

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21673

研究課題名(和文) 中層大気上部の重力波活動及びそれに伴う大気大循環の3次元構造の解明

研究課題名(英文) A study of mesospheric gravity wave activities and their driving general circulation

研究代表者

木下 武也 (KINOSHITA, Takenari)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・大気海洋相互作用研究分野・研究員

研究者番号：20648638

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：研究代表者は対流圏や成層圏に比べ観測領域や分解能が乏しく、未解明な現象が多い中間圏から下部熱圏における重力波活動に伴う循環場の3次元構造を明らかにすべく研究を行った。まずアラスカPoker Flat (65N, 147W) MF radar長期観測データから、同地点における中間圏から下部熱圏の短周期重力波の運動エネルギーの半日周期成分が、2000年10 - 12月において半日潮汐波の位相に追隨することを発見し論文化した。続いて解析を進める中、中間圏重力波のような振幅の大きな波活動を記述可能な3次元波活動度フラックスを、温位座標における質量重み付き平均系において導出に成功し、結果をまとめ論文化した。

研究成果の概要(英文)：Mesosphere has many unsolved phenomena compared with troposphere and stratosphere because observation regions and resolutions are scanty in mesosphere. The purpose of the study is to reveal three-dimensional structure of mesospheric gravity wave activities and their driving general circulation. At first, the long-term wind velocity data observed with the Poker Flat MF radar (65N, 147W) were analyzed to show local time dependence and seasonal climatologies of the 12 h and 24 h components in the mesospheric winds and their modulations of gravity wave kinetic energy. Next, mesospheric gravity waves have large amplitudes of wind velocity and temperature. We derived new three-dimensional wave activity flux more correctly applicable to mesospheric gravity wave in the mass-weighted isentropic time mean equations. These studies were published as two manuscripts.

研究分野：大気物理学

キーワード：重力波 中間圏 潮汐波

1. 研究開始当初の背景

(1) 中層大気 (成層圏・中間圏・下部熱圏) の大気大循環は、オゾン等大気微量成分の3次元分布や時間変化に大きく影響を与える。過去の研究から上部成層圏および中間圏の子午面循環の駆動及び、中緯度下部成層圏および中間圏界面における弱風層の維持に、大気重力波が重要な役割を持つことが明らかになっている。このような大気波動と循環場の関係は、変形オイラー平均 (Transformed Eulerian-Mean: TEM) 系を代表とする理論体系を用いることで示されてきた。しかし、従来の理論体系では波動が存在する背景場は東西一様であると仮定した緯度高度2次元断面における解析が多かった。大気重力波は時空間スケールの幅が広く、発生源も山岳や対流活動、ジェット前線システム等局所的に存在するため、2次元理論である TEM 系を用いるには限界があった。TEM 系を3次元に拡張する研究も1980年代以降行われてきたが、ロスビー波や重力波など限定された波にのみ適用可能な理論式に留まっていた。

(2) 中間圏から下部熱圏は、風速場はロケットやレーダー、温度場は衛星による観測が行われているが、観測領域や分解能は対流圏や成層圏に比べ乏しく、未解明な現象が多い領域である。さらにこの領域では、潮汐波、惑星波などが風速 10m/s 以上、大きいものは数 10m/s におよび、平均風と同程度かそれ以上の大きさを持つ場合も少なくないことがわかってきている。(e.g., Vincent and Fritts 1987, Gurubaran and Rajaram 2001, Dowdy et al. 2007) そのため、時間スケールの比較的短い重力波については、背景場として重力波より長い風速変動場との相互作用を議論することが重要と考えられるが、過去の研究では重力波と平均風の相互作用が議論されることが多かった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、研究代表者らが2013年に導出した3次元に拡張した TEM 系を、さらに必要であればその発展系を観測・モデルデータに適用し、中層大気大循環を駆動する大気波動、特に中間圏から下部熱圏の重力波活動を中心に解析し、その3次元描像を明らかにすることである。続いて、重力波よりも長い周期を持つ波動及び大気大循環場への影響を解析し、大気大循環の3次元構造及び季節変化を明らかにすることを目指した。

3. 研究の方法

複数観測地点における長期観測及び全球長期気候データを用いて中間圏から下部熱圏の短周期重力波運動エネルギーと潮汐波・惑星波を含む背景場の関係を解析し、重力波活動の空間構造・季節特性を調べた。次に、重力波を陽に再現可能な高分解能大循環モデルデータに研究代表者らが導出した大気大循環とそれを駆動する波活動を3次元に

記述する理論を適用し、重力波活動に伴う中間圏から下部熱圏における大気大循環の3次元構造を解析した。必要に応じて3次元理論の拡張を行った。

4. 研究成果

(1) アラスカ Poker Flat (65N, 147W) MF radar 長期観測データから、同地点における中間圏から下部熱圏の短周期重力波の運動エネルギーが、4-8月に半日周期を持ち、半日潮汐波の東風から西風に変わるタイミングでピークを持つこと、一方半日周期の重力波運動エネルギーが、2000年10-12月において半日潮汐波の位相に追従することを発見し、論文化した。(Kinoshita et al. 2015)。

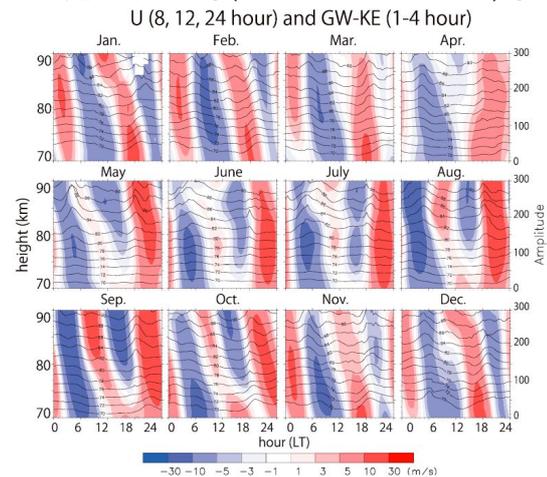


図1: 時間高度断面における1998-2008年の約10年間の長期観測データから求めた東西風速の8, 12, 24時間周期成分(カラー)と1-4時間周期の重力波運動エネルギー(ライン: 2kmごとに20m²/s²ずつシフト)の24時間合成図

(2) 中間圏の波は振幅が大きいため、より正確に波活動を調べるためには有限振幅波においても適用可能な3次元理論の構築が必要であった。研究代表者らは温位座標における波と平均場の相互作用を記述する質量重み付き平均系に着目し、有限振幅波にも適用可能な3次元波活動度フラックスの導出に成功し、結果をまとめ論文化した。(Kinoshita et al. 2016)。

$$F_1 \equiv \overline{\sigma(u''^2 - \bar{S})} = \overline{\sigma \left[\frac{k^2 \bar{\omega}^2 + l^2 f^2 - (k^2 + l^2) f^2}{(\bar{\omega}^2 - f^2)^2} + \frac{k f_y}{2\bar{\omega}(\bar{\omega}^2 - f^2)} \right] M'^2}$$

$$= \overline{\sigma \left[\frac{k^2}{\bar{\omega}^2 - f^2} + \frac{k f_y}{2\bar{\omega}(\bar{\omega}^2 - f^2)} \right] M'^2} = \hat{C}_{(gy)} \bar{W}''$$

$$F_2 \equiv \overline{\sigma u'' v''} = \overline{\sigma \frac{kl}{\bar{\omega}^2 - f^2} M'^2} = \hat{C}_{(gy)} \bar{W}'$$

$$F_3 \equiv -\frac{\overline{p' M_x'}}{g} = -\overline{\sigma \frac{km}{N_{(\theta)}^2} M'^2} = \hat{C}_{(g\theta)} \bar{W}'$$

図2: 研究代表者らが導出した3次元波活動度 flux

(3) 研究代表者らが過去に導出した理論研究と研究成果(2)を組み合わせることで、新たに非断熱加熱項とバランスする3次元残差流の導出に成功した(Kinoshita and Sato 2017)。この新たな残差流は、停滞性感星波そのものによる温位面のゆがみの効果が新たに考慮されている。物質輸送は鉛直方向には温位面、水平方向には渦位面により束縛を受けることが知られている。そこで申請者はさらに理論を発展させ、停滞性感星波そのものによる渦位ゆらぎの効果も含めた3次元残差流の導出を行った。この研究は論文化し昨年度末に投稿した。現在条件付き受理となっている。

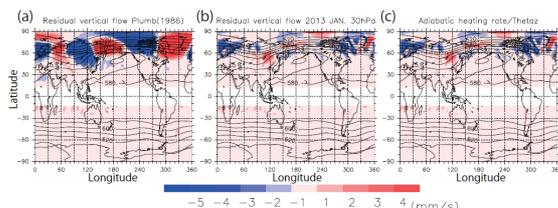


図3: 30hPaにおける(a)非定常擾乱の効果に伴う物質輸送の鉛直成分、(b)ほぼ全ての擾乱の効果に伴う物質輸送の鉛直成分、(c)非断熱加熱率を月平均温位の鉛直勾配で割った値の水平断面図

(3) アラスカ Poker Flat (65N, 147W) および Tromso (70N, 19E) MF radar 長期観測データ、気象再解析モデルデータを用いて Kinoshita et al. (2015) で観測された短周期重力波の運動エネルギーの半日周期成分が半日潮汐波の位相に追従する現象を明らかにすべく解析を行った。その結果、上記の位相追従現象は、2つの地点および夏季と冬季において、それぞれ異なる特徴を持つことがわかった。また冬季において、この位相追従現象が頻繁に生じていることも10年間のコンポジット解析により明らかになった。今後、共著者と議論を重ね、さらなる解析を行い、論文化を目指している。

<引用文献>

Dowdy, A. J., R. A. Vincent, M. Tsutsumi, K. Igarashi, Y. Murayama, W. Singer, and D. J. Murphy (2007a), Polar mesosphere and lower thermosphere dynamics: Mean wind and gravity wave climatologies, *J. Geophys. Res.*, 112, D17104, doi:10.1029/2006JD008126.

Gurubaran, S., and R. Rajaram (2001), Mean winds, tides, and gravity waves during the westward phase of the mesopause semiannual oscillation (MSAO), *J. Geophys. Res.*, 106, 31, 817-31,824.

Kinoshita, T., Y. Murayama, and S.

Kawamura (2015), Tidal modulations of mesospheric gravity wave kinetic energy observed with MF radar at Poker Flat Research Range, Alaska, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 6379-6390, doi:10.1002/2014JD022647.

Kinoshita, T., T. Iwasaki and K. Sato (2016), A formulation of three dimensional wave activity flux describing wave propagation on the mass-weighted isentropic time mean equation, *SOLA*, 12, 198-202. doi:10.2151/sola.2016-040

Vincent, R. A., and D. C. Fritts (1987), A climatology of gravity wave motion in the mesopause region at Adelaide, Australia, *J. Atmos. Sci.*, 44, 748-760.

木下武也, 佐藤薫 (2017), 波が作る成層圏物質循環の3次元描像について, *月刊海洋*, 49, 320-327

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

木下武也, 佐藤薫, 波が作る成層圏物質循環の3次元描像について, *月刊海洋*, 査読無, 49巻, 2017, 320-327

Kinoshita, T., T. Iwasaki and K. Sato, A formulation of three dimensional wave activity flux describing wave propagation on the mass-weighted isentropic time mean equation, *SOLA*, 査読有, 12巻, 2016, 198-202, doi:10.2151/sola.2016-040

Kinoshita, T., Y. Murayama, and S. Kawamura, Tidal modulations of mesospheric gravity wave kinetic energy observed with MF radar at Poker Flat Research Range, Alaska, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 査読有, 120巻, 2015, 6379-6390, doi:10.1002/2014JD022647.

[学会発表](計23件)

Kinoshita, T., K. Sato: On the three-dimensional residual mean flow balanced with nonconservative terms, 14th Annual Meeting AOGS 2017, AS04-A021, Singapore, August 10, 2017.

Kinoshita, T., K. Sato: On the three-dimensional residual mean flow balanced with nonconservative terms, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, AAS09-P21,

Makuhari, Japan, May 24, 2017.

Kinoshita, T., K. Sato: On the three-dimensional structure of stratospheric material transport associated with various types of waves, AGU Fall Meeting 2016, A11E-0066, San Francisco, December 12, 2016.

Kinoshita, T., K. Sato: A study of 3D structure of stratospheric material transport, International Symposium on the Whole Atmosphere (ISWA), H02, Tokyo, Japan, September 15, 2016.

Kinoshita, T.: On the three dimensional structure of stratospheric material transport driven by waves, International Workshop: Dynamics and Interactions of the Ocean and the Atmosphere, 2-9, Sendai, Japan, July 24, 2016.

Kinoshita, T., Y. Murayama, and S. Kawamura: A study of the modulation of semidiurnal tide associated with mesospheric gravity waves observed with Poker Flat MF radar, AGU Fall Meeting 2015, SA13A-2331, San Francisco, December 14, 2015.

Kinoshita, T., T. Iwasaki, and K. Sato: A formulation of three dimensional wave activity flux describing wave propagation on the mass-weighted isentropic time mean equations, Asian Conference on Meteorology, P-3-13, Kyoto, Japan, October 26-27, 2015.

Kinoshita, T., Y. Murayama, S. Kawamura, S. Nozawa, and C. Hall: On the coupling between mesospheric gravity waves and background field including tides observed with MF radar at Poker Flat, and Tromso, M14p-440, Prague, CZE, June 26, 2015.

木下武也, 渦位 flux および非断熱加熱率とバランスする 3 次元残渣流の解析, 波と平均流に関する研究会 第 4 回研究会, 1-5, (宮城, 2017.9.21).

木下武也, 佐藤薫, 渦位 flux および非断熱加熱率とバランスする 3 次元残渣流の考察, 日本気象学会 2017 年度春季大会, B458, (東京, 2017.5.28).

木下武也, (招待講演) 波が作る成層圏物質循環の 3 次元描像について, 東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター研究集会 (大槌シンポジウム) 2016, 2-1, (岩手, 2016.11)

木下武也, 佐藤薫, 波が作る成層圏の物質輸送の 3 次元構造について, 日本気象学会 2016 年度秋季大会, D308, (愛知, 2016.10).

木下武也, 佐藤薫, A study of three dimensional structure of stratospheric material transport and ozone, 日本地球惑星連合大会 2016, A-AS11, (千葉, 2016. 5).

木下武也, MIM 系と TEM 系における波の伝播を記述する 3 次元波活動度フラックスについて, 波と平均流に関する研究会 第 2 回研究会, 1-4, (神奈川, 2016.2).

木下武也, 村山泰啓, 川村誠治, ポーカ一フラット MF レーダーで観測された中間圏重力波に伴う半日潮汐の振幅変調に関する研究, 第 6 回極域科学シンポジウム, IM-5, (東京, 2015.11).

木下武也, 村山泰啓, 川村誠治, 野澤悟徳, Hall Chris, Poker Flat 及び Tromso MF radar で観測された重力波の半日周期変動メカニズムについて, SGPSS 第 138 回総会・講演会, R005-18, (東京, 2015.11).

木下武也, 村山泰啓, 川村誠治, ポーカ一フラット MF レーダーで観測された中間圏重力波に伴う半日潮汐の振幅変調に関する研究, SGPSS 第 138 回総会・講演会, S002-9, (東京, 2015.11).

木下武也, 岩崎俊樹, 佐藤薫, 温位面上の質量重みつき時間平均系の擾乱の伝播を記述する 3 次元波活動度 flux の導出, 日本気象学会 2015 年度秋季大会, C206, (京都, 2015.10).

木下武也, 村山泰啓, 川村誠治, ポーカ一フラット MF レーダーで観測された中間圏重力波に伴う半日潮汐の振幅変調に関する研究, 「MTI 研究集会」「ISS-IMAP 研究集会」「SLATS ワークショップ」合同研究集会, P02, (東京, 2015.8).

木下武也, 村山泰啓, 川村誠治, ポーカ
ーフラット MF レーダーで観測された中
間圏重力波に伴う半日潮汐変動, 第 290
回生存圏シンポジウム (IUGONET 研究集
会), 7-3, (東京, 2015.8).

⑳ 木下武也, 3次元MIM系における波の伝播
を記述する3次元波活動度フラックスにつ
いて, 波と平均流に関する研究会 第1回
研究会, 3-1, (宮城, 2015.6).

㉑ 木下武也, 村山泰啓, 川村誠治, 野澤悟
徳, Hall Chris, ポーカフラット及びト
ロムソ MF レーダーで観測された中間圏重
力波と潮汐を含む背景場とのカップリン
グについて, 日本地球惑星連合大会 2015,
PEM06-07, (千葉, 2015.5).

㉒ 木下武也, 佐藤薫, 南半球中高緯度域の
停滞性擾乱及び非定常擾乱に伴う物質輸
送について, 日本気象学会 2015 年度春季
大会, B112, (茨城, 2015.5).

〔その他〕

Kinoshita's Home page : 研究代表者のホー
ムページ

<http://www.jamstec.go.jp/res/ress/t-kinoshita/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木下 武也 (KINOSHITA, Takenari)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・大気
海洋相互作用研究分野・研究員

研究者番号 : 20648638