

機関番号：62611

研究種目：基盤研究 B

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20403011

研究課題名（和文） 超高層大気下部の経度非一様性の国際協同観測

研究課題名（英文） International collaborative observations of zonal variability in the bottom of the upper atmosphere

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

研究成果の概要（和文）：超高層大気下部の高度 100km の大気経度構造をとくに地上からの高感度大気光画像観測中に見られる微小構造や、ナトリウムライダーによる温度、組成構造などの観測から明らかにした。その結果、大きな経度変化が見られたが、同時に緯度方向にも数度で大きく異なる構造も見られ、超高層大気下部の中間圏・下部熱圏領域を二次元マッピングするような観測研究が今後重要となることを示唆した。

研究成果の概要（英文）：Zonal structures in the bottom of the upper atmosphere region at around 100 km altitude have been revealed by small-scale features in the airglow imaging, temperature and constituent observations by sodium lidars. We found a significant zonal variability, but at the same time, effect of latitudinal difference of several degrees can also be discussed. Two-dimensional mapping in the mesosphere and lower thermosphere will become very important in the future programs.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2009 年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2010 年度	3,000,000	900,000	3,900,000
総計	12,900,000	3,870,000	16,770,000

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：経度非一様性、大気光、下部熱圏、インスタビリティ、ナトリウムライダー、大気波動

## 1. 研究開始当初の背景

高度 100km 以上の超高層大気では、とくに電離圏において大きな経度変化が衛星観測データから明らかになってきた。とくに経度方向に 4 波の構造をしているものが顕著だが、これは波数 3 の潮汐波によると見られるなど複雑な様相である。一方、下層から伝搬する大気波動の砕波による大気不安定と乱流、インスタビリティがさまざまな観測や理論、モデリング研究から明らかになってきており、重力波の砕波からの 2 次波が超高層大気へのエネルギーの輸送に重要であるこ

とが理解されてきた。

## 2. 研究の目的

本研究では、下層との相互作用を考える上で重要な超高層大気下部の大気不安定領域の経度変化という概念で、日本および米国コロラドで行なってきた地上からの光電波協同観測を軸にさらに発展させたネットワークを構築し衛星観測も動員して、下部熱圏の力学的経度非一様性の実態を観測的に明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 米国コロラドと日本での光電波協同観測

米国コロラド州立大学 (Ft. Collins) のナトリウム温度風速ライダーを中心とする光電波地上観測および京都大学・信楽 MU 観測所の MU レーダーを中心とする光電波地上観測の両者の協同観測から下部熱圏大気構造・大気不安定領域の経度差を観測する。

#### (2) 拡大ネットワーク観測と衛星協同観測

西経 105 度、北緯 30 度のニューメキシコの観測データ、また SABER 衛星観測データを活用し、同一緯度での経度構造の比較、同一経度での若干の緯度の違いを議論する。また GCM モデリングも参照する。

#### (3) 蓄積データの解析とデータベース化

観測により蓄積されたナトリウムライダー・大気光イメージングデータについて統一した手法により解析を進めるとともに、データベース化を行なう。特に大気光の微細構造であるリップルの解析については解析方法によるバイアスを議論して慎重に比較を行う。

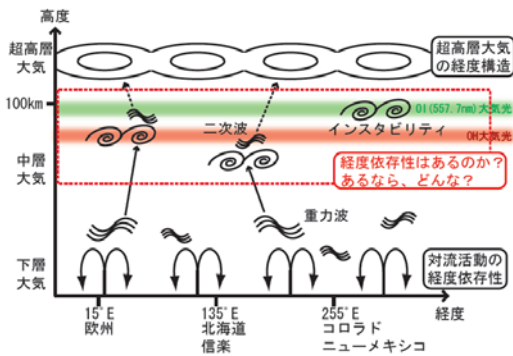


図1 本研究の観測対象の概念図

### 4. 研究成果

(1) 世界屈指のナトリウム温度・風速ライダーがあり、下部熱圏の温度・風速の高度プロファイルから大気安定度など力学的に重要なパラメータが得られるコロラド州立大学において日本から持ち込んだ大気光イメージングを連続運転してコロラド上空 (西経 105 度) 中緯度の下部熱圏を詳細に観測し、詳細に解析した。大気モデルによらないこのような力学観測は稀有であり、下部熱圏の動態を知る貴重な共同観測である。この協同観測では、大気潮汐波と関連するインスタビリティ、中間圏の不連続構造ポアの形成、大気重力波の特性など現実的な背景場を知った上で得られる貴重な力学的知見を得ることができた。

(2) さらに、コロラドの観測データで蓄積された観測データベースからは、OH 大気光に同

心円状の重力波がはっきりと観測され、その頻度も日本よりは多かった。対流圏の気象レーダー観測では、大気光の同心円の中心に強い積雲対流が観測され、対流圏で励起された大気重力波が超高层大気に突き抜ける現象であることははっきり示され、シミュレーションからその伝搬特性も解明された。中層大気平均風が弱い分点期にはこのような同心円重力波が超高层大気下部でしばしば観測される。

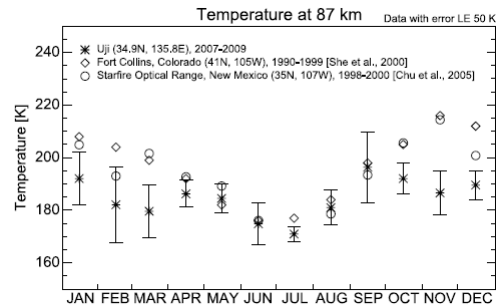


図2 ライダーによる高度 87km の温度の季節変化。\*が日本、◇がコロラド、○がニューメキシコ。

(3) 米国コロラドと経度的に 120 度離れた日本においては、京都大学信楽 MU 観測所の MU レーダーを中心に、大気光イメージング装置、ナトリウム温度ライダー等を配置し、米国と同様の観測ができるセットアップで観測を行った。とくに、大気光イメージング装置 (全天イメージャ) は、信楽 MU 観測所とさらに 50 km 北にある多賀町に設置し、2 点からの共同観測を行った。MU レーダーによる風速データ、宇治で観測を行っているナトリウム温度データと多面的な同時観測を行い、それぞれの測器で同一の大気波動を捉えることで大気光イメージングから求める大気重力波の運動量フラックス観測の有効性を示した。

(4) 狭帯域の固体パルスレーザーによるナトリウム温度ライダーによる高度 80-105km の温度とナトリウム密度の高度分布の観測を京都大学宇治キャンパスで 1 年半以上に亘り行い、日本上空の下部熱圏の温度プロファイルを含めた動態を初めて長期に観測した。結果はコロラド、および同じ経度で緯度が日本と同じニューメキシコのライダー観測結果と詳細に比較し (図 2)、夏期温度は類似だが冬期の温度が異なることや、ナトリウム密度が夏期に大きく異なることなど、重要な経度変動と思われる現象を見出した。なお、この観測では種々の現象についてコロラドと同様に力学的背景場を実時間で観測できる稀有な観測例となった点も特筆される。

(5)コロラドおよび日本の大気光イメージャの大量のデータから、大気不安定構造を示すと言われているリップル（小規模な波構造）を抽出し、その統計的解析を行った。大気重力波の統計はNakamura et al., 1999 以来多数あるが、リップルの統計は初めてであり、かつ日米の経度差比較は貴重なデータである。リップルの発生頻度の季節変化、地方時変化を明らかにし、日米上空で大気重力波の強くなる夏期にリップルの発生頻度が高くなることを示すとともに、日本よりも米国上空で高頻度でリップルが観測されることを示した。さらにライダーで得られる温度や風

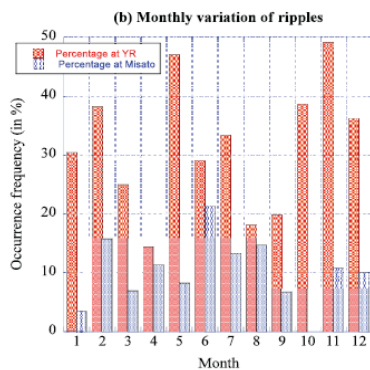


図3、コロラド（赤）と日本（青）でのリップル発生頻度の季節変化。

速の勾配とリップルの関係についても議論した。

(6) 経度変動のネットワークを拡大するためにドイツの Kuelungsborn にある大気物理研究所に大気光イメージャを設置して観測を開始した。同研究所では高性能のライダーで温度プロファイルを、レーザーで風速を計測しているが、大気光イメージャは欧州の大陸地域では観測例が殆どない。ここでも、コロラド、日本と同様の協同観測をセットアップして、重力波、リップルその他下部熱圏の現象の解析を行った。比較的大規模の重力波の構造を明らかにすることが出来たほか、現在詳細は解析中である。

(7) 本研究では、以上のように下層大気と超高層大気の接点となっている下部熱圏の諸力学現象、とくに大気波動の砕波、大気不安定、2次波の発生による高高度への影響などの鍵を握る大気不安定構造を中心に、これまで明らかになっていなかった経度変動を探る観測研究を行った。その結果、大きな経度変動を示すと思われる重要な結果とともに、中緯度での緯度変化の重要性も再認識する結果となり、今後さらに高性能な測器を駆使した下部熱圏のマッピング観測が重要になることを見出した。また、観測ネットワークだけでなく、観測研究を通じて北米およびドイツの研究者との人的なネットワークを構

築できたことも大きな成果といえよう。

## 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 9 件) (全て査読あり)

(点線は研究協力者)

① 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.*, 115, D24113, doi:10.1029/2010JD014674, 2010

② 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.*, 115, D18126, doi:10.1029/2009JD013799, 2010

③ Yue, J., T. Nakamura, C.-Y. She, M. Weber, W. Lyons, and T. Li, Seasonal and local time variability of ripples from airglow imager observations in US and Japan, *Ann. Geophys.*, 28, 1401-1408, 2010,

④ Yue, J., C.-Y. She, T. Nakamura, S. Harrell, and T. Yuan, Mesospheric bore formation from large-scale gravity wave perturbations observed by collocated all-sky OH imager and sodium lidar, *J. Atmos. solar-Terr. Phys.*, 72, 7-18, 2010

⑤ Dou, X., T. Li, Y. Tang, J. Yue, T. Nakamura, X. Xue, B. P. Williams, C.-Y. She, Variability of gravity wave occurrence frequency and propagation direction in the upper mesosphere observed by the OH imager in Northern Colorado, *J. Atmos. solar-Terr. Phys.*, 72, 457-462, 2010,

⑥ Li T, C.-Y. She, H.-L. Liu, J. Yue, T. Nakamura, et al., Observation of local tidal variability and instability, along with dissipation of diurnal tidal harmonics in the mesopause region over Fort Collins, Colorado (41 degrees N, 105 degrees W), *J. Geophys. Res.*, 114, D06106, 2009,

⑦ Yue J, Vadas SL, C.-Y. She, T. Nakamura et al, Centric gravity waves in the mesosphere generated by deep convective plumes in the lower atmosphere near Fort Collins, Colorado, *J. Geophys. Res.*, 114, D06104, 2009

[学会発表] (計 21 件)

① T. Nakamura 他、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22日、Messe Bremen, Bremen, Germany

② S. Suzuki 他、Simultaneous airglow, lidar, and radar measurements of mesospheric

gravity waves over Japan, 38th COSPAR (Committee on Space Research) Scientific Assembly, 2010年7月21日、Messe Bremen, Bremen, Germany

③ T. Nakamura 他、Seasonal and local time variability of ripples from airglow imager observations in US and Japan, 38th COSPAR (Committee on Space Research) Scientific Assembly, 2010年7月18日、Messe Bremen, Bremen, Germany

④ T. Nakamura (招待講演) 他、Longitudinal Difference of the Mesosphere/Lower Thermosphere Structures Observed With Ground-Based Lidar, Airglow and Radar Measurements Between Japan (~135E) and Colorado (~105W), IAGA General Assembly 2009, 2009年8月28日、Sopron, Hungary

⑤ M.-K. Ejiri 他 (招待講演)、Investigation of Longitudinal Variation by Using Sodium Temperature Lidar Measurements, 2009 Joint Assembly the Meeting of the Americas, 2009年5月27日、Toronto, Ontario, Canada

⑥ Jia Yue (中村卓司代読)、Concentric Gravity Waves and Instabilities in the mesosphere lower thermosphere with all-sky imagers over US and Japan, 日本地球惑星連合2009年大会、2009年5月18日、幕張メッセ、千葉市

⑦ 江尻省 他、Na 温度ライダーで観測された中緯度MLT領域のNa密度・温度の季節変化、第124回SGEPSS総会および講演会、2008年10月10日、仙台、

⑧ M.-K. Ejiri 他、Sodium Temperature Lidar Observations near Shigaraki (35N, 135E), 37<sup>th</sup> COSPAR (Committee on Space Research) Scientific Assembly, 2008年7月15日、Montreal, Canada

[その他]

ホームページ等

## 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)  
京都大学・生存圏研究所・教授  
研究者番号：20210560  
鈴木 臣 (SUZUKI SHIN)  
名古屋大学・高等研究院・助教  
研究者番号：69397479  
(H21- H22: 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  
(H20: 研究協力者)

### (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  
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  
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

### (4) 研究協力者(海外共同研究者)

C.-Y. She (Joe She)  
コロラド州立大学・物理学科教授  
Jia Yue  
米国国立大気研究所 (NCAR)・研究員  
W. E. Ward  
カナダ・ニューブランズウィック大・教授