

南極大型大気レーダーPANSYで観測された大気重力波の数値モデル再現実験による力学特性の解明

佐藤 薫

東京大学 大学院理学系研究科

澁谷 亮輔

東京大学 大気海洋研究所

1. はじめに

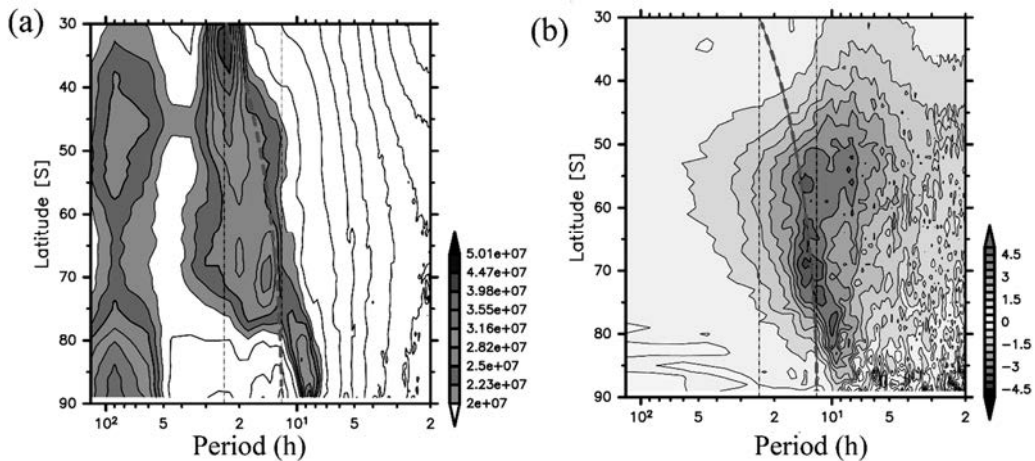
大気重力波はロスビー波と並ぶ大気中の基本波動の一つであり、その運動量輸送能力によって中緯度においては対流圏上部の西風ジェットの形や位置、中間圏界面付近の弱風層の形成に寄与するだけでなく、赤道においては成層圏準2年周期振動や半年周期振動の主要な駆動源として重要である。重力波が影響を与えるこれらの大規模な現象は日々の天気予報や長期予報にも不可欠な気象要素であるため、重力波が解像できない通常の気候予測モデルにおいてはパラメタリゼーションの形でその運動量輸送が表現されている。しかし、現在使われているパラメタリゼーションには冬の成層圏のコールドパイアスが解消できないなどいくつか深刻な問題があることが分かっている。一方で重力波の特徴については、大型大気レーダーの登場やラジオゾンデの高解像度化、高解像人工衛星による観測の開始により、観測的知見が充実してきた。また静水圧平衡を仮定するプリミティブ方程式に基づく大気大循環モデルを高解像度化したことで、フリーランによる重力波の統計的なグローバルな特性も調べられつつある。しかしながら、観測された現実大気の間中圏重力波の高解像度大気大循環モデルを用いた再現は容易ではないため世界的に見てもほとんど例がなく、その起源の特定やパラメタリゼーションの改善に必要な定量的議論には限界があった。また、多くの中層大気大循環モデルで用いられる静水圧平衡を仮定した方程式では、重力波が強いジェット中を伝播する過程で固有周期がプラントバイサラ周期に近づいたときにおこる反射が表現できないという問題も指摘されている。

2. 本研究の目的と手法

本研究の目的は、2015年3月に全群稼働が始まった世界初の南極域の大型大気レーダーであるPANSYレーダーによる中間圏重力波の精密な観測データを対象とし、Shibuya et al. (2017)で開発した中層大気版の非静力学大気モデルNICAMによる再現実験を行うことで、現実大気に似た背景場において自発的に発生する大気重力波の時空間構造を解析し、その力学特性を子細に調べることである。実験期間は2015年10月1日～2016年9月30日の1年間に行われたPANSYレーダーのノンストップ対流圏・成層圏・中間圏の連続観測期間のうち、冬季の期間である2016年4月1日から8月31日とした。現実大気を対象とする高解像度モデルによる中間圏再現実験は世界初の試みである。事例的解析の結果から、重力波の位相は長期積分をすると現実よりずれていくことが知られていたため、本研究では再解析データを初期値とする7日の時間積分を行

い、最初の2日分を”のりしろ”として残りの5日分をつなぐことで、連続的な中間圏の時系列データを求める方法を採用した。各時期での重力波の再現性は PANSY 観測データにより確認した。

まず、周波数空間での運動エネルギースペクトル、運動量フラックススペクトルを各緯度・高度について計算した(図)。中間圏高度 70 kmにおいて、南緯 30~75 度では慣性周期およびこれよりやや長周期寄りに運動エネルギーが集まっており、南緯 78~90 度では約 8 時間付近にピークがみられる。これらは、南緯 69 度に位置する昭和基地での PANSY レーダーの観測結果、および、南緯 78 度に位置するマクマード基地でのライダー観測の結果と整合する。また、運動量フラックススペクトルの緯度分布にも慣性周期付近に明瞭なピークが見られる。スペクトルの鉛直構造を調べた結果、このピークを形成する重力波は2つの起源、すなわち一つは南極半島や南極沿岸から南向きに伝播する地形性起源、もう一つは南緯 45 度付近の対流や低気圧などの非地形性起源があり、これらから発生した重力波が極夜ジェットの緯度を集まってくるのが実態として明らかとなった。中間圏の慣性周期付近のピークを作る重力波は水平波長が 1000 km以上と長いのに対し、それ以外の周期帯の重力波は 1000 km以下の短い波長であることなど、中間圏重力波の統計的特徴が初めて明らかになった。また、NICAM による鉛直風の周波数パワースペクトル形状を調べたところ、観測されるスペクトル形状(周波数の $-5/3 \sim 0$ 乗に比例)とほぼ一致することがわかった。これは、非静力学大気大循環モデルによる重力波再現の確かさを強く支持する重要な結果でもある。これらの結果は国際誌 Atmospheric Chemistry and Physics に出版された (Shibuya et al., 2019)。



図：高解像度モデル NICAM による 2016 年 6 月～8 月の高度 70 km の (a) 南北風の運動エネルギーのパワースペクトル、(b) 鉛直運動量フラックスの東向き成分の周波数スペクトル。図中の破線は各緯度における慣性周期。

3. 今後の研究の発展について

今後は、中間圏で支配的であった慣性周期および 8 時間の周期の重力波の形成メカニズムの理解を深めることで、気候モデル等で用いられる重力波パラメタリゼーションの発展に寄与できると考えられる。また、現在、非静力学モデルには高度 80 km 以上にモデルトップを設定すると計算不安定により積分できない問題がある。モデルトップをさらに高い高度に設定できるよう開発

をすすめ、夏季に受信されるより高い高度の中間圏エコーに対する再現実験を試みることで、全季節を通じた中間圏重力波の実態把握に向けた研究を進めたいと考えている。

参 考 文 献

Shibuya, R. and Sato, K.: A study of the dynamical characteristics of inertia-gravity waves in the Antarctic mesosphere combining the PANSY radar and a non-hydrostatic general circulation model, *Atmos. Chem. Phys.*, 19, 3395-3415, <https://doi.org/10.5194/acp-19-3395-2019>, 2019.

Shibuya R., K. Sato, M. Tsutsumi, T. Sato, Y. Tomikawa, K. Nishimura, and M. Kohma, 2017: Quasi-12h inertia-gravity waves in the lower mesosphere observed by the PANSY radar at Syowa Station (39.6 ° E, 69.0° S), *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 6455-6476, doi:10.5194/acp-17-6455-2017.