

マッピング条件が異なる視覚的探索課題 における事象関連電位

宮谷真人・赤井俊幸
(1993年9月10日受理)

Event-related potentials in varied-and consistent-mapping visual search

Makoto Miyatani and Toshiyuki Akai

This study investigated the effects of display load (number of positions to be processed) on event-related potentials (ERPs) during visual search in different mapping conditions. ERPs were recorded from nine adult subjects, who were required to respond if stimuli, which consisted of a horizontal array of five different characters, contained target numbers (consistent-mapping, CM) or target alphabets (varied-mapping, VM). In VM conditions, P300 latency increased and P300 amplitude reduced with increasing display load. Larger display load also resulted in enlargement of search-related negativity. But in contrast, in CM conditions, display load did not affect P300s, nor increase search-related negativity over the whole scalp. The sequential changes of topography of search-related negativity in VM conditions suggests that this negativity may contain three deflections which differed in topography and the time course. A tentative linkage was suggested between the psychological processes involved in the visual search and these deflections as well as the fronto-central N310 and the occipital N190, which were affected by display load both in VM and CM search tasks.

Key words : visual search, varied mapping, consistent mapping, event-related potentials (ERPs), search negativity

視野内の複数の対象の中から、特定の特徴を持つものを選択的に抽出する働きは、人間の基本的認知機能の1つであり、このような働きを実験的に検討するために工夫された課題が、視覚的探索課題である。視覚的探索課題では、被験者はあらかじめ1つ以上の標的(記憶セット)を覚えるよう求められる。続いて呈示されるテスト刺激には、標的が含まれる場合(標的的刺激)と、標的以外の刺激(妨害刺激)だけが含まれる場合(非標的的刺激)とがあり、被験者の課題は、テスト刺激中の標的の有無を判断したり、その場所を定位したりすることである。記憶セットの大きさや標的を定義する特徴の性質、あるいはテスト刺激に含まれる妨害刺激の数や性質を様々な操作し、それに伴う課題遂行成績の変化を調べることによって、視覚情報処理における並列的・前注意的処理と系列的・注意的処理

の違い (Neisser, 1967; Hoffman, 1979; Treisman & Gelade, 1980)や、自動的検出過程と制御的検出過程の区別 (Schneider & Shiffrin, 1977; Shiffrin & Schneider, 1977) などが明らかにされてきた。

ところで、事象関連電位 (event-related potentials, 以下ERP) は、人間の認知過程の有力な測度の1つであり (Hillyard & Picton, 1987; 沖田, 1989)、視覚的探索に関しても数多くのERP研究が行われてきた。最も精力的に検討されてきたのは、記憶セットの大きさ(以下、記憶負荷)やテスト刺激中の処理すべき項目数(以下、空間負荷)とP300成分との関係であり、一般的に言って、記憶負荷や空間負荷の増大につれてP300潜時は遅延し、振幅は減少する (Brookhuis, Mulder, Mulder, Gloerich, van Dellen, van der Meere, & Ellermann, 1981; Ford, Roth, Mohs, Hop-

kins, & Kopell, 1979; Luck & Hillyard, 1990; Kramer, Schneider, Fisk, & Donchin, 1986; Kramer, Strayer, & Buckley, 1991; van Dellen, Brookhuis, Mulder, Okita, & Mulder, 1985)。

また、Okita, Wijers, Mulder, & Mulder (1985) は、空間選択的注意と記憶探索を組み合わせた課題を用いてERPを記録し、注意刺激に対するERPにおいては刺激後300msから中心部(Cz)優位に陰性電位が発達し、その振幅は記憶負荷に伴って増大することを見いだした。彼らは、この電位が短期記憶内の系列的・制御的な比較過程を反映すると考え、探索陰性電位と呼んだ。その後、記憶負荷の影響をうけて変化する探索陰性電位は、物理的特徴に基づく選択(Wijers, Mulder, Okita, & Mulder, 1989; Wijers, Mulder, Okita, Mulder, & Scheffers, 1989)や心的回転(Wijers, Otten, Feenstra, Mulder, & Mulder, 1989)と記憶探索を組み合わせた課題や、聴覚的課題(沖田, 1988)においても確認されている。

探索陰性電位は、視覚探索課題における空間負荷によっても影響される。Wijers, Okita, Mulder, Mulder, Lorist, Poiesz, & Scheffers (1987) は、凝視点を中心とする仮想的な正方形の4隅に刺激を呈示し、被験者にどちらか一方の対角線上の2隅に注目させるか、4隅全てに注目させるかによって空間負荷を操作したところ、Okita et al. (1985)と同じ潜時帯に、空間負荷に伴って振幅が増大する陰性電位を観察した。また、Ritter, Simson, & Vaughan (1988) は、テスト刺激としてアルファベット5文字を横一列に呈示し、被験者に中央の1文字にだけ注目させるか、両端の2文字に注目させるか、5文字全部に注目させるかによって空間負荷を操作した。その結果、彼らは、標的検出課題の高頻度非標的の刺激に対するERPから単純反応ERPを引き算して得られる陰性波形(NA波)の後半部が空間負荷に影響され、負荷が増加するほど頂点潜時が延長し、振幅も後頭部・後部側頭部優勢に増大することを見いだした。さらに、宮谷(1992)は、視覚的探索課題における空間負荷と記憶負荷を組み合わせ操作し、各条件下で記録されたERPを比較した。刺激呈示開始後300-450msの区間のERP波形は、負荷の種類にかかわらず負荷が大きくなるにつれて陰性方向にシフトした。2種類の負荷効果は頭皮上分布の点で異なっており、空間負荷による陰性シフトが後頭部(O1, O2)および後部側頭部(T5, T6)に優勢に出現したのに対し、記憶負荷の効果はCzを中心に頭部全体で認められた。

ERP成分の頭皮上分布は、成分同定の手掛かりとなるだけでなく、その成分の発生源や、反映される心理

学的過程を推測するための重要な情報源である。視覚的探索課題で得られる探索陰性電位の頭皮上分布について、記憶負荷の効果に関しては、Czを中心に頭部全体で認められるという点でほとんどの研究が一致している。ところが、探索陰性電位に及ぼす空間負荷効果の頭皮上分布は、研究間で多少異なっており、宮谷(1992)やRitter et al. (1988)では、後頭部・後部側頭部優勢で、中心部や、特に前頭部(Fz)では効果が小さいのに対し、Wijers et al. (1987)では、Ozで最大の振幅を示したものの、Fz, Cz, Pzにも広く分布していた。

空間負荷に伴って変化する探索陰性電位(以下、空間探索電位と呼ぶ)の頭皮上分布の違いの原因として、記憶セットの決定の仕方の相違を挙げることができる。Wijers et al. (1987)では、標的となるアルファベットまたは数字が実験系列ごとにランダム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、宮谷(1992)の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に決められており、これらの文字が妨害刺激となることはなかった。さらに、宮谷・前堂・赤井(Note 1)では、宮谷(1992)の手続きを、実験系列ごとに標的を変化させるように変更した結果、後頭部・後部側頭部と同様、中心部でも探索陰性電位が空間負荷に伴って大きく増大することを見いだした。この結果は、記憶セットの決定方法によって、空間探索電位の頭皮上分布が異なるという考え方を支持するものである。

ある刺激が、場合によって標的にも妨害刺激にもなり得るか(varied mapping, VM課題)、標的となる刺激のグループと妨害刺激のグループが完全に分かれているか(consistent mapping, CM課題)は、練習による視覚的探索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ことは十分に予想できる。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、作業記憶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。これを空間負荷効果に当てはめて考えれば、記憶セットの決定方法による頭皮上分布の違いを説明できる。しかし、宮谷(1992)でも、Ritter et al. (1988)でも、標的が固定されてはいても、空間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。空間探索電位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、行動的測度で空間負荷効果が認められなくなった段階で、探索電位が空間負荷によってどのような影響を受けるのかを検討する必要がある。

CM 条件下の視覚的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 P300 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、P300 の潜時も振幅も、記憶負荷 (Kramer et al., 1986, 1991) や空間負荷 (Hoffman, Simons, & Houck, 1983; van Dellen et al., 1985) の影響を受けなくなる。P300 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か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、ごくわずかしがなく、特に、探索陰性電位における空間負荷効果について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 課題と同様の空間探索電位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 課題内で空間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) と同じ方法で空間負荷を操作し、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

正常視力または矯正による正常視力を有する、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 $0.7^{\circ} \times 0.7^{\circ}$ (観察距離 90 cm)、文字列全体の横幅は約 4.2° 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。

各課題で、空間負荷 (注目位置数) について 3 条件 (P1, P2, P5) を設定した。標的は、P1 条件では必ず文字列の中央に、P2 条件では文字列の最も左または最も右のどちらかに、P5 条件では、5 つの場所のどこかに呈示した。P2 および P5 条件における標的の呈示位置は、ランダムかつ等確率とした。

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° の水平線分を常に呈示し、被験者には、その線分に挟まれた領域 (線分間の間隔は約 1°) から視線をそらさないよう指示した。また、キー押しは、できるだけ正確に、かつ素早く行うよう指示し、刺激呈示開始後、キーが押されるまでの反応時間を 1 ms 単位で記録した。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指示を行った。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 課題では各空間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ける CM 課題と VM 課題は、同じ順序で実施した。

脳波の記録と分析

銀・塩化銀血電極を用い、両耳朶連結を基準電極として、国際10-20法による Fz, F4, Cz, C4, T4, Pz, P4, T6, Oz, O2の10部位から脳波を導出した。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 は帯域通過周波数 0.05-30Hz で増幅した。

刺激呈示前100msから1100msの区間の脳波と EOG をサンプリング周波数100Hzで AD 変換し、刺激呈示前100ms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 μ V(水平 EOG では±30 μ V)以上の振幅を記録した試行を除き、刺激および課題に関する条件別に加算平均した。

ERP データに繰り返し測度の分散分析を適用するに当たり、分散・共分散の非等質性によるタイプ I のエラーの確率の増加の危険 (Vasey & Thayer, 1987) を避けるために、Greenhouse-Geisser の ϵ で自由度を調整した。多重比較には、行動測度については Newman-Keuls 法、ERP データについてはタイプ I のエラーに厳しい Scheffé 法を用いた。全ての分析で有意水準は 5% とした。区間平均電位に関する分析結果の報告に際し、記述の煩雑さを避けるために、F 値、自由度、危険率の表記は割愛した。

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 (ミスおよび誤警報) を求め、その平均値と標準偏差を Table 1 に示した。反応時間について課題×負荷の分散分析を行ったところ、課題 ($F(2,$

$6)=101.7, p<.01$) と負荷 ($F(2, 16)=60.47, p<.01$) の主効果, および交互作用 ($F(4, 32)=28.17, p<.01$) 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 課題で特に大きく、負荷が大きいほど反応時間は長かった。

ミスおよび誤警報率を分析したところ、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 trade-off 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に対する ERP を Figure 1 に示した。この波形では、頂点潜時が約 500-700ms の大きな陽性成分 (P300) が特徴的である。Pz の標的波形について、刺激後 300-1000ms 区間で最大の陽性電位を示した点を P300 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 に示す。潜時について課題×負荷の分散分析を行った結果、課題 ($F(1, 8)=29.98, p<.01$) と負荷 ($F(2, 16)=9.17, \epsilon=0.84, p<.01$) の主効果, および交互作用 ($F(2, 16)=7.68, \epsilon=0.94, p<.01$) が有意であった。負荷の効果は VM 課題のみで有意であり、P 1 条件の潜時は、P 2 および P 5 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。

P300 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 ($F(2, 16)=12.82, \epsilon=0.75, p<.01$) の主効果, および交互作用 ($F(2, 16)=12.33, \epsilon=0.99, p<.01$) 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 P 2 および P 5 条件で認められ、VM 課題の振幅は、CM 課題よりも小さかった。

Table 1
Performance data as a function of task and display load

		(±SDs)		
Task	Load	Reaction time (ms)	Miss (%)	False alarm (%)
CM Training	P 1	417.0±42.9	0.4±0.9	0.0±0.0
	P 2	436.2±49.7	0.4±0.9	0.2±0.4
	P 5	446.2±43.0	0.1±0.4	0.5±0.5
CM	P 1	427.7±42.3	0.8±1.4	0.2±0.3
	P 2	441.1±51.4	1.0±1.7	0.5±0.9
	P 5	451.1±46.9	1.7±3.3	0.3±0.3
VM	P 1	481.8±49.9	1.4±2.4	0.2±0.3
	P 2	547.2±71.6	4.9±6.6	0.3±0.4
	P 5	627.1±79.5	13.8±9.8	0.9±0.5

Table 2

The amplitude and latency of P300s for target at Pz as a function of task and display load

		(±SDs)	
Task	Load	Amplitude (μV)	Latency (ms)
CM	P 1	21.1±5.3	494.4± 64.8
	P 2	19.1±5.0	507.8± 75.1
	P 5	19.8±5.0	523.3± 56.4
VM	P 1	19.9±5.9	522.2± 56.1
	P 2	16.7±5.2	634.4±110.8
	P 5	12.3±5.0	666.7± 96.4

非標的刺激に対する ERP

Figures 2-3 に、非標的刺激に対する ERP 波形を示した。Figure 2 が VM 課題の総加算平均波形、Figure 3 が CM 課題における加算波形で、それぞれ 3 つの負荷条件の波形を重ね書きしてある。

後頭部 N190 非標的 ERP を観察すると、特に Figure 2 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 190ms の陰性波（後頭部 N190）は、他の 2 条件に比べて P 1 条件で振幅が大きく、潜時も長いようである。

この視察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 100-300ms 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 ($F(2, 16) = 5.44$, $\epsilon = 0.95$, $p < .05$) 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 ($F(2, 16) = 12.23$, $\epsilon = 0.83$, $p < .01$), 課題にかかわらず P 1 条件の潜時 (198.3ms) が、P2 (188.9ms) および P5 条件 (185.0ms) 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・交互作用は認められなかった。

前頭・中心部 N310 Figures 2-3 をさらに観察すると、前頭部や中心部で明瞭に出現する、頂点潜時約 310ms の陰性方向の振れ（前頭・中心部 N310）に負荷条件による違いが認められる。振れそのものは前頭部で大きい、条件差は Cz において最も顕著であり、負荷が大きくなるほど高振幅であるように見える。

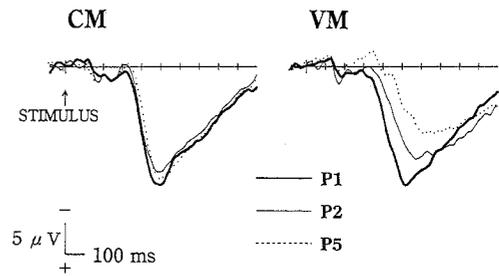


Figure 1. Grand-average target ERPs at Pz in consistent- (CM, left panel) and varied-mapping (VM, right panel) visual search, superimposed for three display load conditions.

この視察は、統計的にも確認できた。Cz の非標的波形について、N310 の頂点潜時と振幅を条件別に求め、課題×負荷の分散分析を行ったところ、振幅に関して、空間負荷の主効果が有意であり ($F(2, 16) = 6.85$, $\epsilon = 0.75$, $p < .05$), 課題にかかわらず、負荷が大きほど波形は陰性方向へ大きく振れていた (P1: $-0.74 \mu V$, P2: $-1.91 \mu V$, P5: $-2.36 \mu V$; $P1 < P5$, $P1 = P2$, $P2 = P5$). 潜時に関しては、いかなる条件差も認められなかった。

探索陰性電位 Figure 2 の VM 波形では、Fz と F4 を除いて、刺激呈示後 300ms 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

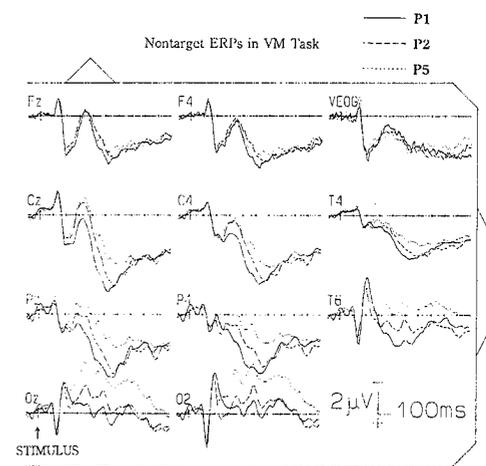


Figure 2. Grand-average nontarget ERPs in varied-mapping visual search, superimposed for three display load conditions. Vertical EOGs were also depicted.

えて、従来の研究で指摘されてきた探索陰性電位によるものであると考えられる。VM 課題における探索陰性電位に及ぼす空間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 200-1000ms の間を 40ms 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、P 1、P 2、P 5 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、320-600ms、C4 で 320-600 ms、Tz で 440-600ms、Pz で 240-600ms、P4 で 280-600ms、T6 で 320-680、Oz で 280-800ms、O2 で 320-760ms となり、Fz と F 4 では該当する区間がなかった。

Figure 3 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 P 5 波形が最も陽性となり、差の方向が探索陰性電位とは異なっている。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、P 1、P 2、P 5 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 560-600ms の区間のみであった。

空間負荷効果の頭皮上分布

VM 課題で得られた探索関連電位に関して空間負荷効果の頭皮上分布を詳しく調べるために、P 5 および P 2 条件の ERP から P 1 条件の ERP を引き算した波形を求め、Figure 4 に示した。Figure 4 を見ると、後頭部における負荷効果は刺激後 300ms 過ぎには最大に達し、P 2 条件と P 5 条件間にも条件差が認められる。それに対し、中心部の差波形では刺激後 400ms あたりまでは差電位が小さく、P 2 条件と P 5 条件間に差が認められず、その後最大の負荷効果と P 2、P 5 間の条件差が出現している。

P 5 - P 1 波形について 320-360ms 区間と 440-480 ms 区間の平均電位を算出し、McCarthy & Wood (1985) の推奨する方法で規準化した値を Figure 5 に示す (F4, C4, P4, T4 については省略した)。全部位の値について、区間×記録部位の分散分析を行った結果、部位の主効果 ($F(9, 72) = 13.4, \epsilon = 0.32, p < .01$) と、区間×部位の交互作用 ($F(9, 72) = 6.85, \epsilon = 0.26, p < .05$) 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 P300 の出現の有無に関するものであるが、その他、従来の研究で指摘された点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。

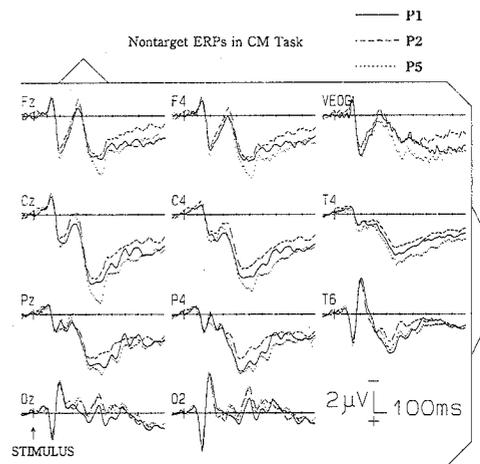


Figure 3. Grand-average nontarget ERPs in consistent-mapping visual search, superimposed for three display load conditions. Vertical EOGs were also depicted.

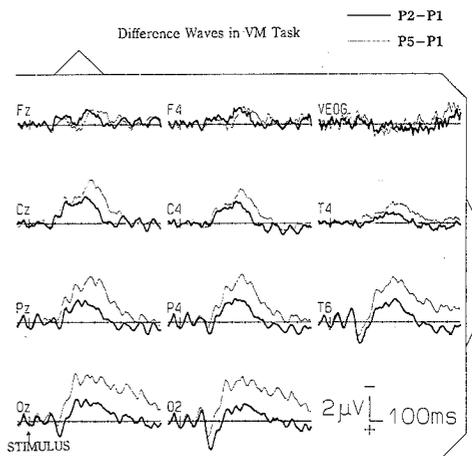


Figure 4. The difference waves obtained by subtracting ERPs for the lowest display load (P1) condition from those for the middle (P2, thick lines) and highest (P5, thin lines) load conditions in varied-mapping visual search.

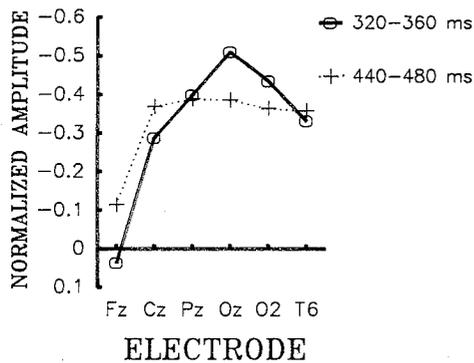


Figure 5. Scalp distribution of the P5-P1 difference waves in varied-mapping visual search. Mean amplitude of each electrode site in the latency range of 320-360ms (solid lines), and 440-480ms (dotted lines) was divided by the square root of the sum of squares of 10 measured amplitudes.

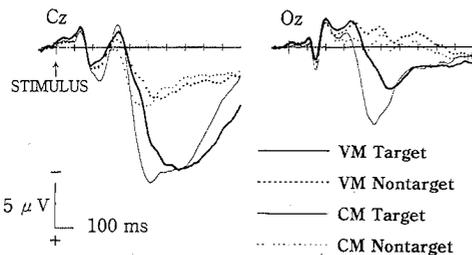


Figure 6. Effects of stimulus category (target versus nontarget) on ERPs at Cz (left panel) and Oz (right panel). Each ERP was averaged across three display load conditions.

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、空間負荷効果は 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 6 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、この視察は、統計的には支持されなかった。Cz 波形について、潜時 300-350ms 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 × 空間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であり ($F(2, 16) = 4.17, \epsilon = 0.98, P < .05$)、P1 条件 ($0.65 \mu V$)、P5 条件 ($-0.71 \mu V$)、P2 条件 ($-0.95 \mu V$) の順に、電位はより陰性であった。

次に、Wijers et al. (1989a, 1989b) は、Oz における潜時約 200-300ms 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 6 の右側に示す) について潜時 200-300ms 区間の平均電位を求め、刺激の種類 × 課題 × 空間負荷の分散分析を行った結果、課題 × 負荷 ($F(2, 16) = 8.22, \epsilon = 0.87, p < .01$) および刺激 × 課題 × 負荷の交互作用 ($F(2, 16) = 4.21, \epsilon = 4.96, p < .05$) が有意であった。VM 課題では標的波形 ($-2.24 \mu V$) が非標的波形 ($-1.68 \mu V$) 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 ($-3.27 \mu V$) は P2 波形 ($-1.39 \mu V$) に比べて陰性であった。P1 条件 ($-2.01 \mu V$) 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、視覚的探索課題における空間負荷が ERP に及ぼす影響を、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、制御的な検出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 1 を見ると、空間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定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 23ms 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 の P300 の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 300ms 前後から、前頭部を除く部位で空間負荷に伴う陰性電位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、差の方向が探索陰性電位によるものとは異なっており、探索陰性電位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、空間探索電位は頭皮上全体にわたって出現しなかった、あるいは少なくとも空間負荷による影響を受けなかったと言える。

実験前には、中心部に発達する空間探索電位が、標的検出の自動化の程度の影響を受け、マッピング条件

によって異なる頭皮上分布が得られると予測したが、その予測は一部正しく、一部は誤っていた。すなわち、CM 訓練による標的検出の自動化が空間探索電位に及ぼす影響は、中心部のみではなく、頭皮上全体に及んだ。この結果は、制御的検出から自動的検出に至る途中の段階で、まず中心部の空間探索電位が減少し、さらに自動化の程度が進むと後頭・側頭後部の探索電位が減少していくためであると考えられるかもしれない。しかし、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電位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と同じであった。Wijers et al. (1989 a) 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、探索陰性電位の頭皮上分布が変化するという事はなさそうである。本実験では CM 課題の練習後の ERP しか記録していないが、自動的標的検出を獲得していく過程における ERP の変化を、さらに詳しく検討する必要があるだろう。

VM 課題で得られた空間探索電位の頭皮上分布とその時間経過を見ると、空間負荷によって増大する探索陰性電位は 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電位は、潜時 300ms 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、P 2 条件と P 5 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電位は、最大の負荷効果が出現するのが 440-480ms と、後頭部・後部側頭部に比較して遅かった。McCarthy & Wood (1985) の方法による規準化電位による分析で区間×部位の有意な交互作用が得られたことは、2 つの区間では、空間探索電位の発生源が異なることを示唆する。さらに、Figure 4 を見ると、中心部に発達する空間探索電位が 2 つの部分、すなわち 400ms 以前の P 2 条件と P 5 条件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 P 1 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。P 2 条件と P 5 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、中心部の空間探索電位の前半部は空間的注意の範囲の効果、後半部は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可能性がある。さらに、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・後部側頭部の陰性電位が刺激の視覚的特性に依存する、すなわち視覚的表象に基づく処理を反映するのに対し、中心部の探索電位は、刺激の呈示モダリティに依存しない言語的表象に基づく処理を反映して

いるのではないかとの推論も可能である。探索陰性電位に及ぼす記憶負荷は、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。しかし、空間探索電位を 3 つの下位成分に分けることが妥当かどうかは、空間的注意の要因と処理刺激数の要因を分離した検討に加え、視覚的表象と言語的表象にそれぞれ異なる影響を与える実験操作が視覚的探索に関連する ERP に及ぼす影響の異同について検討しなければならない。

本実験では、後頭部 N190 の頂点潜時と、前頭・中心部 N310 の振幅に、マッピング条件にかかわらず有意な空間負荷の効果が認められた。P 1 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、宮谷・前堂・赤井 (Note 1) も同様の報告をしており、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。P 1 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、本実験で得られた後頭部 N190 の結果は、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) の結果であるとも考えられ、Figure 2 の波形からもその解釈は妥当であるように思われる。しかし、振幅に関しては有意な空間負荷効果が認められず、また Figure 3 の波形から見て振幅差がほとんどない CM 課題でも空間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。P300 潜時が、反応時間と同じく空間負荷とともに延長したのは逆に、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 が視覚的刺激的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、高品質な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。

前頭・中心部 N310 の振幅に関しては、結果がやや複雑である。頂点振幅に関しては、マッピング条件にかかわらず空間負荷が大きいほど高振幅となったのに対し、300-350ms 区間の平均電位で見た場合、P 2 条件で振幅が最大となり、頂点振幅の結果とやや異なる。しかし、いずれにせよ P 2 条件と P 5 条件の振幅差はわずかであり、条件間に有意差は認められなかった。

したがって、前頭・中心部N310の振幅差は、P1条件と他の2条件の間の差であると考えてよい。前述したように、P1条件と他の2条件は、処理すべき刺激数が異なるのと同時に、空間的注意の範囲が異なっている。したがって、本実験で得られた前頭・中心部N310の振幅差が、Kramer et al. (1986)が報告した記憶負荷による振幅の増大と同じメカニズムによるものであるかどうか、さらに前頭・中心部N310が自動的ミスマッチ過程を反映するものかどうかに関する結論は、空間的注意の要因と処理刺激数の要因を分離した実験の結果を待たねばならない。

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 6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いとしたKramer et al. (1986, 1991)とも一致しない。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 et al. (1989a, 1989b)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、200-300ms区間の標的波形は、非標的波形よりも陰性であった。Wijers et al. (1989a)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。Wijers et al. (1989a)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効果は、記憶負荷が大きいと現れにくくなり(Wijers et al., 1989a)、本実験でも、VM課題の標的波形では空間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、結果の再現性も含めてさらに検討を続ける必要がある。

Reference Note

1. 宮谷真人・前堂志乃・赤井俊幸 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 *Manuscript submitted for publication.*

引用文献

- Brookhuis, K. A., Mulder, G., Mulder, L. J. M., Gloorich, 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.
- 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.
- 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., & Picton, T. W. 1987 Electro-physiology of cognition. In F. Plum (Ed.), *Handbook of physiology: Sec. 1. The nervous system: Vol. 5. Higher functions of the brain*. Bethesda, ND: American Physiological Society, Pp.519-584.
- Hoffman, J. E. 1979 A two-stage model of visual search. *Perception & Psychophysics*, 25, 319-327.
- 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.
- 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*, 13, 277-278.
- 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.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. 1990 Electrophysiological evidence for parallel and serial processing during visual search. *Perception & Psychophysics*, 48, 603-617.
- 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 search 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.
- 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*.(In press)
- 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*. Amsterdam: North-Holland. Pp.119-141.
- Neisser, U. 1967 *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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., & Schneider, W. 1977 Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review*, 84, 127-190.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. 1980 A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- 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*. Beckenham: Croom Helm. Pp.132-155.
- 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.
- 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 focussed and divided attention conditions. *Biological Psychology*, 25, 33-60.
- Wijers, A. A., Mulder, G., Okita, T., & Mulder, L. J. M. 1989a 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. 1989b 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.