

# 理研ニュース

No. 197 November 1997

理化学研究所

## 2 ● 研究最前線

- ・情報幾何学と神経回路網で脳型コンピュータを創る

## 6 ● SPOT NEWS

- ・National Science Foundation とは？

## 7 ● TOPICS

- ・大型放射光施設「SPring-8」が完成
- ・第3回 理研とINFNの合同シンポジウムを開催
- ・「高橋克己とビタミンA」展
- ・研究職員の受賞のおしらせ

## 8 ● 原酒

- ・回想のひとつ

## 脳の解明・脳の数理



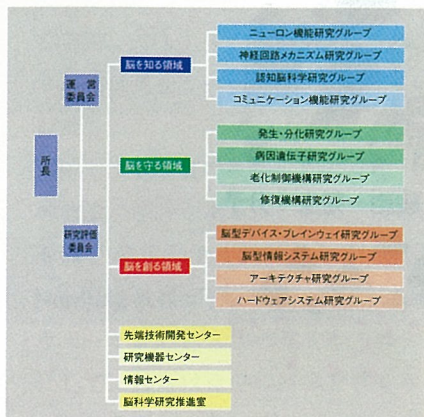


# 情報幾何学と神経回路網で 脳型コンピュータを創る

10月1日に「脳科学総合研究センター」が理研に開設された。このセンターは、「脳を知る」「脳を守る」「脳を創る」という三本柱からなり、日本で初めての総合的な脳研究機関として、脳研究の世界的な中核となることを目指している。

「脳を創る」という工学的な領域に属する「脳型情報システム研究」グループの甘利俊一ディレクターは、3年前に東大工学部計数工学科教授と兼務で理研の国際フロンティア研究システムのディレクターとなり、現在に至っている。「1年半前に東大を退官し、現在は理研専任ですが、実はこの研究センターにはパーマネントな研究員は一人もいないんです。ぼくはもちろん、所長の伊藤正男さんでさえ1年ごとの契約更新です。いわば日雇いですね」と笑う甘利ディレクターは、柔軟で風通しのよい組織がすっかり気に入っているようだ。

このような環境下、新しい脳型コンピュータの創成に挑戦する甘利ディレクターの野心的な試みを覗いてみよう。



脳科学総合研究センターの構成

## 二つの脳型コンピュータ

1945年11月、18000本の真空管を使ったデジタル計算機「ENIAC」が米国で完成した。しかし、これはプログラムを内蔵しておらず、コンピュータ第一号とはいいがたい面もある。一方、同年6月にフォン・ノイマンは、EDVACという別のコンピュータの開発企画に関するレポートに、「記憶、演算、制御、入出力の四つのユニットからなり、プログラム内蔵でかつ逐次処理を行う」というデジタル・コンピュータの基本定義を初めて著わし、今日のコンピュータの基を刻んだ。「しかしながら現在のコンピュータは、人間の脳を『情報を記号（言語）で表現し、これを論理的に処理する機械』と考えるモデルに基づいているといえるでしょう。人工知能もこの延長線にあります」と甘利ディレクターは言う。

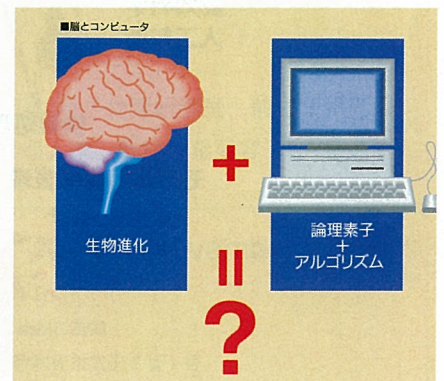
こういう記号論理的な脳モデル（思考モデル）の有効性と限界について徹底的に考えたのがイギリス人のチューリングで、1936年に発表した『計算可能性の理論』においてこれを詳しく論じている。

一方で、脳は記号処理ばかりをやっているのではない、他の方法もとっているのではないか、という考えの人たちも当初からいた。「私たちが人の顔を見て、一目で『〇〇さん』とわかるのはなぜか？ こういったパターン認識の問題から脳のモデルをつくらう、学習機能をもつニューラルネットワーク（神経回路網）のようなものを考えよう、というのはずいぶん早い時期からありました。60年代にアメリカのローゼンブラットが提唱したパーセプトロンはその一例ですね。」

パーセプトロンは情報を処理する三つの層からなるニューラルネットワークで、学習能力のあるパターン認識機械であった。「発想はよかったです、いかんせん当時の技術では実現不可能でした。そうこうしている内に、このような脳のモデルの研究は下火になってしまいました。たしかに研究にも流行がありますね。」

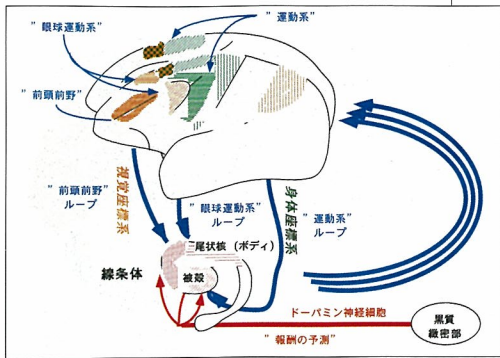
70年代に入ると、記号処理型のコンピュータは飛躍的に進歩し、人工知能の研究も盛んになった。しかし70年代も後半になると「やはり記号処理だけではまずいのではないか。もっと違う原理も必要なのではないか」という考えが再び出てきた。

そして80年代になるとLSI技術も成熟し、ハード的にもかなりのことができるようになってきた。そこでニューラルネットワークのような情報処理を、もう一度きちんと研究すべきだという風潮が高まり、やがて現在に至るニューラルネットワークの一大ブームが起こったのである。「ニューラルネットワークで扱う脳の情報処理モデルでは、情報が脳全体に分散して表現されており、それらの情報同士、さらに外からの情報との相互作用によって、新しい情報がつくられま



脳とコンピュータの融合





大脳基底核のループでの、異なる表現系を用いた逐次の運動の学習・制御

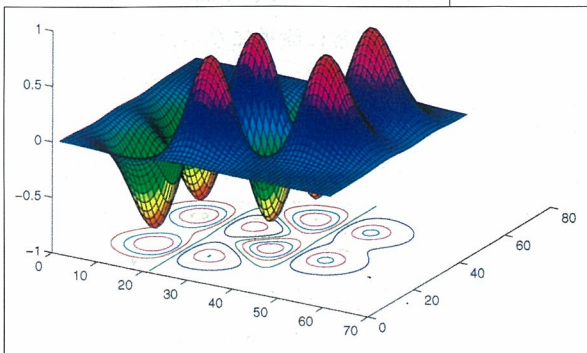
す。相互作用は並列的で、この作用から学習効果も生じるというものです。」

このようなシステムの構築こそが「脳を創る」ことになるのだろう。

### 新しい脳型コンピュータの基本原理は？

分散表現・並列処理・学習機能をもつ新しいコンピュータを実現するために、甘利ディレクターが目標としているのは、このようなシステムの基本原理の確立だ。「並列処理を可能にし、学習能力を支え、情報が時間とともに発展していくというダイナミクスを引き起こす原理は何か、ということですね。」

ただし、物理空間におけるニュートン力学のような、何かオールマイティな第一原理が発見できるとは、まったく考えていない。「こういう複雑なシステムでは、同等の資格をもつ原理がいろいろ存在し、問題に応じてその組合せを変えて万能性のある本格的なものになる…、私はそんなイメージをもってます。従って、原理の発見にはいろんな学問分野の



神経場における興奮の時空間パターン

方法論が必要でしょう。」

実際、情報工学はもちろん統計理論や制御理論を始め、さまざまな分野の研究者がニューラ

ルネットワークに興味をもち研究を進めている。その非線形性のダイナミクスが研究者を引きつけるチャームポイントらしい。

そんな中で甘利ディレクターの戦略は、情報幾何学の方法論を使ってニューラルネットワークを攻略するところにある。「私がニューラルネットワークの研究に一生懸命取り組んだのは1970年代の10年間で、世の流行には反していたわけです。ランダムに結合したニューロンのネットワークを考え、統計的手法を取り入れて解析したりしました。」

その他にも、学習や自己組織化などの仕組みをニューラルネットワークのモデルを作って追究したりしていた。「その成果を『神経回路網の数理』として出版した後、脳にばかりしがみついているとマンネリになってしまうのではなかろうか…。視野を広げるために、専門の数理工学の手法をもっと他のテーマに使って、新しく発展させてみようと思ったのが情報幾何学です。」

以前から情報の研究には、何か基本的な方法論が欠けているような思いを抱い

ていた甘利ディレクターは、情報要素間の関係を重視した幾何学的方法論の導入をはかることにした。「コンピュータのデジタル主義によって、情報が自然にもっている繋がりや距離、位相などが無視され、とにかく腕力で計算できればいいといった状況で

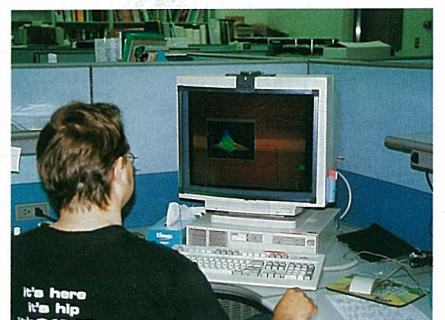


脳型情報システム研究グループの中の情報創成システム研究チームのメンバー

した。これを何とかしたいと…。」

シャノンは情報を確率分布として扱って情報理論の構築に成功しているが、甘利ディレクターは多数の確率分布からなる空間を対象とし、ある確率分布ともう一つの確率分布がどれくらい近いかなどの空間の幾何学的構造に関する理論をつくった。「わかりにくい話でしょうが、この情報幾何学を使えばニューラルネットワークの有効性を考えるときも、1個1個のニューラルネットワークの特徴を調べるだけでなく、ある構造のニューラルネットワーク全体のつくる空間の構造を考えることによって全体に大きな網をかけ、その情報処理能力がどれくらいのものかを調べていくことができます。ですから、情報幾何学を使えば、チューリングが記号処理に関して行なったような仕事をニューラルネットワークに対しても行なうことができ、ニューラルネットワークの基礎理論の一つが、この方向でできるのではないかと考えています。」

本年7月に甘利ディレクターは、米国電気電子技術者協会 (IEEE) の「エマニエル・R・ピオレ賞」を受賞しているが、これはニューラルネットワークの基礎原



研究室風景

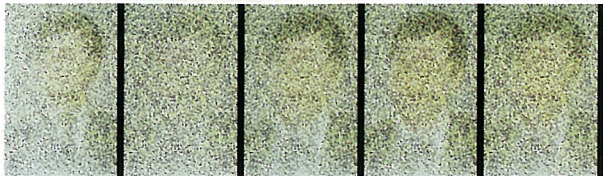








5枚の未知の画像



これらを未知の混合率でまぜ合わせたもの



混合画像から原画を復元したもの

#### 混合画像からの独立成分の抽出

離は短時間で非常にうまくいった。

甘利ディレクターはこの解法をナチュラルグラディエントと名付けている。それは、この方法がリーマン空間の構造から自然に導かれる確立降下法だからである。そしてチホツキ博士だけでなく、「どうしてこんな簡単なことを思いつかなかったのか」と悔しがったというベル博士も今やナチュラルグラディエントの広報マンとなっているようだ。

このような複数音声の分離技術は雑音や混信の除去をはかれるので、携帯電話などの移動体通信分野でも注目を集めている。また、この分離技術は音声だけでなく画像の分離などにも使える。

甘利ディレクターたちは、これを脳磁図に応用することを計画している。脳の磁場をいろいろな部位で測定しても、それは複数ある磁場の発生源の重ね合わせとして出てくる。分離技術を用いれば、脳のどの辺にどのような強さの磁場の発生源があるかを明らかにすることができよう。この研究は東京大学や筑波にある通産省の生命工学工業技術研究所と共同で進められる予定だ。

## 脳科学総合研究センターの役割

脳科学総合研究センターの「脳を創る」領域は四つに分かれている。①ブレインウェイ研究、②アーキテクチャ研究、③脳型情報システム研究、④脳型ロボットシステムの4本である。

①はまさにデバイスの研究グループで学習機能をもつチップの開発などを目指す。

③のグループディレクターを務めるのが甘利博士で、脳の情報原理の解明を目指して、数理工学的な脳のモデルからもう少し脳の実体に近いモデルの研究まで行ない、ニューラルネットワークの実用化も取り扱っている。②は脳のシステム構成に学び、階層的なモジュラー構造とフィードバックループを含むアーキテクチャの上で、機能分化した超並列のコンピュータとしての脳を研究する。④は出力として運動機能を備えたロボットの開発研究である。「わたしがディレクターを務める脳型情報システム研究のグループも中はさらに三つの研究チームに分かれており、私が直接担当するチームは『情報創成システム研究』と呼ばれています。たいいてい各グループの下に3~4のチームがありますね。」

情報創成システム研究チームは現在のところ総勢14名。ドイツ人2名、インド人とフランス人とポルトガル人と韓国人が各1名、日本人7名と国際色豊か。さらに、近々サンタフェから中国人が1カ月の客員研究員としてやってくるそう



甘利グループディレクター

だ。「このセンターが脳研究の場を提供する内外に開かれた組織であることは、非常に重要です。脳の総合的な研究機関は日本では初めてですし、世界的にも決して多くはない。特に脳を創るという分野はまだ始まったばかりで、まず学問分野としての確立をはからねばならない」「そのためには人材の養成から始めなくてはならず、これも私たちの重要な仕事だと考えています。将来、ここを巣だつた内外の研究者たちが世界各地で『研究者としての揺籃期を理研で過ごしたことが、今日の自分を生み出した』と思ってくれるようになればと…」 「このセンターにはパーマネントなポジションはなく、若い研究者たちも何年か後には出ていかねばならない。その時にちゃんと研究を続けられる受け皿が国内にもほしいのです。」

そのためにも、日本の大学に「脳を創る」に相当する部門が設置されればと考えている。

甘利ディレクターの頭の中、本物の脳の中では、脳科学総合研究センターが国内外の脳研究の中心になり、若くて優秀な研究者たちが次々と席を替えながら軽やかにロンドを踊っていくという青写真がしっかり焼き付けられているのかもしれない。

文責：広報室

監修：脳科学総合研究センター

脳型情報システム研究グループ  
グループディレクター 甘利俊一

取材・構成 由利伸子



## National Science Foundation とは？

National Science Foundation (NSF: 米国科学財団) は米国連邦政府の独立機関で、首都ワシントン郊外のアーリントンにあります。1950年に出来た法律によって設置され、アメリカの大学で行われている理工学分野の全体の基礎研究と教育を推進するのがNSFの使命です。大学に研究費を提供する省庁はいくつかありますが、NSFは特定の産業や経済目的がない点でユニークな存在です。

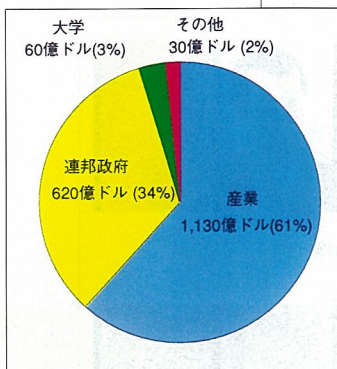
その使命を果たすためにNSFでは数々のプログラムを組んでいます。研究者から提案されるプロジェクトを通じて、科学の進歩・発展を推し進めることが主なる業務ですが、他にも大学院生やポストドクを対象としたフェローシップ、能率がより良い研究体制を整えることに貢献するプロジェクトや大型の研究センター等も支援しています。科学教育に関しては、科学全般への広い関心と理解の深い国民を育てること、それから21世紀に向けて高度の科学知識、および技術を身につけた人材を育てることを目標として、それぞれについての様々なプログラムを用意してあります。国際科学文化交流を扱うための部門もあります。年間予算は総計約3,500億円余であり、そのうち4%は運営費に充てられ、残りは全てプロジェクト費用として研究者や研究機関に配分されます。

プロジェクトの選考はピア・レビュー (Peer Review) と呼ばれている方法に基づいて行われます。研究者 (Principal Investigator—略してPI) から応募されたプロポーザル (Proposal、研究計画の提案) 一つ一つに対して、その内容に見合った専門家を全国、時には外国からレビューアー (Reviewer) として選びます。レビューアーの選考はプログラム担当の職員 (Program Officer—略してPO) が行いますが、PIとレビューアーが師弟関係にあるとか、最近共同研究をした間柄、あるいは同じ大学に所属するなど客観的に公平な審査ができない関係にあると判断された場合には、

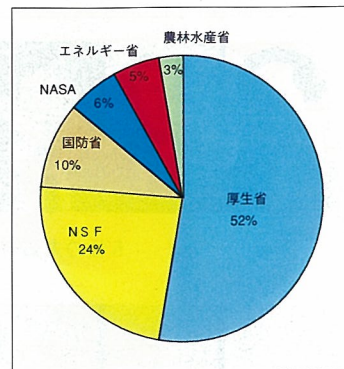
そのPIからのプロポーザルのレビューアーを務めることはできません。レビューアーは、提案されている研究の科学的技術的評価はもちろん、PIの能力、

PIの所属する大学の研究環境、また、その研究が長い目で見た場合、どういう貢献をもたらすかなど、広範囲にわたって審査を行います。この過程で研究業績が十分でなかった研究者からのプロポーザルはどんどん振り落とされていきます。審査の結果はレビューアーから詳しいコメントを付けてNSFに提出され、POがこの推薦に基づいて選考をします。採用されたものについては予算が付けられ、PIの所属する大学に研究助成金 (グラント) の形で配付されます。また、フェローシップは原則として本人に直接配付され、大型のプロジェクトの場合にはグラントではなく研究契約の形をとることもあります。実際の資金の運営に関しては、NSF側にも受け入れ側の研究機関にも専門の部門があり、POあるいはPIに代わって研究費の全てを管理をしています。

採用されなかったプロポーザルに関しては、無署名ではありますが全てのレビューアーからのコメントにプログラム担当者 (PO) の説明を付けたものがPIに直接送られます。不採用という結果に納得のいかないPI、あるいは再応募したいと助言を求めてくるPIの相談にのるのはPOの大事な仕事の一つです。NSFのPOは理工学分野において博士号もっている専門家で、受け持ちのプログラムに関わる仕事のほか、NSF内部では担当分野のエキスパートとして企画や予算編成に参加し、外部では研究者社会の一員として活動することが求められています。



米国における部門別の研究開発費の負担割合 1996年度 (資料: National Science Foundation/SRS)



大学における米国連邦政府基礎研究費の省庁別内訳 (資料: National Science Foundation/SRS)

最近、アメリカでは公費で賄われている全ての事業において業績評価プランを立てることが義務づけられています。基礎研究の推進と科学技術知識に明るい人材を育てるという使命をもったNSFの功績は長い目で見る必要があります。また、具体的に理解できる形で業績を網羅することは難しいので、独自の評価プランを検討中です。理工学の基礎研究が国の将来の繁栄のためには必要な投資であることに疑いはありませんが、冷戦の終わった今、アメリカの科学研究政策は国防という大きな傘を失って、新しい産業発展の見地から建て直しを強いられています。NSFもそういった新しい時代に沿った展開をしていくことが期待されています。

NSFに関する情報はホームページ (<http://www.nsf.gov>) に詳しく出ています。



植物機能研究室

S T A フェロー Machi Dilworth

(1996.11.5 ~ 1997.8.1)

現在はプログラム・オフィサー (PO) として NSF に復職



## 大型放射光施設「SPring-8」が完成 世界一の放射光の供用開始

理化学研究所と日本原子力研究所が、共同で建設を進めてきた世界最高性能の大型放射光施設「SPring-8」が完成し、谷垣禎一科学技術庁長官を迎え、10月6日に今後その運営業務を担当する(財)高輝度光科学研究センターと共催で



上坪理事の説明を受ける谷垣長官

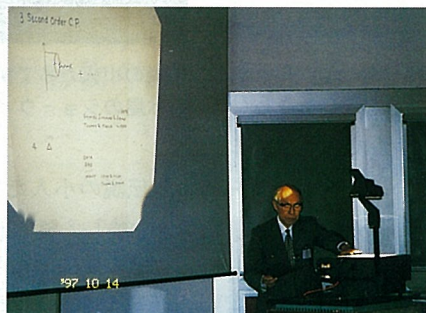


大型放射光施設 SPring-8

「SPring-8 供用開始記念式典」を大型放射光施設蓄積リング棟で行いました。SPring-8 (Super Photon ring- 8 GeV) は、ESRF (European Synchrotron Radiation Facility、欧州12カ国共同施設、6 GeV) 及び APS (Advanced Photon Source、米国、7 GeV) を上回る世界最高性能の放射光施設で、両研究所が平成2年度から兵庫県播磨科学公園都市に建設を進めてきたものです。平成9年3月には8 GeVの電子ビーム蓄積に成功し、放射光の発生を確認しました。その後も順調な調整を進め、共同利用施設として国内外の研究者による放射光を用いた各種の実験・研究を10月10日から開始しました。光の速さ近くまで加速した電子を電磁石で曲げ、発生する放射光は、太陽光の1万～1億倍の明るさで、タンパク質などの分子構造を原子レベルで観察が可能となり、生命科学の基礎研究から、新素材の開発、医療など広い分野の利用が期待されています。

## 第3回 理研とINFNの合同シンポジウムを開催

理化学研究所とイタリアのINFN(国立原子核物理研究所)は平成5年以来「重イオン科学」に関する研究協力協定を結び、原子核研究の分野で様々な形態の研究協力を実施しています。この協力協定に基づいて、第3回の合同シンポジウムが10月13日より15日までイタリアのパドヴァ大学およびレニャロ国立研究所において開催されました。理研からは有馬理事長を含む15人の研究者が参加し、最近の研究成果や今後の計画についての講演を行いました。会は盛況の内に終了し、これからのより一層の協力についても話合わせ、中世の様子をそのまま残したパドヴァ大学の建物内や、現在世界最高性能のガンマ線検出器があるレニャロ国立研究所の施設などの見学も行われました。



講演を行う有馬理事長

## 「高橋克己とビタミンA」展

—若き化学者の情熱とその後のビタミンA産業—

ビタミンAの分離、抽出に世界ではじめて成功した高橋克己博士(鈴木梅太郎研究室所属)の業績を回顧する「高橋克己とビタミンA」展が、高橋克己の技術を産業として発展させた理研ビタミン(株)との共同で開催されています。

展示期間：平成9年9月1日～

平成10年2月20日

企画：日本化学会 情報専門委員会

協力：化学史学会

展示場所：日本化学会 化学・図書・情報センター 3階

千代田区神田駿河台1-5 電話：03-3292-6171



## 研究職員の受賞のおしらせ

受賞名	受賞者	受賞業績	受賞日
埼玉県高圧ガス協会会長賞	八木栄一副主任研究員 ミュオン科学研究室	高圧ガス取扱い業務の保安確保	平成9年10月27日





## 回想のひとつ

今年のノーベル賞受賞者の名前が新聞紙面を賑わす頃になった。まもなくあれから一年、今更のように時の流れの速さを感じる。

スウェーデン王立科学アカデミーからノーベル賞の式典に招かれて、冬のストックホルムの空港に降り立ったのは去年の12月。春から夏にかけてのスウェーデンは何度か訪れたことがあるが、この季節に訪れるのは初めてであった。式典の行われるコンサートホールから晩餐会の開かれる市庁舎への移動に含まれる、建物と車との間の僅かな歩行距離でさえ天候によっては普通の靴で歩くのは無理と注意され、精一杯冬支度をした。だが、迎えにきて下さった Martinson 教授から「今年は暖かい」と聞いてホッとした。

北欧の暗く長い夜を想像していたが、12月はクリスマスの月。店のショーウィンドーはそれぞれに趣向を凝らして飾られ、遅くまで通りは明るくきらびやかである。ここで



伝説の小人たちが飾られたストックホルムの本屋のショーウィンドー

はサンタクロースより伝説の小人たちが主役のようだ。通りから見える家の窓も、美しく飾られ灯がともされて、道行く人の心をなごませる。長い夜が、その美しさ楽しさを引き立たせる。

授賞式はノーベルの命日に行われるが、去年は丁度死後100年であった。700人余りの人々が全員礼装という場に身を置くのは、最初にして多分最後の経験である。あらゆるスタイルのロングドレスが見られると聞いていたが、成程と思う。壇上の席には、ノーベル賞受賞者、国王とローヤルファミリー、ノーベル財団やアカデミー等の主要な人々が並ぶ。式はすべてスウェーデン語で行われるが、プログラム等は英語が併記され、主なスピーチの内容の英訳も配られる。

国王による賞の授与に先立って、部門ごとに受賞者とその業績の紹介がある。物理学賞を受ける3教授の研究の紹介は、第1回 RAC のメンバーとして理研に来られた Nordling 教授が行った。ホールの最上階の席は、主にスウェーデンの各大学の学生が占める。授賞式を目の当たりにして、彼らは自分の将来を夢見るのであろうか。

晩餐会場への移動は、行き先が「Nobel 1996」となっているバスで行われる。会場の市庁舎の海に面した入り口の前には、この日のための特別な篝火が赤々と燃える。席は

冊子にまとめられていて、アルファベット  
の索引で自分の名前をさがし、席番号を知る。市庁舎の  
ホール中央に  
長いメイン

テーブル、その両脇に直角に24のテーブルが置かれ、さらにその外側に学生のテーブルが囲む。千人余りの人々に一斉に一糸乱れず給仕がなされるのに感心してしまう。使われるのはこの晩餐会専用の食器類一式。乾杯、祝辞、受賞者の挨拶等、今度は場合に応じて英語が使われる。学生がそれぞれの大学の旗を掲げる。合間に音楽と無言劇風のアトラクション。その中で天井に金色の紗が一瞬のうちに走り、大きく広がる。その美しさに人々は息をのむ。ホフマンの舟歌をデュエットで歌う女性歌手が空中へと高く上がって行き、やがて晩餐会は終了する。そして、2階の黄金の間でのダンスへと移行する。談笑しながら歩を進める一般参加者に混じって、揃って黒のロングドレスを着た女子学生とこれをエスコートする男子学生の緊張した様子はほほえましい。

日程の都合で受賞者の記念講演には間に合わなかったが、その後訪れた Lund 大学で物理学賞受賞者である Osheroff 教授の講演を聴く機会を得た。クリスマス休暇で皆がいなくなってしまってもただ一人実験を続け、目指すデータを得た時の嬉しさがどれ程のものであったかを、その時の実験ノート  
のメモを見せながら、時間を追って話された様子が非常に印象的だった。話の後、一人の学生が、実験ノートはこの日を予期して取って置いたのかと質問した。箱の中にしまい込んだままになっていたの、というような返事をされていたが、実験屋であるなら自分が精魂込めて行った実験の記録はおいそれと捨てられない、というのが本当のところではなかったかと私は思った。



C<sub>60</sub>の研究で化学賞を受けた Sir H. W. Kroto 夫妻と筆者

長いメイン

テーブル、その両脇に直角に24のテーブルが置かれ、さらにその外側に学生のテーブルが囲む。千人余りの人々に一斉に一糸乱れず給仕がなされるのに感心してしまう。使われるのはこの晩餐会専用の食器類一式。乾杯、祝辞、受賞者の挨拶等、今度は場合に応じて英語が使われる。学生がそれぞれの大学の旗を掲げる。合間に音楽と無言劇風のアトラクション。その中で天井に金色の紗が一瞬のうちに走り、大きく広がる。その美しさに人々は息をのむ。ホフマンの舟歌をデュエットで歌う女性歌手が空中へと高く上がって行き、やがて晩餐会は終了する。そして、2階の黄金の間でのダンスへと移行する。談笑しながら歩を進める一般参加者に混じって、揃って黒のロングドレスを着た女子学生とこれをエスコートする男子学生の緊張した様子はほほえましい。

日程の都合で受賞者の記念講演には間に合わなかったが、その後訪れた Lund 大学で物理学賞受賞者である Osheroff 教授の講演を聴く機会を得た。クリスマス休暇で皆がいなくなってしまってもただ一人実験を続け、目指すデータを得た時の嬉しさがどれ程のものであったかを、その時の実験ノート  
のメモを見せながら、時間を追って話された様子が非常に印象的だった。話の後、一人の学生が、実験ノートはこの日を予期して取って置いたのかと質問した。箱の中にしまい込んだままになっていたの、というような返事をされていたが、実験屋であるなら自分が精魂込めて行った実験の記録はおいそれと捨てられない、というのが本当のところではなかったかと私は思った。

名誉研究員(原子物理研究室 前主任研究員)  
武蔵野美術大学 教授 粟屋容子

### 理研ニュース No.197 November 1997

発行日:平成9年11月15日

編集発行:理化学研究所総務部広報室

〒351-01 埼玉県和光市広沢2番1号

電話 (048) 467-9272 (ダイヤルイン) Fax (048) 462-4715

ホームページ [http://www.riken.go.jp]

制作協力:株式会社 スリーアイ パブリケーション