

# 呈示刺激数とその規則性が視覚探索課題遂行中の事象関連電位に及ぼす影響

宮谷真人<sup>1)</sup>, 坂田須美子<sup>2)</sup>

Effects of display set size and its variability  
on the event-related potentials during a visual search task

Makoto Miyatani<sup>1)</sup>, Sumiko Sakata<sup>2)</sup>

## Abstract

This study investigated the effects of display set size and its variability on the event-related potentials (ERPs) during a visual search task. In Experiment 1, subjects were required to respond if a visual display, which consisted of two, four, or six alphabets, contained one of two members of memory set. In Experiment 2, subjects detected the change of the shape of a fixation stimulus, which was surrounded by the same alphabets as in Experiment 1. In the search task (Experiment 1), the increase of display set size resulted in the negative shift of the ERPs between 320–640 ms after the stimulus onset. This negative shift (visual search negativity) was almost the same in amplitude over the whole scalp. The variability of the display set size also affected the ERPs between 280–400 ms, so that the ERPs were more negative when the display set size was constant, compared to when it changed randomly within an experimental block. This effect of variability did not interact with that of display set size, which suggested the search processes reflected in the visual search negativity were not affected by a visuo-spatial attention. In the non-search task (Experiment 2), the ERP changes caused by display set size were limited to the occipital and posterior temporal regions, smaller in amplitude, and later in latency than those in Experiment 1. These results suggested that the visual search negativity might be composed of several sub-components, which reflect the activity of sub-processes involved in visual search processes.

**Key words:** visual search, display set size, event-related potentials (ERPs), visual search negativity

---

1) 広島大学教育学部 Faculty of Education, Hiroshima University

2) 広島大学大学院実験心理学専攻 Graduate Course of Experimental Psychology, Hiroshima University (現在の所属は, 日本心理学会事務局)

視野内に存在する複数の対象の中から、特定の特徴を持つものを探し出す働きを、視覚探索と呼ぶ。視覚探索を支える心理的過程を調べるために工夫された課題が、視覚探索課題である。この課題では、あらかじめ被験者に、検出すべき対象（これを標的と呼ぶ）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。テスト刺激には、標的以外の対象（妨害刺激）だけが含まれている場合と、標的と妨害刺激の両方が含まれている場合がある。標的や妨害刺激の数が増えたり、標的と妨害刺激がよく似ていたりすると、課題の遂行が困難になる。課題の難易度に伴う成績（反応時間や誤答率）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 (Hoffman, 1979; Treisman & Gelade, 1980) や、自動的検出と制御的探索の区別 (Schneider & Shiffrin, 1977; Shiffrin & Schneider, 1977) などが明らかにされてきた。

視覚探索研究の手段の一つとして、事象関連電位 (event-related potentials, ERP) が用いられてきた。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)。さまざまな認知実験における独立変数の操作が ERP に及ぼす影響を調べることによって、現在までに、期待、選択的注意、定位反応、刺激評価、意味処理、短期記憶などの心理学的概念に対応すると考えられる種々の ERP 成分が報告されてきた (Donchin, Karis, Bashore, Coles, & Gratton, 1986; Hillyard & Picton, 1987)。視覚探索に関する初期の ERP 研究では、課題の難易度と P3b 成分との関連に焦点が当てられた。一般的には、課題が困難になると P3b の潜時は延長し (Ford, Roth, Mohs, Hopkins, & Kopell, 1979; Kramer, Schneider, Fisk, & Donchin, 1986; Luck & Hillyard, 1990; Van Dellen, Brookhuis, Mulder, Okita, & Mulder, 1985), 振幅は減衰する (Kramer et al., 1986; Miyatani & Maedo, 1994; Van Dellen et al., 1985) ことがわかっている。

視覚探索過程を反映する ERP 成分として、P3b 成分の他に、探索陰性電位 (search negativity) がある。Okita, Wijers, Mulder, & Mulder (1985) は、空間選択的注意課題と記憶探索 (Sternberg, 1966) を組み合わせた課題を実行中の被験者から ERP を記録した。彼らは、凝視点を中心とする仮想的な四角形の対角線上にアルファベット文字を呈示した。どちらの対角線上に文字が出現するかは、試行によってランダムに変えた。被験者には、どちらか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、標的となる文字の数を、1, 2, 4 と変化させ、それに伴う ERP の変化を観察した。注目

していない場所に呈示された刺激に対する ERP には、標的字数による違いがなかったが、注目場所の刺激に対する ERP では、刺激後 300–700 ms の区間に、Cz 優勢に分布し、標的字数に伴って振幅が増大する明瞭な陰性電位が出現した。Okita et al. (1985) は、この電位が短期記憶内の制御的探索過程を反映する電位であると考え、探索陰性電位と呼んだ。

標的の数ではなく、テスト刺激中の探索対象の数を増やした場合にも、類似の陰性電位が出現する。Ritter, Simson, & Vaughan (1988) は、5文字のアルファベットを横一列に呈示し、被験者には、その文字列中に母音が含まれているかどうかの判断を行わせた。その際、母音が呈示される可能性のある位置をあらかじめ被験者に知らせた。標的が必ず文字列の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条件間で ERP を比較したところ、後頭部と後部側頭部の波形に、注目位置が増えるにしたがって振幅が増大し、潜時約 320 ms で最大になる陰性電位を見いだした。また、Wijers, Okita, Mulder, Mulder, Lorist, Poiesz, & Scheffers (1987) は、Okita et al. (1985) と類似の刺激配置（凝視点を中心とする仮想的正方形の4隅に文字刺激を呈示）と課題を用い、被験者にどちらか一方の対角線上の2隅に注目させる条件と、4隅全部に注目させる条件とで、ERP を比較した。その結果、注目場所の増加によって、Okita et al. (1985) の探索陰性電位とよく似た陰性電位が出現することを報告した。

宮谷 (1992) は、視覚探索課題における標的数の操作と注目位置数の操作は、それぞれ異なる心理的過程に影響する可能性がある (Fisk & Rogers, 1991) ことを指摘し、探索陰性電位におよぼす標的字数の効果と注目位置数の効果を比較した。刺激の配置と注目位置数の操作は Ritter et al. (1988) と同様とし、同時に標的の数を 1 (A), 3 (A, B, C), 5 (A, B, C, D, E) と変化させた。その結果、標的数の増加も、注目位置数の増加も、テスト刺激後 300–450 ms 区間のERP波形の陰性方向へのシフトをもたらした。ところが、2種類の効果は頭皮上分布の点で異なっており、注目位置数の増加による陰性シフトが後頭部および後部側頭部に優勢に出現したのに対し、標的数の効果は、Cz を中心に頭部全体で認められた。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)。これらのことから、宮谷 (1992) は、探索陰性電位には後頭部・後部側頭部優勢に現れるもの（視的探索電位）と Cz 優勢に出現するもの（記憶探索電位）の2種類があり、前者は視野内の空間的探索過程を、後者は短期記憶内の探索過程を反映すると考えた。

視的探索電位と記憶探索電位を区別する根拠として、宮谷 (1992) は、頭皮上分

布の違いを挙げた。しかし、視的探索電位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。注目位置数ではなく、テスト刺激に含まれる対象の数そのものを増加させても後頭部優勢な視的探索電位が得られたという報告がある (Miyatani & Maedo, 1994)。一方、宮谷 (1992) と類似した課題でありながら、標的を A, B, C, D, E に固定するのではなく、ある系列では妨害刺激であった文字が別の系列では標的となり得るように手続きを変更すると、中心部 (Cz) でも後頭部・後部側頭部と同程度に視的探索電位が増大した (宮谷・前堂・赤井, 1994)。Wijers et al. (1987) でも、視的探索電位は後頭部 (Oz) で最大の振幅を示したものの、前頭部 (Fz), 中心部, 頭頂部 (Pz) にも広く分布していた。また、Miyatani (1996) は、文字探索課題を色に基づく選択課題と組み合わせて実施した場合には、視的探索電位の頭皮上分布が中心部優勢となり、記憶探索電位とよく似たものになると報告している。

視的探索電位の出現の仕方が課題の性質によって異なることは、視覚探索が複数の心理的過程に支えられており、課題の性質によって、それらの働き方や相互関係が変化することを示唆する。したがって、頭皮上分布を含む視的探索電位の性質を、さまざまな状況で調べていくことによって、視覚探索過程に関する知見を得ることができると考えられる。本研究では、視的探索電位について以下の2点から検討した。

まず、テスト刺激に含まれる刺激の数が ERP に及ぼす影響について検討した。視的探索電位に関する ERP 研究の多くでは、刺激数は一定としたまま、注目位置について指示したり (宮谷, 1992, 1994; Ritter et al., 1988)、項目の一部を意味のないマスク刺激に置き換える (Wijers et al., 1987) ことによって、テスト刺激中の被探索項目数を操作している。一方で、行動測度を用いた研究では、呈示刺激数そのものを変化させることが多い (例えば、Treisman & Gormican, 1988)。Miyatani & Maedo (1994) は、呈示刺激数の増加が、注目位置数の増加と同様の視的探索電位の増大をもたらすことを示したが、彼らの実験では、同一系列内では呈示刺激数は一定であり、呈示刺激数の効果は系列間で比較している。本研究では、試行系列内で呈示刺激数を変化させた場合に、どのような視的探索電位が出現するかを調べることを第1の目的とした。

ところで、呈示刺激数を試行系列内で変化させるか系列間で操作するかは、空間的注意の問題と関連する。呈示刺激数を一定とし、かつ各刺激の配置も同じにすると、被験者は、刺激の出現する位置を完全に予測できる。一方、呈示刺激数が系列内でランダムに変化すると、刺激の数だけでなく、その出現位置も不規則に変化す

呈示刺激数とその規則性が視覚探索課題遂行中の事象関連電位に及ぼす影響

ることになる。あらかじめ空間的注意の向けられた位置に呈示された刺激は、それ以外の場所に呈示された刺激に比べて早く正確に処理される (Posner, Snyder, & Davidson, 1980; Remington, & Pierce, 1984)。したがって、被験者にとって刺激の呈示位置が予想可能であれば、あらかじめその位置に注意を向けることによって、探索がより効率的に行われる可能性がある。Miyatani & Maedo (1994) は、試行系列内で刺激の配置を固定した場合と変化させた場合の ERP を比較し、240–420 ms 潜時帯では、固定条件の ERP 波形は変化条件よりも陰性であることを報告した。本研究では、系列内で刺激数を固定する条件、系列内で刺激数は変化するが、変化の仕方が規則的で次の試行の刺激数とその位置が予測できる条件、および刺激数が不規則に変化する条件を設定し、呈示刺激数の変化の仕方が ERP に及ぼす影響について検討することを第2の目的とした。

## 実 験 I

### 方 法

**被験者** 視力（矯正視力を含む）の正常な成人9名（21–33歳、男性3名、女性6名）が、実験Iに参加した。全員、右手利きであった。

**実験計画** 刺激について、次の3つの要因を操作した。第1は同時に呈示する文字の数で、2, 4, または6文字とした。第2の要因は、呈示文字数の変化の仕方（規則性）であった。呈示文字数が系列内では一定の FIX 条件、系列内で2, 4, 6, 2, 4, 6, …という順番で規則的に変化する ALT 条件、および不規則に変化する RND 条件の3水準を設定した。第3の要因は、テスト刺激に標的文字が含まれるかどうかで、標的刺激と非標的刺激の2条件があった。

**刺激** A, I, U, E, O を除くアルファベットを刺激とし、パソコンの CRT 上に呈示した。文字は、画面中央の凝視点（+印、視角で0.7度×0.7度、観察距離は約90 cm）を中心とする半径1.5度の仮想的な円周上に、その中心がくるように配置した。文字数が2の場合、凝視点の左右に1文字ずつ呈示した。文字数が4の場合は凝視点を中心とする正方形の4隅に、文字数が6の場合には、6文字が凝視点を中心として凝視点の真上と真下に角がある正六角形を構成するように文字を配置した。1文字の大きさは、0.7度×0.7度であった。

テスト刺激の呈示時間を 300 ms、呈示間隔 (SOA) を 1,800–2,200 ms とし、1系列に210個のテスト刺激を続けて呈示した。標的刺激の出現確率は30%（1系列中に63試行）とした。

**課題** 各系列の最初に、標的文字としてアルファベット2文字をランダムに選び、

被験者に呈示した。被験者は、その後呈示されるテスト刺激に標的文字が含まれているときに、右手でキーを押して反応した。できるだけ早くかつ正確な判断を求めた。

刺激呈示開始後、被験者がキーを押すまでの時間を 1 ms 単位で測定した。標的的刺激に対して 200–1,200 ms の間にキーが押された場合と、非標的的刺激に対して 1,200 ms 以内にキー反応がなかった場合を正反応とした。

手続き 各系列の最初に標的文字を呈示し、被験者が十分覚えたことを確認したのち、本試行を210試行実施した。FIX 条件では、呈示文字数に関する3条件のそれぞれにつき、1系列を実施した。ALT および RND 条件では、1系列内に項目数に関する3条件の刺激が同数（各文字数条件の標的的刺激は21個）含まれていたため、3系列で計630試行を実施した。規則性が同じ3系列は連続して行った。系列と系列の間に、適当な休憩時間を挟んだ。規則性条件が変わるごと、および FIX 条件の各系列ごとに、数10試行の練習を行った。規則性に関する条件、および FIX 条件における呈示文字数条件の実施順序の効果は、被験者間で相殺した。

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、Fz, Cz, Pz, Oz, O1, O2, T5, T6 の8部位から脳波を導出した。さらに右眼上下から垂直眼球電図 (EOG), 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 0.05–30 Hz で増幅し (1A97A, NEC メディカルシステムズ), データレコーダ (XR-50E, TEAC) に記録した。

**ERP** の分析 刺激前 100 ms から刺激呈示開始後 1,000 ms の区間の脳波と EOG をサンプリング周波数 100 Hz で AD 変換し (DR-F1, TEAC), 刺激呈示前 100 ms 区間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。誤反応および分析区間中にいずれかのチャンネルで  $\pm 100 \mu\text{V}$  (水平 EOG では、 $\pm 20 \mu\text{V}$ ) 以上の電位を記録した試行を除き、刺激に関する条件別に加算平均した。

Pz で記録された、標的的刺激に対する ERP 波形について、刺激後 300–1,000 ms 区間における最大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。非標的的刺激に対する ERP について、刺激呈示開始から 1,000 ms の区間を 40 ms ごとに区切って区間平均電位を算出した。各区間の平均電位に対して部位、呈示文字数、および規則性を要因とする繰り返し測度の分散分析を実施した。その際、分散・共分散の非等質性によるタイプ I エラーの確率増加の危険 (Vasey & Thayer, 1987) を避けるために、次のような手続きをとった。まず、自由度を実験 I では (1, 8), 実験 II では (1, 5) として有意性を判断した。これで有意でなかった場合には、Greenhouse と Geisser の  $\epsilon$  で自由度を修正して危険率を算出した。

多重比較には Bonferroni の方法を用い、有意差の有無の判断基準は 5%とした。

結果

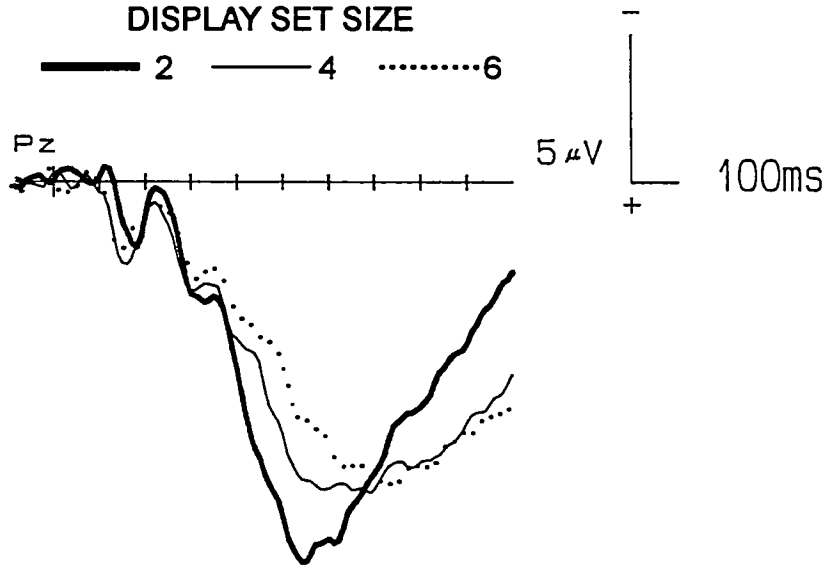
反応時間と誤答率 標的刺激に対する正反応の平均反応時間、標的刺激に対する誤反応（ミス）率、および非標的刺激に対する誤反応（フォールス・アラーム）率を条件別に求め、Table 1 に示した。反応時間に関する呈示文字数（3）×規則性（3）の分散分析の結果、文字数の主効果 ( $F(2, 16)=183.77, p < .01$ ) のみが有意であり、文字数が増えるほど反応時間が長くなった ( $2 < 4 < 6$ )。ミス率とフォールス・アラーム率について、それぞれを開平変換した後、同様の分散分析を行った。両者ともに呈示文字数の主効果が有意であり（ミス： $F(2, 16)=48.62, p < .01$ ；フォールス・アラーム： $F(2, 16)=17.69, p < .01$ ）、ミスもフォールス・アラームも、文字数とともに増加した ( $2 < 4 < 6$ )。

**Table 1** Effects of Display Set Size and Its Variability on Performance and ERP Measures in a Visual Search Task

Measures	Stimulus condition (display set size and its variability)								
	FIX			ALT			RND		
	2	4	6	2	4	6	2	4	6
Reaction time in milliseconds	543.4 (52.9)	612.4 (72.0)	679.9 (76.8)	549.9 (33.0)	630.6 (39.7)	679.1 (34.6)	560.2 (48.8)	662.1 (62.6)	711.4 (61.1)
Miss percent	2.3 ( 3.7)	6.0 ( 4.8)	18.4 (12.1)	3.2 ( 2.2)	7.9 ( 5.0)	16.2 ( 8.0)	2.7 ( 2.8)	10.0 ( 6.2)	21.5 (11.7)
False alarm percent	0.3 ( 0.5)	0.9 ( 0.6)	1.2 ( 0.8)	0.4 ( 0.6)	0.7 ( 0.8)	2.2 ( 2.4)	0.4 ( 0.6)	0.9 ( 0.6)	1.9 ( 2.2)
P3b latency in milliseconds	563.3 (71.6)	645.6 (121.2)	698.9 (109.3)	561.1 (54.2)	652.2 (110.8)	728.9 (118.0)	530.0 (75.3)	595.6 (49.5)	681.1 (77.4)
P3b amplitude in micro volts	15.1 ( 6.3)	12.7 ( 6.3)	12.5 ( 5.7)	13.5 ( 6.9)	14.4 ( 4.9)	12.4 ( 6.0)	15.1 ( 4.7)	12.4 ( 3.6)	11.7 ( 5.2)

Note. Values in parentheses represent *SDs*. Display set size was constant (FIX), regularly changed (ALT), or randomly changed (RND) in an experimental block. The P3bs were identified in ERPs at Pz to target stimuli.

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 波形を Figure 1 に示した。規則性に関する条件はこみにしてある。標的波形では、非標的刺激に対する ERP (Figure 2) と比べ、潜時約 350 ms 付近から大きな陽性電位 (P3b) が出現するのが特徴である。P3b が最大である Pz 波形について、P3b 頂点の潜時と振幅を算出して Table 1 に示した。呈示文字数×規則性の分散分析を実施した結果、潜時 ( $F(2, 16) = 24.11, p < .01$ ) についても振幅 ( $F(2, 16) = 6.35, p < .01$ ) についても文字数の主効果が有意であった。文字数が増えるほど潜時は延長し ( $2 < 4 < 6$ )、振



**Figure 1.** Grand averaged target-ERPs at Pz in a visual search task. The ERPs to the 2-, 4-, or 6-item stimulus are superimposed. Each waveform was averaged across three consistency conditions.

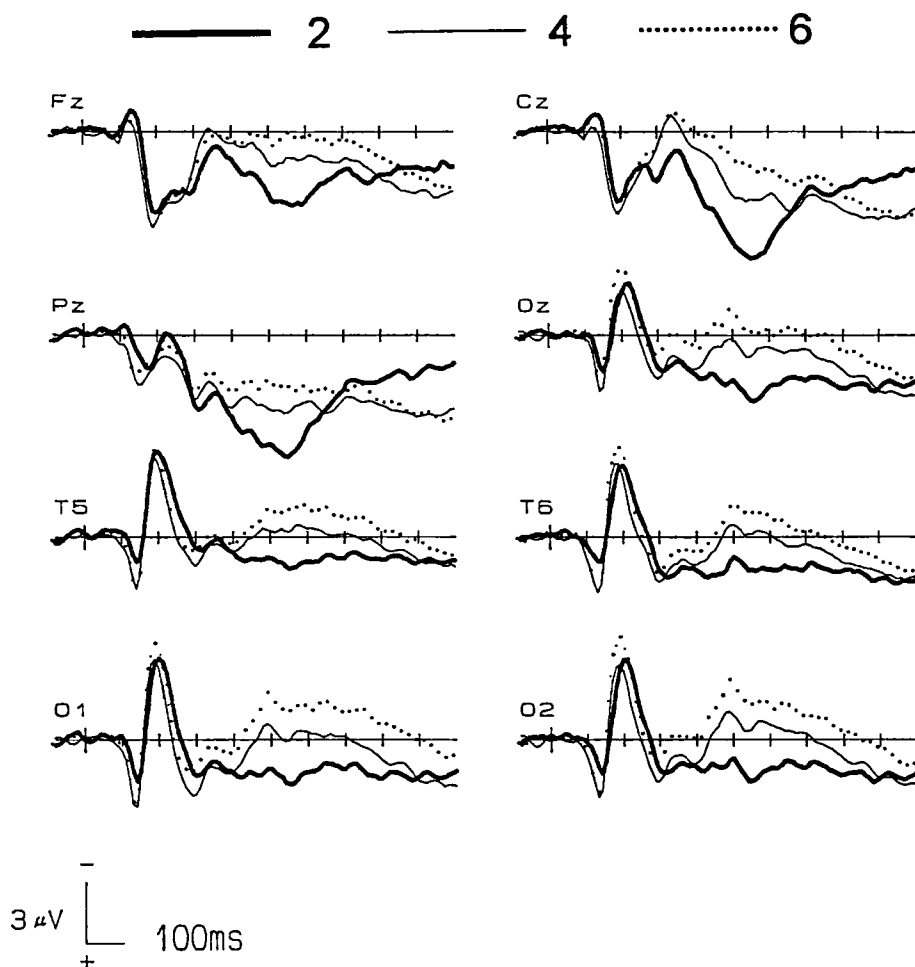
幅は減衰 ( $2=4, 2>6, 4=6$ ) した。

非標的刺激に対する **ERP** 非標的刺激に対する ERP の総加算平均波形を、呈示文字数と規則性に関する条件別に、Figures 2, 3 に示した。これらを見ると、非標的 ERP 波形は、正中線上の Fz, Cz, Pz と、その他の部位で形状が異なっている。正中線上では、まず刺激後約 140 ms に頂点をもつ陰性波 (N140) と、約 200 ms に頂点をもつ陽性波 (P200) が前頭・中心部に優勢に出現する。続いて、潜時 350 ms 前後に Cz で最大になる陰性波 (N350) が出現し、さらに中心・頭頂領域で優勢ななだらかな陽性成分がそれに続く。後頭・後部側頭部では、条件によって多少潜時が異なるが、刺激後約 100 ms から小さな陽性波 (P140) が現れる。それに続いて潜時 200 ms 前後で頂点に達する陰性波 (N200) が出現するが、その後、Cz や Pz で観察されたような陽性方向へのズレはほとんど認められない。

Figure 2 を視察すると、非標的 ERP に及ぼす呈示文字数の効果は、3つの潜時帯で出現しているように見える。最も早く出現するのは、後頭・後部側頭部波形の潜時 80–140 ms の区間で、2文字条件に比べて4, 6文字条件の ERP がより陽性であることである。次に、同じく後頭・後部側頭部波形の潜時 160–220 ms 区間で、6文字条件の波形が他の2条件よりも陰性である。第3に、潜時 320 ms 前後から以降は、全部位で呈示文字数が多いほど ERP は陰性方向に振れている。この傾向は、後頭・後部側頭部では分析区間の最後まで持続するが、Fz, Cz, Pz では、約



## DISPLAY SET SIZE



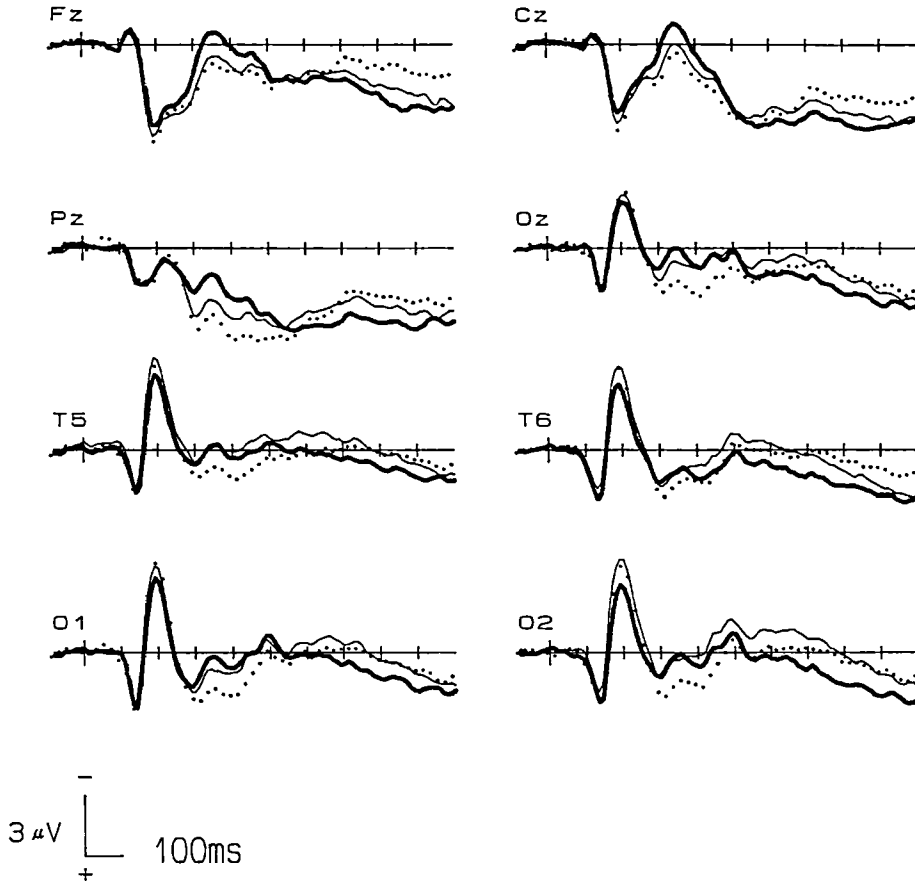
**Figure 2.** Grand averaged nontarget-ERPs in a visual search task. The ERPs to the 2-, 4-, or 6-item stimulus are superimposed. Each waveform was averaged across three consistency conditions.

700 ms で 2 文字条件の波形が他の 2 波形と交叉し、それ以降最も陰性になる。また、Figure 3 で規則性の効果を調べると、まず、後頭・後部側頭部の N200 振幅が、FIX 条件よりも ALT, RND 条件で大きい。また、正中線上の部位では、300–500 ms 区間でFIX条件の波形が他の 2 条件よりも陰性であるが、600 ms 以降はそれが逆転し、FIX 条件の波形が他の2波形よりも陽性である。

以上の視察を、区間平均電位に関する部位 (8) × 呈示文字数 (3) × 規則性 (3) の分散分析で確かめた。なお、多数の分散分析を実行することによるタイプ I エラーの増加を防ぐために、320 ms 以降の持続時間の長い条件差については、2 区間以

## VARIABILITY OF DISPLAY SET SIZE

FIX   
  ALT   
  RND



**Figure 3.** Grand averaged nontarget-ERPs in a visual search task. The ERPs for three consistency conditions were superimposed. Display set size was constant (FIX), changed regularly (ALT), or changed randomly (RND) in a block. Each waveform was averaged across three display set size conditions.

上連続して有意な効果が得られた場合のみを取り上げた。呈示文字数の主効果は、160–280 ms と 320–640 ms の区間で有意であった。このうち、160–200 ms 区間 ( $F(2, 16)=4.30, \epsilon=0.95, p < .05$ ) では、文字数×部位の交互作用も有意であり ( $F(2, 16)=3.81, \epsilon=0.14, p < .05$ )、Oz, O1, O2, T6 の各部位で、6文字条件の波形が他の2条件よりも陰性であった。200–280 ms 区間 (200–240:  $F(2, 16)=5.42, p < .05$ ; 240–280:  $F(2, 16)=4.00, \epsilon=0.91, p < .05$ ) では、4文字波形が2文字波形よりも有意に陽性であった。6文字波形は両者の間で他の2条件との間に有意差はなかった。320–640 ms 区間 (320–360:  $F(2, 16)=4.93, \epsilon=0.69, p < .05$ ; 360–400:  $F(2, 16)=4.34,$

呈示刺激数とその規則性が視覚探索課題遂行中の事象関連電位に及ぼす影響

$\epsilon=0.72$ ,  $p < .05$ ; 400–600:  $F_s(2,16) > 9.09$ ,  $p < .05$ ; 600–640:  $F(2,16)=4.67$ ,  $\epsilon=0.625$ ,  $p < .05$ ) では、文字数が多くなるほど ERP は陰性となった。440–600 ms 区間では、6 文字波形と 4 文字波形が 2 文字波形に比べて陰性であった。その他の区間では 6 文字波形が 2 文字波形より陰性であり、4 文字波形はその中間で、他の条件との間に有意差はなかった。

文字数変化の規則性の効果は、280–400 ms 区間 (280–320:  $F(2, 16)=4.15$ ,  $\epsilon=0.99$ ,  $p < .05$ ; 320–360:  $F(2,16)=8.45$ ,  $p < .05$ ; 360–400:  $F(2,16)=4.93$ ,  $\epsilon=0.69$ ,  $p < .05$ ) で有意であった。FIX 条件の波形が RND 条件の波形よりも陰性であった。ALT 条件波形はその中間で、他の条件との間に有意な差はなかった。また、規則性×部位の交互作用が 160–240 ms 区間で有意 (160–200:  $F(14, 112)=3.94$ ,  $\epsilon=0.26$ ,  $p < .05$ ; 200–240:  $F(14, 112)=3.29$ ,  $\epsilon=0.23$ ,  $p < .05$ ) であった。160–200 ms では T6 と O2 で、200–240 ms 区間では O2 において規則性の効果が有意であり、ALT 波形が FIX 波形よりも陰性であった。RND 波形は両者の中間で、他の条件との間に有意な差はなかった。

## 考 察

実験 I では、テスト刺激に含まれる文字数の変化と、その規則性が視覚探索課題遂行時の ERP に及ぼす影響について検討した。反応時間と誤答率および P3b の頂点潜時を見ると、文字数が増加するほど課題が困難になり、探索に必要な時間が延長したことがわかる。P3b 頂点振幅が文字数とともに減衰したことも、従来の研究 (Miyatani & Maedo, 1994; Van Dellen et al., 1985) と一致している。

160–200 ms 区間で得られた、後頭・側頭後部波形における呈示文字数の効果は、呈示文字が多いほど N200 成分の振幅が増加したことを示す。実験 I においては、呈示文字数が異なる条件では、刺激の物理量も異なっていた。この成分が視覚刺激に特有のものであることと、呈示文字数×部位の交互作用が有意で、文字数の効果は第一次視覚野に近い後頭部と後部側頭部に出現していることを考えると、この潜時帯の条件差は、心理的過程の違いではなく、刺激強度の違いを反映していると思われる。

200–280 ms 区間では、N200 成分は呈示文字数が 4 のときに最大振幅を示しており、160–200 ms 区間とは、効果の現れ方が異なった。Figure 2 を見ると、4 文字条件の波形は、P140 に関しては 6 文字波形と重なり、N200 に関しては、2 文字条件と類似している。Miyatani & Maedo (1994) によれば、この潜時帯の波形は、呈示文字数だけでなく、その配置の影響も受けて変化する。実験 I では呈示文字数が異なるとその配置も異なっており、これら 2 つの要因が複合的に影響していると考

えられる。

160–240 ms 区間では、規則性×部位の交互作用が有意であった。Figure 3 を見ると、この交互作用は、後頭部・後部側頭部の N200 振幅が、FIX 条件で最も小さいことが原因であることが分かる。他の2条件では、刺激数が試行ごとに変わるので、その呈示位置も試行ごとに変わるのに比べ、FIX 条件では文字が毎試行同じ位置に呈示された。したがって、その場所に対応する神経群が常に発火することになり、その不応期の影響で N200 振幅が減衰したものと思われる。

潜時 320 ms 以降の呈示文字数効果は、一貫して文字数が多いほど波形がより陰性である方向で得られており、出現潜時帯や、条件差の現われ方から考えて、視覚探索課題における被探索対象の数によって変動する視的探索電位（宮谷，1992; Miyatani & Maedo, 1994; 宮谷他，1994）であると考えられる。呈示文字数の主効果が得られた全区間において、部位との交互作用、および規則性との交互作用は認められなかった。このことは、全部位でほぼ同振幅の条件差が得られたことを示す。すなわち、実験 I では、宮谷（1992）や Miyatani & Maedo（1994）とは異なり、視的探索電位の後頭部・後部側頭部優位性は観察されず、頭皮上全体に同程度の効果が現れたといえる。また、呈示文字数の規則性は、視的探索電位そのものには影響を与えなかったといえる。

280–400 ms 区間における規則性効果は、他の要因との交互作用はなく、FIX 条件の波形が他の2条件よりも陰性であることを示した。これは、呈示文字数ではなく、その配置の一貫性の影響を調べた Miyatani & Maedo（1994）の結果と同様であった。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、Fz および Cz の N350 成分が増大することを見いだした。彼らは、N350 とそれに続く陽性成分が、課題関連刺激に対する注意の自動的な再配分過程を反映すると推測している。実験 I の規則性効果は、ほぼそれに相当する潜時帯で得られている。FIX 条件では刺激呈示位置があらかじめわかっていたので、空間的な注意の再配置が効率的に行われ、N350 成分の振幅増加をもたらした可能性がある。

ところで、いままで潜時 300 ms 前後以降の呈示文字数と規則性の効果を、視覚探索にかかわる心理的過程と関連づけて考察してきた。しかし、実験 I では呈示文字数の変化は同時に刺激強度の変化を伴っている。この潜時帯の文字数効果は、より短潜時の条件差に比べて大きく、刺激強度の違いのみで説明することは難しいと考えられるが、実験 II でその点を確かめた。

## 実 験 II

実験 I で観察された呈示文字数およびその変化の規則性の効果が、刺激の物理的相違によるものか、探索課題にかかわる心理的過程の変動によるものかを評価するために、実験 II を実施した。実験 II では、実験 I と同様の刺激を呈示したが、被験者は、呈示される文字は無視し、凝視点の形の変化を検出する課題を行った。

### 方 法

**被験者** 視力（矯正視力を含む）の正常な20–25歳の成人6名（男性3名、女性3名）を被験者とした。その内1名は、実験 I にも参加していた。全員が右手利きであった。

**刺激** 以下の点を除いて、実験 I と同様であった。標的試行では、文字呈示と同時に、凝視点が0.7度×0.7度の正方形に変化した。文字が消えると同時に、凝視点も+に戻った。

**課題** 被験者の課題は、凝視点の形が+から正方形に変わったら、できるだけ早く右手でスイッチを押して反応することであった。

**手続き** 被験者には、各実験系列の前に、呈示される文字の数が増えること、その変化の仕方、およびそれらは課題とは無関係であることを知らせた。20試行前後の練習後、本試行を実施した。試行数と系列数、条件実施順序の効果の相殺方法は、実験 I と同じであった。

### 結 果

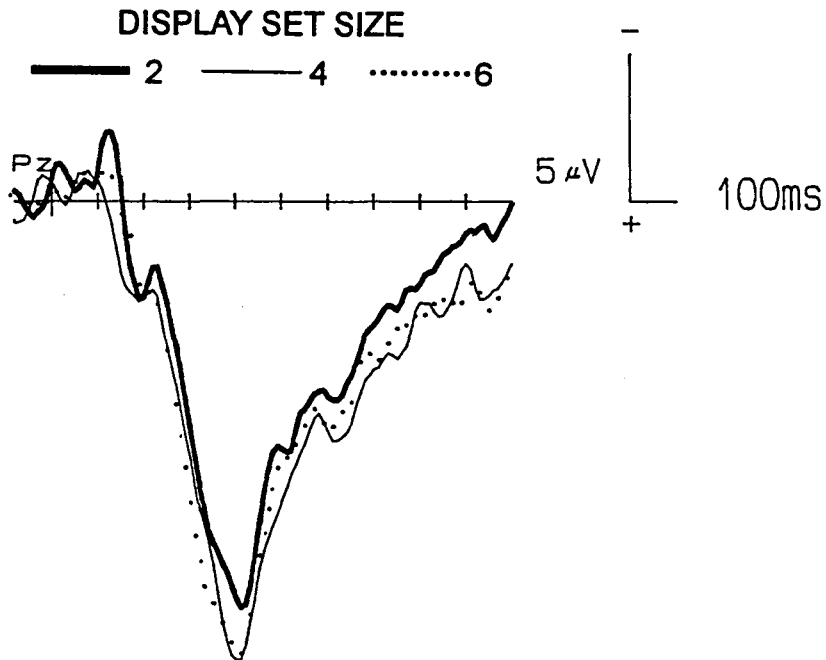
**反応時間と誤答率** 各条件における正答反応時間と、ミス率およびフォールス・アラーム率の平均値と標準偏差を、Table 2 に示した。反応時間を見ると、FIX 条件と RND 条件では、呈示文字数による反応時間の違いは小さいが、ALT 条件では、呈示文字数が多いほど反応時間が短くなっている。呈示文字数×変動方法の分散分析の結果、有意な主効果はなく、交互作用が有意 ( $F(4, 20)=3.96, \epsilon=0.57, p < .05$ ) であった。下位検定の結果、ALT 条件では項目数の単純主効果が有意 ( $F(2, 10)=13.41, p < .05$ ) であった。ミス率には、呈示文字数の系統的な影響は認められない。ミス率の開平変換値について反応時間と同様の分散分析を行った結果、2つの主効果、交互作用ともに有意でなかった。フォールス・アラーム率は、最大でも0.7%であり、ミス率同様、呈示文字数の影響は認められなかった。条件によっては、誤反応をした被験者が全くいなかったため、統計的分析は不適切であると考え、実施しなかった。

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 4

**Table 2** Effects of Display Set Size and Its Variability on Performance and ERP Measures in a Non-Search Task

Measures	Stimulus condition (display set size and its variability)								
	FIX			ALT			RND		
	2	4	6	2	4	6	2	4	6
Reaction time in milliseconds	358.2 (47.7)	365.3 (41.9)	361.2 (46.6)	370.3 (42.2)	359.8 (41.1)	349.8 (34.0)	358.8 (31.0)	357.2 (31.0)	365.7 (44.1)
Miss percent	1.1 ( 1.8)	2.1 ( 1.5)	1.1 ( 1.8)	1.3 ( 1.1)	1.1 ( 1.2)	1.9 ( 2.8)	1.1 ( 0.8)	0.8 ( 1.2)	0.8 ( 0.8)
False alarm percent	0.0 ( 0.0)	0.2 ( 0.3)	0.1 ( 0.3)	0.2 ( 0.3)	0.0 ( 0.0)	0.7 ( 0.7)	0.4 ( 0.5)	0.6 ( 0.7)	0.4 ( 0.4)
P3b latency in milliseconds	371.7 (35.4)	401.7 (12.1)	408.3 (22.7)	411.7 (54.6)	401.7 (59.3)	416.7 (80.6)	413.3 (42.3)	431.7 (83.6)	420.0 (52.9)
P3b amplitude in micro volts	17.0 ( 5.2)	15.9 ( 7.3)	15.8 ( 5.5)	14.1 ( 6.1)	17.3 ( 5.3)	18.6 ( 6.6)	15.1 ( 6.1)	17.5 ( 7.5)	16.9 ( 7.1)

Note. Values in parentheses represent *SDs*. FIX, ALT, and RND represent the same as in Table 1. The P3bs were identified in ERPs at Pz to target stimuli.



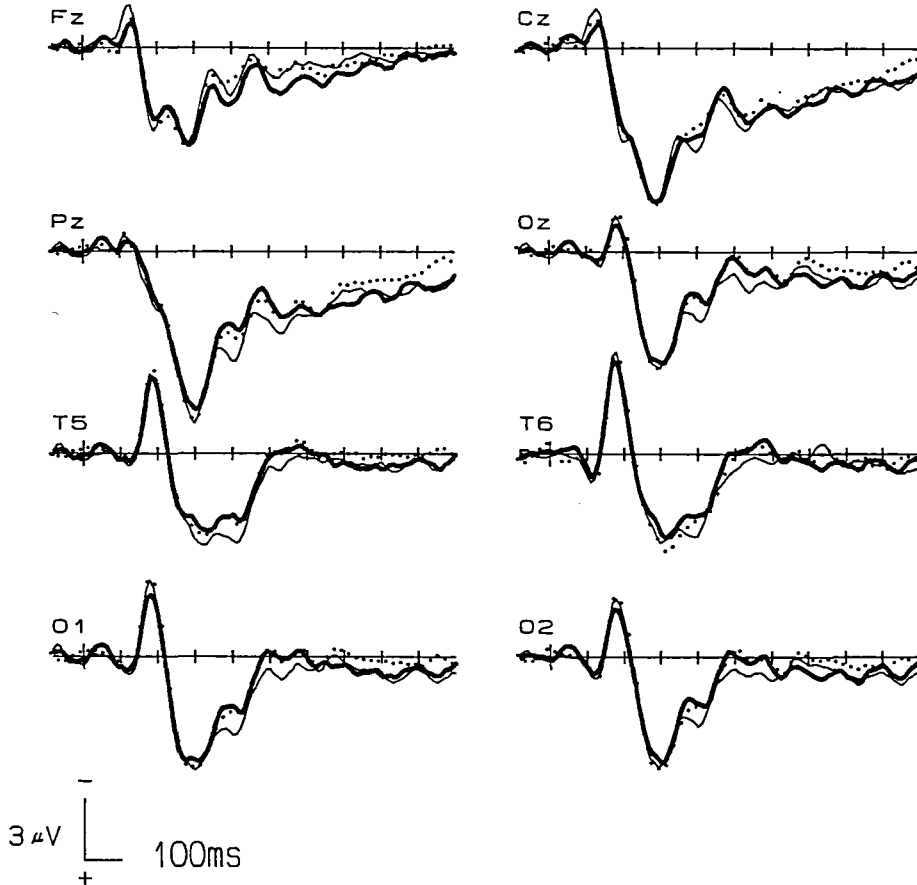
**Figure 4.** Grand averaged target-ERPs at Pz in a non-search task. The ERPs to the 2-, 4-, or 6-item stimulus are superimposed. Each waveform was averaged across three consistency conditions.

に示す。実験 I と同様、P3b 頂点の潜時と振幅を算出して Table 2 に示した。呈示文字数×規則性の分散分析を実施した。潜時、振幅ともに有意な主効果も交互作用も得られなかった。



## VARIABILITY OF DISPLAY SET SIZE

———— FIX ———— ALT ..... RND



**Figure 6.** Grand averaged nontarget-ERPs in a non-search task. The ERPs for three consistency conditions were superimposed. FIX, ALT, and RND represent the same as in the Figure 3. Each waveform was averaged across three display set size conditions.

ど観察できない。

実験 I と同様、40 ms ごとの区間平均電位について、部位×呈示文字数×規則性の分散分析を実施したところ、次のようになった。80–120 ms 区間で文字数の主効果 ( $F(2, 10)=6.47, \epsilon=0.89, p < .05$ ) と部位×文字数の交互作用 ( $F(14, 70)=3.10, \epsilon=0.25, p < .05$ ) が有意であった。Oz, T5, T6, O1, O2 において、4文字条件と6文字条件の波形が、2文字条件の波形より陽性であった。120–160 ms ( $F(14, 70)=4.12, \epsilon=0.21, p < .05$ ) と160–200 ms ( $F(14, 70)=5.72, \epsilon=0.21, p < .01$ ) の区間でも部位×呈示文字数の交互作用が有意であったが、部位別に文字数の効果を調べたと



ころ、どの部位でも有意な文字数効果は得られなかった。

潜時 520–640 ms (520–560:  $F(2, 10)=6.38$ ,  $\epsilon=0.70$ ,  $p < .05$ ; 560–640:  $F_s > 6.38$ ) と 760–920 ms (760–800:  $F(2, 10)=5.09$ ,  $\epsilon=0.84$ ,  $p < .05$ ; 800–840:  $F(2, 10)=5.32$ ,  $\epsilon=0.98$ ,  $p < .05$ ; 840–920:  $F_s > 7.40$ ) の区間で呈示文字数の主効果が、潜時 360–720 ms と 760–840 ms の区間 (440–560:  $F_s > 6.63$ ; その他の区間はすべて  $\epsilon$  で自由度を修正して判断した。 $F$  値の記載は省略する) で部位×文字数の交互作用が有意であった。これらの区間で部位別に呈示文字数の効果を分析したところ、Oz, O1, O2 ではほとんどの区間で、T5, T6 は一部の区間で文字数の効果が有意であり、4文字および6文字条件の ERP が2文字条件よりも陰性であった。実験Ⅱの非標的波形では、規則性に関する主効果も交互作用も有意ではなかった。

### 考 察

実験Ⅱでは、実験Ⅰとほぼ同じ刺激を用いながら、被験者には非探索的な課題を課し、呈示文字数とその規則性が行動測度と ERP に及ぼす影響について検討した。反応時間・誤答率・P3b 潜時・振幅のほとんどすべてにおいて、呈示文字数の有意な効果は、得られなかった。唯一の例外は、ALT 条件の反応時間が、呈示文字数が多いほど短くなったことである。この理由はよくわからないが、効果の現われ方が実験Ⅰと全く逆の方向であることから、実験Ⅱの課題が視覚探索課題とは異なる性質を持っているといえることができる。

比較的短潜時の成分においても、実験ⅠとⅡで呈示刺激数の効果の現われ方が異なっていた。すなわち、P140 成分の振幅については実験Ⅱのみで有意な条件差が得られ、N200 成分の振幅については実験Ⅰのみで有意な効果が得られた。ところが、Figure 2 と Figure 5 を見比べると、条件差の大きさや統計的有意差の有無に関しては実験間で違いがあるが、条件差の方向については、2つの実験でよく似ていることがわかる。まず、後頭・後部側頭部の P140 振幅が2文字条件よりも4、6文字条件で大きい傾向は、Figure 2 でも認められる。同様に、6文字条件の N200 振幅が2文字条件よりも大きいという傾向は、Figure 5 でも認められる。実験ⅠとⅡでは、ほとんど同じ刺激を使っているが、探索課題であるか否かという違いの他にも、被験者の空間的注意の向け方が異なると思われる。実験Ⅰでは、文字の出現する位置に注目するために空間的注意はかなり広範囲に分散していたのに対し、実験Ⅱでは、凝視点にのみ注目していれば課題は遂行できた。実験Ⅱの被験者には、実験Ⅰに参加した者と参加しなかった者の両方がいたので、統計的な比較はしていないが、P140 や N200 の振幅そのものが実験間で異なるように見える (P140 は実験Ⅰ < Ⅱ, N200 は実験Ⅰ > Ⅱ, ただし T6 でのみ実験ⅠとⅡの関係が

逆転しており、この理由はよくわからない) ことも、これらの条件差が、単に刺激の物理的特性だけではなく、注意のような心理的過程にも影響されていることを示唆する。結局、これらの短潜時成分の振幅とその呈示文字数効果には、①刺激の数、②刺激の配置、③空間的注意の3つの要因が同時に働いていると考えられる。

実験Ⅰでは、280–400 ms 区間で得られた規則性の効果が、実験Ⅱでは観察できなかった。T6 や O2 で限定的に得られた 160–240 ms 区間の規則性効果は、Figure 6 でもわずかに観察できる。ところが、それ以降の潜時帯については、Figure 3 では明瞭に見られる Fz, Cz 優勢な N350 が、実験Ⅱではほとんど認められない。これらの結果も、実験Ⅱにおいては被験者の注意が凝視点に集中しており、周囲の文字刺激にはほとんど配分されていないことが原因であろう。N200 における規則性効果も、おそらくその基礎には不応期のような生理学的原因が存在するであろうが、それが ERP 上に反映されるほど大きく出現するかどうかは、注意の配分という心理的要因に影響されるのかもしれない。

視的探索電位は、実験Ⅱでも一部の部位で観察されたが、以下の点で実験Ⅰとは異なっていた。まず、実験Ⅰでは、全部位でほとんど同振幅の陰性電位が得られたが、実験Ⅱでは、出現部位が後頭・後部側頭部に限定された。第2に、出現開始潜時が実験Ⅰでは 320 ms であったのに対し、実験Ⅱではそれより遅く、520 ms であった。第3に、実験Ⅱにおける条件差は、実験Ⅰに比べてかなり小さかった。Miyatani & Maedo (1994) でも、本研究の実験Ⅱと同様の目的で行った非探索課題において、刺激数が2の時より4の時の ERP がより陰性であるという結果が得られている。非探索課題における条件差の原因としては、周辺刺激の呈示による空間的注意の自動的拡散、テスト刺激の消去に関連する電位の条件差などが考えられるが、現段階ではまだ結論を出すに足る十分な資料がない。

## ま と め

本研究では、探索課題と非探索課題の両方で、テスト刺激に含まれる刺激数と、試行系列内での刺激数の変化の仕方が ERP に及ぼす影響について調べた。その結果、①短潜時の後頭部 P140, N200 成分は、呈示刺激数、刺激の配置、および空間的注意の向け方の影響を受けた。また、刺激数変化の規則性によって刺激が同位置に繰り返して呈示されるかどうかが決まり、それがこれらの短潜時成分に影響した。②探索課題において、呈示文字数の増加に伴う視的探索電位の振幅増大が認められた。この電位変化は、文字数変化の規則性の影響を受けなかった。また、頭皮上全体ではほぼ同程度の振幅増加が見られた。視的探索電位が、文字数変化の規則性の影

響を受けなかったことから、視野内の複数対象の探索過程は、空間的注意の影響を受けない心理的過程であることが推測できる。③非探索課題においても、出現部位は限定され、条件差も小さかったが、呈示刺激数の増加に伴う ERP の陰性シフトが認められた。

本研究や従来の研究の結果から、視的探索電位は、複数の下位成分で構成されているように思われる。Figure 2 の波形を見ると、Cz や Pz の波形では、700 ms あたりで 2 文字条件の波形が他の 2 条件の波形と交叉しているのに対し、後頭・後部側頭部波形では、それが認められない。これは、Cz や Pz でみられる条件差が視的探索電位によるものでなく、Cz 優勢に出現する非標的 P3 の違いによるものであるからかもしれない。しかし、2 文字条件波形の P3 振幅がかなり小さい Fz でも、Cz や Pz とほぼ同程度の条件差が出現していることを考えると、これらの部位の条件差をすべて P3 振幅によるものとは考えにくい。であるとすると、300 ms 前後から出現する視的探索電位は、その前半部分と後半部分では性質が異なり、2 つの電位が時間的に一部重なり合って出現しているために、数 100 ms 持続するように見えるのかもしれない。また、非探索課題でも潜時 520 ms 以降に持続的な呈示文字数効果が得られたことは、探索課題における視的探索電位が、探索課題のみで出現する電位変化と、非探索課題でも出現する電位変化の合成である可能性を示唆する。

視的探索過程は、おそらく複数の下位過程に支えられ、視的探索電位は、それら下位成分の活動を反映する複数の下位成分の合成であると考えられる。それぞれの下位過程の働き方や相互関係は、課題の性質のわずかな違いや、被験者の採用する方略の違いによって変化し、それにとまなう下位成分の現われ方の違いが、視的探索電位の頭皮上分布が研究間で一致しないことの原因であろう。これらの成分を分離し、それぞれが反映する心理的過程を明らかにしていくことで、視覚探索を支える心理的過程について明らかにしていくことができると期待できる。

## 引用文献

- 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.
- 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.
- 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.
- 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., & Kutas, M. (1983). Electrophysiology of cognitive processes. *Annual Review of Psychology*, **34**, 33–61.
- 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.
- Hoffman, J. E. (1979). A two-stage model of visual search. *Perception & Psychophysics*, **25**, 319–327.
- 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.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1990). Electrophysiological evidence for parallel and serial processing during visual search. *Perception & Psychophysics*, **48**, 603–617.
- 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. (1996). 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* (pp. 122–125). Elsevier.
- 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.
- 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., and Mulder, L. J. M. (1985). Memory search and visual spatial attention: An event-related brain potential analysis. *Acta Psychologica*, **60**, 263–292.
- Posner, M. I., Snyder, R. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, **109**, 160–174.
- Remington, R. W., & Pierce, L. (1984). Moving attention: Evidence for time-invariant shifts of visual selective attention. *Perception & Psychophysics*, **35**, 393–399.
- 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.
- Sternberg, S. (1966). High-speed scanning in human memory. *Science*, **153**, 652–654.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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 focused and divided attention conditions. *Biological Psychology, 25*, 33-60.