

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：12612

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26610157

研究課題名(和文)前人未踏の熱圏大気観測への挑戦：ヘリウム共鳴散乱ライダーの基礎研究

研究課題名(英文)Basic research on He resonance scattering lidar for thermospheric observation

## 研究代表者

津田 卓雄 (Tsuda, Takuo)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教

研究者番号：90444421

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：熱圏高度を広くカバーした大気観測を実現する為、熱圏高度に分布するヘリウムの共鳴線を利用したライダー観測について基礎研究を行った。シミュレーションベースの観測手法の検討より、ヘリウム原子の紫外域の共鳴散乱線(389 nm)も有用な観測手段となり得ることを明らかにした。また、熱圏高度をカバーする為のレンジ範囲を拡張した受信機システム(レンジ範囲：0-1920 km)を試作した。

研究成果の概要(英文)：We have performed basic research on He resonance scattering lidar for thermospheric observation. Based on a simulation of the lidar observation, we have found that He 389 nm resonance line would be also useful. Furthermore, we have developed a prototype of wide-range receiver system (range coverage: 0-1920 km) for thermospheric observation.

研究分野：超高層大気科学

キーワード：共鳴散乱ライダー 熱圏 ヘリウム

1. 研究開始当初の背景

超高層領域 (高度 100-1000 km) の中性大気 (熱圏) や電離大気 (電離圏) の観測は、弱電離大気 (プラズマ) の物理素過程研究に重要な役割を果たしているだけでなく、宇宙利用促進の為の地球周辺空間の環境把握 (宇宙天気研究) や下層大気変動と深く関わる大気上下結合の理解 (地球気候研究) など、社会貢献に関わる側面を有しており、定常的な観測モニタリングの重要性が高まっている。非干渉散乱レーダー、GPS 受信機、人工衛星など、電離圏については多種の装置による空間/時間/高度変動のモニタリングが良く整備されてきている。一方で、熱圏に関しては観測手段が非常に少なく、特に熱圏高度を広くカバーする観測が欠如している。現状の熱圏観測手段は、人工衛星 (飛翔高度の観測情報) と高度 100-300 km に分布する酸素原子大気光 (高度積算の観測情報) に限られており、下方から熱圏へと伝わってくる大気波動や上方から熱圏へと侵入する極域オーロラ活動に代表されるような太陽起因エネルギーなど高度方向に変動が激しい現象の詳細を捉えることができていない。

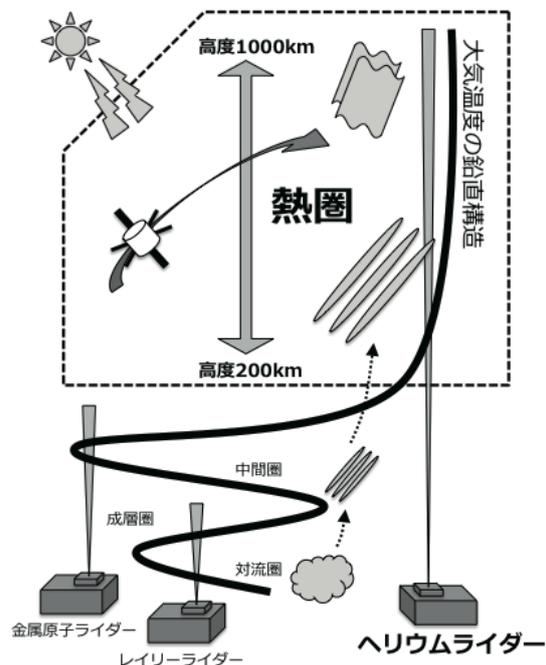


図 1: ヘリウムライダーによる熱圏大気観測のイメージ図。従来ライダー (レイリー散乱ライダー、金属原子共鳴散乱ライダー) に対して、ヘリウム共鳴散乱ライダーは熱圏領域をカバーする新手法である。下方から伝わる大気波動や上方から侵入する太陽起因エネルギー (極域オーロラ活動含む) など高度方向に大きく変動する現象を捉えることで低高度衛星の運用などへの貢献が見込める。

2. 研究の目的

本研究課題では、熱圏高度を広くカバーする大気観測を実現する為、熱圏高度に分布するヘリウムの共鳴線を利用したライダー観測について基礎研究を行うことを目的とした。図 1 にヘリウムライダーによる熱圏大気観測のイメージ図を示す。

3. 研究の方法

本研究課題では、シミュレーションベースで観測手法の詳細検討を行い、将来のライダー開発計画への指針を得る。加えて、技術的課題への具体的な挑戦として、可能な範囲で実機の試作を行い、技術開発・技術実証にもアプローチする。

4. 研究成果

(1) 1 年目はシミュレーションベースで観測手法の検討を行った。具体的には、ライダー方程式に (可能な限り) 現実的なパラメータをインプットして受信光シグナルのシミュレーションを行った。図 2 に観測ターゲットのヘリウム ( $\text{He}(2^3\text{S})$ ) 数密度の例を示す。また、図 3 にシミュレーションから求められた受信光シグナルの例を示す。

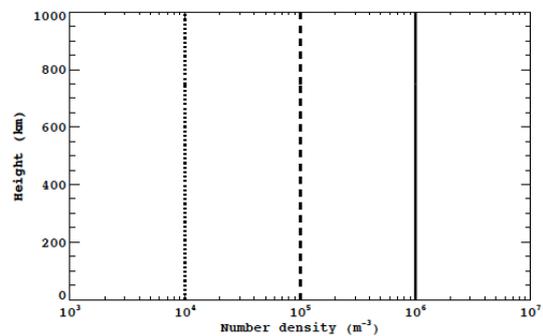


図 2: 観測ターゲットのヘリウム ( $\text{He}(2^3\text{S})$ ) 数密度の例。数密度の情報の不確定性を考慮する為、 $10^4$ 、 $10^5$ 、 $10^6 \text{ m}^{-3}$  の 3 パターンの数密度で受信光シグナルのシミュレーションを実施した。

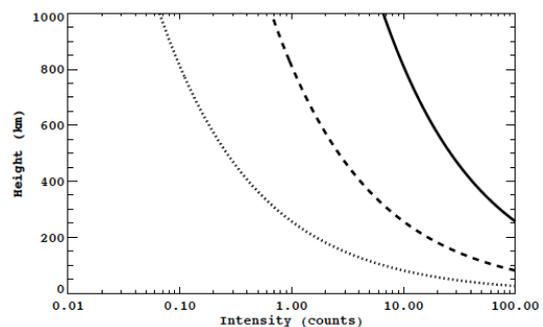


図 3: シミュレーションから求められた受信光シグナルの例。 $10^4$ 、 $10^5$ 、 $10^6 \text{ m}^{-3}$  の 3 パターンの数密度に応じて受信光シグナルが変化する。

以上の例のように、観測パラメータの不確定性を考慮に入れつつ、複数のパターンで受信光シグナルのシミュレーションを実施した。求められた受信光シグナルに対して、現実的な範囲の背景光シグナルを与えてSNRを算出し、複数パターンのSNRについて評価した結果、先行研究で提案されている近赤外域の共鳴散乱線 (1083 nm) に加え、紫外域の共鳴散乱線 (389 nm) も有用な観測手段となり得るという示唆が得られた。紫外域の共鳴散乱線 (389 nm) であれば、例えば、アレキサンドライトレーザーの第2高調波、チタンサファイアレーザーの第2高調波などが利用可能なレーザーとして有力候補になり得るかもしれない。このように、複数の共鳴散乱線が有用な候補となり得ることを示すことで、送信レーザーや受信光学系・検出系の選択性の幅が広がるという意義深い結果が得られたのではないかと考えられる。

(2) 熱圏高度をカバーする為にはレンジ範囲を拡張した受信機システムが必要である。2年目に試作システムの開発に向けて詳細な検討を進め、3年目にレンジ範囲を拡張した受信機システムの本格的な試作に取り組んだ。最終的に、従来システムのレンジ範囲 0-250 km に対して、レンジ範囲 0-1920 km の試作システムを完成させた。図4に受信機システム関連作業の様子を示す。未だ試作の段階ではあるが、熱圏高度をカバーする為にはレンジ範囲を拡張した受信機システムを実際に開発することを通じ、熱圏大気ライダー計画の実現に向けて重要な課題の一つを達成したのではないかと考えられる。

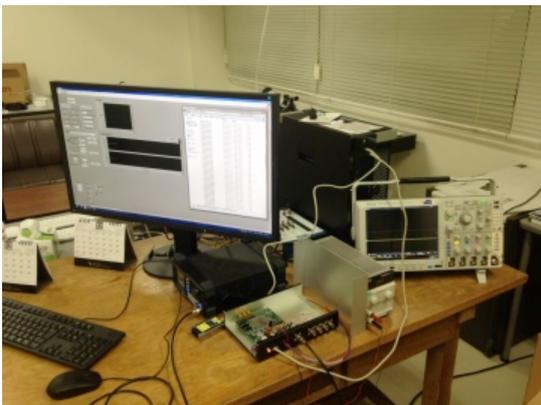


図4: 受信機システム関連作業の様子。

(3) 以上の研究を通じ、熱圏大気観測用ヘリウム共鳴散乱ライダーシステムに関する幾つかの課題を達成し、その実現に向けて一歩ずつ前進してきている。これらの成果は、主に学会・研究会等における研究発表 (5件) を通じて報告している。5件中4件は招待講演であり、関連コミュニティにおける注目度の高さが伺える。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計5件)

(1) 津田卓雄, MTI 研究のためのライダー観測, MTI 研究集会 (東京都 小金井市), 2016年8月29-31日. (招待)

(2) T. T. Tsuda, My research activity associated with Japan-Norway collaborations, Young Scientist Forum, Japan-Norway Arctic Science and Innovation Week 2016, Royal Norwegian Embassy (Minato-ku, Tokyo), 1 June 2016. (invited)

(3) 津田卓雄, 近未来の宙空ライダー観測を考える, 近未来の宙空圏関連極域研究観測を考える研究集会, 国立極地研究所 (東京都 立川市), 2016年3月28日.

(4) 津田卓雄, 中村卓司, 阿保真, 江尻省, 西山尚典, 川原琢也, 共鳴散乱ライダーによる極域超高層大気の研究, 地球電磁気・地球惑星圏学会第138回講演会, 東京大学 (東京都 文京区), 2015年10月31日-11月3日. (招待)

(5) 津田卓雄, 熱圏・電離圏のライダー観測に向けて, MTI 研究集会, 情報通信研究機構 (東京都 小金井市), 2014年9月22-23日. (招待)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

関連ホームページ:

<http://ttt01.cei.uec.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

津田 卓雄 (TSUDA, Takuo)  
電気通信大学・情報理工学研究科・助教  
研究者番号：90444421

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

中村 卓司 (NAKAMURA, Takuji)  
国立極地研究所・研究教育系・教授  
研究者番号：40217857

阿保 真 (ABO, Makoto)  
首都大学東京・システムデザイン研究科・教授  
研究者番号：20167951

(4) 研究協力者

江尻 省 (EJIRI, Mitsumu)  
国立極地研究所・研究教育系・助教  
研究者番号：80391077

西山 尚典 (NISHIYAMA, Takanori)  
国立極地研究所・研究教育系・助教  
研究者番号：00704876