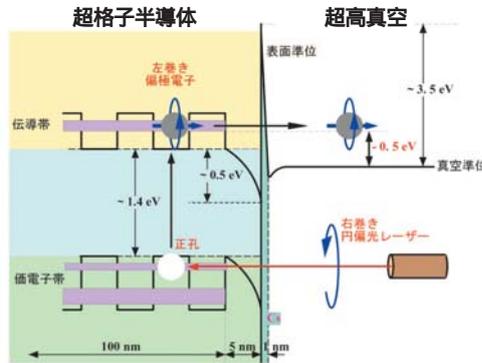


図2 偏極電子源のメカニズム
 偏極電子源は超格子半導体(図左)と超高真空(図右)からなる。ガリウム砒素(GaAs)系半導体の価電子帯では同じエネルギー準位にスピンの向きや角運動量の大きさや向きが異なる電子が混在している。しかし、半導体を歪ませる、あるいは、超格子をつくることによってこのエネルギー準位を2つに分離することができる。図左では、ナノスケールのガリウム砒素(GaAs)結晶層とガリウム砒素リン(GaAsP)結晶層によって、超格子構造が形成されている。価電子帯最上部にある電子を、右巻きに円偏光させたレーザー光で励起してやると、左巻きの電子のみを選択的に伝導帯へ導くことが可能になる。図右のように偏極した伝導電子を真空中へ飛び出させるためには、特殊な表面を用いる。ガリウム砒素(GaAs)表面にセシウム(Cs)を添加してできる半導体薄膜ではガリウム(Ga)層(正の電荷をもつ)とセシウム(Cs)層(負の電荷をもつ)からなる電気的2重極がポテンシャルのために、薄膜表面における真空のエネルギー準位は伝導帯の準位よりも低くなっている。この表面ポテンシャルを安定に保持するためには実験室での最高レベルの超高真空が求められる。

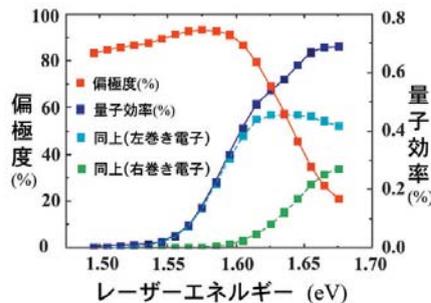


図3 偏極度の測定結果
 実際に生成した電子ビームの偏極度を測定したもの。右巻きレーザー光のエネルギーを上げてゆくとまず左巻き電子(水色)が価電子帯から伝導帯に励起され真空中に飛び出してくる。このとき偏極度(赤色)は最大値の92%に達する。さらにレーザー光のエネルギーを上げると、右巻き電子(緑色)も励起されるようになり、量子効率(青色)は上がるが、偏極度は急激に低下してしまうことがわかる。なお、左巻きレーザー光を使うと同様に右巻きの電子が優勢なビームをつくることもできる。

*1 TeV
 1ボルト(1V)の電位差から電子1つが得るエネルギーが1電子ボルト(1eV)。テラ電子ボルト(TeV)は1兆(10¹²)電子ボルトを表す単位。

*2 陽電子
 電荷が逆符号であることをのぞいて、電子と全く同じ性質(電荷の大きさおよび質量)をもつ素粒子。このような素粒子は電子の反粒子とよばれる。すべての素粒子には反粒子が存在することが知られている。

*3 リニアコライダー
 電子と陽電子のそれぞれを一直線上に並べた線形加速器の両端から入射し、中央に向かって高いエネルギーまで加速した後衝突させて新粒子をつくる装置。円形加速器に比べ加速中の電子が放出する光(放射光)によるエネルギー損失が無視できる。

*4 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、真空中に一律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、この場のゆ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。

*5 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一種の「回転」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。

*6 ある種の力
 弱い相互作用のこと。

*7 半導体
 固体の中の電子はバンド(帯)とよばれるある幅をもつエネルギー準位のどれか1つを占めている。このうち最もエネルギー準位が高く、電子が自由に運動できるバンドを伝導帯、そのすぐ下のエネルギー準位をもつバンドを価電子帯とよぶ。通常の半導体では伝導帯に電子はなく電流は流れないが、光を用いて価電子帯から伝導帯へ電子を励起してやると電流が流れる。

*8 ERL(Energy Recovery Linac)計画
 蓄積リングとよばれる円形加速器に電子を貯めて放射光を生成する方式よりも、2~3桁高い輝度を有する数keVのX線をつくる線形加速器を用いる計画。加速管に超伝導物質を用いること等により、運転に必要な電力を最少にすることもできる。



本間道夫(ほんま・みちお)
生命理学専攻教授。1955年生まれ。東京大学大学院理学系研究科修了。その後日本学術振興会特別研究員、エール大学研究員を経て現職。専門分野は生物物理学、分子生物学、細菌学。現在の研究課題は、細菌べん毛モーターのエネルギ変換機構。



実験の背景にある「概念」を考察

【生理学・3年後期】

本間道夫教授

本間先生の研究テーマは細菌のべん毛の運動システムだ。バクテリアの一種である海洋性ピブリオ菌などの細菌のべん毛は、細胞膜に埋まったタンパク質でできた超分子複合体構造である。それがモーターのように回転している。どうして細菌のべん毛なのか、という疑問が頭をもたげますが、この機構は生物界では珍しいもので、それを研究することにより、生物のより普遍的なシステムを理解しようとするのである。たかが細菌ということもできるのかもしれないが、そういうところに生物の謎を解き明かすヒントがある。生命現象は本当に奥深く、不思議なものであると感じた。

その本間先生は、生理学の授業で膜タンパク質について講義されている。その様子を聴講させていただいたが、先生の講義は学生に多くのことを学んでもらおうとさまざまな工夫がなされた講義だった。はじめに、簡単なテストを行い、学生の理解度をこまめにチェックする。講義にはプロジェクターを使う。図や表のポイントをていねいに解説し、教科書には書かれていないが、学生にとくに知ってもらいたいことも解説する。専門の違う私にも面白さは伝わってくる。合間には、実験用具の値段の話などちょっと面白い話をはさんで学生を飽きさせることがない。先生が一方的にしゃべることのないように、たまに学生に問題を

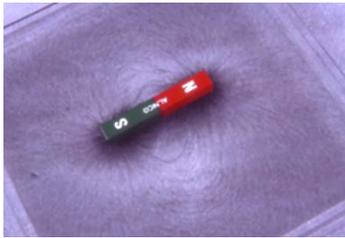
投げかけた!もする。また、学生からも講義時間中にどンドン質問が出てくる。先生はそんな学生とのコミュニケーションを大切にしている。

講義終了後に本間先生に直接お話をうかがった。授業内容は全く独自のものと思いきや、オーソックスに教科書に沿って講義をしているようだ。「基本的なことはすべて教科書に書かれています。しかし、教科書に書かれていない大切なことも数多くあります。それを一つでも多く学生に知ってもらいたい」と話す。さらに「現在の生物学はその現象を分子のレベルで解明しようとする傾向にあります。その中で、化学的、物理的な実験をやっていくことも珍しくありません。ですから、学生は生物の勉強だけでなく、実験方法の背景にある化学的、物理的な概念も勉強してほしい」とも言う。先生の講義の中でも確かにそのような現象や実験結果をさらに掘り下げていこうとする姿勢がうかがわれた。

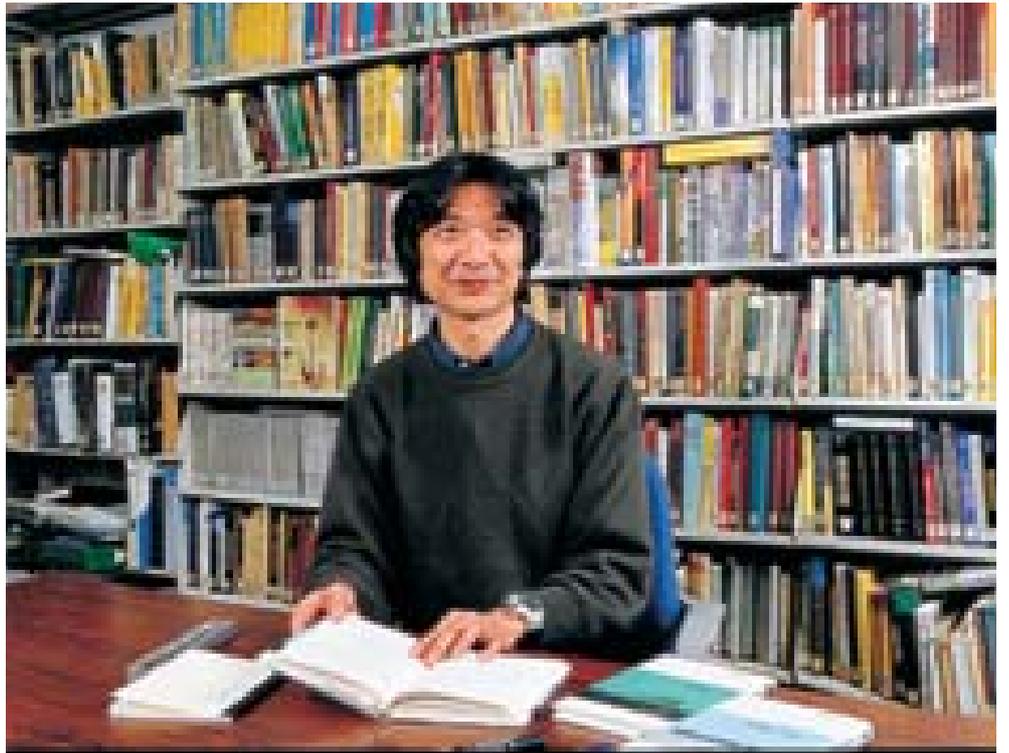
どんな分野を専門にしていようと、異なる分野について学ぶのはとても大切である。今回、先生の講義を聞いて自分自身とてもいい経験をさせてもらったように思った。

(取材・片山新也 物質理学専攻博士前期課程1年)

超分子機能学講座感覚運動グループホームページ
<http://bunshi3.bio.nagoya-u.ac.jp/bunshi4/fourth.html>



小西哲郎(こにし・つろう)
物質理学専攻助教授。1962年生まれ。東京大学大学院理学系研究科物理学専攻修了。1995年より現職。専門は非線形物理学、特に多自由度ハミルトン系のカオス。クラスター化などの構造形成や遅い緩和など、単純な熱平衡化とは異なるプロセスに関心を持っている。



【電磁気学
・1年後期】

小西哲郎 助教授

電磁気学の歴史を追体験する

「 $F = ma$ 」。高校物理では、この式が微分方程式であるとは教えられない。自由落下や放物運動での物体の位置はこの微分方程式の解として得られるが、高校物理ではその解を個々の問題に適した公式として覚え、どの公式が適当かを判断して問題を解くのが一般的だった。ところが大学の物理学は体系化された基本的な理論を応用して個々の問題を解く。さきの自由落下や放物運動の問題は、初期条件こそ違いますが、本質的に同様の問題とみなされる。

「最近、大学生の学力低下という話をよく耳にしますが、こうした高校物理と大学物理の違いに戸惑って学習をやめてしまう人が多いのではないのでしょうか」と小西先生をはじめ、物理学教室の先生方は現状を問題視している。その解決策の1つとして、昨年まで半年でやっていた講義を今年から通年授業とし、物理学の基礎をじっくりと身につけられるようにした。

その1つが小西先生の講義される「電磁気学」である。講義の目的について先生はこう話す。

「物理学の歴史は個々の実験から、経験的の法則を得、それらを説明する基本的な理論体系をつくり上げてゆくことです。その過程を講義を通して追体験し、物理の考え方や基本を身に付けてもらいたい。また、通信など、日常生

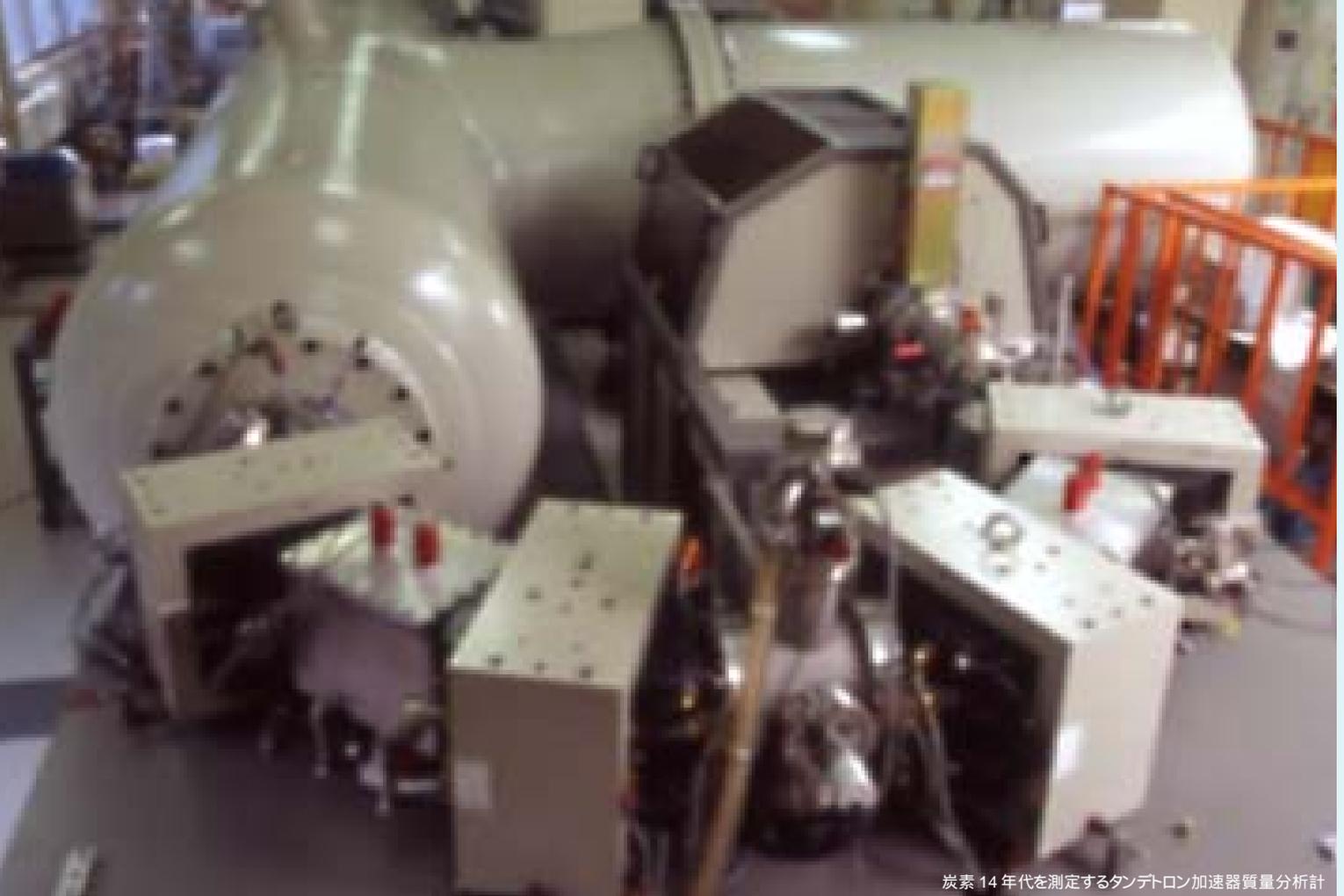
活に電磁気学が応用されていますが、その仕組みを実感してもらえるといいですね。」

講義にはできるだけ実験を取り入れるようにし、退屈させない工夫をしているという。昨年は強力な磁石を使った実験をした。まず、一円玉を立てておいて、そのそばで磁石を動かす。すると、アルミニウムでできた一円玉は磁石にはくっつかないはずなのに、磁石を動かすたびに一円玉の向きが変わる。磁石の動きでまわりの磁場が変化すると、一円玉内部で電磁誘導による渦電流がおこり、力を受けるからだという。

「ところがそのあとハプニングが起きたんです。比較のため、学生にシャープペンシルで同様の実験してもらった。本来なら、一円玉は動かないはずだがシャープペンシルでも動いてしまったという。しょうがなく、動いてしまった理由もレポートの課題にしましたと笑って話す先生の様子から、講義が明るく柔軟で楽しいものであるかがうかがえた。

電磁気学は18世紀に研究がさかんになり、19世紀にマクスウェルにより14つの基本法則に体系化されるまで、問題を少しずつ乗り越え発展してきた。そんな試行錯誤の歴史を「電磁気学」の講義を通して追体験してみてもどうだろうか。

(取材・牧野陽介 地球環境科学専攻博士前期課程2年)
非線形物理研究室ホームページ
<http://jegog.phys.nagoya-u.ac.jp/r/>



炭素14年代を測定するタンデロン加速器質量分析計

物いわぬ試料から歴史を解き明かす

年代測定総合研究センターは、名古屋大学の年代研究を融合して、2000年4月に創設された学内共同教育研究施設である。教員5名・技術職員1名の小さな組織ではあるが、タンデロン年代研究分野と新年代測定法開発研究分野を構成して、数百年前から46億年前までの幅広い年代測定を行うとともに、新しい年代測定法の開発研究も実施している。本センターで行っている年代測定研究の2つの柱と、それを応用した研究成果の一端を紹介しよう。



タンデロン加速器を背にした教職員。左から3人目が鈴木センター長。

炭素14の濃度を測定し
高精度な年代推定を行う

宇宙から地球に飛び込んでくる宇宙線が大気に当たると、大気の主成分である窒素が炭素14に変わる。炭素14は二酸化炭素として大気中に留まり、半減期5730年で放射壊変して、窒素に戻る。光合成をする植物、そして植物を食べる動物の体は、生きている限り大気と同じ炭素14濃度(炭素12の約1兆分の1)を保

つが、死滅すると外界からの炭素の供給が途絶えて、炭素14は一方的に減少していく。このような生物遺体やその炭化物中の炭素14濃度を測定して年代を推定する方法が炭素

14年代測定である。本センターではタンデロン加速器質量分析計を用いて炭素14年代測定を行い、わずか数mgの炭素試料で約5万年前までの年代を精度よく測定することができる。タンデロン年代研究分野では、土器に付着した炭化物(お焦げ)古文書や鉄器などの考古学的資料や文化財の研究、あるいは太陽活動の変動や核実験の影響追跡など、環境解析に関する研究も展開している。



試料の不純物を取り除く二酸化炭素精製用真空ライン。

モナザイトやジルコンを分析し
岩石が受けてきた全地史を解析

岩石中に極微量ではあるが普遍的に存在するモナザイトやジルコンなどの微小な鉱物粒子は、硬くて熱に強く、地球が誕生した頃にできた最古の岩石中に存在する。そして、その後の地表での風化、堆積作用や、地下深くでの変成作用にも生き延び、これらのイベントについての情報を記録し続けている。CHIME年代測定法(CHemical Th-U-total Pb Isochron MEthod)は、1980年代後半、名古屋大学理学部地球科学科(現・大学院環境学研究科地球環境科学専攻)において、鈴木和博(センター長)と足立守(現・名古屋大学博物館長)が中心となって開発された独自の研究手法である。地球科学では普通の分析機器である電子線マイクロアナライザを改良することにより、1 μ mの空間分解能でウラン(U)-トリウム(Th)-鉛(Pb)年代測定が可能である。岩石の経た歴史を正確に解析するために、モナザイトやジルコン粒子の微小部分(数 μ m以下の領域)固有の年代を精度良く求め、46億年の地球の歴史や日本列島の形成の歴史を解き明かそうとしている。



CHIME年代を測定する電子線マイクロアナライザ。

元寇船の木石^{いかり}碇から
文書にない歴史を掘り起こす

九州北部伊万里湾の鷹島^{たかしま}周辺は、弘安の役(1281年)で、元寇船が台風に遭遇した所として知られている。この海域から発見される大小さまざまな長柱状の岩石は「蒙古碇石」と呼び慣わされてきた。1994年、鷹島^{こさき}神崎港沖の水面下21mの海底から、木と石でできた碇がまとまって

出土した。大きい碇は歯の長さが3.15m、全長が約6mで、163.5kgと174.5kgの一对の花崗岩製碇石を装着していた。碇のサイズから、竹索で繋がれていた船の大きさは40mを超える超大型船であることも明らかになった。この超大型船は元寇船なのだろうか。どこで建造されたのか。

年代測定総合研究センターは、新しく提示されたこの問題に取り組んだ。まず、木石碇の製造年代を明らかにするために炭素14年代測定を行った。竹は1年で生長し、比較的若いものを伐採直後に加工するので、竹の炭素14年代は碇の製作年代に近いと考えられる。得られた年代は1268年から1284年の範囲になる。クビライが日本侵攻のための造船命令を発したのは1279年で、40m級の超大型船は元寇船と考えてよい。

碇は普通、船の建造地で積み込まれるので、碇石の産地を特定することが船の建造地を推定する鍵になる。出土した碇石は、日本には産出しないアルカリ長石花崗岩で作られていた。CHIME法で測定した結果、碇石は1億600万年~1億800万年前にできた岩石であることが判明した。同時に朝鮮半島と中国南東部の花崗岩の年代を

測定した結果、碇石と同じ年代をもつアルカリ長石花崗岩は福建省の泉州付近のみ分布していた。40m級の超大型船の建造地は泉州と考えて間違いはない。

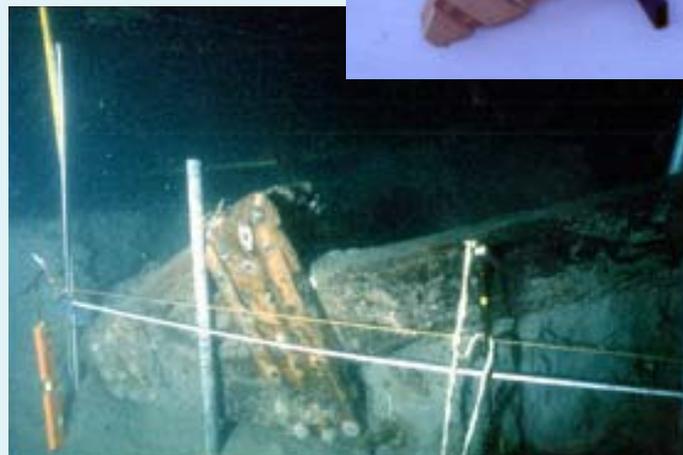
マルコポーロの東方見聞録にも記載されているように、南宋末期から元の時代、泉州は世界最大の貿易港であり、ムスリム(イスラム)商人を中核とする貿易船団の拠点であった。泉州の貿易船団は当時の最も強力な海上勢力(海軍)であり、蒙古は南宋滅亡前からムスリム勢力との接触を画策していたことが知られている。鷹島で沈没したのは蒙古軍の指揮部および主力の艦船であると考えられるので、神崎港沖の40m級の超大型船も蒙古軍の中核をなしていたに違いない。この艦船の建造地が泉州であることは、ムスリム商人が船や船員の提供という形で蒙古軍の指揮部や主力部隊の輸送に大きく寄与したことを示唆し、元寇の意味を考え直すきっかけとなった。年代測定は文書に記されない歴史を掘り起こし、文理融合の新しい研究領域を開拓しつつある。

(年代測定総合研究センター長 鈴木和博)

年代測定総合研究センターホームページ
<http://www.nendai.nagoya-u.ac.jp/japanese/>



本センターが復元した元寇船の碇。全長1.5mで実物の5分の1程度。



鷹島町神崎港沖の海底から出土した元寇船の碇。(長崎県北松浦郡鷹島町教育委員会提供)



同窓生から

中小・零細企業のすすめ

株式会社エムジーホーム 代表取締役社長

早田千加子(はやた・ちかこ)

理学部化学科を卒業して2年後に、縁あってある不動産会社に就職しました。自分としては普通のOLのつもりでも、学歴が邪魔をして(?)かなり変人だと思われていたようです。その時の上司が1986年7月独立して新会社を設立することになり、創立メンバーに加わりました。当初、社長と社員2人で始めた会社は、設立15年目で名古屋証券取引所セトレックスに上場し、翌2002年12月には東証と名証の二部に上場を果たしました。上場を機に2003年6月創業社長は、私に社長の座を譲り会長職に就きました。

今でもまだ社長に就任したことを不思議に思っている私自身ですが、役員・社員あわせて60名、年商100億円の会社の頂点に立てた理由の1つはすこぶる健康であること。もう1つは必要に迫られ、いろいろな仕事をこなす機会に恵まれたことだと思います。

前職場では住宅の販売や広告宣伝の仕事を経験し今の会社に移ってからは総務・経理はもとより一時期は小売業もやりましたから売り場に立ったこともあります。そして1999年の秋、名証セトレックスへの上場を目指すことになってからは一層大変でした。監査法人や証券会社の指導により「商法」止あるいは「証券取引法」止の規則に従い上場審査を受けるのですが、門外漢の私には難解な事はかりでもこれらすべての事が大きな組織の一員として仕事をしていただけでは決して得られないとても充実感のある貴重な体験でした。

これから理学部を巣立っていく皆さんには、ぜひとも野依教授に続くすばらしい研究者の道をめざしていただきたいと思います。でも社会にはさまざまな仕事があります。大学で学んだ専門分野だけではなく、業種を問わず中小・零細企業も選択肢の1つに加えてみてください。なんとも自分一人の力が会社に与える影響の度合いが違いますから、やりがいがあるかもしれないのでないでしょうか。(化学科1978年卒業)



事務部だより

初めてづくしの海外出張

多元数理科学研究科図書室

小崎和子(こさき・かずこ)



コーネル大学にて

当研究科発行のNagoya Mathematical Journal(NMJ)は日本でトップレベルの数学雑誌であり「21世紀COEプログラム」等式が生む数学の新概念」においても、国際的情報発信の中核と位置づけられている。このNMJの電子化がCOEの実施計画にも盛り込まれており、今回のアメリカ出張はこの上なくよいタイミングで実施された。

出張期間は8日間、訪問先は、コーネル大学、メリランド大学、ジョージ・ワシントン大学、スパーク・アメリカの4カ所。オンラインシステムの現状視察および版権の処理、アーカイブの電子化についてなどオンライン化を進めるにあたっての調査および具体的情報収集が目的であった。プロジェクト担当者、ライブラリアン、雑誌編集者・事務担当者、低コストのオンライン化を推進する立場からなど、有益で具体的な情報の提供があり、また、こちらからの情報提供・質問・意見交換を通じて今後の方向性を見いだす非常にきつかけとなった。

初めてづくしの経験であったが、受け入れ側の暖かい対応にも支えられ、非常に有意義で充実感溢れる出張であった。パーティ、ディナー、ランチの誘いは遠慮なく受け、出会った人とはできるだけ会話を心がけた。私の英語がどれほど使い物になるのかを試すよい機会でもあった。曲がりなりにも自分の意見を述べたり、情報を提供できたことは、日常会話のレベルを少しは越えられたような気がする。地図の読めない私は一人旅に自信がなかったが、生まれて初めてすべて自力で動いた。私個人にとってはこれが最大の成果かも知れない。公私にわたり素晴らしい機会を与えてくださった関係方面に心から感謝している。



書籍紹介

「物理学と神」

素粒子宇宙物理学専攻教授

池内 了(いけうち・さとる)著

16世紀中葉の「コペルニクス革命」に始まる近代自然科学は、ニュートンの古典物理学の完成まで、およそ100年をかけて築き上げられてきた。この時期の自然科学は、自然を研究することを神の意図を理解し神の存在証明をするための作業と考えてきたが、時代を重ねるにしたがって、皮肉にも神の不在を導き出すことになる。神の御技と思われていた現象を物質の運動で説明することが可能となったのである。

しかし、神はその後科学という舞台上で入退場を繰り返すことになる。物質の運動を確率論的にしか予言できない量子論を批判してアインシュタインが「神はサイコロ遊びをしない」と述べ、ハイゼンベルクがサイコロ遊びの好きな神を受け入れればよいと反論したのはその好例だ。

神の姿の変容という切り口から自然観・宇宙像の現在までの変遷をたどるとするのがこの本のねらいだ。読者は神の入退場を追うことで物理学の発展の歴史を理解することになる。そしてとかく抽象的な表現になりがちな物理の現象や概念に対してわかりやすくて確かな比喩を与えている点も特筆しておきたい。真空のエネルギーを説明するのに消費者金融の現金自動支払機を例に出すあたりが圧巻だ。神というパートナーを得たことで読者は知らず知らずのうちに「知」の最先端まで導かれている。(K)



「物理学と神」 池内 了著
集英社新書 / 2002年12月発行 / 740円



留学生教育の今

求められる新たな奨学金制度

物質物理学専攻講師・留学生専門教育教員

熊澤慶伯(くまざわ・よしのり)



私は3年前より理学研究科で留学生専門教育教員を務めています。研究・講義等を行うかたわら、所属留学生に対する相談、新規留学希望者に対する対応、部局からの奨学金受領者の推薦、全学レベルの留学生交流業務への参画などに携わっています。理学研究科(理学部)には、現在14カ国から38人の留学生が来て勉強しています。このうち15人が文科省の国費奨学金を受領する国費留学生、14人が自費で学ぶ私費留学生、9人が1年以内の短期留学生です。また、ポスドクや訪問研究者などの肩書きで訪れる外国人研究者の数も毎年相当数に上ります。

私費留学生の数が比較的少ないのは、理学の研究テーマに長時間研究室にこもって取り組むような内容が多く、アルバイトと両立させることが難しいからです。彼らは、語学のハンデもあって、家庭教師などの時給の良いアルバイトはなかなか得られませんし、日本育英会の奨学金貸与も受けられません。しかし、わが私費留学生たちは、私的財団等の奨学金を獲得したり、21世紀COEプログラムの給付金をもったりして、結構たくましく生き抜いています。

しかし、そもそも私費留学生と国費留学生にこれだけの待遇差をつけるべきなのでしょうか。国費留学制度は政府開発援助による国際協力の一環であり、将来母国に帰って活躍する人材を養成する制度だというのが日本政府の基本方針です。しかし、優秀な留学生ほど、母国に帰らず研究環境のよい日本に留まりたいという希望を口にします。彼らを日本の大学に惹きつけ、日本の大学ひいては日本社会の発展に貢献してもらうための新しいコンセプトの奨学金があっても構わないのではと思います。意欲的な留学生がさらに多く本研究科に来てもらえるように、また日本人学生にもっと海外へ目を向けてもらえるように、微力ながら力を尽くしたいと思います。

【研究会・学会スケジュール】

The 205th Electrochemical Society (ECS) Fullerenes Session

開催日:2004年5月9日(日)~14日(金)
 開催場所:サンアントニオ(アメリカ)
 主催:The Electrochemical Society
 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

日本発生物学会第37回大会

開催日:2004年6月4日(金)~6日(日)
 開催場所:名古屋国際会議場(名古屋市)
 主催:日本発生物学会
 問い合わせ:黒岩 厚 名古屋大学大学院理学研究科 教授
 i45240a@nucc.cc.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-2994

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読」第2回シンポジウム
 開催日:2004年6月12日(土)~13日(日)
 開催場所:テレピアホールほか(名古屋市)
 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読」
 問い合わせ:福井康雄 名古屋大学大学院理学研究科 教授
 fukui@a.phys.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-2839

韓日共同数学国際会議

開催日:2004年7月5日(月)~7月9日(金)
 開催場所:ソウル(韓国)
 主催:韓国高等科学院
 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 / 052-789-2815

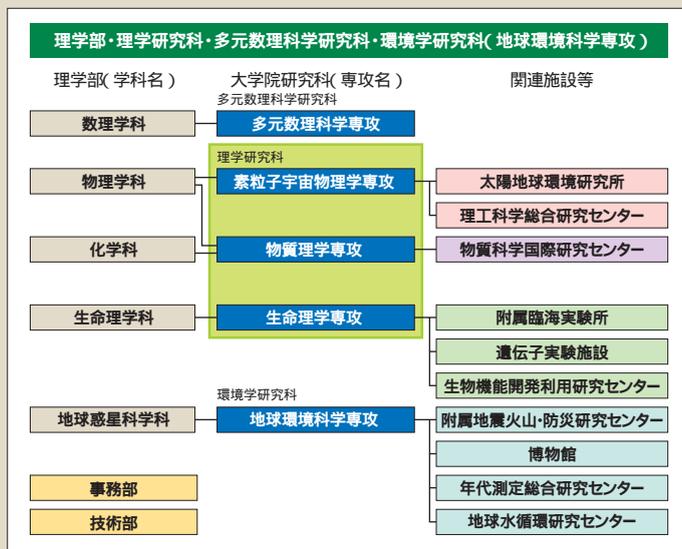
第27回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム

開催日:2004年7月28日(水)~30日(金)
 開催場所:東京大学弥生講堂(東京都)
 主催:フラーレン・ナノチューブ研究会
 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12回理論化学シンポジウム

「物性・反応・生物の分子物理化学:理論と実験の最前線」
 開催日:2004年9月12日(日)~9月14日(火)
 開催場所:琵琶湖レイクオーツカ(滋賀県志賀町)
 主催:第12回理論化学シンポジウム運営委員会
 問い合わせ:岡崎俊也 名古屋大学大学院理学研究科 助手
 okazaki@nano.chem.nagoya-u.ac.jp / 052-789-2477

組織図



理

philosophia No.6 May 2004

2004年5月1日発行



表紙説明

上:多元数理科学研究科図書室に所蔵されている「ヒルベルト文庫」の一部。右のピンクの表紙は1950年に創刊された数学雑誌「Nagoya Mathematical Journal」。現在までに172巻を数入、国際的にも高く評価されている。
 下:特集の座談会出席者の板書(宇澤)、OHPシート(藤原)、研究ノート(伊藤)。



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 名古屋市中種区不老町
 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

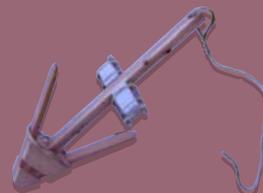
ご意見、ご感想をお待ちしています。

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、ご投稿などの採否については当委員会にお任せください。次号は2004年10月発行の予定です。



編集だより

多元数理科学研究科の前身である理学部数学教室は昭和17年(1942年)4月1日に創設されました。戦時下において海外との学术交流が途絶えた当時、図書・論文の整備は容易ではありませんでしたが、新設の数学教室には先達や友人諸氏によって蔵書・論文が多数、寄贈されました。中でも正田建次郎大阪帝国大学教授(当時)は、D.ヒルベルト(1862-1943)の所蔵していた約1万1000篇の論文の別刷りがドイツの古本屋のカタログに載っているのを見つけて購入され、数学教室に寄贈されました。これがヒルベルト文庫と呼ばれる、多元数理科学研究科の大切な財産です。ヒルベルトは、20世紀の数学の方向づけに大きな影響を与えた数学者であり、世界各国の数学者がヒルベルトにこぞって論文を献呈しています。ヒルベルト文庫は、19世紀末から20世紀にかけての数学の動きを伝える貴重な資料です。ちなみに正田教授はヒルベルトの孫弟子にあたります。本号表紙はこのヒルベルト文庫の一部であり、中央の手紙は献呈論文の中から見つかったヒルベルト直筆とみられる手紙です。



「施設紹介」では、海底で見つかった元寇船の碇(いかり)から、船がつくられた年代と場所を解明しようという年代測定総合研究センターの取り組みを紹介しました。この研究はセンターの講演会においても、たびたび取り上げられてきました。ただ、「木石碇」といってもなかなかイメージを伝えにくいのが悩みの種だったとか。そこで鈴木センター長は手づくりで碇の復元を試みました。「船と碇は竹製のロープでつないでいたため、それも再現してみました」と笑います。

(広報委員会)

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)
 中西敏浩(数理学科)
 福井康雄(物理学科) 委員長
 平島 大(物理学科)
 菊川芳夫(物理学科)
 音藤真司(化学科)
 森 郁恵(生命理学科)
 古賀章彦(生命理学科)
 平原靖大(地球惑星科学科)
 鈴村和夫(事務長)

・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。
 (大豆油インクは、石油系溶剤に比べ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早く、再生紙化も容易で環境にやさしいインクです)