

3次元伝播を考慮した重力波パラメタリゼーションに関する研究

雨宮 新 [1]; 佐藤 薫 [2]
[1] 東大院・理・地惑; [2] 東大・理

A study on gravity wave parameterization including three dimensional propagation

Arata Amemiya[1]; Kaoru Sato[2]
[1] The Univ. of Tokyo; [2] Graduate School of Science, Univ. of Tokyo

Recent studies suggest the importance of horizontal propagation of gravity waves (GWs), especially in high latitudes of the winter Southern Hemisphere (SH), although most standard gravity wave parameterizations (GWPs) treat GW simply as vertical. In this study, a new orographic GWP including three-dimensional GW propagation is developed and its impact on large-scale dynamical fields is examined. Our GWP calculates the horizontal location and change of wavenumbers of GWs explicitly by vertical integration of the ray tracing equations, and the body forces due to horizontal refraction of GWs, that exist even without dissipation. In addition, the computational cost for ray tracing is greatly reduced by effective parallelization using Taylor's series approximation for background fields of the ray tracing. Two numerical experiments are performed by Model for Interdisciplinary Research of Climate (MIROC)-AGCM, to which the new orographic GWP and a conventional one are respectively implemented. For the experiment with the new GWP, westward forcing above the core of the polar vortex in the Southern Hemisphere is enhanced in winter. This is mainly because latitudinal propagation of parameterized GWs which amounts to 30 degrees at most toward the axis of the jet. It is also shown that the forcings produced by the refraction contributes to the significant amount. The zonal wind in SH winter is slightly stronger in the polar upper stratosphere for the experiment with the new GWP, which is consistent with the differences in the GW forcings. The strength and seasonal evolution of polar vortex is less affected by the GW forcings possibly because of the compensation by EP flux divergence by resolved waves. These results suggest the potential importance of the three-dimensional propagation in GWPs for better representation of the momentum budget of the middle atmosphere in climate models.

本研究は気候モデルにおける重力波パラメタリゼーションにおいて、伝播を鉛直のみと近似する従来の手法の代わりに、より現実的な3次元伝播を考慮した計算方法を開発し、大規模場への影響を調べたものである。

大気重力波(重力波)による主に対流圏からの運動量輸送は中層大気の運動量収支を大きく支配し、放射とともに大規模な風・温度の場を特徴づけている。短い波長の重力波は通常気候モデルの水平格子(約100~300km)のもとでは十分に表現できないが、中層大気において大きな運動量輸送を担っている。そこで、気候モデルでは重力波パラメタリゼーション(GWP)を用いて解像されない重力波による運動量輸送(波強制)を計算している。

重力波は大気中を鉛直のみならず水平方向も含めた3次元経路をとって伝播する。このことが実際に運動量輸送の大きさや空間的分布に大きく影響することは、近年の衛星観測や高解像度モデルを用いた運動量フラックスの推定から明らかになりつつある。一方で、重力波パラメタリゼーションではほとんどの場合伝播は鉛直方向のみと近似され、また背景場の非一様性による重力波の屈折も無視されてきた。そこで、本研究では3次元伝播を考慮したパラメタリゼーションを作成し、特に地形性重力波に適用したものを気候モデルに導入した。そのモデルを用いた比較実験により再現される大規模場への影響を、特に南半球の極渦に注目して調べた。

本研究のGWPは、波源から放射されるそれぞれの重力波について、従来は一定と近似されていた水平位置と波数を各高度においてRay tracing方程式から計算する点に特徴がある。同様の手法を用いたSong and Chun (2008)のGWPとは異なり、波の伝播に要する時間を無視することによって時間積分を鉛直積分に置き換え、計算を大幅に効率化している。さらに、通常気候モデルで用いられる分散メモリ型並列計算において計算効率を向上させるため、Ray tracingの計算における背景場を水平方向のテイラー展開を用いて近似し、MPI通信の必要性を最小限に抑えた。これにより3次元伝播を考慮しつつ、実用に耐えうる計算速度を実現することができた。

地形性重力波について3次元伝播の考慮の影響を調べるため、作成したGWPを導入した大気大循環モデルModel for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC)-AGCMを用いて数値実験を行った。3次元伝播を考慮するもの(OGW3D)、考慮しないもの(CONTROL)の2種類について50年分の積分を行い、南半球冬季についての気候平均場を比較した。

まず、計算された地形性重力波の波強制の水平分布は、OGW3DではCONTROLに比べ成層圏・中間圏で水平方向により広い分布を示した。これは衛星観測から推定されている運動量フラックスの分布と整合的であった。次に、東西平均した波強制の東西成分の分布は中間圏の高緯度でOGW3Dではより強い西向き強制を示していた。この違いは波の緯度方向の伝播経路の変化が原因であることが示唆された。また、波の屈折に伴って発生する波強制も成層圏上部で特徴的な分布を示した。

両実験でこのように波強制の明瞭な違いが見られたにもかかわらず、東西平均した東西風・温度の気候平均場の季節進行は、年々変動に比べて大きな違いを示さなかった。その原因としては、モデルで解像される波の変調が有力である。高緯度中間圏において、両実験の重力波強制の差と、EPflux発散の差は逆符号の似た分布を示した。したがって、重力波強制の変化の東西平均場への影響は、重力波によって引き起こされた解像される波による間接的な影響によって大部分が打ち消されていることが示唆されている。

以上をまとめると、重力波の3次元伝播の影響は本研究の重力波パラメタリゼーションによって効率的かつ十分に表現され、その気候場への影響は東西平均場のみならず東西非一様な場に対しても現れることがわかった。このような

パラメタリゼーションは今後のモデルによる中層大気の表現の向上に寄与するものとして、考慮する価値がある。