

**研究拠点形成事業**  
**平成 29 年度 実施報告書**

A. (平成 26～29 年度採択課題用) 先端拠点形成型

**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

(交流分野：惑星科学・物理学 )

(英文)：International Network of Planetary Sciences

(交流分野：Planetary Science・Physics )

研究交流課題に係るホームページ：<http://www.resceu.s.u-tokyo.ac.jp/planet2/>

**3. 採用期間**

平成 28 年 4 月 1 日 ～ 平成 33 年 3 月 31 日

( 2 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（A型）：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（A型）：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（A型）：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 (A 型) : 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げられる密接な国際連携関係を構築する。

### 5-2. 平成 29 年度研究交流目標

#### <研究協力体制の構築>

初年度の議論で明確化させた学術的な方向性を踏まえ、系内から系外の様々な惑星科学研究プロジェクトへの派遣活動を本格化させる。例えば、日本が小惑星探査で得た様々な科学的な知見および科学データ解析の技術は、大惑星の研究に重きを置いてきた欧米の研究者から極めて高く評価されており、博士課程 1 年生程度の若い学生に対して欧米のベテラン研究者が教を乞うような状況が散見された。この強みを活かして、日本の若手研究者が欧米で次々と立ち上がりつつある小惑星探査計画に中核的役割をもって参画する機会を創出し、日本が主導的な役割を果たす形での国際協力関係を作っていくことを目指す。同様に、系外惑星研究では、惑星形成論、水惑星の形成理論、物質循環理論など生命を持つ惑星の形成に関する極めて広汎な分野にわたって日本の研究コミュニティが世界的に主導的な位置にいたことが改めて確認された。このヘリテージを活かして観測分野との連携を強化する方向で研究協力を進め、日本が理論面での主導的立場を持った形での研究協力体制が構築されるよう事業を推進する。

具体的には、相手国の惑星探査リモセン観測・解析拠点、TESS および CHEOPS 宇宙望遠鏡拠点、惑星形成理論拠点、水惑星表層環境理論拠点への 2 週間～2 ヶ月の期間の派遣機会

を、10名を超える若手研究者（博士研究者や博士課程大学院生など）に提供する。この派遣では、相手国の技術の高度化に日本人の若手研究者が寄与し、相手国の主要メンバーとして認知されることを狙う。また、事業初年度に開催した国際サマースクールに引き続いて、研究者レベルの国際ワークショップを日本国内で開催する。ここには、米国の Hayabusa2 Participating Scientist Program の採択研究者の参加を推奨し、彼らが1探査計画の参画者に留まらず、はやぶさ2探査を汎惑星形成論に貢献する意義を共有してもらうことを1つの目標とする。なお、本事業外からも多くの海外研究者が自己負担参加することも企図する。

加えて、系外惑星観測計画と系内惑星探査計画の両者において、引き続き「たすき掛け方式」で相手国と日本の若手研究者を相互のプロジェクトに参画させる形で交流させて、人材育成を促進する。具体的には、日本の若手研究者（博士研究員や博士課程大学院生など）には、米国の小惑星探査機 OSIRIS-REx や欧州の小惑星着陸機 MASCOT の解析チームや運用チームの一員として現地で参加してもらう。はやぶさ2探査機は 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。若手にはこのアドバンテージを活かして、短期間に相手国からの信頼を勝ち得て彼らのチームの一員として活躍してもらうことを目指す。平成29年度には、初年度の先遣队的な短期派遣や国際シンポジウム参加で得た交流の機会を本格化する。

若手の比較的短期の交流を行って、長期交流先の現場を相互に知り合って長期交換に必要な具体的準備課題（予備解析やツール制作などを含む）を洗い出してもらうことを目標とする。同様の状況は、はやぶさ2を親機とする欧州の着陸子機 MASCOT に対しても生じる。MASCOT 製作の中心には世界初の彗星着陸探査を実現した ROSETTA の子機 Philae のチームである。高年齢化した Philae チームの若返りを図るために、ESA や DLR は意図的に MASCOT チームには若手を登用している。初年度に引き続き、この若い欧州の研究者チームに日本の若手研究者を派遣し、日欧の次世代チームの間での協働関係を構築する。

さらに12月と3月には、翌年に小惑星到着を目前に迎えた はやぶさ2と OSIRIS-REx の合同会議を日本と米国で開催し、日米欧の研究者の突っ込んだ議論を行う。この場において大学院生からスタッフまで様々なレベルでの人的交流を促進し、日米欧の3極間での交流が活性化する体制を構築する。

#### <学術的観点>

太陽系内惑星探査と系外惑星観測を念頭に置いた汎惑星系形成論を生み出すための戦略および観測的検証に向けた戦略を具体化することを目標とする。理論面では、原始惑星系円盤内での水の起源と輸送および水惑星の表層環境の安定性を詳細に検討するために、既存の惑星形成モデルおよび惑星進化モデルにおける不足点・問題点を洗い出す。一方、観測面では、現行の太陽系内小惑星探査機プロジェクトと系外惑星用宇宙望遠鏡プロジェクト、地上望遠鏡プロジェクトそれぞれから、水の検出を中心課題として、サイエンスと技術の両方の観点から情報交換を行い、次世代観測のための足掛かりを得る。そのために、研究代表者および中堅・若手研究者を相手国に派遣する。小惑星探査機プロジェクトについては、平成

30年度に予定されているはやぶさ2の小惑星全球詳細観測とタッチダウン観測を見据え、リモートセンシング観測による水の定量に関する高度な解析手法の開発や関連実験、理論計算に重きを置いて計画を実施する。系外惑星についても、平成30年度に予定されている複数の宇宙望遠鏡（TESS, CHEOPS, JWST）による観測を見据えて、多様な惑星の大気透過または放射スペクトルの計算法の開発や、散逸など惑星大気の進化過程、惑星形成過程との関連性の定量化など理論計算に重点を置いて進める。

#### <若手研究者育成>

若手研究者の育成については、本事業で計画している3段階の第2段階に力を入れる。昨年度に行ったサマースクールおよび国際シンポジウムで広汎な分野から集めた優秀な若手研究者および既に惑星科学に従事している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。既に派遣提案の公募を実施済みで、応募者から10件を派遣予定である。第3段階は、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の育成である。本段階は、第2段階で国際交流の機会を得た若手研究者が、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。本年度は、上記活動の中で若手研究者に自由な裁量と責任を持たせることによって、第3段階の準備を進める。プロジェクトマネージャーの候補となる優秀な若手を発掘し、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29年度研究交流成果

（交流を通じての相手国からの貢献及び相手国への貢献を含めてください。）

### 6-1 研究協力体制の構築状況

日米欧の小天体探査に掛かる国際研究協力体制の構築については、以下の3つの異なる階層で大きく進展した。1) 日欧米の3探査機の間で連携した科学観測運用の準備、2) 取得探査データの連携解析の準備、3) 取得探査データの解釈に必要な室内実験や理論計算の国際共同体制での実施。

まず、(1)の連携観測運用の準備については、小惑星形状モデルのチーム間での国際連

携の活動が際立った。火星や金星など極めて球形に近い大きな普通の惑星と異なり、小天体の場合には不定形状をしていることが通常である。これは、小惑星探査機を誘導する宇宙工学者の頭を常に悩ませる問題であり、米国でも欧州でも近年の小天体探査の進展と共に、不定形状を如何に迅速に正確にモデル化（数値化）して、探査機誘導に反映させるかが重要な課題となっている。これは各国の宇宙技術者の腕の見せ所ではあるが、純粹に科学探査のためだけに発展してきた技術であるため、機密扱いにならず各国の研究者が情報を自由に交換して相互参照している。今回のはやぶさ2、MASCOT、OSIRIS-REx 場合には、データや情報交換より一歩進んで、形状モデルチームがお互いに相手チームが大変な時期に応援に駆けつける体制を構築できた。このような基幹技術に掛かる研究者の相互乗り入れは、日本が世界の太陽系探査の中で中核的な役割を果たし続ける上で大きな意義ある。

同様に、科学機器の相互校正の活動も大きく進展した。

次に、(2)の取得探査データの連携解析の準備については、若手研究者の交流を通じた軌道上データと着陸機データとの連携解析の枠組みができたことが大きな成果である。詳細は、以下の6-3で述べるが、日本の若手は、母船はやぶさ2のリモセンデータを持って欧州の宇宙機関に飛び、欧州の子機であるMASCOTのデータ解析に参画する。逆に欧州の若手はMASCOTのデータを持って日本に飛び、はやぶさ2のデータ解析に参画する。同様に日米の間では、はやぶさ2とOSIRIS-RExの両プロジェクト間で若手を通じたデータと人の交換を進めた。この交換により、母機データと子機データを有機的に結びつけて解析する科学者間の連携関係やアカデミックな情報交換関係が推進され、多くのグループにおいて共同論文の執筆の段階まで至っている。この関係は、単に現在進行形の探査機からの科学成果創出に役立つだけではない。日本の若手研究者が欧米の次世代リーダー候補たちと共に国際連携活動の中核を担う体制ができており、彼らが国際的なリーダーとして育っていく機会を与えられる体制が築かれた。

さらに、(3)の室内実験や理論計算についても本年度には、幾つかの大きな成果があった。事業計画第1年目の成果として得られたスノーラインの重要についての認識に立脚し、隕石分析および理論計算の両面において、岩石惑星と氷惑星の間である含水鉱物惑星（C型小惑星）の形成理論研究とその物質試料である炭素質コンドライトのスペクトル計測が国際的枠組みで進展する体制ができたことは非常に重要な成果である。無水ケイ酸塩鉱物の吸収帯が明瞭に見えるS型小惑星と異なり、C型小惑星は微小な炭素粒子の低い反射率に邪魔されて鉱物の吸収帯が非常に見えにくい。そのため、その太陽系進化における極めて重要な位置付けにもかかわらず研究が進展してこなかったのである。この問題を解くために、世界の様々なラボにおいて、この特徴を掴みにくい炭素質コンドライトのスペクトル特性の系統的な計測活動が本格化し、はやぶさ2およびOSIRIS-RExが小惑星に到着する頃には、新たな標準スペクトルのライブラリーが完成する目処が立った。このような着実な支援データの取得体制が整ったことは、探査機の

科学成果創出に極めて重要な波及効果を持つ。

最後に、以下の6-4で詳述するが、本事業で構築した国際ネットワークが基盤となって国際学会での日本の衛星データのアピールの場を儲けることに成功したことも体制構築における成果の一つとして挙げたい。学術面の発信は、論文発表とならんで学会やシンポジウムでの講演が重要だが、プロジェクトのクリティカルな時期と学会シーズンが重なってアピールがうまくいかないことが往々にしてある。実ははやぶさ2探査も、タッチダウン運用という最も危険で且つ重要な観測フェーズを迎えている時期に、米国天文学会および米国地球物理学会という大規模な国際会議が開かれる。この時期には探査機の科学運用の中核を担う研究者は海外出張に行く余裕がないのが現実である。この状況の解決のため、はやぶさ2計画に参画する地元米国人研究者および欧州の研究者からロジスティクス面での強力な支援の申し出があり、複数の国際会議で特別セッションを提案することができた。彼らの主張は、日本が世界で初めてC型小惑星サンプル回収探査を行うことは大変尊いことであるので、世界で最も大きな米国の両学会で是非ともアピールして欲しいとのことであった。世界への発信もさることながら、探査機の運用の成功を第1に考えねばならない日本人研究者の困難をよく理解して、米国研究者は裏方に徹するから、との申し出であった。困ったときに助けようという真の協力関係が築かれつつあることを実感しつつある。

## 6-2 学術面の成果

本年の国際交流事業によって得られた学術面の成果は、主に3つある。一つは、はやぶさ2探査に直結する太陽系内の小天体に関する成果。二つ目は、系外惑星観測に関する成果。三つ目は両者を繋ぐ惑星形成論における新しい知見である。

第1の小天体に関する成果は、主に2018年度に日米欧の探査機の観測のピークを迎える小惑星に関する知見である。本年度の主目標は日欧米の連携データ解析体制の構築であったが、学術面でも大きな成果があった。一つは、本事業で構築された国際ネットワークを活かして小惑星リュウグウの世界各国の観測データをコンパイルできたことと、各国の大望遠鏡による追加観測が実現したことである。以前には、Cg型から狭義のC型のスペクトルを持ち、米国のOSIRIS-REx探査機が目指す小惑星ベンヌとは明らかに異なると考えられてきた小惑星リュウグウであった。しかし、本年度に得られたデータを解析すると、そのスペクトルの分布域は以前の推定よりずっと広く、ベンヌが属するB型からCb型までカバーすることが判明した。両小惑星は軌道力学的には極めて類似しているため、スペクトル型の一致は、両小惑星の母天体が同一である可能性が出てきたのである。さらに、このスペクトル型は、ポラナ族と一致しており、ポラナが両小惑星の母天体であることを示唆する。また、ポラナ族は、地球に衝突する小天体を最も多く供給する小惑星内帯にある最大の低アルベド小惑星族の母天体である。そのため、ベンヌとリュウグウの表面詳細観測とサンプルリターンは、地球史において最も多くの水や有機物を供給した母天体の起源と進化を解明する

ことになるかも知れない。

加えて、リュウグウ表面のスペクトル観測の解釈のために、世界各国で低アルベド小惑星の対応物だと考えられている炭素質隕石のスペクトル計測が盛んに行われた。その結果、加熱脱水反応、宇宙風化現象、粒子サイズなど様々な過程によって同一物質が、見かけのスペクトルをどのように変化させるかの知見が紫外域から可視、近赤外までの広い波長領域にわたって得られた。これらの結果は、上記のリュウグウのスペクトル多様性と比較することが可能である。具体的には、宇宙風化はリュウグウの始原物質候補であるマーチソン隕石に代表される CM コンドライトから、リュウグウのスペクトルを再現することはできない一方で、加熱脱水の進行度と粒子サイズの違いによるスペクトルの変化は、リュウグウの望遠鏡観測結果で見られたトレンドを非常によく再現することが分かった。これは、リュウグウに探査機はやぶさ2が到着したときのデータ解析に大変有用な情報であり、大きな成果である。

第2の系外惑星観測に関する成果は、次世代の系外惑星観測衛星が目指すべきサイエンス面のビジョンが見えてきたことである。しかも、それが **James Webb Space Telescope (JWST)** のような巨大な観測衛星ではなく、超小型衛星によるポイントを絞った小型計画で実現できる可能性が高いことが分かったことが非常に重要である。

現在の世界の系外惑星観測では、技術的な点で検出の比較的容易な低質量の恒星（赤色矮星）まわりの惑星に注目が集まっている。それらは、惑星系の構造や惑星環境に関して太陽系とは大きく異なるが、原始惑星系円盤内での物質移動や大気散逸等の惑星の進化、多様な環境下にある惑星大気の特性等に関する新たな知見をもたらしている。そうした知見は、太陽系および地球の形成過程の理解に欠かせないものである。一方、大きな多様性の中で、太陽系、そして我々をもたらした要因を究明するためには、太陽系に非常に似た惑星系の間で見られる差異を把握することが重要である。特に、ハビタブルゾーンの惑星だけでなく、木星のような巨大ガス惑星の存在や、太陽系で言えば小惑星帯が位置するスノーライン付近に存在する天体に関する情報が鍵となる。

しかし、赤色矮星まわりの惑星系の検出とは対照的に、太陽のようにサイズの大きなG型星では、惑星と中心星のサイズ比が小さく、トランジット観測による惑星検出が難しい。さらに深刻なことは、太陽系のように広がった惑星系の場合、公転周期が長いいためトランジットの機会が少なく、惑星は検出が大変である。これらのことがネックとなり、観測計画の企画段階で足踏みをしているのが世界の現状である。

このような中であって、本事業に参画する研究者は、相手国研究者との連携の基に米国の系外惑星観測衛星 **Kepler** (2013年打上) および **TESS** (2018年4月打上)、スイスの **Cheops** (2018年打上げ予定)、欧州宇宙局の **PLATO** (2026年打上予定) の研究グループとの交流を通じて、先行する彼らの衛星計画の問題点および改善点をつぶさに考究することができた。その結果、日本が打上げるべき次世代系外惑星観測衛星のあるべき姿を描くことができた。具体的には、**Kepler** のように遠方にある暗い星でなく、**TESS** のように赤外光で光る星でなく、**Cheops** のように天球の狭い領域にある星のみでなく、**PLATO** のように太陽

型星であるがハビタブルゾーンに止まることなく、天球全体に分布する明るい太陽型星を小型軽量の広角望遠鏡で長期間計測することが重要であることが判明した。このような望遠鏡の観測には、TESS や PLATO のような 300~500kg の小型~中型衛星を打上げる必要はなく、予算が格段に少ない 50kg の超小型衛星で十分である。さらに、米国の TESS 計画以降は欧州の PLATO 計画まで 8 年以上も全天サーベイ型の系外惑星観測衛星計画は存在しない。このような時間的なギャップを埋めて TESS の寿命が尽きる前（おそらく 2023 年頃~）に打上げ、PLATO が打上がるまでに明るい星の全天サーベイを行うことは、太陽系近傍恒星の周りの長周期惑星の検出に極めて有効である。

さらに、このような超小型衛星に搭載すべき小型カメラは、はやぶさ 2 探査機搭載のカメラと同クラスであるため、小天体探査グループの研究者と系外惑星科学グループの研究者の協働により機器開発面の詳細技術検討からサイエンス面の共同研究まで一気に進める状況である。

第 3 の成果は、両者を繋ぐ惑星形成論における新しい知見を得たことである。水惑星やハビタブル惑星の形成に関する古典的な研究では、ハビタブルゾーン付近での現象にフォーカスされてきた。しかし、近年の系外惑星観測や ALMA に代表される原始惑星系円盤の観測から明らかのように、含水小物体や惑星は原始惑星系内を大移動する。また、JUNO の観測結果からも示唆されるように、木星はその形成期に、ガスだけではなく、氷物質を広範囲から集めたようである。したがって、惑星系全体のダイナミックな形成過程の中で、地球のようなハビタブル惑星の形成を位置づける必要がある。こうした中、ニースモデルやグラントタックモデルなど巨大惑星移動を考慮した（京都モデルに代わる）新たな太陽系形成シナリオを提案したフランス拠点機関コートダジュール天文台や、ペブルとよばれる小物体の集積を惑星成長過程に組み込み新たな惑星形成理論を構築しようとしているスイス拠点機関ベルン大学の研究者らとの研究交流、さらに、11 月末に東京大学で主催したワークショップ「Planet Formation around Snowline」での欧米の研究者らとの交流によって、太陽系で言えば現在の小惑星帯に位置したと考えられるスノーラインで起こる物理化学プロセスが、惑星系形成、さらに地球の水や有機物の由来を解明するための鍵を握ることが明確になった。

=

### 6-3 若手研究者育成

太陽系小天体探査分野の若手研究者の海外渡航については、なるべく門戸を広げるために前年度内に公募を行った。本年度の審査で採用した 12 名の学生および若手 PD が相手国への渡航を行った。事業代表者から予め選んだ系外惑星関係の若手研究者 3 名と併せて、ベルン大学、アリゾナ大、アリゾナ州立大、カルフォルニア工科大、ブラウン大、ジョンズホプキンス大、月惑星研究所、ニース天文台、パリ大、ドイツ航空宇宙局など宇宙研究の最先端の研究機関に、それぞれ 2 週間~1 ヶ月の比較的まとまった期間の滞在をしてもらった。また、ドイツ航空宇宙局、ニース天文台、パリ大学、月惑星研究所、カリフォルニア工科大から 6 名の学生および若手 PD が宇宙科学研究所および千葉工大に 1~3 週間程度の滞在をした。日本の若手は、母船はやぶさ 2 のリモセンデータを持

って欧州の宇宙機関に飛び、欧州の子機である MASCOT のデータ解析に参画する。逆に欧州の若手は MASCOT のデータを持って日本に飛び、はやぶさ 2 のデータ解析に参画する。同様に日米の間では、はやぶさ 2 と ORISI-REx の両プロジェクト間で若手を通じたデータと人の交換を進めた。この日欧および日米の間での相互交換滞在により、以下のような成果が得られた。

まず、日欧の間で軌道上データと着陸機データとの連携解析の枠組みができた。はやぶさ 2 探査機（母機）は、欧州が提供する MASCOT と呼ばれる小型着陸機（子機）をミッション期間中に小惑星リュウグウの表面に下ろして連携運用を行う。しかし、母機データと子機データを有機的に結びつけて解析する科学者間の連携関係やアカデミックな情報交換関係は、ハードウェア運用の多忙さの影響のために進行が遅れがちであった。しかし、本年度の若手研究者交流により日欧の研究者間でのサイエンスの議論が大きく進展し、探査機運用を超えた具体的なサイエンスの研究計画が立てられた。小惑星到着を目前にして、最新の研究成果を元に探査機データのサイエンス面での国際連携研究が具体化できたことは非常に大きな成果である。その際、日欧の若手研究者がサイエンスの中核を担う形で国際共同研究が進んでいることは、若手育成の観点から非常に好ましい状況である。派遣以前には、単に「所属する探査チームのデータを担いで来訪する若手研究者」という立ち位置であった若手が、年度末には相手国の中堅研究者から一人前の研究者として認められている。

同様に、米国に派遣した若手メンバーの多くは、米国版はやぶさ 2 と呼ばれる OSIRIS-REx のデータ解析や機器校正の活動に中核メンバーとして活躍する下地ができた。

派遣した若手研究者多くが共同論文の執筆で非常に良い成果を出している。これは、各若手研究者が論文数を増やすという小さな波及効果に留まらず、英語のハンディのないネイティブの研究者がどのように論文を書くのかを肌身を持って感じ取ってもらい、自分の論文執筆スキルの向上に反映することを指す。ほんの 3 週間程度の滞在であっても、その前後にスカイプで週例打合せを行って、研究の始動から一流の国際専門誌に投稿、受理までをほんの半年で済ませてしまう若手などが出てきており、彼らのスキルアップに対する波及効果は大きい。彼らが獲得した論文執筆のスキルは、はやぶさ 2 のミッション期間において科学成果を創出するに当たって大変大きな影響を与えるであろうし、その後長期間に渡って大きな財産になるはずである。

#### 6-4 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を目前に、国内外の報道機関への情報発信する体制について、本事業に開催された研究会および国際交流研究で活発な議論が交わされた。また、TeNQ などの組織を利用して具体的な発信情報の検討およびその体制の準備を進めることができた。

さらに、これらの国際交流の議論および準備作業の過程で、日本および相手国が行ってきた報道実績を相互紹介し、理解を深めたことは大きな収穫であった。例えば、ESA の ROSETTA 彗星探査では、準リアルタイム報道に踏み切ったことが非常に重要な判断であったこと、な

どが研究者の中でも共有された。これらの議論は、平成 30 年度の情報発信のあり方に大きな影響を与えると期待される。

また、国際的に影響力の大きな惑星科学関係の国際学会が開かれる時期には、はやぶさ 2 探査機のタッチダウン運用が佳境を迎えており、中核メンバーの学会派遣は難しい困難な事情があることを相手国参加者と共有することができた。この問題を解決しようとの意図で、相手国参加者（主に米国およびフランス）から学会会場において記者発表やライブ中継イベントを行わないかとの提案をロジスティクス面への強い支援を添えて申し出があった。これにより、はやぶさ 2 探査機が最も大変で且つ旬な時期に運用と観測に従事する中核研究者に過度の負担をかけずに、海外への報道発表ができる目処が立った。これは、日本の惑星科学を世界に発信する上で極めて大きな布石である。はやぶさ 2 は、世界初の C 型小惑星サンプル回収探査であり、その後を米国の C 型小惑星サンプル回収探査機 OSIRIS-REx が 2 ヶ月遅れ（小惑星到着日）で追っている。このように日本が世界の先陣を切って科学探査をしている姿が世界的に報道されれば、必ず国内報道にも反映される。このような国際競争の報道は科学の本義とは一線を画するが、子供達に「自分達も世界の第一線で活躍できる」との夢を与える契機となったり、宇宙科学をはじめとして科学への興味を持ってもらう契機となったりする可能性は高い。

### 6-5 今後の課題・問題点

自らが中核的な役割を果たしている探査機が最も忙しい時（到着直後から試料採取タッチダウン期まで）は、若手研究者といえども長期の海外渡航は難しいことを再認識された。優秀な若手は、他との入れ替えの効かない基幹的貢献をしていることが多い。しかし、日々の運用や解析にばかり時間を使ってしまっているのは、大局的な解釈や多様な側面からの洞察を行うことは難しい。このような現場で多忙を極める若手研究者こそ海外派遣の機会を与える必要がある。そうでなければ次世代のリーダーの育成は期待できない。このジレンマが今後の最大の課題の一つである。この課題は、非常に普遍的に存在する問題であるため、特効薬を見つけることは難しい。しかし、普遍的であるために多くの研究者の間に問題点として共有されているというプラスの面もある。

この問題点の共有というプラスの面を活かして、直近では多少の不経済が生じても若手同士で相互教育により同じ解析を複数人で担当する互助システムを作り、それぞれが交代で海外渡航して成果を出せるシステムを構築できる工夫が始まってきた。まだ成果に繋がっていないため今後の課題であるが、解決の兆しが見えてきたことは収穫である。プロジェクトとの連携を密にしながら事業計画に反映していきたい。

### 6-6 本研究交流事業により発表された論文等

- |                               |     |
|-------------------------------|-----|
| (1) 平成29年度に学術雑誌等に発表した論文・著書    | 48本 |
| うち、相手国参加研究者との共著               | 13本 |
| (2) 平成29年度の国際会議における発表         | 10件 |
| うち、相手国参加研究者との共同発表             | 5件  |
| (3) 平成29年度の国内学会・シンポジウム等における発表 | 2件  |
| うち、相手国参加研究者との共同発表             | 1件  |
- (※ 「本事業名が明記されているもの」を計上・記入してください。)
- (※ 詳細は別紙「論文リスト」に記入してください。)

## 7. 平成29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	平成32年度
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	<p>(和文) 杉田精司・東京大学・教授</p> <p>(英文) SUGITA Seiji, The University of Tokyo, Professor</p>				
相手国側代表者 氏名・所属・職	<p>(英文) LAURETTA Dante, The University of Arizona, Professor</p>				
29年度の研究 交流活動	<p>はやぶさ2 (HYB2)探査機, OSIRIS-REx(O-REx)探査機, MASCOT 着陸機の間で連携の具体課題が明確化されている小惑星形状モデル生成と可視近赤外分光分析の共同研究のために、日本からはブラウン大学に研究者を派遣する一方、パリ大学、月惑星研究所、ジョーンズホプキンス大学、ブラウン大学、ドイツ航空宇宙センターからの研究者を迎えて共同研究を行った。</p> <p>さらに、国内では、初年度に引き続いて小惑星形状モデル理論の講習会および画像データ処理講習会を開催し、H30年に予定されているはやぶさ2とO-RExの小惑星ランデブー期間の集中観測に備えた。さらに、R-2, R3のグループと連携で勉強会を開催し、系外と系内の物質輸送過程に関するにおいて詳細に議論した。</p>				
29年度の研究 交流活動から得 られた成果	<p>形状モデル作成については、日(はやぶさ2)、米(OSIRIS-REx)、欧(MASCOT)の各プロジェクトの形状モデルチームの間で連絡経路およびデータ共有のプロトコルを確立させることができた。また、本年度に実施されたはやぶさ2探査機の科学運用訓練の中で精査された形状モデルの必要精度の達成の目処も立った。</p> <p>ブラウン大学、月惑星研究所、パリ大学では、炭素質コンドライトの詳細な反射スペクトルの系統的な計測キャンペーンを開始できた。具体的には、粒径、加熱脱水の程度、宇宙風化度など、実際の小惑星表面上で異なる多数の物理化学条件を系統的に変化させた試料を作成し、網羅的なスペクトル計測を行うものである。これにより、小惑星リュウグウの望遠鏡観測から明らかになった得意なトレンドが説明できる可能性が出てきた。これはミッション本番のデータを解析する上で極めて重要な成果である。</p>				

整理番号	R-2	研究開始年度	平成28年度	研究終了年度	平成32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	(和文) 須藤靖・東京大学・教授 (英文) SUTO Yasushi, The University of Tokyo, Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) BENZ Willy, University of Bern, Professor				
29年度の研究 交流活動	代表者の須藤靖が約2週間、コートダジュール天文台に滞在し、共同研究、議論、セミナーを行った。また、本事業の経費以外に、ビッグバン国際研究センターの経費を用いて、大学院生岡部泰三をコートダジュール天文台に1ヶ月派遣、大学院生逢澤正嵩をプリンストン大学宇宙科学教室に1ヶ月派遣、またプリンストン大学教授 Josh Winn 氏を1週間招聘、同博士研究員増田賢人を3週間招聘した。後者2名は、この招聘に合わせてS-3のRESCEU-Planet2国際シンポジウムに参加し講演を行った。				
29年度の研究 交流活動から得 られた成果	岡部の滞在中にコートダジュール天文台の共同研究者との共著論文の計算がほぼ終わり、現在論文を投稿中である。すでに査読レポートが届いており、間もなく受理される予定である。逢澤は、系外惑星リング探査に関する自分の研究に関してプリンストン大学の研究者から有益なコメントをもらった。その論文は現在投稿中である。Josh Winn 教授とは滞在中に、系外惑星系の主星自転・惑星公転角に関する観測的、理論的共同研究を開始した。特に星震学を用いた自転傾斜角推定法の統計に関して議論を継続中である。 須藤がコートダジュール天文台に滞在中に行ったセミナーと議論を通じて、惑星リング及び衛星モデルに関して有益な情報が得られた。3月末に、コートダジュール天文台の研究者が来日する機会があり、その際にはビッグバン国際研究センターに滞在し、セミナーと議論をしてもらえることになっている。このように、今回の研究活動が、さらなる共同研究へ発展しつつある。				

整理番号	R-3	研究開始年度	平成28年度	研究終了年度	平成32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	<p>(和文) 生駒大洋・東京大学・准教授</p> <p>(英文) IKOMA Masahiro・The University of Tokyo・Associate Professor</p>				
相手国側代表者 氏名・所属・職	<p>(英文)</p> <p>MICHEL Patrick・Observatory of Côte d'Azur, France・Senior Researcher</p> <p>BENZ Willy・University of Bern, Switzerland・Professor</p>				
29年度の研究交流活動	<p>平成28年度に相手国拠点研究機関に研究代表者および大学院生が滞在して行った研究交流およびフランス・ニース近郊で我々が主催した国際シンポジウムでの研究交流によって、主に水や有機物等の物質輸送に関わる惑星形成過程の理論的課題が整理され、観測的検証に向けた方針が立てられた。平成29年度は、それらを具体化・定量化するための交流を行った。そのために、前年度に引き続きこのテーマに関して精力的な研究を展開しているフランス・コートダジュール天文台やスイス・ベルン大学、チューリッヒ大学を中心に研究代表者および若手研究者が訪問し、共同研究を推進するための研究交流を行った。また、11月末に東京大学において、主に惑星形成・系外惑星の研究者を欧米から招き、国際シンポジウム「Planet Formation around Snowline」を開催し、研究進捗状況を確認し、今後の共同研究の方針を検討した。</p>				
29年度の研究交流活動から得られた成果	<p>平成28年度に物質科学的効果を考慮した新たな惑星形成モデルの構築に着手した。そのモデルを検証する一つの方法として、木星内部の重元素分布に関する理論予測と観測データの比較が挙げられる。そのため、コートダジュール天文台およびチューリッヒ大学のグループと研究交流した結果、JUNO データが我々の惑星形成モデルと定性的に整合的であることがわかった。一方、定量的な整合性をみるには、固体集積過程の詳細化が必要であることがわかり、問題点および今後の研究方針が整理された。一方、主催した国際シンポジウムでは、数多くの有益な情報が得られた。なかでも、ケプラーデータの詳細な統計解析により、短周期惑星の大気量は惑星質量に関して二峰分布をしており、これが惑星移動過程に重要な制約を与えることがわかった。平成30年度に打ち上げ予定の系外惑星サーベイ衛星 TESS によって検出される惑星を詳細に特徴付けることによ</p>				

	<p>て、その起源に迫ることができる。我々がこれまで取り組んで来た系外惑星大気の特徴づけと、TESS との連携に関する方針も整理された。なお、本シンポジウムでの交流の結果、R-3 日本側代表者が、欧州の系外惑星専用近赤外観測衛星計画 ARIEL の海外招聘メンバーとして加わるよう要請を受けたことも収穫の一つであるといえる。</p>
--	--

## 7-2 セミナー

整理番号	S-1(中止)
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 30 年 3 月 24 日 ～ 平成 30 年 3 月 28 日 (5 日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) アメリカ、ツーソン、アリゾナ大学
	(英文) U.S.A., Tucson, University of Arizona
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 杉田精司・東京大学・教授
	(英文) SUGITA Seiji・The University of Tokyo・Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外で開催の場合)	(英文) LAURETTA Dante, University of Arizona, Professor

参加者数

中止のため記載しない。

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)

※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、備考欄を設け、注意書きを付してください。

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「はやぶさ2合同科学チーム会議」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Hayabusa2 Joint Science Team Meeting”
開催期間	平成 29 年 12 月 4 日 ~ 平成 29 年 12 月 6 日 (3 日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 日本、相模原、宇宙科学研究所
	(英文) Japan, Sagami, Sagami, Institute of Space and Astronautical Sciences
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 杉田精司・東京大学・教授
	(英文) SUGITA Seiji・The University of Tokyo・Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※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)	
		A.	B.
日本 〈人／人日〉	A.	30 / 60	
	B.	15	
アメリカ 〈人／人日〉	A.	9 / 54	
	B.	5	
ドイツ 〈人／人日〉	A.	6 / 24	
	B.	11	
フランス 〈人／人日〉	A.	6 / 36	
	B.	5	
イタリア 〈人／人日〉	A.	0 / 0	
	B.	2	
イギリス 〈人／人日〉	A.	0 / 0	
	B.	1	
韓国 〈人／人日〉	A.	0 / 0	
	B.	2	
合計 〈人／人日〉	A.	51 / 174	
	B.	41	

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）

※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、備考欄を設け、注意書きを付してください。

セミナー開催の目的	<p>はやぶさ2探査の科学観測に参画する世界各国の研究者を集め、リモートセンシング観測とサンプルリターンによる始原物質分析のシナジー創成を目指す。はやぶさ2探査機の科学運用を行う宇宙科学研究所に世界の研究者を集め、科学的見地に立った意見を広く集約して、はやぶさ2探査計画にとって最適な観測計画を企画することが目標である。本セミナーは、はやぶさ2以外の探査機との連携に重心を置く S-4 セミナーと相補的な目的を持つ。</p>	
セミナーの成果	<p>本セミナーでは、本事業で海外派遣した若手研究者のうち6名と相手国から派遣された若手研究者3名の活動報告を行い、兼ねて全般的なサイエンスの議論を行った。その議論の結果として、日本の親機「はやぶさ2」が提供する全球データと欧州の子機MASCOTが提供する超高解像度データを連携解析する枠組みができた。さらに、核となる若手が機器校正および理論予測の論文が4本出版され、2本が投稿済み査読中である。</p> <p>また、本事業の参画者を中心として、国際的な枠組みで「はやぶさ2」の探査対象小惑星リュウグウの表面状態に関する標準モデルの作成を行ってきたが、本セミナーでこの標準モデル作成作業の総括を行った。この標準モデルは論文として投稿され、現在査読中である。</p>	
セミナーの運営組織	宇宙航空研究開発機構	
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容 国内旅費 5848円 合計 5848円
	(アメリカ)側	内容 外国旅費 270万円
	(ドイツ)側	内容 外国旅費 180万円
	(フランス)側	内容 外国旅費 180万円
	(スイス)側	なし

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「雪線付近の惑星形成」 (英文) JSPS Core-to-Core Program “Planet formation around snowline“
開催期間	平成29年11月 28日 ~ 平成29年11月 30日 (3日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 日本・東京・東京大学 (英文) Japan・Tokyo・The University of Tokyo
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 須藤 靖・東京大学・教授 (英文) SUTO Yasushi・The University of Tokyo・Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※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)	
	A.	B.
日本 〈人/人日〉	0/0	59
アメリカ 〈人/人日〉	1/7	5
スイス 〈人/人日〉	1/7	1
イギリス 〈人/人日〉	0/	2
スウェーデン	0/	1
オランダ	0/0	1
アブダビ	0/0	1
合計 〈人/人日〉	0/14	70

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）

※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、備考欄を設け、注意書きを付してください。

セミナー開催の目的	<p>昨年度の国際シンポジウムにおいて、原始惑星系円盤における雪線（スノーライン）付近への材料物質の移動と蓄積、雪線付近での惑星集積が太陽系の起源および系外惑星系の多様性の解明の鍵を握ることが明らかになった。また、雪線付近の天体は、はやぶさ2やO-RExが向かっている小惑星や、近未来の宇宙望遠鏡による系外惑星探索のターゲットと一致する。そこで、雪線付近で起きる惑星形成プロセスにフォーカスした比較的小規模の国際ワークショップを開催し、理論予測と探査・観測による検証法を議論した。</p>	
セミナーの成果	<p>シンポジウムでは、惑星形成理論や系外惑星観測、原始惑星系円盤、太陽系年代学の研究者が集い、最新の観測結果や新たな理論的進展について参加者各々が進捗状況を報告し、有益な情報交換ができた。そのなかで、観測事実と理論予測の矛盾点を発見できたことは重要な成果である。例えば、原始惑星系円盤において氷物質が中心星方向に大量に流れることが理論的に予測されるが、系外惑星の最新の観測結果を解析すると、岩石質の惑星が圧倒的多数であることがわかった。また、最新の太陽系年代学によると、木星はかなり早い時期に形成された（つまり、惑星のガス獲得は容易に起こる）ことが示唆されるが、天王星や海王星、系外のスーパーアースなど、ガスを獲得できなかった惑星が非常に多く存在する。他にもこのような解くべき矛盾が見つかった。これらを解く鍵は、雪線付近で起きうる様々な相互作用であること、その理論的な検討の方向性、今後の系外惑星観測の中での位置付けが明確に整理された。</p>	
セミナーの運営組織	東京大学	
開催経費 分担内容 と金額	日本側	なし
	(アメリカ)側	内容 外国旅費 30万円
	(フランス)側	内容 外国旅費 25万円
	(ドイツ)側	なし
	(スイス)側	内容 外国旅費 25万円

整理番号	S-4
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 拡大サイエンス会議
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Hayabusa2 Joint Science Meeting”
開催期間	平成30年3月20日 ~ 平成30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	(和文) 杉田 精司・東京大学・教授
	(英文) SUGITA Seiji・The University of Tokyo・Professor
相手国側開催責任者 氏名・所属・職 (※日本以外での開催の場合)	(英文) LAURETTA Dante, University of Arizona, Professor

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (日本)	
		A.	B.
日本 〈人／人日〉	A.	3 / 25	
	B.	9	
アメリカ 〈人／人日〉	A.	15 / 90	
	B.	5	
ドイツ 〈人／人日〉	A.	3 / 21	
	B.	3	
イタリア 〈人／人日〉	A.	0 / 0	
	B.	2	
合計 〈人／人日〉	A.	21 / 136	
	B.	19	

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)

※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、備考欄を設け、注意書きを付してください。

<p>セミナー開催の目的</p>	<p>このセミナーは年度計画書提出時点では、昨年度と同様に米国の拠点機関のアリゾナ大学が主導する OSIRIS-REx 探査の全体会議に合わせて平成 30 年 3 月に実施する予定であった。しかし、OSIRIS-REx 探査側の事情で翌年度に OSIRIS-REx の全体会議が開催されることになってしまったため、当初の計画通り平成 30 年 3 月にアリゾナ大学でセミナーを開催しても OSIRIS-REx 関係の研究者の参加が見込めず、企図した目的が果たせない見込みとなった。そのため、セミナー(S-1)を中止した。</p> <p>その代わりに、セミナー(S-1)で期待していた日米欧の 3 探査機の研究者による意見交換の目的を達成するため、日米欧の研究者が多数集まって且つ当初の開催時期と近い NASA の月惑星会議 (Lunar and Planetary Science Conference) に合わせて、セミナー(S-4)「はやぶさ 2 拡大サイエンス会議」という形で米国ザウードランズ市にて実施することとした。(S-4)の開催のために、今回の変更で中止する(S-1)に支出予定だった予算を流用することとした。そのため、本セミナーの基本目的は S-1 と同じである。</p>
<p>セミナーの成果</p>	<p>本セミナーでは、分光観測、地形形態観測、今後の国際学会での成果発信方法について議論した。</p> <p>まず、分光観測については、どの探査でも問題となる機器校正についてクルージング期間中の校正観測の解析結果について議論を行った。海外研究者を含んだ議論を経て、その精度と信頼性について一定の評価を与えて良いとの合意を得ることができたことが大きな成果である。</p> <p>地形学・形態学対象や解析手法が極めて多様であるため、系統的な議論が遅れてきた。今セミナーでは、はやぶさ 2 探査機のデータを用いた地形学、形態学の国際的議論のあり方を議論し、その基本的な枠組みを確立したことが成果であった。具体的には、科学観測運用に責任を持つ日本人中核メンバー、科学解析、海外メンバーの分担と準備作業を明確化できた。</p> <p>さらに、H30 年度のはやぶさ 2 探査の小惑星着地 (タッチダウン) 運用という最繁忙期に、米国天文学会および米国地球物理学会という大規模な国際会議が開かれる。本セミナーの議論の結果、はやぶさ 2 計画に参画する地元米国人研究者および欧州の研究者からロジスティクス面での強力な支援の申し出があり、両国際会議ではやぶさ 2 特別セッションを提案することができた。</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 108.8 万円 不課税取引・非課税取引に係る消費税 8.3万円 合計 117.1 万円
	(アメリカ)側	内容 外国旅費 300 万円
	(フランス)側	なし
	(ドイツ)側	内容 外国旅費 90 万円
	(スイス)側	なし

7-3 研究者交流（共同研究、セミナー以外の交流）

共同研究、セミナー以外でどのような交流（日本国内の交流を含む）を行ったか記入してください。

日数	派遣研究者		訪問先・内容			派遣先
	氏名	所属・職名	氏名	所属・職名	内容	
10 日間	野口 里奈	東京工業大学・研究員	TAKIR, Driss	米国地質研究所・研究員	惑星科学に関する研究打ち合わせ	アメリカ
33 日間	松岡 萌	東北大学・博士課程学生	HIROI, Takahiro	ブラウン大学・主任研究員	C型小惑星に関する研究打ち合わせ	アメリカ
35 日間	巽 瑛理	東京大学・特任研究員	BARNOUIN, Olivier	ジョンズホプキンス大学・主任研究員	はやぶさ2データのスペクトル解析に基づく研究	アメリカ
17 日間	黒川 宏之	東京工業大学・特別研究員	EHLMANN, Bethany	カリフォルニア工科大学・助教	はやぶさ2搭載データ解析について研究打ち合わせ	アメリカ
23 日間	野口 里奈	東京工業大学・研究員	LAURETTA, Dante	アリゾナ大学・教授	小惑星表層の地形解析に関する研究打ち合わせ	アメリカ
40 日間	仲内 悠祐	会津大学・客員研究員	TAKIR, Driss	米国地質研究所・研究員	隕石の反射スペクトル実験解析	アメリカ
15 日間	青山 雄彦	東京大学・博士課程学生	ALIBERT, Yann	ベルン大学・准教授	水惑星の形成・進化に関する研究打ち合わせ	スイス
15 日間	柴田 翔	東京大学・修士課程学生	ALIBERT, Yann	ベルン大学・准教授	水惑星の形成・進化に関する研究打ち合わせ	スイス
54 日間	金丸 仁明	大阪大学・修士課程学生	GUILLOT, Tristan	コートダジュール天文台・主任研究員	太陽系小天体の形成過程についての研究	フランス
24 日間	小川 和律	神戸大学・技術職員	Nicole Schmitz	ドイツ航空宇宙センター・研究員	惑星搭載機器についての開発・実験	ドイツ
87 日間	松本 徹	宇宙航空研究開発機構・研究員	LANGENHORS, Falko	フリードリヒンラー大学・教授	鉱物・有機物の太陽風照射実験と解析	ドイツ
52 日間	山本 圭香	国立天文台・研究員	JAUMANN, Ralph	ドイツ航空宇宙センター・教授	探査機軌道精密推定に関する研究	ドイツ
62 日間	小玉 貴則	東京大学・特任研究員	FORGET, Francois	パリ第6大学・上級研究員	水惑星の表層環境の安定性に関する研究	フランス
7 日間	黒川 宏之	東京工業大学・特別研究員	EHLMANN, Bethany	カリフォルニア工科大学・助教	地球型惑星の水期限の研究	アメリカ
17 日間	野田 夏実	東京大学・修士課程学生	WORDSWORTH, Robin	ハーバード大学・助教	初期火星における水文モデルの構築に関する研究打ち合わせ	アメリカ

7-4 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応  
実施2年目のため該当なし。

## 8. 平成29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	合計
日本	1		1/ 10 ( )	( )	1/ 5 ( )	( )	2/ 15 ( 0/ 0 )
	2		6/ 149 ( )	( )	3/ 27 ( )	( )	9/ 176 ( 0/ 0 )
	3		2/ 48 ( )	3/ 41 ( )	2/ 67 ( )	2/ 111 ( )	9/ 267 ( 0/ 0 )
	4		5/ 49 ( )	( )	1/ 62 ( )	1/ 52 ( )	7/ 163 ( 0/ 0 )
	計		14/ 256 ( 0/ 0 )	3/ 41 ( 0/ 0 )	7/ 161 ( 0/ 0 )	3/ 163 ( 0/ 0 )	27/ 621 ( 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 )
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 )
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 )
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 )
合計	1	0/ 0 ( 0/ 0 )	1/ 10 ( 0/ 0 )	0/ 0 ( 0/ 0 )	1/ 5 ( 0/ 0 )	0/ 0 ( 0/ 0 )	2/ 15 ( 0/ 0 )
	2	0/ 0 ( 0/ 0 )	6/ 149 ( 0/ 0 )	0/ 0 ( 0/ 0 )	3/ 27 ( 0/ 0 )	0/ 0 ( 0/ 0 )	9/ 176 ( 0/ 0 )
	3	0/ 0 ( 0/ 0 )	2/ 48 ( 0/ 0 )	3/ 41 ( 0/ 0 )	2/ 67 ( 0/ 0 )	2/ 111 ( 0/ 0 )	9/ 267 ( 0/ 0 )
	4	0/ 0 ( 0/ 0 )	5/ 49 ( 0/ 0 )	0/ 0 ( 0/ 0 )	1/ 62 ( 0/ 0 )	1/ 52 ( 0/ 0 )	7/ 163 ( 0/ 0 )
	計	0/ 0 ( 0/ 0 )	14/ 256 ( 0/ 0 )	3/ 41 ( 0/ 0 )	7/ 161 ( 0/ 0 )	3/ 163 ( 0/ 0 )	27/ 621 ( 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。

8-2 国内での交流実績

1	2	3	4	合計
( )	( )	1/4 (7/26)	( )	<b>1/4</b> (7/26)

## 9. 平成29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	5,848	
	外国旅費	13,349,494	
	謝金	0	
	備品・消耗品 購入費	0	
	その他の経費	0	
	不課税取引・ 非課税取引に 係る消費税	1,044,658	
	計	14,400,000	
業務委託手数料		1,440,000	
合 計		15,840,000	

## 10. 平成29年度相手国マッチングファンド使用額

相手国名	平成29年度使用額	
	現地通貨額[現地通貨単位]	日本円換算額
米国	55,000 [米ドル]	600 万円相当
ドイツ	22,700 [ユーロ]	295 万円相当
フランス	13,800 [ユーロ]	180 万円相当
スイス	2,2500 [スイス フラン]	25 万円相当

※交流実施期間中に、相手国が本事業のために使用したマッチングファンドの金額について、現地通貨での金額、及び日本円換算額を記入してください。