

子どもの脳のしくみと心の発達

—— 神経発達心理学序論(Ⅲ) ——

Brain mechanism and mental development in the child
— Introduction to neurodevelopmental psychology(Ⅲ) —

永 江 誠 司

NAGAE Seiji

第四部 学校教育講座

(2002年9月2日受理)

脳は1つのかたまりのように見えるが、その構造と働きは、「上下」「前後」そして「左右」に分けて考えることができる。つまり、大脳皮質と大脳辺縁系と脳幹という上下の区分、大脳皮質の前頭葉とそれ以外の頭頂葉・側頭葉・後頭葉という前後の区分、それに左半球と右半球という左右の区分である。

脳の働きは、これらの区分のそれぞれについて明らかにされた知識を総合することによって理解することが可能になる。分離脳研究の業績でノーベル医学生理学賞を受賞したカリフォルニア工科大学のSperry, R. W.も、その受賞講演で「心の働きにみられる質的な偏りには、脳の左右差と同じように、上下、前後における変動の差が含まれているに違いない」と述べ、脳の働きを理解するには、こうした区分の上に立ってその働きを総合的に解明していくことが大切であることを指摘している(Sperry, 1983)。

そこで、ここでは子どもの精神発達を基礎づける脳の構造と働きについて、その基本的事項をわかりやすく解説してみたい。本論では、それを上で示したような3つの分け方にしたがってみていくことにする。というのは、脳を上下、前後、左右に分けてみていくと、心の働きもそれらに対応して理解することができるからである。

脳の上下のしくみ

三位一体脳モデル

MacLean(1990)は、すでにふれてきたように脳の進化の視点から、人間の脳が3つの層からなっていることを示している(永江, 2002)。彼は、最下層の爬虫類脳、その上に下等哺乳類脳、さらに最上層の高等哺乳類脳の三層構造として脳を図

式化している。これを、三位一体脳モデルという。脳の進化は、爬虫類などの原始的な脳に下等哺乳類の古い脳が覆いかぶさり、さらにその上に高等哺乳類の新しい脳がつけ加わるようにして進められてきた、とMacLean (1990)は考えている。この3つの異なる脳が1つにまとまって人間の脳はできていると考えられるのである。ただ、これら3つの脳構造も進化の過程で変化してきているので、人間がへビやウマなどとまったく同じ脳をもっているわけではない。

つぎに、これら3つの脳の働きについてみておきたい。脳の中心部にある爬虫類脳は反射脳ともよばれ、呼吸や血液の循環を調節したり、また内蔵器官の働きを調整したりといった働きをもっている。さらに、姿勢保持反射や防御反射などの反射活動の統制もこの脳が行っている。つまり、爬虫類脳は生命の維持に直接かかわる働きをしているのである。その上の下等哺乳類脳は情動脳ともよばれ、食欲や性欲など個体の維持と種族の保存にかかわる本能行動を受けもっており、さらに快・不快、怒り、怖れ、喜び、悲しみといった情動にともなう行動にもかかわっている。そして、最上層の高等哺乳類脳は理性脳ともよばれ、認知や記憶、思考や言語、あるいは感情や意志などの高次精神活動を司り、外界への適応行動と適応を拡大していくための創造活動の調整と深くかかわっている。

こうしてみると、動物における行動の進化が、脳の進化とともに下から上に進んでいったことがわかる。MacLean(1990)の脳の進化についての考え方には、①脳の進化が古い脳に新しい脳が付け加わることによって起こること、②新しい脳の付加が新しい機能を生み出してきたこと、この2つの原則のあることがわかる。

ラセン的発生の原理

脳の構造が、古い脳を残しながら新しい脳を付け加えるという形で進化してきたことは、同時に低次の機能を残しながら高次の機能が形成されることを意味している。このことを発達の原理の1つにあげたのがWerner(1957)である。彼はそれをラセン的発生の原理とよんだ。

Werner(1957), Werner & Kaplan(1963)は、生活体がある発達レベルから次の発達レベルに進むためには、いったん後退しなければならないと考えている。つまり、生活体が進歩するためには、発生学的により安定した機能レベルにもどる必要があると考えたのである。そして、発達の前進は、より以前に使用した手段や操作を高次の手段や機能に再組織化することによって起こるのだと指摘している。

このような発達の特徴は、脳の三層構造を前提として考えると理解しやすい。成長して大人になった人の精神構造には、子どもの頃の心性が消えてなくなっているのではなく、より下層に潜在して残されており、より上層の心性と関係しながら一定の機能を保っている、というWerner(1957), Werner & Kaplan(1963)の考えは、脳の三層構造を想定すると神経学的な基礎をもつといえるだろう。

発達という変化は、単純に量が増大する量的変化ではなく、質的な変化を含む過程と考えられる。ラセンは、下から上へ巻き上がる形状をしている。少しずつ向上しながら横にぐるぐると巻く形になっている。つまり、ある中心に沿って横に移動しながら、少しずつ上に登っていくという変化をもっている。子どもの成長は、まさにラセン的变化を繰り返しながら進んでいくといえる。毎日の変化は気づけないほどにゆっくりしており、ときには停滞したり、また後退することもある。しかし、そうした変化を繰り返しながら、ある期間が過ぎて気づいてみると、子どもは確かに以前よりは高い発達水準に進んでいるのである。そうしてみると、発達をラセン的とみる見方は、子どもの成長過程をよく特徴づけているといえる。

生の営み

MacLean(1990)の脳の三層構造は、具体的にはそれぞれ脳幹、大脳辺縁系、大脳皮質として脳の上下構造を構成している。脳幹は、上から間脳(視床、視床下部、下垂体を含む)、中脳、橋、延髄からなり、延髄の後方は脊髓につながっている。このうち、中脳、橋、延髄、そして脊髓系は、呼

吸、循環、ホルモン分泌、消化吸収、嚥下、まばたきなどの自律性反射や体性反射、それに免疫機能などの生命維持に直結する働きをしている。さらに、延髄、橋、そして橋によってつながっている左右の小脳の3つが共同することによって、全身の筋肉をスムーズに動かす働きもしている。橋の上にある中脳は、姿勢や歩き方をコントロールする働きに関係している。

間脳にある視床は、脳のほぼ中心に位置しており、大脳皮質に入る情報、出る情報のすべては必ずここを通る。視床下部は、摂食中枢、満腹中枢、性欲中枢、そして体温調節中枢など本能的欲求や摂食行動、性行動、集団行動などの本能行動、および接近行動、逃避行動、攻撃行動などの情動行動の遂行にかかわっており、さらにこれらの行動に関係する自律神経、内分泌、免疫反応の中枢としても働いている(小野, 2001)。時実(1969)は、脳幹とそれに続く脊髓系を生命維持に不可欠な組織として位置づけ、それを「生きている」脳とよんだ。この生きている脳の保障のうえに「生きてゆく」という、意識のある動的な生命活動が展開されると時実(1969)は考えたのである。

「生きてゆく」脳は、その働きから3つの層に分けられる。第1は、情動行動の制御に深く関与している大脳辺縁系(大脳基底核、古皮質、旧皮質を含む)の層である。これは「たくましく生きてゆく」脳とよばれている。大脳基底核にある扁桃体は、好き嫌い、あるいは怖れなど、情動にかかわる働きをしている。第2は、変化する外部環境に適切に対処していく適応行動を統制している新皮質系の層である。前頭葉を除く新皮質の領域がこれにあたり、「うまく生きてゆく」脳とよばれている。そして、第3は未来に目標を設定し、価値を追求し、その実現を図ろうとする創造行為を調整している、同じく新皮質系の層である。前頭葉がその領域にあたり、「よく生きてゆく」脳とよばれている。

脳の三層構造にみられるこうした機能的特徴は、心の働きやその形成について考案されてきた、いくつかの主要な心理学的モデルの基礎をなすものとして理解すると、それらがわかりやすいものになってくる。例えば、人間の心の働きを知情意の3要素に分けるモデルもそうであるし、Freud, S.の原始的自我(イド)、自我(エゴ)、超自我(スーパーエゴ)の人格構造のモデル、あるいはMaslow, A. H.の生理的動機から社会的動機を含む欲求の階層モデルなども、生きている脳、たくましく生きてゆく脳、うまく・よく生きてゆく脳

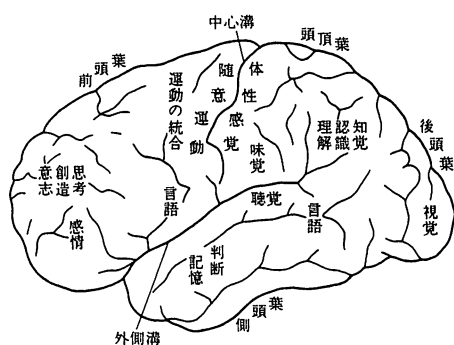


図 1 脳の機能地図

という、脳の三層構造を基礎においてみると、そのモデルの構想を脳という実体に即して理解することができるようになる。

脳の前後のしくみ

脳の表面には、たくさんの溝がある。その中で、脳の中央上部から斜め前下方に向けて深い溝が走っている。これを中心溝（ローランド溝）という。さらに、前下方から後上方に向けても深い溝が走っている。これを外側溝（シルヴィウス溝）という。この中心溝と外側溝の前方の領域を前頭葉、そして後方の領域を頭頂葉、後頭葉、側頭葉として、脳を前後に分けることができる(図1)。

大脳皮質の前後の区分は、時実(1969)がうまく生きてゆく脳、およびよく生きてゆく脳と呼んだ、それらに対応している。つまり、新皮質の後部がうまく生きてゆく脳、前部がよく生きてゆく脳にあたる。脳の発達は、後部から前部へと進んでいく。

入力機構

後部の頭頂葉、後頭葉、側頭葉の領域は、外部からの情報を受信し、それを処理し、さらに加工したり、保存したりする働きをする。外部からの情報を受信する働きを知覚という。知覚には、視覚、聴覚、嗅覚、味覚、体性感覚の五感が含まれる。五感に対応した感覚野が、後部の領域に局在している。私たちは、五感を通して外部情報を入力し、それらを知覚しているわけである。

入力された感覚情報はさらに処理され、情報の意味や価値が判断される。そうした働きを認知とか理解とよんでいる。認知され理解された情報は、必要に応じて新しい情報に加工される。例えば、

ことばやイメージに変えるという働きがそれにあたる。加工された情報は、知識として保存されることになる。それを記憶とよんでいるわけである。このように、新皮質の後部は外部情報を入力し、処理・加工して保存する働きを受けもっている。こうした働きは、私たちの環境への適応を高めるものといえる。

出力機構

前部の前頭葉の領域は、後部での処理を受けて情報を再統合し、新しい知識を生み出したり、価値判断をして適応行動を統制するための指令信号を発する働きをする。後部に保存されている知識を用いて思考し、新しい知識を創造したり、入力情報の価値判断に並行してさまざまな感情(情操)を経験したり、特定の意図をもって行動をコントロールするための指令を出したりといった、人間の高度精神活動を営んでいるのが前頭葉なのである。つまり、入力され、加工、保存された情報を再統合して1つの価値判断を与え、特定の意図をもって指令を出して適応行動を出力していくのが新皮質の前部の働きといえるだろう。

前頭葉の後方は、随意運動の中枢である運動野と運動連合野からなっているが、その前方に前頭前野がある。前頭前野は、大脳皮質のおよそ30%を占めているが、これは他の動物に比べて非常に大きいといえる。例えば、ネコでは大脳皮質に前頭前野が占める割合は3%、ニホンザルでは12%、チンパンジーでも17%にすぎない。したがって、人間の脳の大きな特徴は拡大した前頭前野にあるといえるだろう。前頭前野は、人間の脳の最高中枢とみられているのである(澤口、1997)。

脳の左右のしくみ

脳は、左半球と右半球に分けることができる。2つの半球は独立しているのではなく、それらを連絡する交連繊維によって結ばれている。交連繊維の最も大きい束を脳梁という。脳梁は、およそ2億本の神経繊維からなっており、大脳の内側の中央部に位置している。

左右の半球は、大きく見るとほぼ同じ形をしているが、部分的には異なるところもある。例えば、左右半球の側頭葉には側頭平面という部分がある。左の側頭平面は言語に関係する大切な脳の領域にあたる。この側頭平面が、左半球で大きく、右半球では小さい(Geschwind & Levitsky,

1968)。この違いは、新生児のときからみられる。

分離された脳

これまでの研究から、左右の半球は働きも違っていることがわかっている(永江, 1999; Springer & Deutsch, 1997)。それを最初に、そして鮮明に示したのがSperry(1968)たちの分離脳研究である。分離脳というのは、左右半球を結びつけている交連繊維(脳梁あるいは前交連)を切断した脳の状態をいう。なぜ、左右の半球を結びつけている交連繊維を切断するような手術が行われたのであろうか。それは、重いてんかんなどの治療のためであった。てんかんでは、その発作が病巣のある半球から交連繊維を介して反対側の半球にまで広がり、結果的にその程度が重たいものになってしまうことがある。そこで、その症状を軽減するために脳梁などの交連繊維を切断する手術が行われたのである。

交連繊維を切断された分離脳患者を対象にして、左右半球の働きの違い(それを脳のラテラリティという)について組織的に研究したのが、Sperryたちのグループであった。分離脳患者では、左半球と右半球の連絡がほぼ完全に断たれているので、特殊な方法を使えばそれぞれの半球が一体どのような働きをしているのかを独立に調べることができる。

Sperry(1968)は、視覚、聴覚、触覚などの感覚刺激を、それぞれ視野分割提示法、両耳分離聴法、触分割提示法などの特殊な実験法を使って分離脳患者に提示し、左半球あるいは右半球のみに刺激情報を伝えた。分離脳患者の左右半球の連絡は断たれているので、1つの半球に入った刺激情報はそこに留まって反対側の半球には伝えられない。したがって、各半球での独自の処理の仕方がわかるわけである。Sperryたちの分離脳研究からわかった左右半球の主な働きとしては、左半球が主として言語機能や分析的な思考にかかわり、右半球が主として空間機能や総合的思考にかかわっているということである。

フェヒナーの先見性

Sperryたちの分離脳研究は、1981年のノーベル医学生理学賞につながっていくのだが、彼らの用いた方法と装置は、その多くが実験心理学が開発、使用してきたものであった。Sperryたちの研究からやや遅れて、Kimura(1961, 1967)らの心理学者による脳のラテラリティ研究が開始されていくのだが、分離脳患者がもっと心理学者の身

近にいたならば、神経心理学との交流がもっと親密であったならば、心理学者がノーベル賞をとるチャンスがあったかもしれない。

さらに付け加えておけば、近代実験心理学の父といわれるライプチヒ大学教授Fechner,G.は、1860年に「意識は大腦半球に帰属するものと考え、2つの半球の連続性が意識の統一に必須の条件である」ことを指摘している(Fechner, 1860)。そして「もし脳を中央から分離することができたら、結果として二重の複製人間のような事態が起るであろう」とも予測しているのである。このFechner,G.の予測を実証してみようと考えた20世紀半ばの心理学者がいたとしたら、そしてその心理学者の近くに分離脳患者がいたとしたら。そう考えると、少し残念な気がする。

脳の全体のしくみ

脳の局在論と全体論

脳を上下、左右、前後にわけて、その構造とおおまかな働きについてみてきた。こうした区分により脳の働きをとらえた方がわかりやすいという考えから、このような方法をとったのだが、実際の脳の働きは脳全体として営まれていることは言うまでもない。

たとえ脳の各部位の働きが詳細にわかったとしても、人間の心の働きはそれらの加算によって説明できるとは簡単にいえない。例えば、私たちの意識は脳のどこにあるのだろうか。左右半球の一部が破壊されたとしても、意識がなくなることはない。その一方で、分離脳患者の研究は左半球と右半球が異なる意識をもつことも示している。さらに、意識を脳幹の働きによるものとする考えもある。

心の働きがより高次になればなるほど、脳の働きがある特定の部位において営まれているとする局在論的な考えでは説明することが困難なようにも思われる。意志や感情、自我や人格の働きを脳の特定の部位に局在させて説明することは、現在も、また将来においても難しいであろうと考えられる。

ただ、そうだからといって安易に脳の働きは特定の部位に局在するのではなく、脳全体で営まれている、という全体論的な解釈をするのも正しいとは思われない。それよりむしろ現段階では、積極的に局在論的な考えに立って、脳の機能地図のまだまだ多い余白の部分を埋め続けていくことが大切だし、また必要であろう。

脳を概観する

図2は、脳(大脳、小脳、脳幹)と脊髄からなる中枢神経系を、全体として示した図である。これまで上下、前後、左右に分けて見てきた脳を、ここで全体として丸ごと眺めてほしい。さらに、図3は脳の構造と知・情・意の心の働きとの対応関係を示したものである(伊藤, 1998)。大脳皮質の後ろの方が受信部分で、入力情報を処理して知性を生み出す座にあたる。前の方は大脳の発信部分で、指令信号を発信する意志・意図の座にあたる。さらに、大脳辺縁系では情動の働きが営まれている。図1は、大脳皮質の各部位の主要な働きを示した左半球の機能地図を表したものである

(伊藤, 1993)。おおまかに、各部位の機能をつかむことができるだろう。さらに、図は示さないがドイツの解剖学者ブロードマンは神経細胞と神経繊維を顕微鏡で詳細に調べ、その組織構造の違いから脳を52の皮質領域に区分けしている。区分けされたその番号は、ブロードマンが調べた順序を示すもので、特別な意味はない。ブロードマンの脳地図は、今日でも脳の部位を示すときに多くの研究者によって用いられている。

以上、脳にかかわる主要な図を示してきたが、ここでは脳の全体の姿と働きを、これらの図を手がかりに全体的に把握しておくことにしたい。

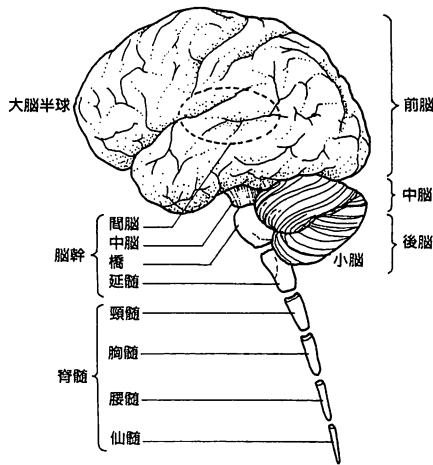


図2 脳の全体図

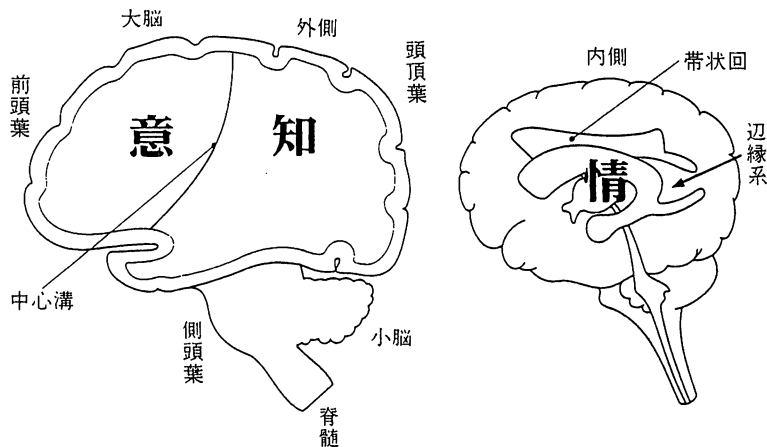


図3 知情意と脳

引用文献

- Fechner, G. 1860 cited in O. Zangwill
Consciousness and the cerebral hemi-
spheres. In S. Dimond & G. Beaumont
(Eds.), 1974 *Hemispheric function in the
human brain*. New York: Halsted Press.
- Geschwind, N., & Levitsky, W. 1968 Human
brain: Left-right asymmetries in temporal
speech region. *Science*, **161**, 186-187.
- 伊藤正男 1993 脳と心を考える 紀伊國屋書店
伊藤正男 1998 脳の不思議 岩波書店
- Kimura, D. 1961 Cerebral dominance and
the perception of verbal stimuli. *Canadian
Journal of Psychology*, **15**, 166-171.
- Kimura, D. 1967 The asymmetry of the
human brain. *Cortex*, **3**, 163-178.
- MacLean, P.D. 1990 *Triune brain in evolu-
tion: Role in paleocerebral function*. New
York: Plenum Press. 法橋 登(訳) 1994
三つの脳の進化—反射脳・情動脳・理性脳と
人間らしさの起源 工作舎
- 永江誠司 1999 脳と認知の心理学—左脳と右
脳の世界 プレーン出版
- 永江誠司 2002 子どもの脳と発達—神経発達
心理学序論(1) 福岡教育大学紀要, **51**, 第4
分冊, 207-216.
- 小野武年 2001 好きこそものの上手なれ—将
来の予測・意志決定・目標実践 小泉英明(編)
育つ・学ぶ・癒す—脳図鑑21 工作舎, Pp.
237-270.
- 澤口俊之 1997 自己意識の問題 学阪直行
(編) 脳と意識 朝倉書店, Pp. 221-241.
- Sperry, R. W. 1983 *Science and moral pri-
ority*. New York: Columbia University.
- 須田 勇・足立千鶴子(訳) 1985 融合する
心と脳—科学と価値観の優先順位 誠信書房
- Sperry, R. W. 1968 Hemisphere deconnec-
tion and unity in conscious awareness.
American Psychologist, **23**, 723-733.
- Springer, S. P., & Deutsch, G. 1997 *Left
brain, right brain: Perspectives from cog-
nitive neuroscience(5th ed.)*. San
Francisco: W. H. Freeman and Company.
- 時実利彦 1969 目でみる脳—その構造と機能
東京大学出版会
- Werner, H. 1957 The concept of develop-
ment from a comparative and organismic
point of view. In D. B. Harris(Ed.), *The
concept of development*. Minneapolis:
The University of Minnesota Press.
- Werner, H., & Kaplan, B. 1963 *Symbol for-
mation: An organismic-developmental
approach to language and the expression
of thought*. New York: Wiley. 柿崎祐一
(監訳) 鯨岡 峻・浜田寿美男(訳) 1974
シンボルの形成—言葉と表現への有機・発達論
的アプローチ ミネルヴァ書房