

# 理研ニュース

No. 181 July 1996

理化学研究所

2 ● 研究最前線

「ものの形を見分ける」脳の働きをキャッチした

6 ● SPOT NEWS

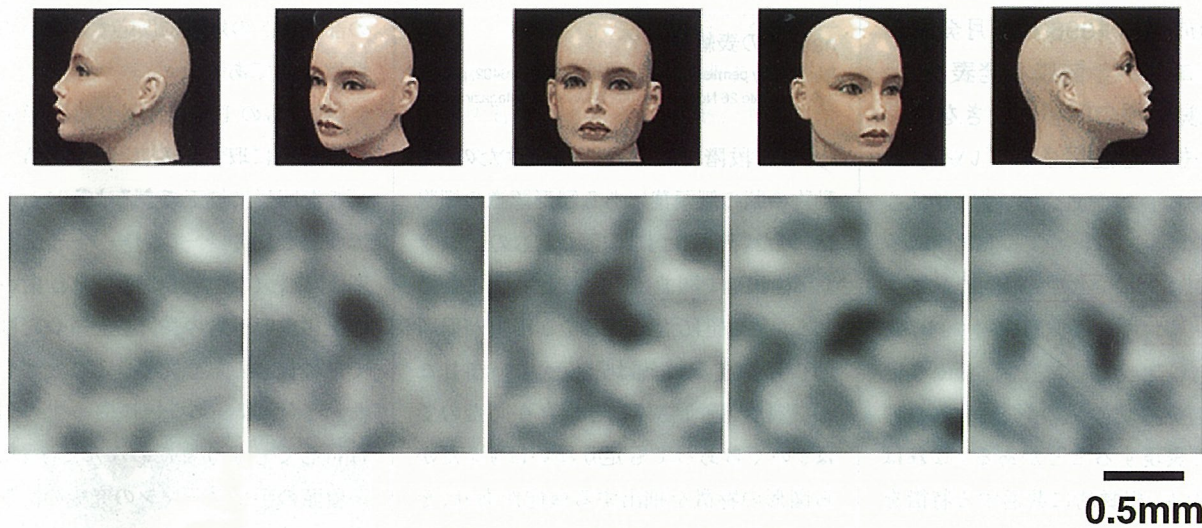
速くて高精度な物作りを目指して  
—ラピッドプロトタイピングシステム—

7 ● TOPICS

- ・中川科学技術庁長官、和光本所を視察
- ・丸山基礎科学特別研究員、日本婦人科学者の会  
奨励賞受賞

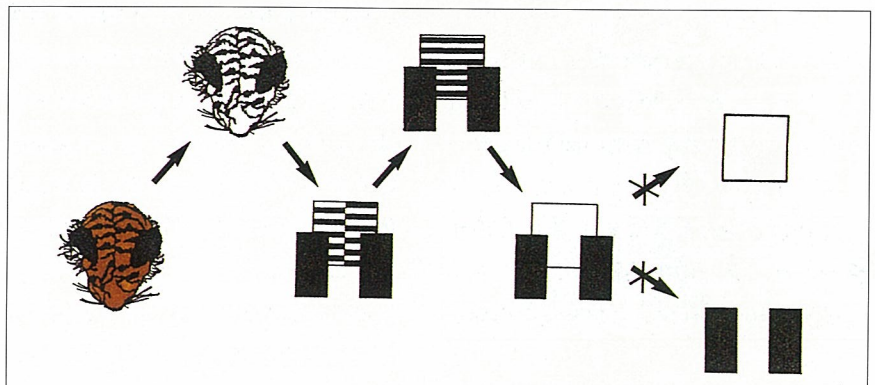
8 ● 原酒

在日日本人



顔の向きに反応した側頭葉の活動スポットを光計測法によって撮影したもの（記事は2ページより）

単純化した虎の頭部を、どの段階まで虎と認識できるかの実験





# 「ものの形を見分ける」脳の働きをキャッチした

目から入った視覚情報が脳の中でどのようにして認識されるのか？この興味深いテーマを追い続けている国際フロンティア研究システム思考電流研究チームの田中啓治チームリーダーを訪ねた。

同チームはこれまでに側頭葉に図形の特徴に応じて反応するモジュール構造があることを発見していた。そして今度は、光計測法という手法を用いて、隣り合ったモジュール間にも一連の反応が「マップ」状に引き起こされていることを明らかにした。この成果は1996年6月発売の米『サイエンス』誌にも発表され、今後の視覚認識の解明に大きな影響を与えるものと注目されている。

## 初期の「アルファベット」理論とは？

かわいい赤ん坊の手の形を「もみじのようだ」と表現することがある。これは比喩なのだが、視覚的に共通する特徴を誰もが思い出すことができる。ではその特徴をぎりぎりまで抽象化するとどうなるか？なんと3本の線分が放射状に並んだ図形になるという。同様にパイナップルの葉は数個の突起を持つ星状の図になり、林檎は丸から細い線分がはみ出たものになる。逆に、横長のだ円の上半分が暗く、中央部が最も暗い図形は、ピーマンでもあり人の唇でもあるという。

これは、1992年に発表された田中チームリーダーの実験結果であり、とくに最後の例はピーマンとマネキンの顔を並べた写真となって英『ネイチャー』誌(1992年11月)の表紙にもなった。



nature の表紙

Reprinted by permission from Nature Vol.360, No.6402, pp.343-346, Pub Date 26 November 1992 © Macmillan Magazines Ltd.

「この段階で私たちが見つけたのは、動物の脳の側頭葉にある図形認識の細胞は、似た特徴ごとに反応するものがコラム(柱状)に集まっているということでした。手や顔に強く反応する細胞が局所的に存在することは分かっていたのですが、形状の違う物体ごとに存在したのでは、いくらあっても足りないはず。だから図形の特徴を抽出する機能があり、それも照明や傾きの変化程度では左右されずに同一のものと見分けられる機能があると推論したのです。」

これが、別名「アルファベット理論」と呼ばれるものだった。つまり、言葉を記述するのに26文字のアルファベットを組合せるように、図形を認識する際にはいくつかの特徴を見い出して識別しているというのである。「A」なら、活字体でも筆記体でも見分けられるように、コラムごとに、少しずつバリエーションの違う図形のアルファベットがセットになって収められている。一つのコラムの大きさは0.4×0.4×2ミリ程度で、この

中には約1万個の細胞があり、側頭葉全体では約1300個のコラムがあると推測されている。

## 縫いぐるみなどが大活躍

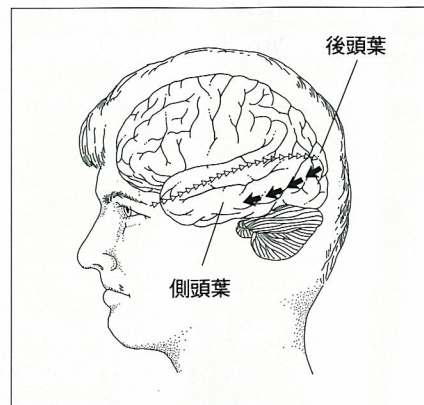
この研究は実におもしろい手法で進められた。虎やゴリラなどの縫いぐるみやプラスチックでできたバナナやパイナップルのおもちゃを使ったのである。

これらを実験動物(サル)に見せ、側頭葉の「TE野」と呼ばれる部分に取り付けた微小電極からの反応によって、どの部位がどの対象に反応するかをまず見つけるのである。

「私たちの工夫は、見せる図形をコンピュータに取り込み、これを次第にシンプルな図形に加工できるようにしたことです」と田中チームリーダー。

「すると、虎の頭の図形も、白い四角の上に黒い一対の長方形を重ねた図形まで単純化しても認識できることがわかった。でも、もっと単純に白や黒の四角だけにしてしまうとだめなんですね。」

冒頭の手やピーマンの究極の図形もこうして発見されたものであり、図形特徴とコラムがほぼ同定されたものは300個



大脳の後頭葉と側頭葉



以上に及ぶという。

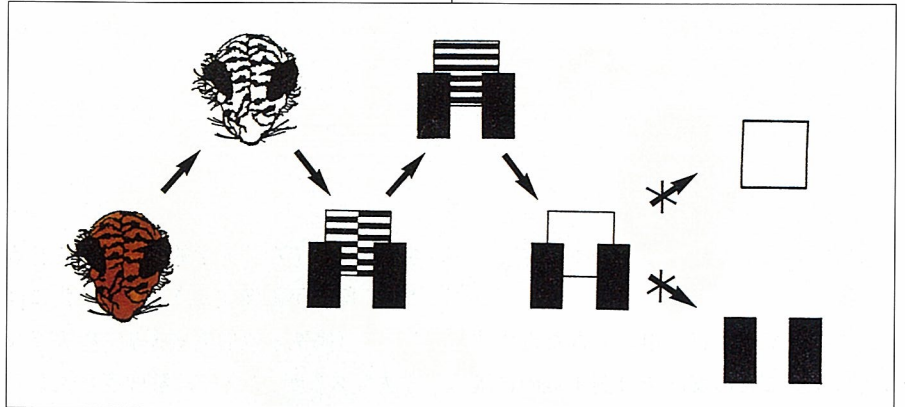
「ニンジンに反応した細胞を調べた時は意外な結果がでました。ニンジン形状を単純化しても反応が出ない。調べたらニンジンに当たった照明のライトが連続した点になっていて、この光の点線に反応していたんです。」

コラムの中にある図形アルファベットのセットは、自然界にあるものそのもの図形でもなく、極端に抽象的でもない。「中程度に複雑な」ものである。実際には、これらを複数個ずつ組合せて対象を認識し、「唇とピーマン」を区別できるようになっているのだろう。

田中チームリーダーによれば、「霊長類の視覚認識は、入力信号と記憶画像の単なるパターンマッチングではない。照明や角度が違い、移動していても同じ物体と認識できる不変性があるし、初めて見た物体でも過去の記憶から類推して認識できる一般性もある。非常に高次元の処理を行っている」のだそうだ。



実験に使用した縫いぐるみやおもちゃ



物体刺激を手がかりに、側頭葉の細胞が反応する図形特徴を決める過程の例

### さらに深まる謎にチャレンジ

「図形アルファベット」のセットを持ったコラムが存在するという発見は、脳の視覚認識を解明する確実なステップ・アップだったのだが、一段進んだからといって、急に見通しが良くなるわけでもない。問題意識は逆に深まり、謎は謎を生むこともある。このあたりが科学の奥深さというかおもしろさかもしれない。

「例えば、この図形アルファベットの役割ですが、これが認識上のスタートなのか、ゴールなのかが分かりません。つまり抽象的な図形は認識の結果をまとめているのか、認識を精密にするためのものなのかという謎ですね。また、コラムと細胞の数から考えると、無限ともいえる組合せが可能になる。もしかするとコラムの中には、特殊なものにだけ反応する役目を持つものがあるのかもしれない。顔の情報などは、まったく違うグループが担っている可能性が考えられる。あるいは、こういう謎もあります。図形アルファベットは、果たして先天的に形成されているものなのか、後天的なものかといったことです。」

生まれてくる新しい謎は、一つずつ解明していくしかない。最後にあげた課題に関しては、すでにこんな研究をした。

「大人のサルに、1年間かけて28個の抽象的な図形を覚えさせました。まず、

ある図形を見せます。次に図形を消して数秒ののち、ランダムな図形と混ぜて表示する。そこから正しい図形を選んでタッチパネル画面で押すとジュースが飲める装置を開発しました。図形の識別と記憶の保持機能を調べられますね。結果としては、側頭葉の中で訓練図形に最も強く反応する細胞の比率が訓練によって5%から25%に増えることが分かりました。つまりこうした能力は後天的に形成される。選択的な反応は可塑的なものと判断できるのです。」

これは、私たちでも体験的に納得できる。魚や樹木に詳しい人は、一目で違いが分かるし、民族によっては、馬や雪や石の違いに鋭い識別能力を発揮する。

田中チームリーダーたちのチャレンジは、他にも、図形の記憶のことを調べたり、コラム内部の生化学的な構造の解明にも及んでいるが、最近になって目ざましい成果をあげたものが、「光計測法によるコラム配列マップの発見」である。



虎の後頭部をモニターに映し、動物に見せる



## 光計測法で解明できたこと

「これまでの観察で用いてきた電極法は、コラムごとの反応を計測するのに適していました。脳表面に対して2ミリほどの深さの中に、多数の細胞がつまっていますから、電極の深さを変えることで、図形と細胞の反応の関係が分かりました。しかし、これだと隣接するコラム間の関係は分からない。」

そこで採用されたのが光計測法である。これは、脳表面を露出させ、そこに605nm（ナノ・メートル）の赤色光を当て、その反射像を測定する方法だ。脳表面の毛細血管では、神経細胞の活動が発見になる（反応が大きくなる）と、血中のヘモグロビンから酸素が奪われる。するとその部分（スポット）が光を吸収してしまうために画像としては黒く写るのである。スポットの集まりは黒く広がるマップ（地図）のように見える。

この計測方法の利点は、脳表面の5ミリ以上の広い範囲をカバーできることである。しかも毛細血管の間隔である50ミクロン以上の空間分解能がある。これでどのコラムが反応を起しているかが鳥瞰図として取り出せる。それに何より、

電気的変化でなく光学的変化で示されるので、反応が画像化できる。画像化にはPET（陽電子放射断層撮影）のような方法もあるが、これでは解像度が大きざっぱ（約3～4ミリ）になってしまう欠点があった。

光計測法は、新しい発見を生んだ。

例えば、一見したところまったく別ものに思える図形3種類を見せたという。当然できるマップの形は違っているのだが、3つとも1つのスポットを共有する結果になることがあった。不思議である。しかし、よく調べて見ると、これら3つの図形は、厚みを持った物体に斜めから光を当てた時に現われる特徴の、それぞれの要素にきわめて近いものだった。つまり各モジュールは相互に関連しあって、一つの図（立体）に関する情報として処理していることになる。ベテランの設計デザイナーが3面図を見ただけで製品の立体図形を想起できる能力に似ている。

モジュール同士の連携プレーのことが顕著に分かったのは、顔の図を見せた時の反応だった。

「実験では左向きの横顔を見せてから正面の顔を見せ、最後に右向きの横顔を



虎の頭部をコンピュータを使ってパターン化していく

見せたのですが、これらの異なった向きの顔によって引き起こされた活動スポットは、互いに部分的に重複しあいながら中心が一方にずれて現われたのです。ちょうど、顔の回転に合わせて動いたように見えました」という。

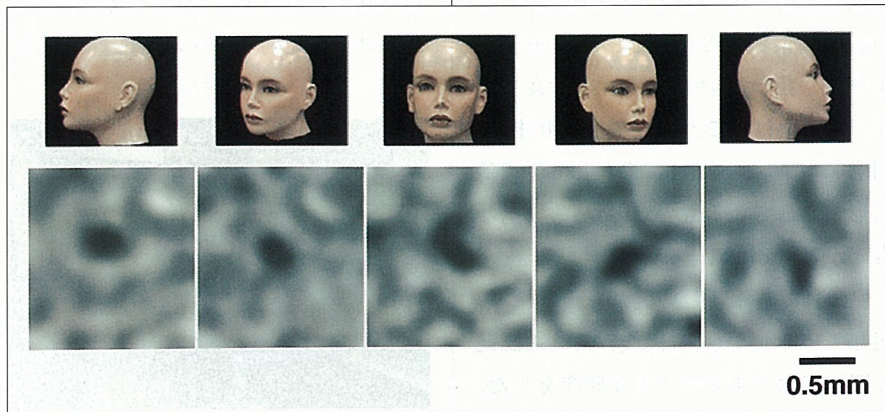
個々のスポットの直径が300～400ミクロンで、5個全体で描かれたマップの直径は800ミクロン。だからこの範囲に顔に関する認識用のコラムが分布しているものと思われる。

## 発見が新しい着想を刺激する

初期の「図形アルファベット」理論から探究した結果、「コラム配列による連続マップ」に行き着いた。しかし、それで研究が完了する訳ではない。

こうした「マップ」の発見は、いくつかのさらに新しい着想を刺激する。例えばこんな具合である。

「少しずつ違った図形に反応する細胞が連動して動くということは、単純に個々の細胞の機能の足し算を超えている。一見矛盾するような二つの機能をともに満たす可能性がある。見え方の異なる事物を同じものとして認識すること、一つのを固有に、精密に見分けることが両立するんです。個々の細胞の反応の差を見るということは、反応の共



異なった向きの顔によって引き起こされた活動スポットの系統的な移動





側頭葉の神経細胞が反応する図形特徴の16個の例

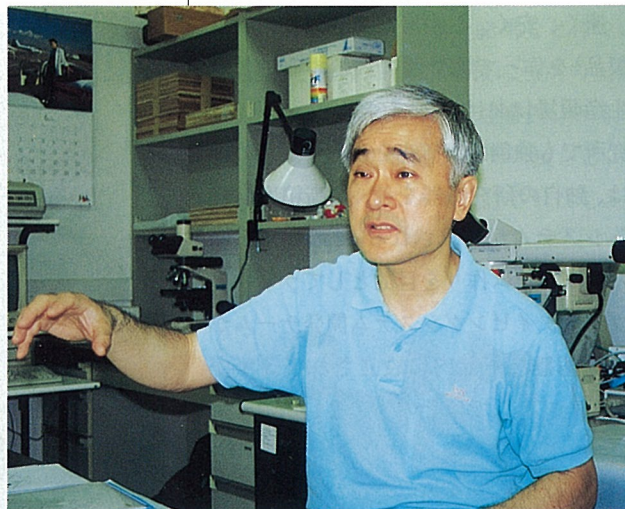
通点を見ることと同じですからね。」

「マップが持つ機能は、単なる識別結果の出力だけではないと思います。マップされた軸に添って細胞の内容を作り上げたり、その特徴から様々な演算を行って異なった見方のものでも処理できるように変換する機能があるかもしれない。」

「さらに細胞レベルの活動も考慮に入れると、小さなコラムどうしは共通の入力に対して互いに興奮を伝達しあっていることは察しがつく。これが一定レベルの大きさとなって表面化するかどうかは、TE野以外の脳他の領域との相互作用で決まる。そして全体として柔軟な演算処理を実現するのではないかと、というスキームが描けそうな気がします。」

### 前へ、と快活に足を踏み出す

実験と発見と大胆な仮説、そしてまた実証のための実験と新しい発見……。科学のダイナミズムはこの螺旋的活動から生まれる。田中チームリーダーたちは、研究で突き当たる壁を、時には独創的な実験装置を開発することで、また時には新しい観測技術を導入することで乗り越えてきた。着実にステップ・アップしているかに見えるその研究について、田中



田中 チームリーダー

チームリーダーはこう語る。

「視覚認識のメカニズムを実証的に解明して行くという基本コースははずしていかないと思う。コラムやマップの存在から、図形認識のユニバーサルな機能や信号変換の機能が説明しやすくなると思う。」

しかし、これでTE野における図形認識のことが分かったとしても、そこで演算された結果が投射される脳他の領域のことは、まだ分かっていない。漠然と、この領域は認識記憶の形成をコントロールする、ここは感覚刺激を手がかりにして行動立案をするのだろうということぐらいしか分かっていない。

それに今までの実験も動物を麻酔状態で固定してのものですからね。実際に動きながら得る視覚情報の処理メカニズムとは違っているかもしれない。また、感覚レベルで認識することと、記憶などを照合して判断することとは違うし、その解明もこれからの課題です。」

研究にゴールがあるのなら、それはずっと先のこと。視覚認識のメカニズムが脳全体の機能と結び付けて解明されるには、まだ数世紀もかかるかもしれない。いや、

確実にかかるだろう。

その遠大さにくじけてしまうか、着実に一歩でも進めるか？ システム思考電流研究チームの研究成果が実を結ぶためには、迷うことなく、快活に足を踏み出す姿勢が必要だ。

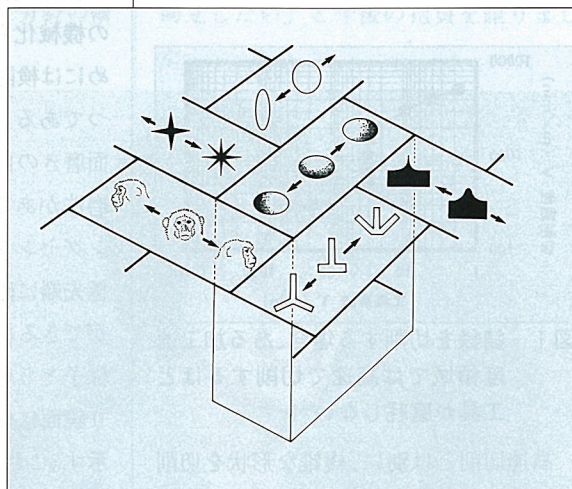
文責：総務部広報室

監修：国際フロンティア研究システム

思考電流研究チーム

田中啓治チームリーダー

取材・構成：土屋晴仁



コラム配列による図形特徴の連続マップ



## 速くて高精度な物作りを目指して ―ラピッドプロトタイピングシステム―

速く、安く、しかも高品質に物（工業製品）を作って消費者に供給することは生産現場における永遠の課題である。研究所でも独創的な研究を遂行するためには、独自の研究機器を速く、高精度に作るシステムが要求される。その要求を満たすシステム作りを目的としてラピッドプロトタイピングシステム開発チームが研究基盤技術部内に設立されて3年が経った。ここではその中の2、3の成果について報告する。

コンピュータを用いた現在の物作りの工程は、おおそ設計→加工用データ作成→加工→仕上げ→組立といった手順を経る。現在当チームが力を注いでいるテーマの一つに高速加工がある。形状を作るための方法には、切削、研削、放電加工などがあるが、単純に削る時間を短くすればその分速く物を作ることができ、時間を短くするには工具を速く送れば良い。しかし、単純に送りを速くするだけではだめで、工具回転数も上げなければならないし、工具形状も工夫しなければならない。図1に鋳鉄の高速スライス加工における切削速度と工具磨耗の関係を示す。従来言われてきた速く切削すればするほど工具が磨耗する（右下がりの直線になる）という現象ではなく、高速で切削した方が磨耗しない領域が存在することが見出され、今後、生産現場では高速加工がトレンドになることは間違いないだろう。

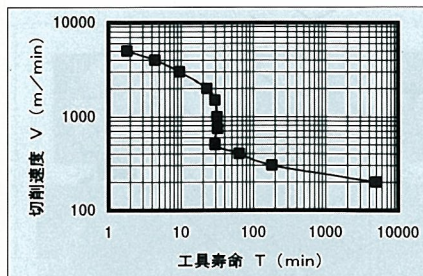


図1 鋳鉄を切削する場合、ある加工速度領域では高速で切削するほど工具が磨耗しない

高速切削とは別に、複雑な形状を切削するためのCAM（Computer Aided

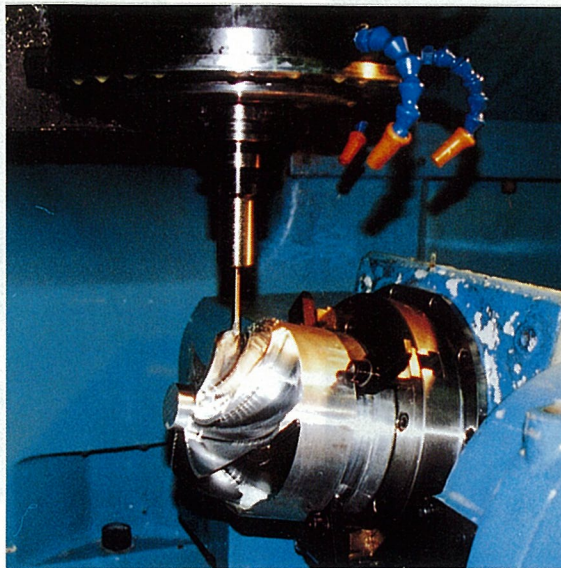


写真1 5軸制御加工によってインペラを切削している様子

Manufacturing) ソフトウェアの開発も行っている。写真1に当チームで開発したソフトウェアを用いてインペラを切削加工している様子を示す。このような形状では3軸制御加工（X、Y、Z、の位置制御）することができないので、5軸制御（3軸+回転2軸）しており、工具と工作機械、被削材がぶつからないようなプログラムを作成し、それに基づいて削っている様子である。従来の5軸加工は、ほとんどが専用機であり、汎用性がなかったが、このプログラムはどのような工作機械、工作物にも適用できる。

削った後の物は研磨し、鏡面に仕上げてから製品となる場合が多い。この研磨工程は現在手作業で行われているが、この機械化も速く、高精度な製品を得るためには検討しなければならない技術の一つである。当チームで取り組んでいる曲面磨きの自動化の一つに磁石を用いた研磨法がある。写真2に工作機械（マシニングセンタ）に電磁石をセットして、磁極先端に磁石に吸引されて研磨することができ、粒を用いて曲面を研磨している様子と5軸制御MCと、この研磨法により鏡面に仕上げたひねった曲面の外観を示す。これにより切削も研磨も同一の機械上ででき、かつコンピュータ制御の自

動みがきが実現できる。

この他にも、加工精度誤差の分類をコンピュータを用いて行い、それを設計にフィードバックして、賢いCAMにするための基礎実験を始めており、分類の方では何とかできるようになっているが、自由曲面の計測等の解決しなければならない問題も多々ある。

できるだけ速く、高精度でしかも安価に物を作るのは、終わることがないエンジニアに課せられた命題である。当

チームもこれを実現するために多くの要素技術の高度化に取り組み、これらを有機的に結合して使い勝手の良いシステムを構築し、ラピッドプロトタイピングシステム：迅速一品生産システムを完成させたいと思っている。

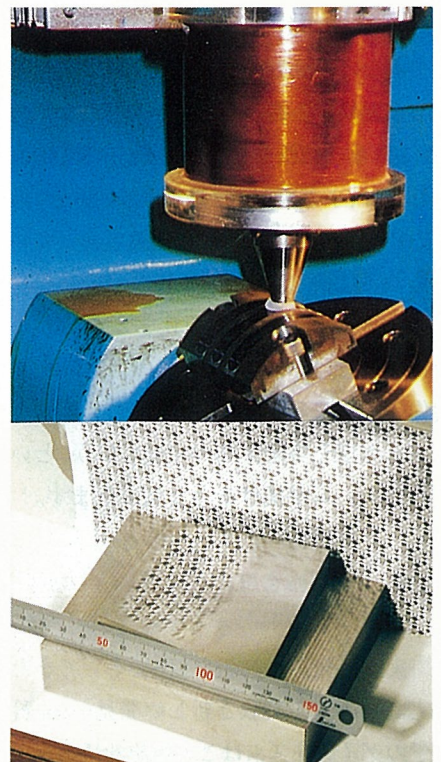


写真2 磁石を用いた研磨法による自動みがきと鏡面研磨例

研究基盤技術部

ラピッドプロトタイピングシステム開発チーム

安齋 正博



## 中川科学技術庁長官、和光本所を視察

7月1日、国務大臣中川秀直科学技術庁長官が、和光本所を視察されました。中川長官の理研視察は、今回が初めてで、5時間余りにわたり、精力的に視察されました。

午前中は、概要説明の後、重イオン科学研究と脳・神経科学研究の活動状況に

ついて、最近の研究成果などを中心に視察。

午後は、生物科学研究棟を訪れ、構造生物学研究と植物機能研究を視察。その後、研究本館で、高度計算科学研究について戎崎主任研究員から、理研のスーパーコンピュータで解析した超新星爆発

の数値シミュレーション結果などについて説明を受けました。最後に当所の記念史料室を見学後、雨村副理事長、伊藤国際フロンティア研究システム長らと、科学技術の振興について懇談されました。



リングサイクロトン本体室を視察



植物機能研究室にて



コンピュータ処理した分子の構造を立体眼鏡で見る



記念史料室を視察



概要説明を受ける中川長官



脳・神経科学研究を視察

## 丸山基礎科学特別研究員、日本婦人科学者の会奨励賞を受賞

丸山千秋基礎科学特別研究員が、日本婦人科学者の会第1回奨励賞を受賞しました。今回の受賞では、遺伝子分野の研究で高い評価を得ていること、「結婚・出産と研究とを両立させている姿勢」が認められました。

この奨励賞は、自然科学分野の研究者で将来性が期待される女性科学者を励ますのを目的に、今年から制定されたものです。

丸山さんは、「今は、研究に脂が一番乗るとき。量より質をねらって、家庭と両立したい」と今後の抱負を語りました。







# 在日日本人

去年の夏に科学技術庁から科学技術フォーラムの企画委員への参加の要請があった。恥ずかしいことに、いままで科学技術フォーラムの存在すら私は知らなかったの、どのようなことを企画したらいいのかと先方に尋ねたところ「神谷さんの関心の持っていることなら、何でもあり」との返事が帰ってきた。何にでも興味を示す研究者魂にそそのかされ、つい『喜んで』と返事をしてしまった。企画委員会に出席してみると、理研では普段はお目にかからない社会科学の先生も参加されていて、今年のタイトルは「自然科学と人文・社会学とのパートナーシップ」ということであった。

私の日頃関心のあることのひとつに、どのようにして優秀な外国人研究者をリクルートするかということがある。フロンティアに私が移って間もない時、海外の学会で外国人研究者にフロンティアで働かないかと誘った。その時に日本では研究者のポストが外国人にどのくらい開いているのか？理研で何人の外国人研究者がテニチャーなポジション（所員の資格、パーマネントポジション）をもっているのかと逆に聞かれ、返答に窮してしまった。当時の理研では殆ど外国人にテニチャーなポジションは開かれていなかった。

事実、Scienceのvol.269, 7 July, 1995に日本の大学における外国人の占めるパーマネントポジションの数が示されている。このデータを信頼すると、東京大学が最も多くの外国人研究者を受け入れており、教授が2名、助教授が8名、講師は1名とあった。東大の全学の研究者の数を私は知らないが、少なくとも教授、助教授、講師を合わせて2000名以上いると思われる。そのなかで外国人教授の占める比率は少ない。これは語学等を含めた数である。もっと多くいるはずだという人がいるかもしれないが、これはあくまでパーマネントポジションで、時限のポジションは含んでいない。そこで、今年の科学技術フォーラムのタイトルに『日本の研究職のオープン化』というタイトルを選んだ。セッションオーガナイザーとして東京工業大学の社会学の橋爪大三郎教授と私が担当することになった。今まで自分の研究分野でフォーラムを開催した経験は何度もあるが、このようなテーマでフォーラムを開くことは初めてで、少しためらいがあったが、敢えてこの問題を取りあげた。多分、私の考えに対して批判的な方も多



著者近影

いと思われる。討論歓迎である。もちろん、日本でもNature, Science等のトップランクの国際誌に数多くの報

告を発表している世界的な研究室があり、それらの研究室では当然の結果として世界の研究者が集まっている。理研はその意味でかなり開けており、フロンティア研究システムは、まさにそれらを推進している組織である。でも、現実には、言語、住宅、ビザ等の様々な問題があり、それらを誠実に解決していく必要がある。

今回、私と橋爪先生以外に8名の方々にフォーラムの討論に参加していただいた。参加者は大きく二つに分類でき、一つは日本でテニチャーなポジションをもっている外国人の研究者で、彼等は在日英国人、在日韓国人、在日米国人、在日中国人であり、もう一つは海外でテニチャーなポジションをもつ日本人研究者で、在米日本人、在仏日本人である。あまり候補者の数が少ないのでこれらの人々を捜すのに大変苦労した。私と橋爪先生は日本でテニチャーなポジションをもつためにこれを分類すると「在日日本人」になる。我々はたまたま日本で研究している日本人と考えれば的確な表現と言える。

フォーラムは大変盛況であり、同時通訳つきで活発な意見が交換された。企業の研究所では国籍条項もなく、比較的自由であるが、国立研究機関では管理職等で難しい問題が残る。理研はその点、自由度が高い柔軟性のある研究所である。討論の中で急に雰囲気極めて重くなったのは、我々が外国人に対して研究職のオープン化を考えているなかで、結局、日本人に対しても必ずしも研究職がオープン化していない現実が明らかになった時である。これらは一研究機関や大学で解決できる問題ではない。日本人の研究職の採用に関しても従来の閉鎖の状態（世襲的、因習的採用）から、より平等で競争原理の導入された採用を行う必要がある。私は最近の理研はこの点で誇れる研究所だと思う。もちろん少数のフォーラム参加者によって議論されたことが、直ちに現在のシステムの変革につながるとは考えられないが、研究職のオープン化の問題は研究者の「良心」として避けることのできない問題である。オープン化は自然科学と社会科学に共通した問題であり、両者の協力が必要である。

このフォーラムのことについては4月28日付けの朝日新聞の21世紀の提言で橋爪大三郎教授が触れているので参考にしていただきたい。私も恥ずかしくない「在日日本人」を目指している。

国際フロンティア研究システム  
ホルモン機能研究チーム  
チームリーダー 神谷勇治



## 理研ニュース No.181 July 1996

発行日：平成8年7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)

制作協力：株式会社 スリーアイ パブリケーション