

脳を操る仕組み

分子から心へ

塚田 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をごさいます。たとえば、姿はない心であっても、それを操っているのが脳に違いが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きております。

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せんが、非常に特殊な働きをもっております。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ったわけでございます。人間の脳というのは生物進化

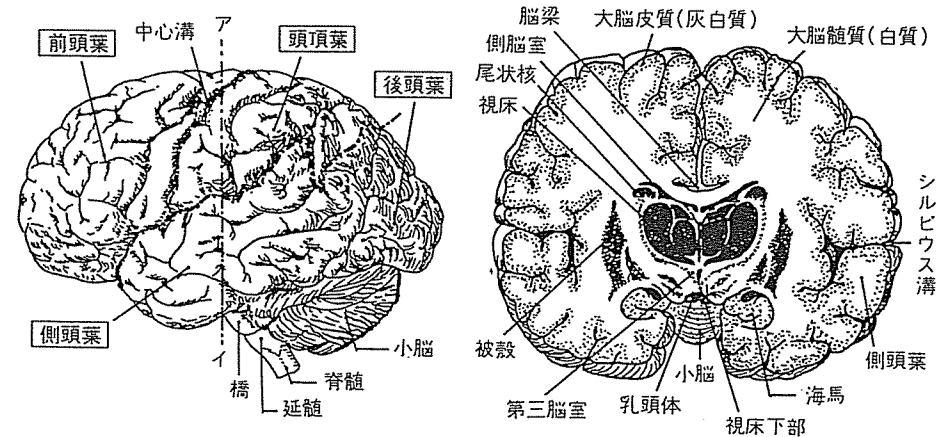


の頂点に立ち、計り知れない力を持つに至ったことは事実だろろうと思います。そういう神秘ともみえる脳の働きがどういふふうにして生まれてくるのだろうか、というのが私どもの研究のテーマですけれども、なかなか解明には程遠いという感じですが。それでも脳の研究が、現在どんなふうになっているんだろろうかというあたりを紹介し、ご参考になればと思うわけでございます。

脳の構成

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

脊髓の先端部分が脳でして、これは千四百グラム位あります。これにつながりまして、脊髓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、前の方が前頭葉、ここは人間で一番発達してありまして、脳全体の四〇%を占めています。後ろの方は後頭葉、上の方を頭頂葉、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



a) 脳の外側面と大脳皮質の区分

b) 脳の前額断面(a)のアーイ

図1 脳の外側面と断面

ますが、働きの上では違いがあります。右の半球と左の半球はたくさん線の線維、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、信号が右の脳に入ってきて、左の脳に入ってきて、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っております。

人間の脳はだいたい一四〇〇グラム、男子の方がちょっと重くて、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して、脳が重いから男子の方が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%位の目方がございます。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、体重との比率をみますと、人間の脳は非常に大きいのが特長でありまして、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えます(図2)。

脳の中に含まれている神経細胞の数でありますが一〇の一〇乗個といえますから、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、体をめぐって

ております血液でありまして、心臓から出る血液の二〇%は脳に行っているわけです。体重からしますとわずか二%しかない脳が二〇%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、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、一日に一〇グラム位のぶどう糖を脳が酸化してエネルギーとして使っ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いはございません。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ったタンパク質を含んでいます。したがって、遺伝子の働きも細胞によって異なっていること

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	54ml/min/100 g 脳 (心拍出量の20%)
酸素消費量	3.3ml/min/100 g 脳 (400 kcal/日)
ぶどう糖消費量	5.5mg/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 (IL1, 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

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、六ツ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って神経回路網を作っているのが特長です(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言えそうです。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

になります。そういうことになると、脳を作っている神経細胞が、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

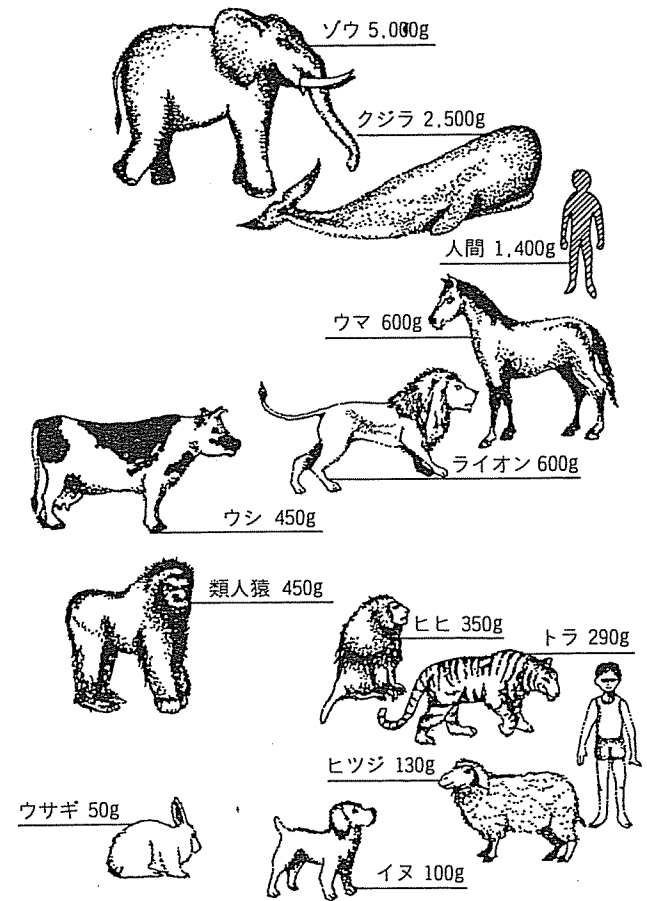


図2 動物の体重と脳重量の比率

人間は体重の上では、トラやヒツジに近いが、脳重量ではクジラの次に重い(数字は脳重量を表す)。

ンパク質が脳には含まれていると考えられるわけです。この辺が最近の非常に大きなトピックでありまして、脳で遺伝子が発現して、脳で特異的に作られているタンパク質の働きを説明していくことは、現在の分子レベルか

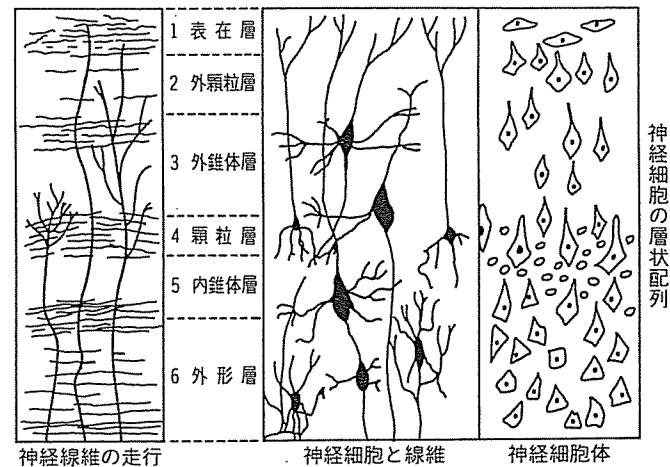


図3 大脳皮質の6層構造

知られるようになってまいりました。したがって脳の部位によって細胞も異なり働き方も違っているということになります。それがなぜ違っているかと言えば、これらの神経細胞で発現している遺伝子がそれぞれ違っているためにそれぞれ個性を持った細胞の集まりによって脳の働きが特長づけられていることになります。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うことになるのでしょう。

神経細胞の機能

脳の神経細胞についての研究は、この五〇年くらいの間に非常に進歩をしました。神経細胞はたくさん突起を持った細胞でありまして、これは大きな特長であります。そして突起の一本は非常に長く伸びておりまして、それが脊髄まで到達しています。そして脊髄の神経細胞で線維を乗り換えて、筋肉にまで情報が送られています。この一つの細胞から出てくる線維の長さ、電線の長さは、たとえばキリンのような長い首を持っているものでは、二メートルとか三メートルの神経線維の中を信号が送ら

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な変化を細胞、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って伝わり、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だということが分かったわけでありまして。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

っておりませんので隙間があります。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られるわけです。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うわけです。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、電気信号がやってまいりますと、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。したがって、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が、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経終末がやっ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経伝達物質を含んでいます。一つの神経細胞に幾つも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

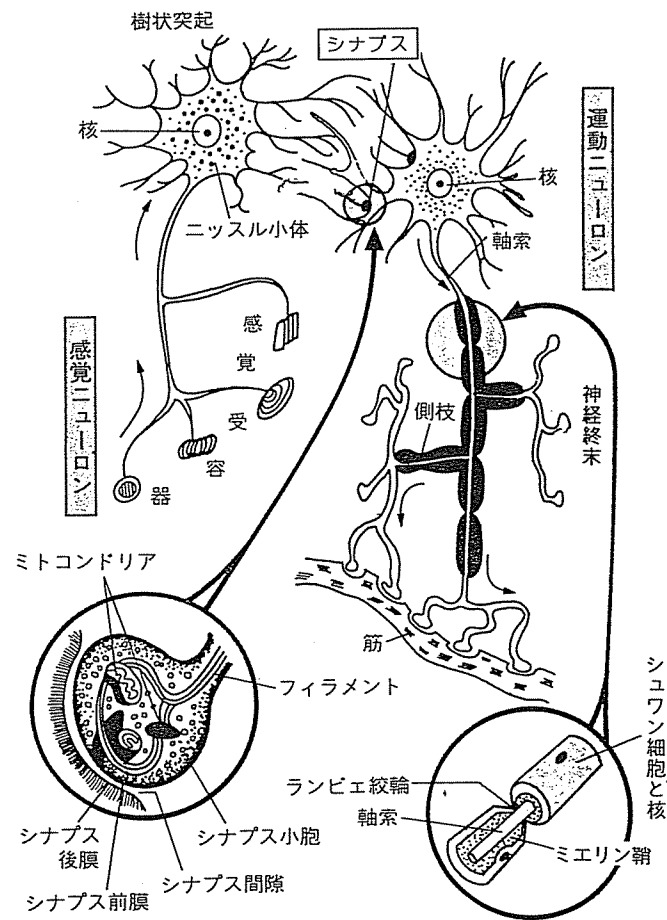


図4 神経細胞（ニューロン）とその連絡の模式図

から一万個の別の神経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、神経細胞の活動様式が決定されることになるわけです。したがって、一時代前までは、神経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、最近では神経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して、細い電極を神経線維の中に入れて、電位の変化をとってみますと、大きな負の膜電位（静止電位）が記録されます。神経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経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1）。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、次の神経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

神経が興奮すると、興奮部の膜の透過性が変わり、Naイオンが細胞内に流入し、それに続いてKイオンが外側に流出する。

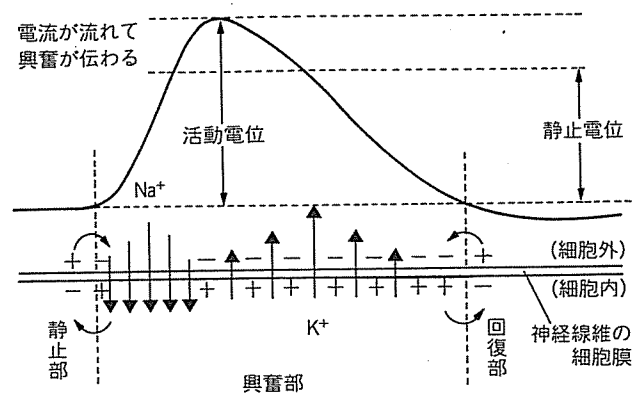


図5 神経細胞の電気的特性

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、これは皆さんが毎日召し上がっている味の素そのものなのですが、こういったものが脳の中にはたくさん含まれておりまして、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ますと、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こと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

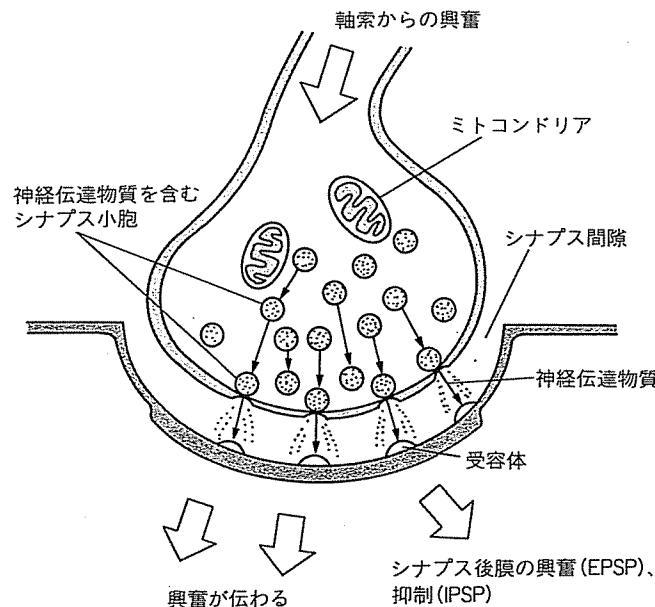
造体の分子構造が現在の分子生物学的な方法で決定され膜の中にどんな形で埋め込まれているかも明らかになってまいりました。

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ないかということで、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。

先程のドーパミンと呼ばれるアミンをくつつける受容体に親和性の高い薬が作られていまして、この薬を使いますと精神分裂病の症状が非常に良くなるということから、この病気の 경우에는ドーパミンというアミンが働き過ぎているためではないかと考えられます。しかし薬というものはもちろん病気にとっては有用な効果もありま

すが、同時に副作用が必ず出てまいります。もともとドーパミン系は生理的に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きたり、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学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るものです。



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

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産生されて、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な反応が起こります。

あるいはまたどんな刺激を脳に与えて、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産生が多くなり、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も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して、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、そのもの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。

ここで私どもがやっております研究の一端をご紹介しますと思います。私どもは鳥のヒナにみられるインプリンティング行動(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、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脳の中に刷り込まれて、記憶として残っているんじゃないか。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ることが分かってきました。この研究については、今ご紹介をいただきました創価大学の木暮助教がご専門ですが、これは脳の中の海馬という部位で顕著に認められます。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、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刺激していきますと、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。

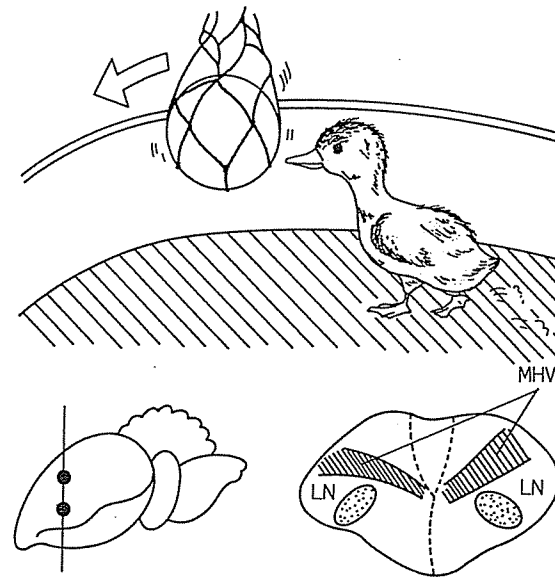
えるのではないかと考えたわけです。

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)のようなものです。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ますと、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ぎとめました。そこで、このMHVを外科手術的に一立方ミリ位削りとってみますと、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、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は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、刺激を与えてもインプリンティング行動がみられなくなったのです。このことはMHVで新た

なタンパク合成を伴って神経回路網の再編成が起き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

ようとなりました。この実験は工学部の木村助教が担当しました。インプリンティングに伴って、MHVでどんな遺伝子が発現しているのかというのを、遺伝子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」のあとを追って歩くという、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、それが何であっても、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、いったん暗室にもどしてから、翌日また実験室に入ると、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

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。

したがって、インプリンティングされてい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ますと新しいタンパク、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覚系、その他自律神経系というのがあって、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

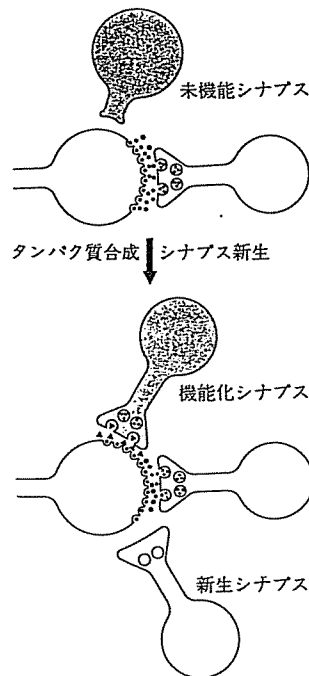


図8 学習とシナプス新生(模式図)

ますし、胃や腸も自然に働いてくれるのです。さらに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して、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。今までは細胞レベルでの研究をお話してまいりましたが、この細胞レベル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って行くのかは今後の大きな研究テーマになると

いうことになります。

我々の大脳を見てみますと、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

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

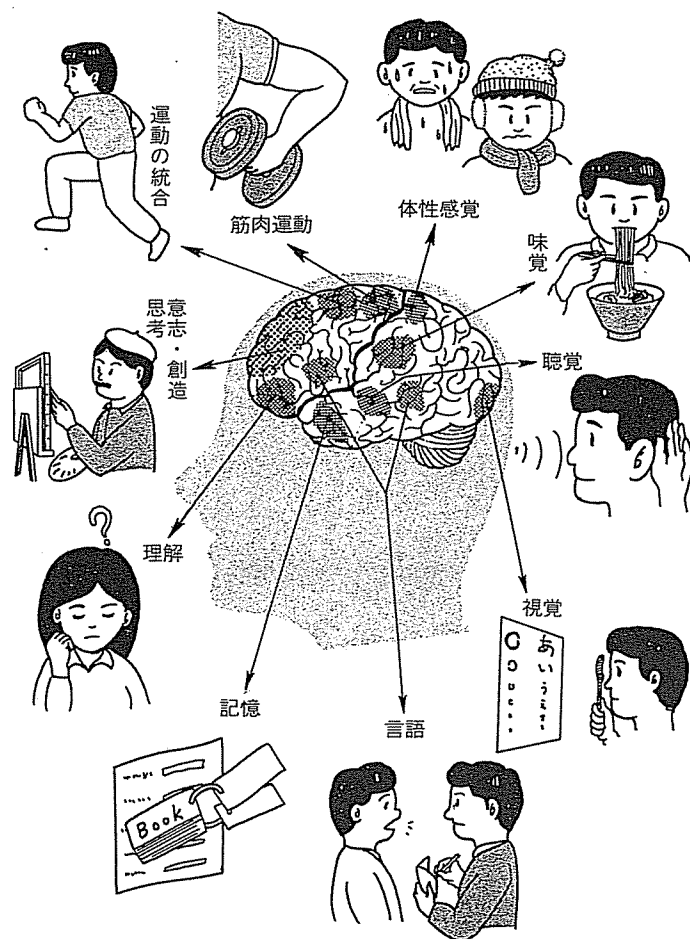


図9 大脳皮質の機能分担

た一番後ろ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っており、場所によっ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って、ここは何をやっているのかよく分からなかったのですが、精神病の患者さんで暴れてしょうがないという人で、前頭葉を切り離してしまう手術が行われた時代がありました。こんな手術をするとうるさ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、その患者さんには未来がなくなってしまう。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ってしまうということが分かってきたわけでありまして、我々の人格維持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ってきたわけでありまして、つまり、精神機能の上では極めて重大な役割を担っていることになりました。しかし一体ここで何が行われているのか、その辺のところはこれからの脳科学の課題です。

脳の高次機能

さらに興味がありますことは、脳の高次機能を担っていると思われる場所を電気刺激してやりますと精神機能が現れるということです。三〇年代前にカナダの脳外科医であったペンフィールドという先生がやった手術例がありますけれども、それによりまして、先程申しました運動を掌る運動野を刺激しますと、手足の運動が起こってくる。感覚を掌る場所を刺激してやりますと、部位に対応して手や足の感覚が再現されたのです。また、言語の中枢と呼ばれる場所を刺激してやりますと、今まで喋っていたのが急に止まってしまいます。言語を失った患者さんを失語症と呼ぶわけですが、ここを刺激すると丁度、失語症になったようになってしまいます。さらに、脳の奥の方の解釈領野と呼ばれるところを刺激してやりますと、驚くべき現象が起こってまいりました。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を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でして、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枢があることが知られています。一つはブローカーの中枢、いま一つはウェルニッケの中枢と呼ばれていまして、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機能でありまして、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こるから、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。

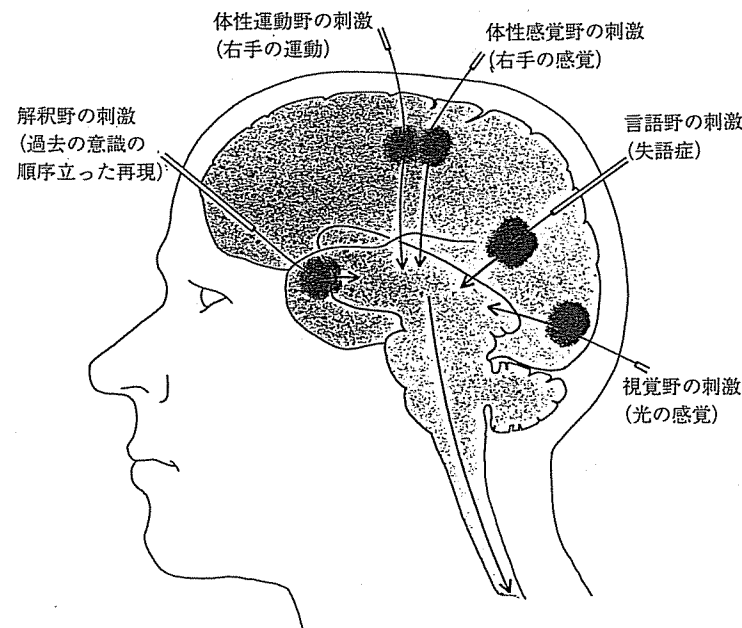


図10 大脳皮質の各領野の機能分担

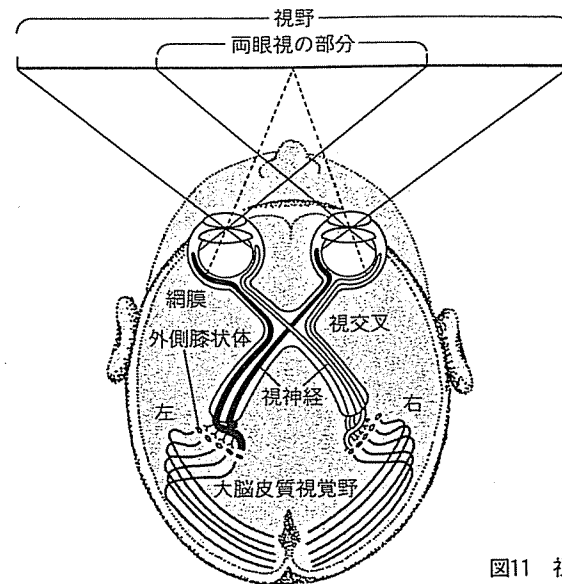
最近、脳の高次機能を調べるのにサルを用いて研究が進められています。サルの場合には、かなりヒトに近い機能を持っていますので、精神機能の解明のためには重要な実験が出来ることになります。ヒトで視覚の感情情報の処理は非常に大きな部分を占めています。ものを見るということ、見たものが何であるか、それを脳が理解するというのはそれぞれ脳の別の場所で行われ、それが結合されるのだと考えられています。たとえばここにリングがありますと、リングの形、色、そういったものが目から入ってまいります。その信号は目から脳に一定の神経回路を通じて送られ、先程の後頭葉にあります。第一次の視覚野でリングの映像が認識されます。

そして、それがリングであるということを理解し認識するためには、第一次野だけでは駄目なわけで、さらに第二次、第三次の視覚野に信号が送られて、リングであるということ、それを別の場所で行う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、現在明らかにされています。つつあるわけで、この神経路のどの部分に障害があっても、ものは見えなくなってしまう。第二次、第三次

の視覚野に障害が起こりますと、ものは見えていないんだけれども、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ってきています。

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行われて、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



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、片目をつぶって物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

の細胞で判断していることになります。

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う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ってくるのが分かりました。つまり、脳の細胞は発育に伴っ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、縦縞だけで飼ってやりますと、縦縞だけに反応する細胞だ

けとなっており、横縞を見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っていたかによって神経回路の出来方が変わっ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ということが分かってきました。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という場所はその動き、動くものだけに反応する細胞群、V4では、ものの色、リング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ることになります。さらに、そのものがどんなものを理解するのは、また別の脳の場所では認識して、これらを統合してはじめて視覚とすることが分かってまいりました。

したがって、脳の第一次視覚野から出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して、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ということになりますと、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っていくであろうと思われませんが、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思います。

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いうことを調べるかというわけですが、人

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、 θ 波とか δ 波という脳波に変わります(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

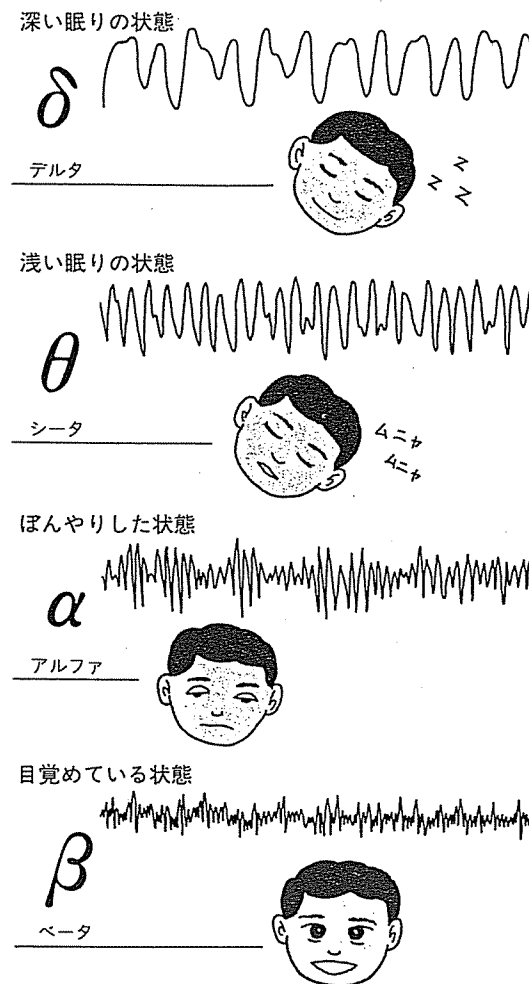


図12 脳波の各種波型

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が、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、レム睡眠というのは一体どういうものかということも最近よく研究されておりまして、我々はレム睡眠中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きております。これを非侵襲、ノンインベイスブな技術というふうに言うわけですが、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った化合物を、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トープが溜まることで、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トープ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、アイソトープ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ってもらいますと、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っ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ってまいりました。

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ったり、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てたいと思っています。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ばかりでありまして、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ご紹介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が、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行くものと思っています

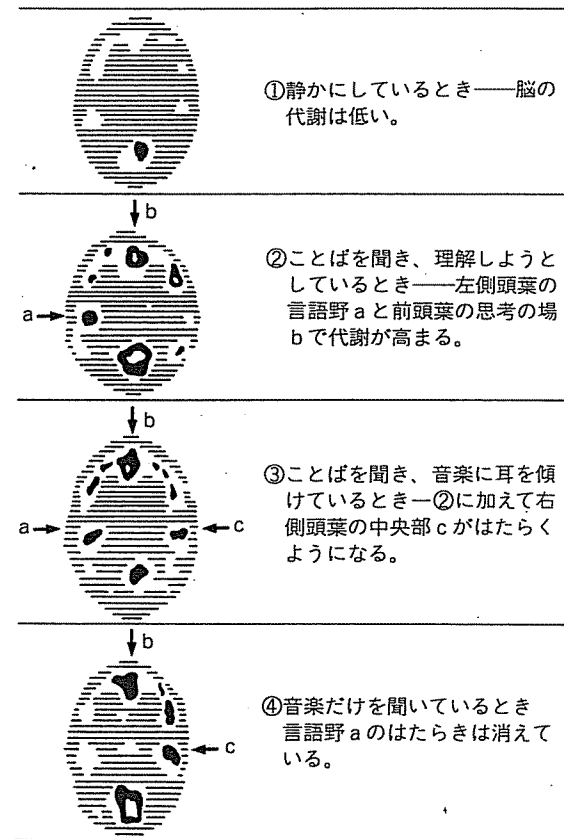


図13 ことばや音楽を聞く脳の活動

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。

す。

どうも静聴ありがとうございました。

(つくだ 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)