

R009-29

B会場：11/7 PM1 (13:45-15:30)

14:15~14:30

自転軸の傾きを入れた金星大気循環シミュレーション

#樫村 博基¹⁾, 杉本 憲彦²⁾, 高木 征弘³⁾, 林 祥介¹⁾

(¹⁾ 神戸大・理・惑星/CPS, (²⁾ 慶大・日吉物理, (³⁾ 京産大・理

Simulation of Venus atmospheric circulation with a tilt of rotation axis

#Hiroki Kashimura¹⁾, Norihiko Sugimoto²⁾, Masahiro Takagi³⁾, Yoshi-Yuki Hayashi¹⁾

(¹⁾ Planetology/CPS, Kobe Univ., (²⁾ Physics, Keio Univ., (³⁾ Faculty of Science, Kyoto Sangyo University

The tilt of the rotation axis of Venus is very small (about 2.6 deg), so that its effect (seasonal variation) has not been studied well. Seasonal variations are unlikely near the surface because the radiative relaxation time can be as long as tens of thousands of Earth days. On the other hand, around altitudes of 60-70 km, the radiative relaxation time is from few tens to several Earth days, not much different from that of the Earth atmosphere, and the effect of the rotation-axis tilt is not necessarily negligible. Yamamoto and Takahashi (2007) numerically investigated the effect of the rotation-axis tilt on the Venusian atmospheric circulation and found that the influence to the strength of the superrotation by a tilt of 2.6 deg was negligible. Based on this result and also for simplicity of setup, the tilt of the rotation axis has been omitted in Venus atmospheric simulations performed by many groups in the world. In recent decades, the Venus Express and Akatsuki have provided estimates of the horizontal wind distribution at cloud-top altitudes (around 65 km). In addition, Venusian atmospheric simulations with high resolution have enabled us to express circulation structures in details. In other words, it is now possible to discuss the spatial structure of Venusian atmospheric circulation including superrotation.

In this study, we performed a Venusian atmospheric simulation including the tilt of the rotation axis. AFES-Venus (Sugimoto et al., 2014) was used for the numerical model. Although AFES-Venus is a dynamical model that uses simplified radiative processes and omits cloud microphysics and topography, the introduction of a low-stability layer and the use of high resolution lead us to represent observationally consistent structure such as the cold collar (Ando et al., 2016) and the planetary-scale streak structure (Kashimura et al., 2019). In this study, we performed a time-integration for 6 Venus years with a horizontal resolution of 1.4 deg x 1.4 deg (T85) and 120 layers ($dz = 1$ km) in vertical; the rotation-axis tilt is 2.6 deg and an idealized superrotational flow is used for the initial state. Other (resolution-independent) settings are the same as those in Kashimura et al. (2019).

The numerical results show significant seasonal variations above an altitude of 60 km. In particular, the mid-latitude zonal wind jet was about 10 m/s stronger in the winter hemisphere than in the summer hemisphere. For the mean meridional circulation, both a direct circulation in low-latitudes and an indirect circulation in the mid-latitudes are stronger in the winter hemisphere. The enhancement of the indirect circulation suggests the enhancement of baroclinic instability. However, eddy fluxes of the angular momentum are poleward from the jet's core and work to weaken the jet. On the other hand, along the direct circulation in low-latitudes, an isomomentum region extends poleward. This suggests that, like the subtropical jet in the Earth atmosphere, the jet was enhanced as a result of increased angular momentum transport due to the enhanced and expanded low-latitude direct circulation (Hadley circulation). Such a north-south asymmetry of about 10 m/s in zonal winds is also suggested by the Akatsuki observations (Horinouchi et al., 2018). Thus, analyses considering Venusian seasons are coming to be important both for observational and numerical studies.

金星の自転軸の傾きは約 2.6 度と非常に小さいために、その影響 (季節変化) はほとんど着目されてこなかった。地表付近では、放射緩和時間は数万地球日にもなるため、季節変化はほとんどないと考えられる。一方、高度 60 から 70 km 付近では放射緩和時間は数十から数地球日程度であり、地球大気のと大差がなく、自転軸の傾きの影響が無視できるとは限らない。Yamamoto and Takahashi (2007) は、数値実験で金星大気循環に対する自転軸の傾きの影響を調べ、2.6 度の傾きではスーパーローテーションの強さは影響を受けないことを示した。この結果に基づき、また設定の簡素化のために、国内外のグループによる金星大気シミュレーションにおいて、自転軸の傾きは省略されてきた。一方、金星探査機の Venus Express や「あかつき」によって、雲頂高度 (65 km 付近) の水平風分布が推定されるようになった。また、金星大気シミュレーションの高解像度化によって、細かな循環構造が表現されるようになった。すなわち、スーパーローテーションを含めた金星大気循環に対して、その空間構造を含めた議論ができるようになってきている。

そこで本研究では、改めて自転軸の傾きを入れた金星大気シミュレーションを行った。数値モデルには AFES-Venus (Sugimoto et al., 2014) を用いた。AFES-Venus は放射過程を簡略化し、雲微物理や地形を省略した力学モデルではあるが、雲層付近の低安定度層を導入し、高解像度で計算することで、周極低温域 (Ando et al., 2016) や惑星規模筋状構造 (Kashimura et al., 2019) など観測と整合的な構造を再現することに成功している。今回は、水平 1.4 度 × 1.4 度 (T85) 鉛直 120 層 ($dz = 1$ km) の解像度で、自転軸の傾きを 2.6 度に設定し、理想化したスーパーローテーション流を初期値として、6 金星年分の時間発展計算を実施した。その他の (解像度に依存しない) 設定は、Kashimura et al. (2019) と同じで

ある。

計算の結果、高度 60 km より上空では、有意な季節変化が示された。特に中緯度の東西風ジェットが、冬半球で夏半球よりも 10 m/s 程度強くなった。また平均子午面循環は、冬半球において、低緯度の直接循環と中高緯度の間接循環がともに強化されていた。中高緯度の間接循環の強化は、傾圧不安定の強化を示唆するものだが、角運動量の渦フラックスはジェットを弱化する向きに存在しており、中緯度ジェット強化とは整合しない。一方、低緯度の直接循環に沿って、等角運動量の領域が極向きに伸びていた。これは、地球大気の亜熱帯ジェットと同様に、低緯度の直接循環（ハドレー循環）の強化拡大による角運動量輸送の増加の結果として、ジェットが強化されたことを示唆している。このような、東西風で 10 m/s 程度の南北非対称は、あかつきの観測結果 (Horinouchi et al., 2018) にも見られている。今後は、観測とシミュレーションの両面で季節を意識した解析が重要となるだろう。