

水中イメージングライダーによる濁度の深さ分布計測

阿保 真, 寺内 崇

東京都立大学システムデザイン研究科 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

Depth Profile Measurements of Underwater Turbidity Using a Mobile Imaging Lidar

Makoto ABO and Takashi TERAUCHI

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

Abstract: It is necessary to understand the horizontal and depth distribution of turbidity, which is one of the water quality indicators, in order to understand the mechanism of water pollution in the environment and to understand the pollution situation. The current water quality survey is generally conducted by the sampling method using a water sampler, and it takes a lot of labor to increase the number of measurement points, so the measurement range is limited. We have developed a bistatic imaging lidar composed of a battery-powered CW laser and a camera in a box and this system can measure the horizontal distribution by towing it with a boat. Furthermore, we have measured the depth profiles of turbidity using this system in the daytime outdoor environment and evaluated its usefulness.

Key Words: imaging lidar, under water, turbidity

1. はじめに

日本の海, 川, 湖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. しかし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¹⁾.

水質指標の一つである濁度の水平・深さ分布を知ることが, その環境の水質汚染の発生メカニズムの解明や汚染状況の把握に必要な要素の一つであり, 広範囲計測によってそれらの有効性を高めることができる.

現行の水質調査は, 一般に採水器を用いたサンプリング法により行われており, 測定点を増やすには多くの労力を要するため測定範囲に限られる. 一方航空機や船舶に搭載したライダーにより海水中の植物プランクトンなどの蛍光強度や消散係数を測定し, これらの鉛直分布を測定する方法が報告されているが²⁾, これらはかなり大がかりな装置であり, 外洋など人のいない場所での観測が中心である.

我々はバッテリーで動作可能な CW レーザとカメラで構成されたバイスタティックイメージングライダーを, 箱の中に収納しボート等で牽引することで水平分布の計測が可能である小型水中ライダーを開発した³⁾. さらにこの装置を用いて昼間の屋外環境下において濁度の深さ分布計測を行い, その有用性を評価した.

2. 水中イメージングライダーの原理

開発した水中イメージングライダーは, 基本的には大気観測で用いられるバイスタティックイメージングライダー⁴⁾と同じ原理である. 水中鉛直下向きに射出したレーザーの散乱光軌跡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散乱物質による散乱信号強度の深さ分布を求める. 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 は送信レーザー出力, η_0 はシステムの光学的効率, A_R はカメラレンズの受光面積, $\beta(d)$ は水の体積散乱係数, $r(d)$ は見かけ上の散乱点から受信点までの距離, $T(d)$ は水との境界面の透過率, $\tau(d)$ は水の光学的厚さである. Fig.1 に示すように画像上の 1 画素あたりの分解能 $\Delta d(d)$ は深さにより変化し, 深いほど大きくなるのが特徴である.

$\tau(d)$ は水中の散乱点からの光線の屈折角 $\theta_v(d)$ と水の減衰係数 $\sigma(x)$ を用いて, 水平方向の一様性を仮定すると以下のように表せる.

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

深さに対する減衰係数 $\sigma(d)$ は受信信号強度 $P(d)$ に距離二乗, 水面の透過率, 深さ分解能の補正を行い, 対数を取った後に微小区間内で $\beta(d)$ が均一である仮定して slope 法により求めることができる.

実際の画像から受信信号強度は, レーザの ON 画像と OFF 画像を撮影し, 両者の差分画像を得ることによって背景光の除去を行い, その後レーザービームの散乱飛跡に垂直な方向に積分することにより得られる.

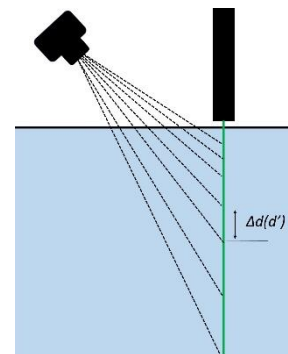


Fig.1 Schematics of the imaging lidar and depth dependency of the depth resolution.

3. イメージングライダーの製作

製作したイメージングライダーシステムの主な仕様を Table 1 に示す。レーザとカメラは透明な窓を持ったアクリルケース内部に、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。ケースは救命用の浮環に固定され、水上での安定性が確保されている。レーザはモバイルバッテリーにより動作可能で、レーザの ON/OFF とデジタルカメラの操作は遠隔から可能である。

Table 1. Specifications of the 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)

4. 屋外実験結果

屋外実験は 2019/8/31 に神奈川県相模原市にある相模湖で実施した。相模湖の 3 か所に装置を浮かせ画像データを取得し、水の減衰係数の深さ分布を求めた。Fig. 2 に比較的水の綺麗な地点の減衰係数と推定誤差の深さ分布を示す。減衰係数は 40cm 区間の対数をとった補正済みデータに直線フィッティングを行い、その傾きから求めている。誤差は傾きの推定誤差に対応する。深さ 1.6m まで誤差 20% 以内の測定が可能であった。

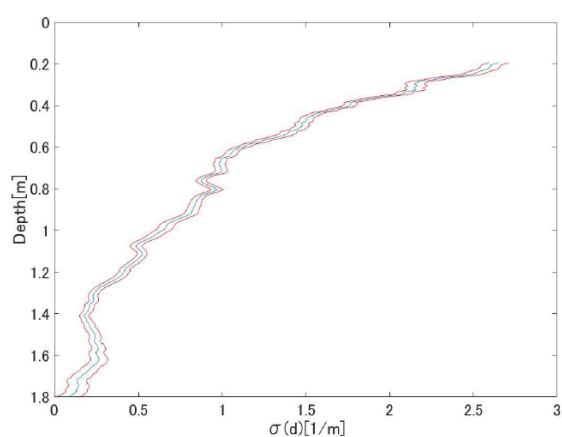


Fig.2 Depth profile of absorption coefficient observed by the imaging lidar at Lake Sagami.

濁度は水の濁り程度を表すものであり、水質基準の指標の一つとしても用いられている。減衰係数と濁度の関係は概ね比例関係であることが分かっている。本研究では参考文献⁵⁾と蒸留水の減衰係数を参考に濁度と減衰係数の関係式を作成し、減衰係数を濁度に変換した。Fig.3 に測定した 3 地点の濁度の深さ分布を示す。濁度の測定値の妥当性を検証する

ため、深さ 0.5m でサンプルした水を透過散乱光比較測定方式の濁度計(サトテック,TU-2016)で計測したとこと 3.1~4.9 [NTU]という値が得られ、本装置の測定値 (Fig.3 の青線) と誤差内で一致した。

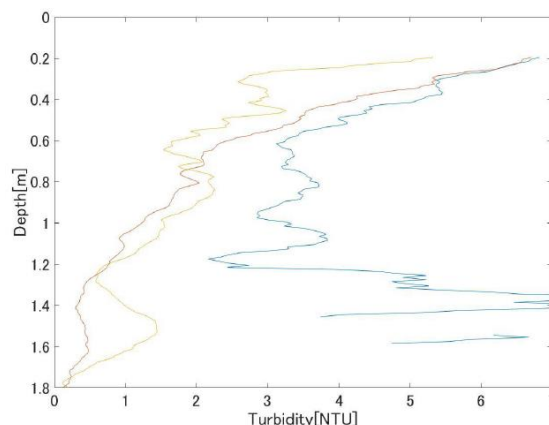


Fig.3 Depth profiles of turbidity observed by the imaging lidar at three different points of Lake Sagami.

また浅い部分で捉えられた浮遊物質による散乱光の拡大写真を Fig.4 に示す。明るい輝点が多く見られるが、これは浮遊微小粒子による散乱光と考えられる。これらを画像処理することでプランクトンなどの浮遊物質の深さ分布を把握することが可能である。

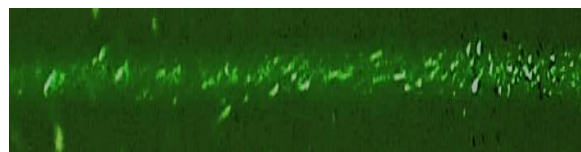


Fig.4 An image of bright spots with the floating microparticles.

5. まとめ

本研究では移動式水中イメージングライダーを開発し、屋外実験で減衰係数並びに濁度の深さ分布の推定を行った。濁度の深さ分布は 3 地点で異なる分布を示しており、サンプルした水を濁度計で測定した値とも一致し、本装置で濁度の深さ分布が測定可能である事を示した。

今後は工業用カメラを用いた連続観測が可能なシステムの構築を行い、観測データを増やす予定である。また取得した画像から湖の浅い部分に存在するプランクトンと思われる浮遊物質を捉えることができた。画像解析法を改良することにより画像に写った浮遊物質の存在層、物質の特定法を検討する。

参考文献

- 1) 環境省水・大気環境局：水質汚濁対策 (2015).
- 2) 浅沼市男他：可視化情報 **22** (2002) 24.
- 3) 寺内崇, 阿保真：LSS37 (2019) P-10.
- 4) 目木一男他：レーザ研究 **25** (1997) 875.
- 5) 成田美穂他：海洋調査技術 **19** (2007) 1.