

# 周波数変調・長時間パルスを用いたライダの初期観測

山菅 大<sup>1</sup>, 吉川 栄一<sup>1,2</sup>, 青木 誠<sup>3</sup>, 牛尾 知雄<sup>1</sup>, 石井 昌憲<sup>3</sup>

<sup>1</sup>首都大学東京 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

<sup>2</sup>宇宙航空研究開発機構 (〒181-0015 東京都三鷹市大沢 6-13-1)

<sup>3</sup>情報通信研究開発機構 (〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1)

## Initial Observation of a Wind LIDAR with Long-Duration Frequency-Modulated Pulse

Hiroshi YAMASUGE<sup>1</sup>, Eiichi YOSHIKAWA<sup>1,2</sup>, Makoto AOKI<sup>3</sup>, Tomoo USHIO<sup>1</sup>, and Shoken ISHII<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0046

<sup>2</sup>Japan Aerospace eXploration Agency, 6-13-1 Oosawa, Mitaka, Tokyo 181-0015

<sup>3</sup>National Institute of Information and Communications Technology, 4-2-1 Nukuiitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795

**Abstract:** A 1550-nm wind lidar with frequency modulation and long duration pulse was proposed. The proposed wind lidar can designate range resolution and velocity resolution independently, and it accomplishes a high SNR by pulse compression technique. For demonstrating the proposed wind lidar, we have been developing a prototype of the wind lidar. As an initial stage of the observation experiment, walls and low-level cloud bottoms were observed using 1  $\mu$ sec pulse with 1MHz (unmodulated) and 5 MHz bandwidth modulation. Distance resolution of pulse of bandwidth 1MHz and 5MHz are 155 m and 31 m. Since the analytical distance resolutions are 150 m and 30 m, the distance resolution is improved equivalent to the theoretical value. In the observation of clouds, clouds with a speed of about -1 m/s was detected. This verifies that the proposed method works for targets with doppler velocity.

**Key Words:** LIDAR, Frequency-Modulation, Long-Duration Pulse

### 1. はじめに

長時間パルスレーザを用い、周波数変調を適用した 1.5  $\mu$ m ドップラーライダが提案されている。従来のドップラーライダは距離分解能を向上させるためにはパルス幅を短くする必要があるが、パルス幅を短くすると速度分解能が劣化する問題があった。したがって、距離分解能と速度分解能はトレードオフの関係にあり、ドップラーライダの設計を柔軟に行うことはできなかった。また、SNRを向上させるためにはパルスエネルギーを増加させる必要があるがパルス幅を広げることは距離分解能の劣化させるため、レーザのピークパワーを増加させることだけがSNRを改善する唯一の方法だった。提案するドップラーライダは距離分解能と速度分解能を独立に決定することができ<sup>1</sup>、パルス圧縮技術によって高いSNRを達成する<sup>2</sup>。

パルス圧縮により高出力高分解能を実現する方式は、レーダーでは多く用いられてきた方式である。しかし、ライダにおいてはレーザの高い周波数のためにドップラーシフトが大きいことが問題となる。受信信号の周波数がドップラーシフトにより大きく変動するために、参照信号との相関が小さくなり Matched Filter<sup>2</sup>によるパルス圧縮ができない。例えば 1.0 m/sec の視線方向速度を持つ粒子は 1.3 MHz のドップラーシフトをもたらす。1.0 MHz の信号を

送信する場合、受信信号は参照信号として用いられる送信信号のレプリカと相関がなくなる。そこで提案されたドップラーライダでは、それぞれ異なる周波数シフトを施した参照信号を多数用意し、それぞれで Matched Filter を行う。それぞれの Matched Filter の結果は各ドップラー速度におけるレンジプロフィールに対応する。つまり複数の Matched Filter の結果は受信信号の距離-速度プロフィールを導出する。これまでに理想的な条件下での解析的な性能評価では、風速の推定精度は距離分解能を維持したままパルス長の平方根に比例して増大する<sup>1</sup>。

本研究では提案手法の実証を目的として、提案手法を適用したドップラーライダのプロトタイプ製作を行っている。観測実験の初期段階として、送信機から 170 m の距離に位置する壁と雲底の低い雲の観測を行った。

### 2. 実験装置

提案するドップラーライダのプロトタイプは Fig.1 のように構成されている。光源には 1550 nm の半導体レーザを用いる。ここで連続光が生成され送信光とローカル光に分けられる。送信光は AOM に入力される。AOM には変調信号パルスが入力されており、AOM からの出力は変調光パルスとなる。変調光パルスは EDFA で増幅され、望遠鏡を通

して空間に放出される。後方散乱されたレーザー光は送信と同一の望遠鏡で集光される。集光された光は、カプラーでローカル光と重ね合わせられ、そのビート信号がバランスディテクターで検出され電気信号に変換される。電気信号はデジタルにサンプリングされ信号処理が行われる。

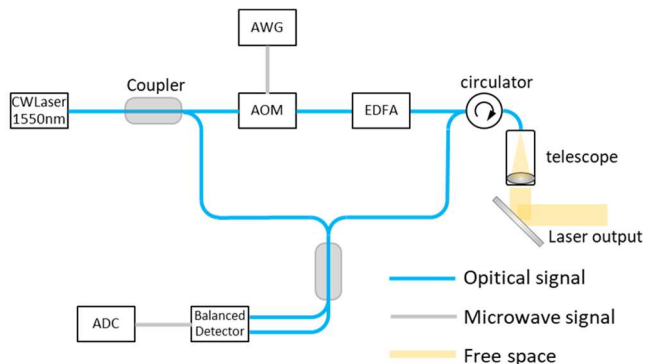


Fig.1 Optical Setup of Experimental System

### 3. 観測結果

本実験では、170 m に位置する壁と、雲底高度 400m 程度の雲底の低い雲の観測を行った。それぞれに対してパルス幅 1  $\mu\text{sec}$ 、帯域幅 1 MHz (変調なし)と 5 MHz (変調あり) の 2 種のパルスで観測を行った。Fig.2 は 1  $\mu\text{sec}$ 、1 MHz のパルスによる壁の観測した際の Range-Velocity Profile であり、Fig.3 は 5 MHz のパルスによる壁の観測結果である。ともに 170 m の地点に視線方向速度 0 m/sec の標的を検出している。150 m までに見えている強い信号はサーキュレータの漏れ込みである。このとき距離分解能はそれぞれ 155 m, 31 m であり、理論値の 150 m, 30 m と同等の値であった。

Fig.4 は 1  $\mu\text{sec}$ 、5 MHz のパルスで雲を観測した結果である。図は 360 m の地点に -1.1 m/sec の速度の標的があることを示している。これは変調なしのパルスで観測された距離・速度と同様の結果だった。

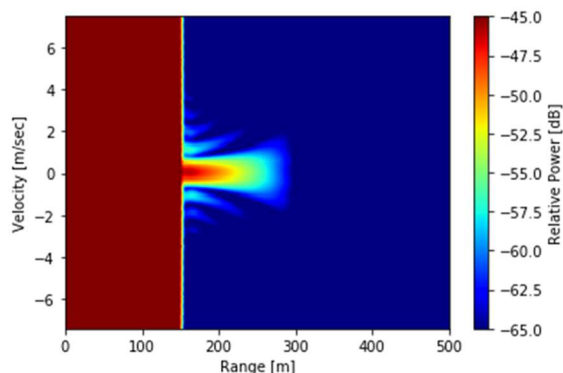


Fig.2 Observation of Walls with 1  $\mu\text{sec}$  1MHz pulse

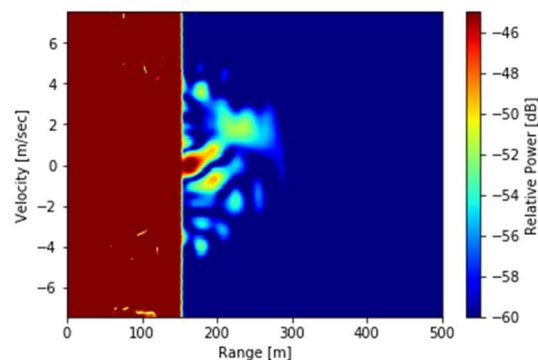


Fig.3 Observation of Walls with 1  $\mu\text{sec}$  5MHz pulse

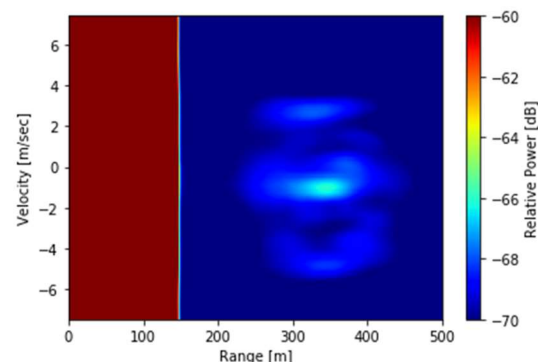


Fig.4 Observation of Cloud with 1  $\mu\text{sec}$  5MHz Pulse

### 4. まとめ

本研究では、長時間変調パルスライダの実証実験の初期観測実験として壁及び雲の観測を行った。壁の観測実験においてドップラー速度 0 m/sec の標的を正しく検出された。また、このとき距離分解能は帯域幅 1 MHz, 5 MHz の変調パルスに対してそれぞれ 155 m, 31 m であり、変調によって理論値と同等に距離分解能が改善された。雲の観測実験では -1.1 m/sec のドップラー速度を持つ標的が検出され、ドップラー速度を持つ標的に対しても提案手法が機能することが確認された。

今後は、エアロゾルの散乱波を受信し鉛直方向の風速分布推定を行う。同位置に設置されている NICT のドップラーライダと比較することにより、風速分布推定精度の検証を行う予定である。

### 参考文献

- 1) Merrill I Skolnik: Radar Handbook Third Edition, Chapter 8: Pulse compression radar, McGraw-Hill Education, 2008
- 2) Eiichi Yoshikawa, Tomoo Ushio: Wind ranging and velocimetry with low peak power and long-duration modulated laser, Optics Express, Vol 25, No.8, 2017