



Title	表情変化知覚に関する心理生理学的研究
Author(s)	三好（橋本）, 道子; MIYOSHI (HASHIMOTO), Michiko
Citation	北海道大学大学院教育学研究科紀要, 98, 1-35
Issue Date	2006-06-30
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/b.edu.98.1">https://doi.org/10.14943/b.edu.98.1</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/14430">https://hdl.handle.net/2115/14430</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	98_1-35.pdf



# 表情変化知覚に関する心理生理学的研究\*

三好（橋本）道子\*\*

## Psychophysiological Research in Perception of Expressional Change

Michiko MIYOSHI (HASHIMOTO)

【要旨】これまで、表情認識に関わる研究のほとんどは静止画像を用いて行われており、動きを伴う表情変化の処理については詳しく検討されていない。本研究では、事象関連脳電位 (ERPs) を指標とし、表情の動きの知覚を誘発する表情変化に対する電位反応を測定した。その結果、真顔から笑顔への表情変化に対しては、刺激の物理的変化量の違いや選択的注意を向けるか否かに関わらず、N 170成分がより陰性にシフトした。さらに真顔から怒り顔への表情の変化に対しては、真顔から笑顔への表情の変化と比較して、より早い潜時帯から電位の陰性のシフトが生じることが示された。N 170は顔認識過程における最も早い知覚処理段階を反映し、静止画表情に対しては感度がないことが示されていることから、静止画表情と比較して表情変化の処理が促進されること、さらに脅威信号となる真顔から怒り顔への表情の変化に対しては、より迅速な処理が行われることが示された。

【キーワード】表情、事象関連脳電位 (ERP)、顔認知

### 1. はじめに

#### 1.1 表情の認識特性

社会的生活を営む我々にとって、表情は相手の情動状態を推測するための重要なシグナルであり、迅速で正確な知覚が必要とされる。Ekman (1977) は、刺激と情動反応の間の時間間隔が極めて短いことから、刺激の情動評価メカニズムは非常に卓越したスピードで働く能力を持つとしている。また、Vuilleumier らの半側無視患者を被験者とした一連の研究では、真顔に比べて表情顔（笑顔、怒り顔）が無視されづらいことが示されている (Vuilleumier & Schwartz, 2001)。これは、情動的な意味が含まれる表情刺激が、情動的な意味を含まない顔刺激に比べより注意を喚起し、優先的に処理されることを示している。さらに、表情によっても知覚の優先性が異なることが指摘されており、行動指標を用いた研究では、ポジティブな表情（笑顔）の優位性を示す研究 (Kirouac & Dore, 1983; Kirita & Endo, 1995) と、ネガティブな表情の優位性を示す研究 (Hansen & Hansen, 1988; Campanella et al., 2004) の両方が報告されてい

\* 本稿は平成18年度北海道大学大学院教育学研究科博士論文の要旨である。

\*\*北海道大学大学院教育学研究科博士後期課程修了

る。これらの表情の優位性効果は、その表情の生物学的重要性を反映していると解釈され、我々がどのように表情を知覚しているのかに関する手がかりを与えている。しかし上述のように、表情の優位性効果は実験により異なる結果が示され、統一した見解には至っていない。この原因としては、行動指標を用いた実験では表情の弁別や検出など異なる課題を行っているため、課題による処理方略に違いが結果に反映している可能性が考えられる。

さらに、我々は普段短い時間の中で変化し続ける顔の動きから情動反応を知覚している。静止画からは認識しづらい眉や口元に現れたわずかな表情も、動きの中では正確に捉えることが出来る。しかし、これまで表情の認識に関わる多くの実験的研究は、表情の静止写真や図形顔を用いて行われてきた。光点の動きを用いた Biological Motion の研究 (Johansson, 1973) では、身体の個々のパーツが認識できない場合であっても、動き情報のみを手がかりとして身体が認識できることが示されているが、同じく光点を用いて表情の動きの知覚が可能であるかを検証した実験においても、眉や口角の角度、歯の露出などの視覚的特徴が利用できない場合でも、動的な情報があれば表情の弁別が可能であることが指摘されている。Humphreys et al. (1993) は、静止画表情の認識に障害をもつ脳損傷患者も、表情の動きを表す光点からは表情認識が可能であることを示している。これは、静止画情報からの表情の符号化と動き情報からの表情の符号化は、分離して行われているという重要な証拠であるといえる。

## 1.2 事象関連電位による顔認識研究

事象関連脳電位 (event-related brain potential: ERP) とは、ある事象に伴って生起する、頭皮上に置かれた電極から記録される脳の電位変化である。ERP は、fMRI, PET などの脳の活動を計測する他の手法と比較して時間分解能が大変優れており、刺激の提示前から時々刻々と進む脳の情報処理活動をミリ秒単位で計測することが可能である。顔刺激の処理は、性別、年齢、既知性の判断、その人物に関する個人情報へのアクセス、また表情の知覚といった非常に多くの処理段階を含んでいることから、ERP は、これらの処理にかかる時間や、様々な処理がどのような時間的關係で生じているのかを検証するのに適した測度といえる。一方、ERP はあくまで脳の活動を頭皮上から記録するものであり、記録された活動が脳のどの部位における活動であるのかを特定することは困難である。電位の脳内発生源を推定するには、発生源を数学的にモデル化し仮想的な電流の流れ(等価電流ダイポール)を仮定する方法や、fMRI や PET などの空間分解能に優れた手法を用いた研究結果と対応させることが必要となる。

### 1.2.1 顔の認識に関わる電位反応

サルを被験体とした脳の単一ニューロンの活動を記録した研究では、後側頭有線外皮質において顔に選択的に反応する細胞が報告されている (Perrett et al., 1982)。ERP 研究においても同様に、顔刺激を見せた場合に特異的に増強する成分が報告されている。このような刺激特異的な成分は顔以外にほとんど報告されておらず、顔認識の特殊性・重要性を示すものとして注目される。

顔に選択的な成分としては、まず Jeffreys (1989) によって報告された正中線上中心部-頭頂部から生起する陽性成分 (vertex positive potential: VPP) がある。この成分は、頂点潜時約 170 ms という非常に早い潜時帯において生起し、物や風景など顔以外の刺激を提示した場合に比べ、顔刺激を提示した場合に振幅の増強が見られる。諸富・三好 (1994) は、ヒトの顔、動

物の顔、動物の全体像、対象物、風景の5つのカテゴリーの描画刺激に対する電位反応を測定した。その結果、ヒトの顔に対してはVPPに相当する陽性成分、P170が惹起したが、動物の全体像、対象物、風景刺激に対してはP170は生じなかった。また動物の顔刺激に対しても明瞭なP170が惹起したが、ヒトの顔刺激と比較してP170頂点潜時の延長が見られた。P170は同一の刺激に対しても、それを顔刺激として見るような操作をした場合に振幅が増強することが示されており(三好 1994)、顔以外の物体でも顔に見えるように配置された場合や、木の枝が人の顔を形作る場合に振幅が増強するとしたVPPの結果(Jeffreys & Tukmachi, 1992)と類似している。これらの結果は、VPP、P170が提示された刺激を顔として知覚した場合に生じる電位であることを示している。

また、左右後側頭部においても、顔に選択的に出現する電位、N170が報告されている。N170は、VPP、P170と記録される部位や極性は異なるものの、潜時約170ミリ秒のほぼ同じ潜時帯において生起し、物や風景など顔以外の刺激を提示した場合に比べ、顔刺激を提示した場合に振幅の増強が見られること(Bentin et al., 1996)や、無意味な刺激でも顔として見えるような操作をした場合に振幅が増強すること(Bentin & Golland, 2002)など、その反応特性もVPPと類似点が多い。N170は、顔刺激に対して特異的に増強する点、主観的に顔であると認識した場合に振幅が増強する点などから考えて、VPP、P170同様、刺激を「顔である」と認識する過程を反映していると考えられてきた。また、顔の既知性(Bentin & Deouell, 2000; Eimer, 2000a)や表情(Eimer & Holmes, 2002; Holmes et al., 2003)がN170に影響を及ぼさないという報告や、N170以前に生起する成分には、顔刺激にノイズをかけて知覚を困難にする操作の影響が現れないとする報告(Jemel et al., 2003)から、N170は顔認識過程の最も初期の段階を反映していると考えられている。

N170の発生源については、神経画像を用いた顔認識研究において顔刺激の処理に深く関わるとされている紡錘状回(Clark et al., 1996; Halgren et al., 2000)、上側頭溝(Perrett et al., 1982)が指摘されている。段階的にノイズをかけた顔刺激に対するN170と、fMRIデータの系統的な変化を検証した実験では、N170と紡錘状回、上側頭溝の活動との高い相関関係が示されている(Horowitz et al. 2004)。また、Allison et al. (1994)は、脳表面に直接置かれた電極から電位を記録し、紡錘状回、下側頭回において顔に特異的な電位反応(N200)が生じることから、頭皮上における顔選択性電位とこれらの部位との関連性を指摘している。さらに、上側頭溝は目の動きに対して活性化することから(Puce et al. 1998)、目刺激に対して特異的に増強を示すN170の発生源が上側頭溝である可能性が示唆される。

## 1.2.2 表情の知覚に関わる電位反応

### 1) 遅い潜時帯で生じる反応

顔刺激の表情の違いによるERPの振る舞いの違いを検証した実験では、表情刺激とニュートラル刺激間(Vanderploeg et al., 1987)、あるいは笑顔と悲しみ顔といった異なる表情刺激間(Orozco & Ehlers, 1998)の反応の違いは、どちらも頭頂部位において生起する遅い潜時帯の陽性成分に反映されたと報告されている。またCarretieらの一連の研究では、これらの陽性成分に先行する潜時約300msの陰性成分(N300)が、顔を含めた視覚刺激の情動的な側面の評価に関与することを指摘している(Carretie & Igesias, 1995; Carretie et al., 1996)。さらに表情マッチングと人物マッチングを行わせた場合の反応を比較した実験では、表情的一致/不

一致の効果は、人物の一致／不一致の効果と比較して、より遅い潜時帯で頭頂よりの分布を示す (Potter & Parker, 1997; Munte et al., 1998; Bobes et al., 2000)。しかしこれらの実験で示された電位は、その電位分布や潜時から、表情以外の ERP 研究においても幅広く観察される P3 や N 400 成分に相当すると考えられる。よって、これらの電位は顔の情動的な側面の処理に特化した過程を反映しているのではなく、より一般的な刺激評価過程や刺激の意味的な処理を反映していると推測される。

一方後側頭部位においても、遅い潜時帯での表情に関わる電位変化が指摘されている。Krolak-Salmon et al. (2001) は、表情あるいは性別に注意を向けた課題での顔刺激に対する ERP を比較し、表情に注意を向けた場合にのみ、後側頭部位 (T 5, T 6) において真顔と表情刺激間の差異 (潜時約 250-550 ms) と、異なる表情刺激間での差異 (潜時約 550-750 ms) が生じることを報告している。また笑顔と悲しみ顔の口の形を検出させた課題では、それぞれの表情の口の形に選択的な注意が向けられている場合にのみ、後側頭部位において潜時約 400 ms 以降に表情の効果が観察されるとしている (Wijers et al., 2002)。さらに、表情の情動価や覚醒度を評価させる課題では、N 170 成分直後に生起する陽性電位近傍 (潜時約 200-400 ms) から、すでに真顔と表情刺激間の差異が見られるとの報告もある (Marinkovic & Halgren, 1999)。

## 2) 早い潜時帯での反応

以上のように、これまでの表情に関わる ERP 研究では、表情の効果は顔に特異的に出現するとされる 2 つの電位 (N 170, VPP) より遅い潜時帯で出現している。さらに、前述のように N 170 や VPP は表情の違いによって影響されないとする報告もある (Eimer & Holmes, 2002; Holmes et al., 2003; Werheid et al., 2004; Carretie & Igresias, 1995)。しかし、表情は社会的コミュニケーションにおいて非常に重要なシグナルであり、迅速な処理が必要とされることから、表情に対する反応はより早い潜時帯で発現することが考えられる。最近のいくつかの研究では、N 170 あるいはそれ以前の非常に早い潜時において、表情の効果が現れることが指摘されている。これらの早い潜時帯における表情に関連する ERP 変動は、後側頭部位で生じるものと、前頭部において生じるものに分けられる。

Batty & Taylor (2003) は、N 170 に先行する陽性電位から、わずかではあるが有意な表情間の振幅の差が生じるとしている。また Campanella et al. (2002) は、同一表情と認識される刺激を連続提示した場合、異なる表情と認識される 2 刺激を連続で提示した場合に比べ N 170 と VPP が減衰することを示し、表情のカテゴリ知覚が両側の後側頭領域において N 170 潜時帯から既に生じるとした。Eimer & Holmes (2002), Holmes et al. (2003) は、N 170 では表情の効果は見られないと指摘する一方、前頭-中心部位では N 170 よりも早い潜時約 120 ms で、真顔と恐れ顔間の振幅の差が生じるとしている。

### 1.2.3 顔の動きに関わる電位反応

近年の神経画像研究やニューロン研究では、上側頭溝やその近傍領域が顔や身体の様々な動きに対して感度があることが示されている (Grossman et al., 2000; Wheaton et al., 2004)。特に視線の動きに対しては、いくつかの研究が上側頭溝の活動を指摘している (Puce et al., 1998; Hoffman & Haxby 2000)。しかし、これらの研究からは処理に関わる時間的側面に関する知

見は得られない。

Puce et al. (2000) は、視線が正面に向けられている顔刺激と、左右に逸らされている顔刺激を連続提示した場合の ERP を記録し、逸らされた視線がこちらに向けられた場合よりも、こちらに向けられていた視線が逸らされた場合に N 170 が増強することを示した。また同様に、口が閉じた顔刺激と開いた顔刺激を連続提示し、開いていた口が閉じる場合よりも、閉じていた口が開く場合に N 170 が増強することも示した。さらに、Puce らによって示された N 170 における視線方向の効果は、静止画では得られないことが報告されていることから (Taylor et al., 2001), N 170 の変動が視線方向の違いそのものではなく、顔の「動き」によるものであることが示唆されている。

視線や口の動きは、社会的生活を営む動物にとって、注意の方向の移動や発話といった非常に重要な情報を提供することから、より素早い処理が必要であると考えられる。ERP での研究結果は、我々が表情や視線方向に関する情報を、非常に短い時間内に処理していることを示唆している。

### 1.3 本研究の目的

近年、神経脳画像の手法を用いた研究からは、表情、あるいは顔の動きの処理に関わる脳の部位について数多くの知見がもたらされており、上側頭溝が顔の動きや表情の知覚に密接に関わることが示されている。一方、時間分解能に優れた ERP を指標とした研究では、刺激として静止画を用いたものがほとんどであり、これらの実験の多くは、比較的遅い潜時帯の活動を報告している。Potter & Parker (1997) は、表情に関わる反応が遅い潜時帯で生じる要因について、実験が自然な状態での表情認識システムの動きを反映していない可能性について言及しており、自然な表情処理システム発動における表情の動的要素の重要性を指摘している。

本実験では、時間分解能に優れた ERP を指標として表情の動きの知覚に関わる電位変化の測定を行い、静止画を用いた表情に対する反応と比較することにより、自然な状態での表情認識がどのような時間帯で行われるのかについて検討を行った。さらにこれらの電位変化の潜時や電位分布の情報と、これまでの神経生理学的、電気生理学的知見とを合わせ、動きを伴う表情がどのような脳内の処理システムを介して処理されているのかについて考察を行った。

## 2. 実験的検討

### 2.1 実験 1 : 表情変化に対する ERP

これまでの ERP 研究において、動きを伴う表情知覚に関する実験が行われていない理由として、測定における刺激提示方法の制限がある。ERP では、刺激の提示された時点を情報処理開始時点として加算平均を行うが、動きのように提示時間内で刺激が変化する場合、どの時点を情報処理開始時点と定めるのかという問題が生じる。また、変化する刺激のある時点を加算開始時点と定めた場合、時々刻々と変わる刺激に伴って異なる処理が発動するため、加算後の ERP 波形は、様々な時点の処理が重畳した形で現れることとなる。

そこで本実験では、表情の動きに代わるものとして、2枚の顔刺激静止画像を連続で提示し、2刺激間で表情の「変化」が生じた場合の処理過程について検討を行った。同一人物の異なる表情刺激を刺激間隔なしで連続提示した場合、いわゆる「仮現運動」が生じ、表情の動きと

類似した知覚を生じさせると考えられる。実験1では、第1刺激と第2刺激間で表情変化が生じた場合の反応と、表情以外の要素の変化（人物変化）が生じた場合との反応とを比較し、表情変化の処理に対応する電位成分を検出することを目的とした。

### 2.1.1 方法

大学生および大学院生10名（21-28歳，平均年齢24.5歳）を被験者とした。被験者は全て右利きで，矯正視力を含め視覚正常であった。

本実験の刺激として，被験者にとって未知の大学生30名（男性15名，女性15名）の真顔，笑顔の白黒写真を用いた。写真はすべて同じ条件下で撮影したデジタルビデオテープから抜粋し，輝度や陰影はおおよそ等しかった。抜粋した顔写真は，髪と輪郭部分が入らないよう同じ大きさの楕円に切り抜き使用した。その際，同一人物の刺激間では，目，口など顔の構成要素の位置がほぼ等しくなるよう調節した。刺激の大きさは100 cmの観察距離で視角度縦約 $2.5^\circ \times$ 横約 $2^\circ$ であった。それぞれの刺激は2枚ずつ刺激間間隔なしで連続提示した。はじめに提示される刺激を第1刺激，引き続いて提示される刺激を第2刺激とし，第1刺激と第2刺激間で，表情や人物が変化するように刺激を組み合わせた。第2刺激はすべて笑顔刺激とし，第2刺激に対して①同じ人物の真顔，②異なる人物の笑顔，③異なる人物の真顔，を第1刺激として先行提示した（Fig. 1）。これらの刺激組み合わせは，第1刺激と第2刺激間で，それぞれ①表情変化，②人物変化，③表情・人物両変化（両変化）を生じさせた。また，表情変化のみ倒立での提示も行った。第1刺激の持続時間は750 ms，第2刺激の持続時間は250 ms，試行間間隔は1000 msであった。第1刺激と第2刺激の間に刺激間間隔は設けなかった（Fig. 2）。第1刺激，第2刺激の提示を1試行として，それぞれの刺激組み合わせに対し，60試行（30刺激組み合わせ $\times$ 2回）行った。提示は刺激組み合わせ種類ごとにブロック提示した。刺激ブロックの提示順序は被験者間でランダムとした。

被験者は，刺激中央の凝視点（赤色の十字）から目を離さぬようにしながら，提示される刺激を注視するよう教示された。行動反応は求めなかった。

脳波（EEG）は鼻尖を基準として，10-20法の6部位，正中線上前頭部（Fz），中心部（Cz），頭頂部（Pz），後頭部（Oz），左右後側頭部（T5，T6）から導出した（0.05-30 Hz）。また，水平および垂直眼電図（EOG）をそれぞれ双極導出した。EEG，EOGは250 HzでA/D変換し，

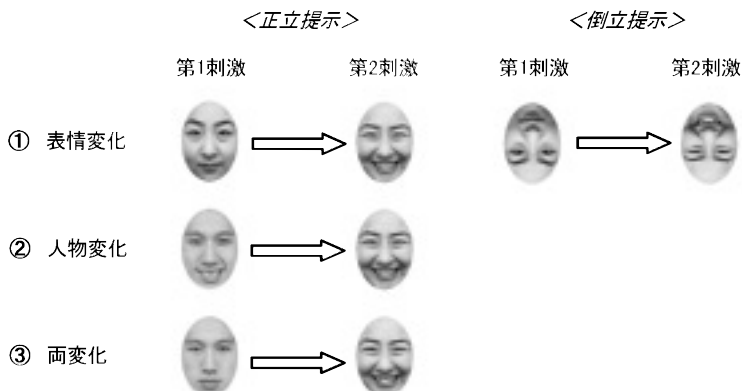


Fig. 1 実験1で用いた刺激組み合わせ例

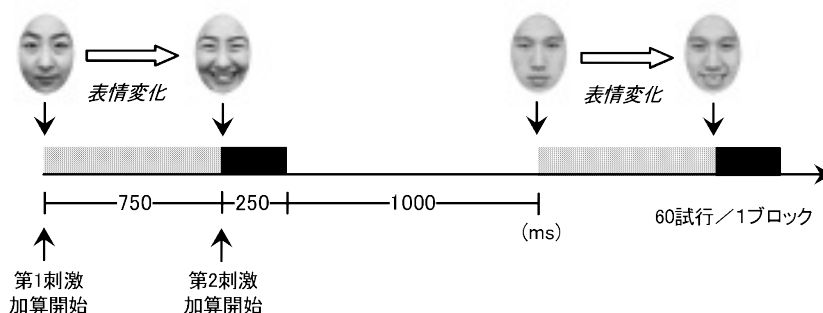


Fig. 2 刺激提示方法（表情変化）

第1刺激、第2刺激とも、刺激提示前100 ms区間の平均電位を基準として、刺激提示後700 ms間を刺激組み合わせブロックごとに加算平均した。EEG、EOGの活動が $100 \mu\text{V}$ を超える試行は自動的に除去された。

表情変化の効果を見るため、まず表情変化の第2刺激によって惹起されたERPと、人物変化、両変化の第2刺激によって惹起されたERPとの比較を行った。また、変化を伴わない表情刺激に対するERPに対する検討を行うため、第1刺激として提示された異なる表情刺激間でのERPの比較も行った。さらに、表情変化に関しては正立提示された場合と倒立提示された場合での第1刺激、第2刺激に対するERPの比較も行った。データは反復測定ANOVAを用いて処理し、必要な場合にはGreenhouse-Geisser法で自由度の補正を行った。下位検定としてTurky法を用いた。

### 2.1.2 結果

それぞれの変化タイプの第1刺激、第2刺激に対する総平均波形をFig. 3に示す（上が第1刺激、下が第2刺激に対する波形を示す）。第1刺激、第2刺激ともに、全ての刺激組み合わせタイプに対して左右後側頭部（T5、T6）において潜時約170 msに明瞭な陰性成分（N170）が生じた。またCzを中心とした正中線上前頭部—中心部では、第1刺激において全ての刺激組み合わせタイプに対しVPP成分とみられる陽性波が生じた。第2刺激ではVPPは明瞭ではなく、刺激組み合わせタイプにより陽性波の潜時、振幅にばらつきが見られた。

最も早い変化タイプの効果は、後側頭部におけるN170潜時帯で見られた。T5、T6部位におけるN170頂点振幅・潜時をFig. 4に示す。第1刺激では、N170成分に明瞭な違いは見られなかったが、第2刺激では、人物変化、両変化、表情変化の順に振幅が増強が見られた。N170振幅・潜時に対して、3変化タイプ（表情変化、人物変化、両変化） $\times$  2電極部位（T5、T6）の2要因分散分析を行ったところ、第2刺激に対するN170頂点振幅で変化タイプの主効果が有意であった（ $F(2,18)=16.3$ ,  $p<.001$ ）。下位検定の結果、人物変化、両変化に比べ、表情変化に対するN170振幅が有意に大きく（ $p<.05$ ）、人物変化に比べ両変化に対するN170振幅が大きい傾向が見られた（ $p<.1$ ）。さらに電極の主効果が有意であり、左後側頭部位（T5）より右後側頭部位（T6）の方が有意に大きかった（ $F(1,9)=12.5$ ,  $p<.01$ ）。この電極の右側優位性は、表情変化においてより明瞭であったが、変化タイプと電極の交互作用は有意傾向にとどまった（ $p=.062$ ）。第2刺激のN170頂点潜時と第1刺激のN170頂点振幅・潜時に関しては、いずれも有意な効果は得られなかった。

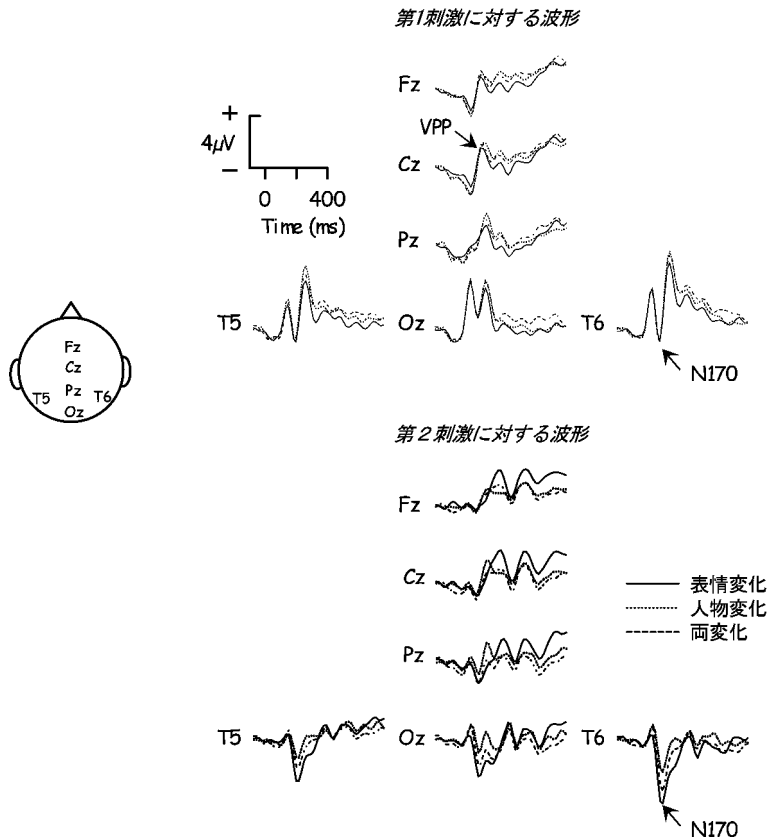


Fig. 3 第1刺激, 第2刺激における, 表情変化, 人物変化, 両変化に対する被験者間総平均 ERP 波形

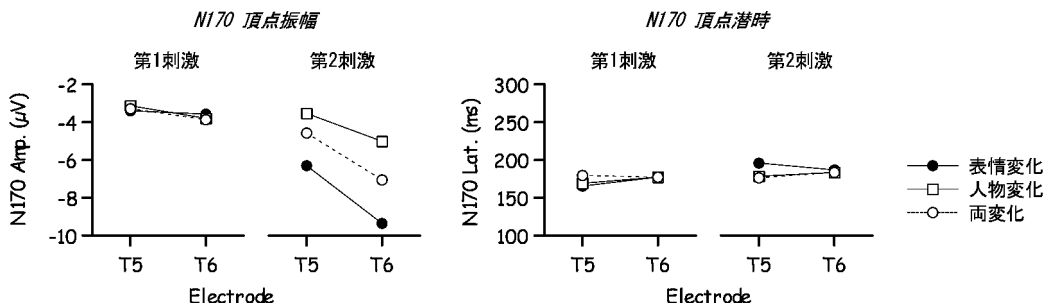


Fig. 4 第1刺激, 第2刺激における, N170 頂点振幅・潜時

次に, 正立, 倒立で提示された表情変化に対する総平均 ERP 波形の重ね描きと, T5, T6 部位における N170 頂点振幅, 潜時を Fig. 5 に示す。第1刺激では, 倒立提示よりも正立提示において N170 がわずかに増強した。一方第2刺激では, 正立表情変化に対して N170 が増強し, 正立提示と倒立提示間での N170 振幅の差は非常に明瞭であった。正立表情変化, 倒立表情変化それぞれの N170 頂点振幅, 潜時に対して, 提示順序 (第1刺激, 第2刺激) × 方向 (正立, 倒立) × 電極 (T5, T6) の3要因分散分析を行ったところ, N170 は第1刺激に比べ第2刺激

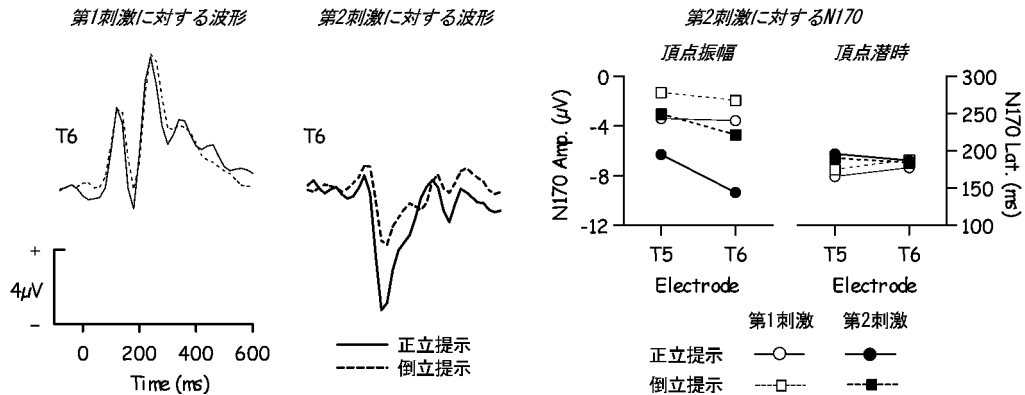


Fig. 5 正立提示・倒立提示表情変化に対する被験者間総平均 ERP 波形と、N 170 頂点振幅・潜時

でより大きな振幅を示し ( $F(1,9)=30.5, p<.001$ ), 倒立提示に比べ正立提示でより大きな振幅を示した ( $F(1,9)=127.2, p<.001$ )。また有意傾向ではあるが、右半球優位の電極の効果も見られた ( $T5<T6: p=.051$ )。さらに、提示順序×方向 ( $F(1,9)=17.8, p<.01$ ), 提示順序×電極 ( $F(1,9)=5.3, p<.05$ ), 提示順序×方向×電極 ( $F(1,9)=5.4, p<.05$ ) の交互作用が有意であった。

第1刺激, 第2刺激ごとに方向×電極の2要因ANOVAを行ったところ, 第1刺激では方向の主効果のみが有意であり, 倒立提示より正立提示で振幅が大きかった ( $F(1,9)=41.9, p<.001$ )。他方第2刺激では, 方向の主効果 (倒立<正立:  $F(1,9)=88.6, p<.001$ ) に加え, 電極の主効果 ( $T5<T6: F(1,9)=17.2, p<.01$ ) も有意であった。またこの電極の効果は, 倒立提示よりも正立提示で顕著な傾向が見られた ( $p<.058$ )。さらに, 提示順序による方向の効果の違いを検証するため, T6部位におけるN170振幅について, 提示順序(第1刺激, 第2刺激)×方向(正立, 倒立)の2要因分散分析を行った。その結果, 提示順序の主効果(第1刺激<第2刺激:  $F(1,9)=24.1, p<.01$ )と方向の主効果(倒立提示<正立提示:  $F(1,9)=87.1, p<.001$ )に加え, 提示順序と方向の交互作用が有意であり ( $F(1,9)=31.3, p<.001$ ), 正立提示と倒立提示間でのN170振幅の差は, 第1刺激よりも第2刺激で大きいことが示された。

### 2.1.3 考察

表情変化と人物変化, 両変化間での電位反応の違いは, 後側頭部位において惹起する陰性電位と, 前頭-中心部位において惹起する陽性電位において見られた。後側頭部位と前頭-中心部位では, どちらも潜時約170msに顔の認識に関わる電位(N170, VPP)が生起することが報告されているが (Bentin et al., 1996; Jeffreys, 1989; 諸富・三好1994), 本実験においては, 後側頭部位で惹起した陰性電位がN170に相当すると考えられるのに対し, 前頭-中心陽性電位の出現潜時は170msより明瞭に延長した。本研究では, 表情変化に対するより迅速な処理を反映すると考えられるN170の振る舞いに注目し分析を行った。

表情変化の第2刺激に対するN170振幅は, 人物変化あるいは表情・人物両変化に対するN170と比べ有意に増強した。第2刺激は全ての変化タイプにおいて同一(笑顔)の刺激を提示しているため, 第2刺激におけるN170の違いは, 惹起刺激の物理的な要因によるものではな

い。一方第1刺激では、変化タイプにより異なる表情が提示された（表情変化と両変化では真顔、人物変化では笑顔）にも関わらず、N 170に有意な差異は見られなかった。これは、表情の違いがN 170に影響を及ぼさないとする先行研究（Eimer & Holmes, 2002; Holmes et al., 2003）の知見と一致する。以上の結果から、N 170は表情の違いそのものによっては影響を受けないが、表情の異なる顔刺激を連続で提示することによって生じる表情の変化によって振幅が増強することが示唆された。

表情変化の知覚がN 170を増強させたことは、表情変化を倒立で提示した場合のN 170との比較によっても裏付けられる。正立提示表情変化と倒立提示表情変化に対するN 170を比較した場合、第1刺激、第2刺激どちらにおいても正立提示より倒立提示でN 170振幅が減衰したが、この提示方向の効果は第1刺激よりも第2刺激で顕著であった。顔を倒立で提示した場合、表情や顔つきなど顔の様々な認識が阻害される（Yin, 1969; Thompson, 1980; Searcy & Bartlett, 1996）。よって、第1刺激と比べ第2刺激においてより強い倒立効果が生じたことは、第2刺激におけるN 170増強が、顔としての知覚だけではなく、表情変化の知覚と関連していることを示唆している。また有意傾向ではあるが、人物変化や倒立提示表情変化と比較して、表情変化に対するN 170成分の右部位優位性が強まったことは、先行研究において指摘されている表情処理の右半球優位性（Rolls, 1999; Wijers et al., 2002）の知見と合致しており、表情変化の知覚がN 170を増強に関わるという推測を裏付けている。さらに、実験後に行った被験者の内省報告では、同一人物の表情変化によって、表情の動きの知覚が生じることが指摘された。先行研究においては、N 170が視線や口の閉開など顔の動きに対して感度があることが報告されている（Puce et al., 2000）。これらのことから、本実験で示された表情変化に対するN 170の増強は、表情の動きの知覚と関連していることが推測される。

しかし本実験では、表情の動きが知覚されづらいと考えられる異なる人物間での表情変化に対しても、人物変化と比較してN 170が増強する傾向がみられた。よって本実験において見られた表情変化に対するN 170増強が、動きを伴う表情の知覚に対して特異的な反応であるのか、あるいはそのほかの要因と関係するのかを検証する必要がある。Puce et al. (2000)は、目を逸らす、あるいは口を開けるといった動きに対してN 170が増強する要因として、知覚された刺激の顕著さがN 170振幅に影響を及ぼす可能性を指摘している。本実験においても、人物の変化より表情の変化に対して注意が喚起されることが報告されていることから、刺激に対する注意の喚起がN 170に影響を及ぼしている可能性が考えられる。さらに、今回用いた刺激組み合わせは、惹起刺激としては同一の表情刺激を用いていたが、口元の輝度の違いなど刺激間の物理的な変化量は統制されていなかった。後側頭皮質は視覚的な処理過程に特化した部位であり、輝度の変化に対する感度があると考えられることから、N 170振幅が刺激の物理的な変化量の違いを反映していた可能性も考えられる。そこで実験2、実験3では、刺激の物理的変化量と、刺激に対する選択的注意がN 170に及ぼす影響について検討していく。

## 2.2 実験2：表情変化ERPに対する表情の物理的変化量の効果の検討

実験2では、N 170振幅に対する物理的な変化量の効果を検証するため、画像処理によって真顔と笑顔を混合した情動的な強度の弱い笑顔刺激を作成し、物理的な変化量の大きな表情変化と、小さな表情変化間で反応に違いが生じるのかを検証した。また、変化量は等しいが意味が異なる表情変化間の反応を比較するため、同様の刺激組み合わせを逆方向（笑顔から真顔）で

提示した場合の表情変化に対する反応も検証した。さらにこれらの刺激組み合わせに対し、表情認識を阻害するとされる倒立での提示を行い、正立提示との比較を行った。正立提示／倒立提示間では、第1刺激と第2刺激間の変化量は等しいため、これらの刺激組み合わせ間で差が生じた場合、物理的な変化量と関わらない表情変化の知覚に関わる効果であると考えられる。

### 2.2.1 方法

大学生および大学院生 14 名（21-27 歳，平均年齢 23.3 歳）を被験者とした。

刺激は実験 1 で用いた男女 30 名（男性 15 名，女性 15 名）の真顔と笑顔刺激を使用した。さらに、同一人物の真顔刺激と笑顔刺激を 50% の割合で混合した笑顔刺激（以下，“50%笑顔”）を作成した。50%笑顔刺激は，真顔刺激，笑顔刺激からの物理的な差異が等しく，情動的な強度は笑顔刺激より弱かった。刺激の観察距離，視角度は実験 1 と同様であった。

それぞれの刺激は，同一人物の表情変化が生じるように 2 枚ずつ組み合わせ，実験 1 と同様に刺激間隔なしで連続提示した。表情変化は合計 6 種類であった。これらの表情変化のうち，半分はよりポジティブな方向へ情動が変化し，残りの半分はよりニュートラル方向へと情動が変化した。ポジティブ方向への表情変化は，「真顔→笑顔」，「真顔→50%笑顔」，「50%笑顔→笑顔」の 3 種類であり，ニュートラル方向への表情変化は，ポジティブ方向への表情変化を逆の順序（「笑顔→真顔」，「50%笑顔→真顔」，「笑顔→50%笑顔」）で提示した。「50%笑顔⇔真顔」，「笑顔⇔50%笑顔」は，第 1 刺激と第 2 刺激間の変化量が等しく，それぞれ「笑顔⇔真顔」の 2 分の 1 の変化量であった（Fig. 6）。

第 1 刺激，第 2 刺激の持続時間はそれぞれ 750 ms，400 ms，試行間隔は 1000 ms であった。ひとつの表情変化につき，計 60 試行（30 刺激組み合わせ×2 回）提示された。1 ブロックは，それぞれの刺激組み合わせを 10 試行ずつ含んだ計 60 試行をランダム順に提示した。正立提示，倒立提示それぞれにつき 6 ブロックずつ行った。ブロックの提示順序はランダムとした。

被験者は，凝視点から目を離さぬようにしながら刺激を注視するよう教示された。記録および処理は実験 1 と同様であった。

### 2.2.2 結果

第 2 刺激に対する T 5，T 6 における総平均 ERP 波形と，N 170 頂点振幅・潜時を Fig. 7 に

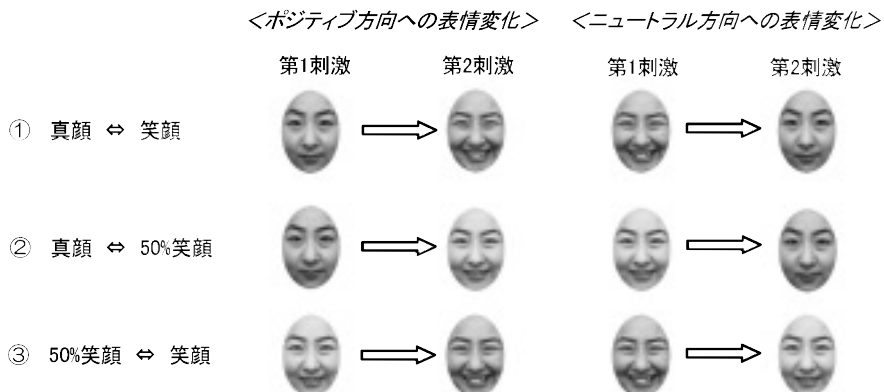


Fig. 6 実験 2 で用いた刺激組み合わせ例

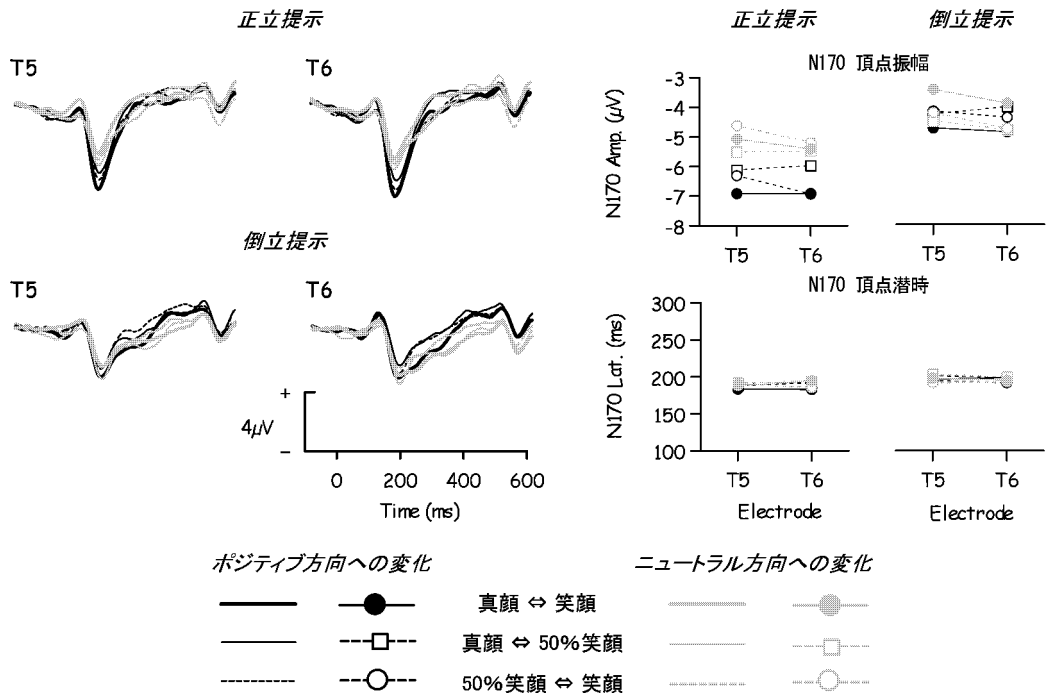


Fig. 7 後側頭部位における総平均波形と、N 170 頂点振幅、潜時

示す。全体的に正立提示より倒立提示において振幅が小さく、また潜時が遅い傾向が見られた。正立提示、倒立提示それぞれの N 170 振幅・潜時について、2 変化方向(ポジティブ方向、ニュートラル方向) × 3 刺激組み合わせ (真顔⇔笑顔, 真顔⇔50%笑顔, 50%笑顔⇔笑顔) × 2 電極部位 (T5, T6) の 3 要因の分散分析を行った。その結果、正立提示においては変化方向の主効果のみが有意であり ( $F(1,13)=8.93, p<.01$ ), ニュートラル方向への変化より、ポジティブ方向への変化において有意に N 170 振幅が増強したが、刺激組み合わせの効果、電極部位の効果は見られなかった。一方、倒立提示においては、N 170 振幅に変化方向、刺激組み合わせ、電極のいずれの効果も見られなかった。また N 170 潜時に関しては、正立提示、倒立提示ともいずれの効果も有意ではなかった。

### 2.2.3 考察

実験 2 では、刺激間の物理的な変化量の大きさが N 170 振幅に影響しないことが示された。一方、表情の変化方向の効果は正立提示条件において明瞭に見られ、ポジティブな表情へ変化する場合の方が、ニュートラルな表情へ方向する場合よりも N 170 振幅が増強した。ポジティブ表情への変化とニュートラル表情への変化は物理的な変化量は同一であり、またこの変化方向の効果は、表情の知覚が阻害される倒立提示において消失した。このことから、N 170 に対する表情変化方向の効果が、物理的な変化量と関わらない表情変化の知覚処理に関わるものであることが示された。

本実験において見られた表情変化の意味の違いに対する N 170 の振る舞いの差は、先行研究によって指摘された顔の動きによる N 170 変動と類似する。Puce et al. (2000) は、視線を観

察者に向ける動きよりも左右にそむける動きにおいて、また口を閉じる動きよりも開ける動きにおいて N 170 が増強すると報告している。Puce らは、目をそむける、口を開ける動きが、それぞれ他者の注意の方向の移動や会話開始の合図となるため、観察者にとってより重要なシグナルとなっていることを指摘している (Puce & Perrett, 2003)。この解釈に従うと、ポジティブ表情への変化のほうが、ニュートラル方向への変化と比較して注意を喚起したため、N 170 が増強したと考えられる。この結果は、N 170 が表情の変化に感度があるばかりではなく、表情変化の種類やその重要性に対して感度を持つことを示唆している。

### 2.3 実験 3 : 表情変化 ERP に対する注意の効果の検討

実験 1 では、動きの知覚を誘発する同一人物の表情変化に加え、動きが知覚されづらい異なる人物の表情変化 (両変化) に対しても N 170 が増強する傾向が見られた。また内省報告では、同一人物の表情変化に対して表情の動きが知覚されることに加え、表情変化に対しては人物変化に比べて注意が喚起されやすいことが指摘された。先行研究においては、課題による注意の操作は N 170 に影響を及ぼさないとする報告 (Severac Cauquil et al., 2000; Carmel & Bentin, 2002; Rousselet et al., 2004) がある一方、顔刺激に空間的注意を向けた場合に N 170 が増強し、かつ表情の効果は N 170 に現れないという報告もある (Holmes et al., 2003)。また PET を用いた研究では、情動刺激の valence (快-不快), arousal (覚醒度), 注意は、それぞれ独立に右半球の有線外視覚皮質と側頭皮質前部の活動を増強させることが示されている (Lane et al., 1999)。これらの知見は、表情の動きの知覚とは関係しない顔刺激そのものに対する注意の喚起が、N 170 増強に関与している可能性を示唆している。

そこで実験 3 では、実験 1 で見られた N 170 変動が表情の動きや変化に関連した処理を反映しているのか、あるいは情動の処理とは独立の顔刺激に対する注意の喚起によるものであるかを明らかにするため、表情変化に対する選択的注意を操作した場合の N 170 の振る舞いを検証した。

#### 2.3.1 方法

大学生および大学院生 14 名 (21-27 歳, 平均年齢 23.4 歳) を被験者とした。

刺激は、実験 1 で使用したのと同じ真顔刺激、笑顔刺激それぞれ 15 枚, 合計 30 枚を用いた。さらに様々な車の白黒写真 30 枚を用意し、背景を含め顔刺激と同じ大きさの楕円にカットしたものをを用いた。刺激は実験 1 と同様に 2 枚ずつ組み合わせ、刺激間隔なしで連続提示した。真顔あるいは笑顔の第 1 刺激に対し、それぞれ①同一人物の表情違いの顔, ②異なる人物の同じ表情の顔, ③表情, 人物ともに異なる顔, ④車刺激, を第 2 刺激として提示し、計 8 種類の刺激組合せを作成した (Fig. 8)。これらの刺激組合せは、第 1 刺激と第 2 刺激間で①表情変化, ②人物変化, ③表情人物両変化 (両変化), ④顔から車 (顔→車変化), という 4 タイプの変化を生じさせた。これら 8 種類の刺激組み合わせは、1 ブロックにつきそれぞれ 15 試行ずつ (合計 120 試行) ランダム順に提示された。第 1 刺激, 第 2 刺激の提示時間はそれぞれ 750 ms, 400 ms, 試行間隔は 1300~1400 ms 間でランダムとした。

第 1 刺激と第 2 刺激間で、人物が変化するかどうかに関わらず表情の変化を検出する課題 (表情変化検出課題: ターゲットとなる変化タイプ①, ③), 表情が変化するかどうかに関わらず人物の変化を検出する課題 (人物変化検出課題: ターゲットとなる変化タイプ②, ③), 顔から車

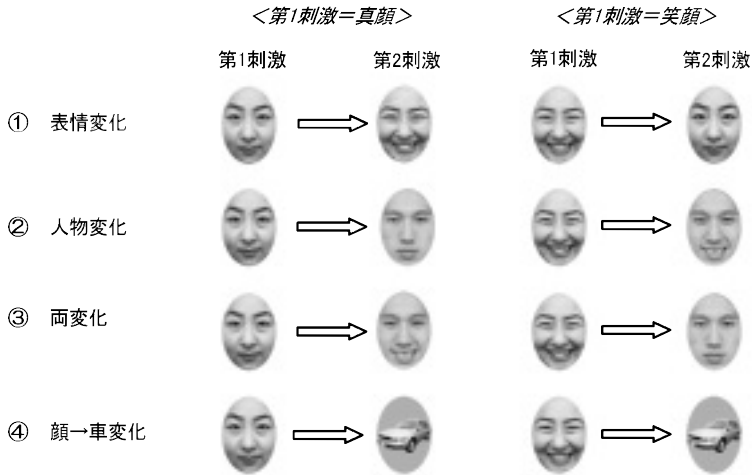


Fig. 8 実験3で用いた刺激組み合わせ例

への変化を検出する課題（車検出課題：ターゲットとなる変化タイプ④）を、それぞれ前半、後半2ブロックずつランダム順に行った。反応は片手でのボタン押しで、前半、後半で反応する手を替えた。反応手の順序は、被験者間でカウンターバランスをとった。

記録方法および記録電極部位は実験1と同様であった。それぞれの変化タイプの第2刺激に対して惹起されたN170頂点振幅、潜時は、課題ごとに比較した。

### 2.3.2 結果

#### 1) 行動指標

それぞれの課題の反応時間の結果を第1刺激の種類ごとに Fig. 9 に示す。まず、課題の効果を見るため、3課題（表情変化検出、人物変化検出、車検出）×2第1刺激（真顔、笑顔）の2要因分散分析を行った。（その際、表情変化検出課題、人物変化検出課題におけるそれぞれの第1刺激に対する反応時間は、表情変化あるいは人物変化と両変化の反応時間を平均化して用いた。）その結果、課題の主効果が有意であり ( $F(2,26)=45.6, p<.001$ )、車検出課題、表情変化検出課題、人物変化検出課題の順に反応時間が延長した。また、第1刺激の主効果（真顔<笑顔： $F(1,13)=11.7, p<.005$ ）と、課題×第1刺激の交互作用 ( $F(2,26)=4.4, p<.05$ ) が有意であり、表情変化検出課題においてのみ、第1刺激が笑顔の場合より真顔の場合に反応時間の短縮が見られた。

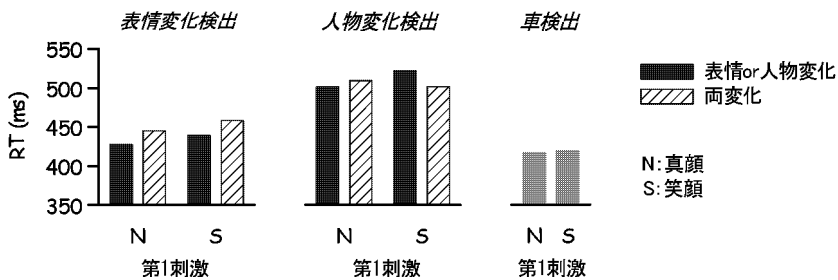


Fig. 9 実験3における平均反応時間

次に、表情変化検出課題、人物変化検出課題における変化タイプの効果を検証するため、2課題（表情変化検出、人物変化検出）× 2第1刺激（真顔、笑顔）× 2変化タイプ（表情あるいは人物のみの変化、両変化）の3要因分散分析を行った。その結果、課題（表情変化検出課題 < 人物変化検出課題： $F(1,13)=40.1, p<.001$ ）、第1刺激（真顔 < 笑顔： $F(1,13)=15.3, p<.01$ ）、変化タイプ（表情あるいは人物のみ変化 < 両変化： $F(1,13)=7.9, p<.05$ ）の主効果が有意であった。さらに、課題×変化タイプ（ $F(1,13)=30.3, p<.001$ ）、第1刺激×変化タイプ（ $F(1,13)=4.9, p<.05$ ）、課題×第1刺激×変化タイプ（ $F(1,13)=8.3, p<.05$ ）の交互作用もそれぞれ有意であった。表情変化検出課題、人物変化検出課題ごとに第1刺激×変化タイプの2要因分散分析を行ったところ、表情変化検出課題では第1刺激（真顔 < 笑顔： $F(1,13)=19.6, p<.001$ ）と変化タイプ（表情変化 < 両変化： $F(1,13)=30.1, p<.001$ ）の主効果が有意であった。一方人物変化検出課題では、第1刺激×変化タイプの交互作用が有意であり（ $F(1,13)=12.2, p<.01$ ）、第1刺激が真顔の場合には、両変化と比較して人物変化で反応時間が短縮したが、第1刺激が笑顔の場合には、逆に人物変化と比較して両変化で反応時間が短縮した。また、人物のみが変化した場合に第1刺激の効果（真顔 < 笑顔）がみられたが、両変化では第1刺激の効果は見られなかった。

それぞれの課題におけるFA率を1刺激の種類ごとに Fig. 10 に示す。FA率における課題の効果を見るため、3課題（表情変化検出課題、人物変化検出課題、車検出課題）× 2第1刺激（真顔、笑顔）の2要因分散分析を行った。その際、各課題におけるそれぞれの第1刺激に対するFA率は、複数の種類のディストラクタに対するFA率を平均化して用いた。その結果、課題（ $F(2,26)=14.6, p<.001$ ）の主効果が有意であり、車検出課題よりも表情変化検出課題、人物変化検出課題で有意にFA率が高かった。また第1刺激の主効果（ $F(1,13)=5.7, p<.05$ ）と、課題×第1刺激の交互作用が有意であり（ $F(2,26)=4.0, p<.05$ ）、表情変化検出課題でのみ第1刺激の効果（真顔 < 笑顔）がみられた。

Hit率を1刺激の種類ごとに Fig. 11 に示す。Hit率に関しても、FA率と同様に3課題×2第1刺激の2要因分散分析を行ったところ、課題の主効果のみが有意であり（ $F(2,26)=27, p<.001$ ）、車検出課題、表情変化検出課題と比較して人物変化検出課題で有意なHit率の低下が見られた。次に表情変化検出課題、人物変化検出課題におけるターゲットの種類（表情変化あるいは人物変化、両変化）の効果を見るため、2課題×2第1刺激×2ターゲットの3要因分散分析を行った。その結果、課題（ $F(1,13)=22.0, p<.001$ ）とターゲット（ $F(1,13)=18.6,$

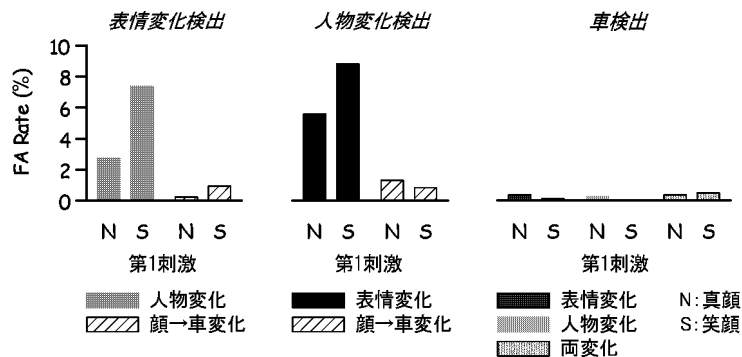


Fig. 10 実験3におけるFA率

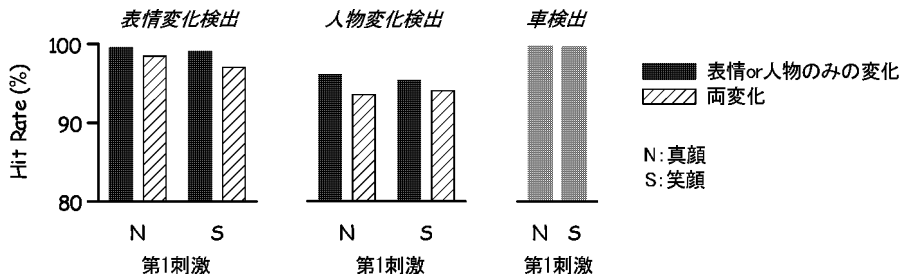


Fig. 11 実験3におけるHit率

$p < .001$ ) の主効果が有意であり、人物変化に比べて表情変化で有意にHit率が高く、表情・人物両方が変化した場合と比較して、表情あるいは人物のみが変化した場合で有意にHit率が高かった。

## 2) ERP

### <N170>

表情変化、人物変化、両変化に対するT6部位における波形と、N170頂点振幅、潜時を課題ごとにFigs. 12, 13に示す。顔から車への変化以外の変化タイプに対しては、後側頭部位においてN170成分が惹起した。N170の変化タイプ間での振幅の違いは、真顔からの変化で見られたが、笑顔からの変化では不明瞭であった。第1刺激が真顔の刺激組み合わせでは、課題に関わらずN170は表情変化に対して最も大きく、人物変化において最も小さい振幅を示した。

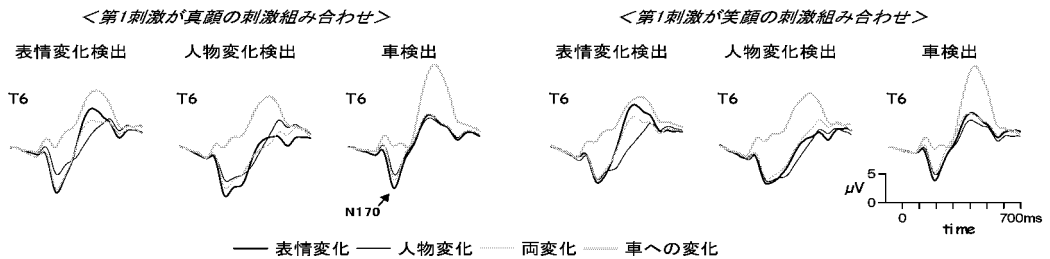


Fig. 12 T6部位における第2刺激に対する総平均ERP波形

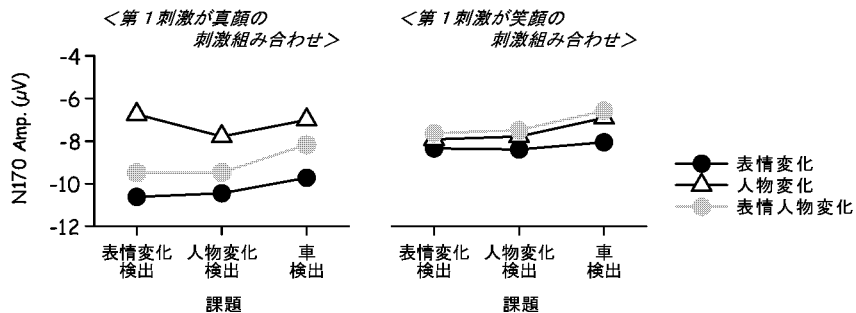


Fig. 13 T6部位における第2刺激に対するN170頂点振幅値

また両変化に対する N 170 振幅値は人物変化と比較して大きく、車検出課題と比較して表情変化検出課題、人物変化検出課題において若干増強が見られた。一方、第 1 刺激が笑顔の刺激組み合わせでは、刺激組み合わせ間の N 170 振幅の違いは非常に不明瞭であった。N 170 頂点振幅に対して、第 1 刺激 (真顔, 笑顔) × 課題 (表情変化検出, 人物変化検出, 車検出) × 変化タイプ (表情変化, 人物変化, 両変化) × 電極部位 (T 5, T 6) の 4 要因分散分析を行った。その結果、N 170 頂点振幅では、第 1 刺激表情 (笑顔 < 真顔 :  $F(1,13) = 16.2, p < .01$ ), 課題 ( $F(2,26) = 4.4, p < .05$ ), 変化タイプ ( $F(2,26) = 15.0, p < .001, \epsilon = .69$ ), 電極 (T 5 < T 6 :  $F(1,13) = 5.9, p < .05$ ) の主効果が有意であった。さらに、第 1 刺激 × 変化タイプ ( $F(2,26) = 9.9, p < .01, \epsilon = .70$ ), 第 1 刺激 × 課題 × 変化タイプ ( $F(4,52) = 3.6, p < .05$ ), の交互作用が有意であった。

第 1 刺激の種類ごとに、3 課題 × 3 変化タイプ × 2 電極部位の 3 要因分散分析を行った。その結果、第 1 刺激が真顔の場合、変化タイプ ( $F(2,26) = 13.5, p < .001, \epsilon = .65$ ), 電極部位 (T 5 < T 6 :  $F(1,13) = 5.4, p < .05$ ) の主効果が有意であり、変化タイプ的主効果について下位検定を行ったところ、人物変化に比べて表情変化と両変化で N 170 振幅が増強した。また、課題 × 変化タイプの交互作用が有意であり ( $F(4,52) = 3.4, p < .05$ ), 両変化のみ、車検出課題に比べ表情変化検出課題と人物変化検出課題で N 170 振幅が増強する課題の効果が見られた。一方、第 1 刺激が笑顔の場合では、変化タイプ ( $F(2,26) = 10.0, p < .001$ ), 電極部位 (T 5 < T 6 :  $F(1,13) = 6.0, p < .05$ ) の主効果のみが有意であり、変化タイプ的主効果について下位検定を行ったところ、人物変化、両変化に比べて表情変化で N 170 が増強した。

N 170 頂点潜時に関しても N 170 頂点振幅と同様の 4 要因分析を行ったが、いずれの主効果、交互作用も有意ではなかった。

### <P 3>

次に正中線上頭頂部位における波形を Fig. 14 に示す。正中線上頭頂部では明瞭な P 3 成分が惹起した。P 3 振幅について、3 課題 (表情変化検出課題, 人物変化検出課題, 車検出課題) × 2 第 1 刺激 (真顔, 笑顔) × 4 変化タイプ (表情変化, 人物変化, 両変化, 顔 → 車変化) の 3 要因分散分析を行った。その結果、変化タイプ的主効果 ( $F(3,39) = 6.2, p < .001$ ) と課題 × 変化タイプの交互作用 ( $F(6,78) = 48.1, p < .001, \epsilon = .28$ ) が有意であった。それぞれの課題における変化タイプの効果を検証するため、第 1 刺激が真顔の場合と笑顔の場合の値を変化タイ

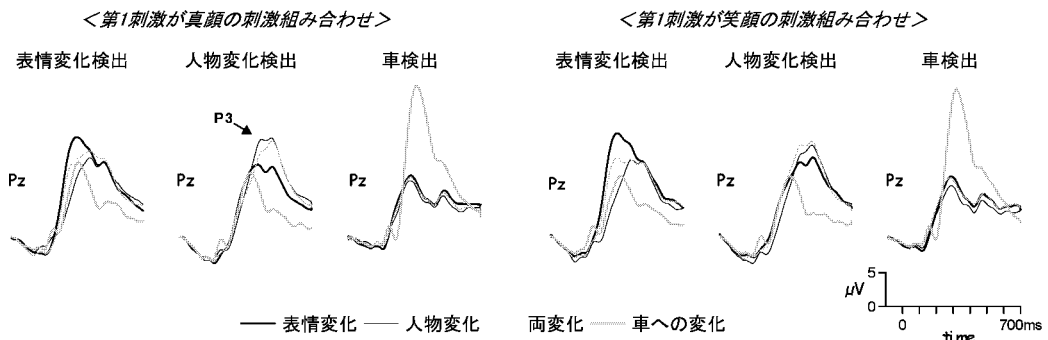


Fig. 14 正中線上頭頂部位における総平均 ERP 波形

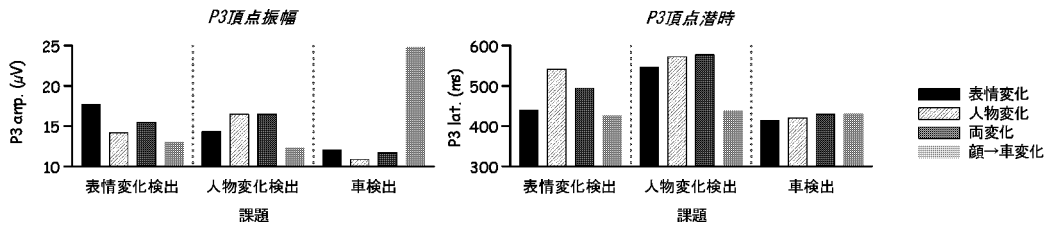


Fig. 15 正中線上頭頂部位における第2刺激に対するP3頂点振幅, 潜時

プごとに平均し, 課題ごとに4変化タイプの1要因分散分析を行った。(第1刺激が真顔の場合と笑顔の場合の値を変化タイプごとに平均したP3頂点振幅, 潜時をFig. 15に示す。) その結果, すべての課題で変化タイプの効果が有意であった(表情変化検出課題:  $F(3, 39) = 11.5$ ,  $p < .001$ , 人物変化検出課題:  $F(3, 39) = 6.6$ ,  $p < .01$ ,  $\epsilon = .63$ , 車検出課題:  $F(3, 39) = 60.1$ ,  $p < .001$ ,  $\epsilon = .39$ )。下位検定を行ったところ, 表情変化検出課題では顔→車変化に比べ表情変化と両変化でP3が大きく, さらに人物変化に比べ表情変化でP3が増強した。また人物変化検出課題では, 顔→車変化に比べ人物変化, 両変化で有意にP3が大きかった。車検出課題では, 顔→車変化に対するP3が, そのほかの変化タイプに比べて有意に増強した。

P3頂点潜時に対しても同様の3要因分散分析を行ったところ, 課題 ( $F(2, 26) = 22.6$ ,  $p < .001$ ), 第1刺激(真顔<笑顔:  $F(1, 13) = 6.0$ ,  $p < .05$ ), 変化タイプ ( $F(3, 39) = 11.3$ ,  $p < .01$ ,  $\epsilon = .46$ )の主効果と, 課題×変化タイプの交互作用 ( $F(6, 78) = 12.0$ ,  $p < .001$ ,  $\epsilon = .53$ )が有意であった。P3振幅同様, 第1刺激が真顔の場合と笑顔の場合の値を変化タイプごとに平均し, 課題ごとに4変化タイプの1要因分散分析を行ったところ, 表情変化検出課題 ( $F(3, 39) = 11.5$ ,  $p < .001$ ,  $\epsilon = .56$ )と人物変化検出課題 ( $F(3, 39) = 19.8$ ,  $p < .001$ ,  $\epsilon = .51$ )で変化タイプの効果が有意であった。下位検定の結果, 表情変化検出課題では, 顔→車変化に比べ人物変化, 両変化でP3潜時が延長し, さらに表情変化より人物変化でP3潜時が延長した。また人物変化検出課題では, 顔→車変化と比較してそのほか全ての変化タイプでP3潜時の延長が見られた。

### 2.3.3 考察

3課題間で反応時間を比較したところ, 車検出課題, 表情変化検出課題, 人物変化検出課題の順に反応時間の延長が見られた。またHit率に関しては, 車検出課題, 表情変化検出課題と比較して人物変化検出課題で低下した。これらの結果は, 同じ顔特徴の変化の検出であっても, 人物変化より表情変化のほうが迅速かつ正確に検出できることを示しており, 表情変化知覚の生物学的重要性を示唆していると考えられる。しかし, 人物変化に比べ表情変化検出が迅速であった原因としては, 本実験では真顔と笑顔という2種類の刺激のみを用いていた為, 被験者が真顔刺激と笑顔刺激間で最も顕著な違い(口の形など)に注目する方略をとった可能性が考えられる。表情変化知覚の迅速性を明確に示すためには, 今後複数の表情刺激を加えた実験を行う必要がある。

また本実験では, 異なる人物間の表情変化に比べ, 同じ人物の表情変化で有意に反応時間が短縮し, Hit率が上昇した。このように表情変化検出課題においてターゲットの変化タイプの効果が生じた要因としては, 課題と関わりのない特徴(人物)の変化が課題の遂行を妨害した為,

あるいは表情の動きの知覚が表情変化の検出を容易にした為という2つの可能性が考えられる。しかし人物変化検出課題では、Hit率は両変化と比較して人物のみが変化した場合に高くなったものの、両変化に対する一貫した反応時間の延長が見られなかった。よって課題と関わりのない特徴の変化が課題の遂行を妨害したのではなく、同じ人物間の表情変化において生じる表情の動きの知覚が表情変化の検出を容易にした可能性が示唆される。さらに表情変化検出課題では、第1刺激が笑顔の場合に反応時間の延長やFA率の上昇が見られた。この結果は、真顔から笑顔への表情変化に比べ、笑顔から真顔への表情変化の方が検出が困難であることを示唆している。

表情変化、人物変化、表情人物両変化において惹起されたN170成分を比較したところ、真顔から笑顔への表情変化では、実験1同様、人物変化と比較して明瞭なN170の増強が見られた。また、真顔を第1刺激として提示した場合のそれぞれの変化タイプに対するN170の課題の効果を検証したところ、表情変化、人物変化に対しては課題の効果は見られなかった。人物の変化の処理に注意を向ける課題であっても人物変化に対するN170が増強しなかったことは、顔刺激変化後のN170増強が単に顔刺激に対する注意の喚起を反映しているわけではなく、表情の変化に特異的な処理過程を反映していることを示唆している。

一方、両変化に対しては、車検出課題と比較して、表情変化検出課題、人物変化検出課題で有意なN170振幅の増強が見られた。表情変化検出課題だけでなく人物変化検出課題においてもN170増強が生じたことから、両変化に対する課題の効果が、表情の変化に対して注意を向けたことによるものであるのかは断定できない。しかし、表情以外の顔刺激特徴を判断させる課題を、「間接的な」表情課題と捉える研究もある(Lange et al., 2003; Surguladze, 2003)。これらの研究では、性別判断課題などを行った場合にも、顔刺激に対する注意が喚起されているため、結果的に表情に対する反応が促進されると考えられている。よって、人物変化検出課題での両変化に対するN170増強は、表情変化に対して「間接的に」注意が向けられた為である可能性が考えられる。この推測は、人物変化に対するN170が人物変化検出課題をかけた場合でも有意に増強しなかったことから裏付けられる。もし両変化に対するN170の増強が、表情変化の処理と関わらない人物変化、あるいは顔そのものに対する注意の増強を反映しているのであれば、人物のみが変化した場合においてもN170が増強しなければならない。よって、表情・人物両変化において見られた課題の効果は、どちらも表情変化の知覚に対する注意の効果であると考えられる。

表情変化と両変化を比較した場合、異なる人物間の表情変化(両変化)は顔刺激に注意を向けた場合にN170振幅が増強するのに対して、動きの知覚を伴うと考えられる同一人物の表情変化(表情変化)は課題の影響を受けず、常に最大振幅を示した。この結果から、表情変化の処理には注意が影響を及ぼすこと、さらに同一人物の表情変化に対しては、課題に関わらず強制的に注意が喚起されることが示された。これは、同一人物の表情変化によって生起する表情の動きが、自動的かつ突出した情動的処理を引き起こすことを示唆している。

一方、笑顔から真顔への逆方向の表情変化に対しては、人物変化、両変化に比べてわずかなN170の増強しか見られず、変化タイプ間の効果は不明瞭であった。この結果は実験2の結果と合致する。これらの結果は、N170が単に表情の動きが知覚された場合に増強するのではなく、情動的な意味を含有する表情が出現するのか、消失するのかといった表情変化の意味の違いに対しても感度があることを示唆している。

また刺激評価過程や注意の配分を反映するとされる P3 成分は、全ての課題でターゲットに対して増強したが、人物変化検出課題では人物変化、両変化のどちらのターゲットに対しても同じく振幅が増強したのに対し、表情変化検出課題では両変化よりも表情変化に対して P3 振幅が増強する傾向が見られた。また P3 潜時に関しては、人物変化検出課題では顔→車変化でのみ潜時の短縮が見られたが、表情変化検出課題では、表情変化に対しても潜時の短縮が見られた。本実験における P3 の振る舞いは、動きの知覚を伴う同一人物での表情変化に対して、より注意が配分され迅速に検出されることを示している。

#### 2.4 実験 4：笑顔・怒り顔への表情変化に対する ERP

実験 2, 3 では、表情の動きの知覚のみならず、表情変化の方向といった表情の動きの種類の違いが N170 振幅に影響を与えることが示唆された。しかし、N170 の増強がポジティブ表情への変化に限定されるものであるのかは明らかではない。ニュートラル方向への変化を表情の消失と解釈すれば、N170 はポジティブ表情以外の何らかの意味ある表情への変化によって増強する可能性がある。しかし、笑顔から真顔への変化はネガティブな情動への変化をも意味するため、この場合 N170 はポジティブな表情変化に限定して変動すると解釈できる。さらにこれまでの実験では、ポジティブ方向への表情変化は口を開ける運動を伴い、ニュートラル方向への表情変化は口を閉じる運動を伴った。これは口を閉じる運動よりも開ける運動を知覚した場合に N170 が増強するとした先行研究の結果と類似する (Puce et al. 2000)。よって、実験 1 から実験 3 までの結果のみでは、N170 変動が表情の変化に対するものであるのか、また口の動きに対する感度であるのかを明らかにすることは出来ない。

そこで実験 4 では、ネガティブな表情への表情変化であり、かつ口の開閉運動を伴わない、真顔から怒り顔への表情変化と、真顔から笑顔への表情変化に対する反応の比較を行った。

##### 2.4.1 方法

大学生および大学院生 12 名 (平均年齢 23.3 歳) を被験者とした。

顔刺激は、実験 1 で用いた男性 15 名、女性 15 名の真顔、笑顔写真と、同じ人物 30 名の怒り顔写真を用いた。また様々な車の写真 30 枚、顔刺激とほぼ等輝度のランダムドット刺激 1 枚を用意した。車刺激、ランダムドット刺激に対しても、顔刺激と同じ大きさの楕円にカットした刺激を用いた。刺激の大きさは 100 cm の観察距離で視角度縦約 2.5°×横約 2°であった。

実験 1 同様、2 枚の刺激を刺激間隔なしで連続提示した。第 2 刺激として笑顔と怒り顔を等確率で提示し、それぞれの第 2 刺激に対し、①第 2 刺激と同じ人物の真顔、②第 2 刺激と異なる人物の真顔、③顔以外の対象物、④ランダムドットの 4 種類の刺激を等しい割合で組合せ、第 1 刺激として先行提示した (Fig. 16)。課題として第 2 刺激に対して笑顔か怒り顔かを弁別し、左右手親指でのボタン押し反応を求めた。1 組合せ提示を 1 試行とし、1 ブロックにつき 48 試行 (4 先行刺激×2 第 2 刺激表情×6 試行) を 10 ブロック行った。ブロック内の刺激組合せの提示順序はランダムであった。また、左右反応手に対する表情の割り当ては前半 5 ブロックと後半 5 ブロックで入れ替えた。第 1 刺激、第 2 刺激の持続時間はそれぞれ 750 ms, 400 ms、第 2 刺激終了から次の第 1 刺激までの間隔は 1000 ms とした。

平均反応時間は、第 1 刺激の種類と第 2 刺激の表情ごとに算出された。脳波の記録および処理は実験 1 と同様であった。

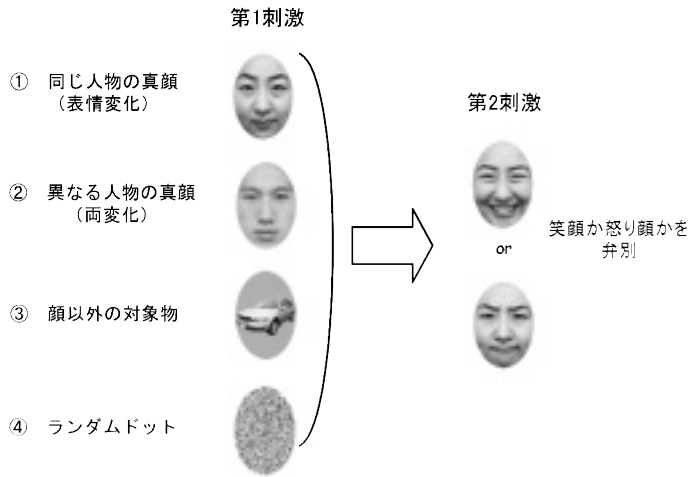


Fig. 16 実験4の刺激組み合わせ例

## 2.4.2 結果

### 1) 行動指標

8種類の刺激組み合わせに対する平均反応時間を Fig. 17 に示す。平均反応時間に対して、第1刺激(同じ人物の真顔, 異なる人物の真顔, 対象物, ランダムドット)×第2刺激表情(笑顔, 怒り顔)の2要因分散分析を行った。その結果, 第1刺激種類の主効果 ( $F(3,33)=12.2, p<.001$ ) と, 第1刺激種類×第2刺激表情の交互作用 ( $F(3,33)=4.1, p<.05$ ) が有意であった。第2刺激表情ごとに第1刺激種類の1要因分散分析を行ったところ, どちらの表情においても第1刺激の効果が有意であった(第1刺激=笑顔:  $F(3,33)=9.9, p<.001, \epsilon=.56$ , 第1刺激=怒り顔:  $F(3,33)=6.9, p<.001$ )。第2刺激が笑顔の場合には, 第1刺激として同じ人物の真顔が提示された場合のほうが, そのほかの刺激を提示された場合よりも反応時間が短縮した。また, 第2刺激が怒り顔の場合には, 異なる人物の真顔, ランダムドットが提示された場合よりも, 同じ人物の真顔が第1刺激として提示された場合に反応時間の短縮が見られた。さらに第1刺激の種類ごとに表情の効果を検討したところ, 第1刺激として同じ人物の真顔を提示した場合にのみ, 怒り顔よりも笑顔において反応時間の短縮が見られた。

また, それぞれの刺激組み合わせに対するFA率, 無反応率に対しても, 4第1刺激×2第2刺激表情の2要因分散分析を行ったところ, FA率, 無反応率とも第2刺激表情の主効果が有意であり (FA率:  $F(1,11)=10.4, p<.01$ , 無反応率:  $F(1,11)=5.7, p<.05$ ), 笑顔よりも怒り顔でFA率, 無反応率が高かった。

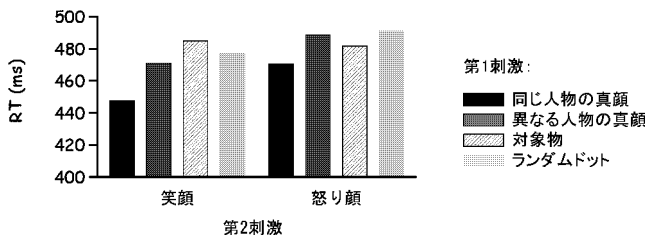


Fig. 17 実験4における平均反応時間

## 2) ERP

右後側頭部位 (T6) と正中線上頭頂部位 (Pz) における被験者間総平均 ERP 波形を Fig. 18 に示す。笑顔刺激, 怒り顔刺激どちらに対しても, 全ての刺激組み合わせに対して N170 が惹起したが, 刺激組み合わせ種類の効果は不明瞭であった。一方, N170 に先行して潜時約 130 ms に出現する陽性ピーク (P130) では, 同じ人物の真顔が第1刺激となった場合により陰性方向にシフトする傾向が見られた。また, 正中線上頭頂部位を中心として明瞭な P3 成分が惹起した。N170 と P130 の頂点振幅, 潜時を Fig. 19 に, P3 頂点振幅, 潜時を Fig. 20 に示す。

### <N170>

N170 頂点振幅に対して, 第1刺激(同じ人物の真顔, 異なる人物の真顔, 対象物, ランダムドット)×第2刺激表情(笑顔, 怒り顔)×電極部位 (T5, T6) の3要因分散分析を行ったところ, 第2刺激表情の主効果が見られ ( $F(1,11)=11.0, p<.01$ ), 怒り顔より笑顔で有意に N170 が増強した。第1刺激, 電極部位の効果はみられなかった。また, N170 頂点潜時に関しても同様の分析を行ったところ, 第1刺激×表情の交互作用のみが有意であった ( $F(3,33)=5.1, p<.01$ )。N170 頂点潜時に対して第2刺激表情ごとに第1刺激種類の1要因分散分析を行ったが, 両表情において有意な効果は見られなかった。一方, 第1刺激の種類ごとに第2刺激表情の1要因分散分析を行ったところ, 第1刺激として同一人物の真顔, あるいは対象物を提示した場合に, 怒り顔よりも笑顔において N170 頂点潜時の短縮が見られた。

### <P130>

P130 頂点振幅に対しても N170 と同様の分析を行った。その結果, 第1刺激種類の主効果が有意であり ( $F(3,33)=10.1, p<.001$ ), 第1刺激として同じ人物の真顔を提示した場合のほうが, 車, ランダムドットを提示した場合よりも振幅が小さく, 陰性へのシフトが見られた。また, 第1刺激×第2刺激表情×電極部位の交互作用も有意であったため ( $F(3,33)=2.9,$

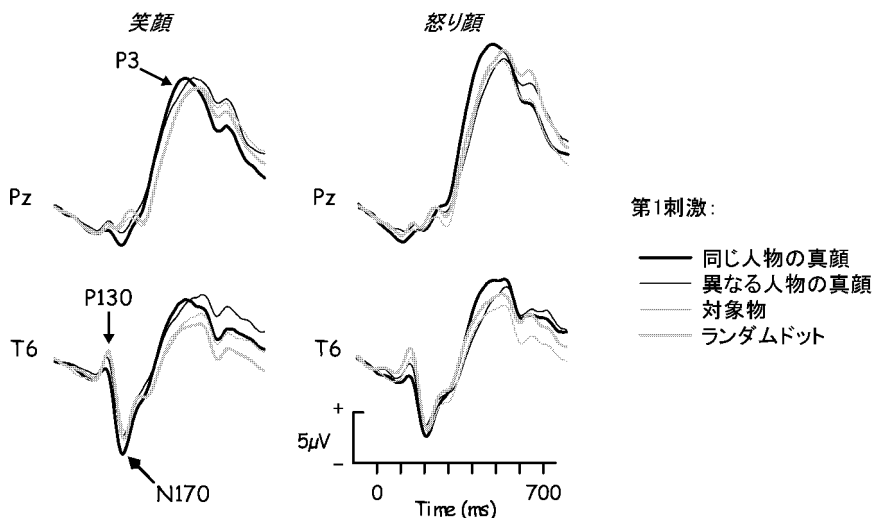
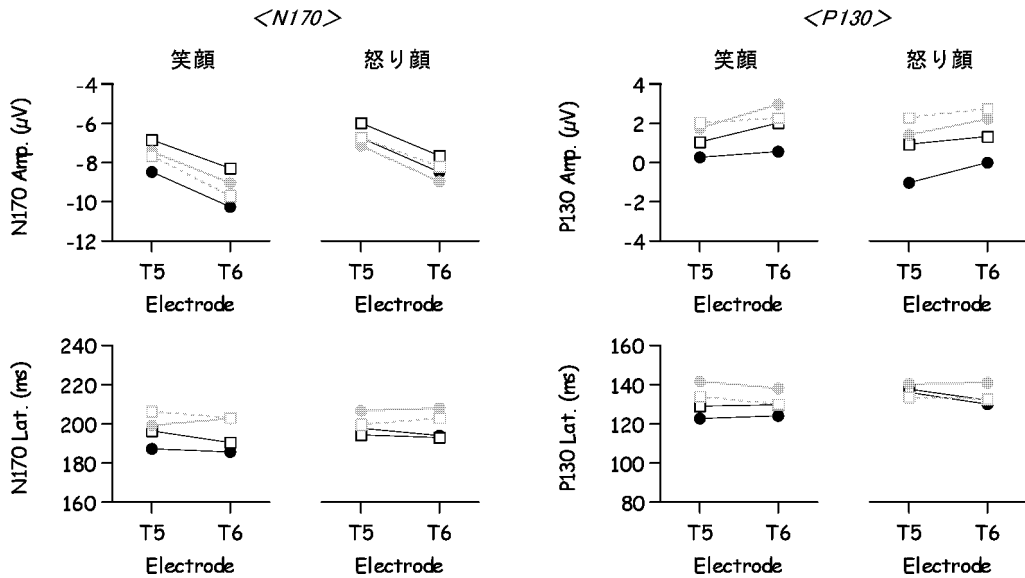
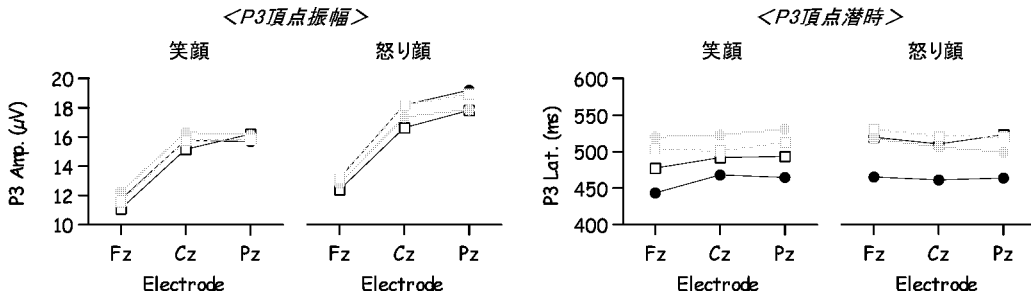


Fig. 18 正中線上頭頂部位 (Pz) と右後側頭部位 (T6) における第2刺激に対する被験者間総平均 ERP 波形



第1刺激: ●— 同一人物の真顔 □— 異なる人物の真顔 ●— 対象物 □— ランダムドット  
 Fig. 19 N 170 頂点振幅, 潜時 (左) と, P 130 頂点振幅, 潜時 (右)



第1刺激: ●— 同一人物の真顔 □— 異なる人物の真顔 ●— 対象物 □— ランダムドット  
 Fig. 20 P 3 頂点振幅, 潜時

$p < .05$ ), 第2刺激の種類ごとの第1刺激×電極部位の2要因分散分析を行ったところ, どちらの表情においても第1刺激の主効果が有意であり (笑顔:  $F(3,33) = 4.4, p < .05$ , 怒り顔:  $F(3,33) = 6.5, p < .01$ ), 第2刺激が笑顔, 怒り顔の場合ともに, 第1刺激として対象物, ランダムドットが提示された場合よりも, 同じ人物の真顔が提示された場合の方が, 有意に振幅が小さかった。また P 130 頂点潜時に関しても同様の分析を行ったところ, 表情の主効果のみが有意であり ( $F(1,11) = 7.9, p < .05$ ), 怒り顔よりも笑顔で潜時の短縮が見られた。

<ポイントごとのANOVA>

第1刺激の効果が N 170 に先行する P 130 時点から生じたことから, T 6 部位で惹起した電位に対して, 第2刺激表情ごとに 4 ms ポイントごとに第1刺激種類の1要因分散分析を行った。その結果, 同じ人物の真顔を第1刺激とした場合の反応と, ランダムドットあるいは対象

物を第1刺激とした場合の反応とが有意に異なる地点は、第2刺激が笑顔の場合には刺激提示後132 msから(同じ人物の真顔<対象物・ランダムドット)、第2刺激が怒り顔の場合は108 msから(同じ人物の真顔<ランダムドット)であった。また、異なる人物の真顔を第1刺激とした場合の反応と、ランダムドットあるいは対象物を第1刺激とした場合の反応とが有意に異なる地点は、第2刺激が笑顔、怒り顔の場合とも152 ms(笑顔:異なる人物の真顔<対象物, 怒り顔:異なる人物の真顔<ランダムドット)であった。

### <P3>

Pz部位で生じたP3振幅・潜時について、第1刺激×第2刺激表情の2要因分散分析を行った結果、P3振幅では表情の主効果が有意であり( $F(1,11)=16.5$ ,  $p<.01$ )、笑顔よりも怒り顔でP3が増強した。一方P3潜時では、第1刺激の主効果が有意であり( $F(3,33)=13.2$ ,  $p<.001$ )、下位検定の結果、同じ人物の真顔が第1刺激となった場合に有意にP3潜時の短縮が見られた。

### 2.4.3 考察

笑顔、怒り顔のどちらにおいても、第1刺激として同じ人物の真顔を提示した場合で、反応時間の有意な短縮が見られた。一方、異なる人物の真顔を第1刺激とした場合には、対象物、ランダムドットを第1刺激として提示した場合と比較して反応時間の短縮は見られず、同じ人物の真顔を提示した場合と比較して有意な反応時間の延長が見られた。この結果は、表情の変化の知覚ではなく、表情の動きの知覚が表情の知覚、弁別を促進することを示唆しており、静止画と比較して動的な表情で顔の情動の認識、弁別が向上するという先行研究の結果と一致する(Werhle et al., 2000)。

またERPの結果からは、これまでの実験で表情変化の効果が明瞭に現れていたN170成分では第1刺激の有意な効果は見られず、N170に先行する陽性成分(P130)において有意な第1刺激の効果が現れた。P130では、笑顔刺激、怒り顔刺激ともに表情変化が知覚される刺激組合せ、知覚されづらい刺激組み合わせ、知覚されない刺激組合せの順に電位の陰性方向へのシフトが見られ、第1刺激として対象物、ランダムドットを提示した場合に比べ、同じ人物の真顔を提示した場合に有意に振幅が小さかった。この結果は、ポジティブな表情への変化だけではなく、ネガティブな表情への変化に対してもERPが感度を持つこと、さらにN170より早い時間帯から表情の動きに対応した反応が生じることを示している。表情の動きに対する反応が、これまでより早い潜時帯から出現した原因としては、第2刺激表情の弁別課題を課すことによって、顔刺激の情動情報の処理が促進されたことによると推測される。一方、表情の変化に対して注意を向ける課題を行った実験3では、課題による電位反応の促進はみられなかった。実験3においては、動きの知覚を伴うか否かに関わらず、連続して提示される刺激間での表情の変化を検出させたため、それぞれの刺激表情をラベリングし、そのラベルの一致/不一致によって課題を遂行する方略をとっていたことが報告されている。このような方略をとった場合、連続して提示される顔刺激間での表情の「動き」の知覚が阻害される可能性が考えられる。実験4の結果から、後側頭部位で生じる表情の動きに対する反応は、課題などの要因により、その処理潜時が変化することが示唆された。さらに、N170以前に表情の動きに対する反応が生じたという本実験の結果は、表情の動きに対してN170自体が増強したのではなく、N170に表

情の動きの知覚に関係する陰性変動が重畳した可能性を示唆している。

さらに本実験では、表情の動きに対する陰性方向への電位のシフトは、真顔から笑顔への変化で刺激提示後約 130 ms、真顔から怒り顔への変化では、それよりも早く 108 ms から生じた。この結果は、表情の動きに対する処理が、脳内において 130 ms までには行われており、さらに表情の違いによって反応が出現しはじめる時間が異なることを示している。笑顔への表情変化よりも怒り顔への表情変化で早い反応が生じたことは、脅威信号となる表情が迅速に処理されることを示唆している。また、P3 成分においても表情間で違いが見られ、笑顔よりも怒り顔で有意に P3 振幅が増強した。先行研究では、P3 成分が真顔と比べ恐れ顔で増強すること (Eimer & Holmes, 2002) が報告されており、P3 振幅が刺激の情動的意味の重要性を反映していると考えられている。この解釈に従うと、今回の結果は怒り顔の情動的重要性を反映していると考えられる。

一方、反応時間は表情の動きが知覚された場合に笑顔よりも怒り顔で延長し、FA 率、無反応率は第 1 刺激の種類に関わらず怒り顔で上昇した。これらの行動指標の結果は、脅威信号となる怒り顔表情の処理の迅速性を示唆する ERP 結果と矛盾している。行動指標において以上のような結果が生じた原因としては、次のような可能性が考えられる。ひとつは、真顔から怒り顔への表情変化よりも真顔から笑顔への表情変化の方が物理的変化量が大きく顕著であるという視認性の違いによって、笑顔への反応が促進した可能性、もうひとつは、怒り顔のような被験者にとって脅威となる刺激への「回避」行動がボタン押し反応を遅延させた可能性である。ERP の結果は、このような表情変化の顕在的な認識のし易さや、知覚された刺激に対する行動の生成に先行する、潜在的な知覚処理過程を反映した結果であると考えられる。

### 3. 総合考察

#### 3.1 本研究の結果と先行研究との比較

##### 3.1.1 表情に関わる先行研究結果との比較

本研究では、時間分解能に優れた ERP を指標とし、動きを伴う表情がどのような時間帯で処理されているのかについて検証した。その結果、表情変化に対する最も早い反応は、後側頭部位において、顔に特異的な成分とされる N 170 近傍、あるいはそれ以前の潜時帯での陰性シフトとして発現した。N 170 成分は、顔認識過程の最も初期の段階を反映するとされており (Bentin et al., 1996; Jemel et al., 2003)、表情の認識に関わる反応は、N 170 以降に現れると考えられてきた。実際、N 170 近傍、あるいはそれ以前の潜時帯において表情の効果が現れるとする研究は非常に少なく、逆に N 170 は表情の影響を受けないことが報告されている (Eimer & Holmes, 2002; Holmes et al., 2003)。本研究においても、動きを伴わない第 1 刺激では異なる表情間で N 170 に差は生じず (実験 1)、先行研究の結果と一致した。これらの知見から、本研究において見られた N 170 変動は、静止表情刺激では得られない表情の変化、あるいは表情の動きの知覚に関わる反応であることが示唆される。

また、静止表情刺激を用いた実験では、後側頭部位における表情の効果は N 170 以降の潜時帯で見られるものがほとんどであり、またこれらの表情の効果は、表情により注意を向ける課題を課した場合に生じている (Krolak-Salmon et al., 2001; Wijers et al., 2002; Marinkovic & Halgren, 1999)。一方本研究では、動きを伴う表情に対する反応は、N 170 近傍のより早い潜時

帯において生じたことに加え、表情の動きに対して注意を向けるか否かに関わらず生じる頑健な反応であった(実験3)。また、わずかではあるが、N 170以前の潜時帯において表情の効果が生じるとする先行研究の報告もある。後側頭部位においてN 170に先行する陽性成分から表情の違いによる効果が生じるとした報告(Batty & Taylor, 2003)では、本研究での表情の動きに対する効果と潜時や発生部位が類似しているが、表情間の振幅差は非常にわずかであり、今回の表情の動きに対する効果と比較すると不明瞭であった。

### 3.1.2 顔の動きに関わる先行研究結果との比較

一方、顔の動きに対する反応は、今回の結果と同じく、N 170近傍で生じることが報告されている。Puce et al. (2000)は、本研究同様、同じ人物の顔刺激を連続提示し、視線方向の動きや口の開閉運動を生じさせた場合の反応を記録している。その結果、視線を向ける／逸らす、口を閉じる／開けるといった逆方向の動きの間でN 170振幅に差が生じることを示した。本研究においても、笑顔から真顔への表情変化と比較して、真顔から笑顔への表情変化でN 170が増強した(実験2)。また本研究においては、静止画像表情を提示した場合にはN 170に効果はなく、動きを伴った表情に対してはN 170で振幅の違いが生じたが、この結果は、N 170における視線方向の効果は静止画では得られないとする先行研究の結果(Taylor et al., 2001)と類似する。さらに本研究では、先行して提示する刺激の種類によって、動きを伴う表情刺激／伴わない表情刺激に対する反応を比較し、同一の惹起刺激に対しても表情の動きを伴った場合にN 170が増強することを示した(実験1, 実験4)。この結果は、動きの情報がN 170近傍の電位変動を引き起こす原因となっていることをより明瞭に示している。

## 3.2 表情変化の知覚に影響を及ぼす諸要因の検討

これまで異なる表情間でのERPを比較する場合、表情間での惹起刺激の物理的な違いが問題となってきた。そこで本実験では、この要因を排除するため惹起刺激である第2刺激を同一とした場合の反応を比較し、惹起刺激が物理的に全く同一の表情であった場合でも、動きが伴う場合にN 170近傍に電位変動が生じることを示した(実験1, 実験4)。ただし本研究では、実際の表情の動きではなく、連続提示された2刺激間での表情の「変化」に対する反応を比較した。2刺激間での表情の変化は、輝度やコントラストなどの低レベルの視覚特徴の変化を生じさせる。また、表情の突然の変化は情動を喚起する事象であることから(Werheid et al., 2004)、選択的注意を増強させた可能性も考えられる。さらに、先行して異なる表情刺激が提示されることによって、プライミングなど、動きの知覚とは別の影響が後続の表情刺激の知覚に及ぼされることが考えられる。そこで、これらの要因が本研究で観察された表情変化に対するERP反応に影響を及ぼしたかどうかについて、本研究での結果と先行研究の知見から検討し、表情変化が表情の動きの知覚を反映していたのかに関して考察する。

### 3.2.1 低レベルの視覚特徴の変化量の影響

本研究では、同一人物の表情変化、異なる人物間の表情変化、表情以外の顔特徴の変化との比較を行い、同一人物の表情変化に対してN 170が増強することを示したが、変化タイプ間では、第1刺激と第2刺激間の輝度やコントラストなどの物理的な変化量が異なった。特に今回用いた笑顔刺激は歯を露出していたため、表情変化では口元の輝度の変化が顕著であった。

しかし、同一人物の表情変化を正立提示／倒立提示間で比較した場合、正立提示表情変化に比べ倒立表情変化で N 170 振幅が減衰した(実験 1)。また、真顔から笑顔へのポジティブ方向への表情変化では N 170 の増強が顕著であったが、ニュートラル方向への表情変化(笑顔から真顔)では N 170 増強は不明瞭であった(実験 2, 実験 3)。倒立表情変化もニュートラル方向への表情変化も、刺激間の物理的な変化量は正立提示されたポジティブ方向の表情変化と同一であることから、変化量以外の要因がポジティブ方向への N 170 増強に関与したことが示唆される。また実験 2 では、より明確に変化量の効果を検証するため、変化量の大きな表情変化と小さな表情変化間での N 170 の比較を行ったが、N 170 振幅に変化量の効果は見られなかった。

Puce et al. (2003) は、輝度やコントラストの変化は等しいが顔の動きとして知覚されない刺激をコントロールとした場合の、顔写真刺激と線で構成された顔刺激の口の動きに対する反応を測定しており、写真顔刺激、線顔刺激のどちらに対しても、コントロールと比較して等しく N 170 振幅が増強することを示している。この結果は、本研究の結果と同様、輝度やコントラストなどの低レベルの視覚特徴が、顔の動きに対する N 170 成分の増強に関与しないことを示している。

### 3.2.2 注意の効果

本研究では、動きを伴うとされる同一人物の表情変化だけでなく、動きの知覚を伴いづらいつと考えられる異なる人物間の表情変化に対しても N 170 が増強する傾向が見られた。表情の変化、特に動きを伴う表情は、観察者にとって非常に注意を喚起する刺激であり、また先行研究では、N 170 には表情の効果は現れないが、注意を向けることによって増強するという報告もある(Holmes et al., 2003)。このような知見から、N 170 は表情の動きの知覚と関わらない、顔刺激そのものに対する注意の喚起によって増強している可能性も考えられる。

そこで実験 3 では、課題によって能動的に表情の変化に注意を向けた場合と、表情以外の顔特徴の変化に注意を向けた場合、また顔刺激の特徴変化に注意を向けなくてよい場合での N 170 の反応を比較した。その結果、動きの知覚を伴う同一人物の表情変化に対する N 170 振幅は課題の影響を受けず、人物変化や異なる人物間の表情変化と比較して常に最も大きな N 170 を惹起した。一方人物変化に対しては課題に関わらず N 170 の増強が見られなかったことから、この N 170 増強は表情の「変化」に特異的な反応であることが示唆された。また、表情も人物も変化する異なる人物間での表情変化に対しては、顔刺激により注意を向けなければならない場合のみ N 170 が増強したことから、今回生じた N 170 増強は、刺激間の表情の変化に対する注意の喚起を反映し、更に動きを伴う同一人物の表情変化に対しては、能動的に注意を向けるかどうかに関わらず強制的に注意が喚起されることが示唆された。

脳画像研究では、様々な課題によって表情の処理に対する選択的注意や空間的注意を操作した場合、上側頭溝(Narutomo et al., 2000)、紡錘状回(Vuilleumier et al., 2001)など、N 170 の発生源と考えられ、また表情知覚に関連することが示されている脳領域での活動が変化することが報告されている。表情の突然の変化は情動を喚起する事象であることから、表情の処理に関わるとされる脳部位の活動を増強させると考えられる。今回の結果は、動きが付加された情動的な情報が、能動的な注意の操作と関わらずこれらの領域の活動を強制的に増強させることを示唆しており、表情の動きの知覚の重要性、特殊性を示していると考えられる。

### 3.2.3 プライミング効果

本研究のように、先行して提示される刺激によって後続刺激の知覚を変容させる手法は、プライミング効果 (priming effect) を生じさせる手法と類似している。プライミング効果とは、先に提示された刺激によって、その後に提示された刺激の同定が促進されるものである (Schacter, 1990)。プライミング効果は、行動指標を用いた実験においては反応時間の短縮や正答率の上昇などに現れるが、ERP を用いた研究では振幅の減衰として現れることが報告されている。Campanella et al. (2002) は、同じ表情であると認識される刺激が連続で提示された場合に、N 170 と VPP の振幅が減衰することを示している。また Werheid et al. (2004) は、同じ表情刺激が先行提示された場合、N 170 や VPP よりも早く出現する前頭部陰性成分と後側頭部陽性成分の減衰がみられることを報告している。これらの研究は、異なる表情が連続提示された場合 (表情変化) より、同じ表情が連続提示された場合 (人物変化) に早い潜時帯での電位の減衰が見られるという点で、本研究の結果と類似している。

しかし、表情プライミングの考えを適用した場合、同じ表情が連続提示される人物変化において N 170 が減衰することは解釈可能であるが、異なる表情が先行提示される両変化に対しても N 170 振幅が減衰することについて説明できない。さらに、表情に限定しない刺激特徴の類似性によるプライミング効果を想定した場合、両変化は連続して提示される刺激間で表情・人物の両側面とも関連性がなく視覚的類似性も低いいため、最もプライミングの影響を受けづらいと考えられるが、本研究では、表情変化と比較して両変化に対して N 170 振幅の減衰が見られた。

プライミング実験と本研究は、連続して提示される 2 つの刺激間に時間間隔を設けているか否かという決定的な違いがある。プライミングは、先行して提示された刺激が潜在的に記憶され後続の刺激の認識に影響を与える現象であり、場合によっては長い間隔をあけても先行刺激の効果は持続する。一方本研究では、刺激を時間間隔なしで連続提示していることから、プライミングのような記憶過程とは関わらない、2 刺激間の表情の違いや、表情の動きの知覚が影響を及ぼしていると考えられる。

## 3.3 表情の動きの知覚に関わる脳内メカニズム

### 3.3.1 表情の動きの知覚に関わる脳部位

これまで示してきたように、同一人物の表情変化に対する N 170 増強は、表情の変化、あるいは動きの知覚に伴う注意の喚起が N 170 振幅の増強に関与すると推測される。顔の動きの処理や情動の処理に関しては、神経心理学的研究から多くの知見がもたらされている。そこで、これらの先行研究結果と照らし合わせ、本研究によって示された表情の動きに対する電位変化が、どのような神経機構によってもたらされているのかについて考察する。

本研究では、表情の動きに対する明瞭な電位反応は後側頭部位において生じた。いくつかの先行研究においても、後側頭部位での表情の効果が報告されている (Marinkovic & Halgren, 1999; Krolak-Salmon et al., 2001; Wijers et al., 2002)。このような後側頭部位における表情処理に関わる反応を引き起こした脳内メカニズムについては、扁桃体や前頭部位から有線外視覚皮質に対する逆行性の情報伝達によって、後側頭皮質の活動が増幅した可能性が指摘されている (Krolak-Salmon et al., 2001)。扁桃体は刺激の情動認識に深く関わっており、様々な感覚皮質からの情報を受けとり、さらにその情報を感覚皮質に戻す機能を持っている (LeDoux,

2000)。視覚的な顔の処理に関わる後側頭皮質も扁桃体と相互に情報のやり取りを行っており、この機能は視覚情報に情動的な意味を付加する働きをしていると考えられる (Allison et al., 2000)。実際、扁桃体から知覚皮質への逆投射 (back projection) が、情動刺激に対する注意を増大させることも指摘されている (Breiter et al., 1996)。一方、扁桃体自体も怒り顔、恐れ顔の表情の動的な情報によって活動を増強させることが指摘されているが (Sato et al., 2004)、脳の深部に位置する扁桃体の活動を頭皮上におかれた電極によって記録することは困難である。よって、本研究において記録された表情の動きに対する後側頭部位での電位変化は、後側頭皮質での活動を反映していると推測される。

本研究で生じた表情の動きに対する反応は、生じる潜時帯も、また頭皮上分布も N 170 成分と類似していた。N 170 成分の発生源と考えられている紡錘状回や上側頭溝は、顔刺激に対する感度だけでなく、表情の分析にも関わることを示されており (Hasselmo et al., 1989; Narutomo et al., 2001; Vuilleumier et al., 2001)、特に上側頭溝は、顔の動的情報の分析に重要な役割を果たすとされている (Haxby et al., 2000)。ただし、上側頭溝は実際の動きだけではなく、動き情報を含有している静止画刺激に対しても感度があるという指摘もあり (Allison et al., 2000)、動きを伴う表情に対してのみ特異的に反応が生じた本研究の結果と合致しない。しかし、顔の情動的側面の処理に注意を向けた場合に上側頭溝の活動が増強するという報告 (Narutomo et al. 2001) や、表情の動きが強制的に注意を喚起するという実験 2 の結果から、静止画表情に比べて動きを伴う表情刺激がより注意を喚起したことにより、上側頭溝の活動を増強させた可能性が考えられる。また、上側頭溝は他者の意図の分析にも重要な役割を果たすことが指摘されている (Allison et al., 2000)。他者の意図の読み取りに障害を持つとされる自閉症児では、視線方向の情報を利用して他者の心理状況を推察することに困難を示すが (Baron-Cohen et al., 1995)、N 170 はこのような視線方向の変動に対して感度があることが示されている (Puce et al., 2000)。よって、本研究における表情の動きに対する頭皮上の電位反応は、後側頭皮質、特に上側頭溝を起源とすることが推測される。

### 3.3.2 表情の動きの知覚過程 (時間的側面からの考察)

本研究において最も興味深いことは、顔選択的であるとされる N 170 成分と同じ、あるいはより早い潜時帯において表情に関わる反応が生じたことである。これまでの研究から、N 170 成分は刺激が顔であるかを認識する段階を反映すること (Bentin & Golland, 2002)、また N 170 以前の潜時帯には顔の見分けやすさによる電位の変動は現れないこと (Jemel et al., 2003) が指摘されている。さらに N 170 は表情の違いによって影響されないことが報告されていること (Eimer & Holmes, 2002; Holmes et al., 2003) から、N 170 は表情の知覚と関わらない、顔認識の最も初期の段階を反映すると考えられてきた。しかし本研究の結果は、このような顔刺激の知覚分析段階に先行して、情動的な情報が抽出可能であることを示している。

時間分解能の高い MEG を用いた脳画像研究 (Streit et al., 1999) では、表情の認識に関わる最も早い反応は、扁桃体や前頭皮質に先行して右上側頭皮質の後部において刺激提示後約 160 ms に生じ、また顔と顔以外の物体との活動の違いは、同じく右上側頭皮質において約 100 ms と 170-220 ms で生じるとしている。この結果は、側頭皮質において、表情の処理と、顔と顔以外の刺激の弁別処理がほとんど変わらない潜時帯で生じることを示している点で興味深い。本研究における表情の動きに対する反応は、最も早い場合には 108 ms で生じており (実験

4), 頭皮上電極からの記録であることを考慮すると, Streit et al. (1999) の結果と比較しても非常に早い時間内に側頭皮質での表情処理が行われうること示唆している。

Adolphs (2002) は, 表情の情報が後側頭有線外皮質へと送られる経路として, 有線皮質を経由し後頭-側頭視覚皮質から扁桃体へと情報を送る経路とは別に, 有線皮質を介さず, 網膜から上丘, 視床枕, を経由して扁桃体, 有線外視覚皮質へと投射される皮質下の処理経路の存在を指摘している。有線皮質を経由する経路は, より詳細な刺激の視覚的分析を行うのに対し, 有線皮質を迂回する経路は, より粗い情報を迅速に自動的に処理するとされる。Streit et al. (1999) の MEG の結果や, N 170 より遅い潜時帯での頭皮上後側頭部位における表情に対する電位反応 (Marinkovic & Halgren, 1999; Krolak-Salmon et al., 2001; Wijers et al., 2002) は, その出現潜時から, 有線皮質を経由し後側頭有線外皮質, 扁桃体へと情報を伝達する経路や, さらにその後の扁桃体から後側頭皮質への逆投射を反映していると考えられる。一方, 本研究で示された表情の動きに対する電位変化は, N 170 近傍あるいはそれ以前の非常に早い潜時帯において生じたことから, 皮質下経路の情報処理を反映しているのではないかと推測される。動きを伴う表情の認識は, すでに提示されている顔のなかから, 眉や口元などの刺激の変化部分のみを検出することによって遂行可能である。よって, 静止画表情による表情認識よりも, 少ない情報でより迅速に処理することが可能であると考えられる。これは, 動きを伴わない表情と比較して, 動きを伴う表情では迅速な表情弁別が可能であるとする反応時間の結果 (実験 4) からも裏付けられる。また, 動きを伴う表情に対する N 170 増強は, 能動的な注意の操作に関わらずに生じる自動的な反応であることも示されており (実験 2), これらの結果は, 皮質下経路の処理特性と合致している。Adolphs (2002) は, 皮質下経路を利用した情報処理過程であっても, 皮質下の組織はあくまで情報を伝達する入り口であり, 顔知覚処理のほとんどは後側頭有線外皮質によって行われるとしている。本研究における動きを伴う表情に対する電位反応は, 皮質下経路を経由し後側頭皮質, 特に表情や顔の動きの処理と密接に関わるとされる上側頭溝へと伝達された情報の知覚処理を反映している可能性が考えられる。

次に, N 170 成分と本研究における表情の動きに対する電位反応の関係を考えてみる。先行研究において, N 170 成分は顔刺激に特異的に増強すること (Bentin et al., 1996) に加え, 単に顔かどうかを見分けるだけでなく, より下位レベルの顔の詳細な知覚的分析と関わる事が指摘されている (Eimer 2000b; Campanella et al., 2000, 2002)。これらの先行研究の結果から, N 170 成分は有線皮質を経由し, 紡錘状回, 上側頭溝へと送られる詳細な顔知覚分析処理を反映していると考えられる。一方本研究実験 4 においては, N 170 より早い潜時帯において表情変化に対する反応が生じた。有線皮質を経由する詳細な知覚分析経路と皮質下を経由する経路は, 平行に情報を処理しているとされている (Adolphs, 2002) ことから, 動きを伴う表情情報は, 詳細な知覚分析経路と平行に, 皮質下を経由する迅速な処理経路によって上側頭溝へ伝達され, N 170 より早い潜時帯での陰性シフトとして出現した可能性が考えられる。

さらに実験 4 において異なる表情への動きを比較したところ, ポジティブ表情への動きに比べ, ネガティブ表情への動きで電位変化が早く生じた。これは同じ表情の動きであっても, その表情の持つ情動的意味の違いによって処理速度が異なることを示している。表情の動きの顕著さを考えた場合, 笑顔は怒り顔に比べて口元など刺激特徴が非常に明瞭であり, より迅速な知覚が可能であると考えられる。実際, 反応時間結果からは, 真顔から怒り顔への表情変化よりも真顔から笑顔への表情変化の弁別が早いことが示されており (実験 4), ERP の結果と矛盾

する。行動指標を用いた先行研究では、ポジティブ表情がより速く知覚されるという報告 (Kirouac & Dore, 1983; Kirita & Endo, 1995) と、ネガティブ表情がより速く正確に知覚されるという報告 (Hansen & Hansen, 1988; Campanella et al. 2004) がある。これらの実験では、課題遂行のために表情のラベリングが必要であるため、ラベリング処理の方略の違いが結果に反映していることが考えられる。一方、本研究において示された表情の動きに対する電位反応は、表情をラベリングし判断する過程以前の、表情に特有の刺激特徴を知覚・検出する過程を反映していると推測される。笑顔よりも怒り顔への表情の動きに対して電位変化が早く生じたことは、表情の動きの処理を担う皮質下経路には、顕在的な刺激の顕著性や見分けやすさに関わらず、怒り顔への表情の動き情報をより迅速に知覚検出する機能が備わっていることを示唆している。これは、友好的な情動を意味する表情変化よりも、脅威信号となる表情の変化を知覚することの生物学的重要性を反映していると考えられる。

総合すると、我々は静止面表情の詳細な知覚処理過程とは別に、情動的に重要な情報を迅速に自動的に処理する皮質下の経路を利用して、動きを伴う表情情報を知覚処理していると考えられる。またこの処理経路は、その情動的な情報の重要度によって処理のスピードを変容させる機能を持ち、脅威刺激となる怒り顔への表情の動きは、刺激提示後 108 ms 以内という非常に早い潜時で処理される可能性が示された。

#### 4. 今後の課題

##### 1) 「表情の動き」か「顔の動き」か？

本研究では、動きを伴う表情に対して、早い潜時帯での電位変化が生じることが示されたが、この反応が顔の情動的側面の処理と関わる「表情の動き」の知覚を反映しているのか、Puce et al. (2000) が指摘しているような、単なる「顔の動き」、あるいは顔以外の「からだの動き」の知覚を反映しているのかははっきりと確認されていない。倒立提示された表情の動きによって反応が減衰したことは、今回示された電位変化が「表情の動き」に関わることを示していると考えられるが、倒立提示により「顔の動き」の知覚まで阻害された可能性も考えられる。今後、情動的な意味が付加されるかどうかによって、動きに対する反応が異なるのかどうかを確認する必要がある。

##### 2) 他の表情の動きに対する反応の検討

本研究では、真顔から笑顔への表情の動きよりも、真顔から怒り顔への表情の動きに対して早い電位反応が生じ、脅威信号となる表情の動きの知覚がより迅速になされることが示唆された。今後、さらにほかの表情への動きに対する反応を検討することによって、我々が日常生活において、様々な表情をどのように知覚しているのかに関する手がかりが得られると考えられる。

##### 3) 後側頭部位以外の反応の検討

本研究では、表情の動きに対する最も早い電位反応が後側頭部位において生じたが、先行研究では前頭部位において潜時約 100 ms 以降という早い潜時帯に真顔と恐れ顔間で振幅の違いが生じるとする報告もある (Eimer & Holmes, 2002; Holmes et al., 2003)。本研究ではこのよ

うな早い潜時帯における前頭部位での表情変化の効果は得られなかったが、実験1では潜時約310 msにおいて表情変化に対して明瞭な陽性成分が見られた。前頭部位電極は、情動的に重要な事象の認識に関わる前頭前野や前部帯状回と近接していることから、今後前頭部位における反応と後側頭部位における反応との時間的關係を比較することにより、表情情報処理の流れをより詳細に検討することが可能となると考えられる。

## [文献]

- Adolphs, R. 2002 Recognizing emotion from facial expressions: psychological and neurological mechanisms. *Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews*, 1, 21-61.
- Allison, T., Ginter, H., McCarthy, G., Nobre, A. C., Puce, A., Luby, M. & Spencer, D. D. 1994 Face recognition in human extrastriate cortex. *Journal of Neurophysiology*, 71, 821-825.
- Allison, T. Puce, A. & McCarthy, G. 2000 Social perception from visual cues: role of the STS region. *Trends in Cognitive Science*, 4, 267-278.
- Baron-Cohen, S., Campbell, R., Karmiloff-Smith, A., Grant, J., & Walker, J. 1995 Are children with autism blind to the mentalistic significance of the eyes? *British Journal of Developmental Psychology*, 13, 379-398.
- Batty, M. & Taylor, M. J. 2003 Early processing of the six basic facial emotional expressions. *Cognitive Brain Research*, 17, 613-620.
- Bentin, S., Allison, T., Puce, A. Perez, E., & McCarthy, G. 1996 Electrophysiological studies of face perception in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 551-565.
- Bentin, S. & Deouell, L. Y. 2000 Structural encoding and identification in face processing: ERP evidence for separate mechanisms. *Cognitive Neuropsychology*, 17, 35-54.
- Bentin, S. & Golland, Y. 2002 Meaningful processing of meaningless stimuli: the influence of perceptual experience on early visual processing of faces. *Cognition*, 86, B1-B14
- Bobes, M. A. Martin, M., Olivares, E. & Valdes-Sosa, M. 2000 Different scalp topography of brain potentials related to expression and identity matching of faces. *Cognitive Brain Research*, 9, 249-260.
- Breiter, H. C., Etcoff, N. L., Whalen, P. J., Kennedy, W. A., Rauch, S. L. et al. 1996 Response and habituation of the human amygdala during visual processing of facial expression. *Neuron*, 17, 875-887.
- Campanella, S., Hanoteau, C., Depy, D., Rossin, B., Bruyer, R., Crommelinck, M. & Guerit, J. M. 2000 Right N170 modulation in a face discrimination task: an account for categorical perception of familiar faces. *Psychophysiology*, 37, 796-806.
- Campanella, S., Quinet, P., Bruyer, R., Crommelinck, M. & Guerit, J. M. 2002 Categorical perception of happiness and fear facial expressions: an ERP study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 210-227.
- Campanella, Rossignol, M., Mejias, S., Joassin, F., Maurage, P., Debatisse, D., Bruyer, R., Crommelinck, M. & Guerit, J. M. 2004 Human gender differences in an emotional visual oddball task: an event-related potentials study. *Neuroscience Letters*, 367, 14-18.
- Carmel, D. & Bentin, S. 2002 Domain specificity versus expertise: factors influencing distinct processing of faces. *Cognition*, 83, 1-29.
- Carretie, L. & Iglesias, J. 1995 An ERP study on the specificity of facial expression processing. *International Journal of Psychophysiology*, 19, 183-192.
- Carretie, L., Iglesias, J., Garcia, T. & Ballesteros, M. 1996 N300, P300 and the emotional processing of visual stimuli. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 103, 298-303.
- Clark, V. P., Keil, K., Maisog, Ma, S., Courtney, S., Ungerleider, L. G. & Haxby, J. V. 1996 Functional magnetic resonance imaging of human visual cortex during face matching: a comparison with positron emission tomography. *Neuroimage*, 4, 1-15.

- Eimer, M. 2000a Effects of face inversion on the structural encoding and recognition of faces: Evidence from event-related brain potentials. *Cognitive Brain Research*, 10, 145-158.
- Eimer, M. 2000b The face-specific N170 component reflects late stages in the structural encoding of faces. *Neuroreport*, 11, 2319-2324.
- Eimer, M. & Holmes, A. 2002 An ERP study on the time course of emotional face processing. *Neuroreport*, 13, 427-431.
- Ekman, P. (1977) Biological and cultural contributions to body and facial movement. In J. Blacking (ed.), *Anthropology of the Body*, London: Academic Press, pp.34-84.
- Grossman, E., Donnelly, M., Price, R., Pickens, D., Morgan, V., Neighbor, G. & Blake, R. 2000 Brain areas involved in perception of biological motion. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 711-720.
- Halgren, E., Raij, T., Marinkovic, K., Jousmaki, V. & Hari, R. 2000 Cognitive response profile of the human fusiform face area as determined by MEG. *Cerebral Cortex*, 10, 69-81.
- Hansen, C. H. & Hansen, R. D. 1988 Finding the face in the crowd: an anger superiority effect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54, 917-924.
- Hasselmo, M. E. Rolls, E. T. & Baylis, G. C. 1989 The role of expression and identity in the face-selective responses of neurons in the temporal visual cortex of the monkey. *Behavioral Brain Research*, 32, 203-218.
- Haxby, J. V. Hoffman, E. A. & Gobbini, I. 2000 The distributed human neural system for face perception. *Trends in Cognitive Science*, 4, 223-232.
- Hoffman, E. A. & Haxby, J. V. 2000 Distinct representations of eye gaze and identity in the distributed human neural system for face perception. *Nature Neuroscience*, 3, 80-84.
- Holmes, A., Vuilleumier, P. & Eimer, M. 2003 The processing of emotional facial expression is gated by spatial attention: evidence from event-related brain potentials. *Cognitive Brain Research*, 16, 174-184.
- Horowitz, S. G., Rossin, B. Skudlarski, P. & Gore, J. C. 2004 Parametric design and correlational analyses help integrating fMRI and electrophysiological data during face processing. *Neuroimage*, 22, 1587-1595.
- Humphreys, G. W., Donnelly, N., & Riddoch, M. J. 1993 Expression is computed separately facial identity, and it is computed separately for moving and static faces: neuropsychological evidence. *Neuropsychologia*, 31, 173-181.
- Jeffreys, D. A. 1989 A face-responsive potential recorded from the human scalp. *Experimental Brain Research*, 78, 193-202.
- Jeffreys, D. A. & Tukmachi, E. S. A. 1992 The vertex-positive scalp potential evoked by faces and by object. *Experimental Brain Research*, 91, 340-350.
- Jemel, B. Schuller, A. M., Cheref-Khan, Y., Goffaux, V. Crommelinck, M. & Bruyer, R. 2003 Stepwise emergence of the face-sensitive N170 event-related potential component. *Neuroreport*, 14, 2035-2039.
- Johansson, G. 1973 Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*, 14, 201-211.
- Kirita, T. & Endo, M. 1995 Happy face advantage in recognizing facial expressions. *Acta Psychologica*, 89, 149-163.
- Kirouac, G. & Dore, F. Y. 1983 Accuracy and latency of judgment of facial expressions of emotions. *Perceptual and Motor Skills* 57, 683-686.
- Krolak-Salmon, P., Fischer, C., Vighetto, A. & Mauguiere, F. 2001 Processing of facial emotional expression: spatio-temporal data as assessed by scalp event-related potentials. *European Journal of Neuroscience*, 13, 987-994.
- Lane, R. D., Chua, P. M-L. & Dolan, R. J. 1999 Common effects of emotional valence, arousal and attention on neural activation during visual processing of pictures. *Neuropsychologia*, 37, 989-997.
- Lange, K., Williams, L. M., Young, A. W., Bullmore, E. T., Brammer, M. J., Williams, S. C. R., Gray, J. A. & Phillips, M. L. 2003 Task instructions modulate neural responses to fearful facial expressions.

- Biological Psychiatry*, 53, 226-232.
- LeDoux, J. E. 2000 Emotion circuits in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, 23, 155-184.
- Marinkovic, K. & Halgren, E. 1999 Human brain potentials related to the emotional expression, repetition, and gender of faces. *Psychobiology*, 26, 348-356.
- 三好道子 1994 ヒトにおける顔パターン情報処理過程の視覚誘発電位による分析 北海道大学教育学部卒業論文.
- Miyoshi, M., Katayama, J. & Morotomi, T. 2004 Face-specific N170 component is modulated by facial expressional change. *Neuroreport*, 15, 911-914.
- 諸富 隆・三好道子 1994 顔パターン刺激に選択的に誘発される視覚性脳電位 (1), 日本心理学会第58回大会発表論文集, p.461.
- Munte, T. F., Brack, M., Grootheer, O., Wieringa, B. M., Matzke, M. & Johannes, S. 1998 Brain potentials reveal the timing of face identity and expression judgments. *Neuroscience Research*, 30, 25-34.
- Narumoto, J., Yamada, H., Iidaka, T., Sadato, N., Fukui, K., Itoh, H., et al 2000 Brain regions involved in verbal or non-verbal aspects of facial emotion recognition. *Neuroreport*, 11, 2571-2576.
- Narutomo, J., Okada, T., Sadato, N., Fukui, K. & Yonehara, Y. 2001 Attention to emotion modulates fMRI activity in human right superior temporal sulcus. *Cognitive Brain Research*, 12, 225-231.
- Orozco, S. & Ehlers, C. L. 1998 Gender differences in electrophysiological responses to facial stimuli. *Society of Biological Psychiatry*, 44, 281-289.
- Perrett, D. I., Rolls, E. T., & Caan, W. 1982 Visual neurons responsive to faces in the monkey temporal cortex. *Experimental Brain Research*, 47, 329-342.
- Potter, D. D. & Parker, D. M. 1997 Dissociation of event-related potential repetition effects in judgment of face identity and expression. *Journal of Psychophysiology*, 11, 287-303.
- Puce, A., Allison, T., Bentin, S., Gore, J. C. & McCarthy, G. 1998 Temporal cortex activation in humans viewing eye and mouth movements. *Journal of Neuroscience*, 18, 2188-2199.
- Puce, A., Smith, A., & Allison, T. 2000 ERPs evoked by viewing facial movements. *Cognitive Neuropsychology*, 17, 221-239.
- Puce, A. & Perrett, D. 2003 Electrophysiology and brain imaging of biological motion. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. B*, 358, 435-445.
- Puce, A., Syngieniotis, A., Thompson, J. C., Abbott, D. F., Wheaton, K. J. & Castiello, U. 2003 The human temporal lobe integrates facial form and motion: evidence from fMRI and ERP studies. *Neuroimage*, 19, 861-869.
- Rolls, E. T. 1999 *The Brain and Emotion*. Oxford: Oxford University Press.
- Rousselet, G. A. Mace, M. J. -M. & Fabre-Thorpe, M. 2004 Animal and human faces in natural scenes: how specific to human faces is the N170 ERP component? *Journal of Vision*, 4, 13-21.
- Sato, W., Kochiyama, T., Yoshikawa, S., Naito, E. & Matsumura, M. 2004 Enhanced neural activity in response to dynamic facial expressions of emotion: an fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 20, 81-91.
- Schacter, D. L. (1990). Priming and multiple memory systems: Perceptual mechanisms of implicit memory. In D. L. Schacter & E. Tulving (Eds.), *Memory systems 1994* (pp.233-268). Cambridge, MA: MIT Press.
- Searcy, J. H. & Bartlett, J. C. 1996 Inversion and processing of component and spatial-relational information of face. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 22, 904-915.
- Severac Cauquil, A., Edmonds, G. E. & Taylor, M. J. 2000 Is the face-sensitive N170 the only ERP not affected by selective attention? *Neuroreport*, 11, 2167-2171.
- Streit, M., Ioannides, A. A., Liu, L., Wolwer, W., Dammers, J., Gross, J., Gaebel, W. & Muller-Gartner, H. W. 1999 Neurophysiological correlates of the recognition of facial expressions of emotion as revealed by magnetoencephalography. *Cognitive Brain Research*, 7, 481-491.
- Surguladze, S. A., Brammer, M. J., Young, A. W., Andrew, C., Travis, M. J., Williams, S. C. R. & Phillips, M. L. 2003 A preferential increase in the extrastriate response to signals of danger. *Neuroimage*, 19,

1317-1328.

- Taylor, M. J. Itier, R. J., Allison, T. & Edmonds, G. E. 2001 Direction of gaze effects on early face processing: eyes-only versus full faces. *Cognitive Brain Research*, 10, 333-340.
- Thompson, P. 1980 Margaret Thatcher: A new illusion. *Perception*, 9, 483-484.
- Thorpe, S. J., Rolls, E. T. & Maddison, S. 1983 Neuronal activity in the orbitofrontal cortex of the behaving monkey. *Experimental Brain Research*, 49, 93-115.
- Vanderploeg, R. D., Brown, W. S. & Marsh, J. T. 1987 Judgments of emotion in words and faces: ERP correlates. *International Journal of Psychophysiology*, 5, 193-205.
- Vuilleumier, P. & Schwartz, S. 2001 Emotional facial expressions capture attention. *Neurology*, 56, 153-158.
- Vuilleumier, P., Armony, J. L., Driver, J. & Dolan, J. 2001 Effects of attention and emotion on face processing in the human brain: an event-related fMRI study. *Neuron*, 30, 829-841.
- Werheid, K. Alpay, G. Jentsch, I. & Sommer, W. 2004 Priming emotional facial expressions as evidenced by event-related brain potentials. *International Journal of Psychophysiology*, 55, 209-219.
- Werhle, T., Kaiser, S., Schmidt, S. & Scherer, K. R. 2000 Studying the dynamics of emotional expression using synthesized facial muscle movements. *Journal of Personality and Social Psychology*, 78, 105-119.
- Wheaton, K. J. Thompson, J. C. Syngeniotes, A. Abbott, D. F. & Puce, A. 2004 Viewing the motion of human body parts activates different regions of premotor, temporal, and parietal cortex. *Neuroimage*, 22, 277-288.
- Wijers, A. A., Van Besouw, N. J. P. & Mulder, G. 2002 Selective attention to a facial feature with and without facial context: an ERP study. *International Journal of Psychophysiology*, 44, 13-35.
- Yin, R. K. 1969 Looking at uprside-down faces. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 141-145.

### Abstract

Previous studies had focused on the perception of facial expression in static displays, not that of change of expression generated by facial movement. The aim of this study was to investigate the processing of facial expressional change, using event-related brain potentials (ERPs). A smiling face preceded by a neutral face of the same person (expressional change) elicited a larger N170 relative to individual change or both expressional and individual change, regardless of the physical degree of stimulus change and selective attention. Furthermore, an angry face preceded by a neutral face generated earlier ERP modulation than a smiling face preceded by a neutral face.

In previous ERP studies, N170 reflects the earliest stage of face processing and is not affected by facial expressions in static display. The present results demonstrate that expressional change facilitates emotional processing relative to static facial expression, and an angry face is processed more rapidly than a smiling face.

**Keywords:** Emotional expression, Event-related potentials, Face processing