

特集「私たちを取り巻く色彩環境の構造と色彩感覚」

Special Issue: The color structures of natural environments and our color sensations

特集にあたって

Editor's Introduction

永井 岳大

Takehiro Nagai

東京工業大学

Tokyo Institute of Technology

キーワード：色彩環境, 統計構造, 文化差, 色彩設計

Keywords: color environment, statistical structure, cultural differences, color design

色彩は、我々にさまざまな感性印象や感情を引き起こす。色と感性の関係は古くから関心の対象であり、色は我々の感性の源泉ともいえる。また、色の知覚に目を向けると、人間が持つ光受容器の分光感度は、例えば果実と葉を見分けられるように、我々の生存に必要な情報を捉える能力を有するものである。このように、色彩認知は様々な側面から我々人間を支えている。

一方、我々を取り巻く色彩環境は多様である。自然環境においては、花や空、海、森など、我々の心を揺さぶる美しい色彩もあれば、逆に暗い色彩環境では不安が惹き起こされることもある。このように、色彩環境とそれに伴う感覚を対応付けて何度も経験を繰り返していくことで、色彩に対する印象や感性、知覚特性が色彩環境に合わせて発達してきたという考え方は自然であろう。

この色彩環境と我々の感性の関係性は、すでに様々な観点から議論されてきたが、本特集では、新たな視点からこの問題に迫ってみたい。本特集を企画したきっかけの一つは、深層学習の発展により「色彩環境」を定量的に分析可能になったことである。従来は、色彩環境を定性的に記述する試み、あるいは定量的に分析する場合でも比較的単純な特徴量に基づく分析が多かった。しかし、深層学習により、様々な色彩環境の特徴を数値化できるようになった（ただし、その特徴を人間が本当に捉えられるかどうか、それらの特徴を人間が抽象的に解釈できるかどうかは別問題である）。この技術的進歩により、これまでより深く色彩環境と我々の色彩感覚の関係性を理解できるようになることが期待されるのである。

この色彩環境と色彩認知の関係性を俯瞰的に理解するため、今回は4つの異なる視点から記事をご執筆いただいた。まずは、これまでに色彩環境と色覚の関係性について豊富な解析経験をお持ちの千葉大学の溝上陽子先生に、その関係性に関する従来知見を包括的にご執筆いただいた。この記事から、色彩環境と色覚の関係性や、それを理解するためのこれまでのアプロー

チについて、その全体像を理解できるはずである。

一方で、色彩認知の特性は、単純に視覚情報としての色彩環境のみならず、文化や思想の影響も強く受けるはずである。そこで、色彩認知の文化差について、特に様々な文化における太陽の色使いに着目して、芝浦工業大学の日高杏子先生にまとめていただいた。子どもたちが太陽を描く際に使う色、国旗における太陽表現など、色彩の認知を醸成する多様な要因を考えさせるきっかけを与えてくれるはずである。

同様に、色彩環境の設計（デザイン）指針からも色彩環境と我々の色彩感性の関係性をうかがい知ることができよう。例えば、色彩が単にデザインのまとめの一部としてのみ使われることもあるれば、逆に色彩を軸としてデザインを構築することもあるだろう。大阪工業大学の田中一成先生には、色彩環境の設計（デザイン）の考え方や事例について、具体的な例を含めながら記事をご執筆いただいた。色彩設計において考慮すべき問題の多様性を改めて認識させられる記事となっている。

最後に、上述した深層学習による環境の解析例について、豊橋技術科学大学の田村秀希先生にご紹介いただいた。この記事では、光沢感などの質感と自然環境の特徴の関係性の解析事例や、自然環境の色彩的特徴と絵画の選好に関する定量的解析について、わかりやすくご執筆いただいた。このような自然環境の解析例は徐々に増えてきており、今後の色彩研究方針の1つのあり方を考える上で、大いに参考になるのではないだろうか。

以上のように本特集では、色彩環境と我々の色彩認知の特性について、統計的特性・生物学的意義・文化・思想等、さまざまな側面から、また多分野から、その関係性を探求する試みが紹介されている。このような色彩環境の解析は、色覚から色彩心理、色彩設計に至るまで、色彩認知の様々な側面を包括的に理解するための手がかりを与えてくれるかもしれない。そんな事を考えながら、本特集をお楽しみいただければ幸いである。

特集「私たちを取り巻く色彩環境の構造と色彩感覚」

Special Issue: The color structures of natural environments and our color sensations

自然環境に適応した色覚

Color vision adaptive to natural environment

溝上 陽子
Yoko Mizokami

千葉大学
Chiba University

キーワード：色覚, 適応性, 自然環境, 色分布

Keywords : color vision, adaptation, natural environment, color distribution

1. はじめに

人間は自然環境とともに進化してきた。したがって、自然シーンの色特性も、色覚メカニズムの進化と発達に多大な影響を与えると考えられる。自然シーンの統計量を分析し、色覚メカニズムとの関連性を見出そうとする試みは数多くなされてきた。これらの研究により、環境の色彩特性が色覚メカニズムの形成に与える影響が示唆されている。シーンの色特性を統計的に分析する方法はいくつかある。最も基本的な方法は、平均色と色分布によるものである。視覚メカニズムにおける、輝度、L-M、S-(L+M) 反対色チャンネルの空間コントラスト感度は異なるため、空間周波数を考慮した分析も重要である。

環境の色と色覚メカニズムの密接な関わりは進化や発達だけではない。私たちは、数秒、数分、数時間、数日、数年、生涯、という様々なスパンにおいて、環境の明るさや色の変化に対して適応(順応)している。そのため、日常生活における照明色変化等の多様な視環境の変化に関わらず、安定した色の見えを保つことができる。

本稿では、環境の色特性と色覚特性の関係、色覚の適応性、柔軟性の一端を紹介する。

2. 色覚メカニズム

電磁波のうち人間が見ることができる波長は、約380～780 nmと言われている。私たちが様々な色を見ることができるのは、網膜にL, M, S錐体という3種類の光センサーがあるためである。錐体の分光感度を図1(a)に示す。光の分光エネルギー組成が変化すると、この3錐体の応答比が変わることから、図2(a)のように様々な色の違いを知覚できる。

網膜におけるLMS錐体3チャンネルの信号は、その後、輝度(L+M)チャンネルと、2つの反対色型の色チャンネル、L-Mチャンネル(おおむね赤み-緑みの反対色に相当)およびS-(L+M)チャンネル(おおむ

ね青み-黄みの反対色に相当)に再構成されて、眼から脳に送られる。この段階の色覚特性を反映させた錐体反対色空間も提案されており、図1(b)に示すように、等輝度の平面は、L-M軸とS-(L+M)軸により構成される²⁾。

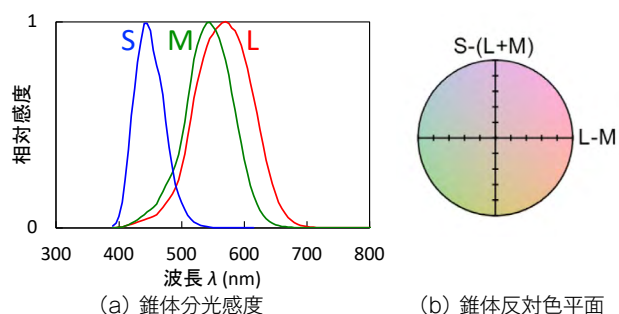


図1 錐体分光感度と錐体反対色空間の等輝度面



図2 緑の茂みの中にある赤い花のシミュレーション

反対色チャンネルへの再構成により、効率的に情報を伝達できると考えられる。例えば、重なり合っている分光感度の差分を取ることで冗長性をなくすることができる。また、色チャンネルは、輝度チャンネルと比べて空間周波数や時間周波数に対する感度(解像度)が低い。図3に示すように、画像を輝度、赤-緑、黄-青成分に分け、同じ量のぼかしをそれぞれ加えると、輝度成分では明らかにぼやけているが、赤-緑、黄-青成分ではほとんどぼやけて見えない。これは、高解像度の輝度情報、低解像度の色情報に分けることにより、情報量の圧縮ができることを示している。

大脳レベルでは、多チャンネルの色覚メカニズムとなり、さらに高次レベルでは、色カテゴリに応答するニューロンやメカニズムがあると考えられる。

特集「私たちを取り巻く色彩環境の構造と色彩感覚」

Special Issue: The color structures of natural environments and our color sensations

ヒト判断を予測する画像計算可能モデル: 鏡・ガラス材質識別と絵画選好

Image-computable models that emulate human judgments: distinguishing mirror from glass and art preference

田村 秀希

Hideki Tamura

豊橋技術科学大学情報・知能工学系

Department of Computer Science and Engineering, Toyohashi University of Technology

キーワード: 質感認知, 絵画, 選好, 画像特徴量, CNN

Keywords: material perception, art painting, preference, image features, convolutional neural network (CNN)

1. はじめに

本稿では, 画像特徴量を学習したヒト判断予測モデルについて, 鏡・ガラス材質識別¹⁾と絵画選好²⁾の2つのテーマを例に挙げて述べる. 特に, 視覚環境の統計的構造が画像特徴量に反映されていると仮説立て, それら特徴量で学習したモデルの正答率やヒトとの類似度, その役割や得られた示唆などを中心に議論する.

2. 鏡・ガラス材質識別

2.1 目的とアプローチ

よく研磨された金属のように光が物体表面を鏡面反射する「鏡材質」と, 氷やガラスのように光が物体を透過・屈折する「ガラス材質」は, 周囲の環境光によって, その物体表面の見えが複雑に変化する³⁻⁵⁾. 私たちはこれらの材質をどのように識別しているのだろうか. もし視覚系が, 「視覚環境に存在する統計的構造の何らかの特徴」を利用できているのであれば, その統計的構造が要約された定量的な指標は材質ごとに異なる, と考えられる. この指標を画像から計算できる何らかの「特徴量」で定め, ヒトの判断を予測するモデル(画像計算可能なモデル)を構築し, その振る舞いを分析する. それにより, 視覚系が利用している手がかりは何か, を議論することが本アプローチのねらいである.

Tamura et al. は鏡・ガラス材質画像を識別するCNNモデルを構築し, ヒト判断とそのモデルの比較を通して, どのような視覚手がかりを利用しているかを調査した¹⁾. 結論として, ヒトと同じように正解・不正解するように学習をデザインされたCNNモデルは, ヒトが利用していると考えられる視覚手がかりに強く反応する内部構造を持っていることがわかった.

2.2 ヒトの鏡・ガラス材質識別精度

まずヒトがどれくらい鏡・ガラス材質識別ができるかを調べた. 1,583の物体形状, 253の自然環境光とラ

ンダムなカメラ位置を組み合わせ, CGレンダリングにより約75万枚の画像を作成した(図1A). このうち半分は鏡材質で鏡面反射率100%, もう半分はガラス材質で屈折率1.5(=透過率96%+鏡面反射率4%)とした.

この画像セットから鏡, ガラス材質とも500枚ずつ計1,000枚をランダムに選択し, 心理物理実験の刺激とした(random set). 10名の実験参加者が5段階評定(1:ガラス~5:鏡)で1枚ずつ評定した. その結果, 1と5にそれぞれピークを持つ二峰性の評定分布となった(図1B). 平均正答率は77.9%, ヒト同士の相関は0.72だった(図2A, B下). この正答率, ヒト間での平均相関係数がモデルと比較する際の基準となる.

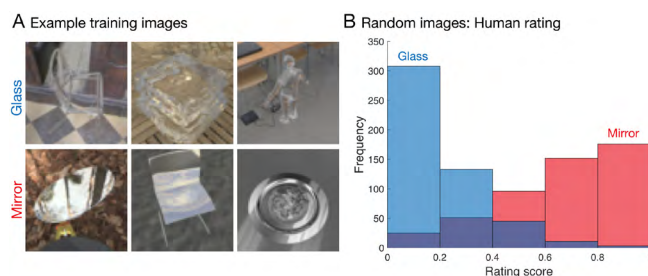


図1. 鏡・ガラス材質識別. A) 実験刺激例. B) ヒトの鏡・ガラス材質識別結果.

2.3 ヒトと画像特徴量ベースの分類モデルとの比較

次に画像特徴量を学習したモデルがどれだけヒトの判断を予測できるかを調べた. 私たちは3次元の外界に構成された反射・透過・屈折等による複雑な光学的成果物を, 網膜を通じ2次元画像として得ている. そこから質感認知に必要な情報(手がかり)を選択する仕組みが視覚系にあり, それによって物体の質感を速く正確に捉えているのではないかと考えられている. 特に光沢感知を予測する比較的単純な特徴量の寄与が長年議論^{e.g.6,7)}されてきたが, 鏡・ガラス材質の識別にもこのような考え方が当てはまるかどうか, 画像特

特集「私たちを取り巻く色彩環境の構造と色彩感覚」

Special Issue: The color structures of natural environments and our color sensations

太陽の色—その連想・描写

Color of the Sun : its Associations and Depictions

日高 杏子
Kyoko Hidaka

芝浦工業大学デザイン工学部
College of Engineering and Design, Shibaura Institute of Technology

キーワード：太陽の色, 連想, 旗, 擬人化, 黒い太陽

Keywords : colors of the Sun, associations, flags, anthropomorphism, schwarze sonne

1. はじめに

今、この文章を読んでいるあなたは、太陽を何色で描くのだろうか？太陽系惑星に光と熱をもたらす恒星—太陽。地球上で生活する人類のほとんどが太陽を認識し、恩恵を受けているはずで、本特集「私たちを取り巻く色彩環境の構造と色彩感覚」に欠かせない変動要因である。太陽の色の連想と描写を軸に、国・地域、言語ごとに独自性が生じる要因やシンボルについて想いを馳せたい。

太陽や天体の色についての認識の起源を議論した福江(2012)によれば、(1)物理的性質、(2)生理的原因、(3)心理的要因、(4)文化的背景、(5)認識論、(6)デジタル処理の問題が起源として挙げられている¹⁾。太陽の色の連想と描写は、世界中の文化で差異がある。太陽への信仰、国旗、シンボル、芸術様式に基づいた独自の解釈や描写がなされてきた。太陽の色の選択には、その国の文化や言語が織りなす世界観が反映されている。

2. 色の連想

「赤い太陽は世界では少数派」と三島は1987年に記した²⁾が、はたして事実だろうか。筆者が2023年1月に監修した国際調査を紹介したい。2023年1月12日～26日に実施した「赤から想起するもの世界100カ国調査」³⁾の設問の一部として、太陽の色の連想を尋ねた。この調査自体は、株式会社博報堂の広報雑誌『広告』417号のテーマ「文化」との連動企画である⁴⁾。調査目的は、赤色が持つ意味の共通性と差異を可視化し、文化やその背景にある風土、伝統、宗教、思想について読者に考えてもらう点にある。

設問の一部で「太陽の色で何色を想起するか？」を記述式で答えてもらった。12,015名(うち日本人回答者は2,080名)の調査結果では、黄色、赤色、オレンジ色、白色などがあり、世界的には黄色と連想した回答が圧倒的多数派であった。

表1は、100カ国全ての回答の総合順位である。1位

は黄色で45.6%、2位は赤色で20.0%、3位はオレンジ色で12.1%という結果となった。その後白色、金色が続く。アジア圏を中心に、赤が多数派は韓国や中国とベトナムで、オレンジが多数派は日本やマレーシアという結果が出た。世界全体から見ると、太陽を赤色やオレンジ色と連想し、描写する国民はマイノリティでアジアのみに偏っていることがわかった。

表1 太陽の色についての調査結果(黄色が大多数)



3. 気候と環境

太陽の色は、場所や気候によっても違って見える。佐藤(1999)は、地理的条件と太陽光に注目した。佐藤は日照時間や照度が異なることが色の好みの違いの一因と述べた。例えば、太平洋岸と日本海側では、年間で250時間以上の日照時間の差があると言われている。国内だけでも日照時間の差がこれほど大きいのであれば、海外の地域と比べると、色の認識や嗜好もさらに多様化する可能性がある。佐藤は、「江戸の青富士」「駿河の紫富士」「甲州の黒富士」「遠江の赤富士」という例を挙げて、環境光が富士山の色の変化にどのように影響するかを比較した⁵⁾。確かに、同じ富士山でも、光の源の向きや強さが異なれば、見え方も異なるであろう。

北欧ノルウェーを代表する画家、ムンクの『太陽』(図1)は白く、水平線に近くあり、放射線状に赤、黄、緑、青などの色を放つ。北欧圏の夏至近くは白夜状態

特集「私たちを取り巻く色彩環境の構造と色彩感覚」

Special Issue: The color structures of natural environments and our color sensations

色彩環境の計画と設計

Planning and Design of Color Environment

田中 一成

Kazunari Tanaka

大阪工業大学

Osaka Institute of Technology

キーワード：景観，色彩計画，環境デザイン，都市設計，時空間

Keywords : landscape, color planning, environmental design, urban design, time-space

1. はじめに

『今はまだ設計で，デザインまで至っていない』

別のストーリーで本文を書き始めて，途中なんとなく上の文を書いてみて気づいたのだが，この文は二つの意味に解釈できる。

一方の意味が，現場の仕事のとき自分たちに向かって言われる言葉で自分が「色彩」を嫌いな理由，もう一方は逆に「色彩」を知らない設計者，施工者のレベルに対するこちらの心の言葉で，どうしようもない気持ちの表現ではないか，と思った。

最初に謝る機会をいただけるならば，この場を書く機会をいただきながら，色彩を嫌いだなんてけしからん，と思われる皆様には心よりお詫び申し上げるべきことなのかもしれない。

色彩は，ひとつの言い訳をするための要素として設計現場で用いられることが多い。学会の活動を拝見すると，この現状を認識されているかたも多いように思う。もちろん，現場で正確な意味を知って使用している場合もあるが，他の何からも切り離しやすく，切り離して理解しやすい色彩は，設計とデザインが違ふものであり，設計とデザインの差異を表現するひとつの要素として理解しやすい，いや，誤解しやすいように思う。

研究では事象をできるだけ単純化して説明力を高めるが，設計（デザイン）は既に明らかになっている色彩や形状，位置や方向，匂いや手触り，使用する人間との関係，地域の歴史や文化財，これまでの変化や思い出など，いろいろ組み合わせて空間を創る。

対象となるスケールが大きな空間，外部空間あるいは公共空間を作る仕事は，多くの部分を決まった規格，標準形を用いて設計することが多く，色彩はせいぜい後付けされて評価される。しかし，本来ならば設計（デザイン）時に，日常使う人，近くに住む人，あるいは訪れる人たちのために同時に考えられるもののひとつであって，あとから付け加えて考えられるものではな

い。しかし現実には，橋梁，駅舎，擁壁などに服を着せるように考えるのが現代の多くの色彩のデザインであって，工程のある時期には設計が予定より遅れている場合，『デザインまで至っていない』そうである。

こちらからすれば，人々が立ち止り顔を上げてまた動き出す場所，山岳や河川が見える開口部，階段の上や高架下に，その街の文化や歴史を考えて，形態も風の香りも合わせて決まるものが色彩の設計（デザイン）であるはずなのに，今はまだこれを知らずに，言われたとおりにしか行われぬ設計から脱皮できていない，『デザインまで至っていない』ようにみえる。

このような分野の色彩環境は，景観として計画（プランニング）され，設計（デザイン）される。

2. 景観計画

色彩と同様に景観も都市空間，農村，自然における計画・設計において，本来の意味で使われるか，飾りとして使われるかという議論がある。

景観は，「美しく風格のある国土の形成，潤いのある豊かな生活環境の創造及び個性的で活力ある地域社会の実現を図¹⁾」ることで形成され促進されるものである。「良好な景観は，地域の自然，歴史，文化等と人々の生活，経済活動等との調和により形成され（中略）地域の固有の特性と密接に関連¹⁾」するもので，「視覚が主体になることは言うまでもないが，このほかの視覚以外の領域にも深くかかわるものであり，都市の文化水準をあらわすものである²⁾」。

景観行政団体は，2023年3月現在806団体（都道府県40，政令市20，中核市62，その他の市町村684）である。このうち655の景観行政団体で，現在，景観計画を策定している。これらにもとづいて景観の計画と設計（デザイン）が行われているが，景観計画の解釈によってやはり同様の二つの意味をもつ。色彩環境とは建築物・構造物の表面だけ考えればよいのか，デザインプロセスの中で考えるべきなのか，実際に設計