

学位論文

視覚探索のメカニズムに関する

心理生理学的研究

—事象関連電位による分析—

宮谷真人

# 目 次

## 第1章 視覚探索に関する研究とその問題点

- 第1節 視覚探索に関する研究の概観 ..... (1)
- 第2節 視覚探索に関する研究の問題点 ..... (6)
- 第3節 認知過程の測度としての事象関連電位(ERP) ..... (8)
- 第4節 本研究の目的 ..... (11)

## 第2章 ERPによる視覚探索研究

- 第1節 ERPにおける視覚負荷効果と記憶負荷効果の分離  
実験I ..... (18)
- 第2節 探索の自動化の程度がERPの視覚負荷効果に及ぼす影響  
実験II ..... (34)  
実験III ..... (50)
- 第3節 色選択の同時遂行がERPの視覚負荷効果に及ぼす影響  
実験IV ..... (68)  
実験V ..... (83)  
実験VI ..... (96)

## 第3章 総合考察

- 第1節 本研究の成果と意義 ..... (113)
- 第2節 今後の視覚探索研究の課題 ..... (122)

- 引用文献 ..... (127)

# 第 1 章 視覚探索に関する研究とその問題点

## 第 1 節 視覚探索に関する研究の概観

### 注意研究

人間を含むすべての生体にとって、自分が必要とする物や情報を環境から取り入れたり、危険な対象から素早く逃れたりすることは、環境へ適応するために不可欠な行為である。このような行為の中には、反射のように、認知的メカニズムの介在しないものもある。しかし、われわれを取り巻く環境には、膨大かつ複雑な物理的あるいは心理社会的情報が含まれるので、それらすべてを同時に処理したり、自動的に反応することは到底できない。したがって、人間が適応的に行動するためには、これら環境内の雑多な情報の中から、状況に応じて自分に関連するものだけを効率的に選択し、処理するための、柔軟な心的メカニズムが必要である。このような心的メカニズムは、一般的には“注意”という用語で表現される。

James (1890/1981)は、注意とは同時に存在しうる多くの対象や思考の連鎖の中から特定のものを鮮明に心に捕らえることであり、意識の焦点化と集中が注意の本質であるとした。James, W., Wundt, W., Titchener, E. B. や Pillsbury, W. B. が活躍した注意研究の勃興期には、意識の“内観”という方法が用いられた。しかし、20 世紀の初頭になると、心理学から“意識”を排除することを目指した行動主義や、外的刺激布置が知覚に及ぼす規定力を重視するゲシュタルト心理学の影響を受け、内的で、かつ能動的な過程としての注意に関する研究は、約 30 年間にわたる不毛期を迎える。その後、注意研究が急速に復活、発展したのは、1950 年代に入ってからであった。その背景には、第二次大戦における実践的軍事研究からの要請(大谷, 1972)や情報理論の台頭があった。Cherry (1953)のカクテルパーティ問題や Broadbent (1958)の注意のフィルター説を皮切りに、知覚、記憶、思考など広範囲の心理現象に関して注意研究が行われ、現在では、人間の知的な行動に関する研究領域である認知

心理学の中心的概念の一つとなっている(Keele & Neill, 1978; Moray, 1987)。

注意という用語は、その研究の展開の過程において、さまざまな意味で用いられてきた。例えば、Moray (1969)は、注意の下位概念として、精神の集中、ヴィジランス、選択的注意、探索、活性化、構え、合成による分析をあげている。御領(1983)は、Moray (1969)の分類に、Kahneman (1973)の限界容量や Norman & Bobrow (1975)の処理資源の概念を加えた上で、現代の注意研究を、選択機能、覚醒水準(強度と持続性)、容量(配分しうる努力・資源の量と作業量の関係)の 3 側面に分類している。また、Neisser (1976)は、注意と知覚を同義語と捉え、知覚の過程における図式(行為や探索活動を方向づけ、その結果得られた情報によって修正される、知覚者個人の内的過程)の働きを強調した。これらのうち、“容量”や“資源”および“図式”は、注意の選択的側面を説明するための概念であり、覚醒水準は、特定の時点における処理資源の総量を決める生理的状态を示す用語であると考えられる。したがって、注意とは、何らかの選択性を意味する用語であると言える(Johnston & Dark, 1986; Kinchla, 1980)。

### 視覚探索と視覚探索課題

視覚モダリティにおける選択性がよく現れる行為として、視覚探索(visual search)を挙げることができる。視覚探索とは、視野内にある複数の対象の中から、色や形など特定の視覚的特徴をもつ対象を探し出すことをいう。この視覚探索において働く心的メカニズムを実験的に検討するために工夫された課題が、視覚探索課題である。まず、この課題を記述するために用いられる用語を、Shiffrin (1988)にしたがって定義しておきたい。

視覚探索課題では、あらかじめ被験者に、検出すべき対象(標的)を一つ以上覚えてもらう。被験者は、その後呈示されるテスト刺激(被験者に何らかの判断を求めるために呈示される刺激)について、標的の有無やその位置に関する判断を求められる。検出すべき標的の集合を記憶セ



ットと呼び、それに含まれる標的の数を記憶セットの大きさという。テスト刺激には、標的または標的以外の項目(妨害項目)が一つ以上含まれる。テスト刺激に含まれる項目の数を刺激セットの大きさという。標的を含むテスト刺激を標的刺激と呼び、妨害項目だけで構成されるテスト刺激を非標的刺激と呼ぶ。標的刺激が呈示される試行を正(positive)試行、非標的刺激が呈示される試行を負(negative)試行と呼ぶ。

視覚探索課題は、それにどのような実験的操作を加えるかによって、記憶探索課題と視的探索課題に区別される。刺激セットの大きさを1とし、記憶セットの大きさを変化させる場合が記憶探索課題であり、記憶セットを1として刺激セットの大きさを変える場合が視的探索課題である。前者の操作によって影響される処理過程を記憶探索過程、後者が影響する過程を視的探索過程と呼ぶことにする。なお、visual searchという用語は、一般的には、視覚刺激を用いた(記憶探索課題も含めた)探索という意味でも、刺激セットの大きさを変化させる課題という意味でも用いられるが、本論文では、視覚探索あるいは視覚探索課題というときには前者の意味で、視的探索課題、視的探索過程と呼ぶときには後者の意味で用いる。

記憶セットや刺激セットの大きさによって決まる課題の難易度は、負荷という用語で表現される。記憶セットの大きさによって決まる記憶負荷と、刺激セットの大きさによって決まる視覚負荷がある。視覚負荷は、刺激セットの大きさだけでなく、標的と妨害項目の類似性や妨害項目同士の類似性(Duncan & Humphreys, 1989)によっても操作することができる。実際の課題では、記憶負荷と視覚負荷の組み合わせによって課題の難易度が決まる。

視覚探索課題は、記憶セットの選定方法にしたがって、変動マッピング(varied mapping, VM)課題と固定マッピング(consistent mapping, CM)課題に分けられる。VM 課題では、ある試行で標的となった項目が、他の試行では妨害項目として用いられる。一方、CM 課題では、標的として用いられる項目が妨害項目となることはない。

## 視覚探索研究の概観

これまで、視覚探索課題における記憶負荷や視覚負荷の変化が、標的の検出に要する反応時間や正答率に及ぼす影響の仕方に基づいて、視覚情報処理過程における並列的・前注意的過程と系列的・注意的過程 (Hoffman, 1979; Neisser, 1967; Treisman & Gelade, 1980) や、自動的検出と制御的探索の区別 (Schneider & Shiffrin, 1977; Shiffrin & Schneider, 1977) が行われてきた。

視覚情報の前注意的処理と注意的処理の違いは、例えば次のような実験によって示されてきた。Treisman & Gelade (1980) は、妨害項目として茶色の T と緑の X が混在するテスト刺激を用いて、文字探索課題を実施した。標的の決め方に関して 2 条件あり、一つは青色の文字または S が標的、別の条件では緑の T が標的となった。前者のように、色または形という単一の特徴によって標的を検出できる場合には、反応時間は刺激セットの大きさにあまり影響されなかった。それに対し、後者のように、色と形の両方を同時に考慮しなければ標的が存在するかどうかを判断できない場合には、刺激セットが大きくなるにしたがって反応時間は長くなった。反応時間の増加の仕方は、標的刺激と非標的刺激の場合で異なり、正試行では妨害項目が一つ増えるごとに約 29 ms、負試行では同じく約 67 ms 長くなった。

このような結果から、特徴抽出から対象の知覚に至る視覚過程について、次のような理論(特徴統合理論, Treisman, 1988; Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Gormican, 1988) が提出されている。視覚的環境に含まれるさまざまな特徴(色, 明るさ, 線の向き, 両眼視差, 線分の端点・交点, 図形の閉合性, 刺激の運動など, 視覚情報処理過程のごく初期の段階で抽出される単純な視覚的特性, Enns (1990) を参照) は、視野全体にわたって並列的かつ前注意的に抽出される。その段階で抽出される特徴だけで標的が他の刺激と区別できる場合には、標的は背景から飛び出して(ポップアウト)見え、その検出に要する時間は妨害項目の数に関わらず一定である。ところが、標的を定義するのが特徴の組み合わせであると、標的を見つけるためには、視野内の対象一つ一つに順々に注意を

向けていかなければならない。標的が存在しない場合には、視野内の全項目を調べないと“ない”という判断ができないが、標的がある場合には、平均すると全項目の半数を検索した時点で標的と出会うことになるので、刺激セットの大きさの増加に伴う探索時間の増加の割合は、正試行では負試行の半分になる。

視覚探索課題の成績は、刺激セットの大きさとは別に、課題におけるマッピング条件(Schneider & Shiffrin, 1977; Shiffrin & Schneider, 1977)にも影響される。CM 課題(例えば、妨害刺激は常に文字で、その中から数字の標的を検出するような課題)では、練習を繰り返すことによって、反応時間が刺激セットの大きさの影響を受けない自動的検出段階に達することができる。それに対し、VM 課題(例えば、標的も妨害項目も同じ文字セットから選択され、同じ文字が試行によって標的となったり、妨害項目となったりする課題)では、練習を繰り返しても、反応時間が刺激セットの大きさとともに延長する制御的探索の段階にとどまる。標的検出が自動的に行われるようになると、その作業は、容量に限界のある処理資源を利用せず、作業者に意識されることなく、作業者の意図や課題要求に関わらず実行される(Hoffman, 1990)。

Sternberg (1966)の記憶探索課題は、短期記憶内の制御的探索あるいは走査(scanning)の性質を調べる目的で実施された。彼は、刺激として数字を用い、記憶セットの大きさを 1 から 6 まで変化させ、標的の有無を判断するために必要な反応時間を調べた。その結果、記憶セットの大きさとともに反応時間は直線的に増大した。また、負試行における反応時間が正試行の反応時間に比べてやや長かったが、記憶セットによる反応時間の延長の割合には、正試行と負試行の間に差が認められなかった。彼は、この結果から、短期記憶における記憶項目の探索過程について、直列悉皆型の探索が行われると結論した。しかし、Sternberg (1966)以降、直列悉皆型以外にも彼の実験結果を説明できるモデルが提唱されたり(Theois, Smith, Haviland, Traupmann, & Moy, 1973; Townsend, 1976)、直列悉皆モデルでは説明できない結果が示されて(Sternberg, 1975)おり、記憶探索過程の性質については、標的の性質や数、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。

## 第2節 視覚探索に関する研究の問題点

### 視覚探索における2つの過程

視覚探索研究で扱われてきたテーマの一つに、記憶探索過程と視的探索過程の性質の違いがある。視的探索過程が標的と妨害項目の区別のしやすさ(Duncan & Humphreys, 1989)や妨害項目の抑制の程度(Flach, 1986)に影響されるのに対し、記憶探索過程は、記憶セットを構成する複数の項目が、“標的”という一つのカテゴリーに統合される程度(Flach, 1986; Schneider & Fisk, 1984)に依存する。また、負試行における反応時間の分布を調べた Hockley (1984)は、記憶探索課題では記憶セットが大きくなるにつれて反応時間分布の歪度が増加する(分布の右裾がのびる)のに対し、視的探索課題では分布の形そのものはあまり変化せず、刺激セットが大きくなるにつれて分布全体が右に移動する(反応時間が長くなる)ことを報告した。

さらに、Fisk & Rogers (1991)は、加齢にともなう成績の変化を、記憶探索課題と視的探索課題の間で比較した。その結果、負荷の増加による反応時間の延長の程度について、CM 条件下での練習後の視的探索課題では年齢差が認められたのに対し、記憶探索課題では、それが認められなかった。一方、VM 条件では、視的探索課題では加齢の影響が認められなかったのに対し、記憶探索課題では加齢の影響が認められた。彼らは、この結果から、記憶探索と視的探索では、それに関わる処理メカニズムが異なると推測している。

### 行動測度の限界

これらの研究では、視覚探索のメカニズムを推定するための道具として、反応時間や正(誤)答率といった、行動測度が用いられている。ところが、これらの測度は、刺激が呈示された時点から反応が完了するに至るまでに関与する複数の処理段階における処理の総合的結果であり、そ

れがどの処理段階における変動を反映するのかについては、何らかの前提に基づいて推論しなければならない。Sternberg (1969)の要因加算法も、そのような前提の一つである。ここでは、(1)人間の情報処理過程は、刺激入力から反応出力までの重複しない一連の段階で行われ、(2)異なる処理段階の持続時間に影響を与える複数の実験的操作は反応時間に加算的に影響し、(3)同じ処理段階に影響を与える複数の実験的操作は反応時間に交互作用的効果を生じる、と仮定されている。しかし、(1)の前提に対しては、各処理段階は系列的につながるのでなく、前の段階が完全に終了する前に次の段階が生じるというカスケードモデル (McClelland, 1979; Meyer, Irwin, Osman, & Kounios, 1988)が提唱されている。また、(3)についても、2つの処理段階が処理資源を共有するときには、たとえ2つの実験的操作が交互作用を生じたとしても、それらの操作が同じ処理段階に影響を及ぼしたとは結論できない (Van der Molen, Bashore, Halliday, & Callaway, 1991)など、前提の妥当性をめぐる問題は常につきまとう。

行動測度のこのような限界は、加齢にともなう認知機能の変化の性質に関する Fisk & Rogers (1991)と Cerella (1991)の論争に顕著に現れている。Fisk & Rogers (1991)は、前述した結果に基づき、年齢による行動変化を考えると、記憶探索過程と視的探索過程、あるいは VM 課題と CM 課題では、加齢の影響に違いがあることを考慮する必要性があることを指摘している。これに対し、Cerella (1991)は、Fisk & Rogers (1991)やその他の視覚探索実験の結果を、記憶負荷と視覚負荷を組み合わせた“比較負荷”の関数として並び替えて検討し直し、加齢による成績低下は、すべての情報処理過程に対する中枢神経系の一様な速度低下の影響の結果であると解釈している。その後、Fisk, Fisher, & Rogers (1992)は、同じデータに基づいて再反論を試みており、結論はまだ出ていないようである。

このような、行動測度に基づく推論の曖昧さを解決するためには、行動測度とは別の、認知機能に関する測度を用いることが有効であろう。視覚探索に関わる複数の処理過程を同定し、相互関係を調べ、そのメカ

リズムを明らかにしていくためには、実験的操作が効果を及ぼす処理段階をより直接的に推測でき、かつ脳内に実在する処理系との対応づけが可能な測度が必要であると思われる。

### 第3節 認知過程の測度としての事象関連電位(ERP)

#### 脳波と ERP

前節で指摘した行動測度の短所を補い、視覚探索を支える下位過程を脳の活動と関連させてとらえることのできる可能性のある測度として、脳波 (EEG, electroencephalogram) の一種である、事象関連電位 (ERP, event-related potential) がある。脳波とは、脳の電氣的活動を、脳波計などによって増幅して記録したものである。脳波には、 $\alpha$ 波や $\beta$ 波など、特定の事象に関係なく常に揺らいでいる一般脳波とは別に、人間が何らかの心的課題を行っている場合に、特定の刺激や、課題に関連する事象に対して発生する一過性の電位変動がある。これを ERP と呼ぶ。すな

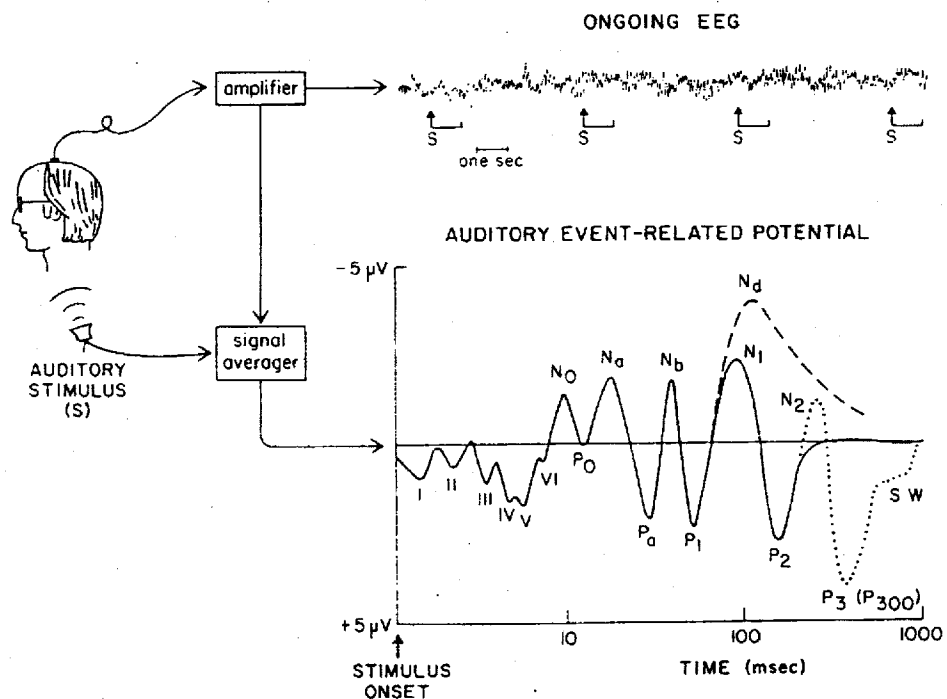


Figure 1.3.1. Idealized waveform of the averaged auditory event-related potential. (cited from Hillyard & Kutas, 1983)

わち、ERP とは、感覚・知覚・認知などの脳の情報処理に関わる神経集団の同期的活動で生じる電場電位である(Hillyard & Kutas, 1983; 沖田, 1989)。例えば、高さの異なる2種類の音がでたらめな順序で聞こえてくるときに、どちらか一方の音の数を数えるという作業を行うと、音刺激に対して Figure 1.3.1 のような ERP が発生する。ERP は、通常、振幅の大きな背景脳波によって隠されており、直接観察するのは難しい。しかし、刺激(場合によっては被験者の反応)と同期して脳波を加算していくにつれて、背景脳波は雑音として平滑化され、特定の事象に対する電位変動がはっきりと観察されるようになる。

ERP は、極性、潜時、振幅、頭皮上分布といった特徴で記述される複数の成分で構成されている。ERP には、潜時約 60-80 ms より早く出現し、主に誘発刺激の物理的特徴によって決定され、被験者の心理的状态による影響を比較的受けにくい成分(いわゆる誘発電位、Figure 1.3.1 の I-VI 波、N0, P0, Na, Pa, Nb)と、潜時が長く、被験者の状態や刺激の意味、あるいは課題の違いによって大きく変化する成分(P1 以降)がある。後者の成分は、人間の認知的活動における何らかの処理過程を反映すると考えられている。例えば、Figure 1.3.1 に点線で示してある N2 や P3 は、被験者が数えた音に対する ERP には顕著に出現するが、無視した音に対する ERP では、ほとんど観察されない。

ERP 成分の分析によって人間の認知機能を調べようとする試みには、大きく分けて2つのアプローチがある(Gaillard, 1988)。一つは、主として ERP の頭皮上分布に基づき、その成分を生じさせる神経生理学的メカニズムを発見しようとする神経生理学的アプローチ、もう一つは、反応時間などの行動測度を併用しながら、ERP の各成分と心理学的過程との対応づけを試みる情報処理論的アプローチである。後者のアプローチによって、現在までに、準備や期待を反映する CNV、選択的注意を反映する Nd や処理陰性電位、課題に関連した刺激の検出に伴って出現する P3b、文脈からの物理的あるいは意味的逸脱に関連する N2、ミスマッチ陰性電位、N400、P3a などが報告されてきた(Donchin, Karis, Bashore, Coles, & Gratton, 1986; Hillyard & Picton, 1987)。

ところで、ERP の成分と人間の心理学的過程を関連づけようとするとき、考慮しておかなければならないことがある。ERP に見られる陰性方向、陽性方向への振れが、見かけ上1つの波に見えたとしても、それが1つの成分ではなく、複数の成分で成立している場合がある(Näätänen & Picton, 1987)。また、成分と言う用語を、脳内の単一発生源に起因する ERP 変化に限定して使用すべきであるという主張(Näätänen, 1982)もある。しかし、脳波は、脳脊髄液、頭蓋骨、皮膚など導電率の異なる何種類もの組織を通過したあとの記録であるため、頭皮上の分布が大きく歪んでしまい、脳波だけから正確な脳内の局所的活動部位を推定することは困難である(宮内, 1997)。そこで本研究では、見かけ上一つの波であっても、それが必ずしも一つの心理的過程に対応するわけではないことに十分に留意した上で、“成分”と“波”や“振れ”を厳密には区別しないで用いることにする。

#### ERP 測度の特徴

認知過程の測度としての ERP の長所は、被験者の課題遂行に依存せずに記録できるので、被験者が無視した刺激に対する処理や、自動的な処理過程の性質についての情報を得ることができることである。また、時間的分解能に優れているので、刺激入力時点、あるいはそれ以前から行動出力に至るまでの脳過程をミリ秒単位で連続的に記録することができる。これによって、その過程に介在する心的機能の順序や時間的重なり、持続時間などについて、比較的直接的に推測することができる。さらに、空間的分解能に優れた脳磁図(MEG, magnetencephalography)、MRI (magnetic resonance imaging)やポジトロン CT (PET, positron emission tomography)、さらに最近開発された機能的 MRI (fMRI, functional MRI)などの指標を併用して、脳波測度の空間的分解能の粗さを補完することによって、ERP 成分の頭皮上分布から特定の心的機能に関連する脳部位を特定したり、情報処理の各段階の機能的関連について推測したりすることも可能である。



## 第 4 節 本研究の目的

### P3b 成分を指標とした視覚探索研究

視覚探索に関する初期の ERP 研究では，記憶負荷や視覚負荷と P3b 成分との関連に焦点が当てられた。一般に，記憶負荷を大きくすると，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)。また，記憶探索課題におけるさまざまな課題変数が P3b と反応時間にそれぞれ異なる効果を及ぼすことも明らかになっている。例えば竹形(1991)は，系列位置，刺激の語彙性，教示の効果は反応時間のみに認められ，P3b 潜時には認められないこと，および反応時間が被験者の意図的検索方略の影響を受けるのに対し，P3b 潜時はそのような影響を受けにくいことなどから，記憶検索過程について，短期記憶内の項目全体に比較的浅い，自動的な処理が行われた後に，より制御的な処理が行われることが示唆されるとしている。

視覚負荷と P3b 成分の関係に注目した研究は，記憶負荷に関する研究に比べて数は少ない。P3b 潜時は，記憶負荷と同様，視覚負荷の増大につれ延長する(Hoffman, Simson, & Houck, 1983; Luck & Hillyard, 1990; Van Dellen, Brookhuis, Mulder, Okita, & Mulder, 1985)。P3b 振幅に及ぼす視覚負荷の効果の現れ方は，やや複雑である。Van Dellen et al. (1985) や Miyatani & Maedo (1994)では，視覚負荷の増加にともない P3b 振幅は減少した。一方，Hoffman et al. (1983)では，P3b 振幅には視覚負荷による影響はなかった。Luck & Hillyard (1990)の実験においては，負試行では視覚負荷効果が認められなかったが，正試行では刺激セットが大きいほど P3b 振幅が増大した。ERP を用いる研究では，刺激強度の違いによる ERP 波形の変化をさけるため，呈示する刺激項目数は一定としながら，項目を処理すべき位置の数を教示によって変えたり，有意味な刺激の代わりに無意味なパターン刺激などを呈示して視覚負荷を操作する

ことが多い。これらの研究で、視覚負荷が P3b 振幅に及ぼす効果が一貫しないのは、刺激項目数そのものが変化するかどうか、刺激が呈示される視野の広さや空間的注意の分布の違いなど、視覚負荷以外の要因の影響の仕方が、実験によって異なるためであると考えられる。

CM 課題の練習によって標的検出が自動的に行われるようになった段階では、P3b の潜時、振幅ともに、記憶負荷(Kramer et al., 1986, 1991)や視覚負荷(Hoffman et al., 1983; Van Dellen et al, 1985)の影響を受けなくなる。P3b を指標とする視覚探索研究では、P3b 潜時は、反応の準備や実行とは比較的独立した刺激評価時間を反映する(Duncan-Johnson, 1981; Magliero, Bashore, Coles, & Donchin, 1984)測度として、P3b 振幅は、知覚的処理資源の配分の程度(Isreal, Chesney, Wickens, & Donchin, 1980)の測度として用いられる。Hoffman et al. (1983)は、VM 課題で記録した P3b 振幅と CM 課題下での P3b 振幅に違いがないことから、CM 課題においても容量に限界のある処理資源が用いられていると推測している。

### 探索陰性波と NA

P3b 成分の他に、陰性の電位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検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の対角線に注目させ、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、記憶セットを 1, 2, 4 と変化させ、それによる ERP の変化を調べた(Figure 1.4.1)。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 には記憶負荷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、記憶負荷にともなって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(search negativity)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(Wijers, Mulder, Okita, Mulder, Scheffers, 1989)や文字の大きさによ

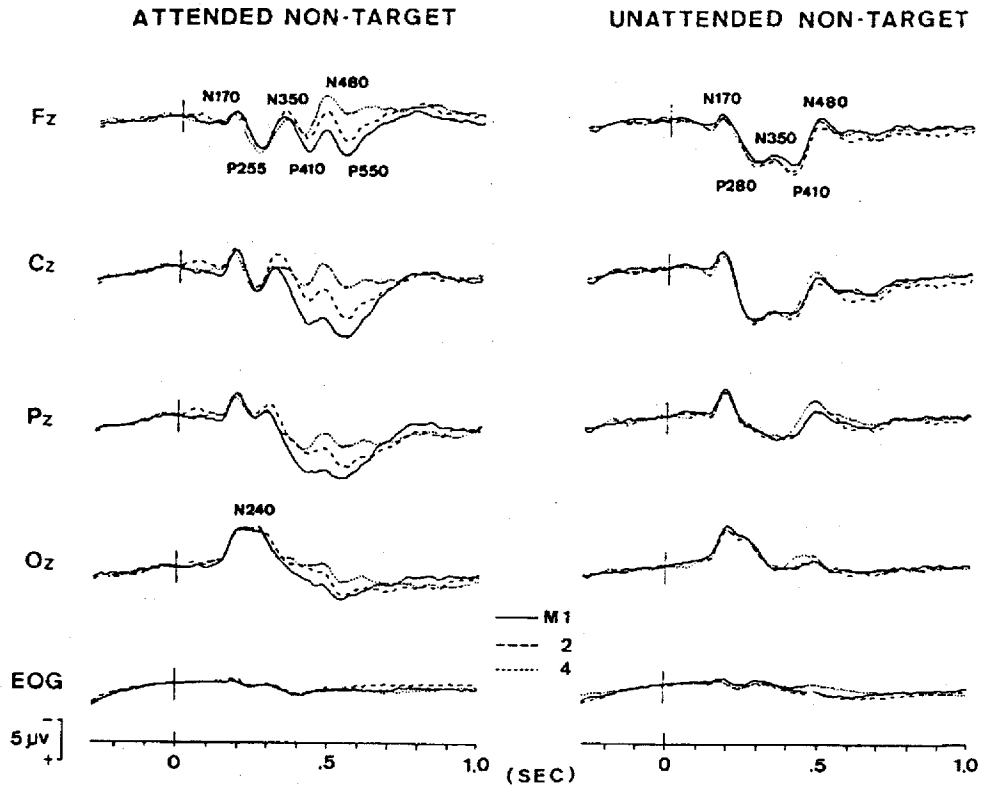


Figure 1.4.1. Grand average ERPs to non-target stimuli in a memory search task. (cited from Okita et al., 1985)

る選択(Wijers, Mulder, Okita, & Mulder, 1989),あるいは心的回転(Wijers, Otten, Feenstra, Mulder, & Mulder, 1989)などと組み合わせられた記憶検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)。

一方、視覚負荷によって変動する陰性電位としてNA (Ritter, Simson, & Vaughan, 1983; Ritter, Simson, Vaughan, & Macht, 1982, Figure 1.4.2を参照)がある。NAとは、弁別課題実行時のERPから単純反応実行時のERPを引き算して得られる差波形に認められる陰性電位変動で、刺激後約100 msで始まり、200-300 msで頂点に達する。NAの頂点潜時が、刺激の複雑性(Ritter et al., 1983)やマスク刺激の有無(Ritter et al., 1982)によって影響されるのに対し、NA頂点からN2頂点までの時間間隔は変化しない(N2は、弁別課題における低頻度標的刺激に対するERPから高

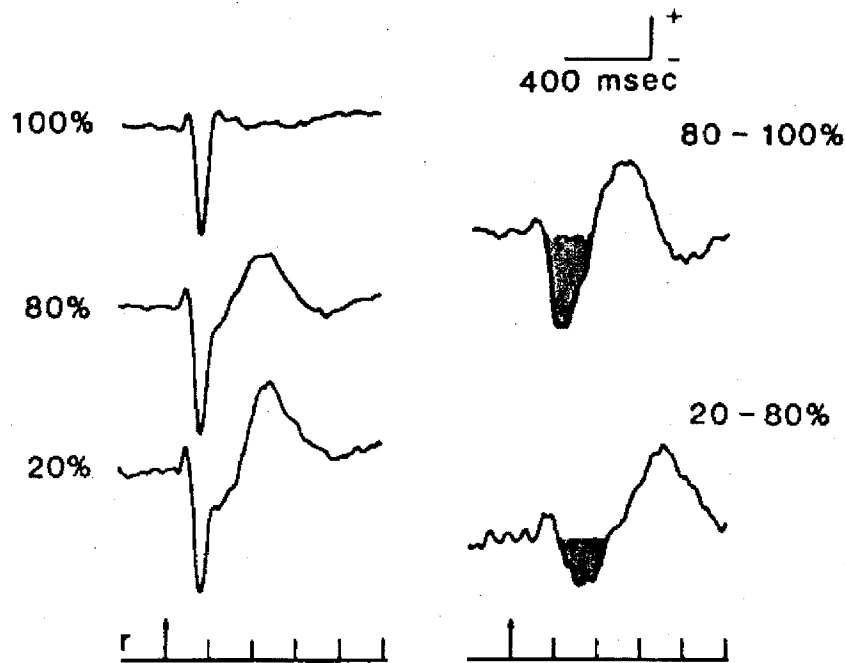


Figure 1.4.2. Grand mean waveforms at T5 to stimuli in the simple reaction task (100%), and to targets (20%) and non-targets (80%) in the choice reaction task. Dark areas in difference waves (right panel) indicate NA (80-100%) and N2 (20-80%). Voltage calibration is 5  $\mu$ V for the left three rows and 2.5  $\mu$ V for the right difference waveforms. (cited from Ritter et al., 1982)

頻度非標的刺激に対する ERP を引き算して求めた差波形に認められる陰性電位，Figure 1.4.2 を参照)。一方，記憶負荷の操作によって弁別課題の困難度を変えても NA の開始潜時や頂点潜時は変化せず，N2 の開始潜時と頂点潜時が延長する(Ritter et al., 1982)。これらの結果から，N2 が刺激の分類過程を反映するのに対し，NA はその前段階である刺激のパターン認知過程を反映するとされていた。

その後，NA は単一の成分ではなく，複数の成分で構成される合成波であると考えられるようになった。Simson, Ritter, & Vaughan (1985)は，頭皮上の T5 や O1 で記録した NA 波形に 2 つの頂点を認めた。2 種類の刺激が交互に出現し，次の刺激を被験者が予測できる事態でも，短潜時の陰性波は増大した。それに対し，潜時の長い陰性波では，2 種の刺激の呈示順序がランダムであるか，あるいはランダムであると被験者が期

待しているときにのみ，振幅の増大が認められた。Simson et al. (1985) は，この結果から，NA の初期成分は刺激の符号化を，後期成分は刺激の同定のための記憶検索を反映していると考えた。また，Ritter, Simson, & Vaughan (1988)は，5 文字のアルファベットを同時に呈示し，その文字列中に母音が含まれているかどうか否かの判断を行ったばあいの NA について検討した。母音が必ず中央に呈示される場合，左端か右端のどちらかに呈示される場合，5 文字のどこかに呈示される場合の 3 条件の NA を比較したところ，開始潜時には違いがなかったが，処理すべき情報量，すなわち注目すべき場所の数が増加するにつれて，頂点潜時や持続時間が長くなった。また，NA の波形や頭皮上分布の時間的変化の分析から，NA には少なくとも 3 成分，すなわち潜時約 160 ms に頂点をもち，O1 優勢に現れる成分，190-200 ms で始まり，約 300 ms まで続く Pz 優勢な成分，および潜時約 320 ms に頂点があり，O1, T5 に優勢に出現する成分，が含まれるとした。処理情報量の効果は初期成分にではなく，第 3 成分に顕著に現れたことから，刺激の符号化には 3 条件間で差はなく，記憶検索の程度が NA の第 3 成分に反映され，NA を延長させたと考えた。

### 本研究の目的

このように，視覚探索に関する多くの ERP 研究で，行動測度を用いた研究で得られた知見をさらに確実にし，また補完する結果が得られてきた。ところが，従来の ERP 研究では，P3b 潜時は記憶負荷によっても視覚負荷によっても延長するが，視覚負荷による影響の方が大きいことを報告した Brookhuis, Mulder, Mulder, Gloerich, Van Dellen, Van der Meere, & Ellermann (1981)などの少数の例外を除き，視覚探索に関わる記憶検索過程と視的探索過程，言い換えれば ERP に及ぼす記憶負荷の効果と視覚負荷の効果が必ずしも区別されてこなかった。例えば，Wijers, Okita, Mulder, Mulder, Lorist, Poiesz, & Scheffers (1987)は，視覚負荷を操作するために，凝視点を中心とする正方形の 4 隅に刺激を呈示し，被験者にはどちらか一方の対角線上の 2 隅，または 4 隅すべてに注目さ

せた。その結果、視覚負荷とともに振幅が増大する陰性電位を見いだしたが、彼らはこの電位を、記憶負荷を操作した Okita et al. (1985)と同様の探索陰性波であると考えている。また、Ritter et al. (1988)のいう NA の第 3 成分の変動は視覚負荷の操作によるものであったにもかかわらず、彼らは、NA の後半部は“記憶”探索過程を反映すると主張した。

本研究の目的は、従来はあまり区別されてこなかった、視覚探索課題における記憶負荷と視覚負荷が ERP に及ぼす影響の違いを明らかにすることにある。認知過程の測度として ERP を用いる場合、その各成分と心理学的諸過程との対応関係を明らかにしていくことが必要である。前述のように、行動測度を指標とした研究で、視覚探索には性質の異なる 2 つの処理メカニズムが関わる可能性が指摘されている。もしも、それぞれの過程に対応する ERP 成分が特定できれば、ERP 測度の特長を生かした視覚探索メカニズムへのアプローチが可能になり、行動測度だけでは困難な問題の解決ができるようになる。

記憶負荷によって変動する探索陰性波と、視覚負荷によって変動する NA では、前者が中心部優性、後者が後頭部・後部側頭部優性という頭皮上分布の違いがあるように思われる。ERP の頭皮上分布は、ERP 波形において成分を特定するための手がかりの一つである (Coles, Gratton, Kramer, & Miller, 1986; Sutton & Ruchkin, 1984)。したがって、その頭皮上分布の違いを確かめることによって、両者が異なる心理学的過程を反映する成分であることを示すことができるかもしれない。あるいは、この 2 つの陰性電位は、実験における独立変数の操作は異なっても、共通の心理学的過程を反映しているのかも知れない。ある実験操作が、行動測度に関して異なる結果をもたらすにも関わらず、ERP に関して常に同じ効果をもたらすとすれば、何故心理生理学的測度と行動測度が一致しないのかを考察することによって、心理学的過程に関する推測ができる。いずれにせよ、視覚探索課題における視覚負荷と記憶負荷が ERP にどのような影響を及ぼすのかをはっきりさせることによって、視覚探索のメカニズムを明らかにするための手がかりを得ることができると思われる。

本研究では、まず、視覚負荷によって変動する ERP 成分（視的探索波）と記憶負荷によって変動する成分（記憶探索波）の頭皮上分布を手がかりに、両者はそれぞれ異なる処理過程を反映する別の成分であることを示す（実験 I）。次に、記憶探索波に比べて検討されることが少なかった視的探索波の性質について検討する。第 1 に、標的の選定方法が異なる実験間では視的探索波の頭皮上分布が異なることに着目し、探索の自動化の程度が視的探索波に及ぼす影響について調べる（実験 II・III）。第 2 に、実験 I - III で行った単純な文字探索を、文字の色に基づく選択課題と組み合わせ、やや複雑な探索課題における視的探索波の性質について検討する（実験 IV・V・VI）。最後に、これらの結果に基づいて、視覚探索を支えるメカニズムについて考察する。

## 第 2 章 ERP による視覚探索研究

### 第 1 節 ERP における視覚負荷効果と記憶負荷効果の分離

#### 実 験 I

第 1 章第 4 節で指摘したように、視覚探索課題の記憶負荷によって影響される陰性電位(Okita et al., 1985)と、視覚負荷によって変動する陰性電位(Ritter et al., 1988; Wijers et al., 1987)では、それぞれ頭皮上分布が異なると考えられる。しかし、これら 2 種類の負荷は ERP に異なる影響を及ぼし、影響の違いは負荷によって増大する陰性電位の頭皮上分布によって区別することができると結論するには、次のような問題がある。

まず、Okita et al. (1985)や Wijers et al. (1987)では、ERP を中心線上の 4 部位(Fz, Cz, Pz, Oz)からしか記録しておらず、特に後頭部や側頭後部の電位分布に関する情報が不足している。

次に、刺激配置の違いがある。Ritter et al. (1988)では、刺激として 5 個のアルファベットを横一列に配置して呈示しているのに対し、Okita et al. (1985)や Wijers et al. (1987)では、凝視点を中心とした仮想的四角形の四隅に文字あるいはマスク刺激を呈示している。また、視覚負荷の操作方法に関しても、Ritter et al. (1988)では文字列の中央、両端、全体と、注意の範囲が横方向に広がるのに対し、Wijers et al. (1987)では、四角形的一方の対角線上の文字のみに注意する条件と文字全部に注意を向ける条件を比較しているという相違がある。このような刺激の配置や空間的注意のあり方の違いが、陰性電位の頭皮上分布が実験間で異なる原因となっているかもしれない。

さらに、陰性電位を求める手続きにも問題がある。Ritter et al. (1988)の NA は、文字探索課題で得られる ERP から単純反応課題における ERP を引き算して得られる成分であるのに対し、Okita et al. (1985)や Wijers et al. (1987)の探索陰性波は、同じ文字探索課題で負荷条件のみが異なる 2 条件の ERP を引き算して求めたものである。したがって、NA には



視覚負荷以外に課題そのものの性質の違いも反映されており、それが NA の頭皮上分布に影響した可能性がある。

実験 I は、これらの問題点を解決したうえで、ERP における視覚負荷効果と記憶負荷効果を分離して取り出すことができるかどうかを検討することを目的とした。そのために、Ritter et al. (1988) に類似した刺激を用いて文字探索課題を実施し、同一被験者から記録した ERP が課題の視覚負荷と記憶負荷によってどのように変化するかを観察した。視覚負荷効果については、NA 成分だけでなく、視覚負荷の異なる条件間で ERP の差波形を算出し、その頭皮上分布について検討した。

## 方 法

**被験者** 視力(矯正視力を含む)の正常な 21-32 歳の成人 12 名(男性 6 名、女性 6 名)を被験者とした。

**刺激と装置** 刺激は、パソコンの CRT(PC-KD853, NEC)画面上に呈示した。刺激の色は常に白、背景色は黒であった。試行中は、画面中央に縦 2 cm×横 5 cm(視角で約 1.3 度×3.2 度、観察距離は 90 cm)の長方形の枠を常に表示した。異なるアルファベット 5 文字を横一列に並べたものをテスト刺激とし、長方形の枠内に呈示した。各文字の大きさは約 0.5 度×0.5 度であった。呈示時間を 300 ms、刺激間隔(SOA, stimulus onset asynchrony)を 1 700 ms として、100 個のテスト刺激を連続的に呈示した。

刺激の時間的制御と反応時間の測定に、パーソナルコンピュータ(PC-9801VX2, NEC)とタイマーボード(TIR-6, CONTEC)を用いた。

**課題と条件** 単純反応課題と文字探索課題を実施した。単純反応課題では、被験者はすべてのテスト刺激に対してキーを押して反応した。文字探索課題では、被験者はあらかじめ覚えた標的文字を含むテスト刺激(標的刺激)に対してキーを押して反応し、その他のテスト刺激(非標的刺激)に対しては何も反応しなかった。全試行の 20% で標的刺激を呈示した。

文字探索課題では、視覚負荷について 2 水準(P1, P5)と記憶負荷につ

いて 3 水準(M1, M3, M5)を組み合わせた 6 条件を設定した。視覚負荷は、文字列中の被験者に注目させる位置の数で操作した。P1 条件では、標的文字は必ず文字列の中央に呈示されること、P5 条件では、標的文字は 5 つの場所のどこかに呈示されることを、あらかじめ被験者に知らせた。凝視点については特に指示をしなかった。記憶負荷は記憶セットの大きさで操作した。M1 条件では、標的文字はアルファベットの A であった。M3 条件では A, B, C の 3 文字、M5 条件では A, B, C, D, E の 5 文字が標的文字となった。M3 および M5 条件でどの文字が標的になるか、および P5 条件でどの位置に標的文字が呈示されるかは、ランダムかつほぼ等確率となるようにした。

被験者には、できるだけ正確に、かつ速やかに反応するよう教示した。テスト刺激呈示開始から、キーが押されるまでの反応時間を 1 ms 単位で測定した。標的刺激に対して 200-1 200 ms の間にキーが押された場合と、非標的刺激に対して 1 200 ms までにキーが押されなかった場合を正反応とした。被験者の半数は右手で、残りの半数は左手でキーを押した。

**手続き** 実験は個別に行った。最初に単純反応課題を 1 系列(100 試行)実施した。続いて文字探索課題を 6 系列実施した。文字探索課題では、標的文字の種類と、標的文字が出現する可能性のある位置について、実験系列開始前に被験者に伝えた。各条件ごとに 25 試行程度の練習を行った後、連続して 100 試行、短時間の休憩をはさんでさらに 100 試行を実施した。被験者の半数は P1 条件を前半に、P5 条件を後半に行なった。各視覚負荷条件における記憶負荷条件の実施順序はラテン方格に基づいて決定した。残りの被験者は、P5 条件、P1 条件の順序で行った。文字探索課題が全て終了した後、単純反応課題を再度 1 系列実施した。

**脳波の記録** 銀・塩化銀皿電極を用い、両耳朶連結を基準電極として、国際 10-20 法(Figure 2.1.1 を参照)による Fz, Cz, Pz, T5, T6, O1, O2 の 7 部位から脳波を導出した。さらに右眼上より垂直眼球電図(EOG, electrooculogram)を記録した。電極間抵抗は、5 k $\Omega$  以下とした。脳波と EOG は、脳波計(1A97A, NEC San-ei)を用いて帯域通過周波数 0.05-30

Hz で増幅し、アナログデータレコーダ(XR-50E, TEAC)に記録した。

**脳波の分析** テスト刺激  
呈示前 100 ms から 1 100  
ms の区間の脳波と EOG を、  
AD 変換器(DR-F1, TEAC)  
を用いてサンプリング周波  
数 100 Hz で AD 変換し、  
刺激呈示前 100 ms の平均  
電位をベースラインとして  
各試行における電位を算出  
した。誤反応試行および分  
析区間中に EOG を含むい  
ずれかのチャンネルで ±  
100  $\mu$ V 以上の振幅を記録

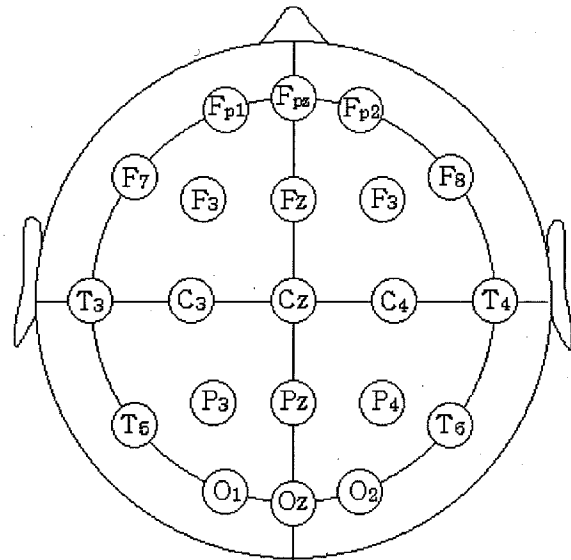


Figure 2.1.1. The ten-twenty system of electrode placement.

した試行を除き、単純反応課題では 1 種類、探索課題ではテスト刺激の  
種類(標的・非標的)×負荷条件(6)で 12 種類の ERP 波形を、部位別、被  
験者別に加算平均して求めた。

なお、結果の分析に繰り返し測度の分散分析を使用する場合、分散・  
共分散の非等質性によるタイプ I エラーの確率の増加(Vasey & Thayer,  
1987)を避けるために、必要に応じて Greenhouse と Geisser の  $\epsilon$  (Jennings  
& Wood, 1976)で自由度を調整した。多重比較には Tukey 法を用いた。  
全ての分析で、有意水準は 5 %とした。これらの点は、特にことわらな  
い限り、以下のすべての実験で同様である。

## 結 果

**反応時間と誤答率** 探索課題の反応時間と誤答率(ミスおよびフォー  
ルス・アラーム)を条件別に求め、Table 2.1.1 に示した。反応時間につ  
いて視覚負荷×記憶負荷の分散分析を行ったところ、視覚負荷の主効果  
( $F(1, 11)=188.3, p<.001$ ), 記憶負荷の主効果( $F(2, 22)=154.16, \epsilon=0.951,$   
 $p<.001$ ), および両要因の交互作用( $F(2, 22)=61.54, \epsilon=0.984, p<.001$ )が

有意であった。記憶負荷条件別に視覚負荷に関する 1 要因分散分析を行った結果、記憶負荷の大きさに関わらず、視覚負荷が大きい方が反応時間は長かった。また、視覚負荷条件別に記憶負荷に関する 1 要因分散分析を行った結果、視覚負荷の大きさに関わらず記憶負荷の効果は有意であり、反応時間は  $M1 < M3 < M5$  であった。

ミス率を開平変換した値について同様の分析を行った結果、視覚負荷の主効果 ( $F(1, 11)=144.2, p < .001$ )、記憶負荷の主効果 ( $F(2, 22)=34.36, \epsilon = 0.872, p < .001$ )、および両要因の交互作用 ( $F(2, 22)=30.69, \epsilon = 0.725, p < .001$ ) が有意であった。記憶負荷条件別に視覚負荷に関する 1 要因分散分析を行った結果、視覚負荷の効果は M3 および M5 条件で有意であり、視覚負荷が大きい条件でミスが多かった。また、視覚負荷条件別に記憶負荷に関する 1 要因分散分析を行った結果、記憶負荷の効果は P5 条件のみで有意であり、ミスは、 $M1 < M3 < M5$  の順に多くなった。

フォールス・アラーム率を開平変換した値についても同様の分散分析を行った。視覚負荷の主効果 ( $F(1, 11)=30.27, p < .001$ ) と、記憶負荷の主効果 ( $F(2, 22)=15.00, \epsilon = 0.609, p < .001$ ) が有意であり、視覚負荷が大きいほど、また M3/M5 条件は M1 条件に比べて、フォールス・アラームの割合が大きかった。

Table 2.1.1

*Performance Data in Experiment I as a Function of Display and Memory Load*

Display Load	Memory Load	Reaction Time in ms		Miss Percent		False Alarm Percent	
P1	M1	465.7	(76.4)	0.21	(0.69)	0.06	(0.18)
	M3	500.8	(61.2)	1.25	(2.80)	0.23	(0.30)
	M5	529.3	(66.8)	1.25	(3.46)	0.34	(0.90)
P5	M1	503.3	(61.3)	0.42	(0.93)	0.06	(0.18)
	M3	644.3	(88.6)	5.83	(6.95)	0.91	(0.56)
	M5	729.4	(87.3)	16.67	(12.00)	0.80	(0.60)

Note. Values enclosed in parentheses represent *SD*s.

さらに、標的文字の種類や呈示位置によって反応時間に違いがあるかどうかを検討した。M3 条件と M5 条件とで別々に、視覚負荷×標的文字の種類 (M3: A, B, C; M5: A, B, C, D, E) の分散分析を行ったところ、標

的文字の種類の主効果がいずれも有意(M3:  $F(2, 22)=40.23$ ,  $\epsilon=0.840$ ,  $p<.001$ ; M5:  $F(4, 44)=12.38$ ,  $\epsilon=0.791$ ,  $p<.001$ )であった。視覚負荷条件をこみにした各標的文字に対する反応時間は、M3条件では A(536 ms) < B(569 ms) < C(618 ms)であった。M5条件では A(557 ms), B(614 ms), C(637 ms), E(695 ms), D(697 ms)の順に長くなった。ただし、A-B, B-C, C-E-D条件間に有意差はなかった。また、P5条件の反応時間について、記憶負荷×呈示位置の分散分析を行ったところ、呈示位置に関する主効果、交互作用ともに有意でなかった。

標的刺激に対する ERP 文字探索課題における標的刺激に対する ERP 波形には、頂点潜時が約 400-700 ms で、Pz 優勢に分布する大きな陽性電位(P3b)が認められた。Pz で記録された標的 ERP 波形を、Figure 2.1.2 に示す。また、Pz の標的 ERP について、刺激後 300-1 000 ms の区間における最大の陽性電位を示した点を P3b 頂点と定め、その潜時と振幅を測定した。条件別の平均値を Table 2.1.2 に示す。

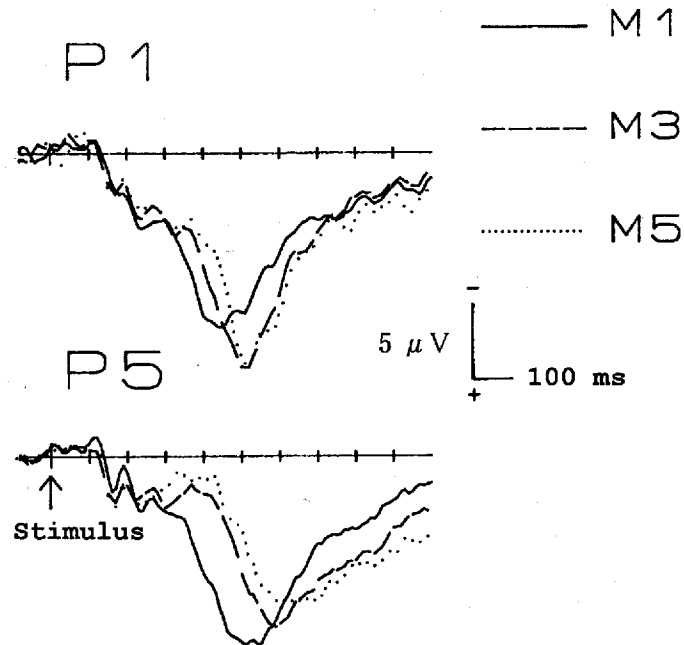


Figure 2.1.2. Grand average ERPs at Pz to target stimuli in a letter search task in Experiment I.

P3b 潜時について視覚負荷×記憶負荷の分散分析を行った結果、視覚負荷の主効果( $F(1, 11)=18.33, p<.01$ )、記憶負荷の主効果( $F(2, 22)=46.87, \epsilon=0.934, p<.001$ )、および両要因の交互作用( $F(2, 22)=9.33, \epsilon=0.657, p<.01$ )が有意であった。記憶負荷条件別に視覚負荷に関する 1 要因分散分析を行った結果、M3 条件と M5 条件で視覚負荷の効果が有意であり、視覚負荷が大きい方が P3b 潜時は長かった。また、視覚負荷条件別に記憶負荷に関する 1 要因分散分析を行った結果、P1 条件では M1 条件の P3b 潜時が M3/M5 条件におけるよりも長く、P5 条件では、P3b 潜時は  $M1 < M3 < M5$  であった。

P3b 振幅について同様の分析を行った結果、視覚負荷の主効果( $F(1, 11)=7.17, p<.05$ )と視覚負荷×記憶負荷の交互作用( $F(2, 22)=4.00, \epsilon=0.834, p<.05$ )が有意であった。記憶負荷条件別に視覚負荷に関する 1 要因分散分析を行った結果、視覚負荷の効果は M5 条件のみで有意で、視覚負荷が大きい方が P3b 振幅は小さかった。また、視覚負荷条件別に記憶負荷に関する 1 要因分散分析を行った結果、P5 条件のみで記憶負荷効果が有意であり、P3b 振幅は M1 条件より M5 条件で小さかった。M1-M3, M3-M5 条件間に有意差はなかった。

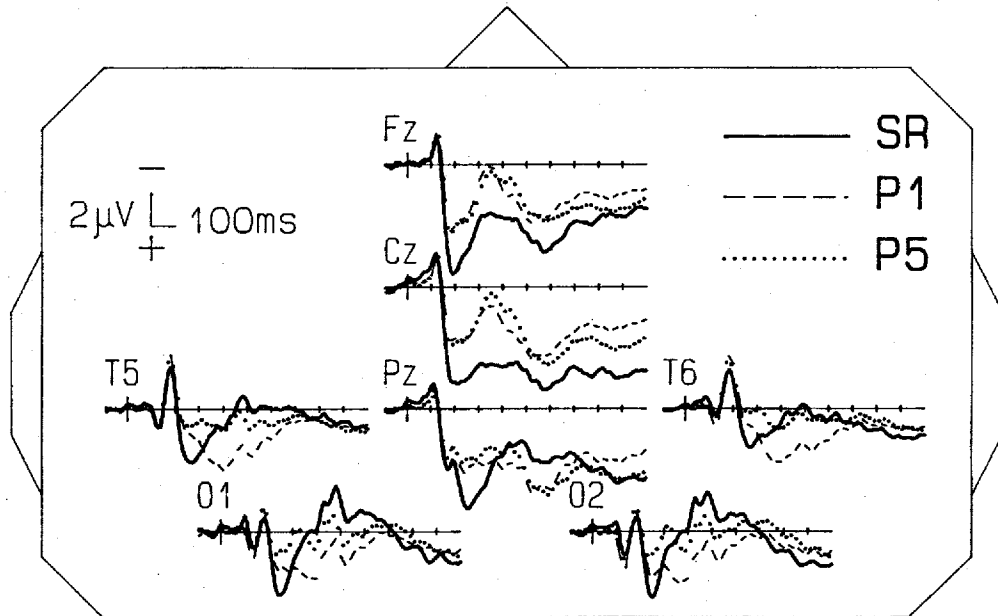
Table 2.1.2  
*The Peak Amplitudes and Latencies of P3b at Pz in  
 Experiment I as a Function of Display and Memory Load*

Display Load	Memory Load	Amplitude in micro V		Latency in ms	
P1	M1	15.0	(7.1)	460.0	(67.5)
	M3	14.8	(5.3)	507.5	(43.0)
	M5	15.6	(8.1)	521.7	(39.1)
P5	M1	15.4	(7.7)	477.5	(62.6)
	M3	12.6	(4.9)	582.5	(65.6)
	M5	11.2	(4.9)	652.5	(79.6)

*Note.* Values enclosed in parentheses represent *SDs*.

非標的刺激に対する ERP Figure 2.1.3 と Figure 2.1.4 に、文字探索課題における非標的刺激に対する ERP 波形を条件別に示した。Figure

2.1.3 が、記憶負荷条件をこみにしたときの P1 条件と P5 条件の重ね書き、Figure 2.1.4 が視覚負荷条件をこみにしたときの M1, M3, M5 条件の重ね書きである。さらに、Figure 2.1.3 には、単純反応時の ERP 波形 (SR と表記) も書き入れてある。Fz, Cz の SR 波形では、頂点潜時 120-130 ms の陰性波(前頭部 N1) に 180-220 ms の大きな陽性波(P2)が続き、それがやや陰性方向に復帰した後、再び陽性方向へなだらかにシフトしている。後頭部(O1, O2)後部側頭部(T5, T6)の SR 波形では潜時 180 ms 付近に頂点を持つ陰性波(後頭部 N1)が出現した後、大きな陽性波(P2)が現れるが、それは速やかに陰性方向へ復帰する。その後の陽性方向へのシフトは中心線上の波形に比べて非常に小さい。



**Figure 2.1.3.** Grand average ERPs in a simple reaction task (real lines, SR), and ERPs to non-target stimuli in a letter search task are superimposed. ERPs for P1 (broken line) and P5 (dotted line) conditions are averaged across three memory load conditions.

文字探索課題時の波形は、Fz, Cz では、前頭部 N1 までは SR 波形と同じであるが、その後の P2 は SR 波形に比べて小さい。その後、さらに 330-350 ms に頂点を持つ陰性波(N330)が続く。後頭・後部側頭部位では、後頭部 N1 出現後、比較的なだらかな陽性波が続き、それが徐々

にベースラインへ復帰している。N330 は Cz, Fz で優勢に出現し、記憶負荷とともにその振幅が増大している。また、P1 条件と P5 条件を比べると、後頭・後部側頭部位では、300-600 ms の潜時帯で P5 条件の波形が P1 条件よりも negative であるように見える。

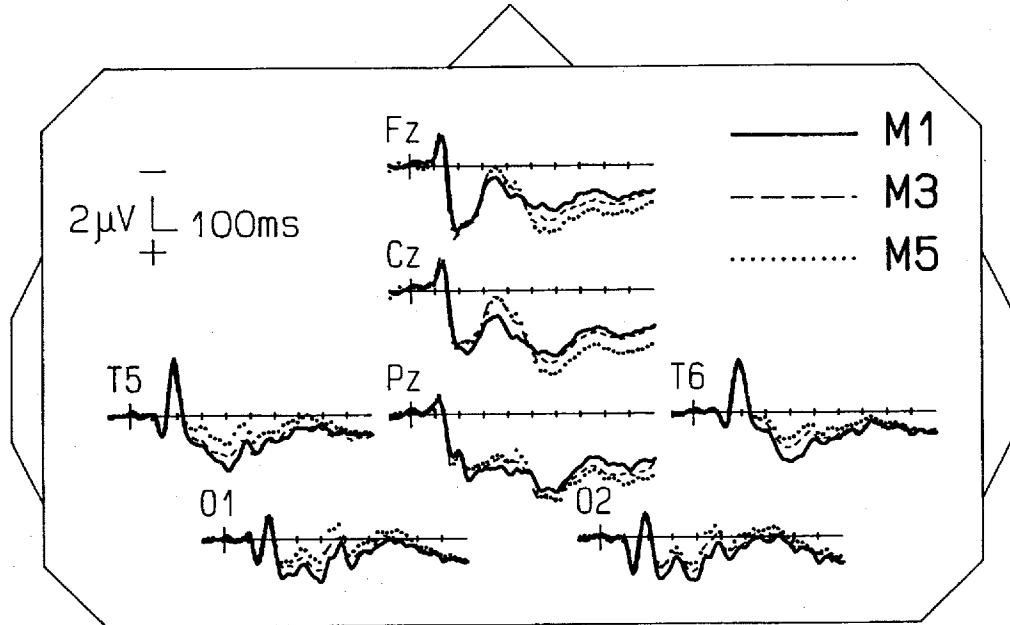


Figure 2.1.4. Grand average ERPs to non-target stimuli in a letter search task in experiment I. ERPs for M1 (real lines), M3 (broken lines), and M5 (dotted lines) conditions are averaged across two display load conditions.

非標的波形について、刺激呈示後から 1 000 ms の間を 50 ms ごとに区切り、各区間の平均電位を算出して、視覚負荷×記憶負荷×記録部位の分散分析を行った。その結果、視覚負荷の主効果は 300-350, 350-400, 400-450 ms ( $F_{s(1,11)}=7.19, 6.97, 6.08$ , 全て  $p<.05$ ) の各区間で認められ、どの区間でも視覚負荷の大きい条件で ERP は negative であった。記憶負荷の主効果が認められたのは 200-250, 300-350, 350-400, 400-450 ms ( $F=4.95, \epsilon=0.892; F=3.71, \epsilon=0.853; F=4.66, \epsilon=0.795; F=6.08, \epsilon=0.845$ , 全て  $df=2/22, p<.05$ ) の各区間で、どの区間でも記憶負荷が大きいほど ERP は negative であり、M5 条件と M1 条件の間に有意差が認められた。

350-550 ms 区間では、視覚負荷×記憶負荷の交互作用が有意であっ



た (350-400:  $F=4.24$ ,  $\epsilon = 0.905$ ,  $p < .05$ ; 400-450:  $F=7.51$ ,  $\epsilon = 0.706$ ,  $p < .05$ ; 450-500:  $F=10.36$ ,  $\epsilon = 0.840$ ,  $p < .01$ ; 500-550:  $F=7.26$ ,  $\epsilon = 0.870$ ,  $p < .01$ , 全て  $df=2/22$ )。これらの交互作用は全て、平均振幅に及ぼす視覚負荷の効果は記憶負荷が大きいほど強く現れ、また記憶負荷に伴う陰性電位の増大は、P5条件ではっきりと出現していることに起因する。

視覚負荷と記憶負荷が ERP の頭皮上分布に及ぼす影響を調べるために、両要因の主効果が認められた 300-450 ms の区間の平均電位を、McCarthy & Wood (1985)の推奨する方法で規準化した後、視覚負荷×記憶負荷×記録部位の分散分析を行った。300-350 ms 区間では視覚負荷×記録部位の交互作用が有意で ( $F(6, 66)=7.17$ ,  $\epsilon = 0.321$ ,  $p < .01$ )、記憶負荷の効果は頭皮上全体に一樣に出現したのに対し、視覚負荷の効果は O1, O2 に現れた。350-400 ms 区間では、視覚負荷×記録部位も、記憶負荷×記録部位の交互作用も有意でなかった。400-450 ms 区間では、視覚負荷×記録部位 ( $F(6, 66)=6.75$ ,  $\epsilon = 0.378$ ,  $p < .01$ )、記憶負荷×記録部位 ( $F(6, 66)=3.20$ ,  $\epsilon = 0.303$ ,  $p < .05$ )の交互作用が有意であり、視覚負荷の効果、記憶負荷の効果ともに、T5, O1, O2 で大きく現れた。

以上の分析では、視覚負荷と記憶負荷が ERP の頭皮上分布に及ぼす影響が同じであるか異なるかが必ずしも明らかではないので、300-450 ms 区間の NA 波および探索陰性波についてさらに検討した。

**NA 波形** Figure 2.1.5 に NA 波形(文字探索課題の非標的波形から単純反応課題における波形を引き算して得られる差波形)を示した。記憶負荷条件はこみにしてある。Fz, Cz では潜時約 120 ms, その他の部位ではやや後れて陰性波が出現し始め、Fz, Cz では約 200 ms で最初の頂点に達する。頭頂部(Pz)と後頭部、後部側頭領域では、最初の陰性波は前頭領域に比べて小さく、200 ms 付近から始まる第 2 の陰性波が 260-280 ms で頂点に達している。

Figure 2.1.6 に P5 条件の波形から P1 条件の波形を引き算して得られる差波形(記憶負荷条件はこみ)を示した。この波形は、Figure 2.1.5 の 2 つの NA 波を、さらに引き算した波形に相当する。Figure 2.1.5 と Figure 2.1.6 を比較すると、NA そのものの分布と NA 上の視覚負荷効果の分布

は異なることがわかる。視覚負荷の効果が出現するのは約 280 ms より後で、特に後頭・後部側頭部に大きく出現しているようである。

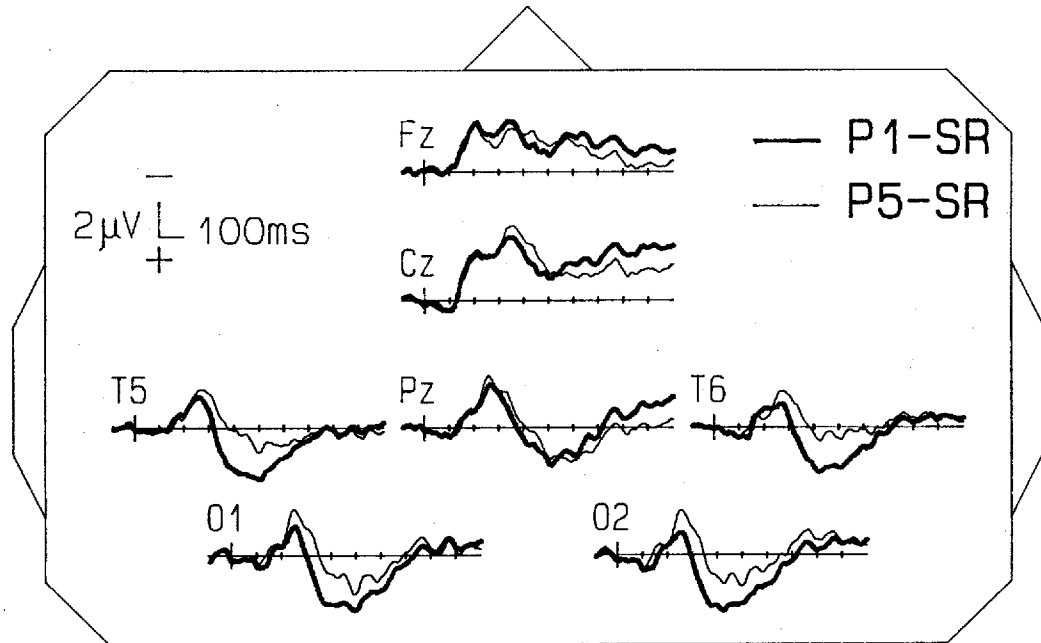


Figure 2.1.5. Waveforms of NAs which were obtained by subtracting simple reaction ERPs (SR) from nontarget ERPs in letter search tasks (P1, P5), collapsed across memory load conditions.

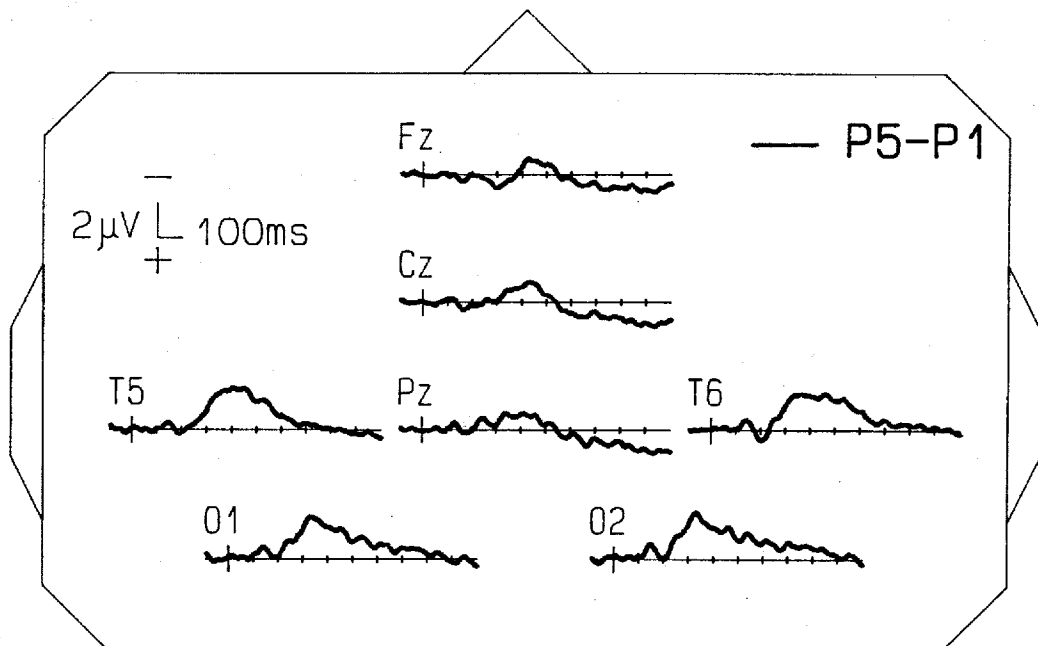


Figure 2.1.6. Waveforms of search negativities, which were obtained by subtracting small display load ERPs (P1) from larger load ERPs (P5), collapsed across memory load conditions.

300-450 ms 区間の平均電位を前述の方法で規準化した後，視覚負荷×記憶負荷×記録部位の分散分析を行ったところ，300-350 ms 区間では記録部位の主効果( $F(6, 66)=9.09, \epsilon=0.275, p<.01$ )と視覚負荷×部位の交互作用( $F(6, 66)=7.92, \epsilon=0.303, p<.01$ )が有意であった。Fz, Cz, Pz では視覚負荷にかかわらず振幅は一定であり，T5, T6, O1, O2 では視覚負荷の増大によって平均振幅が陰性方向に変化した(Figure 2.1.8 を参照)。350-400 ms 区間および 400-450 ms 区間では部位の主効果のみ有意( $F(6, 66)=15.02, \epsilon=0.334, p<.001; F(6, 66)=18.61, \epsilon=0.291, p<.001$ )であり，視覚負荷×記録部位，記憶負荷×記録部位の交互作用は認められなかった。頭皮上分布は，300-350 ms 区間と類似していた。

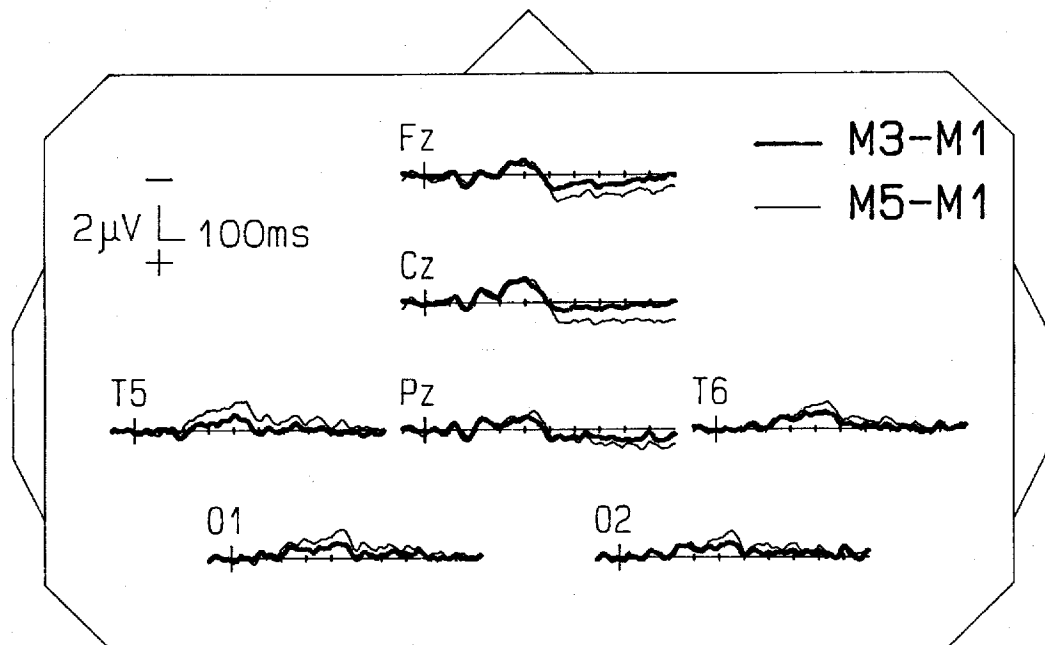


Figure 2.1.7. Waveforms of search negativities, which were obtained by subtracting small memory load ERPs (M1) from larger load ERPs (M3, M5), collapsed across display load conditions.

**探索陰性波** Figure 2.1.7 に，M3 および M5 条件の非標的波形から M1 条件の非標的波形を引き算して得られる差波形(視覚負荷条件はこみ)を示す。Cz において，200 ms 付近から陰性波が生じ始め，一度減衰した後，300 ms 付近から約 200 ms 持続する陰性波が認められる。分布は Cz

で優勢であるが、特に M5-M1 波形では頭皮上に広く分布しているように見える。Figure 2.1.8 に、P5-P1 および M4-M1 差波形の刺激後 300-350 ms 区間の平均振幅を示す。Figure 2.1.7 で見たように、探索陰性波の分布は全体に一樣であり、視覚負荷×記憶負荷×記録部位の分散分析の結果、300-450 ms の 3 区間で、全ての主効果および交互作用は有意でなかった。

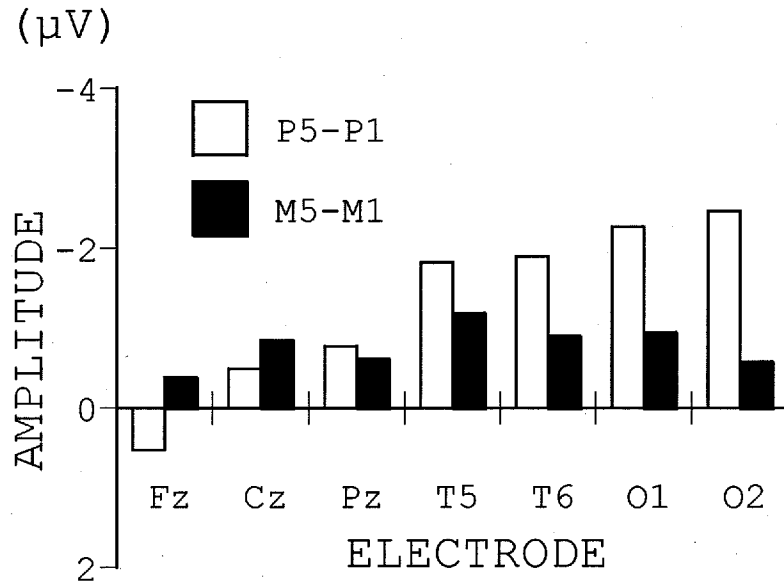


Figure 2.1.8. Scalp distributions of display and memory load effects on ERPs. Mean amplitudes of P5-P1 (display load) and M5-M1 (memory load) difference waves in the latency range of 300-350 ms post stimulus.

## 考 察

実験 I では、文字探索課題を遂行中の ERP を記録し、視覚負荷と記憶負荷の各操作に対応して生じる電位変動の頭皮上分布を比較した。その結果、刺激後 300-450 ms の非標的 ERP 波形には、視覚負荷または記憶負荷が増加するほど陰性方向へシフトする電位変化が認められた。その頭皮上分布を比較すると、視覚負荷に伴う陰性変動は後頭部・後部側頭部に顕著であったのに対し、記憶負荷に伴う陰性変動は比較的頭皮上全体に分布した。ERP の頭皮上分布の違いは、それを生じる脳の活動が異なることを示す。刺激モダリティや課題の性質が異なる場合には、

頭皮上分布の異なる成分が同じ心理過程を反映すると考えられる場合もある (Vaughan, Ritter, & Simson, 1983)。しかし、実験 I の結果は、物理的に等しい刺激を用いた同一の課題で得られた波形でありながら頭皮上分布が異なるという点で、これら 2 つの陰性波はそれぞれ異なる処理過程を反映していると考えられる。

記憶負荷による電位変化は、統計的有意差は得られなかったが、特に記憶負荷が比較的小さい M3 条件においては Cz で最も優勢に発達している点から見て、Okita et al. (1985) の探索陰性波と同じものだと考えられる。反応時間がターゲットの種類によって異なり、常に A, B, C, ... の順序で検索されたと考えられることも、この電位変化が短期記憶内の系列的比較過程を反映していることを示唆する。

本実験でも Ritter et al. (1988) と同様、視覚負荷の増大に伴う陰性波の発達がみられた。記号の向きによって標的刺激を規定した Ritter et al. (1983) では、標的の出現位置が予測できない場合に、同時に呈示する記号の数の増加にともなう NA 頂点潜時の延長を認めた。本実験の手続きと合わせて考えると、NA の頂点潜時あるいは後半部分の振幅増大をもたらすのは、被験者が注目しなければならない位置が増加することであるといえる。また、本実験で得られた反応時間には、標的刺激の位置による違いがなかったこともあり、NA の後半部分に反映されるのは、短期記憶内の系列的比較過程ではなく、むしろ何らかの視空間的探索にかかわる過程ではないかと想定できる。

聴覚刺激を用いた投石・下河内(1990)や Novak, Ritter, Vaughan, & Wiznitzer (1990) は、弁別課題の非標的 ERP 波形から単純反応課題の ERP 波形を引き算することによって得られる聴覚的 NA を報告している。聴覚的 NA の頂点潜時は約 150 ms 前後、Novak et al. (1990) の NA2 でもせいぜい 230 ms 前後であり、本実験で得られた刺激後約 300 ms に始まり 100 ms 以上持続する電位変化と比べると、潜時はかなり短い。刺激の呈示モダリティの違いにより、出現潜時には多少の差が生じる可能性はあるが、視覚刺激を用いた Ritter et al. (1988) が報告した NA の第 3 成分や、本実験で得られた視覚負荷の増大につれて発達する陰性成分は、

視覚モダリティに特有の視空間的探索に関連すると考えた方がよいと思われる。

ところで、NA 波は、探索課題で得られる波形から単純反応課題で得られる波形を引き算して求める波形である。課題による ERP 波形の違いは、視覚負荷の効果よりも早くに出現しており、視覚負荷とは独立に、課題そのものによって ERP が影響を受けることは明らかである。また、視覚負荷の得られる区間では、課題の効果と視覚負荷効果の交互作用があった場合(例えば特定の課題でのみ負荷効果が現れるような場合)には、それらを分離して取り出すことができない。したがって、視覚探索における視覚負荷効果の検討方法としては、NA を用いるのは適切でなく、同じ探索課題で負荷条件のみの異なる条件間の比較が適当であろう。実験 I では、NA のみならず、P5-P1 差波形でも後頭部・後部側頭部優勢な陰性波を確認できた。この点で、2 種類の負荷はそれぞれ異なる処理過程に影響を及ぼし、それを ERP の頭皮上分布の違いとして取り出せる可能性が高くなったと言える。

## 第 2 節 探索の自動化の程度が ERP の視覚負荷効果に及ぼす影響

実験 I で、視覚探索課題を遂行中に、課題の視覚負荷によって変動する陰性波(以後、視的探索波と呼ぶ)と、記憶負荷によって変動する陰性波(以後、記憶探索波)が記録できること、および、2 種類の探索陰性波は、その頭皮上分布の違いによって区別できることを示した。しかし、視的探索波の頭皮上分布については、研究間で必ずしも一致した結果が得られていない。実験 I や Ritter et al. (1988) では後頭部・後部側頭部優勢な視的探索波が得られたが、Wijers et al. (1987) では、視的探索波は後頭部(Oz)で最大の振幅を示したものの、前頭部(Fz)、中心部(Cz)、頭頂部(Pz)にも広く分布していた。第 2 節では、これらの研究間に見られる視的探索波の分布に関する不一致の原因を明らかにすることによって、視的探索波が反映する認知過程について探る。

後頭部・後部側頭部優勢な視的探索波を報告した実験 I や Ritter et al. (1988) と、前頭部や中心部への広範な分布を認めた Wijers et al. (1987) の手続きを比較すると、記憶セットの決定の仕方が異なっている。Wijers et al. (1987) では、記憶セット(アルファベットまたは数字)が実験系列ごとに変更されたのに対し、Ritter et al. (1988) では、記憶セットは、常に A, I, U, E, O の 5 母音で構成された。また、実験 I で用いた記憶セットも、大きさが 1 の場合には A に、3 の場合には A, B, C に、5 の場合には A, B, C, D, E に固定されており、これらの文字が妨害刺激となることはなかった。

特定の刺激が標的にも妨害刺激にもなり得るか(varied mapping, VM 条件)、標的となる刺激グループと妨害刺激のグループが完全に分離しているか(consistent mapping, CM 条件)は、標的検出の自動化の過程を決定する重要な要因であり(Schneider & Shiffrin, 1977; Shiffrin & Schneider, 1977)、探索過程を反映する ERP 成分にも影響を及ぼすであろう。そこで、実験 II と実験 III では、探索の自動化の程度が ERP の視覚負荷効果に及ぼす影響について検討した。

## 実 験 II

実験 II では、各アルファベットが標的にも妨害刺激にもなる事態で、視的探索波と記憶探索波の頭皮上分布を検討することを目的とした。そのため、実験 I の手続きを変更し、実験系列ごとに標的文字を変えた。さらに、探索陰性波以外に、視覚負荷と記憶負荷が視覚探索課題遂行中の ERP に異なる影響を及ぼす点がないかどうかを、視覚負荷条件を 3 水準に増やして検討することを第 2 の目的とした。そのため、実験 I でも検討した NA 波についても再度検討した。

### 方 法

**被験者** 視力(矯正視力を含む)の正常な、右利きの成人 9 名(21-25 歳、男子 1 名、女子 8 名)を被験者とした。

**刺激と装置** パソコンの CRT(PC-KD853, NEC)上に、アルファベット 5 文字を横一列に並べて呈示した。各文字の大きさは視角で 0.7 度×0.7 度(観察距離 90 cm)、文字列全体の横幅は約 4.2 度であった。刺激は黒い背景上に、白色で呈示した。

C, G, U, V を除くアルファベットからランダムに 1, 2, または 4 文字を選び、記憶セットとした。テスト刺激は、それ以外のアルファベットから異なる 5 文字をランダムに選んだ。テスト刺激が標的刺激の場合には、5 文字のどれかを、記憶セット内の 1 文字と交換した。どの文字が選ばれるかは、ランダムかつ等確率とした。

各テスト刺激の呈示時間を 300 ms、刺激間隔(SOA)を 1 700-2 000 ms の範囲でランダム(矩形分布)として、200 刺激を連続して呈示した。標的刺激の出現確率は 20%とした。標的刺激と非標的刺激はランダムな順序で呈示した。ただし、標的刺激は各実験系列最初の 5 試行には呈示されず、また連続して出現しないようにした。刺激の制御にはパソコン(PC-9801VX2, NEC)を用い、その時間的制御には吉田(1994)のタイマープログラムを用いた。

**課題** 単純反応課題と文字探索課題を実施した。被験者は、単純反応課題では全刺激に対して右手でキーを押して反応した。探索課題では、



標的刺激に対してだけ同様に反応し、非標的刺激に対しては反応しなかった。

探索課題では、視覚負荷について 3 水準(P1, P2, P5)、記憶負荷について 3 水準(M1, M2, M4)を組み合わせた 9 条件を実施した。標的文字は、P1 条件では必ず文字列の中央に、P2 条件では文字列の両端のどちらかに、P5 条件では 5 つの場所のどこかに出現した。P2 および P5 条件における標的文字の呈示位置は、ランダムかつ等確率になるよう決定した。

試行中は、中央の文字が呈示される位置の上下に長さ 0.7 度の水平線分を常に呈示し、その線分に挟まれた領域(線分間の間隔が約 1 度)を凝視位置とした。被験者には、反応はできるだけ正確に、かつ速やかに行うよう教示し、刺激呈示後、キーが押されるまでの時間を 1 ms 単位で記録した。標的刺激に対して刺激後 200-1 400 ms の間に反応した場合と、非標的刺激に対して刺激後 1 400 ms までに反応しなかった場合を正反応とした。

**手続き** 最初に単純反応課題を 1 系列(200 試行)実施した。続いて探索課題を、各条件 1 系列ずつ実施した。各実験系列開始前に、記憶負荷条件に応じた記憶セットを呈示し、標的が呈示される位置に関する教示を行った。被験者がそれを十分に理解した後、25-30 試行程度の練習を行い、さらにテスト刺激を 200 試行連続して呈示した。各負荷条件の実施順序はラテン方格に基づいて決定した。視覚負荷水準が同じ 3 つの記憶負荷条件は連続して行った。

**脳波の記録と分析** 銀・塩化銀皿電極を用い、両耳朶連結を基準電極として、国際 10-20 法による Fz, Cz, C4, T4, Pz, P4, T6, Oz, O2 の 9 部位から脳波を導出した(記録部位を中心線を含む右半球側に限定した理由は、ERP の頭皮上分布を詳しく検討するためには、前頭から後頭にかけて電極を配置する必要があるが、装置上の制約で記録チャンネル数をあまり増やすことができないので、どちらか一方の半球側に限定せざるを得なかったことと、反応を右手で行うため、運動に関連する電位が出現しにくい右半球での記録を意図したためである)。さらに右眼窩上より垂直 EOG を、左右眼窩外側間で水平 EOG を記録した。脳波と EOG

は、脳波計(1A97A, NEC San-ei)を用いて帯域通過周波数 0.05-30 Hz で増幅した。

刺激呈示前 100 ms から 1 100 ms の区間の脳波と EOG をサンプリング周波数 100 Hz で AD 変換(DR-F1, TEAC を使用)し、刺激呈示前 100 ms をベースラインとして各試行における振幅を算出した。誤反応および分析区間中にいずれかのチャンネルで±100  $\mu$ V (水平 EOG では±30  $\mu$ V)以上の振幅を記録した試行を除き、刺激の種類(標的・非標的)×負荷条件(9)の 18 条件別に加算平均した。

## 結 果

**反応時間と誤答率** 探索課題の各条件における反応時間と誤答率(ミスとフォールス・アラーム)の平均値と標準偏差を Table 2.2.1 に示した。反応時間について視覚負荷×記憶負荷の分散分析を行った結果、視覚負荷の主効果( $F(2, 16)=67.40, \epsilon=0.974, p<.001; P1<P2<P5$ )と記憶負荷の主効果( $F(2, 16)=67.64, \epsilon=0.707, p<.001; M1<M2<M4$ )、および両要因の交互作用( $F(4, 32)=4.23, \epsilon=.657, p<.05$ )が有意であった。一方の負荷が大きいほど他方の負荷効果が大きいことが、交互作用の原因であった。

Table 2.2.1

*Performance Data in Experiment II as a Function of Display and Memory Load*

Display Load	Memory Load	Reaction Time in ms		Miss Percent		False Alarm Percent	
P1	M1	448.8	(55.6)	0.28	(0.83)	0.13	(0.26)
	M2	504.3	(62.2)	0.00	(0.00)	0.34	(0.46)
	M4	544.2	(73.4)	2.22	(3.17)	0.41	(0.63)
P2	M1	511.8	(43.3)	0.56	(1.67)	0.49	(1.26)
	M2	592.4	(55.8)	2.78	(3.41)	0.13	(0.26)
	M4	657.4	(46.1)	5.56	(3.91)	0.82	(0.94)
P5	M1	552.4	(56.7)	3.33	(4.51)	0.28	(0.46)
	M2	659.1	(29.3)	11.11	(11.12)	0.91	(1.27)
	M4	787.1	(107.0)	31.11	(8.21)	2.29	(1.66)

*Note.* Values enclosed in parentheses represent *SD*s.

ミス率およびフォールス・アラーム率を開平変換した値について同様

の分析を行った。ミス率については，視覚負荷の主効果( $F(2, 16)=71.80$ ,  $\epsilon=0.723$ ,  $p<.001$ ;  $P1<P2<P5$ )と記憶負荷の主効果( $F(2, 16)=29.12$ ,  $\epsilon=0.636$ ,  $p<.001$ ;  $M1<M2<M4$ )，および両要因の交互作用( $F(4, 32)=7.77$ ,  $\epsilon=0.570$ ,  $p<.01$ )が有意であった。反応時間と同様，一方の負荷が大きいほど他方の負荷効果が大きいことが，交互作用の原因であった。フォールス・アラーム率については，記憶負荷の主効果のみが有意( $F(2, 16)=14.50$ ,  $\epsilon=0.920$ ,  $p<.001$ ;  $M1=M2<M4$ )であった。ミス率，フォールス・アラーム率ともに，反応時間とのトレードオフは示さなかった。

標的刺激に対する ERP 探索課題の標的刺激に対する ERP 波形には，Pz 優勢に分布し，潜時約 500-800 ms で頂点に達する大きな陽性成分 (P3b) が認められた。Cz および Pz で記録された標的波形を Figure 2.2.1 に示す。標的波形について，刺激後 300-1 000 ms 区間における最大の

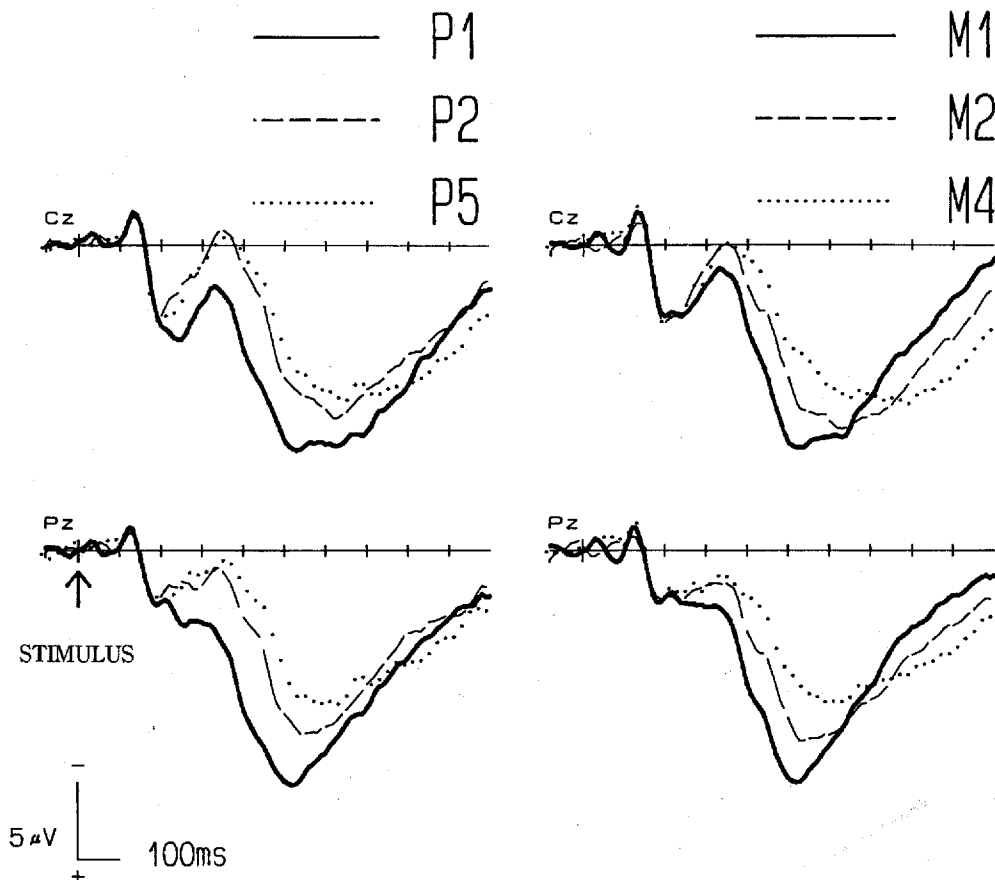


Figure 2.2.1. Grand average ERPs at Cz and Pz to target stimuli in Experiment II. Left panel shows ERPs for three display load conditions averaged across three memory conditions. Right panel shows ERPs for three memory load conditions averaged across three display load conditions.

陽性電位を示した点を P3b 頂点と定め(ただし, 1名の被験者では, P3b 頂点が 1 000 ms 以降にあるように思われたので, 刺激呈示後 1 200 ms 区間までを加算し直し, 300-1 200 ms 区間で同定), その潜時と振幅を測定した。

Cz と Pz における P3b の潜時と振幅の条件別平均値と標準偏差を Table 2.2.2 に示した。潜時について視覚負荷×記憶負荷×記録部位の分散分析を行った結果, 視覚負荷 ( $F(2, 18)=10.54, \epsilon=0.638, p<.01; P1=P2<P5$ ) と記憶負荷 ( $F(2, 18)=49.47, \epsilon=0.671, p<.001; M1<M2<M4$ ), および部位 ( $F(1, 8)=9.09, p<.05; Pz<Cz$ ) の主効果が有意であった。各要因間の交互作用は認められなかった。

Table 2.2.2

*The Peak Amplitudes and Latencies of P3b at Cz and Pz in Experiment II as a Function of Display and Memory Load*

Display Load	Memory Load	Amplitude in micro V				Latency in ms			
		at Cz		at Pz		at Cz		at Pz	
P1	M1	19.7	(12.0)	22.0	(11.5)	484.4	(57.7)	466.7	(59.4)
	M2	17.3	(10.5)	18.5	(8.4)	556.7	(83.8)	543.3	(59.4)
	M4	16.5	(8.0)	17.4	(8.9)	627.8	(123.6)	587.8	(117.2)
P2	M1	13.6	(10.1)	15.5	(9.0)	541.1	(74.6)	514.4	(57.3)
	M2	14.8	(8.3)	14.7	(6.4)	627.8	(66.9)	597.8	(56.3)
	M4	12.9	(7.6)	12.4	(7.3)	678.9	(118.3)	661.1	(114.4)
P5	M1	16.0	(8.2)	16.2	(8.3)	572.2	(56.1)	542.2	(44.7)
	M2	13.7	(7.5)	13.0	(7.6)	716.7	(134.5)	653.3	(123.2)
	M4	12.8	(4.9)	10.9	(4.3)	816.7	(119.9)	794.4	(133.9)

Note. Values enclosed in parentheses represent SDs.

振幅について同様の分析を行った結果, 視覚負荷 ( $F(2, 18)=10.62, \epsilon=0.975, p<.01$ ) および記憶負荷 ( $F(2, 18)=5.22, \epsilon=0.593, p<.05$ ) の主効果と, 記憶負荷×記録部位の交互作用 ( $F(2, 18)=8.13, \epsilon=0.826, p<.01$ ) が有意であった。P2 および P5 条件では, P1 条件に比べて P3b 振幅が小さかった。記憶負荷の効果は Pz のみで有意であり, 記憶負荷が大きくなるほど P3b 振幅は減少した ( $M1=M2, M1<M4, M2=M4$ )。

非標的刺激に対する ERP Figure 2.2.2 と Figure 2.2.3 に, 文字探索課題における非標的刺激に対する ERP 波形を示した。Figure 2.2.2 が記

憶負荷条件をこみにした視覚負荷条件別の総加算平均波形, Figure 2.2.3 が視覚負荷条件をこみにした記憶負荷条件別の加算波形を表す。

後頭部 N200 後頭部・後部側頭部(Oz, O2, T6)の非標的波形では, 潜時約 200 ms の頂点をもつ陰性波(後頭部 N200)が認められる。Figure 2.2.2 を見ると, P1 条件における後頭部 N200 は, 他の 2 条件に比べて振幅が大きく, 潜時もやや長いようである。このような条件差は, 記憶負荷条件(Figure 2.2.3)については認められない。

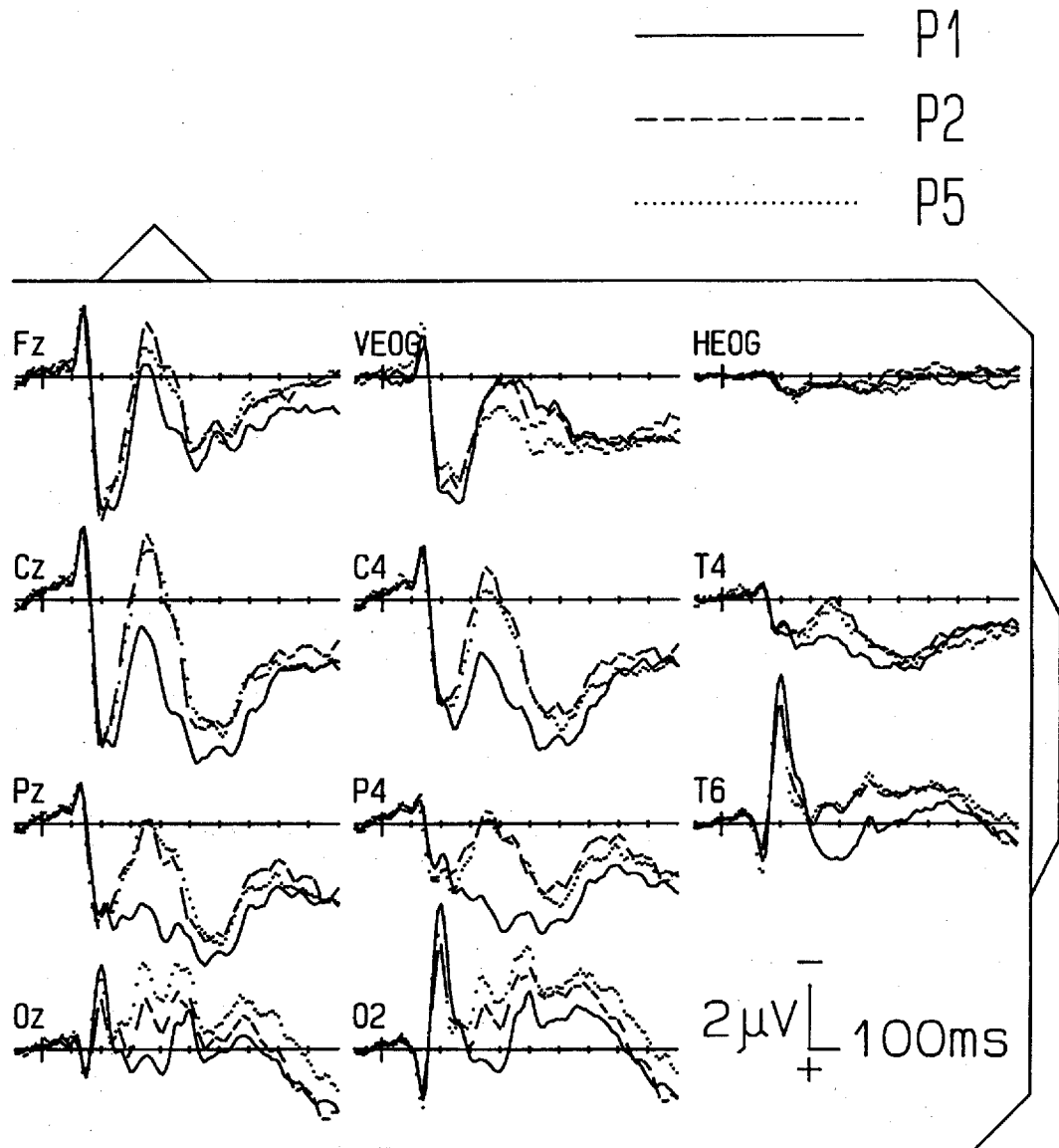


Figure 2.2.2. Grand average ERPs elicited by non-target stimuli in visual search tasks in Experiment II. ERPs for three display load conditions, averaged across three memory load conditions, are superimposed.

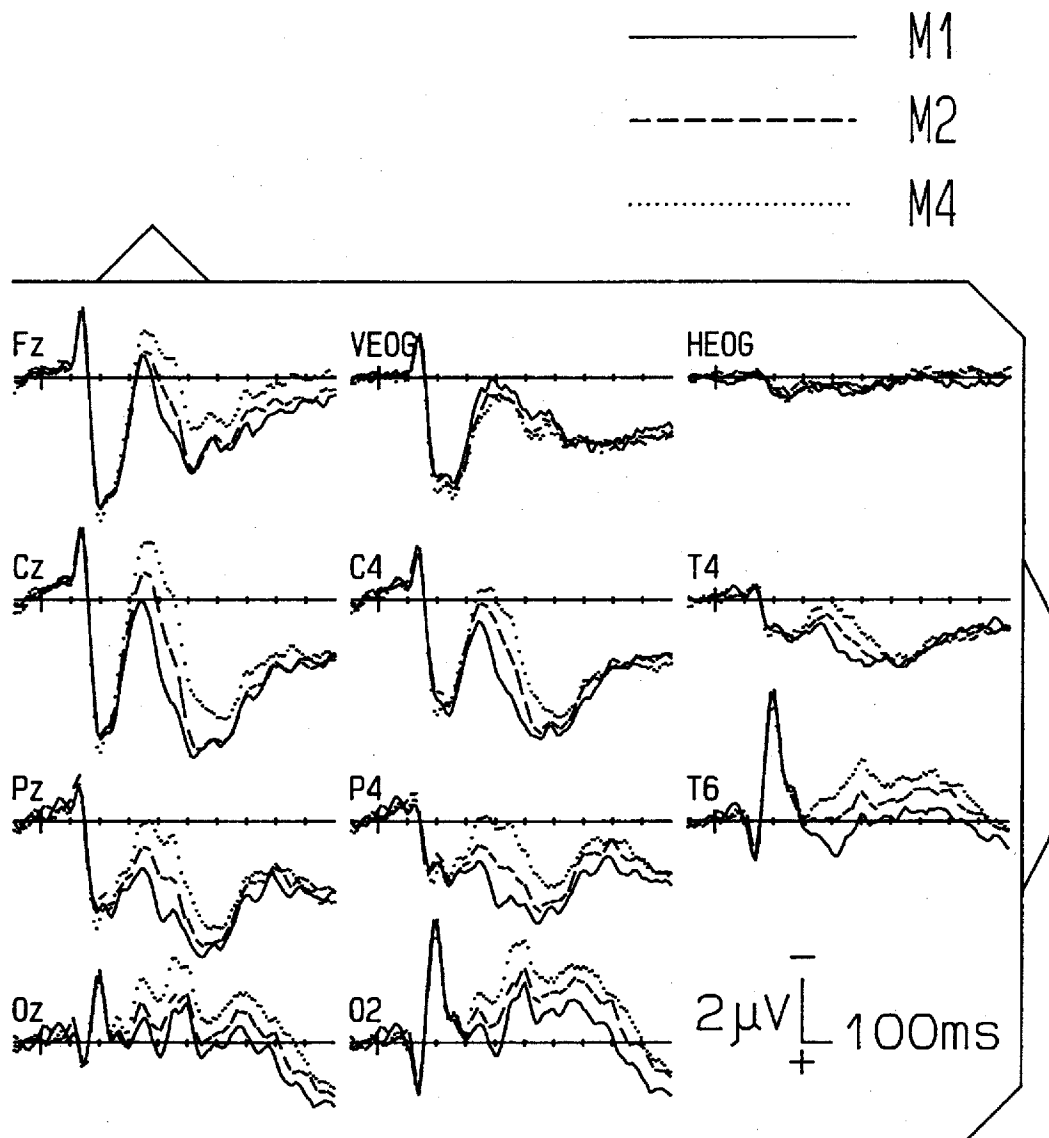


Figure 2.2.3. Grand average ERPs elicited by non-target stimuli in visual search tasks in Experiment II. ERPs for three memory load conditions, averaged across three display load conditions, are superimposed.

この観察を統計的に確認するために、O2 から記録された ERP について、刺激後 100-300 ms 区間における陰性方向への振れの頂点を後頭部 N200 頂点とし(被験者のうち 1 名では、この区間内に明瞭な振れが認められなかったので、分析から除いた)、その潜時と振幅を条件別に求めた。振幅について視覚負荷×記憶負荷の分散分析を行ったところ、視覚負荷の主効果( $F(2, 14)=7.59, \epsilon=0.900, p<.01$ )のみが有意であり、P1 条

件の振幅(-6.3  $\mu$ V)が P2 条件(-5.3  $\mu$ V)や P5 条件(-5.4  $\mu$ V)よりも大きかった。記憶負荷の主効果(M1: -5.3  $\mu$ V, M2: -5.9  $\mu$ V, M4: -5.5  $\mu$ V)と交互作用は有意でなかった。潜時について同様の分析を行った結果、視覚負荷の増加につれて潜時は有意に( $F(2, 14)=5.50, \epsilon=0.698, p<.05$ )短縮した(P1: 192.1 ms, P2: 188.3 ms, P5: 184.6 ms)が、記憶負荷の主効果(M1: 190.4 ms, M2: 187.9 ms, M4: 186.7 ms)と交互作用は認められなかった。

**探索陰性波** Figure 2.2.2 をさらに観察すると、後頭部 N200 に続いて、Cz と C4 では N330(潜時約 330 ms に頂点に達する陰性方向の振れ)の立ち上がりから終了の区間、他の部位では潜時 300 ms 過ぎから条件差が出現している。どの部位でも P2 および P5 条件の波形が P1 条件の波形に比べて陰性方向にシフトしている。Oz と O2 では、P2 条件と P5 条件の間にも振幅差が認められる。記憶負荷効果(Figure 2.2.3)は、部位にかかわらず刺激呈示後 300 ms 過ぎあたりから出現し始め、負荷の増加につれて ERP は陰性方向にシフトしている。これらの条件差は、出現する潜時帯や差の方向から考えて、探索陰性波によるものであると考えられる。

探索陰性波の振幅の違いを統計的に分析するために、非標的 ERP について刺激呈示後 200-800 ms の間を 40 ms ごとに区切り、各区間の平均電位について、部位別に視覚負荷×記憶負荷の分散分析を行った。有意水準を 5%として、視覚負荷および記憶負荷の主効果が持続的に得られた区間をこの順で示すと( $F$ 値と  $\epsilon$ 値の記載は省略する), Fz で 400-440 ms と 360-560 ms, Cz で 240-480 ms と 320-600 ms, C4 で 240-480 ms と 360-560 ms, T4 で 280-480 ms と 360-560 ms, Pz で 280-440 ms と 320-480 ms, P4 で 280-480 ms と 320-560 ms, T6 で 320-600 ms と 320-760 ms, Oz で 320-480 ms と 320-760 ms, O2 で 320-480 ms と 360-760 ms であった。Fz では、240-280 ms 区間にも視覚負荷の主効果( $F(2, 16)=3.96, p<.05$ )が認められた。部位や区間によっては視覚負荷×記憶負荷の交互作用が認められたが、この後の考察に影響を与える内容ではなかったので、報告を省略する。また、Figure 2.2.2 では Oz と O2 において P2 波形と P5 波形に条件差があるように見えるが、多重比較の結果、この 2 条件間には、

全ての部位と区間で有意差は認められなかった。記憶負荷効果に関しては、区間によっては3条件間全てに有意差が得られた。

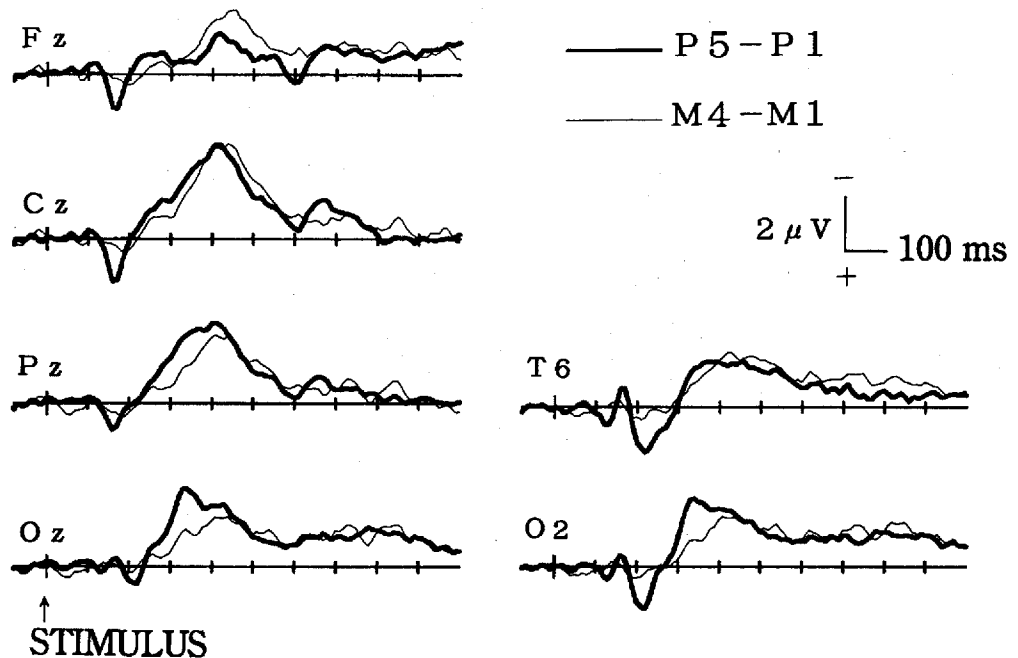


Figure 2.2.4. The difference ERPs obtained by subtracting non-target ERPs for the lowest display load (P1) condition from those for the highest display load (P5) condition (thick lines) and by subtracting non-target ERPs for the lowest memory load (M1) condition from those for the highest memory load (M4) condition (thin lines).

**負荷効果の頭皮上分布と時間経過** 探索陰性波に関する視覚負荷効果と記憶負荷効果を比較すると、多くの部位で前者が後者よりも早く出現し、早く終了した。また、Cz, C4における視覚負荷効果は他の部位よりも早く出現したのに対し、記憶負荷効果は全部位でほぼ同じ潜時で出現した。さらに、Fzの記憶負荷効果は他の部位と同じぐらいの長さ持続しているのに、同じ部位の視覚負荷効果はごく短い区間でしか得られないという点でも異なっていた。そこで、2つの負荷効果の頭皮上分布や時間的変化について詳しく調べるために、負荷の種類ごとに負荷が最大の条件(P5とM4)のERPから最小の条件(P1とM1)のERPを引き算した波形を求め、Figure 2.2.4に示した。さらに、各差波形について



240-280 ms 区間と 360-400 ms 区間の平均電位を算出し，Figure 2.2.5 に示した。これらの図では，C4, T4, P4 のデータは省略した。

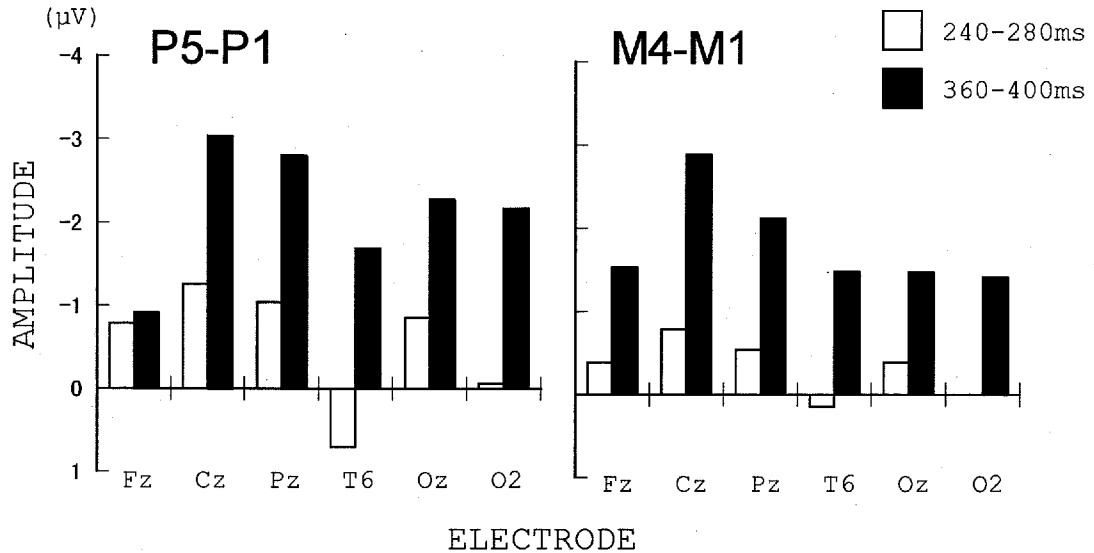


Figure 2.2.5. Mean amplitudes of the difference ERPs shown in Figure 2.2.4, in the latency range of 240-280 ms and 360-400 ms.

Figure 2.2.5 を見ると，視覚負荷効果は 240-280 ms 区間で Cz を中心とする中心線上に出現するが，後頭部や後部側頭部には現れていない。360-400 ms 区間では，240-280 ms 区間に比べて Fz 以外の部位で差電位が増加し，特に O2, T6 での変化が大きい。それに対し，記憶負荷効果は，240-280 ms 区間では視覚負荷効果に比べて全体に小さく，360-400 ms 区間では Cz で最大に出現するが，Fz でも他の部位と同程度に出現している。しかし，これらの観察は統計的には支持されず，Figure 2.2.5 に示した差電位について，C4, T4, P4 のデータも含めて McCarthy & Wood (1985) の推奨する方法で規準化した後，区間(240-280, 360-400 ms)×負荷の種類(視覚，記憶)×記録部位の分散分析を行った結果，有意な主効果も交互作用も得られなかった。

**NA 波** 文字探索課題の各条件で得られた非標的 ERP から単純反応 ERP を引き算して，NA 波形を求めた。T6 で記録された NA 波形を Figure 2.2.6 に示す。上が記憶負荷条件をこみにした波形，下が視覚負荷条件をこみにした波形である。Figure 2.2.6 の波形について，刺激後 150-500

ms 区間における陰性方向への振れの頂点を NA 頂点とし(被験者のうち 1 名では, この区間内に明瞭な振れの頂点を認めることができなかつたので, 分析から除いた), その潜時と振幅を条件別に求めた。潜時に関して視覚負荷×記憶負荷の分散分析を行ったところ, 視覚負荷の主効果 ( $F(2, 14)=13.10, \epsilon=0.936, p<.01$ ) が有意であり, P1 条件の頂点潜時(268.3 ms)は, P2 条件(295.0 ms)や P5 条件(297.9 ms)よりも短かつた。記憶負荷の主効果(M1: 282.9 ms, M2: 286.3 ms, M4: 292.1 ms)および交互作用は有意でなかつた。振幅に関しては, 視覚負荷(P1:  $-5.1 \mu V$ , P2:  $-5.3 \mu V$ , P5:  $-5.3 \mu V$ )効果, 記憶負荷(M1:  $-5.1 \mu V$ , M2:  $-5.1 \mu V$ , M4:  $-5.5 \mu V$ )効果, および交互作用のいずれも有意でなかつた。

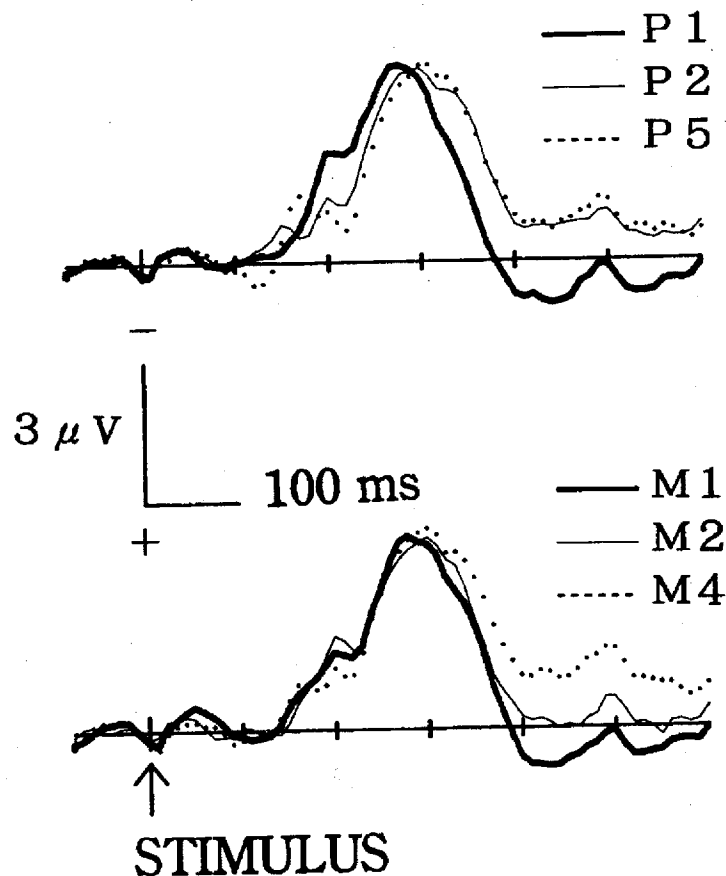


Figure 2.2.6. Effects of display load (upper panel) and memory load (lower panel) on NAs at T6. NAs were obtained by subtracting simple reaction ERPs to from non-target ERPs in visual search tasks. Each ERP was averaged across three memory load conditions (upper panel) or three display load conditions (lower panel).

## 考 察

本実験の目的は、VM条件に相当する視覚探索課題における視覚負荷と記憶負荷が、課題遂行中のERPに及ぼす影響の異同を明らかにすることであった。Table 2.1.1を見ると、視覚負荷にともなう反応時間の延長と、記憶負荷の増大によるものはほぼ同じであり、したがって行動測度に関しては、本実験で設定した視覚負荷操作と記憶負荷操作は同程度の影響を及ぼしたと考えられる。

実験前に予想したように、記憶セットの決定方法が探索陰性波に影響を及ぼした。標的を固定した実験Iの結果を実験IIと比較すると、まず視覚負荷や記憶負荷による探索陰性波の振幅増大の程度は実験IIの方が大きい。さらに、視覚負荷効果に関しては、その大きさだけでなく、頭皮上分布も異なっていた。実験Iでは、視的探索波の増大は中心部に比べて後頭部と後部側頭部で大きかったが、本実験では、後頭部・後部側頭部と同様、中心部や頭頂部でも大きな振幅の変化が観察された。その点で、実験IIで得られた視的探索波は、Wijers et al.(1987)と類似している。したがって、視的探索波は、実験IやRitter et al.(1988)のように標的が固定された場合には、後頭部・後部側頭部に優勢に分布するのに対し、Wijers et al.(1987)や本実験のように、実験系列ごとに標的が変更され、同じ文字が標的になったり妨害刺激になったりする場合には、それとは別に中心部を中心とした電位変化も認められると言える。

Figure 2.2.2の波形を見ると、後頭部では、多重比較の結果は有意でなかったにしても、視覚負荷が増加するとともに視的探索波の振幅が増加している。ところが、Czにおける条件差は、P1条件とP2/P5条件の間で得られており、P2条件とP5条件の間には、差がほとんど認められない。P1条件と他の2条件を比較すると、前者では文字列の中央のみに注意を向けておけばよいのに対し、後者では凝視点の左右に同程度注意の範囲を拡げなければならない。すなわち、P1条件と他の2条件では、注目すべき位置の数が異なるのと同時に、空間的注意を配分すべき領域の広さが異なっている。Okita et al. (1985)は、刺激が注目した位置に呈示された場合には、無視すべき対角線に呈示された場合に比べ、前

頭部(Fz)および中心部(Cz)の N350 成分(本実験の N330 に相当)が増大することを見い出した。彼らは、N350 とそれに続く陽性成分(P3a)が、課題関連刺激に対する自動的な注意反応、すなわち制御的過程を中断し、検出した刺激に注意を再配分する過程を反映すると推測している。その考えにしたがうと、本実験で得られた中心部の探索陰性波は、実験者が意図した注目位置数の違いではなく、空間的注意の配分の相違を反映しているとも考えられる。しかし、本実験における視覚負荷効果は、空間的注意の配分が異なる実験系列間で比較しているのに対し、Okita et al. (1985)では、同じ系列内での 2 条件の比較である点が異なっている。また、中心部の視的探索波が空間的注意の配分に対して鋭敏であるとする、実験 I や Ritter et al. (1988)で、何故それが出現しなかったのかという疑問が生じる。さらに、後述するように、後頭部 N200 の振幅変化も空間的注意に関連すると考えられる。後頭部 N200 と中心部の視的探索波の成分間の機能的関係も含め、空間的注意と各成分との関係を検討は、今後の検討課題であろう。

一方、Mecklinger, Kramer, & Strayer (1992)は、記憶負荷にともなって中心部に発達する陰性波はワーキングメモリにおける処理容量を反映し、処理が自動的になるほど振幅は減少すると考えている。これを視覚負荷効果にも当てはめて考えれば、本実験における中心部視的探索波の増大を説明できよう。しかし、実験 I でも Ritter et al. (1988)でも、標的文字が固定されてはいても、視覚負荷とともに反応時間は延長しており、CM 条件下で達成される自動的検出の段階に至っているとは考えられない。CM 条件での訓練がさらに進み、行動測度で視覚負荷効果が認められなくなった段階で、視的探索波がどのような出現の仕方をするかを検討する必要がある。さらに、空間的注意に鋭敏な成分と、ワーキングメモリの処理容量を反映する成分が、同じ時間帯に重複して出現した可能性もある。

中心部の視的探索波が何を反映しているにせよ、その出現によって、探索陰性波における視覚負荷効果と記憶負荷効果の頭皮上分布の違いがわかりにくくなった。Figure 2.2.4 を見ると、Fz においては視的探索波

が非常に小さく、後頭部・後部側頭部では、視的探索波が記憶探索波に比べて早く大きく出現しているなど、頭皮上分布に関する違いがあるように見える。しかし、規準化した区間平均電位に基づく分散分析では、負荷の種類と記録部位の間に交互作用は認められず、頭皮上分布の相違を統計的に示すことはできなかった。したがって、実験 I のように、頭皮上分布の相違だけに基づいて 2 種類の負荷効果を別々に取り出せると考えるのは適切でなく、出現潜時や持続時間など、ERP のその他の側面についても同時に考慮する必要がある。

2 種類の負荷効果の違いとして、第 1 に、ほとんどの部位で、記憶負荷効果に比べて視覚負荷効果の方が早く出現したことを挙げるができる。2 種類の負荷効果が同じ潜時帯で得られた実験 I と比較すると、本実験では、視覚負荷効果・記憶負荷効果ともにやや遅く出現し、遅延の程度は記憶負荷効果の方が大きい。一方、反応時間についても本実験の方が全体的に長いが、その遅延の程度は、負荷の種類にかかわらずほぼ同じである。また、本実験では、記憶負荷が 1, 2, 4 と増えるにしたがって記憶探索波の振幅と反応時間がともに増大したのに対し、視覚負荷の P2 条件と P5 条件の比較では、反応時間は延長するのに ERP に関しては差が認められなかった。これらの結果は、遂行成績には同じ程度の影響を与える要因が、ERP の視的探索波と記憶探索波には異なる影響を及ぼす場合があることを示唆する。そのような要因を特定していくことによって、視覚探索のメカニズムが明らかになっていくと考えられる。この点については、視覚負荷や記憶負荷以外に課題の遂行成績に影響する諸要因を操作し、それらが視的探索波・記憶探索波にどのような影響を及ぼすのかを調べていかなければならない。この点については、本章第 3 節において検討する。

第 2 に、後頭部 N200 は視覚負荷の影響を受けたが、記憶負荷の影響は受けなかった。P1 条件では、P2 条件や P5 条件よりも振幅が大きく、頂点潜時は長かった。視的探索波に関する考察の部分で触れたように、P1 条件と他の 2 条件における空間的注意の配分の相違が、後頭部 N200 に影響を及ぼしたと考えることができる。しかし、後頭部 N200 に及ぼ

す視覚負荷効果については、研究間で必ずしも結果が一致していない。呈示刺激数が視覚 ERP に及ぼす影響を調べた Miyatani & Maedo (1994) では、潜時に関しては本実験と同様、呈示刺激の少ないほうが短かったが、振幅の違いは認められなかった。また、Wijers et al. (1987)では、後頭部 N230(本実験の後頭部 N200 に相当)は、呈示文字数が多いほど振幅が大きくなり、刺激を配列する四角形の大きさを変化させても影響は受けなかった。これらの研究では、テスト刺激の空間的配置が異なり、空間的注意の拡がりの程度やその形状の相違が結果を複雑にしている可能性がある。本実験の P1 条件と P2/P5 条件の空間的注意の横方向への拡がりの程度は、視角にして  $0.7^\circ$  対  $4.2^\circ$  とかなり異なっていた。一方、Wijers et al.(1987)では、一辺が  $1.5^\circ$  の正方形と  $3^\circ$  の正方形を比較しており、空間的注意の影響を評価するのに十分な条件設定ではなかったのかもしれない。中心部の視的探索波と同様、空間的注意と後頭部 N200 との関係は、さらに検討する必要がある。

第 3 に、NA の頂点潜時にも視覚負荷だけが影響した。NA は、複数の成分からなる複合波(Ritter et al., 1988)であり、各種の実験操作による下位成分の変動によって、その潜時や振幅は影響されるであろう。しかし、Figure 2.2.6 の NA に関しては、頂点振幅に関して条件差がない。さらに探索陰性波における視覚負荷効果と記憶負荷効果は 320 ms 以後で得られたことから、頂点潜時に関する視覚負荷効果が探索陰性波の変動によるものとは考えられない。本実験で見られた NA の頂点潜時の延長は、探索過程以前に開始されるパターン認知過程(Ritter et al., 1983)が視覚負荷の影響を受け、パターン同定の所要時間が延長したことを示すと考えられる。

最後に、P3b 振幅に関して、視覚負荷効果は Cz, Pz の両部位で認められたのに対し、記憶負荷効果は Pz のみに認められた。Figure 2.2.2 と Figure 2.2.3 を見ると、Cz, Pz とともに視的探索波と記憶探索波の振幅には P300 の振幅差を説明するほどの違いはない。したがって、P3b 振幅における負荷効果の現れ方の違いは、標的波形に含まれる探索陰性波の違いではなく、P3b に固有の現象であると考えられる。P3b 振幅は、

その刺激の処理に割り当てられる資源の量を反映する (Isreal et al., 1980) と考えられるが、少なくとも本実験では 2 種類の負荷の処理資源への影響の違いを推測する根拠はない。また、Brookhuis et al. (1981) によれば、視覚負荷と記憶負荷を掛け合わせた“処理負荷”が同じ場合、反応時間は視覚負荷と記憶負荷のどちらが大きいかには影響されなかったのに対し、P3b 潜時は視覚負荷が大きい条件でより延長した。しかし、本実験では、その結果は再現されなかった。P3b 測度に関するこれらの点についての論議は、結果の再現性の検討も含めて、さらにデータの蓄積を待つべきであろう。

### 実 験 Ⅲ

実験ⅠとⅡにおいて、標的の決定の仕方によって、視的探索波の頭皮上分布が異なることが示された。視的探索波は、標的を固定した場合(実験Ⅰ)には後部・後部側頭部優勢な分布を示したが、実験系列ごとに標的を変化させるように変更した結果(実験Ⅱ)、後頭部・後部側頭部と同様、中心部でも大きく出現するようになった。標的の決定の仕方は、探索の自動化に影響する重要な要因であり(Schneider & Shiffrin, 1977; Shiffrin & Schneider, 1977)、視的探索波の頭皮上分布の変化が、探索の自動化の過程を反映している可能性がある。しかし、実験Ⅰでも、Ritter et al.(1988)でも、標的が固定されてはいても、視覚負荷とともに反応時間は延長しており、被験者の標的検出が自動的段階に至っていたとは考えられない。視的探索波の頭皮上分布の違いを標的検出の自動化の程度と関連づけるためには、CM課題での訓練がさらに進み、行動的測度で視覚負荷効果が認められなくなった段階で、視的探索波がどのような現れ方をするのかを検討する必要がある。

CM条件下の視覚探索課題を遂行中のERPも、いくつかの研究で記録されている。その多くはP3b成分に注目したものであり、標的検出が自動的に行われるようになった段階では、P3bの潜時も振幅も、記憶負荷(Kramer et al., 1986, 1991)や視覚負荷(Hoffman et al., 1983; Van Dellen et al., 1985)の影響を受けなくなる。P3b以外に関する報告は、前頭部で優勢なN200はマッピング条件にかかわらず記憶負荷が大きいほど高振幅になることを見いだしたKramer et al. (1986)や、CM課題の訓練後には標的波形と非標的波形の差がより短潜時で生じるようになるとしたVan Dellen et al. (1985)など、ごくわずかしかない。特に、視的探索波について異なるマッピング条件間で比較したものは、Wijers et al. (1987)以外にはない。彼らは、CM課題でもVM課題と同様の視的探索波が得られたとしているが、その結果は、高負荷CM課題と高負荷VM課題のERPを、それぞれ低負荷VM課題のERPと比較したものであり、CM課題内で視覚負荷を操作して負荷効果を評価したものではない。したがって、本実験では、標的を数字、妨害刺激をアルファベットに固定



した CM 課題と、実験系列ごとに標的も妨害刺激もアルファベットの中からランダムに選ぶ VM 課題の両方で、Ritter et al. (1988)や実験 I・II と同じ方法で視覚負荷を操作し、それが ERP に及ぼす影響を比較検討することを目的とした。

## 方 法

**被験者** 視力(矯正視力を含む)の正常な、21-35歳の成人9名(うち男子3名)を被験者とした。被験者は全員、右手利きであった。

**刺激** パソコンのCRT(PC-KD853, NEC)上に、数字またはアルファベットを5個、横一列に並べて呈示した。各文字の大きさは視角で0.7度×0.7度(観察距離90cm)、文字列全体の横幅は約4.2度であった。

CM 課題では2-8の数字、VM 課題ではC, G, U, Vを除くアルファベットからランダムに2つを選び、記憶セットとした。テスト刺激は、それ以外のアルファベットから、異なる5文字をランダムに選んだ。テスト刺激が標的刺激の場合には、5文字のどれかを、記憶セットの数字または文字と交換した。記憶セットのどちらが標的となるかは、ランダムかつ等確率とした。

テスト刺激は、呈示時間300ms、呈示間隔をSOAで1500-1800msとして呈示した。標的刺激の呈示確率は20%とし、標的刺激と非標的刺激はランダムな順序で呈示した。ただし、標的刺激は各実験系列の最初の5試行には呈示されず、また連続して出現しないようにした。

**課題** CM 課題と VM 課題を実施した。CM 課題では数字を標的とし、記憶セットは実験を通じて同じものを用いた。VM 課題ではアルファベットを標的とし、記憶セットは実験系列ごとに変更した。その他の点では、2つの課題は同じであった。被験者は標的刺激に対してだけ右手でキーを押して反応し、非標的刺激に対しては反応しなかった。

各課題における視覚負荷(3条件:P1, P2, P5)の設定方法、凝視場所の指定、および反応に関する教示は、実験IIと同様とした。標的刺激に対して刺激後200-1200msの間にキーが押された場合と、非標的刺激に対して刺激後1200msまでにキーが押されなかった場合を正反応とし

た。

**手続き** 最初に CM 課題の練習セッションを行った。1 実験系列を 100 試行とし、各負荷条件につき 4 系列を実施した。1-3 時間の休憩後、電極を装着し、CM 課題の実験セッションを行った。実験セッションでは 1 系列を 200 試行とし、各負荷条件につき 2 系列を行った。CM 課題の全試行が終了した後、同様の方法で VM 課題を実施した。

各セッションを通じて、各系列開始前に記憶セットを呈示し、標的の出現位置に関する教示を行った。被験者がそれを十分に理解した後、テスト刺激を連続して呈示した。CM 課題では各視覚負荷条件の最初の系列、VM 課題では各実験系列ごとに 25-30 試行程度の練習を行った。各条件の実施順序はラテン方格に基づいて決定した。最初の 3 系列で各負荷条件を 1 系列ずつ実施し、次の 3 系列では各条件の実施順序を変えた。実験セッションにおいて、視覚負荷条件の実施順序は、CM 課題と VM 課題で同じとした。

**脳波の記録と分析** 記録部位として F4 を追加した以外は、実験 II と同様であった。課題(CM, VM)×刺激の種類(標的, 非標的)×視覚負荷(3) の 12 条件別に、ERP を加算平均した。

## 結 果

**反応時間と誤答率** CM 課題の練習セッションを含む条件別の反応時間と誤答率(ミスおよびフォールス・アラーム)を求め、その平均値と標準偏差を Table 2.2.3 に示した。反応時間について課題(CM 練習, CM, VM)×負荷の分散分析を行ったところ、課題( $F(2, 16)=101.7, \epsilon=0.538, p<.001$ )と負荷( $F(2, 16)=60.47, \epsilon=0.632, p<.001$ )の主効果、および交互作用( $F(4, 32)=28.17, \epsilon=0.545, p<.001$ )が有意であった。課題の効果は全ての負荷条件で認められ、VM 課題の反応時間は他の 2 課題よりも長かった。負荷の効果も全課題で認められたが、効果は VM 課題( $P1<P2<P5$ )で特に大きかった。CM 練習課題では  $P1<P2=P5$  条件、CM 課題では、 $P1<P5, P1=P2, P2=P5$  条件となった。

Table 2.2.3

*Performance Data in Experiment III as a Function of Task and Display Load*

Task	Display Load	Reaction Time in ms		Miss Percent		False Alarm Percent	
CM (Training)	P1	417.0	(42.9)	0.42	(0.89)	0.00	(0.00)
	P2	436.2	(49.7)	0.42	(0.89)	0.21	(0.43)
	P5	446.2	(43.0)	0.14	(0.43)	0.46	(0.52)
CM	P1	427.7	(42.3)	0.84	(1.41)	0.23	(0.25)
	P2	441.1	(51.4)	0.99	(1.65)	0.54	(0.89)
	P5	451.1	(46.9)	1.68	(3.25)	0.27	(0.32)
VM	P1	481.8	(49.9)	1.41	(2.37)	0.23	(0.33)
	P2	547.2	(71.6)	4.87	(6.56)	0.31	(0.40)
	P5	627.1	(79.5)	13.78	(9.81)	0.86	(0.46)

*Note.* Values enclosed in parentheses represent *SD*s.

ミス率およびフォールス・アラーム率を開平変換した値について、同様に分析した。ミス率に関して、課題( $F(2, 16)=24.46, \epsilon=0.644, p<.001$ )と負荷( $F(2, 16)=35.02, \epsilon=0.905, p<.001$ )の主効果、および交互作用( $F(4, 32)=19.41, \epsilon=0.652, p<.001$ )が有意であった。課題の効果は P2 および P5 条件で有意であり、VM 課題の誤答率が他の 2 課題よりも大きかった。負荷の効果は VM 課題でのみ有意であり、誤答率は  $P1 < P2 < P5$  条件であった。フォールス・アラーム率についても、課題( $F(2, 16)=9.14, \epsilon=0.607, p<.05$ )と負荷( $F(2, 16)=6.75, \epsilon=0.835, p<.05$ )の主効果、および交互作用( $F(4, 32)=3.46, \epsilon=0.581, p<.05$ )が有意であった。課題の効果は P1 および P5 条件で有意で、P1 条件では CM 練習課題における誤答が他の 2 課題に比べて少なく、P5 条件では VM 課題において他の 2 課題よりも誤答が多かった。負荷効果は CM 練習課題( $P1 < P5, P1 = P2, P2 = P5$ )と VM 課題( $P1 = P2 < P5$ )で有意であった。誤答率に関しては、ほぼ、反応時間が長い条件で誤答率も大きいという結果となり、反応時間との間にトレードオフは認められなかった。

標的刺激に対する ERP Pz で記録された標的刺激 ERP を Figure 2.2.7 に示した。CM 課題(左側)でも VM 課題でも、頂点潜時が約 500-700 ms の大きな陽性成分(P3b)が特徴的である。Pz の標的波形について、刺激後 300-1 000 ms 区間で最大の陽性電位を示した点を P3b 頂点とし、そ

の潜時と振幅を条件別に測定した。平均値と標準偏差を Table 2.2.4 に示す。潜時について課題(2)×負荷(3)の分散分析を行った結果、課題( $F(1, 8)=29.98, p<.001$ )と負荷( $F(2, 16)=9.17, \epsilon=0.841, p<.01$ )の主効果、および交互作用( $F(2, 16)=7.68, \epsilon=0.944, p<.01$ )が有意であった。負荷の効果は VM 課題のみで有意であり、P1 条件の潜時は、P2/P5 条件よりも短かった。課題の効果は負荷条件にかかわらず認められ、VM 課題の潜時が CM 課題よりも長かった。

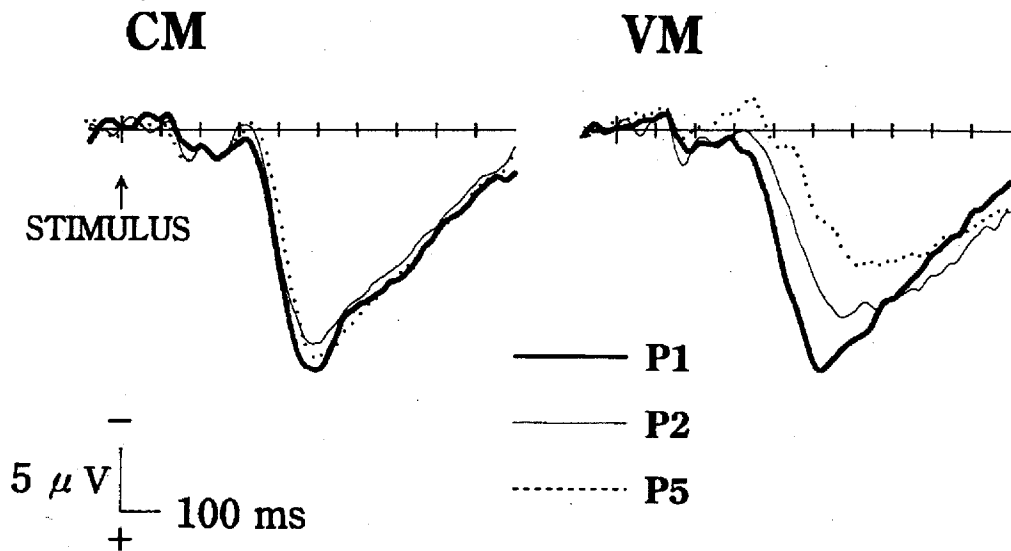


Figure 2.2.7. Grand average target ERPs at Pz in consistent-(CM, left panel) and varied-(VM, right panel) mapping visual search tasks, superimposed for three display load conditions.

Table 2.2.4

*The Peak Amplitudes and Latencies of P3b at Pz in*

*Experiment III as a Function of Task and Display Load*

Task	Display Load	Amplitude in micro V	Latency in ms
CM	P1	21.1 (5.3)	494.4 (64.8)
	P2	19.1 (5.0)	507.8 (75.1)
	P5	19.8 (5.0)	523.3 (56.4)
VM	P1	19.9 (5.9)	522.2 (56.1)
	P2	16.7 (5.2)	634.4 (110.8)
	P5	12.3 (5.0)	666.7 (96.4)

Note. Values enclosed in parentheses represent SDs.

P3b 振幅について同様の分析を行ったところ、課題 ( $F(1, 8)=18.68$ ,  $p<.01$ )と負荷 ( $F(2, 16)=12.82$ ,  $\epsilon=0.746$ ,  $p<.01$ )の主効果、および交互作用 ( $F(2, 16)=12.33$ ,  $\epsilon=0.994$ ,  $p<.001$ )が有意であった。負荷の効果は VM 課題で有意であり、負荷が大きくなるほど振幅は小さくなった。課題の効果は P2 および P5 条件で認められ、VM 課題における P3b 振幅は、CM 課題よりも小さかった。

非標的刺激に対する ERP Figure 2.2.8 と Figure 2.2.9 に、非標的刺激に対する ERP 波形を示した。Figure 2.2.8 が VM 課題、Figure 2.2.9 が CM 課題における波形で、それぞれ 3 つの負荷条件の波形を重ね書きしてある。

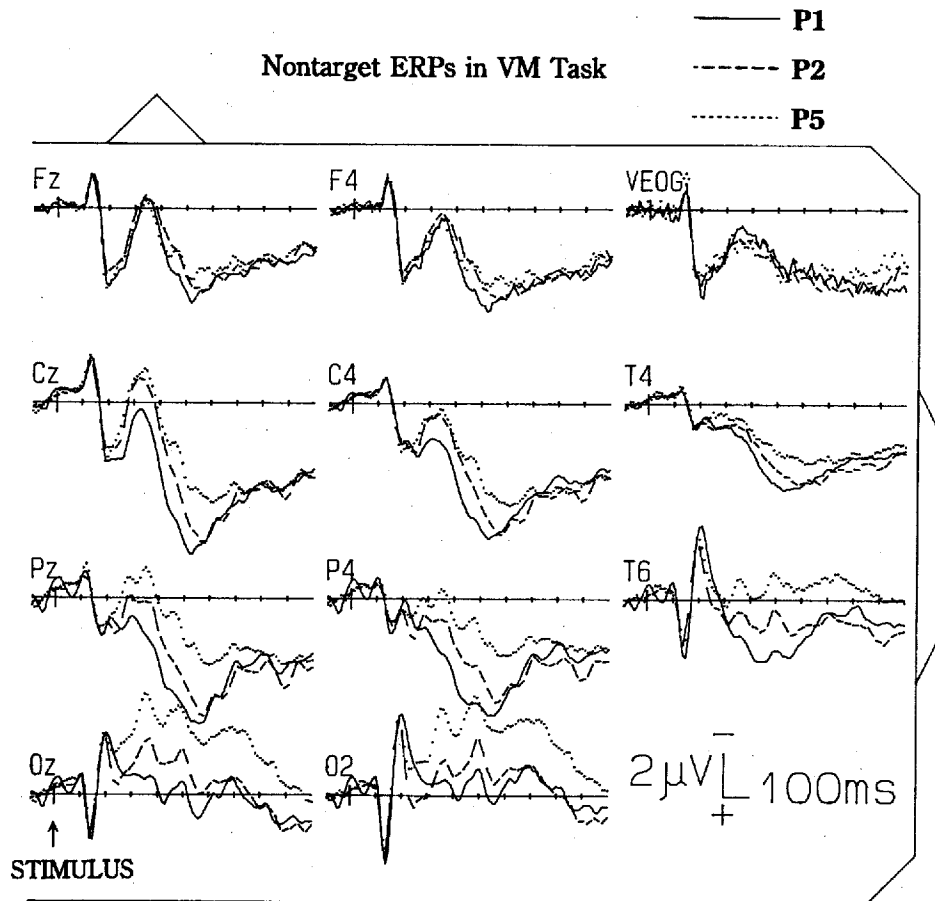


Figure 2.2.8. Grand average non-target ERPs in varied-mapping visual search task, superimposed for three display load condition.

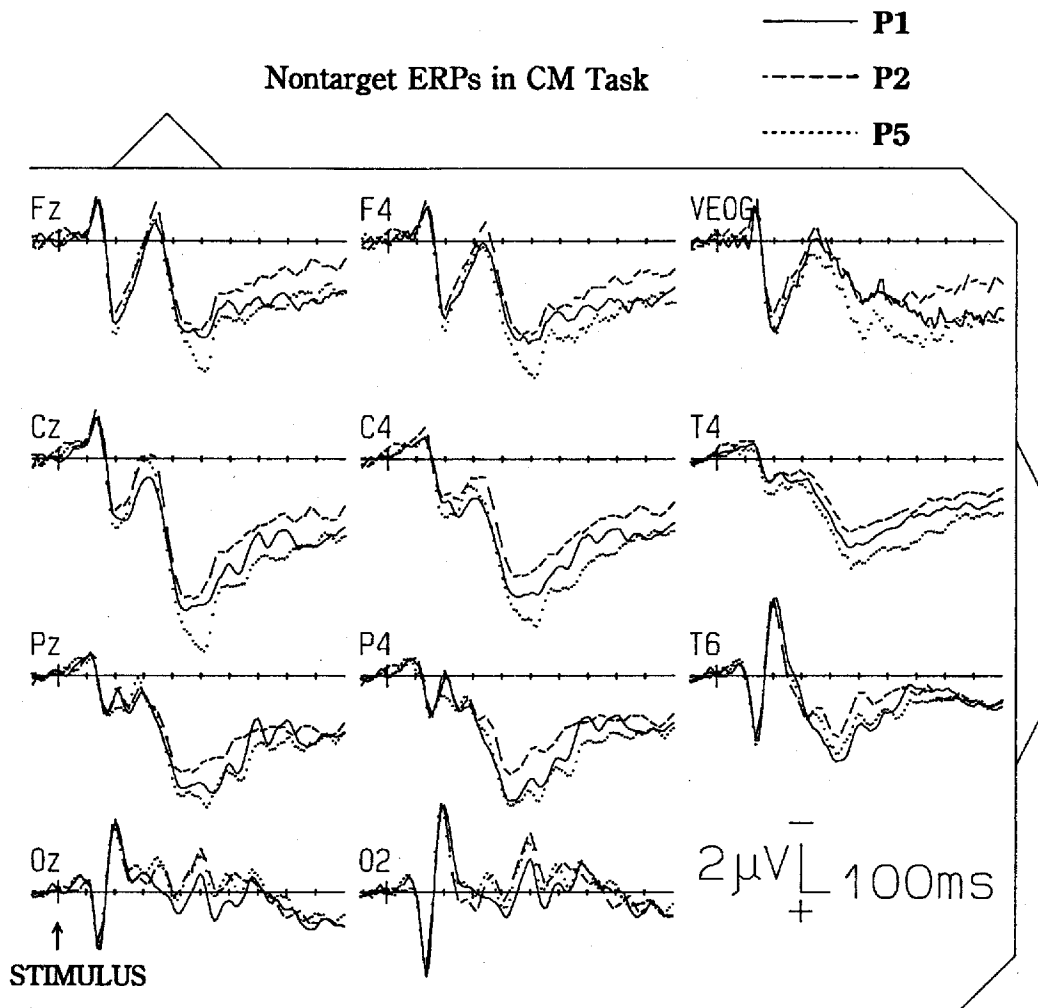


Figure 2.2.9. Grand average non-target ERPs in consistent-mapping visual search task, superimposed for three display load condition.

後頭部 N190 非標的 ERP を観察すると、特に Figure 2.2.8 の VM 波形において、後頭部・後部側頭部で見られる頂点潜時約 190 ms の陰性波(後頭部 N190)は、他の 2 条件に比べて P1 条件で振幅が大きく、潜時も長いようである。

これを統計的に確認するために、Oz, O2, T6 から記録された ERP について、刺激後 100-300 ms の区間における陰性方向への振れの頂点を後頭部 N190 頂点とし、その潜時と振幅を条件別に求めた。振幅について、部位別に課題×負荷の分散分析を行ったところ、Oz で両要因間の

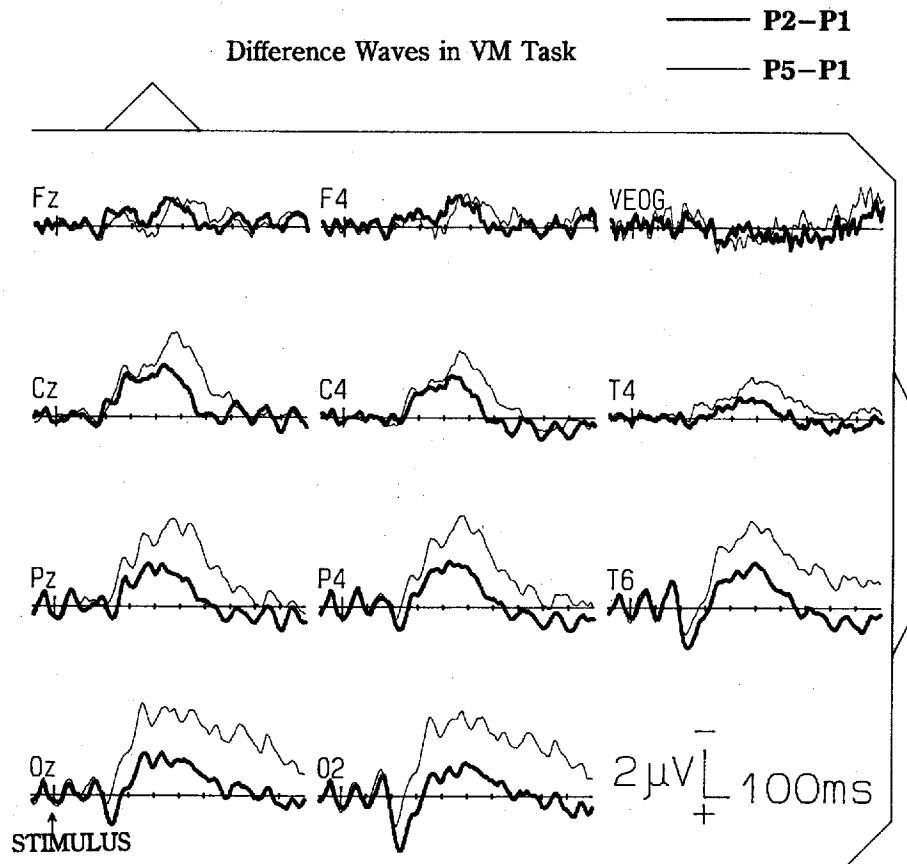
交互作用が有意であった( $F(2, 16)=5.44, \epsilon=0.945, p<.05$ )が、課題別に負荷の効果を調べたところ、CM, VM いずれの課題でも有意な負荷効果は得られなかった。O2 と T6 では、いかなる主効果も交互作用も有意でなかった。

潜時について同様の分析を行った結果、T6 で負荷の主効果が有意であり( $F(2, 16)=12.23, \epsilon=0.835, p<.01$ )、課題にかかわらず P1 条件の潜時(198.3 ms)が、P2(188.9 ms)および P5 条件(185.0 ms)よりも長かった。Oz と O2 では、T6 と同じ傾向が見られたが、有意な主効果や交互作用は認められなかった。

**探索陰性波** Figure 2.2.8 では、Fz と F4 を除いて、刺激呈示後 300 ms 前後から負荷に関する条件差が出現している。P1, P2, P5 条件の順に波形が陰性方向にシフトしており、効果は特に後頭部や後部側頭部で大きく、持続時間も長いようである。これらの条件差は、出現する時間帯や差の方向から考えて、実験 I, II における視的探索波であると考えられる。

VM 課題における視覚負荷効果を統計的に分析するために、VM 課題で得られた非標的 ERP について刺激後 200-1 000 ms の間を 40 ms ごとに区切った各区間の平均電位を算出し、部位別に負荷効果に関する 1 要因の分散分析を行った。電位が、P1, P2, P5 条件の順で陰性方向に変化し、有意な負荷効果が得られた区間を示すと、Cz で 240-280, 320-600 ms, C4 で 320-600 ms, Tz で 440-600 ms, Pz で 240-600 ms, P4 で 280-600 ms, T6 で 320-680, Oz で 280-800 ms, O2 で 320-760 ms となり、Fz と F4 では該当する区間がなかった。

Figure 2.2.9 の CM 波形でも負荷に関する条件差は認められるが、Cz で最も明瞭にわかるように P5 波形が最も陽性となり、差の方向が視覚探索波とは異なっている。VM 波形と同じ方法で区間平均電位を算出し、分散分析を行った結果、電位が、P1, P2, P5 条件の順で陰性方向に変化し、有意な負荷効果が得られたのは、Oz で 320-360, 560-600ms, O2 で 560-600 ms の区間のみであった。



*Figure 2.2.10.* The difference waves obtained by subtracting ERPs for the lowest display load (P1) condition from the middle (P2, thick lines) and the highest (P5, thin lines) load conditions in varied-mapping visual search.

視的探索波の頭皮上分布 VM 課題で得られた視的探索波の頭皮上分布を詳しく調べるために、P5 および P2 条件の ERP から P1 条件の ERP を引き算した差波形を求め、Figure 2.2.10 に示した。Figure 2.2.10 を見ると、後頭部における負荷効果は刺激後 200 ms 過ぎから現れ始め、300 ms 過ぎには最大の条件差を示す。また、P2 条件と P5 条件間にも条件差が認められる。それに対し、中心部の差波形は、負荷効果の現れ方から見て 2 つの部分に分かれる。まず刺激後約 240 ms から 350 ms あたりまでは差電位が小さく、P2 条件と P5 条件間に差が認められない。と



ころが、その後 P2 条件と P5 条件の波形が離れ始め、潜時 450-500 ms あたりで最大の負荷効果を示している。

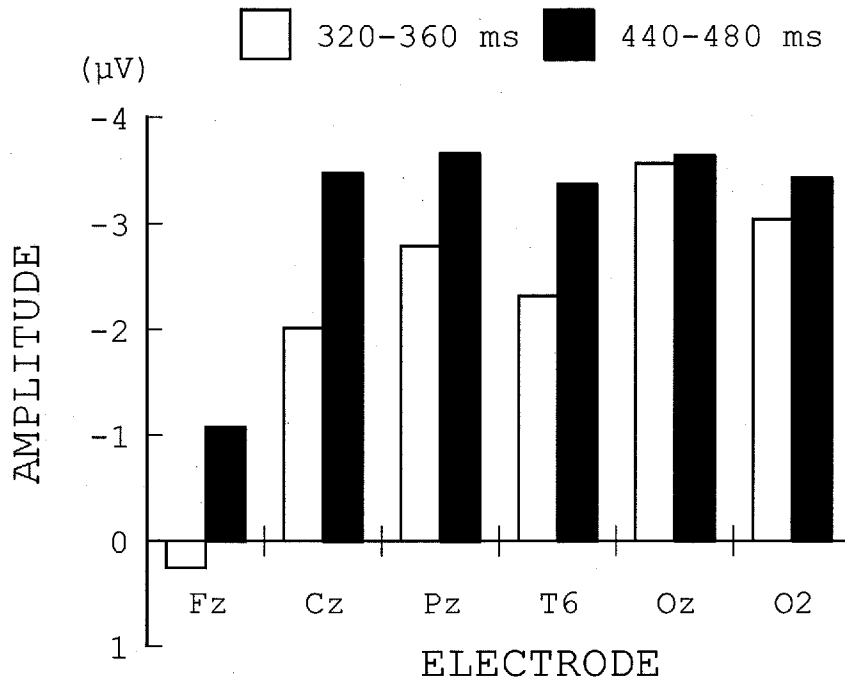


Figure 2.2.11. Scalp distribution of the P5-P1 difference waves in varied-mapping visual search. Each bar shows the mean amplitude at each recording site between 320-360 ms or 440-480 ms latency range.

P5-P1 波形について 320-360 ms 区間と 440-480 ms 区間の平均電位を算出し、Figure 2.2.11 に示した(F4, C4, P4, T4 については省略した)。この図から、差波形の頭皮上分布がこの 2 つの区間で多少異なることがわかる。320-360 ms 区間では、振幅が大きいのは Oz, O2 である。それが 440-480 ms 区間では、後頭部の振幅は 320-360 ms 区間と変わらないのに対し、Cz では振幅が大きく増加し、その結果 Fz を除く部位でほぼ同振幅を示すようになった。Figure 2.2.11 では省略したものも含む全部位の値を用いて、McCarthy & Wood (1985) の推奨する方法で平均電位を規準化した後、区間(2)×記録部位(10)の分散分析を行った。その結果、部位の主効果( $F(9, 72)=13.40, \epsilon=0.316, p<.001$ )と、区間×部位の交互作

用 ( $F(9, 72)=3.88, \epsilon=0.264, p<.05$ )が有意であった。

**標的波形と非標的波形の比較** 標的波形と非標的波形との最も大きな違いは、前述した P3b の出現の有無に関するものであるが、その他、従来の研究で報告された結果が本実験でも再現されたかどうかを確かめるため、以下の分析を行った。

Kramer et al. (1986, 1991)は、前頭部優勢な N200 (本実験の N310 に相当)について、マッピング条件にかかわらず、非標的波形は標的波形よりも高振幅であり、高負荷波形は低負荷波形よりも高振幅であると報告した。本実験では、前述した通り、視覚負荷効果は Cz で明瞭に得られているので、Cz で得られた波形について、標的波形と非標的波形を比較した。負荷条件をこみにした波形を Figure 2.2.12 の左側に示す。前頭・中心部 N310 は、VM 課題では標的波形が非標的波形よりも高振幅であるのに対し、CM 課題では逆に、非標的波形が高振幅であるように見えるが、これは、統計的には支持されなかった。Cz 波形について、潜時 300-350 ms 区間の平均電位を条件別に求め、刺激の種類(標的, 非標的)×課題×負荷の分散分析を行ったところ、負荷の主効果のみが有意 ( $F(2, 16)=4.17, \epsilon=0.979, p<.05$ ) であった (P1: 0.65  $\mu$ V, P5: 0.71  $\mu$ V, P2: -0.95  $\mu$ V)。

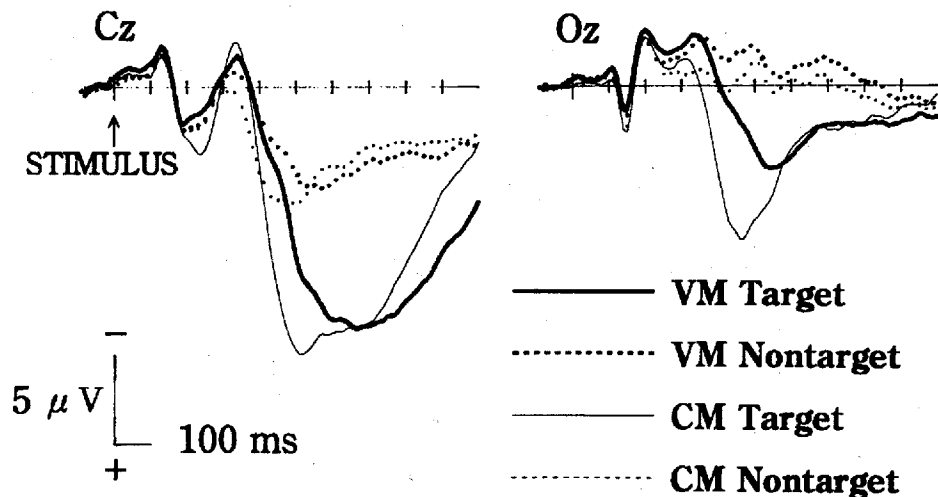


Figure 2.2.12. Effects of stimulus category (target versus non-target) on ERPs at Cz (left panel) and Oz (right panel). Each ERP was averaged across three display load conditions.

次に、Wijers ら (Wijers, Mulder, Okita, & Mulder, 1989; Wijers, Mulder, Okita, Mulder, & Scheffers, 1989) は、Oz における潜時約 200-300 ms 区間の標的波形は、それが注目刺激であるか否かにかかわらず、非標的波形に比べてより陰性であると報告している。本実験における Oz 波形 (Figure 2.2.12 の右側に示す) について潜時 200-300 ms 区間の平均電位を求め、刺激の種類×課題×視覚負荷の分散分析を行った結果、課題×負荷 ( $F(2, 16)=8.22, \epsilon=0.875, p<.01$ ) および刺激×課題×負荷の交互作用 ( $F(2, 16)=4.21, \epsilon=0.962, p<.05$ ) が有意であった。VM 課題では標的波形 (-2.24  $\mu\text{V}$ ) が非標的波形 (-1.68  $\mu\text{V}$ ) に比べて陰性であった。また、VM 課題の標的波形では、P5 波形 (-3.27  $\mu\text{V}$ ) は P2 波形 (-1.39  $\mu\text{V}$ ) に比べて陰性であった。P1 条件 (-2.01  $\mu\text{V}$ ) と他の 2 条件に差はなかった。CM 課題では、刺激の種類および負荷の効果ともに認められなかった。

## 考 察

本実験の目的は、視覚探索課題で記録される視的探索波について、CM 条件下での訓練によって自動的な標的検出が行われるようになった段階と、制御的な探索が行われると考えられる VM 課題とで比較することであった。Table 2.2.3 を見ると、視覚負荷に伴う反応時間の延長や誤答率の増加は、CM 課題に比べ、VM 課題で著しく大きい。CM 課題においても行動測度に関して有意な負荷効果は認められたが、最大負荷条件と最小負荷条件の反応時間の差は約 23 ms と、自動的標的検出についての従来の研究 (例えば, Hoffman et al. 1983; Hoffman, Houck, MacMillan, Simons, & Oatman, 1985) と比較しても小さく、また Table 2.2.4 の P3b 潜時や振幅に関しては CM 課題では有意な負荷効果が得られなかったことから、本実験における CM 課題条件では、自動的検出が行われていたと判断してよからう。

VM 課題では、刺激呈示後 300 ms 前後から、前頭部を除く部位で視覚負荷に伴う陰性波の増大が認められた。それに対して CM 課題では、負荷効果が得られた区間でも、条件差の現れ方が探索陰性波によるものとは異なっていた。また、探索陰性波と一致する負荷効果が得られた後

頭部においても、負荷に伴って ERP 波形が有意に陰性方向にシフトするのはごく短い区間で、振幅差もごくわずかであった。したがって、本実験の CM 課題では、視的探索波は頭皮上全体にわたって出現しなかったか、少なくとも視覚負荷による影響を受けなかったと言える。

VM 課題で得られた視的探索波の頭皮上分布とその時間経過を見ると、視覚負荷によって増大する陰性波は 3 つの部分に分かれるように見える。まず、後頭部・後部側頭部に発達する陰性波は、潜時 300 ms を過ぎたあたりで最大に達し、その後徐々に減少していく。差が大きい区間では、P2 条件と P5 条件の間にも有意な振幅差が認められた。一方、中心部で優勢に発達する陰性波は、最大の負荷効果が出現するのが 440-480 ms と、後頭部・後部側頭部に比較して遅かった。さらに、Figure 2.2.10 を見ると、中心部に発達する陰性波が 2 つの部分、すなわち 400 ms 以前の P2-P5 条件間に振幅差がない区間と、それ以降の両条件間に差が出現する区間に分かれるように見える。

本実験の P1 条件は、他の 2 条件と比べ、処理すべき刺激数が異なると同時に、空間的注意の範囲も狭い。P2 条件と P5 条件は、空間的注意の範囲は同じで、処理すべき刺激数だけが異なっていた。したがって、中心部の陰性波の前半部は空間的注意の範囲の効果を反映していると思われる。したがって、以後この陰性波のことを空間的注意関連波 (CAN, centrally distributed attention-related negativity) と呼ぶことにする。

後半部の、本実験が本来意図した処理刺激数の効果を反映している部分については、2 通りの考え方ができる。第一に、出現する潜時帯の違いから、同じ処理刺激数の効果であっても、後頭部・後部側頭部の探索陰性波が刺激の視覚的特性に依存する、すなわち何らかの視覚的符号に基づく処理を反映するのに対し、中心部の陰性波は、刺激の呈示モダリティに依存しない言語的符号に基づく処理を反映している可能性である。探索陰性波に及ぼす記憶負荷効果が、視覚的課題(例えば Okita et al., 1985)でも聴覚的課題(Okita, 1989)でも中心部優勢に出現することは、この推論を支持する。もう一つの可能性として、後頭部・後部側頭部の視的探索波が、頭皮上の広い領域で出現したことも考えられる。

規準化電位の分析で得られた区間×部位の交互作用は、320-360 ms 区間と 440-480 ms 区間では陰性波の頭皮上分布が異なることを示しており、それは、2つの区間では、陰性波の発生源が異なることを示唆する。しかし、どちらの推論が妥当であるかを結論するには、視覚的符号と言語的符号にそれぞれ異なる影響を与える実験操作が探索陰性波に及ぼす影響の異同について検討しなければならないであろう。いずれにせよ、中心部で潜時約 300 ms あたりから記録される陰性波には、CAN 波と探索陰性波という、少なくとも種類の異なる2つの陰性波が含まれることが明らかになった。

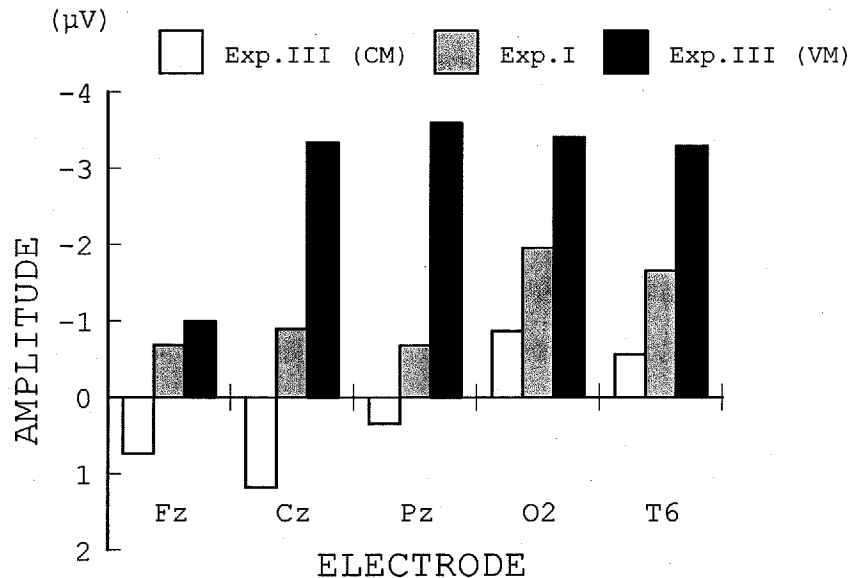


Figure 2.2.13. Differences in topography of the display load effect on ERPs due to the degree of automaticity of visual search processes. Search in VM and CM tasks in Experiment III are controlled and automatic, respectively. Search in Experiment I is hypothesized to be intermediate state between VM and CM tasks. Each bar shows the mean amplitude of P5-P1 difference wave in the latency of 300-350 ms (Exp. I) and 440-480 ms (Exp. III).

ここで、実験 I の手続きについて再検討すると、標的は常に A, B, C, D, E の 5 文字から選ばれ、これらが非標的となることがないという点で、実験 III の CM 課題と共通の性質を持っている。一方、標的と非標的がアルファベットという同一のカテゴリーに属し、負荷の増加にともなって反応時間が延長するという結果は、VM 課題と共通する部分である。し

たがって、実験Ⅰの課題は、探索の自動化という観点から見て、制御的探索と自動的検出の中間的段階にあったのではないかと考えられる。

Figure 2.2.13 に、探索の自動化の程度が異なる課題間の ERP 上の視覚負荷効果の現れ方の違いを示した。制御的探索(実験Ⅲの VM 課題)では 2 種類の陰性波が出現する。探索過程の自動化が進むにつれてまず Cz 優勢な CAN 波が減少し(実験Ⅰ)、さらに自動化が進んで自動的検出が行われるようになると、後頭・側頭後部の視的探索波も消失する(実験Ⅲの CM 課題)という経過が示唆された。なお、本実験の VM 課題の全試行を前半と後半に分け、それぞれで探索陰性波を求めて比較すると、後半の探索電位は前半に比べて同じか、やや大きくなっており、この傾向は頭部全体で同じであった。Wijers, Mulder, Okita, & Mulder (1989) も同様の練習効果を報告しており、少なくとも VM 課題の練習によって、探索陰性波の頭皮上分布が変化するという事はなさそうである。

実験Ⅲでは、後頭部 N190 の頂点潜時に、マッピング条件にかかわらず有意な視覚負荷の効果が認められた。P1 条件における後頭部 N190 潜時が他の 2 条件よりも長かったことについては、実験Ⅱでも同様の効果を得ており、呈示刺激数そのものの変化が視覚探索課題遂行中の ERP に及ぼす影響を調べた Miyatani & Maedo (1994)でも、呈示刺激数が少ない方が後頭部 N190 の頂点潜時は長かった。P1 条件と他の 2 条件では、空間的注意の範囲が異なり、前者ではより狭い範囲に注意を集中できることから、本実験でみられた後頭部 N190 の潜時の延長は、視野空間内の特定の場所に注意を集中することによる、外因性 P130, N190 の増大(Hillyard & Münte, 1984)の結果にともなって副次的に生じた効果のようにも思われる。しかし、一方で、振幅に関しては有意な視覚負荷効果が認められず、また Figure 2.2.9 の波形から見て振幅差がほとんどない CM 課題でも視覚負荷による潜時の差が得られたことから、成分の増大だけでは説明できない潜時そのものの延長が生じたということも考えられる。P3b 潜時が、反応時間と同じく視覚負荷とともに延長したのとは逆に、後頭部 N190 潜時は、刺激処理に要する時間が短くてすむ条件で、かえって長かったことになる。後頭部 N190 が視覚的刺激の符号化

を反映している (Wijers et al, 1987; Van Dellen et al., 1985) とすると、この結果は、例えば符号化の段階で十分な処理が行われ、その後の処理過程で利用しやすい出力が得られた結果、最終的な処理時間が短縮されたことを示すとも考えられ、視覚的情報処理における空間的注意の影響を考察する上で、興味深い現象である。

Kramer et al. (1986, 1991) は、非標的刺激に対する前頭・中心部 N310 振幅は標的刺激に対するものよりも高振幅であるとしたが、本実験では、刺激の種類の効果は認められなかった。彼らの実験では標的刺激と非標的刺激が同数ずつ呈示されたのに対し、本実験では標的刺激の呈示確率は 20% であった。したがって、本実験では、低確率の標的刺激に対して大きな N200 が出現し (Näätänen & Gaillard, 1983)、それによって刺激の種類効果が打ち消されて出現しなかったとも考えられる。しかし、本実験では統計的には支持されなかったものの、Figure 2.2.12 の波形をみると、VM 課題と CM 課題では刺激の種類効果の方向が逆転している。これは、呈示確率が N200 に及ぼす影響によっては説明できず、また刺激の種類効果はマッピング条件の影響を受けなかった Kramer et al. (1986, 1991) と一致しない。前頭・中心部 N310 が反映する心理学的過程や、それに影響する要因に関しては、さらに検討する必要がある。

Wijers ら (Wijers, Mulder, Okita, & Mulder, 1989; Wijers, Mulder, Okita, Mulder, & Scheffers, 1989) の指摘した Oz 波形における刺激の種類効果は、本実験では VM 課題のみで認められ、200-300 ms 区間の標的波形は、非標的波形よりも陰性であった。Wijers, Mulder, Okita, & Mulder (1989) はこの電位差を、“標的らしさ” (Hoffman, 1979) を計算する前注意的分類過程を反映すると考えているが、本実験の CM 課題で刺激の種類効果が認められなかったことは、この解釈を支持しない。彼らの考察は、刺激の種類効果が、注意刺激に対する波形でも非注意刺激に対する波形でも認められることに基づいており、VM 課題における非注意刺激の処理と CM 課題における注意刺激の処理の異同について、今後理論的にも検討する必要がある。また、Oz 波形のこの区間で見られる

刺激の種類の効果は、記憶負荷が大きいと現れにくくなり (Wijers, Mulder, Okita, & Mulder, 1989), 本実験でも, VM 課題の標的波形では視覚負荷効果が認められるなど, 刺激の種類以外に様々な要因によって影響を受けると考えられる。統計的に差があるとはいっても条件間の振幅の差はわずかであり, この区間の電位差を認知過程に関する有効な ERP 指標として用いることができるかどうかについては, 結果の再現性も含めてさらに検討を続ける必要がある。



### 第3節 色選択の同時遂行がERPの視覚負荷効果に及ぼす影響

前節では、標的の選定方法を変化させることによって、探索の自動化の程度が視的探索波に及ぼす影響について調べた。ところで、標的の選定方法は、自動化の程度以外の点からも、視覚探索のメカニズムに影響すると考えられる。実験IからIIIで実施した課題は、単純な文字探索課題であり、被験者は文字の形あるいは音という1種類の情報に基づいて判断を行うことができた。ここで標的を、例えば緑色のBと定義し、テスト刺激として、例えば赤色のBや緑色のXのような妨害項目を呈示すると、被験者は、色と形あるいは色と音という2種類の情報のそれぞれについて、比較照合を行わなければならない。

このような事態では、現代の注意研究において中心的研究テーマの一つである“初期選択”対“後期選択”の問題が関わってくる。注意に関するほとんどのモデルでは、感覚貯蔵庫、各種の感覚や意味の分析器、短期記憶、長期記憶、および刺激の認知や意志決定に関わる高次な認知機構が想定されており、モデル間の主な違いは、情報の選択がどの段階で行われるかという点にある(沖田, 1993)。Broadbent (1958)や Treisman (1964)の初期選択モデルでは、選択機構は感覚貯蔵庫の直後におかれ、注意を向けていない情報は知覚的分析が行われる以前に減衰、ないし遮断されてしまう。一方、Deutsch & Deutsch (1963)や Norman (1968)のような後期選択モデルでは、すべての感覚入力短期記憶に入力され、完全な分析・評価を受けた後に選択を受けると仮定する。

注意を選択的フィルターとしてではなく、処理資源の問題として考える立場(Kahneman, 1973; Norman & Bobrow, 1975)の登場や、選択過程を特定の処理段階に固定するのではなく、その作動部位が課題の性質によって変化する柔軟性のあるものとして捉えるべきであるとする主張(石口, 1983)により、初期選択か後期選択かという問題そのもののは、それほど重要なものではなくなっている。しかし、特定の状況において選択的処理が働く段階を規定する要因を明らかにすることは、視覚探索に限らず、人間の認知過程の性質を明らかにする上で、不可欠な課題であると

思われる。

探索陰性波のうち、記憶探索波については、初期選択過程の存在を支持する結果が報告されている。Okita et al. (1985)では、注目していない位置に呈示されたテスト刺激に対する ERP には、記憶探索波は生じなかった。また、Wijers らは、一連の実験 (Wijers, Mulder, Okita, & Mulder, 1989; Wijers, Mulder, Okita, Mulder & Scheffers, 1989; Wijers, Otten et al., 1989) で色に基づく選択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。その結果、テスト刺激が注目色である場合には、Okita et al. (1985)と同様、記憶探索波の振幅増大が認められたが、無視してよい色で呈示されたテスト刺激に対しては、記憶探索波は認められなかった。これらは、色や場所といった特性に基づく選択が記憶探索に先行して生じること、また、記憶探索は先行する選択過程で選択された項目に対してのみ行われることを示している。

実験ⅣからⅥでは、色に基づく選択と文字探索を組み合わせた複合探索課題で ERP を記録し、色選択の同時遂行が探索陰性波、特に視的探索波に及ぼす影響について検討する。

## 実 験 Ⅳ

実験Ⅳでは色選択と記憶探索および視覚探索を組み合わせた課題を実施し、複合探索課題における視的探索波と記憶探索波の現れ方を比較した。

### 方 法

**被験者** 視力(矯正視力を含む)の正常な 20-23 歳の成人 10 名(男性 5 名、女性 5 名)を被験者とした。全員、右手利きであった。

**刺激と装置** 各刺激を白色ではなく、緑色または赤色で表示した点を除いて、実験Ⅱと同じであった。テスト刺激を構成する 5 文字は、すべて同じ色で呈示した。

**課題と条件** 色選択と組み合わせた文字探索課題を実施した。被験者は、あらかじめ覚えた文字があらかじめ指定された色(注目色)で呈示さ

れた場合にスイッチを押して反応した。テスト刺激が注目色でない(無視色)場合と、注目色ではあるが標的文字が含まれていない場合(注目色非標的刺激)には、何も反応しなかった。

記憶負荷を3水準(M1, M2, M4)、視覚負荷も3水準(P1, P2, P5)で変化させたが、実験の実施時間などを考慮して、少しでも条件数を減らすために、負荷条件としては、M1P2, M2P2, M4P2, M2P1, M2P4の5条件を設定した。視覚負荷の効果を調べるために記憶負荷の等しいP1M2, P2M2, P5M2の3条件(P1, P2, P5)を、記憶負荷の効果を調べるために視覚負荷の等しいP2M1, P2M2, P2M4の3条件(M1, M2, M4と略称)を比較した。各視覚負荷条件における標的文字の出現位置、教示などは、実験Ⅱと同様であった。

**手続き** 1 実験系列を160刺激で構成した。負荷に関する5条件をそれぞれ2系列ずつ実施した。まず、前半の5系列ですべての負荷条件を1系列ずつランダムな順序で実施し、後半の5系列で再度各負荷条件をランダムな順序で実施した。各系列の間には短時間の休憩をはさんだ。

各実験系列の最初に、画面に標的文字を注目色で表示した。被験者が標的を十分に確認した後、試行に入った。テスト刺激が注目色で、かつ標的文字を含んでいる場合に、できるだけ速くかつ間違えないようにキーを押して反応すること、それ以外のテスト刺激は無視することを教示した。キー押しは全員右手で行った。被験者の半数は緑色、残りの半数は赤色を注目色とし、実験中に変更することはなかった。また、実験の後半では、前半の同一負荷条件で用いたのと同じ標的文字を用いた。

1系列中、注目色刺激と無視色刺激は等確率かつランダムな順序で呈示した。注目色標的刺激の出現確率は注目色刺激の25%、刺激全体の12.5%とした。

テスト刺激呈示後、キーが押されるまでの時間を1ms単位で測定した。注目色標的刺激に対して1400ms以内にキーが押された場合と、その他の刺激に対して1400msまでにキーが押されなかった場合を正反応とした。誤反応時には、反応直後に1000Hzの純音を100ms呈示

して、被験者に知らせた。

**脳波の記録と分析** 脳波の記録と分析の方法は、実験Ⅲと同様であった。正反応で、かつアーチファクトの混入の少ない試行の ERP について、負荷条件(5)と刺激の種類(注目色標的刺激, 注目色非標的刺激, 無視色標的刺激, 無視色非標的刺激)を組み合わせた 20 条件別に加算平均した。

## 結 果

**反応時間と誤答率** 注目色標的刺激に対する条件別反応時間とミス率, および注目色非標的刺激に対するフォールス・アラーム率を Table 2.3.1 に示す。視覚負荷および記憶負荷の効果を比較しやすいように, P2M2 条件については同じ値を 2 度表示してある。

Table 2.3.1  
*Performance Data for Stimuli in Attended Color as a Function of Display and Memory Load in Experiment IV.*

Display Load	Memory Load	Reaction Time in ms		Miss Percent		False Alarm Percent	
P2	M1	511.9	(51.3)	0.00	(0.00)	0.16	(0.34)
	M2	588.7	(52.1)	3.00	(4.05)	0.49	(0.56)
	M4	692.3	(43.7)	4.25	(2.37)	0.78	(0.78)
P1	M2	552.4	(56.7)	0.25	(0.79)	0.16	(0.34)
P2		588.7	(52.1)	3.00	(4.05)	0.49	(0.56)
P5		787.1	(107.0)	7.50	(6.35)	1.32	(1.13)

*Note.* Values enclosed in parentheses represent SDs.

P1, P2, P5 の 3 条件について視覚負荷に関する 1 要因の分散分析を行ったところ, 主効果が有意であり ( $F(2, 18)=49.87, \epsilon=0.648, p<.001$ ), 視覚負荷が大きいほど反応時間は長くなった。さらに, M1, M2, M4 の 3 条件について記憶負荷に関する 1 要因の分散分析を行ったところ, 主効果が有意であり ( $F(2, 18)=46.62, \epsilon=0.986, p<.001$ ), 記憶負荷が大きいほど反応時間は長くなった。

ミス率について調べると, 視覚負荷および記憶負荷の増加によって増加している。P2M1 条件では被験者すべてが誤反応無しであり, P1M2 条件でも 1 名の被験者が 1 試行の注目色標的刺激を見逃したのみであ

った。したがって、データの散らばりの点で統計的仮説検定にはそぐわないと思われるので、統計的仮説検定は行っていない。

注目色非標的刺激に対するフォールス・アラーム率について、反応時間と同様の方法で視覚負荷および記憶負荷の効果を調べたところ、視覚負荷の効果 ( $F(2, 18)=5.60, \epsilon=0.860, p<.05$ ) が有意で、負荷が大きいほどフォールス・アラーム率も大きかった ( $P1=P2, P1<P5, P2=P5$ )。記憶負荷によるフォールス・アラーム率の違いはなかった。Table 2.3.1 には示していないが、無視色刺激に対するフォールス・アラーム率は全体に非常に小さかった。無視色標的刺激に対しては、P1M2 条件で 3 名の被験者 (5.0 %, 2.5 %, 2.5 %) が、P2M1 条件で 1 名 (2.5%) が誤った反応をした。無視色非標的刺激に対する誤反応はなかった。

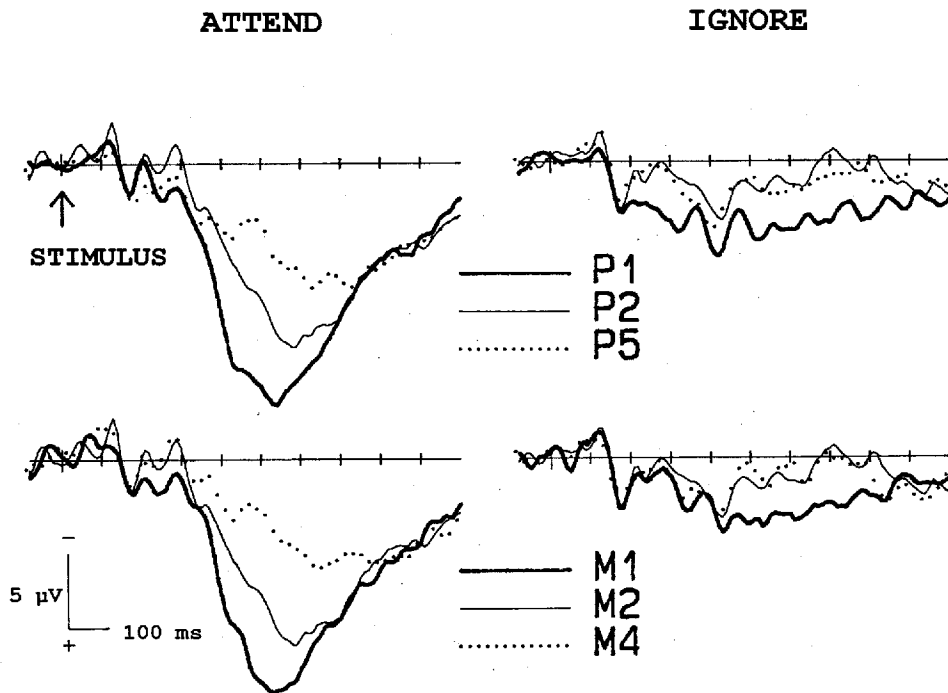


Figure 2.3.1. Grand average ERPs at Pz elicited by attended and ignored targets in Experiment IV.

標的刺激に対する ERP Figure 2.3.1 に Pz で記録された標的刺激に

対する ERP を示す。図の左側が注目色標的刺激に対する ERP，右側が無視色標的刺激に対する ERP である。また，図の上側が視覚負荷の異なる 3 条件の波形の重ね書き，下半分が記憶負荷に関する 3 条件の重ね書きである。これらを見ると，刺激呈示後 200 ms 付近までは注目色 ERP と無視色 ERP に違いがない。ところが，注目色標的刺激に対する ERP では約 300 ms 前後から明瞭に認められる Pz 優位の陽性波 (P3b) が，無視色標的 ERP ではほとんど出現していない。また，注目色標的 ERP に出現する P3b には，視覚負荷や記憶負荷条件による違いが認められる。

Pz で記録された注目色標的 ERP について，刺激呈示後 300-1 000 ms 区間において最大の陽性電位を示した点を P3b 頂点と定め，その潜時と振幅を測定した。10 名の被験者について平均した結果を Table 2.3.2 に示した。まず潜時について視覚負荷および記憶負荷の効果を 1 要因分散分析によって調べた。視覚負荷の効果が有意 ( $F(2, 18)=14.33, \epsilon=0.629, p<.01$ ) であり，下位検定の結果，P3b 潜時は，P1 < P2 < P5 条件であった。記憶負荷の効果も有意 ( $F(2, 18)=19.68, \epsilon=0.756, p<.001$ ) であり，P3b 潜時は，M1 < M2 < M4 条件であった。

Table 2.3.2

*The Peak Amplitudes and Latencies of P3b of Attended Target ERPs at Pz in Experiment IV as a Function of Display and Memory Load*

Display Load	Memory Load	Amplitude in micro V		Latency in ms	
P1	M1	17.7	(5.3)	521.0	(48.7)
	M2	14.0	(6.1)	618.0	(52.5)
	M4	8.9	(4.4)	743.0	(107.3)
P1	M2	17.6	(5.7)	510.0	(47.1)
P2		14.0	(6.1)	618.0	(52.5)
P5		10.6	(5.3)	707.0	(112.9)

*Note.* Values enclosed in parentheses represent SDs.

P3b 振幅について同様の分析を行ったところ，視覚負荷の効果 ( $F(2, 18)=10.98, \epsilon=0.950, p<.01$ )，記憶負荷の効果 ( $F(2, 18)=16.10, \epsilon=0.811, p<.001$ ) ともに有意であった。P5 条件の P3b 振幅が P1 条件よりも小さ

く、M1 条件および M2 条件における P3b 振幅は M4 条件よりも大きかった。

非標的刺激に対する ERP Figure 2.3.2 と Figure 2.3.3 に注目色非標的刺激に対する ERP を、Figure 2.3.4 と Figure 2.3.5 に無視色非標的刺激に対する ERP を示す。Figure 2.3.2 と Figure 2.3.4 が視覚負荷の異なる 3 条件の波形の重ね書き、Figure 2.3.3 と Figure 2.3.5 が記憶負荷に関する 3 条件の重ね書きである。標的刺激に対する ERP と同様、無視色で呈示された非標的刺激に対する ERP には、視覚負荷および記憶負荷による違いがほとんど認められない。

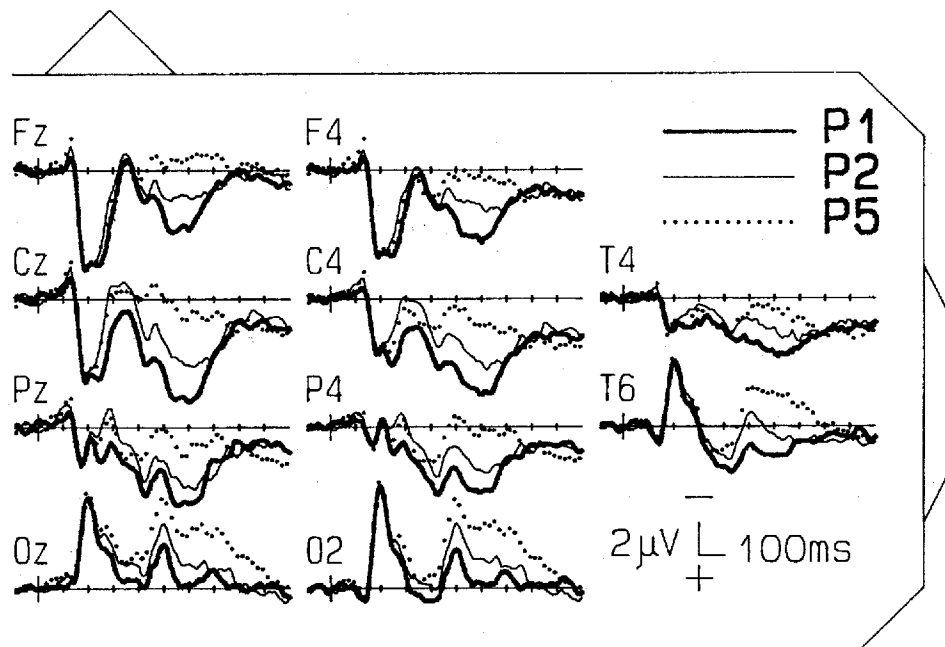


Figure 2.3.2. Grand average ERPs to attended non-targets in Experiment IV. ERPs for three display load conditions are superimposed.

一方、注意色非標的 ERP には、視覚負荷、記憶負荷による違いが認められる。まず、視覚負荷の効果(Figure 2.3.2)を見ると、その現れ方が部位により異なっている。後頭部(Oz, O2)では、刺激呈示後約 240 ms、後部側頭部(T6)ではもう少し遅く約 330 ms あたりから、視覚負荷が大きいほど波形は陰性方向にシフトし、その違いは刺激呈示後約 900 ms まで持続している。中心部(Cz)では、視覚負荷効果の現れ方がやや異な

っている。まず潜時約 200 ms 付近から負荷条件による波形の違いが現れるが、それから約 380 ms の区間では、P2 条件と P5 条件の波形はほぼ一致し、その 2 条件が P1 条件に比べて波形が陰性である。ところが、刺激後約 400 ms あたりからは、P2 条件と P5 条件の間にも差が現れ、後頭部・後部側頭部と同様、視覚負荷が大きいほど波形は陰性方向にシ

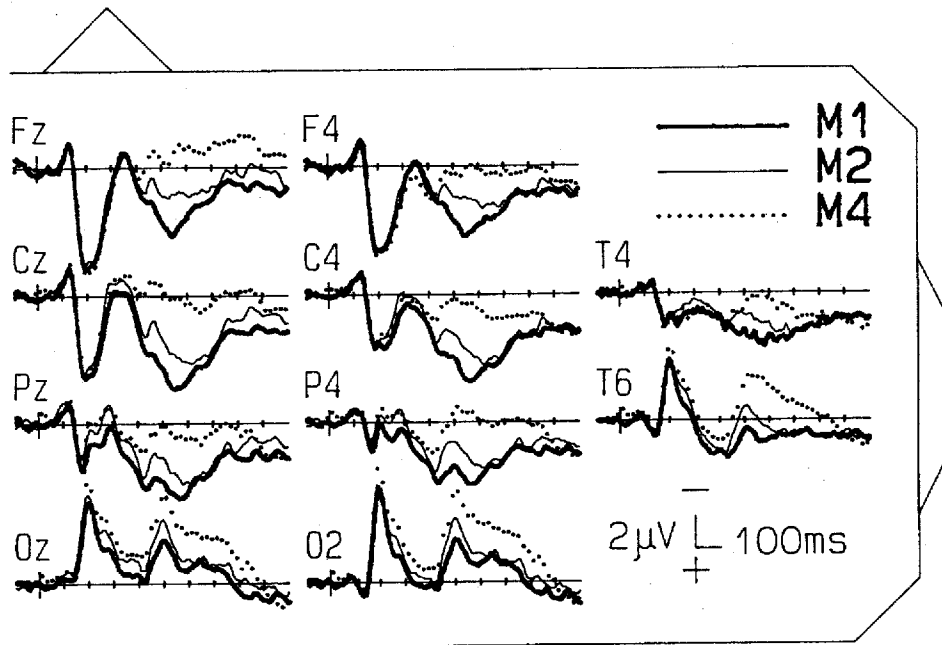


Figure 2.3.3. Grand average ERPs to attended non-targets in Experiment IV. ERPs for three memory load conditions are superimposed.

フトするようになっている。記憶負荷の効果(Figure 2.3.4)についてみると、後頭部・後部側頭部では刺激後約 200 ms あたりから、小さな条件差が出現しているが、それがはっきりとした違いとして現れるのは、ほとんど全部位にわたって刺激後約 400 ms 前後からであり、その後 900 ms あたりまでの波形は、記憶負荷が大きいほど陰性方向へシフトとしている。それぞれの負荷効果をよりわかりやすくするために、高負荷条件 (P2, P5 あるいは M2, M4) から低負荷条件 (P1, M1) の波形を引き算して求めた差波形を Figure 2.3.6 (視覚負荷効果) と Figure 2.3.7 (記憶負荷効果) に示した。



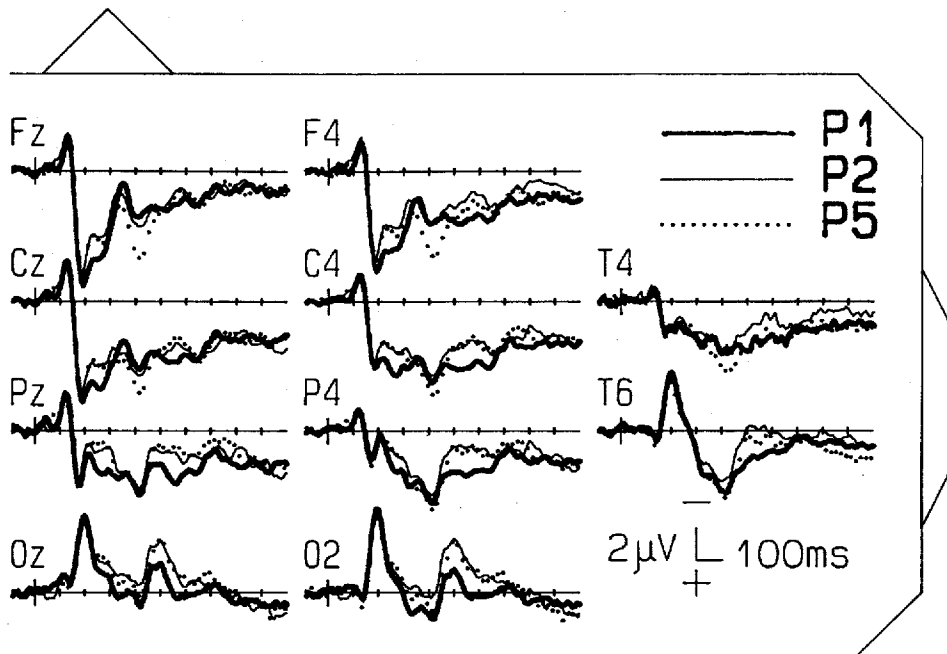


Figure 2.3.4. Grand average ERPs to ignored non-targets in Experiment IV. ERPs for three display load conditions are superimposed.

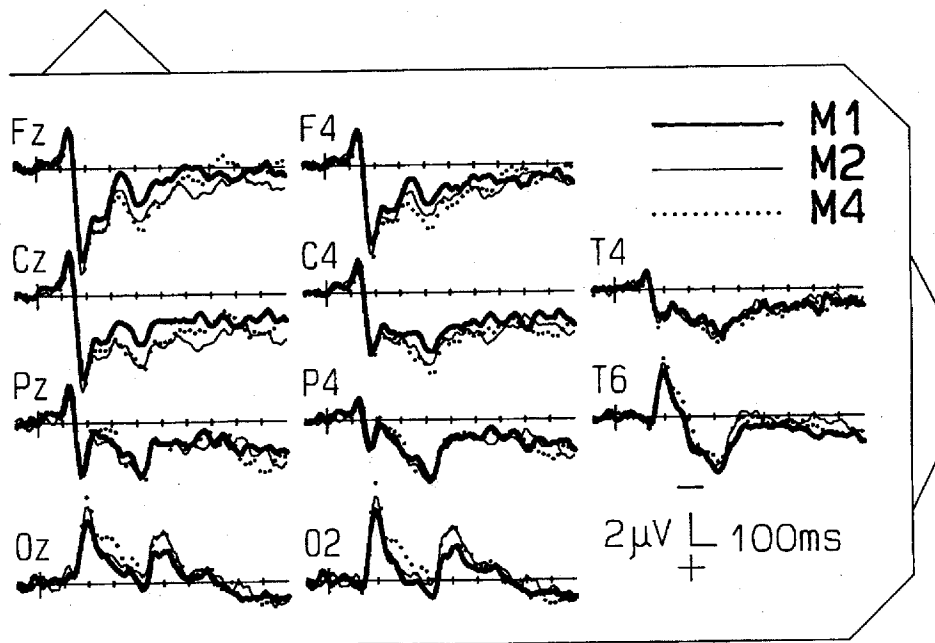


Figure 2.3.5. Grand average ERPs to ignored non-targets in Experiment IV. ERPs for three memory load conditions are superimposed.

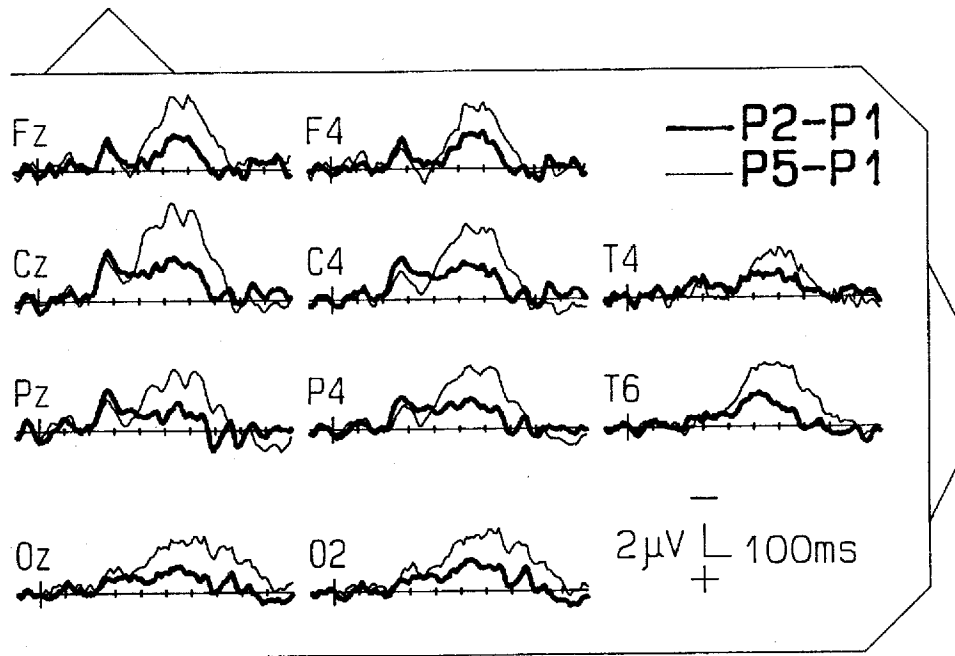


Figure 2.3.6. Difference ERPs obtained by subtracting attended non-target ERPs for low display load condition (P1) from those for higher (P2: thick lines, P5: thin lines) display load conditions.

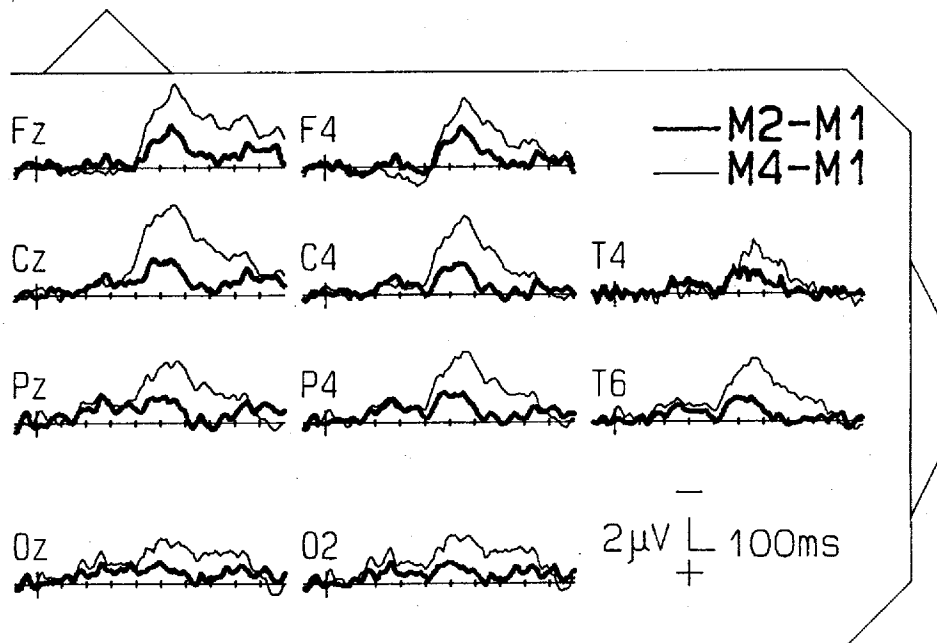


Figure 2.3.7. Difference ERPs obtained by subtracting attended non-target ERPs for low memory load condition (M1) from those for higher (M2: thick lines, M4: thin lines) memory load conditions.

以上の観察を統計的に確認するために、非標的波形について、刺激呈示後から 1 000 ms までの区間を 40 ms ごとに区切り、各区間の平均電位を求めた。その値に基づき、視覚負荷あるいは記憶負荷に関する 1 要因分散分析を、刺激の種類別、部位別に実施した。

視覚負荷の効果は、2 つの部分に分かれて現れた。まず、刺激後 240-280 ms 区間で、F4, Cz, C4, T4, Pz, P4 において、有意な視覚負荷効果が得られた。効果の現れ方は記録部位によって多少異なるが、最も大きな差の得られた Cz では、P1 条件の波形が P2/P5 条件に比べて陽性であった。また、どの部位でも P2 条件と P5 条件の間に、差はなかった。

続いて、Cz, C4, T6, Oz, O2 では刺激後 400 ms から、他の部位では 440 ms から、注目色 ERP において視覚負荷が現れ始める。最も大きな効果の得られた 480-520 ms 区間では、3 条件間すべてに有意差が現れ、負荷が大きいほど ERP は陰性方向にシフトした。この視覚負荷効果は T6 では 720 ms, T4, Oz, O2 では 680 ms, その他の部位では 640 ms まで持続した。また、無視色 ERP においても、Oz O2 では 440-600 ms 区間、また Pz, P4, T6 でも一部の区間で有意な視覚負荷効果が認められた。

記憶負荷効果は、Cz と Pz では 400 ms, F4 と T4 では 480 ms, その他の部位では 440 ms から注意色 ERP において現れ、F4, Pz, Oz, O2 では 640 ms, C4, T4, P4 では 680 ms, T6 では 720 ms, Cz では 760 ms, Fz では 800 ms まで持続していた。最も効果の大きい 520-560 ms 区間では、3 条件間すべてに有意な差が認められ、記憶負荷が大きいほど ERP は陰性方向にシフトしていた。無視色 ERP における記憶負荷効果は Oz, O2 の 480-520 ms 区間のみに認められた。

視覚負荷効果と記憶負荷効果の頭皮上分布を比較するために、Figure 2.3.6 の P5-P1 波形と、Figure 2.3.7 の M4-M1 波形について、すべての部位で 2 種類の負荷効果がともに認められた 480-640 ms 区間の平均電位を記録部位別に計算した。McCarthy & Woods (1985) の推奨する方法で、規準化した後、負荷の種類(視覚・記憶)×部位の分散分析を行ったが、有意な交互作用は得られなかった。

刺激呈示後 400 ms 以前の区間の波形には、負荷条件とは関係ない注

意の効果が見られた。Figure 2.3.8に、Fz および Oz における注目色 ERP から無視色 ERP を引き算して求めた差波形を示した。視覚負荷および記憶負荷に関する条件はこみにしてある。前述した区間平均電位に基づく分散分析の結果、Fz および F4 では、200-240 ms 区間で注意波形が

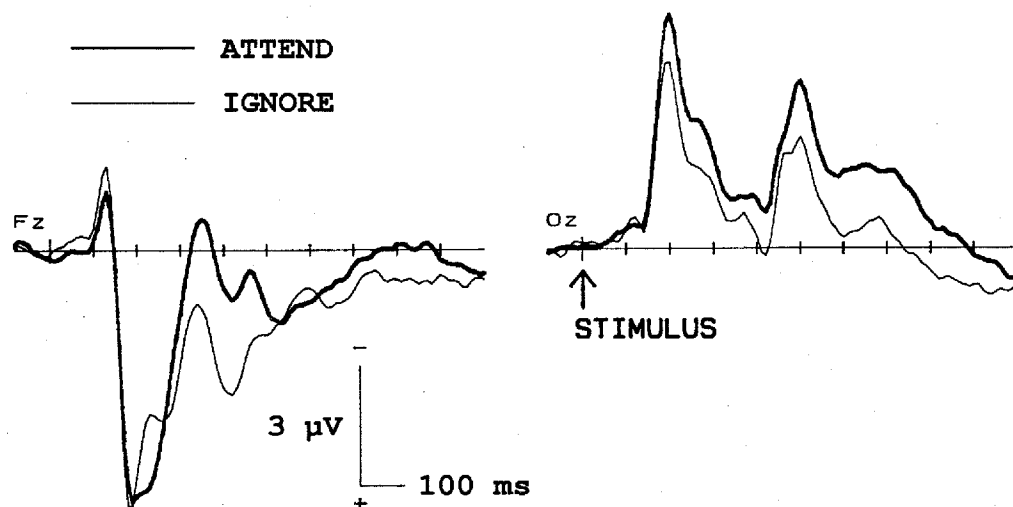


Figure 2.3.8. ERPs to attended non-targets and ERPs to ignored non-targets are superimposed. Waveforms are averaged across different display and memory load conditions.

無視波形よりも陽性であった。また、同じ区間の Oz および O2 では、逆に注意波形が無視波形よりも陰性であった。また、280-400 ms 区間では、中心部(Cz)および前頭部(Fz)を中心に、後頭部を除く広い範囲で、注意波形が無視波形よりも陰性であった。

## 考 察

本実験と実験Ⅱ・Ⅲ(Table 2.2.3, Table 2.2.5 を参照)の反応時間を比べると、最大記憶負荷条件と最小記憶負荷条件の差は、本実験で 180.4 ms (P2M4: 692.3 ms, P2M1: 511.9 ms), 実験Ⅱでは 145.6 ms (P2M4: 657.4 ms, P2M1: 511.8 ms)となり、記憶負荷効果は、本実験でやや大きい。一方、最大視覚負荷条件と最小視覚負荷条件の差は、本実験で 234.7 ms (P5M2: 787.1 ms, P1M2: 552.4 ms), 実験Ⅱでは 154.8 ms (P5M2: 659.1 ms, P1M2: 504.3 ms), 実験Ⅲの VM 課題では 145.3 ms (P5: 627.1 ms, P1: 481.8 ms)

となり、色選択の同時遂行により、視覚負荷効果が行動測度に及ぼす影響がかなり大きくなったことがわかる。

記憶探索波については、実験Ⅱに比べると、その出現潜時が約 100 ms 遅れ、振幅が大きい(M4条件とM1条件の最大振幅差が、実験Ⅱで 3.8  $\mu$ V、本実験では 5.7  $\mu$ V)という違いが見られたが、Cz優勢な分布については変化がなかった。また、Wijers, Otten et al. (1989)と同様、記憶探索波は注目色刺激に対してしか出現せず、無視色刺激に対するERPには、ほとんど記憶負荷効果は認められなかった。これは、本実験で実施した複合探索課題においては、まず色に基づく初期選択が行われ、選択された刺激に対してのみ記憶探索処理が行われたことを示す。

さらに、注目色刺激に対するERPと無視色刺激に対するERPを比較すると、200-240 ms区間で、Fzでは前者が後者より positive であり、Ozでは negative であった。この点もWijers, Otten et al. (1989)と一致する。彼らは、これらの結果について、色に関する選択的処理を反映する成分ではないかと考えている。しかし、本実験では赤色刺激と緑色刺激の輝度については統制しておらず、彼らの報告にも刺激の明るさに関する記述はない。したがって、このERPの違いが、色の違いによるものか明るさの違いによるのかは判断できない。この点に関しては、本実験がWijers, Otten et al. (1989)と類似した実験事態で行われたことを示す結果としてのみ扱い、それが反映する心理過程についての考察は行わないのが適切であろう。また、Fz, Czを中心に、注目色ERPが無視色ERPよりも negative であったことは、位置に関する注意(Okite et al., 1985)と同様、色に関しても、注意を向けた刺激に対しては、大きな前頭・中心部N200(実験ⅢのM310)が発達することを示すものである。

ERP上の視覚負荷効果のうち、Cz優勢なCAN波については、実験Ⅱ・Ⅲと同じ潜時で出現した。また、この波は刺激の色に関わらず出現しており、色に基づく初期選択よりも前に働く心的過程を反映するものと考えられる。実験Ⅲでは、視覚負荷効果の現れ方の違いから、CAN波と視的探索波が異なるものであると結論した。本実験では、それに加えて、色に基づく選択の同時遂行が及ぼす影響という点でも、2つの陰性波が

性質の異なるものであることを示すことができたといえる。

もう一つの視覚負荷効果である視的探索波は、実験ⅡやⅢと比べて出現の様子が大きく変化した。まず、記憶探索波と同様、出現潜時が遅延した。実験Ⅲの VM 課題(Figure 2.2.10 を参照)においては、後頭部(Oz)では刺激呈示後 210 ms 前後、中心部(Cz)では刺激後約 350 ms あたりから、P2 条件と P5 条件の波形が離れ始めている。それに対し、Figure 2.3.6 を見ると、本実験で P2-P6 条件間に違いが出るのは、Oz で 350 ms 前後、Cz で約 400 ms あたりからである。

さらに大きな違いは、視的探索波の頭皮上分布である。Figure 2.3.9 に、実験Ⅲにおける視的探索波(P5-P1 差波形の、潜時 440-480 ms 区間の平均電位)の分布と本実験における視的探索波(同じく 520-560 ms 区間の分布)を比較して示した。実験Ⅲでは O2, T6 において Cz と同等以上の振幅を示しているのに対し、本実験では、O2 や T6 に比べて、Fz や Cz の振幅が上回っている。特に Fz における振幅差は大きい。

この分布の変化の原因として、2 通りの考え方がある。一つは、実験ⅡやⅢで記録された後頭部・後部側頭部優勢な視的探索波が本実験でも

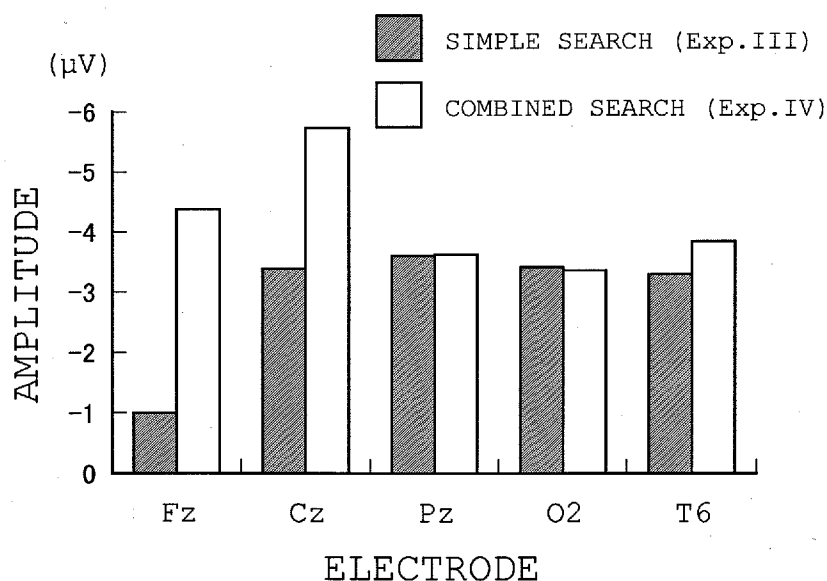


Figure 2.3.9. Scalp distribution of display load effects on ERPs. Mean amplitudes of P5-P1 difference waves in latency of 440-480 ms (Exp.III) or 520-560 ms (Exp.IV) were depicted.

出現し、そのうえに Cz 優勢な陰性波が発達したという可能性である。第 2 の可能性は、後頭部の視的探索波は、出現していたとしても実験Ⅲに比べて低振幅となり、それに変わって、中心部優勢な陰性波が出現したという考え方である。

本実験の記憶探索波が、実験Ⅱに比べて約 2  $\mu$ V 増大したことと、反応時間に関する結果から判断して、本実験と実験Ⅱ・Ⅲを比較した場合記憶負荷効果よりも視覚負荷効果の増大の程度が大きいことを考えると、もしも本実験でも視的探索波が出現したと考えると、後頭部・後部側頭部における視的探索波は、実験Ⅲに比べて大きくなると予想できる。ところが Figure 2.3.9 を見ると、O2 や T6 における視的探索波の振幅は実験間で差がない。したがって、本実験では、後頭部・後部側頭部優勢な視的探索波にかわって、中心部優勢な陰性波が新たに出現したと推測できる。この陰性波は、出現潜時、頭皮上分布の点で記憶探索波に非常に類似しており、実験的には視覚負荷を操作した場合でも、視覚探索過程には、記憶負荷を操作したのと同様の影響を与える場合があることを示唆している。

**記憶探索波と視的探索波の違い** 本実験の記憶負荷効果と視覚負荷効果は、頭皮上分布の点ではほとんど同じで区別できないが、効果の持続時間を比べると、視覚負荷効果は後頭部で長く持続し、記憶負荷効果は前頭部で長く続くという違いがある。この違いが何を意味しているのかについては、現段階では不明である。2 種類の負荷効果について、その分布の異同をさらに詳しく調べる必要がある。

2 つの探索波のさらに大きな違いは、視覚負荷効果は無視色 ERP でも後頭部を中心にある程度の時間持続して得られるが、記憶負荷効果は無視色 ERP にはほとんど出現しない点である。これは、本実験の事態では、記憶探索過程は色判断が終了してから開始されるが、視的探索過程は色に関する判断と並列的に行われていることを示唆している。注目色 ERP に比べて、効果の持続時間が短いことは、無視色刺激に対する色判断が終了して、それ以上探索を続ける必要がないとわかった場合には、途中で処理がうち切られるというメカニズムを反映していると思わ

れる。例数は少ないが，負荷の小さい条件のみで無視色標的刺激に対するフェールス・アラーム反応が出現していることは，この考察を支持する結果である。すなわち，色に関する判断が終了する前に標的検出が行われたために，誤反応が出力される場合があったと考えられる。



## 実 験 V

実験Ⅳでは、単純な文字探索課題の場合には、後頭部・後部側頭部に優勢に分布する視覚探索波が、色に基づく選択と組み合わせられた複合探索課題では、中心部優勢な分布に変化することが示された。しかし、この比較は異なる実験間で行われたものであり、同一被験者内での頭皮上分布の変化は、まだ確認されていない。実験Ⅴは、探索課題の性質による視覚探索波の頭皮上分布の違いを、同一被験者で検討することを第1の目的とした。その際、脳波を頭皮上20部位から記録し、電位分布について詳しく観察できるようにした。

また、実験Ⅴでは、実験Ⅱ-Ⅳで得られた Cz 中心の空間的注意関連波(CAN波)について、以下の観点から検討することを目的とした。今までの実験では視覚負荷を操作するために、横一列に配置した5文字のアルファベットの中心のみ(P1)、両端のみ(P2)、または全部(P5)のいずれかに注意を向けさせた。この方法では、例えば P1 条件と P2/P5 条件を比較すると、注目する位置の数と同時に、注意を向けなければならない視野内の範囲の広さも異なっている。そこで実験Ⅴでは、アルファベット6文字を横1列に並べたものをテスト刺激とし、視覚負荷条件として、中央の2文字に注目(C2)、両端の2文字に注目、および6文字すべての位置に注目する(P6)の3条件を設定した。C2-P2条件の比較で中間的注意の広さの効果を、P2-P6条件の比較で注目位置数の効果を評価できると考えた。

### 方 法

**被験者** 視力(矯正視力を含む)の正常な20-27歳の成人8名(男性2名、女性6名)を被験者とした。全員が右手利きであった。

**刺激と装置** パソコン用 CRT(MF-8621, 飯山電機)の上に、アルファベット6文字を横一列に並べて呈示した。各文字の大きさは視角で0.7度×0.7度(観察距離約77cm)、文字列全体の横幅は、約4.3度であった。刺激は、黒い背景上に緑色、または赤色で呈示した。

C, G, U, Vを除くアルファベットからランダムに2文字を選び、記憶

セットとした。テスト刺激は、それ以外のアルファベットから異なる 6 文字をランダムに選んだ。テスト刺激が標的刺激の場合には、6 文字のどれかを記憶セット内の 1 文字と交換した。どの文字が選ばれるかは、ランダムとした。

各テスト刺激の呈示時間を 300 ms, 呈示間隔を(SOA)を 1 700-2 000 ms の範囲でランダムとして, 192 刺激を連続して呈示した。標的刺激の呈示確率は 25 %とし, 標的刺激と非標的刺激は, ランダムな順序で呈示した。ただし, 標的刺激は各実験系列の最初の 3 試行には呈示されず, また連続して出現しないようにした。刺激の呈示と反応の取り込みにはパソコン(PC-9801RA2, NEC)を用い, その時間的制御には, 吉田(1994)のタイマープログラムを用いた。

**課題と条件** 単純な文字探索課題と, 色に基づく選択と文字探索を組み合わせた複合探索課題を実施した。単純探索課題は, 実験Ⅱおよび実験Ⅲの VM 課題と同様の課題であった。ただし, テスト刺激は緑色あるいは赤色でランダムかつ等確率に呈示された。被験者は, テスト刺激の色を無視して, あらかじめ記憶した 2 文字のどちらかが呈示されたら, 手もとのキーを押して反応した。複合探索課題は, 実験Ⅳの課題と同様であった。

単純探索課題, 複合探索課題ともに, 視覚負荷について 3 条件(C2, P2, P6)を設定した。標的文字は, C2 条件では必ず文字列中央の 2 文字のどちらかに, P2 条件では両端の 2 文字のどちらかに, P6 条件では 6 つの場所のどこかに出現した。P2 および P6 条件における標的文字の呈示位置は, ランダムかつ等確率になるようにした。

凝視点に関しては, 実験Ⅱ-Ⅳと同様であった。反応時間の測定は, 実験Ⅳと同様とした。

**手続き** 被験者の半数は左手で, 残りの半数は右手で反応した。また, 被験者の半数では緑が注目色, 残りの半数では赤を注目色とした。反応手と注目色は同じ被験者では一定とし, 実験の途中で変更することはなかった。被験者の半数は最初に単純探索課題を, その後複合探索課題を実施した。残りの半数では, 課題の実行順序を逆にした。単純探索課題

では各視覚負荷条件につき 1 系列実施し，その順序はランダムとした。複合探索課題においては，各視覚負荷条件につき 2 系列を実施した。負荷条件の実施順序はランダムとしたが，同じ視覚負荷条件の 2 系列は，連続して実施した。

**脳波の記録と分析** 銀・塩化銀電極を用い，両耳朶連結を基準電極として，国際 10-20 法による Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fz, Cz, Pz, Oz から脳波を導出した。さらに，右眼窩上から垂直 EOG を，左右眼窩外側間で水平 EOG を記録し，瞬きと眼球運動をモニターした。脳波と EOG は，生体用アンプ(BIOTOP-6R12, NEC San-ei)を用いて，帯域通過周波数 0.05-60 Hz で増幅した。増幅した脳波と EOG は，シグナルプロセッサ(DP-1200, NEC San-ei)を用いてオンラインで AD 変換(200 Hz)し，変換後のデータを光ディスクに保存した。

実験 I - IV と同様の基準により，単純探索課題においては刺激の種類(標的，非標的)×視覚負荷(3)の 6 条件，複合探索課題においては刺激の種類(注目色標的，注目色非標的，無視色標的，無視色非標的)×視覚負荷(3)の 12 条件別に加算波形を求めた。なお，分析区間は，標的波形については刺激呈示後 1 200 ms，非標的波形については同じく 1 000 ms までとした。

## 結 果

**反応時間と誤答率** 単純探索課題における標的刺激，および複合探索課題における注目色標的刺激に対する正反応について，被験者ごとに条件別平均値と誤答率(ミスおよびフォールス・アラーム)を求めた。8 名の被験者について平均した結果を Table 2.3.3 に示す。反応時間について，課題(単純，複合)×視覚負荷(C2, P2, P6)の分散分析を行った結果，課題( $F(1, 7)=6.43, p<.05$ )と視覚負荷の主効果( $F(2, 14)=39.99, \epsilon=0.960, p<.001$ )が有意であった。反応時間は単純探索課題よりも複合探索課題で長く，P6 条件の反応時間が，C2/P2 条件よりも長かった。

ミス率を開平変換した値について同様の分析を行ったところ，視覚負荷の主効果( $F(2, 14)=35.36, \epsilon=0.878, p<.001$ )のみが有意であり，ミスは C2/P2 条件よりも P6 条件で多かった。フォールス・アラーム率を開平

Table 2.3.3

*Performance Data in Experiment V as a Function of Task and Display Load*

Task	Display Load	Reaction Time in ms		Miss Percent		False Alarm Percent	
Simple	C2	556.8	(66.4)	2.61	(3.47)	0.61	(0.58)
	P2	594.1	(84.5)	3.14	(6.41)	1.05	(1.30)
	P6	743.1	(85.9)	24.55	(16.97)	1.14	(1.35)
Combined	C2	628.5	(61.0)	2.63	(2.45)	0.53	(0.72)
	P2	644.4	(58.9)	4.70	(4.56)	1.23	(1.48)
	P6	731.1	(53.7)	21.89	(12.45)	1.23	(0.82)

Note. Values enclosed in parentheses represent SDs.

変換した値について、同様の分析を行ったところ、有意な主効果、交互作用は得られなかった。無視色標的刺激に対するフォールス・アラーム率は、C2条件(1.05%)がP2(0.26%)およびP6条件(0.53%)よりも大きかった。無視色非標的刺激に対するフォールスアラーム率はすべての条件で0.2%以下と、非常に小さかった。無視色刺激に対して誤反応をした被験者は少数であったので、統計的検定は行わなかった。

標的刺激に対するERP Figure 2.3.10に、Pzで記録された標的刺激に対するERPを示す。図の左側が単純探索課題の標的刺激に対するERPを、右側が複合探索課題の注目色標的刺激に対するERPを示し、それ

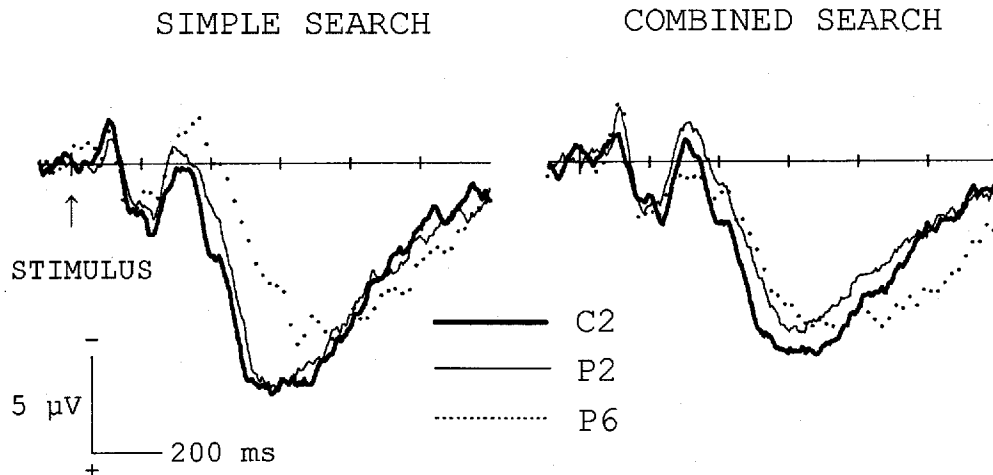


Figure 2.3.10. Grand average ERPs to targets in simple search task (left panel), and to attended targets in search task combined with selection by color (right panel). ERPs for three display conditions (C2: thick lines, P2: thin lines, P6: dotted lines) are superimposed.

ぞれ視覚負荷条件の異なる 3 つの波形を重ね書きしてある。実験 IV と同様、複合探索課題においては、標的検出にともなう P3b 成分は、注意色刺激に対する ERP にのみ認められたので、無視色標的刺激に対する ERP 波形は表示しなかった。

Pz で記録された標的刺激 ERP について、刺激呈示後 300-1 200 ms 区間において最大の陽性電位を示した点を P3b 頂点と定め、その潜時と振幅を測定した。8 名の被験者について平均した結果を Table 2.3.4 に示した。まず潜時について視覚負荷および記憶負荷の効果を 1 要因分散分析によって調べた。課題の効果が有意 ( $F(1, 7)=7.40, p<.05$ ) であり、複合探索課題の P3b 潜時は、単純探索課題に比べて長かった。視覚負荷の主効果も有意であり ( $F(2, 14)=16.33, \epsilon=0.878, p<.001$ ) であり、P3b 潜時は、C2=P2<P6 条件であった。交互作用は認められなかった。P3b 振幅についても同様の分析を行ったが、すべての主効果、交互作用は有意でなかった。

Table 2.3.4

*The Peak Amplitudes and Latencies of P3b of Attended Target ERPs at Pz in Experiment V as a Function of Task and Display Load*

Task	Display Load	Amplitude in micro V		Latency in ms	
Simple	C2	15.0	(5.1)	591.9	(92.0)
	P2	14.3	(6.0)	637.5	(149.8)
	P6	11.8	(6.0)	792.5	(200.7)
Combined	C2	12.7	(5.3)	670.0	(156.0)
	P2	11.1	(5.4)	685.0	(196.9)
	P6	11.7	(5.8)	796.9	(172.6)

*Note.* Values enclosed in parentheses represent *SD*s.

非標的刺激に対する ERP Figure 2.3.11 に、単純探索課題における非標的刺激に対する ERP を示す。全体的に見て、C2 条件と P2 条件の波形はよく似ており、P6 条件の ERP が他の 2 条件と異なるように見える。刺激呈示後 1000 ms を 40 ms ごとに区切って区間平均電位を求め、視覚負荷に関する 1 要因分散分析を部位ごとに行った結果 ( $F$  値等の記述は省く) から判断すると、後頭部では刺激後 200 ms 前後から負荷効果

が現れ、それが潜時 800 ms あたりまで持続する。3 条件の波形が最も分離しているように見える Oz の 400-440 ms 区間で調べても、平均振幅は、 $C2 = P2 > P6$  ( $>$  は右側の条件がより negative であることを示す) であった。中心部あたりでは、刺激後 200-240 ms 区間で視覚負荷効果があり、振幅は  $P2 = C2 > P6$  となった。また、潜時 360-600 ms の区間

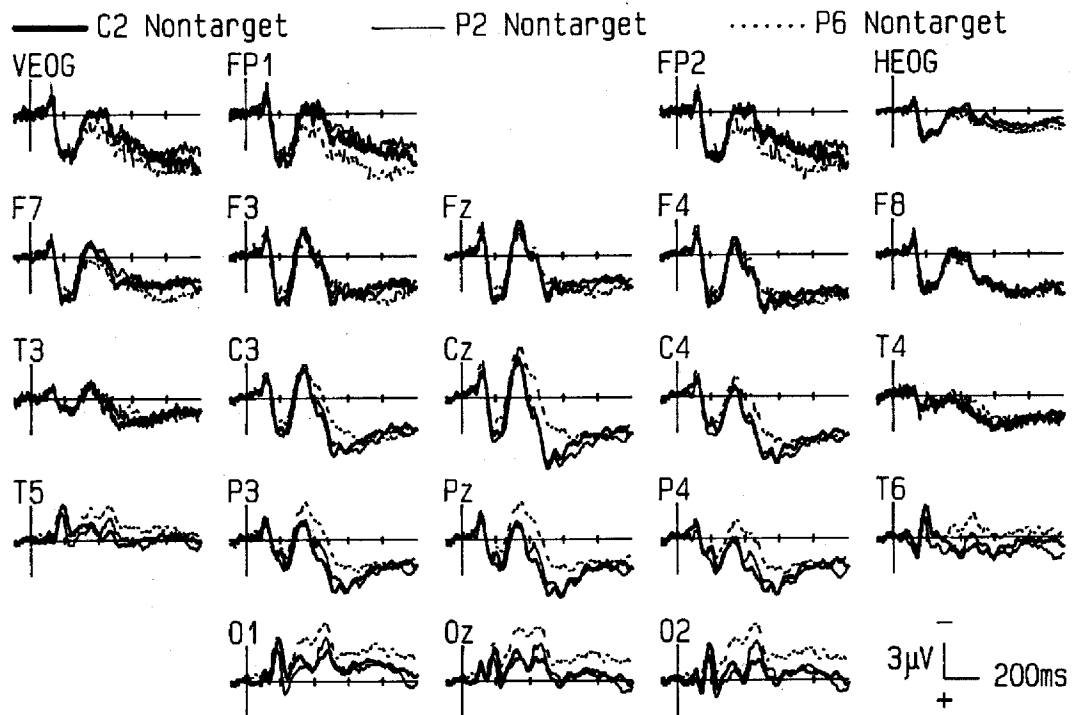


Figure 2.3.11. Grand average ERPs to non-targets for three display load conditions (C2: thick lines; P2: thin lines; P6: dotted lines) in simple search task.

でも有意な負荷効果があり、振幅は  $C2 = P2 > P6$  であった。Fz ではほとんど視覚負荷効果は観察できず、480-520 ms 区間で有意な負荷効果が得られたのみであった。Fp1, Fp2 の波形を見ると、他の部位とは逆に、P6 条件の波形が他の 2 条件よりも positive であるように見える。これは統計的にも有意で、特に Fp1 では、潜時 360-840 ms の区間で、平均振幅は  $P6 > C2 = P2$  であった。

Figure 2.3.12 に、複合探索課題における注目色非標的刺激に対する ERP を示す。Figure 2.3.11 に比べて、視覚負荷効果の現れ方がやや異なる。まず、Oz では、負荷効果 ( $C2 = P2 > P6$ ) の出現するのが、刺激後

約 600 ms 後で、それが分析区間終了後まで持続している。一方 Cz では、440-720 ms 区間で有意な負荷効果がある。単純探索課題ではほとんど負荷効果の無かった Fz でも、480-680 ms 区間で有意な負荷効果が認められた。波形を見ると、3 つの視覚負荷条件間に差があるように見えるが、統計的には C2 と P2 条件間に差は認められなかった。また、Figure 2.3.11 の Fp1 ほど顕著ではないが、前頭部の広い範囲で、300-400 ms 区間では P6 条件の ERP が他の条件よりも positive であった。この区間では、F3 および F8 においては、 $P6 > C2 > P2$  であった。

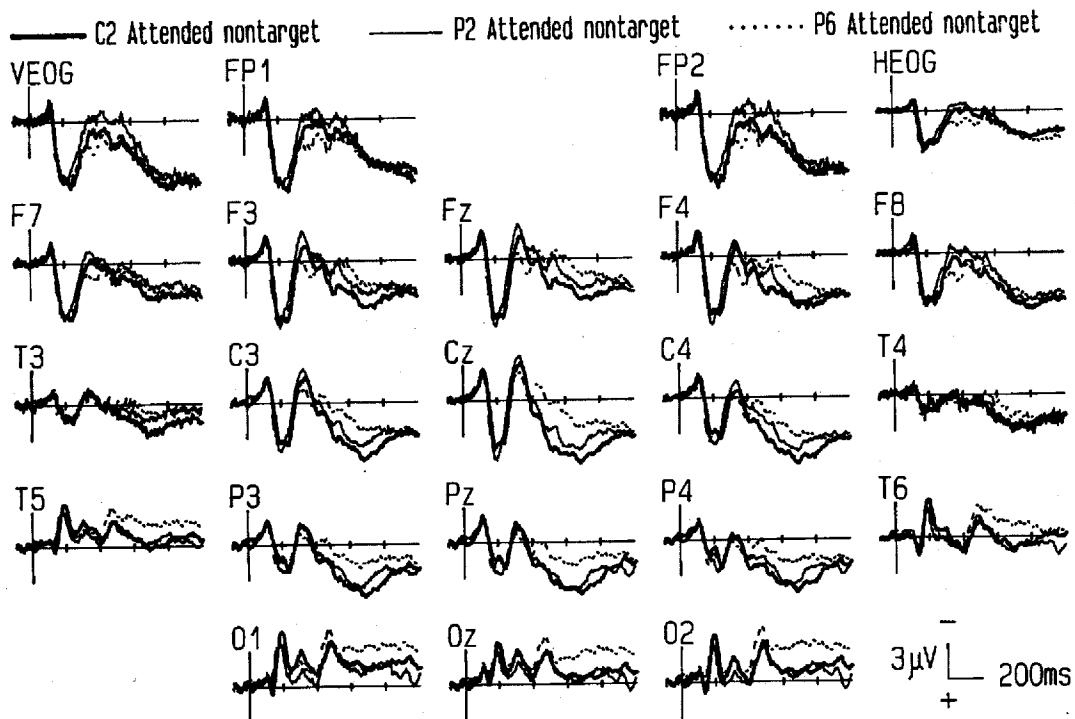


Figure 2.3.12. Grand average ERPs to attended non-targets for three display load conditions (C2: thick lines; P2: thin lines; P6: dotted lines) in search task combined with selection by color.

単純探索課題の Cz で得られた潜時 200-240 ms 区間の視覚負荷効果は、複合探索課題では認められなかった。実験 IV では複合探索課題においてもこの区間の視覚負荷効果が認められていたが、本実験では認められなかった。そこで、単純課題の標的刺激と非標的刺激、複合探索課題の注目色標的刺激、注目色非標的刺激、無視色標的刺激、無視色非標的刺激

のそれぞれに対する Cz の ERP の 200-240 ms 区間の平均電位を求め (Figure 2.3.13), 視覚負荷に関する 1 要因分散分析を行った。その結果, 有意な視覚負荷効果が認められたのは単純探索課題の非標的刺激に対する波形だけで, すでに述べたように, 振幅は  $P2 = C2 > P6$  となった。

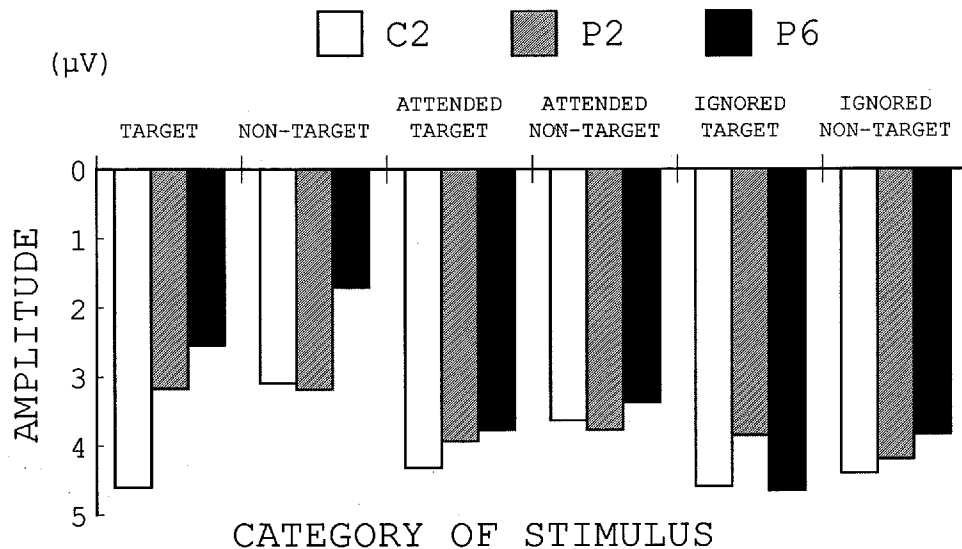


Figure 2.3.13. Mean amplitudes of ERPs in the latency range of 200-240 ms post stimuli for each condition of the stimulus category.

無視色非標的刺激に対する ERP(図には示していない)について区間平均電位に基づく分析を行ったところ, Fz, F3, F4 あたりで, 360-400 ms 区間で, P6 条件の波形が他の 2 条件よりも positive であった。実験 IV の無視色刺激 ERP で見られた後頭部の視覚負荷効果は, 本実験では認められなかった。

**視的探索波のトポグラフィ** 探索課題の性質の違いによる ERP 上の視覚負荷効果を比較するために, 両課題の P6-C2 条件間で差波形を計算し, Figure 2.3.14 に示した。視的探索波の頭皮上分布の違いを視覚的に示すために, Figure 2.3.14 に示す 2 つの差波形の区間平均電位(単純探索課題では 350-450 ms, 複合探索課題では 500-600 ms 区間)に基づいて等電位図(トポグラフィ)を求め, Figure 2.3.15 に示した。単純探索課題(図の左側)では視的探索波が後頭部やや右半球よりで優勢であるの



に対し，複合探索課題(図の右側)では，その分布が中心部優勢に変化したことがわかる。なお，視的探索波の頭皮上分布の違いは，統計的にも確認することができた。トポグラフィ作成に用いた 20 部位の平均電位を規準化(McCarthy & Wood, 1985)した値について，課題(2)×部位(20)の分散分析を行ったところ，交互作用が有意( $F(19, 133)=3.50, \epsilon=0.140, p<.05$ )であった。

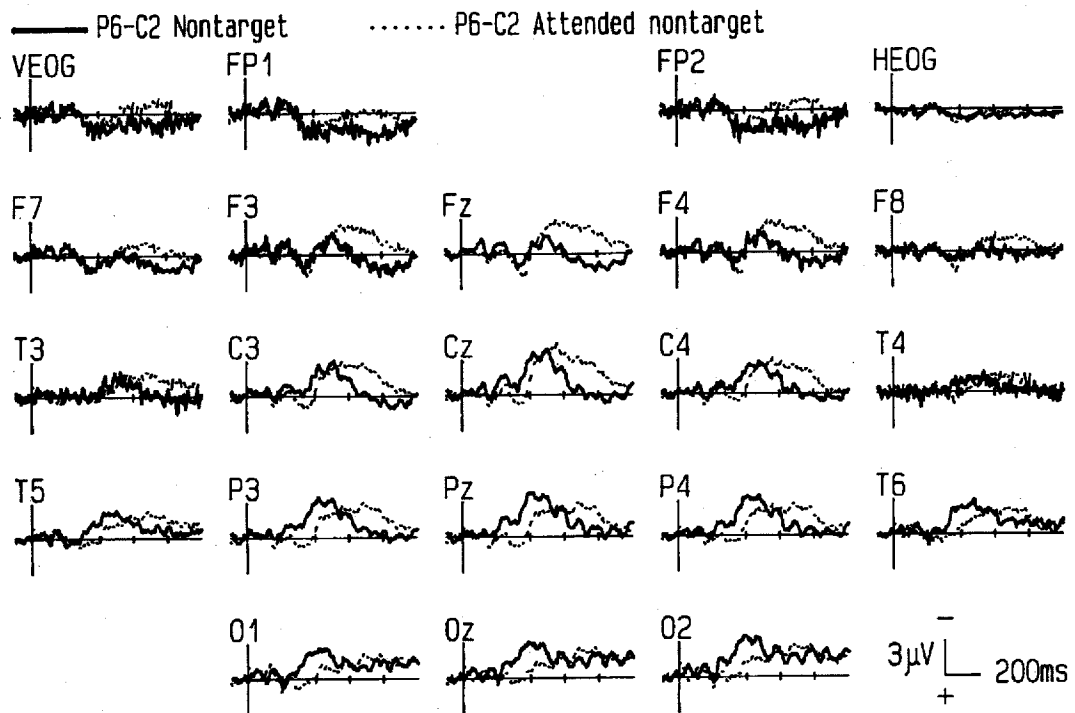


Figure 2.3.14. Difference waves obtained by subtracting C2 non-target ERPs from P6 non-target ERPs in simple search (thick lines), and by subtracting C2 attended non-target ERPs from P6 attended non-target ERPs in search task combined with selection by color (thin lines).

### 考 察

本実験は，実験Ⅱ・Ⅲと実験Ⅳとの比較から推測された，課題の性質による視覚探索波の頭皮上分布の違いを同一被験者で確かめる目的で実施した。Figure 2.3.15 に示されるように，単純探索課題では後頭部・

後部側頭部から頭頂部にかけて優勢であった探索陰性波は、複合探索課題においては中心部から頭頂部にかけて大きく出現するようになった。この変化が視覚探索波に基づくものであり、標的波形に顕著に現れる P3b によるものではないことを示すために、各課題の P6 条件で記録された標的波形の 600-800 ms 区間の平均電位に基づいてトポグラフィを作成し、Figure 2.3.16 に示した。この図を見ると、P3b の分布は、単純探索課題、複合探索課題ともに Pz 優勢で、非常によく似ている。

実験Ⅳの ERP ではわからなかったが、本実験では、前頭前部から前頭部にかけて、負荷が大きいほど ERP が陽性にシフトするという視覚負荷効果が得られた。しかもこの効果は、刺激の種類に関わらず、無視色刺激 ERP においても現れている。このような陽性シフトは、Ruchkin, Canoue, Johnson, & Ritter (1995) も報告しており、課題の種類に関わらず、課題が困難になるにつれて生じる現象であるかもしれない。

また、実験Ⅳとは異なり、本実験では無視色刺激 ERP において、後頭部に於ける視覚負荷効果が観察されなかった。無視色刺激に対するファールス・アラーム率が、実験Ⅳに比べて小さいことから、本実験では、何らかの理由で、色選択過程と視的探索過程が並列的にではなく、系列的に生じていたものと考えられる。前頭部における陽性シフトと、後頭部無視色刺激 ERP における視覚負荷効果については、実験Ⅵで、再度検討する。

本実験の第 2 の目的は、実験Ⅰ-Ⅳでは、視覚負荷効果に混在していた、空間的注意の広さと注意を向ける項目数という 2 つの要因を分離し、それが ERP に及ぼす影響を調べることであった。探索陰性波については C2 条件と P2 条件の間に振幅差は認められず、この波は、空間的注意の範囲にではなく、探索すべき項目数によって変動することが明らかになった。

一方、CAN 波に関する結果は、刺激の種類によって異なっていた。実験Ⅳでは刺激の種類にかかわらず 200 ms 前後から Cz 中心に出現した CAN 波は、本実験では、統計的に出現が確認されたのは、単純探索課題の非標的刺激に対する ERP においてのみであった。同課題の標的刺

激 ERP においても非標的 ERP と同程度の振幅差はあるが、統計的には有意でなく ( $F(2, 14)=3.28, \epsilon=0.686, p<.10$ ), また、標的 ERP では C2 条件と P2/P6 条件間に大きな差があるのに対し、非標的 ERP では C2-P2 条件間に差はなく、それらと P6 条件間に差があるというように、条件差の現れ方も一貫していなかった。

本実験と、実験 II-IV の違いは、最小負荷条件の教示の違いである。前者では凝視点位置にある 1 文字にのみ注目しておけばよかったものが、本実験では、中心視野にあっても 2 文字に注目しなければならなかった。注意を向ける範囲の広さだけでなく、注意を 2 カ所に分散させる、あるいは複数の位置間で移動させるということでも、CAN 波は影響を受けるのかもしれない。それらの要因によって、視覚負荷効果の現れ方が異なってくる可能性がある。空間的注意に関するこれらの要因が ERP に及ぼす影響については、前節で観察した後頭部 N200 や前頭・中心部 N200 とともに、視覚探索課題以外の課題も用いて検討する必要があると思われる。

なお、本実験の反応時間を見ると、P6 条件と C2 条件の反応時間の差は、複合探索課題よりも単純探索課題で大きかった。これは、実験 II・III と実験 IV を比較した場合、後者で負荷効果が大きかったこととは異なる結果である。本実験では、単純探索課題において、テスト刺激の色が課題とは無関連に変化した。被験者にはテスト刺激の色は無視するように教示したが、課題とは無関連な色の変化が、課題の遂行に妨害的に影響したのかもしれない。P3b 潜時でも同様の傾向が現れており、刺激の評価過程が妨害を受けた可能性が高い。

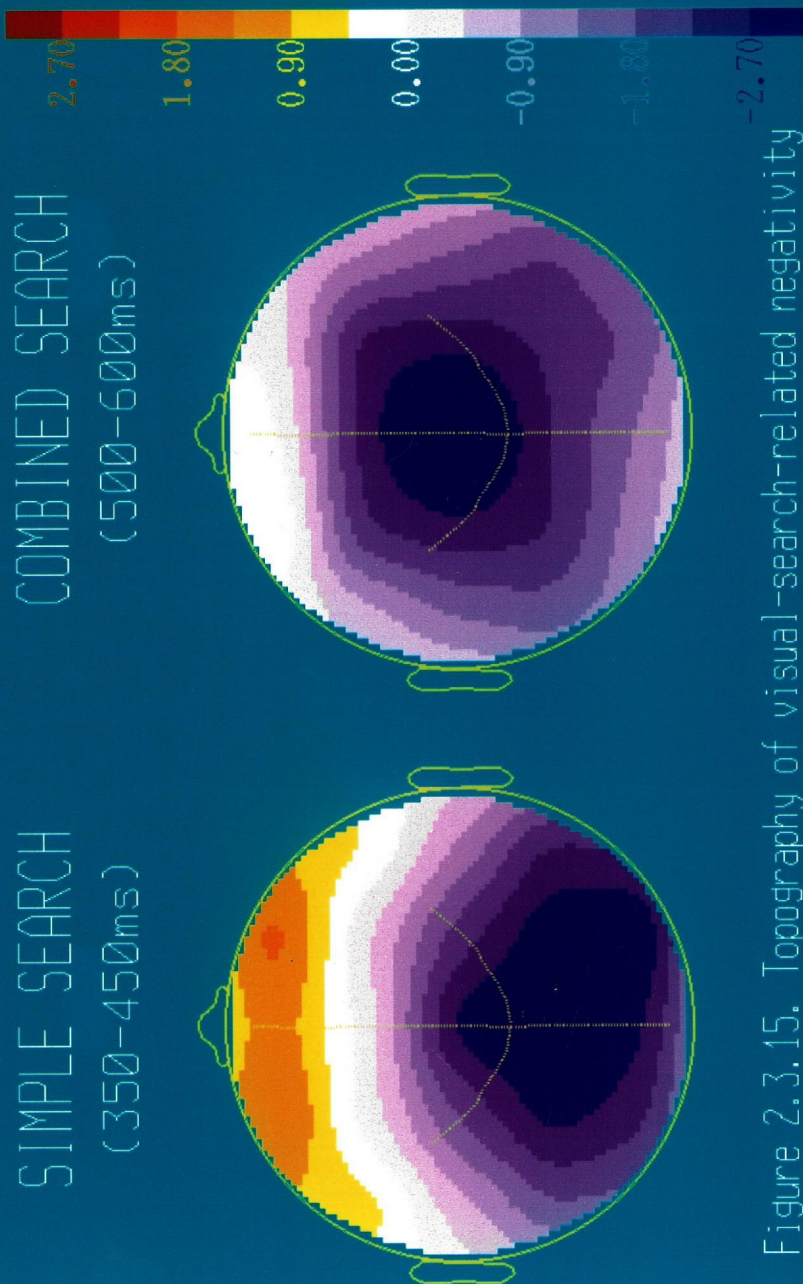


Figure 2.3.15. Topography of visual-search-related negativity in simple search (left panel) and in search task combined with selection by color (right panel).

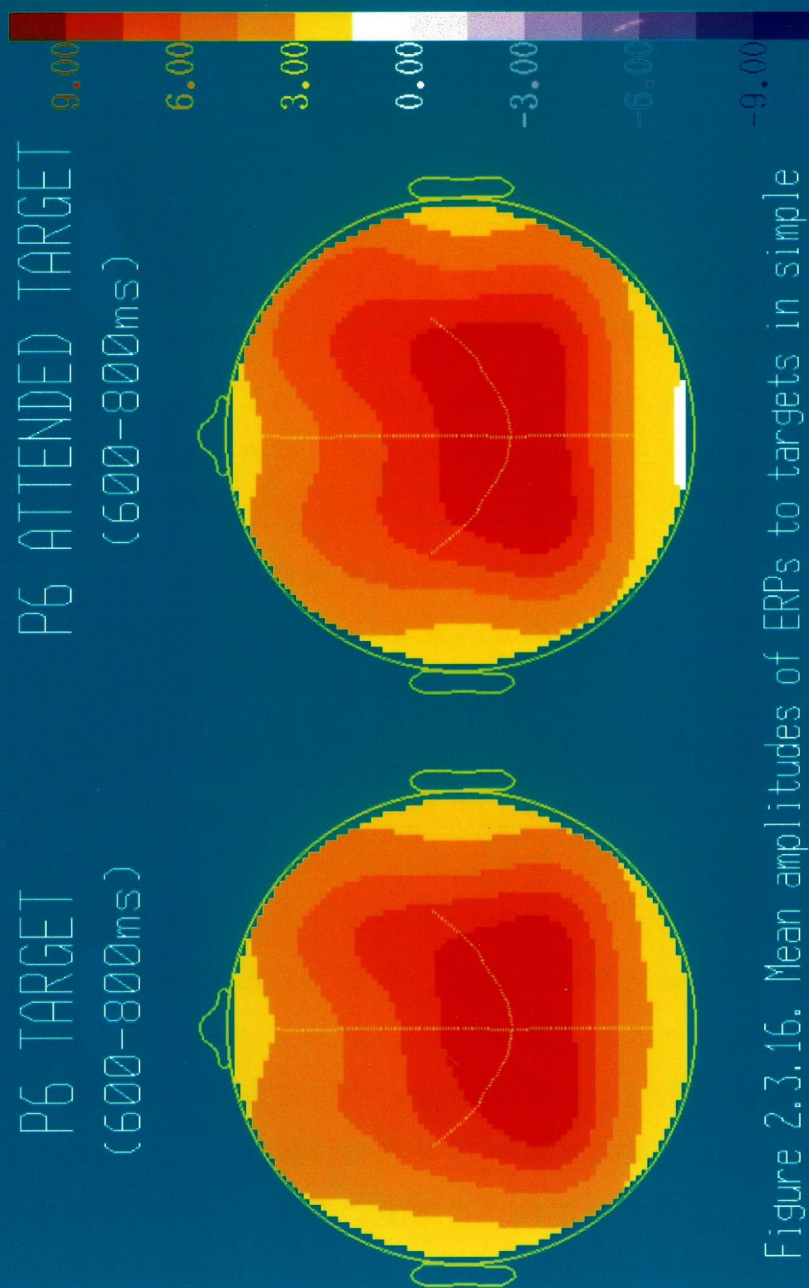


Figure 2.3.16. Mean amplitudes of ERPs to targets in simple search task (left panel) and of ERPs to attended targets in search task combined with selection by color (right panel).



## 実 験 VI

実験 I - Vにおいて、視覚探索課題遂行中に記録される探索陰性波には 2 種類あること、1 つは後頭部・後部側頭部優勢に分布する視的探索波、もう一つは、中心部優勢に出現する記憶探索波であること、色に基づく選択課題を同時に遂行することによって、視的探索波の分布が、記憶探索波と類似することが示された。これら 2 種類の探索陰性波が、どのような心的過程を反映しているのかを考察する前に、次の 2 点について確認しておきたい。

まず、視的探索波の分布変化については、同一被験者内での比較を行ったが、記憶探索波の頭皮上分布については文献的に検討したのみで、直接の比較は行っていない。そこで実験 VI では、視覚探索課題における視覚負荷と記憶負荷、および探索課題の性質のすべてを組み合わせ条件を同一の被験者に実施し、記憶探索波の詳細な頭皮上分布と、課題の性質がその頭皮上分布に及ぼす影響を調べることを第 1 の目的とした。また、視的探索波に関する実験 V の結果の再現性についても検討した。

第 2 に、実験 VI では、刺激の配列の仕方を実験 I - V から変更した。本研究を開始するに当たり、Okita et al. (1985) と Ritter et al. (1988) の実験操作を比較し、両者を組み合わせてそれぞれの効果を比較することから始めた。その際、刺激としては Ritter et al. (1988) のものを採用した。この刺激配列を用いたことによって、空間的注意に関連すると思われる CAN 波に関する知見が得られるという成果はあった。しかし、実験 V で指摘したように、この操作方法は、注意の範囲、分割、移動など、注意のさまざまな側面を同時に変更してしまうという欠点があり、実験事態によっては、それらが一貫した効果を示さない場合もあった。そこで実験 VI では、刺激の配列を Okita et al. (1985) が採用した方法に変え、刺激の配列が異なる場合でも、実験 IV・V と同様の視覚負荷効果が得られるかどうかを検討することを目的とした。

## 方 法

被験者 視力(矯正視力を含む)の正常な右手利きの成人 16 名(21-28 歳、

男性 10 名，女性 6 名)を被験者とした。

**刺激と装置** 刺激として，凝視点(視角で 0.36 度×0.36 度の+印)を中心とする一辺約 2.8 度の仮想的正方形の四隅(凝視点からの距離は約 2 度)に実験Ⅱ－Ⅴで用いたのと同じアルファベット，または小さな正方形を配置したものを刺激とした。アルファベットおよび正方形の大きさは 0.7 度×0.7 度であった。テスト刺激の呈示時間は 300 ms，SOA を 1 700-2 000 ms でランダムとして，1 実験系列あたり 100 または 200 刺激を連続して呈示した。

使用した装置は，実験Ⅴと同じであった。

**課題と条件** 単純探索課題と複合探索課題を実施した。単純探索課題では，テスト刺激を白色で呈示した。複合探索課題は，実験Ⅳで実施した課題とほぼ同じであった。各課題において，視覚負荷について 2 水準(P2, P4)，記憶負荷について 2 水準(M1, M4)を組み合わせた 4 条件を設定した。P2 条件ではテスト刺激として正方形の左上隅と右下隅(あるいは右上隅と左下隅)にアルファベット，右上隅と左下隅(あるいは左上隅と右下隅)に正方形を呈示した。被験者にはあらかじめ文字の出る位置について教示し，一つの実験系列中では常に同じ位置に文字が出現した。P4 条件では正方形の四隅すべてに文字が呈示された。記憶負荷は標的文字の数で操作した。被験者の課題は，テスト刺激に標的が含まれる場合に，キーを押して反応することであった。

**手続き** 単純探索課題について 8 系列(視覚負荷と記憶負荷を組み合わせた 4 条件それぞれ 2 系列ずつ)，複合探索課題について同じく 8 系列を実施した。単純探索課題では 1 系列を 100 試行，複合探索課題では 200 試行で構成した。P2 条件では，文字の出る対角線が異なる 2 条件を各 1 系列ずつ実施した。標的の呈示確率は 20%(単純探索課題)，注目色標的刺激の呈示確率は 10%(複合探索課題)であった。

被験者の半数では注目色が緑，残る半数では赤であった。また被験者の半数はキー押し反応を右手で，残る半数は左手で行った。課題の実施順序は，課題に関する条件，負荷の組み合わせに関する条件を含めてランダムとした。

**脳波の記録と分析** 実験Vと異なる点は以下の通りである。まず、脳波の導出部位として Fpz を追加した。また、基準電極として右耳朶を用いた。左耳朶からも脳波と同様に電位変化を記録し、両耳朶連結を基準とした場合の脳波電位をオフラインで計算した。垂直 EOG は、右眼窩上下においた電極で記録した。帯域通過周波数は、0.05-30 Hz とした。

各被験者の各部位の ERP を、単純探索課題においては、刺激の種類(標的・非標的)×視覚負荷×記憶負荷の 8 条件、複合探索課題においては刺激の種類(注意色標的・注意色非標的・無視色標的・無視色非標的)×視覚負荷×記憶負荷の 16 条件別に加算平均して求めた。加算時のアーチファクト検出基準は、 $\pm 50 \mu\text{V}$ (水平 EOG では $\pm 20 \mu\text{V}$ )とした。加算区間は刺激の種類に関わらず、刺激前 100 ms から刺激後 1 000 ms の区間とした。

なお、脳波データについては、加算回数の少ない被験者のデータを除外し、標的波形については 9 名、非標的波形については 12 名のデータについて分析した。

## 結 果

**反応時間および誤答率** 単純探索課題における標的刺激、および複合探索課題における注目色標的刺激に対する正反応時間と誤答率(ミスとフォールス・アラーム)の平均値を Table 2.3.5 に示した。反応時間について、課題(2)×視覚負荷(2)×記憶負荷(2)の分散分析を行った。その結果、課題の主効果が有意( $F(1, 15)=32.90, p<.001$ )であり、単純探索課題よりも複合探索課題の反応時間が長かった。さらに、視覚負荷( $F(1, 15)=44.24, p<.001$ )と記憶負荷( $F(1, 15)=206.13, p<.001$ )の主効果と、視覚負荷×記憶負荷の交互作用が有意( $F(1, 15)=6.80, p<.05$ )であった。記憶負荷条件に関わらず、P4 条件の反応時間が P2 条件よりも長かったが、その程度は記憶負荷が大きいほど大きかった。また視覚負荷条件に関わらず、M4 条件の反応時間が M1 条件よりも長かったが、その程度は視覚負荷が大きいほど大きかった。

ミス率を開平変換した値について同様の分析をした結果、視覚負荷( $F(1, 15)=43.07, p<.001$ )と記憶負荷( $F(1, 15)=112.34, p<.001$ )の主効果と、視覚



負荷×記憶負荷の交互作用が有意( $F(1, 15)=29.73, p<.001$ )であった。視覚負荷効果は M4 条件でのみ有意であり, P4 条件のミスが P2 条件よりも多かった。記憶負荷の効果は視覚負荷条件に関わらず有意であり, M4 条件のミスが M1 条件よりも多かった。

単純探索課題の非標的刺激と複合探索課題の注目色非標的刺激に対するフォールス・アラーム率を開平変換した値について同様の分析を行った結果, 記憶負荷( $F(1, 15)=29.39, p<.001$ )の主効果と, 視覚負荷×記憶負荷の交互作用が有意( $F(1, 15)=12.01, p<.01$ )であった。視覚負荷効果は M4 条件でのみ有意であり, フォールス・アラーム率は P4 条件で 2 条件よりも高かった。記憶負荷の効果は視覚負荷条件に関わらず有意であり, M4 条件の誤反応が M1 条件よりも多かった。

**Table 2.3.5**  
*Performance Data in Experiment VI as a Function of Task, Display Load, and Memory Load*

Task	Display Load	Memory Load	Reaction Time in m	Miss Percent	False Alarm Percent
Simple Search	P2	M1	508.9 (66.3)	2.97 (4.00)	0.43 (0.55)
		M4	648.4 (56.5)	9.22 (7.17)	1.02 (1.04)
Combined Search	P4	M1	526.8 (52.8)	3.13 (4.03)	0.67 (1.28)
		M4	745.8 (105.1)	25.31 (12.51)	1.70 (1.37)
	P2	M1	538.4 (62.1)	2.50 (4.28)	0.35 (0.46)
		M4	712.2 (84.3)	7.97 (8.23)	0.94 (1.28)
	P4	M1	586.2 (72.1)	4.38 (6.80)	0.39 (0.68)
		M4	772.6 (57.5)	23.75 (11.29)	1.81 (1.60)

*Note.* Values enclosed in parentheses represent SDs.

無視色標的刺激に対するフォールス・アラーム率は M1P2 (1.09%), M4P2 (0.63%), M1P4=M4P4 (0.31%)の順に大きかった。ただし統計的検定は行っていない。また, 無視色非標的刺激に対するフォールス・アラーム率はすべての負荷条件で 0.1%以下であった。

標的刺激に対する ERP Figure 2.3.17 に, Pz で記録された, 単純探索課題の標的刺激と, 複合探索課題における注目色標準刺激に対する ERP を示した。視覚負荷および記憶負荷に関する 4 条件を重ね書きしてある。

Pz 波形の刺激呈示後 300-1 000 ms 区間における最大陽性電位点を P3b

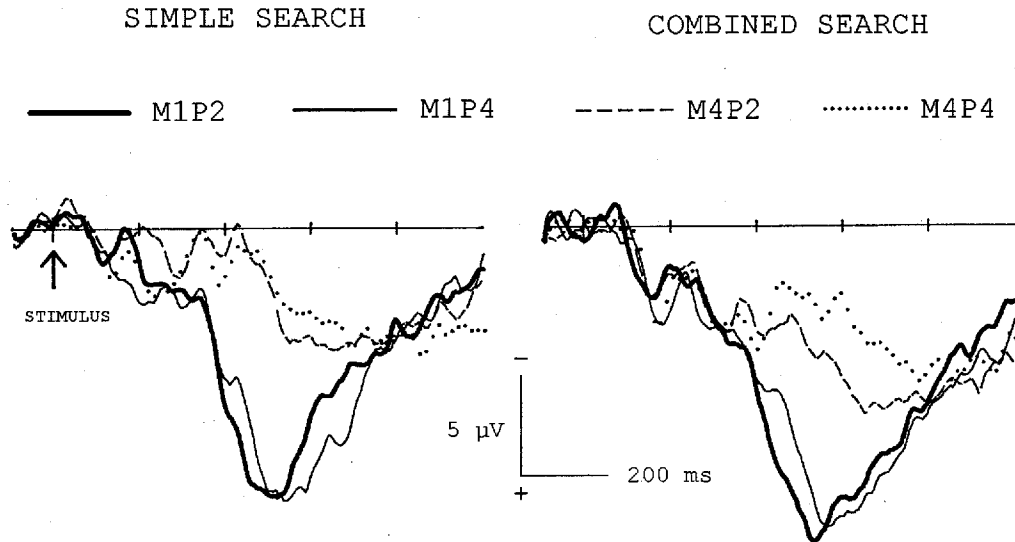


Figure 2.3.17. Grand average ERPs at Pz to targets in simple search task (left panel) and to attended targets in search task combined with selection by color (right panel) in Experiment VI. ERPs for four display/memory load conditions are superimposed in each panel.

頂点と定め、その潜時と振幅を条件別に求めて Table 2.3.6 に示した。潜時について課題(2)×記憶負荷(2)×視覚負荷(2)の分散分析を行った結果、課題の主効果のみが有意( $F(1, 8)=5.09, p<.05$ )が有意であり、P3b 潜時は、単純探索課題よりも複合探索課題で長かった。振幅について同様の分析を行った結果、記憶負荷の主効果のみが有意( $F(1, 8)=17.09, p<.01$ )がであり、P3b 振幅は、M4 条件より M1 条件で大きかった。

単純探索課題の非標的刺激に対する ERP Figure 2.3.18 に、単純探索課題における非標的刺激 ERP を示す。紺色の線が M1P2 条件、赤が M1P4、紫が M4P2、水色が M4P4 条件の波形をそれぞれ表す。刺激呈示後 40 ms ごとに求めた部位別区間平均電位について行った視覚負荷×記憶負荷の分

Table 2.3.6

*The Peak Amplitudes and Latencies of Target-P3b at Pz in Experiment VI  
as a Function of Task, Display Load, and Memory Load*

Task	Display Load	Memory Load	Amplitude in micro V		Latency in ms	
Simple Search	P2	M1	15.44	(4.26)	492.8	(75.3)
		M4	12.09	(2.19)	454.4	(72.8)
Combined Search	P4	M1	15.86	(3.81)	537.2	(102.1)
		M4	11.72	(0.81)	562.8	(204.4)
	P2	M1	17.16	(4.03)	518.3	(59.7)
		M4	12.92	(2.21)	562.2	(179.2)
	P4	M1	16.93	(4.53)	575.6	(100.3)
		M4	11.63	(0.66)	588.9	(208.2)

*Note.* Values enclosed in parentheses represent *SD*s.

散分析に基づいて、視覚負荷および記憶負荷効果の現れ方を示すと次のようになった。負荷にともなって ERP が陰性方向にシフトするという視覚負荷効果が得られた部位は、後頭部(O1, Oz, O2), 後部側頭部(T5, T6), 頭頂部(P3, Pz, P4)に限られ、いずれの部位でも刺激呈示後 240 ms あたりから効果が現れ始め、分析区間が終了するまで効果は持続していた。前頭前部(Fp1, Fpz, Fp2)では、680- 1000 ms の区間で、視覚負荷の大きい条件の ERP が、負荷の小さい条件に比べて、より陽性方向にシフトしていた。これらの視覚効果は、M1 条件(P2M1 vs. P4M1)よりも M4 条件(P2M4 vs. P4M4)で大きく現れていた。Cz においては、実験 II-V で CAN 波が出現した 200-280 ms 区間も含めて、有意な視覚負荷効果は認められなかった。

記憶負荷効果は、刺激呈示後約 320 ms 頃から前頭側部(F7, F8)を除くほとんどの部位で得られ、後頭部、後部側頭部では分析区間終了まで、中心部では刺激後 760 ms あたりまで持続した。記憶負荷が大きい条件で、ERP はより陰性であった。前頭前部から前頭側部では、280-320 ms の区間で記憶負荷の大きい波形がより陽性となった。視覚負荷効果については P4M4-P2M4, 記憶負荷効果については P4M4-P4M1 条件間の差波形を求めた。それらの差波形の潜時 350-650 ms 区間の平均電位に基づいて視的探索波および記憶探索波のトポグラフィを描き、Figure 2.3.21 の左側に示した。

複合探索課題の非標的刺激に対する ERP Figure 2.3.19 に、複合探索課題における注目色非標的に対する ERP を示した。負荷条件と波形の色の対応は、Figure 2.3.18 と同様である。この図を見ると、P4M4 条件と他の 3 条件の波形の関係が、部位によって異なることがわかる。前頭前部では、刺激後 320-560 ms 区間で P4M4 波形は他の波形に比べて、より陽性である(360-600 ms 区間で有意な記憶負荷効果、360-520 ms 区間で有意な視覚負荷効果)。前頭部では、400 ms あたりまではその傾向があるが、その後 M4P4 波形が他の波形に比べて陰性となっている。負荷が大きいほど波形が陰性であるという視覚負荷効果は、後頭部で 320-360 ms 区間、中心部・頭頂部で 520-840 ms 区間、前頭部(Fz のみ)では 760-840 ms 区間で認められた。また、負荷が大きいほど波形が陰性であるという記憶負荷効果は、後頭部で 520-760 ms、中心部では 320-800 ms、前頭部(前頭側部を含む)では 400-600 ms の区間で有意であった。単純探索課題の場合と同様の方法で、複合探索課題における視的探索波と記憶探索波のトポグラフィを作成し、Figure 2.3.21 の右側に示した。ただし、平均電位を求めた区間は、刺激呈示後 450-750 ms とした。

無視色非標的刺激に対する ERP を Figure 2.3.20 に示した。中心部から前頭前部にかけて、条件間で波形に差があり、前頭前部では刺激呈示後 350-700 ms 区間で M1P2 条件の波形が他の 3 条件に比べてより陰性である。前頭部では、4 条件の波形が少しずつ異なり、刺激呈示後 400 ms あたりでは、より陽性な順に M4P4, M4P2, M1P4, M1P2 条件となっている。統計的には、前頭前部では 360-600 ms 区間、前頭部・中心部では 280-800 ms 区間で記憶負荷の主効果が得られた。視覚負荷効果については得られた部位、区間ともに記憶負荷効果よりも範囲が狭かった。後頭部(O2, Oz)では、320-360 ms 区間で視覚負荷の主効果が、520-720 ms 区間では記憶負荷の主効果が見られた。

## 考 察

本実験の視覚負荷効果(複合探索課題の P2M4 条件と P4M4 条件の差が 60.4 ms)は、記憶負荷効果(同じく P4M1 条件と P4M4 条件の差が 186.4 ms)

や実験Ⅳ・Ⅴ（それぞれ 234.7 ms, 102.6 ms）における視覚負荷効果に比べて小さかった。実験Ⅵで記録した ERP において、全体的に視覚負荷効果が小さかったのは、本実験で採用した刺激配置による視覚負荷の操作が、実験Ⅰ－Ⅴと異なったためであろう。また、実験Ⅴで観察された、困難な課題での前頭部 ERP の陽性シフトは、本実験でも明瞭に観察された。この効果は、探索陰性波に現れる負荷効果とは、効果の方向が逆になるため、本実験では ERP 上の 2 通りの負荷効果がお互いに相殺しあい、特に前頭部においては、探索陰性波の現れ方が小さくなっている可能性がある。以上のことを考慮した上で、視的探索波と記憶探索波の分布について検討した結果、以下のようなことがわかった。

**視的探索波のトポグラフィ** 単純探索課題における視的探索波のトポグラフィ (Figure 2.3.21 の左上) を実験Ⅴ (Figure 2.3.15 の左側) と比較すると、振幅そのものは実験Ⅴに比べて小さいが、後頭部優勢でやや右半球優位な分布はよく一致している。複合探索課題では、実験Ⅴと同様 Cz 最大に分布しているが、右頭頂あたりにも優勢な分布をしている。この原因を調べるために、Figure 2.3.21 と同様の図を各被験者ごとに描き、被験者間で比較してみた。その結果、複合探索課題における視的探索波の分布が単純探索課題と異なるかどうかで、被験者間に違いがあることがわかった。被験者 12 名が、実験者の判断により、明らかに分布が変化しているもの 4 名 (タイプⅠ)、ほとんど変化が見られないもの 4 名 (タイプⅡ)、図を一瞥しただけでは判断しにくいもの 4 名 (タイプⅢ) に分かれた。タイプⅠとタイプⅡのそれぞれで総加算平均波形を求め、視的探索波と記憶探索波の分布を描いたのが Figure 2.3.22 (タイプⅠ) と Figure 2.3.23 (タイプⅡ) である。

本実験では、探索課題の性質が視覚探索波の頭皮上分布に及ぼす影響の仕方に、個人差があることがわかった。実験Ⅴの結果についてもこのような個人差が見られるかどうかを調べるため、実験Ⅴのデータについて再分析を行ったところ、被験者 8 名中 5 名が明瞭な視的探索波の分布の変化を示し (Figure 2.3.24)、2 名は顕著な差を示さなかった (Figure 2.3.25)。この結果は、視覚探索波の個人差が比較的安定して得られる現象であることを示している。

記憶探索波のトポグラフィ 記憶探索波については、課題や個人によって、振幅には違いがあるが、その分布については一貫しており、はっきりとした個人差は認められなかった。

なお、実験Vでは、単純探索課題における視覚負荷効果の方が複合探索課題におけるよりも大きかった。この原因を、単純探索課題で刺激の色を課題と無関連に変化させたためであると考え、実験VIでは単純探索課題では文字を常に白色で呈示した。本実験の反応時間を見ると、記憶負荷条件をこみにした P4-P2 条件間の比較で、単純探索課題で 57.7 ms、複合探索課題で 54.1 ms と、差はほとんどなくなった。無視色 ERP にほとんど探索陰性波が出現していないことから、視的探索は色による初期選択後終了後に行われたと推測できる。そのために、反応時間は全体的に長くなったが、視覚負荷の効果は変わらない、という結果になったのかも知れない。また、本実験では反応の記録を刺激呈示後 1 200 ms で打ち切ったため、複合探索課題の M4P4 条件では、その範囲に収まらない正反応が誤反応と見なされてしまい、本来の反応分布の内、比較的早いほうの反応だけが正反応として処理されたために、反応時間が実際よりも短く評価されてしまったのかも知れない。

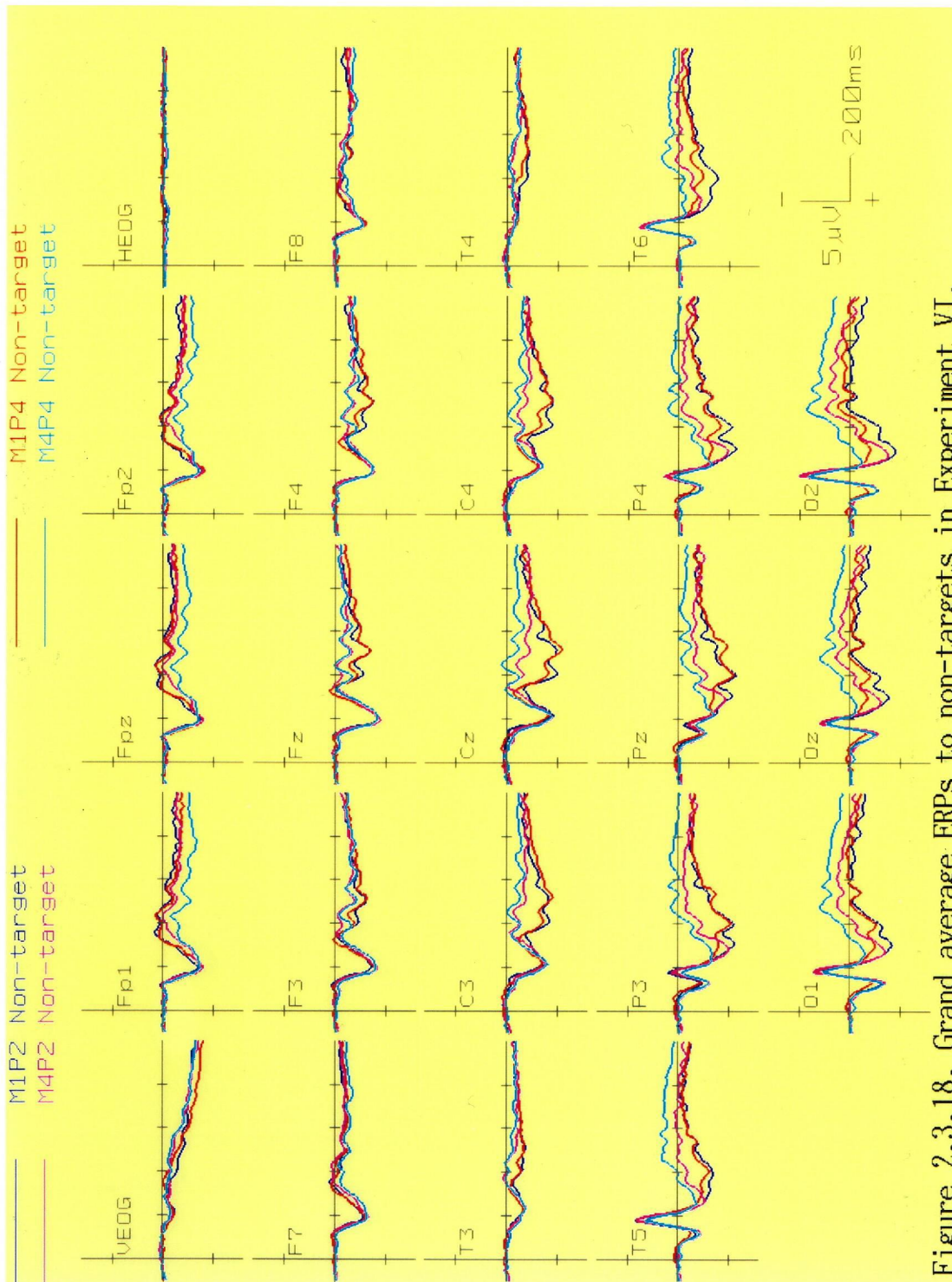


Figure 2.3.18. Grand average ERPs to non-targets in Experiment VI.

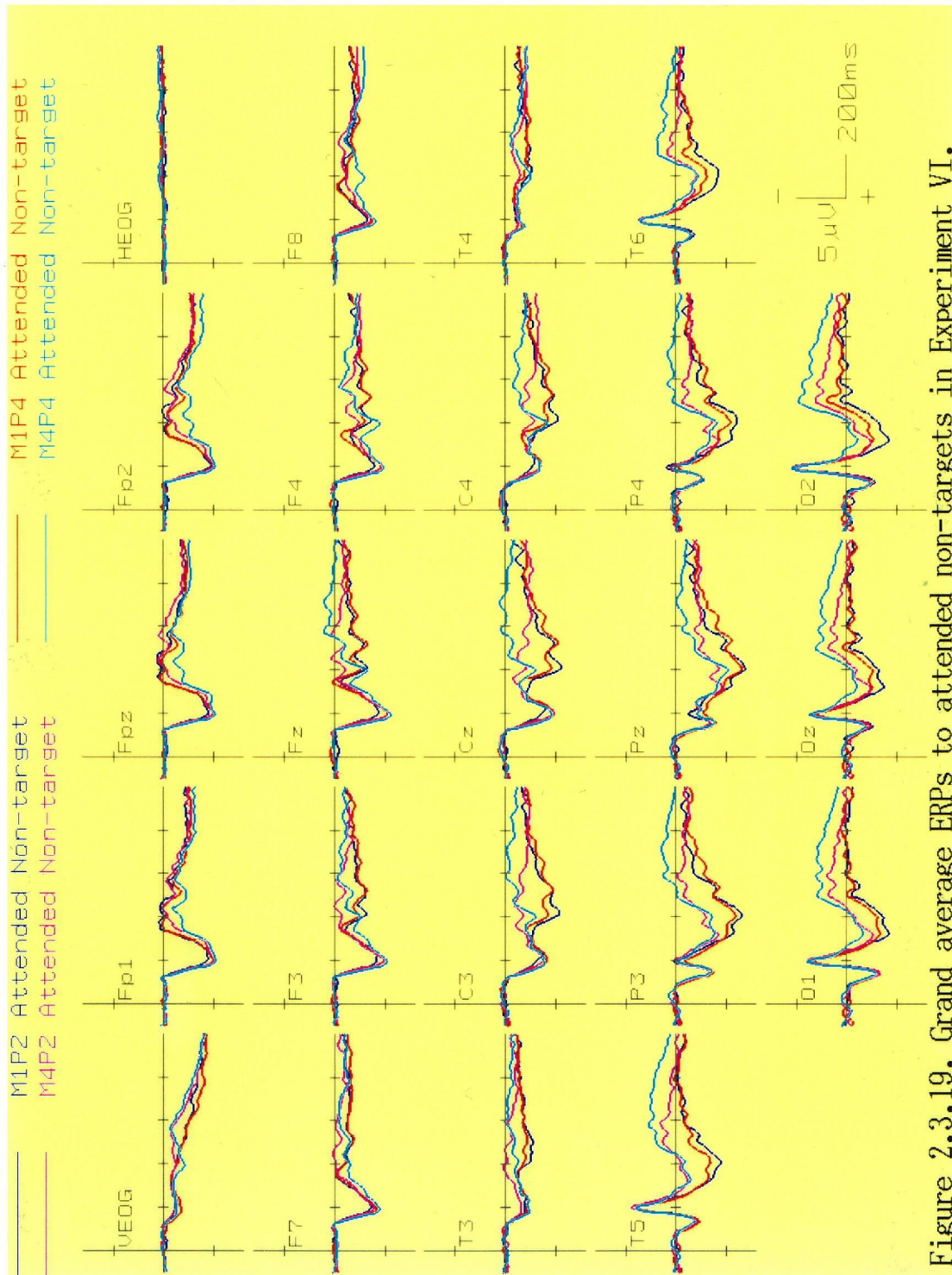


Figure 2.3.19. Grand average ERPs to attended non-targets in Experiment VI.



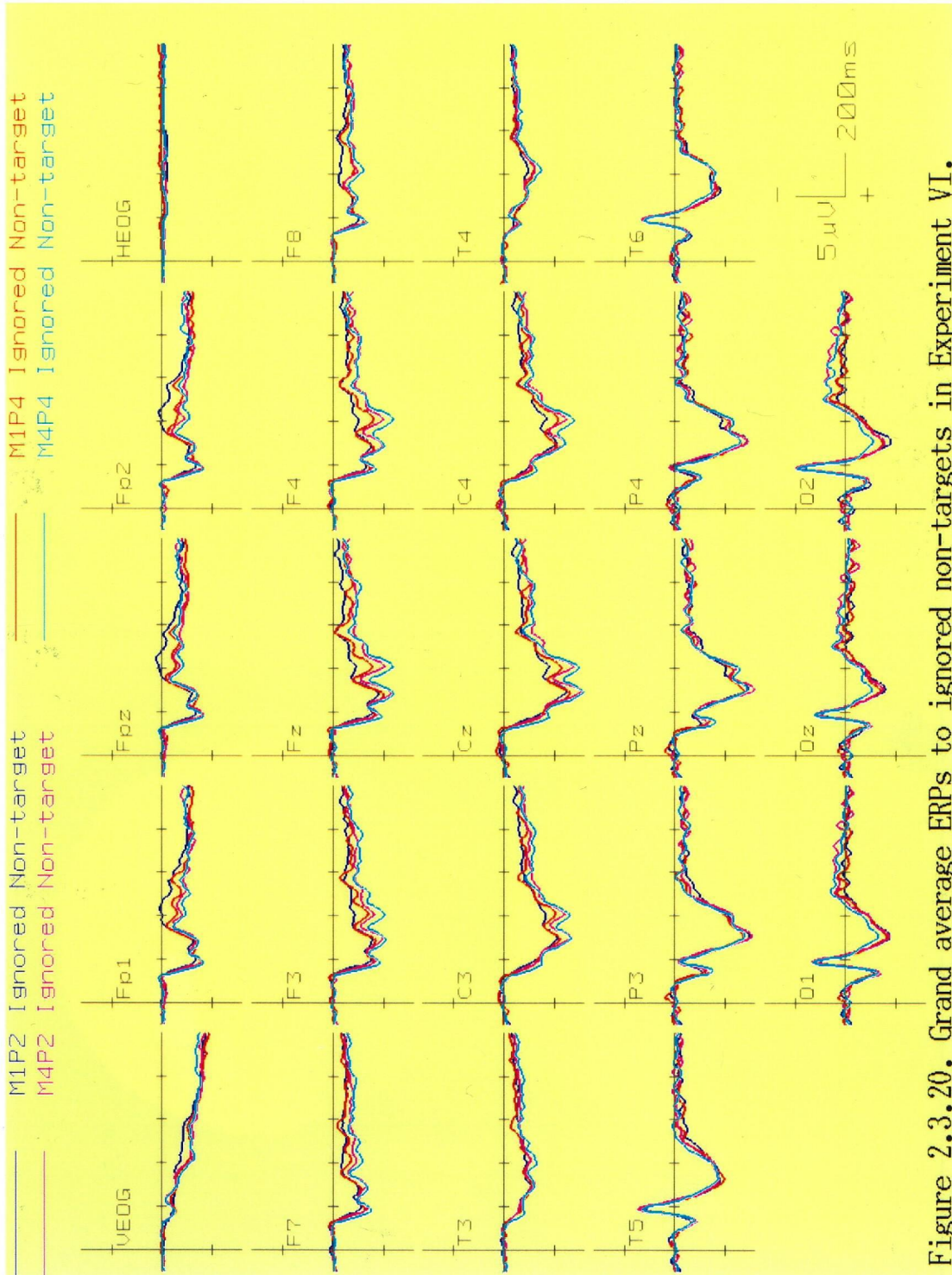


Figure 2.3.20. Grand average ERPs to ignored non-targets in Experiment VI.

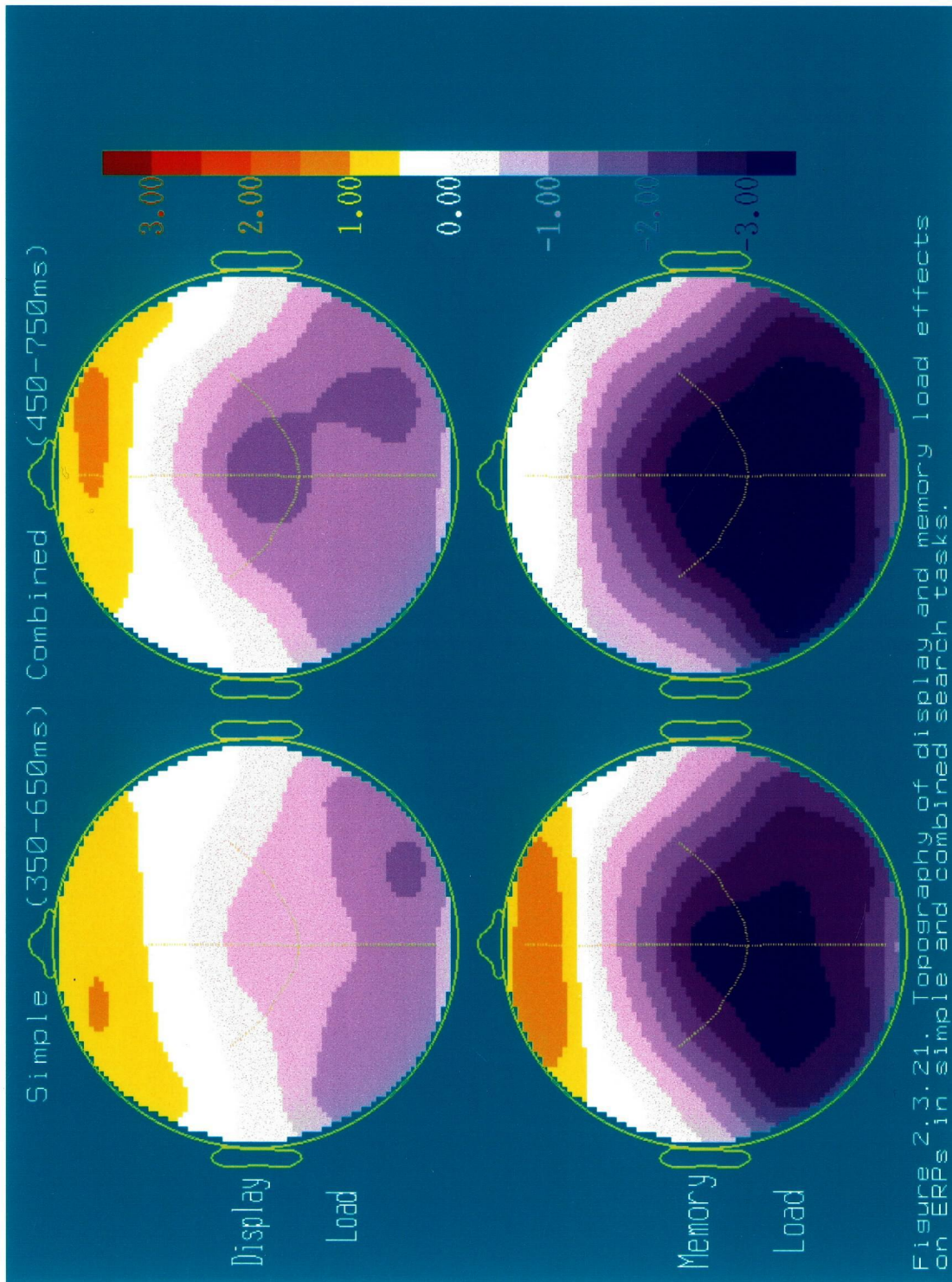


Figure 2.3.21. Topography of display and memory load effects on ERPs in simple and combined search tasks.



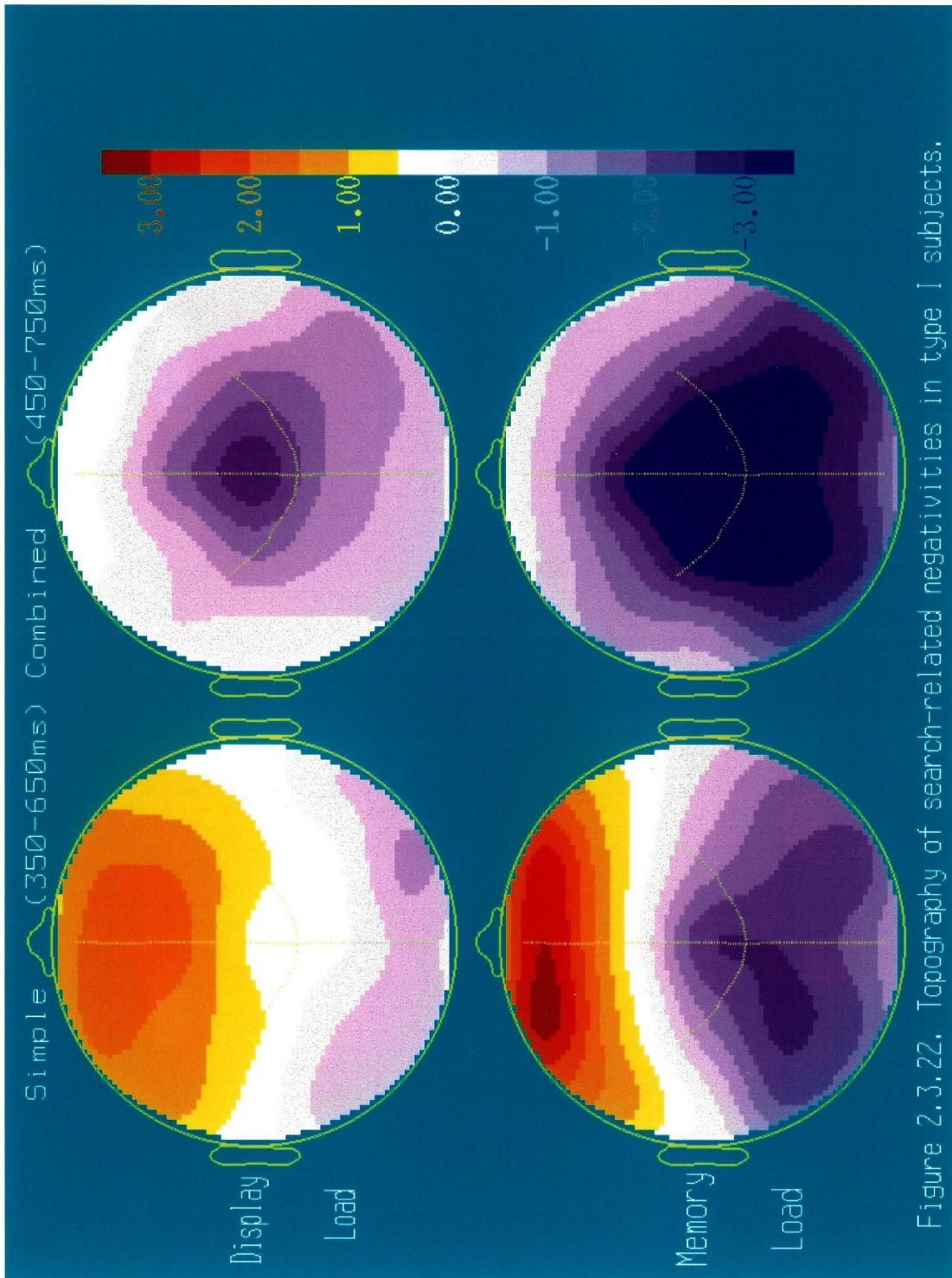


Figure 2.3.22. Topography of search-related negativities in type I subjects.

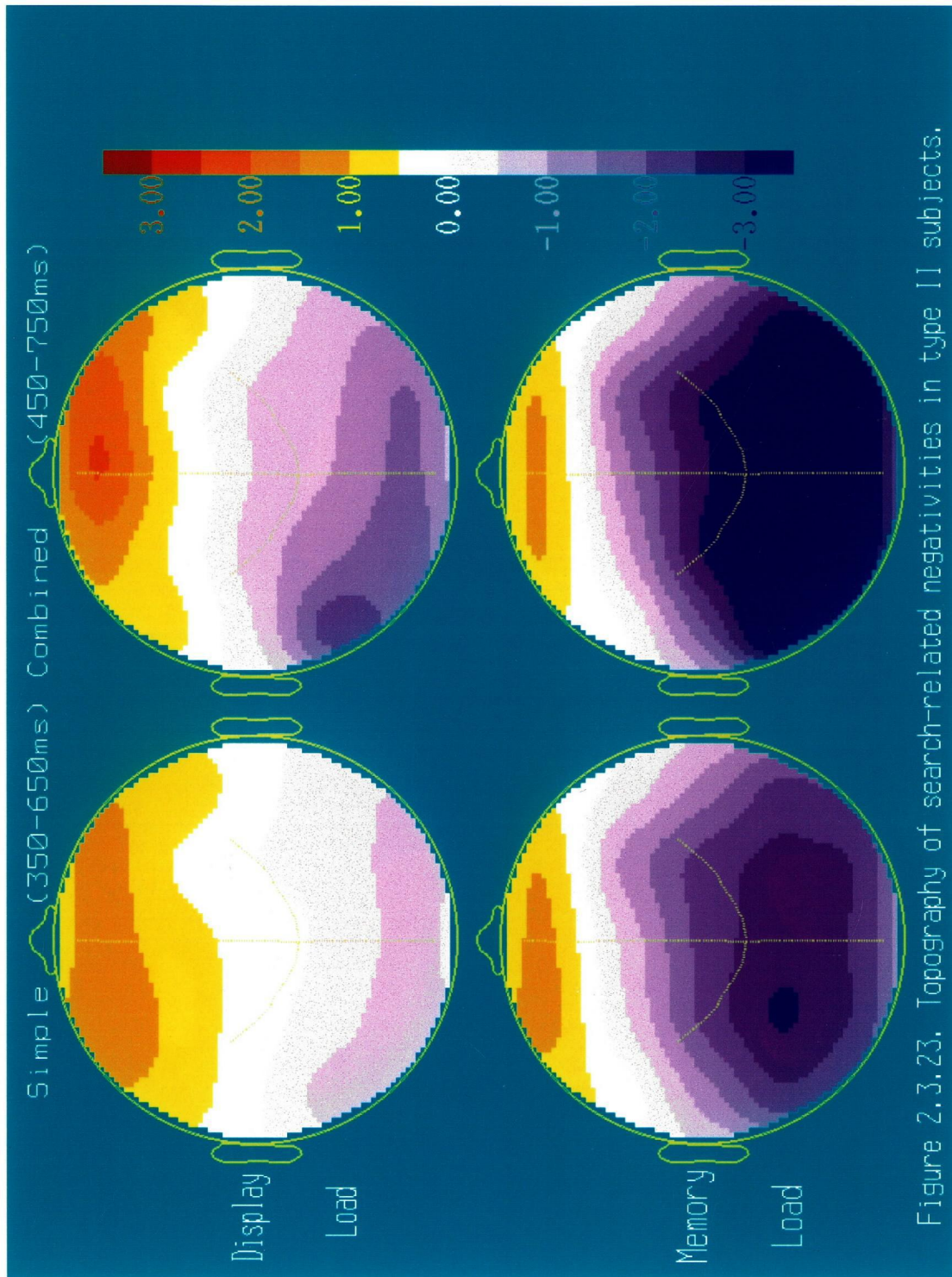
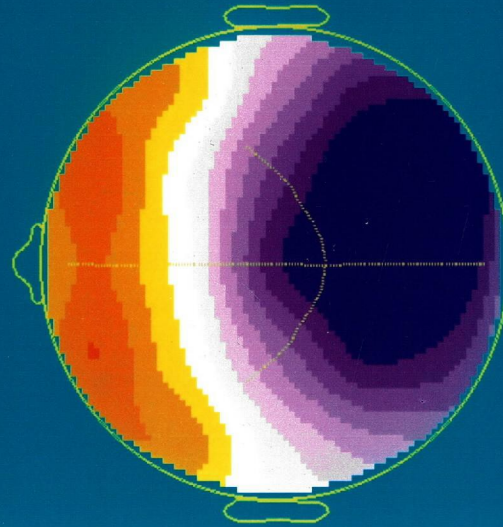


Figure 2.3.23. Topography of search-related negativities in type II subjects.



Simple Search  
(350-450ms)



Combined Search  
(500-600ms)

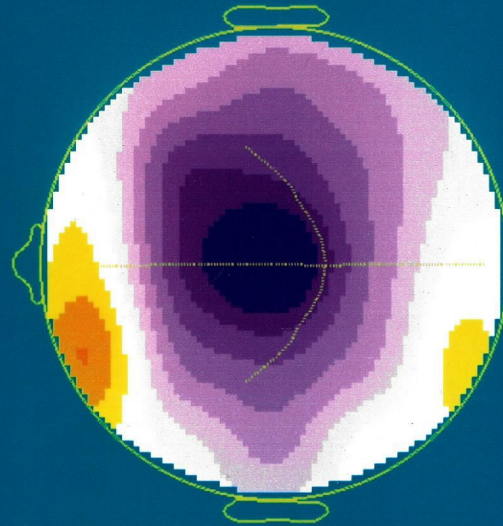


Figure 2.3.24. Topography of visual-search-related negativities for type I subjects in Experiment V.

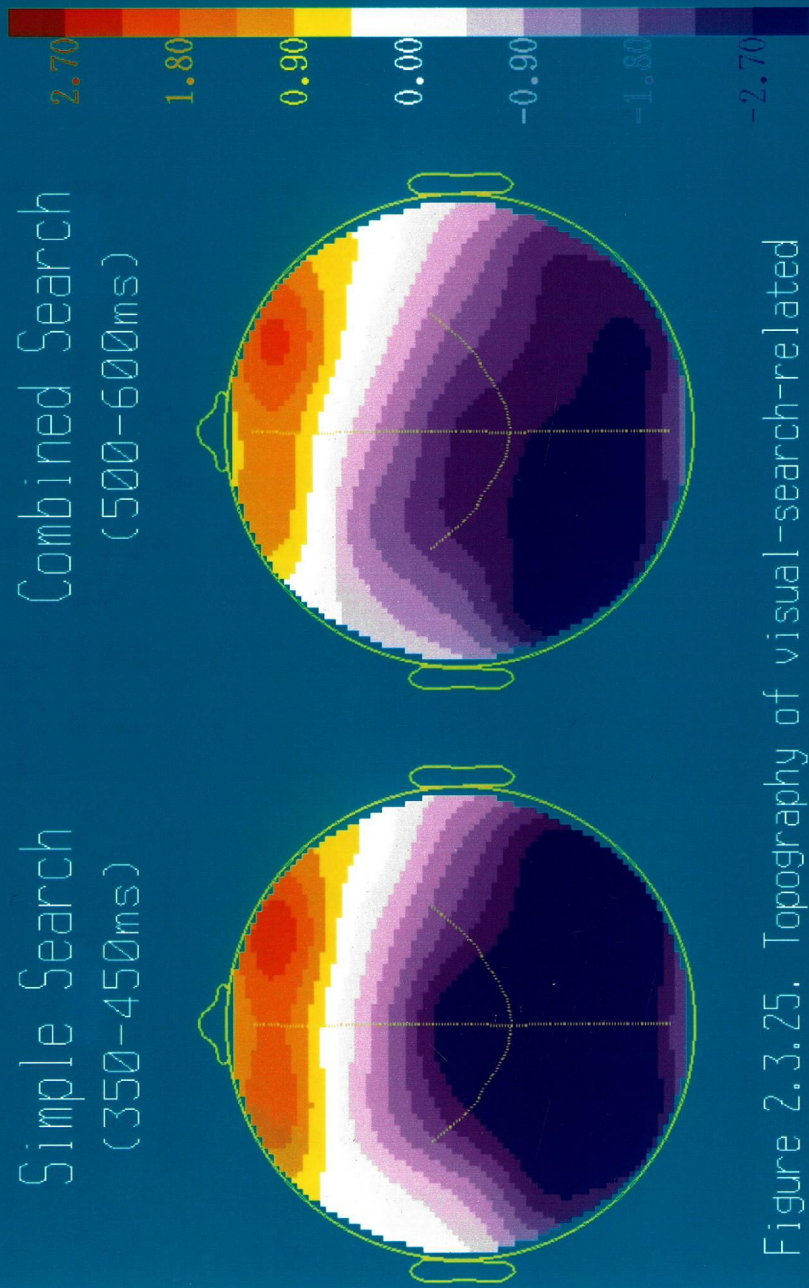


Figure 2.3.25. Topography of visual-search-related negativities for type II subjects in Experiment V.

## 第3章 総合考察

### 第1節 本研究の成果と意義

本研究では、人間の認知過程を反映する測度の一つである ERP を用いて、視覚探索を支える脳内メカニズムについて検討した。視覚探索課題を遂行中の成人被験者の頭皮上から ERP を記録し、課題の視覚負荷と記憶負荷の操作にともなう電位変化を観察した。その結果、視覚探索に関与する処理系を反映すると考えられる 3 種類の陰性波を観察することができた。

第1に、刺激呈示後 200-240 ms 前後から頭部中心部にかなり限局的に出現する陰性波(空間的注意関連陰性波, CAN 波)を記録した。CAN 波は、注意を向ける範囲が広がるほど振幅が大きくなった(実験 I-IV)。実験 I-III の結果の比較から、探索の自動化が進むにつれて、CAN 波の振幅が小さくなる可能性が示唆された。ただし、これは、同じ被験者の制御的探索段階と自動的検出段階のデータを比較して確かめられたわけではない。藤本・宮谷・岡・桐木(1997)は、本研究における単純探索課題と同じ課題で、標的として常に同じアルファベット 2 文字を用い、練習の進行に伴う CAN 波の振幅変化を調べたが、2 000 試行程度の練習では、有意な振幅減少は見られなかった。

また、この波は、刺激が注目色であるかないかに関わらず出現した(実験 IV)ことから、色に基づく初期選択が行われるよりも前の過程を反映すると考えられる。しかし、実験 V では、視覚負荷を同じように変化させても、刺激の種類によっては CAN 波が現れない場合もあった。したがって、CAN 波が脳内のどのような処理系を反映するのかを推測するためには、その出現条件をさらに明確にする必要がある。

第2に、視覚負荷の増減によって振幅が変動する陰性波(視的探索波)を記録した。視的探索波は、単純な文字探索課題では、刺激呈示後約 300 ms 以降に後頭部から後部側頭部・頭頂部にかけて出現した(実験 I-III)が、自動的検出が行われるようになった段階では現れなくなった(実験

III)。色による選択と組み合わせた複合探索課題では、注目色刺激に対する ERP で大きく現れた。単純探索課題の場合と異なり、中心部や前頭部にも出現し、出現潜時は単純探索課題よりも 100 ms 程度遅れて刺激後約 400 ms 以降であった。実験 V では、その出現がさらに遅延した。さらに、視的探索波は、部位が限られ、持続時間も短い、無視色刺激に対する ERP にも出現した(実験 IV)。

第 3 に、記憶負荷にともなって振幅が増大する陰性波(記憶探索波)を記録した。記憶探索波は、単純探索課題では刺激呈示後約 300 ms 以降に、中心部から前頭部に優勢に出現した(実験 I, II)。視的探索波と同様、色選択と組み合わせた複合探索課題では、注目色刺激に対する ERP で大きく現れ、出現潜時は約 100 ms 遅延する(実験 IV, VI)。ただし、視的探索波と異なり、無視色刺激に対する ERP ではほとんど観察できなかった。

これらの陰性波のうち、CAN 波は、前述したようにその性質について曖昧な部分が多い。また、これと類似する ERP の電位変化を報告した研究が現在のところ本研究以外に見あたらず、この波がどのような心理的過程を反映しているかを推測するための材料が不足している状況である。そこで、CAN 波に関する検討は今後の課題とし、残る 2 種類の探索波に関する結果に基づいて、視覚探索に関与する処理系について考察してみたい。

### 視覚探索に関わる処理過程

本研究で実施した文字探索課題に関わる処理過程は、大まかに Figure 3.1.1 のように表現することができる。被験者があらかじめ覚えた標的は、何らかの形で記憶内に蓄えられる。テスト刺激が呈示され、それが符号化されると、作成された一時的表象と記憶内の表象との比較照合が行われ、その結果に基づいて反応するかしないかが決定される。符号化(encoding)、比較照合(comparison)、反応選択(response selection)などの処理過程では、注意資源(attentional resources)ないし処理資源が必要とされ、課題の性質や被験者の用いる探索方略によって、注意資源の配分



が決定される。探索が自動化されると、比較照合過程へ配分される注意資源が非常に少なくても、標的検出が可能になる。

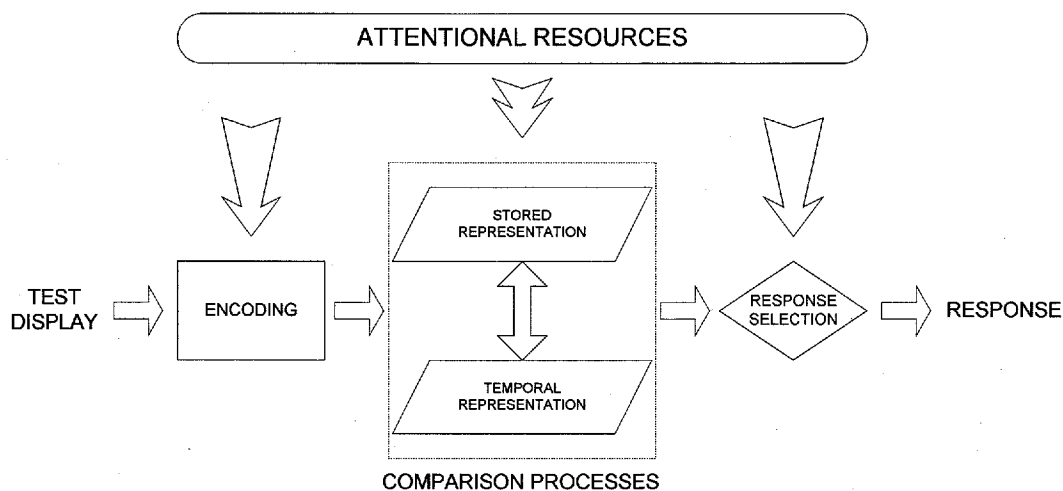


Figure 3.1.1. A schematic representation of the processing stages involved in visual search.

視的探索波や記憶探索波は、視覚刺激の符号化過程を反映するとされる後頭部 N1 や NA の初期成分に比べて遅れて出現していることから、刺激の符号化よりも後の処理過程を反映していると考えられる。また、本研究で実施した視覚負荷や記憶負荷の操作は、P3b 成分の潜時にも反応時間と同様の変化をもたらした。P3b 潜時は、反応の準備や実行過程とは比較的独立に、刺激の評価時間を反映すると考えられている (Duncan-Johnson, 1981; Magliero et al., 1984) ことから、P3b を含め、本研究で得られた ERP 上の視覚負荷および記憶負荷効果は、反応選択以前の段階で機能する処理系の活動を反映するものと思われる。このように考えると、2 種類の探索陰性波は、記憶表象と、テスト刺激に関する一時的表象との比較照合過程を反映すると推測できる。これは、記憶探索課題における記憶セットの大きさの操作は、短期記憶内の比較照合過程に影響すると考えた Sternberg (1969) と一致する。

## ワーキングメモリとその構成要素

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、处理的観点の欠如、言語理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、ワーキングメモリ(Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley, 1986)という概念である。ワーキングメモリは、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、受動的な捉え方であったのに対し、ワーキングメモリの考え方では、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。また、ワーキングメモリでは、言語的、音声的な情報だけではなく、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が扱われるものとされている。

ワーキングメモリに関して、処理容量の制約や個人差に注目した研究(Daneman & Carpenter, 1980; Just & Carpenter, 1992)や、作業記憶内の抑制的処理に焦点を当てた研究(Hasher & Zacks, 1988)など、さまざまな立場からの研究が行われている(例えば、Richardson (1996)を参照)。その中に、ワーキングメモリを単一のシステムではなく、複数の下位システムで構成される複合的システムとしてとらえ、各下位システムの性質を明らかにしていこうとする研究がある。

例えば、Baddeley (1986; Baddeley & Hitch, 1974)は、ワーキングメモリは、Figure 3.1.2に示す3つの構成要素からなる

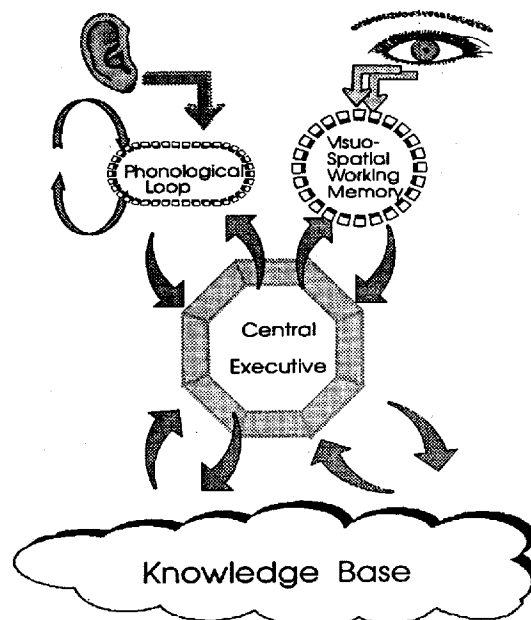


Figure 3.1.2. A Schematic diagram of the working memory model proposed by Baddeley (1986; Baddeley & Hitch, 1974). (cited from Logie, 1995, p. 18)

システムであるとしている。音韻ループ(phonological loop)は、音声的符号に基づいた言語的情報の一時的保持を行うシステム、視空間ワーキングメモリ (visuo-spatial working memory, 視空間スケッチパッド visuo-spatial sketchpad と表現される) は、視空間的材料を何らかの画像的コードによって維持するシステムである。これら 2 つのシステムの働きを調整し、協調的に機能させるのが中央実行系(central executive)で、中央実行系は、意識的処理においてどのような情報が利用されるのかを決定する。

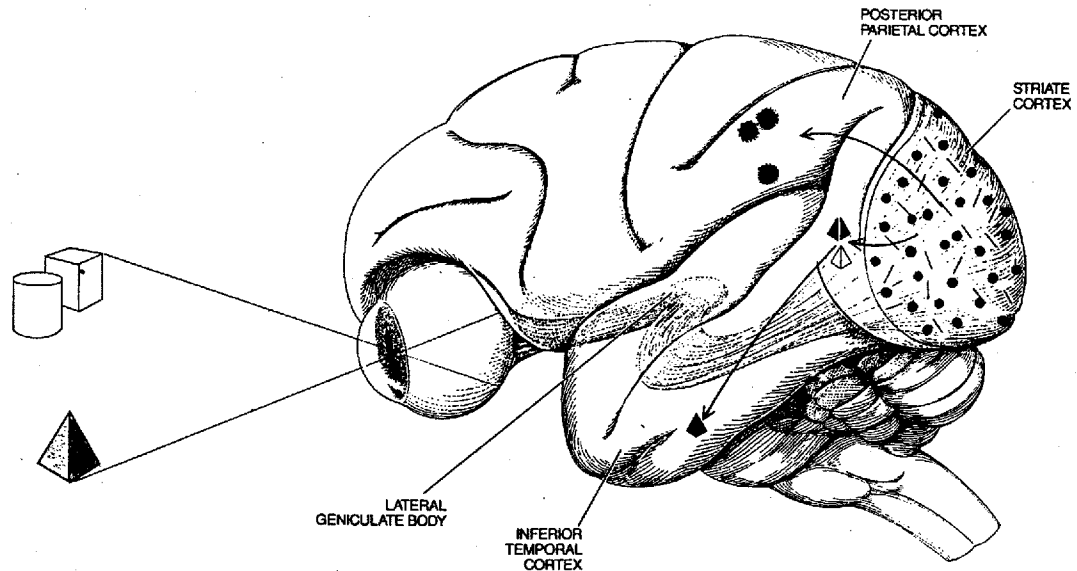
### 探索陰性波とワーキングメモリ

本研究で観察した視的探索波と記憶探索波は、それぞれワーキングメモリの視空間ワーキングメモリと音韻ループの活動を反映しているのではなかろうか。そのように推測するには、次のような根拠がある。

まず、単純探索課題における視的探索波は、後頭部から後部側頭部・頭頂部にかけて優勢に分布する。人間の視覚系のうち、網膜から脳へ至る経路は、外側膝状体を經由して大脳の一次視覚野にいたる膝状体視覚系路と、上丘・視床枕を経て一次視覚野以外の視覚野に向かう膝状体外視覚系路に大別される(藤田, 1994)。膝状体視覚系路によって大脳後頭部の一次視覚野に伝達された情報は、そこでさらに 2 つの経路に分かれる(Mishkin, Ungerleider, & Macko, 1983)。一つは側頭後部から側頭葉下部皮質に向かう腹側経路、もう一つが頭頂葉に向かう背側経路である。藤田(1994)によれば、サルにおける脳の局所破壊実験の結果やヒトの臨床例から、腹側経路は“見ているものは何か”を知るための情報処理に関連し、背側経路は“見ているものの位置や動き”を知るのに重要な情報が処理されていると考えられている(Figure 3.1.3 を参照)。視的探索波の分布は、この膝状体視覚系の脳内経路とよく一致する。視的探索波は、視覚的情報処理に関わる処理系の活動を反映している可能性が高い。

さらに、視覚探索以外の課題で、頭頂部・後頭部優勢な分布を示す ERP 変化が報告されている。Wijers, Otten et al. (1989)は、記憶探索と心的回転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。テス

ト刺激として、文字をさまざまな角度で傾けて呈示したところ、文字の傾きが大きくなるほど振幅が増大する陰性波が記録された。その電位変



*Figure 3.1.3.* Visual system processes information along two pathways in the cortex, the outer layer of the brain. Initial processing of the information (which arrives from the retina by way of the lateral geniculate body) takes place at the beginning of the pathways, in the striate cortex. Individual neurons there respond to simple, spatially limited elements in the visual field, such as edges and spots of color. Along the lower pathway (which in fact consists of a number of diverging and reconverging channel) neurons analyze broader properties of an object, such as overall shape or color. At the far end of this “object” pathway, in the inferior temporal cortex, individual neurons are sensitive to a variety if properties and a broad expanse of the visual world, which suggests the fully processed information about an object converges there. Along the upper cortical pathway, which has not been studied in the same detail, the spatial relations of a scene are analyzed. A perception of an object’s position with respect to other landmarks in the visual field, for example, would take shape in the “spatial” pathway’s final station, which is situated in the parietal cortex. (cited from Mishkin & Appenzeller, 1987, p. 65)

化は記憶負荷の操作とは独立に生じており、頭皮上分布は頭頂から後頭にかけて優勢であった(彼らは中心線上の Fz, Cz, Pz, Oz の 4 部位からしか記録していない)。この他にも、課題や用いた刺激は少しずつ異なるが、心的回転作業と後頭部優勢な陰性電位の関係を示す結果が報告されている(Peronnet & Farah, 1989; Ruchkin, Johnson, Canoue, & Ritter, 1991; Stuss, Sarazin, Leech, & Picton, 1983)。

心的回転という作業は、外的な刺激ではなく、内的な視覚表象を用いて行われる作業である。視的探索波が心的回転時に出現する電位変化と同様の頭皮上分布を示すとすると、これらの陰性波は、視覚的符号を用

いた何らかの活動を反映すると考えられよう。しかも、それが膝状体視覚系の脳内経路と一致するということは、人間の視覚系が、外的視覚刺激の処理だけでなく、内的視覚表象の操作にも何らかの形で関与している可能性を示唆している。

記憶探索波とワーキングメモリの音韻ループとを関連づける根拠は、間接的なものである。まず、聴覚刺激を用いた記憶探索課題(沖田, 1989)でも、視覚刺激を用いた場合と同様の分布を示す探索陰性波が報告されている。また、直後系列再生時における誤答には、視覚的類似性よりも、音声的類似性に基づくものが多いことなどから、短期記憶内では、刺激の呈示モダリティに依存せず、主として話し言葉のような音声的コードによって情報が保持されていると考えられていた。本研究で用いた記憶負荷の操作方法は、もともと短期記憶内の探索の性質を調べようとして考案されたものであること(Sternberg, 1966, 1969)、音韻ループは、従来の二重貯蔵モデルにおける短期記憶の概念にほぼ相当する(三宅, 1995)ものであることを考えると、記憶探索波が音声的コードの保持・操作に関わる音韻ループの活動を反映すると考えることができよう。

### 視覚探索のメカニズム

上記のような推測をもとに、本研究で実施した視覚探索課題における比較照合過程の性質について考察してみたい。Figure 3.1.4 に、記憶セットが A と X、テスト刺激が K と F の場合の比較照合過程を示した。

まず、単純な文字探索の場合(Figure 3.1.4 の左側)、被験者が標的を覚えると、その形と音がそれぞれの符号で記憶される。その後、テスト刺激が呈示されると、やはりその形と音の一時的表象が作成される。記憶表象と一時的表象の比較が行われる時、記憶表象内の 1 項目と一時的表象内の項目の比較は、主として視覚的符号に基づいて行われる(図中の太い矢印)。したがって、刺激セットの数が増えると、一時的表象内で活性化する視覚的符号が多くなり、それが後頭部優勢の視覚探索波の振幅増大に反映される。一方、一時的表象内の 1 項目と記憶表象内の項目の比較は、主として音声的符号に基づいて行われる。したがって、

記憶セットの数が増えると，記憶表象内で活性化する音声的符号が多くなり，それが中心部優勢な記憶探索波の振幅増大に反映される。

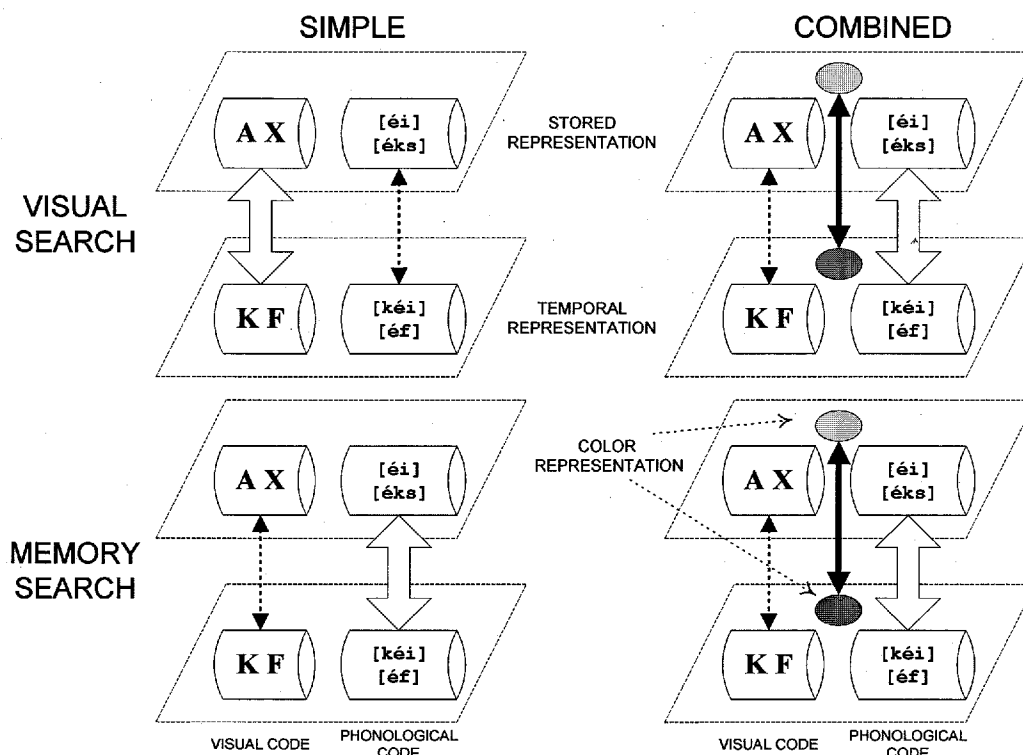


Figure 3.1.4. Schematic representations of comparison processes in simple and combined visual/memory search.

探索課題を色選択課題と組み合わせた場合 (Figure 3.1.4 の右側) には，その過程がやや複雑になる。まず，記憶表象内に，視覚的符号，音声的符号の他に，色表象が加わる。一時的表象内も同様である。複合的探索課題の場合には，視覚的符号や音声的符号による比較よりも先に，色表象に基づく選択が行われる。2つの色表象が異なれば，そこで探索はうち切られる。ただし，実験IVの結果から，色表象の比較と視覚的符号による比較が平行して行われる場合もあると考えられる。

一時的表象内と記憶表象内の色が一致した場合には，それに続いて視覚的あるいは音声的符号による比較照合が行われる。比較過程の開始が単純探索課題に比べて約 100 ms 遅れることで，一時的表象内の視覚的符号は利用しづらくなり (外的刺激は 300 ms で消える)，かわって音声的符号が用いられるようになる。これが，単純探索課題と複合探索課

題とで、視的探索波の分布が変化した理由である。記憶探索はもともと音声的符号に基づいて行われるので、記憶探索波の分布は変化しない。ただし、比較にどのような符号を用いるかは、被験者の方略や特性(例えば、視覚的情報処理と音声的情報処理のどちらが得意か)によって異なる可能性がある。したがって、色選択課題の付加によって視的探索波の頭皮上分布が変化するかどうかには個人差がある。

なお、このような考え方からすると、ここまで実験的操作との関連で定義して使ってきた視的探索波と記憶探索波という用語は、もはや不適切であろう。複合探索課題における視的探索波と、単純探索課題における記憶探索波が同じ処理系の活動を反映するならば、同じ現象に異なる用語を当てはめることになるからである。

ERP の電位変化とワーキングメモリとのこのような対応づけは、非常に大まかなものであり、他の実験データにより裏付けられたものではない。特に、神経心理学的研究や、サルを対象とする神経生理学的研究の結果から、大脳の前頭連合野とワーキングメモリの関連が指摘されているが(例えば、船橋 (1993)を参照)、本実験で観察した 2 種類の探索陰性波は、前頭前部では大きな変化を示さない。探索陰性波の頭皮上分布の変化をもたらすのは、おそらく中央実行系の働きだと考えられるが、その働きに対応する脳波変化が観察できたわけではない。また、これらの処理系がどのように関わって、第 1 章第 2 節で触れた、行動測度上の視覚負荷効果と記憶負荷効果の違いを生じさせているのかを推測するためのデータもまだない。

しかし、本研究では、視覚探索を支える複数の処理過程を、単なる構成概念ではなく、脳内に実在する神経活動として示すことができた。さらに、視覚負荷を同じ方法で操作しても、それがどの処理過程に影響するのは課題の性質によって異なることもわかった。これらの知見は、視覚探索のメカニズムを明らかにしていくための、大きな手がかりである。探索陰性波とワーキングメモリの下位過程との対応づけは、今後の視覚探索研究あるいはワーキングメモリ研究において、有力な作業仮説

となると思われる。

## 第 2 節 今後の視覚探索研究の課題

### 探索陰性波＝ワーキングメモリ仮説の検討

前節で、後頭部優勢な探索陰性波と後頭部優勢な探索陰性波が、それぞれワーキングメモリの視空間スケッチパッドと音韻ループの活動を反映しているのではないかという作業仮説を立てた(これを、探索陰性波＝ワーキングメモリ仮説と呼ぶ)。今後の ERP を指標とする視覚探索研究では、この仮説の妥当性を検討することが第 1 の課題である。

その方法として、3 つのアプローチを指摘できる。まず、探索陰性波の頭皮上分布について、さらに詳しく検討することである。Figure 2.3.21 で記憶負荷の増大による探索陰性波の分布を見ると、中心部優勢ではあるが、左右の頭頂部あたりでもかなり大きな振幅を示している。視覚刺激を用いない記憶探索課題で、この分布がどのように変化するかを調べることによって、探索陰性波に含まれる下位成分を分離できる可能性がある。頭頂部の陰性波が視覚刺激を用いた場合のみに出現するとすれば、この部分の陰性波が、視覚的符号に基づく情報処理過程を反映していると結論できる。すでに沖田(1989)は、聴覚刺激を用いた場合の探索陰性波について検討しているが、電極は中心線上にしか配置しておらず、分布の全体像はつかめない。また、実験 IV では、複合探索課題においても、ERP 上の視覚負荷効果と記憶負荷効果の現れ方が少し異なっていた。この原因を探ることによって、視覚探索における視覚的符号と音声的符号の利用のされ方について、新しい知見が得られるかも知れない。

第 2 のアプローチは、探索陰性波とワーキングメモリの下位過程との関係を、二重解離によって示すことである。ワーキングメモリに視空間スケッチパッドと音韻ループという 2 つの下位過程が存在することを示す証拠の一つに、2 重課題法を用いた実験結果(例えば、Baddeley, Logie, Bressi, Della Sala, & Spinnler, 1986; Logie, Zucco, & Baddeley, 1990)がある。これは本課題を遂行中に別の副課題を課すことによって、



ある特定のシステムの処理能力を減少させる手続きである。例えば、構音抑制課題は音韻ループには妨害的に影響するが、視空間スケッチパッドには影響せず、円盤追跡やタッピング課題は、視空間スケッチパッドの働きを妨害するが、音韻ループには影響しない。これらを利用して、視空間スケッチパッドを妨害する課題の同時遂行が後頭部優勢な探索陰性波のみに影響し、音韻ループを妨害する課題は中心部優勢な探索陰性波のみに影響することを示すことができれば、探索陰性波＝ワーキングメモリ仮説を支持する有力な証拠となる。

第3に、前頭部・前頭前部でのERP変化について、さらに検討することである。実験V・VIでは、課題が困難な条件での前頭部のERP波形は刺激の種類に関係なく、簡単な条件の波形に比べて陽性にシフトしていた。本研究では、このような結果を当初予測しておらず、この電位変化が何を意味するのかわからなかった。しかし、このようなシフトを生じさせる条件を明らかにすることで、これらの電位変化をワーキングメモリの活動と関連づけることができるかもしれない。また、図には載せなかったが、実験VIの前頭前部における標的ERPおよび注目色標的ERPは、大きな陽性波(P3b)出現後かなり急速に陰性方向に復帰し、小さな陰性ピークを形作った後、基線に復帰している。この成分は、標的検出後の文脈更新などの処理と関連している可能性がある。

### 視覚探索理論への貢献

視覚探索理論への貢献という観点からは、次のような課題が指摘できる。視覚探索に関する有力な理論の一つに、特徴統合理論(Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Gormican, 1988)やその修正理論(例えば, Wolfe, Cave, & Franzel, 1989)がある。これらの理論では、視覚的対象の知覚は、性質の異なる2つの過程で成立すると考えられている。まず、視覚的環境に含まれるさまざまな特徴が、視野全体にわたって並列的かつ自動的(前注意的)に抽出される。続いて、何らかの特徴が存在する空間内の位置へ順々に注意が向けられ、同じ位置にある複数の特徴が統合されて一つのまとまった対象が知覚される。初期の並列的特徴抽出につ

いては、視覚系においてこれらの特徴がかなり特殊化したモジュールで別々に処理されていることを示す、数多くの生理学的データ(例えば、Livingstone & Hubel, 1988; Van Essen, & Maunsell, 1983; Zeki, 1978)によって支持されている。

これらの理論の中で、まだ解決されていない問題として、次の2点を挙げるができる。第1は、並列に処理された単純な特徴の統合過程における空間的注意の働き(Navon, 1990)や、特定の対象に注意が誘導されるメカニズム(Cave & Wolfe, 1990)である。第2の問題は、統合された対象に関する情報の一時的表象の保存や再認ネットワークとの相互作用に関する問題(Treisman & Gormican, 1988; Treisman & Sato, 1990)である。

ERPを指標とする視覚探索研究は、これらの問題解決に大いに貢献すると考えられる。P3bや探索陰性波の他に、視覚探索に関連する多くのERP成分が報告されている。空間内のどこかの位置に持続的に注意を向け、注意を向けた場所に出現した刺激に対するERP波形と、注意していない場所に出現したERP波形を比較すると、前者のP1とN1が増大する(Eason, 1981; Harter, Aine, & Schroeder, 1982; Hillyard & Münte, 1984; Hillyard & Mangun, 1987; Mangun & Hillyard, 1988)。また、P1とN1は、空間選択的注意における異なる側面を反映することが示唆されており(Heinze, Luck, Mangun, & Hillyard, 1990; Luck, Heinze, Mangun, & Hillyard, 1990; Mangun & Hillyard, 1991)、さらに、中心的手がかり(Eimer, 1993)や周辺手がかり(Eimer, 1994)による空間選択的注意効果は、持続的注意事態とはやや異なった形でERP上に反映されることも報告されている。

後頭部や後部側頭部で記録されるN1(本研究ではN190などと表記)は、空間的注意の有無だけでなく、その分布にも影響を受け、注意を向ける領域が小さいほど、振幅は増大する(実験II)。また、効果の現れ方は必ずしも一貫していないが、その振幅や潜時が刺激セットの大きさによって変化するという報告もある(Miyatani & Maedo, 1994; Wijers et al., 1987)。また、N1振幅は、刺激が標的か非標的かで異なる場合もある。

中心部から前頭部で大きく記録され、潜時 300 ms 前後に頂点を持つ視覚 N2(本研究では N310 などと表記)は、空間的注意が向けられた刺激に対して大きく出現する。また、N2 は、標的と一致する特徴を持つ刺激に対して大きくなる(実験 IV)。

さらに、出現する刺激の位置や数が実験系列内で固定され、あらかじめわかっている場合には、それがランダムあるいは規則的に変化する場合に比べ、探索陰性波が出現する時間帯の ERP 波形が陰性方向にシフトする(Miyatani & Maedo, 1994 および未発表のデータによる)。探索陰性波との関連はまだ明らかでないが、われわれの日常生活では、何かはどこかにある(あるいは出現する)ことを期待して行動する場合と、何がいつどこに現れるかがわからない状況の両方があり、この現象は、そのような事態における注意の働きの違いを反映しているのかも知れない。

さらに、最近では、ポップアウト現象や注意のフィルター機能に関連すると考えらる電位変動(N2pb, N2pc)も報告されている(Eimer, 1996; Luck & Hillyard, 1994a, 1994b)。

視覚探索に関連すると思われるこれらの電位変動は、今までそれぞれ異なる実験パラダイムで検討されることが多かった。複数の成分を同時に記録できる課題を工夫し、同じ実験変数に対する諸電位の共変関係や反応の違いを比較していくことによって、視覚探索において働く心的機能の個々の性質や相互の関係について、さらに明らかにしていくことが期待できる。その際には、時間的分解能に優れ、特定の反応に依存しないという ERP の特徴が力を発揮するものと思われる。

一方で、ERP には、かなりの数の試行を繰り返して加算処理を行わなければならないという欠点がある。また、伝導率の異なるさまざまな組織を通過した後の電位を記録しているということから、空間分解能の点で劣るといふ欠点もある。これらの欠点を補うためには、脳を覆う組織の影響を受けず、電位の発生源の推定に優れる脳磁図(MEG)との併用が有効であろう。また、ERP のような一過性の電位変化ではなく、持続的な背景脳波に含まれる情報を利用できる場合もあるであろう。さら

に、電氣的な活動ではなく、PET や機能的 MRI でとらえられる、脳の代謝の側面からのアプローチも必要となろう。

ERP がもたらす知見と、これら脳の活動を別の側面から反映する測度をもたらす知見を統合することにより、視覚探索研究の可能性は、ますます広がっていくように思われる。

## 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, pp. 89-195). Academic Press.
- Baddeley, A. (1986) *Working memory*. Oxford: Oxford Press.
- Baddeley, A. (1992) Working memory. *Science*, 255, 556-559.
- Baddeley, A., & Hitch, G. J. (1974) Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 8, pp. 47-90). New York: Academic Press.
- Baddeley, A., Logie, R., Bressi, S., Della Sala, S., & Spinnler, H. (1986) Senile dementia and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38A, 603-618.
- Broadbent, D. E. (1958) *Perception and Communication*. London: Pergamon Press.
- Brookhuis, K. A., Mulder, G., Mulder, L. J. M., Gloerich, A. B. M., Van Dellen, H. J., Van der Meere, J. J., & Ellermann, H. H. (1981) Late positive components and stimulus evaluation time. *Biological Psychology*, 13, 107-123.
- Cave, K. R., & Wolfe, J. M. (1990) Modeling the role of parallel processing in visual search. *Cognitive Psychology*, 22, 225-271.
- Cerella, J. (1991) Age effects may be global, not local: Comments on Fisk and Rogers (1991). *Journal of Experimental Psychology: General*, 120, 215-223.
- Cherry, E. C. (1953) Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *Journal of Acoustic Society of America*, 25, 975-

979.

- Coles, M. G. H., Gratton, G., Kramer, A. F., & Miller, G. A. (1986) Principles of signal acquisition and analysis. In M. G. H. Coles, E. Donchin, & S. W. Porges (Eds.), *Psychophysiology: Systems, processes, and applications* (pp. 182-221). Amsterdam: Elsevier.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980) Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, **19**, 450-466.
- Deutch, J. A., & Deutch, D. (1963) Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, **70**, 80-90.
- Donchin, E., Karis, D., Bashore, T. R., Coles, M. G. H., & Gratton, G. (1986) Cognitive psychophysiology and human information processing. In M. G. H. Coles, E. Donchin, & S. W. Porges (Eds.), *Psychophysiology: Systems, processes, and applications* (pp. 244-267). Amsterdam: Elsevier.
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989) Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, **96**, 433-458.
- Duncan-Johnson, C. C. (1981) P300 latency: A new metric of information processing. *Psychophysiology*, **18**, 207-215.
- Eason, R. G. (1981) Visual evoked potentials correlates of early neural filtering during selective attention. *Bulletin of Psychonomic Society*, **18**, 203-206.
- Eimer, M. (1993) Spatial cueing, sensory gating and selective response preparation: An ERP study on visuo-spatial orienting. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **88**, 408-420.
- Eimer, M. (1994) An ERP study on visual spatial priming with peripheral onsets. *Psychophysiology*, **31**, 154-163.
- Eimer, M. (1996) The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **99**, 225-234.
- Enns, J. T. (1990) Three-dimensional features that pop out in visual search.

- In D. Brogan (Ed.), *Visual search* (pp. 139-158). London: Taylor & Francis.
- Fisk, A. D., Fishler, D. L., & Rogers, W. A. (1992) General slowing alone cannot explain age-related search effects: Reply to Cerella (1991). *Journal of Experimental Psychology: General*, **121**, 73-78.
- Fisk, A. D., & Rogers, W. A. (1991) Toward an understanding of age-related memory and visual search effects. *Journal of Experimental Psychology: General*, **120**, 131-149.
- Flach, J. M. (1986) Within-set discriminations in a consistent mapping search task. *Perception & Psychophysics*, **39**, 397-406.
- 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.
- 藤本里奈・宮谷真人・岡直樹・桐木健始 (1997) 視覚探索に及ぼす練習の効果 福岡教育大学紀要, **46(4)**, 161-167.
- 藤田一郎 (1994) 大脳視覚野の生理学 岩波講座 認知科学 3 視覚と聴覚 岩波書店 Pp.41-88.
- 船橋新太郎 (1993) ワーキング・メモリー 神経研究の進歩, **37**, 44-55.
- Gaillard, A. W. K. (1988) Problems and paradigms in ERP research. *Biological Psychology*, **26**, 91-109.
- 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.
- 御領謙 (1983) 注意研究の変遷 サイコロジー, **40**, 12-18.
- Harter, M. R., Aine, C., & Schroeder, C. (1982) Hemispheric differences in the neural processing of stimulus location and type: Effects of attention on visual evoked potentials. *Neuropsychologia*, **20**, 421-438.
- Hasher, L., & Zacks R. T. (1988) Working memory, comprehension, and aging: A review and new item. In G. H. Bower (Ed.) *The psychology of*

- learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 22, pp. 195-225). San Diego, CA: Academic Press.
- Heinz, R. J., Luck, S. J., Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1990) Visual event-related potentials index focused attention within bilateral stimulus arrays. I. Evidence for early selection. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **75**, 511-527.
- Hillyard, S. A., & Münte, T. F. (1984) Selective attention to color and location cues: An analysis with event-related brain potentials. *Perception & Psychophysics*, **36**, 185-198.
- Hillyard, S. A., & Kutas, M. (1983) Electrophysiology of cognitive processes. *Annual Review of Psychology*, **34**, 33-61.
- Hillyard, S. A., & Mangun, G. R. (1987) Sensory gating as a physiological mechanism for visual selective attention. In R. Johnson, Jr., R. Parasuraman, & J. W. Rohrbaugh (Eds.), *Current trends in event-related potential research* (pp. 61-67). Amsterdam: Elsevier.
- Hillyard, S. A. & Münte, T. F. (1984) Selective attention to color and location: An analysis with event-related brain potentials. *Perception & Psychophysics*, **36**, 185-198.
- Hillyard, S. A., & Picton, T. W. (1987) Electrophysiology of cognition. In F. Plum (Ed.), *Handbook of physiology: Sec. 1. The nervous system: Vol. 5. Higher functions of the brain* (pp. 519-584). Bethesda, ND: American Physiological Society.
- Hockley, W. E. (1984) Analysis of response time distribution in the study of cognitive processes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **10**, 598-615.
- Hoffman, J. E. (1979) A two-stage model of visual search. *Perception & Psychophysics*, **25**, 319-327.
- Hoffman, J. E. (1990) Event-related potentials and automatic and controlled processes. In J. W. Rohrbaugh, R. Parasuraman, & R. Johnson (Eds.), *Event-related potentials: Issues and interdisciplinary vantages* (pp.



- 145-157). New York: Oxford Press.
- Hoffman, J. E., Simson, R. F., & Houck, M. R. (1983) Event-related potentials during controlled and automatic target detection. *Psychophysiology*, *20*, 625-632.
- Hoffman, J. E. Houck, M. R., MacMillan, F. W. III, & Oatman, L. C. (1985) Event-related potentials elicited by automatic targets: A dual-task analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *11*, 50-61.
- 石口彰 (1983) 知覚と注意 心理学評論, *26*, 180-201.
- Isreal, J. B., Chesney, G. L., Wickens, C. D., & Donchin, E. (1980) P300 and tracking difficulty: Evidence for multiple resources in dual-task performance. *Psychophysiology*, *17*, 259-273.
- James, W. (1890/1981) *The principles of psychology* (Vol. 1). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Jennings, J. R., & Wood, C. C. (1976) The  $\epsilon$ -adjustment procedure for repeated-measures analyses of variance. *Psychophysiology*, *13*, 277-278.
- Johnston, W. A., & Dark, V. J. (1986) Selective attention. *Annual Review of Psychology*, *37*, 43-75.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992) A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review*, *99*, 122-149.
- Kahneman, D. (1973) *Attention and efforts*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Keele, S. W., & Neill, W. T. (1978) Mechanisms of attention. In E. C. Carterette & M. P. Friedman (Eds.), *Handbook of perception IX. Perceptual processing* (pp. 3-47). New York: Academic Press.
- Kinchla, R. A. (1980) The measurement of attention. In R. S. Nickerson (Ed.), *Attention and performance VIII* (pp. 213-238). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- 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.
- Livingstone, M., & Hubel, D. (1988) Segregation of forms, color, movement and depth: Anatomy, physiology and perception. *Science*, **240**, 740-749.
- Logie, R. H. (1995) *Visuo-spatial working memory*. Hove, UK: Erlbaum.
- Logie, R. H. (1996) The seven ages of working memory. In J. T. E. Richardson, R. W. Engle, L. Hashler, Logie, R. H., Stoltzfus, E. R., & Zacks, R. T. *Working memory and human cognition* (pp. 31-65). New York: Oxford Press.
- Logie, R. H., Zucco, G., & Baddeley, A. (1990) Interference with visual short-term memory. *Acta Psychologica*, **75**, 55-74.
- 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.
- Luck, S. J., Heinze, H. J., Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1990) Visual event-related potentials index focused attention within bilateral stimulus arrays. II. Functional dissociation of P1 and N1 components. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **75**, 528-542.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1990) Electrophysiological evidence for parallel and serial processing during visual search. *Perception & Psychophysics*, **48**, 603-617.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994a) Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, **31**, 291-308.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994b) Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **20**, 1000-1014.

- Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1988) Spatial gradients of visual attention: Behavioral and electrophysiological evidence. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **71**, 417-428.
- Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1991) Modulations of sensory-evoked brain potentials indicate changes in perceptual processing during visual-spatial priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **17**, 1057-1074.
- Magliero, A., Bashore, T. R., Coles, M. G. H., & Donchin, E. (1984) On the dependence of P300 latency on stimulus evaluation processes. *Psychophysiology*, **21**, 171-186.
- McCarthy, G., & Wood, C. C. (1985) Scalp distributions of event-related potentials: An ambiguity associated with analysis of variance models. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **62**, 203-208.
- McClelland, J. L. (1979) On the time relations of mental processes: An examination of systems of processes in cascade. *Psychological Review*, **86**, 287-330.
- Mecklinger, A., Kramer, A. F., & Strayer, D. L. (1992) Event related potentials and EEG components in a semantic memory search task. *Psychophysiology*, **29**, 104-119.
- Meyer, D. E., Irwin, D. E., Osman, A. M., & Kounios, J. (1988) The dynamics of cognition and action: mental processes inferred from speed-accuracy decomposition. *Psychological Review*, **95**, 183-237.
- 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.
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. (1983) Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. *Trends in Neuroscience*, **6**, 414-417.
- Mishkin, M., & Appenzeller, T. (1987) The anatomy of memory. *Scientific American*, **256(6)**, 62-71.
- Miyatani, M., & Maedo, S. (1994) Event-related potentials during a visual

- search task: Effects of the arrangement and the number of display items. *Hiroshima Forum for Psychology*, **16**, 1-16.
- 宮内哲 (1997) ヒトの脳機能の非侵襲的測定—これからの生理心理学はどうあるべきか— 生理心理学と精神生理学, **15**, 11-29.
- Moray, N. (1969) *Attention: Selective processes in vision and hearing*. New York: Academic Press.
- Moray, N. (1987) Attention. In R. L. Gregory (Ed.), *The Oxford companion to the mind* (pp. 59-61). New York: Oxford University Press.
- Näätänen, R. (1982) Processing negativity: An evoked potential reflection of selective attention. *Psychological Bulletin*, **92**, 605-640.
- Näätänen, R., & Gaillard, A. W. K. (1983) The orienting reflex and the N2 deflection of the event-related potential (ERP). In A. W. K. Gaillard & W. Ritter (Eds.), *Tutorials in event-related potential research: Endogenous components* (pp. 119-141). Amsterdam: North-Holland.
- Näätänen, R., & Picton, T. (1987) The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: A review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, **24**, 375-425.
- 投石保広・下河内稔 (1990) 弁別課題にみられる初期陰性成分の分析—NA, MMN, N2bの比較検討— 生理心理学と精神生理学, **8**, 19-30.
- Navon, D. (1990) Does attention serve to integrate feature? *Psychological Review*, **97**, 453-459.
- Novak, G. P., Ritter, W. Vaughan, H. G., Jr., & Wiznitzer, M. L. (1990) Differentiation of negative event-related potentials in an auditory discrimination task. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **75**, 255-275.
- Neisser, U. (1967) *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Neisser, U. (1976) *Cognition and reality*. San Francisco: Freeman.
- Norman, D. A. (1968) Towards a theory of memory and attention. *Psychological Review*, **75**, 522-536.

- Norman, D. A., & Bobrow D. G. (1975) On the data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, **7**, 44-64.
- 大谷 璋 (1972) 注意とそのモデルと人間における生理心理学的事実  
心理学評論, **15**, 159-175.
- 沖田庸嵩 (1989) 事象関連電位と認知情報処理—選択的注意を中心として—  
心理学研究, **60**, 320-335.
- 沖田庸嵩 (1993) 聴覚の選択的注意 事象関連脳電位を用いた生理心理学的分析  
二瓶社
- 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.
- Peronnet, F., & Farah, M. J. (1989) Mental rotation: An event-related potential study with validated mental rotation task. *Brain and Cognition*, **9**, 279-288.
- Richardson, J. T. E. (1996) Evolving concepts of working memory. In J. T. E. Richardson, R. W. Engle, L. Hashler, R. H. Logie, E. R. Stoltzfus, & R. T. Zacks (Eds.), *Working memory and human cognition* (pp. 3-30). New York: Oxford Press.
- Ritter, W., Simson, R., & Vaughan, H. G., Jr. (1983) Event-related potential correlates of two stages on information processing in physical and semantic discrimination tasks. *Psychophysiology*, **20**, 168-179.
- Ritter, W., Simson, R., & Vaughan, H. G., Jr. (1988) Effects of the amount of stimulus information processed on negative event-related potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **69**, 244-258.
- Ritter, W., Simson, R., Vaughan, H. G., Jr., & Macht, M. (1982) Manipulation of event-related potential manifestations of information processing stages. *Science*, **218**, 909-910.
- Ruchkin, D. S., Canoune, H. L., Johnson, R., Jr., & Ritter, W. (1995)

- Working memory and preparation elicit different patterns of slow wave event-related brain potentials. *Psychophysiology*, **32**, 399-410.
- Ruchkin, D. S., Johnson, R., Jr., Canoune, H. L., & Ritter, W. (1991) Event-related potentials during arithmetic and mental rotation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **79**, 473-487.
- Schneider, W., & Fisk, A. D. (1984) Automatic category search and its transfer. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **10**, 1-15.
- Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977) Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, **84**, 1-66.
- Shiffrin, R. M. (1988) Attention. In R. C. Atkinson, R. J. Herrnstein, G. Lindzey, & R. D. Luce (Eds.), *Stevens' handbook of experimental psychology* (2nd ed. Vol.2, pp. 739-781). New York: Wiley. Pp.739-781.
- Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977) Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review*, **84**, 127-190.
- Simson, R., Ritter, W., & Vaughan, H. G., Jr. (1985) Effects of expectation on negative potentials during visual processing. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **62**, 25-31.
- Sternberg, S. (1966) High-speed scanning in human memory. *Science*, **153**, 652-654.
- Sternberg, S. (1969) The discovery of processing stages: Extensions of Donders' methods. In W. G. Koster (Ed.), *Attention and performance II*. (*Acta Psychologica*, **30**, pp. 173-188). Amsterdam: North-Holland.
- Sternberg, S. (1975) Memory scanning: New findings and current controversies. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **27**, 1-32.
- Stuss, D. T., Sarazin, F. F., Leech, E. E., & Picton, T. W. (1983) Event-related potentials during naming and mental rotation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **56**, 133-146.

- Sutton, S., & Ruchkin, D. S. (1984) The late positive complex: Advances and new problems. In R. Karrer, J. Cohen, & P. Tueting (Eds.), *Brain and information: Event-related potentials (Annals of the New York Academy of Sciences, 425)*, pp. 1-23). New York: The New York Academy of Sciences.
- 竹形理佳 (1991) 事象関連電位と短期記憶検索過程 心理学評論, 34, 345-357.
- Theois, 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.
- Treisman, A. M. (1964) Selective attention in man. *British Medical Bulletin*, 20, 12-16.
- Treisman, A. (1988) Feature and objects: The fourteenth Bartlett memorial lecture. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40A, 201-237.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980) A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Treisman, A., & Gormican, S. (1988) Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetry. *Psychological Review*, 95, 15-48.
- Treisman, A., & Sato, S. (1990) Conjunction search revisited. *Journal of experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 459-478.
- Van Dellen, H. J., Brookhuis, K. A., Mulder, G., Okita, T., & Mulder, L. J. M. (1985) Evoked potential correlates of practice in a visual search task. In D. Papakostopoulos, S. Butler, & I. Martin (Eds.), *Clinical and experimental neuropsychophysiology* (pp. 132-155). Beckenham: Croom Helm.
- Van der Molen, M. W., Bashore, T. R., Halliday, R., & Callaway, E. (1991)

- Chronopsychophysiology: Mental chronometry augmented by psychophysiological time markers. In J. R. Jennings, & M. G. H. Coles (Eds.), *Handbook of cognitive psychophysiology: Central and autonomic nervous system approaches* (pp. 9-178). Chichester: John Wiley & Sons.
- Van Essen, D. C., & Mausell, J. H. R. (1983) Hierarchical organization and functional streams in the visual cortex. *Trends in Neuroscience*, **6**, 370-375.
- Vasey, M. W., & Thayer, J. F. (1987) The continuing problem of false positives in repeated measures ANOVA in psychophysiology: A multivariate solution. *Psychophysiology*, **24**, 479-486.
- Vaughan, H. G., Ritter, W., & Simson, R. (1983) Neurophysiological considerations in event-related potential research. In A. W. K. Gaillard & W. Ritter (Eds.), *Tutorials in event-related potential research: Endogenous components* (pp. 1-7). Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Wijers, A. A., Okita, T., Mulder, G., Mulder, L. J. M., Lorist, M. M., Poiesz, R., & Scheffers, M. K. (1987) Visual search and spatial attention: ERPs in focused and divided attention conditions. *Biological Psychology*, **25**, 33-60.
- 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.



- Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989) Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **15**, 419-433.
- 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.
- Zeki, S. M. (1978) Functional specialization in the visual cortex of the rhesus monkey. *Nature*, **274**, 423-428.