

## 硫酸雲輸送/蒸発/凝縮過程の金星 GCM への導入

## Development of a sulfuric acid cloud transfer/condensation/evaporation scheme in a Venusian GCM

加藤 史也<sup>1\*</sup>, 新田光<sup>2</sup>, 黒田剛史<sup>1</sup>, 黒田壮大<sup>1</sup>, 笠羽康正<sup>1</sup>, 高橋正明<sup>2</sup>Kato Fumiya<sup>1\*</sup>, NITTA, Akira<sup>2</sup>, KURODA, Takeshi<sup>1</sup>, KURODA, Morihiro<sup>1</sup>, KASABA, Yasumasa<sup>1</sup>, TAKAHASHI, Masaaki<sup>2</sup><sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup> 東京大学<sup>1</sup>Tohoku University, <sup>2</sup>University of Tokyo

我々は金星中層大気の大気循環および化学過程とそれらの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 に硫酸雲の蒸発/凝縮過程を導入し、硫酸雲量の緯度・高度分布について観測と整合する計算結果が得られたので、それを中心に紹介する。

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。この硫酸雲は、SO<sub>2</sub> が O や H<sub>2</sub>O と反応して H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> となり、これが雲粒 (硫酸エアロゾル) となることで生成される。過去の観測結果によると、硫酸エアロゾルはその粒径の大きさによって 4 つのモードに分類でき、粒径が小さい順にモード 1 (0.3 μm)、モード 2 (1.0 μm)、モード 2' (1.4 μm)、モード 3 (3.56 μm) とされている [Crisp, 1986]。モード毎に鉛直分布や熱の吸収効率が異なり、その緯度・高度分布を数値モデルで再現することは、金星大気の大規模循環を再現するための重要な要素となる。

我々は、Ikeda[2011] が地球の大気大循環モデル CCSR/NIES/FRCGC AGCM をもとに開発した VGCM を用いて金星大気の大気循環の研究を進めている。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、物理過程と化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。なお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されており、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である。

このモデルを用いて、Kuroda et al. [2013] では、各モードの硫酸エアロゾルをトレーサーとして導入し、大気大循環と重力沈降によるそれらの動きを追跡した。この数値実験では、小さな粒子 (モード 1,2) については高度分布が平衡状態に達するものの、大きな粒子 (モード 2',3) については重力沈降が卓越するため、1 金星日分計算すると高度 30km 付近まで高度分布のピークが下降してしまい、観測とかけ離れた結果になっていた。

このため本研究においては、このモデルにさらに硫酸の蒸発や凝縮の過程を含め、低高度の高温環境下での硫酸エアロゾルの蒸発と、上空での硫酸雲の凝縮を再現した。

この蒸発/凝縮過程は、硫酸の飽和蒸気圧曲線 [Ayers, 1980] を基にして計算されており、各地点における飽和質量混合比と、モデル内の質量混合比とを比較して、蒸発/凝縮を、次のような簡潔な仮定の下で決定している。すなわち、飽和質量混合比に対して、モデル内の質量混合比が過飽和であれば過飽和分を硫酸エアロゾルとして瞬時に凝縮させ、また未飽和であればその地点に存在する硫酸エアロゾルを瞬時に蒸発させる、というものである。前者において生成される硫酸エアロゾルは、観測 Crisp[1986] にもとづいた、各モードの高度ごとの存在比に準拠させて、4 つのモードに分配している。また後者においては、潜熱が生じて温度場に影響を与えるため、その温度変化を逐次近似法で求めることにより、計算過程にとりこんでいる。

この改良の結果、概ねどの緯度でも高度 50 km 以下ですべてのモードの硫酸粒子が蒸発するようになる。1 金星日分 (約 117 地球日) の経過後、モード 3 粒子は高度約 50 km で安定して存在するようになった。

またモード 2 粒子において、蒸発/凝縮過程を導入していないモデル [Kuroda et al., 2013] と比較したところ、赤道から中緯度にかけて高度 60-80km での硫酸エアロゾルの量が大きく減少し (質量混合比にして最大で  $-4.87 \times 10^{-7}$  kg/kg)、一方全域で高高度 (80km 以上)、高緯度では高度 60km 付近において、硫酸エアロゾルの量が増加した (最大で  $+4.37 \times 10^{-7}$  kg/kg)。これは、硫酸エアロゾルがより高温の赤道中層大気周辺で蒸発し、ハドレー循環により高高度領域や両極付近へ輸送されたうえで再凝結する過程が見えているものであると考えられる。これらの結果はいずれも観測と整合するものであり、より現実的になったと言える。

我々は今後、より観測結果に近い雲の緯度・高度分布の再現を目的とし、モデルの改良を行っていく。本発表においては、放射過程と雲形成に係る化学過程までを含めた計算結果の紹介を行う予定である。

キーワード: 金星, GCM, 硫酸雲, 大気物質循環

Keywords: Venus, GCM, sulfuric acid cloud, atmospheric material transport