

2 μ m 帯コヒーレントドップラーライダーの受信信号効率の最適化

大塚 涼平^{1,2}, 青木 誠², 石井 昌憲², 水谷 耕平², 落合 啓²

¹首都大学東京 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

²情報通信研究機構 (〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1)

Optimization of the detection efficiency of 2- μ m coherent Doppler LIDAR

Ryouhei OOTSUKA^{1,2}, Makoto AOKI², Shoken ISHI², Kohei MIZUTANI², and Satoshi OCHIAI²

¹Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

²NICT, 4-2-1 Nukukitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795

NICT has developed a 2- μ m coherent Doppler LIDAR for long-distance observation. In order to observe wind profiles in long-range we optimize light collecting section and local signal intensity entering the detector. Light collecting section gathers signal backscattered by aerosols to the optical fiber. We put the focus point on a long distance in this section's lens. As a result, the variation of the SNR became smooth and large SNR was ensured even at a long distance. Signal entering the detector is a mix of backscattered signal and local signal. In order to use the detector at maximum efficiency, we must optimize incident light intensity.

Key Words: Laser, Doppler LIDAR, wind measurement

1. はじめに

気象現象の解明や予知をするために必要な要素のひとつに風の空間的な分布や時間的な変化がある。特に雲のない晴天時の竜巻やゲリラ豪雨などの急激な天候の変動を予測するには風の動きの観測が有効である。これらに対応するためには広い範囲をリアルタイムで観測ができるシステムが必要である。NICT では広範囲をリアルタイムで観測可能な可搬型の 2 μ m のコヒーレントドップラーライダーの開発をしている。以前にこの装置のバイアスおよびランダムエラーを算出し、初期性能について評価を行った。このときに長距離観測を行う際の課題がいくつか見つかった。よって今回はこの装置の課題のひとつである受信系の最適化を行う。エアロゾルからの後方散乱光のファイバーへの集光の調整は、より遠方の対象を観測する際に大きく効くことがわかっている。よって理論値¹⁾を元に、より遠くまで観測できるような受光部の調整を行った。また、長距離の観測では遠方からの後方散乱光の信号は、システムの雑音に埋もれ、検出することができない。そこで、より遠くの信号を拾えるように検出器への入射光量の調整を行った。

2. 最適化項目・方法

2.1 受光部

望遠鏡で集光された後方散乱光は fig.1 の受光部で光ファイバーへと集光される。このファイバーへの入射の焦点位置を調整することで、より遠くの後方散乱光の信号を受信できるようにする。光が入射する方向を Z 軸、入射方向に垂直な面を X-Y 面と考

える。光ファイバーの直径が 10 μ m 程度であるので X-Y 面は数 μ m の調整となる。Z 軸の調整は、より遠くからの後方散乱光の像がファイバーに効率よ

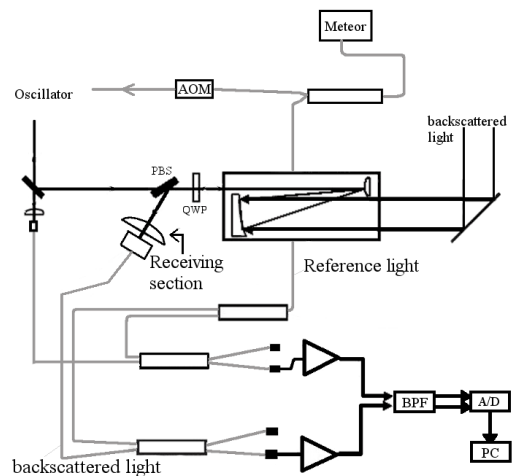


Fig.1 The configuration of the receiving system

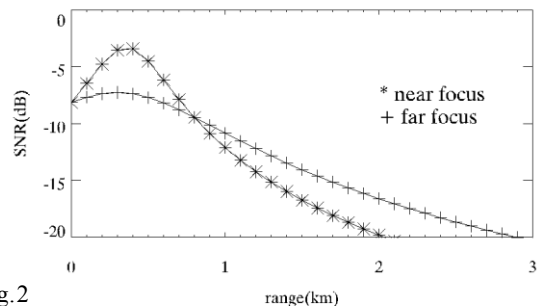


Fig.2 Simulated SNR before the light receiving section adjustment and simulated SNR after the light receiving section adjustment.

く入るように調整する。Fig.2 に Z 軸方向を調整した際の理論値を示す。※点では近くに信号のピークが存在し、その後の信号は急激に落ちていく。それに対し、+点ではなだらかに信号が減衰する。たとえば 2km の地点では 4dB の SNR の差がある。より遠方からの後方散乱光からの信号を得るには、ある程度遠くの像に焦点を結ぶ必要がある。これを参考に Z 軸方向の調整を行う。

2.2 検出器

望遠鏡で集光された対象からの後方散乱光は受光部でファイバーに集められ、ファイバーケーブルにて参照光と合流し重ねあわされる。重ねあわされた信号の一部が検出器でヘテロダイン検波される。検出できる信号の SNR を大きくさせるためには、参照光の強度を大きくする必要がある。この参照光によるショットノイズが他のノイズを上回る、ショットノイズ限界となるとき、 $SNR = P_s \eta / h\nu B$ で表せる。 η は検出器の量子効率、 h はプランク定数、 ν は使用する光の周波数、 B は検出器のバンド幅である。これよりショットノイズ限界においては、信号光の強度 P_s だけで SNR が決まる。しかし、検出器に入力する参照光信号はいくらでも大きくできるわけではなく、検出器によって入力できる信号強度は変わってくる。よって、ショットノイズ限界を保ちつつ、程よい信号強度になるようにファイバーケーブルの割合を調整する。

3. 最適化結果

3.1 受光部

受光部の調整前の SNR を fig.3 に示す。どちらも 10Hz で 10 回の積算したデータである。Fig.3 の上図は調整前の SNR である。調整前は Fig.2 の※点のようにライダーから近い位置にピークが存在し、その

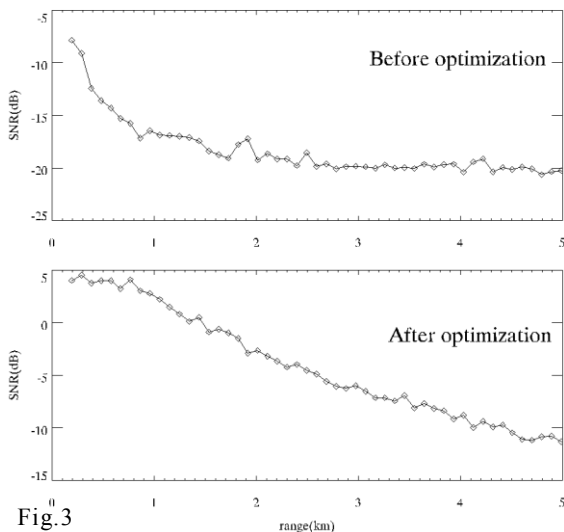


Fig.3 SNR before the light receiving section adjustment and SNR after the light receiving section adjustment.

後 SNR が急激に減衰している。また、受光部への入射光が少ないことから、X-Y 面についてもずれていると考えられる。下図は Z 軸、X-Y 面を調整した後である。全体的に SNR の値が大きくなり、かつ fig.2 の+点のようになだらかに減衰している。

3.2 検出器

参照光のみを検出器に通し、検出器への入射光量と、ショットノイズの関係について調べた。この関係から、調整前は光検出器の感度が飽和してしまう入射光量の近くで使っており、線形性が保障されているぎりぎりの部分で使っていたことがわかった。よって、ファイバーケーブルの比率を変え、入射光量を抑えることにした。fig.4 は調整前と調整後の水平風速の観測結果である。どちらも 30Hz、1 秒で取得したデータである。調整を行うことにより観測距離の向上が確認できた。

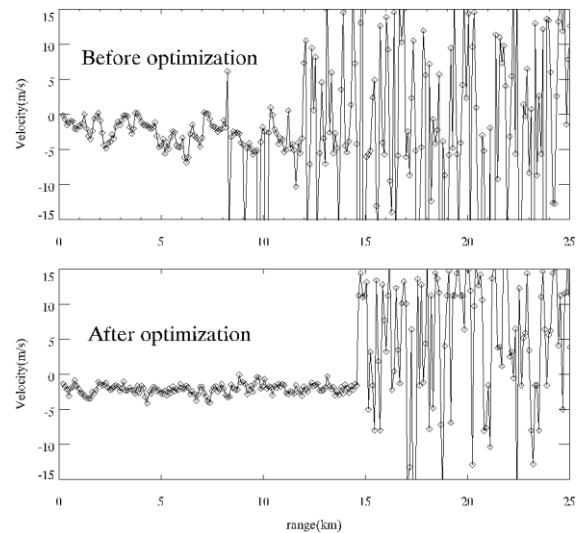


Fig.4 Horizontal wind velocity profiles before and after incident local light adjustment

4. まとめ

観測距離を伸ばすためには、遠くの対象からの信号を計算できるレベルで受信できなければならない。よって観測システムのハードの部分の細かい調整が必要であった。今回は受信部の受光部と検出器に入る信号を調整し、遠方の対象からの信号の SNR を増やすことで、観測距離を伸ばすことができた。今後は送信系の効率を考え、観測システム全体の効率を議論する予定である。

参考文献

- 1) M. Boquet "Simulation of Doppler Lidar Measurement Range and Data Availability" (American Meteorological Society, 2016) p. 977