

メタ記憶過程における記憶方略選択と脳活動

宮崎 淳

松井 三枝 (mmatsui@las.u-toyama.ac.jp)・奈良原 光隆・小林 恒之・西条 寿夫
〔富山大学〕

Selection of memory strategy and brain activity during metamemory process

Atsushi Miyazaki ⁽¹⁾, Mie Matsui ⁽¹⁾, Mitsutaka Narahara ⁽¹⁾, Tsuneyuki Kobayashi ⁽²⁾, Hisao Nishijo ⁽²⁾

⁽¹⁾ Department of Psychology, School of Medicine, University of Toyama, Japan

⁽²⁾ Department of System Emotional Science, School of Medicine, University of Toyama, Japan

Abstract

Metamemory refers to knowledge and monitoring of our own memory. This evaluation can be measured by a judgment of learning (JOL), which is a subjective judgment regarding our confidence in whether a learned item will be remembered in the future. We examined the effects on people's judgments of learning of a different kind of relatedness, which occurs in a list organized into sets of categorically related words and unrelated words. Then, we investigated how metamemory is involved in memory strategy. Furthermore, we examined the hypothesis of neural mechanism that the frontal cortex is critically involved in monitoring and control processes, which are central components of metamemory. Participants were thirteen healthy Japanese adults, and were instructed to memorize a list of words consisted of four exemplars from each of four categories (categorical list condition) or a list of unrelated words (unrelated list condition). The JOLs were made immediately after each learning. During the words learning and JOLs, we also measured oxygenated hemoglobin changes [oxyHb] using the near-infrared spectroscopy (NIRS). The results showed that JOL would be more accurate in the categorical list condition compared with the unrelated list condition, and categorization in memory strategy would be more used in the categorical list condition rather than the unrelated list condition. The results of NIRS showed that [oxyHb] changes in dorsolateral prefrontal area were more increased in the categorical list condition rather than the unrelated list condition, while [oxyHb] changes in medial prefrontal area were more increased in the unrelated list condition rather than the categorical list condition. These findings demonstrate metamemory is involved in an efficient memory strategy and distinct neural mechanisms supporting metamemory processes. It suggests that dorsolateral prefrontal area plays an important role in cognitive control, while medial prefrontal area does it in cognitive monitoring.

Key words

metamemory, memory strategy, near-infrared spectroscopy, frontal lobe, judgment of learning

1. はじめに

われわれは日常生活において必要なことがらを記録・保持し、さらに忘却を防ぐためにさまざまな活動を行っている。それには、記憶場面に際して声に出して覚える、メモをとる、イメージするといった種々の記憶方略が含まれると考えられる。記憶方略 (memory strategy) とは、記憶保持を向上させ、忘却を防ぐためのさまざまな方法・手段のことである。また、習得した記憶方略をうまく使いこなすには、メタ記憶 (metamemory) が重要な役割を担っていると予測される。Nelson & Narens (1990) は、メタ認知的モニタリングとメタ認知的コントロールという2種類のメタ認知的活動を、人間の記憶過程の諸段階 (情報の記録、保持、検索) に対応づけている。メタ認知的コントロールには、記録処理や探索方略の選択・取りやめ、学習時間の配分などが含まれる。一方、メタ認知的モニタリングでは個人の記憶活動を修正したり、調整したりす

るための種々の判断や予想、意思決定がなされると仮定されている。これらのメタ認知・メタ記憶の下位過程に関連して、これまでのいくつかの主要な実験的研究がある。

メタ認知的モニタリング研究として、「学習容易性判断 (ease of learning judgments : 以下 EOL)」、「既学習判断 (judgments of learning : 以下 JOL)」、「既知感判断 (feeling of knowing : 以下 FOK)」があげられる (Nelson & Narens, 1990)。EOL は、項目を学習することに対する難易度を予測する判断課題であり、学習の前段階に、まだ学習されていない項目に対して行われる。また、JOL は、既に学習された項目が後のテストでどれくらい保持されているのかを予測する判断課題であり、これは学習中や学習後に行われる。そして、FOK は、既に学習されているが再生時に再生できない項目について、この項目が自身の記憶内にあるか、後の再認テストで思い出すことができるかを判断する課題である。これらの内、記録・保持・想起という記憶過程の3段階のうち、記録の段階、すなわち外界からの刺激情報を符号化して自らの記憶システムのなかに取り込むという処理段階では、とりわけ学習容易性判断 (EOL) と既学習判断 (JOL) が重要な働き

を持つとされている(清水, 1999)。以上のメタ認知的モニタリングのうち、本研究では、まず JOL について取り上げることとする。JOL は、刺激項目に対する記憶処理活動の進行中、あるいは終了後に、学習された項目が後続の再生テスト(または再認テスト)において正しく再生(または再認)できるかどうかを予測し判断する課題である。出口(2001)は、学習と JOL 評定間の遅延に短時間の遅延 JOL 条件と長時間の遅延 JOL 条件の2つの条件を設定し、学習状態のモニタリング(JOL)の正確さが学習と JOL 評定間の遅延の程度によってどのように異なるかについて検討している。その結果、JOL 評定値および全体の再生成績については遅延条件間で差が認められなかったが、JOL の正確さにおいては遅延の程度が長くなることによってより正確になる傾向があると報告している。また、Shimizu(1996)は、被験者に対して反復リハーサル(単純に繰り返して覚える)と連想リハーサル(イメージしながら覚える)のいずれかを行なうように教示し、それぞれの記憶方略条件のもとで学習された項目について再生される項目数を予測するよう求めた。その結果、連想リハーサル条件の方が反復リハーサルよりも再生成績が高く、項目数の予測が正確であったと報告している。そして、記憶方略と JOL について Matvey, Dunlosky, & Schwartz(2006)は、関連したカテゴリーに分類できるリストと無関連なリストを使い、記憶方略の違いによる JOL の正確さを検討している。その結果、カテゴリーに分類できるリスト群での JOL 評価の正確度が高かったことを報告している。このように、JOL に反映されるメタ認知的モニタリングは、その判断が行われるときの実験状況や実験課題によって正確さが異なる。

JOL に関する神経機構は、あまり知られていない。神経心理学的研究では、前頭葉損傷患者において JOL 課題を行い、記憶システムとメタ記憶システムとの間の相違について報告されている(Vilkki, Servo, & Surma-aho, 1998; Vilkki, Surma-aho, & Servo, 1999)。まず Vilkki et al.(1998)の研究では、単語リストにおける JOL 課題を行い、次の研究(Vilkki et al., 1999)では視空間的な刺激で JOL 課題を行った。その結果、どちらの研究でも右前頭葉損傷患者において、左前頭葉損傷患者や健常者よりも予測の正確度の成績が低かった。つまり、言語性の予測課題であっても視空間的な予測課題であっても予測が困難であった。これらの結果は、JOL を正確に判断することが、前頭前野(PFC)の活動に重要であることを示唆している。

一方、健常者における JOL の神経機構に関する研究は、少ない。Kao, Davis, & Gabrieli(2005)は、機能的磁気共鳴画像法(fMRI)を用いて JOL 課題遂行中の脳活動を測定した。その際、①思い出せると判断した項目と忘れていたと判断した項目の予測が一致した場合、②予測に関わらず実際に思い出せた場合、③予測では思い出せると判断した場合とで比較を行った。その結果、①予測が一致した場合では外側前頭前野(lateral prefrontal cortex)が賦活し、②予測に関わらず実際に思い出せた場合では内側側頭葉(medial temporal lobe)が賦活し、③予測では思

い出せると判断した場合では腹内側前頭前野(ventromedial prefrontal cortex)の賦活がみられた。

また、メタ記憶の関連領域として FOK の研究が1つの手がかりとなると予想される。Kikyo, Ohki, & Miyashita(2002)は、fMRI を用いて FOK 課題遂行中の脳活動を測定した。実験は、FOK の研究でよく使われている想起-判断-再認(RJR)パラダイムを採用している。このパラダイムは3つの段階から構成されている。まず、被験者は一般的な知識問題を再生することが求められる。そして、被験者は、その答を答えるか、できる限り早くわからないと答える。次に、想起ができなかった問題は、再び被験者に提示され、各想起できなかった答えの FOK の程度を評価することが求められる。さらに、いくつかの選択肢の中から答えと思われるものを選んでもらう。これによって“想起できた”答えと、“知っているのに思い出せない”という答えを比較した。その結果、両側下前頭回(inferior frontal gyrus)の一部の反応が想起成功時には賦活しなかったが、FOK 時には賦活を示した。これらの部位がメタ記憶過程に重要な働きを示す部位であると述べている。以上のことからメタ記憶は、予測が正確に行なわれた場合には、外側前頭前野(lateral prefrontal cortex)が重要な働きをしていると考えられる。

一般的な学習(記憶)活動を行う際には、メタ認知的な“モニタリング”と“コントロール”が複雑に作用し、また、コントロールを行うためにはモニタリングが不可欠と考えられる(Nelson & Narens, 1990)。つまり、学習を効果的に行うためには、課題遂行時に学習状態のモニタリングに基づいて学習を適切にコントロールすることが必要である。そのためには学習状態に対するモニタリングが正確に行われなければならない。学習時に正確なモニタリングができなければ、どのようなコントロールを行ったとしてもそれは成績の向上には結びつかないからである。このことから、メタ認知的モニタリングが脳内でどのように行われ、どのように課題成績に影響を及ぼすかという点について検討することは重要であると考えられる。また、記銘する際、記憶方略を使うことは学習を効率的に行うことができるためモニタリングがより正確になると予想される。これにより、刺激材料の性質に応じて適切な記憶方略を行い、自己の記憶状態をより客観的にモニタリングすることができれば、前頭前野の働きも活発になることが予想される。特に近赤外分光法(near-infrared spectroscopy; NIRS)は時間分解能に優れているという特性から継時的変化を測定することができ、メタ記憶過程の脳内機構の特徴をとらえられることが予測される。

本研究では、近赤外分光法(NIRS)を用いて、JOL 課題遂行中の脳血液中のヘモグロビン濃度変化を測定し、その変化がメタ認知的モニタリング(メタ記憶)によるものであるか検討する。さらに、メタ記憶が記憶方略(メタ認知的知識)を使用する過程について検討する。

2. 方法

2.1 被験者

13名の健常成人（男性8名、女性5名）が本実験に参加した。被験者の平均年齢は23.3（SD；2.9）歳であり、全員右利きであった。また、被験者の1名はNIRS計測中体動によるアーチファクトが多く認められたためデータから除外した。なお、すべての被験者に対して、実験前に口頭および書面において研究の目的と内容を説明し、書面で同意を得た上で実験を行った。なお、本研究は富山大学倫理委員会の承認を受けて行なわれた。

2.2 刺激材料

2.2.1 記銘リスト

松井・中坪（2007）が調査した55カテゴリーにおける単語から40カテゴリーを抽出し、各カテゴリーの平均出現率が上位20位までの単語をカテゴリーリストに使用し、下位20位の単語を無関連リストに使用した。また、各カテゴリーから使用した単語は、カテゴリー内における出現率が上位4位までの4単語である。カテゴリーリストは、4カテゴリー×4単語からなる16単語で、計5リスト作成した。その際、同一のカテゴリーが連続しないように配列した。無関連リストは、下位20位のカテゴリーの中からカテゴリーごとに1単語ずつ抽出し、1リスト16単語になるよう作成した。無関連リストも計5リスト作成した。その際、刺激項目は1リスト内でできるだけ意味的にも音韻的にも無関連になるよう配列した。これらのうち、使用した単語リストは、各リスト（カテゴリー、無関連）からランダムに3リストずつ使用した。

2.2.2 記憶方略質問紙

記憶方略に関する質問紙は、清水（1990）が作成したものを使用した。この質問紙には、以下の10項目の記憶方略について記されていた。①一反復（single repetition；単語を1つずつ単純に何度も繰り返す）、②多重反復（multiple repetition；単語をいくつかずつまとめて何度も繰り返す）、③イメージ化（imagery for each word；各単語のイメージを思い浮かべる）、④リスト内連想（intra-list association；リスト内で単語同士を結び付ける）、⑤リスト外連想（extra-list association；あるリストの単語を別のリストの単語と結び付ける）、⑥単一項目による文章化（making sentences for a few word；各単語について文章を作る）、⑦複数項目による文章化（making sentences for all words；リストの単語を全部使って物語を作る）、⑧物語化（making story for all words；リストの単語を全部使って物語を作る）、⑨カテゴリー化（categorization；同一カテゴリーに属する単語をまとめる）、⑩類似による群化（similarity clustering；同一の文字や音韻を含む単語をまとめる）

2.3 手続き

2.3.1 実験装置

すべての刺激項目は、コンピューター・ディスプレイ上に視覚的に呈示された。また、すべての反応はパーソ

ナルコンピューター（OS: Windows XP）によって制御および記録が行われた。

2.3.2 NIRS 装置

全頭型NIRS（OMM-3000、島津製作所）によって計測を行った。近赤外光として3波長（780 nm、805 nm、830 nm）を用いて、酸素化ヘモグロビン（oxyHb）、脱酸素化ヘモグロビン（deoxyHb）、および総ヘモグロビン（totalHb）を測定した。プローブ間の間隔は3.0 cmであった。サンプリングタイムは250ミリ秒とした。

2.4 手続き

本実験の手続き全体の流れは図1に示したように、「記銘→JOL評定→再生」という順序で行われた。その間、同時にNIRSにより、oxyHb、deoxyHbおよびtotalHbの濃度が測定された。

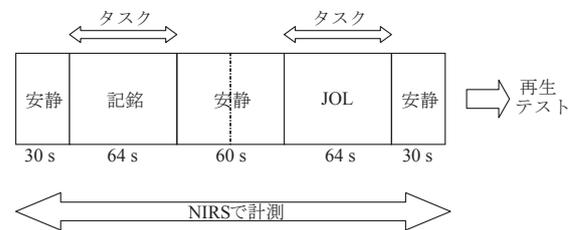


図1：実験デザイン

注：1試行の実験の流れ。この工程を各条件で3試行行なった。

実験は被験者ごと個別に暗室で行われた。被験者はコンピューターのディスプレイに正対するように椅子に座った。最初に、被験者は実験の全体の手順に関する説明を受けた。すなわち、目の前のコンピューター・ディスプレイ上に単語が呈示され、それらを記銘するよう教示された。このとき、刺激項目に対する記憶方略などに関しては何の指示も与えられなかった。そして、刺激項目の記銘後に記銘した単語にかかわる判断の評定も行うように求められた。また、その評定のあとに記銘した単語を思い出してもらった課題（自由再生課題）があることが告げられた。さらに、実験は全部で6試行あることが教示された。なお、実験上の注意としてできるだけ頭部を動かさないことと実験で使うボタンは右手人差し指で押すよう指示された。

NIRSによる計測中、まず30秒間安静にもらった。その後、画面中央に凝視点「+」が1秒間呈示され、その後に同一箇所に記銘する単語が呈示された。1単語につき3秒の割合で呈示され、記銘が行われた（図2）。すべての単語（16単語）が呈示された後、60秒間安静にもらった。その後、画面の中央に凝視点「+」が1秒間呈示され、先ほど記銘した単語と思い出せるかどうかの評定項目が呈示された。このとき、記銘課題で呈示された単語の順序とは異なる順序で呈示された。記銘と同様に1単語につき3秒の割合で呈示された。被験者は、刺激の呈示時間内にその単語に対して後の再生テストで「思い出せる」から「思い出せない」までのいずれかの5段

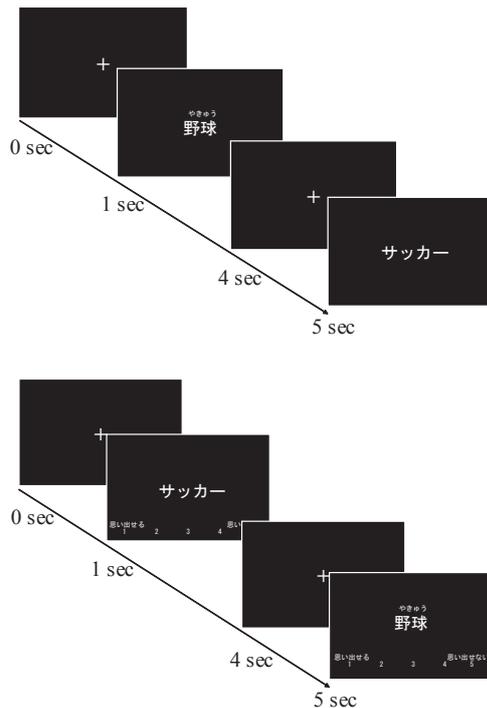


図2：記録課題（上）とJOL課題（下）

注：記録課題では、凝視点「+」1秒間呈示の後、記録する単語が3秒間呈示される。記録する単語は1試行につき16単語ある。JOL課題では、記録課題で呈示された単語が異なる順序で呈示される。その際、後の再生テストで呈示されている単語が「思い出せる」か「思い出せない」かの判断が5段階評定でボタン押しによって行なわれる。単語が呈示されている3秒間の間にその判断を行なう。

階評価の判断をボタン押しによって行った（図2）。すべての単語（16単語）の評定が終わった後、30秒間安静にしてもらった。ここでNIRSによる脳血流動態の計測を終了した。その後、被験者にA4サイズ用の紙が配布され、記録時に覚えた単語についての書記による自由再生課題が行われた。再生時間は特に設けなかった。さらに、記憶方略に関する質問紙が配布され、各方略の項目について「まったくしなかった」から「つねにしていた」までの5段階の尺度でいずれかに丸印を記入していった。

上述の実験の流れを1試行とし、カテゴリーリスト条件と無関連リスト条件を交互に行い、計6試行行われた。また、最初にカテゴリーリスト条件か無関連リスト条件を行う順序は被験者間でカウンターバランスされた。実験に所要する時間は、1試行あたり約5～7分であった。

2.5 データ分析

2.5.1 行動指標による分析

まず、各単語リストについての再生結果から試行ごとに単語再生数を求めた。記憶方略が成績に与える影響と刺激リストの難易度を検討するために、2（刺激リスト条件）×3（試行数）の2要因分散分析を行った。また、各単語リストについてJOLの評定値を試行ごとに求めた。JOLの評定値について、「思い出せない」から「思い出せる」までの5段階にそれぞれ0点から4点までの点数を与え、

個々の評定値とした。同様に記憶方略が評定値に与える影響と刺激リストの難易度を検討するために、2（刺激リスト条件）×3（試行数）の2要因分散分析を行った。さらに、刺激呈示からボタン押しまでをJOLの反応時間とし、条件ごとに平均値を算出し、2（刺激リスト条件）×3（試行）の2要因分散分析を行なった。

次にJOLの正確さを測定する指標として2種類の指標が用いられた。すなわち、グッドマン・クラスカルの順序連関係数（Goodman and Kruskal's gamma: Gと呼ぶ）と正判断率である。Gはメタ記憶におけるモニタリング研究の中で一般的に使用されている指標である（Nelson, 1984）。ピアソンの積率相関係数と同様、-1から+1までの値を取り、絶対値が大きいほど正答（不正答）と評定値の関係が強いことを示す。

これに対して、正判断率は評定値ごとの正答数に注目する。まず評定尺度が中央で二分され、「再生可能」と評定された項目（評定値が1または2）と「再生不可能」と評定された項目（評定値が4または5）に分類された。また、評定値3（「わからない」）を選択した場合や時間内に評定できなかった場合、それらの項目は除外された。そして再生可能性の評定によって分類されたそれぞれの項目数のうち、正確に判断できた項目数の割合として正判断率が計算された。Gと正判断率の各々でJOLの正確さを検討するため、刺激リスト条件間（カテゴリー vs 無関連）でt検定を行った。

各条件においてどのような記憶方略を用いていたかを検討するために記憶方略質問紙を用いた。記憶方略に関する質問紙への結果について、「まったくしなかった」から「つねにしていた」までの5段階評定にそれぞれ0点から4点までの点数を与え、個々の評定値とした。その評定値について、2（刺激リスト条件）×10（記憶方略）の2要因分散分析を行った。

2.5.2 NIRSによる分析

まず、各条件ごとに安定して記録がなされた試行を加算平均した。NIRSによって記録される脳血流の変化量は、各チャンネルにおけるoxyHb濃度（以下[oxyHb]とする）とdeoxyHb濃度（以下[deoxyHb]とする）、およびそれらの合計であるtotalHb濃度（以下[totalHb]とする）の3種類である。Hoshi, Kobayashi, & Tamura (2001)は、これらの3種類の変化量のうち[oxyHb]の変化が局所脳血流（regional cerebral blood flow: rCBF）の変化と最も高い相関を示していることを報告している。そこで本研究では、[oxyHb]の変化量に着目し、各チャンネルにおける安静時（前レストと後レスト）と課題時の変化量をt検定によって比較した。その結果、課題中の[oxyHb]が有意（ $p < .01$ ）に増加した場合を、そのチャンネルにおける有意な変化が生じたと判断した。また、各被験者ごとに有意な変化が生じたチャンネル数を集計し、両条件で被験者の半数以上が反応を示したチャンネルとその周辺チャンネルを分析対象とした。周辺チャンネルも含める理由は、NIRSは頭皮上に装置を装着するためプローブの位置と各

チャンネルに対応する脳部位は被験者ごとに若干異なるからである。そのため同一チャンネルごとにその変化量を比較することはできない。したがって、周辺チャンネルを含めることで空間的な位置の特定は厳密にできなくなるが、血流変化を大まかにつかむ目的においては有用であると考えられる。

ただし、NIRSによって計測されるヘモグロビンの変化量は、すべて計測開始時点を基準とした相対値であり、被験者の身体的特徴（頭蓋骨の厚さや脳表皮の形状など）によって光路長が異なるため、単純に被験者間で測定値の大きさを比較することや、全体の平均値を求めることはできない（福田他, 2004b）。この被験者による違いを統制するために、安静時（ベースライン）における oxyHb 変化量の平均が 0、標準偏差が 1 となるように線形変換（z-score）した。つまり、z 値が 0 よりも大きければ血流増加傾向を示し、0 よりも小さければ血流減少傾向を示すと考えられる。

本研究における統計解析は、この標準化した値（z-score）を用いた。全被験者の分類された周辺チャンネルの平均変化量を求めた。そして、各条件の JOL 遂行中の [oxyHb] の変化を調べるために、被験者間で t 検定を行なった。

3. 結果

3.1 行動指標

3.1.1 自由再生課題の成績

全体の再生成績について検討された。被験者ごとに 3 試行全体の再生数が集計され、各条件ごとにその平均値が算出された（カテゴリーリスト条件：14.3 ± 2.0 SD、無関連リスト条件：11.0 ± 2.5 SD）。再生数について、2（カテゴリーリスト条件、無関連リスト条件）× 3（1～3 試行）の 2 要因分散分析が行われた。その結果、条件間で有意な主効果が認められた（ $F(1, 72) = 41.81, p < .01$ ）。また、試行間の主効果は有意ではなかった（ $F(2, 72) = 0.12, n.s.$ ）。刺激条件×試行数の交互作用に有意な差は認められなかった（ $F(2, 72) = 1.27, n.s.$ ）。

3.1.2 JOL の評定値

JOL 評定値の結果について、「思い出せない」から「思い出せる」までの 5 段階にそれぞれ 0 点から 4 点までの点数を与え、個々の評定値とした（「思い出せない」= 0 点、「思い出せないだろう」= 1 点、「分からない」= 2 点、「思い出せるだろう」= 3 点、「思い出せる」= 4 点）。被験者ごとに JOL 評定値が算出され、各条件ごとに 3 試行全体の平均値が算出された（カテゴリーリスト条件：3.3 ± 0.7 SD、無関連リスト条件：2.6 ± 0.8 SD）。JOL 評定値について、同様に 2（カテゴリーリスト条件、無関連リスト条件）× 3（1～3 試行）の 2 要因分散分析が行われた。その結果、刺激条件間で有意な主効果が認められた（ $F(1, 66) = 12.64, p < .01$ ）。また、試行間の主効果、刺激条件×試行数の交互作用には有意な差が認められなかった（試行数： $F(2, 66) = 0.09, n.s.$ ；刺激×試行数： $F(2, 66) = 0.17, n.s.$ ）。

3.1.3 JOL 反応時間

刺激呈示からボタン押しまでを反応時間とし、各条件ごとに 3 試行全体の反応時間の平均値を算出し（図 3）、これらについて 2（刺激リスト条件）× 3（試行数）の 2 要因分散分析を行なった。その結果、条件間で有意な主効果がみられた（ $F(1, 6) = 5.98, p < .05$ ）。また、試行間の主効果、条件×試行数の交互作用は有意ではなかった（ $F(2, 66) = 2.74, n.s.$ ； $F(2, 66) = 0.61, n.s.$ ）。

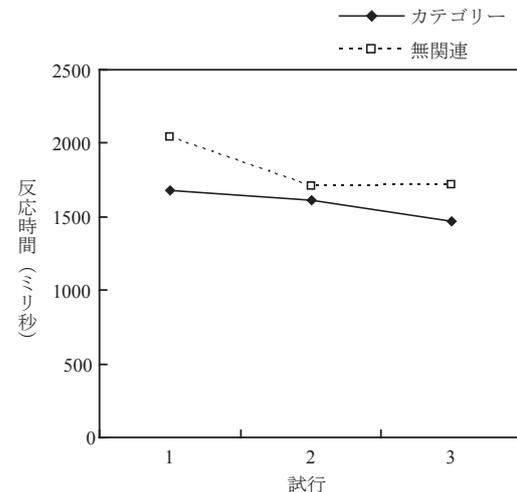


図 3：各条件ごとの JOL 反応時間

注：刺激呈示からボタン押しまでの時間を反応時間とし、3 試行全体を平均したものを示す。

3.1.4 JOL の正確さ

被験者ごとに JOL 評定値と再生成績をもとに順序連関係数（G）が算出され、各条件ごとにその平均値が算出された。この結果を図 4 に示した。2 つの刺激条件間で G の平均値についての t 検定が行われた。その結果、刺激条件間の G の平均値の間に有意差が認められた（ $t(22) = 2.13, p < .05$ ）。そして、正判断率の比較が行われた。これは JOL 評定において 1、2（思い出せる、思い出せるだろう

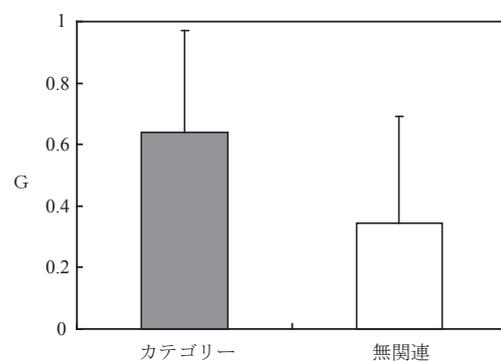


図 4：各条件ごとの G の平均

注：グッドマン・クラスカルの順序連関係数（Goodman and Kruskal's gamma: G）。ピアソンの積率相関係数と同様、-1 から +1 までの値をとり、絶対値が大きいほど正答（不正答）と評定値の関係が強いことを示す。図は各条件ごとに 3 試行全体を平均したものを示す。

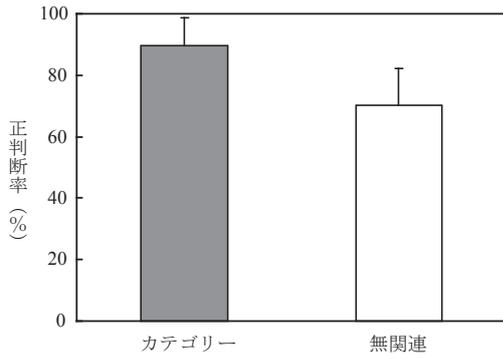


図5: 各条件ごとの正判断率

注: 再生可能項目(思い出せそうと判断した項目)と再生不可能(思い出せないだろうと判断した項目)に分類し、正答(不正答)との一致率を算出したもの。図は各条件ごとに3試行全体を平均したものを示す。

う)と評定された項目と4、5(思い出せないだろう、思い出せない)と評定された項目がそれぞれ「再生可能項目」、「再生不可能項目」として分類された。また、3(わからない)と評定された項目は除外された。被験者ごとに再生可能項目、再生不可能項目を合計した正判断率が算出され、各条件ごとにその平均値が算出された。この結果を図5に示した。正判断率について、刺激条件間のt検定が行われた。その結果、刺激リスト条件間に有意な差が認められた ($t(22) = 4.52, p < .01$)。

3.2 記憶方略に関する質問紙

記憶方略に関する質問紙への結果について、「まったくしなかった」から「つねにしていた」までの5段階評定にそれぞれ0点から4点までの点数を与え、個々の評定値とした。それぞれの記憶方略ごとに条件別の平均評定値を算出し、図6に示した。被験者がどの記憶方略を使用していたかを調べるために、2(条件) × 10(記憶方略)の2要因分散分析を行った。その結果、条件間に有意な差は認められなかった ($F(1, 220) = 0.58, n.s$)。そして、記憶方略間における主効果は有意であった ($F(9, 220) = 12.24, p < .01$)。さらに記憶方略間のどこに有意差が生じたのかをTukeyの多重比較検定を行った結果、「単一反復」、「多重反復」、「イメージ化」、「リスト内連想」、「カテゴリー化」の記憶方略の評定値は、「単一項目による文章化」、「物語化」、「類似による群化」の記憶方略よりも有意に高かった。また、「多重反復」と「カテゴリー化」においては「リスト外連想」と「複数項目による文章化」よりも評定値が有意に高かった。また、条件 × 記憶方略の交互作用にも有意な差が認められた ($F(9, 220) = 5.00, p < .01$)。単純主効果の検定の結果、カテゴリーリスト条件では、「カテゴリー化」の記憶方略の使用が無関連リスト条件と比較して有意に高かった ($F(1, 220) = 32.89, p < .01$)。また、無関連リスト条件では、「イメージ化」と「リスト外連想」の記憶方略がカテゴリーリスト条件よりも有意に高かった (イメージ化: $F(1, 220) = 4.00, p < .01$; リスト外連想: $F(1, 220) = 4.55, p < .01$)。その他の記憶方略では有意な差

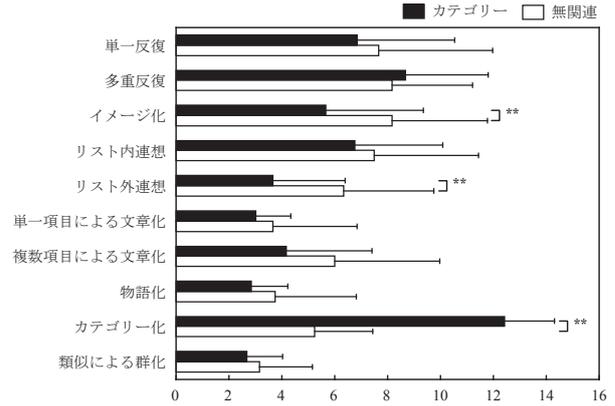


図6: 各条件ごとの記憶方略質問紙の評定 (3試行の合計)
注: どの記憶方略を使用したかの評定。横軸は各条件ごとに3試行の合計を平均したものを示す。
**: $p < .01$ (単純主効果の検定)

は認められなかった。

3.3 NIRSによる脳活動

本研究では、[oxyHb]の変化量に着目し、各チャンネルにおけるタスク開始前10秒間の安静(前レスト)と課題終了時から20秒後の安静10秒間(後レスト)をベースラインとし、ベースラインと課題時の変化量をt検定によって比較した。その結果、タスク中に[oxyHb]が有意 ($p < .01$)に増加した場合を、そのチャンネルにおける有意な変化が生じたと判断した。この結果より、有意な反応が半数以上の被験者に認められたチャンネルは、前頭部であることがわかった。そこで、前頭部の周辺チャンネル

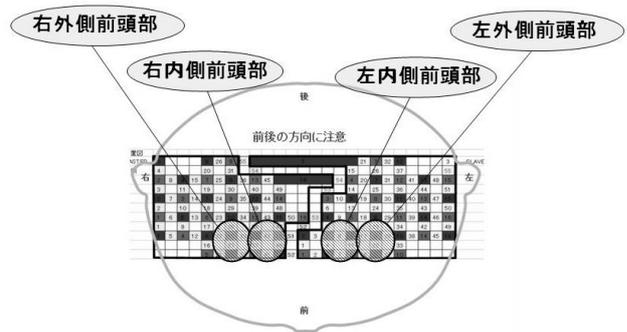


図7: 実験で用いたNIRSチャンネルの配置図(上)と実際の取り付け写真(下)

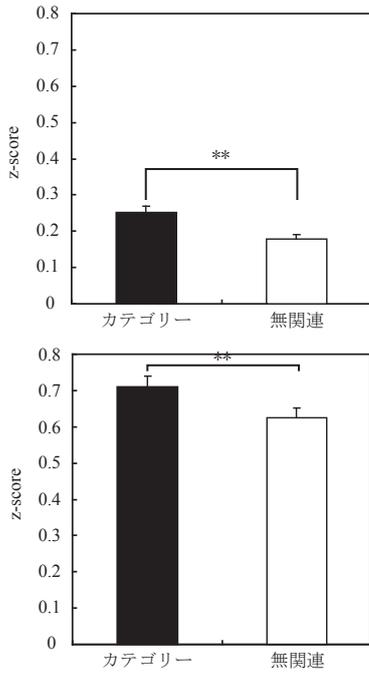


図 8 : 外側前頭部における JOL 課題時の [oxyHb] の平均変化量 (上 : 左側 ; 下 : 右側)
注 : * p < 0.05, ** p < 0.01

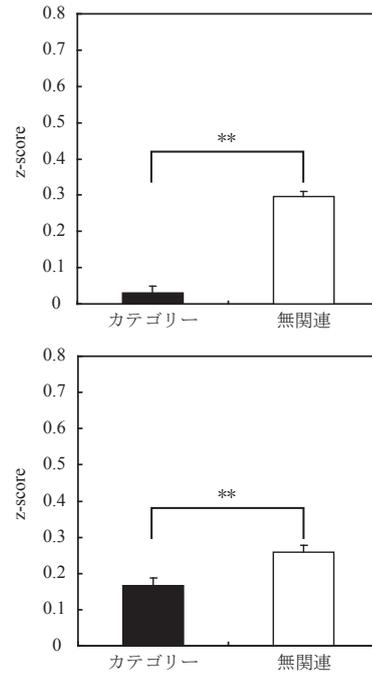


図 10 : 内側前頭部における JOL 課題時の [oxyHb] の平均変化量 (上 : 左側 ; 下 : 右側)
注 : ** p < 0.01

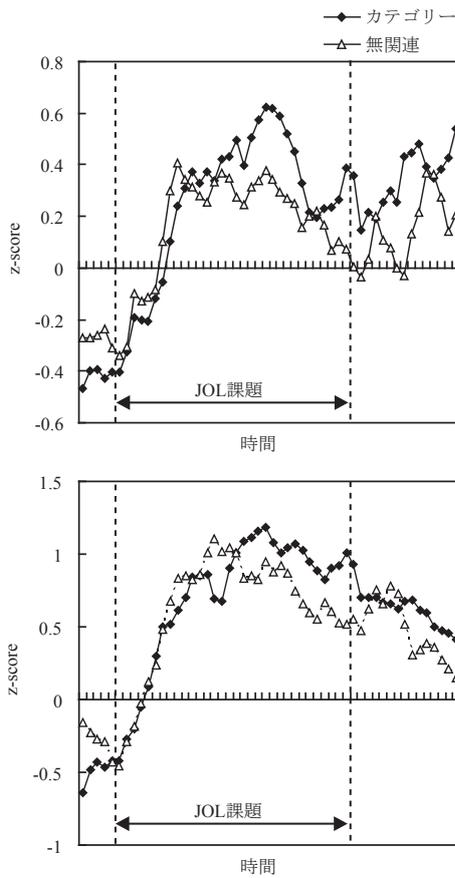


図 9 : 外側前頭部における [oxyHb] の変化 (上 : 左側 ; 下 : 右側)
注 : 全被験者の前レストから後レストまでの [oxyHb] の変化 (JOL 課題を含む) で 2 秒ごとの平均で表している。横軸は開始からの時間経過を示す。

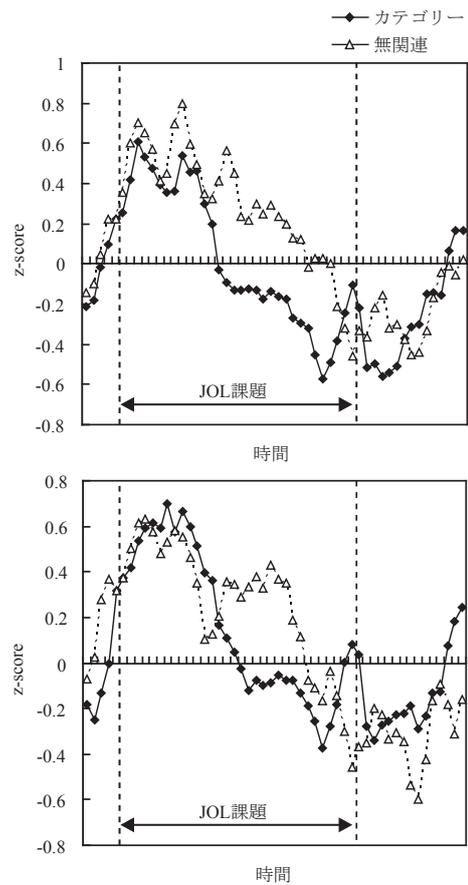


図 11 : 内側前頭部における [oxyHb] の変化 (左 : 左側 ; 右 : 右側)
注 : 全被験者の前レストから後レストまでの [oxyHb] の変化 (JOL 課題を含む) で 2 秒ごとの平均で表している。横軸は開始からの時間経過を示す。

ルを左右合わせて4つの区間(左/右・外側前頭部(lateral frontal): L/R LF、左/右・内側前頭部(medial frontal): L/R MF)に分類し(図7)、条件ごとに平均変化量を算出した。まず、外側前頭部に関して、右外側前頭部(RLF)において、2つの条件間で変化量についてのt検定が行われた。その結果、条件間で変化量に有意な差が認められた($t(510) = 2.25, p < .05$)。このことから、RLFにおける変化量は無関連リスト条件よりもカテゴリーリスト条件の方が大きく、カテゴリーリスト条件の方が無関連リスト条件よりも変化量が増加することが示された(図8、図9)。次に左外側前頭部(LLF)において、同様に2条件間で変化量についてt検定が行なわれた。その結果、条件間で変化量に有意な差が認められた($t(510) = 3.18, p < .01$)。つまり、LLFにおける変化量は、カテゴリー条件の方が増加することが示された(図8、図9)。

次に内側前頭部に関して右内側前頭部(RMF)において、2つの条件間で変化量についてのt検定が行なわれた。その結果、2つの条件間に有意な差が認められた($t(510) = 3.21, p < .01$)。このことからRMFにおける変化量はカテゴリーリストよりも無関連リスト条件の方が大きく、無関連リストの方がカテゴリーリストよりも変化量が増加することが示された(図10、図11)。そして、左内側前頭部(LMF)において、2条件間で変化量についてt検定が行なわれた。その結果、条件間で変化量に有意な差が認められた($t(510) = 8.75, p < .01$)。つまり、LMFにおいては、カテゴリーリスト条件よりも無関連リスト条件の変化量の方が増加することが示された(図10、図11)。

4. 考察

本研究では、カテゴリーリスト条件と無関連リスト条件の2つの条件が設定され、メタ記憶の実験的研究手法であるJOLを行ない、記憶方略によってJOLの正確さがどのように異なるかについて検討した。まず、全体の再生成績について、無関連リスト条件よりもカテゴリーリスト条件の方が多く再生されているということが示された。なお、刺激条件×試行数の交互作用が認められなかったことから、各条件の刺激リストにおける難易度が等質であることが示された。

JOL評定値について検討した結果、JOL評定値においても再生成績と同様に無関連リスト条件よりもカテゴリーリスト条件の方が「思い出せる」と評価され、交互作用が認められなかったことから、各条件の刺激リストにおける難易度が等質であることが示された。以上の結果より、全体の再生成績およびJOL評定値から刺激の条件によって有意な違いがみられることが示された。JOLの反応時間について検討した結果、カテゴリーリスト条件の方が無関連リスト条件よりも反応時間が速いことが示された。なお、条件×試行数に交互作用が認められなかったことから、ボタン押しによる学習効果はみられなかった。

記憶方略質問紙に関して検討を行なったところ、2つの条件間に差がみられなかったことから、被験者が使用

した記憶方略の割合は記憶方略の種類を問わず、なんらかの記憶方略が同程度使用されていたことが示唆される。また、被験者は主に「単一反復」、「多重反復」、「イメージ化」、「リスト内連想」、「カテゴリー化」の記憶方略を使用していることが示唆された。さらに、被験者は、カテゴリーリスト条件では「カテゴリー化」の記憶方略を、無関連リスト条件では「イメージ化」と「リスト外連想」の記憶方略を使用していたという違いがみられた。以上の結果から、カテゴリーリスト条件では、主に「カテゴリー化」の記憶方略を、無関連リスト条件では主に「イメージ化」の記憶方略を使用していたことが示された。また、その他の記憶方略は両条件で同程度使用されていたことが示された。

JOLの正確さについて検討された結果、Gの値は無関連リスト条件よりもカテゴリーリスト条件の方が大きく、カテゴリーリスト条件のほうが無関連リスト条件よりもJOLがより正確に判断される傾向があることが示唆された。正判断率の比較の結果、Gの比較と同様にカテゴリーリスト条件のほうが無関連リスト条件よりもJOLがより正確に行われることが示された。

JOLの正確さを示す2つの指標(順序連関係数(G)、正判断率)から、各被験者の学習状態のモニタリングはある程度正確であること、カテゴリーリスト条件の方がより正確であることが示された。この結果は、Matvey et al. (2006)の研究結果と一致している。また、Shimizu (1996)は、同一被験者に連想リハーサル(イメージして覚える)と反復リハーサル(単純に繰り返して覚える)の両方の実行経験をもつような事態においては、記憶方略の相対的な有効性の違いを比較的初期の段階から正確にとらえることができると報告している。つまり、カテゴリーリスト条件の方がより正確であったことから比較的早い段階で記憶方略に気づき、決定がなされたと示唆される。これは、JOL反応時間からも類推できる。

次にJOL課題遂行中の脳活動についてみていく。カテゴリーリスト条件において無関連リスト条件よりも外側前頭部の[oxHb]の変化量が増加した。また、図9をみるとタスク開始時から徐々に増加し、タスクの後半から終了時に緩やかに減少、またはそのままの状態を維持している。この傾向は無関連リスト条件にも見て取れる。この領域での反応は、Kikyo et al. (2002)が行なったFOK時の脳の賦活と同様の領域である。また、Kao et al. (2005)の実験では、JOL課題における予測が一致した場合の脳の賦活がこの領域であった。しかし、本研究において予測の一致した場合と不一致だった場合をNIRSで比較することはできない。そのため、予測が一致したために外側前頭部の変化量が増加したとはいえない。ただし、JOLの正確さの指標である順序連関係数(G)や正判断率でカテゴリーリスト条件の方がより正確であったことから、外側前頭部において予測の一致率が高いほど[oxHb]の反応が増加していることを示唆する。

外側前頭前野の主な機能として適切な課題遂行に必要な情報(とりうる反応の選択肢、現在行なうべき課題に

ついでの情報である課題要求など)を表象する機能が挙げられる(中尾・武澤・宮谷, 2006)。つまり、本研究において、カテゴリーリスト条件では、「カテゴリーに分類する」という答えが1つに決められた状況(必ずしもそうではないが)での行動選択が適切な反応を促進したために、外側前頭部における反応が無関連リスト条件よりも増加していることが示された可能性がある。また、左の前頭前野は、意味記憶に関連した情報を想起したり、エピソード記憶からの情報を符号化したり、主に言語処理に関連した領域である(Tulving et al., 1994)。特に左の外側前頭前野(特に左下前頭回)では、記憶の体制化(素材をまとめあげること)に働くと考えられている(e.g. Matsui et al., 2007; Matsui et al., 2008; Miyazaki et al., 2007; Nohara et al., 2002)。今回使用した刺激(カテゴリーリスト)では、被験者にカテゴリー情報を利用することを求めており、本研究で用いた記憶方略質問紙で「カテゴリー化」の記憶方略を使用していたことが示されていることから、被験者はカテゴリーに気づき、記憶の体制化が行なわれていたことが示唆される。つまり、本研究における左の外側前頭部の一部の反応は、記憶の体制化によるものであると推測される。一方、右の下前頭回では、自分が経験した記憶を思い出す場合や、自己の特性に関する判断を行なう場合など、高次の自己情報の処理に関与することが報告されている(e.g. Tulving et al., 1994)。また、これらの研究では、右半球優位な活動が示されており、自己認知プロセスに限らず、より高次の自己関連処理にも右の前頭領域が重要な役割を果たしている。本研究におけるメタ記憶は、コントロールとモニタリングの2つの作業が含まれている。メタ認知的コントロールには、記銘処理や探索方略の選択・取りやめ、学習時間の配分などが含まれている。また、メタ認知的モニタリングでは個人の記憶活動を修正したり、調整したりするための種々の判断や予想、意思決定がなされると仮定されている(Nelson & Narens, 1990)。特に、三宮(1996)はメタ認知的コントロールについて、認知の「目標設定(goal setting)」、「計画(planning)」、「修正(planning)」などが含まれていると述べており、本研究課題においては、自己の記憶活動に関する特性を判断し(目標設定)、記憶方略を選択している(計画)というメタ認知的コントロールが行なわれていると考えられる。すなわち、高次の自己情報の処理が行われたため、右の外側前頭部の反応が増加したのかもしれない。したがって、右外側前頭部はメタ認知的コントロールに重要な役割を果たしていることが推測される。本研究におけるNIRSによる[oxyHb]の変化量をみると右外側前頭部の変化量が他の領域よりも高いことがわかる。この結果は、自己認知に関する従来の研究と一致したものとなった。

無関連リスト条件においてカテゴリーリスト条件よりも内側前頭部の[oxyHb]の変化量が増加した。しかし、図11をみるとタスク開始時の増加が顕著であり、その後は減少傾向にあることが見て取れる。この減少傾向は、カテゴリーリスト条件で顕著に見られ、無関連リスト条

件では緩やかに減少している。この減少傾向の差が生じた理由の1つに、メタ認知的モニタリングは無関連リスト条件の方が長く行なわれていたことが考えられる。つまり、1単語に対する予測の時間が相対的に長くなり、その思考時間が脳活動に影響を及ぼしたと考えられる。本研究の図6からもJOL反応時間は無関連リスト条件の方がカテゴリーリスト条件よりも遅くなっていることが示されている。メタ認知的モニタリングについて三宮(1996)は、認知についての気づき(awareness)、感覚(feeling)、予想(prediction)、点検(checking)、評価(evaluation, assessment)などが含まれていると述べており、無関連リスト条件では、課題において何らかの効率的な記憶方略を探索していたと考えられる。その記憶方略に対する評価や気づきがカテゴリーリスト条件と比べると遅くなり、内側前頭部のタスク時における減少傾向が緩やかになったと考える。つまり、この領域はメタ認知的モニタリングの影響を受けやすい領域であることが示唆される。

内側前頭前野(medial prefrontal cortex: MPFC)の主な機能として、自己知識や他者知識、自己モニタリング、心の理論、道徳、不確実状況での意思決定といった高次の認知機能との関連がある(中尾他, 2006)。つまり、本研究においては自己知識や自己モニタリングといった自己についての心的状態を理解しようとしていたため内側前頭部において反応がみられたと考えられる。そして、カテゴリーリスト条件においては、自己についてのモニタリングが記銘時から初期のJOL課題時に終了し、メタ認知的コントロールに作業が移行したと考えられる。これは、Shimizu(1996)の記憶方略の相対的な有効性の違いを比較的初期の段階から正確にとらえることができるという見解と一致している。また、不確実な状況での意思決定(中尾他, 2006)ということにも合致している。つまり、無関連リスト条件では、記銘する際、決められた記憶方略があるわけではないので自己の経験から最適な記憶方略を使用しなければならない。そのため、内側前頭部に反応がみられた可能性がある。

本研究における問題点について述べる。本実験では、カテゴリーリスト条件と無関連リスト条件を設定し、被験者に後の再生テストで思い出せるか否かの判断を求めた。本研究の目的としては、カテゴリーにより早く気がつき、効率的な記憶方略を使用することを求めていた。その結果、カテゴリーリスト条件の方が有意に高い成績であった。しかし、“効率的”な記憶方略は個人ごとに異なり、無関連リスト条件でより効率的な記憶方略を用いる被験者が存在する可能性は否定できない。このことに関して、今後は属性のことなる刺激材料を用いて検討する必要があると考える。さらに、記憶方略の選択を自動的に行なう者と意図的に行なう者(Jacoby, 1991)では脳の賦活に差異が出る可能性もある。このことに関しては、今後認知の個人差に相応した分析を行なっていく必要があると考えられる。第2に、NIRS研究で常に上げられるのが相対値の問題である。赤外線の入射から受光までの光路長が不明なことから光路長が決定できないこ

とため、皮膚や散乱係数が対象と場所によって一定しないことも不確定の要素となる(山本他, 2006)。したがって、得られるデータは相対値であり、このような相対性は、同じ被験者の異なるチャンネルごとに、また、同じチャンネル位置においても異なる被験者ごとに認められる(福田他, 2004a)。本研究では得られたデータを標準化(z-score)し、被験者間比較を試みた。その結果、前頭部におけるおおよその傾向を掴むことができた。しかし、標準化をすることによって光路長の問題が解決されたわけではなく、被験者間の比較にはやはり問題があるといえる。そのため、NIRSにおける被験者間で比較するための方法論的工夫が必要であると考えられる。

本研究結果より、NIRSによってメタ記憶に関する脳内賦活が捉えられた。今後の展開として、メタ記憶の形成過程が挙げられる。メタ記憶は、もともと認知や記憶に関する発達研究のなかで発展してきたものであり、なかでもメタ認知の問題は、子どもの他者理解に関連して注目されている(清水, 2002)。つまり、メタ認知(メタ記憶)は、「心の理論(theory of mind)」と深く結びついている。自己を客観的に評価するメタ認知は、他者の心的状態を推測させる心の理論と非常に関連しており、脳画像研究でも共通した脳部位が賦活することが認められている(Ochsner et al., 2004)。そのため、発達過程にある脳の働きを直接調べることによって、どの時期にどの脳領域が機能し始めるかについての示唆が得られるだろう。そのことにより、例えば心の理論が問題視されている自閉症などの発達障害の早期発見につながる可能性を秘めていると思われる。さらに、統合失調症患者では、意味的カテゴリー化の方略を用いることが少ないことが示されており(Matsui, Yuuki, Kato, & Kurachi, 2006; Matsui et al., 2008)、今後本研究で示したメタ記憶の視点をとりいれることにより、その障害のメカニズムを詳細に調べることができるかもしれない。

謝辞

本研究は、独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 2004～2009年度(CREST)および科学研究費補助金 基盤研究(B) 課題番号20330141による助成を受けた。

引用文献

出口智子(2001). 学習-JOL評定間の遅延の程度がJOLの正確さに及ぼす効果, 名古屋大学大学院教育発達科学研究科紀要 心理発達科学, 48, 123-130.

福田正人・亀山正樹・山岸裕・佐藤利正・上原徹・伊藤誠・須藤友博・井田逸朗・三國雅彦(2004a). NIRS, 臨床精神医学, 2004増刊, 584-588.

福田正人・亀山正樹・山岸裕・上原徹・伊藤誠・須藤友博・井田逸朗・三國雅彦(2004b). 精神疾患の生理学におけるNIRSの意義, 臨床精神医学, 33, 787-798.

Hoshi, Y., Kobayashi, N., & Tamura, M. (2001). Interpretation of near-infrared spectroscopy signals: a study with a newly

developed perfused rat brain model. *Journal of Applied Physiology*, 90, 1657-1662.

Jacoby, L.L. (1991). A process dissociation framework: separating automatic from intentional use of memory. *Journal of Memory and Language*, 30, 513-541.

Kao, Y.-C., Davis, E. S., & Gabrieli, J. D. E. (2005). Neural correlates of actual and predicted memory formation. *Nature Neuroscience*, 12, 1776-1783.

Kikyo, H., Ohki, K., & Miyashita, Y. (2002). Neural correlates for "feeling-of-knowing": an fMRI parametric analysis. *Neuron*, 36, 177-186.

松井三枝・中坪太一郎(2007). 55カテゴリーにおける単語の出現頻度, 富山大学杉谷キャンパス一般教育研究紀要, 35, 47-60.

Matsui, M., Tanaka, K., Yonezawa, M., & Kurachi, M. (2007). Activation of the prefrontal cortex during memory learning: a near-infrared spectroscopy study. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 61, 31-38.

Matsui, M., Suzuki, M., Zhou, S.Y., Takahashi, T., Kawasaki, Y., Yuuki, H., Kato, K., & Kurachi, M. (2008). The relationship between prefrontal brain volume and characteristics of memory strategy in schizophrenia spectrum disorders. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, 32, 1854-1862.

Matsui, M., Yuuki, H., Kato, K., & Kurachi, M. (2006). Impairment of memory organization in patients with schizophrenia or schizotypal disorder. *Journal of International Neuropsychological Society*, 12, 750-754.

Matvey, G., Dunlosky, J., & Schwartz, B. L. (2006). The effects of categorical relatedness on judgments of learning (JOLs). *Memory*, 14, 253-261.

Miyazaki, A., Matsui, M., Narahara, M., Kobayashi, T., & Nishijo, H. (2007). Study of brain activation related to memory organization by near-infrared spectroscopy. *Neuroscience Research*, 58, S226.

中尾敬・武澤友広・宮谷真人(2006). 内側前頭前皮質の機能—行動選択基準仮説—, 心理学評論, 49, 592-612.

Nelson, T. O. (1984). A comparison of current measures of the accuracy of feeling-of-knowing predictions. *Psychological Bulletin*, 95, 109-133.

Nelson, T. O., & Narens, L. (1990). Metamemory: A theoretical framework and new findings. In G. H. Borwer (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*. Vol. 26. San Diego: Academic Press. pp125-173.

Nohara, S., Suzuki, M., Kurachi, M., Yamashita, I., Matsui, M., Seto, H., & Saitoh, O. (2000). Neural correlates of memory organization deficits in schizophrenia: A single photon emission computed tomography study with 99mTc-ethyl-cysteinate during a verbal learning task. *Schizophrenia Research*, 42, 209-222.

Ochsner, K. N., Knierim, K., Ludlow, D. H., Hanelin, J., Ra-

- machandran, T., Glover, G., & Mackey, S. C. (2004). Reflecting upon feeling: An fMRI study of neural systems supporting the attribution of emotion to self and other. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 1746-1772.
- 三宮真智子 (1996). 思考におけるメタ認知と注意 市川伸一 (編) 認知心理学 4 思考 東京大学出版会 pp.157-180.
- 清水寛之 (1990). 再生に及ぼす検査予期とリハーサル方略の効果—同時呈示事態での検討— 心理学研究, 61, 268-272.
- Shimizu, H. (1996). Rehearsal strategies, test expectancy, and memory monitoring in free recall. *Memory*, 4(3), 265-287.
- 清水寛之 (1999). 自由再生におけるリハーサル方略とメタ記憶判断—学習容易性判断と再生可能性判断の比較検討—, 人文学紀 (神戸学院大学人文学部), 19, 11-23.
- 清水寛之 (2002). 自己の状況とメタ認知 井上毅・佐藤浩一 (編) 日常認知の心理学 北大路書房 pp.192-208.
- Tulving, E., Kapur, S., Craik, F. I. M., Moscovitch, M., & Houle, S. (1994). Hemispheric encoding / retrieval asymmetry in episodic memory: Positron emission tomography findings. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91, 2016-2020.
- Vilkkilä, J., Servo, A., & Surma-aho, O. (1998). Word list learning and prediction of recall after frontal lobe lesions. *Neuropsychology*, 12, 268-277.
- Vilkkilä, J., Surma-aho, O., & Servo, A. (1999). Inaccurate prediction of retrieval in a face matrix learning task after right frontal lobe lesions. *Neuropsychology*, 13, 298-305.
- 山本大誠・森川孝子・中前智通・松尾善美・奈良勲 (2006). 近赤外分光法を用いた脳光イメージングの現状と可能性—文献的考察, 神戸学院総合リハビリテーション研究, 1, 83-95.

(受稿 : 2010 年 5 月 3 日 受理 : 2010 年 5 月 21 日)