

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：14302

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24330252

研究課題名(和文) 熟達教師の算数・数学指導時における脳情報と視線特性の解明

研究課題名(英文) Brain activity measurement and eye tracking measurement of expert teacher while teaching mathematics

研究代表者

黒田 恭史 (Kuroda, Yasufumi)

京都教育大学・教育学部・教授

研究者番号：70309079

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、身体的拘束力が低く、通常の学習指導場面に近い状態での脳活動や視線移動を計測可能な装置を用い、算数・数学指導時における教師の学習者理解の特性を、生理学的側面から明らかにすることを目的とする。

研究の結果、下記の4点が明らかになった。1) 課題難度の違いが、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) 課題難度の違いが、注視回数や注視時間に影響を及ぼすこと、4) 脳活動と視線移動の同時計測が可能であり、相互に関連があること。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the present study is to clarify the feature of the teacher's understanding of student using the brain activity measurement and eye tracking measurement when teacher teaches mathematics.

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 using brain activity data. 3) The difference of the difficulty levels influenced the student's the number of fixation point and the time of fixation point. 4) The brain activity and the eye movement can be measured at the same time, and both data is related.

研究分野：数学教育、教育神経科学

キーワード：数学教育 視線移動計測 脳活動計測 熟達教師

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、脳科学の研究方法を教育研究に応用する動きが世界的規模で広まっている。近年では、世界各国において Educational Neuroscience (教育神経科学)に関する国際会議が開催されるようになり、医学、心理学、工学、そして教育学の研究者らが協力して、新たな学際的研究分野の確立に取り組んでいる。

加えて、脳活動計測の以前から教育学研究において行われてきた、視線移動、脈拍、呼吸数、発汗などの生理学的データ計測についても、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。

本研究は、これらの生理学的データを組み合わせ、教師と学習者の関係を分析することで、教育学における新たな知見を見出すことを目指すものである。

2. 研究の目的

本研究は、身体的拘束力が低く、通常の学習指導場面に近い状態での脳活動と視線移動を計測可能な装置を用い、算数・数学指導時における教師の学習者理解の特性を、生理学的側面から明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

研究は、以下の方法によって実施する。

- (1) 脳活動計測や視線移動計測に適した数学の実験課題、実験環境を考案する。
- (2) 学習者を対象として、課題難度と脳活動の関係について検討する。
- (3) 教師と学習者の双方を対象として、学習者が課題遂行し、教師が関与(ヒント提

示)する際の、両者の脳活動を同時計測し、それらの関連について検討する。

- (4) 学習者を対象として、課題難度と視線移動の関係について検討する。
- (5) 学習者を対象として、課題遂行時の脳活動と視線移動を同時計測し、それらの関連について検討する。

大学生と中学生を被験者として実験を実施し、事後に詳細なインタビュー、アンケート調査を行うことで、生理学的データの教育的意義について検討する。

4. 研究成果

(1) 実験課題、実験環境の考案

実験課題については、記憶・習熟に基づく単純な計算問題といったものではなく、理解、閃き(ひらめき)などに基づく課題を設定するようにした。これは、理解過程前後のデータの差異を計測・分析することで、理解前から理解後に至るメカニズムを生理学的に解明し、教師の指導に活用するという意図による。また、より教室での指導場面に近い環境設定の観点から、教師と学習者の同時計測が可能な実験課題と実験環境を考案した。

具体的な実験課題としては、「論理課題」、「タングラムを用いた図形構成課題」、「地図を用いた方向判断課題」、「数列課題」を開発した。

また、実験環境としては、「学習者の脳活動計測」、「教師と学習者の脳活動同時計測」、「学習者の視線移動計測」、「脳活動と視線移動の同時計測」を設定した。

使用した脳活動計測装置は、近赤外分光法による光計測装置 NIRO-200 (浜松ホトニクス社製)である。頭皮上のヘモグロビン濃度変化を2箇所同時計測可能である。

視線移動計測装置は、近赤外線によるアイマークレコーダ EMR-9 (ナックイメーჯテクノロジー製)である。被験者の視野映像上に視線(注視点)が表示された動画データを

取得可能である。

(2) 課題難度と脳活動の関係

「論理課題」を用い、中学生を対象に脳活動計測に関する個別実験を実施した、実験の概要は以下のとおりである。

被験者：中学2年生20名（13歳～14歳：女性10名，男性10名）

計測方法：被験者は椅子に座り，前額部の左右2箇所を水平に計測する。

実験課題

実験課題は，日常場面での論理問題5問，推論を利用する数学問題5問の計10問である（図1）。

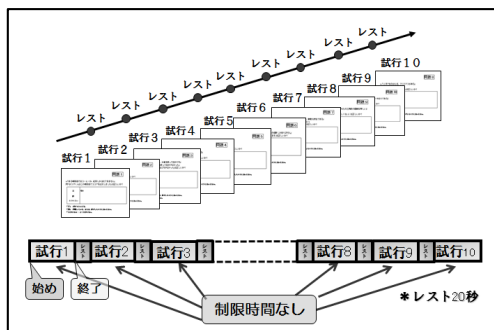


図1 実験デザイン

結果

「数学問題」と「日常問題」の課題遂行時における前頭前野のヘモグロビン濃度変化の平均値を取り，2つの群に分類した。

A群・・・数学問題 > 日常問題

B群・・・数学問題 < 日常問題

さらに，被験者の「数学問題」と「日常問題」における課題遂行時のそれぞれの所要時間（行動観察記録）について比較した。

考察

・A群については，71%が「数学問題」遂行の方が「日常問題」遂行よりヘモグロビン濃度変化の平均が高いことと，課題遂行の所要時間が長いことが一致している。

・B群については，「数学問題」遂行と「日常問題」遂行においては，ヘモグロビン濃度変化の平均の高低と，課題遂行の所要時間の間には顕著な特徴は無かった。

これらの結果より，中学生段階ではそれほど顕著な差が出ないものの，数学的な論理の問題に負荷（所要時間の長さ）を感じている生徒は，ヘモグロビン濃度においても高いデータを示すという傾向が示された。

(3) 教師と学習者の脳活動同時計測

タングラムでの「図形構成課題」を用い，大学生を対象に教師と学習者の脳活動に関する同時計測実験を実施した。実験の概要は以下のとおりである。

被験者：大学生12名（2名1組，男性10名，女性2名； 20.9 ± 0.9 歳）

計測方法：被験者2名は平行に椅子に座り，脳活動計測装置をそれぞれ左前額部1箇所に装着して課題に取り組む。

実験課題

タングラム（7つのピースを用いて，指定された形を構成するパズル）を実験課題に用いた。1試行1問として3試行を実施した。各試行の制限時間は，90秒間とし，試行間には80秒間の休憩を設けた（図2）。

実験は，被験者を「教師役」と「学習者役」の2名1組のペアに設定して行った。学習者役の役割は，タングラムに取り組むことであり，教師役の役割は，学習者役がタングラムに取り組む様子を観察しながら，ヒントを提供することである。

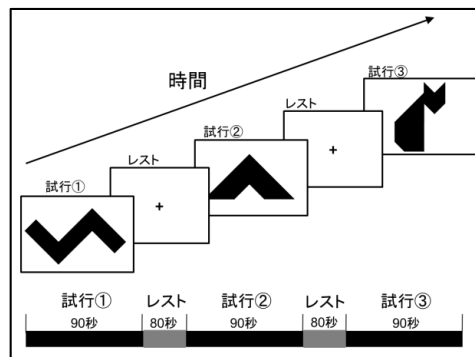


図2 実験課題

結果

被験者全6組（A～F組）とも，制限時間内に全ての問題を間違いなく完成させた。

表1は，各組において提示されたヒント数

を示したものである。表内の「教師提案」、「学習者提案」は、教師役と学習者役のいずれがヒントの提示を提案したかを示している。

表1 組別のヒント提示回数

	A組	B組	C組	D組	E組	F組	合計
教師提案	1	2	4	1	3	0	11
学習者提案	1	5	0	0	1	0	7
計	2	7	4	1	4	0	18

図3は、左図が教師提案(11回)、右図が学習者提案(7回)のヒント提示前後各5秒間の脳活動変化の平均値と標準誤差をグラフ化したものである。いずれの場合も、ヒント提示前から後にかけて上昇するが、教師提案の方でより顕著であることが挙げられる。

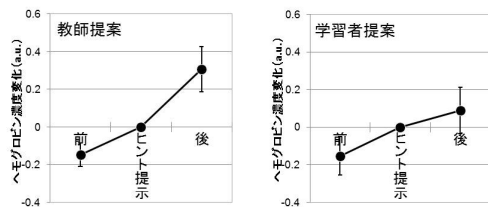


図3 ヒント提示前後5秒間の脳活動平均値考察

教師提案ではヒント提示後に活発化するという一定の傾向を示すものの、学習者提案では一定した傾向は見られなかった。

(4) 課題難度と視線移動の関係

「地図方向判断課題」を用い、大学生を対象に学習者の視線移動計測実験を実施した。実験の概要は以下のとおりである。

被験者：大学生20名(男性13名、女性7名； 21.1 ± 1.4 歳)

計測方法：被験者の視野映像上に視線(注視点)が表示された動画と音声と同時に記録する(図4)。

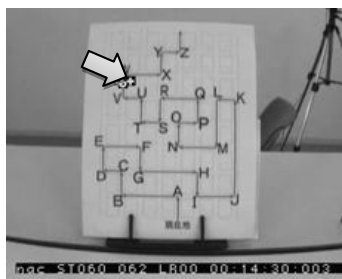


図4 取得データ(矢印の先が注視点)

実験課題

図5のような経路が示された地図を見て、アルファベットが付された各曲がり角で右・左どちらに曲がるかを答える課題である。課題は、1試行2問として、3試行6問を実施した。1試行の2問は同じ地図を用い、180度回転させることで、下から上に向かう「上向き問題」(図5左図)、上から下に向かう「下向き問題」(図5右図)を設定した。(以下では、これらの6問を実験順に、上、下、上、下、上、下と記す。)

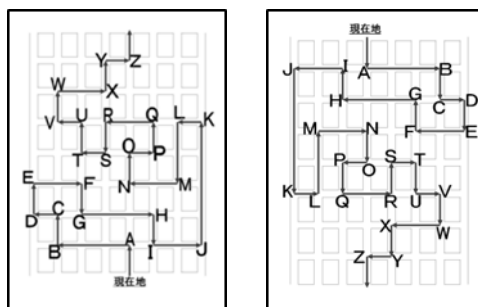


図5 (左)上向き問題 (右)下向き問題結果

正答率は、20名の平均が99.2%であったことから、被験者は解答方法を正しく理解し、課題を遂行したと判断した。

所要時間は、「A右(左)」の言い始めから、「Z右(左)」の言い終わりまでとして計測を行った。また、解答をしている段階で次の経路を見ている「先読み回数」を調べた。

被験者20名を10名ずつの以下の2群に分けて分析を行う。

- ・長時間群：総所要時間が長い10名(1問あたりの平均 52.4 ± 6.1 秒)
- ・短時間群：総所要時間が短い10名(1問あたりの平均 30.2 ± 3.0 秒)

図6は、群別の各問題における平均所要時間を示したものである。図7は、群別の各問題における平均先読み回数を示したものである。全試行において、短時間群の先読み回数が非常に多い。

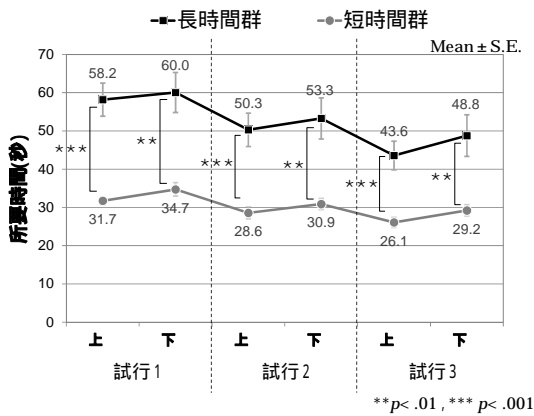


図6 群別の平均所要時間

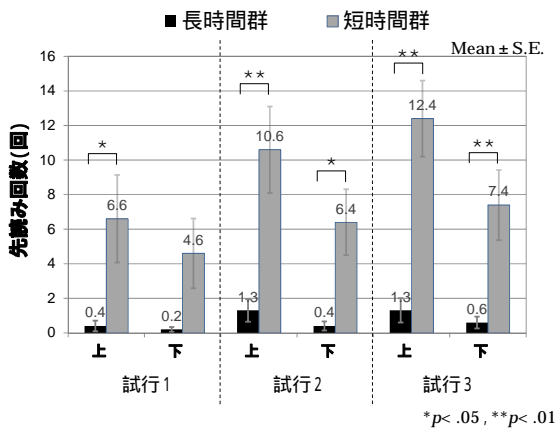


図7 群別の平均先読み回数

考察

視線移動計測実験結果より、所要時間の長短と先読みの回数に関連性があることが明らかになった。

(5) 脳活動と視線移動の同時計測

被験者：大学生2名（男性22歳，男性23歳，2名とも右利き）

計測方法：脳活動計測装置と視線計測装置の双方を装着し、同時計測を行った。

実験方法

実験課題には、5つの項が並んだ数列のうち、空欄になった3項目にあてはまる数字を解答する数列課題を設定した。難度が低い「低問題」、難度が高い「高問題」の2種類を用意し、「低問題5問，高問題5問」を3回（第1～第3セット）繰り返すこととした（図8）。

結果

図9の棒グラフは、被験者Aの視線移動データをもとに、第1セットの低問題5問（低

～），高問題5問（高～）の各数列について、5項それぞれを見た回数（注視回数；左縦軸）を示したものである。また、折れ線グラフは、各問題の所要時間を注視回数の合計で除した値（1回あたりの平均注視時間；右縦軸）である。注視1回につき、どの程度視線が停留していたかの平均値を表す。

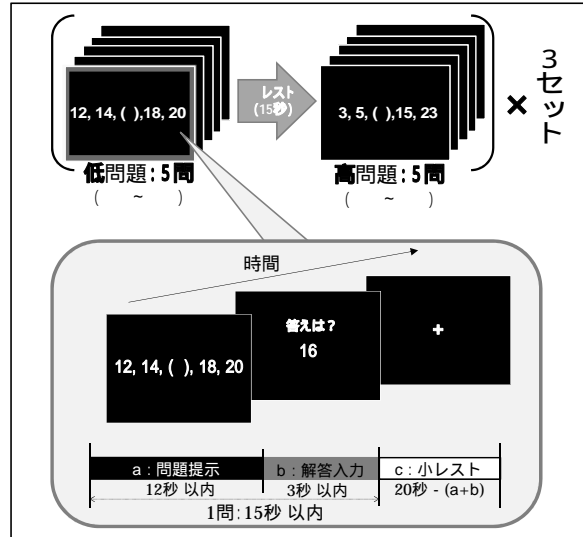


図8 実験課題

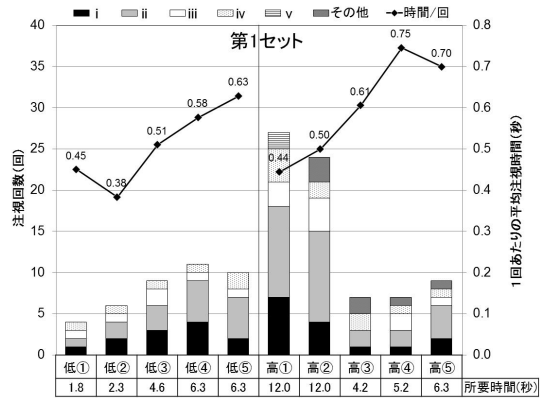


図9 被験者Aの注視回数と平均注視時間

考察

被験者Aは、高問題 から法則を理解して解決が可能になっており、ここから1回あたりの注視時間が増加した。解決可能となったが、難度の高さを感じていたことが、注視時間が増加につながったと考えられる。

(6) 総合論議

複数被験者の同時計測や、複数装置による同時計測は、データ分析において、因果関係

が拡散するため、単独被験者での実験結果や、単体装置による実験結果をもとに、慎重に議論する必要がある。従って、本研究においても、単独計測や単体装置計測を実施しながら、複数人数、複数装置の計測に取り組んできた。

その結果、明らかになった点をまとめると、次のようになる。

- (1) 脳活動計測実験より、難度の高低を測定し、学習者に適切な課題を提供することが可能である。また、教師と学習者の心的関連を考察可能である。
- (2) 視線移動計測実験より、課題遂行の早さと視線移動の特性に関連があることが明らかになった。また、脳活動と視線移動の同時計測も可能で、両者に対応関係があることが明らかになった。
- (3) 生理学的データの組み合わせによる計測と、その分析により、学習者特性の理解と、教師の学習者への適切な関与のあり方についての基礎的知見を得ることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

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誌, 査読有, Vol.30, No.1, 2013, 122-127
Naoko Okamoto, Yasufumi Kuroda, Understanding strategy development in mathematics: using eye movement measurement in educational research. European Journal of Research on Education, 査読有, Vol.2, Issue 2, 2013, 94-100.

黒田恭史, 脳機能の成長と変化に基づくヒューマン・ウェルフェア支援に関する研究, 佛教大学総合研究所紀要, 査読無, 21, 2014, 189-206

〔学会発表〕(計6件)

岡本尚子, 黒田恭史, 計算課題時の視線計測分析, 数学教育学会春季年会発表論文集 (九州大学), 査読無, 2012, 70-72
竹歳賢一, 黒田恭史, 岡本尚子, 論理課題遂行時の前頭前野におけるヘモグロビン濃度変化の特徴, 日本教育実践学会第15回研究会発表論文集 (兵庫教育大学), 査読無, 2012, 22-23

岡本尚子, 黒田恭史, 教授側と学習者側の時系列脳活動変化の比較, 数学教育学会春季年会表論文集 (京都大学), 査読無, 2013, 108-110

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 (岡山大学), 査読無, 2013, 38-39

黒田恭史, 岡本尚子, 視線移動計測がもたらす数学教育研究への影響, 日本教育学会第73回大会発表要旨集録 (九州大学), 査読無, 2014, 148-149

岡本尚子, 黒田恭史, 学習者観察・関与過程における脳活動の特徴, 教育システム情報学会第39回全国大会論文集 (和歌山大学), 査読無, 2014, 437-438

〔図書〕(計1件)

黒田恭史編著, 数学教育実践門, 共立出版, 東京, 2014, 全251頁

6. 研究組織

(1) 研究代表者

黒田 恭史 (KURODA YASUFUMI)
京都教育大学・教育学部・教授
研究者番号: 70309079

(2) 研究分担者

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・教授
研究者番号: 00395237