

高精度雲微物理モデルを用いた金星雲の起源と生成消滅過程の研究

地球物理学専攻 博士課程後期3年 狩生宏喜

金星は大気の上層から下層に至るまで、硫酸を主成分とする分厚い雲とヘイズ（霧）に全体を覆われているが、それらがどのような「種」から形成され、いかなるプロセスで維持されているのかという根本的な問いは、惑星科学における長年の未解決問題であった。特に、雲粒子の核となる凝結核の供給源や、気体から粒子へと相変化する微物理的プロセスの詳細は、統一的な理解には至っていなかった。本研究は、気相中の化学反応からエアロゾルの生成・成長に至る一連の遷移過程を理論的に記述する先進的な微物理モデルを構築したものである。

研究の第一段階として、雲の空間分布を決定付ける支配要因の一つである「大気の輸送過程」の精緻化を試みた^[1]。雲やヘイズ、およびそれらの原料となる凝縮性物質の空間分布は、大気の乱れによる混合（渦拡散）に強く依存する。本研究では、独自に開発した微物理モデルによる計算結果と、歴代の金星探査機が得た観測データを詳細に比較検証し、渦拡散係数の高度分布を制約することに成功した。

次に、本研究の核心となる多成分雲微物理モデル「SPECK」を構築した^[2]。金星の大気中には、複数の成分からなる雲粒子と数種類の凝縮性蒸気が混在しており、それらが互いに影響を及ぼし合いながら、核形成、凝結成長、蒸発、衝突併合、および重力沈降といった複雑な微物理過程を経て進化する。本研究では、惑星雲のシミュレーションとして世界で初めて「移動中心ビン法」を導入し、微物理過程の計算誤差を大幅に抑制した。これにより、広範な粒径にわたる雲粒子の進化を、極めて高い精度かつ効率的な計算コストで追跡することが可能となった。

このSPECKモデルを実際の金星大気環境に適用した結果、長らく不明であった「下層ヘイズ」の起源に関する重要な知見が得られた。本研究では、宇宙空間から金星大気へと絶えず流入する流星由来の不揮発性物質が、雲形成の初期段階における凝結核として機能するプロセスをモデルに組み込んだ^[3]。その結果、従来のモデルでは説明が困難であった下層ヘイズ特有の粒径分布や有効半径といった物理量が、探査機による実測値と極めて高い整合性をもって再現されることを、世界に先駆けて実証した。これは、金星大気外からの物質流入が雲系の維持に不可欠な役割を果たしていることを強く示唆する結果である。

最後に、本研究は金星雲の生成・消滅に関する包括的な新シナリオを提示した。硫酸蒸気の均質核生成、硫黄同素体の蒸気、そして下層から湧昇してくるヘイズ粒子の三者が、雲の生成に対してそれぞれどの程度寄与しているのかを定量的に評価した。解析の結果、金星雲の生成プロセスにおいて最も支配的な役割を担っているのは硫黄同素体の均質核生成であり、全生成量の約80%がこの過程に起因することを明らかにした。

参考文献

- [1] Karyu, H., Kuroda, T., Imamura, T., Terada, N., Vandaele, A. C., Mahieux, A., & Viscardy, S. (2024). One-dimensional microphysics model of Venusian clouds from 40 to 100 km: Impact of the middle-atmosphere eddy transport and SOIR temperature profile on the cloud structure. *The Planetary Science Journal*, 5(3), 57.
- [2] Karyu, H., Kuroda, T., Mahieux, A., Viscardy, S., Määttänen, A., Terada, N., ... & Crucifix, M. (2025). A microphysics model of multicomponent Venus' clouds with a high - accuracy condensation scheme. *Earth and Space Science*, 12(6), e2025EA004203.
- [3] Karyu, H., Kuroda, T., Määttänen, A., Mahieux, A., Viscardy, S., Terada, N., ... & Crucifix, M. (2025). A cosmic origin of Venus' lower haze. *Nature Astronomy*, accepted