

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：62611

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24340121

研究課題名(和文) 新技術ライダー観測を活用した超高層大気下部の化学過程と物質輸送の研究

研究課題名(英文) Chemistry and transport at the bottom of the upper atmosphere using novel lidar observations

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：高性能レーザーによる地上からの共鳴散乱ライダー観測を中心に先端的大型大気レーザー、大気光イメージング観測などを北半球中緯度および南極域で実施することにより、高度100km付近の超高層大気下部の物質輸送や組成変動といった観点に焦点をあて、これまで理解が大幅におくれていた化学過程に関する重要な知見を見出した。とくに、熱圏高度でのナトリウム層の発見、流星軌道精密測定・フラックスの定量的見積もりと大気への影響、カルシウムイオン層の散乱による超大型レーザーに匹敵する電離層のライダー観測法の開発と上下結合の解明など多数の成果を挙げた。

研究成果の概要(英文)：A high-performance laser has been applied to develop a resonance scatter lidar for observations of the bottom part of the upper atmosphere around 100 km height in order to clarify on the transport and constituent variations which are closely related to the chemical processes there. The observations at mid-latitude in the northern hemisphere and in the Antarctic have been carried out together with novel observations by large aperture atmospheric radar and airglow imaging etc. The selected topics achieved are as follows. High altitude sodium atom layer has been found in the thermosphere. Meteor orbits, meteor flux and effects on the atmosphere have been estimated. Development of calcium ion layer by a lidar, which is comparable to the ultra large aperture radar observation of the ionosphere, and its observation have clarified vertical couplings.

研究分野：超高層物理学

キーワード：超高層物理学 ライダー 中間圏界面 流星フラックス 金属原子 大気大循環モデル レーダー観測
下部熱圏

1. 研究開始当初の背景

地上付近から超高層大気にいたる広範な大気領域の結合過程が近年克明にとらえられるようになってきており、上下のみならず南北半球を超えた大規模な力学結合過程が明らかになってきた。他方、力学過程と並び重要な化学過程については情報が少なく大きな進展がない状態であった。

2. 研究の目的

観測的情報が決定的に欠落している超高層大気下部(中層大気上部・下部熱圏、あるいは MLT(中間圏下部熱圏)領域)の組成とその変動に関する情報を新しく開発した多波長の共鳴散乱ライダー等新技术のライダー観測を実施することで飛躍的に増大させる。これに加え先端的レーザー観測で得た下部熱圏への流星物質流入フラックスの季節変化を用い、最新の GCM モデルを投入することで超高層大気下部の物質輸送と化学過程について明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 新技术ライダーを用いた集中観測
南極観測用に新開発した多波長(可変波長)共鳴散乱ライダーを活用し、国内においても集中観測を行った。送信波長の正確なチューニングが可能となり、基本波によるカリウム原子、第2高調波による鉄原子、カルシウムイオン、窒素分子イオンによる観測を行った。

(2) 物質フラックスのレーザー高精度観測
下部熱圏に金属元素等の物質を供給する流星フラックスを大型大気レーザーで精密に観測した。また、関連してイメージャなどの光学観測によって流星やナトリウム大気光などを観測した。

(3) 取得データの解析・データベース化
国内観測および南極昭和基地観測でのレイリー散乱、ナトリウム、カリウム、カルシウムイオン、鉄原子等のライダー観測結果を詳細に解析し、物理量としてデータベース化した。温度データの精度向上をはかるとともに、ODIN 衛星 OSIRIS などの衛星観測によるナトリウム共鳴散乱光データも解析とデータ化を進めた。

(4) 数値モデルと観測の比較
大気大循環モデル(Kyushu GCM, GAIA)や再解析データ(MERRA)との比較を進めた。とくに九州大学 GCM に JRA25/JCDAS 再解析データを入力した実行結果をデータ整備しレーザー、ライダー観測データとの比較を行った。モデル中の大規模波動(潮汐波、プラネタリ波、慣性重力波)を解析するとともに、内部重力波伝播の議論の背景場としても活用した。また、データ解析を南極の大気光イメージング観測にも拡大してモデルとの比較を行った。

4. 研究成果

(1) 多波長(波長可変)共鳴散乱ライダーによる高精度共鳴散乱観測の調整を進め、複数の共鳴散乱原子およびイオンにレーザーを同調させた高機能観測を実現した。カリウム原子層についてこれまでにない高精度観測でその動態を明らかにした。さらに、鉄原子の観測では冬季の成層圏突然昇温発生前後の下部熱圏の温度構造および鉄原子密度の消長を捉えることに成功した。

(2) 多波長共鳴散乱ライダーによるカルシウムイオンの観測ではとくにライダー観測としては過去に例のない長時間・高度分解能(15m, 10秒)でスプラディックE層のイベントを捕らえて解析し、E層とF層との結合過程やインスタビリティの詳細を捉えた。大型のISレーザーを上回る感度は、今後電離圏観測のブレイクスルーとなる可能性がある。新たな可搬型・高信頼性の電離圏ライダー開発の計画が本成果を基に計画中で、本研究の大きな波及効果といえる。

(3) 昭和基地のナトリウム共鳴散乱ライダー観測から、高度140kmの高高度でのナトリウム層の存在を発見した(図1)。鉄の観測は例があったがナトリウムの観測は初めてであり、流星起源のこれらの物質が地磁気擾乱時にイオンとして熱圏に吹き上げられ中性化することで組成を変動させている可能性を示した。

(4) 南極昭和基地大型大気レーザー(PANSY)による高度50-90kmの中間圏観測データを精査したところ夏季だけでなく冬季も強度の強い散乱信号が受信されることを見出し、その季節変化、高度分布、地方時特性、さらに太陽風による高エネルギー粒子降りこみの影響等を明らかにした。電子密度モデルを用いた検討を行い、流星ダストの影響を議論した。

(5) 流星の大気突入時の高速プラズマを大型大気レーザーで観測する精度を大幅に向上し、大気突入時の軌道や減速を詳細に捉える方法を中緯度のMUレーザーと南極高緯度のPANSYレーザーで実施した。流星フラックスの季節、地上時変化を明らかにしたほか、龍座流星群やふたご座流星群の活動を経年変化を含めて捕らえ、母天体からの放出速度と質量の関係を議論した。

(6) 流星の大気突入時の現象を光学および電波で詳細に捉え、飛跡の形状の時間変化から背景となる慣性重力波の特性を明らかにしたほか、流星と大気の衝突で下部熱圏で発生する大気重力波を大気光イメージング観測で発見するなど流星飛来時の大気へのインパクトを新たな視点から明らかにした。

(7)大気光イメージングデータと数値モデルとの比較により、対流圏の対流現象から発生した大気重力波の下部熱圏から熱圏への伝播とその影響を議論するとともに、新たな3次元スペクトル解析法を開発し特に南極域の大気重力波の解析に適用し、水平伝播特性を明らかにした。また、AIM衛星の中間圏雲の長期データの解析から太陽非同期大気潮汐波とプラネタリ波が雲形成の経度構造に影響を与えることを示唆した。

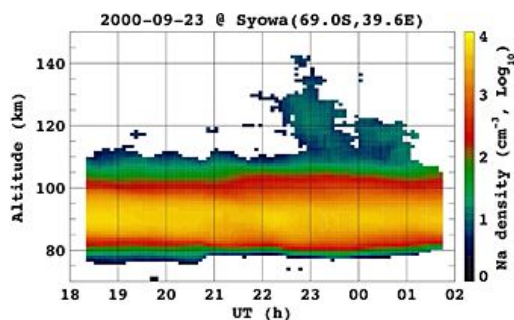


図1 昭和基地上空で観測された高度140kmの熱圏に広がるナトリウム層

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10件)

Nishiyama, T., K. Sato, T. Nakamura, M. Tsutsumi, T. Sato, M. Kohma, K. Nishimura, Y. Tomikawa, M. K. Ejiri and T. T. Tsuda, Height and time characteristics of seasonal and diurnal variations in PMWE based on 1 year observations by the PANSY radar (69.0 S, 39.6 E), *Geophys. Res. Lett.*, 42, 2100-2108, doi:10.1002/2015GL063349, 2015. 査読有

Tsuda, T. T., X. Chu, T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. D. Kawahara, A. S. Yukimatu, and K. Hosokawa, A thermospheric Na layer event observed up to 140 km over Syowa Station (69.0°S, 39.6°E) in Antarctica. *Geophys. Res. Lett.*, doi: 10.1002/2015GL064101, 2015. 査読有

Matsuda, T. S., T. Nakamura, M. K. Ejiri, M. Tsutsumi, and K. Shiokawa (2014), New statistical analysis of the horizontal phase velocity distribution of gravity waves observed by airglow imaging, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 119(16), 9707-9718, doi:10.1002/2014jd021543. 査読有

Vadas, S. L., H. Suzuki, M. J. Nicolls, T. Nakamura, and R. O. Harmon (2014), Atmospheric gravity waves excited by a fireball meteor: Observations and modeling,

Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 119(14), 8583-8605, doi:10.1002/2014jd021664. 査読有

Suzuki, H., T. Nakamura, S. L. Vadas, M. Tsutsumi and M. Taguchi, Inertia-gravity wave in the polar mesopause region inferred from successive images of a meteor train, *J. Geophys. Res.*, 118, 3047-3052, DOI: 10.1002/jgrd.50228, 2013. 査読有

Suzuki, H., T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. Ogawa, M. Tsutsumi, M. Abo, T. D. Kawahara, Y. Tomikawa, A. S. Yukimatsu, and N. Sato, Simultaneous PMC and PMSE observations with a ground-based lidar and SuperDARN HF radar at Syowa Station, Antarctica, *Ann. Geophys.*, 1793-1803, 2013. DOI: 10.5194/angeo-31-1793-2013 査読有

Kero, J., C. Szasz, T. Nakamura, MU head echo observations of the 2010 Geminids: radiant, orbit, and meteor flux observing biases, *Ann. Geophys.*, 31, 439-449, 2013. DOI: 10.5194/angeo-31-1793-2013 査読有

Kero, J., Y. Fujiwara, M. Abo, M. C. Szasz, and T. Nakamura, MU radar head echo observations of the 2011 October Draconids, *MNRAS*, 424,1799-1806, 2012. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2012.21255.x 査読有

Kero, J., C. Szasz, T. Nakamura, D. D. Meisel, M. Ueda, Y. Fujiwara, T. Terasawa, K. Nishimura, and J. Watanabe, The 2009-2010 MU radar head echo observation programme for sporadic and shower meteors: radiants and diurnal rates. , *MNRAS*, 425, 135-146, 2012 DOI: 10.1111/j.1365-2966.2012.21407.x 査読有

Vadas, S., J. Yue, T. Nakamura, Mesospheric concentric gravity waves generated by multiple convective storms over the North American Great Plain, *J. Geophys. Res.*, 117, D07113, DOI:10.1029/2011JD017025, 2012 査読有

[学会発表](計81件)

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, 東大本郷キャンパス, 東京, 2015年10月31日-11月3日.(招待講演)

Nakamura, T., K. Sato, M. Tsutsumi, T. Sato, JARE VIII-th term AJ1 project, Mesosphere and lower thermosphere observations at Syowa Station, the Antarctic (69S, 40E), 12th international workshop on Layered Phenomena in the Mesopause Region, Boulder, CO, USA, August 10-13, 2015. (招待講演)

Nakamura, T., K. Sato, M. Tsutsumi, T. Yamanouchi, T. Sato, Y. Tomikawa et al., Recent Observations and Studies of the

Middle and Upper Atmosphere at Syowa Station (39.6E, 69S), 12th Annual Meeting, AOGS, 2-7 August 2015, Singapore. (招待講演)

Nakamura, T., E. Yigit, and C. Stolle, Coupling by Dynamics in VarSITI/ROSMIC, 26th IUGG General Assembly, Prague, Czech Republic, June 22 - July 2, 2015. (招待講演)

Matsuda, T.S., T. Nakamura, M.K. Ejiri, M. Tsutsumi, M.J. Taylor, Y. Zhao, D. Pautet, T.M. Griffin, D. Murphy, Horizontal phase velocity distributions of gravity waves observed by Antarctic Gravity Wave Imaging/Instrument Network (ANGWIN), using 3-D spectral analysis technique 26th IUGG General Assembly 2015, June 22-July 2, 2015 Prague Congress Center, Prague, Czech Republic

Ejiri, M.K., T. T. Tsuda, T. Nishiyama, M. Abo, M. Nishioka, T. Maruyama, A. Saito, T. Nakamura, First simultaneous observation of Ca⁺ densities in the E region and MSTIDs in the F region, Japan Geoscience Union Meeting 2015, May 24-28, 2015, Chiba, Makuhari Messe

津田 卓雄、江尻 省、西山 尚典、阿保 真、川原 琢也、中村 卓司 波長可変ライダーによる Fe 温度と Ca⁺温度の観測, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015 年 5 月 24-28 日、千葉市幕張メッセ

Ejiri, M. K., T. T. Tsuda, T. Nishiyama, M. Abo, T. D. Kawahara, T. Nakamura, Mesospheric potassium layer observation by a frequency tunable resonance scattering lidar system, 40th COSPAR Scientific Assembly 2014, August 2-10, 2014, Moscow, Russia

Matsuda, T. S., T. Nakamura, M. K., Ejiri, M. Tsutsumi, K. Shiokawa, M. Taguchi, H. Suzuki, Statistical analysis of gravity waves characteristics observed by airglow imaging at Syowa Station (69S, 39E), Antarctica, 40th COSPAR Scientific Assembly 2014, August 2-10, 2014, Moscow, Russia

Ejiri, M. K., T. T. Tsuda, T. Nishiyama, M. Abo, and T. Nakamura, First results of potassium density and temperature profiles by a resonance scattering lidar for Antarctic observation, IAGA 2013, 12th Scientific Assembly, August 26-31, Merida, Mexico.

Tsuda, T. T., X. Chu, T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. Kawahara, Thermospheric Na layer at Syowa, Antarctica, 2013 CEDAR workshop, June 22-28, 2013, Boulder, CO, USA. (招待講演)

Nakamura, T., T. Ogino, T. Hirooka, Y. Takahashi, M. Ishii, K. Shibata, M. Hirahara, H. Hosino, Y. Omura, T. Shimizu, M. Yamamoto, K. Shiokawa, T. Tsuda, Japanese

Activity of SCOSTEP/CAWSES-II, AOGS 10th Annual Meeting, June 24-28 June 2013, Brisbane, Australia. (招待講演)

Kero, J., T. Nakamura, C. Szasz, D. D. Meisel, T. Terasawa, Y. Fujiwara, M. Ueda, K. Nishimura, J. Watanabe, The MU radar meteor head echo observation program, 39th COSPAR Scientific Assembly, July 14-22, 2012, Mysore, India

Suzuki, H., T. Nakamura, M. K. Ejiri, T. Ogawa, M. Tsutsumi, M. Abo, T. D. Kawahara, Y. Tomikawa, A. S. Yukimatsu, Simultaneous PMC and PMSE observations with a ground-based lidar and SuperDARN HF radar over Syowa Station, Antarctica, 39th COSPAR Scientific Assembly, July 14-22, 2012, Mysore, India

Nakamura, T., K. Sato, M. Tsutsumi, T. Yamanouchi, M. Abo, H. Suzuki, M. K. Ejiri, A. Mizuno, Y. Tomikawa, T. Nagahama, Progress of the middle and upper atmosphere observations over Syowa Station, in the Antarctic (69S, 39E), 39th COSPAR Scientific Assembly, July 14-22, 2012, Mysore, India

他 66 件

〔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〕

なし

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

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

川原 琢也 (KAWAHARA, Takuya)
信州大学・工学部・准教授
研究者番号: 40273073

鈴木 秀彦 (SUZUKI, Hidehiko)
明治大学・理工学部・講師
研究者番号: 40582002

藤原 均 (FUJIWARA, Hitoshi)
成蹊大学・理工学部・教授
研究者番号: 50298741

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
(平成 26 年度より研究分担者)

(3)連携研究者

三好 勉信 (MIYOSHI, Yasunobu)
九州大学・理学研究院・准教授
研究者番号：20243884

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

田中 良昌 (TANAKA, Yoshimasa)
国立極地研究所・研究教育系・特任准教授
研究者番号：50425766

渡部 潤一 (WATANABE, Junichi)
国立天文台・天文情報センター・教授
研究者番号：50201190

(4)研究協力者

津田 卓雄 (TSUDA, Takuo)
松田 貴嗣 (MATSUDA, Takashi)
ヨハン ケロ (KERO, Johan)
ユエ ジア (YUE, Jia)
シャロン バダス (VADAS, Sharon)