

非定常な波強制に対する子午面循環形成過程

林 佑樹 [1]; 安田 勇輝 [1]; 佐藤 薫 [1]
[1] 東大・理

The response of the meridional circulation to unsteady wave forcings

Yuki Hayashi[1]; Yuki Yasuda[1]; Kaoru Sato[1]
[1] Graduate School of Science, Univ. of Tokyo

The Lagrangian-mean meridional circulation in the middle atmosphere not only transports ozone but also changes the temperature structure in the atmosphere. This meridional circulation is driven by the momentum redistribution by atmospheric waves. In many previous studies, the steady-state assumption is used in the analysis of the meridional circulation. In general, however, the wave forcing changes transiently and the understanding with the steady-state assumption has limitation. Therefore, in this research, we investigate the response of the meridional circulation to the unsteady wave forcing.

The large-scale atmospheric response to the forcing can be described by the linear response because Rossby number is sufficiently small. Green's function is one of useful methods for the analysis of the linear response to the forcing. Thus, we obtained the horizontal divergence, which describe the meridional circulation, by using the Green's function method. As the wave forcing, we set an external forcing for the zonal momentum equation. The dependence of the shape and time variation of wave forcing on the formation of the meridional circulation is examined.

For the forcing with a step function in time, gravity waves in a wide range of frequencies are radiated as a transient response, and a quasi-steady meridional circulation as well as inertial oscillations finally remain. This meridional circulation is composed of two cells in the vertical, and accords with the circulation which was analytically obtained as the steady state. Time scale needed for the formation of the meridional circulation depends on the shape of the wave forcing, as is consistent with a theoretical expectation. In addition, it is shown that the group velocity of gravity waves radiating from the source region determine the time scale of the circulation formation. We also investigate the case for the forcing changes gradually, slower than the inertial period. The response is mainly in the form of meridional circulation and changes slowly following the changing force.

中層大気のラグランジュ的の子午面循環は、オゾン等の物質を輸送するだけでなく、大気の温度構造を力学的に変化させる。この子午面循環は、主に大気波動が運動量を再分配することによって駆動されている。多くの先行研究では、定常の仮定のもと子午面循環を解析している。しかし、一般に波強制は過渡的であり、定常を仮定した理解には限界がある。そこで、本研究では、東西平均した f 平面静水圧ブシネス系を用いて、非定常な波強制に対する子午面循環の形成過程を線形解析により調べた。

大気の大規模運動はロスビー数が十分小さいため、非線形項が小さく、強制に対する応答として線形応答が支配的であると考えられる。線形応答を調べるのに適した手法の1つにグリーン関数の方法がある。この手法を用いて、循環を記述する変数の1つである水平発散 δ の時間発展を求めることにした。強制は東西方向の運動方程式における波強制として与えた。そして、子午面循環の形成過程が、この波強制の形や時間変化の仕方にどのように依存するのかを調べた。

まず、強制の強さを時間方向にステップ関数的に変化させると、過渡的な応答として広い帯域に亘る振動数を持つ重力波が放射されるが、最終的には慣性振動と準定常な子午面循環が残ることがわかった。この子午面循環は鉛直2細胞型の構造を持っており、解析的に求めた子午面循環の定常解とほぼ一致する。また、循環形成の時間スケールに着目した解析を行ったところ、波強制の形の依存性については、次元解析による理論的予想と調和的であった。また、過渡的に生じる重力波の群速度がほぼその時間スケールを決定していることがわかった。次に、強制の強さがゆっくりと変化する場合についても解析を行った。その結果、強制の時間スケールが慣性周期より大きい場合は、応答は強制に隷属した状態となり、循環は波強制の変化に追従して緩やかに変化することがわかった。