

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24年 6月 1日現在

機関番号：62611

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21340141

研究課題名（和文）ライダーを活用した中層・超高層大気結合の協同観測－乱流圏界面の解明に向けて－

研究課題名（英文）Cooperative observations of the couplings of the middle and upper atmosphere utilizing lidars - towards the study of turbopause -

研究代表者

中村 卓司 (NAKAMURA TAKUJI)

研究者番号：40217857

研究成果の概要（和文）：

ライダーを中心に光学・電波観測を組み合わせた地上観測で下部熱圏の力学的諸現象を解明したとともに、さらに高度を上げて乱流圏界面の物理を明らかにできるように、移動用のコンテナラボを開発し共鳴散乱ライダーを設置して信楽MUレーダーサイトでの移動観測を行い、Ca+がスポラディックE層とともに増大することを観測した。また多波長発振可能なレーザの開発も行い、今後の高高度観測への道を開いた。

研究成果の概要（英文）：

We have clarified various dynamical phenomena in the lower thermosphere using ground-based lidar and radio/optical observations. In order to extend the observation height upward to observe turbopause, we have developed a mobile container lab and equipped with a resonance scatter lidar. This system was moved to Shigaraki MU radar site and observed Ca+ layer, in the presence of Es layer. Also, we have developed multi-wavelengths laser for future turbopause observations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2010年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2011年度	3,100,000	930,000	4,030,000
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

研究分野：超高層物理学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・超高層物理学

キーワード：ライダー・中間圏下部熱圏・可搬型・共鳴散乱・光電波観測

1. 研究開始当初の背景

超高層大気の底部、即ち下部熱圏は、超高層大気の下境界になるが、大気圏における下部の境界である地表付近に比べると、未知の境界の色彩が濃い。種々の擾乱で変動が激しく、そのことが超高層大気モデリング(シミュレーション)や観測データの同化などで、記述が不正確となり問題になる。また

超高層大気で観測される種々の現象(たとえばプラズマバブル、MSTID(中規模電離圏擾乱)、FAI(沿磁力線不規則構造)など)の種となる電離圏・熱圏の下部の空間構造(特に水平構造)やその時間変化が不明であることがこれらの現象の成因を知る妨げとなっている。超高層大気底部すなわち超高層大気と中層大気境界領域を正確に把握することは

超高層大気諸現象の理解や超高層大気モデリング(宇宙天気なども含む)にとって必要不可欠な至上命題である。

ところで、超高層大気と下層の中層大気は、①中性大気から電離大気への境界である、②乱流拡散から分子拡散への移行領域である(乱流圏界面)、③流体的振る舞いから粒子的振る舞いへの遷移領域である、④中間圏から熱圏への境界である(温度勾配が負と正領域の境界)、といった大きく性質の異なる大気の境界領域となる。いわば「宇宙と地球の境界」ともいえる領域である。このうち、とりわけ②、③の境界については断片的な観測も極めて困難であったため、一体どの高度が当該境界に当たるかを含め、実態は謎にまつまれている。これらの境界は、大気の組成や①の電離大気の振る舞いも決める重要な境界である。

2. 研究の目的

本研究では、とくに乱流圏界面という全く未知の構造の解明を目指して、乱流やそれによる拡散がキーポイントになるとされる諸現象をまず解明しつつ、将来の乱流圏界面観測への足がかりを得ることを目標としている。

3. 研究の方法

手法的には今世紀に入って急速に観測への応用が進んできて、超高層大気下部の現象解明に威力を発揮することが期待される「ライダー技術」、とくに「共鳴散乱ライダー」に焦点をあて、その活用で乱流圏界面付近の諸現象の多面的観測とその把握に進展をもたらそうとするものである。

4. 研究成果

(1) 協同観測のデータ解析 研究代表者らのグループでは、これまでに中緯度信楽MU観測所周辺(35N, 136E)におけるMUライダーおよびナトリウムライダー、大気光イメージャの協同観測データ、中緯度米国コロラドにおけるナトリウムライダー、大気光イメージャによる協同観測データ、南極昭和基地(69S, 39E)におけるナトリウムライダー、MFライダー、大気光イメージャによる協同観測データ、などを蓄積している。これらを整理し、中層・超高層大気境界での物理現象を調べた。①中緯度に於いてライダー観測で求めた大気潮汐波の影響による鉛直方向の層変位が7 km程度にもおよびこれにより酸素原子の発光(557.7nm)およびナトリウム全量が3-4倍に増大することを見出した。②大気光イメージャのOHおよびO₂のイメ

ージから、大気重力波が背景風の高度・時間変化によりクリティカルレベルに出くわす事象を見つけ詳細に解析した。この結果、重力波による背景風の加速および大気潮汐波の変調についても明らかにした。

③南極昭和基地での観測においては、オーロラが盛んに発生する磁気嵐とナトリウム層の関係について注目して解析したところ、磁気嵐発生時にナトリウム層密度の減少を捉えることができた。

④中緯度でのライダー、イメージャおよびライダー観測から、温度観測値も考慮した大気重力波の3次元構造を明らかにし、その運動量フラックスを求めた。また、大気光イメージャ中の細かいリップル構造出現時の大気の安定度をライダー温度とライダー風速から明らかにし、シア不安定が起こっていると考えられる領域で、リップルが発生し、またナトリウムの鉛直構造や温位から大規模な混合現象が起こっていることが示唆された。

⑤大気光のリップルの発生と同時に観測するナトリウムライダーによる温度プロファイルとの比較で、必ずしも一対一にイベントが対応しないことについてはライダーによる温度勾配計測・解析の最適化が必要なことを示した。

⑥流星群出現時のライダーによる同時観測からナトリウムコラム量の増大が流星群輻射点が高高度にあるときにのみ見られ数時間の継続時間があることを見出した。

(2) 可搬型ライダーの開発・整備 中間圏から下部熱圏の超高層大気下部を観測するライダーでも散乱断面積が極めて大きい共鳴散乱ライダーについて移動観測システムの検討を行った。とくに乱流圏界面は高度100 kmを超える為、高高度での観測の可能性に重みを置いて検討した。その結果、まず首都大のNaライダー用のレーザーを改良してCa⁺イオンの観測を行うようにチューニングすることが予算の範囲内での最適解との結論に到り、改良を行った。具体的には本研究費で開発した可搬型のコンテナラボにYAGレーザー励起の色素レーザーを据え付け、2倍高調波でCa⁺イオンの393.36nmを発振し、35cm望遠鏡で受信するシステムを構築し、京都大学の信楽MU観測所に設置して観測を行った。

また、多波長共鳴散乱の可搬型ライダーを開発するために、アレキサンドライトレーザーと複屈折フィルターを組み合わせた多波長レーザーシステムを構築し、高高度まで観測の可能性のあるCa⁺、N₂⁺、Feなどの波長での動作ができるシステムを開発して、将来乱流圏界面高度の温度観測も実現可能なための基礎データを取った。

(3) 拠点観測の実施 ライダーを活用した国内での拠点観測を実施するために、移動用プラットフォームを開発した。当初の計画は半固定と移動用を開発する予定だったが、この計画を発展させ機動性に富むコンテナラボを開発することとして実際に制作を行った。

開発したプラットフォームを京都大学の信楽MU観測所に移動させ、拠点観測を開始した。Ca⁺イオンの観測を行い、100km以上の高高度からの散乱信号を得ることに成功した。これを用いて、超高層大気下部の総合地上観測を執り行い、下部熱圏底部の中性および電離大気の構造と変動を調べた。微弱な信号レベルと格闘しながらも、Esの発生時に同時観測を成功させ、Ca⁺イオン層の消長をレーダーとライダーによる多面的な測器を用いて観測した。

以上のように本研究では、熱圏下部における種々の物理現象を明らかにするとともに、ライダーによる高度100km以上の乱流圏界面に迫る領域の観測を実現し、今後のライダー観測が多いに期待できることを示すことができた。超高層大気研究のブレークスルーに向けた大きな一歩を踏み出したといえ、その意義は大きい。

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7件)

(1) She, C.-Y., M. Abo, J. Yue, B. P. Williams, C. Nagasawa, T. Nakamura, Mesopause-region temperature and wind measurements with pseudorandom modulation continuous-wave (PMCW) lidar at 589 nm, Applied Optics, 査読有, 50巻, 2011, 2916 - 2926

<http://www.opticsinfobase.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-50-18-2916>

(2) Kero, J, C. Szasz, T. Nakamura, D. D. Meisel, M. Ueda, Y. Fujiwara, T. Terasawa, H. Miyamoto, K. Nishimura, First results from the 2009-2010 MU radar head echo observation programme for sporadic and shower meteors: the Orionids 2009, Mon. Notes Royal Astron. Soc., 査読有, 416巻, 2011, 2550 - 2559, doi: 10.1111/j.1365-2966.2011.19146.x

(3) Vadas, S., J. Yue, T. Nakamura, Mesospheric concentric gravity waves generated by multiple convective storms over the North American Great Plain, J. Geophys. Res. 査読有, 117巻, 2012. doi:10.1029/2011JD017025

<http://www.agu.org/pubs/crossref/2012/2>

011JD017025.shtml

(4) J. Kero, C. Szasz, T. Nakamura, T. Terasawa, H. Miyamoto, and K. Nishimura, A meteor head echo analysis algorithm for the lower VHF band, Annales Geophys, 査読有, 2012,

doi:10.5194/angeo-30-639-2012

<http://www.ann-geophys.net/30/639/2012/angeo-30-639-2012.html>

(5) Ejiri, M. K., T. Nakamura, and T. D. Kawahara, Seasonal variation of nocturnal temperature and sodium density in the mesopause region observed by a resonance scatter lidar over Uji, Japan, J. Geophys. Res, 査読有, 115巻, 2010, D18126, doi:10.1029/2009JD013799

<http://www.opticsinfobase.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-50-18-2916>

(6) Suzuki, S., T. Nakamura, M. K. Ejiri, M. Tsutsumi, K. Shiokawa, and T. D. Kawahara, Simultaneous airglow, lidar, and radar measurements of mesospheric gravity waves over Japan, J. Geophys. Res, 査読有, 115巻, 2010, D24113, doi:10.1029/2010JD014674

(7) Ejiri, M.K., M. J. Taylor, T. Nakamura, S. Franke, Critical level interaction of a gravity wave with background winds driven by a large-scale wave perturbation, J. Geophys. Res, 査読有, 114巻, 2009, doi:10.1029/2008JD01138

[学会発表] (計41件)

(1) 中村 卓司, 南極昭和基地におけるライダー観測, 理研シンポジウム「レーザーによる環境計測」2012年2月24日, 和光市

(2) 阿保 真, 中村 卓司, 江尻 省, 鈴木 秀彦, 三浦 夏美, 山本 衛, 共鳴散乱ライダーによる中間圏カルシウムイオンの観測, 第16回大気ライダー観測研究会, 2012年2月23日, 秋葉原

(3) 鈴木 臣, Division Optical Soundings IAP, 中村 卓司, 大気光・ライダー観測による大気重力波の鉛直伝搬構造, 第130回地球電磁気・地球惑星圏学会総会及び講演会, 2011年11月3日~11月6日, 神戸

(4) 江尻 省, 中村 卓司, 阿保 真, カリウム共鳴散乱ライダーによる3周波温度観測のための最適観測周波数の検討, 第130回地球電磁気・地球惑星圏学会総会及び講演会, 2011年11月3日~11月6日, 神戸

(5) 江尻 省, 中村 卓司, 阿保 真, カリウム共鳴散乱ライダーによる3周波観測のための最適観測周波数検討, 第29回レーザーセンシングシンポジウム, 2011年9月8日, 七尾

(6) T. Nakamura, C. Szasz, J. Kero, D. D.

Meisel, T. Terasawa, 他、MU radar head echoes of the 2009 Orionid meteor shower, IUGG, Melbourne, Australia, (招待講演) 3 July 2011

(7) J. Kero, C. Szasz, T. Nakamura, D. D. Meisel, T. Terasawa, H. Miyamoto, Y. Fujiwara, M. Ueda, K. Nishimura, The 2009-2010 monthly MU radar observation Programme for meteor head echoes, Japan Geoscience Union Meeting 2011, 2011年5月22-27日, 幕張

(8) 阿保 真, 中村卓司, 江尻省, 鈴木秀彦, 可搬型共鳴散乱ライダーによる中間圏カルシウムイオンの観測, Japan Geoscience Union Meeting 2011, 2011年5月22-27日, 幕張

(9) 鈴木 秀彦, 中村卓司, S. Vadas, 堤雅基, 田口真, 藤原康徳, 流星痕の連続画像によって示された極域中間圏における小スケールの風速擾乱, Japan Geoscience Union Meeting 2011, 2011年5月22-27日, 幕張

(10) T. Nakamura, VHF atmospheric radars, a review of new capabilities and applications, 2011 International Conference of Space Science and Communications (招待講演 (基調講演)), 12-13 July 2011, Penang, Malaysia

(11) T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. D. Kawahara, Enhancement of Na column density due to Geminid meteor shower observed by a resonance scatter lidar, Meteoroids 2010, 2010年5月27日, Breckenridge, CO, USA

(12) 江尻省, 中村卓司, 阿保真, カリウム共鳴散乱ライダーによる3周波観測のための最適周波数の検討, 第28回レーザーダシンプोजウム, 2010年9月9日, 琵琶湖グランドホテル(大津市)

(13) 中村卓司, 江尻省, 川原琢也, Na層コラム総量の気象変動による変動と流星群による増加, 第28回レーザーダシンプोजウム, 2010年9月9日, 琵琶湖グランドホテル(大津市)

(14) M. K. Ejiri, T. Nakamura, T. D. Kawahara, C.-Y. She, D. Krueger, Calibration of laser frequency for Na temperature lidar using resonance scattering signal, 38th COSPAR (Committee on Space Research) Scientific Assembly, 2010年7月19日, Messe Bremen, Bremen, Germany

(15) T. Nakamura, J. Yue, C.-Y. She, M. K. Ejiri, T. D. Kawahara, K. Shiokasa, K. Sato, Ground-based observations of mesosphere and lower thermosphere using radar/lidar and airglow measurements (招待講演), 38th COSPAR (Committee on Space Research) Scientific Assembly, 2010年7月2

2日, Messe Bremen, Bremen, Germany

(16) 阿保 真, 中村卓司, 堤雅基, 江尻省, 鈴木 秀彦, 川原琢也, 坂野井 和代, 南極設置用多波長共鳴散乱ライダーの開発, 第128回SGEPSS総会及び講演会, 2010年11月2日, 沖縄県市町村自治会館, 那覇市

(17) 江尻省, 中村卓司, 川原琢也, 南極昭和基地でライダー観測されたオーロラ粒子降り込み時のNa層, 第128回SGEPSS総会及び講演会, 2010年11月2日, 沖縄県市町村自治会館, 那覇市

(18) 江尻省, カリウム共鳴散乱ライダーのための最適観測周波数の検討 ~3周波法による観測とレーザー周波数校正の両立に向けて~, 第15回大気ライダー研究会, 2011年3月8日, 首都大学東京, 東京

(19) 江尻省, 中村卓司, 川原琢也, 塩川和夫, 堤雅基, 日本上空で観測されたNaコラム量とOI大気光強度の同時増大の原因, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 2009年5月18日, 幕張メッセ, 千葉

(20) 鈴木臣, 中村卓司, 江尻省, 塩川和夫, 川原琢也, 宇治-信楽-多賀で行われた中間圏重力波の3点同時観測キャンペーン: 初期結果, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 2009年5月18日, 幕張メッセ, 千葉

(21) T. Nakamura, T. Tsuda, M. Yamamoto, H. Hashiguchi, (招待講演), Multi-instrument and network observations with the middle and upper atmosphere (MU) radar, 2009 Joint Assembly The Meeting of the Americas, 2009年5月27日, Toronto, Ontario, Canada

(22) 江尻省, 中村卓司, C.-Y. She, 川原琢也, 共鳴散乱ライダーの受信散乱信号を用いたレーザー発振周波数校正実験, 第27回レーザーセンシングシンポジウムプログラム, 2009年9月3日, エピナール那須, 那須

(23) 鈴木臣, 中村卓司, 江尻省, 堤雅基, 塩川和夫, 川原琢也, ANDON キャンペーンで観測された大気重力波: 大気光イメージャ, 流星ライダー, ナトリウムライダーによる同時観測, 第126回SGEPSS総会及び講演会, 2009年9月28日, 金沢大学, 金沢

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

山本 衛 (YAMAMOTO MAMORU)
京大大学生存圏研究所・教授
研究者番号: 20210560

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

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

(3)連携研究者

川原琢也 (KAWAHARA TAKUYA)

信州大学・工学部・准教授

研究者番号：40273073

坂野井 和代 (SAKANOI KAZUYO)

駒沢大学・文教育学部・准教授

研究者番号：80391077

柴田 泰邦 (SHIBATA YASUKUNI)

首都大学東京・システムデザイン学部・助
教

研究者番号：10305419

佐藤 薫 (SATO KAORU)

東京大学・理学系研究科・教授

研究者番号：90251496

堤 雅基 (TSUTSUMI MASAKI)

国立極地研究所・研究教育系・准教授

研究者番号：80280535

富川 喜弘 (TOMIKAWA YOSHIHIRO)

国立極地研究所・研究教育系・助教

研究者番号：20435499

北原 司 (KITAHARA TSUKASA)

鳥羽商船高等専門学校・制御情報工学科・
助教

研究者番号：80303444

鈴木 秀彦 (SUZUKI HIDEHIKO)

国立極地研究所・研究教育系・特任研究員

研究者番号：40582002