

LED ライダーによる狭隅角波浪観測 — 解析と可視化 —

椎名達雄¹, Nofel Lagrosas¹, 大久保洸祐¹, Alifu Xiafukaiti¹

¹千葉大学大学院 工学研究院 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33)

Shallow Angle Sea Wave Observation of LED Lidar — Analysis and Visualization —

Tatsuo SHIINA¹, Nofel LAGROSAS¹, Kosuke OKUBO¹ and Alifu XIAFUKAITI¹

¹Chiba Univ., 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba 263-8522

Abstract: Interaction between the sea surface and the lower atmosphere is important. Especially in the shore, such interaction becomes more fruitful but complex because the sea wave dynamics and wind will mix in the interaction. It is worthwhile to monitor such interaction for geophysics, marine science and technologies for revetment and boat maneuver. In this study, we focused on the above interaction monitoring and its visualization. The LED lidar system set to the near horizontal direction at shallow angle. The interactions between the sea wave and the wind have been captured under the several weather conditions and observation locations. By the synchronized measurement with weather sensor, the sea wave dynamics are discussed with the wind profile.

Keywords: LED lidar, sea wave, shallow angle, interaction.

1. はじめに

表層大気と海面との相互作用は大気水循環にとって重要なだけでなく、塩化ナトリウムをはじめとするミネラルやガスの輸送にも必要な役割を果たす。特に沿岸部では波浪の挙動と風が混合し、そのような相互作用が複雑に活発化・活性化される。この表層大気と海面との相互作用を可視化することは、地球物理、海洋科学、さらには護岸技術や船舶操舵技術にとって有益となる。波浪のモニタリングに関してはこれまでも報告されてきたが、表層大気と海面との相互作用に関しは十分な議論がなされていない¹⁾³⁾。

本研究では表層大気と海面との相互作用に着目し、その可視化を行う LED ミニライダーの開発を行ってきた⁴⁾⁶⁾。沿岸での観測を可能とするため、ライダーは DC バッテリーでの駆動を可能としており、観測は狭隅角 (Shallow Angle) で行っている。高い時空間分解能を有することで波浪の挙動と大気との相互作用を可視化する。本研究ではさまざまな天候化、ロケーション (内海・外海) とで観測を行い、得られた結果に関して考察行なった。

2. 波浪用 LED ミニライダーと観測地

波浪用 LED ミニライダーの仕様を Table 1 にまとめる。パルス光送信部を改良し、送信尖塔光出力は 1W から 15W に、またパルス幅は 10ns から 5ns に短パルス化している。さらに偏光成分をとるため 2つの PMT を用いている。波浪 (風波) は 0.1 - 1Hz の周期をもつため、LED ライダーは 0.2s 積算で 0.15m の空間分解能を持たせている。そのための専用のホトカウンタを開発し、利用している。観測サイトは Fig.1 に示す千葉県内、東京湾側 (Site 1: 検見川浜 35.6257° N, 140.0512° E) 並びに外海 (太平洋側) (Site 2: 外川漁港 35.6949° N, 140.8576° E) を利用した。

Table 1 LED mini-lidar for wave observation.

Transmitter	
LED Pulse Power	750mW -> 15W
Wavelength	385nm
Pulse Width	10ns -> 5ns
Beam Diameter	50mm□
Beam Divergence	10mrad.
Repetition Frequency	450kHz -> 250kHz
Receiver	
Telescope	Cassegrain
Diameter	127mm□
Field of View	<5mrad.
Interference Filter	$\lambda_0=385\text{nm}, \Delta\lambda=10\text{nm}$
Detector	Photomultipliers for P / S



Fig. 1 Observation sites.

3. 観測結果と解析

観測結果の例を Fig.2 に示す. Fig.2a) は Site2 (太平洋側 外川漁港) で 2021 年 12 月 27 日に観測した結果である. 穏やかな日の観測で, 10° の俯角で計測している. 4-7m に大気エコーが観測され, 9-17m に左から右へ下がる周期的な波浪の挙動が捉えられている. 北西の風で, 波浪が沿岸に打ち寄せる動きが可視化されている. ピンク色の着色は波速を求める際の閾値を超えたエコー値に付してあり, その波速を白棒でグラフ上部に示している. 波長は 10-15m で, s の間隔は 3 m であった. 20:36 に強い風が吹き, 波浪が結合して左から右へ上がる波浪後方のエコーが得られている. 同様の動きが 2 度くり返えされている様子がわかる. 北西の風は打ち寄せる波浪には向かい風となるため, そのような様相を呈したと考えられる. p s 両偏光による偏光解消度は 0.933 となった. 10° の俯角での観測は海面には 80° の入射角となり, p s の反射係数差が最大となる角度になる.

Fig.2b) は Site1 (東京湾側 検見川浜) で 2017 年 12 月 11 日に観測した結果である. 非常に風の強い日の観測で, 平均風速は 7.18m/s, 南西の風であった. 観測の俯角は 3 度, 風に対して垂直方向からの観測であった. 60 - 80m 先の波浪が周期的に打ち寄せる様が途切れることなく現れるエコーとして捉えられている. 風速の強弱と合わせて大気エコーが大きくなる様子がわかる. 風向と観測サイトの状況から, 波浪による飛沫が大気エコーを大きくさせており, 波浪が 40m の距離にまで伸びている様子がわかる. 観測の配置から波浪の挙動は打ち寄せる波を側面から観察することになり, 観測の俯角との関係から波高を 1.0 - 1.3 m と見積もることができる. 強風により波長が伸びた際は 2.0 - 2.6 m まで波高が伸びていることが推察できる.

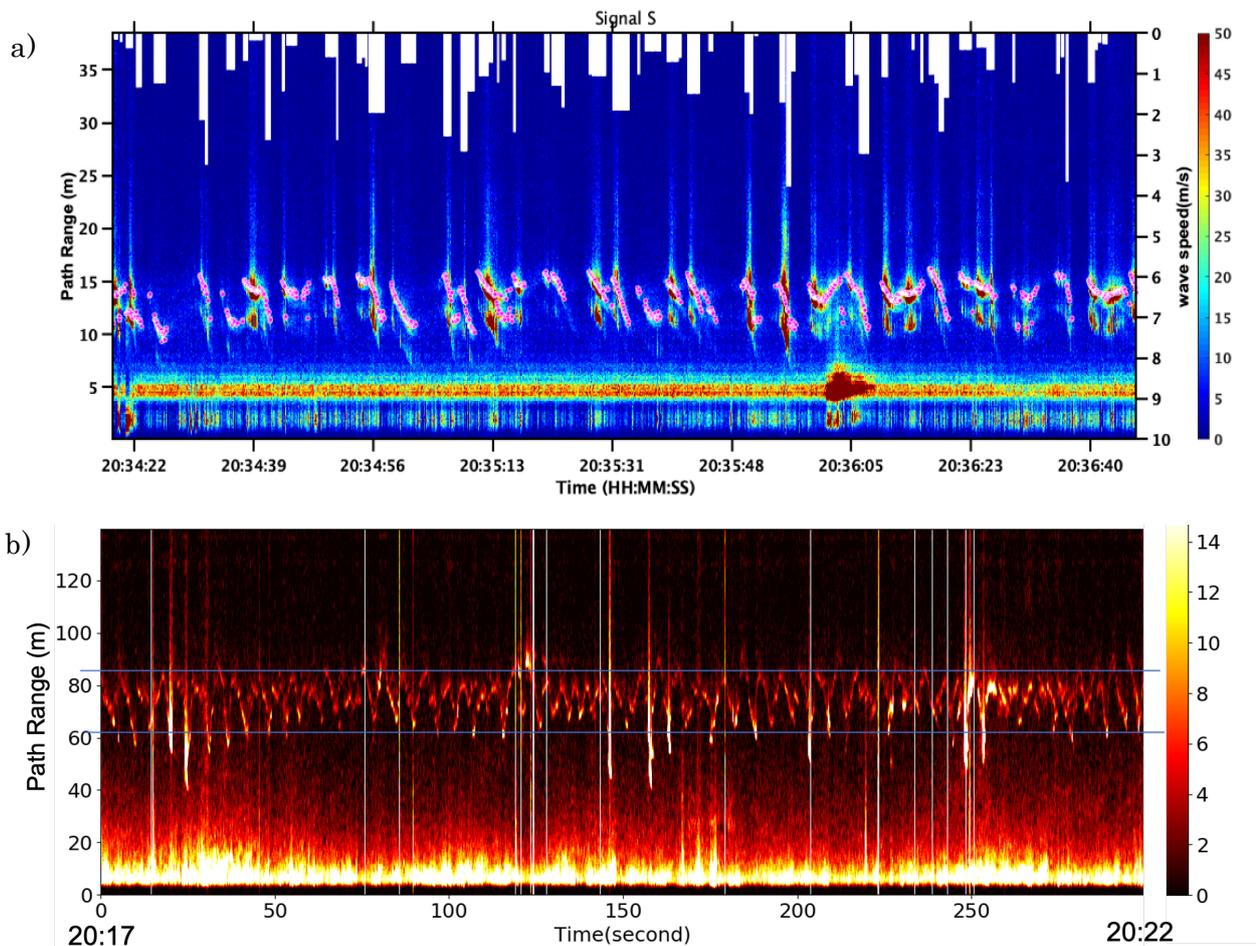


Fig.2 Sea wave observation results at a) Site 2: Sotokawa at 20:34 – 20:36 (JST) on 27th Dec. 2021. b) Site 1: Kemigawa at 20:17 – 20:22 (JST) on 27th Dec. 2021.

Fig.3 には Site2(太平洋側 外川漁港) で 2020 年 1 月 15 日に観測した結果である。100m 先方から打ち寄せる波が捉えられており、その周期的な波浪の様子と合わせて大気の挙動が可視化されている。波浪によって生じた飛沫がゆっくりと沿岸に向かって伝わる様子が捉えられている。ピンク色の矢印で示しており、その速度は徐々に緩やかになっているようにも見受けられる。最初(グラフ左①)は 1.67 m/s, 次の②では 1.14 m/s, やがて③で 0.43 m/s と見積もられた。波浪の速度は変わっていないことから、大気の風速に寄るものと考えられる。大気エコーには風紋が現れていることも興味深い。波浪の強弱と大気の相互作用を考える上でも有益な結果である。

Fig.4 と Table 2 に観測の俯角と波速の関係性をまとめたものを示す。観測の俯角が大きくなると観測される波浪はライダーへと近づく。つまり、観測される波浪は沿岸へと近づく。従って、沿岸に近づくにつれ、海底は浅くなり (Shallow), その結果として波速は速くなることが示唆される。つまり、海底の深さと波速ならびに波高との相関が現れていることを示唆している。これらの情報は護岸技術や船舶の自動操舵に有効である。

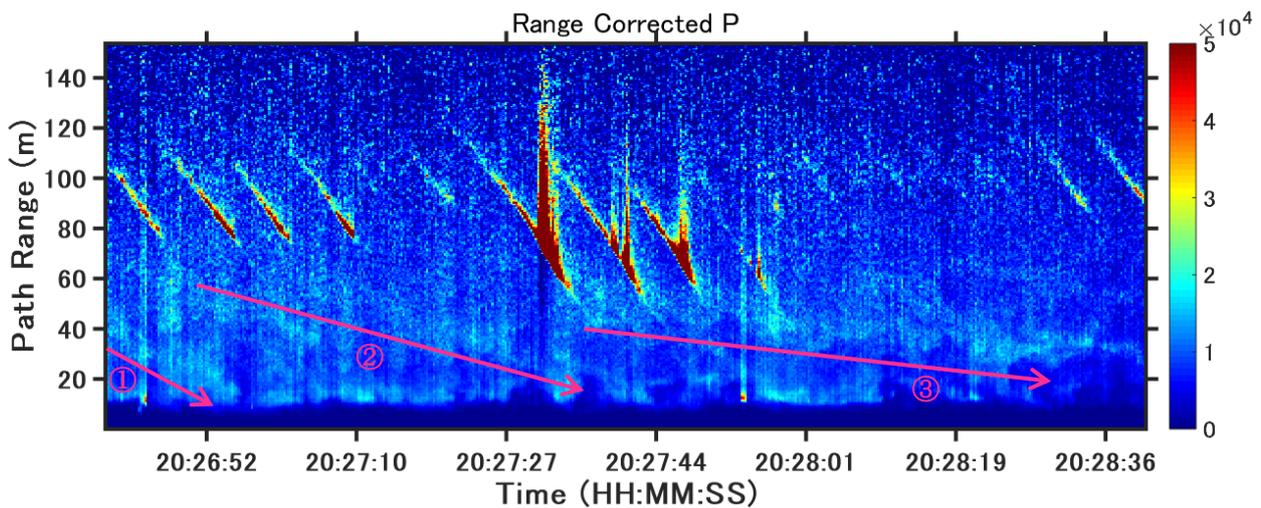


Fig.3 Sea wave observation results at Site 2: Sotokawa at 20:26 - 20:28 (JST) on 15th Jan. 2020. Dep. Angle 2 degrees.

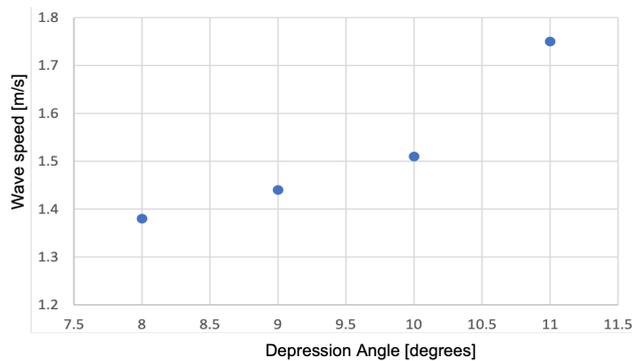


Fig.4 Wave height variations in depression angle under the shallow angle observation with LED mini-lidar.

Table 2 Relationship among Depression Angles, wave speeds and heights.

DEP. ANGLE (°)	WAVE SPEED (M/S)	WAVE HIGHT (M)	PERIOD (S)
8	1.38	0.40	5.97
9	1.44	0.50	4.93
10	1.51	0.63	4.93
11	1.75	0.63	5.19

4. まとめ

本研究では波浪用 LED ミニライダーを開発し、狭隅角での観測を確立した。LED パルス光源の開発、高速高分解能での専用ホトンカウンティングボードの開発、ならびに狭隅角での観測の基礎計測を繰り返すことで、積算時間 0.2s、空間分解能 0.15m の波浪・表層大気の情報取得を得た。ミニライダーは漁船やプレジャーボート等の設置を想定し、小型で低消費電力、安全性の高い構成を想定している。

観測では表層大気と波浪の挙動との相互作用を可視化し、その状況を判断するに十分な情報を導出することを可能にしている。大気の流れによって生じる波の挙動と、潮汐によって発生する風波の挙動によって生じる大気の流れを可視化できた。さまざまな天候下、ならびに観測サイト（内海・外海）の違いによって生じる波浪の挙動の違いを可視化し、その結果を考察した。

今後は表層大気と海面との相互作用の微視的な物質輸送と巨視的なエネルギーの伝搬に関して考察を展開する予定である。

謝 辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP19H02383 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) Belmont M. R., Horwood J. M. K., Thurley R. W. F., and Baker J., “Shallow Angle Wave Profilig Lidar”, J. Atmospheric and Oceanic Technology, **24**, 1150-1156 (2007).
- 2) Mikhalevich V. and Solntsev M., “Laser Methods for Measuring the Ocean Surface-Wave Spectrum”, EARSel Advances in remote sensing, 1.1, 33-35 (1992).
- 3) Reineman B. D., Lenain L., Castel D., and Melville W. K., “A Portable Airborne Scanning Lidar System for Ocean and Coastal Applications”, American Meteorological Society, **26**, 2626-2641 (2009).
- 4) Shiina T., “LED mini-lidar”, 26th ILRC proceeding S1P-17, (2012).
- 5) Mori Y., Shimada S., Shiina T., Baji H., and Takemoto S., “Dynamic analysis of sea wave data measured by LED lidar”, SPIE proceeding 10006, 100060G (2016).
- 6) Shiina T. and Mori Y., “Shallow angle measurement of sea wave dynamics by LED mini-lidar”, 28th ILRC proceedings 011_193, (2017)