

金星雲層スーパーローテーションが中間圏のケルビン波伝播に与える影響

星野 直哉 [1]; 藤原 均 [2]; 高木 征弘 [3]; 笠羽 康正 [4]
[1] 東北大・理・地球物理; [2] 成蹊大・理工; [3] 東大・理・地惑; [4] 東北大・理

Relationship between the super-rotation and the propagation of the Kelvin wave in Venusian mesosphere

Naoya Hoshino[1]; Hitoshi Fujiwara[2]; Masahiro Takagi[3]; Yasumasa Kasaba[4]
[1] Dept.Geophysics, Tohoku Univ; [2] Faculty of Science and Technology, Seikei University; [3] Dept. Earth and Planetary Science, Univ. of Tokyo; [4] Tohoku Univ.

General circulation in the Venusian mesosphere (70 -110 km) is an important factor for the upward propagation of atmospheric waves. In general, the vertical group velocity of the wave becomes smaller when the difference of the background wind velocity and the phase speed is smaller. The linear wave theory suggests that the wave cannot propagate upward at the critical level where the background wind velocity corresponds to the phase speed. Schubert [1983] estimated the mesospheric wind velocity with the observed temperature distribution and the assumption of the cyclostrophic balance. They suggested that the intensity of the zonal-mean zonal wind could vary depending on the intensity of the superrotation at the cloud top (70 km). Our previous numerical simulations [Hoshino et al., 2011] suggested the propagation of the Kelvin wave, which was observed from Pioneer Venus [Del Genio and Rossow, 1990], up to about 130 km from the cloud top when the intensity of the superrotation was 0 m/s at around 80 km. In this study, we have performed numerical simulations assuming three different intensity of the superrotation at the lower boundary and investigated impacts of mesospheric wind on the propagation of the Kelvin wave.

In this study, we use the General Circulation Model (GCM) for Venusian mesosphere and thermosphere. Our GCM covers the altitude region from 80 km to about 180 km. The horizontal and vertical resolutions are 5.6 degree and 0.5 scale height, respectively. In order to consider the different intensities of the superrotation in the Venusian mesosphere, we assume the solid body rotation with the equatorial wind velocity of 40, 80 and 120 m/s at the lower boundary (LB40, LB80 and LB120). We impose the Kelvin wave with the westward phase speed of about 110 m/s by causing the geopotential oscillation at the lower boundary.

In all cases, our simulation results show that the superrotation given at the lower boundary decays with height rapidly and the zonal-mean zonal wind velocity becomes approximately 0 m/s above about 95 km. In the case of LB120, the critical level where the zonal-mean zonal wind velocity becomes 110 m/s exists at around 88 km. The Kelvin wave propagates upward up to about 130 km in all cases. The maximum wind velocity fluctuations in the LB40, LB80, and LB120 conditions are 7m/s, 7m/s, and 5 m/s, respectively, at about 105 km. The transmission of the Kelvin wave at the critical level in the LB120 condition is interpreted as the result of the strong wind shear which is caused by the decay of the superrotation. Richardson number is an indicator of the shear instability. Booker and Bretherton [1967] suggested that the atmospheric wave could pass through the critical level if the Richardson number was smaller than 1 from the linear wave theory. In our calculation, the Richardson number is approximately 0.2 at around the critical level. Our simulations suggest that the Kelvin wave propagate up to about 130 km regardless of the intensity of the superrotation.

金星中間圏(70-110km)における風速場は、金星下層大気(<70km)から上層への大気波動伝播を考える上で重要な要素である。大気波動の線形論によれば、波の位相速度と背景風速が一致する高度(クリティカルレベル)では波の鉛直伝播速度が0m/sに近づき、波はそれ以上伝播できない可能性がある。Schubert[1986]はPioneer Venus観測より得られた中間圏温度場から風速場を推定し、雲層(50-70 km)のスーパーローテーション(SR)強度の違いにより中間圏の平均東西風強度が数十 m/sも変化することを示した。この中間圏風速場の変化は波のクリティカルレベルの有無に影響を与えることから、雲層SR強度の強弱が波の上方伝播の可否を担っていることが示唆される。我々はこれまで、高度約80 kmを下端境界とする金星中間圏・熱圏大気大循環モデル(GCM)を用いた数値計算を行い、高度約80kmでSR強度が約0m/sのとき、雲層起因のケルビン波が高度約130 kmまで伝播することを示した[Hoshino et al. 2011]。本研究ではSR強度の変化が金星中間圏風速場およびケルビン波の鉛直伝播に与える影響を調べることを目的に、モデル下端で強度の異なるSRを考慮した数値シミュレーションを行った。

本数値実験で用いるGCMは高度80-約180 kmの温度、風速、組成(O, CO, CO₂)を計算可能である。GCMの空間分解能は5.6度(緯度)x5.6度(経度)x0.5スケールハイト(高さ)である。モデル下端ではSRを模擬した風速場として剛体回転する風速場を仮定した。強度の異なるSRを考慮するため、剛体回転風速は赤道風速40, 80, 120 m/sの3条件(以下LB40, LB80, LB120)で計算をおこなった。モデル下端では観測[Del Genio and Rossow, 1990]から存在が知られている位相速度110m/sのケルビン波をジオポテンシャル強制により励起させた。

計算の結果、下端のSR強度が強いほどSRは高高度まで維持された。しかし、どの条件でもSRは高度と共に減衰し、高度約95 km以上においてSRによる平均東西風速は約0m/sとなった。LB120の条件では、高度約88kmにおいて背景風速場が110 m/sとなりクリティカルレベルが生じた。ケルビン波の伝播については、LB40, LB80では波は高度約130kmまで伝播し、最大風速擾乱は高度108 km付近で約7 m/sだった。一方、クリティカルレベルが存在するLB120でも、ケ

ルビン波の最大風速擾乱は約 5m/s で、高度約 130km まで波は伝播した。LB120 における波のクリティカルレベルの透過は、SR の減衰で生じる東西風速の鉛直シアが原因と考えられる。風速シアによる大気不安定度の指標としてリチャードソン数がある。リチャードソン数が 1 以下のとき、波はクリティカルレベルを透過しうることが波の線形論から示唆されている [Booker and Bretherton 1967]。LB120 ではクリティカルレベル付近のリチャードソン数は 0.2 程度であり、上記の条件を満たす。本数値実験により SR の強度にかかわらず、ケルビン波は熱圏まで伝播することが示唆される。