

社会脳 ネットワーク 入門

芋阪直行・越野英哉

デフォルトモード ワーキングメモリ

社会脳と認知脳ネットワークの 協調と競合

ヒトの脳は、問題の解決に向けて働く認知脳の仕組みと、
社会の中でうまく適応してゆく社会脳の仕組みが、
シーソーのように働くネットワークをなしている。

心理学を中核とした人文社会科学と脳科学や情報学が相互乗り入れて
ルネサンスの時代を迎えた、文理融合の先端脳科学の成果をわかりやすく紹介。

脳の働きから人々をつなぐ社会脳のメカニズムを考えてゆく冒険への誘い。 新曜社

まえがき

本書『社会脳ネットワーク入門

——デフォルトモード
ワーキングメモリ 社会脳と認知脳ネットワークの協調と競合』は

二つの新しい視点を提供します。第一の視点は、豊かな社会性を生み出す社会脳のはたらきをネットワークの視点で捉える試みです。今日まで、脳の生物学的仕組みの解明は動物の脳を中心に、大きな成果をあげてきましたが、脳の社会的はたらきやその仕組みの解明は遅れていました。脳の社会的機能については、「社会脳 (social brain)」と呼ばれる新しい研究分野が急速に拓かれつつあり、これからの社会の在り方に大きなインパクトを与えようとしています。自己を知る脳や他者を理解する脳のネットワークは、前頭葉や頭頂葉のネットワークと協調して社会脳ネットワークを形成していることが最近の脳のネットワークの先端研究で明らかになってきました。古代ギリシャの哲学者ソクラテスは「自己自身を知れ」と述べ、またアリストテレスは「人間は社会的動物である」と言いましたが、まさに、この自己と社会を結ぶのが社会脳です。

われわれは外界から情報を取り込み、情報を選択しながら最適な適応行動をとっています。外界の認識と適応行動は、脳の知覚や運動のシステムがそれぞれ担っており、これは主として認知脳 (cognitive brain) の役割で、具体的には知覚や記憶のはたらきです。一方、自

己内部の身体感覚をはじめとして、自己という内界から出発し、他者の心を想像し（メンタライゼーション）、自分なりの信念をもち、さらに仲間と共感し合うなどの社会性を生みだすのは社会脳の役割です。われわれは生まれた瞬間から、親や友人などの他者との交わりを持続的に持ち続けることで、豊かな社会性や利他性、さらにレジリエンス（精神的復元力）を獲得します。そのプロセスが、自己の心の内部世界を成熟させ、社会のなかでの自己の位置を自覚させます。

本書の第二の視点は、社会脳を認知脳のネットワークとのダイナミックな相互作用を通して捉えようと試みている点です。社会脳と認知脳を形成する種々のサブネットワークを整理し、両者のダイナミックな相互作用がヒトの意識を創発していることを示しています。認知脳の代表としてワーキングメモリネットワークを、社会脳の代表としてデフォルトモードネットワークを想定し、脳の前頭前野の内側面が社会脳ネットワークの、そして外側面が認知脳のネットワークの機能的中心領域と想定します。両ネットワークが容量制約のある注意（気づき）という資源をめぐって、シーソーのように揺れることで動的な平衡が維持されると考えています。

認知脳と社会脳の相互作用を通して、「人間とは何か？」という問いへの一つの答えを示し、また「我々はなぜ生きるのか」を「脳から見た社会」という視点で考えます。「社会的存在としての脳」の意義は、生命の持続的維持という基本的役割に加えて「他者の心を理解し、利他性の豊かな社会性を育て、他者と協力して新たな社会を創造してゆく」ところにあ

ります。今日、われわれは物理世界と仮想世界が入り混じり、AI（人工知能）が大きな役割を果たす近未来の情報社会（Society 5.0）の入り口にいます。この近未来社会に再適応するにも、やはり脳の前頭前野にあつてAIやICTを生み出してきた認知脳やHI（人間の知能：human intelligence）の研究が必要ですが、これはワーキングメモリネットワークの創発特性と深くかかわる可能性があります。また、今日の社会ではいじめ、引きこもり、ネット依存症などさまざまな社会不適応が生じ、健全な社会性が失われつつありますが、その回復にも社会脳の仕組みの研究とその研究成果の社会還元が必須です。

本種の第I部は主に苧阪が、第II部は主に越野が執筆しました。また、本書は社会脳シリーズ全9巻（2012-2015 刊行済み、新曜社）の解説を兼ねていますので、詳しくはシリーズの各巻を参照してください。新曜社の塩浦暲社長にはシリーズ刊行に続く本書の刊行でもお世話になりました。東美由紀氏（大阪大学情報通信研究機構（NICIT）脳情報通信融合研究センター（Cinet）脳情報工学研究室研究員）には原稿の整理で、矢追健氏（京都大学大学院文学研究科助教）には原稿を読みいろいろな御意見をいただいたことについて、それぞれ感謝します。

2018年2月2日

苧阪直行

越野英哉

目次

はじめに
i

第I部

1章 脳と心

1-1	脳と心の研究史	2
1-2	意識の主観性	4
1-3	意識とは	7
1-4	NCC問題	10
1-5	意識の階層	11

2章	脳の小宇宙	15
2-1	1・5リットルの脳の小宇宙	15
2-2	社会脳と認知脳	16
3章	脳の構造と機能	22
3-1	脳の地図	22
3-2	脳の外側・内側面と皮質下	25
4章	脳の探検	29
4-1	脳活動の観察	29
4-2	ブレインイメージングの方法	31
4-3	fMRIによる脳内血流動態の観察	32
4-4	コネクトーム・プロジェクト	35
5章	社会脳	38
5-1	社会脳と意識	38
5-2	社会脳とは	40
5-3	ダンバー数	42

6章 社会の中の自己

- 6-1 自己とは 44
- 6-2 自己と他者の境界——社会脳のコア 45
- 6-3 身体的自己 47
- 6-4 心的自己と帰属 50

7章 融合社会脳の展開

- 7-1 社会脳研究の諸領域 56
- 7-2 報酬を期待する脳——ニューロエコノミクス 60
- 7-3 不注意による見落とし——ゴリラ実験 62
- 7-4 恥ずかしさ——社会性の芽生え 64
- 7-5 ファイティング・トライアングル——意図の推定 65
- 7-6 いじめと社会的痛み 67
- 7-7 社会脳と芸術——ニューロエステティック 68
- 7-8 社会脳と倫理——ニューロエシックス 69
- 7-9 虚構の想像——嘘をつくこと 71
- 7-10 内側前頭前野と社会脳 75

8章 情報社会と社会脳

- 8-1 Society 5.0 と社会脳の進化 78
- 8-2 ネット社会 79
- 8-3 AIの影響 81

78

第II部

9章 脳内ネットワーク

- 9-1 神経基盤に対するアプローチの変遷 84
- 9-2 機能的結合性 95
- 9-3 構造的ネットワーク 97
- 9-4 安静時ネットワークの概観 99

84

10章 認知脳ネットワーク

- 10-1 ワーキングメモリ 103
- 10-2 ワーキングメモリネットワーク 106
- 10-3 中央実行系機能 107

103

11章 社会脳ネットワーク

- 11-1 デフォルトモードネットワーク 116
- 11-2 メンタライジング（心の理論）ネットワーク 127
- 11-3 ミラーニューロンネットワーク 128

115

12章 ネットワーク間の競合と協調

- 12-1 デフォルトモードネットワーク（DMN）と
ワーキングメモリネットワーク（WMN）の競合 132
- 12-2 デフォルトモードネットワーク（DMN）と
ワーキングメモリネットワーク（WMN）の協調 134
- 12-3 ネットワークの競合と協調のダイナミックな変化 137
- 12-4 ネットワークの機能的異質性 140
- 12-5 認知脳ネットワークと社会脳ネットワーク間の切り替え 142

132

13章 ネットワークの個人差

- 13-1 認知脳ネットワークの個人差と知能 144
- 13-2 社会脳ネットワークの個人差 151

144

14章 ネットワークの障害または機能不全——自閉症を例にとって——

- 14-1 自閉症の特徴 154
- 14-2 自閉症の情報処理 155
- 14-3 自閉症の社会的情報処理の特徴 160
- 14-4 自閉症の心の理論障害仮説 162
- 14-5 自閉症のミラーニューロン障害仮説 164
- 14-6 自閉症は脳内ネットワークの障害——結合性不全仮説 165

15章 将来の展望

- 15-1 ネットワーク理論 171
- 15-2 スモールワールドネットワークとしての脳 176
- 15-3 おわりに 182

脳関係の略称名

185

引用文献

<11>

事項索引

<3>

人名索引

<1>

第 I 部

1章 脳と心

1-1 脳と心の研究史

意識のサイエンスである心理学は19世紀に哲学の揺りかごから生まれ、その後、歴史の波にもまれながら発展してきた。しかし、心の主要な働きである認識や行動を生み出す脳の仕組みと志向的な意識については、現在でも未解明な問題が多く残されている。動物実験によつて脳の仕組みの解明は進んだが、人間の記憶とつながる情報処理の仕組み、たとえば社会意識や自己意識などの仕組みは未解明だ。ヒトの社会意識は文化、宗教や教育など、いずれも記憶や学習に基づく認知によつて育まれるが、社会脳の新たな進展によつて、ようやく最近その一端が明らかになってきた。たとえば、秋の虫の鳴き声に風情を感じるのか、うるさいと感じるのかは、育つてきた文化や社会によるのかもしれない（文化神経科学）。また、宗教において特定の神を信じるのかどうかといった信念の問題も、社会脳解明の最終目標のひとつといえるだろう。信念は何かを信じるという個人の心の状態であり、外部から観察できないという意味で、主観的な意識の問題だといえる。そして、この見えない信念の観察は、社会的存在としての脳の解明の目標のひとつだと考えられている。

心理学は19世紀に哲学の認識論の一分科として生まれたが、その目的のひとつは主観性という意識の特徴を、当時ドイツを中心に勃興しつつあった自然科学の方法を用いて解明することであった。1879年に意識を実験によって調べるため、実験心理学の研究室がドイツのライプチヒ大学のヴントによって創設された。それ以来、実験心理学はさまざまな時代の波にもまれ、幾多の歴史の変遷を経て脳と意識を科学的に研究してきた。行動主義の時代には、刺激と反応の間のかかわりにのみ注目し、両者を媒介するプロセスとしての意識の研究は、残念なことに研究の対象外にあった。しかし、極端な行動主義は次第に姿を消し、志向的な心の状態を示す意識を重要な研究目標とする認知主義が盛んになった(第Ⅱ部参照)。もつとも、意識の科学を標榜してきた心理学にとつても、脳と意識の問題は17世紀の意識の科学の祖といえるデカルトの二元論以来、4世紀にわたって解くことのかなわぬ難問であった。難問である理由として哲学者チャルマースは意識のユニークな特徴としてのクオリア(感覚の質)を取り上げ、これは主観的な意識の内容を含んでいるので、科学ではその解明は困難であると考えた。クオリアは自己(私)が感じる鮮やかな緑色、酸っぱいレモンの味とか明るいバイオリンの音色などで、これは主観的な感覚の質(クオリティ)を表すとされる。クオリアという主観性は自分だけでなく、他者にも共通に認められる相互に主観的な経験だと考えることもできよう。しかし相互的な主観性の研究も科学の対象とならないなら、クオリアの科学的研究もできないことになる。一方、哲学者の好むクオリアの概念は誤りであり、これが意識の科学的研究を妨げてきたと主張する米国の認知哲学者デネット

の反論もあり、この立場ではクオリアは概念の設定自体に問題があることになる^[1]。デネットと同様に意識を経験科学から取り上げる実験心理学の立場からクオリア的な経験をみてみると、心理学では長年にわたりクオリアの相互主観性を目指した探究が行われてきたし、それを評価する試みも行われてきた。哲学者にとつて、クオリアは設定不良問題であつても、実験心理学者には、必ずしも設定の悪い問題ではなかつたといえる。

1-2 意識の主観性

では、実験心理学は主観性をどう扱つたのであろうか？ 実験心理学では19世紀末、ドイツのライプチヒ大学の哲学者でもあり物理学者でもあつたフェヒナーが主観的な感覚量を計量化する心理物理学的方法を考え出し、刺激強度が倍になつても感覚量は倍になるわけではなく、刺激の対数量に応じて変わるというフェヒナーの対数法則を見出している。これによつて、感覚という主観的意識を数式で表現し、その量的非線形性を示し、感覚（意識）と身体（脳）の世界に架橋するための心理物理学 (psycho-physics) が生まれ、科学的心理学の基礎がつくられた。主観的という表現は、感じ方や判断が客観的な認識とずれをもつことをいう。主観的意識が物理世界と判断のずれをもつわかりやすい例は錯視だ。人間は錯視という、客観の世界とずれた視覚的意識をもつことが知られている。空間と運動について2つの例を示そう。図1-1-1の机の錯視（左）では、2つの机（天板）は同じ物理的大きさにもか

[1] Dennett (2005)

かわらず、異なる大きさに見える。

また、仮現運動という運動錯視では、2つの光点があつて、両者を10分の1秒以下の時間間隔で交互に「点滅」させると、1つの光点が相互に行き来する運動を観察することができる。広告塔などでよく目にする運動錯視である。光点は物理的に点滅しているだけで、動いているわけではないのに動いているように見えるのは、主観的な心に特有の現象である。

なぜ意識は机の大きさや運動の錯視を生み出すのか？ いろいろな考え方はあるが、ひとつの答えは、机の錯視の場合は、机の見える斜め方向の角度や奥行きを手がかりに、脳が大きさを無意識に計算し、構成的に知覚しているからだという解釈がある。遠近感のある風景画を見たとき、2次元の風景画に見かけの3次元の奥行きを感じるが、同じ大きさならば、遠くの人物が近くの人物より大きく見えるのと同じ原理だ。図のような机錯視では、直観的には同じ大きさの机には見えないが、規定で実際に測定すれば、実は同じ大きさであることがわかる。

運動錯視の場合は、1つの光点が移動しているという、やはり構成論的解釈をとることである。この解釈は脳の側頭葉にある運動にかかわる視覚野のひとつである中側頭野 (Middle temporal gyrus : MT) が活動を高めるといふ実験にも裏づけされている。ちなみにMT野は、実際に動いている刺激を見たときに活動する。これは、仮現運動という錯視現象が脳の働きとかかわるひとつの例だ。錯視という主観的な現象も、それを生む脳のメカニズムをもつことになる。以上から、錯視を生み出す視覚的意識は手がかりが示唆されると視覚世界を

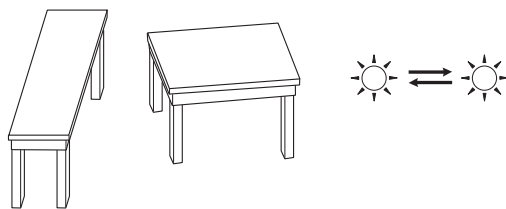


図1-1 机(左)と運動(右)の錯視

自ら創発するシステムの性質をもっているといえるだろう。創発とは、部分の総和では予測できない特徴が現れることだ。しかしその脳内メカニズムはまだ未解明だ。

ノーベル経済学賞を受賞した心理学者であるダニエル・カーネマンは、その著書『ファスト&スロー』^[2]で、意思決定において、自働的に無意識に働くシステム1（S1）と論理的で意識的に働くシステム2（S2）と呼ばれる2つの判断メカニズムを想定することで、人間の判断には固有のバイアスがかかることを示している。S1は素早く（ファスト）無意識的な直観を生み出す。一方S2は時間がかかるが（スロー）、慎重で論理的かつ意識的である。さらにS2はS1を監視する役割をもち、このことが錯視の原因のひとつだと考えられる。古くはヘルムホルツも、意識的レベルが気づくことが困難な無意識的推論があると述べている。認知にも無意識なあわて者のシステムと、意識的で慎重なシステムという二重システムがあるようだ。脳の進化のプロセスで環境への素早い適応とS1がかかわるという考えもある。この説明が脳と意識のかかわりを解くにあたって大切だ。S1は不安などの感情的刺激に対する大脳辺縁系（扁桃体など）の素早い反応に、S2は論理的判断に対する前頭前野の働きに関与する場合が多いと推定される。カーネマンのモデルは、行動経済学や本書で社会脳研究の推進軸のひとつとしてあげている神経経済学にも、大きな影響を与えた。

[2] Kahneman (2011)

1-3 意識とは

上記のような錯視は、視覚的な意識の重要な研究対象であるが、もつと奥深い意識について考えてみよう。道路に倒れている人を見て、あの人は意識がない、というとき、これは話しかけたり、体を揺さぶったりして何らかの応答がない場合に推定される他者の心の状態だ。意思疎通できない、いわゆる植物状態の心もこれに入るだろう。しかし実際、意識があるなしの二分法で分けるのは難しい。たとえば、最近のデータによると植物状態には至らないでも、他者の声を聞き取れることはできる（応答できないが）といった、気づきの意識が残っているミニマム意識状態（minimal conscious state：MCS）があるという。^[3] 応答がないからといって、意識がないとは限らないのだ。意識があることの定義は生きていることの認知的・行動的エビデンスがあることを必要条件としているが、この場合、声をあげるといふ応答はできないものの、脳は応答しているのだ。

さて、自分の意識について見てみると、私が今やっていることが自分でわかっているという意味で、私は意識をもっている。これは平阪によれば、自身の心の状態をリカーシブ（再帰的・recursive）にモニターできていることである。^[4] 自分の行動や思考そのものを対象化してモニターする心の働きをメタ認知（meta cognition）といい、意識そのものを意識する場合（リカーシブな意識とかメタ意識などと呼ぶ。これは意識が一定の制約条件のもとでメタ表

[3] Cruse & Owen (2010)

[4] 平阪 (2006)

象能力をもつことを示しており、前頭葉がその機能の一部を担っている。リカーシブな意識というのは、現在の心の状態に向けられた、もうひとつの心の状態ともいえる。認知科学者のミンスキーは現在の意識の状態を正確に把握することが難しいのは、自分の意識の状態をモニターすること自体がその状態そのものを変えてしまうためだという。これは、ある目的のため、一時的な情報の保持と操作を担う「心の作業台」の機能をもつワーキングメモリ[5] (working memory) の容量が有限、つまり制約をもつこととかわるようだ。機能主義的にいえば、ここには一種の入れ子(ロシア人形のような入れ子状のネステイング) 機能を考えることになり、情報処理や視点の多重的構造化がこれによって可能となるが、一方では、入れ子には厳しい容量制約があるので、構造化の次数は制約されると思われる。他方、再帰性によって小部分を入れ子にして上位の大きな概念を作り出し、それを一部にしてさらに別の構造部分に取り込むというような認識の仕組みが可能となるメリットもある。

さて、実際の意識の働きの特徴は、多様な心の状態から1つの状態に注意を向けることにある。1つの心の状態に焦点を絞ることは、他の認識の仕方を一時的に抑制することであり、脳の働きの重要性はこの抑制にある。たとえば、注意を集中するという日常的な心の働きも、現在の目標の実現のため、当面不必要な情報を抑えておくことにある。そうしなければ、次々と眼前に現れる事柄に注意を奪われ、今自分が何を目標に動いているのがわからなくなってしまう。目標志向的な意識の役割もまた認知的な抑制にあり、抑制により目標がより明確に見通せるようになってくる。この抑制には前頭前野 (prefrontal cortex : PFC)

[5] ワーキングメモリ…短い時間の中に心の中で情報を保持し、同時に処理(操作)する心的能力。会話や暗算など多くの日常生活や学習を担う重要な能力で作業記憶や作動記憶と呼ぶこともある。

のワーキングメモリともかわる実行系 (executive system) がその主要な役割を担っている。実行系は認知的制御系とも呼ばれ、抑制のほかに情報のアップデート、焦点化された注意の転換、予測やプランニングなどの機能をもつ^[6] (詳しくは第II部参照)。

ここで、意識の入り口についてひとつの例を見てみたい。外界からの刺激に応じて、五感がまとまって1つの感覚的意識に束ねられるプロセスを意識に当てはめてみる事ができる。たとえばコーヒーを味わうとき、視覚では濃い茶色、嗅覚ではその香りが、味覚では苦い味わいが融合してコーヒーとして意識される。これは、白色光が、7色が合成されてできること、あるいは白色が虹のスペクトルに分解できることに似ている。感覚的意識からさらに高次な意識まで拡張すると、この比喻で意識の多様な働きがうまく説明できる (図1-2 参照)。

白色光という意識を多彩な色に分解してゆくと、5感からはじまり、やがてそこには自己や他者が姿を現し、次いで社会が姿を現すことになる。ここに融合的意識として社会意識や文化を映し出し、さらに個人差を反映した意識が見えてくる。混色原理によって、さまざまな色合いをもつ社会的、文化的、あるいは認知的意識が創られる。意識のプロトタイプを形づくる潜在的意識として、最近見出されて注目を浴びている、安静時ネットワーク (resting state network: RSN) (第II部で述べる) についても、この分光の比喻が適用できよう。

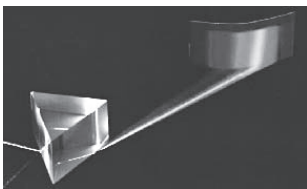


図1-2 虹の合成と分解
(カラー図版は口絵参照)

[6] Osaka et al. (2007)