

日照変化を考慮した屋外シーンの分光反射率推定

榎原 靖[†] 野口 裕之[†] 向川 康博[†] 八木 康史[†]

[†] 大阪大学 産業科学研究所

〒 567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1

E-mail: †{makihara,h-noguti,mukaigaw,yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp

あらまし 近年、より正確な物体モデリングや物体認識を目的として、分光分布画像に関する研究が盛んに行われている。本研究では屋外シーンのモデリングの際に問題となる日照条件の変化を考慮して、シーンの分光反射率を推定する手法を提案する。本手法では、屋外シーンの照明を直接光である太陽光と周囲光である天空光の重み付き線形和であると仮定して、それらの関係を同一物体の日向と日陰部分より学習する。次に、学習した太陽光と天空光の関係に基づいてシーン中から同一反射率を持つ日向と日陰の組を抽出することで、それらの点の日照条件及び分光反射率を推定する。実験では、日照変化を含むシーンを対象として分光反射率推定を行い、同一物体の分光反射率が異なる照明条件に対しても安定に得られることを確認した。

キーワード 分光分布, 色恒常性, 日照変化, 屋外シーン

Spectral Reflectance Estimation of Outdoor Scene Considering Daylight Changes

Yasushi MAKIHARA[†], Hiroyuki NOGUCHI[†], Yasuhiro MUKAIGAWA[†], and Yasushi YAGI[†]

[†] The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047, Japan

E-mail: †{makihara,h-noguti,mukaigaw,yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp

Abstract Recently, studies on spectral image processing have gained more attentions for more precise object modeling and object recognition. We propose a method of spectral reflectance estimation of outdoor scene considering daylight changes. First, we assume that outdoor illumination is represented as a weighted linear combination of sunlight as direct light and skylight as ambient light, and we learn the relation between them using a pair of sunny and shady points of an object. Next, we extract a pair of sunny and shady points of another object based on the learned relation, and estimate illumination and spectral reflectance at each point. Finally, we made experiments on spectral reflectance estimation of outdoor scene with daylight changes, and confirmed that the proposed method stably estimated spectral reflectance under different illumination conditions.

Key words Spectral power distribution, Color constancy, Daylight change, Outdoor scene

1. はじめに

これまで、コンピュータビジョンやコンピュータグラフィックスの分野では、人間の色知覚に合わせて RGB 値による画像処理研究が数多く行われてきた。しかし、実際の可視光は波長毎に強度を持つ分光分布で表されるものであり、RGB 値より遥かに豊富な情報を含んでいる。近年、これらの分光分布画像に関する研究が盛んに行われている。

例えば、物体認識において、分光反射率が異なる物体であるにもかかわらず、通常のカメラで撮影した RGB 値が同じになるという問題が知られている。そのような物体を、分光分布の情報を利用して識別する研究が行われている [5] [6]。ま

た、人間の目に見えない近赤外の波長帯域に、植物がその種類毎の葉の構造で決まる反射率を有していることを利用して、植物の種類や活性度を解析する研究 [1] [2] が行われている。その他にも通常の RGB 値では得られない自然の情報を、分光分布画像から取得する研究 [3] [4] が数多くされている。

また、一般に分光分布の観測データには、物体固有の色だけではなく撮影時の照明色の影響も含まれるため、そこから照明の影響を取り除いて物体固有の分光反射率を求める色恒常性 [8] に関する研究が行われている。例えば分光反射率が既知の標準白色板を用いて撮影時の照明の分光分布を求めて、シーン中の他の物体の分光反射率を推定することで、様々な照明下での仮想的な物体色を再現する研究 [7] が行われている。しかし、こ

れまでの分光分布画像処理の分野では、屋外シーンの日照変化があるような場合の分光反射率推定に関する研究は行われていない。

一方で、RGB 画像に対する色恒常性の研究も数多く行われており、照明光や分光反射率を少数の基底関数で表現する [9] [10] ことで得られる有限次元線形モデル [11] に基づいた色恒常性の手法が提案されている。川上ら [12] は、屋外シーンの照明を太陽光と天空光の組み合わせで表現することで、シーンの反射率を推定した。しかし、これらの手法はあくまで RGB 値の復元を行うため、分光反射率は得られない。

そこで、本研究では屋外シーンの分光分布画像から、半自動的に物体の分光反射率を推定する手法を提案する。最初に、屋外シーンの照明を直接光である太陽光と周囲光である天空光の重み付き線形和であると仮定して、同一物体の日向と日陰の点をユーザが指定することで太陽光と天空光の関係を学習する。次に、ユーザが対象とする物体中の 1 点を指定して、その点と同じ分光反射率を持つ日向と日陰の組を自動で抽出して、その観測値の違いを利用して各点の太陽光の重み及び分光反射率を推定する。

本論文の構成は以下の通りである。最初に、2. で分光分布画像における分光反射率の推定原理について述べる。3. では屋外シーンの照明モデルについて述べ、次いで 4. で日照変化を考慮した屋外シーンの分光反射率の推定手法を述べる。最後に、5. で分光反射率の推定実験について述べ、6. で本論文の結論を述べる。

2. 分光反射率の推定原理

一般に、照明や物体の色は電磁波の可視光領域 (380nm ~ 780nm) における各波長 λ の強度分布、即ち分光分布として表現される。また、実際に観測される物体の分光分布 $C(\lambda)$ は、入射光の分光分布 $E(\lambda)$ とその物体固有の分光反射率 $R(\lambda)$ の積として、以下のように表現される。

$$C(\lambda) = E(\lambda)R(\lambda) \quad (1)$$

そのため、同じ物体であっても異なる照明条件下で観測されると、異なる分光分布の観測値が得られる。例えば、図 1 に示す分光反射率を持つ標準白色板を異なる照明条件下で撮影すると、図 2 のように異なる分光分布が得られる。よって、物体固有の分光反射率 $R(\lambda)$ を推定するためには、以下のように観測値 $C(\lambda)$ を入射光の分光分布 $E(\lambda)$ で除算する必要がある。

$$R(\lambda) = \frac{C(\lambda)}{E(\lambda)} \quad (2)$$

シーン中の照明条件が一定である場合には、光源を直接観測して入射光の分光分布 $E(\lambda)$ を取得することで、式 (2) により

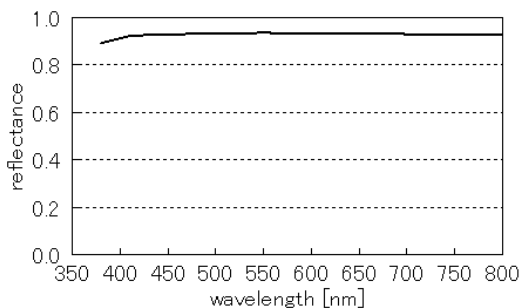


図 1 標準白色板の分光反射率

シーン中の各点の分光反射率を算出することができる。

また、入射光の直接計測が困難な場合には、シーン中に分光反射率が既知である参照物体 (例えば標準白色板等) を設置して対象物体と共に観測することで、対象物体の分光反射率 $R(\lambda)$ を算出することができる。具体的には、参照物体の分光反射率を $R_{ref}(\lambda)$ とすると、その観測色は以下のように表される。

$$C_{ref}(\lambda) = E(\lambda)R_{ref}(\lambda) \quad (3)$$

よって、式 (1)(3) より、入射光 $E(\lambda)$ を消去することで、対象物体の分光反射率 $R(\lambda)$ が以下のように求まる。

$$R(\lambda) = \frac{C(\lambda)}{C_{ref}(\lambda)} R_{ref}(\lambda) \quad (4)$$

しかし、屋外シーンにおいては日向と日陰といった日照変化があるため、シーン中の各点に対する入射光強度 $E(\lambda)$ が異なる。そのため、シーン中の全点を共通の入射光強度で除算して分光反射率を算出することができない。このような問題を扱うために、次節以降ではシーン中の日照変化を考慮した分光反射率推定について述べる。

3. 屋外照明のモデル

3.1 太陽光と天空光による照明モデル

屋外シーンにおける照明としては、直接光としての太陽光、周囲光としての天空光の二つが支配的であると、建物同士による相互反射については無視できるもの仮定する。太陽光はある方向からの平行光と見なすことができ、物体の向きや太陽光の遮蔽物の有無によって照度が変化する。これにより、太陽光の照度が 0 となる日陰や、太陽光の照度が正となる日向といった日照変化が生じることになる。一方、天空光は太陽光が地球を取り巻く大気によって散乱した光であり、天空半球上の各点から入射する周囲光と仮定することができる。よって、天空光は物体の向きによらず一定の照度で照らすもの考える。これより、屋外における入射光強度モデル \hat{E} は、天空光 $E_{sky}(\lambda)$ と太陽光 $E_{sun}(\lambda)$ の重みつき線形和として、以下のように表すことができる。

$$\hat{E}(\lambda) = E_{sky}(\lambda) + wE_{sun}(\lambda) \quad (5)$$

ここで、 w は太陽光に対する重みであり、シーン中の各点で異なる値を持つ。例えば、日向の点では正数となり、日陰の点では 0 となる。よって、太陽光と天空光が求まっていれば、各点の照度は重み w の変化で表すことができる。また、対象物体がランバート面であると仮定すると、分光反射率 $R(\lambda)$ を持つ物体の観測モデル $\hat{C}(\lambda)$ は以下で表される。

$$\hat{C}(\lambda) = R(\lambda)(E_{sky}(\lambda) + wE_{sun}(\lambda)) \quad (6)$$

以下では、この太陽光と天空光の取得方法について述べる。

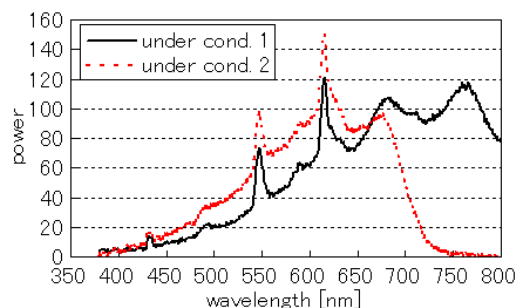


図 2 異なる照明条件下における標準白色板の分光分布の観測値

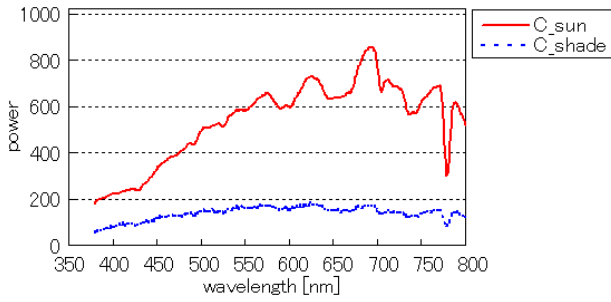


図 3 天空光の計算に用いた日向・日陰の分光分布

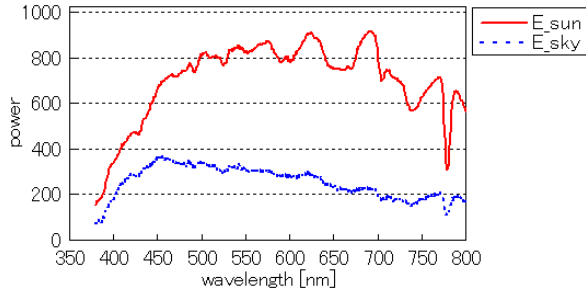


図 4 太陽光と天空光の分光分布

3.2 太陽光と天空光の取得

太陽光については、シーン撮影時の太陽を直接観測することで、取得するものとする。一方、天空光については天空半球上からの均一な照明であると仮定しているため、原理的には天空の適当な 1 点を計測することで得られる。しかし、実際には雲等の影響によって天空は完全に均一になっていてはならず、1 点の計測では安定な計測結果が得られない。

そこで、天空光については観測された屋外シーン中の日向と日陰を利用して学習するものとする。最初に、シーン中から同一分光反射率を持つ物体の日向と日陰の点の組を手動で指定する。ここで、2 点に共通の分光反射率を $R(\lambda)$ とし、学習に用いる日向の点の太陽光重み w を 1 とすると、日向と日陰の点の観測値 $C_{sun}(\lambda)$ 、 $C_{shade}(\lambda)$ は、各々以下のように表すことができる。

$$C_{sun}(\lambda) = R(\lambda)(E_{sky}(\lambda) + E_{sun}(\lambda)) \quad (7)$$

$$C_{shade}(\lambda) = R(\lambda)E_{sky}(\lambda) \quad (8)$$

上式より分光反射率 $R(\lambda)$ を消去することで、天空光 $E_{sky}(\lambda)$ が以下のように得られる。

$$E_{sky}(\lambda) = \frac{C_{shade}(\lambda)}{C_{sun}(\lambda) - C_{shade}(\lambda)} E_{sun}(\lambda) \quad (9)$$

ある照明条件下で直接計測した太陽光と、同一分光反射率の建物の日向と日陰の組 (図 3) より求めた天空光の分光分布を図 4 に示す。図より太陽光は中から長波長帯域にかけて高強度になっているのに対して、天空光は短波長で高強度になっている。この結果は、太陽が黄色やオレンジ色を帯びていて、天空が青みを帯びていると人間が感じることに一致しており、正しく太陽光・天空光が求まっていることが分かる。

4. 屋外シーンの分光反射率推定

4.1 分光反射率の推定方針

最初に、分光反射率の推定方針について述べる。これまで述べてきたように、太陽光の重み w はシーン中の各点で変化して未

知であるため、観測値から各点の分光反射率を個別に求めることはできない。しかし、もし同一反射率で照度が異なる点の組が得られたとすると、その 2 点の観測値の差が太陽光の重み w の差によるものであることから、分光反射率を推定することができる。

そこで、まず分光反射率を求めたい物体中の 1 点を指定するものとして、以下の手順で分光反射率推定を行う。

- (1) 同一反射率・同一照度の点を検出
- (2) それ以外の点から、同一反射率・異なる照度の点を検出
- (3) 検出された点の組から分光反射率を推定

以下では、各々の処理手順の内容について述べる。

4.2 同一反射率・同一照度の点の検出

シーン中の同一反射率・同一照度を持つ点で観測される分光分布は、非常に近い値を取るもの考えられる。よって、観測される分光分布同士の正規化相関を計算して、それが十分に高い値であれば、同一反射率・同一照度の点であるものと見なす。

ここで、同一反射率・異なる照度の点については、太陽光と天空光の分光分布の違いから観測値の正規化相関が高い値にはならないことに注意されたい。そのため、異なる反射率の点に対する正規化相関と比較しても明確な差は得られず、正規化相関のみで同一反射率の点を検出することは困難となる。次節では、そのような太陽光と天空光の違いを考慮した同一反射率・異なる照度の点の検出方法について述べる。

4.3 同一反射率・異なる照度の点の検出

シーン中のある 2 点の分光反射率を各々 $R_1(\lambda)$ 、 $R_2(\lambda)$ 、太陽光重みを w_1 、 w_2 とすると、その観測モデル $\hat{C}_1(\lambda)$ 、 $\hat{C}_2(\lambda)$ は以下ようになる。

$$\hat{C}_1(\lambda) = R_1(\lambda)(E_{sky}(\lambda) + w_1 E_{sun}(\lambda)) \quad (10)$$

$$\hat{C}_2(\lambda) = R_2(\lambda)(E_{sky}(\lambda) + w_2 E_{sun}(\lambda)) \quad (11)$$

ここで 2 点と同じ分光反射率 $R(\lambda)$ を持つと仮定すると、上式から $R(\lambda)$ を消去することで、観測モデルの照明比 $\hat{r}(\lambda; w_1, w_2)$ が以下のように得られる。

$$\hat{r}(\lambda; w_1, w_2) = \frac{\hat{C}_1(\lambda)}{\hat{C}_2(\lambda)} = \frac{E_{sky}(\lambda) + w_1 E_{sun}(\lambda)}{E_{sky}(\lambda) + w_2 E_{sun}(\lambda)} \quad (12)$$

同一反射率の仮定が正しいとすると、観測モデルの照明比 $\hat{r}(\lambda; w_1, w_2)$ は、観測値の照明比 $r(\lambda) = C_1(\lambda)/C_2(\lambda)$ と等しくなるはずである。よって、これらの照明比の相関を最大化する重み w_1, w_2 を、最適な重みとして求め、最大化された相関値が十分に大きければ仮定が正しいものとして見なす方法が考えられる。

但し、この最適化問題は非線形であるので、ここでは問題を単純化して、準最適解を求めるものとする。まず、モデルと観測値の照明比の等式を立てて、重み w_1, w_2 について整頓することで以下の線型方程式を得る。

$$C_2(\lambda)w_1 - C_1(\lambda)w_2 = (C_1(\lambda) - C_2(\lambda)) \frac{E_{sky}(\lambda)}{E_{sun}(\lambda)} \quad (13)$$

ここで、変数 w_1, w_2 の数は 2 であり、方程式の数は分光分布の波長帯域数 ($\gg 2$) であるため、変数より方程式の数が多いので、以下の評価関数 S_w を用いて最小自乗法を解くものとする。

$$S_w = \sum_{\lambda} \left\{ C_2(\lambda)w_1 - C_1(\lambda)w_2 + (C_2(\lambda) - C_1(\lambda)) \frac{E_{sky}(\lambda)}{E_{sun}(\lambda)} \right\}^2 \quad (14)$$

ここで、重み w_1, w_2 の取り得る範囲については、太陽光の重

みであることから共に非負でなければならない。また、両方の点で共通の分光反射率を持つことから、観測値 $C_1(\lambda)$ 、 $C_2(\lambda)$ の明るい方の点に対する重みは、暗い方の点に対する重み以上になる必要がある。ここで、明るさは以下の式で定義されるノルムで表現するものとして、 $C_2(\lambda)$ の方が $C_1(\lambda)$ より明るくなるようにしておく。

$$L = \sqrt{\sum_{\lambda} C(\lambda)^2} \quad (15)$$

結局、太陽光の重み w_1, w_2 には以下の制約が加わる。

$$w_2 \geq w_1 \geq 0 \quad (16)$$

よって、式 (14) の評価関数を式 (16) の制約下で最小化する凸 2 次計画法によって、最適重み w_1^*, w_2^* を算出する。

最後に最適重みを用いた照明比モデル $\hat{r}(\lambda; w_1^*, w_2^*)$ と観測値の照明比 $r(\lambda)$ の相関を計算して、それが高い点を同一反射率・異なる照度の点として検出する。

4.4 分光反射率の算出

分光反射率は、前節で求められた最適な重みを用いて、同一反射率・異なる照度の点の組に対する観測モデルと観測値の分光分布の最小自乗法によって算出する。具体的な評価関数 S_R は以下の通りになる。

$$S_R = \sum_{i=1}^2 \sum_{\lambda} (R(\lambda)(E_{sky}(\lambda) + w_i^* E_{sun}(\lambda)) - C_i(\lambda))^2 \quad (17)$$

これより、最適な分光反射率 $R^*(\lambda)$ は以下のように求まる。

$$R^*(\lambda) = \frac{\sum_{i=1}^2 (E_{sky}(\lambda) + w_i^* E_{sun}(\lambda)) C_i(\lambda)}{\sum_{i=1}^2 (E_{sky}(\lambda) + w_i^* E_{sun}(\lambda))^2} \quad (18)$$

5. 実験

5.1 分光分布画像の取得

屋外シーンの分光分布を取得するために、ラインスキャン型の分光器として JFE テクノリサーチ株式会社製の IMspector を用いた。本カメラでは、各画素に対して波長帯域 380nm から 1050nm の 754 の離散値による分光分布が得られ、1 ラインの画素数は 480 である。今回は、この分光分布から、可視光の波長帯域として 380nm から 800nm の 457 の離散値を利用した。

ラインスキャン型の分光器を用いて 2 次元画像を得るために、図 5 に示すように分光器をターンテーブルに載せて回転させながらシーンを撮影した。ここで、撮影中の照明条件の変化は十分に小さく、無視できるものと仮定する。異なる照明条件(昼と夕方)に撮影した分光分布画像を RGB 画像に変換したものの^(注1)を図 6 に示す^(注2)。以降の節では、図 6 に示した二つの照明条件下における建物 A,B の分光反射率を推定するものとする。

5.2 同一反射率点の検出結果

最初に、同一反射率・同一照度の点の検出結果について述べる。今回は観測値の正規化相関が 0.997 以上の点を同一反射率・同一照度の点とした。ここでは、昼に撮影した建物 A の日向の点(図 7 の青印の点)を指定した場合の検出結果を、図 7 に緑色で示す。これより、建物 A の日向領域が正しく検出されている

(注1): RGB 画像への変換には CIE の等色関数を用いた。

(注2): 同図の空領域については、分光分布の観測値が一部の波長帯域で飽和しているため、正しい RGB 値にはなっていない

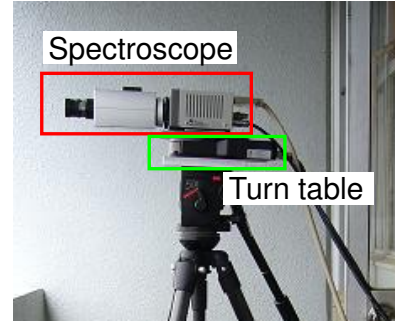
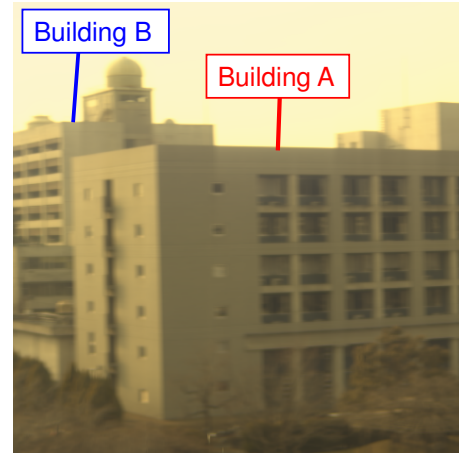


図 5 実験器具



(a) 昼 (noon)



(b) 夕方 (evening)

図 6 分光分布画像から変換した RGB 画像

ることが分かる。

次に、同一反射率・異なる照度の点の検出結果について述べる。照明比の相関と比較を行うため、まず、建物 A,B の日向・日陰の点の観測値に対する正規化相関の計算結果を表 1 に示す。但し、ここでは数値の見易さのため、以下の式で表される正規化相関の逆余弦値 θ で示す。

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\sum_{\lambda} f(\lambda)g(\lambda)}{\sqrt{\sum_{\lambda} f(\lambda)^2 \sum_{\lambda} g(\lambda)^2}} \quad (19)$$

ここで、 $f(\lambda), g(\lambda)$ は相関計算を行う分光分布であり、逆余弦値が小さい程相関が高いことを示す。表より、同じ建物で日照変化がある場合(例えば A_{sun} と A_{shade})と、同じ日照で建物が異なる場合(例えば A_{sun} と B_{shade})の逆余弦値に大きな差

表 1 観測値の正規化相関の逆余弦値 (deg)

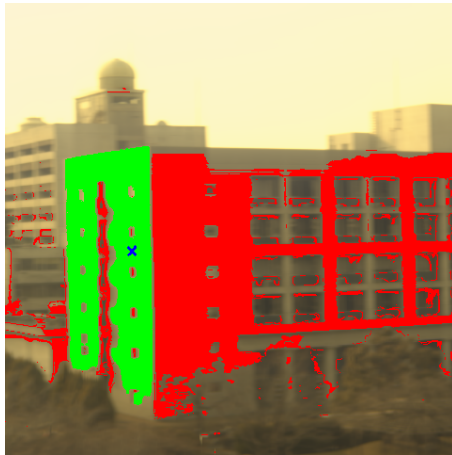
A, B: 建物 ID, sun : 日向, $shade$: 日陰

	A_{sun}	A_{shade}	B_{sun}	B_{shade}
A_{sun}	-	6.1	8.9	14.4
A_{shade}	-	-	8.0	10.9
B_{sun}	-	-	-	6.7
B_{shade}	-	-	-	-

表 2 観測モデルと観測値の照明比の正規化相関の逆余弦値 (deg)

A, B: 建物 ID, sun : 日向, $shade$: 日陰

	A_{sun}	A_{shade}	B_{sun}	B_{shade}
A_{sun}	-	4.9	14.1	22.7
A_{shade}	-	-	13.1	17.6
B_{sun}	-	-	-	4.1
B_{shade}	-	-	-	-



青印: 指定点

緑: 同一反射率・同一照度の点

赤: 同一反射率・異なる照度の点

図 7 建物 A に対する同一反射率点の検出結果

が見られないことから、観測値の正規化相関のみでは、同一反射率・異なる照度の点の検出は困難であることが分かる。

一方、本手法で提案する太陽光と天空光による観測モデルと観測値を用いた照明比の正規化相関の計算結果を表 2 に示す。観測値の直接相関の場合と比較して、同一反射率・異なる照度の点同士の相関が高くなっているのに対して、異なる反射率の点同士の相関が低くなっていることが分かる。これより、照明比による相関が同一反射率・異なる照度の点を検出するのに有効であることが分かる。

ここでは、照明比の相関が 0.985 以上の点を同一反射率・異なる照度の点として検出するものとし、その検出結果を図 7 の赤色で示す。建物の上部において、検出されていない日陰領域が存在するが、これは上方にある空領域で分光分布の飽和により、その下方にある建物にスミアの影響を及ぼしているためである。よって、スミアの部分を除くと、同一反射率・異なる照度の点が正しく検出されていることが分かる。

また、検出の際に得られた各点での太陽光の重み w を図 8 に示す。同一平面の日向領域内でも太陽光の重み w が変化しているが、これは建物の下部への太陽光が他の建物によって一部遮られたことによって半影領域となっているためである。

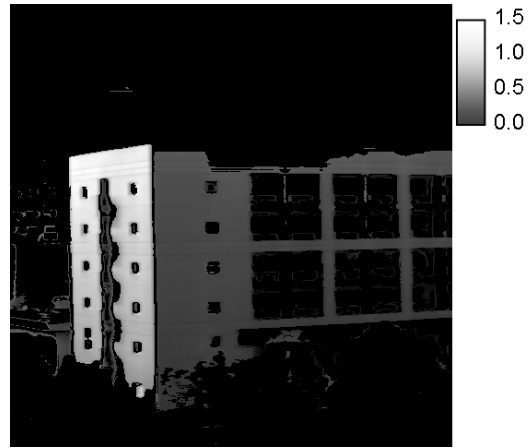


図 8 建物 A に対する太陽光の重み w の算出結果

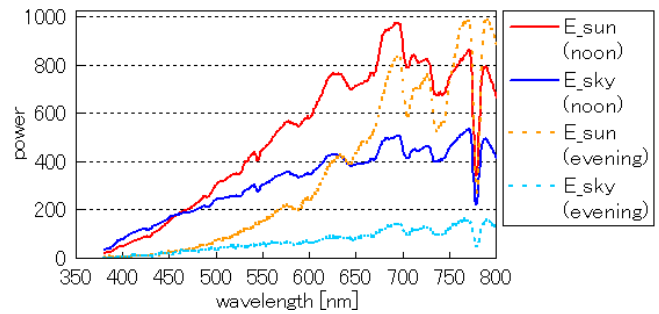


図 9 異なる照明条件に対する太陽光と天空光の分光分布

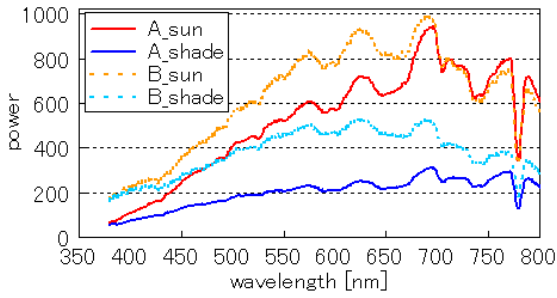
5.3 分光反射率の推定結果

最後に、異なる照明条件下でも安定して分光反射率が算出されることを確かめるために、図 6 に示す異なる照明条件下の建物 A, B について分光反射率推定を行った。前節で求められた同一反射率・異なる照度の点の組の一つを用いて、式 (18) によって分光反射率を推定した。各照明条件における太陽光と天空光の分光分布を図 9 に、推定に用いた各建物の日向・日陰の分光分布の観測値を図 10 に示す。夕方になると太陽光が赤みを帯びるため、図 9 の夕方の太陽光の分光分布が短波長帯域で低強度になっており、それに伴い図 10(b) の観測値も短波長帯域で低強度になっていることが分かる。

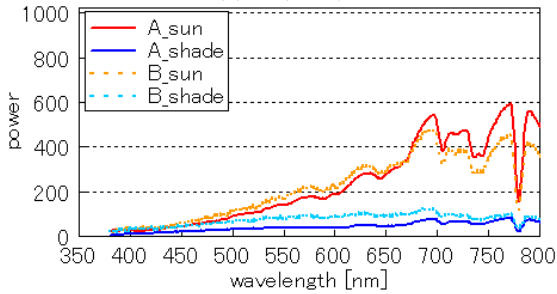
これらの分光分布によって推定した分光反射率を図 11 に示す。結果より、長波長帯域 (530nm 以上) に対しては、建物毎に異なる分光反射率が推定され、670nm 辺りで反射率が逆転していることが分かる。また、各建物の分光反射率が、照明条件の違いによらず比較的安定に推定されていることが分かる。

一方、それより短い波長帯域に対しては、同じ建物でも照明条件が異なると、分光反射率が大きく異なっていることが分かる。これは、図 9 に示すように、夕方の照明条件においては、青色に相当する短波長領域の光強度が非常に小さくなり、分光反射率を推定する式 (18) の分母が 0 に近くなるために推定結果が不安定になるためである。一般的に、光源に含まれない波長帯域については、分光反射率を求めることは不可能であるので、このような波長帯域については、あらかじめ推定対象から除いておく必要がある。

そこで、今回は 530nm 以上の波長帯域に限った場合の分光反射率の推定精度評価を行う。評価には、推定された分光反射率同士の正規化相関を用い、その逆余弦値を表 3 に示す。これより、異なる照明条件下に対しても同じ建物の分光反射率の相



(a) 昼 (noon)



(b) 夕方 (evening)

図 10 異なる照明条件に対する分光分布の観測値

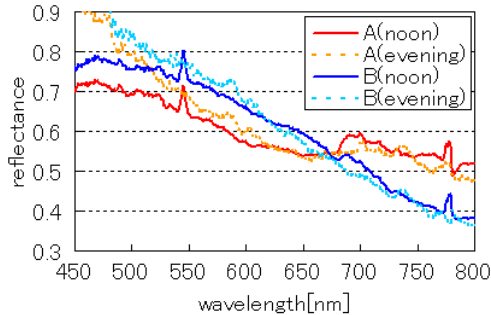


図 11 異なる照明条件で推定した分光反射率

表 3 推定された分光反射率の正規化相関の逆余弦値 (deg)

A, B: 建物 ID, noon: 昼, evening: 夕方

	A_{noon}	$A_{evening}$	B_{noon}	$B_{evening}$
A_{noon}	-	2.7	9.0	10.5
$A_{evening}$	-	-	7.1	8.3
B_{noon}	-	-	-	2.5
$B_{evening}$	-	-	-	-

関は非常に高くなっており、逆に異なる建物に対しては同じ照明条件・異なる照明条件の両方に対して低くなっていることが分かる。これより、本手法によって安定に分光反射率が推定可能であることが分かる。

6. おわりに

本研究では、シーン中の場所による日照変化を考慮して、照明変化に依存しない屋外シーンの分光反射率の推定手法を提案した。

最初に、屋外シーンの照明を、太陽からの直射光と周囲光である天空光の線形和であると仮定し、太陽光の重みの変化で屋外シーンの日照変化を表現した。天空光は、同じ分光反射率を持つ物体の日向と日陰の箇所を手動で指定することで算出した。次に、ユーザが指定した点に対して、同一反射率・異なる照度

の点を、照明比の正規化相関によって自動検出することで、分光反射率を推定した。

実験では、異なる二つの照明条件下で撮影した分光分布画像の二つの建物に対して分光反射率推定を行った。結果として、光源中である程度の強度を持つ波長帯域については、照明条件の変化によらず建物毎に分光反射率が安定に推定できることを確認した。

今後の課題としては、照明変化に対する分光反射率の安定性に加えて、分光反射率の精度評価を行うことが挙げられる。そのためには、標準白色板による分光反射率の計測結果を真値として比較することが考えられる。

また、本論文では屋外照明モデルとして天空光と太陽光の線形和を用い、相互反射については影響が小さいために無視できるものと仮定した。また、反射面としては拡散反射が支配的であるとしてランバート面を仮定した。よって、より多くのシーンを対象とした実験により、これらの妥当性について検討する必要がある。特に、今回の実験では平面で構成される建物を主な対象としていたため、今後は球や円筒等の多様な法線からなる物体を含むシーンに対する実験が必要である。

更に、今回は日向・日陰の2点を用いて分光反射率推定を行ったが、同一分光反射率領域へのシーンの自動クラスタリングを行い、クラスタ中の全点を利用して分光反射率を推定することで、推定結果をより安定で高精度にすることも課題である。

文 献

- [1] 川戸 渉, 土田 聡, 西田 顕郎, “短波長赤外反射を用いた植物群落の水分状態の推定,” 日本リモートセンシング学会第 37 回 (平成 16 年度秋季) 学術講演会, 2004.
- [2] 阿部了, 高橋文穂, 奈倉理一, “植物の蛍光応答による環境ストレス研究,” 第 39 回 (平成 17 年度秋季) 学術講演会, 2005.
- [3] 一戸慎也, 丹波澄雄, 飯倉善和, “中間赤外と熱赤外を併用した山岳地域での積雪域の抽出法の検証,” 第 39 回 (平成 17 年度秋季) 学術講演会, 2005.
- [4] 村山利幸, “多波長ライダーによるエアロゾルの類型化に関する研究,” 第 5 回 CEReS 環境リモートセンシングシンポジウム.
- [5] 眞鍋佳嗣, 佐藤宏介, 井口征士, “物体認識のためのスペクトル画像による材質の判別,” 電子情報通信学会論文誌, vol. J79-D-2, no. 1, pp. 36-44, 1 月, 1996.
- [6] 中野恵一, 小宮康宏, “マルチスペクトルカメラを用いた物体識別,” 応用物理, vol. 65, no. 5, pp. 496-499, 1996.
- [7] 内山俊郎, 土田勝, 山口雅浩, 羽石秀昭, 大山永昭, “マルチスペクトル撮影による光源環境計測とスペクトルに基づく画像生成,” 電子情報通信学会技術研究報告 PRMU2005-132, Jan. 2006.
- [8] B.A. Wandell, “Foundation of Vision,” Sinauer Associates, Sunderland, MA, 1995.
- [9] D.B. Judd, D.L. Macadam, and G.W. Wyszecki, “Spectral distribution of typical daylight as a function of correlated color temperature,” J. Opt. Soc. Am., vol. 54, pp. 1031-1040, 1964.
- [10] J. Cohen, “Dependency of the spectral reflectance curves of the Munsell color chips,” Psychonomical Science, vol. 1, pp. 369-370, 1964.
- [11] D. H. Marimont and B. A. Wandell, “Linear models of surface and illuminant spectra,” J. Opt. Soc. Amer., vol. 11, 1992.
- [12] 川上玲, R.T. Tan, 池内克史, “光源色の違いを利用した単画像からのロバストな物体色推定,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2005) 論文集, pp. 228-235, 兵庫, 7 月, 2005.