

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 13 日現在

機関番号：32682

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25800276

研究課題名(和文) 極中間圏雲の24時間連続精密モニタリングが可能なライダーシステムの開発

研究課題名(英文) Development of the narrow band receive of a lidar system for continuous monitoring of polar mesospheric clouds.

研究代表者

鈴木 秀彦 (Suzuki, Hidehiko)

明治大学・理工学部・講師

研究者番号：40582002

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の対象は、地球環境変動シグナルを反映しているとして、近年注目されている極中間圏雲(PMC:Polar Mesospheric Cloud)である。これを南極昭和基地のレーザーライダー(ライダー)システムを用いて観測することを目指し、白夜期に発生の最盛期を迎えるPMCの高精度検出を妨げる昼間光(背景光)を大幅に抑制することが可能な受信系システムを開発した。これにより、南極昭和基地では初となるPMCの昼間観測に成功した。さらに、得られたPMCエコーの時系列データを解析することによって、PMCの消長に見られる数日スケールの変動のメカニズムについて新たな知見を得た。

研究成果の概要(英文)：Polar mesospheric cloud (PMC) is known as the most highest cloud in the Earth's atmosphere. Recently, PMC is considered as a possible tracer of global changes seen in the Earth's atmospheric system. This study has attempted to observe PMC using the ground-based lidar system in Syowa Station, Antarctica to understand a relationship between its variations and upper atmospheric parameters. A narrow band-pass Fabry-Perot etalon unit has been developed and installed in the receiver system of the lidar to improve a quality of the PMC observation during daytime. By using this new system, clear PMC signals were successfully detected under daylight condition during the period of austral summer between Dec. 2013 and Feb. 2014 in Syowa Station. Further analysis using these data has suggested a reasonable mechanism of the local variations seen on PMC occurrence with a period of several days.

研究分野：超高層大気物理学

キーワード：極中間圏雲 中間圏 ライダー 南極 昭和基地

1. 研究開始当初の背景

発生頻度の推移が地球大気の長期変動を反映しているとして近年注目されている極中間圏雲 (PMC: Polar Mesospheric Cloud) は米航空宇宙局 (NASA) が 2009 年に打ち上げた PMC 観測衛星 AIM をはじめ、両極域における各国の地上観測拠点から精力的に観測が行われている。PMC 自体は南北極域における夏期間に発生する現象であるが、これまでの観測拠点としてはインフラ基盤が整備された北極域の国々が多かった。南極域においては、豪州デイビス基地、英国ロセラ基地、米国マクマード基地などにおけるレーザーレーダー (ライダー) を使用した地上からの PMC 観測が数例実施されていたものの、PMC 発生率の経度依存性や、局地的な気象要素との比較による消長メカニズムを議論する上では、観測拠点数、観測例ともに不足していた。そんな中、日本の南極昭和基地では 2011 年初頭にすでに稼働中の超高層大気観測装置群に加えて、高層大気の鉛直温度構造を得るためのライダーシステムが導入された。そのような背景の中、南極昭和基地のライダーシステムを PMC 観測が高精度で可能なシステムに改良し、PMC の連続観測を実現させることが期待されていた。

2. 研究の目的

PMC は極域の夏期間に発生する現象である。したがって、白夜期における観測が不可避となる。ライダーは上空に照射したレーザー光のうち、散乱体 (PMC) によって後方散乱された微弱な信号を地上の受信系によって捉え、散乱体の情報を得る手法である。しかし、昼間の空から受信系に混入する背景光成分は強力で、微弱な PMC 信号の検出の妨げになる。したがって、ライダーによる PMC の高精度検出のためには、この背景光を大幅に抑制することが必須となる。本研究では、この微弱な信号の検出の妨げとなる昼間光 (背景光) を大幅に抑制することが可能なライダー受信系システムを開発し、南極昭和基地ライダーによる PMC の連続精密モニタリングを実現することを目指した。さらに、得られたデータに基づき、これまで明らかでなかった、数時間～数日スケールでの超高層大気変動と PMC の消長の関係について新たな知見を得る事を目的とした。

3. 研究の方法

本研究は、以下の 2 段階の達成目標を設定し実施した。ここでは各段階達成の方法について概要を述べる。

(1) ライダー信号に混入する背景光強度を大幅に抑制するシステムの開発

この段階では、国内の研究協力者とともに、システムの開発および検証実験を行った。開発したシステムは、南極昭和基地に既設のレイリー・ラマンライダーシステムへ導入することを想定し、設計の最適化を行った。開発した背景光抑制ユニットは、国内にある南極

昭和基地と同等のシステムを用いた試験観測によって性能の評価を行った。

(2) 南極昭和基地におけるライダーによる PMC 観測とデータ解析

開発した背景光抑制ユニットは、研究代表者が第 55 次日本南極地域観測隊に隊員として参加し、2013 年 12 月に南極昭和基地のレイリーラマンライダーへ導入した。得られたデータは国内に持ち帰り、他機器による観測データおよび衛星データを統合し解析を行った。以上の方法によって得られた成果を次に述べる。

4. 研究成果

昭和基地に設置されているライダーは、大気温度の鉛直構造を観測することを目的として開発されたシステムであり、夜間の観測に特化したものであった。したがって、背景光の明るい時間帯の観測には向かず、PMC が活動の最盛期を迎える白夜期における運用はされていなかった。しかし、最盛期ではないものの PMC の活動が終期にさしかかる 2 月初旬頃においては、わずかに訪れる暗夜のタイミングを見計らい、PMC の検出が試みられていた。ライダーが導入された 2011 年の 2 月には、この努力により 1 例の PMC 信号が得られている。この時期の PMC は信号強度が弱く、この 1 例の信号強度も信号雑音比が 2 ~ 3 程度の厳しい検出精度であった。しかし、昭和基地では多種の超高層大気観測装置が同時に観測しているため、本研究ではそれらのデータを用いることで、この 1 イベントについての解析を実施した。その結果、(1) PMC と同時帯に HF レーダーによるエコー (PMSE: Polar Mesospheric Summer Echo) も受かっており、それは PMC の高度 (85 km 付近) を吹く中性大気の風とは異なる向きの運動をしていたこと、(2) 衛星データによる昭和基地上空の温度および水蒸気 (PMC の元となる) データとの比較により、その日以降、昭和上空において PMC が形成される条件は満たされていなかった、という事実が明らかになった。ここで得られた PMC と PMSE の関係についての知見と、PMC の消長に関する事実関係は、国際ジャーナルである *Annales of Geophysicae* に投稿、掲載済みである。この成果は、下記で述べるライダーの新システムを導入する前のシステムによって得られた低い精度のデータ解析によってもたらされたものであるが、南極昭和基地における PMC 観測の有効性を示すものであった。ライダー受信系に導入するための背景光抑制ユニットとしては、ファブリーペロエタロン (単にエタロンとも) と呼ばれる光学素子を用い開発を行った。これは正対する反射率の高い鏡面間で光の多重反射および干渉をおこし、特定波長付近の光だけを取り出すことのできる狭帯域フィルターである。この素子は、鏡面間の空気層 (エアギャップ) の屈折率がわずかに変化すると、光軸付近で透過する波長が変化してしまう特性がある。本研

究では、受信する必要のある信号はレーザー発振波長（355nm）のみであるため、このエタロンのエアギャップの屈折率をこの波長に最適化し保持するために、窒素を満たした圧力セル内にエタロンを置き、窒素ガスの圧力を変化させることによって屈折率を調整する方法を開発した。圧力セル内は、1～7気圧の範囲で調圧が可能で、リークバルブを調整することで、ある最適値を維持した保圧も可能である。このエタロンの導入により、従来は1.0nm程度の帯域を持つ干渉フィルタのみで背景光を除去していたが、エタロンを組み合わせることで、帯域をさらに30pm程度まで狭めることに成功した。この新システムと、南極昭和基地と同等のシステムを組み合わせた国内での試験観測によって、十分な背景光抑制効果が得られることが確認された（図1）。以上の成果については、主に国内の学会において発表を行った。

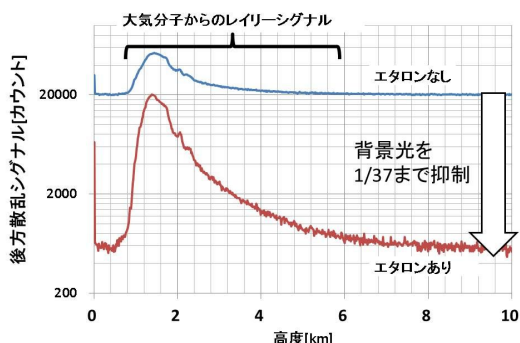


図1 首都大学東京（東京都日野市）で行ったライダー観測実験で得られた、エタロン有りおよび無しの場合のレイリー信号の高度プロファイル。

上記で開発した狭帯域受信系を、研究代表者が南極昭和基地へ2013年12月末に持ち込み、現地で稼働するレイリーライダーシステムの受信系へ導入した。代表者はこの改良型のライダーシステムを用いて2013年12月末より2014年2月初旬までの期間PMC観測を実施し、昭和基地では初となる白夜期におけるPMCのライダー観測に成功した。特に、2014年1月13日から18日にかけては晴天が続き、6晩連続のPMCモニタリングを達成することができた。この間、太陽高度が高い正午付近を中心とする昼間時間帯においては、エタロン導入後も背景光強度が強く、PMCの検出がいぜん困難であった。しかし、その時間帯においては昭和基地上空のPMCの出現状況を上述のAIM衛星がモニターしていたため、そのデータを相補的に用いることで、6日間にわたる昭和基地上空におけるPMCの消長をほぼ連続でモニターすることに成功した。得られたPMCエコーは、2日程度の周期で欠片的に現れていたが、この変動のメカニズムを他機器による気象要素のデータを統合することで考察した。具体的にはPMC高度における同

期間の大気温度および水蒸気の混合比情報を衛星データから、同領域の水平風速データを昭和基地MFライダーによるデータから取得し解析に用いた。この情報に加え、ライダーによって検出される程度にまでPMCの結晶が成長するために必要な時定数と背景の大気温度との関係などを勘案した結果、昭和基地上空で検出されたPMCが、より低温の高緯度帯で形成され、それが赤道向きの風によって昭和基地上空まで輸送されてきたというシナリオが、今回の観測データを矛盾なく説明することが明らかになった。この結果については、2014年の米国地球物理学会(AGU)にて口頭発表を行った他、現在国際ジャーナル投稿に向け準備中である。

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1件)

H. Suzuki, T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. Ogawa, M. Tsutsumi, M. Abo, T. D. Kawahara, Y. Tomikawa, A. S. Yukimatu, N. Sato: "Simultaneous PMC and PMSE observations with a ground-based lidar and SuperDARN HF radar at Syowa Station, Antarctica." *Annales Geophysicae* 31. 1793-1803 (2013), 査読有

〔学会発表〕(計7件)

H. Suzuki, T. Nakamura, M. Tsutsumi, M. K. Ejiri, Y. Tomikawa, M. Abo, T. D. Kawahara, T. Tsuda, and T. Nishiyama, Two-day period fluctuation of PMC occurrence over Syowa Station, Antarctica observed by a ground-based lidar and AIM satellite, AGU Fall meeting 2014, U.S.A. (San Francisco), Dec. 18, 2014.

鈴木秀彦、中村卓司、江尻省、阿保真、山本晃寛、川原琢也、富川喜弘、堤雅基、津田卓雄、西山尚典、狭帯域化レイリー/ラマンライダーによる南極昭和基地上空の極中間圏雲モニタリング、第5回極域科学シンポジウム、東京都立川市、2014年12月3日

鈴木秀彦、中村卓司、江尻省、阿保真、山本晃寛、川原琢也、富川喜弘、堤雅基、津田卓雄、西山尚典、昭和基地レイリーラマンライダーとAIM衛星によるPMCの2日周期変動、第136回地球電磁気・地球惑星圏学会、長野県松本市、2014年11月1日

鈴木秀彦、中村卓司、江尻省、阿保真、山本晃寛、川原琢也、富川喜弘、堤雅基、津田卓雄、西山尚典、狭帯域化レイリーライダーとAIM/CIPSデータによる南極昭和基地上空の極中間圏雲モニタリング、第32回レーザーセンシングシンポジウム、岐阜県高山市、2014年9月4日。

鈴木秀彦、中村卓司、江尻省、阿保真、山本晃寛、川原琢也、富川喜弘、堤雅基、津田卓雄、西山尚典、昭和基地レイリー/ラマン

ライダーの狭帯域化による極中間圏雲の昼間観測、日本地球惑星科学連合 2014 年大会、神奈川県横浜市、2014 年 4 月 28 日。

山本晃寛、鈴木秀彦、川原琢也、阿保真、江尻省、中村卓司、南極レイリーラマンライダー昼間観測用エタロンシステムの開発：気圧による光学的距離の調整、第 134 回 SGEPS 総会および講演会、2013 年 11 月、高知大学

鈴木秀彦、山本晃寛、阿保真、ライダー送信および受信系の偏光面同時制御による背景光抑制効果の実証、第 134 回 SGEPS 総会および講演会、2013 年 11 月 4 日、高知大学

6 . 研究組織

(1)研究代表者

鈴木 秀彦 (SUZUKI Hidehiko)

明治大学・理工学部・専任講師

研究者番号：40582002