

# 拡散反射板上で観測される放射輝度を用いた 4次元ライトフィールドの校正

青砥 隆仁<sup>1,a)</sup> 佐藤 智和<sup>1,b)</sup> 向川 康博<sup>2,c)</sup> 横矢 直和<sup>1,d)</sup>

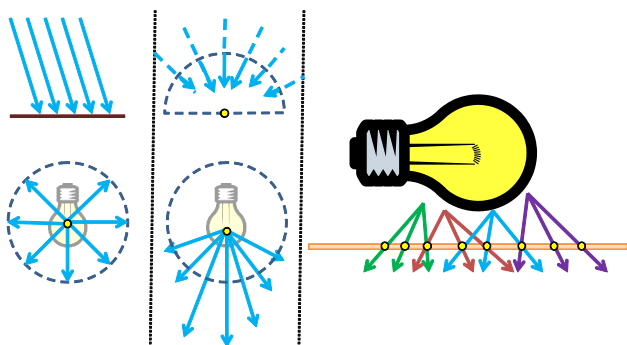


図 1 光源モデル. 左:理想的な光源 (平行光源 (上) と点光源 (下)). 中:2 次元ライトフィールド (角度毎に放射輝度が異なる) 右:4 次元ライトフィールド (平面を通過する位置, 方向毎に放射輝度が異なる).

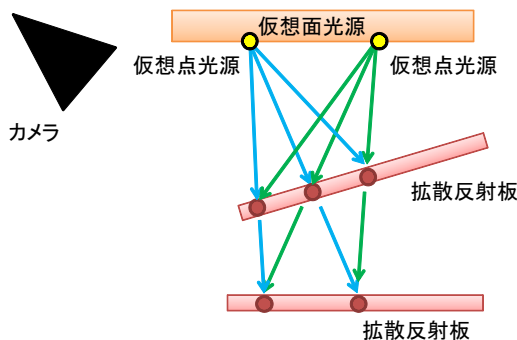


図 2 提案手法のコンセプト画像. 各観測輝度は各光線の重み付き線形和として表現することができる.

## 1. はじめに

物体の見えは, 物体の形状や材質だけでなくシーンの光源環境にも依存する. そのため, 現実世界の複雑な光源情報を獲得・再現することは, 写実的な画像生成のために極めて重要である. CV や CG の分野では, 平行光源モデルや点光源モデルなど比較的単純な光源モデルが広く用いられてきた (図 1 (左)). しかし, 現実世界の光源は非等方的な放射強度や大きさを持つため, これらのモデルを用いて現実世界の複雑な光源情報を表現することは難しい. この問題を解決するために, 光源情報を光線の分布状態 (光線の通過位置と方位) を表す 2 次元または 4 次元ライトフィールドとしてモデル化し (図 1 (中, 右)), そのパラメータを計測・推定する手法が提案されている [1–5]. これらの手法はライトフィールドを能動的・直接的に計測する手法と観測された画像から解析的に推定する手法に大別することができる. 前者として, 光源そのもののライトフィールドを獲得する手法 [2,5] や, シーン内に入射するライトフィールド

を獲得する手法 [1,3,4] がある. これらの手法は, 原理上多数の地点からの密な撮影を必要とする. 一方, 後者のような手法はインバースライティングと呼ばれ, 比較的疎な観測から光源環境を推定できる. しかし, 従来の研究では, 光源を単純な点光源や平行光源の集合として仮定しており, 複雑な光源環境を再現する手法はない.

これに対し本稿では, 三次元位置・姿勢が既知の拡散反射板上で観測される反射光を解析することで, 光線が通過する任意の面上の 4 次元のライトフィールドを推定する手法を提案する. 提案手法は従来手法と比較して, 単純な撮影機構・および少ない疎な撮影画像から複雑なライトフィールドを再構成することが可能であるという特長を持つ.

## 2. ライトフィールドの再構成

4 次元ライトフィールドは, 光線が通過する面上の位置 (2 次元) とその位置を通過する方向 (2 次元) で表現できる. ここでは, 光線が通過する面 (図 1 (右)) を仮想面光源と呼び, 仮想面光源を格子状に分割した格子点を仮想点光源と呼ぶ. 図 2 に示すように, 仮想面光源から放射された光は, 拡散反射板上で反射し, カメラ上で観測される. この時, 拡散反射板上で観測される放射輝度は, 拡散反射板の反射率を重みとした観測位置に入射する光線強度の線形和として表現できる. よって,  $n$  個の観測輝度を並べた列ベクトル  $\mathbf{i} \in \mathbb{R}^n$  と全ての光線の強度を並べた  $m$  個の列ベクトルを  $\mathbf{s} \in \mathbb{R}^m$  とすると,  $\mathbf{i}$  と  $\mathbf{s}$  の関係は光線が観測輝度に与える

<sup>1</sup> 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5  
<sup>2</sup> 大阪大学 産業科学研究所 〒 567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ 8-1  
a) takahito-a@is.naist.jp  
b) tomoka-s@is.naist.jp  
c) mukaiyaw@am.sanken.osaka-u.ac.jp  
d) yokoya@is.naist.jp

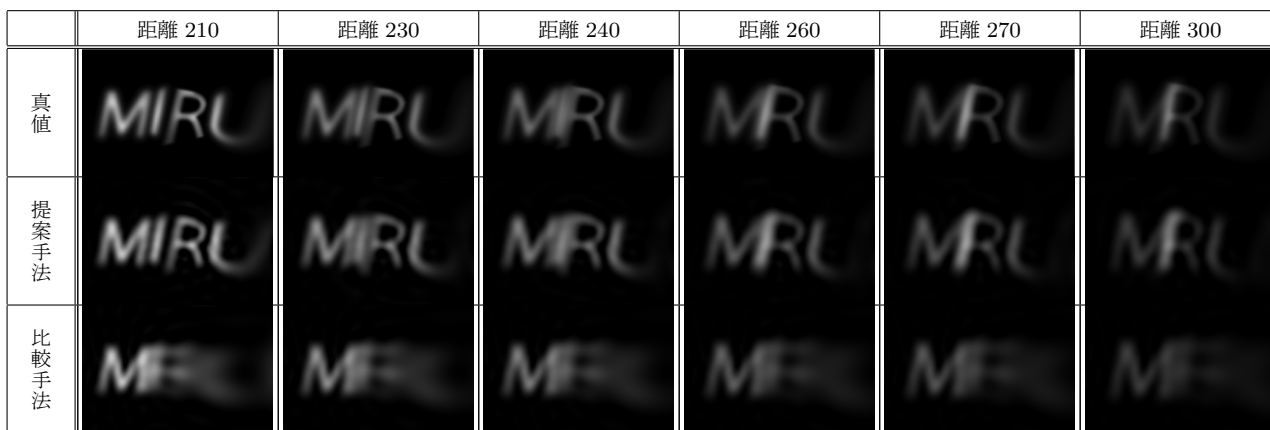


図 3 撮影画像 (上段) およびリライティング結果 (中段・下段). 図上部の距離はカメラ光学中心から拡散反射板までの距離を表す. 提案手法・比較手法ともに球面調和関数の最大次数を 20 として推定した.

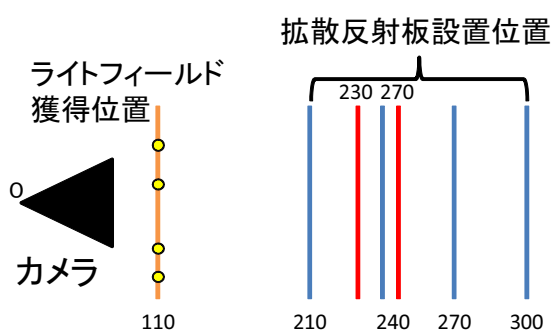


図 4 実験設定. 図中青線:入力画像の拡散反射板設置位置. 図中赤線:比較用画像の拡散板設置位置. 図中黄色点:光源位置 (上から順にそれぞれ M,I,R,U を投影している).

影響を表す影響行列  $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{n \times m}$  を用いて  $\mathbf{i} = \mathbf{A}\mathbf{s}$  と表すことができる. ここで, 拡散反射板のカメラに対する位置・姿勢と反射率が既知である時,  $\mathbf{A}$  は一意に決定される. また,  $n > m$  の時, 理論上は  $\mathbf{s}$  を決定することができる. ただし,  $m$  の数が仮想点光源の数と各仮想点光源の角度分解数に比例して大きくなるため, このままでは解を得るために膨大な計算リソースが必要となる. そこで, 本研究では各仮想光源から放射される放射輝度を実数球面調和関数を用いて近似することにより次元圧縮を行い, 計算コストを削減する.

### 3. 実験

仮想環境において, カメラに対し拡散反射板を正対した状態で設置し, レンダリングした複数の画像 (図 3 上段) を元にライトフィールドを復元し, 獲得されたライトフィールドを元にリライティングを行った. 実験では, 図 4 に示した環境で解像度  $300 \times 200$  の画像を 6 枚撮影し, その内の画像 4 枚 (距離 210, 240, 270, 300) を入力として用いた. また, 拡散反射板の反射特性としてランバート拡散反射を用いた. 図 3 に入力画像, 提案手法によって校正した 4D ライトフィールドを用いてリライティングした結果, 比較手

法によって校正した 2D ライトフィールドを用いてリライティングした結果を示す. 比較手法である 2D ライトフィールドの校正を行う際には, 光源位置を設定する必要がある. ここでは M の投影中心 (図 4 一番上の光源位置) を光源位置として用いた. 上段の画像より距離を変えて撮影した際, 明るさだけでなく模様も変化していることからこの光源が複雑なライトフィールドを持つことが分かる (図 3 上段). そのため, 2D ライトフィールドを復元する比較手法では, 距離に応じて模様が変わるような光源に対応することができず, リライティングした結果全てにおいてボケた状態となってしまう (図 3 下段). 一方, 提案手法は高周波成分まで復元され, 入力に用いなかった距離 (230, 270) でも良好なリライティング結果が得られていることが確認できる (図 3 中段).

### 謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金 (基盤 A, No.23240024) および最先端・次世代研究開発支援プログラムによる.

### 参考文献

- [1] Cossairt, O., Nayar, S. K. and Ramamoorthi, R.: Light Field Transfer: Global Illumination Between Real and Synthetic Objects, *Proc. ACM SIGGRAPH* (2008).
- [2] Goesele, M., Granier, X., Heidrich, W. and Seidel, H.-P.: Accurate lightsource acquisition and rendering, *Proc. ACM SIGGRAPH* (2003).
- [3] Unger, J., Wenger, A., Hawkins, T., Gardner, A. and Debevec, P.: Capturing and rendering with incident light fields, *Proc. Eurographics symposium on rendering* (2003).
- [4] Unger, J., Gustavson, S., Larsson, P. and Ynnerman, A.: Free form incident light fields, *Proc. Eurographics symposium on rendering* (2008).
- [5] 河村拓哉, 岡部考弘, 佐藤洋一: 拡散反射板を用いた光源の放射輝度分布の計測, 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol. 2013-CVIM-186 (2013).