

認知科学のすすめ (1)*

1. はじめに

最近岩波から、講座として認知科学（全九巻）³⁾が出ました。

1. 認知科学の基礎（安西祐一郎、波多野誼余夫、田中啓治、郡司隆男、中島秀之）では、「情報概念や情報科学の方法論に基づいて生物、特に人間の理解を深めようとする知的営み」とみなす立場をとって、脳と心の働きを解明し、以って生物とくに人間を理解しようとするもので、従来哲学の領域にあったいろいろな概念を科学の俎上に乗せつつある。昔一括して「意識」と呼んでいた現象のうち神経科学的、心理学的に裏づけのできた事柄が多くなっている。注意、意識、感情のような概念が研究テーマとして取り上げられるようになった。
2. 脳と心のモデル（市川伸一、外山敬介、川人光男、橋田浩一）
3. 視覚と聴覚（行場次郎、藤田一郎、乾敏郎、力丸裕）
4. 運動（佐々木正人、三嶋博之、丹治順、坂田英夫、村田哲、藤田昌彦、川人光男）
5. 記憶と学習（伊藤裕司、渡邊正孝、酒井邦嘉、安西祐一郎）
6. 情動（梅本守、山鳥重、小野武年、往拾彰文、池田謙一）
7. 言語（天津由紀雄、田窪行則、橋田浩一、杉下守弘）
8. 思考（高野陽太郎、伊藤正男、中島秀之）
9. 注意と意識（苧坂直行、前田敏博、彦坂興秀）フーバー・テレシィー²⁾「3ポンドの宇宙」林 一訳 白楊社（1989）

脳という機械の一部を解明してノーベル賞を得た、ハーバード大学のヒューベルは1979年に神経科学の夢を次のように描いている。

コペルニクスが地球は宇宙の中心ではないことを指摘し、ガリレオが星や惑星は天空の天使ではないことを知り、ダーウィンが人間は他の全ての生物と関連していることを示し、アインシュタインが時間と空間の質量とエネルギーの新しい概念を導入し、ワトソンとクリックが生物の遺伝は物理学と化学の用語で説明できることを示したのだとすると、超自然的なものを除去して行くというこの系列で、科学に残されている主要なものは脳だけであり、それが途方もなく壮大な複雑さを備えた機械以上のものであるか否か、ということであろう。

2. 脳の階層構造

生理学では脳を3つの段階に分ける考え方があって、1つは知性の部分で言語中枢みたいなわりと新しいところ、次が情緒脳で、更に深い旧皮質あたりに反射脳というのがあらしい。計算



図1 脳の階層構成

とか契約書を書くというときには新しい外側の部分を使って、小説なんかの場合だとある程度までルーティンで描写なんかしていったときに、脳の奥の方が退屈を感じるんだそうです。それでもっと違うことを書きたいと考える。それが閃きというものらしい。脳のいろいろな部分の共同作業として創作ができる。

宮内、鳥の対談「宇宙、意識、文学」⁶⁾で語っていた。もう少し続けると「脳の面白い現象としてドストエフスキーのてんかんは典型的な脳内の電気的な嵐」脳の沈黙野というところで起こる放電現象で、例えば車を運転し

ているときその放電が起こると、その道路が通りなれたルーティンにあるところだと、チャンと車を運転して帰ってこられる。その間の記憶は一切消えているそうである。

この対談の中で、先程反射脳という風に呼んでいた最も原始的なものを、マックリー⁵⁾はR-複合体と名付けた。爬虫類から受け継いだ脳である。中間に存在する大脳辺縁系と呼ばれるものは古哺乳類のもので、情緒脳である。そして動物が高等になるにつれてR-複合体は目立たなくなり、人間では大脳の皮質がこれを完全に覆ってしまっている。図1の構造になる。

脳は相互に連結し合った生物学的コンピュータとみられる。それぞれが固有の知能、固有の主体性、固有の時間、空間感覚、固有の記憶を持っている。

脳の進化を電子装置の進歩としてみると、爬虫類の脳はステレオタイプのもの、哺乳類の脳は白黒テレビということになる。

(1) R複合体の機能として、マックリー⁵⁾は、とかげの行動を何千本のビデオに取め、その分析などから生命を維持し種を保存するために繰り返される行動パターンを20種以上明らかにした。人間の行なう行動パターンの非常に多くのものが含まれている。その中には、居所の選択と準備、なわばりづくり、居所周辺の利用、好みの立ち寄り先の選定、通路作り、縄張り表示、巡回範囲の選定、縄張り防衛意志の定型的身体表現、縄張り防衛の定型的闘争、縄張り防衛の定型的勝利表現、降伏意志の定型的身体表現、排泄場所の選定、餌探し、狩り、帰巢、ためこみ、社会グループの形成、儀礼的身体表現による社会の階層化、挨拶、身づくろい、定型的求愛行為、配偶行為、生殖行為、ときに子守り、集群行動、移動、などが含まれている。私たちもこのような行動をする。多分人間にあるR-複合体に由来すると考えられる行動である。R-複合体は学習が関与しない生得的な行動と関係が深い。

(2) 大脳辺縁系は、R-複合体を取り囲んでいる一連の脳組織で、間脳を含む脳幹の頭端部を環状にとりまく古い皮質を中心とした領域で、脳幹の帽子とみることもできる。扁桃体と海馬体

は解剖学的にも機能的にも辺縁系の二大構成要素である。

辺縁系は新皮質よりも系統発生的に古く、動物に共通な本能、情動、認知や記憶および自律機能の統合に重要な役割を果たしている。しかし、辺縁系のもっとも重要な機能は情動（快、不快）の発現と、情動行動（接近、逃避、攻撃）の遂行である^{3~6}）。

大脳辺縁系は、論理以前の—非理想的な—古い感情反応の起こる場所である。先祖から私たちが受け継いだもので、人間が初期の哺乳類と共有する脳である。摂食、闘争、情動、性の4つの機能の中核とみることができる。

マックリーンによれば「情報の素材は大脳辺縁系の回路で形成される。大脳辺縁系の精神作用は、R-複合体のように強迫的に経験を説明するのでもなく、大脳皮質のように抽象思考として扱うのでもない。情報を情動感覚の形に符号化し、それによって決定や行為に影響を及ぼしている」

(3) 大脳新皮質は図1の一番外側の新哺乳類とかいてある部分で、ヒトの場合脳全体の重さの約80%を占めている。視覚、聴覚、体性感覚などの領域に分かれて外界からの刺激を受け入れて処理する。

3. ニューロン

R-複合体、大脳辺縁系および大脳皮質は、ニューロンが系統発生的に集まって3つの層になっている。ニューロンの数は150億といわれる。脳の容積1500ccとすれば、1cc中に1000万個の細胞がある。そして1つのニューロンに大体1万個のシナプスがある。

1906年にノーベル賞を貰ったカハール⁸⁾のニューロン説では「すべてのニューロンにおいて、細胞体と樹状突起はシグナルを受け取るリセプターであり、軸索は伝導のためのものである。軸索終末は次にシグナルを伝えるものである」といっている。

ニューロンは情報を伝えるためには、局所電位が脱分極し、そしてインパルスを発生し、このインパルスが例えば筋に伝わる。

エヴァーツ⁷⁾によると、レバーを押すと報酬のジュースが貰える。このように訓練されたサルを使用して、サルの脳の運動皮質に微小電極を刺し入れ「ニューロンが発するインパルスの頻度と、レバーを動かす力」とどんな関係があるか調べた。

レバーの抵抗が弱くて簡単に動かしけるときは、ニューロンのインパルス発射の頻度が低く、レバーが重くて動かすのにより大きな力が必要になると、インパルス発射の頻度が増加している。いい換えると、筋肉の行う行為が運動皮質の活動を決定している。朝刊を捨てるために入り口の階段でかがむ行為は、バーベルを持ち上げるためにかがむのとは異なった筋肉群を必要としているが、この違いは行為が始められる以前にすでに脳で決定されていることが分かった。

エヴァーツ⁷⁾はサルの運動皮質ニューロンが手の運動より先にインパルスを発射する。そして基底核、小脳、視床の3つの部位のニューロンは運動皮質ニューロンに対応し、手の運動より先に発射することに驚いた。これら基底核と小脳は運動皮質から情報を受けて、プログラムし新

隣接しています。それぞれの領野は、体表面の部分地図に対応して、規則正しい脳地図を描いている。サルの3本の指の訓練で分かったように、脳の活動状態によって極めて大きく影響される。その脳地図内では機能的に、より重要な部分は広い面積を占める。したがって人間の指やネズミの口髭には、脳の非常に広い部分領域が割り当てられている。図2の左半分は身体各部の皮膚に対する知覚皮質を、右半分は運動を指令する運動皮質を図式的に示している。手の部分をご覧ください。何れも右手です。ですから知覚皮質と運動皮質はこの図を真ん中で折り曲げて、前から運動皮質、知覚皮質となって左の脳の状態になる。左の脳は右手をコントロールしています。コントロールには左右の交差がある。

コントロール交差の原因は、大脳と脊髄とをつなぐ錐体線維束が、延髄の基部で交差することである。テュルクが1851年に見つけた。

5. 視 交 差

図3⁷⁾は眼の網膜は垂直な境界によって、つまり外側と内側の2つの部分に分かれており、左の眼についていえば、眼が凸レンズのようで網膜の外側（耳側）部分に入ってくるのは、中央より右の視野であり、この視野を受けて網膜から出る視神経線維は、交差せずにそのまま同じ側（左）の脳の視覚野に達す（濃色）。同じ中央より右の視野は、右の眼の網膜の内側（鼻側）に入り、網膜から出る線維は眼球を出た後、視神経交差で交差して反対側の左脳の視覚野に達している（濃色）。こうして左半球の視覚野は右側の対象物を検出している。

左半球は右手の運動をコントロールする。そして右半球の視覚野には左側の視野（淡色）が入り、右半球は左手の運動をコントロールする。

網膜で起こる出来事のうち、情報処理の観点から重要なことの第一は、外界の3次元像が1層の視細胞という2次元平面上に投影され、情報が圧縮されることである。脳はこの網膜上の2次元情報から、もとの3次元世界を再構築している。2次元に投影された網膜像から外界の3次元構造または状態を推定することである。これは丁度光学の逆操作を脳内で行っている。この操作を逆光学と呼ぶことがある。

2つの一次方程式しかないときに、3つの未知数を一義的に定めることができないように、これは不良設定問題（ill-posed problem）³⁻³⁾の典型である。制約条件を見つけて解くことになる。聴覚については、NTTの基礎研究所（1992、nov）

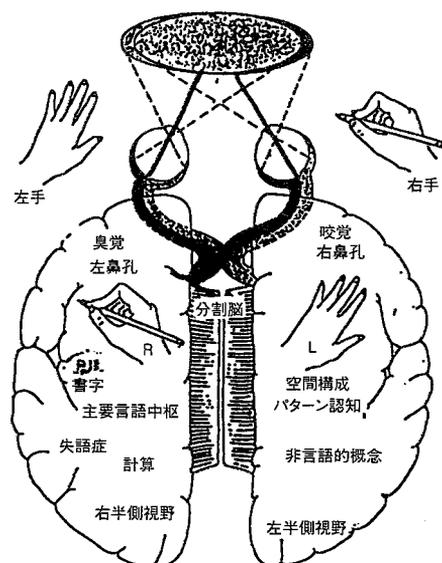


図 3

SQUID超電導量子干渉素子を使って脳の磁界の精密な測定をした報告がある。耳から脳が音の情報を得ると、脳内の神経細胞が活動して認識作業をする。細胞が活動するときには中を電流が流れ、極微弱な磁界が発生する。

(人の声は左の脳) 母音を開くと情報は左脳に伝わり、左耳のすぐ上にある左上側頭回という部分が、102n秒 (10^{-9}) で反応し、右脳の130n秒より早い。磁界の強さは左脳256フェムトテスラで、右脳の133フェムト (10^{-15}) テスラより大きい。(機械音は右の脳) 意味のない音 (2 khzの音) では左脳130nsec、194ヘムトテスラ。右脳115nsec、317ヘムトテスラで反対になった。

テスラはクロアチア生まれのアメリカの電気工学者 (1T=10000G)。近代科学への批判から最先端科学と東洋の神秘主義的世界観との融合が唱えられ、所謂ニューサイエンスの流れを生み出した。その信奉者はユーゴスラビアの天才で晩年オカルト的な研究に没頭した科学者ニコラ・テスラをイメージする。オームの科学技術に対するイメージの幾つかが、テスラのそれに呼応しているように見える。例えば、19C末には熱力学の第2法則に影響され、人類はエントロピーの増大によって宇宙とともに滅びるとの終末論が流行するが、テスラはこうした終末を人間の創意工夫によって科学的に乗り切れると主張した。また部分より全体の真理が尊ばれ、ためにエコロジー運動と深く結びつく。

参考文献

- 1) Bloom, F. E., Lazerson, A., Hofstadter, L., 脳の探険 (上、下)、久保田競訳; Blue Backs、講談社 (1988)
- 2) Hooper, J., Teresi, D.: 3ポンドの宇宙、林 一訳、白楊社 (1989)
- 3) 伊藤正男、安西祐一郎、川人光男、市川伸一、中島英之、橋田浩一編集「認知科学」、岩波講座 (全九巻)
3-3) 視覚と聴覚、16、44、112
3-4) 運動、37
3-6) 情動、72
- 4) Kuffler, S., Nicholles, J.G., Maetin, A.R., ニューロンから脳へ; 金子章道、小畑邦彦、立花政夫訳: 広川書店 (1988)
- 5) Maclean, P.D.: 三つの脳の進化、法橋 豊訳、工作舎 (1994)
- 6) 宮内、島: 世界、8月号、p.198 (1991)
- 7) Restak, R. M.: 脳の間人学、河内十郎訳、新曜社 (1989)
- 8) 竹内敏文: ニューロンとリセプター、培風館 (1989)
- 9) 柳沢桂子「脳が考える脳」、Blue Backs (1995)

*平成7年5月8日、明治大学にて開催された分離技術懇話会創立25周年記念大会の特別講演に加筆した。