

## 特集「色覚の可塑性」 Special Issue: Plasticity of color vision

## 乳幼児の色覚の発達と色彩教育

## The development and education of color vision in human infants and children

根岸 一平  
Ippei Negishi金沢工業大学  
Kanazawa Institute of Technology

キーワード：色覚, 発達, 乳幼児, 教育

Keywords : color vision, development, infants, young children, education

## 1. はじめに

乳幼児期は、人間が身体・知能的に最も急速に発達する時期である。色覚についても、基本的な知覚メカニズムはこの時期にほぼ完成され、その後に感度の上昇など各機能のパフォーマンスが向上していく。今回は、まず乳幼児期（主に乳児期）における色覚の発達についての調査を報告し、発達を促進するための環境づくりと幼児期における色彩教育について、これまで報告されてきた事例をもとに述べていきたい。

## 2. 乳幼児の色覚の発達

色覚に限らず、乳幼児期における知覚に関する研究で用いることのできる手法は限られている。その理由として、与えたタスクを正確に理解するのが困難である、一定時間以上集中力を保ってタスクを行うことが難しい、そもそもタスクを遂行できないなどが挙げられる。そのため、特に乳児を対象とした研究では選好注視法<sup>1)</sup>による行動観察や近赤外分光法 (NIRS)、視覚誘発電位 (VEP) を用いた脳機能計測<sup>2)</sup>などの刺激に対する受動的な反応を測定する方法が用いられることが多い。それでも、研究の対象としているもの以外の心身のさまざまな機能の急速な発達が実験結果に影響することも多く、年齢 (月齢・週齢) の異なるデータの量的な比較が難しい。このことが理由なのかは正確にはわからないが、特定の色覚機能について同一の実験プロトコルを異なる時期に行うことで発達過程を調査した研究は少なく、さまざまな研究結果を総合的に考慮して推測していく必要がある。

## 2. 1. 色の知覚

色の知覚は生後1ヶ月以内に始まっていると考えられるが<sup>3,4)</sup>、この段階での色知覚は成人のそれとは大きく異なっている。例えば赤色と緑色の区別はできるが青色については認識されていない可能性が高い<sup>2,3)</sup>。ま

た赤色と緑色の区別についても、空間周波数に対する感度特性が輝度刺激に対するそれと同程度となっている<sup>4,5)</sup>。これらのことから、この段階では乳児はL錐体とM錐体の分光感度の違いによって生じる信号の強さを、輝度の知覚と同じメカニズムを通して見分けている可能性が示唆されている<sup>6)</sup>。また、この色覚の初期段階ではS錐体はほとんど、あるいは全く知覚に寄与していないと考えられており<sup>4)</sup>、色知覚にS錐体が関与し始めるのは生後4~8週程度の時期であるとされる<sup>7)</sup>。

生後3ヶ月になると、色相に依存した注視の嗜好性がみられるようになり、この段階では波長や光強度といった物理的な次元とは異なる「色」という感覚が生じていると考えられる<sup>7)</sup>。xy色度平面は原刺激に対応しているため物理的には均一である。しかし、成人の場合は、マクアダムの色弁別楕円に示されるように、知覚される色の感覚量はxy色度平面上では不均一となっている。Zemachらは白色点を中心として成人と乳児の等彩度曲線をxy色度図上に作成したが、成人の場合その形状はきれいな円や楕円とはならない (図1左) のに対して、生後3ヶ月の乳児では円あるい

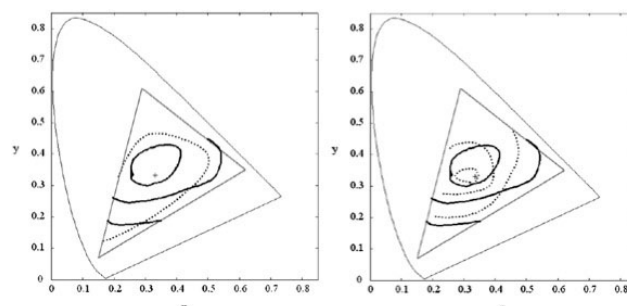


図1 成人と乳児の色弁別感度 (Zemach, Chang and Teller, 2007)

左図が成人、右図が乳児のもので、それぞれ点線で示されているのが等彩度曲線である。成人では原点方向に大きく伸びるなど異性が確認できるのに対して、乳児ではそのような傾向はあまり見られない。成人と乳児でそれぞれ測定方法が異なるのでこれらの量的な比較は行うことはできない。

は楕円に近い形状となった(図1右)<sup>4)</sup>。このことから、3つの錐体信号から「色」の感覚を生じている生後3ヶ月においても、乳児は依然として成人とは異なる色知覚メカニズムを用いていることが推定される<sup>3,4)</sup>。

これ以降の時期に、乳児の色覚は成人と同様の反対色メカニズムに基づいたものに発達していくと考えられるが、その詳細な時期に関する研究は見つけることはできなかった。

## 2. 2. 色恒常性

色恒常性とは、異なる照明光の下においても物体表面色の知覚は保たれるという現象である<sup>8)</sup>。照明光のスペクトル分布が変化すると、それに伴って物体表面からの反射光のスペクトル分布も変化する。そのため、物体表面から目に入射して見える色も変化することになる。しかし、このときに知覚される物体表面の色は、照明が変化した前後で同一に知覚される。その詳細なメカニズムについては完全に解明されておらず、また本論からも逸脱するためここで解説は行わないが、照明光が変化した場合でもシーン全体の色の分布から照明色または照明の分光分布を見積もることで、物体の表面色を正確に知覚することが色恒常性の役割とされる。

Yangらは、生後3～8ヶ月の乳児に対してCG画像を呈示し、時間的インターバルを挟んで別のCG画像に変化させたとき、同じ手順で画像の変化を伴わなかったときで、観察時の視線応答を計測した。このときの画像変化には、シーンの照明光を変化させるもの(図2 A-B)と、物体表面の反射率を変化させるもの(図2 B-C)の2つの条件があり、このときA-B間よりもB-C間の画像類似度が高くなっている。これらの2つの条件について、成人であれば色恒常性により前者

では同じ物体が知覚され、後者では異なる物体が知覚される。その結果、画像そのものは類似しているにも関わらず、後者の条件においてより大きな違いを感じる。実験の結果、生後3～4ヶ月の乳児は前者の条件で同じ画像を2回呈示した場合と比較して注視時間が長くなった。これは、色恒常性が成立していないために、画像の類似度でその違いを判断しているためだと考えられる。しかし、生後7～8ヶ月の乳児は後者の条件において注視時間が長くなるという結果が得られた。これは成人がBとCの間に大きな違いを感じるのと同じ反応であり、色恒常性が働いた結果であると考えられる。生後5～6ヶ月の乳児ではそのどちらにも特別な反応を示さなかったということから、この5～6ヶ月の時期に色恒常性に関する神経基盤が形成されていると考えられる<sup>9)</sup>。

## 2. 3. カテゴリカル色知覚

CIE色空間をはじめとするさまざまな色空間で表現されるように、色は離散的ではなく連続的に存在している。しかし、日常的には「青」「緑」などの色名を用いて、ある程度の範囲の色を同じ色として扱うことも多い<sup>10)</sup>。このとき、色空間上の2点の弁別は、それらが同一カテゴリに(例:赤と赤)と異なるカテゴリ(例:赤と橙)に属する場合には後者の方が容易である<sup>11)</sup>。この色カテゴリはおもに色名によって定義されているため<sup>12,13)</sup>、成人においてはカテゴリカル色知覚に関連した脳活動は言語野の存在する左脳において強くなることが知られている<sup>14)</sup>。

しかし、言語獲得前の段階にある月齢4～7ヶ月の乳児も色をカテゴリカルに知覚していることが行動実験と脳機能計測の両方で確認されている<sup>14-16)</sup>。しかし成人とは異なり、生後4～6ヶ月の乳児ではカテゴリ

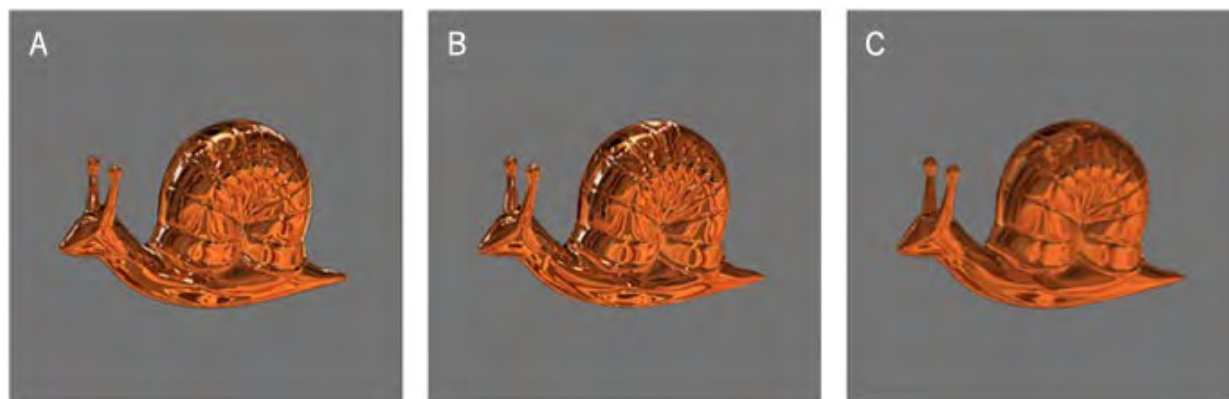


図2 照明光と反射率の変化 (Yang, et al., 2015)

AとBでは物体表面の反射率は同じで照明光が違っている。Cは照明反射率を変化させた上でBとの画像類似度を高めたものである。結果としてAとBよりもBとCの方が類似した画像となっている。

カル色知覚に関連した脳活動は右脳でのみ観察され、また色に対してカテゴリカルな反応を示したのは右脳に対応した左視野に刺激を呈示した場合のみであった<sup>14)</sup>。このことは、カテゴリカル色知覚は少なくともその獲得の段階では言語と無関係であることと、獲得後にカテゴリカル色知覚の処理の中心が右脳から左脳に移っていくことを示唆している。Franklinらはさらに2～5歳の幼児に対して実験を行い、右脳から左脳への移行が色に関連した単語の習得と同時に起こっていることを報告している<sup>17)</sup>。また、2～5歳の間には色に関連した語彙の獲得とともに色カテゴリーの増加やカテゴリー境界の推移が起こることがわかっている<sup>18)</sup>。以上のように、カテゴリカル色知覚の基盤は生後4～6ヶ月頃に形成された後に、言語習得の段階に合わせた最適化が進んでいくと考えられる。

### 3. 乳幼児期における色彩教育について

ここからは、乳幼児期における色覚の発達を踏まえた上で、この時期における生活上での注意点や、色彩教育の現状について述べる。

#### 3. 1. 乳児期の色彩教育

視覚を含む多くの神経機構の発達段階には「臨界期」(Critical period または Sensitive period) と呼ばれる、一時的に可塑性が高まる期間が存在する。臨界期は機能ごとにその時期が異なり、例えば視力は生後間もなくから4ヶ月程度、両眼視差による奥行き知覚は生後4ヶ月から6歳程度までと言われている<sup>2)</sup>。臨界期中には外部刺激を由来とした神経回路の組み換えが活発に行われ<sup>19), 20)</sup>、この間に何らかの理由で十分な刺激を受けることができない場合には、特定の機能を獲得できなくなる場合もある。多くの3Dコンテンツについて視認に年齢制限が書かれているのも、臨界期に人工の不自然な刺激が入力されることによって正常な機能形成が妨げられることを防ぐことを意図してのものである。

色覚に関する臨界期についての研究として、単一波長照明下で1年間飼育された猿は、色恒常性を獲得することができなかったという報告がある<sup>21)</sup>。これは臨界期に適切な刺激を受けることができなかったことが原因であると考えられる。また、ノルウェーで夏と秋に生まれた人の比較では、秋に生まれた人の方が色への感度が低く、これは臨界期における太陽光への暴露に起因していると考えられる<sup>22)</sup>。このような事象を避けるために、乳児期においては教育というよりも適切

な刺激を提供するための環境に気をつけると良いだろう。何か特別なものを準備するほどのことはないが、生活環境中に適度に色刺激が存在していることを確認したり、意識的に太陽光下に連れ出す、室内照明に演色性の高い光源を選択したりする程度のもので、色知覚の形成における不安を減らすことができる。

#### 3. 2. 幼児期の色覚教育

幼児期になると、塗り絵や図画など色を使った活動を行う機会が増え、その中で経験的に色彩感覚を発達させていく。同じ幼稚園児でも、年少児と年長児が描く絵では、後者で使用される色数が多く<sup>23)</sup>、色を使ってより多くのことを表現することができるようになると考えられる。色彩感覚の発達には環境による影響も受ける。建物の素材や遊具などの色相やトーンを統一するなど自然志向型空間を志向した私立保育園と一般的な公立保育所における3～5歳児の色嗜好を比較すると、特に3～4歳児において前者の保育園に通う児童の方が個人ごとの嗜好の幅が広がった<sup>24)</sup>。後者の保育所に通う場合でも年齢が上がると嗜好の幅が広がる傾向を示していることから、前者の保育園ではその色彩環境が早期からの発達を促進していたと考えられる。

ここで挙げたように幼児期の色覚や色彩感覚について調査を行った事例は存在するが、一方でこの時期の色彩・色覚教育について体系的な理論に基づいて教育法やその効果について調べた研究は非常に少ない<sup>25)</sup>。色覚の発達段階の解明を進めるとともに、その健全な発達を促すための環境づくりや教育法の確立が今後の課題となっている<sup>25)</sup>。

#### 4. おわりに

今回の調査を通して、色覚の発達について、主に乳児期におけるメカニズムの獲得についてはこれまでのさまざまな研究によって多くのことが明らかになってきていることがわかった。その一方、獲得したメカニズムが成人までの間にどのように最適化されてパフォーマンスが向上するのか、またそのために必要とされる経験や情報についての知見は不十分であるように感じられ、そのために幼児期における色覚向上のための教育・トレーニングの方法についても未だ体系化されずにいると思われる。

#### 参考文献

1) Teller D. Y. "First glances: The vision of infants",

- Investigative Ophthalmology and Visual Science, 1997, 38 (11), pp.2183-2203.
- 2) Snowden R., Thompson P. and Troscianko T. Basic Vision, Oxford University Press, 2006, pp.238-242, 247.
  - 3) Teller D. Y. "Spatial and temporal aspects of infant color vision", Vision Research 1998, 38(21), pp.3275-3282.
  - 4) Zemach I, Chang S. and Teller D. Y. "Infant color vision: prediction of infants' spontaneous color preferences", Vision Research, 2007, 47 (10), pp.1368-1381.
  - 5) Allen D, Banks M. S. and Norcia A. M. "Does chromatic sensitivity develop more slowly than luminance sensitivity?", Vision Research, 1993, 33 (17), pp.2553-2562.
  - 6) Dobkins K. R., Lia B. and Teller D. Y. "Infant color vision: temporal contrast sensitivity functions for chromatic (red/green) stimuli in 3-month-olds", Vision Research, 1997, 37 (19), pp.2699-2716.
  - 7) Skelton A. E., Maule J. and Franklin A. "Infant color perception: insight into perceptual development", Child Development Perspectives, 2022, 16 (2), pp.90-95.
  - 8) Foster D. H. "Color constancy", Vision Research, 2011, 51 (7), pp.674-700.
  - 9) Yang J., Kanazawa S., Yamaguchi M. K. and Motoyoshi I. "Pre-constancy vision in infants", Current Biology, 2015, 25, pp.3209-3212.
  - 10) 内川恵二「表面色のカテゴリカル知覚」, 光学, 1988, 17 (12), pp.661-669.
  - 11) Harnad S. R., The Groundwork of Cognition, Cambridge University Press. 1987, pp1-25.
  - 12) Kay P. and Regier T. "Language, thought and color: recent developments", Trends in Cognitive Sciences. 2006, 10 (2), pp.51-54.
  - 13) Özgen E. "Language, learning, and color perception" Current Directions in Psychological Science. 2004, 13 (3), pp.795-98.
  - 14) Franklin A., Drivonikou G. V., Bevis L., Davies I. R. L., Kay P. and Regier T. "Categorical perception of color is lateralized to the right hemisphere in infants, but to the left hemisphere in adults", Proceedings of the National Academy of Science of the United States. 2008, 105 (9), pp.3221-3225.
  - 15) Bornstein M. H. and Kessen W. "Color vision and hue categorization in young human infants" Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance. 1976, 2 (1), pp.115-129.
  - 16) Yang J., Kanazawa S., Yamaguchi M. K. and Kuriki I. "Cortical response to categorical color perception in infants investigated by near-infrared spectroscopy", Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America. 2016, 113 (9), pp.2370-2375.
  - 17) Franklin A., Drivonikou G. V., Clifford A., Key P., Regier T. and Davies I. R. L. "Lateralization of categorical perception of color changes with color term acquisition", Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America. 2008, 105(47), pp.18221-18225.
  - 18) 時長逸子「幼児における色のカテゴリー化の推移」, 日本色彩学会誌. 2002, 26 (2), pp.64-72.
  - 19) Knudsen E. I. "Sensitive periods in the development of the brain and behavior", Journal of Cognitive Neuroscience. 2004, 16 (8), pp.1412-1425.
  - 20) Morishita H. and Hensch T. K. "Critical period revisited: impact on vision", Current Opinion in Neurobiology. 2008, 18 (1), pp.101-107.
  - 21) Sugita Y. "Experience in early infancy is indispensable for color perception", Current Biology. 2004, 14 (14), pp.1267-1271.
  - 22) Laeng B, Brennen T., Elden Å., Paulsen H. G., Banerjee A. and Lipton R. "Latitude-of birth and season-of-birth effects on human color vision in the Arctic", Vision Research. 2007, 47 (12), pp.1595-1607.
  - 23) 内田裕子, 梶浦恭子, 森俊夫, 「幼児の絵の色彩特徴と形態特徴の評価」, 日本色彩学会誌. 2012, 36. (Supplement), pp.134-135.
  - 24) 水野谷悌子, 日原もとこ, 「幼児期的人格形成にかかわる環境色彩の影響・その1-二つの異なる条件の教育施設における幼児の色彩感覚-」, 日本色彩学会誌. 1999, 23 (Supplement), pp.34-35.
  - 25) 横田咲樹, 高橋敏之, 「幼児期における色彩教育の研究動向と保育実践の教育課題」, 美術教育学研究. 2020, 52 (1), pp.369-376.