

脳の科学 第3回

視覚情報処理

担当：浅川伸一

2009年10月16日

1 本日の内容のオーバービュー

今日はまず、ニューロン（換言すれば脳が）が心を生み出す仕組みを考えてみたい。というのは、課題の回答で、あまりにも多くの学生が脳は心を表現できないと考えているらしいからである。私はそうは思わない。心はそれがどんなに複雑であろうと、脳の活動として捉えることができるのであり、脳の活動は心を表現するに十分な複雑さを持っていると考えるからである。

次に、認識の原点である「見る」という行為について考えてみたい。認識することは、すべての知的活動の基礎である。普段何気なく見たり聞いたりしているが、その裏には膨大な量の情報処理がなされていることを概観する。先週はランダムドットステレオグラムは錯視図形などを紹介し、我々の認識が外界の情報を正確にコピーしている訳でないことを知った。我々の認識が成立するためには脳内でどのような処理が行われているのかについて理解を深めることとしたい。

2 心の起源

2.1 情動の座，扁桃体

<http://www.brain.riken.go.jp/bsi-news/bsinews3/no3/special.html> より

ダーウィンは、情動（喜怒哀楽）の表出がネコ、イヌ、サルを経てヒトにいたるまで共通であることを指摘した。ダーウィンは情動を「非常事態にさらされた生物が、適切に対処し、生存の可能性を増加させるもの」であるととらえている。すなわち、情動とは、個体維持と種族保存を達成するためにあるとの説を展開した。

情動は、系統発生的に古い脳である「大脳辺縁系 Limbic system」と呼ばれる大脳の内側に広がっている脳の部位の中の、扁桃体 Amygdala が情動の発現に重要な役割を果たしていることが、これまでの研究で明らかになっている。

ヒトでも動物でも、外敵や有害なもの、危険なものに対しては恐怖が生じる。クリューヴァーとビューシーは、サルやネコの扁桃体を破壊したところ、それまで見ただけで怖がっ

ていた蛇やクモのような生物を、怖がらなくなり、むしろ食べてしまおうとすることを発見した。

ウルバツハ・ヴィーテ病という病気は扁桃体のみが石灰化する病気であるが、この病にかかった患者は、幸せや悲しみといった感情を表す顔は描くことができても、恐怖心だけは描くことができなかった。そのかわりに、恐怖におののいて見を縮めている人の姿を描いた。

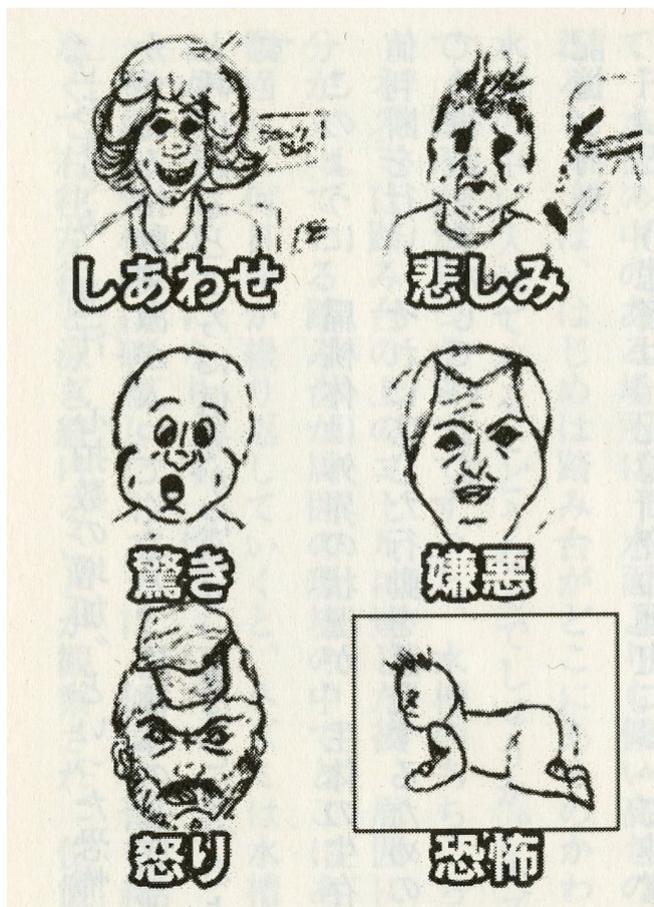


図 1: ウルバツハ・ヴィーテ病患者の書いた感情を表す顔

このように扁桃体では情動が処理されていると考えられる。扁桃体は外界の状況が、生体の生存に好ましいか好ましくないかという情動的な価値判断を行ない、それに応じた行動を誘発するための信号を脳の他の部分に送り出す中継核として働かしい。

そして、この扁桃体と密接な線維連絡のある「視床下部」やこの部位と線維連絡のある「中脳中心灰白質」も、情動の表出、情動に伴う自律神経系の反応（心拍数，呼吸，血圧の変化）や行動面での反応（恐怖の場合のすくみ反応 Freezing や逃避反応，怒りの場合の攻撃反応）の生起，に關与していることがわかっている。つまり、扁桃体 視床下部 中脳

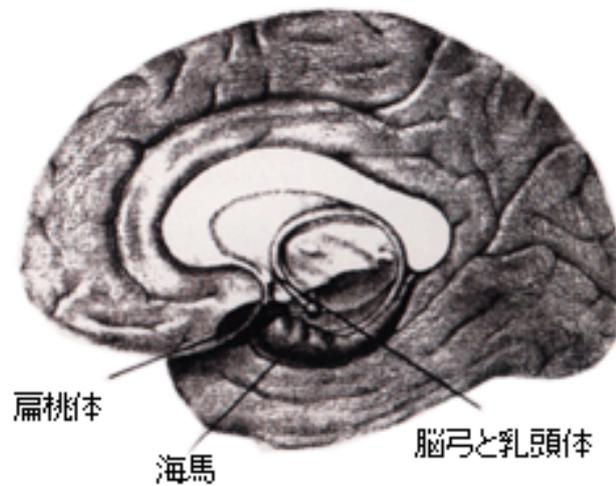


図 2: ヒトの脳における扁桃体の位置

中心灰白質という1つの系が情動に関与する脳の部位である。

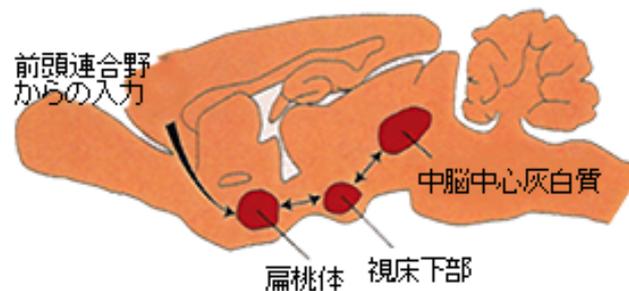


図 3: 情動に関与している脳の部位

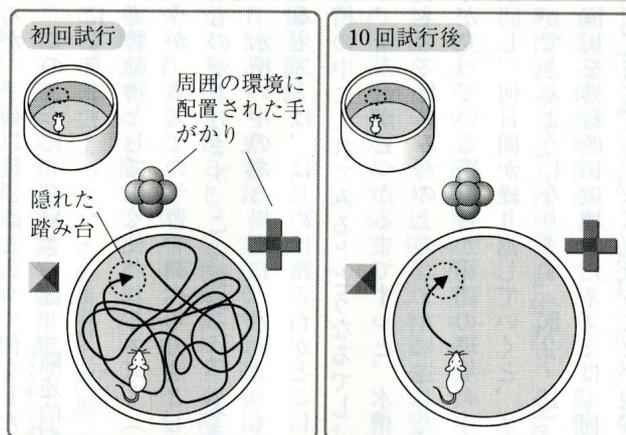
2.2 短期記憶の座，海馬

患者 HM は 10 歳の頃から重度のてんかん発作を起こし，発作時には全身けいれんが起こり舌を咬んだり，意識を喪失したりするという症状があった。この発作を防ぐという目的で，27 歳のときに脳の両側の内側側頭葉を除去する手術を受けた。この手術によって HM の海馬の 2/3 が失われた。手術後でも，HM の知能指数，認識能力，抽象的思考能力はまったく障害が見られなかった。また手術よりも以前のことは容易に思い出すことができた。にもかかわらず，手術以後誰と会って話したかなどは一切記憶することができなかった。こ

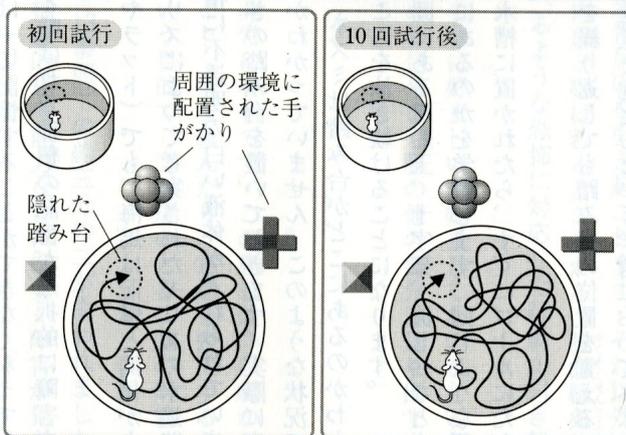
のことから HM の記憶する能力は海馬およびその周辺領域で営まれていることが明らかとなった。

海馬が記憶に影響をもたらす動物実験としては、モリスの水迷路実験がある。この実験では水を張ったプールを白濁させ、プールの下が見えないようにして、ネズミを入れる。プールの中には一カ所水面よりやや低い位置に踏み台があって、ネズミが踏み台に到達すると休めるようにしておく。ネズミははじめ踏み台の位置がわからずプールのあちこちを泳ぎ回る。踏み台に到達したネズミは周辺にある風船玉や十字架などの手掛かりを使ってプール内の踏み台の位置を記憶する。これを何回か繰り返すとネズミはプールに入れられてすぐに踏み台に到達できるようになる。ところが、海馬を除去する手術を施されたネズ

正常ラットを使った実験



海馬を損傷したラットを使った実験

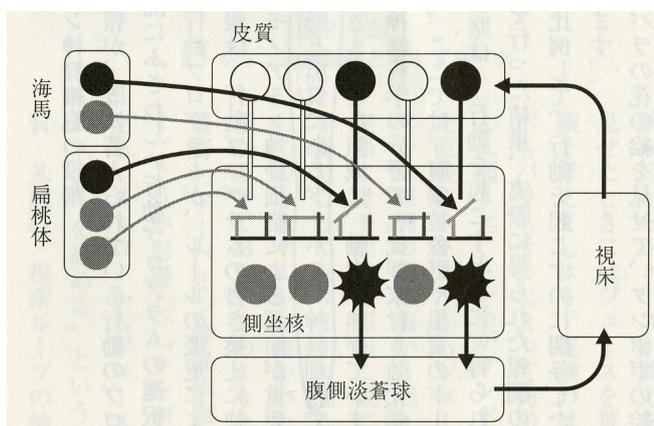
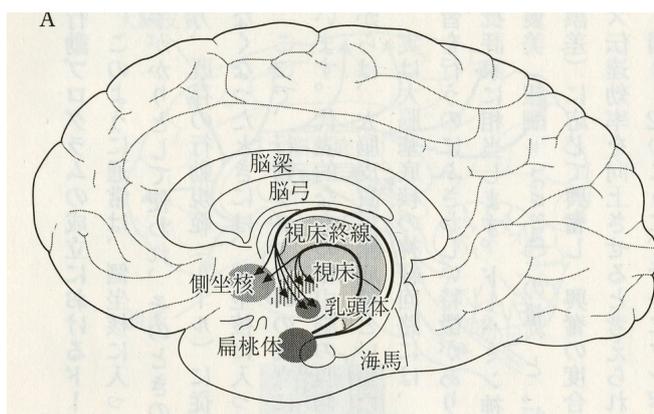


ミは、何度学習を繰り返しても踏み台の位置を覚えることができなかった。このことから海馬は、自分の置かれた状況にかかわるさまざまな事物を関連づける記憶に関与していると考えられるようになった。

以上のことから、情動は扁桃体に、記憶は海馬によって処理されていると考えて良いことが分かる。人生において忘れられない思い出はだれにでもあるが、こうした思い出の積み重ねがその人の人生だとすると、人生の大切な思い出は海馬と扁桃体の活動によって営まれていると考えることができるのである。

2.3 心を座はどこにあるのか

扁桃体における情動的価値判断の情報と、海馬を介した周囲の状況に関する情報は、視床終線、脳弓という経路を介して大脳基底核の一部である側座核に出力を送る。



側座核は、腹側線条体に属し、皮質、腹側淡蒼球、視床との間で、皮質・基底核・視床ループを構成する。

側座核では、海馬や扁桃体からの入力を受けた神経細胞は興奮しやすい状態になる。このとき、皮質から入力を受けると、この神経細胞は興奮し、腹側淡蒼球へと信号をつなげることができ、この神経細胞が関わる皮質—基底核—視床ループを活性化。側座核の

神経細胞は、海馬や扁桃体からの入力によって閉じたり開いたりする、特定の皮質・基底核・視床ループだけを活性化するターゲティング・スイッチとして働いている可能性がある。

すなわち、海馬や扁桃体を介した情動的価値判断付きの状況の情報が、皮質、基底核、視床ループに蓄えられた行動プログラムの中から、その時々状況にふさわしいものを選択する仕組みが働いていると考えられる。

忘れられない思い出の積み重なりがその人の人生であり、その時々でどのように振る舞うかでその人の個性が決まるとすれば、この扁桃体と海馬によって修飾された、皮質—基底核—視床ループに蓄えられた行動レパートリーがその人の人格を表すと考えて良いのではないだろうか。

3 視覚情報処理

視覚系のさまざまな部位における単一ニューロンおよびニューロン集団の応答特性を調べ、比較することは、我々の視覚的認識における根本原理を洞察する上で有益であるに違いない。なぜなら我々の認識は、これらのニューロンの活動特性に依存しているからである。

ここでは、視覚系は外界の正確な内部コピーを生み出しているわけではないことを概観する。すなわち、見えるものが受容しているものと同じとは限らない。換言すれば、視覚系は外界の正確なコピーを作り出している訳ではない。すなわち「見えるものが正確に受容しているものだと限らない」。視覚系の役割は、Marr の言葉を借りて言えば、2 次元の網膜情報から 3 次元の構造を復元するということである。2 次元の情報から 3 次元を復元するのであるから、この問題は答えが一意に定まらないという意味で**不良設定問題 ill-defined problem** である。

以下では網膜視細胞、網膜神経節細胞、視床中継核、第一次視覚野、第二次視覚野、視覚連合野のそれぞれの特性について概観し、認識へと至る情報処理の特徴を見て行くことにする。

3.1 網膜過程

電磁波である光からニューロンの電位変化という信号への変換は網膜の最外側にある約 1 億 2500 万個の視細胞で行われる。視細胞には、杆体細胞と錐体細胞の 2 種類が存在する。杆体細胞 rod photoreceptor と錐体細胞 cone photoreceptor である。杆体細胞は錐体細胞より高密度の視物質を持っているため光に対する感度が錐体よりも 1000 倍も高い。すべての杆体細胞は同じ視物質を持つが、錐体細胞には 3 つの異なるタイプが存在する。これらは視物質の光感受特性に差があるため、異なる波長の光に反応する。

網膜情報処理の基本構造を図 5 に示した。眼に入った光刺激は、網膜上の視細胞 photoreceptor から双極細胞 bipolar cell を介して神経節細胞 ganglion cell に至る。視細胞が光に反応して活動電位を発すると、その活動電位は神経節細胞を経て大脳へと伝達される。

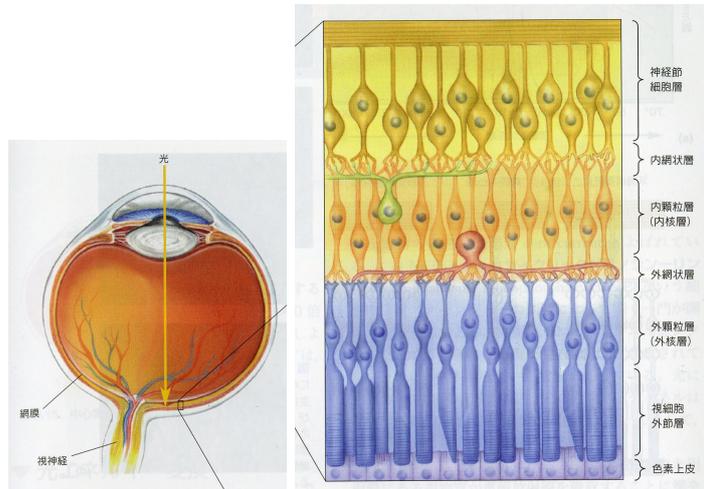


図 4: 眼球の概観 (左) と網膜の細胞 (右)

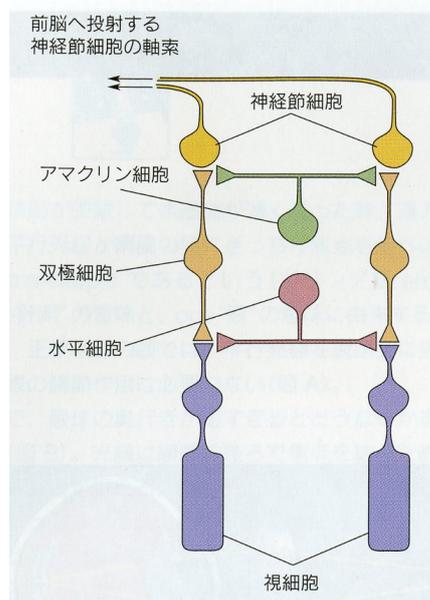


図 5: 視細胞, 水平細胞, 双極細胞, アマクリン細胞, 神経節細胞。光刺激は視細胞から双極細胞を経て神経節細胞へと伝達される。神経節細胞は視神経へと軸索を伸ばし眼からの情報を大脳へ送る。水平細胞とアマクリン細胞は側方結合を通じて神経節細胞や双極細胞の反応を修飾する

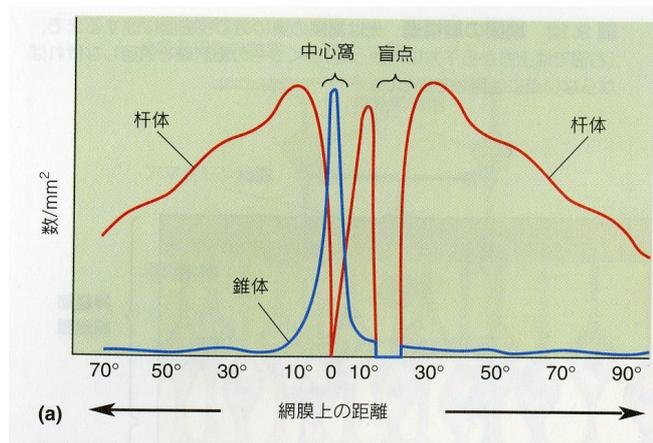


図 6: 網膜における 2 種類の視細胞の分布

網膜情報処理では，水平細胞 horizontal cell とアマクリン細胞 amacrine cell によって側方結合による修飾を受ける。

図 6 に錐体と桿体の 1 mm^2 当たりの数を示した。錐体は主に中心窩付近 10° ほどに分布し，桿体は 20° 付近が最大となる。このため，夜空で暗い星を観察する場合，周辺視で見た方がよく見えることがある。

錐体の直径は約 $2 \mu\text{m}$ ，視覚にして約 30 秒であり，中心窩における錐体の分布間隔は約 35 秒である。視力が 1.0 の人はランドルト環の一分の切れ目を識別できる。したがって，受光細胞レベルでは約 2 個の錐体がこの識別に関与している。

これに対して，縦に並んだ 2 本の線分のずれを検出できる副尺視力は約 2 秒である。この識別能力は個々の錐体のレベルを越えており，超視力と呼ばれる。

4 受容野 receptive field

Hubel と Wiesel (1979) は網膜，外側膝状体，第一次視覚野のニューロンの応答特性を調べた。その結果次の事実が明らかとなった。

1. それぞれのニューロンは網膜の中心窩 fovea の受容野が周辺部の受容野より小さい。このことは中心窩の空間解像度が高い (視力が良い) ことと符合する。
2. すべてのニューロン (網膜神経節細胞，外側膝状体，第一次視覚野 IV 層下部のニューロン) は環状の受容野を持つ。
3. すべてのニューロンは単眼性 monocular であり，それぞれのニューロンが一方の眼からのみ情報を受け取り，両眼から情報を受容するものは無い。

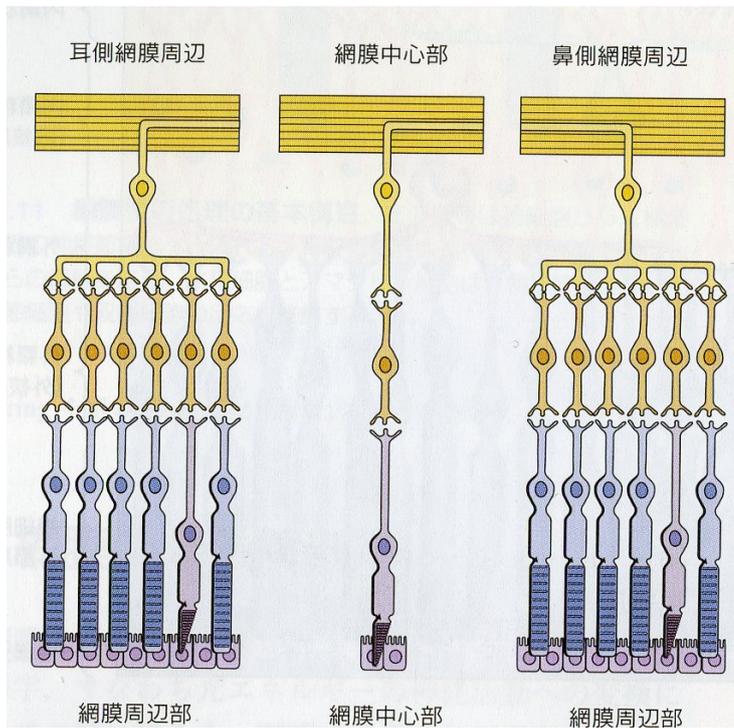


図 7: 錐体と杆体からの網膜神経節細胞への収斂。錐体経路は収束が少なく、杆体経路は収束が高度である。

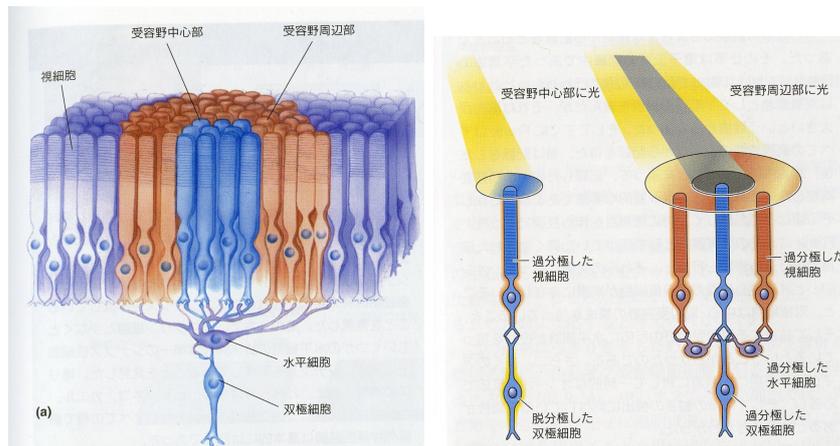


図 8: 左: 視細胞から双極細胞への経路。双極細胞は需要野中心部の視細胞から直接シナプス入力を受け取る。さらに水平細胞経由で周辺の細胞からも間接入力を受ける。右: 受容野周辺部への光刺激の入力は水平細胞の反応を抑制する。周辺視細胞への光刺激の効果は中心の視細胞の光刺激と拮抗する。

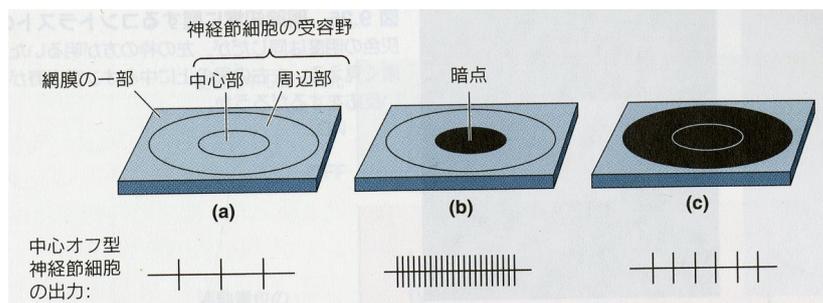


図 9: 神経節細胞の中心-周辺受容野。(a)(b)On centered (オン中心型) 神経節細胞は受容野中心部が暗点で刺激(光が消えると)発火する。(c) 暗点が受容野周辺まで広がると反応は減る。

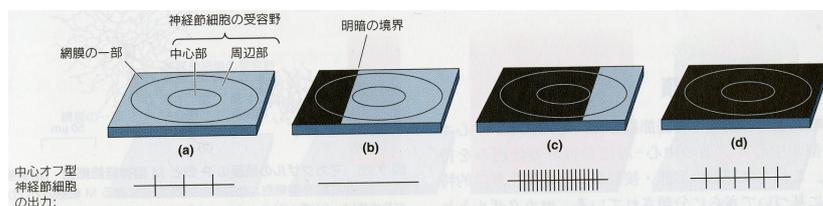


図 10: 受容野に照射した光の明暗境界に対する神経節細胞の出力。中心オフ型神経説細胞では、受容野中心部に暗点が達するまでは応答しない(a)。受容野周辺部にオフ領域が達すると反応は抑制される(b)。(c) 受容野中心にオフ領域が入ると反応は増加する。(d) オフ領域が受容野全体を覆うと反応は拮抗作用により抑制される

4. 網膜—外側膝状体—第一次視覚野(有線皮質とも言う)のそれぞれにおける多くのニューロンが、興奮性部位と抑制性部位の受容野を形成しており、それらは環状の境界で分けられている。

5 中枢神経系の視覚情報処理

5.1 V1における視覚情報処理

V1のプロップ領域に見られるニューロンの受容野の特徴は、特定の方位の刺激に対して応答するように組織化されている。

5.2 単純型細胞

単純型細胞では特定の方角を持つ線状の刺激が受容野に提示されたとき最も強く反応する。受容野は空間周波数で 1 から 16 cpd (cycles per degree) に中心周波数を持ち、半値幅が約 1 オクターブである。方位選択性は半値幅で ± 15 度から ± 30 度の範囲にある。

5.3 複雑型細胞

複雑型細胞の特徴は、受容野内のどこの位置でもその細胞が反応する。したがって位置に関する一般化が起こっていると見なすことができる。最適方位さえ合っていれば、線分やエッジの明るさや色のコントラストにも無関係で反応する。

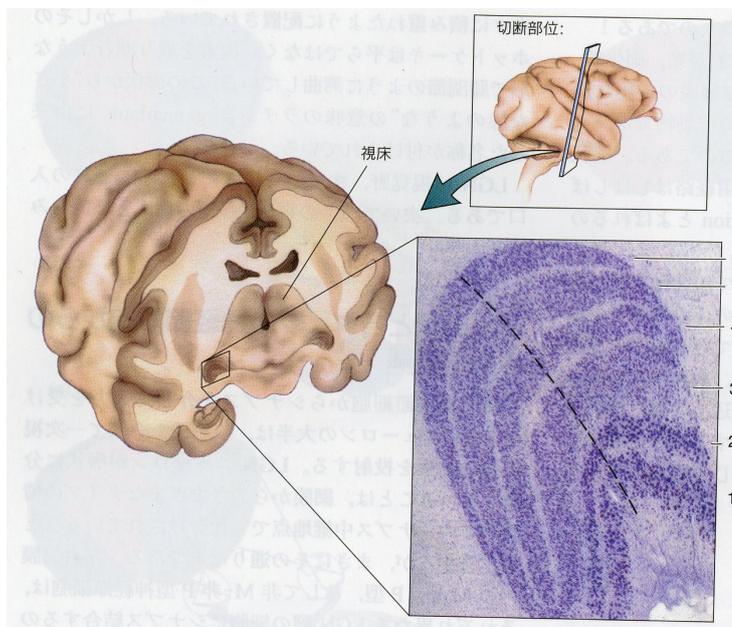


図 11: マカクザルの外側膝状体。6 層構造をなしている。腹側 2 層を LGN 大細胞層 magnocellular LGN layer, 背側 4 層を LGN 小細胞層 parvocellular LGN layer とよぶ

脳の機能分担: 網膜と第一次視覚野 V1 の間には連続的な 1 対 1 対応が存在する (レティノトピー retinotopy)。同様に鼓膜の周波数選択特性と第一次聴覚野 A1 との間にも対応関係が見られる (トノトピー tonotopy)。同様に体表面の感覚と体制感覚野の間にも対応関係が見られる (ソマトピー somatopy)。

すなわち感覚器官と第一次感覚野との間の神経結合は、類似した刺激に対して皮質上の同じような位置に対応する受容野を持つことが知られている。このような 2 つの神経場間の

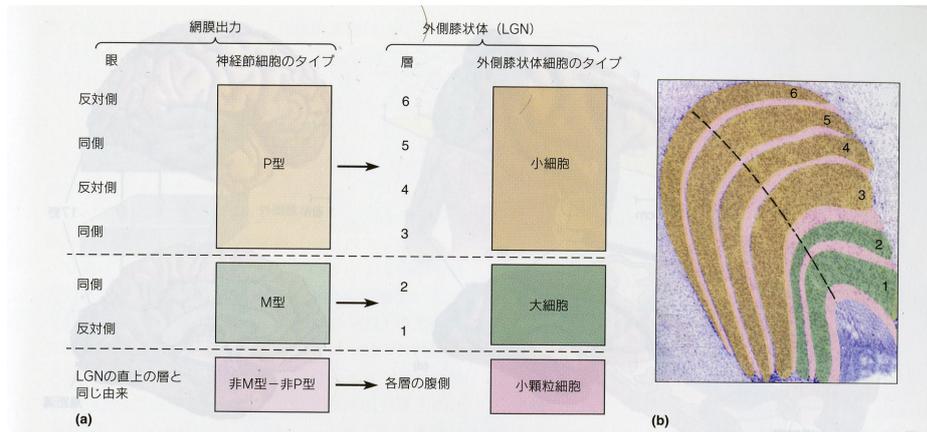


図 12: 外側膝状体の構成

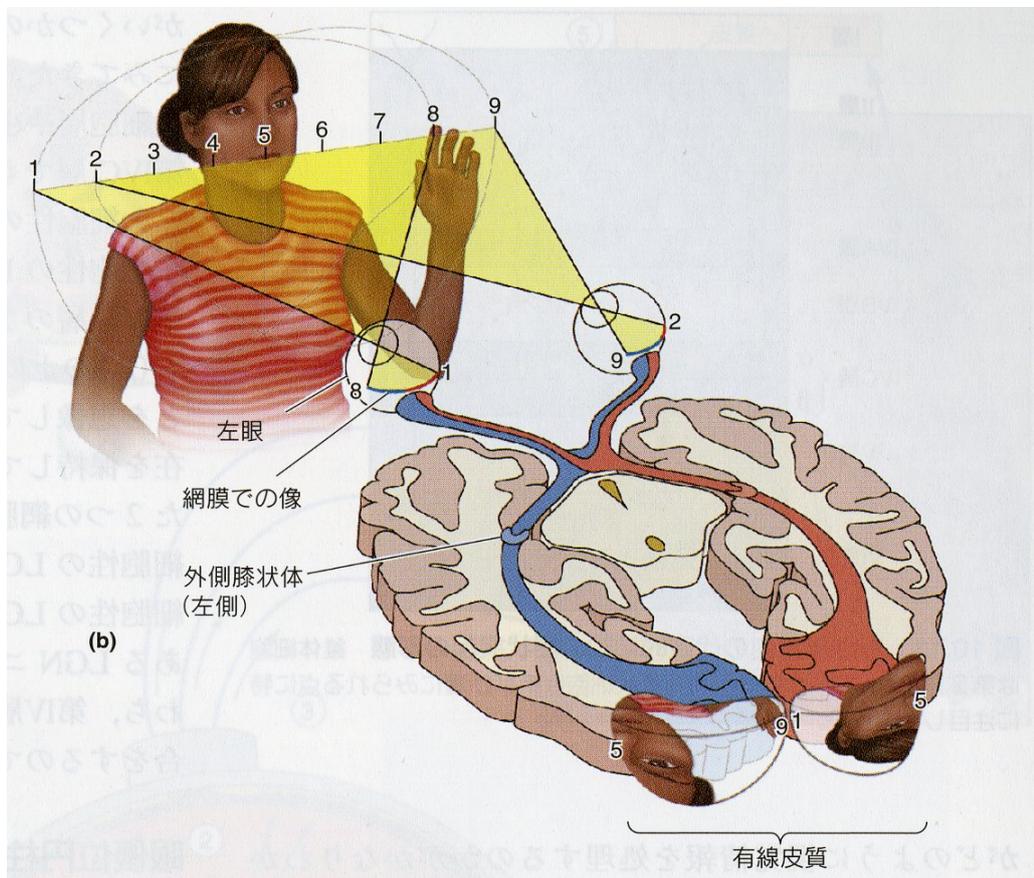


図 13: ヒトの脳視覚経路。網膜—外側膝状体—第一次視覚野

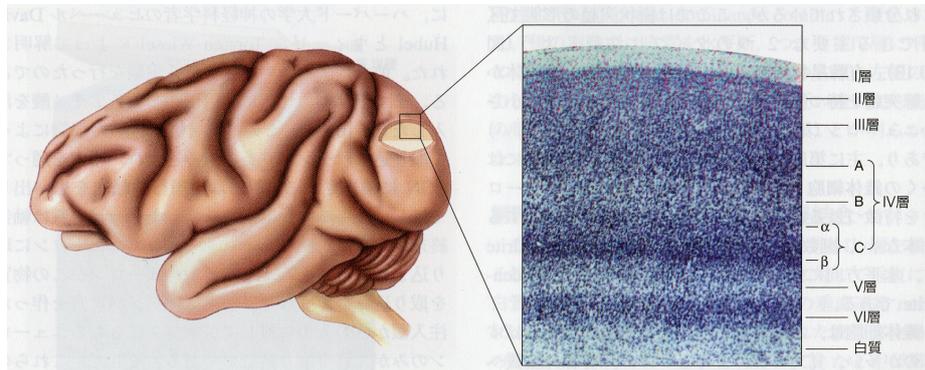


図 14: 有線皮質 (第一次視覚野) の細胞構築。ニッスル染色を施した組織切片内に細胞体が点状に見える。Hubel, 1988, p.97

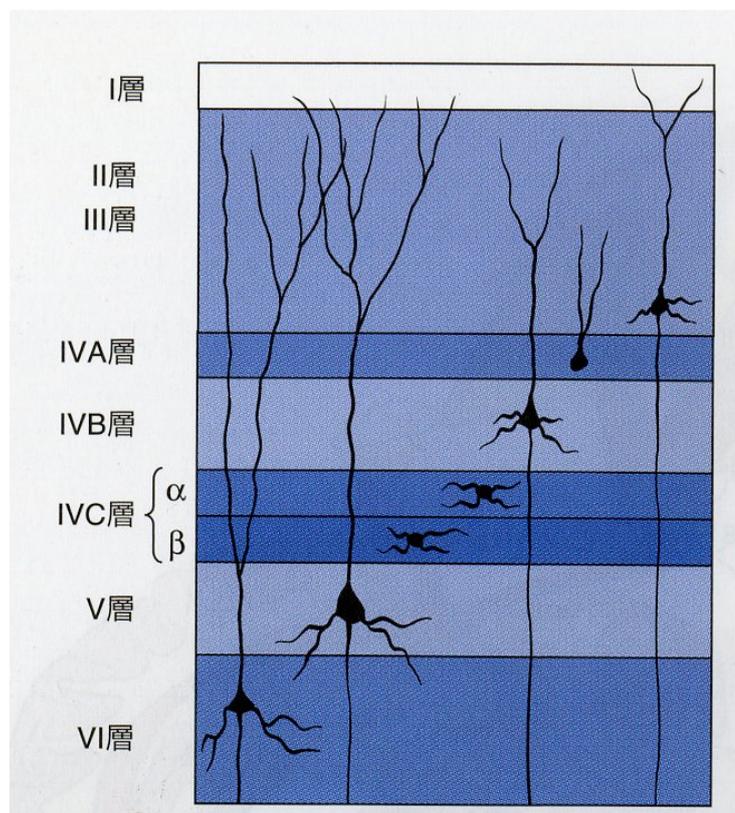


図 15: 有線皮質 (第一次視覚野) 内の代表的細胞の樹上突起。錐体細胞は III, IVB, V, VI 層に分布し, 有棘星状細胞は IVC 層に見られる。

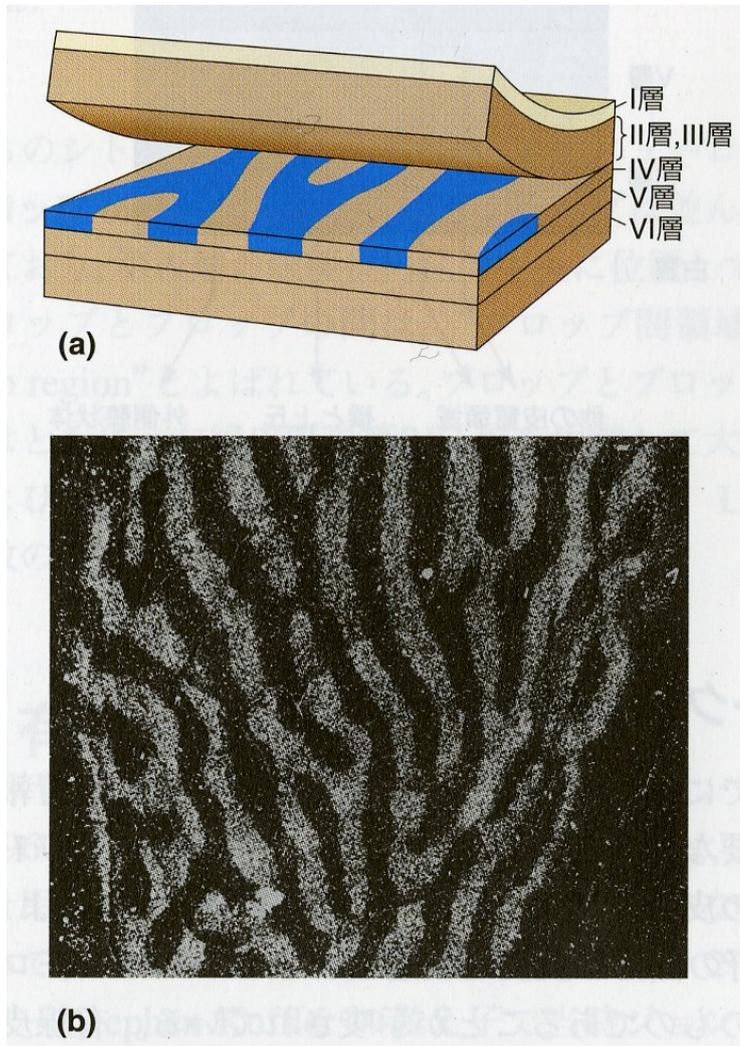


図 16: 有線皮質の眼優位性コラム (a) マカクザルの有線皮質 IV 層にある眼優位性コラムの構成 LeVay et al.,1980

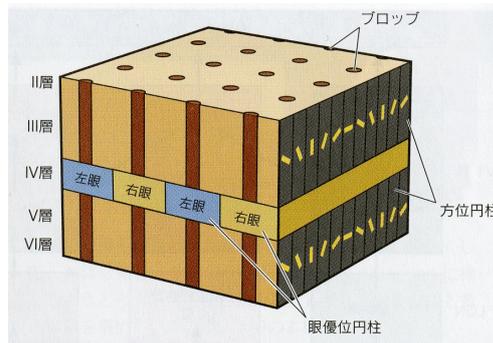


図 17: 皮質のモジュール。ハイパーコラムの模式図。それぞれの皮質が眼優位性円柱, 方位円柱, プロップを含んでいる。この一つのモジュールが受け持つ視野の分析を行う。

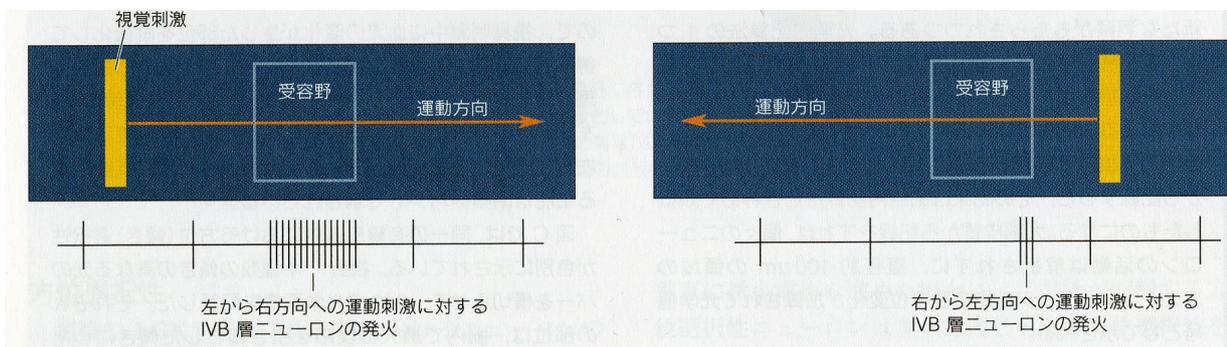


図 18: 有線皮質 (17野) ニューロンの運動方向選択性。最適方向に置いたバーを動かすと, この場合左から右に動かすと強く反応する。反対の動きのときは反応が弱い。

連続的な結合関係のことを**トポグラフィックマッピング topographic mapping**と言う。

視覚野のトポグラフィックマッピングについては、さらに細かいことが分っていて任意の視覚位置に対して、眼優位性 ocular dominancy, 方位選択性 orientation selectivity, 色などの情報が処理されるように規則正しく配列されている。これを**ハイパーコラム hypercolumn**構造という。

ハイパーコラムは、2次元しかない皮質上に、2次元の網膜位置、方位、視差情報(立体視)、色情報処理などの多次元情報をなるべく効率よく処理しようとする生体情報処理の機構を表していると言える。このような構造は、大まかな構造は遺伝子によって決定されるが、細かい構造については神経回路のを**自己組織化 self organization**によって達成されると考えられている。

網膜視細胞の受容野は網膜上で小さな領域を占めている。網膜からの出力である神経節

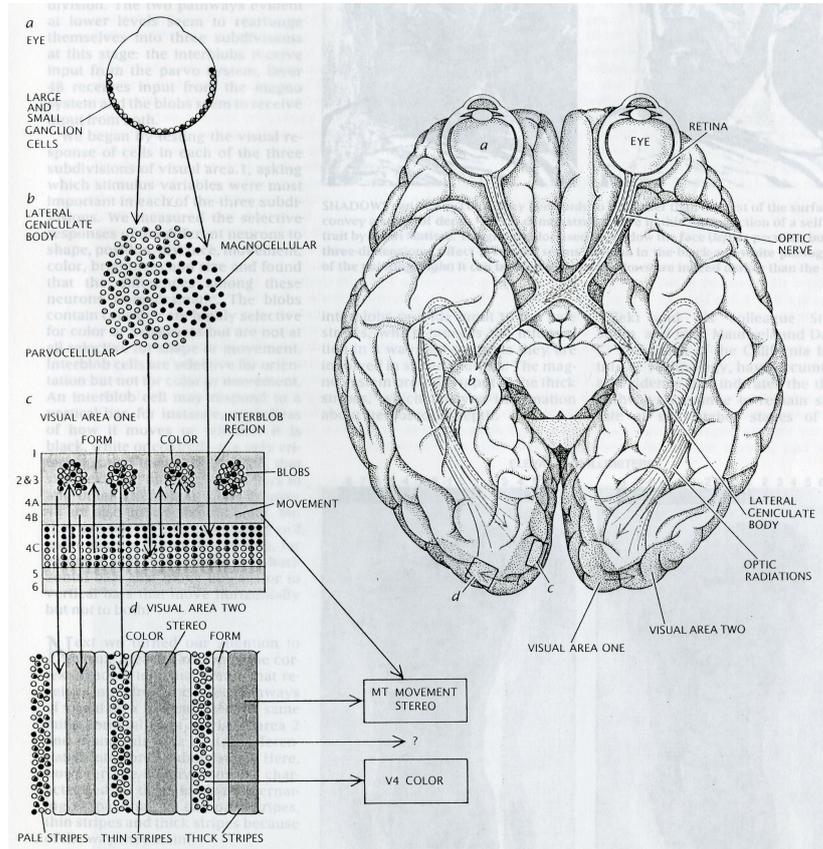


図 21: 網膜から皮質に至る経路

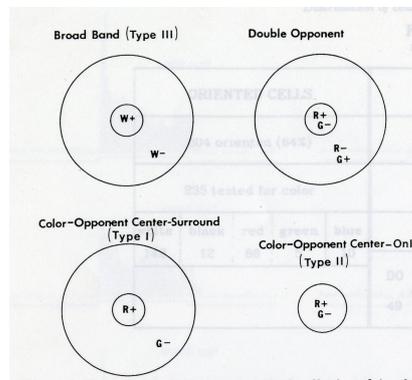


図 22: 二重 On center off surround 型受容野

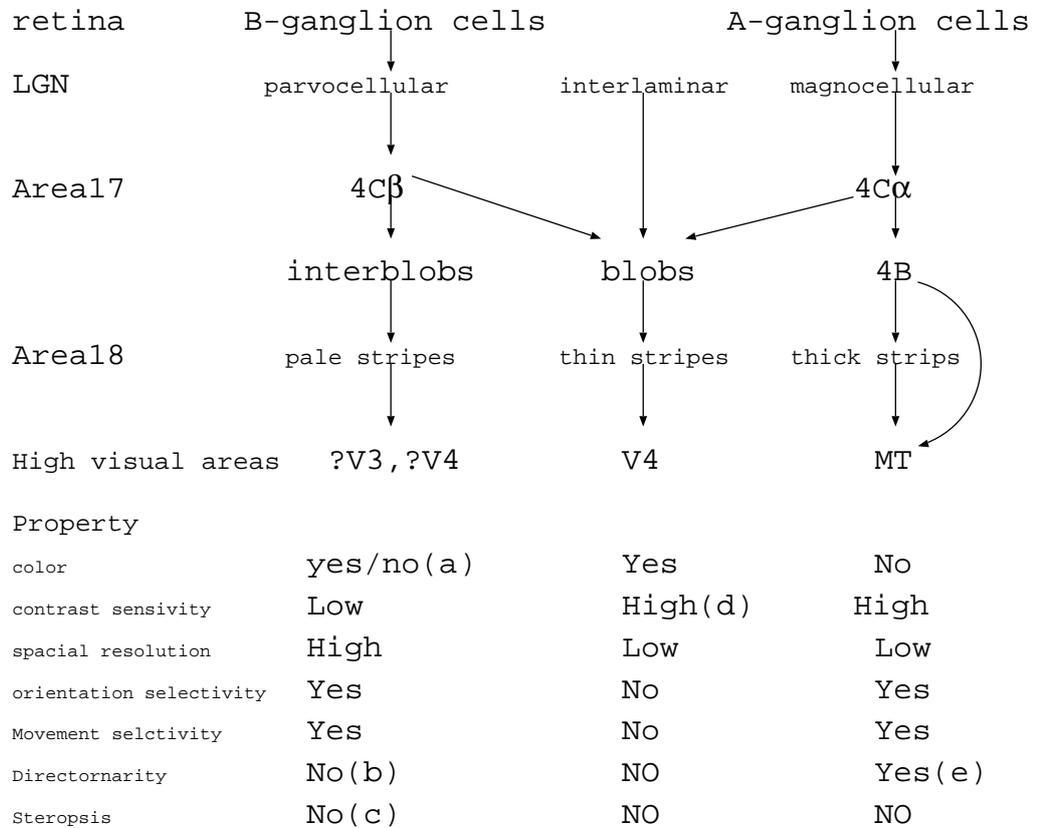


図 23: 網膜から皮質に至る 3 つの経路。Livingstone & Hubel, 1984 を改変。(a) $4C\beta$ 以降の細胞は色の対比で定義された境界に応答するが、全体が色でコード化された境界には応答しない。(b) 少なくとも突出してはいない。(c) 麻酔下の実験動物では 17 野の上層で少数の両眼視にチューニングされた細胞が見つかる。両眼奥行き視差をコーディングしている細胞は 17 野 $4C$ の上下で見つっている。この差異は分かっているが、立体視のメカニズムは 18 野であり立体視に関した 17 野のチューニングは 18 野からの逆投射であろう。(d) デオキシグルコースによる。(e) 18 野の太いストライプではまれである。しかし 17 野の $4B$ と MT 野ではよく見つかる。

表 1: 人間の心理実験と3つの視覚系の流れとの関係。チェックは心理実験結果と生理学の結果とが同じ傾向を示すことを表す。チェックがついていないところはそのような実験がまだ行われていない。

大細胞系 Magno 系					
生理実験	色選択性	コントラスト選択性	時間解像度	空間解像度	
	なし	高い	速い	高い	
人間の知覚					
運動知覚					
運動検出					
仮現運動					
奥行き手がかり					
立体視					
両眼視野闘争					
視差					
運動からの奥行き					
陰影					
輪郭線					
重なり					
遠近法					
結合特性					
運動による結合					
共線性による結合 (錯視による境界)					
図地分離					
小細胞系 Parvo 系					
生理実験	色選択性	コントラスト選択性	時間解像度	空間解像度	
	あり	低い	遅い	低い	
人間の知覚					
形の弁別					
線分の方位弁別					
形の弁別					
小細胞系+(大細胞)→プロップ経路					
生理実験	色選択性	コントラスト選択性	時間解像度	空間解像度	
	あり	高い	遅い	低い	
人間の知覚					
色の知覚					
色の弁別					
交照測光器					

細胞では、その受容野が中心—周辺の同心円構造を持っている。神経節細胞は、輝度変化や色対比などさまざまな応答特性を持っている。第一次視覚野(有線皮質とも言う)には方位選択性や両眼視といった属性を持つニューロンが存在する。外有線皮質(第二次視覚野やそれ以降)ではさらに複雑な受容野が存在することが知られている。おおまかに言って、対象物の認識にかかわる視覚情報処理は、V1 から上位の視覚皮質に向かうに従って、単純な処理から複雑な処理へと配列されているように見える。

ある特定の対象物、たとえば自分のおばあちゃんの認識には、少数の特化したニューロンの発火が関与しているのであろうか。たった一人に反応するように特化した受容野を持つ10個程度のニューロンが関与しているのであろうか。この考えに最も近いのが、高次の対象認識の座であるIT野の顔選択性ニューロンである。

サルの電極を用いた実験結果によれば、我々の認識する多数の対象一つ一つに対応するようにチューニングされた細胞が見出されたという証拠はない。さらに、神経系全体にわたって観察される原理、すなわち、上位になればなるほどニューロンの性質は広域同調がみられるという原理からすれば、おばあちゃん細胞仮説に示されるような高い刺激選択性は、この原理にそぐわないように思われる。IT野(下側頭葉)の顔細胞は通常たくさんの顔に反応するのが普通である。

しかし、ある一つの特性に選択性を示すニューロンは、他の特性に対しても常に感受性を持つ。例えばV1野のニューロンの方位選択性は、このニューロンが大きさや運動方向にも選択的応答を示すという可能性を見誤ってはいけない。極度の選択性に依存することは神経系を理解する上で「危険」である。例えば、タバコを吸っただけ数千個のニューロンが死滅するので、たまたまその中に10個のおばあちゃんの顔に選択的に応答する細胞すべてが含まれていたとしても、自分のおばあちゃんの顔が分からなくなったりしないであろう。

おばあちゃん細胞に頼らないとすれば、視覚系はどのようにしておばあちゃんの認識を成立させるのであろうか。脳は認識にあたって、やわらかい「労働の分割 division of labor」方式を採用しているのかも知れない。ある一つの皮質領野内で、幅広いチューニング特性を持った多くの細胞が、対象物の特徴の脳内表現を担当しているのではないか。大きな規模で皮質領野内の集団が、あるものは主に形や色を、またあるものは主に運動を担当して視覚的認識に貢献しているのであろう。別の表現を用いれば、視覚情報処理は、流れ作業の結果できあがる最終産物というより、複数の視覚野のオーケストラが奏でる音楽に例える方が良いのかもしれない(ベアー他著、加藤他監訳「神経科学」、p.263)。

視覚情報処理に関与する視覚経路は、網膜—膝状体—有線皮質経路 retina—geniculate—striate pathway と呼ばれる。網膜で電気信号に変換された光刺激は、視床の一部である外側膝状体 LGN:lateral geniculate nucleus を経て、第一次視覚野 primary visual cortex(別名 striate cortex)へと伝達される。

左の視野に写った情報はすべて、右目の耳半側網膜 temporal hemiretina を経て同側性に左目の鼻半側網膜 nasal hemiretina を経て反対側、すなわち右脳の有線皮質に到達する。反対に右視野の情報は、右目の鼻側網膜と左目の耳側網膜から左脳の有線皮質に到達する。

外側膝状体ニューロンのほとんどは、有線皮質の皮質層の第IV層下部(4C層)に到達

表 2: 視覚情報処理における 2 つの経路

	M(magnocellular cell) 経路	P(parvocellular cell) 経路
網膜における視細胞	錐体	杆体
空間解像度	高い	低い
時間応答特性	速い	遅い
色応答特性	色盲	色選択性
第一次視覚野での終端	$4C_{\alpha}$	$4C_{\beta}$

する。

中心窩の情報は、有線皮質ではその領域が拡大されて照射されている。すなわち、中心窩は網膜では小さな部位を占めるに留まっているが第一次視覚野では、中心窩からの入力
の分析におよそ 25 % が費やされている。

6 外部環境の分析

what 経路で視覚情報処理がパーツごとの分析を行なわれている。視覚野における情報処理は詳細に調べられている。脳の基本的な情報処理として、感覚入力から入力された情報が分割されて高次の連合野に送られるという過程を経るらしい。視覚野における機能分担の展開図を図 24 に示した。

現在までに分かっている視覚情報処理の結線図を図 25 に示した。視覚野は現在までで最もよく研究されている領域である。視覚野の複雑な分業体制には驚くしかない。

7 側頭葉における概念地図

ダマジオら (Damasio et al.,1996) によれば、写真や絵画から対応する語彙を呼称する場合、概念は下側頭葉極から下側頭葉後部にかけて、有名人の顔、動物、道具の順に並んでいるという。左側頭極 (ブロードマンの 38 野に相当すると考えられる) が侵されると、有名人の名前 (固有名詞) の呼称が困難になり、20 野と思われる領野が侵されると動物の名前 (ダマジオらは、正確な動物名が想起できなくても、その概念が想起—たとえばスカンクの絵を提示したときに、近寄ると臭い匂いを発する動物であると答えるなど—できれば正解とみなしている、したがって厳密には彼女らは物体の呼称障害を問題にしているのではなく、その概念の想起を問題にしている) が想起できなくなる。そしておそらく 37 野か 19 野の損傷によって道具の想起が困難になる。彼女らは、127 名の脳損傷患者のうち 30 名について、上記のような想起障害を呈する患者を調べた。その結果、側頭葉の単一の限局された障害によっては、有名人、動物、道具の組合せのうち、有名人と道具の両者を同時に想起できなかった例は存在しないことを報告した。このことを確認するために、健常者 PET によるデータから、このような概念の地図が確認されたと報告している。

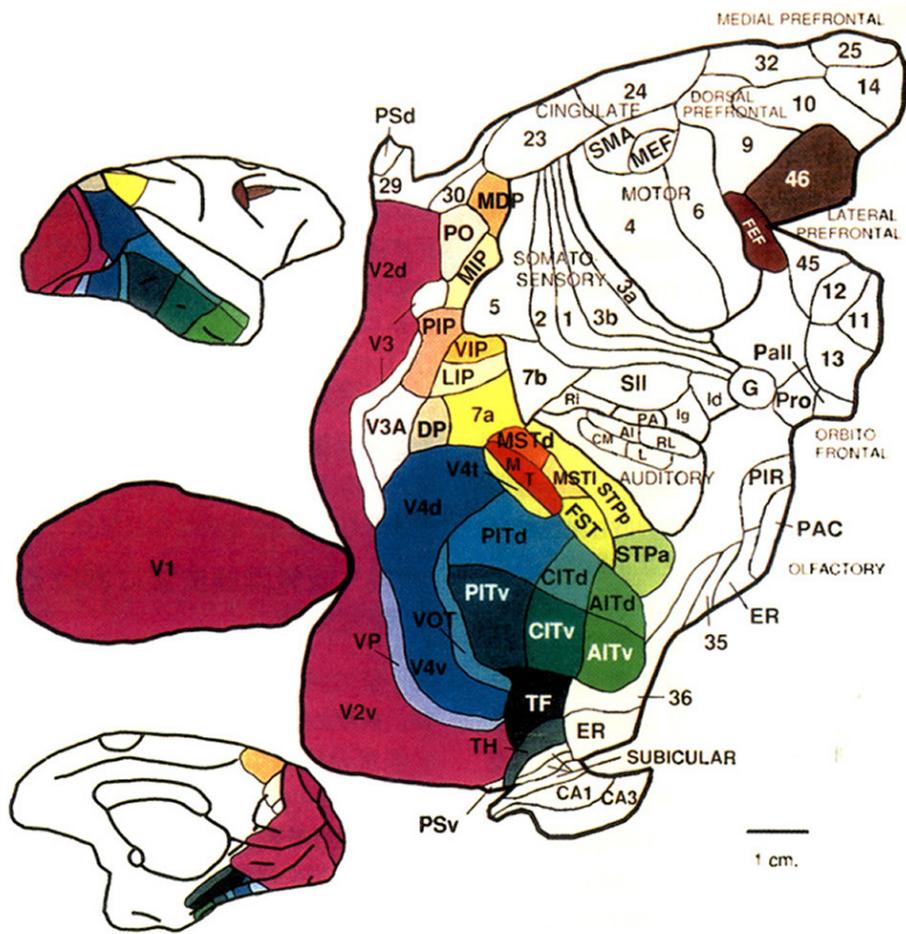
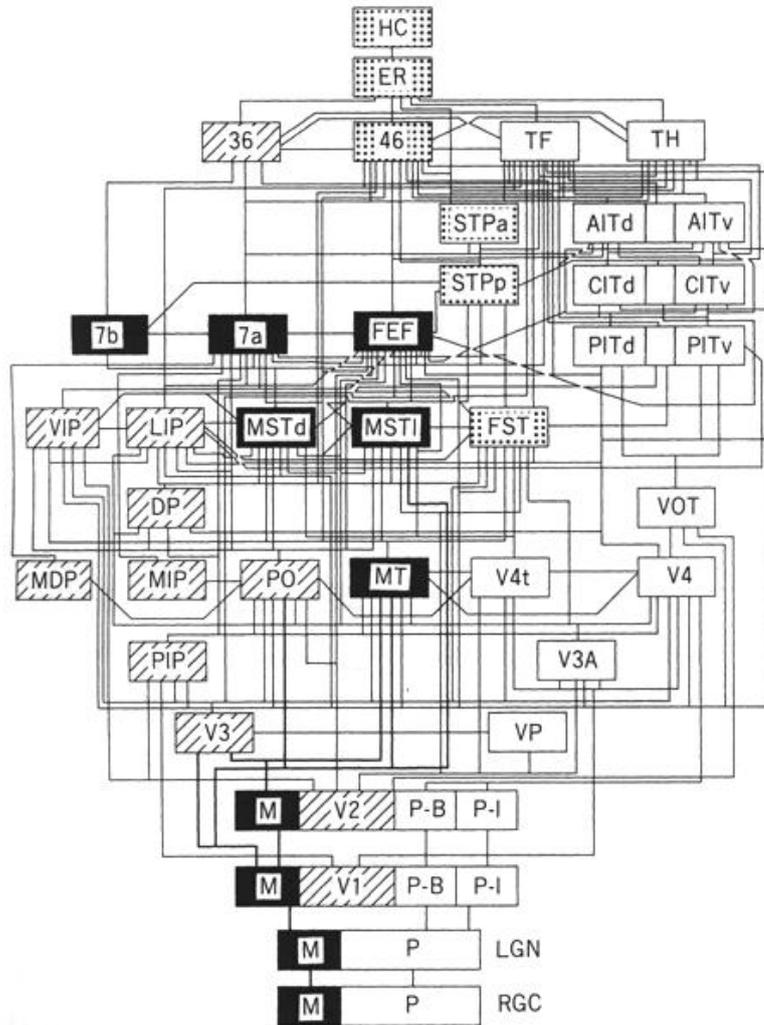


図 24: 視覚野の展開図



- 主として大細胞入力を受ける領野
- 大細胞入力が強いと考えられる領野
- 大細胞/小細胞入力が収束する領野
- 主として小細胞入力を受ける領野

図 25: 視覚野の結線図

ダマジオとダマジオ (Damasio and Damasio, 1992) の主張によれば、側頭葉の前部から中部にかけての皮質に損傷がある患者では、単語の想起障害を生じる。概念の保持は正常だが、自分の知っているものに対応する単語を想起できず、わかっている名前を言えない。単語の想起の障害は、想起しようとしている事物のカテゴリーによって異なっている。例えば道具に関する名詞は、動物、果物、野菜に関する名詞より想起しやすい。このような患者は動詞についての障害はない。また、語彙を媒介する特定の部位が存在する。概念と単語生成を媒介するこの神経回路は後頭葉から側頭葉にかけての部分に広がっている。一般的な概念の媒介系は左側頭葉の後ろの方にあり、特殊な概念の媒介系は、左側頭葉の前方の側頭極付近にあると思われる。以上のことはゲシュヴィンドが 1965 年に主張していたことでもある、すなわち“言語は、ウィルニッケ領野で「理解」されるのではない”(Geschwind, 1965, 邦訳 p.160)

8 結びつけ問題

視覚野における高度に体制化された分業体制は、個別に分解された諸特徴がどうやって統合されるのか、という疑問を生む。この問題は**結びつけ問題 binding problem**として知られている。感覚情報を適度な複雑さの特徴に分解して、その組み合わせとして捉える場合に、最終的に感覚情報をどのようにして一つのものとして、どのようなメカニズムで統合されているのだろうか。

演習 8.1 結びつけ問題 *binding problem* について考えよ。どのような解決方法が考えられるか。ショートレポートを書け。メールの宛先は BrainScience2009@ml.twcu.ac.jp とし、かならず自分宛に Cc: すること。メールの件名は「20091016-自分の学生番号」とすること。提出期限は 10 月 23 日午前 09:00。

結びつけ問題は、外界を認識する際に、脳の中でテレビスクリーンを見ている小人を想定するホムンクルス問題と密接に関連している。小人を想定してしまうと無限後退が始まる。内部の仮想現実の主観的な気づきがなぜ起こるのかという問題は、処理過程の客観的対応物がどのようなものであれ、問題を解いたことにならない。これは意識のハードプロブレムと呼ばれる。

8.1 再び脳の中の小人：ホムンクルス問題

視覚情報処理過程を細かく見てきた。しかし、どこの過程を持ってして視覚的認識が行われているのかを示してこなかった。視覚情報処理過程を見ると、視覚野は入力信号を細分化し、そこ処理を複雑にしているように見える。ということはここでもまた、ホムンクルス問題が解決しないということを意味する。我々の視覚認識に脳内の多くの部位が関与していることは確かだが、どこで認識が生理つるのかについては明確な答えがまだないと思っても良い。

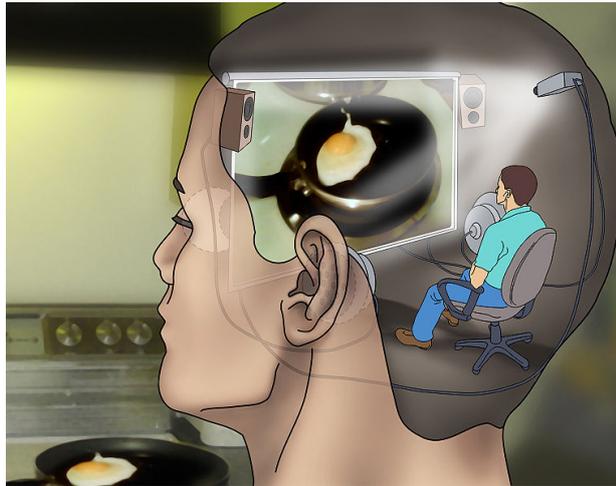


図 26: 再びホムンクルス問題

参考文献

- [1] Antonio R. Damasio and Hanna Damasio. Brain and language. *Scientific American*, 267:88–95, 1992. 伊藤正男監修、松本元編、別冊日経サイエンス 107「脳と心」第 8 章、「脳と言語」岩田淳・岩田誠訳、日経サイエンス社、1993.
- [2] H. Damasio, T. J. Grabowski, D. Tranel, R. D. Hichwa, and A. R. Damasio. A neural basis for lexical retrieval. *Nature*, 380(11):499–505, 1996.
- [3] Norman Geschwind. Disconnexion syndromes in animals and man. *Brain*, 88:237–294, 585–644, 1965. 高次脳機能の基礎，河内十郎訳，1984，新曜社.

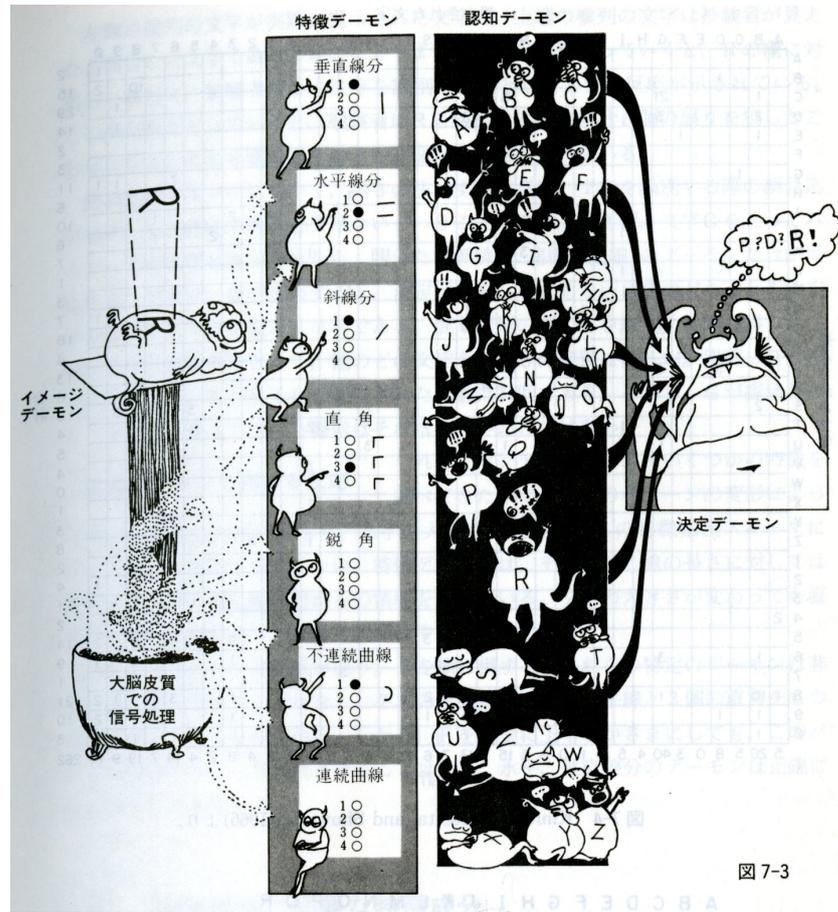


図 27: 認識のパンデモニウムモデル。リンゼイ・ノーマン情報処理心理学入門IIより