

# クオリアの神経学的基盤

鈴木 敏昭

## Neurological Bases of Qualia

Toshiaki SUZUKI

### ABSTRACT

The purpose of this paper is to consider the neurological bases of qualia, that is, senses as subjective phenomena. Although there are many theoretical viewpoints about the formation of qualia, mainly two opposite viewpoints exist. One is 'hard problem' viewpoints and the other is 'easy problem.' Hard problem viewpoints, including dualism and agnosticism, do not see qualia as a physiological phenomena. On the other hand, easy problem viewpoints, including brain-reductionism, functionalism, emergency theory and epiphenomenalism, see them as being understood from matters or brain-neurological systems. Agnosticism holds that qualia cannot be understood by the intelligence of human beings, but it does not have enough reasons for its insistence. So we need much more neurological and physiological positive data concerning NCC (Neural Correlates of Consciousness) to examine and understand the mechanisms of qualia phenomena. It is connected to the problems of the existence of senses in the lower animals. But we cannot yet find the appropriate methods to investigate subjective senses (qualia) in the lower animals. If only higher animals have qualia (subjective senses), the brain is necessary for them.

If the lower animals (e.g. a sea squirt or a roundworm) have qualia, only the nervous systems can bring them out. Moreover, do the unicellular animals (i.e. primitive protista) with no neurons have primitive and latent senses? If it is possible, even the phototactic cells can have qualia. The excitement of sense organs is an electric potential that is the inflow or outflow of ions to or from a cell. Where and how are qualia (subjective senses) generated in this process?

There is not enough data to conclude yet.

KEYWORDS: Qualia, Sense, Hard problem, NCC, Brain, Neuron

### はじめに

#### 1. クオリアとは

クオリアとは赤い色の「あの赤」そのもの、「ボン」という音そのもの、「臭い」というあの匂いそのもの、「チクッ」というこの痛さそのものなどのなまの感覚の主観的現象的体験そのものを指す。クオリア自体を言語で表現できないこと、つまり概念化できないことはその本質的な特徴の1つである。従って、クオリアとは感覚・知覚・認知・イメージ・感情・情動などあらゆる心的活動の「なまの主観的な質感」を強調した語であって、感覚だけに限定されるものではない。

#### 2. クオリアをめぐる諸問題

Easy problem 派はクオリアが理解困難なのは、そ

の本性が形而上学的なためではなく、まだ研究が十分に進んでいないためであると言う。現在の科学技術では直接的に脳内の情報処理を観察できないため、クオリアについての諸仮説を検証することは遠い未来になるので、当面はNCC（後述）に注目する方がよいと考える。これには意識の物質・脳還元主義や機能主義などが入る。Hard problem 派は感覚の内容である主観的経験（クオリア）がいかに成立するのかを問題とし、物質＝脳に還元できない、それでは説明できないであろうと見る立場である。これには現象学的立場と不可知論などが入る。詳しくは鈴木（2008）を参照のこと。

#### 3. クオリアの最重要問題

「なぜよりによってこの肉体が＜私＞だったのか」という絶対的一人称性の謎を解く鍵がクオリア

にあるのではないかという見当を筆者は持っている。クオリア問題に関心があり、調べているのはそのためである。すなわち感覚とは感覚するある主体が存在することと不可分である。その主体とは個別的存在である（集合的主体みたいなものはここでは除外しておく）。つまり「どうしてこの主体で感覚することになったのか」という問題がそこに生まれる。クオリアの一人称性とは体験には必ず視点があるということであり、その基盤は「生きられる身体」(Merleau-Ponty)によって与えられる。各個体は自分だけが持つ特異な神経経路を通じて、自分自身の感覚について情報を得る。他者も同様の経路を持つが、それは一つの特定の脳内で形成される。他者の経路を通じて感覚することはできない（チャーチランド, 1997）。直接性と密接に関連するが、意識は個人的で一人称的な視点からしか接近できない。クオリアはあくまでも「私」という視点に対して特異（各個）的に存在する（茂木, 2004；ネーゲル, 1989）。ただしクオリアが動物にも体験されるなら、「私」というより主体（プリミティヴな水準も含めて「心」と言われるものの「担い手」である）と言った方がよいかもしれない。主観・感覚が存在することの謎、とりわけその「各個」性（感じるのは各主体であるという一「人」称性）の謎がここで問題の根本である。

#### 4. クオリアと脳・神経系

本論文のタイトルに「神経学的基盤」とあるが、筆者は別にクオリアについての脳還元主義に立つわけではない。むしろ逆の **Hard problem** 派に近い。しかし単にクオリアは物質や脳に還元できないとか、異次元であるとか、不可知であるとか言うだけでは説得的でない。その納得できる根拠を明示すべきであろう。脳神経系に還元できない、あるいは二元論であることを論証あるいは証明できない限り、何が問題なのかを浮き上がらせるためにも脳神経系に関するデータを集め、調べるのは必要な作業であろう。

## 第1章 クオリアの基盤としての脳神経系の活動とその進化

クオリア問題を解明するためには脳還元論の立場に立たないとしても脳に関する実証的研究をもっと積み重ねる必要があろう。すなわちクオリアを脳に還元するのではないとしても、脳をその発生の基盤と考えてみることは必要であらう。従って、脳と心理の対応関係（意識相関ニューロン, NCC）の研究もまだまだ不十分である。さらにクオリアの生物学的意義すなわち機能主義あるいは進化の面からの解明も必要である。その上でクオリア＝主観が脳の活動からどのようにして発生（創発）するのか、あるいはしえないのかを明らかにすべきであろう。とりあえず NCC の方向に沿って、諸研究・データによって高等動物から下等動物へと系統発生的により単純なものへと感覚のしくみを遡ってみよう。

### 第1節 心と脳活動の対応（意識と相関するニューロン Neural Correlates of Consciousness, NCC）

#### 1. 対応関係（NCC）の蓄積の必要性

##### (1) 対応関係だけで十分なのか

心は脳の機能であるという立場に立つと解明すべき問題はその対応関係だけである（養老, 1989）ということになる。科学が説明しようとするのは意識と脳の対応関係であり、因果関係ではない、と養老は言う（養老, 1986）。人間は脳のある種のニューロンが一定の活動をしたときに「赤」というクオリアを感じているのかもしれない。この神経相関(neural correlate)を明らかにすれば、クオリアを説明できるかもしれないが、まだ憶測の域を出ない（クリック, 1995）。心に起きることは神経回路網の興奮にすべて反映されるはずなので、（神のように）神経回路網の完全なモニターができたなら、また（神のように）知覚表象を完全に表現できるならば、両者の間に隙間が介在しうる余地はなくなるのではないかと（兼本, 2011）という意見もある。ただし人間は「神」のように完全にすべてを認識できないとすれば、不可知論になるのではないかと。では意識そのものとその発生の仕組みは科学の範囲外ということ

になるのか。完全な対応（タイプ・アイデンティティ）ができて、発生のしくみを明らかにしなければ、主観そのものを説明したことにはならないのではないか。

## (2) 記号としてのクオリア

クオリアは当該の感覚のNCCの周辺部に暗示的に潜んでいる膨大な量のデータから特定の感覚をNCCの活動として明示化するための記号なのだ、という意見もある。例えば、黄色のクオリアとは特定の黄色のNCCの状態を一定時間保たれていることを表す記号なのだ、という（コッホ, 2006b）。しかし「誰・何」がその記号を解釈するのか。

## 2. NCCだけではクオリアは解明できないという見解

(1) 脳の特定の部位を電気刺激すると現実の対象がなくても、見たり聞いたりするリアルな感覚（クオリア）が体験される。夢や幻覚でも同様なことが起こっている（バーンズ&ファン, 2002; デネット, 1998）。これもNCCを例証すると言えよう。しかしこれも主観（クオリア）の発生のしくみそのものの説明にはならない。脳の特定部位の機能と特定の心的機能の間に相関関係があるということは必ずしも脳のニューロン活動が意識を生み出すということにはならない。意識の発現に脳の総合的なニューロン活動が不可欠とはいえ、物理化学的次元の脳活動からそれとは異次元の主観的意味内容をその要素とする意識に至るメカニズムは分からない。ある物質の過不足が意識に影響することから脳活動が意識の基盤になることは認められるが、意識を生じさせるメカニズムが分からない限り、意識が脳活動によって（のみ）生じるとは言えない（本山, 2003）。

(2) 物質的なもの（脳）の生起と心的なものの生起の相互関連をどんなに詳しく積み重ねてもそれ自体では心的なものがどのようにして物質的なものから生成するののかの答えにはならない。だからHard problemの解明にとってそれらの研究が無駄だとか不要だというわけではない。むしろ必要である。ただし人間の能力的限界からこの問題を決して解明することはできないとする見方もある（Maslin, 2001）。最近、シナプスの神経伝達物質

の分子レベルでの受け渡しの様子が捉えられるようになったので、より精密なNCCが明らかになるであろう。しかしHard problemとEasy problemという用語は研究の一般的困難さの程度を言っているのではなく、物質から心がどのように生まれるのかをめぐっての問いの質を問題にしているのである。心は脳という物質の機能であるとか随伴現象であるとか言ったのではなんの説明にもなっていないことが理解できるかどうかである。

(3) メルロ＝ポンティによれば、心的事実と生理的事実を一対一対応させることは正しくない。いずれも行動の様式という1つの全体的活動の2つの面なのである。心理学はその様式を記述し、生理学はその物質的基体を指定するのである。後者も前者と同様に理念的分析なのである。機能は実在性を持つのであって、諸器官・基体が存在することの単なる帰結ではない。例えば、空間的視野の構成は適応の機能が連合野の構造を生み出した結果である。空間知覚の生理学的問題は要素論的に網膜の各点の局所標識をただ連合回路に移し替えるだけでは解決しない。我々は単に<もの>を知覚するのではなく、例えば、日用品を知覚するのである。さらに現在見えている具体的な各点は現在の定位を持つだけでなく、一連の潜在的定位（潜在的空間）をも持っていて、その現在とは別の視座の中で現在の各点と対応されるのである。それによって安定した空間移動ができるのである（メルロ＝ポンティ, 1977）。ギブソンのように有機体が環境の中で行動的に適応しているという事実から出発すべきだということであろうか。それにしても心的なものの成立自体はここでは問われていないのではないか。

## 3. クオリアの発生は不可知であるという見解

(1) 斎藤は感覚（クオリア）と中枢（脳）の関係にはいかなる因果関係もなく、単なる相関関係しかない、と言う（茂木・斎藤, 2010）。これはクオリアの反脳還元論からの見解である。

(2) 永井によれば、脳内の物質的過程からどのようにして主観の感覚が生じるのかは永遠に解明されない謎である。なぜなら脳と感覚・心との関係は外的な関係で、偶然的で仮説的な関係であり、感覚・心

にとって脳神経系は不可欠とは言えない、と言う。表情や動作や発言の方が感覚・心と内的な関係にある。つまり必然的關係と言っている(永井, 1995)。しかし脳と心は外的で偶然的な関係と考える論拠、従ってNCCの蓄積をいくら重ねてもクオリア・心の発生を明らかにすることはできないという論拠をもっと詳しく言うべきである。

## 第2節 高等動物の感覚

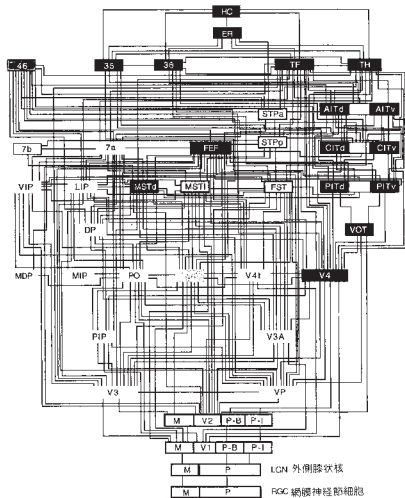
### 【1】視覚の成立過程

脳の活動からいかにしてクオリアが成立するかについて最もよく研究されているのが視覚系である。そこでニューロンの活動がどのようにして視覚という主観的体験を生じるのか。クオリアの代表である視覚系を取り上げて、その神経生理学を見てみよう。ただしまだ脳の活動の知見が不十分すぎる。脳イメージングの技術がさらに発展して、NCCの精密なデータが豊富に集まれば、より確かな構造が分かるだろうが、今はまだ不正確な見取り図にすぎない。

#### 1. 視覚系の神経回路

##### (1) 視覚系の階層構造

視覚系の神経経路は網膜の視細胞(RGC)から連合野(CIT)に至る十数段の階層構造を持つ(マ



異なる視覚野間の接続。図の下方にあるRGCは目の網膜神経節細胞であり、LGNは視床の一部を示す。これが四つに分かれた第一次視覚野(V1野)へ投射し、そのすぐ上では四つに分かれた第二次視覚野(V2野)へ行く。上のHICは海馬の意味で、ERはそこへ連なる内側嗅頭である。

図1. 視覚神経回路図(クリック, 1995)

カクザルの視覚神経経路図, 図1)(クリック, 1995; 道又・岡田, 2012; 村上ほか, 2001)。1次視覚野では6層の層構造が見られる(伊藤監, 2003)。

図1を見ると、ある領野から他の領野への接続は同じレベルか1つ上もしくは下のレベルへの接続が大部分だが、中にはレベルをかなり飛び越えた接続もある。なおV4野はV1野へ逆行投射するが、V1野からV4野への順行投射はほとんどない(クリック, 1995)。

#### (2) 機能単位(モジュール)

視覚的アウェアネス(クオリア)の基盤となる脳内の視覚情報処理機構はおよそ30のモジュール(色, 形, 運動など)を持つ機能単位から構成される。モジュールの発見は視覚的アウェアネスの局在論(デカルト的劇場モデル)の素地を作っているが、それに対して、意識の非局在性, 分散的形式を主張する立場もある(酒田・外山編, 1999)。

#### (3) 脳からクオリアの発生へはブラックボックス

知覚研究には知覚現象(クオリア)のレベルから解析するトップダウン的アプローチ(知覚の間主観性に依拠)と単一ニューロンの振る舞いから出発するボトムアップ的アプローチの両面からの解析が必要である。例えば脳磁気刺激法(TMS)により、視覚皮質の神経活動に干渉すると磁気刺激と反対側の視野内に人工盲点を現象させることができる。磁気に影響されたニューロンの予想される発火パターンがどのようにして盲点として主観的知覚現象となるのかは未だに「ブラックボックス」であり、不明である(図2)(荻阪編, 2002)。

## 2. 視覚系神経回路の各部位

### (1) 網膜の神経活動

物の形を主として識別する桿体細胞の外節部にあるロドプシンという物質に光が当たると光のエネルギーを吸収してメタロドプシンという物質に変化する。これが引き続く連鎖反応(G蛋白質の活性化など)を起こして桿体細胞の外節部の膜電位に変化を引き起こす。光が当たらないと $-30\text{mV}$ の膜電位が当たると他の細胞と同じ $-70\text{mV}$ にまで下がる(過分極)。つまり外節部では光刺激が当たらない方が活動電位を生じる(興奮する)ことになる(ON型



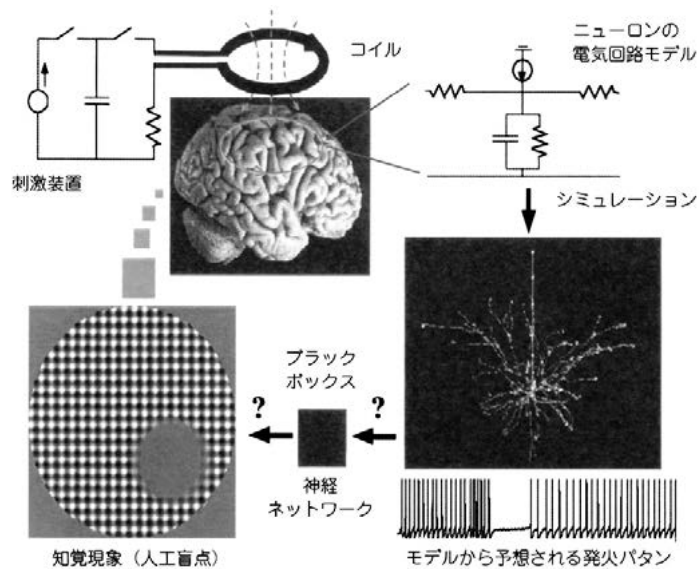


図2．脳磁気刺激法と人工盲点（苧阪編，2002）

双極細胞)。この情報が次の双極細胞に伝達されると逆転して光刺激がある状態で断続的に興奮し、ないときは興奮が止まる。錐体細胞は光の波長に応じて3つの異なる種類のオプシンという物質によって色が区別される。電位の変化のしくみは桿体細胞と基本的に同じである。興奮は双極細胞の次の神経節細胞に伝達され、次に脳へと向かう(池田, 2011)。はたして感覚器の刺激受容体で電気信号に変換される時点でなんらかの主観的感覚(クオリア)が生まれるのか、それとも脳もしくは中継部で初めて感覚が生じるのか。

## (2) 外側膝状体

ネコでは第一次視覚野から外側膝状体へのフィードバック繊維はフィードフォワード繊維の10倍もある。情報を選択的に調整しているという説があるが、その働きは未解明である(コッホ, 2006a)。網膜の情報を大脳へ中継する部位で、6層に分かれて、視野の写像がなされる。すなわち網膜上の位置関係が局面上の位置関係として保存されるような規則性がある。網膜中心部の視野が外側膝状体で大きい面積を占め、中心視の弁別閾が細かいことに対応している(伊藤監, 2003)。

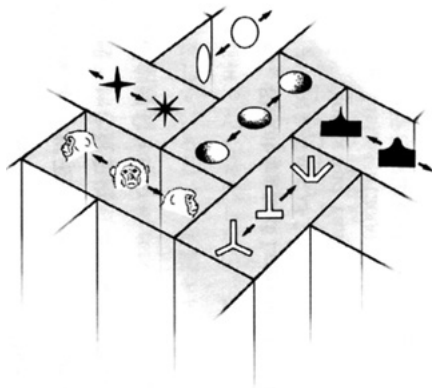
## (3) 上丘(SC)

網膜は外側膝状体(LGN)だけでなく、上丘にも投射している。ただし投射しているのはM細胞だけであって、色の識別に関するP細胞は投射していない。従って上丘は色の識別には無関係と思われる。上丘はほとんどの脊椎動物では視蓋に相当する。これは下等脊椎動物の主要な視覚システムとなる。つまり動く物への無意識的な自動的応答を起こさせる(クリック, 1995)。上丘は魚類、両生類、は虫類にとっては視覚処理の最も重要な器官である。上丘は表面層、中間層、深部層の3層から成り、表面層は網膜の神経節細胞から位相保存的(トポグラフィカル)に入力を受けている。より深い層は眼球運動を引き起こすのに関わっている(コッホ, 2006a)。視覚伝導路の1つである膝状体外系の中継点にある上丘背面の表層には整然とした網膜部位再現が見られる。そこでは視野の中心付近が周辺野よりも拡大されて再現されている(福田・佐藤, 2002)。

## (4) IT野(下側頭葉)

ITの中のAITが純粋な視覚処理の最終段階である。AITには位相保存的な構造はほとんどない。またAITのコラム構造には顔、角、陰影などの複雑な形態特徴をコードしているニューロンが集まって

いる (図3) (コッホ, 2006a)。



物体に共通する抽象的な部分のためのコラム構造。サルの IT 野の前部(AIT)において、顔、角、陰影のついた図形のような、高度に複雑な形態特徴をコードしているニューロンが集まってコラム構造を作っている。人間にも似たようなコラム構造があると思われる。fMRI でコラム構造を確認できるようになるかもしれない。

図3. AIT のコラム構造 (コッホ, 2006a)

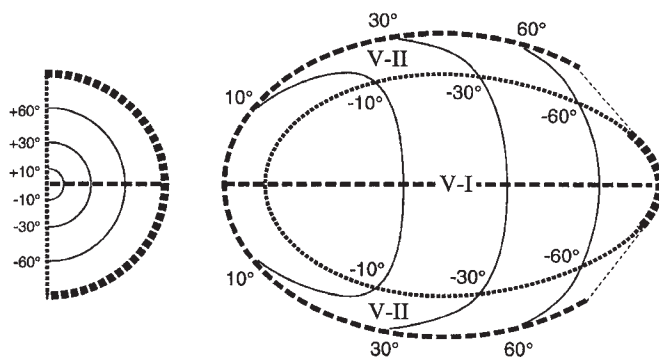
(5) TE 野

中程度に複雑な図形に選択的に反応しているようである。顔については単純化しない元の顔そのものに反応する (伊藤監, 2003)。

(6) V1 野・V2 野とマップ

網膜からの情報は LGN にマップされるが、同様に LGN からの入力も V1 野にマップされる。このマップの形はかなり歪んでいる (ヨザルの左視覚野

皮質の模式図, 図4)。なお V2 野のマップはさらに変形している (クリック, 1995; 福田・佐藤, 2002)。V1 は視野全体の中にある線や縁を捉え、脳の中の地図上にそれを記すために働いている (バーンズ&ファン, 2002)。V1 野には外側膝状体と同様の視野写像があるが、細胞の興奮が点ではなく、傾きなど方位選択性などによる (伊藤監, 2003)。網膜から視床の外側膝状体を経由して送られてくる視覚情報を最初に受け取る第一次視覚野でのニューロン発火は視覚的アウェアネスには関与しない。クリックとコッホによれば、それより高次の前頭前野に意識の座があるとする (図5)。しかし彼らはその主観性や意識がどのようにして宿るのかという問題には答えていない (茂木, 1999)。V1 は網膜と同様に視覚に必要なではあるが、現象としての意識経験には直接寄与しない。V1 は無傷でもそれを取り囲む皮質が欠損していると視野に欠損を生じる。V1 は見えていないものにも活発な反応性を示す (コッホ, 2006a)。ある調査では目を開いた状態で睡眠中の猫に図形を「見せて」V1 野のニューロンの活動が調べられた。その結果、睡眠中も覚醒時のように反応が見られた。ただし覚醒時の方が皮質の上層では変化がないが、下層(5層・6層)では活発になった。ここから皮質の上層の活動は無意識的であり、下層の活動が意識に対応しているのではないかという推測が可能だがまだ実証されない



ヨザルの左視覚野の模式図。右図は、V1 野と V2 野のみを示す。左図は、右半視野を示している。数字は視角度 (目の中心は 0° の所にある)。V2 野が二つに分離していることにも注目。

図4. V1 野での網膜部位再現 (クリック, 1995)

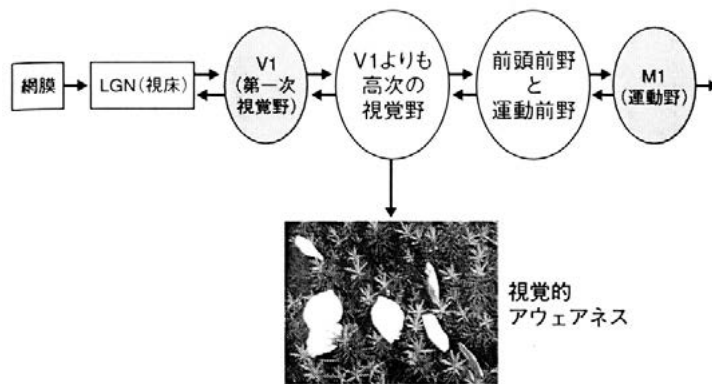


図5. 視覚意識の発生（茂木, 1999）

い。皮質の中で第5層の錐体細胞は特殊な「爆発的」発火をする。この錐体細胞の樹状突起は第1層にまで伸びており、逆行投射を受けている。第5層の錐体細胞の発火はいわば皮質の「計算結果」を表しているのかもしれない。これが知覚の発生と関係あるのかはまだ何とも言えない。さらに何らかの反響回路が必要なかもしれない（クリック, 1995）。視覚に関して言うなら、V1を失った患者は志向的クオリアは持つが、目を開いて初めて生じる感覚的クオリアは持つことが出来ない。ただし初期感覚皮質野は感覚的クオリアを生み出す必要条件であるが、十分条件ではない。V2, V4, IT野, MT野などに向かうニューロンネットワークが必要である。V1を失っても、MT野に視覚情報が入力されることで志向的クオリアだけを持つ、いわゆる「盲視」が生じる（茂木, 2004）。V2野はV1野からの順向性の投射を受け、運動方向、輪郭、色の情報をそれぞれ受け取る。V1野やV2野の受容野の内部の刺激が同じでもそれを囲む周囲の刺激が異なれば、内部の刺激に対応するニューロンの活動も異なる。これらは錯視などを生じさせる無意識の推論の神経的基盤と言えよう（伊藤監, 2003）。

#### (7) MT野とV4野とMST野

MT野（サルではV5野）は網膜関連マップを持つが、V1野、V2野から入力を受け、動く刺激によく反応し運動方向に選択的である。V4野は左右

眼視差選択性を持ち、方位、奥行きに反応すると思われる。光の波長すなわち色に選択性を持つ細胞もある（伊藤監, 2003；クリック, 1995）。MST野背側部は処理する視野が広く、運動方向選択性を持つ。自己運動の抽出も行っているようである。MST野腹側部は静止物体の背後の動きを捉えるようである（伊藤監, 2003）。

#### (8) 大脳新皮質全体

視覚系における感覚入力の終着点是新皮質の至る所にあると言えそうである（ケアンズスミス, 2000）。視覚性連合野は視覚系の階層の頂点に位置し、視覚認知の終着駅である。頭頂連合野で位置の認知（空間視）、側頭連合野で形状の認知（形状視）が行われる。頭頂連合野には位置に関するさまざまな反応選択性を備えたニューロンがある。側頭連合野にも形状に選択的に反応するニューロンがある（酒田・外山編, 1999）。感覚モダリティに対応して大脳皮質の各感覚領野のニューロンの構造や性質に違いがあるのか。例えば視覚野と聴覚野のニューロンそのものに何か違いがあるのか。つまりニューロンのどういう違いが感覚モダリティのクオリアの違いをもたらすのか。

#### (9) 人工視覚

眼鏡に装填された小型カメラから電気シグナルを脳内に植え込まれた微小電極の配列を介して視覚皮質に直接送って、盲人が見えるようにする試みがな

されており、この人工視覚とでも言える実験は視覚皮質において視覚が成立することを実証している（図6）（チェルナー，2003）。

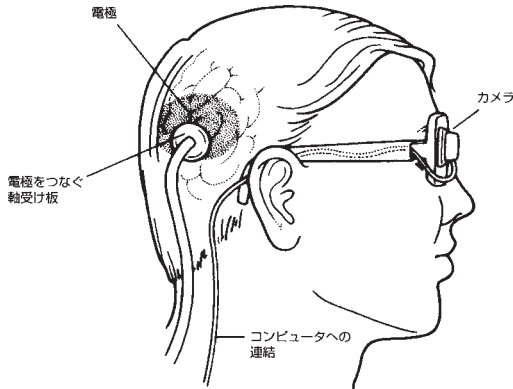


図6．人工視覚（チェルナー，2003）

### 3. 「認識細胞」とニューロン群仮説

一つのニューロンは興奮の単純なオン／オフのスイッチではなく、それ自体が小さな脳のような働きをしているらしい。つまりニューロンは情報をただ伝達するのではなく、ふるいにかけたり、優先順位をつけたりしている。また動きやコントラストにのみ反応するなどの特殊化が見られる（カーター，2003）。コノルスキーによれば、求心系のより上位のニューロンほど視覚入力より複雑化する側面に反応することになり、いわゆる「おばあさん細胞」（「認識細胞」）が生じるに至る。実際に個々のニューロンが受け持つ視野の範囲は高次になるほど広くなり、下側頭連合野では視野の半分をカバーする広い受容野を持つニューロンが見られる。つまり処理が進むにつれ、次第に情報が一つのニューロンに統合されていくと考えることができる。（視覚ニューロンが受け持つ受容野は視覚系回路の後の段階に進むほど大きくなる。これは一つのニューロンに集束する視覚野内の情報が増えることすなわち分析から統合への過程を示す（本山，2003）。）しかしそのようなニューロンの数が多くないという報告もあり、難点も指摘されている。それに対し、単一のニューロンではなく、いくつかのニューロンがグループとしてある知覚を担っているという「ニュー

ロン群仮説」もある。今では個々のニューロンを認知の単位とするコノルスキーの考えよりも Hebb のニューロン群という考えが重視されている（ポスター＆レイクル，1997）。現在では「おばあちゃん細胞」のようなものが存在するとは考えられていない。アンサンブルと呼ばれるシナプ的に接続された細胞の小さなセットが処理の階層の下位レベルの細胞から収束的な入力を受け取り、顔、複雑な光景などを表象すると考えられている（ルドゥー，2004）。神経回路を構成するニューロン同士は互いに興奮させ合うように連絡しているので、あるニューロンが伝えた情報は再びそのニューロンに戻ってきて、結果としてニューロンが周期性をもって応答する。このようにニューロン群が刺激の種類に応じて周期の異なる応答を見せると考えられる（矢沢サイエンスオフィス（編），1992）。つまり Edelman の言う再入力信号伝達（脳に局在するニューロン群同士の情報伝達）によって知覚を司る各脳領域の働きを結びつけ、椅子とかおばあちゃんを感知するとされる。局在する無数のニューロン群（マップ）を一括し、運動パターンなどあらゆる情報をつなぐ入れ子構造の超大型ニューロン群（スーパーマップ）とも言うべきシステムが作られる（レイティ，2002）。

### 4. 特徴選択性コラム

IT 野（下側頭葉皮質）は後半部の TEO 野と前半部の TE 野に分けられる。TEO は V4 から主な入力を受け、TE に出力する。TE が腹側視覚路の最終ステージとなり、TE からは TF, TH, 前頭眼野（FEF）、前頭前野（46野）あるいは背側視覚路の 7a などに出力する。TE では視野地図は認められず、複雑な図形を処理する。実際の物体に対応するほど具象的ではないが、一側の TE には約2000個の特徴選択性コラムがあると推定される。これらのコラムの活動の組み合わせによって世の中の物体の視覚特徴が表現されると考えられる。サルで明らかにされた以上の構造と機能はヒトでもいくつか相違も見られるが、基本的には類似していると考えられる（福田・佐藤，2002）。サルの MT 野の中の運動に関わるニューロンが集まったコラムの1つを刺激すると運動



方向判断がそのコラムが担当する方向に変化することが見出されている（村上ほか，2001）。

## 5. 網膜部位再現

### (1) 体性感覚野のマップ (somatotopic map)

マウスの頬髭の場合は視床からの軸索が大腦皮質の第4層に投射し，100ミクロンほどのコラムを埋め尽くすように広がる。1層から6層までを貫く直径100ミクロンほどの円柱が頬髭1本に対応する受容野である。これらのコラムは頬髭の配列と同じ位相で整然と配列されている（中村編，2006）。

### (2) 皮質のトポグラフィカルな投射

ホシハナモグラの鼻はヒトデのような形をしており，11本のヒダ様の器官が付いている。これは非常に敏感な触覚となっていて，目の代わりをする。この末梢器官から受ける大腦皮質の領域は大きく，やはり11本の縞になっていて，末梢器官の形を反映したトポグラフィを示している。似たようなトポグラフィは霊長類や人間でも見られる（岡本編，2008）。右および左半視野の網膜上の視覚像はそれぞれ左および右視覚皮質へ投射され，規則正しい地図を形成する（エクルズ&ポパー，1986）。視覚情報は網膜で受容され，視床の外側膝状体（LGN）を経て大腦皮質一次視覚野（V1など）に伝えられる。大腦皮質では32に及ぶ視覚関連領域が区別されている。一次視覚野で処理された情報は後頭連合野から側頭連合野あるいは頭頂連合野を経て前頭前野に出力される（福田・佐藤，2002）。視覚皮質はニューロンから成る薄い二次元の皮で，その表面のニューロン活動は網膜のニューロン活動のかなり忠実な反映である。放射性同位体を用いて合成したブドウ糖をサルの血流に注入し，サルの眼をある対象に向けて固定すると視覚皮質にその対象の内部コピーが放射性ブドウ糖で色づけされて形成される（図7）。従って皮質表面は一種の映写スクリーンであり，両眼は映写機である。脳は固視細胞と呼ばれるニューロンを持っていて，視覚皮質の表面全体に胡椒を振り掛けたように散在している。それは両眼の固視奥行きにおける対象の存在をコード化している。これが立体像を可能にする（チャーチランド，1997）。このようにイメージの直接的基盤は初期感覚皮質（視覚

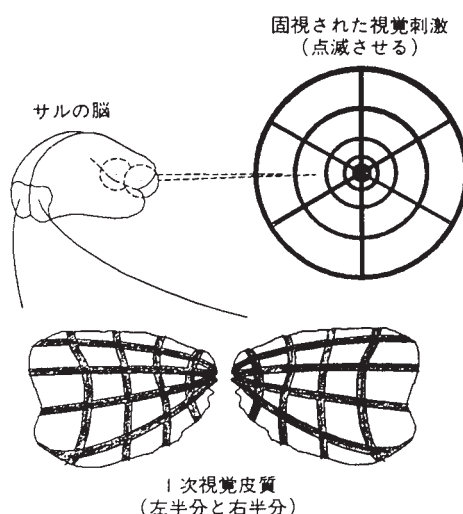


図7. 一次視覚皮質での網膜部位再現（チャーチランド，1997）

であれば後頭葉にある初期視覚皮質）に生じるトポグラフィ的に構造化された神経的表象にある。そこは一つの中枢ではなく，野の集合体である。それらの野が形成する複雑な相互結合のメッシュから表象が生まれる。つまり一つの「デカルトの劇場」は存在しない（ダマシオ，2000）。しかし感覚野上の写像は知覚における対象の映像とは何の関係もないという見解もある（ヴァイツゼッカー，1975）。

### (3) 脳ニューラル・パターンとイメージ・パターンの対応

サルなどの研究から刺激により生じたニューラル・パターンが心的なイメージ・パターンと類似していることがわかった。原始的な視覚装置を持つクモヒトデの仲間の無脊椎動物は身体各部にある小さなカルシウムレンズが入射する光を各レンズの下にある領域に集中させ，その神経を活性化させる。そのパターンによって逃走行動が解発される。そこに心的なものの萌芽が見られるのかどうかは不明である（ダマシオ，2005）。

## 6. 視覚情報の自己回帰（循環）

視覚野皮質の柱状構造で1本ずつの柱を情報が移動し，柱が束ねられてさらに高次の統合が行われるが，この間に情報の自己回帰（循環）が行われることが統合をもたらすと考えられる（木下，2002）。

意識は視床と皮質の結合なしにはありえない。それには特定の皮質野に残響回路（皮質の4層と6層に關係する）が存在し、それが強く投射して意味のある残響を生みだすことが不可欠であるという見解もある（クリック、1995）。人間での実験で高次領域へ行った信号が一次視覚野に戻ってくることが、視覚的意識の成立に必要なことが証明された、という。ただしどうして信号が戻ってきたら、主観的に体験する意識が成立するのかは明らかではない（坂井、2008）。大脳皮質の感覚関連領野の間の結合（投射）は双方向性であり、下位領野から上位領野への順行性結合と上位領野から下位領野への逆行性結合の相互作用によって感覚入力より完全な解釈が達成されていくと考えられる。視覚系では逆行性結合が主に終止する1層の軸索終末の相手のほとんどは錐体細胞の尖頭樹状突起の末端部であって、シナプス電位が細胞体に引き起こす電位変化は小さい。このように逆行性結合は持続時間は長いが引き起こす興奮性電位変化は小さいという特徴を持つ。また逆行性結合は順行性結合と違って点对パッチの広がりを持って投射する。すなわち興奮は下位の細胞を含めてその周辺の細胞にも伝わる。このように外側膝状体→1次視覚野→V2野という一方向の直列結合ではなく、順行と逆行の結合ループを興奮が回りながら次第に多くの細胞の活動が動員されていくと思われる（西田・外山編、1999）。視覚皮質のニューロンは皮質への投射の約10倍の下降軸索をバックして外側膝状核の中でシナプス結合を行っている。このパターンは脳全体に見られる。これは短期記憶の初歩的形態であり、これにより直前の状況を考慮に入れて現在の状況を表現することが可能になる（チャーチランド、1997）。

## 7. 期待・予想・判断する脳

サルの実験で光を見る方向によって報酬の出方を変え、学習した方向へ「期待」が生まれ、その期待に基づいて反応するようになる。その光が報酬を意味するということを脳のどこかが「知って」いて、その信号がドーパミンニューロンに来て、それを活動させるのである（彦坂、2003）。このように安易に脳の活動を「擬人化」すべきではないだろう。

脳の「どこか」とは何か。

## 8. 心は身体と脳の相互作用の産物

心は身体と脳の統合およびその環境との相互作用によって初めて理解される。身体は脳の表象に対する基本的話題（内容）を提供しているという。我々の経験に主観性というものを授ける「自己」は多数の脳システムと多数の身体システムが全面的に機能している生物学的状態である。しかし主観性が生まれるプロセスは不明である。対象の表象を支える神経構造でもなく、「自己」の表象を支える神経構造でもない第3の神経構造がある。それは集合域と呼ばれるニューロン集合体である。これが対象を表象している有機体の反応についての表象を体性感覚領域に保持する。また身体状態の信号が脳に伝達されて初めて「生きているという実感の基盤」が形成されるのであるから、「桶の中の脳」はたとえ各種信号が人工的に供給されたとしても不可能であろう。脳の活動は身体との相互作用なしにはありえない（ダマシオ、2000）。

## 【2】視覚以外の感覚

### 1. 嗅覚

#### (1) 嗅覚の神経活動

匂い成分は嗅上皮にある嗅細胞に生えている嗅繊毛にある匂い受容体に結合して電気信号を発生する。それが嗅球に伝えられ、脳へ送られる。匂い受容体に匂い成分が結合すると膜蛋白質のG蛋白質がGTPに変化し活性化し、イオンチャンネルを開き、脱分極（興奮）させる。この活動電位が脳へ伝達される（池田、2011）。

#### (2) 糸球地図

嗅覚器である嗅細胞から神経興奮が脳の側の嗅球の中の糸球へ匂い物質とおおよそ1対1対応で投射している。すなわち嗅球では匂い成分ごとにきれいに区分された「匂い地図」が作られる。マウス嗅覚系の一次投射において、匂い受容体に応じて対応する嗅球の糸球地図では3つの投射ドメインを形成している（三品ほか編、2008）。嗅球の神経興奮はシナプス連結により別の神経で嗅皮質へ伝達される。嗅皮質は進化上古い旧皮質に属する。嗅皮質では異なる匂い成分の興奮が連結され統合される。嗅皮質

の神経回路についてはまだよく分かっていない（森，2010）。視覚系と同様に嗅覚系も感覚器の神経興奮が刺激の物理化学的性質に応じて途中の中継局でマッピングされ、それが皮質で情報処理される。この経路のどこで主観的感覚が生じるのか。嗅覚は比較的原始的な神経の状態を留めている。嗅細胞の興奮は嗅球に伝えられ、僧帽細胞へ伝えられて、嗅球から一次嗅覚野と前頭葉に伝えられて、嗅覚意識が生じると思われる（山内・鮎川，2001）。匂い分子の受容体への結合情報は1000画素のデジタルスクリーン（糸球地図）に表示される。脳はこの匂い地図をどのように読み取るのか。ゾーン特異的に嗅細胞を除去した変異マウスでは、対応する糸球のドメイン特異的な欠如が起き、腐敗臭や天敵の匂いを検知はするが、忌避行動は起きなかった。これは嗅覚系に本能判断のための先天的回路が共存していることを示すものである（三品ほか編，2008）。大脳皮質のないような下等な動物でも単に反射だけでなく、なんらかの感覚があるとすれば、その原始的感覚（主観）はその原始的な脳においてどのように生じるのか。匂いに関わる皮質領野の該当箇所をノックアウトしたら、反応はどうなるのか。匂いの検知は可能なのか。これにより感覚の成立に高次の皮質領域が必要なのかどうか分かるのではない。

## 2. 聴覚

聴覚でも視覚と同様に聴覚伝導路の最終の受け皿である一次聴覚野の活動が「音がする」という意識をもたらす（山内・鮎川，2001）。

## 3. 知覚の基盤としての触覚

触覚は知覚の基礎と言える。触覚は視覚の基盤で、例えば、コップを見て、丸いと感じるのは、乳幼児期にコップを何度も舌でなぞった感覚があるからと考えられる。触覚によって世界は具体的に確信を持って捉えることができる。さらに触覚に伴う固有感覚が自己の身体像の成立にも重要な意義を持つと思われる（山口，2006）。

### 【3】原初的クオリアとしての情動

#### 1. 情念のクオリア性

(1) 「驚き」「愛」「悲しみ」などの情念の価値に関

わる主観的意識は第三者的客観的観点からの科学では取り上げることができない（小林，2009）。感情の根底にある快・不快の情動はクオリアの起源とも思われる（土井ほか，2006）。

(2) 情動はその原初的レベルでは感覚と未分化であり、感受性と言った方がよいかもしれない。もしかしたら単細胞生物のレベルですでに存在しているかもしれない。もしそうなら明確な神経系の出現以前に細胞自体が感受性を持つかもしれない。

#### 2. 心の発生基盤としての情動

意識・表象は知覚やその記憶から直接生じるものではない。意識の起源は感情である。この感情はシリコンに複製することはできない。感情は肉体が複製されなければ複製できない（ダマシオ，2003）。感覚は感情とともに外界や自己の状態を知るための機能として発展してきたもので両者が当初の渾然一体の状態から、感覚は対象性すなわち客観性の方向へ、感情は状態性すなわち自己内部の体験の認識の方向へと分化していったと思われる。感覚の中でも嗅覚、味覚、深部感覚などは感情と分別しがたい。状態性に関わるのは主として視床－脳幹系であり、大脳皮質の活動もこれらから感覚入力を受けている（腰原，1997）。

Wallon (1925) によれば、情動は自動作用から客観的行為への進化の契機をなす。情動の過剰興奮は内的感受性の中にその動機を見出す。そのような有機体の変容にもつばら占められた意識はそれに条件づけられているが、情動に閉じ込められたその系が意識の最初の源である。すなわち主観的なものが情動の領域である。情動の表現機能とは本質的に自己塑形的活動（*activité proprioceptive*）であり、姿勢機能から生じるものである。姿勢はそれに対応する場面の存在を意味する。こうして姿勢は意識の最初の支えとなる（ワロン，1983）。情動はこの姿勢機能の心的実現であり、姿勢機能から意識の諸印象を引き出してくる。情動表現に身をゆだねる各個人において、その表現のシステムはもとからその意味を感じる能力を前提している。情動の素材である緊張性活動では意識と活動は最初は混淆している。意識は姿勢の変動に従うとともに逆に意識がモチーフ

となって姿勢の変動を起こしたり、方向づける。心の状態と身体面での動きとが同時的に調整されるおかげで、つまりそこに相互可塑性があるおかげで、意識が情動とともに登場することができたのである（ワロン、1965）。ただし原初的情動・感受性の「各個」性については視野に入れられていない。感受性という主観である以上はある特定の主体において感じられるわけである。その「特定」ということに関わる問題（謎）である。それが発達上、後の自己意識の「各自」性の謎の源にあるので、Hard problemのポイントの問題と言ってもいいだろう。なおこれは主観の相互主観性の問題とは別個・別次元のことである。

### 3. 情動の脳神経学的基盤

#### (1) 前頭前野

情動的経験は多様相（超様相）的であり、まず前頭前野腹内側部（VMPFC）の活性化として生じ、認知的判断である前頭前野腹外側部（VLPFC）の活動より早く生じる。それはまた神経活動の緊張相として特徴づけられる（Northoff, 2003）。前頭前野皮質内側部（MPFC）は「心の理論」で言う他者の心的状態についての予想・理解に関係することを示唆する研究結果がある（道又・岡田、2012）。原始的自己のかすかな兆候である意識の芽生える基盤は生物学的価値観（動機と情動を司るシステム）を表す神経システムの出現であったと思われる。人間では基本的情動活動と感情を生み出すシステムは原始的な脳幹にある。その中核は進化段階の最も古い中脳水道周囲灰白質（PAG）である（カーター、2003）。

#### (2) 扁桃体

驚き、愛、憎しみ、悲しみ、怒り、歓喜、恐れ、嫌悪などの情動は大脳辺縁系とりわけ扁桃体が大きく関わっている。根本的な快と不快の意味認知と価値評価が扁桃体で行われている。すなわちすべての情報は脳新皮質（視覚情報は側頭皮質）を経て（嗅覚は除く）、扁桃体に集まり、ここでその情報が自分にとって有利か不利か、安全か危険かなどを判断（価値評価と意味認知）した後、視床下部へ送り出されて快・不快の情動を生じる。快の情動と結びついて快感という報酬をもたらす、価値判断を左右す

るA-10という特別の神経もある。ここから前頭葉連合野にも連絡している（NHK取材班、1995）。これらは顔の表情認知にも重要な役割を果たしている。従ってこの間の情報伝達が障害されると種々の感覚刺激の価値評価と意味認知ができなくなり、各種の情動行動の異常が現れる（酒田・外山編、1999）。また扁桃体を切除したある女性は認知機能には異常がないのに、感情が理解できず、他人の表出する感情が汲み取れないし、自分が腹を立てているのすらピンと来ない（レイティ、2002）。これはクオリアはあるのに、それが「生き生き」としていないということ、つまりクオリアとしての感情がないということであろう。

### 【4】覚醒水準と意識（consciousness）の発生

#### 1. 覚醒状態としての意識

意識は科学的概念としては「心」と違って、「ある」（覚醒状態）か「ない」（失神状態）かという2つの状態として考えられうる。意識がない時には心は存在しないとする見方もある。ではそのような意識をもたらす脳の神経生理学的しくみは何か。今のところ推測されるのは大脳皮質のニューロン発火の頻度がある閾値を越えることである。その調節をしていると考えられるのは脳幹網様体賦活系である。もちろんこれらニューロンのシステムとしての活性化は意識の必要条件にすぎない（茂木、1997）。覚醒という意識水準は大脳新皮質と脳幹の網様体や大脳基底核などとの相互作用によって生じる。つまり脳幹が意識水準をコントロールしている。本山によれば、エントロピーが増大するのは物質の原理であるが、物質から構成される脳がどうしてエントロピーを最小限に維持するように機能するのかは物理学的には矛盾である。心が物と違った原理を持って物の内に含まれる精神の芽と協働することによって脳＝物質に秩序をもたらすと考えることができる（本山、2003）という見解もある。

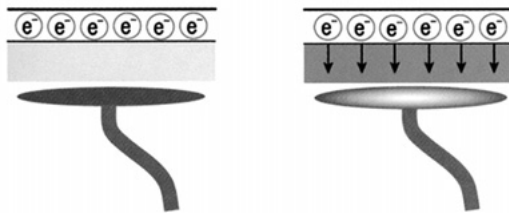
#### 2. 「脳の渦理論」

中田の「脳の渦理論」によれば、脳の熱放射が作り上げる大脳皮質全体の等価なノイズすなわち情報を受け取る準備である脳の覚醒状態が意識の根源である。情報はエントロピーの低いエネルギーとして



脳に届き、そのままでは溜まってしまうエネルギーをエントロピーの高いエネルギーである熱として放出している。なお渦理論は大腦皮質のコラム構造がコホネンのマップと呼ばれる非線形自己形成ニューラルネットと等価の機能素子であることを保証する理論でもある（中田，2006）。中田によれば、意識とは LGS (lattice gas shell) の定常流である。電気信号の皮質への入力とその消失に伴って生じる微量の熱が定常波の「わずかな乱れ」となり、渦波を起こす。この渦波が定常流に沿って ELDER に到達するとその水含有率を変化させ、誘電率を上げる。この定常流は網様体の熱放射によって作られる。定常流と渦波が ELDER の誘電率を統御し、大腦チップ機能を完成させる。この LGS は情報入力のない任意の部分で錐体細胞を発火させ、それがニューロン群の連鎖的活動を惹起させる。そして一部の特殊な LGS のみが意図的活動を開始できる。それは前頭前野における LGS と考えられる（中田，2002）。

LGS の基本を成す構造は ELDER（図 8）と名づけられ、グリア細胞が形成する高電子密度層と皮質の第 1 層に存在する錐体細胞の樹状突起とが作るシナプスのような構造を持つ（図 9）（中田，2002）。高電子密度層と樹状突起の間にはアセンブリーによって水の含有率が調節された空間がある。水より粘着性の低い流体、おそらく  $\text{CO}_2$  を中心としたガス状の流体が存在すると考えられる。神経信号が最終的に到達し消滅するような網様体では熱が発生し、脳内部の熱放射は恒常性の強いものとなり、これが LGS に定常流を作る。この定常流は ELDER の誘電率を制御し、皮質ニューロンの定常的な発火を促



水の含有率が定常状態(左)よりも上昇すると誘電率が上がり、電子の移動が起こる(右)

図 8．渦波と ELDER 構造（中田，2001）

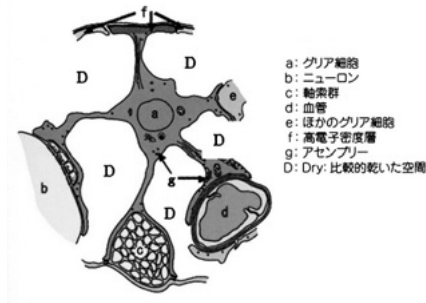


図 9．グリア細胞と高電子密度層（中田，2002）

す。これが意識の根源であると中田は言う。LGS の生理的な定常流が麻酔やアルコールなどで妨げられると意識の変性が生じる。LGS は ELDER を介してニューラル・ネットワークとの結合が常に可能である。脳は決定論的に働くニューラル・ネットワークと非線形でゆらぎを内在する LGS との相互作用が ELDER を介してその結びつきを保ちながら動的に活動する装置である（中田，2001）。しかし定常流と発火がどうして意識となるのかは説明されていない。

### 3. 意識とニューロン同期

同期は意識の発生にとって必要であるが十分条件ではないと思われる。というのは無感覚症の動物でも皮質での同期が見られるからである。ただし意識のすべての側面の神経メカニズムの基本に同期があることは確かなことと推測される（Revonsuo, 2006）。

#### 【5】根源的感觉あるいは共感覚

五感（視覚・聴覚・味覚・嗅覚・平衡感覚）を統合するような、より根源的な一種の感覚（共通感覚）が備わっているように思われる。つまり諸感覚はそれぞれ独自の世界を持っているが互いに関わり合い統一されている。共感覚を仲介するものとして情緒とともに筋肉の緊張（体性感覚）があると考えられる。「体感」と呼ばれる身体感覚は諸感覚の中でも共通感覚に近い（石川・磯貝編，1998；飯田ほか編，1983）。身体と精神（意志）の分離できない原初的内感であるメーヌ・ド・ビランの言う努力感（三輪，1977）も類似のものであろう。外界が身体に引き起こす変化から外界を表象するには 3 つのものがある。①脳幹と視床下部にある生物化学的調節

の状態の表象。②皮膚も含む内臓の表象。③筋骨格組織とその潜在的な動きの表象。外界からの信号は二重である。一つは非身体的な信号である視覚、聴覚という特別な感覚である。もう一つはその感覚が入る皮膚（眼や耳）の場所に由来する身体的な信号である（ダマシオ、2000）。体性感覚(somatosensory)は大きく3つのサブ・システムから成る。第1は内部環境と内蔵で内受容的感覚、第2は前庭と筋骨格で自己受容的感覚、第3は精密な触覚であり、やや外部感覚的である（ダマシオ、2003）。触覚と視覚の近縁性も次のようなことに見られる。盲人に対して視覚イメージを点字のように皮膚感覚で与えると視覚のように機能し、感じられる。モグラやネズミなどでも触覚に当たる器官が視覚と同じような機能を果たしている（イングス、2009）。

## 【6】グリア細胞の役割

### 1. 意識の発生とグリア細胞

ニューロンとグリア細胞は同じ幹細胞から分化してきたものであり、アストロサイト／グリア細胞はニューロンとは異なる形態で経験・記憶を保持し、ニューロンに作用を及ぼすと考えられる。アストロサイト（グリア細胞）は反射のような速い機能ではなく、中枢神経系の比較的ゆっくりとした変化に関係すると考えられる（トリッチほか、2009）。アストロサイト・シンシチウムが形成する「機能的な島」はカオスおよびアトラクター（神経回路の最小単位）を発生させる最初の種子、すなわちモノドやサイコンに相当し、計算論的過程のみならず、感性であるクオリア・心を生み出す、という見解もある。その基盤は複雑系生命有機体の本性にあるという（浅野・藤田、2010）。「機能的な島」がどのようにして心を生み出すのか、そのしくみが明らかにされないことには判断のしようがない。

無脊椎動物ではニューロン間のギャップ結合は膜電位の変化をニューロンからニューロンへ直接伝達する電気的シナプスであり、化学的シナプスより古い起源を持つ。哺乳類の中枢神経系ではグリア細胞がギャップ結合を豊富に有しているが、アストロサイトは活動電位を発生しないので、電気的シナプスとしては機能していない。グリア細胞は受容体への

あらゆる刺激に対して細胞内のカルシウム濃度上昇でもって応答する。それが周囲のグリア細胞に伝播する。藤田・浅野によれば、グリア細胞の活動は電気信号ではないので、どこから来たかという情報を伴わない。それはニューラル・ネットワークの活動、すなわち意識の活動状態の内容を変化させるのみである。アストロサイト・グリア細胞が無意識の活動として意識の背後にある地として表出されると言える。また意識と記憶の形成にアストロサイトが中心的な役割を果たしているという説もある。グリアル・ネットワークこそが「世界内存在」の脳科学的根拠と言えるかもしれないという（藤田・浅野、2009）。

### 2. 原自己（ダマシオ）とグリア細胞

浅野・藤田によれば、脳幹網様体のグリア細胞こそ「原自己」である。「原自己」はグリア細胞の原初的同一性、さらに自己組織性によって保証されている。グリア細胞は脳内における自己と環境の状態を感知し、その反応の総体が自己組織的に応答を生み出す。すでにアメーバから自己の同一性を保ちながら、自己組織的に応答することが見られる。グリア細胞はニューラル・ネットワークに「われ」という同一性の感覚を提供し続ける自己言及点である（浅野・藤田、2010）。「原自己」とは原初的感性（クオリア）を統合するものであり、ミードの役割理論でいう「I」にほぼ対応するであろう。しかし問題なのはその「われ」という主体のクオリアの「個別性」がいかに成立するのかである。そのことに触れられていない。

### 3. ニューロンとグリア細胞の密接な関係

グリア細胞にも神経伝達物質に対する受容体があり、興奮し、カルシウムイオンによってそれが伝達される。つまりニューロンとともに信号伝達をしている。ニューロンのシナプス前とシナプス後にグリア細胞の3者間シナプスが考えられるようになってきた（工藤、2011；水谷編、2008a）。これをトリパータイト・シナプスと呼ぶ。グリア細胞はシナプスを被覆し、シナプス伝達だけでなく、その形態変化と新生などに関与していることが分かってきた。アストロサイトにもニューロンと共通する他種類の伝達

物質に対する受容体が存在し、ニューロンと相互に情報伝達が行なわれている。Hebb の言うシナプス可塑性にも関与している（藤田・浅野，2009）。

【7】神経回路網（ニューラル・ネットワーク）理論とコネクショニズム

神経回路網理論は人間を初めとする高等動物において感覚・知覚・認知などの心的活動が複雑な神経回路網（ネットワーク）から生じると見なす点ではいわゆる「イーゼンブロblem」の路線にあると言える。

### 1. 複雑系としてのニューラル・ネットワーク

意識の同心円理論（Greenfield）によれば、意識とは同時に働いている脳の様々な部位が自己組織化することから生じる創発的性質である。そこには中心になって組織化するものではなく、独自の部位もない。各部位間の相互作用に依存している（ジョンストン，2001）。その相互作用の有力なモデルがニューラル・ネットワーク理論であり、それによって人間の認知過程を解明しようとする理論がコネクショニズムである。ニューラル・ネットワークも広い意味で計算を行っている点ではコンピュータとなら変わりはないとみなす。ただしニューラル・ネットワークはいわゆる複雑系であるため、そこに自己組織性、創発性、カオス、協同現象などの新しい原理が働いている。コネクショニズムは非線形関数である人工神経回路網のグラフ表現の結線に由来するが、線形関数も同様であり、それを多用する統計学もコネクショニズムと言える。コネクショニズムの特徴は結合ではなく、非線形関数にある。従ってコネクショニズムという語は適切ではない、という見解もある。コネクショニズムによれば、日常的推論は非形式的過程である。それはニューロン群の興奮パターン（種々の重みづけ）の変形という非形式的過程を含む。合理的過程ではあるが、その無意識的過程は何らかの推論規則によって完全に捉えられるような過程ではない。それは直観的合理性であるという（戸田山ほか編，2003）。ここで言う直観とは何か。また連想とどう関連するか。ニューラル・ネットワークとしてのワークスペースにおける情報の包括的な利用可能性が意識として主観的に経験され

るのである。そのワークスペースでは少なくとも5種のニューラル・システムが働いている。知覚モジュール、運動モジュール、長期記憶モジュール、評価モジュール、注意モジュールである（Dehaene（ed.），2001）。

### 2. コネクショニズムの諸モデル

(1) エーデルマンは視床－皮質系再入力ループというネットワーク・モデルを提示している。意識の発生に必要なことは進化の過程で爬虫類から哺乳類へ移行するにあたって、視床－皮質系に新たな双方向の結合が現れたことであると考えられる。また皮質と広範に連絡している髄板内核は新たな視床－皮質系の反応を同期させるのに、また高度に再入力的なシステムとなった視床－皮質系の活動レベルを調節するのに重要な役割を担うようになった。この再入力ネットワークの中で知覚カテゴリー化と記憶のダイナミズムが繰り返されていく。意識は記憶と現在進行中の知覚とのダイナミックな相互作用によって生じる。その結果、複雑なシーンの構成要素を識別できるようになる。これが原意識発現の基盤である。原意識を持たない下等動物でもニッチ（生態的地位）で生き延びることはできるだろうが、不利である（エーデルマン，2006）。しかしかにかにして1人称的な現象が生じるのかの説明にはなっていない。脳という物質的システムでフィードバック回路を持っているからといって、それで意識体験が生じるだろうか（本山，2003）。

(2) 単語同士の連想や単語と他の感覚との連想などは神経ネットワークの中で双方向のつながりを持っている（ホブソン，2001）という。しかし意味内容もその要素がすべて脳内のニューロンやネットワークと対応を持っているわけではないであろう。

(3) 非物理主義的機能主義（一人称的機能主義・主観主義的機能主義・ハイエクの機能主義）も広い意味のコネクショニズムと言えるが、それによると知覚とは感覚器の刺激に応じた神経回路の形成による外的事象の「分類」である。すなわち客観的（物理的）に類似した事象は神経回路の同じ集合での神経活動を引き起こすのであり、その共通の回路網の数知覚の類似性をもたらすのである、という（Fe-

ser, 2001)。

(4) ラットはある実験から空間的地図としての表象を持っていることが推測された。これに見るような神経系における情報のコード化に2つの仮説がある。一つはローカル・コード仮説で「一対一」対応仮説であり、ある1つの特性がある1つのニューロンにコード化されているというものである。例えば、ウッディ・アレンの顔だけに反応するニューロンがある。もう一つはベクトル・コード仮説で「多対多」対応仮説であり、複数のニューロンのある反応パターンがある特性に対応するというものである。別の特性には同じ細胞群の別のパターンが対応するのである。後者の方が効率的である。情報の各要素に対応する各ユニットの連結強度が情報貯蔵の実体すなわち表象である（チャーチランド, P. S., 2005）と言う。しかしニューラル・ネットワークの連結強度がどのようにして主観的な表象になるのかの説明されていない。これらは脳の機能状態が心に他ならないという立場であると思われるが、どのようにイコールなのかを説明する必要がある。

### 3. ニューラル・ネットワークと再帰性

#### (1) 再帰的フィードバック

感じるためには神経系が存在し、身体の状態をマップ化したニューラル・パターンが心的パターンやイメージに変換されなければならない。しかし脳の中に一定の事象と関連するダイナミックなニューラル・パターンが存在することは心的なものの発生を説明するのに必要だが十分ではない。現在の知見にはまだ大きな溝がある（ダマシオ, 2005）。

ハンフリーはその溝を再帰的フィードバックと自己共鳴という「創発」で埋めようとする。フィードバックはもともと感覚の特徴だった。感覚反応は体表での現実の「身悶え」だった頃から、その元の刺激を変化させるというフィードバック効果を持っていた。進化の中で潜在化された内的フィードバック・ループによる再帰的相互作用が生じ、感覚反応を生じさせた入力部分が部分的に自己生成と自己維持の効果を持つようになる。別のレベルで自らに関する信号となる。そこに創発がある、という（図10）（ハンフリー, 2006）。

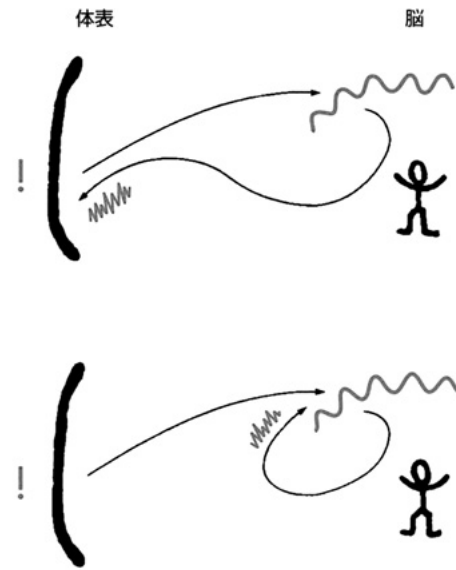


図10. 再帰的フィードバック（ハンフリー, 2006）

思考が反射的な刺激－反応連合から、感覚運動的制御を経て、抽象的なイメージを扱うものとして進化し、成立してきたことは、運動を伴わない、イメージの操作だけでも運動したときと共通の脳部位が活動していることから分かる（中村編, 2006）。

ダマシオの意識論の核心は身体感覚の再代理、すなわち身体内部の変化に対する情動的な価値判断を伴ったモニタリングである。脳の領域では大脳辺縁系が対応している。ダマシオはスピノザの「自己の有に固執しようと努める力」を意味するコナトゥスという概念を援用して、自己という現象の一貫性を表現しているが、脳の機能と区別はしていない（兼本, 2011）。しかしモニタリングと言っただけでは、最終的にどのようにそれが主観として現象するのかの説明になっていない。

#### (2) クオリアのモニター的機能

クオリア（感覚）は生物（動物）が「よりよく」生存するために生み出された進化の産物ととりあえず考えられる。それは機械的自動的反応ではなく、状況を的確に捉え（感覚）、判断し（思考）、よりよい行動を選択し実行することである。選択の自由を持つと言い換えてもよい（自動的反応の方が適応上よい場合もちろんあるが）。その媒介過程の初め



の部分感覚（クオリア）である。受容器から脳に至る神経興奮（活動電位発生）がクオリア＝感覚（主観）となるのはどのようにしてなのか。クオリアにはモニター機能が不可欠であろうか。クオリアがニューロンの関係性から生み出されるとしてもその関係性自体が脳の中のニューロンの関係性によって観測されなければならない。いわばメタ認知的ホムンクルスの存在である（茂木・歌田, 2004）。ではそのモニターするもの（作用）が感覚主体と正しいのか。ただしいわゆる従来のホムンクルスのモニターでは無限後退に陥ってしまう。では「カルテジアンシアター」はどのようにしたら可能か。例えば、自分の脳を取り出して（血管や神経などはちゃんとつなげて）目の前でその脳を見ているとする。開頭手術みたいのでモニターで自分の脳を見ているのもいいかもしれない。この見えている像は、見ているこの脳の「中」で起きている！また脳から何らかの装置によって、その人が今、感覚している映像なり音声なりを別のモニター上に映し出したりすることができたら（すでに行われているように脳のある領域の興奮のパターンをすでに対応づけてある画像パターンとマッチングさせるのではなく、直接的に画像化するとしたら）、脳という（三人称的）物質世界を（一人称的）主観に変換したと言えるのだろうか。NCC（意識相関ニューロン）の解明の次はとりあえずそれを目標にしてもよいかもしれない。

### 第3節 下等動物の感覚

下等な低次の動物の「感覚」を研究することも、より単純な構造によって感覚を解明する上からも必要であろう。

【1】意識されない感覚・クオリアはあるか（自動的無意識的知覚）

進化的に原始的な感覚機能はとくに意識されないで働いている。例えば、触覚は無意識下でも生物の安全を守るために働いている（前野, 2007）。人間においても意識していなくても、自動的に「知覚」し反応している、すなわち両者は独立の過程であることを示す現象はいろいろとある。盲視、相貌失認、分離脳、自動的反応、Libetの示した意識と行動のズレなど多くの例がある（Carruthers, 2000）。それ

らは意識と知覚の乖離を示しているが、必ずしも同じ機制によるとは限らない。盲視からは視覚皮質と皮質下の関連、統覚失認のある症例からは視覚システムの腹側経路と背側経路の役割が示唆される。相貌失認や盲視の他の側面などからは表象の劣化あるいは統合システムの劣化を示唆する（ファーラー, 2003）。また無意識的情報処理が意識的情報と同じ経路に存在すると想定されるケースもある。そこでは無意識的処理が意識的処理を調整する。両者の相互関係を解明することがクオリアの意識の生物学的説明のための決定的段階となる（Revonsuo, 2006）。

### 【2】クオリア判定テスト

感覚などの主観の存在をいかに客観的に捉えるかは難しい問題である。他者や動物が主観を持っている「証拠」を外的指標で探そうとするのが心理学、脳神経科学、認知神経学である。

#### 1. 客観的測定の不能？

主観的感覚を測定するには被験者に感覚について（言語などで）直接反応してもらうしかない（フリーマン, 2011）。

#### 2. 感覚麻痺実験

##### (1) 動物の主観を証し立てる選択実験

例えば、通常はラットは純粋な水を鎮痛剤入りの水より好んで飲む。しかし体に痛みがあるときは後者の水をより好んで飲む。ここから動物が痛みを感じていたことが強く推測される。同様に熱した鉄板にラットなどを載せると足を引っ込める反応が見られる。ところがモルヒネなどの鎮痛剤を投与すると引っ込める反応が鈍くなる。つまり熱さという有害刺激でも痛みという主観的感覚を弱めたため、回避反応が鈍くなったと考えられるのである（ブレイスウェイト, 2012）。

##### (2) 魚の主観的感覚を証し立てる実験

マスに酢を注射すると痛みによって注意が削がれ、未知の物体への回避反応が見られなくなった。それはモルヒネを与えることで鎮痛して再び正常な回避反応が見られるようになったことから確かめられた（ブレイスウェイト, 2012）。

#### 3. 「遅れテスト」

コッホの言う「意識テスト」は主観的経験を伝えられない動物、赤ん坊などに意識（クオリア）があるかどうかを試すものである。それは直感的行動を抑制した後に数秒遅れて反応を起こすように動物に選択させるもので、もし非直感的で非自動的な遅れた行動を取れるなら、その動物には意識があると見なすのである。遅れテストにクリアーする生命体は本能的な行動を抑えて、何らかの方法で記号的意味（クオリア）を持っているといえる。まだ確認はできていないが、数十万のニューロンがあれば、クオリアを感じるのに十分かもしれない。つまりショウジョウバエにも意識があるかもしれないという（コッホ, 2006b）。

#### 4. 主観的「意志」の検出

(1) モーガンは「ニューロバイオティク」ラットのアイデアを実験している。ラットにレバーを押してロボットアームを動かし、水を持ってくことを学習させる。この際、ラットの脳の運動野の30個ほどのニューロンの発火パターンが記録された。そしてこの発火パターンが直接ロボットアームに接続され、ラットが動かそうと「思った」だけでレバーを押さなくてもロボットアームを動かすことができるようになった。ラットもこれを学習し、わざわざレバーを押すことはしなくなった。実際に動かなくてもニューロンは発火しており、動かそうとする「意思」で活動している可能性が強い（モーガン, 2006）。この活動はラットが単なる自動機械とは本質的にどこか異なることを、つまり原初的な「心＝意識」の存在を示唆しているのかもしれない。それとも条件反射の単なる潜在的な活動にすぎないのか。

#### (2) ブレイン・マシン・インターフェース (BMI)

運動野のニューロンを活動させるだけで、アームを動かして水を飲むようになったラットの実験がある。サルでも同様の実験がなされている。また四肢麻痺の人が運動を意図しただけで、インターフェースがその脳波を読み取り、外部装置を操作することができる。ブレイン・マシン・インターフェース (BMI) で夢の内容をリアルタイムで知ることにも可能になるかもしれない（櫻井, 2008）。

#### 5. 「迷い」反応

原始的下等動物で機械的反射でなく、感覚があると分かるのはどうやってか。選択のための迷いや「逡巡」反応があるということか。例えば、神経系のない単細胞生物での走光性を調べる際に、同程度の光源が同時に反対方向にあったら、どうなるか。偶然に先に入力した光の方へ「迷う」ことなく、向かうのか。

#### 【3】下等動物に感覚はあるか

人間以外的高等動物（例えば、ほ乳類）では主観的感覚（クオリア）はあるのか。あるとしたら、どの水準の動物までであるのか。神経系が認められる下等動物まで遡れるのか。神経系のない単細胞生物には感覚はないのか。感覚の有無をいかに捉えるのかが決定的な問題でもあるが、できるだけ単純なレベルでの感覚のしくみを明らかにすることがクオリアの神経学的基盤を解明するために必要であろう（全く異次元のものであることも含めて）。

#### 1. 下等動物にはクオリアはないという見解

表象説によれば、クオリアは経験の志向的特徴であるから、意識的経験だけでなく、無意識的経験もクオリアを持つことになる。しかし信原によれば、クオリアは定義上、意識に現れるものであるとされる。従ってクオリアが無意識であることはありえないという。志向的特徴の意識性はその言語化可能性として説明できるという。動物は言語を持たないから、クオリアを経験しないという。クオリアがなくても、無意識的处理によって充分適応できるのだという（信原, 2006）。同様に Carruthers によれば、意識的心的状態がその概念化（いま表面の緑色を知覚しているという意識）を必要とするなら、人間以外のほとんどの動物にはクオリアの意識はないことになる。一部の猿（ape）だけが可能であろう。しかしこれに対してはクオリアの意識には概念化（高次表象理論）は必要ないという反論がある。他の感覚との区別（例えば、緑と赤）ができればクオリア的意識はあると言えるというものである。これに対してはさらに猫がチーズの匂いを知覚するとも言えても、それがクオリア的意識（consciousness）と言える根拠はないとの再反論できるという（Carruthers, 2000）。

前野によれば、ミミズは突かれたとき、ただ反射的に身をくねらせているだけで、痛みのクオリアは感じていないはずだという。進化的に低次の水準であるゆえにクオリアを必要としないという。例えば、蟻は「甘い」というクオリアを感じていないと思われる。「糖分を見つけ出して巣に運んだり、食べたりする」だけであろうという（前野，2007）。また同様に昆虫の脳は貧弱なので簡単な記憶はするが、意識はないので反射によるフィードバック制御の生き方をしていると思われるという。だから昆虫には心はない、ニューラル・ネットワークがあるだけだという（前野，2004）。モーガンもカエルやサンショウウオは空間の自覚を持たない全く無意識的な自動機械だと言う。脳の中にはマップがあるが、それらが行為に直接変換されるのであり、非空間的表象に変換される必要がないからである（モーガン，2006）。カイコガの匂い源探索行動において雄の触覚へのフェロモン刺激のたびに一連の行動パターンが正確に最初から繰り返される。視覚を遮断した個体でも同様である。従って中枢神経系に内在するプログラムが起動されて一定の行動パターンが（機械的に）発現すると考えられる（山口ほか編，2005）。デネットの言うように並行分散処理を単一の意識の流れへと編集する機能が脳になれば、意識が存在しないことになるので、人間以外のほとんどの動物には無意識の「痛み」は感じる事ができても、それを苦痛として意識する能力はないことになる（戸田山ほか編，2003）。しかし無意識に痛みを感じるとはどういうことだろうか。反射的自動的な反応であっても、そこには機械と違って、原始的でもクオリアのような感覚はないのか。反射的であることと感覚の有無は別問題のように思われるのだが。反射は完全に機械のセンサーのように自動的機械的に働くのだろうか（そこには物質的なエネルギー変換・伝達の反応があるだけで感受性は一切存在しないと思われる）、それともそこには機械とは違う無意識の「感受性」が存在するのだろうか。

2. 下等動物にもクオリア（主観的感覚）はあるという見解

(1) 動物にも感覚があるか

動物も痛みを感じる。動物を過剰に擬人化するのは避けるべきだが、動物は機械みたいなもので痛みを感じないと言うのはあまりに共感性に欠けているのではないか（フォントネ，2011）。鳥などの動物は大脳皮質を持たないのに意識を持つと考えられる。従って意識についての皮質中心の考え方は改める必要がある（日経サイエンス編集部，2009）。

(2) クオリア（主観的感覚）は無意識でもありうるか

これらの議論では意識が何を意味するかがまず明確でない。「無意識」は心という意味での意識が完全でないことではない。ある心的活動が意識化されないことである。動物の無意識的処理における「感覚」はクオリアとは言えないのだろうか。サブリミナル知覚やその時は意識していなくても後に記憶として甦る経験はどうなのか。無意識の感受性（感覚）をどう考えたらよいのか。経験はしていても、それを意識してはいないと言うとき、そこで「経験している」とはどういうことが不明確である。機械の「センサー」は心的活動ではないという意味で意識でも無意識でもないし、感覚・知覚（クオリア）の経験もないといえよう。サブリミナル知覚や「うわのそら」的知覚は意識化はされていないが自動的無意識的知覚と言っていいたいだろう。感覚知覚という主観が無意識であれ介在している点が機械との決定的違いである。感覚知覚をクオリアとほとんど（強調点が少し違うだけで）同義だとすれば、無意識的自動的経験としてのクオリアが存在することになる。クオリアを「意識された生き生きとした質感」として定義するときに、それを人間的な意識にのみ可能な高次の水準のもの（ただし言語化は不可能なので、言語化可能なものをクオリアとする議論は成り立たない）に限定すると、意識化されないものはクオリアではないことになり、（下等）動物にはクオリアは経験されないということになる。しかし自動的で無意識であっても原始的な感覚という経験に何らかの主観が伴うなら（そうでなければ機械と同じことになろう）、それも（低次の原初的水準であれ）クオリアと言ってよいのではないか。従って（アメーバの水準まで行くかどうかはさておき）下等動物にもクオリアの経験があると推測することは可能

ではないか。また最も原初的な主観である情動もクオリアではないか。

### (3) 下等動物の反応に感覚はあるか

低次の下等動物の反応は機械と同じだろうか。それともそこには原初的であれ無意識的であれ感覚があると言えるのか。さらに生命自体に何らかの感受性があると言えるのか。もし下等動物に感覚（クオリア）があるとするとするなら、そこでの「感じる」主体は何か。おそらく最下等の単細胞生物にはクオリアと言えるような感覚はないであろう（しかし全く何らの感受性もないとは言い切れないが）。原初的な脳が存在しないからである。しかし反射的自動的「機械」的反応であるとはいえ、コンピュータなどのようなセンサーを持つ精密機械と同じとは言えないのではないか。生命という点で感受性の萌芽のようなものがあるのではないか。慎重な検討が必要である。生命やクオリアが機械と本質的に同じで完全に物質に還元できるといえるのはそれを人工的に産出できたとき（検証方法も含めて）であろう。

### (4) 生命に原初的な感覚はあるか

下等動物にも感覚（クオリア）があるとすれば、かなり低次の脳神経構造においてそれは可能になると言えよう。生命そのものに根があるのかもしれない。奥井によれば、ミミズを切るとびんびんと跳ねる。それを「ミミズが痛がっている」と言っただけではない根拠はどこにもない。ミミズにも感覚機能をもたらし原初的な神経系が存在する。そこに主観的な「痛み」はないとは言えない。そしてその反応について生理学的説明をいくら積み重ねても「痛がっている」こと、つまり痛みそのものの説明にはならない。「痛み」や「意識の内容」のような個体的な体験にもとづく質の説明は生理学とは別の次元のものである（奥井, 1997）。下等動物も刺激に対して反射反応よりもはるかに複雑な様態で反応するという事実を無視すべきではないという意見もある（ブレイスウェイト, 2012）。ハチでもゴキブリでも基本的には植物をも含めたすべての生物はその状態で存在するだけで、すでに意識を持っているという意見もある（奥井, 1997）。さらにゾウリムシのような単純な単細胞生物にも生存に有効なものは飲み込

み、危険なものには忌避反応を示すのが見られる。そこには原初的な評価的な感覚があるのかもしれない（ジョンストン, 2001）。プラナリアやアメーバは彼らにとって良いものを目指し、悪いものを避けている。そのためにごく単純な有機体でもそれを感知する感覚器や識別能力を持っている（デネット, 1997）という見解もある。脊索動物での最も原始的な神経反射はナメクジウオに見られる渦巻き反射である。これは刺激源からの一種の侵害逃避反射（痛み反射）である。これを引き継ぐ痛み系には未分化な機構が温存され、これを土台にして考える脳を含めてすべての神経系が築かれている（久野・三品編, 1998）。

### 3. 頭足類や甲殻類の感覚能力と「知性」

#### (1) タコの学習能力

タコはビンの蓋を取って、中の餌を取ることができる。また観察学習が可能だという報告がある（池田, 2011）。

#### (2) イカの鏡像自己認識の可能性

アオリイカに鏡像のマークテストを実施したところ、そのマークを見る時間がマークをしていないイカより多いという結果が得られた。ここから直ちに自己認識があるとは言えないが、その可能性を示唆したという（池田, 2011）。

#### (3) ネズミの情動

ネズミが人間が感じるような快や不快の感情などを感じているのかははっきりとは分からない。しかし突然大きな音がした時の凍り付くような「すくみ行動」を見ると人間とも共通したメカニズムがあるのではないと思われる（森, 2010）。

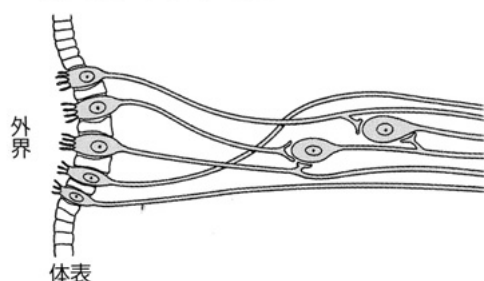
### 4. 昆虫の「感覚」

#### (1) 昆虫にも感覚があるという見解

昆虫などでも眼などの感覚器があるので、原始的な知覚力を持っていると思われる。痛みの感覚もそうであり、意識も消化や生殖と同様に基本的な生物学的実在であるという見方もある（マッギン, 2001）。イソギンチャク類や貝類の原始的な眼は体表に感光性細胞の集まっただけのものである（図11）（山内・鮎川, 2001）。そこにも感覚はあるのか。昆虫などの下等動物にも自己意識はないが、



## 1. イソギンチャク



## 2. アワビ

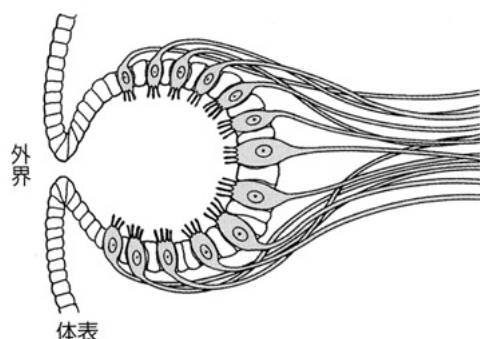


図11. 原始的な眼 (山内・鮎川, 2001)

行動を導く感覚のような「意識」は存在する (Genaro, 2004) のか。イカ、ハチ、ハエ、線虫などにもある程度の意識があって、苦痛も感じるし、快樂も感じ、見るというクオリアもあるのだろう (コッホ, 2006a) か。ハエなどは機械のように自動的に動いているだけだと思われがちだが、ハエなどの昆虫にも痛みのクオリア、匂いのクオリアなどがあるかもしれない (コッホ, 2006b)。

### (2) 脳が「期待」する？

昆虫の匂い探索行動など昆虫の微小脳でもかなりの適応行動を可能にする。そこでは「脳は……フィードバックされる感覚情報によって、指令通りに行動が行われているかを判断する。……期待通りのフィードバックがない場合には行動を補償する必要がある」(神崎, 2009)。ここで「期待」という言葉がおそらく比喩的に使われているが、主観的なものが何か介在しているのだろうか。ミツバチのダンスのような可変的コミュニケーションの存在は下等な動物にさえ意識的覚識は別としても何らかの心

的体験が存在することを示唆する (グリフィン, 1979) が、機械的反射だという見方でもできる。

### (3) 昆虫の嗅覚系

昆虫の触角にある嗅覚受容細胞の軸索である触角神経は脳の前方にある触覚葉に入る。触覚葉は糸球体から成り、特に雄では一般臭を処理する常糸球体とフェロモンを特異的に処理する大糸球体に分けられる。処理する匂いの種類によって糸球体が異なり、それが匂い情報処理の機能的単位になっていることが分かる。フェロモン情報を処理する大糸球体は3つの区画から成り、カイコガではキュムラス、トロイド、ホースシューと呼ばれる。トロイド出力神経はフェロモンの主成分であるボンピコールに、キュムラス出力神経とホースシュー出力神経は副成分のボンピカルに、キュムラス&トロイド出力神経は両成分に応答する。次にこの触覚葉で処理された情報は出力神経によってキノコ体や前大脳側部へ伝達される。キノコ体は記憶学習とともに他の種類の感覚情報が集まる神経叢である。前大脳側部(デルタ領域)は明確な構造が見られないが、トロイド出力神経がその全域に投射しており、その他の出力神経もその一部に投射している。また一般臭の出力神経は側角と呼ばれる領域に投射する。出力神経のもう一つの投射領域はキノコ体である(図12)。そのキノコ体の出力神経の応答を調べると匂い刺激によって様々なパターンの振動が見られる。この振動情報が上位中枢でどのように処理されているかはまだ不明である(神崎, 2009)。

### (4) 昆虫の適応能力

カイコガの脚の動きを回転するボールでキャッチしてあたかもカイコガが「操縦」しているかのようなカイコガと一体化したロボットを作成し、カイコガの実際の歩行と同じ動作をするようにする。次にロボットをコントロールしてカイコガの「予想外」の動きをさせてみる。するとカイコガはその不一致に適応して、目標に向かうようにロボットを「操縦」するようになる。つまり視覚的フィードバックによって自らの脚の動きを変えたわけである。これは昆虫といえども脳のプログラムが固定しているわけではないことを示している(神崎, 2009)。

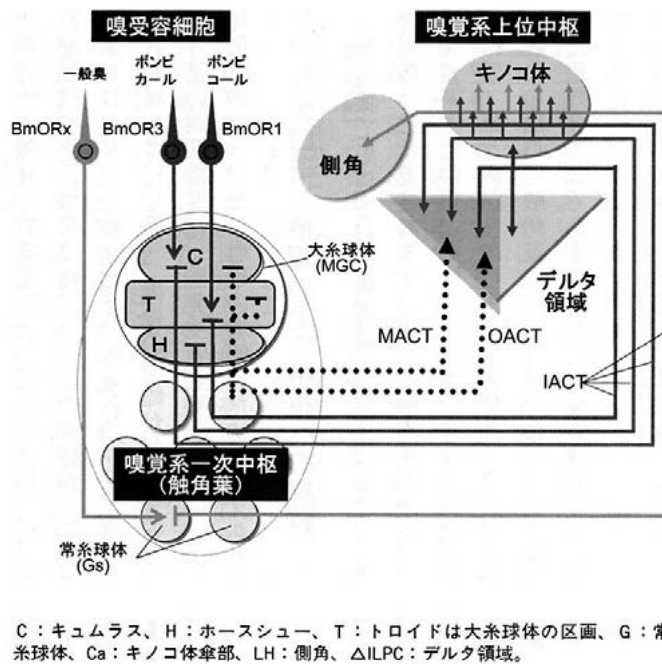


図12. 昆虫の嗅覚系 (神崎, 2009)

## (5) 皮膚感覚が源

進化発生生物学的には昆虫の複眼の光受容細胞や触覚の匂い受容細胞はもともと体表や肢への接触刺激に反応する感覚細胞であったものが、光や匂いを受容するように転化したものと考えられる (水波, 2006)。

## (6) 眼がなくても反応するハエ

オプトジェネティクスと言われる手法でショウジョウバエの光刺激に対する逃避反射を駆動する指令ニューロンをそこに生じさせた光感知蛋白質を介して直接刺激したところ、眼を含む頭部を切除されたハエでも、同様の逃避反射である飛翔が生じた (日経サイエンス編集部, 2009)。これだけではクオリアに近い感覚があるかどうかは分からない。単なる機械的な反射かもしれない。ただし光に反応する蛋白質の感受性はどのようなものなのかは検討が必要である。

## 5. 神経を持つ原始的動物

## (1) ミミズの原始的感光感受性

原初の視覚器は先カンブリア紀の生物にあったと

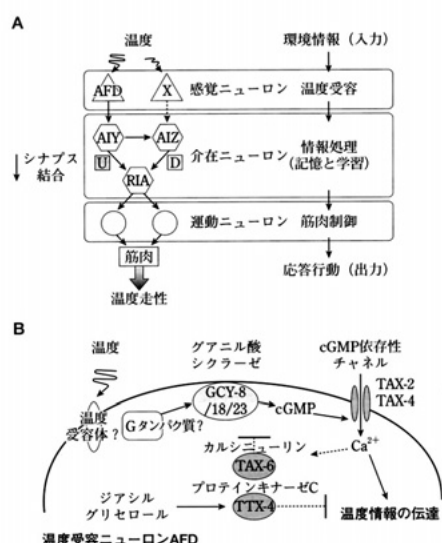
みられ、ただ明るい暗いかの光を捉える機能しか持っていなかったと思われる。それは現在ではミミズに見られる。ミミズは眼を持たないが、光を当てると反応する。表皮に散在する視細胞が光受容細胞なのである。無脊椎動物では視覚器は皮膚の表層部の表皮からできている。視細胞が数カ所に集まると網膜ができる。その最初の形態は眼点である。これも明暗視ができるだけである。プラナリアなどの眼点には光受容の情報を伝達する視神経の束が見られる (岩堀, 2011)。ミミズは消化管に沿ってニューロンがあり、脳はないとはいえ、ある時は葉っぱのどちら側をくわえれば、巣穴に運び込むのに都合がいいのか「迷い」つつ「考え」さえしているという。我々人間でも消化管に沿って緻密な末梢神経系が存在している。決して脳だけが心を司っているわけではない (福岡, 2009)。

## (2) 線虫 (C.elegans) の「感覚」

線虫は雌雄同体で体細胞数は959個。そのうち302個がニューロンである。その接続もすべて分かっている。脳のような中枢はないが神経系を持ってお

り、非常に希薄な感覚ではあろうが環境を（無意識的に）「表象」しているという意見もある（Zeman, 2004）。線虫は食塩に寄っていくが、それはエサとなる細菌が食塩のある所に多く存在するからである。これはインスリンに相当する「INS-1」という蛋白質が学習に関与することによる。線虫はまず食塩の味を感覚神経「ASER」で認識し、その情報を介在神経に伝える。さらに運動神経に伝わり、食塩の方へ向かわせる。しかしそこにエサがないと飢餓情報を処理する神経群から INS-1 が分泌され、それを受け取った感覚神経 ASER は食塩の情報を介在神経に伝えることを止める。こうして線虫は食塩に向かわなくなる（水谷編, 2008a）。

化学感覚を担うのは3種類の感覚器で、これらは温度や機械刺激にも反応するマルチモーダルな感覚ニューロンである。化学物質で活性化されるG蛋白質の種類は多数あり、それが正負の走化性を制御している。化学感覚ニューロンの背後には受容や情報伝達で多様な分子機構が組み合わさって働いている。化学刺激に誘引応答を起こすニューロンと忌避応答を起こすニューロンではニューロン間の接続に大きな違いがある。忌避応答では介在ニューロンがなく、感覚ニューロンが運動ニューロンに直接シナプス結合している。誘引応答（正の走化性）を起こすニューロンは介在ニューロンがあり、そこで情報の統合がなされると思われる（江口・蟻川編, 2010）。また線虫には様々な温度勾配のもとに置くと過去の飼育温度の方向へ移動するという温度走性が見られる。この温度走性に関わるのは302個のニューロンである。温度は線虫の頭部先端にあるAFDと呼ばれる温度受容ニューロンで受容され、その情報はシナプスを介して介在ニューロンAIXとAIZとRIAに伝達され、その後筋肉を制御するモーターニューロンの活動を促し、温度走性を成立させる。温度受容ニューロンAFDにおいて温度受容がおそらくG蛋白質などを介して、cGMP依存性チャンネルを活性化し、AFDの膜電位変化を引き起こす。この情報がカルシニューリン（脱リン酸化酵素）などが関与しながら、介在ニューロンに伝達される（図13）（伊藤・川合編, 2009；三品



A: 温度走性の神経回路モデル。温度情報は、温度受容ニューロン AFD と X (未特定、徐に ARC であることがわかった) により受容され、下流の介在ニューロン A1Y と A1Z とを介して、運動ニューロンに伝達されることで筋肉運動を制御する。A1Y は高温 (U) へ、A1Z は低温 (D) への移動に関与。

B: 温度受容情報伝達方式のモデル。温度情報は温度受容体 (未特定) によって受容され、Gタンパク質 (未特定)、グアニル酸シクラーゼ GCY-8/18/23 を介して cGMP 依存性チャネル TAX-4/TAX-2 チャネルを活性化し、AFD の膜電位を変化させると考えられる。プロテインキナーゼ C (TTX-4) とカルシウムイオン (TAX-6) は、AFD の感度をさらに調節している。

図13. 線虫の温度走性（伊藤・川合編，2009）

か編, 2008)。これらは嗅覚受容ニューロンともシナプス結合していることが分かった。それらの分子レベルの機構も明らかになりつつある(伊藤・川合編, 2009)。分子レベルで温度受容から運動までの仕組みが明らかになりつつあるが、そこに原始的な感覚=クオリアはあるのかどうかは不明である。あるとしたら介在ニューロンがクオリアの原基であろうか。それとも反応は単なる機械的連鎖なのか。あるいは感覚神経そのものの感受性にすでに主観の芽があるのか。それが機械との決定的な違いかもしれないが。

### (3) プラナリアの脳神経系

頭部に脳があり、神経束による中枢神経系と感覚細胞を伴う末梢神経の分化が見られるものとして最も原始的な生物である。脳は中心部が5つに区分され、光感覚細胞からの視神経束は一番内側の部分に連絡している。それらの区分は神経繊維が複雑に連結した情報交換の場となっている（森田，2009）。

#### (4) ヒドラの皮膚感覚器

原始的動物であるヒドラの表皮には感覚細胞が散在している。表皮の基底部には多くのニューロンの細胞体と神経線維が交錯し、神経叢を形成している(図14)(岩堀, 2011)。

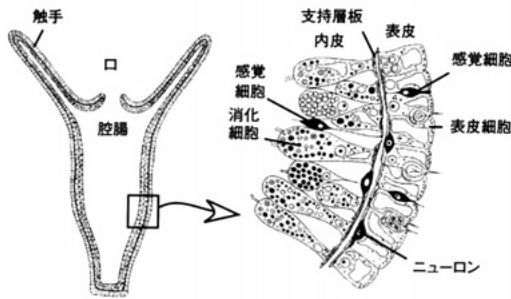


図14. ヒドラの皮膚感覚器 (岩堀, 2011)

#### (5) 海綿動物の原始的感觉受容器

単純な神経系しかない海綿動物の触覚や味覚や嗅覚は神経ではなく、つまり特化した受容器ではなく、細胞の興奮によって生じるものである(パーカー, 2006)。通常の細胞にも潜在的にニューロンのように興奮する状態が備わっているのだろうか。

#### (6) ホヤ幼生の自発的行動

ホヤ幼生は重力に対してネガティブの走行性、光に対してポジティブの走行性を備えていて孵化後すぐから海表面の方へ泳いでいく。これを導くのは1 + 8個の細胞から成る網膜組織と耳石である。これを統合して内臓神経節の運動ニューロンに伝えるのは感覚胞の中にある25個のニューロンのネットワークである(浅野・藤田, 2010)。

### 6. 脳神経系への進化

#### (1) 腔腸動物

ヒドラなどの円筒形の腔腸動物ではニューロンが連結して神経網を形成している。まだ中枢は見られない。より進化したクラゲなどではニューロンが密接して神経束や神経節を形成している。これは原始的なシグナル交換の場である。さらに進化した扁形動物では環状(五角形)神経節が形成される。これが脳の元になると考えられる。扁形動物の中でより進化したプラナリアでは神経中枢としての脳が形成

される。また高等動物で機能している神経伝達物質や神経分泌物質のほとんどがすでにプラナリアで機能している(森田, 2009)。

#### (2) 皮膚幹細胞からのニューロンの分化

脳は進化的には表皮から形成されてきた。それはヒトの個体発生においてもごく初期に背中の正中部の表皮から神経板、ついで神経溝ができ、それが神経管になり、やがて脳になることにも見られる(岩堀, 2011)。皮膚幹細胞もまた一定の条件のもとでニューロン、グリアなどに分化することが報告されている(岡本編, 2008)。

#### (3) 脳の誕生

脳を持たず、神経系しか持たない線虫もプラナリアの脳に特異的な遺伝子の約90%を持っている。神経もない植物でさえその40%を持っている。すなわち進化の過程ですでに存在していた遺伝子セットがなんらかのキッカケで脳のような器官を作ったと考えられる(水谷編, 2008b)。

### 【4】「感覚」の原点としての走性

#### 1. 神経のない原始生物の感受性

##### (1) 粘菌の「知性」

浅野・藤田(2010)によれば、神経系のない粘菌でも記憶、学習、自己と非自己の弁別など「知性」が見られる。それは細胞全体の(原形質流動による)収縮リズムが刺激に応じて伝播され、能動的な素子によるネットワークとしてあたかも神経系のように振る舞うことによる。このように粘菌のような単純な細胞でさえ脳に匹敵する情報処理能力を持つのである。粘菌にとってある好ましくない刺激を与えると移動が止まる。一定の時間感覚でその刺激を与えるとその度に停止する。ところが一定の時間が経ったときに刺激を与えないと、それでもある程度の移動の減速が起きる。粘菌がその刺激を「予測」と解釈できる。単細胞の粘菌にも時間記憶の芽生えがあると言える。実際には細胞内の化学反応ネットワークによって制御されていると考えられる。粘菌の通路に薄い嫌悪物質を置いておくと通過するか後退するかを「迷っている」かのように停止するのが見られる。一定時間後、「決断」したかのように行動する。粘菌先端部の物理化学的な連鎖反応の結果



と思われる（中垣，2010）。神経系を持たない粘菌（アメーバ）が合目的的に活動し、学習・記憶などの知性の萌芽状態を示すのはグリア細胞（アストロサイト・シンシチウム）によると考えられる（浅野・藤田，2010）。

## (2) 粘菌の原始感覚

様々な化学物質を区別して反応する。いわば味覚である。気体状の化学物質に対する反応もある。いわば嗅覚に相当する。光にも反応する。紫外線のような特定の波長の光に反応して逃げる。原始的視覚である。光の受容は特定の光受容蛋白質が担っていると考えられる。物体の表面に接触して性状を感知する触覚に相当する反応もある。針で突くと直ちに反応する。粘菌は均質な細胞体で、分化した感覚器を持っていない。どの部分もすべての感覚器に相当すると言える（中垣，2010）。感覚の起源は各刺激様相に反応する蛋白質があるということか。

## (3) 藻類の眼

ある種の藻類は神経システムらしきものがないのに、獲物を発見して、糸を放散させて絡め取ることができる。皮膚などにも原始的な光覚があると思われる（イングス，2009）という。

## 2. 走性

### (1) 分子は「感じて」いるのか？

五感の原点は走性にある（図15）。単細胞生物では感覚・伝達・統合・反応は1つの細胞で行われている（ミドリムシ，図16）（矢沢サイエンスオフィス編，1992）。こういう意味では神経系の原点は細胞そのものにある。走（向）性には下等な精神性のすべての要素が見出されるという見解もある。優先選択の違いを生む感受性の存在を示している。変化と注意を惹く新しいものに対する「興味」が単細胞レベルから存在するという（ショジャール，1974）。

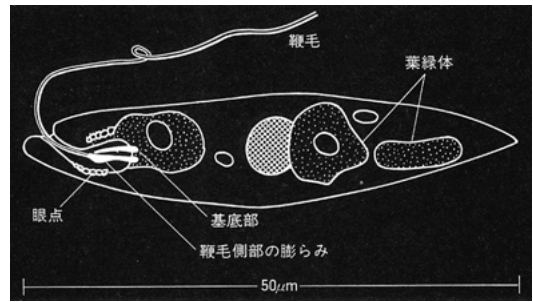


図16. ミドリムシの構造（矢沢サイエンスオフィス編，1992）

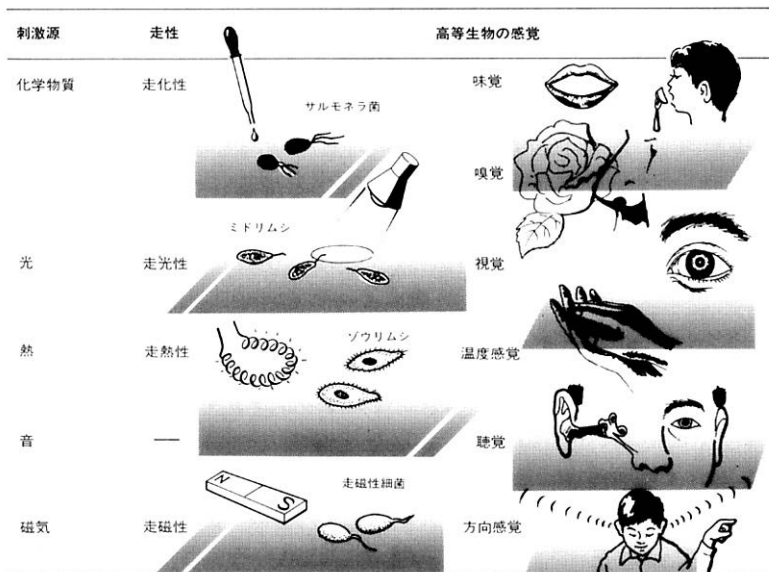


図15. 各種走性と五感（矢沢サイエンスオフィス編，1992）

細胞は有用な分子を感じ取れば、走化性の分子メカニズムを使って接近し、危険な分子を感知すれば、逃げ去る。それは細胞の「気分」と言えるという。走光性なども同様である。細胞は生存に有利なことを目的的に追求しているのである（団, 2008）。

## (2) 走光性

走光性は視覚の原型である。「光驚動走性」と「光指向走性」がある。光合成細菌に「光受容体」があり、代謝の増減によって走性反応が生じる。「プロトン駆動力」と「膜電位差」が初期のシグナルを作る。紅色細菌ハロバクテリウムではある種の蛋白質が光受容体となる（矢沢サイエンスオフィス編集, 1992）。Holt の例えて、ある小動物が2つの眼点を持ち、それぞれが光を受けて左右の繊毛を動かして進むとすれば、この小動物は光源へのアウェアネスを持っているといえる（図17）という。これは Gibson 流に言えば、「姿勢」ということになる（荳阪編, 2002）。これに対し、走光性は変換器と作用器の単純な結びつきで可能である、つまり光が感覚器官で変換され、作用器で運動になればよい、それは機械でも可能である（プライテンバーグの車、図18）という見解もある。しかし外的な運動では同じでも上述の小動物では眼点という光受容器があり、神経系があって、繊毛を動かすのであり、仕組みが違うと考えれば、機械で同じことができるからと言

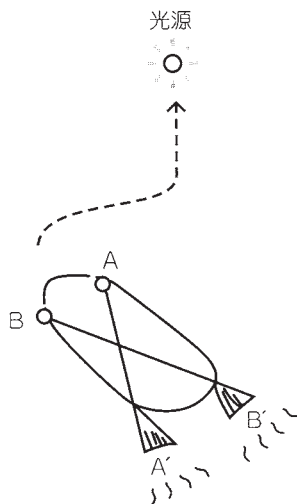


図17. 走光性（荳阪編, 2002）

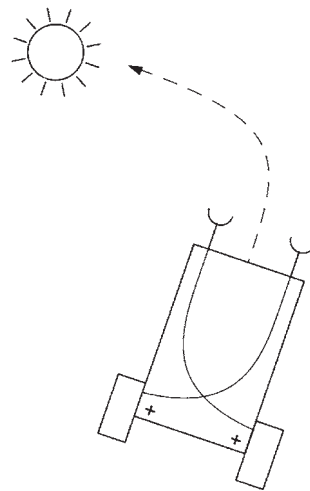


図18. 機械としての走光性（デネット, 1997）

って、小動物に感覚がないという根拠にはならない。植物やコンピュータなどの単なる志向的システムと「本当の心」を識別するのは知覚の有無であろう。単なる刺激反応は機械の反応で全く意識を必要としない。刺激反応と知覚の大きな違いはその媒体にある。すなわち神経系の有無である。神経系全体に変換器や作動体が遍在している（デネット, 1997）。

## (3) 眼点

多細胞動物の最も基本的な原初的光感受器は眼点である。眼点を持つ最も単純な多細胞動物はクラゲやホヤである（オウムガイの眼、図19）（矢沢サイエンスオフィス編, 1992）。ほとんどのクラゲの眼点は光を検知するものではないが、レンズを持つある種のクラゲには光の有無に反応する能力がある。半球状の湾曲面になっていると光源の方向を感知できる。蛆虫は扁平な光感受器しか持たないが、頭を左右に振ることでなんとか光源を見つけようとする。ただしこれら原初的な光受容器は像を結ばないので正確には眼とは呼べない。脳はなく光受容器と単一の反応をする筋肉とが直結しているだけである。眼と呼べるのは網膜が形成され、脳で映像が形成されるときである。眼点で見つかる蛋白質は光に反応するもので網膜の蛋白質と対応しており、そこ

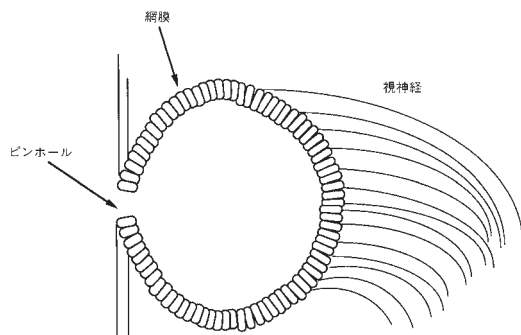


図19. オウムガイの眼（矢沢サイエンスオフィス編，1992）

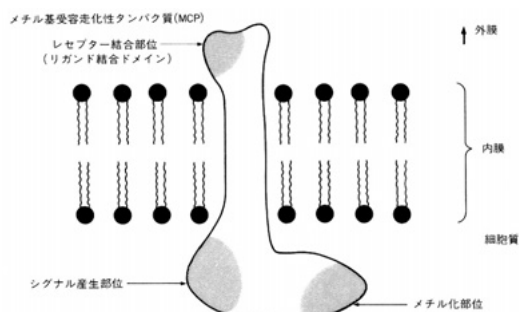


図20. メチル基受容走化性タンパク質（矢沢サイエンスオフィス編，1992）

に進化の過程が推測される。原初的光感知器は視覚ではない。単に光が来る方向を「知る」ための単細胞生物の眼点や植物にも見られる単純な光感知器はまだ視覚とは言えない。視覚は物体を認知する能力である。そのためには網膜と脳が必要である。進化論的にはカンブリア紀の原始三葉虫とともに視覚が発生した（パーカー，2006）。下等動物の走光性が全く反射から成ってるとしたら，そこにアウェアネス（つまりクオリアと言ってよいだろう）があると果たして言えるだろうか。おそらく Holt は小動物の内部で完全な反射以上の何らかのクオリアを現出させる仕組みを想定しているのであろう。走磁性のような原始的表象ではある時間と空間に即自的に拘束されている（そういう意味で自己言及的である）ので，直接性から離脱した意味・表象を持ち得ない（ミリカン，2004）。

#### (4) 走化性

①走化性は味覚・嗅覚の原型である（矢沢サイエンスオフィス編集，1992）。ゾウリムシの繊毛の間には毛胞と呼ばれる部分があり，水中の環境が悪くなると飛び出して細胞を守る。これは一種の感覚系といえる（奥井，1994）。ある種の大腸菌の鞭毛運動は外部のアミノ酸に対して原形質膜の受容体蛋白質が生産する信号分子によって制御されている。糖分やペプチドなどに対しても別の蛋白質を介して信号分子が生産される。毒物に対しては逆の信号によって遠ざかる運動が生み出される。ここにはセンサーと情報チャンネルとエフェクターという制御機構の

3要素がすでにある。化学物質の信号受容器は膜を貫く蛋白質で外側に信号分子が結合すると内側の形が変わり，その触媒活性が変わり，一連の事象を發動させる。受容体と触媒の間にG蛋白質という仲介者が介在する場合もある（ケアンズ・スミス，2000）。そこでは万能蛋白質「メチル基受容走化性タンパク質（MCP）」（図20）が基になる。外側に刺激物質と結合する部位（リガンド結合ドメイン）あり，内側に情報を運ぶシグナル物質を作る部位（シグナル産生ドメイン）がある。MCP は数種類あり，化学物質を識別して，正負のシグナル物質を生産する。刺激の濃度変化で鞭毛のタンプリング頻度が変わる（矢沢サイエンスオフィス編，1992）。原始的脳は通称「嗅脳」と呼ばれるように臭いを促進剤にして現代の複雑な脳へ進化した。辺縁系の起源も臭いを嗅ぎ分け，同種の仲間に社会的・性的メッセージを送る化学物質フェロモンを分泌する機能だとされる（レイティ，2002）。

②バクテリアの走化性は細胞膜に挿入されている受容体で化学濃度を感じて，フラジェリンという蛋白質より成る鞭毛を回転することで移動する。シグナル伝達系にはCheA，CheW，CheY，CheZの4種類ある。受容体蛋白質が，外部の化学物質を感知すると，受容体に結合しているキナーゼが，CheYという蛋白質にリン酸基を付加する。例えば，忌避物質が受容体に結合すると，CheAが活性化され，これが効果器側のCheYを活性化させ，タンプリング（鞭毛の方向性のない動きで逆方向に進む）するよ

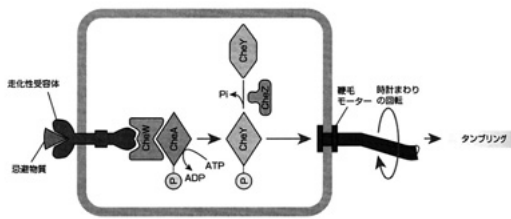


図21. 走化性機構 (田中, 2007)

うに鞭毛を回転させる。誘因物質の場合は、受容体が不活性化して、鞭毛の束ねる方向のまま回転させ前に進む。CheY は鞭毛モータのスイッチの役割を果たしている(図21)(田中, 2007; プレイ, 2011)。しかしこれら 2 成分制御系のシグナル伝達では情報量が yes/no の 2 つしかなく、複雑な伝達ができないし、原核細胞のような単純な細胞でないとは作用しない(田中, 2007)。受容体こそが感覚器の起源だろうか。これは機械的な反射と見てよいだろうか。そこには一切の主観的感覚の萌芽もないのだろうか。これらは電子回路の計算と本質的には同じものであるという意見もある。化学物質に対する慣れや「記憶」も基本的には化学的反応に基づく(プレイ, 2011)。しかし一方で、バクテリアには誘因物質と忌避物質を識別する感覚センサーがあり、誘因物質が減ると「悶え」たり、留まったりする。またアミノ酸などを感知する受容器もあり、感覚センサーがあるので、バクテリアにも心があるといえる、という見解もある(中村, 2005)。

### 3. 細胞の感受性と蛋白質

神経系のない単細胞生物がどうして餌を追い求め、障害を避け、刺激に応答し、記憶を保存できるのか。その答えの候補は蛋白質分子である。蛋白質は細胞内外のさまざまなシグナルに反応して、さまざまな細胞プロセスに対する分子スイッチとして働くのである。これは細胞内のトランジスターのようなものである。進化の過程でこれらの基本的機構が複雑化し、シグナル伝達と情報処理に携わる特別な構造が生まれたと考えられる。環境からのシグナルを感知するのは細胞膜にある受容体と呼ばれる特殊な蛋白質である。多数の刺激に対して「鍵と鍵穴」の関係による選択的な結合がなされる。それから受

容体内部で変化の連鎖が起こり、細胞内で蛋白質の化学修飾(酵素が重要な媒介をする)によって、情報が伝達される。分子が細胞膜を通過する際の電圧降下を感知する蛋白質もある。ニューロンの直接の起源かもしれない。蛋白質はニューロンと同じように情報伝達ができるのである。神経系の源はここにあるのかもしれない。感覚のように単細胞生物でも生の刺激を受容し、加工処理している。ただし動物のように電気シグナルではなく、化学シグナルとしてである。その差は本質的にそれほど大きいものではない。加工処理では諸種の蛋白質を細胞が「読み解く」のである。その結果、反応が制御される。この「読み解き」の中心はおそらく細胞の中心体であろうと思われる(プレイ, 2011)。

## 第2章 「脳・神経系の活動とクオリア」をめぐる検討課題

クオリアを脳の活動として見る立場として、主として機能主義、NCC とコネクションイズムがあるが、いずれも脳という物質からどのようにしてクオリアという主観が生まれるのかという肝心な点が説明されていない。前章で感覚(クオリア)に関わる脳・神経系の活動とその系統発生的進化を見てきたが、それら実証的データ(NCC)の理論的意味と今後の研究の方向性を探りたい。系統発生的にどのレベル(すなわち高等動物の脳でしか生まれないのか昆虫の微細脳のレベルで可能なのか脳はない感覚器のレベルで原始的な主観的感覚があるのかそれとも単細胞の走性のレベルにも萌芽的にあるのか)でクオリア(主観的感覚)が生じるのかという問題に対応して細胞のどのレベルの活動(特殊なニューロンの興奮かそれをもたすイオンや蛋白質の活動かシナプスを介してのニューロン間の伝達が必要かそれとも普通の細胞レベルの活動で可能ななど)とクオリア(主観的感覚)は関連するのかが決まるであろう。例えば、系統発生的に神経のまだないアメーバのような単細胞生物にすでに主観的感覚の萌芽があるとしたら、クオリアという主観的感覚は萌芽的とはいえ神経のまだない単細胞の活動の中で可能となるこ



とになろう。つまり細胞自体がなんらかの感覚を持つことになろう。

## 【1】クオリア（感覚）の基盤としてのニューロンの興奮

### 1. ニューロンの興奮

#### (1) 電位変化としての「興奮」

ニューロンの感受性の実体はその興奮であり、すなわち活動電位の発生（脱分極）である。しかしニューロンの「興奮」という言い方自体がすでに「擬人」化ではないか。刺激による脱分極でしかないはずである。

感覚器とは外的刺激を電位変化（図22）という電気信号に変換する働きをする器官である（岩堀，2011）。その電位変化（とくに脱分極）は主にさまざまなイオンチャンネルによる細胞膜を挟んでのイオンの流入と流出によってもたらされる。カリウムイオン（ $K^+$ ）チャンネルの構造を見てみよう

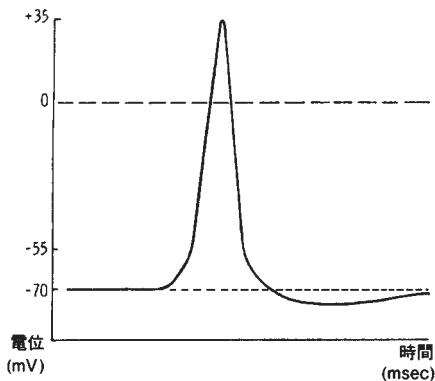


図22. ニューロンの活動電位(岩堀, 2011)

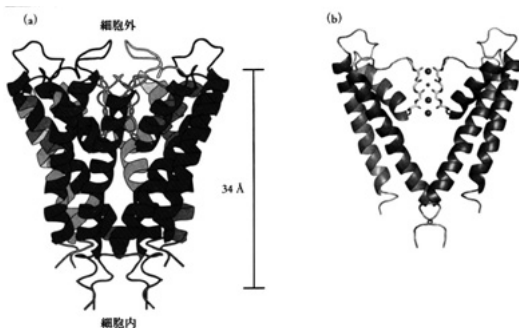


図23. カリウムイオンチャンネルの構造（トリッチほか，2009）

（図23）。図23に向かい合う2本の単量体を抽出して示してあるが、この短いヘリックスから2番目のヘリックスにつながる部分に—TVGYG—というアミノ酸配列がイオン選択性のフィルターを形成している。このフィルター部分のカルボニル基がそれぞれのイオン半径に最適な位置に配置されることによって、イオンの選択が行われる。ただしイオン選択にはより複雑なしくみ関わっている。とくに $Na^+$ や $Ca^{2+}$ のイオンチャンネルの選択性はまだよく分かっていない。さらに電圧感受性（依存性）イオンチャンネルのゲーティング機構はもう一つの重要なイオンチャンネルの仕組みである。また細胞膜にあるアセチルコリン受容体などの受容体は負電荷によるフィルター機能によってチャンネルの選択透過がなされていると考えられる（トリッチほか，2009）。

#### (2) 静止膜電位と脱分極（神経興奮）

細胞は一般に外側がプラスに、内側がマイナスになっており、その電位差は細胞外膜を0 mVの基準としておよそ-60 mVほどになっている。この電位差の維持と変動には酵素とイオンチャンネルが役割を果たしている（池田，2011）。すなわち電位差は主に $K^+$ イオンの濃度勾配によって作られる。そして一般に細胞が興奮する場合には $Na^+$ に対して高い透過性を持つ $Na^+$ イオンチャンネルが開くが、小さな脱分極が重なって閾値を超えると $Na^+$ チャンネルが大きく開いて、細胞外の大量の $Na^+$ イオンが流入し、一挙に脱分極が生じる。細胞は $Na^+$ イオンの平衡電位（50 mV位）へ引きずられるように変化する。やや遅れて $K^+$ チャンネルが開いて $K^+$ イオンが流入すると元に戻る（村上ほか，2001；藤田・浅野，2009）。静止膜電位を減少させる（脱分極）操作はニューロンの興奮を誘発する。この活動電位は1ミリ秒しか持続せず、静止膜電位に回復する（久野・三品編，1998）。ニューロン興奮の原理は大きく言えば加重総和と閾値処理である。受容細胞からのシグナルは時間加算と空間加算され、その総和が一定の閾値を越えると、その信号を受けたニューロンが発火する（田中，2007）。ニューロンは単なる信号伝達の素子ではなく、一種の信号処理装置である（櫻井，2008）。ニューロンのどの部分のどのよ

うな「発火」が感覚という主観的現象（クオリア）になるのか。刺激（光波・音波・など）に応じて、電気信号に変換（＝興奮）する受容器（原始レベルでは走性）のところがポイントだろうか。もし神経系以前の感覚器の受容体のレベルで原初的な感覚があるとしたら（ありそうにはないが）、イオンの変換が感覚となるのか。

### (3) 感覚器の刺激対応性

感覚受容器において刺激のさまざまなエネルギー形態（光学的・機械的・熱的・化学的）によってコード化されている情報の電気的信号への変換がなされる。感覚器は異なったモダリティに対応して異なったエネルギー形態を捉えるために特殊化している（受容器の反応選択性）。ニューロンの反応選択性とはニューロンが特定の刺激に反応し、他の種類の刺激に対しては反応しない性質である（伊藤監，2003）。ここに感覚の諸様相の区別の基盤がある。例えば、ある味細胞がある化学物質に高い感受性を持つということは、その細胞膜に特定の物質に対する受容体があるということである。特定の物質は特定の受容体にしか作用しない。その結果、電位変化が起きるのである。それが脳に伝えられてある特定の感覚が生じる（岩堀，2011）。ほとんどの場合、神経シグナルのエネルギーは刺激が持つ元のエネルギーそのものに由来するのではなく、ニューロン自体の内因性のエネルギーである。すなわち細胞膜における電気化学的ポテンシャルを作り出す代謝反応によって生み出される。受容器に作用することによって、刺激エネルギーは細胞膜に蓄積されたエネルギーの一部を放出させ、膜電位の特異的变化を引き起こす（トリッチほか，2009）。

## 2. 情報伝達（興奮の伝達）

### (1) 神経伝達物質

生物は単細胞から多細胞へと進化する過程で細胞同士の情報交換が必要となり、成立したのが神経系、内分泌系、免疫系である。従って、それらは作用効果は異なっているが、その機序には共通した面がある（伊藤監，2003）。作用物質（環境シグナル）によって細胞間の情報伝達が行なわれる。それには4種類ある。①内分泌型。ホルモンによる。②シナプ

ス型。神経による伝達。③傍分泌型。近隣細胞のサイトカインなどの伝達物質による。④細胞どうしの接触など。いずれも細胞膜にある受容体（レセプター）で環境シグナルが受け取られる。ホルモンと神経伝達物質は本質的な違いはないとされる。各細胞は各ホルモンに特異的な受容体を持っていて、特異的に反応する（福田，2008）。

### (2) シナプスでの情報伝達

ニューロンでは情報伝達はシナプスにある受容体を介してなされる（福田，2008）。ニューロンの信号伝送ではイオンの信号はケーブル（軸索）によって大量に速く伝送される。それは普通の真核細胞の信号伝達のいくつかの点が誇張されたものである。例えば、シナプスで起こることは真核細胞での情報のやりとりと基本的に同じである（ケアンズ・スミス，2000）。真核生物から始まる高次シグナル伝達系の最も早いものとしてMAPKシグナル伝達系が出現した（田中，2007）。

### (3) 細胞内の情報伝達

細胞内の情報伝達は細胞外のシグナルを受ける分子である受容体、細胞内のシグナル分子であるセカンドメッセンジャー（例えばG蛋白質）、細胞の働きを変える分子である効果器から成っている（伏見・西垣編，2006）。

### (4) 単細胞生物での情報伝達

単細胞生物では刺激情報伝達は蛋白質分子によるシグナル伝達系が担っている。そこではリン酸化が「発火」状態と言える。つまりリン酸化される蛋白質が次々と変わることがシグナル伝達となる。また外界の情報の受容器となるのは細胞表面の受容体蛋白質分子である。こうしてシグナル蛋白質が遺伝子を発現したり、酵素を活性化させたりする。このような受容体蛋白質と応答調節蛋白質から成る2成分制御系が単細胞生物の「脳」に相当する。応答調節蛋白質は細胞外からのシグナルのレベルに応じてリン酸化して応答を調節する。リン酸化をもたらすのはキナーゼの働きである（図24）（田中，2007）。このように細胞の電位変化によらない生化学的变化による情報処理もある。もしここにも原初的な感受性の萌芽があるとしたら、蛋白質からなる細胞表面の受

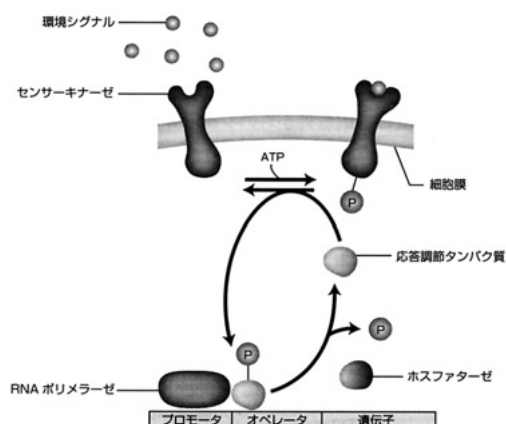


図24. 単細胞制御系 (田中, 2007)

容体の変異の中に潜んでいるのかもしれない。

## 【2】脳神経系活動の産物(?)としてのクオリア

### 1. 脳神経系とクオリア(感覚・主観)の関係

脳神経系(脳が認められない神経系だけの場合も含めて考える)の活動なしにはクオリア(感覚)という主観的経験は生じないととりあえずここでは「常識」的に考えておく。では脳神経系の活動がいかにしてクオリアなどの主観的経験・現象を生み出すのか。何が感覚しているのか。主観とか感覚とは何か。「ある(ネットワークの)ニューロン発火=あるクオリア」(つまり両者は同一である)とは言えないことは確かではないか。単純な同一説もあるが、それは理解しがたいことである。

目の前に今この見えている映像自体はどこにも実在しない(実在という用語もあいまいである。物質という意味もあり、ここでも一応その意味で使っているが、「今この見えている映像」はリアルであるという点では実在しているとも言えよう)。「客観=対象」も主観で捉えられた限りでの「客観=対象」である。すなわち現象である。クオリアは外部の特性ではなく、脳-感覚(心)系という内部の現象であることは錯視の現象からも明らかであろう。音波で色覚などが起こる共感覚や目を打つと光を感じるなどからもそれは言えよう。パーカーも言うように環境中には光など様々な波長の電磁波が飛び交っているが、色そのものは外界にはない。色は脳が生み出すものである(パーカー, 2006)。ただし通

常の視覚像は外界を捉えている、反映しているとも言えるが。

感覚信号の解釈はどこでなされるのか。もし目と視覚神経路が光学像の忠実な神経的複製を作り出して大脳視覚野に伝達するだけなら、網膜から大脳皮質に到達した視覚情報のプロセッシングはされないであろう。大脳視覚野の「神経像」を「見て」そこから意味のある情報を引き出すためには大脳の中にもう一つの目が必要である。テレビカメラはカメラの前の世界を「見る」ことができているとは考えられない。現在の研究は視覚情報処理のかなりの側面が感覚系のごく初期のレベルで発生していることを示唆している(トリッチほか, 2009)。

### 2. 原初的感受性

(1) 系統発生的にも個体発生的にも原初的レベルでの感覚・情動のようななんらかの感受性にクオリアの原点があると思われる。ただポイントは生物のどのレベルから原始的な感受性(感覚)を認めるのかである。そしてそのための方法である。

#### (2) 緊張場と感覚

Wernerらの感覚-緊張の場理論(sensory-tonic field theory)によれば、外的刺激の感覚は有機体の緊張(tonic)状態と密接に関連する。知覚は感覚と緊張状態との相互作用の場の表現である。諸感覚は系統発生的にも個体発生的にも原初的な一般的感受性から分化してきたものである(柿崎, 1993)。これはWallonとも共通する理論である。ただしその原初的一般的(未分化な)感受性(情動)はいかに成立するのが問題なのである。

#### (3) 細胞と主体性の出現

意識とは知覚であるという見解もある。つまり世界、肉体、自己を知覚していることである。生物にとって意識の始まりは光などの刺激に対する感応性である。進化とともに感応性のレベルは一次意識に始まって、最終的には自己意識つまり二次意識へと深まっていく(ホブソン, 2001)。単細胞生物が鞭毛で移動するのは「自己」を原点とする自己座標系に基づいている。そこにすでに「自己」と外界(他者)の区別が成立している(浅野・藤田, 2010)という見解もあるが、この「自己」とか「主体」とい

う言葉もあいまいである。

#### (4) 単細胞生物の情動

細菌やゾウリムシなどは刺激から逃げようとするとき「嫌だ」と感じているのか。電位勾配に応じての移動は自動的な仕組みとして説明可能だが、このとき、ゾウリムシは何かを「感じて」いるのかどうか。しかしその測定手段がない（矢沢サイエンスオフィス編, 1992）。例えば、電気ショックのような負の強化に基づいて下等動物にも条件づけをすることが可能であるが、彼らはその時、痛みを感じているのだろうか。もし痛みを感じるなら、彼らに危害を加えてはならないという倫理的問題が生じる（デネット, 1997）。ゾウリムシのような単純な単細胞生物にも情動のプロセスつまり回避や接近を促す対象の存在の感知がすでに存在する。ただしその情動を「感じている」とは言えない。情動を感じる脳装置を持っていない、つまり感情はないという見解もある。情動は単なる反射ではなく、一連の反射的反応のパッケージであるという（ダマシオ, 2005）。しかし情動は何らかの感受性（機械的反応ではなく）であるなら、「主観」の萌芽と言えるのではないか。原始的生物は最初は反射のような単純で局所的な反応だったが、やがて中央の神経節が原始的脳を媒介とした反応をするようになる。さらに化学物質や光などを感知する感覚領域が分化するようになる。いずれも生存のために良いか悪いかを判断するためである。ハンフリーによれば、「塩辛い」とか「まぶしい」とかの「身悶え」をするとと言える。しかしそれはまだ反応であり、心的なものとは言えない。これが人間の感覚の原型である。反応的な「身悶え」からその自らの反応をモニターするのは次の進化の段階である（ハンフリー, 2006）。

#### (5) 細胞の感受性

細胞のような複雑なものはみだりに擬人化してはいけませんが、分子や原子のレベルに還元してもいけない。細胞はそれ自体で単位であり、あるがままに観察しなければいけない。そうすれば、それなりの「意思」を持った自発的な存在であることが分かるという意見もある（団, 2008）。ニューロンに限らず、あらゆる原形質は環境変化をキャッチし、関連

づけなどの処理をして、内部に伝達するという反応を行っている。神経系はそれを特殊化したのである（バー, 2006）。細胞の中で起きているプロセスは因果律による決定論的現象である。すなわち細胞内の電気化学的なプロセスのパターン変化である。それと細胞が選択する能力を持ち、解釈を行う基体であるとみなすことは矛盾しない（ホフマイヤー, 2005）。しかし「解釈」のしくみこそが問題だ。

### 3. 潜在的行動としての心

#### (1) 脳内の内部ループ

ハンフリーによれば、長い進化の過程で感覚的な活動はまるごと「潜在化」（プライベタイズ）された。すなわち感覚のプロセス全体が外の世界から遮断され、脳内の内部ループとなったのである。かつては身体表現であった感覚の原型が潜在化されたのである（ハンフリー, 2006）。

森山も言う。心とは環境から刺激を受け取ることによって活動するが、行動へ発現することを抑制され、外部からは見えない隠れた活動部位のことである（森山, 2011）。本能的反応＝生得的解発機構を発現する際に他の行動を抑制し、潜在化することが「心」なのか、予期しない事態で選択行動を可能にするために衝動的反応を抑制し、潜在化していることが「心」なのか、それは言い方の問題か。つまり前者のために抑制するのでなく、後者のために抑制することは大きな違いではないのか。

#### (2) 非本能的行動と心の存在

動物が本能的に持つ行動傾向とは異なる「予想外の行動」を行った場合、そこに心を見ることができると森山は言う。進化の過程で適応的でない行動も切り捨てず、温存され、潜在させられる行動も存在し、「予想外の状況」で発現することもあると言う（森山, 2011）。選択行動があれば、確かに心の存在を予想できるだろう。しかし潜在された行動がただちに「心」だと言えるのか。潜在とはどういうことか。初めからそのようなものを「心」と定義しているようだが、その妥当性はどれだけあるのか。

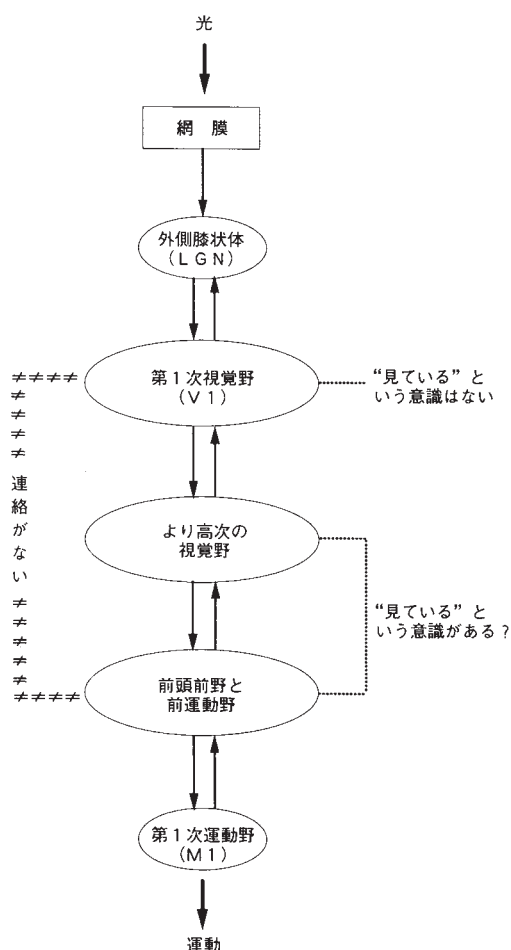
【3】ニューロンの諸反応はクオリア（感覚）になりうるか



1. 色などの主観・心理がいかに生じるのかー視覚  
経験（クオリア）の発生

(1) 神経系のどこでクオリアは発生するのか

視覚で再度、考えてみよう。視覚系神経回路のどこでどのようにクオリア（主観）が発生するのか。光そのものに色という物理的性質があるわけではなく、光を見て色を感じるのは神経系の働きである。光の波長分布という物理量を、色という心理量として感じるのである（安井, 2004）。それはどのよう



コッホとクリックは、マカクザルの脳の解剖学的研究から、脳の視覚情報処理のどの段階でサルがものを見てると意識するのかを調べた。その結果、これまで考えられていたように第1次視覚野の段階で起きていることを意識するのではないことが示された。上は視覚情報の流れと、起きていることが意識される過程の概念図。

図25.「見ている」という意識（矢沢サイエンスオフィス編，1997）

にしてか。視覚情報処理過程の中のどこでどのようにして「見ている」という意識が生じるのか(図25) (矢沢サイエンスオフィス (編), 1997)。

腰原によれば、視覚表象は視覚に関わる皮質領域にフィルムのように記録されており、それを映し出す意識の表象機能は映写機に当たる視床－脳幹系によって行われている。この視床－脳幹系が映写機であると同時にそれを「観賞」する主体自体にもなっている。すなわち視床－脳幹系における神経生理的反応の自律調節機構が作用し反作用を受ける（観賞する）ものと考えられる（腰原，1997）。「脳神経系の活動＝主観的感覚（クオリア）」という見解もある。それには「どういうわけか同一なのだ」という見解や「同じ過程の表裏の面だ」という見解などさまざまである（ここでは詳細は触れない）。しかしそれらにはなぜ同一なのか、一体のものなのかの説明がない。少なくとも人も人を納得させる論拠がない。クオリアの一人称的特性は前頭前野腹内側部（ventromedial prefrontal cortex, VMPFC）と前頭前野内側部（medial prefrontal cortical）とが関与している（Northoff, 2003）が詳細はいまだ不明である。

## (2) 活動としての意識

視覚的意識とは網膜から行為に至るさまざまなマップ(地図)の活動そのものである、という見解がある。これらのマップのどれかに意識が見出されるというものではない。意識とは経路全体の状態なのである。問題は空間が空間でない形式でどのように表象されるのかを見つけることであるという(モーガン, 2006)。

(3) 神経回路のどこで主観が発生するのか

昆虫などの微小脳は比較的単純なので神経系の研究に適しているが、それでも神経系のどこで波長情報が「色」に変換されるのか、まだ不明である（山口ほか編，2005）。また例えば，昆虫の嗅覚情報は触覚葉の投射ニューロンの空間的・時間的な発火パターンとして符号化され，前大脳で終末するが，そこでどのように読み出されるのかは研究が少なく，不明である。ゴキブリの脳の回路図（図26）を見ると，感覚入力→感覚中枢→情報統合・記憶中枢（？）（キノコ体）→前大脳→運動中枢→運動出力となっ

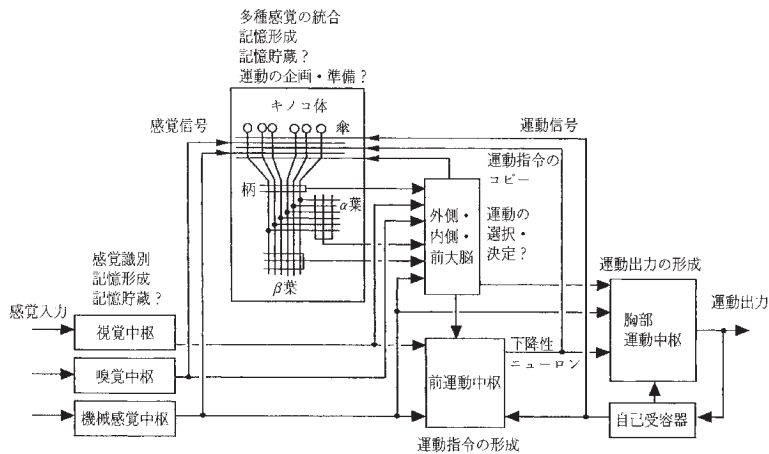


図26. ゴキブリの脳の神経回路図 (水波, 2006)

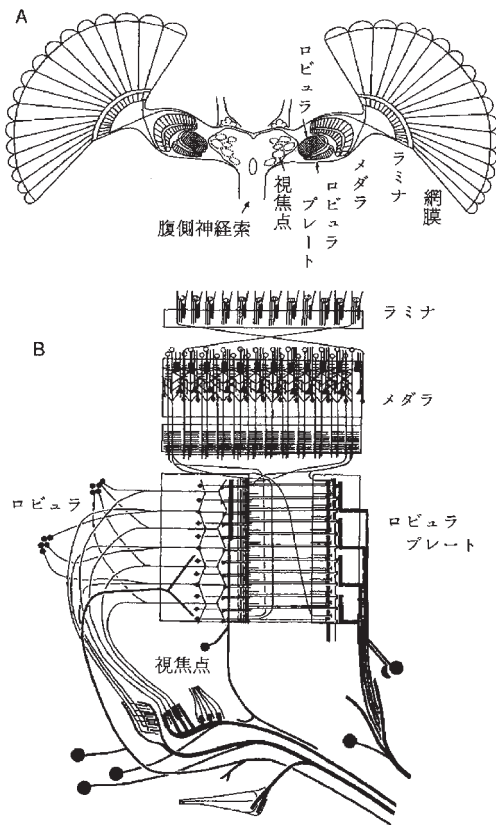


図27. ハエの視葉 (水波, 2006)

ているが、もしゴキブリがクオリアを体験しているとすれば、この回路のどこか（おそらくキノコ体と前大脳の回路）で発生しているはずである（水波, 2006）。ハエの視葉の模式図（図27）（水波, 2006）を見ても同じことが言える。反応選択性ニューロンによる情報処理（パターン化）が感覚だろうか。昆虫（ハエ）の視覚中枢の構造を見ると明暗のコントラストによる輪郭、局所運動検知ニューロンによる対象の運動、色対比ニューロンによる色などそれぞれに応じた反応選択性のニューロンの興奮が生じ、時間パターンも加味されて、最後に情報が統合され、それが運動回路に送られ、制御されている。これは基本的にヒトでも同じである。要するに外界の刺激の構成を分解して模写するように（高度の情報処理を経て）対応するニューロンが興奮するわけだが（さらにそれらの情報が統合されるが）、それがどのように主観となるのかが不明である。ニューロンの興奮と言ってもまだそれ自体は物質の電気的変化にすぎない。それだけではその物質はそれを主観的に「感じて」はいないはずである。ゴキブリや昆虫にクオリア体験があるかどうか重要な点の1つだが、確かめようがない。昆虫のレベルで主観的な感覚はあるのか。もしなければコンピュータと同じであろう。もし昆虫などの下等動物の神経も細胞の進化したものであるなら、生命それ自体に感覚の芽があるのかもしれない。脳・神経系は

ただそれを分化・増幅して（判断・選択するために）顕在化＝意識化するだけなのかもしれない。

## 2. クオリア（感覚）の発生の謎

感覚とはそもそも何であるか。もともと身体表現つまり反応であるものがいかにして感覚になるのか。感覚する主体の元は身体・脳システムであろう。身体・脳がパルス＝発火を表象（感覚）へ変換しているのである。どのようにしてか。

例えば、痛覚の発生で言えば、左手をつねるとその神経インパルスは脊髄や脳幹を通して上行し、脳幹の中線を交差してから、軸索は視床の二次ニューロンに終わり、ここで中継されて、一次感覚皮質の特定部位で終わる。ここである場所（左手のある箇所）に痛みを感じるようになるが、いかにして心的な感覚が生じるのかは不明である（ソームズ&ターンブル, 2007）。ある情報処理の段階は他の段階に投射され、その段階はさらに別の段階へ投射され、というプロセスが次から次へと起こるが、最終的になぜ知覚が生じるのかは不明である。神経系についてのデータを積み重ねていくしか解明の方法はない（矢沢サイエンスオフィス（編）, 1997）。原一経験はすでに感覚を前提していると思われる。感覚も反応であるのか。物質界さらに生命体とくに神経系には反応（エネルギー変換）しか存在しないのではないか。機械のレベルで何らかの外界の変化を検知するものに「センサー」という用語がよく使われ、ここではあたかも機械が感覚している、感受性があるかのように表現するが、正確にはそこには反応がなく、感覚は存在しないであろう。化学反応のような物質界での反応はいかに起きるのか。そこで刺激を「受け取る」「作用を受ける」とはどういうことか。物理から主観へというエネルギー変換はどのようなものなのか。その変換は少なくとも細胞の興奮、内的状態の変化という「反応」である。それがどうして「主観」となるのか。物質レベルで物体どうしが物理化学的に作用しあう場合に、その状態の変化（反応）が生じる際に、つまり反応の「前」に、物質は刺激を「受け取っている」、つまり「感覚」していると言えるのだろうか。神経系も物質だとしたら、神経興奮もすべて「反応」（これも明確な用

語ではない）にすぎないのではないか（これは行動主義に通じる考え方もかもしれないが）。もし反応以前になんらかの感覚（感受性）を認めるとそれは物質自体に感覚（主観）を認めること（汎心論）にならないか。これは Chalmers らの問題にしていることであろう。もし汎心論を認めるなら、主観の素のようなものが物質とは別個に存在する（二元論）のか物質自体にそもそも主観の素のようなものが備わっている（両者を共に認める一元論）のかということになるのか。もしそうなら、神経系は単にその分化・増幅装置にすぎないことになる。例えば、「感覚素」みたいなものを設定するとしたら、一種の汎心論になるだろうが、その単位はどうなるのか、感覚素の主体（個別性）はどのようなものか（何が感じているのか）、そこには感覚経験だけがあって、まだ主体はないのか、など謎がありすぎて安易には設定できない。多少とも分化したニューロンの興奮自体が主観＝クオリアなのか。ニューロンの興奮にしか感覚の根拠はないのだろうか。ニューロン以前の生命・細胞活動そのものにその萌芽があるのかもしれない。

## 参考文献

- 浅野孝雄・藤田哲也, 2010, プシューケーの脳科学, 産業図書.  
 バーンズ, D. & ファン, E., 田沼靖一（監訳）, 2002, 脳と感覚のしくみ, ニュートンプレス.  
 ブレイスウェイト, V., 高橋洋（訳）, 2012, 魚は痛みを感じるか?, 紀伊國屋書店.  
 ブレイ, D., 熊谷玲美ほか（訳）, 2011, ウェットウェア単細胞は生きたコンピューターである, 早川書房.  
 バー, H.S., 神保圭志（訳）, 2006, 生命場の科学, 日本教文社.  
 ケアンズスミス, A.G., 北村美都穂（訳）, 2000, <心>はなぜ進化するのか, 青土社.  
 Carruthers, P., 2000, Phenomenal consciousness: A naturalistic theory, Cambridge U.Pr.  
 カーター, R., 藤井留美（訳）, 2003, 脳と意識の地形図ビジュアル版（脳と心の地形図2）, 原書房.  
 ショシャル, P., 石田武・水野明路（訳）, 1974, 欲望とは何か, 中央大学出版部.  
 チャーチランド, P.M., 信原幸弘・宮島昭二（訳）, 1997, 認知哲学, 産業図書.

- チャーチランド, P.S., 村松太郎 (訳), 2005, ブレインワイズ, 新樹会創造出版.
- クリック, F., 中原英臣 (訳), 1995, DNAに魂はあるか, 講談社.
- チェルナー, T.B., 新井康允 (訳), 2003, 心の棲である脳, 東京図書.
- ダマシオ, A.R., 田中三彦 (訳), 2000, 生存する脳ー心と脳と身体の神秘ー, 講談社.
- ダマシオ, A.R., 田中三彦 (訳), 2003, 無意識の脳自己意識の脳, 講談社.
- ダマシオ, A.R., 田中三彦 (訳), 2005, 感じる脳, ダイヤモンド社.
- 団まりな, 2008, 細胞の意思, 日本放送出版協会.
- Dehaene, S. (ed.), 2001, The Cognitive Neuroscience of Consciousness, MIT Pr.
- デネット, D.C., 土屋俊 (訳), 1997, 心はどこにあるのか (サイエンス・マスターズ7), 草思社.
- デネット, D.C., 山口泰司 (訳), 1998, 解明される意識, 青土社.
- 土井利忠・藤田雅博・下村秀樹 (編), 2006, 身体を持つ知能 脳科学とロボティクスの共進化, シュプリンガー・ジャパン.
- エクルズ, J.C. & ポパー, C.R., 西脇与作・大村裕 (訳), 1986, 自我と脳 (下), 思索社.
- エーデルマン, G.M., 冬樹純子 (訳), 2006, 脳は空より広いのか「私」という現象を考える, 草思社.
- 江口英輔・蟻川謙太郎 (編), 2010, いろいろな感覚の世界, 学会出版センター.
- ファーラー, M.J., 利島保 (監訳), 2003, 視覚の認知神経科学, 協同出版.
- Feser, E., 2001, Qualia, Journal of Consciousness studies, 8 (8), 3-20.
- フォントネ, E., 伏見操 (訳), 2011, 動物には心があるのか? 人間と動物はどうちがうのか?, 岩崎書店.
- フリーマン, W.J., 浅野孝雄 (訳), 2011, 脳はいかにして心を創るのか, 産業図書.
- 藤田哲也・浅野孝雄, 2009, 脳科学のコスモロジー, 医学書院.
- 福田淳・佐藤宏道, 2002, 脳と視覚, 共立出版.
- 福岡伸一, 2009, 動的平衡, 木楽舎.
- 福田照丈, 2008, ラセンがかたる生命の不思議, 技術評論社.
- 伏見譲・西垣功一 (編), 2006, 進化・情報・かたち, 培風館.
- Gennaro, R. (ed.), 2004, Higher-order theories of consciousness: An anthology, J. Benjamins.
- グリフィン, D.R., 桑原万寿太郎 (訳), 1979, 動物に心があるか, 岩波書店.
- 彦坂興秀, 2003, 眼と精神, 医学書院.
- ホブソン, J.A., 澤口俊之 (訳), 2001, 意識と脳, 別冊日経サイエンス134, 日経サイエンス社.
- ホフマイヤー, J., 松野孝一郎ほか (訳), 2005, 生命記号論, 青土社.
- ハンフリー, N., 柴田裕之 (訳), 2006, 赤を見る, 紀伊國屋書店.
- 飯田真・笠原嘉・河合隼雄・佐治守夫・中井久夫 (編), 1983, 精神と身体 (岩波講座精神の科学4), 岩波書店.
- 池田和正, 2011, トコトンわかる図解基礎神経科学, オーム社.
- 池田譲, 2011, イカの心を探る, NHK 出版.
- イングス, S., 吉田利子 (訳), 2009, 見る, 早川書房.
- 石川弘義・磯貝芳郎 (編), 1998, 心理学面白事典, 主婦と生活社.
- 伊藤正男 (監修) 金澤一郎ほか (編), 2003, 脳神経科学, 三輪書店.
- 伊藤正男・川合述史, 2009, ブレインサイエンス・レビュー2009, クバプロ.
- 岩堀修明, 2011, 図鑑・感覚器の進化, 講談社.
- ジョンストン, V.S., 長谷川真理子 (訳), 2001, 人はなぜ感じるのか?, 日経 BP 社.
- 柿崎祐一, 1993, 心理学的知覚論序説, 培風館.
- 兼本浩祐, 2011, 心はどこまで脳なのだろうか, 医学書院.
- 神崎亮平, 2009, ロボットで探る昆虫の脳と匂いの世界, フレグランスジャーナル社.
- 河村次郎, 2004, 意識の神経哲学, 萌書房.
- 木下清一郎, 2002, 心の起源, 中央公論新社.
- 小林道夫, 2009, 科学の世界と心の哲学, 中央公論新社.
- コッホ, C., 土谷尚嗣・金井良太 (訳), 2006a, 意識の探求 (上), 岩波書店.
- コッホ, C., 土谷尚嗣・金井良太 (訳), 2006b, 意識の探求 (下), 岩波書店.
- 腰原英利, 1997, 意識をつくる脳, 東京大学出版会.
- 工藤佳久, 2011, 脳とグリア細胞, 技術評論社.
- 久野宗・三品昌美 (編), 1998, 脳・神経の科学 I ニューロン (現代医学の基礎6), 岩波書店.
- ルドゥー, J., 谷垣暁美 (訳), 2004, シナプスが人格をつくる, みすず書房.
- マッギン, C., 石川幹人・五十嵐靖博 (訳), 2001, 意識の「神秘」は解明できるか, 青土社.
- 前野隆司, 2004, 脳はなぜ「心」を作ったのかー「私」の謎を解く受動意識仮説, 筑摩書房.
- 前野隆司, 2007, 錯覚する脳, 筑摩書房.
- Maslin, K.T., 2001, Introduction to the Philosophy of Mind, Polity Pr.
- メルロー＝ポンティ, M., 滝浦静雄・木田元 (訳), 1977, 行動の構造, みすず書房.
- 道又爾・岡田隆, 2012, 認知神経科学, NHK 出版.
- ミリカン, R.G., 前田高弘 (訳), 2004, バイオセマンテ



- イックス, 信原幸弘 (編), シリーズ心の哲学Ⅲ 翻訳篇, 勁草書房.
- 三品昌美ほか (編), 2008, 神経の分化, 回路形成, 機能発現, 共立出版.
- 三輪正, 1977, 身体の哲学, 行路社.
- 水波誠, 2006, 昆虫—驚異の微小脳, 中央公論新社.
- 水谷仁 (編), 2008a, 脳のしくみ, ニュートンプレス.
- 水谷仁 (編), 2008b, DNA 生命を支配する分子, ニュートンプレス.
- モーガン, M., 鈴木光太郎 (訳), 2006, アナログ・ブレイン脳は世界をどう表象するか?, 新曜社.
- 茂木健一郎, 1997, 脳とクオリア, 日本経済新聞社.
- 茂木健一郎, 1999, 心が脳を感じる時, 講談社.
- 茂木健一郎, 2004, 脳内現象, 日本放送出版協会.
- 茂木健一郎・斎藤環, 2010, 脳と心, 双風舎.
- 茂木健一郎・歌田明弘 [聞き手], 2004, 脳の中の小さな神々, 柏書房.
- 森憲作, 2010, 脳のなかの匂い地図, PHP 研究所.
- 森田倫雄, 2009, プラナリアのからだ, 東京図書出版会.
- 森山徹, 2011, ダンゴムシに心はあるのか, PHP 研究所.
- 本山博, 2003, 脳・意識・超意識—魂の存在の科学的証明—, 宗教心理出版.
- 村上富士夫ほか, 2001, 脳の神秘を探る, 大阪大学出版会.
- 永井均, 1995, 翔太と猫のインサイトの夏休み, ナカニシヤ出版.
- ネーゲル, T., 永井均 (訳), 1989, コウモリであるとはどのようなことか, 勁草書房.
- 中垣俊之, 2010, 粘菌, PHP 研究所.
- 中村守, 2005, 知られざる心の正体, 碧天舎.
- 中村俊 (編), 2006, 先進脳・神経科学, 培風館.
- 中田力, 2001, 脳の方程式 いち・たす・いち, 紀伊國屋書店.
- 中田力, 2002, 脳の方程式 おらす・あるふあ, 紀伊國屋書店.
- 中田力, 2006, 脳のなかの水分子—意識が創られるとき, 紀伊國屋書店.
- NHK 取材班, 1995, ビジュアル脳と心のデータブック (驚異の小宇宙・人体Ⅱ別巻), NHK 出版.
- 日経サイエンス編集部 (編), 2009, 脳科学のフロンティア: 意識の謎知能の謎, 日経サイエンス社.
- 信原幸弘, 意識, 2006, 海保博之ほか (監修), 心理学総合事典, 朝倉書店.
- Northoff, G., 2003, Qualia and the ventral prefrontal cortical function, *Journal of Consciousness Studies*, 10 (8), 14–48.
- 岡本仁 (編), 2008, シリーズ脳科学 4 脳の発生と発達, 東京大学出版会.
- 奥井一満, 1994, 動物はなぜ行動しなければならないか, 丸善出版事業部.
- 奥井一満, 1997, ミミズは切られて痛がるか, 光文社.
- 芋阪直行 (編), 2002, 意識の科学は可能か, 新曜社.
- パーカー, A., 渡辺政隆ほか (訳), 2006, 眼の誕生, 草思社.
- ポスナー, M.I. & レイクル, M., 養老孟司ほか (訳), 1997, 脳を観る, 日経サイエンス社.
- レイティ, J.J., 堀千恵子 (訳), 2002, 脳のはたらきのすべてがわかる本, 角川書店.
- Revonsuo, A., 2006, *Inner Presence: Consciousness as a Biological Phenomenon*, MIT Pr.
- 坂井克之, 2008, 心の脳科学, 中央公論新社.
- 酒田英夫・外山敬介 (編), 1999, 脳・神経の科学Ⅱ 脳の高次機能 (現代医学の基礎 7), 岩波書店.
- 櫻井芳雄, 2008, 脳の情報表現を見る, 京都大学学術出版会.
- ソームズ, M. & タンブル, O., 平尾和之 (訳), 2007, 脳と心的世界, 星和書店.
- 鈴木敏昭, 2008, クオリアと意識のハードプロブレム, 理論心理学研究 10 (1), 1–17.
- 田中博, 2007, 生命—進化する分子ネットワーク, パーソナルメディア.
- 戸田山和久・服部裕幸・柴田正良・美濃正 (編), 2003, 心の科学と哲学, 昭和堂.
- トリッチ, D. ほか, 御子柴克彦 (監訳), 2009, ニューロンの生理学, 京都大学学術出版会.
- Wallon, H., 1925, *L'Enfant Turbulent*, Librairie Felix Alcan.
- ワロン, H., 久保田正人 (訳), 1965, 児童における性格の起源, 明治図書.
- ワロン, H., 浜田寿美男 (訳), 1983, 人間における器質的のものと社会的なもの, 浜田寿美男 (訳編), ワロン/身体・自我・社会, ミネルヴァ書房.
- ヴァイツェッカー, V., 木村 敏・浜中淑彦 (訳), 1975, ゲシュタルトクライス, みすず書房.
- 山口 創, 2006, 皮膚感覚の不思議, 講談社.
- 山口恒夫ほか (編), 2005, もうひとつの脳—微小脳の研究入門—, 培風館.
- 山内昭雄・鮎川武二, 2001, 感覚の地図帳, 講談社.
- 安井湘三, 2004, 感覚情報処理, コロナ社.
- 矢沢サイエンスオフィス編集, 1992, 最新脳機械論, 学研.
- 矢沢サイエンスオフィス (編), 1997, 最新脳科学, 学研.
- 養老孟司, 1986, 脳の中の過程, 哲学書房.
- 養老孟司, 1989, 唯脳論, 青土社.
- Zeman, A., 2004, *Consciousness: A user's guide*, Yale U. Pr.