

**研究拠点形成事業**  
**平成 28 年度 実施報告書**  
**(平成 28 年度採択課題用)**

**A. 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

(1 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28年度研究交流目標

#### <研究協力体制の構築>

惑星科学研究には、理論的背景となる惑星形成理論、観測装置の基礎開発と実機への実装、膨大なデータを蓄積・処理するシステムの開発、探査機あるいは望遠鏡を用いた観測によるデータの取得、詳細かつ多様なデータから対象天体内の進化過程を推定するための解析手法、など、極めて広範な知識と能力が必要である。これら広範な専門性を持った若手研究者を国内から広く集め、また彼らが相手国との研究協力に参画できよう準備するため、本計画の初年度には国内の大学院生や博士研究員を対象としたサマースクールを計画初年度に開催する。この場では、太陽系内および系外惑星の研究の現状を理解してもらうことと、観測およびデータ解析などの実習を経験してもらうことを目指す。そのサマースクールには、相手側の研究協力者を招待講師として招き、系統的な教育を実施すると同時に、我が国の若手研究者が欧米の第一線の研究者と直接知り合う絶好の機会を提供する。また、これを通じて若手間の人的交流を活性化し、次世代を担う若手研究者の間の人脈形成を促進する。

加えて、系外惑星観測計画と系内惑星探査計画のどちらにおいても、「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 OSIRI-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。計画初年度には、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。初年度には、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ことを狙う。

さらに、年度末にかけて系外惑星と系内惑星探査の合同国際シンポジウムを開催し、日米欧の研究者が分野横断的に汎惑星科学の議論を行う。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。

#### <若手研究者育成>

若手研究者の育成は、3段構えの構造で取り組む。第一に、優秀な若手研究者を広範な分野から惑星科学という発展著しい分野への参入を促す。具体的には、上記の国際サマースクールを通じて惑星科学研究の現状を理解すると同時に、米欧の第一級の研究者と直接知り合うことを目標とする。第二に、既に惑星科学の研究に従事している若手研究者の国際経験の充実である。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。第三は、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。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

換を推進してもらおう。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28年度研究交流成果

### 6-1 研究協力体制の構築状況

惑星科学研究には、理論的背景となる惑星形成理論、観測装置の基礎開発と実機への実装、膨大なデータを蓄積・処理するシステムの開発、探査機あるいは望遠鏡を用いた観測によるデータの取得、詳細かつ多様なデータから対象天体内の進化過程を推定するための解析手法、など、極めて広範な知識と能力が必要である。研究交流事業の第1年目の平成28年度には、これら広範な専門性を持った若手研究者を国内から広く集めて、相手国との研究協力に参画する準備を整えるため、国内の大学院生や博士研究員を対象としたPlanet2サマースクール(S-1)を飛騨高山にて開催した。そこでは、国内の若手研究者が、最先端の広汎な知識を世界トップクラスの研究者から系統的に学ぶと共に自らの研究をアピールして共同研究のきっかけをつかんでもらうことを目的とした。結果として、多くの共同研究がベルン大学(11/10-12/17)、ハワイ大学(9/4-9/22)、プリンストン大(1/21-1/31)へ若手研究者の派遣を契機にスタートさせることができ、当初目標が達成できた。

引き続き、日本の宇宙科学研究所に欧米から40人を超える研究者を迎えて、はやぶさ2の研究会(S-4)を開いた。そこでは、日本の旗艦惑星探査機であるはやぶさ2の運用状況などのブリーフィングに加えて、取得予定データの共同解析についての議論、若手交流についての議論などが活発に行われた。平成29年度以降に本格化させる若手派遣に向けた具体的な準備活動を始動させた。ここでは、はやぶさ2のデータに興味を持つ海外研究者に日本の若手を売り込んで、共同研究を活性化することができた。特に、米国からの若手研究者の日本滞在計画を直に会って議論できた効果は大きく、約10人の研究者がH29~30年度に掛けて数週間以上の日本滞在を伴う共同研究を行う見込みとなった。

さらに、コートダジュール天文台の近郊の街において主に欧州の惑星研究者を招いて国際シンポジウムを開催した(S-2)。ここでは、星間雲や星周円盤の物理学の研究者から近未来の系外惑星観測衛星計画の責任者や次世代小惑星探査計画の責任者など、欧州の惑星科学および探査の極めて広範囲かつ最先端の研究者と日本の若手研究者の交流が行われた。

最後は、米国のヒューストンおよびアリゾナ州ツーソンでの米国版はやぶさ2のOSIRIS-REx探査機チームとの交流を主目的とした国際会議を開催した(S-3)。OSIRIS-REx

探査機の初期観測運用スケジュールとの都合で開催日程が3月末となったが、はやぶさ2とOSIRIS-RExの各観測機器同士のデータ交換、共同開発、若手人材交流を議論する詳細な会議スケジュールが組まれて準備が進められている上に、実際に現場で観測運用やデータ解析に従事する若手研究者が日米両側から多数参加し、両探査計画の間での研究交流が大きく進展した。

項目6-3でより詳しく述べるが、これら一連の交流活動により「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る枠組みを始動させることができた。また、研究会やサマースクールでの具体的な議論の場では、系外惑星観測と太陽系内の探査の研究者の間での密な学問的興味が非常によく噛み合っており、これまで交流が薄かった両コミュニティの間での学問的な連携が日本主導で実現できる状況が生まれた。

項目6-2で詳述するように、米国のOSIRIS-RExの探査対象小惑星と日本のはやぶさ2探査機の探査対象小惑星の由来や特性の違いが明確になってきた。このような両小惑星を詳細観測したときには異なる観測結果が得られるはずである。しかし、その観測結果の違いが、小惑星の特質による本質的な違いであって、両探査機の観測装置の性能の違いに起因する見かけの差違でないことを証明することは容易ではない。両探査機のチームが相互協力を行って、それぞれの観測装置の比較を詳細に行っておく必要がある。初の軌道上観測キャンペーンを終えたばかりのOSIRIS-RExの観測機器チームの成果報告の場(S-3)に、はやぶさ2機器チーム（他経費を含めて総勢17名）を派遣した結果、膝詰めでの詳細な議論が実現した。これにより、観測結果の相互参照の議論の枠組みを作られたことは本交流計画の極めて大きな成果であった。

## 6-2 学術面の成果

平成28年度のセミナーや各種国際共同研究によって得られた学術面での成果は多岐に渡るが、大きな成果は惑星形成理論の分野での議論の整理と小惑星探査における探査小惑星の特性解明の2つが大きいと考えている。第1は、惑星形成理論の分野においては、水氷の凝縮が起きるか否かを分ける境界線（snowline（雪線））の役割がかつての理解に比べて遥かに大きなものであることが分かったことである。かつてsnowlineは、固体惑星の岩石だけが含まれるのか氷も含まれるのかという違いによって、惑星材料物質量を大きく変化させる影響を与えることが最大の役割だと理解されてきた。この要素は、大惑星の最終質量や成長速度を制御するという意味で今でも重要である。しかし、最近の形成理論研究、系外惑星観測、太陽系探査の結果を総合的に俯瞰すると、このsnowlineの内側と外側では惑星集積を司る物理過程そのものが大きく変化しており、惑星形成理論の大きな書き換えが必要になる可能性があることが明らかになってきた。具体的にはsnowlineの外側では、古典的な微惑星形成を伴わないpebble accretion modelと呼ばれる小石サイズの固体粒子が大きな原始惑星に衝突して極めて高い速度の惑星成長を引き起こす可能性が高いことが分かってきた。

第2は、このsnowlineの外側で成長した可能性が高い小惑星リュウグウの母天体の実像

をはやぶさ2探査機は解明できる可能性を持っており、その成果は太陽系科学のみならず系外惑星系形成の謎を解明する可能性を持っているという認識が日米欧の研究者の中で共有されて、様々な共同研究が開始されたことである。この認識に基づき、はやぶさ2計画と OSIRI-REx 計画の探査する小惑星の特性をより詳細に比較する活動も行われた。その結果、両計画が探査する小惑星のリュウグウとベヌスが質的にはかなり大きく異なる物質進化を経た星である可能性が高いことが分かってきた。これも大きな成果である。具体的には、OSIRI-REx が探査するベヌスは、CI 型隕石が加熱を受けたときに現れるスペクトルに類似したスペクトルを持ち、100km 近い大きさの母天体から割れて生じた小型小惑星である可能性が高いのに対し、はやぶさ2探査機が探査するリュウグウのスペクトルは CM 型隕石が加熱を受けた熱を受けたときに現れるスペクトルに類似したスペクトルを持ち、大きな母天体から来た証拠を持たないことが明確になってきた。広義のスペクトル型ではベヌもリュウグウも同じ C 型小惑星であり、直径も数百 m と小型である点で極めて類似しているが、両者の経てきた進化の歴史と出発物質は極めて大きく異なっている可能性が高いのである。これら似て非なる小惑星の物質をほぼ同時期にリモートセンシング観測し回収試料を同時に分析できることは、太陽系の初期進化を理解する上で極めて有効に働くことが期待される。この理解は、項目 6-1 で述べたような、はやぶさ2計画と OSIRI-REx 計画の間の観測機器の詳細な相互校正活動を本格開始させるためにも大きな原動力となっており、日米の小惑星探査に極めて大きな波及効果を与えた。

### 6-3 若手研究者育成

平成28年度の活動計画は、当初より意欲と能力をもった若手研究者を広く集めて、日本が世界を主導している小惑星探査、大型望遠鏡観測、惑星形成理論の分野の力を背景にして世界の拠点機関に送り込む仕組みを構築することに主眼を置いていた。実際、夏の Planet2 サマースクール(S-1)には 60 名を超える学生および若手 PD が参加し、既存の研究プロジェクトの枠を超えて研究者の層を増すことに成功した。ここで集めた日本人若手研究者と、Planet2 サマースクール(S-1)に講師として海外拠点から派遣してもらった若手の気鋭研究者たちとの間に広い学術上の交流が開始できた。ここで始まった交流は、その後の日本（宇宙科学研究所）での Hayabusa2 Joint Science Team (HJST) Meeting(S-4)、欧州（コートダジュール天文台）での惑星科学国際シンポジウム(S-2)、米国（アリゾナ大学）での OSIRIS-REx Science Meeting(S-3)での個別の機会での議論に引き継がれて、具体的な国際共同研究や若手派遣計画に進展した。具体的には、欧州の系外惑星観測プログラムへ理論に強い日本人若手研究者の参画要請が多数あったことに加え、小惑星探査の経験の浅い欧米の研究者から米国や欧州の次世代計画へ はやぶさ探査機やはやぶさ2探査機での経験を持つ日本の若手研究者（博士課程学生を含む）へ強い勧誘があったことは予想を超える収穫であった。

これらの機会によって醸成された若手日本人研究者と海外研究者の間の共同研究の機運を実体化させるため、学会のネットワークを通じて若手からの自己派遣による小惑星探査に関わる国際共同研究の申請書を公募したところ、リモートセンシング観測から回収サンプルの精密分析まで幅広い分野の国際共同研究提案があり、10件の若手派遣計画を平成

29年の実施計画書に反映できるところまで進められた。

逆に、欧米からの若手研究者と上記のセミナーの機会において直に会って日本滞在計画をについて議論した効果も非常に大きかった。特に、Rosetta 彗星探査計画で小天体探査の世界最先端に立った欧州は独自の小惑星探査計画を全く持っておらず、日本の小惑星探査への若手派遣に非常に強い関心を持っていることが分かったことも大きな成果であった。さらに、米国は OSIRIS-REx より数ヶ月前に小惑星に到着し1年ほど前に試料採取を行う日本のはやぶさ2探査計画を自国の若手研究者育成の場と捉えており、自国の若手研究者派遣と日本の若手研究者の受入れに大変積極的である。議論の結果、約10人の研究者がH29~30年度に掛けて数週間以上の日本滞在を伴う共同研究を行う見込みとなった。

これら一連の交流活動により、計画2年度以降において「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る枠組みを始動させることができたことが、若手研究者育成面での最大の成果である。

#### 6-4 その他（社会貢献や独自の目的等）

はやぶさ2探査機は、日本国内で極めて高い知名度を誇っており、一般国民の関心は高い。この探査機がどのような成果を出してくれるのか、世界的にも重要な位置を占めているのか、様々な期待と共に見守ってくれている状況である。本事業では、NASAのOSIRIS-REx計画との連携を進めている実績があるため、国際共同研究に根ざした広報活動を展開できる余地がある。平成28年度には、東京ドームのTeNQの展示スペースに、はやぶさ2やOSIRIS-RExの探査データをかなりリアルタイムに近い形で表示して、一般国民に発信する企画の検討を開始した。

#### 6-5 今後の課題・問題点

平成28年度の当初にはフランスでの国際科学シンポジウムはニースで開催することを予定していた。しかし、年度途中の7月に予定会場のホテルの目の前の道において数十人が死傷するテロ事件が発生したため、この余波を懸念して隣町での開催に急遽変更することとした。この変更を検討するまでの間、開催国をドイツに変更した方がよいか、あるいは一切の中止を決めた方がよいかなど検討を行ったため、会議の開催準備が大幅に遅れる結果となってしまった。結果的には、街の規模が非常に小さい隣町に良い会議場が見つかり、十分な参加者が確保できたので無事の開催が実現でき、本交流計画に大きな支障を来すことはなかった。しかし、我々の関連分野のCOSPARという宇宙科学関連の学会はトルコでの開催を予定していたが、開催の1ヶ月ほど前になって中止が決定された。このようなテロは、我々の力では防ぐことも予測することもできない。実際、ニースでのテロの後には、テロの危険性の低いと当初考えられてきたドイツや北欧諸国でも事件が起きている。

海外での事故や事件へのリスク管理は今後の世界情勢を考えた時、決して疎かにできない要素である。その一方で、過度の心配や予防策も本事業のような国際交流計画の障害となってしまう。安全管理上の万能の処方箋は見つかっていないので、このような不測の事態が起きる危険性を常に意識して、柔軟かつ迅速に対応できるような交流計画の立案およ

び連絡経路の確立を進めて行くことが今後の課題である。

6-6 本研究交流事業により発表された論文等

(1) 平成28年度に学術雑誌等に発表した論文・著書	9本
うち、相手国参加研究者との共著	2本
(2) 平成28年度の国際会議における発表	8件
うち、相手国参加研究者との共同発表	0件
(3) 平成28年度の国内学会・シンポジウム等における発表	4件
うち、相手国参加研究者との共同発表	0件

**7. 平成28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>				
28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2名の研究者をアリゾナ大学(6/11-14), パリ11大学(6/15-22, 2/16-18)へ派遣した。加えて、アリゾナ大学(S-3)およびJAXA 相模原キャンパス(S-4)において国際研究会を開催し、3探査機の科学観測運用やデータ解析の連携に関する具体的な案を検討した。また、米国からは彼らの形状アルゴリズムの説明のために講師1名の派遣を受け(8/7~12)、日本の若手を対象とした講習会を開催した。さらに、ドイツ航空宇宙センターから2名の研究者が来日(9/7-8)し、はやぶさ2の撮像計画と形状モデル解析手法について検討した。さらに、R-2, R-3グループと連携でフランス・ニースにてワークショップ(S-2)を開催し、系外と系内の物質輸送過程に関して詳細に議論した。</p>				
28年度の研究 交流活動から得 られた成果	<p>探査機の高度誘導に必要な迅速かつ精度の高い小惑星の形状モデル生成プログラムの国際共同開発体制を整備した。さらに、参画各国が持ち寄る複数のアルゴリズムの相補性と冗長性を整理した。特に、ドイツと米国からは全く異なる手法に基づく形状モデル形成のアルゴリズムと実装プログラムの提案があり、両者の相互比較検討を開始できた。また、本活動で日本の若手が急速に形状モデルの専門知識を得ることができた。さらに、S-2, S-3, S-4の交流を通じて、小惑星の表面物質のリモートセンシングの中心となる反射スペクトル分析法についても測光理論モデルと端成分分離理論モデルについて国際共同開発体制を整備し、各国の得意とする主要の相補性と冗長性の整理を行った。特に、S-4に併せて来日した研究者とデータ公開について、アメリカのPDSプログラムにはやぶさ2データをどう掲載していくかについて詳細な議論ができたことは地味だが技術上の極めて大きな成果であった。</p>				

**平成28年度採択課題**

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) <b>BENZ Willy, University of Bern, Professor</b>				
28年度の研 究交流活動	<p>今年度は、サマースクールや2月のニースでの国際会議などとの関係で、本事業の経費を用いた交流活動は、東京工業大学の平野照幸氏をプリンストン大学の WINN, Joshua 教授のもとに派遣した件にとどまった。平野照幸氏は(H29. 1. 21-1. 31)の間プリンストン大学に滞在し、Kepler 衛星が発見したトランジット惑星系のドップラー法による追観測、また来年度に打ち上げ予定の TESS 衛星を用いたサイエンスに関する議論を行った。</p>				
28年度の研 究交流活動から得 られた成果	<p>日本のすばる望遠鏡のあらたな観測装置である IRD を用いて TESS 衛星の発見したトランジット惑星系をどのように追観測するか戦略を具体的に検討しつつある。</p>				

整理番号	R-3	研究開始年度	平成28年度	研究終了年度	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>				
28年度の研究 交流活動	<p>今後の太陽系内惑星探査および系外惑星観測を念頭に置き、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モデルを総括し、現状の理論的課題の整理と観測的検証に関する詳細な検討を行なった。具体的には、フランスのニース近郊の街（Villefranche-sur-Mer）で、“Origin and diversity of planetary systems from the microscope to the telescope” ワークショップを開催し、日本側参加者と相手国参加者を集め、理論・観測・探査の関連テーマのレビューを行なった。さらに、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およびスイス・ベルン大学、ジュネーブ天文台に日本側代表者が訪れ、含水物質の輸送と惑星集積に関する理論研究および太陽系外の水惑星の観測に関する共同研究を推進した。さらに、大学院生1名が6週間ベルン大学に滞在し、相手国研究者と共同研究を推進した。</p>				
28年度の研究 交流活動から得 られた成果	<p>初期惑星系における物質輸送という観点で、従来の惑星形成理論モデルを総括することによって、これまで力学過程を中心に構築されてきた現状の惑星形成論に残る課題が整理された。また、上述の研究交流によって、物質科学的な過程と効果を取り入れた新たな惑星形成論の構築の足がかりを得ることができた。理論面では、相手国で精力的に研究されているペブル仮説を、日本側研究代表者らが構築してきた惑星集積理論に導入し、物質科学的効果を考慮した新たな惑星形成モデル構築に向けた共同研究がはじまった。そこには、ベルン大学に派遣した大学院生も積極的に参加している。観測面では、小惑星表面観測でペブル仮説を検証することや、宇宙望遠鏡を用いた長周期トランジット観測によって雪線付近の系外惑星を検出し質量分布を見ることで形成理論を検証することの重要性が新たに確認され、具体的な検討が始まった。</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「太陽系内および系外惑星系進化の統一的描像に向けて」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Towards a unified picture for evolution of Solar and extrasolar planetary systems”
開催期間	平成28年8月24日 ~ 平成28年8月28日 (5日間)
開催地 (国名、都市名、会場名)	(和文) 日本、高山
	(英文) Japan, Takayama
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 (※日本以外で開催の場合)	(英文)

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.	63/249	
	B.	22	
アメリカ 〈人/人日〉	A.	1/5	
	B.	3	
スイス 〈人/人日〉	A.	0/0	
	B.	1	
フランス 〈人/人日〉	A.	1/5	
	B.	1	
ドイツ 〈人/人日〉	A.	1/5	
	B.	0	
合計 〈人/人日〉	A.	66/264	
	B.	27	

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）

<p>セミナー開催の目的</p>	<p>はやぶさとはやぶさ2に代表されるサンプルリターンによる太陽系内始原物質探査と、地上とスペース観測を通じて得られた系外惑星系の多様性は、いずれも近年大きな進展を遂げている。一方で、それらの研究成果を融合させて、汎惑星形成論を構築するという方向性はあまり検討されてこなかった。まさにその融合を目的とする本拠点形成事業の手始めとして、国内の参加者と若手研究者に加えて相手国側の参加者も招聘したサマースクールを開催し、太陽系内および系外惑星系研究の相互理解と共同研究の推進を図る。本セミナーでは、国内の若手研究者が、最先端の広汎な知識を世界トップクラスの研究者から系統的に学ぶと共に自らの研究をアピールして共同研究のきっかけをつかんでもらうことを目的とした。</p>
------------------	--

※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。

セミナーの成果	<p>系外惑星および太陽系探査の両分野の研究者の多くにとって、相手分野から紹介された最新成果に基づき極めて活発な議論が行われた。この結果、両分野の融合を目指した本事業の学術的狙いが極めて有効であることを国内外の参画者が確信したことは大きな成果であった。ここでの共通理解に基づき、その後の各種セミナーおよび各テーマの共同研究課題の進捗が図られた。</p> <p>さらに、系外惑星観測計画の共同検討および小惑星探査に関わる形状モデルの共同検討が開始されたことも重要な成果である。また、日本の若手研究者が海外からの講師と積極的な交流を持ち、個別の共同研究提案の検討が開始できた。具体的には、系外惑星観測に関して惑星大気流出観測の提案が、太陽系探査について可視カメラの光学特性解析の提案が、惑星形成論に関しては生命存在可能環境の理論検討に関する提案が国際共同研究の形で出されたことが成果であった。</p>		
セミナーの運営組織	東京大学理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター		
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容	国内旅費 181,8000円
	(アメリカ)側	内容	外国旅費 200,000円
	(フランス)側	内容	外国旅費 250,000円
	(ドイツ)側	内容	外国旅費 250,000円

整理番号	S-2
セミナー名	<p>(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業「プラネット2シンポジウム：様々なスケールの観測による惑星系の起源と多様性の解明」</p> <p>(英文) JSPS Core-to-Core Program “Planet2” Symposium “Origin and Diversity of Planetary Systems from the Microscope to the Telescope”</p>
開催期間	平成29年2月20日～平成29年2月23日（4日間）
開催地（国名、都市名、会場名）	<p>(和文) フランス、ヴィルフランシュ=シュル=メール、シタデル</p> <p>(英文) France, Villefranche-sur-Mer, Citadel</p>
日本側開催責任者	(和文) 生駒大洋・東京大学・准教授

氏名・所属・職	(英文) IKOMA Masahiro・The University of Tokyo・Associate 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) MICHEL Patrick・Observatory of Cote d'Azur・Senior Researcher

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (フランス)	
日本 〈人／人日〉	A.	20/	100
	B.	6	
スイス 〈人／人日〉	A.	5/	25
	B.	0	
フランス 〈人／人日〉	A.	6/	24
	B.	0	
合計 〈人／人日〉	A.	31/	149
	B.	6	

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	異なる分野として独自の発展を遂げてきた太陽系内探査（共同研究 R-1）と系外惑星観測（共同研究 R-2）が、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惑星系の物質輸送を統一的に理解するための研究戦略を検討することを目的とする。また、H28年度に行なった研究交流成果を共有することも目的とする。		
セミナーの成果	日本および相手国から招聘した惑星形成理論や系外惑星観測、太陽系内惑星探査の関連テーマに関するリーディング・サイエンティストによってレビュー講演がなされた。古典的な惑星形成論が詳細には検討しなかった初期惑星系における物質輸送と惑星系の多様性という観点で、従来の惑星形成理論モデルを総括し、現状の惑星形成論に残る課題を整理・共有することができた。特に、惑星の素となった小天体のサイズが、力学的にも物質科学的にも惑星形成過程に重要な影響を与えることが確認され、物質科学的な過程と効果を取り入れた新たな惑星形成論の構築の足がかりを得ることができた。さらに、シンポジウムでは、日本の大学院生やポストクの多くが自身の研究成果を口頭発表し、日本の若い世代のアクティビティを世界に見せることができたのも大きな成果である。		
セミナーの運営組織	コートダジュール天文台		
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容	外国旅費 5,628,000 円 不課税取引・非課税取引に係る消費税 448,000円 合計 6,076,000 円
	(スイス) 側	内容	外国旅費 1,500,000 円
	(フランス) 側	内容	国内旅費 600,000 円

整理番号	S-3
セミナー名	(和文) はやぶさ2=オシリスレックス連携科学会議
	(英文) OSIRIS-REX-Hayabusa2 Joint Science Meeting
開催期間	平成29年3月23日 ~ 平成29年3月28日 (6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 (アメリカ)	
	A.	B.
日本 〈人/人日〉	3/9	14
アメリカ 〈人/人日〉	15/45	65
スイス 〈人/人日〉	0/0	0
フランス 〈人/人日〉	4/12	2
ドイツ 〈人/人日〉	1/3	0
合計 〈人/人日〉	23/69	81

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>米国の O-REx 打上げ (H28 年 9 月) および初期チェック (H29 年 2 月) の結果を見届けたタイミングで、日本のはやぶさ 2 探査機、欧州の MASCOT 着陸機、米国の O-REx の科学観測チームの共同サイエンス会議を開き、三者にとって必要な課題、連携観測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>	
<p>セミナーの成果</p>	<p>日本のはやぶさ 2 探査機とアメリカの OSIRIS-REx 探査機が惑星星間航行軌道上で得た初の校正観測データと基本観測計画を相互に紹介して、今後にどのような形で機器の相互校正活動を行うべきか、膝詰めで競技できたことが最大の成果であった。アメリカ側からは約 100 名の研究者が参加し、日本からも 17 名の参加者が参加して、多岐に渡る検討を行った。特にはやぶさ 2 が既に行った地球・月スイングバイ観測のデータを OSIRIS-REx チームに提示することによって、H29 年 9 月に予定されている OSIRIS-REx 探査機の地球・月スイングバイ観測に反映できたことが重要であった。加えて、データ公開の方法についても詳細な議論ができたため、今後のデータ解析やファイル形式決定などを大量のデータが発生する前に両探査チームで摺り合わせできたことも今後の円滑な共同研究実現のための重要な布石となった。</p> <p>最後に、自らの機器開発および初期運用に忙しくて日本に来る機会が全くなかった米国側の機器開発チームの主要メンバーに日本の若手研究者を紹介して、彼らと具体的な共同研究の議論ができる機会を提供できたことは非常に重要な成果である。</p>	
<p>セミナーの運営組織</p>	<p>アリゾナ大学 (ツーソン) ジョンソンスペースセンター (ヒューストン)</p>	
<p>開催経費 分担内容 と金額</p>	<p>日本側</p>	<p>内容 外国旅費 1,775,000 円 不課税取引・非課税取引に係る消費税 138,000円 合計 1,913,000 円</p>
	<p>アメリカ側</p>	<p>内容 国内旅費 8,000,000 円 運営経費 500,000 円</p>
	<p>フランス側</p>	<p>内容 外国旅費 1,200,000 円</p>
	<p>ドイツ側</p>	<p>内容 外国旅費 300,000 円</p>

整理番号	S-4
セミナー名	(和文) はやぶさ2合同科学チーム会議
	(英文) Hayabusa2 Joint Science Team Meeting
開催期間	平成28年12月1日 ~ 平成28年12月2日 (2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, Sagamihara,
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 吉川真・宇宙科学研究所・准教授
	(英文) YOSHIKAWA, Makoto・JAXA/ISAS・Associate 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)

参加者数 (以下に加えて、イタリアから4名、韓国から2名、豪州から1名)

派遣先 派遣元		セミナー開催国 ( 日本 )	
		A.	B.
日本 〈人／人日〉	A.	2/ 8	
	B.	40	
アメリカ 〈人／人日〉	A.	12/ 48	
	B.	0	
フランス 〈人／人日〉	A.	7/ 28	
	B.	0	
ドイツ 〈人／人日〉	A.	18/ 72	
	B.	0	
合計 〈人／人日〉	A.	39/ 156	
	B.	40	

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>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-1 のセミナーと相補的な目的を持つ。</p>		
<p>セミナーの成果</p>	<p>本セミナーは、欧米から40人を超える研究者を迎えて、開催された。そこでは、日本の旗艦惑星探査機であるはやぶさ2の運用状況などのブリーフィングに加えて、取得予定データの共同解析についての議論、若手交流についての議論などが活発に行われた。</p> <p>はやぶさ2探査計画は、日本側提供の母船と欧州側提供の着陸機の2機構成である。このセミナーでは、母船搭載機器と着陸機搭載機器の科学的シナジー最大化のための運用計画の枠組みを産み出すための様々な議論がなされた。特に、両機の観測から得られる物質科学的知見からサンプル採取地点選択についての科学的な優先順位づけの枠組みの具体的議論ができたことは大きな成果であった。</p> <p>さらに、平成29年度以降に本格化させる若手派遣に向けた具体的な準備活動を始動させた。ここでは、はやぶさ2のデータに興味を持つ海外研究者に日本の若手を売り込んで、共同研究を活性化することができた。欧州からの期待の高さは予想通りであったが、米国からの若手研究者の日本滞在計画を直に会って議論できた効果は大きく、約10人の研究者がH29~30年度に掛けて数週間以上の日本滞在を伴う共同研究を行う見込みとなった。</p>		
<p>セミナーの運営組織</p>	<p>宇宙航空研究開発機構</p>		
<p>開催経費 分担内容 と金額</p>	<p>日本側</p>	<p>内容 国内旅費 90,000 円</p>	
	<p>(アメリカ) 側</p>	<p>内容 外国旅費 3,600,000 円</p>	
	<p>(フランス) 側</p>	<p>内容 外国旅費 2,100,000 円</p>	
	<p>(ドイツ) 側</p>	<p>内容 外国旅費 5,400,000 円</p>	

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		
19 日間	鎌田 俊一	立教大学・助教	ハワイ大学	教授・ LUCEY, Paul	はやぶさ2 画像解析研究		アメリカ
38 日間	中山 陽史	東京大学・博士 課程学生	ベルン大学	教授・ BENZ, Willy	水惑星の形成過程に関する研究打ち合わせ		スイス
11 日間	平野 照幸	東京工業大学・助教	プリンストン大学	教授・ WINN, Joshua	系外惑星に関する研究打ち合わせ		アメリカ
日間							

7-4 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応

初年度なので該当なし

8. 平成28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	四半期	日本	アメリカ	スイス	フランス	ドイツ	合計
日本	1		1/4 ( )	( )	2/12 ( )	1/5 ( )	4/21 (0/0)
	2		1/19 ( )	( )	( )	( )	1/19 (0/0)
	3		0/0 ( )	3/60 ( )	( )	( )	3/60 (0/0)
	4		7/63 ( )	2/13 ( )	19/142 ( )	( )	28/218 (0/0)
	計		9/86 (0/0)	5/73 (0/0)	21/154 (0/0)	1/5 (0/0)	36/318 (0/0)
アメリカ	1	( )		( )	( )	( )	0/0 (0/0)
	2	(1/5)		( )	( )	( )	0/0 (1/5)
	3	(13/52)		( )	( )	( )	0/0 (13/52)
	4	( )		( )	( )	( )	0/0 (0/0)
	計	0/0 (14/57)		0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (14/57)
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	(7/28)	( )	( )		( )	0/0 (7/28)
	4	( )	( )	( )		( )	0/0 (0/0)
	計	0/0 (7/28)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)		0/0 (0/0)	0/0 (7/28)
ドイツ	1	( )	( )	( )	( )		0/0 (0/0)
	2	(2/10)	( )	( )	( )		0/0 (2/10)
	3	(18/72)	( )	( )	( )		0/0 (18/72)
	4	( )	( )	( )	( )		0/0 (0/0)
	計	0/0 (20/82)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (20/82)
合計	1	0/0 (0/0)	1/4 (0/0)	0/0 (0/0)	2/12 (0/0)	1/5 (0/0)	4/21 (0/0)
	2	0/0 (3/15)	1/19 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	1/19 (3/15)
	3	0/0 (38/152)	0/0 (0/0)	3/60 (0/0)	0/0 (0/0)	0/0 (0/0)	3/60 (38/152)
	4	0/0 (0/0)	7/63 (0/0)	2/13 (0/0)	19/142 (0/0)	0/0 (0/0)	28/218 (0/0)
	計	0/0 (41/167)	9/86 (0/0)	5/73 (0/0)	21/154 (0/0)	1/5 (0/0)	36/318 (41/167)

※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
( )	35/115 ( )	2/4 ( )	( )	37/119 (0/0)

## 9. 平成28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 (直接経費)	国内旅費	2,056,725	
	外国旅費	10,638,342	
	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	804,933	
	計	13,500,000	
間接経費		4,050,000	直接経費の30%に相当する額とすること。
合 計		17,550,000	

## 10. 平成28年度相手国マッチングファンド使用額(だいたいの金額を記入してください)

相手国名	平成28年度使用額	
	現地通貨額[現地通貨単位]	日本円換算額
アメリカ	112,000[米ドル]	1230万円相当
スイス	[ ]	円相当
フランス	30,000 [ユーロ]	355万円相当
ドイツ	51,000 [ユーロ]	595万円相当

※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。