

## 子どもの思考と言語システムの発達と脳 —神経発達心理学序論(VI)—

The relationship of thought and language development  
to brain in the child  
- Introduction to neurodevelopmental psychology(VI) -

永 江 誠 司

Seiji NAGAE

学校教育講座

(平成17年9月30日受理)

子どもたちの学習によって獲得され記憶された知識は、彼らの思考と言語の発生と発達に大きな影響をおよぼしていく。思考は、感覚や記憶に比べるとより高次の精神活動といえ、脳におけるその基盤は多領域にわたっている。さらに、言語は思考の働きに密接にかかわり、それを支えている。言語の脳内基盤は、大脳皮質の比較的限られた領域に局在することが知られているが、思考と言語の機能は、その発達過程で相互に影響しあいながら形成されていくことが心理学的に指摘されている。ここでは、そうした思考と言語の発達の形成過程を脳の発達の視点からみていく。

### 思考と言語の働きと脳

#### 思考と言語の脳領域

**思考の脳領域** 思考にかかわる脳の領域として、前頭連合野、頭頂連合野、側頭連合野などの大脳連合野、それに海馬、扁桃体、帯状回、小脳、脳幹などが考えられている(伊藤, 1993)。かなり多くの脳の領域が思考活動にかかわっているが、その中で最も重要な役割を果たしているのが前頭連合野である。前頭連合野とは、いわゆる前頭前野にあたり、ブロードマンの46野とその周辺の領域をさしている。ブロードマンの46野は、ワーキングメモリと関係している脳領域である。前頭連合野の思考にかかわる働きとしては、問題解決のために見通しをつける、またこれから先の計画を立てるといった働きがある。さらに、そうした見通しや計画に基づいて順序よく行動したり、またそ

のときの状況を理解して適切な判断を下したりするといった働きもある(渡邊, 1999)。前頭連合野から出された思考の信号は、頭頂側頭連合野に働きかける。頭頂側頭連合野では、外界の事象の要素が集め直されて、そのイメージが造られる。思考とは、こうしたイメージを加工したり、修正したり、あるいは新しいイメージを生み出す操作を少なくともその一部に含む過程といえるだろう(伊藤, 1998)。

言語的思考は、左半球の頭頂葉から側頭葉にかけてのウェルニッケ野において、言語的な概念が表象されて遂行される。例えば、名詞を提示してそれに対応する動詞を答えさせる課題や、計算課題を与えたときの脳の血流量を調べてみると、前頭連合野とともに頭頂側頭連合野が賦活することが報告されている(Posner & Raichle, 1994)。これらの課題は、語の意味を解釈したり、数の操作をするといった思考活動を求めており、そこに3つの連合野がかかわっていることを示している。さらに、左右半球の思考様式については半球差のあることが指摘されている。左半球の思考様式は、一般に言語的、分析的、論理的な特性をもつと考えられているのに対し、右半球の思考様式は、非言語的、全体的、直観的な特性をもつと考えられている。したがって、思考の脳内メカニズムは、左半球の言語的論理的思考と右半球の非言語的直観的思考に分けて考えることができるだろう。

前頭前野における思考機能は、多くの下部構造によって支えられている(図1)。図中の新・新皮質は、前頭前野を表わしている。そこにおける思

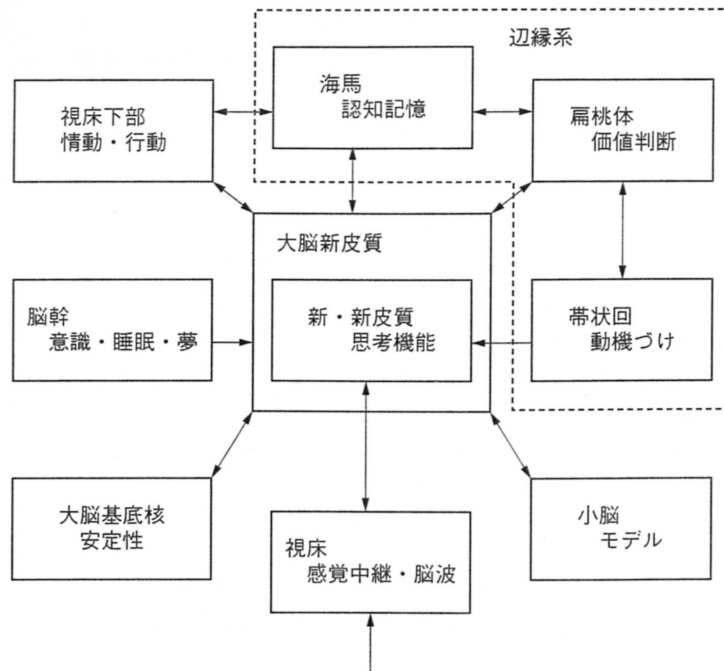


図1 思考と神経システムの構造 (伊藤, 1993)

考機能が、多くの下部構造に支えられ、また関係して成り立っていることをこの図は示している。辺縁系の3つの下部構造は、前頭前野の思考機能と密接に関係している。海馬は、記憶にかかわる組織として思考を支えているし、価値判断の座である扁桃体は、考えたことに対する満足や不満といった評価を与えることでかかわっている。帯状回は、一生懸命考えたり、いやいや考えたりといった、考えることへの動機づけとしてかかわっている。

このほか、運動機能の中枢でもある小脳は、大脳の思考機能をバックアップする働きをしているのではないかと考えられている。習得された思考モデルを提供し、考えることを自動化する働きをしているとみられているのである。脳幹は、睡眠を調整することで、覚醒時に思考することによって疲労した大脳皮質を休ませ、栄養を補充することに貢献している。また、睡眠中に夢をみるのは、覚醒時に大脳に集積されすぎた情報を排除して、神経回路の混線を防ぐためではないか、という1つの見解がある。夢をみているときに、脳幹に鋭い形をした波が出て、それが前頭前野に達する。これが、前頭前野に蓄積されている不用的な情報を

消してしまうのに役立っているのではないかとみられている。もちろん、この見解は夢には重要な情報が隠されているとする精神分析学派の見解、すなわち夢は覚醒時に抑圧された不合理で非社会的な欲求についての無意識からのメッセージである、という見解とは矛盾するものである。

**言語の脳領域** ことばを話し、ことばを聞いて理解する働きは、脳の特定の領域で営まれている。ことばを話す脳領域はブローカ中枢(運動性言語中枢)と言い、1861年にフランスの外科医ブローカによって発見された。ブローカ中枢は、ブロードマンの44野と45野にあたる。ことばを聞いて理解する脳領域はウェルニッケ中枢(感覚性言語中枢)と言い、1874年にドイツの精神科医ウェルニッケによって発見された。ウェルニッケ中枢は、ブロードマンの22野にあたる。これら2つの言語中枢の他に、前頭葉の上部に上言語野がある。この領域は、ブローカ中枢の補足的な役割を果たしていると考えられている。

耳から入ったことばは、側頭葉の聴覚野に伝えられる。ここでは音としてとらえられるだけで、これをことばとして理解するためには、ウェルニッケ中枢に情報を伝えなければならない。さらに

聞いたことばを理解して話すためには、ウェルニッケ中枢と前頭葉のブローカ中枢の連携が必要である。これには、頭頂葉にある角回(ブロードマンの39野)がその中継役として働いている。角回は、書きことばについても重要な役割を果たしており、ここに損傷があると文字の読み書きが困難になる。さらに、ウェルニッケ中枢に隣接している縁上回(ブロードマンの40野)は、聴覚野から入ってきた音情報をウェルニッケ中枢から受け取り、音の系列を分析する役割をしている。角回と縁上回も、ブローカ中枢、ウェルニッケ中枢とともに重要な言語中枢とみられている(酒井, 2002)。

言語野は、ほとんどの人で左半球に局在しているのが特徴である。言語野の左半球への局在の割合は、利き手によって異なることがわかっている。右手利き者は、ほとんどの人で言語野が左半球に局在しているが、左手利き者ではおよそ3分の2の人が左半球に局在していると考えられている。残りの3分の1の人は、右半球かあるいは両半球に分散して局在していると考えられている。

なぜ、ことばを操る能力は左半球に局在しているのだろうか。その理由は、はっきりわかっていない。しかし、大脳半球の形態的左右差について研究した結果は、その理由の1つを示唆している(Geschwind & Levitsky, 1968)。彼らは、成人100人の左右半球の側頭平面の大きさを調べている。それによると、左半球の方が広い人が65%、左右半球でほぼ同面積の人が24%、右半球の方が広い人が11%であった。平均すると、左側頭平面は右側頭平面より3割程度広いことがわかった。側頭平面の左右差は、胎児の脳でも存在することも確かめられている。

側頭平面は、聴覚野であるヘシュル回の後方にある。左半球ではウェルニッケ野の一部をなし、したがってそこは言語理解に関係の深い領域と考えることができる。この側頭平面が右半球より左半球で広いという事実は、そこで営まれる働きが左半球で機能的に優れていることを示唆している。しかも、この側頭平面の左右差は胎児脳ですでにみられることから、言語機能がこの領域に局在するのは遺伝的に決められていると考えられる。なお、ブローカ中枢にかかわる脳領域についても左右差のあることが指摘されており、左半球の方が大きいことがわかっている(Galaburda, Sanides, & Geschwind, 1978)。これらの事実は、言語機能が左半球に局在する重要な理由になっていると考えられる。

## 思考と言語の脳領域の発達

フレクシッヒの髄鞘化の発達モデルでは、前頭連合野は他の連合野と同じく髄鞘化が最も遅く完成する領域である。したがって、思考に関係している前頭連合野の髄鞘化は比較的遅いと考えられる。この領域は、髄鞘化が生後4～5か月頃から始まり、10歳すぎから20歳頃にかけて完成する。前頭連合野の髄鞘化は、ゴールデンの発達モデルでいえば第4段階から第5段階がその主要な段階にあたっている。前者は5歳から12歳、後者は12歳から20歳半ばの時期となっている。

2つの言語中枢(ブローカ中枢とウェルニッケ中枢)は、それぞれ前頭葉と側頭葉にある。これらの大脳皮質の髄鞘化は、各種感覚野の髄鞘化と連合野の髄鞘化が達成されるほぼ中間の時期に達成されると考えられる。各種感覚野の髄鞘化は生後半年から3歳頃までに完成され、各種連合野の髄鞘化は生後半年から20歳頃までの長期間かけて完成される。言語の獲得に関係する側頭葉聴覚野の髄鞘化が、出生から2～3歳の頃に完成することを考えると、言語中枢の髄鞘化はこれに重なる時期、およびそれ以降の時期と考えられる。言語中枢の髄鞘化は、ゴールデンの発達モデルでいえば第3段階がその主要な段階にあたると考えられる。この段階は、生後2か月から5歳の時期となっている。この時期を通して、子どもの言語は伝達機能だけでなく、思考の手段としての機能および行動調整機能も徐々に獲得していく。

生後1～2か月頃になると、乳児は人の声に耳を傾けたり、意味のない発声をするようになる。これらは、音声聴覚野で受け止められていること、また声を発するための運動野が働き始めていることを示している。4か月を過ぎる頃になると、音の出る方向に視線を向けるようになる。これは、聴覚野の情報が運動野に伝えられ、目を音のする方向に動かすように命令が出されたことを意味している。7～12か月頃になると、自分の名前が呼ばれるとそれに反応するような行動がみられる。これは、ことばの意味が理解されていることを示しており、角回の機能が働き始めたことを意味している。生後1年が経った頃には、意味のあることばが出てくる。これは、ブローカ中枢を使ってことばを話せるようになったことを意味している。さらに、子どもは文を読んでそれを理解できるようにもなっていく。これは、視覚野に入った文字情報が角回に伝えられ、そこで処理されたことを意味している。

## 思考と言語の発達

### 思考の発達

子どもの思考の発達は、Piaget(1952)によって感覚運動的段階、前操作的段階、具体的操作段階、そして形式的操作段階の4段階に区分されている。

**感覚運動的段階** 出生から1歳半、または2歳頃までの思考段階である。この段階の子どもは、自分のさまざまな動作や活動を通して事物や状況を認知し、初歩的な予期や洞察を示すようになる。感覚運動的段階の思考とよばれるのは、この段階の子どもが自分の身の周りにあるものを、見る、聞く、触れる、つかむ、なめる、嗅ぐといった行為によって情報を取り入れ、それに対して動作によって反応することで知的活動を行っているからである。乳児にとっての母親は、その表情や声、肌の感触や温かさ、体臭や母乳の味、抱かれたときの姿勢などの感覚運動的情報の組み合わせられたものとしてとらえられている。この段階では、見る、聞く、触れるなどで感じることでできないものは認識することは難しい。

感覚運動的段階で獲得される重要な能力に「ものの永続性」がある。ものの永続性とは、ものが自分の視界から消えてなくなっても存在している、という認識のことである。例えば、6か月頃の乳児は目の前にリングを置かれると、それに手を伸ばして取ろうとする。しかし、そのリングに布をかぶせて覆ってしまうと、まるでリングが存在していないかのようにふるまうのである(Bower, 1974)。その子にとって、目に見えないものはこの世に存在しないのである。目には見えなくてもものがそこに存在し、再び現れると予想するのは表象作用が必要である。これが可能となるのは少なくとも1歳半から2歳以降で、この頃になると子どもは表象作用を通してものの永続性を獲得していく。

**前操作的段階** 1歳半もしくは2歳から7歳頃までの思考段階である。これは、幼児期から小学校低学年頃までの時期にあたる。この段階の子どもは、動作に依存していた活動から、ものごとを内的に表象する活動へと思考様式が発達的に変化していく。つまり、ものごとの概念を獲得し、それをことばで言い表すことができるようになるのである。「操作」とは、行為が表象として内化されたものと定義されている。したがって、前操作的段階というのは、行為の内化がまだ十分に行われていない時期ということになる。例えば、数をか

ぞえるのに操作的段階では頭の中だけで数を操作するが、前操作的段階では指を折ってかぞえたり、物に直接指を当ててかぞえたりする。この段階では、数をかぞえるという行為がまだ十分に内化されていないのである。前操作的段階は、次の2つの下位段階に分けられている。

**<象徴的思考段階>** 1歳半もしくは2歳から4歳頃までの思考段階である。この時期の子どもでは、感覚運動的な認知が内面化されて表象が発生してくる。そして、その表象に基づいて象徴的行動が出てくる。象徴とは、事物を何か別の事物で表すことをいう。身の周りの事物を何かに見立てて遊ぶ象徴的遊びは、この時期に頻繁に見られるようになるが、これはこの時期の子どもに象徴機能が働きだしていることを意味している。

**<直観的思考段階>** 4歳から7歳頃までの思考段階である。この時期の子どもでは、概念化が進み、事物を分類したり関係づけたりすることもできるようになる。しかし、そのときに行われる子どもの推理や判断は、きわめて直観的なものである。とくに、事物の知覚的に目立った特徴に影響されてしまい、客観的な推理や判断を誤ってしまうのである。ピアジェは、それを「保存」実験を通して巧みに証明している。直観的思考の特徴は、保存概念の欠如として典型的に現れてくる。保存とは、一定の数量が出し入れされない限り、形を変えても、また分割しても常に不変であることを意味している。したがって、保存の概念をもつこととは、事物や事態が見かけ上変化しても、その本質的な特徴が変わらなければ同じであることを、子どもが認識していることを指している。この時期の子どもは、質量の保存だけでなく、重さ、体積、面積、数などの保存もまだ獲得されていない。対象(物質)が形態的にどのように変化しても、対象そのものは元のものと同じであるという保存概念の獲得は、この後の思考の発達段階を経て達成されていくのである(Inhelder & Piaget, 1958)。

**具体的操作段階** 7歳から11～12歳頃までの思考段階である。これは、小学校中学年から高学年の時期にあたる。この段階の子どもは、自分が具体的に理解できる範囲の問題や自分で直接経験できる事柄については、論理的な操作によって思考したり推理したりすることができるようになる。前操作的思考段階では獲得されていなかった種々の保存概念は、この時期に獲得されていく。見た目にだまされず、対象の本質的特徴を理解して保存課題を解決するためには、子どもが脱中心化す

ることが必要である。つまり、対象の1つの側面(次元)だけに注目するのではなく、それ以外のいくつかの側面(次元)にも同時に注目して考え、判断することが必要なのである。

液量の保存に関していえば、コップの水面の高さと底面の大きさの2つの側面(次元)に同時に注目して考えることが必要であることに気づかなければならない。そこで「移しかえられたコップの水面は高くなっているけど、コップの底の面積は小さくなっている。それに、移しかえるときにジュースは増やされも減らされもしていない。だから、ジュースの量は変わっていない」という論理操作が子どもに求められるのである。具体的操作段階の子どもは、いろいろな概念を内的に操作して、このような論理的思考ができるようになるのである。

ただ、この段階の思考の特徴は、その名が示すように子どもが具体的に理解できる事物や場面に限られている。子どもの目の前にない、直接経験することのできない事物や出来事について、あるいは抽象的な概念について、内的に論理的に操作して思考し、推論できるようになるのは、次の形式的操作段階になるまで待たなければならない。

**形式的操作段階** 11～12歳から以降の思考段階である。これは、小学校高学年から中学生の時期以降にあたる。この段階の子どもの思考は、具体的、現実的内容に限定されることなく、抽象的、仮定的内容についても論理的に操作できるようになる。愛とか信頼などの抽象的なことばを理解したり、水が水素と酸素の原子から構成されていることを理解するような、抽象的、仮説的思考ができるようになるのである。「～だから、こうなのだ」、「もし～ならば、どうなるか」といったような論理的思考、仮説演繹的思考による問題解決方略が、この時期の子どもの思考の中心になる。彼らは、仮説を立てて予想し、系統的な方法を使って検討し、仮説が正しいかどうかを論理的に検証しようとする。

形式的操作段階の思考の特徴を探索する課題として、ピアジェが用いた「振り子課題」について紹介してみよう(Inhelder & Piaget, 1958)。この課題では「振り子の揺れの速さを決めているのは何か」を発見することが子どもに求められた。考えられる要因は、糸の長さ、錘の重さ、振り子を放す高さ、振り子を放すときに加える力の4つである。正しい答えは糸の長さであるが、それを導き出すためには形式的操作の思考を用いなければならない。この段階の子どもは、あらかじめ予想さ

れる要因を考え出し、その中でどれが正しいかを系統的な方法を使って確かめることができる。

例えば、糸の長さ、振り子を放す高さ、振り子を放すときに加える力を一定にして、錘の重さを20, 50, 100, 200グラムと順に変えて振り子を振ってみるのである。そのようにして、振り子の揺れる速さが錘の重さでは変わらないことを確かめるのである。さらに別の要因を同じ方法で確かめていき、糸が短いときに揺れが速くなり、長いときに遅くなることを見出ししていくのである。形式的操作段階の仮説演繹的思考、論理的思考が働いて、この問題が解決されていくことがわかる。

## 言語の発達

乳児を意味するinfantの語源は、「話せない者」という意味にある。したがって、infantの語源に厳密にそっていえば、乳児期とは子どもが誕生してからことばを使い始めるまでということになる。「話せない者」から「話す者」への発達の变化は、平均すると子どもの誕生からほぼ1年経った頃に起こる。この時期に初語といわれる人生で最初のことばが発せられるのである。そして、1歳半から2歳にかけて、子どものことばは爆発的に増えていく。2歳でおおよそ300語、3歳でおおよそ1000語、そして5歳で2000語以上のことばを獲得するといわれており、小学校に入る頃の子どもは、かなり豊かな表現でことばを使うことができるようになる。

子どもは、ことばを獲得することによって他者とのコミュニケーションがより親密になり、ことばを使ってものを考え、そしてことばによって自分の行動を調整できるようになっていく。これを言語の三大機能、すなわち伝達機能、思考の道具としての機能、そして行動調整機能という。子どもの言語獲得は、その精神発達と広く深くかわるかたちで進められていくのである。

**文法の発達** 誕生から幼児期を通して、子どもの精神発達は質量ともに大きな変化を示していくが、その中でひときわ重要な意味をもつのが言語の獲得とその発達過程である。そこで、この時期に展開されることばの発達過程を喃語期、一語発話期、二語発話期に分けてとらえ、それぞれの時期に現れる文法項目の特徴についてみていく。

**<喃語期>** 生後1～2か月頃になると、乳児は「アーアー」「マママ…」のような意味のない発声をよくするようになる。これを喃語といい、7～8か月頃がその最盛期である。喃語の音声の種類はきわめて多く、あらゆる音韻体系の音声のすべ

てを含んでいると考えられている。つまり、喃語の時期の乳児たちは、共通の音声を発しているといえるのである。しかし、その広い発声のレパートリーは、母国語の獲得にともなって変化していく。母国語に含まれている発音は残り、強化されていくが、母国語にない発音は弱まり、あるいは消失していくのである。

**<一語発話期>** 誕生から1年経った頃に、子どもは「マンマ」「ニャンニャン」などの意味のある最初のことば、初語を獲得するようになる。子どもにとって発音しやすく、また彼らの生活に関係しているもの、例えば母親や食事にかかわるようなものが初語として出ることが多いとされている。なお、子どものことばの理解は初語の出現よりおよそ3か月早く、一般にことばの理解はことばの産出に先行して現れるといえる。

初語が出現してからしばらくの間は、1つの単語で表現する一語発話の時期が続く。この時期のことばは、1つの単語で多様な内容を表すものとして使われる。一語発話は、受け手の側からすると1つの文と同じような機能をもつことから一語文ともよばれる。

**<二語発話期>** 1歳半を過ぎる頃に、2つのことばを組み合わせる二語発話がみられるようになる。一語発話では表現できない内容、例えばその場の状況を表現の補足として利用できない過去、未来、想像などの事象について、子どもは二語発話を用いてより適切に表現できるようになる(大久保, 1976)。初期の二語発話は、助詞や助動詞などが省略されていることが多く、必要なことばだけで表現されていることから、電文体発話ともよばれる。二語発話の出現によって子どもの言語表現は多様になり、他者とのコミュニケーションもより親密なものになっていく。二語発話はその後、3つ以上のことばを組み合わせる「多語発話」へと発展し、子どもは3～4歳で大人と簡単な会話を維持することができるようになる。さらに、5～6歳になると重文や複文などの複雑な文構造をもった表現も多くみられるようになり、大人の言語に近い言語を使えるようになっていく。

## 言語獲得の理論

子どもの言語発達がどのように進められるのかについて説明する理論は、大きく分けて2つある。1つは学習理論で、これは言語発達を模倣や条件づけのメカニズムによって説明するものである。スキナーの行動主義に基づく理論が代表的なもの

である。もう1つは生得理論で、これは言語発達を人間に生まれながらに備わっている言語獲得能力によって説明するものである。チョムスキーの生成文法理論に基づく理論が代表的なものである。

**学習理論** 刺激と反応の連合の形成から言語発達を説明するのが、学習理論である。具体的にいうと、スキナーの道具的条件づけあるいは模倣による説明ということになる。Skinner(1957)は、子どもは他のあらゆる行動を学習するのと同じやり方で言語を学習していくと考えた。道具的条件づけにおいて、言語発達は子どもが自発的に発する発話に対し、適切なのはほめたり、もう一度発するように勧めたりして残し、不適切なものは訂正したり、無視したりして消去するという学習によって達成されると考えるのである。

さらに、学習理論では、子どもの言語発達は大人のことばを子どもが模倣することによって促進されると考えられている。子どもは、大人がさまざまな場面で話すことばを聞き、それを模倣して再現する。その発せられたことばが、大人によって承認されたり、訂正されたりといった強化を受けることで、子どもは適切なことばの使い方を学んでいくと考えるのである。

学習理論による言語発達の説明には、いくつかの批判がある。この理論は、子どもの言語発達を刺激と反応の連合の形成によって説明するのだが、それを可能にする大切な要因として強化の役割を重視している。つまり、子どもは周囲からの刺激と強化を通してことばを学習していくのである。したがって、言語発達において子どもは受動的な存在だとみなしているのである。これは、子どもが実際に言語を獲得していくときにみせる能動的側面を過小評価するものだ、と批判されている。

さらに学習理論において、ことばは刺激と反応の連合や強化によって学習されると考えられるのだが、実際に子どもが1つ1つのことばをそのように学習していくとすれば、膨大な時間がかかることになる。しかし、子どもは生後数年のうちに、爆発的に語彙数を増やしていく。また、母国語獲得の基本的なものは、4～5歳で完了するとみられている。このように短い時間の中で言語獲得が達成されていくという現象を、刺激と反応の連合や強化の理論で説明するのは難しいと批判されているのである。つまり、この理論でいけばことばの発達は徐々に行われていくはずだが、実際には短かい時間のうちに達成されていくので、この現

象をうまく説明することができないわけである。

また、大人のことばの模倣によって言語発達が進められていくという主張も、実際の言語発達研究からは支持されていない。子どもと母親との交流の中で、子どもが母親のことばを直接模倣するといった報告は、ほとんど得られていないのである。ある観察によると、生後20か月の幼児で、発話総数923のうち直接模倣は4つにすぎなかったと報告されている(宮原・宮原, 1996)。そこでは、子どもと母親との間にすでに原初的な対話が成立していたことも指摘されている。このことは、子どもが未熟ながらそのときの状況を理解していることを示唆している。

**生得理論** 子どもの周りにいる大人が、いつも文法的に正しい話し方をしているわけではないのに、多くの子どもは短い期間のうちに母国語を適切に獲得していく。このような子どものめざましい言語獲得は、学習理論では十分に説明することができない。そこで、こうした事実を合理的に説明するものとして、チョムスキーの生成文法理論が提案されたのである(Chomsky, 1962)。この理論は、人間は生得的に言語を獲得できる能力を持っているという生得論の立場にたっている。この人間に固有の能力は、言語獲得装置(LAD: language acquisition device)とよばれている。

生成文法理論は、人間の言語能力はある有限個の文法規則からなっており、この規則を繰り返し適用することにより無限の文を生成することができるかと仮定する。そして、私たちが日常的に話したり聞いたりしていることばは、言語の表層構造であり、それは言語の深層構造の特殊な規則体系、すなわち変形規則にしたがって変換されて表層構造として表されると考えている。その意味で、チョムスキーの理論は変形生成文法理論ともよばれている。

チョムスキーは、子どもの言語獲得がある時期にきわめて急速に起こることに注目し、これは強化や模倣、あるいは好奇心だけでは説明できないと考えた。子どもは、不十分で不適切な文、あるいは限られた数の文を聞いていても、自分で新しい文を作り出し、また多様な文を理解する規則を発達させていく。こうした事実を説明するために、チョムスキーは人間に固有な生得的な能力としての言語獲得装置を設定したのである。この装置は、子どもに対して与えられた言語的なデータ(その子が聞いた言語)を処理し、その入力言語の文法規則についての理論を構成する。そのことによって、子どもは自分が聞いた文を理解し、新しい文を産

出することができるのである。

言語獲得装置は、出生時にはまだ機能していないが、脳の成熟にともなって働きはじめる。これは、「子どもは、ある特定の身体的成熟段階に達すると、遅れも早まりもせずに話しはじめる」としたLenneberg(1969)の考えとも一致している。ともに、ことばを話したり理解したりする能力は、特定の強化によって獲得されるというよりも、遺伝的構築性によって獲得されるところが大きいことを示している。

チョムスキーの言語獲得装置の考え方に対して、子どもに与えられる言語は、大人同士の会話での言語とは異なる特徴をもっており、子どもの言語獲得は子どもに与えられる独特の言語特徴によって影響を受けるという考え方がある(Gallaway & Richard, 1994)。このような、子どもの周囲にいる養育者からの働きかけを言語獲得支援システム(LASS: language acquisition support system)という。子どもの言語獲得は、言語獲得装置と言語獲得支援システムとの相互作用によって進められていくと考えられるだろう。

## 思考と言語の発達と脳

### 思考の発達と脳

**思考と神経細胞の発達** ピアジェの思考の発達段階論によれば、抽象的、論理的思考の起源は感覚運動的思考にある、あるいはそこから始まるといえる。これを脳の発達の観点からみれば、まず神経回路形成の3つの発達段階が、おおまかに思考の発達段階に対応していることがわかる。神経回路形成の第1段階は生まれてから3歳頃まで、第2段階は4歳から7歳頃まで、そして第3段階は10歳前後の頃である。この後の神経回路の形成はゆっくり進み、20歳の頃にピークに至る(永江, 2002)。

神経回路の形成は、大脳皮質全体に均質に行われるのではなく、3つの発達段階でそれぞれ形成部位が異なっている。つまり、異なる精神活動を営む神経回路が、3つの異なる時期に形成されるのである。神経回路形成の3つの時期は、ピアジェの示した思考の発達段階の節目にあたる時期とみることができる。神経回路形成の第1段階は、感覚運動的段階から前操作的段階の象徴的思考段階まで、第2段階は直観的思考段階、そして第3段階は具体的操作段階から形式的操作段階への移行期にそれぞれ対応していると考えられることができる。

次に、神経細胞の髄鞘化の発達過程も、ピアジェの思考の発達段階を理解するのに役立つ。大脳皮質の視覚野、聴覚野、体性感覚野へ行く神経は、生まれてからおよそ1年をかけて髄鞘化が完成していく。また、手足を動かす運動野から脊髄へ行く神経も、生後1年をかけて髄鞘化されていく。そして、ものを考えて判断を下し、行動を起こすように命令するといった高次精神活動にかかわる前頭前野に行く神経は、出生時にはまだ髄鞘化されておらず、生後4～5か月から髄鞘化が始まり、10歳すぎから20歳頃にかけて完成に近づいていく。

このように、神経細胞の髄鞘化がまず感覚野あるいは運動野において完成し、その後、連合野に発達の移行していく過程は、思考の発生が感覚運動的性質をもち、それが最終的に形式的、論理的な性質に至るというピアジェの思考の発達段階論に対応しているとみることができるであろう。つまり、感覚野および運動野の髄鞘化は、出生から1年の間にほぼ完了して機能可能な状態になっていくわけで、新生児あるいは乳児にしてみれば、これらの脳領域を使用して環境とかかわるのは、ごく自然な行為、活動といえるわけである。

**表象の発生と前頭前野** ものの永続性の獲得は、感覚運動的段階の8～12か月の頃からである。それまでの子どもは、この課題をうまく遂行することができない。Diamond(1985)は、生後6か月から12か月の乳児(男児11人、女児14人)を対象にしてAB(A not B)課題を行い、ものの永続性の獲得過程について検討している。AB課題は、次のような手順で行われる。Aの位置におかれたもの(オモチャ)を布で隠す。それを乳児が布をとって手に取り、これを数回繰り返した後、今度はそのオモチャを乳児の見ていない前でBの位置に隠す。このとき、乳児は正しくBの布をとってオモチャを手にとることができるかどうかを観察する。この課題では、乳児が正解の位置が変わってもそちらに反応せず、前に正解であった位置に固執する反応をするかどうかをみるのである。ここから、この課題を「Aを選んでBを選ばない(A not B)課題」とよんでいる。

Diamond(1985)は、Bの位置にものを隠した後、に遅延時間において乳児の反応をみたのである。Bの位置にものが隠されているのに、誤ってAの位置の方を探してしまう反応が、どのくらいの遅延時間で起こってしまうかをみると、7か月半の乳児では2秒弱の遅延時間が入ると誤り反応が出てしまうが、9か月の乳児では6秒、12か月

の乳児になると10秒強の遅延時間が入らないと誤り反応は出てこない。つまり、1歳を過ぎる頃になると子どものものの永続性はかなり安定してくるのである。

**ワーキングメモリの発達と脳** 事物は見えなくなっても時間的、空間的に存在し続けるというものものの永続性の獲得は、抽象的推論、言い換えれば思考の基本的機能の1つを子どもが獲得したことを意味している。それはどういうことかということ、ものの永続性の獲得は、情報を一時的に頭に残しておいて、いつでも使うことのできるようにしてある記憶、すなわちワーキングメモリが機能し始めたことを意味している。ワーキングメモリは、思考の基礎をなす働き1つと考えられるものである。したがって、ものの永続性が獲得されたということは、少なくとも思考の基礎となる機能が働き始めたことを意味している。

ワーキングメモリの脳における基盤は、前頭前野にある。この前頭前野が働き始めるのは、生後4～5か月以降の頃からである。ピアジェの思考の発達段階で、感覚運動的段階の8～12か月の時期にものの永続性が獲得され始め、内的な表象が働き始める。ものの永続性の性質は、ワーキングメモリのそれにつながるものであり、こうした機能の獲得が感覚運動的段階の思考から前操作的段階、そして操作的段階のより高次の思考の発達の基盤になっているのである。より高次の思考発達には、1つとしてそれを支える前頭前野の成熟、そしてもう1つとして言語機能の発達が影響していると考えられる。ちなみに、単語を組み合わせる文法の発達にも、ワーキングメモリがその基盤として働いていることをわすれてはいけない。ことばは、時系列の中で組み合わせられて意味を表す。ことばは、先ほど話されたことばをワーキングメモリとして保持しながら生成されるのである。つまり、単語同士をつなぐ能力は、Posner & Raichle(1994)によれば、左外側前頭葉と帯状回前部が関係するワーキングメモリの発達の産物と考えられるのである。

## 言語の発達と脳

**言語獲得の敏感期** 言語獲得の敏感期については、永江(2003)ですでにふれた。そこでは、レネバークが言語獲得の敏感期を2歳から10歳の頃までと考えていること、そして実際にはおよそ5歳頃までが最も重要な時期だろうとする説のあることも紹介した。子どもが大脳に損傷を受け失語症に陥った場合、そこからの回復は損傷を受けた年



齢によって大きく異なる。年齢が低いほど回復は速く、また回復の程度も高いのである。言語機能は一般に左半球に局在するが、そうした機能分化がはっきりしてくる時期はだいたい5歳頃と考えられる。その後、10歳頃までに左半球の言語処理機能、右半球の非言語処理機能という一側化(ラテラリティ)がより明確になっていく。この大脳半球の一側化の期間を、レネバークは言語獲得の敏感期と考えたのである。

言語獲得には、側頭平面という領域が深く関係している。とくに、左半球の側頭平面は言語機能ときわめて密接に関係している。しかし、その関係は子どものある年齢までは決定的なものではない。左半球の側頭平面が、不幸にして何らかの障害を受けた場合、それが年少の時期であれば右半球の側頭平面が退化せず残されているために、そこが障害を受けた左半球の側頭平面の代わりに言語機能を果たす可能性があるからである。いわゆる、代償機能があるのだ。ところが、子どもの年齢が高くなってくと右半球の側頭平面が退化してしまうために代償機能が果たせなくなってしまう。そのために、言語機能の障害が残ってしまうことになる。ただ、この代償機能が右半球の側頭平面ではなく、左半球の残された領域がそれを行っているという考え方もある(岩田, 1996)。ところで、こうした代償機能が残る時期がいつ頃までかという点、それが先に示したようにおよそ5歳頃から遅くとも10歳頃だとみられている。

**喃語と左半球** 生後1～2か月くらい経つと喃語が現れる。子どもは、この喃語期を経て言語獲得の段階、すなわち一語発話期へと発達を進めていく。その意味で、喃語は子どもの言語発達において重要な位置と役割を占めているといえる。この喃語が、例えば笑い声のような単なる発声と異なり、ことばの発生の基盤になっていると考えられる1つの証拠が報告されている(Holowka & Petitto, 2002)。

生後5～12か月の乳児10人を対象にして、彼らが喃語を発したとき、喃語以外の発声をしたとき、あるいは笑ったときの口の動きが、ビデオで正確に撮影された。そして、乳児の口の左あるいは右のどちらがより大きく開いているかを測定したのである。左右の身体の運動神経は、それぞれ交叉して反対側の脳半球の運動野と結びついている。したがって、口の左側がより大きく開けば右半球が、右側がより大きく開けば左半球がそれぞれ働いていると考えることができる。結果は、喃語が発せられているときは口の右側が、笑ってい

るときは口の左側がより大きく開いていることを示したのである。喃語以外の発声をしているときは、左右差がなかった。

この結果は、喃語が言語中枢が局在する左半球と密接にかかわっていることを示唆している。つまり、言語機能が発達の非常に早い時期から左半球に側性化していることを示しているわけで、言語の発生と発達がその最初期から左半球機能の営みとして起こることを示している。さらに、笑いと右半球との関係も、右半球が生後5か月という早い段階から情動的な表出にかかわっていることを、この研究は併せて示していることも注目される。

## 生成文法と脳

**言語獲得装置と脳** 人間は生得的なものとして言語獲得装置をもっている、というチョムスキー理論の神経学的証拠はどこにあるのだろうか。脳は2つの半球からなっているが、言語は原則として左半球で処理される。ことばを理解するウェルニッケ中枢と、ことばを話すブローカ中枢が、その中心的機構である。ウェルニッケ中枢の解剖学的基礎は側頭平面にあるが、この組織の大きさは生得的に左右差があり、左半球の方が大きいことはすでにふれた。また、ブローカ中枢にかかわる組織も左半球で大きいことがわかっている。このように、言語にかかわる脳組織が脳の特定の領域に限られていること、そしてそれが生得的なものであることが示されているのである。つまり、チョムスキーの想定した生得的言語獲得装置の神経学的基盤がここにあると推定することができる。

言語および言語音に対する脳の処理機能は、実際にはいつ頃から働き始めているのだろうか。Entus(1977)は、平均生後日数が50日の乳児を対象とした聴覚のラテラリティ実験を行っている。まず、乳児の左右の耳から、「バ」「マ」などの異なる音韻を聞かせながら乳首を吸わせる。しばらくすると、それらの音韻に慣れてきて乳首を吸う率が減少してくる。そのときに、左右どちらかの音韻を変化させて、乳児の乳首を吸う率の変化を記録する。その結果、右耳での変化が左耳でのそれより乳首を吸う率が高まることを見出している。これは、言語音の聞き取りの右耳優位、すなわち左半球優位が、発達の最初期からみられることを意味している。また、生後1週間から10か月の乳児に「バ」「ダ」のような音韻、「ボーイ」「ドッグ」のような単語音を聞かせ、左右半球の聴覚誘発反応を測定した研究でも、左半球の誘発反応が大き

いことが報告されている(Molfese, Freeman, & Palermo, 1975)。

これらの研究は、発達の最初期の頃から言語音の処理が左半球で優先的に行われていることを示している。また、それは言語音が意味のあるものでも、そうでないものでもいえることを併せて示している。このことは、側頭平面の大きさが出生時にすでに左右で異なっていることと関係していると考えられる。つまり、左右半球の機能的差異は、遺伝的情報として脳に組み込まれているといえるのである。ウェルニッケ中枢とブローカ中枢を中心とした言語の神経組織が、多くの人の場合、生得的に左半球に特殊化されており、発達の最初期から言語音処理に働いていることを考えると、これらの神経組織の発達がその後の言語発達を規定し、方向づけていくと考えることができるだろう。この言語の神経組織こそ、チョムスキーのいう言語獲得装置の神経学的基盤と考えられるわけである。

**極小モデルと脳** 極小モデル(ミニマリスト・プログラム)は、Chomsky(1995)が生成文法理論を改良して示した、この理論の最新の枠組みといえるものである。極小モデルは、生成文法理論の言語に関する基本的なとらえ方を共有しつつ、より鮮明に脳の認知システム理論としての体裁を整えたものになっている。

極小モデルの言語に関する基本的なとらえ方は、つぎの3つにまとめられる(福井, 1998)。①ヒトの精神・脳の内部には、言語に固有で自律的な部門、すなわち言語機能が存在すること。②言語機能は、その内部に少なくとも2つの下位部門をもっていること。1つは、言語に関する情報を貯蔵している「心的文法システム」であり、もう1つは心的文法システムによって与えられた情報にアクセスし、それを使用する「運用システム」である。③言語機能における心的文法システムは、少なくとも2つの運用システムと交互作用をもっていること。1つは、音声を司る「調音・知覚システム(構音・聴覚システム)」であり、もう1つは意味を司る「概念・意図システム」である。心的文法システムとこれらの運用システムとの交互作用は、「音声形式」と「論理形式」という2つの仲介レベルを介して行われる。音声形式レベルでは、心的文法システムと調音・知覚システムとの仲介が行われ、論理形式レベルでは認知システムと概念・意図システムとの仲介が行われる。

これらをまとめると、ヒトはその精神・脳の内部に言語機能という独自の自律したメカニズムを

もっており、その中核の心的文法システムは調音・知覚システム、および概念・意図システムという2つの運用システムと相互作用を行っているということになる。さらに、言語機能の心的文法システムは、2つの運用システムを介して間接的に他の認知システムとかかわっていると考えられる。

**心的文法システムと脳** 極小モデルにおける心的文法システムは、「レキシコン」と「計算システム」からなっている。レキシコンは、語彙項目の貯蔵庫である。レキシコンには、音の出入力を解析する音声形式で必要な音韻素性や、意味解釈をする論理形式で必要な意味素性などが貯えられている。レキシコンから語彙項目が取り出されるとき、それぞれが一文で何回使われるかは、はじめから決められている。それらの取り出された語彙項目の集合を「数え上げ」という。数え上げから語彙項目が「選択」されて、計算システムに入れられる。ここに入った語彙項目は「併合」とよばれる操作を受ける。併合とは、2つの要素を1つに組み合わせる操作のことをいう。併合の回数が多いほど、大きな文の構造ができることになる。

心的文法システムは、実在する脳内基盤をもっていると考えられており、そのことの実証も進められている。語彙項目の貯蔵庫としてのレキシコンは、左側頭葉中下回から内側面にかけての広い範囲が関係しており、この領域にレキシコンの情報が貯えられていると推定されている。というのは、レキシコンが障害を受けると語の意味素性や音韻素性が失われると考えられるが、そうした症状を示す語義失語やジャーゴン失語といった失語症は、この領域に萎縮のみられることが多いからである。

レキシコンから語彙を選択して計算システムに入れる操作には、左上側頭回後部から頭頂葉下部の領域、すなわちウェルニッケ野から角回にかけての領域がかかわっていると推定されている。それは、この領域が損傷を受けるとウェルニッケ失語、失名詞失語、健忘失語などのように、適切な語彙が使えなくなったり、音や意味が似ている単語を誤って使ってしまうようなことが起こるからである。

計算システムにおける併合の操作には、左右上側頭回の領域、とくにブローカ野の関与が大きいと推定されている。この領域が損傷を受けると、言いたい単語を選んでそれを正しく組み立てることができないという失文法失語が生ずるのだが、これは語の併合ができなくなったことによる

と考えられる。受け身文のように、能動文の主語と目的語の位置を「移動」させてできる文の場合も、ブローカ野とその周辺の領域が深くかかわっていると推定されている。

運用システムとしては、構音システムがブローカ野から運動皮質の領域、聴覚システムが左右1次聴覚野の領域、概念・意図システムが前頭連合野の領域と、それぞれ関係していると考えられている。

**心的文法システムの発達と脳** 心的文法システムの脳内基盤の発達は髄鞘化とシナプス形成の側面からみると、次のようになる。フレクシビリティを示した髄鞘化の発達モデルでみると、言語機能にかかわる大脳皮質領域で最も早く髄鞘化が進むのはウェルニッケ野で、ブローカ野はそれより遅く、角回や縁上回はさらに遅いことがわかる。言語獲得に関係する側頭葉聴覚野の髄鞘化が出生から2～3歳の頃と考えれば、これら言語中枢の髄鞘化はこれに重なる時期、およびそれ以降の時期と推定される。ちなみに、言語中枢の髄鞘化は、ゴールデンの発達モデルでいえば第3段階で、この段階は生後2か月から5歳の時期となっている。また、シナプス形成を発達のみにみると、生後5歳頃までシナプス密度が急増し、7歳前後にピークとなり、以後減少していく。そして、だいたい15歳の頃に成人のシナプス密度に近くなっていく。

言語機能にかかわる大脳皮質領域の髄鞘化とシナプス形成の発達変化は、心的文法システムの発達とどのようにかかわっているのだろうか。この問題について、現時点ではっきりした対応づけをすることは難しいが、いくつかの点を指摘することができる。語彙項目の貯蔵庫としてのレキシコンには、左側頭葉中下回から内側面にかけての広い範囲が関係しているが、この領域は1歳以前から髄鞘化とシナプス形成が進んでいるところである。ここから、語の音韻や意味に関する情報はレキシコンに貯えられ、それが喃語期を経て、1歳頃の一語発話期につながっていくと考えられる。

計算システムの選択、併合、そして移動の操作は、それぞれウェルニッケ野から角回、ブローカ野、そしてブローカ野の周辺の領域が関係しているが、これらの領域の髄鞘化とシナプス形成は2歳前後の頃に進んでいく。ここから、1歳半を過ぎる頃に2つのことばを組み合わせる二語発話が出てくると考えられる。二語発話は、特定の法則によって語と語を組み合わせる言語活動である。ここにはレキシコンから語を選択し、それを併合する操作が働いている。こうした操作

は、論理形式や音声形式と相互作用しながら進められていくわけである。

二語発話はその後、3つ以上のことばを組み合わせる多語発話へと発展し、3～4歳になると子どもは大人と簡単な会話を維持することができるようになる。そして、5～6歳では重文や複文などの複雑な文構造をもった表現も多くみられるようになる。この期間に、ウェルニッケ野、ブローカ野、そして角回や縁上回の髄鞘化とシナプス形成がさらに進行していくことが、計算システムにおける選択、併合、移動の諸操作をより機能化し、より複雑な文構造をもった言語表現を可能にしていくと考えられるのである。

心的文法システムの発達から言語機能の発達をみてきたが、これを運用システムの発達からみるとどうなるであろうか。構音システムはブローカ野から運動皮質の領域と、聴覚システムは左右1次聴覚野の領域とそれぞれ関係していると考えられるが、これらの中で感覚野や運動野の髄鞘化は早く、出生から1年の間にほぼ完了していく。ここから、乳児期の言語音の知覚や発声の発達の変化が急速に進んでいくと考えることができる。しかし、概念・意図システムが関係している前頭連合野の髄鞘化は最も遅く、生後4～5か月から始まって、10歳すぎから20歳頃にかけて完成に近づいていく。ここから、概念・意図システムと心的文法システムとの相互作用は、かなり長期にわたって遂行され、その関係法則を作り上げていくと考えられる。

## 思考と言語の発達を促す脳教育

### 思考の発達を促す脳教育

**計算と脳** 大学生が、一桁の足し算、例えば「7+9」のような計算をしているときの脳の働きをfMRIを使って調べると、左右の半球のいろいろな部位が並行して働いていることが指摘されている(川島, 2001)。計算問題を解き続けると、脳のいろいろな部位が活発に働き始める。こうした脳の活動は、足し算だけでなく、引き算やかけ算をしているときにも起こることが確かめられている。さらに、中学生を対象にした研究でも同じ傾向が示されることもわかっている。

ところで、もっと複雑な計算、例えば「 $54 \div (0.51 - 0.19)$ 」のような計算をしているときの脳の活動を調べてみると、単純な計算をしているときとはかなり異なることがわかっている。単純な計算をしているときは、左右の半球のかんりの

部位が活動していたが、複雑な計算をしているときは左半球しか働いていなかった。複雑な計算をするのだから、単純な計算のとき以上に多くの部位が活動するだろうと予想されたが、実際には左半球の特定の部位(前頭前野)を中心に活動が起こっていた。

複雑な問題を解くときに、左半球の前頭前野がとくに働くのはどうしてだろうか。それは、「 $54 \div (0.51 - 0.19)$ 」を解くときには、「まず、 $0.51$ から $0.19$ を引いて $0.32$ 。次に、 $54$ を $0.32$ で割るには、両方を $100$ 倍して…」というように、計算のしかたをことばにしなから行っていくことが関係していると思われる。こうしたことばの産出が、多くの人で左半球の前頭前野で行われていることがわかっている。同時に、この部位はワーキングメモリの部位でもある。複雑な計算をするときには、問題をことばに直して行い、その途中で必要な情報を一時的に頭に留めておきながら計算を続行していく。こうした言語産出とワーキングメモリの処理は、左半球の前頭前野を中心に行われていると考えられる。

単純な計算を解くときと、複雑な計算、文章題を解くときでは、脳の活動する領域が異なっていた。単純な計算を解くときは、左右半球の比較的多くの部位が活動していた。複雑な計算、文章題を解くときは、左半球の前頭前野が主に活動している。そこから、後者の複雑な計算問題を解くときには、その前に単純な計算問題がある程度やっておいて、脳の多くの領域を活性化しておくのが有効かもしれない、ということが考えられる。また、複雑な計算問題を解くときは、前頭前野の言語産出にかかわる領域(ブローカ野)がかかわっていたことから、算数・数学の能力をつけるには国語の能力を伸ばすことが大切だとも考えられる。さらに、ブローカ野はことばの産出にかかわる領域であるから、複雑な計算問題を解くときに問題文を声に出して読んでみると、この領域が活性化されて問題を解くのに有効に働くことも考えられる(川島, 2001)。

このことに関連して、最近、小学校における基礎的な能力の学習、いわゆる「読み書き計算」能力の学習が、子どもの学力全体を伸ばしていくのに有効だという主張が、学校現場で話題になっていることについて考えてみたい(蔭山, 2002)。その主張は、算数でいえば「百ます計算」という学習法として知られている。百ます計算とは、簡単な計算問題を100題、できるだけ速く解くというもので、毎日繰り返して行わせるものである(蔭山,

2001)。とくべつ変わった学習法というものではない。ただ、算数、数学の基礎的能力としての加減乗除の能力を徹底して習得し、それを機能的に使えるようにしておくことが、さらに高等な算数、数学能力を身につけることにつながるのだ、という考えの下に実践されているのである。こうした学習法が実際に教育的効果をもつかどうかについては、客観的に検証された上で判断しなければならない。ただ、fMRIなどを使った最近の脳機能画像研究が、簡単な計算問題を解き続けていると脳のいろいろな部位が活性化することを示しているということについてはすでにふれた。このことから推論すると、「百ます計算」を行えば子どもの脳のかなり広い範囲が活性化され、脳全体が機能的しやすい状態になっているといえる。それが、川島(2001)の指摘するようにその後で取り組むさらに高等な算数、数学の学習によりよい効果をおよぼすと考えられることはできるかもしれない。

以上のことは、1つの提案として受け止めておくべきだろう。というのは、もしかするとこれらの提案のように実行した場合、逆の結果がもたらされることも考えられるからである。それは、こういう意味である。複雑な計算問題を解くときは、左半球の特定の部位が主として用いられていた。このことは、こうした複雑な問題を解くときには、脳はその処理に特殊化された領域を専門的に使って情報を処理していることを意味していると考えられる。そのようなときに、事前に単純な計算問題を行って脳の多くの領域が活性化されていると、複雑な計算問題を解くときの脳の特定の部位の活動に干渉を起こして妨害する可能性も考えられるからである。

Kinsbourne & Hicks(1978)が提唱した脳の機能的距離モデルは、このことに関係するものである。このモデルは、脳の中で機能的距離が近い場合は相互に干渉が生じ、それによって機能の低下が起こるとしている。脳のラテラリティ研究の中で、機能干渉実験の結果を説明するモデルとして提唱されたものである。つまり、単純な計算問題を行って脳の広い領域を賦活しておいた後で、複雑な計算問題を解き始めてある特定の脳の部位が賦活すると、その周辺のすでに賦活している脳領域との間に干渉が起きて、複雑な計算問題の遂行が妨げられることも考えられるということである。

健常者を対象としたfMRIやPETを使った脳機能画像研究は、まだ始まって10年あまりである。これからさらに、複雑な精神機能と脳との関係が詳細に解明されていくはずである。子どもを対象

とした研究も始められているが、その数はまだ少ない。ここで取り上げた問題も含めて、今後の研究の中で解明されていくことが望まれる。

**創造性と脳** 創造性とは、独創的でかつ有用なものを生み出す能力のことをいう。Torrance (1965)は、創造性を科学者や芸術家が示す天才的なひらめきに限定するのではなく、もっと日常的なものとしてとらえている。つまり、創造性を日常のさまざまな活動の中に見出される斬新で有益な問題解決行動、あるいは芸術活動のような何らかの新鮮さ、楽しさを生み出す活動として定義している。

問題解決過程における思考の働きには、2つのものがある。1つは、過去の経験やすでに獲得している知識を適用することによって解決する再生的思考である。もう1つは、単なる再生ではなく、経験や知識を組み合わせたり、新しい方法を生み出すことによって解決する生産的思考である。生産的思考の中で、着想が新しく、価値水準の高いものを創造的思考とよんでいる。創造的思考は、新しい知識や文化を生み出し、しかもそれらが社会的な価値をもつことにより、私たちの生活を豊かにするという意味において最も重要な思考といえる。

幼児の創造性は、イマジネーション的な性質が強く、したがって独創的ではあっても有用なものとはいえない。しかし、彼らは遊びの中で大人では思いつかないような想像的で有用なアイデアを生み出し、それを楽しむ。そうした経験が、やがて児童期以降に現れる、より創造的な思考の基礎になっていくのである。児童期以降の創造性の発達を調べたトランスの研究によると、創造性検査の得点が学年の発達にともなって単純増加曲線を描かないことが示されている。3～4年生と6～7年生の2つの時期に、創造性得点が低下する現象がみられるのである。この現象は、その後の研究でも確かめられている。小学校3～4年生の頃の低下は、この時期に急激な知識吸収による再生的思考が伸びること、また社会的習慣の習得によって大人の規範にとらわれはじめることなどが、一時的に創造的思考を抑えてしまうからと考えられている。また、青年期の入り口での低下は、この時期に急速に自我意識が強くなるのだが、それが観念的、自閉的な特徴をもつことから、一時的に創造的思考が抑えられてしまうのだと考えられている。いわゆる、青年期の独創性の危機とよばれる現象である。

創造的思考と関係の深い脳の領域は前頭葉であ

り、中でも前頭前野が創造的思考にとって最も重要な働きをしている(渡邊, 2001)。前頭葉に損傷を受けると、一般に知能テストの成績は落ちないが、創造性テストの成績は落ちるのである。また、創造性テストを受けているときの脳の活動部位を測定すると、前頭葉が最も活動していることが示されている。それでは、前頭葉ではどのようにして創造的思考が生まれているのだろうか。そこには、A-10神経と神経伝達物質のドーパミンが関係していると考えられている。

脳幹に沿って縦に6列の神経核が並んでいるが、両外側の2列をA系列といい、その下から数えて10番目のものをA-10神経という。このA-10神経は、脳幹から発して視床下部を通り、大脳新皮質の側頭葉と前頭葉につながっている。創造性は、このA-10神経を通して流れてくるドーパミンが前頭葉で過剰に放出されるときに生まれると考えられている(小林, 1997)。つまり、大量に放出されたドーパミンによって前頭葉の活動が一挙に高まり、それが普段とは異なる思考、つまり創造的思考を生み出すのである。前頭葉の中で前頭前野が最も創造的思考に関係が深いとすれば、創造性の発達が青年期の入り口である思春期以降に促進されるという現象は、前頭前野の髄鞘化がこの時期に最終段階を迎えること、またゴールデンの脳の発達モデルでいえばこの時期が第5段階にあたり、前頭前野の働きが活発になることとそれぞれ符合している。

創造的思考を伸ばすには、子どもがユニークな質問をしたり、新しいアイデアを出したりしたときに、それを尊重してやること、また理科の実験や詩の創作のような子どもの創造的な活動を推奨すること、そして創造的な活動をしたときはそのつど正の強化を与えてほめてやることなどが大切である(Torrance, 1965)。親や教師は、子どもが新しいアイデアを出したら批判することなくそれを受け入れること、失敗を恐れなくてそのアイデアを試してみるのを勧めること、そしてそれがうまくいったら賞を与えてやること、それらが子どもの創造性を伸ばす上で大切だということを理解しておかなければならないだろう。

## 言語の発達を促す脳教育

**第二言語習得と脳** 母国語以外の言語を一定年齢以降に学習する場合を、第二言語習得という。日本の場合は、多くの子どもたちが中学生になってから英語を学び始める。第二言語習得には、母国語である第一言語が影響することが考えられ

る。第一言語は、第二言語習得時に発音や文法上の誤りを生み出すといった干渉効果をもつこともあれば、逆にその豊富な知識や獲得している文法規則を利用して、第二言語習得をより適切なものにするといった促進効果をもつこともある。一般に、第二言語習得には第一言語をしっかり獲得していることが大切だと考えられている。

中学生の年齢から第二言語を学習するのは、脳機能の発達からみて適切かつ妥当といえるだろうか。このことについて考える前に、第二言語習得と脳のしくみとの関係について考えてみる。日本の中学生から高校生の年齢にあたるイスラエルの生徒を対象にして、母国語のヘブライ語と第二言語の英語を材料とし行われた視野分割提示法を使用した実験がある(Silverberg, et. al., 1979)。7年生(12~13歳)は英語を習い始めて2年目、9年生(14~15歳)は4年目、11年生(16~17歳)は6年目であった。これらの生徒は、タキストスコープ(瞬間露出器)で片側視野に瞬間提示されたヘブライ語、あるいは英語の単語が、あらかじめ示されていたターゲット語であったか否かの判断を求められた。提示された視野の反対側の脳半球に単語情報は直接運ばれるというのが、視野分割提示法の特徴である。その結果、ヘブライ語も英語も学年が進むにつれて正しく反応する時間は短くなっていった。ただ、母国語であるヘブライ語はどの学年でも左視野より右視野の反応が速く、左半球での処理が優れていた。しかし、英語では7年生と9年生は右視野より左視野の反応がやや速かったが、11年生になって左視野より右視野の反応が速くなるという発達的変化がみられた。

ここから、第二言語の学習初期には、語が言語としてよりは図形的に処理されるために右半球優位を示すが、学習が進むにつれて語が意味をもつ言語として処理されるようになるために左半球優位に変化するといえる。中学生から高校生という第二言語の学習過程で、その語の処理が右半球から左半球へ優位性の移行が起こったと考えられるわけで、ここにこの年齢段階で第二言語を学習することが脳機能に変化をもたらしたとみることができるだろう。

**バイリンガルと脳** 第二言語習得の特殊なタイプにバイリンガルがある。バイリンガルとは、二種類の言語を同程度に使いこなすこと、あるいは使いこなせる人のことをいう。バイリンガルの言語習得過程は、一般に次のような段階を経ると考えられている(Volterra & Taeschner, 1978)。

**<バイリンガルの習得過程>** 第1段階は、2つ

の言語の単語が渾然一体となっており、未完成の語彙群を形成している段階である。したがって、この段階では文としてことばが発話されるときに、2つの言語の単語が混ざって使われることが少なくない。第2段階は、2つの言語の単語がかなり増えるにしたがって、同義語が増加する段階である。1つの文の発話に、2つの言語の単語が混在することは少なくなるが、まだ2つの言語間の文法規則を適切に区別できないために、一方の言語の文法規則を両方の言語に使ってしまうような誤りがみられる。第3段階は、2つの言語の単語と文法規則を区別して話すことができる段階である。2つの言語を状況に応じて、適宜使い分けて使用できるようになる。このバイリンガルの言語習得過程からは、単語と文法規則の獲得がそれぞれ別々に発達することが注目される。

**<バイリンガルの敏感期>** 第二言語を母国語と同程度に習得できる時期、すなわちバイリンガルとして第二言語を獲得できる時期について検討した研究は、それが小学校の低学年の頃にあることを指摘している(Johnson & Newport, 1989)。アメリカに移住した中国人と韓国人を対象に、彼らにとっては第二言語である英語の文法獲得と、彼らがアメリカに移住してきたときの年齢との関係を調べたところ、3~7歳でアメリカに移住してきた人は、アメリカで生まれ育った人、つまりネイティブ・スピーカーに比較して文法の獲得で差がみられなかったのである。ところが、それ以降の年齢で移住してきた人は、明らかにネイティブ・スピーカーより文法の獲得で劣ることが示された。ここから考えると、7歳頃に母国語と第二言語の境を決める敏感期があると推定され、この年齢以前だと第二言語は母国語と同程度、つまりバイリンガルの言語として獲得される可能性があると考えられる。

**<バイリンガルと優位半球>** バイリンガルの人の場合、母国語ではないもう1つの言語、すなわち外国語としての第二言語は、左右どちらの脳で営まれているのであろうか。これについては、外国語を習得する時期が関係しており、それが乳幼児期であれば、一般に母国語と同じ左半球で営まれるが、思春期以降にバイリンガルになった場合は、外国語は母国語とは違う右半球で主として営まれているのではないかとする見解があった。

しかし、最近の脳機能画像研究によれば、この見解とは異なる結果が報告されている(Kim, et. al., 1997)。この研究では、英語の他に10の言語のうちのいずれか1つを母国語とするバイリンガル

の人を被験者に行っている。そして、これらの人を幼少期からバイリンガルで育った群と、10歳頃から第二言語を習得してバイリンガルになった群に分けて、それぞれ前日に経験した出来事を声に出さないで、つまり内言で記述しているところをfMRIで脳の賦活を調べている。その結果、第二言語を10歳頃から習得した群では、2つの言語による賦活部位がブローカ領域の中で分離していたのに対し、幼少期からバイリンガルで育った群では、2つの言語による賦活部位がブローカ領域で重なっていたのである。

これらのは結果は、2つの群ともに第二言語が母国語と同じように左半球優位で処理されていることを示しており、バイリンガルになった時期によって第二言語の処理半球が異なることはないことを示している。それより、この研究では第二言語が習得される時期によってブローカ領域内の脳の活動に違いがみられることが注目される。幼少期からバイリンガルで育った群で、2つの言語を1つの言語システムによって運用しているような脳の活動がみられるのは興味深いといえる。つまり、発達の早い時期に2つの言語を学習した人は、両方の言語に同一の言語構造を兼用できると考えられるわけである。年齢が高くなってくると、この言語構造が第二言語に順応できなくなり、新しい言語を学習するには第二の別の言語構造が必要になるのではないかと考えられる。

ただ、その後に行われた脳機能画像研究において、4歳以前に2か国語を習得したバイリンガル群と、10歳以降に2か国語を習得したバイリンガル群で、2つの言語のうちどちらかの文を聞いているときの脳の賦活を調べてみると、2つの言語によって脳の賦活が違わないことも示されている(Perani, et. al., 1998)。2つの群の被験者は、それぞれ2つの言語を同等に使用してきたことから、この研究結果は、第二言語の習得時期より第二言語の習得レベルによって、脳の活動に違いがみられるのではないかということを示していると考えられる。

**第二言語習得の時期と脳** 外国語は、読み書きだけでなく、話す・聞くという使い方ができてはじめて習得できたといえるだろう。そうした言語能力には、言語的、非言語的コミュニケーション機能がともに必要であり、そのためには左右半球が協調して働くことが前提となる。左右半球が協調的に働くためには、各半球機能が発達することとともに、それらを結んでいる脳梁の発達が重要である。それぞれの大脳半球の機能が発達しても、

そこにおける情報を相互に交換するための通路である脳梁が発達していなければ、脳は有効に働くことができないからである。

脳梁は、胎児期に最も急速に発達し、出生時から2歳までの期間にかなり急速に発達する。2歳以降はゆっくり発達し、15～16歳の頃に成人の大きさに達する。このことから、思春期の頃に左右半球は最も効率的に連携し、協調しながら働くようになることができる。脳梁のこうした発達過程から考えると、まずは乳幼児期に第二言語にふれる環境にいたということが、言語学的機能とコミュニケーション機能をともに発達、形成する上で有効であるといえることができる。二か国語を同等に使えるバイリンガルになるためには、遅くとも10歳までに数年以上二か国語にさらされていることが必要だといわれる(榊原, 1995)。しかし、その時期に第二言語に直接ふれる環境にいなかったからといって、バイリンガルとまでいなくても第二言語の習得ができないということではない。

脳梁の発達からいえば、思春期になってから左右半球の情報の交換は最も効率的に行われるようになるのである。この時期に第二言語を学習することは、言語の文法的側面を習得するとともに、言語のもつ非言語的側面をも並行して習得し、かつそれらを相互的に利用して第二言語のコミュニケーション能力を高めることにつながると考えることができる。その意味で、中学生の年齢から第二言語を学習するのは、脳機能の発達からみて必ずしも遅すぎるとはいえないだろう。また、この年齢は母国語についての知識や文法を安定して使用できる年齢でもあり、それを外国語の習得に適切に利用することもできるのだ。

以上、すでに述べたJohnson & Newport(1989)などの研究からは、外国語教育は小学校低学年から実施することが望ましいと言えるだろう。そしてさらに、中学校から外国語教育を行う場合は、これまでの読み書き中心の外国語教育だけでなく、そこに話す・聞くというコミュニケーション技能を伸ばすための教育を組織的、実践的に取り入れていくことが肝要だと言えるだろう。

## 引用文献

- Bower, T.G.R. 1974 *Development of infancy*. San Francisco: W.H. Freeman and Company.  
 岡本夏木・野村庄吾・岩田純一・伊藤典子(訳)  
 1979 乳児の世界—認識の発生・その科学 ミ

- ネルヴァ書房
- Chomsky, N. 1962 *Syntactic structures*. S-Gravenhage: Mouton. 勇 康雄(訳) 1963 文法の構造 研究社
- Chomsky, N. 1995 *The minimalist program*. Cambridge, MA: MIT Press. 外池滋生・大石正幸(監訳) 1998 ミニマリスト・プログラム 翔泳社
- Diamond, A. 1985 Development of the ability to use recall to guide action, as indicated by infant' performance on AB. *Child Development*, 56, 868-883.
- Entus, A.K. 1977 Hemispheric asymmetry in processing of dichotically presented speech and nonspeech stimuli by infants. In S. J. Segalowitz & F. A. Gruber (Eds.), *Language development and neurological theory*. New York: Academic Press, Pp. 63-73.
- 福井直樹 1998 極小モデルの展開—言語の説明理論をめざして 田窪行則・稲田俊明・中島平三・外池滋生・福井直樹 言語の科学 6—生成文法 1998 岩波書店, Pp. 161-210.
- Galaburda, A. M., Sanides, F., & Geschwind, N. 1978 Human brain: Cytoarchitectonic left-right asymmetries in the temporal speech region. *Archives of Neurology*, 35, 812-817.
- Gallaway, C. & Richard, B.J.(Eds.) 1994 Input and interaction in language acquisition. New York: Cambridge University Press.
- Geschwind, N., & Levitsky, W. 1968 Human brain: Left-right asymmetries in temporal speech region. *Science*, 161, 186-187.
- Holowka, S., & Petitto, L. A. 2002 Left hemisphere cerebral specialization for babies while babbling. *Science*, 297, 1515.
- Inhelder, B., & Piaget, J. 1958 *The growth of logical thinking from childhood to adolescence*. New York: Basic Books.
- 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
- 岩田 誠 1996 脳とことば—言語の神経機構 共立出版
- Johnson, J.S., & Newport, E.L. 1989 Critical period effects in second language learning: The influence of maturational state on the acquisition of English as a second language. *Cognitive Psychology*, 21, 60-99.
- 蔭山英男 2001 学力の基礎は読み書き計算にある—徹底反復山口小学校の授業実践 小学館
- 蔭山英男 2002 本当の学力をつける本—学校でできること家庭でできること 文藝春秋
- 川島隆太 2001 自分の脳を自分で育てる くもん出版
- Kim, K.H.S., Relkin, N.R., Lee, K.M., & Hirsch, J. 1997 Distinct cortical areas associated with native and second languages. *Nature*, 388, 171-174.
- Kinsbourne, M., & Hicks, R.E. 1978 Functional cerebral space: A model for overflow, transfer and interference affects in human performance: A tutorial review. In J. Requin(Ed.), *Attention and performance VII*. New Jersey: Erlbaum Associates, Pp. 345-362.
- 小林 司 1997 愛とは何か 日本放送協会
- Lenneberg, E. H. 1969 On explaining language. *Science*, 164, 635-643.
- 宮原英種・宮原和子 1996 発達心理学を愉しむ ナカニシヤ出版
- Molfese, D. L., Freeman, R. B., & Palermo, D.S. 1975 The ontogeny of brain lateralization for speech and nonspeech stimuli. *Brain and Language*, 2, 356-368.
- 永江誠司 2002 子どもの脳と発達—神経発達心理学序論(Ⅰ) 福岡教育大学紀要, 51, 第4分冊, 207-216.
- 永江誠司 2003 子どもの脳の発達と環境—神経発達心理学序論(Ⅱ) 福岡教育大学紀要, 52, 第4分冊, 239-245.
- 大久保 愛 1976 構文の発達 村井潤一・飯高京子・若葉陽子・林部英雄(編) ことばの発達とその障害 第一法規出版
- Perani, D., Paulesu, E., Galles, N.S., Dupoux, E., Dehaene, S. Bettinardi, V., Cappa, S.F., Fazio, F., & Mehler, J. 1998 The bilingual brain: Proficiency and age of acquisition of the second language. *Brain*, 121, 1841-1852.
- Piaget, J. 1952 *La Psychologie de L'Intelligence*. Paris: Librairie Armand Colin. 波多野完治・滝沢武久(訳) 1960 知能の心理学 みすず書房
- Posner, M. I., & Raichle, M. E. 1994 Images of mind. New York: W.H.Freeman and Company. 養老孟司・加藤雅子・笠井清登(訳) 1997 脳を観る—認知神経科学が明かす心の謎



日経サイエンス社

- 酒井邦嘉 2002 言語の脳科学 中央公論新社
- 榊原洋一 1995 ヒトの発達とは何か 筑摩書房
- Silverberg, R., Bentin, S., Gaziel, T., Obler, L. K., & Albert, M. L. 1979 Shift of visual field preference for English words in native Hebrew speakers. *Brain and Language*, 8, 184-190.
- Skinner, B.F. 1957 *Verbal behavior*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Torrance, E.P. 1965 *Rewarding creative behavior : Experiments in classroom creativity*. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall.
- Volterra, V., & Taeschner, T. 1978 The acquisition and development of language by bilingual children. *Journal of Child Language*, 5, 311-326.
- 渡邊正孝 1999 思考のシステム 酒田英夫・外山敬介(編) 脳・神経の科学Ⅱ—脳の高次機能 岩波書店, Pp. 159-181.
- 渡邊正孝 2001 創造力は学べるか 小泉英明(編著) 育つ・学ぶ・癒す—脳図鑑21 工作舎, Pp. 271-287.