

惑星気象研究センター活動報告

平成 30 年 4 月 19 日受付

高 木 征 弘*
高 谷 康 太 郎*
佐 川 英 夫*
安 藤 紘 基*
鈴 木 杏 那†

要 旨

金星や火星・木星など、太陽系惑星のほとんど惑星には大気が存在し、そこでは地球の気象学では説明できない多彩な大気現象が生じている。地球や惑星の大気現象とその表層環境を統一的に理解すること、それによって地球に対する理解を深め、地球環境の普遍性と特殊性を明らかにすることが、比較惑星気象学の目標である。その第一歩として、総合学術研究所・惑星気象研究センターでは、理論モデルと観測データを最大限に活用した惑星大気の研究手法を確立することにより、金星気象システムの全体像を解明することを目指している。本報告では、平成 29 年度における本センターの研究成果について概説する。

キーワード：惑星気象学, 惑星大気科学, 金星大気スーパーローテーション, 金星気象衛星あかつき, データ同化

1 惑星気象研究センターの概要

太陽系のほとんどの惑星と一部の衛星には大気が存在し、そこでは地球の常識からは想像もつかないさまざまな大気現象が生じている。大気全体が自転の 60 倍もの速さで高速回転している金星の大気スーパーローテーションや、惑星規模の風の分布と密接に結びついた木星や土星の縞模様はその代表例である。2015 年 12 月には日本の金星探査機「あかつき」が金星周回軌道からの詳細観測を開始し、国内外で惑星気象に対する関心が高まっている。近年では、太陽系以外の恒星系にも多くの惑星（系外惑星）が発見され、宇宙生命の存在に対する興味から、系外惑星の表層環境やハビタブルゾーン（生命の存在可能領域）の解明も大きな課題となりつつある。

しかしながら、従来の気象学では地球以外の惑星における大気現象の多くを説明できず、系外惑星の大気・表層環境やハビタビリティを予言することができない。気象学の対象を地球から太陽系の惑

* 京都産業大学理学部宇宙物理・気象学科, 惑星気象研究センター

† 京都産業大学大学院理学研究科

星や衛星、さらには系外惑星にまで広げ、諸惑星の気象とその表層環境を統一的に理解すること、それによって地球に対する理解を深め、地球環境の普遍性と特殊性を明らかにすることが、強く求められている。

惑星気象研究センターは、理論モデルと観測データを最大限に活用した惑星大気の研究手法を確立し、惑星気象全体の理解に向けた、汎惑星気象学の確立を目指すことを目的として、総合学術研究所に設置された研究センターである。本研究センターが現在主な研究対象としている金星は、自転が周期 243 日と遅く、温室効果気体（二酸化炭素）を主成分とする非常に厚い大気（地表面気圧は約 92 気圧）をもっており、地球とは対照的な環境を備えている。また、宇宙生命の発見が期待される地球型系外惑星のモデルとしても重要である。金星は、自転速度や大気量・太陽放射量の違いなどが大気循環に与える影響を考察し、比較惑星気象学を推進するための最良のモデルである。

これまで、金星大気中に存在する熱潮汐波 (Takagi and Matsuda, 2005, 2006, 2007; Takagi et al., 2018) や傾圧不安定波 (Sugimoto et al., 2014a, 2014b)、順圧不安定波、極渦中に存在する特異な構造をもった大気擾乱 (Ando et al., 2017)、温かい極を取り囲むように存在している周極低温域 (Ando et al., 2016) など、いくつかの大気現象の成因や維持メカニズムを明らかにしてきたが、大気スーパーローテーションの根本的な原因については研究の進捗が遅れていた。そこで本研究センターでは、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) を始めとする国内外の研究機関と協力しながら、金星の気象システムを構成する力学過程、雲物理・光化学過程、放射輸送過程の包括的な理論・数値モデルを構築し、さらに最新のデータ同化手法を用いて金星探査機「あかつき」や Venus Express の観測データと統合することにより、金星気象システムの全体像を解明することを目指している。

本研究センターでは、惑星気象研究を通じ、学内における研究の活性化や学外との研究協力を推進することも重要であると考えている。

2 今年度の研究成果

(1) 金星雲物理モデルの開発

金星の高度 45-70km には硫酸エアロゾルを主体とする雲が存在し、それによって惑星全体が覆われている。金星の硫酸雲は太陽放射の吸収・散乱・反射や高温の下層大気からの熱放射の吸収などを通じて、金星全体の熱バランスをコントロールしており、金星の大気循環と表層環境を考える上で極めて重要である。また、Venus Express やあかつきなどの金星探査機が観測する金星画像は各高度における雲の様態であり、探査機観測と大気大循環モデル (GCM) の数値シミュレーション結果を直接比較し、データ同化で利用可能とするために、GCM に現実的な雲物理過程を導入することが必要とされている。

従来、金星の雲物理過程は鉛直 1 次元ないしは子午面内の南北・鉛直 2 次元モデルによって研究されてきた (Imamura and Hashimoto, 1998, 2001; Hashimoto and Abe, 2001)。これらの先行研究では、モデル設定の制約や観測データの不足から、非現実的な鉛直分布や子午面循環が仮定された。しか

しながら、金星雲層高度の子午面循環が非常に弱いことや、物質循環に対する熱潮汐波（特に夜昼間対流）の重要性などが指摘されており（Takagi et al., 2018）、惑星規模の雲構造を理解するには GCM を用いて雲の生成・移流・消滅を調べることが本質的に重要である。

今年度はまず、我々が開発している金星大気大循環モデル（AFES-Venus）に組み込み可能な金星雲物理モデルの定式化と、さらに AFES-Venus への実装を行った。以下にこの雲物理モデルの概略を述べる。硫酸ガスは金星昼面の高度 64km 付近で光化学的に生成される。水蒸気は下層大気から供給されるが、地表面と大気間の収支や詳しい鉛直分布がわかっていないため、高度 30km 以下では一定の濃度（30ppmv）を仮定した。したがって、モデル中で水蒸気は 30km 以下の下層大気から大気循環によって上層に輸送される。硫酸エアロゾルは硫酸ガスと水蒸気から作られる。硫酸ガスと水蒸気の飽和蒸気圧は温度と硫酸エアロゾルの濃度に依存するため、硫酸エアロゾルの濃度は高さによって変化する（Hashimoto and Abe, 2001）。しかしながら、本研究では雲の生成・消滅過程に対する大気運動の影響に焦点をあてるため、硫酸エアロゾルの濃度を 85% に固定し、この依存性を無視した。また、雲粒の落下速度や数密度は Pioneer Venus の観測結果（Knollenberg and Hunten, 1980）に基づく雲の粒径分布を仮定することによって評価する。

さらに、以上のように定式化された雲物理モデルを AFES-Venus に実装した。雲のない状態を初期状態として、T42L60 の解像度（水平方向には球面調和関数の 42 モードで関数展開、鉛直方向には 60 層で差分化）で 15 地球年ほど数値積分した結果、(1) Imamura and Hashimoto (1998) で指摘された低緯度下部雲層への雲の濃集はほとんどみられなかったが、(2) 極域下部雲層に顕著な濃集がみられた。(1) の違いは Imamura and Hashimoto (1998) が仮定した強い子午面循環に原因があると考えられる。すなわち、彼らのモデルでは低緯度では子午面循環に伴う強い上昇流によって雲粒の落下が妨げられ、下部雲層で雲が濃集する。(2) については現在解析を進めているところであるが、近赤外を用いた地上観測の結果（e.g., Crisp et al., 1991）や Venus Express の電波掩蔽観測によって得られた硫酸ガスの分布は、極域に雲が濃集していることを示唆しており、こうした観測結果と整合的である。予備的な数値実験によって得られた結果は、地球大気におけるオゾン分布と同様、金星雲分布に対する大気循環の重要性を示唆した結果であると考えられる。

今後は、これまでに得られた成果を研究論文としてまとめるとともに、大気循環が雲の生成・消滅過程に与える影響を詳しく調査する予定である。

(2) 金星大気用データ同化システムの開発

データ同化とは、風速や温度・湿度といった観測データを数値シミュレーションに取り込むことにより、シミュレーションの結果の信頼性を向上させる手法である。地球の気象学では、台風の進路や集中豪雨の予測精度向上、再解析データの作成など、幅広い領域で活発な研究・応用が行われている。惑星分野でも、観測データの豊富な火星について、データ同化による火星気象システムの再解析データがフランス気象力学研究所（LMD）によって作成・配布されている。一方、金星についてはこれ

まで観測データが少なく、GCMもデータ同化に耐えうる水準ではなかったため、データ同化の実践はまだ先の問題と考えられていた。

これに対して我々は最近、AFES-Venusの高解像度計算にあかつき観測との驚くべき類似性を示す画像パターンを見出した(Kashimura et al., submitted)。現在のAFES-Venusに放射輸送過程は含まれておらず、得られる物理量は観測画像とは異なるものの、あかつきが新たにもたらした雲層下の描像と高解像度計算結果との類似性は、データ同化に耐えられる構造的な真実が数値計算に含まれていることを示唆している。AFES-Venusを基盤とする金星データ同化システムを開発し、あかつき観測データに対してデータ同化の手法を適用することにより、金星大気循環の全体像を再現し、金星大気循環の理解を格段に進めることができる可能性が見出されたわけである。

そこで今年度は、地球気象で広く利用されているデータ同化手法の一種であるLETKF (local ensemble transform Kalman filter) をAFES-Venusに組み込み、世界初の金星大気データ同化システムの開発を進めた(Sugimoto et al., 2017)。作成したデータ同化システムの有効性を検証するため、いくつかの数値実験を行ったところ、(1) 同化データに含まれる熱潮汐波によってGCM中に観測と整合的な熱潮汐波構造が再現された。(2) さらに、Venus Expressの雲追跡風データ(Kouyama et al., 2013)を同化した結果、不完全ではあるがGCM中に熱潮汐波構造が現れることを確認できた。あかつきによる観測データはVenus Expressのものより時空間的に密なデータなので、あかつきデータを同化することにより、数値シミュレーションの信頼性の向上が見込まれる。

今後はJAXAを中心とするあかつきプロジェクトと協力し、データ同化に最適化した観測の実施を予定している。また、データ同化の有効性を評価する手法であるEFSO (ensemble forecast sensitivity to observation) をデータ同化システムに導入し、JPL/NASAなどとも協力して将来の惑星探査計画に対する情報提供なども行う予定である。

(3) 熱潮汐波の数値的・観測的研究

熱潮汐波とは太陽加熱によって励起される大気波動である(月や太陽の重力による潮汐とは無関係である)。金星大気中では主に内部重力波(大気の安定成層が復元力となって励起される波のことで、宇宙物理学の重力波とは無関係である)によって構成される。

金星の熱潮汐波については比較的以前から研究が行われ、Pioneer Venusの観測結果との比較や、大気スーパーローテーション生成の可能性などが議論されてきた(Fels and Lindzen, 1974; Plumb, 1975; Pechmann and Ingersoll, 1984; Newman and Leovy, 1992; Takagi and Matsuda, 2005, 2006, 2007)。しかしながら、熱潮汐波に伴う風速や温度偏差の3次元構造に関する研究は詳しく行われておらず、Venus Expressやあかつき観測データから雲頂付近(高度約70km)の風速分布を解釈する上で問題があった。

本研究ではまず、AFES-Venusの数値シミュレーションデータを解析し、熱潮汐波に伴う風速と温度偏差の3次元構造を詳しく解析した(Takagi et al., 2018)。その結果、以下のようなことが明らか

かにされた。(1) 雲層高度における熱潮汐波の風速と温度分布は緯度と経度（ローカルタイム）に複雑に依存する。これは東西波数1-4を持つ熱潮汐波の各モードが鉛直伝播モードと非伝播モードによって構成され、それらが大気スーパーローテーションの中高緯度ジェットの影響を受けるためである。(2) 雲層高度では強い夜昼間対流（太陽直下点とその対蹠点の間を結ぶ水平対流の一種で、熱潮汐波の東西波数1成分に対応する）が大気スーパーローテーションと共存している。夜昼間対流に伴う鉛直流速は平均子午面循環の10倍程度で、紫外でみられる雲の明暗模様など、雲層高度における物質循環に対する重要性が示唆される。(3) 東西波数3・4の成分は太陽加熱によって直接励起されるだけでなく、東西波数1・2の非線型相互作用による励起が無視できない。(4) 雲層高度の平均子午面循環は、従来考えられていた赤道から極を結ぶ1セルのハドレー循環ではなく（e.g., Schubert et al., 1980）、低緯度にはハドレー循環、中高緯度にはフェレル循環的な逆循環が存在している。

さらに、Venus Expressの雲追跡風データを解析し、雲頂高度での熱潮汐波に伴う風速分布を解析した。これまでに得られた結果は次のようにまとめられる。(1) 昼面で東西平均した東西風速は顕著な時間変動を示す。時間変動には短期的なもの（周期数地球日）と長期的なもの（周期数百地球日）が含まれ、数年スケールのトレンドも見出された。これは、最近報告されたアルベドの時間変化（Lee et al., submitted）とよく対応しており、太陽放射吸収と大気運動の間の相関を示唆している。(2) 一方、東西風から東西平均を除いたものと南北風には顕著な時間変化はみられなかった。AFES-Venusの結果と比較すると、雲追跡風から得られた風速分布は雲頂高度の熱潮汐波とよく対応していることが示された。従来、雲追跡によって推定された南北風は平均子午面循環の極向き成分と解釈されてきたが、実はそれは熱潮汐波（主に東西波数1成分）に伴うものであることを示している。また、平均子午面循環は熱潮汐波の南北風速より1桁小さく、雲追跡による推定はかなり難しいことも明らかになった。さらに、(3) 東西平均した東西風速に顕著な時間変動がみられるのに対し、熱潮汐波に伴う風速にはあまり変化がみられなかった。

今後は、得られた成果を研究論文としてまとめるとともに、地形が上空の風速分布に与える影響（Bertaux et al., 2016）についても解析する予定である。また、金星データ同化の実現にむけて、風速データのデータベース化も実施する予定である。

(4) 金星探査機あかつき電波科学測器と地上望遠鏡による連携観測の実施

金星探査機あかつき搭載されている電波科学測器（Radio Science. 以下、RSと記述）は、地上運用局と衛星との間の通信に通常使われる電波を用いて金星大気の気温構造や硫酸蒸気の分布を調べる装置である（Imamura et al. 2011）。あかつきには超高安定発振器が搭載されており、周波数8.4GHz（Xバンド帯）の電波信号を正確かつ安定に地球に向けて発信することができる。あかつきが地球から見て金星の裏側に隠れる際には、あかつきから発せられた電波信号が金星大気層を通過し（掩蔽）、大気密度の大きさに依存した屈折作用を受ける。この屈折の度合いは地上運用局で受信する電波の周波数の変化として捉えられ、そこから金星大気の密度や温度（高度40-85km）が導出される。あか

つきが時間とともに金星の背面にまわりこむ時系列データを解析することで、金星大気の鉛直構造が非常に高い鉛直分解能で測定される。このRSによる金星大気観測の難点としては、観測の実施機会があかつきの金星周回軌道（1周回が約11日）の中でも金星の背面に入って出ていく2度のタイミングのみに限定されることである。また、観測領域のカバレッジも非常にまばらであり、鉛直方向の大気構造を把握するには適しているが、水平方向の大気構造は限定的な情報しか得られない。

そこで、我々のグループでは、2017年6月に、あかつきのRS観測と全く同じ観測日時に地上サブミリ波望遠鏡（ハワイ・マウナケア山頂に設置されたJames Clerk Maxwell望遠鏡）を利用した金星上層大気の観測キャンペーンを行なった。サブミリ波の波長域には金星大気を構成する大気微量成分の吸収線が多数観測できる。それらの中でも、一酸化炭素の吸収線は光学的厚みが大きく、サブミリ波放射の吸収に寄与する一酸化炭素が存在する金星上層大気（高度80-110km）の気温情報を推定することが可能となる（Clancy et al. 2012）。したがって、地上のサブミリ波望遠鏡の観測からは、金星上層大気の温度場の水平分布を導出することができる。これは、あかつきのRS観測による気温分布の導出と相補的なものであり、両者の観測データを互いに比較することで、金星上層大気についてより多角的な観測的知見が期待される。

解析の初期結果では、あかつきRSによる気温分布とその観測場所をサブミリ波望遠鏡で観測したデータから求めた気温分布との間でよい整合性が確認されている。今後は、詳細な比較・検証解析を行っていくとともに、2018年以降の次期連携観測キャンペーンの観測計画の立案を行っていく。

3 今年度の活動報告

(1) 研究論文

1. Ando, H., T. Imamura, N. Sugimoto, M. Takagi, H. Kashimura, S. Tellmann, M. Patzold, B. Hausler, and Y. Matsuda (2017), Vertical structure of the axi-asymmetric temperature disturbance in the Venusian polar atmosphere: Comparison between radio occultation measurements and GCM results, *J. Geophys. Res. Planets*, 122, doi:10.1002/2016JE005213
2. Sugimoto, N., Yamazaki, A., Kouyama, T., Kashimura, H., Enomoto, T., Takagi, M. (2017). Development of an ensemble Kalman filter data assimilation system for the Venusian atmosphere. *Scientific Reports*, 7, 9321. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09461-1>
3. Horinouchi, T., S. Murakami, T. Satoh, J. Peralta, K. Ogohara, T. Kouyama, T. Imamura, H. Kashimura, S.S. Limaye, K. McGouldrick, M. Nakamura, T.M. Sato, K. Sugiyama, M. Takagi, S. Watanabe, M. Yamada, A. Yamazaki, and E.F. Young, (2017), *Nat. Geosci.*, 10, 646-651, doi:10.1038/NGEO3016.
4. Peralta, J., R. Hueso, A. Snchez-Lavega, Y. J. Lee, A. Garca Muoz, T. Kouyama, H. Sagawa, T. M. Sato, G. Piccioni, S. Tellmann, T. Imamura, and T. Satoh (2017), Stationary waves and slowly moving features in the night upper clouds of Venus, *Nature Astronomy*, Volume 1, id. 0187.
5. Kouyama, T., Imamura, T., Taguchi, M., Fukuhara, T., Sato, T. M., Yamazaki, A., Futaguchi, M., Murakami, S., Hashimoto, G.L., Ueno, M., Iwagami, N., Takagi, S., Takagi, M., Ogohara, K., Kashimura, H., Horinouchi, T., Sato, N., Yamada, M., Yamamoto, Y., Ohtsuki, S., Sugiyama, K., Ando, H., Takamura, M., Yamada, T., Satoh, T., Nakamura, M., (2017). Topographical and local time dependence of large stationary gravity waves

- observed at the cloud top of Venus. *Geophysical Research Letters*, 44. <https://doi.org/10.1002/2017GL075792>
6. Peralta, J., Y. J. Lee, K. McGouldrick, H. Sagawa, A. Sanchez-Lavega, T. Imamura, T. Widemann, and M. Nakamura (2017), Overview of useful spectral regions for Venus: An update to encourage observations complementary to the Akatsuki mission, *Icarus*, Volume 288, p. 235-239.
 7. Ogohara, K., M. Takagi, S. Murakami, T. Horinouchi, M. Yamada, T. Kouyama, G.L. Hashimoto, T. Imamura, Y. Yamamoto, H. Kashimura, N. Hirata, N. Sato, A. Yamazaki, T. Satoh, N. Iwagami, M. Taguchi, S. Watanabe, T.M. Sato, S. Ohtsuki, T. Fukuhara, M. Futaguchi, T. Sakanoi, S. Kameda, K. Sugiyama, H. Ando, Y.J. Lee, M. Nakamura, M. Suzuki, C. Hirose, N. Ishii, T. Abe (2017), *Earth, Planets and Space*, 69:167, doi:10.1186/s40623-017-0749-5
 8. Horinouchi, T., T. Kouyama, Y.-J. Lee, S. Murakami, K. Ogohara, M. Takagi, T. Imamura, K. Nakajima, J. Peralta, A. Yamazaki, M. Yamada, and S. Watanabe (2018), Mean winds at the cloud top of Venus obtained from two-wavelength UV imaging by Akatsuki, *Earth, Planets and Space*, 70:10, doi:10.1186/s40623-017-0775-3
 9. Takagi, M., Sugimoto, N., Ando, H., Matsuda, Y. (2018). Three-dimensional structures of thermal tides simulated by a Venus GCM. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 123. <https://doi.org/10.1002/2017JE005449>

(2) 総説等

1. 村上真也・山本幸生・はしもとじょーじ・山田学・山崎敦・佐藤隆雄・小郷原一智・高木征弘・Kevin McGouldrick・平田成 (2017), 一番星へ行こう! 日本の金星探査機の挑戦その32 ~データアーカイブ~, 日本惑星科学会誌「遊・星・人」, 26, 92-96.

(3) 学会発表

1. 高木征弘・杉本憲彦・安藤紘基・松田佳久, 金星 GCM にみられる惑星規模の短周期擾乱, 日本気象学会 2017 年度春季大会, 東京都渋谷区国立オリンピック記念青少年総合センター, 2017 年 5 月。
2. Kashimura, H., N. Sugimoto, M. Takagi, Y. Matsuda, W. Ohfuchi, T. Enomoto, K. Nakajima, M. Ishiwatari, T. M. Sato, G. L. Hashimoto, T. Satoh, Y. O. Takahashi, and Y.-Y. Hayashi, Planetary-scale streak structures produced in a high-resolution simulation of Venus atmosphere. JpGU-AGU joint meeting 2017, Chiba, Japan, 20-25 May 2017. (Invited)
3. 高谷康太郎, Formulation and application of phase-independent energy conversions for quasi-geostrophic eddies, 日本地球惑星科学連合大会, 千葉, 2017 年 5 月。(招待講演)
4. Takagi, M., N. Sugimoto, H. Ando, Y. Matsuda, Short-period planetary-scale waves found in a Venus GCM, EPSC 2017, Riga, Latvia, 17-22 September 2017.
5. H. Sagawa, M. Takagi, H. Maezawa, and K. Saigo, Venus upper atmospheric dynamics inferred from the Doppler-shift observations of submm CO line: Comparison with GCM experiments, EPSC 2017, Riga, Latvia, 17-22 September 2017.
6. H. Ando, N. Sugimoto, and M. Takagi, Generation mechanism of precessing circulation of the Venus polar vortex, EPSC 2017, Riga, Latvia, 17-22 September 2017.
7. H. Kashimura, N. Sugimoto, M. Takagi, Y. Matsuda, W. Ohfuchi, T. Enomoto, K. Nakajima, M. Ishiwatari, T. M. Sato, G. L. Hashimoto, T. Satoh, Y. O. Takahashi, and Y.-Y. Hayashi, Planetary-scale streak structures

- produced in a high-resolution simulation of Venus atmosphere, EPSC 2017, Riga, Latvia, 17-22 September 2017.
8. T. Fukuhara, H. Ando, T. Imamura, M. Takagi, M. Taguchi, and the LIR/RS project team, Variability of the cloud-top altitude deduced from radio occultation experiments and thermal mapping obtained by LIR onboard Akatsuki, EPSC 2017, Riga, Latvia, 17-22 September 2017.
 9. T. Horinouchi, S. Murakami, T. Satoh, S. Watanabe, T. Kouyama, K. Ogohara, T. Imamura, M. Takagi, H. Kashimura, J. Peralta, S.S. Limaye, T.M. Sato, M. Nakamura, M. Yamada, A. Yamazaki, and E.F. Young, Cloud tracking of the Venus atmosphere with Akatsuki: High-quality wind snapshots, jets, and instabilities, EPSC 2017, Riga, Latvia, 17-22 September 2017.
 10. T. Imamura, H. Ando, K. Noguchi, S. Tellmann, M. Ptzold, and B. Husler, Initial results of the radio occultation experiment in the Venus orbiter mission Akatsuki, EPSC 2017, Riga, Latvia, 17-22 September 2017.
 11. S. Aoki, M. J. Richter, C. DeWitt, A. Boogert, T. Encrenaz, H. Sagawa, H. Nakagawa, A. C. Vandaele, M. Giuranna, T. K. Greathouse, T. Fouchet, A. Geminale, G. Sindoni, M. McKelvey, M. Case, and Y. Kasaba, Sensitive search of CH₄ on Mars by SOFIA/EXES, EPSC 2017, Riga, Latvia, 17-22 September 2017.
 12. J. Peralta, R. Hueso, A. Snchez-Lavega, Y. J. Lee, A. Garca-Muoz, T. Kouyama, H. Sagawa, T. M. Sato, G. Piccioni, S. Tellmann, and T. Satoh, Stationary waves and slow cloud features challenge Venus's night side superrotation, EPSC 2017, Riga, Latvia, 17-22 September 2017.
 13. N. Sugimoto, A. Yamazaki, T. Kouyama, H. Kashimura, T. Enomoto, and M. Takagi, Data assimilation system for the Venusian atmosphere, EPSC 2017, Riga, Latvia, 17-22 September 2017.
 14. T.M. Sato, H. Sagawa, T. Kouyama, M. Taguchi, Y.J. Lee, J. Peralta, M. Takagi, G.L. Hashimoto, T. Satoh, Y. Kasaba, S. Aoki, T. Fukuhara, A. Yamazaki, T. Imamura, and M. Nakamura, Venus cloud top structure seen by the coordinated Subaru and Akatsuki observations, EPSC 2017, Riga, Latvia, 17-22 September 2017.
 15. T. Encrenaz, T. K. Greathouse, T. Widemann, B. Bzard, T. Fouchet, S. K. Atreya, and H. Sagawa, Ground-based thermal mapping on Venus: temperature fields and variations of SO₂ and HDO, EPSC 2017, Riga, Latvia, 17-22 September 2017.
 16. 高谷康太郎, 位相依存性のないエネルギー変換の定式化の提案 (2), 「波と平均流との相互作用」研究会, 宮城, 2017年9月。
 17. 高木征弘・杉本憲彦・安藤紘基・樫村博基・松田佳久・榎本剛・中島健介・石渡正樹・小高正嗣・はしもとじょーじ・大淵済・高橋芳幸・林祥介, AFES-Venusによる金星大気のモデリング, 日本気象学会2017年度秋季大会, 北海道札幌市・北海道大学・学術交流会館, 2017年10月。(招待講演)
 18. 樫村博基・杉本憲彦・高木征弘・松田佳久・大淵済・榎本剛・中島健介・石渡正樹・佐藤隆雄・はしもとじょーじ・佐藤毅彦・高橋芳幸・林祥介, 高解像度金星大気シミュレーションで再現された惑星規模のストリーク構造, 日本地球電磁気学会, 京都府京都市, 2017年10月。
 19. 安藤紘基・福原哲哉・今村剛・高木征弘・杉本憲彦・佐川英夫, 金星赤道域における熱構造の地方時依存性, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 京都大学宇治キャンパス, 京都, 2017年10月。
 20. 福原哲哉・安藤紘基・高木征弘・今村剛・田口真・あかつきRS/LIRチーム, Comparison of Akatsuki radio occultation experiments with thermal infrared image obtained by LIR, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 京都大学宇治キャンパス, 京都, 2017年10月。
 21. 杉本憲彦, 金星GCMへのデータ同化の広がりと今後の展望, 第8回データ同化ワークショップ, 明治大学

- 中野キャンパス, 東京, 2018年1月。(招待講演)
22. Sagawa, H., Observation of Venus atmosphere in coordination with Akatsuki Venus orbiter, JCMT Users Meeting, Seoul, South Korea, 30-31 January 2018.
 23. 高木征弘, 比較惑星気象学の現状と将来展望, 第19回惑星圏研究会, 東北大学青葉キャンパス, 宮城, 2018年2月。(基調講演)
 24. 杉本憲彦, データ同化の現状と将来展望, 第19回惑星圏研究会, 東北大学青葉キャンパス, 宮城, 2018年2月。(招待講演)
 25. 堀之内武・高木征弘・村上真也・神山徹・小郷原一智・渡部重十・山崎敦・山田学・中島健介・林祥介・樫村博基・Peralta Javier・Limaye Sanjay・今村剛・佐藤毅彦・中村正人, 「あかつき」で探る金星大気のスーパローテーション維持機構, 第19回惑星圏研究会, 東北大学青葉キャンパス, 宮城, 2018年2月。(招待講演)

Center for Planetary Atmospheric Science: Research Activity Annual Report 2017

Masahiro TAKAGI

Koutarou TAKAYA

Hideo SAGAWA

Hiroki ANDO

Anna SUZUKI

Abstract

Center for Planetary Atmospheric Science has been established as one of the research centers in Institute of Comprehensive Academic Research in 2017 to understand atmospheric dynamics and surface environments of planets in our and exo solar systems. As a first step, we study the whole system of the Venus atmospheric by combining theoretical and numerical models and satellite- and ground-based observations. Here we report the activities and progress of our research in FY2017.

Keywords : Planetary meteorology, Planetary atmospheric science, Venus atmospheric superrotation, Venus Climate Orbiter Akatsuki, Data assimilation