

水中浮遊物質の鉛直分布計測のための

バイスタティックイメージングライダー

清水 匡, 阿保 真

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

Bistatic Imaging Lidar for the Vertical Distribution Measurement of Suspended Matter in the Water

Tasuku SHIMIZU and Makoto ABO

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

Abstract: Water quality of Japanese sea and rivers is improved, but the water quality variation and the ecological system are not well known. In this study, we propose the bistatic imaging lidar for the vertical distribution measurement of suspended matter in the water. This system can measure a stream of polluted water and make clear this mechanism. We show the feasibility of this lidar system by simulation.

Key Words: bistatic lidar, imaging lidar, water environment, suspended matter

1. はじめに

1970年代までの日本では工場排水や生活排水により河川や海の水環境や生態系が破壊されてきたが、各種規制や処理技術の進歩により近年は大きく改善され、昔の水環境に戻すための活動も盛んに行われている。

東京湾では関係省庁・都県市により構成される東京湾再生推進会議を中心に水環境を再生する取り組みが行われている。しかし、未だ水質形成環境や生態系については不明な点が多く、海洋モニタリングの必要性が指摘されている。¹⁾

本研究では、東京湾の港湾区域の計測を想定し、水中の細かい変化を見るために距離分解能30cmで水深10mまでの水中の汚れ鉛直分布を可視化するためのバイスタティックライダーを検討した。汚れの流れや二次変化を計測することで、汚染問題の改善策を提案することが可能となる。はじめに計測するにあたって必要な条件を求め、次にシミュレーションによりその有用性を示す。

2. ライダーのシステム

水中の鉛直構造を計測するライダーとして、パルスレーザーを用いて散乱光を計測するモノスタティック方式と送信部と受信部を離して用いるバイスタティック方式の二通りが考えられる。今回は距離分解能30cmを想定しているため、モノスタティック方式ではパルス幅が2ns以下と狭いレーザーが必要となるため、CWレーザーの利用が可能なバイスタティック法を採用した。提案するライダーシステムの概略図をFig. 1に示す。受信系

は CCD カメラを用い、簡易化と小型化を実現している。

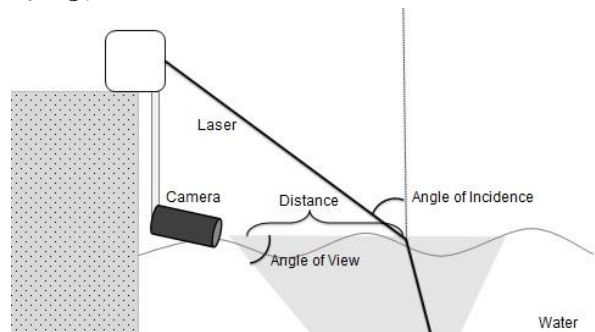


Figure 1 Schematics of the bistatic imaging lidar system layout.

3. 計測条件の設定

計測条件としてはライダーシステムの配置、レーザーの波長と入射角、レンズの焦点距離が重要になる。

システムの配置は任意の場所への設置あるいは船に乗せての移動測定も考慮し、送信部と受信部を一体型として計測出来るように設定した。送信部と受信部の距離は2m以内とした。

レーザーの波長は水中の減衰が少ない532nmとする²⁾。また、レーザービームの入射角は水面での透過率と波の影響を考慮し、60°以下とした³⁾。

レーザー光とカメラの距離により水中での入射角とカメラに必要な画角が決まる。画角はカメラで撮影可能な範囲角であり、画角によってレンズの焦点距離が決まる。レーザー光の入射角とカ

カメラとの距離に対する水深 10m まで計測する為に必要な画角と対応するレンズの焦点距離の計算結果を Table 1 に示す。レーザー光とカメラの距離を離したり入射角を大きくし過ぎると深い所からの信号が弱くなるため、距離は 2m 以内、入射角は 55° 以内と設定した。

配置距離 2m 以内、入射角 55° 以下、レンズの焦点距離 20mm の条件から強い信号を受信する最適な条件を Table 1. の太枠に示した。最適な条件は距離 1.5m, 入射角 40 度または 45 度、レンズの焦点距離は 20mm となった。

Table 1. Angle of view and focal length for each angle of laser incidence and distance between laser beam and camera in order to measure to 10m in depth.

Angle of incidence \ Distance	10	20	30	35	40	45	50	55
1	77.2	70.3	64	61.1	58.4	55.9	53.6	51.5
1.5	74.5	67.8	61.7	59	56.4	54	51.8	49.8
2	71.8	65.4	59.6	56.9	54.4	52.1	50	48.2

	Focal length under 20mm
	Focal length 20mm
	Focal length 28mm

4. シミュレーション

水中におけるライダー方程式は以下の式で表される。

$$P(r) = P_0 \eta_0 Y(r) \frac{\Delta r}{2} A_R \frac{\beta(r)}{r^2} \exp[-(\tau_{out} + \tau_{in})] \quad (1)$$

ここで、 P_0 は送信レーザーのエネルギー、 η_0 はライダーシステムの光学的効率、 $Y(r)$ はライダーの送受信系の重なりを表す関数、 A_R はカメラレンズの有効面積、 $\beta(r)$ は水の体積後方散乱係数である。 τ は水の光学的厚さで以下の式で表され、 $\sigma(r')$ は水の減衰係数を表している。

$$\tau = \int_0^r \sigma(r') dr' \quad (2)$$

これらの式を用い、夜間の測定を想定し、Table 2 に示すライダーの仕様で水深 10m までの受信光子数を計算した。

Table 2. Parameters of the bistatic imaging lidar

Laser wavelength	532nm
Laser power	60mW
Attenuation coefficient of water	0.4m^{-1}
Backscatter coefficient of water	0.04m^{-1}
System efficiency	0.05
Focal length	20mm
F number	2.8
Lens aperture	7mm
Depth resolution	30cm
Measurement time	100s

レーザーの出力は比較的小型の装置を想定して 60mW、水の減衰係数は港湾区域の計測を想定するため比較的汚い海の減衰係数である 0.4m^{-1} 4) とした。またカメラで近距離を撮像する際には、ピントを合わせた位置以外ではボケが発生するが、ボケの影響は距離分解能以下である。

レーザー光を 100 秒間射出した時の各深さからの受信光子数の計算結果を Fig. 2 に表す。

シミュレーション結果から、深さ 1~10m のダイナミックレンジは 4 桁であり、光子数で 10^5 個位まで検出できる撮像装置であれば十分に計測が可能であることが分かった。

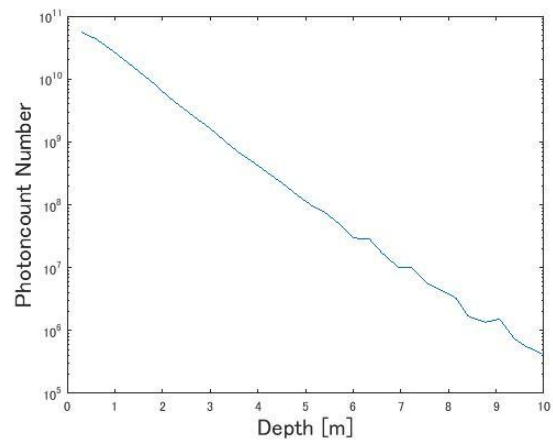


Figure 2 Calculated photoncount number received from the each depth.

5. まとめ

本研究では水中浮遊物質の汚れの深さ分布を計測するバイスタティックイメージングライダーシステムを設計した。その結果、深さ 1m から 10m まで十分な信号が受信できることが分かった。今後システムの実現に向けて実地実験などを行い、理論値との違いを検証していくことが必要となる。

参考文献

- 1) 東京湾再生推進会議：東京湾再生のための行動計画(第一期)期末報告書，2013。
- 2) Raymond C. Smith and Karen S. Baker: Optical properties of the clearest natural waters, 1981, APPLIED OPTICS, Vol.20, No.2, pp177-184.
- 3) U. Gehlhaar: Computer simulations and theory of oceanographic fluorescence lidar signals: effect of sea surface structure, 1982, APPLIED OPTICS, Vol.21, No.20, pp. 3743-3755.
- 4) 菱田耕造: 海水中の濁りと明るさ, 1977, 水工学に関する夏季研修会講義集, No.13, B.9.1-B.9.12.