

事象関連電位による色の記憶探索過程に関する研究¹

宮谷真人・中尾 敬・大川かおり・
Nicholas S. R. Sanderson・託見 健

An event-related potential study on memory search for color

Makoto Miyatani, Takashi Nakao, Kaori Ohkawa,
Nicholas S. R. Sanderson, and Ken Takumi

The present study focused on memory search processes in nonverbal working memory. Event-related potentials (ERPs) were recorded while subjects engaged in two memory search tasks. Effects of memory set size on event-related potentials were compared between when memory sets consisted of one or four alphabets and when one to three unvocable color patches composed memory sets. In a letter search task, increase of memory set size caused the enlargement of negativities of ERPs between 250 and 450 ms latency range. Although the enhancement of negativities due to memory set size was also observed in a color search task, time course and scalp distribution of this effect were different from those in the letter search task. These results suggest that the nature of memory search process for nonverbal stimuli differs from those in verbal working memory.

スーパーマーケットに行って、メモした買い物リストを忘れたことに気づき、何を買って帰らなければならないかを頭に思い浮かべながら、目の前の商品を調べていく。このような時の頭の働きを実験的に検討する課題の一つが記憶探索課題である。例えば、Sternberg (1966) は、被験者にあらかじめ1から6個の数字を覚えてもらい（以後、記憶セット）、その後に呈示する一つの数字（以後、テスト刺激）が覚えた数字の中にあつたかどうかの判断を行わせた。その結果、記憶セットサイズ（記憶セットに含まれる項目の数）が増加するにつれて、テスト刺激に対する反応時間が直線的に増大した。また、負試行（テスト刺激が記憶セット内の項目でない試行）における反応時間が、正試行（テスト刺激が記憶セット内の項目である試行）の反応時間に比べてやや長かったが、記憶セットサイズの増加にともなう反応時間の延長の程度には、正試行と負試行の間で違いがなかった。これらのことから、Sternberg (1966) は、短期記憶内の項目に対しては、系列悉皆型の探索が行われると結論した。しかし、それ以降の研究で、系列悉皆型とは異なるモデルがいくつか報告されており（Juola, Fishler, Wood, & Atkinson, 1971; Theois, Smith, Haviland, Traupmann, & Moy, 1973;

¹ 本研究は、平成11-13年度科学研究費補助金（課題番号11610080）の補助を受けて実施した。

Townsend, 1976), 記憶探索過程の性質については, 記憶セットを構成する項目の性質や被験者の方略などを考慮した柔軟なモデルが必要であると考えられる。

ところで, 短期記憶の概念 (Atkinson & Shiffrin, 1968) について, 長期記憶との構造的区分への疑問, 処理的観点の欠如, 言語現解や推論などの日常的認知活動における役割の不明確さなどの問題点が指摘されてきた (三宅, 1995)。その欠点を補う形で提唱されたのが, 作動記憶 (Baddeley, 1986; Baddeley & Hitch, 1974) という概念である。作動記憶は, 理解, 思考, 推理といった複雑な認知活動を支える, 情報の一時的貯蔵と操作のための脳システム (Baddeley, 1992) と定義される。短期記憶が, おもに言語的情報の音声的符号による一時的貯蔵庫という受動的なとらえ方であったのに対し, 作動記憶の考え方では, 情報の保持機能と同時に, それに対する積極的処理機能が強調されている。現在広く受け入れられている Baddeley らのモデルでは, 作動記憶を, 音声的符号に基づいた言語的情報の一時的保持をおこなう音韻ループ, 視空間的情報を何らかの画像的符号によって維持する視空間スケッチパッド, およびこれら 2 つの下位システムの働きを調節し, 協調的に機能させる中央実行系からなるシステムであると考えている (Logie, 1995)。複数の下位システムを仮定することにより, 従来の短期記憶モデルが主として扱ってきた言語的・音声的な情報だけでなく, 視覚イメージを含む視覚的符号, 意味的・概念的符号など多様な情報の処理や保持を扱えるようになったことが, 作動記憶概念の長所の一つである (三宅, 1995; 齊藤, 1997)。ここで, 従来文字や数字などの刺激を使って検討されることの多かった記憶探索過程について, 非言語的刺激を用いた検討を加える必要が生じる。本研究は, 言語的刺激の記憶探索過程と, 非言語的刺激の記憶探索過程を比較することにより, 作動記憶内の言語的下位システム (音韻ループ) と非言語的下位システム (視空間スケッチパッド) の性質について検討することを目的とする。

文字や単語などの言語的刺激を用いた記憶探索課題を遂行中に事象関連電位 (event-related potentials, ERP) を記録すると, 記憶セットサイズにともなう系統的な波形の変化が観察できる。一般に, 記憶セットを大きくすると, ERP の P3b 潜時は反応時間と同様遅延し (Adam & Collins, 1978; Ford, Roth, Mohs, Hopkins, & Kopell, 1979; Gomer, Spicuzza, & O'Donnell, 1976; Kramer, Schneider, Fisk, & Donchin, 1986), P3b 振幅は減少する (Kramer et al., 1986; Kramer, Strayer, & Buckley, 1991; Looren de Jong, Kok, & Van Rooy, 1988)。P3b 成分の他に, 陰性電位の変動に注目した研究もある。Okita, Wijers, Mulder, & Mulder (1985) は, 空間選択的注意と記憶探索を組み合わせた課題を遂行中の被験者から ERP を記録した。彼らは, 被験者に凝視点を中心とした仮想的な四角形の一方向対角線に注目させ, あらかじめ覚えた標的文字がその位置に呈示された場合にのみ反応させた。その際, 記憶セットサイズを 1, 2, 4 と変化させ, それによる ERP の変化を調べた。注目していない場所に呈示された非標的刺激に対する ERP には記憶セットによる違いはなかったが, 注目場所の非標的刺激 ERP には, 刺激後 300-700 ms の区間に, Cz 優勢に分布し, 記憶セットが大きくなるほど振幅が増大する明瞭な陰性電位が認められた。Okita et al. (1985) は, これを探索陰性波と呼び, 短期記憶における制御的探索過程を反映する電位であると推定した。この探索陰性波は, 色による選択 (宮谷, 2001; Wijers, Mulder, Okita, Mulder, Scheffers, 1989) や文字の大きさによる選択 (Wijers, Mulder, Okita, & Mulder, 1989), あるいは心的回転 (Wijers, Otten, Feenstra, Mulder, & Mulder, 1989) などと組み合わせた記憶

探索課題でも認められている。さらに、刺激として母音や純音を用いた聴覚的課題においても、視覚課題に類似した探索陰性波が報告されている (Okita, 1989)。

本研究では、これらの ERP 変化のうち、探索陰性波に注目した。アルファベットと、言語化しにくい色パッチを刺激として、記憶探索課題を実施した。課題遂行中の被験者から ERP を記録し、探索陰性波におよぼす記憶セットサイズの効果が、刺激の性質によって異なるかどうかを検討した。

方 法

被験者 視力 (矯正視力を含む) が正常で、右手利きの大学生および大学院生 12 名 (男性 4 名, 女性 8 名, 19-31 歳) を被験者とした。

刺激と装置 パソコン用 CRT (MF-8521, 飯山電機) 画面に、色パッチおよびアルファベットを呈示した。色パッチは、言語的命名のしにくい 6 種類の色 (Microsoft 社製の Quick Basic で作成した時の R:B:G 値がそれぞれ 3:4:14, 3:9:12, 4:6:11, 0:9:12, 8:1:12, 9:0:14, CRT 呈示時の CIE 色度座標上の x:y 値が .178:.052, .241:.157, .205:.167, .167:.055, .167:.143, .184:.079) のどれかで塗り潰した円 (直径が視角で 2 度, 観察距離 90 cm) であった。アルファベットは、C, G, O, Q, U, V を除く 20 文字を用い、CRT 呈示時の大きさは、視角で 0.7 度×0.7 度であった。刺激の時間的制御と反応時間の測定には、吉田 (1994) のタイマー・プログラムを使用した。

課題 文字探索課題と色パッチ探索課題を実施した。被験者は、各実験系列の始めに、文字探索課題ではアルファベットを 1 文字 (L1 条件) または 4 文字 (L4), 色パッチ探索課題では 1 から 3 個 (C1, C2, C3 条件) の色パッチの色を覚えた。続いて呈示されるテスト刺激 (アルファベット 1 文字, または色パッチ 1 個) が、あらかじめ覚えたものと一致していれば (標的刺激) 右手でスイッチを押して反応し、一致しなければ (非標的刺激) 何もしなかった。被験者には、凝視点から目を動かさないこと、反応はできるだけ正確にかつ速く行うことを教示した。テスト刺激の呈示開始後、スイッチが押されるまでの時間を 1 ms 単位で測定した。標的刺激に対して刺激呈示後 200-1 500 ms の間に反応した場合、非標的刺激に対して 1 500 ms まで反応しなかった場合を正反応とした。誤反応時には、反応直後に 1 000 Hz の純音を 100 ms 呈示して、被験者に知らせた。

手続き 刺激の種類と記憶セットサイズに関する 5 条件を 6 系列ずつ実施した。1 系列は 20 試行であった。各実験系列の最初に記憶セットを呈示し、被験者が十分に標的を覚えた後、試行を開始した。テスト刺激の呈示時間を 300 ms, テスト刺激間のオンセット間隔を 2 200 ms として、20 刺激を継時的に呈示した。20 試行中 4 試行では標的の刺激を、16 試行では非標的の刺激をランダムな順序で呈示した。ただし、標的の刺激が連続して呈示されないようにした。また、色パッチ探索課題では、最初の 3 試行中のいずれかで必ず標的の刺激を呈示した²。

標的の刺激は実験系列ごとに変えた。標的となる文字や色は、ランダムに決定した。被験者の半数

² 予備実験において、実験系列の最初で非標的の刺激ばかりが連続すると標的の刺激の色を忘れてしまいやすいという被験者の内省報告が得られたため、このような手続きを採用した。

は実験の前半で文字探索課題を、後半で色パッチ探索課題を実施した。残りの半数では、実施順序を逆にした。反応に用いる手は右手に固定した。各探索課題において、記憶セットサイズに関する条件の実施順序はランダムとした。各探索課題の本試行に入る前に、練習を十分に（文字探索課題で40試行以上、色パッチ探索課題で60試行以上）行った。

脳波の記録と分析 銀・塩化銀血電極を用い、鼻尖を基準として、Fz, Cz, Pz, Oz, T5, T6, O1, O2の8部位から脳波を、左眼窩上から眼球電図を記録した。また、右前腕の長掌筋上2箇所から筋電図を記録した³。電極間抵抗は5 k Ω （筋電図では50 k Ω ）以下とした。脳波と眼球電図、および筋電図は、生体電気用アンプ（BIOTOP 6R-12, NEC メディカルシステムズ）を用いて増幅した。帯域通過周波数は脳波と眼球電図が0.05-30 Hz、筋電図が20-200 Hzであった。増幅した脳波等は、シグナルプロセッサ（DP-1200, NEC メディカルシステムズ）を用いて、サンプリング周波数200 HzでAD変換し、光ディスクに記録した。

十分な加算回数を得られた非標的刺激に対するERPを分析の対象とした。分析区間は、刺激呈示前100 msから呈示後1000 msの区間とした。誤反応試行およびアーチファクトの混入した試行を除き、刺激の種類および記憶セットサイズに関する条件別にERPを算出した。

記憶セットサイズの効果を調べるために、各条件で得られたERPを50 msごとの20区間に区切り、それぞれの区間の平均電位を算出した。統計的検定は部位ごとに行い、文字探索課題では対応のあるt検定を、色パッチ探索課題では繰り返し測度の分散分析を用いた。ERPデータの分析にあたっては、分散・共分散の非等質性によるタイプIエラーの確率増加（Vasey & Thayer, 1997）を避けるため、必要に応じてGreenhouseとGeisserの ϵ で、自由度を調整した。

結 果

行動測定 各条件の標的刺激に対する反応時間の平均値をTable 1に示した。Table 1には、誤答率（ミスおよびフォールス・アラーム）も同時に示す。

Table 1
記憶セットの種類と大きさによる反応時間と誤答率の違い

記憶セット条件	文字		色パッチ		
	L1	L4	C1	C2	C3
反応時間 (ms)	579.8	671.7	709.7	731.8	781.6
(SD)	105.6	128.4	193.0	182.3	172.4
ミス (%)	0.0	0.6	39.2	45.4	46.8
(SD)	0.0	0.8	19.0	20.7	18.2
フォールス・アラーム (%)	0.3	1.3	12.1	19.4	24.2
(SD)	1.1	2.5	6.1	13.5	11.1

³ 本論文では、筋電図に関する報告はしない。

文字探索課題における反応時間について対応のある t 検定を行ったところ、L4 条件の反応時間が L1 条件よりも有意に長かった ($t(11)=6.2, p<.01$)。多くの被験者が、文字探索課題では誤反応を全くしなかったため、誤答率については統計的検定を行わなかった。色パッチ探索課題における反応時間について、記憶セットサイズに関する 1 要因の分散分析を行った結果、主効果が有意で ($F(2, 22)=5.95, p<.01$)、C3 条件の反応時間が C1 条件に比べて長かった。誤答率についても同様の分散分析を行った結果、ミス率については記憶セットサイズの効果はなく、フォールス・アラーム率は、C1 条件に比べて C3 条件で有意に ($F(2, 22)=7.84, p<.01$) 大きかった。

ERP 文字探索課題の非標的刺激に対する総加算平均 ERP 波形を Figure 1 に、色パッチ探索課題における同様の波形を Figure 2 に示す。いずれも、記憶セットサイズの異なる条件の波形を重ね書きしてある。Figure 1 の波形では、後頭部および側頭後部で、潜時 200 ms 前後に頂点をもつ陰性成分が大きく出現している。記憶セットサイズによる ERP の違いは、その陰性成分の下降脚の途中、刺激呈示後約 250 ms あたりから全部位で出現している。一方、Figure 2 をみると、後頭部、側頭後部の大きな陰性電位については Figure 1 と同じであるが、記憶セットサイズ条件による差が現れるのが、例えば Cz では約 400 ms と遅い。また、C1 条件と C2 条件の波形は分析区間全体を通して良く似ており、刺激後 500 ms 以降では、C3 条件の波形が他の 2 条件の波形とはっきり異なってくる。

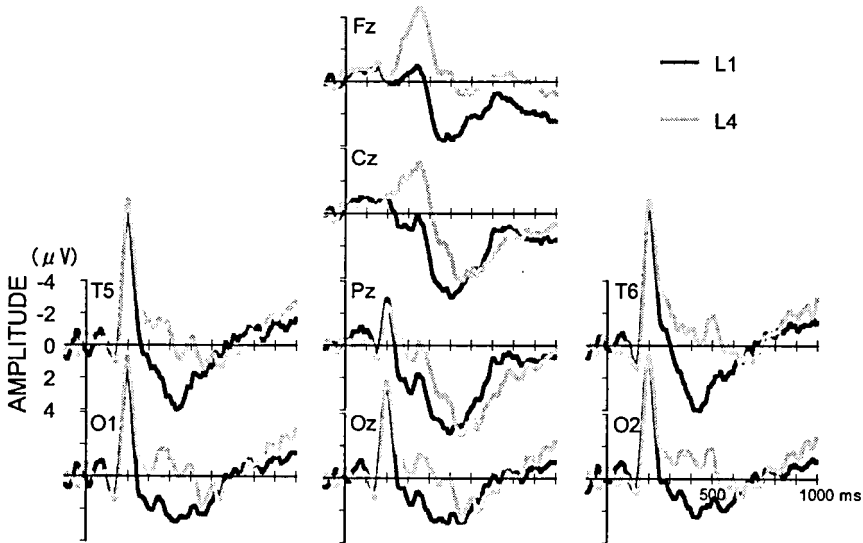


Figure 1. 文字探索課題における非標的刺激に対する ERP の総加算平均波形。

50 ms ごとの区間平均電位に基づいて、記憶セットサイズの効果を調べた (t 値および F 値等の報告は省略する)。文字探索課題では、Fz では刺激後 250-550 ms、Cz、Oz、O1、O2 では 250-500 ms、Pz では 250-450 ms、T5 と T6 では 200-500 ms の区間で、L4 条件の波形が L1 波形に比べて陰性であった。色パッチ探索課題では、Fz では 500-1 000 ms、Cz では 500-600 ms と 750-850 ms、Pz、Oz と O2 では 750-850 ms、O1 では 600-650 ms と 750-900 ms、T5、T6 では 750-800 ms の各区間で、C3 条

件のERPが、C1およびC2条件に比べて陰性であった。

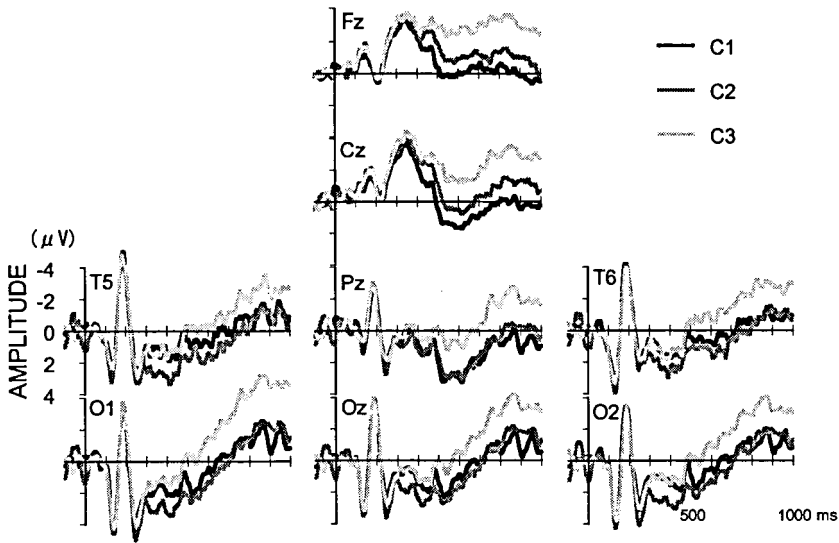


Figure 2. 色パッチ探索課題における非標的刺激に対するERPの総加算平均波形。

L4条件の波形からL1条件の波形を引き算した差分波形、およびC3波形からC1波形を引き算した差分波形について、多くの部位で記憶セットの効果が出現した区間（文字探索課題では250-450ms、色パッチ探索課題では750-850ms）の平均振幅を計算して、Figure 3に示した。文字探索課題においては、後頭部や側頭後部でも中心部と同程度の記憶セットサイズ効果が出現したが、色パッチ探索課題では、T5、T6における効果は、他の部位に比べて小さかった。

考察

本研究は、アルファベットと言語化しにくい色パッチを刺激とする記憶探索課題を実施し、ERPに及ぼす記憶セットサイズの効果を比較することで、作動記憶内の言語的下位システムと非言語的下位システムの特徴について検討することを目的とした。文字探索課題でも色パッチ探索課題でも、記憶セットが大きいかほど反応時間は延長し、誤反応率も増加した。ERPでも、両課題において、記憶セットサイズの増加にともなう波形の陰性方向へのシフトが観察された。しかし、この

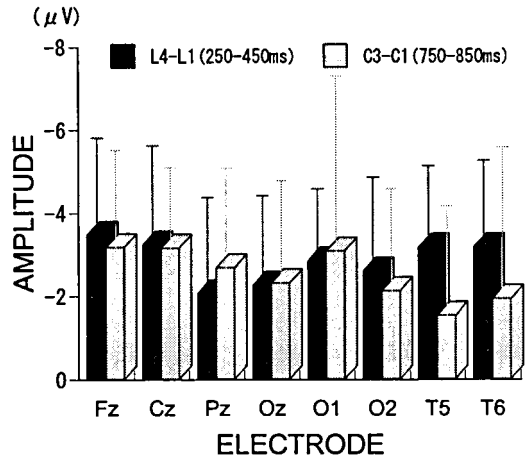


Figure 3. 文字探索課題および色パッチ探索課題における記憶セットサイズ効果の頭皮上分布。L4条件-L1条件の差分波形（250-450ms）、およびC3条件-C1条件の差分波形（750-850ms）の区間平均電位とその標準偏差。

効果は、出現する時間帯と頭皮上分布が2つの課題で異なっていた。文字探索課題ではERPを記録した部位全部で潜時250-450msの区間で記憶セットサイズの効果が出現した。この効果は、出現した潜時帯も、効果の方向も、中心部から前頭部へかけて優勢な頭皮上分布も、従来の文字刺激を使って得られた探索陰性波(宮谷, 2001; Okita et al., 1985)と同じものであるといえる。一方、色パッチ探索課題における記憶セットサイズ効果は、文字刺激を用いた場合の探索陰性波よりも遅く出現し、側頭後部(T5, T6)における条件差の現れ方は、短時間でかつ低振幅であった。

ERP上の記憶セットサイズ効果の違いは、必ずしも実験で用いた2刺激の探索過程の性質が異なることを表すものではない。まず、反応時間や誤答率から判断して、文字の探索に比べて色パッチの探索はかなり難しい課題であったといえる。この課題の難易度の違いが、記憶セットサイズ効果の出現する潜時帯が異なる原因である可能性がある。しかし、L1条件とL4条件の反応時間の違いが約100ms、C1条件とC3条件の違いが約88msと、ほぼ同じ程度であったことを考えると、Figure 3に示した、記憶セットサイズ効果の頭皮上分布の違いが、課題の難易度に基づくものであるとは考えにくい。また、色パッチ探索課題で得られたERPの記憶セットサイズ効果が、C1-C2条件間では現れず、C3条件と他の2条件の間で得られたことは、色パッチの探索過程は、文字の記憶探索過程とは性質が異なることを示唆する。数字と抽象図形を刺激とした記憶探索課題で、記憶セットサイズによるERPの変化を観察したKotchoubey, Jordan, Grozinger, Westphal, & Kornhuber (1996)では、ERPのN300成分の潜時・振幅、P400成分の潜時・振幅のすべてにおいて、記憶セットが1から2に変化したときのほうが、2から4に変化した場合よりも大きな変化が観察されている。

さらに、2つの探索課題では、課題の難易度の違いへ対応するために、被験者が採用した探索方略が異なっていたのかもしれない。文字探索課題では、記憶セットを覚えておくのが容易であるのに対し、色パッチ探索課題では言語化しにくい色を1実験系列の20試行の間覚えておくのが困難であるため、各試行が終わるたびに記憶セットのイメージを思い浮かべ、イメージを新たなものに更新するような作業をしていたのかもしれない。そうであれば、色パッチ探索課題で観察された記憶セットサイズの効果は、このイメージの更新作業を反映している可能性がある。これを確かめるには、本実験のように実験系列を通して一つの記憶セットを使うのではなく、1試行ごとに記憶セットを変化させるS1-S2遅延マッチングパラダイムを用いた検討が有効であろう⁴。S1で呈示された記憶セットを保持している期間中に、本実験と同様のERPの変化を観察できれば、本実験の記憶セットサイズ効果が、イメージの更新作業を反映するものであるということが出来る。もしも、色パッチ探索課題で観察された記憶セットサイズ効果がイメージの更新作業に関連するものであるとすると、本実験では、テスト刺激と作動記憶内の色パッチとの比較照合過程に関連するERP変化は観察できなかったことになる。反応時間には反映されている心的過程の変動がERPに反映されていないという点で、この結果も、言語的刺激と非言語的刺激の作動記憶内における扱い方の違いを反映していると考えられる。

⁴ S1-S2パラダイムを用いることで、本実験でかなり高頻度に生じた誤反応を減少させる副次的効果もあると考えられる。

2つの探索課題における記憶セットサイズ効果の頭皮上分布の違いは、言語的刺激の記憶探索過程と、非言語的刺激に対するそれとの性質の違いを示唆する重要な証拠である。宮谷(2000)は、視覚探索課題で記録される探索陰性波は作動記憶内の下位システムの活動を反映すると仮定し、後頭部から側頭後部にかけて出現する探索陰性波は、それが優勢に出現する部位が“見ているものは何か”を処理する膝状体視覚系の腹側経路(Mishkin & Appenzeller, 1987)と一致することなどから、視覚的符号を用いる作動記憶の活動を反映しているのではないかと提案している。本実験の文字探索課題は、音声符号に頼らなくても、視覚的符号に基づいても遂行できる。一方、色パッチ探索課題では、テスト刺激の形は常に円であり、形の情報は課題の遂行に全く役に立たない。このように、課題の遂行に用いる符号の違いが、記憶セットサイズ効果の頭皮上分布に反映されている可能性がある。また、色パッチ探索課題における記憶セットサイズ効果が単調な効果として出現しなかったこと($C1=C2<C3$)は、色パッチの探索は、文字探索のように系列的に行われるのではなく、全く別の比較照合の方法で行われたことを示しているのかもしれない。

なお、本実験の色パッチ探索課題で得られた結果が、反復して観察可能な信頼性の高いものであるかどうかと、言語化しにくい刺激に共通のものか、色の記憶探索に特有のものであるのかは、今後検討すべき課題である。

引用文献

- Adam, N., & Collins, G. I. 1978 Late components of the visual evoked potential to search in short-term memory. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **44**, 147-156.
- Atkinson, M. H., & Shiffrin, R. M. 1968 Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence, & J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*. Vol. 2. New York: Academic Press. Pp.89-195.
- Baddeley, A. 1986 *Working memory*. Oxford: Oxford Press.
- Baddeley, A. 1992 Working memory. *Science*, **255**, 556-559.
- Baddeley, A., & Hitch, G. 1974 Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*. Vol. 8. New York: Academic Press. Pp.47-90.
- Ford, J. M., Roth, W. T., Mohs, R. C., Hopkins, W. F. III., & Kopell, B. S. 1979 Event-related potentials recorded from young and old adults during a memory retrieval task. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **47**, 450-459.
- Gomer, F. E., Spicuzza, R. J., & O'Donnell, R. D. 1976 Evoked potential correlates of visual item recognition during memory-scanning tasks. *Physiological Psychology*, **4**, 62-65.
- Juola, J. F., Fischler, I., Wood, C. T., & Atkinson, R. C. 1971 Recognition time for information stored in long-term memory. *Perception and Psychophysics*, **10**, 8-14.
- Kotchoubey, B. I., Jordan, J. S., Grozinger, B. Westphal, K. P., & Kornhuber, H. H. 1996 Event-related brain potentials in a varied-set memory search task: A reconsideration. *Psychophysiology*, **33**, 530-540.

- Kramer, A., Schneider, W., Fisk, A., & Donchin, E. 1986 The effects of practice and task structure on components of the event-related brain potential. *Psychophysiology*, **23**, 33-47.
- Kramer, A., Strayer, D. L., & Buckley, J. 1991 Task versus component consistency in the development of automatic processing: A Psychophysiological assessment. *Psychophysiology*, **28**, 425-437.
- Logie, R. H. 1995 *Visuo-spatial working memory*. Hove, UK: Erlbaum.
- Looren de Jong, H., Kok, A., & Van Rooy, J. C. G. M. 1988 Early and late selection in young and old adults: An event-related potential study. *Psychophysiology*, **25**, 657-671.
- Mishkin, M., & Appenzeller, T. 1987 The anatomy of memory. *Scientific American*, **256**(6), 62-71.
- 三宅 晶 1995 短期記憶と作動記憶 高野陽太郎 (編) 認知心理学 2 記憶 東京大学出版会 Pp.71-99.
- 宮谷真人 2000 視覚探索を支える脳内過程に関する研究 北大路書房
- 宮谷真人 2001 色選択と文字探索の複合課題中の事象関連電位に及ぼす視覚負荷と記憶負荷の効果 心理学研究, **72**, 307-314.
- Okita, T. 1989 Within-channel selection and event-related potentials during selective auditory attention. *Psychophysiology*, **26**, 127-139.
- Okita, T., Wijers, A. A., Mulder, G., & Mulder, L. J. M. 1985 Memory search and visual spatial attention: An event-related brain potential analysis. *Acta Psychologica*, **60**, 263-292.
- 齊藤 智 1997 音韻ループ研究の展開 - 神経心理学的アプローチと実用的アプローチからの検討 - 心理学評論, **40**, 188-202.
- Sternberg, S. 1966 High-speed scanning in human memory. *Science*, **153**, 652-654.
- Theoiss, J., Smith, P. G., Haviland, S. E., Traupmann, J., & Moy, M. C. 1973 Memory scanning as a serial self-terminating process. *Journal of Experimental Psychology*, **97**, 323-336.
- Townsend, J. T. 1976 Serial and within-stage independent parallel model equivalence on the minimum completion time. *Journal of Mathematical Psychology*, **14**, 219-238.
- Vasey, M. W., & Thayer, J. F. 1997 The continuing problem of false positives in repeated measure ANOVA in psychophysiology: A multivariate solution. *Psychophysiology*, **24**, 479-486.
- Wijers, A. A., Mulder, G., Okita, T., & Mulder, L. J. M. 1989 Event-related potentials during memory search and selective attention to letter size and conjunctions of letter size and color. *Psychophysiology*, **26**, 529-547.
- Wijers, A. A., Mulder, G., Okita, T., Mulder, L. J. M., & Scheffers, M. K. 1989 Attention to color: An analysis of selection, controlled search and motor activation, using event-related potentials. *Psychophysiology*, **26**, 89-109.
- Wijers, A. A., Otten, L. J., Feenstra, S., Mulder, G., & Mulder, L. J. M. 1989 Brain potentials during selective attention, memory search, and mental rotation. *Psychophysiology*, **26**, 452-467.
- 吉田弘司 1994 心理学実験におけるコンピュータの利用 - NEC PC-98 シリーズコンピュータによるミリ秒単位のタイマー - 広島大学教育学部紀要 第一部 (心理学), **43**, 11-19.