

特集「色覚の可塑性」にあたって

Editor's Introduction: Plasticity of Color Vision

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

人間の知覚メカニズムは生まれた時から完成されているわけではなく、主に幼少期から青年期にかけて一般的に「完成」された状態へと発達していく。また、個人が受ける刺激に合わせた学習や順応によって神経回路の組み替えが生じ、結果としてメカニズムが最適化されていくが、これは発達中のみならず成人においても生じるものである。一方で、人間の持つ機能の中には加齢と共にその能力が衰えていくものも存在する。これらのように知覚メカニズムには可塑性が存在するため、同じ個人であっても時間の経過とともに刺激に対応する知覚も絶えず変化してゆく。

知覚メカニズムの一つである色覚も例に漏れず、時間の経過と共にその特性は変化してゆく。私たちが色を見るときに使っている色覚システムは、生まれた時点で持ち合わせている設計図通りに組み上げられた物ではなく、各々が現在までに見てきた色彩環境によって個人に最適化されたものであるといえる。今回はこの「色覚の可塑性」に焦点を当て、特集記事を提案させていただいた。その中で、3名の研究者に色覚の可塑性について、基礎的な理論から最新の研究結果までの内容を含めて、個人の中で起こっている色覚の変容についてそれぞれ異なる切り口から執筆いただき、拙稿を加えて4編にわたる記事を掲載させていただき運びとなった。

人間は生まれた直後には色をほとんど弁別することができないが、主として乳幼児期に、色を含む刺激を観察・学習することによって急速に色覚を発達させる。この時期の色覚に関連する諸機能の発達については、決してその数は多くないものの、いくつかの心理実験によって徐々に明らかになってきている。色覚の発達に関する知見と、乳幼児期の色彩環境が色覚の発達に与える影響については、特集企画者である根岸が国内外の研究結果をまとめ、解説を行った。

一般的に「発達」と呼ばれる時期を過ぎた後でも、環境や経験によって色覚機能は変化する。今回は特に

訓練や経験による色覚の向上をテーマとし、一般財団法人日本色彩研究所の佐々木三公子先生に、同研究所から発売されている100 hue testを用いた訓練による色識別力の向上、および色に関連した仕事や活動に従事する人の色識別力について、ご自身の研究成果を交えて解説いただいている。

可塑性によって色覚が変化したとしても、われわれは普段はそのことに気づかずに一貫した色世界を認識している。これは、色覚の変化がそれほど急激ではないという理由のほかに、異なる時点での色知覚は記憶を介して一定の整合性が保たれていることも原因として挙げられる。実践女子大学の植究先生には、この色記憶の色相・明度・彩度の時間変化を測定したご自身の研究結果をご紹介いただくとともに、色記憶の機能的な意義の解釈について解説していただいた。

加齢に伴う色覚の変化としては、水晶体の濁りによる分光透過率の変化がその要因として挙げられることが多い。これは長期にわたる眼球の物理的な特性の変化であるが、これに対応するように色覚メカニズムも変化することで知覚される色の補正が行われていると考えられている。今回は女子美術大学の坂田勝亮先生に、この色補正のメカニズムを中心とした加齢に伴う色覚の変化について、ご自身のものを含む多くの先行研究とともに詳細な解説をいただくことができた。

このように個人の色覚メカニズムは絶えず変容を続けているため、今見ている色風景はまさに一期一会であると言えるのかもしれない。そう思うと時間のありがたさが身に染み、毎日を大切に生きようという気持ちも湧いてくる。読者諸氏におかれても、この特集記事の学術的な部分にとどまらず、色覚ひいては人間の脳機能に変化していくことについて、さまざまに想いを馳せていただくことができると幸いである。最後に、ご多忙にも関わらず快く執筆をお引き受けいただいた3名の先生に改めて感謝の意を表し、本特集記事の前書きとさせていただきます。

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¹⁾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²⁾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^{3,4)}、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^{2,3)}。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^{4,5)}。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⁶⁾。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⁴⁾、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⁷⁾。

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⁷⁾。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は

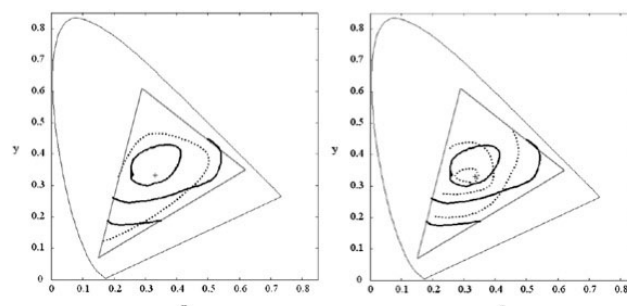


図1 成人と乳児の色弁別感度 (Zemach, Chang and Teller, 2007)

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。

訓練や経験による色識別力の向上

Improvement of color discrimination ability through color training and experience

佐々木 三公子 一般財団法人日本色彩研究所
Mikuko Sasaki Japan Color Research Institute
川端 康弘 北海道大学大学院文学研究院
Yasuhiro Kawabata Hokkaido University

キーワード：色識別, 経験, 色相配列検査

Keywords : color discrimination, experience, 100 hue test

1. はじめに

ある色と、隣にある色が「同じ」か「異なる」かを区別できること、また、複数の色の中からある色と最も近い色を選択できるといったような、色を見分ける能力は色の弁別力や識別力と呼ばれる。一般的知見として、人は観察条件が良ければ700万色程度の色を見分けることができると言われているが、色識別力を測定すると個人差が大きくみられる。錐体の欠損などの末梢レベルでの生理学的な差は色の見えに大きな差をもたらし、異なる色覚タイプとして分類される。しかし一般的な3色覚者においても、色の識別力には個人差があり、それは3種の錐体の比率や黄斑色素の特性などの違いから想定される感度差以上に幅があるように思われる。一般3色覚者を対象にした個人差の研究においては、加齢による色識別力を比較したもの^{1,2)}が多いが、ここでは色を見分ける経験によって色識別が向上することを示す研究について紹介する。例えば、塗装業や色彩管理など細かな色の違いを識別する経験を業務として日常的に行っている人は、そうではない人よりも色の違いには敏感に反応できるだろう。また職業ではなくても趣味などで長年絵画や工芸など意識的に色彩に着目することが多い人や、身に着けるものなどの色にこだわりを持って触れている場合も、無自覚的であっても色の違いを注意深く観察し識別する経験を積んでいると言えるのではないか。店頭で並ぶたくさんの口紅の色の違いが、普段メイクをしない人にとってはほとんど分からなくても、メイクに関心があり日常的に触れている人にとってはすぐに分かり、かつその違いを使いこなしていると言うとイメージしやすいかもしれない。そのような経験の繰り返しによる学習効果の差が、色識別力の個人差に幅をもたらしている一因なのではないだろうか。

2. 100 hue test を用いた色識別力の数値化

色の識別力を測る方法の一つとして、100 hue test という方法がある。Farnsworth-Munsell 100 hue test (F-M 100 hue test) は、元は米海軍において色覚検査として1943年に考案された検査器具である。これは明度5、彩度5で統一された85色の色コマで構成され、細長いサオ型の操作器に4分割されて収められている。検査は、両端に固定された2色の間に無作為に並べられた色コマを制限時間内に色相が連続するよう並び替えるものであり、結果から正しい順に対するエラー値を算出する。このシステムを参考に、日本色彩研究所が1955年頃に96色相配列の「色彩弁別検査器」を考案し、1972年には「日本色研100色相配列検査器」(ND-100)³⁾(日本色研事業(株)製)が頒布された。ND-100では明度6のCIE1964均等色空間の上で標準イルミナントCを中心とし、長さが100色差単位である円周上に等間隔にある100色相を色コマに用いている。各色コマには裏面に番号が記されており、No.1の色の主波長を780nmとして番号とともに色相が順次短波長側に推移する。No.1からNo.100の色コマは4分割され、25個ずつ4回に分けて並び替えを行う。色コマの裏に書かれた番号から各色相のエラー値を算出し、全体の総エラー値 (Total Error Score : TES) を求める。色コマが連続していない箇所が多い場合や、隣色との番号差が大きい場合には、TESは高くなる。よってTESが低いほど、色識別の成績が良好であることを示す。色覚異常が疑われる場合は、1型、2型2色覚の場合は赤や緑領域において他の色領域よりも顕著にエラー値が大きいといった特徴が現れる。

一般的な3色覚者を対象にした100 hue testのTESについては、主に年齢層による違いが多く報告されている^{1,4)}。F-M 100 hue testを用いて10歳未満から70

記憶された色の変化

Change of Remembered Color in Process of time

楳 究
Kiwamu Maki

実践女子大学
Jissen Women's University

キーワード：色記憶, 記憶色, 記憶された色

Keywords : color memory, memory color, remembered color

1. 青空の色 in memory

「青空の色を思い浮かべてください」

「思い浮かべましたか. それでは, このたくさんのカラーチップの中から, その色を選んでください」

そんな実験をすると, 実物より彩度の高いカラーチップが選ばれることが多いらしい. ということは, 記憶のプロセスのどこかで高彩度側への変換が行われているということになる.

2. だとすると, 色変換されるのはいつなのか?

そう, それが気になる. いつ, 変化するのだろうか.

<仮説1>

記憶するプロセスで高彩度側に脳内変換される

<仮説2>

短期記憶から長期記憶に移行するときに高彩度側に脳内変換される

<仮説3>

記憶されている色が徐々に高彩度側に脳内変換される

そんな3つの仮説に対応するであろう3つの時間間隔を設定して, 「先ほど記憶した色を, こちらのカラーチップから選んでください」をやってみた. それを, ミレニアムに日本色彩学会誌に掲載された論文「記憶された色の時間的变化¹⁾」にて紹介している.



図1 物品の色の記憶



図2 記憶した色の再生

色を記憶した直後(1回目)の場合, ブース内に呈示された物品の色を記憶し, 振り返ったところに設置されたテーブル上の色票のカラーチップから, もっとも近いと思う色を探す. 2回目・3回目の場合は, 物品名称のみを呈示され, テーブル上の色票から記憶を頼りにもっとも近いと思うカラーチップを選択する.

この再生プロセスで用いた色票は, 日本色彩研究所発行の Chroma Cosmos 6000 である. 物品の色に応じて選択された5~14枚のシートが使用された. JIS標準色票の3倍ほどに当たる6000枚のカラーチップで構成されていることは, この手の実験を実施するのに好都合である. シートは彩度ごと(彩度0.5を例外として彩度1.0ごと; 色相の範囲は低彩度で広め~高彩度で狭め)となっている.

物品呈示ブースは, グレーのものと, 図1に示す木目調のもの2種類を使用した.

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

加齢と色覚

Age-related changes in colour vision

坂田 勝亮

Katsuaki Sakata

女子美術大学

Joshi University of Art and Design

キーワード：色覚, 加齢, 発達, 色知覚, 視覚

Keywords : colour vision, age-related, development, colour perception, vision

1. はじめに

ほとんどの動物は、誕生から年齢を重ねていくにしたがって身体構造が変化し、これにともなって各種身体機能も変化する。人間の色覚に関しては特に20世紀末になって多くの研究が精力的に行われ、大きな発見が相次ぎ、人間の色覚における加齢の影響がわかってきた。20世紀末から現代に続くこれらの研究を紹介する。

2. 乳幼児の色覚

色覚の発達に関してはこの特集の前半に根岸一平先生がお書きだと思うので詳細はそちらをご参照いただきたいが、ここでは生後すぐの色覚について簡単にふれる。

生まれた直後の人間の色覚はきわめて未成熟であり¹⁾、ほとんど有彩色と無彩色の弁別ができない²⁾。生後1ヶ月くらいでもほとんど色は知覚できないと思われるが³⁾、生後2ヶ月くらいになると低感度と思われる色覚が現れてくる⁴⁾。そして輝度変調格子と等輝度赤緑変調格子の区別ができるようになるが⁵⁾、その感度は成人よりも低い^{6,7)}。2ヶ月児くらいのこのような色覚は2色型の色覚特性を示すため⁸⁾、この頃までにL錐体とM錐体が機能し始めるものと考えられる^{9,10)}。しかしこれらの機能は成人ほど完成されたものではなく、生後3か月になっても仮性同色表のうち赤緑プレートはほとんど認識できないが、視細胞構成に関わらず男児より女児の成績のほうが高いことが報告されている¹¹⁾。またこの頃は成人が見落とすような照明の変化による対象表面の変化を見つけられるが、この能力は5か月児になるとみられなくなることも報告されている¹²⁾。さらに時間コントラスト感度関数の測定結果から、3ヶ月児では色度コントラストと輝度コントラストが同じメカニズムで処理されていると考えられる¹³⁾。

生後4ヶ月以降には色カテゴリが表れることが報告されているが^{14,15)}、刺激の変化を検出する手掛かりとして色の違いだけでは不十分であることも報告されて

いる^{16,17)}。照明が変化しても物体の色の恒常性が成立したり¹⁸⁾、色と物体の関係を把握したりできるようになる¹⁹⁾のは生後6ヶ月以降である。そして網膜中心窩の構成が成人とほぼ同じになるのは45ヶ月まで待たなければならず²⁰⁾、彩度の知覚が成人と同程度になるのは青年期まで待つ必要がある²¹⁾。

3. 高齢者の色覚

高齢者の色覚に関してはすでに篠森敬三先生が本誌27巻に詳細な記事を書かれているので²²⁾、そちらを参照されたい。ここではこれを補うよう説明を追加していく。

よく知られているように、眼光学系は加齢により黄色みを帯びるようになる。Artigasらは41歳から77

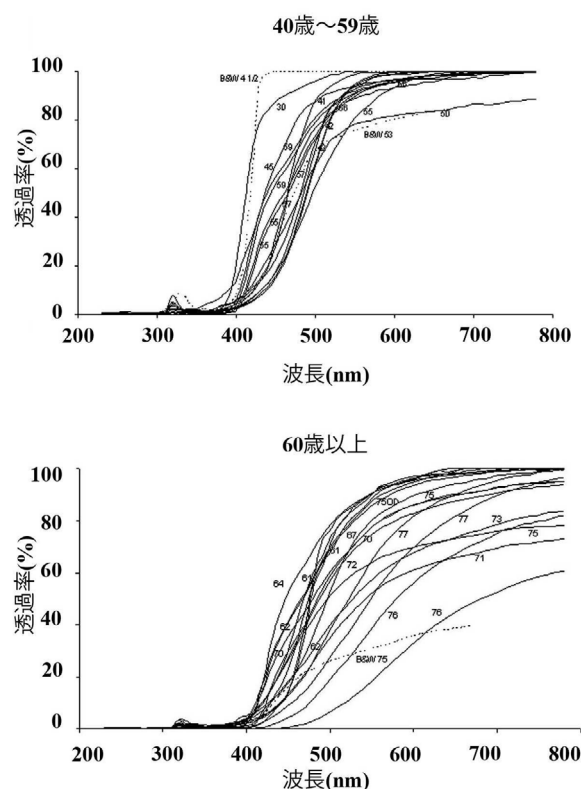


図1 眼球レンズの分光透過率 (Artigas, et al., 2012)