

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 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構
(米国) 拠点機関：	カリフォルニア大学バークレー校
(カナダ) 拠点機関：	マギル大学
(チリ) 拠点機関：	チリ大学
(仏国) 拠点機関：	国立科学研究センター
(ドイツ) 拠点機関：	マックスプランク天体物理学研究所

2. 研究交流課題名

(和文)： インフレーション宇宙の実証を目指す国際連携研究拠点
(交流分野：物理学)

(英文)： International Center for Observational Proof of Inflationary Universe
(交流分野：Physics)

研究交流課題に係るホームページ：<http://litebird.jp/eng/>

3. 採用期間

平成27年4月1日 ～ 平成32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 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構

実施組織代表者(所属部局・職・氏名)：

国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構・機構長・村山斉

コーディネーター(所属部局・職・氏名)：

国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構・教授・片山伸彦

協力機関：大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、大学共同利用機関法人
自然科学研究機構、国立天文台、独立行政法人宇宙航空研究開発機構、岡山
大学、大阪府立大学、名古屋大学、横浜国立大学、東京大学

事務組織：東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構

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：米国

拠点機関：(英文) University of California, Berkeley

(和文) カリフォルニア大学バークレー校

コーディネーター(所属部局・職・氏名)：(英文) Physics Department・Professor・
Adrian Tae-Jin LEE

協力機関：(英文) University of California, San Diego

(和文) カリフォルニア大学サンディエゴ校

協力機関：(英文) University of Colorado

(和文) コロラド大学
協力機関：(英文) Stanford University
(和文) スタンフォード大学
協力機関：(英文) National Aeronautics and Space Administration, NASA
(和文) アメリカ航空宇宙局
協力機関：(英文) Lawrence Berkeley National Laboratory
(和文) ローレンスバークレー国立研究所
経費負担区分 (A 型) : パターン 1

(2) 国名：カナダ
拠点機関：(英文) McGill University
(和文) マギル大学
コーディネーター (所属部局・職・氏名) : (英文) Department of Physics・
Associate Professor・Matt DOBBS
協力機関：(英文) Dalhousie University
(和文) ダルハウジー大学
協力機関：(英文) University of Toronto
(和文) トロント大学
経費負担区分 (A 型) : パターン 1

(3) 国名：チリ
拠点機関：(英文) University of Chile
(和文) チリ大学
コーディネーター (所属部局・職・氏名) : (英文) Physics Department・Professor・
Luis CAMPUSANO
協力機関：(英文) The Pontifical Catholic University of Chile
(和文) カトリカ大学
経費負担区分 (A 型) : パターン 1

(4) 国名：フランス
拠点機関：(英文) National Center for Scientific Research
(和文) 国立科学研究センター
コーディネーター (所属部局・職・氏名) : (英文) Astroparticle and Cosmology
Laboratory・Research Director・Jacques DELABROUILLE
協力機関：(英文) University of Paris 6
(和文) パリ第 6 大学
協力機関：(英文) University of Paris 7
(和文) パリ第 7 大学
経費負担区分 (A 型) : パターン 1

(5) 国名：ドイツ
拠点機関：(英文) Max-Planck Institute for Astrophysics
(和文) マックスプランク天体物理学研究所
コーディネーター (所属部局・職・氏名) : (英文) ・Physical
Cosmology Division・Director・Eiichiro KOMATSU
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

本拠点提案の研究課題「インフレーション宇宙の実証」は、「宇宙は如何に始まったか」という人類共通の謎に挑むものであり、重要度・緊急度について、我が国の学術全体の中でもトップレベルの評価を得ている。本拠点形成を通して2020年代前半の観測開始を目指す『LiteBIRD 衛星計画』は、2014年に引き続き、2017年にも日本学術会議の『第23期学術の大型研究計画に関するマスタープラン』（マスタープラン2017）の重点大型研究計画28件のひとつに選ばれている。2015年8月には、文部科学省の『学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想ロードマップ2014』（ロードマップ2014）の新しい10計画のひとつとして掲載され、ダブルaという最高評価を得ている。宇宙マイクロ波背景放射(Cosmic Microwave Background; CMB)偏光の精密観測で「原始重力波」の痕跡を探すという手法により、熱いビッグバン以前の「インフレーション宇宙」について決定的証拠を得ることを目指すこの提案は成功すれば科学史に残る大発見となる。

本研究交流の主目標は、2020年代のCMB偏光観測衛星打上げのために日米欧の国際ネットワークを構築し、その中核として活躍する若手研究者を育成することにある。現在日米欧の三極が先を争ってCMB偏光観測衛星（日本のLiteBIRD、米国のPIXIE、欧州のCORe+）を計画している。いずれの計画も宇宙物理学の知と世界最先端の技術を結集する必要があり、大規模な国際協力なしには実現しない。2020年代は遠い将来ではなく国際ネットワーク構築と若手研究者の育成は急務である。本研究交流により日本の独創性を確保し優位を保ちつつ他国が優位な技術を若手研究者が柔軟に取り入れて総合力を高めることができる。

本計画の大きな特長は、地上観測による共同研究プロジェクトPOLARBEARおよび宇宙空間からの観測プロジェクトLiteBIRDを通じて、観測衛星実現に向けた若手育成を行い、同時に、期間内にサイエンスの成果を着実に出すことである。POLARBEARはチリ・アタカマ高地(標高5200m)の望遠鏡により観測する実験である。観測衛星に必須となる技術要素を全て経験でき、重力レンズ効果の観測など第一級の科学的成果が期待されるため、若手育成の場として最適な場を提供できる。

東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構(Kavli IPMU)は、国際性、宇宙探求に関する実績、実務能力のいずれも、本課題の国際連携研究拠点として最適である。東京大学及び協力機関が保有する知的資産に加え、これを補完する相手国機関の技術や英知を活用し、研究交流と若手育成を実行する。

5-2. 平成29年度研究交流目標

<研究協力体制の構築>

昨年度に引き続き、「チリ・アタカマにおけるPOLARBEAR実験の遂行とPOLARBEAR-2光学・冷却システムの開発」及び「宇宙空間からの観測による研究プロジェクトLiteBIRDでの研究」に関する研究協力体制を強化する。

前者に関しては、関係相手国機関とより緊密に連携して、検出器のインテグレーション・統合試験を行い、H29年12月にチリへの輸送を開始することを目指す。後者に関しては、米国の拠点がNASAからH29年10月より3年間毎年2億円程度の開発費を受ける事が内定し、国内においては概念設計段階における中間審査がH29年5月に予定されており、H27年度に日本で開催された第1回日本学術振興会研究拠点形成事業「宇宙背景放射Bモード偏光観測ワークショップ」を発端に結成された国内外の本事業参加者により構成される「ジョイント・スタディ・グループ」による検討を引き続き進める。中間審査を通過すれば、半波長板以外のシステム要求を検討する基本設計を行う。国際協力体制をさらに強固なものにするため、米国・カナダ・フランス・ドイツと共同研究を行いプロジェクトの開発体制の整備を進める。

また、前年度大成功であったJSPS国際会議の第3回を米国カリフォルニア大バークレー校で開催する。

<学術的観点>

POLARBEAR プロジェクトでは平成 24 年度の観測において、重力レンズ起源の特殊な CMB の偏光パターン(偏光 B モード)に世界で初めて成功しているが、H29 年度は新たに加わった観測データを含めて、より高精度な観測結果の発表を目指す。H28 年度末にプレプリントアーカイブに投稿した二つの論文を遅滞なく科学雑誌に投稿する。また、26 年度より開始したインフレーション起源の偏光 B モードに特化した観測を継続して行う。さらに、現在の約 6 倍の感度を誇る POLARBEAR-2 検出器の製作を行う。超伝導センサー、データ読み出し、及び、光学系・冷却系の製作と統合試験を完了させ、チリにおいて運用を開始するまでが H29 年度の目標である。

LiteBIRD プロジェクトでは、シミュレーション・データ解析のためのパイプライン構築、LiteBIRD 用の半波長板の開発を中心に、科学衛星 LiteBIRD のシステム要求をまとめ、システム定義のための全体計画の策定を進める。最先端の技術を投入する、世界で唯一の衛星開発プロセスであり、ここで得られた学術的知見は今後の衛星開発の場面での活用が期待できる。今年度は、解析パイプラインを構築し、要求される測定精度を満たすハードウェアに対する仕様を決定する。

<若手研究者育成>

POLARBEAR 実験においては、グループの力を結集して超伝導センサー、データ読み出し、及び、光学系・冷却系の製作と統合試験を完了し、チリ・アタカマ高地へ光学系・冷却系システムを輸送する。装置開発から統合試験までを米国・フランスの若手研究者と共同で行えるのは貴重な機会であり、将来業界を背負って立つ研究者の育成に貢献できる。

LiteBIRD 計画においては、これまで行ってきたような概念検討から一歩進んで、より詳細な課題に関して、米国、カナダ、フランス、ドイツとの国際共同研究開発を行う。また、実質的検討メンバには衛星開発に実績あるメーカーや JAXA の衛星開発経験者も参加しているため、本事業に参加する若手研究者は、近い将来となった衛星打上げ時に、プロジェクトの中核として活躍が可能となる基礎技術を獲得でき、研究から設計、実装までを体験することができる。

特に今年度は日本側の POLARBEAR の若手研究者複数名をチリに長期間派遣する計画である。そして、これまでに提示された課題と解決策について、具体的な共同討議、作業のための「星形交流」をさらに推進していく。更に、今年度後半には、WMAP 衛星のデータ解析の第一人者で、本拠点プログラムのドイツ拠点の研究者である小松英一郎所長に、宇宙背景放射に関する講義をしてもらう事を予定している。

<その他(社会貢献や独自の目的等)>

国際共同研究、国際会議の開催、また、相手国等への長短期派遣による共同検討や国際会議での発表や参加を通じて、若手研究者が大いに活躍できる場を作っていく。シニア研究者は、必要に応じて、アドバイスや支援にあたり、効率よい拠点構想運営に努める。さらに、論文や国際会議発表に閉じず、公表のひとつとして、適正なタイミングでの報道発表や一般講演会を進められるよう体制を整えていく。

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

本プログラムでは、お互いの拠点が得意とする分野を補完し合い相互にメリットが得られるような研究協力体制を実現することが目標であり、H29 年度には以下を達成している。

①2020 年代の CMB 観測衛星実現に向けた若手育成に資する国際共同研究として、

R-01：「地上観測による研究プロジェクト POLARBEAR」（以下では POLARBEAR）では、2012～2013 年度の観測データ（2012 年度のみ）のデータを用いた最初の結果と比べて 1.6 倍のデータ量を用いたより高精度な重力レンズ B モードに関する観測結果をまとめた。また並行して、2014 年度より開始したインフレーション起源の偏光 B モード探索に特化した広域観測に関して、最初の結果をまとめるためデータ解析を進めている。特に低周波ノイズを削減するために導入した偏光変調装置に起因する系統誤差の評価をまとめ、誤差の大きさが十分小さい事を確認した。6 月に米国拠点で開催した POLARBEAR 実験のグループミーティングでは、体制構築をさらに一歩進めるため、80 名の研究者が参加し、米国・フランス・チリの拠点の研究者と研究交流を行った。

POLARBEAR-2 レシーバの開発では、カナダの拠点で主に開発した読み出し回路と米国拠点で開発したセンサーを日本の拠点施設で開発したレシーバシステムに組み入れ、ノイズレベル、検出効率等の基本特性の評価を開始した。チリの観測サイトでは引き続きレシーバを受け入れる望遠鏡の調整や作業場の整備等を、日本、米国、チリの拠点間で意見を交わしながら進めている。6 月のグループミーティングでは、POLARBEAR-2 の開発状況や観測開始後の観測・解析計画について議論を交わし、詳細なスケジュールについて合意を得た。

R-02：「宇宙空間からの観測による研究プロジェクト LiteBIRD」（以下では LiteBIRD）においても、日本、米国、カナダ、フランス、ドイツの 5 つの拠点で共同推進する体制を整えた。我が国では、H27 年 7 月に JAXA 宇宙科学研究所の戦略的中型宇宙科学ミッション候補として選定され、一方、相手国米国では、相手国拠点研究代表者 Adrian Lee 教授を主任研究者（PI）とするグループが検出器開発の為に予算 \$6M を米国宇宙機関（NASA）より得た。拠点国カナダにおいてもカナダ宇宙機関（CSA）から読み出しエレクトロニクス開発の為に予算を獲得した。またフランス、ドイツの拠点・協力機関は欧州宇宙機関（ESA）及び各国の宇宙機関に対して、LiteBIRD の概念設計に向けた予算獲得に動いている。これらの進展に伴い、本事業においても、研究交流活動を始動し、具体的には、以下の活動を進めた。

米国と LiteBIRD のシミュレーション及び望遠鏡光学系のサイドローブについて共同研究を開始し、系統誤差推定のためのシミュレーションの準備、すなわち、技術インターフェースの定義及び調整を行った。また、LiteBIRD に向けた広帯域反射防止加工技術開発について、ドイツ及び米国と加工技術及び評価を、カナダとは LiteBIRD 衛星における室温電子回路の開発を、そして、フランス・ドイツとは複数周波数帯域の観測データを使って銀河系内の前景放射をいかに効率良く分離するかをテーマにした研究を行う体制を整えた。さらに、フランスとは、LiteBIRD における系統誤差の研究、系統誤差シミュレーションの検討と、サブケルビン冷凍機候補として断熱消磁冷凍機と希釈冷凍機の技術検討打合せを行い、研究交流体制を構築、強化している。2017 年 8 月には、フランス・イタリア・ドイツ・イギリス・スペイン・オランダの研究者からなるコンソーシアムが形成され、ヨーロッパグループが担当する高周波望遠鏡とサブケルビン冷凍機的设计が開始された。2017 年 8 月にイギリスのカーディフ、10 月にフランスのパリ、2018 年 2 月にイタリアのトリノでコンソーシアム会議があり、国際交流を行うとともに、望遠鏡的设计のみならず、前景放射除去と系統誤差に関する報告と意見交換、今後の指針の構築を行った。2017 年 11 月 6-8 日の 3 日間、パリ大学の Guillaume Patanchon 准教授が岡山大に訪問し、データマネージメントと系統誤差に関する集中討議を行い、また学生を含めた国際交流を行った。

R-03: Simons Observatory は、史上最大の CMB 望遠鏡群プロジェクトである。平成 28 年 5 月に発足し、平成 32 年度からの観測開始に向けて、実験装置の開発を行っている。

29 年度は、(1) 望遠鏡の概念設計、(2) 観測データ管理・解析ハードウェア・ソフトウェアの仕様策定を行った。

(1) 種々の先行研究（本共同研究 R-01 等）で培ったノウハウを生かし、望遠鏡のデザイ

ンとシミュレーション研究を行なった。本プロジェクトで開発する望遠鏡一台あたりの検出器数は史上最大となるため、多角的な検討が必要であった。CMB 信号を高い効率で焦点面検出器アレイへと導入する光学系のデザイン 3 種を精査・検討し、一種類を選択・最適化を行なった。

(2) 従来実験よりも一桁大きなデータ量となる。観測データの品質を保証し、観測効率を最大化するソフトウェアと望遠鏡較正を行うハードウェア、データ転送・管理・解析を行う計算機環境の構築、それらに基づいたサイエンス展望の評価をおこなった。

以上の研究活動は、日本と米国、カナダ、チリをはじめとする世界各国との電話会議をおこない遂行された。また、年数回程度米国を訪問し、深い議論を行なった。

②米国の拠点であるカリフォルニア大バークレー校で、観測衛星をテーマに、「日本学術振興会研究拠点形成事業『宇宙背景放射 B モード偏光観測』ワークショップ（以下では JSPS 国際会議）」を開催し、衛星開発と科学目標の実現性について討議した。この会議は単独開催であるにも関わらず、米国、カナダ、フランス、ドイツ等相手国に加え、イギリスからも参加があり計 110 名の参加と大盛況であった。期間中、50 講演、5 件のポスターセッションでは、若手研究者、シニア研究者共に、活発な議論を行なうことができ、さらに、次回開催地をフランスとする合意にも達することができた。

③各拠点とは、頻繁に電話会議を行い、衛星計画に共通の課題（超伝導検出器開発、前景放射分離、高速データ読み出し、系統誤差低減、新しい宇宙論など）に関する問題点の明確化、解決策の開発に関する討議を開始した。

6-2 学術面の成果

R-01 では、重力レンズ B モードに特化して行った 2012-2013 年の観測データの解析結果についてまとめてジャーナル誌に投稿、受理されている。またインフレーション B モード偏光の検出を目指して行っている広域観測に関して、偏光変調装置の系統誤差に関する詳細なスタディの結果についてもまとめ、論文として報告、受理されている。

POLARBEAR-2 レシーバの開発については、本番グレードの検出器が全数そろい、信号読み出しのためのハードウェア、エレクトロニクスまでの一連のシステムと噛み合わせて、動作させる事に成功した。10000 素子レベルの超伝導センサーアレイの実現は、チリへの輸送に向けた大きな一歩であると同時に、次世代の CMB 偏光実験の実現に向けても重要なステップである。拠点機関を中心とした共同作業により達成した大きな成果と言える。

本分野では、国際協力なしには実験を遂行することは出来ない。各種課題に関し、きめ細かい検討を重ね、合意を重ねていく。今年度も、観測データの解析方針や、観測装置の準備計画に関しての複数の合意を得る事が出来た。

R-02 では、今年度は、日本側で JAXA/ISAS による Phase-A1 中間審査が 2017 年 5 月にあり、進捗状況の報告と課題抽出が行われた。特に極低温光学系の設計、偏光変調器についてはフロントローディング開発が行われている。ヨーロッパコンソーシアムが形成され、Planck 衛星経験者が LiteBIRD に参加することとなり、国際的な協力関係が強化され、ますます研究開発が加速されてきた。イタリアグループは宇宙機関からの予算が認められ、雇用された研究者らは系統誤差および前景放射除去の研究を専門に行っている。カナダにおいても、衛星用室温電子回路の概念設計を行うための予算が認められ、国際交流活動を活発化させ、Hitomi 衛星の経験に基づいた LiteBIRD 用の読み出し電子回路の詳細検討が、電力・排熱・構造・電磁干渉などの点から開始された。アメリカにおいては、NASA から衛星用超伝導検出器の開発についての予算が認められた。既に地上 CMB 実験で実用化されているデザインをベースに、振動に対する耐性や宇宙線に対する応答といった衛星実験特有の問題点を掘り出している。また、ヨーロッパの宇宙機関が主体となって進める CDF(Concurrent Design Facility)が 2018 年 2 月に始まり、高周波望遠鏡の詳細設計および地上での検証試験方法の検討が行われている。日本・アメリカ・カナダ・ヨーロッパの

研究者は、さまざまな課題に対して毎週複数の TV 会議を行い、進捗状況報告・議論・今後の方針の決定を行っている。

セミナーでは、若手研究者や大学院生による発表も行われた。英語を用いた議論をすることにより、より深い国際的な経験を積むことができ、また、海外の研究者との交流に刺激され、より研究意欲を高めることができた。

R-03 では研究交流活動によって、望遠鏡の概念設計を早期に実現できた。次年度からの装置製作の役割分担も早い段階で明確になり、装置開発を計画的に行う見通しがたった。さらに、装置開発の研究を介して、現場若手レベルでの研究交流が促進されたことも成果の一つである。これは10年後、20年後にはさらに大きな研究交流活動が展開される試金石である。更に、効率的なデータ管理や装置較正、解析手法の確立にむけて情報整理を行うことが達成できた。その成果は、R-02 で計画している将来実験への重要な試金石となるばかりでなく、開発した手法やノウハウを R-01 等の現行プロジェクトへと早期に還元する検討も行なった。

6-3 若手研究者育成

POLARBEAR 実験では、チリ・アタカマ高地での CMB 観測、観測データの解析、次世代観測装置「POLARBEAR-2」の開発を、若手研究者が中心になって行っている。装置開発、観測からデータ解析、物理的解釈までを短期間に体験できるのは貴重な経験であり、将来この研究分野を背負って立つ研究者の育成に貢献できている。H29 年 6 月には米国拠点機関であるカリフォルニア大学バークレー校において、POLARBEAR 実験グループのグループミーティングが開催され、若手研究者を派遣して発表等を行った。また協力機関である高エネルギー加速器研究機構において行なっている POLARBEAR-2 レシーバ試験に米国若手研究者が多数参加した。また H29 年度末 (3 月) には Kavli IPMU において、米国拠点の研究者 (Yuji Chinone) を中心に、R-01 研究グループの 15 名の参加を得て、ソフトウェアパイプラインの構築作業を行った。

LiteBIRD プロジェクトでは、米国、カナダ、フランス、ドイツとの国際共同研究開発を行った。実質的検討メンバには衛星開発に実績あるメーカーや JAXA の衛星開発経験者が参加しており、本事業に参加する若手研究者の基礎技術習得を促している。

それぞれの実験やプロジェクトに参加している大学院生や若手研究者には積極的に研究成果発表のサポートを行なった。H29 年度は、物理学会や天文学会など国内学会に加えて、国際会議での研究成果発表の経験を積ませることが出来た。また、欧州宇宙機関 (ESA) により打ち上げられた人工衛星による宇宙背景放射 (CMB) 探索実験、Planck 実験の共同実験者である Guillaume PATANCHON 博士を講師にまねき、本拠点および協力機関において検討を行った

6-4 その他 (社会貢献や独自の目的等)

本拠点では、若手研究者の育成に加え、最新のサイエンスの社会への普及にも注力している。H29 年 10 月 27, 28 日に開催された東京大学柏キャンパス一般公開では、カブリ数物連携宇宙研究機構本部棟内に研究紹介のブースを設けて POLARBEAR 実験および LiteBIRD プロジェクトの展示を行った。2 日間、のべ約 3100 名の来場者に対

し、若手研究員を中心に来場者への丁寧な説明を行い研究成果の社会への還元に努めた。

本形成プログラムに参加している金子大輔が第12回（2018年）日本物理学会若手奨励賞を受賞した。これは昨年（2017年）日本物理学会若手奨励賞を受賞した桜井雄基に続く快挙である。

岡山大学において、岡山県高等学校教育研究理科部会、科学先取りグローバルキャンパスにおいて、高校教員と生徒に LiteBIRD プロジェクトについて紹介した。双方とも50名程度の参加者があった。

6-5 今後の課題・問題点

中間評価において指摘された3点の課題については7-4、およびH30計画書に対応策を記載した。

本拠点が推進している、進行中及び将来の大規模な国際共同実験において、研究拠点間のネットワーク作りとグローバルな視野を持つ若手研究者の育成は非常に重要な課題である事を認識しつつ、R-01、R-03における米国との共同実験、R-02における国際共同実験コラボレーションの醸成を行った。

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 | 9本 |
| うち、相手国参加研究者との共著 | 3本 |
| (2) 平成29年度の国際会議における発表 | 17件 |
| うち、相手国参加研究者との共同発表 | 11件 |
| (3) 平成29年度の国内学会・シポジウム等における発表 | 36件 |
| うち、相手国参加研究者との共同発表 | 32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-01	研究開始年度	平成27年度	研究終了年度	平成31年度
研究課題名	(和文) 地上観測による研究プロジェクト POLARBEAR での研究				
	(英文) Project "POLARBEAR"				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 長谷川 雅也・高エネルギー加速器研究機構・助教				
	(英文) Masaya HASEGAWA・High Energy Accelerator Research Organization (KEK)・Assistant Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arian Tae-Jin LEE・University of California, Berkeley・Professor 2. Matt DOBBS・McGill University・Associate Professor 3. Luis CAMPUSANO・University of Chile・Professor 4. Jacques DELABROUILLE・National Center for Scientific Research・Research Director 				
29年度の研究 交流活動	<p>2012~2013年度の観測データ(2012年度のみ)のデータを用いた最初の結果と比べて1.6倍のデータ量)を用いたより高精度な重力レンズBモードに関する観測結果をまとめた。また並行して、2014年度より開始したインフレーション起源の偏光Bモード探索に特化した広域観測に関して、最初の結果をまとめるためデータ解析を進めている。特に低周波ノイズを削減するために導入した偏光変調装置に起因する系統誤差の評価をまとめ、誤差の大きさが十分小さい事を確認した。6月に米国拠点で開催したPOLARBEAR実験のグループミーティングでは、体制構築をさらに一歩進めるため、XX名の研究者が参加し、米国・フランス・チリの拠点の研究者と研究交流を行った。</p> <p>POLARBEAR-2 レシーバの開発では、カナダの拠点で主に開発した読み出し回路と米国拠点で開発したセンサーを日本の拠点施設で開発したレシーバシステムに組み入れ、ノイズレベル等の基本特性の評価を開始した。チリの観測サイトでは引き続きレシーバを受け入れる望遠鏡の調整や作業場の整備等を、日本、米国、チリの拠点間で意見を交わしながら進めている。6月のグループミーティングでは、POLARBEAR-2の開発状況や観測開始後の観測・解析計画について議論を交わし、詳細なスケジュールについて合意を得た。</p>				
29年度の研究 交流活動から得 られた成果	<p>重力レンズBモードに特化して行った2012-2013年の観測データの解析結果についてまとめてジャーナル誌に投稿、受理されている。またインフレーションBモード偏光の検出を目指して行っている広域観測に関して、偏光変調装置の系統誤差に関する詳細なスタディの結果についてもまとめ、論文として報告、受理されている。</p> <p>POLARBEAR-2 レシーバの開発については、本番グレードの検出器が全数そろい、信号読み出しのためのハードウェア、エレクトロニクスまでの一連のシステムと噛み合わせて、動作させる事に成功した。10000素子レベルの超伝導センサーアレイの実現は、チリへの輸送に向けた大きな一歩であると同時に、次世代のCMB偏光実験の実現に向けても重要なステップである。拠点機関を中心とした共同作業により達成した大きな成果と言える。</p> <p>本分野では、国際協力なしには実験を遂行することは出来ない。各種課題に関し、きめ細かい検討を重ね、合意を重ねていく。今年度も、観</p>				

	測データの解析方針や、観測装置の準備計画に関しての複数の合意を得る事が出来た。
--	---

整理番号	R-02	研究開始年度	平成 27 年度	研究終了年度	平成 31 年度
研究課題名	(和文) 宇宙空間からの観測による研究プロジェクト LiteBIRD での研究				
	(英文) Project "LiteBIRD"				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 石野 宏和・岡山大学・教授				
	(英文) Hirokazu ISHINO・Okayama University・Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	1. Adrian Tae-Jin LEE・University of California, Berkeley・Professor 2. Matt DOBBS・McGill University・Associate Professor 3. Luis CAMPUSANO・University of Chile・Professor 4. Jacques DELABROUILLE・National Center for Scientific Research・Research Director				
29年度の研究 交流活動	我が国では、H27年7月にJAXA宇宙科学研究所の戦略的中型宇宙科学ミッション候補として選定され、一方、相手国米国では、NASAのMission of opportunity衛星計画に、相手国拠点研究代表者 Adrian Lee 教授を主任研究者 (PI) とするグループが候補として選定された。これらの二つの選定を受けて、本事業においても、研究交流活動を始動し、具体的には、以下の活動を進めた。 米国と LiteBIRD のシミュレーション及び望遠鏡光学系のサイドローブについて共同研究を開始し、系統誤差推定のためのシミュレーションの準備、すなわち、技術インターフェースの定義及び調整を行った。また、LiteBIRD に向けた広帯域反射防止加工技術開発について、ドイツ及び米国と加工技術及び評価を、カナダとは LiteBIRD 衛星における室温電子回路の開発を、そして、フランス・ドイツとは複数周波数帯域の観測データを使って銀河系内の前景放射をいかに効率良く分離するかをテーマにした研究を行う体制を整えた。さらに、フランスとは、LiteBIRD における系統誤差の研究、系統誤差シミュレーションの検討と、サブケルビン冷凍機候補として断熱消磁冷凍機と希釈冷凍機の技術検討打合せを行い、研究交流体制を構築、強化している。2017年8月には、フランス・イタリア・ドイツ・イギリス・スペイン・オランダの研究者からなるコンソーシアムが形成され、ヨーロッパグループが担当する高周波望遠鏡とサブケルビン冷凍機的设计が開始された。2017年8月にイギリスのカーディフ、10月にフランスのパリ、2018年2月にイタリアのトリノでコンソーシアム会議があり、国際交流を行うとともに、望遠鏡的设计のみならず、前景放射除去と系統誤差に関する報告と意見交換、今後の指針の構築を行った。また、アメリカのカリフォルニア大学バークレー校で行われた国際的なセミナー(B mode from Space)に12名を派遣し、上記の点について深い議論を行った。				

<p>29年度の研究 交流活動から得 られた成果</p>	<p>今年度は、日本側で JAXA/ISAS による Phase-A1 中間審査が 2017 年 5 月にあり、進捗状況の報告と課題抽出が行われた。特に極低温光学系の設計、偏光変調器についてはフロントローディング開発が行われている。ヨーロッパコンソーシアムが形成され、Planck 衛星経験者が LiteBIRD に参加することとなり、国際的な協力関係が強化され、ますます研究開発が加速されてきた。イタリアグループは宇宙機関からの予算が認められ、雇用された研究者らは系統誤差および前景放射除去の研究を専門に行っている。カナダにおいても、衛星用室温電子回路の概念設計を行うための予算が認められ、国際交流活動を活発化させ、Hitomi 衛星の経験に基づいた LiteBIRD 用の読み出し電子回路の詳細検討が、電力・排熱・構造・電磁干渉などの点から開始された。アメリカにおいては、NASA から衛星用超伝導検出器の開発についての予算が認められた。既に地上 CMB 実験で実用化されているデザインをベースに、振動に対する耐性や宇宙線に対する応答といった衛星実験特有の問題点を掘り出している。また、ヨーロッパの宇宙機関が主体となって進める CDF (Concurrent Design Facility) が 2018 年 2 月に始まり、高周波望遠鏡の詳細設計および地上での検証試験方法の検討が行われている。日本・アメリカ・カナダ・ヨーロッパの研究者は、さまざまな課題に対して毎週複数の TV 会議を行い、進捗状況報告・議論・今後の方針の決定を行っている。</p> <p>セミナーでは、若手研究者や大学院生による発表も行われた。英語を用いた議論をすることにより、より深い国際的な経験を積むことができ、また、海外の研究者との交流に刺激され、より研究意欲を高めることができた。</p>
--------------------------------------	---

整理番号	R-03	研究開始年度	平成29年度	研究終了年度	平成31年度
研究課題名	(和文) Simons Observatory での研究 (英文) Project “Simons Observatory”				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 田島 治 (英文) Osamu TAJIMA · Kyoto University · Associate Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	1. Arian Tae-Jin LEE · University of California, Berkeley · Professor 2. Matt DOBBS · McGill University · Associate Professor 3. Luis CAMPUSANO · University of Chile · Professor 4. Jacques DELABROUILLE · National Center for Scientific Research · Research Director				
29年度の研究 交流活動	<p>Simons Observatory は、史上最大の CMB 望遠鏡群プロジェクトである。平成28年5月に発足し、平成32年度からの観測開始に向けて、実験装置の開発を行っている。</p> <p>29年度は、①望遠鏡の概念設計、②観測データ管理・解析ハードウェア・ソフトウェアの仕様策定を行った。</p> <p>① 種々の先行研究（本共同研究 R-01 等）で培ったノウハウを生かし、望遠鏡のデザインとシミュレーション研究を行なった。本プロジェクトで開発する望遠鏡一台あたりの検出器数は史上最大となるため、多角的な検討が必要であった。CMB 信号を高い効率で焦点面検出器アレイへと導入する光学系のデザイン3種を精査・検討し、一種類を選択・最適化を行なった。</p> <p>② 従来実験よりも一桁大きなデータ量となる。観測データの品質を保証し、観測効率を最大化するソフトウェアと望遠鏡較正を行うハードウェア、データ転送・管理・解析を行う計算機環境の構築、それらに基づいたサイエンス展望の評価をおこなった。</p> <p>以上の研究活動は、日本と米国、カナダ、チリをはじめとする世界各国との電話会議をおこない遂行された。また、年数回程度米国を訪問し、深い議論を行なった。</p>				

29年度の研究 交流活動から得 られた成果	<p>① 研究交流活動によって、望遠鏡の概念設計を早期に実現できた。次年度からの装置製作の役割分担も早い段階で明確になり、装置開発を計画的に行う見通しがたった。さらに、装置開発の研究を介して、現場若手レベルでの研究交流が促進されたことも成果の一つである。これは10年後、20年後にはさらに大きな研究交流活動が展開される試金石である。</p> <p>② 効率的なデータ管理や装置較正、解析手法の確立にむけて情報整理を行うことが達成できた。その成果は、R-02で計画している将来実験への重要な試金石となるばかりでなく、開発した手法やノウハウをR-01等の現行プロジェクトへと早期に還元する検討も行なった。</p>
-----------------------------	--

7-2 セミナー

整理番号	S-01
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業「宇宙背景放射 B モード偏光観測 ワークショップ」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “2nd B-mode from Space Workshop “
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) 米国、バークレー、カリフォルニア大学バークレー校
	(英文) USA, Berkeley, Univ. California, Berkeley
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 片山伸彦・カブリ数物連携宇宙研究機構・教授
	(英文) Nobuhiko Katayama, Kavli IPMU, 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) Adrian Lee, Univ. California, Berkeley, Professor

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (アメリカ)	
日本 〈人／人日〉	A.	12/	96
	B.	0	
アメリカ 〈人／人日〉	A.	10/	50
	B.	15	
カナダ 〈人／人日〉	A.	5/	25
	B.	5	
チリ 〈人／人日〉	A.	4/	20
	B.	5	
フランス 〈人／人日〉	A.	6/	36
	B.	0	
ドイツ 〈人／人日〉	A.	5/	30
	B.	5	
合計 〈人／人日〉	A.	40/	257
	B.	30	

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	本プログラムに関わる日本側研究者及び相手国側研究者が一同に介し、それぞれの研究成果の発信を行うとともに、本拠点構想の進展や研究ビジョンの深化を主題に、最新研究状況を共有し、国際共同研究の加速を狙う。また、若手研究者が研究進捗報告や研究計画を発表する機会を設けるとともに、本国際会議イベントにも積極的に参加させ、多様な能力を養う場とする。さらに、シニア層研究者を中心に、グローバルに活躍できる若手研究者をテーマに、若手研究者育成計画の進捗を確認しあうことも実施する。
セミナーの成果	米国側拠点機関である、カリフォルニア大学バークレー校物理学科 大講義室で開催した。相手国機関に加え、12ヶ国約110名が集結した。 CMB 偏光についての経験と将来計画という観点から幅広い内容を当事者で共有し合うことができた。また、COBE、WMAP に続く CMB 観測衛星 Planck の責任者の参加もあり、CMB の偏光観測に向けた大きな国際的なうねりを若手含め関わる研究者が実感できた、実り多き会議となった。なお、本拠点形成プログラ

		<p>ムの研究者は LiteBIRD 衛星計画にコアメンバとして参加しており、若手研究者もポスターセッションなどで、各国の主担当者と直に議論できる機会を作った。</p> <p>さらに、シニア層の研究者を中心に、多くの関係者が集まるセミナー期間終了後に LiteBIRD プロジェクトに関する打ち合わせ2日間行い、目指すべきプロジェクトマネージャー人材像の見解合わせやこれに基づく若手研究者育成計画及び国際共同研究の進め方について、議論した</p> <p>https://sites.google.com/berkeley.edu/bmodefromspace02</p>
セミナーの運営組織		<p>国際組織委員会 (https://sites.google.com/berkeley.edu/bmodefromspace02/organizing-committee?authuser=0)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Julian Borrill - Lawrence Berkley National Laboratory ■ Yuji Chinone - University of California, Berkeley ■ Komatsu Eiichiro - Max Planck Institute for Astrophysics ■ Masashi Hazumi - KEK ■ Nobu Katayama - Kavli IPMU ■ Adrian Lee - University of California, Berkeley ■ Blake Sherwin - University of Cambridge ■ Radek Stompor - APC ■ Aritoki Suzuki - Lawrence Berkeley National Laboratory <p>Blake Sherwin 以外は全員本拠点形成プログラムの参加者である</p>
開催経費 分担内容 と金額	日本側	<p>内容 海外旅費 金額 4,284,230 円 不課税・非課税取引に係る消費税 331,180 円</p>
	(米 国)側	<p>内容 会場費 \$8000 ドル (直後に開催した R-2 LiteBIRD の打ち合わせにおける会場費\$500 ドルを含む)</p>
	(ドイ ツ)側	<p>内容 海外旅費</p>
	(フラン ス)側	<p>内容 海外旅費</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		
13 日間	1-64	廣島 渚・東京大学・D2		国際研究会ISAPP2017参加し、研究成果発表を行うため。	オランダ
3 日間	1-4	西野 玄記・高エネルギー加速器研究機構・特任助教		APRIM 2017 MeetingにてPOLARBEAR実験に関する研究発表	台湾
3 日間	1-1	片山 伸彦・東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構・教授		APRIM 2017 MeetingにてPOLARBEAR実験に関する研究発表	台湾
6 日間	1-10	関本 裕太郎・国立天文台・准教授		LiteBIRD計画へのヨーロッパ側参加の可能性についての検討会議出席	英国
7 日間	1-58	桜井 雄基・東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構・研究員		EUCAS2017参加およびポスター発表	スイス
8 日間	1-18	松村 知岳・東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構・特任准教授		LiteBIRDおよび観測機器に関する打合せ、LiteBIRDプロジェクトに関する打合せ	フランス
6 日間	1-58	桜井 雄基・東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構・研究員		LiteBIRD観測機器に関する打合せ、トリノ大学にてLiteBIRDプロジェクトに関する研究打合せ	イタリア

7-4 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応 (※B. アジア・アフリカ学術基盤形成型は記載不要)

中間評価において指摘された以下の3点について、以下の対応を進めている。
(H30 計画書にも記載)

評価コメント(抜粋)：共同研究 R-02 (LiteBIRD)、R-03 (Simons Observatory)により新規に開拓した研究分野について効率的に経費を使用し、より交流を広げることの方策を具体化し、実行していくことを期待したい。

対応：LiteBIRD プロジェクトについては、共同研究の進展にあわせアメリカ・ヨーロッパとの研究者交流が H29 年度中に大きく進んだ。毎週複数の TV 会議を持ち、また国際集会も 4 回行われた。さらに H29 年度中に LiteBIRD プロジェクトはアメリカ、カナダの宇宙機関に認められ、開発資金の提供を受けている。そして、フランスは国内と欧州の宇宙機関に開発資金を申請中である。H30 年度はこの活動をより加速していく。
Simons Observatory 実験に関しては、研究代表者の田島と、アメリカ側拠点とのクロスアポイントで H29 年度より東京大学の所属となった日下が中心となり進めている。

海外旅費の大半は航空券代金が占めるため、事前に相手国と調整し効率的なスケジュールを組み、経済的な航空券を購入することに努め、1 回あたりの出張旅費支出を抑制し、積極的に若手研究者の渡航を後押ししていく。

評価コメント(抜粋)：学術的側面については、現時点で原著論文が 2 年間で 2 本と少ないが、今後は、原著論文などの科学成果創出がさらに加速すると期待出来る。

対応：中間評価の時点では、関係論文への謝辞記載依頼が徹底していなかったため、本事業による成果としてカウント出来る原著論文が結果的に 2 本となっている。POLARBEAR 実験では、H29 年度には 2 本の論文が掲載されており、多数の学会発表にロゴ、謝辞を掲載した。LiteBIRD プロジェクトでも、ハードウェア及びデータ解析についてジョイント・スタディ・グループで開発を続けており、双方とも成果が生まれつつある。研究の発展とあわせて、成果としてカウント出来る論文数の増加は今後、確実に見込まれている。

評価コメント(抜粋)：意識的に海外から日本の流れを作り出すよう努力し、双方向の交流を目指すことが重要となるだろう。

対応：共同研究が進展するにつれて、特に H29 年度は POLARBEAR 実験と LiteBIRD 実験において、日本側および相手国の若手研究者同士の現場レベルでの研究交流が飛躍的に進んだ。H29 年度末(3 月)には Kavli IPMU において、米国拠点の研究者 (Yuji Chinone) を中心に、R-01 研究グループの 15 名の参加を得て、ソフトウェアパイプラインの構築作業を行った。H30 年度は、交流相手国の参加メンバーリストにこういった若手研究者を加え、双方向交流が加速していることを数値的にも示していく予定である

本拠点が推進している、進行中及び将来の大規模な国際共同実験において、研究拠点間のネットワーク作りとグローバルな視野を持つ若手研究者の育成は非常に重要な課題である事を認識しつつ、R-1 における米国との共同実験の深化、R-2 における国際共同実験コラボレーションの醸成を行った。R-3 においては主に米国で実験準備が進んでいるため毎週の打ち合わせが日本時間の深夜から早朝にかけて行われるが、日本側参加者を増やす事によ

り、少しずつ日本の早朝に近い時間に打ち合わせが行われるようになり、交流が進んでいる。

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

※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

国内での主な交流は下記の通り

1. 協力機関である岡山大学・横浜国大・総合研究大学院大学の学生が拠点に滞在し実験研究
2. 拠点の研究者が協力機関である KEK へ出張し実験研究
3. 拠点・協力機関の研究者が宇宙科学研究所へ出張し打ち合わせ

1	2	3	4	合計
35/83 ()	65/98 ()	51/79 ()	29/44 ()	180/304 (0/0)

(1) 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	1,915,574	
	外国旅費	12,114,078	
	謝金	0	
	備品・消耗品 購入費	3,000	
	その他の経費	709,193	
	不課税取引・ 非課税取引に 係る消費税	1,005,509	
	計	15,747,354	
業務委託手数料		1,584,000	
合 計		17,331,354	92646円返還

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	20,000 [USD]	2,145,000円相当
カナダ	2,500 [CAD]	210,000円相当
ドイツ	10,000 [EURO]	1,321,000円相当
フランス	26,000 [EURO]	3,436,000円相当
チリ	2500 [USD]	268,000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。