

## 非言語的刺激からの意味の抽出過程<sup>1</sup>

中尾美月・宮谷真人・武澤友広・  
中尾 敬・吉田有美子

### Event-related potentials in a categorical judgment of arrows indicating distinct and indistinct directions

Mizuki Nakao, Makoto Miyatani, Tomohiro Takezawa,  
Takashi Nakao, and Yumiko Yoshida

To investigate how indistinct information in a nonverbal stimulus affects the categorizing process of that stimulus, we observed the event-related potentials (ERP) elicited by arrows, which indicate distinct (right/left or upward) or indistinct (to some extent different from right/left or upward) directions. In three experiments, participants were required three different judgments on the direction of these arrows. The results from these experiments suggest that the N2 and P3b components of ERP relate to the processes on which discrimination and categorization of nonverbal stimuli depend, while it was not demonstrated the N400 is sensitive to the incongruity between verbal and nonverbal directional information.

運転の途中で Figure 1 に示すような信号を初めて目にすると、どのように行動すればよいのか一瞬判断に迷う。赤信号は“止まれ”を意味する。一方で、3つの青い矢印はそれぞれの方向に進んでよいことを示している。たいていの場合、進行方向には左折、直進、右折の3つしかない。したがって、Figure 1 には、“どの方向に進んでもよい”という情報と、“止まらなければならない”という相反する情報が含まれることになるので、われわれはその処理に困るのである。このように、われわれは行動空間内のさまざまな非言語的刺激から意味を抽出し、それに基づいて行動を決定している。非言語的刺激が示す意味が曖昧であったり、相互に矛盾する情報が同時に含まれていたりすると、たとえ最終的に導かれる行動は同じであっても、反応が遅延したり、不適切な反応が生じやすくなる。本研究は、非言語的刺激から一つの意味を抽出する過程について、事象関連電位 (event-related potentials, ERP) を用いて検討することを目的とする。

<sup>1</sup> 本論文は、平成5年度科学研究費補助金(課題番号05220214)および平成6年度科学研究費補助金(課題番号06212215)の補助を受けて実施した実験を、再分析して報告するものである。

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 (Hillyard & Kutas, 1983; 沖田, 1989)であり、極性、潜時、振幅、頭皮上分布などで特徴づけられる複数の成分で構成されている。反応時間などの行動測度と併用しながら ERP の各成分と心理的過程との対応づけを試みる情報処理論的 ERP 研究 (Gaillard, 1988) によって、準備や期待を反映する CNV、選択的注意を反映する Nd や処理陰性電位、課題に関連した刺激の検出に伴って出現する P3b、文脈からの物理的あるいは意味的逸脱に関連すると想定される

N2、ミスマッチ陰性電位、N400、P3aなどの成分が報告されてきた (Donchin, Karis, Bashore, Coles, & Gratton, 1986; Hillyard & Picton, 1987)。ERPは、刺激が呈示されてから反応が出力されるまでに脳内で生じる電氣的活動を、ミリ秒単位の時間分解能で連続的に測定できるので、非言語的刺激に含まれる情報の曖昧さが、情報処理のどの段階にいかなる影響を及ぼすかを調べるのに適した測度であると考えられる。本研究では、3つの実験で、さまざまな方向を指す矢印を刺激として被験者に呈示し、それについて性質の異なる3つの方向(すなわち、矢印の意味)判断を求めた。矢印の方向が、典型的な方向からだんだんとずれ、曖昧さが増大することによって、ERPの各成分の振る舞いにどのような影響が生じるのかを観察した。

### 実験 1

実験1では、右(→)から上(↑)までのさまざまな方向を指す矢印を呈示し、それが“右”であるか“上”であるかの判断を求めた。矢印の方向が典型的な右(または上)からずれるにしたがって、ERPの振る舞いがどのように変化するかを観察した。

#### 方法

**被験者** 視力(矯正視力を含む)の正常な21-25歳の健常成人10名(男子5名、女子5名)を被験者とした。被験者は全員右利きであった。

**刺激** パソコン用CRT画面中央に、矢印刺激(主線の長さ:視角で約7度、観察距離50cm、矢線の長さ:約2度、主線と矢線の角度:30度)を呈示した。背景色は黒、刺激色は白とした。右(→)から上(↑)まで10度ごとに方向の異なる矢印を10種類準備した(Figure 2参照)。各刺激の呈示時間を150ms、刺激間の時間間隔(SOA)を1400-1600msの範囲でランダムとして、200刺激を連続して呈示し

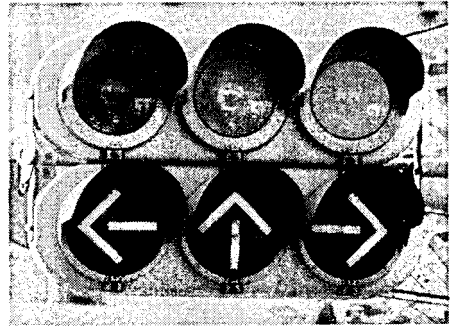


Figure 1. 戸惑う矢印信号。赤信号と下の青い3本の矢印が同時に点灯している。(大竹, 1994)

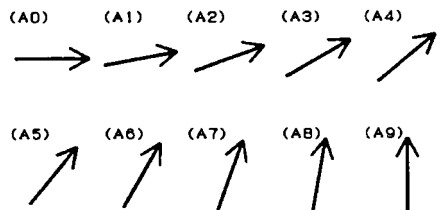


Figure 2. 実験1で用いた矢印刺激。A0からA9まで10度ごとに角度が異なる。実際には黒い背景に白色で呈示した。

た。10種類の矢印刺激は、ランダムな順序で同回数呈示した。

**課題** Figure 2のA0-A4を右矢印、A5-A9を上矢印と定義し、右または上矢印を標的とする標的検出課題を実施した。被験者には、標的が呈示されたらなるべく速く右手でスイッチを押して反応し、非標的に対しては何も反応しないように教示した。反応時間を1ms単位で記録し、刺激呈示後1000msまでにスイッチが押された場合を、その刺激に対する反応とみなした。

**手続き** 200試行からなる実験系列を10系列実施した。各系列のはじめに、右矢印と上矢印のどちらが標的となるかを指示した。試行開始の合図と同時に画面中央に凝視点(+)を1500ms呈示し、凝視点が消えた500ms後に、最初の矢印刺激を呈示した。被験者の半数は、前半の5系列で右矢印、後半の5系列で上矢印を標的とし、残りの被験者では、その順序を逆にした。第1系列および第6系列の前に、25試行程度の練習を実施した。実験の所要時間は、約3時間であった。

**脳波の記録と分析** 銀・塩化銀血電極を用い、両耳朶連結を基準として、Fz, Cz, Pz, Oz, P3, P4, T5, T6, O1, O2の10部位から脳波(EEG)を、右眼窩上から眼球電図(EOG)を記録した。電極間抵抗は5k $\Omega$ 以下とした。EEGとEOGは、帯域通過周波数0.05-30Hzで増幅した。増幅したEEGとEOGの刺激呈示前100msから1100ms区間を、サンプリング周波数200HzでAD変換し、刺激呈示前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。分析区間中にEOGを含むいずれかのチャンネルで $\pm 50\mu\text{V}$ 以上の電位を記録した試行を除き、標的の種類(右, 上)×刺激(A0-A9)×反応(あり, なし)の40条件別に加算平均した。

標的刺激に対して反応が行われた試行で記録されたPzのERPについて、300-800ms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、その潜時を測定した。さらに、標的刺激に対して反応した試行と、非標的刺激に対して反応しなかった試行で得られたERPについて、刺激呈示後から1000msの区間を25msごとに区切り、各区間の平均振幅を算出した。それぞれの分析にあたり、十分な加算回数が得られなかった被験者は分析から除いたが、最低でも8名が分析対象となった。

結果の分析に繰り返し測度の分散分析を用いた場合には、分散・共分散の非等質性によるタイプIエラーの確率増加を避けるため、必要に応じてGreenhouseとGeisserの $\epsilon$ で自由度を調整した。有意水準は5%とした。多重比較にはScheffé法を用いた。

## 結果

**反応率** それぞれの矢印に対して右または上と判断した割合を被験者別に求め、10名の被験者について平均した値をFigure 3に示した。実線が右矢印検出課題、点線が上矢印検出課題の結果である。最も曖昧な刺激に対し、右判断(A4)で61.1%、上判断(A5)で76.2%の正答率が得られた。標的が右矢印の場合にはA0刺激、標的が上矢印の場合にはA9刺激を基準として、各刺激の指す方向がそれから何度ずれているかを逸脱度とし、標的の種類

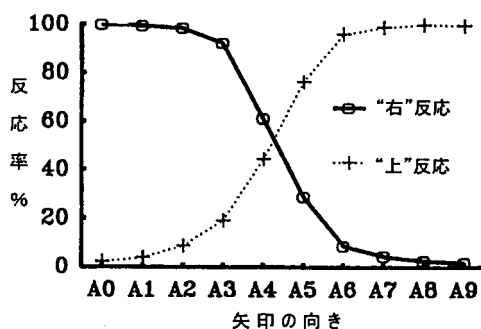


Figure 3. 各矢印刺激に対する右または上反応の割合。実線は標的が右矢印の場合、点線は標的が上矢印の場合を示す。

(右, 上) × 逸脱度 (0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90) の分散分析を実施した. 逸脱度の主効果 ( $F(9, 81)=421.0, p<.001$ ) が有意で, 逸脱度が大きくなるほど反応率は低下した. 被験者によっては, 上判断が著しく多い傾向が認められたが, 全体としては判断する方向による反応率の違いはなく, 標的の種類の主効果および標的の種類 × 逸脱度の交互作用は有意でなかった.

標的刺激に対する反応時間 各標的検出課題における標的に対する平均反応時間を求め, Figure 4 に実線で示した. 反応時間は, 矢印の逸脱度が大きくなるにつれて単調に延長した.

標的の種類 (右, 上) × 逸脱度 (0, 10, 20, 30, 40) の分散分析の結果, 逸脱度の主効果 ( $F(4, 36)=28.0, p<.001$ ) が有意で, 多重比較の結果, 反応時間は (0, 10, 20 度) < 30 度 < 40 度の順に長くなった. 標的の種類の主効果および標的の種類 × 逸脱度の交互作用は有意でなかった.

ERP 波形 各条件において, Fz と Pz から記録された ERP の総加算平均波形を Figure 5 に示す.

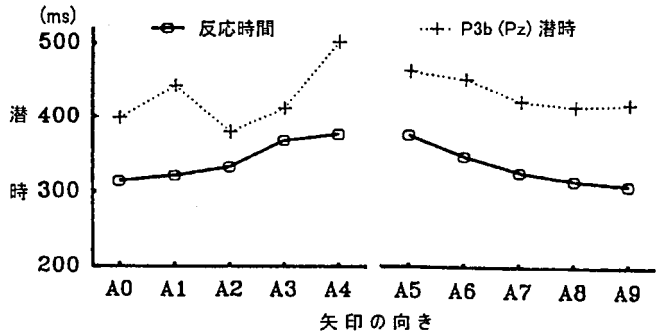


Figure 4. 実験 1 の各標的の矢印に対する平均反応時間および Pz における P3b 頂点潜時.

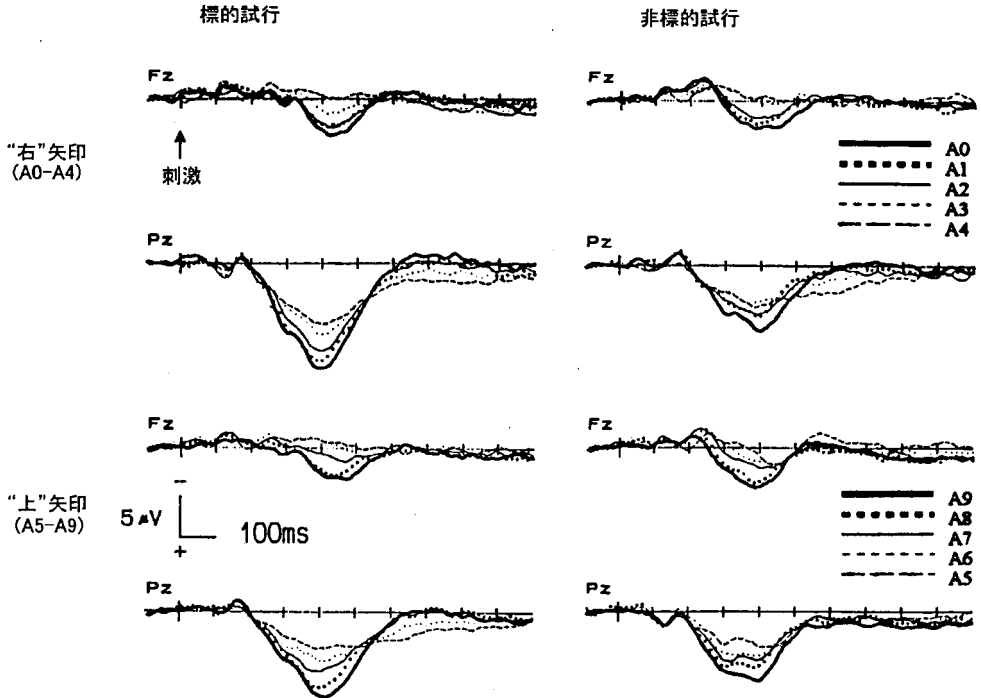


Figure 5. 実験 1 の各矢印刺激に対する ERP の総加算平均波形 (Fz および Pz のみ). 逸脱度の異なる 5 つの波形を重ね書きしてある.

上半分が右矢印 (A0-A4), 下半分が上矢印 (A5-A9) に対する波形, 左半分は標的に対して被験者が正しく反応した試行, 右半分は非標的に対して反応を行わなかった試行で得られた波形である。Pz では, 標的波形にも非標的波形にも, 刺激後 400 ms 前後に頂点をもつ大きな陽性成分が出現している。この成分は, 全ての被験者で Cz から Pz にかけて優勢な頭皮上分布を示し, 非標的波形よりも標的波形で振幅が大きかった。さらに, 非標的波形では標的波形に比べて Cz 寄りの分布を示すことから, P3b 成分であると考えられる。また, Fz の特に非標的波形では, 刺激後 220-240 ms に頂点をもつ陰性変動が認められる。図示していないが, この電位変動は, P3b 成分の影響を受けて陰性方向へのふれは小さいものの, Cz でも観察できる。さらに, 後頭部 (Oz, O1, O2) や側頭後部 (T5, T6) の波形には, 刺激後約 180 ms で最大 (-2  $\mu$ V 程度) 振幅に達する陰性電位 (後頭部 N1) が認められた。

**P300 潜時** 各被験者の Pz における P3b 成分の頂点潜時を標的の種類および刺激別に求め, その平均を Figure 4 に点線で示した。分散分析の結果, 上判断時には刺激の主効果は有意でなかった。右判断時には有意な刺激の主効果 ( $F(4, 28)=4.37, \epsilon=0.397, p<.05$ ) が得られたが, P3b 潜時は, 反応時間のように水平方向からのずれにしたがって単調に増加するのではなく, A4 刺激に対する潜時が他の 4 刺激に比べて長く, A2 条件の潜時が他の 4 条件よりも短かった。

**P300 振幅** Figure 5 の Pz 波形について, 25ms ごとの区間平均電位を分析した結果, 右判断時の標的波形では 250-500 ms 区間 ( $F_s=3.61-44.6$ ), 同じく非標的波形では 275-425 ms 区間 ( $F_s=4.01-12.9$ ), 上判断時の標的波形では 250-500 ms 区間 ( $F_s=3.58-43.2$ ), 非標的波形では 275-425 ms 区間 ( $F_s=6.01-11.7$ ) において, 矢印の方向による P3b の有意な振幅差が認められた。各刺激条件における P3b 振幅を Figure 6 に示す。標的波形, 非標的波形ともに, 矢印の向きが右または上方向からずれるにしたがって P3b 振幅は単調に減少した。

**その他の ERP 成分** 25 ms ごとの区間平均電位に基づく分析で, P3b 以外にもいくつか ERP 上の刺激効果が認められた。例えば, Fz の非標的波形では, 矢印方向による波形の違いは潜時 200-225 ms 付近で出現している。しかし, 効果の現れ方は複雑であり (Figure 5 参照), 右判断時の非標的波形では, 水平方向からのずれが小さいほうが高振幅であるのに対し, 上判断時の非標的波形では, 逆に垂直方向からのずれが大きいが高振幅となった。また, 右判断時に側頭後部で記録された非標的波形では, 後頭部 N1 に続く陽性成分の振幅が, 水平方向からのずれが大きいかほど大きかった。この効果は, Pz における刺激効果よりも早く, 刺激後 200 ms あたりから出現していることから, P3b における刺激効果とは別のものであると考えられる。

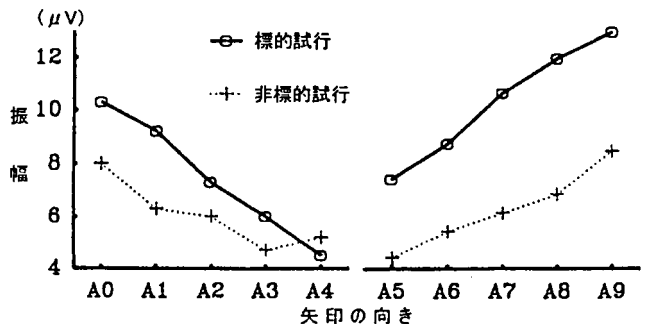


Figure 6. 各矢印刺激に対する ERP (Pz) の P3b 振幅。

## 考 察

**反応時間と P3b** 本実験で得られた P3b 潜時は、矢印刺激の方向に関して、反応時間と必ずしも一致した効果を示さなかった。右判断時には最も曖昧な刺激に対する P3b 潜時が他の刺激に比べて長かったが、上判断時には有意差が認められず、Figure 5 の波形上でも、Pz における P3b の頂点潜時は刺激に関わらずほぼ同じであることを考慮すると、実験 1 では、矢印刺激の方向の曖昧さは P3b 潜時にほとんど影響しなかったか、少なくとも反応時間に比べてわずかな影響しか与えなかったといえる。P3b 潜時は、反応の実行過程とは比較的独立した刺激評価時間を反映すると考えられている（例えば、McCarthy & Donchin, 1981）ことから、本実験では、“右”や“上”という意味情報は、刺激の向きの曖昧さに関わらず同程度の処理時間で抽出されたものと考えられる。

一方、刺激の効果に関して、反応時間は P3b の振幅とよく対応していた。P3b 振幅に影響を与える要因が、いくつか提案されている。Donchin (1981) の文脈更新仮説では、呈示された刺激が、現在の環境についての内的モデルを更新する程度を P3b 振幅が反映すると考えている。また、内的モデルの具体的性質に関して、Ullsperger & Gille (1998) の順応水準モデルでは、刺激系列によってきまる順応水準と呈示される刺激とのずれが大きいほど P3b 振幅が大きいと考えており、それを支持するデータも報告されている（入戸野・投石・中島, 1994; Nittono, Nageishi, Nakajima, & Ullsperger, 1999）。実験 1 では、10 種類の矢印刺激は同回数呈示されているので、その方向に関する順応水準は、右と上の中間 45 度のあたりにあるはずである。したがって、P3b に関する順応水準モデルは、45 度からもっともずれた A0 または A9 刺激に対して最大の P3b が出現することを予測し、その予測は実験 1 の結果と一致する。しかし、入戸野他 (1994) が実施した多肢選択反応であれば、実験事態で呈示される全刺激の平均値が何らかの判断基準になると考えることはできるが、実験 1 のように“右”や“上”の判断を行う場合には、その方向の典型例が基準ないしは内的モデルとして形成されていると考えるのが自然である。ところが、実験 1 の結果では、P3b 振幅は、その内的モデルと一致する刺激に対して最大であり、実験 1 で観察された P3b 振幅の変化が、内的モデルや順応水準の考え方で説明できるとは考えにくい。

P3b 振幅に影響を与える別の要因として、判断の確信度を上げることができる。被験者が強い確信を持って判断すればするほど、P3b の振幅は増大する (Hillyard & Picton, 1987)。この考え方は、実験 1 の結果をよく説明する。すなわち、本実験における反応時間の遅延は、方向そのものに関する情報抽出時間の遅れではなく、抽出された情報についての確信度が反応の生成や実行の段階に及ぼす影響に起因すると考えることができる。

**その他の成分** Fz の非標的波形で、刺激後 200 ms 付近の陰性電位の振幅が矢印方向の影響を受けたが、実験 1 においては前頭部の非標的波形においてもかなり大きな P3b が出現しており、この潜時帯の ERP には、陰性電位に現れる効果と P3b における効果が混在している可能性がある。この点については、例えば非標的刺激の呈示確率をかなり大きくすることによって P3b 振幅を減衰させるなど、陰性電位に固有の効果を抽出しやすくする工夫が必要である。また、本実験では該当するケースが少ないために十分な分析ができなかったが、同じ刺激が標的であると判断される時と非標的であると判断された時の ERP を比較し、どの成分のどの時点から条件差が生じ始めるのかを特定

することによって、意味が抽出される初期過程について検討することもできよう。

## 実験 2

実験 1 では、刺激が標的であるかどうかに関わらず、全条件で大きな P3b 成分が出現したため、その影響でそれよりも短潜時で出現する成分、例えば N2 の振る舞いについて十分に検討することができなかった。そこで実験 2 では、非標的の刺激に対する ERP 波形に P3b 成分が出現しにくい実験事態を設定し、典型的な右矢印からのずれの大きさが、ERP の P3b 以前に出現する成分にどのような影響を及ぼすのかを調べた。

### 方法

**被験者** 視力(矯正視力を含む)の正常な 22-36 歳の成人 8 名(男性 4 名, 女性 4 名)を被験者とした。利き手は、全員右であった。

**刺激** 右(0度)から右上がり 20 度または右下がり 20 度まで、5 度ずつ角度の異なる矢印(9 種類, 大きさおよび観察距離は実験 1 と同じ)を刺激とした。実験 1 と同じ時間条件で、180 刺激を連続して呈示した。

**課題** 典型的な右矢印のみを標的とする標的検出課題を行った。反応の方法は、実験 1 と同じであった。各刺激をランダムな順序で同回数呈示したので、標的の出現確率は 1/9 であった。

**手続き** 180 試行からなる実験系列を 8 系列実施した。実験の所要時間は、約 2 時間半であった。

**脳波の記録と分析** 実験 1 と同様であった。

### 結果

**行動測定** 各被験者の標的の刺激に対する平均反応時間は 345.4-491.6 ms の範囲(平均 432.2 ms,  $SD=48.3$ )であった。ミス率は 0-0.06%, フォールス・アラームは、 $\pm 5$  度条件で 0-0.04%, その他の条件で 0-0.01% であった。

**ERP** 標的の刺激および右上がりの非標的の刺激に対する ERP の総加算平均波形(Cz)を Figure 7 に示す。ただし、10-20 度の 3 条件ではほぼ同じ波形が得られたので込みにしている。標的の波形(実線)においては、Cz-Pz

優勢な P3b 成分と、Cz 優勢な中心部 N2 が顕著に出現した。方向が 5 度ずれた矢印に対する ERP にも、標的の波形に比べて低振幅ではあるが、N2 と P3b が出現した。しかし、ずれの大きさがそれ以上になると、両成分ともに

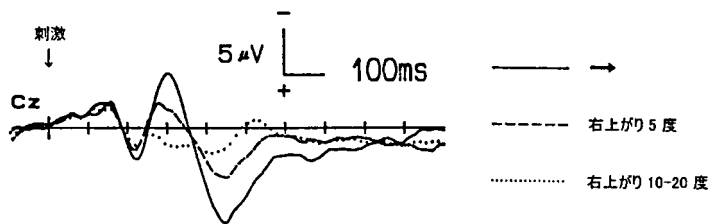


Figure 7. 実験 2 で得られた標的および右上がり非標的の矢印に対する総加算平均 ERP 波形 (Cz)。10-20 度の 3 条件の波形は込みにして示す。

ほとんど観察できなくなった。実験 1 と同様の方法で Cz の平均振幅を分析すると、刺激後 275-325 ms の範囲で刺激の主効果が有意 (275-300 ms:  $F=7.56$ ,  $\epsilon=.570$ ,  $p<.01$ ; 300-325 ms:  $F=14.53$ ,  $\epsilon=.412$ ,  $p<.01$ ) であり、N2 振幅は 10-20 度 < 5 度 < 0 度条件の順に大きくなった。

## 考 察

中心部に出現する N2 が反映する処理過程については、オドボール課題における意識的なミスマッチ検出過程 (Näätänen & Picton, 1986)、視覚刺激の弁別反応課題 (Ritter, Simson, Vaughan, & Macht, 1982) で出現する“分類” N2 など、いくつかの仮説がある (投石, 1995)。実験 2 で得られた中心部 N2 の振幅は、標的刺激において最大となり、標的とのずれが小さい場合、(5 度以下) には非標的 ERP にも出現するが、ずれが 10 度以上になるとほとんど出現しなかった。標的からのずれが大きい刺激に対してほとんど出現しないことから、実験 2 の N2 が何らかのミスマッチの検出に関連するとは考えにくい。また、同じ非標的というカテゴリの中で N2 振幅に差が見られることから、分類過程を反映しているとも考えにくい。

Juola, Fishler, Wood, & Atkinson (1971) は、標的検出課題において、性質の異なる 2 つの過程が働くと考えている。呈示された刺激は、まずその親近性に関して大まかな判断が行われる。標的すなわち被験者の短期記憶内にある刺激の親近値は、そうでない項目よりも高いと考えられる。親近性評価の結果、その値がある一定の範囲の外にあれば、それは標的または非標的であるという判断が即座に行なわれる。一方、親近値がその範囲であった場合には、さらに時間をかけて比較処理が行なわれる。Eriksen, Eriksen, & Hoffman (1986) は、親近性評価過程と比較処理過程の関係について検討し、親近性評価は比較処理から独立し、かつ自動的な過程であると提案している。実験 2 で観察された中心部 N2 は、この親近値もしくは“標的らしさ” (Hoffman, 1979) を反映しているのではなかろうか。N2 が反映する過程、あるいはそれ以前の処理段階によって“標的らしさ”についての情報が抽出され、それがその後の処理段階に何らかの影響を及ぼしていると考えられる。標的らしさの違いによるその後の処理過程の違いが、実験 1 で観察された P3b 振幅に反映されている可能性がある。

## 実 験 3

意味的情報処理を反映する ERP 成分として、N400 (Kutas & Hillyard, 1980) がある。N400 は、先行刺激と意味的に関連がない刺激に対して、関連がある刺激に比べて大きく出現するが、物理的特性の逸脱 (Kutas & Hillyard, 1980) や、文法の逸脱 (Kutas & Hillyard, 1983; Van Petten & Kutas, 1991) に対しては出現しない。実験 3 では、実験 1 および実験 2 と同様の矢印刺激を用い、方向という意味情報の抽出が N400 にどのように反映されるかを観察した。課題は、Katayama & Yagi (1992) や片山・加藤・八木 (1992) にならい、SOV パラダイムによる文の真偽判断とした。例えば、“右は→である”という文を、“右は” “→で” “ある” のように 3 つの部分に分けて継時呈示し、第 3 刺激呈示時に文の正誤を判断させた。同時に ERP を記録し、第 1 刺激の表す言語情報と、第 2 刺激の示す方向情報とが一致しない場合に、第 2 刺激に対して N400 が出現するかどうかを観察した。



## 方法

**被験者** 視力（矯正視力を含む）の正常な 22-36 歳の成人 8 名（男性 4 名，女性 4 名）を被験者とした。全員右手利きであった。そのうち 1 名は，文の真偽判断の成績が著しく低かったので，分析から除外した。

**刺激** パソコンの CRT 画面に，3 つの刺激を継時的に呈示した。第 1 刺激は“右は”または“左は”の言語刺激であった。刺激の大きさは，1 文字が視角で 0.7 度×0.7 度（観察距離 80 cm），全体では 0.7 度×2.8 度であった。第 2 刺激は矢印と“で”で構成した。矢印（主線の長さ：4.3 度，矢線の長さ：1.25 度，主線と矢線の角度：30 度）の方向は，→（右 0 度）あるいは←（左 0 度）と，その上下 5 度，15 度の計 10 種類とした。第 3 刺激は“ある”または“ない”であった。各刺激の呈示時間は 150 ms，SOA は 1 000 ms とした。

**実験計画** 3 つの独立変数を組み合わせて実験条件を設定した。第 1 の変数は一貫性で，第 1 刺激と第 2 刺激の示す方向の一致・不一致であった。第 2 の変数は矢印の方向で，典型的な右または左方向からのずれが，0 度，5 度，15 度の 3 水準を設定した。第 3 の変数は，文の真偽であった。すべて被験者内変数であった。

**課題** 被験者は，3 つの刺激に分けて呈示される文が正しいかどうかを判断し，第 3 刺激呈示後，できるだけ速く正確に左右の反応スイッチを押して答えた。第 3 刺激呈示後，スイッチが押されるまでの時間を，1 ms 単位で記録した。

**手続き** 各試行の前に，CRT 画面に“##”を呈示した。被験者は，この合図が呈示されている時に左右のスイッチを同時に押して，試行を開始した。その 500 ms 後に第 1 刺激を呈示した。96 試行からなる実験系列を 10 系列行った。各実験系列では，実験計画に基づく 12 種類の試行を，ランダムな順序で同回数実施した。第 1 刺激と第 2 刺激の組み合わせには，（右，→），（左，←），（右，←），（左，→）の 4 種類があり，それぞれ等確率で呈示したが，分析においては前者 2 つを一致条件，後者 2 つを不一致条件としてまとめた。矢印の方向条件については，上方向にずれた刺激と下方向にずれた刺激が等確率で呈示されるようにした。被験者の半数は右手で“真”反応，左手で“偽”反応を行い，残りの半数は，反応する手を逆にした。

**脳波の記録と分析** 銀・塩化銀皿電極を用い，両耳朵連結を基準として，Fz, Cz, Pz, O1, O2, T5, T6, LT (Cz の後方 4 cm, 左方 10 cm), RT (LT と左右対称) の 9 部位から EEG を導出した。右眼窩上下から EOG を双極導出した。電極間抵抗は 5 k $\Omega$  以下とした。EEG および EOG は帯域通過周波数 0.05-30 Hz で増幅した。第 1 刺激呈示前 200 ms から第 3 刺激呈示後 1 000 ms の区間の EEG と EOG を，サンプリング周波数 100 Hz で AD 変換した。いずれかのチャンネルで  $\pm 50 \mu\text{V}$  以上の電位が記録された試行と誤反応試行を除いて，一貫性 (2) × 矢印の方向 (3) × 文の真偽 (2) を組み合わせた 12 条件別に加算平均した。

## 結果

**行動測定** 各条件で得られた平均反応時間と誤答率を，Table 1 に示す。反応時間について，一貫性×矢印の方向×文の真偽の分散分析を行ったところ，一致条件の反応時間が不一致条件よりも反応短く（一貫性の主効果： $F(1, 6)=5.87, p=.06$ ），“真”判断は“偽”判断に比べて反応時間が短かった

( $F(1, 6)=12.4, p<.05$ ). 誤答率について同様の分散分析を実施したが、有意な主効果も交互作用もなかった。

Table 1  
実験3の各条件における平均反応時間と誤答率

方向の一致性	一致						不一致					
矢印方向のずれ	0		5		15		0		5		15	
文の真偽	真	偽	真	偽	真	偽	真	偽	真	偽	真	偽
反応時間 (ms)	481.7	530.0	480.9	559.5	485.7	548.0	536.4	569.0	543.5	567.3	547.0	578.4
(SD)	128.2	153.8	139.1	182.8	122.6	154.5	187.9	170.7	189.4	160.5	189.3	183.0
誤答率 (%)	1.8	2.7	1.3	2.2	2.5	3.2	3.4	2.2	3.8	1.6	3.8	1.3
(SD)	2.2	1.2	1.1	2.0	0.9	2.9	2.3	1.6	2.4	0.8	2.9	0.6

ERP Figure 8 の上半分に、Fz で記録された第2 刺激および第3 刺激に対する ERP 波形を示す。太線が“真” 反応時の ERP、細線が“偽” 反応時の ERP で、他の 2 要因は込みにしてある。第2—第3 刺激間の波形は、全部位で両条件間に差がないが、“偽” 反応時の第3 刺激に誘発された N2 は、“真” 反応時のそれよりも大きい (Cz でも同様)。また、図には示していないが、Cz よりも後頭寄りの部位で N2 に続いて大きく出現する P3b は、反応時間に対応して変動し、“偽” 反応において“真” 反応時よりも潜時が遅延し、振幅も減少している。

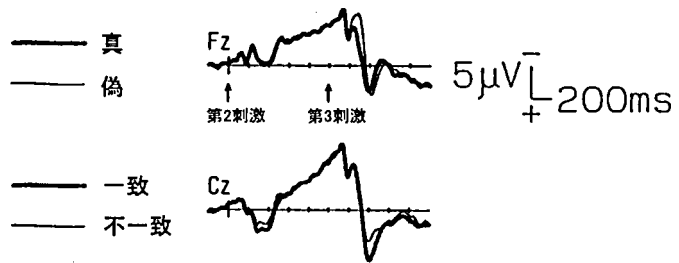


Figure 8. 文の真偽 (図の上半分、Fz 波形) および第1 刺激と第2 刺激の一致性 (下半分、Cz 波形) による ERP の違い。矢印の方向の違いは込みにして示してある。

同じく、Figure 8 の下半分に、一致条件の ERP (太線) と不一致条件の ERP (細線) を重ね書きした (Cz

波形のみ)。他の 2 要因については込みにしてある。実験前には、第2 刺激に対して、不一致条件では一致条件よりも大きな N400 が誘発されると予想した。しかし、Figure 8 を見ると、両条件間に第2 刺激に対する波形の違いはなかった。一致性は、第3 刺激に対する P3b 振幅に影響し、一致条件の P3b 振幅が、不一致条件よりも大きかった。なお、矢印の方向の違いは、実験3 で得られた ERP に、いかなる影響も及ぼさなかった。

### 考 察

実験3 で、方向の一致・不一致による N400 成分の違いが観察できなかった原因として、3 つの可能性が考えられる。まず、同じ矢印刺激を繰り返し呈示したことによる反復効果がある。同じ刺激を反復して呈示すると、2 回目の刺激に対する N400 振幅は減衰することが知られている (Besson, Kutas, Van Petten, 1992; Rugg, 1985)。実験3 では、同一の矢印刺激を繰り返し呈示しているので、反

復効果による N400 減衰が強く現れ、一致性の効果が生じなかったのかもしれない。しかし、Katayama & Yagi (1992) や片山 (1995) では、SOV パラダイムにおいて同一の色パッチが繰り返し呈示される事態で、第 1 刺激である色名と第 2 刺激である色パッチとの不一致によって N400 成分が増大することを見出している。刺激に矢印と色パッチという違いはあるが、実験 3 の結果をすべて反復効果によって説明することはできないであろう。

第 2 に、N400 が反映するのは、個々の刺激に対する意味処理ではなく、それらを作動記憶の中で 1 つの文脈に統合する過程であるのかもしれない (Brown & Hagoort, 1993)。つまり、実験 3 のような課題では、被験者は第 1 刺激および第 2 刺激から方向に関する意味情報を抽出しているものの、それを一つの文脈に統合することはせず、第 3 刺激にいたってはじめて、一致・不一致の判断を行うというものである。しかし、Katayama & Yagi (1992) や片山・加藤・八木 (1992) は、SOV パラダイムによる文の真偽判断において、第 2 刺激が言語刺激であるか色パッチであるかにかかわらず、第 2 刺激に対する N400 に第 1 刺激との一致性の効果を認めた。これらの実験では実験 3 と同様の課題事態を用いているので、第 1 刺激と第 2 刺激の意味情報を一つの文脈に統合する過程が、前者では第 2 刺激呈示時に生じ、後者では第 3 刺激呈示時に生じたとは考えにくい。また、意味的処理が必要とされない文字探索課題 (Kutas & Hillyard, 1989) や表記判断課題 (片山・八木, 1990) でも N400 が出現していることを考えると、N400 が自動的な意味の抽出にかかわる成分である可能性もあり、この統合過程による説明のみで実験 3 の結果が理解できるとはいえない。

第 3 の可能性として、矢印から方向に関する情報を抽出する過程は、通常の言語刺激に対する意味処理や、色パッチから色に関する情報を取り出す過程とは異なるのかもしれない。特に、実験 3 では、第 2 刺激の候補となる矢印の種類が少ないため、試行ごとに第 2 刺激に対して“右”“左”といった言語化を行わなくても課題遂行が可能であった。そのため、N400 に反映される意味処理が駆動されなかった可能性も考えられる。また、実験 3 の結果は、意味記憶内における方向カテゴリーの特異性を示唆するものかもしれない。すなわち、意味記憶において、色カテゴリー内の“赤”や“青”は、それぞれ別個の表象として存在するが、方向カテゴリー内の“右”“左”は、“方向”という同一の表象として、あるいは赤や青とは異なる形式で表象され区別されているのかもしれない。この可能性については、今後検討する価値があると考えられる。

## まとめ

本研究は、事象関連電位を指標として、さまざまな方向を指す矢印刺激から特定の意味 (方向) を抽出する過程に、刺激の持つ曖昧さがどのように影響するかを調べた。まず、刺激が入力された段階で、刺激がもつ特定の“カテゴリーらしさ”が抽出され、それが N2 の振幅に反映すると考えられる (実験 2)。特定の方向情報は、おそらくはその“カテゴリーらしさ”に基づいて、刺激の曖昧さに関わらず同程度の時間で抽出されると考えられる。実験 1 の P3 潜時に一貫した矢印の方向の効果が認められなかったのは、そのせいであろう。刺激が曖昧になるほど反応が遅延するのは、評価した情報の確信度 (P3b 振幅に反映される) が異なるため、実際の反応準備や実行が遅れるた

めであると考えられる。N400 については、非言語的の刺激のもつ意味情報に対して敏感に反映する成分であることは示せなかったが、方向判断とその他の意味判断の違い、言語的の刺激と非言語的の刺激の意味処理の違いなどを調べるための測度となりうる可能性が示された。

#### 引用文献

- Besson, M., Kutas, M., & Van Petten, C. 1992 An event-related potential (ERP) analysis of semantic congruity and repetition effects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **4**, 132-149.
- Brown, C., & Hagoort, P. 1993 The processing nature of the N400: Evidence from masked priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **5**, 34-44.
- Donchin, E. 1981 Surprise!...surprise? *Psychophysiology*, **18**, 493-513.
- 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: System, processes, and applications*. Amsterdam: Elsevier. Pp.244-267.
- Eriksen, B. A., Eriksen, C. W., & Hoffman, J. E. 1986 Recognition memory and attentional selection: Serial scanning in not enough. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **12**, 476-483.
- Gaillard, A. W. K. 1988 Problems and paradigms in ERP research. *Biological Psychology*, **26**, 91-109.
- 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*. Bethesda, ND: American Physiological Society. Pp.519-584.
- Hoffman, J. E. 1979 A two-stage model of visual search. *Perception and Psychophysics*, **25**, 319-327.
- Juola, J. F., Fischler, I., Wood, C. T., & Atkinson, R. C. 1971 Recognition time for information stored in long-term memory. *Perception and Psychophysics*, **10**, 8-14.
- 片山順一 1995 意味的な期待の心理生理学 多賀出版
- 片山順一・加藤まや・八木昭宏 1992 文の真偽判断中の N400 -歴史的事実の真偽判断- 生理心理学と精神生理学, **10**, 15-22.
- 片山順一・八木昭宏 1990 表記判断課題時の N400 生理心理学と精神生理学, **8**, 39-45.
- Katayama, J., & Yagi, A. 1992 Negative brain potentials elicited by an unexpected color patch or word. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **83**, 248-253.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. 1980 Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, **207**, 203-205.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. 1983 Event-related brain potentials to grammatical errors and semantic anomalies. *Memory and Cognition*, **11**, 539-550.

- Kutas, M., & Hillyard, S. A. 1989 An electrophysiological probe of incidental semantic association. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **1**, 38-49.
- McCarthy, G., & Donchin, E. 1981 A metric for thought: A comparison of P300 latency and reaction time. *Science*, **211**, 77-80.
- Näätänen, R., & Picton, T. W. 1986 N2 and automatic versus controlled processes. In W. C. McCallum, R. Zappoli, & F. Denoth (Eds.), *Cerebral psychophysiology: Studies in event-related potentials. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **38 (Supplement)**, 169-186.
- 投石保広 1995 N2 -MMN, N2b, NA- 加我君孝・古賀良彦・大澤美貴雄・平松謙一 (編著) 事象関連電位 (ERP) マニュアル -P300 を中心に- 篠原出版 Pp.287-297.
- 入戸野宏・投石保広・中島義明 1994 多肢選択反応時間課題における P300 と内的モデル 生理心理学と精神生理学, **12**, 39-37.
- Nittono, H., Nageishi, Y., Nakajima, Y., & Ullsperger, P. 1999 Event-related potential correlates of individual differences in working memory capacity. *Psychophysiology*, **36**, 745-754.
- 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.
- 大竹直哉 1994 戸惑う矢印信号 *JAF-MATE* 1994年3月号, Pp.4-8.
- Ritter, W., Simson, R., Vaughan, H. G. Jr., & Macht, M. 1982 Manipulation of event-related potential manifestations of information processing stages. *Science*, **218**, 909-911.
- Rugg, M. D. 1985 The effects of semantic priming and word repetition on event-related potentials. *Psychophysiology*, **22**, 642-647.
- Ullsperger, P., & Gille, H.-G. 1988 The late positive component of the ERP and adaptation-level theory. *Biological Psychology*, **26**, 299-306.
- Van Petten, C., & Kutas, M. 1991 Influences of semantic and syntactic context on open- and closed-class words. *Memory and Cognition*, **19**, 95-112.