

# 全方位観測による散乱光トモグラフィ

赤司 竜一<sup>1,a)</sup> 石井 育規<sup>3,b)</sup> 長原 一<sup>2,c)</sup> 向川 康博<sup>4,d)</sup> 谷口 倫一郎<sup>2,e)</sup> 八木 康史<sup>5,f)</sup>

## 1. はじめに

物体を破壊することなく内部の構造を知る技術は重要なものとなっている。散乱媒体中に存在する物体の存在分布を知るためには、媒体内部を通過する光の照射と観測を多方向から行うことが有効である。実用化されている例として、X線トモグラフィがある。X線トモグラフィでは、散乱媒体中を直進する透過光を基に物体の存在分布推定を行っているため強い透過性を持つ光を用いなければならない。X線には高い透過性があるため高精度な内部構造推定を行うことができるが、被曝や他の機器へと影響といった問題がある。X線を用いたトモグラフィ以外にも断層撮像を行う方法として、拡散光トモグラフィがある。拡散光トモグラフィによって人体を撮影する場合、生体組織へのある程度の透過性を持つ近赤外光が利用されることが多いが、X線に比べ近赤外光は散乱されやすいため、X線トモグラフィのアルゴリズムをそのまま拡散光トモグラフィへと適用することはできない。

散乱光を観測することで散乱媒体の形状や内部構造を推定する研究が行われている。井下らは、1度だけ散乱の影響を受けた単一散乱光を観測し、減衰の程度から散乱媒体の形状を計測した [1]。Ishii らは、Monte Carlo 光線追跡法によって散乱光が通過した光線経路をシミュレーションし、その通過経路上へと遮蔽物の存在尤度を投票することによって散乱物体中の遮蔽物分布を推定する Monte Carlo Voting 法を提案した [2]。彼らは Monte Carlo 光線追跡法によって散乱光が通過した経路のシミュレーションを行い、そのシミュレーションから得られた散乱光強度と実際



図 1 曲面ミラー

に散乱媒体中の物体を観測して得られた散乱光強度を比較した。散乱光強度の比を、シミュレーションした光線経路へと投票することによって遮蔽物の存在分布を推定した。しかし、彼らの方法では散乱媒体の様々な位置から出射する散乱光のうち光源と反対方向へと出射する光のみしか考慮されておらず、側面や光源側へと出射する散乱光はの情報は捨てられてしまっている。

散乱媒体に光を入射させると、散乱光は散乱媒体の光源と反対の側からだけでなく側面や光の入射位置付近からも出射する。そのため散乱光の観測を行う際には、1つの方向から観測を行うよりも全方位から観測を行う方がより多くの散乱光の情報を得ることができると考えられる。そこで本研究では、曲面ミラーを用いて物体の全方位から観測した散乱光をもとに散乱媒体中の遮蔽物分布推定を行う、全方位観測による散乱光トモグラフィを提案する。また、ミラーを利用して全方位観測を実現することで、撮影システムから光源と検出器の回転といった機械的な駆動を排除することができる。機械的な駆動を排除することによって、撮影時間の短縮、機構の単純化の実現が期待できる。

## 2. 全方位観測システム

本研究では、図 1 に示すようなお椀型の曲面ミラーを用いることで散乱光をほぼ全方位から観測し散乱媒体中の遮蔽物分布推定を行う。遮蔽物の分布推定手法として、Ishii らが提案した Monte Carlo Voting 法を用いる [2]。全方位からの観測を行うことの利点として次の 2 つがある。1 つは、あらゆる経路を通った散乱光を観測できるという点である。光源と反対側の 1 方向から観測を行う場合と曲面ミラーを用いて観測を行う場合の観測面の位置をそれぞれ図

<sup>1</sup> 九州大学大学院システム情報科学府 〒 819-0395 福岡市西区元岡 744 番地

<sup>2</sup> 九州大学大学院システム情報科学研究院 〒 819-0395 福岡市西区元岡 744 番地

<sup>3</sup> パナソニック株式会社 クラウドソリューションセンター 〒 571-8501 大阪府門真市大字門真 1006 番地

<sup>4</sup> 奈良先端科学技術大学院大学 〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916 番地の 5

<sup>5</sup> 大阪大学産業科学研究所 〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-1

a) akashi@limu.ait.kyushu-u.ac.jp

b) ishii.yasunori@jp.panasonic.com

c) nagahara@ait.kyushu-u.ac.jp

d) mukaigawa@is.naist.jp

e) rin@ait.kyushu-u.ac.jp

f) yagi@am.sanken.osaka-u.ac.jp

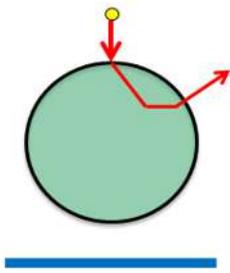


図 2 1 方向からの観測

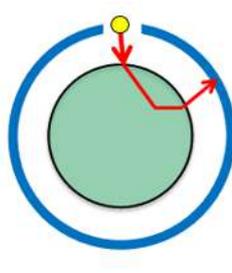


図 3 全方位からの観測

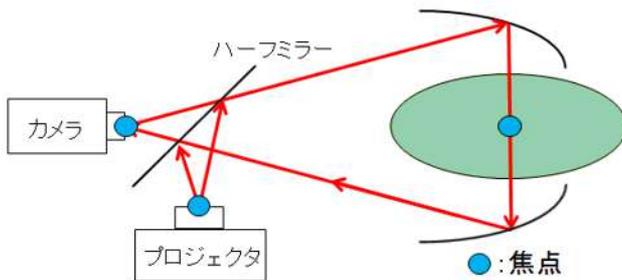
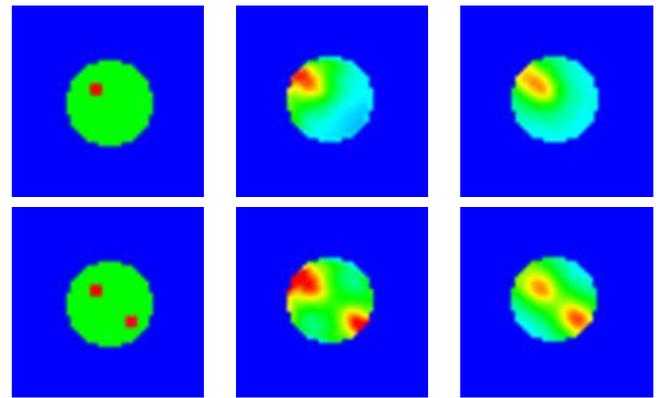


図 4 提案撮影システム

2, 図 3 に示す. 図中の青いラインが観測面を, 赤い矢印が散乱光が通過した散乱経路の 1 つを表している. 図 3 に示すように曲面ミラーによって撮影対象を囲むことで, 1 方向からの観測では無視されていた側面方向や光源方向へと出射する散乱光を観測することができる. 観測可能な散乱光経路の種類が増えることで, Monte Carlo Voting 法を用いて散乱媒体内のあらゆる経路へと投票ができるようになる. 全方位観測のもう 1 つの利点は, 光の入射位置付近から出射するような, 散乱媒体内での通過経路長が短い光線を観測可能な点である. 通過経路長の短い散乱光は, 散乱媒体から受ける散乱や減衰の影響が小さく遮蔽物からの影響が大きい. そのため, 光の入射位置付近で観測された光強度からは信頼度の高い散乱光強度比を求めることができる. これらの理由から, これまでよく利用されてきた 1 方向からの観測よりも, 全方位からの散乱光観測を行った方がより高精度な遮蔽物分布推定が可能となる.

光源 (プロジェクタ) とカメラを含む, 本研究の全方位観測システムを図 4 に示す. 曲面ミラーとして楕円体の形状をしたミラーを使用する. 楕円には “1 つの焦点を通る光は必ずもう一方の焦点へと反射される” という性質があるため, 図 4 のように配置を行うことで全方位から散乱光を観測することができる. カメラとプロジェクタ側の焦点はハーフミラーによって 2 つに分けられており, プロジェクタから出た光は散乱媒体内の焦点へと, 散乱媒体から放射方向へと出射した散乱光はカメラレンズ内の焦点へと集まる. また, 提案撮影システムでは全方位からの観測を曲面ミラーによって行うため, 物体または光源とカメラの回転といった物理的な駆動が必要ない. そのため, 撮影時間の短縮や撮影装置自体の単純化の実現が期待できる.



(a). 真値 (b). 1 方向観測 (c). 全方位観測

図 5 遮蔽物 1 つの場合の推定結果

### 3. シミュレーションによる推定結果

物体から出射する散乱光を光源の反対方向のみから観測を行った場合と全方位から観測を行った場合について, Monte Carlo Voting 法を用いて遮蔽物分布の推定をシミュレーション実験によって行った. その結果を図 5 に示す. 散乱媒体内に遮蔽物が存在する時の真値を (a) に, 1 方向から観測を行った場合と全方位から観測を行った場合のシミュレーションによる推定結果をそれぞれ (b), (c) に示す. 図 5.(a) の緑, 赤の領域がそれぞれ散乱媒体, 遮蔽物を表している.

遮蔽物の数が 1 つの場合と 2 つの場合のどちらにおいても, 1 方向から観測を行うより全方位から観測を行った場合の方が高精度な分布推定ができています. 1 方向からの観測では遮蔽物から散乱媒体の外側方向領域の推定精度が悪くなっているが, 全方位からの観測では遮蔽物から散乱媒体外側方向の領域についても精度よく推定できています. これは, 2 節で述べた全方位からの観測による利点が要因となっていると考えられる.

### 4. おわりに

本稿では, 曲面ミラーを用いた全方位観測システムを提案し, シミュレーション実験により散乱媒体中の遮蔽物分布推定において全方位散乱光観測の有用性を示した. 今後, 実機での散乱光の観測や多方向からの光の同時照射が可能かどうかの検討を行っていきたい.

### 参考文献

- [1] 井下智加, 向川康博, 松下康之, 八木康史, “単一散乱からの半透明物体の形状推定,” MIRU, OS4-4, 2011.
- [2] Y. Ishii, T. Arai, Y. Mukaigawa, J. Tagawa, and Y. Yagi, “Scattering tomography by monte carlo voting,” In IAPR MVA, 2013.