

1 台のドップラーライダーによる水平風推定のための 擬似デュアルドップラー観測手法

A pseudo-dual-Doppler technique for horizontal wind retrieval from single Doppler lidar

岩井宏徳、小田僚子、関澤信也、石井昌憲、水谷耕平、村山泰啓

Hironori Iwai, Ryoko Oda, Shinya Sekizawa, Shoken Ishii, Kohei Mizutani, Yasuhiro Murayama

情報通信研究機構

National Institute of Information and Communications Technology

Abstract: Doppler lidar has the capability of observing the structure and evolution of boundary-layer flow at high spatial and temporal resolution. However, the direct measurements are limited to the radial component of velocity by a single Doppler lidar. In order to retrieve the vector wind fields, so-called dual-Doppler analysis techniques have been developed for long time. However, dual (or multiple) Doppler lidar measurements have been rare due to the expensiveness and complication in operating Doppler lidars. In this study, we developed a pseudo-dual-Doppler technique to retrieve the horizontal wind components (u and v) with a Doppler lidar and a steering mirror and conducted a field experiment on the technique. We compared 1-minute averaged horizontal wind components retrieved from the pseudo-dual Doppler lidar measurements to the sonic anemometer. The result of the comparison revealed standard deviations of the differences of the horizontal wind components are 0.20 m s^{-1} and 0.27 m s^{-1} , respectively.

1. はじめに

ドップラーライダーは大気境界層中の風速場を高い時間・空間分解能で計測することが可能である。しかし、直接的に計測できるのは視線方向（動系方向）の風速のみである。ベクトル風を直接計測したい場合は通常、2 台以上のドップラーライダーが必要である。しかし、ドップラーライダーは日本に 10 数台程度しか存在せず、2 台でのデュアル観測を実施するので非常に困難である。1 台のドップラーライダーの計測値からベクトル風を求めるには、さまざまな仮定が必要となり、計測精度に問題がある。

本研究では、情報通信研究機構（NICT）が開発した差分吸収／ドップラーライダー（coherent $2 \mu\text{m}$ differential absorption and wind lidar、以下 Co2DiaWiL）と 1 枚の折り返しミラーを用い、1 台の Co2DiaWiL で擬似的にデュアル観測を行った実験結果について報告する。

2. 観測概要および解析手法

本研究で用いた Co2DiaWiL の主要諸元を表 1 に示す。より詳細な諸元は Ishii et al. (2010) を参照されたい。本研究では CO_2 を吸収しない波長（offline）の観測データから視線方向風速を空間分解能約 76m で算出した。

図 1 に Co2DiaWiL、折り返しミラーおよび超音波風速計の設置位置を示す。Co2DiaWiL から射出したレーザー光を任意の方向に反射させるために、直径 15cm、反射率 98%以上（折り返し角度 45 度の場合）、面精度が波長の 8 分の 1 以下（波長 633nm の場合）の折り返しミラーを用いた（図 1 左上）。Co2DiaWiL により計測された風速の精度を比較検証するために、超音波

風速計（図 1 右下、SAT-540／ソニック、地上高 59m）の計測データを用いた。

Table 1. Specifications of Co2DiaWiL

Transmitter	
Laser	Tm,Ho:YLF
Wavelength: offline	2051.250 nm
Pulse energy	50 – 80 mJ
Pulse width (FWHM)	150 ns
Pulse repetition rate	30 Hz
Heterodyne detection	
Telescope diameter	10 cm
Beat frequency between local oscillator and atmospheric signal	105 MHz
Signal digitization	8 bits/500 MHz

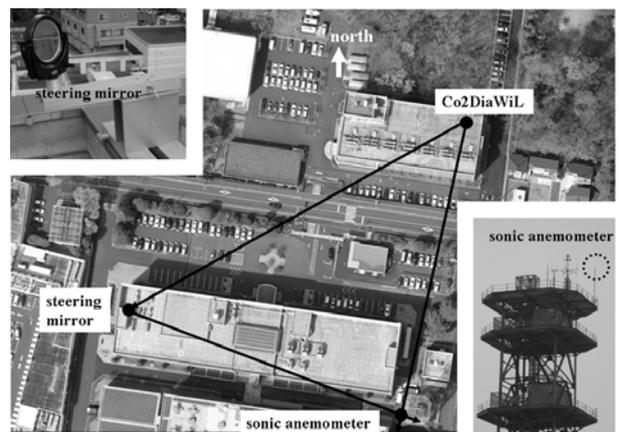


Figure 1. Aerial photograph of the experimental site showing the locations of the Co2DiaWiL, steering mirror, sonic anemometer.

図 2 に Co2DiaWiL、折り返しミラーおよび超音波風速計の位置関係を示す。Co2DiaWiL から直接、超音波風速計を狙ったレーザー光（視線方

向風速 V_{r1}) と折り返しミラーで反射させたレーザ光 (視線方向風速 V_{r2}) が超音波風速計の位置で交わるように、折り返しミラーの角度を設定した。それぞれの視線方向風速は1秒間ずつ交互に計測を行い、各視線方向風速の時間差は約2秒である。Co2DiaWiLにより計測される視線方向風速は超音波風速計により計測される風速に比べて、空間的に広い範囲の風速の平均値である。よって、風速の比較には、Co2DiaWiLにより計測された1秒間の視線方向風速と超音波風速計により10Hzでサンプリングされた風速とも1分間平均したものをを用いた。デュアル解析により水平風 (u, v) を求めるには、式(1)および式(2)に示す通り、鉛直流の計測値が必要である。観測時間帯の超音波風速計の計測データから、 $w < \pm 0.2$ m/s であること、Co2DiaWiL および折り返しミラーから超音波風速計への仰角が10度と低いことから、 w の項は無視した。

$$u = \frac{R_1 V_{r1} y_2 - R_2 V_{r2} y_1 + (z_2 y_1 - z_1 y_2) w}{x_1 y_2 - x_2 y_1} \quad (1)$$

$$v = \frac{R_2 V_{r2} x_1 - R_1 V_{r1} x_2 + (z_1 x_2 - z_2 x_1) w}{x_1 y_2 - x_2 y_1} \quad (2)$$

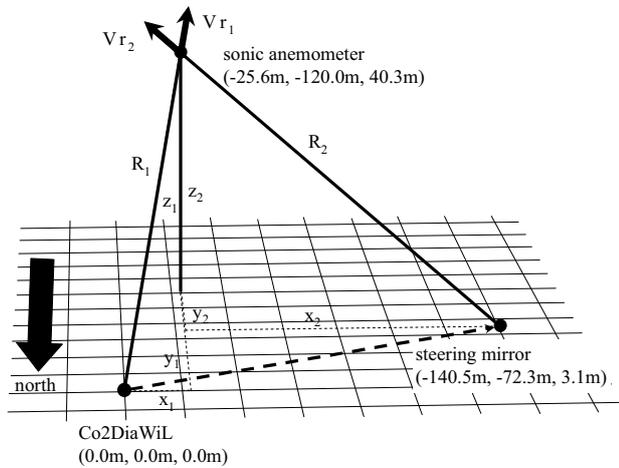


Figure 2. Sketch of the experimental set-up as seen from the north. The locations of the Co2DiaWiL, steering mirror, sonic anemometer are shown by the black circles. The large black arrow points towards the north.

3. 観測結果

図3に2010年6月22日19時14分から20時22分にCo2DiaWiLによる擬似デュアル観測により求められた水平風 (u_{dual}, v_{dual}) と超音波風速計により計測された水平風 (u_{SAT}, v_{SAT}) との比較を示す。Co2DiaWiLにより計測された1秒間の視線方向風速を1分間平均したものから水平風 (u_{dual}, v_{dual}) を求めているが、超音波風速計の水平風 (u_{SAT}, v_{SAT}) も同じ時間帯の計測値の1分間平均値を示している。 (u_{dual}, v_{dual}) と

(u_{SAT}, v_{SAT}) との差の標準偏差はそれぞれの $\sigma_u=0.20$ m/s、 $\sigma_v=0.27$ m/s である。 (u, v) とともに細かい時間変動まで良い一致を示している。

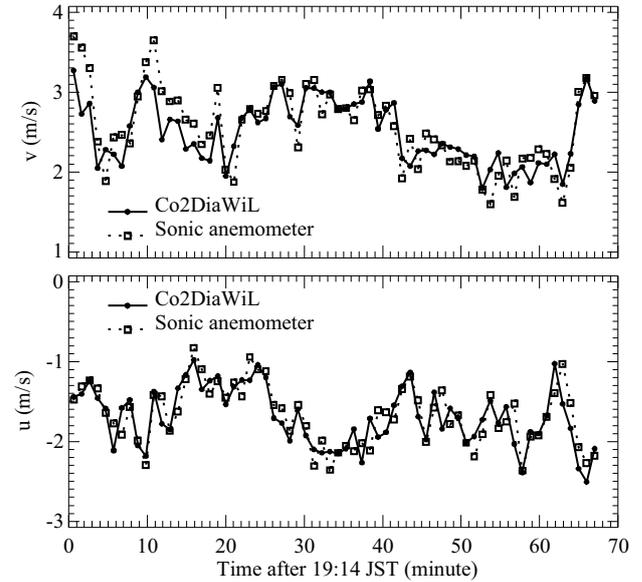


Figure 3. Comparison of u and v components retrieved from pseudo-dual Doppler lidar (black circle and solid line) and corresponding components of sonic anemometer (white square and dashed line) measured wind on 22 June 2010.

4. まとめ

NICTで開発したCo2DiaWiLの風観測モードで、折り返しミラーを用いて擬似的なデュアル観測実験を実施した。擬似デュアル観測と超音波風速計との比較は良い一致を示し、折り返しミラーを用いた擬似デュアル観測方法により得られる水平風は十分な測定精度があると言える。

本手法の1つの大きな特徴は、ドップラーライダーを2台利用する方法に比べて、非常に低コストでデュアル観測を実現できることである。また、応用方法として、複数の折り返しミラーを用いることや、精度の高い走査が可能な折り返しミラーを用いることで、1台のドップラーライダーでも、これまでにない風の計測が可能であると考えられる。今後は面的に水平風分布が得られる擬似デュアル観測手法について研究を進める予定である。

参考文献

Ishii, S., K. Mizutani, H. Fukuoka, T. Ishikawa, B. Philippe, H. Iwai, T. Aoki, T. Itabe, A. Sato, and K. Asai, 2010: Coherent 2 μ m differential absorption and wind lidar with conductively cooled laser and two-axis scanning device. *Appl. Opt.*, **49**, 1809–1817.