

論文

観察条件を考慮した二色型色覚の色の見え

The dichromat's color appearance considering viewing condition

吉澤 将則

Masanori Yoshizawa

千葉大学

Chiba University

矢口 博久

Hirohisa Yaguchi

千葉大学

Chiba University

Abstract

For construction of color universal design considering color deficient people, we have devised the algorithm that simulate color appearance of dichromatism, which is the most frequent case. Our simulation model is an improved type of Brettel's model¹⁾. Because the simulation designed by Brettel et al. is the model based on an psychophysical experiment when subjects adapted in equal energy white, we introduced color adaptation processes (Von Kries or CIECAM02) in it.

Using our model, we performed the calculation of dichromatic color difference for Panel D-15 test chart, and we tested quantitative evaluation about color discrimination ability of dichromats. As a result, their color discrimination characteristic became each sense of color vision, and we have confirmed the propriety of simulation. In addition, we tested a simulation of the Macbeth color checker with different viewing condition, and we found the fact suggesting that there were color constancy in dichromats.

Finally, we introduce an example of the simulation for an digital image with our model.

要旨

色覚異常者を考慮したカラーユニバーサルデザインの構築を目的に、症例の多い強度色覚異常とされている二色型色覚異常の色の見えのシミュレートを行うアルゴリズムを考案した。本研究におけるシミュレーションモデルは Brettel ら¹⁾ のモデルを改良したものである。Brettel ら考案したシミュレーションは等エネルギー白色順応時の実験値を元に考案されたモデルであるため、順応条件の大きな要素のひとつである照明条件を考慮した色順応過程 (CIECAM02あるいはVon Kries model) をシミュレーション中に導入した。

このモデルを利用してPanel D-15 test chartに対し二色型色覚の色差算出を行い、二色型色覚の色弁別能について定量的な評価実験を行った。その結果、その色弁別特性は各々の色覚のものとなり、シミュレーションの妥当性を確認することができた。また、異なる環境下におけるMacbeth color checkerに対するシミュレーションを行ったところ、二色型色覚にも色彩恒常性を有することを示唆する結果が得られた。

最後に、本研究で提案する二色型色覚の色の見えモデルを用いて、デジタル画像に対する二色型色覚の色の見えを再現するシミュレーションの一例を紹介する。

1. はじめに

カラー印刷やインターネットなどの普及により、私たちは色彩情報を利用する機会が近年増加する傾向にある。そのような色彩情報のほとんどは色覚正常者(以下normal)を対象としており、色覚異常者を考慮していないことが多いのが現状である²⁾。これに対し、色覚異常者に対しても情報が欠落しないような色彩デザインを試みるカラーユニバーサルデザインが近年盛んになりつつある。実際に考案された色彩デザインが色覚異常者に対して有効であるか否かを判断するためには色覚異常者のモニターがその都度必要となり、非常に手間と時間を要する。本研究では、症例の多い強度色覚異常とされている、1種の錐体の欠損による二色型色覚を対象とし、観察条件を考慮した色の見えをシミュレートするモデルを構築することを目的とする。

本研究で取り扱う二色型色覚は1種の錐体が欠乏している状態のことを示し、L錐体が欠落した場合は第一色覚異常(以下protanopia)、M錐体が欠落した場合は第二色覚異常(以下deutanopia)、S錐体が欠落した場合は第三色覚異常(以下tritanopia)と分類される。

二色型色覚異常者が任意のシーンを観察することを想定すると、その環境における順応効果を考慮する必要がある。本研究で利用する、Brettelら¹⁾の二色型色覚の色の見えモデルは、単眼が二色型色覚・もう一方が色覚正常である被験者を対照に行った実験結果に基づき導出されたモデルで、妥当性の高いモデルの一つである。しかし、このモデルでは等エネルギー白色の色度が無彩色点として設定されており、照明の変化等に伴う順応効果を考慮していない問題が挙げられる。例えば、A光源といった等エネルギー白色とは色度を有する光源下でのシミュレートを行った際、無彩色の色に対しても変換が行われ、グレーバランスが損なわれてしまうという問題が発生することが考えられる。本研究では、Brettelらのモデルを応用し、このモデルに色順応効果を考慮した二色型色覚のシミュレーションを実施する方法を提案する。

2. モデルの概要

2.1 シミュレーションの流れ

シミュレーションはFig.1に示したように、任意の照明環境下において算出された三刺激値(本研究ではCIE 1931 XYZを指す)を有する色刺激に対し、二色

型色覚の知覚が色覚正常のどの色に対応して知覚しているのか導出するものである。任意照明下*i*において測定された対象の三刺激値 X_i, Y_i, Z_i を錐体刺激値 L_i, M_i, S_i へ変換し、その後色順応モデルを利用してBrettel et al.のモデルを適用できる環境下である等エネルギー白色における対応色 L_0, M_0, S_0 を導出し、その後二色型色覚のシミュレーションを適用し、二色型色覚の錐体刺激値 L'_0, M'_0, S'_0 を求める。以降のプロセスは、等エネルギー白色点における二色型色覚の三刺激値 X'_0, Y'_0, Z'_0 に変換するかあるいは、元の照明*i*における錐体刺激値 L'_i, M'_i, S'_i に変換した後、照明*i*における三刺激値を導出することで二色型色覚に対応する三刺激値 X_i, Y_i, Z_i を求めることができる。

実際の色の見えはどのようなものであるかデジタル画像として表示させたい場合には、等エネルギー白色下における三刺激値を色の見えの代表色とし、RGB信号として表示させる。

また、今後の実験で利用する二色型色覚の色差は等エネルギー白色点における二色型色覚の三刺激値 X'_0, Y'_0, Z'_0 より白色点を等エネルギー白色としたときのCIELAB色空間の座標を求め、そのユークリッド距離を算出することで求められる。

以降は変換モデルに関して説明する。

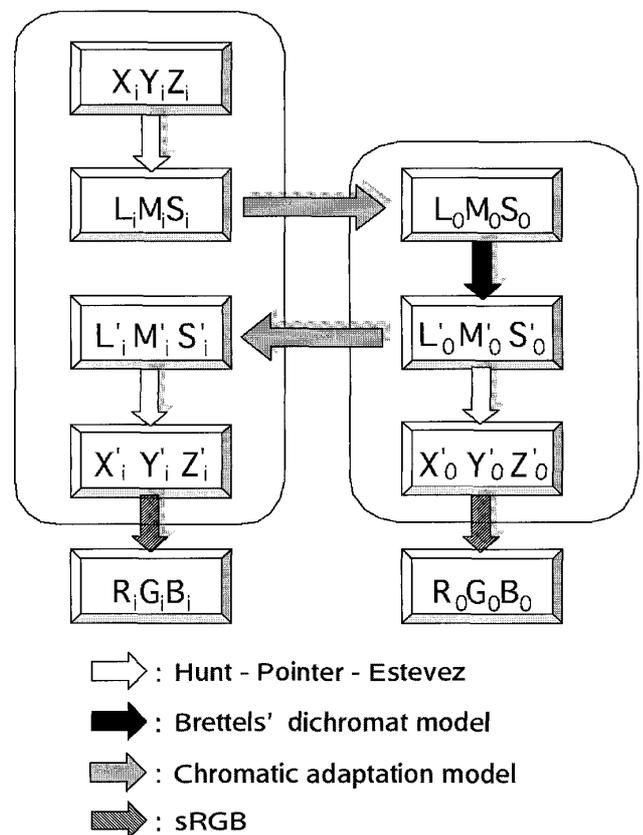


Fig.1 シミュレーションの流れ

2.2 Hunt-Pointer-Estevézの変換式

三刺激値から錐体刺激値への対応関係の導出には、以下のCIECAM02においても利用されているHunt-Pointer-Estevézの変換式を用いた。

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = M_{\text{HPE}} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$M_{\text{HPE}} = \begin{bmatrix} 0.38971 & 0.68871 & -0.07868 \\ -0.22981 & 1.18340 & 0.04641 \\ 0.00000 & 0.00000 & 1.00000 \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.3 色順応モデル

二色型色覚は色覚正常者と同様な色彩恒常性を示すことから、色順応は二色型色覚、色覚正常者共に同様なプロセスを経ていることが示唆される。前述したように、Brettelらのモデルにおける無彩色点は等エネルギー白色の色度を採用しており、このことから、等エネルギー白色順応時に適用すべきモデルであると判断した。したがって彼らのモデルは順応を考慮していない。彼らのモデルを本モデルにおいて適用するためには、この仮定の下、既存の色順応を考慮した色の見えモデル(color appearance model: CAM)を適用することにより任意環境下における錐体応答量から、等エネルギー白色で照明された際の対応色を導出することを提案する(Fig.2)。色順応モデルにはVon KriesまたはCIECAM02³⁾を利用した。前者のモデルは最も単純に色順応を説明できるモデル、後者は現在最も信頼できる精度を有するモデルの代表として利用した。

Von Kriesのモデルでは、照明の色度は白色として完全に保持されるという完全順応を想定した線形モデルであり、下記の式で表される。

$$\begin{bmatrix} L_0 \\ M_0 \\ S_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{0w}/L_{1w} & 0 & 0 \\ 0 & M_{0w}/M_{1w} & 0 \\ 0 & 0 & S_{0w}/S_{1w} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_i \\ M_i \\ S_i \end{bmatrix} \quad (3)$$

CIECAM02を適用する際、順応後の対応色導出のための演算は、色順応過程までを用いた。視環境の条件として500lx(average surround)を適用している。CIECAM02では色順応を表現するために以下の基本関数RGBを導入している。

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = M_{\text{CAT02}} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$M_{\text{CAT02}} = \begin{bmatrix} 0.7328 & 0.4396 & -0.1624 \\ -0.7036 & 1.6975 & 0.0061 \\ 0.0030 & 0.0136 & 0.9834 \end{bmatrix} \quad (5)$$

視環境の条件はCIECAM02モデル中において順応ファクターDに寄与しており、実際に実験で用いた数値はD=0.875と比較的高い数値を示しており、想定している実験環境ではVon-Kries Modelで想定されている完全順応に近い順応として振舞うことが期待できる。

$$C_c = [(Y_w \times D / C_w) + (1 - D)] \times C \quad (6)$$

(C: R or G or B)

$$\begin{bmatrix} L_0 \\ M_0 \\ S_0 \end{bmatrix} = M_{\text{HPE}} M_{\text{CAT02}}^{-1} \begin{bmatrix} R_c \\ G_c \\ B_c \end{bmatrix} \quad (7)$$

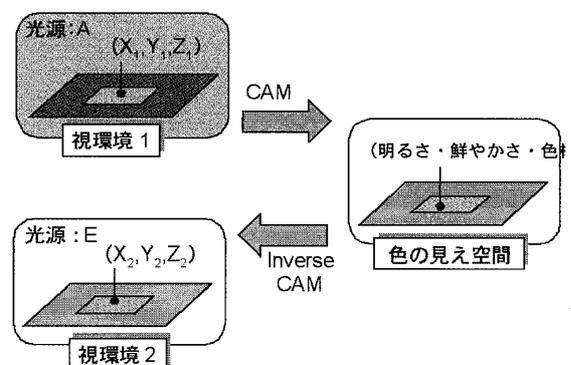


Fig.2 異色光源下における対応色の導出

2.4 二色型色覚の色の見えへの変換モデル

Brettelらは単眼は色覚正常、もう一方は二色型色覚である片側性の色覚異常者に対する心理物理学の実験から以下の事実を発見した。(1)色覚正常と二色型色覚は無彩色を同様に無彩色と知覚する、(2)protanopiaとdeuteranopiaは475nm及び575nmの単色光を色覚正常眼と同様に知覚することができた、(3)同様にtritanopiaは485nmと660nmの単色光に対し、かの振る舞いを示した。この実験結果は等エネルギー白色順応時における結果である。この事実に基づ

き, Brettelらは二色型色覚の色の見えを色覚正常眼と同様に知覚可能となる3色をで構成される色空間上(2平面上)に代表させることでシミュレーションを実行することを提案した。

錐体刺激値で構成される空間(LMS空間)では, Fig.3のように, 選択性を有さない欠損する錐体軸の方向(例えばprotanopiaならばL軸方向)に任意の刺激量は投影されるような変換を行う。

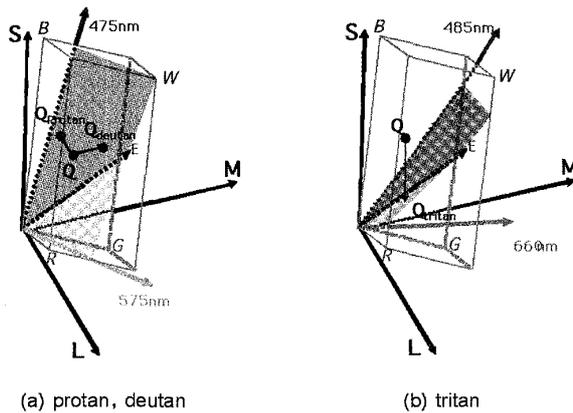


Fig.3 二色型色覚の色の見えへの変換

任意の刺激量 L_0 , M_0 , S_0 に対するシミュレーションの出力 L' , M' , S' は以下の式により導かれる。

(i) protanopiaの場合

$$\begin{cases} L' = -(bM_0 + cS_0)/a \\ M' = M_0 \\ S' = S_0 \end{cases} \quad (8)$$

(ii) deuteranopiaの場合

$$\begin{cases} L' = L_0 \\ M' = -(aL_0 + cS_0)/b \\ S' = S_0 \end{cases} \quad (9)$$

(iii) tritanopiaの場合

$$\begin{cases} L' = L_0 \\ M' = M_0 \\ S' = -(aL_0 + bM_0)/c \end{cases} \quad (10)$$

ただし,

$$\begin{cases} a = M_E S_A - S_E M_A \\ b = S_E L_A - L_E S_A \\ c = L_E M_A - M_E L_A \end{cases} \quad (11)$$

L_E , M_E , S_E は等エネルギー白色点の錐体刺激値, L_A , M_A , S_A は単色光の錐体刺激値を示す。また, 単色光Aの錐体刺激値は以下の論理演算によって決定される。

(i) protanopiaの場合

$$\begin{cases} A : 575\text{nm} (S_0 / M_0 < S_E / M_E) \\ A : 475\text{nm} (S_0 / M_0 \geq S_E / M_E) \end{cases} \quad (12)$$

(ii) deuteranopiaの場合

$$\begin{cases} A : 575\text{nm} (S_0 / L_0 < S_E / L_E) \\ A : 475\text{nm} (S_0 / L_0 \geq S_E / L_E) \end{cases} \quad (13)$$

(iii) tritanopiaの場合

$$\begin{cases} A : 660\text{nm} (M_0 / L_0 < M_E / L_E) \\ A : 485\text{nm} (M_0 / L_0 \geq M_E / L_E) \end{cases} \quad (14)$$

2.5 デジタル画像によるシミュレーション

シミュレーションにデジタル画像を利用する場合, 三刺激値とデジタル画像のRGB信号値との対応を明確にする必要がある。シミュレーションを様々なデバイスで容易に実行可能にするため, 本研究におけるシミュレーションではIEC 61966-2-1(以下, sRGB)に基づき三刺激値と24bit RGBデジタル値の導出を行っている。

2.6 二色型色覚の色差

二色型色覚が色弁別を容易にできるか否かを算出するため, 二色型色覚の色差を算出する。前述したように本研究では, 等エネルギー白色における対応色で表される三刺激値 X'_0, Y'_0, Z'_0 より白色点を等エネルギー白色としたときのCIELAB色空間(式15参照)における色差 ΔE^*_{ab} を導出し, それを二色型色覚の色差としている。

$$\begin{cases} L^* = 116 \times (Y'_0 / Y_E)^{1/3} - 16 \\ a^* = 200 \times \{(X'_0 / X_E)^{1/3} - (Y'_0 / Y_E)^{1/3}\} \\ b^* = 500 \times \{(Y'_0 / Y_E)^{1/3} - (Z'_0 / Z_E)^{1/3}\} \end{cases} \quad (15)$$

3. 評価実験

3.1 概要

ここまで, 二色型色覚の色の見えをシミュレートするモデルの概要に関して議論してきたが, このシミュレーション出力で得られる定量的な二色型色覚の知覚量を元にシミュレーションの効果を検証する。3.2では実際にシミュレーションが二色型色覚の色弁別特性に関して説明可能か否かを確認するために, 色覚検査

に広く利用されているPanel D-15 test chartに対するシミュレーションの実験を行った。3.3では本研究で提案する順応を考慮した二色型色覚の色の見えモデルの出力が実際に色彩恒常性を有するように振舞うのか確認する実験を行った。

3.2 Panel D-15 test chartのシミュレーション

3.2.1 目的

Panel D-15 test chart(以下PD-15)とは、前述したように色覚検査に用いられる手法の一つで、色覚異常と判断された被験者に対しその程度とタイプを分類するものである。検査はNo.0からNo.15までの16種の色票をNo.0を基準に最も類似した色であると思われる色票を隣に配列して行くという手順を取る。色覚正常の場合、色票の番号順に配列する傾向となるのだが、二色型色覚の場合、それは特徴的な配列順となる。つまり、二色型色覚は特有の色弁別特性を有する。本研究で提案するシミュレーションが確かに二色型色覚の色の見えを再現できているのか否かということを確認するために、PD-15のシミュレーション出力より得られたCIELAB空間上における色差を元に色票を配列させる実験を行った。

3.2.2 方法

PD-15を用いた色覚検査は一般的なオフィス空間で実行することを想定してシミュレーションを行った。光源にはD65光源を選択し、それを500lxの照度で照明するとし、この条件はPD-15を実行するのに満足しているものである。

まず、Murakami color research LAB. PANEL D-15の各々の分光反射率をMINOLTA spectro photometer CM-3600dを用いて測定した。それより、D65光源下におけるPD-15の各色票の三刺激値を算出し、これをシミュレーションの入力値とする。その後、実際にシミュレーションを行い、シミュレーションの出力値(等エネルギー白色における対応色で表された三刺激値)を算出する。ここで得られた三刺激値より、全ての色票の組み合わせの色差 ΔE^*ab を求め、これを色票配列の手掛かりとする。

次に実際に得られた色差を元にPD-15を配列する。まず、No.0の色票と色差が最小となる色票を選択し、それをNo.0の隣に配列するとする。以降はNo.0および既に選択された色票以外の色票の中から、直前に配列された色票と色差が最小となるものを逐次選択して

いく、という手順をとる。色票の配列順は実際の検査同様記録用紙に記録し、その配列順の傾向を調べる。比較のため、色順応モデルを用いない場合やnormalの場合(シミュレーション前)についても同様な手順で配列させ、記録した。

3.2.3 結果

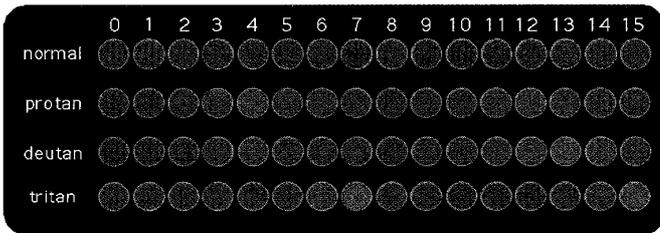
Fig.4は二色型色覚の色の見えのシミュレーション結果をsRGBによるデジタル画像で表示したものである。シミュレーションによって得られたPD-15の配列結果をFig.5に示す。配列順は実直線で表示されている。最上段の行からそれぞれnormal, protanopia, deuteranopia, tritanopiaの結果となっていて、太い破線がその色覚異常のタイプと判断するための指示線である。左側の列は色順応モデルにVon Kriesを用いた場合、中央の列はCIECAM02を用いた場合、右側の列は色順応モデルを用いなかった場合の結果を示している。

いずれの色順応モデルを用いた場合に対しても、其々の色覚異常と判定できる結果が得られた。

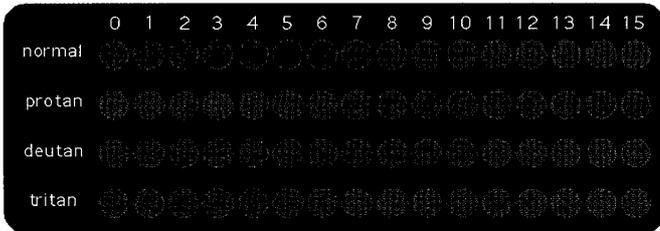
3.2.4 考察

PD-15は二色型色覚が混同しやすい色度を利用した16枚の色票により構成されており、判定用紙に示された指示線は混同するであろう方向を示している。本研究で提案する二色型色覚の色の見えモデルを用いたPD-15のシミュレーション結果はそれぞれの色覚の特徴を示すものとなった。このことから、本研究で提案する二色型色覚の色の見えモデルの妥当性を支持できる結果が本実験により得られたと考えられる。用いた色順応モデルによる結果の差異に関して、色票の詳細な配列順は若干異なる部位も存在するが、いずれのモデルに関しても、色覚の判定結果はそれぞれの色覚を示す結果であり、色順応モデルを適用することにより、一般的な混同特性をシミュレート可能であることを示している。

また、光源を異なる色度の光源であるA光源に変化させ、本実験と同様なシミュレーションを行った。Fig.6はD65光源下およびA光源下におけるPanel D-15の等エネルギー白色順応時の対応色をxy色度図上にプロットさせ、Protanopiaシミュレーションにより色票を配列した結果を図示したものである。色順応モデルにはCIECAM02を使用した。赤のシンボルがD65光源下の結果、青のシンボルがA光源下の結果を



(a) 色順応モデルにVon Kriesを利用

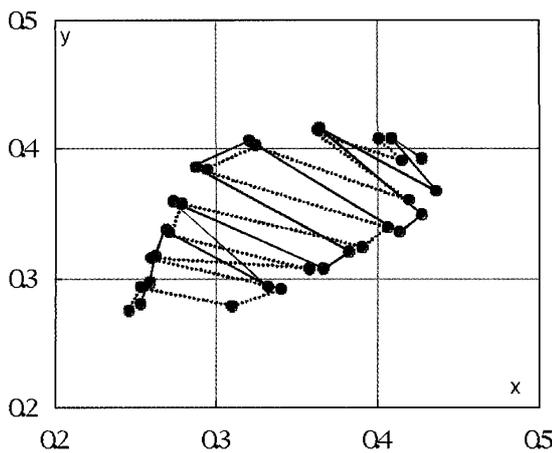


(b) 色順応モデルにCIECAM02を利用

Fig.4 PD-15のシミュレーション結果 (画像)

	Von Kries model	CIECAM02	Non-Adaptation Model
normal			
protan			
deutan			
tritan			

Fig.5 シミュレーションによるPD-15の配列結果



.....●..... D65光源下 —●— A光源下

Fig.6 異色光源下におけるProtanopiaのPD-15の配列結果 (xy色度図 / E順応時の対応色をプロット)

示している。同じprotanopiaのシミュレーション結果であるが、光源が変化することによって混同する色の方向が変化していることが図よりわかる。従って本シミュレーションにより、光源が変化することにより混同色軌跡のシフトという現象が生じることを説明できる。この根拠を更に説明するためには、同様なシミュレート環境下における実験を行いその相関を更に調査する必要があると考えられる。

色順応の適用の有無に関わらずシミュレーション結果にあまり差が見受けられなかったのは色票間の色差の相対関係が保持されているためと考えられる。

3.3 Macbeth color checkerのシミュレーション

3.3.1 目的

本研究で提案するモデルの大きな特徴の一つは、二色型色覚の色の見えの予測に対し、照明に対する色順応効果を考慮したことである。Normalの場合、A光源とD65光源のような異なる色度を有する照明下で同一の色物体を観察すると、その環境に順応することにより、細胞の感度調節が行われ、照明の異なる環境下であってもそれは同様な色の見えとなる色彩恒常が見られることが知られている。二色型色覚にも同様な効果があることが知られており⁴⁾、本研究で提案した二色型色覚の色の見えモデルが実際にそう振舞うか否かを確認することを本実験の目的とする。

Macbeth color checkerは写真撮影などの色管理システムにおいて、適切なカラーバランスを判定するため、24色の色票を利用したテストパターンである。利用した色票は色空間上で広範囲に分布しているため、Macbeth color checkerでカラーバランスの妥当性が確認できれば他の色についてもカラーバランスの妥当性が示唆される。また、Macbeth color checkerは葉や肌のような自然界の代表的な色を利用していることから、そのような十分慣用的な色については色彩恒常が成立することも考えられる。このようなMacbeth color checkerの性質を利用して、二色型色覚の色恒常性が確認できるかを調べる実験を行う。今回は利用する照明の色度が極端に異なる組み合わせの例としてAとD65の組み合わせについて議論する。

3.3.2 方法

色彩恒常が成立するか否かを定量的に検討する方法には、シミュレーション結果の各光源下における色差の相関を調べるという手法を用いた。色彩恒常が成立しているのならばカラーバランスが保持され、対応する色差の相関が高くなるだろう。

3.2同様に、Macbeth color checkerの24枚の色票各々の分光反射率をMINOLTA spectrophotometer CM-3600dを用いて測定した。利用する光源のA光源とD65光源について、其々の光源下における色票の三刺激値を導出した。Fig.7に得られた測色値をsRGBにより出力した画像を示す。ここで得られた三刺激値を入力としてシミュレーションを実行し、その24枚の色票の出力結果(等エネルギー白色下における対応色で表された三刺激値)をそれぞれの光源下において求めた。シミュレーションは3.2同様に500lx

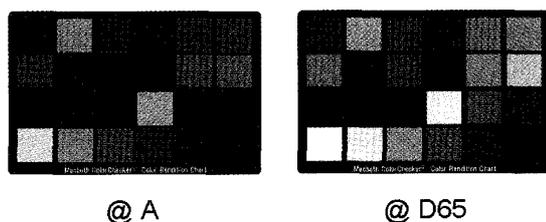


Fig.7 シミュレーションの入力 (画像)

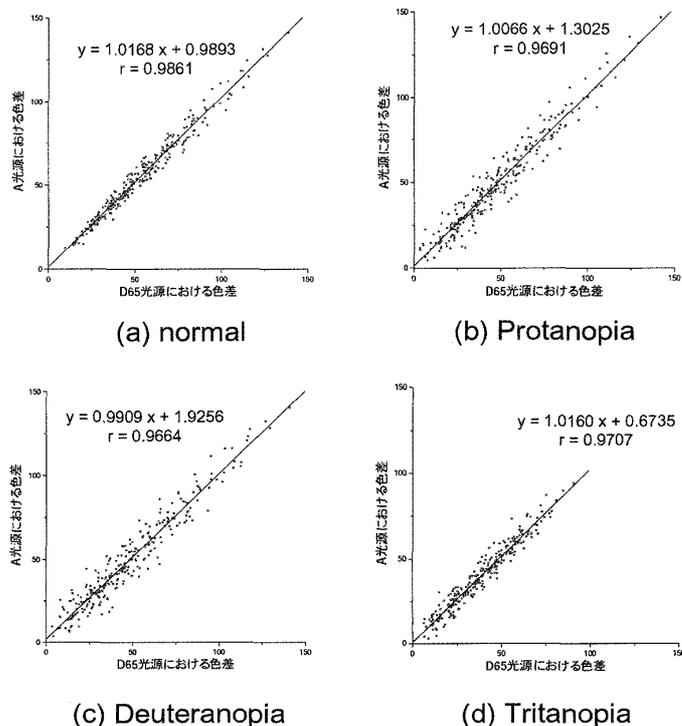


Fig.8 A光源及びD65光源下で計算された二色型色覚の色差の相関 (色順応モデルにVon Kriesを利用)

の比較的明るい照度での観察を想定した。その後、各光源下において全ての色票の組み合わせで色差を算出し、最後に各光源下で対応する組み合わせの色差の相関を調べた。

3.3.3 実験結果

Fig.8, Fig.9, Fig.10にA光源, D65光源それぞれの下で算出された二色型色覚の色差の関係を示す。Fig.8は色順応モデルにVon Kriesを, Fig.9はCIECAM02を用いた場合であり, Fig.10は色順応モデルを用いなかった場合の結果を示している。aから順にそれぞれnormal, protanopia, deuteranopia, tritanopiaのシミュレーション結果であり, グラフの横軸はD65光源下において算出された色差, 縦軸はA光源下において算出された色差を示している。図に示された直線はプロットされた点より得られる回帰直線, y と x の方程式は回帰直線の方程式(縦軸: y , 横軸: x), r は各々の光源下で算出された色差の相関係数を示している。また, Fig.11にはFig.7の入力画像に対するシミュレーションの出力画像を示している。色順応モデル, 色覚のタイプに関わらず, A光源下とD65光源下で算出された色差には高い正の相関が見られた。

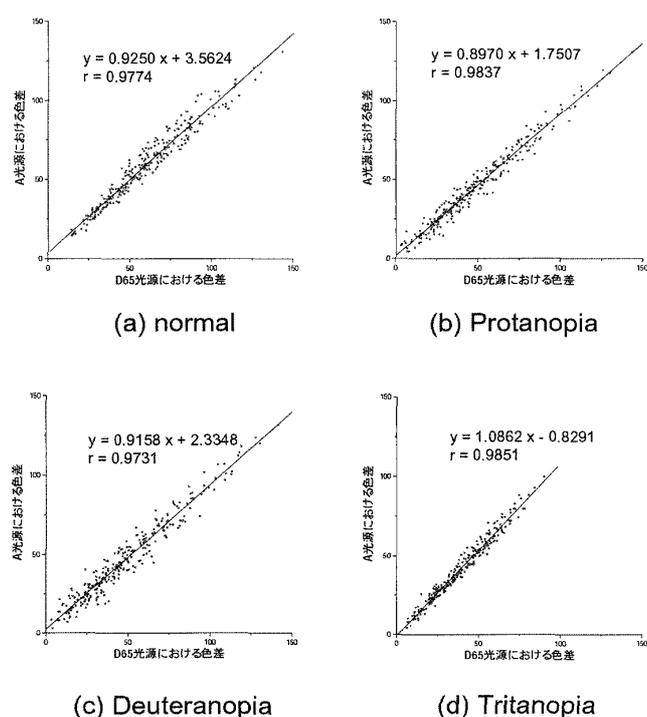


Fig.9 A光源及びD65光源下で計算された二色型色覚の色差の相関 (色順応モデルにCIECAM02を利用)

3.3.4 考察

本実験の結果は、A光源及びD65光源下において算出された色の見えについて、そのカラーバランスは十分に恒常性を有するものとなった。この結果から、本研究で提案する二色型色覚の色の見えモデルはA光源とD65光源への順応効果を十分に考慮しているものであると考えられる。今回の実験ではD65光源とA光源の2種類の光源下における色の見えについてのみしか

取り扱っていないが、この光源の組み合わせは一般に利用される白色照明の中でも最も極端に異なる色度を有する組み合わせであると考えられる。つまり、D65光源とA光源の組み合わせで二色型色覚の色の見えに色彩恒常が確認できた結果は、例えばD50とD65のような他の照明の組み合わせに対しても同様な色彩恒常が確認できることを示すものとなるのではないだろうか。

利用した色順応モデルによる結果の差異についても、Fig.8とFig.9より顕著な変化は見受けられなかった。従って、本実験で設定した明るい環境下においては、完全順応を想定したVon Kriesの色順応モデルを用いた場合でも、十分有用となることを支持できる結果が得られた。CIECAM02で用いる視環境パラメータは500lxの標準的環境下であったため、比較的完全順応に近い順応度が得られた結果であると推測される。

Fig.10に示した色順応モデルを用いない場合のシミュレーション結果では、順応を考慮していないため、無彩色成分に対しても色変換が行われ、結果として無彩色成分に関してはBrettelらのモデルの仮説である「(1)色覚正常と二色型色覚は無彩色を同様に無彩色と知覚する」という考え方を再現できない結果となっている。また、2光源間のカラーバランスの相関を見ても、色順応モデルを適用したときのほうが高い正の相関を示していることがわかる。したがって、色順応を考慮した効果がこの結果より明らかになったと考えられる。

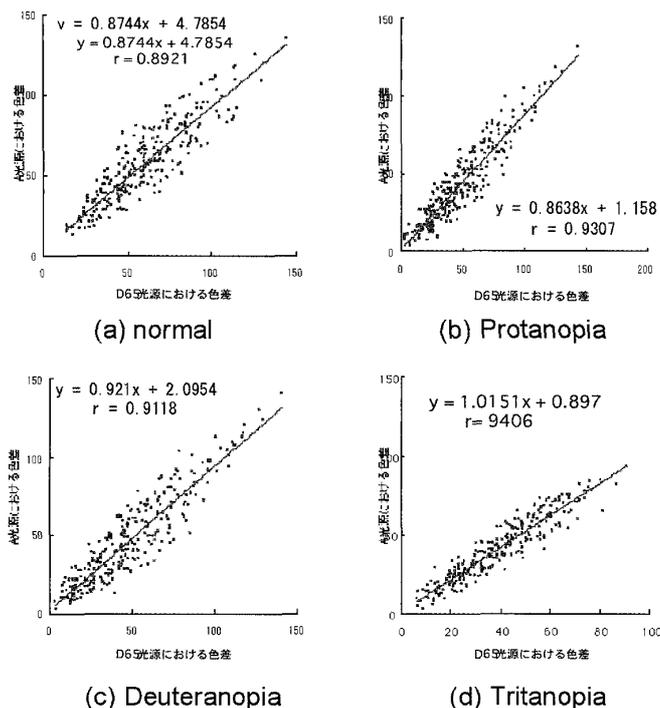


Fig.10 A光源及びD65光源下で計算された二色型色覚の色差の相関 (色順応モデルを適用しない場合)

	Von Kries		CIECAM02		Non-Adaptation Model	
	A	D65	A	D65	A	D65
normal						
protanopia						
deuteranopia						
tritanopia						

Fig.11 シミュレーション結果 (画像)

4. デジタル画像のシミュレーション

本研究では二色型色覚の色の見えモデルに色順応モデルを導入することによって、照明などに対する順応を考慮した二色型色覚の色の見えモデルを考案し、それがどのように振舞うのかを確認する実験を行った。その結果、本研究で提案する二色型色覚の色の見えモデルは以下の2点の特徴を有することを確認できた。

- 1) 照明に対する順応効果を考慮しており、色差を用いて色彩恒常を定量的に確認することが可能である。
- 2) 単純なVon Kriesの色順応モデルを用いた場合でも、比較的明るい環境ならば、シミュレーション結果は複雑なCIECAM02と類する結果が得られた。前者の特徴は観察する環境に依らず色の見えを予測することと、二色型色覚の色弁別能を定量的に検討することを実現させた。また後者の特徴からはモデルの単純化を図る場合としてVon Kriesを利用することを許容できることが示唆される。このことは、デジタル画像のシミュレーションのようなプログラム処理の短縮化につながる。sRGBに準拠したデジタル画像のデー

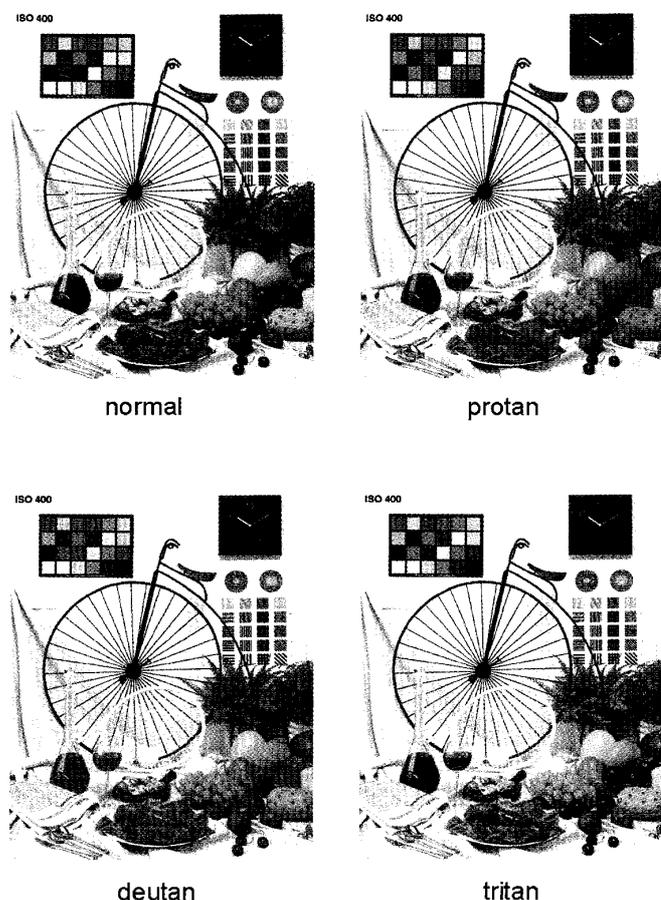


Fig. 12 sRGBを用いたデジタル画像のシミュレーション結果

タはD65光源下における三刺激値と対応しているため、D65光源下における色の見えの予測を行うこととなる。色順応モデルとして、最も単純なモデルであるVon Kriesを使用したときの二色型色覚のシミュレーションを行った画像の一つ(ISO/JIS-SCID N5:自転車⁵⁾)をFig.12に示す。protanopiaとdeutanopiaについては赤と緑が、tritanopiaについては黄色と青の色情報が損なわれていることと、いずれの色覚に関しても無彩色は無彩色として知覚されることに注目して欲しい。

5. まとめ

本論文では順応を考慮した二色型色覚の色の見えのシミュレーションを考案し、それを利用した定量的な実験を行った。その結果、二色型色覚についても色彩恒常を有することを支持する結果が得られた。また、このモデルのアプリケーション例として実験でも利用した二色型色覚の色差算出やデジタル画像のシミュレーションを紹介した。このモデルを用いることでカラーユニバーサルデザインを適用した効果を定量的に評価できるツールとしての応用が期待できる。

このモデルの課題として、本モデルの心理物理学的な検討はまだ行われていなく、その検証が今後の課題となるだろう。

6. 参考文献

- 1) Hans Brettler, Francise Vienot, John D. Mollon, "Computerized simulation of color appearance for dichromats", J.Opt.Soc.Am. A Vol.14, 2647-2655, 1997
- 2) 岡部正隆, 伊藤啓, "色覚の多様性と色覚バリアフリーなプレゼンテーション", 細胞工学 Vol.21, p.733-745, p.909-930, p.1080-1104, 2002
- 3) CIE technical report "A colour appearance model for colour management system : CIECAM02", 2003
- 4) Lukas Ruttiger, Helmut Mayser, Ludwig Serey, and Lindsay T.Sharpe, "The color constancy of the red-green color blind.", Color Res. Appl. Vol.26, p.209-213, 2001
- 5) ISO/JIS-SCID, "高精細カラーデジタル標準画像データ", 日本規格協会著者紹介

(投稿受付日：2008年1月7日)

(掲載決定日：2008年7月2日)

著者紹介



よしざわまさのり
吉澤将則

1982年7月14日生まれ

2005年千葉大学大学院自然科学研
究科博士前期課程修了

現在、コニカミノルタビジネステク
ノロジー株式会社勤務

masanori.yoshizawa@konicaminolta.jp



やぐちひろひさ
矢口博久

1950年12月10日生まれ

1980年東京工業大学大学院総合理
工学研究科博士課程修了(工学博士)

日本色彩学会, 日本光学会, 照明学
会, 日本視覚学会, OSA, ISCC,

IS&T会員

現在, 千葉大学大学院融合科学研究科教授

yaguchi@faculty.chiba-u.jp