

松 山 大 学 論 集
第 20 卷 第 3 号 抜 刷
2 0 0 8 年 8 月 発 行

Web 社会におけるカラーバリアフリーと 色覚特性について

鳥 居 鉦 太 郎

Web 社会におけるカラーバリアフリーと 色覚特性について

鳥 居 鉦 太 郎

1. は じ め に

ヒトの視覚は外界から得る感覚入力の中の8割とも言われ、五感のなかでも特に重要な働きを持つ。百聞は一見にしかず（Seeing is believing）とも言われるように、視覚による情報は、ヒトが情報を入手し判断する大きな役割を担当している。聴覚、味覚、嗅覚、触覚など他の感覚に比べて複雑なシステムを持つと考えられる視覚は、光学系の信号を知覚・認識し、それを感性や記憶とともに総合的な分析を瞬時に行っているといえる。例えていえば、そこには視覚特性の要求仕様が有り、ヒトにとっての視覚機能や視覚情報の目的・用途による仕組みが備わっているのである。ここに単純な光学系システムとは言えない、ヒトならではの視覚特性が脳の情報処理として機能していることになる。単純な光学システムではないことから、いまだその特性に未解明の部分は多い。いま絵画等を色彩の見地からとらえると、光学系としての絵画表現は、色恒常性の機能に代表されたとおり、脳の知覚とは異なる表現となりうる。例えば脳内における認知をふまえて、画家は実際とは異なる色彩や明度の描写を意識的に行い、非写実的な表現や印象的な画風をとることができる。ここでは補色により鮮やかさを効果として取り入れたり抽象表現を取り入れたりして、脳の知覚や認識にうったえる手法が可能である。このように脳の知覚システムでは、光学系とは異なった情報処理が行われ、その仕組みを分析していくことは情報伝達の観点から非常に重要な課題となる。You look but see nothing.（見れ

ども見えず) の look と see の違いが如実に示すとおり、視覚からの情報をいかに認識し判断するかは、視覚特性をふまえて考慮されなければならない。本研究は、補色をはじめとした色覚特性について特徴的な実験結果を示し、感覚モダリティとの関連および色彩に関する情報処理のメカニズムを示唆していくものである。高度情報時代を迎え、Web 社会またユビキタス社会の実現に伴って、情報処理機器のインタフェースはよりヒトの感性や感覚に近づいて見える。しかしヒトの五感、なかでも視覚に関する機能は、ヒトの知覚や色覚メカニズムを考慮しなければインタフェースの役割として達成できないであろう。これらは高齢社会において視覚機能の衰えた高齢者への配慮など、新たなデジタル・ディバイドの解消という点でも重要であり、カラーバリアフリーとして広く認識されるべき課題として示すものである。

3種類の視細胞をつきとめ三原色を用いたカラーテレビの基本的な原理確立に貢献した発見¹⁾と同様、さらなる色覚特性の発見はブレイン・マシン・インタフェース(BMI: Brain Machine Interface)や感性情報処理を飛躍させるものであると考える。ユニバーサルデザインの見地から、色覚に対するバリアフリーの配慮もデジタル・ディバイドの解消の一方策として重要である。色を認識する錐体細胞では、よく知られるように赤と緑、青の識別を行っている。それぞれL錐体、M錐体、S錐体と呼ばれる錐体は、いずれかの機能が欠けると見え方が異なってしまう、いわゆる色覚異常となる。例えば2色型第1色覚異常ではL錐体が有する赤の認識が機能せず、赤が見えにくい状況となる。同様に2色型第2色覚異常はM錐体が、2色型第3色覚異常ではS錐体が機能せずにそれぞれ緑、青が見にくくなる。こうした色の見え方が異なる状態は、色彩を用いた図形や画像を多用するWeb情報では、見え方や感じ方はもとより情報の正しい伝達という点で大きな問題を生じることになる。したがって、文字サイズの拡大や音声読み上げ機能による視覚障害への対応と同様、色覚異常についてもカラーバリアフリー課題として認識していく必要がある。本論ではヒトの色覚特性について、視覚特性から考えられる特徴的な現象につい

て実験を行い、色覚の多様性を示す。

2. ヒトの視覚系システムと色覚メカニズム

ヒトが物を見るとき、その物体から反射してくる光を色として認識する。ここで電磁波である光の強さ、波長から脳が「色」を認識することになる。光学系の波長成分として眼球から取り込まれた光は、視覚神経を経て電気信号として脳に伝えられる。そこでは網膜に映った「像」ではなく、神経線維によって伝播された電気信号の集まりとして集約され、映像としての再構築の処理が行われていると考えられている。したがって、脳は光学系の信号を電気信号に変換する情報処理を行っていることができる。ここに、ヒトが進化の過程で自然界のなかで取捨選択して構築してきた視覚系システムが存在することになり、ヒトが生命として維持するために用意してきた独自の色覚メカニズムがあるといえる。例えばみかんの表面をヒトは橙色、オレンジ色として認識する。そして同じ「みかん」を太陽光の下で見ようが、屋内の照明下で見ようが、また明るい、暗い、の区別なく、同じ色(みかんの属性)として認識している。実際にはみかんの表面から反射される電磁波は、その環境において異なっている筈である。これを脳は自動的に調節し、光学系信号からの情報を記憶システムにあるみかんの色とで補正を行い、いつも同じ色として認識する処理が行われるとされる。こうした色の恒常性は、物を認知する上で必要な機能として進化の過程で独自の発展を遂げた、視覚システムであるといえる。

眼球の背後に位置する網膜の中央部では錐体が多く分布し、赤、緑、青、の三色を識別し易くなっている。その周辺では赤の感受性が弱まり二色視となり、しだいに単色視となる反面、桿体の機能が働いて明暗の識別が強くなる。夜空の星を見るとき、意識的に中心から外れて観察した方がより暗い星を知覚できるのは、このためである。また弓道や剣道でみられる「半眼」や「東山の目付け」などは、無意識にこうした視覚特性を考慮したものといえる²⁾。色覚の面では色の恒常性による色順応特性が示すとおり、光源の違いによって物の見

え方が計算されると考えられている。網膜にある光の受容体に届いた光は、神経細胞の電気信号として外側漆状体を經由して第1次視覚野等に届く。外側漆状体からの出力線維である軸索は視覚野でシナプス結合することになるが、モジュール説によるとこのとき色や形、また動きが別々の経路により処理されている。後頭葉17野では視覚のイメージが再構築され、色や動きとして認識される。側頭葉にある第4次視覚野（V4領域）では形の認識で重要な役割をはたし、各種の領野全体において高次の視覚処理が行われていると考えられている。ここで光学系が視覚系情報処理の入力部分として機能し、様々な補正が入力後に行われていることが分かる。眼球内に存在する盲点はよく知られるが、これは網膜上の視神経が集まって外側漆状体へと線維を延ばす出口でもあり、当然そこは網膜上の情報欠損部分となる。しかし脳による補正が行われ、盲点の欠損部分を補う処理の存在が知られている。図1にある2つの図形について、右目で左の■をみつめて（反対側の目はふさぐ）距離を変化させると、盲点の位置で右の●が消滅することが分かる。そしてそのまま視線を下の直線に移動すると、2つの直線が繋がって（実際には「見」えていない）認識される。またマッカロー効果として知られる特性は色のついた縦と横の縞を交互に眺めた後で別の図形を見せるものであるが、網膜の残像という現象ではなく、知覚・認知が継続されることが知られている。図2で、明暗の境界部分がより強調されて見えるシュブルール錯視の画像を示す。各長方形の左端付近はやや明るく見え、右端付近はやや暗く見える錯視となる³⁾。各長方形内では色が同じであるが、これらが隣接すると、より濃い色との接合部分が明るく感じる現象



図1 盲点における情報処理



図2 シュブール錯視

で、これも実際とは異なる像を脳の情報処理が行った結果であるといえる。

視覚システムをすべて取り出して検証することは現在の科学技術や倫理面で難しく、またヒトの視覚特性を他の生物で検証することにも限界がある。したがって、上述のような特徴ないし錯視と知られる様々な知見からその機能的特徴の理解を進めるのは、有効なアプローチ法であるといえる。進化の過程でその必要性があったから存在するのであろう仕組みは、一見不具合に思える機能でも単なる異常や欠陥としてではなく、必要な機能を追求した結果の状態であるとも考えることができる。例えば網膜上の錐体のうち短波長に感度を持つS錐体は、その数が他のL錐体やM錐体より少ない。これは眼球の色収差の影響で短波長成分の光学像が網膜上でかなりぼやけてしまい、高密度に分布する必要がないという理由も考えられている。ここから、視覚系が色収差をそのままにしても視覚系全体がうまく機能する、あるメカニズムの成立過程を示唆するものと考えることができる³⁾。地面に対して直立して行動するヒトは、太陽光が射してくる天井方向を上、足元の方を下と認識している。したがって脳の情報処理においても、物体の陰影によって上下を判断することがある。図3

は Web ページ等でよく用いられる「ボタン」である。左右同じサイズの長方形において、左側のボタンでは上部の横線と左の縦の線を白く、それぞれの対辺を黒くした。右側のボタンは左側と逆の組み合わせとした。左右のボタンは同じ二次元上の図形であるが、左側は浮き上がって見え、右側は沈んで見える。この例は、上部からの光がどう影を作るかという計算が、脳内のアルゴリズムとして備わっていることを示すものと考えられる。「光源は上にある」という前提をおけば、光の分布から凹凸は一義的に決まるのである⁴⁾

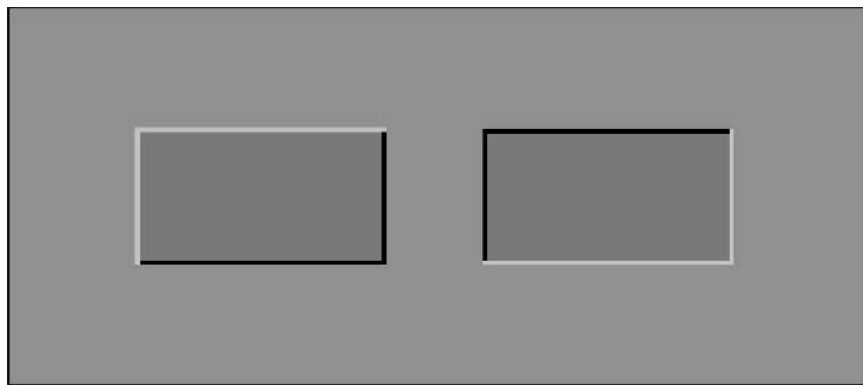


図3 ボタンにおける天地の認識

日本人には絶対音感所有者の割合が多い⁵⁾が、日本の音楽が西洋音楽と異なる音律を持つことから⁶⁾、聴覚のメカニズムは人種によっても大きく異なる可能性がある。日本人は虫の声を音楽として左脳で聞くのに対し、西欧人は雑音として右脳で聞くとの指摘もある。これらの違いは視覚や色覚についても人種間で異なる機序を持つ可能性を示唆するものであり、西洋絵画と日本絵画の違いを認識する仕組みを、こうした推定から検討するアプローチも考えられる。西洋絵画に特徴的な遠近法に対し、浮世絵に代表される日本絵画では遠近の法則に左右されず、逆に後ろの物を大きく表現する等の異なる手法がとられている。これら大胆な空間処理は、マネやドガ、ゴッホにも大きな影響を与えたと

いわれ、ルネッサンス以来の遠近法から離れ、力強い色彩の対比の採用など日本画が与えた影響は大きい。西洋絵画における数学的遠近法は、イタリアのブルネレスキにより 1425 年頃に確立したとされるが、ロナルド・ダ・ビンチは数学的遠近法以外に、色彩遠近法と鮮明度遠近法ともいえる遠近法を示している⁷⁾。それらは遠ざかると色彩や鮮明度が変わる手法である。

3. グリッドパターンによる色覚実験

3.1 錯視および各種パターンを用いた色覚の機序

前章で例示したボタンは、物体に光が反射する際の上下関係によるものであるが、色の濃淡だけで形まで知覚する錯視も報告されている⁸⁾。これは地図の陸地と湖など 2 つの線で区切られた領域のうち、淡い色の線に接した側の領域では色が淡く広がって見えるもので、その部分が浮かんでみえることになる。また図 4（文献⁹⁾をもとに作成）のように濃淡の異なる 2 つの直線を配置した場合、淡い方の直線が浮き上がることにより、濃い方の線が外側を覆う色として

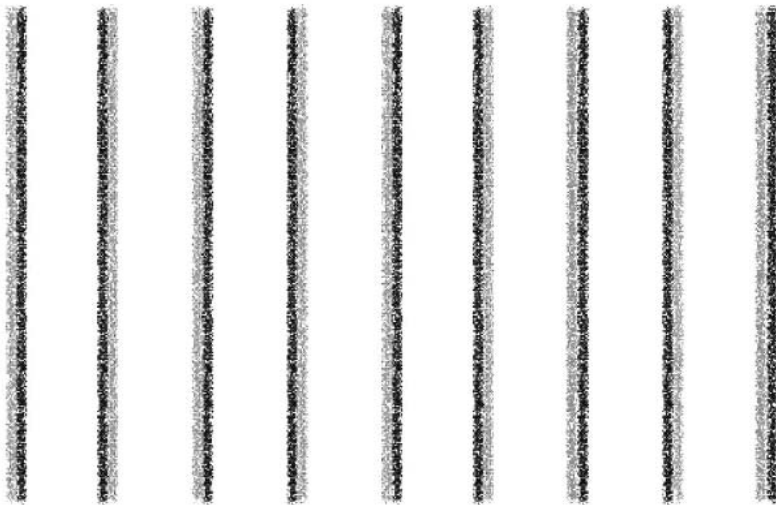


図 4 濃淡の異なる直線

管が描かれているように見える⁹⁾。これらの様々な効果は、錯視の世界で非常に多くの種類が報告されているが、視覚情報処理の初期段階で既に知覚の特徴ごとに脳の各地へ情報が伝えられ、何らかの仕組みで像として認識されることになる。ここで網膜に映った像は、ニューロンが刺激に慣れることによって次第に刺激が弱まり消失する傾向にあるが、それを防ぐためマイクロサッカードが新たなニューロン活動を呼び起こし、視覚イメージを維持している¹⁰⁾。この固視微動は、錯視との関連も指摘されている¹⁰⁾が、知覚機能との関連で興味深い事象がある。それはある一つの漢字を固視した場合、次第にその漢字の構造や意味が分からなくなる現象が起きることがある。当然、固視微動により網膜上のイメージは消失せずに光受容器が次々と活性化されるが、このとき漢字のつくりや偏をより細かく見ることにより、漢字全体のイメージでとらえることが出来ずに、視覚野での認知に問題が生じる可能性もある。これは推測に過ぎないが、錯視のパターンを研究する上で、新たな切り口として期待できると考える。

錯視の多くに影響を与えるとされる側抑制の機能では、最初のニューロンから発火した信号がシナプスを介して伝達する過程で、隣接するニューロンが抑制されるということが分かっている。これにより高度な分解能力、たとえば視覚における解像度として光学系からの入力が複数のレベルを経て、外側漆状体における構成時に、より明瞭な像となる利点が挙げられる。ヘルマン格子錯視は白い交差点の部分凝视するとグレーの斑点が見えるものであるが、色調を変えて様々なコントラストを用いると、斑点が見え易くなることが知られる。格子の中心部分は上下左右が明るくなっており、この部分からの入力を受け付ける視細胞が抑制を受け、そこが暗く見えることが知られている。ただし格子の部分を注視した場合は、網膜中央部に多く分布する錐体により、抑制の影響が弱まり暗く見えなくなる。ヘルマンの格子とは逆で白地に格子が黒の、ヘリング格子錯視がある⁴⁾。これは黒の格子の交差点部分に白がちらついて見える錯視であり、この場合もトーンやコントラストを強調する側抑制の働きがみとめられる。

動物の色覚において、夜間行動や水中生活を主とするものは感光色素が少なく、昼間に活動するものは色覚が発達していることが分かっている。このような動物の感覚系は、生きる為の戦略として種ごとに独自の発達をしてきた経緯がある。日本人の男子で5%，女子で0.4%と言われ、人種でも男子に多いヒトの色覚異常は、夜間の狩猟や外的防御の観点から、錐体よりも桿体の機能が強くなっているのか、検討に値する*。さらに現行の色覚検査で25%の男性がハイブリッド遺伝子により「正常」と診断された場合、5%に加えた30%が、程度の差こそあれ他の70%の男性と異なる色覚を有していることになる¹¹⁾。これは赤と緑遺伝子が組み換えられた結果、赤緑色覚異常の原因となるものであり、現行の検査法では正常と判断されてしまうケースである。ヒトにおいて赤オプシン遺伝子と緑オプシン遺伝子の相同性が非常に高いことから、進化する過程でいったんは失った錐体視細胞が突然変異等により再生され、3タイプの錐体細胞を有するようになったとされる¹²⁾。ヒトは3色型の色覚を持つようになったが、自然の世界では背景にとけ込んでカモフラージュした昆虫等は、2色型の色覚であった方が明暗に敏感になりそれを見抜きやすい、という指摘もある^{13,14)}。

3.2 グリッドパターンを用いた実験の方法

パソコンソフトにより作成したデジタル画像を、プロジェクタを用いてスクリーンに投影した。部屋は暗幕を用いて太陽光が入らないようにし、天井からの照明について、照明光の強い影響を低減させるために、スクリーン側となる前方半分を消灯した。部屋の半分は照明を用いて全くの暗黒にはせず、開口色モードの色による影響³⁾を抑えた。図5は黒色パネルを配置した格子例で、よく知られるヘルマン格子である。本実験ではタテヨコそれぞれ5個の正方形のパネルを配置し、正方形の一辺の長さの約5分の1の幅で白色の格子パター

* 性染色体のうち、男女共通のX染色体に赤緑視物質遺伝子がコードされていることから、それを2本持つ女性よりY染色体も持つ男性に多い。

ンを用意した。パネルの色は揭示順に黒色、赤色、青色、緑色、橙色、の5種類を用いて、順番に白色の格子部分が何色に見えるかを被験者に回答させた(以下、それぞれのパネルの色を指して順に黒の格子、赤の格子、青の格子、緑の格子、橙の格子とよぶ)。なお全てのパターンについて、格子部分は同じ白色でサイズや形状も同一である。格子パターンの揭示順番はコントラストの強い黒の格子を最初に、そして赤の補色である緑や比較的赤に近い橙の格子を連続させない組み合わせとした。これは赤と緑の視物質の特性から見分けにくい傾向を避けるためと、赤に近い橙とともに連続させずに受容器へのインパクトを与えようとしたものである。なお色恒常性には、見かけの知覚が変化しない状態、見かけが異なっても物体として同一に知覚するという2つのレベルがある¹⁵⁾。こうした点もふまえて、被験者にはパネルに使われた色が何色かをその都度明示して、パネルについては物体の色が被験者間で同一の知覚をさせることとした。

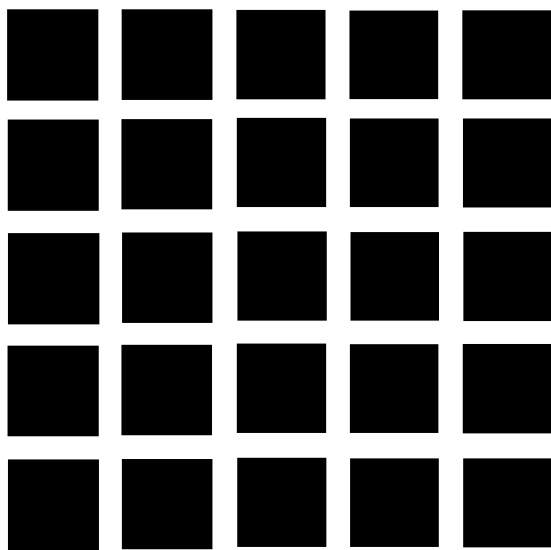


図5 黒の格子

各パターンの掲示時間は約 10 秒間で、掲示ごとに見えた色を即答し、次の掲示に進む方法をとった（実験の全体時間は約 1 分間）。また実験のやり直しやパターンの再掲示は一切行っていない。回答の際は毎回手もとのパソコンディスプレイ（白地画面）を数秒間見るようにし、時間対比による色の見え方変化や光マスキング効果などの影響を除外することとした。

実験は 2007 年 10 月から 11 月の間に、任意を選んで同意を得た大学生 100 名（男 61 名、女 39 名）に実施した。実験結果への影響を考慮し、「色の見え方のアンケート」という表現など、先入観を持たない程度に実験趣旨の説明を行った。なお色弱等の場合は、本人のプライバシーも考慮して、実験に参加しない（回答しない）選択もできるようにした。色の見え方については、個人の表現にまかせた。そこで「灰色」をとっても、薄い灰色、黒っぽい灰色、グレー、白に近い灰色、などと同色に対する色の表現が多種多様となった。

3.3 実験結果

黒の格子から橙の格子までの集計結果を表 1～表 5 に示す。各表において左の列は回答された色の区別、右の列がその回答数（人数）である（合計 100 名）。色の表現には個人差があり、灰色でも薄い灰、薄く黒く見える、うっすらとした陰（灰）、薄いグレー、微妙に灰色っぽく見える、白に近いグレーなど様々であった。こうした言語による色の表現は、視覚として眼球が検知しているのか、それとも視覚脳として編集された表現なのか不明である。ヘルマン格子は側抑制により白の格子部分が暗く感じるものとして知られるが、本実験からも、黒のパネルと白の格子という明暗のはっきりしたパターンで顕著な結果が得られた。表 1 において格子の白い交差点部分を灰色（54 人）か白（23 人）と回答したものは全体の 77% に及んだ。これに対して赤で 46%、青は 43%、緑は 51%、橙では 40% が灰色か白と答えたに過ぎなかった。このことは色の認識で敏感な錐体が側抑制でも働いていることを示唆するものである。パネルの色を知覚する錐体は、白の格子部分の知覚において抑制が働くものと思われるが、交差

点の部分が暗く感じるだけではなく、パネルの色の影響を受けた色覚を持つことが想定される。ここで回答された色名称の種類を比較すると、一番種類の少ない黒の格子が13種類、赤が24種類、青が20種類、緑が22種類、橙が23種類となっている。黒以外すべて20種類以上となっているのは特徴的である。

網膜の中心部分に集中する錐体は色の識別に特性を持つが、網膜周辺部ではほとんどが色の識別を行わない桿体となる。格子を見たとき、側抑制は視線の中心領域ではあまり見られず、その周辺で起きやすい。その周辺で色がついたということは、側抑制にプラスされる何らかの視覚メカニズムの存在を示唆するものである。これは網膜上の各種細胞に起因するものか、脳の視覚野における再構築処理の結果起きることかは不明である。回答にあたって、色覚異常のケースは判定していない。もし色覚異常でも該当者全員が実験に参加したと仮定すると、次の計算で割合を推定することができる。日本人男子の比率が5%、女子で0.4%であることを用いると、男子61名の5%で約3名、女子39名の0.4%で約0名と推定される。したがって約3名は不確かな回答が混ざっている可能性がある。各格子における色の回答上位5位を集計したものを表6に示す。この結果では、赤と橙の格子については色の表現上位5位までが8割に達しなかった。他の比率も見比べると、青と緑、赤と橙がそれぞれ似通った傾向を示している。赤や緑は、進化の過程をふまえると青とは異なったメカニズムを持ち、特性も近いものと考えられることができるが、この結果からは逆に青と緑、また赤と橙が近いパターンとなった。これは色覚の差異が網膜レベルではなく、脳で計算した知覚に起因することかも知れない。

表1 黒の格子結果

黒 の 格 子	
灰色	54
白	23
黒	7
薄い灰色	6
黄色	2
うっすらとした影（灰色）	1
微妙に灰色っぽく見える	1
薄く黒く見える	1
白に近い灰色	1
茶色	1
赤	1
銀色	1
灰色が点滅	1
合 計	100

表 2 赤の格子結果

赤 の 格 子	
灰色	25
白	21
ピンク	9
茶色	8
赤	6
オレンジ	3
薄い灰色	3
薄い赤	3
肌色	3
薄いオレンジ	2
茶色	1
薄い赤	1
うっすらとした影（肌色）	1
茶色	1
やや茶色い薄いグレー	1
暗い赤	1
黄	1
黄色っぽい白	1
黒っぽく見える	1
紫色	1
青	1
赤みの灰色	1
白に近いグレー	1
白に限りなく近い薄い灰色	1
薄く黒く見える	1
薄茶色	1
微妙に灰色っぽく見える	1
合 計	100

表 3 青の格子結果

青 の 格 子	
水色	31
灰色	24
白	16
青	6
白	3
黒	3
薄い青	2
紺色	1
薄い青	1
暗い薄い水色	1
空色	1
群青	1
少し青みがかった薄い灰色	1
水色っぽい白	1
青みの灰色	1
白っぽい水色	1
白に近い水色	1
薄い灰色	1
薄い空色	1
薄い黒	1
薄い黒ずんだ青	1
薄い水色	1
合 計	100

表4 緑の格子結果

緑の格子	
灰色	35
白	16
薄い緑	14
緑	12
黄緑	4
濃い緑	2
薄い灰色	2
抹茶色	1
うっすらとした影（灰緑色）	1
黄緑色	1
水色	1
白に近い灰色	1
薄い灰色＋薄い若葉色	1
薄い抹茶色	1
薄く黒く見える	1
薄暗い緑？	1
微妙に灰色っぽく見える	1
微妙に緑っぽかったです	1
緑っぽい灰色	1
緑に近い灰色	1
緑みの灰色	1
緑を黒くした感じ	1
合 計	100

表5 橙の格子結果

橙の格子	
白	21
灰色	20
橙	10
黄色	8
茶色	8
薄い橙	7
肌色	4
黄土色	3
赤	2
薄い黄色	2
薄い灰色	2
薄茶色	2
うっすらとした影（灰橙色）	1
やや黄色い薄い灰色	1
よく分からない	1
黄みの灰色	1
極薄い黄色	1
金色	1
少し黄色がかった薄い灰色	1
茶色？っぽくみえる	1
白に近い茶色	1
薄い黒ずんだ橙	1
薄く黒く見える	1
合 計	100

表6 トップ5までの累計比率 (%)

	黒の格子	赤の格子	青の格子	緑の格子	橙の格子
1位	54	25	31	35	21
2位	77	46	55	51	41
3位	84	56	74	65	51
4位	90	65	80	77	59
5位	92	71	83	81	67

4. 色覚特性とカラーバリアフリー

視認性の見地から、色覚障害による色の識別低下を考慮した背景や文字・図の明度差は重要である¹⁶⁾。障害者基本法に基づく理念から策定されてきた障害者基本計画では、平成 15 年度から平成 24 年度までに、IT 革命への対応として次の提言がなされている。「急速に進展する高度情報通信社会において障害者の社会参加を一層推進するため、デジタル・ディバイド（IT の利用機会及び活用能力による格差）解消のための取り組みを推進する。特に、IT の利用・活用が障害者の働く能力を引き出し経済的自立を促す効果は大きいことから、その積極的な活用を計る」。ここで厚生労働省の障害白書平成 20 年度版における「身体障害児・者実態調査」によると、平成 18 年において全盲、弱視、視野狭窄などの視覚障害者数は 31.5 万人に及ぶ。この数は内部障害、肢体不自由、聴覚・言語障害を合わせた障害者数の 8.8% となっている。これらの視覚障害者は、身体障害者福祉法の別表[†]に挙げられている障害が永続するものとして該当する人の合計である。身体障害児・者実態調査によると、視覚障害者数の推移は、表 7 のとおりとなる（障害白書平成 20 年度版における「身体障害児・者実態調査」種類別障害者数の推移（身体障害者・在宅）をもとに作成）。

表 7 の①に挙げた視覚障害者数は、2006 年で 31.5 万人である。ここで日本の色覚障害者数を 2006 年の男女人口（男 62,330 千人、女 65,440 人）から推計してみると、男 3,116.5 千人、女 130.88 千人の合計約 3,247 千人となる。この値は視覚障害者の 10 倍以上であり、表 7 における身体障害者の総計に匹敵する。このことは、Web 社会に限らずカラーバリアフリーを含むデジタル・ディバイドにおいて、その対応の遅れが政策的な盲点になっているといえ

† 1. 両眼の視力がそれぞれ 0.1 以下のもの
2. 一眼の視力が 0.02 以下、他眼の視力が 0.6 以下のもの
3. 両眼の視野がそれぞれ 10 度以内のもの
4. 両眼による視野の 2 分の 1 以上が欠けているもの

表7 障害種別の障害者数 (千人)

	1970	1980	1987	1991	1996	2001	2006
①	257	336	313	357	311	306	315
②	259	317	368	369	366	361	360
③	821	1,127	1,513	1,602	1,698	1,797	1,810
④	72	197	312	476	639	863	1,091

(①：視覚障害，②：聴覚・言語障害，③：肢体不自由，④：内部障害)

る。

産業製品においてカラーバリアフリーの見地からの取り組みも重要である。例えばパンチングメタルは金属の打ち出し抜き加工によるものであるが、デザイン性に優れ、単なる金網とは異なる意匠性を持つ製品である。使用用途は広範囲であり、家電から建築資材、看板にも用いられる。パンチングメタルの抜きパターンは金型にセルを配置して形成されるが、直列状あるいは千鳥状のパターンで繰り返し打ち抜くことにより製造される。こうしたパターンが白地の板やステンレスなど灰色系の金属板に行われた場合、開孔率（孔径の大きさと、間隔であるピッチによる）によっては、今回用いた格子パターンに類するデザインとなる。そこで各種の看板や建築資材で用いられる場合、色覚特性による認識に微妙な違いが生じる可能性も考慮することが考えられる。またエレベーターの操作盤では、各種のセンサーをはじめ車いす用操作盤、点字プレート、音声ガイダンスなど、バリアフリーの観点から利用者への操作利便性が追求されている。利用者が行き先や扉の開閉で必ず使用する操作盤において、文字表示や使用するボタンの大型化、重要なボタンでは色枠での差異化、などとともに、行き先階のボタンを千鳥状の配列にする取り組みも必要とされる¹⁷⁾ 近年のビル高層化に伴い、エレベーターの操作盤は低層階から高層階まで数多くの行き先階ボタンが配置されるケースが増えている。行き先ボタンは格子状に整列される場合が多く、全体のスペースからボタンのサイズ拡大にも限界があり、ここに格子状の模様が発生してくる。その際、より見やすく操作し易い操作盤のためには、色覚の特性を考慮して錯視が起こりにくいよう、下

地の色とボタンの色の配色を考慮することも重要である。高品位の画像で α 帯域波のパワー増大を認めた脳波測定結果から、忠実な像の伝達が脳へのストレスを抑えたことを示唆する報告もある¹⁸⁾。そこでたとえ色覚正常であっても、パターンや像のちらつきは脳にストレスを生む可能性があり、カラーバリアフリーは特定の人々のみを対象とするのではない、ということをふまえておく必要がある。交通信号や一部のトイレの表示には、色でその意味を示す色コードが用いられることがあるが、白内障も含む色覚異常で識別しにくい混同色への配慮も必要となる。

5. お わ り に

赤と緑、青と黄、紫と橙など補色の効果を用いた例として、手術室における眼の疲労を考慮した術衣の工夫が知られるが、ゴッホなどの絵画にも、補色による鮮やかさを意識した¹⁹⁾印象深い作品がある。また晩年のモネの作品の中には、視力低下により色彩のニュアンスと細部を識別できなかったにもかかわらず、光学系によらない心の中の視覚を連想させるものもある²⁰⁾。セミール・ゼキの定義によると、「視覚は、この世界についての知識を得ることを可能にするために存在する」といえるのである²¹⁾。視覚は眼を通じて脳でものを視る機能と考えられるが、「眼で描く画家」や「脳も使う画家」といった区別がよく見受けられる²¹⁾。絵画の世界においても、こうした色彩への影響についてより多くの知見が得られれば、抽象絵画と表現主義の手法について新たな解釈ないしは行為としてとらえられることの可能性を指摘できる。

光の三原色のうち、ヒトの視覚において緑を識別する機能は後発的で、その機能形成メカニズムは赤や青とは異なる可能性がある。今回の実験結果から、黒の格子に限らず他の色の格子で色つきの影響が出る結果を得たことは、色恒常性とともにヒトの視覚特性を考慮するうえで重要な実験結果であるといえる。使用した画像が静止画であるという観点からは、時間のエッジではなくマッハ効果などの辺縁対比による抑制が、受容野における抑制機構として働い

ている可能性を示唆する。明るさにより視感度がずれてくるブルキンエ現象や補色間の色が隣接してハレーション（ちらつき）を起こすグレア現象とは異なるものである。これらの機序を示すにはなお多くの特徴的な格子パターンについて実験を重ねていくことが必要であり、今後の課題としたい。女子は男子よりも色の表現が細やかであり、光学系から認識された色が言語表現との関連で認知されるといった色覚メカニズムにおいて、何らかの性差があることが考えられる。ヒトの視覚機能の研究では、例えば非常に良く研究されている前庭動顔反射（VOR）においても、その回路を抜き出して検証するには至っていない。色覚についてはさらにヒトの視覚特性から、三原色を持たないラットなどによる実験には限界がある。視覚の目的は動物によって大きく異なり、その処理過程におけるある表現から別の表現への視覚系による写像でも、当然異なる表現がなされていると考えられる²²⁾ 本研究の試みは光学的情報が視覚情報として伝達、解釈されるメカニズムを知る上での第一歩であるが、これが色覚異常の解明や色の識別性向上、また生物間の色覚差違を活用した生物共存システムの構築などに役立つものとする。ユスリカは白色や明るいところに集まる習性があるが、その大量発生は近年問題となっている。そこでユスリカの色覚特性を用いた駆除として、赤など長い波長を好まない習性を応用して青の光で誘引するなどの対策が効果を挙げている。錯視のメカニズムや定式化は、それらの現象を記述する段階にあるが、色覚における、より定量的な知覚機序解明は、光学系としての知覚と視覚系における計算を説明する上で重要となってくる。

参 考 文 献

- 1) 外池光雄, “におい・香りの情報通信,” フレグランスジャーナル社, 2007.
- 2) 石原正規, 今中國泰, “標的を狙う時の視知覚と反応時間に関わる内的表象の影響,” JJBSE, Vol. 11, No. 1, pp. 40-49, 2007.
- 3) 内川恵二, “色覚のメカニズム,” 朝倉書店, 1998.
- 4) 藤田一郎, “「見る」とはどういうことか,” 化学同人, 2007.

- 5) “絶対音感 目立つ日本人,” 朝日新聞, 2005 年 7 月 3 日.
- 6) 千葉優子, “ドレミを選んだ日本人,” 音楽の友社, 2007.
- 7) 横地清, “絵画・彫刻の発展史を数学で嗜もう,” 東海大学出版会, 2007.
- 8) John S. Werner, Baingio Pinna and Lothar Spillmann, “Illusory Color and the Brain,” Scientific American, March, 2007.
- 9) Baingio Pinna, Gavin Brelstaff and Lothar Spillman, “Surface color from boundaries : a new ‘watercolor’ illusion,” Vision Research, 41, pp. 2669-2676, 2001.
- 10) Susana Martinez-Conde and Stephen L. Macknik, “Windows on the Mind,” Scientific American, August, pp. 40-47, 2007.
- 11) 岡部正隆, 伊藤啓, “色覚の原理と色盲メカニズム,” 細胞工学, Vol. 21, No. 7, pp. 733-745, 2002.
- 12) Timothy H. Goldsmith, “What Birds See,” Scientific American, July, 2006.
- 13) “人の色覚, 顔色読むため?,” 日本経済新聞, 2007 年 12 月 9 日.
- 14) 河村正二, “サルの色覚が教えてくれること,” 日経サイエンス, 10 月号, 2006.
- 15) 栗木一郎, “脳と色覚,” 電子情報通信学会誌, Vol. 90, No. 10, pp. 876-883, 2007.
- 16) “色彩,” 日本色研事業株式会社, 2007.
- 17) 阿部隆志, 中尾和日子, 池田恭一, “視覚障害者を対象にしたエレベーター操作盤の表示,” 東芝レビュー, Vol. 58, No. 10, pp. 13-16, 2003.
- 18) 林秀彦, 鳥居鉦太郎, 國藤進, 宮原誠, “従来品位画像と高品位画像の脳波レベルでの比較評価,” 信学技報, HIP99-22, pp. 7-12, 1997.
- 19) “Van Gogh in Context,” NHK プロモーション, 中日新聞社, 2005.
- 20) 横山紘一監修, “モネ,” 昭文社, 2007.
- 21) セミール・ゼキ (河内十郎監訳), “脳は美をいかに感じるか,” 日本経済新聞社, 2002.
- 22) デビッド・マー (乾敏郎, 安藤広志訳), “ビジョン,” 産業図書, 1987.
- 23) 北岡明佳, “だまされる視覚,” 化学同人, 2007.