

課題別研究報告

(平成16年度～18年度)

脳科学と障害のある子どもの教育 に関する研究

平成 19 年 3 月

独立行政法人
国立特殊教育総合研究所

まえがき

この報告書は、平成16年度から平成18年度に行われた課題別研究「脳科学と障害のある子どもの教育に関する研究」の研究成果をまとめたものである。

この研究は、大きく二つの文部科学省の方策及び報告書を受けて推進されている。一つは、「脳科学と教育」研究の推進方策について（平成15年7月3日）である。その中で、人を対象とした脳機能の非侵襲計測が可能となり、医学、行動学、心理学など脳に関する研究が進展してきたことから、これらと教育の研究と融合することで、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「脳科学と教育」研究を推進していく方針が文部科学省から示され、教育の場における課題の整理がなされた。もう一つは、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）」である。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（以下研究所）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。」と述べられている。

そこで、研究の全体構想を以下のように立てた。

- 脳機能と学習メカニズム、知覚・認知メカニズム、コミュニケーション能力など、障害児教育の場における課題をふまえる。
- 研究所における「脳科学と障害のある子どもの教育」に関する研究の基盤整備の一貫として、障害のある子どもを対象にした研究推進のための科学的正当性と倫理的妥当性を担保するための倫理規程の策定
- 脳科学研究を推進するための機器の整備とそれらの操作技術の習熟（研究所へのNIRSの導入と国立病院機構久里浜アルコール症センターにあるfMRIの共同使用）
- 脳科学的評価を加える必要がある特別支援教育の教育課題の整理、特に研究所の過去の研究を中心に行う。（感覚障害、自閉症、重度重複障害等）
- 学習障害、注意欠陥多動性障害等に関連する機能障害の解明と教育的課題解決への応用
- 学校現場における脳科学に関するニーズ調査
- 学校現場への脳科学の情報提供

この研究では、特別支援教育に新たな研究方法を導入する可能性の追求を期待されている。当然、研究所スタッフのみで完結するものではなく、多くの研究協力者、研究協力機関との連携によりなし得るものと考えている。本報告書をきっかけに、多くの特別支援教

育関係者が、脳科学と障害のある子どもの教育に関心を寄せて頂くことを願っている。

平成19年3月

研究代表者

独立行政法人国立特殊教育総合研究所

教育支援研究部 上席総括研究員（医療福祉連携担当）

西牧 謙吾

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」 研究組織

研究代表者

渥美 義賢 (教育支援研究部 上席総括研究員 研究代表者)
西牧 謙吾 (教育支援研究部 上席総括研究員 研究代表者)

研究分担者

千田 耕基 (教育支援研究部 上席総括研究員)
笹本 健 (企画部 上席総括研究員)
大内 進 (企画部 上席総括研究員)
當島 茂登 (教育支援研究部 総括研究員)
小田 侯朗 (教育支援研究部 総括研究員)
渡辺 哲也 (教育支援研究部 主任研究員)
玉木 宗久 (教育支援研究部 研究員)
海津 亜希子 (企画部 研究員)

研究協力者

小池 敏英 (国立大学法人東京学芸大学 教授)
市川 宏伸 (東京都立梅ヶ丘病院 院長)
西谷 信之 (藤田神経内科クリニック 院長)
竹内 直樹 (横浜市立大学医学部附属病院 小児精神神経内科部長)
篁 倫子 (国立大学法人お茶の水女子大学生生活科学部 教授)
河原 仁志 (社会福祉法人風祭の森 重症心身障害者施設 太陽の門 施設長)
栗原 まな (神奈川県立総合リハビリテーションセンター病院 小児科部長)
加藤 俊徳 ((株) 脳の学校 代表取締役社長)

研究協力機関

東京都梅ヶ丘病院
横浜市立大学医学部附属病院小児精神神経科

課題別「脳科学と障害のある子どもの教育」報告書目次

まえがき

研究組織

第1章	研究の概要	1
1.	研究の目的	1
2.	研究の背景	1
3.	研究の経緯	1
第2章	特殊教育における倫理規程のあり方について	3
1.	はじめに	3
2.	脳科学研究と倫理規程の必要性について	3
3.	特殊教育における倫理規程の特殊性と必要性	4
4.	研究所における脳科学研究のための倫理要項の策定までの経緯	5
5.	倫理審査委員会の実際	5
6.	おわりに	6
	資料1	7
	資料2	10
第3章	「特別支援教育と脳科学」に関する二つのニーズ調査	14
I.	はじめに	14
II.	「特別支援教育と脳科学」に関する障害児教育講座等に所属する教員への研究状況調査	14
1.	調査の目的	14
2.	調査の実施	14
3.	調査結果	15
4.	考察	21
III.	セミナーⅡ参加者への「特別支援教育と脳科学」に関するアンケート調査	22
1.	調査の目的	22
2.	調査用紙	22
3.	調査結果	22
4.	考察	25
IV.	おわりに	26
	別表1	27
	別表2	32
第4章	分子生物学と発達障害	35
1.	はじめに	35
2.	脳科学迷信	35

3. 分子生物学についてー遺伝子とタンパクの働きと相互作用ー	36
4. 発達障害	39
5. おわりに	42
第5章 NIRSによる脳機能測定	43
1. はじめに	43
2. 神経活動の解剖学的基盤	43
3. NIRSの計測原理	43
4. NIRSの計測の実際	44
5. 計測、分析、データの解釈のための留意点	47
6. おわりに	54

巻末資料

- 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

第1章

研究の概要

1. 研究の目的

この研究は、大きく二つの文部科学省の方策及び報告書を受けて企画された。一つは、「脳科学と教育」研究の推進方策について（平成15年7月3日）、もう一つは、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）」である。この研究の目的は、特別支援教育に脳科学という新たな研究方法を導入する可能性を追求することである。そのために、3年間の研究期間において、研究推進のための基盤整備、学校現場のニーズ調査と学校現場等への脳科学に関する情報提供を行った。そして教育的課題解決に向けての脳科学の応用的研究を開始した。

2. 研究の背景

脳科学の進歩は、障害のある子どもの発達や障害そのものを脳機能レベルで理解を可能にした。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、障害児教育にも応用が可能になったのである。教育実践の評価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が出来、新たな指導法の開発にもつながる可能もあろう。このような時代背景から、文部科学省から上記の方策及び報告書が出てきたことになる。

また、この研究が構想された背景として、日本や世界の教育政策の潮流を押さえる必要がある。脳科学の応用分野は、障害児教育にとどまらない。そこで、「脳科学と教育」研究の方向性やこの分野の世界の動向は、すでに独立行政法人国立特殊教育総合研究所研究紀要第33巻 特集脳科学と障害のある子どもの教育の中で整理している。巻末に資料として載せてあるので、参考にされたい。

3. 研究の経緯

1) 平成16年度

- 脳科学的研究にかかわる倫理委員会の設置
- 平成16年12月に近赤外線分光法（NIRS）による脳機能計測装置を導入
- 脳の構造と機能の解析ソフト「Brain Voyager」を導入
- 脳科学的研究にかかわる倫理要項の整備

- 脳科学研究ニーズ調査の実施（研究所内）
- 短期研修で、脳科学を共通講義に入れた（肢体病弱）

2) 平成 17 年度

- 独立行政法人国立特殊教育総合研究所に関する倫理規程のあり方研究
- B R I E F—実行機能行動評定票の翻訳
- N I R S による脳機能の研究；読みに関与する脳機能の評価
成人を対象として、読みやすさや音と書記の複雑さを、意味—無意味単語、清音—特殊音節単語により操作して、その時の処理の違いを検討し、単語読みに関係する脳機能を調べる。
- 研究所における脳科学の知識の普及（セミナーの実施）
 - a) 「ADHD & PDD の遂行機能とワーキングメモリ」
平成 17 年 5 月 24 日（火） 白百合女子大学教授 五十嵐 一枝 先生
 - b) N I R S の精神科的研究への応用
平成 18 年 3 月 15 日（ 群馬大学大学院医学系研究科 脳神経精神行動学
助教授 福田 将人先生
- 研究紀要第 33 巻 特集 脳科学と障害のある子どもの教育

3) 平成 18 年度

- 全国教育系大学教員への脳科学研究に関する意識調査
- セミナーⅡ参加者意識調査
- セミナーⅡ「発達障害、脳科学はどこまで解明できたか」
研究成果報告者：西牧謙吾（国立特殊教育総合研究所上席総括研究員）
講演者：「発達障害の脳科学」
榊原洋一（お茶の水女子大学子ども発達教育研究センター教授）
「脳科学による言語発達研究の現在」
酒井邦嘉（東京大学大学院総合文化研究科助教授）
パネルディスカッション「発達障害、脳科学はどこまで解明できたか」
榊原洋一（お茶の水女子大学子ども発達教育研究センター教授）
酒井邦嘉（東京大学大学院総合文化研究科助教授）
指定討論者：渥美義賢（国立特殊教育総合研究所上席総括研究員）
司会：西牧謙吾（国立特殊教育総合研究所上席総括研究員）
参加者数 336 名（全体 699 名）
- 報告書作成

第2章

特殊教育における倫理規程のあり方について

1. はじめに

国立特殊教育総合研究所（以下研究所と略す）で、脳科学研究を始めるに当たり、研究を支える研究倫理規程の策定が急務となった。ここでは、まず現行の倫理要項策定過程を説明し、今後特殊教育分野でも必要と考えられる倫理規程のあり方について述べる。

2. 脳科学研究と倫理規程の必要性について

脳科学研究を進める研究施設に倫理委員会が存在することは今や不可欠になりつつあり、研究の外部資金導入や論文発表にも大きな影響を及ぼすようになった。

日本では、遺伝子操作技術、生殖技術、再生医療技術といった科学技術の発展や脳死議論に代表される生命を取り巻く倫理観・道徳観の変容等による倫理的、法的、社会的問題（E L S I ; Ethical, Legal and Social Issues）の出現により研究倫理に関する法律や指針等の整備が進められた。章末に、所内勉強会で使用した資料（資料1）をつけておくので、参考にされたい。

国内で遵守すべき法律や倫理指針の代表的なものは、独立行政法人等に保有する個人情報保護に関する法律（平成15年5月30日法律第59号、平成16年4月1日施行、総務省）、医療・介護関係事業者における個人情報の適切な取扱いのためのガイドライン（平成16年12月24日告示、平成17年4月1日施行。厚生労働省）、ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針（平成13年3月29日告示、平成16年12月28日全部改正、平成17年4月1日施行。文部科学省・厚生労働省・経済産業省）、疫学研究に関する倫理指針（平成14年6月17日告示、平成16年12月28日全部改正、平成17年4月1日施行。文部科学省・厚生労働省）、臨床研究に関する倫理指針（平成15年7月30日告示、平成16年12月28日全部改正、平成17年4月1日施行。厚生労働省）、診療情報の提供等に関する指針（平成15年9月12日告示、厚生労働省）、等である。

国際的規程として代表的なものはヘルシンキ宣言：ヒトを対象とする医学研究の倫理的原則（1964年初版採択、2000年第6版採択、2002年・2004年に注記追加、世界医師会）である。これらは、すべてネット上からダウンロード可能である。

個人情報保護法は、独立行政法人における学術研究では多くの部分が適応除外を受けるが、施行にあわせて各種ガイドラインが国から出されており、その内容まで考慮する必要がある。この分野の先進国である米国では、国家研究法（National Research Act、1974）

に基づき、人を対象とする生物医学・行動研究で連邦政府から研究費助成を受ける場合、研究費申請前に各研究機関に設置が義務づけられた I R B（倫理審査委員会）の許可が必要であるが、日本には国全体の人を対象とする研究を束ねる法律はない。そこで、機関内倫理審査委員会を持つことになる。

前述の各種行政指針は、所管別省庁から出されており、用語の使い方、意味内容に若干の相違が見られる。倫理規程策定に当たっては、どの指針を遵守し、内容の意味を明確化する必要がある。

3. 特殊教育における倫理規程の特殊性と必要性

特殊教育研究は、ヒトを対象とする研究であるが、障害のある子どもを対象にすることから、インフォームド・コンセントの取り方等で、弱者保護の観点からより高い倫理性を要求される。そこで、脳科学研究のための倫理要項策定を契機に、特殊教育のナショナルセンターの研究者と職員に対し、全体研修を企画した。平成 16 年 11 月 16 日、研究所において政策研究大学院大学 菱山 豊先生に「人間を対象とする研究における倫理問題について」の講義をお願いした。内容をお伝えするために、章末に講義スライドを資料 2 としてつけておく。この内容は、特殊教育を研究する者は、当然人間を対象とする研究をしているわけだから、倫理問題に縛られるはずであるというものである。教育における倫理問題については、平成 16 年度より西牧が短期研修等の講義で取り上げている。

脳科学のように医学的研究を含む場合や心理学的実験では、今までの指針等である程度カバーされると考えられるが、教育的研究にどのような倫理規程が必要かどうかの議論は日本では余りなされていない。研究所でも、今まで個人情報扱いに関する規程はあるが、研究や職務に対する規程はなかった。

なぜ、特殊教育を含む教育には、倫理問題が表面化しないのだろうか。この問題を考える前提として、教育というものを児童生徒・保護者対教員という 2 項軸で考えるとき、指導する側、される側という立場が厳然として存在することを意識しなければならない。この指導の構図は、一人の教師が多くの子ども達を教える効率性を追求するモダンのパラダイムそのものである。

モダンとは、工業社会に代表される規格大量生産方式が基本的な考え方を占める時代である。医療も、最近診療ガイドラインの作成や全国的な治療・看護の標準化が起こっており、ようやくモダンの時代に入った。しかし、現在の高度情報化社会はポストモダンの時代に移行している。例えば、生活習慣病の治療においては、医療者側は診療ガイドラインが必要であるが、一人一人の生活環境や個人のニーズに応じなければ、治療効果は期待できない。「ケア」の方向性は「個別性」、「多様性」、「一回性」、評価指標は、「満足度」である。そこで、通常の医療において、厳然と存在する患者と医療者の間にある情報格差を埋め、患者の QOL を高めるために医療者に求められたものが、医の倫理なのである。

この問題は、医療のみならず、福祉でも課題であるし、教育でも課題たり得る。支援する側と支援される側の情報格差を埋めるための、支援者側の倫理性が問われるのである。

4. 研究所における脳科学研究のための倫理要項の策定までの経緯

脳科学研究を開始するために、まず脳科学に限定的に研究所の倫理要項を策定した。まず、本研究分担者である玉木が、厚生労働省（２００３）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）、世界医師会（２００２）ヘルシンキ宣言：ヒトを対象とする医学研究の倫理的原則（１９６４年世界医師会総会採択）、文部科学省（２００３）機関内倫理委員会の在り方について（平成１５年文部科学省科学技術・学術審議会生命倫理・安全部会）、文部科学省・厚生労働省（２００２）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２号）、社会技術研究システム（２００４）「心身や言葉の健やかな発達と脳の成長」研究における倫理の確保に関する達（平成１６年達５０号）、独立行政法人理化学研究所（２００３）人を対象とする研究に関する倫理規程（安全管理部研究倫理課、平成１５年規程第１２８号）を参考に原案を作成し、研究代表者である西牧、矢田（当時総務課長）で細部を検討し、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）を制定した（巻末資料）。

これは、脳科学に限定的な倫理要項として制定したので、研究所の研究全体に関する倫理規程に関しては、倫理規程策定委員会を設け、現在検討を行っている。

5. 倫理審査委員会の実際

倫理要項（特研総１５７号）に基づく模擬倫理審査委員会を平成１６年１０月１９日（火）に開催した。要項に基づき委員の任命、委員長職務代行者の確認を行った後、渥美研究代表者から研究計画の説明が行われた。渥美委員は、倫理委員会の一員であるが、利益相反なので研究責任者として出席、説明を求めることにした。

以下に、研究計画書に基づく審査の観点をあげておく。倫理委員会を開催するときの参考にされたい。委員からの質疑応答の後、採択を行った。

倫理審査における観点

導入・目的・背景

- ・ 研究の意義、目的が明確に述べられているか？
- ・ 研究の正当性を示す適当な予備データがあるか？
- ・ 研究プロトコルの正当性を示す根拠が適切に記入されているか？

研究デザインの科学性

- ・ その研究デザインは、問題に解答を出すのに適切なものか？

- ・ 定められた研究期間内に、目的を達成することが出来るか？
- ・ 研究デザイン（対照群の取り方など）が、記入されており、正当と見なすことが適切か？

対象者を選ぶ際の方針

- ・ 設定された問題に対し、対象者は適切か？
- ・ 対象者の募集方法は適切に規定されているか？

研究の実施手順

- ・ 研究の実施手順の論理的根拠と詳細事項は、正確に記載され、適切なものか？
- ・ 研究実施者は、適切に訓練され、研究を実施する場所も適切か？

同意説明文書の確認、インフォームド・コンセントの方法

- ・ 研究の計画段階において、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（以下「要項」という。）に基づいて、説明文書の確認、インフォームド・コンセントが適切に行われることが確認できるか？
- ・ 研究の実施段階において、要項に基づき、説明文書の確認、インフォームド・コンセントが適切に行われているか？

対象者にとってのリスク、不快な状態、ベネフィットの可能性

- ・ リスクとベネフィットは、適切に特定され、評価され、記載されているか？

プライバシーと守秘

- ・ データを保管し、コード化する適切なプランがあるか？

6. おわりに

教育的研究の倫理性の難しさは、どこまでが教育でどこまでが研究かはっきりできない点にあると思われる。これは、日常診療において医療と医学的研究の区別のつけにくさに類似する。しかし、医師の職業倫理では、医療は患者の権利に関する世界医師会リスボン宣言と医学的研究ではヘルシンキ宣言（人を対象とする医学的研究倫理原則）を持ち、時代に応じて修正を続けている。特殊教育から特別支援教育への転換期に当たり、また義務教育改革の最中であって、教員の倫理性の議論は、昭和 20 年代から余り進んでいないようにも見える。障害のある子どもの教育の携わる関係者は、今一度、教育の倫理性について考えてみるよい時期にきていると思われる。

参考文献

- 1) 広井良典(2005) ケアのゆくえ 科学のゆくえ 岩波書店
- 2) 川本 隆史編(2005) ケアの社会倫理学 有斐閣選書
- 3) 菱山豊(2003) 生命倫理ハンドブック 築地書館

西牧謙吾、玉木宗久

資料 1 (研究所内勉強会資料)

E L S I (Ethical、 Legal and Social Issues: 倫理的、法的、社会的問題)についての 歴史的流れと今後の課題

● E L S I に関する基準策定の歴史的変遷ー人体実験と研究者の倫理の関係 (～1980)

- ・「ヒポクラテスの誓い」・・・医学の父ヒポクラテス (BC450～357) による医師の道義や患者の安全保護や秘密保持などについての誓い
- ・「ニュールンベルク綱領」・・・第二次世界大戦時にナチスが強制収容所で行った人体実験についてニュールンベルク裁判が実施され、1947 年に医学上の人体実験に関する基準としてとりまとめられた → インフォームド・コンセントに関するガイドラインの先駆け
- ・「ヘルシンキ宣言」・・・「ニュールンベルク綱領」の流れを受け、世界医師会が 1964 年に採択 (1948 年ジュネーブ宣言、1949 年の医の倫理の国際綱領などをふまえて)。
医学の進歩のために人体実験が必要なことを認識：被験者の利益は科学や社会に対する寄与よりも優先される：実験を行う場合は厳格な手続きを得る必要性、など
- ・「タスキギー事件」・・・1930 年からおよそ 40 年間、米で黒人に対する梅毒実験→1972 年ニューヨークタイムズが報じ、全米の避難をあびる。

→研究の自由と専門性に対する権威と信頼の失墜、研究者の倫理に疑問

- ・「国家研究法 (National Research Act)」・・・連邦議会の特別委員会による調査により 1974 年に成立。科学研究における人体実験の被験者保護を目的とする。
- ・「臨床研究における人の保護のための倫理原則とガイドライン」・・・上法に基づき、保健教育福祉省から研究費援助を受けて行う人体実験に適用。研究費申請前に各研究機関に設置が義務づけられた IRB (倫理審査委員会) の許可が必要
- ・「ヘルシンキ宣言」改正・・・以上の影響を受け 1975 年に改正 (現在 2000 年に修正)。
基本原則第 2 条 実験を行うものから独立した第 3 者たる「独立委員会」に審査させる。
第 8 条 宣言の原則に従わない人体実験の結果は発表してはならない。
- ・我が国においては、東京大学医科学研究所に倫理審査委員会が初めて設置。

●我が国のヒトゲノム、ヒトクローン、E S 細胞研究等における E L S I の変遷 (1970 年代～)

○科学研究の進展への期待と E L S I への懸念

- ・科学技術への期待・・・人々が健やかで心豊かに生活できる社会を実現するために重要
人類の健康、福祉の発展、新しい産業の育成

例：ヒトゲノム遺伝子解析、ヒトクローン研究、E S 細胞研究の進展

↓ ↑

- ・ E L S I への懸念・・・ヒトゲノム遺伝子解析、ヒトクローン研究、E S 細胞研究は、その扱い方によってE L S I を招く恐れ。

↓

○遺伝子関係の議論

- ・ 議論の開始・・・1976 年組換えDNA規制の検討が始まり、90 年代以降に盛。
1979 年科学技術会議諮問第 8 号「遺伝子組換え研究の推進方策の基本について」への答申→組換えDNA実験指針。
- ・ 各種ガイドラインの策定（1994）
遺伝子治療の臨床研究に関する科学的妥当性と倫理性の確保。
2 月旧厚生省「遺伝子治療臨床研究に関する指針」
6 月旧文部省「大学等における遺伝子治療臨床研究に関するガイドライン」（' 02 廃止）
- ・ 最近のガイドライン
2000 年 4 月厚生科学審議会先端医療評価部会「遺伝子解析研究に付随する倫理問題等に対応するための指針」
2000 年 6 月科学技術会議「ヒトゲノム研究に関する基本原則について」
2002 年 1 月文部科学省「組み替えDNA実験指針」
2002 年 3 月厚生労働省「遺伝子治療臨床研究に関する指針」

○ヒト胚関係の議論

- ・ 議論の開始・・・1983 年体外受精児の誕生に対して日本産科婦人科学会が見解（ヒト精子・卵子・受精卵を取り扱う研究に関する見解）を出したのが始まり。
- ・ ヒトクローンに関する議論（1998～1999）
1998 年 3 月旧文部省の学術審議会が科学研究費補助金の採択にあたりヒトクローン研究に関する課題を差し控え
1998 年 3 月科学技術会議政策委員会「ヒトのクローン研究に関する考え方について」
1998 年 8 月旧文科省「大学等における人クローン個体作成についての研究に関する指針」
1999 年 11 月科学技術会議生命倫理委員会クローン小委員会「クローン技術による人個体の生産等に関する基本的な考え方」12 月科学技術会議生命倫理委員会クローン小委員会「クローン技術による人個体の生産等について」
- ・ 最近のガイドライン
2000 年 3 月科学技術会議生命倫理委員会ヒト胚研究小委員会
「ヒト胚性幹細胞を中心としたヒト胚に関する基本的考え方」
「ヒト E S 細胞の樹立及び使用に関する指針」→ヒト受精胚から E S 細胞の樹立・使用の条件、E S 細胞を用いた研究実施に必要な手続きを定める。
2001 年 6 月同上委員会「ヒトに関するクローン技術等の規制に関する法律」施行
2000 年 4 月厚生労働省「疫学研究におけるインフォームド・コンセントに関するガイドライン」
2002 年 6 月文部科学省、厚生労働省「疫学研究における倫理指針」
2003 年 3 月科学技術・学術審議会／生命倫理安全部会「機関内倫理審査委員会の在り方について」

●E L S I に関する今後の問題

○E L S I における基本的原則

- ・ 世界医師会によるヘルシンキ宣言の大枠

ヒトを対象とする医学研究に関わる医師の行動を規定する。

被験者の福利に対する配慮が科学的及び社会的利益よりも優先されなければならない。

社会に十分な説明を行い、その理解に基づいて研究を実施。

↓

- ・ヒトを対象とする研究を実施しているのは医師だけではない、教育では？

○新たな科学技術の進展－脳科学による総合的な研究

- ・脳科学→医学だけでなく言語学や心理学、教育学など、他分野に影響
- ・社会が直面している様々な課題に応じていくために総合的、戦略的な研究が必要（平成15年7月「脳科学と教育」研究の推進方策について）」
- ・独立行政法人科学技術振興機構（JST）「心身や言葉の健やかな発達と脳の成長」の研究を進める上で倫理的・社会的事項について検討

○（障害のある子どもの）教育の研究についてのE L S I

- ・ヒトを対象とする研究であるから、E L S Iは避けられないこと。
- ・個人情報の扱いに関する規定はあるが、研究や職務に対する倫理規定はない。

資料作成 玉木宗久

資料2

菱山講義スライド
許可を受けて転載

人間を対象とする研究における倫理問題について

平成16年11月16日
於 国立特殊教育総合研究所
政策研究大学院大学 菱山 豊

本日の流れ

- 1. 倫理的・法的・社会的問題とは何か
- 2. これらの問題へのアプローチと経緯
- 3. 倫理性の確保の方法

1. 倫理的・法的・社会的問題とは何か

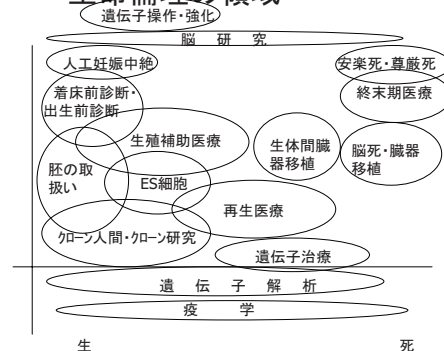
- 1. 倫理的・法的・社会的問題とは何か
- 2. これらの問題へのアプローチと経緯
- 3. 倫理性の確保の方法

生命科学・医学への期待

- 乳幼児をビデオあるいはMRIで観察し、脳の問題を研究
→問題を早期発見し、治療が可能になる。
- がん細胞の状況をゲノム解析により遺伝子レベルで把握
→薬剤の副作用問題を解決するための個人の遺伝子型に対応したテーラーメイド医療
- ヒトES細胞や体性幹細胞の研究
→神経細胞の再生が可能となり、パーキンソン病等の細胞治療への期待

⇒ 期待をしすぎても・・・

生命倫理の領域



生命科学や医学を巡る社会的問題の例

- 薬を使うことにより、こどもの行動をより良くするような研究を行ってもよいのか。
- 着床前診断を行っても良いのか。
- 能力を高めたり、外見を良くするための医療は認められるか。遺伝子を改変してもよいのか。
- 公共政策として人々の「欲望」を抑制できるか。
- (米国の大統領生命倫理委員会では、「Beyond Therapy」という報告書を作成したが)

生命科学や医学を巡る社会的問題の例

- ELSI (Ethical, Legal, Social Implications)対応の人材がいない。
- 倫理審査委員会の審査の質が低い。
- 倫理審査委員会の仕事量が多い。
- 研究のモニタリングも必要ではないか。
- 研究計画の書き方がひどい。

2. これらの問題へのアプローチと経緯

- 1. 倫理的・法的・社会的問題とは何か
- 2. これらの問題の経緯とアプローチ
- 3. 倫理性の確保の方法

生命倫理政策の経緯1/2

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1947年ニュルンベルク綱領 | 1983年東北大でわが国初の体外受精児誕生 |
| 1964年世界医師会による「ヘルシンキ宣言」 | 1997年2月クローン羊ドリー誕生の報告 |
| 1967年世界初の心臓移植(南アフリカ) | 7月 臓器の移植に関する法律 |
| 1968年我が国初の心臓移植 | 9月 科学技術会議生命倫理委員会の設置 |
| 1978年世界初の体外受精児誕生(試験管ベビー) | |
| 1979年米ベトナム・レポート | |

生命倫理政策の経緯2/2

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| ■ 2000年12月人に関するクローン技術等の規制に関する法律公布 | ■ 2002年3月遺伝子治療臨床研究に関する指針告示(平成6年版の改定) |
| ■ 2001年3月ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針告示 | ■ 2002年6月疫学研究に関する倫理指針 |
| ■ 2001年9月ヒトES細胞の樹立及び使用に関する指針告示 | ■ 2003年7月臨床研究に関する倫理指針 |
| ■ 2001年12月特定胚の取扱いに関する指針 | ■ 2004年7月ヒト胚の取扱いに関する基本的考え方 |

検討のアプローチ

- 現実の社会的問題を解決するためには、様々な分野の学問(discipline)からのアプローチが必要(現実問題は、学問ごとに発生するわけではない)
- 生物学、医学、法学、哲学、社会学・・・
- 文民統制が科学にも要請されるという指摘まである。
- 議論を成り立たせることが難しい!
- 仲間内での議論が多いのではないかな?

公共政策の役割

- 研究が「適切」に行われるようにすること。
- 国や地方公共団体は、「問題のある」研究を禁止したり、規制したりすることは可能か？
- 「問題」と指摘されても、直ちに禁止したり、規制したりできるわけではない。
- 法的規制が可能な場合、何を根拠とするのか？
- 人体に危険、環境に影響・・・
- 法的規制の対象ではないが、様々な立場や関係の調整が必要
- 指針の策定

3. 倫理性の確保の方法

- 1. 倫理的・法的・社会的問題とは何か
- 2. これらの問題へのアプローチと経緯
- 3. 倫理性の確保の方法

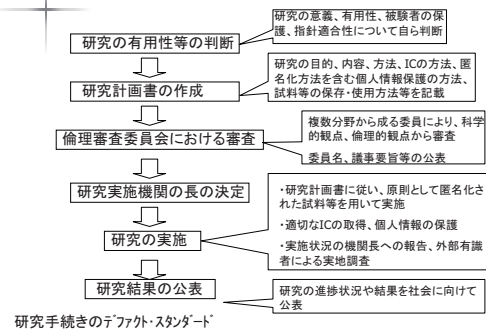
生命倫理の原則

- 自己決定 (Autonomy): 自律的な患者の医師決定の尊重
- 善行 (Beneficence): 患者へ利益をもたらすこと
- 公正 (Justice): 利益とリスク・費用を公平に配分
- 無害 (Nonmaleficence): 患者に危害を引き起こすことを避けること

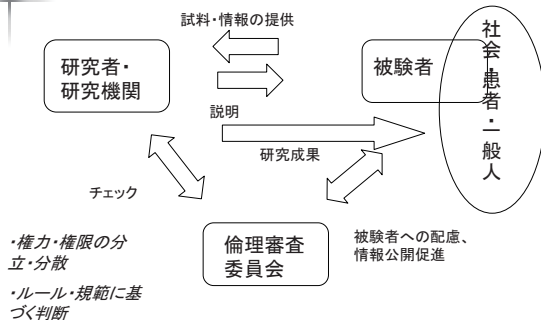
(Principles of Biomedical Ethics, Beauchamp and Childress, Belmont Report (<http://hhs.gov/ohrp/>) 他)

→ 現在はこれだけでは対応できない場面あり

研究の手続き(ゲノム研究を例として)



研究者・被験者・倫理委員会 — 研究の仕組み —



研究の倫理性の確保

- 科学的意義は大前提
- 被験者・患者の保護
→ 個人情報の保護、適切なインフォームド・コンセントの確保
- 倫理審査委員会(研究実施者以外の視点)によるチェック
- 情報の公開(研究の手続き、内容等)
→ 不十分
- 「研究の仕組み」が適切であることを認証するような第三者機関の導入？

特殊教育総合研究所の特徴

- 教育に関する研究所
- 子どもが対象
- ⇒ ・被験者保護の必要性は他と同様

研究のコスト

- ELSI対応の予算がない！
- 研究をするためのコストという視点
→機器や試薬と同様、必要な予算を確保すべき
- 研究所や大学の評判・評価の確保という視点＝大学・研究所の経営
(適切な仕組みで研究を行っていることを社会に発信)

人材養成・教育

- 人材がいない！
- 東大で「生命・医療倫理人材養成ユニット」が設立(科学技術振興調整費)
- 研究者や医療者にとって、「役に立つ」生命倫理教育を！(研究と社会との関係、指針の存在とその背景、指針の使い方・・・など「ユーザー」としての教育)

参考文献

- 生命倫理ハンドブック:菱山豊、築地書館、2003
- バイオエシックス・ハンドブック:木村利人他編著、法研、2003

第3章

「脳科学と特別支援教育」に関する二つのニーズ調査

I. はじめに

教育現場では、脳機能障害の解明と脳機能に障害のある子どもの社会参加を目指す教育・療育の推進のニーズは高いものの、未だ教育現場の実践に活かせるレベルにはなく、脳科学の知識の普及や教育への応用を提示することが必要である。そこで、脳科学と教育に関する研究分野における国内外の研究動向をまとめて、平成17年度研究紀要第33巻に特集「脳科学と障害のある子どもの教育」をとりまとめた（巻末資料Ⅱ）。

また、脳科学の研究推進には、大学や研究所等の研究機関との共同研究を推進し、当研究所の学際的な研究体制を確立することが喫緊の課題である。そこで研究第3年次にあたり、特別支援教育関係研究機関や学校現場のニーズを把握するために、脳科学と教育研究に関する二つのニーズ調査を実施した。一つは、全国の特殊教育教員養成大学で脳科学に関心のある研究者を対象に、もう一つは、平成18年度セミナーⅡ 第一分科会「発達障害、脳科学はどこまで解明できたか」に参加した現場教員を対象にしたものである。

これらの調査に基づき、来年度以降の研究方針をたて、「脳科学と障害のある子どもの教育」研究を推進する全国ネットワーク構築の可能性を探ることにした。まず、二つの調査について報告する。

Ⅱ. 「脳科学と特別支援教育」に関する障害児教育講座等に所属する教員への研究状況調査

1. 調査の目的

本調査は、我が国における「脳科学と特別支援教育」への取組等について実情を把握し、今後脳科学の特別支援教育への応用や特別支援教育に活かせる脳科学的研究を一層発展させるための基礎的な資料を得ることを目的とした。

2. 調査の実施

『特別支援教育資料（平成17年度）』の中の「特殊教育関係教員養成大学等一覧」に掲載されている大学・学部・学科を対象とした。対象校の数は国立50校、私立53校であった。各大学のWebサイトの情報を参考に、障害児教育関連の学科／専攻を推定し、その

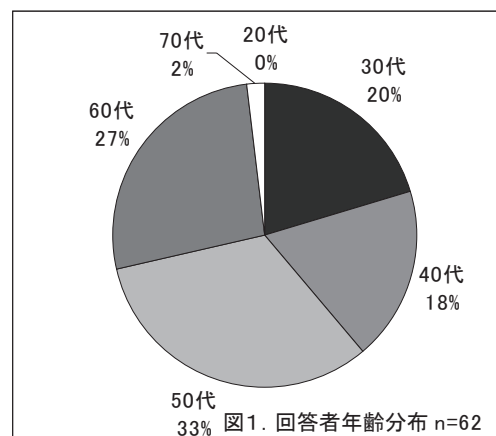
学科長／専攻長宛にアンケート用紙を送った。回答者は、その大学の障害児教育関連の学科／専攻に所属する脳科学に関心のある大学教員とした。アンケートは、アンケート用紙は1校につき2～3枚入れ、回答者数に応じて適宜コピーして使ってもらうように記した。回答を学科等で取りまとめることはせず、個人ごとに回答・返送してもらった。質問用紙を、章末別表1に示す。

3. 調査結果

1) 回答者

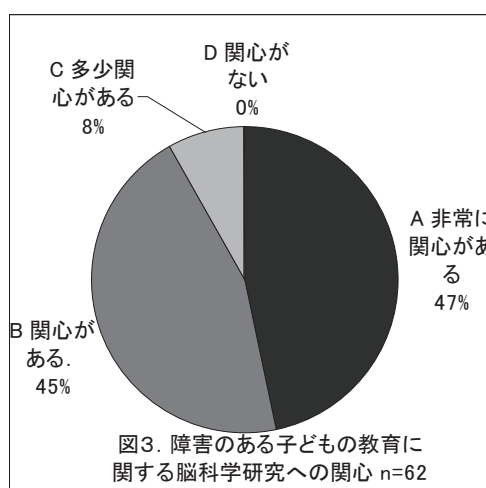
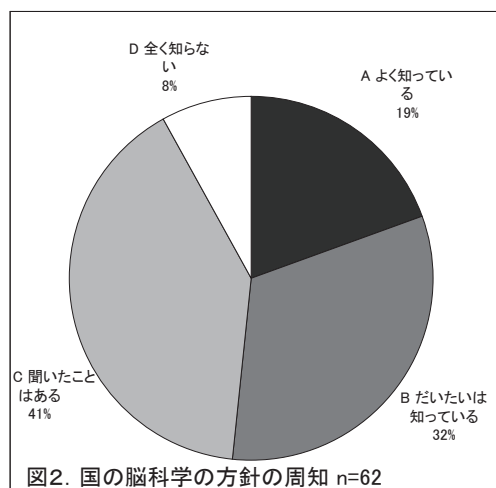
34大学の62人より回答を得た。

回答者の年代は、30代10人、40代9人、50代16人、60代13人、70代1人で、20代はいなかった(図)。
専門領域として、障害児教育・生理・心理、特別支援教育など障害児教育関係を挙げた回答者が43人だった。障害の種別を答えた回答者数は、聴覚障害(コミュニケーション障害、言語障害を含む)5人、発達障害4人、病弱、重複、肢体不自由、知的障害が各1人だった。これ以外の専門分野では、(認知)神経心理学が5人、小児医学／科学2人、ほかは心理学、応用行動分析、精神保健学、保健社会学、運動生理学、数学教育、学校経営が各1人だった。

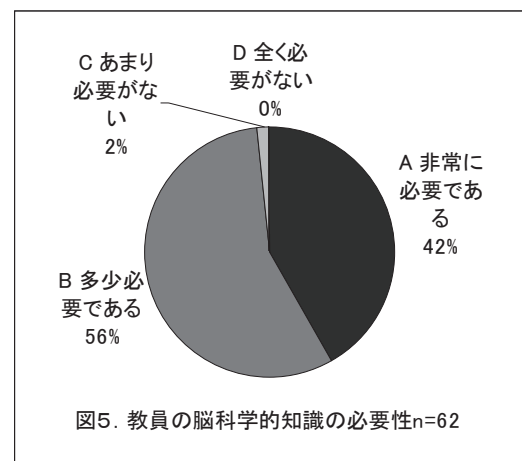
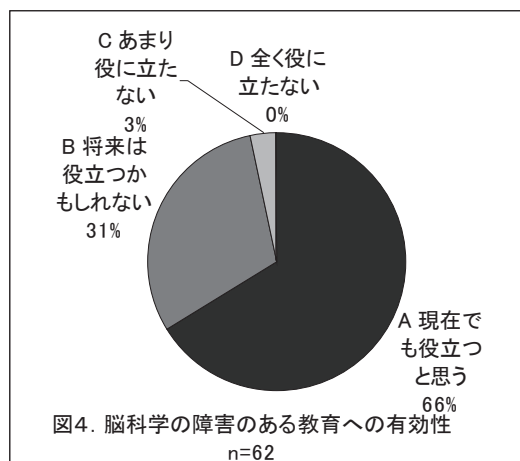


2) 国の「脳科学と教育」に関する方針の周知

国の方針をよく理解しているとの回答が12人(20%)程度で、「だいたい知っている」と足し併せると32人(52%)と回答者の約半分になる。他方で「聞いたことがある」と「全く知らない」を併せると約半分になった(図2)。



回答者の半数近く（29 人、47%）が障害のある子どもの教育に関する脳科学的研究に「非常に関心がある」とした（図 3）。実際に「文献や専門書の情報を積極的に収集している」人も半数（29 人、47%）おり、「一般書から情報を得ている」人を含めて、自ら情報収集を行っている人は 46 人（74%）と多い。脳科学が障害のある子どもの教育に、現在の段階でも役に立つと答えた人が 3 分の 2（41 人、66%）を占め、将来は役に立つかもしれないと答えた人も 3 分の 1（19 人、31%）となった（図 4）。

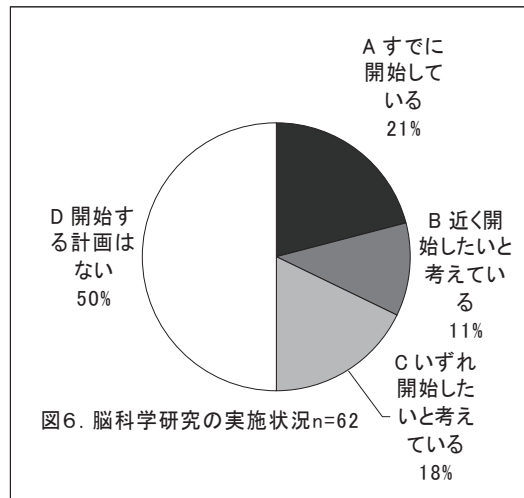


これらの人に、どのような領域や分野で役に立つかを自由記述で尋ねたところ、回答を寄せた 50 人のうち 22 人が発達障害児・者の療育や教育の分野を挙げた。次に多かったのは重度重複障害児への応用で 5 人から回答があった。ほかは、脳性麻痺、聴覚・言語障害、知的障害などが 1～3 件程度ずつあった。脳科学が役立つ理由として具体的な回答は、客観的評価手法としての利用が挙げられている。

脳科学的な知識が現場の教員に必要かどうかを尋ねた項目では、回答者のほとんど全員（非常に必要である：25 人、42%、多少必要である：34 人、56%）が必要性を述べた（図 5）。必要である理由を自由記述で聞いた結果、回答した 42 人の中で最も多かったのは、障害／障害児の状態像の理解のために必要というものであった。個々の教員の経験だけに依存せず、障害の原因・教育効果を客観的に測るための科学的根拠として必要という意見が 6 人、障害や認知機能が脳に起因している以上、その機序を知らずに済ませられないとする意見が 4 人あった。

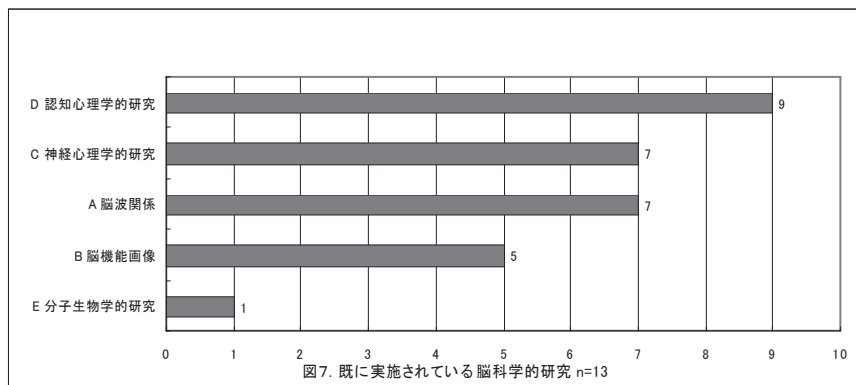
3) 障害のある子どもの教育に関連する脳科学的研究の実施状況

既に研究を開始している人は 13 人（21%）と多くはない。近く開始したいと考えている人が 7 人（11%）、いずれ開始したいと考えている人が 11 人（18%）いたが、他方で開始する計画がない人は 31 人（50%）と半分を占めている（図 6）。



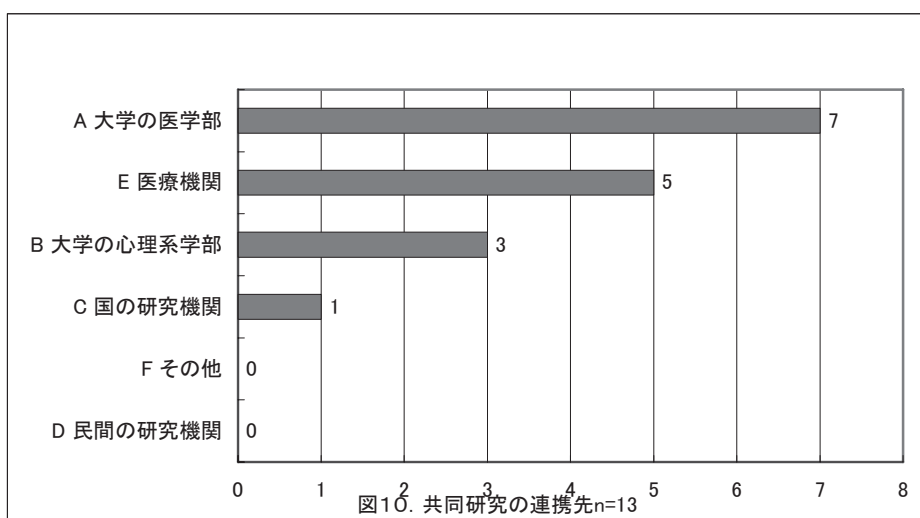
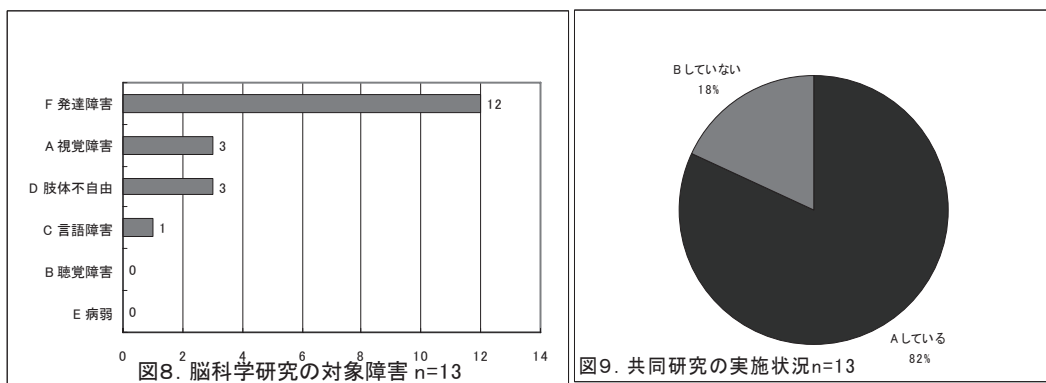
4) 既に開始している脳科学的研究

13 人が既に開始している脳科学的研究の分野は、複数回答可としたところ、認知心理学的研究が 9 件、神経心理学的研究が 7 件、脳波関係も 7 件（そのうち E R P が 6 件、臨床脳波が 5 件、定量的脳波解析が 4 件、マッピングが 3 件、その他が 1 件）、脳機能画像が 5 件（そのうち N I R S が 5 件、S P E C T と機能的 M R I がともに 1 件、その他 1 件）、分子生物学的研究が 1 件であった（図 7）。



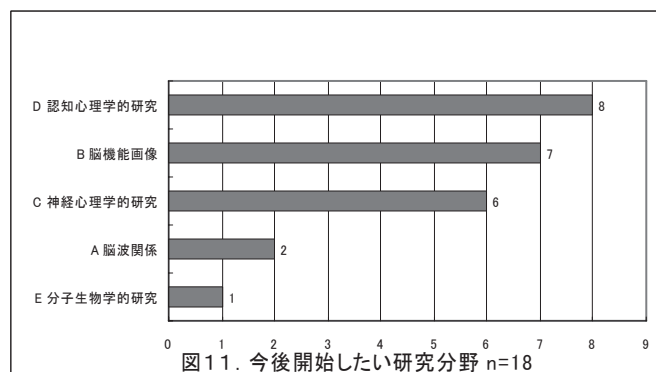
既に開始している脳科学的研究が対象としている障害の種別は、複数回答可としたところ、発達障害が 12 件（そのうち自閉症が 10 件、ADHD が 9 件、LD が 7 件、知的障害が 7 件）、視覚障害と肢体不自由が 3 件、言語障害が 1 件であった（図 8）。

共同研究の状況に関する質問では、既に脳科学的研究を開始している人 13 人のうち 9 人が他の研究機関と共同／連携しており、他方 2 人はしていなかった（1 人は不明）（図 9）。共同／連携先は大学の医学部とした人が 7 人、医療機関が 5 人、大学の心理学系学部が 3 人、国の研究機関とその他がともに 1 人だった（図 10）。

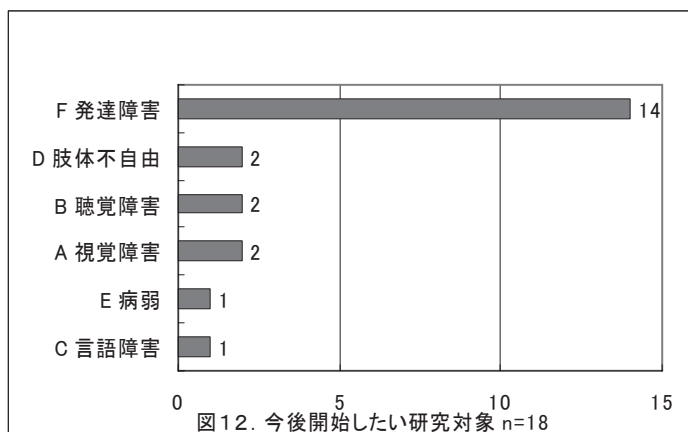


3.5 今後開始したい脳科学的研究

脳科学的研究を「近く」もしくは「いずれ」開始したいと考えている回答者 18 人へ、どのような分野で研究を開始したいかを尋ねた質問では、認知心理学的研究が 8 件、脳機能画像も 7 件（そのうち機能的 MR I が 5 件、NIRS が 4 件、PET が 1 件）、神経心理学的研究が 6 件、脳波関係が 3 件（そのうち ERP が 2 件、マッピングが 1 件）、分子生物学的研究が 1 件であった（図 11）。

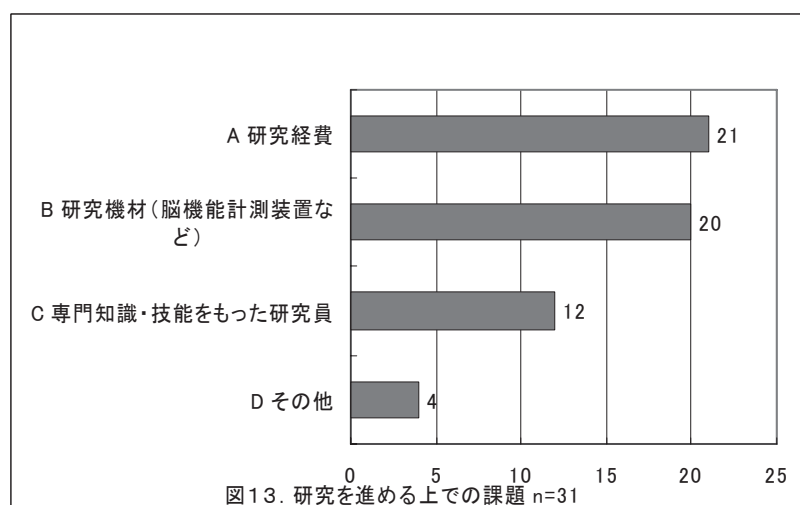


「近く」もしくは「いずれ」開始したい脳科学的研究が対象としたい障害の種別は、複数回答可としたところ、発達障害が14件（そのうちADHDが11件、自閉症が10件、LDが9件、知的障害が4件）、肢体不自由、聴覚障害、視覚障害がともに2件、病弱と言語障害がともに1件であった（図12）。



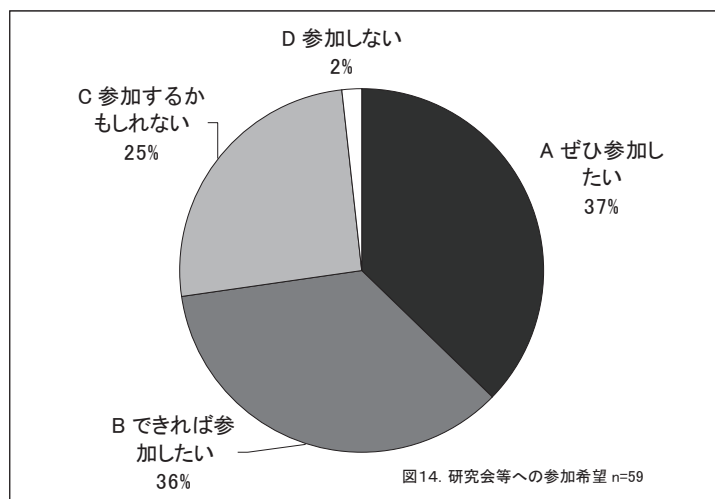
6) 脳科学的研究実施上の課題

障害のある子どもの教育に関連する脳科学的研究を既に開始している回答者13人、及び「近く」もしくは「いずれ」開始したいと考えている回答者18人に、研究遂行上の課題を尋ねたところ（複数回答）、研究経費を選んだ人が最も多く21人（68%）、研究機材を選んだ人がこれに近く20人（65%）であり、機材及びその調達に必要な研究費を課題として挙げる人が多い。専門知識・技能を持った研究員を選んだ人は17人（39%）であった。ほかに、実験条件を満たす十分な数の被験者の協力を得ることが難しいと答えた人が3人いた（図13）。



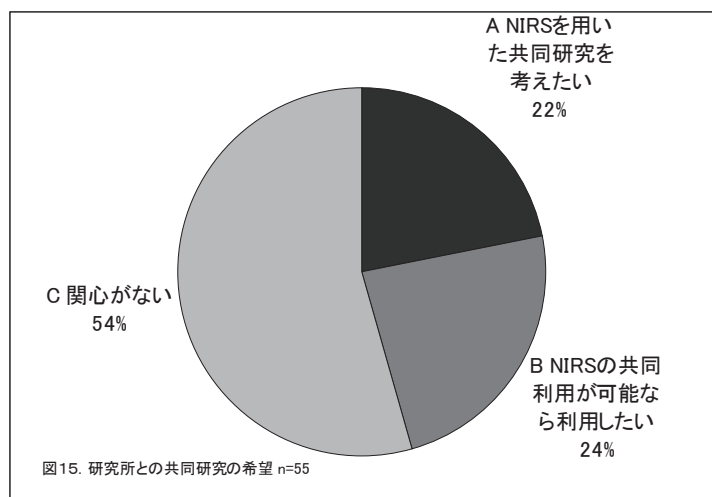
7) 障害のある子どもとその教育に関するシンポジウム／研究会への関心

「ぜひ参加したい」が22人(27%)と「できれば参加したい」が21人(36%)で3分の2を占めた。「参加するかもしれない」という消極的な回答は15人(25%)、「参加しない」も1人いた(図14)。



8) 共同研究

当研究所が所有するNIRSを利用した共同研究に対しては、「関心がない」が30人(55%)と半分を占めた。「NIRSを用いた共同研究を考えたい」と回答した人は13人(24%)、「NIRSの共同研究が可能なら利用したい」と回答した人は12人(22%)であった(図15)。



9) 当研究所における脳科学研究についての自由な意見

保護者、教員への情報普及を望む意見が4件、研究所における脳科学研究の推進に期待する声が4件あった。学際的な研究に必要な専門性の統合の問題、研究をどのように教育や指導に結びつけるかの問題なども幅広く提起された。

4. 考察

教員養成系大学で実際に脳科学研究をしている研究者の総数は不明だが、日本特殊教育学会や関連学会で、脳科学の発表件数はこの3年間をみると毎年5件以下であり、それよりは多くの回答が寄せられた。この分野の関心の高さを示していると考えられる。回答者は、脳科学の情報を自ら得ているという回答が多く、逆に言えば、関心がある人がアンケートに回答している可能性が高い。

脳科学と教育の研究対象として、やはり発達障害と重度重複障害児があげられたのは、現在の特別支援教育教員養成に携わる者の関心の高さと関係があると考えられる。重度重複障害児の場合、言語や身体による表出がないため、思考や教育効果などを脳科学の手法で測ればという期待感の表れであろう。

研究者が学校現場の教員に脳科学を勉強して欲しい理由を自由回答で尋ねた結果は、障害像の理解のための第一であった。しかし、脳科学研究の現状の到達点からみれば、脳科学と名前が付けば是として、脳科学と名のつくものをそのまま信じてしまう危険性もはらむ。このため正確な情報提供は、研究所の重要な仕事になろう。また、理解するだけでは、脳科学を教育の改善に活かす具体的な方略はまだ漠然としているといわざるをえない。教育現場では、まず正確な教育的判断が出来て、その上で脳科学的な理解が出来ると考える。

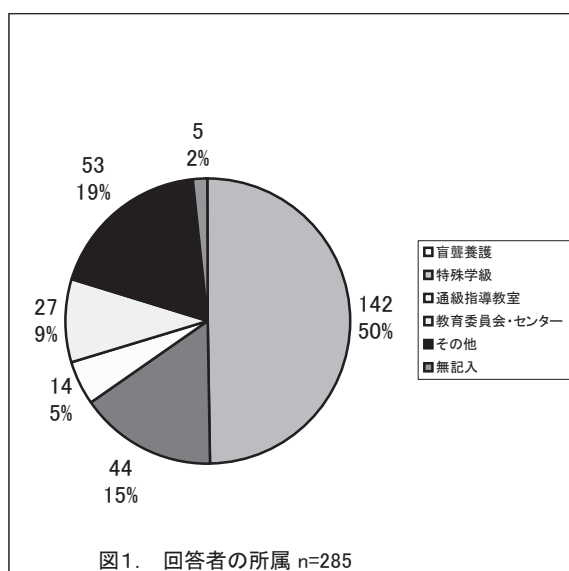
研究所が所有するNIRSを利用した共同研究では、半数以上の研究者が関心はないと回答していた。脳機能計測は、脳科学そのものを研究する印象が強いのかかもしれない。子どもの学びのプロセスを、脳機能レベルの現象に置き換え、教育のプロセスを検討することで、指導法等の創造や教育効果判定も可能になると思われる。来年度以降、今回回答をいただいた研究者を中心に、教員養成系大学等との情報交換会を実施し、NIRSの利用を中心とした共同研究を企画し、国のセンター的機能を担うことを考えていく。

Ⅲ. セミナーⅡ参加者への「特別支援教育と脳科学」に関するアンケート調査

平成 18 年度独立行政法人特殊教育総合研究所特別支援教育セミナーⅡの第 1 分科会（課題別研究「脳科学と障害のある子どもの教育」の分科会）参加者に対して標記アンケートを行い、脳科学への関心等を尋ねたのでその結果を報告する。

1. 調査の目的

本調査は平成 18 年度独立行政法人特殊教育総合研究所特別支援教育セミナーⅡの参加者が、障害のある子どもの教育に対する脳科学の貢献等についてどのような関心を持っているかを知ることが目的とした。



2. 調査用紙

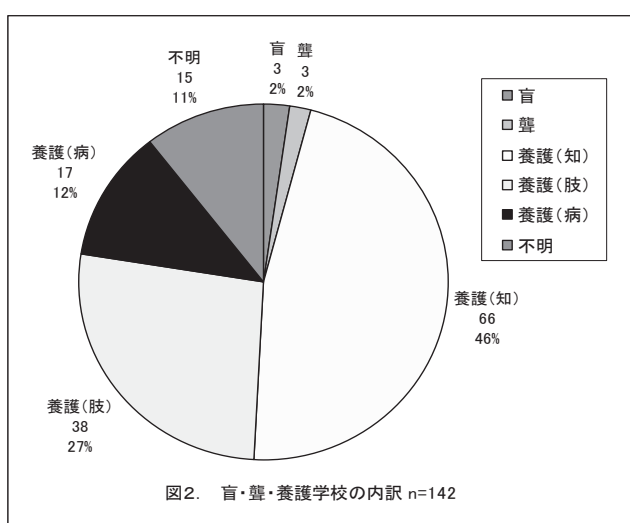
本調査で用いられたアンケート用紙を章末別表 2 に示す。

3. 調査結果

1) 回答者について

本アンケートに対し 285 名から回答が寄せられた。その内訳は以下のようなものである。

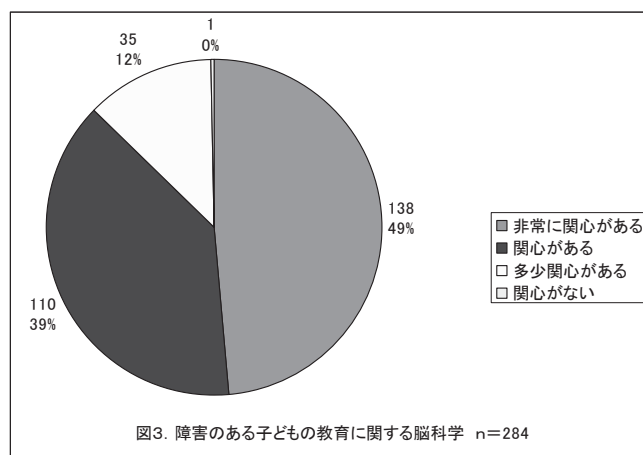
回答者全体の半数を盲・聾・養護学校からの参加者が占めた（図 1）。盲・聾・養護学校の中では、知的障害養護学校所属者の回答が最も多かった（図 2）。図には示さないが、特殊学級所属者の回答の 3 分の 2 は知的障害学級であり、弱視学級、難聴学級、言語障害学



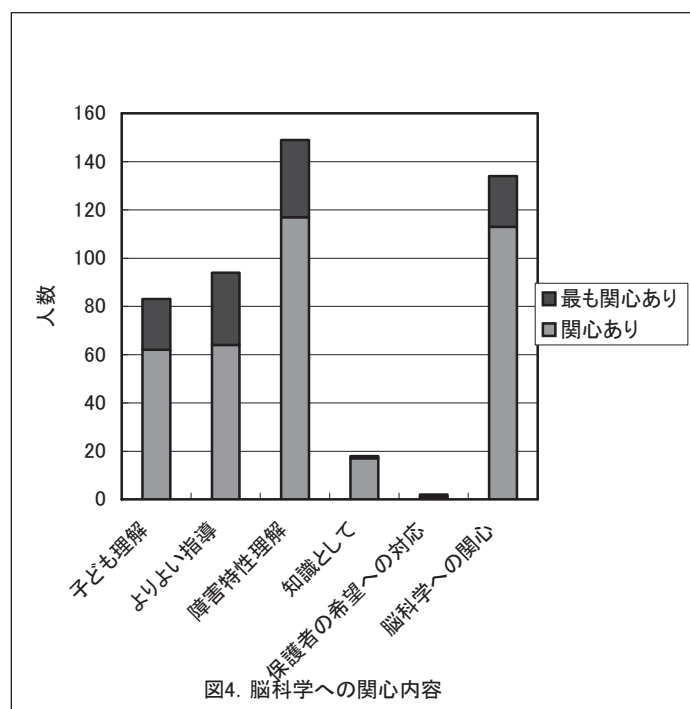
級所属者の回答はなかった。通級指導教室所属の回答者は全体で 14 名と少なく、そのうち 5 名が言語障害の担当者であり、その他には自閉症、情緒、学習障害、肢体不自由の担当者からの回答が見られた。

2) 脳科学への関心

障害のある子どもの教育に関連した脳科学について関心の程度を尋ねた項目には図 3 のような回答があった。約半数が「非常に関心がある」と答え、セミナーⅡの分科会として開催された、脳科学をテーマとするシンポジウムではあったが、学校現場の教員の、この分野への関心の高さを示唆する結果であった。

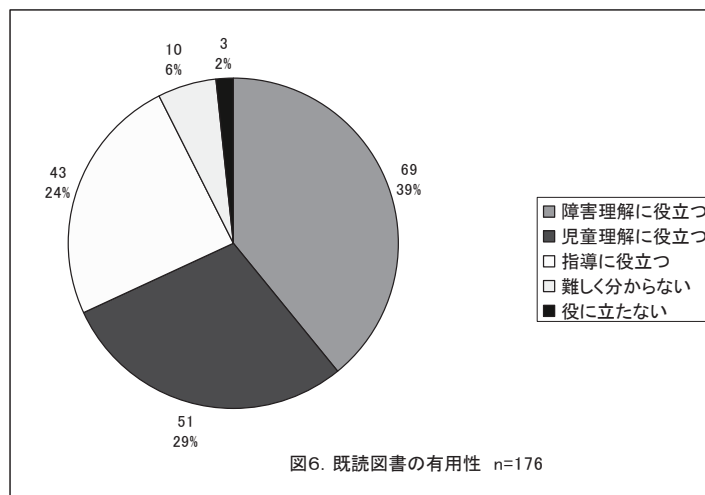
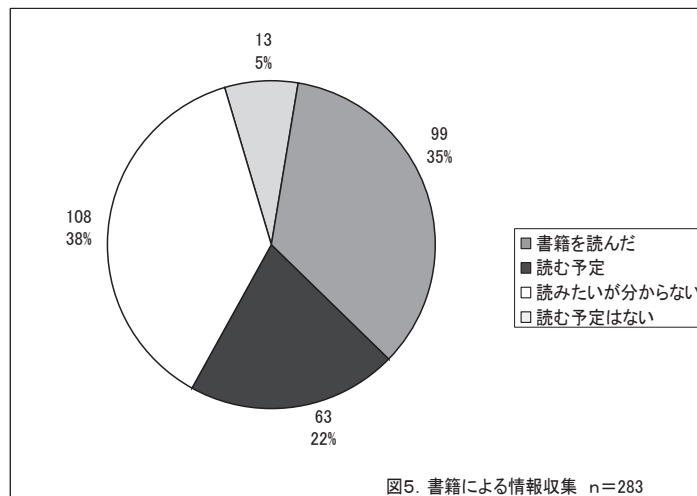


またこの関心の内容について尋ねた項目では、図 4 のような回答が寄せられた。「最も関心がある」「関心がある」の二つを合わせると、あらかじめ与えられた選択肢の中では「障害特性の理解」が最も多く、ついで「よりよい指導」「子どもの理解」などが回答の多くを占めた。



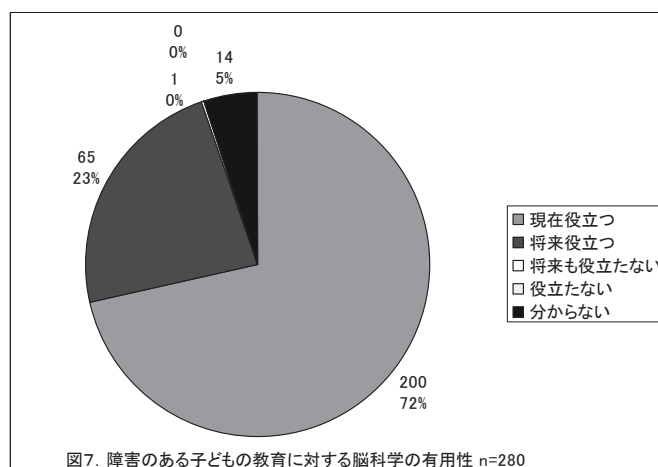
さらに脳科学に関する具体的な情報収集活動を知る目的で、脳科学に関連する図書を読んでいるかどうかを尋ねた (図 5)。回答者のおよそ 3 分の 2 が何らかの脳科学関連図書をすでに読んでいることが分かった。しかし「読みたいが、どのような書籍を読むのがよいのか分からない」という回答がやはり 3 分の 1 ほどあり、この領域の知識を得るのに困難を感じている様子もうかがえる。

更に何らかの図書を読んだと答えた回答者に、その図書がどのように役立ったかを尋ねた (図 6)。そこからは「障害理解に役立つ」「児童理解に役立つ」「指導に役立つ」の順ではあったが、これらの間にそれほど比率の差のない回答が寄せられた。



脳科学に対する関心を問う項目の最後に、脳科学が障害のある子ども達の教育に役立つと考えるか否かを質問した。

この設問に対しては、4分の3が「現在でも役立つと思う」と答え、「将来役立つ」と答えたものと合わせると 95%を占めた。ここでも脳科学に対する期待の高さが示された（図7）。



3) 特別支援教育と脳科学に関する国立特殊教育総合研究所の情報提供について

本アンケートでは、今回のシンポジウムのような形態での情報提供に対して、参加者がどのようなニーズを感じているかについても尋ねた。

まず今回のようなシンポジウムへの関心を尋ねた(図8)。同様のシンポジウムを当研究所が開催した場合に参加するかどうかを尋ねたが、「是非参加する」と「出来れば参加する」を合わせると 80%を超えるものであった。

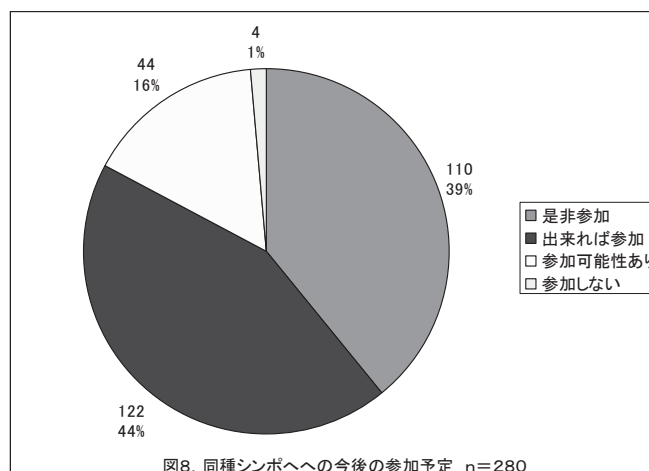


図8. 同種シンポへの今後の参加予定 n=280

またそのようなシンポジウムでどのような情報を知りたいかを尋ねた設問に対しては図9のような回答が寄せられた。回答が多く寄せられた選択肢を順にあげると「学習に関する脳科学的な最新知見」「子どもの能および脳機能の発達全般に関すること」「脳機能障害の機能回復や機能を補うメカニズムについての最新の知見」「ことばとその学習に関する脳科学」「社会性に関する脳科学」などになる。

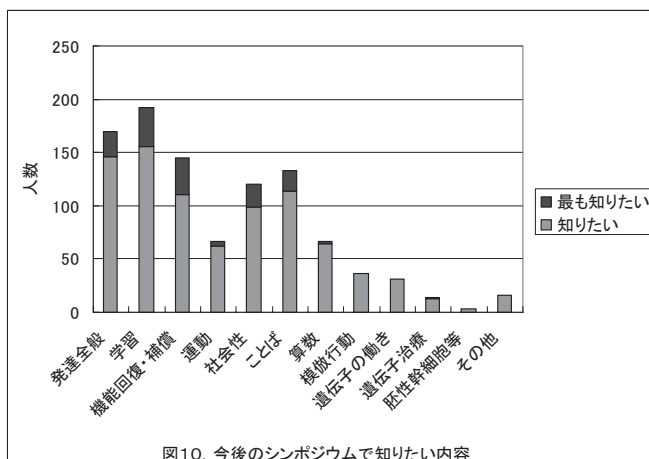


図10. 今後のシンポジウムで知りたい内容

4. 考察

全体を通してみると、脳科学に対する関心や期待に関しては非常に高いものがあるが、具体的な情報収集や指導法への応用等に関しては、未だ戸惑いや困難を感じているといえよう。今回のような当研究所の情報発信は、このような参加者のニーズに対して一定の貢献を果たしたことは図9に示した。今後、同種のシンポジウムへの期待が現れているといえよう。

IV. おわりに

「脳科学と教育」研究の推進方策について（平成15年7月3日）、「今後の特別支援教育の在り方について（最終報告）」を受けて、当研究所で脳科学研究を開始して3年が経過し、ようやく研究基盤の整備が完了したところである。その間、非侵襲的脳画像診断技術や遺伝子解析技術の進歩により、脳科学研究では様々な新しい知見が日々集積されている。

しかし、日本の脳研究の10か年計画が終了し、そこで得られた華々し研究成果とは裏腹に、国の科学政策の重点化の流れからみれば、日本の脳科学に投じる研究予算が着実に減少している。そこで、文科省ライフサイエンス課の脳科学懇談会において、今後の脳科学研究について、これからの脳科学研究の国の方針を議論中である。その中で、脳科学と教育は、脳科学の応用分野として注目され、障害のある子どもの教育に関する研究が重視される傾向にある。上記の脳科学懇談会でも、特別支援教育課と当研究所が共同で今後の方針に対し意見を述べた。

当研究所でも、引き続き脳科学と障害のある子どもの教育に関する研究を推進するにあたり、教育現場のニーズに応えるべく、障害のある子どもの教育に関連した脳科学関連分野の最新の情報を収集・整理して、セミナーやシンポジウムで提供するとともに、冊子作成等を通じて情報提供を行っていく予定である。

また、障害のある子どもの教育に関連した脳科学及びその研究に関心のある教育系大学と比較的少人数（数十人規模）のシンポジウム等を通じて、脳科学の教育への応用可能性や実際の応用の方法、研究の進め方、共同研究の提案と実施方法等、試行的な共同研究の推進等の情報交換を行っていきたい。

渡辺哲也、小田候朗、西牧謙吾、渥美義賢

別表 1.

「特別支援教育と脳科学に関する調査」 回答用紙

記入者 所属 (大学 学部 科)
専門 ()

年齢 (20代・30代・40代・50代・60代・70代)

*該当するところに○をお願いいたします

以下の設問について、該当すると思われる項目について文頭にある A.B. や A-1、B-1 等を○で囲んで下さい。複数回答が可能なものはその旨を記しています。

1. 近年脳科学についての関心が高まっており、わが国としても「脳科学と教育」について研究を推進していく方針が平成 15 年に出されています。このような国の方針について伺います。該当するものに○をつけて下さい。

- A. よく知っている
B. だいたい知っている
C. 聞いたことはある
D. 全く知らない

2. 脳科学と教育に関する研究において、障害のある子どもの教育についての研究も重視することになっています。特別支援教育と脳科学についてお伺いします。

ア) 障害のある子どもの教育に関する脳科学的研究について、

- A. 非常に関心がある
B. 関心がある
C. 多少関心がある
D. 関心がない

イ) 障害のある子どもやその教育に関する脳科学的研究について、

- A. 文献や専門書の情報を積極的に収集している
B. 一般書から情報を得ている
C. 文献・書籍等の情報を直接収集はしていないが、情報に関心がある
D. 特に情報を収集しようとは思っていない

ウ) 脳科学は障害のある子どもの教育に、

- エ) 上記の質問で「現在でも役に立つと思う」もしくは「将来は役に立つかもしれない」と回答した方にお伺いします。どのような領域や分野で役に立つと思われますか。

[]

A. 非常に必要である
B. 多少必要である
C. あまり必要がない
D. 全く必要がない

- A. すでに開始している
B. 近く開始したいと考えている
C. いずれ開始したいと考えている
D. 開始する計画はない

ア) 上記の設問で、A. すでに開始していると回答された方にお伺いします。(複数回答可)

(A-1 臨床脳波 A-2 ERP A-3 定量的脳波解析 A-4 マッピング
A-5 その他 [])

- 28 -

(B-1 機能的 MRI B-2 N I R S B-3 P E T B-4 SPECT
B-5 その他 [])

- C. 神経心理学的研究
- D. 認知心理学的研究
- E. 分子生物学的研究

2) 研究している障害の分野は、

- A. 視覚障害
- B. 聴覚障害
- C. 言語障害
- D. 肢体不自由
- E. 病弱
- F. 発達障害 (以下の下位分類の選択もお願いします)
(F-1 知的障害 F-2 自閉症 F-3 ADHD F-4 LD
その他 [])

3) 他の研究機関と共同または連携して研究をしていますか。

- A. している
- B. していない

4) 上記の設問で「A. している」を選択した方にお伺いします。その共同・連携機関はどのような機関でしょうか。

- A. 大学の医学部
- B. 大学の心理系学部
- C. 国の研究機関
- D. 民間の研究機関
- E. 医療機関
- F. その他 ()

イ) 「近く」もしくは「いずれ」開始したいと考えている方にお伺いします。

1) どのような脳科学的研究の分野で研究を開始したいとお考えですか

- A. 脳波関係 (以下の下位分類の選択もお願いします)
(A-1 臨床脳波 A-2 ERP A-3 定量的脳波解析 A-4 マッピング
A-5 その他 [])
- B. 脳機能画像 (以下の下位分類の選択もお願いします)
(B-1 機能的 MRI B-2 N I R S B-3 P E T B-4 SPECT

B-5 その他 [])

- C. 神經心理学的研究
D. 認知心理学的研究
E. 分子生物学的研究

2) どのような障害の分野で研究を開始したいとお考えですか。

- A. 視覚障害
B. 聴覚障害
C. 言語障害
D. 肢体不自由
E. 病弱
F. 発達障害（以下の下位分類の選択もお願いします）

(F-1 知的障害 F-2 自閉症 F-3 ADHD F-4 LD
その他 ()

ウ) 脳科学的研究をする際に困難なことがある場合、それはどのような点ですか（複数回答可、最も重要な点には二重丸を）

- A. 研究経費
B. 研究機材（脳機能計測装置など）
C. 専門知識・技能をもった研究員
D. その他（ ）

4. 障害のある子ども及びその教育に関するシンポジウムや研究会があれば

- A. ぜひ参加したい
B. できれば参加したい
C. 参加するかもしれない
D. 参加しない

5. 当研究所ではNIRS（近赤外線分光法）による脳機能画像化装置を導入しました。この装置を用いた共同研究もしくはこの装置の共同利用について検討しております。この件について伺います。

- A. NIRSを用いた共同研究を考えたい
B. NIRSの共同利用が可能なら利用したい
C. 関心がない

6. その他「特別支援教育と脳科学」に関してお考えになっていることをご自由にお書き下さい。

ご記入ありがとうございました。

私たちは「脳科学と特別支援教育」のテーマでこれからも情報交換できる方を求めています。このテーマにご関心のある方は以下にお名前と連絡先をご記入下さい。

よろしくお願いいたします。

今後の情報交換を希望します。

名前 ()

連絡先：電話 ()

メールアドレス ()

この調査への問い合わせは下記にお願いいたします。

〒239-0841 神奈川県横須賀市野比 5-1-1

独立行政法人国立特殊教育総合研究所

教育支援研究部

上席総括研究員 西牧 謙吾

電話 046-839-6864(直通)

メールアドレス kengo@nise.go.jp

別表 2.

セミナーⅡ参加者に対する 特別支援教育と脳科学に関するアンケート

記入者の所属について該当するものを○で囲んで下さい

- 1 盲・聾・養護学校（知的、肢体、病弱）
- 2 特殊学級（知的、肢体、病弱、弱視、難聴、言語、情緒）
- 3 通級指導教室（言語、自閉症、情緒、弱視、難聴、学習障害、注意欠陥多動性障害、肢体、病弱）
- 4 教育委員会、 教育センター
- 5 その他（ ）

分科会の参加について； 第（1、2、3）分科会に参加

以下の設問について、該当すると思われる項目について文頭にある A. B. や A-1、B-1 等を○で囲んで下さい。複数回答が可能なものはその旨を記しています。

3. 近年、障害のある子ども及びその教育に関する脳科学に関心が高まっており、関連する書籍等も多くなっております。

ア) 障害のある子どもの教育に関する脳科学について、

- A. 非常に関心がある B. 関心がある C. 多少関心がある D. 関心がない

イ) 上の 1. ア) で A. B. C. に○をつけた方に伺います。

関心があるのはどのような理由からでしょうか（複数回答可、最重要項目に◎）。

- A. 担任している子どもは脳機能障害が原因と推定されているので、子どもの理解を深めたい。
- B. 担任している子どもは脳機能障害が原因と推定されているので、よりよい指導を考えていくために参考にしたい。
- C. 直接担任している子どもとは関係ないが、特別支援教育に携わる者として障害の特性等の理解を深めたい。
- D. 保護者から質問を受けることがあるので、知識を得たいと思う。
- E. 保護者から脳科学的な知見に関連した指導の希望等があったので対応したい。
- F. 脳科学自体に興味・関心がある。

ウ) 障害のある子どもやその教育に関する脳科学についての情報収集について、

- E. 脳科学に関連した書籍等を読んだ。（書籍名等； ）

- F. 書籍等を読んではいないが、読む予定である。
- G. 書籍等を読みたいが、どのような書籍を読むのがよいか分からない。
- H. 特に書籍等で情報を収集しようとは思っていない。

エ) 上の 1. ウ) で A. に○をつけた方に伺います (複数回答可)。

- A. 障害の理解に役に立った。
- B. 子どもの理解に役にたった。
- C. 子どもの指導を考えるために役にたった。
- D. 難しくてよく分からなかった。
- E. 全く役にたたなかった。

オ) 脳科学は障害のある子どもの教育に、

- E. 現在でも役に立つと思う。
- F. 現在は役に立たないと思うが、将来は役に立つかもしれない。
- G. 将来もあまり役に立たないと思う。
- H. 全く役に立たない
- I. 分からない

カ) 上の 1. オ) で A. もしくは B. に○をつけた方にお伺いします。どのようなことで役に立つと思われますか。

2. 特別支援教育と脳科学に関する当研究所の情報提供について

ア) 本日のセミナーのような「特別支援教育と脳科学」に関するシンポジウムがあれば、

- A. ぜひ参加したい。
- B. できれば参加したい。
- C. 参加するかもしれない。
- D. 参加しない。

イ) そのようなシンポジウムで知りたい情報について (複数回答可、最重要項目に◎)。

- A. 子どもの脳および脳機能の発達全般に関すること
- B. 学習に関する脳科学的な最新の知見
- C. 脳機能障害の機能回復や機能を補うメカニズムについての最新の知見

- D. 運動に関する脳科学
- E. 社会性に関する脳科学
- F. ことばとその学習に関する脳科学
- G. 算数に関する脳科学
- H. 模倣行動に関する脳科学
- I. 遺伝子の働きに関すること
- J. 遺伝子治療に関すること
- K. 胚性幹細胞等（ステムセル、ES 細胞）の幹細胞に関すること
- L. その他

具体的には；

[]

御協力ありがとうございました。今後の研究・情報普及に活用させていただきます。

国立特殊教育総合研究所セミナーII 第1分科会 担当者

西牧謙吾 渥美義賢

第4章

脳科学研究における分子生物学と発達障害

1. はじめに

近年の、特に 20 世紀の最後の 10 年頃からの脳科学の発展は著しく、それを支える様々な研究技術と共に時々刻々と言ってよい程の速度で進歩している。このような状況の中で、脳科学を教育に応用すること及びそのための研究の重要性が先進諸国を中心に認知され、実際に研究が開始されている。

しかし、脳科学の発展が著しいとはいえ、多くの研究が動物実験等による基礎的なもので、それらをただちに教育の実践に応用できるものではない。高度で複雑な人の脳機能は、その解明が端緒についたばかりのところである。一方で教育関係者における脳科学への関心は高まっており、一部では期待過剰な面もあるように思われる。

脳科学の研究分野は非常に広く、また進歩が著しいので、その全容を紹介することはよく筆者のなしうところではない。脳科学における非侵襲的脳画像診断については、巻末資料Ⅱの研究紀要 33 巻 特集 脳科学と障害のある子どもの教育を参考にして頂き、本項では、近年特に発展の著しい遺伝子やそれからつくられるタンパクについての研究分野である分子生物学と、それによる発達障害に関する研究の一部として、言語学習に関連する遺伝子の話題を紹介する。

2. 脳科学迷信

「脳科学迷信」という言葉は聞き慣れないものと思われる。これは、Nature Reviews Neuroscience の 2006 年 4 月号に掲載された Goswami, U. の「神経科学と教育：研究から実践へ」(‘Neuroscience and education : from research to practice’) の中で大きな問題として取り上げている ‘Neuromyths’ を筆者が意識したものである。

この研究展望の中で Goswami は、英国において教師の間における広汎で強い脳科学への関心、そしてその成果を利用したいという強い欲求が存在し、それに対応して多くの「脳科学に基づいた」と称する指導パッケージやプログラムが商業的に提供されている、と述べている。そしてこれらの多くが、科学的な根拠が薄弱であるばかりでなく不適切なものもあるにも関わらず、教育現場であたかも確立された事実であるかのように受け入れられている現状に警告を発している。

例としてあげられているものの一つは、教師は個々の子どもが右脳型か左脳型かを同定し、授業において右脳優位の学習と左脳優位の学習をバランスさせて行うことが必要と称

するもので、これは脳の左右半球の機能分担に関する文献の拡大解釈で科学的根拠が乏しいとしている。また、別の例では、教師は個々の子どもの学習様式を、視覚的、聴覚的、運動感覚的の3つに分けて同定し、それらに応じて子どもに「視」「聴」「運」のバッジをつけて対応した指導をするように助言される。この他に「脳ジム」と称するパッケージでは、情報はまず圧縮されて脳幹に入るがそのままでは前頭葉から利用できず学習が成功しないので、全脳を統合させる必要があり、このために単純な運動の集まりである「脳ジム」のパッケージの利用を勧めている。

一方で Goswami は読みや計算に関わる脳機能が fMRI（機能的MRI）等の脳機能画像学的研究で明らかにされつつあることから、これらの研究成果を教育に活用していける可能性が広がってきていることも述べている。

Goswami が述べているように、近年の脳科学の進歩により障害児の教育においてもその成果を応用していける可能性が広がってきていることは事実である。しかしその際には、応用する基となる脳科学の成果がどの程度確立されたものなのか、すなわち、推論を多く含んでいないか、また研究報告によって結果が一致しないことがどの程度あるか、を十分に検討することが必要であると思われる。また、近年の脳科学の成果の多くは遺伝子及び関連タンパクに関する分子生物学的研究や神経細胞の微細構造とその機能の画像化などであるが、これらの多くは動物を用いた研究による。動物で確立された事実であっても、特に学習等の脳の機能については、ただちに人に応用できるとは限らないことを十分に認識しておく必要があると考えられる。あいまいな、あるいは不適当な推論から導き出された「脳科学に基づいた」と称する指導法は迷信に過ぎず、科学というにはほど遠いものが一部にあることも事実である。

今後の脳科学の発展を考えると、障害児の教育において、確かな経験に基づき開発されてきた検証可能な指導法に、脳科学の知見を応用することを考えていくことは非常に重要で欠かせないことになると予想される。脳科学の成果を積極的に利用していく姿勢と、慎重に科学的であるかどうかを見極めていく姿勢の両方が必要になってくると考えられる。

3. 分子生物学について –遺伝子とタンパクの働きと相互作用–

ヒトゲノム（ゲノムとは1つの細胞にある遺伝子全体を意味する）が解明されるなど、分子生物学は非常な速度で発展しつつあり、これによって遺伝や環境要因に関する従来の考えが修正されたことも多い。

A. 遺伝子は機能発現していないことが多い

古典的なメンデルの法則では、遺伝因子は対になっており、対となっている遺伝因子には優勢と劣勢があり、優勢な遺伝因子が表現型として発現すると考えられていた。このことから優勢遺伝子は常に発現し、劣勢遺伝子は発現しないものと推測されてきた。

しかし、近年の癌に係る遺伝子の研究から、癌の発現に係る遺伝子が多く存在し、人によって持っている遺伝子が異なるものの、その多くのものを誰でも持っていることが分かっている。それでも全ての人が癌を発症しないのは、遺伝子の一端に調節領域があり、ここに活性化因子が結合しないとその遺伝子が働かないからであり、多く癌関連遺伝子の場合には抑制因子が結合して機能発現を抑えているからである。

B. 遺伝子は環境によって機能発現が制御されている

ある特定の遺伝子の機能発現は、その遺伝子の環境によって制御され、遺伝子の環境はそれが存在する細胞の状態によって影響を受け、細胞の状態はその周囲の環境によって影響されている。

例えば、よく遺伝子の研究で使われる大腸菌は、普通はブドウ糖を栄養源にしており、ブドウ糖の存在するところを好んでそこで生活している。このようなブドウ糖の存在する環境下では、細胞表面にあるセンサーが、ブドウ糖があるという情報を、複雑なタンパクの変化の連鎖によって、ブドウ糖分解酵素の産生に係る遺伝子に伝える。この一連の情報の末端は当該遺伝子の活性化因子である。そして同時にこの情報は果糖等の他の糖類の分解酵素の産生に係る遺伝子にも伝えられるが、この際には抑制因子として働く。しかし、大腸菌が、ブドウ糖が存在せず果糖のみが存在する環境下におかれると、細胞表面にあるセンサーはブドウ糖が存在せず果糖のみが存在するという情報を糖類の分解酵素の賛成に係る遺伝子群に伝える。そうすると、ブドウ糖分解酵素を産生に係る遺伝子の調節領域には抑制因子が結合し、果糖分解酵素の産生に係る遺伝子には活性化因子が結合する。これによって大腸菌は果糖を栄養源として生き延びることができる。

C. 家事遺伝子

遺伝子はその周囲の環境によって発現が影響されるが、代謝機能等の細胞の生存に必要な基本的な機能を担っている遺伝子は相対的に環境の影響が少ない。このような細胞の生存に必要な基本的な機能に関連している遺伝子が家事遺伝子（house-keeping gene）と呼ばれる。これに対して特定のホルモンの産生や分泌等の特定の機能に関連している遺伝子は、その機能発現において相対的に環境の影響を大きく受ける。

上記のように、遺伝子はその機能からおおまかに二つに分けることができるが、遺伝子から転写・翻訳されて産み出されるタンパクの機能は単純ではない。ある特定のタンパクの機能は、その細胞の種類や位置、発達段階での時期等によって複数の機能として働くのが普通だからである。

D. 早い者勝ちルール –中枢神経細胞の分化における–

中枢神経（脳と脊髄）の神経細胞（ニューロン）は、胎生幹細胞→神経幹細胞→ニューロン前駆細胞→ニューロンと分化（より専門的な形態と機能を持つていくこと）してい

くが、神経幹細胞からニューロン前駆細胞に分化する際に、早い者勝ちともいえる遺伝子発現の制御が行われている。神経幹細胞からは、ニューロンと、ニューロンの活動を支える役割を担い、中枢神経系に約 1000 億存在するニューロンの数倍の数があるとされるグリア細胞が分化する。これは人では受精後 3 週の後半頃におきるもので、まず少数の神経幹細胞がニューロン前駆細胞に分化し、ほぼ同時にグリア前駆細胞への分化が始まる。この際に隣接した神経幹細胞がニューロン前駆細胞になることはほとんどなく、個々のニューロン前駆細胞は周囲をグリア前駆細胞に囲まれるような構造をとっていく。

これは、ニューロン前駆細胞に分化すると、その細胞からニューロンへの分化を抑制する物質が分泌され、周囲の隣接した細胞はニューロン前駆細胞に分化することができなくなり、グリア前駆細胞へと分化するからである。

神経幹細胞からニューロンへの分化を促進する因子として、bLHL 型転写因子のニューロジェニン (Neurogenin) やニューロ D (NeuroD) 等があり、一方でニューロンへの分化を抑制する因子が存在し、哺乳類では Hes1、Hes5、Hes7 等がある (転写因子とは、遺伝子が持つ 2 つの働き、自己の複製とタンパク合成のための mRNA への転写のうち、後者を活性化する因子)。ある神経幹細胞で bLHL 型転写因子の活性が少しでも高まると、その細胞から隣接する細胞に bLHL 型転写因子の活性を抑制する信号を出す。これを受けた細胞では bLHL 型転写因子の活性が低下するため、この細胞から前者の細胞への抑制的な信号が減少し、前者の細胞では bLHL 型転写因子の活性がより高まる。これによってこの細胞から出される周囲の細胞への bLHL 型転写因子の活性を抑制する信号は一層高まることになる。このような繰り返により、ニューロン前駆細胞へと分化する働きが増幅されることになり、神経幹細胞からのニューロン前駆細胞とグリア細胞への分化が急速に進んでいくことになる。

E. 遺伝子の機能発現からみた発達における臨界期

上記のように遺伝子の機能発現は、その遺伝子の置かれた環境によって影響を受けている。分子生物学的にみると、発達の過程とは、受精卵に存在する極性による様々な物質の濃度勾配によって、細胞分裂のあり方が影響を受け、分裂を繰り返した細胞がそれぞれ異なった遺伝子の機能発現をして、それによって自らと周囲の細胞の環境を変化させ、その環境に影響を受けて次の段階では異なった遺伝子の機能発現の様式を示す、という過程である。この過程で、ある時期のある細胞群は、その環境に応じて特定の遺伝子が機能発現し、次の段階になると先の段階で機能発現していた遺伝子は活動を停止して、別の遺伝子が機能発現を始める、という連鎖的な過程がみられる。このような連鎖的な過程はカスケード (cascade) と呼ばれている。そして遺伝子発現のみられる時期が、その遺伝子の臨界期と呼ばれる。

全ての遺伝子が臨界期を持つわけではないが、先に述べたような細胞の分化や器官への分化・成長過程に関わる遺伝子が適切に機能発現しないと、様々な障害の原因になる。しかし、哺乳類では遺伝子の機能に重複がしばしばみられ、ある遺伝子の機能発現がないか

不十分でも、他の遺伝子の機能発現によって補われることも多い。

F. 遺伝子の変異は日常的に起きている

遺伝子の構成要素であるヌクレオチドが欠落したり、ヌクレオチドの順番が変わる「変異」(mutation)は、生殖細胞(精子または卵子)に起こると、遺伝形質として子孫にまで伝わり、これが 個体の突然変異といわれるものである。個体の突然変異は生物の種の維持にとっては環境への適応の試みでもあり、必要な事象であるが、当該の個体にとってはたいていの場合不利で、障害の原因となることが多い。ただし、生物の細胞のほとんどを占める体細胞の遺伝子に起きた変異は遺伝することがないので、子孫に影響を与えることはない。

遺伝子の変異というと、個体の突然変異との関連で考えられがちであるが、体細胞における変異は遺伝せず、しかも日常的に起きている事象である。放射線や特定の化学物質が細胞の遺伝子に影響を与えて変異が起きることはよく知られているが、そればかりでなく、生体内内在する物質の濃度や場所によっても起きる。さらにより日常的に起きる変異は、何の外的な影響もなく細胞分裂の際に起きているものである。生物はしばしば間違いを起こすものである。DNAに何らかの損傷が起きると、細胞の増殖に際してDNAの複製が阻害されて細胞死に至ったり、異常な細胞が出現することがあり、また、タンパクの合成が阻害されたり、異常なタンパクが合成されることがある。遺伝子の変異は体細胞に起きた場合遺伝はしないが、当該の個体にとっては深刻な事態になる場合があり、日常的に起きている変異は対処される必要がある。

細胞分裂に際してDNAの複製がなされるが、その際にヌクレオチドの配列がそのまま複製されるのが本来の正常なゲノムの複製である。この複製の過程では、DNAの二重鎖がほどかれて、1本になったDNAに沿ってDNAポリメラーゼという酵素分子を主としたユニットが動いていって対応ヌクレオチド、すなわちアデニンにはチミン、グアニンにはシトシン、というように新たな一本鎖を作っていく。この時に対応しないヌクレオチド、すなわちアデニンに対応する部位にシトシンを嵌め込んでしまうミスマッチや、余分なヌクレオチドを挿入する挿入変異、必要なヌクレオチドを抜かしてしまう欠失変異等の間違いを起こすことがある。この間違いの起こしやすさはポリメラーゼによって異なり、Yファミリーポリメラーゼは間違いを起こしやすいことが知られている。

一方で、ポリメラーゼはDNA配列に異常があった時にそれを発見して乗り越えて複製する等のエキソヌクレアーゼによる補修機能も持っている。その他にも様々な修復機構があって、日常的に起こる変異の修復が行われている。

4. 発達障害

A. *FOXP2* 言語学習の遺伝子？

1990 年に英国で音声言語の学習に困難のある人が頻発する家系 (KE 家系と呼ばれてい

る)があることが報告され、言語学習に関連する遺伝子が見つけれられるのではないかと注目された。この家系の人々について多くの研究者が言語機能や認知機能等の臨床症状を調べると共に、その関連遺伝子についての探索が行われた。

臨床研究から、ほぼ全例に発語における困難があり、多くの例で発語において文法的な誤りがみられ、様々なレベルでの言語理解の困難さもみられた。運動面での症状もあり、四肢等に運動障害はないが、口周囲や顔の運動失調がほぼ全例にみられることが分かった。MRI による脳の形態学的な研究では言語関連領域における異常がある可能性が報告された。

遺伝子の検索で、7 番染色体の長腕にある遺伝子 *FOXP2* において 1 つのヌクレオチドの変化による変異があることが分かった。この単一遺伝子の変異が音声言語獲得に関係する可能性から、*FOXP2* は音声言語獲得機能を担っているのではないかと推測がなされ、研究者に注目された。

しかし、*FOXP2* は言語を持たない多くの動物にも存在する。哺乳類の多くに *FOXP2* 遺伝子があり、それらが別れる以前から運動の制御に関連した機能を担っていたと推定されている。人に近い霊長類のチンパンジーと人における *FOXP2* から作られる FOXP2 タンパク (分子生物学では通常、遺伝子を斜体で、それから作られるタンパクを普通のフォントで表示する) を比較すると、三つのアミノ酸に組成に違いがあり、そのうちの 1 つは約 20 万年前に別れたと推定されており、考古学的研究による発達した言語が出現した時期との一致に興味を持たれている。

B. *FOXP2* 遺伝子の機能

FOXP2 遺伝子の機能は、他の遺伝子と同様に、それから作られるタンパクの働きによる。*FOXP2* 遺伝子から作られるタンパクである FOXP2 は、主な働きが転写制御因子であることが解明された。転写制御因子としての *FOXP2* 遺伝子の働きを図 1 の模式図で示した。

遺伝子には二つの機能、複製と転写がある。転写は、遺伝子のヌクレオチド配列を鋳型として mRNA を作る機能である。この過程を単純化して述べると、遺伝子の調節領域に活性化因子がくっつくことにより、タンパクのアミノ酸組成情報が mRNA に転写される活動が開始される場合と、調節領域に通常は抑制因子がくっついていて、これが外れることによって mRNA への転写が開始される場合がある。FOXP2 はこの転写を開始させたり抑制したりする調節因子であり、他の多くの遺伝子活性を調節しており、ある遺伝子では転写の活性化因子として働き、別の遺伝子には抑制因子として働いている。このような調節因子は多くの遺伝子活性を調節するので、通常は発達等において広範囲な影響を与えることが多く、その作用は複雑である。

FOXP2 遺伝子の機能は胎生期から発現し、脳、肺、腸、心臓等の器官形成に関わっていることが分かってきたが、明らかな機能障害は先の症状の説明にあるように音声言語の獲得に関するもので、肺等には明確な症状はなく、脳の発達において最も影響が大きいと考えられている。

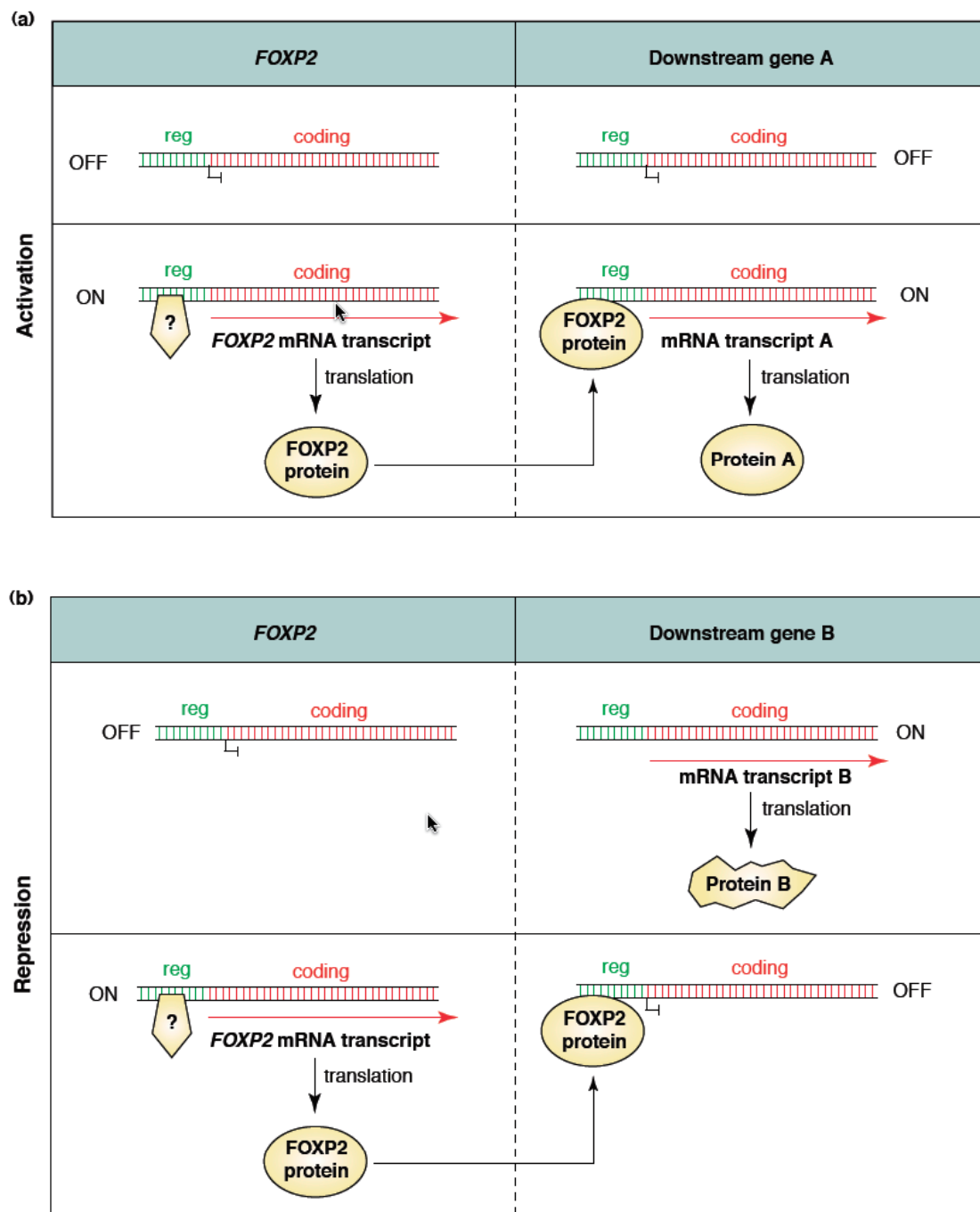


図1 FOXP2遺伝子とそれから作られるタンパクの働き

図の上段 (a) は FOXP2 遺伝子が調節対象の遺伝子において活性化の働きをする場合を、下段の (b) は調節対象の遺伝子の働きを抑制する場合を模式化したものである。(a) の上段は、FOXP2 遺伝子に、その活性化因子がついておらず、このため FOXP2 が作られないので調節対象遺伝子

も活性化されずに、調節対象遺伝子によるタンパクの合成も行われていない。(a)の下段は、*FOXP2* 遺伝子に活性化因子がついて活性化され、FOXP2 が作成され、これが調節対象遺伝子の調節領域につくことで、この調節対象遺伝子も活性化されてタンパク合成が行われる。

(b) では、FOXP2 が抑制因子として働く場合で、上段は *FOXP2* 遺伝子の調節領域に活性化因子がついておらず FOXP2 が作成されていない場合である。この場合、調節対象遺伝子は働きが抑制されないで、タンパクの合成が行われる。(b)の下段では *FOXP2* 遺伝子の調節領域に活性化因子がついており、FOXP2 が合成されている場合で、合成された FOXP2 が調節対象遺伝子の調節領域にくっついて、この遺伝子による mRNA への転写が抑制され、タンパクの合成は行われていない。

そして、現在までの研究では、症状との関係からみると中核となるものは口や顔の筋肉の運動に関するものと考えられているが、運動機能だけで症状の説明はできず、一部では言語理解に障害のある KE 家系の人もおり、認知機能にも関係すると考えられている。

このように、KE 家系の人々の症状からみても、*FOXP2* 遺伝子の変異による症状は比較的限定されてはいるものの、*FOXP2* 遺伝子によって合成される FOXP2 が転写調節因子であることから、出現する症状は多彩なものとなっていることが推測される。

5. 終わりに

発達障害である自閉症や ADHD 等は、遺伝的な要因がかなり大きいことは以前から知られており、その症状の発現には遺伝子の関与が疑われていた。最近の分子生物学の発展により、これらの発達障害の遺伝子の関与についても少しずつ明らかにされつつある。

言語学習障害のモデルになるのではないかと発見当初考えられていた KE 家系における研究でも、遺伝子の機能発現を臨床症状との関係は複雑であることが分かってきている。現在のところ、発達障害に関しては研究が進む程に新たな疑問が生じており、その分子生物学的な解明にはまだ時間がかかりそうな状況である。しかし、様々な研究手法が開発されている現状から、今後それほど遠くない将来に発達障害についてかなり明らかになる可能性もあり、その研究の動勢は目が離せないものであることは確かであろう。

引用文献

1. Usha Goswami : Neuroscience and education : from research to practice. Nature Reviews Neuroscience、 7(4), 406-413, 2006.

渥美義賢・西牧謙吾

第5章

NIRSによる脳機能測定

1. はじめに

NIRS (Near Infra-Red Spectroscopy) は、近年、普及してきた新しい脳機能計測法の一つである。安全に、そして比較的簡便に人の脳機能を記録できるため、医学や教育の分野における臨床ツールとしての期待も大きい。

このレポートでは、NIRSの計測がどのような仮定に基づいて利用されているかを概説し、これまでの研究活動を踏まえつつ、NIRSを利用する上で留意すべき点を検討する。

2. 神経活動の解剖学的基盤

脳の情報処理においては、(a)神経活動が担う情報伝達系と、(b)神経活動を支えるエネルギー供給系、の二つの系が密接に関係していると考えられている(小泉、1997)。すなわち、神経活動が起こると、その周囲にある血管が拡張し、エネルギー源となる酸素やグルコースを含む多くの動脈血を供給する調整機構が働く。そして、活動神経近傍の組織では、血流量・血液量が増大し、血液の酸化状態(オキシヘモグロビン濃度[oxy-Hb]とデオキシヘモグロビン濃度[deoxy-Hb]の比率)が変化すると仮定されている(小泉、1997)。一般に、このような神経活動と脳血液反応の関係は、ニューロバスキュラーカップリング(neuro-vascular coupling)と呼ばれている。

fMRIやPETなどと同様に、NIRSによる計測では、ニューロバスキュラーカップリングが存在するという仮定に基づいて、脳の局所ヘモグロビン濃度(Hb)を捉えている。この指標は、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が、間接的な脳機能の指標となりうる。

3. NIRSの計測原理

NIRSによる計測では、近赤外光(波長 700~900 nm)の次の二つの特性を利用している：(a)高い生体透過性(皮膚や骨を透過する)、(b)血液中のoxy-Hbとdeoxy-Hb

の異なる光吸収特性。

頭皮上から近赤外光を照射すると、(a)の特性により、その光成分は、脳組織内に拡散していき、頭皮上から約 20 ～30 mm 深部にある大脳皮質に到達するといわれている（渡辺・室田・中島、2005）。また、(b)の特性により、照射点からおよそ 3 cm 離れたところで計測すると、乱反射して戻ってきた光成分を検出することができる（渡辺・室田・中島、2005）。

NIRS では、この検出光から、大脳皮質の Oxy - Hb、Deoxy - Hb、また、これらを合わせた総ヘモグロビン濃度（total - Hb）の 3 つの Hb の変化を推定している（山下・牧・山本・小泉、2000）。ただし、照射から検出までの光路長は計測できないため、得られるデータは、Hb の絶対値ではなく、相対的な濃度変化である（山下・牧・山本・小泉、2000）。

4. NIRS の計測の実際

多チャンネル同時計測装置である日立メディコ製「光トポグラフィ装置（ETG - 4000）」による実際の計測手続きと計測結果を説明するために語流暢課題の例を示す。語流暢課題は、NIRS 計測でよく利用される比較的単純な課題であり、ベースライン課題とターゲット課題を交互に数回繰り返すブロックデザイン（図 1 (b)）と呼ばれる手法で行われるのが一般である。例えば、ベースライン課題において「あいうえお」を 60 sec 繰り返し発声し、ターゲット課題においては 60 sec 「あ」の文字で始まる単語をできるだけたくさん想起する。このような課題を行っているときの大脳皮質の Hb を NIRS により計測する。

NIRS による計測では、まず、近赤外光を照射、あるいは検出するための光ファイバを頭皮上に装着する。一般には、市販のプローブを利用して、照射用ファイバと検出用ファイバを交互に 3 cm 間隔で正方格子状に並べる（図 1 (a)）。プローブは、通常、顎紐やキャップ（ゴム製の帽子）を利用して固定するが、(a) 顎紐を気にする人が多い（特に、子どもに多い）、(b) 計測部位の再現が困難、(c) プローブの固定力が弱い、などの理由から、著者らはキャップを利用することが多い。

NIRS の計測値は、照射用ファイバと検出用ファイバの間の大脳皮質の Hb を反映すると考えるのが一般であり、光ファイバを配置するときは、ターゲットとなる大脳皮質の解剖学的な位置との対応を十分に考慮しなければならない。例えば、語流暢課題では、前頭領域をカバーするようにファイバを配置するが（図 1 (a)）、手指の運動に関連する脳機能を測定する場合には、中心溝近傍の運動機能領域（運動野）にファイバを配置する必要がある。ETG-4000 では、照射 - 検出用ファイバ間の 48 チャンネル（ch）の同時計測が可能であり、研究の目的に合わせてチャンネル数を選択することができる。それぞれのチャンネルにおける記録は、oxy - Hb、deoxy - Hb、total - Hb ごとに、通常 1 秒間に 10 ポイントの割合で数値化される（単位 mM・mm）。

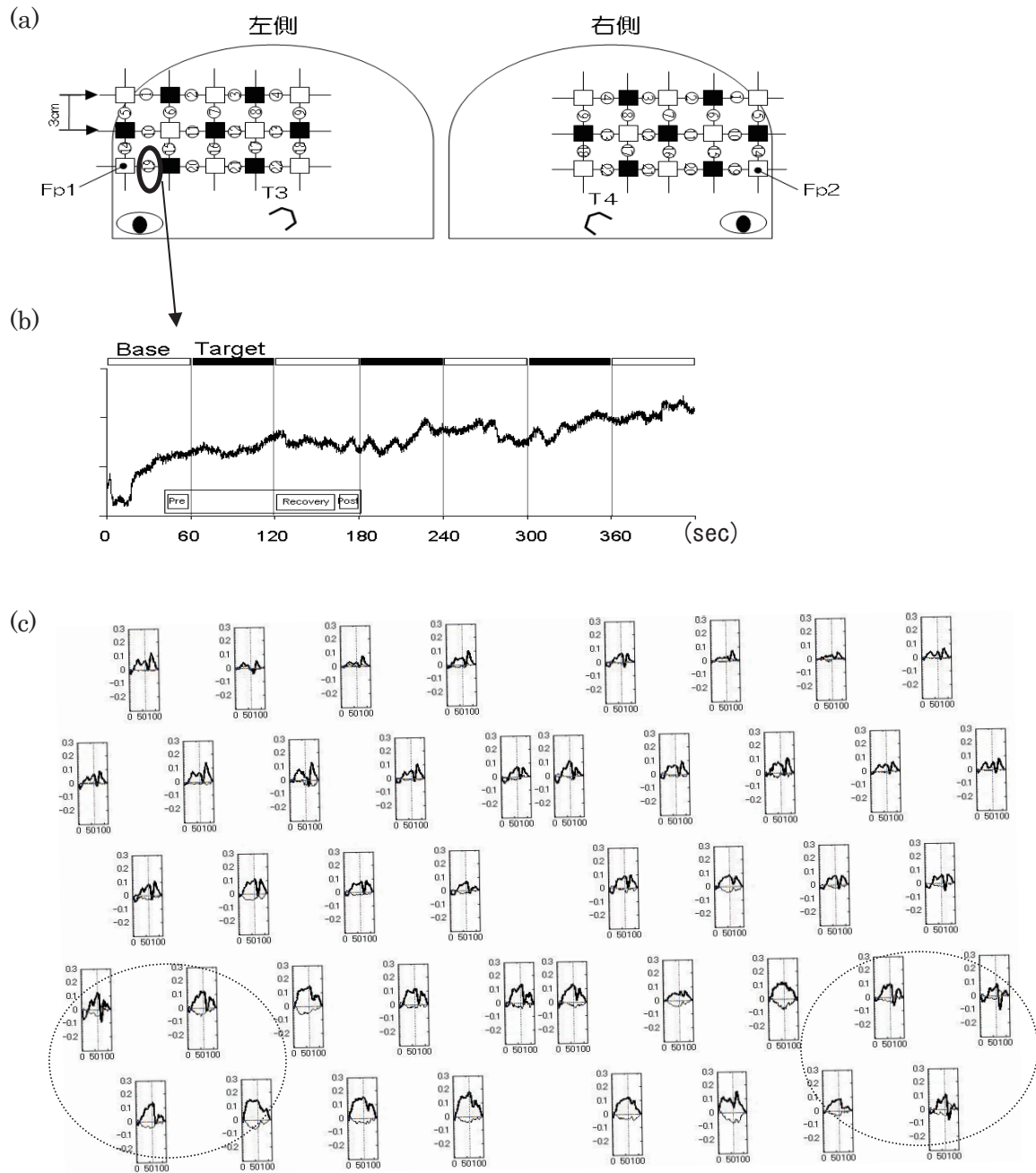


図1. NIRSによる語流暢課題中のヘモグロビン濃度 (46才男性)

(a) 光ファイバの装着。■は照射用ファイバ、□は検出用ファイバの装着位置を示す。ファイバ間の44chが、便宜的に計測部位として仮定される。(b) 左側のch19のオキシヘモグロビン濃度の原データ。ターゲット課題においてオキシヘモグロビン濃度の増加が認められる。一方、ターゲット課題に関係のないゆっくりとしたゆらぎ(右上がりの増加)も認められる。(c) 3回の試行を加算平均したときのオキシヘモグロビン濃度(太線)とデオキシヘモグロビン濃度(細線)。それぞれのチャートの位置は、(a)の計測チャンネルの位置(番号)に対応する。横軸の単位は秒。先行研究で述べられているように、両側外側前頭前野、及びその周辺領域(丸で囲った領域)で、ターゲット課題に関連

したオキシヘモグロビン濃度の増加が認められる。

このようにして記録されたデータを図 1 (b)、(c)に示した。(b)は、左半球の ch19 の oxy-Hb の原データ。ターゲット課題で増加し、ベースライン課題で減少する Hb の変化が認められる。(c)は、原データをもとにベースライン課題に対するターゲット課題の値の相対量を算出したものである。それぞれのチャンネルごとにチャートが描かれており、左から右へ時間が経過している。点線で挟まれた 0~60 sec が課題区間である。太線が oxy-Hb 、細線が deoxy-Hb の変化を示している。先行研究で述べられているように、外側前頭前野、及びその周辺領域でターゲット課題に関連した oxy-Hb の増加が認められる。図 2 は、図 1(c)の oxy-Hb の変化を 2 次元画像（トポグラフィ）表示したものである。NIRS による研究では、脳機能の指標として oxy-Hb がよく用いられている。

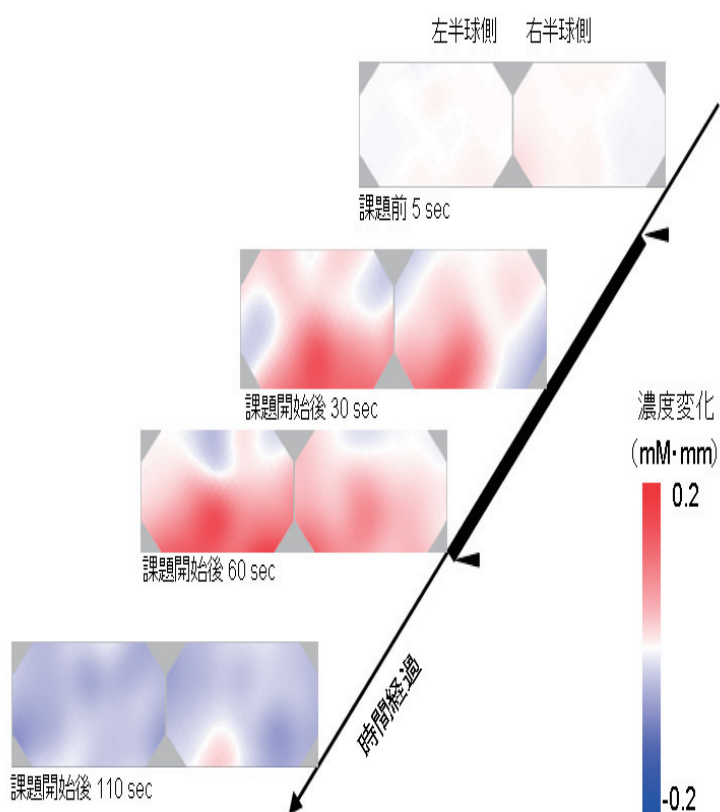


図 2。 図 1(c)を 2 次元画像（トポグラフィ）表示したもの
オキシヘモグロビン濃度の変化。太線の部分がターゲット課題区間である。

5. 計測、分析、データの解釈のための留意点

以上述べたように、NIRSの計測原理や手続きは複雑なものではないが、実際に適切なデータを記録し、それが確かにターゲットとなる脳機能を表すものであると確認していくことは意外と難しい。臨床面でNIRSを活用していくためには、NIRSの長所と短所（表1）を理解して、計測、分析、解釈の妥当性や信頼性を高めていく基礎的な検討の蓄積が必要である。今回のレポートでは、これまでの研究活動を踏まえながら、計測、分析、データ解釈において最も基本となると思われる五つの留意点を以下の1)～5)にまとめる。

表1. NIRSの長所と短所

長所
計測手続きが容易である
動きのある課題において計測可能である
連続計測が可能である
MRIやPETに比べ時間分解能に優れている(10Hz)
MRIやPETに比べ安価である
MRIやPETに比べ可搬性が高い
短所
fMRIに比べ空間分解能が悪い
fMRIのように脳機能部位の詳細な解剖学的位置づけが困難である
脳深部や小脳の計測ができない
赤外線照射から受光までの光路長が不明で、得られるデータは相対的な変化である そのため、各チャンネルの直接比較や非連続的な経時データの直接比較は難しい
NIRSで計測したヘモグロビンの変化と脳神経活動の関連性の解明が不十分

1) 引算法

NIRSを含めた脳機能の計測において最も重要となるのが、特定の脳機能を明らかにするための課題設定である。特に、課題の中に目的とする脳機能の成分が多く含まれているが、それ以外の脳機能の成分も多く含まれている、という場合には、これらの成分を分離するように検討しなければならない。例えば、上述の語流暢課題では、目的とする「語の想起」という成分と、それ以外の「発声」という成分が含まれており、これらを分けて考える必要がある。

目的とする脳機能をうまく抽出するためによく用いられる方法の一つに引算法 (subtraction) がある。引算法は、二つの課題で得られたデータを引き算する、あるいは、相対値として表す方法である。NIRS データは Hb の相対的な変化であるため、通常、引算法を利用して、図 1 のようなターゲット課題とベースライン課題を検討する。語流暢課題では、ベースライン課題で「あいうえお」の発声を繰り返す課題を行うことにより、目的以外の「発声」の脳機能成分を取り除いている。

引算法は、脳機能のそれぞれの成分が独立しており、それらが Hb に加算的に重畳するということが前提となっていて行われる。

2) アーチファクト

NIRS の計測を行っていると、脳機能に関連しない現象 (アーチファクト) が記録に混入することがある。NIRS データを脳機能の指標として利用するためには、計測時にこれらをうまく取り除くことが肝要である。

最も注意しなければならないアーチファクトの一つは、体動が引き起こす光ファイバーの接着不良や Hb の変化である。一般に、NIRS では、動きのある課題においても計測可能であり、歩行など体全体による運動をターゲットにした研究も報告されている (宮井、2004a: 2004b)。しかし、(a) 顎の開閉運動 (顎を大きく開ける)、(b) 目の開閉運動 (目を大きく開ける) 等の顔の動きや首の前屈旋回運動などは、図 3 に示したようなファイバーの接着不良によるアーチファクトを引き起こしやすい。また、(d) 立位 (座位) から座位 (立位) への運動は、ファイバーの接着不良がなくても、脳の反応とは考えられない大きな Hb の変化を引き起こすことがある (図 3)。

一般に、アーチファクトによる Hb の変化は、脳によるそれよりも非常に大きく、安定性が弱い。そのため、下記に述べる加算平均 (N 回の加算平均で $1/N$ に反応量が減衰) や上述の引算法を利用しても、記録に残り続ける可能性が高い。

動きの多い子どもを対象とする場合にも NIRS は計測可能であるが、アーチファクトになるような動きを統制できなければ、脳機能の指標としてデータを利用することは困難である。図 4 には、計測中に体を動かした 8 才男児の記録を示した。様々な Hb の変化が認められるが、行動観察により頻繁に体が動いていたことが確認されたため、課題に関連した脳機能を反映しているとは確証できない。日立メディコのガイドラインよれば、図 4 のように oxy - Hb と deoxy - Hb が重なって、または、平行して変動する場合、それが本当に生体に由来する信号なのか注意深く検討する必要があると述べられている。

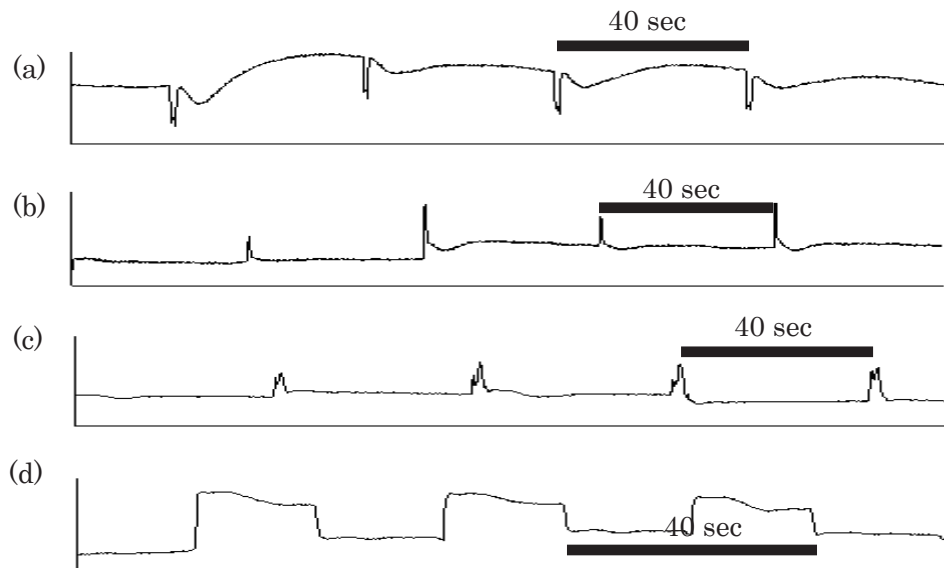


図 3。体動により認められるアーチファクト

オキシヘモグロビン濃度の原データ。(a)顎の開閉運動 (b)目の開閉運動 (c)首の前屈旋回運動 (d)立位(座位)から座位(立位)への運動。立ち上がるとオキシヘモグロビン濃度が増加し、座ると減少する。

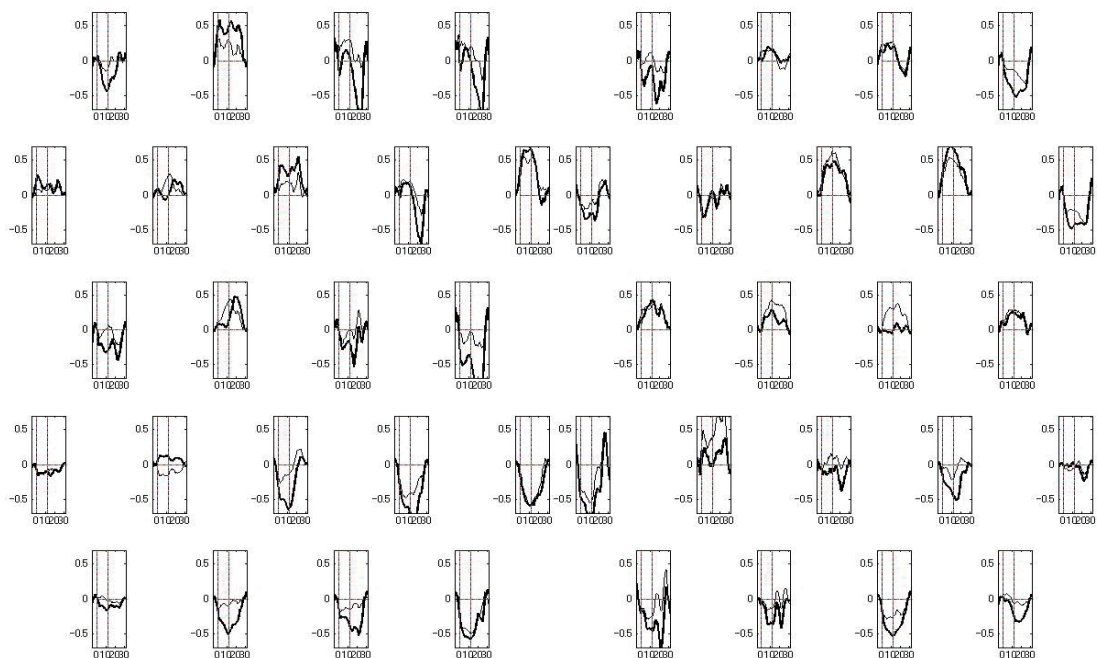


図 4。計測中に体動があったときのヘモグロビン濃度の例(8才男児)

3回の試行を加算平均したときのオキシヘモグロビン濃度(太線)とデオキシヘモグロビン濃度(細線)。オキシヘモグロビン濃度とデオキシヘモグロビン濃度が重なって、または、平行して変動しているチャンネルが多い。このような

場合、それが本当に生体に由来する信号なのか注意深く検討する必要がある。

3) 加算平均

NIRSのデータは、数回の試行を加算平均する加算平均法によって分析されることが多い(図1(c)では3回の試行を加算平均している)。加算平均を行うことで、ターゲットの反応を明瞭化したり、アーチファクトの混入したデータを取り除いたりすることができる。

しかし、加算回数を増やすと、馴化、眠気、疲労などの影響を受けて反応が異なってくることがあり注意が必要である。特に、様々な心理的要因が関係している脳の前頭領域のHbの変化は馴化を生じやすいと考えられており、あまり多くの試行を加算平均すると、かえってターゲットの反応が消失してしまう可能性もある。

一般に、ターゲットとする反応が、ランダムに変動するHbの変化に比べ小さいもののほど、たくさんの加算回数が必要である。NIRSの計測データには下記に述べるように様々な生理的なゆらぎが重畳しているので、実験においては、Hbの変化が肉眼でもはっきりと捉えられるほど大きく出るような課題をターゲットとし、できるだけ早く計測を終了できるように計画した方が安定した結果を得やすいと考えられる。これまでの研究では、1～10回程度の加算平均が多いようである。

4) 生理的なゆらぎ

NIRSの計測データには、様々な周波数帯域の大小様々な変動(生理的なゆらぎ)が重畳しており、これが偽りの脳反応を示すことがあるので注意が必要である。

例えば、図1に示したような非常にゆっくりとしたゆらぎ(右上がりの増加)(山下ら、2001)は、数回の加算平均では消失しない変動であり、単純な引算法による分析を行うと、あたかも脳機能があるかのようなHbの変化が現れることがある。そこで、ETG-4000では、図1のようにHbのデータを課題開始前(pre)、課題終了後の回復期間(recovery)、回復期間後(post)に分け、preとpostを結ぶ一次直線を分析用のベースラインにするという処理を行っている。

実験を計画する場合には、このようなゆらぎの問題を十分に踏まえ、ターゲット課題やベースライン課題の持続時間などを決めなければならない。上述の一次直線を利用する処理においては、Hbの実際の回復時間よりも、設定したベースライン課題の持続時間が短い場合、課題に関連する反応量は実際よりも小さく算出されてしまう。

ゆらぎが偽りの脳反応を引き起こしているかどうかは、課題遂行に同期してHbの原データが変動しているかどうかを調べることにより確かめることができる。

5) 個人差

一般に、実験条件と関連のない個人差や計測誤差を除去するためには、複数人から得られたデータを加算平均する。しかし、NIRSにおいて、複数人のHbを加算平均したり、平均値の差により被験者間データを比較したりするときには、少なくとも以下の3つのことに留意する必要があるだろう。

- ① **計測データの相対性の問題**：NIRSでは光路長を計測できないため、得られるデータはHbの相対的な変化である。このような相対性は、原理的にいえば、同じ被験者の異なるチャンネルごとに、また、同じチャンネル位置においても異なる対象者ごとに認められる（福田, 2005）したがって、複数人データの加算平均や被験者間データの比較などの分析は、原理的に問題があることになる。しかし、福田（2005）は、光路長の個人差やチャンネル間差は小さいという報告があることから、計測データの相対性の問題は、実際の計測では大きな問題となることは少ない可能性があり、同一被験者から連続的に記録したデータの特徴を検討するという方法と組み合わせれば、臨床的に有用なデータとなりうることも示唆している。
- ② **計測部位の解剖学的位置づけの困難さの問題**：計測データの個人差が解剖学的な個人差に由来していれば、複数人の加算平均データには様々な脳機能成分が混在している可能性がある。この問題に対する最もよい対処法はMRI画像との関連を個別に検討して解剖学的な個人差を調整することである。しかし、臨床場面では、MRI画像での検討が難しいこともしばしばあるだろう。その場合には、脳波記録のための国際式10-20法との対応でファイバーを配置する方法（Okamoto, et al., 2004）が次善の方法として利用されることが多いようである。NIRSの空間分解能（およそ3 cm）を考慮すると許容できる誤差範囲で解剖学的位置を推定できるようである（福田, 2005）。
- ③ **ヘモグロビン濃度の変化パタン**の問題：一般に、脳機能の指標として利用されるHbの変化の典型パタンはoxy-Hbの増加（deoxy-Hbの減少）であり（図1(c)参照）、これは、脳血流増加によるoxy-Hbの増加が酸素消費を上回ることを反映すると考えられている（宮井, 2004b）。しかし、実際に計測を行っていると、このような仮定が崩れることがある。つまり、課題遂行に関連してoxy-Hbが減少（deoxy-Hbが増加）することがある。図5には、語流暢課題においてoxy-Hbが減少（deoxy-Hbが増加）した例を示した。この変動は、アーチファクトやランダムに変動するゆらぎではなく、実際に課題遂行に同期して明瞭に変化している。図6(a)には、著者らが、語流暢課題を使って計測した9名のoxy-Hbのデータを重ねて表示した。9名中6名でoxy-Hbの増加、3名でoxy-Hbの減少が認められた。田村ら（1998）や日立メディコのガイ

ドラインは、このように oxy - Hb が減少するパターンがおよそ 10%の人に認められることがあることを述べている（ただし、どのような課題、脳部位、年齢でも認められるかは明らかではない）。このような oxy - Hb の減少と脳神経活動の関係についてはまだよくわかっていないが、この Hb の変化パタンの違いを単なる個人差として処理してよいかについては疑問である。個人差として処理した場合、その大きさを表す変動係数 ($SD / M \times 100$) は非常に大きい値になる。

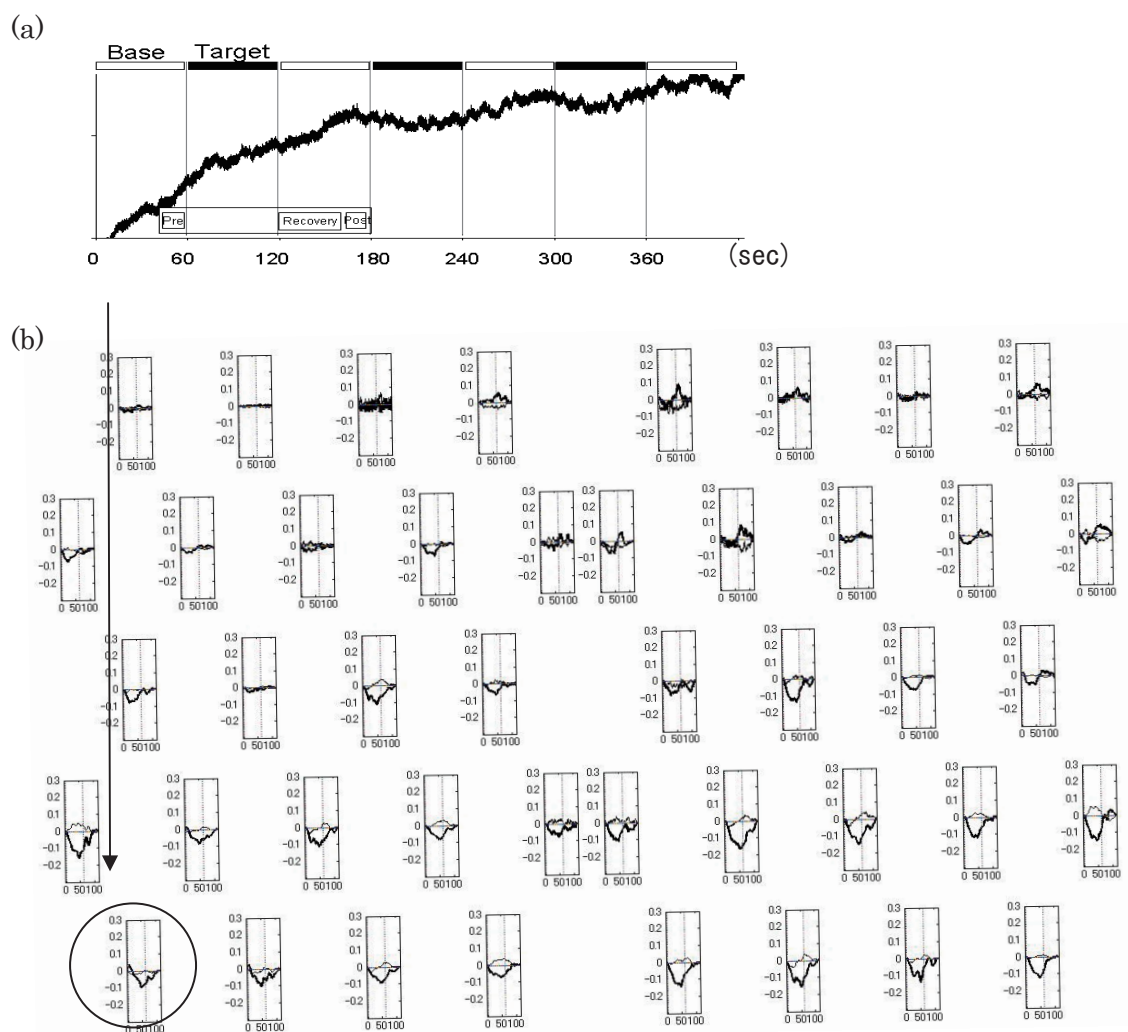


図 5。 語流暢課題においてオキシヘモグロビン濃度が減少した例（34 才男性）

(a) 左側 ch14（図 1(a) 参照）におけるオキシヘモグロビン濃度の原データ。特にターゲットの 2-3 試行目で減少している。(b) 3 回の試行を加算平均したときのオキシヘモグロビン濃度（太線）とデオキシヘモグロビン濃度（細線）。それぞれのチャートの位置は、図 1(a) の計測チャンネルの位置に対応する。横軸の単位は秒。図 1(c) と比較するとヘモグロビン濃度の変化の振れが逆になっていることがわかる。

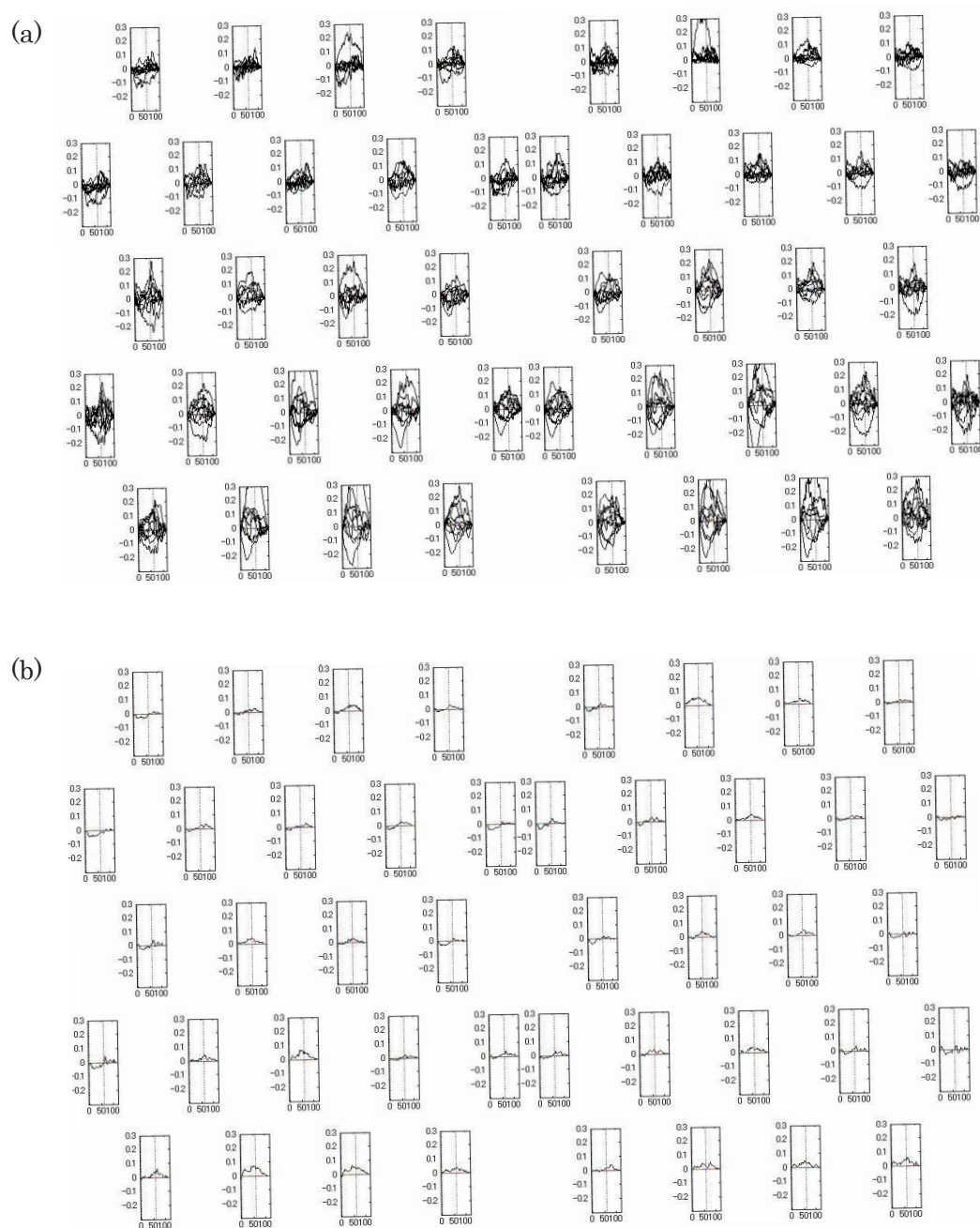


図 6。 語流暢課題によるオキシヘモグロビン濃度の変動

それぞれのチャートの位置は、図 1(a) の計測チャンネルの位置に対応する。横軸の単位は秒。(a) 9 名のデータを重ねて表示したもの。(b) 9 名のデータを加算平均したもの。

以上のことを考慮すると、NIRS を利用した実験では、同一被験者から連続的に記録したデータの特徴を検討するといった被験者内の比較を計画した方がより妥当で、効率がよいと思われる。被験者間の比較を計画した場合、実験条件の効果を検出するためには、かなり多くの被験者が必要となるだろう。また、複数人のデータを加算平均したり、平均

値の差により被験者間データを比較したりするようなパラメトリックな統計手法は慎重に利用しなければならないだろう。

著者らは、語流暢課題のような一般的によく利用されている課題のいくつかをリファレンス課題として利用して、ターゲット課題との Hb の変化を同一被験者内で比較する方法を検討している。リファレンス課題を用いると、上述した Hb の変化パターンや反応部位の個々人の特性をより詳細に検討できる可能性がある。

6. おわりに

NIRS は、比較的簡便に脳機能を計測できる魅力的なツールである。NIRS を利用して教育の効果などを脳機能の変化として評価できれば、より客観的で精緻な指導法の開発につながると思われる。一方、以上に述べたような NIRS の特性を考慮すると、障害のある子どもの個人差や発達差を検証していくためには、今後、障害のない人を含め数多くのサンプルの蓄積が必要である。また、被験者間の比較によるデータの分析や解釈の在り方などの基礎的な検討も今後必要といえるだろう。

引用文献・参考文献

- 1) 福田正人 (2005 : 第 4 回日本脳イメージング研究会資料) 精神疾患の生理学における NIRS の意義 (2005).
- 2) 小泉英明 (1997) 活動する脳を見るー高次脳機能の視覚化ー. 現代科学, 27- 33.
- 3) 日立メディコ (2005 : 光トポグラフィユーザー会資料) 光トポグラフィの検査のご紹介
- 4) 宮井一郎 (2004a) 光イメージングによる脳損傷後の機能回復の評価. 神経内科, 61(5), 445- 453.
- 5) 宮井一郎 (2004b) 神経リハビリテーションにおける fNIRS の応用. Medical Now, 52, 33- 36.
- 6) 入野宏 (2000) 心理学研究における事象関連電位 (ERP) の利用. 広島大学総合科学部紀要Ⅳ理系編, 26, 15- 32.

- 7) Okamoto, M. , Dan, H. , Sakamoto, K. , Takeo, K. , Shimizu, K. , Kohno, S. , Oda, I. , Isobe, S. , Suzuki, T. , Kohyama, K. , Dan, I. (2004) Three- dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10- 20 system oriented for transcranial functional brain mapping. *NeuroImage*, 21, 99- 111.
- 8) 武田常広 (2003) 脳光学. コロナ社 (東京).
- 9) 田村 守・星 詳子 (1998) 光を利用した人高次脳機能計測. 脳の科学, 271-277.
- 10) 渡辺英寿・室田由美子・中島千鶴 (2005) 近赤外線光トポグラフィを用いた失語症回復過程の計測. 高次脳機能研究, 25 (3) , 215 - 223.
- 11) 山下優一・牧 敦・山本 剛・小泉英明 (2000) 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.

玉木 宗久・海津 亜希子

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権利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尊厳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場合の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等を記載すると

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。

12. 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」研究の必要性和方向性について

－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⁾、学校に適応しない若者が問題化した。学校にうまく適応し、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応えられるのか、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・免許制度の改革、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的視点が求められる。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

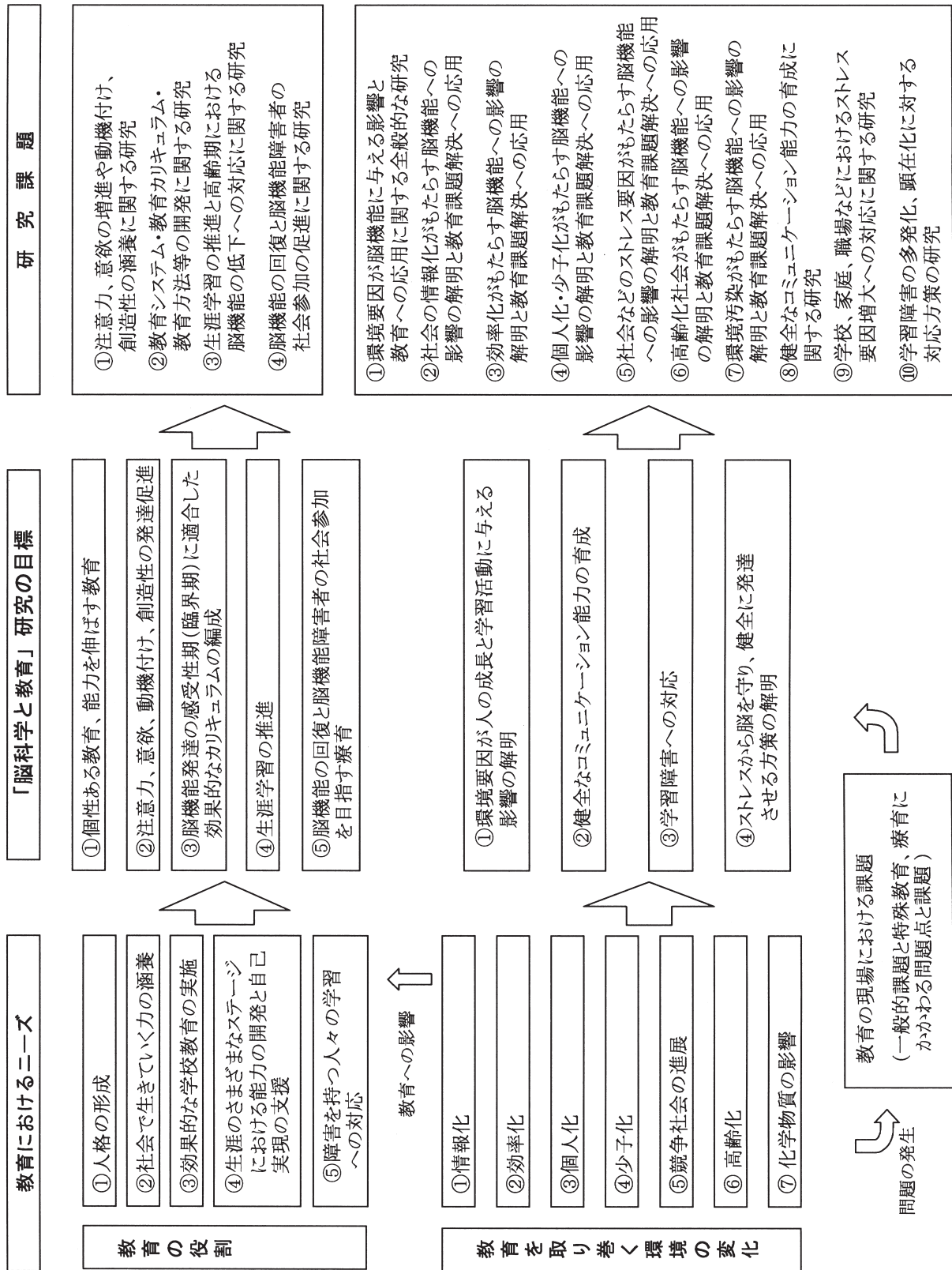
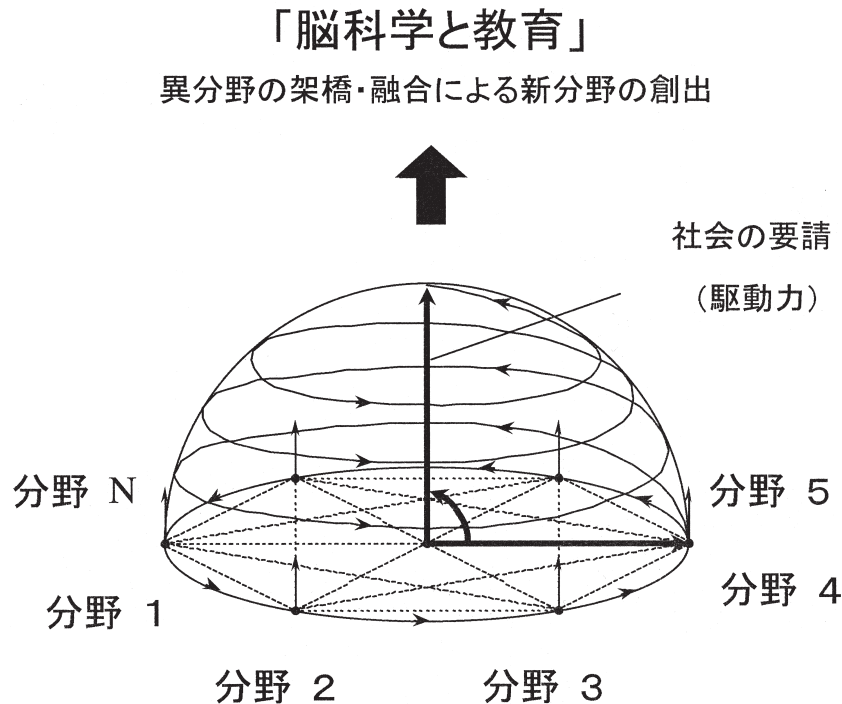


表2 研究課題への取り組みスケジュール

「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) 教育の役割に与えるための研究	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		○
	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	○	○
(3) 「脳科学と教育」研究を支える研究的方法論についての研究	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



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、脳の異なる部分が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ったりして(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」研究を進めるに当たって、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こと。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いう言葉の意味を、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応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。

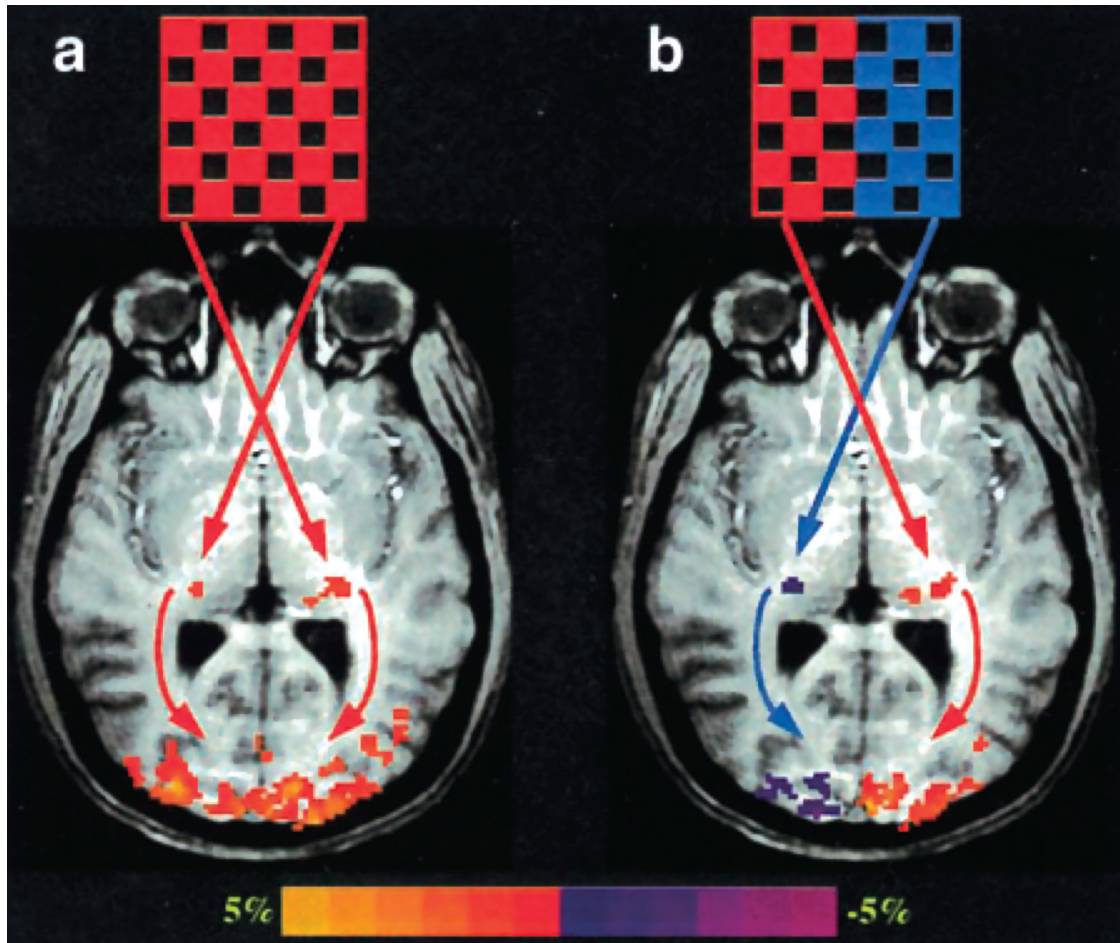


図1 視覚刺激により活性化された脳部位

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

先に視知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

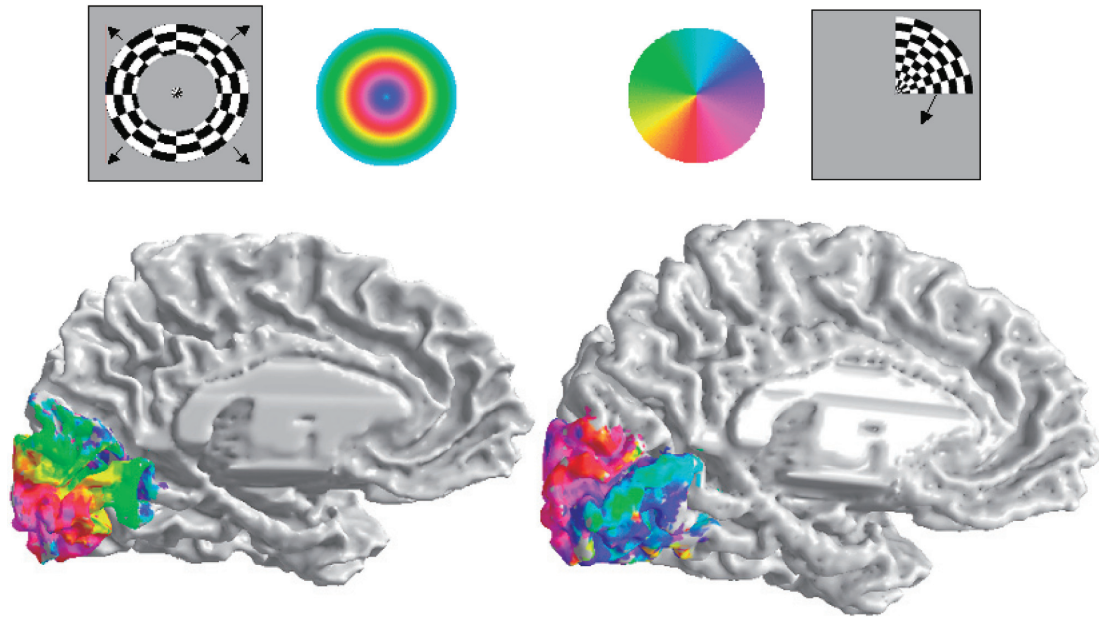


図2 注視点からみた視野における視覚刺激の相対位置と、それに対応して活性化される視角野内の部位との関連

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であろうか。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

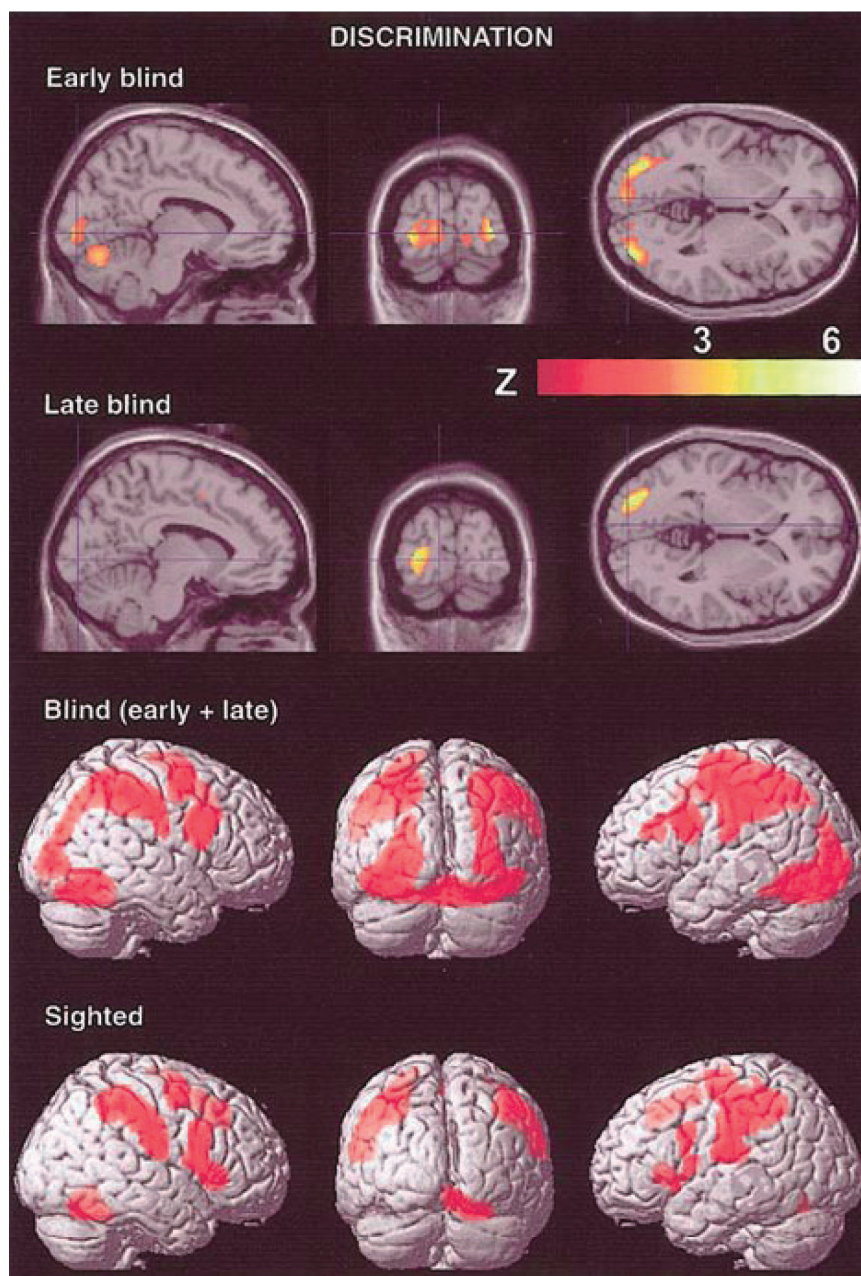


図3 点字を判別させる課題を行っている時に活性化される脳部位

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わ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わ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る。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。

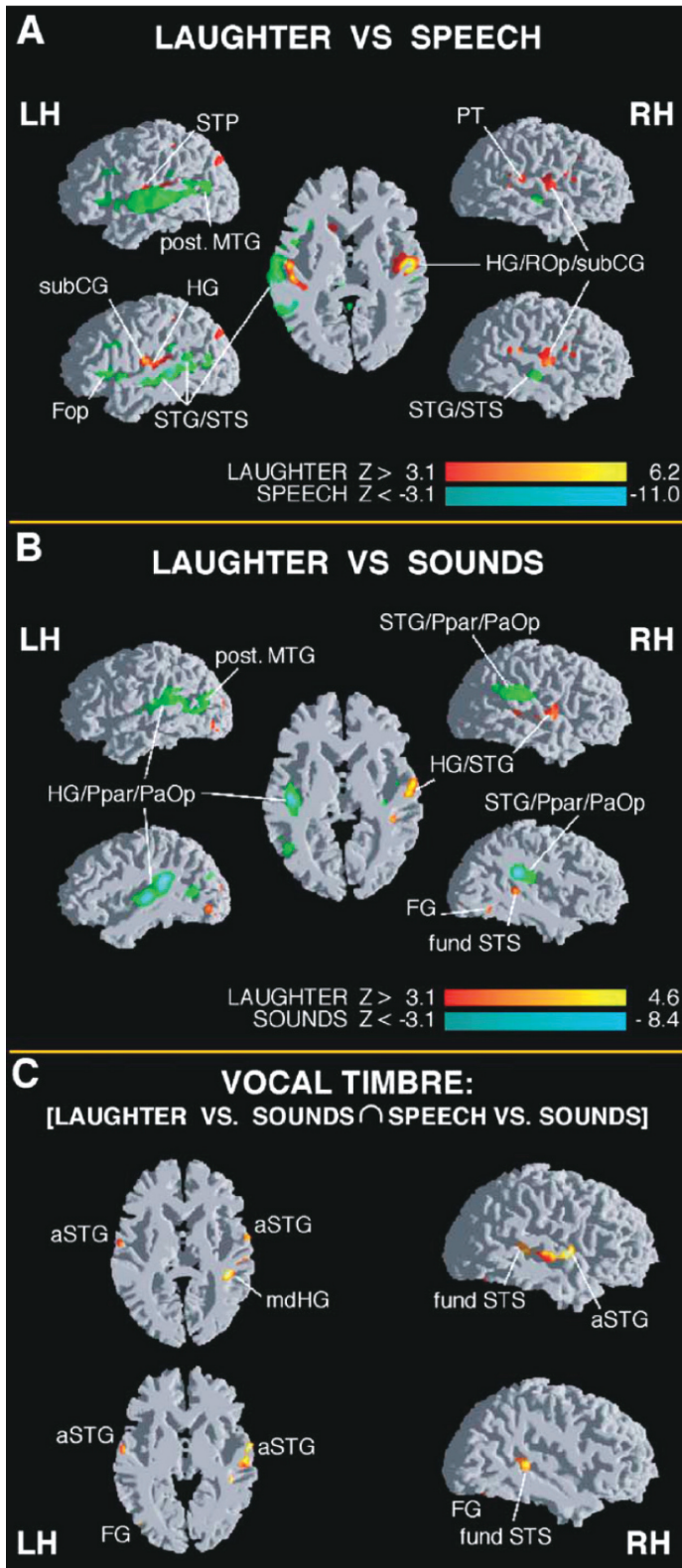


図4 笑い声、話し声、非音声の音による脳の活性化部位

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（ヘッシェル回）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る。

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。

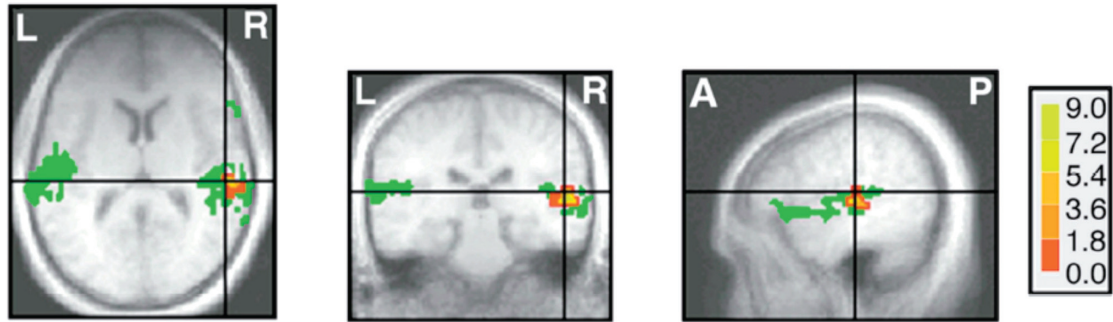


図5 聾者において視覚刺激により活性化される脳の部位

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

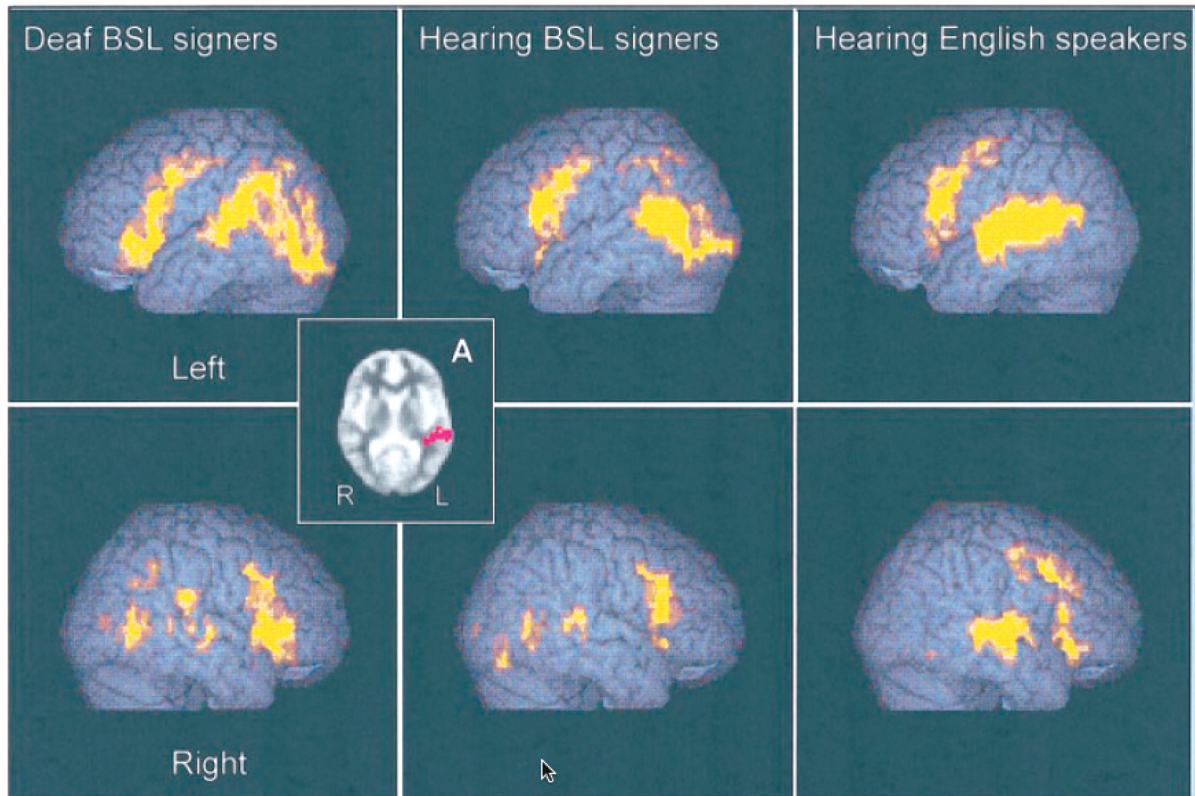


図6 手話と音声付き画像の提示による脳の活性化部位の比較

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る。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が、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Ogawaらによる実用的な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手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 become 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で、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例の例と



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

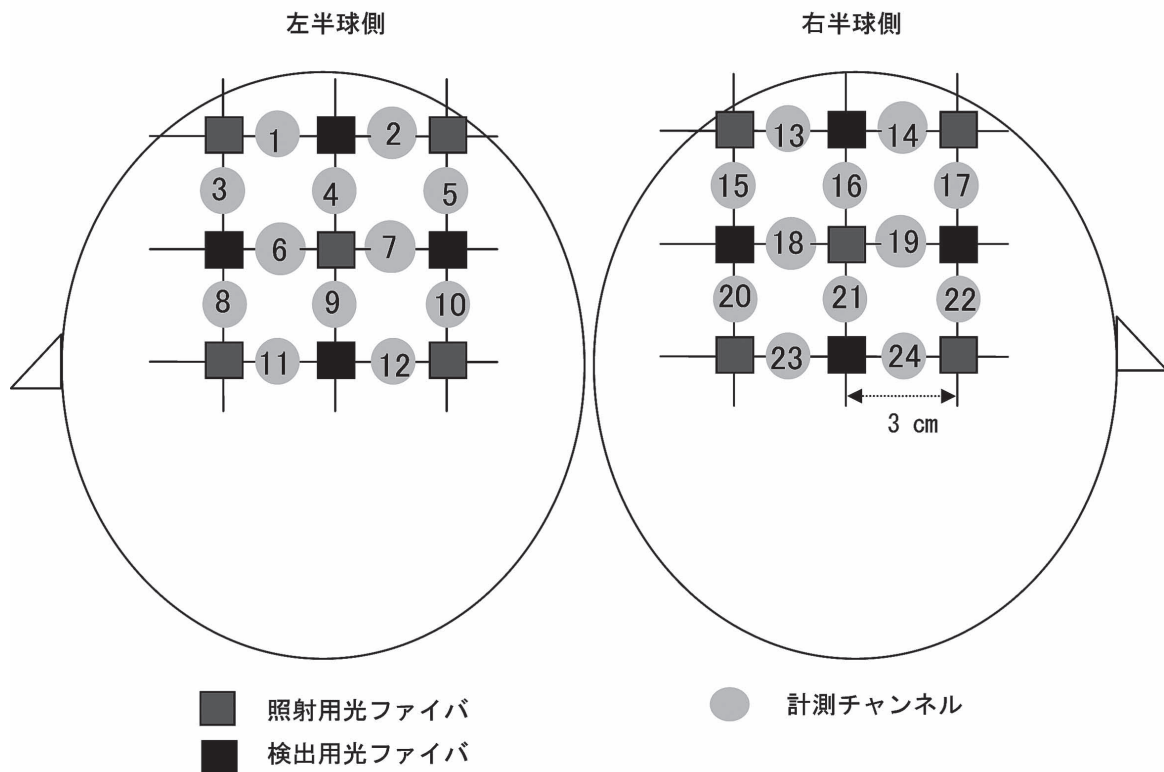


図3. 光ファイバの配置と計測チャンネル

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。

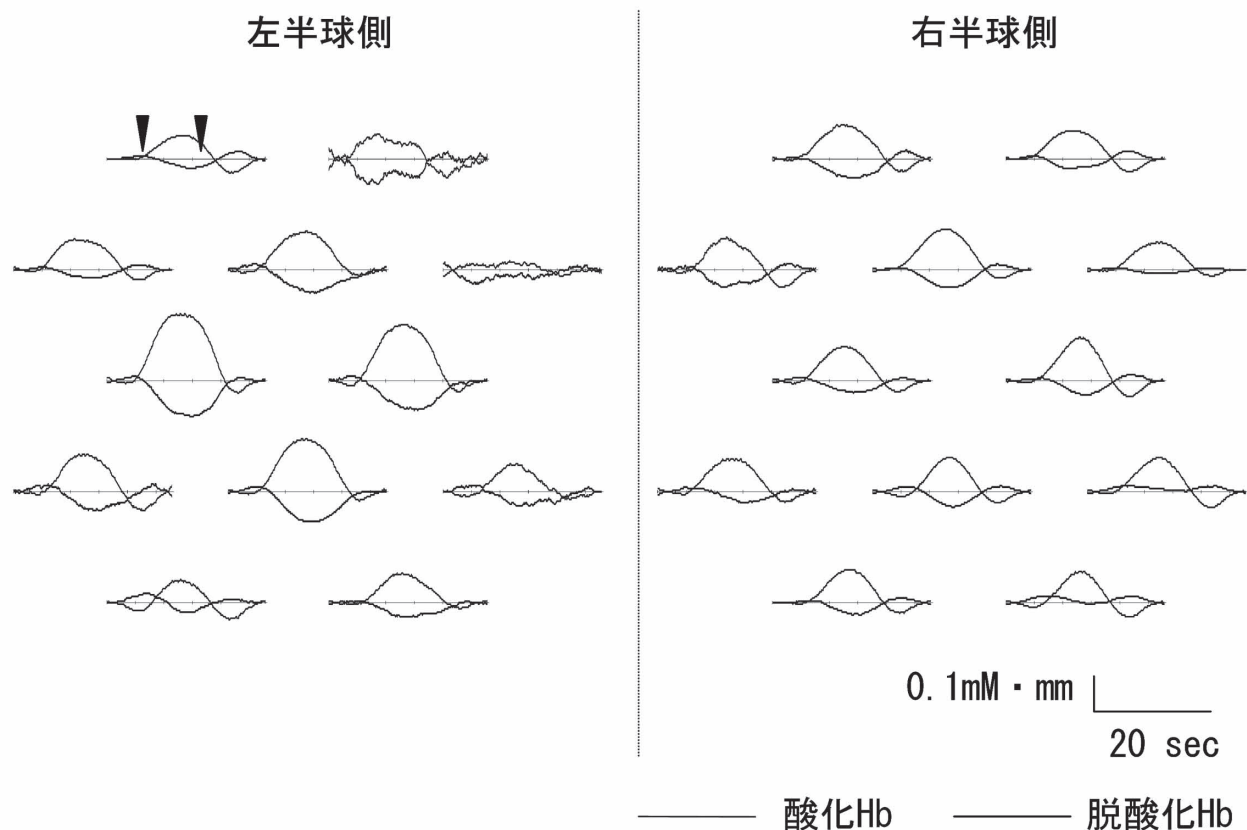


図4. 右手指の運動に伴う局所脳血液量の変化—酸化Hb, 脱酸化Hbの濃度変化—の例

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。光を吸収する頭髮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

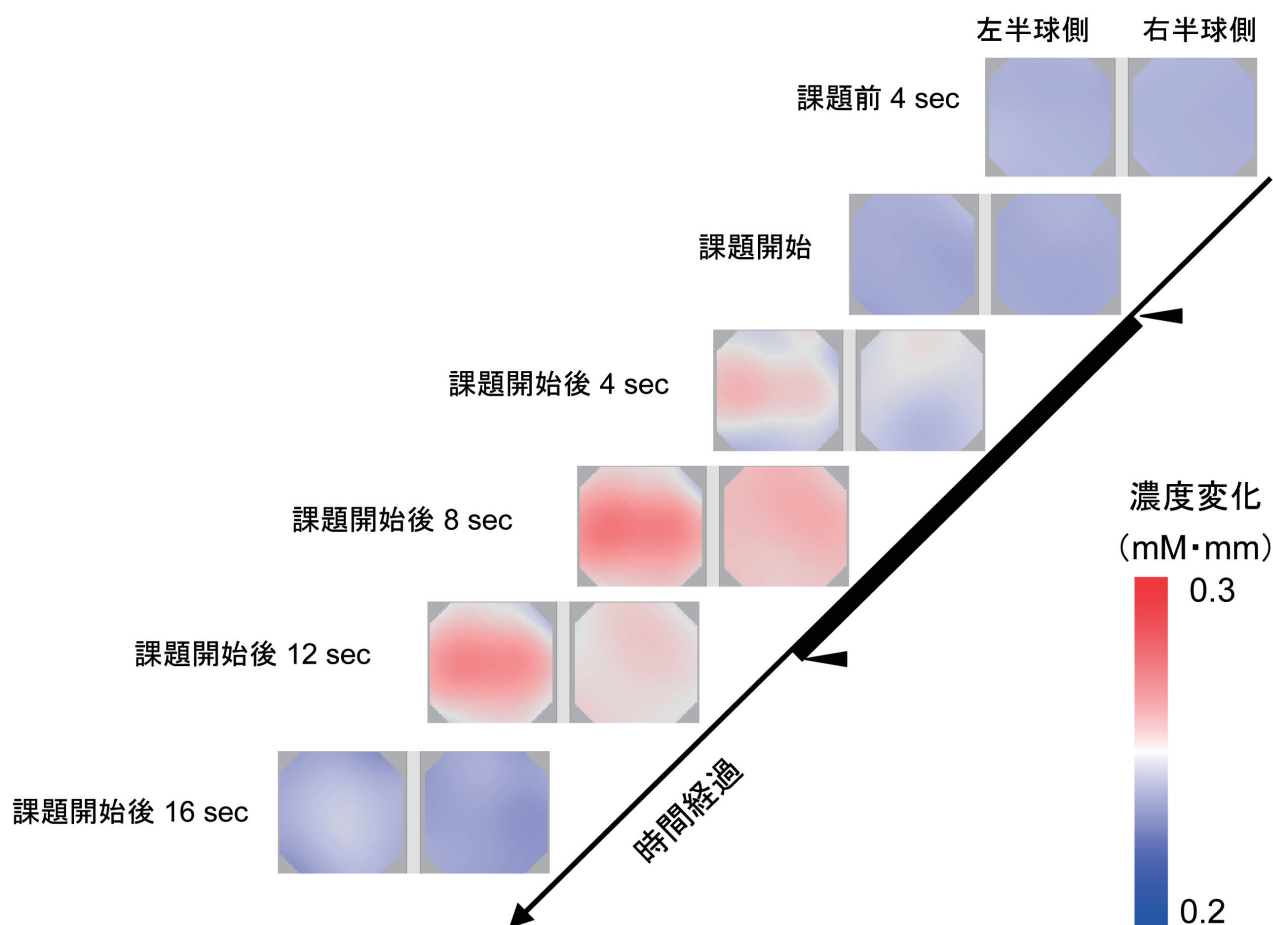


図5. 二次元画像表示による右手指の運動に伴う酸化Hb濃度変化
－右手指の運動に関連する脳機能画像－

れ（単位は $\text{mM} \cdot \text{mm}$ ），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、現在のところ最も実効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。

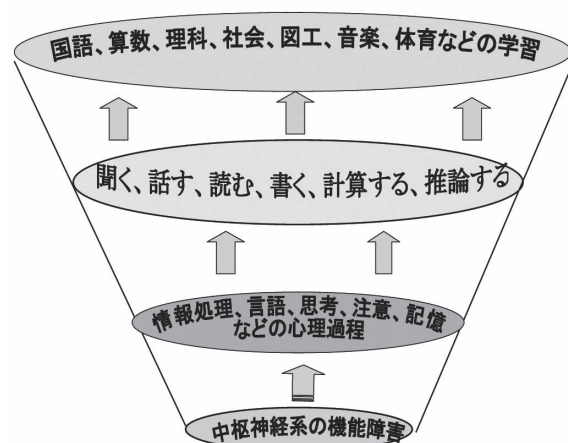


図1 LDの発生機序（篁，2002）

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）を対象としたウェ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。日常的な問題解決

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

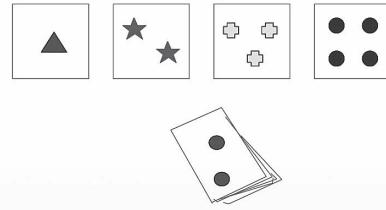


図2 ウィスコンシン・カード・ソーティング・テスト (WCST)

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、文字を読むという反応が出易い。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、発達障害の子どもの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)

特殊研

課題別研究報告
(平成16年度～18年度)

脳科学と障害のある子どもの教育
に関する研究

Research on Brain Science and Special Education for Children with Disabilities
(2004-2006)

平成19年3月発行

研究代表者 西牧 謙吾

発行 独立行政法人国立特殊教育総合研究所

〒239-0841

神奈川県横須賀市野比5丁目1番1号

電話 046-848-4121 (代表)

FAX 046-839-6919