

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 3 月 31 日現在

機関番号：34314

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500915

研究課題名（和文）算数・数学学習時における教師と学習者双方の脳生理学的特徴の解明

研究課題名（英文）Neuroscientific analysis of both teachers' and students' characteristics during mathematical learning

研究代表者

黒田 恭史（KURODA YASUFUMI）

佛教大学・教育学部・教授

研究者番号：70309079

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、学習時における学習者と教師の脳内生体情報の特徴を明らかにすることである。研究の結果、下記の4点が明らかになった。1）難度の違いが、学習者のヘモグロビン濃度変化に影響を及ぼすこと、2）教師役のヘモグロビン濃度が、学習者役のヘモグロビン濃度の増加と類似する感情移入型と、教師役のそれが増加しない客観型が存在すること、3）ヒント提示前後の分析より、学習者役は増加から均衡、教師役は均衡から増加の変化が見られること、4）脳活動データは、教師が学習者への適切な関与方法を検討する上での有効なデータとなること。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to clarify the characteristics of brain activity data of both students and teachers while learning process. As a result of this study, the following four points were clarified. 1) The difference of the difficulty levels influenced the student's change of the concentration of the hemoglobin. 2) We classified subjects into two groups which are the objective type group and the feeling type group. 3) According to the analysis of before and after providing the hint, student's hemoglobin changed from increase into stable and teacher's hemoglobin changes from stable into increase. 4) The analysis of brain activity data was effective to examine teacher's appropriate relations to the student.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・教育工学

キーワード：神経科学，数学教育，教授－学習

## 1. 研究開始当初の背景

非侵襲脳活動計測技術の発展や、作業過程における脳活動の計測が可能な機器の開発

等により、脳科学の研究成果を教育に活かそうとする動きが世界的規模で広まりつつあ

る。経済協力開発機構（OECD）内の教育研究革新センター（CERI）では、学習科学と脳研究プロジェクトを開始し、言語能力、計算能力、生涯学習（認知症含）の各分野についての研究を推進している。また、日本では、文部科学省を中心とした「脳科学と教育」研究に関する検討会が発足し、研究が推進されてきた。

ところで、1990年代に開発された近赤外分光法（NIRS：Near Infra-red Spectroscopy）による光計測装置は、被験者の作業過程における脳内のヘモグロビン濃度の時系列のデータを取得できるため、学習時や理解過程における生理学的データを取得可能である。また、計測が安全・容易なNIRS装置を用いることで、成人のみならず、子どもを対象に計測が可能となったことにより、現在では次のような実験段階への移行がなされつつある。

- (1) 「刺激－反応」といった実験から、思考、発見、創造を伴う高次な脳機能を対象とした実験
- (2) 脳疾患のある人を対象とした実験（診断）から、健常な成人や子どもを直接対象とした実験
- (3) 課題遂行時の脳活動の平均値による特徴把握から、理解過程の連続的な時系列変化（理解前、瞬間、理解後）の様相の解明
- (4) 課題遂行時に、他からの情報が遮断された実験環境による実験から、課題に関わる情報（ヒント、交流等）を実験環境に組み入れた実験

これらの研究成果は、個々の子どもの詳細な脳内データ取得を伴うため、通常の子どもの教育改善のみならず、特別な支援を必要とする子どもへの適切な教育の選択時に役立ったり、卓越した創造的活動を支援するための教育のあり方を考える上での有益な

情報を提供してくれるものであるといえる。

また、これまで研究では、学習時の「学習者」側の脳活動を詳細に解明することを中心的課題としてきたが、今後は、学習時の「教師」側の脳活動の特徴の解明が大きな課題となる。というのも、通常の教室空間での授業は、学習者が個人で学習を遂行するというよりも、教師と学習者間、学習者同士といった様々な形での他者とのかかわりの中で進められることが主であるためである。

そこで、本研究では、2002年より成人（大学生）及び小学生に対して、「学習者」側の脳活動に関する臨床実験を実施してきた一連の研究成果をもとに、「教師」側の脳活動を同時計測することで、他者との関わりにより刻々と変化する学習過程における双方の脳活動データの取得・分析を行う。同一教材を指導する場合であっても、「学習者」側の理解の進度や学習過程の違いによって、「教師」側の脳活動に差異が生じることが考えられるため、「教師」側の脳活動の特徴に重点化し、その特徴を解明することが可能になれば、個々の学習者に応じた教師の指導方法の改善に寄与する知見を得ることとなる。

## 2. 研究の目的

本研究では、教授－学習時における教師と学習者の双方について、脳内生体情報の計測・分析をもとにその特徴を明らかにするとともに、生理学的データをもとに教師の効果的な学習者への関わり方を検証することを目的とする。

## 3. 研究の方法

下記の研究段階を経て、目的の達成を図ることとする。

- (1) 実験環境構築段階：本実験を教授－学習実験と位置付け、ヒント提示場面のある課題とし、教師役（解答把握済み）と学習者

役（解答未把握）が相互に交流する場面で  
の脳活動の特徴を計測するための課題を  
開発する。

- (2) 脳活動計測実験段階：本実験課題では、  
学習者の課題方略獲得過程における教師  
役と学習者役双方の脳活動を同時計測す  
る。
- (3) 脳活動データ分析段階：学習者役の感じ  
る難度の差異が、教師役の脳活動データに  
どのように影響を及ぼすのかを分析する。
- (4) 教育への応用段階：脳生理学的視点より、  
学習者の理解を促進するための教師の適  
切な関わりについて検討する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 実験環境構築段階

除法虫食い算問題を課題として、学習者役  
は問題解決に取り組み、教師役は学習者役の  
解答進行状況に応じて、ヒント（解答の一部、  
6 回分）を順に学習者役の前にあるディスプ  
レイ画面にボタン操作で表示するという実  
験課題（虫食い算課題）を開発した（図 1）。  
実験課題 3 問を制限時間 120 秒間以内（各問  
題）に、学習者が解答に至れるように教師役  
はヒントを提示するという状況を設定する  
ことで、教師役の役割が明確化され、教授－  
学習の関係性を構築することが可能となっ  
た。

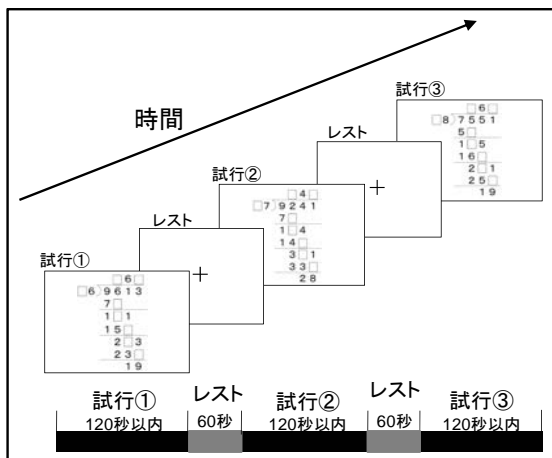


図 1 虫食い算実験課題

##### (2) 脳活動計測実験段階

虫食い算課題を用いた脳活動計測は、大学  
生 11 組の被験者（学習者役 11 名、教師役 11  
名、計 22 名）に対して実施した（図 2）。

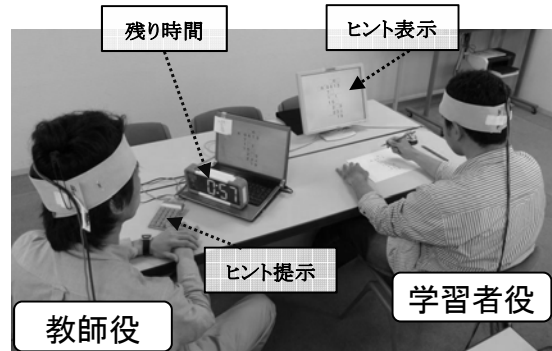


図 2 虫食い算課題での実験場面

##### (3) 脳活動データ分析段階

試行全体における教師役と学習者役の脳  
活動データの特徴を検討するため、教師役と  
学習者役の時系列データについて、毎秒の  
oxyHb 値の二者間差を絶対値で算出した。表  
1 は、算出した絶対値について「各試行の差  
の平均」と、方略獲得の可否について記した  
ものである。

表 1 教師役－学習者役間の oxyHb 値の差

組	各試行の平均			平均	方略獲得 の可否
	試行①	試行②	試行③		
A	9.8	1.6	4.0	5.1	×
B	8.6	3.2	4.6	5.5	×
C	4.1	1.0	1.0	2.0	○
D	3.3	2.4	0.7	2.2	○
E	2.4	1.4	0.7	1.5	○
F	2.6	2.6	0.4	1.9	○
G	4.4	2.9	0.5	2.6	○
H	4.0	1.0	2.0	2.3	○
I	1.2	0.9	0.5	0.9	○
J	1.5	0.7	0.8	1.0	○
K	0.8	1.2	0.5	0.8	○

この結果をもとに、二者間差「大」群（A・  
B 組）、二者間差「中」群（C～H 組）、二者  
間差「小」群（I～K 組）に分類し、課題遂行  
時における脳活動の全体形状と、ヒント提示  
時前後各 5 秒間（計 10 秒間）の局所形状の 2  
観点から分析を行った。

全体形状分析より、課題解決に伴う学習者

役のヘモグロビン濃度増加に呼応して、教師役のヘモグロビン濃度が増加する群と、教師役のそれが増加しない群が存在し、前者は感情移入型、後者は客観型という特性が見られた。具体的なデータは、以下の通りである。

二者間差「大」群では、いずれの試行においても、学習者役の oxyHb は大幅に増加しているのに対して、教師役のデータは 0 付近で推移している（図 2）。

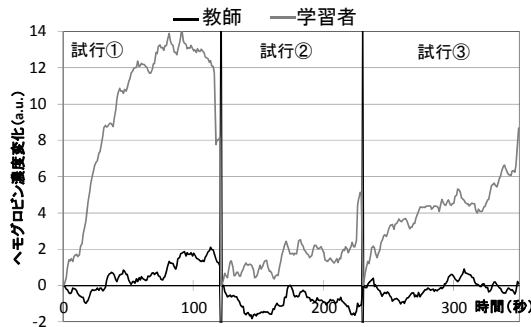


図 2 二者間差「大」群の oxyHb（群平均）

二者間差「中」群では、試行①において学習者役の oxyHb が増加しているのに対して、教師役は学習者役程の増加は見られない。ただし、教師役は各試行の後半では、増加が見られる。試行ごとに学習者役の増加は抑制され、二者間差は縮小している（図 3）。

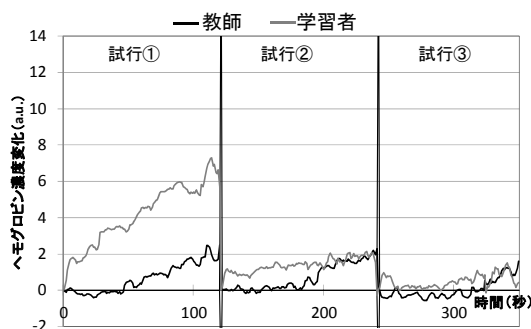


図 3 二者間差「中」群の oxyHb（群平均）

二者間差「小」群では、他の群と異なり、試行①において教師役も oxyHb が学習者役と同程度に増加している。教師役、学習者役の両者とも、試行を経るごとに oxyHb の増加が抑制されるという類似した変化を示し、両者の差は小さい（図 4）。

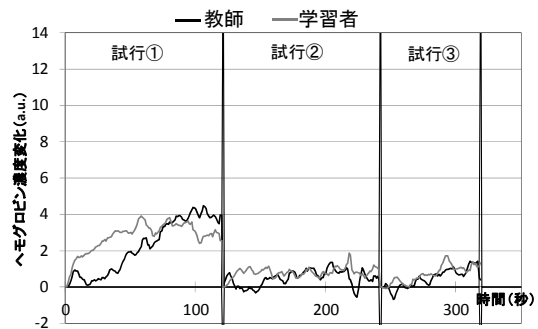


図 4 二者間差「小」群の oxyHb（群平均）

ヒント提示前後における oxyHb の局所形状分析より、前述のいずれの群においても、学習者役は増加から均衡へ、教師役は均衡から増加へという共通の傾向が見られた。学習者役はヒント提示により心的余裕が、教師役はヒント提示後の効果観察による集中が生じたと予想された。具体的なデータは、以下の通りである。

図 5 より、教師役においては、ヒント前後とも、3 群間に有意差は認められず、類似した結果が得られた。次に、各群のヒント前後の値については、いずれも有意差が認められた。いずれの群も、ヒント前は 0 に近い負の値、ヒント後に正の値となっていることから、ヒント前から提示にかけて緩やかに増加し、ヒント後は増加幅を拡大させるという特徴が見られた。

図 6 より、学習者役においては、ヒント前で 3 群間に有意差が認められた。さらに、下位検定の結果、二者間差「大」群と二者間差「中」「小」群の間に有意差が認められた。一方、ヒント後の 3 群間に、有意差は認められなかった。次に、各群のヒント前後の値については、二者間差「中」「小」群は、有意差が認められず、二者間差「大」群は、有意差が認められた。二者間差「中」「小」群は、ヒント前後とも同様に 0 付近で推移し、二者間差「大」群は、ヒント前で増加し、ヒント後には 0 付近で推移するという特徴が見られ

た。

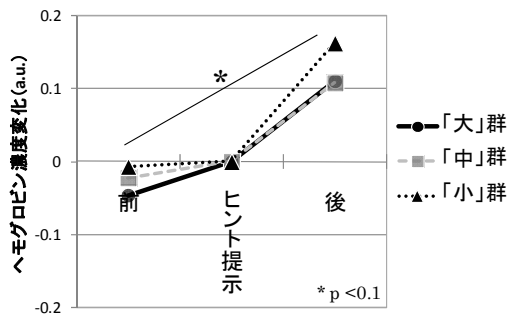


図5 ヒント前後の群別平均値 (教師)

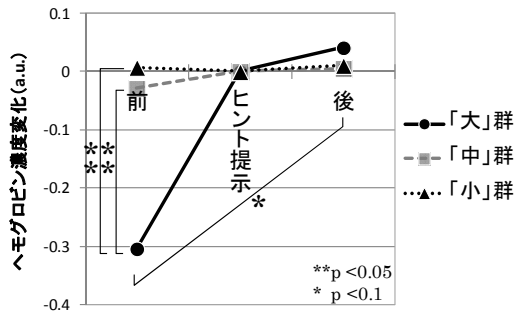


図6 ヒント前後の群別平均値 (学習者)

#### (4) 教育への応用段階

教師の観察・関与の方針の違いにより、脳活動データが大幅に異なったことから、各学習者の理解の状況を適切に分析し、支援の可否を判断することが、教師の重要な資質に関わることであったと考えられた。学習者の解答進捗状況（理解の度合い）に応じて、教師が「どのタイミング」に「どれだけ」のヒント提示（支援）を行うかを判断する教員養成の視点からの、脳活動データ活用の可能性が示唆された。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 黒田恭史, 教育神経科学の今後の発展, 佛科大学教育学部論集, 査読無, 22, 2011.3.1, 171-183

[学会発表] (計19件)

- ① 岡本尚子, 黒田恭史, 難度の異なる数列課題遂行時の脳活動変化, 数学教育学会春季年会発表論文集, 査読無, 2012.3.27, 133-135.
- ② 岡本尚子, 黒田恭史, 前迫孝憲, 計算課題遂行時における教師—学習者間の神経科学的検討, 教育システム情報学会研究報告, Vol.26, No.7, 査読無, 2012.3.17, 3-10
- ③ Yasufumi Kuroda, Naoko Okamoto "Comparison of teacher's and student's brain activity using cerebral hemoglobin data from NIRS systems". Society for Neuroscience, 査読有, 2011.11.12, Poster.
- ④ 竹歳賢一, 黒田恭史, 岡本尚子, 論理課題遂行時の脳内ヘモグロビン濃度変化の特徴について, 数学教育学会秋季例会発表論文集, 査読無, 2011.9.29, 40-42
- ⑤ Naoko Okamoto, Yasufumi Kuroda "Effectiveness of cerebral hemoglobin data in educational research of developmental disorder". European Neuropsychopharmacology, 査読有, Vol.21, Suppl. 3, 2011.9.4, S310-S311
- ⑥ 黒田恭史, 岡本尚子, 教授者—学習者相互の脳活動から見た知の創成, 第35回日本科学教育学会年会, 査読無, 2011.8.23, 44-45
- ⑦ Yasufumi Kuroda, Naoko Okamoto "Comparison of teacher's and student's brain activity while solving mathematical task". International Mind, Brain, and Education Study, 査読有, 2011.6.2, Poster.
- ⑧ 岡本尚子, 黒田恭史, 数学課題遂行時における理解や難度の脳活動指標, 数学教育

- 学会春季年会発表論文集， 査読無，  
2011.3.20, 36-38
- ⑨ Naoko Okamoto, Yasufumi Kuroda,  
Akitoshi Seiya "Detectability of  
mental stress using cerebral  
hemoglobin data from NIRS systems".  
Society for Neuroscience, 査読有，  
2010.11.13, Poster.
- ⑩ 黒田恭史， 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， 査読無，  
2010.9.11, 209-210
- ⑪ 黒田恭史， 脳科学研究と教育学との接点，  
第 49 回日本生体医工学会（オーガナイズ  
ドセッション）， 査読無， 2010.6.25，  
OS-5-3
- ⑫ Naoko Okamoto, Hideo Eda, Takanori  
Maesako, Yasufumi Kuroda "Spectral  
Analysis of Hemoglobin Data in the  
Brain by NIRS". 16th Human Brain  
Mapping, 査読有, 2010.6.6, Poster.
- ⑬ 黒田恭史， NIRS の教育学への応用 - 脳  
科学と教育学との接点 -， 電気学会（シ  
ンポジウム）， 査読無， 2010.3.17, S14-7
- ⑭ Yasufumi Kuroda, Naoko Okamoto "The  
assessment of effectiveness of a hint  
while solving a mathematical task  
using brain activity data". 25th  
Learning & the Brain, 査読有，  
2010.2.18, Poster.
- ⑮ Kuroda Yasufumi et al. "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, 査読有, 2009.11.21,  
87-92.
- ⑯ Yasufumi Kuroda "The Application of

Neuroscience to the Classroom using  
NIRS". Society for Neuroscience, 査読  
有, 2009.10.17, Poster.

- ⑰ Yasufumi Kuroda, Britton Chance,  
Shoko Nioka "Overview of Application  
of Brain Science in Educational  
Research Field". Brain Topography and  
Multimodal Imaging, 査読有, 2009.9.30,  
129-131, (ISBN 978-4-87698-799-3).
- ⑱ 竹歳賢一， 黒田恭史， 岡本尚子， 大脳生  
理学的手法による論理教育の構築に向け  
て， 数学教育学会秋季例会発表論文集，  
査読無， 2009.9.25, 228-230
- ⑲ 岡本尚子， 黒田恭史， 前迫孝憲， 江田英  
雄， 光計測装置による脳活動データ波形  
の分析， 日本教育工学会第 25 回全国大会  
講演論文集， 査読無， 2009.9.19, 965-966

[図書] (計 2 件)

- ① 黒田恭史編著， 初等算数科教育法 - 新  
しい算数科の授業をつくる -， ミネルヴ  
ァ書房， 京都， 2010, 全 213 頁
- ② 黒田恭史編著 数学教育の基礎， ミネルヴ  
ァ書房， 京都， 2011, 全 141 頁

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

黒田 恭史 (KURODA YASUFUMI)

佛教大学・教育学部・教授

研究者番号：70309079

### (3) 連携研究者

前迫 孝憲 (MAESAKO TAKANORI)

大阪大学・大学院人間科学研究科・教授

研究者番号：00114893

江田 英雄 (EDA HIDEO)

光産業創成大学院大学・光医療・健康分  
野・准教授

研究者番号：00395237