

惑星気象研究センター活動報告

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30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。

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・物質循環モデルの開発

金星大気の高さ 45-70km には硫酸エアロゾルを主体とする厚い雲が存在し、それによって惑星全体が覆われている。また、硫酸雲に関係する化学反応に伴って、CO や SO、未知の紫外線吸収物質の有力な候補である OSSO などが生成・消滅していると考えられており、金星の硫酸雲は太陽放射の散乱・吸収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いる。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および物質循環モデルを導入することが必要である。

H30 年度は、昨年度までに開発した雲物理モデルを大気大循環モデル AFES-Venus に組み込み、数値計算と結果の詳細な解析を実施した。雲の濃度の指標として mass loading（単位体積あたりに含まれる雲の質量、ML と略記する）を用いると、AFES-Venus で得られた ML は極域で最大、中緯度で極小となった。極域で最大となる理由として、極域の安定度が小さくて短周期擾乱に伴う鉛直流が強く、硫酸蒸気や水蒸気を下層から輸送しやすいことが考えられる。こうした特徴は過去の赤外線観測とよく一致している（Carlson et al., 1991; Crisp et al., 1991）。また、ML の経度 - 緯度分布をみ

ると、低緯度で東西波数1の構造が目立つが、これは高度50km（雲底高度）周辺の雲構造を反映している。実際、高度50kmにおけるMLの水平分布を調べると、東西波数1の構造が顕著である。この特徴は過去の地上観測（Crisp et al., 1991）でも示されており、ケルビン波などの大気波動の影響であると考えられる。高度60kmでは東西波数1と2が混在しており、熱潮汐波が寄与している可能性がある。水蒸気や硫酸蒸気の緯度-高度分布についても調べたところ、それぞれ緯度とともに混合比が増大する傾向が見られた。こうした特徴も、最近の赤外観測の結果（Cottini et al., 2015）と整合的である。硫酸蒸気の混合比分布は最近の電波掩蔽観測の結果と極域でよく一致するものの、赤道では一致しない。こうした研究成果を国際研究雑誌に投稿する準備をすすめている（Ando et al., in prep）。

現在、雲物理モデルの改良と同時に、COやSO、OSSOといった、観測と直接比較可能な大気微量成分の導入に向けて研究を進めている。COは寿命が長く、トレーサーとしても活用できるため、観測と数値モデルで得られたCOの時空間分布を比較検討することにより、大気大循環の構造に関する情報が得られるものと期待される。また、CO、SOは硫酸雲の光化学反応に関与するため、こうした大気微量成分の輸送過程の理解は雲物理過程の解明にも貢献することが期待される。

(2) 金星大気のための放射伝達モデルの開発

金星には大気スーパーローテーション以外にも、地表面気温が730Kにも達するという著しい現象がある。この地表面および下層大気の高温は、金星大気の主成分である膨大な量の二酸化炭素がもたらす温室効果によって説明されることがすでに示されているが（Pollack and Young, 1975; Matsuda and Matsuno, 1978; Pollack et al., 1980）、現在では分光観測や大気大循環モデルのために、最新の二酸化炭素や大気微量成分の吸収線データに基づく精密な放射伝達モデルが必要とされている。

我々は、現在入手可能な最新の吸収線データベースに基づいた放射伝達モデルの開発に取り組んでいる。Takagi et al. (2010) によれば、放射平衡における下層大気の高温は1000Kを超える可能性があるため、波数領域を20-20000 cm^{-1} とした。気体分子の吸収帯およびその強度を考慮し、この波数領域を34チャンネルに分割した。考慮する気体成分はMarcq et al. (2005) を参考に、CO₂、H₂O、CO、SO₂、HF、HCl、OCS、N₂とした。雲の粒径分布や高度分布、CO₂のcollision induced absorption (CIA) はEymet et al. (2009)、Haus et al. (2010) を参考にした。line-by-line (LBL) 計算による吸収係数の評価にはVoigt型およびFukabori et al. (1986) の吸収線型を利用した。ただし、計算時間を短縮させるために125 cm^{-1} でline cut-offしている。吸収係数の計算はほぼ完了したので、現在は1次元モデルによる放射平衡および放射対流平衡の計算を開始している。それと並行し、大気大循環モデルへの組み込み作業も行なっている。

Takagi et al. (2010) は吸収線型の不確実性が放射平衡および放射対流平衡に与える強い影響を指摘している。今後は、吸収線型の不確実性とline cut-offの幅が放射平衡・放射対流平衡に与える影響を注意深く調べるとともに、1次元モデルを利用した金星惑星境界層の時間変化（ローカルタイム

依存性) や、大気微量成分および硫酸雲が長波放射を介して放射平衡・放射対流平衡温度分布に与える影響などを詳しく調べる予定である。

(3) 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。しかしながら、我々の開発した金星 GCM (AFES-Venus) が世界に先駆けて観測結果の現実的な再現に成功したことから (Kashimura et al., *Nature Comm.*, 2019), AFES-Venus を基盤とするデータ同化システムにより、金星大気循環の全体像を再現し、その理解を格段に進めることができると期待されている。

H30 年度は前年度までに開発したデータ同化システム (Sugimoto et al., 2017) を用いて、熱潮汐波を含む大気大循環モデルに金星探査機 Venus Express (VEx) 搭載の Venus Monitoring Camera (VMC) の観測データから得た (熱潮汐波を含む) 風速データを同化する実験を行った。その結果、大気大循環モデルの結果にみられた熱潮汐波の東西方向の位相のズレが改善され、さらに東西平均風速が全球的に大きく改善されることが示された。

VEx/VMC から得られる風速データは南半球低緯度昼面領域の雲層上端高度付近に限られているにも関わらず、このような大きな同化インパクトが得られたことは、比較的少ない観測データによって全球的な大気循環の再現性を向上させられる可能性を示唆しており、非常に興味深い発見である (Sugimoto et al., submitted)。

さらに、金星探査機「あかつき」プロジェクトと連携し、金星データ同化のための連続集中観測を 2018 年 11 月 16 日から 12 月 7 日に渡って実施した。この連続観測では紫外線カメラ (UVI) と中間赤外線カメラ (LIR) を使って約 2 時間ごとの観測データを取得することに成功し、数日から数時間までの短周期擾乱が観測できた。現在、連続集中観測データの初期解析を進めているところである。この観測データを同化することにより、未解明の雲頂ケルビン波などの理解が進むものと期待される。

今後は、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。また、JAXA を中心とする「あかつき」プロジェクトと協力し、さらなる集中観測の実施も検討している。

(4) 金星大気大循環の数値的研究

H30年度は昨年度に引き続き、我々が開発している金星大気大循環モデル AFES-Venus を用いて、金星大気大循環に関する数値的研究をおこなった。

ひとつめの研究は、静止状態初期場からの大気スーパーローテーション生成実験である。従来の研究では、静止状態から大気スーパーローテーションを生成するためには、地面付近で非現実的に強い太陽加熱を仮定したり、大きな南北温度傾度をもつ温度場に非現実的に短い緩和時間で温度を緩和させるといった「工夫」が必要であった (Yamamoto and Takahashi, 2003; Lee et al., 2007; Hollingsworth et al., 2007)。それに対して、本研究では観測結果 (Tomasko et al., 1980) に基づく現実的な太陽加熱を用い、ニュートン冷却の緩和温度は水平一様、緩和時間は放射計算に基づくもの (Crisp, 1989) とし、静止状態から長時間の数値積分を行った。その結果、鉛直渦粘性がある値よりも小さい場合は現実的な強度の大気スーパーローテーションが生成され、ある値よりも大きい場合は十分な強度の大気スーパーローテーションが生成されず、鉛直方向に3セルの構造をもつ子午面循環が卓越したままになることがわかった (Sugimoto et al., 2019)。大気スーパーローテーションの強度が鉛直渦粘性によってコントロールされることは先行研究 (Takagi and Matsuda, 2007) でも示されていたが、静止状態からのスーパーローテーション生成にも大きな影響を与えていることは大変興味深い。

超高解像度版 AFES-Venus による数値実験の結果から、金星大気中では雲層高度 (45-70km) 付近から上下に重力波が放射され、それが実質的な鉛直運動量輸送 (=鉛直渦粘性) に影響していることが示唆されている (Takagi et al., in prep)。重力波による鉛直運動量輸送は平均東西流の強度や構造と不可分であり、鉛直渦粘性を一定値とした本研究には不十分な点がまだ多く残されている。今後は雲層高度から放射される重力波を適切に評価することのできる新たなパラメタリゼーションスキームを開発するとともに、大気スーパーローテーション生成と平均子午面循環の構造の関係を詳しく調査する予定である。

ふたつめの研究は、金星大気中の平均子午面循環に関するものである。これまでの多くの研究で、金星雲画像から雲層上端高度における水平風速が調べられており (Limeye 1985, 1987; Del Genio and Rossow, 1990; Kouyama et al., 2013; Horinouchi et al., 2017, 2018), 昼面での南北風速は 10m/s 程度である。しかしながら、こうして計られる南北風速は主に熱潮汐波によるものであり (Newman and Leovy, 1987; Takagi et al., 2018), 平均子午面循環に伴う南北風速は不明であった。平均子午面循環は大気スーパーローテーション生成に対する最重要プロセスのひとつと考えられており (Gierasch, 1975; Matsuda 1980, 1982), その3次元構造と強度を明らかにすることが大きな課題である。今回、AFES-Venus の数値シミュレーション結果を解析したところ、次のような興味深い結果が得られた (Takagi et al., in prep)。①雲層上端付近には赤道から緯度 30 度付近まで直接循環 (ハドレー循環) が存在し、それより高緯度側には逆循環 (フェレル循環) が卓越している。残差子午面循環の解析から、高緯度のフェレル循環は地球大気 of フェレル循環と同様に、傾圧不安定波 (Sugimoto et al., 2014) によって形成されていることが示唆される。これらの平均子午面循環に伴う南北風速は

2m/s 程度であり、熱潮汐波に伴う南北風の 1/10 程度である。

(2) 雲層中の高度 50–65km には低緯度・低高度から高緯度・高高度に向かって斜めに延びる顕著な直接循環が存在している。この直接循環の強度と空間構造は時間変動が極めて大きい。また、この直接循環よりも高緯度側の極付近には逆循環が卓越している。ポテンシャル渦度 (PV) 分布を解析したところ、斜めの直接循環は対称不安定 (Stone, 1966) によって引き起こされている可能性が示唆された。また、金星大気中における慣性不安定および慣性不安定の条件には、熱潮汐波に伴う東西風速が影響していることも示された。雲頂・低緯度で観測される数百 km スケールの対流状構造は、地球の成層圏で観測されるパンケーキ構造 (Hitchman et al., 1987; O'sullivan and Hitchman, 1992) のように、慣性不安定によって形成されている可能性がある。

(5) 地上望遠鏡による金星上層大気の観測

金星の大気力学に関して、雲層よりも上層の大気循環がどのようになっているのかは未だ不明瞭である。雲層以下のスーパーローテーションが雲頂以上の高度にどのように伸びて (減速して) いるのか、または、熱圏に存在すると考えられている昼夜間循環が下方に伸びているのかという点がこれまでしばしば議論されてきた (e.g., Lellouch et al., 2008)。この上層大気の風速場を観測的に理解する目的で、我々は近年、地上サブミリ波望遠鏡を利用した観測データの取得を行なっている。金星雲層の上方に存在する一酸化炭素 CO や一酸化硫黄 SO ガスの分子吸収線を観測することで、金星上層大気中の気温場や、大気微量成分が循環によって流されていく際の観測視線方向の運動 (ドップラーシフト) を観測することができる。2018 年は 10 月に金星が内合の位置に到達し、地上から金星夜面の上層大気を観測する最適期であった。複数日の連続した観測結果からは SO の著しい時間変化が得られており、現在より詳細な解析を進めている。

また、今年度は上記のような新規観測データの取得に加えて、既存の観測データから得られたドップラーシフトマップに関して、Hoshino et al. (2013) や Gilli et al. (2017) などで新しく開発された金星上層大気 GCM の数値実験結果との比較を行った。観測と GCM データとの比較を行う際、従来は観測から得られたドップラーシフトの結果を金星大気の水平風速場に変換し GCM における風速場と比較するということが行われていた。しかし、この比較手法では、風速の観測視線方向の成分にしかならないドップラーシフトを金星水平面内の風速強度に戻す際に何らかの仮定を導入する必要がある。また、観測で観られたドップラーシフトがどの高度領域の風によるものなのかは、その場所での気温分布や CO 分布に依存するため、比較相手となる GCM データの高度を一概に決定することができない。そこで、我々は GCM で得られる 3 次元上の気温・気圧構造および東西風・南北風のデータをもとに、地上観測の実施日時における観測ジオメトリを忠実に考慮した観測シミュレーションを行い、そうして得られた疑似観測データからドップラーシフトを求めた。この、「GCM データに基づく」ドップラーシフトの分布を、観測データから求めたドップラーシフト分布と比較することで、曖昧な仮定を排除した観測と GCM との比較を実現した。

比較結果では、観測データのドップラーシフトマップに見られていた幾つかの特徴的な空間構造が、GCM 上でも定量的に一致する構造として現れていることが明らかになった。これらの結果は、H31 年度に投稿論文としてまとめていく予定である。

(6) 非静力学モデルによる金星山岳波

金星探査機「あかつき」によって発見された惑星規模の弓状模様は、山岳波（地形によって励起された波）が雲頂高度の雲によって可視化されたものであると考えられている（Fukuhara et al., 2017; Kouyama et al., 2017; Navarro et al., 2018）。この弓状模様は夕方の領域でしか観測されないという強いローカルタイム依存性を持つが、この依存性がどのようなメカニズムによるものかは不明である。一方、VEx/VMC から得られた東西風速の解析から、山岳波が雲頂高度の平均東西風（大気スーパーローテーション）を減速している可能性が示唆されている（Bertaux et al., 2016）。しかしながら、山岳波による鉛直運動量輸送を定量的に評価した研究はこれまで行われていない。金星山岳波の励起・鉛直伝播メカニズムに対するローカルタイム依存性を明らかにすると同時に、東西平均風に対する力学的影響を明らかにすることが必要である。

今年度は、地球の台風や集中豪雨などの研究ですぐれた実績をもつ非静力学モデル CReSS（Cloud Resolving Storm Simulator）を金星大気用に修正し、理想的な地形と現実地形に対して山岳波が計算できるように準備した。予備的な数値実験を行い、次のような結果が得られた（鈴木ほか，2018 年度日本気象学会秋季大会）。(1) Young et al. (1987, 1994) が線型モデルを用いて示したように、金星山岳波には鉛直伝播しやすい東西波長があることが確認できた。(2) 実地形を用いると、東西波長 300km 程度の山岳波が卓越し、高度 60km まで伝播した。このような波長の山岳波は観測されていないが、高度 50–60km で減衰し、Bertaux et al. (2016) が予想したように大気スーパーローテーションを減速するかもしれない。

今後は大気下端付近の東西風速や大気安定度に対する依存性を詳しく調べる予定である。また、CReSS を用いた研究と並行して、大気大循環モデルを利用した惑星規模の山岳波に関する研究も実施する。

(7) 新しいエネルギー変換および波エネルギーフラックスの定式化

金星の大気の流れ（＝大気循環）は、地球のそれと同様、定常なものではなく、時間的にも空間的にも大きく変動していることが観測されている。これらの変動をもたらす大きな要因の一つとして、大気循環中の波活動が考えられる。惑星大気循環の力学の解明には波活動を理解することがきわめて重要である。我々は、波活動の理解のための挑戦の一環として、「位相依存性のないエネルギー変換とエネルギーフラックス」の定式化に取り組み、次のような大きな成果を得た（寺西・高谷，2018 年度地球流体力学研究集会「地球流体における波動と対流現象の力学」）。

まず、「エネルギー変換」とは、「波（擾乱）」と「基本場（地球の中緯度帯で言えば偏西風に対応

する)」との間でのエネルギーのやりとりを意味する。これを実際の惑星大気データの解析に適用すれば、大気の波がいつどこで成長または減衰するかについての有益な情報を得ることができる。一方、「エネルギーフラックス」は、擾乱エネルギーが群速度によって伝播するプロセスであり、これを表現することができれば、ある領域で発生した波がどのような経路で伝播するかを理解できる。これらの理論解析手法は、過去にも提案されてきたが、従来の手法を停滞性（すなわち位相速度が0）の波、または移動性の波のスナップショットのデータに適用すると、ノイズが大きく正確な情報が得られないという欠陥が存在した。そこで我々は、波エネルギーの理論を発展させ、自転の速い惑星大気中の波に対して、位相依存性のないエネルギー変換/フラックスの定式化を導出することに成功した。この定式化の結果は、停滞性の波と移動性の波のスナップショットのデータにも適用することが可能であり、これらを惑星大気データの解析に適用すれば、今まで不明な点の多かった、様々な大気循環変動の力学の解明に大きく近付く事が期待される。ただし、金星は自転が極めてゆっくりであるので、今年度導出した理論をそのままの形で金星大気に適用することはできない。従って、この新しい理論を金星大気にも適用できる形にさらに発展させることが、次なる課題である。

3 今年度の活動報告

(1) 研究論文

1. Ando, H., M. Takagi, T. Fukuhara, T. Imamura, N. Sugimoto, H. Sagawa, K. Noguchi, S. Tellmann, M. Pätzold, B. Häusler, Y. Murata, H. Takeuchi, A. Yamazaki, T. Toda, A. Tomiki, R. Choudhary, K. Kumar, G. Ramkumar, and M. Antonita (2018), Local time dependence of the thermal structure in the Venusian equatorial upper atmosphere: comparison of Akatsuki radio occultation measurements and GCM results, *J. Geophys. Res.: Planets*, 123, doi:10.1029/2018JE005640
2. Peralta, J., Muto, K., Hueso, R., Horinouchi, T., Sanchez-Lavega, A., Murakami, S., Machado, P., Young, E.F.; Lee, Y.J., Kouyama, T., Sagawa, H., McGouldrick, K., Satoh, T., Imamura, T., Limaye, S.S., Sato, T.M., Ogohara, K., Nakamura, M., Luz, D. (2018), Nightside Winds at the Lower Clouds of Venus with Akatsuki/IR2: Longitudinal, Local Time, and Decadal Variations from Comparison with Previous Measurements, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 239, doi:10.3847/1538-4365/aae844
3. Kashimura, H., N. Sugimoto, M. Takagi, 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 structure reproduced in high-resolution simulations of the Venus atmosphere with a low-stability layer (2019), *Nature Communications*, 10, doi:10.1038/s41467-018-07919-y
4. Sugimoto, N., M. Takagi, and Y. Matsuda (2019), Fully developed super-rotation driven by the mean meridional circulation in a Venus GCM *Geophysical Research Letters*, 46 1776-1784, doi:10.1029/2018GL080917
5. Encrenaz, T., Greathouse, T.K., Marcq, E., Sagawa, H., Widemann, T., Bezaud, B., Fouchet, T., Lefevre, F., Lebonnois, S., Atreya, S. K., Lee, Y. J., Giles, R., Watanabe, S. (2019), HDO and SO₂ thermal mapping on Venus. IV. Statistical analysis of the SO₂ plumes, *Astronomy & Astrophysics*, 623, doi:10.1051/0004-6361/201833511

(2) 総説等

1. 檜村博基, 杉本憲彦, 高木征弘, 安藤紘基, 今村剛, 松田佳久, 榎本剛, 大淵済, はしもとじょーじ, 石渡正樹, 中島健介, 高橋芳幸, 林祥介 (2018), 一番星へ行こう! 日本の金星探査機の挑戦その36 ~ AFES-Venus による数値計算とデータ同化~, 日本惑星科学会誌「遊・星・人」, 27, 314-319.

(3) 国際ワークショップの開催

2019年3月12日から18日にかけて, フランス・パリにある気象力学研究所 (Laboratoire de météorologie dynamique (LMD-IPSL, CNRS-Ecole Polytechnique-ENS-Sorbonne université))において, 惑星大気研究に関する国際ワークショップを開催した。このワークショップには日本, フランスのほか, スペイン, イタリアの惑星大気研究者が参加し, 最新の数値的・観測的研究に関する情報交換が行われた。

(4) 学会発表

1. Sagawa, H., Sandor, B., Clancy, R. T., Imamura, T., Ando, H., Ground-based sub-mm observations of Venus upper atmosphere using JCMT in coordination with Akatsuki Radio Science experiment, Japan Geoscience Union Meeting 2018, Chiba, Japan, 20–24 May 2018. (Invited)
2. Sagawa, H., Solar system science using millimeter wavelength with NOEMA, NOEMA (Northern Extended Millimeter Array) /30-m telescope workshop, NAOJ, Tokyo, Japan, 24-25 July 2018. (Invited)
3. Sugimoto, N., A. Yamazaki, T. Kouyama, H. Kashimura, T. Enomoto, and M. Takagi, Data Assimilation System for the Venusian Atmosphere, AOGS 15th Annual Meeting, Honolulu, Hawaii, USA, 3–8 August 2018.
4. Sugimoto, N., A. Yamazaki, T. Kouyama, H. Kashimura, T. Enomoto, and M. Takagi, Venus AFES LETKF Data Assimilation System (VALEDAS), Mars Atmosphere Data Assimilation workshop, Le Bourget-du-Lac, France, 29–31 August 2018.
5. 高谷康太郎, 北半球寒候期における惑星波形成の力学の提案, 日独共同研究「Novel understanding of polar-lower latitude climate linkages including the climate-stratospheric ozone feedback」に関するワークショップ, 2018年8月。
6. 高谷康太郎, テレコネクションパターンの力学—基本場西風の東西非一様性の重要性—日独共同研究「Novel understanding of polar-lower latitude climate linkages including the climate-stratospheric ozone feedback」に関するワークショップ, 2018年8月。
7. 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(3)」, 「波と平均流との相互作用」研究会, 宮城県仙台市・東北大学, 2018年9月。
8. Sugimoto, N., A. Yamazaki, T. Kouyama, H. Kashimura, T. Enomoto, and M. Takagi, Ensemble Forecast Sensitivity to Observations (EFSO) of the Venus data assimilation system, European Planetary Science Congress 2018, Berlin, Germany, 16–21 September 2018.
9. Gonsalves, R., P. Machado, T. Widemann, J. Peralta, S. Watanabe, A. Yamazaki, T. Satoh, M. Takagi, K. Ogohara, Y.J. Lee, A. Harutyunyan, J. Silva, Akatsuki and TNG/HARPS-N coordinated wind measurements of cloud top Venus' atmosphere, European Planetary Science Congress 2018, Berlin, Germany, 16–21

September 2018.

10. Machado, P., T. Widemann, J. Peralta, R. Gonsalves, M. Takagi, A. Harutyunyan, Y.J. Lee, S. Watanabe, T. Satoh, K. Ogohara, Venus' Meridional wind flow from: Akat-suki/UVI, Venus Express/VIRTIS, TNG/HARPS-N and CFHT/ESPaDOnS, European Planetary Science Congress 2018, Berlin, Germany, 16-21 September 2018.
11. 鈴木杏那, 高木征弘, 前島康光, 安藤紘基, 杉本憲彦, 松田佳久, 金星山岳波の励起・伝播過程と大気大循環に対する影響の解明, 宮城県仙台市・仙台国際センター, 2018年10月。
12. 高木征弘, 杉本憲彦, 樫村博基, 安藤紘基, 松田佳久, 金星上層大気の平均子午面循環について日本気象学会2018年度秋季大会, 宮城県仙台市・仙台国際センター, 2018年10月。
13. 杉本憲彦, 高木征弘, 松田佳久, 現実的な東西平均加熱による金星スーパーローテーションの発生, 日本気象学会2018年度秋季大会, 宮城県仙台市・仙台国際センター, 2018年10月。
14. 高谷康太郎, テレコネクションパターンの力学 - 基本場西風の東西非一様性の重要性 -, 北海道大学低温科学研究所共同研究「オホーツク海と相互に影響を及ぼしあうグローバル大気海洋諸現象」に関するワークショップ, 北海道札幌市・北海道大学低温科学研究所, 2019年12月。
15. Ando, H., M. Takagi, N. Sugimoto, H. Sagawa, and Y. Matsuda, Theoretical study of the Venus cloud by a general circulation model, 2018 AGU Fall meeting, Washington D.C., USA, 10-14 December 2018.
16. Takagi, M., N. Sugimoto, H. Kashimura, H. Ando, and Y. Matsuda, Mean meridional circulation in the Venus upper atmosphere, Symposium on Planetary Science 2019, Sendai, Miyagi, Japan, 18-21 February 2019.
17. Ando, H., M. Takagi, N. Sugimoto, H. Sagawa and Y. Matsuda, Venusian cloud physics simulated by a general circulation model, Symposium on Planetary Science 2019, Sendai, Miyagi, Japan, 18-21 February 2019.
18. Sugimoto, N., A. Yamazaki, T. Kouyama, H. Kashimura, T. Enomoto, and M. Takagi, Venusian atmospheric general circulation model for the Earth Simulator (AFES-Venus) local ensemble transform Kalman filter (LETKF) data assimilation system (VALEDAS), Symposium on Planetary Science 2019, Sendai, Miyagi, Japan, 18-21 February 2019.
19. 寺西修二・高谷康太郎, ロスビー波と基本場の相互作用 — pseudomomentum の新たな定義 —, 地球流体力学研究集会「地球流体における波動と対流現象の力学」, 福岡県大野城市・九州大学応用力学研究所, 2019年3月。
20. 杉本憲彦, 高木征弘, 松田佳久, 東西平均加熱による高速な金星スーパーローテーションの発生, 地球流体力学研究集会「地球流体における波動と対流現象の力学」, 福岡県大野城市・九州大学応用力学研究所, 2019年3月。
21. 高木征弘, 杉本憲彦, 樫村博基, 安藤紘基, 松田佳久, 金星大気における対称不安定の可能性, 地球流体力学研究集会「地球流体における波動と対流現象の力学」, 福岡県大野城市・九州大学応用力学研究所, 2019年3月。
22. Sugimoto, N., M. Takagi, VALEDAS team, Venus AFES LETKF Data Assimilation System (VALEDAS), RIMS Gasshuku-style Seminar: Mathematical science in numerical modeling and data assimilation of planetary atmospheres from Earth and Mars to Venus, RIMS, Kyoto, Japan, 20-22 March 2019. (Invited)
23. 高谷康太郎, テレコネクションパターンの力学 - 基本場西風の東西非一様性の重要性 - 「波と平均流との相互作用」研究会, 宮城県仙台市・東北大学, 2019年3月。

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 FY2018.

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

