特別講演

脳の神話：錯視をめぐって

泰羅雅登

東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科

Neuromyths: optical illusion

Masato Taira

Graduate School of Medical and Dental Sciences, Tokyo Medical and Dental University

Key words: vision, two visual information processing systems, constrained condition, perceived notion

Abstract: Our brain analyzes a visual world in two visual information processing systems. In those systems, visual information is broken down into shape, color, depth and motion information, and analyzed. However, our brain does not simply analyze information in detail, but interprets under several constrained conditions. In such situation, many optical illusions are experienced.

抄録 視覚情報は脳の2つの視覚経路で処理される。視覚情報はその過程で、形、色、奥行き、動きの4つの要素に分解され解析される。しかし、脳はこれらの情報を、コンピュータのように詳細に分析するのではなく、適当に解釈を加える。その結果、様々な錯視が体験されることになる。

キーワード：2つの視覚情報処理経路、錯視、制約条件、思い込み

1. 見るとは

私たちが物を見ることができるのは、外界像が網膜の上に像を結び、それによって網膜で電気信号が生じ、視神経を介して脳の視覚野に伝えられ、視覚野のニューロンが活動することによる。よく眼球はカメラに例えられる。レンズ（水晶体）があつて、絞り（虹彩）があつて、フィルム、撮像素子（網膜）があるからである。では、私たちはカメラで写し取るのと同じように自分たちの眼ではっきりした像を見ているのだろうか。

実は網膜はデジタルカメラの撮像素子ほど性能が良くない。解像度が高く、コントラストもよく色彩を感じることができるのは、網膜の中でも中心窩（黄斑部）付近、つまり中心視野の部分だけである（図1）。これは色（赤、青、緑の光の波長）に反応する錐体という視細胞がこの付近にだけしかなく、また、網膜の構造が解像度を得られるような構造になっているためである。中心窩から離れた周辺視野部は解像度がわるく（大きな文字しか見えない）、色もあまり感じない。さらに、眼底には視神経乳頭といって、神経や血管が出入りして網膜（視細胞）のない部位がある。当然、この部位では光を感じることはできないのに、私たちは普段、外界の一部が欠けて見えることはない。ではなぜ私たちは、見えていない部分が見え、外界をくっきり見ていると感じるのだろうか。

2. 脳での視覚情報処理

網膜から視神経を伝わって一次視覚野に届いた視覚情報は、その先の高次視覚野へと送られてさらに情報処理が進む。私たちは見ることによって外界から複雑な情報を取り出しているように思うが、よく考えてみると「色」、「形」、「奥行き」、「動き」の4つの情報を取り出しているにすぎない。例えば図2の上の図を説明させると「赤い（色）」「自動車（形）」「向こうから（奥行）」「走ってくる（動き）」と答えるが、それ以上には、丸いヘッドライトといったような細かなディテールの描写しかできない。脳にはこの4つの視覚情報を処理するための専用回路があることがわかっている（図2）。一つは一次視覚野からV2, V3, MT, MSTといった前視覚野を経て頭頂連合野に至る経路で、背側視覚経路と呼ばれ、主に「奥行き」と「動き」の情報処理をしている。「奥行き」「動き」は空間に関連した視覚情報なので空間視の経路とも呼ばれる。もう一つは一次視覚野からV2, V4を経て側頭連合野に至る経路で、腹側視覚経路と呼

カメラの眼

人の眼

〈ウィキペディア ヨハネス・フェルメール『牛乳を注ぐ女』(1658年-1660年)を改変〉

図1 はっきり見えていない
はっきり見えているのは見つめている中心視野部分だけ。周辺視野部は実はぼやけている。

図2 2つの視覚情報処理経路

ばれ、主に「色」と「形」の情報を処理している。色と形からそのものが何であるかを同定する回路なので、物体視の経路とも呼ばれる。各経路の特性から、背側視覚経路の障害は立体視ができなくなったり、左半分の空間に注意が向かなくなるといった症状が現れるのに対して、腹側視覚経路の障害では人の顔の同定ができなく

なったり（顔とわかるがだれだかわからない）、物の同定ができなくなったり（形はわかるがなんだかわからない）する。

3. 視覚情報処理は右脳優位

視覚情報は、左視野の情報は右脳で、右視野の情報は左脳でという具合に左右の脳で均等に処理される。しかし、左右の脳で特性が若干違っていて、右脳のほうが処理時間はわずかに早いことが知られている。てんかんの手術で左右の脳をつなぐ神経線維（脳梁、交連）の切断をした、いわゆる分離脳の患者で左右の脳の特性が調べられた。よく知られた違いは、ほとんどの人では言語機能が左脳に局在することである。視覚情報処理もわずかながら右脳が処理したほうが早い。図3のような、顔に似せた線画を見せて、できるだけ早く泣き顔か笑い顔かを判断してもらう。すると、ほとんどの人が、上は笑い顔、下は泣き顔と判断する。どちらの顔も笑い顔、泣き顔が組み合わせられているが、この結果は向かって左の顔の表情で全体の表情が判断されたことを意味する。顔の真ん中を見ていると向かって左の顔の情報は右脳で、右の顔の情報は左脳で処理される。その際、右脳のほうが処理速度は速いため、向かって左の顔の表情が判断に優先されたためおこる現象であると説明されている。合コンの際には気に入られたい相手の左視野に位置するのが得策かもしれない。

〈日経 Biz COLLEGE
<http://www.nikkeibp.co.jp/article/nba/20080611/161818/?rt=ocnt>〉

図3 笑ってる？泣いてる？

〈Adelson, Edward H. (2005年). "Checkershadow Illusion
http://web.mit.edu/persci/people/adelson/checkershadow_illusion.html〉

図4 Adelson のチェッカーシャドー錯視

4. 思い込みの強い脳

視覚情報について脳はかなり強い思い込みをもって処理している。

1) 明るさや色についての思い込み

脳は明るさや色について都合よく解釈をする。図4はチェッカーボード（升目が黒白交互になっている）の上に円柱が置かれて影ができていてある図である。AとBの升目の明るさを比べたとき、明らかにBの升目のほうが明るく見える。しかし、周りの升目を隠して、AとBの升目だけにしてみると明るさが同じであることがわかる。明るさは表面から反射してくる光の量できまり、光の量が多ければ明るく、少なければ暗く見える。しかし、この図では反射してくる光の量は同じでも、私たちの脳は明るさが違うと判断することを意味している。この原因の一つには、チェッカーボードは白黒交互の升目であるという思い込みがある。

色についても同じである。色は反射してくる光の波長によって識別される。赤、青、緑の3つの光源を準備して、それぞれの光量をうまく調整すると、赤い部分からの反射光の波長を青に近づけて青く見せることができる。図5では上段のルービックキューブを青（左）とピンク（右）のサングラスを通して見たところを下段に示してある。白丸で囲んだ部分は、どちらのサングラスを通して見ても、多少くすんではいるが、オレンジ色はオレンジ色に、緑は緑に見える。しかし、周りを隠してここだけを比べると青サングラスを通して見たオレンジ色の部分とピンクサングラスを通して見た緑の部分の色は

図5 色の恒常性
ルービックキューブを青（左）とピンク（右）の
サングラスを通して見たところ。

ほぼ同じである。つまり、反射光の波長を分析するだけで私たちは色を見ているわけではない。周りの状況を加味して色を判断しているのである。前歯部の色合わせで、あれっと思うことがある。技工中の制作物をみるとえらく白いかえらく暗いことがある。しかし、実際に装着してみると自然な色になる。逆に、口腔内で色合わせをせずに、単にカラーチャートだけで色を選ぶとひどく不自然になることもある。これは、私たちの脳が、周りとの比較で、明るさや色を判断していることによる。

2) 奥行についての思い込み

遠くにあるものは小さく見える。物理的に考えてこれは当たり前である。したがって、私たちは人影であれば、遠くの人を物理的に小さくみえても、小人がいるとは思わない。手前の大きな人影も、奥の小さな人影も、同じくらいの身長の人影として感じる。つまり、網膜像の大きさを実際の大きさに補正してみている。これを「大きさの恒常性」という私たちの視覚の特性である。したがって、遠近感をもった背景のなかに、同じ大きさのドラム缶をおくと、奥のドラム缶は手前のドラム缶に比べてはるかに大きいと感じてしまう（図6）。また、縦方向の長い線には奥行を感じてしまう。図7の2つのテーブルは大きさと形が全くいっしょ（合同図形）であるにも関わらず、縦に描かれているテーブルはずっと細長く感じてしまう。

（Kaufman 1974 を改変）

図6 大きさの恒常性
奥のドラム缶は手前のものより大きく感じる。

〈イリュージョンフォーラム テーブルの錯視
<http://www.brl.ntt.co.jp/illusionForum/v/tabletopIllusion/ja/>〉

図7 テーブルの大きさは同じ

3) 光は上からくる

目が二つあるのは物を立体的にみるためであるといわれるように、私たちは両目のずれの信号（両眼視差）を使って物を立体的に見ている。しかし、図1のフェルメールの絵画は平面像であるが強い立体感を感じることができる。これは絵画の手がかりと呼ばれる二次元的な立体手がかりによる。絵画の手がかりには、陰影、遠近法、きめの勾配などがあるが、中でも陰影はその物の立体感をつけるだけでなく、投射性陰影によって三次元空間内での位置、浮揚感をだすことも可能である。私たちは図8のような図形を見たときには、左側の図形はへこんで見え、右側の図形は出っ張って見える（じっと見ていると混乱してくることがある）。図形のどこで判断しているかというと、影の付き具合（と、光が反射して

図8 光は上から

光っているハイライトの部分) による。左二つは上に影の部分があり下にハイライトの部分がある。これによってへこんでいると判断しているのであるが、それには光は上からくるという前提が必要である。光が下から来ればこのような陰影になるのは出っ張っている場合である。この図を上下さかさまにすると、凹凸が逆転する。つまり、私たちの視覚情報処理の中には光は上からくるという、強い思い込みがあるということである。

しかし、顔についてはこの法則はあてはまらない(図9)。チャップリンのお面をひっくり返しても、顔は出っ張って見える。これは顔は出っ張っているという思い込みが、光は上からくるという思い込みより強いこと

〈Charlie Chaplin Optic Illusion
http://www.youtube.com/watch?v=QbKw0_v2clo〉

図9 顔は出っ張って見える
チャップリンのお面(左)を裏から見ても出っ張って見える(右)。

による。社会生活上、顔は私たちにとって重要な刺激である。顔についてはそれに特化した情報処理過程が存在する。

5. 最後に

脳はよくコンピュータに例えられる。コンピュータはセットされているプログラムに従って正確にひとつひとつ情報を処理してゆく。将棋のプログラムでもあらゆる差し手の可能性をしらみつぶしに調べて最善手を指す。最終局面ではミスがない。しかし、私たちの脳は意外にいい加減である。いろいろな思い込みによって情報を解釈する。それはある局面においては余計な処理時間をかけることなく判断を下すことができることにつながるし、あるいは、生物として生きていく上での有利な情報処理戦略なのであろう。