

特集「色彩視の発達」

色による外界の認識の初期発達

Perception of ecological environment using color in infancy

和田 有史 Yuji Wada

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究

機構食品総合研究所

National Food Research Institute

1. はじめに

私たちの世界の認識には色が重要な手がかりになっている。熟した赤いイチゴは、他の熟していない緑色のイチゴからすぐに見つけ出すことができる。両者の間に形やテクスチャーの差はほとんどない。色相のみが顕著に違う。霊長類の3色色覚は伝統的には、熟した果実を検出するために発達したと考えられている(Mollon, 1989; Osorio & Vorobyev, 1996; Regan et al., 2001)。近年、霊長類の色覚は、感情変化に伴う肌の微妙な変化を最も鋭敏にとらえるように進化した、という説も提案されている(Changizi, Zhang & Shimojo, 2006)。いずれにせよ、生存のための手がかりとして、色は重要な手がかりとなっていることは確かなようだ。古くから、我々の色の知覚・認知に典型色が強く影響することが指摘されている。Hering (1878/1964) は過去経験により、われわれが知っている視覚対象は、色の記憶のフィルターごしに経験されることを記述した。ここで注意したいのは、色が外界のある事象の手がかりとなるためには、事物の特定にせよ、感情の喚起にせよ、ほぼいつも同じ対象が同様の色である必要がある。確かに、熟したバナナは大抵の場合は黄色いし、りんごは赤い。また、赤信号は単なる色と形の対応性だけではなく、“危険”であるとか、“止まれ”であるとか、さまざまな意味をなす。このような、私たちの認識における色とカテゴリーの結びつきは、どのようなものであろうか？また、どのように発達したのだろうか？本小論では、まず成人を対象とした実験によって明らかになった色と形の対応性に関する知見を紹介し、その後、乳幼児期におけるその発達の様子を概観する。

2. 色彩から受ける印象

色彩がさまざまな印象を与えることは日常的に感じる。このような色彩から感じられる感情的な意味はセマンティック・ディファレンシャル法(SD法)によって調べられている。

大山ら(1993)は、色彩、音楽、日常生活に存在する音、象徴語、象徴語を形容する線画を刺激として、同一のSD法の評定尺度を用いてその印象を測定している。刺激ごとの因子得点に基づき、クラスター分析を行うと、刺激領域を越えて、われわれの直感的な印象に比較的好くあう刺激が同一のクラスターに分類される。例えば、緑と白は、田園(楽曲)、鳥の声(音)、幸福・創作(象徴語)が同一クラスターに入った。

また、色と形態の感情効果を引き起こす複数の刺激のコンビネーションが、感情効果を加算的に促進するかどうか検討されている(Oyama, et al., 1998)。黒い画面上に色彩(赤、黄、緑、青、紫)を伴った線によって描かれた形を刺激とした場合の印象は、色と形を単独で呈示したときの各因子の合成得点から、ある程度予測できることが示されている。この実験結果は、因子によって色と形の回帰係数の大小関係が異なり、軽明性因子では色の回帰係数が大きく、鋭さ因子では形の回帰係数が大きく、感情効果の合成における重みが異なることを示した。形と色彩の調和的關係を測定した実験では、形と色で軽明性と活動性の印象が似ているほうが、形と色の組み合わせが適していると評価されることも見出されている(木村・和田・野口, 2006)。

これらの一連のSD法による研究は、色がどのようにさまざまな日常的な意味と対応しているのかを示している。

3. 心理物理学的方法や反応時間などによる成人における典型色の効果の測定

最近Hansenら(2006)は物体の視知覚に典型色が影響していることをクリアに示した。彼らは、成人の実験参加者に、コンピューターディスプレイ上に提示される普通の色の果物や野菜の画像を見せ、それを無色(モノクロ)に見えるように調整させた。このように調整させた画像のグレーに見えるポイントは、実際の物理的な無色ではなく、典型色の逆の方向に調整されたのである。彼らは、この現象が、物体の色の知覚は感覚入力のみによるのではなく、人間がこれまでに経験してきた物体と色との組み合わせによって変化することを示している、と結論づけた。

特定の色と、特定の物体の認知における連合は我々の外界の認知を手助けする。Ostergaard and Davidoff(1985)は果物や野菜のスライドの名前を言い当てる課題を行なった。スライドの半分は彩色されており、半分は白黒だった。彼らは、彩色されている場合の方がされていない場合よりもすばやくネーミングされることを示した。このような促進は、特定の物体と色の結びつきの程度に依存する(Biederman & Ju, 1988; Tanaka & Presnell, 1999)。たとえば、黄はレモンの典型的な色であるが車の典型的な色ではない。色の典型性の影響は視覚に限らず、他の感覚にも影響を及ぼす。例えば、典型色は典型食を持つ食品のフレーバーの影響がある。例えば、DuBose, Cardello, and Maller(1980)は、適切な色をつけた飲料のフレーバー(例えば、チェリーに赤)の方が、不適切な色をつけられた飲料のそれよりも正確に特定できることが報告されている(DuBose, Cardello, & Maller, 1980; Zellner, Bartoli, & Eckard, 1991)。このように、成人では、典型色は色の知覚のみならず、外界の認知全般に大きな影響を及ぼす。

4. 乳幼児期における色と対象との連合

色彩と外界の認知の発達はいかなるものであろうか? 特定の色と特定の物との連合の発達に関してはいくつかの研究がある。2歳から5歳の間の幼児を対象に調べた実験では、色のネーミングのスキルとともに“もの”と色の連合を思い出すスキルが発達することが報告されている(e.g., Davidoff & Mitchell, 1993; Gleason, Fiske & Chan, 2004; Mitchell, Davidoff, & Brown, 1996; Perlmutter, 1980; Perlmutter & Myers, 1976)。例えば、“もの”の典

型色を特定する能力がある子供は、正しい視覚的な選択をする際に、色や物の名前の言語的な連合を使うようになるそう(Mitchell et al., 1996)。また、2歳から5歳までの子供の典型色の選択は、色をラベルづけるスキルによって部分的に予測できる。

しかし、乳児期の“もの”と色の連合の発達についてはあまり知られていない。これを調べるにあたっては、成人を対象とした実験と同じように乳児に評定尺度を行なってもらったり、色を調整してもらったりはできない。選好注視法や馴化-脱馴化法などによる乳児の行動の数値化、すなわち心理物理学的方法が数少ない測定ツールとなりうる(本特集の別稿「乳児の知覚：研究法」参照)。

乳児が色と“もの”とを連合した認知を行うことを示す現象もいくつか報告されている。例えば、7ヶ月児は、入れ物の色と、その中の飲み物の味の連合学習が可能になるという(Reardon & Bushnell, 1988)。具体的には生後6ヶ月半と7ヶ月の乳児は甘い食品あるいは酸っぱい食品が、色つきのカップで与えられる(たとえば、甘いリンゴソースを赤いカップ、酸っぱいリンゴソースは青いカップ)のに慣れると、乳児は、甘い食品が入れられた色にリーチング(物体に対して手を伸ばすし、つかもうとする行為)するようになる。このように、乳児が実験的に作られた色と他の情報(味)の連合することが可能ならば、色と日常的に良く目にするものとの連合を行うことができる可能性もある。

このような典型色の認知において、色の弁別、特定が基礎になるだろう。行動学的、生理学的研究により、生後4週間までに成人のような3原色による色の知覚が可能なだけの網膜が備わっており(Knoblauch, Bieber, & Werner, 1998; Volbrecht & Werner, 1987)、生後4ヶ月あたりには黄と青を弁別する神経経路が成立することが示されている(e.g., Hamer, Alexander, & Teller, 1982; Peeples & Teller, 1978; Suttle, Banks, & Graf, 2002)。これらのことから、4ヶ月には、乳児は成人と同じような色知覚を有していると考えられる。そこでわれわれの研究グループは、日常的なものと色の連合は生後5ヶ月以降に発達すると仮定し、実験では、正しい色の対象と不適切な色の対象が同時に提示された場合に選好注視に影響するかどうか、すなわち典型色による視覚的認知が乳児期に存在しているかどうかを調べるために、以下のような実験を行った(Kimura et al., 2010)。

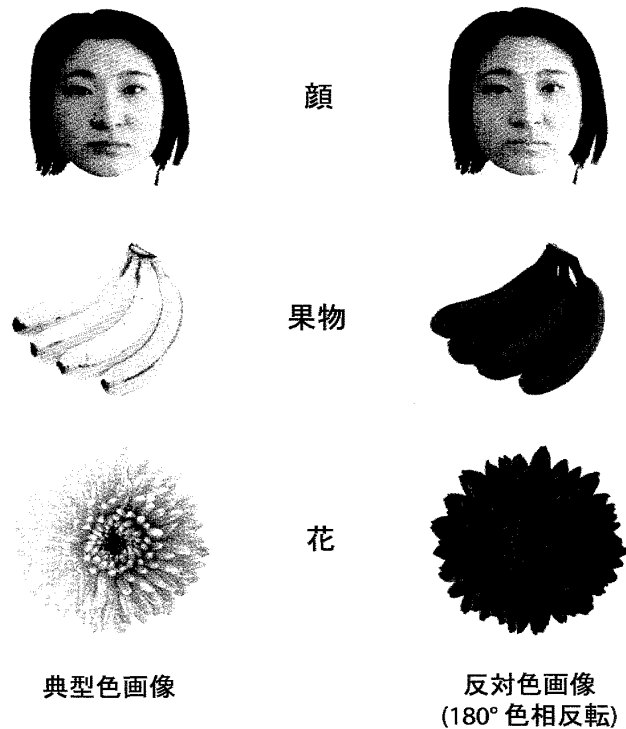


図1 Kimura et al. (2010) が実験に用いた視覚刺激の例

実験では、色の典型性が高い人の顔(肌色)と果物(バナナなら黄、イチゴなら赤など)、典型性が低い花を、5~8ヶ月児58名に観察させた。

3名の日本人女性の正面顔、3種類の果物(バナナ、イチゴ、スイカ)、3種類の花の画像を刺激として用いた。顔刺激は乳児にはなじみがないモデルの写真を用いた(図1を参照)。不適切な色の刺激としては、色相を180度回転させた画像、すなわち反対色の画像を作製した。

実験に参加した乳児は、刺激が提示されるモニターの前に座った養育者の膝の上に座ってモニターを観察した。モニターには適切な色と適切ではない色の対象が左右に対で15秒間提示された。それぞれの乳児は、すべての条件(顔・果物・花)で2回の試行に参加した。両試行で、色条件の左右の位置は入れ替えた。また、各条件の試行される順番はランダムであった。

実験結果は、適切な色を注視していた確率を計算して整理した。すなわち、正しい色が提示されていた方向を見ていた時間を総注視時間で割った(詳しくは本特集の別稿「乳児の知覚：研究法」を参照)。

図2にこの実験の結果を示す。5ヶ月児は、すべての条件で色の違いによる注視の偏りが観察されなかった。6ヶ月児は顔条件と果物条件で典型色の方をより多く見る傾向があった一方で、花の条件ではそのよう

な傾向は見られなかった。7ヶ月児は顔でのみ、典型色をより多く注視する傾向があり、8ヶ月児では6ヶ月児と同様、顔と果物の両方で典型色をより多く注視する傾向がみられた。その一方で、5~8ヶ月児、すべてで、花条件ではこのような選好はなかった。花は色の典型性が低い条件であることから、このような色による注視の偏りの変化は、典型色が存在する対象に対して特有の傾向であると考えられる。この結果は典型色による認知は生後6ヶ月には成立していることを示唆している。

この実験に用いた刺激は、適切な色条件は暖色が主な成分となっており、反対色はおのずと青みがかった。このような色相の傾向だけでは、花条件で選好が生じなかったことは説明できない。逆に青の方が黄色よりも選好される傾向があるという報告もあることから(Bornstein, 1975; Zemach, Chang, & Teller, 2007)、色相への選好からは本実験の結果は説明できない。

われわれが示した典型色による日常的な“もの”の認知の発達時期が生後半年程度を境としていることは、3原色の色覚の発生時期(Harmer et al., 1982; Peeples & Teller, 1978; Suttle et al., 2002)や色の恒常性が発生する時期である5ヶ月(Dannemiller & Hanks, 1987; Dannemiller,

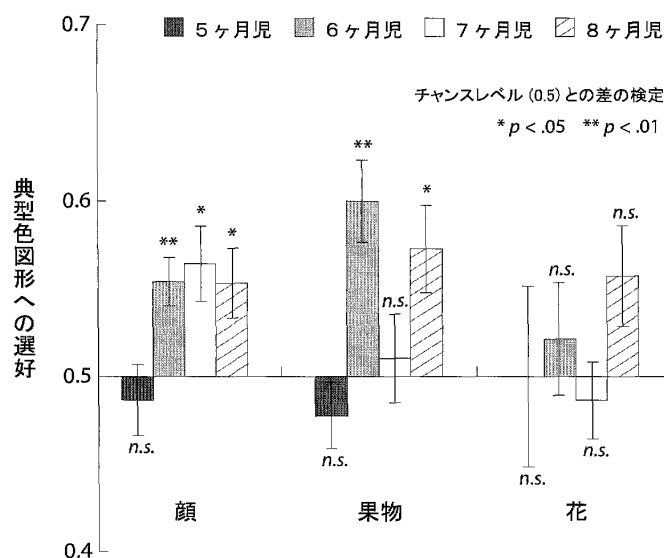


図2 Kimura, et al. (2010) の実験結果。縦軸は、通常の色の刺激を見る確率。0.5はチャンスレベル。

1989)の直後である。色の恒常性は変化する照明条件の中で物体が同一の色にみえるためには必要不可欠であり、このような能力の発達に追隨して典型色による物体認知が成立することはリーズナブルな知見である。

本研究で示した典型色の認知の発達時期は、先行研究が示した色と味との連合が観察される時期よりも早い。この理由としてリーチングという、乳児期に発現する行為を指標にしたことが理由かもしれない。リーチング自体、視覚－運動の共応を含み、乳児期に発達、変化する複雑な感覚統合の賜物である。われわれの研究では生後すぐから観察される選好注視を測度としたことにより、より早い時期での色による外界の認知をピックアップできたのかもしれない。

乳児期における感覚情報統合については、多感覚知覚の文脈で研究が行われてきている(詳しくは和田, 2008)。ここで注目される乳児期の多感覚統合の基盤としてBahrick (1994)は、空間的連続性や同期性、リズム、テンポ、話者の同一性、関係の一貫性など、環境内に存在する、複数の感覚を興奮させる重複した情報が、感覚様相間で共有し重複されること(intermodal redundancy)こそが、生後すぐからの感覚情報の統合についての有力な手がかりとなると指摘している。ボールがはねる事象を例にとると、その視覚イメージと音とは常に随伴し、同期していて、同じ場所から発生し、リズムや強度のパターンを共有する。乳児は、この感覚間の重複によって、視聴覚の関連に注意を向け、周辺に存在する無意味な情報を無視する

ことができる。感覚間の情報統合を示すような行動は新生児期にも観察されるが、生後数ヶ月にいったんその行動は減少し、生後半年以降に再び現れるU字型発達を示すという報告がある。Maurer and Mondloch (2004)はこの現象を次のように説明する。生後すぐに観察される感覚間協応は脳機能の未分化に由来する。発達に伴い、皮質間の結合は抑制され、感覚間相互作用の出現が一旦は減少する。生後半年以降は、乳児の脳は皮質ごとに機能分化するが、残存した皮質間の結合と学習により、多感覚情報の結合が再出現する。すなわち、ヒトの感覚は生来、同期性などの感覚間に重複した情報に敏感であり、これが認知における情報統合の土壌となる。大脳皮質の機能が分化すると同時に、皮質間(例えば視覚皮質と聴覚皮質)の機能的ネットワークも整理され形成されるのである。これと矛盾しないように、生後半年以降に成人に近い多感覚統合が発生することを示唆する知見がいくつかある(e.g. Scheier et al., 2003; Wada et al., 2009)。

また、生後半年以降に知覚狭窄化(perceptual narrowing)が生じることが示されている。知覚狭窄化とは、発達に伴い日常生活であまり触れない情報についての処理能力が縮退する現象である。たとえば、4、6、8、10ヶ月児に一对の発声しているときのサルの顔の動画を、一方の顔に対応したサルの声とともに観察させると、4ヶ月児と6ヶ月児は一致する顔の方をより多く見たが、8ヶ月・10ヶ月児はそのような行動を示さない(Lewkowicz & Ghazanfar, 2006)。これは、ヒトと異なり日常的に接することのないサルの行動についてのクロスモーダル情報処理能力が低下することを示している。これらの感覚間情報統合システムの変化は、多感覚情報の促進と、無関係な情報統合の狭窄化の両者によって、外界を認識するために知覚系が精緻化することを現しているのかもしれない。

魚類でも色による条件づけが成立する事例もあることから(Oyama & Jitsumori, 1973)、色を行動のトリガとすることは、色覚を持つ動物にとってプリミティブな機能であるとも考えられる。しかし、上述のような乳児期における多感覚統合の変化と照らし合わせると、色による対象の認知は、単に色の弁別能力や恒常性を礎にした視覚機能というだけではなく、多チャンネル情報統合とともに人間の複雑な認知機能や感性に織り込まれて育まれる高次の能力でもあるのではないかと考えられる。

引用文献

- I. Biederman and G. Ju: Surface versus edged-based determinants of visual recognition. *Cognitive Psychology*, 94, (1988) 38-64.
- L. E. Bahrick: The development of infants' sensitivity to arbitrary intermodal relations. *Ecological Psychology*, 6 (1994) 111-123.
- M. H. Bornstein: Qualities of color vision in infancy. *Journal of Experimental Social Psychology*, 19 (1975) 401-419.
- M. A. Changizi Q. Zhang and S. Shimojo: Bare skin, blood, and the evolution of primate color vision. *Biology Letters*, 2 (2006) 217-221.
- J. L. Dannemiller: A test of color constancy in 9-and 20-week-old human infants following simulated illuminant changes. *Developmental Psychology*, 25 (1989) 171-184.
- J. L. Dannemiller and S. A. Hanko: A test of color constancy in 4-month-old human infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 44 (1987) 255-267.
- J. Davidoff and P. Mitchell: The colour cognition of children. *Cognition*, 48 (1993) 121-137.
- C. N. DuBose A. V. Cardello and O. Maller: Effects of colorants and flavorants on identification, perceived flavor intensity, and hedonic quality of fruit-flavored beverage and cake. *Journal of Food Science*, 45 (1980) 1393-1415.
- T. R. Gleason K. E. Fiske and R. K. Chan: The verbal nature of representations of the canonical colors of objects. *Cognitive Development*, 19 (2004) 1-14.
- R. D. Harmer K. R. Alexander and D. Y. Teller: Rayleigh discriminations in young human infants. *Vision Research*, 22 (1982) 575-587.
- T. Hansen M. Olkkonen S. Walter and K. R. Gegenfurtner: Memory modulates color appearance. *Nature Neuroscience*, 9 (11) (2006) 1367-1368.
- E. Hering: *Outlines of a theory of the light sense*. (Trs., by L. M. Hurvich, and D. Jameson) (1964) Cambridge, MA: Harvard Univ. Press. (Zur Lehre vom Lichtsinne: Sechs Mittheilungen an die kaiserl. Bd. 1878 Wine: Akademie der Wissenschaften.)
- 木村敦・和田有史・野口薫: 感情効果の類似が形と色の調和的關係に及ぼす影響, *デザイン学研究*, 52 (6) (2006) 1-8.
- A. Kimura Y. Wada J. Yang Y. Otsuka I. Dan T. Masuda S. Kanazawa and M. K. Yamaguchi: Infants' recognition of objects using canonical color, *Journal of Experimental Child Psychology*, 105 (2010) 256-263.
- K. Knoblauch M. L. Bieber and J. S. Werner: M- and L-cones in early infancy: I. VEP responses to receptor-isolating stimuli at 4-and 8-weeks of age. *Vision Research*, 38 (1998) 1753-1764.
- D. J. Lewkowicz and A. A. Ghazanfar: The decline of cross-species intersensory perception in human infants". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103 (2006) 6771-6774.
- D. Maurer and C. Mondloch: Neonatal synesthesia: A re-evaluation. In Y. Munakata, M. H. Johnson, (Eds.), *Processes of Change in Brain and Cognitive Development Attention and Performance XXI*, (2004) pp. 193-213. Oxford University Press.
- P. Mitchell J. Davidoff and C. Brown: Young children's ability to process object colour: Coloured pictogens and verbal mediation. *British Journal of Developmental Psychology* 14 (1996) 339-354.
- J. D. Mollon: "Tho' she kneel'd in that place where they grew." The uses and origins of primate colour vision. *Journal of Experimental biology*, 146 (1989) 21-38.
- D. Osorio and M. Vorobyev: Colour vision as an adaptation to frugivory. *Proceedings: Biological Sciences*, 263 (1370) (1996) 593-599.
- A. L. Ostergaard and J. Davidoff: Some effects of color on naming and recognition of objects. *Journal of Experimental Psychology: Learning*,

- Memory and Cognition*, 11 (1985) 579-587.
- T. Oyama and M. Jitsumori: A behavioral study of color mixture in the carp. *Vision Research*, 13 (1973) 2229-2308.
- 大山 正・瀧本 誓・岩澤秀紀：セマンティック・ディファレンシャル法を用いた共感覚性の研究－因子構造と因子得点の比較－. 行動計量学, 20 (1993) 55-64.
- T. Oyama H. Yamada and H. Iwasawa: Symbolic meanings of computer-generated abstract forms. 日本大学心理学研究, 19 (1998) 4-9.
- D. R. Peeples and D. Y. Teller: White-adapted photopic spectral sensitivity in human infants. *Vision Research*, 18 (1978) 49-53.
- M. Perlmutter: A developmental study of semantic elaboration and interpretation in recognition memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 29 (1980) 413-427.
- M. Perlmutter and N. A. Myers: A developmental study of semantic effects on recognition memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 22 (1976) 438-453.
- B. C. Regan C. Julliot B. Simmen F. Viénot P. Charles-Dominique and J. D. Mollon: Fruits, foliage and the evolution of primate colour vision. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 356 (1407) (2001) 229-283.
- P. Reardon and E. W. Bushnell: Infants' sensitivity to arbitrary pairings of color and taste. *Infant Behavior and Development*, 11 (1988) 245-250.
- C. Scheier D. J. Lewkowicz and S. Shimojo: Sound induces perceptual reorganization of an ambiguous motion display in human infants. *Developmental Sciences*, 6 (2003) 233-244.
- C. M. Suttle M. S. Banks and E. W. Graf: FPL and sweep VEP to tritan stimuli in young human infants. *Vision Research*, 42 (2002) 2879-2891.
- J. W. Tanaka and L. M. Presnell: Color diagnosticity in object recognition. *Perception & Psychophysics*, 61 (1999) 1140-1153.
- V. J. Volbrecht and J. S. Werner: Isolation of short-wavelength-sensitive cone photoreceptors in 4-6-week-old human infants. *Vision Research*, 25 (1987) 821-831.
- 和田有史：五感を統合する力, 発達, 116 (2008) 23-29.
- Y. Wada N. Shirai Y. Otsuka A. Midorikawa S. Kanazawa I. Dan and M. K. Yamaguchi: Sound Enhances Visual Detection of Illusory Contour in Infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 102 (2009) 315-322.
- D. A. Zellner A. M. Bartoli and R. Eckard: Influence of color on odor identification and liking ratings. *American Journal of Psychology*, 104 (1991) 547-561.
- I. Zemach S. Chang and D. Y. Teller: Infant color vision: Prediction of infants' spontaneous color preferences. *Vision Research*, 47 (2007) 1368-1381.
- 謝辞：本論文執筆にあたり、(独)農研機構食品総合研究所・日本色彩学会誌編集委員の木村敦氏の全面的な支援をいただいた。心より感謝する。