

平成22年 4月30日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19540465
 研究課題名（和文） 原子フィルターを用いた回転ラマンライダーによる赤道下層大気の気温観測
 研究課題名（英文） Temperature measurements of equatorial lower troposphere by rotational Raman lidar using atomic filters
 研究代表者
 長澤 親生（NAGASAWA CHIKAO）
 首都大学東京・大学院システムデザイン研究科・教授
 研究者番号：80145664

研究成果の概要（和文）：

コンパクトな温度コントロールシステムを用いた2つのカリウム原子フィルターとチタンサファイアレーザーを組み合わせ、地表面付近から境界層までの気温を観測できる高スペクトル分解能ライダーを開発した。このシステムを用いて高度分解能150m、時間分解能18分で気温観測を試み、得られたデータをラジオゾンデデータと比較した結果、高度600mから2000mの範囲で誤差2K以内の一致を得た。また、本システムを赤道域のインドネシアに設置した。今後インドネシアにおける気温データを蓄積することにより、赤道域の長期的な変動、climatologyの解析につなげることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：

Temperature measurement in the lower troposphere with a high-spectral-resolution lidar that uses two potassium atomic absorption filters and a Ti:sapphire laser is proposed. Actual atmospheric temperature profile measurements are carried out. Between 500m and 2000m, the lidar temperature profile is good agreement with radiosonde temperature within 2K. We set up this system at Kototabang, Indonesia and we will measure the equatorial tropospheric temperature structure.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：レーザー計測

科研費の分科・細目：物理学 気象・海洋物理・陸水学

キーワード：(1) ライダー (2) 気温プロファイル (3) 原子フィルター (4) 赤道大気
 (5) 境界層

1. 研究開始当初の背景

我々は平成13-18年度にかけて特定領域研究「赤道大気上下結合」の計画研究「大型高機能ライダーの開発と赤道大気鉛直構造の観測」により、赤道直下のインドネシア・コトタバンに高機能ライダーを設置し、対流圏から中間圏界面までの広い高度領域の観測を継続して行っている。このライダーによる観測から赤道域対流圏に関して次のような新しい知見が得られた。(Nagasawa et al. 2006)

(1) 地表面付近の大気境界層は中緯度と比べて焼畑や森林火災による煙霧発生時を除き、エアロゾルが少なく、個々の日のデータではエアロゾルによる大気境界層の判別が困難であり、顕著な日変化も見られないが、乾季の平均を取ると境界層高度の日変化が見られた。

(2) 雲の発生確率を調べてみると、高層雲(シーラス)の発生頻度が高いことは予想通りであったが、対流圏中層(高度5~6km)付近に雨季を中心に雲の発生頻度が高いことが発見された。

(3) ラマンライダーの観測結果から対流圏下部で水蒸気の混合比がしばしば周期20~30分程度で変動する様子が観測された。

これらの新たな発見に関してそれらの発生機構を明らかにする上で次のような情報が不足していることがネックとなっている。

(1) 赤道域の境界層の発達機構の解明は積雲対流活動に繋がることから重要であるが、エアロゾルがトレーサーとして使用できないことから境界層高度付近の温度分布が必要である。

(2) 高度5~6km付近に発生する雲は赤道周辺の船によるライダー観測からも報告されているが、その発生機構は未だ未解明であるので、その解明のためには水蒸気分布と同時に温度分布情報が必要である。

(3) 水蒸気混合比の短周期変動は水蒸気ラジオメータによる観測からも見られているが、ライダーでの観測のほうが顕著に表れており、ライダーが狭い空間領域の測定であることから水平構造に起因する現象と考えているが詳細は不明である。ライダーで得られる水蒸気混合比を相対湿度で見るために温度データが必要である。

以上のように、これらの赤道域固有の対流圏下部の現象を解析するためには、気温データが重要なパラメータであることがわかってきた。ライダーでも気温の測定が可能であるが、現在のシステムでは、共鳴散乱ライダーによる中間圏界面領域、レイリーライダー

によるエアロゾルフリーの成層圏~中間圏、窒素ラマンライダーによるエアロゾルの比較的薄い対流圏上部~成層圏の気温分布観測が可能となっている。しかし、対流圏下部はエアロゾルの影響により上記手法では測定が不可能である。特定領域研究においては2回のキャンペーン観測においてラジオゾンデの連続放球を行っている(Seto et al. 2006)が、観測期間がそれぞれ1ヶ月しかないため、季節変動等を明らかにするためにも今後のフォローが必要である。また、地表面付近から中間圏界面領域までの大気圏全高度領域の温度分布を同時測定することにより、直接的に下層から上層への波動伝搬の様子が把握できると考えられる。

エアロゾルの多い対流圏下部のライダーによる温度測定法としては、高分解能スペクトル法と回転ラマン法が提案されているが、どちらも受信フィルターの設計・調整の困難さ、温度安定性の要求の高さ等のため、十分普及していない。我々は簡易な気温測定用ライダーとして回転ラマン方式と金属原子ブロッキングフィルターを併用した測定手法を提案し、ナトリウム(Na)原子ブロッキングフィルターを実際に作成し色素レーザとの組み合わせによりその有用性を確認した。

(Funada et al. 2000) この技術はエアロゾルからの強いミー散乱信号を原子ブロッキングフィルターで遮断することにより安定な温度観測を実現したものである。

今回、この技術を発展させ、固体レーザーで発振可能な波長に共鳴波長(770nm)を持つカリウム(K)原子を利用したブロッキングフィルターと現在あるインドネシアのライダー観測施設にあるチタンサファイアレーザーを組み合わせ、地表面付近から境界層までの気温を昼夜観測できるライダー装置を構築し、赤道域の地表面付近の大気で起きている対流活動の詳細な解析を試みる。

2. 研究の目的

本研究では、K原子ブロッキングフィルターを新たに製作し、これを現在あるインドネシアのライダー観測施設にあるチタンサファイアレーザーと組み合わせて、地表面付近から境界層までの気温を昼夜観測できる回転ラマンライダー装置を構築し、定常的な垂直気温構造の観測を行い、赤道対流活動の詳細な解析を試みる。

地表面から境界層までの温度は、ラジオゾンデ以外のレーザー、RASS等では測定できない領域であり、ライダーによって初めて、高分解能の連続観測が可能になる。このよう

なライダー装置は世界でも限られており、もちろん赤道域での観測は未だ行われていない。赤道域は対流活動が活発であるが、その詳細なメカニズムは未だ明らかになっていないとはいえず、本研究により測定される気温、既設のラマンライダーにより測定される水蒸気混合比データにより、このメカニズムが明らかになることが期待される。また本システムが完成すると、従来のレイリー・ラマンライダーとの同時運用により対流圏から中間圏界面までの全ての高度領域の温度プロファイルが同時に高時間分解能で得られる、世界初のシステムとなり、赤道大気の上下結合に関しても新たな知見が期待される。

3. 研究の方法

(1) K原子ブロッキングフィルターの設計、製作、特性測定

本研究の要であるK原子ブロッキングフィルターの最適なセル長、セル温度について、Na原子フィルター設計に用いたプログラムを改良したプログラムによりシミュレーションを行い設計し、Kセル、温度コントローラ等からなる原子フィルターを製作した。製作したフィルターのブロッキング特性、透過特性等を既存のチタンサファイアレーザー、波長計、パワーメータ等を用いて測定しシミュレーション結果と比較した。(図1)

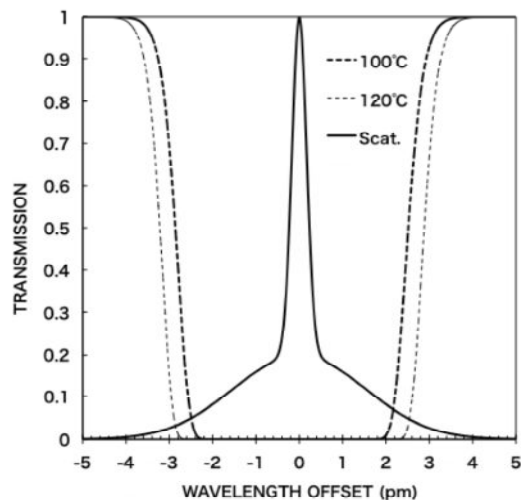


図1 セル温度 100°C及び 120°Cにおける K フィルターの特性とレイリー散乱スペクトル

ブロッキングフィルターの特性をふまえ、当初回転ラマンライダー用の2つの干渉フィルターの中心波長、帯域幅の最適設計を行った。しかし、設計の段階で回転ラマン方式では低層域で問題となるミー散乱信号の除去が困難であることが明らかとなったため、方針を一部変更し、干渉フィルターの代わりにブロッキング原子フィルターを2つ用い

ることにより、回転ラマンより散乱強度の強いレイリー散乱成分を検出して温度計測を行うこととした。

(2) 気温観測用ライダーシステムの構築

作製した2つのK原子ブロッキングフィルター及を組み合わせ、ライダー受信部を構築した。これを、既存のチタンサファイアレーザー及び望遠鏡、光子カウンタ等と組み合わせてライダーシステムを構築した(図2)。

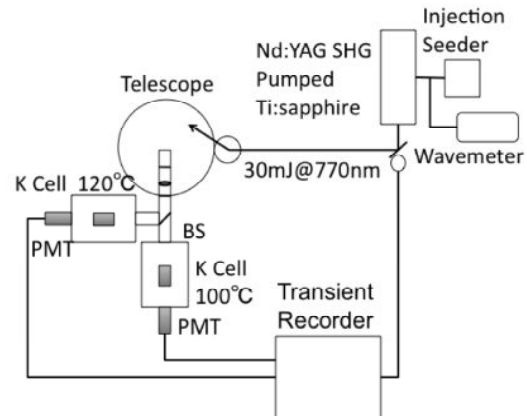


図2 気温観測用ライダーシステム

(3) 国内における気温の試験観測

首都大学内において大気気温観測を試みた。得られたデータはつくばのラジオゾンデデータと比較した。(図3) その結果、高度 600m から 2000m の範囲で良い一致を得た。

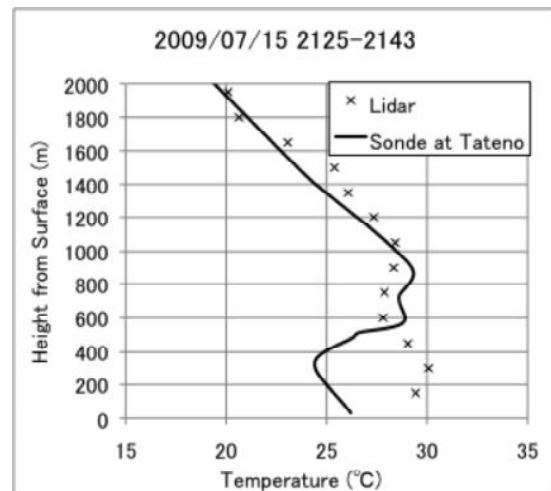


図3 国内における気温の試験観測結果とラジオゾンデデータとの比較

(4) インドネシア設置のレーザー等の調整並びにライダーシステムへのフィルターの組み込み

インドネシア・コタババンに設置した高機

能ライダーの共鳴散乱ライダーに用いているチタンサファイアレーザー、受信望遠鏡、フォトンカウンター等について、現地に出張し調整を行った。

更に、製作したK原子ブロッキングフィルターをベースにした受信部をインドネシアのライダーシステムの一部として組み込み、調整した。但し実際の観測では天候不順のため十分なデータが得られなかった。

4. 研究成果

地表面から境界層までの温度は、ラジオゾンデ以外のレーザー、RASS等では測定できない領域であり、ライダーによって初めて、高分解能の連続観測が可能になる。このようなライダー装置は世界でも限られており、赤道域での観測は未だ行われていない。本研究では、原子ブロッキングフィルターを新たに製作し、これを現在あるインドネシアのライダー観測施設にあるチタンサファイアレーザーと組み合わせ、地表面付近から境界層までの気温を昼夜観測できる回転ラマンライダー装置を構築し、定常的な垂直気温構造の観測を行い、赤道対流活動の詳細な解析を試みることを目的とした。得られた成果を要約すると以下の通りである。

(1)本研究の要である原子フィルターのセル温度を一定に保つための、コンパクトな温度コントロールシステムを作成し、 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以下の温度安定度を維持していることを確認した。

(2)2つの原子フィルターを、既存のチタンサファイアレーザー及び望遠鏡、フォトンカウンターと組み合わせ、大学内において高度分解能150m、時間分解能18分で気温観測を試みた。得られたデータをつくばのラジオゾンデデータと比較した結果、高度600mから2000mの範囲で良い一致を得た。

(3)インドネシア・コトタバンに設置してある共鳴散乱ライダーに用いているチタンサファイアレーザー及び受信システムを用いて気温観測を試みたが、天候不順のため十分な観測データは得られなかった。

今後インドネシアにおける気温データを蓄積することにより、長期的な変動、climatologyの解析につなげることが期待できる。また、精度の検証のためにMUレーザーRASSとの同時比較実験を計画している。

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)

[学会発表] (計11件)

①長澤親生、阿保真、柴田泰邦、カリウム原子フィルターを用いた対流圏の気温プロファイル観測用ライダーの開発、第126回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会、2009年9月28日、金沢大学

②長澤親生、阿保真、柴田泰邦、カリウム原子フィルターを用いた赤道対流圏の気温観測、第3回赤道大気レーザーシンポジウム、2009年9月11日、京都大学

③長澤親生、阿保真、柴田泰邦、気温測定のためのK吸収フィルターを用いた高スペクトル分解能ライダーの開発、第70回応用物理学学会学術講演会、2009年9月10日、富山大学

④阿保真、長澤親生、柴田泰邦、カリウム原子フィルターを用いた気温観測用ライダーの開発、第27回レーザーセンシングシンポジウム、2009年9月4日、那須

⑤阿保真、長澤親生、柴田泰邦、赤道ライダーによる雲と成層圏エアロゾルの長期観測、第2回赤道大気レーザーシンポジウム、2008年9月26日、京都大学

⑥阿保真、長澤親生、柴田泰邦、赤道ライダーによる対流圏・成層圏の長期観測、第26回レーザーセンシングシンポジウム、2008年9月11日、福岡

⑦Makoto Abo, Chikao Nagasawa, Yasukuni Shibata, Hiroyuki Hashiguchi, Masayuki Yamamoto, Shoichiro Fukao, POLARIZATION LIDAR OBSERVATIONS OF THE EQUATORIAL TROPOSPHERE, 24th International Laser Radar Conference, 2008年6月24日、Boulder

⑧阿保真、柴田泰邦、長澤親生、深尾昌一郎、橋口浩之、山本真之、赤道域対流圏の偏光ライダー観測、地球惑星科学連合2008年大会、2008年5月19日、幕張メッセ

⑨長澤親生、阿保真、柴田泰邦、佐々木一秀、原子フィルターを用いたライダーによる赤道下層大気気温観測、地球惑星科学連合2008年大会、2008年5月19日、幕張メッセ

⑩長澤親生、佐々木一秀、阿保真、柴田泰邦、赤道対流圏・成層圏気温観測のためのライダー開発、第1回赤道大気レーザーシンポジウム、2007年12月21日、京都大学

⑪佐々木一秀、長澤親生、阿保真、柴田泰邦、
K 原子フィルターを用いた気温測定ライダー
の開発、第 25 回レーザセンシングシンポジ
ウム、2007 年 9 月 14 日、田沢湖高原

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長澤 親生 (NAGASAWA CHIKAO)
首都大学東京・大学院システムデザイン研
究科・教授
研究者番号：80145664

(2) 研究分担者

阿保 真 (ABO MAKOTO)
首都大学東京・大学院システムデザイン研
究科・教授
研究者番号：20167951
(H19→H20：連携研究者)

柴田 泰邦 (SHIBATA YASUKUNI)
首都大学東京・大学院システムデザイン研
究科・助教
研究者番号：10305419
(H19→H20：連携研究者)