

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740368

研究課題名(和文) 光学・電波観測を組み合わせた大気重力波の鉛直伝搬過程の解明

研究課題名(英文) Analysis of gravity wave vertical propagation using optical and radio measurements

研究代表者

鈴木 臣 (Suzuki, Shin)

名古屋大学・高等研究院(太)・特任助教

研究者番号：60397479

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：大気光イメージング観測とライダー・レーダー観測を組み合わせることで、高度 100 km の超高層大気下部を伝搬する大気重力波が下層・中層大気中を鉛直伝搬する様子を明らかにした。また、大気光の多地点同時観測データを解析する環境を構築し、超高層大気波動の広域イメージング体制を確立した。これにより「長距離伝搬波動」や「台風の波紋」を発見し、大気の力学的上下結合を議論する上で有益な知見を得た。

研究成果の概要(英文)：We analysed the vertical propagation of gravity waves from the lower to the upper atmosphere from combined measurements with an airglow imager and lidars/radars in the northern Europe. Ray-tracing analysis suggested that the gravity wave observed in the mesospheric airglow was generated by a distortion of the polar jet at the tropopause height, approximately 2600 km away from the airglow observation site. This result implies that gravity waves could affect atmospheric dynamics in the ionosphere in regions far away from their source.

Based on this idea, we also developed an analysis environment for simultaneous airglow imaging network data from multipoint observations in Japan in order to investigate wave propagation structures with a spatial extent covering Japan. By using the network analysis, we showed, for the first time, "observational evidence for ducted gravity wave propagation over a very large distance" and "large concentric airglow structures induced by Typhoon Pongsona".

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：超高層物理学

キーワード：大気重力波 大気光 リモートセンシング 大気上下結合 国際協同観測実験

1. 研究開始当初の背景

“高度 100 km 以上の超高層大気の大ダイナミクスには、下層大気から伝搬してくる大気重力波が大きく寄与している” という描像が、近年の地上あるいは衛星からのリモートセンシングによって明らかになりつつある。しかし、これまで超高層大気と下層・中層大気の観測の直接的な比較はほとんどなされていないため、大気重力波が超高層に至る過程については未だよく分かっていない。また、どのような、あるいは、どのように気象擾乱が超高層大気（下部宇宙空間）の大ダイナミクスに影響を与えるのかについて観測的な理解は未だ乏しい。特に北欧域は、これまで長期間の大気光イメージング観測の実施例が無く、超高層大気波動の全球分布の理解の妨げになっている。

2. 研究の目的

本研究ではヨーロッパ域における大気光イメージング観測を基に、高性能ライダー、レーダーと長期間の同時観測を行うことで、大気重力波が下層から超高層大気へと至る伝搬過程の詳細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

ドイツに全天大気光イメージャを設置し、RMR ライダー、カリウムライダー、レーダーを組み合わせた大気重力波の総合観測キャンペーンをおこなった。また、2010 年冬期から 2011 年初頭にかけて実施した同様の複合測器観測（カリウムライダーの代わりにナトリウムライダーを使用）の解析を進めた。大気光イメージング観測による中間圏界面付近（高度 85~95 km）の大気重力波の水平構造とライダー観測による地表付近から、下部熱圏高度（1~105 km）までの温度の鉛直プロファイルを組み合わせる。これにより、地表付近から高度 100 km に至るまでの大気重力波の三次元的な空間構造を押さえ、その鉛直伝搬機構と超高層大気におけるインパクトを観測的に捉えることを試みた。さらに、複数の大気光イメージャの多地点観測により、超高層大気波動の空間的な広がりを調査し、大気の力学的上下結合について議論した。

4. 研究成果

(1) ノルウェーでの観測で得られた大気重力波の鉛直伝搬構造

2010 年 10 月から 2011 年 4 月にノルウェーで実施した大気光イメージャと RMR ライダー・ナトリウムライダーの同時観測キャンペーンのデータベースを作成するとともに、大気光データのクイック・ルック図をウェブ上で公開している（毎晩の観測終了時に自動更新）。また、2010 年 11 月 26 日のイベントに注目し、その詳細な解析を進めた。大気光画像（高度 95 km）では、周期 1 時間程度の顕著な波動の水平伝搬が観測され、一方、同

時刻のライダー温度観測では、同周期の波動構造が成層圏から大気光高度まで鉛直伝搬する様子を捉えることに成功した。大気光観測とライダーで得られる風速から理論的に推定される大気重力波の鉛直波長は、ライダー観測による大気波動の鉛直構造と良い一致を示しており、大気光で観測される大気重力波の鉛直伝搬過程が本研究によって初めて観測的に示されたと言える。また、気象客観解析データを用いた 3 次元レイ・トレーシングモデルを構築し、波動の励起源の推定をおこなった。観測された大気重力波は、観測地から約 2600 km 離れた場所における極渦の蛇行によって発生していることを示した。この結果は、下層大気起源の大気重力波は、広い緯度帯にわたる超高層大気の大ダイナミクスに寄与する可能性を示唆している。これらの成果をまとめた論文 (Suzuki et al., 2013c) は、欧州の掲載学術雑誌において最もダウンロードされた論文としてランクイン (2013 年度上半期 第 5 位) し、国際的にも注目された。

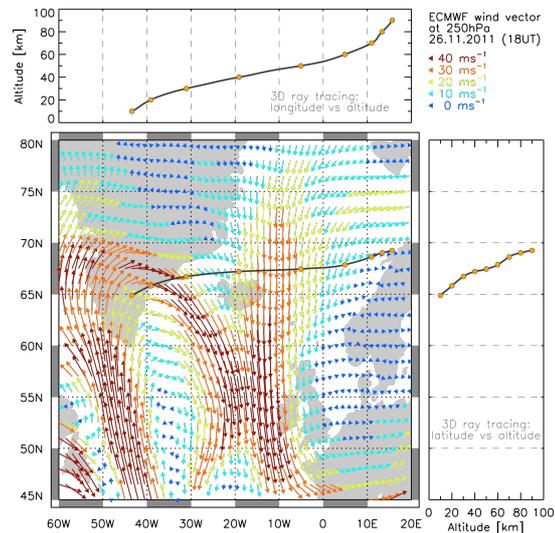


図 1 : レイ・トレーシングによって計算された大気重力波の伝搬経路（橙丸付きの黒線）。色ベクトルは、高度 10 km での水平風を表す。波動の励起源は、対流圏の極渦が大きく歪む場所に対応した。(Suzuki et al., 2013c)

(2) ドイツにおける大気重力波の長期観測

2012 年 3 月からドイツ Kühlungborn にある Leibnitz Institute of Atmospheric Physics (IAP) の敷地内において大気光イメージング観測を実施し、これまで 500 晩以上のデータを取得している。これらの観測から 0H 大気光画像（高度 85 km）、OI-557.7-nm 大気光画像（95 km）に顕著な大気重力波構造が観測されており、北欧域上空での大気波動活動の統計的な描像が明らかになりつつある。また、IAP ライダーとの同時観測も数晩に渡って実施することが出来た。同時観測イベントの観測データから、大気光で観測された波動の中間圏・成層圏での鉛直伝搬構造の解析が進めており、同時に、その波動がど

ここで励起されたのかを、上記の数値計算（レイ・トレーシング）から議論する。現在、詳細は解析中であるが、統計解析の結果を近日中にまとめ、論文を投稿する予定である。

ドイツでの観測データ（生画像データ、時間差分画像、ケオグラム）もウェブ上で公開しており、現地研究者との情報の共有や興味あるイベントの検出に役立っている。本研究はドイツの研究者との協同研究でもあるため、観測環境の構築や研究推進を通じて強固な人的ネットワークを確立できた。今後計画している北欧域での多地点大気光観測の拠点形成にも発展する成果といえる。

(3) 大気光カメラ群を用いた超高層大気波動の多地点同時観測データの解析環境構築

上述したノルウェーでの大気重力波観測で得た“大気波動は超高層大気において広い緯度・経度的に渡って影響しうる”という知見を基に、大気波動の水平広がりやの調査をおこなった。単体の大気光イメージャでは、カバーする視野が狭く、広範囲にわたる大気の上下結合の詳細な理解には、より広域のイメージング観測が必要である。そこで、日本で展開されている複数サイトでの大気光イメージャの画像データを用いて、超高層大気波動の多地点広域イメージング解析環境を構築した。このほぼ日本を覆う視野を持つ本解析環境を過去のデータに適用し、水平伝搬距離 1800 km を超える長距離伝搬(ダクト伝搬)の大気重力波を初めて観測することができた。この北向きに伝搬する大気重力波は、赤道域で発生し、高緯度に伝搬していくと考えられる。つまり、低緯度下層大気の大気対流活動が、大気波動を介して高緯度電離圏のダイナミクスに寄与しうることを示唆しており、汎地球規模での大気の上下結合を理解する上で重要な事例である。

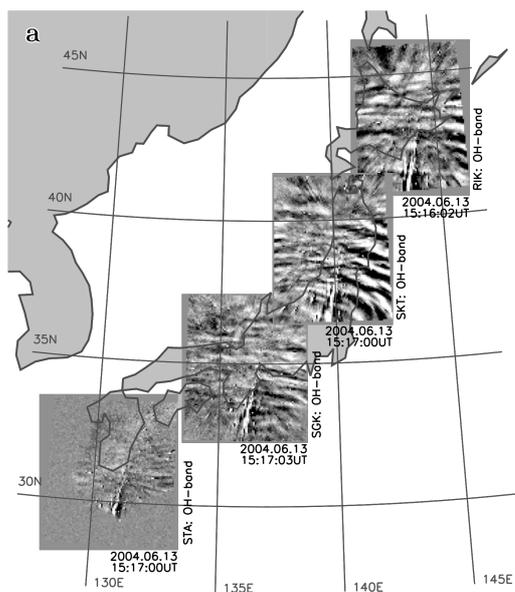


図 2：大気光イメージャの多地点同時観測（OH 大気光：発光高度 85 km）によって発見された長距離伝搬モード（ダクト伝搬）の波構造。（Suzuki et al., 2013b）

また、別の日のイベントからは、台風に伴う波動が超高層大気において同心円状の波紋として現れていることも発見した。波動の同心円構造は、波源（主に下層大気の局所的な強い対流）とそれに対する超高層大気変動が一对一で対応づけられる希有なイベントであり、大気の上下結合の左証である。近年、大気光観測で得られる同心構造の観測・理論研究が盛んに進められている。本イベントでは、これまで視野の制限から捉えることの難しかったより大きな円構造（半径 1300 km 以上）を持つ台風起源の超高層大気波動の可視化に成功した。特に、台風のような極端気象は、そこから発生する波動が直上の電離大気変動にも寄与すると考えられるため、本研究は下層大気と超高層大気のリンクを考える上で非常に貴重な観測例である。この成果を基に、2013 年 12 月に開催された American Geophysical Union Fall Meeting において招待講演をおこなった。

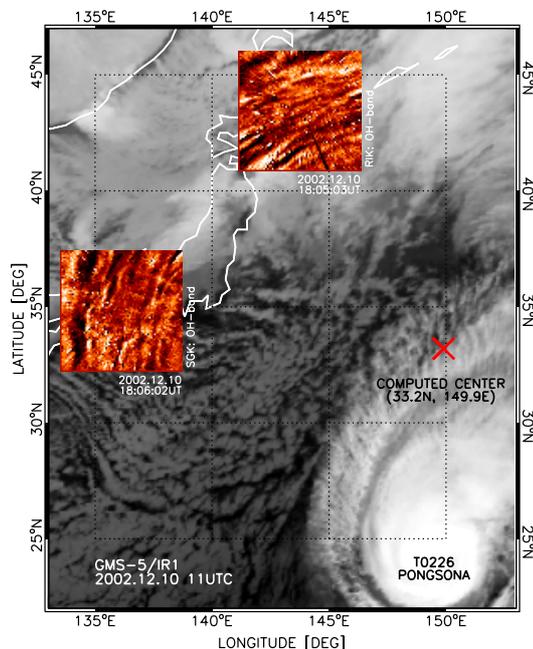


図 3：台風起源の超高層大気の同心円構造。衛星雲画像の上に、2 地点で得られた OH 大気光画像（高度 85 km でマッピング）を重ねて表示している。（Suzuki et al., 2013a）

研究代表者が所属するグループでは、1998 年から大気光観測を開始し、世界各地でイメージング観測をおこなっている。将来的には本研究で開発した解析環境の空間スケールをさらに広げるとともに、ISS-IMAP など宇宙からの観測と協同することで、より広域での大気波動の空間的な広がりやの研究につながることを期待される。

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 7 件）

- ① Suzuki, S., S. L. Vadas, K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Kawamura, and Y. Murayama, Typhoon-induced concentric airglow structures in the mesopause region, *Geophysical Research Letters*, Vol. 40, pp. 5983-5987, doi:10.1002/2013GL058087, 2013a. (査読有)
- ② Shiokawa, K., M. Mori, Y. Otsuka, S. Oyama, S. Nozawa, S. Suzuki, and M. Connors, Observation of nighttime medium-scale travelling ionospheric disturbances by two 630-nm airglow imagers near the auroral zone, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol. 103, pp. 184-194, 2013. (査読有)
- ③ Suzuki, S., K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Kawamura, and Y. Murayama, Evidence of gravity wave ducting in the mesopause region from airglow network observations, *Geophysical Research Letters*, Vol. 40, pp. 601-605, doi:10.1029/2012GL054605, 2013b. (査読有)
- ④ Suzuki, S., F.-J. Lübken, G. Baumgarten, N. Kaifler, R. Eixmann, B. P. Williams, and T. Nakamura, Vertical propagation of a mesoscale gravity wave from the lower to the upper atmosphere, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Vol. 97, pp. 29-36, 2013c. (査読有)
- ⑤ Suzuki, S., M. Tsutsumi, S. E. Palo, Y. Ebihara, M. Taguchi, and M. Ejiri, Short-period gravity waves and ripples in the South Pole mesosphere, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 116, D19109, doi:10.1029/2011JD015882, 2011. (査読有)

[学会発表] (計 26件)

- ① Suzuki, S., S. L. Vadas, K. Shiokawa, and Y. Otsuka, Typhoon-induced concentric rings in the mesospheric airglow, AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 13 December 2013 (招待講演).
- ② Suzuki, S., K. Shiokawa, and Y. Otsuka, Small-scale gravity waves in the mesosphere obtained by multipoint airglow imaging observations, International CAWSES-II Symposium, Nagoya, Japan, 21 November 2013.
- ③ Suzuki, S., F.-J. Lübken, G. Baumgarten, U. Berger, N. Kaifler, P. Hoffmann, R. Eixmann, B. P. Williams, and T. Nakamura, Combined measurements of gravity waves with an airglow imager and ALOMAR lidars in Norway, The 3rd International

Symposium on the Arctic Research, Tokyo, Japan, 15 January 2013.

- ④ Suzuki, S., F.-J. Lübken, G. Baumgarten, U. Berger, N. Kaifler, P. Hoffmann, R. Eixmann, B. P. Williams, and T. Nakamura, Vertical propagation of gravity waves in the middle and upper atmosphere, AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, 7 December 2011.
- ⑤ Suzuki, S., G. Baumgarten, B. Kaifler, N. Kaifler, B. P. Williams, T. Nakamura, M. K. Ejiri, H. Suzuki, M. Gerding, and F.-J. Lübken, Gravity wave propagation from lower to upper atmosphere derived from airglow and lidar measurements, International Union of Geophysics and Geodesy Conference, Melbourne, Australia, 3 July 2011.
- ⑥ Suzuki, S., Ground-based imaging observations of the upper atmosphere, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 千葉, 2013 年 5 月 20 日 (招待講演).
- ⑦ 鈴木臣, 地上光学観測で見る大気重力波が担う大気上下結合, 平成 24 年度 名古屋大学太陽地球環境研究所研究集会「火星大気圏・電磁圏研究会」, 東京, 2012 年 12 月 21 日 (招待講演).
- ⑧ 鈴木臣, 塩川和夫, 大塚雄一, 村山泰啓, 川村誠治, OMTI ネットワークを用いた中間圏重力波の多地点観測, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 千葉, 2012 年 5 月 23 日.

[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]

ホームページ等

ドイツおよびノルウェーでの大気光観測データは下記ウェブページで公開している。
http://stdb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/member/shin/archive/midoli/midoli_main.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 臣 (SUZUKI, Shin)

名古屋大学・高等研究院・特任助教

研究者番号: 60397479

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし