The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	学習時のヒント提示がもたらす脳内ヘモグロビン濃度変化の特徴
Author(s)	岡本, 尚子
Citation	大阪大学教育学年報. 2008, 13, p. 43-54
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/10125
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

学習時のヒント提示がもたらす脳内ヘモグロビン濃度変化の特徴

岡　本　尚　子

【要旨】

近年，脳活動計測を通して学習者の学習過程を解明する研究がすすめられている。脳の生理学的データの取得は，これまでの行動観察等を中心とした学習過程の分析に加えて，新たな指標や視点を見出す可能性を有していると考えられることから，この間，被験者自身が1人で課題を解決する場面での脳内の生理学的特徴が検討されてきた。今後は，より教室空間に近い環境下，すなわち他者関与が存在する状況での実験を行うことで，脳科学の知見を算数・数学教育へ具体的な形で活用することが可能になると考えられる。そこで，本稿では，課題遂行時にヒントが定期的に提示される実験場面を設定することで，ヒント提示（他者の関与）が及ぼすヘモグロビン濃度変化の特徴を考察した。その結果，ヒントをうまく利用し，ヒントが有効にはたらいた場合は，ヒント提示により酸素消費を示すdeoxyHbの増加が多く見られ，思考が促されたことが考えられた。一方，ヒントがうまく利用されなかったり，不要であった場合は，ヒント提示後のdeoxyHbは増加しない傾向にあり，思考が停滞したのではないかと予想された。

1．はじめに

1．1．生体情報を用いた教育研究

fMRI（functional Magnetic Resonance Imaging）やMEG（Magneto Encephalo Graphy）等の脳活動を非侵襲的に計測可能な装置の開発により，健常者に対する脳活動計測実験が可能となった。中でも，ヘモグロビン濃度変化を計測可能な近赤外分光法（Near Infra-Red Spectroscopy；NIRS）による光計測装置（以下，光計測装置と記す）は，装着が容易，学習姿勢での計測が可能という特長から，教育研究での活用が期待されている（江田 2001）。

こうした装置を用いた脳科学の実験が，教育研究に有効かつ具体的な形で還元されるようにするためには，図1に示すようなサイクルを意識して課題設定，実験，分析，検討を行うことが重要である。具体的には，図1の左上にある「教育問題」の部分をスタート地点とし，学習者が理解困難とされる教育内容を取り上げて実験の課題開発を行う。その後，適正な実験課題となるよう，難度，所要時間等を調整し，「実験」を実施する。実験後はデータの「分析」を行うが，考察については，脳科学の視点にとどまらず，教育学の視点を取り入れるようにする。そうした考察をもとに，どのような形で教育へ寄与できるかを「検討」し，応用・還元へとつなげる（黒田・岡本 2006）。

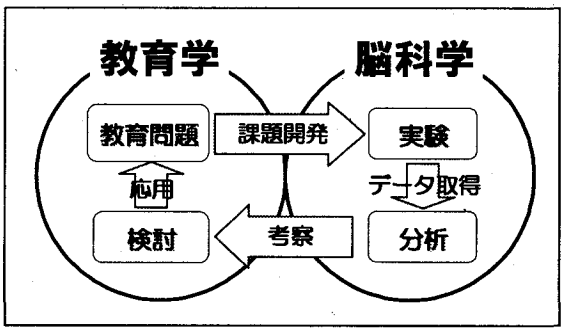

図1　研究のモデル図

すでに，光計測装置を用いた脳活動計測に関わる臨床実験が始まっており，教育研究への知見が報告されている（大石 2006）。算数・数学の内容を実験課題とした報告として，黒田（2005）は，成人を対象とした実験から，繰り下がりの有無によりヘモグロビン濃度変化が異なることを明らかにしている。また，岡本ら（2006a）は，計算遂行時に方略の獲得がなされることによって，ヘモグロビン濃度増加部位が変化す

ることを示している。こうした研究成果より，脳内の生体情報（ヘモグロビン濃度変化）を，学習過程解明のための指標とすることが可能になりつつある。

1．2．学習場面における助言のもつ意味

通常の教室の学習では，教師が児童・生徒全体へ向けて，あるいは，机間指導において個人に向けて，適宜解決への道筋を示したり，理解困難な事項に関して助言を行ったりする（Bourdieu 1996，西之園 1988）。教師は，解決に到達できない学習者に自立的な支援をしつつも，効果的な助言をするよう，試行錯誤をしながら，実践を行っている（浅田 2002，金崎 2004）。こうした教師の働きかけが，学習者個人の自学自習だけでは中途で断念してしまうような学習を継続させ，問題解決への到達を可能とする場合は少なくない（稲垣・佐藤 1996）。しかしその一方で，教師の助言が，ある学習者には不要であったり，かえって混乱を誘発する場合も存在する。また，助言があることにより，思考が停滞する場合もある。つまり，教師による助言は，各学習者の学習状況により，正の効果をもたらしたり，負の影響を与えたり，意味をなさなかったりするわけである。

とりわけ，算数・数学における図形の学習においては，段階的に解決へ至るというよりは，図形のわずかな見方，捉え方の変化で一気に解決するような問題があり，こうした場合，助言が解決への方向性を大きく左右する。しかし，問題解決への手立てが見出せない学習者の多くは，緊張や焦りといった精神的な面での作用も大きく，適切に助言・指導を行うことは容易ではない。そのため，個々の学習者の学習特性を踏まえた適切な指導のあり方を開発していくことが望まれているといえよう。

1．3．教室での学習場面を意図した実験課題の設定

教育研究への還元を企図してこれまでに実施してきた脳活動計測の実験は，その多くが被験者1人で課題を遂行する形態を用いてきた。また，課題遂行時においては，被験者からの質問や他者からの助言といった周囲との関与が行われないよう実験条件を制限してきた。学習という行為が多様な条件を含有する活動であるため，検出されたデータの変化とその要因との照合を明確化するためには，実験条件を強く制限し，関与要因を少なくするように設定しなければならなかったためである。しかし，この間，実験結果の蓄積と，データ分析がすすんだことから，徐々に変数（要因）を拡大し，より教室環境に近い条件下での実験実施が可能となりつつある。上述の教師の助言場面についても，従来の行動観察による教育研究の知見に加えて，脳活動の生理学的データをもとにした新たな特徴を検出することが期待される。また，そうした研究成果をもとに，教師からのより望ましい子どもへの働きかけを検討することができれば，本来の意味で脳科学を教育研究に活かすことにつながるのではないかと考える。

1．4．実験段階

教室環境に近い状況下に近づけた研究を実施するにあたっては，変数（要因）を段階に応じて増やしていき，実験時の脳活動変化が，具体的にどの要因と関連するものであるのかを明確に対応させながら実施していかなくてはならない。

そこで，実験段階として以下の3段階を設定し，より変数の少ない単純な教室環境条件から変数の多い複雑な環境条件へと実験を行う計画とする（図2）。なお，本研究では，最も変数の少ない第1段階に該当する実験を実施する。

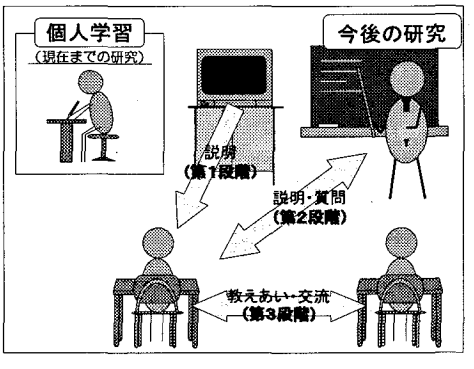

図2　教室での学習環境を想定した研究段階

第1段階：ビデオ映像による教師の助言場面や，ヒント画像の提示場面における学習者（被験者）の脳活動計測を実施する。

第2段階：実際に教師が学習者の前に立ち，説明を行う場面における学習者（被験者）と教師（被験者）

の脳活動計測を実施する。

第３段階：学習者（被験者）同士が，教えあい，意見交流をする場面を設定し，両学習者の脳活動計測を実施する。

２．研究目的

本研究の目的は，大学生を対象として，タングラム[1)]を用いた課題を図形課題と位置づけ，課題遂行時に，正解へ導く情報（以下，ヒントと記す）の提示がもたらす脳活動の変化を計測し，その特徴について考察することである。具体的には次の２点を明らかにする。

１）ヒント提示によってヘモグロビン濃度がどのように変化するのか。

２）有効なヒント提示の場合と不要なヒント提示の場合では，ヘモグロビン濃度変化はどのように異なるのか。

タングラムを用いた実験課題は，図形を組み合わせて例示の形を作製する過程において，合同の概念と運動（平行，対称，回転）を多用することから，図形領域における合同，運動の学習に関連するものといえる。合同，運動の学習にあって，タングラムを実験課題に取り上げる利点は，次の３点である。

・使用する図形の数が決まっているため，各ヒントの情報量を一定にできる。

・使用する図形の種類が決まっており，明確であるため，ヒント内容の不理解が起こりにくい。

・課題内容が難しいために最後まで課題遂行ができない（解答不可能になる）ということがない。

３．方法

３．１．実験環境

本実験は，被験者ごとに単独で実施する。計測者は，課題の遂行状況の観察者(ヒント提示を含む)と，機器操作者の２名とする。実験に際しての阻害要因（騒音，他の視覚情報，空調不良等）はなく，被験者は課題に専念できる環境である。

３．２．実験概要

(1)実験期間：2007年８月５日～９月28日の内10日間

(2)実験場所：佛教大学内実験室

(3)被験者：大学生10名(男性４名，女性６名)。年齢は，20歳から22歳(平均21.4歳，標準偏差0.8)。事前に，実験遂行における安全性と実験結果の扱いに関して説明を行い，実験の遂行とその結果の発表について被験者から文書で同意を得た。

(4)計測方法：被験者は椅子に座り，光計測装置を装着して課題に取り組む。被験者後方よりビデオカメラにて，課題遂行時の問題用紙と被験者の手元を録画する（図３）。

(5)計測装置：光計測装置（NIRO-200：浜松ホトニクス社製）

(6)計測部位：前額部に光計測装置のプローブを４箇所（２セット）装着し，２箇所を計測する（図４）。前額部を計測対象部位としたのは，高次な活動を司るとされる前頭前野に該当するためである。それぞれ照射部と受光部の間隔は３cmである。

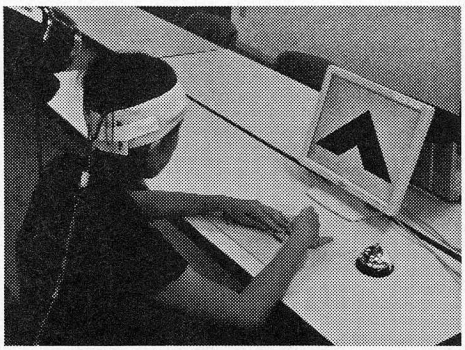

図３　実験遂行場面

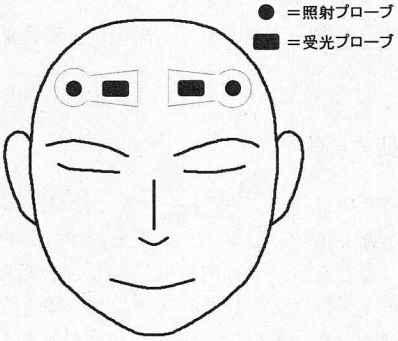

図４　プローブ装着図

３．３．実験課題

図５に示すようなタングラムと呼ばれる７枚の板を用いて，ディスプレイに提示される図形と同一の図形を作製することを実験課題とした。７枚の板は，直角二等辺三角形５枚(大２枚，中１枚，小２枚)，平行四辺形１枚，正方形1枚である。

問題数は３問（問題①～問題③）とした。各問題でディスプレイに提示した図形は図６の通りである。各課題において，助言として，ヒントを45秒ごとに計５回（ヒント①～ヒント⑤）提示し，最後のヒントから45秒後に正解を提示した。ヒントは１回に１つの図形が明らかになるように設定した。図７は，問題③において提示したヒントと正解である。ヒントの情報提示間隔を45秒間としたのは，大学生を対象とした予備実験において，一定の思考の時間を保証しながらも，１つ目のヒント提示前に解答にたどり着いてしまうことが起こりにくい条件に適正な時間であったためである。加えて，被験者の課題遂行による精神的・肉体的負担が過度にならないよう，１試行５分以内になることをも鑑みて45秒間隔に設定を行った。問題間にはレスト(休憩)を１分間設け，ディスプレイには中央に白色の十字を付した黒地シートをかぶせた。レストの間，被験者には，黒地シート中央の十字を見ておくように指示した。

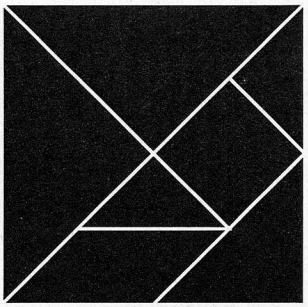

図５　図形作製に用いた板(７枚)

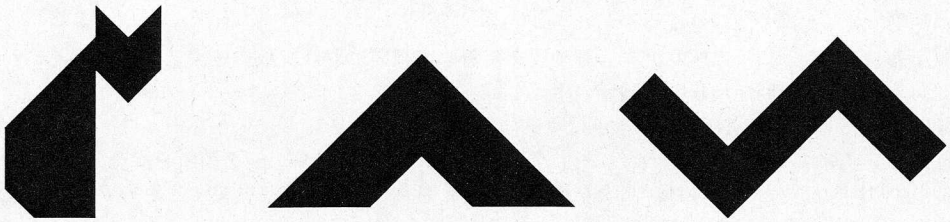

図６　ディスプレイに提示した図形（左から，問題①，②，③）

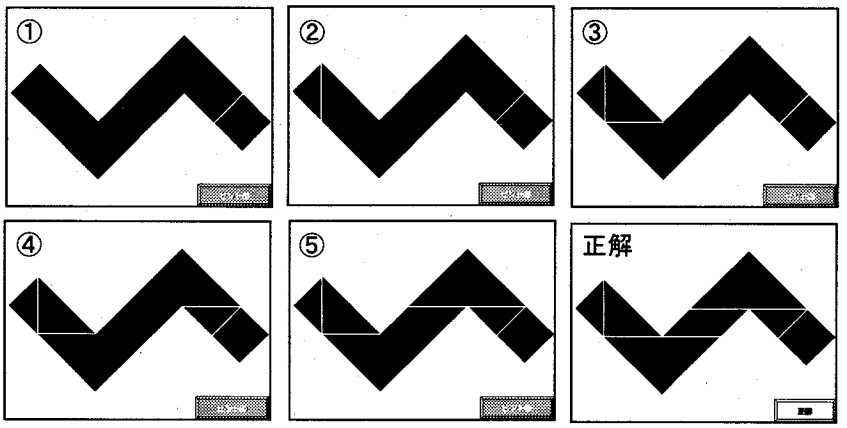

図７　問題③において提示したヒント①～⑤と正解

３．４．実験手順

被験者は，次の手順をとることとする。

1．プローブを装着する。
2．課題遂行方法の説明を受ける。
3．プレテストを行う。
4．黒地シート上の「＋」を注視，安静状態の後，計測者の「始め」の合図とともに問題①の解答を開始する。解答終了後，ベルを鳴らす。「＋」を注視した状態で，レストとして１分間安静状態をとる。
5．問題②，問題③を上記４と同じ手順で遂行する。
6．プローブを外す。
7．事後の感想を記述する。
8．課題遂行時の録画映像を視聴しながら，感想を口述する。

４．実験結果

４．１．行動観察結果

４．１．１．正誤

10名中６名は，全問正答であった。その他の４名は，各１箇所（１名は問題①，３名は問題③）が誤答であった。

４．１．２．所要時間と難度

表１は，各問題についての10名の平均所要時間，標準偏差，ヒント回数を示したものである。ヒント回数は，45秒ごとに提示するヒントを，各平均所要時間では何回提示することになるかを示している。問題①の場合，135秒(45秒×３回)≦156.4秒≦180秒(45秒×４回)となり，ヒント回数が３回となる。

表２は，事後の感想において各問題を５点満点で評価した難度(１：簡単，２：やや簡単，３：普通，４：やや難しい，５：難しい）の10名の平均点，標準偏差を示したものである。

図８は，10名の各被験者(被験者Ａ～Ｊ)についての所要時間を示したグラフである。グラフの各棒は，下から問題①，②，③の順に問題ごとの所要時間を積み上げ，全体として総所要時間を示している。また，所要時間の特性から，３問ともヒントを見た被験者をⅠ群(被験者Ａ～Ｈ)，ヒントを見ることなく完成することのできた問題がある被験者をⅡ群（被験者Ⅰ，Ｊ）として，２つの群に分けた。つまり，Ⅰ群の被験者Ａ～Ｈは，いずれの問題も45秒以上となり１回以上ヒントを見ているが，Ⅱ群である被験者Ⅰ，Ｊは，それぞれ問題②が47秒，問題③が48秒であり，45秒時点で提示されるヒント①を見ずに完成させていた。

（被験者Ⅰ，Ｊは両者とも，45秒を２，３秒経過しているため，ヒント提示は行われていたが，ヒントは見ていなかったと事後に述べている。）なお，各群内の被験者の順は，総所要時間が短いものからとしている。

表１　平均所要時間（秒）と標準偏差

	問題①	問題②	問題③
所要時間(秒)	156.4	198.4	194.3
標準偏差	59.3	77.6	63.0
ヒント回数	3	4	4

表２　平均難度（５点満点）と標準偏差

	問題①	問題②	問題③
難度（5点満点）	3.4	3.7	3.5
標準偏差	0.8	1.3	1.1

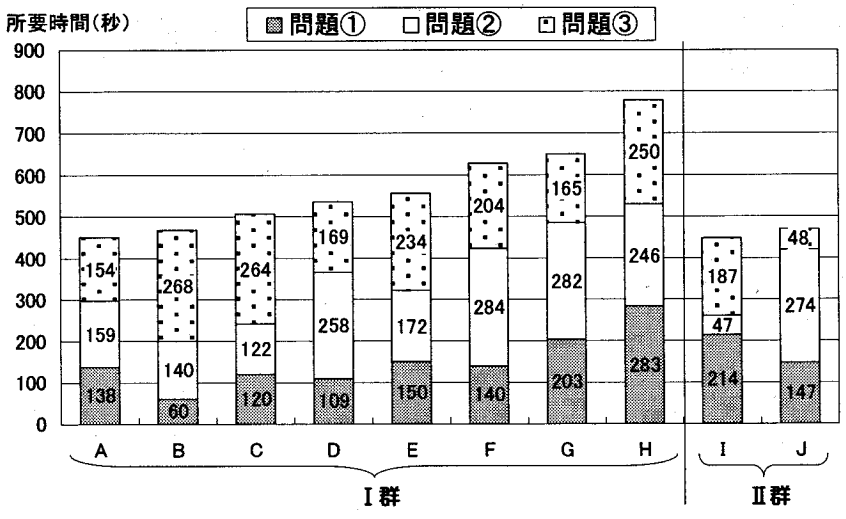

図８　各被験者（被験者Ａ～Ｊ）の所要時間

表１より，10名の平均所要時間が短い問題から並べると，問題①，③，②の順となるが，問題②，③は4.1秒の差であり，ほぼ同一であったといえる。問題①はヒント回数が３回，問題③，②はヒント回数が４回の所要時間となる。標準偏差については，問題①，③，②の順に大きくなり，平均所要時間が長い場合に標準偏差も大きくなる結果となった。

表２より，10名の平均難度が低い問題から並べると，問題①，③，②の順となり，所要時間の長さの順と同様であった。被験者10名それぞれの結果においても，最も時間を要した問題には，被験者内での最も高い難度（数値）としていた。

図８より，Ⅰ群の被験者は，被験者Ｇ，Ｈを除いては表１の平均所要時間と同様に，問題①の所要時間が最も短くなっていた。また，Ⅱ群の被験者は２名とも総所要時間が短い結果となった。

４．１．３．事後の感想

課題遂行終了後，被験者に課題遂行時の感想の記述，口述を求めた。記述にあたっては，自由記述とともに，ヒントがあることで取り組む姿勢はどのように違ったか，どのようにして問題の解決に至ったかを質問に設けた。口述にあたっては，記述した感想の内容をもとに，課題遂行時の録画映像を視聴しながら，各時点での考えを述べるよう求めた。

Ⅰ群，Ⅱ群の特徴的な感想として，次の点が挙げられる。なお，各項目の最後には，その群内で同様の意見が何名に見られたかを括弧内に分数（８名中４名の場合，4/8）で記した。

【Ⅰ群】

・最初図形を見たときは，どこから手をつけていいかわかりませんでしたが，ヒントが順に出てきたことで解き易くなりました（8/8）。

・ヒントがあることにより解答にたどりつけるという安心みたいなものがある（4/8）。
・ヒントが出てからは，ヒントを頼りに解きました（4/8）。

【Ⅱ群】

・とりかかりからわからなかったので，ヒントが出るたびに作り直して焦りました（1/2）。
・ヒントによって思考を止められる。自分が今考えていないところのヒントが出てくるため（1/2）。
・時間がかかるにつれて焦りが出てくる（2/2）。

これらの感想より，Ⅰ群はヒントをうまく利用しようとしたり，ヒントに頼りながら解決しようとする姿勢が見受けられ，ヒント後に思考が促進されているといえる。一方，Ⅱ群は自らの思考とヒントがうまくかみ合わず，ヒント提示によってむしろ思考が停滞していることがうかがえる。

4．2．ヘモグロビン濃度変化結果

4．2．1．ヘモグロビン濃度変化の解釈

光計測装置によって計測可能なヘモグロビンは，酸素化ヘモグロビン（以下，oxyHbと記す），脱酸素化ヘモグロビン（以下，deoxyHbと記す）である。oxyHbは，酸素を有したヘモグロビンであり，deoxyHbは，oxyHbが酸素を放出（消費）したヘモグロビンである。通常，何らかの活動を行うと，酸素供給のために活動前を上回るoxyHbが流入する。また，脳内のある部位で神経活動（酸素の消費）が生じることにより，その部位でoxyHbがdeoxyHbに変化し，deoxyHbの増加が見られる（加藤 2005）。したがって，学習における思考を考える上では，deoxyHbの増加が重要な指標となるといえる。

4．2．2．課題遂行による変化

図9，10は，被験者B（Ⅰ群）と被験者Ⅰ（Ⅱ群）のヘモグロビン濃度変化（右側）のグラフである。縦軸がヘモグロビン濃度変化（μM・cm），横軸が所要時間（秒）を示し，黒色線はoxyHbの変化，灰色線はdeoxyHbの変化である。各問題にある縦線はヒント提示を行った時点を示した線であり，線上の○，×はヒントの有効性（○＝有効であった，×＝不要であった）を示している。ヒントの有効性ついては，事後の感想口述時に，課題遂行の録画映像を視聴しながら被験者から回答を得た。図9，10は縦軸，横軸を統一したため，所要時間の短かった被験者Ⅰのグラフ（図10）の右端部分に空白が生じている。なお，各被験者について，図9，10のようなグラフを右側，左側，1枚ずつ（10名で20枚）作製する。

被験者10名のヘモグロビン濃度変化グラフの結果より，課題遂行による変化の特徴として次の点を挙げることができる。

・oxyHbは，10名中9名において，問題①，②，③とも概ね課題遂行時に増加する。9名のうち，7名は両側で増加し，2名は右側のみで増加する傾向にある。（増加が見られなかった1名は，被験者Eである。）
・deoxyHbは，10名いずれの被験者も課題遂行による増加や減少の大幅な変化は見られないが，課題遂行内での上下変動を繰り返す傾向にある。

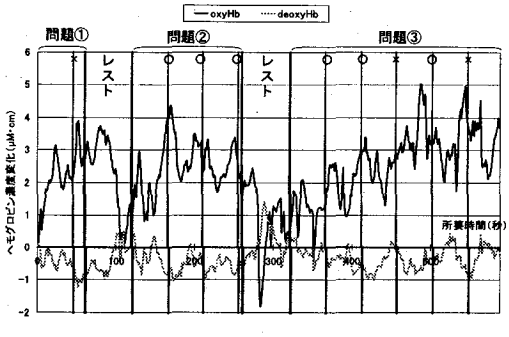

図9　被験者Bのヘモグロビン濃度変化

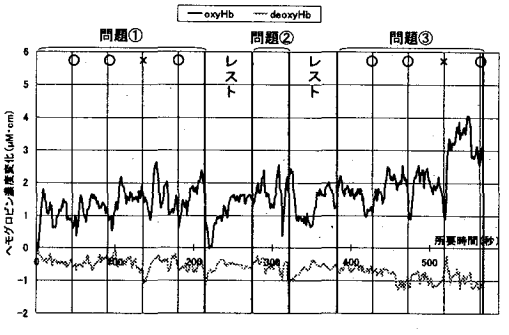

図10　被験者Ⅰのヘモグロビン濃度変化

4．2．3．ヒント提示による変化

表3は，各被験者（被験者A～J）について，○（有効であった）のヒント，×（不要であった）のヒントでoxyHb，deoxyHbが増加したか・減少したかを判断し，そのうちの増加した回数の割合を示したものである。右側，左側とは，それぞれ右側，左側の計測結果を示している。つまり，被験者Aの場合，○のヒント数は7個であり，右側において○のヒントでoxyHbが増加したのは5回であったため，5/7≒71%と記しており，deoxyHbも増加したのが5回であったため71%と記している。一方，左側においては○のヒントでoxyHbが増加したのは6回であったため6/7≒86%と記しており，deoxyHbが増加したのは2回であったため2/7≒29%と記している。なお，被験者Aについては，×のヒント数が0回であったため，左右両側において×の列は斜線となっている。

表3　ヒント提示後ヘモグロビン濃度が増加した割合

	被験者	右側				左側				ヒント数	
		○		×		○		×		○	×
		oxyHb	deoxyHb	oxyHb	deoxyHb	oxyHb	deoxyHb	oxyHb	deoxyHb		
I群	A	71%	71%			86%	29%			7	0
	B	17%	83%	67%	33%	50%	83%	67%	33%	6	3
	C	86%	71%	50%	50%	86%	57%	100%	50%	7	2
	D	44%	100%	100%	0%	78%	100%	100%	0%	9	1
	E	29%	71%	33%	67%	57%	57%	67%	33%	7	3
	F	20%	70%	67%	67%	80%	50%	67%	67%	10	3
	G	78%	56%	75%	50%	67%	78%	50%	75%	9	4
	H	56%	78%	71%	71%	44%	67%	71%	43%	9	7
II群	I	83%	33%	100%	50%	83%	50%	100%	50%	6	2
	J	100%	0%	75%	50%	100%	50%	75%	25%	4	4
	全体	55%	68%	69%	55%	72%	64%	72%	45%	7.4	2.9

各群の特徴として次の点が挙げられる。

【I群】

・○のヒント時，oxyHbは，8名中6名が左右両側で，2名がいずれか片側で増加回数が多い。deoxyHbは，8名とも左右両側で増加回数が多い。

・×のヒント時，oxyHbは，（×のヒントがなかった被験者Aを除く）7名中4名が左右両側で，3名がいずれか片方で増加回数が多い。deoxyHbは，7名中1名が左右両側で，3名が片側で増加回数が多いが，7名とも増加回数は○のヒント時より少ない。

【II群】

・○のヒント時，oxyHbは，2名とも左右両側で増加回数が多い。deoxyHbは，2名とも右側では増加回数が少なく，左側では50%の割合で増加と減少に分かれる。

・×のヒント時，oxyHbは，2名とも左右両側で増加回数が多い。deoxyHbは，被験者Jの左側を除き，2名とも左右両側とも50%の割合で増加減少に分かれる。

5．考察

5．1．行動観察

10名中4名に誤答が見られたが，4名とも誤答箇所は各1箇所であり，いずれもケアレスミスの範囲であったことから，課題遂行は適切になされたと判断した。

また，平均所要時間と平均難度が問題①，③，②の順に増加する関係にあり，各被験者にも所要時間と難度に対応関係が見られることから，被験者の感じる難度の高さは所要時間の長さに反映されたといえる。

5．2．ヘモグロビン濃度変化の特徴

課題遂行時の全体的な変化について，全被験者(10名)の結果を見ると，酸素を有したoxyHbの増加がほとんどの被験者（9名/10名）において見られた。これは，課題遂行に伴い新鮮な血液が脳内に流入し，その結果，酸素が供給されたためであると考えられる。一方，酸素を放出したdeoxyHbは，全ての被験者において上下変動を繰り返す結果となった。一般に，難度の極めて高い実験課題の場合，脳内の酸素消費によるdeoxyHbの大幅な増加や，継続的な増加を示すことがあるが，今回は，いずれの被験者もそうした傾向は見られなかったことから，課題難度が極めて高いという状況はなく適度な難度であったことが予想される（岡本 他 2006b)。

ヒント提示後の変化については，Ⅰ群とⅡ群で異なる変化が見られた。

Ⅰ群(8名)では，○のヒント時，被験者によって部位は異なるものの，いずれの被験者もoxyHbは増加する傾向が見られた(両側増加：6名，片側増加2名)。deoxyHbについても，全被験者で概ね左右両側とも増加する傾向が見られた。事後の感想から，Ⅰ群の被験者は全体的にヒントを頼りにし，うまく利用することで課題解決をしており，ヒントが出るごとに解決へ向かっていたといえる。これら，ヘモグロビン濃度変化の結果と事後の感想を考え合わせると，oxyHbの増加は課題遂行による酸素供給の結果であり，deoxyHbの増加はヒントに起因した思考による酸素消費の結果であると考えられる。つまり，課題遂行の酸素供給のために，課題遂行前の量を上回るoxyHbが流入するとともに，ヒント提示が解決方法を考えるきっかけとなって思考を生じさせ，その思考の結果，酸素消費が生じてdeoxyHbが増加することが推測できる。全体的傾向に見られたdeoxyHbの上下変動は，規則性を持たないものではなく，各ヒント後の思考促進の反映による増加であるといえる。なお，全体的傾向において，被験者EはoxyHbの増加が見られなかったが，ヒントごとに見た場合には増加傾向にあった。

また，Ⅰ群における×のヒント時については，被験者によって部位は異なるものの，いずれの被験者もoxyHbが増加する傾向にあった(両側増加：4名，片側増加3名)。deoxyHbについては，約半数の被験者で増加傾向が見られた（両側増加：1名，片側増加3名）が，それらの被験者を含め，いずれの被験者も増加回数の割合は○のヒント時よりも少なくなった。×のヒント時，oxyHbが増加するのは，○のヒント時と同様に課題遂行による酸素供給の結果であると考えられる。一方，×のヒント時のdeoxyHbは，○のヒント時よりも増加傾向にある人数が少なく，また，いずれの被験者も増加回数の割合が○のヒント時よりも低いことは，ヒントが有効に働かず，酸素消費が少なかった結果であると予想できる。つまり，ヒントを頼りにしていたⅠ群の被験者にとって，×のヒントは解決方法を考えるきっかけとならず，思考が促されなかった結果，酸素消費が生じず，deoxyHbの増加回数の減少につながったと考えられる。

Ⅱ群(2名)では，○のヒント時，oxyHbは，Ⅰ群と同様に増加する傾向にあった(2名とも両側増加)。deoxyHbは，両側で増加傾向にあったⅠ群と異なり，右側では増加しない傾向に，左側では50％の割合で増加と減少に分かれ，増加傾向は見られなかった。事後の感想から，Ⅱ群の被験者は，Ⅰ群に見られたようなヒントを利用して解決しようとする姿勢はうかがえず，むしろ自らの思考とヒントがうまくかみ合わないことで，○のヒントであっても，焦ったり，思考が停滞している。これら，ヘモグロビン濃度変化の結果と事後の感想を考え合わせると，oxyHbの増加は，課題遂行による酸素供給の結果であることが考えられる。一方，deoxyHbで増加が少ないのは，ヒントによって思考が進まず，酸素消費がなされなかった結果であると考えることができる。つまり，Ⅱ群の場合，課題遂行の酸素供給のために，課題遂行前の量を上回るoxyHbは流入するが，Ⅰ群とは異なり，ヒントをもとに解決方法を思考しようとしなかったため，酸素消費が生じず，deoxyHbが増加しなかったと推測できる。

また，×のヒント時については，oxyHbは増加する傾向にあり(2名とも両側増加)，deoxyHbは左右両側とも50％の割合で増加と減少に分かれ，○のヒント時と類似した傾向となった。これは，○のヒント時と同様，酸素供給のためにoxyHbが増加するが，思考が促されず酸素消費が生じなかったことによりdeoxyHbが増加しなかったと考えられる。Ⅱ群の被験者にとっては，たとえ○のヒントであっても，自らの思

考過程に沿うものではなかったため，ヒントが思考を促すものとはならず，その結果，○，×いずれのヒントとも同様の働きになったと予想できる。

6．結語

大学生を対象に，図形課題遂行時に助言としてヒント提示を行う脳活動計測実験を実施した。所要時間の特徴をもとに被験者を２つの群に分けた結果，ヒントを有効に活用した群と有効に活用することができなかった群に分かれた。まず，ヒントを有効に利用して課題解決を図った被験者群において，oxyHbはヒントの有効性の有無にかかわらず増加傾向が見られたが，deoxyHbはヒントが有効であったときに増加する傾向にあった。課題を遂行することによって酸素供給はなされるが，酸素消費はヒントが有効であったときに行われることから，有効なヒントは解決への新たな手立てを考えさせ，思考を促すことが示された。一方，自らの思考過程にヒントがかみ合わなかった被験者群においては，ヒントの有効性の有無にかかわらずoxyHbは増加傾向が見られ，deoxyHbは増加しない傾向，あるいは50％の割合で増加と減少に分かれる傾向にあった。課題を遂行することによって酸素供給はなされるが，酸素消費の傾向が見られないことから，自らの思考過程にヒント提示がうまく適合しない場合には思考が促されないことが示された。

以上のことより，学習者への一方的・定期的なヒント提示は，それを有効に活用することのできる学習者にとっては思考を促進させることにつながるが，学習者によっては自らの思考過程に適合させることができず，思考の促進にはつながらなかったことが，脳内の生理学的データの変化（deoxyHbの増減）の特徴からも検出された。このことを踏まえると，たとえば，言語能力が十分とはいえない小学生等において，思考過程や思考特性に沿った形でのヒント提示を考えるにあたっては，こうした脳生理学的データの活用が有効に機能する可能性がある。

今後は，解決方法のタイプ別に，脳の左右差を含めたヒントの有効性の違いによる脳内ヘモグロビン濃度変化の特徴を考察することで，ヒントがもたらす影響を検討することが課題である。また，大学生を被験者とした実験を基礎実験に位置づけ，小・中学生を対象とした実験も実施していく予定である。

謝辞：本論文を作成するにあたっては，光産業創成大学院大学准教授江田英雄先生，佛教大学准教授黒田恭史先生，また指導教官である前迫孝憲先生にご助言をいただいた。記して感謝の意を表する。

付記：本稿は，岡本尚子，黒田恭史（2007）「図形課題遂行時における助言がもたらす脳活動の特徴」『第11回数学教育学会大学院生部会発表論文集』５－10頁．をもとに，修正・加筆を行ったものである。また，本研究は，平成19～20年度文部科学省科学研究費補助金（基盤研究(B)）[課題番号:19300287]（代表：黒田恭史）の支援を受けている。

【注】

1）別名，知恵の板，またはタンゲームとも言う。正方形の板を切って，三角形５個，正方形１個，平行四辺形１個の計７個に分けた小片を様々な形に並べる中国のパズルである。本実験では，株式会社ハナヤマ製のものを用いた。大きさは，図５に示した正方形の一辺が10cm，厚みが１cmのもので，木製である。

【参考文献】

浅田匡　2002　「教授学習過程における「時間」の意味を考える」　野島栄一郎 編『教育実践を記述する―教えること・学ぶことの技法』金子書房，135－154頁．

Bourdieu, P. 1965，安田尚 訳『教師と学生のコミュニケーション』，藤原書店 1999.

江田英雄　2001　「光計測で脳活動をみる」『数理科学』461，76－83頁．

稲垣忠彦，佐藤学　1996　「授業研究入門」　岩波書店

金崎鉄也　2004　「学習臨床的アプローチによる教師の実践力に関する研究―学びを促す教師の発話分析と学習者の変容の分析から―」『日本教師教育学会年報』13，105－119頁．

加藤俊徳　2005　「COE（脳酸素交換機能マッピング）―光機能画像法原理の利用―」『小児科』46(8)，1277－1292頁．

黒田恭史　2005　「計算課題遂行時の脳内ヘモグロビン濃度変化の特徴―減法課題を用いて―」『佛教大学教育学部論集』16，37－50頁.

黒田恭史，岡本尚子　2006　「脳科学の数学教育への応用の可能性とその限界」『数学教育学会誌』48(1・2)，37－44頁.

西之園晴夫　1988　「授業の流れ―授業過程―」　東洋，中島彰夫 監修『授業技術講座1授業をつくる』ぎょうせい，112－158頁.

大石晴美　2006　「脳科学からの第二言語習得論」昭和堂

岡本尚子，菅井勝雄，前迫孝憲，黒田恭史　2006a 「乗法・除法における順思考と逆思考がもたらす脳内ヘモグロビン濃度変化の差異について」『日本教育工学会研究報告集』06－1，1－8頁.

岡本尚子，江田英雄，山内留美，前迫孝憲，小池敏英，黒田恭史　2006b 「立体構成課題における前頭前野の酸素消費の特徴について」『臨床脳波』48(6)，101－107頁.

The Characteristics of the Concentration Changes of Hemoglobin in the Brain by Providing Clues during Studying

OKAMOTO Naoko

In recent years, several studies have been conducted on the solution of the learning process by measuring brain activity. Physiological data of the brain exhibits the possibility of providing a new index and viewpoint to the previous analysis of learning process. Over the past few years, studies have examined the physiological aspect of brain activity when a learner solves mathematical problems by himself/herself. The experiment conducted under the condition similar to a classroom, with the presence of others, will enable to apply brain science to mathematics education. In this paper, I considered the characteristics of the concentration changes of hemoglobin in the brain by providing clues while solving the experiment tasks. The results revealed that the concentration of deoxyHb increased in case of effective clues, which appeared to present that thinking was promoted by the clues. On the other hand, concentration of deoxyHb did not increase in case of ineffective clues, which appeared to present that thinking was restrained.