

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2016

課題番号：26705012

研究課題名(和文) 教授 - 学習活動における視線移動特性の解明

研究課題名(英文) Characteristics of Eye Movements in Teaching and Learning

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 6,400,000円

研究成果の概要(和文)： 研究目的は、アイトラッキングシステムを用いて学習者や指導者の視線移動計測実験を行い、学習活動や教授活動の特性を、客観性の高い視線データから明らかにすることであった。

学習者を対象とした実験の結果、学習者自身が無意識的に用いている方略や、高正答率者と低正答率者の方略の違いを視線データによって明示できた。また、指導者を対象とした実験の結果、指導経験の長さが指導内容・方法に関する知識を体系化することで、重要箇所を的確に見る効果的な視線移動につながる可能性が示唆された。

これらの知見は、学習者のつまずきに対する指導方法の提案や、教員養成、教師教育における自己省察方法の検討などにつながると考えられる。

研究成果の概要(英文)： The purpose of this study is to clarify the characteristics of learning activities and instructional activities by conducting experiments to measure the eye movements of learners and teachers using eye movement data with high objectivity by an eye tracking system.

As a result of experiments targeting learners, the strategies learners utilize unconsciously and the differences between strategies used by individuals with a high rate of correct responses and those with a low rate of correct responses could be clarified based on eye movement data. Results of experiments targeting teachers suggested that the length of the teaching experience made the knowledge related to teaching content and methods organized and that connected to effective eye movements that could accurately see the important points.

These findings can be considered to be associated with proposals of teaching methods for learners' stumbling blocks and for examining self-reflection methods in teacher education.

研究分野：数学教育学

キーワード：数学教育 視線 教授 - 学習

1. 研究開始当初の背景

学習者の思考過程を解明することは算数・数学教育研究の中心的課題の一つであるが、その実際にあつては、時系列における学習者の思考の可視化が重要となる。これまでの教育学研究においては、可視化の手法として、観察手法、面接手法、質問紙手法などが主に用いられ、学習者の思考過程の考察が行われてきた(稲垣・佐藤 1996)。これらの方法は、複数手法の組み合わせが容易であることから、多面的な分析が積み重ねられてきている。

また、近年では、脳活動計測技術の発展により、学習を司る主要な器官である脳の活動を時系列的に計測し、思考過程を脳活動データとして可視化することが可能となつてきている(Bert De Smedt et al. 2010)。脳活動を含めた生理学的データの取得は、学習者の記憶や説明力、観察者の記録や質問力に依存せず、客観的な時系列データを取得できる点に特長がある。ただし、教育学研究上、脳活動計測は、以下の点が問題となる。

(1) 頭部への装置装着の準備に時間を要し、身体的拘束性があるため、被験者の負担が大きい

(2) 姿勢(頭部)の維持が必要となるため、自然な学習環境下での計測が困難

(3) 取得データが複雑で分析に専門的知識を必要とするため、学校教員とのデータの検討が困難

生理学的データが持つ客観性・時系列性を生かしながら、こうした問題を打開するには、脳活動以外で、思考過程の多くの情報を有し、計測負担の小さいデータを取得することが有用である。

そこで、本研究では、視線移動データに着目する。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%とされており、視線は学習上の重要な情報を持つものと推測される(石川 1972)。さらに、現在は、設定が簡便で、身体的拘束性のほとんどない視線移動計測装置が開発されていることから、視線移動計測の場合、上述の問題点は、下記のように改善されると考えられる。

(1) 身体的拘束性がほとんどないため、被験者の負担は小さい

(2) 映像視聴、筆記など、自由な姿勢をとることができ、自然な学習環境を実現可能

(3) 取得データはどこを見ていたかを示すものであるため明快

これまででは外的な観察や、学習者からの主観的、かつおおよその報告のみでしか得られなかった着眼点(視線)について、自然な学習環境下での客観的、精緻なデータ取得が可能となる。

2. 研究の目的

本研究は、身体的負担の小さい視線移動計測装置を用いて、自然な学習環境下における

客観的な視線移動の時系列データ取得を行い、学習者の学習活動、教師の教授活動の特性を視線移動特性の側面から明らかにすることである。

3. 研究の方法

研究では、身体的拘束性の低い自然な学習環境下における学習者の問題解決過程、教師の学習者観察・助言過程における視線移動データを取得し、その特徴を検討する。研究は、段階的な実験によって進める。

第1段階：算数・数学問題の解決過程における「学習者」の視線移動を計測し、方略獲得の可否、感じている難度を指標に分析を行う。
第2段階：学習者を観察し、助言を行う過程における「指導者」の視線移動を計測し、学習者への関わり方の違いや、観察時と助言時の着眼点の違いについて分析を行う。

第3段階：問題を解決する学習者と、それを観察しながら助言を行う指導者、「両者」のやり取りの過程の視線移動を同時計測し、生理学的データによる教授-学習の特徴を分析する。

4. 研究成果

(1) 第1段階：学習者対象実験

① 実験課題

立体の展開図上の頂点一つ(指定頂点)に丸印を記して提示し、立体にした際にその頂点を含む辺を筆記により解答させる課題を設定した(図1)。つまり、展開図上では異なる箇所位置する頂点同士であっても、立体を構成した際に指定頂点と共有する頂点があれば、その頂点を含む辺も答えとなる。異なる立体の展開図を用いて4試行を行った。全試行、指定頂点と離れた箇所にも正答となる辺(正答辺)がある設定とした。正答辺の本数は、試行1から順に、5本、5本、6本、7本である。課題は、A3用紙に印刷して提示した。

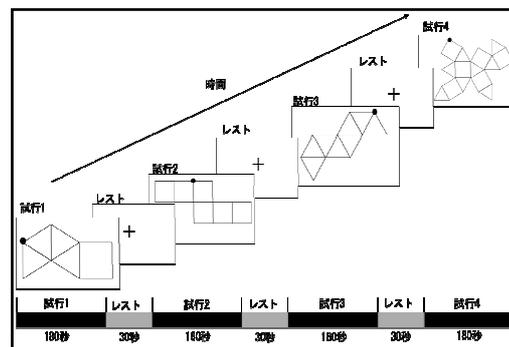


図1 実験課題

② 対象

大学生9名(男性3名、女性6名、平均20.9歳)を対象とした。

③ 記録

アイトラッカーTobii グラス1(トビー・テクノロジー製)を用いた。

④ 結果・考察(行動データ)

正答率が100%であった被験者3名を「高正答群」、その他の被験者6名(正答率が63.0%~85.5%)を「低正答群」に分類した。2群間の正答率には、有意差が認められた($p < 0.01$)。平均所要時間は、「低正答群」よりも「高正答群」の方が有意に短かった($p < 0.01$)。

⑤結果・考察(視線データ)

各試行における展開図の全ての辺に番号を付し、1秒ごとにいずれの辺を見ていたかを時系列のグラフに表した(図2)。その結果、いずれの試行においても、「高正答群」は、指定頂点付近の辺から、離れた箇所位置する正答辺へと、展開図の外側の辺を順にたどって見ていることが明らかとなった。一方、「低正答群」は、指定頂点付近の辺での視線移動が多く見られた。離れた箇所の正答辺を見る際には、指定頂点から辺を順にたどるのではなく、指定頂点付近から離れた正答辺付近に直接視線を移動させた。このことから、「高正答群」は、辺のつながりをたどり、隣同士の辺の共有の可否を考えることで立体構成時の共有辺を見つけ、その部分から順序だてて立体を組み立てていったと考えられた。一方、「低正答群」は、指定頂点と共有する離れた箇所にある頂点をおおよその見当で考え、離れた場所同士をつなぎ合わせて立体構成を行おうとしたと考えられた。「低正答群」の解決方法は、図形課題を苦手とする学習者の解決特性を表すことが推察された。

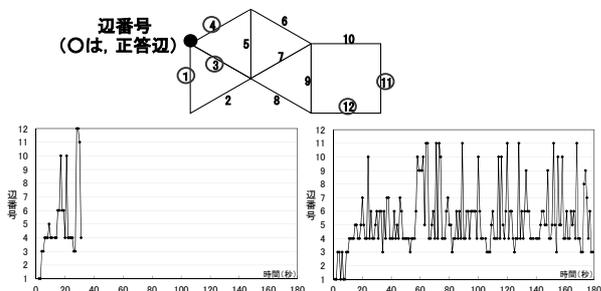


図2 試行1(左:高正答群 右:低正答群)

(2)第2段階:指導者対象実験

①実験課題

被験者前の机の上に設置したモニターに3桁÷1桁の除法筆算を解答している動画を再生し、指導者としてその動画を見ながら、誤って解答していないかを判断する実験課題を設定した。動画途中で誤りを見つけた場合は、その時点で手元のベルを鳴らすこととした。ベル後も動画は停止せずに再生した。

実験課題数は4問とし、誤った解答動画(以下、誤答パターン)を2問、正しい解答動画(以下、正答パターン)を2問とした。誤答パターンの2問は、児童が起こしやすい誤答の種類を踏まえ、2種類を設定した。一つは、商に0(空位)をたてる必要がある除法において、0を立てずに続けて解答してしまう誤答である。もう一つは、商を小さく立て、あ

まりの数値が除数よりも大きくなってしまいう誤答である。正答パターン2問は、誤答パターンの種類に対応する除法を正しく解答する動画とした。なお、被験者には、誤答・正答パターンの問題数は伝えず、どのような間違いをしていたのかを実験後に答えてもらうことを伝えた。

4問の難度に差が生じないように、いずれの課題も余りのある除法とし、計算過程の桁数、計算過程の減法の回数と繰り下がり位置を統一した。また、1問の動画時間は45秒に統一し、課題間には10秒のレストを設けた。

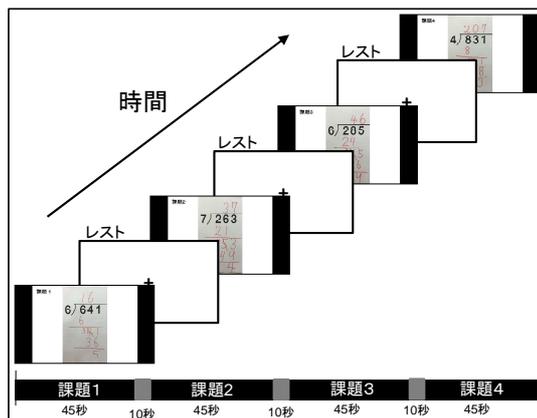


図3 実験課題

②対象

次の3群を設定し、合計15名を対象とした。

教師群:算数科に専門性のある現職小学校教員3名(男性3名、平均31.7歳、教職平均9.3年)

教職学生群:小学校教員養成課程に在籍する教員志望の4回生6名(男性3名、女性3名、平均22.5歳)

非教職学生群:教職科目の履修が無く、塾などでの指導経験がない大学生6名(女性6名、平均21.0歳)

③記録

アイトラッカーTobii pro グラス2(トビー・テクノロジー製)を用いた。

④結果・考察(行動データ)

いずれの被験者も、誤りが生じたタイミングでベルを鳴らした。事後のアンケートにおいても、誤りの内容を正しく答えた。

⑤結果・考察(視線データ)

モニターに提示した除法部分(領域)を対象に、動画再生中の視線停留点の推移をTobii Pro ラボアナライザーを用いてマッピングし、停留点の座標から各問題の視線移動距離を求めた。

1課題平均移動距離、正答パターンと誤答パターン別の1課題平均移動距離を、各群について算出した(表1)。その結果、1課題あたりの平均距離は、長い群から、非教職学生群、教職学生群、教師群となった。また、教師群と教職学生群は、正答と誤答パターンで顕著な差は見られなかった一方、非教職学生群は、誤答パターンの方が移動距離が長くな

る傾向にあった ($p = 0.056$)。

事後のアンケート結果もあわせると、非教職学生群のみが正答パターンよりも誤答パターンの移動距離が長くなった要因は、誤りに関する知識がないために予測ができず、誤答発生後にその内容を確認したことにあると考えられる。また、誤りの予測が可能であった教職学生群と教師群において、教師群の方が視線移動距離が短い要因は、経験を重ねて誤りに関する知識が体系化・明確化され、重要箇所限定した視線移動となっていることが考えられる。

表1 1課題あたりの視線移動距離の群別平均 (a. u.)

	教師	教職学生	非教職学生
1課題あたり	9791	17151	18370
正答パターン	9274	17186	16196
誤答パターン	10309	17117	20545

(3) 第3段階：学習者・指導者両者対象実験

①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、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60秒間の休憩を設けた。

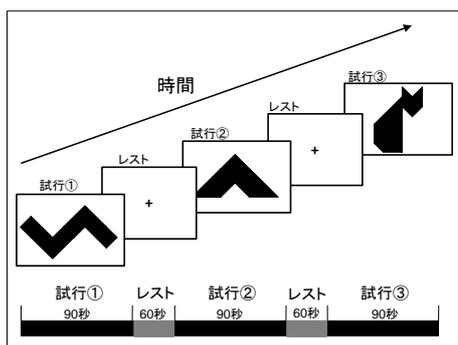


図4 実験課題

実験は、被験者を指導者役と学習者役の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る。一方、指導者役の役割は、学習者役がタングラムに取り組む様子を横に並んで観察しながら、ヒントを提供することである。本実験でのヒントとは、指導者役が学習者役に、ヒント1個につき1ピースの置き方を提示するものである。ヒント提示は、学習者役と指導者役の間に置いたヒント用タングラムを使用して行い、指導者役は模範解答を常時参照できるようにした。ヒント提示のタイミングは、制限時間90秒以内に指定された形を完成させるという条件のもと、指導者役、学習者役のどちらでもヒントが必要だと判断した場合に手元のベルを鳴らして知らせることとした。すなわち、制限時間内であれば、双方とも任意のタイミングでヒント提示を提案したり、ヒント提示を要求したりできる。1試行あたりのヒント個数に制限は設けなかった(7ピースのため、最大7個)。なお、両

者が時間を把握できるように、残り時間が表示されるタイマーを設置した。

②対象

大学生11組、計22名(男性7名、女性15名、平均20.6歳)を対象とした。

③記録

アイトラッカーTobii pro グラス2(トビー・テクノロジー製)を用いた。

④結果・考察(行動データ)

1試行の制限時間は90秒であったが、時間内に完成させられなかったペアが4組(各1試行)あった。これらの試行の所要時間は90秒として、全ペアの平均所要時間と合計ヒント数を算出した(表2)。ヒント数は、学習者役がベルを鳴らしてヒントを要求した「学習者要求」のヒント、指導者役がベルを鳴らしてヒント提示を提案した「指導者提案」のヒントに分類した。

表2 平均所要時間(秒)と合計ヒント数

試行	平均時間(秒)	合計ヒント数(個)	
		学習者要求	指導者提案
①	50.9	5	4
②	76.6	12	11
③	59.1	5	10
平均/計	62.2	22	25

所要時間の短い試行から順に並べると、試行①、③、②となった。合計ヒント数も、少ない試行から並べると、試行①、③、②となり、所要時間の長ささとヒントの多さが対応する結果となった。学習者役の感じた問題の難度がこの順であったことが予想される。

⑤結果・考察(視線データ)

注視領域として次の4つを設定し、各指導者役がどの領域をどれぐらいの時間見ていたのかを計測した。I「学習者の手元」：学習者役のタングラムや手元などの遂行状況、II「模範解答」：指導者役の前に提示した模範解答、III「ヒント提示物」：ヒント提示用のタングラムや提示用シート、IV「その他」：上記以外のタイマーやベルなど。この時間から、被験者ごとに割合を出し、全11名の平均を算出した。

学習者役は、自身の手元を見ている時間が約9割であり、ほとんどの時間を手元に費やしていた。一方、指導者役は、学習者の手元を見ている時間は約6割にとどまった。約4割の時間は、模範解答で解答の確認をしたり、提示するヒントを考えたりして、学習者を見ていなかった。

表3 視線配分 (%)

	学習者の手元	模範解答	ヒント	その他
指導者	63.8	16.8	11.9	6.8
学習者	89.3	-	9.6	1.1

ベルが鳴ってからヒントを提示するまでを「ヒント提示過程」とし、学習者要求と指導者提案のヒント別に平均所要時間を算出した。その結果、学習者要求は5.5秒、指導

者提案は4.1秒となり、有意差が認められた ($p < 0.05$)。

次に、ヒント提示過程における指導者役の4領域の平均注視時間を求めた(表4)。注視時間は、「模範解答」が、学習者要求の場合の方が有意に長かった ($p < 0.05$)。これらのことから、指導者提案よりも学習者要求の場合のヒント提示に時間がかかる要因は、「模範解答」を見る時間の長さといえる。指導者が意図しないタイミングでヒントを求められるため、ベル後に模範解答でヒントを考え、確認していたことが推察される。

表4 ヒント提示過程の領域別注視時間(秒)

	学習者の手元	模範解答	ヒント	その他
指導者提案	0.1	0.9	3.3	0.0
学習者要求	0.1	1.6	3.7	0.1

(4)まとめ

視線データによって、高正答率と低正答率の学習者の方略の違い、指導歴の違いによる指導者の着眼点の違いなどを明らかにすることができた。学習者や指導者の無意識的な思考過程を可視化することができたといえる。これらの成果は、学習者へのつまづきに対する指導方法の提案、教員養成、教師教育における自己省察方法の検討につながるものである。

<参考文献>

- Bert De Smedt, Daniel Ansari, Roland H. Grabner, Minna M. Hannula, Michael Schneider, Lieven Verschaffel, Cognitive neuroscience meets mathematics education, Educational Research Review, Vol.5, Issue 1, 2010, pp. 97-105
 稲垣忠彦, 佐藤学, 授業研究入門, 岩波書店, 東京, 1996
 石川淳二, 第1章 産業における教育訓練と教育機器. 教育機器編集委員会 編, 産業教育機器システム便覧, 東京, 1972, pp. 1-16,

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)

- ① 岡本尚子, 山下芳樹, 小学校教員養成における正課外行事での教職能力育成の可能性, 立命館産業社会論集, 査読有, Vol. 52, No. 4, 2017, pp. 83-96
- ② 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, 査読有, Vol. 36, No. 2, 2015, pp. 176-185
- ③ 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, 2014, pp. 94-100

- ④ 黒田恭史, 中島悠, 岡本尚子, 立面図・見取図・立体の変換過程における視線移動の特徴, 佛教大学教育学部学会紀要, 査読無, No. 13, 2014, pp. 49-58

[学会発表] (計26件)

- ① 岡本尚子, 黒田恭史, ヒント提示過程における助言者の視線移動特徴, 数学教育学会春季年会, 2017年3月27日, 首都大学東京(東京都・八王子市)
- ② 岡本尚子, 黒田恭史, 野杵紗千, 教員養成課程学生と非課程学生の除法筆算過程観察時の着目点の違い, 数学教育学会秋季例会, 2016年9月17日, 関西大学(大阪府・吹田市)
- ③ 黒田恭史, 岡本尚子, 前迫孝憲, 深田英里, 算数文章題解決過程における視線移動の特徴, 教育システム情報学会第41回全国大会, 2016年8月31日, 帝京大学(栃木県・宇都宮市)
- ④ 岡本尚子, 黒田恭史, 助言者一学習者の関係における視線配分と助言の有効性, 第34回日本生理心理学会大会, 2016年5月15日, 名古屋大学(愛知県・名古屋市)
- ⑤ 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, 数学教育学会春季年会, 2016年3月17日, 筑波大学(茨城県・つくば市)
- ⑥ 岡本尚子, 学習過程を生理学的に解明するとは, 第32回日本脳電磁図トポグラフィ研究会・第3回宮古島神経科学カンファレンス, 2015年11月20日, ホテルブリーズベイマリーナ(沖縄県・宮古島市)
- ⑦ 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, 2015年10月18日, 日本大学(東京都・世田谷区)
- ⑧ 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, 2015年9月15日, 京都産業大学(京都府・京都市)
- ⑨ 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, 2015年9月2日, 徳島大学(徳島県・徳島市)
- ⑩ 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, 2015年5月23日, グランフロント大阪(大阪府・大阪市)
- ⑪ Naoko Okamoto, Yasufumi Kuroda, Direction judgment during map

reading: An eye-tracking study, The Macrotheme International Conference on Business and Social Science, 2014年12月20日, ESPACE VOCATION PARIS HAUSSMAN SAINT-LAZARE (Paris, France)

- ⑫ 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, 2014年8月23日, 九州大学(福岡県・福岡市)
- ⑬ Yasufumi Kuroda, Naoko Okamoto, A relationship between brain activity data and eye tracking data during mathematical tasks from the view of educational research, European Association for Research on Learning and Instruction, 2014年6月13日, Georg-August-University of Göttingen (Göttingen, Germany)

[その他]

立命館大学研究者学術情報データベース
<http://research-db.ritsumeai.ac.jp/Profiles/103/0010246/profile.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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