

機能的左右非対称性の発達と操作性の高さ

橘 廣

愛知東邦大学

機能的左右非対称性の発達と操作性の高さ

橘 廣

目 次

はじめに

I 大脳半球機能の発達に関する諸説

1. 段階的発達説
2. 発達不変説
3. 発達初期における半球差
4. 段階的発達説と発達不変説の統合と諸問題
5. 近年の脳科学研究からの知見 — 脳の発達に関する基本原理

II 手の活動における機能的左右非対称性

1. 手の活動と脳
2. 利き手の発達
3. 操作性の高さ

III 機能的左右非対称性の発達と操作性の高さ

むすびにかえて

はじめに

人間の主な特性は、「考える存在」、「創る存在」、「社会的存在」であると考えられる。最近、ヒト以外の霊長類 (non-human primates) にもこれらのことが可能であることが認められてきているが^{〔1〕}、人間ほど容易に学習されるわけではない。仲間とともに協力しあい、考えながら、手の活動を通じて、新しいものを創りだす。このような手の活動は、人類の進化のうえで非常に重要である。しかしながら、現代の子どもたちは文明進歩のかげで、これらの特性を失いつつあるように思われる^{〔2〕}。左右の手による能動的創造的な操作活動の重要性を、脳のはたらき、特に大脳半球機能の発達過程を検討する中で考えたい。

左右の大脳半球は、形態的にはほぼ対称的に見えるが機能は同じではない。右利きの場合、左半球は主として言語機能、右半球は主として非言語機能と関係するといわれている^{〔3〕}。このような現象、機能差は、機能の側性化、ラテラルティあるいは機能的非対称性とよばれている。この大脳半球の機能差についての研究は19世紀半ばの「失語症は左脳の損傷によって生じる」というDax父子、Brocaの発見によって開花した。その後、分離脳 (split brain) 研究により機能差研究の関心が高まった。分離脳とは、脳梁 (左半球と右半球をつなぎ情報を伝えている神経線維の束) を、重症てんかん治療などの手術や事故のため切断されたり、先天的に欠損した状態をいう。

脳梁の全切断は、左右の半球間の情報伝達を断つので、片側の半球のみに刺激を入力し、また片側半球のみから出力をとるような実験手続きをとれば、それぞれの半球の機能を検討することができると考えられる。その分離脳研究の中心的存在であるSperry^{〔4〕}は、1つの頭蓋骨つまり1つの家の中に、左半球、右半球という性格の異なる2人の人間が住んでいるようなものであると述べている。この2つの大脳半球は、どのように共同作業、相互作用をしながら、互いの役割を果たしているのだろうか。また2つの大脳半球の機能差は、発達に伴って変化するのであるのか、あるいは胎児期や新生児期に機能差はすでに存在しており発達の的に変化することはないのだろうか。

左右の半球の機能差という場合に注意したいことは、脳梁が機能している脳では、左右の半球間で常に情報伝達がされているので、2つの半球が全く別個に機能しているととらえないことである。脳のさまざまな場所で機能を分担している領域、得意とする領域があり、左半球と右半球を比較するならば片側の半球が優れている、「優位な半球」としてあらわれる場合があるということである。

まず、大脳半球機能の発達に関する従来の主要仮説を検討する。このことに関係した多くの研究が言語機能に関するものであるため、ここでは言語機能での研究が中心となる。次に、手の活動について大脳半球機能の発達の側面からどのようにとらえられるのかを検討する。さらに、脳の機能的発達（機能分化）と、手指の操作活動における操作性の高さとの関係性を検討する。

I 大脳半球機能の発達に関する諸説

1. 段階的発達説

段階的発達説（progressive lateralization hypothesis）は、当初機能的に同等の能力を有する両半球が生後発達のある特定の時期までに、機能分化が段階的に生じ、右利きの場合、言語機能は左半球、非言語機能は右半球で処理されるようになるというものである。

Lenneberg^{〔5〕}は自らの臨床経験や、Basser^{〔6〕}の脳損傷児の言語発達に関する資料、失語症の症例報告に基づき次のように述べている。即ち言語が本格的に獲得される以前の生後2年間は、脳に損傷を受けても言語獲得の遅れは両半球にほとんど差がみられない。しかしその後左半球への一側化が進み、思春期頃までに言語に関する左半球の優位性が確立する。この期間に損傷を受けた場合、左半球の損傷によって言語障害の残る割合は右半球より高くなる。一方、右半球損傷でも言語障害の残る割合は成人よりかなり高く、この期間は左半球優位性の現れる一方で、右半球もまだ言語機能に関与していることが示唆される。そして思春期以降に受けた左半球損傷では、右半球の言語機能を担う力が低下するため機能障害を生じるといふ。このようなことからLenneberg^{〔5〕}は、両半球は生後2年間は機能的に等価であるが、その後言語に関する左半球機能優位が、思春期頃までに段階的に発達していくと考えている。

Satzら^{〔7〕}も、片側性脳損傷児の失語症回復について、3歳以前に生じた失語症ではその回復が良好で、話しことばの能力はほとんど正常になるが、10歳以後に発症した左半球病変による小

児失語症では、しばしば永続的な失語症状を残すことを示している。しかし左半球の損傷を受けて失語症になった5歳から11歳の子どもを対象とした両耳分離聴試験（dichotic listening test）では、右半球機能が失語症の回復に大きな役割を果たしているという結果は得られず、左半球の言語機能優位性が示されている。この両耳分離聴試験は、左右の耳に異なる刺激を同時に呈示し、どちらの耳に呈示した刺激をより多く記憶しているかで、半球機能差を調べる方法である。またWoodsら^{〔8〕}の研究では、1歳後半から15歳の片側性脳損傷児65名のうち、左半球損傷の場合言語障害は約74%に生じていた。一方、右半球損傷の場合約13%であったが、その半数が左利きであり、左利きを除くと、右半球損傷児の言語障害は非常に少なくなり成人の結果と大差がなかった。同じ生育歴と同じ教育を受けた左右の半球機能を比較するためには、左右の半球の連絡路である脳梁を手術によって断たれた分離脳患者による研究がある。分離脳患者では、ほぼ健全な状態で左右の半球の機能を別々に検討することが可能である。分離脳患者の研究によると、左半球は「話す」、「書く」、「文字を読解する」、「話しことばを理解する」等の言語機能において、両半球を使用した場合と変わらないほど高い能力をもっていることが明らかにされた。一方、右半球の言語機能は、「話す」と「書く」ことはほとんど不可能であることが確かめられ、「読解」と「話しことばの理解」はある程度は可能であるが左半球より劣るものであった^{〔9〕}。

Lenneberg^{〔5〕}は子どもの失語症が一時的であるのは両半球が同様に言語に関わっているからであり、成長するにつれ右半球の言語機能が失われ、失語症の回復が困難になると解釈しているが、この段階的発達説に対してKinsbourneら^{〔10〕}は次のように述べている。子どもの失語症が回復しやすいのは、脳が可塑性に富んでいるため右半球が言語機能の処理を代行できるからであって、右半球で言語機能の処理がなされているのではないとしている。また、段階的発達説の主要な資料となっているBasser^{〔6〕}の脳損傷児の言語発達に関する資料自体が、症例のサンプリングの歪み、脳損傷の部位、失語症の基準の不明確さなどの点で信頼性に欠けるのではないかと批判し、彼らは次にあげる発達不変説を主張している。

2. 発達不変説

Kinsbourneら^{〔11〕}は、出生時にはすでに大脳半球の機能差は存在し、発達とともに変化するということはないという発達不変説（developmental invariance hypothesis）を提唱している。これは、次にあげるような両耳分離聴試験や二重課題（dual task）の実験結果より導きだされたものである。

ここでの両耳分離聴試験は、左右の耳に異なる数字列を同時に聴取させ、聞き取れた数字を復唱するよう求めるというテストである。Hiscockら^{〔12〕}はこの方法で3歳から12歳の右利きの子ども155名を対象に実験を行った。結果は、最低年齢の3歳より右耳優位で、正答数は年齢とともに左右の耳が同じように増加し、左右の差異の程度は発達の過程で変化がみられずほぼ一定であった。また二重課題は、同一半球で処理されるような2種類の課題を同時に遂行させ、2つの課題が干渉しあうことにより遂行能力が低下することを利用し半球機能差をみるものである。この方

法により、Hiscockら^[13]は、3歳から12歳の151名の右利きの子どもに、童謡や動物の名前のリストを暗唱するという言語課題遂行中にタッピングをさせた。その結果、発話のない場合と比較して、右手によるタッピングの成績低下が左手より大きく、この左右差には発達的な変化はみられなかった。これは右利きの場合、発話と右手の運動系列に関する系が左半球でオーバーラップしていると解釈され、実験が行われた最低年齢の3歳よりすでに半球機能差が存在することを示すものである。しかし、これらの課題は再生法か再認法による反応が求められるため、実験方法の性質上、より低い年齢で行うことは困難である。Kinsbourneら^[11]が行ったような両耳分離聴法や二重課題の実験方法では、2歳までは両半球機能が等価とする段階的発達説を否定するものとはなっていない。

Entus^[14]は、両耳分離聴による方法が乳児に適用できるよう考案した実験を行っている。対象は生後20–140日の乳児で、左右の耳に異なる音を聴取しながら乳首を吸飲するという状況での実験である。慣れによって吸飲の頻度が減少する（馴化）が、片方の耳の刺激を新奇刺激に変えるとまた吸飲の頻度が増す。この慣れからの回復（脱馴化）を検討すると、言語音（人の声）では右耳の刺激を変化させた時に、非言語音（楽器音）では左耳の刺激を変化させた時に、脱馴化が顕著であった。この結果は、言語音は左半球が、非言語音は右半球がより関係しているという半球機能差が、発達初期より存在することを示唆するものである。しかし、Entus^[14]とほぼ同様の方法で実験を行っても、半球機能差が認められなかったという研究もある^[15]。これらの実験は吸飲の頻度を指標としたものであるが、微妙な刺激にも反応が考えられる指標であり、実験状況の統制の問題が考えられる。実験者は新奇刺激にいつどのように変えたかを知っているし、仮説で期待される反応もあらかじめ持っていることが、実験者の意図に関係なく対象児に影響を与えることもあるのではないと思われる。

以上あげた研究からは、段階的発達説か発達的不変説か明確な結論は出ないが、次に示す解剖学的研究、電気生理学的研究などでは、言語機能の左半球優位性は胎児期から決定されているのではないかという報告がなされている。

3. 発達初期における半球差

解剖学的研究、電気生理学的研究などでの発達初期を対象とした研究報告を検討しよう。

成人では左側頭平面が右側頭平面に比べて大きいことがGeschwindら^[16]の研究により知られているが、この左右差が胎児期から認められるという報告がある。例えばChiら^[17]の研究によれば、左半球の方が側頭平面がより大きいという。この差は、胎齢31週から確認でき、胎齢が進むにつれ顕著になっていくという結果が得られている。このような解剖学的な差異がすぐに機能差に結びついていることにはならない。しかしこの領域は、左半球ではウェルニッケの言語野や聴覚連合野を含む領域であり、言語機能との関連を示唆するものである。

脳波や誘発電位を用いた電気生理学的研究では次のような半球機能差に関する報告がある。脳波による研究の代表的なものとしてGardinerら^[18]の研究がある。彼らは生後6カ月の乳児を対

象に、言語刺激として乳児への話しかけ、非言語刺激としてラジオからの音楽という2種類のテープを聞かせるという状況で、脳波を測定した。その結果、成人の α 波に相当する4ヘルツ近辺の周波数に含まれるパワーに差異があり、話しかけにおいては左半球、音楽では右半球の活性化がみられた。誘発電位ではMolfeseの一連の研究が代表的である。例えばMolfese^[19]の聴覚誘発電位の研究によると、生後24時間以内の新生児においてさえ、語音では左半球、非語音（楽音、雑音）では右半球の誘発電位の振幅が大きいという結果が得られている。

このような報告からは、言語機能の左半球優位性を支える神経機構が、遺伝子レベルですでに決定されている可能性も考えられる。両耳分離聴法では、言語能力が十分でない子どもには検査ができないので、脳波や誘発電位を用いた電気生理学的方法での実験が工夫され、それらの実験結果から、生後まもない時期から左半球が言語に対してより敏感に反応することが認められてきた。南^[20]の述べるように、段階的発達説は1960年代から1970年代にかけて非常に有力であったが、少なくとも段階的発達説の基礎にある誕生時における左右の半球機能の等質性については否定されるのではないと思われる。

Siningerら^[21]は、耳の機能に左右差があること、即ち右耳は主に言語を強調して脳に伝え、左耳は音楽を強調して脳に伝えるということを、乳児3011名を対象とした聴覚測定の研究で報告している。乳児の聴覚測定と同じ方法で、小さなマイクを外耳道に入れ、特定の音を聞かせて内耳から発する耳音響放射と呼ばれる小さな音を測定し、明らかな左右差が確認された。右耳は、言語のような断続的なクリック音に対し、一方左耳は、音楽のように連続的な音程（トーン音）に対し、より大きく反応していることが認められた。耳音響放射は内耳の感覚細胞が音を神経への信号に変換する際に振動して生じたもので、感覚細胞が特定の音に反応した結果が反映されることが考えられている。従来聴覚機能の左右差については、耳自体の機能は左右同じで、言語音は左半球、楽器音のような非言語音は右半球が主に関与するという左右の半球の機能差によるものと考えられてきた。この研究結果から、刺激誘導による機能的左右非対称性が内耳のレベルで存在することが示され、耳自体の左右差が、左右の脳の機能的な差異を助ける役目をもっていると推測される。機能的な左右差が遺伝子レベルで組み込まれているのではないかという可能性が考えられる。

4. 段階的発達説と発達不変説の統合と諸問題

これまで、大脳半球機能の発達に関する主要仮説である、段階的発達説と発達不変説を検討してきたが、両説を統合しようとする説もある。Levy^[22]は、脳損傷児の機能回復にみられるような可塑的な作用は、脳の機能分化、一側化とは異なるものであると考えている。出生時に大脳半球機能差はすでに存在し、その差異の程度は発達の過程で変化するものではない。しかし、脳の機能の可塑性は、段階的発達説にみるように、子どもの発達に伴い徐々に減少し、思春期頃に消失してしまうものであるとしている。

段階的発達説と発達不変説には次のような問題点も指摘されている。南^[23]は、段階的発達説

にしる発達不変説にしる、両半球の相互作用という視点に立って理論化がなされておらず、左半球と右半球を別々に切り離して、それぞれの機能の発達を考察しているにすぎない点、さらに、発達を量的で直線的な機能の増加とみており、質的变化を含む不連続なプロセスとして捉えていないという問題点があると述べている。

両半球の相互作用という視点での研究として、例えば、Best^[24]の研究がある。彼は、両半球の関わり方のパターンが子どもの発達に伴い変化するとしている。また、Trevvarthen^[25]は、生まれつき脳梁がない人の場合一側化がみられないことから、一側化は脳梁を介して、両半球が相互誘導的に影響しあう結果として生じると考えている。

言語には両半球が関わっており、言語機能のレベルによって、大脳半球機能の発達、一側化の程度が異なるという、近代神経学の創始者Jackson^[26]の考え方が注目される。彼の考え方は、言語には一つの半球のみが関わっているというそれまでの考え方とは異なり、言語には両半球が関わっているとし、その関わり方は神経系の階層的組織化のレベルによって異なるというものである。最も低次なレベルでは、言語は情動的発声や不随意的な原初的言語反応というかたちをとり、この機能は両半球にまたがっている。このことは、言語獲得以前での左半球損傷による言語障害の回復状況が良好であることにつながっている。中間のレベルでは、理解の過程があり、これは話しことばよりも自動的な過程であるため一側化している程度は低い。最も高次なレベルでは、叙事的言語があり、これは主導半球（leading hemisphere）の進化と密接に関係している。つまり言語機能のレベルにより脳の組織化の内容は異なるというわけである。ここで、分離脳患者による研究結果と比較してみよう。それらの研究によると、右半球の言語機能は、話すことと書くことはほとんど不可能であること、また話しことばの理解と読解は可能であるが、左半球より低次のものであることが確かめられている^[9]。Jackson^[26]の説を裏づける研究結果であると思われる。大脳半球の機能差が発達に伴って変化するのか、発達の的に不変なのか、一律にどちらかに決定するのではなく、機能的階層化のレベルによって異なるという考え方が重要なのではないと思われる。

Luria^[27]は、両半球の協調的な作用を重視し一つのシステムとして考えており、精神活動とは複雑な機能系（functional system）であって、脳の狭く限局した領域に局在しているのではないと述べている。そしてこの機能系の構成において、脳の個々の部位がそれぞれ固有の貢献をしながら協調的に複雑な複合体として関与しているとし、両半球の協調的作用により精神活動が実現され、各半球は精神活動の構成においてそれぞれ固有の寄与をしているとの考えで、一つのシステムとして理論化されている。

Luria^[27]の脳機能系理論を基に、坂野^[28]は次に述べるような総合的分化説に発展させている。総合的分化説は、「未分化な機能がより分化した機能に、また分化した機能がより上位の機能によって統合されていく」という、発達における総合的分化の現象を大脳半球機能の発達に適用したものである。この総合的分化説では、左右の半球は子どもの発達に伴ってそれぞれ別の機能を獲得し機能的に分化していくが、同時にその一方で、片方の半球が他の半球の機能を統合し、よ

り上位に位置するようになると考えられている。そして、坂野は、両半球が対等な関係から、一方の半球が総合化の中心になり優位になるような関係へと移行する時期が、利き手の変化と対応することを示唆している。さらに、利き手の発達的变化は、総合化の中心となる時期が常に定まっているのではなく、右利きとしてあらわれる左半球が中心となる時期、左利きとしてあらわれる右半球が中心となる時期、また新しい総合化を行うために両半球が再編成へと移行する時期に対応する両手利きの時期があると述べている。このような利き手の変化については、言語半球の変更を意味するものではなく、利き脳つまりその人の行動調節を行う上で機能的に上位にある半球が変化すると考えられている。

5. 近年の脳科学研究からの知見 — 脳の発達に関する基本原理

近年脳機能イメージング手法が用いられるようになり、特に近赤外分光法（NIRS）を用いた研究では、動きのある覚醒した乳児の大脳皮質活動の計測が可能となった。例えば、生後2カ月から3カ月の間に視覚野と連合野が機能分化することを示す次のような研究報告がある。

Watanabeら^[29]の研究では、カラフルな魚の形をしたモビールの玩具の映像と、反転する白黒のチェッカーボードを注視している際、覚醒した2カ月児では、後頭葉の視覚野から、後頭葉外側部の視覚連合野、前頭前野にいたるまでの広い脳領域が、モバイルとチェッカーボードのどちらの刺激に対しても同様の反応を示した。これに対し、覚醒した3カ月児では、視覚野はモバイルとチェッカーボードともに同様の反応を示した。しかし、視覚連合野や前頭前野等は、豊かな色、形、動きのあるモバイルの玩具の映像にはより強く反応するが、チェッカーボード刺激には強く反応しなかった。このことは、（1）生後2カ月から3カ月の間に、視覚野と連合野が機能分化することを示していること、（2）機能分化する前の連合野は、反応しない状態から発達するのではなく、どんな刺激に対しても反応する状態から、特定の刺激にのみ反応するよう変化していくこと、知覚に関わる脳活動は、発達にともなって一般的な応答から特殊な応答へと分化すること（general-to-specific development）を示すものであるとしている。

多賀^[30]は、脳の発達は極めて動的な変化であり、段階的に見える行動の発達も、脳、身体、環境の相互作用から生じる創発的な過程であると考え、近年の脳科学研究の知見から、次のような脳の発達に関する3つの基本原理を提案している。

- （1）胎児期の脳では、まず自発活動が生成され、自己組織的に神経ネットワークが形成された後で、外界からの刺激によって誘発される活動が生じ、さらに神経ネットワークが変化する。
- （2）脳の機能的活動は、特定の機能に関連しない一般的な活動を生じた後で、特定の機能発現に専門化した特殊な活動に分化する。
- （3）脳ではリアルタイムから長期的な時間にわたる変化まで、多重な時間スケールでの活動の変化が生じるが、異なる時間スケールの間の相互作用機構を通じて、構造と機能が共に発達する。

特に、脳の機能的な発達については、全体として統合された状態を保ちつつ、特定の機能を持

つモジュールを分化させる過程であるとし、機能分化は、一般から特殊の方向へ分化するとしている。

II 手の活動における機能的左右非対称性

これまで大脳半球機能の発達に関する諸仮説について概観してきたが、多くは言語機能に関するものであった。しかし、大脳半球機能の発達について検討するためには、言語活動のとらえにくい発達初期の段階においても大脳皮質の機能的成熟過程をよく反映するとされる手の活動の役割は重要である。ここでは、手の活動について、大脳半球機能の発達の側面からどのようにとらえられるかを考える。

1. 手の活動と脳

大脳半球機能の発達について主に言語機能に関する研究から検討してきたが、手指の活動は言語機能と重要な関係があることが指摘されている。

Greenfield^[31]は、脳のブローカ野（左半球の前頭葉下後半部領域で、言語生成に関わる領域。複雑な文構造理解や言語操作にも関わる）が、2歳までは、発話と道具使用を含むモノの操作との共通の中枢である可能性を示している。操作性の発達が言語生成に関係している可能性が考えられる。また、河添^[32]は長年の障害児教育の臨床経験から、第1指と第2指の指尖対向と操作性の発達が、最も高次の言語機能である話しことばの獲得に、非常に重要な関係があると述べている。幼児の段階では、脳性マヒなどの内のごく一部の例外を除いて、第1指と第2指の指尖対向の状態によって、話しことばの状態や近い未来でのことばの獲得を、ほぼ予測可能であること、第1指と第2指の対向と操作機能を高めれば、言語機能も高められるし、指導により実際に効果をあげていることが報告されている。

また手指の運動は大脳皮質の機能的成熟過程をよく反映しており、言語活動のとらえにくい乳幼児や知的障害児の発達診断に、手指運動による検査が有効であるといわれている^[33]。このことは、大脳皮質の中心前回すなわち運動野にあるさまざまな身体部位の運動投射野において、手指が投射部位の3分の1以上の広い部分を占めていることから裏づけられる。運動野の面積が広くなると、筋肉を働かせる神経細胞の数が増え、細かい筋運動の指令が出せることになる。

2. 利き手の発達

手の活動を大脳半球優位性からみた研究では、主に利き手の研究がなされてきた。

利き手は、片手だけを使う行為において好んで使用される手として定義されるが^[34]、乳児の場合多く用いられる方法は、対象にリーチングする際使用する手である。つまり、視覚誘導により手を対象に接触させるような腕の運動である。リーチングは生後3～5カ月頃に生じるが、より初期の生後2カ月頃より予備的行動のプレ・リーチング（視覚誘発性の腕の運動で、目前にせまってくる対象に反射的に腕を伸ばす動作）があるとされる^[35]。

利き手の代表的な発達の研究とされるのがGesellら^[36]の研究である。彼らの研究は、8週から10歳までの広範囲の年齢にわたる組織的なものとしてよく引用されている。彼らによれば、16週－20週に左利きが観察され、1歳までは非対称性と対称性の交代が著しい。1歳半で両手利き、2歳で明確な右手使用が現れ、2歳半－3歳半で再び両手利き、4歳－6歳になって右手が用いられるが、ある場合には7歳が最後の左利きあるいは両手利きの時期となり、8歳で利き手（右手）が確立するとされている。尚、課題は、8週から5歳まではYale発達検査の場面であり、5歳から10歳までは、立方体、紙、鉛筆、自由組み立て状況での記録である。

手の左右非対称性を検討するうえで、次に示すような手の活動が技能を含む操作性をどの程度要するものであるかという重要な問題があると思われる。

3. 操作性の高さ

技能を含む操作性をどの程度要する活動であるかを考慮して手の優位性を検討すべきではないかと思われる研究報告がある。まずチンパンジーの手指操作に関するものであるが、進化の過程を考えるうえで興味深い。

例えばHopkins^[37]は、図形文字の識別訓練を受けてきたチンパンジーを対象に、知覚運動課題を行い、コンピューターのカーソルを移動させるレバーの操作活動では98－100%右手が使用されているが、餌へのリーチングでは右手使用の割合は38－60%であると報告している。

またHopkinsら^[38]は、ヤーキス霊長類研究所飼育下のチンパンジーを対象に、細かな器用さが必要とされる小さな餌を把握する際の左右の手の運動技能の左右非対称性を検討している。餌として、プレッツェル（直径4mm、長さ60mm）、M&M's（直径9mm、厚さ約3.5mm）、Tart N' Tiny（8mm×6mm）が用いられ、左手の方が右手よりエラーが多く、オスのチンパンジーはメスよりエラーが多いという結果が得られた。把握の際の手指の形状はチンパンジーによって異なるが、第1指と第2指を好んで用いるタイプ、第3指と第2指を好んで用いるタイプが大半を占め、この2つのタイプ間でエラーの割合に有意差はみられず、上記の結果は把握の形状による差では説明できないとしている。細やかな器用さが要求されるような操作活動では、運動技能が右手優位であることを示す研究結果である。

野生チンパンジーにおいても、好物の木の小さな実をとる時、優位な手というのはあるもののどちらの手でも実をとるが、石を用いたヤシの実割り（左右の手指の機能分化が必要な操作活動）では、個体内で利き手の一貫性がみられ、ヒトが字を書くときの鉛筆を握る手と同程度にきわめて高いものであることが認められている^[39]。

以上のようにチンパンジーを対象とした研究で、技能を含む操作活動では、左右の手の機能分化がみられることが示されているが、チンパンジーにおいても、ヒトの言語機能に関係する部位である側頭平面の大きさに左右差がみられ、約94%（18頭中17頭）のチンパンジーは左側頭平面が大きいとの報告がある^[40]。このような類似点や進化の過程から考えて、ヒトの場合も技能を要する操作活動は、発達初期から機能が分化し、左右の手それぞれの役割が定まっている可能性

が考えられる。

橘^[41]は出生から1歳までの縦断研究において、次のような結果が得られた。操作活動の基礎となるような手の活動では、生後まもない時期より機能的左右非対称性がみられた（継時性・巧緻性を要する活動は右手優位、空間性を要する活動では左手優位で、各半球の特徴がみられた）。またモノを扱うという点で操作性の高いレベルの活動（積み木の積み上げのような複数のモノを組み合わせ調整しながら扱うような操作）では、発達初期から一側化（一方の手への極端な偏り）がみられ、その後大きな優位性の変動はない。他方、操作性の低いレベルの活動（リーチングやボール拾いなど）では、一側化の程度は低く、左右の手による明確な差異がみられず、左右の手の機能的優位性も変動しやすい。即ち言語発達（例えば初語）、運動発達（例えば独立歩行開始）、環境からの要因（例えば右利きへの指導）などによって機能的優位性が影響を受け変動していた。

さらに日齢369日に、同日でありながら操作性の高い活動であるほど、左右の手の使用頻度や器用さにおける差異が大きくなるということが観察された。日齢369日の同日の手の活動を分析したところ、ボールに手を伸ばし把握するには器用さと使用頻度において左右差はみられないが（左手使用4割、右手使用6割）、ボールを投げるには、右手がより器用で使用頻度も右手が優位（左手2割、右手8割）であり、左手で拾ったボールを右手に持ちかえ投げるということも観察された。そしてより高度な技能を要し操作性が高いと考えられる身長以上の高さの積み木重ねに関しては、右手では器用に課題を達成できるが左手では困難で、右手のみを使用して積み木を重ねていくという観察結果が得られた。すなわち、同じ日でありながら、手の活動内容の違い、操作性の高さの違いにより左右非対称性が異なることが示された。

橘ら^[42]の最も早期の集団健診となる4カ月児健診受診児を対象とした横断的研究や、橘ら^[43]の72名の胎児期から乳児期を対象とした手指活動に関する研究においても、（リーチングが観察されない時期であっても、またリーチングが観察されてもリーチングに優位な手とは関係なく）発達初期より継時性・巧緻性を要する活動では右手優位、支えや空間性に関わる活動では左手優位という機能的左右非対称性がみられた。

Ⅲ 機能的左右非対称性の発達と操作性の高さ

筆者らが行った手の活動に関する発達の研究結果の要点をまとめると次のようになる。

- （1）操作活動の基礎となるような手の活動では、生後まもない時期より機能的左右非対称性がみられた（継時性・巧緻性を要する活動は右手優位、空間性を要する活動では左手優位で、各半球の特徴がみられた）。またモノを扱うという点で操作性の高いレベルの活動（積み木の積み上げのような複数のモノを組み合わせ調整しながら扱うような操作）では、発達初期から一側化（一方の手への極端な偏り）がみられ、その後大きな優位性の変動はない。他方、操作性の低いレベルの活動（リーチングやボール拾いなど）では、一側化の程度は低く、左右の手による明確な差異がみられず、左右の手の機能的優位性も変動しやすい。即ち言語発達（例えば初語）、運動発達（例えば独立歩行開始）、環境からの要因（例えば右利きへの指

導)などによって機能的優位性が影響を受け変動していた。

(2) 日齢369日に、同日でありながら操作性の高い活動であるほど、左右の手の使用頻度や器用さにおける差異が大きくなるということが観察された。

(3) 操作性の高いほど左右差が顕著になることが、大学生を対象とした操作活動に関する実験においても乳児期の研究結果と同様の結果が得られた^[44]。

(4) ヒト以外の霊長類の研究でも、巧緻性を要する操作性の高い活動で左右差が顕著で、左右の手の機能分化がみられ、餌へのリーチングのような操作性の低い活動では、左右差がみられないことが示されている。

以上のことから、操作性の低い活動では左右の手に差がみられないことから、両半球が関わっていることが考えられ、複数のモノを組み合わせ調整しながら扱うような操作性の高い活動では左右差が顕著であることから、限定された脳領域での賦活が示唆される。

前述の筆者らの研究でも継時的反復的活動が生後まもない時期より右手優位で一貫して観察されたが、すでに妊娠15週目の指吸い行動(サッキング)で左右非対称性がみられ、将来の利き手が予測可能であることをHepperら^[45]が報告している。この研究チームでは、胎児1000例を妊娠期間によりグループ分けし、妊娠15週目頃、27週目頃、36週目頃の各々の段階において超音波スキャンによる観察を行い、サッキングが観察された対象児の約90%が右指のサッキングをしていることを認めている。その対象児のうち75名を追跡調査し、10-12歳で利き手を調査したところ、胎児期に右指をサッキングしていた対象児60名全員が右利き、胎児期に左指をサッキングしていた対象児15名は、10名が左利きで残り5名が右利きとなったという結果を得た。加えて、サッキングが観察される以前の妊娠10週目で胎児に腕を振る動作がみられ、大部分の胎児が右腕優位であり、この右腕優位は胎児が胎内で動きにくい状態になる時期まで持続したことを報告している。この研究結果は脳が手足の動きを制御する以前に腕を振るという継時的な反復動作が現れることを示している。

筆者らの研究では、操作の基礎的な活動(半球に特徴的な機能である継時性・巧緻性、空間性を要する活動)は発達初期から機能的非対称性がみられたが、操作活動の基礎的な要因は遺伝子レベルで組み込まれているものかもしれない。多賀^[30]の述べるように、基本的には脳の機能的活動の発達は、どんな刺激に対しても反応する状態から、特定の刺激にのみ反応するように変化していく、発達にともなって一般的な応答から特殊な応答へと分化するものと考えられる。操作性の低い活動は手の左右差がみられず、どんな刺激にも反応する脳の広い領域が関係するが、操作性の高い活動は顕著な左右差がみられ、特定の刺激にのみ応答する限定された領域が関係するのではないと思われる。

このことは脳機能イメージング研究の結果と照らし合わせると興味深い。川島^[2]は不思議なデータとして、単純計算(例えば、一桁の連続足し算)では左右の前頭前野をはじめ脳の広範囲を活性化させるのに対し、手続きが複雑な計算(例えば、 $54 \div (0.51 - 0.19)$)を暗算で解くべく、じっくりと考えているときには、左半球のごく一部しか活性化しないことをあげている。難しい

ことを熟考しているときは、脳は休んでいるようにも見え、究極の集中した状態であるとも言えるかもしれないと述べている。さらに、簡単な日本語の文章の音読でも多くの脳の領域が活性化されるが、左半球だけでなく右半球でも広範囲に活性化されておりこれまでの常識では理解できないとしている。そして、この音読の脳活動に比較し、大学の教員が頭の中で論理を組み立てそれを言葉で説明しているときの複雑な脳活動で活性化されているのは限定された領域となり、左半球優位であった。このような結果は、単純計算や音読のような基本となる活動では左右の半球ともに広範囲に活性化されるのに対し、高度な脳の活動では、その活動に対し個体にとって優位な半球の限られた領域が主に活性化されるのではないかと考えられる。手指の操作活動においても操作性の高さのレベルで同様のことがいえるのではないかとと思われる。

むすびにかえて

坂野^[46] はこころの健康にとって脳バランスが重要であると述べているが、左右の手の能動的創造的な操作活動が、脳を適切に活性化する手段となればと考える。脳を広範囲に活性化させる操作活動や限定された脳領域を効果的に活性化する操作活動などが、道具や玩具を通して適切に行われるようになれば、脳の発達や脳機能の回復などに役立てられるのではないかとと思われる。

引用文献

- [1] 友永雅巳・田中正之・松沢哲郎（編） 2003 チンパンジーの認知と行動の発達 京都大学学術出版会
- [2] 川島隆太 2004 天才の創りかた 講談社インターナショナル
- [3] 杉下守弘 1990 右脳と左脳の対話 青土社
- [4] Sperry, R. W. 1966 Brain bisection and consciousness. In J. C. Eccles (Ed.), *Brain and conscious experience*. New York: Springer-Verlag. Pp. 298-313.
- [5] Lenneberg, E. H. 1967 *Biological foundations of language*. New York: Wiley.
- [6] Basser, L. S. 1962 Hemiplegia of early onset and the faculty of speech with special reference to the effects of hemispherectomy. *Brain*, **85**, 427-460.
- [7] Satz, P., & Bullard-Bates, C. 1981 Acquired aphasia in children. In M.T. Sarno (Ed.), *Acquired aphasia*. New York: Academic Press. Pp. 399-426.
- [8] Woods, B. T., & Teuber, H. L. 1978 Chaging patterns of childhood aphasia. *Annals of Neurology*, **3**, 273-280.
- [9] 杉下守弘 1991 右半球の神経心理学 朝倉書店
- [10] Kinsbourne, M., & Hiscock, M. 1977 Does cerebral dominance develop ? In S. J. Segalowitz & A. Gruber (Eds.), *Language development and neurological theory*. New York: Academic Press. Pp. 171-191.
- [11] Kinsbourne, M., & Hiscock, M. 1983 The normal and deviant development of functional lateralization of the brain. In P. H. Mussen (Ed.), *Handbook of child psychology*. Vol. 2. New York: Wiley. Pp. 157-280.
- [12] Hiscock, M., & Kinsbourne, M. 1980 Asymmetries of selective listening and attention switching in children. *Developmental Psychology*, **16**, 70-82.

- [13] Hiscock, M., & Kinsbourne, M. 1978 Ontogeny of cerebral dominance: Evidence from time-sharing asymmetry in children. *Developmental Psychology*, **14**, 321-329.
- [14] 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.
- [15] Vargha-Khadem, F., & Corballis, M. C. 1979 Cerebral asymmetry in infants. *Brain and Language*, **8**, 1-9.
- [16] Geschwind, N., & Levitsky, W. 1968 Human brain: Left-right asymmetries in temporal speech region. *Science*, **161**, 186-187.
- [17] Chi, J.G., Dooling, E. C., & Gilles, F. H. 1977 Left-right asymmetries of the temporal speech areas of the human fetus. *Archives of Neurology*, **34**, 346-348.
- [18] Gardiner, M. F., & Walter, D. O. 1977 Evidence of hemispheric specialization from infant EEG. In S. Harnad, R. W. Doty, L. Goldstein, J. Jaynes & G. Krauthamer (Eds.), *Lateralization in the nervous system*. New York: Academic Press. Pp.481-500.
- [19] Molfese, D. L. 1977 Infant cerebral asymmetry. In S. J. Segalowitz & F. A. Gruber (Eds.), *Language development and neurological theory*. New York: Academic Press, Pp. 21-35.
- [20] 南 憲治 1997 言語と脳の仕組み 坂野 登(編) 脳と教育——心理学的アプローチ——朝倉書店 Pp. 21-29.
- [21] Sininger, Y. S., & Cone-Wesson, B. 2004 Asymmetric cochlear processing Mimics hemispheric specialization. *Science*, **305**, 1581.
- [22] Levy, J. 1980 Cerebral asymmetry and the psychology of man. In M. C. Wittrock (Ed.), *The brain and psychology*. New York: Academic Press. Pp. 245-321.
- [23] 南 憲治 1986 認知・言語機能の発達と大脳両半球機能の分化 坂野 登(編) 神経心理学新読書社 Pp. 57-80.
- [24] Best, C. T. 1985 Introduction. In C. T. Best (Ed.), *Hemispheric. function and collaboration in the child*. New York: Academic Press. Pp.1-7.
- [25] Trevarthen, C. 1983 Development of the cerebral mechanisms for language. In U. Kirk (Ed.), *Neuropsychology of language, reading, and spelling*. New York: Academic Press. Pp.45-80.
- [26] Jackson, J. H. 1869 Abstract of the Goulstonian lectures on certain points in the study and classification of diseases of the nervous systems. *Lancet*, **1**, 344. Reprinted in *Brain*, 1915, **38**, 72-74.
- [27] Luria, A. R. 1973 *The working brain: An introduction to neuropsychology*. Harmondsworth: Penguin.
- [28] 坂野 登 1985 脳を教育する——そのシステムとメカニズム——金子書房
- [29] Watanabe, H., Homae, F., & Taga, G. 2010 General to specific development of functional activation in the cerebral cortexes of 2- to 3-month-old infants. *Neuroimage*, **50**, 1536-1544.
- [30] 多賀敏太郎 2011 脳と行動の初期発達 発達心理学研究, **22**, 349-356.
- [31] Greenfield, P. M. 1991 Language, tools and brain: The ontogeny and phylogeny of hierarchically organized sequential behavior. *Behavioral and Brain Sciences*, **14**, 531-595.
- [32] 河添邦俊 1978 障害児の育つみちすじ ミネルヴァ書房
- [33] 西村 学・松野 豊 1978 手指運動の発達ならびにそれと言語発達との関連をめぐって 東北大学教育学部研究年報, **26**, 225-244.
- [34] 伊田行秀 1997 利き手の成立 坂野登(編) 脳と教育——心理学的アプローチ——朝倉書店 Pp. 118-128.

- [35] McDonnell, P. M. 1979 Patterns of eye hand coordination in the first year of life. *Canadian Journal of Psychology*, **33**, 253-267.
- [36] Gesell, A., & Ames, L. B. 1947 The development of handedness. *The Journal of Genetic Psychology*, **70**, 155-175.
- [37] Hopkins, W. D. 1991 Handedness and laterality in apes and monkeys. In A. Ehara, T. Kimura, O. Takenaka & M. Iwamoto (Eds.), *Primate today*. Amsterdam: Elsevier Science. Pp. 271-274.
- [38] Hopkins, W. D., & Russell, J. L. 2004 Further evidence of a right hand advantage in motor skill by chimpanzees (Pan troglodytes). *Neuropsychologia*, **42**, 990-996.
- [39] 松沢哲郎 1991 野生チンパンジーの石器使用 発達, **46**, 106-113.
- [40] Gannon, P. J., Holloway, R. L., Broadfield, D. C., & Braun, A. R. 1998 Asymmetry of chimpanzee planum temporale: Humanlike pattern of Wernicke's brain language area homolog. *Science*, **279**, 220-222.
- [41] 橘廣 2009 乳児の手の活動における機能的左右非対称性：出生から1歳までの縦断研究 発達心理学研究, **20**, 55-65.
- [42] 橘廣・池上貴美子 1992 乳児における手の操作と偏好性の発達 中部女子短期大学紀要, **22**, 201-207.
- [43] 橘廣・岩砂真一 2001 胎向, 生後3日以内の頭部の向きと, 乳児期の手の活動の関係 心理学研究, **72**, 177-185.
- [44] 橘廣 2011 手の活動における機能的左右非対称性と操作性の高さ 東邦学誌, **40**, 141-152.
- [45] Hepper, P. G., Wells, D. L., & Lynch, C. 2005 Prenatal thumb sucking is related to postnatal handedness. *Neuropsychologia*, **43**, 313-315.
- [46] 坂野登 2009 脳バランス力とこころの健康 青木書店

受理日 平成24年10月1日