解 説

顔色が顔情報処理に与える影響

南 哲 人

豊橋技術科学大学エレクトロニクス先端研究所*

Effect of Facial Color to Face Processing

Tetsuto Minami

Electronics-Inspired Interdisciplinary Research Institute, Toyohashi University of Technology*

概要

ヒトにとって、顔は、一般的な視覚刺激であり、重要な社会刺激である。われわれは、顔からは、個人、性別、年齢、感情状態などのさまざまな情報を得ることができる。これまで、行動実験や fMRI や脳波などの脳イメージング研究から、顔認知処理に関して、さまざまな研究が行われてきた。その研究のほとんどが、顔の輪郭や顔のパーツ配置など、顔の構造情報に関係するものであった。しかしながら、近年、顔色などの、顔の表面情報も顔認知に重要なことが示されてきた。そこで、われわれは、これまで、顔の色情報が顔認知処理にどのような影響を与えるのかを調べるために、通常の色から逸脱した顔色の視覚刺激を見たときの、脳波成分について調べてきた。その結果、顔に関係する N170 成分の振幅が大きくなった。N170 は顔の初期検出の指標ではないかといわれていることから、本研究における N170 振幅の増大は、顔色を顔の初期検出の際に使用している可能性を示唆している。

1. は じ め に

われわれにとって、顔は重要な意味を持つ社会刺激であり、顔から、個人の特定、性別、年齢、感情状態などの非常に多くの情報を読み取ることで、円滑な社会生活を行っている。

ヒトにとって、顔は、最も見慣れた視覚刺激の 1 つであると共に、重要な意味を持つ社会刺激である。例えば、ヒトは、顔から性別や年齢を推測することや、顔の表情から、感情や心の状態を認識することも可能である。このように、ヒトは、顔から非常に多くの情報を読み取る事ができるという卓越した認識能力をもっている。これまで、空間分解能の優れた fMRI や PET を用いたニューロイメージング研究では、紡錘状回¹⁾、下後頭回²⁾、上側頭溝³⁾などの脳領域が顔情報処理に関係することが示されており、これらの領域は、顔認知におけるコアシステムを構成していると考えられている⁴⁾。

また、時間分解能の高い脳波や MEG 研究においては、後頭-側頭領域に、刺激提示後、約 170 ms 後に観察される脳波成分 N170 (MEG では M170) が、顔に

敏感に反応することがいわれており、顔以外の物体や風景などの視覚刺激を提示した場合に比べると、顔刺激を呈示した場合には、振幅は増大し、潜時は短くなる^{5,6)}。顔認知においては、倒立効果があることがよく知られており、顔の上下を反転させると、顔認識精度が下がり、反応時間長くなる⁷⁾。この現象は、N170 にも反映され、顔を倒立提示した場合、正立提示した場合に比べて、振幅が増大し、潜時が遅くなる^{6,8,9)}。顔以外の物体に対しては、これらの成分に倒立効果が生じないことが報告されている^{10,11)}。また、目、鼻、口などの顔のパーツや輪郭をなくしたり、パーツの配置をスクランブル化するような操作を行うと、潜時が遅くなる^{5,9,12)}。これらの研究報告から、N170 は顔の布置情報の変化を反映するとされている。

このように、顔処理に関連する神経システムの構造と機能的特徴を調べるために多くの研究がされているが、顔の形状変化 (倒立顔、顔の輪郭の有無、顔のパーツ配置等) に着目したものがほとんどである。しかしながら、近年、顔の形状情報以外に、顔色や反射特性など顔の表面情報も顔認知に重要な機能を果たしていることが示されてきている¹³⁻¹⁷⁾。たとえば、Yip と Sinha¹⁴⁾は、色が顔認識に一定の役割を示しており、特

* 〒 441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1

に形態情報が劣化した場合に顕著であることを示した。また、Russell ら¹⁶⁾は、顔の反射率が顔同定のパフォーマンスに影響することを示した。このような顔の表面情報の中で、われわれは顔色に注目した。

2. 顔色の重要性

顔の表面情報の中でも、顔色は特に注目に値する。日常会話の中でも、「顔を真っ赤ににして怒る」「恐怖で顔が真っ青になる」というように、顔色と感情状態が結びつけられることは頻繁である。また、ヒトを含む霊長類の色覚が、顔の肌の露出度と、肌の色変化に敏感な色知覚に深い関係がある事を示し、霊長類における色知覚は、感情的な状態、社会的シグナル等を表現するために、同種の肌の色におけるスペクトル変化を識別するために最適に設計されているという仮説もある¹⁸⁾。もし、霊長類の色覚の進化的背景が、顔の色に深い関係があるならば、顔色に対して、顔以外の物の色に対する処理とは異なる特別な認知処理が働いている可能性が考えられる。実際、Tan と Stephen¹⁹⁾は、顔における色とパッチ上の色の弁別パフォーマンスを比較することにより、ヒトが顔色（特に赤み）に対して高い感度を持つことを示している。

物体認知において、表面色が認識に影響を与えることが示されているが^{20, 21)}、顔色においても、過去の研究により、年齢や性別、健康状態、魅力などに関連していることが示されている²²⁻²⁸⁾。Fink ら²³⁾は、顔における肌の色分布は、顔の形状とは独立して、女性の年齢、魅力、健康度の認知に影響を与えていることを示している。また、Stephen ら²⁶⁾は、健康状態が良好に見えるように被験者に顔画像の顔色を調整させるように実験を行った結果、顔色の赤みが増えるような色が調節されたことから、顔色が健康状態の認知に重要な役割を果たすことを示した。また、彼らは²⁷⁾、肌の赤みを増すと、女性にとっては攻撃性や魅力が増すということから、顔色の赤成分は、他の霊長類などと同様に、ヒトにおいても男性の質を伝える役割をしていると示唆している。

そこで、これまで、われわれは、顔の色情報が顔認知処理にどのような影響を与えるのかを調べるために、通常顔色（肌色）から逸脱した顔色の視覚刺激を見たときの脳活動について、脳波成分を中心に調べてきた。その結果、顔に関係する N170 成分の振幅が大きくなった。これは、倒立顔や輪郭がない顔を見たときと同様の結果である。次からは、この顔色に関する 2 つの脳波実験^{29, 30)}に関して紹介する。

3. 顔認知処理に与える色情報の影響

刺激はサルの顔画像と、財団法人ソフトピアジャパンから使用許諾を受けた人の顔画像（男性 10 人）の自然色顔画像を使用し、Adobe の Photoshop により、青色顔画像を作成した。さらに、MATLAB を用いて自然色顔画像、青色顔画像の位相をランダム化したスクランブル画像を作成した。このスクランブル画像は、元の画像の形状特性を失うが、輝度、コントラスト、スペクトルエネルギーなど低いレベルでの画像特徴を保持できる。顔画像は視野角 $15^\circ \times 11^\circ$ の RGB = 192, 192, 192 のニュートラルグレーの長方形に顔画像が配置されており、スクランブル画像は同サイズで、顔画像の形状特徴を失った長方形となっている。それらの画像の背景は RGB = 128, 128, 128 のニュートラルグレーであり、顔画像とスクランブル画像ともに画像と背景の境界が認知できる。刺激提示は、VSG2/5 (Cambridge Research System 製) によって制御され、ディスプレイ (GDM, F500R, SONY 製解像度 800×600 pixel, Frame Rate 100 Hz) を使用して暗室の中で行われた。図 1 に示すような自然色顔画像、青色顔画像、それらの位相ランダム画像をそれぞれ 10 枚、1~3 枚のサルの顔画像、合わせて 41 枚~43 枚の刺激提示を 1 ブロックとし、5 ブロック繰り返された。刺激は、500 ms 間提示され、刺激と刺激の間の時間 (ISI: inter-stimulus interval) は、1100~1500 ms のランダムな提示タイミングとした。被験者には、ディスプレイの中心を固視させ（視距離 55 cm）、サルの顔画像が提示された回数を静かに数えるように教示した（サルの提示回数を誤答した場合は、再度実験を行った）。

ERP 解析では、1~30 Hz のバンドパスフィルタをかけ、刺激提示 100 ms 前から 800 ms の試行ごとに切り分けた。また、刺激提示 100 ms 前から 0 ms 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、被験者ごとに 4 つの刺激条件で別々に平均した後、全被験者の総加算平均を行った。ERP の振幅と潜時は、3 要因の対応のある分散分析 (Repeated measures ANOVA) を行った。要因は、顔画像かどうかという形状の違い、青色か肌色かという色の違い、左右の半球の違いである。

図 2 に、被験者 10 人のデータを総加算平均した ERP 波形を示す。刺激を提示してから、100 ms から 200 ms の間で、顔（自然色顔画像/青色顔画像共）を提示した場合に、陰性方向の強い振れが確認できる。また、左半球の電極よりも右半球の電極の方がより大きな振幅

図1 実験で用いた刺激の一例と実験パラダイム：自然色顔画像、青色顔画像、それらのスクランブル画像を提示した。被験者にはディスプレイの中心を固視させ、サルの顔画像の回数を静かに数えるように教示した。

となっており、潜時（刺激を提示してから振幅のピークとなるまでの時間）は、スクランブル画像に比べて、顔画像を提示した際に早い。立ち上がり時間や電位の極性、半球差、顔に対する潜時の早さや、振幅の大きさといった特徴から、この振幅が N170 だといえる。顔画像間（自然色顔画像/青色顔画像）で、N170 を比較すると、自然色顔画像よりも青色顔画像で、より大きな振幅となっているが、潜時に違いは無く、どちらも刺激を提示してからおよそ 160 ms であった。図 3 に刺激提示 160 ms 後の頭皮上電位分布を示す。顔画像を提示した際に、後側頭で N170 の強い陰性電位、頭頂部では、VPP（vertex positive potential もしくは P170）が確認できる。また、N170 については、右後側頭の電極で左後側頭の電極よりもより強い電位であることが、図 2 の ERP 波形よりもはっきりと見て取れる。顔画像間では、自然色顔画像よりも青色顔画像を提示した際に、N170、VPP 共により強い電位で広範囲な分布となった。

N170 の振幅と潜時の分散分析の結果、振幅は、形状、色、半球の主効果が見られ、スクランブル画像よりも、顔画像、自然色よりも青色、左半球よりも右半球で有意に振幅が増大している（図 4）。また、形状と色の交互作用が見られ、これは、顔画像の際に色の違いが N170 振幅に影響を与えていることを示している。潜時については、形状による主効果が見られ、顔画像で潜時が短い。また、形状と色の交互作用が見られ、顔画像の際に色の違いが N170 潜時にも影響を与えていることを示している。

N170 は顔の初期検出の指標ではないかといわれて

図2 後頭側頭 8 電極（29, T5, 32, O1, 47, T6, 43, O2）の被験者平均 ERP 波形：青：自然色顔画像、赤：青色顔画像、緑：自然色顔画像のスクランブル画像、紫：青色顔画像のスクランブル画像

いる^{8, 31)}ことから、本研究における、青色顔画像における N170 振幅の増大は、顔の色も顔の初期検出の際に使用していることを示している。顔認知処理をする際に通常の顔の色でないことから、倒立顔と同様に、処理が難しくなっているのかもしれない。しかしながら、倒立顔では見られる潜時の遅れは、青色顔では見られず、倒立顔と青色顔ではその処理の困難さの質が異なっている可能性がある。

図3 刺激提示後 160 ms 後の右後側頭（上段），左後側頭（中段），頭頂（下段）の電位分布：左から，自然色顔画像，青色顔画像，自然色顔画像のスクランブル画像，青色顔画像のスクランブル画像を提示した際の電位分布。

図4 後頭側頭 8 電極 (29, T5, 32, O1, 47, T6, 43, O2) における平均ピーク振幅・潜時の比較

4. 顔色の色相変化が顔選択的事象関連電位に与える影響

3 章の実験で使用された顔色刺激は，見慣れた顔色（自然な顔色）と見慣れない顔色（不自然な顔色）と表現することができる．本実験では，見慣れた/見慣れないの 2 極ではなく，顔色の色相を段階的に変化させた顔画像に対して，N170 成分がどのような変調を見せるかを調査し，N170 に見られる顔色の影響について検討を行った．男女 15 名（男性 10 名，女性 5 名，年齢幅 21–24，平均年齢 22.5 歳）が被験者として実験に参加した．実験環境は先の実験と同様である．

刺激として，財団法人ソフトピアジャパンから使用許諾を受けた人の顔画像 10 名分（男性 5 名，女性 5 名）とサル画像を使用した．髪の毛を除外するため，すべての画像を Adobe 社の Photoshop を使用して，楕円形に加工した．CIE u^*v^* 色度図上で，オリジナル画像の色分布を色相 0 度と定義し，白色点を原点とし

図5 実験で用いた刺激の一例と実験パラダイム

で，色相を 45 度ずつ回転させることにより，1 枚の顔画像対し，8 色相分の顔色画像を作成した．作成した刺激の一例を図 5 に示す．脳波測定実験では，上記の 80 種類の顔画像と 1 種類のサル画像を使用した．1 ブロックは，8 色相の顔画像をそれぞれ 10 回と，サル画像を 1–3 回のランダムな順列での提示で構成され，被験者はサル画像が提示された回数をカウントするタスクを課された．このブロックを実験全体で 10 ブロック行った．刺激提示は図 1–5 に示すように，刺激が 500 ms 間提示され，刺激と刺激の間の時間（ISI：Inter-stimulus interval）は，1100–1500 ms のランダムな提示タイミングとした．

各顔色刺激に対する，ERP 総加算平均波形を図 6 に示す．後側頭部電極（左：29, T5, 32，右：47, T6, 43）において，刺激を提示してから 100 ms から 200 ms の間で，すべての顔色画像に対して，陰性方向に大きな振幅（N170）が確認できる．また，前頭中央電極（Fz, 8）では，刺激を提示してから 100 ms から 200 ms の間で，陽性方向にピーク（VPP）が見られた．

顔色条件間の N170 振幅の大きさを比較するために，左右後側頭部の電極（左：32，右：43）で得られた，刺激を提示してから 150 ms から 200 ms 間の負の最大値

図6 8色の顔刺激に対する被験者平均ERP波形（左側頭頭頂：29，T5，32；右側頭頭頂：43，T6，47；前頭中央電極：Fz，8）

をN170振幅とした。被験者間の平均値とその標準誤差を図7に示す。図で示すように、左後側頭では、顔色の色相が大きくなる（オリジナル顔画像の色相から離れる）に従って、N170振幅も大きくなる傾向が見られた。右後側頭では、他の色相の顔画像に比べ、色相0度の顔画像（オリジナル顔画像の色）の振幅が若干小さいが、顔色の色相によるN170振幅の差はほとんど見られなかった。

N170ピーク振幅に対し、2要因（顔色，半球）と1要因（顔色）で反復測定分散分析を行った結果、顔色の主効果が見られたが、半球の主効果，顔色と半球の交互作用は見られなかった。さらに、要因を顔色に限定し、左右半球に対して別々に分散分析を行うと、左半球でのN170振幅には顔色の主効果が見られ、右半球では顔色の主効果は見られなかった。N170振幅で見られた顔色の効果について左後側頭では顔画像のオリジナルカラーである色相0度の顔色に比べ、オリジナルカラーから離れた色相135，180，225（-135）度

図7 N170ピーク振幅と色相角の関係

の顔色に対して、大きなN170振幅が得られた。また、左後側頭でのN170振幅の色相による変調は、色相がオリジナルカラーから遠くなるに従って振幅が大きくなる傾向が見られ、顔色の色相の違いが、敏感にN170振幅に反映された。それに対し、右後側頭でのN170振幅には顔色の効果がなく、顔色の色相によらずN170振幅はほぼ一定であった。N170成分の左右半球の違いに関しては、左右の半球における処理機能の相違が、N170成分に反映して違いが生じることが報告されている。Scottら³²⁾は、N170成分が左半球では顔の目，鼻，口などの特徴の違いに、右半球では顔の布置情報の違いに敏感であることを報告している。このように、左右半球でのN170は異なる処理を反映することが示されている。また、Proverbioら³³⁾による物体認識における、物体の形状と色に関する研究では、左半球の後頭側頭領域が色と形状の処理が統合される場所であることが示唆されている。これらの先行研究より、顔の形状と色の結びつきの強さを反映して、左後側頭部電極でのN170成分に顔色の効果が敏感に現れたと考えられる。

5. おわりに

以上、顔色に関するわれわれの脳波研究を中心に、顔の表面情報に関する顔情報処理に関して概観してきた。今回紹介した研究は、顔色の効果を最大限にしてみるために、実際の顔色変化では見られないような「青」の顔色を用いて研究を行ってきた。これまでの研究により、顔色の変化に一定の効果があることが確認できたので、現在は、通常の顔色変化にとどめたうえで、表情処理などとの相互作用に関して調べているところである。

参 考 文 献

- 1) Kanwisher, N., McDermott, J., Chun, M.M. (1997): The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception, *The Journal of Neuroscience: the Official Journal of the Society for Neuroscience*, Vol.17, No.11, pp.4302–4311.
- 2) Gauthier, I., Tarr, M.J., Moylan, J., Skudlarski, P., Gore, J.C., Anderson, a W. (2000): The fusiform “face area” is part of a network that processes faces at the individual level, *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol.12, No.3, pp.495–504.
- 3) Ishai, A., Schmidt, C.F., Boesiger, P. (2005): Face perception is mediated by a distributed cortical network, *Brain Research Bulletin*, Vol.67, No.1-2, pp.87–93.
- 4) Haxby, J.V., Hoffman, E.A., Gobbini, M.I. (2000): The distributed human neural system for face perception, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol.4, No.6, pp.223–233.
- 5) Itier, R.J. (2004): N170 or N1? Spatiotemporal differences between object and face processing using ERPs, *Cerebral Cortex*, Vol.14, No.2, pp.132–142.
- 6) Rossion, B., Joyce, C.A., Cottrell, G.W., Tarr, M.J. (2003): Early lateralization and orientation tuning for face, word, and object processing in the visual cortex, *NeuroImage*, Vol.20, No.3, pp.1609–1624.
- 7) Yin, R.K. (1969): Looking at upside-down faces, *Journal of Experimental Psychology*, Vol.81, No.1, pp.141–145.
- 8) Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E., McCarthy, G. (1996): Electrophysiological studies of face perception in humans, *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol.8, No.6, pp.551–565.
- 9) Itier, R.J., Taylor, M.J. (2002): Inversion and contrast polarity reversal affect both encoding and recognition processes of unfamiliar faces: a repetition study using ERPs, *NeuroImage*, Vol.15, No.2, pp.353–372.
- 10) Rossion, B., Delvenne, J.F., Debatisse, D., Goffaux, V., Bruyer, R., Crommelinck, M., Guérit, J.M. (1999): Spatio-temporal localization of the face inversion effect: an event-related potentials study, *Biological Psychology*, Vol.50, No.3, pp.173–189.
- 11) Rossion, B., Gauthier, I., Tarr, M.J., Despland, P., Bruyer, R., Linotte, S., Crommelinck, M. (2000): The N170 occipito-temporal component is delayed and enhanced to inverted faces but not to inverted objects: an electrophysiological account of face-specific processes in the human brain, *Neuroreport*, Vol.11, No.1, pp.69–74.
- 12) Calder, A.J., Young, A.W. (2005): Understanding the recognition of facial identity and facial expression, *Nature Reviews. Neuroscience*, Vol.6, No.8, pp.641–651.
- 13) Sinha, P. (2002): Recognizing complex patterns, *Nature Neuroscience*, Vol.5 Suppl., pp.1093–1097.
- 14) Yip, A.W., Sinha, P. (2002): Contribution of color to face recognition, *Perception*, Vol.31, No.8, pp.995–1003.
- 15) Vuong, Q.C., Peissig, J.J., Harrison, M.C., Tarr, M.J. (2005): The role of surface pigmentation for recognition revealed by contrast reversal in faces and Greebles, *Vision Research*, Vol.45, No.10, pp.1213–1223.
- 16) Russell, R., Biederman, I., Nederhouser, M., Sinha, P. (2007): The utility of surface reflectance for the recognition of upright and inverted faces, *Vision Research*, Vol.47, No.2, pp.157–165.
- 17) Caharel, S., Jiang, F., Blanz, V., Rossion, B. (2009): Recognizing an individual face: 3D shape contributes earlier than 2D surface reflectance information, *NeuroImage*, Vol.47, No.4, pp.1809–1818.
- 18) Changizi, M.A., Zhang, Q., Shimojo, S. (2006): Bare skin, blood and the evolution of primate colour vision, *Biology Letters*, Vol.2, No.2, pp.217–221.
- 19) Tan, K.W., Stephen, I.D. (2013): Colour detection thresholds in faces and colour patches, *Perception*, Vol.42, No.7, pp.733–741.
- 20) Price, C.J., Humphreys, G.W. (1989): The effects of surface detail on object categorization and naming, *Q. J. Exp. Psychol. A*, Vol.41, No.4, pp.797–827.
- 21) Tanaka, J., Weiskopf, D., Williams, P. (2001): The role of color in high-level vision, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol.5, pp.211–215.
- 22) Bruce, V., Langton, S. (1994): The use of pigmentation and shading information in recognising the sex and identities of faces, *Perception*, Vol.23, No.7, pp.803–822.
- 23) Fink, B., Grammer, K., Matts, P. (2006): Visible skin color distribution plays a role in the perception of age, attractiveness, and health in female faces, *Evolution and Human Behavior*, Vol.27, No.6, pp.433–442.
- 24) Jones, B.C., Little, A.C., Burt, D.M., Perrett, D.I. (2004): When facial attractiveness is only skin deep, *Perception*, Vol.33, No.5, pp.569–

- 576.
- 25) Matts, P.J., Fink, B., Grammer, K., Burquest, M. (2007): Color homogeneity and visual perception of age, health, and attractiveness of female facial skin, *Journal of the American Academy of Dermatology*, Vol.57, No.6, pp.977–984.
- 26) Stephen, I.D., Law Smith, M.J., Stirrat, M.R., Perrett, D.I. (2009): Facial skin coloration affects perceived health of human faces, *International Journal of Primatology*, Vol.30, No.6, pp.845–857.
- 27) Stephen, I.D., Oldham, F.H., Perrett, D.I., Barton, R.A. (2012): Redness enhances perceived aggression, dominance and attractiveness in men's faces, *Evolutionary Psychology: an International Journal of Evolutionary Approaches to Psychology and Behavior*, Vol.10, No.3, pp.562–572.
- 28) Tarr, M.J., Kersten, D., Cheng, Y., Rossion, B. (2001): It's Pat! Sexing faces using only red and green, *Journal of Vision*, Vol.1, No.3, p.337.
- 29) Minami, T., Goto, K., Kitazaki, M., Nakauchi, S. (2011): Effects of color information on face processing using event-related potentials and gamma oscillations, *Neuroscience*, Vol.176, pp.265–273.
- 30) Nakajima, K., Minami, T., Nakauchi, S. (2012): The face-selective N170 component is modulated by facial color, *Neuropsychologia*, Vol.50, No.10, pp.2499–2505.
- 31) Zion-Golumbic, E., Bentin, S. (2007): Dissociated neural mechanisms for face detection and configural encoding: evidence from N170 and induced gamma-band oscillation effects, *Cerebral Cortex* (New York, N.Y.: 1991), Vol.17, No.8, pp.1741–1749.
- 32) Scott, L.S., Nelson, C.A. (2006): Featural and configural face processing in adults and infants: A behavioral and electrophysiological investigation, *Perception*, Vol.35, No.8, pp.1107–1128.
- 33) Proverbio, A.M., Burco, F., del Zotto, M., Zani, A. (2004) Blue piglets? Electrophysiological evidence for the primacy of shape over color in object recognition, *Cognitive Brain Research*, Vol.18, No.3, pp.288–300.