

## 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，P3 振幅

## DELBOEUF ILLUSION INVESTIGATED BY THE EVENT-RELATED POTENTIALS: BRAIN RESPONSES UNDER A CONDITION OF REDUCING THE SIZE OF INNER CIRCLE

Akira IMAI

Department of Psychology, Faculty of Arts, Shinshu University

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

### 問 題

2次元平面上の刺激図形の幾何学的性質が，刺激の物理的な性質や関係とは組織的かつ量的に異なって知覚されるという幾何学的錯視（以下，錯視と記述）は，これまで多くの研究者の関心を引きつけてきた興味深い現象であり，錯視の成立メカニズムを明らかにすることは，我々の知覚世界の成り立ちそのものを解明することと考えられている。

この錯視については，“3種類の成立要因（同化・対比／空間・位置／角度・方向）の特徴的な組み合わせによって合理的に説明できる”ということが提起されている（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3要因相互作用モデルによれば，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ことになる。

この3つの成立要因の中でも，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”図形の一つがデルブーフ（Delboeuf）錯視（同心円錯視）であり，これまで我々は，このデルブーフ錯視に注目して組織的な検討を行ってきた（後藤・内山・今井・高橋・中村・小針，2003）。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）。いいかえるとデルブーフ錯視は、同化と対比という要因が錯視に及ぼす効果を詳細に検討するにあたり、他の要因からの複合的影響をほぼ考慮する必要のない錯視図形ということになる。加えて、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が、この点を明らかにした研究はまだない。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、この複雑な現象を取り巻く要因をより明確化し、条件を整理していくために有効であろうと考えられる。

一方、事象関連電位（event-related potential; ERP）や、非侵襲的神経イメージング（neuroimaging）法の開発によって、錯視とその脳内神経基盤に関する研究も最近、行われるようになってきた（Qiu, Li, Zhang, Liu, & Zhang, 2008; Weidner & Fink, 2006）。これらの研究では、ミュラーリヤー（Müller-Lyer）錯視が検討されているが、その他の錯視図形については調べられていない。錯視には上記のように、錯視量として測定される幾何学的性質に大きさ、長さ、距離、方向、角度など様々な側面があることから、ある錯視図形について明らかにされた神経基盤についての推定が、他の錯視図形についても同様に適合するかどうかは不明である。したがって、幾何学的錯視の成立要因を探るためには、錯視研究の草創期から行われてきた記述的な錯視の分類と関連させることが効果的（後藤・甲村他, 2005, P. 352）と考えられ、後藤・甲村他が提起した3要因相互作用モデルに従い、錯視図形を分類・整理しながら、その神経基盤的な対応を探ることが有効であろう。この点で、これまでの研究（Qiu et al., 2008; Weidner & Fink, 2006）で用いられているミュラーリヤー錯視は、後藤・甲村他、後藤・内山・今井・高橋・羽成・中村・小針（2005）や後藤（2008）によれば、同化・対比、空間・位置、および角度・方向という3つの要因がすべて少なからず関与する、非常に複合的な刺激図形であることが示されている。したがって、3つの要因のうち主な一つがより重点的にはたらいっている図形から検討する方が、問題をより整理できるであろう。

こ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検討してきた（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。

以上のことから、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振幅とが錯視の成立に関与する成分であることが示唆されるが、これらの成分の機能的意義が明確にされたとはいいがたい。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。このように, P3 振幅と P2 振幅と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。さらに, 今井・後藤 (2010) では, デルブーフ錯視について同化から対比への変換過程を探る条件を設定していたが, そこでは外円が拡大していく条件についてのみの検討に止まり, 内円が縮小していく条件については未検討である。

そこで本研究では, 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, 内円と外円との直径比が2/3から, 徐々に内円が縮小する刺激事態を構成し, 同化が最も顕著に生ずる内外円比2/3から, 対比へと変化することが予想される2/18まで内円を縮小させて検討することにした。したがって, この事態で ERP を取得すれば, 同化から対比への変換過程に対応した ERP の成分がさらに検討できるであろう。

## 実 験

### 方 法

**観察者** 矯正を含め視力, および色覚が健常な女子大学生 4 名 (平均20.0歳) が実験に参加した。なお, 何れの観察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から2/18の同心円を標準刺激として, その左右いずれか中心点間距離で視角 $3.0^\circ$ 離れた位置に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。刺激は PC (NEC-PC9801vm) によりカラー CRT 上に黒色背景 ( $0.02 \text{ cd/m}^2$ ) に白色 ( $20.0 \text{ cd/m}^2$ ) で描き, 直径で視角 $0.67^\circ$ ,  $0.33^\circ$ ,  $0.17^\circ$ ,  $0.11^\circ$  で内円を,  $1.0^\circ$  で外円を提示して同心円を作成した。したがって, 内外円比, すなわち内円と外円との直径比はそれぞれ 2/3, 2/6, 2/12, 2/18となっていた。比較刺激としての単円は常に視角 $1.0^\circ$ で提示した。さらに, 外円が比較刺激より物理的に大きくなる条件として, 外円を $1.5^\circ$ , 内円を $1.0^\circ$ で提示する条件を設けた。以上の組合せにより, デルブーフ錯視図形を内外円比 4 条件, 計 5 種類作成した。

**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) より両耳耳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（内外円比）、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、観察者に以下のような教示を行った。観察者の課題は、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外円に対して“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、観察者にはこの画面提示後にキー押しを行わせた（Figure 1）。観察者は常に“比較刺激が標準刺激の外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、観察者間でカウンターバランスを図った。標準刺激の内外円比は4種類であるが刺激図形は5種類としたため、5種類の標準刺激が各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。本試行の前には、練習として10試行を行った。観察者はブロック間に適宜、休憩を挟みながら12ブロックを行った。

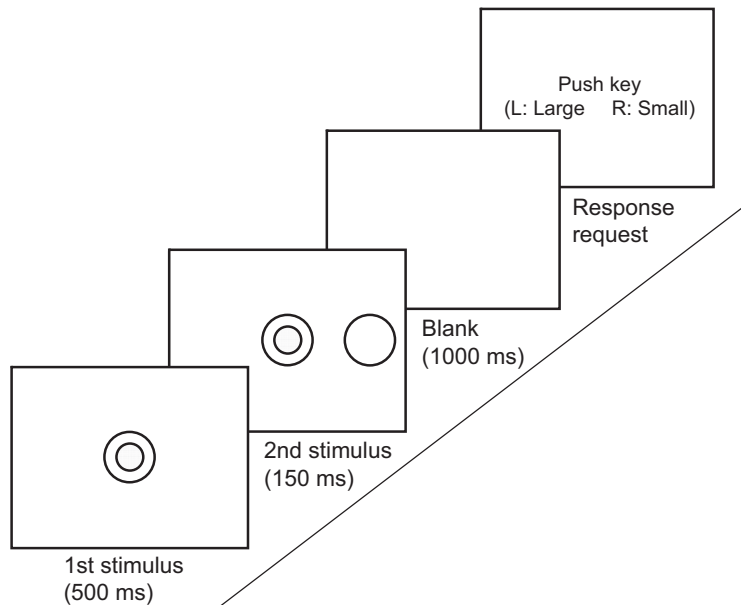


Figure 1 Schematic illustration of stimulus presentation and its time course. The first stimulus (concentric circle) is presented 500 ms, which is followed by the second stimulus of 150 ms. After the 1st and 2nd stimulus presentations, a blank screen appears 1000 ms. At the end of the blank screen, a 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 名の観察者の平均である精神測定関数が示されている。大小反応率は、外円が物理的に大きい内外円比2/3の条件で、外円に対して比較刺激がほぼ“小”と判断され、その他の条件では、ほぼ“大”と判断された。すなわち、外円が比較円と同一直径であり、内円のみが縮小していく条件では、同化の作用により外円は一貫して過小視されていたことが示唆された。

この図に認められる関数から、直線補完法により反応率50%における内外円比を求めた結果、1/1.22となった。したがって、内円が $1.0^\circ$ 、外円が $1.22^\circ$ で構成された同心円が提示された場合に、 $1.22^\circ$ の外円が $1.0^\circ$ の比較単円と同じ大きさの見えになると考えられる。

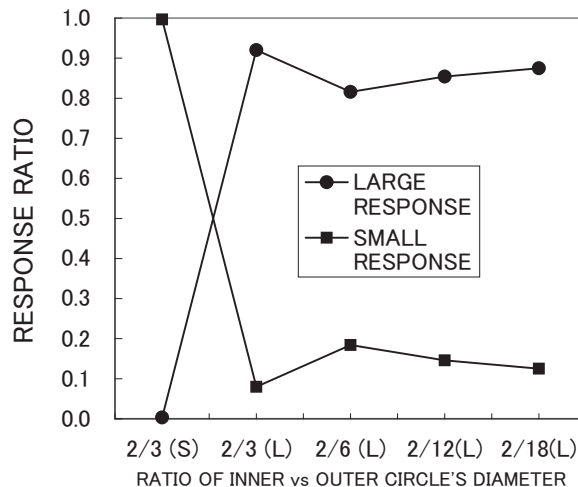


Figure 2 Psychometric functions obtained for a combination of the ratio of inner/outer circle's diameter and the judgement of large/small response.

### 2. 事象関連電位

脳波は、頭皮上の各部位、標準刺激の内外円比、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、観察者による判断結果である大小反応率は今回、各条件においてほぼ大または小のいずれかになっていた。すなわち、外円が物理的に比較刺激よりも大きい条件では“小”反応が、その他の条件では“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、外円が物理的に大きい条件としての2/3の“小”反応（以下2/3(S)と記す）、内外円比2/3、2/6、2/12、2/18の“大”反応（以下2/3(L)、2/6(L)などと記す）に対して出現したERPを分析対象とした。

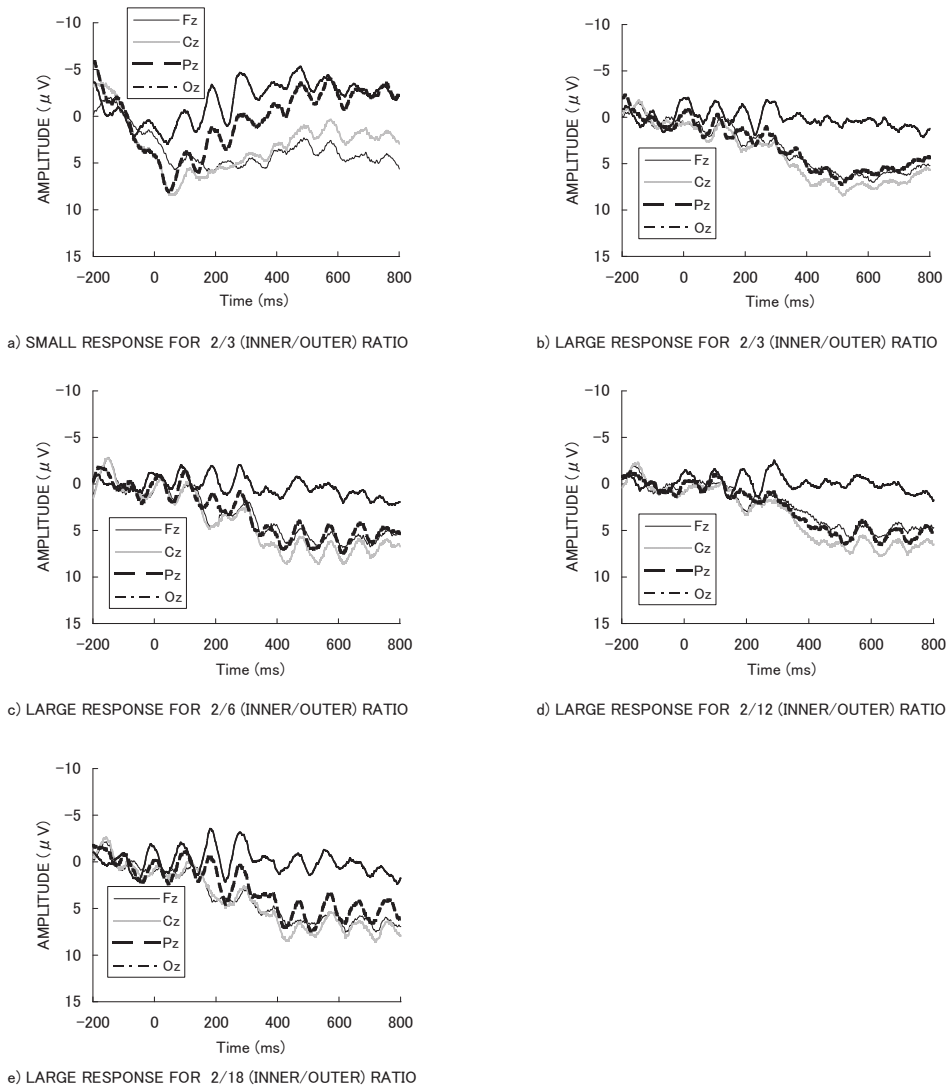


Figure 3 Grand averaged wave forms of ERPs at each scalp site obtained for a combination of the ratio of outer/inner circle's diameter and the judgement of large or small response.

上述のことから、Figure 3には各部位における、2/3(S)に対するERP(3a)、2/3(L)に対するERP(3b)、2/6(L)に対するERP(3c)、2/12(L)に対するERP(3d)、および2/18(L)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・後藤(2009, 2010)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) × 直径比一判断の組合せ (2/3(S), 2/3(L), 2/6(L), 2/12(L), 2/18(L)) の分散分析を行った。その結果、部位の主効果 ( $F_{(3,9)}=13.59$ ,  $p<.01$ ), 直径比一判断の組合せの主効果 ( $F_{(4,12)}=3.39$ ,  $p<.05$ ), および交互作用 ( $F_{(12,36)}=6.93$ ,  $p<.01$ ) がいずれも有意であった (Figure 4)。交互作用についての下位検定を行ったところ、2/12(L)を除く2/3(S), 2/3(L), 2/6(L), および2/18(L)において部位の単純主効果が有意 (順に  $F_{(3,45)}=37.20$ ,  $F_{(3,45)}=3.92$ ,  $F_{(3,45)}=3.90$ ,  $F_{(3,45)}=6.05$ ,  $p<.05$ ) であった。2/12(L)では、部位の単純主効果は有意傾向 ( $F_{(3,45)}=2.53$ ,  $p<.07$ ) に止まった。また、Fz と Cz において直径比一判断の組合せの単純主効果が有意 (それぞれ  $F_{(4,48)}=5.57$ ,  $F_{(4,48)}=8.83$ ,  $p<.01$ ) であった。Pz では直径比一判断の組合せの単純主効果は有意傾向 ( $F_{(4,48)}=2.07$ ,  $p<.10$ ) であった。有意であった直径比一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 の両部位とも2/3(S)におけるN1振幅は、他のすべての直径比一判断の組合せ (2/3(L), 2/6(L), 2/12(L), および2/18(L)) における振幅に比較して有意に低減していた。

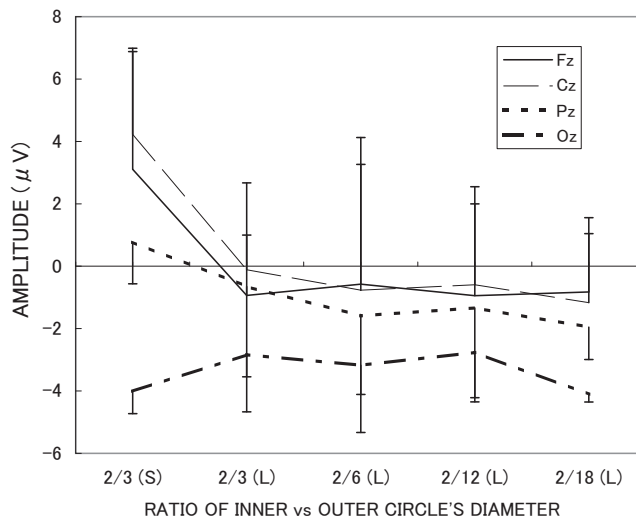


Figure 4 Mean amplitudes of N1 at each scalp site obtained for a combination of the ratio of inner/outer circle's diameter and the judgement of large or small response. A vertical line of each data point is a standard error of mean. Note that the (L) and (S) in the figure show the observer's response of "large" and "small."

**P2 振幅** N1 振幅と同様に、部位 × 直径比一判断の組合せの分散分析を行ったところ、部位の主効果 ( $F_{(3,9)}=10.66$ ,  $p<.01$ ), および部位と直径比一判断の組合せの交互作用 ( $F_{(12,36)}=2.74$ ,  $p<.01$ ) 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、2/3(S), 2/6(L), および2/18(L)において部位の単純主効果が有意 (順に  $F_{(3,45)}=17.73$ ,  $F_{(3,45)}=6.95$ ,  $F_{(3,45)}=5.49$ ,  $p<.01$ ) であった。また、Fz において直径比一判断

の組合せの単純主効果が有意 ( $F(4, 48)=2.71$ ,  $p<.05$ ) であり, Cz では有意傾向 ( $F(3, 45)=2.25$ ,  $p<.08$ ) であった。Fz における有意な直径比—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, 有意な差異は認められなかった。

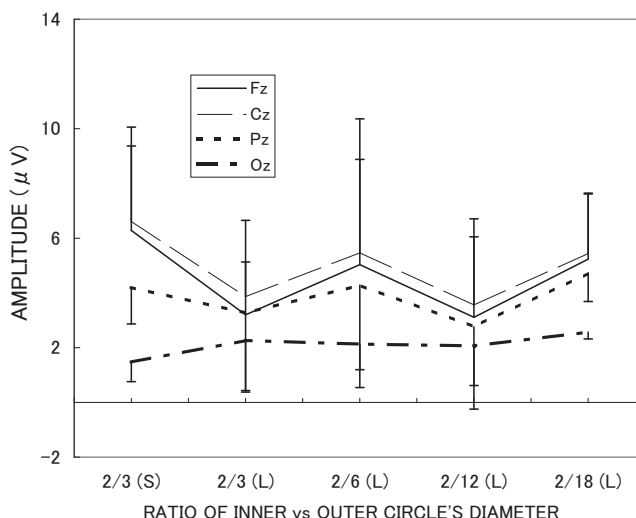


Figure 5 Mean amplitudes of P2 at each scalp site obtained for a combination of the ratio of inner/outer circle's diameter and the judgement of large or small response. Others are the same as in Figure 4.

**P3振幅** N1振幅と同様に, 部位×直径比—判断の組合せの分散分析を行ったところ, 部位の主効果 ( $F(3, 9)=4.54$ ,  $p<.05$ ), 直径比—判断の組合せの主効果 ( $F(4, 12)=7.73$ ,  $p<.01$ ), および交互作用 ( $F(12, 36)=3.91$ ,  $p<.01$ ) がいずれも有意であった (Figure 6)。交互作用についての下位検定を行ったところ, すべての直径比—判断の組合せにおいて部位の単純主効果が有意 (順に  $F(3, 45)=4.60$ ,  $F(3, 45)=4.47$ ,  $F(3, 45)=4.54$ ,  $F(3, 45)=3.84$ ,  $F(3, 45)=4.94$ ,  $p<.05$ ) であった。また, Fz 以外のすべての部位において直径比—判断の組合せの単純主効果が有意 (順に  $F(4, 48)=7.02$ ,  $F(4, 48)=14.74$ ,  $F(4, 48)=3.34$ ,  $p<.05$ ) であった。有意であった直径比—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, Cz, Pz, および Oz のすべての部位において, 2/3(S)に対する P3 振幅は, 他のすべての直径比—判断の組合せにおける振幅に比較して有意に低減していた。

## 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。この内外円比から徐々に内円の直径が減少すると



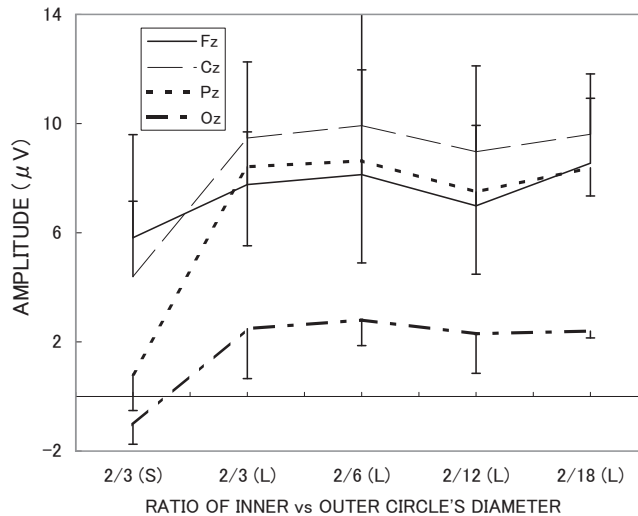


Figure 6 Mean amplitudes of P3 at each scalp site obtained for a combination of the ratio of inner/outer circle's diameter and the judgement of large or small response. Others are the same as in Figure 4.

やがて対比作用が生じ始め、外円の過大視傾向が出現するといわれる。この同化から対比への変換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内円の直径を縮小させながら、同時にERPを取得して検討した。今井・後藤（2009, 2010）と同様な手続きにより検討を行った結果、内円を縮小する条件下では外円の過大視傾向が認められなかった（Figure 2）。むしろ、この条件下では一貫して外円の過小視傾向が示され、対比が生じなかった可能性が示唆された。したがって、この条件下で得られたERPは、同化から対比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は考えられず、同化のみが生じていた事態におけるものと考えられる。

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 および P3 成分の振幅については、部位の主効果、直径比一判断の組合せ、および両要因の交互作用のすべてにおいて有意な結果が示された。P2 振幅については、直径比一判断の組合せの主効果は有意とはならなかったものの、部位の主効果と、部位と直径比一判断の組合せの交互作用が有意であった。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、部位の主効果、直径比一判断の組合せの主効果、および両要因の交互作用のすべてが有意であった。下位検定の結果から、判断がほぼすべて“小”となった2/3(S)に対して、Fz および Cz において他の直径比判断の組合せに比較して有意にその振幅が低減していた（Figure 4）。その振幅の変動傾向は、精神測定関数の変動（Figure 2）とよく一致しており、したがって N1 振幅が、内円が縮小する条件下で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、P3 振幅についても N1 振幅と同様、部位の主効果、直径比一判断の組合せの主効果、および両要因の交互作用のすべてが有意であった。しかし、下位検定の結果は N1 振幅とは

異なり、Cz, Pz, および Oz のすべての部位において、2/3(S)に対する他の直径比一判断の組合せと比較しての有意な振幅の低減が認められた。すなわち、N1 では前頭部から中心部にかけての振幅低減が2/3(S)に対して示されたのに対して、P3 では、中心部から後頭部にかけての振幅低減が2/3(S)に対して認められた。

もし、内円が縮小する条件下で示された外円の過小視が同化によるものとする、本研究で示されたこれらの ERP 振幅は、同化による P3 の振幅値の変動を示した今井・後藤 (2009) と P3 振幅については一致する傾向といえ、N1 振幅については新たな可能性を示唆するものといえる。

これまで N1 振幅は、選択的注意の指標 (Hillyard, Hink, Schwent, & Picton, 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対応する可能性が今回、新たに示唆されたといえる。

一方、P2 については、部位の主効果と部位と直径比一判断の組合せの交互作用が有意となり、直径比一判断の組合せの主効果は有意とはならなかった。この点において P2 振幅は N1 および P3 振幅とは異なる傾向を示していた。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。しかし、本研究で得られた P2 振幅の変動の様子は、Figure 2 にみられた精神測定関数の変動傾向とは一致せず、P2 振幅は今回の条件下では対応がみられなかった。

以上のことから、内円が縮小する条件下では外円の過大視は生起せず、したがってこの観察条件下では同化のみが生じていたと考えられる。そして、その同化の様相とよく対応した ERP は N1 および P3 振幅であることが示されたといえる。しかし、その対応関係には違いも認められ、N1 では前頭部から中心部にかけての振幅が、P3 では中心部から後頭部の振幅が、精神測定関数に一致していた。

今井・後藤 (2009) では、同化が極大的に作用する内外円比2/3の同心円を観察させ、内円および外円と単円との比較を通じて ERP 成分に検討を加えた結果、この事態における精神測定関数と Fz および Cz における P3 振幅との関連が認められた。また、今井・後藤 (2010) では、同化から対比へと移行する事態の反応率による精神測定関数と最もよく対応していたのは、Cz および Pz における P2 振幅であった。したがって、同化のみが作用する事態では P3 ないしは N1 振幅の関与が、同化から対比への移行が伴う事態では P2 振幅の関与が示唆される。N1 振幅は、選択的注意の指標 (Hillyard et al., 1973) として、また、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、同化には P3 振幅の強い関与が推測されるが、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後頭部にかけて変化する可能性も示されたといえる。また今回、新たに同化の一指標としての可能性が示された N1 振幅については今後、さらにデータを積み重ねて確認する必要がある。

今井・後藤（2010）での P2 振幅は、視覚刺激の提示事態で出現し、また大小反応の変化率と一致するように変動していた。したがって、内外円比の増大による同化から対比への変換過程は刺激の“見え”の変化をもたらし、その変化の検出が P2 振幅に反映されたものと考えられる。もし、このことが正しければ、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を構成すれば、P2 振幅の変動が示されるはずである。しかし、本研究で検討した内円が縮小する条件下では同化から対比への変換過程は示されず、このことは確認できなかった。さらに、対比のみが影響するリップスの大きさ錯視と ERP を調べた今井（2011）では、N1, P2, および P3 のいずれの振幅値も精神測定関数との対応が認められず、対比のみでは ERP 振幅が変動しない可能性も示唆されている。したがって、デルブーフ錯視以外にも、例えば、対比の影響が強いエビングハウス錯視（後藤・内山他, 2005；後藤・今井, 2009）や、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、さらに検討を行ってみる必要があろう。

以上のように、本研究結果から、内円が縮小する条件下でのデルブーフ錯視では、同化過程のみの関与による外円の過小視が生じし、この条件下では N1 と P3 振幅の関与が示唆された。今後、この N1 と P3 のみではなく、さらに P2 も含めて同化と対比の変換過程を検討することが必要であると思われる。その際、同化と対比が関与する他の錯視図形についても組織的に検討する必要がある。

## 付 記

本研究の一部は、2011年日本心理学会第75回大会（日本大学）において発表された。

## 引用文献

- 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・今井章（2009）. 大きさの円対比錯視（Ebbinghaus 錯視）の成立要因に関わる刺激条件についての研究 ―付加円3個の錯視図形における「付加円と中央円の直径比」・「両円間距離」・「反復観察」などの効果の検討― 名古屋芸術大学研究紀要, **30**, 117-129.
- 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.
- 後藤倬男・内山伊知郎・今井章・高橋晋也・中村信次・小針弘之 (2003). 大きさの円同化対比錯視における「同化と対比の変換過程」についての検討 日本心理学会第67回大会発表論文集, 530.
- 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 (2011). 事象関連電位によるリップスの大きさ錯視の検討 信州大学人文学部人文科学論集<人間情報学科編>, **45**, 43-54.
- 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.
- Qiu, J., Li, H., Zhang, Q., Liu, Q., & Zhang, F. (2008). The Müller-Lyer illusion seen by the brain: An event-related brain potentials study. *Biological Psychology*, **77**, 150-158.
- Rösler, F. (1981). Event-related brain potentials in a stimulus-discrimination learning paradigm. *Psychophysiology*, **18**, 447-455.
- Weidner, R., & Fink, G. R. (2006). The neural mechanism underlying the Müller-Lyer illusion and its interaction with visuospatial judgements. *Cerebral Cortex*, **17**, 878-884.
- 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 REDUCING THE SIZE OF INNER 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 outer circle of a concentric circle (Delboeuf illusion figure; standard stimulus) and judged the apparent size of the single circle to be large or small by a key pressing. The constant method was used, and the inner circle was prepared for five kinds of diameter, constructing 2/3 ( $0.67^\circ/1.0^\circ$ ,  $1.0^\circ/1.5^\circ$ ), 2/6 ( $0.33^\circ/1.0^\circ$ ), 2/12 ( $0.17^\circ/1.0^\circ$ ), and 2/18 ( $0.11^\circ/1.0^\circ$ ) of inner/outer ratios. The ERPs were obtained at four scalp sites of Fz, Cz, Pz, and Oz. The outer circle was underestimated for all of ratio conditions except for the 2/3 ( $1.0^\circ/1.5^\circ$ ) of which condition the outer circle was physically larger than the comparison stimulus, showing an occurrence of assimilation process. Although several components of the ERPs were emerged under the observation of Delboeuf illusion, the amplitudes of N1 at Fz and Cz, and those of P3 at Cz and Pz were proportionally changed in accordance with the psychometric function produced by the behavioral data. It is suggested that the N1 and P3 amplitudes may covary with the process of assimilation when observer investigates Delboeuf illusion. Functional significances of the N1 and P3 amplitudes are discussed along with the previous findings and the present results.

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

(2011年10月28日受理, 11月30日掲載承認)