

# 2 $\mu\text{m}$ 帯コヒーレントドップラーライダーの初期性能評価

Initial performance evaluation of 2- $\mu\text{m}$  coherent Doppler lidar

大塚涼平, 青木誠\*, 石井昌憲\*, 水谷耕平\*

Ryouhei Otsuka, Makoto Aoki\*, Shoken Ishii\*, Kohei Mizutani\*

首都大学東京、\*情報通信研究機構  
Tokyo Metropolitan University, NICT

## Abstract

NICT developed a new coherent 2- $\mu\text{m}$  Doppler lidar. The initial performance of this lidar is described and analyzed. Bias in the velocity measurements was estimated to be -0.0448 m/s by Moment method and -0.0544 m/s by Maximum likelihood estimation method from a stationary hard target observations. Random errors in velocity measurements of this lidar were evaluated experimentally from observed standard deviation of velocity estimates as a function of wide-band SNR. This random error is compared with the theoretical Cramer-Rao lower bound on standard deviation of radial wind velocity.

## 1. はじめに

気象の予測には風のリアルタイムな動きを観測する必要がある。空間的な風の動きは地点観測では把握できないが、ライダーではこの風に乗って運ばれるエアロゾルや分子を遠隔で観測することで把握することができる。今回は NICT で開発されている 2 $\mu\text{m}$  帯のレーザーを用いたコヒーレントドップラーライダーの初期性能について評価していく。風の測定精度はバイアスとランダムエラーを算出し評価を行う。ライダーのバイアスは、遠方の静止物に光を当てそのドップラー速度の推定値から計測した。ドップラー速度の推定値はモーメント法と最尤推定法の 2 つの方法で計算したものを示し比較する。また、Velocity-difference method [1]を用いて信号対雑音比(SNR)に対するドップラー速度の推定値のランダムエラーを計算した。

## 2. 装置・観測概要

送信パルス光は音響光学 Q スイッチを含むリング状の共振器をもつ Tm,Ho:YLF レーザーによって 2.05 $\mu\text{m}$  の波長で発振される。口径 10cm の軸はずし望遠鏡から送信したパルス光はエアロゾルで散乱され、これと同じ望遠鏡で集光し参照光と重ね合せ、ヘテロダイン検波をする。その後プリアンプで増幅し 14bit の A/D ボードを経てサンプリング周波数 400MHz でデジタル化されパソコンに保存される。

ライダーから出したパルス光を窓から外に出し反射鏡で鉛直方向に向ける。水平に光を出す場合は、屋上に設置されている反射鏡で任意の方向に向けることで観測する。

距離を  $R$ 、時間を  $t$  と置くと、正しい速度  $m(R, t)$  は距離と時間の関数となっている。速度の推定値  $\hat{v}(R, t, N)$  は距離と時間とパルス数 ( $N$ ) の関数となる。これより速度の推定値と正しい速度、バイアス (bias)、ランダムエラー ( $e(R, t, N)$ ) の関係式は、

$$\hat{v}(R, t, N) = m(R, t) + e(R, t, N) + \text{bias}$$

となる。今回はこのランダムエラーとバイアスについて算出する。

### ・バイアスの計測

NICT 本部 (小金井市) から水平西向きに光を出し、静止物に当てる。今回は約 27km 付近で静止物 (山) に当たっていることが確認でき、この部分でバイアスの計測を行った。このとき繰り返し周波数は 10Hz、1 パルスあたりのエネルギーは 41mJ - 50mJ、レンジ分解能は 96m で観測を行った。7 月 15 日の 13:19~14:19 の 1 時間で 3600 サンプルの平均と標準偏差をプロットした。ドップラー速度はノイズ補正および周波数補正後、モーメント法または最尤推定法を用いて推定した。

### ・ランダムエラーの計算

夜間静穏時に鉛直流の観測を行い、ランダムエラーを計算する。5 分間の観測データから Velocity-difference method を用いて各レンジの標準偏差を求める。繰り返し周波数は 30Hz、1 パルスあたりのエネルギーは 63mJ - 71mJ、レンジ分解能は 96m で観測した。観測時間は 7 月 24 日の 23 時 04 分から 24 時 04 分までの 1 時間で行った。またこの計算結果を理論値 (Cramer-Rao lower bound) [2]と

比較を行う。

### 3. 観測結果および考察

バイアス計測の結果はモーメント法、最尤推定法のそれぞれで、バイアス ( $\langle \text{bias} \rangle$ ) は  $-0.0448 \text{ m/s}$  および  $-0.0544 \text{ m/s}$ 、標準偏差は  $0.1728 \text{ m/s}$  および  $0.1734 \text{ m/s}$  であった。モーメント法および最尤推定法のどちらの場合でも、バイアスの値としては非常に小さい。Fig.1 (モーメント法) と Fig.2 (最尤推定法) にヒストグラムを示した。どちらの方法でも平均および標準偏差に大差がなかった。これは静止物からの信号光が強いためドップラー速度の推定値の標準偏差に大差がないと考えられる。

Fig.3 にランダムエラーの測定結果を示す。SNR が低いところは遠くから返ってきている信号であるのでランダムエラーの値の標準偏差が大きい。実線が理論値で + で示したものが各レンジの標準偏差であり、良い一致をしていることが確認できる。

今後はこのシステムをコンテナに移し、他の観測機器との比較や極端気象などの観測を行っていく。

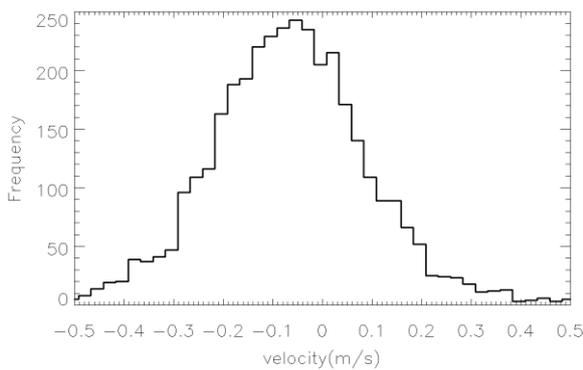


Fig.1. Histogram of Doppler velocity (10Hz, 1 second integration) of about 27km away hard target by Moment method

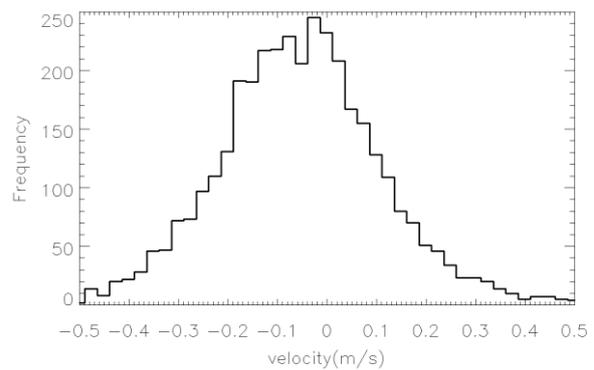


Fig.2. Histogram of Doppler velocity (10Hz, 1 second integration) of about 27km away hard target by Maximum likelihood estimation method

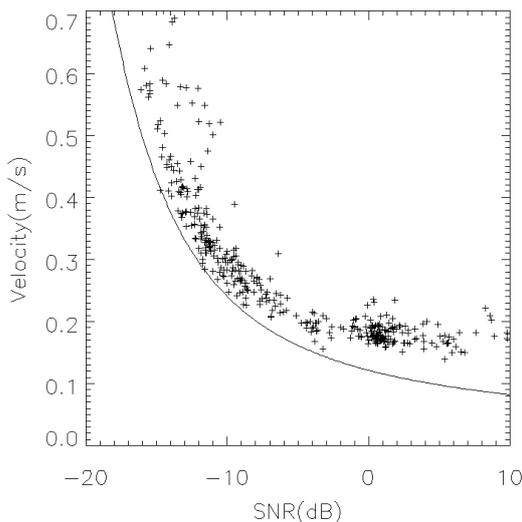


Fig.3. Comparison of random error of velocity measurements from each range (+) with theoretical Cramer-Rao lower bound (Solid line)

#### 参考文献

- [1] R. Frehlich, 2001, 'Estimation of Velocity Error for Doppler Lidar Measurements', J.Atomos.Ocean.Tech, vol.18, p1628-1639
- [2] B. J. Rye, and R. M. Hadesty, 1993, 'Discrete Spectral Peak Estimation in Incoherent Backscatter Heterodyne Lidar.I: Spectral Accumulation and the Cramer-Rao Lower Bound', IEEE TGRS, vol.31, p16-27