

# 顔・物品・漢字の選択的記憶探索時における事象関連電位<sup>(1)</sup>

沖田 庸嵩・小西 賢三・今塩屋 隼男

In a selective memory search task, using photos of human faces and non-face objects and Kanji characters, a large, slow negative wave was observed for task-relevant probe stimuli. The negativity at the temporo-occipital sites (T5 and T6) was sensitive to a memory-set size, whereas the fronto-centrally dominant negativity was not. These results, together with recent neuro-imaging findings, suggest that the activation of the anterior cingulate gyrus relates top-down attentional control to govern the task-relevant processing while the fusiform gyrus and/or its neighbors are engaged in maintaining visual information in a highly accessible form over a short period of time and matching it with a probe input.

## 1 序論

ヒトのワーキングメモリ (working memory) における情報探索速度は Sternberg (1966) のパラダイムで多くの研究が行われてきた。その基本パラダイムは、まず被験者に記憶セット (標的) 項目 (例えば、「4」と「7」の数字) を記銘させ、その数秒後に検査項目を提示し、それが記憶セット項目中にあるかどうか答えさせる。彼の分析によると、この課題遂行の反応時間は符号化・記憶探索 (照合)・反応決定・反応実行の処理諸段階に要する時間で構成される。検査項目は符号化の後、記憶セット項目と直列的に照合されるので、記憶セットサイズ (項目数; 以下、記憶サイズと略記) が増加すると、その結果として反応時間もそれに応じて延長する。彼は、反応時間の延長から、1項目あた

りの記憶探索時間は約 40ms と推定した。Baddeley (1986) によるワーキングメモリのモデルでは、中央実行機構と2つの下部従属機構、音韻ループと視空間スケッチパッドを想定している。このモデルに基づいて上記の記憶探索過程を考えると、中央実行機構の制御のもと、記憶セット項目を音韻ループ (または、視空間スケッチパッド) に保持しておき、検査項目が提示されると、記憶セット項目と検査項目が照合されることになる。

ヒトのワーキングメモリは、近年、空間分解能の優れた神経機能画像を用いて盛んに探求されている。そうした研究では、文字・数字といった単純な刺激以外に顔貌など日常的で複雑な刺激を使用し、しかも Baddeley (1986) によるワーキングメモリのモデルやサルの実験で多用されてきた遅延再認 (delayed match-to-sample) 課題と対応付けながら、脳の活動領域を検索している (藤井, 2000, 総説参照)。Courtney, Ungerleider,

OKITA Tsunetaka 札幌学院大学  
KONISHI Kenzo 吉備国際大学  
IMASHIOYA Hayao 兵庫教育大学

Keil, & Haxby (1996; 1997) によれば, ワーキングメモリの情報保持には脳底の紡錘状回とその近隣領域が関わるようである. Courtney et al. (1996) は陽電子断層装置 (positron emission tomography, PET) を用いて顔と空間位置のワーキングメモリを比較検討した. 被験者にはスクリーンの異なる場所に顔を連続して3回提示し, その1秒後にプローブとなる顔刺激を提示した. 位置ワーキングメモリ条件では被験者にプローブの提示場所が先行刺激 (記憶セット) と一致するか, 顔ワーキングメモリ条件では記憶セットの顔と一致するか, 判断させた. こうして教示のみを換えて実験を行った結果, 位置ワーキングメモリ条件に比べ, 顔ワーキングメモリは右視床と小脳正中部, さらに紡錘状回・海馬傍回・下前頭皮質・前部帯状皮質で有意な賦活を認めた. Courtney et al. (1997) は遅延再認課題を遂行させながら機能的核磁気共鳴画像 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) を記録し, (1)非選択的な一過性の視覚反応, (2)「顔選択的」一過性反応, (3)8秒の保持期間に渡る持続的な賦活という3つの要因に応答する画像領域の特定を試みた. 結果は全体的にみて, 最後部の腹側後頭領域は非選択的な視覚反応が最も強く, 持続的な賦活が少なく, この逆のパターンが前頭領域の中前頭回で得られた. また, 前頭領域は顔に対してもある程度の選択性を示した. 顔に最も高い選択的応答性を示した領域は, 紡錘状回の中・前方部と下後頭溝で, 特に右半球で顕著であった. 紡錘状回では小さいながらも, 他の後側頭皮質領域とともに, 遅延期間中も賦活は持続した. ただ, Courtney et al.の研究では具象刺激 (objects) として顔のみが使用されており, 観察された賦活が顔に特異な効果か問題を残している (McCarthy, 2000).

Jiang, Haxby, Martin, Ungerleider, & Parasuraman (2000) は反復刺激に対する

fMRI 応答性からワーキングメモリにおける情報の保持機能を探った. 顔刺激系列中から標的顔刺激を検出する課題で, 標的と非標的 (妨害)顔刺激を無作為な順序で反復提示したところ, 前頭皮質における神経応答の増強が標的に観察され, その増強は反復提示に対しても維持された. 他方, 有線外視覚皮質では, 標的と非標的にかかわらず, 反復提示により神経応答の減衰が生じた. 彼らの解釈によれば, 前頭領域の持続的な増強はワーキングメモリにおける標的表象の活性化状態を表わす. その活性化の維持は標的への選択的な注意を引き出し, 妨害刺激から標的を効率的に選択する役割を果たしている. さらに, 彼らは持続的な前頭増強応答を注意機構と関連づけて解釈し, ワーキングメモリで標的表象を活性化状態に維持する注意のトップ・ダウン制御の可能性も示唆している. また, 有線外皮質における神経応答の減衰は, 刺激にタグを一時的に付けておく過程を反映し, 反復提示された刺激を効率的に処理するためだと考察している. さらに, Druzgal & D'Esposito (2001) は, n-back 顔課題を用いた fMRI 研究で, ワーキングメモリ負荷が前頭領域のみならず有線外皮質の顔応答紡錘状回に作用することを見出した. この研究も顔応答紡錘状回が単に顔知覚に関わるのではなく, ワーキングメモリにおける顔情報の保持と操作に関わることを示唆している.

こうして, 上記のような神経機能画像研究は, ワーキングメモリの視覚情報維持に紡錘状回とその近隣領域が関わるとともに, 前頭皮質が情報維持, あるいはその維持を支える注意のトップ・ダウン制御には関連することを示唆している. さらに, 注意制御ネットワークについては, 帯状回前部と前頭葉外側部が共同して支えているという考えもある (Posner & Raichle, 1994).

本研究は, 時間分解能が優れた事象関連電位 (event-related potential, ERP) で記憶

探索に応じた電位変化を追跡し、ワーキングメモリの処理を支える注意制御（中央実行系機能）と情報維持・直列的照合（記憶探索）の分離を試みるものである。PET や fMRI のような神経機能画像は空間的な面から脳を探るうえでは有用な道具であるが、それは脳内の活動に応じた局所的な血流量変化を計測するものであり、刺激提示に伴う符号化・記憶探索・反応決定といったミリ秒単位で進行する脳内情報処理活動を時間的に追跡し分離するのは難しい。従来の ERP 研究で、記憶探索中には潜時約 250ms で立ち上がり、中心部最大に分布する探索陰性電位（search negativity）が見出されており（Okita, Wijers, Mulder, & Mulder, 1985）、その電位は記憶サイズの増加に伴い振幅が増大し、持続時間が延長する（沖田, 1992, 総説参照）。宮谷（2000）は単純なアルファベット文字探索時の ERP を Baddeley（1986）のワーキングメモリ・モデルに関連づけて考察し、中心部探索電位は音韻的符号の保持・操作に関わる音韻ループの活動を反映すると仮定している。すなわち、標的文字が提示されると、その形と音の符号で記憶される。ついで、テスト刺激も視覚的符号と音韻的符号として一時的に記憶表象が形成され、単純な文字の場合、標的とテスト文字の記憶照合は主として音韻的符号に基づいて実行される。記憶サイズが増えると、音韻ループで活性化する記憶表象も増加し、それが中心部探索電位の振幅増大をもたらす、というのである。また、宮谷（2000）はモニター画面上で標的文字を探索する課題も検討し、視覚的符号に基づく探索操作が後頭部探索電位に反映されると推定している。

本研究では、アルファベット文字に換え、それよりは複雑な人の顔や物品の写真、漢字を刺激として用いた。これらの刺激選択にあたって、特に、視空間スケッチパッドを使用し、上記の神経機能画像の知見が示す紡錘状

回とその近隣領域に記憶表象が保持される刺激として、音韻化が困難な見知らぬ人の顔写真を採用した。宮谷（2000）も示唆するように、探索電位がワーキングメモリの音韻ループや視空間スケッチパッドにおける記憶表象の保持と探索操作を反映するならば、その ERP 変化は記憶サイズに高い応答性を示すと予測できる。他方、情報維持や記憶探索を支える注意のトップダウン制御に帯状回前部を含む前頭皮質が関わるとすれば、記憶探索時に ERP 変化は生じるものの、記憶サイズには鋭敏に応答しないであろう。こうして、本研究では、記憶探索に関わる領域は注意制御領域よりも鋭敏に記憶サイズに応答すると仮定し、前頭部と後側頭部で記録した頭皮上 ERP から、上記の fMRI の知見を踏まえ、記憶探索と注意制御の関連脳領域の分離を試みた。

## 2 実験 1

本実験では、人の顔と物品を刺激として記憶探索課題を被験者に遂行させながら脳電位を記録した。Courtney et al.（1996, 1997）が示唆するように、顔情報の脳内表象が一時的に活性化状態で、主に右半球の紡錘状回（中・前方部と下後頭溝）で保持されるとすれば、プローブ刺激表象との照合処理も何らかの形でその近隣領域で実行されると推測できる。顔ワーキングメモリと対比する物品刺激が左右の両半球でほぼ同等に処理されるとすれば（Rossin, Dricot, Devolder, Bodart, Crommelinck, de Gelder, & Zoontjes, 2000）、記憶サイズ増加に伴う探索陰性波の増大は、顔では右後側頭部（T6）で優位に、物品では左・右後側頭部（T5・T6）に差なく観察されると予測できる。さらに、前頭領域が注意制御に関わるとすれば、前頭部（Fz）の ERP には明瞭な記憶サイズ効果はみられないであろう。

## 2.1 方法

### 2.1.1 被験者

男子大学生 10 名 (20–23 歳) で、矯正視力を含め、視力は正常であった。被験者には実験前にその内容を伝え、実験参加について本人の同意を得た。

### 2.1.2 刺激

人の顔 (未知顔: 男 6 人/女 6 人) と物品 (ポット, グラス, やかん, ランプ, など) のグレースケール写真を用いた。これらの刺激を被験者の眼前約 1 m に置いたコンピュータの 14 インチ・モニターに提示した。刺激は  $8 \times 8$  cm の枠の中に提示され、その大きさは顔が約  $6 \times 5$  cm, 物品が  $7 \times 2.5$  cm であった。各刺激系列は標的となる刺激 (記憶セット) の 2 s 間の提示に始まり、空白 0.5 s, それに続き枠が描画され、その 1 s 後から枠の中に顔または物品が無作為な順序で提示された。顔と物品の刺激提示回数は 1 系列あたり 62 回であり、そのうち最初の 2 回はダミー刺激、残りの 60 回のうち顔と物品の非標的が各 20 回、標的が各 10 回であった。各刺激の提示時間は 200 ms, 刺激の立ち上がり間隔 (SOA) は 1.1 s で、1 系列の提示に約 75 s を要した。

### 2.1.3 条件と課題

標的 (記憶セット) 項目が顔と物品、標的項目数が 1 項目と 2 項目 (すなわち、記憶サイズ 1・2) で組み合わせた、 $2 \times 2$  の 4 条件を設けた。

被験者の課題は、標的項目を記憶し、その後提示される刺激系列中から標的項目を検出しボタン押し反応を行うことであった。

### 2.1.4 手続き

被験者は記録用電極の装着を受けた後、防音シールド室内に設置された椅子に座り、課題の練習を行った。各被験者は 4 条件の刺激系列を各 2 回ずつ、計 8 回をカウンターバランスした順序で実験を受けた。系列間には、約 30–60 s の休息を設けた。

### 2.1.5 脳波・眼球運動・反応時間の記録

鼻尖を基準電極として、Fz・Cz・Pz・T5・T6 から脳波を記録した (帯域フィルタ: 0.05–30 Hz)。同時に左眼の眼角外側と眼窩下部に電極を装着し、水平・垂直の眼球電図 (EOG) を記録した。脳波と EOG は、刺激トリガー信号とボタン押し反応の信号とともに、200 Hz で A/D 変換後、コンピュータのディスクに記録した。反応時間は記録した刺激トリガーとボタン押し反応の信号の経過時間として計測した。

### 2.1.6 脳波の分析

ERP は顕著な EOG やその他のノイズのない試行を、各被験者で条件と非標的刺激別に加算処理して求めた。ERP の分析期間は、刺激前 200 ms から刺激後 800 ms, 基線は刺激前 200 ms の平均電位とした。加算回数は 16–40 回であり、特に刺激間に系統的な違いはなかった。

ERP 成分の区間平均電位について、分散分析を行った。

## 2.2 結果

まず反応時間の結果を述べ、その後で ERP 結果について述べる。

### 2.2.1 反応時間

顔標的刺激で記憶サイズ 1 (M1) の反応時間は 434 ms, 記憶サイズ 2 (M2) は 488 ms, それに対し、物品ではそれぞれ 395 ms, 445 ms であった。刺激 (顔・物品)  $\times$  記憶サイズ (M1・M2) の 2 要因分散分析を行ったところ、刺激と記憶サイズの主効果が有意で (刺激:  $F(1, 9) = 10.28$ ,  $p < .02$ ; 記憶サイズ:  $F(1, 9) = 42.47$ ,  $p < .001$ ), 顔刺激の標的検出 (461 ms) には物品標的検出 (420 ms) より時間がかかること、また、記憶サイズが 1 項目 (M1: 415 ms) から 2 項目 (M2: 466 ms) に増加することによって検出時間が延長することを示した。

### 2.2.2 ERP

Figure 1 に顔と物品の非標的刺激に惹起

された10名の被験者間総平均ERP波形を示す。T5・T6部位の波形をみると、いずれの惹起刺激<sup>2)</sup>にも潜時170 msあたりに陰性の波(N170)が生じており、そのN170頂点後に、記憶探索が要請されていた条件(顔標的探索時の顔刺激、あるいは物品標的時の物品刺激)で、記憶探索効果(すなわち、記憶サイズ効果)がみられる。記憶サイズが増加すると、その陰性電位シフトは増強し、持続時間も延長している。他方、記憶探索の対象とならなかった刺激(顔標的時の物品刺激、あるいは物品標的時の顔刺激)には、記憶サイズに関わらず、陰性電位シフトはみられない。

正中線上(Fz・Cz・Pz)の波形をみると、特に顔刺激に対するFz・Czの200–500 ms時間帯において、探索対象となった刺激に大きな陰性電位の発達が見られるが、そこには

T5・T6で注目したような明瞭な記憶サイズ効果はない。むしろ、探索対象外の刺激に惹起されたERPに記憶サイズ増加に応じた陽性シフトがみられる。

N170は近年注目されている顔認知や親近性の高い刺激に誘発される電位であるが、記憶探索効果はみられなかったため、ここではFigure1の総平均波形で記憶探索効果が観察された200–500 ms時間帯に絞って分析を加えることとした。この分析にあたっては、特に顔刺激でFz・Czに探索効果がみられた刺激提示後200–350 ms時間帯とその後の350–500 ms時間帯に分けて区間平均電位(それぞれ以下、MA200–350, MA350–500と略記)を求めて検討した。

### 2.2.2.1 MA200–350

正中線上3部位(Fz・Cz・Pz)と後側頭部(T5・T6)に分けて、Table1に示すMA

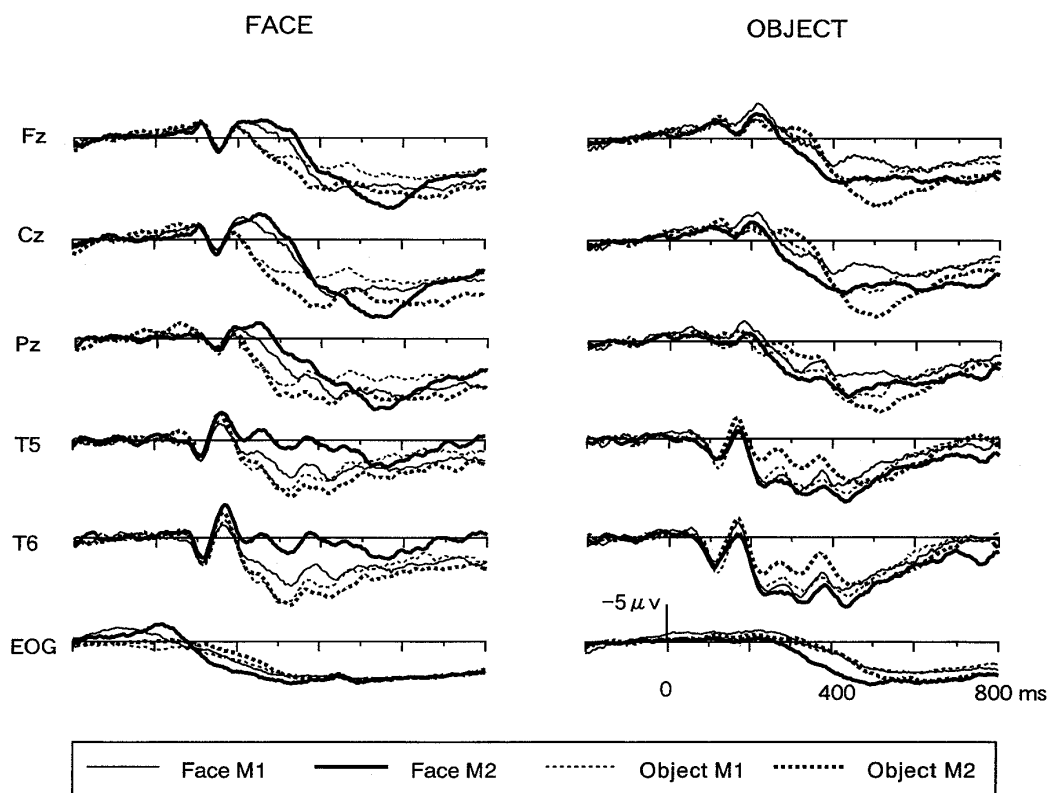


Figure 1. Grand average ERPs recorded at midline (Fz, Cz, and Pz) and temporo-occipital sites (T5 and T6) and EOGs in various conditions of Experiment 1. The waveforms are depicted separately for face (left panel) and non-face object (right panel) probe stimuli, and are overlapped for memory-sets of 1 and 2 faces (Face M1 and Face M2, respectively) and non-face objects (Object M1 and Object M2). Negativity is upward.

200–350 を惹起刺激×標的刺激×記憶サイズ×電極部位の4要因分散分析にかけた。まず、正中線上3部位における分析では、惹起刺激×標的刺激×記憶サイズの交互作用 ( $F(1, 9)=5.35, p<.05$ )と惹起刺激×標的刺激×電極部位の交互作用が有意であった ( $F(2, 18)=18.99, p<.001$ )。惹起刺激別に分析した結果、顔刺激には標的刺激 ( $F(1, 9)=20.54, p<.002$ ) と部位の主効果 ( $F(2, 18)=6.04, p<.01$ )に加えて、標的刺激×電極部位の交互作用が有意で ( $F(2, 18)=12.27, p<.005$ )、記憶サイズに関わらず、Czで標的刺激効果が大きいことを示した。また、物品刺激には部位の主効果に加えて ( $F(2, 18)=8.27, p<.005$ )、標的刺激×部位 ( $F(2, 18)=3.83, p<.05$ ) と標的刺激×記憶サイズ×電極部位の交互作用が有意であった ( $F(2, 18)=4.45, p=.05$ )。そこで、さらに物品刺激ERPの標的刺激別に記憶サイズ×電極部位の分散分析を行ったところ、顔標的探索時には電極部位効果のみ有意であったが ( $F(2, 18)=8.25, p<.005$ )、物品標的探索時には電極部位効果 ( $F(2, 18)=8.00, p=.005$ )に加えて、交互作用を認めた ( $F(2, 18)=7.45, p<.005$ )。ニューマン・キュールスを用いたポストホック検定ではCz・Pzに記憶サイズ効果を認めたが (それぞれ、 $p<.01$ ;  $p<.0002$ )、Fzにはなかった。

後側頭部における4要因分散分析では、惹

起刺激×標的刺激×記憶サイズの交互作用が有意であった ( $F(1, 9)=14.70, p<.005$ )。惹起刺激別に分析した結果は、顔・物品ともに標的刺激×記憶サイズの交互作用を認めた (それぞれ、 $F(1, 9)=8.52, p<.02$ ;  $F(1, 9)=5.61, p<.05$ )。ニューマン・キュールス検定は、それぞれ探索対象となった刺激にのみ有意な記憶サイズ効果を示した (顔では、 $p<.005$ ; 物品では、 $p<.05$ )。

#### 2.2.2.2 MA350–500

Table 2 に示す MA350–500 で惹起刺激×標的刺激×記憶サイズ×電極部位の4要因分散分析を行ったところ、惹起刺激×標的刺激×記憶サイズの交互作用 ( $F(1, 9)=5.59, p<.05$ ) と惹起刺激×記憶サイズ×電極部位の交互作用が有意であった ( $F(2, 18)=4.44, p<.05$ )。惹起刺激別に分析した結果、顔刺激には標的刺激×記憶サイズの交互作用がみられ ( $F(1, 9)=5.82, p<.05$ )、その標的刺激別の下位分析で物品探索時にのみ記憶サイズの有意傾向が見出された ( $F(1, 9)=4.59, p=.06$ )。また、記憶サイズ×電極部位の交互作用も有意で ( $F(2, 18)=6.06, p<.01$ )、標的刺激にかかわらず、記憶サイズの増加で陽性シフトがCz最大に生ずることを示した。他方、物品刺激には記憶サイズ×電極部位の交互作用のみが有意で ( $F(2, 18)=4.13, p<.05$ )、顔惹起刺激と類似して、標的刺激にかかわらず、記憶サイズ増

Table 1. Mean amplitudes in  $\mu V$  over 200–350 ms poststimulus for ERPs at Fz, Cz, Pz, T5, and T6 in various conditions of Experiment 1

Eliciting stimuli	Face				Object			
Target stimuli	Face		Object		Face		Object	
Memory set size	1	2	1	2	1	2	1	2
Fz	–0.90	–1.87	1.44	2.01	–1.74	–0.38	–1.33	–1.55
Cz	–0.99	–2.04	3.03	4.16	–0.38	1.40	–0.28	–1.12
Pz	1.95	–0.09	4.70	5.22	1.79	3.24	2.60	0.91
T5	2.95	–0.11	5.01	4.92	6.02	6.55	5.59	2.79
T6	4.56	0.73	6.92	6.73	7.12	7.96	6.53	4.41

Table 2. Mean amplitudes in  $\mu V$  over 350-500 ms poststimulus for ERPs at Fz, Cz, Pz, T5, and T6 in various conditions of Experiment 1

Eliciting stimuli	Face				Object			
Target stimuli	Face		Object		Face		Object	
Memory set size	1	2	1	2	1	2	1	2
Fz	6.14	4.95	3.99	6.64	2.78	5.57	4.67	5.72
Cz	6.55	6.77	4.87	8.56	3.57	6.59	6.08	7.17
Pz	7.01	5.70	5.29	8.27	4.24	6.60	6.91	6.58
T5	4.37	0.73	4.74	6.64	5.71	7.76	6.85	4.92
T6	4.78	0.45	6.02	7.57	6.47	8.31	7.10	5.16

加で Fz・Cz 優位に陽性シフトが生ずることを示した。

後側頭部の分析では、惹起刺激×標的刺激×記憶サイズの交互作用が有意であった ( $F(1, 9)=14.79, p<.005$ )。惹起刺激別の分析では、顔・物品ともに標的刺激×記憶サイズの交互作用を認めた（それぞれ、 $F(1, 9)=9.41, p<.02$ ； $F(1, 9)=7.35, p<.05$ ）。ニューマン・キュールス検定は、探索対象となった顔刺激にのみ有意な記憶サイズ効果を示した ( $p<.02$ )。

### 2.3 考察

Figure 1 で視察した効果が区間平均電位に基づく分析でもほぼ認められた。記憶サイズ増加に伴う陰性電位の増強は、記憶探索が要請された刺激にのみ、後側頭部 T5・T6 で生じた。正中線上、特に前頭中心部の Fz・Cz においても、探索対象となった刺激に大きな陰性電位が発達したが、T5・T6 のような明瞭な記憶サイズ効果は認められなかった。むしろ、探索対象外の刺激に対し、記憶サイズ増加に応じた陽性シフトが生じた。前頭中心領域における陰性電位の発達の前頭皮質が注意制御に関わるという序論で注目した考えに沿う知見であり、後側頭部の記憶サイズに鋭敏な陰性電位の発達紡錘状回（および、その近隣領域）が視覚的符号化情報の保持と探索処理を担っていることを示唆するものである。また、こうした効果は N170 頂点

後に生じており、N170 成分が日常的に親近性の高い視覚刺激に対する定位性反応を反映するという推定 (Schendan, Ganis, & Kutas, 1998) とともに時間的に一致する。

本実験では、顔情報の脳内表象が主に右半球の紡錘状回で保持されるとすれば、顔刺激で記憶サイズ増加に伴う探索陰性波の増大は右後側頭部 (T6) 優位に、物品刺激が左右の両半球でほぼ同等に処理されるとすれば (Rossin et al., 2000)、左・右後側頭部 (T5・T6) に差なく観察されると予測した。しかし、波形・区間平均電位の被験者間平均でそうした相違は見られたが、統計学的には有意な効果ではなかった。この点を実験 2 では顔と漢字との対比で検討を加えた。

### 3 実験 2<sup>(3)</sup>

本実験では、人の顔と漢字を刺激として記憶探索課題を被験者に遂行させながら脳電位を記録した。Courtney et al.(1996, 1997) の知見から示唆されるように、顔情報の脳内表象が活性化状態で一時的にワーキングメモリとして、主に右半球における紡錘状回の中・前方部と下後頭溝で保持されるとすれば、プローブとして提示された刺激表象との照合処理も何らかの形でその領域に関与していることが推測できる。漢字のワーキングメモリを特に調べた研究は少ないようであるが、その処理については脳磁波 (magnetoencephalo

graphy,MEG)やfMRI, PET を使用して検討され, まだ議論を残すものの左半球の縁上回・上側頭皮質の活動が大きいと報告されている(今田・川勝・小谷, 2000). そこで本実験では, 実験1の知見を確認するとともに, 記憶サイズ効果を顔・漢字間で対比することで視覚情報の内容に伴うワーキングメモリ操作の脳半球差を探ることとした.

実験1では, 顔刺激が男・女の高校生・成人で構成されていたのに対し, 物品は自動車や飛行機, やかん・グラスなど, さまざまなカテゴリのものを含んでいた. 本実験で使用する顔写真は男女の大学生・院生の比較的均一なものを採用し, 刺激系列内では男女いずれか一方のみを使用した. また, 漢字も「門」構えと「竹」かんむりのみを使用し, 刺激の均一性を図った.

### 3.1 方法

実験1と異なる点のみを記述する.

#### 3.1.1 被験者

大学生10名(男性5名, 女性5名, 20–22歳)であった.

#### 3.1.2 刺激

人のグレースケール顔写真(未知顔: 男12人, 女12人)と漢字(閉, 閃, 閉, 閏, 開, 間, 関, 閣, 閱, 閤, 閤, 閤, 筈, 答, 笛, 答, 笠, 筒, 竿, 笑, 算, 筍, 策, 筈)を用いた. 刺激の大きさは顔が約 $6 \times 5$  cm, 漢字が $5 \times 5.4$  cmであった. 各系列を構成する刺激は, 男の顔写真には門構えの漢字, 女の顔写真には竹かんむりの漢字とした.

#### 3.1.3 脳波・眼球運動の記録

脳波は, 鼻尖を基準電極として, F3・F4・Cz・T5・T6から記録した.

### 3.2 結果

#### 3.2.1 反応時間

顔標的で記憶サイズ1(M1)の反応時間は507 ms, 記憶サイズ2(M2)は529 ms, それに対し, 漢字ではそれぞれ461 ms, 505 msであった. 刺激(顔・漢字)×記憶サイ

ズ(M1・M2)の2要因分散分析を行ったところ, 刺激と記憶サイズの主効果が有意であった(刺激: $F(1, 9)=10.16$ ,  $p<.02$ ; 記憶サイズ: $F(1, 9)=13.56$ ,  $p<.005$ ).

#### 3.2.2 ERP

Figure 2に顔刺激と漢字刺激に惹起された10名の被験者間総平均ERP波形を示す. 実験1と同様, いずれの惹起刺激にもT5・T6でN170が生じ, そのN170頂点後の200 msあたりから記憶探索対象の刺激(顔探索時の顔刺激, あるいは漢字探索時の漢字)に陰性方向への電位シフトがみられる. 漢字に対する陰性電位は実験1の物品よりも大きく発達している. 記憶サイズ効果がT5・T6で明瞭な点は実験1と同じであるが, 記憶サイズ効果はより明瞭であり, 記憶サイズ2(M2)のERPは記憶サイズ1(M1)のERPから刺激後350 msあたりで分岐し, その陰性電位は持続している.

N170は序論で注目した顔認知や親近性の高い漢字などに誘発される電位であるが, 記憶探索効果はみられなかったので, 実験1と同様, ここでは記憶探索効果が観察された200–500 ms時間帯で検討することとした.

##### 3.2.2.1 MA200–350

Table 3に示す左右前頭部(F3・F4)の区間平均電位に基づき, 惹起刺激×標的刺激×記憶サイズ×電極部位の4要因分散分析を行ったところ, 惹起刺激×標的刺激の交互作用が有意であった( $F(1, 9)=23.92$ ,  $p<.001$ ). ニューマン・キュールス検定は探索対象の刺激に対する有意な陰性電位の発達を示した(顔標的,  $p<.02$ ; 漢字標的,  $p<.05$ ).

Czにおける分析では惹起刺激×標的刺激の交互作用( $F(1, 9)=31.12$ ,  $p<.001$ )に加えて, 惹起刺激×標的刺激×記憶サイズの交互作用も有意であった( $F(1, 9)=6.66$ ,  $p<.05$ ). 惹起刺激別分析を行ったところ, 顔刺激に対しては標的刺激の主効果のみ有意であったが( $F(1, 9)=39.15$ ,  $p<.001$ ), 漢



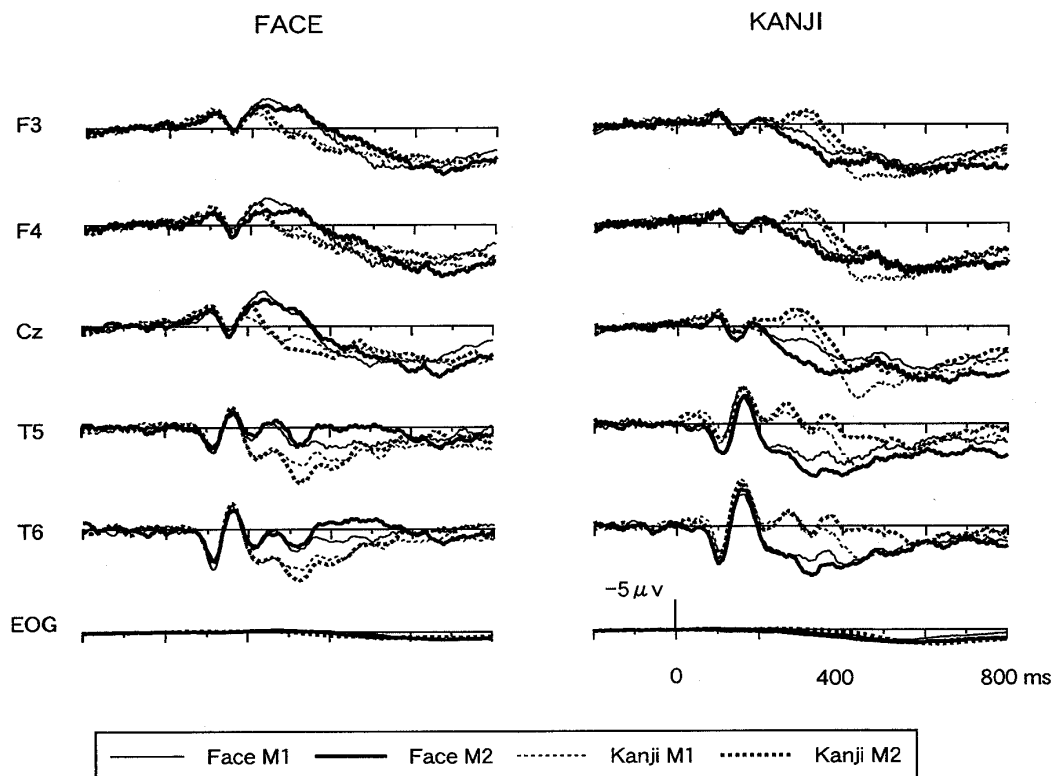


Figure 2. Grand average ERPs recorded at frontal (F3 and F4), vertex (Cz) and temporo-occipital sites (T5 and T6) and EOGs in various conditions of Experiment 2. The waveforms are depicted separately for face (left panel) and object (right panel) probe stimuli, and are overlapped for memory-sets of 1 and 2 faces (Face M1 and Face M2, respectively) and Kanji characters (Kanji M1 and Kanji M2). Negativity is upward.

Table 3. Mean amplitudes in  $\mu V$  over 200-350 ms poststimulus for ERPs at F3, F4, Cz, T5, and T6 in various conditions of Experiment 2

Eliciting stimuli	Face				Kanji			
Target stimuli	Face		Kanji		Face		Kanji	
Memory set size	1	2	1	2	1	2	1	2
F3	-3.19	-2.79	-0.17	-0.56	0.72	1.92	-0.17	-1.21
F4	-2.88	-1.83	-0.05	-0.16	0.91	1.77	-0.46	-0.98
Cz	-3.12	-2.86	0.96	1.12	1.89	3.87	-0.21	-1.50
T5	1.16	0.67	4.19	5.13	3.93	5.18	-0.30	-1.05
T6	1.84	1.66	4.91	5.33	4.12	4.76	-0.48	-0.38

字刺激では標的刺激の主効果に加えて ( $F(1, 9)=12.87, p<.01$ ), 標的刺激×記憶サイズの交互作用が有意であった ( $F(1, 9)=7.46, p=.05$ ). 漢字刺激に対するニューマン・キュールス検定は漢字刺激が探索対象 (顔標的) 外となった場合に, 記憶サ

イズ増加に伴う陽性電位の増大を示した。

左右後側頭部 (T5・T6) の区間平均電位に基づく分析を行ったところ, 惹起刺激×標的刺激の交互作用 ( $F(1, 9)=102.00, p<.001$ ) と惹起刺激×標的刺激×記憶サイズ×電極部位の交互作用が有意であった ( $F$

(1, 9) = 8.32,  $p < .02$ ). 惹起刺激別に分析した結果, 顔刺激には標的刺激の主効果のみ有意であった ( $F(1, 9) = 66.51$ ,  $p < .001$ ). また, 漢字刺激には標的刺激の主効果に加えて ( $F(1, 9) = 34.32$ ,  $p < .001$ ), 標的刺激  $\times$  記憶サイズ  $\times$  電極部位の交互作用が有意傾向を示した ( $F(1, 9) = 4.34$ ,  $p = .066$ ). そこで, 漢字刺激 ERP の標的刺激別に分析を行ったところ, 顔標的探索時には有意な効果はみられなかったが, 漢字標的探索時に交互作用が認められた ( $F(1, 9) = 5.88$ ,  $p < .05$ ). ニューマン・キュールス検定では, T5では記憶サイズの効果傾向がみられたが ( $p = .059$ ), T6ではそうした効果は認められなかった.

### 3.2.2.2 MA350-500

Table 4 に示す左右の前頭部 (F3・F4) と頭蓋頂 (Cz) の分析では, いずれも惹起刺激の主効果のみ有意であった (F3・F4,  $F(1, 9) = 23.17$ ,  $p < .001$ ; Cz,  $F(1, 9) = 15.64$ ,  $p < .005$ ).

後側頭部 (T5・T6) では, 惹起刺激  $\times$  標的刺激の交互作用 ( $F(1, 9) = 11.21$ ,  $p < .01$ ) と惹起刺激  $\times$  標的刺激  $\times$  記憶サイズの交互作用が有意であった ( $F(1, 9) = 5.66$ ,  $p < .05$ ). 惹起刺激別に分析した結果, 顔刺激には標的刺激の主効果に加えて ( $F(1, 9) = 14.25$ ,  $p < .005$ ), 電極部位の主効果 ( $F(1, 9) = 6.51$ ,  $p < .05$ ), 標的刺激  $\times$  記憶サイズの交互作用が有意であった ( $F$

(1, 9) = 5.19,  $p < .05$ ). ニューマン・キュールス検定では, 顔標的探索時に有意な記憶サイズ効果がみられたが ( $p < .05$ ), 漢字標的探索時にはそうした効果はなかった. 他方, 漢字刺激には標的刺激の主効果のみが有意であった ( $F(1, 9) = 5.93$ ,  $p < .05$ ).

### 3.3 考察

実験1の結果と比較すると, 標的検出の反応時間は延長したが (実験1: 顔 460 ms, 物品 420 ms; 実験2: 顔 518 ms, 漢字 483 ms), 記憶サイズ増加に伴う反応時間の延長をみると, かえって実験2の方が短く (実験1: 顔 55 ms, 物品 49 ms; 実験2: 顔 22 ms, 漢字 36 ms), 記憶サイズの増加によって記憶探索 (照合) 項目数が増えた結果とは言い難い. 個々の顔・漢字刺激の符号化 (同定) に要する時間が延長した結果と推察できる.

ERPの結果は, 全般的にみて, 実験1の知見を確認するものであった. 記憶サイズ増加に伴う陰性電位の増強は, 記憶探索が要請された刺激にのみ, 後側頭部 T5・T6 で生じた. 前頭中心部では, 記憶サイズに関わりなく, 探索対象となった刺激に大きな陰性電位が発達した.

本実験の漢字標的探索時における漢字刺激の ERP をみると, 記憶サイズ増加に伴う陰性電位が, 有意傾向ながら予測どおり, 右後側頭部 (T6) より左後側頭部 (T5) で大き

Table 4. Mean amplitudes in  $\mu V$  over 350-500 ms poststimulus for ERPs at F3, F4, Cz, T5, and T6 in various conditions of Experiment 2

Eliciting stimuli	Face				Kanji			
	Face		Kanji		Face		Kanji	
Target stimuli								
Memory set size	1	2	1	2	1	2	1	2
F3	2.42	0.95	3.10	2.91	4.25	4.91	5.83	3.00
F4	2.80	1.50	3.20	3.05	4.75	4.55	6.04	3.21
Cz	3.61	2.51	3.33	3.51	4.47	5.50	7.88	3.90
T5	2.48	0.02	4.17	4.76	4.76	6.09	4.41	0.42
T6	1.43	-0.96	3.60	4.02	4.49	4.77	3.19	-0.58

く増大した。しかし、顔刺激には今回もそうした左右差は見出されなかった。

#### 4 総合考察

実験1・2を通して、記録部位に関わらず、記憶探索が要請された刺激には陰性電位が発達した。しかし、これまでに報告されてきたような、記憶サイズ増加に伴う陰性電位の増大と延長は、後側頭部(T5・T6)でのみ認められ、前頭中心部においては見出されなかった。序論では近年の神経機能画像の知見からワーキングメモリの関連領域に注目したが、前頭中心領域における陰性電位のは発達帯状回前部を含む前頭皮質が中央実行系の注意制御に関わるという考えに沿う知見である。また、後側頭部の記憶サイズに鋭敏な陰性電位は紡錘状回(および、その近隣領域)が視覚的符号化情報の保持と探索処理を担っているという示唆と一致する。

先行研究(たとえば、宮谷, 2000; Okita et al., 1985)は記憶サイズに鋭敏に応答する探索陰性電位をCz優位に認め、本結果の後側頭部と異なる。宮谷(2000)が示唆するように、単純なアルファベット文字の探索は音韻符号で実行され、その音韻ループの活動を中心部探索電位が反映するとすれば、ここで観察された後側頭部の陰性電位はそれとは明らかに異なる機構、すなわち、上記の視覚的符号に基づく探索操作を示唆している。本研究で使用した複雑な人の顔や物品の写真、漢字刺激は、Baddeley(1986)の用語に従えば、視空間スケッチパッドの使用に有効に働いたといえよう。また、従来、本研究で認めたような記憶セット応答性を欠く前頭中心部陰性電位が見出されなかったのは、類似した頭皮上電位分布をもつ音韻的探索時の電位が重畳したためと推察できる。さらに、遅延顔再認課題で記憶サイズ効果を検討したfMRI研究(Jha & McCarthy, 2000)は、標的-検査遅延期間中の標的提示直後6-9

秒間で中前頭回、頭頂間溝、紡錘状回に大きなサイズ効果を認めている。紡錘状回で保持されている標的(記憶セット)顔表象が検査刺激の顔表象と照合される可能性を示唆する。

紡錘状回における顔処理の右半球優位性を示す神経機能画像の知見から(たとえば、McCarthy, Puce, Gore, & Allison, 1997)、記憶サイズに鋭敏な陰性電位も右後側頭部(T6)優位に生ずると予測したが、2つの実験を通して有意な左右差を見出せなかった。Rossin et al. (2000)によれば、同じ人の顔であっても、注目の仕方によって紡錘状回の優位な活性化が左右半球間で入れ替わり、顔の特定部位に注目すると左半球優位、顔全体に注目すると一括型処理機構をもつ右半球優位になる。本実験のように標的となる人物の顔を探索する場合、顔全体よりもむしろ特定部分が有効な手がかりとして働いていたとすると、この課題遂行方略が左右間の優位性に影響し、予測したような探索陰性電位における効果が得られなかったのかもしれない。

左右の後側頭部で唯一の導出部位差が見出したのは、漢字探索時の200-350 ms潜時帯である。漢字の一時的な記憶保持が左半球優位であることを示唆する資料であるが、統計学的にみて有意傾向でもあり、今後の検討が必要である。

探索対象外の刺激に対し、前頭中心部で記憶サイズ増加に応じた陽性シフトが特に実験1で明瞭に観察された。この陽性シフトには、惹起刺激とは異なる、探索対象となっている刺激の記憶サイズが影響した可能性がある。刺激提示前に発達するCNV様の前頭中心部優位な陰性電位が記憶サイズに応じて増大するとすれば、探索対象外の刺激提示で生じる基線復帰電位も大きくなると推定できる。

こうして、記憶探索に関わるERP変化は、初期の視知覚に関わるN170成分の頂点

後に始まり、前頭中心部と後側頭部 (T5・T6) で明らかに異なるパターンを示した。前頭中心部における陰性電位の発達は記憶サイズ応答性に欠けることから、前部帯状回を含む前頭皮質の働きを中央実行系の注意制御に関連づけて解釈した。他方、後側頭部は記憶サイズに鋭敏に応答することから、近年の神経機能画像の知見など先行研究を踏まえて、紡錘状回 (および、その近隣領域) が視覚的符号化情報の保持と探索処理 (記憶照合) を担っていると推定した。本研究では5箇所と少ない記録部位のERPからワーキングメモリを探ったが、今後、詳細な頭皮上電位分布を通して、他の測度との対応を図る必要がある。

#### 引用文献

- Baddeley, A. D. (1986) *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Courtney, S. M., Ungerleider, L. G., Keil, K., & Haxby, J. V. (1996) Object and spatial visual working memory activate separate neural systems in human cortex. *Cerebral Cortex*, 6, 39-49.
- Courtney, S. M., Ungerleider, L. G., Keil, K., & Haxby, J. V. (1997) Transient and sustained activity in a distributed neural system for human working memory. *Nature*, 386, 608-611.
- Druzgal, T.J. & D'Esposito, M. (2001) Activity in fusiform face area modulated as a function of working memory load, *Cognitive Brain Research*, 10, 355-364.
- 藤井俊勝 (2000) ワーキングメモリの神経基盤. 荳阪直行 (編) 脳とワーキングメモリ (pp.93-113). 京都: 京都大学学術出版会.
- 今田俊明・川勝真喜・小谷誠 (2000) 漢字・仮名を認知するときの脳の活動. 臨床神経生理学, 28, 92-93.
- Jha, A. P. & McCarthy, G. (2000) The influence of memory load upon delayed-interval activity in a working memory task: an event-related MRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, Supplement 2: 90-105.
- Jiang, Y., Haxby, J. V., Martin, A., Ungerleider, L. G., & Parasuraman, R. (2000) Complementary neural mechanisms for tracking items in human working memory. *Science*, 287, 643-646.
- McCarthy, G. (2000) Physiological studies of face processing in humans. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The new cognitive neurosciences* (pp. 393-409). MA: MIT Press.
- McCarthy, G., Puce, A., Gore, J. C., & Allison, T. (1997) Face-specific processing in the human fusiform gyrus. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 605-610.
- 宮谷真人 (2000) 視覚探索時の事象関連電位とワーキングメモリ. 荳阪直行 (編) 脳とワーキングメモリ (pp.139-154). 京都: 京都大学学術出版会.
- 沖田庸嵩 (1992) 記憶の精神生理. 脳と精神の医学, 3, 437-446.
- 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.
- Posner, M. I., & Raichle, M. E. (1994) *Images of mind*. New York: Scientific American Library.
- Rossin, B., Dricot, L., Devolder, A., Bodart, J. M., Crommelinck, M., de Gelder, B., & Zoontjes, R. (2000) Hemispheric asymmetries for whole-based and part-based face processing in the human fusiform gyrus. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 793-802.
- Schendan, N. E., Ganis, G., & Kutas, M. (1998) Neurophysiological evidence for visual perceptual categorization of words and faces

within 150 ms. *Psychophysiology*, 35, 240-251.  
Sternberg, S. (1966) High-speed scanning in  
human memory. *Science*, 153, 652-654.

#### 注

- (1)本研究は、文部科学省科学研究費・基礎研究  
(C)(2) (研究代表者 沖田庸高, 課題番号 1061  
0089), および同研究費・基礎研究 (B)(2) (研  
究代表者 今塩屋隼男, 課題番号 12410036)

の援助を受けた.

(2)ERP を惹起する刺激, ここでは刺激系列中に  
提示された顔と物品の非標的刺激である.

(3)実験 2 の資料は佐藤美沙恵氏とともに収集し,  
その一部は札幌学院大学社会情報学部 2000 年  
度卒業研究として使用した.

2002 年 1 月 30 日受付

2002 年 2 月 18 日受理