

色情報に基づく初期選択が文字探索に関連する 事象関連電位に及ぼす影響¹⁾

宮谷 真人
(2000年9月30日受理)

Event-related brain potentials in a letter search task combined with selection by color

Makoto Miyatani

This study investigated the effects of display load on the event-related brain potentials (ERPs) in two different visual letter search tasks. ERPs were recorded from eight normal adult participants, when they were required to judge if a horizontal array of six colored (red or green) alphabets contained target letters. Memory set always consisted of two alphabets. In one task, participants were required to respond to the test stimulus containing a target letter regardless of its color. In another task, a response was made only when the test stimulus containing a target letter was presented in a previously defined color. In both tasks, display load was manipulated by the instruction on the position in an array where a target would appear. In a simple search task, the increase of display load caused the negative shift of ERPs between 300–600 ms post-stimulus. This negativity was dominant over central, parietal, and posterior temporal scalp. In a search task combined with selection by color, display load also resulted in the enhancement of the negativity, but its latency and topography differed from those in a simple search task. Negative shifts appeared about 400 ms after stimulus onset, and had a more frontal and central distribution. Topographic differences of these negativities between two tasks suggest that at least two different systems are involved in visual search tasks, and that the functional organization of these systems could change according to the task requirement. In discussion, a tentative linkage between these ERP changes and two slave systems of working memory was proposed.

Key Words: Visual search, Event-related brain potential, Display load, Working memory

キーワード：視覚探索、事象関連電位、視覚負荷、ワーキングメモリ

文字刺激を用いた視覚探索課題を遂行中に事象関連電位(ERP)を記録すると、課題の視覚負荷(探索の対象となる刺激の数によって決まる課題の難易度)に伴う系統的な電位変化を記録することができる。例えば、複数のアルファベットを横一列に配置したものをテスト刺激とし、そのどこに標的文字が出現するかをあらかじめ教えることで、視覚負荷を操作できる。高負荷条件(文字列のどこに標的が出るかわからない)のERPは、低負荷条件(標的は必ず文字列の中央に出現する)のERPに比べ、刺激後250–400 ms前後から陰性方向にシフトし始め、その差は数百ミリ秒持続する。この視覚負荷効果(以後、便宜的にSN波、Search Negativityと呼ぶ)の頭皮上分布は研究間で異

なり、(1)後頭部から後部側頭部にかけて大きなSN波が出現し、中心部や前頭部のERPにはあまり変化がないとする報告(宮谷, 1992; Ritter, Simson, & Vaughan, 1988)、(2)中心部でも後頭部と同程度のSN波を記録した報告(宮谷・前堂・赤井, 1994; Wijers, Okita, Mulder, Mulder, Lorist, Poiesz, & Scheffers, 1987)、および(3)中心部から前頭部にかけて後部領域よりも大きなSN波を観察した報告(宮谷, 1998)がある。

ERP成分の頭皮上分布の違いやその時間経過は、課題遂行にかかわる神経ネットワークの機能的パターンの違いを推測する手がかりとなる(Gevins & Cuttito, 1993; Ruchkin, Canoune, Johnson, & Ritter, 1995)。

SN波の頭皮上分布の違いを決定する要因を明確にできれば、視覚探索を支える心理的諸過程の種類やその相互関係について、新たな知見がもたらされるであろう。本研究では、上記の(2)と(3)の違いを取り上げる。

宮谷他(1994)と宮谷(1998)を比較すると、SN波の振幅がC_zで最大となる点は同じであるが、前者では前頭部(F_z)にはほとんど負荷効果が出現しないのに対し、後者のSN波は頭頂部(P_z)よりもF_zで大きい。2つの研究の手続きで最も大きく違うのは、宮谷他(1994)では、単純な文字探索課題(例えばBとXが標的)を実施しているのに対し、宮谷(1998)の課題は、標的が文字の色と形の組み合わせによって定義されている(赤いBとX)点である。標的の選定方法は、視覚探索課題の遂行成績に影響する要因の一つである。例えば、標的と非標的が、色や線分の方向など単一の視覚的特徴だけで区別できる条件では、標的の検出時間は視覚負荷の影響を受けない。ところが、標的が複数の特徴の組み合わせで定義される条件では、視覚負荷が大きいほど標的検出時間は延長する(Treisman & Gelade, 1980)。本研究は、単純な文字探索課題と色選択と組み合わせた複合的文字探索課題とで、SN波の頭皮上分布が異なるかどうかを、同一被験者で検討することを第1の目的とした。

宮谷他(1994)や宮谷(1998)では、アルファベット5文字のテスト刺激を用いて、中央の1文字のみに注目させる条件(P1条件)、両端の2文字に注目させる条件(P2条件)、および全ての文字に注目させる条件(P5条件)のERPを比較している。しかし、この方法だと、P1条件とP2、P5条件では、探索対象の数と同時に、空間的注意の範囲が異なっており、条件間のERPの違いが、そのどちらを反映しているのかが明確でない。そこで本研究では、アルファベット6文字を横一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(P2)、および6文字すべてに注目(P6)、の3条件を設定した。C2-P2条件の比較で空間的注意の範囲の効果を、P2-P6条件の比較で探索対象数の効果を評価できると考えた。

方 法

参加者 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)が実験に参加した。全員が右利きであった。

刺激と装置 パソコン用CRT(MF-8621, 飯山電機)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。6文字全てを同じ色で呈示した。

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300ms、呈示時間間隔(SOA)を1700-2000msの範囲でランダムとして、192刺激を連続して呈示した。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。単純探索課題では、参加者は、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、手もとのスイッチを押して反応した。標的刺激の呈示確率は25%とした。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した。複合探索課題では、被験者は、覚えた文字があらかじめ指定された色で呈示された場合(注目色標的刺激、以後AT刺激、呈示確率は12.5%)にスイッチを押して反応した。テスト刺激が、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、AN刺激、37.5%)、標的文字は含まれているが注目色でない場合(無視色標的刺激、IT刺激、12.5%)、および無視色で標的の文字も含まない場合(無視色非標的刺激、IN刺激、37.5%)には、何も反応しなかった。種類の異なる刺激の呈示順序はランダムとした。ただし、各課題で反応すべき刺激は、各実験系列の最初の3試行には呈示せず、また連続して出現しないようにした。

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。標的の文字は、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。標的の文字の呈示位置は、ランダムかつ等確率になるよう設定した。

試行中は、文字列中央位置の上下に長さ0.7度の水平線分(間隔は約1度)を常に呈示し、それに挟まれた領域を凝視位置とした。参加者には、凝視位置から眼を動かさずに刺激を観察すること、および反応はできるだけ正確かつ速やかに行うことを教示した。テスト刺激呈示後スイッチが押されるまでの時間を1ms

単位で測定した。

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負荷条件につき1系列(192試行)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、各負荷条件につき2系列を実施した。実施順序はランダムとしたが、同じ負荷条件の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、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、右眼窩上から垂直眼球電図(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メディカルシステムズ)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メディカルシステムズ)を用いてオンラインでAD変換(サンプリング周波数は200 Hz)し、変換後のデータを光ディスクに保存した。

刺激呈示前100 msの平均電位をベースラインとして、各試行における脳波とEOGの振幅を算出した。分析区間は、標的波形については刺激呈示後1200 ms、非標的波形については同じく1000 msまでとした。誤反応およびいずれかのチャンネルで±100 μV(水平EOGでは±30 μV)以上の振幅を記録した試行を除き、単純探索課題においては刺激の種類(標的、非標的)×負荷(3)の6条件、複合探索課題においては刺激の種類(AT, AN, IT, IN)×負荷(3)の12条件別に加算波形を求めた。

結果の分析には繰り返し測度の分散分析を用いた。分散・共分散の非等質性によるタイプIエラー確率の増加を避けるために、必要に応じてGreenhouse & Geisser (1959)のεで自由度を調整した。有意水準は5%とした。多重比較には、テューキーのHSD検定を用いた。

結 果

反応時間と誤答率 複合探索課題における無視色刺激を除き、条件別反応時間の平均値とミス率およびフォールス・アラーム(FA)率を被験者ごとに求めた。

8名の被験者について平均した結果をTable 1に示す。反応時間について、課題(単純, 複合)×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、C2条件やP2条件よりもP6条件で長かった。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、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条件やP2条件よりもP6条件で多かった。FA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、有意な主効果、交互作用は得られなかった。

IT刺激に対するFA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。IN刺激に対するFA率はすべての条件で0.2%以下であった。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。

Table 1 Performance Data as a Function of Task and Display Load

Task	Display Load	Reaction Time (ms)	Miss %	False Alarm %
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.

標的刺激に対するERP Figure 1に、Pzで記録された標的刺激に対するERPを示す。図の上側が単純探索課題の標的刺激に対するERP、下側が複合探索課題のAT刺激に対するERPで、それぞれ負荷条件の異なる3つの波形を重ね書きしてある。これらのERPでは、Pz最大に分布し、他の刺激に対するERPには出現しない、大きな陽性シフト(P3b)が出現した。

Pzで記録されたERPについて、刺激呈示後300-1200ms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に示した。まず潜時に関する分散分析の結果、課題の主効果が有意($F(1,7) = 7.40, p < .05$)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。負荷の主効果も有意($F(2,14) = 16.33, \epsilon = 0.878, p < .001$)であり、P6条件のP3b潜時は、C2条件およびP2条件よりも長かった。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 The Peak Amplitudes and Latencies of P3b of Target-ERP at Pz as a Function of Task and Display Load

Task	Display Load	Amplitude (μV)		Latency (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 SDs.

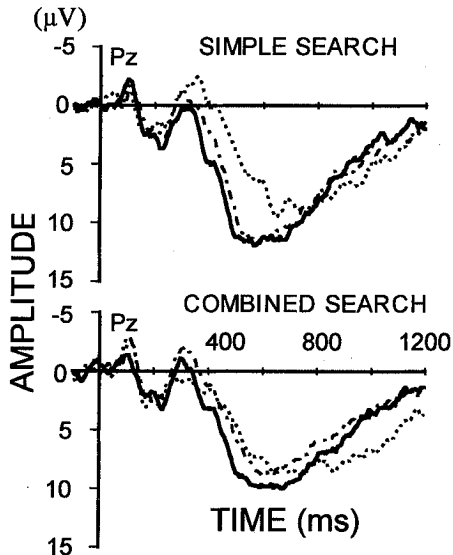


Figure 1. Grand averaged ERPs at Pz to targets in a simple search task (upper panel), and to attended targets in a search task combined with selection by color (lower panel). ERPs for three display load conditions (C2: real lines, P2: chain lines, P6: dotted lines) are superimposed.

非標的刺激に対するERP Figure 2に、単純探索課題における非標的刺激および複合探索課題におけるAN刺激に対するERPを示す(一部の部位のみ)。単純探索課題(Figure 2の左側)では、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1000msを40msごとに区切って区間平均電位を求め、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、Ozでは刺激後200ms前後から負荷効果が現れ、それが潜時800msあたりまで持続する。3条件の波形が最も分離している400-440ms区間で調べても、平均振幅は、 $C2 = P2 > P6$ (>は右側の条件がより陰性であることを示す)であった。Czでは、刺激後200-240ms区間で負荷効果があり、振幅は $P2 = C2 > P6$ となった。また、潜時360-600msの区間でも有意な負荷効果があり、

振幅は $C2 = P2 > P6$ であった。Fzではほとんど負荷効果は観察できず、480-520ms区間で有意な負荷効果が得られたのみであった。Fp1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条件よりも陽性であるように見える。これは統計的にも有意で、潜時360-840ms区間の平均振幅は、 $P6 > C2 = P2$ であった。

複合探索課題におけるERP(Figure 2中央)では、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600ms後で、それが分析区間終了まで持続している。一方Czでは、440-720ms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、480-680ms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、図には示していないが、前頭部の広い範囲で、300-400ms区間のERPは、P6条件において他の2条件よりも陽性であった。この区間では、F3およびF8のERPは、 $P6 > C2 > P2$ であった。

単純探索課題のCzで得られた潜時200-240ms区間の負荷効果は、複合探索課題では認められなかった。この効果についてさらに詳しく調べるため、単純課題の標的刺激と非標的刺激、複合探索課題のAT刺激、AN刺激、IT刺激、IN刺激のそれぞれに対するCzのERPの200-240ms区間の平均電位を求め、負荷に関する1要因分散分析を行った。その結果、有意な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あった。IN刺激に対するERP(図示していない)について区間平均電位に基づいて負荷効果に関して分析したところ、Fz、F3、F4では、360-400ms区間で、P6条件の波形が他の2条件よりも陽性であった。

SN波のトポグラフィ 探索課題の性質の違いによるERP上の視覚負荷効果の違いを調べるために、両課題のP6-C2条件間で差波形を計算し、Figure 2の右側に示した。SN波の頭皮上分布の違いを視覚的に示すために、全部位の差波形の区間平均電位(単純探索課題では350-450ms、複合探索課題では500-600ms区間)に基づいて等電位図(トポグラフィ)を求め、Figure 3の上側に示した。単純探索課題ではSN波が後頭部やや右半球寄りで優勢であるのに対し、複合探索課題では、その分布が中心部から前頭部優勢に変化したことがわかる。なお、SN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×部位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。

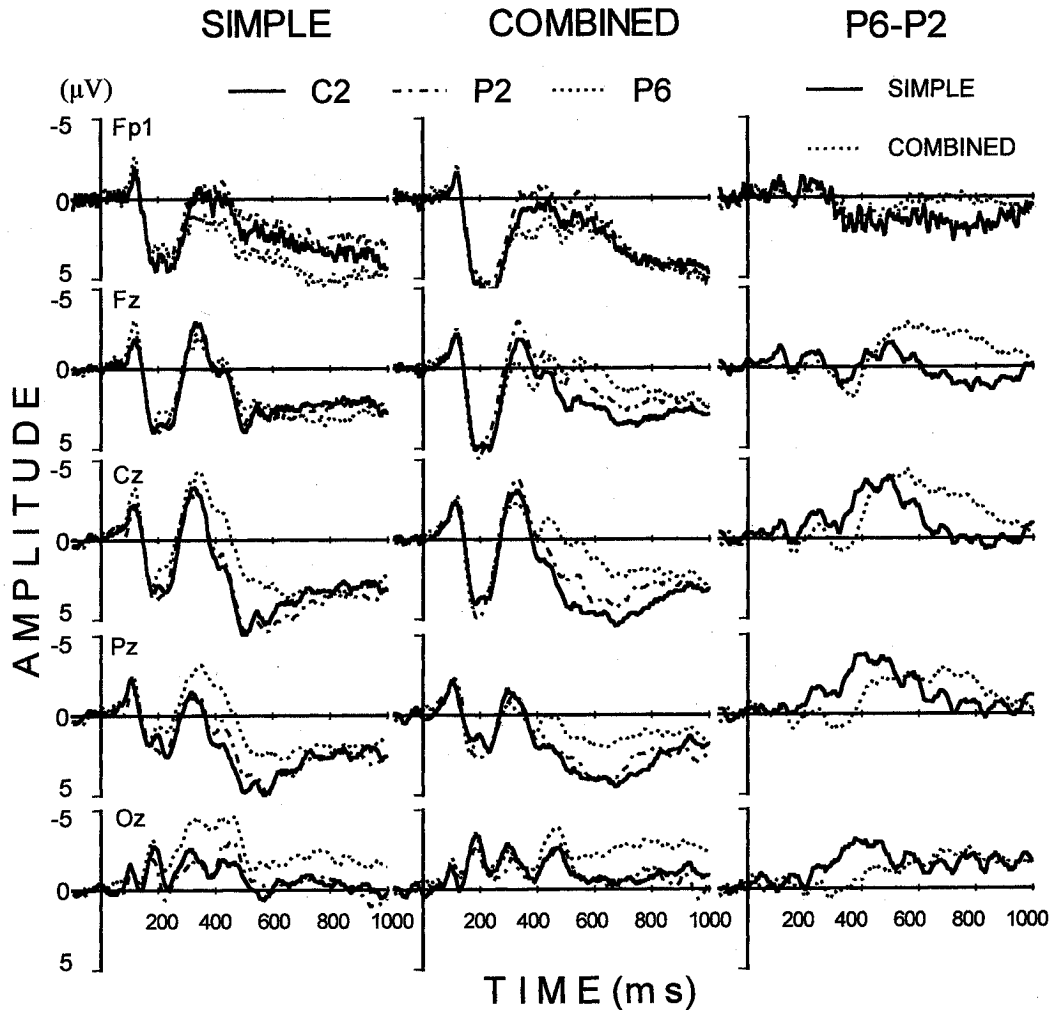


Figure 2. Grand averaged ERPs at five electrode sites (Fp1, Fz, Cz, Pz, Oz) to non-targets in a simple search task (left panel) and to attended non-targets in a search task combined with selection by color (middle panel). In these panels ERPs for three display load conditions are superimposed. In the right panel, difference waveforms in two search tasks obtained by subtracting ERPs for C2 condition from ERPs for P6 condition are depicted.

考 察

本研究は、異なる実験の結果の比較から推測した、課題の性質によるSN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 3に示すように、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SN波は、複合探索課題においては中心部から前頭部にかけて大きく出現するようになった。この変化がSN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 3の下側に示した。これを見ると、P3bの分布は、単純探索課題、複合探索課題ともに頭頂部優勢で、非常によく似ている。

本研究の第2の目的は、視覚負荷効果に混在していた、空間的注意の範囲と探索対象数という2つの要因を分離し、それがSN波に及ぼす影響を調べることであった。C2–P2条件間に振幅差は認められず、この波は、空間的注意の範囲ではなく、探索対象となる刺激の数によって変動した。

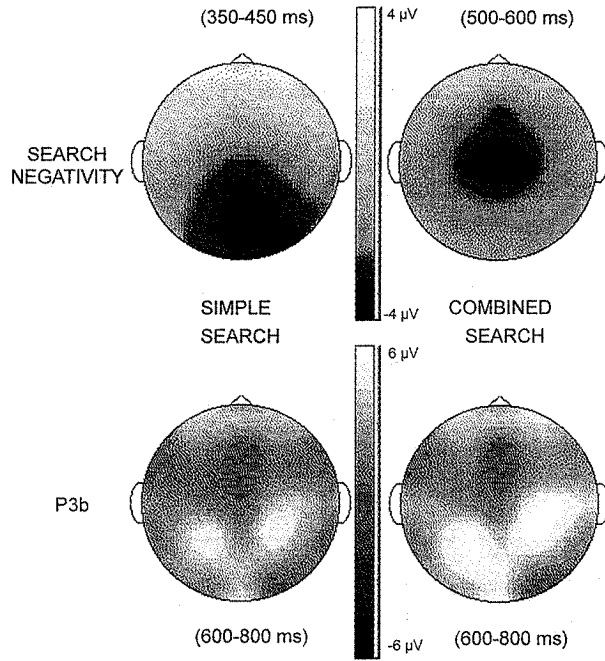


Figure 3. Scalp distributions of the search-related negativities (upper panel) and P3b (lower panel) in a simple search (left) and a search task combined with selection by color (right).

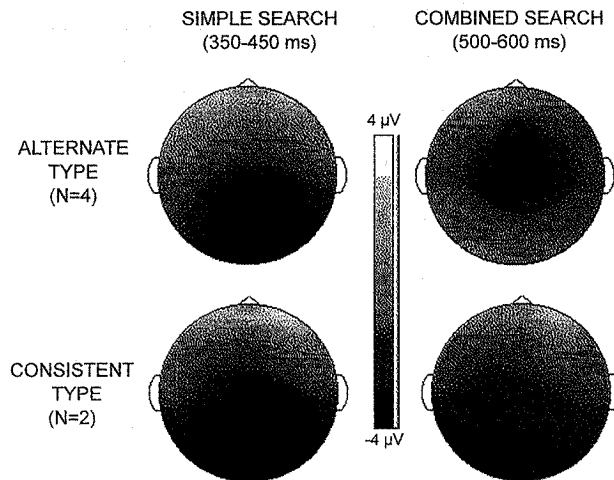


Figure 4. Individual differences of the topography of search-related negativities. In four of eight subjects (alternate type), parieto-occipital distribution in a simple search task changed into centro-frontal distribution in a search task combined with selection by color. Two of eight subjects (consistent type) showed very similar display load effects between two tasks.

SN波の振幅は、探索対象数によって変動し、その頭皮上分布は、色に基づく選択課題の付加によって変化することが明らかになった。無視色刺激に対するERPには、負荷に伴う陰性シフトが観察されなかったことから、この頭皮上分布の変化は、色情報に基づく初期選択過程の有無が原因であると考えられる。これらの結果は、視覚探索の過程には、性質の異なる少なくとも2つの処理過程が関わっていることを示唆する。一つは、後部領域で優勢な電位変化に反映される処理過程、もう一つは、中心部から前頭部にかけて出現する電位変化に反映される処理過程である。これらの処理過程について、宮谷(1998)は、ワーキングメモリの概念(Baddeley, 1986)を用いて、以下のように考察している。

Mecklinger, Kramer, & Strayer (1992)は、記憶負荷に伴って中心部に発達する陰性電位はワーキングメモリにおける処理容量を反映すると考えている。ワーキングメモリは、単一のシステムではなく、音声の符号に基づいた言語的情報の一時的保持と処理を行う音韻ループ、視空間的材料を何らかの画像的コードによって保持、処理を行う視空間スケッチパッド、およびこれら2つの下位システムの働きを調整し、協調的に機能させる役割を担う中央実行系の3つから構成されると想定されている。頭皮上分布の異なる2つのSN波は、ワーキングメモリの音韻ループと視空間スケッチパッドの活動を反映している可能性がある。聴覚刺激を用いた記憶探索課題(Okita, 1989)でも中心部優勢な分布を示すSN波が報告されていることから、中心部から前頭部にかけて優勢なSN波は、刺激の音声的符号に基づく探索過程(音韻ループの働き)を反映していると考えられる。また、後頭部から頭頂部、後部側頭部に出現する電位は、その分布が視覚系の腹側経路と背側経路(藤田, 1994)に一致することから、視覚的符号に基づく探索過程(視空間スケッチパッドの働き)を反映していると考えられる。

ワーキングメモリの2つの下位システムとの対応づけによって、たしかに本研究におけるSN波の頭皮上分布の変化を説明できる。刺激の一時的表象と標的の表象との比較照合が主として視覚的符号によって行われる場合には、視空間スケッチパッドの活動を反映する後部部位優勢なSN波が出現する。ところが、文字探索課題が色による選択課題と組み合わせされると、初期選択過程の存在によって比較照合過程の開始が遅延する。そのために、呈示時間が短い実験事態では視覚的符号の利用が困難となり、音声的符号に依存する度合いが増し、中心部から前頭部にかけても大きなSN波が出現するようになる。

SN波の頭皮上分布を参加者ごとに調べると、課題によって分布が変化する者(8名中4名, Figure 4の上側)と、変化しない者(2名, 下側)がいることがわかった。SN波の頭皮上分布の違いを、探索で用いられる符号の種類の違い、あるいはワーキングメモリの下位システムの利用方法の違いと考えれば、ERP指標によって情報処理における個人差の問題にアプローチすることも可能である。

しかし、SN波とワーキングメモリの下位システムとの関係を直接支持する実験データはまだない。ワーキングメモリの活動を反映すると考えられるERP変化として、現在のところ、心的回転課題を遂行中の後部部位優勢な陰性電位(Peronnet & Farah, 1989; Ruchkin, Johnson, Canoune, & Ritter, 1991; Stuss, Sarazin, Leech, & Picton, 1983)や、言語刺激を用いた遅延見本合わせ課題のS1刺激に対して出現する左半球前頭部の緩徐な陰性波(Ruchkin, Berndt, Johnson, Ritter, & Canoune, 1997)、非関連スピーチ効果や音韻類似性効果による、聴覚刺激に対するERPの変動(Martin-Loeches, Schweinberger, & Sommer, 1997)などが報告されている。これらの電位変化と本実験のSN波との関連は明らかでないが、さまざまなワーキングメモリ課題で記録されるERP変化の関係を今後検討することで、SN波の反映する心理的過程や、ワーキングメモリを支える脳内活動についての知見が得られるであろう。

なお、本研究では、SN波とは異なる視覚負荷効果が得られた。すなわち、前頭前部から前頭部領域のERPは、負荷が大きいほど陽性方向にシフトした。この負荷効果は、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 et al. (1995)も報告しており、課題の性質に関わらず、課題が困難になるにしたがって生じる現象であるかもしれない。

引用文献

- Baddeley, A. 1986 *Working memory*. Oxford: Oxford Press.
- 藤田一郎 1994 大脳視覚野の生理学 川人光男・行場次朗・藤田一郎・乾敏郎・力丸裕(編) 岩波講座 認知科学3 視覚と聴覚 岩波書店 Pp.41-88.
- Gevins, A., & Cutillo, B. 1993 Spatiotemporal dynamics of component processes in human working memory. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 87, 128-143.
- Greenhouse, S. W., & Geisser, S. 1959 On methods in

- the analysis of profile data. *Psychometrika*, **24**, 95-112.
- Martin-Loeches, M. Schweinberger, S. R., & Sommer, W. 1997 The phonological loop model of working memory: An ERP study of irrelevant speech and phonological similarity effects. *Memory & Cognition*, **25**, 471-483.
- 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.
- Mecklinger, A., Kramer, A. F., & Strayer, D. L. 1992 Event related potentials and EEG components in a semantic memory task. *Psychophysiology*, **29**, 104-119.
- 宮谷真人 1992 視覚的探索課題で出現する2種類の探索陰性電位について 生理心理学と精神生理学, **10**, 23-33.
- 宮谷真人 1998 色に基づく選択と組み合わせた文字探索課題遂行中の視的探索陰性電位 広島大学教育学部紀要第一部(心理学), **47**, 9-18.
- 宮谷真人・前堂志乃・赤井俊幸 1994 視覚的探索課題における空間負荷と記憶負荷が事象関連電位に及ぼす影響 心理学研究, **65**, 303-311.
- Okita, T. 1989 Within-channel selection and event-related potentials during selective auditory attention. *Psychophysiology*, **26**, 127-139.
- Peronnet, F., & Farah, M. J. 1989 Mental rotation: An event-related potential study with validated mental rotation task. *Brain and Cognition*, **9**, 279-288.
- 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.
- Ruchkin, D. S., Berndt, R. S., Johnson, R. Jr., Ritter, W., Grafman, J., & Canoune, H. L. 1997 Modality-specific processing streams in verbal working memory: Evidence from spatio-temporal patterns of brain activity. *Cognitive Brain Research*, **6**, 95-113.
- 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.
- 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.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. 1980 A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, **12**, 97-136.
- 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.
- 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.

(注1) 本研究の結果の一部は、第11回事象関連電位に関する国際会議(EPIC XI, 1995, 沖縄)およびその会報で発表(Topographic changes of search-related negativities in different visual search tasks. In C. Ogura, Y. Koga, & M. Shimokochi (Eds.), *Recent advances in event-related brain potential research*. Elsevier, 1996, pp. 122-125) した。