

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 (nori@a2.keio.jp)
 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 (yukiko@gfd-dennou.org)
 黒田剛史 東北大学・地球物理学専攻/惑星大気物理 (tkuroda@tohoku.ac.jp)

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)の計画研究班として、令和4年度の研究費に応募(書類審査を通過し、ヒアリング審査を準備)中の研究課題「惑星表層環境の可能な姿を予測する」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、この初期解析を行った。また、超高解像度の AFES-Venus の数値計算により、熱潮汐波からの重力波放射を初めて見出した。さらに探査機によるカメラ観測を想定した観測システムシミュレーション実験(OSSE)も行っている。

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

「あかつき」観測データとして、UVI 画像から雲追跡法で導出された風速データを「AFES-Venus」に同化した。その結果、熱潮汐波の位相が改善されたのみならず、全球の風速場が大きく改善した(図1)。

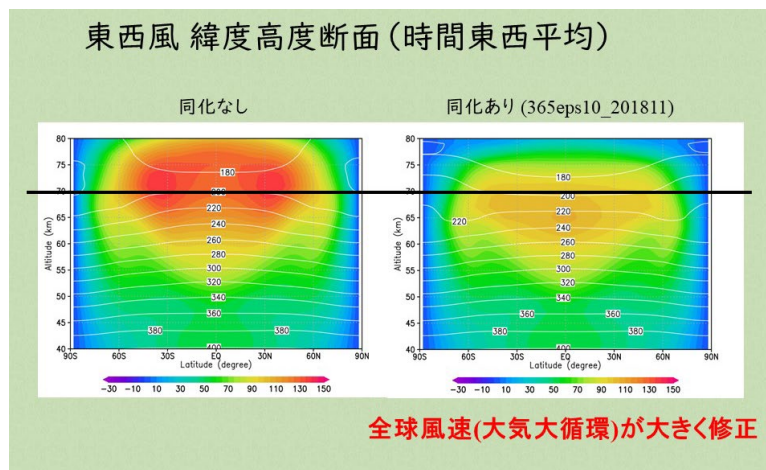


図1：東西平均風速(m/s、色)と温度(K、等値線)の緯度高度断面：(左)同化なし、(右)あかつき UVI 風速の同化

さらに温度場では、極域のコールドカラーの再現性の向上がみられている。赤道域にはケルビン波も再現されているようで、今後はこれらの解析を行う。

②AFES-Venusによる高解像度実験

世界最高解像度となる T639L260(1920×960×260)の数値実験を実施した。熱潮汐波の有無による小規模重力波の発生の違いを検討するため、太陽加熱の設定を変更した2種類の実験を実施した。その結果、熱潮汐波からの自発的な重力波放射が示され(図2)、地球と同じようなジェット出口での励起メカニズムが働くことが明らかになった(Sugimoto+2021, Nature Communications)。あかつき電波掩蔽観測の結果からも、雲層上部で重力波の存在が示唆されている。

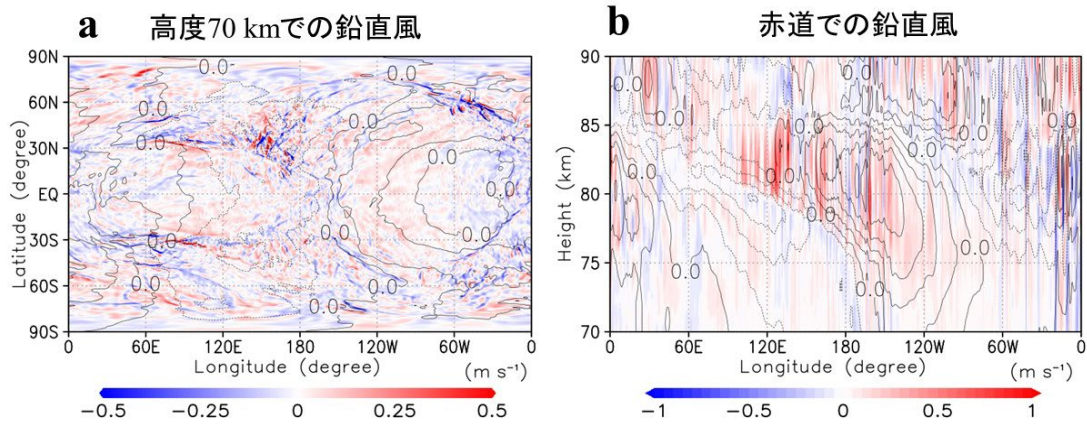


図2：高解像度計算による鉛直速度(m/s、色)とジオポテンシャル擾乱(m^2/s^2 、等値線)の瞬間場。(a)高度70 kmの水平断面。(b)赤道上の経度高度断面。(a、b)とも熱潮汐波を含む計算の結果。

③ALEDAS-Vによる観測システムシミュレーション実験(OSSE)

惑星規模波動を風速データ同化によって再現するために必要な観測頻度を調べるため、観測システムシミュレーション実験を実施した。雲追跡によって得られる風速の水平分布を想定して、疑似観測データを線形の3次元波伝播モデルを用いて作成し、現実的な観測条件で赤道ケルビン波の再現を目指した。さらにケルビン波の運動量輸送も定量的に見積もった(Sugimoto+2022, Atmosphere)。

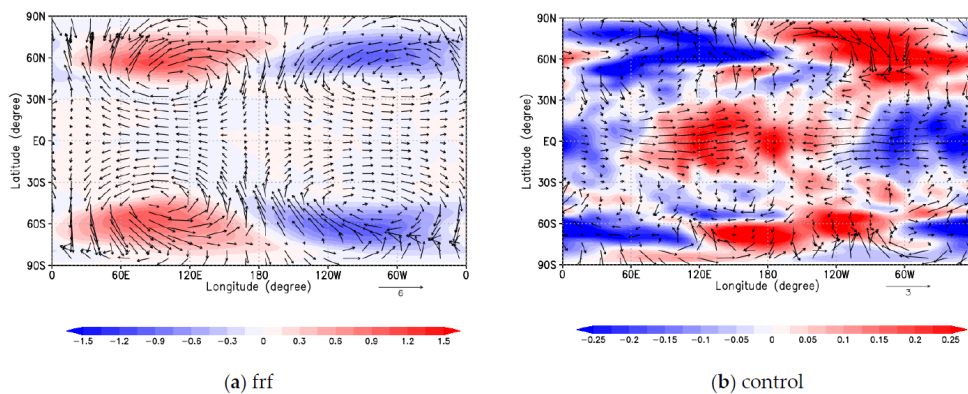


図3：高度70kmの水平断面。風速(m/s、矢印)と温度(K、色)擾乱のコンポジット図。(a)同化なし、5日周期のロスビー波、(b)同化あり、4日周期のケルビン波、をそれぞれ取り出している。

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、金星大気の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

- ✓ 杉本憲彦, 藤澤由貴子, 安藤紘基, 高木征弘, AFES-Venus チーム, ALEDAS-V チーム, 一番星へ行こう！日本の金星探査機の挑戦 その 49「金星大気初のデータ同化への挑戦：あかつき観測と数値計算の融合」, 遊・星・人, 日本惑星科学会, Vol.31, No.1, (2022), p88-93.
- ✓ Sugimoto, N., Y. Fujisawa, 他 7 名, Kelvin wave and its impact on the Venus atmosphere tested by observing system simulation experiment, *Atmosphere*, Vol.13, No.2, (2022), 182, 13pp, doi:10.3390/atmos13020182. Selected as the journal issue cover.
- ✓ 杉本憲彦, 藤澤由貴子, 安藤紘基, 高木征弘, AFES-Venus チーム, ALEDAS-V チーム, 金星大気大循環モデルとデータ同化システムの紹介, 第 23 回 惑星圏研究会, 東北大学青葉キャンパス, 宮城, 2022 年 2 月 (招待講演, オンライン).
- ✓ Yamamoto, T., Y. Fujisawa(7 番目), N. Sugimoto(8 番目), 他 8 名, 惑星大気の衛星間電波掩蔽観測のための最適軌道に関する研究(Orbit Design Optimization for Planetary Crosslink Radio Occultation), 日本航空宇宙学会論文集(*Journal of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences*), 69 巻, 5 号, (2021), p179-186, doi:10.2322/jjsass.69.179.
- ✓ Sugimoto, N., Y. Fujisawa, T. Kuroda(5 番目), 他 4 名, Generation of gravity waves from thermal tides in the Venus atmosphere, *Nature Communications*, Vol.12, (2021), 3682, doi:10.1038/s41467-021-24002-1. Featured on Editors' Highlights webpage in Astronomy and planetary science. プレスリリース.
- ✓ Ando, H., N. Sugimoto(4 番目), 他 4 名, Quasi-periodic variation of the lower equatorial cloud induced by atmospheric waves on Venus, *Journal of Geophysical Research: Planets*, Vol.126, (2021), e2020JE006781, doi:10.1029/2020JE006781.