

移動式イメージングライダーによる濁度の三次元分布計測

市原 涼太郎, 阿保 真
東京都立大学大学院 システムデザイン研究科
(〒191-0065 日野市旭ヶ丘 6-6)

Measurement of three-dimensional distribution with a mobile imaging lidar

Ryotaro ICHIHARA and Makoto ABO
Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

Abstract: To understand the status of water pollution and clarify the mechanism of occurrence, we developed the imaging lidar to obtain the three-dimensional distribution of turbidity. Using the imaging lidar, a laboratory experiment was conducted, and the scattered signal intensity for depth were obtained from the captured images. In the future, we will try to measure the three-dimensional distribution of turbidity in the lake by continuously acquiring data while towing the system with a boat in an actual lake.

Key Words: imaging lidar, under water, turbidity

1. はじめに

自然環境における海や川、湖などの水環境は、微細な粒子や生物によって透明度（濁度）が変わっている。一方高度経済成長以降、工業が発展し人工的な水質汚染が大きな社会問題となった。近年はマイクロプラスチック汚染¹⁾が世界的な環境問題となっている。水質調査は、現在も主に採水器を用いて採取した水を分析する手法で行われている。しかし、採水器を用いた方法は広い領域の調査や継続的なモニタリングには莫大な労力が必要となる。一方、モニタリングポストと呼ばれる深さ方向の水質自動観測が可能な装置があるが、高価であるため多くの装置を設置することは不可能である。水質の汚染状況を把握することは水環境対策を考える基本であるが、水質汚染の発生メカニズムを明らかにし有効な対策を行うためには水環境の汚染状況である濁度の三次元分布を得ることは非常に有用であると考えられる。

本研究では、1地点の濁度の深さ分布の時間変化のモニタリング、あるいは二次元的に移動しながら深さ分布を計測することで濁度の三次元分布が計測可能な、移動式イメージングライダー装置を開発する。

2. 実験装置

2.1 システム設計と装置概要

先行研究²⁾では、バッテリーで動作可能なレーザーとデジタルカメラを組み合わせたイメージングライダーを開発し、湖の異なる場所で濁度の深さ分布計測に成功した。本研究ではこれを発展させ、水上を移動しながら連続的に観測を行い濁度の三次元分布測定を可能とする装置を開発した。Table 1 に製作したイメージングライダーのハードウェアの仕様を示す。

先行研究の静止画撮影のデジタルカメラに代わり、連続的に画像データを取得する必要があることから、データ量を削減するために、必要な部分のみの画像を転送することができる ROI (Range Of Interest) 機能が搭載され、転送速度の速い USB3.0 出力の工業用 CMOS カメラを採用した。

さらに、センサの画素数を最小限とするため

Table 1. Hardware specifications of the imaging lidar.

Laser	ZM18b-f-gr (Z-LASER) Output Power : 40mW Wavelength : 532nm
CMOS Camera	STC-MCS312U3V (OMRON SENTECH) Effective Pixels : 2048 × 1536 Sensor Size : 2/3"
Lens	FL-CC0614A-2M (Ricoh) Focal Length : 6mm
Beam Shutter	SH05/M+KSC101 (Thorlabs)
Computer	Tough Book CF-20E5097VJ
Acrylic Case Size	36×22×26cm

に、レーザ光の減衰から考えて現実的に測定可能な水深 10m までの深さ分解能が 0.1m 以下になる必要な画素数を求めた。深さ分解能とは Figure 1 に示す 1 画素あたりの深さ Δd になり、深いほど分解能が大きくなるのがイメージングライダーの特徴である。各センサの画素数に対する深さ分解能の計算結果を Figure 2 に示す。この結果より、水平画素数が 2048 以上あれば条件を満たすことがわかり、この条件に合うカメラを採用した。

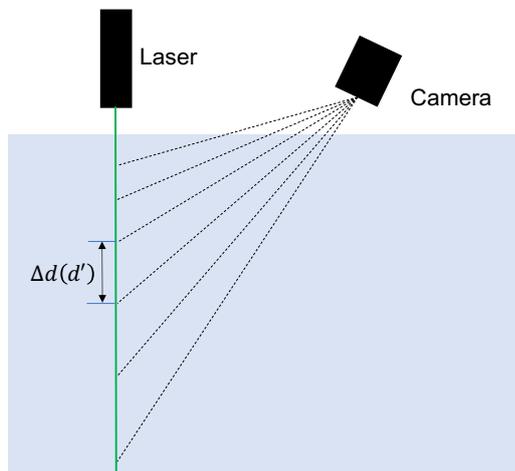


Figure 1. Schematics of the imaging lidar and depth dependency of the depth resolution.

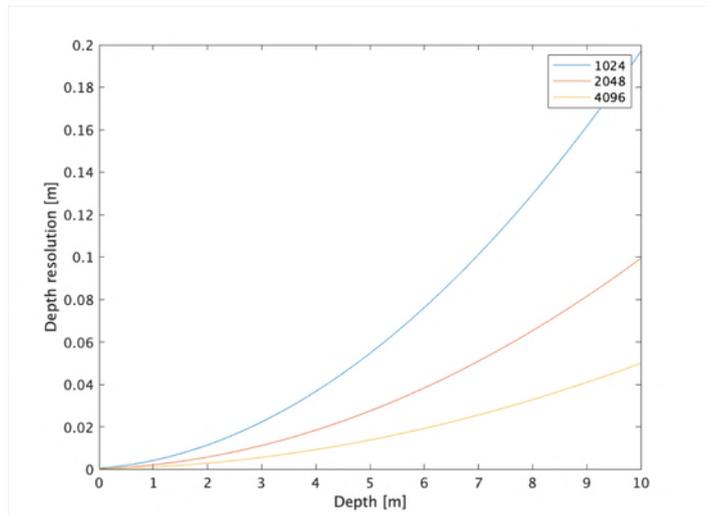


Figure 2. Calculated depth versus depth resolution for each pixel numbers of the sensor.

次に、イメージングライダーのデータ取得の流れを述べる。Figure 3 にシステムの全体構成図を示す。カメラはノートパソコンに接続され、Python により作成した撮影、データ転送・保存用のプログラムにより、最初に明るさに応じたカメラの露光時間を手動で指定した後、画像データの撮影、転送、保存が自動的に行われる。解析の際に背景光を除去するために背景画像が必要なため、設定した時間間隔で動作する電動シャッターをレーザの前に設置することにより、レーザの On / Off 画像を交互に取得する。また、正確な三次元分布を得るために、画像データを撮影した正しい位置情報を GPS ロガーにより取得する。

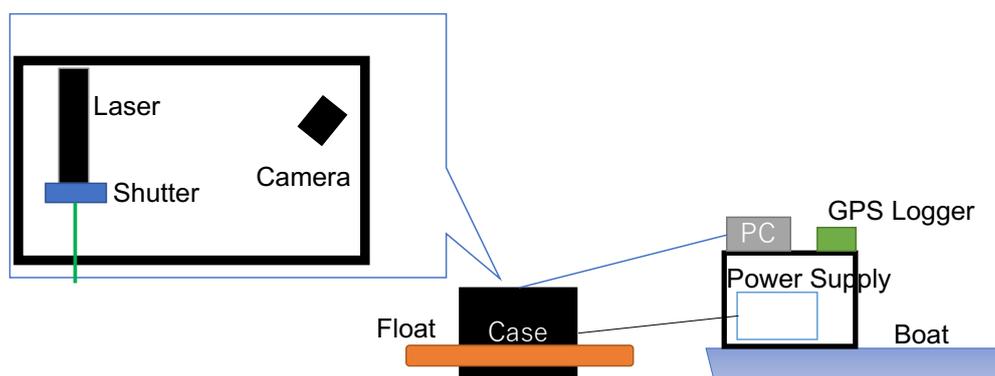


Figure 3. Configuration diagram of the mobile imaging lidar system.

2.2 深さ目盛りのキャリブレーション法

イメージングライダーでは、得られた画像上のレーザ飛跡の位置（画素番号）と深さを対応させることによって濁度の深さ分布を得ることができる。その深さ目盛りの精度を保証するため、あらかじめキャリブレーションを行う必要がある。キャリブレーションでは、アクリルケースの底面である 0m 地点でのレーザの散乱光と、0m 地点からの距離が分かる 2 点でのレーザの散乱点を撮影する。得られた 3 カ所の散乱点の位置から、カメラとレーザの距離、カメラの角度、レンズの焦点距離を計算により求めることができる。

3. 屋内実験

3.1 実験条件

装置の動作確認のために屋内実験を実施した。屋内実験はポリタンク（胴径586mm×全高978mm）に水道水を満たし、イメージングライダーの浮環を外したアクリルケースを固定して水中を撮影した。その際、水が綺麗な条件と濁っている条件の両方の画像データを取得した。濁っている状態は片栗粉を溶いた水を入れることにより再現し、それぞれの条件でレーザー光の On / Off 画像を取得した。露光時間は屋外実験の条件を想定し、0.25秒と設定した。また、実験前に行ったキャリブレーションから、カメラの角度は $\theta = 54.36^\circ$ 、焦点距離は $f = 5.38\text{mm}$ と求められた。

3.2 画像データ

屋内実験で得られた画像を Figure 4 に示す。図中の①は水道水のレーザー Off、②は水道水のレーザー On、③は片栗粉を溶かしたレーザー Off、④は片栗粉を溶かしたレーザー On の時にそれぞれ得られた画像である。片栗粉を溶かして濁った条件の方が、レーザーの飛跡が明るく写っていることが分かる。図の左には計算から求めた深さ目盛りを記している。

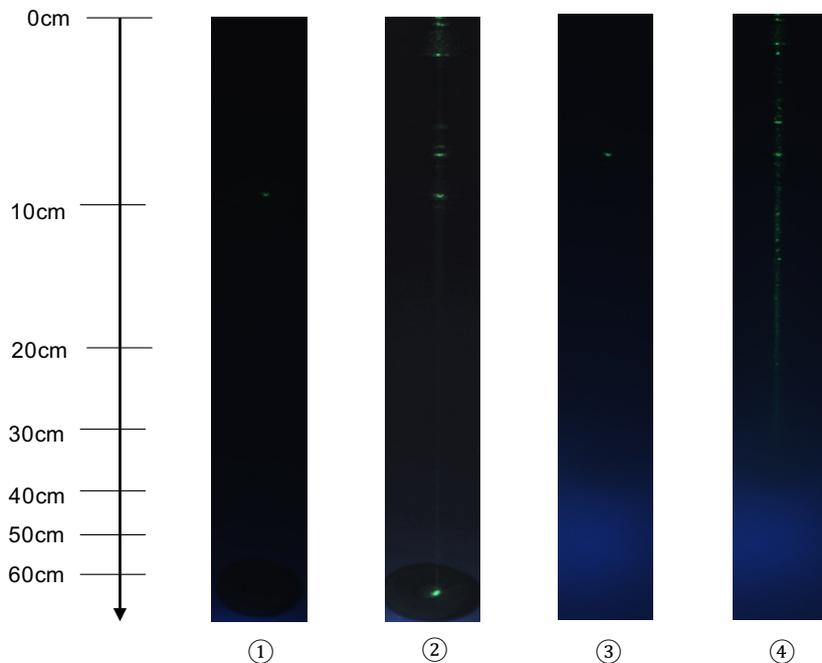


Figure 4. Obtained images of the imaging lidar for indoor experiment. (1) clear water/ laser off, (2) clear water/ laser on, (3) turbid water/ laser off, (4) turbid water/ laser on.

3.3 解析結果

イメージングライダーでは、撮影したレーザー On の画像からレーザー Off の背景画像を除去することにより、レーザーの散乱飛跡を得ることができる。またレーザーの色が緑であるため RGB のうち G 成分を取り出すことによりフィルター効果を得ている。レーザー散乱信号強度は背景光を除去した輝度値に相当するが、画像上のビームに幅があるため横方向の積算処理を行い、散乱信号強度を求める必要がある。Figure 5 に Figure 4 の画像から求めた画素番号に対する散乱信号強度のグラフを示す。(a)は水道水、(b)は片栗粉を溶かし濁った時の結果である。濁った画像の方が全体に強度が高いが信号強度の変動が大きいことが分かる。信号強度の変動は、片栗粉が完全に溶けずに粒子状のまま浮遊していたためと考えられる。

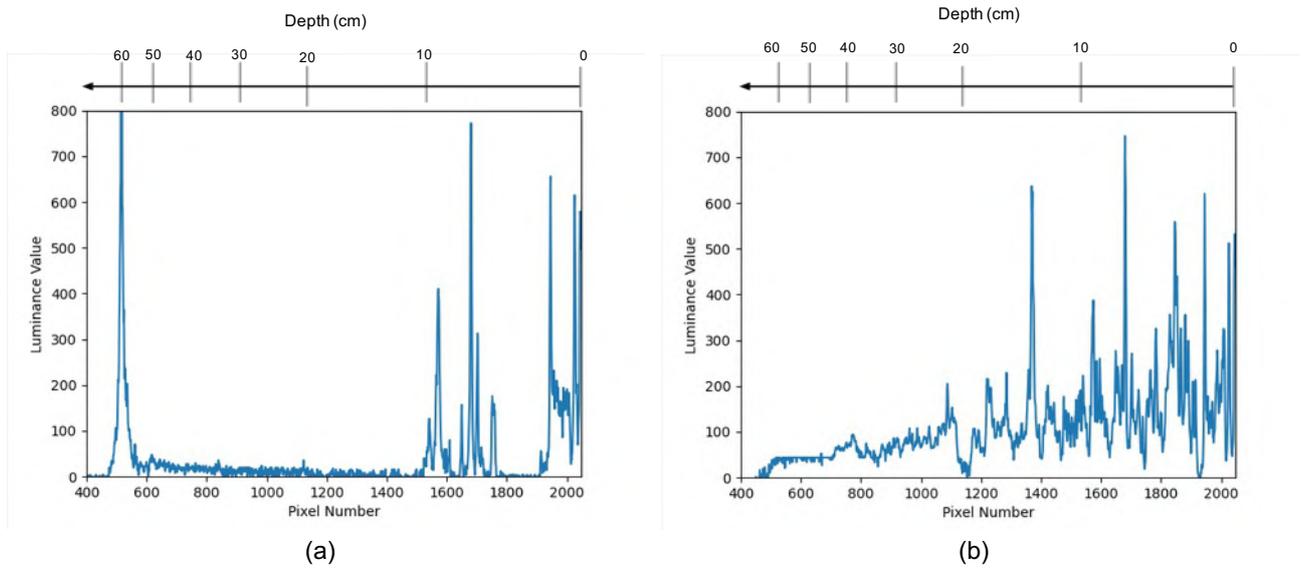


Figure 5. Scattered intensity of the laser track for each pixel number. (a) Clear water, (b) turbid water.

4. まとめ

本研究では、1地点の濁度の深さ分布の時間変化のモニタリングや、二次元的に移動しながら深さ分布を計測することで濁度の三次元分布が計測可能な、移動式イメージングライダー装置の開発を目的とし、効率よいデータ取得が可能なシステム設計を行い、システムを製作した。製作した装置を用いて室内実験を行い得られた画像から深さに対する散乱信号強度を得ることができた。今後は、装置を実際の湖でボートにより牽引しながら連続的にデータを取得することにより、湖中濁度の三次元分布計測を試みる。

参考文献

- 1) 大塚佳臣他：水環境学会誌, **44** (2021) 35.
- 2) 阿保 真他：LSS38, (2020) F4.