

金星大気大循環モデルによる3次元金星雲分布および大規模運動への結合の研究

秋葉 丈彦 [1]; 黒田 剛史 [2]; 高橋 正明 [3]; 池田 恒平 [4]; 笠羽 康正 [5]; 寺田 直樹 [6]; 鎌田 有紘 [7]

[1] 東北大・理・地物; [2] NICT; [3] 東大・大気海洋研; [4] 環境研; [5] 東北大・理; [6] 東北大・理・地物; [7] 東北大・理・地物

Study of the Venusian cloud distributions and their link to the global dynamics: a Venusian general circulation model

Takehiko Akiba[1]; Takeshi Kuroda[2]; Masaaki Takahashi[3]; Kohei Ikeda[4]; Yasumasa Kasaba[5]; Naoki Terada[6]; Arihiro Kamada[7]

[1] Geophysics, Tohoku Univ.; [2] NICT; [3] AORI, Univ. of Tokyo; [4] NIES; [5] Tohoku Univ.; [6] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [7] Geophysics, Tohoku Univ.

Venus is covered with sulfuric acid clouds in about 48 and 70 km altitude, and the radiative effects of clouds may impact on the and atmospheric motion like superrotation (very fast zonal wind than rotation speed). To understand the mechanism, we have developed a Venus General Circulation Model (VGCM) which takes the formation and advection of clouds into account based on CCSR/NIES/FRCGC MIROC. The model has a radiative transfer scheme which realistically calculate the effects of sulfuric acid clouds and molecules (Ikada, 2011), and the implementations of the cloud processes (condensation/evaporation of sulfuric acid vapor/clouds, advection and gravitational sedimentation of clouds) and chemical processes related to sulfuric acid vapor have been implemented (Itoh, 2016). Itoh (2016) suggested that sulfuric acid vapor is lifted upward into the upper cloud layer in the equatorial atmosphere and change into sulfuric acid clouds there followed by the transport poleward by meridional circulation, but the radiative effects of clouds did not reflect the simulated cloud distributions, considering the horizontally uniform cloud distributions with observed vertical distributions for each mode (Haus and Arnold, 2010)

In this study, we have improved the radiative processes of sulfuric acid clouds in the VGCM to interact with the simulated cloud distributions. Now we are able to calculate the radiative effects of clouds from the simulated distributions at each time step. The effects of unknown UV absorber, which is considered as the one of factors which make the heating in cloud layer, have been considered by increasing the absorptions of UV-visible wavelengths relating to the optical thickness of mode 1 sulfuric acid cloud in the upper cloud layer (Tomasko et al., 1980; Crisp, 1986). It is the first trial on the VGCM which allows to understand the interactions between radiative effect of the clouds and the cloud distribution in the both aspects of atmospheric circulation and cloud formation (hereafter Simulation A). The simulation is started from the equilibrium states of wind, pressure, and temperature fields simulated by Itoh (2016) and horizontally uniform cloud distributions with observed vertical distributions shown by Haus and Arnold (2010). The results are compared with the one of Itoh (2016) (hereafter Simulation B).

In Simulation A, zonal wind with the velocity of about 50 m/s was shown above equator in 50~65 km altitude. Comparing solar heating from each Simulation, the heating layer above 65 km altitude which exists in Simulation B was not made in Simulation A, in which the heating by solar radiation reached to downward by ~10 km more, which resulted in the lifting of mode 1 clouds upward. It may be explained that the solar radiation reaches and clouds get heated more deeply in Simulation A, and then the thermal tide due to this heating accelerates zonal wind. In both Simulations A and B, zonal winds of 50 m/s in Simulation A and 100 m/s in Simulation B, respectively, were seen above mid-latitude and 65~70km altitude, which may support the theoretical study that meridional circulation excites the zonal wind.

Quantitatively, zonal wind velocity in Simulation A was weak, about a half of the observed data in low- and mid-latitudes in the cloud layer. The meridional circulation in Simulation A was weaker than in Simulation B, which may result that the cloud top altitude in Simulation A was lower than that in simulation B for 3 km and the cloud total mass at cloud top (about 65km altitude) in Simulation A was about a half of that in Simulation B, making more sulfuric acid vapor below the cloud layer. The results in Simulation A suggest the relationship among weaker meridional circulation, less heating and enhancement of the sedimentation and evaporation of clouds, which may be because of the wrong evaluation of the effects of unknown UV absorber.

金星の雲は高度約48-70kmで全球を覆っており、大規模循環に放射効果等を介して影響を与えうる。我々はCCSR/NIES/FRCGC MIROCをもとに開発された金星大気大循環モデル(以降VGCM)に硫酸雲の生成・消滅過程を加え、金星雲の自律的再現およびあかつき探査機観測との比較を目指した研究を行っている。このVGCMは金星大気における現実的な大気分子及び硫酸雲の放射効果を計算可能な放射スキームを実装しており(池田, 2011)、これに硫酸雲の凝縮/蒸発、重力沈降過程を組み込むことで、赤道付近での硫酸蒸気の上昇と雲の凝結生成、雲の子午面循環による中・高緯度域への輸送といった硫酸雲層の維持・循環の再現をみている(伊藤, 2016)。本研究では、本コードに対して凝縮/蒸発と移流による雲分布変化の放射過程への反映を試みた。伊藤(2016)ではHaus and Arnold(2010)雲モデルの硫酸雲混合比を基に時空間で固定された光学的厚さを用いて放射効果を計算していたが、本研究ではそれぞれの時間ステップで出力される雲の混合比を基に計算を行えるよう改良し、これに基づいた雲の放射効果を計算するスキームとした。雲層内の加熱に大きく起因すると考えられているUV absorberの効果については、雲層上部のモード1の硫酸雲の光学的厚さに対応し、紫外~可視領域の吸収を強めることで評価する(Tomasko et al., 1980; Crisp, 1986)、自律的な雲過程と放射計算への反映を行うシ

ミュレーションは初であり、雲の生成・消滅・輸送に伴う雲分布の変動が放射に影響を与え、これが大気循環にフィードバックされる一連の機構を再現しうる(以後計算 A とする)。初期状態として、平衡状態の風速・気温場に観測に基づく鉛直分布に基づいた水平一様の雲及び硫酸蒸気分布を与えた。

本講演では、放射計算に雲分布を反映させていない伊藤(2016)の結果(以後計算 B とする)との、東西風速度場の分布の違い、雲分布の違いを評価する。東西風速度場を比較すると、計算 A において、高度 50~65 km (雲層下層~中層)の赤道上空で風速 50 m/s 程度の強く吹くセルが出現した。太陽放射による加熱率を比較すると、計算 B で発生していた高度 65 km での加熱層(最大 8.5 K/day)が現れず、加熱の深さを見ると計算 A のほうが雲による太陽光吸収によってより 10 km 程度下層まで加熱されている。この結果は雲分布を放射に対応させることにより、モード 1 の雲が上層に運ばれる結果を反映したと考えられる。赤道上での東西風のセルとこの加熱層の位置関係から、この加熱の日周期性による熱潮汐波が東西風を加速させる理論を支持していると推測される。また、計算 A・B とも高度 65~70 km (雲層中層~上層)中緯度にて強く吹く(計算 A で 50m/s、計算 B で 100m/s)セルが確認され、子午面循環によって東西風が加速される理論も支持する結果となった。

定量的には、計算 A で生成された東西風の強さは赤道上・中緯度上空のセルでいずれも 50 m/s と観測値の半分程度の大きさとなっていた。計算 A では計算 B と比べて子午面循環が弱く、そのため雲の分布をみると、計算 A では雲頂が計算 B より高度で約 3 km 下がっており、また雲の全体量を見ると、計算 A の雲は雲頂(高度 65 km)で計算 B の半分となっており、その分は雲層より下の層での硫酸蒸気として安定して存在していた。このことから雲層内の子午面循環が弱まることに関連して加熱の弱化と雲の蒸発・沈降が起こっていることが考えられ、その原因としては加熱の要素の一つと考えられている unknown UV absorber の効果が正しく計算されていない可能性がある。