

金属蒸気レーザ及びファラデーフィルタを用いた 気温計測ライダーの検討

High Spectral Resolution Lidar with a Metal Vapor Laser and a Faraday Filter for Temperature Measurements

有賀 幸輝、阿保 真、長澤 親生、柴田 泰邦

Kouki Aruga, Makoto Abo, Chikao Nagasawa and Yasukunni Shibata

首都大学東京 システムデザイン研究科

Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

Abstract:

A high-spectral-resolution lidar (HSRL) using a potassium Faraday filter is proposed for temperature measurements in daytime. The Faraday filter acts as a blocking filter for suppression of narrow Mie scattering, and a very narrow filter for getting temperature information from Doppler-broadened Rayleigh spectrum. A metal vapor laser can easily realize narrow-linewidth and precise tuning to a center wavelength of the Faraday filter. We measured the transmittance spectrum of potassium Faraday filters and revise the theory in weak magnetic field condition to fit the results.

1. はじめに

気温の高度分布測定は、気象予報の基礎データとして重要であるとともに、最近は竜巻、ゲリラ豪雨などの局地的な気象災害予測を行う上でも必要性が高まっている。現在、対流圏から成層圏の気温高度分布測定は、主にラジオゾンデにより行われているが、測定場所に制限があり連続観測が困難であるため、高度分布の連続測定が可能なライダーによる気温測定手法の確立が求められている。

対流圏の気温高度分布観測用ライダーとしては、雲やエアロゾルからの散乱による影響を受けずに測定が可能である金属蒸気吸収フィルタを用いた高スペクトル分解能ライダー^[1]が1つの候補であるが、我々は日中における気温計測の実現のため代わりにファラデーフィルタの使用を提案し、50mJ/10Hz @770nm のレーザ、20cm の望遠鏡を用い、高度分解能 100m、積算時間 30 分で高度 3km まで誤差 1K 以内で昼間の気温計測が可能であることを示した^[2]。

しかし、ファラデーフィルタを使用するためには送信レーザの波長を正確にフィルタの波長に一致させなければならない。そこで我々が共鳴散乱ライダー用に開発している金属蒸気レーザ^[3]を光源として組み合わせることを提案する。これにより波長制御が不要で小型化、安定動作が可能な気温観測ライダーシステムの実現が可能となる。今回は試作したカリウムファラデーフィルタの透過特性の測定値と理論値との比較結果について報告する。

2. 高スペクトル分解能ライダーによる気温測定

高スペクトル分解能ライダーによる気温の測定は、大気温度により変化する大気分子からのレイリー散

乱光スペクトル拡がり、帯域幅の異なる2つの狭帯域フィルタを用いて測定し、透過光の強度比の温度依存性から大気温度を求める^[1]。

従来使用されている原子吸収フィルタは、温度を変えることにより吸収帯域幅を変えることが出来るが、原子吸収フィルタでは強いミー散乱成分を押さえつつ狭い帯域幅を得るのは困難であった。これに対しファラデーフィルタ^[4]では原子フィルタに磁場をかけ、前後に偏光子を置いた構造となっており、磁場、セル温度、セルの長さの組み合わせにより、急峻な特性が得られるのが特徴である。

一方金属蒸気レーザは高効率であると共に、金属原子の共鳴線をレーザ発振に用いるため、自動的に発振波長が金属原子の共鳴波長 (=ファラデーフィルタの中心波長) となり、波長同調が不要であるという特徴がある。Fig.1 に提案する気温測定ライダーシステムの構成図を示す。磁場を電磁石で切り替えることによりフィルタを1つにしたシンプルな構成となっている。

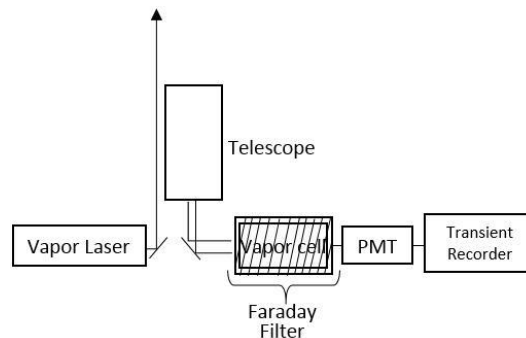


Fig.1 Block diagram of the high spectral resolution lidar system with a metal vapor laser and a Faraday filter.

3. 透過特性測定と理論値との比較

試作したファラデーフィルタの透過特性をセル長 7.5cm、温度 135°C、磁場 340G 及び 40G の条件で外部共振器型半導体レーザをスキャンして測定した。はじめに磁場をかけない場合の吸収特性の測定結果を Fig.2 に示す。実験で設定した温度はセル外側の温度である。計算結果との比較から実際のセル内の温度は設定値よりも 12°C 低いことが分かった。

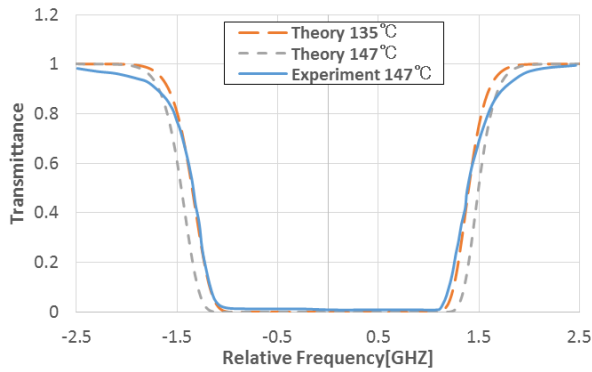


Fig.2 Measured and calculated transmittance spectrum of the potassium vapor cell

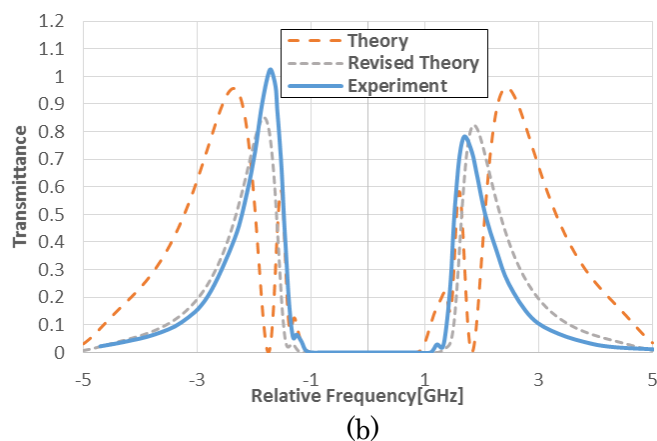
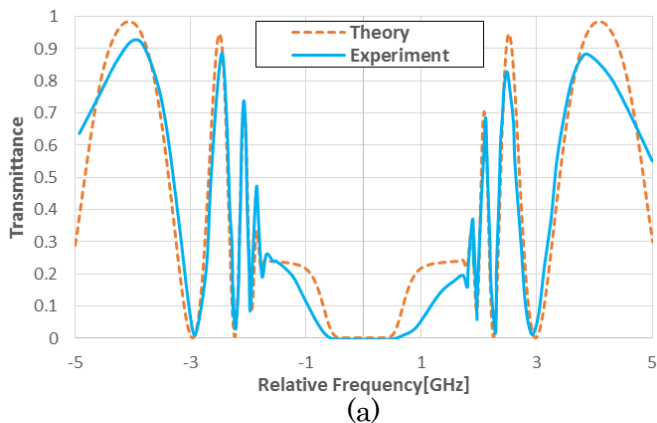


Fig.3 Measured and calculated transmittance spectra of the Faraday filter. Cell temperature is 135°C, length is 7.5cm, and magnetic field is (a)340G and (b)40G.

次に磁場をかけた場合の測定結果と理論値を Fig.3 に示す。磁場 340G の場合は理論値と実験値が概ね一致したが、40G の場合は大きく異なった。そこで弱磁場における理論値の見直しを行った。

強磁場においては原子のゼーマン分裂した超微細構造の遷移確率は収束し一定となる。しかし弱磁場の場合の遷移確率は一定ではない^[5]。³⁹K, D1 line における σ^+ の円偏光により起こる遷移確率の計算結果を Fig4 に示す。これより磁場が弱い時には遷移確率が複雑に変化していることが分かる。

磁場 40G における正確な遷移確率を用いた計算をおこなった結果を Fig3(b)中に示す。実験値とよく一致することが確認できた。

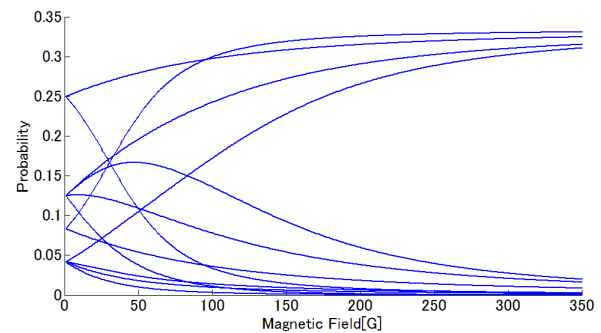


Fig.4 Probability of Zeeman components of ³⁹K D1 line versus magnetic field for the case of σ^+ excitation.

4. おわりに

弱磁場における遷移確率を考慮した計算により弱磁場においても実験値とよく一致するファラデーフィルタ透過特性を再現することができた。今後最適なフィルタ条件の組み合わせを再検討し、金属蒸気レーザと組み合わせて気温測定を試みる。また K 以外で蒸気レーザとファラデーフィルタ両方の実現が可能な Rb 及び Cs 原子による気温測定ライダーの実現可能性についても検討を行う。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 26550014 の助成を受けている。

参考文献

- [1] H.Shimizu et al., Appl. Opt. Vol.22, No.9, p.1373, 1983
- [2] 石川、阿保、長澤、柴田、第 31 回レーザセンシングシンポジウム, No.P-15, 2013.
- [3] 三浦、阿保、長澤、第 31 回レーザセンシングシンポジウム, No.P-11, 2013.
- [4] ZHANG et al., IEEE J. Quantum Electron. Vol.37, No.3, p.372-375, 2001.
- [5] A.Sargsyan et al., J. Opt. Soc. Am. B, Vol.51, No.5, p.1046-1053, 2014.