

# 中間圏・下部熱圏に分布する 流星起源 Ca 原子・イオンの同時 Lidar 観測：ベンチマークテスト

橋本 彩香<sup>1</sup>, 三好 咲也子<sup>1</sup>, 小林 蒼汰<sup>1</sup>, 大饗 千彰<sup>1,2</sup>, 桂川 眞幸<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>電通大・基盤理工 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1)

<sup>2</sup>電通大・量子センター (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1)

江尻 省<sup>3,4</sup>, 中村 卓司<sup>3,4</sup>

<sup>3</sup>極地研 (〒190-8518 東京都立川市緑町 10-3)

<sup>4</sup>総研大 (〒240-0193 神奈川県三浦郡葉山町湘南国際村)

## Simultaneous lidar observation of meteoric calcium atoms and ions distributed in the mesosphere and lower thermosphere: A benchmark test

Ayaka HASHIMOTO,<sup>1</sup> Sayako MIYOSHI,<sup>1</sup> Sota KOBAYASHI,<sup>1</sup> Chiaki OHAE,<sup>1,2</sup>  
Masayuki KATSURAGAWA<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Univ. of Electro-Comms. Dep. of Eng. Sci, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo 182-8585

<sup>2</sup>Univ. of Electro-Comms. IAS, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo 182-8585

Mitsumu K. EJIRI,<sup>3,4</sup> Takuji NAKAMURA<sup>3,4</sup>

<sup>3</sup>National Institute of Polar Research, 10-3 Midoricho Tachikawa, Tokyo 190-8518

<sup>4</sup>The Graduate University for Advanced Studies, Shonan Village, Hayama, Kanagawa 240-0193

The Mesosphere and Lower Thermosphere (MLT), located in an altitude of 80 to 120 km, is the transition region from the neutral atmosphere to the ionosphere, which may provide a key information to understand the behavior of whole atmosphere. Atoms and ions originated in meteors are distributed in this MLT region. Such atoms and ions can serve as tracers to elucidate the phenomena in the MLT. The resonant scattering lidar is a unique method that can observe the behaviors of meteoric atoms and ions from the ground, having a high spatial (typically, tens of meters) and temporal (typically, a few minutes) resolutions. We developed the dual-wavelength injection-locked Ti:sapphire laser system as a transmitter of the resonant scattering lidar that can simultaneously observe neutral calcium (Ca) and calcium ion (Ca<sup>+</sup>). In the presentation, we will report details of the developed injection-locked Ti:sapphire laser system and also result of a benchmark test when operated as a transmitter of the Ca/Ca<sup>+</sup> lidar system.

**Key Words:** Injection-locked laser, LIDAR, calcium atom, calcium ion

### 1. はじめに

高度 80 ~ 120 km に位置する中間圏界面領域(Mesosphere and Lower Thermosphere : MLT)は、大気が中性大気から電離大気に移り変わる遷移領域にあたり、地球大気全体を理解する上で重要な位置づけにある。この MLT 領域には流星を起源として分布する金属原子やイオンが存在し、MLT 領域の大気の振舞いを知るためのトレーサーとして用いることができる。共鳴散乱ライダーは、地上からこの金属原子・イオンの振舞いを捉える現状では唯一の観測手法である。高い高度分解能(典型的には数十 m)と時間分解能(典型的には数分)をもって特定の原子やイオンの密度分布とその変動を追跡することができる。我々は、同一元素の中性のカルシウム原子 (Ca) と一価のカルシウムイオン (Ca<sup>+</sup>) の両方を同時に観測することを目的とした共鳴散乱ライダー用のレーザーシステムを開発した。発表では、開発したレーザーシステム (Lidar 送信系) の詳細と、実際に Lidar システムとして稼働させた進捗状況について報告する。

### 2. Ca/Ca<sup>+</sup> Lidar 送信系: 二波長発振・注入同期ナノ秒パルスチタンサファイアレーザー

Fig. 1 は共鳴散乱ライダー用の光源として開発したレーザー装置の概略図である。このレーザー装置は、(A)の Bow-tie 型共振器と励起光源から成る高出力なパワーオシレーターと(B)のシード光となる周波数純度に優れた 2 台の外部共振器半導体レーザー (787 nm, 846 nm) から構成されている。これらのモードを一致させ、注入同期を実現することで、高出力 (>0.1 W) と高周波数純度(数十 MHz) の双方の特性を兼ね備えた出力が得られた。また、本レーザー装置では、広帯域に渡る波長可変性を実現するアイディアとして、(A)の Bow-tie 型共振器内の出力鏡の反射率に波長依存性を持たせる方法を採用した。利得媒質である Ti: Sapphire 結晶の利得中心付近の反射率を下げ、利得端の反射率を上げる特別なコーティングを施した出力鏡を使用するこ

とで、利得中心付近の 787 nm と利得中心から 50 nm 程も離れた 846 nm における同時発振が確認された。これらの波長の光を、(C)の非線形光学結晶を用いて波長変換をすることで、Ca と Ca<sup>+</sup>の共鳴遷移波長 (Ca: 422.7918 nm、Ca<sup>+</sup>: 393.4770 nm) に一致した光を同時発振させた。

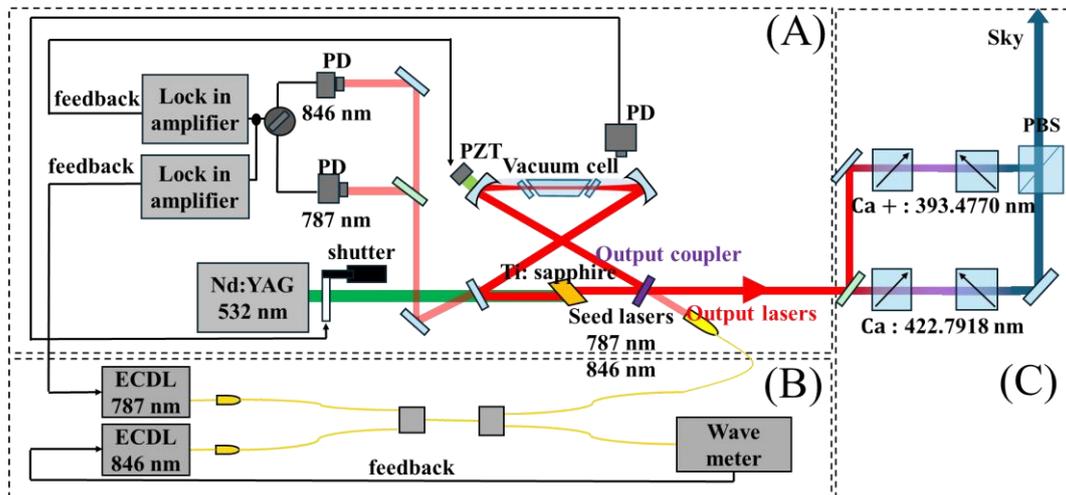


Fig. 1. Schematic diagram of Ca/Ca<sup>+</sup> transmitter: the dual-wavelength injection-locked pulsed Ti:sapphire Laser.

### 3. Ca<sup>+</sup>および Ca の 1 波長での全夜連続 Lidar 観測例

開発したレーザーシステムの Lidar 送信系としての評価の位置づけで、Ca および Ca<sup>+</sup>それぞれ 1 波長での全夜連続観測を実施した。Fig. 2 にその典型例を示す。送信レーザーの発振波長はいずれも共鳴遷移波長の中心にチューニングされた。出力は光学部品の損傷を考慮して、最大の 5 割程度 (Ca<sup>+</sup>: 0.29 W, Ca: 0.54 W) に設定された。高い高度分解能 (15 m) と高い時間分解能 (30 s) をもって、Ca および Ca<sup>+</sup>の分布密度の複雑な時空間変化が詳細に捉えられている。現在、システムの自動回復機構や波長変換結晶の品質維持機構など、Lidar システムとしての安定な長期運用に向けて改善を進めている。当日は、Ca / Ca<sup>+</sup>同時観測のベンチマークテストの進捗状況も含めて報告したい。

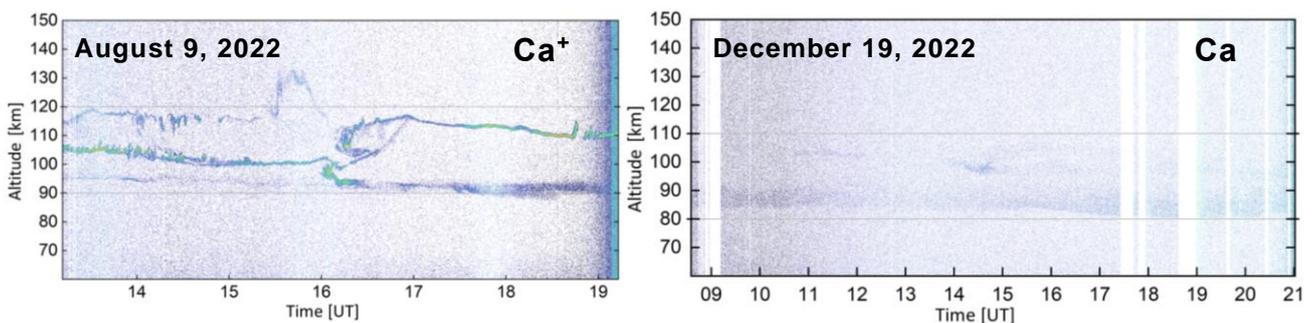


Fig. 2. Ca<sup>+</sup> and Ca resonance scattering lidar signals observed over an entire night.