

金属蒸気エッジフィルターを利用したドップラーライダー Doppler lidar using a metallic vapor edge filter

柴田 泰邦¹・長澤 親生¹・阿保 真¹・永井 智広²・内野 修³

Y.SHIBATA¹, C.NAGASAWA¹, M.ABO¹, T.NAGAI² and O.UCHINO³

1 東京都立大学大学院 工学研究科、2 気象研究所、3 気象庁

1 Tokyo Metropolitan University, 2 Meteorological Research Institute, 3 Meteorological Agency

Abstract : We propose to apply a metallic vapor filter for an incoherent Doppler lidar to measure the atmospheric wind profiles. The location of the edge of the metallic vapor filter is more stable to thermal drift than that of the etalon filter which has been usually used, and the declination of the edge is not so sharp as that of the iodine-vapor edge filter. Their characteristics can simplify the thermal control system of the edge filter. We show that the wind measurement accuracy is improved better than the case that uses the iodine-vapor edge filter by computer simulation. Moreover, we examine the characteristics of potassium and sodium vapor filters experimentally.

1. はじめに

インコヒーレントライダーによる風速測定法としてエタロンやヨウ素フィルターの透過率の傾き部分であるエッジ(肩)を利用して透過光強度の変動からドップラーシフトを測定するエッジ法¹⁻³⁾がある。エッジ法による風速測定は、ミー散乱とレイリー散乱の存在する領域において両者の混合比の違いによって散乱光の受信信号強度が変わるため風速測定誤差が生じる。さらに、レイリー散乱スペクトルの卓越する高度では、測定時の上層大気温度によってレイリースペクトル幅が変動するため風速測定誤差が大きくなった。

本研究において、我々はエッジ法のフィルターに金属蒸気フィルターを用いることを提案する。金属蒸気フィルターは、フィルター自身の温度変化の影響を受けにくいいため、エタロンに比べフィルター温度制御の取り扱いが容易になる。また、ヨウ素フィルターよりエッジの傾きが小さい金属蒸気フィルターを用いることでレイリー散乱スペクトル幅の温度依存性による影響を更に軽減できることをコンピュータシミュレーションにより示す。

2. エッジ法による風速測定の原理

Fig.1にフィルターの透過スペクトル、レーザー光スペクトル、及び上層大気からの受信光スペクトルを模式的に示す。上層大気からの後方散乱スペクトルは温度に依存するドップラー広がりを持つ。Fig.2にエッジ法による風速測定ライダーシステムのブロック図を示す。受信光はビームスプリッターで2つに分けられ、検出器1(Det.1)で得られるフィルター透過光強度 P_1 と検出器2(Det.2)で得られる信号強度 P_2 の比を R とすると、 R は風によるドップラーシフト周波数 Δf の関数として与えられる。この際、ライダーの送受信軸は水平方向の風速測定を行うために天頂角 θ 度に傾けられている。水平方向の風速 V は R の値から実験的に求まる Δf とレーザー波長 λ_{L0} を用いて以下の式から求まる¹⁾。

$$V = \frac{\lambda_{L0} \Delta f}{2 \sin \theta} \quad (1)$$

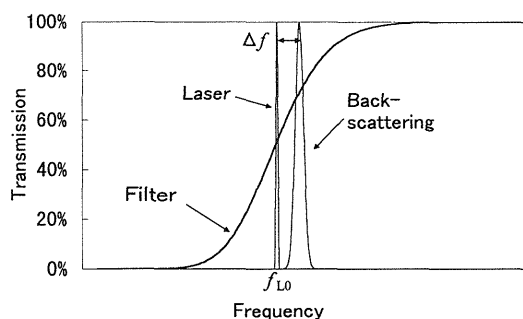


Fig.1 Relation of transmission of filter, and laser spectrum and Rayleigh backscattering spectrum. (f_{L0} : laser frequency, Δf : Doppler shift frequency by wind)

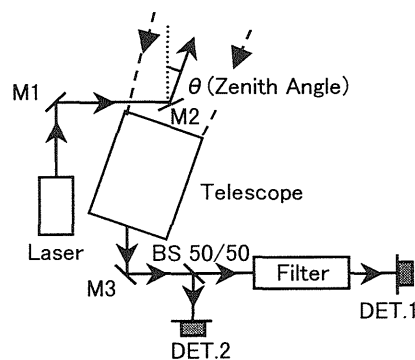


Fig.2 Outline of edge technique lidar system. (M: mirror, BS: beam splitter, Det.: detector)

3. ライダー測定シミュレーション

金属蒸気フィルターは金属原子の吸収線を光フィルターとして用いたものであり、透過関数は金属原子の温度やセルの長さに依存する。以下の章ではヨウ素フィルター⁴⁾よりエッジの傾きが小さくTi:Sapphireレーザーの利用が可能なカリウムフィルター(共鳴波長 770nm)と色素レーザーの利用が可能なナトリウムフィルター(共鳴波長 589nm)を使ったエッジ法による風速測定精度の検討を行う。比較のためFreidman等³⁾が用いたヨウ素フィルターについても同様の検討を行った。

Table1 のシステムパラメータを用いカリウム、ナトリウム、ヨ

ウ素の各フィルターを用いた場合の水平風速誤差と、仮定した風速モデルを Fig.3 に示す。ヨウ素の吸収係数はカリウムやナトリウムの吸収係数より小さいので、セル長を 20cm とした。システム誤差として以下の条件を仮定した。気温分布モデルはラジオゾンデと U.S. 標準大気モデル⁵⁾を用い、年平均気温分布から±10℃変化すると仮定した。また、フィルターの温度を±0.1K で制御し、レーザー発振周波数の不安定性に対する補正がなされ、ミー散乱とレイリー散乱の混合比が±5%の精度で補正できているもとした。さらに、夜間の測定を想定して背景光雑音は無視している。

Fig.3 の結果からカリウム、ナトリウムを用いた場合、ヨウ素を用いた場合より測定精度がよく、高度 30km 付近まで水平風速誤差 1.5m/s 以下で、高度 50km 付近まで水平風速誤差 5.0m/s 以下で測定できることが分かる。これは、ヨウ素フィルターのエッジの傾きがカリウム、ナトリウムのそれに比べて大きいので、レイリースペクトル幅の温度依存性の影響が顕著に現れたためである。また、高度 4km 付近で測定誤差が大きくなっているが、仮定した大気モデルにおいてミー散乱とレイリー散乱の強度比がほぼ 1:1 になる高度であり、ミー散乱のわずかな変化が受信信号強度に影響を与えているためと考えられる。

Table 1 Lidar system parameters used in the simulations

	K	Na	I ₂
Wavelength [nm]	769.99	589.0	532.26
Cell Length [cm]	1.0	1.0	20.0
Cell Temperature [K]	380	500	380
Pulse Energy [mJ]	500	500	500
Shot Number	36000	36000	36000
Telescope Diameter [cm]	100	100	100
Range Resolution [m]	1000	1000	1000
Laser FWHM [MHz]	100	100	100
Quantum Efficiency of PMT	10%	15%	15%
Zenith Angle	30°	30°	30°

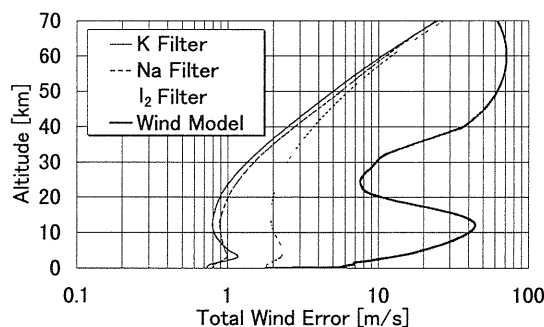


Fig.3 Simulated total wind errors and wind model as a function of altitude. (included wind errors by filter temperature shift ±0.1K and atmospheric temperature shift)

4. 金属蒸気フィルターの透過率測定

カリウムとナトリウムの蒸気フィルターの透過特性を測定したので以下に報告する。カリウム蒸気フィルター(セル長

1cm)は外部共振器 LD(半値全幅 0.3pm)を用いて吸収波長 770nm 付近について 1pm(約 580MHz)刻みで透過率を測定した。ナトリウム蒸気フィルター(セル長 10cm)は Nd:YAG 励起色素リングレーザを用いて透過率測定を行った。Fig.4, 5 に各蒸気フィルターの透過率測定結果と透過率シミュレーション結果を示す。ナトリウムの場合、実際の温度とシミュレーションで用いた温度に差があるのは温度センサーをセル表面の一部に付けたためセル中心部と異なる温度になったためである。この結果から、これらのフィルターを用いてエッジ法による風速測定が可能であることが分かった。

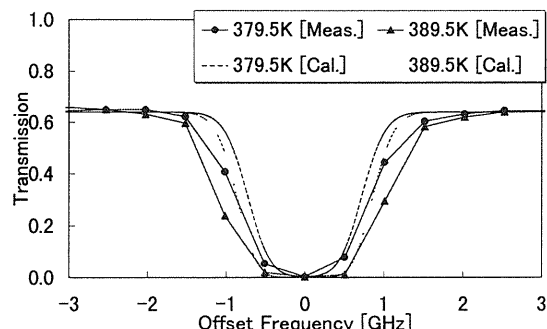


Fig.4 K filter transmission (cell length=1cm)

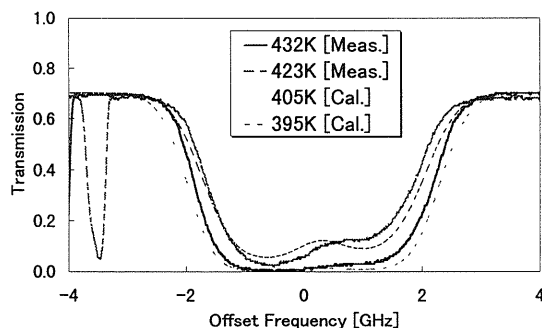


Fig.5 Na filter transmission (cell length=10cm)

5. まとめ

シミュレーション結果からカリウム、ナトリウム蒸気フィルターを用いた場合、高度 30km 付近まで水平風速誤差 1.5m/s 以下で、高度 50km 付近まで水平風速誤差 5.0m/s 以下で測定できることが分かった。また、カリウム、ナトリウム蒸気フィルターの透過率測定結果からエッジ法のフィルターとして利用可能であることが分かった。今後、カリウム、ナトリウムフィルターを用いて風速測定を行う予定である。

参考文献

- 1) C.Laurence Korb, et al., Appl. Opt., **31** (1992) 4202.
- 2) Bruce, et al., Appl. Opt., **33** (1994) 5770.
- 3) J. S. Freidman, et al., Opt. Lett., **22** (1997)1648.
- 4) Joseph, et al., Appl. Opt., **36** (1997) 6729.
- 5) "U.S. standard Atmosphere", U.S. Government Printing Office, (1976).