

環境教育用ボードゲームのデザインに関する基礎研究 — 近赤外分光法 (NIRS) による検討 —

A Basic Study of Board Game Design for Environmental Education -A Near Infra-Red Spectroscopy Study-

塩田 真吾¹⁾ 荒崎 智史²⁾ 和田 翔太³⁾ 南 祐貴⁴⁾ 永田 勝也⁴⁾

静岡大学教育学部¹⁾ アラサキデザインスタジオ²⁾

NPO 早稲田環境教育推進機構³⁾ 早稲田大学大学院環境・エネルギー研究科⁴⁾

本研究では、環境教育において、カードゲームやボードゲームなどのテーブルゲームを「学習ゲーム」として取り入れるための基礎研究として、特にボードゲームにおけるデザイン（ビジュアルデザイン・学習デザイン）について、近赤外分光法（NIRS）による前頭前野の血流量の変化量の計測と質問紙、ヒアリングを用いて検討を行った。その結果、ビジュアルデザインの工夫の有無や学習デザインの工夫の有無により、前頭前野の血流量の変化量に差が見られた。特に、ビジュアルデザインの工夫が有る場合には、右脳の前頭前野が、学習デザインの工夫がある場合には、左脳の前頭前野の活発な活動が見られた。また、質問紙調査からは、①ゲームの勝敗に直接関係するものについては、ビジュアルデザインや学習デザインの工夫に関係なく記憶されること、②ファシリテーターが止まったマスの環境配慮行動の実施の有無について問いかけたかどうかによって、学習性、マス内容、CO₂排出量の記憶について有意な差が見られた。

キーワード：近赤外分光法 (NIRS)、環境教育、ボードゲーム、ビジュアルデザイン、学習デザイン

1. 問題の所在と研究の目的

現在、子どもたち向けの環境教育において、ゲーム形式で学習を行わせる「学習ゲーム」が取り入れられることが多い。例えば、環境問題に関する問題で勝敗を競うクイズゲームや自然に関する様々なアクティビティを体験するネイチャーゲームなどが挙げられる¹⁾。その中でも、特に最近では、いわゆる「テーブルゲーム」と呼ばれるカードゲームやボードゲームといったゲームが、学習ゲームとして取り入れられることが多くなってきた。例えば、小室・松本（2009）は、環境と経済の関係をボードゲームで学ぶ「エコポリー」を開発し、高等学校で実施している²⁾。また、マイアース・プロジェクトでは、生き物カードを使って地球を守る「青い地球プレイヤー」と地球温暖化カードを使って地球を壊す「赤い地球プレイヤー」に分かれて対戦するカードゲーム「マイアース」を開発し、450万枚を発行している³⁾。筆者らも、身近な環境配慮活動を学ぶ「エコライフゲーム」や製品のライフサイクルを学ぶ「プロダクトライフゲーム」などを開発し、各地の小学校や中学校で実践を行なっている⁴⁾。

こうしたカードゲームやボードゲームを開発し、環境教育に取り入れることは、学習の動機付けや環境問題への関心・意欲を高めるためには有効な手段である。しかし、こ

うしたカードゲームやボードゲームを学習ゲームとして環境教育に取り入れる際には課題もある。例えば、こうしたゲームは、子どもたちの関心を引きやすい一方、必ずしも知識の定着や行動の改善に繋がらないという点が挙げられる。塩田らの研究（2007）では、授業後の環境配慮行動・知識の変容を長期間追い続けた結果、ボードゲームの知識の定着率と行動変容は他の教材に比べて低いという結果が示された⁵⁾。理由としては、特に小学校において、①マスに書かれている内容が子どもに伝わりにくいこと、②子どもが学習内容よりも勝敗にこだわりすぎてしまうことなどが挙げられる。つまり、子どもにも分かりやすいようにボードのマスの見せ方を工夫することや、勝敗にこだわりすぎないような学習の工夫が必要になってくるのである。

しかし、こうした環境教育における学習ゲームの開発に関する知見は、蓄積がなされているわけではない。このことについて梅津（2008）は、「経験や直感に基づいて作成された学習ゲームの提示を行うだけでは、その事例の中に存在する共有すべき情報が暗黙的なものであるため、その再利用や更なる積上げが困難である」と述べ、科学的な開発方法の検討と知見の蓄積の必要性を述べている⁶⁾。

こうした科学的な開発方法の検討について、先行研究では、主に学習ゲームのゲームロジックをどう組み立てるか

という研究が多い⁷。しかし、先述の通り、子どもにも分かりやすいようにボードのマスの見せ方を工夫することや、勝敗にこだわりすぎないような学習の工夫が必要となってくると、単にゲームロジックを工夫するだけでなく、ゲームのカードやボードの形や色、見せ方といったビジュアルデザインに関する研究やゲームの進め方といった学習デザインに関する研究も必要であろう。

そこで本研究では、環境教育において、カードゲームやボードゲームなどのテーブルゲームを「学習ゲーム」として取り入れるための基礎研究として、特にボードゲームにおけるデザインについて検討を行う。具体的には、環境教育用のボードゲームの形や色、見せ方といったビジュアルデザインと、ゲームの進め方といった学習デザインについて検討を行う。

2. 研究の方法

本研究では、研究方法として、主に前頭前野の血流量の変化量の計測と質問紙、ヒアリングを用いる。

ここでは、前頭前野の血流量の変化量の計測方法について詳しく述べる。そもそも脳とは、大きく脳幹、小脳、大脳に区別される。脳幹には、呼吸などの生命維持のために必要な機能である中枢があり、脳と全身をつなぐ役割を担う部位である。小脳とは、特に平衡機能を担う部位である。そして大脳とは、左右に分かれ、前頭葉、頭頂葉、側頭葉、後頭葉に区別される。この前頭葉の大部分を占めるが、前頭前野であり、思考や意思決定、理解、判断などの知的機能を司る部位である。前頭前野は、脳の活動の中でも高次機能であり、前頭前野を計測することで脳の活動を調べるという研究が多く報告されている⁸。

また、脳の情報処理においては、神経活動が起こる際、その周囲にある血管が拡張し、血流量・血液量が増大し、血液の酸化状態が変化するとされている⁹。つまり、思考や意思決定、理解、判断などの知的な活動が行われているかどうかを調べる場合には、前頭前野の血流量を計測すればよいということである。

他方、前頭前野を計測する方法としては、放射線を出す検査薬を体内に入れ、放射線をカメラを使って検出し画像化する陽電子放射断層撮影法 (PET) や血流動態反応を視覚化する機能的磁気共鳴描画 (fMRI) などがあるが、これらは被験者の身体を拘束する必要があり、自然な状態で計測することが難しい。そこで今回は、近赤外分光法 (NIRS: Near Infra-Red Spectroscopy、以下 NIRS とする) を用いることとした。NIRS とは、頭皮・頭蓋骨を透過する近赤外光を照射し、その反射光を計測することで、光の変化量から、酸素化ヘモグロビン (oxyHb) 濃度と脱酸素化ヘモグロビン (deoxyHb) 濃度の変化量を求め、酸素化ヘモグロビン濃度の相対的な変化量を計測する仕組みである。図1に仕組みを示す。

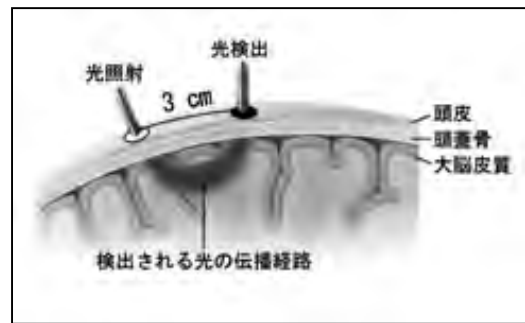


図1 NIRSによる計測の仕組み¹⁰

このNIRSは、頭皮から光の届く範囲でしか計測できないため、脳深部や小脳の計測ができないなどの問題はあるものの、PETやfMRIに比べ、被験者の身体の拘束性が低く、多少動きがある場合でも前頭前野の血流量の変化量を計測することが可能である。また、近赤外光は、太陽の光よりも弱く、被験者にとっても安全であると言える。こうしたことから、近年は教育研究でもNIRSが用いられており、知見の蓄積がなされている¹¹。

そこで今回は、NIRSに関する先行研究をもとに、2チャンネルのNIRSを用いて計測を行うこととした。機器は、日立メディコ製のHOT121を使用した。図2に実験に用いたHOT121を示す。



図2 実験で使用したHOT121 (日立メディコ製)

このHOT121は、前額部に装着することで、左右2チャンネルで前頭前野の血流量の変化量の計測することができる。また、ヘッドセットは約100gと軽く、目を開けた状態や動きのある状態でも計測が可能である。さらに、3G加速度センサーにより体の傾きを感知することで、計測後に脳機能に関連しない現象 (アーチファクト) を取り除くことができる。

本研究では、このHOT121による前頭前野の血流量の変化量の計測と質問紙、ヒアリングによって、環境教育用のボードゲームのビジュアルデザインと学習デザインについて検討を行う。

3. 実験内容

実験内容について、実験環境、被験者、実験方法、課題、

手順の順に述べる。

3.1. 実験環境

本実験は、被験者毎に単独で実施した。実施場所は、早稲田大学理工学部の実験室で行い、騒音や視覚情報などの阻害要因を排除し、実験に専念できる環境とした。計測者は、課題の遂行状況の観察及び機器操作を兼ねた2名である。

3.2. 被験者および実験方法

本実験の被験者は、20歳から23歳までの大学生及び大学院生の8名である。内訳は、男性7名、女性1名、平均年齢は21.1歳、SDは0.8である。被験者は、観察者と機器操作者と向きあうように椅子に座り、前額部にHOT121を装着し、事前にキャリブレーション（検量線の設定）を行なった。

また、質問紙として、本ボードゲームの楽しさ、学習製、今後実施したいかどうかと、自分が止まったマスの内容の記憶、他人が止まったマスの内容の記憶について5件法（5：良い／覚えている←→1：悪い／覚えていない）で質問した。

3.3. 実験課題

今回、実験課題（タスク）として、筆者らが開発したボードゲームを用意し、被験者に行わせた。本ボードゲームは、身近な環境配慮行動を学ぶことを目的としており、すころく形式でゲームを進める。サイコロの出目によってコマを進め、マスに書かれている内容によってお金と環境に配慮した印であるグリーンポイント（GP）を集めていくゲームである。例えば、「宿題をせずにテレビゲームをいつもより1時間長くプレイしてお母さんに怒られた」というマスでは、「-1万円、-3GP、CO₂+44g」と記されている。また、「トイレのレバーの大小を使い分けた」というマスでは、「+1万円、+1GP、CO₂-3g」と記されている。このお金とグリーンポイント（GP）を多く集めることで勝敗が決定する。

今回の実験では、このボードゲームのゲームロジックや記載内容は変えず、2種類のボードを用意した。

1つ目は、モノクロで印刷されたボードである。また、各マスに写真やイラストなどは描かれていない。2つ目は、カラーで印刷されたボードである。ビジュアルデザインとして、各マスに写真やイラストが描かれている。また、マスの内容が日常的な環境配慮行動に関するものは緑色、日常的な環境配慮行動の中でも特に水まわりに関するものは青色、お金（節約）に関するものは黄色で塗り分けられている。さらに、CO₂に関しても排出した場合には灰色、削減した場合には淡青色で塗り分けられている。2種類のボードを図3、図4に示す。



図3 ビジュアルデザイン無しのボード①



図4 ビジュアルデザイン有りのボード②

この2つのボードを用いて、3つのタスクを作成した。

まず1つ目のタスクは、ビジュアルデザイン無しのボード①を用いたゲームの実施である。ゲームの実施は、被験者1名と計測者2名の3名で実施した。計測者はルール以外の指示を行っていない。

2つ目のタスクは、ビジュアルデザイン有りのボード②を用いたゲームの実施である。ゲームの実施は、1つ目のタスクと同様に3名で実施し、計測者はルール以外の指示を行っていない。

3つ目のタスクは、ビジュアルデザイン有りのボード②を用いたゲームの実施である。ゲームの実施は、1つ目、2つ目のタスクと同様に3名で実施するが、今回は、計測者1名がファシリテーターをつとめ、止まったマスの環境配慮行動の実施の有無について問いかけた¹²。

これらのタスクの結果を比較することによって、ボードゲームのビジュアルデザインと学習デザインについて検討を行う¹³。具体的には、タスク①とタスク②の比較によりビジュアルデザインの検討を行い、タスク②とタスク③の比較により学習デザインの検討を行う。

3.4. 実験手順

実験は次のように行った。

- (1) 被験者入室後、安静状態を保つ。
- (2) タスク①の実施。
- (3) タスク①に関する質問紙に回答する。
- (4) 安静状態を保つ。
- (5) タスク②の実施。

- (6) タスク②に関する質問紙に回答する。
- (7) 安静状態を待つ。
- (8) タスク③の実施。
- (9) タスク③に関する質問紙に回答する。
- (10) 最後に、感想を口述する。

これらの実験のシーケンスについて表1に、実験の様子について図5に示す。

表1 実験のシーケンス

安静	タスク①	質問紙回答	安静	タスク②	質問紙回答	安静	タスク③	質問紙回答	ヒアリング
5	10	1	5	10	1	5	10	1	10

[min]



図5 実験の様子

4. 実験結果と考察

本実験の結果を示し、考察を行う。まず、NIRSで計測した前頭前野の血流量の変化量を図6に示す。

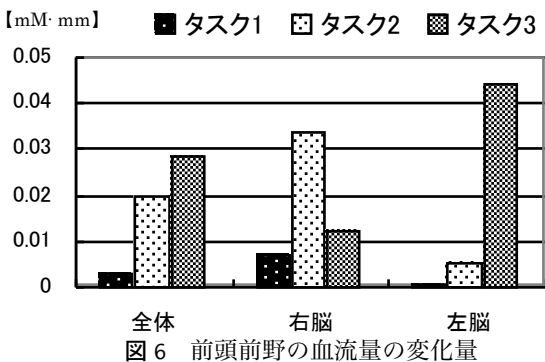


図6 前頭前野の血流量の変化量

まず、8名の平均値による前頭前野全体の血流量の変化量では、タスク1が0.00296、タスク2が0.01949、タスク3が0.02821であった¹⁴。また、前頭前野の右脳の血流量の変化量は、タスク1が0.0067、タスク2が0.03372、タスク3が0.01222であった。また、前頭前野の左脳の血流量の変化量は、タスク1が0.00296、タスク2が0.01949、タスク3が0.02821であった。

前頭前野全体の血流量の変化量について、タスク1とタスク2、タスク2とタスク3の有意差について一元配置分散分析を行ったところ有意差は見られなかった。

次に、被験者の中で比較的アーチファクトが少なく被験者Aの前頭前野の血流量の変化量について、横軸に時間を取り、図7、図8、図9に示す。

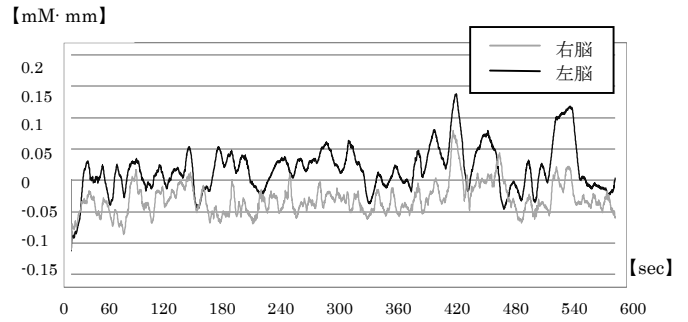


図7 被験者Aのタスク①での血流量の変化

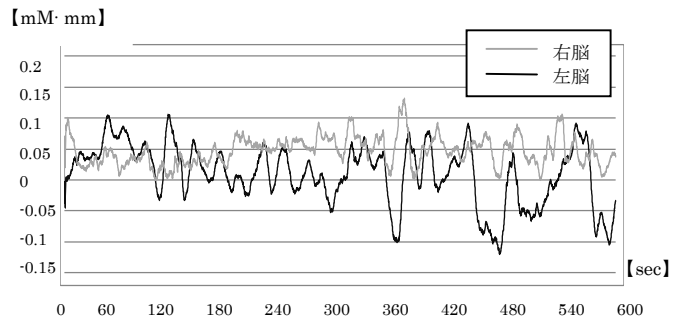


図8 被験者Aのタスク②での血流量の変化

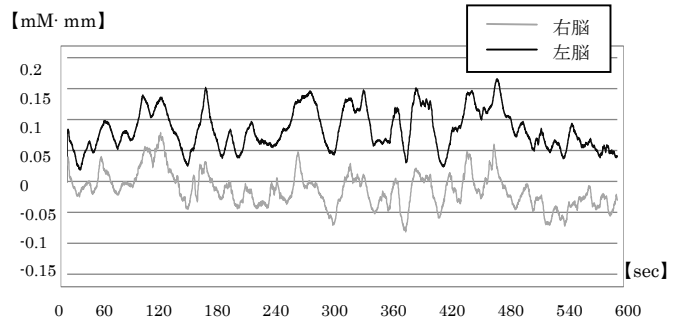


図9 被験者Aのタスク③での血流量の変化

平均値同様に、タスク②では左脳よりも右脳が、タスク③では右脳よりも左脳の血流量の変化量が多い。また、それぞれのタスクで、自分がサイコロを振った時や自分で何かを選択する時には、血流量の変化量が増加した。

次に、質問紙の結果を図に示す。それぞれの項目について、5件法(5:良い/覚えている←→1:悪い/覚えていない)で質問した。図10、図11、図12に示す。

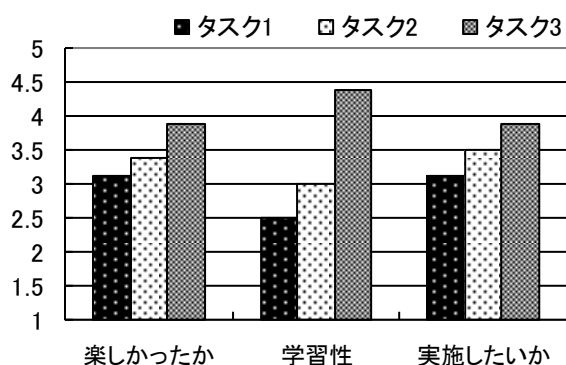


図10 ボードゲームの楽しさ、学習性、再実施に関する質問の結果

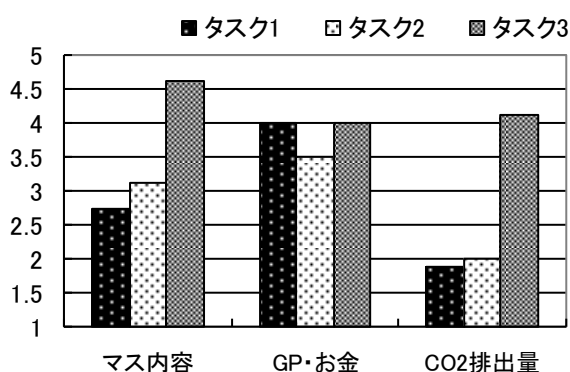


図11 自分が止まったマスに関する記憶

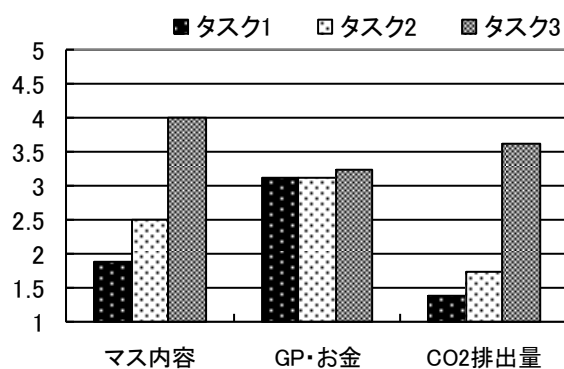


図12 他人が止まったマスに関する記憶

質問紙では、本ボードゲームの楽しさ、学習性、今後実施したいかどうかについて、何れもタスク3>タスク2>タスク1という結果になった。また、自分が止まったマス、他人が止まったマスの内容の記憶については、何れも、マス内容の記憶とCO₂排出量の記憶については、タスク3>タスク2>タスク1であったが、グリーンポイント(GP)やお金に関しては、タスク1≒タスク2≒タスク3となり、有意な差は見られなかった

これらを踏まえて考察を行う。まず、環境教育用のボードゲームの形や色といったビジュアルデザインについて考察していく。前頭前野の血流量の変化量では、ビジュアルデザインの有無で、統計的に有意な差は見られなかった

ものの、ビジュアルデザインの工夫が有る場合が無い場合に比べ、前頭前野が活発に動いていると言える。特に、右脳と左脳の前頭前野に着目すると、左脳に比べ右脳の前頭前野の方が活発に動いていることが分かる。これは、左脳には言語中枢があり、右脳は主に非言語の空間的な認識を担う機能があるからとも考えられるが、左脳にもそうした機能はあるため、さらに検討を行う必要がある¹⁵。ヒアリングでは、カラーになり写真やイラストが入ったことでゲームに対する興味が湧いた、色を使い分けたことで理解が深まったとの回答が多かったことから、ビジュアルデザインの工夫については、ある程度の有効性が考えられる。

質問紙では、ビジュアルデザインの工夫の有無によって、楽しさ、学習性、今後実施したいかどうか、マス内容、CO₂排出量の記憶について差は出たものの、有意な差ではなかった。自分が止まったマスに関するGPやお金については、タスク①の方がタスク②よりも評価が高いことから、ゲームの勝敗に関係するものについては、ビジュアルデザインは関係なく、記憶されていると考えられる。

次に、ゲームの進め方といった学習デザインについては、ファシリテーターが止まったマスの環境配慮行動の実施の有無について問いかけたかどうかによって、前頭前野の血流量の変化量に統計的に有意な差が見られなかった。しかし、時間毎の計測結果を見ても、タスク③においては、特に言語中枢を司る左脳が活発に動いていることが分かる。また、8名中7名において、自分だけでなく、他者が問いかけて受けている際にも血流量の変化が見られた。

質問紙調査においても、ファシリテーターが止まったマスの環境配慮行動の実施の有無について問いかけたかどうかによって、学習性、マス内容、CO₂排出量の記憶について差が見られた。特に、CO₂排出量については、自分が止まったマスについても、他人が止まったマスについても記憶に残ったと回答しており、ヒアリングにおいても、問いかけがはいると聞く気になる、他の人のプレイ内容も印象に残っているなどの回答が多いことから、環境配慮行動の実施の有無についての問いかけが有効であったことを示している。

一方、自分や他人が止まったマスに関するGPやお金については、タスク①、タスク②と有意な差は見られなかったことから、ゲームの勝敗に関係するものについては、ビジュアルデザイン、学習デザインには関係なく、記憶されていると考えられる。

5. 成果と今後の展望

本研究では、ビジュアルデザインの工夫の有無や学習デザインの工夫の有無により、前頭前野の血流量の変化量に差が見られた。特に、ビジュアルデザインの工夫が有る場合には、右脳の前頭前野が、学習デザインの工夫がある場合には、左脳の前頭前野の活発な活動が見られた。また、質問紙調査からは、ゲームの勝敗に直接関係するものにつ

いては、ビジュアルデザインや学習デザインの工夫に関係なく記憶されること、ファシリテーターが止まったマスの環境配慮行動の実施の有無について問いかけたかどうかによって、学習性、マス内容、CO₂排出量の記憶について差が見られた。

今後は、ビジュアルデザイン、学習デザインだけでなく対象を広げて実験を行うとともに、引き続きビジュアルデザイン、学習デザインについても実験を行い、テーブルゲームを「学習ゲーム」として取り入れるための知見を蓄積したい。

¹ 詳しくは、社団法人日本ネイチャーゲーム協会のHPを参照。

<http://www.naturegame.or.jp/>

² 小室達哉・松本俊之「環境と経済の関係を教育するためのボードゲーム『エコポリー』の開発」、教育システム情報学会「情報システム学会誌」Vol.26No.4 339-348、2009

³ 詳しくは、合同会社マイアース・プロジェクトのHPを参照。

<http://myearth.ne.jp/>

⁴ 和田翔太、南祐貴、山内崇裕、永田勝也、塩田真吾、松嶋隆良、北原聖子「大学・行政・NPOの連携によるライフサイクル学習教材の開発とその評価」、日本エネルギー環境教育学会第5回全国大会 203-204、2010年8月

⁵ 塩田真吾、永田勝也、小野田弘士「環境学習プログラムの定量的評価の試み」、日本エネルギー環境教育学会「エネルギー環境教育研究」vol.3No.1 59-64、2008年12月

⁶ 梅津孝信・垣屋良式・平嶋宗・竹内章「問題解決演習を対象とした学習ゲーム作成法」、電子情報通信学会論文誌、Vol.91 No.2 293-302、2008

⁷ 例えば、杉浦淳吉・吉川肇子「環境政策ゲーム『キープクール』の教育への導入とその評価」、日本シミュレーション&ゲーミング学会「シミュレーション&ゲーミング」19(1)、87-99、2009など

⁸ 例えば、下茂円・菅生恵子・揚原祥子「NIRS計測による脳血流パターンを指標とした音楽のリラクゼーション効果の評価」、千葉大学教育学部研究紀要 56、343-348、2008や森川孝子・篠原英記・松尾善美・中前智通・山本大誠・大瀧誠・梶田博之「近赤外分光法を用いた書字課題における脳血液動態の検討」、神戸学院総合リハビリテーション研究 2(2)、23-30、2007など

⁹ 詳しくは、独立行政法人国立特殊教育総合研究所「NIRSによる脳機能測定」、脳科学と障害のある子どもの教育に関する研究報告書 43-55、2007を参照。

¹⁰ 図は、HOT121のパンフレット(2009)の図を日立メディコの許可を得て掲載した。

¹¹ 例えば、岡本尚子「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」、大阪大学教育学年報第13号 43-54、2008

黒田恭史「計算課題遂行時の脳内ヘモグロビン濃度変化の特徴」、佛教大学教育学部論集 16 37-50、2005など。

¹² 例えば、「トイレのレバーの大小を使い分けた」というマスに止まった場合では、「あなたは、普段、トイレのレバーの大小を使い分けていますか?」という問いかけを行なった。なお、この問いかけは、被験者だけでなく、計測者がマスに止まった場合にも行なった。

¹³ 今回の実験では、同一被験者がタスクを実施した。また、タスクは、タスク1、タスク2、タスク3、の順に実施した。これらの順番に関する影響の考察は今後の検討課題としたい。

¹⁴ 単位はすべて mM・mm (ミリモル・ミリメートル) である。

¹⁵ このことについては、右脳に非言語の空間的な認識を担う機能があるとする説と、非言語の空間的な認識を担う機能は左脳にもあるという説に分かれており、結論は出ていない。詳しくは、坂爪一幸『「脳科学」はどう教育に生かせるか』、学文社、2010を参照。