

# 水中浮遊物質分布計測のための移動式イメージングライダーの開発

寺内 崇, 阿保 真

首都大学東京大学院 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6 丁目-6)

## Development of mobile imaging lidar for distribution measurement of suspended matter

Takashi TERAUCHI and Makoto ABO

Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

**Abstract:** For water quality surveys in natural environments, water collectors are generally used. But they are not suitable for continuous observation in a wide area. We developed the mobile imaging lidar system for suspended matter concentration measurement. The system consists of a digital camera and a battery operated small green laser. Image processing is performed to acquire the signal intensity for each depth. The system is very compact and can be easily towed by a boat. We show the actual measurement results at the lake by the system.

**Key Words:** imaging lidar, underwater, suspended matter, suspended solid

### 1. はじめに

日本における水質汚濁は、各種規制により産業公害に起因するものは大きく改善されたが、依然として生活排水などによる水質汚濁や湖沼・内湾・内海などの閉鎖性水域における環境基準の達成率低迷などの課題が残されている<sup>1)</sup>。水中浮遊物質の深さ分布や水平分布をモニタすることはその汚染状況の把握や発生メカニズム解明のために重要である。

水質調査は一般に採水器を用いたサンプリング法により行われているため、測定点を増やすためには多くの労力を要する。東京湾には水温、濁度、クロロフィル a 濃度の連続的な観測が可能なモニタリングポスト<sup>2)</sup>が設置されているが、これを多数設置するのはコスト面から現実的でない。

本研究では先行研究<sup>3,4)</sup>で提案されたイメージングライダーによる浮遊物質濃度計測システムをベースに、新たに広い範囲の計測が可能な移動式システムの開発を行った。

### 2. 移動式イメージングライダー

#### 2.1 概要

先行研究の固定式イメージングライダーは岸から水面に向けてレーザを斜めに照射し、同じ岸に設置したカメラで画像を取得・処理することで散乱光強度から浮遊物質濃度の深さ分布を求めるものであり、定点観測を目的としている。

今回開発した移動式イメージングライダーは、Fig. 1 の概要図に示すようにレーザとカメラを小型の箱に入れ、ボートで牽引することで広範囲の計測を可能としている。窓越しに画像を取得することで水面の波による光路の揺らぎの影響を無くし、水面反射による背景光の影響を減少させることで安定した観測が期待できる。

水中鉛直下向きに射出したレーザの散乱光をデジタルカメラで撮影し、画像データを処理する事により水中浮遊物質による散乱信号強度の深さ分布を求めることができる。

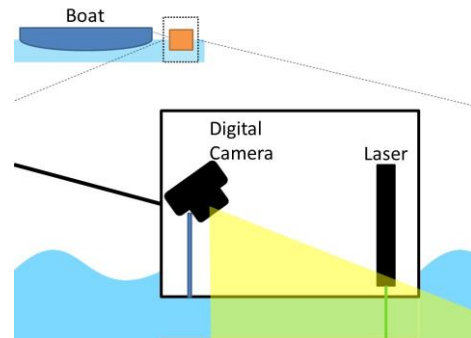


Fig.1 Schematic diagram of the mobile imaging lidar for distribution measurement of suspended matter.

#### 2.2 原理

イメージングライダーの深さ  $d$  からの受信信号強度  $P(d)$  は次式で表せる。

$$P(d) = P_0 \eta_0 A_R \Delta d(d) \frac{\beta(d)}{r'^2(d)} T(d) \exp[-\tau(d)] \quad (1)$$

ここで  $P_0$  は送信レーザのエネルギー、 $\eta_0$  はライダーシステムの光学的効率、 $A_R$  はカメラレンズの有効受光面積、 $\beta(d)$  は水及び浮遊物質の体積散乱係数、 $r'(d)$  は見かけ上の散乱点から受信点までの距離、 $T(d)$  は窓と水面での透過率、 $\tau(d)$  は水の光学的厚さで、見かけの散乱点から水面に対する屈折角  $\theta_v(d)$  と減衰係数  $\sigma(x)$  を用いて次式で表せる。

$$\tau(d) = \int_0^d \sigma(x) dx + \int_0^{\frac{d}{\cos\theta_v}} \sigma(x') dx' \quad (2)$$

Fig. 2 左にイメージングライダーの見かけの光路図を示す.  $\Delta d'$  ( $d$ ) は見かけの深さ分解能であり, Fig. 2 右に示すように画像上の各画素当たりの分解能は深いほど大きくなるのがバイスタティックイメージングライダーの特徴である. 深さに対する減衰係数  $\sigma(d)$  は (1) 式を解いて以下のように表せる.

$$\sigma(d) = -\frac{d}{\Delta d} \log \frac{P_0(d)r^2(d)}{\beta(d)\Delta d(d)\tau(d)} \quad (3)$$

水中浮遊物質の濃度に比例するのは  $\sigma(d)$  と  $\beta(d)$  である.  $\beta(d)$  を一定と見なせる区間であれば, (3) 式右辺  $P(d)$  以外は幾何学的な定数となり, 幾何学的補正後の  $P(d)$  の深さ微分により水中浮遊物質濃度の深さ分布が求められる.

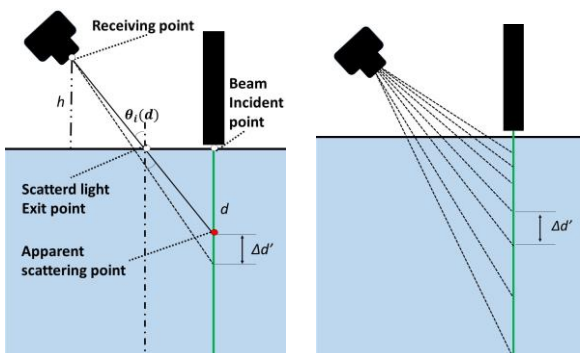


Fig. 2 Optical path diagram of imaging lidar seen from the outside of the water (left) and depth dependency of depth resolution for an image pixel (right).

### 2.3 システムの設計・製作

本研究ではボートで牽引するためコンパクトなシステムを設計・製作した. Table 1 にシステムの主な仕様を示す. 透明なアクリルケースを救命用浮輪にアルミフレームで固定し, 水上での安定性を確保した. アクリルケース内部にはレーザとカメラがアルミフレームにより固定されており重量は約 3 kg である. レーザの電源としてモバイルバッテリーをボート側に設置し, スイッチにより ON/OFF ができる. デジタルカメラはスマートフォンによる遠隔操作が可能である.

### 3. 測定結果

Fig. 3 に神奈川県相模湖において撮影した画像を示す. 撮影はレーザ ON と OFF の 2 画像を取得し, 左のレーザ ON の画像からレーザ OFF の背景画像を引くことにより右のレーザビーム画像が得られる. (深さ目盛付き) この画像から求めた散乱信号強度に幾何学的補正を行った結果を Fig. 4 に示す. このグラフから深さ 10~20cm 区間の slope から求めた減衰係数は 3.4 [1/m] となった.

### 4. まとめ

広範囲の水中浮遊物質密度分布を計測可能なボートで牽引するコンパクトな移動式イメージングライダーを開発し, 実際の湖での昼間の測定に成功した. 今後は得られたデータの妥当性の検証, 広範囲の測定, より深い深さまでの計測可能性の検討などを行う予定である.

Table 1 Parameters of the mobile imaging lidar

Acrylic case size	22×36×26cm
Life buoys size	Inner φ 42cm Outer φ 72cm
Mobile battery capacity	10Ah
Laser	ZM18B-F-GR(Z-LAZER) Power 40mW Wavelength 532nm
Digital camera	TG-5 (OLYMPUS)

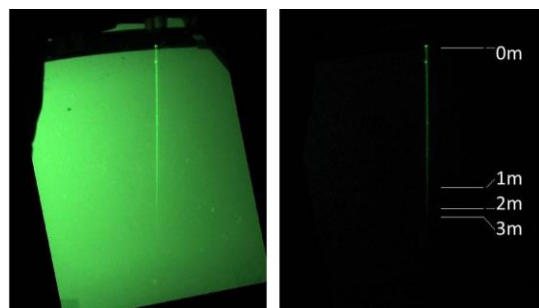


Fig. 3 Example of an image of laser beam (left) and the background subtracted image with depth scale (right).

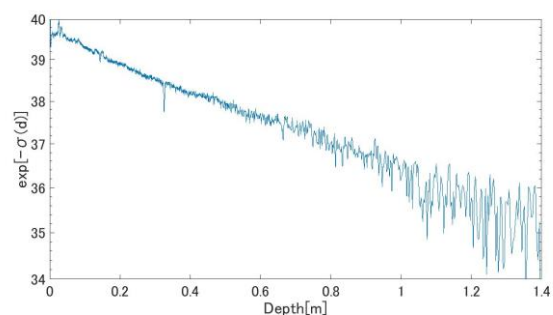


Fig. 4 Depth profile of Corrected P(d).

### 参考文献

- 1) 環境省水・大気環境局, 水質汚濁対策(2015)
- 2) 海上保安庁, 東京湾リアルタイム水質データ, モニタリングポストの概要  
<https://www1.kaiho.mlit.go.jp/monitoring/>
- 3) 清水匡他, 第 34 回レーザセンシングシンポジウム, P-D4 (2016).
- 4) 阿保真他, 第 35 回レーザセンシングシンポジウム, P-A6 (2017).