



Title	幾何課題における問題解決過程の研究 : 近赤外分光法による指標のもとに
Author(s)	黒田, 恭史
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45725
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	黒田恭史
博士の専攻分野の名称	博士(人間科学)
学位記番号	第19141号
学位授与年月日	平成17年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 人間科学研究科人間科学専攻
学位論文名	幾何課題における問題解決過程の研究—近赤外分光法による指標のもとに—
論文審査委員	(主査) 教授 前迫 孝憲 (副査) 教授 山本 隆 教授 菅井 勝雄

論文内容の要旨

幾何教育研究では、従来より、(1)算数・数学教育における幾何分野の占める割合が少ないこと、(2)学習者の理解の可否に個人差が大きいこと、(3)幾何教育の指導法の開発が不十分であることが指摘されてきた。子どもの認識の発達に沿った幾何カリキュラムの構築と、理解困難な子どもへの具体的な指導法の確立が希求されているが、事態はそれほど改善されているわけではない。というのも、近年の基礎学力重視への移行は、例えば「百マス計算」に代表される計算問題最優先へと連動し、幾何内容はさらに削減の傾向にあるためである。また、幾何課題の場合、問題解決過程において「わかる」瞬間が突然生じる場合が多く、加えて個人差も大きいことから、多くの学習者に適用可能な指導の手立てを考案しにくいということも、指導法の開発を遅らせている一要因と考えられる。

しかし、情報通信社会においては、2次元画像(例えば、コンピュータディスプレイ、カーナビゲーションシステム)に映し出された3次元空間・立体の情報から、正確に3次元をイメージする力は不可欠であり、「合同」の弁別や「座標変換」が念頭でスムーズに行える力の可否が、情報取得・活用の成否を大きく左右するといえる。

ところで、1990年代前半に開発された近赤外線による光計測装置(Near Infra-red Spectroscopy; 以下、NIRSと記す)を用いれば、自然に近い学習環境下における脳内のヘモグロビン濃度の相対的変化を容易に測定することが可能である。

こうした装置を使用することで、これまで不明であった幾何課題に関する「問題解決過程」を解明する可能性が開けるのではないかと考えられる。さらに、今後の幾何教育内容構築にあたっての示唆を得ることが期待される。

研究目的

幾何教育の今日的課題、及び学習時の脳内のヘモグロビン濃度が測定可能な光計測装置の開発を受け、問題解決過程を明示化する一指標としてのNIRSの可能性を検討するために、本研究が企図された。具体的には、次の3点を研究の目的として設定した。

第1は、幾何教育における検討課題を整理し、その打開の視点を見出すことである。とりわけ、これまで学習者の理解が困難であるとされてきた「空間」、「運動(変換)」の領域に焦点化し、具体的事項の整理とそれらの要因分析を試みる。

第2は、幾何教育研究における NIRS を用いた適正な実験方法及び測定データの分析法を確立することである。これまで NIRS は主に医学研究において使用されてきたため、実験課題、実験方法、データ分析法もまた、従来の医学研究を土台に設定されている。これを、幾何教育研究の立場から捉え直し、適正な実験方法を確立することが、NIRS による実験結果を教育へ応用する際に重要となる。

第3は、幾何教育の検討課題をもとに2種類の幾何課題を開発し、大学生を被験者として、NIRS を用いた実験を実施することである。行動観察結果と、脳内のヘモグロビン濃度測定データを比較・検討することを通して、幾何課題遂行時の問題解決過程の特徴を明らかにすることが本研究の最大の目的である。

以上の3点、(1)幾何教育研究の検討課題の整理と研究対象の同定、(2)幾何教育研究における NIRS を用いた適正な実験方法及び測定データの分析法の確立、(3)幾何課題遂行時の問題解決過程の解明を、本研究の目的とする。

研究方法

・研究目的(1)について

日本の幾何教育の歴史的経緯を概観し、現行の幾何教育の問題点を整理する。次に、子どもの幾何に関する認識について、小学生を対象とした5つの調査より分析し、学年の進行と正答率の推移、及び子どもが理解困難な事項について検討する。

・研究目的(2)について

NIRS の特性を踏まえ、実験課題の内容、難易、所要時間等を予備実験により適正化する。測定データの分析においては、課題の負荷や特性に応じたベースライン補正方法の開発と、適正ベースライン補正選択のための基準について検討する。

・研究目的(3)について

実験課題としては、「運動(変換)」の領域に関わって①平面上の合同図形弁別課題、また「空間」の領域に関わって②写真画像から立体を再現する課題と立体を創作する課題の2種類を開発する。測定は、デジタルビデオカメラによる録画、NIRS を用いた脳内のヘモグロビン濃度の計測を行う。また、実験後、被験者に対しては、実験時の心的状況についての詳細な記述を依頼する。

上記の測定データをもとに、幾何課題における「問題解決過程」の解明を試みる。行動観察データと事後の感想より、被験者の「方略獲得」時点を同定し、その前後のヘモグロビン濃度を詳細に分析する。課題の種別による相違、被験者による相違を検討し、「方略獲得」、「問題解決継続(方略未獲得)」、「被験者の心的変化」といった事項について、ヘモグロビン濃度の特徴を導き出す。

現段階では、適切な実験課題の開発、測定装置の使用法、課題遂行時の所要時間の設定、測定と分析方法の検討等、実験の全体設計自体も研究対象であるため、実験の意図を正確に判断し、安定した実験データと詳細な事後感想が取得可能であると考えられる大学生を被験者とする。

〈第1章 序論〉

幾何教育の検討課題、脳科学の教育への応用の動向、幾何課題における「問題解決過程」分析の必要性を研究背景とし、研究の目的及び本論文の構成について論じた。現行の幾何教育の問題点としては、計算領域に見られるような明確な指導法が確立していないこと、「空間」、「運動(変換)」、「論理」領域の扱いが不十分であること、算数教科書の幾何の内容が非常に少ないこと等が挙げられた。また、幾何教育再構築に向けて、学習者の幾何に関する認識を詳細に検討する必要性が指摘され、その際、脳内のヘモグロビン濃度判定による幾何に関する「問題解決過程」の解明の可能性が検討された。上記の背景をもとに、本研究では、幾何課題遂行時における「問題解決過程」を究明することが目的とされるに至った。

〈第2章 幾何教育をめぐる研究動向と同席の所在〉 [研究目的(1)]

現在の幾何教育の問題点について、歴史的変遷、国内外との比較、学校教育現場教員の反応をもとに検討した。学習指導要領(1998)による教育内容の約3割減少は、「図形」と「量と測定」の領域に対して最も大きく影響し、幾

何内容の大幅な削減が生じた。坪田ら(2004)の調査によると、こうした状況に対して学校教育現場の教員の反応は総じて否定的であり、幾何内容の充実が希求されていることが判明した。

次に、小学生の幾何に関する認識、とりわけ合同図形の弁別、立体と見取図の関係、相対座標と絶対座標の関係について、5つの調査をもとに検討した結果、以下の特徴が見出された。

調査1では、合同図形の弁別課題において、第1学年～第6学年の小学生計600名に対して調査を実施した結果、回転運動と対称運動の場合、対称運動の正答率の上昇が先行し、その後学年が上がるにつれて回転運動の正答率が接近し、第6学年ではいずれも正答率が80%を超えることが明らかになった。調査2では、小学校第1学年～第2学年の小学生計126名を対象に、教具使用(教具は、透明なシートに図形の輪郭描いたもの:具体物操作)群と不使用(念頭操作)群に分け、合同図形弁別課題での調査を実施した。その結果、いずれの学年においても教具使用群の正答率が高くなることが明らかになった。これらの調査より、合同図形の弁別は学年進行とともに正答率が上昇すること、また教具の使用が合同図形弁別に際して正の影響を及ぼしていることが判明した。調査3では、一辺が8cmの立方体を各自に与え、それを用紙に描画するといった課題を設定し、第2学年～第6学年計161名に対して調査を実施した。その結果、描かれた立方体の図は、いくつかのタイプに分類することができること、また、そのタイプは学年の進行とともにある一定の推移を示すものの、依然個人差も大きいこと等が明らかになった。調査4では、調査3の内容の逆課題として見取図から立体を正確に選択する課題を設定し、第1学年～第6学年計71名に対して個別調査を実施した。その結果、学年進行とともに正答率が上昇する問題と、上下する問題が存在し、とりわけ、立体の一部分に凹凸が含まれる問題については、学年差よりも個人差の方が大きいことが明らかになった。これらの調査より、2次元と3次元の相互の関係を正確に理解し判断することは、小学校段階では個人差の大きい事項であることが判明した。調査5では、相対する位置関係(前後左右)等を判別する課題を設定し、第1学年79名に対して調査を実施した。その結果、相手の立場に立った際の左右判断の正答率が低く、前後左右といった相対座標の座標軸の設定を、他の地点に置いた際の正確な判断が困難であることが明らかになった。

上記の調査結果より、小学校段階での幾何内容の理解については学年進行に応じて正答率が上がるものと、個人差の大きいものが存在することが判明した。とりわけ、空間や立体に関わる内容に、個人差が見られた。

従って、幾何課題遂行時の「問題解決過程」の解明に際しては、集団としての調査に加えて、個人の理解の様相を詳細に追跡する視点が重要となる。さらに、個々の被験者に対する行動観察や事後内省等に加え、NIRSを用いたヘモグロビン濃度測定により「問題解決過程」の解明に新たな一指標をもたらす可能性が生じてくると考えられる。実験課題としては、幾何の中で理解困難とされる「運動」と「空間」の領域に焦点化し、「運動」では合同図形弁別課題、「空間」では2次元画像から立体を再現する課題の2種類を設定し、NIRSを用いた実験を計画することとした。

〈第3章 近赤外分光法による光計測〉 [研究目的(2)]

被験者の課題遂行時の脳内のヘモグロビン濃度測定が可能なNIRSの開発により、幾何課題遂行時の被験者の問題解決過程を解明する一指標としてのNIRS活用の可能性が生じた。医療用に開発されたNIRSを教育研究に応用していくためには、実験課題、測定方法、測定データの分析方法が教育研究用に新たに改良される必要があるが、現状ではそのプロセスが未整備であり、従来の医学研究の手法を転用するケースが多い。そこで、NIRSの特性を踏まえ、研究目的に合致した課題開発(実験内容、難易、一試行あたりの所要時間、反復回数等)を行う際の基準を明確化した。

また、NIRSによって測定された3波長の吸光度データから、ヘモグロビン濃度(oxyHb、deoxyHb、totalHb)の相対変化を算出する際、データの基準となる地点の設定とデータ加工、つまりはベースライン補正をどのように実施するかが分析に際して重要となるため、課題の負荷に応じた適正なベースライン補正方法のあり方について提案した。とりわけ、教育研究用課題では、課題の負荷が高い(難易が高い)場合が多く、ヘモグロビンが急増したり、レスト時にもヘモグロビンの減少が確認されない場合もあることから、データの基準点の設定をできるだけ少なくし、レスト時も試行の一環として捉える方法が適切であることが明らかになった。また、ベースライン補正で使用する関数としては、通常医学研究で使用される試行の開始時と終了時を線分で結ぶ一次関数等ではなく、基準設定毎に階段状になる0次関数を採用する方が、レスト時のヘモグロビンの増加等の影響を受けないため、教育用課題においては適切であることが示された。

〈第4章 合同図形弁別課題に関する検証〉 [研究目的(3)]

合同図形弁別課題を用い、行動観察と NIRS の測定データより、「問題解決過程」の解明を目指した。同様の課題を複数回実施することで「方略獲得」場面を具現し、その前後のヘモグロビン濃度を詳細に検討した。また、教具（図形の輪郭が描かれた透明なシート）の使用の有無（具体物操作と念頭操作）による、ヘモグロビン濃度の変化について検討した。

大学生7名を被験者として実験を実施した。所要時間の大幅な減少と事後の感想より、「方略獲得」時点が同定された。また、一図形の合同の弁別に要する時間測定より、具体物操作では非合同図形の弁別に、念頭操作では合同図形の弁別に時間を要することが明らかになった。次に、7名の被験者より行動観察において特徴の見られた2名を選出し、ヘモグロビン濃度の詳細を検討した。行動観察により同定された被験者Aの「方略獲得」時点前後のヘモグロビン濃度は、deoxyHbの増減幅の減少と、小刻みな上下運動の沈静化（なだらかなグラフへ）という特徴が見られた。また、一図形に対する合同の可否判断に時間を要している場面での deoxyHb の増減幅は大きくなる傾向が観察され、課題の難易の高低が deoxyHb の増減幅の大小と対応している可能性が示唆された。また、被験者Bでは、念頭操作時において「方略獲得」が生じず、課題終了時まで試行錯誤が繰り返された。この場合、deoxyHb の増減幅、及び小刻みな上下運動の双方において沈静化が確認されなかった。

一方、oxyHb の特徴としては、試行の初期段階における deoxyHb の急激な増加時に減少し、方略獲得後の deoxyHb の沈静化に伴い増加する傾向が見られた。また、試行時の deoxyHb の急激な増加とレスト時の deoxyHb の減少が見られる箇所において、レスト時の oxyHb の急増が確認された。これは、試行時の酸素消費の増大（deoxyHb の増加）を補う形でレスト時に oxyHb を供給している、もしくは被験者の事後感想に見られる心的変化（緊張、焦り、準備等）の影響が反映したものである等の要因が考えられるが、現段階ではそれらの確証を得るまでには至っていない。

〈第5章 立体図形製作に関する検証〉 [研究目的(3)]

第4章で論じた2次元平面図形の合同弁別課題の3次元への発展として、5方向（前、後、左、右、上）からの平面図によって示された立体を、ブロックを用いて再現する課題（再現課題）と、船の形をイメージし、ブロックを用いて自由に作成する課題（創作課題）を用い、行動観察と NIRS の測定データより、「問題解決過程」の解明を目指した。

再現課題では、被験者が選択する画面（5方向）によって、ヘモグロビン濃度にどのような差異が生じるのかを、大学生1名を被験者として検討した。再現課題において、「方略獲得」前には deoxyHb の増加と上下変動幅が大きく、「方略獲得」を境として deoxyHb の増加の抑制と上下変動幅の沈静化が確認された。また、選択画面による deoxyHb の変化の違いも観察され、「前」、「後」、「左」の画面を選択している際に、deoxyHb の変動が大きいという結果を得た。これは、「前」、「後」、「左」の画面選択が、新たな課題への直面、画像と製作物との関係が左右反転、前面との関係を捉えにくいといった課題内容における負荷の高さに起因していると考えられ、そのことが deoxyHb の変動に反映したのではないかと予想される。一方、oxyHb は、試行開始時点では deoxyHb の上昇、oxyHb の下降であったが、その後 deoxyHb の下降、oxyHb の上昇が最後まで継続されることとなった。

創作課題において、deoxyHb の大幅な増減は確認されなかったが、「方略獲得」前後で、deoxyHb の波形が異なることが明らかとなった。つまり、「方略獲得」前は deoxyHb の増減の振幅が大きく、上下変動も激しいが、完成の目処がついた「方略獲得」後には増減幅の減少と上下変動の沈静化が見られた。oxyHb については、試行の最後の段階まで増加が継続された。また、被験者は再現課題の難易の方が高いと感じていたが、この難易の高低が deoxyHb の増減幅の大小と対応していることがわかった。

これらの結果より、再現課題と創作課題のヘモグロビン濃度は、「方略獲得」後の deoxyHb の増減幅の減少と、小刻みな上下運動の沈静化の二つの特徴を持っており、これは合同図形弁別課題において提示した問題解決過程のヘモグロビン濃度の特徴を支持するものであった。さらに、再現課題と創作課題の難易の高低が、deoxyHb の増減幅の大小と対応するといった特徴も同様に確認された。

現行の幾何教育において、とりわけ検討課題となっている領域として「空間」「運動(変換)」が挙げられ、「空間」「運動(変換)」に関する幾何教育カリキュラムの構築に向けて、学習者の幾何課題遂行時の「問題解決過程」の解明が重要であるとの結論に至った。その解明に向けては、近年開発されたNIRSの使用が有効であると考えられ、教育研究に向けた実験環境の整備と適切なデータ、分析方法が提案された。

「空間」、「運動」に関連する2種類の課題が開発され、大学生を被験者として実験が実施された。その結果、幾何課題遂行時の「問題解決過程」におけるヘモグロビン濃度の特徴として、次の知見が示された。

- (1)「問題解決過程」の「方略獲得」前後のヘモグロビン濃度測定より、「方略獲得」前には deoxyHb の増減幅の拡大と小刻みな上下変動の増加が確認され、「方略獲得」を境にして、その後は増減幅の収束と上下変動の沈静化が見られる。
- (2)oxyHb については、deoxyHb の増減に影響を受けて変動すると考えられ、課題の難易が高い場合には deoxyHb の増加に連動する形で oxyHb の減少が確認される。その後、「方略獲得」に伴う deoxyHb の沈静化により、oxyHb の増加が見られる。また、レスト時に急増する場合もあり、試行時の deoxyHb の大幅な消費を補う等の事由が考えられる。
- (3)「課題遂行継続(方略未獲得)」が試行の最後まで続く場合、deoxyHb の増減幅と上下変動が最後まで継続される。
- (4)課題の難易の高低が deoxyHb の増減幅と小刻みな上下変動に関連していると考えられ、難易が高い場合において deoxyHb の増減幅が拡大され、上下変動が数多く出現する。

論文審査の結果の要旨

本論文は、幾何課題の問題解決過程を、脳機能、特に近赤外分光測定装置(NIRS:脳表層血液中の酸素化ヘモグロビン oxyHb/脱酸素化ヘモグロビン deoxyHb 量の変化を検出可能)による前頭前野の血流動態に基づき検討しており、その成果を6章構成にまとめている。

第1章では、算数・数学教育の現状や脳科学と教育の関係など研究の背景や目的について整理している。第2章では、幾何教育に関わる研究動向と問題点を検討すると共に、小学校1~6年生約600名を対象とした子どもの図形認識の発達調査結果を述べている。第3章では、非侵襲脳活動計測技術について概観し、近赤外分光法による光計測の原理や課題について述べている。特に、計測結果の吸光度からヘモグロビン濃度変化を導出する過程で生じる問題点や、絶対値測定が出来ないことに伴うベースライン補正法について詳細に検討している。第4章では、合同図形弁別課題について、測定結果と心理学的行動観察との比較を行い、方略獲得に伴う deoxyHb の小刻みな変動の縮小や、課題の難易と deoxyHb の増減に対応関係が見られること等を示している。また、oxyHb のレスト時の急増例も見つかり、個人差との関係に触れている。第5章では、立体図形制作時の再現課題と創作課題の相違について検討し、創作課題時に deoxyHb の変動が縮小する等の結果を見出している。第6章では、成果をまとめると共に、今後の展望を述べている。

以上、概略を述べたように、本論文は幾何課題における問題解決過程を脳機能測定結果から分析し斬新な知見を提示しており、その方法や成果は、今後の教育工学関連分野の研究に多大の影響を与えると考える。

以上の理由から、本論文は、博士(人間科学)学位論文として十分に価値あるものと判定した。