

京都大学全学共通講義 平成21年度前期

科目名：自然の不思議を探る：文系・生命科学系向け現代物理学

担当教員名：吉川 研一（理学研究科 物理学専攻）

村瀬 雅俊（基礎物理学研究所 統計動力学分野）

講義ノート：村瀬 雅俊 担当分

日時： 毎週木曜日 第2時限

E-mail: murase@yukawa.kyoto-u.ac.jp

Tel: 075-753-7013: Fax: 075-753-7010

第8回 進化的脳構築

1. 進化的脳構築の解明に向けて

1-1. 環境センサーとしての脳幹レベルのスイッチ機構

ヒト脳の高次構造と統合機能を理解する方法として、その進化生物学に注目することは意義深い。ヒト脳の最下層—すなわち、脳の中で最も古く、約5億年以上も前から存在していた‘爬虫類脳’と呼ばれている領域—には、運動を司る小脳と、脊柱を伝って身体からのびる神経からなる‘脳幹’がある。角田は、脳のスイッチ機構は脳幹にあると考えている。この脳幹は、身体と脳の情報交換を担っている。その機能は極めて複雑である。

先にのべたように、脳幹は外部環境からのさまざまな外来刺激—すなわち、聴覚、視覚、味覚、振動覚など—を統合する機能がある。それとともに、脳幹は内部環境を決定づけ、例えば、レム睡眠と呼ばれる身体を動かさないでおくだけの休息状態を実現する機能がある（井上、1988; 1989）。このレム睡眠では、大脳皮質の活動は完全に抑えられないために、夢を見る機会が多くなる。

逆に、脳の覚醒状態が脳幹の活動にも影響を与えている。脳幹にはセロトニンと呼ばれる神経伝達物質を放出する神経細胞がある。このセロトニン分泌神経細胞の軸索は中枢神経系—脳と脊髄—のすべての部分に、セロトニンを放出し、そこで、ほぼすべての神経細胞が他の神経伝達物質に対する反応性を変調している（オールマン、1999）。このように、一般的に、セロトニンは他の神経細胞を直接興奮させるのではなく、神経細胞の活動状態に影響を与えている。ただし、大脳皮質内の錐体細胞は、セロトニンによって興奮する細胞である。このように脳幹のセロトニン神経細胞から分泌されるセロトニンは、脳の広範囲に影響を与えることから、精神状態ばかりでなくさまざまな行動の統合にも

関与していると考えられる。

ネコを用いた実験によると、セロトニン分泌神経細胞の活動は、動物の覚醒状態と密接に関係していることが明らかになった。活動的な歩行状態では、セロトニン分泌神経細胞の発火頻度は高い。ところが、ゆっくりとした歩き、寝入りばなの徐波睡眠、そしてレム睡眠へと移行するにつれて、セロトニン分泌神経細胞の発火頻度は低下してくる。

脳内のセロトニンは、必須アミノ酸の1つトリプトファンから作られる。私たちは、トリプトファンを体内で合成することができないため、食べ物からとらなければならない。トリプトファンは肉類に多く含まれ、胃でタンパク質が消化され、消化管から吸収される。その後、血管で脳へ運ばれ、そこでセロトニンが作られる。従って、トリプトファンが欠乏すると、脳内の化学的環境が変わり、その結果、精神状態も変わってしまう。

ヒトの脳には、セロトニン分泌神経細胞は10万個程度—これは中枢神経系にある神経細胞総数の約100万分の1程度—存在している。これに対して、標的神経細胞のセロトニン受容体は多様で、これまで14種類が哺乳類の脳で発見されている。これらセロトニン受容体は、真核単細胞生物である酵母にもある‘G-タンパク質結合受容体’という大きなグループの一員で、約5億年前に脳が初めて出現するよりずっと以前に、すでに生物界に存在していたのである。G-タンパク質は、さまざまな細胞応答の鍵として重要な機能を果たしている（3節参照）。

私たちの身体においては、セロトニン受容体は、血管や消化管にある。セロトニンの語源自体、その作用が血管の収縮であることから、血をあらわす *serum* と引っ張るを意味する *tonus* からきている。しかし、その後、セロトニンには血管や消化管の拡張作用も見いだされ、単一分子の多様な機能の存在を、この時も見せつけられたのである。

霊長類の研究から、セロトニン量の多いサルは落ち着いており社会的地位が高いが、危険や好機には敏感でないことが明らかになった。逆に、セロトニン量の少ないサルでは、動機付け刺激がより強くなり、周囲にある危険や好機により敏感になることで、グループ全体の生存率を高めている。これは、進化的に意味をもってきたように思われる。セロトニン量が少ない個体が、進化的意味を持つからこそ、人間においてもセロトニン量が少ないことに起因する気分障害が珍しくないのかもしれない。危険・好機の敏感な認識機構が、ストレスの多い現代社会にあって、病気発症機構に転化してしまっているのは、皮肉なことである。そして、現代では、神経細胞のシナプスレベルで、セロトニン量を増やすような薬が、うつ、不安、強迫神経症などの治療に役立っている。

1-2. 大脳辺縁系

進化によって、脳幹の上位に、さらにモジュールが構築された。それが大脳辺縁系である。具体的には、記憶を担う海馬、恐怖を感じる扁桃体、外界からの刺激—聴覚、視覚、味覚など—や身体からの体性感覚を脳の適切な領域に振り分ける視床、その下の視床下部、そしてメラトニンを合成分泌する松果体などから、大脳辺縁系は構成されている。

ヒトの松果体は、0.2g 程で形が松ぼっくりに似ていることから、この名がついた。ヒトを含む高等動物の松果体は、神経組織に特有な神経細胞がないという特徴がある。4億5000万年前に海岸近くの海に生息していたサバンバスビスと呼ばれる、最も初期の脊椎動物には、頭頂眼—いわゆる、第三の眼—があり、光に感受性を示し、それが私たちの松果体へと進化したと考えられている。そして、今日でも、この松果体が昼夜のリズムに対応してメラトニンを分泌し、睡眠と覚醒のサイクルを調整している（オールマン、1999）。

この大脳辺縁系は、哺乳類に最初に現れたと考えられ、情動が生まれる領域である。その中の視床下部は、より原始的な脳幹の助けを借りながら「内部環境」を調節する一方で、脳の他の領域からの神経的信号と化学的信号によって調節されているばかりでなく、身体のさまざまなシステムで生じる化学的信号によっても、逆に調節を受けている。大脳辺縁系は、「外部環境」からの刺激を受けて身体反応を起こし、さらに感情に訴えかける。こうした機能によって、私たちは音の羅列からメロディーを感じ、線の集合や色彩のコントラストから美的感情を呼び起こすのである。

‘共感覚’は、音、視覚、触覚、味覚、臭覚という感覚が混じり合ってしまう状態で、音が見えたり、景色が匂ったり、あらゆる感覚の組み合わせが報告されている（シトウウィック、1993）。私たちの感覚器官—眼、耳、鼻、舌、皮膚の受容体—は、光、波、分子、振動という刺激に合わせて巧妙に進化・発達してきた。しかし、どの感覚器官も、特異的な刺激を非特異的に電気パルスに変換しているという共通性がある。すなわち、一見同じような電気パルスのパターンが、実際の刺激は、視覚であったり、匂いであったりするのである。その違いは、刺激される神経細胞で決まる。一般には、入力刺激は特定の経路を経て、感覚器官から脳の特定領域に運ばれる。そこで、次に述べる大脳皮質の役割がでてくる。

1-3. 大脳皮質

約7000万年前に、哺乳類はヒトの祖先を含む霊長類へと進化した。その際に、大脳辺縁系の上位に、大脳皮質が構築された。大脳皮質は、それぞれの感覚を受け持っている。つまり、感覚器官からの電気パルスは途中で枝分かれして、

大脳皮質のいくつかの領域で同時に処理されるのである。視覚野に送られる外からの情報は、さらに連合野というより大きな皮質領域に送られ、適切な連想と結びつけられる。

私たちの脳は、外の刺激をただ‘複製’しているのではなく、‘再構成’しているのである（エーデルマン、1992）。同じ脳が2つとない以上、この再構成のあり方も異なる。そのために、同じ刺激に対して、意識されるイメージが異なるのも当然である。‘実在しているもの’とは、客観的に存在しているということではない。それぞれ見る人が、主観的に認識しやすい要素だけを選択して、脳で再構成した像に過ぎないのである。本報告書の冒頭で、私が指摘した科学的‘真理’の主観的‘客観性’の問題が、脳科学の分野から再び提示されている。

リチャード・シトーウィック（1993）は、共感覚について非常に興味深い見解を示している。それによると、赤ん坊はみな共感覚で、皮質が発達するにつれて、その情報が脳辺縁系によって振り分けられるように発達する。つまり、あらゆる刺激は、もともといくつもの感覚系で認識される可能性があったということである。そして、共感覚者は、その状態が大人になっても続いているという見解である。