

No.53
August 25, 1995

 *Information*

講 演

1994年11月15日（火）・第65回談話サロン（東京・弘済会館）

講師・題目

伊藤正男：「最近の脳の研究について」

日本工学アカデミー

THE ENGINEERING ACADEMY OF JAPAN

最近の脳の研究について

伊藤正男

1928年 名古屋市生まれ
1953年 東京大学医学部卒業
1970年 東京大学教授
1986年 東京大学医学部長
1989年 東京大学名誉教授
理化学研究所国際フロンティア研究システム チームリーダー
1991年 同 システム長 現在に至る
日本学術会議14期幹事、15期第7部副部長、16期会長。日本学士院会員、王立スウェーデン科学アカデミー、英国王立協会、アルメニア科学アカデミー、ロシア科学アカデミー外国人会員、米国生理学会名誉会員。国際生理科学連合会長、国際脳研究機構名誉会長、日本神経科学学会会長を務める。研究分野は脳神経生理学、特に小脳の神経機構。
1981年藤原賞、86年日本学士院賞・恩賜賞受賞。1994年文化功労者。著書に「脳の設計図」「脳のメカニズム」等がある。



司会（三浦バイオ専門部会長） それでは、談話サロンを始めさせていただきます。本日は、バイオ専門部会で企画をいたしまして、理化学研究所の伊藤正男先生にご講演いただきます。

簡単ではありますが、伊藤先生のご紹介をさせていただきます。先生は、名古屋のお生まれで、1953年に東京大学医学部を卒業され、その後、東京大学助教授、教授を経て、1986年に医学部長になりました。89年に退官されまして、名誉教授の称号を得られました。また、1989年からは、理化学研究所で国際フロンティア研究システムに移られ、1991年からはシステム長を務めておられます。

最近、先生は、日本学術会議の会長になられまして、大変お忙しいお体になったわけですが、日本学術会議は14期、15期と会員をなさってまいりまして、今度の16期で会長をお務めになることになったわけでありまして。先生は日本学士院の会員で、また、スウェーデン王立科学アカデミー、英国王立協会、アルメニア科学アカデミー、ロシア科学アカデミーの外国人会員でもいらっしゃいます。また、米国生理学会の名誉会員、国際生理科学連合の会長、国際脳研究機構名誉会長、日本神経科学学会会長と国の内外で大活躍をなさっておられ、皆様もよくご存じの方でございます。

ご専門は小脳の神経機構研究で、大変立派なお仕事をなさり、学士院賞・恩賜賞を受けておられます。また、81年には藤原賞を、ついこの間は、文化功労者に選ばれたわけでありまして。ご著書もいろいろございますけれども、「脳の設計図」「脳のメカニズム」など、非常に一般の方々にも受ける本をお書きになっておられます。

きょうは、会員の皆様に、できるだけバイオの先端の一つということで、脳神経の問題は、これからバイオの分野では一つの中心になっていく問題ではありますが、その話をしていただきたいと思っております。学術会議の会長になられ、多少、そういう立場でのお話もあるかもしれませんが、ご期待いただきたいと思います。

では、伊藤先生、よろしく願いいたします。
伊藤 きょうは日本工学アカデミーの会にお招きいただきまして、ありがとうございます。脳の研究の最近の進歩について話すようにというご注文でございましたが、脳の研究を大体どういうふうに位置づけるのかという問題から始めたいと思います。脳の世紀とか、脳の10年とか、脳がこれから非常に大事な研究テーマになるということが盛んに言われますし、私も一生懸命旗を振っているのですが、そういうのを科学技術の研究全体の

中でどう位置づけるかということです。こういう政策面の話は、私はほんとうに素人ですが、最近、イギリスへ視察に行きましたり、ワシントンへ行って会に出たりして、今、一生懸命勉強しているところでもあります。むしろこの会には、その方面ではそうそうたる先生がおられますので、あとでぜひ、ご教授いただきたいと思ひまして、あえてそういう話から始めさせていただきます。

〈科学技術政策の国際的な動向〉

私、基礎畑にずっといたものですから、大学は基礎研究をやるところだ、応用研究は企業がやるのだというふうに、単純素朴な考え方をしておりました。基礎研究は自然の理解をするためにやっているのだから、それしか目的はない。応用研究は、軍事、安全保障から産業、商業、健康、環境といった、はっきりした目標を持ってやっている研究である。基礎研究からは発見が生まれるけれども、応用研究からは発明が生まれると、非常に単純な図式で考えて来ましたが、最近、イギリスやアメリカの専門家と話していると、こんな図式ではとても話が通らなくなっておることがよく分かりました。

特に、冷戦が終結して軍事的な要求が薄れ、後退すると同時に、今まで軍事的に使われてきた政策的なコンセプトが、産業や商業の世界にどんどん使われ出してきたようで、イギリスでもアメリカでも戦略研究、ストラテジック・リサーチという言葉がさきん聞かされました。これに関する論文も最近ちゃんと出ていて、それを読みますと、従来、基礎研究、応用研究と単純に分けていた真ん中に、こういうカテゴリーが設定されて、これが政策を立てるときの大事な根拠になっているということが分かってきました。

ストラテジック・リサーチとは、すぐどう役に立つかわからないけれども、将来、10年先、20年先になるかもしれないが、非常に役に立つ可能性をはらんでいる研究で、目的指向性があるものを持っている。軍事的な研究をする場合に、すぐあしたの役に立つような、弾の口径を幾らにしろといった実際的な研究でなくて、レーザーのような、

将来、軍事的に非常に意味を持つような研究を戦略研究という名前と呼んでいたのが、今は軍事を産業あるいは商業と置きかえて使われるようになったのです。

アメリカで今、クリントン政権に頼まれて、アメリカの国立科学アカデミーがやっているいろいろな策定では、原理研究も戦略研究もうんと拡張しようとうたっております。この間、ゴア副大統領の文書にも数学、基礎科学、技術、工学の全面にわたって世界的なリーダーシップを確保せよと出ていて、我々もひどくショックを受けました。そのため、極力軍事研究費を節約して民生的な研究費に転用しようとしています。これがこの間、ゴア副大統領が発表した文書の戦略ですが、実は今、アメリカの国立科学アカデミーで、もう一つ並行して策定している国際戦略があります。

冷戦のために秘密保持が必要で、研究をアメリカだけで自己充足的にやる時代でなくなったので、研究を国際的にどう拡張するかで大変な議論をしています。要は、外国でやられている研究をみんな取り込むという方向です。外国でやっている研究につねに目くばりして発明・発見はどんどん吸収して利用していく。しかし、原理研究で外国と提携するのは簡単ですけれども、自分のところの原理研究と外国の戦略研究を結びつけるのは非常に抵抗があるわけです。また、自分のところの戦略研究と外国の戦略研究の間の提携もそれほど容易でないわけです。

このように競合する部分についてどうするか、いろいろな提携をこれからうんとやりたいんだけど、相互性という原則でやっていけるだろうかとか大変な議論になっています。しかし、国際的と言いつつ、結局は、みんな自己本位に考えて策定していると心配される面もあります。

実はこの間、きょうおいでの佐藤先生もご一緒しまして、イギリスへ視察団で行きました。イギリスはニュートンや、ダーウィン以来の伝統で、とにかく原理研究がすぐれているが、戦略研究は非常に弱いし、応用的な研究も弱い。むしろ外国の戦略研究や応用研究を利用して、それを商業で動かして栄えてきたというところがあります。

それで、昨年イギリスの議会に出た「我々の潜

在力の実現」という白書に沿って行政改革も含めていろいろな手が打たれていますが、その目標は戦略研究の拡張で、今まで非常に弱かったのを、少なくとも原理研究と等格に持つていこう、それで応用研究につないでいこう、外国に頼っていたこの部分を何とか自前でやろうという方向がとられています。昔の教育科学省を教育省と科学技術庁の二つに分けて、戦略研究は科学技術庁が扱うようにしました。この新しい方式で大学の先生方は相当悲鳴を上げており、これでは英国の文化は根こそぎ変わってしまうというふうなことを言う方もありますし、イギリス王立協会の会長さんも、こんなことをやっても、研究はそんな簡単にできるものではないと言って、渋い顔をしておりました。しかし、とにかく行政側は今、戦略研究重視の政策をものすごい勢いで打ち出しています。

では、日本はどうだというので、並べて書いてみますと、原理研究も戦略研究も非常に弱いのが、企業の応用研究は非常に強かった。その応用研究の基礎となる原理・戦略研究は、かなり外国のものに依存している。アメリカの国立科学アカデミーで、外国の原理研究でも、戦略研究でも、何でも利用していこうという方針を述べている文書の中で、「かつて日本がやったように」と書いてあります。そのようなわけで、何時までも、簡単に基礎研究と応用研究と分けて考えていくのはまずいのではないか。これから政策論議が非常に盛んになってくるでしょうが、こういうことをよく考える必要があると思います。

実は、イギリスの王立協会でも、アメリカの国立科学アカデミーでも、非常に心配していることが二つあります。

第一は、原理研究と戦略研究に分けると研究費はみんな戦略研究のほうに行ってしまう、原理研究はどんどん圧迫される。そうでないといくら政府が言っても、それは信用できない、それが非常に怖い。だから、政策的にそういうふうな二つに分けるやり方自身に問題があるといつて、非常に抵抗しているわけです。

第二の心配は、戦略研究というのは、計画性とか時間表を重視するわけです。私がいる理化学研究所のフロンティア研究システムでは、研究内容

は大変基礎的なのですが、計画性や時間表は大いに持ち込まれて、大学とはかなり様子が違って、面食らうことが多いのです。原理研究と戦略研究は重複が非常に大きいものですから、戦略研究の考えを持ち込むと、多分、計画性とか時間表の問題が原理研究まで広く及んでくるおそれがある。実際には、長期的な視野で、リラックスしてゆっくり考えながらやるべき原理研究ができなくなってくる。研究者が追いまくられてしまうのではないかという心配であります。

もう一つ心配なのは、戦略研究は目的を持って、チームづくりをして研究をすることが多いので、没个性的になる。原理研究のほうは、研究者の個性を大事にして、個人個人の発想を重視してやろうまくいくのに、そういう点が圧迫されてくるのではないかということです。その辺のところには研究者と政策立案者との思考パターンの違いというのか、認識のずれがあります。研究者は大体、自然を理解するということが好きで始めた人が多いし、自然というのがそんな簡単に人間の戦略に引っかけられて秘密を明かすような代物でないということもよく知っているわけです。政策立案の側は、そんなこと言っていられない、産業とか商業とか、国益がかかって、国の繁栄がかかっているからというので、どうしても戦略の方向に押しがちになります。そこで両方の折り合いをどこでつけるかという問題が非常に大事になってきます。学術会議は、その辺のところをよく考えることがこれから大事な仕事になると思います。

〈脳科学の意義〉

さて、脳の研究は、純粋な原理研究から戦略研究まで非常に広い範囲に及んでいます。分子や細胞レベルの非常に基礎的でとても応用に結びつかないような話とか、回路網の難しい数学理論から広い応用まで広がっています。応用には、大まかに言って二つの面があり、一つは医学・医療や製薬、もう一つはコンピューターとかロボットの工学です。こういう基礎、戦略、応用にわたる非常に広がりを持った研究領域であり、ぜひ大いに力を入れて推進してほしいというのが我々の願いで

あります。

政府資金も大いにこちらのほうに投与して推進していただきたい。アメリカでは、1990年に脳の10年という決議が上院で通りまして、その後、ブッシュ大統領がサインして、行政機関は極力これを応援せよという文書が出ました。実際はそうは簡単にいなくて、徐々にであります、NSF や NIH を通して運動の成果が上がってきたということでもあります。もう4年たってしまいましたので、今さら10年というわけでもないですが、我々も大いにこの領域は力を入れてやりたいと考えます。脳研究は基礎科学者も非常に興味を持っているし、応用にも非常に近いところがあって、両方の要求を満たしていますので、ぜひ、皆様にも応援していただきたいというわけでもあります。

〈脳科学の基本概念—神経回路とシナプス—〉

前置きが大変長くなりましたが、実際の脳についてお話申し上げます。

脳に関する非常に基本的なコンセプトがいくつかありますが、一番基本的なことは、たくさんの神経細胞からできているということです。ヒトの脳にはおよそ140億の神経細胞があるといわれております。脳の中を幾ら探しても、神経細胞とその間を埋めているグリアと呼ばれる細胞と、細かい血管がいっぱいあるだけで、ほかは何にもないので、脳の働きはここから出てくるとしか考えようがありません。

たくさんの細胞をただ集めただけではなくて、これらがたくさんの接点でつながり合っているところが大事です。この接点はシナプスと呼ばれていますが、一つの細胞に大体1万個のシナプスがあります。ここにほかの細胞の突起がやって来て、接続します。脳から1立法ミリメートルの容積を切り出してきたとすると、その中に神経細胞が10万個あり、それぞれに1万個の接続点がある。また神経細胞の突起の長さはおよそ10から15キロメートルになり、大変高度な集積回路になっています。要するに、この神経回路網がどう動くかを理解すれば、脳の秘密はかなり解けるのではないかと思います。過去、3、40年の間の脳の研究は、まっ

しぐらにその道を走ってきました。

神経細胞同志のつなぎ目に、インパルスと呼ばれる電気信号が伝わってくると、末端から化学物質が出て、相手側の細胞に働いて、そこでまた電気的な変化を起こしてそれが伝わって行きます。この化学物質によって仲介されるシナプス伝達が脳の機能の一番基本的な過程です。ですから、過去30年ほどにわたりその物質は何か、反応する受容体は何か、電気信号が来てそれが出てくるプロセスがどうか、といったことが問題にされてきました。今一番ホットな問題は、シナプスの終末の中で丸いシナプス小胞と呼ばれる構造に含まれている伝達物質がどうして膜に接近して、はじけて中身が出てくるのかのプロセスを解明することです。1950年から70年にかけて、ノーベル賞は大体このレベルの研究から出ております（図1）。

1970年代になって分かってきたのは、シナプスが電氣的に伝わってきた信号を化学物質にかえて伝えるというだけでなく、この信号の伝わり方が条件によって持続的に変わる場合が幾つかあるということです。

長期増強と呼ばれているのは、大脳のピラミッド形をした細胞で起こるのですが、あるシナプスに高い頻度の信号が来ると、そのあと信号の通る効率が倍ぐらいになり、そのままいつまでも落ちてこない。1ヶ月追いかけても落ちてこなかったという報告があります。その先どうなるか、皆、まだよく分からないのです（図2 A）。

図1 シナプスの構造と働き

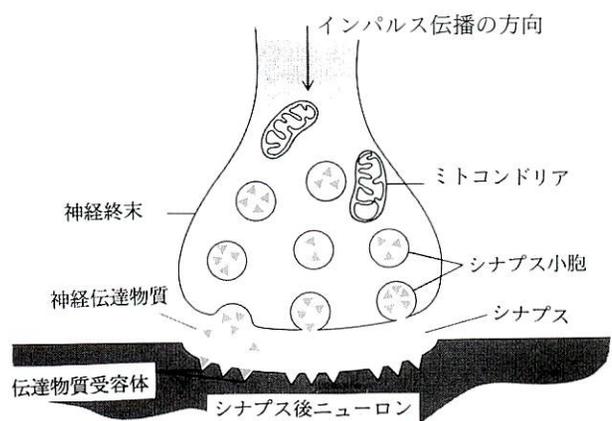
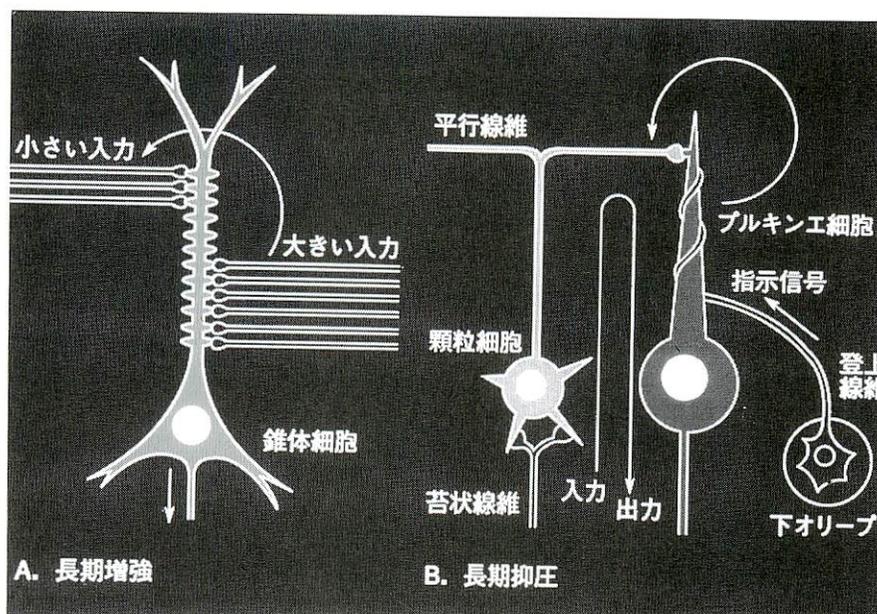


図2 シナプス可塑性—長期増強と長期抑圧



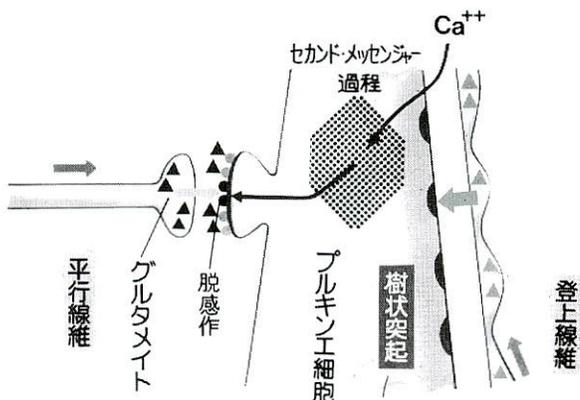
もう一つが長期抑圧と呼ばれるもので、小脳のプルキンエ細胞に発達しています。小脳外からの信号を伝える平行線維と呼ばれる入力のシナプスがありますが、もう一つ別の登上線維とよばれるルートがあり、両方の信号がほぼ同時にやってきてぶつかると、干渉して、平行線維からの伝達効率が悪くなる。悪くなると、ズーッとそのままになります (図2 B)。

長期増強はスイッチを入れる、長期抑圧はスイッチを切るといった形です。フリップ・フロップと似たようなもので、これが脳の持っている神経回路の記憶素子で、これを使って記憶、学習の機能を脳が営むと考えられます。

こういうシナプスの可塑性は1970年代に大体分かってきて、ではどうしてこのようなことが起こるのかという詳しい分析が始まりました。小脳の場合について言いますと、平行線維を電気刺激すると、プルキンエ細胞には興奮性のシナプス電位が出てくる。もう一方の登上線維を刺激すると、もっと複雑な信号が出てくる。両方をぶつけて、300発ぐらい刺激すると、平行線維からの信号が減ってしまいます。

私共は最近の10年間、長期抑圧の際、細胞の中で何が起こるかというところを集中して研究して

図3 プルキンエ細胞のシナプス可塑性—長期抑圧



きました。平行線維の信号が来ると、グルタミン酸が分泌されて受容体と働く。登上線維を信号が来ると、たくさんの接点で同時にプルキンエ細胞に働きかけて、それに伴ってカルシウム・イオンが中に流れ込む。カルシウムの流入と、グルタミン酸の働きが同時に起こると中で何かが起こって、その結果、この受容体の感度が急に悪くなってそのままになるというのが長期抑圧のメカニズムであります。

6年前に理化学研究所のフロンティア・システムに移ってからは、この中のプロセスが何かを一生懸命調べてきました (図3)。

実は、非常に手の込んだ化学的な反応が内在しているということが分かりました。カルシウムが入ると一酸化窒素、cGMP、蛋白リン酸化酵素などを含む連鎖反応が起こって、グルタミン酸受容体に働きかけ、平行線維から出たグルタミン酸がこれにくっつくと、感度を悪くするという大筋が分かってきました。

また別の受容体からCキナーゼを駆動するルートがあるとか、最近では、いわゆる最初期遺伝子の反応が起こるとのことまで分かってきました。こういう脳の記憶過程の分子機構の研究が、小脳だけでなく、大脳の方でも今進行しているのです。

こういう可塑性シナプスを記憶素子として組み込んだ神経回路網が脳の至るところにあって、いろいろな働きを発揮する。小脳ではいろいろな細胞を組み入れた回路網の全体像が、大体わかってきています。しかし、大脳はもっと複雑で、例えて言えば小脳の10倍ぐらい複雑で、まだまだ手が付けられません。この方向の研究は、まだまだこれから進める大きな余地があります。

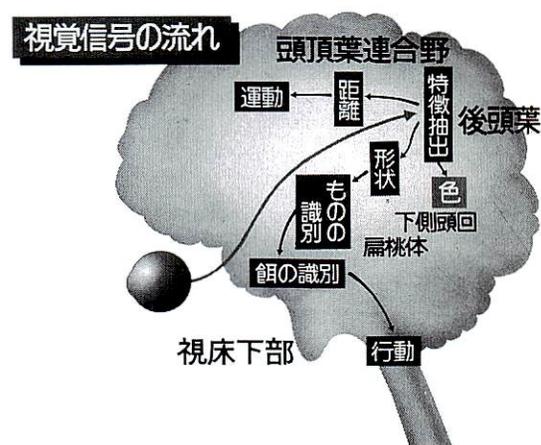
〈脳の機能局在〉

脳の研究から出てきたマクロのレベルの大きな原理は機能局在です。脳は全部が均一に働いているのではなくて、部分部分がそれぞれ非常にはっきりした機能分担を持っている。

例えば、目でものを見たときには、網膜に入った信号が大脳の後ろのほうへ行き、特徴抽出と呼ばれる前段階の情報処理を受け、そのあと色、形、距離の情報に振り分け、それぞれ大脳の違った領域へ送って処理します(図4)。

こういうことがサル的大脑について詳しく調べられています。後頭部で、網膜からV₁と呼ばれる領域に、まず信号が入ってきて、網膜をそっくりそのまま投射します。その後、約30の領域を通過して情報処理が進行します。30の領域の一つ一つは平均して大体10本の配線で他とつながっています。全部が全部つながっているというわけではなくて、その中におのずと信号の流れができています。サルは人間よりも視覚に依存する度合いが大きくて、

図4



大脳皮質の3分の1が視覚の情報処理に使われています。

こんなふうに脳をどんどん分割していったらどうなるのか。余すところなく分割して、それぞれの機能を特定する研究が世界中で行われ、いわゆる脳のマッピングが進行しています(図5)。

形の情報処理に関して、理化学研究所のフロンティア研究室の田中啓治グループが最近見つけた非常に面白い結果があります。サル的大脑から一つの細胞の反応を拾ってきて、その状態でサルにいろいろなものを見せます。例えば、トラの人形を見せると、細胞が反応する。アッ、この細胞はトラを見ていると思うわけですが、そのトラの絵をコンピューターに入れて、テレビの画面の上でどんどん分解していきます。だんだん単純化していても意外に反応が変わらない。最後に、これだけあれば同じ反応が出るという基本パターンに辿りつきます。

そういうやり方で調べると、見たものの形の情報処理をする領域の細胞は、思いがけない奇妙な基本図形に反応することがわかります(図6)。リンゴを見せると反応したものが、その柄をだんだん短くして行って、なくしてしまうと、全く反応しなくなってしまう。この突起が非常に大事なのです。また、5本の突起のある星形の図形に反応するものもあり、5本あるということが大事なのです。こういう基本図形に共通する統一原理がまだよくつかめないのですが、とにかくこういう図形が200個ぐらい見つけられていて、多分全部で

図5 サルの大脳皮質における視覚関連領域
 RGC：網膜、LGN：外側膝状体
 (D. J. Fellman, D. C. Van Essen, Cerebral Cortex, 1, 30-(1991)より)

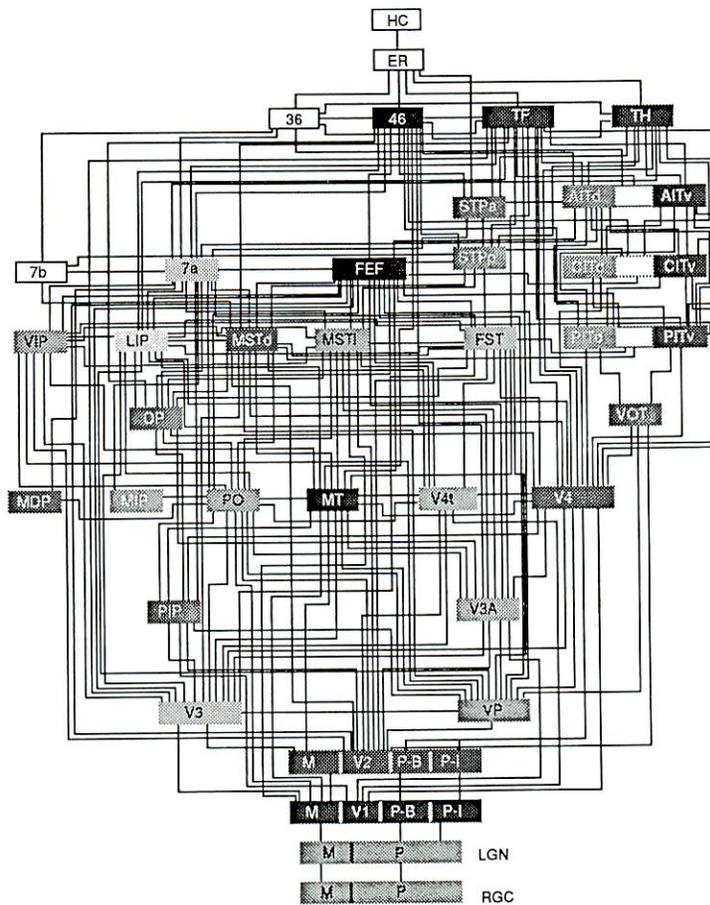


図6 大脳の下側頭回における神経細胞に
 特異的な反応をおこす中等度に複雑な図形の例
 (田中啓治らによる)



2,000個ぐらいあると推定されています。

我々が非常に複雑な図形を見て、それを認識するときには、沢山の細胞が反応し、ある細胞はこの辺、ある細胞はこの辺と手分けして、その総合的な反応として非常に複雑な図形の認識ができる。一つ一つの細胞はいわばアルファベットのような、中等度に複雑な図形を表現していると考えられる。

昔、おばあさん細胞という説があり、赤ん坊がおばあさんを見て、にこにこ笑うときには、赤ん坊の頭の中のある細胞がおばあさんに反応している。だから、その細胞が反応するということがおばあさんを見ていることだという仮説があったのですが、そうではなくて、おばあさんを沢山の細胞が集団で見ていることになります。これが今の脳の機能局在論です。

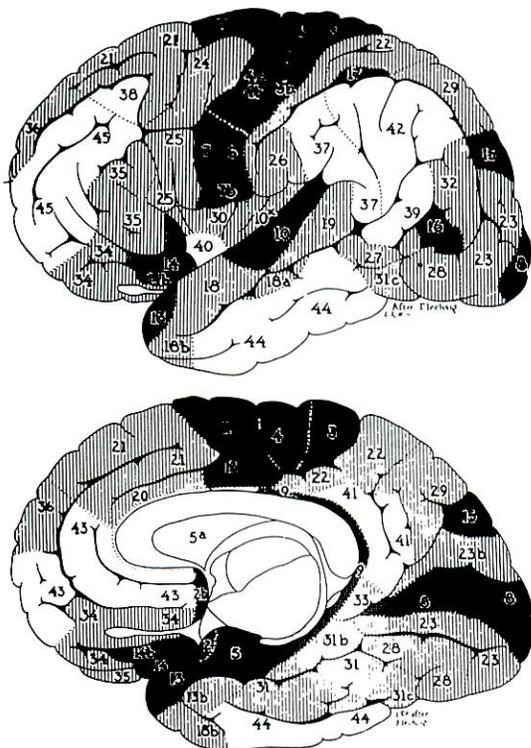
〈脳の進化〉

脳の問題を考える場合の手がかりの一つは進化論です。人間の脳の中でも、生まれてから発達してくるスピードが部分で違います。非常に早く完成する部分と、もう少し遅れて発達してくる部分に、さらに非常に遅れて10才ぐらいまでかかって完成する部位があります。神経細胞の突起の持っている髄鞘と呼ばれる鞘が、完全にできるまでにそれぐらいかかるのです。

個体の発生は進化のプロセスを反映しているというヘッケルの法則に則って考えると、遅く完成する部分ほど進化的には新しいところです。我々の知能だとか、英知だとかは、そういう新しい部分にあると考えるのが適当です（図7）。

大脳皮質の真ん中に中心溝という深い溝があります。その後ろの方は視覚信号のような外からの

図7 ヒト大脳皮質の個体発生
の順序
黒塗り、縦線、白地の領野の順に個体発生が完成する。上・大脳半球の外面、下・内面。
(Flechsigによる)



信号を受けて処理する部分で、いわゆる知能の座だと考えられる。前の方は、今度は大脳で作った信号を外へ出す方で、これは意の座です。

大脳半球の内側を見るとマツタケの柄みたいに脳幹がくっついて、脊髄へつながっていきます。この脳幹の付け根を取り巻いているところを、辺縁系と呼びます。ここが情の座になっています。我々の知・情・意は、大まかにはこういう分布をしております。先ほど視覚についてお話したのは、知の方の細かい分布であります。

ただ、こうやっていきなり人間の知・情・意にまで取り付いてしまうと、それだけで問題がわからなくなってしまいますので、進化論的にうんと下等な方から追ってみることも大事です。

我々の神経系の中で一番基本的なのが反射です。刺激が入ると、そのまま反射中枢を通して出てくる。膝の下をポンとお医者さんが叩くと、足が上がるのは反射です。これは主に脊髄から脳幹にかけて分布しており、我々の体では100種類ぐらいの反射が常時自動的に動いています。強い光を見れば瞳孔がひとりでに縮んでくれるといったことが行われています。

その上に複合反応と呼ばれる系があります。工学的な考えで言うと、一種のファンクション・ジェネレーターをもつ系です。例えば、泳いだり、呼吸したり、歩いたり、走ったりという、パターン・ジェネレーターを持った反応系で、反射よりは複雑になりますが、やはり脊髄や脳幹にその中枢があります。

その上に生得的行動というランクの機能系があります。これは生まれつきの本能行動で、敵を見れば怒って攻撃する、強い敵を見れば恐れて逃げる、あるいは餌や、異性に近付くとかいう生まれつきの行動です。脳幹の一番突端の視床下部に中枢があり、そこを電気で刺激すると、こういう情動の表出や行動が起こります。大脳が全然ない動物でも、これはちゃんとやれます。

魚類や爬虫類などの脳は、この3種類の反応が基本になっていて、それに辺縁系、小脳と大脳基底核が上部から働きかけます。刺激に対していろいろな違った反応がむちゃくちゃに起こらないように大脳基底核が選択して安定させる。小脳は、

Aという刺激が来たときにいつもBという反応しか出ないのでは、変転する環境の中で生きていけないので、状況に合わせて刺激-反応の関係をどんどん変化させていく適応制御の働きを持っています。辺縁系は、目的指向性を与え、いいことがあれば接近して取る、悪いことがあれば飛んで逃げる、あるいは攻撃して壊してしまうというように、反応が個体・種族の保存という目的に合うようにする役目をしています。少なくとも脊椎動物のレベルではどんな下等な動物でも、これだけの道具立はみなそろっている。

ところが、だんだん進化して鳥から上になると、大脳皮質がこの上に発達してきて、第4の機能系ができてきます。この系は大脳皮質の情報処理能力を使って、もっと高級な働きができるようになっています。

哺乳類になると、大脳が大きくなって、大脳の中に、感覚野をもう一度内部に投射した内部の世界をつくります。外から刺激を受けて外に反応してきただけという下等動物の方式から進んで、刺激を内部から受けて内部へ働きかけるという、もう一つの内部ループができてくる。これでかなり哺乳類の脳が複雑になってきます。感覚野の拡張としての内界が脳の中にできてくるだけでなく、運動野の拡張としての司令部もできてくる。司令信号を出す部分という意味で仮に司令部と呼びます。そうすると、外に世界へ働くことはもちろんですが、内部の世界とこの間での反応ができるようになってくる。司令部と内界の間で、ちょうど脳と外界とやりとりしていたようなことが内部で行われるようになってきて、脳の中の機構の内容が非常に豊富になってくる。

Malcom Youngの脳のトポロジーと呼ばれる図は、脳の中のたくさんの部分をコンピューターの中で、お互いにつながっているものはなるべく近くに、つながっていないものはなるべく遠くに置くという原理で並べたものです。そうすると、脳のいろいろな部分がどういうふうにつながっているか分かります(図8次頁)。

視覚の信号、聴覚信号、皮膚の触覚信号はそれぞれのルートを通してやって来ると、最後はみな同じ所に集中してくる。その部分が脳の中の最高

のレベルで進化論的には一番新しいレベルであり、多分、その中で内界と外界が成立して、非常に複雑な内部的な世界をつくり出すはずで、脳の中のいわば高天原ですが、それが脳の一ヶ所ではなくて前頭葉、頭頂側頭葉の連合野と辺縁系を含む大きな複合体なのです。

今、私たちが理解している範囲でマクロな脳の構造を画いてみると、前頭前野の連合野が司令部として働いて、頭頂・側頭連合野の連合野が内界として働く。言葉を使って何か考えるときには、内界の言語野を司令部が動かすと考えるのです。それに辺縁系が結びついて三位一体で働く。小脳と大脳基底核がこれを助けます。司令部と内界のやりとりしている間に小脳がそれを肩代わりして、小脳を通して自動的に同じことができるようにしてしまうという仮説を今立てているのです。

大脳基底核には安定させる働きがあると考えられます。沢山のエレメントで、いろいろな指令信号が一杯出てくるので、それを交通整理して、あるときにはある一つの動作だけする、あるいは一つのことだけ考えさせるというふうに、選択による安定を保證する働きがあると思われます。

最近このような考えを裏づけることができるようになりました。今年の6月ごろ、セントルイスのグループが出したポジトロン・エミッション・トモグラフィの結果ですが、人間に一種の単純な思考をさせておいてとったものです(図9次頁)。沢山の名詞、例えば、ペンシルだとか、ハンマーだとかという言葉に50ぐらい続けて聞かせて、その用途を次々に考えさせる、あるいは言わせる。しゃべるための活動は、後から別にとって差し引いてしまいます。名詞を聞いて、その用途を考え出すという、そういう単純な思考のときに起こる脳の血液の流れの増加をとったもので、これが増えている所では神経細胞が活動を高めていると解釈できます。

そういう思考を一生懸命しますと、大脳前頭葉の46野と呼ばれるところを中心に、大きな活動が現れます。また、頭頂葉から側頭葉にわたる境界あたりの、これは明らかに言語野が活動している。この二つの領域の間で信号をやりとりして、この人は考えているなという感じですね。

図8 大脳のトポロジー

大脳のつながりのある小領域を近くに、つながりの無いものを遠くに置くように配置したもの。
 (M. P. Young, Proc. Roy. Soc. Lond. B. 252, 13-18, 1993 より)

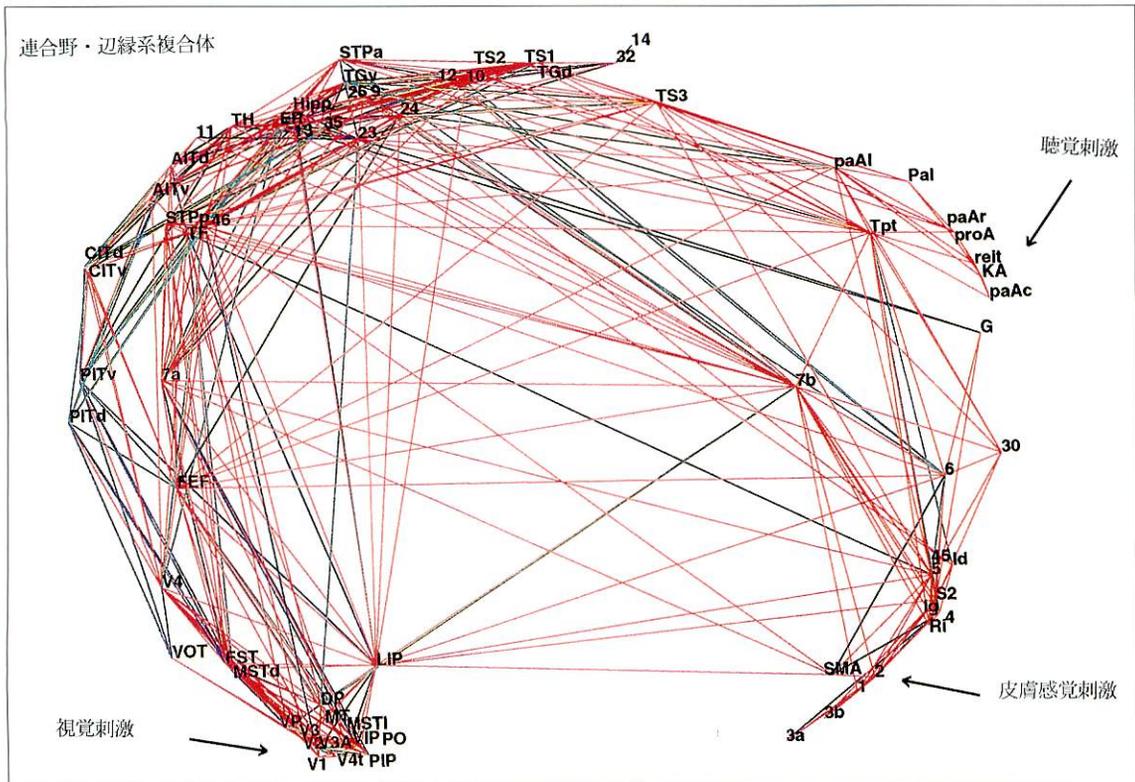


図9 思考時の脳の局所血流の増加

ポジトロンエミッショントモグラフィニよる。被験者は多数の名詞の列を示され、それぞれの用途を答える課題を行っている。上・左大脳半球の内側で、帯状回の前部の活動が高い。中・左大脳半球の外側面。前頭前連合野と頭頂側頭連合野の言語中枢の活動が高い。下・右小脳半球でも活動が高い。
 (Raichle ら、Cerebral Cortex 4, 8-, 1994 より)

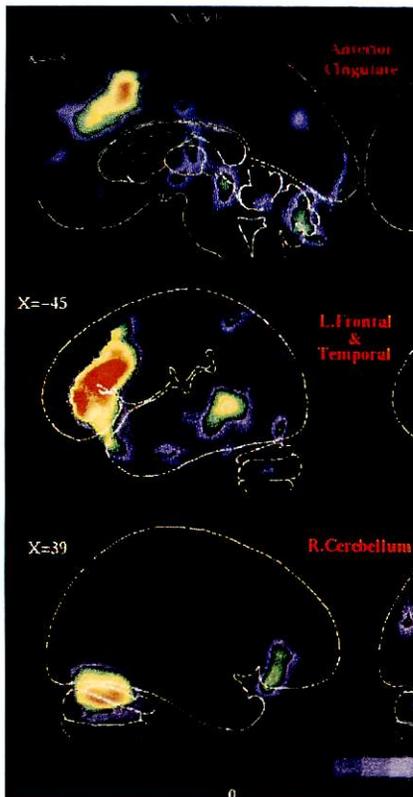
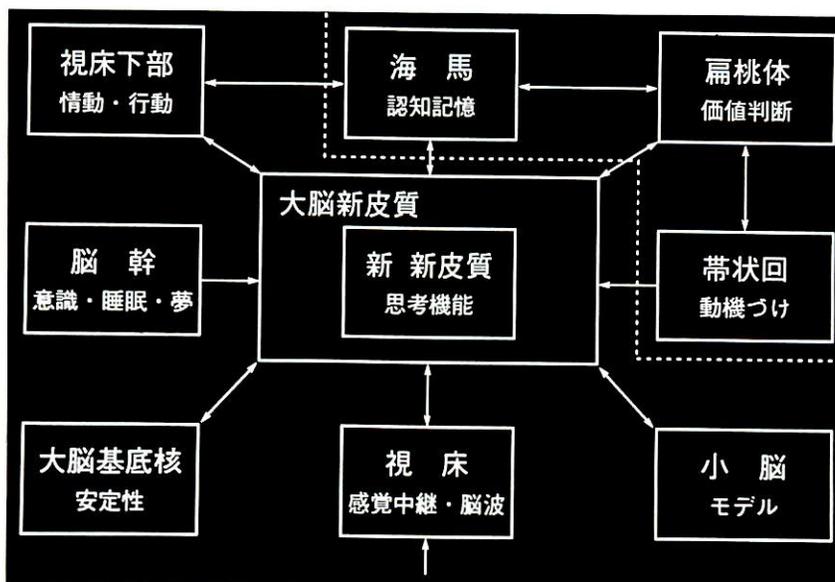


図10 思考の脳システム
点線で囲ったのは辺縁系。



そのほかに脳の内側の辺縁系の一部で、帯状回と呼ばれる部位の前のほうで活動が増加します。ここは動機づけの中核と言われています。この辺の血管が詰まってだめになると、一日中何もしないで座っているということが起こります。一生懸命考えるときは確かにここが活動していることが分かります。

もう一つ、反対側の小脳に大きな活動が出ます。大脳が働いているうちに、この働きをどんどん小脳が肩代わりして行って自動化してしまうと私は解釈しています。大脳基底核の活動もおこることが別の人の研究で示されています。

どうして我々は物考えるのか。そういったレベルのことが、まだ大まかですが分かってきたと言ってよいでしょうか。大脳の外側の表面を新皮質といいます。その中でも進化的に特に新しいというので新新皮質ということもあります。前頭前野と頭頂・側頭葉にわたる新新皮質で考えているが、これはいわばコンピューターのCPUみたいなもので、ここだけですべてがいいというわけではない。沢山のインフラストラクチャーがくっついて、これを動かしています。

帯状回は動機づけのセンターと申しましたが、その信号が一生懸命考える、あるいは嫌々考える、

考えるのをやめてしまうといったことを左右します。考えたことがよかったか悪かったか、満足すべきか、あるいはちっともいい考えが出なくて腹を立てるかとか、そういう価値判断は、やはり辺縁系の中にある扁桃体の機能とされています。これが損傷されると、そういう価値判断ができなくなってしまいます。また、経験した重要な事項を記憶に保存するために海馬が働くと思われませんが、これも辺縁系に含まれています。辺縁系がそういう形で新新皮質をバックアップして思考機能を営む(図10)。

我々は大脳皮質がどんどん発達してきて、人間の人間たるゆえんが大脳皮質にあるとばかり思っていたのですが、いいとか悪いとか判断したり、もっとやれとか、もうやめておけ、いいかげんにしとけとか、大事なことは記録にとどめるといったことは、辺縁系のほうがやっているのです。新新皮質は一生懸命計算しているだけ。ですから、どっちが主人で、どっちが召使いなのか分からない。新新皮質は辺縁系に使われているコンピューターのようにも見えるんです。そうすると、人間の人格だとか、魂だとか、自意識とか、そういったものの座がどっちにあるのかということも分からなくなってしまいます。

小脳は大脳のモデルを作ってその働きをバックアップする、大脳基底核は安定装置として働く、視床は脳波を使って何かモードの設定みたいなことを多分やるのだろう。あるいは脳幹の睡眠系は、大脳の回路をスイッチ・オフしたりオンしたり、あるいは夢を見るプロセスで、この回路を清掃し、維持するといった考えが大体出そろってきまして、大きな思考系の全貌が大体つかめているのですが、その各部で行われている現象を神経回路網の働きとして明確に理解するところまでは、なかなかまだいっていません。この最後のところは、まだこれからの領域であります。

ご清聴ありがとうございました。(拍手)

司 会 伊藤先生、どうもありがとうございました。ここで休憩をしまして、また後ほどいろいろご質問をさせていただきたいということでございます。

(休 憩)

司 会 では、まだお食事中の方もいらっしゃるかもしれませんが、時間も過ぎましたので、只今のご講演に対する質疑応答というか、ほんとうの談話サロンに入らせていただきます。

どうぞ手を挙げていただけますか。

市 川 人事院の市川でございます。皮切りに極めてプリミティブなことをお伺いしたいと思いますけれども、結局、脳がわかるというのはどういうことかという問題でございます。きょう、先生のお話をずっと積み上げていきますと、物理的存在としての脳は次第に分かっていくんだらうと思います。例えば、神経細胞の一個一個、あるいはその集まり、そういうものにある刺激が入ったときに、シナプス強度がどうなったり、ネットワークがどうなったりしてということは分かっていくと思うんです。脳については、多分、そういうわかり方というのが一つあると思うんですが、もう一つのわかり方というのが本来はあってしかるべきではないかと思うんです。

どういうことかといいますと、我々、物事がわかるというのは、それに関しての仮説とその演繹型と申しましょうか、あるいはモデルとその運用と言ってもいいかもしれませんが、それによって未知のというか、これまで経験したことのない入

力に対して出力が推定できるときに、これをわかったと言うわけでございますね。そうしますと、人間の脳について、それができるかどうかということでございます。

先生がお話の中でもちょっと触れられましたけれども、要するに、入力が入ったときに、すなわち外界とのやりとりだけではなしに、人間になると内界と司令部のやりとりというような、そういう情報処理系が動いて、結局、それによってネットワークの構造が変わり、シナプスの重みが変わるといたしますと、そのもとでもって脳に入った刺激に対して、脳が一体どういう出力を出すかというのが読み切れるのかどうか。そういうわかり方というのが脳についてあり得るのかどうかという、そこのところを先生の見通しとしてお教えいただきたいと思うんです。

構造あるいはシナプスの重みの中に、多分、その人がオギャーと言ってから、あるいは遺伝子のころから経験してきたものが全部凝縮されて入っているわけでございますね。それを読みきれのかどうかという問題。あるいは逆の言い方をしますと、仮にネットワークとシナプスの重みが全部分かったとしたときに、それを使えばインプットに対してアウトプットが分かったと言えるのかどうか、そういう問題でございます。

伊 藤 脳の中には反射のように極めて機械論的に理解できる部分が少なくありません。と言うより我々は脳を細分し、階層的に分類し、それぞれの働きを表す機械論的なモデルを作ろうと努力しているのです。これが成功すれば、どんな入力に対してもその反応が予言できる筈です。経験によって内部のシナプスの重みが変わるにしても、その変わり方の法則が分かれば、それも含めて予見出来る筈です。

脳の高次レベルにいくと、その仕組みが複雑になって、刺激-反応の関係が簡単につかめなくなり、結果の簡単な予見はできなくなることは十分に考えられます。多くの入力競合して強いのが勝って反応を決めるという場合もありえます。そういう複雑さを考慮しなければなりません、それでも依然として脳の機械論的なモデルは出来る筈です。

しかし、それをさらに超える不確定性が脳にあるかどうか、自由意思の問題のように、入力とは関わりのない自発的な出力を脳が作り出す力をもつかどうかはまだ明言出来ません。

石谷 13期まで学術会議会員で、元大阪大学におりました石谷と申します。研究の方法として、進化の過程を調べるといのは大変おもしろいと思いました。同じことは、退化という大変だけれども、脳がどんどん劣化していくアルツハイマーという病気がございますね。あれによって、いろいろなものがだんだん失われていくわけです。私どもはテレビで見ているだけのことで、ほんとうのことは知りませんが、最後には脳の非常に大きな部分ががらんどろになって、なおかつご存命である。ただし、その人に——人と言っているのかどうかも問題かもしれないんですが、一体、人格があるか考えるのか、そうでないのか、あるいは退化していく過程を今の進化のように調べたら、今度はどういうところで何が保持されているのかということが、ひょっとすると分かるのではなかろうか。ところが、あまり退化の過程を調べたという話を聞かないのですが、いかがなものでしょうか。生理学あるいは心理学の方がなさっているのでしょうか。その辺のところをちょっと教えていただきたいと思います。

伊藤 ぼけてくると新しい記憶がどんどん消えていって、古い記憶が出てくる。あるいは、後で習った言語が話せなくなり、昔、使っていた言語が出てくる。動物ですと脳をいろいろ壊してどうなるか、人間ですと、脳卒中とか、けがをして脳の部分が破壊されたときにどうなるかという研究はたくさんあります。

例えば、イヌの脳皮質を全部除去する手術をしても充分生きています。物が見えないけれども光は感ずるので、ひなたへ出て行ってひなたぼっこをしているし、えさのおいがすると行って食べるし、何か少し頭の悪いイヌにしか見えません。ちゃんと意識があるように見える。人間でも脳が全面的にやられても意識が残るだろう。しかし、その意識は、脳が健全なときの意識よりはだいぶレベルが低いはずなんです。

意識にいくつかのレベルがあって、ほんとうに

目覚めているだけの状態。それから、外で何が起きているか、ちゃんと認識している状態。それから、自分が何をやっているか、何者であるか、ちゃんと分かっている状態。その上にもっと、ハイコンシャスネスとって、ヒンズー教の行者のような、あるいは座禅を組んだときのような、非常に高い意識レベルがあると考えられます。多分、ただ目覚めているだけの意識というのは脳幹に座があって、外界で何が起きているかということ認識している意識の座は脳の後半部のほう、中心溝から後ろのほうに多分ある。だけど、自分が何者であるかというのを意識している自意識の座というのは、いまだにつかめない。

退化を追っていても、それがうまくつかめないのです。ぼけるけれども、どこかの時点で意識がなくなるというものではない。人格が昔の深みのあった人格からだんだん平板になってきて、目先のことに飛びついて、単純作業しかできないというふうに変化してくるのですが、急に全くなくなるということはないのです。意識や人格というものには、そういう厚みを持った構造があるのです。どうもその程度のお答えしかできなくて、申し訳ございません。

石谷 ありがとうございます。

緒方 上智大学の緒方と申します。今のお話、大変おもしろく伺ったんですが、昔、30年ぐらい前になると思うんですが、東京大学の時実先生の話をお伺いしたことがありまして、その中で今でも非常に記憶に残っているのは、「身体髪膚、これ父母に受く」という話があるけれども、人間というか動物の細胞というのは絶えず入れかわっているんだ、新陳代謝がある、ただ、脳の細胞だけは新陳代謝、つまり入れかわりがないんだ、だから三つ子の魂百までもというのは、細胞の入れかわりがないからあるという話です。何かそれはうそだというような話も、最近、伺ったことがありまして、一体、脳細胞というのは入れかわりがあるのかなのか、もしあるとすれば、じゃ、記憶というのはどうして続いていくのかというのを、ちょっとお伺いしたいと思うんです。

伊藤 細胞としては入れかわらないし、シナプスの構造としては入れかわらないんですけれども、

それをつくっている分子はどんどん入れかわっている。蛋白質なら蛋白質はどんどん生産されて、受容体の分子そのものを考えれば、常に新しいものができてきては、古くなったものは壊れていくというプロセスをとっています。しかし、それで作られているシナプスの構造は変わらないのですから、どちらの見方も正しいわけです。それを支えている分子は入れかわっていても、肝心の構造はちゃんと残っています。生まれたら二度と分裂しないのが脳細胞の特徴ですから、細胞としては決して増えることはないし、入れかわるということもあり得ない。ですから、日本工学アカデミーの、人はかわられても委員のメンバーは同じ、だから委員会の機能は変わらないというのと同じでしょう。

司 会 今のことなんですけれども、細胞のある形があって、その中の物質がある速度で新陳代謝しているというのと、ある時点でとってみると、細胞の形はずっと同じように見えるわけですが、その一部分は分子として変わっていくと、そんな感じですね。

伊 藤 もう一つ、これはいい例かどうか分かりませんが、歯なんか、こんなかたいもので、全然、石みたいに見えるけれども、中のカルシウム動態は大変なものです。どんどん入れかわっている。

司 会 私も実は遺伝子のことをやっているわけですが、遺伝子というのは、同じ鎖の2本が二つに分かれて相手をつくってというので、ずっと親からつながっているわけなんです。そうすると、今、私が持っているDNAの1本の鎖は、ずっと先祖からつながっているということになるわけなんですけれども、実は、遺伝子として入っているときに、その一部分が分子としては後退しちゃっているから、物質としては昔のままではないという形になっているんだと思うんです。

高橋 茂 東京工科大学の高橋と申します。動物の脳でも何でもいいのですけれども、非常に小さい部分を取り去って、それを例えばマイクロプロセッサで置きかえる。それで何とかもととほぼ同じ働きをする。どんな小さい部分でもいいのですが、そういうような試みとか、可能性等、そういうことはないのでしょうか。

伊 藤 それはできるといいんですけれども、一番問題は、接続がうまくできないのです。今、実際にやられているのは耳の場合で、補聴器を耳の神経につないでしまうんです。ですけれども、耳の神経はたしか線維が2,000本ぐらいあるんですけれども、2,000本につないで復元するということはとてもできなくて、ほんの4、5本の電極で刺激して、そのパターンで聞き分けさせるという訓練をしないとイケない。目の場合ですと、視神経は100万本入っていますので、それをつなぐというのはほとんど不可能。脳の内部になると、もっと大変になるわけで、左右の脳をつないでいる脳梁は1億本の線維を含んでいます。今はそういう桁にテクノロジーが手が届かないのです。例えば、小脳なんか壊れた人を、大体、働きが分かっていますから、マイクロプロセッサでつくってつないでやったらいいな、埋め込んだらいいなとみんな思うんですけれども、そのつなぎ方がないんです。

高 橋 そういうことを実用にしようという方があって。要するに、研究の一つの手法として、非常に小さい部分を取って、インプット、アウトプットを数百個とかプラクティカルにできる範囲で、その部分をマイクロプロセッサで置きかえてみる。それでそのプログラムをいろいろ変えたとどうなるかということをやっているグループがあるんです。

伊 藤 ただ、それをどうやって調べるか。人間でやるわけにはいかないし…。

高 橋 いえいえ、動物です。

伊 藤 動物でやった場合に、どうやって調べたらいいのか。動物に聞くわけにもいかないし、そこが難しいところなんです。何か行動にでてくればいいんですけれども、何か学習がよくなったとか、悪くなったとか、スコアで出てくればいいんですけれども、そういうことは、極小部分を変えた場合にはほとんど不可能だと思います。脳の場合には、一部を壊すと、すぐ周りが肩がわりするんです。だから、症状が出て、すぐ消えてしまう。

竹 内 土木系の竹内と申します。二点だけお聞きしたいと思うんです。大変面白く伺ったんです

けれども、私の経験では、そういう研究者とは今まであまりおつき合いがなかったんですが、今の日本の中で、どのような方たちが、今おっしゃるような脳の研究をしているのか、生物学か、農学か、お医者さんか、どういうグループがどのぐらいやっているのか。それから、どういう教育をしているかという、そちらのほうのことをお聞きしたかったのが一つ。

もう一つは、イヌとか、人間とか、サルとかとありますけれども、さっき脳の白い部分が一番進歩している部分だと言われましたけれども、あの部分は動物とか生物のレベルによって違うでしょうし、人間とサルとも違う。あの白い部分をこれからだんだん大きくするような方向があるんでしょうか。それとも、要するに神様がそういうふうなものをつくってくれて、何億年かたつと、自然にそのものが大きくなるのか。先ほど遺伝子の話がありましたけれども、私は、成長するあるものがあるんじゃないかなと。そこら辺はわかりませんが、どういふふうに解決して、あるいは把握していくか、ちょっとお聞きしたいなと、こんな感じがしたんです。

伊藤 どうもますます難しくなってきました…。研究者の分布は、実に雑多で、いろいろな人が入っています。分子・細胞の話から、高等動物の脳、人間の意識、そういう問題まで入っていて、技術も分子生物学から、PET みたいなものまで、ある領域ですから、どこか一ヶ所というわけにもいきません。

人間の脳に関しては、今までは医学部が圧倒的に強かった。理学部へ行くと、線虫だとか、ハエとか、そういう材料を使った研究が多かったのですが、今は、それらに共通のことがいっぱいあるわけです。ですから、そういう区別もちょっとつかなくなりましたし、農学部でも随分神経系の研究をやられていますね。それから、工学部で、生物工学とか生体工学とかいってやられていますし、理論の研究も入れたら随分すそ野が広がります。

教育のほうは、ほんとうにその点が悩みです。自分は一つのことをやっていますが、周りの広い領域のことがわかるような人を育てるような教育が欲しいのですが、今の大学学部の縦割制度だと

なかなかそれができない。そういう学際性が非常に要求されている領域なので、そういう点でいつもアメリカに押されるんです。それはほんとうに困ったことだと思うんです。

それと脳の進化の話は、これはほんとうに難しい話ですが、人類学者に聞きますと、2,000年ぐらいの歴史でも人間の脳は少しずつは変わっている。ただ、非常に僅少な違いしかない。ですから、部分的にどこかが大きくなっていくというような方式の進化が起こるかどうかは非常に疑問。今ですと、人間に一番近いのはゴリラやオランウータンですが、人間の脳の半分なんです。それで人間との間に大きなギャップがある。それで、もう一遍、細胞分裂の回数が1回増えて、人間の脳の2倍になったらどうかと考えるほうが現実性がある。でも、それは一体どういうことになるのか。えらいことになるでしょうね。

得田 日産科学財団におります得田と申します。実業界のエンジニアとして、実はバーチャル・リアリティの将来というのに興味を持っています。私どものほう、研究している連中がいるんですけれども、バーチャル・リアリティというのは、大ざっぱに言いますと、コンピューターで細工されたオーディオ・ビジュアル情報を目や耳から聞いて、「のような気になる」ということだと思います。おまえらはそうやっているけれども、今、脳科学が進歩しているから、そんな間接的じゃなくて、脳に科学的・電氣的刺激を与えれば、「のような事態はすぐ来るよ」と言っていたんですが、きょうのお話を伺って、これはちょっとどうも来ないかなと思っているんですが、先生のはいつごろ可能でしょうか。ドラッグと脳にもつながる話だと思いますが……。

伊藤 簡単には来ないかもしれないけれども、原理的には、可能でしょうね。外部の情報を受け取った感覚野だけのマップでなくて、それをもう一遍投射し直した脳の中の内部世界ができていて、そこに一種のシミュレーションができています。それを動かせばいいわけです。

しかし、脳は、簡単に外から情報を入れたり、取り出せるようにはできていないのです。おっしゃるように薬で刺激するとか、最近では、強力な磁場

で刺激することができます。だから、将来、そういう技術が進んでくるかもしれません。

内野 旭硝子の内野という者です。私の乏しい体験をちょっと話させていただきますと、私は1年半ほど前に脳溢血になりまして、現在、左半身付随になっておりまして、脳がやられると運動機能がやられるというのははっきり認識いたしましたが、実は、単に思考能力が低下するということだけでなく、幾つかの心がぼっかりなくなってしまうような実感を持っておりまして、脳がやられると、ああ、幾つかの心もなくなっていくんだなという実感があるんですが、そういうようなことなんでしょうか。

例えば、私は研究を職としておる者ですが、大体、物事を楽観的に考える心がほかの人よりかは強いんですけども、その楽観的な心、そういうのを心というのか、そういう性向と言うべきかは知りませんが、すっかりなくなってしまったように思います。だんだん回復はしてきておりますが、それだとか、自然をめずる心が非常に弱くなったような気がして、非常に不思議に思っておるんですが、ちょっとその辺のことを、もし分かっていることがございましたらお教えいただきたい。

伊藤 普通は、心というのは知・情・意という3成分を持っているけれども、それぞれの内容が相当複雑なわけです。だから、脳の損傷でどこかが欠落するということは、当然、起こるわけです。ただ、脳の組織は可塑性が強いものですから、切れたところがまたつながり直すということが幾らも起こりますし、つながり切れなくても、ストラテジーを変えて、別の場所が別のストラテジーで同じことをやってくれる現象が起こるものですから、結構、回復してくるわけです。

内容が複雑だということについては、さっきお話ししたような機能局在の問題があるでしょうね。非常に複雑な内容が脳のいくつかの部分に割り当てられている。ですから、ある場所がやられると、その部分だけが欠落する。だから、損傷の仕方によっては、幾つかの成分だけが落ちちるということが、当然、考えられます。

堀 金沢工業大学におります堀と申します。大変

素人っぽい質問で、これは昔からいろいろな人が議論していることだと思いますが、今、お話にありましたような、脳の構造を機械的なものというか、電気回路のようなものと考えた場合に、それをどんどん複雑にしていっていったならば、今もいろいろお話になっていたような、意識であるとか、そういったものがひとりで出てくるというか、つまり、意識や何かを機械論的に説明できるというふうに関の研究者はお考えになっているのか。あるいは、もっと神秘的なものがあるんだとする、その境目がどこにあるのか。そんなようなことについて、脳の専門の方々はどうなふうにお考えになっているのかということをお教えいただければ、ありがたいと思います。

伊藤 今、できなくても、最後にはモデルができて、人工的に再現できるようになり、機械論的に解決できるとみんな思っているんです。みんな思っているんですけども、今の知識ではそこが詰め切れない。ですから、気の短い先生は二元論的になって、これは永久に説明できない、脳と心は別だということになってしまうのです。だけど、それはちょっと気が短か過ぎるので、まだ何十年かかるか分からないんですけども、最終的にはいくんではないかなと。最近、デネットという哲学者の話聞いたのですが、哲学の先生もだんだん一元論に来ているみたいです。

MITのヒューマノイド計画とか、サンディエゴのダーウィン計画という、ロボットをだんだん進化させて人間に近いものにしようという計画があります。人間そっくりのロボットをつくらうとすると、最後に意識が出せるかという問題になるわけです。ヒューマノイド計画で作っているCogというロボットは、動作を人間の動作と同じようなスピードでするように仕組んであるので、対面していると、人間と錯覚するそうです。それで最近、研究室で、人権でなくて、ロボット権を認めたとかいう話があって……。

そういうロボットはいかにも意識があるように見えるけれども、ロボットの中を見たら何もないかもしれない。だけど、我々はやっぱりどう考えても、自分、アイネスというものがどうしても頭の中にあるし、100億の細胞が働いているのになん

の統一意識がいつも流れているという、実に不思議な現象がある。どこまでいったらそこまで理解できるのか、ちょっと私にも分かりません。

司 会 何かあまり脳のことがよく分かって、人の考えていることも分かってしまうようになると、夢がなくなってしまうんじゃないかというような気がしますが、そういう意味では、研究者としては今が一番いい時じゃないかなというような気もいたしますね。 あとお一人だけ。

柴 田 横浜国大の柴田です。質問というより、今の堀先生のコメントに対して、私、自分自身の分野のアナロジーを、今、ひょっと思いついたものですから、申し上げます。

私は振動が専門です。1支点の振り子はマスが一つとバネが一つ、これは決定論的に記述できるわけです。ですけど、これの数を増やしていくと、だんだん記述することができなくなって、例えば空気ですと、1立方メートルの中に、そういうのが10の二十何乗というストラクチャーが入っている。ですから、空気は別の記述がある。その

中間に不規則振動とかいわれるようなものもあるわけですけども、これを一元論的に見るか、多元論的に見るかの問題に似ているのではないかと思います。

コンピューター・チップで記述できるのをどんどん増やしていったら、コンピュータ・チップを記述する手法で記述することはできるけれども、脳はシミュレーションができない。何十億ですか、さっき先生がおっしゃったオーダーはシミュレーションできない。だから、それを二元論と見るか、一元論と見るかという事かなと、ちょっと自分の専門のアナロジーでそんなことを考えましたということを申し上げます。

司 会 どうもありがとうございました。

きょうは、お忙しいところを伊藤先生においでいただき、とても有益なお話をしていただきまして、大変ありがとうございました。では、これで講演会を終了させていただきたいと思います。

(拍手)

1995年 8 月25日

編集
発行 **日本工学アカデミー**

〒100 東京都千代田区丸の内 1-5-1
新丸ビル 4-007

TEL : (03) 3211-2441 ~ 2
FAX : (03) 3211-2443