

## 事象関連電位によるデルブーフ錯視の検討(4)

—外円が分割，短縮する条件における脳の応答について—

今 井 章

キーワード：幾何学的錯視，デルブーフ錯視，事象関連電位，N1 振幅，N2 振幅，P3 振幅

## DELBOEUF ILLUSION INVESTIGATED BY THE EVENT-RELATED POTENTIALS: BRAIN RESPONSES UNDER A CONDITION OF SPLIT AND REDUCED OUTER CIRCLE

Akira IMAI

Department of Psychology, Faculty of Arts, Shinshu University

**Key words:** geometrical-optical illusion, Delboeuf illusion, event-related potentials (ERPs), N1 amplitude, N2 amplitude, P3 amplitude

### 問 題

我々は，いわゆる幾何学的錯視（以下，錯視と記述）についてのこれまでの研究において，様々な錯視が“3種類の成立要因（同化・対比／空間・位置／角度・方向）の特徴的な組合わせによって合理的に説明できる”ということ，3要因相互作用モデルを提起して説明している（後藤，2008；後藤・甲村・大屋・寺本・丸山・久世・高橋，2005；Goto, Uchiyama, Imai, Takahashi, Hanari, Nakamura, & Kobari, 2007）。このモデルによれば，それぞれの錯視図形は，同化・対比，空間・位置，および角度・方向という要因を示す3軸から構成される3次元空間内に，各要因の関与の程度に応じて位置づけられる。その一方，今日まで知られている錯視図形は，この3要因が様々な程度で相互に関与しているため，3要因のそれぞれの関与度を独立的に操作して検討することが難しいことも指摘される。

しかし，幾つかの錯視図形には，この3つの成立要因の中でも，ある一つの要因の影響が相対的に大きく，他の要因からの影響をそれほど受けていないと考えられる図形もある。その一つが，大きさ（面積・距離）の“同化・対比の成立要因が顕著に大きい錯視”図形であるデルブーフ（Delboeuf）錯視（同心円錯視）図形である（後藤・内山・今井・高橋・羽成・中村・小針，2005；Goto et al., 2007）。デルブーフ錯視は，その中心的構成要素として

の2重同心円が左右に配置された単円との比較において、内円と外円との直径比2/3の場合に極大的に内円が過大視、外円が過小視される錯視である。この錯視は、上記の3要因相互作用モデルによって、同化・対比の軸上に“他の要因の影響”をほとんど受けることなく配置されている図形である（後藤・甲村他、2005）。すなわち、デルブーフ錯視は他の要因からの複合的影響を考慮する必要のない、もっぱら同化と対比という要因に絞ってその効果を検討することが可能な錯視図形である。しかも、デルブーフ錯視では、内円の縮小、あるいは外円の拡大に伴い同化の影響が弱まり、対比の影響力が強くなっていくが、この同化から対比への変換過程には、何らかの神経生理学的背景メカニズムの存在が推定される。したがって、錯視という現象の背景にある神経基盤を探る試みをデルブーフ錯視から始めることは、錯視に関わる要因をより明確にし、その成立の条件を整理していくために有効であろうと考えられる。

上記のような問題意識から、我々はデルブーフ錯視をとりあげ、その刺激を観察する場面における事象関連電位（event-related potential; ERP）を測定し、同化と対比という成立要因に関わる脳の神経的応答について検討してきた（今井、2012; 今井・後藤、2009, 2010）。その結果、同化過程のみが関与していると考えられる観察場面（今井・後藤、2009）では、前頭部から中心部に優勢なP3振幅が、閾値付近の刺激ステップに対して減少し、刺激ステップが閾値から離れるにつれて増強することが示された。さらに、同化から対比への移行過程を伴う観察場面（今井・後藤、2010）では、同化から対比への移行に伴い錯視量が過大視から過小視へと変動した結果としての精神測定関数と、中心部から頭頂部に優勢なP2振幅値がよく対応することが示された。また、内円が縮小し、内外円ともに同化の影響が対比へと移行していく事態についての検討（今井、2012）では、一貫して外円に対する過小視、すなわち同化の顕著な影響が認められ、この事態においては、前頭部から中心部にかけてのN1振幅、および中心部から頭頂部にかけてのP3振幅が、精神測定関数とよく対応していた。

以上のように、これまでの検討におけるデルブーフ錯視観察中に誘発されたERPでは、P3振幅とP2振幅、およびN1振幅とが錯視の成立に関与する成分であることが示唆されている。P3振幅は、文脈の更新ないしはワーキングメモリの反映（Donchin, 1981; Donchin & Coles, 1988a, 1988b）、処理資源の配分の指標（Wickens, Kramer, Vanasse, & Donchin, 1983）、あるいは感受性（ $d'$ ）の指標（Imai & Tsuji, 2004）と考えられており、高次の認知過程との関連が強い成分であるといえる。これに対して、P2振幅は、視覚的弁別課題時の刺激特徴との関係（Friedman, Vaughan, & Erlenmeyer-Kimling, 1978）や弁別課題時の学習過程との関連づけ（Rösler, 1981）、あるいは、刺激同定に関わる中枢処理の開始と意志決定の抑制（Lindholm & Koriath, 1985）などを反映していることが示唆されている。一方、N1振幅は、典型的には選択的注意の指標（Hillyard, Hink, Schwent, & Picton, 1973）と考えられている。このように、P3振幅とP2振幅、あるいはN1などが関与する神経基盤の背景は異なると考えられる。したがって、様々な錯視図形を観察させた場合のERP成分を組織的に検討し、各ERP成分と錯視成立要因との対応づけをさらに進める必要がある。

そこで本研究では、今井（2012）および今井・後藤（2009, 2010）に引き続き、同化・対比の成立要因が顕著に大きいデルブーフ錯視を対象として、この錯視図形を観察させながらERPを測定し、同化と対比という成立要因に関わる脳の神経的応答について探ることとした。

本研究では、デルブーフ錯視を構成する同心円の外円を分割し、その円周長が縮小する刺激図形を用いて、同化が最も顕著に生ずる内外円比2/3の完全同心円から、外円の円周長が1/18まで短縮する図形を作成して検討することにした。この事態でERPを取得すれば、完全同心円では同化が最も顕著に作用していると考えられることから、この事態から外円が短縮することにより、同化の影響が徐々に低下すると思われる。したがって、同化の影響力の低下に応じたERP成分が取得できるであろう。

## 実 験

### 方 法

**実験参加者** 矯正を含め視力、および色覚が健常な大学生4名（男性1名、平均20.3歳）が実験に参加した。なお、いずれの参加者も錯視についての知識は有していたが、このような実験に参加することは初めてであった。

**刺激** 内外円比が2/3の、内外円ともに完全円からなる360°条件、外円周長が60°ずつ4分割され、外円周長が全体では240°に短縮される240°条件、同様に45°ずつ4分割される180°条件、30°ずつ4分割される120°条件、5°ずつ4分割される20°条件を設定し、それぞれを標準刺激とした。したがって、標準刺激とした各条件の外円の円周長は、完全円に対して、12/18、9/18、6/18、1/18となっていた。標準刺激の左右いずれかの位置に、円の中心点間距離で視角3.0°離して比較刺激として単円を提示し、デルブーフ錯視図形を構成した。標準刺激はPC（NEC-PC9801vm）によりカラーCRT上に黒色背景（0.02 cd/m<sup>2</sup>）に白色（20.0 cd/m<sup>2</sup>）で描き、直径で視角1.0°で内円を、1.5°で外円を提示した。比較刺激としての単円は常に視角1.0°で提示した。以上のように、完全同心円、および外円周が4分割されて短縮された4種類のデルブーフ錯視図形を作成し、計5種類を用いた。

**脳波の記録と解析** 国際式10—20法により正中線上の前頭部（Fz）、中心部（Cz）、頭頂部（Pz）、および後頭部（Oz）より両耳楽連結基準によりポリグラフシステム（日本光電 RMP-6000）を用いて導出した。銀—塩化銀（Ag—AgCl）電極を電極糊（日本光電 Elefix）を介して頭皮上に配置し、さらにその他、垂直水平成分の眼球静電図を、右眼窩上下部位と左右の外眼角に配置した電極より記録した。各電極間抵抗は5 K $\Omega$ 以下とし、生体電気用アンプ（日本光電 AN-621G）により0.08—100 Hzの帯域アナログフィルターと60 Hzのハムフィルターを介して増幅した。刺激提示前200 msから刺激提示後800 msまでの間を、サンプリング周波数500 Hzで収録・解析ソフト（キッセイコムテック EPLYZER II）によりA/D変換後、PC（Dell Vostro200）に記録しオフライン処理した。脳波は各部位、各標準刺激、および判断結果（大／小）ごとに加算平均した。

**手続** 電極装着後、参加者に以下のような教示を行った。参加者の課題は、標準刺激（同心円）と比較刺激（単円）とを比較し、比較刺激が標準刺激の内円に対して“大きい”か“小さい”かの判断をキー押しによって行うことであった。恒常法を用い、まず第1刺激として標準刺激をCRT中央部に500 ms提示した後、第2刺激として比較刺激を標準刺激と共に、左右いずれか中心点間距離で3.0°離れた位置に150 ms提示した。その後、1000 msのブランク画面を経てキー押しを促す画面が提示され、参加者にはこの画面提示後にキー押しを

行わせた (Figure 1)。参加者は常に“比較刺激が標準刺激の内円と比較して大きい小さいか”を2件法で判断し、それぞれに該当するPC用キーボードを左手人差し指と右手人差し指によりキー押しして回答した。左右のキーに大小判断のどちらを割り当てるかは、参加者間でカウンターバランスを図った。標準刺激は5種類であり、これらが各6回ずつランダムに提示され、計30試行で1ブロックを構成した。比較円は一つのブロック内では一貫して左、または右のどちらか一方にのみ提示された。参加者はブロック間に適宜、休憩を挟みながら左に比較円が提示される6ブロック、右に提示される6ブロックを、カウンターバランスしながら計12ブロック行った。本試行の前には、練習として10試行を行った。

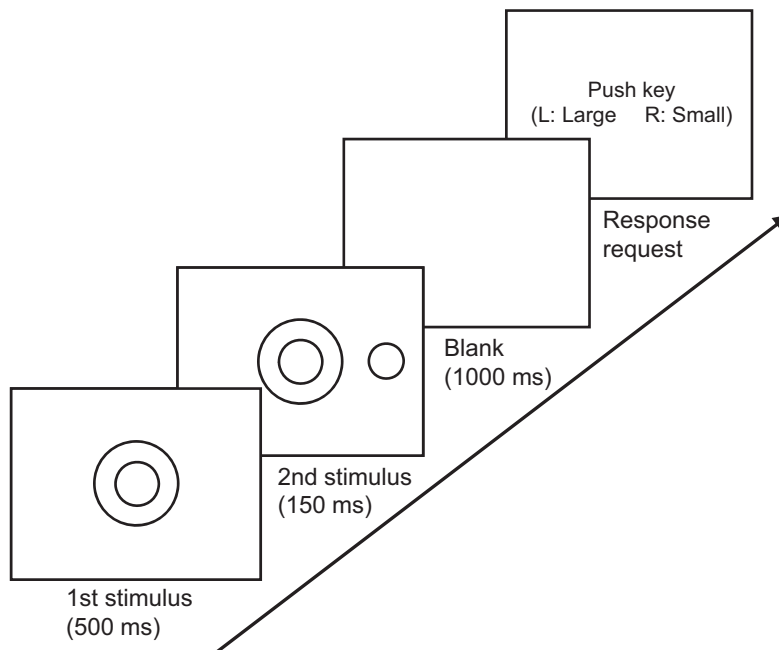


Figure 1 Schematic illustration of stimulus presentation and its time course. The first stimulus (concentric circle) is presented for 500 ms duration, which is followed by the second stimulus of 150 ms duration. After the 1st and 2nd stimulus presentations, blank screen appears for 1000 ms. At the end of the blank screen, a response by key pressing is prompted.

## 結 果

### 1. 大小判断による精神測定関数

Figure 2には、4名の平均である精神測定関数が示されている。比較円に対する大小反応率は、 $360^\circ$ 条件で“小”反応が優勢であり、外円の円周長の減少に伴い、徐々に“大”反応に移行していることが認められる。 $180^\circ$ 条件では、ほぼ反応率が50%になっていることから、外円の円周長が半分になる条件において、内円の過大視が過小視へと移行するものと考えられる。すなわち、見えの結果としては、 $360^\circ$ 条件では同化による内円の過大視が、 $180^\circ$ 条件を経て $120^\circ$ 条件からは、対比による内円の過小視へと移行していると思われる。

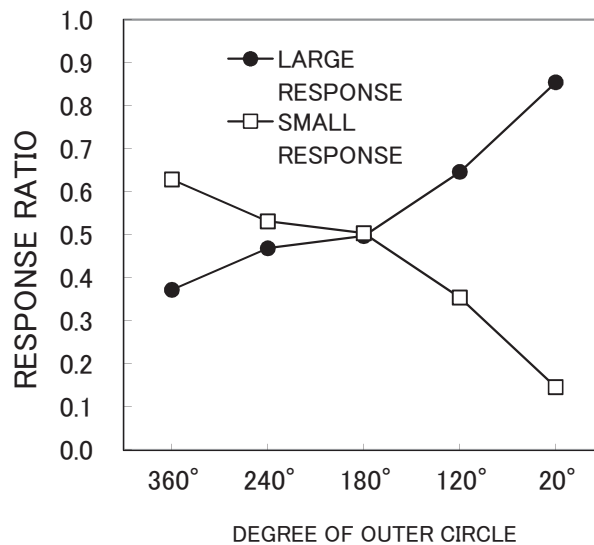


Figure 2 Psychometric functions obtained for a combination of length of outer circle shown by the degree.

## 2. 事象関連電位

脳波は、頭皮上の各部位、標準刺激の外円周長条件、および判断結果ごとに、刺激提示前 200 ms から提示後 800 ms までを加算平均し、ERP の波形を得た (Figure 3a ~ 3e)。

なお、Figure 2 に認められるように、参加者による判断結果である大小反応率は、外円周長が 360° から 240° までの条件では“小”反応が、180° 条件では大小判断がほぼ同程度、そして 120° と 20° 条件では“大”反応が主にみられた。したがって、分析の対象となった ERP は、各条件において多数の反応が得られた反応カテゴリーについてのみであった。すなわち、外円周長が 360° から 240° までの条件では“小”反応について、180° 条件では大または小判断のより多かった方 (実際には大、小反応はそれぞれ 2 名ずつが分析対象となった)、120° と 20° 条件では“大”反応に対して出現した ERP を分析対象とした。

上述のことから、Figure 3 には各部位における、360° 条件における小反応に対する ERP (3a), 240° 条件における小反応に対する ERP (3b), 180° 条件における大・小反応に対する ERP (3c), 120° 条件における大反応に対する ERP (3d), および 20° 条件における大反応に対する ERP (3e) の総平均波形が示されている。

得られた ERP の波形から、今井 (2012) と同様、刺激提示後 110—200 ms に出現した陰性方向への成分を N1, 210—260 ms に出現した陽性方向への成分を P2, 400—600 ms に出現した陽性方向への成分を P3 とし、刺激提示前 200 ms の平均電位をベースラインとしてこれらの区間内のピーク振幅を求めた。これらの平均振幅をプロットしたものが、Figure 4 ~ 6 に示されている。

**N1 振幅** N1 振幅について部位 (Fz, Cz, Pz, Oz) × 外円周長—判断の組合せ (360°, 240°, 180°, 120°, 20°) の分散分析を行った。その結果、外円周長—判断の組合せの主効果 ( $F_{(4,12)}=6.16$ ,  $p<.01$ ), および部位と外円周長—判断の組合せとの交互作用 ( $F_{(12,36)}=2.58$ ,

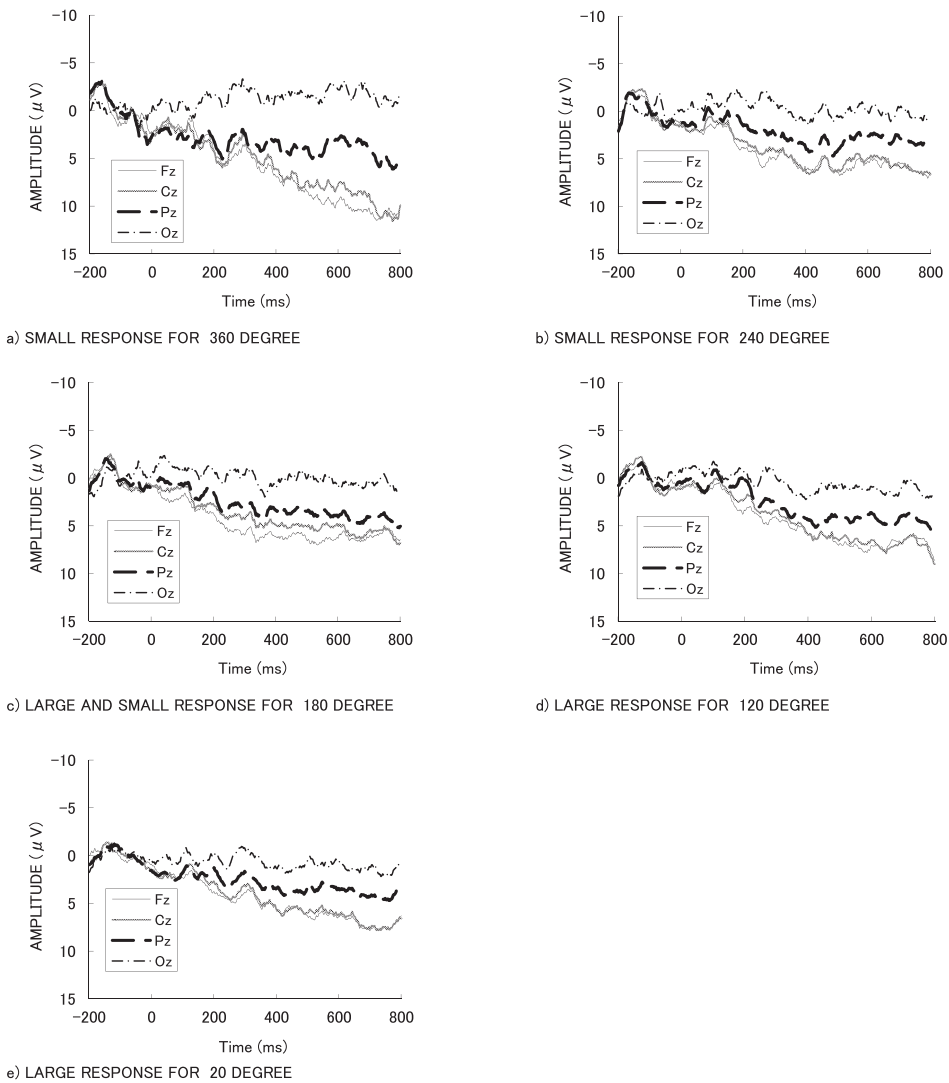


Figure 3 Grand averaged wave forms of ERPs at each scalp site obtained for a combination of length of outer circle shown by the degree.

$p < .05$  が有意であった (Figure 4)。交互作用についての下位検定を行ったところ、 $240^\circ$  条件における部位の単純主効果が有意 ( $F_{(3,45)}=6.88$ ,  $p < .001$ ) であった。また、Fz と Cz において外円周長—判断の組合せの単純主効果が有意 (それぞれ  $F_{(4,48)}=7.79$ ,  $F_{(4,48)}=6.91$ ,  $p < .001$ ) であった。Pz では外円周長—判断の組合せの単純主効果は有意傾向 ( $F_{(4,48)}=2.16$ ,  $p < .10$ ) に止まった。有意であった外円周長—判断の組合せの単純主効果について多重比較を行ったところ、Fz では $240^\circ$  条件の N1 振幅は $180^\circ$  以下の条件のいずれに比較しても有意に大きく、 $360^\circ$  条件の N1 振幅は $20^\circ$  条件との比較において有意に増大していた。Cz では、 $240^\circ$  条件の N1 振幅は $180^\circ$  以下の条件のいずれに比較しても有意に大きくなっていた。

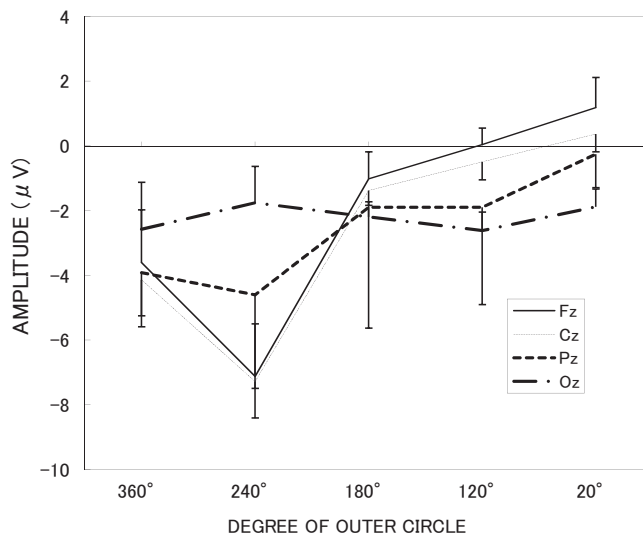


Figure 4 Mean amplitudes of N1 component at each scalp site obtained for a combination of length of outer circle shown by the degree. A vertical line of each data point is a standard error of mean.

**P2 振幅** N1 振幅と同様に、部位×外円周長—判断の組合せの分散分析を行ったところ、外円周長—判断の組合せの主効果 ( $F_{(4,12)}=8.98$ ,  $p<.01$ )、および部位と外円周長—判断の組合せとの交互作用 ( $F_{(12,36)}=2.23$ ,  $p<.05$ ) が有意であった (Figure 5)。交互作用についての下位検定を行ったところ、240° 条件における部位の単純主効果が有意 ( $F_{(3,45)}=3.95$ ,  $p<.05$ ) であった。また、360° 条件における部位の単純主効果が有意傾向 ( $F_{(3,45)}=2.43$ ,  $p<.10$ ) で

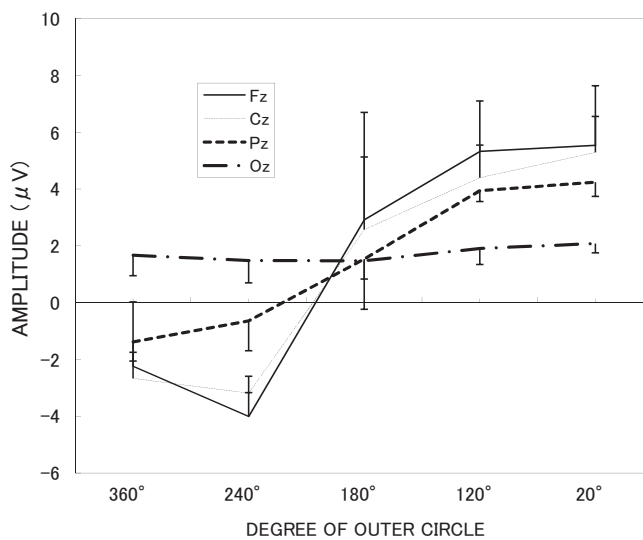


Figure 5 Mean amplitudes of P2 component at each scalp site obtained for a combination of length of outer circle shown by the degree. Others are the same as in Figure 4.

あった。また、Fz, Cz および Pz において外円周長—判断の組合せの単純主効果が有意（それぞれ  $F(4,48)=9.14$ ,  $F(4,48)=7.47$ ,  $F(4,48)=3.12$ ,  $p<.05$ ）であった。有意であった外円周長—判断の組合せの単純主効果について多重比較を行ったところ、Fz, Cz とともに、 $20^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $180^\circ$  条件の P2 振幅は  $240^\circ$ ,  $360^\circ$  条件よりも有意に大きくなっていた。Pz では振幅間に有意な組合せは認められなかった。

**P3 振幅** N1 振幅と同様に、部位  $\times$  外円周長—判断の組合せの分散分析を行ったところ、外円周長—判断の組合せの主効果 ( $F(4,12)=9.35$ ,  $p<.01$ )、および部位と外円周長—判断の組合せとの交互作用 ( $F(12,36)=3.32$ ,  $p<.01$ ) が有意であった (Figure 6)。交互作用についての下位検定を行ったところ、 $180^\circ$  条件を除くすべての外円周長—判断の組合せにおいて部位の単純主効果が有意（順に  $F(3,45)=4.10$ ,  $F(3,45)=3.38$ ,  $F(3,45)=3.36$ ,  $F(3,45)=2.85$ ,  $p<.05$ ）であった。また、Oz 以外のすべての部位において外円周長—判断の組合せの単純主効果が有意（順に  $F(4,48)=11.07$ ,  $F(4,48)=10.78$ ,  $F(4,48)=4.28$ ,  $p<.01$ ）であった。有意であった外円周長—判断の組合せの単純主効果について多重比較を行ったところ、Fz の  $120^\circ$ ,  $20^\circ$ 、および  $180^\circ$  条件における P3 振幅はいずれも  $240^\circ$ ,  $360^\circ$  条件よりも有意に増大していた。Cz では  $120^\circ$  と  $20^\circ$  条件における P3 振幅は  $240^\circ$ ,  $360^\circ$  条件よりも有意に増大しており、 $180^\circ$  条件の P3 振幅は  $360^\circ$  条件よりも有意に増大していた。Pz では、 $120^\circ$  条件における P3 振幅が  $240^\circ$ ,  $360^\circ$  条件よりも有意に増大していた。

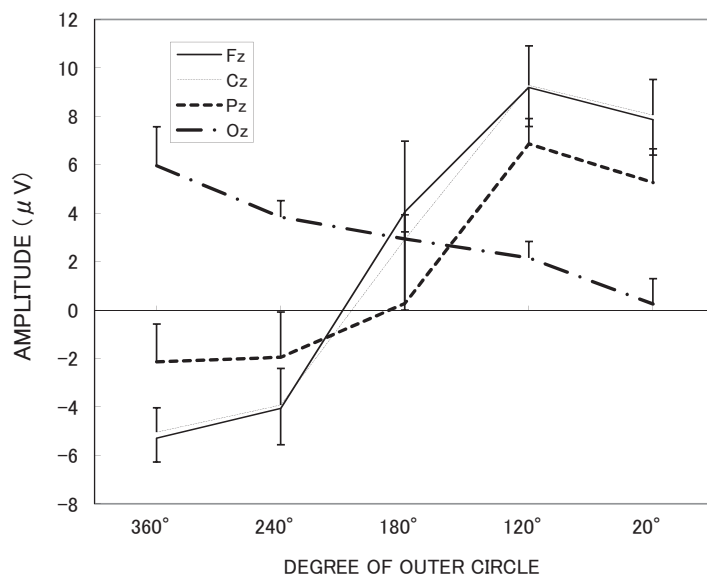


Figure 6 Mean amplitudes of P3 component at each scalp site obtained for a combination of length of outer circle shown by the degree. Others are the same as in Figure 4.

## 考 察

本研究では、同化・対比の成立要因が顕著に大きい錯視とされたデルブーフ錯視について、その刺激を観察する場面における ERP を測定し、同化と対比という成立要因に対する脳の神経的応答について探ることを目的とした。デルブーフ錯視は一般に、同心円の内円と外円との直径比が $2/3$ の場合、同化作用が最も顕著に生ずるといわれ、内円については過大視が、外円については過小視が極大的に生ずる。この内外円比を持つ同心円の外円を分割しながら徐々に外円周長を減少させる条件を設定すると、やがて内円と外円との同化作用が減弱し始めると考えられる。この同化作用が減衰する過程における脳の応答を探るべく、本研究では、内外円比 $2/3$ の同心円から、徐々に外円の円周長を縮小させながら、同時に ERP を取得して検討した。今井・後藤（2009, 2010）や今井（2012）と同様な手続きにより検討を行った結果、外円が完全な状態である同心円条件下では内円の過大視傾向が認められ、通常のデルブーフ錯視の観察条件と同様な結果が得られた（Figure 2）。この完全な同心円条件から、外円周長が徐々に減少していくと、内円は過大視されるように見えは変化していた。したがって、本研究の条件下で得られた ERP は、同化（内円の過大視）から対比（内円の過小視）への変換過程が生じている観察場面において得られたものと考えられる。

本研究では、主要な成分として N1, P2, および P3 の各成分について、その振幅を分析対象とした。その結果、N1, P2 および P3 成分の振幅についてはいずれも、外円周長—判断の組合せ、および部位と外円周長—判断の組合せの交互作用において有意な結果が示された。以下では、これらの結果について考察してみたい。

N1 振幅については、直径比—判断の組合せの主効果、および部位と直径比—判断の組合せとの交互作用が有意であった。直径比—判断の組合せに関わる下位検定の結果から、Fz における $240^\circ$ 条件の N1 振幅が $180^\circ$ 以下の条件のいずれに比較しても有意に大きく、また、 $360^\circ$ 条件の N1 振幅は $20^\circ$ 条件との比較において有意に増大していた。さらに、Cz では、 $240^\circ$ 条件の N1 振幅が $180^\circ$ 以下の条件のいずれに比較しても有意に大きくなっていた。この N1 振幅の変動の様子（Figure 4）は精神測定関数（Figure 2）ともよく対応しているように思われる。したがって、N1 振幅が、外円周長が分割・縮小する条件下における内円の見えの変動と一致する可能性が示されたといえる。また、この結果は、内円が縮小する事態における外円の見えの変動傾向と N1 振幅とがよく対応することを示した今井（2012）とも一貫して、N1 振幅が同心円の見えの変動傾向と対応することを示唆するものといえる。

N1 振幅と同様、P2 振幅についても直径比—判断の組合せの主効果、および部位と直径比—判断の組合せとの交互作用が有意であった。直径比—判断の組合せに関わる交互作用についての下位検定の結果から、Fz, Cz ともに、 $20^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $180^\circ$ 条件の P2 振幅が $240^\circ$ ,  $360^\circ$ 条件の P2 振幅よりも有意に大きくなっていたことが示された。Figure 5 と Figure 2 とを比較すると、N1 振幅と同様に P2 振幅も、外円周長が縮小する事態における内円の見えの変動傾向とよく対応しているといえる。P2 振幅が錯視図形に対する精神測定関数とよく対応することを示唆した研究として、今井・後藤（2010）があげられるが、ここでは外円が拡大する条件下における同化から対比への変換過程における ERP が検討されていた。その結果、外

円の拡大に伴い内円の過大視が過小視へと移行し、それに伴う P2 振幅の変動傾向が精神測定関数の変動とよく一致することが示された。すなわち、P2 振幅は、外円、内円にかかわらず、円の見えが過大視から過小視へと移行することに伴い変動する成分であることが示唆される。

さらに、P3 振幅についても N1, P2 振幅と同様、部位と直径比一判断の組合せとの交互作用が有意であった。直径比一判断の組合せに関わる交互作用についての下位検定の結果では、Fz の 120°, 20°, および 180° 条件における P3 振幅はいずれも 240°, 360° 条件よりも有意に増大していた。Cz では 120° と 20° 条件における P3 振幅は 240°, 360° 条件よりも有意に増大しており、180° 条件の P3 振幅は 360° 条件よりも有意に増大していた。さらに Pz では、120° 条件における P3 振幅が 240°, 360° 条件よりも有意に増大していた。Figure 6 と Figure 2 との比較、および Figure 6 と Figure 4, 5 との比較では、P3 振幅と N1, P2 振幅の変動傾向とはやや異なるように思われる。すなわち、Fz と Cz において、N1, P2 振幅では、いずれも振幅の最大点（ないしは最小点）が 240° 条件にあるが、P3 振幅では振幅の最大点は 120° にきている。つまり、Fz と Cz、および Pz の P3 振幅は、外円が完全である 360° 条件から 120° 条件まで、外円周長が減少するにつれて徐々にその振幅を増大していくように変化している。P3 振幅の変動はデルブーフ錯視との関わりでは、閾値付近で Cz と Pz における振幅が最小になり、そこから徐々に反応率が高まるにつれて振幅が増大することが示されている（今井・後藤, 2009）。精神測定関数（Figure 2）との比較を考慮すると、本研究の P3 振幅は、むしろ“大”反応の反応率と一致しているといえることから、P3 振幅は同化と対比に関わる過程と単純には対応していない可能性が指摘できる。

以上のように、外円が分割され、その円周長が徐々に縮小する条件下で観察された内円の見えの変動が、同化から対比へと移行する過程を反映していたとすれば、本研究で認められた N1, P2, P3 のいずれの振幅も、この移行過程との関連が示されたといえる。

これまで N1 振幅は、選択的注意の指標（Hillyard et al., 1973）であることなどが示されてきているが、この初期成分においても“見えの変容”に伴う振幅の変動が生じうることが、今井（2012）と同様に示唆されたといえる。主として内円の過大視が同化、過小視が対比によるものとする、N1 においても同化から対比への移行過程が反映され则认为られる。

P2 振幅は、初期の研究では、視覚的弁別課題時の刺激特徴との関係（Friedman et al., 1978）や弁別課題時の学習過程との関連づけ（Rösler, 1981）、あるいは、刺激同定に関わる中枢処理の開始と意志決定の抑制（Lindholm & Koriath, 1985）などを反映していることが示唆されている。また最近では、ターゲット検出課題におけるターゲットの特徴を備えている視覚刺激に対して増大して出現する（Luck & Hillyard, 1994）、視覚—聴覚というモダリティ間でターゲット刺激と標準刺激が提示されるオッドボール課題において、中心部優勢な P200 がターゲット刺激に対して出現する（Brown, Clarke, & Barry, 2006）、あるいは、この P200 がまれな聴覚ターゲット刺激に対して増強して出現する（Brown, Barry, & Clarke, 2009）ことが示されている。本研究の Fz, Cz における P2 成分は、同化から対比への移行過程に伴いその振幅を変動させ、精神測定関数との対応も示唆された。すなわち、内外円比 2/3 の同心円から、外円を徐々に増大させ、同化から対比への移行過程について検討した今井・後藤（2010）において認められた、Cz および Pz において示された P2 振幅の変動と一致する結果

であった。すなわち、同化から対比への変換過程の現れとしての見えの変化が生じる事態では、P2 振幅もその見えの変動傾向とよく一致する成分として出現することが示唆される。

さらに、本研究の P3 成分は精神測定関数との比較から、“大” 反応の反応率と一致して変動していたことが示唆された。これまで P3 振幅は、高次の認知過程の指標 (Donchin, 1981; Donchin & Coles, 1988a, 1988b; Wickens et al., 1983) や信号検出過程の感受性 ( $d'$ ) の指標 (Imai & Tsuji, 2004) として報告されてきている。こういった知見と本研究結果とを併せて考察すると、同化と対比に関わる恒常法という手続きに、P3 振幅の強い関与が推測される。しかし、その発生源については、課題の種類や刺激の提示方法などによって前頭部から頭頂部にかけて変化することが示唆され、最大で反応する部位が課題に依存して異なると考えられる。

以上のように、本研究結果から、外円が分割されその円周長が縮小する条件下でのデルブーフ錯視では、同化から対比への変換過程が生じていたと考えられ、この条件下では前頭部から中心部における N1 と P2 振幅、および中心部から頭頂部における P3 振幅の関与が示唆された。今後もさらに、この N1, P2 および P3 成分について、同化と対比の変換過程との対応関係を検討することが必要であると思われる。その際、デルブーフ錯視と同様に、同化と対比の影響が強いジャストロー錯視などについての検討を行ってみることも、有効な手段となろう。

## 付 記

本研究の一部は、2012年日本心理学会第76回大会（専修大学）において発表された。

## 引用文献

- Brown, C. R., Barry, R. J., & Clarke, A. R. (2009). ERPs to infrequent auditory stimuli in two- and three-stimulus versions of the inter-modal oddball task. *International Journal of Psychophysiology*, **74**, 174-182.
- Brown, C. R., Clarke, A. R., & Barry, R. J. (2006). Inter-modal attention: ERPs to auditory targets in an inter-modal oddball task. *International Journal of Psychophysiology*, **62**, 77-86.
- Donchin, E. (1981). Surprise! ... Surprise? *Psychophysiology*, **18**, 493-513.
- Donchin, E., & Coles, M. G. H. (1988a). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral and Brain Sciences*, **11**, 357-374.
- Donchin, E., & Coles, M. G. H. (1988b). On the conceptual foundations of cognitive psychophysiology. *Behavioral and Brain Sciences*, **11**, 408-419.
- Friedman, D., Vaughan, H. G., & Erlenmeyer-Kimling, L. (1978). Stimulus and response related components of the late positive complex in visual discrimination tasks. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, **45**, 319-330.
- 後藤倬男 (2008). 幾何学的錯視の成立要因についての一検討 ―代表的な幾何学的錯視に対して「3 種類の成立要因の関与量」を評定させた場合― 名古屋芸術大学研究紀要,

29, 157-163.

- 後藤倬男・甲村和三・大屋和夫・寺本一美・丸山規明・久世淳子・高橋晋也 (2005). 4.1 幾何学的錯視の心理的な成立要因の分析 (心理モデル) 後藤倬男・田中平八 (共編著) 錯視の科学ハンドブック 東京大学出版会, pp. 350-364.
- 後藤倬男・内山伊知郎・今井章・高橋晋也・羽成隆司・中村信次・小針弘之 (2005). 3.1.1 幾何学的錯視における同化と対比 後藤倬男・田中平八 (共編著) 錯視の科学ハンドブック 東京大学出版会, pp. 164-176.
- Goto, T., Uchiyama, I., Imai, A., Takahashi, S., Hanari, T., Nakamura, S., & Kobari, H. (2007). Assimilation and contrast in optical illusions. *Japanese Psychological Research*, **49**, 33-44.
- Hillyard, S. A., Hink, R. F., Schwent, V. L., & Picton, T. W. (1973). Electrical signs of selective attention in the human brain. *Science*, **182**, 177-180.
- 今井章 (2012). 事象関連電位によるデルブーフ錯視の検討(3)—内円が縮小する事態における検討— 信州大学人文学部人文科学論集<人間情報学科編>, **46**, 19-31.
- 今井章・後藤倬男 (2009). 事象関連電位によるデルブーフ錯視の検討 —同化過程における脳の応答について— 信州大学人文学部人文科学論集<人間情報学科編>, **43**, 39-51.
- 今井章・後藤倬男 (2010). 事象関連電位によるデルブーフ錯視の検討(2)—対比過程における脳の応答について— 信州大学人文学部人文科学論集<人間情報学科編>, **44**, 55-66.
- Imai, A., & Tsuji, K. (2004). Event-related potential correlates of judgment categories and detection sensitivity in a visual detection task. *Vision Research*, **44**, 763-773.
- Lindholm, E. & Koriath, J. J. (1985). Analysis of multiple event related potential components in a tone discrimination task. *International Journal of Psychophysiology*, **3**, 121-129.
- Rösler, F. (1981). Event-related brain potentials in a stimulus-discrimination learning paradigm. *Psychophysiology*, **18**, 447-455.
- Wickens, C., Kramer, A., Vanasse, L., & Donchin, E. (1983). The performance of concurrent tasks: A psychophysiological analysis of the reciprocity of information processing resources. *Science*, **221**, 1080-1082.

# **DELBOEUF ILLUSION INVESTIGATED BY THE EVENT-RELATED POTENTIALS: BRAIN RESPONSES UNDER A CONDITION OF SPLIT AND REDUCED OUTER CIRCLE**

Akira IMAI

Department of Psychology, Faculty of Arts, Shinshu University

## **ABSTRACT**

This study examined the event-related potentials (ERPs) under the condition that four observers compared a single circle (comparison stimulus; visual angle:  $1.0^\circ$ ) to inner circle of a concentric circle (Delboeuf illusion figure; standard stimulus) and judged apparent size of the single circle as large or small by a key pressing. The constant method was used, and the outer circle was prepared for five kinds of circular length from  $360^\circ$  (complete circle) to reduced length of  $20^\circ$  (1/18-circle). The ERPs were obtained at four scalp sites of Fz, Cz, Pz, and Oz. The inner circle was overestimated for the conditions of  $360^\circ$  and  $240^\circ$ , and underestimated for  $120^\circ$  and  $20^\circ$ , indicating that the processes of assimilation in the condition of  $360^\circ$  and  $240^\circ$ , and contrast in  $120^\circ$  and  $20^\circ$ , were appeared. The components of ERPs such as N1, P2, and P3 were evoked, and the amplitudes of N1 and P2 components, especially at Fz and Cz sites, proportionally changed in response to the psychometric function produced by the behavioral data. It is suggested that the amplitudes of the N1 and P2 may covary with the processes of assimilation and contrast when observer investigates Delboeuf illusion. The P3 amplitude may not be simply influenced by the assimilation and contrast processes.

Key words: geometrical-optical illusion, Delboeuf illusion, event-related potentials (ERPs), N1 amplitude, N2 amplitude, P3 amplitude

(2012年10月31日受理, 12月4日掲載承認)

