

理

7

philosophia



特集「シマシマの向こうに見えるもの」

理学懇話会より 近藤 滋

時を語るもの 庄司俊明

理のトッセイ 篠原久典

理の先端をいく 金銅誠之 / 上出洋介

講義探検 量子化学 / 地球惑星数学および演習

名誉教授に聞く 大沢文夫

理学部交差点

4

2

3

8

14

18

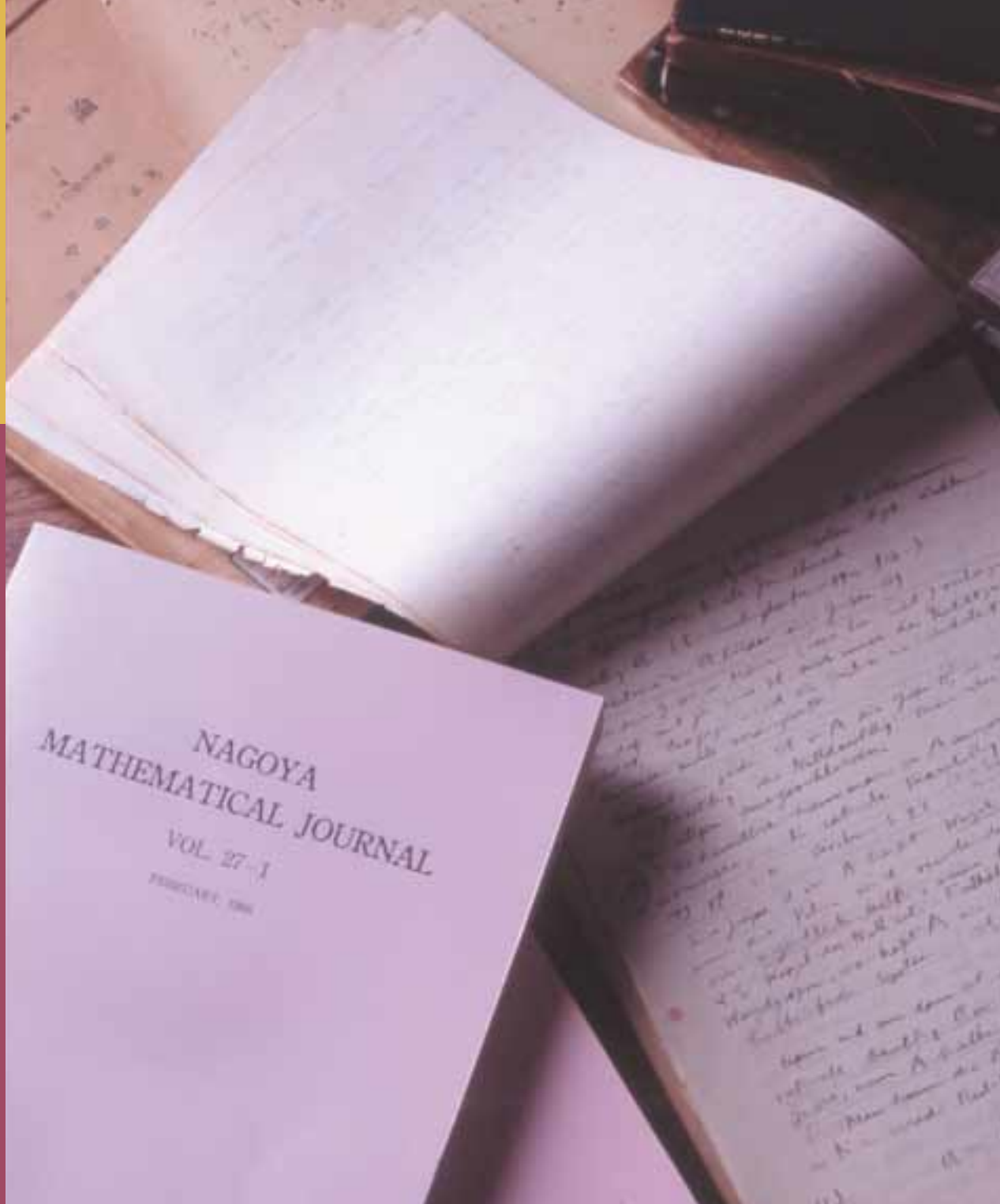
12



時を語るもの

現代代数学の先駆者

中山正博士



正多面体や結晶構造など、自然界の対称性を記述する道具として群論があり、実数や複素数の世界で盛んに研究されてきた。一方、 p を素数とすると p 個の数 $0, 1, \dots, p-1$ の間に加減乗除が定義できる。このような「数もどき」の上で群論を展開すること(すなわち有限群のモジュラー表現論)の重要性が1930年代後半から認識され始めた。実数や複素数の場合と異なり、ここでは複雑な現象が現れる。中山正博士は、世界に先駆けて対称群のモジュラー表現論についての独創的な研究を行い、混沌の中に見事な秩序の存在することを示した。中山博士の導入したヤング図形のフックや p コアなどの諸概念は、今では表現論の基本言語として日常的に使われている。また博士の定式化した「中山予想」は、予想自体が解決された後も多くの拡張版や変形版が考察され、今日でも魅力的なテーマを提供している。博士はさらに、これらの理論の一般化、抽象化に相当する、フロベニウス多元環の理論を完成させた。近年、数理論理との関連が見出され、中山の理論は新たに多くの研究者の注目を集めている。中山博士は1942年の理学部数学教室創設に参画され、以後、数学教室の発展に力を尽くされた。1964年、中山博士が53歳で逝去されたことは、数学教室のみならず、世界の数学界の大きな痛手であった。

(多元数理科学専攻教授 庄司俊明)



中山正(1912-1964)元名古屋大学理学部教授、日本学士院賞受賞(1954)、日本学士院会員(1963)



写真の説明

中山博士は、1942年、名古屋帝国大学理学部数学教室の創設に当たり、その発展に力を注ぎ多くの人材を育成したが、在任中に結核のため逝去した。博士の業績はモジュラー表現論、環論、ガロア理論、局所類体論、ホモロジー代数など代数学を中心に多岐にわたり、生涯において6冊の著書と122編の論文を残した。写真中央は、学生時代のものと思われる自筆研究ノートで、ブラウアーの論文を手写したもの日本語の書き込みが見られる。コピー機のない当時、数学の研究のために論文を手写することは普通であった。その後、ブラウアーは1935年に有限群のモジュラー表現の研究を始めるが、博士は1937年より2年間プリンストン高等科学研究所に留学し、ブラウアーやワイルと交流をしながらモジュラー表現の研究を進めることになった。写真左は、博士が創刊と編集に力を尽くした「名古屋数学雑誌」の中山博士追悼記念号。晩年、理学部A館4階の研究室まであえぎつづ階段を登る博士のために置かれたという「中山先生の椅子」の話は、までも語り継がれている。



ドイツ・ボーデン湖畔

理の工ッセイ

偶然から偶然へ ———— 篠原久典

「篠原、この講演スライドの右下について、黒いススが何だかわかるか？」

1990年9月12日、ドイツ・ボーデン湖畔にある小さなホテルの朝食のテーブルで、R.スモーリーは私に1枚のスライドを見せた。それはC₆₀・フラレーンの粉末だった！ 私とスモーリーはコンスタンツ大学で開かれていた「微粒子に関する国際会議」に出席のために、偶然、同じホテルに滞在していた。

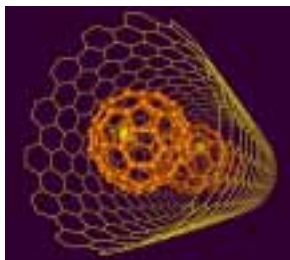
その日、スモーリーは講演の最後の10分を削って、急きょマックスプランク研究所のW.クレッチマーの飛び入り講演に当てた。「黒鉛棒をヘリウム中で抵抗加熱して生成するスス中には、多量のC₆₀が存在する...」。そう、C₆₀の多量合成法に関する最初

の発表であった。スモーリーとH.クローラーは、1985年にC₆₀の存在を初めて実験的に示していたが、多量合成には成功していなかった。C₆₀・フラレーンの多量合成は瞬く間に世界中に広まった。この発見は2週間後、『ネイチャー』誌の表紙を飾った。クレッチマーらは宇宙物理学の研究者で、炭素系の星間物質を研究していた途上で、偶然にも、

フラレーンの多量合成法を発見した。

さらに翌1991年には、カーボンナノチューブが飯島澄男によって発見された。この世紀の大発見もフラレーン研究の途上で、偶然にも行われた。

私は過去10数年の間、フラレーンとカーボンナノチューブを通じて、物理、材料、生命、地球科学の科学者たちと数多くの共同研究を行ってきた。そこで体験したことは、偶然の発見の不思議さと、分野を超えて共通の話題を研究できる醍醐味である。21世紀のサイ



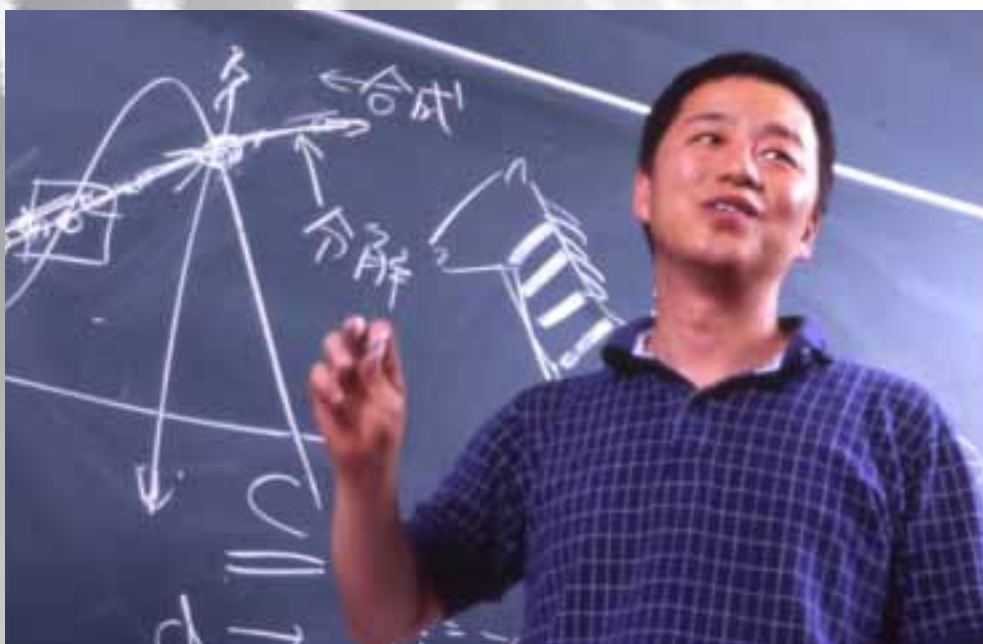
エンスは、可能な限り広い興味をもって、広い領域にインパクトを与えられる研究が、ますます不可欠となる。そして、そのようなサイエンスは間違いなく、ワクワクして心躍る

ような研究である。研究していて楽しくて楽しくて仕方がない、そんなテーマである。その時、科学者は無心になることができ、大きな革新的飛躍が生まれる。

だがもっと大切なのは、偶然の発見を見過ごさない、研ぎ澄まされた観察力と感性であろう。次の大発見も、宇宙から「偶然に」もたらされるかも知れない。

篠原久典 (しのはら・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、とくにフラレーン、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。

シマシマの向こうに見えるもの



動物の皮膚には、実にさまざまな模様がある。ほとんどの場合、模様と内部の構造(骨、筋肉、血管など)には関連性がない。つまり皮膚は自力で模様のパターンをつくり出さなければならない。この問題はすでにわかっている分子生物学的な原理を組み合わせても解決できない。問題の背後には、「未知の基本原則」があるはずだった。1952年に数学者チューリングが立てた仮説は、「化学反応の組み合わせが波を発生させ、それが模様のもとになる」という大胆なものであった。このチューリング波の存在の確認に成功したのが近藤滋教授である。シマシマの向こうにある意外な物語とは。

(2004年5月14日、第7回理学懇話会より)

近藤 滋(こんどう・しげる)

生命理学専攻教授、1959年生まれ。1988年に京都大学大学院医学研究科修了。医学博士。専門は免疫学(だった)。現在は数理的な解析法と分子生物学的な実験を駆使して、二刀流で動物の形態形成の原理を探っている。

物理学に矛盾しない生物学

動物の発生というのは、ある意味、非常に生き物らしい性質をもった現象だといえます。なぜかという、卵は丸く小さく非常にシンプルなものですが、発生をしていくと、どんどん複雑なかたちがひとりだにできていきます。この現象は、一見熱力学の第二法則^{*1}に反するようですが、生物とはいえ物理学の法則を破れるはずはありません。ですから、この現象を熱力学の法則に矛盾しないて説明しうるかというのが、発生学^{*2}の最大のテーマなのです。発生の最初は卵細胞1つですが、細胞分裂が進むといろいろなかたち大きさの細胞に分化していきます。動物の体は細胞の集合体ですから、全体のかたちを決めるのは、体のどこにどのような細胞が分化するかが重要です。そのためには個々の細胞は胚の中

の自分の位置を正確に知っていなければならない。どうしたらそのようなことが可能でしょうか?

1つの可能性は、卵の中に最初から正確な位置情報が備わっていて、分裂後の細胞は、初期条件としての位置情報を頼りに分化していく、という説です。これは通常、位置情報説とよばれています。初期発生においては確かにこの原理が働いているという証拠がありますが、これではうまく説明できない現象も多数存在します。カエルが卵から分裂するとき、半分に分けると半分ができるのではなく、両方からカエルができるし、再生能力が強いので足や目をとってもまた再生してしまいます。人工的にかたちを崩してやっても元に戻るといことは、以前の位置情報を基準にしないで正確にかたちをつくる機能がないといけません。

波が模様をつくる

そう思ったのは実は僕が最初ではなく、もっと頭のいい人が過去に問題を提起しています。それがイギリスの数学者、チューリング³です。彼は、特殊な化学反応のネットワークが反応と拡散のバランスをうまくとったときに、等間隔のパターンを自動的につくりだすことを数学で証明したのです。それが生物の等間隔の構造、位置情報をつくるために働いているのだらうと考えました。これがチューリングの反応拡散理論です。この理論によれば、アクティブに保たれている定常状態の波ができます。その波は、拡散性のものであれば動いているし、拡散性でなくても反応として遠くまで伝われば同じように等間隔のパターンをつくれます。隣の細胞に刺激を与えるという現象のルーがおきると、物が動かなくても状態は移動しうわけですから。

この理論では、アクチベーター(活性化因子)とインヒビター(抑制性因子)の両方が必要です。実際の細胞を考えたときに、おそらくチューリングのオリジナルモデルに合う特定の分子はないと思います。そんなに1つの分子がすべてを行えるわけはありません。分子のネットワークとしてチューリングの式を満たしていればよいと考えられます。

図1は彼のモデルを計算機シミュレーションしたのですが、完全にランダムな状態

からでもきれいなストライプが生成します。パラメータを変えると、斑点からストライプを経て網目模様に移行します。これで、動物の皮膚にある模様はすべてつくることができます。このモデルは初期条件に依存していないので、どんなに模様を壊してもすぐに再生するため、生物の発生を上手く説明できます。チューリングは、これこそが発生の原理だと思ったでしょう。しかしながら、このすばらしい仮説は長い間、信じられないまま捨て置かれていました。動物の体内に波ができていなんて証拠もなしにいわれても、普通の生物学者は信じる気にならないのは仕方のないことです。

波の存在を証明するために

僕は1988年ごろにこの話を知り、取り組んでみたいと思いました。しかしアイデアがない。あきらめかけていたころ、1992年にテキサス大学のグループが、チューリングの波を化学反応でつくるのに成功したと『ネイチャー』誌に発表しました。チューリング波が本当に存在するかどうかは化学の世界でも長年の課題だったのです。このニュースに力を得て再びやる気を出した僕は、とりあえずシマウマを見に動物園に行き、そこで大事なことに気がついたのです。シマウマのストライプは、よくみると体の場所により幅が違います(図2-a)、これが「生きた波」だったら、等間隔のはずです。ですからシマウマの模様は「波の痕跡」にすぎず、

*1 熱力学第二法則

エントロピー増大の法則ともよばれる。物理化学反応は全体に混ざり合い均一になる方向へ進むという法則。

*2 発生学

動物の体がどうやって作られるか、という仕組みを探る生物学の一分野。

*3 A.チューリング(1912-1954)

イギリスの数学者。コンピュータ科学・人工知能分野の草分けの一人。また、ナチスドイツの暗号電報を解読したことでも有名。

講演を聞いて①

実験科学と理論科学を結び

生命理学専攻助教授
分子神経生物学
研究グループ

森 郁恵(もりいけい)



実験生物学者は、生命原理の「理論的研究」と出会ったときに、拒否反応が出る場合がある。それは、プロバガンダ優先で、実際の生命現象を見据えていない、あるいは、見ようとしていないところから発想されていると感じるからである。理論科学と実験科学。この2つとも、実は、実験屋を自称する科学者の研究に存在する。仮説やモデルを提唱し、それを実験という手段によって実証する。この繰り返し。生物学者に限らず、実験科学者なら誰でもやっている行為である。

近藤氏の研究は、拒否反応を誘発せず、実験生物学者を、理論生物学の世界に導いてくれる。彼は、生物のかたちづくりの根本原理を求めていき、数学者チューリングが生物の発生について提唱していた「波の理論」に行き着いた。彼の生物学者としての「とてつもない」は、その数学理論によって、実際の生物の営みが説明できることを、自ら実証しようとした点である。近藤氏の「波」の実例は、さまざまな生物の体表の模様という2次元の世界で示された。チューリングの「波の理論」によると、体表模様の規則的なパターンは、自発的であり、乱されても安定する。近藤氏は、魚の成長にもなっている体表の縞や斑点の数が増えていく様子が、波の理論からの予測どおりであることを、見事に示してみせた。実験生物学者が、近藤氏のチューリング理論の講演を聞いて、最初に抱く疑問は、おそらく2つ。波の正体と、波と細胞の関係である。彼のいう通り、波の正体は、分子でなくてもよいし、ゼブラフィッシュの縞模様の形成においてイオンチャンネルが関与しているという実験結果は、膜電位の波が生じている可能性を示唆するのかもしれない。また、ゼブラフィッシュの体表にある色素細胞を、レーザー照射によって殺す実験から得られた細胞間相互作用のモデルは、波と細胞の関係について納得できる説明を与えるものであった。

問題は3次元である。チューリングの波理論は、もともと生物の3次元的な形態形成を説明するものとして提唱された。たしかに、発生や形態形成の過程は、経時変化の問題を抜きには考えられず、3次元の実例を示すことは、非常に困難であることは容易に想像がつく。今後、近藤氏の研究は、どう展開していくのか。生物学者のほしくれとして、彼の研究への興味はつきない。

図1 反応拡散波形成の原理

反応拡散波(チューリング波)が生成するためには、化学反応の相互作用により、「近距離で活性化、遠距離で抑制」という条件を満たすことが必要である。2種類の物質活性化因子、抑制性因子が、aのような関係にあり、なおかつ抑制性因子が活性化因子よりも早く拡散する場合を考えよう。活性化因子が場の中心付近で濃度が少し高くなっているとする(b)。活性化因子の自己活性化により、その場の活性化因子濃度が上昇すると同時に抑制性因子の濃度も上昇する。しかし、抑制性因子は拡散が早いので勾配はなだらかとなり、周囲の部分の抑制性因子濃度が高くなる(c)。そのため、周囲では、逆に活性化因子の濃度が下がるという効果が発生する(d)。これを繰り返すと、場全体に等間隔の波が波及する。2次元でランダムな初期条件から計算させると、式のパラメータの値により、斑点、ストライプ、網目などの模様が発生する(e)。

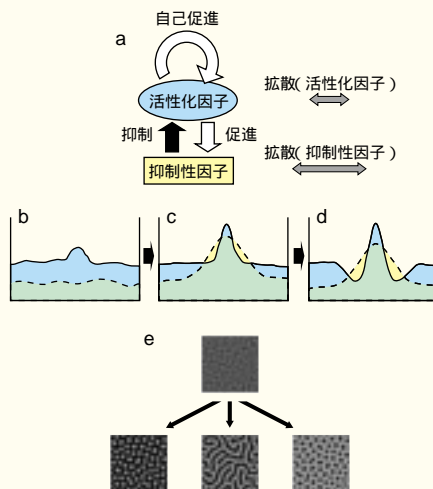




図2 哺乳動物と魚の縞模様の違い

哺乳動物の縞は、生まれたときに皮膚に固定しているらしく、体の成長に従い幅が広がっていく。a シマウバの場合、生まれたときにはほぼ等間隔であるが、各部位の成長率によって、縞の間隔が変わってしまう。b 魚の場合、縞は常に等間隔であることが多い。これは、常に間隔を一定にする作用が働いていることを示唆している。

*4 本庶佑 (1942)

京都大学大学院医学研究科教授。抗体遺伝子の研究で知られる世界的な免疫学者。

講演を聞いて②

ポイントは実験系の選択にあり

物質理学専攻助教
生物化学研究室

西川周一(にしがわしゅういち)

DNAの二重らせんモデルの論文から50年、生命科学は遺伝子とその基礎に置いた研究によって発展してきた。さまざまな生命現象にかかわる遺伝子やタンパクを同定し、これら遺伝子やタンパク質同士がどのように相互作用しているのかを明らかにすることによって、生命現象を理解しようというのが大きな流れである。近年のゲノム科学の進展ともあわせて、数多くの遺伝子やタンパクの機能が明らかにされてきている。近藤滋氏の話は、このような分子を基盤としたアプローチとは異なり、生命現象を理論から説明しようというものである。すなわち、チューリングの反応拡散波理論から生物の発生・形態形成を説明している。しかし、その話を聞いてみると、実験が重要な役割をはたしていることに気づく。近藤氏の研究のポイント、実験で示すことによってチューリングの理論を生命科学の分野で紹介したことであろう。魚の体表の縞模様形成という、文句なしに発生・形態形成の実験系を用い、生命科学者にとって馴染み深い(もしくは理解しやすい)実験手法を用いて示していったことによって、はじめて多くの生命科学者が納得できたのである。

実験によって誰もが納得できるように示すためには、よい実験系を選ぶことが重要であることはいうまでもないことなのだがこれは非常に難しいことでもある。魚の縞模様という実験系を選んだところに、近藤氏の実験生物学者としての洞察力が深く関わっていると思われる。

発生・形態形成をはじめとする、さまざまな生命現象に関連する遺伝子・タンパク質が数多く明らかにされてきている現在、分子レベルでわかってきた現象とチューリングの理論とはどのような接点をもつのか、これを具体的に明らかにしていくことが必要となってくる。技術の進歩によって、現在では、さまざまな遺伝子やタンパク質の発現パターン・局在パターンの時間変化をリアルタイムで観察することが可能になってきている。われわれの手元にある分子レベルでの解析結果を、チューリングの理論という新たな視点から見直してみると、いう姿勢も必要であろう。

研究には使えそうもありません。これに気がついて最初はがっかりしましたが、良く考えると、ここに重要なヒントがありました。それならば、等間隔の縞模様をもつ生き物を探したらよいのだということに気がついたのです。等間隔の縞をもつ生き物は水族館にはたくさんいます(図2-b)この生き物たちは使えそうです。

次は波の存在を証明しないといけません。波というのは動的な状態ですから、動きを見なければいけません。スライプの状態をずっと見ていても変わらないので、なんとかして波を乱してやり、それが元に戻る過程を見るのがいいだろうと考えました。魚の場合、模様をくずすということは簡単にできそうにないのですが、よく考えてみると、魚にエサをやっていけば大きくなります。大きくなればスライプの間隔が自然に広がります。それがもしチューリングの波であれば不安定ですから、広がっては困るわけです。先ほどシミュレーションでお見せしたように、どんなにくずしても元の間隔に戻るわけですから、なんらかのパターンの再構成がおこって等間隔に回復しなければいけない。チューリングの式を2次元でシミュレーションし、パターンをつくってみると、枝分かれの部分がジッパーのように移動するという予測ができました。もし、これが本当におきればインパクトは絶大だし、誰でも波の存在を納得できるはずです。

ポーンスを研究に投資

ここまで考えたのがスイスに留学中の2年目、日本に帰るころです。この実験をやりたいのですが、スイスではできないし、かといって日本に帰っても発生学はほとんどやったことがなく職もないので、出身教室の京都大学医学部の本庶佑⁴先生のところへ戻り、昼間は免疫の仕事をしつつ、土日には水族館と熱帯魚屋をまわるといふ生活を始めました。タテジマキンチャクダイというスライプ模様の魚にターゲットを絞り、それぞれの個体の長さで縞の本数を測ることを半年間繰り返して、体の大きさと縞の本数が比例するという確信を得ました。

本数が比例するという確信を得ました。

そして、夏のボーナスをはたいて、一匹1万4000円の魚を5匹と90cmの海水用水槽38万円、人口海水から珊瑚石もろもろ、トータルで投資総額70万円の研究を始めました。するとじつにあっさり、この枝別れの部分がきえてしまいました(図3-a)。この実験を始める前、半年くらいかけて、この実験を誰もやったことがないことを調べ、さらに水産、生物、魚類、農学の先生、水族館の人にまで、「魚が成長するとき模様が変わっていくかどうか」を聞きましたが、全員が「変わるはずがない」と答えてくれたので、研究テーマの新鮮さに確信がもてました。一人だけ変わる」といった人がいました。魚を買った熱帯魚屋のおばさんです。このおばさんの観察眼には驚くべきものがありました。水族館の場合は、多数の魚をケアしなければいけないのでそこまで見ていない。かたちや食性は大事ですが、魚の模様なんて、ある意味、ほとんどの魚類学者にはどうでもいいことです。やはり注意しなければ見つからないのだと思いました。

一度見つかってしまうと、あとは簡単です。図3-bは斑点模様ですが、広がっていくときに大きさを変えずに広がっていくとすると数を増やさなければいけないので、新

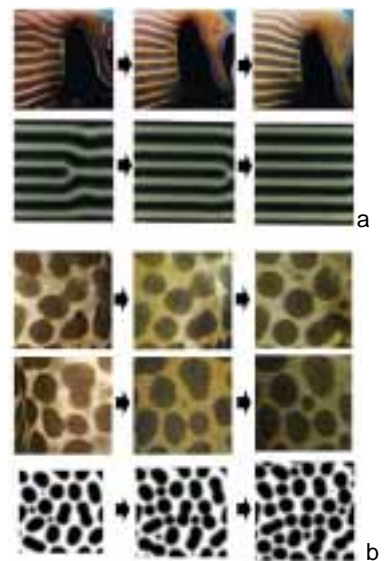


図3 魚の模様変化

生長に伴い、模様の間隔を一定に保つためにパターンの変化が見られる。縞模様の場合、枝分かれ部分が横にスライプする。斑点パターンの場合、斑点の分裂か、新しい斑点の挿入が見られる。aはタテジマキンチャクダイ、bはセイロフィンプレコ。

しい斑点が挿入されるか分裂しなければいけないわけです。新しく入った点だけが大きくなっても、まわりにもとからある点は大きくならない、というのがミノです。この魚は300円で買えますし、水槽は1000円以下で買えるので、本当は1500円もあればできる研究でした(笑)。

数年以内に分子を特定

この仕事のおかげで、徳島大学に移動し、チューリング理論の研究を本業とすることができました。その後はこの反応の分子的な実体を探ることを主な目的として、ゼブラフィッシュを使って実験を続けています。ゼブラフィッシュの良いところは、1990年くらいから大規模に突然変異体をつくるというプロジェクトが行われたことです。いろいろな突然変異体がありますが、そのうち模様に変化のあるものがいくつかあります。これは1つの例です。レパードという遺伝子に変異が入ったものですが、突然変異の入り方によっていろいろ模様が違います。小さい斑点だったり大きな斑点だったりくつついた斑点だったり。これらの模様の違いを、同じ遺伝子に入った突然変異の違いだけでは、うまく説明できません。ですが、チューリングの波理論の式を使うと非常にうまくいき、パラメータの1つを連続的に変化させてみているいろいろなパターンをつくらせると、すべての突然変異体の模様を簡単につくることができます(図4)。ストライプ模様のゼブラフィッシュと、くつついた斑点模様のゼブラフィッシュを交配させると、理論からは「白い斑点が入って枝分かれしているような模様」の魚になることが推



測されるのですが、実際にやってみると、やはり計算どおりの魚が生まれてきました。このことからゼブラフィッシュでもやはりチューリングの原理で模様ができていることがわかります。

最近もう少し進んで、具体的にどのような細胞が模様形成に関与しているかをレーザーを使った実験で探っています。模様パターンは2種類の色素細胞間の相互作用でできることがわかってきており、実験から推定される相互作用のネットワークは、ちゃんとチューリング波を形成する条件を満たすことも証明できました。あとは、細胞間シグナル伝達を行う分子を特定するだけですが、おそらく数年以内に解明できると思います。分子が特定できれば、模様以外の発生の場合に同じ分子が働いているかどうかを調べていくことにより、チューリング波が、動物の形態形成に働いていることを証明できると考えています。

講演を聞いて③

工学的応用への大きな可能性

物質理学専攻助手
光生体エネルギー
研究室



柴田 穣(はた・ゆたか)

遺伝子は生き物の設計図である、といわれる。しかし当然のことながら、遺伝子の情報を知ればそれを持っている生物の構造、動作すべてを理解できるわけではない。やはり動物のような大きくて動きまわる生き物でできるには、遺伝子の情報を展開していくプロセスが必要だ。それにはさまざまな階層があって、DNAの配列情報を、タンパク質を構成するアミノ酸に翻訳するというプロセスが、一番下の階層である。その上にはいろいろな階層があり、そこには物理の考え方が必要になる部分があるはずだと思っている。私の専門分野である生物物理では、この階層、「生命現象に物理的な側面が現れる部分」の研究をしたいという立場の人が、私を含めて少なからずいる。

今回の「シマシマ」の話は、まさに遺伝子の翻訳だけでは説明できない上の階層の原理を、近藤先生が独自の切り口で鮮やかに切り出した研究だと思って聞いた。おそらくシマシマのような表面の模様に限らず、生物のさまざまな構造の形成のいくつかにはチューリングの原理のようなものが働いているのではないかと、近藤先生も指摘されているようにそれを実験的に切り出すのは難しそうだ。多くの人がそれを認識するようになれば、まさにパラダイムシフトに近いことが起こったということになるのだろう。

近藤先生の、あらゆるシマシマに関する守備範囲の広さに感銘を受けた。話は、魚の模様から、指の指紋のパターン、岩石の中に見られるシマシマにまで及んだが、すべて興味深く聞いた。生物の世界だけではなく、いろいろなどところに見られるパターンの形成によく似た原理が働いているのではないかと、感じさせられた。

講演の時にも質問したが、チューリング波のような原理を工学的に応用して、さまざまな空間パターンを持つ物質を開発することは、可能性のある分野だと感じた。パラメータを少し変えるだけで、異なる空間パターンが形成されるので、人工的にさまざまなマイクロのパターンを形成できる可能性はあるのではないかと。実際、半導体の結晶基板上に別の半導体結晶を成長させるときに、チューリング波のような原理で説明できるパターンができて、非常に小さな点状構造(量子ドット)を形成できるという話もあるようだ。まさに理学的な、不思議な解明したい、という動機が応用につながる好例だと思う。

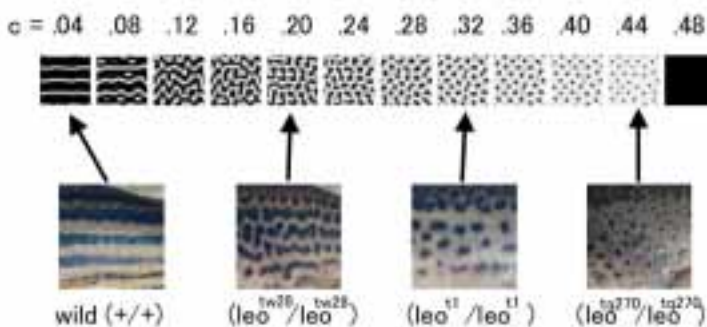


図4 ゼブラフィッシュの模様の遺伝的变化

ゼブラフィッシュの皮膚模様の突然変異による変化についても、チューリングの原理で説明できる。突然変異体の模様は、チューリングの方程式のパラメータの値を変化させたときにできるパターンと対応している。



数理物理と代数幾何学 24次元の不思議を探る

金銅誠之

金銅誠之(こんどう・しげゆき)
多元数理科学専攻教授。1958年、広島県生まれ。信州大学理学部卒、名古屋大学大学院理学研究科修了。2001年より現職。専門は代数幾何学、特にモジュライに関心がある。

ムーンシャイン

数学の難問に対して100万ドルの懸賞金がかげられる昨今であるが、ほぼ30年前にパーボンウスキー1本が懸賞になった「ムーンシャイン予想」とよばれる予想がある。何やらロマンティックな響きであるが、英和辞典で「ムーンシャイン(moonshine)」を引くと「ばからしい空想」とか「密造酒」と出ている。が、予想そのものは、まったく関係のなさそうな有限群の親玉「モンスター」*1と現代数学のひな形「楕円関数論」*2との深い結びつきを示唆する魅惑的なものである。

この予想は10年ほど前に一応の解決を

見たが、証明には現代物理学から生まれた方法が本質的に用いられている。数学は古来からさまざまな分野から刺激を受けつつ独自の世界を広げて来たが、20世紀の後半、理論物理からの刺激を受けて新しい時代へと突入しつつあると思われる。粒子を点ではなく運動する紐と考え量子場の理論を展開する「弦理論」からの刺激である。中でも理論物理学者が見出した粒子の生成、消滅からなる頂点作用素代数という概念を、数学的に定式化し、「ムーンシャイン予想」の解決に用いたことは特筆すべきものであろう。

代数幾何学

さて理論物理からの刺激は私が専門としている「代数幾何学」にも大きな影響を与えつつある。私は純粋に数学的立場から研究を開始し、特に「K3曲面」*3とよばれるものの対称性やどのくらい曲面を変形させることができるかというモジュライ問題を研究してきた。が、10年くらい前から徐々に上に述べたような影響を受けはじめ、門外漢として他分野のことを勉強することが増えてきた。現代は細分化が極端に進んでいるように見えるが、やはり物事の本質は1つにつながっていると感じるようになってきた。以下、この辺りの事情についてお話したい。

数理科学においては微分方程式をはじめとしてさまざまな方程式を解くことは最も基本的な問題の1つである。私の専門の代数幾何学は、多項式の解の集まりからできる図形(多様体とよばれる)を研究する分野である。たとえば単位円は $X^2+Y^2=1$ を満たす解 (X,Y) の集まりである。楕円、放物線、双曲線などの2次曲線は最も素朴な対象の1つであるが、代数学、幾何学、解析学などさまざまな手法を貪欲に取り入れながら19世紀から現在まで大きな発展を遂げて来た分野であり、暗号理論への応用といった思わぬ展開も生み出している。数学のノーベル賞と呼ばれるフィールズ賞を受賞した日本人は、小平邦彦、広中平祐、森重文の三氏であるが、三氏とも専門は代数幾何学であり、日本は世界の拠点の1つといっても良いであろう。

24次元の不思議

先にふれたように、この代数幾何学も理論物理の大きな影響を受けつつある。1970年ごろに発見された弦理論においては理想的な物理空間は26次元の空間であり、その中の24次元の部分空間が本質であることを主張する(その後、10次元の空間が超弦理論として提唱され、1990年代には、こても代数幾何学との接点が登場し「ミラー対称性予想」*4が爆発的に注目を浴びるこ

ととなるが)。一方、数学の世界でも独自に24次元の世界を見出してきている。例えば19世紀に最初に発見された散在型有限単純群の1つマシュー群は自然に24次元の空間の対称性としてとらえられ、先に述べたムーンシャイン予想とも深く関係している。また私が興味をもっている「K3曲面」も24次元のパラメータをもっているし、曲面の対称性を表す自己同型群は不思議なことにマシュー群と関係がある。

背後にあるものは?

現在までこれら数学の面白そうな役者が登場して何か関係があることを示唆はしているが、背後にある本質的なものは発見されていないと思う。欠けているのは理論の幾何学化、たとえばムーンシャイン予想の解決に用いられた頂点作用素代数を幾何学的に実現する点と考える。

先のパーボンウスキーは飲み干されたかどうか知らないが、24次元の世界の本質を垣間見、酔いしれてみたいものである。

*1 モンスター

図形などの対称性を表す数学的概念に群という概念がある。モンスターは $2^{24} \cdot 3^{20} \cdot 5^9 \cdot 7^4 \cdot 11^2 \cdot 13^3 \cdot 17 \cdot 19 \cdot 23 \cdot 29 \cdot 31 \cdot 41 \cdot 47 \cdot 59 \cdot 71$ 個の対称性を記述する大きな群である。「71以下の素数で43, 53, 57, 61, 67がここに現れない理由を説明せよ」が、もともと「パーボンウスキーがかけられた問題であったらしい。

*2 楕円関数論

代表的関数に j -関数

$$j(q) = 1/q + 744 + 196884q + \dots$$

があるが、その係数196884とモンスターの対称性を実現される空間の次元との関係が発見されムーンシャイン予想へと発展した。

*3 K3曲面

実4次元の多様体で、その名前は、3人の数学者Kummer, Kahler, Kodaira(小平邦彦)の頭文字の「K」およびカラコルムにある当時は未踏峰の神秘的だった「K2」という山の名からつけられた。

*4 ミラー対称性予想

理論にはAサイドとBサイドの2通りの現れ方があり、片方のことを知るのもう一方の情報をういて知ることができる、という予想。代数幾何の研究対象の1つ「カラビ・ヤウ多様体」が理論物理学者から興味をもたれている。



24次元世界のイメージ

24次元にかかわるいくつかの分野とその「登場人物」の関係を表している。

現在までそれらの間のさまざまな現象が明らかになってきているが、より強い結びつきの発見が期待されている。



豊川市にある太陽地球環境研究所太陽地球環境データ解析システム室にて

オーロラの発電所はどこにある？——上出洋介

上出洋介（かみで・ようすけ）
太陽地球環境研究所所長。1943年生まれ。
東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。
アラスカ大学地球物理研究所、コロラド大学
環境科学研究所、米国立地球物理データセン
ター、米国立宇宙環境研究所などを経て現職。
専門は太陽地球系物理学、とくにオーロラ/
磁気嵐のモデリング。

カーテンを開ける

極地の空に、音もなく華麗に舞う光のカーテン*1。太陽からのエネルギーのごくわずかが地球磁場の勢力圏に入り込み、はげしく、そして妖しく光る。

「感動」と「好奇心」は科学することの原点。オーロラは、見事にその両条件を満たしている。ガリレオ、ニュートンをはじめオライヤーやライブニッツまで、多くの科学者がオーロラ的美しさに魅せられ、そのカーテンを開けようとした。原因が太陽にあるにもかかわらず*2、なぜオーロラは夜側で活発なのか。なぜ何年かに1回、血のように赤いオーロラがパリやローマまでやって来るのか。こんな素朴な疑問に科学のメスが入れられたのは、20世紀になってからのことであった。

宇宙からオーロラを見下ろす

私がオーロラに興味をもったのは、国際地球観測年(1957 - 1958)のとき。報道される人工衛星や南極観測からのレポートに、中学生の私は毎日ワクワクしていた。当時の研究者は、全天カメラの写真を丹念につなぎ合わせ、オーロラの全体像を想像していたが、今では人工衛星から一気に見下ろすことができる(図1)他の惑星でのオーロラさえも撮影され、地球に送られてくる(図2)。

パルスが走る

私がオーロラに初めて出会ったのは、ポストウ*3として就職したアラスカ大学の構内。「オーロラの中を流れる電流はどこから来るのか」で博士号を取得したが、到着したその夜、頭上に舞い狂う本物のブレイクアップ*4を見て、予想と違うダイナミックな動きにすっかり戸惑い、そして全身にパルスが走った感動を今でもはっきりと覚えている。

あの時以来、何百回もオーロラの舞いを見てきたが、その色、かたち、動きに2つとして同じものはない。自然科学とは、「同じ条件下では、同じ現象が起きる」ことを前提とし、その因果関係の理解を目標としているはずだが、オーロラのふるまいに何か

共通点があるのだろうか。

オーロラ発生の本質には迫るには、地球大気にオーロラ粒子を送り込む磁気圏^{*5}で何が起きているかを知らなければならない。またオーロラ科学には、プラズマ不安定、非線形現象、エネルギー変換、粒子加速過程など、天体物理に共通のテーマもある。

オーロラ発電所

オーロラには最高何千万アンペアもの電流が流れる。かかる電圧は数百キロボルトで、パワーは 10^{12} ワットに達する。どこに巨大な自然の発電所があるのだろうか？ 発電効率は、いったいだれがコントロールしているのだろうか？

実は、太陽の磁場をはぎ取って流れ出る太陽大気ガス^{*6}と、地球の磁場の相互作用で発電が起きている。これはMHD発電^{*7}の原理である。つまり、オーロラとは、この発電所からの放電現象であり、オーロラ電流は大電気回路の一部であるということがわかってきた。

電流が流れると周囲に磁場をつくる。地球は自前の磁場をもっているから、オーロラ電流による磁場は変動分として観測される。私は、この磁場変動という情報を使って、地球のまわりの宇宙空間のようすを刻々と知ることはできないかと考えた。これは、観測された磁場からもとの電流を推定する、いわゆる“逆計算”の1種である。話は簡単なようだが、解は一義的ではなく、オーロラが高める電離層電気伝導度を介して方程式は複雑になる。人工衛星やレーダーのデータも取り入れ、計算方式はこの10年間どんどん改良されてきた。と同時に、オーロラがない場所にも大きな電流が流れていることなど、新発見にもつながった。

今では、人工衛星から刻々と送られて来る太陽風のデータからの経験則電場をも併用し、図3に示すような、宇宙の電位、電流などの諸量をリアルタイムで計算し、私たちの研究室から世界に発信できるに至った。太陽地球間の状態が人工衛星

の軌道や搭載機器、宇宙通信、航空機との交信、地上電力系、はたまた地球上の生命にまで影響を与えかねないため、「宇宙天気」とよばれ、宇宙に飛び出す21世紀の人類にとって重要な問題になっている。

オーロラと生命の惑星

オーロラの発生には地球のもつ磁場と大気、そして宇宙からやってくる粒子の両方が必要である。必然的に、オーロラは宇宙と地球の境に発生する。磁場と大気はまた、地球の生命を危険な宇宙から守るバリアーの役もしているため、オーロラがこの惑星「地球号」に光っているということは、私たち生命がこの星に存在できる証なのである。

太陽地球環境データ解析システムホームページ
http://gedas22.stelab.nagoya-u.ac.jp/index_j.html

*1 オーロラカーテンの敷(ひだ)は、磁力線の方向を表している。もし赤道にオーロラが現れたら、観測は水平になる。これは、人工オーロラ実験で確かめられている。

*2 太陽に大黒点群が現れてから2-3日で世界中のオーロラが活発になったことを、「偶然に過ぎない」とした、あのケルヴィンの反論は有名である。

*3 ポストドクトラルフェロー= postdoctoral fellowの略。博士号をとったあと、常勤の研究職に就く前の、任期付き有給研究職。

*4 空の1点から突然光が飛び出し、あっという間に全天に広がる、まるで空が破れたかのような印象を与えるこのオーロラ現象をブレークアップという。

*5 地球の磁場の勢力範囲という意味。地球の磁場は、太陽風(*6参照)の圧力で、一定の領域に閉じ込められてしまう。

*6 太陽外延大気であるコロナガスが、太陽の重力を振り切って飛び出している。E/バーカーは、このプラズマ流を太陽風と名付けた。

*7 プラズマが磁場を横切ると起電力が生ずる。これはMHD発電(磁気流体発電)の原理である。

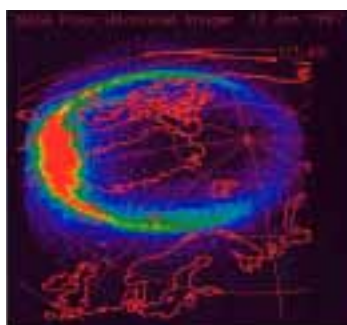


図1 宇宙空間から見たオーロラベルト。ちょうどグリーンランド南端でブレークアップが発生したところ。人工衛星Polarより撮影。(NASA提供)

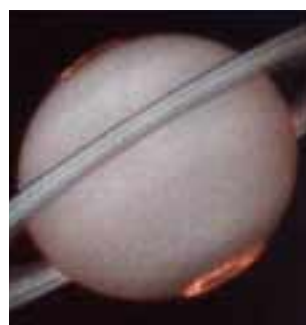


図2 ハッブル宇宙望遠鏡がとらえた土星のオーロラ。北極と南極にオーロラのベルトが見える。(NASA提供)

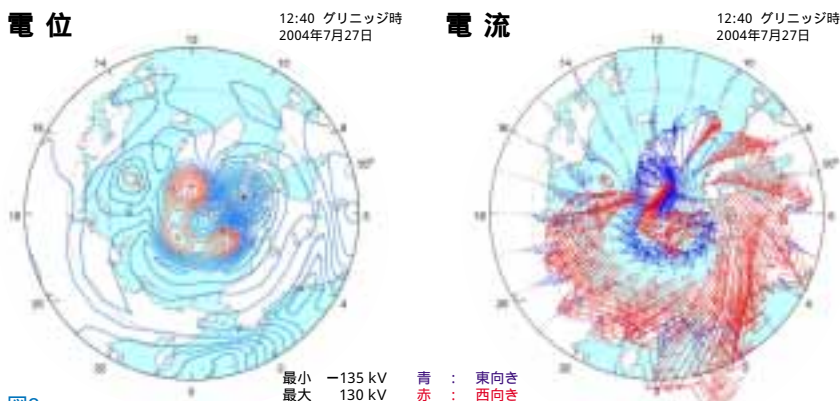


図3 太陽風のデータと地上の磁場変化から計算した、電離層での電位、電流の分布。一番外側の円は、地磁気緯度50度、太陽は上側にある。朝方と夕方それぞれ高電位、低電位が見られるが、この大規模電位分布は、太陽風と地球磁場の相互作用でつくられる。真夜中付近を中心にして、西向き(赤いベクトル)の強い電流があるが、この領域では明るいオーロラが出現している。このような「宇宙天気図」を10分ごとに計算し、世界に発信している。
<http://gedas22.stelab.nagoya-u.ac.jp/modeling/model2/rtkrm.html>を参照。



関 一彦(せき・かずひこ)
物質科学国際研究センター教授。1947年生まれ。東京大学大学院理学系研究科修了。分子科学研究所、広島大学理学部、名古屋大学大学院理学研究科を経て現職。専門は有機固体の物性化学。有機電子デバイスで重要な、有機薄膜が金属電極などと接する界面に興味をもち、界面での有機分子の並び方や電子状態をさまざまな手法で研究している。



モノを慈しむための量子力学

【量子化学 ・ 2年前期/後期】

関 一彦 教授

物質の性質、とくに原子がどのように結合して多彩な分子がつけられるか?を量子力学を用いて理解すること、それが「量子化学I」の講義目的である。量子力学というと私の所属している物理学科でも講義が開かれているが、関先生の講義には量子“化学”としての特性が色濃く反映されていると思う。いくつか例を挙げてみると「水分子の2つのHとOがなす角度はいくらか?」や「シアニンという写真のフィルムに使われている色素がどんな色に見えるか?」などを講義で実際に取り上げているそうだ。「化学というのはモノの個性を慈しむ学問。世の中の色々な物質がなぜそうなっているのか?を具体的に考えてほしい」と関先生。比較的身近に感じられる問題を考えることによって化学に限らずサイエンスが自分のものになっていくのではないだろうか。

また、同じ量子力学を扱うということについて尋ねると、関先生は「化学では衝突問題、物理では化学結合論をあまり扱いませんよね。でもお互い知っていて損はないはず。例えば衝突問題も高層大気分子を研究するには

必須なんですよ」と語る。

関先生の講義に対するアイデアはこれにとどまらない。板書を書き写させる代わりに自作のテキストプリントを渡し、講義は基本的にスライドで行っている。「量子力学という、ほぼ完成された体系を時間制限の下で教えなければならぬ。速く進めすぎると必ずドロップアウトしてしまう。だから飛ばすところはきちんと『飛ばす』と書いて、その代わりにどの本のどこを読むようにと書いています」と関先生は語る。年度末には学生の意見を汲み上げるためアンケートを実施、テキストの誤植を発見した学生にはお菓子を進呈(笑)するなど、講義のグレードアップ・学生とのコミュニケーションにも余念がない。

さらに取材中、私に「何か最近の物理の本で面白いものを紹介して」という関先生に「理」を研究する人間として、常に自らの幅を広げようという情熱を感じた。実際に物理学科生が2人参加しているこの講義に化学科、物理学科といわず、他学科の学生も参加してみてもどうだろうか。きっとサイエンスの地平が開けるに違いない。

(取材・加未敬行 かくみきやう 素粒子宇宙物理学専攻博士前期課程1年)



渡邊誠一郎(わたなべ・せいいちろう)
地球環境科学専攻助教授。1964年静岡県生まれ。
東京大学大学院理学系研究科地球物理学専攻中
退。現在の専門分野は惑星科学、気候物理学。研
究テーマは惑星系の形成・進化過程の理論的研究
など。

【地球惑星数学および演習・3年生前期】

渡邊誠一郎 助教授

数学は共通構造を見つけ出す手本



地球惑星科学という学問において数学とはどのような位置づけなのだろうか。渡邊先生はこの問いに対してこう答えた。

「数学はただのツールではなく、普遍化を与える1つのフィロソフィーなんです」。

地球惑星科学にとどまらず、あらゆる学問において複数の違うものから同じ構造を取り出して考えてみることは非常に意味のあることである。地球とほかの惑星、太陽系とほかの恒星の周囲の惑星系(すでに100個以上発見されている)を比べてみようというわけだ。その間で共通構造を見つけ出すお手本になるのが数学であり、渡邊先生の講義ではその数学の基礎となる部分を学ぶ。

しかし基礎といってもそれは解析学を中心に幅広い分野にわたる。渡邊先生はいろいろな問題にふれる機会を与えたいと考えている。多くの問題とその解法を経験しておけば、その後初めて見るような問題に直面したとしても経験というデータの中から使えそうなものを選んで使うことができる。「初めて見る問題に対して

の障壁を小さくしてあげたいんだ」と渡邊先生はいう。講義シラバスを見ると確かにハードに感じるのだが、1回1回の講義ではシンプルで具体的な例を取り上げ、数学のおもしろいところを抜き出しているような感じだ。丁寧にテンポよく進められる講義はすんなりと頭に入ってくる。「問題を解くことよりも問題を解こうと必死に考える過程が大事」と渡邊先生は穏和な目をまっすぐにして力説する。「問題の解き方よりも問題の考え方のほうが大切、だからこそツールではなくフィロソフィーなんだ」と。

渡邊先生は地球惑星科学の魅力の1つとして、宇宙の進化から生命の進化へとつながる中継点を探り、両者を関係づける役割があることを挙げた。そして、惑星から生命が分化し、惑星と相互作用しながら進化を遂げていく過程の宇宙における普遍性と多様性を探ることが今後の課題だと語った。これを機会に渡邊先生にならって自分と地球との関わり方をもう一度深く考え直してみようと思う。

(取材・音郷友哉 数理学科4年)

僕がはじめたころ、 生物物理という言葉は まだなかったんだ。

大沢文夫 名古屋大学名誉教授



1961年、名古屋大学理学部に1つの施設が産声を上げた。

「分子生物学研究施設」。

この分野の研究施設としては日本で初めて創設されたものだった。

のちの分子生物学科の前身となったこの研究施設創設の裏側には、

新たな学問を切り開こうとする研究者たちの姿があった。

その中心にいた大沢文夫名誉教授に当時は振り返っていただいた。

<インタビュアー> 坂野聡美 生命理学専攻博士後期課程1年

本物の筋肉はどうなっているのか

坂野 まずは大沢先生が生物物理を立ち上げられた当時のお話をお聞かせください。

大沢 僕が生物そのものをやりはじめたのは1954年ですから、ちょうど50年前ですね。1944年に僕は物理学教室に助手として名大にきました。そのときの先生は地学の宮部直己^{*1}先生でした。まだ地球科学科ができる前で、地球物理は理学部の一講座でした。宮部先生は寺田寅彦^{*2}のお弟子さんだった方で、ああしろこうしろといわずに勝手にやらせてくれた。その一方で、理学部はもちろん医学部の先生や企業の方などたくさんの人に引きあわせてくれた。後に他の分野の方とお話をするのがおもしろくなったのはこのときの経験があったからですね。

坂野 最初に取り組んだ研究は。

大沢 当初は泥の対流について、つまり分野としてはコロイド学になります。その後、高分子、とくに高分子電解質^{*3}の研究を始めました。1950年に、カチャルスキーとクーンという高分子の大家が電気をもっている高分子で筋肉のモデルをつくりました。弱酸でつくっているから、アルカリを入れると伸び、塩酸を入れると縮む。これが世界最初の人口筋肉です。この筋肉モデルの伸び縮みを見ながら、本物の筋肉はどうなっているのか興味をわいてきた。これが生物に近づいていったきっかけです。本物の筋肉の研究がしたくて、研究室のみんなと約2年間、生物の勉強をしました。そして、1954年の春、いよいよ生物そのものの研究に取り組むことになりました。

坂野 どんな方がおられたのでしょうか。

大沢 僕と大井龍夫^{*4}さんと今井宣久^{*5}さんと朝倉昌^{*6}さん。ここで大事なことは、1946年に物理学教室が講座制度から研究室制度^{*7}になったことです。その恩恵を、だれも先受けたのが僕でした。50年に転出した宮部先生のを上田良二^{*8}先生らからまかされた僕は、その12月に助教授になりました。28歳のときです。これで1つの研究室として独立し、人事のことも他の

研究室と対等にいえるわけです。

坂野 すでに生物物理という言葉はあったのでしょうか。

大沢 なにしる対象物のことしか考えていませんでした。物理学会に生体物理分科会ができたのはもう少しあとのことです。

物理学教室にウサギ現る

坂野 当時、研究室の雰囲気は。

大沢 材料は絶対に自分たちでとると決めていました。高分子の時代に、材料は自分でつらなければだめだということを骨身に染みてわかっていましたから。もらった高分子はデータが狂います。ましてやタンパク質だから、絶対自分でやらなければいけない。これが旗印です。

54年の夏休みに、朝倉昌さんが代表して札幌医大へウサギの殺し方を習いに行きました。名古屋大学物理学教室ではウサギが現れたと評判になりました。有名になってよかったんですが、教室としてはびっくり仰天です。坂田昌一^{*9}先生なんかとくに苦手でしたね。ウサギはみんな殺すんです。耳に注射し、朝倉さんがエーテルをかがせて喉を切って、死んだところに今井さんが皮をむいたら大井さんが肉を取る、と役目が決まっていた。皮をはくと湯気がでて、廊下にていでいくんです。それが朝10時ころで、ちょうど坂田先生の出勤の時間。すると坂田先生は走って逃げていくの。それがまた面白くて(笑)。

最初の論文までに5年

坂野 設備はそろっていたのでしょうか。

大沢 電気冷蔵庫もない。低温室もない。遠心器もない。外国ではこの話がいちばん受けます。シュトラウプというハンガリーの学者が、その3つがなくてもアクチン^{*10}というタンパク質を生成する方法を発明していました。アクチンは繊維をつくるので高分子研究の経験が応用できました。

坂野 アクチンを使ってどういう研究をしようと考えておられたのでしょうか。

大沢 アクチン分子は重合してつながってフィラメント^{*11}になるということはわかってい

ました。また純粋の水に戻すとばらばらに壊れることもわかっていました。その重合状態をなにも考えず、やみくもに絨毯爆撃的にすべての環境条件で試して、その溶液はどのような性質を示すかを調べていきました。

実は僕は、筋肉からアクチンを抽出精製した段階で、変性物が混じっているのだと思っていたのですが、学会で発表していると、ある先生が「あ、そこにモノマー^{*12}もいるんですね」といったんです。それで「ああ、そうか」と気がつきました。早速山ほどあったデータを、全部並び替えてみました。そこでポリマー^{*13}ができるための臨界濃度があることを発見しました。気体と液体が平衡にあるのと同じようにモノマーとポリマーが共存するのです。この時点で研究を始めてから2年と数カ月がたっていました。次の2年間は、それを証明する実験を続け、最初の論文が完成するまでに5年かかれました。

坂野 その間プレッシャーは感じられませんでしたか。

大沢 まったく感じませんでした。僕もあとの人も、そのアクチンの仕事とは別に2、3年に1本くらいは論文を書いていたんです。だから4人とも、はげ口はあったわけです。それは精神的にはよかったです。今から思うと不思議なくらい先のことを心配するような雰囲気はありませんでした。

坂野 他の物理の先生からの影響も大きかったのでしょうか。

大沢 坂田さんの階層論は好きでした。僕は筋肉を説明するときに階層の図を描いていたんです。まず原子から分子になってタンパク質分子になって、集合して集合体の集合になって、ここで収縮機能が現れます。構造と機能の発生学です。坂田さんには分子生物の大学院をつくってもらったくらいいろいろとお世話になりましたが、いちばんの恩恵は、階層論が僕に染み込んだことです。

「分子生物学研究施設」創設へ

坂野 研究費や実験室などでご苦労があったのではと思いますが。

大沢 研究室が狭くて困るということはありませんでした。測定装置は手づくりのもの

*1 宮部直己(1901-1969)
元名古屋大学理学部教授。

*2 寺田寅彦(1878-1935)
地球物理学者。科学全般に興味をもち、独自のスタイルの現象論は「寺田物理学」と称せられた。科学随筆家として数々の名文を残す。

*3 高分子電解質
一般に分子量が10000以上で、その主鎖が主として共有結合でできているような化合物を、高分子化合物という。電解質とは、溶液中でイオンに解離し、このために電気伝導性をもつ物質。

*4 大井龍夫(1924-)
元名古屋大学理学部助教授。

*5 今井宣久(1926-)
名古屋大学名誉教授。

*6 朝倉昌(1927-)
名古屋大学名誉教授。

*7 研究室制度
講座が、教授、助教授、講師、助手等上下の身分によって固定された集団であるのに対し、研究室は、同じ目標を有する研究者たちの自由なる研究組織である。講座とは異なりきわめて流動性をもった集団である(坂田昌一著「科学者と社会」(論集2)岩波書店、1972年より)。1946年6月13日に制定された名古屋大学物理学教室憲章とともに発足し、物理学教室の研究者組織の基本とされる。

*8 上田良二(1911-1997)
元名古屋大学理学部・工学部教授(本誌第6号P.1参照)。

*9 坂田昌一(1911-1970)
元名古屋大学理学部教授(本誌第2号P.1参照)。

*10 アクチン
筋肉を構成する主要なタンパク質。他の主要なタンパク質にミオシンがあり、筋肉の収縮はアクチンとミオシンの相互作用でおこる。

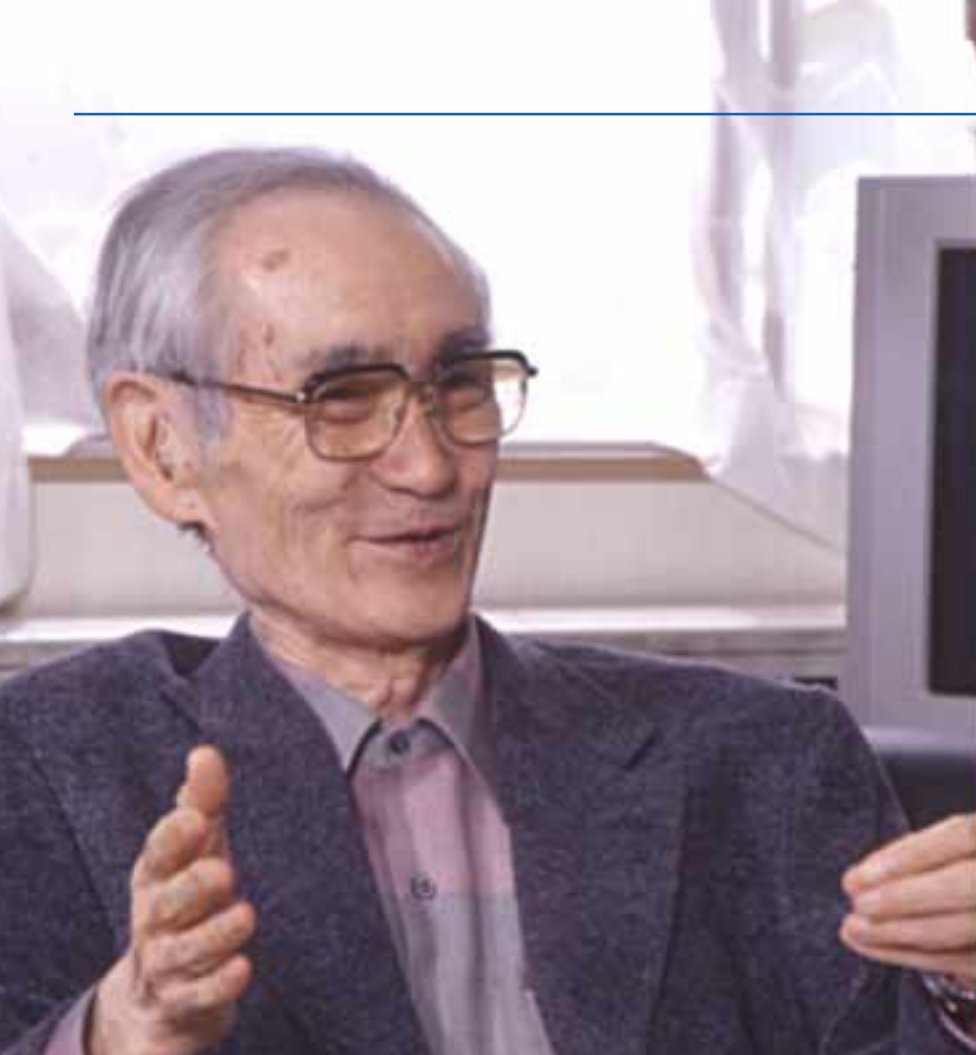
*11 フィラメント
細い線状の物質。

*12 モノマー
単量体。重合の単位、あるいはそれが重合せずに存在している状態をさす。

*13 ポリマー
重合体。モノマーが重合している状態の化合物。



研究装置の多くは手づくりであった。
写真は流動粘度計測定装置。



大沢文夫(おおさわ・ふみお)
名古屋大学名誉教授。1922年生まれ。1944年東京大学理学部物理学科卒業。同年名古屋大学理学部助手。1959年名古屋大学理学部教授。1973年から大阪大学基礎工学部教授を併任。1986年に両大学を定年退官。現在、愛知工業大学客員教授。

のでした。必要ならば、低温室は生物教室の山田常雄^{*14}先生、遠心機は化学の江上不二夫^{*15}先生に借りました。

坂野 そうした交流もあって分子生物学研究施設^{*16}につながるわけですね。

大沢 59年に最初の論文が出たころに、研究施設をつくらうという話がおこりました。生物の山田さんと化学の江上さんと3人で共同で研究施設の案をつくりました。

坂野 その当時、分子生物学といって文部省にわかってもらえたのでしょうか。



分子生物学研究施設創立当初の第3部門と物理K研のメンバー。前列中央が大沢名誉教授。

大沢 ほとんどわかってもらえないです。でも人をみるんですね。1960年、38歳のときだけど、むしろそのころは若いということの方を評価してくれたのではないかな。1960年は生物物理学会ができた年でもあります。発会式があったのが1960年12月10日。これは僕の誕生日。内緒で合わせてあるんです(笑)。

坂野 そのころ、他の大学でもそういう研究は始まっていたのでしょうか。

大沢 小谷正雄^{*17}先生が東大で生物物理を始めるといって大学院生を募集したのが1960年です。

坂野 学生は集まったのでしょうか。

大沢 何しろ物理教室で生物そのものを扱うので、始めのうちは上田先生あたりがすすめてくれないと学生が来てくれませんでした。分子生物学研究施設ができた61年ごろからは日本中に知られるようになって学生が積極的に入るようになりました。そのときに入ってきたのが郷通子^{*18}さんたちです。物理と分子生物とにまたがって大きなグループになりました。

坂野 郷先生や宝谷紘一^{*19}先生や藤目杉江^{*20}先生には私も直接教えていただいています。すごい方たちがいらっしまったんですね。

大沢 写真をみるとわかるけど、目つきが違うね。郷さん、宝谷さん、藤目さん、みんな目つきがすごい。もう、気迫が伝わってくる。気力が違うんだね。

なぜ、分子生物学だったのか

坂野 分子生物学研究施設は、なぜ生物物理学ではなく分子生物学としたのですか。

大沢 分子生物という名前は江上さんの発案でした。生物物理は1960年に学会ができていたりして、いわば言葉として定着していました。しかし僕は同じ言葉を全部に使うのはまずいと思っていました。生物物理学会があり、生物物理学科があり、生物物理研究所があり、と皆同じはずい。

坂野 それは、境界領域でなくなって、固定領域になってしまうからですか。

大沢 そうです。同じことをやっ

別の言葉を使っているほうが安全だと考えた。ですから生物物理研究施設ではなく分子生物学研究施設のほうがいいと思いました。だいたい、生物物理って言葉ががっちりしているでしょう。物理っていうと、かたそうに聞こえていやだなあと。むしろ分子生物という言葉を使いたかった。

もう一つの理由は分子レベルの生物学を物理学にしたいという思いがあったからでした。僕のバックグラウンドは物理ですから、自然に物理学的なアイデアが入ってきて独特なものになるはずである、という期待がありました。ですが生物からきた大澤省三^{*21}さん、化学からの竹村彰祐^{*22}さん、数年後に加わった岡崎令治^{*23}さんは、最初から分子生物そのものです。

新しい物理の可能性

坂野 研究するに当たってどんなことを考えておられましたか。

大沢 生物か物理か化学かということは問わず、やみくもに実験しようとした。階層は分子と決めました。分子から生命現象へ、下から上がっていくと方向は決めました。物理的問題をピックアップしてやろうと考えるのではなく、最初は全部抱え込んでやりました。そして5年かかったら、物理学者らしい結果になったわけやね。統計力学

で記述できるようにした。それは初めてだったんです。まだ物理になっていない生物の問題を、トータルでやっているうちに物理の部分が浮かんでくることを考えた。

坂野 今、論文の速報などで読んでいても構造が解かれたというものが多い。構造を解いたら終わりという風潮があるような気がして、違和感を感じるのですが。

大沢 構造を解いたらわかった、ということもあります。DNAの2重螺旋なんか、典型的な例です。ただ僕の気分としては構造と機能だけではなくて、本当は状態論をやりたい。もともと物理は状態論が得意なはずなんです。

坂野 先生が生物物理という学問を開かれて50年になります。これから生物物理はどうした方向に向かうべきでしょうか。

大沢 僕は昔々、ウサギを殺してやみくもにやってきました。分子レベルからスタートして上がっていくという方向だけ決めて、行く末は運動機構、メカニズムに行きたいと思っていました。これからはさらに本質的なものがあらわれてくる可能性がある。生物の自発性の源に興味をもっています。すると新しい物理がつけられるかもしれない。新しい物理をつくらなければいけないというほうが望ましい。おそらくそうした研究がなされてくるのではないのでしょうか。

*14 山田常雄(1909-1997) 元名古屋大学理学部教授。

*15 江上不二夫(1910-1982) 元名古屋大学理学部教授。

*16 分子生物学研究施設 1961年に創設され、1987年には分子生物学科に発展。1996年に生物学科と統合され現在の生命理学科に改組。

*17 小谷正雄(1906-1993) 元大阪大学基礎工学部教授。理論物理学者。のちに生物物理に転じ、学会創設を主導し、さらに大阪大学に生物工学科を創設した。

*18 郷通子(1939-) 名古屋大学名誉教授(本誌第1号P.5参照)。

*19 宝谷紘一(1940-) 名古屋大学名誉教授(本誌第3号P.3参照)。

*20 藤目杉江(1938-) 元名古屋大学理学部助教授。

*21 大澤省三(1928-) 名古屋大学名誉教授。

*22 竹村彰祐(1924-) 名古屋大学名誉教授。

*23 岡崎令治(1930-1975) 元名古屋大学理学部教授(本誌第3号P.1参照)。

『講座:生物物理』 大沢文夫著 (丸善1998年刊)



生物物理学の本質にふれる

—— 坂野聡美 (ばんの・さとみ)

以前、大沢先生の著書やそれに関連した本をいくつか読んだことがありますが、先生の研究に対する思いや情熱に感銘を受けたことを覚えています。今回、分子生物学科の創立、また生物物理学の提唱をされた大沢先生との対談ということで、日ごろから勉強不足な私は「何を聞いたらいいのだろう」と、大パニックでした。ですが、やはり直接お話をうかがうというのは、緊張感だけでなく、本からの知識と比べて感動の度合いが違いました。

実験設備もお金も何もなくてから分子生物学科をはじめられたということで、どれだけ大変だったか想像もつきません。しかし先生のお話からは、苦勞してつらかったという印象は感じられませんでした。逆境だからこそ、やりたいことをやるという信念を貫き通すことができたのでしょうか、またそれが、思い出話として聞く者を楽しませるのでしょ。当時の学生さんたちの気迫も今と比べてまったく違うというお話がありましたが、今のよう恵まれた環境で研究をさせてもらえる私はきっと生ぬるい目をしているんだろうな、と痛感せざるをえませんでした。

私自身、3年とちょっとのあいだ生物物理の分野に属しながらも、「生物物理とは何か」という問いかけには答えられないままでした。しかし今回の対談で「いきものを物理学の見地から解明する学問」=これが生物物理学の本質であるというお話から、私なりの生物物理イメージを多少なりとももてたような気がします。先生の著書にあった生物物理学の「積み木細工を超えた生き物のしくみ」という考え方にとても魅力を感じました。私には物理学のバックグラウンドが全くありませんが、この対談を機に、自分の苦手な分野や知らない境地を開拓していけたら、と思いました。

より「生き物らしさ」を追求していくという生物物理学論や、始めたばかりの研究室でのエピソードなどを、あるときは熱く、あるときは遠い目を見ながら語り、また、ときおりはかむように微笑まれる先生がとても印象的でした。





同窓生から

自然科学から現代美術へ

批評家 杉田 敦(すぎた・あつし)

昨年末、久しぶりに名古屋に1週間ほど滞在した。県立芸術大学で現代美術とその思想的背景について講義するためだ。学生のころ、そうしたかたちで名古屋に来ることになるとは想像もしなかった。卒業後、現代美術を中心とした批評活動を行うようになるまでの経緯は簡単には説明できない。一時期、画像認識や認知科学の研究を行っていたといえ、おぼろげながらその道筋を思い浮かべていただけるだろうか。

アートという分野は面白い世界だ。論理性も実証性も求められない。理学部で学んだこととは対照的だ。一見するとそれは気まぐれで、単に奇をてらっているようにも見える。けれどもそこには、紛れもなく、自然科学と同じ知性の働きがある。観察と分析があり、そしてひらめきがある。また、今日では科学同様、強く社会性が求められている。

私がアートについて考察するようになって、遅ればせながら勉強し始めた自然科学の思想家もいる。科学哲学者のP.K.ファイヤーストーンはそんな1人だ。彼の考え方は、驚くほど現代美術に対して雄弁だ。単に、彼の過激な相対主義を指しているわけではない。堅牢な体系に対して異議申し立てする方法と姿勢において学ぶべき点が多いのだ。アートは、科学技術の表面をトレースするだけでなく、こうした部分こそ深く呼吸する必要がある。

また逆に、自然科学の側も、もっと同時代のアートに対して興味を持つべきだ。相互に刺激し合う欧米における両者の関係は、あらためて民度の違いを感じさせられる。

現代美術の作家の中には、刺激的な思考スタイルの作家が少なくない。同じ時代を生きる人間が、別の方法で種々の問題にアプローチしているのだ。少なくとも両者は、相互に興味を抱くべきだ。

(物理学科1981年卒業)



▲「緊急討議 戦争と写真」にて。筆者は左端。中央は深川雅文(川崎市市民ミュージアム学芸員) 右端は飯沢耕太郎(写真評論家)の各氏。

執筆者募集

このコーナーでは、ご執筆いただける同窓生を募集しています。お知り合いで、さまざまな分野で活躍されている方をご推薦ください。ご連絡は広報委員会(裏表紙左下参照)までお願いいたします。



キャンパス通信

ノーベル賞展示室、オープン

物質科学国際研究センター教授 北村雅人(きたむらまさと)



去る8月9日に、名古屋大学野依記念物質科学研究館ノーベル賞展示室と、名古屋大学物質科学国際研究センターの開所記念式典が行われた。野依記念物質科学研究館は、野依良治名古屋大学特任教授(独立法人理化学研究所理事長)が2001年ノーベル化学賞を受賞されたことを記念して、野依記念学术交流館とともに平成15年度末に竣工した。

地下1階、地上7階からなる研究館は、3階から6階に研究・実験区域が7階には野依特任教授室等が配置されている。実験区域は化学系研究実験棟のモデル施設となるべく設計されている。特に5階は、分子触媒関連の産学連携・国際共同研究を推進する場として整備されている。化学の重要性を広く一般社会に伝えることと、次世代研究者の育成を目的として、研究館2階が一般公開されている。ケミストリーギャラリー(開館時間午前10時~午後4時、土日・祝日閉館)は野依特任教授のノーベル賞展示室として、「次世代研究者のためのインスパイアスペース」、「野依博士の足跡紹介」等のコーナーが設けられている。また、ギャラリーの吹き抜けからは、研究館1階の装置群も見下ろせる。ケミストリーラウンジは、120名収容可能な講演室と連動してポスターセッション等を開催できる空間となっている。

当日は、ノーベル賞展示室前におけるテーブルカットの後、豊田講堂において記念式典が執り行われた。式典では、リキテンシュタインのロゴ「Peace through Chemistry」が野依特任教授から寄贈された。約800名の聴衆の参加のもと、野依特任教授の基調講演とパネルディスカッションからなる記念シンポジウム



「科学 その美しきもの」が式典に引き続いて行われた。また、式典後には野依特任教授らと高校生との懇談会が行われた。

交 差 点



キャンパス通信

グリーンランド内陸氷床縦断を終えて
地球環境科学専攻博士後期課程1年 長谷徹志(ながたに・てつじ)

いつか極地探検をしてみたい、との思いをもち続け、その機会をうかがっていたときに冒険家・大場満郎氏と出会い、2人でグリーンランドを縦断してきた。私は環境学研究科博士課程に所属しており、これまでは主に黄砂の物理的・化学的性質に関する研究に取り組んできた。トレーニングやスポンサー獲得、装備集めに1年を要した。気がつけばあっという間に1年が過ぎ、いつの間にかスタート地点に立っていた。今回の旅は単なる冒険ではなく、縦断と同時に大気や降雪、紫外線の影響等の環境調査を行うという重要な意味合いをもっていた。



▲ゴール地点からピックアップされる大場氏と筆者(右)

グリーンランドは面積が日本の約6倍もあり、そのほとんどが大陸氷に覆われている世界最大の島である。2004年4月5日にグリーンランド南端をスタートし、北端までの約2500kmを食糧、装備、観測機材等を積んだ110kgのソリを引きながら、雪と氷だけの世界を57日間かけ縦断した。移動手段は歩きとスキーセールである。スキーセールとは大きな尻で、その尻に風を受け、スキーを履いて雪面を滑っていくものである。もちろん縦断は順調ではなかった。パートナーである大場さんとは何度も衝突した。年も倍ほど違う、極地の経験など比べものにならない2人が、2カ月間もいっしょにいれば衝突するのは当然であろう。また、転倒の連続で体のいたるところが痛み、鼻も軽い凍傷になった。クレバスだらけの地帯を恐る恐る進んだこともあった。何度かくじけそうになったことは



▲大気サンプリングの準備をする筆者

ある。そういう時は、「とにかくあと少しだけがんばってみよう」の連続だった。そうしている間に、徐々に自信が付きなるとかなるものである。また今回の環境調査に関していえば、私は自ら選んだフィールドで自分の好きな研究をすることができ、本当に貴重な体験をさせていただいたと、調査に協力してくださった研究室の皆さん、そして岩坂泰信教授に感謝している。今後は、持ち帰ったサンプルの分析を行い、学会や論文等のかたちで発表できることを楽しみにしている。



事務部だより

「激動」の年
事務部事務長補佐 森本正廣(もりもと・まさひろ)



私は、平成15年6月1日付けで30年余勤務した三重大学から人事交流により名古屋大学理学部・理学研究科・多元数理科学研究科に転任してきた。名古屋大学には、三重大学として日常の業務遂行上でも種々指導をいただいていたので、多少なりとも知っている心つもりだったが、俗にいう「聞く」と「見る」では大きな違いがあった。特に配属された理学部・理学研究科においては、まず建物の老朽化、狭さ(一部は研究棟が新築)に驚き、ついで21世紀COEプログラムの研究プロジェクト採択を含めた教育・研究における「動」を実感し、先生方のバイタリティーに驚いた。先生方の協力を得ながら納得される事務的な支援がどこまでできるのか、不安を抱きながらも足手まといにならないよう心がけていこうと思っている。

さて国立大学の法人化だが、名古屋大学では中部地区の主幹大学として国立大学法人化へ向けての検討が精力的に進められてきた。平成15年度にはその検討結果に基づき法人化移行への具体的作業として、まずは総長の選考に始まり、管理運営の組織・体制、法人職員としての就業関係、国立大学法人としての財務関係ならびに管理運営上の諸規則の制定と、各セクションの実務上の取り決めなど大量の法人化移行への情報が整備され、職員に提供されてきた。

しかしながら、これら大量の法人化情報は、直接検討に携わっていない多くの職員に対して、十分な説明と理解を得る時間がとられないまま、説明会は開催したとの声が聞こえそうであるが、一時に提供されることとなり、平成16年4月の法人発足時には実務処理に多少の混乱が生じたのも事実である。大きな変革期には止むを得ないのではあろうが、4月以降も法人化に必要な事項、特に実務上の取り扱い等については引き続き検討されている。国立大学法人名古屋大学として軌道に乗るにはもう少し時間が必要であろう。

【研究会・学会スケジュール】

第4回卵と胚外被の分子細胞生物学に関する国際シンポジウム

開催日:2004年11月8日(月)~12日(金)
 開催場所:メルバール伊勢志摩(三重県大町)
 主催:第4回卵と胚外被の分子細胞生物学に関する国際シンポジウム組織委員会
 問い合わせ:澤田 均 理学研究科附属臨海実験所 所長
 hsawada@bio.nagoya-u.ac.jp / TEL:0599-34-2217

第1回平田レクチャーシップ(Yoshimasa Hirata Memorial Lecture)

開催日:2004年11月16日(火)
 開催場所:名古屋国際会議場(名古屋市)
 主催:平田義正先生追悼記念事業会
 問い合わせ:上村大輔 名古屋大学大学院理学研究科 教授
 uemura@chem3.chem.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-3654

第4回名古屋国際数学コンファレンス

Complex Geometry and String Theory
 開催日:2004年12月9日(木)~12月11日(土)
 開催場所:名古屋大学野依記念学術交流会館コンファレンスホール
 主催:名古屋大学21世紀COEプログラム「等式が生む数学の新概念」
 問い合わせ:菅野浩明 名古屋大学大学院多元数理科学研究科 教授
 小林亮一 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/ja/research/conference/index.html

名古屋微分幾何研究集会2004

開催日:2004年12月18日(土)~12月21日(火)
 開催場所:名古屋大学野依記念学術交流会館コンファレンスホール
 主催:名古屋微分幾何研究集会2004組織委員会
 問い合わせ:納谷 信 名古屋大学大学院多元数理科学研究科 助教授
 http://www.math.titech.ac.jp/tshoda/nagoya-geometry2004-j.html

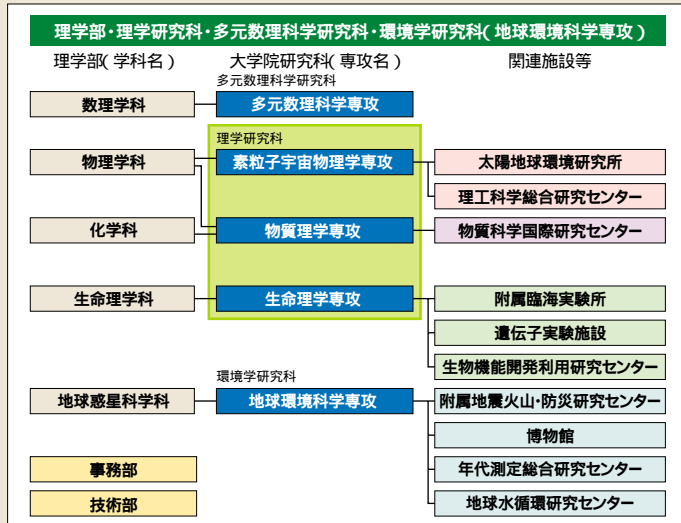
第3回坂田・早川記念レクチャー

開催日:2004年12月25日(土)
 開催場所:名古屋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
 問い合わせ:三田一郎 名古屋大学大学院理学研究科 教授
 sanda@eken.phys.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-2859

第19回「大学と科学」公開シンポジウム「重要で不可思議な生物現象の化学」

開催日:2005年1月29日(土)~30日(日)
 開催場所:千里ライフサイエンスセンター(豊中市)
 主催:平成16年度文部科学省科学研究費補助金
 研究成果公開促進費「研究成果公開発表(A)」補助事業
 問い合わせ:上村大輔 名古屋大学大学院理学研究科 教授
 uemura@chem3.chem.nagoya-u.ac.jp / TEL:052-789-3654

組織図



理 *philosophia* No.7 October 2004
 2004年10月15日発行



表紙説明(上から)
 シマウマ
 タテジマキンチャクダイ
 セイルフィンプレコ
 ユカタハタ
 生物のもつ独特の繰り返し模様の秘密を解き明かす。



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
 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2005年4月発行の予定です。



編集だより

本号は、分子生物学の新旧をとりあげました。大沢文夫先生は、日本の分子生物学の草分けの一人、名古屋大学での研究チーム創設当時のお話を存分に語っていただきました。坂田昌一先生、上田良二先生らが応援して生物の研究グループを物理学教室につくり、自由な空気の中で、30歳前後の研究者たちがいきいきと研究に打ち込んだ様子が伝わってきます。自分の分野にこだわることなく、新しい学問の発展を応援する雰囲気名古屋大学の理学部にあふれていたと感じました。異分野間の交流も、今では考えられないほど盛んに行われていたのです。現在の研究者が失ってしまったものの大切さを、考えさせられます。語り継いでいきたい名古屋大学の伝統の一つです。



特集の記事、近藤滋先生のお話は、生物の「縞」がテーマです。数学者のアイデアに端を発し、生物学のプロもつい見過ごしてしまう、縞の形成の仕組みを解き明かそうという野心的な研究です。生物学はもとより、数学、物理学、化学などの研究者も、大いに好奇心を刺激されたようです。3人の若手研究者が、それぞれ異なる分野から興味深いコメントを寄せられました。既成の学問の壁をくずして新たな謎に挑戦する研究の醍醐味と同時に、自らの問題意識を貫く精神力の大切さを感じます。

(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)
 鈴木和夫(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)