

**平成 30 年度研究拠点形成事業
(A. 先端拠点形成型) 実施報告書**

1. 拠点機関

日本側拠点機関：	東京大学
アメリカ側拠点機関：	アリゾナ大学
スイス側拠点機関：	プラネットエス (ベルン大学)
フランス側拠点機関：	コートダジュール天文台
ドイツ側拠点機関：	ドイツ航空宇宙センター

2. 研究交流課題名

(和文)：惑星科学国際研究ネットワークの構築

(英文)：International Network of Planetary Sciences

研究交流課題に係るウェブサイト：<http://www.resceu.s.u-tokyo.ac.jp/planet2/>

3. 採択期間

平成 28 年 4 月 1 日 ~ 令和 3 年 3 月 31 日

(3 年度目)

4. 実施体制**日本側実施組織**

拠点機関：東京大学

実施組織代表者 (所属部局・職・氏名)：東京大学・総長・五神 真

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：大学院理学系研究科・教授・杉田精司

協力機関：宇宙航空研究開発機構、国立天文台、名古屋大学、北海道大学、東北大学、大阪大学、会津大学、千葉工業大学、神戸大学、九州大学、立教大学、東京工業大学、高知大学、総合研究大学院大学

事務組織：東京大学理学系研究科等事務部

相手国側実施組織 (拠点機関名・協力機関名は、和英併記願います。)

(1) 国名：アメリカ合衆国

拠点機関：(英文) The University of Arizona

(和文) アリゾナ大学

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：(英文) Lunar and Planetary Laboratory・Professor・LAURETTA Dante

協力機関：(英文) Johns Hopkins University, Brown University, Massachusetts Institute of Technology, Princeton University, University of Colorado, City University of New York, National Aeronautics and Space Administration (NASA), Planetary Science Institute, University of Hawaii

Arizona State University

(和文) ジョーンズ・ホプキンス大学、ブラウン大学、マサチューセッツ工科大学、プリンストン大学、コロラド大学、ニューヨーク市立大学、アメリカ航空宇宙局、惑星科学研究所、ハワイ大学、アリゾナ州立大学

経費負担区分：パターン1

(2) 国名：スイス連邦

拠点機関：(英文) PlanetS (University of Bern)

(和文) プラネットエス (ベルン大学)

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：(英文) Physics Institute, Professor, BENZ Willy

協力機関：(英文) University of Geneva, University of Zurich, Swiss Federal Institute of Technology (ETH)

(和文) ジュネーブ大学、チューリッヒ大学、スイス連邦工科大学

経費負担区分：パターン1

(3) 国名：フランス共和国

拠点機関：(英文) Observatory of Côte d'Azur

(和文) コートダジュール天文台

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：(英文) Lagrange Laboratory, Senior Researcher, MICHEL Patrick

協力機関：(英文) University of Lorraine, University of Paris-Sud, University of Grenoble

(和文) ロレーヌ大学、パリ第11大学、グルノーブル大学

経費負担区分：パターン1

(4) 国名：ドイツ連邦共和国

拠点機関：(英文) German Aerospace Center

(和文) ドイツ航空宇宙センター

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：(英文) Institute of Planetary Research, Professor, JAUMANN Ralph

協力機関：(英文) Heidelberg University, Hamburg University

(和文) ハイデルベルグ大学、ハンブルグ大学

経費負担区分：パターン1

5. 研究交流目標

5-1 全期間を通じた研究交流目標

近年の数多くの太陽系外惑星の発見および太陽系内の相次ぐサンプルリターン探査の成功は、宇宙史という文脈における太陽系の起源とその普遍性、地球の水に代表される物質の起源と循環、さらには生物の誕生と起源という、人類にとっての究極の問いに答え得る歴史的な瞬間が到来していることを意味する。それらに答えるには、旧来の研究分野の壁を取り払い、理論、観測、シミュレーションを総動員して系外と系内を統一的に解き明かす新たな惑星科学を立ち上げることが不可欠である。本課題は、東京大学理学系研究科ビッグバン宇宙国際研究センターを中心に、米国・スイス・フランス・ドイツの国際拠点との密接な共同研究を推進し、太陽系内と系外の研究分野の壁を取り払い、理論・観測・シミュレーションを総動員して太陽系内と系外の物質輸送過程を統一的に解き明かすことを目標とする。本計画では、(A)小天体のリモセン観測、(B)回収サンプルの微量分析、(C)衛星搭載望遠鏡による系外惑星の観測、(D)系外惑星の地上望遠鏡観測、(E)惑星形成理論の構築の5アプローチから、現代惑星形成論の3大問題（(1)微惑星形成問題、(2)氷・有機物の凝縮位置の問題、(3)惑星移動問題）に迫る。さらに、各アプローチの観測現場に若手研究者の比較的長期の派遣と受入を行うことによって、分野横断の議論で得られた知見を具体的な研究成果に繋がられる密接な国際連携関係を構築する。

5-2 平成30年度研究交流目標

<研究協力体制の構築>

初年度・次年度に開催したサマースクールおよびシンポジウムやセミナー、また、研究代表者と若手研究者の相手国への派遣によって始めた共同研究プロジェクトを通して、これまでに相手国研究拠点・研究協力機関および日本国内の研究協力機関と、研究教育協力体制を構築してきた。

太陽系研究では、日本の強みである小惑星探査機プロジェクトによって、日本が主導的な役割を果たす形での国際協力関係ができつつある。本年度は、いよいよアメリカの OSIRIS-REx が小惑星ベンヌに、日本のはやぶさ2が小惑星リュウグウに到着し、実際に観測データの取得がはじまる。そのため、相手国の惑星探査リモセン観測・解析拠点へ、日本の若手研究者（博士研究者や博士課程学生など）を派遣し、OSIRIS-REx に解析チームや運用チームの一員として参加させる。これは、日本側の若手研究者にとってよい機会を与えるだけでなく、はやぶさ2は OSIRIS-REx よりも数ヶ月先に未知の C 型小惑星にタッチダウンを行うため、はやぶさ2プロジェクトと強い繋がりを持つ日本人研究者は米国研究者にとって非常に貴重な情報源となる。

一方、系外惑星研究では、惑星形成や水惑星の形成など生命を持つ惑星の形成に関する理論研究によって、日本が主導的な役割を果たす形での国際協力関係を築いてきた。本年度は、宇宙望遠鏡 TESS（米）や CHEOPS（欧）の打ち上げによって、系外惑星の全天サーベイが行われ、低温度星まわりのハビタブルゾーン付近に存在する詳細観測可能なサンプルが多く検出される。相手国の観測によって得られるデータと日本国側からは主に理論とフォローアップ観測による貢献を行い、相互に交流することで惑星形成・進化を共同で解明するこ

とを目指す。

昨年度は、惑星形成にフォーカスしたシンポジウムを開催したが、今年度は、惑星系の形成および進化の鍵となるプロセスである小天体の衝突・破壊現象にフォーカスしたワークショップを日本国内（神戸）で開催する。ここには、小天体のサイエンスに取り組む研究者だけでなく、系外も含めて惑星形成および進化の研究者の参加を推奨し、研究協力関係を強化する。また、日本国内でサマースクールを開催し、そこに相手国の系外惑星の専門家を講師として招待し、大学院生の教育を行う。

<学術的観点>

平成30年度には、小惑星探査プロジェクトおよび系外惑星観測プロジェクトの双方において、いよいよ観測データが得られる。まず、前者については、はやぶさ2による小惑星リュウグウの全球表面詳細観測とタッチダウン観測がなされる。それらの観測では、リュウグウ表面に存在する鉱物を同定し、さらに含水鉱物の分布をマッピングする。また、風化堆積物の粒径や密度からリュウグウの構成ユニットを明らかにする。そして、これらの情報から、リュウグウの母天体の力学進化および熱進化に制約を与えることを目標とする。これらは、太陽系形成過程解明のための重要な手がかりとなる。

一方、系外惑星については、4月に宇宙望遠鏡 TESS が打ち上げられ、系外惑星の大規模全天サーベイが行われる。また、すばる望遠鏡に設置した赤外ドップラー分光器(IRD)も本格的に稼働し、新たな系外惑星の検出と TESS サンプルのフォローアップに活躍が期待される。発見される惑星には、太陽に比べて小さく温度の低い中心星 (M 型星) を周回するものが多く、ハビタブルゾーンやスノーラインが中心星近くにあるため、水の輸送や惑星移動の影響を調べるのに適したターゲットである。また、太陽系から近くて明るい中心星が多く、惑星および惑星系の特徴付けにも適している。そこで、これまでに開発に取り組んできた惑星の軌道決定法や内部組成モデル、大気スペクトルモデル等を用いて、検出された惑星および惑星系の特徴づけを行う。

これらのデータと理論モデルによる予測を照らし合わせることによって、開発してきた汎惑星系形成理論の検証および修正を行う。また、そのための観測および理論に関する情報交換および議論のために、研究代表者や若手研究者らが相手国と日本を行き来する。こうして構築される汎惑星系形成理論は、太陽系と系外惑星系の両方の最新かつ詳細な観測データに基づいており、従来の形成理論に比べて格段と実証的なものであると言える。

<若手研究者育成>

若手研究者の育成については、昨年度に引き続き、本事業で計画している3段階の第2段階に力を入れ、若手研究者の国際経験の充実に注力する。国内での研鑽によって得た知見・技術を足掛かりに米欧の最先端プロジェクトに参画し、成長の糧としてもらう。そのために、多くの若手研究者に自らの提案に基づいた国際派遣を行う機会を与える。昨年度に優秀な成果を挙げた若手研究者には、それをさらに発展させるために派遣し、相手国研究者との共著で論文発表まで到達させる。また、公募した派遣提案の応募者の中から新たに数件を相手国に派遣する予定である。

第2段階で十分な成果が認められた若手研究者には、第3段階としては、プロジェクト全体を俯瞰的に且つ緻密に理解して全体を主導できるプロジェクトマネージャーになるための育成プログラムを始める。本段階は、第2段階での国際交流・経験をさらに発展させ、より長期かつ本格的な国際交流および研究活動を行って行くことで実現するものである。プロジェクトマネージャーの候補となる優秀な若手には、相手国の複数拠点への滞在を通じて各国の若手リーダーとの現行および次世代プロジェクトに関する踏み込んだ意見交換・技術交換を推進してもらう。これらの活動により、次世代の国際共同プロジェクトの人的ネットワークの基礎を築いてもらうことを目標とする。

<その他（社会貢献や独自の目的等）>

国民的な人気を持つはやぶさ2探査と本事業との深い関連性を活かし、国内外の研究者を交えた一般講演会や展示などを東京ドームシティ TeNQなどで開催し、子供達が宇宙科学や理科へ興味を持つ契機を与えることを目指す。このような一般講演会の機会は、科学者でない一般の人たちや子供達とどのようにコミュニケーションをとるべきかを、若手研究者が習得する絶好の機会でもある。大型プロジェクトを推進する上では、一般の国民の理解と支持が不可欠である。このような機会を確保することも1つの大きな目標である。

6. 平成30年度研究交流成果

<研究協力体制の構築>

本年度は、計画2年度までに構築した日米欧の国際研究協力体制が非常に有効に機能して、科学成果創出が大いに進展した年であった。この成果創出をテコにして、計画4年度、5年度に向けた協力体制の強化および共同研究の進展についての検討が進展した。

まず、年度の前半においては、はやぶさ2探査機の小惑星リュウグウの到着と全球科学観測がハイライトであった。ここには、米国、ドイツ、フランスから20名ほどの研究者が2週間から3ヶ月の長期間にわたって日本に滞在し、科学観測運用、データ校正、初期解析、高次解釈の全ての側面で支援してくれた。ここでは、昨年度までに相手国に派遣された若手研究者が相手国研究者との仲立ちとなってくれて、多数の研究者が日本の探査機データの処理と解釈に機能的に組織化されるよう、様々な提案と調整をしてくれた。来訪研究者も日本の若手を信用して、彼らから来る指示を的確に理解して科学データの解釈に必要な一次処理や校正精度評価など地味だが重要な基盤的作業を受け持ってくれた。

年度後半には、ESAがはやぶさ2に提供した子機MASCOTのリュウグウ着陸とNASAの探査機OSIRIS-RExの小惑星ベヌーへの到着がハイライトであった。この時期には、日本から逆に2名の研究者を米国とドイツにそれぞれ派遣し、彼らの観測運用およびデータ解析に参画してもらった。このような双方向の交流によって、探査機を通じた日米欧の共同研究体制はかつてないレベルの緊密さを持つこととなった。

その結果、本事業の日米仏のコーディネーターの協議により、2019年度にはアリゾナ

大学において本事業を共同開催主体とする国際ワークショップを開催することとエルゼビア社から収録論文集を発行することが決まり、参加者 300 名を目指して準備が開始された。これは、本計画の後半の事業推進において重要な布石となる体制強化である。

<学術的観点>

本年度の活動では、はやぶさ 2 探査から得られた太陽系内の小天体に関する成果と系外惑星観測に関する成果の両面から大きな成果が得られた。

まず、はやぶさ 2 探査からは、小惑星リュウグウに関する様々な知見が得られた。事前の予想を覆し、リュウグウは極めて対称性の良い回転体であり、空隙率が高いいわゆるラブルパイル天体（母天体の破碎で生じた幾多の破片（rubble）が再集積した瓦礫の寄せ集め（pile））であること、反射率が非常に低くて炭素に富むこと、含水鉱物の含有量は非常に低いことなどが判明した。これらの結果は Science 誌の特集号として発表された。また、アメリカ天文学会惑星部門、米国地球物理学会、月惑星科学会議での「はやぶさ 2」特別セッションの形で発表された。

さらに、国際交流研究の結果が非常に光ったのは、小惑星リュウグウとベヌーとの間に驚くような類似性と懸隔性が共存していることが判明したことである。両小惑星は、密度、反射率、全体形状、可視スペクトル、熱慣性のいずれも誤差の範囲で一致している。しかし、含水鉱物の含有量については 1 桁以上の差があることが分かったのである。これは、小惑星の概観にほとんど変化を与えない小さな変成過程によって、含水鉱物量が大幅に変化することを意味する。水氷よりはるかに高温まで安定な含水鉱物は、温度の高いハビタブルゾーン（大惑星の表面に液体の水が安定で存在できる領域）へ水を高効率に輸送できる能力を持っている。この含水鉱物の量が簡単に変化してしまう可能性が見出されたことは、太陽系に限らない惑星系での水輸送過程の理解に大きな役割を果たすことが期待される。

また、系外惑星の軌道進化について、観測データの高次解析と理論検討の面でも大きな進展があった。まず、Kepler 衛星のデータ解析から、Kepler-408 と呼ばれる恒星の自転軸が、その周りにある惑星の公転軸と約 40 度程度傾いていることを発見したことが特筆される。これは、現時点で知られている自転公転角がずれている系の中で最小の惑星を持つ系であり、地球型惑星の軌道進化を理解する上で大変重要な制約条件を与えることが期待される。さらに、形成中の惑星系についても進展があった。最近のアルマ望遠鏡の観測から形成中の複数惑星の発見が相次いでいるが、原始惑星系円盤データを初期条件とした複数惑星系の進化モデル計算が進展し、複数惑星系の進化理論を天文観測と有機的に結びつけて実証できる基盤を構築できた。

<若手研究者育成>

若手研究者の育成は、主に本事業の研究者交流の枠組みを使って推進した。そこでは、惑星観測データの高次解析や理論考察のレベルでの育成と観測データの性能出しの根幹を握る機器校正のレベルでの育成との二面で成果があった。

観測データの高次解析の面では、系外惑星観測データの若手の著しい成長が見られた。まず、TESS 衛星の理学データ解析の拠点であるプリンストン大学に派遣された若手研究者が

筆頭で論文を執筆・出版することができており、着実な育成成果となっている。さらに、惑星理論解析の欧州の拠点であるニース天文台（フランス拠点機関）に派遣された若手研究者が、世界最大の電波望遠鏡アルマで発見されつつある複数惑星を持つ惑星系の理論計算に関する本格的な連携研究に着手し、さらなる発展の礎を築いた。

他方、機器校正の面では、先行する JAXA はやぶさ 2 探査機での経験と実績を積んだ日本人若手研究者が NASA の OSIRIS-REx 探査機のチームに派遣されて、相手機器の性能出しの根幹を握る校正精度評価に食い込むことに成功したことが、大きな成果であった。特に、伝統的に米国のお家芸であった可視カメラの分光放射感度校正に関して、はやぶさ 2 の方式の方が米国の方式よりも優れていることが分かり、途中から米国の校正方式を切り替えさせたことは驚くべき事態であった。このような成果が出ていることは、米国の様々な機器チームの間で共有され、H30年度に始まった NASA ディスカバリー探査の提案チームには日本の若手・中堅研究者が主要メンバーとして迎え入れられて提案書が書かれている。どの計画が採択されるかは予断を許さないが、若手研究者が米国の中核メンバーに食い込んだことは事実であり、将来への大きな布石となったことは間違いない。

<その他（社会貢献や独自の目的等）>

平成 30 年度のはやぶさ 2 の小惑星到着および試料採取タッチダウンの国内外のメディアでの報道の過熱ぶりは驚くほどのものであった。国内では NHK スペシャルをはじめとした各種特別番組が作られ、ニュースでもタッチダウンや人工衝突など特記運用がある度に報道されてきた。このような報道の各場面において、本事業で受入れた相手国研究者の多くが協力してくれて、欧米での報道における日本の探査機の素晴らしさを伝える貢献をしてくれた。

その一方で、このように報道が過熱する際に忘れられがちなのが本義である科学成果の創出とその丁寧な説明である。惑星探査機が小惑星に到着して画像が出るや否や目覚ましい科学成果が出るわけではない。慎重な解析と相互批判を経て、初めて信用に足る科学成果が創出される。しかし、メディアの注目の継続時間は極めて短い。このような注目期間を逃すと、興味を持ってくれた一般の人々や子供達に科学の素晴らしさを訴える機会を逸してしまうことになってしまう。短期間内にサイエンスの成果を言い過ぎない範囲で的確な内容を発信して行く必要がある。このようなジレンマは日本固有現象ではなく、欧米でも同様のことが起きている。彼らが最近の事例（例えば、ESA の ROSETTA 彗星探査）での教訓を我々の探査の報道がリアルタイムで起きている際に、逐一聞くことができ、それを我々の社会発信の方法に反映できたことは、大変有意義であった。

さらに、はやぶさ 2 探査機のタッチダウン運用が行われる前後に開催された、国際的に影響力の大きな惑星科学関係の複数の国際学会においては、本事業で日本に招かれた相手国研究者がロジスティクス面で大変に大きな貢献をしてくれた。特に重要だったのは、アメリカ天文学会惑星部会での「はやぶさ 2」の記者発表会と月惑星科学会議での「はやぶさ 2」Science 誌特集号発行の記者発表会であった。この両記者発表会の効果は絶大で、世界で 100 社を超えるメディアを通じてニュース報道として、はやぶさ 2 探査の記事が配信されることとなった。このような報道は、今後世界各国から日本の宇宙科学や科学全般に興味を持

ってもらふ契機となることが期待される。

＜今後の課題・問題点＞

本計画の開始以前から予想されていたことであるが、惑星探査を初めとする大プロジェクトに若手が参画すると、プロジェクトの運用や科学データ取得など業務的作業に多くの時間を取られてしまう難点がある。特に平成30年度は「はやぶさ2」探査機の小惑星到着および科学観測の年度であったため、業務的な仕事量はシニア層から若手まで大変に大きな負担としてのしかかってきた。そのため、論文を読んだり勉強をしたりする時間は非常に減ることとなった。これは、本事業における最大の問題点であり、若手研究者にとって大変辛いことである。

この問題の解決策を見つけて実現することが、本事業推進における運営者の大きな責任である。この1つの糸口は、NASAのOSIRIS-REx探査機から見つかった。それは、彼らが探査する小惑星ベヌーが我々の探査している小惑星リュウグウと酷似していることに由来する。科学的なデータの比較はもちろんであるが、科学観測立案や機器校正など科学探査の根幹に当たる部分において、日本の探査機の経験がそのまま使えることになったのである。大惑星の探査では米国は層の厚い研究者集団を抱えているため、外国人研究者の助けを必要とすることはほとんどないが、小惑星探査に関しては経験が乏しいため彼らの常識が使えず、日本の若手であっても重用することになった。その結果、彼らには米国の探査機データのフルのアクセス権と論文執筆権が与えられ、今後の彼らの論文業績を増やすための大きな財産になった。

今後は、この絶好の機会を利用して論文業績に転化してもらえるよう、十分な執筆時間を確保できるように環境整備をしてあげることが重要な課題である。これによって、彼らが中堅やシニアになったときに業績面で海外研究者と引けを取らず渡り合っていけるようになることが目標である。

7. 平成30年度研究交流実績状況

7-1 共同研究

整理番号	R-1	研究開始年度	平成28年度	研究終了年度	令和2年度
共同研究課題名	<p>(和文) 国際連携小惑星探査による初期太陽系内における揮発性物質の進化過程の調査</p> <p>(英文) Investigation on the evolution processes of volatiles in the early Solar System based on joint international asteroid explorations</p>				
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	<p>(和文) 杉田精司・東京大学・教授・1-1</p> <p>(英文) SUGITA Seiji, The University of Tokyo, Professor,1-1</p>				
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	<p>(英文) LAURETTA Dante , The University of Arizona, Professor,2-1</p>				
30年度の 研究交流活動	<p>今年度は、はやぶさ2の小惑星全球観測と試料採取、および OSIRIS-REx の小惑星初期観測、MASCOT の小惑星表面投下など特殊運用と科学観測を実施した。得られた画像およびスペクトルのデータを米国アリゾナ大学、ジョンズホプキンス大学、月惑星研究所、仏コートダジュール天文台、独DLR との間で研究者の相互派遣を行って共同研究を推進し、相手国での観測運用や初期解析に貢献した。特にはやぶさ2のリュウグウ到着直前のアプローチ期間から全球観測期間に掛けて、米国・10人・平均3週間、仏・3人・平均2週間、独・3人・平均3週間の海外研究者を受け入れて、彼らの協力を得ながら科学観測やデータ解析を実施した。その後、冬からの OSIRIS-REx 探査機のアプローチ期間から全球観測期間に掛けて、日本より2名の研究者を米国に派遣し、OSIRIS-REx 探査機の初期解析に貢献した。さらに、米国天文学会(AAS)の惑星科学部会(DPS)、米国地球物理学会AGU、月惑星科学会議 LPSC において、はやぶさ2、OSIRIS-REx 特別セッションの開催し、これら3国際会議および日本国内でのチーム会議2回を利用して、共同研究の進捗確認を行った。</p>				

30年度の 研究交流活動 から得られた 成果	小惑星表面に存在する可視・近赤スペクトルおよび地形のマップ作成を完了した。特にリュウグウ表面は100万年以下の非常に若い状態を保っていること、スペクトル的には極めて均一であること、非常に低いアルベドを持っていて炭素含有量が高いこと、含水鉱物量は低いこと、密度は1.2g/ccと非常に軽いこと、など重要な知見が得られた。さらに、OSIRI-RExの観測からは、小惑星ベヌーが小惑星リュウグウと極めて類似した惑星であること、しかし含水鉱物量は桁が多いことが分かってきた。それぞれの小惑星のほとんど全ての特徴（密度、アルベド、可視スペクトル、クレーター密度、ボルダー数密度、回転体の全体形状）が全て同一であるにもかかわらず、含水鉱物量のみが異なっているという謎めいた類似・相違関係を持つことが明らかとなった。これは、それぞれの小惑星を個別研究からは分からないが、両者の密な比較で明確化される事象が多数あることを示している。このような目覚ましい成果の結果は、Science誌のはやぶさ2特集号発行（3本の原著論文）に結実することとなった。
---------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

整理番号	R-2	研究開始年度	平成28年度	研究終了年度	令和2年度
研究課題名	(和文) 系外惑星系の多様性の探究				
	(英文) Quests for diversity of exoplanetary systems				
日本側代表者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	(和文) 須藤靖・東京大学・教授・1-2				
	(英文) SUTO Yasushi, The University of Tokyo, Professor, 1-2				
相手国側代表者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	(英文)				
	WINN Joshua, Princeton University, Associate Professor, 2-5				
30年度の研究 交流活動	<p>6月に日本側代表者である須藤靖が、大学院生の林利憲と Wang Shijie とともに、米国の協力研究機関であるプリンストン大学と、研究協力者が所属するコーネル大学に滞在し、セミナーおよび議論を行った。</p> <p>また、9月に須藤靖がフランスの拠点機関であるコートダジュール天文台と、研究協力者が所属するパリ天体物理学研究所に滞在し、セミナーおよび議論を行った。</p>				

<p>30年度の研究 交流活動から得 られた成果</p>	<p>プリンストン大学で行った星震学のセミナーの結果について議論を進め、プリンストン大学の Josh Winn 教授、増田賢人博士研究員（須藤研で学位取得）、大学院生 Fei Dai と共同で、須藤研の大学院生上赤翔也を筆頭著者とする共同論文をまとめ上げ、出版することができた。これは Kepler-408 と呼ばれる恒星の自転軸が、その周りにある惑星の公転軸と約 40 度程度傾いていることを発見したものであり、現時点で知られている自転公転角がずれている系の中で、最も小さな惑星をもつ系となっている。この共同研究をもとにしてさらなる研究交流が継続している。</p> <p>また、コートダジュール天文台では、最近数多く発表されているアルマ望遠鏡の原始惑星系円盤データを初期条件とした複数惑星系の進化に関する研究成果を講演し、活発な議論を行った。これを受けて 2019 年には、大学院生をコートダジュール天文台に派遣し、より具体的な共同研究を行う予定となっている。</p>
--------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

整理番号	R-3	研究開始年度	平成28年度	研究終了年度	令和2年度
研究課題名	<p>(和文) 初期惑星系における物質の起源と循環: 太陽系科学および系外惑星科学の相乗効果</p> <p>(英文) Origin and circulation of materials in early planetary systems: Synergy between the solar and extrasolar system sciences</p>				
日本側代表者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	<p>(和文) 生駒大洋・東京大学・准教授・1-13</p> <p>(英文) IKOMA Masahiro・The University of Tokyo・Associate Professor,1-13</p>				
相手国側代表者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	<p>(英文)</p> <p>MICHEL Patrick・Observatory of Côte d'Azur, France・Senior Researcher,4-1</p> <p>BENZ Willy・University of Bern, Switzerland・Professor,3-1</p>				
30年度の研究交 流活動	<p>本年度は、揮発性物質を多く含む固体小物体の原始惑星系円盤内移動と小天体のガス惑星エンベロープへの溶け込み過程に焦点を当て、これらの過程の具体化と定量化のための研究交流を行った。特に、ベルン大学とチューリッヒ大学の研究者と原始大気と固体小物体の相互作用および惑星集積過程に与える影響に関する理論研究、コートダジュール天文台の研究者とガス惑星内部構造に関する共同研究を推進した。進捗状況の確認・共有のために、月1度程度スカイプ等を用いたテレコンを行うとともに、各研究機関に日本側研究代表者と大学院生を派遣した。また、ベルン大学・チューリッヒ大学・コートダジュール天文台の共同研究者を東京大学で受け入れた。</p>				
30年度の研究 交流活動から得 られた成果	<p>ベルン大学・チューリッヒ大学の研究者との研究交流によって、初期惑星系における小物体の振り舞いに関する最新の理解を導入した、惑星集積過程の新たな理論モデルの構築を進展させることができた。また、コートダジュール天文台の研究者との巨大惑星内部構造の研究に関する交流によって、JUNO による重力場データや木星表面振動データから形成理論を検証する方法の議論を深めることができた。この議論は、来年度に得られる系外惑星探索衛星 TESS の観測への示唆を与えることができるものであり、その重要性は大変に大きい。太陽系惑星の惑星である木星の内部構造と系外惑星の TESS 衛星データを総合することによって、太陽系および系外惑星系の形成過程に関する理解が格段と向上することが期待される。</p>				

7-2 セミナー

整理番号	S-1
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業「はやぶさ2=オシリスレックス連携科学会議」 (英文) JSPS Core-to-Core Program “ OSIRIS-REX-Hayabusa2 Joint Science Meeting ”
開催期間	平成31年3月20日 ~ 平成31年3月20日 (1日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) アメリカ、ザウッドランズ、マリオット会議センター (英文) U.S.A., The Woodlands, Marriot Convention Center
日本側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	(和文) 吉川真・宇宙科学研究所・准教授・1-99 (英文) YOSHIKAWA Makoto・JAXA/ISAS・Associate Professor, 1-99
相手国側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号 (※日本以外での開催の場合)	(英文) LAURETTA Dante, University of Arizona, Professor, 2-1

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (国名)		備考
		A.	B.	
日本	A.	10/	70	
	B.	3		
米国	A.	15/	75	
	B.	10		
フランス	A.	3/	21	
	B.	2		
ドイツ	A.	2/	14	
	B.	5		
合計 <人/人日>	A.	30/	180	
	B.	20		

A. 本事業参加者 (参加研究者リストの研究者等)

B. 一般参加者 (参加研究者リスト以外の研究者等)

※人/人日は、2/14 (=2人を7日間ずつ計14日間派遣する) のように記載してください。

※日数は、出張期間（渡航日、帰国日を含めた期間）としてください。これによりがたい場合は、備考欄にその内訳等を記入してください。

セミナー開催の目的	<p>日本のはやぶさ2とアメリカ O-REx が一通りの小惑星ランデブー観測を完了できたタイミングで、日本のはやぶさ2探査機、アメリカの OSIRIS-REx、ヨーロッパの MASCOT 着陸機の科学観測チームの共同サイエンス会議を開き、取得データの速報とミッションの進捗報告、三者にとって必要な課題についてサイエンス面から議論することが目的である。</p>		
セミナーの成果	<p>本セミナーは、直前に実施された「はやぶさ2」のタッチダウン運用の際に起きた小惑星表面の物理的擾乱のデータ共有が最大のテーマとなった。それ以前の全球観測によって、JAXAの「はやぶさ2」の探査対象リュウグウとNASAのOSIRIS-RExの探査対象ベヌーが極めて類似した表面を持っていることが明らかになったため、その表面物理状態も極めて類似していることが予想される。2020年7月のOSIRIS-REx タッチダウン運用準備に向けて、小惑星表面の物理状態に関する討議は大いに盛りあがった。</p> <p>議論の結果、リュウグウの表面は、sub-meter の太陽加熱による熱変成層、sub-mm レベルの宇宙風化層の両方を有している可能性が高いこと、これらの層構造の詳細観測が今後の小惑星観測の重要な課題になることなど合意された。</p>		
セミナーの運営組織	アリゾナ大学		
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容 外国旅費	金額 280万円
	(米国)側	内容 国内旅費	
	(フランス)側	内容 外国旅費	
	(ドイツ)側	内容 外国旅費	

整理番号	S-2
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業「系外惑星の先にある宇宙物理」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Astrophysics beyond exoplanets”
開催期間	平成30年7月27日～平成30年7月30日(4日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 日本、函館市
	(英文) Japan, Hakodate
日本側開催責任者 氏名・所属・職名・研究者番号	(和文) 須藤靖・東京大学・教授・1-2
	(英文) SUTO Yasushi, The University of Tokyo, Professor, 1-2
相手国側開催責任者 氏名・所属・職名・研究者番号 (※日本以外での開催の場合)	(英文) なし

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (日本)		備考
		A.	B.	
日本	A.	30/120		
	B.	20		
米国	A.	1/4		
	B.	1		
イスラエル	A.	0/0		
	B.	1		
合計 <人/人日>	A.	31/124		
	B.	22		

A. 本事業参加者(参加研究者リストの研究者等)

B. 一般参加者(参加研究者リスト以外の研究者等)

※人/人日は、2/14(=2人を7日間ずつ計14日間派遣する)のように記載してください。

※日数は、出張期間(渡航日、帰国日を含めた期間)としてください。これによりがたい場合は、備考欄にその内訳等を記入してください。

セミナー開催の目的	東京大学ビッグバン宇宙国際研究センターに関連した共同研究者、学生を中心として、惑星研究の周辺分野を広く学び議論することで、学際的な天体物理学研究を推進する。		
セミナーの成果	<p>惑星の軌道進化に関して優れた研究を行っているレーム・サーリヘブライ大学教授に、惑星形成の基礎過程の講義をお願いし、狭い意味での惑星研究を行っていない学生にも好評であった。また惑星系で重要となる摂動論や 3 体問題の定式化は、重力波によって発見されたブラックホール連星の起源と進化にも密接に関係している。そのため、学生に対して、系外惑星以外にも一般相対論、高エネルギー天文学、宇宙論など広い分野に関する講演を聞く機会を与え、それらの進展を共有してもらうことで、系外惑星研究のさらなる広がりを認識する重要な経験を提供できた。</p> <p>具体的に須藤研の学生は、このような議論を通じて、3 体問題の手法を用いて、ブラックホール連星を探索する方法論をまとめて、査読論文として投稿中である。</p>		
セミナーの運営組織	東京大学ビッグバン宇宙国際研究センター		
開催経費分担内容	日本側	内容 国内旅費	8 万円
	(アメリカ) 側	内容 外国旅費	

整理番号	S-3
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業「第 9 回 Catastrophic Disruption ワークショップ」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program "9th Workshop on Catastrophic Disruption Workshop in the Solar System"
開催期間	平成 30 年 5 月 13 日 ~ 平成 30 年 5 月 17 日 (5 日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 神戸市、生田神社社会館(13 日のみ惑星科学研究センター)
	(英文) Kobe, Ikutajinja-kaikan (Center for Planetary Science)
日本側開催責任者氏名・所属・職名・研究者番号	(和文) 中村昭子・神戸大学・准教授・1-206
	(英文) NAKAMURA Akiko, Kobe University, Associate Professor, 1-206

相手国側開催責任者 氏名・所属・職名・研究者番号 (※日本以外での開催の場合)	(英文) なし
-----------------------------------------------	---------

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (日本)	備考
日本	A.	5/ 25	
	B.	20	
アメリカ合衆国	A.	1/ 5	
	B.	17	
スイス	A.	0/ 0	
	B.	1	
フランス	A.	1/ 5	
	B.	5	
ドイツ	A.	0/ 0	
	B.	4	
イギリス	B.	2	
ウクライナ	B.	2	
イタリア	B.	1	
オランダ	B.	1	
韓国	B.	1	
スペイン	B.	1	
チェコスロバキア	B.	1	
中国	B.	1	
プエルトリコ	B.	1	
合計 <人/人日>	A.	7/ 35	
	B.	58	

A. 本事業参加者 (参加研究者リストの研究者等)

B. 一般参加者 (参加研究者リスト以外の研究者等)

※人/人日は、2/14 (=2人を7日間ずつ計14日間派遣する) のように記載してください。

※日数は、出張期間 (渡航日、帰国日を含めた期間) としてください。これによりがたい場合は、備考欄にその内訳等を記入してください。

セミナー開催の目的	太陽系の形成進化の過程では、天体の集積と破壊が繰り返し現在にいたっている。本ワークショップは、天体の破局的破壊に関する望遠鏡観測と小天体探査、室内実験、数値シミュレーションとモデリング、隕石等地球外物質を専門とする研究者が集まり、異なるアプローチによる最新の研究成果を共有し、研究の現状について、および、新しい方向性やアイデアを議論することを目的とする。各テーマについて2、3の招待講演と一般講演をそれぞれ議論の時間を十分に確保してプログラムを組み、少人数のリラックスした
-----------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	雰囲気自由な意見交換を行う。		
セミナーの成果	日本の「はやぶさ2」が探査するリュウグウも米国の OSIRIS-REx が探査するベヌーも、直径 100km 程度の母天体が破壊してできた小型の小惑星であることが分かってきた。このような破壊で作られる小惑星の物理特性、スペクトル特性の優れたレビュー講演が展開され、両探査機への参画研究者の理解を大いに進展させてくれた。それは、両探査計画から出版された初期報告論文の引用文献の多くが、本セミナーで紹介された論文であることからもうかがい知ることができる。		
セミナーの運営組織	第9回 Catastrophic Disruption Workshop 実行委員会 委員長 中村 昭子 (神戸大学 大学院理学研究科 准教授) 副委員長 大槻 圭史 (神戸大学 大学院理学研究科 教授) 総務委員 白井 文彦 (神戸大学 大学院理学研究科 特命助教) 広報委員 荒川 政彦 (神戸大学 大学院理学研究科 教授) 行事委員 平田 直之 (神戸大学 大学院理学研究科 特命助教) 会計 保井 みなみ (神戸大学 大学院理学研究科 助教)		
開催経費 分担内容	日本側	内容 国内旅費、会場費	63万円
	(アメリカ)側	内容 外国旅費	
	(フランス)側	内容 外国旅費	

7-3 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応

①評価コメント(抜粋) : 事業参加者数に比して、拠点機関研究者が関係した論文・相手国参加者との共著論文が少なく、現状では「拠点の構築」が目に見える成果として表れているとは必ずしも言えない。

対応 : 第3年度には各共同研究の成果が目に見える形となっており、相手国参加者との共著論文が大幅増となった。発表された論文および学会発表の過半数が相手国参加者との共著論文である。

②評価コメント（抜粋）：R-2の成果は当初の計画通りではあるが、R-1、R-3との有機的なつながりが明確ではない。

対応：小惑星表面を探索するR-1および惑星形成理論を推進するR-3からは、R-2が狙っている惑星移動の物的な証拠（木星以遠での一部の小惑星の早期集積及びその後の移動）や惑星系への波及効果（揮発性物質の太陽系内輸送）が明らかになりつつある。個別具体的な研究テーマでの繋がりが見えにくくても、全体で狙っている目標は明快に統一されている。

③評価コメント（抜粋）：若手研究者が探査機運用に多忙となり、データの科学的解釈に割く時間が限られてきてしまうことが今後の課題

対応：探査機運用の一番の山場は終わり、小惑星の表面物質取得が実現した。このため、今後は探査機運用に割かれる時間よりもデータ解析とサイエンス成果獲得に使える時間が増えると期待している。さらに、最多忙の1年だったにもかかわらず若手研究者は既に筆頭著者で相手国研究者との共著論文を出版しつつあり、良い方向に向かっている。

8. 平成30年度研究交流実績総人数・人日数

8-1 相手国との交流実績

派遣先 派遣元	四半期	日本	アメリカ	スイス	フランス	ドイツ	オーストリア	ベトナム	合計
		1	4 / 75 (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)
2	1 / 10 (/)	/ (/)	/ (/)	2 / 36 (/)	1 / 23 (/)	1 / 7 (/)	/ (/)	5 / 76 (0 / 0)	
3	5 / 149 (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	5 / 149 (0 / 0)	
4	9 / 92 (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	1 / 7 (/)	10 / 99 (0 / 0)	
計	19 / 326 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	2 / 36 (0 / 0)	1 / 23 (0 / 0)	1 / 7 (0 / 0)	1 / 7 (0 / 0)	24 / 359 (0 / 0)	
アメリカ	1	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
2	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
3	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
4	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
計	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	
スイス	1	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
2	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
3	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
4	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
計	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	
フランス	1	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
2	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
3	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
4	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
計	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	
ドイツ	1	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
2	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
3	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
4	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
計	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	
オーストリア	1	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
2	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
3	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
4	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
計	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	
ベトナム	1	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
2	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
3	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
4	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)	
計	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	
合計	10 / 0 (0 / 0)	4 / 75 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	4 / 75 (0 / 0)	
2	0 / 0 (0 / 0)	1 / 10 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	2 / 36 (0 / 0)	1 / 23 (0 / 0)	1 / 7 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	5 / 76 (0 / 0)	
3	0 / 0 (0 / 0)	5 / 149 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	5 / 149 (0 / 0)	
4	0 / 0 (0 / 0)	9 / 92 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	1 / 7 (0 / 0)	10 / 99 (0 / 0)	
計	0 / 0 (0 / 0)	19 / 326 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	2 / 36 (0 / 0)	1 / 23 (0 / 0)	1 / 7 (0 / 0)	1 / 7 (0 / 0)	24 / 359 (0 / 0)	

※各国別に、研究者交流・共同研究・セミナーにて交流した人数・人日数を記載してください。(なお、記入の仕方の詳細については「記入上の注意」を参考にしてください。)

※相手国側マッチングファンドなど、本事業経費によらない交流についても、カッコ書きで記入してください。

※相手国以外の国へ派遣する場合、国名に続けて(第三国)と記入してください。

8-2 国内での交流実績

第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	合計
4 / 15 (/)	1 / 4 (/)	/ (/)	2 / 10 (/)	7 / 29 (0 / 0)

9. 平成30年度経費使用総額

(単位 円)

	経費内訳	金額	備考
研究交流経費	国内旅費	465,721	国内旅費、外国旅費の合計は、研究交流経費の50%以上であること。
	外国旅費	10,835,335	
	謝金	0	
	備品・消耗品 購入費	89,062	
	その他の経費	862,159	
	不課税取引・ 非課税取引に 係る消費税	872,723	
	計	13,125,000	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		1,312,500	研究交流経費の10%を上限とし、必要な額であること。また、消費税額は内額とする。
合 計		14,437,500	