

データ解析とシミュレーションの融合による惑星気象の予測に向けた検討

代表者	杉本憲彦	慶應義塾大学・法学部日吉物理学教室
共同研究者	藤澤由貴子	慶應義塾大学・自然科学研究教育センター
	小守信正	慶應義塾大学・自然科学研究教育センター
	黒田剛史	東北大学・地球物理学専攻/惑星大気物理

1. はじめに

金星は高度 45-km 付近に存在する厚い雲層に覆われていて、その大気大循環の描像は未だ謎に包まれている。2015 年に金星探査機「あかつき」が金星軌道への再投入に成功し、現在も観測データが集積されているが、得られるデータは時空間的にまばらである。一方、大気大循環モデルで再現される金星大気の大気循環場は観測と必ずしも整合的でない。この溝を埋めるのがデータ同化である。我々の研究グループでは、これまで金星の大気大循環モデル「AFES-Venus(Atmospheric General Circulation Model for the Earth Simulator (AFES) for Venus)」を開発(Sugimoto+2014, Journal of Geophysical Research)し、世界初の金星大気データ同化システム「ALEDAS-V(AFES Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF) Data Assimilation System for Venus)」を構築(Sugimoto+2017, Scientific Reports)してきた。

本研究では、学術変革領域研究(A)「予測科学：：予測不可能を可能にする統合科学」として、令和6年度に応募予定(過去2回、書類審査を通過し、ヒアリング審査に進んだ経験がある)の計画研究「惑星表層環境の可能な姿を予測する」の代表を担当することを前提に、この大型研究費の獲得に向けた萌芽研究および将来検討を行った。まず、惑星気象学における同化データの有用性を示すため、金星探査機「あかつき」観測と金星大気大循環モデル「AFES-Venus」を融合したデータ同化プロダクト(客観解析データ)を作成し、論文化(プレスリリース)した。また、中間赤外カメラから導出される温度データの同化を念頭に、観測システムシミュレーション実験(OSSE)を行った結果を論文化した。さらに AFES-Venus の数値計算では、スーパーローテーションの水平粘性依存性を調べた結果や、熱潮汐波や短周期擾乱の解析結果を論文化した。

2. 研究内容

①ALEDAS-Vによる「あかつき」観測データ同化プロダクトの作成と公開

「あかつき」UVI画像から雲追跡法で導出された風速データを「AFES-Venus」に同化し、世界初となる客観解析データを作成、プレスリリースを行った(図1)。

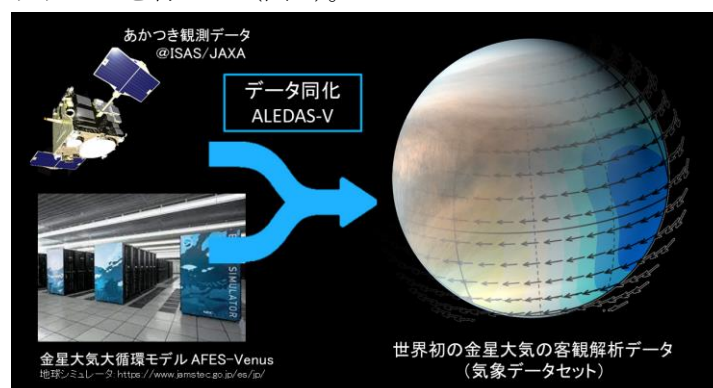


図1：金星大気初の客観解析データ作成のプレスリリースの概念図。

この客観解析データでは、極域のコールドカラーの再現性の向上がみられており、この解析結果を投稿中である。さらに、赤道域にはケルビン波も再現されており、この解析も進行中である。

②AFES-Venus による数値実験

大気安定度と太陽加熱分布の改良により、金星探査機「あかつき」の中間赤外観測結果と整合的な熱潮汐波の再現に成功した(図 2)。また、熱潮汐波は熱や角運動量の南北輸送も担っていることが分かった。これにより大気安定度分布は、熱潮汐波を介してスーパーローテーションの強さに影響を与えることが示唆された。また、様々な短周期の波動が存在しており、スーパーローテーションとの関係を現在、調査中である。

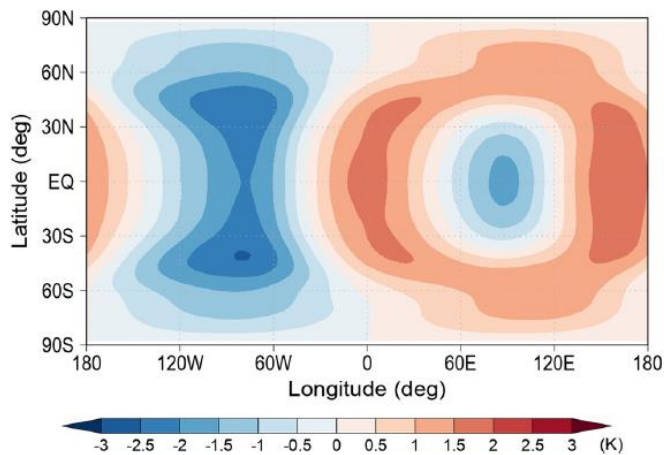


図 2：改良版 AFES-Venus で計算された輝度温度の擾乱成分（東西平均からのずれ）の水平構造。あかつき中間赤外カメラで想定される加重関数を用いた鉛直積算値。

③ALEDAS-V による観測システムシミュレーション実験（OSSE）

あかつき中間赤外カメラから導出される温度データを想定した観測システムシミュレーション実験（OSSE）を行った。その結果、熱潮汐波の位相が温度のみならず風速場においても改善された(図 3)。また大気大循環へのインパクトの調査も行い、熱潮汐波を介して全球的な風速場が修正されることがわかった。

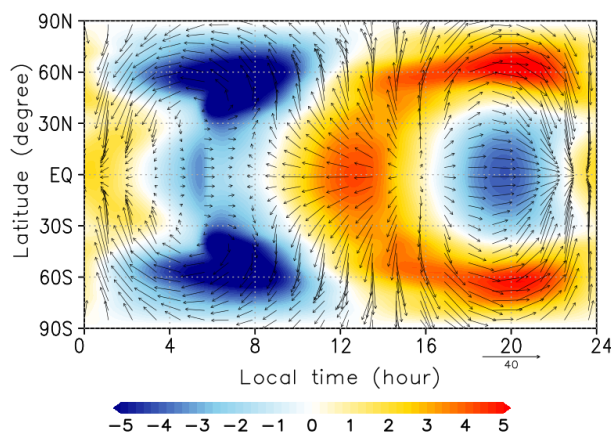


図 3：毎時のあかつき中間赤外カメラの昼面観測を想定した OSSE で計算された水平風（m/s, 矢印）と温度（K, 色）の擾乱成分の水平構造。対数シグマ高度 70 km の合成図。

今後は、あかつきの温度観測データの同化に着手し、疑似観測データによる OSSE も継続することで、金星大気現象の理解を深めていくのみならず、火星のデータ同化にも着手する予定である。

3. 主要成果

- ✓ Sugimoto, N., Y. Fujisawa, N. Komori, 他 3 名, **Super-rotation independent of horizontal diffusion reproduced in a Venus GCM**, *Earth, Planets and Space*, Vol.75, (2023), 44.
- ✓ Karyu, H., T. Kuroda, N. Sugimoto(7 番目), 他 9 名, **Vertical-Wind-Induced Cloud Opacity Variation in Low Latitudes Simulated by a Venus GCM**, *Journal of Geophysical Research: Planets*, vol.128, (2023), e2022JE007595.
- ✓ Sugimoto, N., Y. Fujisawa, N. Komori, 他 3 名, **Akatsuki LIR observing system simulation experiments evaluated by thermal tides in the Venus atmosphere**, *Geoscience Letters*, Vol.9, (2022), 44.
- ✓ Fujisawa, Y., N. Sugimoto(3 番目), 他 10 名, **The first assimilation of Akatsuki single-layer winds and its validation with Venusian atmospheric waves excited by solar heating**, *Scientific Reports*, Vol.12, (2022), 14577, 11pp. プレスリリース.
- ✓ Suzuki, A., N. Sugimoto(5 番目), 他 4 名, **A sensitivity study of the thermal tides in the Venusian atmosphere: their structures and dynamical effects on the superrotation**, *Journal of Geophysical Research: Planets*, Vol.127, (2022), e2022JE007243.
- ✓ Takagi, M., N. Sugimoto(3 番目), 他 2 名, **A GCM Study on the 4-Day and 5-Day Waves in the Venus Atmosphere**, *Journal of Geophysical Research: Planets*, Vol.127, (2022), e2021JE007164.
- ✓ Ando, H., N. Sugimoto(4 番目), 他 11 名, **Dynamical effect on static stability of the Venus atmosphere simulated using a general circulation model: A comparison with radio occultation measurements**, *Journal of Geophysical Research: Planets*, Vol.127, (2022), e2021JE006957.
- ✓ Sugimoto, N., Y. Fujisawa, N. Komori, H. Ando, M. Takagi, H. Kashimura, Y. Matsuda, AFES-Venus team, and ALEDAS-V team, **Introduction of AFES-Venus (Venus GCM) and ALEDAS-V (AFES LETKF Data Assimilation System for Venus)**, *The 5th R-CCS International symposium*, RIKEN Center for Computational Science (R-CCS), Kobe, Feb., 2023. (Invited talk)
- ✓ Sugimoto, N., Y. Fujisawa, N. Komori, H. Ando, M. Takagi, H. Kashimura, Y. Matsuda, AFES-Venus team, and ALEDAS-V team, **Introduction of AFES-Venus (Venus GCM) and ALEDAS-V (AFES LETKF Data Assimilation System for Venus)**, *Venus Science Conference 2022*, Sep., 2022 (Invited talk, online).