

脳の科学 第 6 回 その 2

担当：浅川伸一

brain.science@cis.twcu.ac.jp

霜月 07 日, 2008 年

1 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。
4. 網膜ー外側膝状体ー第一次視覚野 (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。

Hubel と Wiesel は、網膜、外側膝状体、第一次視覚野の受容野に白色スポットを照らして反応を記録した。その結果、ニューロンは、その発火が「オン」すなわち光が当たった時に発火するオン発火ニューロンか、光が消えた時に発火するオフ発火ニューロンかのいずれかであった。

図?? は神経節細胞の応答特性を示したものである。オン中心細胞の場合、光の点が受容野の中心にあたるかで「オン」反応が出力する (図?? 上)。一方このニューロンに光の点を周辺のどこかに照らすと「オフ」反応が出現する。

一方オフ中心細胞の反応では、光が中心のどこかに照らされる時「オフ」反応が生じる。それに対して、光が受容野の周辺のどこかに照射されたとき「オン」反応が出現する。

網膜からの出力である神経節細胞では、その受容野が中心ー周辺の同心円構造を持っている。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応答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知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、視知覚情報処理は、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よいのかもしれない (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 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。

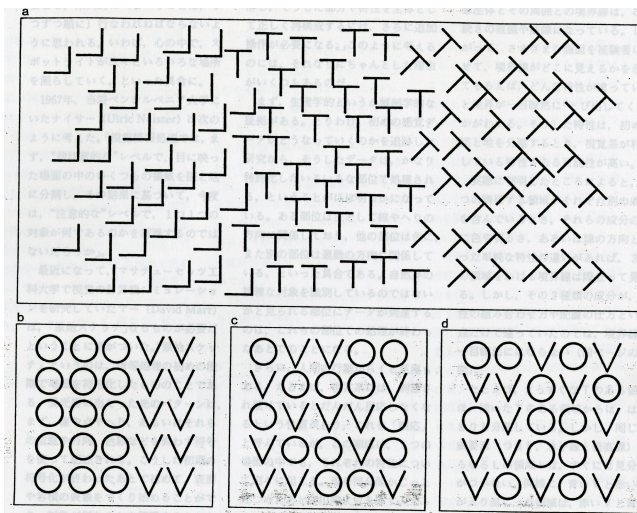
中心窩の情報は、有線皮質ではその領域が拡大されて照射されている。すなわち、中心窩は網膜では小さな部位を占めるに留まっているが第一次視覚野では、中心窩からの入力分析におよそ 25 % が費やされている。

2 特徴統合理論

ポップアウト popout する境界。テクスチャー分離 texture segregation。視覚場面からポップアウトしてくる境界線。

2.1 テクスチャー分離

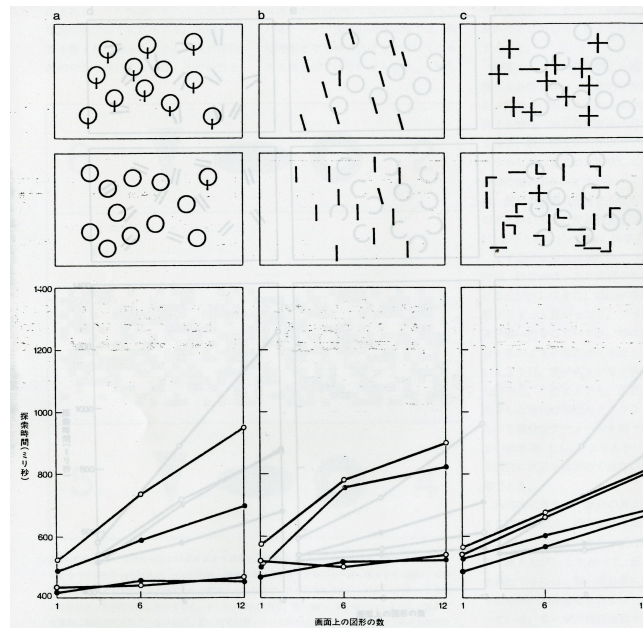
ナイサー U. Neisser は「視覚情報処理では、まず、前注意的なレベルで目に映った場面の中のいくつかの領域を図と地に分割し、その結果に基づいて、今度は注意的なレベルで一つ一つの対象が何であるのかを認識するのではないだろうか」と述べている。目に映る世界の中からどんな特徴が視覚情報処理の初期段階でポップアウトするかが分かる。たとえば、まっすぐな T と傾いた T との境界はポップアウトするが T と L との境界はポップアウトしない。T と L とは同じ構成要素からなっていることに注意。視覚情報処理の初期にあっては、線分の傾きは重要であることが分かる。O と V との境界もポップアウトする。すなわち曲率のような単純な形態の特徴が重要である。ナイサーの言う前注意的なレベルの処理がテクスチャー分離に影響していると考えられる。



2.2 視覚探索

被験者に「埋め草，ディストラクタ distracter」の図形の中からターゲットとなる図形を見つけ出してもらった課題。ターゲットとディストラクタが前注意的なレベルで明確に異なっていればターゲットはポップアウトするはずであり、その反応時間は図形の数によらず一定になるはずである。

図形の中から特徴の結合の仕方が異なっているターゲットを探し出すときには、ディストラクタの数が増えるほど時間がかかる。



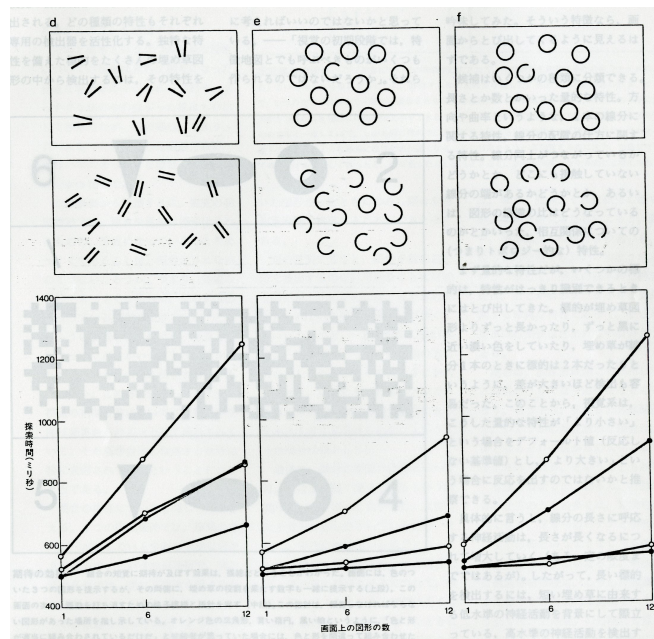
ある特徴を備えたターゲットを探すのか、それとも、ある特徴を欠いたターゲットを探すのかで、視覚探索に要する時間は大幅に異なる。ターゲットが縦線入りの円の場合は、探索曲線はフラットである。ターゲットが円でディストラクタが縦線入りの円の場合は探索時間はディストラクタの数が増加するに従って長くなった。これは縦線という特徴がポップアウトしたためであろう。

同じことが垂直線の中から斜め線を探す条件と、反対に斜め線の中から垂直線を探す条件とでも見られる。これは傾いた線を探す方が容易であった。斜め線がポップアウトしてきたのであろう。

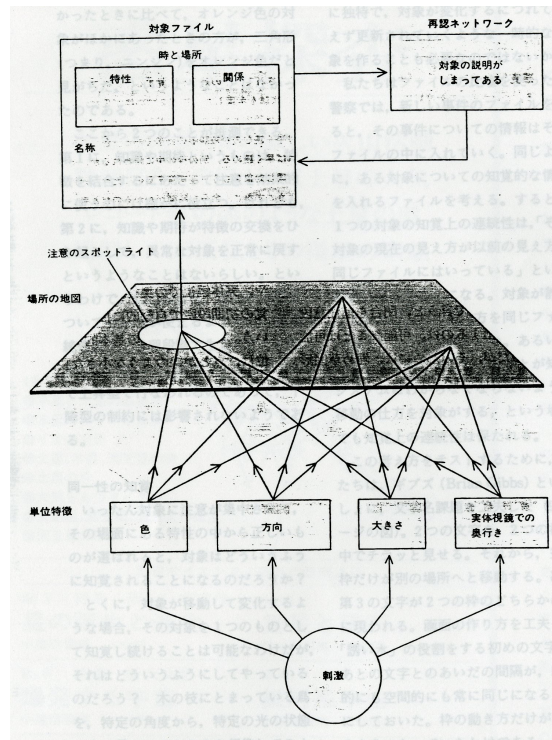
3番目の実験は、単独の線分の中からプラス+を探す条件と反対にプラスの中から単独の線分を探す条件であった。この場合、プラスがポップアウトしたと考えられる。

平行線の中から平行でない線を見つける課題と、その逆の課題とではどちらもポップアウトしなかったと思われる。閉じた円と円周の4分の1を欠いた円ではどちらをターゲットにするかによってポップアウトするようである。

Ann Treisman は、このような一連の実験から、初期視覚の特徴統合理論を提案した。それによると、視覚の初期段階においては、目に映った場面から何種類もの単純かつ有用な特徴を抽出して符号化し、それを何枚もの特徴地図に書き込む。そこには、目に映った世界の中で空間的な関係が保存されているのだが、その空間的關係は、そのままでは、後の処理段階で利用することができない。だが、注意を集中することによって、すべての場所を示すマスターマップを参照しながら、特定の場所にある特徴を読み取ってきて、それを統合することができる。統合された情報は、そのあとの段階で、対象についてのファイルを作ったり、更新したりするのに使われる。さらにファイルの中身は、再認ネットワークにしまってある説明と照合される。そこには、既知の対象の特性や行動、名称や重要度が



記憶されている。



3 錯視

