

卷末資料

I. 独立行政法人国立特殊教育総合研究所に関する

倫理要項（平成16年10月5日）

II. 研究紀要第33巻

特集 脳科学と障害のある子どもの教育

○独立行政法人国立特殊教育総合研究所に関する倫理要項

平成16年10月 5日
制 定

1. 目的

この要項は、独立行政法人国立特殊教育総合研究所（以下「研究所」という。）が実施する人を対象とする研究において、倫理的及び科学的な観点から人間の尊厳と人権を尊重しつつ研究を適正に実施するために必要な事項を定めることを目的とする。

2. 用語の定義

この要項において用いる用語の定義は次のように定める。

- ① インフォームド・コンセントとは、研究対象者となることを求められた人が、研究者や研究責任者から事前に研究に関する十分な説明を受け、その研究の意義、目的、方法、予測される結果や不利益等を理解し、自由意思に基づいて与える、研究対象者となること及び資料の取扱いに関する同意をいう。
- ② 研究責任者とは、研究所において研究を遂行するとともに、その研究に係る業務を統括する者をいう。
- ③ 研究対象者とは、研究の対象となる人をいう。
- ④ 代諾者とは、研究対象者の法定代理人等研究対象者の意思及び利益を代弁できると考えられる者をいう。
- ⑤ 個人情報とは、個人に関する情報であつて、当該情報に含まれる氏名、生年月日その他の記述等により特定の個人を識別することができるもの（他の情報と容易に照合することができ、それにより特定の個人を識別することができることとなるものを含む。）をいう。
- ⑥ 個人データとは、個人情報のうち、研究によって得られた研究対象者のすべてのデータをいう。
- ⑦ 匿名化とは、個人情報の全部又は一部を取り除くこと、あるいは個人情報の全部又は一部を取り除き、代わりに研究対象者と関わりのない符号又は番号を付することにより、特定の個人を識別できないようにすることをいう。
 - ア. 連結可能匿名化
必要な場合に個人を識別できるように、研究対象者と新たに付された符号又は番号の対応表を残す方法による匿名化
 - イ. 連結不可能匿名化
個人を識別できないように、アの対応表を残さない方法による匿名化
- ⑧ 未成年者とは、満20歳未満の者であつて、婚姻をしたことがない人をいう。
- ⑨ 倫理審査委員会とは、研究の実施の適否その他研究に関し必要な事項について、研究対象者の個人の尊厳及び人権の尊重その他の倫理的観点及び科学的観点から調査審議するため、理事長の諮問機関として置かれた合議制の機関をいう。

3. 基本精神

研究の実施に当たっては、「ヒトを対象とする医学研究の倫理的原則」（世界医師会「ヘルシンキ宣言」1964年世界医師会総会採択）、「疫学研究に関する倫理指針」（平成14年文部科学省・厚生労働省告示第2号）及び「臨床研究に関する倫理指針」（平成15年厚生労働省告示第255号）等の指針（以下「指針等」という。）に示された倫理規範を踏まえ、次の事項を基本とする。

- ① 人間の尊厳及び人権を尊重すること。
- ② 科学的又は社会的利益よりも個人の人権の保障が優先されること。
- ③ 研究は人類の知的基盤、健康及び福祉に貢献する社会的に有益なものであること。
- ④ 研究対象者の選択においては、平等・公平であること。
- ⑤ 事前に十分な説明を行い、研究対象者から自由意思に基づく同意を受けること。
- ⑥ 個人情報の保護を徹底すること。
- ⑦ 倫理審査委員会による事前の審査により研究の適正性が確保されること。
- ⑧ 研究結果の公表を通じ研究の透明性を確保すること。

4. 適用範囲

この要項は、研究所が実施する人を対象とする研究に適用する。

5. 研究者の責務

すべての研究者は、研究の実施に当たり、研究は研究対象者及び代諾者による長期間にわたる協力と研究の意義等についての理解によって成り立つものであること、自ら同意を与えることを拒むことができない可能性のある障害のある人や未成年者を主な研究対象者としていることに常に留意し、かつ、これらの弱い立場にある研究対象者に特別な注意を払いつつ、次に掲げる責務を負うものとする。

- ① 研究対象者の個人の人権及び人権を尊重すること。
- ② 研究対象者の安全を十分に確保できると判断できない場合には、研究を実施しないこと。
- ③ 研究対象者に係る個人情報を適切に取扱い、その保護を行うこと。
- ④ 研究対象者及び代諾者に対して事前の十分な説明と自由意思による同意による研究参加を徹底すること。
- ⑤ この要項、指針等及び研究計画に従うこと。

6. 研究責任者の責務

研究責任者は、研究の実施に当たり、次に掲げる責務を負うものとする。

- ① 科学的合理性及び倫理的妥当性が認められない研究を実施してはならず、この点を踏まえた明確かつ具体的な研究計画を立案すること。
- ② 研究の実施に当たり、研究対象者を不合理又は不当な方法で選んではならないこと。

- ③ 研究の実施に当たり、10. の定めるところにより、事前に研究対象者又は代諾者からインフォームド・コンセントを文書により受けること。
- ④ 研究の実施に当たり、理事長に対し、研究計画書を提出し、当該研究の実施についての許可を求めること。これを変更しようとするときも同様とする。なお、研究計画書においては、研究の意義、目的、方法、期間等の研究内容に関する事項のほか、研究対象者を選ぶ際の方針、研究対象者又は代諾者に対する同意の確認等のインフォームド・コンセントの手続、研究対象者の健康状態に応じた取扱い、個人情報の取扱い、研究終了後の研究に関わる資料（以後、資料という）の取扱い等に関する事項を記載すること。
- ⑤ 研究者が研究計画に基づき当該研究を適切に実施するよう指揮・監督すること。
- ⑥ 研究対象者の安全確保に必要な体制を整備すること。
- ⑦ 個人情報の漏えい、混交、盗難、紛失等が起こらないよう、個人情報の保護に必要な体制を整備すること。
- ⑧ 研究の実施状況について1年に1回以上、定期的に文書により理事長及び倫理審査委員会に報告を行うこと。
- ⑨ 研究を終了又は中止した場合、遅滞なく文書により理事長及び倫理審査委員会に報告を行うこと。
- ⑩ 研究対象者に危険又は不利益が生じたときは、直ちに理事長を通じ倫理審査委員会に報告すること。
- ⑪ 研究対象者又は代諾者の求めに応じ、研究の進捗状況及びその結果を分かりやすく説明すること。ただし、個人情報及び知的財産権等の保護に必要な部分についてはこの限りではない。
- ⑫ 個人情報及び知的財産権等の保護のために必要な措置を講じた上で、研究の成果を公表すること。なお、成果の公表に当たっては、当該公表がもたらすと想定される社会的影響を配慮し、適切に行うこと。
- ⑬ 研究対象者及び代諾者から苦情があったときは、適切に、かつ誠意をもって対応すること。
- ⑭ 前各号に掲げるもののほか、研究を適切に行うために必要な措置を講ずること。
- ⑮ 研究対象者の健康状態に応じて必要と認められる場合には、適切な医療機関等への紹介を行うものとする。その際、研究対象者又は代諾者から受理したインフォームド・コンセントの内容に配慮しなければならない。

7. 理事長の責務

理事長は次に掲げる責務を負うものとする。

- 1 理事長は、研究が倫理的、法的又は社会的問題を引き起こすことがないように研究責任者や研究者に対し、研究対象者の尊厳及び人権を尊重し、個人情報の保護並びに安全の確保のために必要な措置を講ずるよう周知徹底しなければならない。
- 2 理事長は、研究の科学的合理性と倫理的妥当性に関し必要な事項の審議等を行わせるため、8. に定める倫理審査委員会を設置しなければならない。

- 3 理事長は、研究責任者から提出された研究計画書に基づく研究の実施に関し、倫理審査委員会の意見を尊重し、研究計画の許可又は不許可その他必要な事項を決定しなければならない。この場合において、理事長は、倫理審査委員会が不承認とした研究については、その実施を許可してはならない。研究計画書を変更する場合も同様とする。
- 4 理事長は、3の規定に基づき許可した研究について、必要と認める場合は、外部の有識者に実地調査を依頼し、文書により報告を受けるものとする。また、報告書を受理後、速やかに当該報告書の写しを倫理審査委員会へ送付するものとする。
- 5 理事長は、3の規定に基づき許可した研究について、その実施状況に基づき、必要と認める場合は、当該研究の変更又は中止を命ずることができる。
- 6 理事長は、3の規定に基づき許可し、現に実施している研究について、倫理審査委員会より変更若しくは中止の意見が出された場合は、当該研究の変更又は中止を命じなければならない。
- 7 理事長は、研究所との契約又は協定等に基づき、契約又は協定等の相手方が管理して行う一部又は全部の研究について、倫理審査委員会より意見が出された場合は、当該意見を契約又は協定等の相手方に送付し、当該意見についての回答を求めなければならない。また、回答を受理後、速やかに当該回答の写しを倫理審査委員会へ送付しなければならない。
- 8 理事長は、研究計画及び研究成果に係る内容並びに倫理審査委員会が審議決定した内容を、個人情報及び知的財産権等の保護に十分な配慮をした上で、ホームページ等により一般に公開し、研究に係る社会認識の深化を図るとともに、一般の方々の率直な意見を十分に反映させるよう努力しなければならない。

8. 倫理審査委員会

- 1 研究所に倫理審査委員会を置く。
- 2 倫理審査委員会は、各部長、教育相談センター長及び理事長の指名する者若干名により構成する。
- 3 倫理審査委員会に委員長を置き、委員の中から理事長が指名する。
- 4 委員長は、倫理審査委員会を招集し、議長となる。
- 5 委員長に事故あるときは、あらかじめ理事長が指名した委員がその職務を代行する。
- 6 理事長は、倫理審査委員会を研究の専門性及び特殊性に応じて複数の委員会とすることができる。
- 7 倫理審査委員会は、理事長の諮問に応じ、研究所における研究計画、及び研究計画の変更がこの要項に適合しているか否か、及びいくつかの研究間で調整が必要な事項について検討し、理事長に対し文書により意見を述べるものとする。
- 8 倫理審査委員会は、審査を行った研究に関して、その実施状況等について調査し、その結果について理事長に対し文書により意見を述べるることができる。
- 9 倫理審査委員会の委員は、職務上知り得た情報を正当な理由なく漏らしてはならない。

- 10 審査対象となる研究の研究責任者となる委員は、当該研究の審査に関与してはならない。ただし、倫理審査委員会の求めに応じて、その会議に出席し、説明することを妨げない。
- 11 委員の氏名、委員の構成及び議事要旨は公開されなければならない。ただし、議事要旨のうち研究対象者の人権、研究の独創性又は知的財産権の保護のため非公開とすることが必要な部分については、この限りでない。
- 12 倫理審査委員会の庶務は、総務課が行う。

9. 研究経過、結果の報告

- 1 研究責任者は、研究計画書の定めるところにより、少なくとも1年に1回以上、理事長を通じ研究実施状況報告書を倫理審査委員会に提出しなければならない。研究実施状況報告書の提出時期については、研究計画書に記載して倫理審査委員会が承認する。
- 2 研究責任者は、研究対象者に危険又は不利益が生じたときは、直ちに理事長を通じ倫理審査委員会に報告しなければならない。
- 3 倫理審査委員会は、研究責任者から1または2の規定により研究実施状況報告書の提出又は報告を受けたときは、理事長に対し、当該研究計画の変更、中止その他研究に関し必要な意見を述べることができる。
- 4 理事長は、倫理審査委員会の意見を尊重し、当該研究計画の変更、中止その他研究に関し必要な事項を決めなければならない。
- 5 研究責任者は、理事長が4の規定により当該研究計画の変更、中止その他研究に関し必要な事項を決定したときは、その決定に従わなければならない。
- 6 研究責任者は、研究の終了後遅滞なく、理事長を通じ倫理審査委員会に研究結果の概要を報告しなければならない。

10. インフォームド・コンセント

- 1 研究責任者又は研究者は、研究を実施する場合、あらかじめ研究対象者に対して、その研究の目的、方法、個人情報の管理方法、被る可能性のある不利益等について必要な事項を記載した文書（以下「説明文書」という。）を交付し、わかりやすい言葉で十分な説明を行った上で、研究対象者から自由意思に基づく文書による同意を受けなければならない。
- 2 研究の方法及び内容、研究対象者の事情その他の理由により、1の規定によることができない場合には、倫理審査委員会の承認を得て、理事長の許可を受けたときに限り、必要な範囲で、研究対象者からインフォームド・コンセントを受ける手続を簡略化すること若しくは免除すること又は他の適切な方法を選択することができる。
- 3 倫理審査委員会は、インフォームド・コンセント等の方法について、簡略化若しくは免除を行い、又は原則と異なる方法によることを認めるときは、当該研究が次のすべての要件を満たすよう留意すること。
 - ① 当該方法によることが、研究対象者の不利益とならないこと。

- ② 当該方法によらなければ、實際上、当該研究を実施できず、又は当該研究の価値を著しく損ねること。
 - ③ 常に、次のいずれかの措置が講じられること。
 - ア. 研究対象者が含まれる集団に対し、資料の収集及び利用の内容を、その方法も含めて広報すること。
 - イ. できるだけ早い時期に、研究対象者に事後的説明（集団に対するものも可）を与えること。
 - ウ. 長期間にわたって継続的に資料が収集又は利用される場合には、社会に、その実情を、資料の収集又は利用の方法も含めて広報し、社会へ周知される努力を払うこと。
 - ④ 当該研究が社会的に重要性が高いと認められるものであること。
- 4 研究対象者からインフォームド・コンセントを受けることが困難な次に掲げる場合には、当該研究対象者について研究を実施することが必要不可欠であることについて、倫理審査委員会の承認を得て、理事長の許可を受けたときに限り、代諾者からインフォームド・コンセントを受けることができる。
- ① 研究対象者が何らかの障害により有効なインフォームド・コンセントを与えることができないと判断される場合。
 - ② 研究対象者が未成年者の場合。ただし、この場合においても、研究責任者は、研究対象者本人にわかりやすい言葉で十分な説明を行い、理解や了解が得られるよう努めなければならない。また、研究対象者が16歳以上の場合（①に該当する場合を除く。）には、代諾者とともに、研究対象者本人からもインフォームド・コンセントを受けなければならない。研究対象者が研究実施中に16歳になった場合にも同様とする。
 - ③ 研究対象者が死者であって、その生前における明示的な意思に反していない場合。
- 5 代諾者の選定については、以下に定める人の中から、研究対象者の家族構成や置かれている状況等を勘案して、研究対象者の推測される意思や利益を代弁できると考えられる人を選定することを基本とする。なお、研究責任者は、研究計画書に代諾者を選定する場合の考え方を記載しなければならない。
- ① 親権者、後見人や保佐人が定まっているときはその人。
 - ② 研究対象者本人の配偶者、父母、成人の兄弟姉妹若しくは孫、祖父母、同居の親族又はそれらの近親者に準ずると考えられる人。
- 6 研究責任者又は研究者は、個人情報を含む研究に関わる資料を研究機関、医療機関等から入手し、研究を実施する場合においては、あらかじめ、それらに関するインフォームド・コンセントの内容を文書等によって確認しなければならない。
- 7 説明文書に記載すべき事項は以下のとおりとする。
- ① 研究への参加は任意であり、また参加に同意しない場合も、そのことにより不利益な対応を受けないこと。
 - ② 研究対象者又は代諾者は、自らが与えたインフォームド・コンセントについて、いつでも不利益を受けることなく取消・撤回することができるものとし、また、研究対象者又は代諾者により同意が取消・撤回された場合には、取消・撤回に係る研究結果が既に連結不可能匿名化さ

れている場合を除き、廃棄されること。また、廃棄に当たっては、研究対象者に係る個人情報を匿名化しておくこと。

- ③ 研究対象者として選ばれた理由。
- ④ 研究の意義・目的、研究方法（対象とする研究内容、分析方法等を記載し、将来において追加、変更が予想される場合はその旨も記載。）及び研究期間。
- ⑤ 研究責任者の氏名及び職名。
- ⑥ 予測される研究結果、研究に参加することにより期待される利益及び起こりうる危険並びに必然的に伴う不快な状態並びに研究終了後の対応。
- ⑦ 研究対象者又は代諾者の希望により、他の研究対象者等の個人情報の保護や知的財産権等の保護に支障が生じない範囲内で、研究計画及び研究方法についての資料を入手又は閲覧することができること。
- ⑧ 研究対象者の個人情報についての連結可能匿名化又は連結不可能匿名化の別及び匿名化の具体的方法。匿名化できない場合にあっては、その旨及び理由。
- ⑨ 研究対象者の個人情報を他の機関へ提供する可能性の有無及び提供する場合は、提供先の機関名、提供する個人情報が匿名化されていることの有無、提供先の機関における個人情報の取扱い、提供先の機関における倫理審査委員会において利用目的が妥当であること等についての審査がなされていること。
- ⑩ 研究の一部又は全部を委託する場合及び共同研究を行う場合にあっては、当該委託先又は共同研究の相手方の名称及び当該委託先又は共同研究の相手方における匿名化の方法等の個人情報の取扱い。
- ⑪ 個人情報の開示に関する事項。
- ⑫ 研究対象者を特定できないようにした上で、原則として研究の成果が公表されること。
- ⑬ 研究の成果により知的財産権等が生み出される可能性があること及び知的財産権等が生み出された場合の帰属先。
- ⑭ 研究終了後の個人情報の保存、使用又は廃棄の方法。
- ⑮ 研究に係る資金源、起こりうる利害の衝突及び研究者等の関連組織との関わり。
- ⑯ 研究に伴う被害に対する補償の有無（補償がある場合は、補償の内容を含む。）。
- ⑰ 研究協力に係る実費（交通費等）支払いの有無（実費が支払われる場合は、その内容も含む。）。
- ⑱ 問い合わせ、苦情等の窓口の連絡先等に関する情報。
- ⑲ その他、研究対象者又は代諾者からの要望に応じて、説明が必要と判断されること。

1 1. 個人情報の保護

- 1 研究責任者及び研究者は、原則として研究に関する資料を匿名化して使用しなければならない。ただし、研究対象者は代諾者が匿名化を行わないことに同意している場合は、この限りでない。
- 2 研究責任者は、研究に関する資料を保管する場合には、研究計画書にその方法を記載すると

ともに、個人情報の漏えい、混交、盗難、紛失等が起こらないよう適切に行わなければならない。

- 3 研究の結果を公表するときは、個々の研究対象者を特定できないようにしなければならない。
この実施に当たっては、「独立行政法人国立特殊教育総合研究所著作物の電子化に関する要項」を踏まえる。

1 2. 研究者・倫理審査委員の研修

理事長は、研究者や研究責任者が研究を実施する前に、この要項のほか、研究における倫理面に関する国内外の関連法令、指針及びその他必要と認める事項について教育を受けられるように研修を計画しなければならない。また、倫理審査委員会を適切に運営できるよう倫理審査委員に対しても研修機会を設けなければならない。

附 則

- 1 この要項は、平成16年10月5日から施行する。
- 2 4.（適用範囲）の規定に関わらず、この要項は、当分の間、「脳科学と教育」に係る研究に適用する。
- 3 この要項の施行の際、既に開始している研究については、この要項は適用しない。

特集 脳科学と障害のある子どもの教育

特集に当たって

現在、日本の脳科学研究は、「脳を知る」、「脳を守る」、「脳を創る」、「脳を育む」という4つのキーワードで括られる研究分野で進められている。本研究所が目指す研究は、「脳を育む」研究である。研究成果を教育に応用することで、人が本来有する能力の健やかな成長・発達を支援し、障害のある子どもにおいては、その障害による困難を改善・克服し、よりよい生活の質を目指すことを目的としている。このような著しい進展をみせる脳科学の視点からの研究は、特別支援教育においても今後の重要な課題であり、ナショナルセンターとして独立行政法人国立特殊教育総合研究所が取り組む意義がある。現在、当面3か年を目途に、本研究所における研究推進体制の基盤整備を現在行っているところである。

そこで、研究2年目終了時点の中間まとめとして、研究分担者等で、特集「脳科学と障害のある子どもの教育」を企画した。医療、心理、教育の専門家に、現段階での「脳科学と障害のある子どもの教育」研究の現状と教育としての可能性をまとめた。脳科学の特別支援教育への応用の可能性を少しでも実感して頂ければ幸いである。

I. 「脳科学と教育」研究の必要性と方向性について

－障害児教育的視点から－

はじめに

1. 教育の現代的課題
2. 「脳科学と教育」研究のあり方について
3. 「脳科学と教育」研究の世界の動向
4. 本研究所における重度重複障害児研究の展望
－脳科学の応用的見地から－
5. 研究を進めるにあたっての4つの視点

II. 障害児教育と関連した脳科学的知見について

－脳の可塑性と障害の機能補填－

はじめに

1. 脳の発達と可塑性
2. 視覚障害
3. 聴覚障害

III. 障害児教育と関連した脳科学的研究の方法論

－ヒトの脳の形態と機能の計測及び心理学的検査－

はじめに

1. ヒトの脳の形態と機能の計測
2. NIRSによる脳機能計測
3. 心理学的検査

二特集二

I. 「脳科学と教育」研究の必要性と方向性について

－障害児教育的視点から－

西牧謙吾・當島茂登・石川政孝

笹本 健*

(教育支援研究部) (*企画部)

1. はじめに

非侵襲的な脳機能計測技術を利用し、人が活動している時の知覚、運動、認知等の脳機能を安全に経時的に計測できるようになり、障害のある子どもの発達や障害そのものを脳レベルで理解できる時代になった。また、障害児教育分野の今までの教育実践の評価の正当性を脳レベルで確認できるだけでなく、脳の本質を知ること、障害児教育に応用されている様々な療法や心理検査の意味を再確認することが出来、新たな指導法の開発にもつながる可能もあろう。

文部科学省は、平成14年に『脳科学と教育』研究に関する検討会』を組織して、平成15年7月に『脳科学と教育』研究の推進方策について』と題する報告書(以下報告書)を公表し、教育の場における具体的な課題のうち、「脳科学と教育」研究による取り組みが期待されている課題を、年齢別に次のように分類している。乳幼児期(0歳-5歳)には、特異行動、被虐待児、発達障害(知的障害、自閉性障害、レット障害、脳性麻痺など)、感覚障害。学童期(6歳-15歳)には、不登校、無気力、いじめ、反社会的行動、非行・暴力、学習意欲の低下、極端な自己中心行動、体力・運動能力の低下、青少年の性に関する問題、発達障害(学習障害(LD)、注意欠陥/多動性障害(ADHD)、自閉性障害、脳性麻痺など)、精神障害(行為障害、摂食障害など)。青年期(およそ16歳-29歳)には、反社会的行動、ひ

きこもり、慢性疲労症候群、若年性健忘症、若年性認知症などである。これらは、最近その出現率が増加し、発達上の課題として指摘されているものである。

また、平成15年3月に公表された「今後の特別支援教育の在り方について(最終報告)」においても、その第5章で「言語障害、LD、ADHD等のように脳の発達と密接な関連があるものもあり、障害のある児童生徒についても脳科学の成果を踏まえて適切な教育的対応を図ることが一層効果的と考えられるものがあるため、現在行われている検討の結果も踏まえ、教育サイドからの課題の提示を踏まえた「脳科学と教育」研究が進展することが望まれる。その中で国立特殊教育総合研究所等教育に関わる機関や研究者も積極的な対応を図ることが期待される。」と述べられており、それを受けて当研究所でも平成16年度より3か年の課題別研究「脳科学と障害のある子どもの教育に関する研究」ができる体制整備を開始したところである。

本稿では、「脳科学と教育」研究が構想された背景として教育の抱える現代的課題と「脳科学と教育」研究の国内外の動向を整理し、今後の当研究所における「脳科学と障害のある子どもの教育」研究の方向性を考える基礎としたい。

2. 教育の現代的課題

「脳科学と教育」研究が構想された背景として、教育の立場から課題を整理しておく。

(1) 世界の教育の潮流

経済協力開発機構（OECD）による教育指標では、高等教育への進学率が世界的な高まりを見せる中³⁾、学校に適應しない若者が問題化した。学校にうまく適應し、高等教育の恩恵を受けた者は、よりよい職業に就き、多くの収入を得ることができる反面、現在フリーターやニートと呼ばれる若者は、将来において経済的にも恵まれない社会階層を形成していく可能性が高い^{4) 7)}。

また、先進国では、平均寿命が伸び、長寿社会が出現する過程で、従来の図書館や公民館活動を含む社会教育という概念を拡げて、生涯学習という考えが生まれた。生涯学習社会では、学習活動に参加する人の数はますます増加し多様化し、提供する学習プログラムが現実の要求に答えられるのか、教育の費用対効果は上がっているのかという現代的問題が提起された。これら教育の課題を解決し、教育の恩恵をより多くの人々が受けられるように、先進諸国で教育構造改革が始まった。国により進め方に差はあるが、教育の質の保障（フィンランドの総合制教育など）、教育内容についての説明責任と教育の結果に対する評価システム（評価だけに終わるのではなく、評価に基づき学校を改善する手順が示されている）という点では共通しており、少し遅れて始まった日本の教育改革も同じ路線の延長上にある³⁾。

(2) 日本における教育改革の動向

教育の目的は、教育基本法第1条で「教育は、人格の完成をめざし、平和的な国家及び社会の形成者として、真理と正義を愛し、個人の価値をたつとび、勤労と責任を重んじ、自主的精神に充ちた心身ともに健康な国民の育成を期して行われなければならない。」とされている。教育により次世代の大人を作る狭義の教育としての学校教育は、教育基本法、学校教育法、学校教育法施行令、同施行規則という法体系を持ち、学習指導要領に基づく教育課程の編成を通じて学校経営の中で教育成果を実現しなければならない。

義務教育改革の方向性が、平成17年10月26日に中央教育審議会から出された「新しい時代の義務教育を創造する（答申）」に示された。その中で、教育

を巡る課題を、「学ぶ意欲や生活習慣の未確立、後を絶たない問題行動など義務教育をめぐる状況には深刻なものがある。学力低下への懸念、塾通い等、特に公立学校に対する不満は少なくない。それらは時代や社会の変化に起因するものもあるが、学校教育、教育行政が十分対応できなかったことも否めない。」と分析し、これからの新しい義務教育の姿として、「子どもたちがよく学びよく遊び、心身ともに健やかに育つことを目指し、高い資質能力を備えた教師が自信を持って指導に当たり、そして、保護者や地域も加わって、学校が生き生きと活気ある活動を展開する、そのような姿の学校を実現することが改革の目標である」と考える。学校の教育力（学校力）を強化し、教師の力量（教師力）を強化し、それを通じて子どもたちの人間力の豊かな育成を図ることが国家的改革の目標である」と結んでいる。実際には、教育政策論として、学習指導要領の改訂、教員養成・免許制度改革、学校・教育委員会の改革がその大きな柱となる。

しかし、平成8年の中央教育審議会答申以来、社会で「生きる力」を育むことが一貫して取り扱われているが、その後10年経ってもその成果は余りあがっているとは言い難いことは、上記の記述からもうかがわれる。地方分権、財政改革、公務員改革等で更に悪化が予想される教育条件下で、今までと同じ行政手法で学校や教師の意識改革ができるのだろうか。「脳科学と教育」研究により、教育の質的变化（効果、効率、満足度など）を促すフィードバックができるかどうかが問われている⁵⁾。

(3) 特別支援教育と生涯学習

障害のある子どもの教育に関して我が国で進められている特別支援教育は、ノーマライゼーション社会への移行を、教育として実現するための過程であると考えられる。人の生涯における様々な段階において個人のもつ能力を開発し、職業生活、文化生活などの向上を支援する生涯学習社会の実現は、障害のある子どもを含め、すべての国民が学習により「生きる力」をつけ「自立」するノーマライゼーション社会の実現と矛盾しない。

文部科学省は、「生きる力」とは、変化の激しい

これからの社会を生きる子どもたちに身に付けさせたい「確かな学力」、「豊かな人間性」、「健康と体力」の3つの要素からなる力と説明している。これらは、今までから、知・徳・体という言葉で校訓等にもよく使われており、長い時代の風雪に耐えて、その必要性、有効性を疑う者はいない。「確かな学力」とは、知識や技能はもちろんのこと、これに加えて、学ぶ意欲や自分で課題を見付け、自ら学び、主体的に判断し、行動し、よりよく問題解決する資質や能力等まで含めたものであるとされる。

このように、子どもに関する今日的な教育的課題は、「心」の成長の問題に帰するものが多い。学校現場の抱える課題である、学力低下、落ちこぼれ、発達障害、児童虐待、いじめ、学級崩壊などでも、問題を抱える子ども自身や問題に巻き込まれた子どもの心の発達の保障、2次障害予防が重要な視点になろう。さらに、少子化は子育て環境を激変させ、すべての子どもの心の成長をいかに保障するかは、次世代育成支援対策の視点から最重要課題ともいえる。若者のフリーターやニートが問題視され、就労意欲の向上が政策上の課題としても取り上げられているが、これは肉体的には大人でも心が未熟な青年の「育て直し」というリハビリテーションの視点が求められる。これらは、すべて報告書、教育の場における具体的な課題のうち、「脳科学と教育」研究による取組みが期待されている課題に入っている。

(4) 教育効果の評価への貢献

1980年頃から先進諸国は、財政破綻の危機感から、大きな政府から小さな政府へ行財政構造改革を始めた。その中で、教育にも経済的及び科学的な評価の視点が持ち込まれ、その実証的な根拠を示す方法が必要になった。教育には、市場競争原理がなじまない側面があるので、教育の市場化は、必ずしも費用対効果を増加させるとは限らない。そこで、今の義務教育費をつぎ込んで、それに見合う効用、満足度が得られるかが問われる³⁾。

マクロレベルでは、教育経済学の発展が望まれるが、最重要課題は、教育方法の技術革新である。そこで、現在行われている教育方法の科学的根拠を示す必要から、脳科学への期待が高まったといえる。

次に子どもの教育効果の評価法の開発が重要である。その流れに、義務教育改革の中で示された学力測定がある。障害のある子どもの教育に関して、学力測定以外の客観的評価法の開発は急務である。

従来から教育は、心理学、認知科学、教育学、哲学、社会学などを基盤にした文科系の実践分野と考えられてきた。教師は、自らの実践知に基づき指導法の工夫をしてきた。学習は、本人のやる気や反復練習の賜と捉えられてきた。そこで、教育を、教える側の機能としての指導と教えられる側の機能としての学習に分けて考えれば、指導とは、神経回路網構築に必要な外部刺激を制御・補完する過程と捉え、学習とは、環境からの外部刺激によって神経回路網が構築される過程と捉えれば、脳科学として教育を科学的に研究することが可能となり、「脳科学と教育」研究が構想されたと思われる。

3. 「脳科学と教育」研究のあり方について

学校をはじめとする教育の現場では、今日、社会経済的な環境の変化の中で様々な影響を受けている子ども達が学んでいる。従来の教育法では対応しきれない子ども達の出現を前にして、それに対応するような内容、方法による教育を行うことの必要性が高まっている。

脳科学研究の新しい戦略目標として、「脳を育む」というテーマが、「ライフサイエンスに関する研究開発の推進方策について」(文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会、平成14年6月)で提案された。この言葉は、「脳科学と教育」研究で何をなすべきかを明確に捉えている。子どもの脳を健やかに育てるためにはどうしたらよいのか、小中高などの学校教育や成人教育において、各教科を学ぶのに最も効果的な時期はいつなのか、またどのような内容がよいのかなど、脳科学の成果を子どもの発達や教育に、また成人の学習や再教育に生かしていくことなどを目指している。

報告書でまとめられた「脳科学と教育」研究課題への具体的な取り組みスケジュールとして、教育におけるニーズと「脳科学と教育」研究の目標・研究課題の整理を表1に示す。そして、研究課題と取り

表1 教育におけるニーズと「脳科学と教育」研究の目標・研究課題の整理

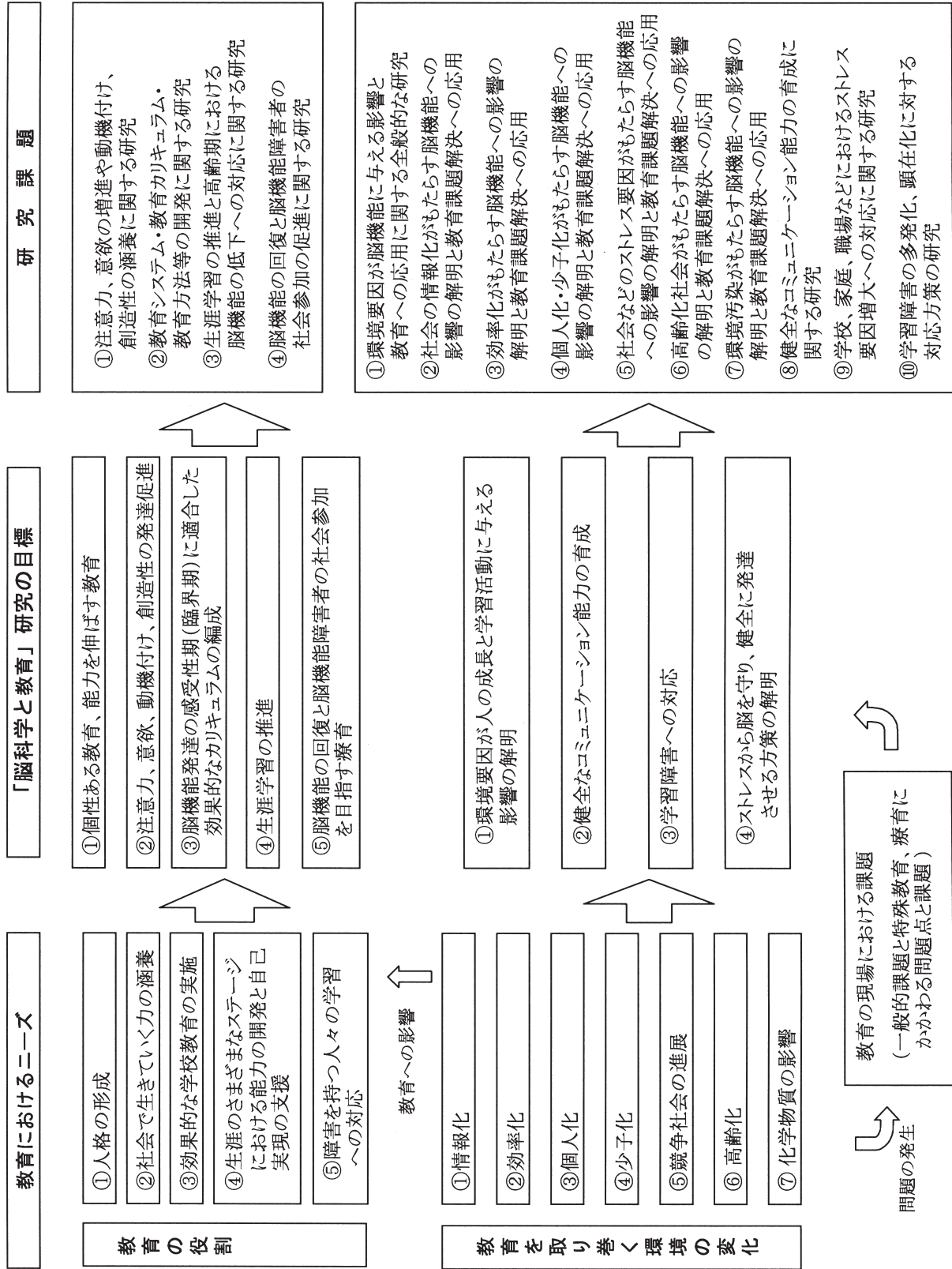


表2 「脳科学と教育」研究の課題への取り組みスケジュール

	「脳科学と教育」研究の課題	基礎的評価		研究完了までのスケジュール	
		緊急性	重要性	当面から短期	中長期
(1) 教育の役割に応えるための研究	① 注意力、意欲の減退や動機付け、創造性の涵養に関する研究	中	大		○
	② 教育システム・教育カリキュラム・教育方法等の開発に関する研究	中	大	○	○
	③ 生涯学習の推進と高齢期における脳機能の低下への対応に関する研究	中	中	○	○
	④ 脳機能の回復と脳機能障害者の社会参加の促進に関する研究	大	大	○	
(2) 教育を取り巻く環境の変化に対応するための研究	① 環境要因が脳機能に与える影響と教育への応用に関する全般的な研究課題	大	大	○	○
	② 社会の情報化がもたらす脳機能への影響の解明と教育課題解決への応用	中	大	○	○
	③ 効率化がもたらす脳機能への影響の解明と教育課題解決への応用	中	中		○
	④ 個人化・少子化がもたらす脳機能への影響の解明と教育課題解決への応用	中	大		○
	⑤ 社会などのストレス要因がもたらす脳機能への影響の解明と教育課題解決への応用	大	大	○	○
	⑥ 高齢化社会がもたらす脳機能への影響の解明と教育課題解決への応用	中	大		○
	⑦ 環境汚染がもたらす脳機能への影響の解明と教育課題解決への応用	中	中		○
(3) 「脳科学と教育」研究を支える研究方法論についての研究	⑧ 健全なコミュニケーション能力の育成に関する研究	大	大	○	○
	⑨ 学校、家庭、職場などにおけるストレス要因増大への対応に関する研究	中	大	○	○
	⑩ 学習障害の多発化、顕在化に対する対応方策の研究	大	大	○	○
	① 乳幼児から高齢者までの脳の計測手法の開発・応用	—	—	○	
	② 行動、認知、学習などの機能の行動学的・心理学的測定法の開発	—	—	○	○
	③ 脳の発達と学習に関する理論的研究の推進	—	—		○
	④ 遺伝子の解析とその発現に関する研究	—	—	○	○
	⑤ 教育学・社会学・生物学における統計手法の開発	—	—	○	
	⑥ 脳の発達に影響を及ぼす環境要因の分析	—	—	○	○
	⑦ 脳科学と教育に直接関連すると考えられる動物実験の推進	—	—	○	○

注： 緊急性→問題の発現・高まりに注目して評価 重要性→教育改善、福祉向上、経済的視点を中心とした研究の効果を評価

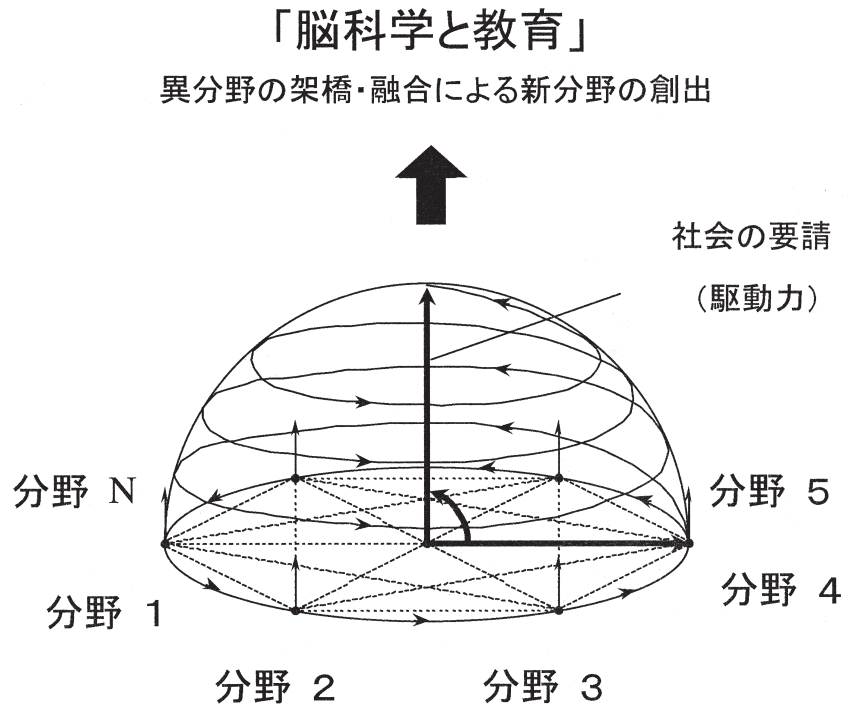


図1 関連分野を架橋・融合し「脳科学と教育」分野を創生する過程

組みスケジュールを表2に示す¹⁾。

また「脳科学と教育」研究が取り組むべき対象分野としては、人の心を扱う人文科学、社会科学をも含め、従来教育と関わりのある脳科学、教育学、保育学、心理学、社会学、行動学、医学・生理学、言語学、体育学などの研究分野を架橋・融合した新たな取り組みと捉えようということである。

図1の中で、分野1, 2, 3, 4, 5, …, Nは、「脳科学と教育」研究を担う脳科学、教育学、保育学、心理学、社会学、行動学、医学・生理学、言語学、体育学などの研究分野を意味する。そして、異なる研究領域を有する研究者が研究目標や研究規範を共有しながら、単なる研究分担ではなく、融合的な体制を構築して、統合的目標である「脳科学と教育」研究に取り組むことを構想している。従来、融合型研究では異分野を併置した研究所や研究組織が試みられてきたが、多くの異分野を併置しても架橋・融合は積極的には起こらなかった。小泉¹⁾は、後者の状態を学際性 (inter-disciplinarity)、多分野性 (multi-disciplinarity) と呼び、前者を環学性、超分野性 (trans-disciplinarity) と呼び区別している。

これらの研究が、すべての教育問題の解決策につ

ながるわけではない。しかし、こうした視点からの研究は、教員や教育政策立案者に、より科学的な情報に基づいた指導法や学習法、教育政策の方向性を提供し、学習に困難を持つ子ども達に多くの選択肢を用意できることが期待される。

4. 「脳科学と教育」研究の世界の動向

(1) 経済協力開発機構 (OECD) の動向²⁾

経済協力開発機構 (OECD) の教育研究革新センター (CERI) は、1999年 (平成11年) に、「学習科学と脳研究 (Learning sciences and brain research)」に関する取り組みを開始した (第I期1999~2001年)。「脳メカニズムと幼年期学習：ニューヨークフォーラム」、「脳メカニズムと青年期学習：グラナダフォーラム」、「脳メカニズムと老年期学習：東京フォーラム」という3つのテーマで、3か所で国際フォーラムを開催し、その時点での科学的成果を集大成した。以下に、現在の脳科学の到達点の概略を理解していただくために、少し詳細に内容について述べておく。

ニューヨークフォーラムでは、脳の可塑性と感受期の問題が取り上げられ、言語習得、早期認知力、

読みのメカニズム、数学的思考、情動的適性について報告された。

第二言語の習得に関する研究では、文法の習得は、ある程度は学習の時期に制約されるということが示された。この知見は、第二言語の習得は中等教育より初等教育で行われるほうがより効果的であることを示している。

読みのメカニズムにおいて、読むことへの困難は多くの原因から生じるが(例えば、視覚障害、難聴、認知機能障害など)、ディスレクシア(失読症、難読症)になる危険性がある子どもを、早期に診断し適切な介入を行うことで発達を保障できる可能性が示された。

数学的思考は、かなり複雑で、脳の異なる部分に関わり合って機能するよう前頭皮質のコントロール・メカニズムによって管理されていると考えられ、逆にこのメカニズムをモデル化することで、計算の困難に対応する指導法の開発の可能性が示された。

また、脳は生涯にわたり新しい意味情報を受け入れ学習が可能であるが、感受期での「体験予期型学習(experience-expectant learning)」と、年齢や時期に影響を受けない「体験依存型学習(experience-dependent learning)」があるようである。

幼年期の学習過程は、非常に早い時期から自分なりの世界観を発達させ、経験に照らし合わせて再構築しているといわれている。その内容は、言語学、心理学、生理学、物理学の分野の概念が含まれ、どのようにして言語、人間、動物、植物、そして物体が機能するかということを学習する。生まれた瞬間でさえも、子どもの脳は「白紙状態」ではないことが明らかになりつつある。幼年期の教育で重要な点は、幼児には独自の精神があり、個別に物事を概念化し、好きな学習のモデル(例：遊びを通じて)があるということが改めて示された。

「自発的学習」と「依存的学習」との間にある決定的な相違は、知能というよりもその人の「情動的」姿勢によって決まる。学習成功者は、早い時期に「努力を要する抑制」と呼ばれる自制機能の一種を発達させているらしい。基本的には、この重要なスキルはかなり遺伝によって左右されるものの、学習者に教育を通じてスキルを習得させることの可能

性が示された。

第二回のグラナダフォーラムでは、2つの課題が取り上げられた。一つは、新しい認知神経科学の知見を、教育の世界にもわかりやすい形で提示すること、そしてもう一つは青年期の脳は、まだ完成型ではないという考え方を提示することである。前者に関しては、まだ発展の初期段階にある認知神経科学の知見を慎重に扱い、誤った一般化に警鐘が鳴らされた。従って、神経科学者、認知心理学者、教育者、政策立案者は、医学を含む科学的研究の幅広い連携によって初めて最も多くの成果を得ることが出来、多くの貢献がなされると提言された。そのためにも「学習の科学」とは必然的に異分野を架橋・融合する科学であるべきであることが再確認された。後者では、脳機能イメージング法によって、脳の重量と髄鞘化は、青年期を通じて、そして実際のところ若年成人期(20~30歳)の間も成長し続けるということが明らかにされた。このことは、青年期でも学習に関して人は変われることを示している。

このフォーラムでは、脳と学習の複雑さを国民に理解してもらうためには、遺伝と環境、可塑性と周期性(感受性)、可能性と能力、などの相互作用を把握するのに役立つモデルの必要性が提言された。

また、今後の教育政策を考える上で参考になる意見が述べられた。まず、「カリキュラム主導」の教育システムから「教授法主導」のシステムへ転換である。つまり、「何を」学習するかよりも、「どのように」学習するかが先行するのである。また、人々にスキルを与えることは、人々を選別することよりもはるかに重要で、「技能を与えること」と「選別すること」を関連づけることがもはや意味をなさず、19世紀の工業生産モデルから派生した、教室を学びの場の中心とする学校教育モデルが、21世紀社会の若者を育成するための中心戦略として持続可能かどうか疑わしいとコメントしている。

第三回の東京フォーラムでは、老化する脳の本質、そして老年期まで認知機能を伸ばし向上させることができるかどうかということが議論の中心となった。この論文が、子どもに焦点を当てているので、生涯学習の意義に関係することだけを指摘して、詳細は割愛することにする。

現在、第Ⅱ期（2002～2005年）が進行中で、幅広い分野の専門家による国際研究ネットワークにより、①脳の発達と生涯にわたる学習（日本による調整）、②脳の発達と計算能力（イギリスによる調整）、③脳の発達と読み書き能力（アメリカによる調整）に関する調査検討を進めることとなっている。

(2) アメリカの動向

米国では、1990年代を「Decade of the Brain（脳の10年）」と定め、脳科学を推進することを議会で決議し、神経・精神疾患の病因解明と治療法の確立等の脳科学に関する幅広い活動を展開してきた。この「脳の10年」推進を契機として、脳神経科学部門や脳研究所が主要大学に設置され、これに伴い研究者も飛躍的に増加した。その中で、前記のOECDの取り組みへの参加とは別に、学習研究の位置付けを明確にし、独自の取り組みを行っている。

米国では、NIH（National Institutes of Health, 国立衛生研究所）を中心に脳科学研究を大規模に推進してきている。NIHではいくつかの研究所にまたがって脳科学研究が行われているが、特に、2000年12月に設立されたNIBIB（National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering, 国立生体イメージング・生体工学研究所）はイメージング技術の開発などを目的としており、脳機能計測技術の面で注目される。小児科学に関しては、NICHD（National Institute of Child Health and Human Development, 国立小児保健・人間発達研究所）が中心となって研究が行われている。

またNSF（National Science Foundation, 全米科学財団）および商務省は、2001年12月に開いたワークショップを開催し、「Converging Technologies for Improving Human Performance（人間の能力改善のための技術の集結）」という報告書をまとめた。そこでは、個人の能力開発などを目的として、学習やコミュニケーションなど人間活動に関わる領域で、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、IT、認知科学を巻き込んだ学際的な研究開発を進める必要性和今後の戦略を提言している。

(3) 日本の動向¹⁾

日本では、脳科学への取組は科学研究費補助金の重点領域研究や特定領域研究などで始まり、昭和62年（1987年）のヴェネチア・サミットにおいて、中曽根首相（当時）より提唱した国際プロジェクトである「ヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム（HFSP）」の主要なテーマに、脳機能の基礎研究が取り上げられ、国際的な支援を展開するとともに、昭和62年8月にまとめられた科学技術会議の「脳・神経系科学技術推進の基本方策に関する意見」、平成6年6月に行われた航空・電子等技術審議会の答申「脳・神経機能解明促進のための基盤形成に関する総合的な研究開発の推進方策について」等における脳科学の重要性の指摘を踏まえ、着実な所要の取り組みが行われてきた。

日本の脳科学研究の特徴として、医学、生物学を中心として理・工学や心理学などの研究領域ごとに多くの大学、研究所等で分散的に研究が行われていることである。そこで、「脳に関する研究開発についての長期的な考え方」（科学技術会議ライフサイエンス部会脳科学委員会、平成9年5月（1997年））において、「脳を知る」（脳の働きの解明）、「脳を守る」（脳の病気の克服）、「脳を創る」（脳型コンピュータの開発）という戦略目標が掲げられた。そして、脳科学研究の中核的機関として理化学研究所脳科学総合研究センターの発足（同年10月）や科学技術振興事業団の戦略的基礎研究推進事業における「脳機能の解明」プロジェクトなどの取り組みが始まった。

こうした取り組みにより、脳機能の基礎的研究、医学や工学分野の研究が進んだ。また、それらの研究を支える基盤研究である人の非侵襲的脳機能イメージング法が飛躍的に発展してきており、より精度の高い安全な技術が開発されてきている。一方、その応用分野として、子育て、学校教育、社会生活、高齢者介護などの分野から期待が寄せられている。これらを背景に、脳科学研究の新しい戦略目標である「脳を育む」が、「ライフサイエンスに関する研究開発の推進方策について」（文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会、2002年6月）で提案された¹⁾。

「脳を育む」では、乳幼児から青年期までの脳発達
の解明とその教育への応用や、成人、高齢者の学
習機能の解明を目指すことを目標としている。

また平成14年度（2002年度）に文部科学省におい
て「脳科学と教育」検討会（伊藤正男座長）が発足
し、7月に中間とりまとめを行い、これを基に理化学
研究所脳科学総合研究センターの「脳を育む」プ
ロジェクトと科学技術振興機構（JST）の戦略的創
造研究推進事業（CREST）「脳の機能発達と学習
メカニズムの解明」がスタートした。平成15年7月
（2003年）には検討会の最終報告が出て、これによ
りJST／社会技術研究「心身や言葉の健やかな発達
と脳の成長」の各プログラムが、平成16年度（2004
年度）からスタートしている。

5. 本研究所における重度重複障害児研究 の展望—脳科学の応用的見地から—

本研究所における重度・重複障害児研究の中から、
「脳科学と教育」研究につながるものとして、生理
学的指標を用いたものを総括し、脳科学の応用分野
としての重度・重複障害児研究の可能性を考えてみ
たい。

重度・重複障害のある児童生徒は、一人一人障害
の状況は異なるものの、共通の特徴として重度の情
報障害と重度の表出障害を共通してもっている。重
度の情報障害は、視覚や聴覚などの感覚・認知面
での障害のために、外界の情報を十分に入手できない
制限された状況にある。しかし、子ども本人は、ど
んなに重度の障害があっても、その子は外界の変化
とつながりたいと望んでおり、その子の残存する能
力を最大限発揮し、限られた情報を基に外界とつな
がろうとしている。その残存機能似合った情報を選
定し、うまく情報を流すことができるかが教育の実
践者としての能力である。優れた教育実践者（指導
者）はかかわりの中で行動を観察しながら、その子
どものもつアンテナの特性、すなわち情報の選択や
その子がわかりやすい情報提供の仕方をつかみ、そ
れに応じて働きかけをし、子どもとの相互作用の中
で子どもの行動の変容（改善）に結びつけている。

また、重度の表出障害に対しても、どんなに重度

の障害があっても、子どもは動かすことができる身
体の動きを使い周囲の人やものに働きかけようとし
ている。その動きを周囲の人（指導者）が気づき、
あるいはその動きにものが応答するような環境をつ
くる、すなわち指導を行う側がよりよく子どもの実
態を理解し「応答する環境」を形成させることによ
り、より豊かな表現につながる事が明かになって
きた。

障害のある子どもの教育現場において指導者が
教育的関わりを行う場合、まず個々の子どもの実態
（内的状況も含めて）の理解がその基礎であること
はいうまでもないが、関わる側（指導者）は通常、
子どものことばや声、しぐさ、表情等意思伝達の媒
体に拠って子どもの内的な実態（意思や情動等）を
理解するための様々な情報を得ている。すなわち、
それらの情報を関わり手（指導者）自身が培って
きた教育的知識や生活体験に沿って意味づけて理解
し、それらを踏まえながら子どもに対して他者から
の表現として返し、子どもと指導者間での心理的な
相互作用を基盤にして、個々の子どもに即した適切
な支援を行っていくのである。

しかし、重度・重複障害のある子どもの表現には、
往々にして「ことば」という人にとって最も理解が
容易なメディアを活用する可能性が極めて少なく、
さらにそれ以外のメディアによる「表現」も脆弱で
あったり、またその様式も関わり手（指導者）に理
解されないものであったりするため、子ども側の内
的な実態を捉えることが非常に困難な場合が多い。
重度・重複障害のある子どもの教育実践では、この
ような状況が教育活動の基礎とされる関わり方の成
立そのものを困難にしているという現状がある。

しかし、このような現状の中、重度・重複障害の
ある子どもの教育実践が学校教育の中で四半世紀近
く取り組まれ、その結果、多くの子どもに対する学
習の可能性や生活の状態の変化（改善）が確認され
ている¹⁸⁾。これらの成果がもたらされる背景には、
大きく2つの要因があると考えられる。その1つと
して個々の事例研究の地道な積み上げがあるが、そ
の成果にはいわゆる一部の優れた教育実践者による
名人芸的な子どもとの関わり方や子どもの捉え方が
寄与していた、ということがある。名人芸とはすな

わち、子どもと指導者間の微妙な心的相互作用や心的活動等の、主観的關係性についての確に推理し、判断・理解し、実践するというような指導者のパフォーマンスのことである。しかし、このようなパフォーマンスによる効果や知見は、時として法則性や客観性が不十分であり実証性に乏しいことが欠点とされてきた。他の一つは、障害のある子どもの教育に対し、生理学的な測定指標（客観的、定量的指標）を活用することにより、その実践の展開に寄与していこうとする研究である。国立特殊教育総合研究所においても、以下のような内容で研究が行われていた（1995年以前）経緯がある。

- ①自閉症の障害特性を脳波測定により捉える^{16) 17)}
- ②病弱、重度・重複障害の子どもの身体的負荷を動脈血酸素飽和度、心拍数の変化により捉える^{11) 12)}
- ③知的障害児の音刺激の反応を呼吸数の変化により捉える¹⁴⁾
- ④知的障害児の期待と不一致な音刺激に対する反応をGSRの生理的反應の変化より捉える^{13) 14)}
- ⑤自閉症のメカニズムを脳波、脳電位、筋電位、眼球誘導電位の測定から捉える¹⁵⁾
- ⑥重度・重複障害児の反応をGSR、ECG、EEG、の変化から捉える¹⁸⁾

上記のような研究において、その基本的コンセプトは、①子どもの心理的(内的)な変化は直接的(脳内の物理的变化)や間接的(心拍数、GSR、ECG等)身体変化として出現することを前提としていること、②教育実践における場面や関わりの要素を定量的な観点から抽出し、客観的結果を得ようということを基本的な態度としていること、等があげられる。

すなわち、これら研究には実施当時の最先端の測定技法・技術を駆使しながら、子どもと指導者の主観的關係性を客観的に明らかにし、教育方法や内容の発展に寄与していこうとする研究の方向性を窺うことができる。

しかし、いずれの測定方法においても子どもの自由な動きが制限されるなどの測定環境に課題があったり、中枢神経系の即時的(リアルタイムの)、直接的な状況の計測が望めなかつたりして(EEGを

除く)、それらの測定結果と実践場面の生の状況との整合性を導き出していくための課題は多い。

このような状況の中、近年fMRI (Functional Magnetic Resonance Imaging, 核磁気共鳴画像法) やNIRS (Near-Infrared Spectroscopy: 近赤外線分光法) 等生きている人の脳の働きを非侵襲的に測定することができる方法が実用化され、脳機能をリアルタイムに、かつ測定環境の制限も少なくデータの収集ができるようになってきている。したがって、これらの測定方法を使用することにより、従前以上に教育実践場面に近い測定環境が設定され、重度・重複障害児といわれる子どもの内的実態について、より明確な実証を得る可能性が予想できる。実際にここ数年来、これらの測定方法を適用した重度・重複障害児の教育に関する先駆的な研究が行われてきているが、国内においては、未だその端緒についた段階である¹⁹⁾。

6. 研究を進めるにあたっての4つの視点

さいごに、「脳科学と教育」研究という新たな研究分野の創造に参画し、「脳科学と障害のある子どもの教育」研究を進めるにあたって、4つの視点を押さえておきたい。

1) 環学性に見られる思想的背景²⁾

環学性とは、個々の研究分野の成果を教育に応用するというやり方ではない。この方法では、脳の学習機能が解明されても、個人レベルで、どのような学習が最上なのか、国レベルではどのような教育政策が最高の支援なのかを、すぐに明らかにすることが出来ないという反省に立つ。これは、西洋の科学が還元的アプローチで進歩してきたことに起因する。物理学、化学、生物学だけでなく、心理学など人文科学においても、研究分野を分類・特殊化して、果ては文化系、理科系という分類まで作り上げてしまった。そこで、教育サイドからの課題の提示に対して、脳科学をはじめ関係する科学が如何なる貢献ができるのかという観点から対話・交流を進めつつ、これに基づき、架橋・融合した研究活動を行うことを基本的な進め方とするというコンセンサスを得る

に到った。

研究所の「脳科学と障害のある子どもの教育に関する研究」にも、この方向性は欠かせない。

2) 進化論的視点

脳科学研究の底流に流れる思想に進化論的視点がある。脊椎動物の進化の特徴は、神経系の最先端に「脳」という臓器を誕生させ、人は脳に大脳、特に新皮質と呼ばれる構造を発達させた。重要なことは、脳により、教育も含めて、社会構造が生み出されているとみる視点である。

人類史という時間軸で見れば、社会構造も、狩猟採取生活から農耕牧畜生活に変化して、文明が起こった後の話である。動物の中でも、アリやミツバチなども社会を形成するが、行動様式は本能レベルである。霊長類のサルも社会を形成するが人ほど複雑ではない。では、なぜ人だけがこれほど複雑な社会構造を持つようになったのか。それは、人の臓器の中で、脳、特に前脳の発達に関係するという。人はコミュニケーション手段としての言語を操るだけでなく、「人は観念や概念を脳の中に作り上げ、これを操る」能力を得た、言い換えれば「脳内に内部モデルを作る」ことで、他者を理解し、共同幻想を共有して集団として生活できるようになったというのである⁸⁾。この考え方に従えば、近年の科学技術の加速度的な発展による情報化や少子化及び高齢化などにより、人を取り巻く生活環境や社会環境が不連続かつ劇的に変化しているのも、脳の産物ということになる¹⁰⁾。哲学や心理学としての「意識とは何か」、「意識する『私』はどのように生み出されるのか」を考えるのではなく、脳そのものの形態や機能の研究から、それらの問題を捉え、再解釈が始まっている⁹⁾。

3) 今という時代の捉え方—複雑系社会と脳科学研究—

何故、今という時代に脳科学が注目されているかという時代考証をしたい。今という時代は、世界的にみても時代の大きなターニングポイントに立っている。その本質は、到るところで、単純系から複雑系への思考上のパラダイムシフトが起こっていると

いう認識である。

例として、医療の世界について考える。19世紀まで長らくニュートン力学的世界観で支配されていた。この世界観は、初期値が決まれば将来が予測可能であるという因果律が成立する世界観であり、単純系の世界観とも呼ばれる。因果関係や原因を追及して改善・克服すれば、結果がよくなるという世界観である。医療は、この考え方で感染症を克服していった。つまり、病気を引き起こす病原体をやっつけければ、病気は治るという考え方である。ガンの外科治療もこのパラダイムの中にある。周りで行われている改革も、時代の動きを読まずに単純系の思考法で進めているものが多い。

医療は今、標準化の時代である。医療経済的に考えれば、地域により治療法や予後が異なるのでは困る。同じような疾患、重症度であれば、同じ診断、治療がなされるべきである。医療技術を評価し、医療行為を客観化すれば医療費の節約という点でも治療効果という点でも効率化が図れる訳である。ということで、今は、医療の標準化が進んでいる。

標準化を進める基本的考え方が、EBM (evidence based medicine) である。EBMの背景にある思想は、単純系ではない。病気の実体的原因を追い求めるのではなく、現象面より出発して、様々な症状に対して、どのような医療行為を行えばどのような成果及び予後が得られたかを、データに基づき集約して、統計的手法(臨床疫学と呼ぶ)を使って、成果の確率を示すというものである。例えば、生活習慣病は、同じ病気でも、その人の生活背景により予後が変わる。いわば、感染症に比して複雑系としての医療といえる。人に依存せず、抗菌剤を飲めば治る感染症という単純系の医療ではなく、患者の治療過程への積極的参加を前提とする複雑系の医療なのである。複雑系の背景にある基本原理はまだ解明されなくても、確率を示せば、患者は選択可能となる。インフォームド・チョイスが可能となるのである⁶⁾。

単純系の医療の目指す究極の目的は効率化であるから、ケアには標準化、画一化、規格化が求められた。マニュアル作成はその現れである。複雑系の医療の特徴は、それと比較して個別性、多様性、一回性といえるだろう。医療におけるこの流れは、福

社や教育の現場でも起こっていることを指摘しておく。例えば、教育では、教育の質の評価としての学校評価制度の導入、情報開示、学習指導要領、個別の教育支援計画、指導計画策定等に謳われている個別対応などである。

このような時代のタイミングで、「脳科学と教育」研究の環学性が述べられたことは、決して歴史的偶然ではない。

4) 障害児教育は、脳科学を必要としているのか？

障害児教育史を紐解けば、時代々々でそれを推進してきた力は、個人の努力であったり、人権意識であったり、制度論であったりするわけである。障害児教育に大きな役割を果たした人の中には、医師や心理学者が多い。日々の一つ一つの積み上げで、教育の質を変えるのに、教育実践の重要性は理解できる。しかし、教育の質を大きく高めるためには、時代の科学水準にあった子ども理解が必要なのではないか。

脳科学は、神経生理学を中心とした動物実験や、損傷を受けた人の脳を対象とした神経心理学を基盤に発達してきた。障害児教育の場における「脳科学と教育」研究が目指すものは、ハイリスクな児童などを対象とした研究から健常者を対象とした研究へ、「特殊」を対象とした研究とその「普遍化」を目指す研究そのものである。

障害児教育は、全ての教育の基本であると言う言葉の意味を、再度かみしめてみたいと思う。

参考文献

- 1) 「脳科学と教育」研究に関する検討会：「脳科学と教育」研究の推進方策について。平成15年7月。
- 2) CERI：Understanding the Brain: Towards a New Learning science. OECD, 2002. (小泉英明監修，小山麻紀訳：脳を育む 学習と教育の科学。明石書店，2005.)
- 3) OECD：図表で見る教育OECDインディケーター (2004年版)。2005.
- 4) 宮本みち子：若者が《社会的弱者》に転落する。洋

- 泉社，2002.
 - 5) 金子郁容：学校評価。ちくま新書，2005.
 - 6) 村上陽一郎 (編)：21世紀の「医」はどこに向かうのか。NTT出版，2000.
 - 7) 荻谷剛彦：階層化日本と教育危機。有信堂，2001.
 - 8) 養老孟司：唯脳論。青土社，1989.
 - 9) 茂木健一郎：脳内現象。NHKブックス，2004.
 - 10) 合原一幸 (編著)：脳はどこまで解明されたか。ウェッジ選書，2004.
 - 11) 松田直・川住隆一：病弱な重度・重複障害児に対する教育的関わりと呼吸状態の関連について－パルスオキシメーターによる酸素飽和度の測定を通して－，国立特殊教育総合研究所研究紀要，第22巻，1995.
 - 12) Matsuda, T. and Kawasumi, R. : Measurement of Oxygen Saturation by Puls Oximeter During Learning Activities of Profoundly and Multiply Handicapped children and Adults. NISE Bulletin Vol. 5, 1995.
 - 13) 中村均：期待と不一致な音刺激に対する精神薄弱児のGSR，国立特殊教育総合研究所研究紀要，第9巻，1982.
 - 14) 中村均：音刺激が精神薄弱児の呼吸に及ぼす影響，国立特殊教育総合研究所研究紀要，第10巻，1983.
 - 15) 東條吉邦他：自閉症の障害特性に関する生理心理学研究 (I)，国立特殊教育総合研究所研究紀要，第12巻，1985.
 - 16) 東條吉邦・渡邊章他：自閉症の障害特性に関する生理心理学研究 (II)，国立特殊教育総合研究所研究紀要，第13巻，1985.
 - 17) 東條吉邦他：自閉症児の記憶・思考に関する生理心理学的研究 (3)，国立特殊教育総合研究所研究紀要，第19巻，1992.
 - 18) 杉山憲司・大坪明德：各種の刺激に対する重度・重複障害児の反応に関する臨床的研究－GSR，心拍などによる情動反応を指標として－，国立特殊教育総合研究所研究紀要，第5巻，1978.
 - 19) 加藤俊徳・坂口しおり：脳と障害児教育－親切な支援への模索－，ジアース教育新社，2005.
 - 20) 重複障害研究部：重度・重複障害児の事例研究第1集～第25集，国立特殊教育総合研究所，1976～2001.
- (受稿年月日；平成17年11月18日)

二特集二

II. 障害児教育と関連した脳科学的知見について

－脳の可塑性と障害の機能補填－

渥美 義賢・渡辺 哲也・小田 侯朗

大内 進*

(教育支援研究部) (*企画部)

はじめに

近年の脳科学の発展は著しく、特に20世紀の終わりの10年以降は加速度的といえるような発展が続いている。その背景には人体の大きな未知の領域として各国で積極的に研究費が投じられるようになったこと、研究を支える様々な技術の発展がある。現在、我々は20年前とは比較にならないほど膨大でより正確と思われる脳科学的な知識を得ているが、約1000億と推定されている神経細胞から成り、約100兆と推定されている神経細胞間の連結点(シナプス)を持つヒト(生物学的な意味での人類を慣例に習って「ヒト」とする)の脳の構造や機能は天文学的な複雑さを持っていると推測され、我々はそのごく一部を知ったに過ぎない。このため、現在の急速な脳科学の発展過程の中で、過去において脳科学的な常識とされていたことが否定されたり修正されたりすることがしばしば起こっており、現在正しいとされている知見がそう遠くない将来に否定される可能性も少なくない。

脳科学の様々な研究分野の中で、現在特に大きな発展し注目されている分野には、遺伝子の分子構造と機能を中心に研究されている分子生物学の研究と、ヒトの脳の画像学的研究がある。分子生物学については、現在なお基礎的な研究の段階にあり、障害児教育に直ちに应用することは困難である。もっとも、近年比較的安価に一部の遺伝子チップ(数百～数千のDNA活性を検知する物質を基板上に並べ

たもの)が生産されるようになったり、一部の体性幹細胞(脳や肝臓等の器官に合わせてある程度分化しているが、その器官もしくは近縁の器官の範囲内で種々の細胞に分化が可能な細胞)の増殖・分化のコントロールが可能となるなど、臨床的応用の研究も進んできているので、将来的に障害児教育と関連した研究の可能性はある。また、遺伝的な影響が少なからず関与している発達障害の理解における基礎的な知識としての重要性は高い。

ヒトの脳の画像学的研究は、そのための機器の開発や分析手法が著しい発展をし、様々な障害児・者の脳機能についても研究も進んできている。学習を含めヒトが何かの活動をしている時の脳機能を計測し画像として分かりやすく提示できるため、当面は障害児教育に関連した脳科学的アプローチの中心的な研究手法となり、実際の応用の可能性も高いものと考えられる。このヒトの脳の画像学的研究の方法については第Ⅲ部で詳述する。

このような脳科学の現状を踏まえ、ここではヒトの脳の画像学的研究から、障害児教育に関連したいくつかの研究成果を紹介する。

1. 脳の発達と可塑性

ヒトの脳は、部位によって担う機能が異なることが知られている。これは機能の局在性と呼ばれる。脳の一部を病気や事故などで損傷した人の機能不全の状況と損傷部位とを照らし合わせることで解明されてきた。感覚系であれば、視覚情報はまず後頭

葉の視覚野で処理される。同様に、聴覚情報は両側の側頭葉にある聴覚野で、触覚と体性感覚情報は頭頂葉にある知覚野で脳における初期の処理がなされる。

ヒトの脳におけるこのような機能分化は、基本的な構造として胎生期に作られ、生後は環境に適合するように神経繊維の発芽・伸展・結合が行われ、情報伝達の効率化のための髄鞘化が行われる。この過程は学習とも密接に関連していると考えられている。

このように発達過程で、もしくは成体となつてから、何らかの障害が脳または他の身体部位に起きた時に、その障害による機能低下を補填するように脳が変化しうることが知られている。脳の持つこの機能に中心的に関わっているのが脳の可塑性といわれているものである。

脳の可塑性とは、脳の構造や機能が状況に応じて変化しうる可能性をもっていること、および変化する過程を意味している。この脳の可塑性によって、生物はそれぞれの個体が置かれた状況の中で、できるだけ生存に有利な機能を獲得していくことができ、脳自体や他の身体部位に何らかの障害が起きた場合には、障害によって低下した生体機能を補うことができる。

出生後のヒトの脳では、脳室周囲などごく一部には神経幹細胞があつて細胞分裂が行われている可能性が最近発見されたものの、皮質を中心としたほとんどの部位で神経細胞の増殖はないとされている。このため、出生後の脳の可塑性は神経繊維の新たな分枝形成や、新たなシナプス形成によってなされると考えられている。このことから、全般的にみると神経繊維の分枝形成やシナプス形成がより活発な時期、すなわち成人期以前で年齢が低いほどヒトの脳の可塑性が高いと推定されている。また、一般的には機能がより特化された部位、すなわち後頭葉の一次視覚野や側頭葉の一次聴覚野に比べて多様な機能を担っている連合野等の方が可塑性が高いと推測されている。

ヒトの脳機能画像研究の発展に伴い、近年これを用いて障害のある人における脳の可塑性についての研究がなされ、新しい知見が得られてきている。そ

の中から、比較的明確な知見の得られている感覚障害における脳の可塑性に関する報告を以下に紹介する。

2. 視覚障害

1) 視知覚と関連した脳部位

網膜に入った視覚的な情報は網膜にある神経節細胞にある程度まとめられ、その軸索はまとめられて視索となり脳の下面の中央部にある外側膝状体の神経細胞に伝えられる。この際に、注視点の左側の視野にある情報、すなわち両眼の右側の網膜に入った情報は右の外側膝状体に伝えられ、視点の右側の視野にある情報、すなわち両眼の左側の網膜に入った情報は左の外側膝状体に伝えられる。視索から情報を受け取った外側膝状体の神経細胞はその軸索を通して大脳の後頭葉にある一次視覚野に情報を伝える。一次視覚野は視覚情報の基礎的な処理を行うと考えられ、輪郭の抽出や要素的な形態の認知、その傾き、左右の眼から入った視覚像のずれの検出とそのずれを融合する作用などに関与していると考えられている。このように一次視覚野は網膜からの情報を直接的に受け取り、その情報の基礎的な処理を行うため、ある視覚情報が入る網膜上の位置と一次視覚野の位置は概ね対応があることが、ヒトの脳の解剖学的な研究や動物実験によって従来から知られている。このことを、最近の脳機能画像を用いた所見でみると、以下ようになる。

図1に、Chenら²⁾の報告の中にある、注視点の両側および左右片側の視野に示された視覚情報により外側膝状体および一次視覚野が活性化されているfMRI (functional MRI; 機能的核磁気共鳴画像。詳細は本特集のⅢで説明)の画像を視覚情報の経路の模式図を合わせたものを示した。図1 a)にみるように、注視点の両側に提示された視覚刺激によって両側の外側膝状体および一次視覚野が活性化されている。また図1 b)にみるように、注視点の左側に提示された視覚刺激によって右の外側膝状体および一次視覚野が、注視点の右側に提示された視覚刺激によって左の外側膝状体および一次視覚野が活性化されている。

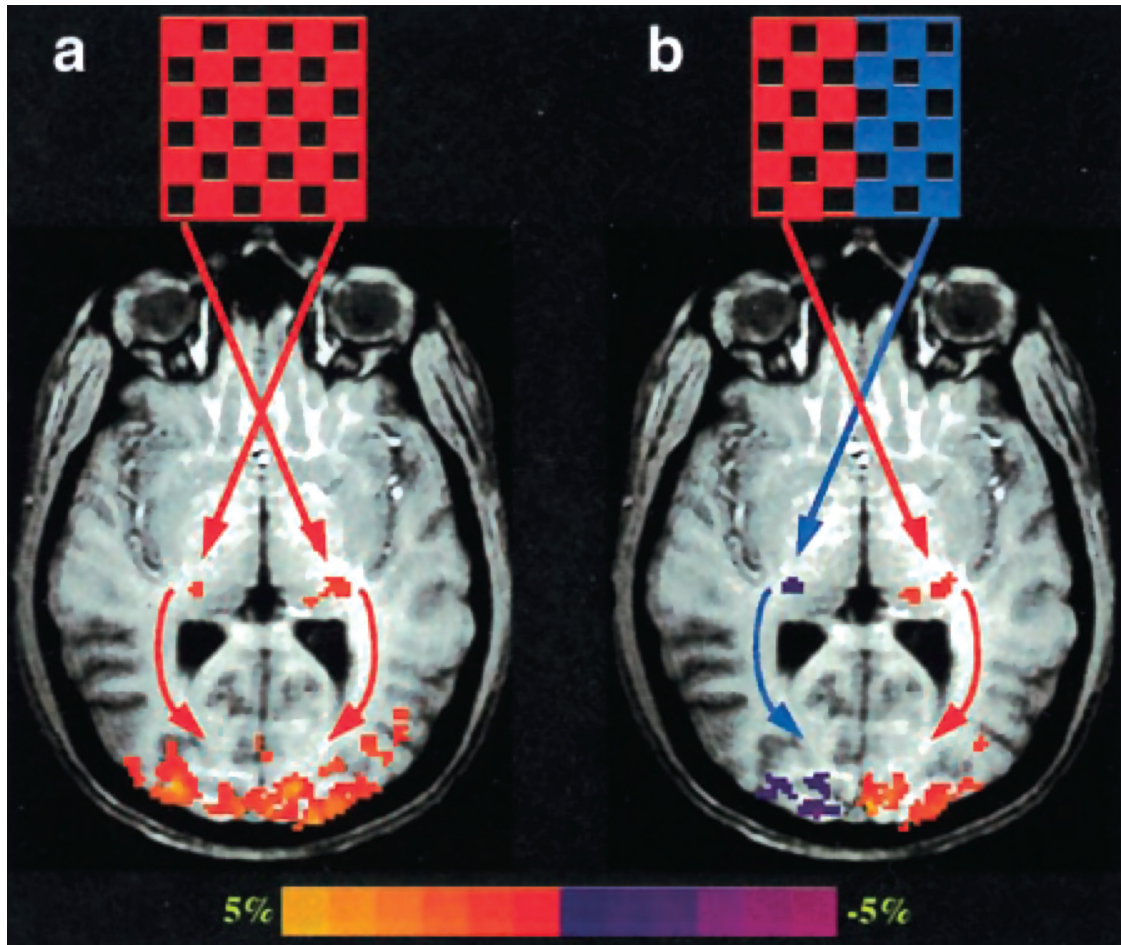


図1 視覚刺激により活性化された脳部位

注視点の両側および左右それぞれに視覚刺激を被験者に与えた時に活性化される脳の部位をfMRIで調べた所見を示した。両側および左側の視覚刺激で活性化された脳の部位は赤で、右側の視覚刺激で活性化された脳の部位は紫で各々示してあり、色の薄い方が活性化の程度が高い。

aでは注視点の両側の対称的な視覚刺激を被験者に与えた時に活性化される脳の部位をfMRIで調べた所見である。図の上部の市松模様は点滅させて与えた視覚刺激で、そこから網膜を経て直線の矢印で示された外側膝状体に情報が伝わり、両側の外側膝状体が活性化されていることが分かる。さらにそこから弧の矢印で示された経路で視覚情報が伝わった両側の一次視覚野が活性化されていることが分かる。

bでは注視点の左右それぞれの視野に提示された視覚刺激により、左右それぞれの外側膝状体と一次視覚野が活性化されている様子を、左側の視野に提示された視覚刺激については青色で、右側の視野に提示された視覚刺激については赤色で示したものである。

(Wei Chen, Xiao-Hong Zhu, Keith R. Thulborn, and Kamil Ugurbil : Retinotopic mapping of lateral geniculate nucleus in humans using functional magnetic resonance imaging. Proc. Nat. Acad. Sci. USA., Vol.96, pp. 2430-2434, 1999. より許可を得て転載)

図2には、Robertら¹¹⁾の報告の中にある、注視点からみた視野における視覚刺激の相対位置と、それに対応して活性化される視角野内の部位との関連を示した図である。この図から分かるように、一次視覚野では、視野における位置と密接に関連して一次視覚野内の特定の部位で活性化がみられている。言い換えれば、かなりデフォルメはされ(中心視野に関わる部位は周辺視野に関わる部位よりかなり広

範囲である)ぼやけてはいるものの、網膜に映る外界の画像が一次視覚野上にも展開されていると言える。このように一次感覚野は刺激の物理的な特性と密接に関連し、その機能はかなり特化されている。

2) 点字の認知と関連した脳の可塑性

先に視覚に関連し脳の後頭葉にある視覚野がまず活動することを脳機能画像で紹介したが、盲者で

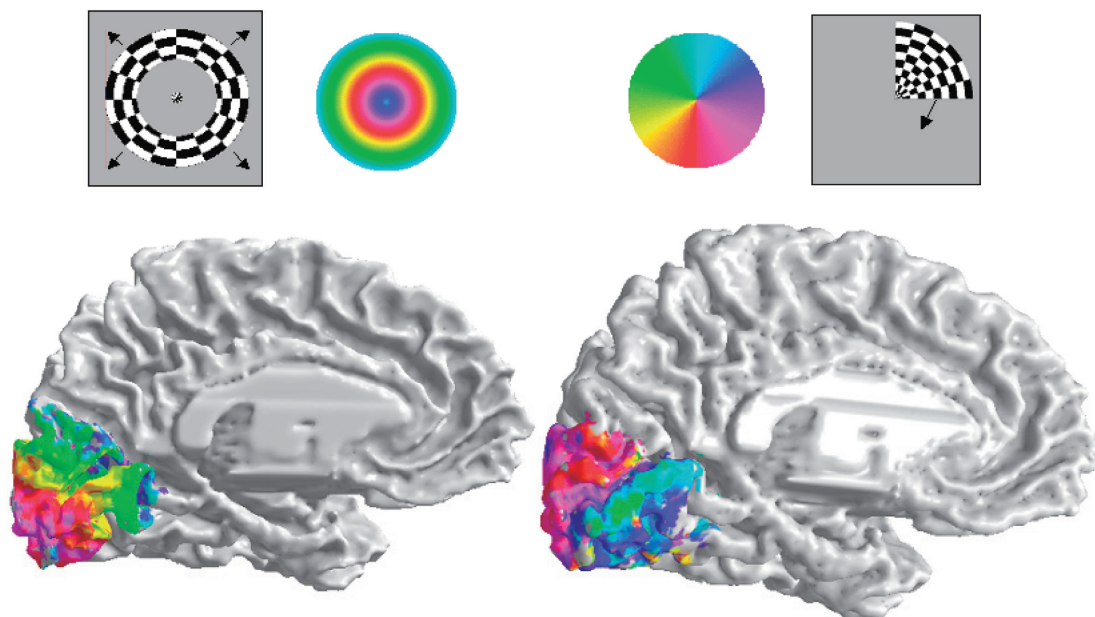


図2 注視点からみた視野における視覚刺激の相対位置と、それに対応して活性化される視角野内の部位との関連

図の上部の灰色の四角の中の白黒の市松模様は視覚刺激として被験者に提示した図である。左側の図は円環状の市松模様の帯が中心から外側に放射状に移動していくように提示され、右側の図は1/4円の楔型の市松模様が回転していくように提示された。

図の上部の色付きの円は、視野における位置を色分けして示したものである。下部の図は、脳のMRIによる形態画像から三次元的に再構成された左右半球の内側面の画像である。上下の色は対応しているので、上部の図で色で示された視野における視覚刺激の位置と、その視覚刺激によって活性化される後頭葉の部位が同じ色で示されている。

一次視覚野では、視野における位置と視覚野内の部位にかなり密接な対応がみられている。

(Robert F. Dougherty, Volker M. Koch, Alyssa A. Brewer, Bernd Fischer, Jan Modersitzki, Brian A. Wandell: Visual field representations and locations of visual areas V1/2/3 in human visual cortex. Journal of Vision, 3, pp.586-598, 2003. より許可を得て転載)

は視覚野への入力がないので、視覚野、特にかなり視覚情報処理に特化した一次視覚野は活性化することがないように思える。盲者は他の感覚器からの情報を活用して視覚情報がないことを補っているが、その時に視覚野はどのように関与しているのだろうか。盲者における脳の可塑性について、点字を読む時の脳機能の研究から以下に紹介する。

A. 脳機能画像による研究の流れ

盲者が点字を読む時に、脳のどの部位が主に働いているのかについては、定藤らによる脳機能画像を用いての詳細な報告をはじめとしていくつかの研究が行われている。1996年にSadatoら¹²⁾はPET (Positron Emission Tomography; ポジトロン断層撮影。詳細は本特集のIIIで説明)を用いて晴眼者と盲者に点字を読ませた時の脳の活性化部位について調べ、両者を比較検討した結果を報告した。それ

によると、点字を読む時に指の感覚(体性感覚に属する)を司る一次感覚野は晴眼者および盲者の両方で活性化されたが、より高度で統合された体性感覚刺激を司る二次感覚野は晴眼者では活性化される一方、盲者では明確な活性化はみられなかった。その代わりに盲者では、中心後回から頭頂葉を経て後頭葉背外側部にわたる、晴眼者では視覚的形態認知を司る部位が活性化されていた、と報告されている。また、視覚情報の第一段階の処理を行う一次視覚野を含む視覚野は、盲者では活性化されたのに対し、晴眼者ではむしろ抑制されていた、と報告されている。

一方、Buchelら¹⁾は同じ1998年に先天性の盲者と平均18歳に視力を失った遅発性盲者を分けて同様な研究を行い、点字を読む時に晴眼者と盲者の比較ではSadatoらと同様の所見を報告しているものの、一次視覚野は先天性盲者では活性化するが遅発性盲

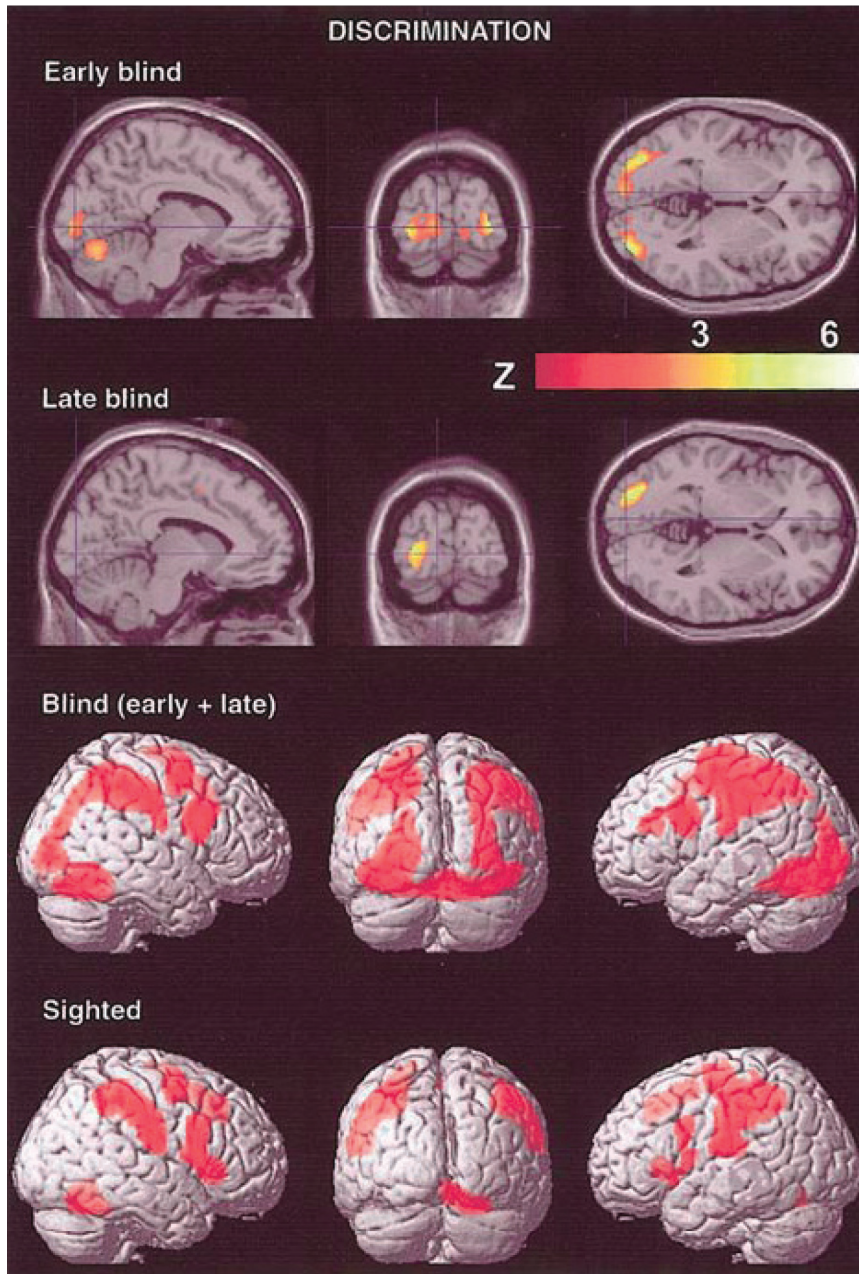


図3 点字を判別させる課題を行っている時に活性化される脳部位

16歳以前に盲になった被験者、16歳以降に盲になった被験者、晴眼者のそれぞれに点字を判別させる課題を行かせた時に活性化される脳の部位をfMRIを用いて調べた結果を示してある。上の2段はMRIによる脳の形態画像の矢状平面、軸位平面、冠状平面の特定の断面におけるfMRIによる活性化部位を重ねて表示したものである。横線と縦線は相互にみた3つの断面位置を示している。活性化部位は白～赤で示され、白に近い色の部位がより高く活性化された部位を示している。

下の2段はMRIの形態画像から3次元的に合成した脳の画像にfMRIによる活性化部位を重ねて示したもので、活性化された部位は赤で示してある。

下から2段目の盲のある被験者と下から1段目の晴眼者で、点字の判別を行った時に活性化された部位を比較すると、一次視覚野を含む後頭葉の視覚野は盲のある被験者では活性化がみられるが、晴眼者では後頭葉の下部の紡錘状回に活性化がみられるものの視覚野には活性化された部位がみられていない。

最上段は16歳以前に盲になった被験者が点字の判別を行った時に活性化された部位を示しており、一番左の図で縦線と横線が交差しているところが一次視覚野で、明確に活性化されていることが分かる。上から2段目の図に示した16歳以降に盲になった被験者では、相当する部位、すなわち一次視覚野における活性化は認められない。このことは早期に(16歳以前)に盲になった場合に一次視覚野の可塑性が高いことを示唆している。

(Norihiro Sadato, Tomohisa Okada, Manabu Honda and Yoshiharu Yonekura : Critical Period for Cross-Modal Plasticity in Blind Humans: A Functional MRI Study. NeuroImage, 16, pp.389-400, 2002.より許可を得て転載)

者では活性化されないこと、一次視覚野の周囲にある外線状皮質（一次視覚野の周辺にある視覚関連の連合野で、視覚情報のより高次で複雑な処理を行うとされている部位）は盲の発症した年齢に関わらず活性化されると報告した。

2002年にSadatoら¹³⁾はfMRIを用い、これらの点を含め、さらに詳細な報告をした。その結果を中心に盲者が点字を読む時の脳機能について図3を参照しつつ以下に説明する。

B. 盲者と晴眼者の比較

点字を判別させる課題を行かせた時に活性化される脳の部位について、盲者と晴眼者で比較したものを図3の下から2段目と1段目に示してある。活性化された脳の部位は赤色で示されている。後頭葉の視覚野について両者を比較してみると、盲者では活性化されているが、晴眼者では後頭葉の下部の紡錘状回に活性化がみられるものの、視覚野には活性化された部位はみられていない。また、盲者では中心後回から頭頂葉を経て後頭葉背外側部にわたる、通常は視覚的形態認知を司る部位が活性化されていたが、晴眼者ではこの部位の活性化はみられていない。

これらの結果から、盲者では脳の可塑性によって、視覚野をはじめとして晴眼者において視覚的認知に関与する脳の部位が、触覚による形態認知のために働くようになっていることが分かる。

C. 盲者における発症年齢による差異

この報告においてSadatoらは盲の被験者を、16歳以前に発症した者（早発盲者）と16歳以降に発症した者（遅発盲者）に分け、発症年齢による脳の可塑性の違いについても検討している。

図3の最上段は早発盲者が点字の判別を行った時に活性化された部位を示しており、一番左の図で縦線と横線が交差しているところが一次視覚野で、明確に活性化されていることが分かる。上から2段目の図に示した遅発盲者では、縦線と横線が交差している部位、すなわち一次視覚野における活性化は認められない。上から2段目の真ん中の図では縦線と横線が交差している点の左、同じ2段目の右の図では縦線と横線が交差している点の上に活性化がみられており、この部位は早発盲者と遅発盲者に共通し

て活性化がみられている。この部位は一次視覚野に入った情報を、脳の他の部位と連携してより高度で統合的に処理する視覚連合野といわれている部位である。

さらにSadatoらは、点字の判別を行った時の成績との関連についても調べており、早発盲者の方が遅発盲者よりも有意に成績が良かったこと、成績と一次視覚野の活性化の程度（fMRIの信号強度の変化率でみている）との間に有意な正の相関があったことを報告している。

3) 脳の可塑性と視覚障害教育への応用の可能性

以上をまとめると、脳の可塑性により、盲者では失われた機能を補うように構造-機能の関係を変化させている。すなわち、晴眼者においては視覚的に入力された情報の処理機能を担っている後頭葉の視覚野等が、点字の判別という触覚から入力される情報の処理に関与するようになっていく。この可塑性には年齢依存性があり、概ね16歳以前という早期に発症した盲者では、元来視覚的な情報処理に特化した一次視覚野も点字の判別に関わるようになるが、16歳以後に発症した盲者では一次視覚野を含むまでの可塑性はみられない。また、このような可塑性の程度が点字を判別する能力と正の相関があることも示唆されている。

視覚障害教育の分野では、従来から点字読み速度は点字学習開始年齢と有意な関係があることが知られている。このことを上記の脳科学的な所見と関連させて考えると、点字学習の過程は触覚による形態認知を洗練させるために視覚野等新たに脳の様々な部位を動員しそれらを有機的に連結する神経繊維網を形成する過程と推測することも可能である。このような脳の可塑性とその促進に関する脳科学的な研究が、渡辺、大内らによる点字読みと触圧の関係調べた研究⁸⁾など、教育学的な実践的な研究と有機的に結びついてなされ、総合的に検討されるならば、点字学習の発症年齢に合わせたより効果的な指導法の開発も可能になると思われる。

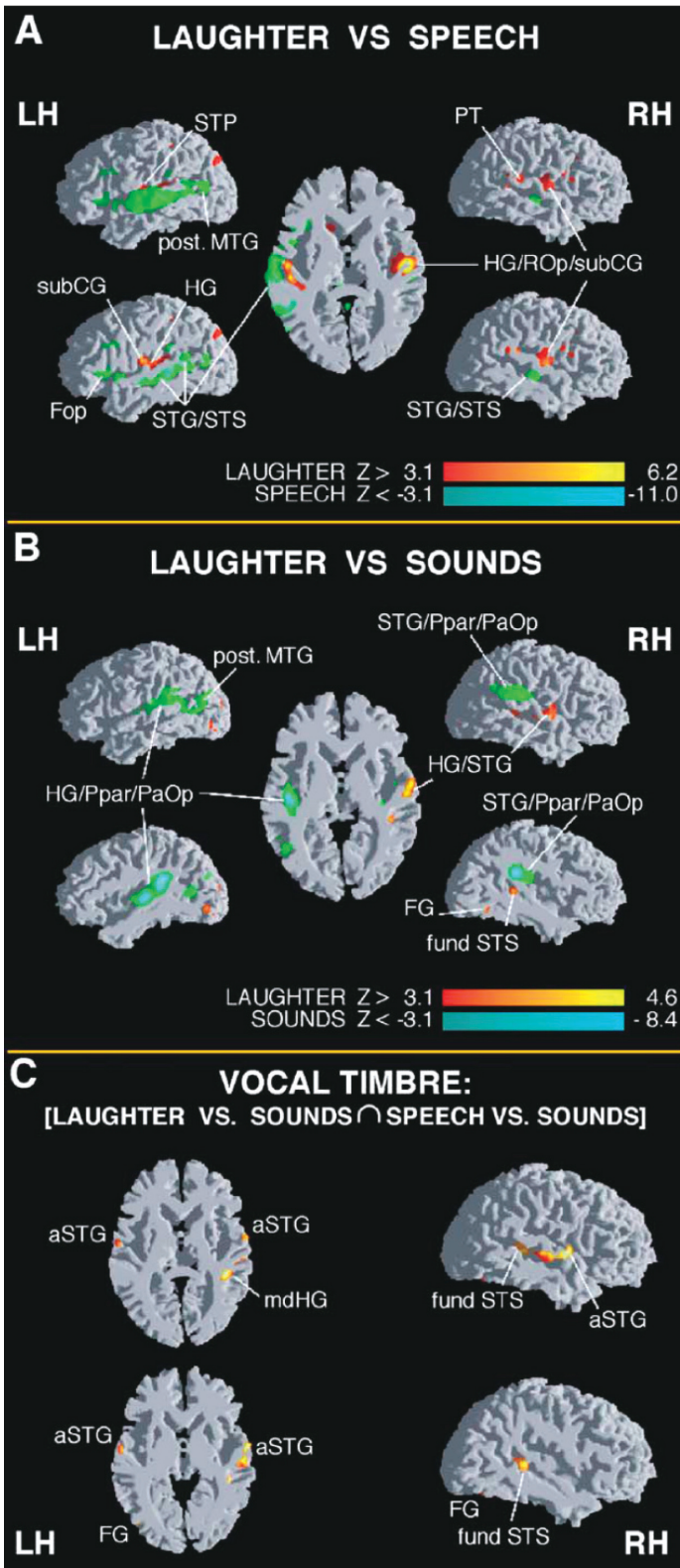


図4 笑い声、話し声、非音声の音による脳の活性化部位

A~Cの各図における左と右の図の上下は、上は脳の表面からみた活性化部位を、下は少し奥に入った断面での活性化部位を示してある。一次聴覚野 (HG) など聴覚野はシルビウス溝という溝の奥まった所に存在するため、奥の断面を示してある。

A: 笑い声を聞かせた時に話し声を聞かせた時より強く賦活された部位を赤系統で、話し声を聞かせた時に笑い声を聞かせた時より強く賦活された部位を緑系統で示してある。

B: 笑い声を聞かせた時に非音声の音を聞かせた時より強く賦活された部位を赤系統で、非音声の音を聞かせた時に笑い声を聞かせた時より強く賦活された部位を緑系統で示してある。

C: 非音声の音を聞かせた時より笑い声を聞かせた時および話し声を聞かせた時により強く賦活された部位を示してある。

図中の部位名の略号

- PT: 側頭平板
- HG: ヘッセル回 (一次聴覚野)
- ROp: ロランド被蓋
- SubCG: 下中心回
- Fop: 前頭被蓋
- STG: 上側頭回
- STS: 上側頭溝
- post.MTG: 中側頭回後部
- FG: 紡錘状回

(Martin Meyera, Stefan Zyssetb, D. Yves von Cramon, Kai Alter: Distinct fMRI responses to laughter, speech, and sounds along the human peri-sylvian cortex. Cognitive Brain Research, 24, pp.291- 306, 2005より許可を得て転載)

3. 聴覚障害

1) 聴知覚と関連した脳部位

鼓膜に入った音の情報は、蝸牛管で神経信号とな

り、側頭葉の上面にある一次聴覚野(ヘッセル回: Heschl's gyrus) へ伝えられる。一次聴覚野の機能的な構造は蝸牛管と対応があり、蝸牛管では高い周波数から低い周波数へと認知する周波数に沿って蝸牛神経が並んでいるが、一次聴覚野でも認知する周

波数に沿って相応する部位が並んでいる。

ヒトの聴覚に関する脳機能画像による研究ではPETが主に用いられてきたが、空間分解能が相対的に低いために限界があった。一方でfMRIは撮影時に傾斜磁場コイルの発する音が大きく（約100dB）、この音による聴覚関連野の賦活によって脳機能画像のS/N比（計測したい信号強度と雑音となる信号強度の比）が悪くなることが問題であった。近年ヘッドフォンの遮音性の向上や撮影シーケンスの工夫により精度の良い画像化が可能となりつつあり、比較的小さな領域である一次聴覚野（ヘッセル回）の画像化等が精密に行いうるようになった。

図4は、Meyerら⁵⁾の報告の中にある、笑い声（言語ではない音声）、話し声、非音声の音を健常被験者に聞かせた時に活性化される脳の部位を示した図である。この研究は、これら3つの音刺激による活性化部位の違いをみる目的でなされたものであるが、聴覚野の活性化について分かりやすく画像化されている。

A～Cの各図における左と右の図の上下は、上は脳の表面からみた活性化部位を、下は少し奥に入った断面での活性化部位を示してある。一次聴覚野（HG）など聴覚野はシルビウス溝という溝の奥まった所に存在するため、奥の断面を示してある。

最上段のAの図では、笑い声を聞かせた時に話し声を聞かせた時より強く賦活された部位を赤系統で、話し声を聞かせた時に笑い声を聞かせた時より強く賦活された部位を緑系統で示してある。この赤系統もしくは緑系統の色のついた部分を合わせた領域が概ね一次と二次を合わせた聴覚野に該当する。HGとして示されている赤系統の活性化部位が一次聴覚野に概ね該当し、真ん中の軸上平面の断面で分かりやすく示されている。話し声による活性化部位は左側優位性が明確である。

中段のBの図では、笑い声を聞かせた時に非音声の音を聞かせた時より強く賦活された部位を赤系統で、非音声の音を聞かせた時に笑い声を聞かせた時より強く賦活された部位を緑系統で示してある。この図から、笑い声を聞いた時の活性化部位はやや右側優位であり、非音声の音刺激では左右半球におけ

る優位性ははっきりしない。

下段のCの図は、非音声の音を聞かせた時より笑い声を聞かせた時および話し声を聞かせた時により強く賦活された部位を示してある。すなわち、人の声を聞いた時に、それ以外の音を聞いた時よりも活性化される部位である。右側一次聴覚野や上側頭回の前部等で人の声と非音声の音の認知で活性化に違いがみられている。

2) 聾者の聴覚野の可塑性

聾者において聴覚情報の基礎的な処理を行う一次聴覚野や、聴覚情報を中心にやや高次の処理を行う二次聴覚野のような、かなり高度に聴覚と関連した情報処理に特化した聴覚中枢は、その元来の主要な役割を失っている。しかし、先述した盲者の視覚野と同様に可塑性を持っており異なる感覚器からの情報処理に関わるようになっていく。

Finneyら³⁾はfMRIを使って聾者の視覚的な認知過程に聴覚野が関与していることを報告した。この報告の中から、図5に、画面上（視野角で10°）を複数の小さな点（視野角で0.2°）が動き回るという視覚刺激（Moving Dot）を聾者に与えた時に活性化される脳の部位を、健常者に音楽を聞かせた時に活性化される脳の部位と比較した図を示した。6名の聾者のMRI形態画像を加算平均した脳の形態画像に、音楽を聞かせた時に活性化された部位を一次および二次の聴覚野として関心領域とし、これを緑色で示してある。そして、Moving Dotの視覚刺激を与えた時に活性化された部位を赤色～黄色で示してある。左から軸位平面、冠状平面、矢状平面での断面での所見を示してあり、横線と縦線は相互にみた3つの断面位置を示し、交叉している点は一次聴覚野の中にある。

この図5にみられるように、聾者では右側の一次聴覚野が視覚的な認知をする際に活性化されている。右側優位の活性化について、Finneyらは、一般に移動する音源を認知する時には右側の聴覚野が主に働くことが分かっているので、この実験で使用したMoving Dotのように動くものを見た時にも同様の機序が働いて右側優位に一次聴覚野が活性化されたのではないかと考察している。

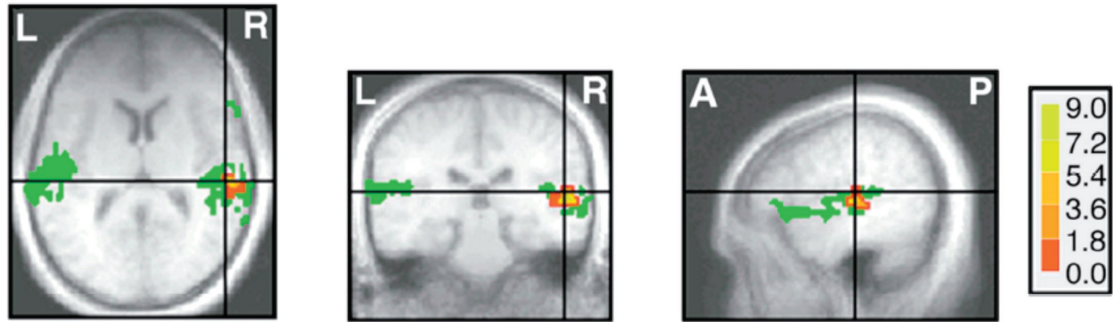


図5 聾者において視覚刺激により活性化される脳の部位

視覚刺激 (Moving Dot) を聾者に与えた時に活性化される脳の部位を、健常者に聴覚刺激 (音楽) を与えた時に活性化される脳の部位と比較して示してある。緑色の部分は健常者に聴覚刺激を与えた時に活性化された部位で、赤色～黄色の部分は聾者に視覚刺激を与えた時に活性化された部位である。

3つの図は、左から軸位平面、冠状平面、矢状平面での断面での所見を示してあり、横線と縦線は相互にみた3つの断面位置を示している。横線と縦線が交叉している点は一次聴覚野の中にある。

(Eva M. Finney, Ione Fine, and Karen R. Dobkins: Visual stimuli activate auditory cortex in the deaf. *Nature Neuroscience*, 4 (12), 1171-1173, 2001. より許可を得て転載)

3) 手話と関連した脳の可塑性

手話は視覚的に認知されるものであるが、脳損傷のある聾患者を対象とした研究から音声言語で用いられる脳の領域と関連のあることが1980年代から報告されてきている¹⁰⁾。そして1990年代の後半から手話の認知に関わる脳の部位について脳機能画像を用いた研究が報告されてくる。手話認知時の脳機能に関しては、Nevilleら⁶⁾がfMRIを用いて米国手話 (ASL) 者における手話による文章認知時と健常者の音声による英語の文章認知時を比較して、両者において共通して言語認知を担うとされている左側の上側頭回、特にいわゆるウェルニッケ領域が賦活され、また手話認知時の方が右側の活性化の程度が強かったと報告している。しかし、その後の研究では手話認知時に右側でより活性が高まるという結果は得られておらず、この点については現時点で否定的な見方が多い。

2000年にPetittoら⁹⁾はPETを用いた研究で、ASLまたはLSQ (カナダ・ケベック地方で使用されているフランス語系の手話) の手話を見せた時に、一次および二次の聴覚野のある両側の上側頭回の活性化が聾者ではみられるが、健常者ではみられないことを報告している。また彼等は、健常者には音声で、聾者には手話で、いくつかの名詞を提示してそれらに関連する動詞を思い浮かべさせ、その動詞を健常者には音声で、聾者には手話で応答させる実験

も行っており、この場合の聾者と健常者で活性化された部位は非常に類似しており、ブローカの中枢を含む左側下前頭皮質であったと報告している。

2002年にMacSweeneyら⁴⁾はfMRIを用い、聾者、手話と音声言語を理解するバイリンガルな被験者、手話を理解しない健常被験者における言語理解について詳細な研究を行って報告している。手話は英国手話である。その結果の一部を図6に示した。図の左から、聾者に手話で文章を提示した時、バイリンガルの被験者に手話で文章を提示した時、健常被験者に話している映像と共に音声で文章を提示した時、のそれぞれで活性化された部位が黄色で示されている。左側優位にブローカの中枢を含む下前頭回やウェルニッケ領域および二次聴覚野を含む上側頭回等、聾者、バイリンガルの被験者、健常被験者で共通して活性化されている部位が多いことが分かる。手話の認知に関しては一次聴覚野の関与は明確ではない。

以上をまとめると以下のようなになる。聾者では手話の認知等の視覚的な情報処理に、健常者では聴覚的な情報処理にかなり特化された上側頭回が関与するようになっており、聴覚野の可塑性が明らかに認められている。視覚刺激によっては一次聴覚野も活性化されるが、手話認知では現在までのところ一次聴覚野の明らかな活性化は報告されていない。上記の報告における考察でも述べられているが、今後脳

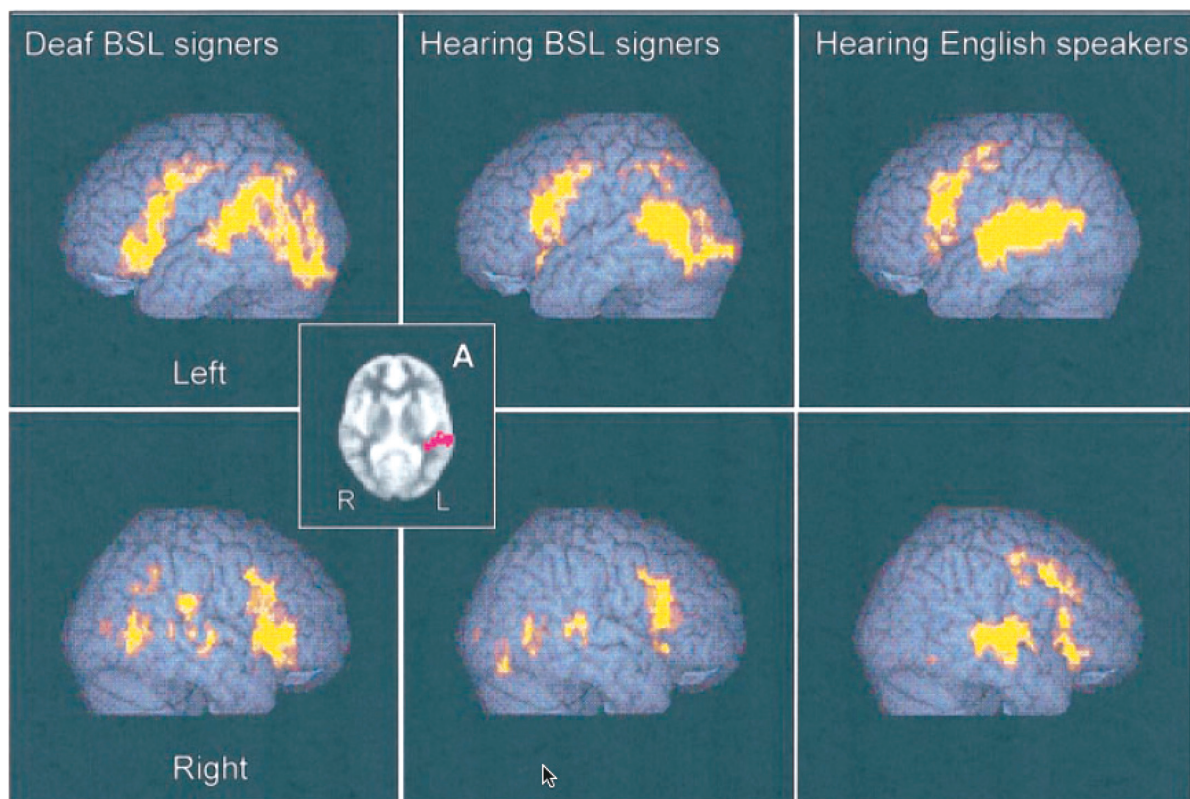


図6 手話と音声付き画像の提示による脳の活性化部位の比較

左の図は聾者、真ん中の図はバイリンガルの健常被験者に手話で文章を提示した時に活性化される部位を、右の図は手話の分からない健常者に音声付きの話者の画像を提示した時に活性化される部位を示してある。これら相互にかなり類似した部位の活性化がみられている。左と真ん中の図の中間にある小さな図は、健常者に音声付きの話者の画像を提示した時に、手話を提示した聾者やバイリンガルの健常被験者より活性化が強かった部位を示しており、一次聴覚野とその周辺が含まれている。(Mairead MacSweeney, Bencie Woll, Ruth Campbell, Philip K Mcguire, Anthony S David, Steven C R Williams, John Suckling, Gemma A Calvert and Michael J Brammer : Neural systems underlying British Sign Language and audio-visual English processing in native users. *Brain*, 125, pp. 1583-1593, 2002. より許可を得て転載)

機能画像化の技術が進歩すれば一次聴覚野も活性化が明らかにされる可能性もある。しかし、現在の機器で明らかになっていないことから、一次聴覚野については、一次視覚野に比べて可塑性が低い可能性も考えられる。

4) 人工内耳移植後の脳機能

人工内耳を移植した後の聴覚刺激に対する脳機能については、PETおよびfMRIを用いた研究から一次聴覚野における聴覚刺激の周波数に対応した活性化が、概ね健常者におけるものと同様に起きることが知られており、この点からみると人工内耳の移植によって音の認知は十分に補われているといえる。一方、人工内耳の移植と音声言語の理解との関係についてはNishimuraら⁷⁾が1999年にPETを用いた研究成果を報告している。それによると、移植前の手

話認知時には左側のウェルニッケ領域が賦活され、移植後に音声言語刺激をした際には一次聴覚野の活性化はみられたものの二次聴覚野やウェルニッケ領域の賦活がみられず、これは臨床的な音声言語理解の困難さと一致していた、と報告している。

人工内耳移植後の聴覚機能を脳機能画像で調べた研究は、現在までのところ多くないので、その後の聴覚機能の獲得経過については、まだ十分に明らかになっていない。人工内耳の移植後の聴覚機能、特に音声言語理解の発達については、移植時期との関連が臨床的にも報告されている。人工内耳移植の事例も多くなってきていることから、その後の聴覚機能の獲得に関する学習方法の発展のためにも、学習方法とも関連させた脳科学的研究の発展とそれを応用した学習方法の開発という相互に連携した研究の進展がまたれるところである。

5) 脳の可塑性と聴覚障害教育への応用の可能性

上記のような脳の一次聴覚野の可塑性や、2005年にSakaiら¹⁴⁾が報告しているような、手話の認知過程において左右半球の優位性などを中心に音声言語処理との類似性が高いことなどは、今後の聴覚障害教育における手話の位置づけを考える上で一定の示唆を与えているものと思われる。さらに、今後より聴覚障害教育を踏まえた脳科学的な研究を進めることで、従来聴覚的言語処理を中心に発展させてきた聴覚障害教育を一步進める可能性あると考えられる。

<引用文献>

- 1) Buchel, C., Price, C., Frackowiak, R. S., et al : Different activation patterns in the visual cortex of late and congenitally blind subjects. *Brain*, 121, 409-419, 1998.
- 2) Chen W.X.H., Thulborn K R., and Ugurbil K. : Retinotopic mapping of lateral geniculate nucleus in humans using functional magnetic resonance imaging. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 96, 2430-2434, 1999.
- 3) Finney E.M., Fine I., and Dobkins K.R. : Visual stimuli activate auditory cortex in the deaf. *Nature Neuroscience*, 4, 1171-1173, 2001.
- 4) MacSweeney M., Woll B., Campbell R., et al : Neural systems underlying British Sign Language and audio-visual English processing in native users. *Brain*, 125, 1583-1593, 2002.
- 5) Meyera M., Zyssetb S., Yves D. C. et al : Distinct fMRI responses to laughter, speech, and sounds along the human peri-sylvian cortex. *Cognitive Brain Research*, 24, 291- 306, 2005
- 6) Neville, H.J., Bavelier, D., Corina, D., et al : Cerebral organization for language in deaf and hearing subjects: Biological constraints and effects of experience. *PNAS.*, 95, 922-929, 1998.
- 7) Nishimura, H., Hashikawa, K., Doi, K., et al : Sign language 'heard' in the auditory cortex. *Nature*, 397, 116, 1999.
- 8) 渡辺哲也・大内進・金子健他: 面圧力分布測定システムを使った点字読みの触圧測定. 電子情報通信学会技術報告, WIT2005-32, 51-56, 2005.
- 9) Petitto, L.A., Zatorre, R.J., Gauna, K., et al : Speech-like cerebral activity in profoundly deaf people processing signed languages: Implications for the neural basis of human language. *PNAS*, 97 (25) , 13961-13966, 2000.
- 10) Poizner, H., Klima, E. S., Bellugi, U. : *What the Hands Reveal About the Brain*, The MTI Press, 1987.
- 11) Dougherty,R.F., Koch,V.M., Brewer,A.A., et al : Visual field representations and locations of visual areas V1/2/3 in human visual cortex. *Journal of Vision*, 3, 586-598, 2003.
- 12) Sadato, N., Pascual-Leone, A., Grafman, J., et al : Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. *Nature*, 380, 526-528, 1996.
- 13) Sadato, N., Okada, T., Honda, M., et al : Critical Period for Cross-Modal Plasticity in Blind Humans: A Functional MRI Study. *NeuroImage*, 16, 389-400, 2002.
- 14) Sakai, K., Tatsuno, Y., Suzuki, K., et al : Sign and speech: amodal commonality in left hemisphere dominance for comprehension of sentence. *Brain*, 128, 1407-1417, 2005.

(受稿年月日：平成17年11月18日)

二特集二

Ⅲ. 障害児教育と関連した脳科学的研究の方法論

－ヒトの脳の形態と機能の計測及び心理学的検査－

渥美 義賢・玉木 宗久・篁 倫子

海津 亜希子*

(教育支援研究部) (*企画部)

1. ヒトの脳の形態と機能の計測

はじめに

教育支援研究部 渥美 義賢

この第Ⅲ部は方法論の概説からなる。本特集のはじめに西牧が述べているように、今後、脳科学を障害児教育に応用し、また障害児教育のニーズに応じた脳科学的研究を展開し、さらに両者を融合させた研究を行っていくことが求められている。その際には、障害児教育の研究の中に脳科学的研究の方法論を取り入れていく必要があり、一方では脳科学の研究に実践的な障害児教育の研究成果を組み込んでいく必要がある。このような過程が障害児教育と脳科学の双方の方法論を橋渡しし、方法論自体の発展と新たな方法論を生み出す可能性を持っていると考えられる。

このような方向性を踏まえ、当面実際に研究を進めていく上では、また現在の脳科学的研究成果の障害児教育への応用を考える上でも、現時点で利用可能性の高い脳科学的研究の方法を踏まえておくことが必要となる。そこでこの第Ⅲ部では、まず現時点で障害児教育に応用できる可能性が高いと考えられるヒトの脳の形態と機能の計測方法について概説する。次いで、脳機能の計測法の中でも障害児教育の研究で最も応用しやすい方法と考えられるNIRS(近赤外線分光法；詳細は後述)について概説する。さらに発達障害等において脳科学的な計測のパラダイムを立てる際、またその結果を解析する際に必須となる神経心理学を含む心理学的検査法について概説する。

1) ヒトの脳の画像学研究方法

近年脳科学が著しい発展を遂げつつある中で、障害児教育に応用しうる可能性が高く、実際的な研究分野として大きく期待されているものにヒトの脳の画像学的研究がある。第Ⅱ部において紹介したように、ヒトの脳機能の計測、特に脳機能画像を用いた研究により近年明らかにされつつある脳科学的知見には、障害児の教育について示唆に富むものがある。今後、障害児教育において教育的支援の内容や方法を科学的に研究する際には、ヒトの脳機能画像を用いた研究が重要になってくると考えられる。そこで、ヒトの脳機能の計測方法について、その基礎となるヒトの脳の形態に関する画像学的計測の方法と伴に以下に述べる。

2) ヒトの脳の構造に関する計測方法

障害児教育との関連からみると、ヒトの脳機能の計測が直接的に関連性を持っているが、脳機能の基盤として脳の構造についての情報は重要である。

ヒトの脳の構造については、16世紀より解剖学的研究により徐々に度明らかになってきて、近年では電子顕微鏡により神経細胞内の微細構造まで明らかになっている。一方、臨床面で重要な、生きているヒトの脳の構造については、1973年に英国でCT-スキャンが開発されるまでは、有用な情報が得られる方法はなかった。X線が脳実質をかなり透過して

しまうこともあり、通常のX線写真では脳の構造が写らないので、脳室や脳血管に空気や造影剤を注入して間接的に脳実質の形態を推定することしかできなかった。これに比べて、CT-スキャンは、脳の形態をかなり精確に、しかも若干のX線被曝はあるものの非常に少ない侵襲で計測することを可能にした画期的なものであり、「脳画像」という研究および臨床の分野が開拓された。次いで1977年にはMRI (Magnetic Resonance Imaging：核磁気共鳴画像)が開発され、ほとんど無侵襲でヒトの脳の形態が計測できるようになった。

CT-スキャンは、装置が比較的安価に生産されるようになり、現在では広く普及しているが、脳の構造を見る方法としては、MRIにかなり劣る。それは、1) X線を用いるため微弱ではあるが放射線侵襲があること、2) X線を透過しない骨のある脳底部の画像の明晰度が不十分であること、3) 脳の皮質と髄質の区別が十分に明確に区別しにくいこと、などがある。

一方で、MRIの技術はその後大きく発展し続け、超伝導技術の発展や様々な撮影法（パルス・シーケンス：MRIで画像を作成する際の磁場のコントロール方法）が開発されたことで、かなり詳細な脳の形態学的特徴を見ることができるようになっている。現在では一定水準以上の病院に普及している静磁場が1.5テスラのMRI装置で普通に撮影しても、1mmの空間分解能で脳の形態を見ることができ、時間をかければより微細な構造を見ることができ、また、MRIは適切な撮影法を用いることで、白質と髄質を比較的明確に区別することができる。さらに最近開発されたDTI (Diffusion Tensor Imaging：拡散テンソル画像)という方法では、脳内の有髄神経繊維束、すなわち発達と密接な関連のある神経繊維の髄鞘化の実態を統計的手法で画像化・定量化できるようになっている。このため、脳の形態に関する研究では、約10年前以降はMRIが用いられており、CT-スキャンはあまり用いられなくなっている。

このような脳の形態を計測する方法の急速な発展があることは、脳の形態についての研究報告を読む時に注意すべき点のあることを意味している。特に

脳の比較的小さな部位の定量的計測をした研究報告については、古いものほど信頼性に問題がある可能性が高いことを考慮しなければならない。

3) ヒトの脳機能計測の方法

A. ヒトの脳機能計測技術の発展

これまでの脳科学の発展において、特に精密な構造と機能の関連を調べるための研究においては、動物を対象とした研究が中心であった。脳の神経細胞の働きを個々の神経細胞もしくは集団としての神経細胞の電気活動として調べるためには、脳内に電極を設置する必要があるため、脳機能と関連する化学物質を調べるためには、特定の状態において脳を瞬時に凍結するか、脳の特定の部位に微細な管を挿入して環流液を採取する必要があるため、研究対象は動物でなければならなかった。

しかし、動物を対象とした研究だけでは、いわゆる高次脳機能といわれるような、ヒトに特有の認知や思考、言語などに関連する脳機能について知るとは非常に困難で限界があり、ヒトを対象とした脳科学的研究が必須である。

生きているヒトの脳については、その構造よりも機能を調べる方法が先に開発された。脳波は1929年に開発され、長い間ヒトの脳機能を調べる方法として唯一のものであった。1950年代からは、その応用として誘発電位や事象関連電位が用いられるようになり、その結果をコンピュータ解析して画像化する試みが行われ「脳機能画像」という研究分野が生まれた。しかし、脳波から得られる情報が限られており、脳内のどの部位がどの程度どのように活動しているかについて正確に知るとは困難であった。

この状況が変わったのは、1978年にSPECT (Single Photon Emission Computed Tomography：単一陽子断層撮影)、1979年にPET (Positron Emission Tomography：ポジトロン断層撮影)が実用に供されてからであった。しかし、当初は空間分解能が極めて低く、データ処理を含めて、計測結果の信頼性が必ずしも十分ではなかったが、PETは近年における機器の性能向上が著しい。次いで大きな画期となったのが、1990年にOgawaraによる実用的なfMRI (functional MRI：機能的核磁気共

鳴画像)の開発である。このfMRIの実用化により、ヒトの脳機能画像学的研究が広汎に行われるようになった。2000年頃から、比較的簡便な脳機能計測法としてNIRS (Near-Infrared Spectroscopy: 近赤外線分光法)が実用段階になり、今後はより広汎に脳科学的研究が行われていくと推測される。

B. ヒトの脳機能計測の方法

SPECT

SPECTは、 ^{133}Xe や ^{123}I -IMPなどの半減期の短い核種を吸入もしくは静脈注射によって被験者に投与し、これらの核種が脳実質に取り込まれて放射する γ 線をガンマカメラで計測し、 γ 線の方向と量から脳血流の状態を2次元の画像として合成するものである。核種はメーカーで作成されたものを使うことからPETより簡便に設置でき計測できる利点がある。しかし、SPECTは微弱とはいえ放射線による侵襲があること、脳部移間の相対値の計測であること、空間分解能および時間分解能がよくないことなど、脳機能計測装置としては様々な制約があるため、現在では脳機能研究に用いられることは少ない。

PET

PETは ^{11}C や ^{15}O 、 ^{18}F などの超短時間の半減期の核種を静脈注射によって被験者に投与し、これらが脳実質に取り込まれて放射する放射線を計測して2次元のデータまたは画像として提示するものである。PETは最近の約10年間で技術的に大きく発展し、脳機能を計測する方法の一つとして定着している。しかし、微弱ではあるものの放射線被曝があること、時間分解能や空間分解能が後述するfMRIに劣ること、特にサイクロトロンが必要で装置が大がかりで高価なことや計測に人手がかかること、などから広くは用いられてはいない。しかし、特定の放射性同位元素を用いると糖代謝や局所脳血流量の絶対値が計測できる利点があり、 ^{11}C や ^{15}O などのポジトロン核種を組み込んだ神経伝達物質等を導入することで、神経伝達物質の計測など生化学的な計測ができるので、これらの利点を生かして用いられるようになりつつある。

fMRI

fMRIは、1990年にOgawaらが実用的な方法を開発してから急速に発展しつつある脳機能画像の撮影方法である。PET等と異なり放射性物質を用いないため無侵襲であること、時間分解能と空間分解能が優れていること、脳の形態撮影を同時にできること、などの利点から脳機能画像の研究方法の主流となっている。一方、安静時と課題遂行時などの相対的な変化しか分からないこと、わずかな頭部の動きによっても計測が不可能になること、磁場や電磁場のノイズに敏感なため課題を与える機器に特製のものが必要になる場合が多いこと、撮影時に大きな音がすること、などの短所がある。

NIRS

数年前から実用段階に入った比較的簡便な脳機能計測法にNIRS (Near-Infrared Spectroscopy: 近赤外線分光法)がある。これは、頭蓋骨はよく透過するが、脳内のヘモグロビンにはよく吸収される近赤外線を用い、大脳皮質の酸化ヘモグロビンおよび還元ヘモグロビンの変化を調べ、これによって種々の脳部位の活性化を見るものである。NIRSは、空間分解能は悪いが時間分解能は良く、装置が小型で計測が比較的簡便なことから、多少は被験者が動いても計測が可能なこと、などの長所があり、近年普及しつつある脳機能計測法である。

NIRSは計測する上での制約が少ないので、比較的自然な状態で脳機能の計測が可能である。このことは障害児教育に関連した脳科学的研究を行う上では大きな利点となり、機器が比較的安価で今後の普及が推定されることも考慮されて本研究所に導入された。そこでNIRSについては次項で詳細に紹介する。

各測定法の比較

以上のようなヒトの脳機能を画像化して計測する技術は、この十数年間で著しい発展をしてきており、今後の「脳科学と教育」研究においても中心的な研究手段となることが推測される。表1に各計測方法の特徴を比較したものをまとめた。

表1

	脳波	脳磁図	SPECT	PET	FMRI	NIRS
空間分解能	悪い (不明確)	中等度程度	やや悪い (>1-2cm)*	中等度 (>0.5-1cm)*	良好 (>0.5mm)*	悪い (約2.5cm)
時間分解能	良好 (20-30msec)	良好 (2-3msec)	悪い (1-2回/日)	中等度 (>数分)	良好 (>0.5秒)**	良好 (>0.5秒)**
侵襲 (静注等)	無し	無し	有り	有り	無し	無し
侵襲 (放射線)	無し	無し	有り	有り	無し	無し
測定しているもの/測定できるもの	神経細胞の活動の集合を頭皮上から記録	神経細胞の活動の集合	局所脳血流量(rCBF)	局所脳血流量(rCBF) 局所脳酸素代謝(rCMRO2) 局所脳糖代(rCMRglu)等	局所脳血流量の相対的变化(BOLD信号)	局所脳血流量の相対的变化
絶対値 or 相対値	慣用的に絶対値	慣用的に絶対値	相対値	相対値 or 絶対値	相対値	相対値
記録の簡便性等	簡便 被験者の多少の動きは許容	非簡便 被験者は不動	やや非簡便 被験者は概ね不動	非簡便 被験者は概ね不動	やや簡便 被験者は厳密に不動	簡便 被験者の多少の動きは許容

*形態画像との対応や標準脳への展開などを含む最終的な分解能

**これはBOLDの変化は血流の変化を反映しているので反応が遅いことを考慮した生物学的時間分解能。

1 スライスの撮影に要する機械的な時間分解能は数10msec.

(受稿年月日；平成17年11月18日)

2. NIRSによる脳機能計測

教育支援研究部 玉木 宗久

企画部 海津亜希子

本研究所では、脳機能を非侵襲的に計測できる先端的な機器として日立メディコ製「光トポグラフィ装置 (ETG-4000)」(図1)を平成16年度に導入した。これは、先にも述べたNIRSによる脳機能計測のための装置である。ここでは、NIRSによる脳機能計測の原理について簡単に述べ、次に光トポグラフィ装置を利用した具体的な計測方法について紹介する。なお、NIRSによる脳機能計測の詳細については、山下ら²⁾にまとめられている。

1) NIRSによる脳機能計測の原理

電灯を指や掌にあてると、赤い光が透けてみえ



図1. 日立メディコ製
「光トポグラフィ装置 (ETG-4000)」

比較的小型で可搬性に優れており、また、特殊な計測室を必要としない。

る。このように近赤外光(波長約700-900nm)は、生体組織内での透過性が比較的高く、頭皮上から照射すると、頭蓋骨の内側にある大脳の表面(頭皮上

から約15-20mm)に光が到達し、その反射光を頭皮上から検出することができる。

NIRSによる脳機能計測においては、このような近赤外光の特性と血中ヘモグロビン(Hb)の光吸収特性を利用して、大脳皮質の局所的な脳血液量の変化-酸素と結合したHb(酸化Hb)、酸素を解離したHb(脱酸化Hb)、それらの総和としての全Hb(血液量)の濃度変化-を非侵襲的に(つまり生体を傷つけたりすることなく)記録する。脳血液量の変化は、実際に情報を処理している神経活動そのもののあらわれではない。しかし、神経活動に必要なエネルギーを供給するために副次的にグルコースや酸素を運ぶ血液量が増加することから、この指標を利用して、大脳皮質にある様々な脳機能-知覚、運動、言語、記憶、認知、思考、実行機能などの働き-を推測することができる。

2) 光トポグラフィ装置による計測方法

ここでは、NIRSによる脳機能計測の実際の例と



図2. 光ファイバの装着

光ファイバに柔軟性があり、頭部の固定を必要としない。

して、光トポグラフィ装置による手指の運動に関連する脳機能の画像化を紹介する。ここでいうトポグラフィとは二次元画像計測法という意味であり、光トポグラフィ装置では、複数の計測点(計測チャン

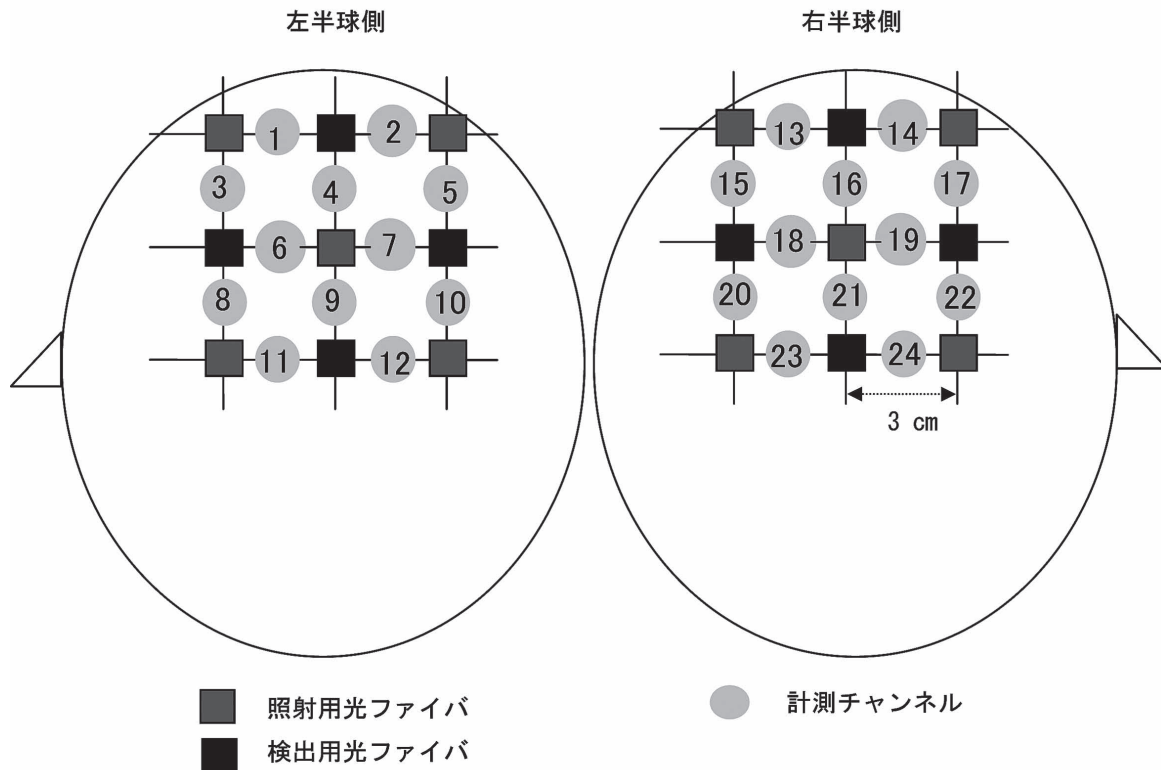


図3. 光ファイバの配置と計測チャンネル

照射用光ファイバと検出用光ファイバを交互に正方格子状に配置する。隣接したファイバ間の各中点が計測チャンネルになる。

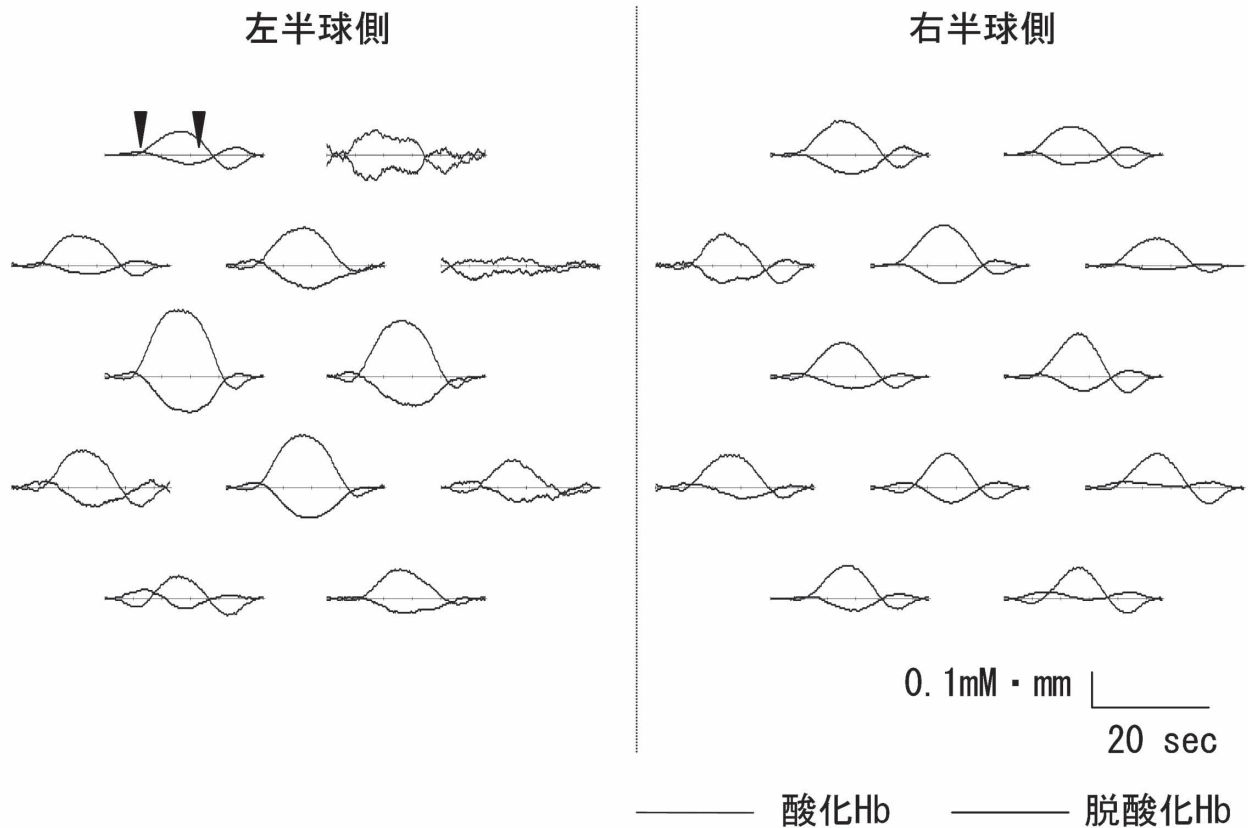


図4. 右手指の運動に伴う局所脳血液量の変化—酸化Hb, 脱酸化Hbの濃度変化—の例

計測チャンネルごとにチャートが描かれている。矢印の間の運動期間で、運動野領域において左半球側優位に酸化Hb濃度が増加している

ネル)からの同時計測により二次元画像として脳機能をとらえることができる。

手指の運動は、脳機能を計測するためによく用いられる課題である。例えば、これは、安静(15 sec)と右手指のタッピング運動(10 sec)を交互に数回繰り返すようなパラダイムで遂行する。そして、このような課題を行っているときに大脳皮質の運動機能領域(運動野領域)の局所脳血液量を計測する。計測を行う場合には、事前に近赤外光を頭皮に照射する「照射用光ファイバ」と、その反射光を検出する「検出用光ファイバ」を図2のようにプローブにより誘導し頭皮上に装着する(ここでは左右側の大脳半球のそれぞれの運動野を中心とした領域に9本ずつ光ファイバを配置している)。また、図3のように照射用光ファイバと検出用光ファイバを交互に正方形格子状に配置するのが一般的である。さらに、光ファイバの配置の位置については、大脳

の解剖学的な位置(ここでは運動野領域の解剖学的な位置を指す)との対応を十分に考慮しなければならない。Okamotoら¹⁾は、脳波記録における電極配置法である国際10-20法に準拠して光ファイバを配置し、比較的簡便に大脳皮質領域と対応させる方法を提唱し、最近ではこの方法を応用した報告が増えてきている。大脳皮質の局所血液量の変化は、照射用光ファイバと検出用光ファイバの間の中点で最も感度よく記録されるため、隣接したファイバ間の各中点が計測チャンネルになる(図3)。それぞれの計測チャンネルからノイズの少ない記録を行うためには、特に光ファイバを装着する際にファイバの先端を完全に頭皮に接着させることが重要である。光を吸収する頭髪をファイバと頭皮で挟まないように留意するとよい。それぞれの計測チャンネルにおける記録は、酸化Hb, 脱酸化Hb, 全Hbの濃度変化ごとに、通常1秒間に10ポイントの割合で数値化さ

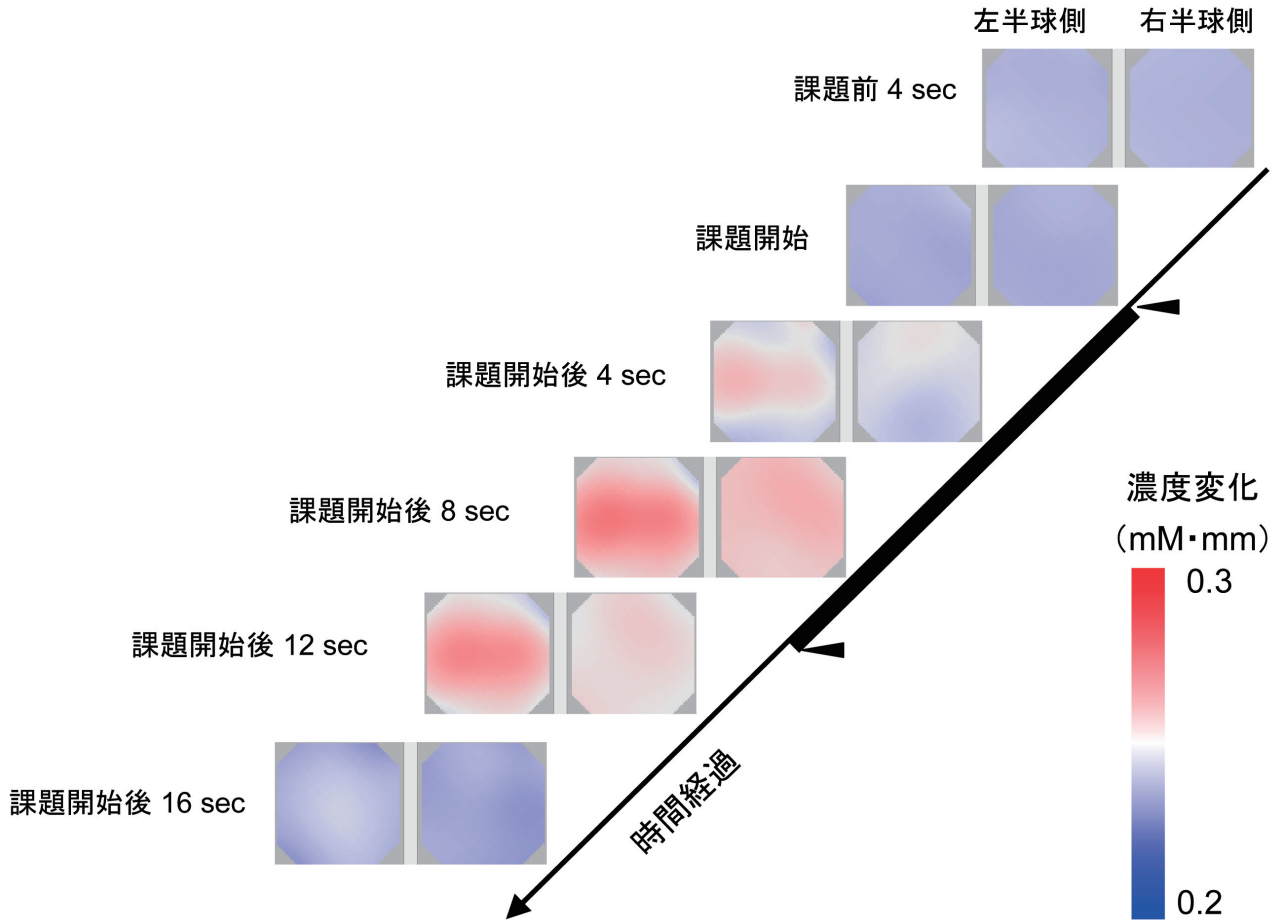


図5. 二次元画像表示による右手指の運動に伴う酸化Hb濃度変化
 -右手指の運動に関連する脳機能画像-

れ (単位はmM・mm), コンピュータに取り込まれる。

このようにして記録された右手指の運動に伴う局所脳血液量の変化の例を図4に示す。図では、計測チャンネルごとにチャートが描かれており、左から右へと時間が経過している。それぞれそれぞれのチャンネルの位置は図3に対応している。赤は酸化Hb, 青は脱酸化Hbの濃度変化である。左上のチャートに示した矢印間が手指の運動期間である。図をみると、運動野領域において、左半球側優位に酸化Hb濃度が増加しているのがわかる。運動野の反応は、体の軸に対して反対側の運動に対応することが知られており、大脳の左半球の運動野は、右手指を動かしたときに強く活性化し、右半球の運動野はあまり

活性化しないという様子が観察できる。さらに、これを二次元画像として表したのが図5である。このように画像化すると、普段は目に見えない脳機能のダイナミックな変化を視覚的に知ることができる。

<引用文献>

- 1) Okamoto, M., Dan, H., Sakamoto, K., et al : Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10-20 system oriented for transcranial functional brain mapping. NeuroImage, 21, 99-111, 2004.
- 2) 山下優一, 牧 敦, 山本 剛 他 : 光による無侵襲脳機能画像化技術-「光トポグラフィ」-. 分光研究, 49(6), 275-286, 2000.

(受稿年月日：平成17年11月18日)

3. 心理学的検査

教育支援研究部 篁 倫子

1) 神経心理学と心理学的検査

神経心理学は脳と精神機能・行動との関連を研究する学問であり、従来、脳の損傷およびその局在性と、その際に生じた言語、行動、記憶等にみられる障害との関係を検討するという形で進められてきた。すなわち、脳病変による症候としての失語、失認、失行から人の認識・行為システムのモデルを推察するのが神経心理学の原則的方法であり、その対象となるのは主に成人であった⁶⁾。

しかし、神経心理学とその道具としての心理学的評価に関する研究は、近年は精神医学領域における認知機能の評価、並びに機能性精神障害の生物学的研究や薬物治療の効果の検討においても進められるようになった³⁾。また、子どもに対しては発達視点の評価から、発達障害と脳機能との関連についての検討に至るまで、神経心理学的評価は重要な手段として使われている。

言語、行動、記憶等は皮質を中枢とする高次脳機能であり、その評価法は高次脳機能検査と呼ばれる。高次脳検査と神経心理学的検査をそれぞれに定義するとすれば、前者は種々の決定的領域を短時間にふるいわけよう考案されている一方、後者は皮質機能が十分（あるいは不十分）であることを反映する広範囲の認識活動、適応行動および情動行動の客観的に総合的に判断することを目的により時間をかけて評価するものである⁴⁾。しかし実際にはほぼ同義語として使われている。いずれにおいても、脳障害や脳機能の統合そのものを把握することはできないので、主に情報処理の障害や特性を心理学的検査を用いて調べていくことになる。

2) 心理学的検査と発達障害

小児の神経心理学についての単行本は欧米では1980年代から多く出版されるようになったが、わが国では未だに数の少ない領域であり、特にその神経心理学的検査に至っては、非常に数が少ない。

発達障害は中枢神経系の機能障害の存在が推定されており、それは認知、言語、注意、記憶といった

高次脳機能の発達に歪みをもたらし、例えば、LDであれば聞く、話す、読む、書く、計算する、又は推論するなどの基礎的学力の習得と使用における困難として現れてくる（図1）。さらに、基礎的学力の問題は教科学習でのつまずきや遅れとなつて、把握されるのである。実際の教育場面では指導、観察、テスト、学力検査等をとおして、その子どもの学習のつまずきを把握する。

しかし、わが国には、聞く、話す、読む等の基礎的学力を直接に測定し、かつ子どもの発達にそつて通年的に利用できる定量的測定法がない。従つて、それぞれの教科、領域での達成度やつまずきの特徴、並びに知能・認知機能などの神経心理的評価の結果等から総合的に評価し、対象となる子どもの基礎的学力を把握していくことが、現在のところ最も实际的で有効な手法となる。

学習上、行動上、情緒面の個性やつまずきと、脳の働きの問題との間をつなぐものがまさに神経心理学的な評価である。脳機能をより直接的に測定する様々な医療・工学機器の著しい発達によって徐々に解明されつつある人の脳や行動の基礎は多い。しかし、脳の活動にはその目的や意味が存在するわけで、その理解には心理学的アプローチ、心理教育的評価・検査は非常に重要である。ここでは、軽度発達障害の脳機能に視点を置きながら、知能検査と高次脳機能の遂行機能を評価する代表的な心理・教育的な評価・検査の手法を概説する。

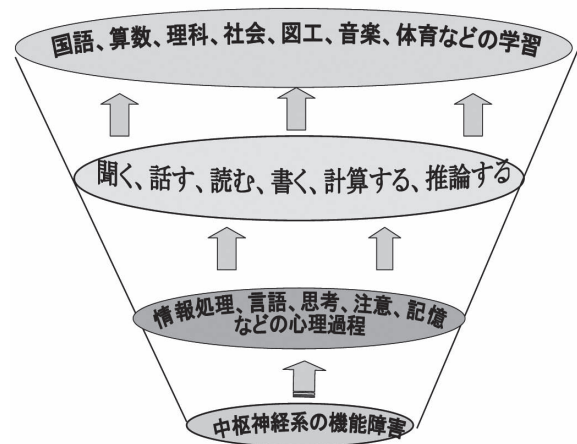


図1 LDの発生機序（篁，2002）

A) 知能検査

知能は「新しい場面に適応する際に、これまでの経験を効果的に再構成する能力」と定義されるが、知能の構造、内容については様々な考えがあり、その意味では仮説的構造体と言える。知能とは知能検査によって測るところのものであるということさえある。ここでは知能について概説することは目的とせず、知能検査は注意、記憶、判断、言語、類推等の高次脳機能が統合されて発揮される人の能力と捉えておく。

<WISC-Ⅲ Wechsler Intelligence Scale for Children-Third Edition>

世界の国々で標準化され、心理、医療、教育の領域において広く利用されている児童・生徒（小児6歳から15歳）を対象としたウエクスラー式知能検査である。Wechslerは包括的な知能を言語性、動作性、全検査の3種類のIQとして表している。また、知的発達の状態を評価点プロフィールで表示することで、「個人内差」という観点から分析的に解釈できるように構成されており、さらに因子分析から得られた4つの群指数（言語理解、知覚統合、注意記憶、処理速度）により、子どもの発達の特徴をより多面的に把握することが可能である。知能、認知機能の把握においては既存の心理検査の中では最も情報量が多く、LDだけでなく発達障害の評価と判断には欠かせない検査と言える。

<K-ABC心理・教育アセスメントバッテリー>

子どもの知的活動を、認知処理過程（心理尺度）と知能技能の修得度（教育尺度）に区別して評価し、その子どもの知的活動の発達上の問題やまだ発揮されていない力の発見に重要な資料を提供できる。健常児や障害のある子どもの認知処理の仕方を、プロフィール分析により詳細に評価する。

B) 遂行機能（実行機能）検査

人は計画性を持ち、状況の変化を受けとめ、臨機応変な対応をして、目標を達成する。これら一連を操るのが Executive Functionであり、遂行機能もしくは実行機能と訳されている。日常的問題解決

ウィスコンシン・カード分類検査 【Wisconsin Card Sorting Test : WCST】 (Milner B, 1963, Keio version)

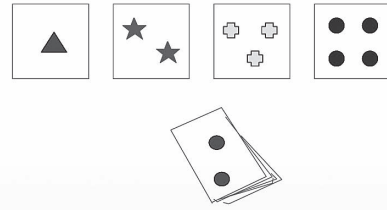


図2 ウィスコンシン・カード・ソーティング・テスト (WCST)

に重要不可欠な能力と考えられている。前頭葉の「前頭前野」という部分に損傷を受けた人にこれらの遂行動作が障害されることから、前頭前野と遂行機能との関連も明らかになってきている。

例えば、この部分が頭部外傷などで損傷を受けると、習慣的な行動、日常的な会話、知識は保たれているが、注意散漫や自発性低下や、周囲の状況変化に臨機応変に対応することができないといった問題が出てくる。

この実行機能の障害はADHDや高機能自閉症等の子どもにみられる症状や問題の背景に存在する基本的な障害であるとする考えもある。

<ウィスコンシン・カード・ソーティング・テスト (WCST) >

前頭葉機能、実行機能を評価する代表的な検査法である。4つの形（三角、星、十字、丸）のシンボルの1つが、赤、緑、黄、青のいずれかの色で、1～4個印刷されたカードを分類する。実施者が分類の基準を適宜切り替えたり、維持し、被験者の概念の形成、変換、維持に関する能力を検討する検査である。

課題の遂行には、必要な情報（直前の刺激や情報ならびにそれに関連したあらゆる種類の記憶や概念）を動的な表象として保持し、遂行に使用することが必要である。このシステムがワーキングメモリと呼ばれるものである。

Igarashi²⁾ は12歳以上のADHDとHFPDDの子ど



図3 ストループテスト

もを対象に、WCSTおよびリーディングスパン（言語性ワーキングメモリの測定）を実施し、その成績が健常群のものより明らかに劣っていたと報告している。

<ストロープテスト Stroop Test>

習慣的な反応のしかたに陥りやすい点を測定する方法としてはストロープテストある⁴⁾。

図3はその一例である。左上から横へと順に、文字を読むのではなく、その色を言うことが求められる。文字を学習した者にとっては色の名前を言うより、文字を読むとう反応が出易い。この反応抑制するのが前頭葉機能であり、そのうちの前帯状領域との関連が指摘されている。そして、ADHDの人は、そうでない人に比べて、課題遂行により時間を要し、誤反応を多く示すということが指摘されている。

Barkley¹⁾はADHDの人にみられADHDの基本障害は行動抑制の欠如にあり、通常ならばこの行動抑制のもとで形成される実行機能が形成されないと主張する。彼は実行機能を①非言語性ワーキングメモリ（情報を心の中に留め置く）、②言語性ワーキングメモリ（受容および表出言語の無言化：反省、規範や規則の理解）、③感情・動機・覚醒の自制、④再構築（行動の分析統合、柔軟性、創造性）から説明し、これらの4つの機能不全が行動・運動の抑制・統合の障害をきたしているとしている。

玉木らは、子どもの実行機能を簡便に測定する

ために開発された米国Psychological Assessment Resource社のBehavior Rating Inventory of Executive Function（BRIEF：実行機能に関連した行動評定尺度）に着目し、現在、その尺度を翻訳したものをLD、ADHD、高機能自閉症等の子どもに試みており、本邦での実行機能検査として標準化を検討している。

3) 脳科学と教育をつなぐ心理学的検査

脳の画像解析法の飛躍的進歩は、脳損傷や脳機能の検出・測定を可能にした。それとは対照的に、脳と行動の間をつなぐ神経心理学的検査法の開発は、特にわが国では遅々としている感がぬぐえない。成人における認知、言語、運動などの種々の機能リハビリテーション、そして子どもの機能発達を目指した指導、訓練において、具体的な目標行動の設定とその評価をするためにも、心理学的検査の重要性は増すことはあっても薄らぐことはない。従って、画像診断法の進歩でもたされた脳機能の現象に「意味を持たせる」、より詳細で臨床的な心理学的評価の開発や、既存の評価法の体系化が求められるのである。

たとえば、発達障害の子ども脳機能について生物学的、生理学的、構造的な問題が明らかになっていったとしても、それ自体が目の前にいる発達障害の子ども特定の行動を説明することにはならないだろう。感覚や運動の障害と脳の局在性と関連に比べれば、人の認知機能と脳局在との関連ははるかに複雑であり、わかっていることは多くない。

十一⁵⁾は、自閉性障害やアスペルガー障害と脳機能の関連を示す知見を整理した上で、認知表象に依拠しないさまざまな脳内情報処理の知見を認知検査上のプロフィール並びに現実の臨床像といかに結びつけるかが重要性であると述べている。

集積が進む脳機能に関する知見が、子どもの基本的な学習・行動との関連において意味づけされ、それぞれの障害特性の理解や、それに基づいた適切な教育的対応、指導内容・指導方法の発展に結びついていかなければならない。心理学的評価（検査）の果たす役割がそこにある。

<引用文献>

- 1) Barkley, R. : Attention-Deficit Hyperactivity Disorder, 2nd edition, The Guilford Press, New York, 1998.
- 2) Igarashi, K., Sakai, Y. and Kato, M. : Study of executive function and working memory in the patients with ADHD (Attention Deficit/Hyperactivity Disorders) . 2nd International conference on WORKING MEMORY Abstracts, pp60, 2004.
- 3) 鹿島晴雄 : 神経心理学入門, こころの科学80,20-25, 1998.
- 4) Strub, R.L. and Black, F.W. : 高次脳機能検査法 (江藤文夫訳), 医歯薬出版, 1987.
- 5) 十一元三 : 発達障害と脳, こころの科学, 100, 78-87, 2001.
- 6) 山鳥重 : 「神経心理学入門」医学書院, 1985
(受稿年月日 : 平成17年11月18日)