

色相に着目した灰色仮説に基づく照明光推定 法の一提案

川村春美[†] 米村俊一^{††} 大谷 淳^{††} 松浦宣彦[†]

本報告では、色相に着目して灰色仮説に基づく照明光色の推定手法を提案する。灰色仮説は画像中の物体の色の平均を灰色であるとする仮説である。従来、この仮説を利用して画像の平均を照明光の色として推定する手法が提案されているが、仮説が成立しない場合には照明光の推定精度が悪くなるという問題があった。そこで、画素値を類似の色相をもつカテゴリに分類し、反対色の関係にある色相カテゴリから色を選択し灰色仮説の成立可否を判定することによって照明光の色を推定する手法を提案する。実験により、平均に偏りのある色分布に対しても本提案手法による推定照明光が従来手法に比較して正解値の近くに推定できること、推定誤差が人間が知覚できる色差よりも小さいことを示した。

A Study on Illuminant Color Estimation based on Gray World Assumption using hue categorization

Harumi Kawamura[†], Shunichi Yonemura^{††}, Jun Ohya^{††}
and Norihiko Matsuura[†]

This paper proposes a gray world assumption based method for estimating an illuminant color from an image by hue categorization. The gray world assumption hypothesizes that the average color of all the objects in a scene is gray. However, it is difficult to estimate an illuminant color correctly if the colors of the objects in a scene are dominated by certain colors. To solve this problem, our method roughly categorizes the colors in the image by hue and selects them one by one to decide whether the average of the selected colors can be regarded as an illuminant color or not. We use a surface reflectance set obtained from the object color spectra database and three illuminants, i.e., CIE standard illuminants A and D₆₅, and blackbody radiation with 15000 K of color temperature, as an experiment for estimating an illuminant color. Experiment results show that estimated illuminants are closer to the correct one than that of the conventional one, and the estimation error by our method is within the just noticeable difference in human color perception.

1. はじめに

インターネットの普及とデジタルカメラ・ビデオ等の入力機器の小型化・高性能化に伴い、日常生活の様々なシーンの映像がデジタル化され、Webの動画共有サイト[1]やインターネットプロバイダ等が提供するストレージ上に公開されている。このようなサイト上には、撮像時の照明光の影響によって全体に色フィルタをかけたような画像・映像になっているものも多い。これは、入力機器のホワイトバランスがうまく機能していないことが要因の一つと考えられる。ホワイトバランスとは照明光による色の偏りを推定、補正することによって白色光下における色に変換する技術である[2][3]。色の偏りがうまく推定できない場合には上述したように全体に色フィルタをかけたような画像になる。本報告では、画像から撮影時の色の偏り、即ち、照明光の色を推定する手法を提案する。

従来、照明光の色の推定手法には、上述のホワイトバランスに利用されている手法の他、鏡面反射成分を用いる手法[4][5]、物体と照明光の分光特性を基底関数の線形和で表現する手法[6]、シーン中の物体の平均の色を灰色であるとする灰色仮説を利用する手法[7][8]等が提案されている。入力機器のホワイトバランスでは、様々な照明光下における白色紙の画像の色が変化する範囲を事前に取得し、撮影時の画像からその色範囲に含まれる領域を抽出することによって色の偏り、即ち、照明光の色を推定する。しかしながら、この手法では肌色等の低彩度の色が上述の色範囲に含まれることがあり、その場合には推定精度が悪くなるという問題がある。鏡面反射成分を用いる手法は、誘電体からの鏡面反射成分が照明光の色を反映した分布になるという物理特性に基づいているが鏡面反射成分の存在が前提である。一方、基底関数で表現する手法の場合、RGB画像の画素値から線形和の係数を求める際に未知数が方程式数よりも多くなることを防ぐために物体の表面反射率を2次元で表現せざるを得ない状況が生じる。これにより推定精度が悪くなる。また、灰色仮説を利用する場合は、仮説が成り立たない、即ち、画像中の物体の平均が灰色にならない場合には推定精度が低下するという問題がある。我々は既報[9]にて、同一照明光下での複数枚の画像の平均画素値から灰色仮説の成立可否を判定する手法を提案している。既報における1枚の画像の平均画素値を画像中の一物体領域の平均画素値に置き換えることにより、画像中の物体の色(=平均画素値)から灰色仮説の成立可否の判定を行うことができると考えられる。本報告では、画像中の複数の物体領域の色から灰色仮説を満たすような色の組み合わせを選択する手法を提案し、既報での灰色仮説成立判定を用いて選択された色から照

[†] 日本電信電話株式会社 NTT サイバースペース研究所
NTT Cyber Space Laboratories, NTT Corporation

^{††} 早稲田大学大学院国際情報通信研究科

Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University

明光の色を推定し従来手法との比較を行う。提案手法では、画像中の複数の物体領域の色を類似の色相をもつカテゴリに分割し、反対色の関係にある色相のカテゴリから色を順次選択することによって灰色仮説を満たす色の組み合わせを求める。

以下、2章では灰色仮説に基づく照明光推定法および既報の灰色仮説の判定条件、3章に本提案手法における色相カテゴリへの分割と色選択方法について説明し、4章に数値シミュレーションによる照明光の色推定実験を行い、提案手法と従来手法による推定精度を比較し、5章にまとめを行う。

2. 灰色仮説に基づく照明光推定と灰色仮説の判定条件

2.1 灰色仮説に基づく照明光推定法

まず、灰色仮説による照明光推定法を説明する。画像中に複数(1~N個)の物体があると、j番目の物体の表面反射率を $\rho_j(\lambda)$ 、照明光の分光分布を $E(\lambda)$ とすると、j番目の物体からの反射光の分光分布 $L_j(\lambda)$ は以下のように表される。

$$L_j(\lambda) = E(\lambda) \cdot \rho_j(\lambda) \quad \dots\dots\dots(1)$$

よって、画像全体の平均の分光特性は次式のようになる。

$$\begin{aligned} \bar{L}(\lambda) &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N L_j(\lambda) \\ &= E(\lambda) \cdot \left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \rho_j(\lambda) \right) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(2)$$

灰色仮説が成立する場合には、物体の色の平均が灰色になる(式(3))ので、式(4)に示す関係式が得られる。ここで、kは定数である。

$$\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \rho_j(\lambda) = k \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\bar{L}(\lambda) = k \cdot E(\lambda) \quad \dots\dots\dots(4)$$

上式は、画像全体の平均の分光分布は照明光の分光分布のスカラ一倍になることを示している。式(4)の両辺をCIE(国際照明委員会)規定のXYZ三刺激値およびxy色度に変換する。なお、 $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ は等色関数である。

$$X_L = \sum_i \bar{L}(\lambda_i) \cdot \bar{x}(\lambda_i) = k \cdot \sum_i E(\lambda_i) \cdot \bar{x}(\lambda_i) = k \cdot X_E, \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$Y_L = \sum_i \bar{L}(\lambda_i) \cdot \bar{y}(\lambda_i) = k \cdot \sum_i E(\lambda_i) \cdot \bar{y}(\lambda_i) = k \cdot Y_E,$$

$$Z_L = \sum_i \bar{L}(\lambda_i) \cdot \bar{z}(\lambda_i) = k \cdot \sum_i E(\lambda_i) \cdot \bar{z}(\lambda_i) = k \cdot Z_E$$

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad \dots\dots\dots(6)$$

よって、画像の平均値のXYZ三刺激値は照明光の色のXYZ三刺激値のスカラ一倍で表すことができ、式(6)で定義するxy色度は一致する。xy色度は色成分のうち明るさ成分を同一視し、色相と彩度の情報をもつ色空間である。以下、本稿では照明光の色をxy色度で求める。

2.2 灰色仮説の判定条件

次に、既報で提案した灰色仮説の判定条件を説明する。以下、既報における同一照明光下の1枚分の画像の平均画素値を画像中の物体領域の色に置き換えて説明する。

灰色仮説の成立可否を以下に示す2つの条件によって判定する。1つめは、現実の照明光の色の範囲に関する条件であり、2つめは照明光として求める平均値のばらつきに関する条件である。

1つめの照明光の色の範囲に関する条件を説明する。本報告では、照明光の色が黒体放射の色で近似できることを利用する。黒体とは、温度T(K)に応じてプランクの放射則(式(7))にしたがった分光特性で熱を放射する物体である。

$$M(\lambda, T) = c_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot (\exp(c_2 / (\lambda \cdot T)) - 1)^{-1} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{但し, } c_1 = 3.7415 \times 10^{-16}, \quad c_2 = 1.4388 \times 10^{-2}$$

温度Tの変化による分光特性をxy色度に変換すると色度図上で曲線(以下、黒体放射軌跡と呼ぶ)をなす。太陽光の分光分布は黒体放射に近いことが知られているので、太陽光の色は黒体放射軌跡の近傍にあると言える。一方、人工光の色は、特殊用途を除き太陽光下の物体の見えに近くなるように設計されているため、太陽光の色に近い。よって、太陽光および人工光の色は共に色度図上で黒体放射軌跡の近傍に位あると言える。上記条件を以下の式で表す。

$$\text{dis}(BL, \bar{C}_k) < th_1 \quad \dots\dots\dots(8)$$

BLは黒体放射軌跡、 \bar{C}_k はk種類の物体領域の平均色度であり、dis()は黒体放射軌

跡と平均色度との距離, th_1 は黒体放射軌跡との近さを表す閾値である. このように画像中の複数の物体領域の平均の色が色度図上で黒体放射軌跡の近傍にあること, 即ち, 現実の照明光の色の近いことを1つめの条件とする.

2つめの条件では, 画像中から選択する物体領域の色の種類が増加すると, それらの平均値がある色の近傍に分布する傾向があることを利用する. この傾向は平均値のばらつき, 即ち, 平均値の標準偏差が変化しなくなることに対応し, 式(9)に示す条件で表す.

$$|\sigma_k - \sigma_{k-1}| < th_2 \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{但し, } \sigma_k = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\bar{L}_i - \bar{L}_i')^2}, \quad \bar{L}_k' = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{L}_i$$

上式において, \bar{L}_i は i 種類の物体領域の平均色度であり, σ_k は \bar{L}_i の標準偏差を表す. また, th_2 は標準偏差の差分を表す閾値である.

以上により, 物体領域の色の平均値が色度図上で黒体放射軌跡の近傍に位置すること(式(8)), および, 物体領域の色の平均値の変動が小さくなること(式(9))の2条件を共に満たす場合に, 灰色仮説成立と判定する.

3. 提案手法

3.1 提案手法の概要

本提案では, 既存の灰色仮説に基づく照明光推定法(2.1節)を拡張し, 画像から灰色仮説を満たす色の組み合わせを選択し, 仮説成立の判定条件を満たす場合に照明光の色を推定する手法を提案する. 本提案手法における色選択では, 反対色同士の色を平均すると灰色になるという性質を利用する. 色度図上で反対色は, 図1に示すように黒体放射軌跡(図中の点線)をはさんで灰色の物体に対応する色を中心に互いに反対側に位置する(○, □でマークしたペアの色). 画像の画素値は照明光の影響を受けた色であり, 通常, 灰色の物体の色に対応する色度座標上での位置は不明である. そこで, 反対色に対応する色のペアを選択するため, 色度図上の色に対し黒体放射軌跡を中心に上下・左右に4分割する. その際, 類似の色相をもつカテゴリとして分割する. 本提案手法による照明光色の推定処理の流れを図2に示す.

- ① 画像中の画素値を xy 色度に変換し, 類似の色相をもつカテゴリに分割する.
- ② xy 色度図上の色から1色を選択する. ここでは, ①の色相カテゴリとは独立に任意の色を選択する.
- ③ ②で選択された色が属する色相カテゴリとは反対色の関係にある色相カテゴリ

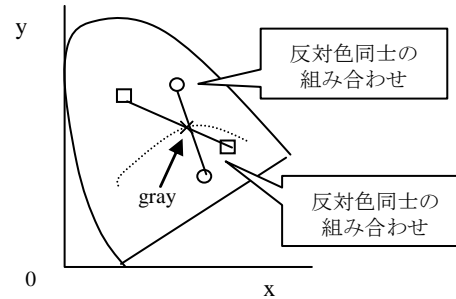


図1 色度図上における反対色の関係

Fig.1 A relation of opponent colors in the xy chromaticity diagram.

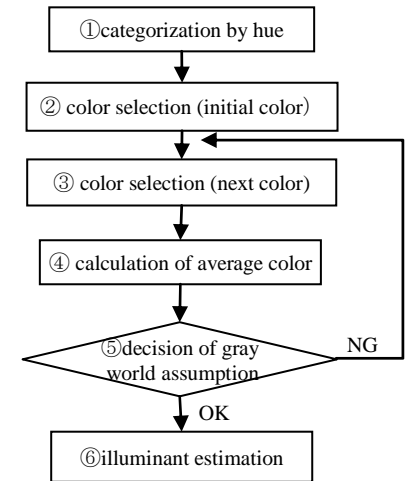


図2 本提案手法の処理フロー

Fig.2 A flowchart of our proposed method

から次の色を選択する.

④ ②および③で選択した色の平均をとる.

⑤ 灰色仮説の成立可否を判定する.

処理⑤において灰色仮説が成立すると判定された場合には,

⑥ ④で得られた平均の色を照明光の色として推定する.

処理⑤において灰色仮説が成立しないと判定された場合には, ③に戻って次の色を選択する.

なお, 2回以降に③の処理を行う際には, ④で得られた平均の色に最も近い色相カテゴリと反対色の関係にある色相カテゴリから色を選択する. このように本提案手法では, 反対色の関係にある色相カテゴリから色を選択しながら灰色仮説成立可否の判定を行う.

3.2 色相カテゴリへの分割

本節では, 画像の色を類似の色相をもつカテゴリに分割する方法を説明する. 図1において, 灰色を表す点を起点として同一の放射軸上の点在同一色相の色に対応するが, 上述したように実際には灰色の点は不明であり, 厳密に同一色相に属する色を選択することは難しい. しかしながら, 照明光の変動に応じて, 黒体放射軌跡の上側にある色は上側の範囲で変化し, 下側にある色は下側の範囲で変化することから, 黒体放射軌跡を境界として上側と下側にある色相は変化しないという性質がある. そこで,

本提案手法では反対色の関係にある色同士を選択することを目的としているため、黒体放射軌跡の上部、下部毎に左右に分割する。

以下、左右に分割する方法を説明する。まず、画像中の物体領域の色を色度に変換し、色度図上に色分布を得る。次に、色度図上で類似の色同士を一つのかたまりとしてクラスタリングを行う。クラスタリングでは、最短距離法に基づく階層的クラスタリング手法を適用することによって色度図上で類似の色を1つのクラスタに統合する。クラスタリングの結果、黒体放射軌跡の上部、下部それぞれについて2種類のクラスタが生成された場合は、それぞれを色相カテゴリとする。1種類のクラスタが生成された場合は複数の色相が隣接して存在していると判定し、平均値を境界として左右に分割し、それぞれを色相カテゴリとする。3種類以上のクラスタが生成された場合には、最も左側と最も右側にあるクラスタ以外のクラスタを、クラスタ内の色分布の平均色度の近さで左右どちらかのクラスタに統合し、最終的に2種類のクラスタとし、それぞれを色相カテゴリとする。

図3に色相カテゴリへの分割例を示す。図3では、各○がそれぞれ画像の物体領域の色であり、黒体放射軌跡（点線）をはさんで、上下、左右に分割した例である。

3.3 色相カテゴリからの色選択

図3に示すような色相カテゴリに分割された場合、カテゴリAとD、カテゴリBとDがそれぞれ反対色の関係に対応する色相カテゴリである。画像の色は照明光の影響を受けているが、黒体放射軌跡をはさんだ色同士が反対色の関係にあることは照明光の影響を受けにくい。そこで、反対色の関係にある色相カテゴリから色を選択することによって、灰色仮説を満たすような色の組み合わせを得ることができると考えられる。

図2の処理フローに示すように、最初の色は任意に選択するが、その後は反対色に対応する色相カテゴリから順次、色を選択する。具体的には、最初の色が色相カテゴリAに属している場合には、次の色を選択する。例えば、2色の平均値が色相カテゴリCの近傍である場合には、色相カテゴリBに属する色から3番目の色を選択する。同様に、3色の平均値に近い色相カテゴリとは反対色の関係にある色相カテゴリから4番目の色を選択する。この

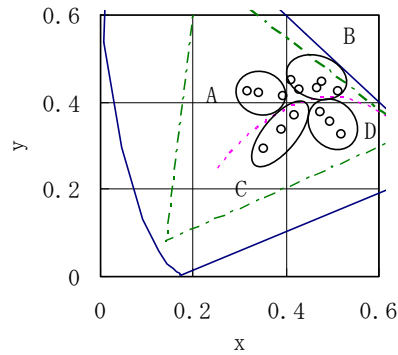


図3：色相カテゴリへの分割

Fig.3: An example of hue categorization.

ように、平均値の色に応じて次に選択する色相カテゴリを求め、色を選択する。

なお、本提案手法では、平均値を計算する毎に2.2節に示した灰色仮説の判定条件を適用する。仮説成立と判定された場合には平均値を照明光の色として推定し、不成立と判定された場合には、次の色選択を行う。

3.4 推定精度の評価

本報告では、正解の照明光と、提案手法もしくは従来手法によって得られた照明光の推定値との色差で推定精度を評価する。色差が小さいほど推定精度が良いことを表す。色差は、人間の知覚との対応関係が良いと言われている均等色空間の $u'v'$ 色度を用い、この色空間内のユークリッド距離として求める。 $u'v'$ 色度は XYZ 三刺激値から以下の式にしたがって変換される。

$$u' = \frac{4 \cdot X}{X + 15 \cdot Y + 3 \cdot Z}, \quad v' = \frac{9 \cdot Y}{X + 15 \cdot Y + 3 \cdot Z} \dots\dots\dots(10)$$

4. 実験

4.1 実験方法

本章の実験においては、照明光と物体の表面反射率を設定し、物体からの反射光の色に基づいて提案手法と従来手法による照明光色の推定結果を比較することによって、提案手法の有効性を示す。

照明光は、白熱灯に対応する A 光源（色温度 2856 K）、昼光を表す D_{65} 光源（色温度 6504 K）、および、高色温度の照明光として 15000 K の色温度をもつ黒体放射の3種類とする。物体の方は、現実に存在する自然素材および人工素材の表面反射率のデータ[10]から30種類を任意に選択する。図4に実験で用いた照明光の分光特性と物体の表面反射率を示す。図4(a)は3種類の照明光の分光分布であり、(b)は“flower & leaves”（実線），“paint”（破線）および“oil paint”（点線）のグループに属する表面反射率の一例である。図5に照明光と表面反射率から得られる反射光の色を色度図上に示す。図中、○が個々の表面反射率をもつ物体領域の色度、点線の曲線が黒体放射軌跡、黒体放射軌跡上の×が照明光の色を表す。図5より、光源A下の色分布は、全体に右上の方（橙・黄の色）に色の偏りが見られ、照明光の色温度の上昇につれて左側（青みがかかる）にシフトする傾向がある。このように照明光の色の違いによって色分布が全体的に変化することがわかる。本提案手法では、図5に示した情報から図2の処理フローに基づいて照明光の色を推定する。なお、従来手法は2.1節で説明したように画像の平均値、即ち、図5に示す色の平均を照明光の色として推定する手法である。また、 $th_1=0.01$, $th_2=0.001$ とした。

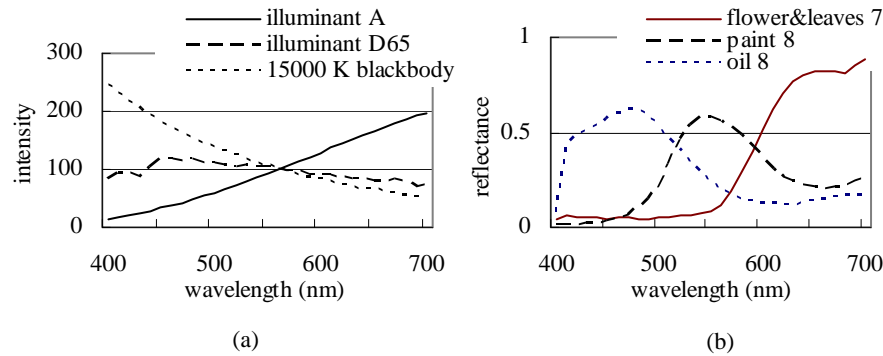


図4 実験で使った照明光の分光分布と表面反射率の例

Fig.4 Illuminant distribution and samples of surface reflectance set used in the experiment.

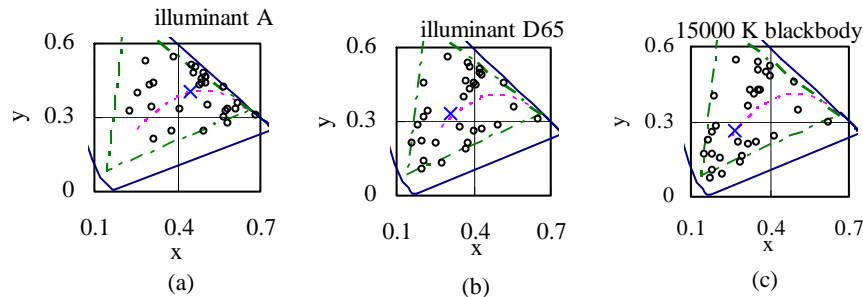


図5 3照明光下における色分布

Fig.5 Distribution of colors under the illuminant used in the experiment.

4.2 実験結果

提案手法および従来手法による照明光色の推定結果を図6に示す. 図6に初期値(最初に選択する色, 図1の処理②)を乱数で変えた場合(5試行分)の提案手法による推定結果(○)と従来手法による推定結果(△)を示す. 図中, ×は正解の照明光, 点線の曲線は黒体放射軌跡を表す. 図6より, 提案手法による推定照明光の色は, 初期値によって多少の変動はみられるが, 従来手法による推定値と比較して正解の照明光の近傍にあることがわかる. 提案手法および従来手法による推定誤差を表1に示す. 表1に示す推定誤差は正解の照明光と推定照明光の u^*v^* 色度図上のユークリッド距離

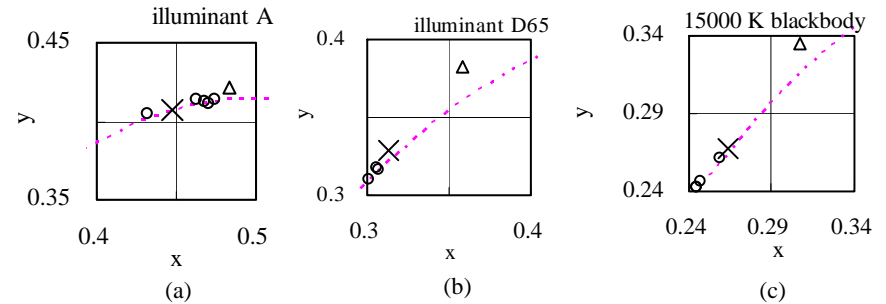


図6 提案手法と従来手法による照明光色推定結果

Fig.6 Estimation results both by the proposed method and conventional one.

表1 照明光色の推定誤差の比較

Table 1 Result of estimation error.

	proposed method			conventional method
	minimum error	maximum error	average error	
illuminant A	0.009	0.016	0.012	0.019
illuminant D ₆₅	0.008	0.021	0.013	0.034
15000 K blackbody	0.005	0.025	0.018	0.047

である. 提案手法に関しては, 初期値を変えて(5試行)照明光色を推定した際の推定誤差の最大値, 最小値および平均値を示す. 提案手法による推定誤差の最大値よりも従来手法による推定誤差の方が大きく, 最小値は MacAdam の均等楕円[11]の短径(=0.01)よりも小さい. このことは, 照明光の推定値と正解の照明光の色との差を人間が区別できないことを示している.

4.3 考察

図6, 表1において, D₆₅および15000 Kの色温度の黒体放射を照明光とした場合に従来手法による照明光の推定誤差が大きい原因を考察する. 両者いずれも正解値(図6の×)の右上方の位置, 即ち橙の色にシフトした位置に照明光の色が推定されている(図6の△). この理由として, 図5の色分布において橙から黄にかけて複数の色が集中していることが起因すると考えられる. A光源の場合も同様に色分布の偏りは見られるが(図5(a)), 照明光の色自体が橙に近い色(低色温度)であるため, 他の2

照明光の場合と比較して推定誤差が小さくなったと考えられる。一方、提案手法の場合は、全ての色を平均せずに、灰色仮説を満たすような色の組み合わせを求め、選択された色の平均から照明光色の推定を行ったため、上述のような色の偏りによる影響を受けなかったと考えられる。

そこで、提案手法によって選択された色が灰色仮説を満たしているか否かを検証する。提案手法において推定誤差が最小となる場合に選択された色に対し、表面反射率の平均から得られる色と灰色との色差を表2に示す。表2中にある従来手法は、全ての表面反射率の平均を用いた場合の結果である。表2より、提案手法によって選択された色の平均は照明光の色に関わらず灰色に近いが、従来手法の場合は橙から黄にシフトした色になっている。このことは、図6および表1において従来手法による照明光推定値が橙方向に偏った結果になっていることと合致する。以上のことから、提案手法により、色の偏りの影響を受けずに灰色仮説を満たす色の組み合わせが選択できること、および選択された色から照明光の色を推定できることが示された。

また、図6、表1より、提案手法における初期値の違いによって推定値、推定精度に多少のばらつきが生じていることがわかる。推定精度をより高めるためには初期値による影響を小さくすることが必要であると考えられる。さらに、本報告では色相カテゴリを黒体放射軌跡の上部、下部それぞれを左右に分割した場合を示したが、分割数による照明光推定精度への影響についても今後、検討が必要であると思われる。

5. まとめ

本報告では、色相に着目して灰色仮説に基づく照明光色の推定手法を提案した。従来手法では、画像中の物体の色を平均すると灰色になるという仮説を前提としているため、仮説が成立しない場合には照明光色の推定精度が悪くなるという問題があった。そこで、画像中の物体領域の色を類似の色相をもつカテゴリに分割し、反対色の関係になるように各色相カテゴリから色を選択する手法を提案し、灰色仮説成立可否を判定することによって照明光推定を行った。実験の結果、物体の色の平均が灰色とはならないデータセットに対して、灰色仮説を満たす色の組み合わせを選択できること、および、選択した色に基づいて照明光の色を従来手法に比較して精度よく推定できること、を示した。

今後は、他の表面反射率のデータに対しても本手法を適用して本提案手法の性能を評価すると共に、色相カテゴリへの分割数、初期値による照明光推定精度への影響を検討し推定精度向上を図る予定である。

謝辞 日頃より議論いただく NTT サイバースペース研究所画像メディア通信プロジェクト荒川プロジェクトマネージャおよびプロジェクトメンバに感謝いたします。

表2 選択した色の平均色度と灰色に対する色差
 Fig.2 An average of selected colors and color difference to gray

	gray	proposed method			conventional method
		illuminant A	illuminant D65	15000 K blackbody	
xy chromaticity	(0.333, 0.334)	(0.312, 0.326)	(0.331, 0.321)	(0.336, 0.336)	(0.381, 0.384)
color difference		0.014	0.008	0.002	0.033

参考文献

- 1) <http://www.youtube.com/>
- 2) 武下, “撮像装置”. 特開 2002-290988.
- 3) 須藤, “白バランス制御方法及び装置”. 特開平 11-205812.
- 4) G.J.Klinker, S.A.Shafer, T.Kanade, “Using a color reflection model to separate highlights from object color”, Proceedings of the First International Conference on Computer Vision, pp.145-150 (1987).
- 5) Shoji Tominaga, “Dichromatic reflection models for a variety of materials”, Color Research and Application, Vol.19, No.4, pp.277-285 (1994).
- 6) L.T.Maloney, B.A.Wandell, “Color constancy: A method for recovering surface spectral reflectance”, Journal of the Optical Society of America A, Vol.3, No.1, pp.29-33 (1986).
- 7) R.Gershon, A.D.Jepson, “The Computation of color constant descriptors in chromatic images”, Color Research and Application, Vol.14, No.6, pp.325-244 (1989).
- 8) G.Buchbaum, “A Spatial processor model for object colour perception”, Journal of the Franklin Institute, Vol.310, No.1, pp.1-26 (1980).
- 9) 川村, 乾, 鈴木, 徳永, “複数枚の画像を用いた, 灰色仮説に基づく照明光推定法”, 信学技報, PRMU96-64, pp.37-42 (1996).
- 10) ISO/TR 16066, “Standard object colour spectra database for colour reproduction evaluation (SOCS)”, 2003.
- 11) MacAdam, D.I., “Visual sensitivities to color differences in daylight”, Journal of the Optical Society of America, Vol.32, No.5, pp.247-274 (1942).