

新しい水平運動量の鉛直フラックスの推定法： 重力波解像可能な GCM データへの適用

大野知紀¹、佐藤薫¹、渡辺真吾²

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

² 海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター

A new estimation method of the momentum fluxes associated with gravity waves: An application to gravity-wave-resolving general circulation model data

Tomoki Ohno¹, Kaoru Sato¹ and Shingo Watanabe²

¹Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, Tokyo, Japan.

²Frontier Research Center for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokohama, Japan.

The momentum flux associated with gravity waves is an important quantity to evaluate their effects on global circulations. As the gravity waves have various sources, it is likely that multiple gravity waves propagating in different directions are usually superposed. In such situation, even if all physical quantities are available, it is difficult to estimate the total momentum flux of gravity waves (i.e., a sum of absolute values of momentum fluxes of respective waves). In the present study, a new formula was derived to estimate the total momentum fluxes. This theoretical formula contains variances of three dimensional wind and temperature fluctuations and includes neither wavenumbers nor frequencies explicitly. This formula requires that wave fields are decomposed into monochromatic waves. The momentum fluxes were estimated by applying this formula to a gravity-wave resolving general circulation model data. The model has T213 spectral horizontal resolution and 256 vertical levels extending from the surface to a height of 85 km with a uniform vertical spacing of 300 m in the middle atmosphere (Watanabe et al., JGR, 2008). As no gravity wave parameterization is used, all gravity waves in the model are spontaneously emitted from sources (convections, topographies, instabilities, jet imbalances, etc). Watanabe et al. showed that the model represents realistic general circulation and thermal structure in the middle atmosphere. Disturbances whose horizontal wavenumbers are greater than 26 are defined as gravity waves. Estimation was made for the following 3 cases whose degree of monochromatic wave assumption at each grid is different: 1) The fluctuations are assumed to be due to a monochromatic gravity wave. 2) The fluctuations can be decomposed only by vertical wavenumbers. 3) The fluctuations can be decomposed by both vertical wavenumbers and frequencies. The resultant momentum fluxes from 2) and 3) are similar, while those from 1) and 2) are largely different, suggesting that gravity waves could be decomposed into monochromatic waves only by vertical wavenumbers. Moreover, following previous studies such as super pressure balloon observations (such as VORCORE), the vertical and time average of the product of horizontal and vertical wind fluctuation components was calculated and compared with the estimate from the new formula. The result accords well with those from 2) and 3). This means that this simple method used in the previous studies gives reasonable results. Furthermore, the absolute momentum fluxes were divided into components in 4 directions and the geographic distributions were examined. The result is shown in the table, which is consistent with the result of net momentum fluxes distributions shown by Sato et al. (GRL, 2009).

重力波は運動量を鉛直に伝播し中層大気において碎波・減衰することで、大循環の駆動また放射平衡からかけ離れた温度構造の維持に重要な役割を持つ。したがって運動量フラックスの推定は重力波の寄与を定量的に評価する上で重要である。しかし、重力波の起源は山岳や対流、ジェットフロントシステム等多様であるため、常に伝播の方向の異なる複数の重力波が重なりあっている可能性がある。このような場合、すべての物理量の場が得られていたとしても運動量フラックスの総量を見積もることは難しい。

そこで、本研究では新しい重力波の運動量フラックスの推定方法を考案した。これは、モデル出力のように全ての物理量が得られる場合に、重力波の波数及び振動数を仮定しないで推定する理論式である。ただし、この理論式は単色波を仮定しているため、波の場を単色波にまで分解する必要がある。重力波解像可能な大気大循環モデルの出力データを用いて運動量フラックスの推定を試みた。モデルは水平解像度 T213、地表から高度 85km まで鉛直 256 層、中層大気においては 300m 間隔の鉛直グリッドを持つ (Watanabe et al., JGR, 2008)。重力波パラメタリゼーションを使っていないので、モデル内の重力波は全て対流や山岳、不安定、ジェットフロントシステ

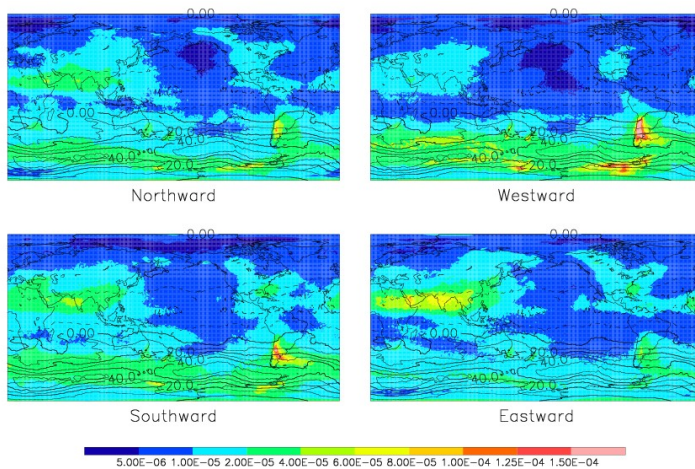
ムなどから自発的に生じたものである。このモデルでは中層大気において現実的な大規模循環が再現されることがWatanabe et al.により示されている。

26以上の全水平波数をもつ擾乱成分を重力波の場とし、これを単色波の仮定を満たす程度の異なる次の3つの場合において、導出した理論式を用いた運動量フラックスの推定を行った。各グリッドにおいて、1)擾乱成分全体を単色の重力波とみなす、2)鉛直方向にスペクトル分解する、3)鉛直方向及び時間方向にスペクトル分解する。2)と3)の結果はほぼ同じであったことから鉛直方向にスペクトル分解することで重力波を単色に分解することができることがわかった。また、VORCOREなどの先行研究で行われているように、スナップショットにおける擾乱の成分による運動量フラックスの絶対値の鉛直及び時間平均を計算したところ2)とほぼ同様の結果が得られることも分かった。次に、全運動量フラックスを4方向に分け評価した。結果を表に示す。インドモンスーン領域、南半球のジェットフロントシステム及びアンデス付近において、東向き及び西向きの成分がそれぞれ22%と43%、37%と16%、51%と12%というこの結果は、正味の運動量フラックス分布を示したSato et al. (GRL, 2009)の結果と整合的である。

Table 1. Contribution of respective components to the total momentum fluxes

region	northward(%)	westward(%)	southward(%)	eastward(%)
Indian monsoon	22	10	24	43
the jet front system of the Southern Hemisphere	20	37	27	16
South Andes	15	51	22	12

Figure 1. Distributions of respective components of the momentum fluxes (contour color) and the time and vertical mean zonal wind (black line) at 70-30hPa in July.



References

- Watanabe, S., Y. Kawatani, Y. Tomikawa, K. Miyazaki, M. Takahashi, and K. Sato (2008), General aspects of a T213L256 middle atmosphere general circulation model, *J. Geophys. Res.*, *113*, D12110, doi:10.1029/2008JD010026.
- Sato, K., S. Watanabe, Y. Kawatani, Y. Tomikawa, K. Miyazaki, and M. Takahashi (2009), On the origins of mesospheric gravity waves, *Geophys. Res. Lett.*, *36*, L19801, doi:10.1029/2009GL039908.