

第三章 知覚の脳内メカニズム

—— 脳と心の関係の解明にむけて ——

藤田一郎

一 脳と心

感覚、知覚、認識、記憶、学習、運動、感情、思考、言語、意識など、われわれの精神活動をになっているのは脳である。脳の一部分がこわれれば、これらの機能の一部が選択的に損なわれ、脳組織が大きく傷つけば、意識を含め多くの機能が失われて昏睡におちいる。さらに、「脳が心の座である」ことの実験的な状況証拠は豊富にあり、今日、このことに疑いをもつ人は少ない。では、いったい、細胞の集まりである脳が、さらにいえば細胞を構成している分子の集まりである脳が、どうやってこれらの「心のできごと」を生み出すのだろうか。「心のできごと」は、脳の神経細胞（ニューロン）の活動や配線はどう説明

されるのか。この疑問は脳の「神秘」の中でもっともなぞに満ちており、人類がもつさまざまな科学的な疑問の中でも最大のものの一つだといつても異論はないだろう。厳密な実験科学としての脳科学は、今どのくらいこの疑問の解決に近づいているのだろうか。そもそも、この疑問は解明可能な問題なのだろうか。

二 脳と脳科学

心のさまざまな側面は、脳の中の異なった場所が分担しているというものの、一つの心のできごとにかかわっているニューロンの数は千や一万ではきかない。これらニューロンの中で情報のやりとりを媒介するのは、電気的パルス（活動電位）である。¹⁾ それらのニューロンがどのような機能的な性質をもち、どのような情報処理を行い、そして究極的にはどう「心のできごと」の生成に寄与しているかを知るためには、その電氣的活動を観測する必要がある。しかし、「一つの心のできごと」を定義することは難しく、また、そのできごとにかかわるニューロン群を正しく見出すことが難しく、そしてそれらの活動を同時に観測することが難しい。だが、これらは解決が可能な問題だろう。かつて、ニューロン一つの電気活動を記録したり、イオンチャンネル一つを通る電流を計

(1) ニューロンは活動電位と呼ばれる電気パルスを使って情報を伝達する。一つのニューロンから次のニューロンへのつなぎ目はシナプスと呼ばれ、情報の送り手ニューロンのシナプス部に活動電位が到達すると、そこから神経伝達物質が放出されて、情報の受け手の細胞にシナプス電位と呼ばれる電位変化をひき起こす。ひとつのニューロンはたくさんニューロンからシナプス結合を受け、シナプス電位の総和がその細胞にあらたな活動電位をどのようなタイミングで生じるかを決定する。

測したりすることも夢物語であったが、いまや実現し、これらの手法を用いることで、たとえば、感覚器での感覚刺激受容の分子機構のあらましは明らかになりつつある（第二章参照）。同様に、脳全体のニューロン一つひとつの活動、脳全体のニューロン間シナプス結合一つひとつの働きを、一度に計測する技術が可能になることは、将来、ありうることである。

問題は、このような技術的問題がすべて解決されたとき、私たちはその研究方法を用いて、脳が心を生み出す秘密を完全に明らかにすることができるかということである。このとき、脳科学は脳科学に特有の事情により、ほかの科学分野にはない問題に直面する。それは、脳科学は本質的には「脳が脳自身のはたらきを知ろう」とする作業であり、「そんなことが可能なのか」という問題である。脳のすばらしい機能と機構を解明できるような能力が脳に備わっているならば、その機能と機構はそれだけいっそうすばらしく巧妙なものであることが予想される。いかなる技術的進展があつたとしても、そのような技術を開発するような脳のしくみはいっそう難しいものかもしれないのである。ここには、自分をもち上げようとして靴ひもをひっぱりあげても、体がもちあがらないことにとえられるジレンマがある。どんな力もちでも自分をもちあげることはできないように、脳が脳のしくみのすべてを知ることはいかぬかもしれない。

しかし、たとえすべてを知ることができないにせよ、私たちが答えを求めることのできる未知の秘密に脳は満ちあふれており、多くの科学者の探求対象になっている。とくにこの一〇年、「脳と心の関係を問う」ことに真正面から取り組んだ研究がなされつつある。そのような中でもっとも研究が進んでいるのは「ものを見るとき、脳の中では何が起きているか」という問題への取り組みである。

三 網膜像のあいまいさと脳による解釈

ものを見て知覚し、それが何であるかを知ることが、ふつうの人にとって、容易で、努力を要せず、また主観的には瞬間のできごとである。朝、目をさまし、目を開けると同時にまわりの世界が見え、自分がどこで、何に囲まれて寝ていたのかがわかる。「見ること」の背景で、脳が特別な情報処理を必要としているとは思えないというのが素直な実感である。しかし、実際には、われわれが世界を知覚する際には、脳は驚くべきほど複雑で膨大な情報処理を行わなくてはならない。

「図21左の絵はどんなかたちに見えるか」と問えば、まずほとんどの場合、その答えは次の二つのどちらかである。ある人は、「小さい天井と大きな底を

(2)「図21左の図形がどんな形に見えるか」という問いに対し、これまでにたった一人だけ「大きな正方形と小さな正方形の対応する各頂点を結んだ形」と答えた学生がいた。この答えは、描かれた絵がどんな二次元図形であるかを述べており、三次元構造についての解釈をしていない。二次元の図形を二次元のものとして記述するならば、答えはこの学生のいうとおりであり、解釈にあいまいさはない。

もつ跳び箱のようなかたち」と答え、別の人は、「直方体（たとえばようかんやろうか）を長軸方向からながめたようなかたち」と答える。たしかにそのどちらの見え方も可能で、跳び箱に見えたり（図21中）、ようかんに見えたりする（図21右）。しかし、どうして、そのような二つの見え方がありうるのだろうか。その根本的理由は、見ているものは紙という二次元平面に描かれた図形であるにもかかわらず、それを二次元のものとしてとらえず、たて・よこ・奥行きのある三次元の物体として理解しようとしたことにある。これは、あたかも、 x 、 y 、 z と三つの未知数があるのに二つの一次方程式しか与えられなかった状況にたとえることができる。二つの未知数に二つの一次方程式ならば、二つの未知数は一義的に決定できるが、三つの未知数がある場合には、二つの方程式を満たす x 、 y 、 z を一組の数として決定することができない。同様に、紙に描かれた二次元図形から、描かれた三次元物体がどのような構造をしているかを推定しようとするとならば、一つに決まらない。

この「解釈のあいまいさ」という問題は、実は、図21のような図形を見たときだけに起こる問題ではなく、目を開けている間、脳はつねに同様の問題に直面している。それは、見るといふできごとの出発点が、網膜で光を検出することにあるからである。網膜は、眼球の奥の面にはりついた薄い神経組織であり、その中に、光を受容する視細胞がならび一つの平面を形成している（図22）。

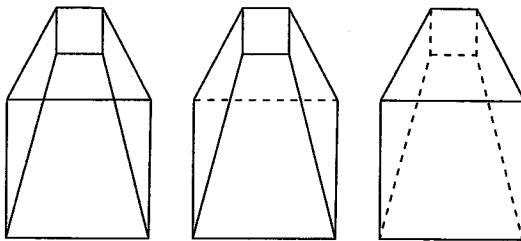


図21 跳び箱かようかんか
左に示す図形は、右の二つの見え方がある。複数の見え方が存在する理由は、2次元図形を3次元物体として理解しようとするからである。

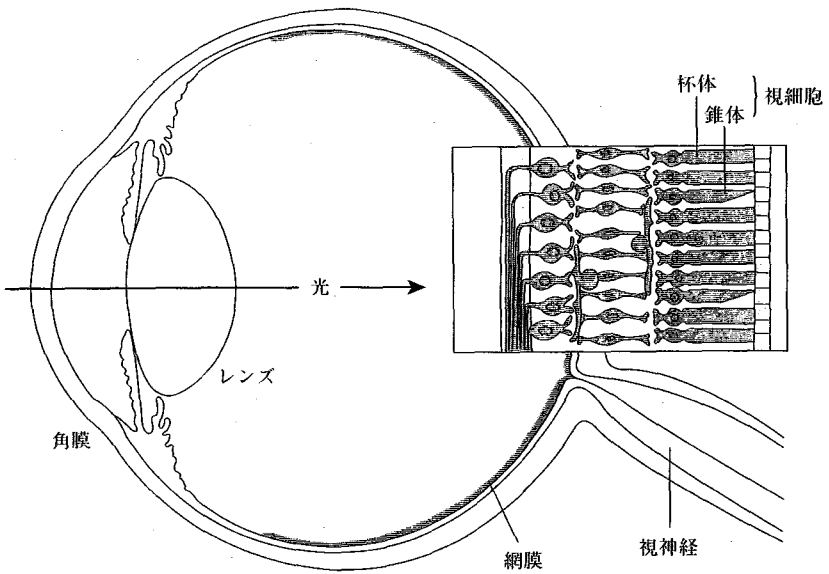


図22 目の構造

眼球の奥は網膜により裏打ちされている。網膜の中に、光を感じる細胞（視細胞）が一平面上に並んでいる。

一つひとつの視細胞は、レンズやガラス体などの眼球光学系をはさんだ反対側の外界空間の一点からやってくる光の強さと波長を検出する。光の強さは明るさを、波長は色を伝える。しかし、一つひとつの視細胞は、自分が受けた光がどのくらい離れた距離からやって来たかを検出することはできない。したがって、たて・よこ・奥行きのある外界三次元世界の情報は、網膜の上で、奥行きを失った二次元画像情報になってしまう。図21のような平面図形を見たときだけでなく、脳が扱わなくてはならない視覚情報はいつでも、二次元像なのである。脳にとって困ったことは、一つの二次元網膜像をつくりうる三次元構造が、原理的には、一つではなく無数にあることである。たとえば、三つのひし形が集まったような網膜像を生じることのできる物体は、さまざまな形や傾きの立方体、直方体、それらの内壁、二次元の絵など、数多く存在する(図23)。

このような問題をかかえているはずなのに、われわれが世界を見るとき、世界の見え方が次から次へと変わるといふようなことは起きない。跳び箱とようかんの間を知覚が

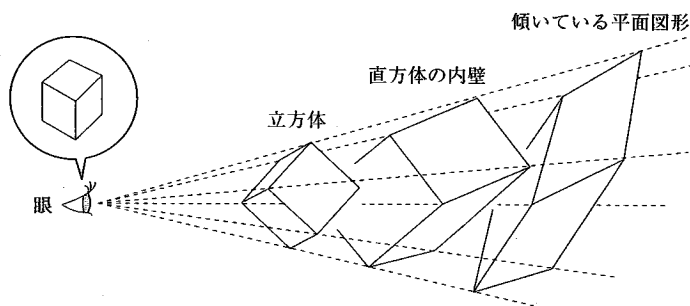


図23 無数の物体が同じ一つの網膜像を投影する

一つの網膜像を投影することのできる物体は原理的には無数に存在するのに、私たちは、世界を一通りの見方でしか知覚しない。図21の絵を見たときのように、複数の見え方の間をいったりきたりしないのはなぜだろうか。

いったりきたりしたように、身の回りの見え方が時々刻々変化するようなことはなく、安定して世界を知覚している。すなわち、私たちの脳は、網膜像の解釈として原理的には無数存在する可能性の中からたつた一つを選び出しているのだ。⁽³⁾

四 足りないものといらないもの

網膜像は、情報源としてあいまいなだけではない。その像を与えた物体に関する重要な情報が失われていることもある。たとえば、太陽がさんと照るスキー場やビーチなど非常に明るい環境では、物体の輪郭部分と背景との間に物理的な輝度差がなくなっている場合がある。しかしそれでも、その輪郭の“とんだ”物体の形を、輪郭を補完することで、私たちは見ることがができる。そのような能力を私たちがもっていることを如実に示すのがカニツアの三角形とよばれる錯視図形である。図24を見ると、中央部分に三角形が見える。三角形の内部と外側は、この本の紙の色であり何も印刷していないにもかかわらず、内部は外側より明るく知覚される。そして、その境界には、ないはずの輪郭が弱いながら見える。この輪郭は主観的輪郭と呼ばれる。脳は、黒い円盤の一部を遮蔽している「あるはずなのに視覚像の中で欠けている」三角形の輪郭

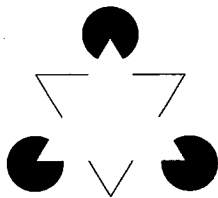


図24 カニツアの三角形

中央部に明るい三角形があり、その三角形の辺の部分にないはずの輪郭が知覚される。

(3) 実際には網膜像は、図23のような線画ではなく、色や陰影などさまざまな情報を有している。また、網膜は左右の眼にあり、左右網膜像のずれ(両眼視差)を用いることで、奥行きを知ることができるとは、しかし、このような情報があってもなお、複数の解釈の可能な網膜像というものはありえる。この場合にも、脳はたった一つの解釈を選び出す。詳しくは、藤田一郎「視覚系による三次元面構造の復元」実験医学、17(16): 159-165 (1999)。

を補っているのである。

脳は、欠けている情報を補う一方で、いらぬ情報を捨てている。ほかの人と話しているときにその人の眼を観察するとわかることだが、私たちの眼球は、じっとしていない。動かさずに思うと、次の瞬間には、ぱっと（数十ミリ秒の時間をかけて）動く。この動きはサッケードと呼ばれ、二五〇ミリ秒から三五〇ミリ秒に一回、起こる（図25）。このとき、網膜上で外界の像は急速に流れているはずだが、私たちは、まわりの世界が一秒間に三〜四回、ザッと流れるように動いたりぶれたりするとは感じない。実は、目を開いているにもかかわらず、サッケードの最中の視覚情報は、脳の中のある場所でシャットアウトされ、それ以上、先には送られないようになしくみになっている。

— 知覚する世界が明白な立体感をもつこと、ないはずの輪郭が見えること、同じ明るさの白い紙が異なつた明るさに感じられること、網膜像は動いている

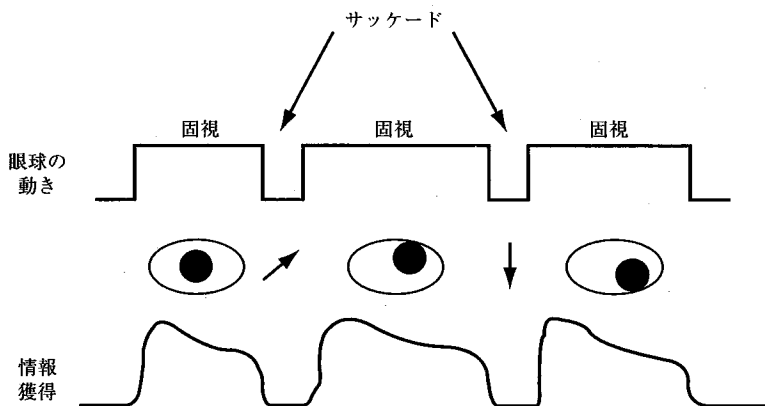


図25 眼球運動

私たちの眼球は1秒間に3〜4回、急速に位置をかえるサッケードという運動を行っている。その間は、網膜像は大きくぶれるが、視覚情報は大脳皮質への中継点でシャットアウトされ、獲得されないしくみがある。

のに世界は静止していること、これらの例が示すことは、私たちが知覚するのは網膜に映った像そのものでなく、脳が網膜情報をもとに削ったり足したりしてつくり出したものであり、しかもそれは、外界世界の「忠実なコピー」でないということである。

五 視覚領野と神経結合

「脳が世界を見ている」ことがわかったところで、次は、ものを見るために必要な脳の構造がどのようなものであるかに話を進めることにしよう。網膜からの情報は、視神経を通して脳に送られる。ヒトやサルの場合、そのほとんどは、視床ししやうの外側膝状体がいそくせつじょうたいに到達する。その後、外側膝状体から大脳皮質の一次視覚野へ情報は送られる。一次視覚野は、大脳皮質視覚経路の入口である。視覚にかかわる大脳皮質はすべてを集めると、大脳皮質全体の三分の一（ヒト）から二分の一（サル）を占めており、後頭葉のすべてと、側頭葉、頭頂葉、前頭葉の一部を占めている。その中には、サルでは三〇を越す領域が存在する。一次視覚野からの情報はそれらの領域へ順次または並列的に送られる。そのようすを示したものが図26（66・67頁）である。

六 受容野と刺激選択性

図26に示した視覚情報の「とおり道」ぞいのそれぞれの脳領域で、どのように視覚情報が処理されているかを調べることは、視覚の脳内メカニズムを知るうえで重要なステップである。視覚経路のそれぞれの領域のニューロンの電気活動を調べ、それらの細胞がどのようなときに活動をするのかを調べる研究は一九六〇年ごろから始まり、今日でも、多くの未解決問題にあふれた、重要かつ活発な研究分野である。

視覚ニューロンは二つの重要な性質をもつ。まず第一は、視覚空間内のどの場所にある視覚刺激にも反応するわけではなく、視野内のある限られた領域からきた情報にのみ反応する点である。そのような空間領域を受容野という。受容野の位置や大きさは細胞によつて異なっており、たくさん細胞が分担して視野世界の情報を伝えている。第二に、ニューロンは受容野の中に入ったものすべてに反応するわけではない。特定の領域のニューロンは特定の刺激に反応し、この性質は刺激選択性と呼ばれる。

たとえば、一次視覚野のニューロンの多くは、受容野の中に、ある特定の傾き(方位)をもつた線分があると反応し、そのほかの方位の線分や、丸いスポ

(4) 個々のニューロンから活動電位を記録するには、電極と呼ばれる細い金属製のハリを脳の中に刺入する。電極は先端の数ミクロンだけが電気を通し、それ以外のところは電気を通さないようにしてある。電極先端が十分にニューロンに近づく、そのニューロンの発している電流をビツクアップすることができ、ニューロンが何を情報として伝えているのかを、ニューロンに「たずねる」ことができる。ちなみに、脳は痛みを感じる受容体をもつておらず、電極が入ってきて痛みを感じることはない。

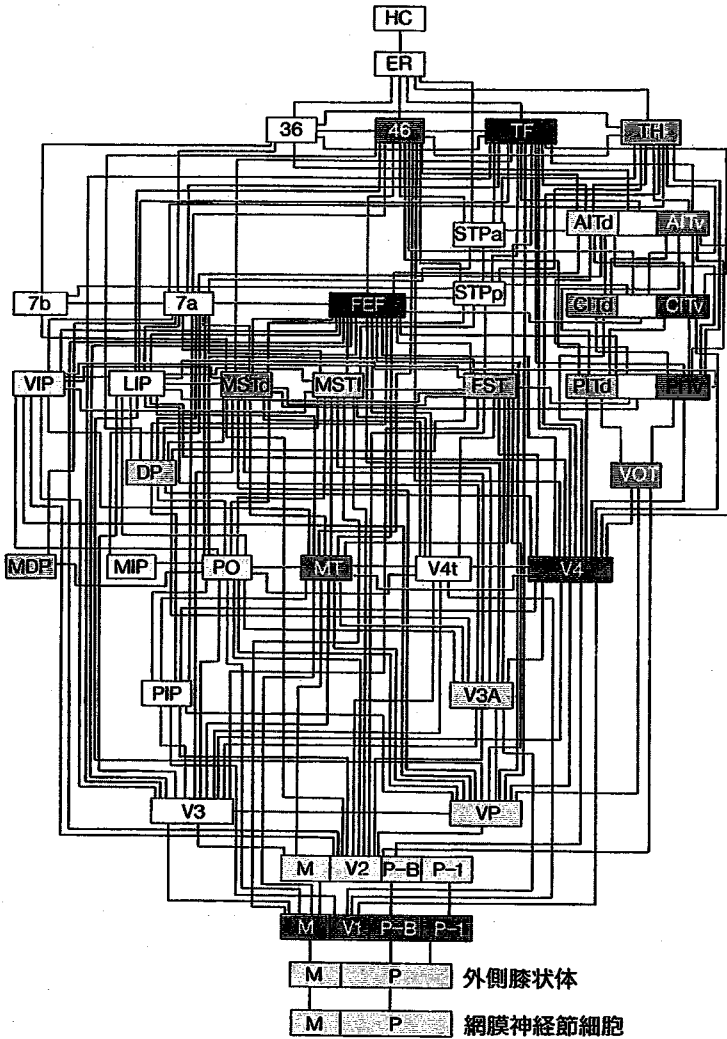
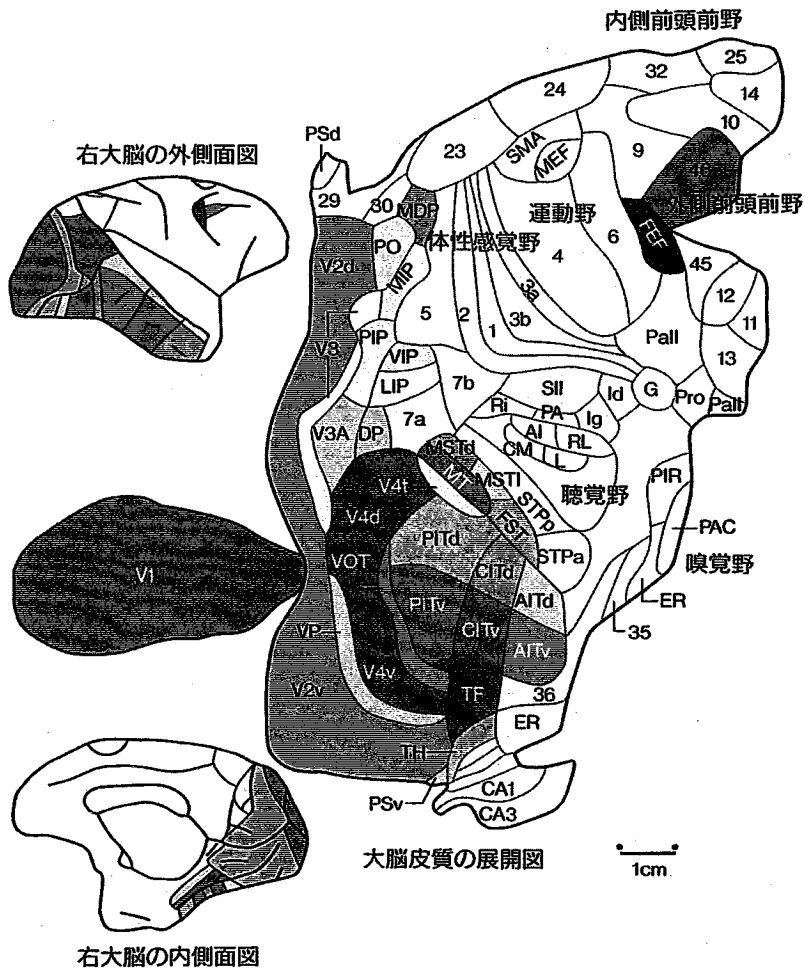


図26 サルの大脳皮質の機能地図(左)と視覚経路(右)

左図では、大脳のしわを伸ばし、平面的に表した脳表面に機能的領野別に境界を引いてある。アルファベット略号は、それぞれの領野の名前を意味している。視覚にかかわる領域にはシェードが入っている。それらの領域の間の情報のやりとりを示す回路図が右に示してある。(D. Felleman & D.C. Van Essen, "Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex" より改変)



ット光、部屋の照明のオンオフなどには反応しない(図27)。また、MT野と呼ばれる領域の細胞は、受容野に入ってきた刺激の形や色は問わないが、刺激が特定の方向に動いているときに反応する(図28)。

さらに、側頭葉のIT野やSTS野と呼ばれる領域には、さまざまな複雑な形に反応するニューロンがあらわれ、その中でも特異なのは、人やサル顔に對して反応する細胞である。この細胞は、顔ニューロンと呼ばれる(図29)。

図26で示した視覚経路の各領野にどのような刺激選択性や受容野特性をもったニューロンが存在するのか、経路ごいに階層レベルをあげるにつれて刺激選択性はどのように変化していくのか、そして、方位選択性、運動方向選択性、顔選択性

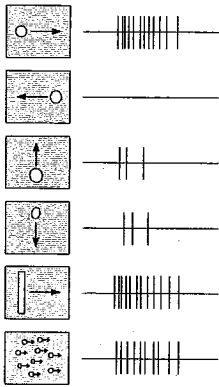


図28 運動方向選択性

MT野のニューロンは視覚刺激が特定の方向に動いたときに反応する。図の見方は図28と同じである。左側の図は刺激の様子を示し、右側にはニューロンの生じた活動電位が示してある。このニューロンは、右側に動く刺激であれば反応し、刺激の形がスポット上(丸)であろうと縦棒であろうと、小さなドットの集まりであろうとかまわない。

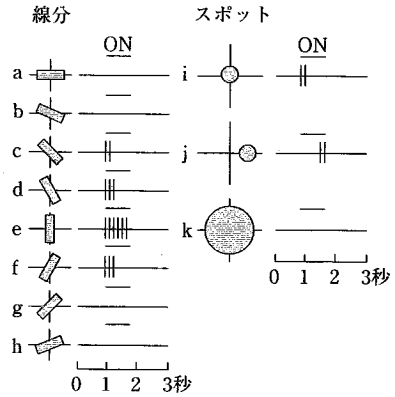


図27 方位選択性

一次視覚野の多くの細胞は特定の傾きをもった線分に反応する。図のそれぞれ左側は刺激図形(さまざまな傾きの線分)、右側の横線に描かれた縦線が示しているのはニューロンの発生した活動電位を示す。一つの縦線が一つの活動電位を示す。たて傾きの線分図形(e)に対しては、6個の活動電位が生じているのに、横線分(a)には一つも活動電位が生じていない。また、丸いスポット光に反応していない(i-k)。すなわち、この図の例では、線分がたてに向いていると反応するニューロンを示す。

などのニューロンの性質はどのような神経回路により生まれるのかに答えることは、脳の行う情報処理の内容を知る大きな手がかりを与える。そのような計算を行う緻密な神経回路がどのような分子・細胞メカニズムで、脳の中に形成されるのかは、発生神経生物学の中心課題である（第一章参照）。

七 刺激選択性と知覚

このように、脳の中には視覚刺激のさまざまな側面に選択性をもつニューロンが存在する。しかし、あるニューロンが視覚刺激のある特定の傾きや運動方向、顔に反応するというだけで、それらのニューロンの活動が、物体の輪郭や運動や、顔を知覚することに関与していると結論

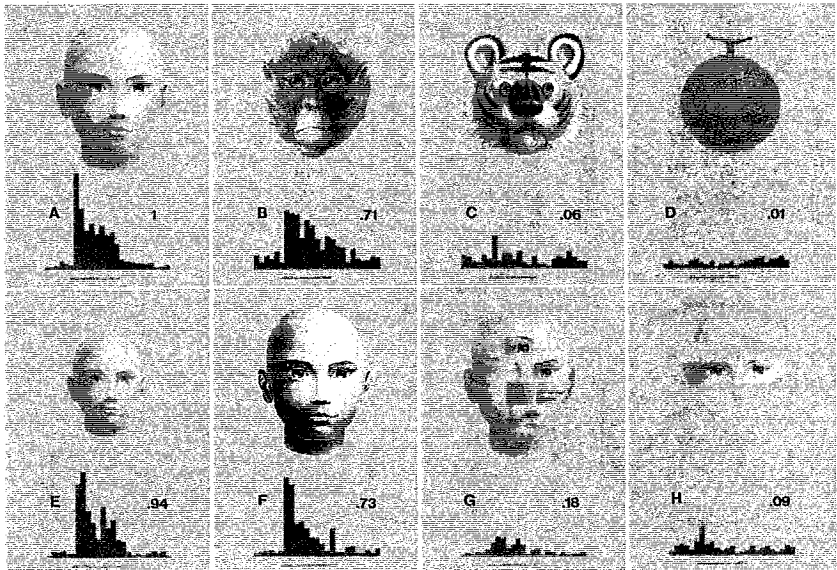


図29 顔ニューロン

サルの下側頭葉皮質IT野には、視覚刺激として与えた顔（写真や絵）に選択的に反応する細胞がある。このニューロンの反応のためには、顔の一部や色だけではなく顔のパターン全体が必要である。図の棒グラフの横軸は時間、縦軸はニューロンの活動の強弱を示す。横線のところで各図形をサルに見せている。

するのは早計である。そのような刺激選択性は脳の別の場所ですくられたもののコピーが何らかの理由で転送されてきたものであつたり、その刺激選択性そのものが別の情報処理の副産物であつて、当該する知覚の成立に寄与していないかもしれないからである。

特定の視覚属性に対する選択性をもった細胞が、実際にその属性の知覚に貢献しているかという問いに対してもつとも肉薄しているのは、M T野の運動方向選択性細胞の研究である。スタンフォード大学のニューサム (William Newsome) らは、サルの前においたテレビモニターに、ちらちらと無秩序に動く無数の小さな点を提示した。このような刺激はダイナミックランダムドットと呼ばれる。彼らは、ドットのうちの何%かを一定方向に動くようにし、サルにそのドットの方向を判定させた。一定方向に動くドットの割合を変えることで、判断の難易度を調節することができる (図30)。ヒトでもサルでも、このような刺激の運動方向には非常に敏感で、ドットのほんの数%が同じ方向に動いていれば、その方向を正しく判断することができる。

まずニューサムたちは、M T野を破壊すると、この運動方向判

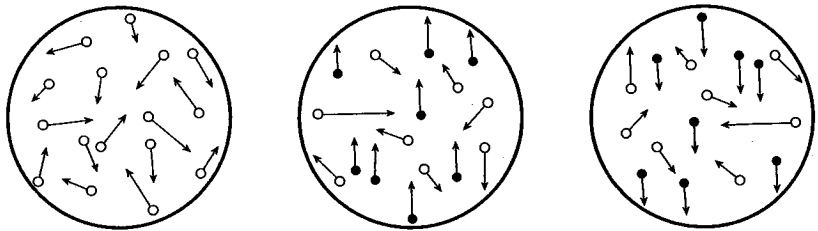


図30 ランダムドット中の動きの検出

左図では、すべてのドットが無秩序に動いている。そのうちの一部 (たとえば半数) のドットが上に動いたり (中)、下に動いたりすると (右)、画面の中に一樣な動きがあると知覚される。この図では、同じ方向に動くドットが黒く示してあるが、実際の実験ではすべてのドットは同じ明るさをもっている。同じ方向に動くドットの数調節することで、運動方向の知覚判断の難易度を調節することができる。

断の感受性が著しく低化することを示し、MT野がこの行動課題を遂行するために必要であることを確認した。次に彼らは、この行動課題を遂行中のサル
のMTニューロンの活動を記録してそのふるまいを調べた。同じ方向に向かうドットの数が減ってくる
とサルの判断はあるときは正解、あるときはあやま
りと不確かになってくるが、同様に、MTニューロ
ンの反応も試行ごとにふらついてくる。両者の間の
関係を調べてみると、たった一個のMTニューロン
のふるまいがサルの運動方向判断の感度やふらつき
などを十分に説明することが判明した。

さてこの段階になって残された重要な問題は、は
たして、このようなMTニューロンの活動が変化す
るとサルの運動方向知覚が変化するかという問題で
ある。どうしたら、この問題に実験的にアプローチ
できるだろうか。MT野では同じ運動方向に反応す
るニューロンが集まってコラム（柱状）構造という
ものを形成している。たとえば一つのコラムの中に

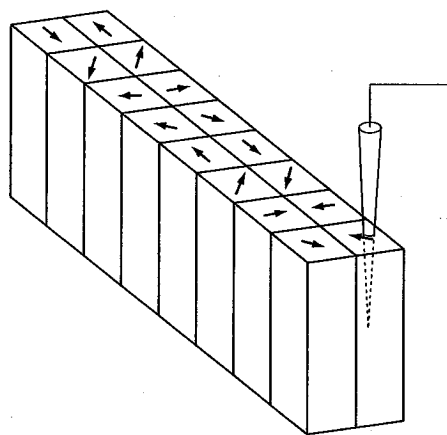


図31 MT野のコラム構造と電極の配置

MT野ニューロンは反応する運動方向にしたがって、MT野の中で整然と並び、コラム構造（柱状構造）を形成している。そのようなコラム一つの中心部に電極を配置し、微小な電気刺激を行うことで、同じ運動方向の処理にたずさわっているニューロン群だけを活性化することができる。

は、視覚刺激が上に動いているときに活動するニューロンが集まり、その隣には、視覚刺激が右斜め上に動くときに活動するニューロンが集まっている(図31)。ニューサムらは、一つのコラムの中心部分に電極と呼ばれる細い金属線の先端から弱い電流を流すことで、そのコラムに含まれる同じ運動方向に反応するニューロン群の活動をいっせいに活性化したところ、サルの運動方向判断が、そのコラムのニューロンが反応する運動方向にずれることを見出した。すなわち、MTニューロンの活動の変化がサルの課題遂行能力に変化をおよぼすことを証明した。以上の実験結果すべてを総合すれば、MTニューロンの活動が、図30に示す行動課題における視覚刺激の運動方向判断に貢献していることの必要にして十分な証拠になつていると考えられる。⁽⁵⁾

八 見ているものと見えるもの

動物の脳の特定部位に局所的な電気刺激を与える研究は昔からなされているが、ニューサムらの研究結果には以前の研究にはない驚きがある。それは、従来の研究で電気刺激によってひき起こされたものが、運動であったり特定の行動であったの対し、MT野の実験では、動物の知覚に変化をひき起こしたからである。運動や行動の際、数ある筋肉は一定の順序と強さで収縮と弛緩をしな

(5) ニューサムらのこの衝撃的な実験は一九八九年に成功した。そのときのことを彼は、次のように述べている。「サルの知覚判断を電気刺激によって、実験者がのぞむ方にバイアスさせることができた日のことは良く覚えていいる。共同研究者のダニエル・ザルツマンと私は、この驚くべき実験結果を目の当たりにしながら、まったく同じ反応をしてしまった。われわれは、ただただ大笑いし続け、おさえることができなかったのだ。」

くてはならない。筋肉のこの収縮パターンを制御する脳の運動プログラムは、プログラムにかかわる多くのニューロンの活動電位の発生タイミングに情報が託されている。そのような部位を、実験者が勝手な時間タイミングの電気刺激をしたところで、秩序だった一連の運動や行動をひき起こすことは期待できない。電気刺激により運動・行動がひき起こされたのは、運動プログラムを生成している場所ではなく、運動プログラムをスタートさせるような部位（たとえば、動機づけに係っている部位）を刺激したためであると解釈される。知覚の成立には、感覚情報の複雑な情報処理が要求されており、その処理は、運動プログラムと同様、多数のニューロンの活動タイミングに依存していると考えられる。にもかかわらず、ニューサムたちの実験は成功した。いったい彼らの行ったMT野刺激は、脳の中のどのような役目を担うニューロン群を賦活したといえるのだろうか。

一つの解釈は、MT野のコラムの中には、視覚刺激の動きの方向を算出する計算過程を担うニューロン活動以外に、そのような計算過程の最終結果を具現しているニューロンがあり、それら神経活動の存在そのもの、もしくは積算量（時間タイミングではなく）が知覚をひき起こしているというものである。ニューサムらの電気刺激は後者のニューロン群を活性化したのではないか。この解釈を確かめるには、ニューロン活動が視覚刺激の物理的性状の処理過程をあら

わしたもののなか、それとも情報処理の結果として成立した知覚に対応しているのかを区別する必要がある。そのためには、刺激（見ているもの）と知覚（見えるもの）が一致しない実験状況をつくり、神経活動がどちらによりよく相関しているかを決定する必要がある。次にそのような研究を紹介しよう。

私たちの両眼は、わずかに異なるもののほとんど同じ世界を見ている（脚注3参照）。その結果、両眼像は脳の中で融合され、一つの世界を知覚する。しかし、もし、実験的に、右眼と左眼にまったく異なった視覚刺激を提示したらどうなるだろうか。たとえば、右眼に右ななめ縞、左眼に左ななめ縞を提示すると、いったい何が見えるだろうか。この答えは、提示する縞模様の大きさに依存するが、縞模様刺激が小さいときには、ある一瞬には、右ななめ縞か左ななめ縞のどちらか一方しか見えない。どちらが見えるかは一定しておらず、数秒すると、見えていた縞からもう一方の縞へと見えるものが変わる。縞模様刺激が大きいたときには、視野の中の一部分には右ななめ縞が、別の部分には左ななめ縞が見えるが、その割合は刻一刻と変化し、ある瞬間にはどちらか一方の縞で視野が埋めつくされ、しばらくするとその一角から直交する縞が現れる。いずれにしても、右ななめ縞と左ななめ縞の合成された格子縞が見えることはない。この現象は両眼闘争と呼ばれる（図32）。

両眼闘争を簡単に経験するには、紙をまるめて筒をつくり左眼の前におき、

その紙筒の横に右手を広げておいてみると良い。右手の真中に穴があいて、紙筒の向こうの情景が見える。そのまま、じつと見てみるとそのうち、穴の中に右手のひらがあらわれて、手のひらの生命線などが見えてくるはずだ。さらに眺めつづけると、再び右手の手のひらの真ん中に、紙筒からのぞいた向こう側の景色が現れる。

この奇妙な知覚現象の重要な点は、両眼に与えられた視覚刺激はつねに一定であるのに、知覚されるものが時間とともに変化する点である。すなわち、刺激と知覚が乖離しているのである。このような状況のとき、知覚の成立に直接関与しているニューロンは、知覚の変動に伴い（正確には知覚の変動に先立ち）、活動を变化させるはずである。マックスプランク研究所のロゴセーティス (Nikos Logothetis) は、この方法を、STTS野の顔ニューロンの活動に適用した。彼はまずサルにレバーを握らせ、顔の画像を見たときにはレバーを

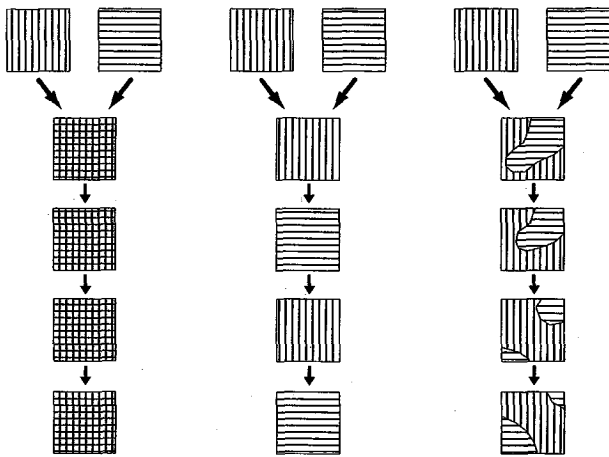


図32 両眼闘争

右目と左目に異なった傾きの縞模様を提示すると、縞模様の合成である格子模様が見える(左)ことはなく、それぞれの縞模様が交代に知覚されるか(中)、もしくは、視野の一部分が片方の縞、残りの部分がもう一つの縞というように知覚される(右)。視野のどの部分にどちらの縞が見えるかは時々刻々変化する。

手前にひき、別の図形を見たときにはレバーを奥に押すように訓練した。このときには、視覚刺激は右目にも左目にも同じものを与えており、与えた刺激とサルが知覚するものは一致している。次に、サルの片目に顔の画像を、もう一方の目に幾何学模様を提示すると、サルはある瞬間には顔を知覚し、別の瞬間には幾何学模様を知覚するという両眼闘争を知覚体験する。サルはトレーニングのときと同様、顔を知覚したときにはレバーを手前にひき、幾何学図形を知覚したときにはレバーを奥に押すことにより、一瞬一瞬自分が何を知覚しているかを実験者に伝える(図33)。

S T S野の顔ニューロンは、両目に提示した幾何学模様に対してはほとんど反応しないが顔刺激には強い反応を示す。この反応は、顔刺激を提示している最中ずっと持続している。一方、片目に顔、もう一方の目に幾何学模様を提示したときには、顔ニューロンは活動を高めたり下げたりと、反応は一定ではない。この活動の変化と、サルのレバー操作による知覚判断との関係を見てみると、顔ニューロンはサルが「顔が見えた」とレバー操作で答える数百ミリ秒前から活動を始め、サルが今度は「幾何学模様が見えた」と答える数百ミリ秒前には活動を消失させていた。このことは、顔ニューロンの

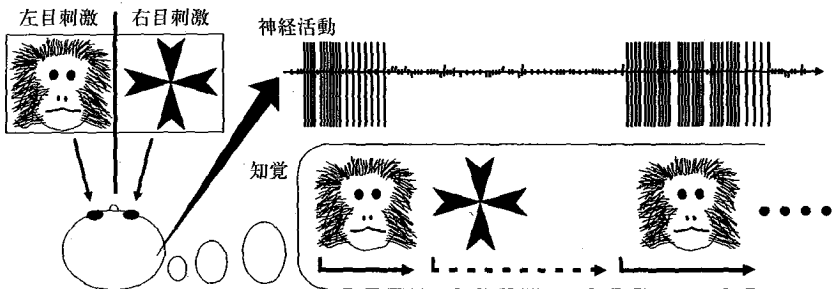


図33 知覚に対応したニューロン活動

顔の像と幾何学模様との間の両眼闘争が起きているときの顔ニューロンは、サルが顔を知覚する直前から活動を始め、サルが幾何学模様を知覚する直前に活動を停止する。

活動が、顔刺激の物理的性状の解析にかかわっているというよりも、顔の知覚という心のできごとに対応していることを示している。STS野の顔ニューロンの90%以上がこのような活動を示したという。

一方、同様の実験を、一次視覚野、四次視覚野、MT野など、視覚経路の比較的初期の段階で行うと、知覚に対応した活動を示すニューロンは少数であり、多くのニューロンは知覚を説明するような活動を示さない。私たちは、自分の脳の中で行われているニューロン活動のうちの一部だけを知覚として意識するのである。また、この実験結果は、大脳皮質の情報処理経路の後半に進むほど、知覚に対応したニューロンが現れることを示している。

九 ふたたび、脳と心、そして脳科学

本章の最初で、脳と心の関係を問う研究のかかえる本質的困難さ（「脳が脳を理解できるのか」）を指摘すると同時に、それでも、私たちの手の届く重要な問題があると述べた。この章では、それがどのような問題であるかを具体的に示してきた。脳の神経回路はどうなっているか、そこに含まれるさまざまな領域が知覚のどの特定の側面に関わるのか、どのような性質をもつか、特定の刺激に反応するニューロンの活動がその刺激の知覚にかかわっている証拠はど

うしたら得られるのか、そのようなニューロン活動は刺激処理のプロセスにかかわっているのかそれとも処理の結果を表現しているのか、などである。これらの問いは、脳が心をいかにして生み出すかを理解するうえでキー・クエスチョンであり、これらの解決をめざした研究は、特定のニューロン活動と特定の知覚の間に非常に密接な関係があることを示す段階にきている。

私たち人間や動物は、外界世界のできごとを物理的的刺激（光、音、匂い、味、振動、熱など）として受けとめる。二章で学んだように、物理的的刺激は感覚受容細胞で生体電気信号に変換される。たとえば、光の粒子が網膜の中の視細胞に到達すると、視細胞が含む光受容タンパク質の構造を変化させる。この変化は、視細胞内での一連の化学過程を経て、視細胞の内外でのナトリウム、カリウム、カルシウムなどのイオンの分布を変化させ、結果として、視細胞に電気的な変化をひき起こす。こうして、外界物理刺激情報は生体信号へと変換される。この過程におけるできごとの原因と結果の関係、すなわち因果関係は確立している。前の段落で、「MTニューロンの活動と知覚の間に非常に密接な関係がある」と書いたが、物理刺激と感覚受容細胞の電気信号の間に確立したのと同じレベルの因果関係を、ニューロン活動と心のできごとの間に示すことは可能だろうか。

ここにいたって、脳と心の関係を問う研究のもう一つの大きな問題が浮上す

る。それは、他人の（もしくは動物の）心を直接観測することができないということである。心の中身を人は言葉で表現することができ、また、たくみな実験を組めば、動物が何を感じているかを、自分自身の内省と照らして、推測することができる。しかし、心のできごとを量的または質的に外部から計測することはできない。たとえば、同じ郵便ポストを見て、ある人が赤いといい、別の人も赤いといったところで、その二人の知覚意識のうえで感じる「赤らしさ」が同じものである保証はまったくない。外から計測することのできない、心にはる知覚体験のもつそのような質感は、クオリアと呼ばれる。固有のニューロン活動がどうクオリアに結びつくかについては、解決の糸口すら見えていない。「計測できないものが自然科学の対象になるか」「計測できなくても、クオリアと呼ぶべきものがあるのは誰もが実感として認めるはずだ」「これは解決することのできない問題である」「いや、今は見当もつかないが、脳科学をこのまま進めていけばいつの日にか解決は訪れる」「この問題を解くには、今の自然科学の枠組みを変えなくてはならない」「とんでもない。そもそも、ニューロン活動とクオリアは、つまりは脳と心とは、別次元のものなのだ。どんな科学的枠組みを用意しようと、心のなりたちの物質的説明にいくつくというのは幻想だ」「この問題を考えるのはむだだ。よそう」など、さまざまな意見がある。私自身の見解は、「この問題を考えるのがむだだとはいわないが、この

問題にひっかかってしまつてやるべき研究をストップしてしまい、結果として自分の人生を浪費するようなことはしたくない。脳と心の関係の科学的な探求には、本章で見たように、脳とクオリアの関係を問う前に問われるべき、重要でかつおもしろい問題が山積みだ」というものである。「脳と心」の問題の核心から目をそらした弱気の意見に聞こえるかもしれない。しかし、「正しいタッピングで正しい問題に取り組む」というのは科学の鉄則であり、「クオリアの問題」を問うほどには脳科学は成熟していないというのが、私の脳科学者としての実感である。みなさんはどう考えるだろうか。