

# LED ライダーによる水面観測に関する検討

## Consideration of water surface observation by LED mini-lidar

椎名 達雄 中川和也  
Tatsuo Shiina and Kazuya Nakagawa

千葉大学大学院融合科学研究科  
Graduate School of Advanced Integration Science, Chiba University  
古野電気  
Furuno Electric Co., LTD

### Abstract

LED mini-lidar will apply to the water surface observation. Surf and lidar echo simulation is conducted to optimize the specification of a LED mini-lidar. Surf is supposed as wind wave, and the light scattering characteristics of sea surface is utilized the past experimental result at Tokyo bay. To obtain the desired wave echo, lidar echo simulation should be considered wind speed, beam size, and accumulation time to obtain the enough signal-to-noise ratio. The study is started to find the adequate specifications of the lidar setup.

### 1. はじめに

河川や海洋といった水面の動きは水の流れを知る手だてとしてはもちろんのこと、その直近の大気の動きを知る上でも重要な要因となる。特に、地上と違って変形しやすい性質を持つ水面の動きは、水中の流れと水底の深さ、さらには直近の風の動きに大きく影響を受ける。したがって、水面の動きをモニターすることができれば、それら水上/水面下での動きを予測することができ、それら気象/海洋情報をもとにした、船舶の制御、漁場管理、ならびに安全管理が行える。一方で、これまでに音波、電波、ならびに光を使った水面計測の試みが行われてきた。<sup>[1]</sup>しかし、大小様々に影響し合う水面波の把握には分解能が足りなかったり、機器の制御に資格が必要だったり、必ずしも現場での需要を満たすものではない。レーザーを使った波浪計が報告されてもいるが、実用に至ってはいない。光を使った計測は分解能や計測速度といった点でソナーやレーダに勝る性能を持ち得る。一方で、レーザー機器の希弱性もさることながら、レーザー機器搭載の是非や安全面での配慮から、実用化されていない。ライダーによる波浪計測への応用は複数報告されているものの、定期的な観測を主とした実用的なものはほとんど報告されていない。

本研究では、LEDを光源とした、近距離計測用ミニライダー（LEDミニライダー）を提案し、これまで開発を行ってきた。現場で使用できるライダーを開発する目的で、簡単に移動でき、バッテリー動作も可能、特に光源は素人が交換やメンテナンスできることを想定している。今回の水面観測に対して、光計測のメリットを活かしつつ、必要な仕様への最適化を図っている。

本報告では、波浪のシミュレーションとライダー計測との融合に関する考察を行い、LEDライダーによる水面実計測のための必要要件の算出方法に関して述べる。

### 2. LEDミニライダーによる水面観測モデル

レーダーやソナーと違い、ライダーによる送受信視野はかなり狭いエリアに限定される。それ故分解能が高い。一方で水面上の波の動き/速度は速く、ライダーのような指向性の高い測定機器では、その動きの可視化には観測方向や分解能に一定の限定を設ける必要が生じる。さらに水面上一定の距離内を可視化させようとすると、スキャンングが不可欠になる。ライダー送受信視野は有限の大きさを持ち、水面計測時には、その面内で平均化した反射/散乱特性を受光する。さらに、積算した観測ではその時間平均を受光することになる。入射させるビームの角度が水面から垂直に近くなるほど（水平入射に近づくほど）その効果は顕著になる。

同時に、どの程度の波を計測の対象とするかでその水面観測の評価も異なってくる。さざ波のような波長の短い波は大きなうねりとなる波と重複して存在するため、観測しようとする波の範囲を定める必要がある。

本研究では波浪モデルによるライダー観測波形

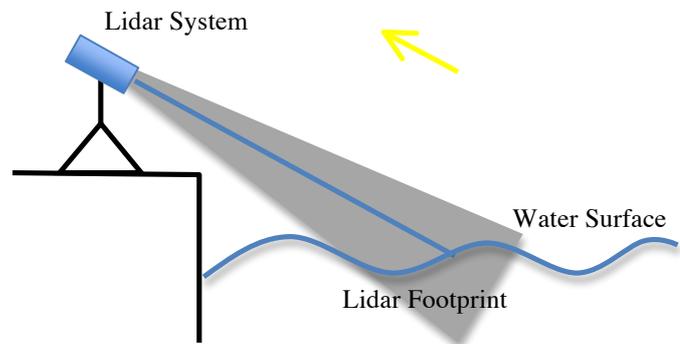


Fig.1 Lidar simulation on water surface observation.

の見え方を評価する一方、実観測による水面の反射／散乱特性を実測する。その結果はシミュレーションにフィードバックすることで、モデルの精度を高め、水面観測の状況に最適化した機器の仕様を導出できるよう目指していく。

### 3. 波浪シミュレーション

波浪のシミュレーションでは不規則な水面の状況を要素波による重ね合わせとして表現する手法を採用した。<sup>[2]</sup> この環境では風波の性質の変化はその発生要因となる風の変化に比べて十分に遅く、エルゴード性を仮定して記載できるものとした。光易による方向分布関数ならびに Pierson-Moskowitz 型の波浪スペクトルを用いて波浪を生成させた。Fig.2 にその一例を示す。風速 10m の風によって生成された波浪が時間を得るに従って伝搬する様子（図中では右から左）が分かる。この計算条件での波高はおよそ 2m ほどで、周期は 80m ほどになった。シミュレーションモデルは 2次元で解析を行っており、波浪の伝搬方向は水面上任意に方向を設定できる。一方、光の水面での反射／散乱特性はその水面の状況により、大きく異なる性質をもつ。本研究では一般的な静止状態の水面による反射をフレネルの反射式を用いて計算した。さらに海面上の光散乱を多分散懸濁系として捉え、東京湾内外の海水面による懸濁粒子の粒径分布 (Fig.3(a)) を組み込んでいる。<sup>[3]</sup> この粒径分布による光散乱特性を Mie 散乱の計算によって求めた (Fig.3(b))。ライダーエコー光量の見積もりはこの散乱特性を用いて解析している。

本研究ではライダーの配置する高さを 10m とし、仰角を水平より下方にして入射させた。入射光と水面の交点と水面に対する入射角を求め、その際の散乱光強度を先の散乱特性に適用する。水面が動く際にライダーエコーとしての現れ方を評価している。Fig.4 は水面とライダー送信光との交点と時間変化によるその動きを示したものである。水面が動くに従って交点は変化するが、波の背面には光が届かない。また、前方に大きな波浪が立ち上がるとそれより後方の水面の動きが見られなくなる。ライダーの配置する高さの対象とする波浪の高さによって水面の動きと波の見え方が異なる様子を確認した。また、送信光の口径と積算時間によって水面の動きは平均化される。計測の速度と対象の分解能とを最適化することで、必要とするライダーの仕様を決めていくことになる。

### 4. まとめ

風波によるライダーエコーのシミュレーションを行った。本研究では水面観測時のライダーエコーシミュレーションを行うと同時に LED ライダーによる水面観測を行っている。実際の光散乱光強度とその動きの観察を通して、シミュレーションにフィードバックする。シミュレーションでは計測対象とする波浪の動きを観測／可視化させるための条件を観測角、送信ビーム径、積算時間の観点から最適化を図っていく。

#### 参考文献

- [1] 日本造船研究協会、「実船搭載用波浪計に関する研究報告書」(1975)
- [2] 光易 恒、「海洋波の物理」、岩波書店 (1995)
- [3] 佐々木, 浅沼, 宗山, 海洋科学技術センター試験研究報告 JAMSTECR 8, pp.81-90 (1982)

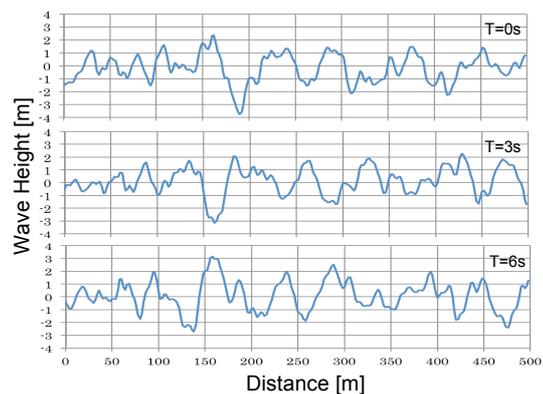


Fig.2 Wave simulation.

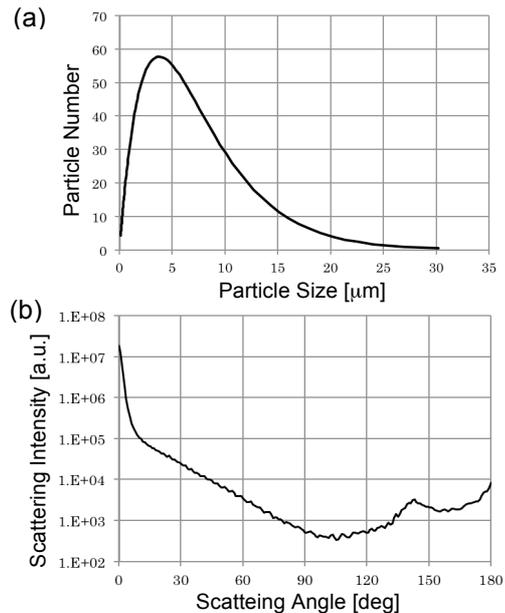


Fig.3 Scattering profile of sea water.

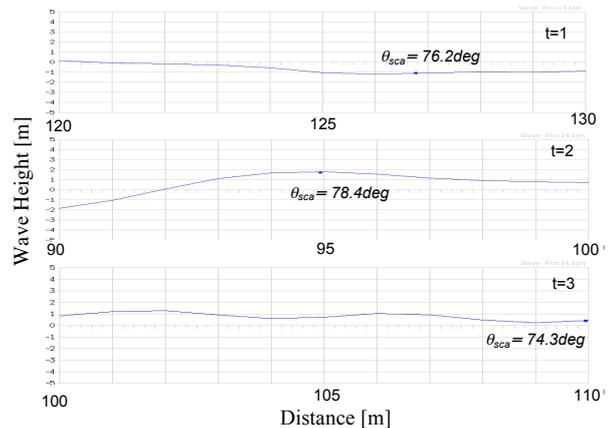


Fig.3 Scattering profile of sea water.