

## 子どもの学習と記憶システムの発達と脳 —神経発達心理学序論(V)—

The relationship of learning and memory development to brain in the child  
- Introduction to neurodevelopmental psychology(V) -

永 江 誠 司

Seiji NAGAE

第四部 学校教育講座

(平成16年9月10日受理)

泣いている新生児に母親の心音を録音したテープを聞かせると泣き止むことが観察されている。ある経験が時間をおいて生ずる行動に影響をおよぼすことを説明するものとして記憶という概念を使えとすれば、胎児は母体内での経験を記憶できることになる。そして、そこには経験を通して行動に持続的な変化が生ずることと定義される学習のメカニズムも働いていると考えることも可能である。

誕生以降の子どもの学習と記憶の発達は、どのように進むのであろうか。そこに、脳の発達はどのようにかかわっているのだろうか。あるいはまた、学習と記憶の働きは脳のどこで営まれ、そこには脳のどのようなしくみが働いているのだろうか。

### 学習と記憶の働きと脳

#### 学習と記憶の脳領域

**学習の脳領域** 学習が、脳のどのような領域の、どのような変化によって起こるのかについては、条件づけ(連合)学習を通して検討されている。条件づけには、古典的(レスポデント)条件づけと道具的(オペラント)条件づけがある。パブロフによれば、古典的条件づけは大脳皮質において起こると考えられていたが、その後の研究では脳幹の橋網様体、腹側被蓋、視床後部核、大脳辺縁系の海馬、小脳、そして大脳新皮質といった脳の広い領域が関係していることが指摘されている(松村,1995)。また、道具的条件づけは大脳皮質が関係していることがわかっているが、この学習が進むにつれてとくに前頭連合野の関与が大きくなることが指摘されている(Sasaki & Gemba, 1982)。

**記憶の脳領域** ものを覚えて(記憶)、それを

貯蔵し(保持)、必要に応じて思い出す(想起)、いわゆる記憶の働きは、脳の広範な領域で営まれていると考えられている。ものを覚える働きを学習と考えれば、学習と記憶は切り離すことのできない一連の過程とみることができる。学習を含む記憶の働きは、かなり広い範囲の脳の領域で営まれていると考えられるが、その中で主要な領域とみられているのが、前頭前野と側頭葉内側部(海馬、扁桃体とそれに隣接する内側側頭葉皮質)である。

**<記憶と前頭前野>** ある判断や行動に必要な情報を一時的に保持しつつ操作して答えを出す働きをワーキングメモリ(作動記憶)という。このワーキングメモリに関係しているとみられているのが、前頭前野を含む脳領域である。前頭葉の後部は、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、前頭前野はそれらの前部に位置する領域である。ワーキングメモリを評価する課題として、遅延反応課題がよく知られている。これは、数秒の遅延時間の間に何らかの感覚情報を保持しておき、それを用いて判断や行動を求める課題である。この遅延反応課題を行っているときに、脳のどの領域が働いているかを測定した PET や fMRI による脳機能画像研究によると、前頭前野の活性化が高くなることがわかっている (Jonides, Smith, Koeppe, Awh, Minoshima, & Mintun, 1993)。

また、前頭前野は記憶の想起とも関係していることがわかっている。PET や fMRI を用いて視覚刺激や言語刺激の記憶の想起を検討した研究によると、それらの記憶の想起や再認で前頭前野の活性化の高まることが示されている (Buckner, Raichle, Miezin, & Petersen, 1996)。それも、右半球が左半球より活性化が

高いのである(Tulving, Kapur, Markowitsch, Craik, Habib, & Houle, 1994)。さらに、左半球の前頭前野が意味記憶検索とエピソード記憶符合化に関係し、右半球の前頭前野がエピソード記憶検索に関係しているという、記憶の符合化・検索の半球非対称性(HERA)モデルも、Tulving らによって提唱されており(Tulving, Kapur, Craik, Moscovitch, & Houle, 1994), Nagae & Moscovitch (2000)によってそれに対する実証的研究も行われている。これらの研究は、記憶の想起と前頭葉との関係を示唆するものであるが、両者の詳細な関係についてはまだよくわかっていない。

前頭葉は、刺激の時間的順序の記憶にも関係している。Milner (1974)は、前頭葉損傷患者が時間的順序の記憶を調べる新近性テストにおいて著しい障害のあることを見つけている。このテストは、2つの単語(あるいは絵)の書かれたカードを連続して提示し、その途中で2つの単語(絵)の間に疑問符のついたカードを示す。そして、提示された2つの単語(絵)のうち、どちらが「より最近」提示されたカードの中にあった単語(絵)かを答えさせるのである(坂野, 1995)。前頭葉に損傷のある患者は、どんな単語(絵)が出てきたかは覚えていても、それらがどんな順序で出てきたかの記憶については著しく障害されていることがわかったのである。しかも、単語の新近性テストでは左前頭葉損傷で障害が大きく、絵の新近性テストでは右前頭葉損傷で障害の大きいことも示された。つまり、順序性の記憶には大脳半球機能差があるのである。その他、獲得した情報の内容は覚えているのに、それをいつどこで獲得したのかを思い出すことができない出典健忘も、前頭葉の損傷によることが指摘されている(山下, 1994)。

時間的順序の記憶障害や出典健忘は、前頭葉と記憶との関係について重要な示唆を与えている。つまり、前頭葉は要素的、あるいは一時的記憶ではなく、より統合的で高次の記憶に関係しているということを示している。前頭葉は、個々の記憶項目を時間的、空間的に組織化する働きに関係しているのではないかと考えられる。

<記憶と側頭葉内側部> 短期記憶を固定化し、それを長期記憶として貯蔵するという記憶過程に関係しているのが、側頭葉内側部の領域である。この関係を顕著に示しているのが、同じくてんかん治療のためにこの領域を切除した HM という患者の症例である(Milner, Corkin, & Teuber, 1968)。手術後、HM のてんかん発作は止まったのであるが、毎日接している医師や看護師の顔が覚えられない、30分前に

自分が言ったこと、あるいは行ったことを覚えていない、今日の日付けも自分の年齢もわからないなどの著しい記憶障害が現れたのである。HM は、側頭葉内側部の海馬、扁桃体などの領域が両側とも切除されていた。

HM に行われた「遅延見本合わせ」実験の一例を紹介してみよう。まず、3×3の9つの窓をもったパネルの中央の窓に、見本の楕円が提示される。MH がそれを押すと見本刺激が消え、一定時間を置いた後に残り8つの窓にいろいろな形の楕円が提示される。HM は、見本刺激と同じ楕円を8つの中から選ぶことを求められる。一定時間を置いて正しく選択された結果をみると、遅延時間が長くなるにつれて著しい記憶障害が現れることが示されている。HM の症例は、切除された領域が側頭葉内側部の複数箇所にわたっていたが、海馬のみ限局して損傷をもつ RB という患者の症例でも、術後の顕著な記憶障害が報告されている。RB の場合、過去の古い記憶は保たれているのだが、新しい記憶を形成することができない顕著な前向性健忘がみられたのである。

これらの症例は、側頭葉内側部と記憶(短期記憶および長期記憶)との関係を示すものであるが、側頭葉内側部の中でもとくに海馬の役割が注目されている。海馬は、耳の奥あたりに左右に1つずつある。太さが約1cm、長さが約5cm で小指を少し曲げたようなバナナ型をしている。Squire (1987)は、海馬が個人的出来事にかかわるエピソード記憶と関係していることを指摘している。個人的経験によって得られた記憶は、海馬で一時的に保存され、それが大脳皮質、なかでも側頭葉に移されて長期に保存されると考えられる。

## 学習と記憶の脳領域の発達

フレクシッヒの髄鞘化の発達モデルによると、前頭連合野は側頭連合野と同じく、髄鞘化が最も遅く完成するとみられる領域である。したがって、ワーキングメモリや時間的順序の記憶など、より統合的で組織化された記憶に関係している前頭前野の髄鞘化は比較的遅いと考えられるのである。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と考えられている。前頭前野の髄鞘化は、ゴールデンの発達モデルでいえば第4段階から第5段階にあたる。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。

側頭葉内側部の髄鞘化、中でも海馬のそれは、比較的早期に完成すると考えられる。海馬は側

頭葉の内側にあり、側脳室の内腔に向けて出ている神経核のかたまりである。系統発生的にみて最も古い皮質部分であり、大脳辺縁系の一部をなす組織である。髄鞘化の発達は、大脳辺縁系から大脳新皮質へと進むので、海馬の髄鞘化は新皮質のそれより早く完成すると考えることができる。新しい記憶を獲得していく短期記憶から長期記憶にかかわる過程に関係している側頭葉内側部、とくに海馬の髄鞘化は、ゴールデンの発達モデルでいえば第1段階にあたり、生後2か月頃と考えられる。ただ、海馬の髄鞘化によってその機能が有効になるまでには、ある程度の期間を必要とするようである。

### 学習と記憶システムの発達

#### 学習の発達

学習とは、経験を通して行動に持続的な変化が生ずることをいう。つまり、人間や動物が何かを経験することによって、それまでとは違った行動パターンを獲得し、しかもその行動の変化が一時的なものではなく、ある程度長く続くことを意味している。ここには、疲れによる行動の一時的変化や、特別な経験を必要としない成熟による行動の変化などは含まれない。

生物にとってなぜ学習することが大切なのかといえば、それは生物の生活環境がさまざまに変化するからである。もし、生物が固定して変化のない環境で一生を過ごすのであれば、もって生まれた生得的行動パターンだけで、その環境に対処することができるであろう。しかし、生物の住む生活環境では、予測のつかない不規則な変化が日常的に起こる。思いがけない天候の変化、食料の不足、外敵の侵入など、生物はそれらの変化にそのつど適応的に対処していかなければならない。そのためには、固定した行動パターンのみでは限界があり、どうしても新しい行動パターンを獲得し、それによって適切に対処していくことが求められる。そこから、生物には学習能力が求められるのである。

とくに人間の場合は、他の生物以上に複雑な人間関係をもった環境の中で生活をしている。その生活環境に適応するには、常に新しい行動パターンを学習し、獲得していくことが必要なのである。そのことは、子どもから大人になっていくほど顕著になっていく。さまざまな経験をとおして豊かな行動レパートリーを獲得し、変化する環境に適応的に対処していくこと、これが子どもたちの発達に求められていることなのだが、その中核に子どもの学習能力の発達があるといえる。

#### 学習システムと発達

**模倣** 子どものさまざまな学習形態の中で、比較的早期に現れるものに模倣がある「学ぶ」ことは「真似ぶ」ことから始まる、といわれる。これは、学習の基本の1つが模倣にあることを意味している。

Meltzoff & Moore (1977)は、新生児が人のまねをすることを巧妙な実験を通して示している。生後12日から21日の新生児に向かって、実験者が①舌を突き出す、②口を大きく開ける、③口をすぼめて前に突き出す、④手を開閉する、という動作を繰り返してやってみせたのである。そうすると、これらの新生児たちは、実験者の示した動作と同じ動作で反応することがわかったのである。例えば、実験者が舌を突き出す動作を繰り返し見せると、新生児も舌を出す動作をしてくるのである。

こうしたものまね行動の出現は、他人の動作と自分では見たことのない自分の動作を対応づけていく複雑な能力が、新生児に備わっていることを示唆している。自分の舌と口が、自分の目の前に見える舌と口と同じものであることを知るためには、異なる感覚入力統合する異感性間図式が生得的に組み込まれていなければならない、とBower (1977)は指摘している。Meltzoff & Moore (1977)は、「アー」あるいは「イー」と発声している2つの顔を新生児に映像で見せ、同時にどちらかの音声をスピーカーで聞かせると、新生児は聞こえている音声と一致する顔の方を好んで見ることも示している。ここにも異感性間図式が働いていると考えることができる。

異感性間図式によって可能となるものまね行動が、生得的なものとして新生児に備わっていることで、乳児は模倣という学習形式を通して各種の機能を発達させることができるのである。例えば、乳児が人から話しかけられると、その話しかけに合わせて体の動きを見せる共鳴動作は、模倣の原初的な形式とみられている。また、1歳頃になると人の話し声をまねる音声模倣も顕著になってくる。

**条件づけ(連合)学習** 学習のより一般的な形式として、条件づけ(連合)学習がある。この学習は、強化によって刺激と反応の連合を形成するものであり、その成立が特定の期間に限られることなくいつでも可能なこと、一定の訓練や経験を必要とすること、そして新たに獲得された反応がある程度長もちすることなどをその特徴としている。条件づけには、古典的条件づけと道具的条件づけの2種類がある。

**<古典的条件づけ>** 古典的条件づけは、生理

学者パブロフによって発見されたものである。彼は、よく知られているようにイヌを使って条件づけの実験を行った。イヌは、エサを目の前に置いてやると唾液を分泌する。この関係は生得的なものなので、唾液の分泌を無条件反射、エサを無条件刺激とよぶ。そこで、エサを与える前にベルの音を聞かせる手続きを繰り返して行う。このベルとエサを対提示することを、古典的条件づけでは強化とよぶ。そうすると、イヌはエサを与えられなくてもベルの音を聞いただけで唾液を分泌するようになる。この時の唾液分泌は条件反射、ベルの音は条件刺激とよばれる。条件づけの前では、ベルの音を聞いたからといって唾液は分泌されなかった。しかし、条件づけの後では、ベルの音を聞いただけで唾液が分泌されたわけだから、立派に学習が成立したといえる。

新生児でも、目に空気を吹きつけてやるとまばたきをする。この場合、吹きつけられた空気は無条件刺激、まばたきは無条件反射ということになる。そこで次に、新生児に空気を吹きつける前に、弱い光刺激を与えてやる。この手続きを繰り返すと、やがて新生児は光刺激を見ただけでまばたきをするようになる。ここでの光刺激は条件刺激、まばたきは条件反射ということになり、ここに古典的条件づけが形成されたということになる。つまり、生まれたばかりの新生児でも、古典的条件づけによる学習が可能であることをこの実験は示しているわけである(Meltzoff & Moore, 1977)。

＜道具的条件づけ＞ 道具的条件づけは、ソーンダイクにより発見され、スキナーによって研究が展開されていったものである。スキナーは、スキナー箱とよばれる道具的条件づけの装置を考案した。箱の内部にはレバーが取り付けられており、それを押すと報酬としてエサが出るようになっている。このスキナー箱の中に、24時間絶食状態にある空腹のネズミを入れる。ネズミは箱の中で動き回り、さまざまな行動をとる。その内、ネズミは偶然にレバーにさわる。そうすると餌皿にエサが出てき、ネズミはそれを食べる。その後も、レバーを押すごとにエサを与えると、ネズミはレバーを押してエサを得ることを学習するのである。

生後1日から4日の新生児に対して、左右どちらかのほっぺたを3秒間触ってから哺乳びんをくわえさせる訓練を30回行う。この時に、もし新生児が触れられた方に頭を向けたり甘い液を与える。そうすると、訓練を始めた時は3割ほどの新生児しか触れられた方に頭を向けなかったのが、訓練の終りの方では8割以上の

新生児がその反応をするようになったのである。ほっぺたを触られた時、偶然に触れた方へ頭を向けるという反応に、報酬として甘い液を与える手続きを繰り返すと、その反応が定着してひんばんに観察されるようになったわけである。つまり、生後1日から4日の新生児で、道具的条件づけによる学習が成立したのである(下條, 1988)。古典的条件づけよりさらに応用のきく道具的条件づけの学習能力を、生まれたばかりの新生児がもっているということは、子どもの発達がその最初期から学習のメカニズムによって大きく影響を受けていることを示している。

道具的条件づけは、いわば子どもの行うさまざまな行動に対して賞と罰の強化を適宜に与えながら、適切で有効な行動を伸ばし、不適切で無効な行動を抑えるという学習のしくみといえる。その意味で、この学習はしつけや教育の営みを説明する1つの原理といえるものである。子どもがきまりを守って遊んだり、よく勉強したりすれば、ほめたり物を買って与えたりする。また、いたずらしたり、嘘をついたりすれば、しかったり罰を与えたりする。条件づけ学習では強化が決め手といえるのだが、強化の役割を果たすものは、人間では動物以上に多様である。お菓子やお金などを与える物質的強化から、ことばでほめたり、笑顔を見せたり、あるいはみんなの前で表彰したりするなどの社会的強化まで、じつに多くのものがこの条件づけ学習で用いられる。

ただ、子どもの行動はすべて賞と罰の強化によってのみ形成されるわけではない、ということも理解しておかなければならない。強化が与えられなくても、子どもの行動が発達的に変化していくことは多くあるからである。たとえ報酬が与えられなくても、子どもは自分の意思や興味に基づいて自発的に行動を起こし、変化させていく。このような内発的動機づけによる学習も、子どもの発達を促進する重要な学習のしくみとして働いているのである。

## 記憶システムの発達

人間の記憶システムは、感覚記憶、短期記憶、長期記憶の3つに分けて考えることができる。そこで、子どもの記憶発達を、Siegler (1986)にしたがってこれら3つの記憶システムにおける情報処理の発達の観点からみていくことにする。

感覚記憶の発達 感覚器官を通して入力された感覚情報が、そのままごく短時間貯蔵されるのが感覚記憶である。感覚記憶として保持できる時間は非常に短く、例えば視覚では数十か

ら数百ミリ秒である。感覚記憶の貯蔵庫の絶対的量は、広い年齢範囲でほぼ一定であることがわかっている。Morrison, Holms, & Haith (1974)は、5歳児と成人にまず7つの幾何学模様を瞬間提示して見せた。その後で、矢印を提示することによって7つの幾何学模様の置かれていたどれかの位置を指すのである。そこで、その位置にあった幾何学模様を答えるように求めると、5歳児と成人で違いがみられなかったのである。これは、5歳児の感覚記憶の絶対的量が成人のそれと変わらないことを意味している。したがって、感覚記憶の貯蔵庫は、容量としては年少の子どもでも成人に近いものをもっていると考えられるのである。

感覚記憶における表象の形成速度については、子どもは成人より劣り、幼児期から児童期にかけてその形成速度は向上していくと考えられている。子どもは、刺激を知覚してもそれを脳内で完全な形で表象するまでに、成人以上に時間がかかるのである。同じ知覚条件でも、その感覚表象の形成が成人では10分の1秒かかるところを、7歳児では7分の1秒もかかってしまう(Hoving, Spencer, Robb, & Schulte, 1978)。感覚表象の形成速度は、その後の記憶過程の質を決める重要な側面といえるものである。形成速度が速くなれば、それだけ多くの情報を感覚記憶の貯蔵庫に取り入れることができ、記憶システムのその後の過程における記憶内容を変えていくことになると考えられるからである。

**短期記憶の発達** 感覚記憶のうち注意向けられた情報だけが、つぎの短期記憶(STM)に転送される。短期記憶として保持できる時間は、15~30秒程度である。短期記憶において表象可能な絶対的量は、 $7 \pm 2$ チャンクの範囲と考えられるが、その量は発達的に変化していく。子どもが短期記憶の貯蔵庫に保持できる量は、5歳児で2個、7歳児で3個、9歳児で4個、11歳児で5個程度と推定されている(Pascual-Leone, 1970)。この推定値は、つぎのような実験でも確認されている(Case, 1972)。6歳、8歳、10歳の子どもに、例えば「6, 18, 25, 9」のように、最後の数を除いて前の数が順に大きくなっていく数列を聞かせる。その後、子どもに「6, 9, 18, 25」のように、最後の数を前の数列の正しい位置に入れて答えることを求めるのである。聞かせる数列の数は、小さいものから大きいものまで変化させて実験していく。その結果、6歳児で2個、8歳児で3個、10歳児で4個の数列を処理できることが示されている。短期記憶で保持できる情報の絶対的量が、児童期を通し

て増えていくことがわかる。

短期記憶における情報の処理速度は、児童期から青年期にかけて短くなることが示されている。例えば、9歳、13歳、17歳の被験者に1個から6個の数字の組を見せ、その後で1個の数字を見せる。そして、被験者には最後の数字が前の数字の組にあったかどうかの判断を求める。その結果、年齢が高くなるにつれて反応時間が短くなることが報告されている(Keating & Bobbitt, 1978)。数字の組の大きさが1つ増えるにしたがって、例えば9歳では84ミリ秒ずつよけいに時間がかかるのに、17歳では60ミリ秒かかるだけであった。短期記憶における処理速度が発達的に速くなっていくということは、そこで処理される情報量の増加を保障することを意味している。

**長期記憶の発達** 長期記憶の情報は永続的であるとともに、その容量は一般に限界はないと考えられている。それは大人だけでなく、基本的に子どもの長期記憶にも当てはまる。つまり、児童期の子どもの長期記憶の容量は、青年期のそれと同じで変わらないのである。ただ、容量は変わらなくても児童と青年ではリハーサルや体制化、あるいは精緻化などの記銘方略が違うので、実際の長期記憶の内容はかなり異なるものになっている。

これに対して、長期記憶の処理速度は年齢にともなって速くなる。Keating & Bobbitt (1978)は、9歳、13歳、17歳の被験者で長期記憶から情報を検索して引き出す速度を比較している。それによると、9歳から13歳の間で検索速度は急速に速くなり、13歳から17歳の間でも検索速度はやや速くなっていくとされている。

**記憶システムと発達** 子どもの記憶システムは、比較的早くから働き始めると考えられる。Friedman (1972)は、生後1~4日の新生児に白と黒の格子縞模様の図形を提示し、彼らの図形凝視時間を測定している。1つの図形を60秒提示し、10秒の間隔を置いて同じ図形をまた60秒提示する。この手続きを繰り返していくのだが、新生児が図形を凝視する時間がだんだん短くなっていく。つまり、刺激に慣れてきて馴化が起こるのである。そこで、半数の被験児には別の図形を提示して見せる。残りの被験児には、それまでと同じ図形を見せ続ける。そうすると、前者は再び図形への凝視時間が長くなるのだが、後者ではさらに短くなってしまう。この馴化-脱馴化パラダイムでみられた新生児の凝視反応の変化は、彼らが以前に見た図形を記憶して、それを再認という形式で思い出せることを示している。

道具的条件づけの手続きを用いた学習を通して、生後3か月の乳児に記憶が保持されていることを示した実験もある(Rovee-Collier, Sullivan, Enright, Lucas, & Fagan, 1980)。乳児の足と乳児のベッドの上に取りつけられているモビール(動くおもちゃ)をひもで結び、乳児の足が動くときひもが引っ張られてモビールも動くようにしておく。そうすると、乳児は自分の足の動きとモビールの動きが連動していることをすぐに学習する。この学習が成立した後、2日から28日の遅延期間を置いて再テストを行ったところ、約1週間は記憶が保持されていることがわかった。

発達初期から再認記憶はみられるようだが、再生はそれよりかなり遅れるとみられている。2歳5か月から5歳の幼児を対象に、記憶の再認と再生について検討した Myers & Perlmutter (1978)の研究では、36個のおもちゃの中から最初に見た18個のおもちゃを再認する課題において、年長児(平均4歳)で92%、年少児(平均3歳)で81%の正解がみられている。ここから、これらの年齢ですでに再認記憶がかなりよく発達していることがわかる。一方、9個のおもちゃを1つずつ見せて名前を言わせた後、全てのおもちゃの名前を再生させたところ、年長児で3.4個、年少児で2.1個という結果がみられた。再生の系列位置曲線を見ると、子どもたちは最後に提示されたおもちゃの名前しかよく覚えていないことがわかる。一般に再生の方が再認より難しいのだが、年長の4歳児でも38%程度の正解率でしかなく、再生記憶は幼児期以降に発達していくものと考えられる。

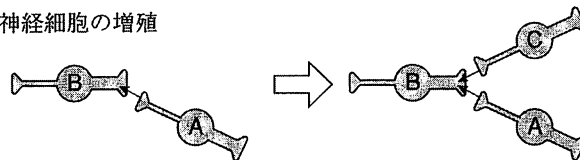
## 学習と記憶の発達と脳

### 学習と記憶の神経メカニズム

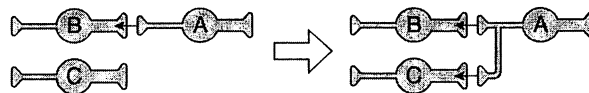
学習と記憶は、神経レベルでいえば新しい神経細胞の集団を作り上げること、つまり新しい神経回路を作ることといえる。それでは、新しい神経回路はどのようにして作られるのだろうか。このことが、学習と記憶の神経基盤を知る最も重要なことといえるはずである。脳は、新しい神経回路を作るためのメカニズムをもっている(池谷, 2001)。神経細胞の増殖、シナプスの発芽、そしてシナプスの可塑性とよばれる方法がそれである。池谷は、それらを図2のように示している。記憶は、神経細胞と神経細胞との間の接続部、すなわちシナプスの状態に変化が起ることと関係している。すなわち、神経細胞が刺激を受けるとシナプスの数や面積が増えたり、伝達効率がよくなる。こうしたシナプスの変化によって特定の神経回路が形成され、それが記憶として貯蔵されるのである。これが、記憶のシナプス説といわれるものである。

**神経細胞の増殖** 神経回路を新しく作るメカニズムの1つに、神経細胞の増殖がある。図1aでいえば、出力側の神経細胞Aと入力側の神経細胞Bは、シナプスによってA→Bという神経回路を形成している。そこに新たに神経細胞Cが増殖によって現れ、C→Bという新しい神経回路が形成されている。

a. 神経細胞の増殖



b. シナプスの発芽



c. シナプスの可塑性

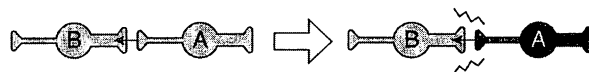


図1 神経回路の形成メカニズム(a: 増殖 b: 発芽 c: 可塑性)

それでは、記憶の神経回路はこの増殖のメカニズムによって作られると考えられるのだろうか。増殖のできる神経細胞は、今のところ海馬の歯状回にある顆粒細胞などごく一部の細胞に限られているとみられている。多くの脳の領域では、神経細胞が増殖することで新しい神経回路が作られるというようには考えられていない。つまり、記憶の神経回路が増殖のメカニズムによって作られることは、一般的な方法とはいえないのである。

**シナプスの発芽** 神経回路を新しく作る2つめのメカニズムは、シナプスが発芽する方法である。図 1b でいえば、神経細胞 A, B, C があって、 $A \rightarrow B$  の神経回路がすでにできているとする。そこに、神経細胞 A が C にも出力するようになり、新たに  $A \rightarrow C$  という神経回路が作られる。これが、シナプスの発芽による神経回路の形成といわれるものである。

それでは、記憶の神経回路はこの発芽のメカニズムによって作られると考えられるのだろうか。シナプスの発芽は、だいたい数十分から数日といった長い時間をかけて起こるのがふつうである。それに対して、多くの記憶はもっと短い時間の中で形成されるのが一般的である。したがって、シナプスの発芽によって記憶の神経回路の形成を説明するのは難しいといえる。

**シナプスの可塑性** 神経回路を新しく作る3つめのメカニズムは、シナプスの伝達効率が上がるという方法である。そのことをシナプスの可塑性という。例えば、柔らかい粘土に指を当てて力を加えると、粘土はへこむ。そして、その後で指を取っても歪みはそのまま残る。この現象を可塑性というのである。つまり、固体に力を加えて変形させたとき、その力を取り去っても歪みがそのまま残る現象のことをいうのである。

シナプスの可塑性とは、シナプスがあるきっかけによって何らかの変化を起こし、そのきっかけがなくなっても変化したままの状態であることを意味している。図 1c では、神経細胞 A から B にシナプスを介してある信号が入り、神経細胞 B が興奮してシナプス結合が強化されているのがわかる。この  $A \rightarrow B$  の伝達頻度が多くなるにしたがって、言い換えれば  $A \rightarrow B$  に繰り返し信号が入力されることによって、AB間のシナプスの伝達効率が上がっていくのである。つまり、 $A \rightarrow B$  により多くの情報がスムーズに伝達されるようになったわけで、以前には伝わらなかった情報まで伝わるようになったのである。これは、以前の神経回路に比較し

て、新しい神経回路が形成されたことを意味している。

それでは、記憶の神経回路は、このシナプスの可塑性のメカニズムで作られると考えられるのだろうか。シナプスの可塑性はどの神経細胞でも生ずるし、またそれは短い時間内で起こる。したがって、シナプスの可塑性は学習と記憶の神経基盤となる最も重要なメカニズムとみることができる。ある特定のシナプスが活動しやすくなる、このシナプスの可塑性のメカニズムこそ、学習と記憶を説明する最も有力なメカニズムといえる。

### シナプス結合の長期増強

記憶形成の主要メカニズムであるシナプスの可塑性は、Bliss & Lømo (1973)によってウサギの海馬で最初に発見された。彼らは、ウサギの海馬の歯状回のシナプスを 10~20Hz の高い周波数で 10~15 秒間刺激すると、シナプスの伝達効率が上がり、しかもその状態がおよそ 10 時間にもわたって続くことを見出した。彼らは、このシナプス結合の増強が、長期的に持続する現象を「長期増強 (LTP: long term potentiation)」と名づけた。長期増強は、数時間から数日も持続して低下することがなかった。この現象は、まさにシナプスの可塑性といえるものである。海馬シナプスが、シナプスの可塑性をもっていたのである。

長期増強の現象は、学習や記憶の細胞レベルでのメカニズムと考えることができる。つまり、神経レベルでみると記憶とはいっても同じパターンで活動する神経細胞集団の働きといえる。ある記憶を支える神経細胞集団のつながりは、シナプス結合の増強が長期的に持続する長期増強のプロセスによって作られていく。それは、つぎのような経過を経て作られる。

まず、ある神経細胞が刺激を受けて興奮すると、別の神経細胞も興奮して細胞内に化学的変化が起こる。この興奮は、数時間から数日続く。その間に、再び最初の神経細胞が興奮すると、別の神経細胞は最初よりもっと弱い興奮でも反応するようになる。このようにして、2 個の神経細胞が同時に興奮するたびに、それらの結合はより強くなり、最後には恒久的なものになる。そうしたつながりのある神経細胞の集団が興奮すると、それが記憶になると考えられるのである(Carter, 1998)。長期増強は、神経細胞が繰り返し刺激されることによって起こる現象であることは、学習において復習が大切であることを示している。復習することで神経細胞は刺激を受け、長期増強現象を引き起こし、記憶

をより強固なものにすることができるからである。

以上のことから、シナプスの可塑性の発達、シナプス結合の長期増強の発達が、学習と記憶の発達における神経学的基礎と考えることができる。これらの発達の变化については、まだよくわかっていないところがあるが、子どもの学習と記憶の神経学的基礎として生じている変化とみることができる。

### 学習の発達と脳

乳児の学習行動を示す馴化-脱馴化現象については、すでに述べた。おしゃぶりを吸うことによってスクリーンに映る赤い図形を見ようとした乳児は、やがてその変化に興味をもたなくなり、おしゃぶりを吸う反応を減少させてしまう(馴化)。しかし、図形の色を変えたと再び興味を示し始め、おしゃぶりを吸う反応が増加してくる(脱馴化)。こうした現象は、乳児が大人と同じように変化を好み、自分がその変化を引き起こしていると感じることを好む、ということを示している。こうした興味、意欲が、乳児の学習行動を支えているのである。

**胎児の学習** 乳児は、どれくらい早い時期から学習できるようになるのだろうか。Kolata (1984)は、妊娠中の女性に協力してもらって行われたドカスパーの研究を、つぎのように紹介している。出産前の6か月の間、毎日2回、妊婦に『帽子の中の猫』という童話を声に出して読んでもらった。妊婦が本を読んだ時間は、合計するとおおよそ5時間ほどであった。そして誕生後、新生児の耳にイアホーンをつけ、テープに母親の声で録音された『帽子の中の猫』を聞かせたのである。この実験では、新生児がおしゃぶりを強く吸うと、テープの『帽子の中の猫』が聞けるように仕掛けがしてあった。その結果、新生児はテープが聞けるようにうまくおしゃぶりを吸うことを学習したのである。ところが、『王様とねずみとチーズ』という別の童話を同じ母親の声で録音したテープを使ったときは、おしゃぶりを吸う学習をしなかったのである。

新生児は、母親のお腹の中にいたときに聞いた童話を、誕生後に選択的に聞くことを学習したというわけである。この研究の示唆するところを考えると、そのままには信じられないという気になってしまう。というのは、この結果は新生児が母親の読む『帽子の中の猫』の声を認識することは学習したけれども、別の本を読む母親の声は学習しなかった、あるいは胎児のときに聞いた童話を再び聞いたがった、ということを示唆しているからである。さらにいえば、

それは胎児が母親の声を覚え、その読まれた物語まで学習していたことを示唆してもいるからである。ただ、これに類似した事実が他の研究によっても確かめられていることを Restak (1986)も指摘している。

これらの事実は、少なくとも発達の最初期の頃から、乳児は何らかの学習能力をもっていることを示しているが、その信憑性については今後さらに検討することが必要と思われる。

**神経回路形成と学習** 学習あるいは記憶過程における記憶にかかわっていると考えられる大脳辺縁系の海馬の髄鞘化の時期は、かなり早いことがわかっている。それは、ゴールデンの発達モデルでいえば第1段階にあたり、生後2か月頃には基本的な働きが始まっていると推定される。そのことから考えれば、上に示した新生児による学習や記憶の原初的形態といえるような現象はあり得ないことではない。こうした学習現象には、神経細胞レベルでシナプスの可塑性および長期増強のメカニズムが働いており、それらによって新しい神経回路が形成されたと考えることができる。もちろん、新生児期や乳児期の子どもでは、そのメカニズムの働きはまだ弱く、したがって学習による神経回路の形成に限界のあることは当然である。

胎児期から乳児期にかけての子どもの脳の樹状突起とその棘(スパイン)の発達を検討した研究によると、樹状突起の太さが胎児期から誕生後数か月までに太くなり、乳児期に樹状突起の棘が伸びて太くなることが示されている(大野, 1996)。21番染色体が1本余分に入るために起こるダウン症候群(18か月)の樹状突起の棘に比較すると、明らかにその発達のよいことも示されている。樹状突起の棘は、シナプスが形成される場所として重要な場所である。したがって、この棘が学習や記憶の回路として大切な役割を果たしていると考えられる。

### 記憶の発達と脳

**乳児期記憶喪失と海馬** 大人になって子どもの頃のことを思い出そうとしても、例えば3歳以前の出来事についてはあまり思い出すことはできないだろう。いわゆる乳児期記憶喪失という現象である。もちろん、3歳児に長期記憶が形成されないわけではない。彼ら自身は、数か月前の出来事を思い出すことはできるのである。しかし、5~6歳になったときにそれらの記憶を覚えているかといえば、正確に思い出すことはかなり難しいのである。

乳児期記憶喪失を説明する仮説として、海馬の未成熟説がある(磯, 1999)。つまり、乳児期の



出来事についての記憶が弱いのは、エピソード記憶の形成に不可欠な海馬が十分に成熟していないからだと考えられているのである。ネズミなどの動物実験で海馬の働きと関係の深い課題に迷路課題があるが、この課題を子どもに学習させてみると、7歳未満の子どもはそれより年長の子どもより学習の劣ることがわかっている。つまり、7歳より年少の子どもでは、空間記憶にかかわる海馬の働きがまだ十分に完成されていないと考えられる。記憶の形成に深くかかわる海馬の働きの未成熟が、年少の子どもの記憶を不安定なものにしているというのが、海馬の未成熟説による乳児期記憶喪失の説明なのである。

ところで、幼児期の虐待など非常に強い衝撃的な体験がトラウマになって、長期間にわたり個人の心理を苦しめるという現象がある。ここには、幼児期のトラウマとしての記憶が潜在的に作用していることは間違いないだろう。ただ、この種の記憶には、海馬より早く発達する扁桃体がかかわっているのではないかと考えられている。扁桃体の記憶は、恐怖や怒り、あるいは喜びなど、強く激しい情動と結びついているところに特徴がある。激しい情動と結びついた記憶は、潜在化して長く心理的な影響をおよぼす可能性があるのである。

**顔の記憶と側頭連合野** 人の顔の記憶には、それに特化した専門の領域があると考えられている。側頭連合野の一部(上側頭溝)に、顔細胞という顔の記憶を専門に行う細胞がある。人の顔は、後頭葉の視覚野から送られてきた情報が側頭連合野で認知され、そこでそれが既知の人の顔か、それとも見知らぬ人の顔かが判断される。そのときに必要なのが既知の人の顔の記憶であるが、それが側頭連合野の顔細胞とよばれる領域にあると考えられている。顔細胞が損傷されると、人の顔の認識や区別ができなくなってしまう。

顔細胞は、生後2週間くらいから機能しはじめる(岩田, 1998)。乳児が母親や身近な人の顔を見て喜ぶのは、母親やそれらの人たちの顔の記憶が貯蔵されているからと考えることができる。写真で母親と見知らぬ人の顔の区別をするのは3か月頃から可能だが、実際の顔の場合だと生後45時間でも可能だという報告もある。それは、顔の表情が多様に変わるぶん、手がかりが多くなるからだと考えられる。いずれにしても、乳児が母親など自分にとって大切な人物の顔を記憶しておき、その他の人の顔と区別できるという能力は、彼らが生存していく上で欠かせないものといえるだろう。

**ワーキングメモリと前頭前野** ある情報をいつでも思い出せる状態で保持しながら、それとは別の課題を処理するときの生きた記憶のことをワーキングメモリとよぶ。ワーキングメモリは、短期記憶の概念を発展させたものである。短期記憶は、長期記憶に移行する情報の選択に深くかかっているという点で、情報の貯蔵機能を重視している。これに対し、ワーキングメモリは、さまざまな認知活動における情報の操作や変換に深くかかっているという点で、情報の処理機能を重視している。ワーキングメモリは、より能動的な短期記憶機構といえる。

小学校1年生から6年生を対象に、学習困難児のタイプとワーキングメモリの課題の種類との関係について検討した研究によると、正常な子どものワーキングメモリは年齢とともにその許容量が大きくなっていくことが示されている。そして、読みに困難を示す子どもは、計算や集中力に困難を示す子どもより、ワーキングメモリの許容量が小さいことも示されている(Siegel & Ryan, 1989)。さらに、小学5年生で読書能力の劣る児童と普通の児童のワーキングメモリを比べた研究でも、読書困難児の方が普通児よりワーキングメモリの劣ることが示されており、読書困難の原因として単に記憶容量が劣るというのではなく、理解しながら記憶するというワーキングメモリに問題のあることが示されている(北尾, 1994)。

健常児のワーキングメモリの発達について検討した研究によると、6~12歳の児童にウィスコンシン・カード分類テストを行って、分類テストの成績に表れる問題解決能力、認知セットの変換能力、不適切な反応の抑制などの機能を発達的に比較した結果、すでに6歳からこれらの機能の働きがみられ、10歳代で成人と同じ程度にまで発達することが示されている(Chelune & Baer, 1986)。ウィスコンシン・カード分類テストを遂行するには、ワーキングメモリを用いることが必須と考えられており、したがって6~12歳の頃にワーキングメモリの重要な発達の変化の起こることが、ここから指摘される。そして、これ以降の思春期にかけてワーキングメモリは徐々に発達していくと考えられる。

ワーキングメモリが脳のどこで営まれているかについては、今のところ左右半球の前頭前野、中でもブロードマンの46野あたりを含む脳領域というのが有力である。例えば、「1から10までの数の中から、読み落されている数を記憶しておいて報告していく」という課題で、活

動している脳の領域を PET で測定してみると、左右半球の 46 野あたりが最も活性化することがわかっている。この領域が、ワーキングメモリに中心的な役割、すなわち中央実行系としての役割を果たしていることは、言語情報課題だけでなく、空間情報課題などでも示されており、前頭前野がワーキングメモリと深くかかわっていることは、ほぼ間違いないと考えられる。しかし、ワーキングメモリ課題で活性化する脳領域は、課題が複雑になってくると活性領域が前頭前野から頭頂、後頭、側頭領域、さらに帯状回、島領域の広い範囲に広がることもわかっている(荻阪, 2000)。ここから、ワーキングメモリは、前頭前野を含む脳の広い領域が分散協調して営まれていると考えられる。そして、前頭前野を中心とした領域の機能的発達、児童期初期から思春期にかけて達成されていくことを考えると、ワーキングメモリの発達過程はほぼこの期間に対応していることになる。

### 学習と記憶の発達を促す脳教育

#### 学習の発達を促す脳教育

**セサミストリートと脳** アメリカのジョンソン大領の時代に、「貧困に対する戦い」政策の一環として、1965 年からヘッド・スタート計画が実施された。ヘッド・スタートとは、競馬で馬が頭をきれいにそろえて出発するという意味をもっている。この計画は、アメリカ社会における所得の低い階層、マイノリティの階層の子どもたちが、小学校に入学する時点ですでに他の階層の子どもより学力が低いことを受け、就学前に子どもたちの知能を伸ばす補償教育を行なおうというものである。それによって、小学校入学時に子どもたちが頭をそろえてスタートできるようにしようという計画であった。

『セサミストリート』は、この計画の中で制作されたもので、テレビを通して多くの子どもたちに共通の学習情報を組織的に与え、彼らの知能を伸ばそうとする番組であった。この番組は子どもたちには人気があったが、その教育的効果は期待されたほどのものではなかったようである。Healy (1990)は、『セサミストリート』が子どもたちの注意を引くことにあまりにも執着し、そのために学習をなおざりにしたこと、内面的な学習の代わりに外面的な学習を強要する傾向のあったこと、興奮することや目立つことを追い求めて、学習が二の次になってしまったことなどを問題点としてあげている。

『セサミストリート』の話は、たいいてい 15

～30 秒程度のもので、人形、人、物、絵などの頻繁なつながりで、どのシーンもそれらが出てはすぐに消えていく。短い時間の中で、スペインやメキシコからニューヨークの街、動物園、テレビのセットの裏側までを駆け回る。ピーナッツの栽培とピーナッツバターを作る工程を、アニメーションで 15 秒で見せてしまう。目をまばたきしている間に消えたり、現れたり、小さくなったり、小さくなったり、跳ねたり、踊ったりしている画面の中の文字や数字に、子どもたちの注意は釘づけにされてしまうのである。

こうした画像による学習は右半球的学习の方法であり、とくにことばの学習にはふさわしくない、というのが Healy (1990)の主張である。本来、ことばは聞くことと話すことを基本にして発達していくものである。そこから、ことばの意味も文章の内容も理解されるようになる。ことばの使用される文脈、背景といったものを無視した教え方では効果がない。例えば、こうである。画面に H の文字が浮かび上がる。つぎの瞬間、突然それが吹き飛んで小文字の h に変わる。「エイチ」という声が聞こえる。しかし、またその h もすぐに消えてしまう。そして、アニメの主人公が音韻の特徴を強調して繰り返す。その歪められた方言と早口の不明瞭な発音は、ことばの意味とリズムを覆い隠してしまっている。これは文字の学習の例だが、単語や文の学習でも基本は変わらない。

このようなことばの学習の仕方では、子どもは画面に引きつけられてはいても、ことばそのものの学習ができているとは思われない。ことばの意味が理解できるような、ことばが用いられる文脈を理解して学べるような、いわば左半球的学习方法を効果的に利用する工夫を考えるべきだったのである。

**モーツァルト効果と脳** Rauscher, Shaw, & Ky (1993)が、モーツァルトを聴くと知能指数が高くなることを英国科学誌の『ネイチャー』に発表したことがある。大学生を対象に、モーツァルトの「二台のピアノのためのソナタ(二長調)」を聴く、血圧安定用のリラックス音楽を聴く、それに音楽なしの 3 条件で実験が行われた。大学生は、それぞれ 10 分ほど音楽を聴いた後で、図形認識を含むスタンフォード・ビネー式知能検査の課題を与えられた。音楽なし条件は、黙ったままで 10 分を過ごした後で、同じ課題を与えられた。その結果、モーツァルトを聴く条件は他の 2 条件より成績がよく、後者の 2 条件の間には差がみられなかった。知能指数に換算すると、モーツァルトを聴く条件が 119、リラックス音楽を聴く条件が 111、音楽な

し条件が110であった。この研究は、音楽、なかでもモーツァルトの音楽を聴いた後で知的作業を行うと効率が上がると指摘している。モーツァルトの美しいメロディーやコードが右脳を活性化し、心地よいリズムが左脳を活性化したと解釈される。

Rauscher, Shaw, & Ky (1993)は、この効果がモーツァルトの音楽にかざられているとしているが、それがこの研究で用いられた「二台のピアノのためのソナタ(二長調)」で特別に高いのか、それともモーツァルトの音楽一般で高いのかははっきりしていない。また、この効果は作業をする前に音楽を聴くことによるものだが、作業をしながら聴く場合はどうなのかということもわかっていない。このように、この効果は心理学的にみてもいろいろな問題をもっているのだが、それが米国の有名大学の研究者によって見出され、さらに有名科学誌に発表されたことから、一般の人にもかなり注目されたようである。つまり、モーツァルトをはじめクラシックの名曲を聴くことが、脳の活動を高め、知能を高めると受けとめられたのである。

そこで、これらのクラシック音楽を聴くこと、なかでも幼い子どもにそれらを聴かせることが流行したのである。例えば、ジョージア州では新生児のいる全家庭にクラシックのCDを配布したり、フロリダ州では公立保育園で毎日1曲はクラシック音楽を流すように義務づけたりといったことが行われたのである。その後、この効果に対して消極的な見解も出されているが(Steele, Brown, & Stoecker, 1999)、否定されたわけでもない。クラシックの曲の中では、モーツァルトの曲がより多くの人に受け入れられ、愛されていることを考えれば、このモーツァルト効果を学校や家庭、あるいは職場などで試してみたい気がする。

### 記憶の発達を促す脳教育

**脳と記憶法** 自分の記憶力をもっと高めればよいのに。子どもたちの記憶力をもっと高めるにはどうしたらいいのだろうか。どんな人も記憶力についてこんな望みや疑問をもったことがあるだろう。これまでに、適応に必要な知識や技能を効率的に習得し、保持するためのいわゆる記憶法(術)が、さまざまに提案されてきた。例えば、覚えようという意欲をもって覚えること、覚える内容を整理して覚えること、連想や語呂合わせを活用して覚えること、あらゆる感覚的手がかりを動員して覚えること、何度も反復して覚えること(過剰学習)、適度な休憩をとりながら覚えること(分散学習)などが、効

果的な記憶法として提案されてきた(二木, 1989)。こうした記憶法には、それぞれ心理学的な根拠があるのだが、ここでは、よりよく記憶する方法を脳の性質と関係づけながら提案してみたい(池谷, 2001)。

**<覚えたいことに興味をもつ>** 記憶することに中心的な役割を果たしている脳の部位に、海馬という組織がある。この海馬が働いているときに発せられる脳波に、シータ( $\theta$ )波がある。シータ波は、とくに何かを覚えようとしているときに現れる。興味がなく、飽きてきたりすると、海馬からのシータ波は発生しないのである。いいかえれば、興味をもって覚えようとするれば、海馬がさかんに活動し、その結果シータ波がたくさん現れるということになる。さらに注目されることは、海馬がシータ波を発しているときは、長期増強が起こりやすいということである。長期増強が起こりやすいということは、シナプスの伝達効率が上昇するということから、それだけ記憶するのが容易になるということである。このように、覚えようとする対象に興味をもち、探究心をもつことが記憶を高めることに効果的なのだが、そのためには刺激の多い、しかも新奇な環境の中で生活することが大切である。

**<感情をともなって覚える>** 興味をもって覚えようとするときには、楽しいとかおもしろいといった心理がともなっている。こうした感情の働きが、記憶力をさらに高めるのである。感情は、海馬のすぐ近くにある扁桃体という組織によって発生する。扁桃体が刺激されるとさまざまな感情的な行動が起こるし、逆にこの組織が働かなくなると感情を感じなくなったり、無気力になったりする。この扁桃体が活動すると、興味深いことに海馬の長期増強が大きくなるのである。

つまり、おもしろい、楽しい、感動した、あるいは不安だ、悲しい、怖いといった感情が絡んでくると、よりよく記憶することができるというわけである。これは、おもしろいという感情が扁桃体を刺激し、それが海馬の活動を高めて、より大きい長期増強を発生させることにより記憶するのが容易になったと考えることができる。私たちの記憶の中で、より長く、しかもより鮮明に残っている記憶には、意外と感情をともなった記憶が多いのであるが、それはこうした理由からなのである。なつかしい思い出としての記憶などは、そうした例といえる。なお、最近の研究によると、扁桃体からの感情をともなう情報が海馬に伝達されるときに、五感情報の全てが入ってくる嗅周囲皮質からの感

覚情報が同時に海馬に伝達されると、記憶がより増強されることもわかっている(伊藤, 2002)。

＜事象を関係づけて覚える＞ 神経細胞と神経細胞の間で、信号のやりとりがしやすくなることをシナプスの可塑性とよんだ。このシナプスの可塑性には、連合性という性質がある。事象 A と事象 B を覚えようとするとき、事象 A の信号は弱くてシナプスの可塑性が起こらないとする。そのとき事象 B の信号が強ければ、それが事象 A にも波及して可塑性を生じさせるのである。この現象を連合性とよぶ。この性質から、事象どうしを関係づけて覚えると覚えやすい、ということが起こるのである。関係づけて覚えるとは、よりよく理解して覚えることである。歴史の年号を語呂合わせして覚えると覚えやすくなるのはこの例である。体制化や精緻化という記銘方略は、シナプス可塑性の連合性という性質から説明することができる。

＜年齢に見合った記憶法を使って覚える＞ 例えば、小学校の中学年ときに九九を覚える。これは、この年齢の頃にはたとえその理屈がよく理解できなくても、声に出して九九の反復練習をすることで覚えることができるからである。いわゆる、丸暗記型の機械的記憶力が優れているからである。ところが、小学校の高学年から中学校の年齢になると意味を理解して覚える記憶が発達してくる。いわゆる、論理的記憶力が優れてくるのである。この時期になると、意味のない材料を丸ごと覚えるような記憶もできなくはないのだが、それよりも論理だてて記憶の方が覚えやすくなるのである。

こうした記憶法は、さらに年齢が高くなるとより多く用いられるようになる。発達段階ごとに記憶のしかたが異なるのは、脳の記憶機能の発達の変化によると考えられるのはいうまでもない。それぞれの発達段階に見合った記憶法を効果的に使用することが、その段階の脳機能を最も効率的に使うことになり、それによってより質の高い記憶力を発揮することができるのである。

**ワーキングメモリの育成** ワーキングメモリが、前頭前野の働きによることはすでに述べた。ワーキングメモリとは、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記憶である。記憶といえば、宣言的記憶や非宣言的記憶(手続き的記憶)などのいわゆる長期記憶をまず連想する。たしかに、学校教育ではさまざまな学習や経験を通して、こうした長期記憶としての知識や技能を獲得することを重視する。つまり、記憶された知識や技能そのものを評価することが多いのである。そのために、い

かに効率的に、また正確に、さらに多くの知識や技能を記憶することができるか、ということに関心が向けられる。そのこと自体は意味のあることであるが、そうして獲得された知識としての記憶をより適切に使うためには、どうしてもワーキングメモリの働きが必要である。さらにいえば、学校教育の場以上に子どもたちの日常生活のあらゆる場面で、ワーキングメモリは大切な働きをしているといえる。

子どもの学習や思考を円滑に進めるためには、ワーキングメモリを有効に使うことが大切である。したがって、保育園や幼稚園も含めた学校教育の中で、ワーキングメモリをうまく使えるように、子どもたちを訓練していくことが必要である。例えば、イナイ・イナイ・バーの遊び1つとってみても、そこにはワーキングメモリが生き生きと働いている。ふすまの向こうに隠れている母親を、今出るか、今出ると喜々として待ち構えている乳児には、目では見えないけれども心の中で見えている母親の姿があるはずだ。母親が出てくるまでのしばらくの間、乳児はその姿(情報)を頭に留めてそのときを待っているのである。こうしたワーキングメモリを含んだ内的処理は、幼児のかくれんぼやごっこ遊びの中にもあるし、もちろん児童が算数の計算をするときにもある。

前頭前野が働きはじめる最初の時期は、生後4～5か月の頃だと考えられている。そうであれば、乳児期からワーキングメモリを使うような働きかけや環境を準備することは、子どもの前頭前野の機能を発達させるよりよい経験を与えることになるはずである。前頭前野が思春期までかけて発達を続けることを考えれば、こうしたワーキングメモリを使う経験を子どもたちに豊富にもたせることの効果は、さらに大きくなるといえるだろう。

## 引用文献

- Beuhring, T., & Kee, D. W. 1987 Developmental relationships among metamemory, elaborative strategy use, and associative memory. *Journal of Experimental Psychology*, 44, 377-400.
- Bliss, T. V. P., & Lømo, T. 1973 Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *Journal of Physiology*, 232, 331-356.
- Bower, T. G. R. 1977 *A primer of infant*

- development*. San Francisco: W. H. Freeman and Company. (岡本夏木・野村庄吾・岩田純一・伊藤典子訳 1980 乳児期—可能性を生きる ミネルヴァ書房)
- Buckner, R. L., Raichle, M. E., Miezin, F. M., & Petersen, S. E. 1996 Functional anatomic studies of memory retrieval for auditory words and visual pictures. *Journal of Neuroscience*, 16, 6219-6235.
- Carter, R. 1998 *Mapping the mind*. Berkeley, CA.: University of California Press. (藤井留美訳 1999 脳と心の地形 図—思考・感情・意識の深淵に向かって 原書房)
- Case, R. 1972 Validation of a neo-Piagetian capacity construct. *Journal of Experimental Child Psychology*, 14, 287-302.
- Chelune, G. J., & Baer, R. A. 1986 Developmental norms for the Wisconsin Card Sorting Test. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 8, 218-228.
- Friedman, S. 1972 Habituation and recovery of visual response in the alert human newborn. *Journal of Experimental Child Psychology*, 1972, 13, 339-349.
- Healy, J. 1990 *Endangered minds: Why our children don't think*. New York: Simon and Schuster. (西村辦作・新美明夫編訳 1992 減びゆく思考力 大修館書店)
- Hoving, K. L., Spencer, T., Robb, K. Y., & Schulte, D. 1978 Developmental changes in visual information processing. In P. A. Ornstein(Ed.), *Memory development in children*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- 池谷裕二 2001 記憶力を強くする—最新脳科学が語る記憶のしくみと鍛え方 講談社
- 磯 博行 1999 学習する脳・記憶する脳—メカニズムを探る 裳華房
- 伊藤正男(監修) 2002 徹底解明心と脳のしくみ—なぜ人は喜び、そして悲しむのか ニュートン, 11, 28-59.
- 岩田 誠(監修) 1998 脳のしくみ ナツメ社
- Jonides, J., Smith, E. E., Koeppel, R. A., Awh, E., Minoshima, S., & Mintun, M. A. 1993 Spatial working memory in humans as revealed by PET. *Nature*, 363, 623-625.
- Keating, D. P., & Bobbitt, B. L. 1978 Individual and developmental differences in cognitive processing components of mental ability. *Child Development*, 49, 155-168.
- 北尾倫彦 1994 児童における読書困難と作動記憶の関係について 読書科学, 38, 141-145.
- Kolata, G. 1984 Studying learning in the womb: Behavioral scientists are using established experimental methods to show that fetuses can and do learn. *Science*, 20, 302-303.
- 松村道一 1995 ニューロサイエンス入門 サイエンス社
- Meltzoff, A. N., & Moore, M. K. 1977 Imitation of facial and manual gestures by human neonates. *Science*, 198, 75-78.
- Milner, B. 1974 Hemispheric specialization: Scope and limits. In F. O. Schmitt & F. G. Worden(Eds.) *The neurosciences: Third study program*. Cambridge: MIT Press, Pp. 75-89.
- Milner, B., Corkin, S., & Teuber, H. L. 1968 Further analysis of the hippocampal amnesic syndrome: 14-year follow-up study of H.M. *Neuropsychologia*, 6, 215-234.
- Morrison, F. J., Holms, D. L., & Haith, M. M. 1974 A developmental study of the effects of familiarity on short-term visual memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 18, 412-425.
- Myers, N., & Perlmuter, M. 1978 Memory in the years from two to five. In P. A. Ornstein(Ed.), *Memory development in children*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, Pp. 191-218.
- Nagae, S., & Moscovitch, M. 2000 Cerebral hemispheric differences during episodic and semantic memory retrieval in normal individuals. *The 27th International Congress of Psychology* (Stockholm), 334.
- 二木宏明 1989 脳と記憶—その心理学と生理学 共立出版
- 大野耕策 1996 脳を作り脳を育てる遺伝子 共立出版
- 荻阪直行 2000 脳とワーキングメモリ 京都大学学術出版会
- Pascual-Leone, J. A. 1970 A mathematical model for transition in Piaget's developmental stages. *Acta Psychologica*, 32, 301-345.
- Rauscher, F. H., Shaw, G. L., & Ky, K. N. 1993 Music and spatial task performance. *Nature*, 365, 611.

- Restak, R. M. 1986 *Infant mind*. New York: Doubleday & Company. (河内十郎・高城 薫訳 1989 乳児の脳とこころ 新曜社) Pp.85-103.
- Rovee-Collier, C. K., Sullivan, M. W., Enright, M. K., Lucas, D., & Fagan, J. W. 1980 Reactivation of infant memory. *Science*, 208, 1159-1161.
- 坂野 登 1995 ヒトはなぜ指を組むのか—脳とこころのメカニズム 青木書店 Pp.161-168.
- Sasaki, K. & Gemba, H. 1982 Development and change of cortical field potentials during learning processes of visually initiated hand movements in the monkey. *Experimental Brain Research*, 48, 459-473.
- 下條信輔 1988 まなざしの誕生—赤ちゃん学革命 新曜社
- Siegel, L. S., & Ryan, E. B. 1989 The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child Development*, 60, 973-980.
- Siegler, R. S. 1986 *Children's thinking*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall. (無藤隆・日笠摩子訳 1992 子どもの思考 誠信書房)
- Squire, L. R. 1987 *Memory and brain*. New York: Oxford Press. (河内十郎訳 1989 記憶と脳—心理学と神経科学の統合 医学書院)
- Steele, K. M., Brown, J. D., & Stoecker, J. A. 1999 Failure to confirm the Rauscher and Shaw description of recovery of the Mozart effect. *Perceptual and Motor Skills*, 88, 843-848.
- Tulving, E., Kapur, S., Craik, F. I. J., Moscovitch, M., & Houle, S. 1994 Hemispheric encoding/retrieval asymmetry in episodic memory: Positron emission tomography findings. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 91, 2016-2020.
- Tulving, E., Kapur, S., Markowitsch, H. J., Craik, F. I., Habib, R., & Houle, S. 1994 Neuroanatomical correlates of retrieval in episodic memory: Auditory sentence recognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 91, 1989-1991.
- 山下 光 1994 記憶の神経心理学 磯 博行・杉岡幸三(編) 情動・学習・脳 二瓶社