原著論文

記憶色の強さが事象関連電位P3に与える影響

中島 加恵, 南 哲人, 中内 茂樹

豊橋技術科学大学

Effect of Memory Color Intensity on P3 Component

Kae NAKAJIMA, Tetsuto MINAMI and Shigeki NAKAUCHI

Toyohashi University of technology, 1-1 hibarigaoka, tenpaku-tyo, Toyohashi-shi, Aichi 441-8580, Japan

Abstract : This study aims to examine how the strength of memory colors affects the ERP, especially focusing on the P3 component. In Experiment 1, seven subjects (mean age : 22.5) were asked to adjust the color of objects until they appeared typical color, in order to measure individual typical colors of a grape, a banana, a man face, and a Coca Cola's logo. Experiment 2 consisted of two visual oddball paradigms: one whose stimuli were typical color objects as a standard stimulus and the opposite color objects to the typical as a target stimuli and the other vice versa. As a result, there were significant differences of typical effects of P3 components (the P3 difference between typical and opposite color) between the face and the grape, the face and the Coca Cola. From these results, the typical effects of a face was suggested to be the most intensive among four stimuli. Previous studies showed that the color sense of primates may be optimally designed in order to distinguish change of complexion. Therefore it was suggested that the memory color of the face is more intensive from the viewpoint of evolution. Although the difference between the grape and the banana was not significant, the typical effects of the banana is greater than that of the grape, which is not inconsistent with the result of Olkkonen et al.. In conclusion, these results suggested that P3 component in an oddball task reflects the memory color intensity.

Keywords : *Memory color, event-related potential, ERP, P3*

1. は じ め に

りんごは赤く、バナナは黄色いというように、我々人間は具体的事物と結び付けて色を記憶している。この色のことを記憶色 (Memory Color) という [4]。この具体的事物に関する色の記憶 (記憶色) は、我々の知覚情報に大きく影響を及ぼすことが知られている [5-11]。例えば、日本人の肌の色の記憶色は実際よりも白く、テレビでは記憶色に合わせて実際よりも白く再現されている。また、トイレの男性用・女性用を示すマークの場合、日本の一般的なトイレでは男性用は青色、女性用は赤色のマークが使用されている。しかし、ある地域において男女で色が違うのは男女差別になるという理由から、男女同じ色のマークを採用したところ、男性用・女性用を間違えるとの苦情が多く寄せられたという [12]。このように、記憶色は我々の知覚情報に深く関係している。

これまでに、物体の色に関する記憶が知覚過程に及ぼす影響について、様々な研究が行われてきている。Hansenら [9, 27] はディスプレイ上に呈示された果物画像の色を4つのボタン操作により無彩色に調整させる実験を行った。その結果、調整させた果物の無彩色点は典型色 (記憶している物体本来の色) の反対色側にずれ、色空間上の本来の無彩色点では典型色に色づいて見えることがわかり、物体の記憶色が我々の色知覚に大きく影響を及ぼすということが示唆された。一方、ヒトの色知覚に関して、認知活動の有力な指標である事象関連電位 (ERP) を用いて、電気生理学的に検討されている [3]。Cycowiczら [13] は、被験者に赤か緑で輪

郭が描かれたよく目にする物体について学習させ、記憶した物体とそれらと関連した色を尋ねる実験を行い、色の記憶と事象関連電位について調べた。このように、事象関連電位と色の記憶に関する研究 [14, 15] は、これまでに行われているが、そのほとんどが実験上での短期的な色の記憶についての研究であり、物体に対する記憶色については、客観的指標に基づいたアプローチは、いまだ十分とはいえない。

ERPと記憶色に関する研究としては、Gotoら [3] によって、オドボール課題における出現頻度が低く、まれな刺激ほどP3が増大するという特徴と記憶との関連に着目した研究がされている。オドボール課題とは、ERP測定によく用いられる刺激分類課題で、2種類以上の刺激事象を異なる出現頻度で呈示し、被験者に出現頻度の低い刺激事象 (ターゲット刺激) の出現回数をカウントさせるという課題である。オドボール課題中、出現頻度の低い刺激に対して、大きなP3振幅が誘発されることが知られている。P3は、頭皮正中部に於いて、刺激呈示後250~500msに陽性方向3番目に出現するERP成分で、注意や認知に関係するといわれている。この先行研究では、課題中ではなく、実世界上でまれであり目にしないような不自然な画像をターゲット刺激としたときのほうが、自然な画像をターゲット刺激としたときよりもP3が高振幅になるのではないかという仮説のもと、視覚刺激の不自然さ (倒立による不自然さ、記憶色と異なることによる不自然さ) がオドボール課題におけるERPのP3成分に与える影響が調べられた。この先行研究において、自然画像/不自然画像の2種類の画像 (正立顔/倒立顔, 正立ポーズ/倒立ポーズ, 自然色顔/不自然色顔 (反対色ではなく、主観的に不自

然に感じる色))を用い、ターゲット刺激とスタンダード刺激(呈示頻度の高い刺激)の役割を入れ替えて2度オドボール課題を行うと、不自然画像をターゲット刺激にした場合のターゲット刺激呈示時のP3の方が、自然画像をターゲット刺激にした場合のターゲット刺激呈示時のP3よりも、振幅が大きくなるというP3非対称性(不自然画像/自然画像のどちらをターゲット刺激にするかによってP3振幅に有意な差)が見られることが示された。

本研究では、客観性の高いERPを用いて、記憶色の認知過程への影響について電気生理学的に検討することを目的とする。不自然さによるP3非対称性において、記憶色が強い物体ほど物体色を記憶色から逸脱させた場合に感じる不自然さが大きく、P3非対称性も大きくなるという仮説を立てた。つまり、Gotoらの研究結果[3]から、記憶色の強さ(記憶における物体と色の結びつきの強さ)が異なる物体刺激に対して、それぞれ役割を入れ替える2度のオドボール課題を行うと、記憶色の強い物体ほど大きなP3非対称性が現れることが期待できる。

2. 実験1(記憶色測定実験)

各被験者の物体に対する記憶色と、無彩色点を測定するため、2つのタスクからなる心理物理実験を行った。記憶色に関するタスクではマスカット、バナナ、顔、コカ・コーラロゴの4種類の刺激画像(図1参照)がランダムな順番で5回ずつCRTディスプレイに呈示され、被験者は呈示された画像を物体の本来の色である典型色(記憶色)になるように調整した。無彩色点に関するタスクでは均一色ディスク、ランダム(ピンクノイズ)ディスクの2種類のコントロール刺激(図1参照)がランダムな順で5回ずつ呈示され、被験者は呈示されたディスク画像を無彩色になるように調整した。呈示時の刺激の初期色度はトライアル毎にランダムとした。被験者は色軸に対応する4つのボタンを押すことによって色を調整した。

図1 記憶色実験の実験刺激

上段: 物体の記憶色測定のための刺激(4種類: マスカット、バナナ、男性の顔、コカ・コーラロゴ)

下段: 被験者の無彩色点を測定するための刺激(2種類: 均一色ディスク、ランダムディスク)

2.1 被験者

被験者として7名の健康な豊橋技術科学大学の関係者(4名が男性、3名が女性、年齢幅21-25、平均年齢22.3歳)が、実験に参加した。全ての被験者は、タスクについての十分な説明を受け、参加を同意したうえで実験を行った。この際、著者を除く被験者は、実験の目的については知らされていなかった。なお、本実験は国立大学法人豊橋技術科学大学安全衛生委員会「ヒトを対象とする研究」審査会の承認を受け行われた。

2.2 実験刺激

マスカット、バナナ、男性の顔、コカ・コーラロゴの4種類の画像を刺激として使用した。どの画像も物体は中央に位置している。また、コントロール刺激として、均一色ディスク、ランダム(ピンクノイズ)ディスクを使用した。刺激の色は u^*v^* 色度図上で定義されている。マスカット、バナナ、顔画像の平均輝度は 29cd/m^2 、コカ・コーラロゴの輝度は 30.8cd/m^2 とした。また、コントロール刺激として使用する均一色ディスクの輝度は 30.8cd/m^2 、ランダムディスクの平均輝度は 29cd/m^2 とした。コントロールディスクのサイズと4刺激の平均サイズは視野角 $2 \times 2\text{deg}$ とした。

刺激の色を変えるため、はじめにオリジナル画像の各ピクセルの色度を無彩色点(D65光源の無彩色点: $x = 0.3127$, $y = 0.3290$)で正規化し、極座標を求め、画像中の最大彩度を持つピクセルの方位角 θ と彩度 r を基準点 $\mathbf{r} = (r, \theta)$ として定義した。被験者は、色軸に対応するボタンを押すことによって2方向(u^* と v^*)の色分布全体で色を調整することができた。ボタンが押された後、基準点と現在の調整位置の方位角と彩度の差が計算された。そのとき、刺激画像の全単独ピクセルは方位角の差に従って回転され、彩度の比率によってスケールされた。仮に、初期状態の基準点を $\mathbf{r} = (r, \theta)$ 、調整後の新たな基準点を $\mathbf{r}' = (r', \theta')$ としたとき、全ピクセルの色度 $\mathbf{r}_i = (r_i, \theta_i)$ は、下記の式に示す新たな色度位置 $\mathbf{r}'_i$ に調整された。

$$\mathbf{r}'_i = (r_i \frac{r'}{r}, \theta_i - \theta + \theta')$$

全ピクセルの輝度成分は色度調整中変化しない。背景色は常にグレー(輝度 29cd/m^2 , $x = 0.3127$, $y = 0.3290$)である。

2.3 実験環境

刺激呈示は、VSG2/5(Cambridge Research System製)によって制御され、ディスプレイ(CV921X, TOTOKU製、解像度 $800 \times 600\text{pixel}$, Frame Rate 100Hz)を使用して暗室(シールドルーム)の中で行われた。被験者は、75cmの観察距離から顎台によって頭部を固定され、両眼にて刺激を観察した。

2.4 結果と考察

各刺激に対する各被験者の色調節結果を図2に示す。図2における各データ点は、各被験者によって調整された刺激の

背景色を除く全ピクセルの色度の平均値の5トライアルの平均値である。図2より、同じ刺激であっても、被験者によって調整された刺激の典型色点に差があることがわかる。このことから、物体の記憶色は個人ごとに異なるということがわかり、この実験により、被験者ごとの物体の記憶色を定量的に測定できたと考えられる。

2.5 実験2 (ERP測定実験) の刺激色の作成

上述の実験1で得られた色度分布を用いて、4種類の画像に対して、典型色と反対色の2種類の色の刺激を作成した。刺激色の作成方法を図3に示す。典型色刺激は実験1で得た典型色分布の5トライアルの平均値とした。反対色刺激は、無彩色に調整された2種類のディスクの平均値を原点として、典型色刺激の色分布を $u'v'$ 色度図上で色相角を180度回転させた色分布とした。刺激は被験者ごとに作成した。

3. 実験2 (ERP測定実験)

刺激呈示の流れを図4に示す。刺激は、画面中央にブランクと交互に次々と2種類呈示(500ms間)される。1回のオドボール課題で使用する画像は2種類とし、被験者は、低頻度に呈示されるターゲット刺激の呈示回数を数え、タスク終了後にその回数を実験者に報告するように教示された(どちらの画像がターゲット刺激かは課題開始前に教示)。刺激呈示頻度の割合はスタンダード刺激80%、ターゲット刺激

20%とし、どちらが呈示されるかはランダムである。また、スタンダード刺激とターゲット刺激の呈示数の総和についても、約100~150回の範囲でランダムに変動する。その後、同じ2種類の画像で、スタンダード刺激かターゲット刺激かという画像の役割を入れ替えて、もう一度オドボール課題を行う。4種類の画像マスカット、バナナ、顔、コカ・コーラロゴに対して、それぞれ2度のオドボール課題、計8回の実験を行った。本研究では、1度目のオドボール課題と、画像の役割を入れ替えて行った2度目のオドボール課題とのP3振幅の違いが刺激間で見られるかを観察した。実験についての諸条件は以下に示す。

3.1 被験者

実験1同様、7名の健康な豊橋技術科学大学の関係者(4名が男性、3名が女性、年齢幅21-25、平均年齢22.3歳)が、実験に参加した。全ての被験者は、タスクについての十分な説明を受け、参加を同意したうえで実験を行った。この際、著者を除く被験者は、実験の目的については知らされていなかった。なお、本実験は国立大学法人豊橋技術科学大学安全衛生委員会「ヒトを対象とする研究」審査会の承認を受け行われた。

3.2 実験刺激

実験1で作成したマスカット、バナナ、顔、コカ・コーラロゴの典型色画像と反対色画像を使用した。刺激のサイズは横幅を視野角3.6degとした(図4)。

図2 色調整結果

$u'v'$ 色度図上に各刺激に対する被験者の色調整結果をプロットした図。横軸が u' 軸、縦軸が v' 軸。各データ点は、各被験者(7名)が調整した刺激の背景色を除く全ピクセルの色度の平均値の5トライアルの平均値。緑丸はマスカット、黄色逆三角はバナナ、青色ひし形は男性顔、赤色星はコカ・コーラロゴ、黒丸は均一色ディスク、黒四角はランダムディスクのデータ点。

図3 刺激色の作成方法

ある被験者に対する刺激色作成の様子。横軸が u' 軸、縦軸が v' 軸。四角のデータ点は、調整された刺激画像内の背景色を除く、それぞれのピクセルの色度の5トライアルの平均値。緑丸はマスカット、黄色丸はバナナ、青色丸は男性顔、赤丸はコカ・コーラロゴ、黒丸は均一色ディスクとランダムディスクの全ピクセルの平均値の5トライアルの平均値。

図4 実験2の刺激呈示

A: 2度のオドボール課題の刺激呈示の流れ。タスク1では反対色画像をターゲット刺激とし、タスク2では典型色画像をターゲット刺激とする。B: 刺激呈示時間。刺激は、画面中央にブランクと交互に次々と2種類（典型色／反対色）呈示（500ms間）される。

3.3 実験環境

実験1と同様、刺激呈示はVSG2/5（Cambridge Research System 製）によって制御され、ディスプレイ（CV921X, TOTOKU 製, 解像度 800×600 pixel, Frame Rate 100Hz）を使用して暗室（シールドルーム）の中で行われた。被験者は、75cmの観察距離から顎台によって頭部を固定され、両眼にて刺激を観察した。

3.4 ERP記録・解析条件

脳波の計測には64chのセンサーネット電極（Geodesic EEG System 300（サンプリング周波数20,000Hzまで測定可能）、Electrical Geodesics, Inc 製）を使用した。なお、センサーネット電極と頭皮の間の接触抵抗は電解溶剤（塩化カリウム KCl）水溶液によって低減させ $50k\Omega$ 以下とした。計測チャンネルを図5に示す。64ch + 基準電極 Vref（頭頂部 Cz）である。計測された脳波をサンプリング周波数200HzでA/D変換を行った。その後、EEGLAB[33]を使用して、全電極の平均をリファレンス（29,47番電極（乳様突起））に計算しなおし、1～30Hzのバンドパスフィルタをかけ、

刺激呈示前100ms前から800msまでで試行ごとに切り分けた。刺激呈示100ms前から0msまでをベースラインとし、 $\pm 70\mu V$ 以上を含む試行は眼球運動等のアーチファクトとして除いた。残った試行は各刺激について、被験者ごとにスタンダード刺激／ターゲット刺激を別々に平均した後、全被験者の総加算平均を行った（ターゲット刺激：約20回×被験者数、スタンダード刺激：約80回×被験者数の加算回数）。

3.5 結果と考察

マスカット、バナナ、顔、コカ・コーラロゴの4種類の画像に対するERP波形の被験者間総平均値（実験者を除く6名）を図6に示す。実験者は刺激作成のため反対色画像を見慣れており、他の被験者と同じ条件とはいえないため被験者間総平均から除外した。P3成分が頭頂部優位[13]であることから、ここでは、Pzに対する計測結果を示す。4種類すべての画像において、出現頻度の低いターゲット刺激呈示に対してのみ明らかなP3反応が現れた。このターゲット刺激にのみ明らかなP3反応が現れるという結果は、2度のオドボール課題を行うという同様の手続きをとったGotoら[3]の研究でも示されている。さらに、反対色／典型色ターゲット刺激呈示時のP3を比較すると、(B) バナナと (C) 顔画像において反対色刺激をターゲット刺激とした場合に、より大きなP3を惹起していることがわかる。図7は2つのタスクのP3ピーク振幅（刺激呈示後250ms～500msのピーク値）に対し、刺激の役割（ターゲット／スタンダード）とタスク（反対色ターゲット／典型色スタンダード or 典型色ターゲット／反対色スタンダード）を要因としてtwo-way repeated measures ANOVAをかけた結果である。(C)の顔画像では、ERPの振幅の大きさに対する刺激の役割（ターゲット／スタンダード）による主効果（ $F = 57.734$, $p < 0.01$ ）、および刺激の役割（ターゲット／スタンダード）とタスク（反対色ターゲット／典型色スタンダード or 典型色ターゲット／反対色スタンダード）間の交互作用（ $F = 8.503$, $p < 0.05$ ）が認められた。すなわち、刺激の役割を入れ替えた2つのタスク（反対色ターゲット／典型色スタンダード or 典型色ターゲット／反対色スタンダード）で、自然画像（典型色）をターゲット

図5 64電極配置

65個の電極があるが、Cz（図中VRF）からの電位差をみているため、実際に計測される箇所は64箇所である。

図6 後側頭（Pz）でのERP総加算平均波形

後側頭の電極（Pz）での被験者間総加算平均波形（N=6）。横軸が潜時、縦軸がP3振幅。青い実線は典型色スタンダード、赤色実験は反対色ターゲット、水色1点破線は反対色スタンダード、ピンク色1点破線は典型色ターゲットを呈示したときのERP総加算平均波形。Aはマスカット、Bはバナナ、Cは男性顔、Dはコカ・コーラロゴ刺激呈示時の波形。EはPzの電極位置を示す。

にした場合よりも、不自然画像（反対色）をターゲットにした場合の方がP3振幅が大きくなるというP3非対称性が見られた。

一方、他の3種類の刺激では、ERPの振幅の大きさに対する刺激の役割（ターゲット／スタンダード）による主効果（マスカット： $F = 53.598$, $p < 0.01$, バナナ： $F = 57.000$, $p < 0.01$, コカ・コーラ： $F = 30.216$, $p < 0.01$ ）が認められたが、刺激の役割とタスク間の交互作用（マスカット： $F = 0.409$, $p = 0.5505$, バナナ： $F = 1.191$, $p = 0.3250$, コカ・コーラ： $F = 1.317$, $p = 0.3031$ ）は認められず、P3非対称性は見られなかった。

図8に反対色－典型色間差分を示す。反対色－典型色間差分とは、反対色刺激をターゲット、典型色刺激をスタンダードとしてオドボール課題を行ったときの、ターゲット刺激とスタンダード刺激のP3差分と、典型色刺激をターゲット、反対色刺激をスタンダードとしてオドボール課題を行ったときの、ターゲット刺激とスタンダード刺激のP3差分の間の差のことである。この差分に対して、刺激の種類を要因としてone-way repeated measure ANOVAをかけたところ有意差が認められ（ $F = 4.380$, $p < 0.05$ ）、さらにHolm-Sidak法による多重比較を行ったところ、顔－コカ・コーラ間（ $p < 0.01$ ）、マスカット－顔間（ $p < 0.01$ ）に違いが見られた。

以上の結果から、顔は他の刺激に比べ、記憶色が強いと考えられる。一方で、先行研究において、顔はヒトにとって最も重要な意味を持つ社会刺激であり[25]、霊長類の色覚は「肌の色」の変化を識別するために最適に設計されている可能性がある[26]といわれており、このことから顔の記憶色が強いということが推測される。また、マスカット、バ

ナナについては、反対色－典型色間差分に有意差は出なかったものの、“マスカット＜バナナ”という関係は、Olkkonenら[27]の行動実験による記憶色の指標（MCI：Memory Color Index）のマスカットとバナナの関係と一致する。これは、普段の生活において、マスカットよりもバナナの方が目にする機会が明らかに多く、バナナの方が物体と色の結びつきが強いということが考えられる。また、コカ・コーラロゴに関しては、他の3種類の刺激が自然物であるのに対して、コカ・コーラロゴは人工物であり、このことが結果に影響していると考えられる。本研究では、物体の色を反対色にしたときに感じる不自然さから物体の記憶色の強さを調査したが、人工物は自然物に比べ不自然に感じる度合いが低いと考えられる。

本研究においては、男性顔に対してのみP3非対称性が認められ、バナナに対してはP3非対称性は認められなかったものの、反対色ターゲットの方が典型色ターゲットよりもP3振幅が大きくなるという傾向は見られた。マスカット、コカ・コーラについては、P3非対称性は見られなかった。一方で、Gotoら[3]の研究では、人の顔とオレンジの画像に対して、自然色／不自然色でのP3非対称性が認められている。したがって、記憶色の強さによるP3非対称性は、本研究で使った刺激以外の物体に関しても生じると考えられる。

以上より、オドボール課題におけるP3成分は記憶色の強さを反映していると考えられる。

4. ま と め

本研究では、物体刺激の記憶色の強さがオドボール課題に

図7 P3ピーク振幅とP3非対称性

2つのタスクのP3ピーク振幅（刺激呈示後250ms～500msのピーク値）に対し、タスクと画像の役割を要因としてtwo-way repeated measures ANOVAをかけた結果、横軸がタスクの種類、縦軸がP3振幅。丸のデータ点がP3ピーク振幅値、丸から伸びた縦線は標準偏差。赤色はターゲット刺激、青色はスタンダード刺激。*は刺激の役割とタスク間の交互作用 ($p < 0.05$)が見られたことを示す。n.s.は交互作用が見られなかったことを示す。Aはマスカット、Bはバナナ、Cは男性顔、Dはコカ・コーラロゴのP3非対称性。

おける事象関連電位 (ERP) のP3成分に与える影響を調べた。実験1で、被験者にマスカット、バナナ、顔、コカ・コーラロゴの刺激画像の色を調整させる心理物理実験を行ったところ、被験者が調整した典型色に個人差が見られ、被験者毎の典型色を実験1によって定量的に測定することができた。実験1で得た4刺激の被験者毎の典型色分布の色相角を180度回転させ、実験2で使用する被験者毎の反対色刺激を作成した。実験2では、4刺激に対し、作成した典型色／反対色刺激を用いたオドボール課題を行い、その間のERPを計測した。4刺激に対して、各条件（反対色・典型色×ターゲット・スタンダードの4条件）の刺激呈示時のP3ピーク値を求めたところ、顔刺激で典型色をターゲット刺激にした場合に比べ、反対色をターゲット刺激とした場合により大きなP3振幅が見られたが、他の3刺激に関してはこのようなP3非対称性は見られなかった。また、反対色－典型色間P3振幅差分を

求めたところ、顔刺激のP3振幅差分が大きく、顔－コカ・コーラ間、マスカット－顔間のP3振幅差分に違いが見られた。

ヒトは顔を見て、即座にそれが誰であるかを認識でき、顔からおおよその年齢を推測することや、表情を読むことで、そのヒトの感情や心の状態を認識することも可能であることから、顔は最も重要な意味を持つ社会刺激であり [25]、霊長類の色覚は「肌の色」の変化を識別するために最適に設計されている可能性がある [26]、といわれており、このことから顔の記憶色が強いということが推測される。実際に、テレビや印刷物などの色再現において、肌色は最も重要視されており、好ましい肌色の再現が求められている。その中で、好ましい肌色が人の記憶色に基づくとの考え方が一般的に受け入れられており、肌色の記憶色に関する研究が多く行われている [17, 28]。また、マスカット、バナナについては、有意差は出なかったものの、「マスカットの記憶色の強さく

図8 反対色－典型色間差分

反対色ターゲット・典型色スタンダードP3差分と典型色ターゲット・反対色スタンダードP3差分の間の差。横軸が刺激の種類、縦軸がP3振幅。エラーバーは標準偏差。*は刺激の種類を要因としてone-way repeated measure ANOVAをかけ、さらにHolm-Sidak法による多重比較を行ったとき、その刺激間で有意差 ($p < 0.05$) が見られたことを示す。

バナナの記憶色の強さ」という関係はOlkkonenら [27] の結果と一致する。

以上より、本研究でオドボール課題において、刺激の役割を入れ替えたときのP3成分の変化は、記憶色の強さを反映していることが示唆された。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省グローバルCOEプログラム「インテリジェント・センシングのフロンティア」および、科学研究費補助金・基盤研究 (B) 19300071の援助により行われた。

参 考 文 献

- [1] 入戸野宏：心理学のための事象関連電位ガイドブック，北大路書房，2005。
- [2] K. Duncker: The influence of past experience upon perceptual properties, *American Journal of Psychology*, 52: pp.255-265, 1939.
- [3] K. Goto, H. Takai, M. Kitazaki, and S. Nakauchi: Dependency of the P3 amplitude in the oddball task on naturalness of visual stimuli, *International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research 2007*, Sapporo, October 2007. *Proceedings of International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research 2007*, A-16, 5pages (CD-ROM), 2007.
- [4] 橋本健次郎，金子隆芳，富家直：新編色彩科学ハンドブッ

ク (第2版)，東京大学出版会，1998。

- [5] G. Adams: An experimental study of memory color and related phenomena, *American Journal of Psychology*, 34: pp.359-407, 1924.
- [6] J. S. Bruner, L. Postman, and J. Rodrigues: Expectation and the perception of color, *Am J Psychol*, 64(2): pp.216-227, 1951.
- [7] J. L. Delk and S. Fillenbaum: Differences in perceived color as a function of characteristic color, *Am J Psychol*, 78: pp.290-293, 1965.
- [8] T. Hansen and K. R. Gegenfurtner: Color scaling of discs and natural objects at different luminance levels, *Vis Neurosci*, 23(3-4): pp.603-610, 2006.
- [9] T. Hansen, M. Olkkonen, SebastianWalter, and K. R. Gegenfurtner: Memory modulates color appearance, *Nat Neurosci*, 9 (11): pp.1367-1368, 2006.
- [10] A. C. Hurlbert & Y. Ling: If it's a banana, it must be yellow: The role of memory colors in color constancy [abstract], *Journal of Vision*, 5 (8): pp.787, 787a, 2005.
- [11] R. C. Bolles, I. M. Hulicka, and B. Hanly: Colour judgment as a function of stimulus conditions and memory colour, *Can J Psychol*, 13: pp.175-185, 1959.
- [12] 中日新聞：男女で同じマーク，元へ 大府市トイレ「分かりづらい」，2008年12月10日朝刊。
- [13] Y. M. Cycowicz, D. Friedman, and J. G. Snodgrass: Remembering the color of objects: an erp investigation of source memory, *Cereb Cortex*, 11 (4): pp.322-334, 2001.
- [14] T. Y. Kuo and C. V. Petten: Perceptual difficulty in source memory encoding and retrieval: prefrontal versus parietal electrical brain activity, *Neuropsychologia*, 46 (8): pp.2243-2257, 2008.
- [15] U. K. Ecker, H.D. Zimmer, and C. Groh-Bordin: The influence of object and background color manipulations on the electrophysiological indices of recognition memory, *Brain Res*, 1185: pp.221-230, 2007.
- [16] 和気典二，大山正，今井省吾：新編感覚・知覚心理学ハンドブック，誠信書房，1994。
- [17] 鈴木恒男：肌色の再現 the color reproduction of the skin, *日本色彩学会誌*, 29: pp.29-36, 2005.
- [18] C.J.Bartleson.: Color in memory in relation to photographic reproduction, *Photographic Science and Engineering*, 5, 6: pp.327-331, 1961.
- [19] S. C. Fisher, C. Hull, and P. Holtz: Past experience and perception: memory color, *Am J Psychol*, 69 (4): pp.546-560, 1956.
- [20] E. W. Jin and S. K. Shevell.: Color memory and color constancy, *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*, 13 (10): pp.1981-1991, 1996.
- [21] R. Simson, H. G. Vaughn, and W. Ritter: The scalp topography of potentials in auditory and visual discrimination

- tasks, *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 42 (4): pp.528-535, 1977.
- [22] S. Sutton, M. Braren, J. Zubin, and E. R. John: Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty, *Science*, 150 (700): pp.1187-1188, 1965.
- [23] C. C. Duncan-Johnson and E. Donchin: On quantifying surprise: the variation of event-related potentials with subjective probability, *Psychophysiology*, 14 (5): pp.456-467, 1977.
- [24] T. F. Sanquist, J. Rohrbaugh, K. Syndulko, and D. B. Lindsay: An event-related potential analysis of coding processes in human memory, *Prog Brain Res*, 54: pp.655-660, 1980.
- [25] V. Bruce: *Recognising faces*, Hillsdale, NJ. Erlbaum, 1988.
- [26] M. A. Changizi, Q. Zhang, and S. Shimojo: Bare skin, blood and the evolution of primate colour vision, *Biol Lett*, 2 (2): pp.217-221, 2006.
- [27] M. Olkkonen, T. Hansen, and K. R. Gegenfurtner: Color appearance of familiar objects : effects of object shape, texture, and illumination changes, *J Vis*, 8 (5): 13.1-1316, 2008.
- [28] 小林裕幸, 青木直和, 鈴木正和: 好ましい肌色の研究: 記憶色選択法による評価, *映像情報メディア学会誌*, 57, 3: pp.409-412, 2003.
- [29] 大熊輝雄: *臨床脳波学*, 医学書院, 1999.
- [30] Y. Kamitani and F. Tong: Decoding seen and attended motion directions from activity in the human visual cortex, *Curr Biol*, 16 (11): pp.1096-1102, 2006.
- [31] Y. Kamitani and F. Tong: Decoding the visual and subjective contents of the human brain, *Nat Neurosci*, 8 (5): pp.679-685, 2005.
- [32] 竹原卓真, 野村理朗: 「顔」研究の最前線, 北大路書房, 2004.
- [33] A. Delorme, S. Makeig: EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics, *Journal of Neuroscience Methods*, 134 : pp.9-21, 2004.

中内 茂樹 (正会員)

豊橋技術科学大学 情報工学系 教授。平成5年豊橋技術科学大学博士後期課程了。同年同大学情報工学系助手。平成19年より現職。博士(工学)。視知覚現象の実験的・計算論的研究, 色彩工学, 分光イメージングに関する研究に従事。平成元年篠原記念学術奨励賞, 平成9年日本神経回路学会奨励賞, 平成21年日本色彩学会論文賞各受賞。

南 哲人 (非会員)

平成16年京都大学大学院情報研究科博士課程修了(情報学博士)。平成16年-平成20年独立行政法人情報通信研究機構関西先端研究センター脳情報グループ専攻研究員。現在は, 豊橋技術科学大学インテリジェントセンシングシステムリサーチセンター特任准教授。脳波とブレインコンピューターインターフェースに関する研究に従事。平成17年日本生体磁気学会大会U35 奨励賞受賞。

中島 加恵 (非会員)

昭和61年生まれ, 平成17年滋賀県立国際情報高等学校卒業, 平成21年豊橋技術科学大学情報工学課程卒業, 同年豊橋技術科学大学情報工学専攻入学。現在在学中。