

GCMを用いた時空間変動する金星硫酸雲の量と粒径の再現実験

加藤 史也 [1]; 黒田 剛史 [2]; 新田 光 [3]; 黒田 壮太 [1]; 笠羽 康正 [2]; 高橋 正明 [4]
[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理; [3] 東大・理・地球惑星科学; [4] 東大・大気海洋研

Numerical experiment of spatial/temporal variances of cloud distribution and particle size on Venus using a GCM

Fumiya Kato[1]; Takeshi Kuroda[2]; Akira Nitta[3]; Morihiro Kuroda[1]; Yasumasa Kasaba[2]; Masaaki Takahashi[4]
[1] Geophysics, Tohoku Univ.; [2] Tohoku Univ.; [3] Dept. of EPS, Univ. of Tokyo; [4] AORI, Univ. of Tokyo

<http://pat.gp.tohoku.ac.jp/>

We are starting to investigate the cloud formations, chemical reactions, and their effects on the atmospheric radiation and dynamics in the middle atmosphere of Venus using a VGCM (Venus General Circulation Model). We have introduced a cloud particle growth processes of the sulfuric aerosol into the VGCM developed by Ikeda [2011], and are studying the spatial/temporal variances of distribution and particle size of cloud particles. In this presentation, we show the preliminary results and physical mechanisms which make the variations.

The VGCM is based on the CCSR/NIES/FRCGC AGCM, and has 32(latitude) X 64(longitude) grid points and 52 vertical levels from the surface up to 95km. The model well reproduces the realistic atmospheric flows on Venus, such as super-rotation and Hadley-circulation. In the current setting on the GCM, the cloud distribution and particle size for the radiative calculations are spatially fixed. The investigations of the radiative effects of spatial/temporal cloud variances will be a future work, as the Venusian sulfuric acid cloud deck, which exists in the altitude of 50km-70km, is considered to have a strong influence on the thermal balance of the Venusian atmosphere.

We have introduced the H_2SO_4 aerosols for 4 particle modes as tracers (mode1 (0.3um), mode2 (1.0um), mode2' (1.4um) and mode3 (3.56um), based on Crisp[1986]), also implemented the evaporation/concentration processes of H_2SO_4 , and simulated the motions of aerosols due to the circulation and gravitational sedimentation (Kato et al. [2013], JpGU Meeting). With the model all modes of cloud got equilibrium state in their altitudinal distribution, but the model did not reproduce the continuous temporal changes of the cloud particle radius because the concentrated cloud particle was set to be distributed into the 4 modes.

Here we attempt to reproduce the spatial/temporal variations of cloud distribution and particle size by introducing a cloud particle growth processes. In our new model, change of the particle size is considered, assuming to be uniform with the averaged value in each grid point. The particle size in each grid point is decided by mixing ratio and number density of sulfuric acid cloud (The initial values of them are the sum of the distributions of each mode shown in Haus and Arnold [2010]). The particle growth rate is in inverse proportion to the radius of particle and in proportion to diffusion coefficient of H_2SO_4 molecule and supersaturation rate of H_2SO_4 vapor. The saturated vapor pressure curve in Kulmala and Laaksonen [1990] is referred to decide the saturated H_2SO_4 vapor amount. In the first experiment, the particle growth was seen almost equally in latitude, and H_2SO_4 cloud was accumulated at equator and polar regions as well as the previous experiment.

We will continue to improve our model to elucidate the dynamical, radiative and chemical mechanisms which decide the spatial and temporal variances of cloud distributions. In the presentation we are showing the numerical results of the distributions of cloud particles and H_2SO_4 vapor and discussing the mechanisms of the transports of them by the general circulation and atmospheric waves.

我々は金星中層大気の雲生成と、雲による放射効果が大気力学に及ぼす影響について、金星大気大循環モデル (Venus General Circulation Model, VGCM) を用いた研究に着手している。本発表では Ikeda [2011] により開発された VGCM において、雲粒の成長過程を導入して硫酸雲を微物理的に評価し、金星大気中の雲量と雲粒径の時空間変化と、それらをもたらす力学的メカニズムについて、調べた結果を発表する。

Ikeda[2011] の VGCM は地球の大気大循環モデル CCSR/NIES/FRCGC AGCM をもとに開発されたもので、我々はこれに金星大気中の雲の運動およびそれを構成する雲粒子の生成・消滅、さらにはそれらが与える熱的影響を取り込む研究を進めている。このモデルは、緯度方向に 32 個、経度方向に 64 個の格子点を持ち、鉛直方向を 52 層 (地表から高度 95km まで) に区切り、物理過程と力学過程を求めており、現実の金星大気で観測されたスーパーローテーションやハドレー循環を含む東西・南北風の再現に成功している。現段階のモデルでは、大気の放射加熱・冷却効果は Crisp[1986] および Pollack et al. [1993] の定義に基づき鉛直・水平方向に固定的に仮定された雲および分子の分布をもとに計算している。金星の高度約 50-70km に存在する硫酸雲は、放射効果により金星の垂直・水平温度構造に大きな影響を与えうるため、変化する雲分布と整合する放射効果の導入、雲形成に係る光化学過程等の導入は今後の課題としている。

このモデルを用いて、我々はこれまでに Crisp [1986] に提唱された 4 種類のモード (粒径が小さい順にモード 1 (0.3 um)、モード 2 (1.0 um)、モード 2' (1.4 um)、モード 3 (3.56 um)) の硫酸エアロゾルをトレーサーとして導入し、また硫酸の蒸発・凝縮過程を考慮することで、大気大循環と重力沈降によるそれらの動きを追跡する数値実験を試みた [加藤ら、日本地球惑星科学連合 2013 年大会発表]。それ以前の実験 [Kuroda M., 2013] では、モード 3 のような重い粒子に関しては

重力沈降が卓越し、観測結果と整合しない高度まで雲高度が降りてきてしまうという問題点があったが、この数値計算においては、高温である下層大気において硫酸エアロゾルが蒸発することにより、すべてのモードの高度分布が平衡状態に達していた。ただしこの計算においては、凝縮により生成される硫酸雲の粒径を4種類のモードに各高度における観測量の比に応じて割り振っていたため、雲粒径の連続的な時間変動は再現していなかった。

そこで本研究では、雲粒径の設定を変更して雲粒の成長過程を導入することにより、雲量と雲粒径の時空間変化の再現を試みる。新しい雲形成・移流モデルでは、各グリッド・層における雲の粒径を連続的に変化する代表的な1つの値(その場における雲粒径の平均値に相当)として定義し、それを重力沈降速度の計算に用いる。定義される粒径は、そのグリッド内に含まれる硫酸雲の混合比と数密度(これらの初期値は Haus and Arnold [2010] が示した各モードにおける分布の総和を使用する)から求まる。また雲粒の半径の単位時間あたりの変化量は、その半径に反比例し、また硫酸分子の拡散係数および硫酸気体の過飽和度に比例する。成長式で使用する硫酸の飽和蒸気量は、Kulmala and Laaksonen [1990] によって示された曲線を参照する。初期実験では、雲粒の成長は雲層において南北方向にほぼ一様にみられ、また4種類のモードの雲を導入しての実験と同様、赤道域と極域に硫酸雲がたまっていく様子が再現された。

今後は硫酸雲の時空間分布を決定する大気力学・放射・化学メカニズムの解明に向けて、さらなるモデルの改良と数値計算結果の解析を行っていく。本発表では主に、雲粒や硫酸蒸気の大気大循環や波動による移流の様子を示す予定である。