

脳を操る仕組み

分子から心へ

塙田 裕三



今日は、自然科学の立場から脳研究の歩みをたどり、脳は今どこまで判っているのかといったことをお話ししたいと思います。自然科学的アプローチからは心の問題というところまでは、なかなか踏み込めないのでございますが、たとえ形、姿はない心であっても、それを操つているのが脳に違いないという確信のもとに神経科学者の研究は進められております。

脳はたしかに歴史的かつ物質的な存在であり、非物質的な心とどういうふうな関連をもち、また物質的な脳がどうやって非物質的な心を作り上げていくのであろう

か。この問題は、もう皆さんご承知のようにデカルト以来、心と体は別物であるという心身二元論、これがずっと今なお引用されておりますし、一方で神経科学者の立場で申しますと心身一元論の立場で研究を進めているのですが、両論については未だにその決着はついていないのが現状であります。

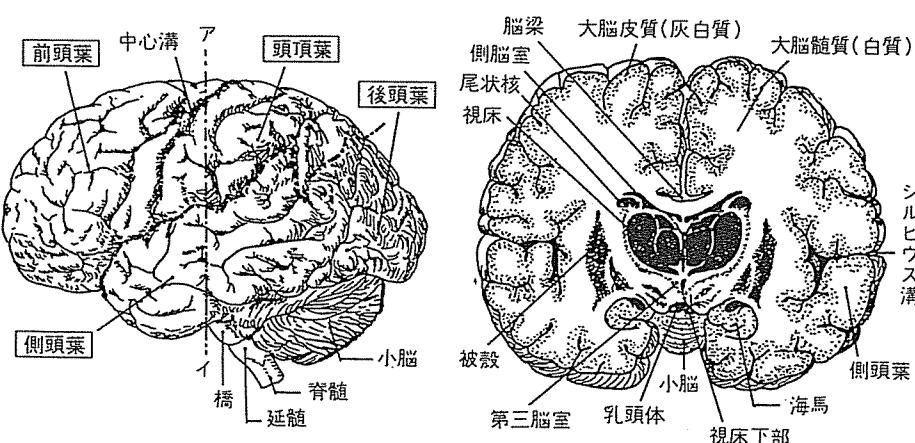
脳という臓器、それは人間の体の一部分ではありますが、非常に特殊な働きをもつております。この脳があるために、今日、人間は地球上で、繁栄をしている生物になつたわけでございます。人間の脳というものは生物進化

の頂点に立ち、計り知れない力を持つに至ったことは事実だと思います。そういう神秘ともみえる脳の働きがどういうふうにして生まれてくるのだろう、というのが私どもの研究のテーマですけれども、なかなか解明には程遠いという感じです。それでも脳の研究が、現在どんなふうになつているんだろうかというあたりを紹介し、「参考になればと思うわけでございます。

脳の構成

脳はその働きの上で特異なものであります、その姿形にも大きな特長があります（図1）。

脊髄の先端部分が大脳として、これは千四百グラム位あります。これにつながりまして、脊髄がずっと背中の中に通っております。脳は左右対象に出来ております。人間の脳では、いろいろな場所に名前が付けられていて、前の方は前頭葉、ここは人間で一番発達しております。そして、脳全体の四〇%を占めています。後ろの方は後頭葉、上方を頭頂葉、横の所を側頭葉と呼んでいます。右の半球と左の半球は形の上では左右対象にできておりまして、脳の外側面と断面



a) 脳の外側面と大脳皮質の区分

b) 脳の前額断面(a)のアーライ

図1 脳の外側面と断面

ますが、働きの上では違ひがあります。右の半球と左の半球はたくさんの線維、何億本という線維で、結び付けられておりまして、私どもの脳の働きは、信号が右の脳に入つてきても、左の脳に入つても、ただちに左右平等にその信号が分布するという仕組みになつております。

人間の脳はだいたい一四〇〇グラム、男子の方はちょっと重くて、女子の方が二〇〇グラム位軽い。これは体重もそうでありますから、脳が重いから男子の方は頭がいいということでは決してありません。だいたい体重の二・二%位の目方がござります。脳の目方そのものは象だとかクジラとかの方が大きいのですが、体重との比率をみると、人間の脳は非常に大きいのが特長であります。人間という生物は脳が非常に発達した特殊な生物だということが言えるかと思います（図2）。

脳の中に含まれている神経細胞の数でありますと、一〇の一〇乗個といいますから、一〇〇億個ということになります。こういった大きな脳、この中に含まれる多数の細胞の栄養を司っているのは、もちろん、体をめぐつ

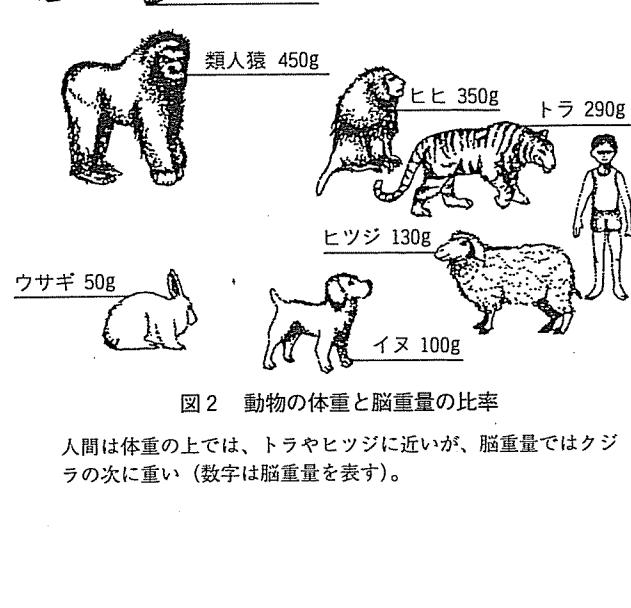
ております血液でありますし、心臓から出る血液の二〇%は脳に行つているわけです。体重からしますとわずか二%しかない脳が一〇%の血液を必要とするわけですから、脳は非常に多くのエネルギーを要求していることになります。つまり、酸素や、ぶどう糖を多量に消費しているということになります。実際に、一日に一一〇グラム位のぶどう糖を脳が酸化をしてエネルギーとして使つているという計算になります（表1）。

脳も体の一部分でありますから、脳の中にはいろいろな生体物質が含まれておりますが、大まかには他の臓器の化学組成と違ひはございません。しかし、脳にしかないような物質が含まれていることは大きな特長です。たとえばタンパク質などでも、脳にしかない、いろいろなタンパク質があるわけでありまして、遺伝子の方からいいますと、脳だけで発現している遺伝子が三万種位あるということになります。脳には大きく分けて二種類の細胞、神経細胞とグリア細胞がありまして、これらの細胞はそれぞれ異なるタンパク質を含んでいます。したがいまして遺伝子の働きも細胞によつて異なること

表1 脳の生化学的特性

脳重量	1400 g (日本人男子) 体重の2.2%
神経細胞数	10 ¹⁰ 個 (グリアは10倍)
脳血流量	54 ml/min/100 g 脳 (心拍出量の20%)
酸素消費量	3.3 ml/min/100 g 脳 (400 kcal/日)
ぶどう糖消費量	5.5 mg/min/100 g 脳 (110 g/日)
脳特異蛋白質	NF, NSE, Thy-1, GFAP, S-100, CNP, PLP, MBP, 神経成長栄養因子 (NGF, BDNF, NT-3, CNTF) サイトカイン (IL 1, 2, 6)
神経伝達物質 候補物質 修飾物質	アセチルコリン, ノルアドレナリン, ドーパミン, セロトニン グルタミン酸, GABA, グリシン, アデニン, NO サブスタンス-P, エンケファリン, エンドルフィン, ニューロテンシン, ACTH, バゾプレシン, ガストリン, CCK, VIP

になります。そういうことになりますと、脳を作つている神経細胞が、なにか特別なタンパク質を含んでいるとすると、このタンパク質のお陰で神経細胞が特別な働きをし、やがては心の働きにつながるような、そういうタ



らのアプローチということになるわけです。

複雑な働き、神秘的とも言えるような働きをしています脳を染色して顕微鏡で見ますと、たくさんの神経細胞が見られます。脳の神経細胞は、非常に規則正しく並んでいます。一番外側から、六つの層に大別されています。一番外側で表面に近いものは小さく、四層目にあるのは、大きい神経細胞でありまして、この神経細胞の突起がずっと我々の脊髄の中を下って、手足の筋肉まで到達しているわけです。そうして、この細胞が興奮しますと、手足が動きます。つまり、この細胞群は運動を司る細胞なのです。神経細胞の特長と言いますのは、たくさんの突起を出していることです。そして、その突起同士が密に連絡し合つて神経回路網を作つてゐるのが特長です（図3）。

そして、脳の働きの担い手、それはこれらの神経細胞だということが言えます。脳研究の第一歩として神経細胞の機能が精細に研究されました。これが細胞レベルの研究です。脳の神経細胞には大きい細胞、小さい細胞、いろいろな種類の細胞があります。脳の中に、一〇〇億ある神経細胞も、それぞれ違う働きを持っていることが

知られるようになつてまいりました。したがつて脳の部位によつて細胞も異なり働き方も違つてゐるということになります。それがなぜ違つてゐるかと言えば、これらは神経細胞で発現してゐる遺伝子がそれぞれ違つてゐるためにそれぞれ個性を持つた細胞の集まりによつて脳の働きが特長づけられることになります。これが肝臓のように全ての細胞にあまり個性がないものとの差といふことになるのでしよう。

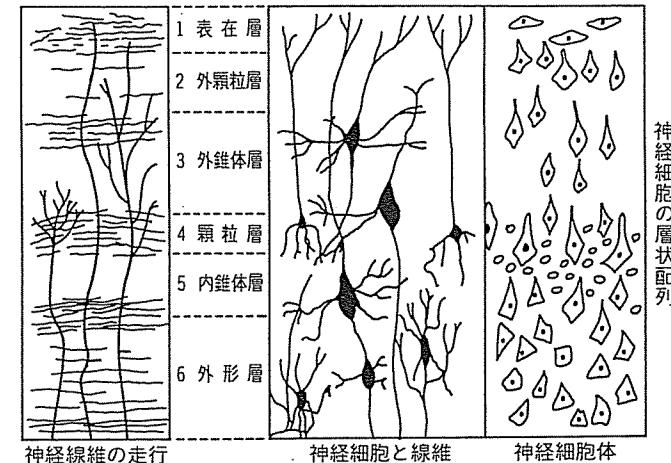


図3 大脳皮質の6層構造

れることになります。神経線維のまわりはミエリンと呼ばれる電気抵抗の高い絶縁体で覆われていて、電気的な信号は軸索の中を飛躍しながら伝導していきます。

最近の電子工学の進歩によりまして、非常に微弱な電気的変化を細胞、あるいは神経線維から取り出すことができるようになりました。これには微小な電極を用いて細胞が興奮した時に、電気的などんな変化が起こるであろうかということが、まず第一に確かめられたわけであります。細胞が興奮しますと、細胞の膜の内外で大きな電位変化が認められます。これを活動電位と呼びます。この変化が軸索に沿つて伝わり、神経情報はまず電気的な信号として末端部まで早いスピードで伝わっていくんですね。だということが分かつたわけであります。スピードはだいたい一秒間に一〇〇メートル位です。次に神経線維の末端部から別の神経細胞や筋肉に情報が伝えられる仕組みは全く異なっています。例えば神経と筋肉との接合部を見ますと、そこには神経終末という構造があり、ちょうど我々の洋服のボタンのようにふくれていています。そしてこの部分は筋肉に直接ハンダ付けされたようには、な

つておりますんで隙間があります。このような構造部をシナプスと呼んでおります(図4)。

電気的な信号はボタン部分までは来ますけれども、この場所で今度は電気的な信号は化学的な信号に切り換えるわけです。そして化学的な信号としてこのシナプスの部分から筋肉へと信号が伝わっていきます。これを化学伝達といつています。シナプス部にはいろいろな種類の化学伝達を司る物質が含まれていて、電気信号がやつてまいりますと、神経伝達物質が放出され、それが筋肉側にある受容体と呼ばれる受け手に結合して、情報の伝達がおこるという仕組みになっております。したがいまして、電気的な信号は、化学的な信号に切り換えられることにより、多彩な情報処理が行われるわけです。つまり、神経細胞が興奮した時の興奮の状態が、化学物質の種類によって微妙にコントロールされることになります。

今は筋肉の例で申し上げましたけれども、神経細胞と神経細胞同士でも同様の信号の伝達が行われております。神経細胞同士の場合には神経細胞の突起にたくさん

のトゲが出ておりまして、そのトゲに向かって別の神経細胞の神經終末がやつて来てシナプスを作っています。ある場合には興奮性のシナプス、ある場合には抑制性の

シナプス、また、その両者といったようにそれぞれの神經伝達物質を含んでいます。一つの神經細胞に幾つ位のシナプスが作られているかと申しますと、だいたい五千

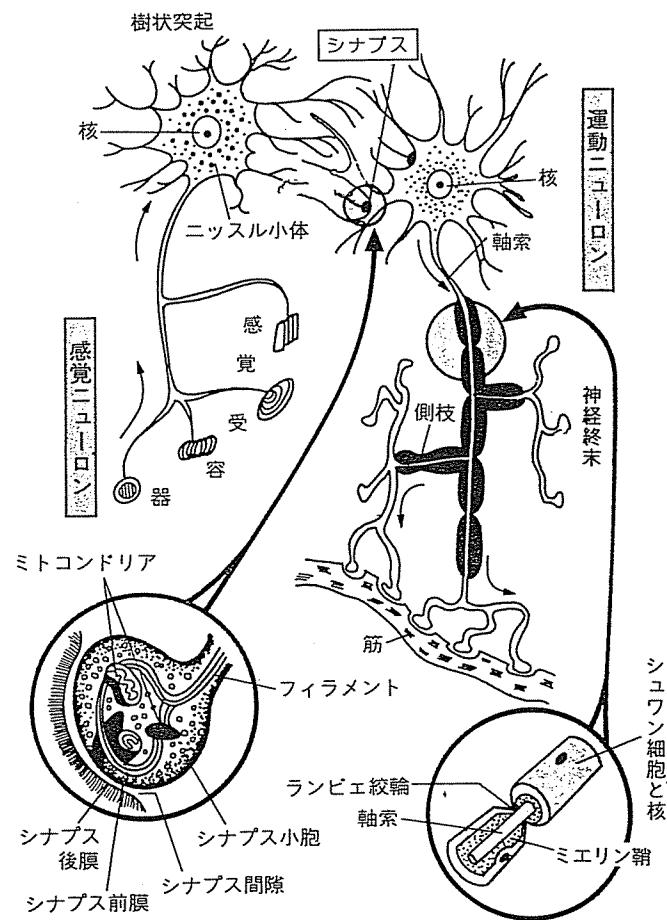


図4 神經細胞（ニューロン）とその連絡の模式図

から一万個の別の神經細胞からの線維がきております。これらのいろいろなシナプスの働きによって、神經細胞の活動様式が決定されることになるわけです。したがいまして、一時代前までは、神經細胞の電気的な特性についての研究が中心だったわけですが、最近では神經伝達物質や受容体の研究がトピックになってきております。

図5は活動電位と呼ばれるものであります。細い電極を神經線維の中に入れて、電位の変化をとつてみますと、大きな負の膜電位（静止電位）が記録されます。神經に刺激を与えますと大きな活動電位が記録され、この電位の変化は一秒間に二〇〇メートル位のスピードで伝わっていくのです。

化学的な信号としての神經伝達物質は次々に分離され、アミン、アミノ酸、ペプチドとして同定されてきました（表上）。そしてこれら物質はシナプス部に含まれておりまして、これが放出されることによって、次の神經細胞が興奮をしたり、あるいは抑制を受けたり、筋肉の場合には収縮を起こすわけで、この場合の伝達物質は

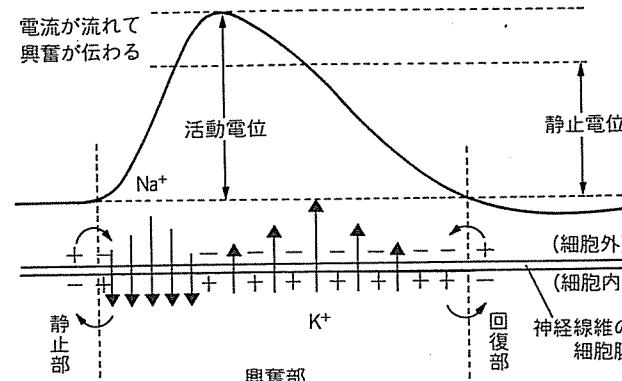


図5 神經細胞の電気的特性

アセチルコリンであることが確定されております。

脳の場合にはグルタミン酸、これは皆さん毎日召し上がっている味の素そのものなんですが、こういったものが脳の中にはたくさん含まれております。このグル

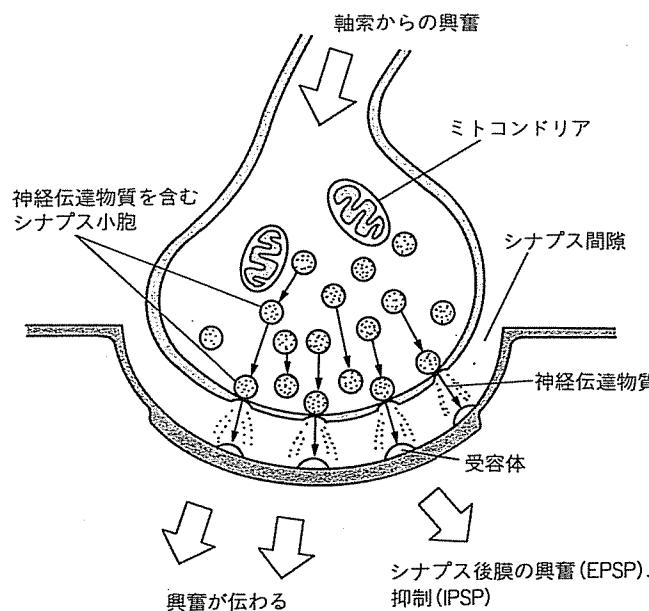
タミン酸は脳では神経細胞を興奮させるような作用を持っています。あるいはドーパミンというアミンも脳に存在し、神経伝達物質として神経細胞の働きを調節しています。アミンは精神活動と密接な関係があり、一方ではいろいろな精神障害、分裂病でありますとか、躁鬱病でありますとかでは、脳の特定部位でのアミンの代謝に異常があるものと考えられています。

シナプス

シナプス部で神経伝達物質が放出されると、後シナプス部にはこれを受け取る受容体というタンパク質が膜に存在していて、伝達物質と結合することによってイオンを通す孔が開いたり、また細胞内の代謝が変化するところが知られるようになってまいりました(図6)。この受容体は英語ではリセプターというわけですが、この構

ですが、同時に副作用が必ず出でます。もともとドーパミン系は生理的大切な働きをしていますから、これをブロックしてしまえば、副作用として手足に震えがたり、パーキンソン病に似た症状も出てまいります。そこでパーキンソン症状を起こさないような新しい薬の開発が現在も行われているわけです。

このようにシナプスにおける化學伝達機構が明らかになってまいりますと、それに対応したいいろいろな薬が作られます。その薬の中には精神病の病態を変える作用のあるものが多くあり、このような薬が精神病に効くということは、精神活動は脳の中で物質系を介して生み出されているということを強く考えさせてなのです。



神経系の情報伝達は、興奮性と抑制性とがあり、それぞれの作用をもつ神経伝達物質が、伝達のなかだちをする。軸索に伝えられた電気的信号は、シナプスで神経伝達物質を放出させ、化学的信号に切り換えられる。その神経伝達物質は選択的に次の神経細胞の受容体に結合し、それが刺激になって情報は細胞内に伝えられる。

図6 シナプスでの情報（興奮、抑制）伝達のしくみ

造体の分子構造が現在の分子生物学的な方法で決定され膜の中になんかで埋め込まれているかも明らかになつてまいりました。

これらシナプスの研究からいろいろな精神病の薬の開発が進められました。つまりシナプスでの化学信号による神経情報の伝達に対して、薬でいろいろな調節ができるのかということで、生理的に含まれている神経伝達物質と構造が似たものを化学合成してシナプス部に作用させてみると、受容体に結合するが伝達物質としては作用を持つたず、生理的な伝達物質の結合を妨げる物質があることが分かりました(アンタゴニスト)。このような物質は、化学伝達をブロックすることで、薬として用いられるようになりました。

神経成長栄養因子

また脳の中には神経の成長栄養因子と呼ばれる物質が含まれていることが分かってきました（表1）。脳に傷を受けますと神経成長因子、あるいは栄養因子と呼ばれる物質が脳の中で產生されて、これによって壊れた神経細胞を修復しようとする合目的的な反応が起こります。

あるいはまたどんどん刺激を脳に与えて、神経細胞が興奮を続けていきますと、この神経成長栄養因子の產生が多くなり、神経細胞の活力が増して、先程のシナプスの活動も旺盛になることが考えられます。脳は使えば使うほど長持ちするとよく言われますけれども、その一つはこういう栄養因子が神経細胞からどんどん出されるためとも考えられます。現在ではこういう因子は多種類のが脳に存在することが明かされてきておりまして、運動麻痺や痴呆の薬として開発が急がれております。

脳の可塑性

次に、神経細胞を基盤にした脳の働きとなりますと、

また、小脳ではこれとは逆でありますと、繰り返し刺激によって伝達効率が抑えられる現象も認められており、これはLTS (Long Term Suppression) と呼ばれています。この辺の研究は記憶のモデルとして研究が進められておりますが、そのもとになっているのは神経細胞の特長であります可塑性という性質によるものです。

「」で私どもがやつております研究の一端をご紹介したいと思います。私どもは鳥のヒナにみられるインプリントティング行動（刷り込み現象）、これはヒナ鳥が卵から孵りますと親鳥の後をいつも追いかけている行動を言います。これはヒナ鳥が生まれてから一〇時間以内に最初に見た動くもの、これを追いかけるという習性によるものです。これは一つの学習行動と見ることができます。普通の場合は動くものは親鳥なんですが、我々が実験室の中で、観察するために赤いボールを動かして見せてやりますと、ヒナ鳥はそのボールを追いかけて歩くという行動をいたします。これはボールを見たということが何か腦の中に刷り込まれて、記憶として残っているんじやないか。だからこれもまた記憶の一つのモデルとして使

多数の神経細胞が絡み合った神経回路網の働きはどんなものかということが問題になります。この脳の細胞群でありますけれども、ここでは可塑性ということ、つまり刺激が繰り返し与えられると、細胞と細胞をつなないでいるシナプスの伝達効率が変わってくるという特長があります。海馬という場所は、そこがやられますと人間の記憶がなくなるということです。記憶の座ではないかと考えられている場所なんですけれども、この海馬という場所をどんどん繰り返して刺激していくと、刺激による活動電位の振幅が大きくなり、これが長く続くことが確かめられました。これは神経の信号の伝達効率が変わってきたことを示しています。つまり可塑性なのです。

これをLTP (Long Term Potentiation) と呼んでおります。刺激を繰り返すことによってシナプスの性質が変化して、これは長く残ることから記憶現象のモデルと考えられるようになりました。

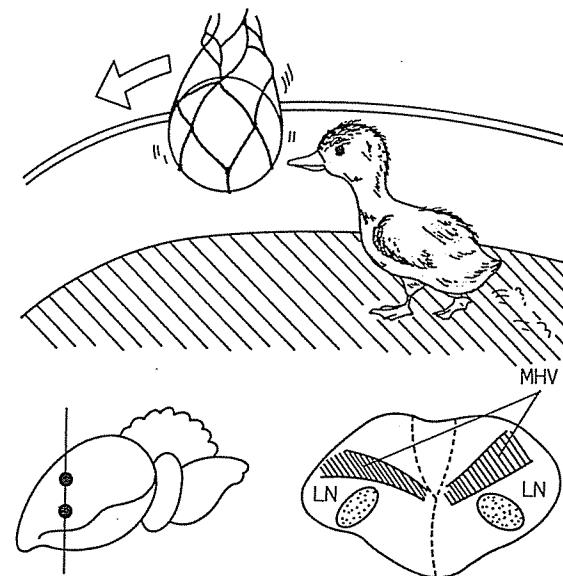
えるのではないかと考えたわけです。

ヒナ鳥を使った研究を今、創価大学の研究所でも行っておりまして、工学部の木村助教授との共同で脳の遺伝子発現を調べる実験を進めております。実験装置は（図7）のようなもので、インプリンティング行動をするヒナの脳とそうでないものでは何か違いがあるのではないかというところから実験を始めました。生化学的に2-*DG*という物質を使ってインプリンティング行動時に活性化される脳の部位を調べてみると、鳥の前脳のMHVと呼ばれる部位が、選択的に活性化されていることをつきとめました。そこで、このMHVを外科手術的に一立方ミリ位削りとつてみますと、今までボールを追いかけていたヒナ鳥が追いかけなくなるということです。ヒナ鳥のインプリンティング記憶は、脳の一定の限られた部位が担っていることが確かめられたわけです。

では一体その場所でどういうことが起こっているのかをさらに調べるために、MHVにタンパク合成阻害剤を注入しておくと、刺激を与えててもインプリンティング行動がみられなくなつたのです。このことはMHVで新た

なタンパク合成を伴つて神経回路網の再編成が起つて、いることが考えられました。それでは MHV で遺伝子の発現があることが予想されますので、分子生物学的手法を用いて遺伝子を検索して新生されるタンパクを同定し

ようしました。この実験は工学部の木村助教授が担当しました。インプリンティングに伴つて、MHV でどんな遺伝子が発現しているのかと、それをクローニングという方法で検索したわけです。その結果、一九



ひな鳥脳とその断面
MHVの部位でインプリンティング刺激により
神経細胞群の活動がさかんになった。

ひな鳥には、生まれて最初に見た動く「物体」のあとを追つて歩くという、インプリンティング(刷り込み)現象が見られる。本来は、親を追う行動なのだが、それが何であつても、あとを追う。暗室でふ化したひな鳥に実験室で赤いボールの動くのを見つめさせ、いつたん暗室にもどしてから、翌日また実験箱に入れると、動いて行く赤いボールを追いかける。その脳について神経回路の変化を調べ、記憶のメカニズムの解明に挑戦している。

図7 アヒルのひな鳥のインプリンティング行動

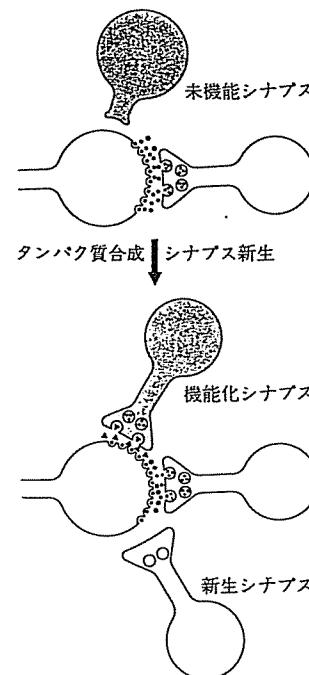


図8 学習とシナプス新生 (模式図)

位の強く発現する遺伝子が同定され、その中の幾つかはタンパク質が特定されました。

したがつて、インプリンティングされる脳ではタンパク質の新生があることが確かめられました。結局インプリンティング刺激を与えると新しいタンパク、記憶に関連のありそうなタンパクが作られて、シナップスの再編成が起こり、新たな神経回路が構築されると考える根拠が得られたのです。つまりこれが脳の可塑性であると考えられます。この辺から、記憶・学習の分子メカニズムを解明しようとしているわけです(図8)。

脳の機能分担

さて脳にはいろいろな働きがあるわけですが、大まかに分けまして、我々の手足の運動を掌る運動系、それから見る、聞く、味、匂いというような感覚を掌る感覺系、その他自律神経系というのがあつて、我々は寝ていても目覚めていても心臓はちゃんと動いていてくれる

ますし、胃や腸も自然に働いてくれるのです。さらには脳の最も大事な働きは高次機能、人間で言えば精神機能と呼ばれるものであります。学習、記憶、認識、思考、推理、言語、こういった脳の高次の働きは、人間の脳で最も進化した形で認められるのです。今まで細胞レベルでの話が一体どういうふうにして精神活動の研究につながつて行くのかは今後の大変な研究テーマになると

いうことになります。

我々の大脳を見ますと、部位によって機能を分担していることが知られています(図9)。運動野に電気

刺激を与えますと手足の運動が起ります。また、このすぐ後方には感覚を掌る部分がありまして、手足をつねつてやりますと痛いという感覚はここで感じている。ま

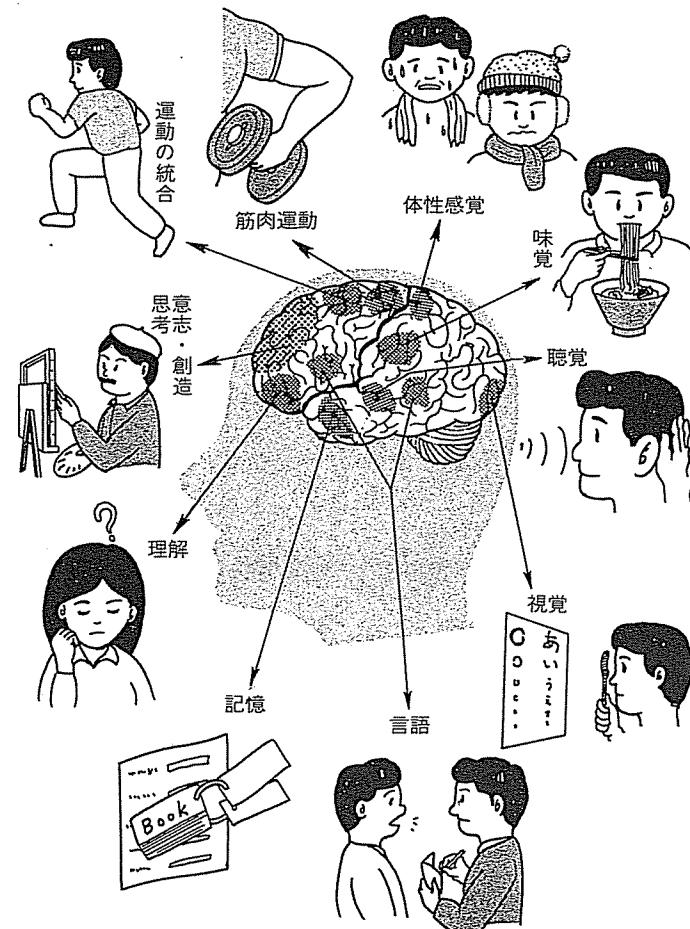


図9 大脳皮質の機能分担

た一番後の部位は第一次の視覚野で、ものを見る第一段階の場所です。それから横側の部位は音を聞く聴覚野となつており、場所によつてそれぞれ異なる働きを担っています。それから、大脳の最も大きな部分を占めているのが前頭葉といわれる部分であつて、ここは何をやつているのかよく分からなかつたのですが、精神病の患者さんで暴れてしまうがないという人で、前頭葉を切り離してしまつ手術が行われた時代がありました。こんな手術をするとき凶暴性はなくなるんですが、年月を経るに従い、日常生活には何ら差し支えはないのですが、人格がだんだん崩壊してまいりまして、その患者さんは未来がなくなつてしまふ。毎日毎日ちゃんと食事もし、眠り、生きている。しかし全く未来を失つてしまふということが分かつてきました。そのためにはこの前頭葉が必須なんだということが知られるようになつてきました。つまり、精神機能の上では極めて重大な役割を担つていてることになります。しかし一体ここで何が行われているのか、その辺のところがこれから脳科学の課題です。

さらに興味のあることは、脳の高次機能を担つてゐるとみられている場所を電気で刺激してやりますと精神機能が現れるということです。三〇年位前にカナダの脳外科医であったベンフィールドという先生がやつた手術例がありますけれども、それによりますと、先程申しました運動を掌る運動野を刺激しますと、手足の運動が起つてくる。感覚を掌る場所を刺激してやりますと、言語の中核と呼ばれている場所を刺激してやりますと、今まで喋つていたのが急に止まつてしまふ。言語を失つた患者さんを失語症と呼ぶわけですが、これを刺激すると丁度、失語症になつたようになつてしまふ。さらに、脳の奥の方の解釈領域と呼ばれるところを刺激してやりますと、驚くべき現象が起つてまいりました。それは過去の記憶が蘇るということです。この患者さんが体験した昔のことと思い出すということが分かったのです。

したがいまして、脳を電気で刺激することによって、ある程度精神現象も再現できるんだということが示されたのです（図10）。

言語機能、言語を話す、理解する、字を書く、という機能は人間に特有のものとして、極めて高次の機能です。失語症の研究などから、通常左側の脳に二ヶ所の中権があることが知られています。一つはブローカーの中権、いま一つはウエルニッケの中権と呼ばれています。この二つが我々の言語を操っています。

これらの機能は人間の脳の持つ高次の機能でありますて、臨床医学の研究から分かってきたことであります。死後脳の所見から、損傷を受けた場所と生前の症状から、その部位の機能を推定するわけです。例えば、側頭葉の海馬のあたりが損傷を受けると記憶喪失が起るから、海馬のあたりが記憶に重要な場所だと考えられましたし、老年痴呆の場合にも、海馬に障害が認められます。このように臨床医学的観察は高次の機能の研究には極めて大切でありまして、これは自然が与えた貴重な実験とも言えるものであります。

最近、脳の高次機能を調べるのにサルを用いて研究が進められています。サルの場合には、かなりヒトに近い機能を持つていますので、精神機能の解明のために重要な実験が出来ることになります。ヒトで視覚の感覚情報の処理は非常に大きな部分を占めています。ものを見るということと、見たものが何であるか、それを脳が理解するというのはそれぞれ脳の別の場所で処理され、それが結合されるのだと考えられています。たとえばここにリンゴがありますと、リンゴの形、色、そういうものが目から入ってまいります。その信号は目から脳に一定の神経回路を通って送られ、先程の後頭葉にあります第一次の視覚野でリンゴの映像が認識されます。

そして、それがリンゴであるということを理解し認識するために、第一次野だけでは駄目なんで、さらに第二次、第三次の視覚野に信号が送られて、リンゴであるということを別の場所で理解するのだと考えられております。ものを見る神経路については、現在明らかにされつつあるわけで、この神経路のどの部分に障害があるかも、ものは見えなくなってしまいます。第二次、第三次

の視覚野に障害が起りますと、ものは見えているんだけれども、それが何であるかを理解することができないということになります。このような、見たものを理解する、心の働きを探る研究が盛んに行われるようになつてきています。

まずものを見る場合は、網膜が写真の乾板のように点の集合体として像をキャッチします。その信号が脳に送られるわけですが、その経路は、視神経を通り、脳の外側膝状体という場所で中継されて、後頭葉の第一次視覚野に達します（図11）。

脳に送られた信号というのは、今度は点ではなくて、線として真っ直ぐな線、斜めの線、横の線、それぞれ別の神経細胞が対応していきます。これは猫を使った実験で確かめられています。猫の視覚野に電極を入れまして、真っ直ぐな線、横の線、斜めの線、いろいろなものを猫に見せまして、脳の細胞から出てくる電気信号をとるわけです。そうするとそれぞれの線形に対し反応する細胞が異なっていることが知られたのです。つまり、脳の細胞というのは、線が縦か横か斜めかという線の形を、別々

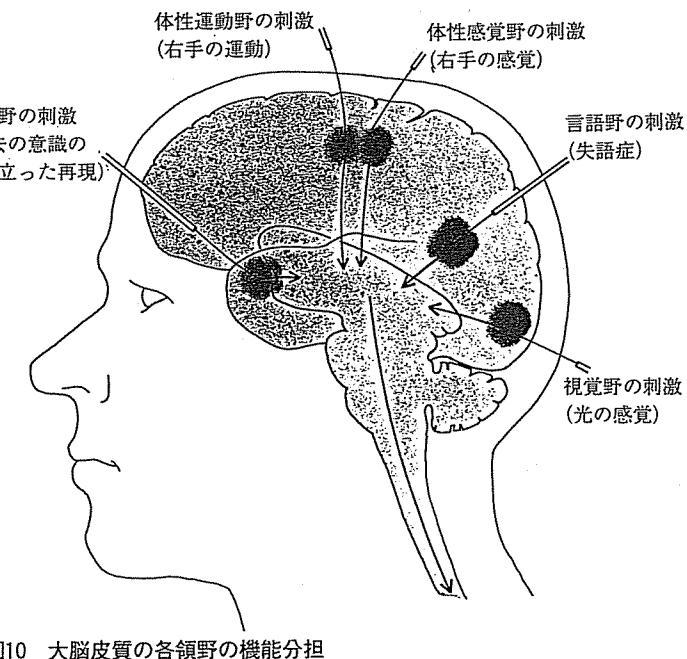
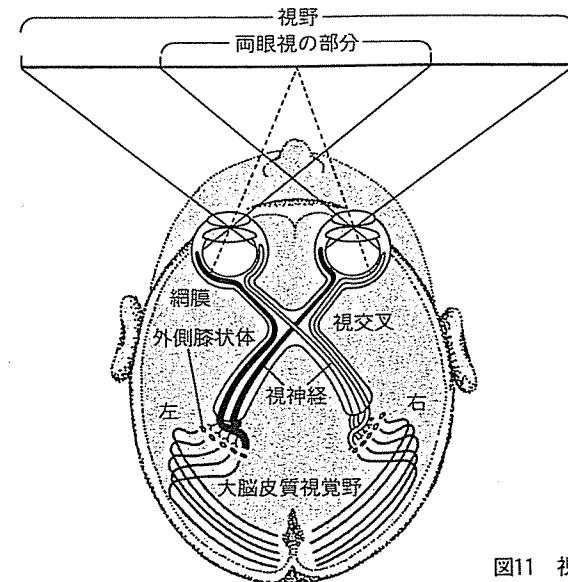


図10 大脳皮質の各領野の機能分担

の細胞で判断していることになります。

光の刺激が網膜の視細胞を興奮させ、視神経を通して大脳の後頭葉に送られ、視覚野がその刺激を受けて、視覚として認知する。視神経線維の束は、脳に入る前に左右に半交叉しており、両眼球の左右（外界と逆転）半側の興奮は、それぞれ左右大脳半球の視覚野に伝わる。つまり、片目を見ても必ず両方の大脳半球に刺激が送られているわけである。

図11 視覚路



また、視神経は片側の目から出たものが両半球に線維を送っていますが、脳の細胞には右の目からの刺激だけ、左の目からの刺激だけに反応する細胞が存在しています。もちろん、両眼からの刺激で反応する細胞が最も多いのですが。これを眼優位性、オキュラードミナンスといふふうに呼んでいます。こういうことがすでに脳では行われていて、網膜での結像と、その信号が脳に送られてきた時には形がかなり変わっていることが考えられます。

有名な実験がありまして、生まれたばかりの猫をよそ見をしないようにハイカラーで囲いをしておき、縦縞だけ見える所で飼う、あるいは横縞だけが見える所で飼うということをしますと、縞模様に反応する細胞の分布が変わつてくることが分かりました。つまり、脳の細胞は発育に伴つて環境の影響を大きく受けるということです。普通の環境で育てられた猫はどんな線、縦でも横でも斜めでも、ちゃんと反応する細胞が存在しますが、縞だけで飼つてやりますと、縦縞だけに反応する細胞だ

けとなつており、横縞を見せてても全く反応が認められないのです。このことは、第一次の視覚野の神経細胞は、まず遺伝的に決められた神経線維を受けるのですが、もう一つには環境による可塑性、どういう環境の中で育つといったかによって神経回路の出来方が変わつてくることを示しています。つまり脳の発達は、遺伝と環境の両方で支配されていることになります。

また、最近の猿の研究で明らかになったことですが、猿の脳の視覚野をいろいろ調べていきますと、いろいろな場所が視覚に関係していることが分かつてきました。たとえば後頭葉の第一次視覚野の近くのV1とかV2とかいう場所には、ものの形を判断する細胞がある。それからV5という場所はものの動き、動くものだけに反応する細胞群、V4では、ものの色、リンゴの赤い色だけに反応するというわけでありまして、ものの形、色、動きは別々の細胞が感知していくことになります。さら

に、そのものがどんなものかを理解するのは、また別の脳の場所で認識して、これらを統合してはじめて視覚となることが分かつてまいりました。

心の探求へ

精神機能の研究は、終局的には人間の脳の仕組みを調べなければならないことになります。それでは人間で一体どうすることを調べるかというわけであります。人

したがいまして、脳の第一次視覚野から出でてくる信号は直列的にいくのではなくて、並列的にいろいろ離れたところに信号を送り出し、それがまた再び統合されることによって、我々の認識が生まれるというふうに考えられます。この統合の仕組みを調べることは、心の問題に迫る道すじになると我々は考えておりますが、このためには何百本もの電極を、脳の各所に入れてやらないと調べられないわけでありますから、そう簡単ではありません。特に前頭葉での並列的な神経回路網を調べあげていくことになりますと、人間の全遺伝子を調べるプロジェクトを上回るような大変大掛かりなプロジェクトになつていくであろうと思われますが、将来的には人間の精神機能も、だんだん明らかになっていくのではないかという気がいたします。

間の意識レベルを調べるという方法として脳波がよく使われます。人間の頭のいろいろな場所に電極を当てて脳波を導出することができます。脳波は意識レベルをよく反映しているわけですが、その発生部位を確定することはそう簡単ではありません。

たとえば、はつきり目が覚めて意識がある状態ですと、

脳波は速波、 β 波が認められます。ところがボンヤリしている状態ですと、徐波、 α 波が出てきます。眠りに入りますと、さらにゆっくりした波、 δ 波とか θ 波という波に変わります(図12)。

このように、我々の意識レベルは脳波である程度判断ができます。しかしながら、よく寝ている間にも逆説睡

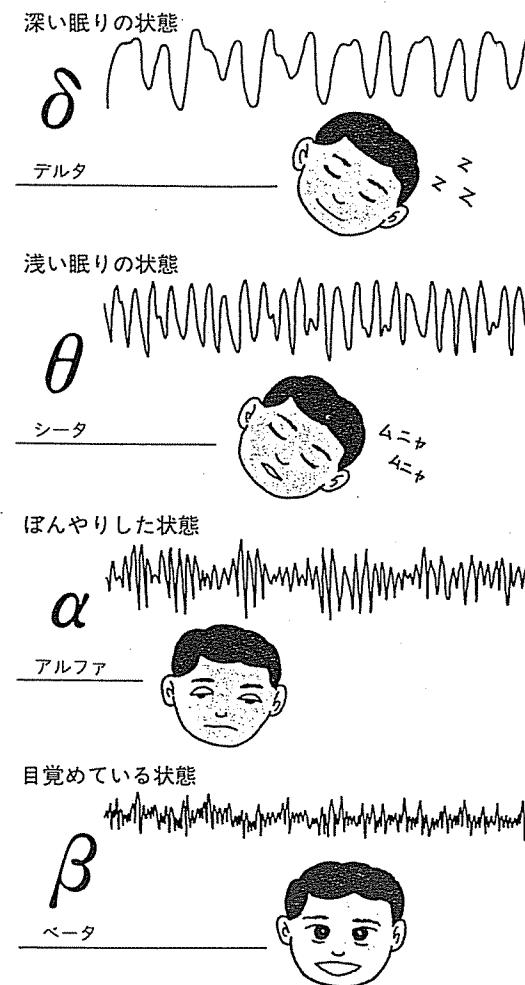


図12 脳波の各種波型

眠、あるいはレム睡眠という時期があつて、その時には脳波は、起きている時と同じように速波となります。ところが実際には寝ているわけです。寝ているのに脳波の上で起きている状態、それで逆説睡眠なんていう言葉が使われているわけで、脳波だけではそう簡単に意識レベルが論じられないことになります。では、レム睡眠といふのは一体どういものかといふことも最近よく研究されておりまして、我々はレム睡眠期に夢を見ていることが知られるようになりました。

我々人間の精神活動を調べるために、手術をしたり、痛みや侵襲を与えることなく、脳での活動の様子を調べる新しい技術が最近開発されております。これを非侵襲、ノンインベイシブな技術といふに言うわけであります。その一つはPET法と呼ばれるものです。これでは、半減期の短い放射能をもつた化合物を、人間に少量注射しておき、活性化された脳の部位にそのアイソotopeが溜まることで、それを画像化して脳の活動部位を調べようというものです。安静な状態では、脳の特定な部位へのアイソotopeの集積は見られません。とこ

ろが、今、被験者に喋って下さいと言いますと、先程申しました言語中枢のあたりが活性化され、アイソotopeの集積が認められます。今度は喋りながら音楽を聞かせます。音楽を聞かせながら喋つてもらいますと、左側の言語中枢と同時に、右側の聴覚野にも活性化画像が認められるようになります(図13)。

この外、暗算をさせたり、言葉を連想させたりしたときにも、一定の部位が活動することが確かめられました。こういうことで人間の精神活動に伴つて脳のどういう場所が活性化されるかを画像化出来るようになり、心の座を調べることが可能になつてしまひました。

さらにはもう一つ、磁気共鳴装置を用いて非侵襲的に人間の脳の画像をとつたり、脳内の物質変化を追跡するという方法がありまして、これはお陰様で生命科学研究所に世界に先駆け、第1号の機器が設置されました。これは、高い磁場のもとで人間の脳の中に含まれているいろいろな物質、特に炭素13という安定同位元素のスペクトルを取り出そうという先端的な機械であります。当面は、サルやボランティアで研究を進めるつもりであります。

すが、技術が完成すれば、精神病患者や老年痴呆の人の診断にも役立つべきと思っています。これもまた、精神機能の解明に向けての重要な研究となるものと確信しております。

今日は即物的なお話をかりでありますので、直接、心の

仕組みに迫ることは出来ませんでしたが、今まで、脳研究によって明らかにされてきた脳の仕組みの概略を紹介申し上げたつもりでございます。これらの研究は遠い将来かもしれません、いずれ精神活動を支えている脳の仕組みを解く方向に発展していくものと思つていま

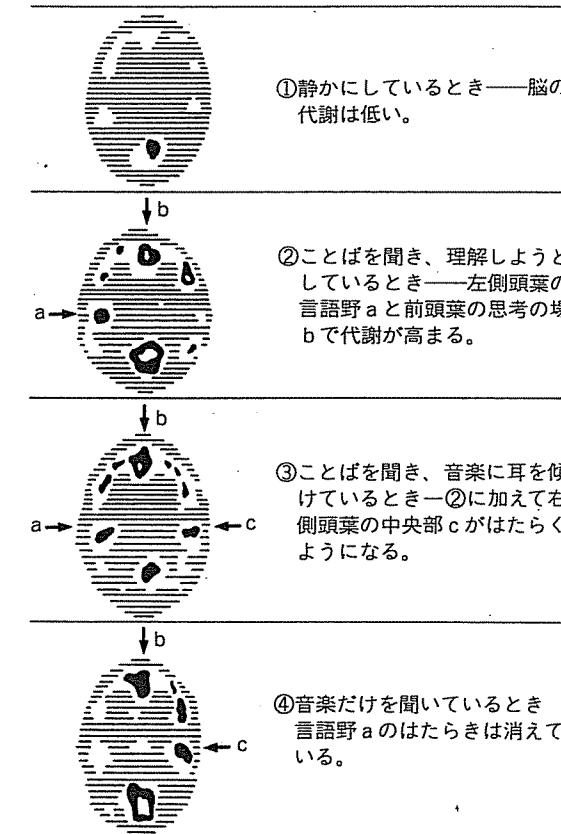


図13 ことばや音楽を聞く脳の活動

ことばや音楽を聞いているとき、脳のどこがよく活動しているかを、PETスキャンの映像で非侵襲的に見届けることができる。

どうも静聴ありがとうございました。

(つかだ やすぞう・創価大学教授、

創価大学生命科学研究所所長)

(本稿は一九九三年十二月十日に行われた当研究所主催の公開講演会における講演内容に加筆していただいたものです)