

# 金星大気客観解析データセット「ALERA-V」を一般公開

—金星探査機「あかつき」の観測を世界初の「標準データ」として公開へ。

地球並みの詳細な気象解析を可能に—

慶應義塾大学自然科学研究教育センターの藤澤由貴子研究員、同大学法学部の杉本憲彦教授、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）の村上真也主任研究開発員、京都産業大学理学部の高木征弘教授、東京大学大学院新領域創成科学研究科の今村剛教授、神戸大学大学院理学研究科のはしもとじょーじ教授、樫村博基准教授、林祥介名誉教授、国立研究開発法人理化学研究所計算科学研究センターの三好建正チームプリンシパルらの研究チームは、金星探査機「あかつき」(※1)の観測データとスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」(※2)を用いた数値シミュレーションを融合させた、金星大気客観解析データセット（気象データセット）(※3)「ALERA-V version 1.0」を構築・公開しました。

本研究チームは 2022 年に、地球の気象予報や気象学研究で用いられているデータ同化手法(※4)を金星大気大循環モデル(※5)に導入し、「あかつき」による高解像度・高頻度の水平風速データを数値モデルに取り込むことに成功しています。今回の論文では、本データセットの作成手法、品質評価、データ形式および利用方法を詳細に記述し、世界中の研究者が即座に高度な解析を行える「オープンな標準データセット」として構築しました。地球や火星以外の惑星において、全球規模の客観解析データセットが一般公開されるのは世界初の試みです。

本データの公開により、地球大気に対して行われてきた詳細な気象構造の解析手法が、金星においても可能となり、金星大気の力学的な仕組みの解明が大きく進展することが期待されます。本研究成果は、データ論文として国際学術雑誌『Geoscience Data Journal』に 2026 年 5 月 12 日付でオンライン掲載されました。なお、データセット本体は JAXA のデータ公開サイト「DARTS」から参照できます。

## 1. 本研究のポイント

- ・ **世界初のオープンデータ化**：金星探査機「あかつき」の観測データと数値シミュレーションを融合した、世界初の金星大気客観解析データセット「ALERA-V version 1.0」を一般公開
- ・ **金星気象の標準物差しを構築**：データセットの作成手法、品質評価、データ形式、利用方法を詳細に記述し、世界中の研究者が利用可能な研究基盤を整備
- ・ **研究・探査のプラットフォーム**：本データの活用により、金星大気の長期変動の解明や、将来の金星探査機（気球や着陸機）の運用・軌道設計など、科学と工学の両面で研究が加速

## 2. 研究背景

金星は「地球の双子星」と称されるように、大きさや平均密度が太陽系内で最も地球に近い惑星です。しかし、金星大気の循環や温度構造は地球大気と大きく異なっています。特に、大気全体が惑星の自転速度を上回るほど高速回転しており、上層大気では赤道付近の風速が時速約 360 km に達し、惑星の自転速度の約 60 倍にもなります。「大気スーパーローテーション」と呼ばれるこの現象については、近年の「あかつき」の観測によって理解が進みつつありますが<sup>(1)</sup>、なぜ高速循環が長期間維

持されるのか、どのように時間変動するのか、また、波動と大気循環がどのように相互作用しているのかなど、未解明な課題が数多く残されています。金星は全球が厚い硫酸雲に覆われているため、大気内部の運動を直接観測することが困難であるため、金星大気の運動や時間変動の全体像の把握は不十分なままでした。

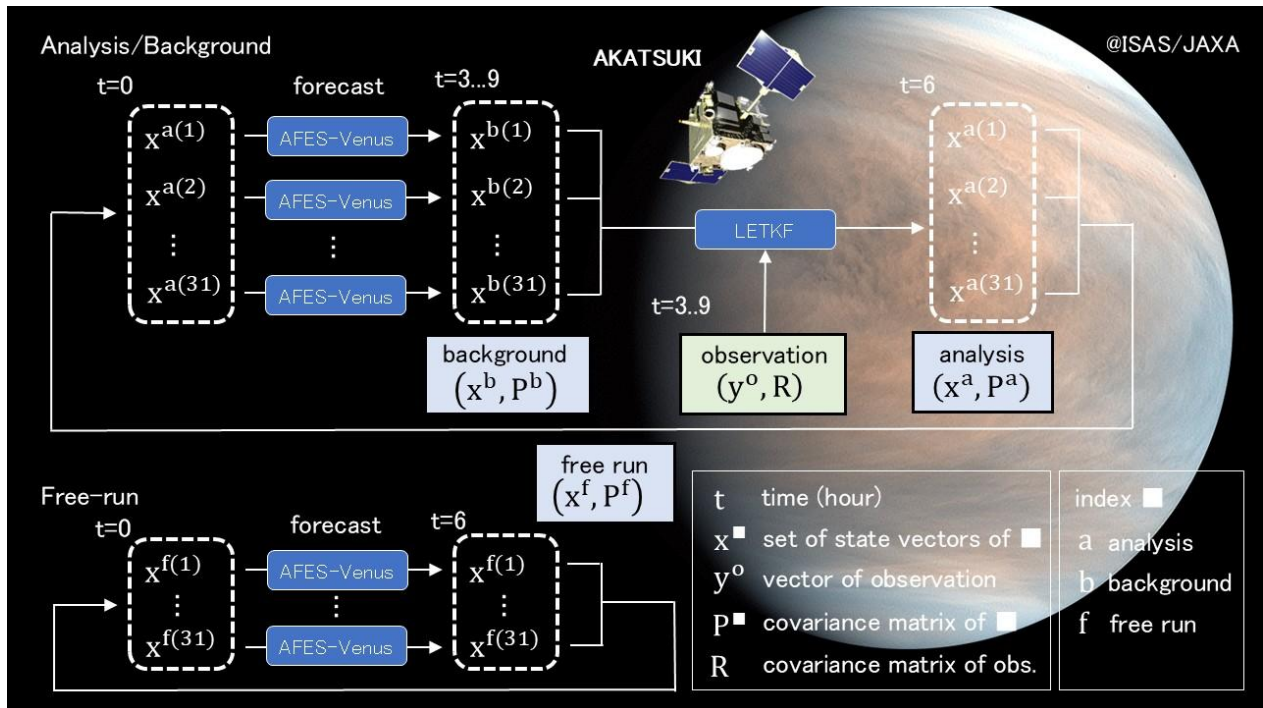
地球や火星においては、観測データと数値シミュレーションを融合した客観解析データが既に数多く作成・公開され、それらを用いた研究が盛んに行われています。一方、金星は観測が限られていることなどから、地球や火星に比べて観測研究や数値シミュレーション研究が難しく、個別の研究には限界がありました。研究チームは 2022 年に「あかつき」の観測データを用いたデータ同化に成功しましたが、金星大気の解析のためには、誰もがアクセス可能で信頼性の高い「客観解析データ（標準データ）」の構築・共有が不可欠と考え、今回のデータ公開に至りました。

### 3. 研究内容・成果

本研究で公開したデータ ALERA-V (AFES-LETKF experimental ensemble objective (re)analysis for the Venus atmosphere) は、金星大気データ同化システム「ALEDAS-V」<sup>(2)</sup> を用いて金星探査機「あかつき」の観測から得られた水平風速データを、大気大循環モデル「AFES-Venus」<sup>(3)</sup> に同化<sup>(4)</sup>させたものです。データ同化のための膨大な計算処理には、国立研究開発法人海洋研究開発機構のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を使用し、大規模なデータ同化計算を実施しました。

ALERA-V は、高度 0km から 120km までの金星全球を網羅し、空間的・時間的に連続して表現した格子点データです。従来の観測データには時空間的な偏りがありましたが、ALERA-V では、断片的な観測情報から、物理法則に基づく連続的な「大気の流れ」を再構成した客観解析データを実現しました。

本論文では、データセットの作成手法、データ形式、品質管理、および具体的な活用方法に至るまで詳細に解説しており、世界中の研究者がすぐに利用できる環境を整えました。これにより、あたかも地球の天気図を解析するように、金星の風速や温度の三次元構造を 6 時間おきに分析することが可能となり、国際的な研究コミュニティにおけるデータの再利用性を大幅に向上させるものです。



▲あかつきの観測データ (observation) と AFES-Venus による数値シミュレーションの予報データ (forecast) を、データ同化手法 LETKF により統合するしくみ。金星大気により「確からしい」状態 (analysis) を時空間的に再構成した客観解析データ ALERA-V の公開は、世界初の金星大気のオープンデータ化である。

#### 4. 今後の展開

今回の ALERA-V の公開は、金星大気研究における共通の研究基盤を確立する極めて重要なステップです。標準的なデータセットが整備されたことで、金星大気の力学的な仕組みの理解がさらに進展すると期待されます。

現在公開されているデータは 2018 年の特定期間を対象としていますが、今後は「あかつき」の全観測期間 (10 年以上) を網羅する長期データセットの構築や、赤外線などの他波長観測データの統合、さらなる高解像度化を進めていきます。このようなオープンサイエンスの取り組みを継続することで、金星大気の時空間変動や三次元構造のより詳細な解析が可能となります。また、本研究から得られる知見は、次世代の惑星探査に向けた信頼性の高い環境予測や、より高度な観測計画の策定への貢献が期待されます。

本研究は、海洋研究開発機構の地球シミュレータ公募課題「AFES を用いた金星・火星大気循環の全球高解像度計算とデータ同化」、JSPS 科研費 JP23H00150、JP23H01249、JP20K04064、JP25K01051、JP24H00021、JP25K07402、JP19H05605、東北大学 PPARC 共同研究プログラム、九州大学応用力学研究所共同研究プログラムの助成をうけて実施されました。

<参考文献>

- (1) How waves and turbulence maintain the super-rotation of Venus' atmosphere, T. Horinouchi, Y.-Y. Hayashi, S. Watanabe, M. Yamada, A. Yamazaki, T. Kouyama, M. Taguchi, T. Fukuhara, M. Takagi, K. Ogohara, S.-y. Murakami, J. Peralta, S. S. Limaye, T. Imamura, M. Nakamura, T. M. Sato, T. Satoh, *Science*, Vol.368, Issue.6489, (2020), p405–409.
- (2) Development of an ensemble Kalman filter data assimilation system for the Venusian atmosphere, N. Sugimoto, A. Yamazaki, T. Kouyama, H. Kashimura, T. Enomoto, and M. Takagi, *Scientific Reports*, Vol.7, (2017), 9321.
- (3) Baroclinic modes in the Venus atmosphere simulated by GCM, N. Sugimoto, M. Takagi, and Y. Matsuda, *Journal of Geophysical Research: Planets*, Vol.119, (2014), p1950–1968.
- (4) The first assimilation of Akatsuki single-layer winds and its validation with Venusian atmospheric waves excited by solar heating, Fujisawa, Y., Murakami, Sy., Sugimoto, N, Takagi, M., Imamura, T., Horinouchi, T., Hashimoto, G. L., Ishiwatari, M., Enomoto, T., Miyoshi, T., Kashimura, H., Hayashi, Y.-Y. *Scientific Reports*, Vol.12, (2022), 14577.

<原論文情報>

“ALERA-V version 1.0: an objective analysis dataset of the Venus atmosphere”,  
Yukiko Fujisawa, Shin-ya Murakami, Norihiko Sugimoto, Nobumasa Komori, Masahiro Takagi,  
Takeshi Imamura, Takeshi Horinouchi, George L. Hashimoto, Masaki Ishiwatari, Takeshi  
Enomoto, Takemasa Miyoshi, Hiroki Kashimura, Toshiki Matsushima, Yoshi-Yuki Hayashi,  
*Geoscience Data Journal*  
doi: 10.1002/gdj3.70080

<データセット情報>

“ALERA-V version 1.0: an experimental objective analysis dataset of Venus atmosphere”  
Yukiko Fujisawa, Shin-ya Murakami, Norihiko Sugimoto, Nobumasa Komori, Masahiro Takagi,  
Takeshi Imamura, Takeshi Horinouchi, George L. Hashimoto, Masaki Ishiwatari, Takeshi  
Enomoto, Takemasa Miyoshi, Hiroki Kashimura, Toshiki Matsushima, Yoshi-Yuki Hayashi,  
Zenodo  
doi: 10.5281/zenodo.14799183

<データセット取得先>

ISAS/JAXA DARTS (Data ARchives and Transmission System)  
「あかつき」データ同化データアーカイブ  
URL: [https://darts.isas.jaxa.jp/missions/akatsuki/da\\_ja.html](https://darts.isas.jaxa.jp/missions/akatsuki/da_ja.html)

<用語説明>

※1 あかつき

日本の金星探査機。金星大気の謎を解明することを目的として開発され、日本の惑星探査機として初めて地球以外の惑星の周回軌道への投入に成功した。2010年5月21日に打ち上げられたが、同年12月7日

の金星周回軌道投入には失敗し、その後は太陽周回軌道で運用された。2015年12月7日に2度目の試みで金星周回軌道投入を成功させ、2024年まで観測を実施した。複数の波長帯で観測可能なカメラを搭載し、金星大気の大気構造や時間変動の観測を行っている。長期にわたり観測を継続し、金星大気への理解に大きく貢献してきた。

## ※2 地球シミュレータ

海洋研究開発機構（JAMSTEC）が運用するスーパーコンピュータ。地球全体の気候変動や大気・海洋循環などを高精度にシミュレーションするために開発され、地球科学分野における大規模数値計算の基盤として広く利用されている。

## ※3 客観解析データ

データ同化により、数値シミュレーションモデルと観測データを統合して得られるデータセット。地球においては「再解析データ」とも呼ばれ、気象機関などによって全球規模の気候・大気状態の推定データとして公開・提供されている。

## ※4 データ同化

数値シミュレーションモデルに観測データを統合し、より現実に近い状態を推定する手法。地球では主に天気予報や季節予報の初期値作成に用いられ、予測精度の向上に貢献している。本研究では、観測によってしか得られない金星大気の情報をもモデルに組み込むことで、観測が困難な領域（高度・緯度経度・時間）における大気状態の推定や未知現象の解明を目指している。このために、海洋研究開発機構の地球大気大循環モデル AFES（Atmospheric general circulation model for Earth Simulator）および同化手法 LETKF（Local Ensemble Transform Kalman Filter）を金星に適用し、スーパーコンピュータ「地球シミュレータ」上で実行する金星大気大循環モデル AFES-Venus と金星データ同化システム ALEDAS-V を開発した。

## ※5 大気大循環モデル

流体力学や熱力学の方程式に基づき、大気の流れや温度・湿度の変化を数値的に計算するためのコンピュータモデル。数日から年々変動といった時間スケールの大気現象をシミュレーションし、そのメカニズムの理解や予測可能性の評価に用いられる。