

教育学における生理学指標の可能性

岡本 尚子, 前迫 孝憲
江田 英雄

1. はじめに

近年, 神経科学の重要なテーマの一つとして, 社会性と脳機能の関わりを指す「社会脳 (social brain)」が提唱されている。社会脳という言葉の契機は, Brothers (1990) が, 社会的認知にかかわる脳部位の存在可能性を提案した論文とされる。その後, Dunber (1998) による, 霊長類の脳は集団や社会的環境に適応するために進化したとする「社会脳仮説」がきっかけとなり, 2000年頃より社会脳研究が活発化した。現在, 社会脳研究はその対象を拡大させ, 社会脳仮説にとどまらず, 広く社会性と脳機能に関する研究を指すようになってきている。ヒト (動物) を社会から切り出して単独的に観察・把握するのではなく, 社会での役割や文脈を踏まえた行動をすること, 他者との相互作用の中で変化していくことなどへの着目の重要性が高まってきたことがうかがえる。

社会脳研究の活発化と時を同じくして, 2000年頃より, 教育学においては, 神経科学との学際的研究が進められるようになった。この学際的研究領域は, 社会脳研究として位置づく要素を持つものであった。教室空間での学習は, 教師から学習者への指導, 学習者同士の学びなど, 他者との関わりの中で進められる場面が多いことが, その一例として挙げられる。こうした社会脳研究の要素を持つ教育学と神経科学の学際的研究の背景には, 脳活動を安全・容易に計測できる複数の装置が開発されたことにより, 装置が医療機関における使用から一般研究機関での使用へと普及したことがある。傷病者のみならず, 健常な大人, そして子どもの計測が可能となったことが大きな推進力となったわけである。このように開始された学際的研究は, 各研究者のみならず国際的・組織的な取り組みとして進められてきた。例えば, 1999年に OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development: 経済協力開発機構)-CERI (Centre for Educational Research and Innovation: 教育研究革新センター) が開始した「Learning Sciences and Brain Research (学習科学と脳研究)」プロジェクトは, 神経科

学と教育学の学際的研究領域における相互貢献の重要性を早い段階で指摘し、世界的に新たな学際的研究領域を構築する基盤となった (OECD 2002, 2007)。日本においては、上記のプロジェクトを受ける形で、2002年に文部科学省による『『脳科学と教育』研究に関する検討会』が発足し、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点を取り上げ、検討がなされた (文部科学省 2002)。

現在ではこうした流れの中で、International Mind, Brain, and Education Society や、European Association for Research on Learning and Instruction- Neuroscience and Education Group など、教育学と神経科学の学際的研究領域に関する会議が世界的に立ち上がり、学際的な一研究領域として「教育神経科学 (educational neuroscience)」が確立されつつある (Goswami 2004, Geake 2005)。教育学と神経科学の学際的研究領域の誕生は、教育学研究における脳活動データの取得を可能とし、学習の中枢器官である脳の活動情報によって、学習者の思考状況を直接的に知る手法をもたらしたといえる。これまでの教育研究で主に用いられてきた、正答率、解答時間、誤答分析、面接などの行動データを中心とした手法では捉えられなかった情報の提供が期待されている (岡本 2011)。

併せて、学習とは、人間の様々な器官を総合的に活用することによって、問題を解決する行為であることから、脳活動のみならず、視線移動、脈拍、呼吸数、発汗などの生理学的データを総合して分析を行っていくことが有用となる。現在では、各種計測機器の開発と、計測技術の精緻化が図られ、より容易に正確なデータを取得できるようになってきた。とりわけ、視線移動計測は、データの明確性、情報量の観点から、学習においては重要性が高いものと考えられる。実際、ヒトが五感をとおして取り入れる刺激の割合は、視覚 83.0%、聴覚 11.0%、嗅覚 3.5%、触覚 1.5%、味覚 1.0%とされている (教育機器編集委員会 1972)。近年では、脳活動とこうしたデータを組み合わせることで、脳活動とその他の生理学的データの関連を研究する取り組みも積極的に進められている (Rubio 2013)。

視線に関する研究において、社会性や教育学の観点から関わりの深いものとして、「共同注意 (joint attention)」研究を挙げることができる。共同注意行動は、その定義を多様に有するものであるが、総じて「対象に対する注意を他者と共有する行動」を指す (別府 2003)。研究の発端は、乳幼児が養育者と同じ対象物を見たり、それによって視線を交わしたりすることへ言及した Scaife & Bruner (1975) の報告であった。その後、Butterworth (1995) による、子どもが養育者の視線を後追いつける視線追従から、他者の指差しを視線で捉えて理解するプロセスの解明や、Tomassello (1995) に

よる、他者が意図を持った行為者であるかを理解しているかの検討などがなされてきた。広義には、文化的な習慣や背景的知識の共有などをも含む概念であるが、発達的な行動に着目した研究が主に行われ、対象の行動は視線追従や指さしの理解から、感情の参照や模倣などに拡大している（Bruner 1995, 池田 2012）。指導者と学習者間で同じ対象物を観察するといった活動は、日常的な学習活動において随所に見られることから、共同注意研究は学習過程を分析する上でも、重要な研究課題であるといえる。

筆者らはこれまで、教育学研究の視点から、算数課題遂行時の脳活動と視線移動の計測実験をそれぞれ実施し、学習時の特徴を検討してきた。とりわけ、発達段階の子どもを対象とする教育の文脈においては、各種器官の成長に伴い、その特徴も変化が予想されることから、生理学的データを複合的に用いることで、信頼性の高い分析につながれると考えられる。

そこで、本稿では、社会脳研究、共同注意研究の研究動向から教育学との関わりを分析するとともに、脳活動データ、視線移動データの生理学的指標による学習特徴と、活用についての展望の検討を行う。

具体的には、次の3点を目的に設定する。

- (1) 社会脳研究、共同注意研究の論文数の推移とその内容を調査し、教育学との関わりを分析する
- (2) これまでの筆者らの脳活動、視線移動計測の研究成果から学習特徴を考察する
- (3) 生理学的データの教育での活用の展望、今後の課題について検討する

2. 社会脳、共同注意の研究動向と教育学との関わり

社会脳、共同注意それぞれに関する論文数の推移と、それらの論文が扱ったトピックを調査し、教育学との関連を分析する。また、これを踏まえて、今後の教育学と神経科学の学際的研究に必要と考えられる視点を提示する。

2.1. 論文数の推移

図1左図は、2001年から2012年までの12年間における「social brain」（社会脳）を含む論文数の推移、図1右図は、「joint attention」（共同注意）を含む論文数の推移を示したものである（2013年10月30日現在）。論文の検索には、Elsevier社が発行する国際誌論文（電子ジャーナル）のデータベースである Science Direct（<http://>

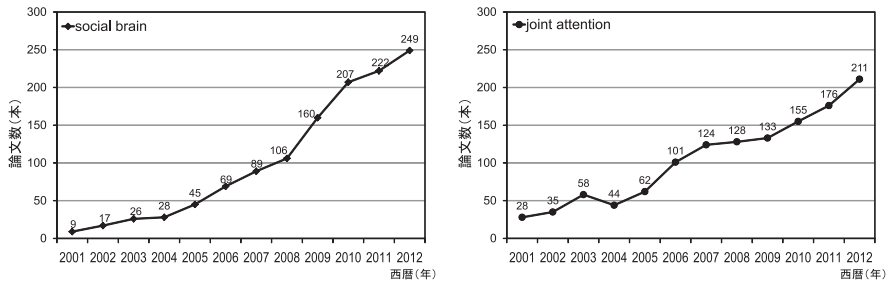


図1 論文数の推移

(左：social brain が含まれる論文数の推移 右：joint attention が含まれる論文数の推移)

www.Sciencedirect.com/) を用い, “social brain”, “joint attention” を検索語とした。図中の縦軸が論文数(本)を, 横軸が西暦(年)を表している。

図1左図より, 社会脳に関連のある論文は, 年を経るごとに増加し, 2001年から2012年の12年間でおよそ28倍(249本/9本)となっている。とりわけ, 2009年からの増加が顕著であり, 社会脳に関わる研究が, 近年急増していることがうかがえる。この一因としては, 2006年に *Social Neuroscience* と *Social Cognitive and Affective Neuroscience* という2誌が刊行され, 当該誌の学会である *Society for Social Neuroscience* と *Social and Affective Neuroscience Society* が設立されたことが挙げられる。雑誌や学会の設立が, 社会脳研究を一領域として確立し, 研究を広く浸透させたとともに, その研究内容自体の拡大を推し進めたと考えられる。

図1右図より, 共同注意に関連のある論文も増加が見られ, 2001年から2012年の12年間でおよそ8倍(211本/28本)となっている。近年の動向に着目すると, 2007年から2009年の3年間に比べて, 2010年以降の増加幅が大きいことが確認できる。この一因としては, 2007年に *Research in Autism Spectrum Disorders* という雑誌が刊行されたことが挙げられる。実際, 雑誌別の論文数を調べると, 図1右図の全論文(1255本)のうち, 本雑誌に掲載されている論文(105本)が最も多い。共同注意の研究は, 自閉症児を早期発見する指標としての研究が発展の一助となってきており, 最近ではより社会的な文脈から, 特に「社会的注意 (social attention)」がその一つの指標として提唱され, 拡大してきている (Dawson 2004)。視線理解をはじめとする社会的な行動との関連についての自閉症に関する研究をもとに, 共同注意に関する研究が活発化しているといえる。

2.2. 論文が扱ったトピックから見た教育学との関わり

表1左表、右表は、それぞれ、図1の social brain が含まれる論文、joint attention が含まれる論文が扱ったトピックの上位項目を示したものである。ここでは、社会脳、共同注意を含む論文がどのような内容を扱っているのかを調査するため、social brain, joint attention 自体はトピックの項目に含めないこととした。

表1を教育学との関連の視点から見ると、次の2点が指摘できる。まず、1点目は、自閉症（左表：2位／右表：1位（以下、左表・右表の記述は省略）、自閉症スペクトラム（8位／4位）、スペクトラム障害（13位／5位）など、特別支援教育と共通する内容が見受けられることである。とりわけ、自閉症の神経科学研究は、従来、医学における専門分野で扱われることが多かった。しかし、社会脳というテーマのもと、より社会的な側面からの認知・行動特性と脳機能特性が研究されるようになっており、特別支援教育と共通する研究内容が増えてきているといえる。

2点目は、社会的認知（1位／9位）、顔表情（6位／10位）、心理状態（10位／12位）、ミラーニューロン（10位／8位）など、発達心理学が扱う内容と共通性が高いことである。これまで、発達心理学では行動観察手法をもとに乳児から成人までの社会性に関する発達特性を研究してきた。一方、神経科学では一器官としての脳・神経系や、発達上の各行動について研究がなされ、それぞれが限定された領域での研究と

表1 論文が扱ったトピックの上位項目
 (左：social brain が含まれる論文（図1）が扱ったトピックの上位項目
 右：joint attention が含まれる論文（図1）が扱ったトピックの上位項目)

順位	トピック	論文数	順位	トピック	論文数
1	社会的認知	54	1	自閉症	113
2	自閉症	37	2	子ども	106
3	心の理論	31	3	幼児	61
4	統合失調症	29	4	自閉症スペクトラム	48
5	社会的行動	23	5	スペクトラム障害	42
6	顔表情	17	6	相互作用	22
7	上側頭溝	15	7	視線方向	20
8	自閉症スペクトラム	14	8	ミラーニューロン	19
8	アルギニンバソプレッシン	14	9	社会的認知	18
10	灰白質	12	10	アスペルガー症候群	17
10	心理状態	12	10	顔表情	17
10	ミラーニューロン	12	12	注意欠陥多動性障害	16
13	感情認識	11	12	心理状態	16
13	スペクトラム障害	11			

なる傾向にあった。しかし、社会脳研究の新興、共同注意の社会的文脈への拡大の結果、社会性の発達機序を解明する研究が始まり、神経科学を含む生理学的な研究が発達心理学に大きく関わるようになってきている。

これらを踏まえ、今後、教育学と生理学の研究において重要と考えられる点をまとめると次のようになる。

- 1) 学習者のみを想定して実験環境を組み立てるのではなく、教師も実験対象とする
- 2) 個人での学習のみではなく、教師-学習者、学習者-学習者など、他者が存在する中での学習も想定する
- 3) 特別支援の観点も含め、学習者や教師の情意面にも着目して分析を行う

3. 脳活動と視線移動計測の実際

筆者らがこれまで実施した脳活動計測と視線計測のそれぞれの実験結果をまとめ、それを踏まえて同時計測によって得られる特徴の可能性について言及する。

3.1. 脳活動計測実験

脳活動計測実験では、近赤外分光法による光計測装置を用いて計測を行った（江田2001）。図2は、これまで実際に使用した装置である。本装置は、生体内での近赤外光の吸収を利用することにより、脳活動の指標として、脳内ヘモグロビン濃度変化を計測することができる。高い時間分解能で時系列データを取得できる点、身体的拘束力がなく筆記姿勢を容易にとれる点が、教育学研究において有用である。また、計測に際しては、装置のデータ取得部分（プローブ）を計測対象部位に接地させるように装着するだけであり、ペーストやゲルなどの塗布は必要ない。



図2 脳活動計測装置
(左：NIRO-200（浜松ホトニクス）、右：実験状況）

計測部位は、前頭前野に該当する前額部とした。計測部位を前頭前野としたのは、学習といった高次な活動を司るとされていること、頭髪によるデータノイズが少ないことなどによる。

実験課題は、算数・数学の課題を用いた。具体的には、数に関する課題として、四則計算、乗法・除法の虫食い算、数列など、図形に関する課題として、パズル、ブロック構成、方向判断などを用いて、実験を実施した。

一般的に、脳活動（特に前頭前野）は、思考による負担が大きいほど、賦活（脳の活動）が強まるとされている。脳活動計測実験によって得られた特徴をまとめると、次のようになる。

- ・理解や方略獲得によって、賦活から沈静化へと変化する
- ・被験者が感じる難度の高低と賦活の強弱は対応関係を持つ
- ・被験者が感じる難度が高すぎた場合、諦めることにより賦活が弱まる
- ・解答が終了し沈静化した後であっても、見直し作業時に賦活が強まる

3.2. 視線移動計測実験

視線移動計測実験では、角膜反射法を用いた視線移動計測装置を用いて計測を行った（大野 2002）。図3は、これまで実際に使用した装置である。本装置は、角膜表面での近赤外光の反射を利用することにより、視線移動（眼球運動）を計測することができる。計測に際しては、被験者の見ている視野映像と、眼の動きを計測可能なカメラが搭載された眼鏡をかける。計測データとして、被験者の視野映像上に視線（注視点）が表示された動画が取得できる。頭部の固定が不要で、動きに対応可能である

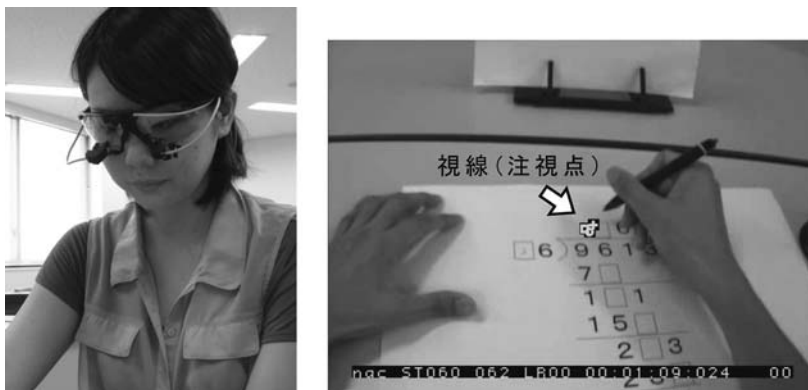


図3 視線移動計測装置
(左：EMR-9（ナックイメージテクノロジー）、右：取得データ）

点、計測可能範囲がディスプレイ上などに固定されず、被験者の視野の動きに合わせて計測できる点が、教育学研究において有用である。

実験課題は、算数・数学の課題を用いた。具体的には、数に関する課題として、四則計算、除法の虫食い算、数列など、図形に関する課題として、ブロック構成、方向判断などを用いて、実験を実施した。

視線移動計測実験によって得られた特徴をまとめると、次のようになる。

- ・理解や方略獲得によって、視線の高頻度の移動から各箇所での停留へと変化する
- ・解答箇所を順に追跡する課題の場合、慣れによって、解答箇所よりも先の方に視線を動かす先読みを行う
- ・被験者が感じる難度が下がると、解答途中箇所で見返す回数が減少する

3.3. 脳活動と視線移動の同時計測の可能性

脳活動と視線移動それぞれのデータには、学習における複数の特徴が表れることが明らかとなり、学習時の情報を有する可能性が示された。今後は、これらの同時計測を行うことによって、データの相互関連性から、学習特徴のより精緻な分析が可能になるといえる。

そこで、上述の脳活動と視線移動のそれぞれの特徴から、学習における理解、方略獲得に着目し、同時計測を行った場合に考えられる脳活動と視線移動のデータ特徴の関連を図4に示した。脳活動は賦活が弱まり、視線は移動距離が短くなるという行動の効率化がなされることが、学習者の理解、方略獲得、慣れなどにつながっていることが考えられる。例えば、方略獲得前後の脳活動と視線移動の特徴は次のように推察できる。

方略獲得前：何らかの糸口を見出そうと

頻繁に視線を移動させ、試行錯誤を行いながら解決可能な方略を思考することで賦活が強まる。

方略獲得後：解決手順が安定し、一定の順序に従って課題を遂行するため、視線は各箇所で停留しながら順を追って移動するとともに、感じる難度も下がることで賦活が弱まる。

これらの予測をもとに同時計測を実施

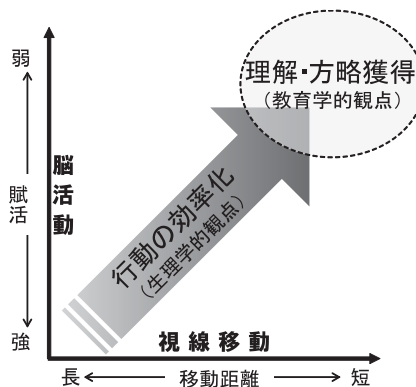


図4 学習における脳活動と視線移動の関連

し、2 指標（賦活の強弱、移動距離の長短）の設定の妥当性、変化のタイミングの関連、程度の違いを含めて検証を行うことで、学習における生理学的特徴の精緻な分析につなげていく必要がある。

4. 教育学における生理学的研究の展望

近年の急速な装置の発展により、生理学的数据の教育への活用は現実味を帯びるようになった。ただし、現在は、教育における新たな指標として生理学的数据を実用できるまでには至っておらず、データの解釈と教育への実際的な応用・活用は、段階的に進めていくべきものと考えられる。図5は、教育学における生理学的数据の応用・活用について、今後の段階的な展開を示したものである。

第1段階は、「教授・学習活動の振り返り・再考」の段階である。この段階では、実験における生理学的数据と行動観察データを照合しながら、学習時の方略獲得、諦めなどの指導過程・理解過程の行動特徴がどのような生理学的特徴に表れたのかを分析する。こうした分析を行う中で、学習者に応じた教材の重要性や理解過程の変化の把握などを振り返り、教授・学習を再考する。直接的に生理学的数据を活用するというよりは、むしろ生理学的数据の示す特徴を明らかにするとともに、考察をとおして教育活動や学習活動を見直していく機会とする段階である。現在は、第1段階から第2段階へと移行する途上にあると考えられる。

第2段階は、「既存手法での見過ごしへの気付き」の段階である。この段階では、第1段階での生理学的数据のある程度の意味づけをもとに、従来の教育研究で用いられてきた行動観察を基本とする手法では見過ごしていた学習者の行動特徴、つまりき箇所、理解のパターンなどを、生理学的数据分析から明らかにし、指導に生かす

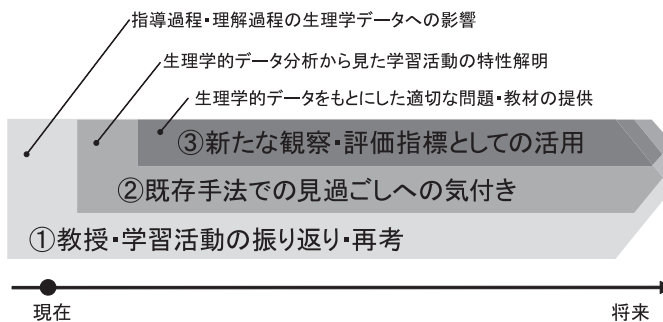


図5 生理学的数据活用の現在地と将来への展望

方法を構築する。また、学習者だけでなく、指導者についても、これまでは暗黙知であった内容や、熟達教師が無意識的に身に付けている指導技術などを生理学的データによって明示化させ、教師教育に生かしていく。第1段階では、行動特性が生理学的特性にどのように影響するかを考察したが、第2段階は、それをもとに生理学的データの変化から行動変化に着目する段階である。

第3段階は、「新たな観察・評価指標としての活用」を行う段階である。この段階では、学習者の生理学的な計測を実際に行うことにより、学習者の学習状況を判断し、適切な難易度の問題や教材を提示したり、理解度を評価したりする。また、生理学的データから教材・教具の妥当性や、指導方法・順序などの適切性を検討することで、各学習者の理解状況、発達状況に応じた指導を考案する。さらに、学習者のみならず、新任教師の教育として、生理学的データを観察力や学習者理解の程度を評価する指標として用いる。生理学データを一つの評価指標として実用する段階である。

今後、教育学における生理学的見解の誤った認識の拡大を防ぎ、生理学的データの有益な教育活用につなげていくためには、こうした段階の必要性の認識と、具体化が重要となる。実際的な実験や分析の計画・遂行にあたっては、教育学研究者と生理学研究者が協同し、組織的な研究体制によって研究成果を蓄積していくことが不可欠である。

参考文献

- 別府哲「自閉症児は他者の心をどのようにして理解するのか」(日本特殊教育学会『特殊教育研究』Vol.41, No.2, 2003年) 279-283頁
- Brothers, L., *The social brain : a project for integrating primate behavior and neurophysiology in a new domain*, Concepts in Neuroscience. 1, pp.27-51, 1990
- Bruner, J., *From Joint Attention to the Meeting of Minds : An Introduction*, Moor, C. and Dunham, P., (Eds.), *Joint Attention : Its Origins and Role in Development*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., pp.1-14, 1995 (大神英裕 監訳, 『ジョイント・アテンション 心の起源とその発達を探る』ナカニシヤ出版, 1999年)
- Butterworth, G. H. *Origins of mind in perception and action*, Moor, C. and Dunham, P., (Eds.), *Joint Attention : Its Origins and Role in Development*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., pp.29-40, 1995 (大神英裕 監訳, 『ジョイント・アテンション 心の起源とその発達を探る』ナカニシヤ出版, 1999年)
- 江田英雄「21世紀の科学をつくる - 脳の謎に挑む6 - 光計測で脳活動をみる -」(『数理科学 No.461』, 2001年) 76-83頁
- Dawson, G. et al., *Early Social Attention Impairments in Autism : Social Orienting, Joint Attention, and Attention to Distress*, *Developmental Psychology*. Vol.40, No.2, pp.271-283, 2004
- Dunbar, R. I. M., *The social brain hypothesis*, *Evolutionary Anthropology*. Vol.6, pp.178-190, 1998

- Geake, G. J., *Educational neuroscience and neuroscientific education : Insearch of mutual middle-way*, Research Intelligence. Vol.92, pp.10–13, 2005
- Goswami, U., *Neuroscience and education*, British Journal of Educational Psychology. Vol.74, No.1, pp.1–14, 2004
- 池田可奈子「乳幼児期における社会的注意行動と共同注意行動の機能的分類と発達の連関」（久留米信愛女学院短期大学研究紀要, Vol.35, 2012年）49–56頁
- 教育機器編集委員会『産業教育機器システム便覧』日科技連出版社, 1972年
- 文部科学省「脳科学と教育」研究に関する検討会の開催について」(http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/003/kaisai/020301.htm), 2002 (2013年10月30日現在)
- OECD, *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年)
- OECD, *Understanding the Brain : The Birth of a Learning Science*, OECD, 2007
- 岡本尚子『神経科学による学習メカニズムの解明 – 算数・数学教育へのアプローチ』ミネルヴァ書房, 2011年
- 大野武彦「視線から何がわかるか – 視線測定に基づく高次認知処理の解明」（日本認知科学会『認知科学』Vol.9, No.4, 2002年）565–576頁
- Rubio J. J., *Evolving intelligent algorithms for the modelling of brain and eye signals*, Applied Soft Computing, in press, 2013
- Scaife, M. & Bruner, J. S., *The capacity for joint visual attention in the infant*, Nature, Vol.253, pp.265–266, 1975
- Tomassello, M., *Joint attention as social cognition*, Moor, C. and Dunham, P., (Eds.), *Joint Attention : Its Origins and Role in Development*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., pp.103–130, 1995 (大神英裕 監訳, 『ジョイント・アテンション 心の起源とその発達を探る』ナカニシヤ出版, 1999年)

付記

本稿は、岡本尚子、黒田恭史「社会脳研究から見た教育学と神経科学の今後の展開」（『日本教育実践学会第15回研究会発表論文集』2012年）24–25頁、及び岡本尚子、黒田恭史「算数課題遂行時における脳活動と視線移動の同時計測について」（『日本教育実践学会第16回研究会発表論文集』2013年）38–39頁をもとに、教育学における生理学的データのあり方の観点から加筆・修正を行ったものである。

（おかもと なおこ 共同研究 嘱託研究員／立命館大学 准教授）

（まえさこ たかのり 共同研究 嘱託研究員／大阪大学大学院 教授）

（えだ ひでお 共同研究 嘱託研究員／光産業創成大学院大学 教授）