

語想起課題における検索効率の急速な低下現象と前頭葉脳血流変化の関連

—シフティング効果に関する検討—

Prefrontal blood flow trends on near-infrared spectroscopy recording during the verbal fluency test: Shifting effect on the rapid reduction of retrieval efficiency.

惠 羅 修 吉¹

Era Shukichi

要旨

実行機能を反映する語想起課題の遂行中、時間経過に伴う検索効率の急速な低下現象が頻繁に出現する。本研究では、この現象と課題遂行中の前頭前野の賦活との関連と、手がかりを切り替えながら単語を報告するshifting（シフティング）の効果について検討することを目的とした。前頭前野の活動についてはNIRSによる脳酸素代謝変化を指標とした。結果として時間経過に伴う検索効率の急速な低下現象を確認するとともに、時間経過に伴うOxyHb濃度変化量の増加が認められた。シフティングの効果については確認されなかった。以上の結果より、時間経過に伴う検索効率の急速な低下現象の背後で、検索困難状態から脱するために実行機能が活動し、前頭前野の賦活に反映されていることが示唆された。

キーワード：実行機能, シフティング効果, 語想起課題, NIRS

問題と目的

学校教育現場には様々な教科において学習上のつまずきや困難を示す児童生徒が数多く存在し、特別な教育的支援の必要性は年々高まっている状況にある。学習困難のある児童生徒に対して個々の特性に応じた適切な教育支援を提供するには、教育現場において確かな科学的根拠に基づく教育実践の土壌を醸成することが重要な課題である（惠羅, 2007, 2020）。根拠に基づく教育実践を実現するために心理学が貢献できることは何か。それは、子どもの学習活動に関わる心理機能（特に認知機能）を評価する検査方法を開発し、開発した検査から得られた結果を子どもの指導に繋げる実践研究を行い、教育現場へと知見を還元することではないかと考える。

神経心理学は、伝統的に脳損傷患者を対象とした検査法を数多く開発してきたが、近年の認知神経科学の発展により対象範囲を広げ、発達障害に関する研究も拡充されつつある（e.g., D'Amato, Fletcher-Janzen, & Reynolds, 2005;

Nelson & Luciana, 2008; Reynolds & Fletcher-Janzen, 2009）。神経心理学において前頭葉機能あるいは実行機能を評価する検査として伝統的に位置づけられてきた課題として語想起課題（あるいは言語流暢性検査, Verbal Fluency Task）が有名である。語想起課題では、被検者に対して、ある共通属性を有する単語を限定された時間内で可能な限り多く再生（報告）することを要請する。通常、制限時間内で報告された単語の総数を指標とする。検索手がかりとしては、頭文字（例えば、“F”）あるいは語頭音（例えば、“た”）を共通属性として提示する方法（音韻手がかり法）と、上位となるカテゴリ名（例えば、“動物”）を共通属性として提示する方法（意味手がかり法あるいはカテゴリ手がかり法）がある。一試行の制限時間は、60秒間に設定されることが多い。効率的な課題遂行の基盤となる脳領域として前頭葉、特に前頭前野が指摘されており、認知機能としては実行機能が推定されている（e.g., 惠羅, 1992; Spreen & Strauss, 1998）。

語想起課題の遂行中に頻繁に観察される行動特徴とし

1 香川大学大学院教育学研究科

て、課題開始直後にはよどみなく流暢に単語を報告できるが、しばらくすると単語を思い出すことに苦慮する様子がみられるという現象がある。筆者はこの現象を「時間経過に伴う再生数の急速な低下現象」と名付けているが、この現象は既に先行研究でも指摘がなされている (Crowe, 1997, 1998; Hurks, Hendriksen, Vles, Kalf, Feron, Kroes, van Zeben, Steyaert, & Jolles, 2004; Joannette & Goulet, 1988; Mattis, Kovner, Gartner, & Goldmeier, 1981; Rosen, 1980; Sauzéon, Raboult, Rodrigues, Langevin, Schelstraete, Feyereisen, Hupet, & N’Kaoua, 2011; Stuss, Alexander, Hamer, Palumbo, Dempster, Binns, Levine, & Izukawa, 1998)。筆者が実施した研究においても、成人 (惠羅, 2010, 2016; 惠羅・西田, 2019)、通常の学級に在籍する小学校低学年児童 (惠羅・大庭, 2008a)、知的障害児 (惠羅・大庭, 2008b; 惠羅・伊賀・泉保・香川大学教育学部附属特別支援学校, 2012) を対象として、この現象が確認されている。多くの場合、被検者は、課題開始直後では努力を要することなく単語を報告することができる。しかしながら、その時間帯は短く、急速に語彙検索が困難な状態に陥る。この検索効率の急速な低下は、まだ報告していない単語が長期記憶内に多数存在しているにもかかわらず生起する (逸話的であるが、検索困難に陥った場合、本人はまだ知っている単語があるはずという信念を有している場合が多いようである)。それゆえ、この現象は、長期記憶内の語彙の枯渇に起因するものではなく、同じ手がかりで反復して語彙検索することで効率的な検索が阻害されていることから惹起されているのではないかと推察される。

長期記憶の検索を阻害あるいは抑制する要因の一つとして、課題遂行の時間経過に伴う持続的注意あるいは努力の低減が考えられる。この仮説については、惠羅 (2003) は、事象関連脳電位 (Event-Related Potentials, 以下ERPsとする) を用いて語想起課題遂行中のprobe誘発法によるERPs成分を分析して検討した。結果は、この仮説に反するものであった。probe誘発法は、課題無関連の妨害刺激に対する反応を分析する手法である。妨害刺激への反応低下という証拠は、課題への注意集中の裏返しではあるものの、間接的な証拠であることは否めない。本研究では、課題と連動して時間経過に伴う前頭前野領域の活動変化を近赤外線分光法 (Near-infrared spectroscopy, 以下NIRSとする) でモニターすることで、より直接的な証拠を得ることにした。

NIRSとは、頭皮および頭蓋骨など生体組織を通過しやすい近赤外光を頭皮上より照射し、脳内で散乱してきた反射光を計測して、ある種の演算を介して酸素化ヘモグロビン (OxyHb)、脱酸素化ヘモグロビン (DeoxyHb)、両者の和である総ヘモグロビンの濃度変化を測定する技術である (福田, 2009; 酒谷, 2012)。生体に対する侵襲性が極めて低く、かつ拘束性が低いという利点がある。大脳皮質で

は、神経活動の亢進にあわせて、その脳領域の血流量・血液量が増大する。NIRSにより脳血液のOxyHb濃度を計測することで、ある限定された脳領域の活動をモニターすることが可能となる。NIRSは、入射-受光プローブの設置しやすさ等の理由により、前頭葉機能の評価によく活用されている。語想起課題を用いた研究が多く、課題遂行中に前頭領域でOxyHb濃度が増大することが報告されている (e.g., Ehlis, Herrmann, Plichta, & Fallgatter, 2007; Herrmann, Ehlis, & Fallgatter, 2003; Herrmann, Walter, Ehlis, & Fallgatter, 2006; Kameyama, Fukuda, Uehara, & Mikuni, 2004; Kubota, Toichi, Shimizu, Mason, Coconcea, Findling, Yamamoto, & Calabrese, 2005; Matsuo, Kato, Fukuda, & Kato, 2000; Sakatani, Yamashita, Yamanaka, Oda, Yamashita, Hoshino, Fujiwara, Murata, & Katayama, 2006; Schecklmann, Ehlis, Plichta, & Fallgatter, 2010; Watanabe, Matsuo, Kato, & Kato, 2003)。しかしながら、時間経過に伴う再生数の急速な低下現象に着目した研究は、筆者らの研究 (惠羅・西田, 2019; 惠羅, 2022) を除くと、ほとんどない現状にある。

本研究では、語想起課題における時間経過に伴う検索効率の急速な低下現象と前頭前野の賦活との関連について検討することを目的とした。前頭前野の賦活については、筆者らの先行研究 (惠羅・西田, 2019; 惠羅, 2022) と同様、NIRSによる脳血液のOxyHb濃度の変化を指標とすることにした。さらに本研究では、従来の語想起課題に手がかりを切り替えて実行する条件を加えることにした。従来の語想起課題では、一つの手がかりをもとに単語を想起する条件であるが、本研究では二つの手がかりを提示し、手がかりを切り替えながら単語を報告する条件を設定した。後者の条件による語想起課題は、実行機能の諸要因のなかでもshifting (シフティング, 切り替え) を強く反映することになるのではないかと推定した。ここでは、従来の語想起課題を単純条件とし、手がかりの切り替えがある条件をシフティング条件とした。シフティング条件は、単純条件よりもより実行機能を反映する前頭葉の活動が賦活するのではないかと考え、これを検証することを第2の目的とした。

方 法

参加者

日本語を母国語とする大学生・大学院生13名 (男性4名 / 女性9名, 平均年齢28.8歳, 年齢範囲20歳-45歳) を対象にした。参加者全員が右利きであった。

課題

語想起課題は、音韻手がかり法 (語頭音手がかり法) とした。音韻手がかりである語頭音としては、一般的な日本語語彙として該当する単語が多い「か」と「し」を採用した。国立国語研究所の『教育基本語彙の基本的研究: 増補

改訂版』(2009)によれば、語彙量は、「し」が $n=2654$ 、「か」が $n=1821$ であった。

課題は、2つの条件で実施した。1つは単純条件で「か」あるいは「し」から始める単語を想起することを課題とし、もう1つはシフティング条件で「か」と「し」から始める単語を交互に想起することを課題とした。施行順は、単純条件-シフティング条件-単純条件のABAデザインの2条件3試行とし、「か」と「し」の施行順はそれぞれの条件において参観者間でランダムとした。

測定機器

脳内血液酸素動態を測定するため、2chのNIRS機器(Pocket NIRS Duo, Dynasense社)を使用した。本機により、OxyHb濃度、DeoxyHb濃度、それと両者を加算した総Hb濃度の変化の3指標を取得することが可能である。測定では、2つのプローブを国際10/20法に基づくFp1(左側前頭極)とFp2(右側前頭極)にほぼ相当する位置にそれぞれ配置した。この配置により、左右半球の前頭前野の活動を測定することになる。3つの指標のSampling Rateは、10 Hzに設定した。プローブの固定と遮光のため、プローブの上から黒色のヘアバントを重ねた。NIRSで測定されたデータは、Bluetoothにより無線でPCに送信された。PCでは課題遂行中の濃度変化の波形をオンラインで観察した。

NIRSにより測定されるデータは、血液中のOxyHbとDeoxyHbの相対的濃度変化量であるため、基準値を設定して、ベースライン補正を行う必要がある。本研究では、ベースラインとして、語想起課題の各試行前の10 secを基準とした各NIRS指標の平均濃度を基準値として設定した。すなわち、語想起課題の各試行における濃度変化は、試行開始前を基準とした変化量となる。

手続き

検査は、静かな心理検査室にて個別で行われた。参加者は、検査室の壁面にそって設置された机に向かい、椅子に座った。検査者は、参加者の後方に位置し、課題の教示と機器の制御を行った。

検査手順としては、はじめにNIRS用のプローブを対象者の前額部に付置した後、安静状態を数分間実施し、波形の安定化を確認した。その後、参加者に対して語頭音が「あ」である場合を例として語想起課題について以下の教示を行った。「これから例えば、『あ』から始まる言葉をできるだけたくさん言ってください、といいます。『あ』から始まる言葉には、『足、雨、歩く』などありますね。思いついた言葉をできるだけたくさん言って下さい。私が『止め』と言うまで続けて下さい。ただし、『歩く』といったら『歩きます、歩かない』といったような活用変化は報告しないでください。活用変化は一つの単語として評価します。それから、地名や人名など固有名詞は基本的に不可とします。通常の国語辞書に掲載されているであろう項目であれば大丈夫です」と説明した。音韻手がかりの提示

は、検査者が口頭で行った。参加者の言語反応は、口頭による報告とし、検査者が記録した。1試行あたりの再生時間は、90 secとした。施行順は、単純条件(1回目)-シフティング条件-単純条件(2回目)であり、試行間の間隔は30 sec程度に設定した。

1試行あたり90 secの制限時間を30 secずつの3区間に分割して、再生語数を計数した。NIRSで測定されたOxyHbとDeoxyHbならびにその和であるTotalHbの濃度についても同様に3区間に分割して分析したが、ここではOxyHbに限定して報告することにした。

倫理的配慮

すべての参加者に対して、検査実施前に文書と口頭で研究の目的と内容、個人特定回避の保証、結果の開示方法などについて説明した後、検査の実施について署名による同意を得た。本研究は、香川大学医学部倫理委員会の承認を得て実施した(受付番号:平成30-208)。

結果

行動指標

参加者13名のうち1名で2回の誤反応があった。いずれも一度再生された単語の再報告であった。

単純条件1回目の正再生数は平均20.1語($SD=5.69$)、2回目は平均20.4語($SD=5.99$)であった。1回目と2回目の成績はほぼ同等で、統計的にも有意差はなかった($t(12)=0.186$, $p=0.856$)。よって、順序の効果はないと判断し、以降、単純条件をまとめて分析することにする。

語想起課題の全区間ならびに各区間(30 sec×3区間)における単純条件とシフティング条件の正再生数の平均と標準偏差をTable 1に示す。単純条件については、シフティング条件と比較しやすくするため、「か」と「し」の正再生数の合計を2に割った数値とした。全区間また各区間とも、シフティング条件が単純条件に比べて低い正再生数を示していた。

課題条件(単純/シフティング条件)×区間(第1/第2/第3区間)の繰り返しのある2要因分散分析を実施した結果、区間の主効果が有意であった($F(2, 24)=139.42$, $p<.001$, $partial \eta^2=.921$)。課題条件については有意傾向が認められた($F(1, 12)=4.647$, $p=.052$, $partial \eta^2=.279$)。両者の交互作用は有意ではなかった($F(2, 24)=1.51$, ns)。区間の主効果が有意であったのでTukeyのHSD検定を実施した結果、全ての比較で有意差が認められた($ps<.05$)。

NIRS指標

語想起課題遂行中におけるNIRSのOxyHb濃度について、課題条件別(単純条件1回目/シフティング条件/単純条件2回目)、区間別(第1/第2/第3区間)、位置別(左/右)の測定値をTable 2に示す。プローブ位置では目立った差異はなく、試行の反復によりOxyHb濃度変化量が低下

Table 1. 単純条件とシフティング条件における正再生数の全区間ならびに各区間の成績

	全区間		第1区間：0-30 sec		第2区間：31-60 sec		第3区間：61-90 sec	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
単純条件*	20.2	5.03	9.92	2.090	5.42	1.669	4.88	1.722
か	21.7	5.92	10.69	2.869	5.85	2.764	5.15	1.345
し	18.8	5.36	9.15	2.230	5.00	1.780	4.62	2.399
シフティング条件	17.9	5.47	8.69	2.016	5.15	2.075	4.08	2.629

*単純条件の数値は、2つの試行の合計を2で割ったものである。

Table 2. 課題条件別、区間別、位置別によるOxyHb濃度変化 (mMmm) の平均と標準偏差

左前額部

課題条件	第1区間：0-30 sec		第2区間：31-60 sec		第3区間：61-90 sec	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
単純条件1回目	0.036	0.146	0.143	0.353	0.235	0.380
シフティング条件	0.029	0.239	0.184	0.325	0.211	0.264
単純条件2回目	-0.058	0.173	-0.022	0.214	0.061	0.207

右前額部

課題条件	第1区間：0-30 sec		第2区間：31-60 sec		第3区間：61-90 sec	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
単純条件1回目	0.043	0.177	0.157	0.316	0.221	0.287
シフティング条件	0.023	0.238	0.161	0.340	0.183	0.296
単純条件2回目	-0.059	0.178	-0.049	0.241	0.032	0.260

する傾向がうかがわれた。

課題条件×区間×位置の繰り返しのある3要因分散分析を実施した結果、区間の主効果が有意であった ($F(2, 24) = 9.362, p < .001, partial \eta^2 = .438$)。課題条件の主効果は有意傾向 ($F(2, 24) = 2.579, p = .096, partial \eta^2 = .177$)、位置の主効果は有意ではなかった ($F(1, 12) = 0.236, ns$)。交互作用については、いずれの組み合わせも有意ではなかった (課題条件×区間: $F(4, 48) = 0.978$, 課題条件×位置: $F(2, 24) = 0.229$, 区間×位置: $F(2, 24) = 0.900$, 課題条件×区間×位置: $F(4, 48) = 0.312$, いずれも ns)。区間の主効果が有意であったのでTukeyのHSD検定を実施した結果、第1区間と第2区間、第1区間と第3区間の差が有意であったが ($ps < .05$)、第2区間と第3区間の差は有意ではなかった。

考 察

本研究では、語想起課題における時間経過に伴う検索効率の急速な低下現象と前頭前野の賦活との関連について検討することを第1の目的とした。前頭前野の活動をモニターするためNIRSによるOxyHb濃度変化を測定した。語想起課題には従来の施行法による単純条件と手がかりの切り替えがあるシフティング条件の2条件を設定し、シフ

ティング条件は単純条件よりも実行機能を反映する前頭葉活動の賦活がさらに亢進するのではないかと考え、これを検証することを第2の目的とした。その結果、行動指標においては、単純条件、シフティング条件ともに類似した時間経過に伴う検索効率の急速な低下現象が認められた。単純条件に比べてシフティング条件で遂行成績が低かったが、統計的有意には至らなかった。NIRS指標では、課題条件に関わらず、課題遂行の冒頭30 secに比べて31 sec以降でOxyHb濃度変化量が高まることが確認された。課題条件間でOxyHb濃度変化に差はなかった。プローブ位置の効果も見られなかった。

第1の目的である語想起課題における時間経過に伴う検索効率の急速な低下現象と前頭前野の賦活の関連性については、著者らの先行研究 (惠羅・西田, 2019; 惠羅, 2022) と一致する結果であった。検索効率の低下と連動して前頭前野のOxyHb濃度変化量が増大することが明らかになった。検索効率の急速な低下現象を説明する一つの仮説として、課題を遂行するための注意維持の困難が考えられる。この仮説の検証は行動指標では難しいが、NIRSにより課題遂行中の生理指標を測定することで、棄却する結果を得ることができた。本研究では、著者らの先行研究 (惠羅・西田, 2019; 惠羅, 2022) と同様、課題遂行の時間経過に伴うOxyHb濃度変化量の増加が認められた。このことは、

被検者の言語報告によどみが見られる検索効率が低下した時間帯で前頭前野の賦活が高まっていることを示しており、このことは検索効率の急速な低下現象が注意維持の困難に起因するものではないことを示唆している。惠羅 (2003) は、語想起課題遂行中におけるprobe誘発法によるERPs成分を測定した結果、検索効率が低下した時間帯において課題非関連音刺激に対するN1振幅が減衰することを明らかにした。課題非関連刺激に対する反応低下は、課題遂行を妨害する可能性がある刺激を抑制することの裏返しとして課題への注意集中が高まったことを意味すると考えられる。惠羅 (2003) のERPsによる研究とNIRSによる本研究ならびに先行研究 (惠羅・西田, 2019; 惠羅, 2022) より、検索効率の急速な低下現象は、注意の維持困難ではなく、注意集中が高まっている状態で何らかの認知的な不具合が生じて長期記憶の検索困難が生じていると考えられる。

時間経過に伴う検索効率の急速な低下現象は、思いだそうとして努力しているのに思いだせないという逆説的な状態に被検者が陥っていることを示している。この現象を解釈するため、惠羅・西田 (2019) は、検索抑制 (Anderson & Bjork, 1994; Bjork, 1989; Levy & Anderson, 2002) に関する知見を取り上げて考察した。検索抑制とは、要求された課題に注意を集中させ、努力して記憶検索へ積極的に取り組んでいるにもかかわらずパフォーマンスとしては記憶の想起が困難な状況となることをいう。語想起課題では、同じ手がかりによる記憶検索を反復実行することで、長期記憶検索過程のいずれかの段階で意識的に制御することが困難な抑制 (あるいは干渉) が生じている可能性が考えられる。そのような状況下において実行機能が果たす役割は、意図しない抑制 (あるいは干渉) が生じた状態を解除するために新たな記憶検索方略を生成すること、あるいは現行の検索方略を修正することではないだろうか。前頭前野の賦活は、方略生成・修正による脱抑制 (あるいは干渉回避) のために、努力を要する実行機能が稼働していることを反映していると推察される。

本研究の第2の目的として、シフティング条件は単純条件よりも実行機能を反映する前頭葉活動の賦活が亢進するのではないかという仮説を検証したが、結果は仮説を支持するものではなかった。行動指標については、数値としては単純条件に比べてシフティング条件の正再生数が低かったが、統計的有意には至らなかった。しかしながら、本研究では標本数が少なかったことから、標本数を増やせば統計的有意差が得られる可能性がある。この点については、研究方法として今後改善する必要がある。仮説は支持されなかったが、完全に棄却されるほどの強い証拠でもないと考えられる。NIRS指標についても、課題条件間で統計的有意差はなく、有意傾向であった。OxyHb濃度変化については、Table 2をみると、プローブ配置に関わらず、い

れの区間でもOxyHb濃度変化量は、単純条件1回目 \geq シフティング条件 \geq 単純条件2回目となっている (第2区間で例外がある)。このことから、課題条件に関わらず、ほぼ同一内容の課題を反復することによって、前頭前野の活動に慣れが出現した可能性が考えられる。Kono, Matsuo, Tsunashima, Kasai, Takizawa, Rogers, Yamasue, Yano, Taketani, & Kato (2007) は、NIRS指標に及ぼす語想起課題の反復効果について検討しているが、その反復間隔は1週間ごとに4回の測定であった。統計的に有意ではないが、波形的には1, 2回目と比べて3, 4回目でやや小さくなる傾向があった。しかしながら、数分間での間隔による反復効果については、筆者の知る限り研究報告がなされていないので、今後の検討課題である。なお、本研究での検査デザインはABAとしたが、AB/BAとして実施することで、反復効果を確認しながら、課題条件の対比をすることができるのではないかと考えられる。

付記

本研究は、JSPS科研費18K02759の補助を受けた。

引用文献

- Anderson, M. C., & Bjork, R. A. (1994) Mechanisms of inhibition in long-term memory: A new taxonomy. In D. Dagenbach & T. H. Carr (Eds.) *Inhibitory processes in attention, memory, and language*. Academic Press, San Diego. Pp.265-325.
- Bjork, R. A. (1989) Retrieval inhibition as an adaptive mechanism in human memory. In H. K. Roediger & F. I. M. Craik (Eds.) *Varieties of Memory and Consciousness: Essays in Honour of Endel Tulving*. Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale, New Jersey. Pp.309-330.
- Crowe, S. F. (1997) Deterioration in the production of verbal and nonverbal material as a function of time is contingent upon the meaningfulness of the items. *Archives of Clinical Neurology*, 12, 661-666.
- Crowe, S. F. (1998) Decrease in performance on the verbal fluency test as a function of time: Evaluation in young healthy sample. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 20, 391-401.
- D'Amato, R. C., Fletcher-Janzen, E., & Reynolds, C. R. (2005) *Handbook of School Neuropsychology*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Ehllis, A.-C., Herrmann, M. J., Plichta, M. M., & Fallgatter, A. J. (2007) Cortical activation during two verbal fluency tasks in schizophrenic patients and healthy controls as assessed by multi-channel near-infrared spectroscopy. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 156, 1-13.
- 惠羅修吉 (1992) 語想起課題における記憶検索過程：神経心

- 理学的, 精神薬理学的, および精神生理学的研究からの示唆 北海道大学教育学部紀要, 59, 69-84.
- 惠羅修吉 (2003) 語想起課題における検索効率の急速な低下と持続的注意 上越教育大学紀要, 23, 105-113.
- 惠羅修吉 (2007) 根拠に基づく教育実践と心理学 上越教育大学障害児教育実践センター紀要, 13, 7-12.
- 惠羅修吉 (2010) 実行機能の個人差と事象関連電位P3: 語想起課題の遂行成績と聴覚オドボール・パラダイムにおけるP3の関連 香川大学教育学部研究報告 第I部, 133, 71-80.
- 惠羅修吉 (2016) 語想起課題における検索効率の急速な低下現象と音韻的短期記憶能力の関連 香川大学教育学部研究報告 第1部, 146, 47-52.
- 惠羅修吉 (2020) 特別な教育的ニーズのある子どもの支援 有馬道久・大久保智生・岡田涼・宮前淳子(編) 学校に還す心理学: 研究知見からともに考える教師の仕事 ナカニシヤ出版. Pp.108-115.
- 惠羅修吉 (2022) 語想起課題における時間経過に伴う検索効率の急速な低下現象と前頭葉脳血流の時系列変動 香川大学教育学部研究報告, 7, 9-15.
- 惠羅修吉・伊賀友里奈・泉保由布子・香川大学教育学部附属特別支援学校 (2012) 知的障害のある生徒における受容言語能力と表出言語能力の関連: 語彙レベルにおける予備的研究 香川大学教育実践総合研究, 24, 111-118.
- 惠羅修吉・西田智子 (2019) 語想起課題における検索効率の急速な低下現象と前頭葉脳血流変化の関連 香川大学教育学部研究報告 第1部, 151, 151-161.
- 惠羅修吉・大庭重治 (2008a) 小学校低学年児童における語想起課題に関する検討: 予備的研究 香川大学教育学部研究報告 第I部, 129, 71-78.
- 惠羅修吉・大庭重治 (2008b) 知的障害児における語想起課題の分析: 知能と性差の影響 香川大学教育実践総合研究, 16, 105-113.
- 福田正人(編) (2009) 精神疾患とNIRS: 光トポグラフィ検査による脳機能イメージング 中山書店.
- Herrmann, M. J., Ehlis, A.-C., & Fallgatter, A. J. (2003) Frontal activation during a verbal fluency task as measured by near-infrared spectroscopy. *Brain Research Bulletin*, 61, 51-56.
- Herrmann, M. J., Walter, A., Ehlis, A.-C., & Fallgatter, A. J. (2006) Cerebral oxygenation changes in the prefrontal cortex: Effects of age and gender. *Neurobiology of Aging*, 27, 888-894.
- Hurks, P. P. M., Hendriksen, J. G. M., Vles, J. S. H., Kalf, A. C., Feron, F. J. M., Kroes, M., van Zeben, T. M. C. B., Steyaert, J., & Jolles, J. (2004) Verbal fluency over time as a measure of automatic and controlled processing in children with ADHD. *Brain and Cognition*, 55, 535-544.
- Joanette, Y., & Goulet, P. (1988) Word-naming in right-brain-damaged subjects. In C. Chiarello (ed.) *Right hemisphere contributions to lexical semantics*. Springer-Verlag, Berlin. Pp.1-18.
- Kameyama, M., Fukuda, M., Uehara, T., & Mikuni, M. (2004) Sex and age dependencies of cerebral blood volume changes during cognitive activation: A multichannel near-infrared spectroscopy study. *NeuroImage*, 22, 1715-1721.
- Kono, T., Matsuo, K., Tsunashima, K., Kasai, K., Takizawa, R., Rogers, M. A., Yamasue, H., Yano, T., Taketani, Y., & Kato, N. (2007) Multiple-time replicability of near-infrared spectroscopy recording during prefrontal activation task in healthy men. *Neuroscience Research*, 57, 504-512.
- Kubota, Y., Toichi, M., Shimizu, M., Mason, R. A., Coconcea, C. M., Findling, R. L., Yamamoto, K., & Calabrese, J. R. (2005) Prefrontal activation during verbal fluency tests in schizophrenia: A near-infrared spectroscopy (NIRS) study. *Schizophrenia Research*, 77, 65-73.
- Levy, B. J., & Anderson, M. C. (2002) Inhibitory processes and the control of memory retrieval. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 299-305.
- Matsuo, K., Kato, T., Fukuda, M., & Kato, N. (2000) Alteration of hemoglobin oxygenation in the frontal region in elderly depressed patients as measured by near-infrared spectroscopy. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 12, 465-471.
- Mattis, S., Kovner, R., Gartner, J., & Goldmeier, E. (1981) Deficits in retrieval of category exemplars in alcoholic Korsakoff patients. *Neuropsychologia*, 19, 357-363.
- Nelson, C. A., & Luciana, M. (2008) *Handbook of Developmental Cognitive Neuroscience*. 2nd edition. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts.
- Reynolds, C. R., & Fletcher-Janzen, E. (2009) *Handbook of Clinical Child Neuropsychology*. 3rd edition. Springer. NY.
- Rosen, W. G. (1980) Verbal fluency in aging and dementia. *Journal of Clinical Neuropsychology*, 2, 135-146.
- 酒谷薫 (監修) (2012) NIRS: 基礎と臨床 新興医学出版.
- Sakatani, K., Yamashita, D., Yamanaka, T., Oda, M., Yamashita, Y., Hoshino, T., Fujiwara, N., Murata, Y., & Katayama, Y. (2006) Changes of cerebral blood oxygenation and optical pathlength during activation and deactivation in the prefrontal cortex measured by time-resolved near infrared spectroscopy. *Life Sciences*, 78, 2734-2741.
- Sauz on, H., Raboult, C., Rodrigues, J., Langevin, S., Schelstraete, M. A., Feyereisen, P., Hupet, M., & N'Kaoua (2011) Verbal knowledge as a compensation determinant of adult age differences in verbal fluency tasks over time. *Journal of Adult Development*, 18, 144-154.
- Schecklmann, M., Ehlis, A. C., Plichta, M. M., & Fallgatter, A. J. (2010) Influence of muscle activity on brain oxygenation during

verbal fluency assessed with functional near-infrared spectroscopy. *Neuroscience*, 171, 434-442.

Spreen, O., & Strauss, E. (1998) *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. 2nd Edition. Oxford University Press. Oxford, NY.

Stuss, D. T., Alexander, M. P., Hamer, L., Palumbo, C., Dempster, R., Binns, M., Levine, B., & Izukawa, D. (1998) The effects of focal anterior and posterior brain lesions on verbal fluency. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 4, 265-278.

Watanabe, A., Matsuo, K., Kato, N., & Kato, T. (2003) Cerebrovascular response to cognitive tasks and hyperventilation measured by multi-channel near-infrared spectroscopy. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 15, 442-449.