

## 様式 C-19

# 科学研究費補助金研究成果報告書

平成 21 年 5 月 27 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）  
研究期間：2007～2008  
課題番号：19860019  
研究課題名（和文） 視環境のナチュラルネスに基づく色知覚の検討と応用  
研究課題名（英文） Study on color perception based on the naturalness of visual environments

研究代表者  
溝上 陽子（MIZOKAMI YOKO）  
千葉大学・大学院融合科学研究科・助教  
研究者番号：40436340

### 研究成果の概要：

本研究では視空間のナチュラルネスが安定した色知覚に与える影響について検討した。空間の構成が不自然で通常空間・照明認識が出来ない場合や、ナチュラルネスが減少する画像は色恒常性の成立度に影響を与えること、また画像の色認識や自然さの判断は順応画像の色分布に影響を受けることが示された。これらは空間・照明認識、環境のナチュラルネスの色知覚における重要性を示しており、視覚特性を考慮した画像や環境の作成・評価手法につながる。

### 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,330,000	0	1,330,000
2008 年度	760,000	228,000	988,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,090,000	228,000	2,318,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用光学・量子光工学

キーワード：色覚、色の恒常性、心理物理学、視覚情報処理、ナチュラルネス

## 1. 研究開始当初の背景

### 1-1 色知覚の安定性 - 色の恒常性

私たちを取り囲む視環境は複雑であり、また多様に変化するにもかかわらず、私たちは安定した物や色の見えを保つことができる。たとえば物体から反射して眼に入ってくる光は、照明環境の変化に伴い大きく変化するが、物体表面の色そのものは変化して見えない。これは「色の恒常性」として知られており、多くの研究が行われている。しかしそのメカニズムは未だ解明されていない。

従来、網膜の視細胞の応答変化や、視野の色平均への順応など、視覚系の比較的低位レベルのメカニズムで色の恒常性を説明する研究が主流である。順応モデルに基づいたRetinex theoryはコンピュータビジョンや画像処理の分野で応用されており、一定の条件下では有効性が認められている。しかし、例えば物体の見えはその空間的な配置、傾き等により異なるなど、色恒常性に影響する様々な要因を示す研究結果も示されており、総合的なモデル化は進んでいない。

### 1-2 ナチュラルネスと色の恒常性の関係

数々の研究結果から得られた色恒常性の成立度はそれぞれ異なる。実空間を使った場合、高い色恒常性が成立するが、写真や画像、単純な2次元刺激の場合、成立度は低い傾向が見られる。筆者は、色恒常性の成立度の違いは環境のナチュラルネス(自然度)に関係すると考えている。私たちの視覚は自然な環境に最適化するように発達してきているため、自然な環境においてこそ恒常性を保つことができ、不自然な環境では安定した色知覚が得られないと考えられる。そして私たちが生きているのは3次元の照明が変化する環境であるため、空間認識・照明認識が物体の色知覚に必要な。視覚実験の環境が照明空間として不自然な場合、メカニズムが正しく働かず色恒常性の成立度が低下したと解釈できる。ナチュラルネスと色恒常性の成立度は相関関係にあると予測することができる。

## 2. 研究の目的

色知覚を含む知覚の安定性と視環境のナチュラルネスの関係を明らかにし、知覚の安定性とナチュラルネスに明確な相関関係が得られれば、知覚の安定性をパラメーターとしてナチュラルネスを定義することができ、ナチュラルネスによる見えのモデルの構築、画像等の作成・呈示・評価手法に応用につながる可能性がある。

本研究の目的は、その最初の段階として、視環境のナチュラルネスが色知覚の安定性に影響を与えることを示すことである。空間的構成や色分布が自然な場合と不自然な場合における色恒常性の成立度・個人差を調べ、その結果から、色知覚の安定性がナチュラルネスを測るパラメーターとなる可能性を探る。現在ナチュラルネスを定義する指標はなく、感性評価に頼られている。指標を定めることができれば様々な環境や画像を客観的に評価することが可能となり大変有用である。本研究では画像呈示・評価への応用を考え、実空間と画像における色知覚への影響の差も比較する。

## 3. 研究の方法

本研究では、自然な観察条件と不自然な観察条件における色知覚の差を、心理物理的手法を用いた視覚実験により求めた。また実空間と画像を用いた実験をそれぞれ行うことで、両者の認識の違いが見られるかどうかについても比較した。

研究は大きく以下の3種類の実験テーマに分類される。

- ① 空間的構成のナチュラルネスと色知覚
- ② 写真と絵画風画像に働く色恒常性
- ③ 彩度順応による自然画像の見えの変化以降、テーマ別に実験方法を説明する。

### 3-1 空間的構成のナチュラルネスと色知覚

空間的構成が自然な条件と、分割・並べ替えられた不自然な条件、すなわち空間的構成のナチュラルネスが異なる条件において、色の恒常性の成立度を比較した。実験は、単一の照明空間を用いる実験1と、より複雑な照明環境を考慮して2つの部屋を同時に観察する実験2で構成した。

実験には、図1に示すような実験ブースを用いた。前室、後室には書斎を模すように様々な物を置いた。両室は高演色性の蛍光灯、または蛍光灯とフィルターの組み合わせにより異なる色で照明した。ただし被験者は暗室から観察窓を介して室内を観察するので、直接光源を見ることはできない。色判定に用いるテストパッチ(T)は視野の中心になるよう配置した。実験1では両室の境界の窓(W)を塞ぎ前室のみを用いる。実験2では窓を開け、後室も観察できるようにする。

図2に示す通り、観察条件は2種類である。自然観察(Natural)条件では、被験者は視野が制限される以外は制約なしの通常両眼視で室内を観察した。不自然観察

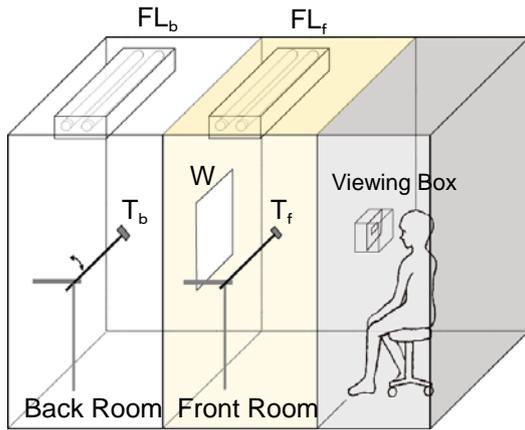


図1 3-1の実験ブース



図2 3-1の観察条件

(Unnatural) 条件では、高反射率ミラーを万華鏡のように配置し風景が分割して見えるよう作成された観察鏡を用いた。観察鏡は筒状であるため、中心に位置するテストパッチと隣接する背景の見えは自然観察条件と全く同じである。また低次レベルでの順応状態を等しく保つため、視野の範囲と平均色は自然観察条件とほぼ等しくなるように設定した。

色の判定は、強制選択法による無彩色知覚判定と、エレメンタルカラーネーミング法による有彩色知覚判定の2種類を用いた。無彩色知覚は、色恒常性の研究でよく用いられる判定手法であり、結果を他の先行研究と比較することができる。またエレメンタルカラーネーミング法は色知覚の絶対判断を得る方法として広く用いられており、様々な色相、彩度、明度の見えの変化を総合的に検討することができる。テストパッチは、無彩色知覚判定用には黒体軌跡に沿った色度を持つ低彩度系列の色票を約20枚、有彩色判定用には様々な色相、彩度2種類を含む色票を15枚用意した。

実験1では、前室のみを用い、照明色が昼白色(5000 K)、電球色(2700 K)の2条件についてそれぞれ実験を行った。

実験2では、被験者はそれぞれ異なる色で照明された前室、後室を同時に観察した。テストパッチを前室または後室に置き、それぞれ色判定を行った。照明色の組み合わせは、

前室が昼白色/後室が電球色、または前室が電球色/後室が昼白色の2種類で行った。また、後室の照明を緑・赤等の有彩色にした条件も加えて行った。

自然観察条件では、テストパッチがどちらの部屋に置かれたか認識することができるので高い色恒常性を示すが、不自然観察条件では、位置関係の同定ができないので色恒常性が得られないと予測された。

### 3-2 写真と絵画風画像に働く色恒常性

写真内では実空間よりも弱い色恒常性が働くことが知られている。これは写真において空間認識が低くなり、ナチュラルネスも低下するためと説明できる。したがって写真よりも奥行き感の低い絵画のような画像においては、より空間認識が低下し、色恒常性がさらに弱くなると予測される。ここでは、実空間とディスプレイに表示した画像において働く色恒常性の強さを比較した。

実験では、壁紙や本などがあり、自然な部屋のような内装の実験ブース内に置いたCRTディスプレイに刺激画像を表示させ、被験者は画像内の指定した部分の色を応答した。呈示画像はマンセル色票と、刺激とする物体を置いたブース内を撮影した写真(Photo条件)、またはその写真を絵画風に加工した画像(Painting条件)である。ただし、これらの条件ではディスプレイの周囲には画像に写っている物体は置かない。また、写真撮影時と同じ状態にしたブース内に入り、画像を使わず実際に置いてある物体に対して色を応答した(3D条件)。応答方法はエレメンタリーカラーネーミング法を用いた。

写真は昼白色照明下と電球色照明下において撮影した。Photo、Painting条件では昼白色の観察照明の下にそれぞれの画像を呈示する。3D条件では空間の照明を昼白色と電球色にしてそれぞれ実験を行った。被験者は4人で、各3セッションずつ行った。

### 3-3 彩度順応による自然画像の見えの変化

人間の視覚は周囲の環境の明るさ、彩度、色相のそれぞれに対して順応すると考えられている。しかし彩度における順応効果の研究は、明るさや色相における研究と比べて少なく、複雑な視環境での彩度順応の効果はほとんど検証されていない。そこで自然画像を用いて彩度における順応の効果測定することにより、画像の鮮やかさの印象が順応画像の彩度特性の影響を受けてどのように変化するかについて検証した。

また順応画像を、風景としての意味を持たないモンドリアン画像に置き換えることにより、彩度特性が画像のナチュラルネスの影響を受けるかについて比較した。

実験で使用する刺激用の自然画像として、

図3に示すように、画像電子学会及びJIS規格の標準画像を用いた。自然画像はCIELAB色空間で彩度変調を行った。具体的には、変調強度 $k$ を変えることによりメトリッククロマをコントロールした。 $k=1$ は変調なし、 $k$ が小さいほど低彩度となる。実験は暗室環境下で、ある彩度分布を持つ複数の自然画像を用いて5分間順応を行い、順応前後におけるテスト画像の鮮やかさに対する印象の変化を測定した。順応の彩度レベルは4段階行った。また順応刺激に物の認識の手がかりを持たないMondrian画像を用いた条件でも同様の実験を行った。Mondrian画像は自然画像と比較のため、色分布等の画像特性が自然画像とほぼ等しくなるように作成した。被験者は3名である。

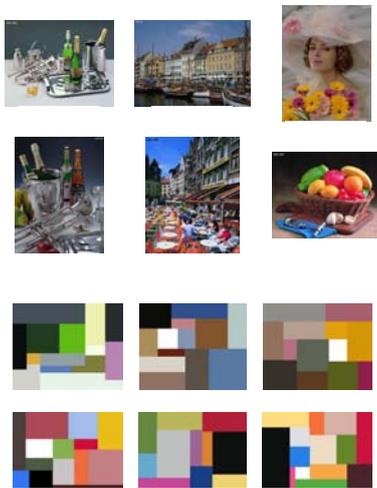


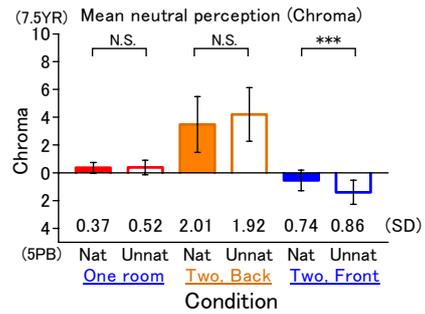
図3 3-3の順応用画像

#### 4. 研究成果

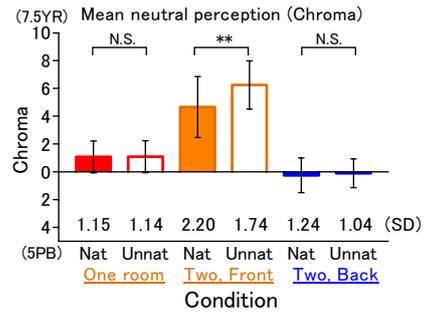
##### 4-1 空間的構成のナチュラルネスと色知覚

図4に各条件における、被験者約10人の判定結果を示す。横軸はテストパッチの呈示場所(前室・後室)と、観察条件(自然・不自然)、縦軸には、無彩色と判定されたテストパッチのマンセルクロマである。したがって、クロマがゼロに近いほど、色の恒常性が高いことを表す。(a)と(b)は前室と後室の照明色を入れ替えた条件である。全体の傾向として、パッチが電球色照明下に置かれた場合は恒常性が低いこと、またパッチが前室にあるとき、不自然観察条件では恒常性の低下することが挙げられる。

図5は、後室を有彩色(緑色)照明にしたときの結果である。ここでは、10種類のマンセルヒューのテストパッチの見えを、マンセルカラーブックの色票でマッチングすることにより色判定を行っている。縦軸には、後室が緑照明のときの結果が、単色(昼白色ま

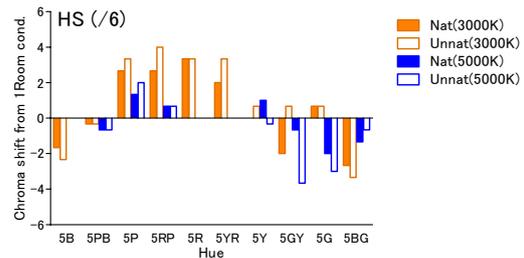


(a) Front (5000K)/Back (3000K)

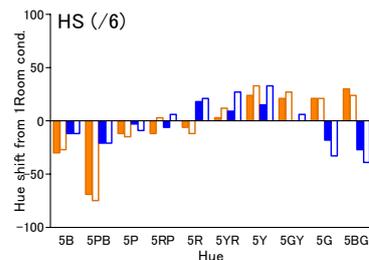


(b) Front (3000K)/Back (5000K)

図4 3-1の実験結果(電球色と昼白色)



(a) Chroma shift from 1-room cond.



(b) Hue shift from 1-room cond.

図5 3-1の実験結果(後室緑色照明条件)

たは電球色)照明のときの結果からどれだけシフトしたかを示している。全体の傾向は図4と同様、電球色照明下の方が色恒常性が低く、不自然観察条件での恒常性の低下も大きい。つまり色の見えは、昼白色照明下と比較して不安定であることを示している。

これらの結果により、白色照明を基準にして色が認識される傾向があること、不自然観察条件では空間認識の困難な場合は隣接する領域を基準として色認識が行われること

が示唆された。複数の照明下では視空間のナチュラルネスが高いほど色恒常性の成立度も高くなることが確かめられたといえる。

#### 4-2 写真と絵画風画像に働く色恒常性

応答された点数から知覚された黒白赤黄緑青の成分量を計算する（計算例：黒 5 白 3 赤  $4 \times 0.2 = 0.8$  黄  $6 \times 0.2 = 1.2$ ）。赤-緑の値を横軸、黄-青の値を縦軸にとった平面上に各条件での昼白色の応答と電球色の応答結果をプロットし、その距離を求めた。各刺激の距離を図 6 に示す。エラーバーは標準偏差である。このグラフの距離が大きいほど色恒常性が低いことを表す。3D 条件と比較すると Photo、Painting 条件は色恒常性が低いことがわかる。しかし、Photo 条件と Painting 条件の間には一貫した傾向は見られなかった。したがって本研究の結果からは、三次元空間に対して二次元画像に働く色恒常性は低い傾向があることが示された。二次元画像では系統的な傾向が見られなかった原因として、写真の加工が単純だったため、絵画風画像が写実的になってしまい、絵画にも写真と同等の空間認識が働いた可能性が挙げられる。アニメーション風など、写真をさらに不自然にした条件での検討が必要である。

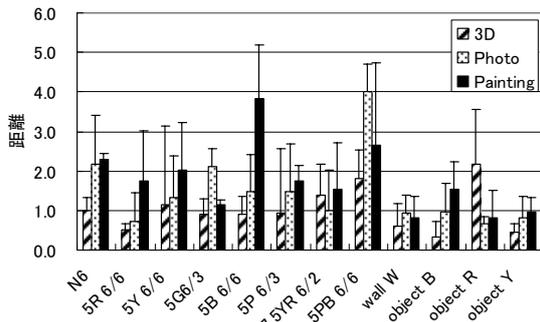


図 6 3-2 の実験における、反対色応答平面上での昼白色照明応と電球色照明応答の距離（被験者 K0）

#### 4-3 彩度順応による自然画像の見えの変化

図 7 に被験者 3 人の実験結果を示す。横軸に順応画像とオリジナル画像の平均メトリッククロマの差、縦軸に鮮やかさ判定が“鮮やか”と“鮮やかでない”の境界のクロマがオリジナルのテスト画像からどれだけシフトしたかを示している。各シンボルは順応画像条件および順応なしのコントロール条件を表している。自然画像、Mondrian 画像ともに順応画像の彩度を変えることによって鮮やかであると感じる境界が変化している。つまり順応の効果が認められた。ただし変化の度合いは順応画像の彩度レベルの変化よりも小さく完全順応ではない。また自然画像で順応した場合よりも Mondrian 画像で順応し

た方が、順応効果が小さくなるという結果が示された。これらは特定の彩度に対して順応することによってその人の持つ鮮やかさの基準が変化することを表している。また、然画像と Mondrian 画像で順応効果に差が見られたことから、人間が鮮やかさを判断する場合には判断基準の中に“物の色に対する不自然さ”の要素を持っており、その基準が変化することによって順応の効果が変化することが示唆された。

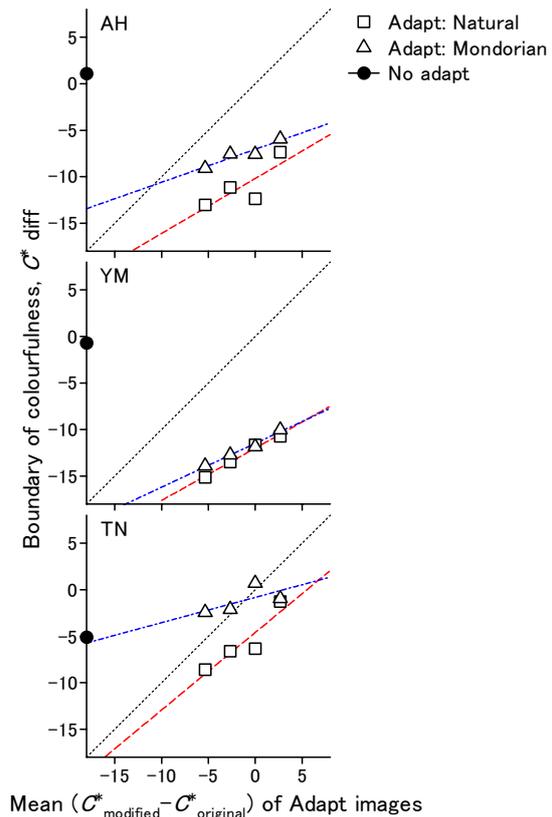


図 7 3-3 の実験における、順応によるテスト画像の鮮やかさ判定の変化

これらの研究成果により、本研究の目的である視環境のナチュラルネスが色知覚の安定性に与える影響を示すことができた。本研究で用いた実験条件は限定されたものであり、色知覚の安定性がナチュラルネスを測るパラメーターとなる可能性等の体系的な分析には至っていないが、ナチュラルネスと色知覚の安定性の間には深い相関関係を持つ可能性が十分あることは示されたと考えられる。

本研究の特色としては、以下の点が挙げられる。

- ・自然度（ナチュラルネス）と知覚の恒常性の関係という、これまでになく観点から色知覚

の分析を試みたこと。

・自然な環境で実験を行うことは、日常生活での視覚特性を知る上で非常に重要だと考えから、未だ非常に少ない実空間を用い、また画像に関しても従来は統計的な分析が中心の自然画像を空間認識まで考慮に入れて扱っていること。

・従来の心理物理実験の多くはシンプルな条件において実験を行い、その結果を足し合わせて視覚メカニズムを探るアプローチを取っているが、本研究では自然な状態での知覚を出発点にして、ある要素がなくなったとき知覚がどう変化するかを調べる、という引き算の論理を用いた逆のアプローチをしたこと。

これらの特色を生かした本研究の成果は、実環境での視覚メカニズムの解明につながると考えられる。

今後、環境のナチュラルネスが高いほど、色知覚の安定性も高くなる、という関係が系統的に示されれば、色知覚への高次メカニズムの関与を示す裏付けとなり、従来の色知覚モデルの改善を提唱できる。また従来研究の結果もナチュラルネスによる新しい解析ができる。更に、知覚の安定性とナチュラルネスに明確な相関関係が得られれば知覚の安定性をパラメーターとしてナチュラルネスを定義することが可能となる。

現在ナチュラルネスを定義する指標はなく、感性評価に頼られている。指標を定めることができれば様々な人工的環境や画像を客観的に評価することが可能となり、大変有用である。本研究の結果は、パラメーターとして使えるほどの明確なものではないが、他の要素を考慮に入れてナチュラルネスを定義し、知覚との関連を探求することは非常に重要と考えられる。現在、技術的、物理的な面においては、より高解像度でリアルな画像・映像の実現に向けて進歩してきている。しかし「人間の眼で見て自然」という観点からの開発、評価手法は未だ確立していない。また、いかに高精度の画像でも、その見えは観察条件に大きく依存する。本研究の成果は視覚メカニズムを考慮した画像や環境作り、評価手法へつながると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

Yoko Mizokami and Hirohisa Yaguchi : Effects of natural and unnatural spatial structure on color constancy, 2007 Midterm Meeting of AIC, Proc. pp.94-97 査読有

[学会発表] (計8件)

橋本 篤, 溝上 陽子, 矢口 博久、彩度の順応による自然画像の見えの変化. 日本視覚学会冬季大会 (2009 January 22, 工学院大学, 東京)

溝上 陽子, 矢口 博久: 室内環境の彩度分布が色知覚に与える影響. カラーフォーラム J A P A N 2008, Proc., 135-138. (2008 November 27, 東京)

Mizokami Yoko, Tanaka Chihiro, Yaguchi Hirohisa: Color contrast effect under natural and unnatural viewing conditions. Vision Sciences Society, Journal of Vision, 8(6), 564a. (2008 May 11, Naples)

溝上 陽子: 自然な環境に適応する視覚・色覚メカニズム. 第41回知覚コロキウム, (2008 March 28, 千葉市)

溝上 陽子: Color perception tied to natural environment. 色覚基礎研究会 (第1回), (2008 January 26, 東京)

Mizokami Yoko, Yaguchi Hirohisa: Color appearance influenced by naturalness of a scene. European Conference on Visual Perception, Perception, 36, ECVF Abstract Supplement, 173. (2007 August 31, Arezzo)

溝上 陽子, 矢口 博久: 視空間のナチュラルネスが色の恒常性に与える影響. 平成19年度照明学会第40回全国大会, 141. (2007 August 24, 福岡)

Mizokami Yoko, Yaguchi Hirohisa: Effects of natural and unnatural spatial structure on color constancy. 2007 Midterm Meeting of AIC, 94-97. (2007 July 14, Hangzhou)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

溝上 陽子 (MIZOKAMI YOKO)

千葉大学・大学院融合科学研究科・助教

研究者番号: 40436340