

# 波長可変共鳴散乱ライダーによる MLT 温度の観測

## MLT temperature observations by a frequency-tunable resonance scattering lidar

津田卓雄,<sup>1</sup> 江尻省,<sup>2</sup> 西山尚典,<sup>2</sup> 阿保真,<sup>3</sup> 川原琢也,<sup>4</sup> 中村卓司<sup>2</sup>

T. T. Tsuda,<sup>1</sup> M. K. Ejiri,<sup>2</sup> T. Nishiyama,<sup>2</sup> M. Abo,<sup>3</sup> T. D. Kawahara,<sup>4</sup> and T. Nakamura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 電気通信大学 情報理工学研究科, <sup>2</sup> 国立極地研究所, <sup>3</sup> 首都大学東京 システムデザイン研究科, <sup>4</sup> 信州大学 工学部

<sup>1</sup>Graduate school of Informatics and Engineering, The Univ. of Electro-Communications,

<sup>2</sup>National Institute of Polar Research,

<sup>3</sup>Graduate school of System Design, Tokyo Metropolitan Univ.,

<sup>4</sup>Faculty of Engineering, Shinshu Univ.

The National Institute of Polar Research (NIPR) is leading a six year prioritized project of the Antarctic research observations (from 2010 to 2015). As a part of the sub-project, the global environmental change revealed through the Antarctic middle and upper atmosphere, we have developed a frequency-tunable resonance scattering lidar system to be installed at Syowa Station (69S, 39E) in Antarctica. In this presentation, we will make a brief introduction on the frequency-tunable resonance scattering lidar, and report current status on temperature observations in mesosphere and lower thermosphere (MLT) region using the lidar system.

### 1. はじめに

国立極地研究所が主導する南極地域重点研究観測 (2010–2015 年の 6 ヶ年計画) のサブプロジェクト「南極域中層・超高層大気を通して探る地球環境変動」の一貫として、南極観測用の波長可変共鳴散乱ライダーの開発を国立極地研究所 (東京都立川市: 36N, 139E) において進めている。波長可変共鳴散乱ライダーの主目的の一つは、中間圏・下部熱圏 (MLT) 領域 (高度 80–110 km) の大気温度の観測である。南極昭和基地に既設のレイリー/ラマンライダーによる大気温度観測 (観測高度 10–80 km) と組み合わせ、上部対流圏から下部熱圏領域に至る大気温度の連続的な観測から、南極域における大気上下結合の解明に寄与することが期待されている。

本発表では、波長可変共鳴散乱ライダーの簡単な紹介と MLT 温度観測の準備状況の報告を行う。特に、大気温度観測 (ドップラー温度計測) において重要となる送信レーザー周波数の校正、最適レーザー周波数の選定、及び MLT

温度の試験観測の概況について述べる。

### 2. 波長可変共鳴散乱ライダー

波長可変共鳴散乱ライダー (Figure 1 参照) は、送信レーザーにリング共振器アレキサンドライトレーザー (Table 1 参照) を採用しており、基本波 770–786 nm, 倍波 385–393 nm の範囲で波長可変であることが大きな特徴である。複数の大気組成の共鳴散乱線に同調することが可能であり、MLT 高度に分布する K (770 nm), Fe (386 nm), Ca<sup>+</sup> (393 nm) がメインの観測対象である。その他に、電離圏 N<sub>2</sub><sup>+</sup> (390, 391 nm) を挑戦的な観測対象候補の一つとし、観測実現可能性の検討を進めている。

2012 年度に本格的なシステム開発を開始しており、送信部、受信部、制御部の基本構成は既に完了、2013 年 1 月には K ファーストライト、2013 年 8 月には Fe ファーストライト、2014 年 8 月には Ca<sup>+</sup> ファーストライトに成功している。昭和基地への輸送は 2016 年度を予定している。

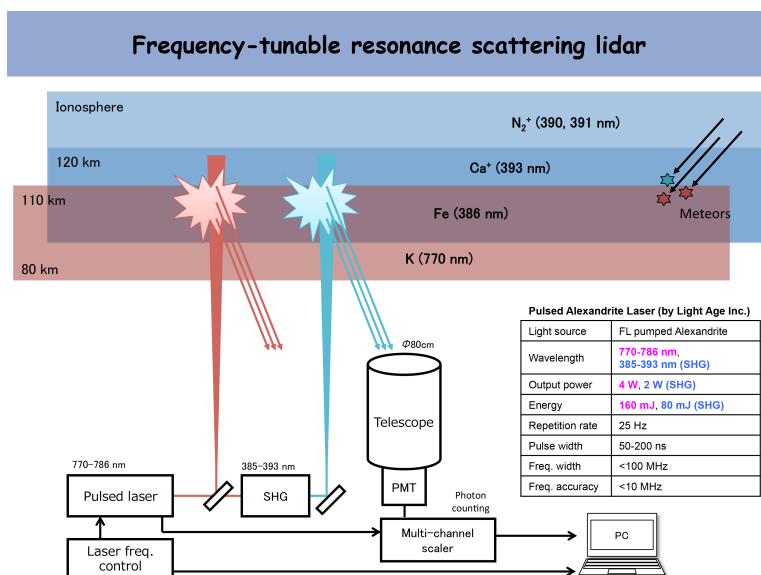


Figure1 Overview of the frequency-tunable resonance scattering lidar.

Table1 Specification of the pulsed Alexandrite laser system (by Light Age Inc.).

Light source	FL pumped Alexandrite
Wavelength	770–786 nm, 385–393 nm (SHG)
Output power	4 W, 2 W (SHG)
Energy	160 mJ, 80 mJ (SHG)
Repetition rate	25 Hz
Pulse width	50–200 ns
Freq. width	<100 MHz
Freq. accuracy	<10 MHz

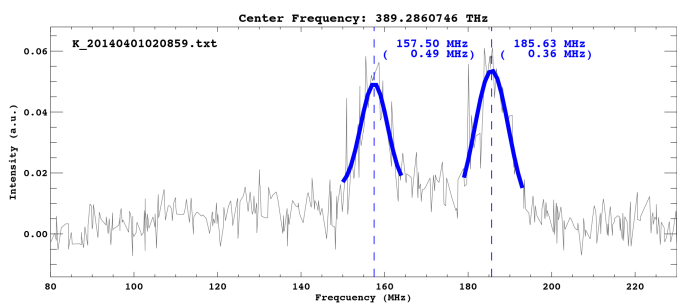


Figure2 An example of the Doppler-free saturation spectroscopy experiment for K 770 nm. The detected peaks can be used for the reference in the absolute frequency.

### 3. レーザー周波数校正

本ライダーシステムで使用するレーザー基本波の波長域 770–786 nm についてレーザー周波数の校正を行なう必要がある。波長域全体に対して絶対周波数基準を設けることは容易ではないため、本システムでは、波長計と一部の波長域での絶対周波数基準を組み合わせることにした。波長計は、フィゾー干渉計型の高精度波長計 (WSU-10 by HighFines GmbH: 周波数分解能 1 MHz) を採用し、絶対周波数基準については K (770 nm) と Rb (780 nm) の蒸気セルを用いたドップラフリー飽和分光法から各々の飽和ディップを検出することで基準周波数を得た (Figure 2 参照)。このようにして、770, 780 nm における絶対周波数基準を参照しながら、波長計の校正・精度検証を行った。2ヶ月以上に渡る繰り返し検証実験の結果, Precision:  $\sim 1$  MHz, Accuracy:  $\sim 3$  MHz 程度の周波数精度を達成していることが実証され、ドップラー温度計測 (目標精度: 10 MHz) が十分に可能であることを示した。

### 4. 最適レーザー周波数選定

本ライダーシステムでは、共鳴散乱線の温度によるドップラー広がり (スペクトル形状) を決定することで、大気温度を観測する。より具体的には、送信レーザー周波数を共鳴散乱線内の 3 つの周波数に切替えながら観測を行い、各周波数で得られる散乱光強度の比から共鳴散乱線のスペクトル形状を決定する手法 (3 周波数法) を採用している。

実際に観測オペレーションに用いる最適な 3 周波数の組合せをシミュレーションから決定することを試みた。Fe 観

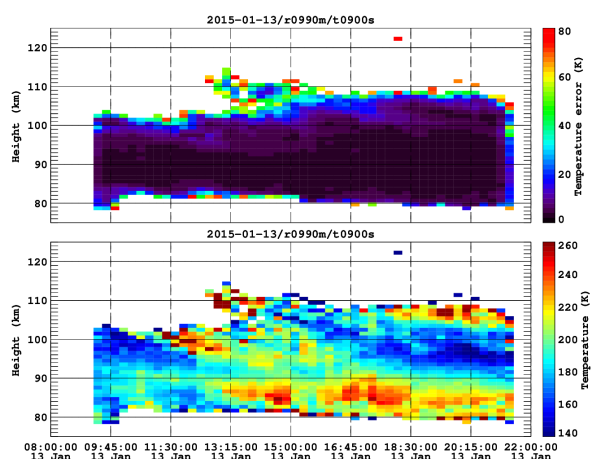


Figure4 MLT temperature data (bottom) and its error (top) obtained from Fe-mode observation on 13 Jan 2015.

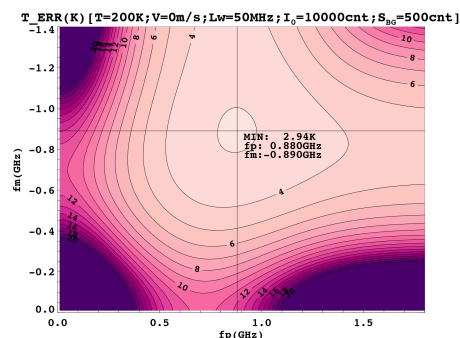


Figure3 An example of the estimations for temperature errors at different combinations in the three frequencies. We can find out a best combination where the temperature error is minimized.

測モードについてのシミュレーションでは、3 周波数の内の真ん中の周波数は共鳴散乱線の重心周波数として固定、残りの 2 つの周波数を可変として、現実的な温度/風速等の条件下で推定される温度誤差を計算し、温度誤差が最小となる 3 周波数の組合せを特定した (Figure 3 参照)。

### 5. MLT 温度の試験観測

以上に述べたように、本ライダーシステムの送信レーザーの周波数校正、及び 3 周波数観測に使用する最適周波数選定の目処がついたことを受け、Fe 観測モードによる MLT 大気温度の試験観測を立川 (国立極地研究所) にて開始している。2014 年 8 月 4 日に初めての MLT 温度観測 (Fe 観測モード) に成功し、以降現在まで断続的に試験観測を実施しているが、特別大きな問題はなく、観測オペレーションから MLT 温度データの導出まで順調にできている (Figure 4 参照)。また、試験観測より得られた MLT 温度データの妥当性を確かめるため、人工衛星観測 (TIMED/SABER, Aura/MLS など) による MLT 温度データとの比較を行ったが、概ね良い一致が見られている (Figure 5 参照)。更に、Fe 観測モードに加え、Ca<sup>+</sup> 観測モードによる MLT 温度観測の挑戦も進めている。Ca<sup>+</sup> 観測モードによる MLT 温度観測は、世界初の試みであり、成功すれば電離圏下部のイオン温度データを得ることが可能となる。来年度 (2016 年度) の昭和基地輸送に向け、継続的な試験観測を通して細部にわたる準備/調整を進めていくことを予定している。

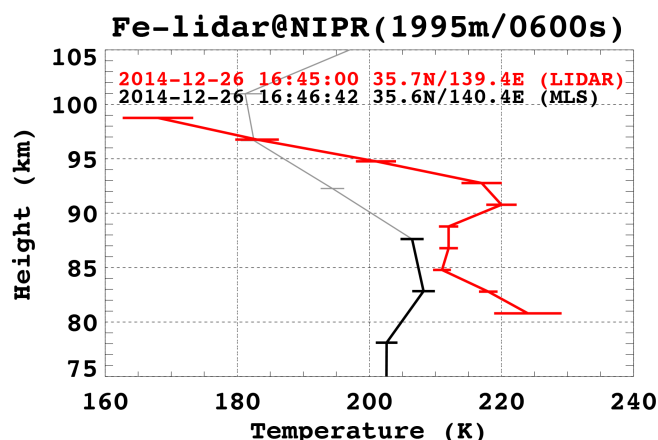


Figure5 A comparison in the temperature data from the lidar (red) and the limb-sounding satellite, Aura/MLS (black).