

教育神経科学研究の今後の発展

黒田 恭史

[抄録]

1990年代より、教育学と神経科学の学際的研究としての「教育神経科学」の新領域が提唱されはじめ、今日では具体的な脳活動計測実験の結果をもとに議論を展開するまでになった。本稿では、こうした学際的研究が「理論的」検討期から「実践的」検討期へと移行しつつある約10年間の政策及び研究と、筆者らが実施してきた脳活動計測実験の結果をもとに、教育神経科学の動向を明らかにし、今後の算数・数学教育学研究への応用の可能性について検討することを目的とする。

キーワード 教育学, 神経科学, 算数・数学教育学, 教育神経科学

1. はじめに

脳活動計測装置の発展は、教育学と神経科学の学際的研究の立ち上げを可能にするとともに、この新領域における精力的な研究を推進するものとなった。とりわけ、教育研究を主に扱う国内外の機関において、大規模な研究プロジェクトが発足し、組織的な取り組みが行われるようになったことは、研究の進展に拍車をかけた。例えば、国際的には OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development: 経済協力開発機構) の CERI (Centre for Educational Research and Innovation: 教育研究革新センター) が、「学習科学と脳研究」のテーマの下、1999年より大規模な研究を実施し、日本では、文部科学省が、「脳科学と教育」研究を2001年より開始してきた (OECD 2002, 文部科学省 2002)。この教育学と神経科学の学際的研究のことを、「教育神経科学 (Educational Neuroscience)」と呼ぶ。こうした組織的な研究により、教育神経科学に関連する基礎実験の研究成果が次々と蓄積されるようになり、今日では、算数・数学教育学研究への具体的な応用が期待されている。

ところで、教育神経科学が確立されてきた背景には、脳活動を計測する装置の開発・普及が1990年代に集中したことが挙げられる。それまで、脳に関わる研究は、動物実験や脳損傷患者に対する治療・診断が中心であったが、1990年代からの非侵襲的に脳活動を計測可能な装置の進展により、健常な成人や子どもをも対象とした研究へと拡大した。教育学と神経科学の学際的研究は、この流れを受けて1990年代から世界的に広まりを見せ、1990年代後半

以降より本格的に研究が実施されてきたのである。

一方、神経科学の教育学への応用については、社会の大きな関心事の一つとしても取り上げられ、マスコミによる“神経科学の教育への応用”に関する一連の報道や、それに伴う市民の神経科学への期待は、ここ数年の日本を含む世界的な傾向であった。簡単な計算の反復によって脳が活性化するという神経科学を後ろ盾にした「百ます計算」の流行（陰山 2002, 川島 2001）は、その一例であるといえるが、これらに対して教育学と神経科学の双方の立場の研究者から、慎重な態度と十分な議論がの必要性が指摘されてきた（Blackemore and Frith 2005, Goswami 2006, Ansari and Coch 2006）。現在では、教育学と神経科学の学際領域を構築する際に生じる問題点を共通認識し、教育学と神経科学が互いに貢献可能な方途を探る試みが始まっている（Varma et al. 2008）。

2. 研究目的・方法

本稿では、新領域としての教育神経科学の確立期における研究の進展と動向について、「国際的な政策の影響」, 「研究の蓄積と成果」, 「数学教育学への応用の可能性」の3つの側面から考察を試みる。具体的には、計測装置の急速な普及と、臨床実験の急増期にあたる1990年代後半以降の約10年間の世界の研究動向を概観し、併せて、筆者らが2002年以降に取り組んできた脳活動計測による研究成果をもとに今後のあり方について言及する。

3. 国際的な政策の影響

3.1. 世界の動向

教育学と神経科学の学際的研究に関する国際機関における組織的な取り組みとして、OECD-CERIによるプロジェクトが挙げられる。OECD-CERIは、いわゆる学校教育段階における学習のみならず、生涯を通じた学習の理解のために、1999年より「学習科学と脳研究」を開始した。第1期の1999年から2002年の活動についての報告書内では、研究目的として次の3点が挙げられている（OECD 2002）。1つ目は、研究分野に関わることとして、「認知神経科学、心理学、教育、健康、政策など」の各分野の創造的な取り組みと分野間での対話を発展させることである。2つ目は、研究分野間の相互貢献に関わることとして、「認知神経科学が教育と教育政策に提供できることは何か」、逆に「教育と教育政策が認知神経科学に提供できることは何か」という、相互に理解を図りながら研究を推進することである。そして、3つ目は教育学の進展を期待するものとして、「教育分野が他の分野の力を借りて「人間の学習」を理解する」ことへの神経科学の貢献についてである。OECDは、このプロジェクトにおいて、神経科学の研究者と教育学の研究者のみならず、政策立案者との連携を促すことで、

科学的知見による教育の改善と、それを具体的な教育政策へ反映させようとしてきた。併せて、神経科学から教育学への一方通行ではない、相互の対等な交流の必要性を早い段階で提唱したことは注目すべき点である。

その後、OECDによるプロジェクトは、第1期における神経科学の研究者、教育学の研究者、政策立案者による学際領域の可能性の探求を基礎に、より教育政策に関連し、かつ応用可能性の高い第2期の研究へと移行した。すなわち、「読み書き能力 (Literacy)」、 「計算能力 (Numeracy)」、 「生涯学習 (Lifelong learning)」の3つのネットワークを中心に活動が行われるようになった。2007年の報告書では、認知機能、記憶などの脳に関わる概説とともに、上記の3つのネットワークによる活動成果を報告している (OECD 2007)。

3.2. 日本の動向

日本にあっては、2002年に設置された文部科学省による「脳科学と教育」研究に関する検討会」の推進方策において、集中して取り組むべき研究として、創造性の涵養、教育課程・教育方法の開発、環境要因と脳への影響の3つを取り上げ、検討がなされた (文部科学省 2002)。この検討会は、2003年に最終報告が提出されたが、その後も理化学研究所が「脳を育む」プロジェクトを、科学技術振興機構が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」)、社会技術研究「心身や言葉の健やかな発達と脳の成長」(コホート研究)を開始し、大規模な研究が進められた。また、文部科学省は2005年に「情動の科学的解明と教育等への応用に関する検討会」を、2006年に「情動の科学的解明と教育等への応用に関する調査研究会議」を発足させた。文部科学省によるこれらの検討会、調査研究会議は、医学的知見の蓄積や非侵襲的な脳機能計測の実現を背景に、子どもの情意面を科学的に解明し、それを教育へ応用しようとしたものである。そして、委員の人選に関しては、幅広い分野の専門家の参画を得るように配慮していることが明記されている (委員数は、検討会12名、研究会議24名)。研究会議においては、公立幼稚園、小学校、中学校の園長、校長が委員に含まれており、研究成果を具体的な形で教育現場へ応用していこうとする姿勢がうかがえる。

4. 研究の蓄積と成果

教育学と神経科学の学際的研究領域の確立には、この間、その難しさが研究者間で指摘されながらも、実現へ向けての模索が粘り強く行われてきた。

4.1. 橋渡しとしての認知心理学の役割

認知科学、科学哲学の専門家である Bruer (1997) は、教育学と神経科学の学際的研究の議論が高まる中、両者をつなぐにはあまりにその距離が遠いと指摘した。しかし、唯一の方

策として、認知心理学を足場に、教育学と神経科学を間接的につなぐ道があるとした。Bruer は、教育学と認知心理学の間には50年に及ぶ確立した「橋」があるが、神経科学と認知心理学の間には10年しかないことを指摘した上で、2つの「橋」によって教育学と神経科学をつなぐ方法を具体的に提案している。認知心理学を、教育学と神経科学の間の安定した足場とすることで、最終的に、神経科学が、教授と教育実践について教育者に有用な見解を提供し、教育学と神経科学をつなぐ大規模な「橋」になることを期待したといえる。同時期、Byrnes and Fox (1998) もまた、両分野の間の隔たりの大きさと、その間を取り持つ研究者の存在の重要性を指摘している。すなわち、「認知科学の発展と教育心理学の発展の間の歴史的な交流の接点を考え合わせると、多くの教育心理学者は、認知神経科学研究における潜在的な「情報価値」の点で同じ議論を行っている。」とし、両者の共有部分を突破口に、学際領域研究を確立することを提唱している。また、発達心理学者のGoswami (2004) は、神経科学の教育研究への応用の実現可能性を明らかにした上で、教育心理学者と認知心理学者がイニシアチブを取ることで、教育学と神経科学の橋渡しをすることの重要性に言及している。

4.2. 教育学と神経科学の対等性

Varma et al. (2008) は、これまでの約10年間の検討事項を踏まえ、教育学と神経科学の共同研究を検討する上で必要となる「科学的」概念と「実践的」概念を設定している。そして、前者には「方法、データ、理論、哲学」の4項目を、後者には「費用、タイミング、制御、結末（報酬）」の4項目の計8項目を置き、全項目について、「困難性（悲観主義的見解）」と「可能性（楽観主義的視点）」の立場から検討を加え、将来その範囲内のいずれかの地点に議論が収束するであろうことを予測している。例えば、「実践的」概念の「制御」項目における「困難性」としては、「もし教育が制御を神経科学に譲歩するならば、その独自性を決して取り戻すことはできない。」と記しており、「可能性」としては、「神経科学が教育のためにできることは何かを問うのではなく、教育が神経科学のために何ができるかを問うべきである。」と記している。また、教育神経科学という新たな学際的研究領域の確立にあたっては2つのことを提案している。提案の一つは「学問ではなく分野への焦点化：自分たちの学問を強調することをやめ、自分たちの問題を強調させること」であり、もう一つは「競争ではなく協調への焦点化：教育学者と神経科学者が、互いを競争者ではなく協力者として見ること」である。教育学と神経科学が、同じ問題意識に支えられ、相手の立場を踏まえた上で交流を持つことの必要性が唱えられているといえる。

同時期、日本においても同様の議論がなされるようになった。例えば、神経科学の立場から加藤 (2007) は、神経科学側からの問いかけに対する教育学側のアクションや、神経科学への教育学側からの積極的な働きかけが乏しいことを指摘し、教育の現場の実情を発信していくことで、神経科学の活性と教育研究への還元が促進するようになるとしている。また、

教育学の立場から、安彦(2005)は、神経科学者の提案に対して、教育学の関わりが弱いこと指摘し、神経科学の知見を取り入れた学校カリキュラムの開発の可能性について論じている。黒田・岡本(2006)、Kuroda et al. (2009a)は、教育史上の議論を背景に、現在の教育学と神経科学が果たしうる可能性と問題点について検討し、教育学研究者の学際的研究への積極的な参加が重要であることに言及している。緩利・田中(2007)は、教育学と神経科学の間のずれを考察することで、両者を架橋するためにヒトの認知に関わる概念に着目する必要性を指摘している。

4.3. 研究のさらなる進展に向けて

1990年代後半から現在にかけて繰り返し指摘されてきたことの一つとしては、教育学と強いつながりを持つ分野を通して神経科学との橋架けを考える必要があるという点である。とりわけ、教育学と関連深い「学習」を含めた認知過程を主たる研究対象とする認知心理学をその「要」と考えている点が共通する特徴であるといえる。

一方、時代の変遷に伴い、10年前の段階と現在との間に変化が生じたこととしては、主に2つが挙げられる。一つは、教育学と神経科学の対等性が繰り返し指摘されるようになったことである。これは、裏返して言えば、この間、神経科学の優位性が目立ってきたことによる反省であるといえる。もう一つは、教育学と神経科学の学際的研究の可能性と困難性について、具体的な研究活動との対応関係が明確化されるとともに、新たな研究領域の全体像がおぼろげながらも明らかにされ、それらが体系化されてきたことである。

5. 算数・数学教育学研究への応用

5.1. 算数・数学教育学研究へのこれまでのアプローチ

教育神経科学において、数学教育は言語教育と並んで重要な研究テーマの一つと位置づけられ研究が進められてきた。例えば、Goswami(2004)は、ニューロイメージング装置を用いた研究成果をもとに、これまでの数学教育でなされてきた活動について検討を行っている。また、算数障害(Dyscalculia)の発見や、それらの障害のある子どもたち個々人のカリキュラム開発にも活かせる可能性を提案している。一方、OECDの第1期研究(1999年～)では、算数障害の原因究明や、障害や数学的な困難を持つ学習者への支援ツールの開発など、特別な支援の必要な児童・生徒に対する研究が中心に行われてきており、第2期研究(2003年～)に移ると、より一般的な数学カリキュラムの検討が行われるようになってきている(OECD 2002, OECD 2007)。

日本においても2000年以降、具体的な脳活動データを分析した研究成果が報告されるようになった。心理学の視点から、岡・宮谷(2003)は、数学における暗算を、数字の知覚や

計算の実行、計算結果の記憶などが複合する情報処理過程として捉え、その過程を神経科学の知見を用いて検討することで、暗算の特性を明らかにしようとしている。馬場他（2008）は、数学の基礎となる数判断の心的過程の脳活動を計測することにより、学習メカニズムを解明することを目指している。数学教育学の視点からは、Kuroda et al.（2009b）、Kuroda et al.（2009c）、岡本他（2006）、Okamoto et al.（2008）、Okamoto et al.（2009）は計算領域や図形領域に関する実験課題を用いて脳活動計測を行い、理解の生理学的メカニズムの解明に取り組んでいる。

数学教育に関する神経科学研究は、初期の段階では算数障害などの特別な支援を必要とする児童・生徒に関する研究が中心になされてきた側面があるが、現在では通常の学級の多数の児童・生徒に対する算数・数学教育にまで展開していこうとする研究へとシフトしてきており、これらの研究成果が明確化すれば、具体的な数学教育改善への活用が期待される。そうした中において最大の検討課題は、数学学習時の脳活動の特徴を明らかにしたことを、どう数学教育学研究に役立てるのかという具体的な研究の方略（ストラテジー）を示すことにある。

5.2. 算数・数学教育学研究に活かすための脳活動計測実験のストラテジー

教育学と神経科学とでは、研究の目的が異なるため、脳活動計測の実験を行う際も、実験を計画する段階から教育学の視点を取り入れていくことが肝要である。その具体的な協力体制のあり方は、図1の構成図で示すことができる。まず、図1の構成図内左上の「①現在の教育問題」からスタートし、右矢印の「②実験課題開発」へとすすむ。そして、「③脳活動計測実験」を実施し、「④データ分析」を行う。一方、教育研究側では下側の「⑤教育評価」へとすすむ。ここで、「④データ分析」と「⑤教育評価」の双方を照合し、教育活動と脳活動データの関係について検討する。両者の関係は「⑥ Coding（教育の結果が脳活動に映し出された姿）」と「⑦ Decoding（脳活動から判断する教育の成果）」となり、⑥を抛り所に⑦の可能性をどの点まで言及することができるかが鍵となる。こうした方略のもとに実施された実験により、算数・数学教育学の中で研究されてきた知見と、脳活動データとの対応関係が明確になり、脳活動データの持つ意味を数学教育学的に解釈することが可能になる。

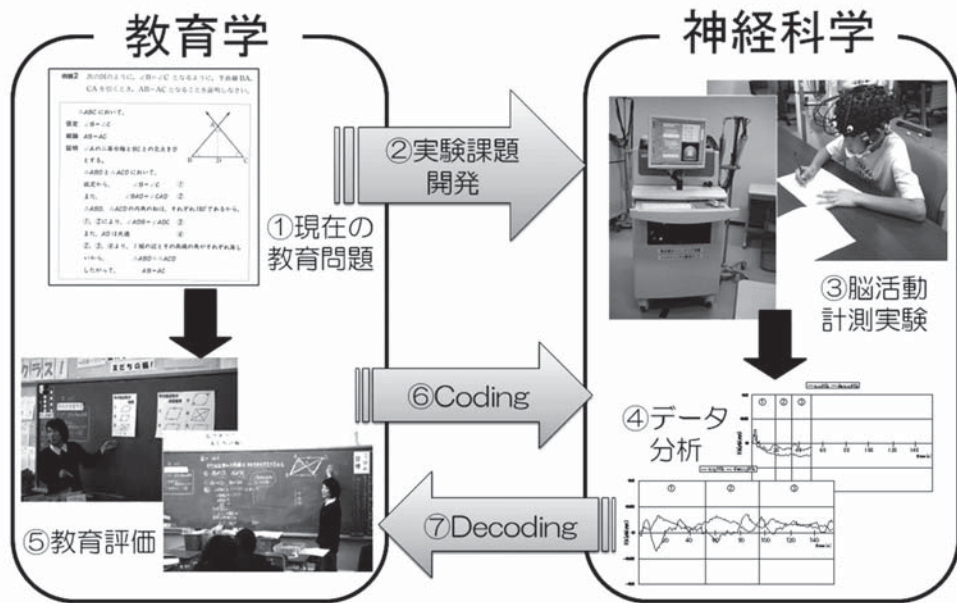


図1 教育学研究と神経科学研究をつなぐ構成図

5.3. 算数・数学教育学研究に活かすための実験課題設定のストラテジー

学校で行われている通常の授業では、学習場面に応じて学習形態や能力育成の目標を変化させ、学習効果が最大限に得られるように工夫がなされている。これらの学習場面は、学習形態と能力育成の観点から、おおよそ図2のように整理することができる。最下層 Stage 1 では、学習形態が個人学習、そして能力育成が技能・習熟の段階に該当する。その一つ上の Stage 2 が個別指導と知識・理解となり、その上の Stage 3 が集団指導と思考・説明となる。そして最上層 Stage 4 が協同学習と表現・交流となる。こうした4つの Stages は、各単元の授業において複数の Stages を組み合わせながら学習が進められる。また年齢が低い段階では下層部分の学習活動が主となり、年齢が高い段階では上層部分の活動が主となる。

そこで、具体的に実験課題を設定する際には、外的情報から遮断された中で独力で課題に取り組む環境下 (Stage 1) の実験から始め、徐々に外的情報を活用し、協働で課題に取り組む実験 (Stage 2～Stage 4) へと進め、同時に学習者のみならず指導者の脳活動データを取得し、相互の関係を分析するように研究の方略を立てていくことが望ましい。従って、図1の構成図を基本とした実験方略のもと、図2の「個人学習」形態、「技能・習熟」育成の段階から、「協同学習」、「表現・交流」の段階へと、順に実験課題内容、実験場面を設定していく必要がある。

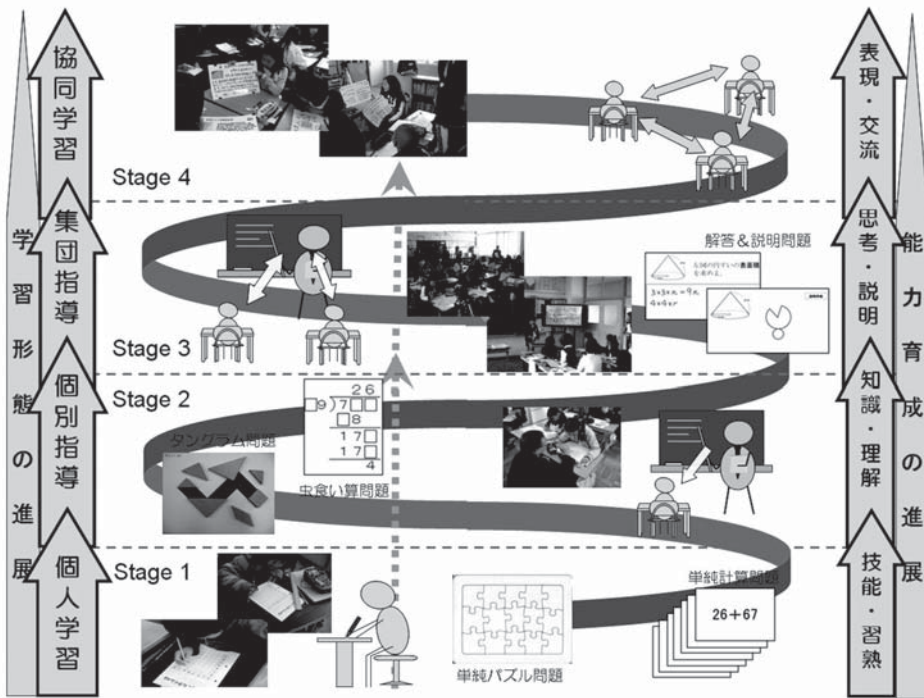


図2 学習形態と能力育成のスパイラル的進展

5.4. 算数・数学教育学研究に活かすための脳活動計測実験の概要

2002年以降、図1及び図2の方略のもと、大学生と小学生を対象に、教育学の立場から脳活動計測実験を実施し、脳活動データの教育研究への応用の可能性について検証してきた。図3は、その中心的な実験課題の一覧であり、上部が大学生を対象としたもの、下部が小学生を対象としたものである。また、左半分が個人学習形態で技能・習熟に関わる実験（図2のStage1に該当）、右半分が個別指導形態で知識・理解に関わる実験（図2のStage2に該当）である。それぞれ、算数・数学の「計算」に関する内容と「図形」に関する内容となっている。被験者数は、延べ人数が137名であり、その内、大学生が113名、小学生は24名である。脳活動計測装置としては、近赤外分光法（NIRS: Near Infra-Red Spectroscopy）システムを用いており、酸素を有したoxyHb（オキシヘモグロビン）と酸素を放出したdeoxyHb（デオキシヘモグロビン）の2種類のヘモグロビン濃度の相対変化を連続計測することが可能である。

これら一連の実験の実施手順は次のようである。最初に大学生を対象とした予備実験を実施し、脳活動データと行動観察や事後のインタビューなどとの照合によって、実験結果を分析する。その後、小学生を対象とした実験を実施し、その特徴を明らかにするとともに、教育への応用の可能性について言及する。また、先に単純な左半分の個別学習場面における実験を実施し、続いてより複雑な右半分のヒント提示学習場面における実験を実施する。











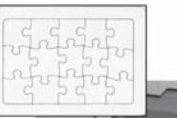

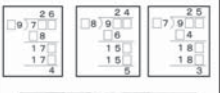



	個別学習場面		ヒント提示学習場面	
	計算	図形	計算	図形
大学生	乗法筆算  	立体構成  3次元  2次元	除法虫食い算   ヒント	タングラム   ヒント
	加法筆算  	ジグソーパズル  	除法虫食い算   ヒント	タングラム   ヒント

図3 脳活動計測実験一覧

5.5. 脳活動計測データの分析方法・特性・解釈

これまでの脳活動計測実験の知見を踏まえ、NIRSシステムを用いて算数・数学教育学研究の立場から脳活動データを分析するにあたっては、次のa1) からa4) の4つの原則に則って行うことが重要である。

- a1) 脳の活動部位の特定（空間分解能）よりも、時系列の変化（時間分解能）を分析の中心とする（計測部位は、前頭前野）。学習時の理解の過程は、時間経過によって変化していくため、同一部位における時間的な変化こそが、学習を検討する上で大きな問題となるためである。
- a2) 所要時間、正答率、事後の感想などと、脳活動データを照合して、どのような要素がヘモグロビン濃度に反映されたのかを考察する。これまで、行動観察を中心とした教育学の研究手法と脳活動データとの関係を詳細に検討し、両者のギャップを少しでも小さくするためである。
- a3) 脳活動データの平均値、積分値などの統計的手法以上に、波形（増加、減少など）の分析を重視する。教育学用実験課題では、時系列における脳活動データの急速な増減が理解の可否と大に関係するため、その変異の瞬間を同定することが重要となるためである。
- a4) 個人内では実験課題の違いによる増加幅の数値の比較を中心とし、個人間では波形（増加、減少など）の比較を中心に行う。NIRSによるデータが相対変化の数値であるため、個人間

の比較の際には慎重を要するためである。

また、学習時の脳活動データ（ヘモグロビン濃度変化）の特徴としては、次のb1)からb4)の4つの特徴が検出された。

- b1) 課題遂行が開始されると、oxyHbは増加し、そこでの増加幅の大きさと、難度の高さは一致する傾向にある。
- b2) 難度が極めて高い場合や、思考状態が長時間続く場合には、oxyHbの増加に加えてdeoxyHbも増加する。
- b3) 難度が低い場合は、oxyHb, deoxyHbとも増加は見られない。
- b4) 前頭前野において、oxyHbは左右類似した傾向が見られるが、deoxyHbの増加は右の一方で生じる傾向がある。

脳活動データの分析方法(a1)～a4)と脳活動データの特徴(b1)～b4)より、脳活動データを算数・数学教育的視点から解釈する場合、次のc1)からc4)の4つ点に留意する必要がある。

- c1) 脳活動データには、学習者の内面に生じる難度、解決方略獲得状況、緊張状態などを反映する可能性がある。
- c2) 同様の実験課題を行っても、成人(大学生)と子ども(小学生)とでは、子どもの脳活動データの個人差が大きい傾向にある。
- c3) 計算という同一領域の実験課題であっても、単純計算とアルゴリズムを問う問題(虫食い算など)では脳活動データが異なる。
- c4) 前頭前野の場合、計算課題と図形課題という課題内容の違いがあっても、方略獲得の過程(正答率、所要時間)が類似する場合、脳活動データには類似した傾向となる。

6. ま と め

本稿では、学際研究領域としての教育神経科学が確立してきた、1990年代後半以降の約10年間の政策及研究と、筆者らが実施してきた脳活動計測実験の結果をもとに、その発展の動向を明らかにするとともに、今後の算数・数学教育学研究への応用の可能性について検討した。

その結果、明らかになったことは、次のことである。

1) 国際的な政策の成果

各国の協力体制の下、OECDの取り組みは、ここ10年間で大きく進展し、各国に対しても影響を与えた。日本もまた、OECDの動きに連動する形で、文部科学省が中心となって研究が進展した。その中であって、実際の学校現場の従事する教員が積極的に議論に参加するといった教育学と神経科学の対等性が提唱され、教育への応用についての性急な議論に対する慎重な態度の重要性が指摘されたことは意義深いことであったといえる。

2) 研究の蓄積と成果

教育学と神経科学の学際的研究の実現には、双方に隣接した学問である認知心理学が「橋」としての役割を担う必要であることが、1990年代後半から世界研究者間の中で指摘され、異分野間の研究者が参加する共同研究が世界各地で開始されるようになった。併せて、この約10年間で教育学的視点を踏まえた脳活動計測実験結果が飛躍的に報告されるようになったことは、教育神経科学の研究を「理論的」検討期から「実践的」検討期に移行させることにつながった。

3) 算数・数学教育学研究への応用

算数・数学教育は、言語教育と並んで、教育神経科学研究での中心的内容の一つであるといえる。とりわけ、数や図形は世界共通の記号であるため、国際的な比較研究の実施が容易であるなど、多くの研究成果が期待されている。ここ10年において、脳活動計測実験結果が数多く報告されるようになったことから、算数・数学教育学の立場からの脳活動データの分析方法、特徴の解明、そして解釈の視点が確立されるようになってきており、今後は、教室での多数の児童・生徒への教育改善への取り組みへと発展することが期待されている。

7. 今後の課題と展望

現在の学校現場では、多様化する子どもの個々の学習状況に応じ、適切な指導方法を選択・実施するとともに、そこで用いた指導方法が適切であったのかを説明することが求められるようになった。教師が、一律の内容を一斉指導すればよいという時代は終わり、集団指導でありながらも、個別指導ができる能力が求められているといえる。以前にも増して、個々人の正確な学習実態把握がなされなくてはならず、また教育を施した効果を客観的指標を用いて正確に測定・評価することが必要となってきた。

しかし、こうした社会からの要請に対して、現在の学校現場は十分に対応することのできる態勢と、教員の意識改革ができていないわけではない。とりわけ、客観的指標を用いた測定・評価の点については、旧来のペーパーテスト形式に頼る傾向にあり、今日的・世界的研究動向からの新しい評価観には十分に対応できていない現状がある。その意味で、教員の意識改革をも含めた学校現場の改革が必要であり、神経科学との学際的研究はその一つの突破口になると捉えることもできる。今後、教育神経科学における知見が、教育における新しい客観的評価指標としての役割を担うことにつながれば、学校現場はそれを好意的に受け入れる可能性が高いと考えられるのである。

上記の学校現場の実情を踏まえた上で、今後の教育神経科学に期待される成果には、例えば、次の3つのようなものがある。

1) 言語能力が十分でなく、理解の可否に関する学習状況を正確に説明することのできない年少の子どもたちの、情意面も含めた客観的指標としての可能性がある。外的観察からでは判

別不能なデータの可能性を有している。

2) 子どもの学習特性の個人差は、成人のそれに対して大きいため、指導方法を考えるに際しては、特性の違いによるグループ毎での議論が必要となる。脳活動データは、グループ間の差異の生理学的意味を提供するものであり、適切な指導を検討する上での基礎的資料としての活用が考えられる。

3) 脳活動データより、カリキュラム配置の妥当性を検証することが可能と考えられる。具体的には、教育内容の領域間の横断的共通性と、領域内での縦断的関連性を再検討し、新しいカリキュラム構築につなげていく。

[参考文献及び URL]

- 安彦忠彦（2005）「脳科学的観点から見たカリキュラム開発」早稲田大学大学院教育学研究科紀要，第15号，1-18
- Ansari, D. and Coch, D. (2006) "Bridges over troubled waters: education and cognitive neuroscience". *TRENDS in Cognitive Sciences*, Vol.10, No.4, 146-151.
- 馬場伊美子, 岩崎祥一, 井上正雄（2008）「数判断の脳活動－近赤外光脳機能イメージングによる予備実験－」数学教育学会春季年会発表論文集，218-220
- Blackmore, S. J. and Frith, U. (2005) "The Learning Brain: Lesson for Education". *Blackwell Publishing Ltd.*, Oxford. (乾敏郎・山下博志・吉田千里（2006）「脳の学習力－子育てと教育へのアドバイス－」岩波書店，東京)
- Bruer, J. T. (1997) "Education and the brain: A Bridge Too Far". *Educational Researcher*, Vol.26, No.8, 4-16.
- Byrnes, J. P. and Fox, N. A. (1998) "The Educational Relevance of Research in Cognitive Neuroscience". *Educational Psychology Review*, Vol.10, No.3, 297-342.
- Goswami, U. (2004) "Neuroscience and education". *British Journal of Educational Psychology*, Vol.74, No.1, 1-14.
- Goswami, U. (2006) "Neuroscience and education: from research to practice?". *Nature Reviews Neuroscience*, AOP, published online 12, 2-7.
- 陰山英男（2002）「本当の学力をつける本 学校でできること家庭でできること」文藝春秋，東京
- 加藤忠史（2007）「「脳を鍛える」ブームの根底にあるもの」教育学研究，Vol.74, No.2, 14-23
- 川島隆太（2001）「自分の脳を自分で育てる」くもん出版，東京
- 黒田恭史, 岡本尚子（2006）「数学教育の脳科学の数学教育への応用の可能性とその限界」数学教育学会誌，Vol.47, No.1・2, 37-44
- Kuroda, Y., Chance, B. and Nioka, S. (2009a) "Overview of Application of Brain Science in Educational Research Field". *Brain Topography and Multimodal Imaging*, 133-135.
- Kuroda, Y., et al. (2009b) "Visualization of children's mathematics solving process using near infrared spectroscopic approach". *SPIE- The International Society for Optical Engineering*, Vol.7174, Z1-Z8.
- Kuroda, Y., Okamoto, N. and Taketoshi, K. (2009c) "Mathematics Educational Study Using Brain Activity Data as Biological Information". *The 6th International Conference on Mathematics Education and Cultural History of Mathematics in this Global Information Society*, 87-92.
- 文部科学省（2002）「「脳科学と教育」研究に関する検討会の開催について」

- (URL:http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/003/kaisai/020301.htm) , (2010年10月10日現在)
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2002) "Understanding the Brain: Towards a New Learning Science". *OECD*, Paris. (小泉英明 監修, 小山麻紀 訳 (2005)「脳を育む 学習と教育の科学」明石書店, 東京)
- OECD (2007) "Understanding the Brain: The Birth of a Learning Science". *OECD*, Paris.
- 岡直樹, 宮谷真人 (2003)「暗算の過程に関する研究 (1) - 事象関連電位による検討 -」日本心理学会 第67回大会発表論文集, 748
- 岡本尚子, 江田英雄, 山内留美, 前迫孝憲, 小池敏英, 黒田恭史 (2006)「立体構成課題における前頭前野の酸素消費の特徴について」臨床脳波, Vol.48, No.6, 101-107
- Okamoto, N., Eda, H., Kuroda, Y. and Maesako, T. (2008) "Effectiveness of NIRS in Educational Research". *WAC- International Forum on Multimedia an Image Processing*, 526・1-6.
- Okamoto, N., et al. (2009) "Measurement of brain activation difference during different mathematical tasks by near infrared spectroscopy". *SPIE- The International Society for Optical Engineering*, Vol.7174, M1-M8.
- Varma, S., McCandliss, B. D. and Schwartz, D. L. (2008) "Scientific and Pragmatic Challenges for Bridging Education and Neuroscience" *Educational Researcher*, Vol.37, No.3, 140-152.
- 緩利誠, 田中統治 (2007)「脳科学と教育の間 - カリキュラムへの応用方法を中心に -」教育学研究, Vol.74, No.2, 24-35

〔付記〕

本研究は、平成21年度佛教大学特別研究費の研究助成を受けている。

本稿は、①岡本尚子, 黒田恭史 (2008)「脳科学と数学教育学の学際的研究の可能性についての動向」数学教育学会夏季研究会 (関西エリア), 25-32, ②黒田恭史 (2010)「NIRSの教育学への応用 - 脳科学と教育学との接点 -」平成22年電気学会全国大会 (シンポジウム), S14-7, 及び③黒田恭史 (2010)「知の創成力の育成と脳科学」第34回日本科学教育学会年会 (自主企画課題研究), 209-210の発表原稿をもとに、筆者が内容を整理し、修正加筆したものである。

(くろだ やすふみ 教育学科)

2010年10月12日受理

