

平成 30 年 6 月 16 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00216

研究課題名(和文) 究極の視覚UDとしてのアダプティブ視環境の創造

研究課題名(英文) Adaptive visual environment as an ultimate form of vision-related universal design

研究代表者

篠田 博之 (SHINODA, Hiroyuki)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：40278495

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：個人の視覚特性に柔軟に適応するアダプティブ視環境こそが究極の視覚ユニバーサルデザインと考え、その基盤技術として3つの課題に取り組み次に示す成果を得た。第1に白内障簡易測定に必要な感度関数のテンプレートを獲得したこと。第2に色覚バリアフリー照明の核となる技術としてプロジェクタカメラシステムを用いた実環境の色覚シミュレーション手法を開発したこと。第3に照明光への色順応を考慮したディスプレイカラーマネジメントにおいて必要となる色変換行列を日常的な環境で取得できる方法を開発したことである。

研究成果の概要(英文)：For development of adaptive visual environment as an ultimate form of vision-related universal design, three research topics were tackled as follows. Firstly, a template function for haze estimation of cataract crystalline lens was obtained through subjective evaluations of visibility by pseudo-cataract observers. Secondly, a novel simulation method of dichromat color vision using a projector-camera system was developed. Thirdly, a practical method of obtaining a color transfer matrix was developed for color management system achieving a constant color perception on a display across observations under various illuminants of different colors.

研究分野：情報学

キーワード：ユニバーサルデザイン 色覚異常 白内障 カラーマネジメント 色順応 水晶体 ヘイズ値 シミュレーション

### 1. 研究開始当初の背景

バリアフリーやユニバーサルデザイン(UD)が浸透し、視覚においても人の特性を考慮した製品設計や環境整備が求められている。これまで視覚におけるUDでは色覚異常者や高齢者などが主対象であったが、色覚正常者や若齢者でも条件によって視覚特性が大きく変化するため、本来は誰もが配慮されるべき対象と言える。すなわち究極の視覚UDは個人の視覚特性に合わせて視環境や機器を柔軟に変えられるしくみを提供することであり、これを「アダプティブ視環境」として、これを実現するための基盤技術の開発を進めることが急務である。

本研究ではアダプティブ視環境の基盤技術として以下を設定し研究に取り組んだ。

- [A]白内障簡易測定法
- [B]色覚バリアフリー照明
- [C]ディスプレイカラーマネジメント

### 2. 研究の目的

#### (1) 白内障簡易測定法

白内障では水晶体が白濁することで眼球内散乱光を増大させ様々な視覚機能低下をもたらす。本研究では水晶体にヘイズ値(全透過光量に対する散乱透過光の割合)を想定し、比較的簡易な心理物理学実験を通してヘイズ値を推定する手法の確立を目指す。実用化に向けては、ヘイズ推定などを活用した適用法の導入により短時間でコントラスト感度特性を計測する必要があるが、本研究ではその際に用いる感度関数のテンプレートの獲得とその関数パラメータからヘイズ値を推定する手法の提案を主な目的に設定した。

#### (2) 色覚バリアフリー照明

デジタル環境では、Brettel et al. の2色覚シミュレーションアルゴリズムを用いてディスプレイ上に色覚異常者の見る色を再現することで混同色の検出が可能である。さらに混同色に適切な色変換を施すことで色覚バリアフリー環境を提供できる。一方、反射物体の色は容易に変更できないため、実環境における色覚バリアフリー環境の整備が遅れている。そこで、適切な分光組成の照明光を照射することで反射物体の色を色覚異常者にとって色弁別可能な色に変換する手法が提案された(色覚バリアフリー照明)。本研究ではさらに、プロジェクタカメラシステムを用いた反射物体上の色覚シミュレーション手法の確立を目指した。

#### (3) ディスプレイカラーマネジメント

既存のカラーマネジメントシステム(CMS)はCIEXYZ等のデバイス非依存色空間を介して色を変換しデバイス間で同一色を実現する。しかし視覚系には物体色知覚を一定に保つ(色恒常性)ために照明光に色順応して感度を補正する機構がある。そのため照明に

よらず一定の光を発するディスプレイは、照明光と反対色方向に色が変化して知覚される(色恒常性不軌)。したがって自発光ディスプレイに同一の色の見えを実現するには、照明光への色順応を考慮した色補正が必要となる。これまで、この方策として環境(観察者、ディスプレイ、照明)ごとにディスプレイを色票に等色し、完全色恒常性を仮定して色補正の変換行列を導出するCMSが提案された。しかし現実には色恒常性は不完全であるため、上記のCMSでは過剰な色補正となっていた。そこで本研究では不完全色恒常性を反映した色変換行列を獲得する手法の確立を目指した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 白内障簡易測定法

図1に示すようなガボアパッチをCRTモニタ上に呈示し、中央の格子の空間周波数と周辺輝度を変えた時の視認性の変化を検討するため、ガボアパッチの空間周波数が最も低く、周辺輝度が最も高い条件を参照刺激として、それと比較した際の視認性をMagnitude Estimation(ME)法で評価した。

実験では水晶体の白濁のない若齢者の眼前にヘイズ値が既知であるフィルタを装着することで様々なレベルの白内障状態を模擬し(擬似白内障)、ヘイズ値と視認性評価との関係性を検討した。

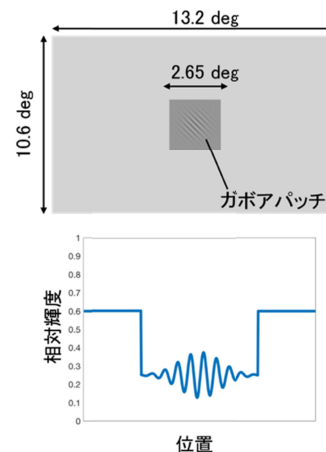


図1 白内障簡易測定実験で用いた刺激(上段)と輝度プロファイル(下段)

#### (2) 色覚バリアフリー照明

プロジェクタカメラシステムによる実空間色覚シミュレーションは二つのプロセスから構成される。第1に物体表面の反射特性の獲得であり、第2に色覚異常者の知覚色を物体上に再現するために必要な照明スペクトルの算出である。

前者の過程では、物体表面に様々なスペクトルの照明光をプロジェクタにより照射したときの色をデジタルカメラで撮影し、得られたRAW画像のRGB<sub>c</sub>値と照明プロジェクタへの

入力 RGB<sub>p</sub> 値との関係から反射特性を導出した。これにより任意のプロジェクタ光を照射したときの反射光の色の算出と任意の反射光色を得るために必要なプロジェクタ入力 RGB<sub>p</sub> 値の算出が可能となった。

後者の色覚シミュレーション照明光算出過程では、参照照明光下での物体の色（3色覚者の知覚色）を得られた物体反射特性から算出し、Brettel et al. のアルゴリズムにより2色覚者の見る色を計算してターゲット色とした。最後にそのターゲット色を再現する照明光として必要なプロジェクタ入力値 RGB<sub>p</sub> を物体反射特性から算出した。

### (3) ディスプレイカラーマネジメント

実際の環境では物体色上の色恒常性は不完全となるため、図2上段に示すように反射物体とディスプレイの併置等色により得られる色変換行列は過剰色補正となる。そこで本研究では図2下段に示すように隣接した2室に異なる照明光を施し、2室を移動して色を比較する継時等色を行い、異なる照明空間で同一の知覚色を保証する色変換行列を導出した。

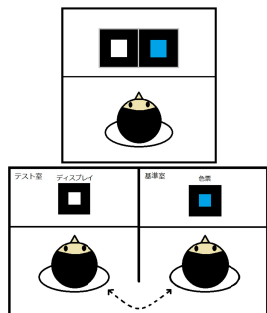


図2 併置等色（上段）と継時等色（下段）

## 4. 研究成果

### (1) 白内障簡易測定法

図3に示すようにガボパッチの空間周波数  $F$  と周辺刺激の輝度  $L$ 、それぞれの上昇に伴い視認性評価値  $ME$  は低下した。この視認性変化特性を、参照刺激との周波数差の対数値と周辺輝度差の対数値を変数とする2次元シグモイド関数で近似した（式1、式2）。

得られた近似式のパラメータと擬似白内障それぞれのヘイズ値  $H$  との関係は高い相関があり、その関係式を導出し、実際の白内障水晶体のヘイズ値推定関数とした（式3）。本手法の実用化にあたっては少ない測定回数で2次元シグモイド関数を導出する方法の確立が必要であり、今後はこの点に的を絞って研究を進める予定である。

$$\frac{ME}{100} = \left\{ 1 + \exp\left(\frac{x - \mu_F}{\sigma_F}\right) \right\}^{-\frac{1}{2}} \left\{ 1 + \exp\left(\frac{x - \mu_L}{\sigma_L}\right) \right\}^{-\frac{1}{2}} \quad \dots(1)$$

$$x = \log(F - F_{ref}), y = \log(L - L_{ref}) \quad \dots(2)$$

$$H = \alpha(\mu_F - \beta)^{\frac{1}{2}} \quad \dots(3)$$

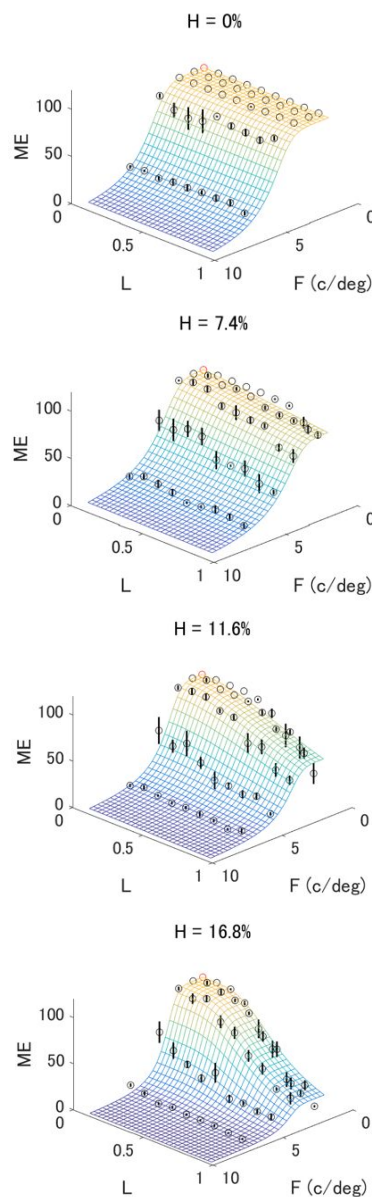


図3 擬似白内障による視認性評価結果

### (2) 色覚バリアフリー照明

実験では物体反射特性の獲得と適切なプロジェクタ照明による反射物体上の色覚シミュレーションを試み、提案手法の有効性を確認した。対象は図4に示す分光反射率を有するMacbeth Color Chartの24色票とした。

24色票に7種類の照明をプロジェクタにより照射し、反射特性行列を算出した。次にプロジェクタの白色光を参照照明として、得られた反射特性行列を用いて参照照明下での2色覚者の知覚色を計算し、さらに知覚色を再現するために必要なプロジェクタ照明（シミュレーション照明）を導出した。

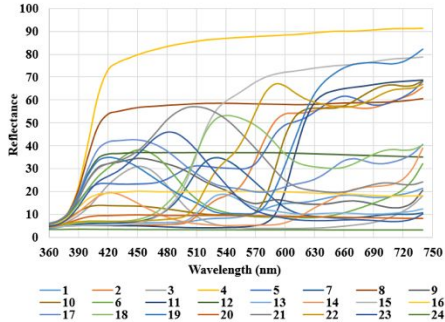


図4 Macbeth Color Chart と分光反射率

図5に参照照明下( )とシミュレーション照明下( )の24色票のxy色度の計算値を3種類の色覚型ごとに示す。1型2色覚と2型2色覚では無彩色と475nm単色光、575nm単色光のそれぞれを結ぶ直線上にシミュレートされた色が位置しており、計算上は正確にシミュレートされていることがわかる。3型2色覚も同様にシミュレートされた色は無彩色と485nm単色光、660nm単色光を結ぶ直線上に位置していることがわかる。

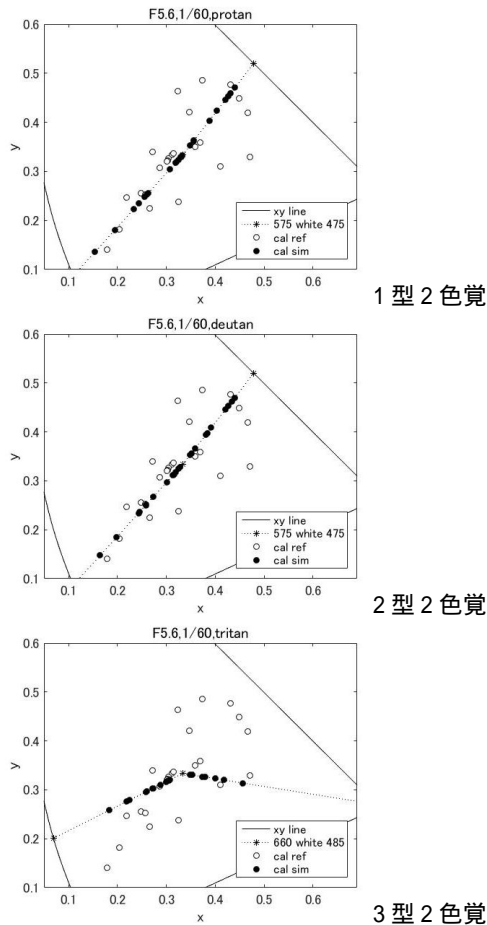


図5 2色覚シミュレーション計算値  
実際に算出されたシミュレーション照明を照射して撮影した画像を図6に示すが、1型と2型では無彩色・青・黄で構成された画像に、3型では無彩色・青緑・赤で構成された画像であり、適切な色覚シミュレーションがなされていることがわかる。

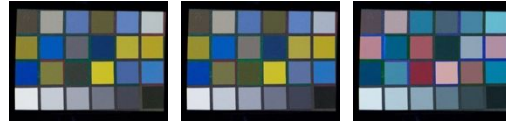
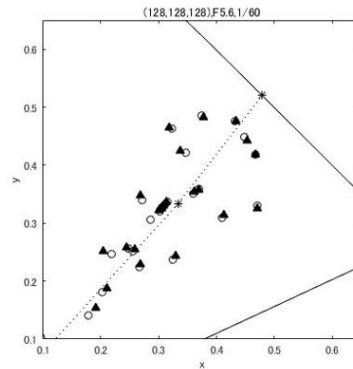


図6 併置等色(上段)と継時等色(下段)

さらに図7に示す実測値と計算値との比較から、反射特性行列獲得とシミュレーション照明算出が十分な精度を有していることを確認した。

今後は2色覚だけでなく異常3色覚にも対応する色覚シミュレーション照明システムに拡張する予定である。また、今回は画像中の24色票の位置を手動で取得しているため、今後はプロジェクタとカメラの正確な位置合わせを行い対応ピクセルの関係を得ることにより、反射特性行列獲得、色覚者の知覚色計算、シミュレーション照明光の算出をピクセルごとに自動で行う手法に発展させる必要がある。

参照照明下(3色覚者知覚色)



1型2色覚シミュレーション

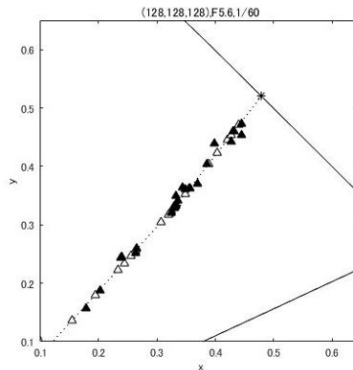


図7 計算値( )と実測値( )

(3) ディスプレイカラーマネジメント  
異なる照明光下の等色結果を連結させることで3行3列の色変換行列を導出した。例え



ば式 4 は D 光源下での観察色と同一の色を色 A 光源下で知覚するために必要な色変換である。

$$\begin{bmatrix} R_A \\ G_A \\ B_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_4 & a_5 & a_6 \\ a_7 & a_8 & a_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_D \\ G_D \\ B_D \end{bmatrix} = m_{A \leftarrow D} \begin{bmatrix} R_D \\ G_D \\ B_D \end{bmatrix} \dots (4)$$

さらに、本研究で行なった 2 種類の等色方法で得られた色変換と既存の CMS による色変換と比較した。図 8 には例として D 光源下から A 光源下への色変換を示す。変換前の D 光源下の色 (+) は最も左下に位置し、完全色恒常性 (完全色順応) を想定した CIELAB 均等色空間による色変換 ( ) が最も右上に位置した。不完全色恒常性 (不完全色順応) を考慮した CIECAM02 による色変換 ( ) と本研究の 2 種類の等色に基づく色変換 ( ) はその中間に位置した。とくに併置等色に基づく色変換 (上段 ) は CIECAM02 色変換と同程度であり、継時等色の色変換 (下段 ) それらよりも左下に位置した。

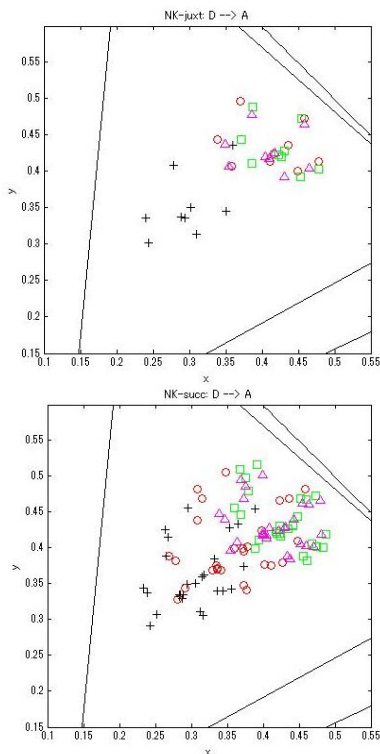


図 8 種々の CMS による色変換 (D A 光源下) 変換前 (+) CIECAM02 ( ) CIELAB ( ) 上段: 併置等色による色変換 ( ) 下段: 継時等色による色変換 ( )

以上を色順応あるいは色変換による色移動の大きさの順に並べると次式になる。

$$\text{継時等色} < \text{併置等色} = \text{CIECAM02} < \text{CIELAB}$$

すなわち併置等色の色変換は不完全色恒常性対応の CIECAM02 と同程度で、日常の色順応に最も近い継時等色の色変換はさらに低

い色恒常性成立度合いに対応した色変換となる。

提案の色順応を考慮した CMS を実用する際は、ディスプレイ観察する環境ごとに継時等色の色変換を導出し (できる限り簡便に) それを適用して同一知覚色を実現する。しかし継時等色 (照明の異なる 2 室にまたがる等色) の環境を整えることは現実的でない。実際は併置等色を行い色変換行列を導出し、本来必要な継時等色の色変換行列は補正行列を用いて得ることになる (式 5)、本研究でもこの補正行列を導出したが、今後は補正行列の一般化に向けた研究を進め、CMS 実用化を目指す。

$$\begin{bmatrix} R_A \\ G_A \\ B_A \end{bmatrix} = m_{A \leftarrow D}^{succ} \begin{bmatrix} R_D \\ G_D \\ B_D \end{bmatrix} = m_{A \leftarrow D}^{mod} \cdot m_{A \leftarrow D}^{juxt} \begin{bmatrix} R_D \\ G_D \\ B_D \end{bmatrix} \dots (5)$$



図 9 色変換適用例 (D A 光源) 左上: 変換前画像 右上: 併置等色変換 右下: 継時等色変換

#### < 引用文献 >

Brettel, H., Vienot, F., and Mollon, J. D., Computerized simulation of color appearance for dichromats, J. Opt. Soc. Am. A, 14(10), 1997, 2467-2655.

#### 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 8 件)

Isoi, W., Shinoda, H., Spatial resolution affected by light scattering in pseudo-cataract observers, 13th Association Internationale de la Couleur 2017, 2017.

村元寛央, 篠田博之, 瀬谷安弘, 擬似白内障観察者におけるキャンセル法を用いた周辺光の散乱度合いの推定, 第 19 回日本感性工学会大会, 2017.

ソンシキ, 篠田博之, プロジェクタカメラシステムによる未知反射率表面上の 2 色覚シミュレーション, 第 19 回日本感性工学会大会, 2017.

ソンシキ, 篠田博之, プロジェクター照明による 2 色覚シミュレーション, Optics and Photonics Japan 2016, 2016. Sun, S., Shinoda, H., and Seya, Y.,

Simulation algorithm for dichromatic color appearance using projector lighting, Asia Color Association 2016, 2016.

Muramoto, T., Shinoda, H., and Seya, Y., Color appearance shift by a surround color for pseudo-cataract observers, Asia Color Association 2016, 2016.

Shinoda, H., Vision science and its application in lighting, 15th International Symposium on the Science and Technology of Lighting, 2016.

(invited)

Kurita, N., Shinoda, H., and Seya, Y., Color management system for identical color appearance across different illuminations, European Conference on Visual Perception 2015, 2015.

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

篠田 博之 (SHINODA, Hiroyuki)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号： 4 0 2 7 8 4 9 5

### (2) 研究分担者

瀬谷 安弘 (SEYA, Yasuhiro)

愛知淑徳大学・人間情報学部・准教授

研究者番号： 3 0 4 5 4 7 2 1