

## K 原子フィルターを用いた気温測定ライダーの開発

Development of lidar with a potassium absorption filter for temperature measurements

佐々木一秀 長澤親生 阿保真 柴田泰邦

Isshu Sasaki, Chikao Nagasawa, Makoto Abo, Yasukuni Shibata

首都大学東京大学院

Tokyo Metropolitan University

## Abstract

A high-spectral-resolution lidar (HSRL) using a potassium atomic absorption filter is proposed for temperature measurements in low altitude. This lidar system consists of a Ti:Sapphire laser as a transmitter and potassium vapor as an atomic absorption filter. In this paper, the spectral characteristics of potassium absorption filter is simulated with respect to temperature and cell length.

## 1 はじめに

地表付近の気温の垂直分布を測定することは、気象予報や竜巻、ダウンバーストなどの気象災害予測のためには非常に重要である。現在、気温の垂直分布測定には、鉄塔やラジオゾンデによる観測が行われているが、観測機会や観測場所が限定されており、新たな気温測定技術として、ライダー測定が注目されている。これまでのライダーによる測定法であるレイリーライダー法や回転ラマンライダー法では、エアロゾルや雲からのミー散乱信号が大きな誤差要因となっている。

この受信信号のミー散乱成分の除去のために、原子の光吸収を利用した原子フィルターが有効であり、これまでヨウ素フィルターが提案されている[1]。これは送信レーザーとして、Nd:YAGの第二高調波(波長532nm)が使用できる利点があるが、ヨウ素原子の吸収波長とNd:YAGの第二高調波の中心発振波長が僅かに異なる上、Nd:YAGレーザーの発振帯域が狭いため同調が困難であった。

そこで本研究では、送信レーザーとしてTi:Sapphireレーザーを、原子フィルターとしてカリウムを用いた気温測定ライダーを提案する。Ti:Sapphireレーザーは波長可変レーザーであるため、カリウムフィルターの最大吸収波長にチューニングが容易であるという利点がある。さらにカリウム原子を用いた異常分散フィルターを用いることで、昼間での測定も可能となる[2]。

ここでは、送信レーザーとして766.7nmに波長をチューニングしたTi:Sapphireレーザーに対するカリウム原子フィルター特性の理論的検討結果を報告する。

## 2 気温測定原理

大気中の気体分子やエアロゾル等の微粒子に光を当てると光散乱が起こる。この散乱にはエアロゾルなどの微粒子によるミー散乱と大気分子によるレイリー散乱がある。レイリー散乱は、ドップラーシフトによってFig.1のようなスペクトル分布ができる。そのスペクトル幅はEq. (1)で表される。

$$\Delta\nu = \sqrt{\frac{32\kappa T \ln 2}{\lambda^2 M}} \quad (1)$$

ここで、 $T$ は温度、 $\kappa$ はボルツマン定数、 $\lambda$ は送信レーザー波長、 $M$ は気体の平均分子量を表している。このドップラー広がり幅は、温度 $T$ に依存するため、温度によってスペクトル幅が変化する。温度に対するスペクトル広がり幅をTable.1に示す。このスペクトル幅の変化を狭帯域フィルターを用いて検出することにより、大気の温度測定が可能となる。しかし、ミー散乱成分の後方散乱断面積がレイリー散乱の後方散乱断面積に比べて非常に大きいため、レイリー散乱のスペクトル幅の検出精度を下げる誤差要因となる。

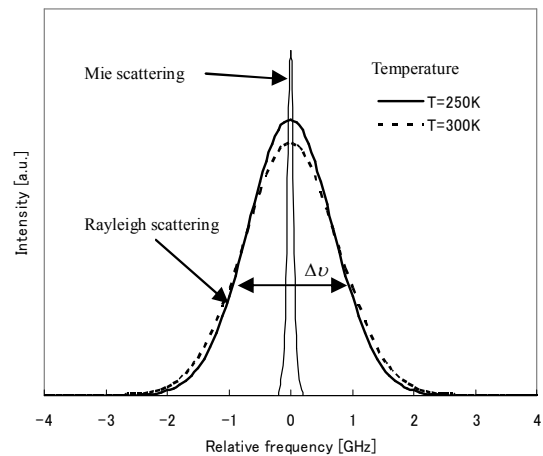


Fig.1 Spectrum of Mie and Rayleigh scattering signals

Table.1 Spectral width versus temperature

Temperature $T$ [K]	Spectral width $\Delta\nu$ [GHz]
253	1.654
273	1.718
283	1.749
293	1.780
303	1.810

## 3 K原子フィルターのスペクトル特性

金属原子は、吸収のスペクトル幅が非常に狭く、特定の波長に対して、吸収の大きい吸収線を持つ。

ここで、原子フィルターの透過率  $F_{am}(\nu)$  は、蒸気を封入するセルの長さ  $L$  と、蒸気の温度  $T_0$  に依存し、Eq.(2)のように表すことができる[3][4]。

$$F_{am}(\nu) = \exp \left[ -k_0 L \exp \left\{ -4 \ln 2 \left( \frac{\nu - \nu_0}{\Delta \nu_D} \right)^2 \right\} \right]$$

$$\Delta \nu_D = \frac{2.1472 \times 10^{-5}}{\lambda_0} \sqrt{\frac{T_0}{M}} \quad (2)$$

$$k_0 = \frac{2.4988 \times 10^{-11}}{\Delta \nu_D} N_{am}(T_0) f_{ik}$$

ここで、 $\nu$  は周波数、 $\nu_0$  は吸収の中心周波数、 $\Delta \nu_D$  はドップラー幅、 $\lambda_0$  は吸収の中心波長、 $M$  は原子量、 $N_{am}(T_0)$  は原子密度、 $f_{ik}$  はオシレータストレングスである。

カリウムの D2 線において Eq.(2) を計算した結果を Fig.2 に示す。(a) はセル長 1.0cm におけるセル内の温度を変化させたときの吸収線、(b) はセル内の温度を 343K に固定したときのセル長を変化させたときの吸収線である。セル内の温度やセル長によって、吸収の大きさやスペクトル幅が変化していることがわかる。

本研究では、レイリー散乱成分を透過し、ミー散乱成分を除去するカリウム原子フィルターの設計が目的である。よって、フィルターの特性条件としては、ミー散乱成分の十分な除去と、レイリー散乱成分のスペクトル広がり幅の検出が可能となるような、レイリー散乱成分の透過の 2 点を満たさなければならない。よって、フィルターの吸収は十分に大きく、なおかつ吸収スペクトル幅はレイリー散乱成分に影響を最小限に抑えるように狭い方がよいことになる。ここで、セル長が 1.0cm とすると、ミー散乱成分を 1 桁以上カットするためには、Fig.2(a) より、セル内の温度を 333K 以上にしなければならない。しかし、セル内の温度を上げていくと吸収線のスペクトル幅が広がっていくことがわかる。また、セル長を短くすることでも吸収線のスペクトル幅を狭くすることができるが、Fig.2(b) で示したとおり、セル長が短くなると、吸収が小さくなっていく。よって、HSRL における温度測定に関して、セル長とセル内の温度の最適化を行う必要がある。

#### 4 まとめ

本研究では、HSRL に用いる送信レーザーとして、波長可変レーザーである Ti:Sapphire レーザー、その原子吸収フィルターとして、カリウム原子を用いることを提案した。これによって、原子吸収フィルターの最大吸収波長に送信レーザーをチューニングすることが容易になり、ライダーシステムの小型化や測定精度の向上が期待できる。続いて、カリウム原子フィルターの D2 線における吸収線スペクトル特性の計算機シミュレーションを行った。これによ

て、ミー散乱成分の除去が可能なセル長やセル内の温度の推定が可能となった。

今後は、大気モデルを用いて、温度測定シミュレーションを行い、セル長とセル内の温度の最適化条件を求める予定である。

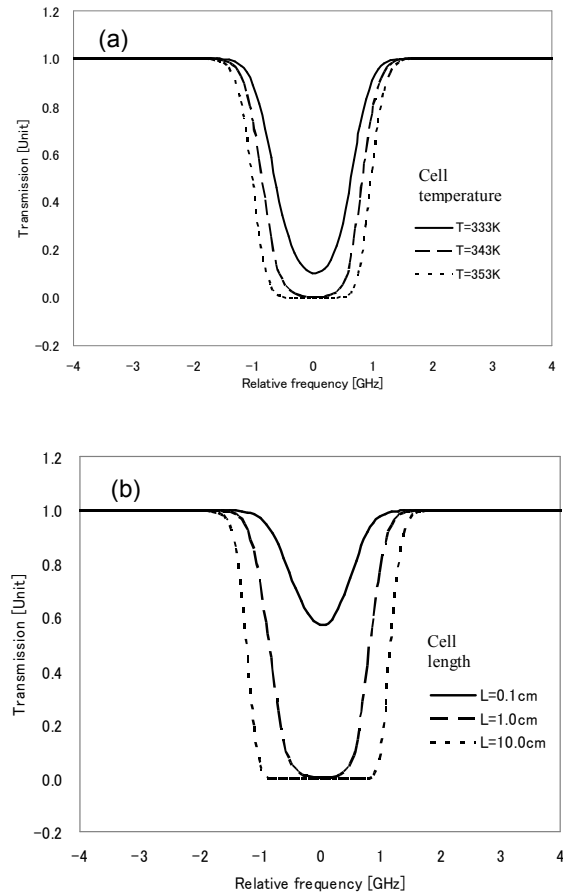


Fig.2 Calculated results of potassium cell absorption spectrum for various (a)temperatures and (b)cell lengths

#### 5 参考文献

- [1]Zhaoyan Liu,"High-spectral-resolution lidar using an iodine absorption filter for atmospheric measurements",Opt.Eng.38(10) 1661-1670(1999).
- [2]Yundong Zhang,"Optical Filtering Characteristic of Potassium Faraday Optical Filter,IEEE Journal of Quantum electronics, Vol.37,No.3(2001).
- [3]Lipeng Qian,"Narrow Linewidth Potassium Imaging Filter for Near Infrared Detection of Missil Plumes", 43<sup>rd</sup> AIAA Aerospace Sciences Meeting& Exhibit Reno,Nevada,Jan.10-13(2005)
- [4]Yifang Wu"New method for acquiring a high-resolution atmospheric Rayleigh-Mie spectrum",Opt.Eng,Vol.34,No.4(1995)