

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 18 日現在

機関番号：14302

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26590241

研究課題名(和文)複合的生体情報を用いた算数・数学教育における理解過程の解明

研究課題名(英文)Learners' processes of solving mathematical problems by measuring several biological information

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) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、通常の学習場面に近い実験環境において、脳活動、視線移動、心拍、呼吸といった複数の生体情報を計測することにより、学習者の算数・数学問題解決時における理解の過程を、生理学的視点から解明することである。

複合計測により、4つの生体情報の関連性を明らかにし、脳や視線の変化が、身近な生体情報である心拍、呼吸にどのように反映するのかを対応づけることで、学校現場での使用可能性と普及を企図するものである。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to clarify the learners' processes of solving mathematical problems from the view of physiology by measuring several biological information such as brain activity, eye movement, heart rate and respiratory rate.

We analyze how heart rate and respiratory rate reflect brain activity and eye movements, and discuss the possibility of use of the data in schools.

研究分野：数学教育学

キーワード：教育学 神経科学 教育工学 科学教育

1. 研究開始当初の背景

生体情報の教育学研究への応用は、1990年代以降の非侵襲的な計測技術、センサー技術、ICT技術等の発展により、急速に具体化することとなった。経済協力開発機構(OECD)の教育研究革新センター(CERI)では、1999年に「学習科学と脳研究プロジェクト」を立ち上げ、世界的規模での組織的研究を開始した。2001年には日本の文部科学省が「脳科学と教育」研究に関する検討会を発足させるなど、生体情報への関心は国内外ともに大いに高まることとなった。併せて、視線移動、心拍、呼吸、発汗などの生理学的データ計測装置についても、医療技術開発の立場から、精緻化、軽量化、小型化、簡易化が図られ、現在では複数の生体情報を同時計測可能な装置を安価に購入することが可能となった。ところで、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が確立されるようになった(Ansari 2010)。現在、教育学への具体的な応用を企図して、生理学的データの計測・分析に関する下記の取り組みが始まっている(Verma et al. 2006)。

- 1) 「刺激 - 反応」を対象とした実験から、学習、発見といった高次な機能を対象とした実験へ。
- 2) 疾病患者を対象とした診断・治療から、健全な成人や子どもを対象とした計測・分析へ。
- 3) 他から遮断された実験室内での実験環境から、通常的生活空間や教室空間での実験環境へ。
- 4) 単独生体情報の計測から、複数生体情報の同時計測へ。

これらの研究背景のもと、健全な学生などを対象とした、学習過程における、複数装置による計測実験の可能性と重要性は高まりつつある。

2. 研究の目的

本研究は、通常の学習場面に近い実験環境において、脳活動、視線移動、心拍、呼吸といった複数の生体情報を同時計測(複合計測)することにより、学習者の算数・数学問題解決時における理解の過程を、生理学的視点から解明することを目的とする。複合計測により、4つの生体情報の関連性を明らかにし、脳や視線の変化が、身近な生体情報である心拍、呼吸にどのように反映するのかを対応づけることで、学校現場での使用可能性と普及を企図する。

各年度の目的は、次の通りである。

平成26年度：複合計測によるデータ取得のための実験課題、及び実験環境の構築と予備実験による検証。

平成27年度：研究蓄積のある脳活動・視線移動と、新規計測装置を用いた心拍・呼吸の関連性の解明。学習過程を生理学的に記述するモデルの構築。

3. 研究の方法

これまで、計測・分析を行ってきた脳活動と視線移動をもとに、心拍、呼吸の4種類のデータを同時計測する実験環境を構築する。

平成26年度：

計測機器に関しては、データ間の干渉の可否、装着部位の適正化と学習活動による動作の保証といった点を検証し、適正なデータ計測方法の確立を行う。

実験課題に関しては、これまで脳活動と視線移動計測において開発してきた、計算領域での除法の虫食い算課題、数列課題、演算決定課題をベースに、4種類のデータが適正に計測可能となるよう、難度、回数、時間等を調整する。

平成27年度：

構築された実験環境のもと、複合計測を行う。比較方法としては、脳活動、視線移動といった中枢神経/視覚-運動系データと、心拍、呼吸といった循環器/呼吸系データを対比させ、脳活動や視線移動での特徴的なデータ変化が、心拍、呼吸にどのように反映するのかを検討する。

具体的には、図1にある から について、下記の点に着目して分析を行う。

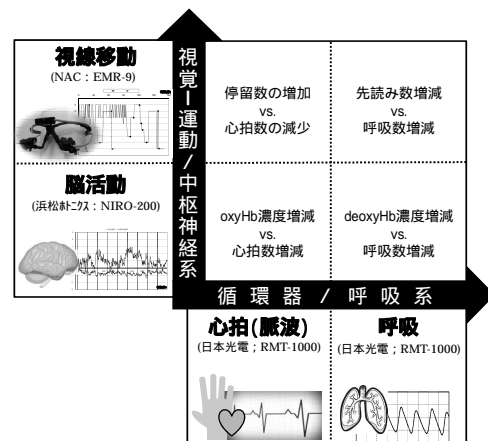


図1 実験デザイン

脳活動と心拍では、脳におけるヘモグロビンの増減が、ヘモグロビン供給源である心拍の増減にどのように反映するのか。

脳活動と呼吸では、脳におけるヘモグロビンの増減が、酸素供給源である呼吸数の増減にどのように反映するのか。視線移動と心拍では、視線の固視(一点を見つめる)、パースト(動くものをゆっくりと追いかける)、サッケード(すばやく多地点を見る)の関係が、

心拍の増減にどのように反映するのか。視線移動と呼吸では、視線の固視、パースト、サッケードの関係が、呼吸数の増減にどのように反映するのか。

#### まとめ段階：

実験結果から得られた研究成果をもとに、心拍、呼吸によって学習者の理解状況を簡易的に判断するための指標を考案する。

併せて、今後の教員養成における生理学的データの活用の立場から、4種類の生体情報を複合的に捉えた学習者の理解過程モデルを提案する。

#### 4. 研究成果

##### 予備実験による成果、実験環境の構築：

##### (1) 脳活動計測実験からの知見

これまでのNIRS装置を用いた脳の前頭前野部位(おでこ部分)の計測結果より、次のことが明らかになった。

- ・実験課題における難度の高低と、ヘモグロビン濃度の高低の間に対応関係が見られること。
- ・課題遂行時に、解決方略未獲得時点ではヘモグロビン濃度は上昇し、解答方略獲得後は下降すること。

##### (2) 視線移動計測実験からの知見

これまでのアイトラッカー装置を用いた視線移動計測結果より、次のことが明らかになった。

- ・課題遂行時に、解決方略未獲得時点ではサッケードの生じる割合が高く、解答方略獲得後は固視、パーストの割合が高くなること。

##### (3) 心拍、呼吸を同時計測する上での実験環境上の問題点

心拍、呼吸計測においては、過度な動きを必要とする実験課題では、動き自体が心拍を高める要因となる可能性があるため、除法の虫食い残課題は除外した。また、数列課題と演算課題については、数列課題の場合、知識の有無によって正解にたどりつかない場合があるため除外した。

本実験では、演算を決定する課題を使用することとした。

##### (4) 実験課題

図2は、実験課題デザインである。「易1」から「難3」までの6セットで構成され、1セット当たり5問の問題がディスプレイ上に提示される。被験者は口頭で適切な演算記号を答える。図3は難度の低い易の問題例、図4は難度の高い難の問題例である。1問あたりの制限時間は30秒とし、問題間は5秒のレストとした。

なお、教師からの働きかけを企図して、易・難それぞれの2セット目の易-2・難-2の1問目、3問目、5問目の直前のレストでは教師の言葉かけをイメージした「よく考えて」というコメントをディスプレイ

に表示した。

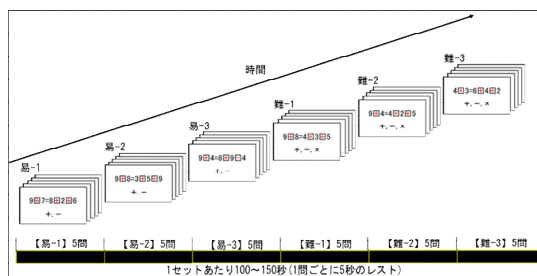


図2 実験課題デザイン

$$9 \oplus 7 = 8 \oplus 2 \oplus 6$$

+, -

図3 難度が「易」の問題例(演算2種類)

$$9 \oplus 8 = 4 \otimes 3 \oplus 5$$

+, -, ×

図4 難度が「難」の問題例(演算3種類)

##### 複合計測による実験結果：

実験は、以下のように実施した。

##### (1) 実験概要

実験期間：2015年11月10日～13日

被験者：大学生10名(男性4名、女性6名;21歳～23歳、平均21.9歳(SD0.57))

計測方法：被験者は椅子に座り、装置を装着して課題に取り組んだ。ビデオにより実験の様子を記録した(図5)。

計測装置：Polymate (ミユキ技研製)

計測部位：脈拍と呼吸を同時計測した。脈拍計測装置は、被験者の利き手とは逆の手の人差し指に、呼吸計測装置は、腹部もしくは胸部に装着した。

##### (2) 正答率・所要時間

表1より、10名全体の正答率の平均では、易が91.3%、難が74.0%であった。易-2、難-2に、教師のコメントが挿入されたが、正答率はいずれも回を経るごとに増加した。

表2より、10名全体の1問当たりの所要時間の平均では、易が18.2秒、難が23.2秒であった。難の問題群は順調に所要時間が減少したが、易の問題群では教師のコメントが挿入された易-2の所要時間が最も長い結果となった。

これらの結果より、難度を変化させると、正答率と所要時間に差が生じること、教師

のコメントは所要時間に影響を及ぼすことが明らかになった。



図5 実験場面

表1 各セットの正答率

問題	易 - 1	易 - 2	易 - 3	平均
正答率 (%)	88.0	90.0	96.0	91.3
問題	難 - 1	難 - 2	難 - 3	平均
正答率 (%)	60.0	74.0	88.0	74.0

表2 各セットの所要時間

問題	易 - 1	易 - 2	易 - 3	平均
所要時間 (秒)	17.7	20.3	16.6	18.2
問題	難 - 1	難 - 2	難 - 3	平均
所要時間 (秒)	26.0	22.8	20.7	23.2

### (3) 脈拍数

表3より、10名全体の脈拍数(1分当りに換算)平均では、易が84.0回、難が84.5回と、大きな差は見られなかった。ただし、難の問題群では教師のコメントが挿入された難-2の脈拍数が上昇するという結果が得られた。

表3 各セットの呼吸数

問題	易 - 1	易 - 2	易 - 3	平均
脈拍数 (回/分)	83.6	83.6	84.7	84.0
問題	難 - 1	難 - 2	難 - 3	平均
脈拍数 (回/分)	84.8	85.7	83.0	84.5

### (4) 呼吸数

呼吸数は、周波数解析により分析を行った。これまでの先行研究より、周波数0.25Hz付近の振幅が大きい際に、リラックス状態、消失する傾向にある際に緊張状態であることが知られており、その視点から各被験者のデータ分析を実施した(図6)。

総じて、易-1から易-2にかけて、0.25Hz付近が消失する傾向にあり、教師のコメント挿入による緊張の影響がみられる。また易-3から難-1にかけて、0.25Hz付近が消失する傾向にあり、難度の大幅な変化による緊張の影響がみられる。

また、0.25Hzの前後に着目すると、それらの緊張度合いの高低が推測される点から、微細な緊張状態の計測の可能性が示された。

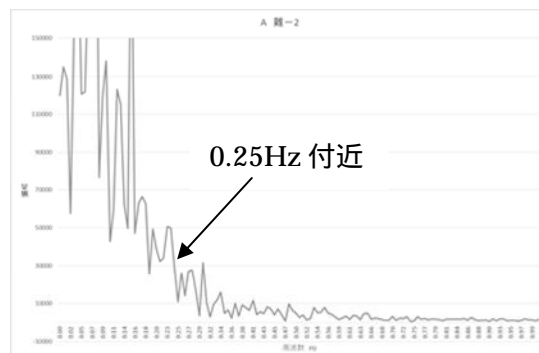


図6 難-2(被験者A)の周波数解析

### まとめ:

「4つの生体情報の関連性を明らかにし、脳や視線の変化が、心拍や呼吸にどのように反映するのかを対応づけることで、学校現場での使用可能性と普及を企図する」という本研究の目的に対して、以下の4つの研究成果を得た。

実験課題の特性、難易度などと、脳活動計測、視線移動計測データの関連性について整理・分析した。

筆記等の身体活動によって心拍変動に影響しない実験課題として、演算決定課題を開発した。この実験課題は、数値のレベルや演算の個数を調整することで、難度を容易に調整・変更することができる。脈拍、及び呼吸計測実験の実施とデータ分析により、正答率、難度、脈拍、呼吸間の関連性について検証した。総じて、脈拍の増加は、正答率や所要時間などには現れない、被験者の緊張感を数値化することが可能であり、呼吸は、その緊張感の程度をさらに細分化することが可能であることが示唆された。

脈拍と呼吸を、脳活動と視線移動データと対応させると、脈拍の「多・少」、呼吸における0.25Hz付近の「消失・上昇」に、脳活動の「上・下」、視線移動の「多・少」が対応することが明らかになった。このことは、より簡便な脈拍、呼吸によって、学習者の状況把握が可能となる可能性を示すものである。

### 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4件)

黒田恭史、中島悠、岡本尚子、立面図・見取図・立体の変換過程時における視線移動の特徴、佛教大学教育学部学会紀要、14、2015、pp. 49-58、査読無

黒田恭史、岡本尚子、前迫孝憲、NIRSを用いた脳活動計測技術がもたらす教育

神経科学の可能性, 日本レーザー医学会誌, Vol.36, No.2, pp. 176-185, 2015, 査読有

米田照美, 伊丹君和, 川端愛野, 清水房枝, 黒田恭史, 前迫孝憲, 看護学生と看護師のベッド周辺環境の観察力の違い, 看護人間工学研究誌(日本人間工学会看護人間工学部会), 2015, Vol. 15, pp. 31-36, 査読有

Naoko Okamoto, Yasufumi Kuroda, Understanding strategy development in mathematics: using eye movement measurement in educational research. European Journal of Research on Education, Vol.2, Issue 2, 2014, pp. 94-100, 査読有.

[学会発表](計14件)

岡本尚子, 黒田恭史, 図形課題解決時における学習者の視線移動特徴, 数学教育学会春季例会発表論文集, 筑波大学(茨城県・つくば市), pp. 31-33, 2016年3月17日

黒田恭史, 日本において教育神経科学が確立されるためには, 第32回日本脳電磁図トポグラフィ研究会, 宮古島ホテルブリーズマリーナ(沖縄県・宮古島市), p. 36, 2015年11月20日

中島悠, 黒田恭史, 岡本尚子, 浅井和行, 二次元情報をもとにした三次元立体構成時における視線移動, 日本教育メディア学会第22回年次大会研究発表集録, 日本大学(東京都・世田谷区), pp. 158-159, 2015年10月18日

岡本尚子, 黒田恭史, 図形課題解決時における助言者の視線移動特徴, 数学教育学会秋季例会発表論文集, 京都産業大学(京都府・京都市), pp. 176-178, 2015年9月13日

岡本尚子, 黒田恭史, マップリーディングにおける眼球運動, 教育システム情報学会第40回全国大会論文集, 徳島大学(徳島県・徳島市), pp. 309-310, 2015年9月1日

黒田恭史, 岡本尚子, 生体情報を教育学研究に活かすことへの躊躇とその克服, 日本教育学会第74回大会発表要旨集録, お茶の水女子大学(東京都・文教区), pp. 206-207, 2015年8月28日

岡本尚子, 黒田恭史, 展開図の立体構成過程における眼球運動計測, 第33回日本生理心理学会大会, グランフロント大阪(大阪府・大阪市), Poster, 2015年5月23日

Yasufumi kuroda, Naoko Okamoto, Brain activity during processes of teaching and learning, Redesigning Pedagogy International Conference. Singapore (Singapore), Proceedings, pp. 20-21, 2015.06.02, 査読有.

岡本尚子, 黒田恭史, 空間認知における視線の先読みについて - 地図上での方向判断を事例として -, 数学教育学会春季年会発表論文集, 明治大学(東京都・千代田区), pp. 237-239, 2015年3月21日

Naoko Okamoto, Yasufumi Kuroda, Direction judgment during map reading: An eye-tracking study, The Macrotheme International Conference on Business and Social Science, Paris (France), Poster, 2014.12.19, 査読有.

中島悠, 黒田恭史, 岡本尚子, 立面図から立体を再現する過程時の視線移動の特徴, 第18回数学教育学会大学院生等発表会発表論文集, 広島大学(広島県・東広島市), pp. 17-20, 2014年9月27日

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(和歌山県・和歌山市), pp. 437-438, 2014年9月10日

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(福岡県・福岡市), pp. 148-149, 2014年8月22日

Yasufumi kuroda, Naoko Okamoto, A relationship between brain activity data and eye tracking data during mathematical tasks from the view of educational research, EARLI Neuroscience and Education, Georg August University Göttingen (Göttingen), Proceedings, p. 54, 2014.06.12, 査読有.

## 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

岡本 尚子 (OKAMOTO NAOKO)  
立命館大学・産業社会学部・准教授  
研究者番号: 30706586