

平成 30 年度二国間交流事業 共同研究<申請内容>
 [A 対応機関との合意に基づく共同研究・セミナー]

(1)研究目的・内容(図表を含めても構いません。わかりやすく記述してください。)

①研究目的、研究方法、研究内容について記述してください。

②どのような計画で、何を、どこまで明らかにしようとするのかを、具体的に記入してください。

※Inria(フランス)との共同研究に申請する場合は、英語で記載してください。

本申請の共同研究「仏日共同による金星大気モデル研究」の目的は、日本及びフランスで進めている数値モデルを用いた金星大気大循環・気候のシミュレーション研究に、日本の金星探査機「あかつき」によって得られ始めた、これまでに誰も見たことのない金星大気の観測データを組み合わせることで、金星大気中の様々な規模の擾乱の動態を明らかにし、スーパーローテーションや気候の維持機構の解明への鍵を明らかにすることである。

金星は、地球に最も近く、また地球とほぼ同じ大きさを持つ惑星である。しかし二つの惑星にはその他の面で特徴的な差異がある。金星は、自転周期が 243 地球日であり、自転が非常に遅い。また、二酸化炭素を主成分とする、地球のおよそ 100 倍の質量の大気を持ち、ほぼ全球を H₂SO₄ を主成分とする雲が覆っている。この厚い大気による温室効果は 735 K に達する地表面温度の原因となっており、地球とは全く異なる高温高压の表層環境を持つ。さらに、金星大気中の循環も地球とは全く異なっており、「スーパーローテーション」と呼ばれる風によって特徴づけられている。地球の大気は、対流圏界面(高度約 10-15 km)付近において、南北両半球の中緯度で自転方向の風(西風, ジェット気流, 平均風速約 30 m/s)が吹き、赤道付近では自転と逆方向(東風)の風が吹いている(図1)。しかしながら金星では、可視光線で観測される高度約 60-70 km の雲頂高度において、緯度に依らずに自転方向(東風; 金星の自転は地球とは逆方向である)の風が吹いており、その風速は、固体金星の自転速度(赤道において約 4 m/s)よりもはるかに高速で約 100 m/s に達する。地球とは異なるこの風を維持する大気の運動量収支は容易には理解できず、金星に限らず他の惑星を含めた惑星気象学の重要な未解明問題の一つである。

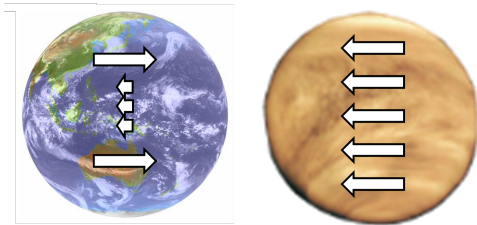


図1. 地球(左)と金星(右)の東西風

これらの現象の形成・維持機構等の解明を目指して、日本による金星探査「あかつき」計画が実行中である。「あかつき」は、2015年12月の金星軌道投入成功後、これまでに誰も見たことがなかった金星大気の描像を示し続けている。例えば、「あかつき」による観測は既に、相対位置が地形に固定された雲頂高度での全球規模大気波動構造(Fukuhara et al., 2017)や、雲層中の大規模な乱流のおよび波状の構造を初めて捉えることに成功している(Satoh et al., submitted)。これらのデータは、これまでの探査では提供されなかった雲頂よりも低高度の情報を含む面的な時系列データである点で特に、金星大気循環および気候を理解する上で重要である。

しかしながら、そのデータだけでは金星大気・気候の全貌を理解することは難しい。金星大気の大循環は、惑星規模の大循環(水平スケール O(10000 km))から局所的な熱対流や乱流(水平スケール O(1 m))までにわたる様々な水平スケールの階層的運動構造によって構成され、それらの相互作用の結果として維持されており、それら多スケールに渡る現象の理解が必要となる。同時に、金星の気候の維持には、全球を覆う雲や、厚い二酸化炭素大気と雲による放射伝達の効果の理解もまた重要である。探査によって得られる情報を補完し、「あかつき」による探査結果をより良く生かすには、数値モデルを用いた研究が必要不可欠である。地球シミュレータや京コンピュータをはじめとして日本が誇る大型計算機は、多スケールの現象を陽に表現した大規模計算や、複雑な物理過程の計算を可能にしようとしている。また、近年、惑星大気研究にも適用されるようになってきたデータ同化手法は、探査データの情報を引き出し、同時にモデルを検証し、改善するために非常に有用な技術である。「あかつき」による新しい探査データと、計算を高速に実行できる計算機、そして発展し続けるデータ同化技術を手にした現在は、まさしく金星大気の大循環や気候に対する理解を進める好機である。

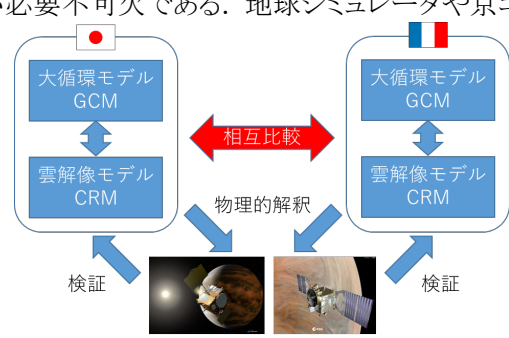


図2. 共同研究における大循環モデル、雲解像モデルと探査機観測の関係

そこで本共同研究では、我々とフランスのグループの双方の金星大気大循環モデル(General Circulation Model (GCM), 水平スケール O(100-10000 km)), 雲解像モデル(Cloud Resolving Model (CRM), O(10-1000 km))を持ち寄り、「あかつき」によって観測された惑星規模波動や対流的な構造の動態を明らかにし、スーパーローテーションや金星気候の維持に重要な役割を果たすと考えられる子午面循環の維持に関わる機構に迫りたい(図2)。独自に構築してきた二か国のモデルを相互に比較できることは、モデルの信頼性を評価・担保する上で必須であり、共同での研究を必要とするポイントでもある。

さらに、本研究によって、比較的物理的な距離が地球に近い金星の大気を詳細に調べることは、火星、木星、そして太陽系外惑星の大気の多様性に関する理解にも繋がるだろう。

平成 30 年度二国間交流事業 共同研究<申請内容>
〔A 対応機関との合意に基づく共同研究・セミナー〕

(2)共同研究の特色及び期待される成果(次の項目について記載してください。)

- ①先行研究等があれば、それらと比較して、本研究の特色、着眼点、独創的な点。
 - ②国内外の関連する研究の中での当該研究の位置づけ、意義。
 - ③我が国の若手研究者養成への貢献。
 - ④本事業による共同研究が終了したときに予想される社会的インパクト及び将来の見通し。
- ※Inria(フランス)との共同研究に申請する場合は、英語で記載してください。

本共同研究の特色・独創的な点と位置づけ

本共同研究の特色は、日本の金星探査機「あかつき」の最新の観測結果を利用した数値モデルを用いた研究により、金星の大気中に存在する惑星規模から局地的な現象までの様々な空間スケールの循環・擾乱の動態を明らかにすることにある。また同時に、日仏二国間で独自に構築してきた数値モデルの結果を比較することで、数値モデルの信頼性の評価と向上に取り組む点が本共同研究のもう一つの特色である。

従来行われてきた金星大気モデル研究は、地球とはかけ離れた高温高圧の金星大気条件によって、理想化された地球流体力学的な研究に留まるものが多かった。また、計算機能力の制限から、惑星規模の循環のシミュレーションにおいて、低い解像度のシミュレーションのみが実行可能であった。しかしながら、今回共同で研究を実施するフランスの惑星大気モデリンググループをはじめとして、近年では金星大気の実的な放射伝達過程を導入した数値モデル研究が実施されつつある。また、一方国内では、高性能の大型計算機を用いた高解像度計算や、近年技術発展の著しいアンサンブル・カルマンフィルタに基づくデータ同化の試みを開始している。これら新しい金星大気数値計算と、「あかつき」によって観測され始めた新しい探査データを組み合わせることで、これまでに理解できなかった金星大気中の循環や擾乱の動態を明らかにし、金星大気のスーパーローテーションおよび気候の維持機構の解明に近づけようとするのが本研究の独創的な点である。

しかしながら、地球大気気候モデルがそうであるように、金星大気モデルにも様々な不確実性が存在する。「あかつき」による観測データがその検証材料として有効であることは言うまでもないが、本共同研究ではそれに加えて、日本とフランスのグループのモデルを用いた相互比較実験を試み、モデルの信頼性の評価とその向上を目指す。

若手研究者養成への貢献

本共同研究は、若手研究者の養成にも大きく貢献すると考える。現在国内には、金星大気モデル研究や観測研究に携わる研究者が、気象学会、地球電磁気・地球惑星圏学会、天文学会、惑星科学会に所属し、多数の若手研究者も存在する。本申請課題では、それら異なる学会に所属する若手研究者を系内・系外惑星を問わずに惑星の大気をキーワードにして結び付け、今後の研究の加速につなげることを目指す。

また、フランス研究者が来日した際には、ミニ・ワークショップを企画することで、経費の制限から渡仏できない惑星大気国内の若手研究者も議論に加わることが可能である。さらにそのワークショップは、中継と録画を行うことを予定している。申請代表者が所属する神戸大学の惑星科学研究センター (Center for Planetary Science; CPS) では、テレビ会議システムと録画設備を備えており、それらを用いることでセミナー期間中に神戸に出張することができない学生・研究者にも議論への参加の可能性を広げることができる。また、CPS 動画アーカイブを通して、将来の惑星大気分野の学生・初学者もセミナー内容を学ぶことが可能となる。動画アーカイブの公開は、ワークショップの参加者に限らず広くセミナーの内容を後日学ぶ機会が得られる。これもまた若手研究者の養成への貢献につながるだろう。

予想されるインパクト

本共同研究で議論される内容と成果は、金星の大気循環や機構の研究に留まらず、より広く惑星一般の研究成果における重要な足掛かりとして機能するだろう。金星は地球から最も近く、しかしながら地球とは全く異なる表層環境を持つという非常に興味深い研究対象であるが、同時に金星大気理解は、地球や火星、木星、そして系外惑星までを含めた多数の惑星を含めた枠組みの中での統一的な理解の一部としての重要な一歩となることを期待している。

また、金星に対する本共同研究は、「あかつき」による金星の探査のみならず、宇宙航空研究開発機構 (Japan Aerospace eXploration Agency; JAXA) が主導する次期火星衛星探査計画 (Martian Moons eXploration; MMX)、そして欧州宇宙機関 (European Space Agency; ESA) と協力していく木星探査計画 (Jupiter Icy Moon Explorer; JUICE) に加えて、地上望遠鏡などを用いた系外惑星探査計画において、探査データを数値モデル研究との融合によって解釈・活用していくモデルケースともなるだろう。

平成 30 年度二国間交流事業 共同研究〈申請内容〉
〔A 対応機関との合意に基づく共同研究・セミナー〕

(3)相手国との研究交流の必要性と意義

共同研究の相手として選定した、フランスの気象力学研究所 (Laboratoire de Météorologie Dynamique; LMD) と大気研究所 (Laboratoire Atmosphères; LATMOS) の惑星大気研究グループはこれまでに、我々と同様に金星や火星などの惑星の大気モデルの構築に取り組み、それぞれの惑星大気循環の研究を進めてきた。同時に、ESA は、Venus Express を用いた金星探査を完了しており、惑星探査データと数値モデルの連携による研究の経験を既に有する。

特にフランスのグループは、大気の循環を計算する数値モデルにおいて、流体の運動を駆動する外力項となるサブグリッドスケールの乱流の効果や放射効果、または物質の生成・消滅項のモデル化において世界でも先進的な試みを続けてきた。対する我々のグループは、地球シミュレータや京コンピュータなど日本の強みでもある計算機能力を生かした大規模計算を進めてきた。また、我々のグループでは、現象の地球流体力学的な解釈にも注力してきた。このような意味で、フランスのグループと我々とは、セミナーにおけるお互いの得意分野を生かした議論を通して、今後のモデル構築とそれを用いた研究を加速することが期待できる。

また、地球の気候研究の例でも知られている通り、大気の数値モデルにおける大きな問題は、サブグリッドスケールの効果を取り込む方法であり、その曖昧さが大きな問題となっている。その曖昧さの評価方法としてこれまで地球気候研究で行われてきたのが、モデルの相互比較実験である。本共同研究を機に相互比較実験を企画し、日本とフランスのモデルを評価することで「あかつき」による日本の惑星探査の結果をより生かした研究に発展させることができると考える。

(4)これまでの相手国研究者との交流状況及び交渉経過

LMD および LATMOS のグループとは、以下のような経緯でこれまでも研究協力を続けてきた。

2010 年 1 月 4 日 - 9 日:

CPS (惑星科学研究センター) 6th International School of Planetary Sciences - Planetary Atmospheres をシーパル須磨(神戸市)で開催し、LMD の Prof. Forget を講師の一人として招聘した。また、LMD の若手の中心研究者である Dr. Spiga を参加者の一人として招聘した。

2012 年 3 月 22 日:

セミナー代表者を含む、日本の若手研究者 5 名が LMD を訪問し、今後の日本の火星探査計画と、モデルを用いた惑星大気研究について議論した。

2013 年 1 月 29 日 - 2 月 8 日:

LMD の若手研究者 3 名 (Dr. Spiga, Dr. Millour, Dr. Montabone) を CPS に招聘し、滞在期間中に惑星大気モデル研究について継続的に議論した。また、滞在期間中の 2 月 4 日 - 6 日には、Mini-Workshop on Planetary Atmosphere, を開催し、国内の惑星大気研究者も多数参加して、太陽系内・系外を問わず惑星大気循環に関して議論した。

2015 年 5 月 11 日 - 5 月 15 日:

日本学術振興会二国間交流事業共同セミナーの支援を受けて、LMD の若手研究者 4 名 (Dr. Millour, Dr. Spiga, Dr. Forget, Dr. Lebonnois) を CPS に招聘し、また国内の惑星大気研究者を交えて共同セミナーを実施した。詳細は次ページに述べる。

フランス側代表者である Dr. Ehouarn Millour とは、上記の 2015 年 5 月の共同セミナー以降も電子メールおよび skype を用いて断続的に議論を重ねてきた。その中で、日本とフランスで本共同研究を申請することで合意し、内容についての議論を積み重ね、申請書の作成を進めてきた。

平成 30 年度二国間交流事業 共同研究<申請内容>
〔A 対応機関との合意に基づく共同研究・セミナー〕

(5)国際研究交流活動実績及びその実績と本申請課題との関係

①日本側研究代表者が、本会の国際交流事業*を現在実施中、あるいは過去5年間(平成25～29年度)に実施されたプログラムで研究代表者等を務めたことのある場合には、それらの事業全てを記入してください。

*該当のない場合には「該当なし」と記入してください。

*事業名・課題名・交流相手国・採用期間・役割(研究代表者、コーディネーター、スピーカー等)を全て記入してください。

②これまでの国際的な研究交流活動の実績(①を含む)と本申請課題との間に関連性がある場合は具体的に記入してください。

以下の国際交流事業を実施した実績がある。

事業名: 二国間交流事業 セミナー
課題名: 日仏連携による惑星大気モデル研究
交流相手国: フランス
採用期間: 2015 年度
役割: 研究代表者

上記事業では、LMD の研究者 4 名が来日し、2015 年 5 月 11 日から 15 日の期間に共同セミナーを実施した。そのセミナーでは、金星に限らず、太陽系内惑星(金星、火星、木星、土星、冥王星)および太陽系外惑星の気候について、数値モデル開発について詳細に議論し、また数値モデルを用いた研究を中心に、観測的研究の話題を交えて広く浅く議論した。本申請による共同研究は、2015 年の共同セミナーの素直な発展形である。また、前回の共同セミナー終了後に日本の金星探査機「あかつき」が金星軌道投入に成功したことで、今回は金星大気循環と気候を課題の中心に据え、日本とフランスの双方のモデルグループの長所を持ち寄って研究の推進を目指すものである。

※ここで言う本会の国際交流事業とは、次のとおり。二国間交流事業(共同研究・セミナー)、特定国派遣研究者事業、アジア学術セミナー、国際共同研究事業(スイスとの国際共同研究プログラム(JRPs)、国際共同研究教育パートナーシッププログラム(PIRE プログラム)、欧州との社会科学分野における国際共同研究プログラム(ORA プログラム)、多国間国際研究協力事業(G8 Research Councils Initiative)、国際化学研究協力事業(ICC プログラム)、災害からの回復力強化等に関する領域横断的研究協力事業)、日中韓フォーサイト事業、日独共同大学院プログラム、先端科学(FoS)シンポジウム、リンダウ・ノーベル賞受賞者会議派遣事業、HOPE ミーティング、先端研究拠点事業、アジア研究教育拠点事業、アジア・アフリカ学術基盤形成事業、研究拠点形成事業、論文博士号取得希望者に対する支援事業、外国人研究者招へい事業、国際研究集会、若手研究者インターナショナル・トレーニング・プログラム(ITP)、組織的な若手研究者等海外派遣プログラム、頭脳循環を加速する若手研究者戦略的海外派遣プログラム、頭脳循環を加速する戦略的国際研究ネットワーク推進プログラム、若手研究者ワークショップ(ブラジル)

平成 30 年度二国間交流事業 共同研究<申請内容>
〔A 対応機関との合意に基づく共同研究・セミナー〕

(6)共同研究の実施計画

(年度別に、日本と相手国の研究者相互の協力分担及び交流計画がわかるように、出張計画を含めて具体的に記入してください。)

本共同研究は、国内の惑星大気モデリング研究者と「あかつき」データ解析による研究者、そして LMD, LATMOS の研究者によって実施する。共同研究では、金星の惑星規模から局地規模までの水平スケールの現象を含み、大気力学、大気放射学、雲物理学に関することを幅広く扱いながら、「あかつき」のデータを鍵にして、日本とフランスでこれまでにそれぞれ独自に進めてきた金星大気モデルを用いたシミュレーションによって金星大気循環と金星気候の維持機構の解明を目指す。具体的には、下のようなスケジュールで、下の項目について研究を推進する予定である。

スケジュールと共同研究内容（括弧内の数字は下の課題の共同研究のポイントに対応）

- 平成 29 年度
 - 6 月: 4 名の日本人研究者渡仏, 1 週間滞在, ミニ・ワークショップ開催
 - ◇ 中心となる研究キーワード
 - 金星大気モデル開発[1], 放射過程検討[1], 観測データとの比較[2]
 - 9 月: 数名のフランス人研究者来日, 1 週間滞在, ミニ・ワークショップ開催
 - ◇ 中心となる研究キーワード
 - モデルの角運動量保存性[1], 雲物理過程検討[1], スーパーローテーションの構造[2,3]
- 平成 30 年度
 - 春: 4 名の日本人研究者渡仏, 1 週間滞在, ミニ・ワークショップ開催
 - ◇ 中心となる研究キーワード
 - 惑星規模・小規模波動構造[2,3], データ同化[4]
 - 秋から冬: 数名のフランス人研究者来日, 1 週間滞在, ミニ・ワークショップ開催
 - ◇ 中心となる研究キーワード
 - 平均循環・大気波動による運動量輸送[3], データ同化[4]
 - 全体まとめ, 今後の研究計画[5]

共同研究のポイントと従事する研究者

- [1] 金星大気モデル開発(高橋, 杉本, 高木, 山本, 黒田, はしもと 他; Millour, Lebonnois, Forget 他)
- 地球大気と大きく異なる条件下にある金星のモデリングには、これまで地球気候・気象研究において構築してきた数値モデルの素過程に関する検討が必要となる。本共同研究では、日仏グループで独自に構築してきた数値モデルの詳細を議論し、そして各素過程を比較することで、移流過程(角運動量保存性)、放射過程、乱流過程等の適用可能性を吟味し、洗練させる。
- [2] 金星大気モデルの計算結果と「あかつき」データとの比較(今村 他; Millour 他)
- 「あかつき」による観測データを用いることで、これまでは不可能であった、雲層よりも低高度の循環のモデルの検証を可能としつつある。しかし、探査機の膨大なデータに埋もれることなく、しかも日仏グループの複数のモデルとの意味のある比較を実現するために、観測された金星大気循環の描像を概観し、データを整備することが必要となる。
- [3] 金星大気モデルで表現される循環・擾乱のモデル間相互比較(杉本, 高木, 櫻村, 山本, 林, 中島, 石渡, 野口 他; Lebonnois, Spiga, Forget, Garate-Lopez, Lefevre, 他)
- 日仏グループのモデルで表現され、また同時に「あかつき」によって観測される、スーパーローテーション、コールドカラー(“cold collar”; 高緯度周極低温領域)、惑星規模波動(ロスビー波、ケルビン波)、小規模波動(重力波)等、様々な金星大気中の循環・擾乱の構造を相互に比較し、その再現性、および類似性・差異からそれらの動態を明らかにする。
- [4] 金星大気データ同化(杉本, 林; Lebonnois, Forget 他)
- 「あかつき」のデータと、最新の数値モデルを組み合わせ、アンサンブル・カルマンフィルタを用いたデータ同化を実行する。しかしながら、地球の気象予報に向けて開発されてきたデータ同化技術は、大量のデータがある条件下で利用されてきており、金星のような圧倒的にデータ量の少ない中での適用の可否の調査から開始する必要がある。その上で、「あかつき」データの潜在的価値を引き出し、またモデルの改善につながる同化された大気データの生成を試みる。
- [5] 金星大気シミュレーションから敷衍した他惑星の大気循環構図(高橋 他; Forget 他)
- 金星大気循環およびモデリングの知見に基づき、他惑星の大気理解および展開を議論する。

平成 30 年度二国間交流事業 共同研究<申請内容>
〔A 対応機関との合意に基づく共同研究・セミナー〕

(7)我が国の研究代表者及び参加者の主要研究業績

(申請課題の内容に限ることなく、最近5か年を中心に下記の項目について、我が国の研究代表者及び参加者が中心的な役割を果たしたもののみ、研究者ごとに記載してください。口頭・ポスター発表は含みません。)

①学術雑誌等(紀要・論文集等も含む)に発表した論文又は著書

*「査読の有無」を区分して記載してください。査読の有無に関わらず、印刷済又は採録決定済のものに限りません。査読中及び投稿中のものは除いてください。

*著者(全員の氏名を、論文と同一の順番に記し、我が国の研究代表者及び参加者にアンダーラインを付してください。)、題名、掲載誌名、巻号、開始ページ - 最終ページ、発行年(西暦)をこの順で記入してください。

②学術雑誌等又は商業誌における解説、総説

③特許・受賞歴

【2013～2017 年度】

学術雑誌等に発表した論文

[査読有]

[高橋]

- Noda, S., M. Ishiwatari, K. Nakajima, Y. O. Takahashi, S. Takehiro, M. Onishi, G.L. Hashimoto, K. Kuramoto, Y.-Y. Hayashi, The circulation pattern and day-night heat transport in the atmosphere of a synchronously rotating aquaplanet: dependence on planetary rotation rate, *Icarus*, 282, 1-18, 2017.
- Yamashita, T., M. Odaka, K.-I. Sugiyama, K. Nakajima, M. Ishiwatari, S. Nishizawa, Y. O. Takahashi, and Y.-Y. Hayashi, A numerical study on convection of a condensing CO2 atmosphere under early Mars like conditions, *J. Atmos. Sci.*, 73, 4151-4169, 2016.
- Nishizawa, S., M. Odaka, Y. O. Takahashi, K. Sugiyama, K. Nakajima, M. Ishiwatari, S. Takehiro, H. Yashiro, Y. Sato, H. Tomita, and Y.-Y. Hayashi, Martian dust devil statistics from high-resolution large-eddy simulations, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 4180-4188, doi:10.1002/2016GL068896, 2016.
- Kashimura, H., T. Enomoto, Y. O. Takahashi, Non-Negative Filter Using Arcsine Transformation for Tracer Advection with Semi-Lagrangian Scheme, *SOLA*, 9, 125-128, 2013.
- Blackburn, M., D. L. Williamson, K. Nakajima, W. Ohfuchi, Y. O. Takahashi, Y.-Y. Hayashi, H. Nakamura, M. Ishiwatari, J. McGregor, H. Borth, V. Wirth, H. Frank, P. Bechtold, N. P. Wedi, H. Tomita, M. Satoh, M. Zhao, I. M. Held, M. J. Suarez, M.-I. Lee, M. Watanabe, M. Kimoto, Y. Liu, Z. Wang, A. Molod, K. Rajendran, A. Kitoh, and R. Stratton, The Aqua Planet Experiment(APE): Control SST simulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 91A, 17-56, doi:10.2151/jmsj.2013-A02, 2013.
- Williamson, D. L., M. Blackburn, K. Nakajima, W. Ohfuchi, Y. O. Takahashi, Y.-Y. Hayashi, H. Nakamura, M. Ishiwatari, J. McGregor, H. Borth, V. Wirth, H. Frank, P. Bechtold, N. P. Wedi, H. Tomita, M. Satoh, M. Zhao, I. M. Held, M. J. Suarez, M.-I. Lee, M. Watanabe, M. Kimoto, Y. Liu, Z. Wang, A. Molod, K. Rajendran, A. Kitoh, and R. Stratton, The Aqua Planet Experiment (APE): Response to changed SST profile. *J. Meteor. Soc. Japan*, 91A, 57--89, doi:10.2151/jmsj.2013-A03, 2013.

[今村]

- Peralta, J., R. Hueso, A. Sánchez-Lavega, Y. J. Lee, A. García Muñoz, T. Kouyama, H. Sagawa, T. M. Sato, G. Piccioni, S. Tellmann, T. Imamura, T. Satoh, Stationary waves and slowly moving features in the night upper clouds of Venus, *Nature Astronomy* 1, 0187, doi:10.1038/s41550-017-0187, 2017.
- Peralta, J., Y. J. Lee, R. Hueso, R. T. Clancy, B. J. Sandor, A. Sanchez-Lavega, E. Lellouch, M. Rengel, P. Machado, M. Omino, A. Piccialli, T. Imamura, T. Horinouchi, S. Murakami, K. Ogohara, D. Luz and D. Peach, Venus's Winds and Temperatures during the Messenger's flyby: an approximation to a three-dimensional instantaneous state of the atmosphere, *Geophys. Res. Lett.*, DOI: 10.1002/2017GL072900, 2017.
- Imamura, T., A. Watanabe, Y. Maejima, Convective generation and vertical propagation of fast gravity waves on Mars: one- and two-dimensional modeling, *Icarus*, 267, 51-63, 2016.
- Ando, H., D. Shiota, T. Imamura, M. Tokumaru, A. Asai, H. Isobe, M. Pazold, B. Hausler, and M. Nakamura, Internal structure of a coronal mass ejection revealed by Akatsuki radio occultation observations, *J. Geophys. Res.*, 120, 5318-5328, doi:0.1002/2015JA021076, 2015.
- Ando, H., T. Imamura, T. Tsuda, S. Tellmann, M. Pätzold and B. Häusler, Vertical wavenumber spectra of gravity waves in the Venus atmosphere obtained from Venus Express radio occultation data: evidence for saturation, *J. Atmos. Sci.*, 72, 2318-2329, 2015. doi:10.1175/JAS-D-14-0315.1

平成 30 年度二国間交流事業 共同研究<申請内容>
〔A 対応機関との合意に基づく共同研究・セミナー〕

- Lee, Y. J., T. Imamura, S. E. Schroder, and E. Marcq, Long-term variations of the UV contrast on Venus observed by the Venus Monitoring Camera onboard Venus Express, *Icarus*, 253, 1-15, 2015.
- Kouyama, T., T. Imamura, M. Nakamura, T. Satoh, Y. Futaana, Vertical propagation of planetary-scale waves in variable background winds in the upper cloud region of Venus, *Icarus*, 248, 560-568, doi:10.1016/j.icarus.2014.07.011, 2015
- Imamura, T., T. Higuchi, Y. Maejima, M. Takagi, N. Sugimoto, K. Ikeda, and H. Ando, Inverse insolation dependence of Venus' cloud-level convection, *Icarus*, 228, 181-188, 2014.
- Kouyama, T., T. Imamura, M. Nakamura, T. Satoh, and Y. Futaana, Long-term variation in the cloud-tracked zonal velocities at the cloud top of Venus deduced from Venus Express VMC images, *J. Geophys. Res.*, 118, 37-46, DOI:10.1029/2011JE004013, 2013.

[杉本]

- Sugimoto, N., A. Yamazaki, T. Kouyama, H. Kashimura, T. Enomoto, and M. Takagi, Development of an ensemble Kalman filter data assimilation system for the Venusian atmosphere, *Scientific Reports*, accepted.
- Ando, H., T. Imamura, N. Sugimoto, M. Takagi, S. Tellmann, M. Pätzold, B. Häusler, H. Kashimura, and Y. Matsuda, Axi-symmetric feature of Venus polar vortex: Comparison between radio occultation measurement and GCM results, *Journal of Geophysical Research: Planets*, accepted.
- Sugimoto, N., Inertia-gravity wave radiation from the elliptical vortex in the f-plane shallow water system, *Fluid Dynamics Research*, 49, 025508, (17pp), 2017.
- Lebonnois, S., N. Sugimoto, and G. Gilli, Wave analysis in the atmosphere of Venus below 100-km altitude, simulated by LMD Venus GCM, *Icarus*, 278, 38-51, 2016.
- Sugimoto, N. and R. Plougonven, Generation and backreaction of spontaneously emitted inertia-gravity waves, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 3519-3525, 2016.
- Ando, H., N. Sugimoto, M. Takagi, H. Kashimura, T. Imamura, and Y. Matsuda, The puzzling Venusian polar atmospheric structure reproduced by a general circulation model, *Nature Communications*, 7, 10398, 2016.
- Sugimoto, N., Inertia-gravity wave radiation from the merging of two co-rotating vortices in the f-plane shallow water system, *Phys. Fluids*, 27, 121701, 2015.
- Sugimoto, N., K. Ishioka, H. Kobayashi, and Y. Shimomura, Cyclone-anticyclone asymmetry in gravity wave radiation from a co-rotating vortex pair in rotating shallow water, *J. Fluid Mech.*, 772, 80-106, 2015.
- Sugimoto, N., M. Takagi, and Y. Matsuda, Waves in a Venus general circulation model, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 7461-7467, 2014.
- Sugimoto, N., M. Takagi, and Y. Matsuda, Baroclinic modes in the Venus atmosphere simulated by GCM, *J. Geophys. Res. Planets*, 119, 1950-1968, 2014.
- Sugimoto, N., M. Takagi, Y. Matsuda, Y. O. Takahashi, M. Ishiwatari, and Y.-Y. Hayashi, Baroclinic modes in the atmosphere on Venus simulated by AFES, *Theoretical and Applied Mechanics Japan*, 61, 11-21, 2013.

[中島]

- Tsumura, K., Arimatsu, K., Egami, E., Hayano, Y., Honda, C., Kimura, J., Kuramoto, K., Matsuura, S., Minowa, Y., Nakajima, K., Nakamoto, T., Shirahata, M., Surace, J., Takahashi, Y., Wada, T., Near-infrared Brightness of the Galilean Satellites Eclipsed in Jovian Shadow: A New Technique to Investigate Jovian Upper Atmosphere. *Astrophys. J.*, Volume 789, Issue 2, article id. 122, 6 pp., doi:10.1088/0004-637X/789/2/122, 2014.
- Nakajima K., Y. Yamada, Y. O. Takahashi, M. Ishiwatari, W. Ohfuchi, and Y.-Y. Hayashi, The Variety of Forced Atmospheric Structure in Response to Tropical SST Anomaly Found in APE Experiments, *J. Meteor. Soc. Japan*, 91A, 143-193, doi:10.2151/jmsj.2013-A05, 2013.
- Nakajima, K., Y. Yamada, Y. O. Takahashi, M. Ishiwatari, W. Ohfuchi, and Y.-Y. Hayashi, The variety of spontaneously generated tropical precipitation patterns found in APE results. *J. Meteor. Soc. Japan*, 91A, 91-141, doi:10.2151/jmsj.2013-A04, 2013.

[竹広]

- Takehiro, S., Sasaki, Y., Penetration of steady fluid motions into an outer stable layer excited by MHD thermal convection in rotating spherical shells, *Phys. Earth Planet. Inter.*, in print. doi:10.1016/j.pepi.2017.03.001, 2017.
- Matsui, H., Heien, E., Aubert, J., Aurnou, J. M., Avery, M., Brown, B., Buffett, B. A., Busse, F.,

平成 30 年度二国間交流事業 共同研究<申請内容>
〔A 対応機関との合意に基づく共同研究・セミナー〕

Christensen, U. R., Davies, C. J., Featherstone, N., Gastine, T., Glatzmaier, G. A., Gubbins, D., Guermond, J.-L., Hayashi, Y.-Y., Hollerbach, R., Hwang, L. J., Jackson, A., Jones, C. A., Jiang, W., Kellogg, L. H., Kuang, W., Landeau, M., Marti, P., Olson, P., Ribeiro, A., Sasaki, Y., Schaeffer, N., Simitsev, R. D., Sheyko, A., Silva, L., Stanley, S., Takahashi, F., Takehiro, S., Wicht, J., Willis, A. P., Performance benchmarks for a next generation numerical dynamo model, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 17, 1586–1607, 2016.

- Sasaki, Y., Takehiro, S., Nishizawa, S., Hayashi, Y.-Y., Effects of latitudinally heterogeneous buoyancy flux conditions at the inner core boundary of an MHD dynamo in a rotating spherical shell. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 223, 55–61 doi:10.1016/j.pepi.2013.07.003, 2013.

[倉本]

- Kamata, S., Kimura, J., Matsumoto, K., Nimmo, F., Kuramoto, K., and Namiki, N., Tidal deformation of Ganymede: Sensitivity of Love numbers on the interior structure, *J. Geophys. Res.*, 121, 1362–1375, 2016.
- Kamata, S., S. Sugita, Y. Abe, Y. Ishihara, Y. Harada, T. Morota, N. Namiki, T. Iwata, H. Hanada, H. Araki, K. Matsumoto, E. Tajika, K. Kuramoto, and F. Nimmo, The relative timing of Lunar Magma Ocean solidification and the Late Heavy Bombardment inferred from highly degraded impact basin structures, *Icarus*, 250, 492–503, doi:10.1016/j.icarus.2014.12.025, 2015.

[杉山]

- Sugiyama, K., Nakajima, K., Odaka, M., Kuramoto, K., Hayashi, Y.-Y., Numerical simulations of Jupiter's moist convection layer: structure and dynamics in statistically steady states *Icarus*, 229, 71–91., 2014.

[はしもと]

- Lee, Y. J., A. Yamazaki, T. Imamura, M. Yamada, S. Watanabe, T. M. Sato, K. Ogohara, G. L. Hashimoto, and S. Murakami, Scattering Properties of the Venusian Clouds Observed by the UV Imager on board Akatsuki, *Astron. J.*, 154, 44, 2017.
- Manago, N., K. Noguchi, G. L. Hashimoto, H. Senshu, N. Otobe, M. Suzuki, H. Kuze, Feasibility of retrieving dust properties and total column water vapor from solar spectra measured using a lander camera on Mars, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 4:16, 2017.
- Fukuhara, T., M. Futaguchi, G. L. Hashimoto, T. Horinouchi, T. Imamura, N. Iwagami, T. Kouyama, S. Murakami, M. Nakamura, K. Ogohara, M. Sato, T. M. Sato, M. Suzuki, M. Taguchi, S. Takagi, M. Ueno, S. Watanabe, M. Yamada, A. Yamazaki, Large stationary gravity wave in the atmosphere of Venus, *Nature Geoscience*, 10, 85–88, 2017.
- Nakamura, M., T. Imamura, N. Ishii, T. Abe, Y. Kawakatsu, C. Hirose, T. Satoh, M. Suzuki, M. Ueno, A. Yamazaki, N. Iwagami, S. Watanabe, M. Taguchi, T. Fukuhara, Y. Takahashi, M. Yamada, M. Imai, S. Ohtsuki, K. Uemizu, G. L. Hashimoto, M. Takagi, Y. Matsuda, K. Ogohara, N. Sato, Y. Kasaba, T. Kouyama, N. Hirata, R. Nakamura, Y. Yamamoto, T. Horinouchi, M. Yamamoto, Y.-Y. Hayashi, H. Kashimura, K. Sugiyama, T. Sakanoi, H. Ando, S. Murakami, T. M. Sato, S. Takagi, K. Nakajima, J. Peralta, Y. J. Lee, J. Nakatsuka, T. Ichikawa, K. Inoue, T. Toda, H. Toyota, S. Tachikawa, S. Narita, T. Hayashiyama, A. Hasegawa and Y. Kamata, AKATSUKI returns to Venus, *Earth Planets Space*, 68:75, 2016.
- Iwagami, N., G. L. Hashimoto, S. Ohtsuki, S. Takagi, and S. Robert, Ground-based IR observation of oxygen isotope ratios in the Venus atmosphere, *Planet. Space Sci.*, 113, 292–297, 2015
- Hamano, K., H. Kawahara, Y. Abe, M. Onishi, G. L. Hashimoto, Lifetime and spectral evolution of a magma ocean with a steam atmosphere: its detectability by future direct imaging, *Astrophys. J.*, Vol. 806, Issue 2, article id. 216, 17 pp, 2015.
- Satoh, T., S. Ohtsuki, N. Iwagami, M. Ueno, K. Uemizu, M. Suzuki, G. L. Hashimoto, T. Sakanoi, Y. Kasaba, R. Nakamura, T. Imamura, M. Nakamura, T. Fukuhara, A. Yamazaki, M. Yamada, Venus' clouds as inferred from the phase curves acquired by IR1 and IR2 on board Akatsuki, *Icarus*, 248, 213–220, 2015.

学術雑誌等または商業誌における解説、総説

なし

特許・受賞歴

なし

平成 30 年度二国間交流事業 共同研究〈申請内容〉
〔A 対応機関との合意に基づく共同研究・セミナー〕

(8)相手国側研究代表者の経歴及び主要研究業績

①相手国側研究代表者の経歴(最終学位取得大学、学位名、取得年及び主な経歴)

②学術雑誌等(紀要・論文集等も含む)に発表した論文又は著書

*査読の有無を区分して記載してください。査読の有無に関わらず、印刷済又は採録決定済のものに限ります。査読中及び投稿中のものは除いてください。

*著者(全員の氏名を、論文と同一の順番に記し、相手国側研究代表者にアンダーラインを付してください。)、題名、掲載誌名、巻号、開始ページ - 最終ページ、発行年(西暦)をこの順で記入してください。

③学術雑誌等又は商業誌における解説、総説

④特許・受賞歴

注)相手国側研究代表者のみの経歴、主要研究業績を記入してください。上記②、③、④については、申請課題の内容に限ることなく、最近5か年に発表した学術雑誌等について、相手国側研究代表者が中心的な役割を果たしたもののみ記載してください。口頭・ポスター発表は含みません。

①相手国側研究代表者の経歴

Ehouarn Millour 博士は、フランス Paris-Sud 大学にて、基礎応用物理学分野において、2000年に学位(Ph.D)を取得した。

学位取得後、Paris-Sud 大学、Parisian 大学、Pierre et Marie Curie 大学に助手として勤務し、計算科学およびプログラミングと流体力学の教育に携わった。2003-2005年には、企業に就職し技術者として勤務した。2005年から、フランス LMD に勤務し、惑星大気モデリングに携わった。2008年から2015年まで CNRS (National Center for Scientific Research) Research engineer として勤務し、2016年から現職であり、惑星大気モデリングや、地球気候モデリングに携わり、気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)にも間接的に貢献している。

(※研究代表者の業績のみ記載してください。)

②学術雑誌等(紀要・論文集等も含む)に発表した論文又は著書

③学術雑誌等又は商業誌における解説、総説

④特許・受賞歴

学術雑誌等(査読有)

- A. Pottier, F. Forget, F. Montmessin, T. Navarro, A. Spiga, E. Millour, A. Szantai, and J.B. Madeleine, Unraveling the martian water cycle with high-resolution global climate simulations, *Icarus*, 291:82-106, 2017.
- F. Forget, T. Bertrand, M. Vangvichith, J. Leconte, E. Millour, and E. Lellouch, A post-New Horizons global climate model of Pluto including the N₂, CH₄ and CO cycles, *Icarus*, 287:54-71, 2017.
- F. González-Galindo, M. A. López-Valverde, F. Forget, M. García-Comas, E. Millour, L. Montabone, Variability of the Martian thermosphere during eight Martian years as simulated by a ground-to-exosphere global circulation model. *J. Geophys. Res.*, 120:2020-2035, 2015.
- L. Montabone, F. Forget, E. Millour, R. J. Wilson, S. R. Lewis, B. Cantor, D. Kass, A. Kleinboehl, M.T. Lemmon, M. D. Smith, and M. J. Wolff, Eight year climatology of dust optical depth on Mars, *Icarus*, 251:65-95, 2015.
- T. Navarro, F. Forget, E. Millour, and S. J. Greybush, Detection of detached dust layers in the Martian atmosphere from their thermal signature using assimilation. *Geophys. Res. Lett.*, 41:6620-6626, 2014.
- T. Navarro, J.-B. Madeleine, F. Forget, A. Spiga, E. Millour, F. Montmessin, and A. Määttänen, Global Climate Modeling of the Martian Water Cycle with Improved Microphysics and Radiatively Active Water Ice Clouds, *J. Geophys. Res.*, 119:1479-1495, 2014.
- S. Guerlet, A. Spiga, M. Sylvestre, M. Indurain, T. Fouchet, J. Leconte, E. Millour, R. Wordworth, M. Capderou, B. Bézard, and F. Forget, Global Climate Modeling of Saturn's Atmosphere. Part I: Evaluation of the Radiative Transfer Model, *Icarus*, 238:110-124, 2014.
- A. Colařtis, A. Spiga, F. Hourdin, C. Rio, F. Forget, and E. Millour, A Thermal Plume Model for the Martian Convective Boundary Layer, *J. Geophys. Res.*, 118:1468-1487, 2013.

学術雑誌等または商業誌における解説、総説

なし

特許・受賞歴

なし

平成 30 年度二国間交流事業 共同研究<申請内容>
 [A 対応機関との合意に基づく共同研究・セミナー]

(注意事項) ※本ページは削除しないでください。

①電子申請システムの【人権の保護及び法令等の遵守への対応】について

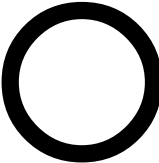
研究計画を遂行するにあたって、相手方の同意・協力を必要とする研究、個人情報の取り扱いの配慮を必要とする研究、生命倫理・安全対策に対する取組を必要とする研究など法令等に基づく手続きが必要な研究が含まれている場合に、どのような対策や措置を講じるのか電子申請システムの【人権の保護及び法令等の遵守への対応】の「該当あり」を選択の上、入力してください。

例えば、個人情報を伴うアンケート調査・インタビュー調査、国内外の文化遺産の調査等、提供を受けた試料の使用、侵襲性を伴う研究、ヒト遺伝子解析研究、遺伝子組換え実験、動物実験など、研究機関内外の情報委員会や倫理委員会等における承認手続きが必要となる調査・研究・実験などが対象となりますので手続きの状況も具体的に記述してください。

②電子申請システムの【申請経費】について

日本学術振興会から交付を希望する経費については、募集要項の「15. 国別の注意事項」及び電子申請システム入力欄下の記載事項に注意しながら、電子申請システムの【申請経費】に入力してください

③下記の表を参考に、日本側又は相手側において申請漏れがないようにしてください。

対応表		相手国側代表者	
		相手国側対応機関への「JSPSとの合意に基づく共同研究・セミナー」の申請	申請なし、又は別事業への申請
日本側代表者	「A 対応機関との合意に基づく共同研究・セミナー」への申請		片側申請となり、日本側不受理
	「B オープンパートナーシップ共同研究・セミナー」への申請	片側申請となり、相手国側不受理	