

# コヒーレントドップラーライダーによる潮流計測適用にむけた 海面エコー検出確率の算出

野邑 寿仁亜<sup>1</sup>, 伊藤 優佑<sup>1</sup>, 吉岐 航<sup>1</sup>, 今城 勝治<sup>1</sup>, 中野 貴敬<sup>1</sup>,  
飯島 康裕<sup>2</sup>, 落水 秀晃<sup>2</sup>

<sup>1</sup>三菱電機株式会社情報技術総合研究所 (〒247-8501 神奈川県鎌倉市大船 5-1-1)

<sup>2</sup>三菱電機株式会社鎌倉製作所 (〒247-8520 神奈川県鎌倉市上町屋 325)

## Evaluation of Signal Detection Probability for Reflected Signal from Sea Surface for a Flow Measurement by using Coherent Doppler Lidar

Junia NOMURA<sup>1</sup>, Yusuke ITO<sup>1</sup>, Wataru YOSHIKI<sup>1</sup>, Masaharu IMAKI<sup>1</sup>, Takayuki NAKANO<sup>1</sup>,  
Yasuhiro IJIMA<sup>2</sup>, and Hideaki OCHIMIZU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mitsubishi Electric Corporation, Information Technology R&D Center, 5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa, 247-8501

<sup>2</sup>Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura Works, 325, Kamimachiya, Kamakura-shi, Kanagawa 247-8520

**Abstract:** We study the feasibility of applying Coherent Doppler Lidar to measure the sea current. While the received signal reflected from the sea surface, i.e., sea surface echo, is higher than that from the aerosols, the detection probability is expected to be significantly lower and the detection would be intermittently. In addition, the obtained signal consists of the signal from the scatter light from aerosol in the air before the sea surface, and the signal from the reflected light from the sea surface. Then, we separate the probability density function for the signal to noise ratio of the obtained signal by modeling Gaussian fit. We calculate the signal detection probability from the sea surface measurement.

**Key Words:** Laser, LIDAR, Doppler Lidar, Coherent Laser Radar,

### 1. はじめに

コヒーレントドップラーライダーは、大気中にレーザー光を照射し、エアロゾル粒子による散乱光を解析することで風向風速を測定する装置である<sup>1)</sup>。現在我々は、本装置の潮流計測への適用を検討している。同ライダーは対象物の速度を測定可能なため、海面上層の流速を観測可能と期待される。一方で、海面は鏡面反射特性を示すと考えられ、加えて複雑な構造により散乱光の波面を乱すため、コヒーレント検出の感度は著しく低下すると考えられる。また、海面に対して角度をつけて送信光を照射した際の受信確率などのパラメータも不明である。そこで我々は、コヒーレントドップラーライダーの海面反射特性に

関する知見を得るため、実海域(熱海市近海)において海面エコー検出確率を測定する実験を実施した。

### 2. 試験構成

試験構成の模式図を Fig. 1 に示す<sup>1)</sup>。光源から出射された波長  $1.5 \mu\text{m}$  のレーザー光はカプラーにより2分岐され、一方は送信ビームの種光として、もう一方はヘテロダイン検波用の参照光として利用される。種光は周波数変調器で周波数シフトされたのちパルス化され、増幅器によりパワー増幅される。生成された送信ビームは、望遠鏡を通して大気中もしくは海面へ照射される。ここで、送信光軸と海面がなす角度を照射角と定義する。大気中のエ

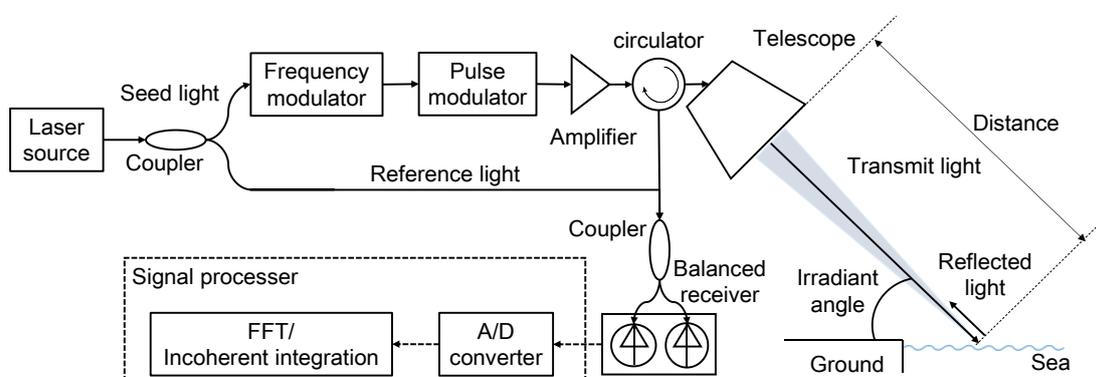


Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup using the coherent Doppler Lidar system for detecting signals from sea surface. The optical and electric path are shown as solid and dashed line, respectively.

アロゾルからの散乱光と海面からの反射光はテレスコープにて集光され、サーキュレータにて光路と分離される。受信光は参照光とカップラーで合波されたのち、バランス検出器にてヘテロダイン検波される。検出された受信信号はAD変換されたのち距離レンジビン(分解能:6 m)で分割され、各ビンの信号は高速フーリエ変換(FFT)により周波数情報に変換される。積算数は1000回である。

### 3. 受信エコーと検出確率の評価方法

テレスコープからの距離  $L$  に対する受信信号の信号対雑音比(SNR)のレンジビン毎の平均値を Fig.2 に示す。青線は照射角 0 度、すなわち海面に対して水平に送信光を照射して大気中のエアロゾル散乱光のみを受光した場合、赤線は照射角 55 度の場合、緑線は遮光した状態での装置雑音の結果である。平均化回数については照射角 0 度が 1708 回、照射角 55 度が 7740 回である。距離 90 m までは 15 dB 程度の装置雑音が存在する。海面位置( $L=42$  m)において標準偏差が大きいが、これは海面からの鏡面反射の間欠的に受光した際の強い信号強度と非検出時の弱い信号強度の分散が表れているためである。どちらの信号強度も装置雑音に対して有意に大きい。送信光の集光距離は海面までの距離に合わせており、照射角 55 度においては 42 m である。

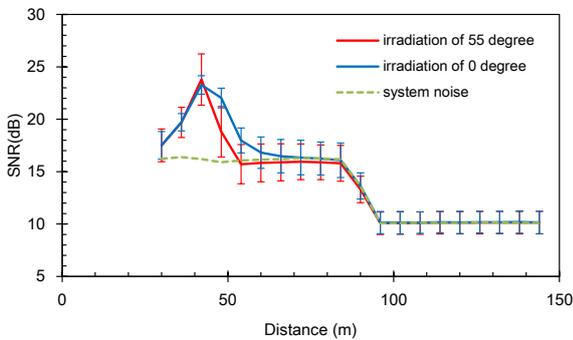


Fig. 2. The signal to noise ratio (SNR) for distance from the telescope. The blue and red curve show cases of the irradiation angle is 0 and 55 degree, respectively. The green curve shows system noise. The error bar shows standard deviation.

照射角 55 度、距離レンジビン 42 m における海面からの受信信号をヒストグラム化した結果を、Fig. 3 に示す。横軸は SNR(dB)、縦軸は検出確率密度(PDF)を示す。ただし、SNR は装置雑音を差し引いた値を利用した。コヒーレントドップラーライダーを海面に照射した際に得られる受信信号は、海面手前の近傍大気に含まれるエアロゾルの散乱信号と、海面からの反射信号の二つから構成される。これらを分解するため、各々の信号強度が正規分布であり、確率密度関数はその重ね合わせとして、式(1)で記述できると仮定した。式(1)で  $x_i$  は SNR 値を、 $f_i$  は対応する

PDF を示す。 $A_{aerosol}$ ,  $A_{sea}$ ,  $x_{aerosol}$ ,  $x_{sea}$ ,  $\sigma_{aerosol}$ ,  $\sigma_{sea}$  はそれぞれエアロゾル散乱信号分布との海面反射信号分布の振幅、中心値、標準偏差を示す。また、式(2)で定義される  $\chi^2$  が最小になる条件をモンテカルロ法により探索し、フィッティングを行った。式(2)において、 $y_i$  は各 SNR に対応する測定結果の PDF であり、 $\sigma_i$  は  $y_i$  に対して二項分布を仮定した際の標準偏差である。また、フィッティング条件として、海面反射信号の平均値は、エアロゾル散乱信号の平均値より大きい(式(3))と仮定した。

$$f_i(x_i) = A_{aerosol} \exp\left(-\frac{(x_i - x_{aerosol})^2}{\sigma_{aerosol}^2}\right) + A_{sea} \exp\left(-\frac{(x_i - x_{sea})^2}{\sigma_{sea}^2}\right) \quad \dots(1)$$

$$\chi^2 = \sum x_i (y_i - f_i(x_i))^2 / \sigma_i^2 \quad \dots(2)$$

$$x_{sea} > x_{aerosol} \quad \dots(3)$$

フィッティングで得られた海面からの反射信号の確率密度分布を積算することで、海面エコーを含む信号数(海面信号の検出確率)を見積もった。同様の測定を、照射角 10 度から 50 度まで 10 度刻みで実施した。各測定において、同様のフィッティングを実施することで、検出確率の照射角度依存性を議論することができる。本発表では、解析の結果から示唆される検出確率と諸条件(照射角等)との関係性について述べる。

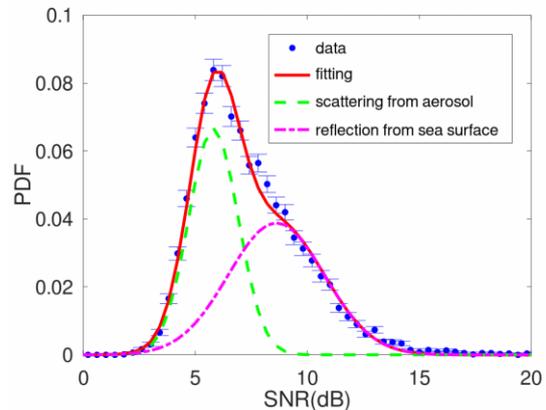


Fig. 3. The probability density function (PDF) of SNR when the irradiation angle is 55 degree. The blue plot is the result and the red curve is Gaussian fit curve written as (1). The error bar shows the standard deviation. The green dashed and magenta dot-dashed curve show the calculated PDF of scattering from aerosol and reflection from sea surface detection, respectively.

### 参考文献

- 1) S. Kameyama, *et. al.*, "Compact all-fiber pulsed coherent Doppler lidar system for wind sensing," *Appl. Opt.* **46**(11), 1953-1962 (2007).