

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25730104

研究課題名(和文) 全方位分光HDR画像を用いたシーン光源情報の獲得と解析及び画像再現への応用

研究課題名(英文) Acquisition of Scene Illuminant Information using Omnidirectional Spectral HDR Imaging and its Application to Image Rendering

研究代表者

平井 経太 (Hirai, Keita)

千葉大学・融合科学研究科(研究院)・助教

研究者番号：30583405

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：現在の高度化した映像情報社会において、コンピュータビジョンやコンピュータグラフィックスなどの「色や物体の見え」を研究する分野で培われてきた技術は非常に大きな役割を占めている。このような色や物体の見えに関する研究分野において、物体を照明する「シーン中の光源情報」が重要となるが、その獲得や解析、再現に関する研究はほとんど進んでいない。そこで本研究課題では、(1)全方位分光HDR画像の計測システム、(2)分光分布推定アルゴリズム、(3)シーン光源の特性解析、(4)物体の見えの画像再現に着目し、その問題点を克服することで、シーン光源及び物体の見えに関する研究の基盤技術を構築することを目指した。

研究成果の概要(英文)：In the recent society with high-grade information media technology, it is important to clarify the "appearance on objects and colors". In these research fields, scene illuminant information is significant because the illumination condition is one of the important factors to represent the appearance. However, the current technologies on the acquisition, analysis and rendering of illuminant information were not sufficient. Therefore, this research project aimed to develop the fundamentals for scene illumination and object color appearance. For realizing the purpose, we focused the following contents: (1) Development of omnidirectional spectral HDR image acquisition system, (2) Algorithm for accurate spectral estimation, (3) Analysis of scene illuminant spectral information and (4) Scene rendering based on the above analysis results.

研究分野：色彩画像処理

キーワード：全方位画像 HDR画像 分光画像 分光CGレンダリング シーン光源 光源解析 分光データ解析

### 1. 研究開始当初の背景

現在の高度化した映像情報社会において、コンピュータビジョン(CV)やコンピュータグラフィックス(CG)などの物体の見えを研究する分野で培われてきた技術は非常に大きな役割を占めている。このような物体の見えに関する研究分野において、物体を照明するシーン中の光源情報は非常に重要である。シーン光源は太陽や天空からの直接光及びシーン中の物体から反射した間接光から構成されるため、全周囲の情報を考慮する必要がある。また、自然シーンは明るい太陽から影のような暗い場所までの広い輝度レンジ(ハイダイナミックレンジ:HDR)を含み、それらの分光分布は多種多様にわたる。そのため、全方位分光 HDR 画像をシーン光源情報として扱う必要がある。このようなシーン光源情報は自然シーン解析や画像生成など、CV や CG などの物体の見えに関連する研究分野において非常に有用であるにも関わらず、その獲得や解析、再現に関する研究はほとんど進んでいない状況であった。

### 2. 研究の目的

本申請研究では、(1)全方位分光 HDR 画像の計測システム、(2)分光分布推定アルゴリズム、(3)シーン光源の特性解析、(4)物体の見えの画像再現に着目し、その問題点を克服することで、シーン光源及び物体の見えの研究の基盤技術を構築する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 全方位分光 HDR 画像の計測システム

従来の計測システムは全方位画像を撮影する際に手動制御部分が多く、15分から20分程度の計測時間を要した。そのため、光源情報(例えば、太陽や雲、影の位置)が計測中に変化し、正確な情報取得が困難になる問題が発生していた。正確なシーン光源情報を獲得するためには、空間的に歪みがない高解像度の全方位画像を短時間で計測するシステムを開発する。

#### (2) 分光分布推定アルゴリズム

従来の分光推定手法は一般的に屋内のような輝度レンジが狭い(ローダイナミックレンジ:LDR)シーンを対象としており、HDR シーンでの推定精度は低下することが知られていた。そのため、HDR シーンを対象とした画像(HDR 画像)からの分光分布推定アルゴリズムを開発する。

#### (3) シーン光源の特性解析

シーン光源は一日の時間帯や季節、天候に大きく依存する。しかしながら、このような時間帯や天候を考慮した様々なシーン光源の計測データや解析結果はこれまでに存在しない。そこで、一日の時間帯、季節、天候等のシーン光源情報を計測することで、全方位分光 HDR 画像に基づいたシーン光

源データベースを作成し、シーン光源の特性解析を行う。

#### (4) 物体の見えの画像再現

上記の成果を CG による物体の見えの再現に応用する。また、獲得・解析したシーン光源により画像・映像の再現性がどの程度向上したかを検証する。

### 4. 研究成果

#### (1) 全方位分光 HDR 画像の計測システム

従来システムでは、手動回転雲台、デジタル一眼レフカメラ、透過率の異なる2枚のフィルタ、魚眼レンズを用いた。フィルタの交換作業や、雲台の回転作業が手動であるため、計測に時間を要していた。フィルタ交換時の時間経過によって、屋外シーンでは特に雲などは短時間の間に移動、消滅し、結果として、最終的に獲得する全方位画像に、偽色のアーチファクトが発生してしまう。また、カメラ制御や雲台の回転に時間を要すると、シーンが変化(太陽が雲に見え隠れ)する可能性がある。それによって、最終的に獲得する全方位画像の繋ぎ目の部分に、補正が困難な明暗の差が発生してしまう。したがって、計測時間を短縮させることは、獲得する全方位画像の質を左右する。

そこで本研究では、プログラマブル自動制御雲台、産業用 RGB カメラ、広角レンズを用いた新たな計測システムを構築した(図1)。カメラを2台使用し、各々のレンズマウント部にフィルタをあらかじめ内包しておくことによって、フィルタ交換作業が不要となる。また、プログラマブル自動制御雲台を用いることによって、雲台の回転が自動かつ短時間で行われる。そのため、計測時間は2~3分となり、大幅に計測時間を短縮した。また、広角レンズを用いることによって、従来の魚眼レンズを用いた場合と比較して、全方位画像の解像度(エッジやテクスチャの鮮明性)を改善した。



図1 構築した計測システム

#### (2) 分光分布推定アルゴリズム

ハイダイナミックレンジ(HDR)シーンにおける色信号推定手法を提案した。センサ出力値から色信号を推定する手法として、

Wiener 推定法が従来広く用いられてきた。Wiener 推定法では、色信号データセットとノイズに関する統計パラメータを必要とする。これらの統計パラメータは推定精度に大きく影響することが知られており、統計パラメータの適切な決定は非常に重要である。しかしながら、HDR シーンに対する適切なパラメータ決定方法については、これまで十分に議論されてこなかった。

本研究では、HDR シーンにおける Wiener 推定法に基づいた色信号推定の精度向上を目的とし、色信号データセットとノイズの統計パラメータを適切に決定する方法を提案した。適切な色信号データセットの決定においては、まず、12402 個の色信号を有するデータベースを用意した。このデータベースから入力画素との xy 色度が近い 50 個の色信号を選択し、最適色信号データセットとして用いた。適切なノイズパラメータを決定するために、本研究では HDR 画像のノイズモデルを構築し、このモデルを最適ノイズパラメータの決定に応用した。本手法の有効性を検証するために、実際の HDR シーンを用いた実験を行った。図 2 に従来手法と提案手法の実験結果 (Normalized Root Mean Square Error, NRMSE) の比較を示す。実験結果により、提案手法による分光推定は従来の Wiener 推定法に比べ、高い推定精度が得られることを確認した。

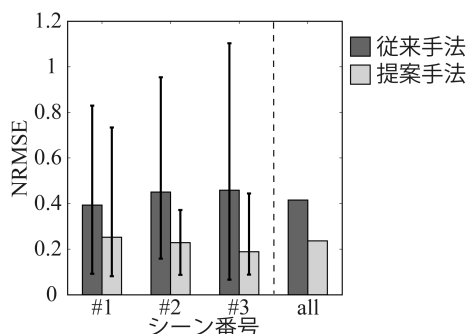


図 2 従来手法と提案手法の推定結果比較

### (3) シーン光源の特性解析

本研究では、特徴的な 3 つの自然シーンにおいて、時間変化に注目した全方位マルチバンド計測を行い、全方位光源分光分布の解析を行った。季節変化、及び 1 日の時系列変化によって生じる自然環境光の変化を解析することによって、シーンの変化の特徴を考察した。また、前述の提案計測システムを用いた 1 日の自然シーンを全方位計測し、解析を行った(図 3)。

上記の 3 つの自然シーンの季節変化データを主成分分析した結果、普遍主成分による分光情報の特徴記述は可能であり、普遍主成分は各実験で計測対象とした 3 つのシーンにおける「時間変化」、及び「シーンの構成」に依存しない全方位光源分光分布の特徴であることが示された。また、1 日の計測データでは早朝や夕刻の時間帯が最も主成分ベ

クトルの変動が顕著であった。そして、全時刻の全方位画像から獲得した共通主成分ベクトルによって、特定の時刻の全方位分光画像を良好に近似復元できることを示した(図 4)。

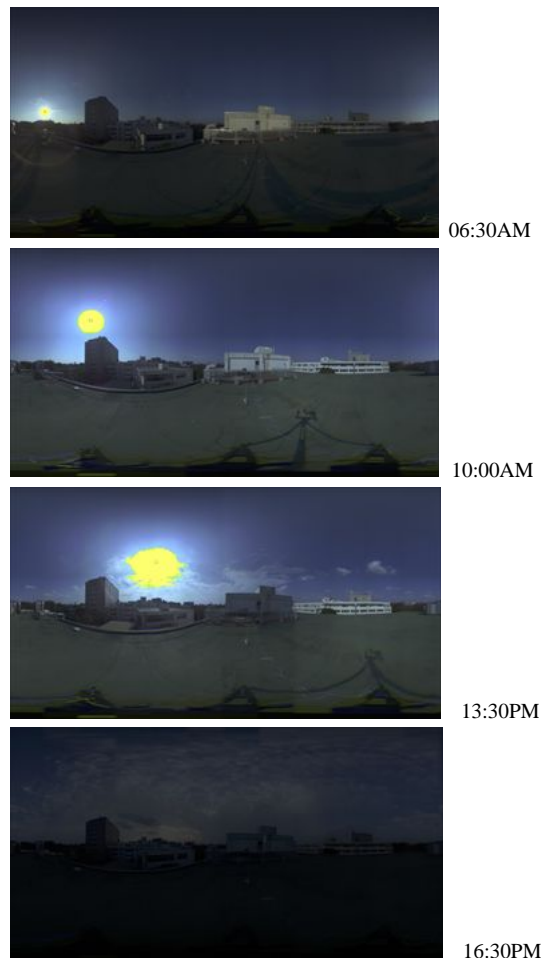


図 3 高頻度タイムラプス計測の全方位画像 (実際には 5 分おきに画像を計測)

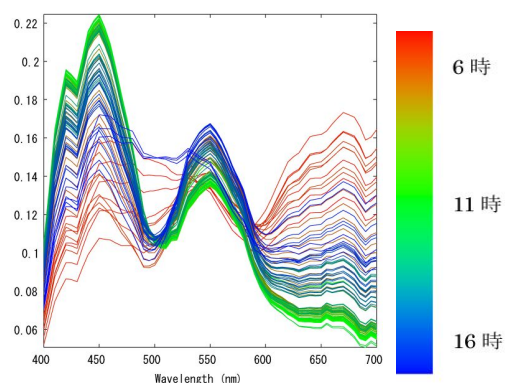


図 4 全時刻の全方位画像における第 1 主成分ベクトル

### (4) 物体の見えるの画像再現

前述した通り、自然シーンは普遍主成分ベクトルを用いることで分光画像を圧縮することが可能である。図 5(a)は、実際の撮影画像であり、シーン内に配置した鏡面球は、周

辺物体からの反射光や天空光などの種々の光源で全方位から照明されている。一方、図 5(b)は、同じ計測条件で計測された全方位画像から推定した分光情報の圧縮データ、及び普遍主成分を用いてレンダリングを行った結果であり、鏡面球は実際に配置されたものではなく仮想物体である。ここで、図 5(b)における鏡面球への周囲環境の写り込みに注目すると、仮想物体でありながら、図 5(a)におけるそれと非常に類似しており、リアルな画像再現がされていることが確認できる。このことにより、普遍主成分による画像レンダリングの有効性が示した。これは、圧縮した全方位分光 HDR 画像データを用いた場合でも、適切な方法で圧縮さえすれば、CG レンダリングを高精度な色再現により実現することが可能であることを示している。



(a) 実際の画像



(b) CG レンダリング画像

図 5 実際の撮影画像と CG レンダリング画像の比較

## 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 3 件)

K.Hirai, N.Osawa, T.Horiuchi and S.Tominaga, "An HDR Spectral Imaging System for Time-Varying Omnidirectional Scene", Proc. 22nd International Conference on Pattern

Recognition, Stockholm, pp.2059-2064, 2014. (査読有, DOI:http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/ICPR.2014.359)

S.Tominaga, D.Watanabe, K.Hirai and T.Horiuchi, "Spectral analysis of omnidirectional color signals in natural scenes", Proc. SPIE, Vol. 9015, Article No.901593, pp.1-9, 2014. (査読有, DOI: 10.1117/12.2039592)

平井経太, 富永昌治, "ハイダイナミックレンジシーンにおける色信号推定", 日本色彩学会誌, Vol.37, No.2, pp.149-158, 2013. (査読有, 論文奨励賞受賞)

〔学会発表〕(計 2 件)

M.Hori, N.Osawa, K.Hirai, T.Horiuchi and S.Tominaga, "Spectral Gigapixel Imaging System for Omnidirectional Outdoor Scene Measurement", Proc. MCS2015, pp.379-384, Tokyo, 21<sup>st</sup> May 2015.

大沢直人, 平井経太, 堀内隆彦, 富永昌治, "全方位分光画像計測システムの時空間特性の改善", 日本色彩学会第 18 回視覚情報基礎研究会, pp.17-20, 東京, 2013 年 12 月 7 日.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

平井 経太 (HIRAI, Keita)

千葉大学・大学院融合科学研究科・助教

研究者番号: 3 0 5 8 3 4 0 5

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

富永 昌治 (TOMINAGA, Shoji)

千葉大学・大学院融合科学研究科・特任研究員

研究者番号: 1 0 1 0 3 3 4 2

堀内 隆彦 (HORIUCHI, Takahiko)

千葉大学・大学院融合科学研究科・教授

研究者番号: 5 0 2 7 2 1 8 1