

## 1. 色情報は役に立つ

多くの人々にとって見えるということは日常的に当たり前のことである。しかし、もし見ることができなかつたら、どんなに不便かを想像することもそう難しいことではない。目を閉じることによって、見えない世界を体験することもできる。正常な視覚を持つ多くの人々にとって、見ることなしに、対象物を知り、その位置関係、その動きなどを判断することは容易ではない。このように、人の日常生活は視覚に大きく依存している。

わたしたちは他人に何かを伝えるとき「ことば」を用いるときにも、耳からの入る情報だけでなく、話し手の顔を見ていることも音声の理解に重要な役割を果たしている。耳の不自由な人はくちびるの動きから音声を読む。耳の不自由な人だけではなく、耳の良く聞こえる人もくちびるの動きを手がかりに音声を理解している。耳で聞いた音声と目でみたくちびるの動きが合わないとき、人は目で見たくちびるの動きから音声を判断してしまう。この例もヒトは視覚への依存度が高いことを示している。

視覚の中で、色は重要な要素のひとつである。日常生活の中で魚や野菜の鮮度を見分けるときも、絵画を楽しむときも色情報が役立っている。また、地下鉄の路線図やデータ・シートを色分けすることで日常の判別を容易にしている。交通信号も色で指示を与える。このようにヒトは色の情報を様々な場面で用いている。では、他の生物も色の情報を使っているのだろうか？

## 2. ヒトの目と昆虫の目は同じ起源

眼を光を画像として処理し、外の世界の位置関係、その移動、明るさの分布などの特徴をとらえる器官と定義すると、無脊椎動物である、節足動物と軟体動物に眼を持つものがある。節足動物である昆虫、カニ、エビなどの眼には複眼と単眼がある。複眼は、小さな個眼が数百個から数千個集まってできている。個眼はそれぞれレンズの働きを持つ角膜によって集光し光のあるなしを検出できるが単独で像をとらえることはできない。個眼が多数集まってはじめて像を見ることができる。一方、単眼は、角膜の下に数十個の視細胞が並び、光の来る方向程度は検出できるが、像をつくる目的には適さない。脊椎動物の眼はレンズ（水晶体）で集めた光を網膜に投影する。軟体動物であるタコやイカの眼は脊椎動物とほぼ同様の光学的構造を持つ。脊椎動物同士で比較すると眼の基本的構造にはほとんど差がない。

節足動物から脊椎動物に至るこれらの動物の眼が進化の過程で同じ光受容器官にその起源を持つことは、光受容の分子機構がほぼ同じであることから分かる。また、ショウジョウバエで眼のない変異を引き起こす遺伝子が、マウスで small eye という変異を引き起こす遺伝子と類似していることが知られている。さらに、この遺伝子はヒトで虹彩のできない先天異常（aniridia）を引き起こす遺伝子と 94% 相同である。これらの事実は眼の起源が昆虫とヒトで共通であることを示している。

## 3. 昆虫とヒトが色を見る仕組みは同じ

光は波の性質を持っている。この波の波長の違いをヒトは色の違いとして見ている。虹色をはじめ

めて7色に分けたニュートンは「光線には色はない」という名言を残した。これは、色は物理世界の存在するのではなく、波長の違いを脳が色として見る。言い換えは、「色を見るのはヒトの脳である。」という意味である。

光の情報を脳に伝える最初の細胞は視細胞と呼ばれる。この視細胞は昆虫の目にもヒトの目にもあって、視細胞の中の物質に光が当たるとこの細胞に電気的な変化が生じる。電気的な変化が脳に伝えられることによって脳に光りの情報が伝えられる。視細胞の中にあつて光に反応する物質を視物質と呼ぶ。視物質にいくつかの種類があり、光の波長による感度が異なるため、いろいろな色の検出が可能になる。昆虫の場合も複数の視物質を持っており色を見分けることが知られている。例えば、ミツバチは緑、青、紫外線を、アゲハ蝶は赤、緑、青を見分ける。ヒトの場合は普通4種類の視物質があり、その内3種類の視物質は赤、緑、青の色で最大応答を示す特徴を持つ。

ヒトの目の視細胞は3つの色を見分けるが、大部分の哺乳類は赤緑の識別ができない。いわゆる赤緑色盲である。これは、哺乳類の祖先が爬虫類から分かれたとき、夜の時間帯に活動することによって生き延びていたことによる。夜行性の生活に伴って色の識別のために使われていた4種類の視物質は不要となり、哺乳類の祖先はそのうち2つを失った。爬虫類の全盛期が終わりやがて多くの哺乳類は昼間生活するようになる。昼行性となったアジア、アフリカの霊長類は、約4000万年前に赤、緑視物質遺伝子の重複が起こり、青視物質遺伝子とあわせて3種類の視物質遺伝子を持つようになった。

ヒトの赤と緑の視物質遺伝子はX染色体上にある。まれにその1つが欠損し、2色性色覚（色盲）となる。この場合の色覚異常は、赤視物質の欠損（第一色覚異常）または緑視物質の欠損（第二色覚異常）である。このタイプの色覚異常は日本人男性で約5%である。発生頻度は低いが、青視物質の欠損（第三色覚異常）や錐体を全く持たない一色性色覚異常（全色盲）も存在する。

#### 4. 色を見るのは脳である

脊椎動物の網膜は感覚器官である眼の中にあつて、単なる光の受容器のように見えるが、情報処理を行う脳の一部としての側面を持っている。網膜には光受容細胞である視細胞のほかに、情報処理を行なう4種類の細胞があり、3種類の視細胞（赤、緑、青）の情報から4種類の色（赤、緑、青、黄）の情報が抽出される。黄色は緑と赤の混合から作られる。網膜ではこの他、色の違いを強調するような処理が行われる。

色情報は外側膝状体と呼ばれる途中の中継点を通して大脳皮質へ運ばれる。大脳皮質では網膜で取り出された4つの色以外の中間色や、鮮やかな色や寝ぼけた色などの特徴が取り出される。さらに、照明光が変わっても色の見えが安定するような仕組みも大脳皮質には組み込まれている。この仕組みは色の恒常性として知られている。

#### 体験コーナー

##### 色は大脳皮質で見ている

夜フラッシュを使って写真を撮るとき、フラッシュの光が目に入ると残光がしばらく目に残り周囲が見にくくなる。特にフラッシュを視野の中央でとらえたときには悲惨である。われわれは目を動かして

何かを見ようとするとき、見るものを視野の中心でとらえようとする。これは視野の中心に光感受性細胞が多く、ここの解像度が最も高いからである。そこで残光が視野の中央に残ってしまうと、見ようとして目を向けるとその中央に残光がついてまわることになる。残光の特徴はこのように強い光が入った網膜上での位置に限局しておこる現象である。また、数秒から数分の比較的短い時間にほとんど消えてしまう。

残光に似た現象にマッカロー効果と呼ばれる現象である。体験コーナーでは、この現象の体験を試みる。まず、図1を見ていただきたい。この図には色はついておらず、白い紙に黒の線が描かれているだけである。つぎに赤の横縞模様と緑の縦縞模様を交互に5分間見る。必ずしも一点を凝視する必要はないが目はあまり動かさない方がよい。その後図1を見ると、縦縞にはうっすらと赤味が横縞にはうっすらと緑の色がつく。色がついたことが確認できたら、図を90度回転すると、赤味のついていた部分が今度は緑味となり、緑味の部分が今度は赤味となる。つまり、色は線の方向に依存していることがわかる。サルやヒトでは線の傾きは大脳皮質ではじめて検出される。したがって、線の方向によって異なる色をつけたのは大脳皮質の細胞である。赤と緑の線を見る前は色がついていなかったから、大脳皮質の細胞の反応特性が赤と緑の縞を見ているあいだに変わってしまったことになる。

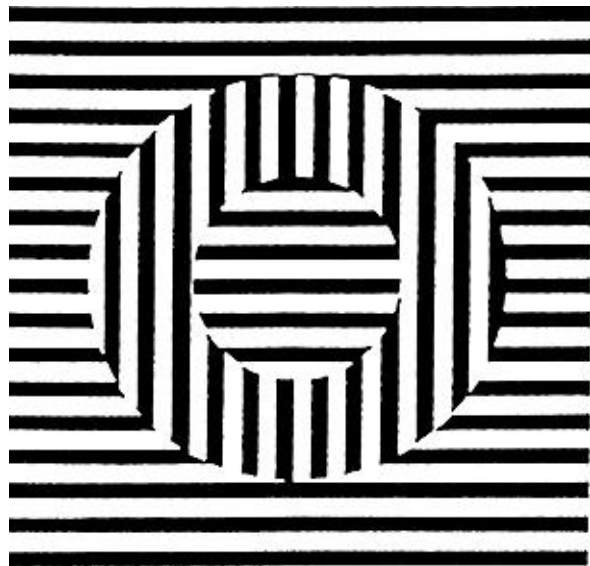
マッカロー効果に伴う知覚の変化は、フラッシュの後で起こる残光とはいくつかの点で違っている。マッカロー効果では着色は残光に比べて弱い、長く続く傾向にある。人によっては何日も続くことがある。これに反して残光の場合には、色の印象は強いがせいぜい数分の持続時間しかない。マッカロー効果は大脳皮質の現象であり、残光は主として網膜で起こる現象である。

図1

マッカロー効果

赤の横縞模様、緑の縦縞模様と一定時間見ると、左の図の色がつく。

(緑が横、赤が縦のとき色の付き方は逆)



そのほかの関連事項についてはホームページ

<http://www.pri.kyoto-u.ac.jp/brain/brain/>

を参照してください。