

研究拠点形成事業
平成27年度 実施報告書
A. 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>

3. 採用期間

平成27年4月1日～平成32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 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3月に日本学術会議の『第22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2014)の重点大型研究計画27件のひとつに選ばれている。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」の痕跡を探するという手法により、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る、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、観測衛星実現に向けた若手育成のため、地上観測による共同研究プロジェクトPOLARBEARを行い、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27年度研究交流目標

<研究協力体制の構築>

CMB偏光精密観測プロジェクトは、最先端技術の粋を集めた装置、細心の注意を払った観測、複雑かつ膨大なデータ解析、人類の知の限界を試すような宇宙論的考察、が全てそろって成立するものである。これを一国で閉じて達成することは現実的ではない。本プログラムでは、お互いの拠点が得意とする分野を出し合い相互にメリ

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る。超伝導センサー、データ解析、データ読み出しなどの基盤技術については技術移転を含む密接な関係を築く。これは、東大 Kavli IPMU を中心とした全世界的な CMB 観測コンソーシアムの形成を意味する。CMB 観測分野の将来計画が他分野の大型計画との競争の中で適切なサポートを得ていくためには、この分野に携わる世界の研究者が相互サポートをする必要があり、このコンソーシアムはその役割を担う。

また、若手研究者が早期に外国人若手研究者と深く学問的、かつ人間的に交わる場となるような共同研究、研究交流体制とすることも、重要な目標である。チリ、アタカマ高地（標高 5000m）における POLARBEAR 実験は極限状態における実験であり、国際協力なしには実験を遂行することはできない。若手研究者を成長させる機会である。さらに、宇宙科学・探査プロジェクトの戦略的中型機ミッション定義審査の結果が平成 27 年 7 月に公表され、LiteBIRD がダウンセレクションを通過したことにより、打上げの現実性が増した。世界各国で同様の検討が急速に進展している背景を鑑み、「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」を始動する。以上より、特に、平成 27 年度は、下記①～③を目標に進めていく。

- 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「地上観測による研究プロジェクト POLARBEAR」（以下では POLARBEAR）を日本、米国、カナダ、チリ、フランスの拠点が共同で推進する。平成 27 年度は観測を継続しつつ、二台目の望遠鏡と検出器（POLARBEAR-2）の開発を進める。さらに、「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）を日本、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。衛星システムの仕様をまとめ、これを実現するため、特に、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と LiteBIRD 用の検出器の開発を進め、全体計画の策定、システム開発仕様書の仮制定へとフェーズを進める。
- ②日本の拠点で観測衛星をテーマに「JSPS インフレーション宇宙実証研究拠点形成国際会議」（以下では JSPS 国際会議）を開催し、衛星開発とその前哨となる地上観測について討議する。
- ③日本側の衛星計画若手プロジェクトマネージャーを抜擢し、各国際拠点を行脚し集中討議を行う。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）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する。このために日本側拠点を中心とした「星形交流」を行う。

<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、27 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。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るまでが 27 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 用の検出器の開発を中心に、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 プロジェクトでは、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ほぼ同時進行で行う。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、将来業界を背負って立つ研究者の育成に貢献できる。27年度は、重力レンズに関する世界第一級の観測データの解析を通して、世界に名の通ったデータ解析及び物理解釈のエキスパートと、POLARBEAR-2の開発を通して、超伝導センサー、データ読み出し、光学系及び冷却系という次世代の衛星計画で基盤となる各技術のエキスパートを育成する事を目指している。

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も入る。そのため、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。

<その他（社会貢献や独自の目的等）>

国際共同研究、日本での国際セミナー(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創っていく。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27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

5-2で記載した、平成27年度の研究協力体制の構築の目標①-③のについて、それぞれ構築状況を報告する。

①-1：POLARBEARでは、初年度の観測データを用いた解析結果（世界初の重力レンズBモードの観測）をすでに発表しているが、今年度は、2年目の観測データも加えたさらに高精度な観測結果を目指した解析を進めた。すでに解析のためのソフトウェアの準備は整っているため、解析では特に新たに加わったデータの検証（予期せぬ信号の混入等による結果のバイアスが無い事の確認）を中心に行った。来年度早々の結果の発表を目指している。また並行して、26年度より開始したインフレーション起源の偏光Bモード探索に特化した広域観測を今年度も継続して行った。データ解析もすでに開始をし、今年度は低周波のノイズを削減するために新たに導入した偏光変調装置の特性、特に最終結果に対する系統誤差の評価を進めた。7月、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、9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。すなわち、POLARBEAR-1のデータ解析と系統誤差を抑えるための新たな試験観測の必要性について議論し今後の観測計画を決定、また、POLARBEAR-2 レシーバの開発状況と今後のスケジュールについて議論を行い、方針を決定した。

POLARBEAR-2 検出器の製作では、本観測で使用予定の超伝導検出器を焦点面に配置し、光学系と組み合わせた本番と同じ状態で検出器が期待通り冷えること(超伝導への転移)を確認した。また少数チャンネルではあるが、読み出し系とも接続し、外からの信号(液体窒素を用いた光源からのミリ波)を検出することに成功した。カナダの拠点と協力して、POLARBEAR-2 実験の読み出し回路を製作した。今後は、検出器をフルに導入しより詳細な光学的評価を行っていく。

また、チリの観測サイトでのPOLARBEAR-2の受け入れ体制の現状を確認し、今後の準備計画について合意を得た。さらに観測サイトでのデータ収集系について、検討をし、新しいデータ収集系について提案を行った。望遠鏡の光学系の収差について議論を行い今後のPOLARBEAR-2 実験に必要な要求値を計算するための議論を行うことで光学シミュレーションを元にした設計値の決定と合意を得ることができた。POLARBEAR-2 実験で使用する超伝導検出器の性能評価のための新型の較正装置に関して、装置のデザイン、考えられる系統誤差に関し

て議論を行い、今後の開発方針について合意を得た。POLARBEAR-2 の光学シミュレーションについて議論し、光学シミュレーションソフト ZEMAX での具体的なシミュレーション方法について知見を得た。検出器のゲイン較正精度の改善を目指した大気放射を利用した較正法について議論をし、今後のサイトでのデータ取得と解析方針について確認をした。開発中の受信システムのための評価装置について議論し、把握しておくべき系統誤差について合意した。インフレーション B モード偏光検出を目指した広域観測のデータ解析は、新しく導入した偏光変調装置(半波長板)の復調のための解析パイプラインの開発の議論を通じて行うことができた。Transition Edge Sensor (TES) ボロメータアレイ化のための多チャンネル同時読み出しについて検討して、共同で現状の問題点と今後の研究方針を明確化した。

- ①-2: 米国の研究者とは、LiteBIRD のシミュレーションの研究及び望遠鏡光学系のサイドローブについて、詳細な議論を行い、系統誤差推定のためのシミュレーションの準備を進めた。LiteBIRD 衛星の実現性検討のため、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、ドイツ及び米国の拠点研究者と共同で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、ドイツと共同で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。また、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を共同で行っている。また、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。
- ②2015 年 12 月 10 日(木)~16 日(水)、「JSPS インフレーション宇宙実証研究拠点形成国際会議(B mode from Space ワークショップ)」(以下では JSPS 国際会議)を、本事業の日本側拠点機関である、東京大学 Kavli IPMU 大講義室で開催した。相手国機関に加え、8ヶ国約 120 名が集結した。会議の目的は、「いかにして、ビッグバン以前の宇宙の姿、つまり宇宙の始まり直後の指数関数的膨張時代(インフレーション期)の存在を検証するか」である。本国際会議では、原始重力波検出以外のサイエンス、例えば、宇宙再電離時代の理解やニュートリノ質量への制限という観点も議論されたが、前景放射除去については丸一日かけて議論した。除去方法そのものについての講演はもちろん、ダスト放射機構について理解を深めることができた。CMB 偏光についての経験と将来計画という観点から、SPT、ACT、POLARBEAR/Simons Array、ABS、QUIJOTE、CMB-S4 等といった地上観測、短期間測定ではあるが大気吸収・放射に比較的強い気球観測(EBEX、PIPER 等)、さらには大気から完全フリーで長期間測定を行う衛星観測(Planck、LiteBIRD、PIXIE 等)が報告議論され、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会議となった。会議の後半には、衛星用のコンパクトな光学系・半波長板を用いた偏光変調系・断熱消磁冷凍機を含む 100mK に至る冷却系・TES/MKID 超伝導検出器及び読出系等それぞれの技術に焦点を当てた進展報告・議論が行われた。なお、本拠点形成プログラムの研究者は LiteBIRD 衛星計画にコアメンバとして参加しており、それぞれ LiteBIRD 計画の様々な側面について発表した。本国際会議には、CMB 観測の分野をリードしている日本・合衆国・欧州からの参加者が集うバランスがとれた構成となった。
- ③衛星計画若手プロジェクトマネージャー候補として、JAXA 宇宙科学研究所の松村知岳氏を抜擢し、フランスの拠点機関にて、LiteBIRD の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、問題点の明確化、解決策の開発に関する討議を開始した。米国の拠点とは、テレビ会議、スカイプ会議で連絡を取り合い、超伝導検出器開発、前景放射分離、高速データ読み出し、系統誤差低減について、集中的に討議を行っている。

6-2 学術面の成果

LiteBIRD 計画に関して、大きな進展があった。まず、本拠点採択直後に、本拠点研究者が、JAXA 宇宙科学研究所の戦略的中型宇宙科学ミッションの提案募集応募、7 月、ミッション候補として選定された。そして、現在

は、概念設計段階への移行審査を 2016 年 5 月に控えている。また、米国では NASA の Mission of opportunity という、海外宇宙機関における衛星計画への参加に対する提案募集に、相手国拠点研究代表者である UC バークレー校の Adrian Lee 教授を主任研究者 (PI) とするグループが応募し、候補として選定された。これらの二つの選定を受けて、米国では概念検討が始まり、日本では移行審査の後、概念設計が開始される。これらを受けて、昨年度 12 月に開催されたセミナー (B mode from Space) では、共同研究の芽が幾つも形成された。さらに、現在米国で計画されている第 4 世代の地上実験に関して、国際的な共同研究が開始されつつある。POLARBEAR-2 はその後の計画 (Simons Array) も含め第 3 世代の地上実験であり、さらにその先の実験計画は本プログラムにおける若手の人材育成を含む分野の将来計画という意味で非常に重要である。また、衛星計画と地上実験の相補性についての共同研究も進めて行く必要がある。日米の拠点の研究者はこの検討を行うワークショップに参加した。

さらに、フランス・ドイツの拠点の研究者と共同で、ESA (欧州宇宙機関) の同時設計検討組織 (concurrent design facility) による次世代 CMB 観測衛星の集中的検討会に参加した。これは、現在欧州で提案募集間近と言われている、M5 (中型 5 機目) という科学衛星機会への提案のために ESA が企画してくれたもので、ESA の JAXA と我々 LiteBIRD グループへの期待の度合いがよくわかる事例である。

6-3 若手研究者育成

3 月に、若手勉強会を開催した。UC バークレーから二名、天文台等からも講師を招き、5 日間終日、90 分の講義を 4 コマ、合計 20 コマの講義を行った。受講者は、他分野から CMB 実験に飛び込んできたポスドク 7 名を中心に、学生からシニアスタッフまで、一日平均 18 名と盛況であった。最初の二日は現代宇宙論から CMB 偏光観測の実際まで、3-4 日目は、TES と MKID という最先端の検出器の原理から実用まで、光学系の設計の初歩、読み出し回路の原理と感度・ノイズの定義と計算法まで、5 日目は電波天文学と電波望遠鏡について、深い経験を持った講師講義となり、非常に充実した勉強会となった。

また、年間を通し、参加している多くの若手研究者はバークレー等へ研究交流に赴き、それぞれ自分の研究に関して、米国・フランスの拠点の研究者等と意見交換してきた。具体的には、R-01: POLARBEAR 実験においては、UC バークレーにおいて重力レンズに関するデータ解析を行い (H28 年度に発表を予定)、また、POLARBEAR-2 実験においても、UC バークレーと KEK において、光学系及び冷却系の開発を進めた。R-02: LiteBIRD 計画では、光学系の設計及び放射線耐性の試験において活躍した。このように、若手研究者を、旬な国際共同研究開発の現場に置くことにより、国際交流、交渉の経験を体験、体得させている。

6-4 その他 (社会貢献や独自の目的等)

日本物理学会第 71 回年次大会において、素粒子実験領域、宇宙線・宇宙物理領域合同シンポジウム「熱いビッグバン以前の宇宙を探索する宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星 LiteBIRD への期待」を開催した。プログラムは、下記のとおり。

1. はじめに (片山伸彦: 東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構)
2. B モード偏光: インフレーション理論の実証を目指して (小松英一朗: マックスプランク天体物理学研究所・東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構)
3. 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星 LiteBIRD の概要 (羽澄昌史: 高エネルギー加速器研究機構・東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構・総研大)
4. 米国における LiteBIRD (鈴木有春: カリフォルニア大学バークレー校)
5. 前景放射除去への挑戦 (市来浄與: 名古屋大学・KMI)
6. 量子重力理論からの予言 (大栗博司: カリフォルニア工科大学バーク理論物理学研究所・東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構)

熱いビックバン以前に起きたインフレーションと呼ばれる宇宙の急激な加速膨張により、原始重力波が生じたと考えられている。原始重力波は、宇宙背景放射にBモードと呼ばれる特殊な偏光パターンを残した。LiteBIRD科学衛星は、全天を精密に観測することにより、原始重力波の強度を測定することを目的としている。本シンポジウムでは、小松がその測定の原理と重要性を、羽澄が日本発の衛星プロジェクトの進展状況と観測装置の概要を、鈴木がCMB観測における検出器の歴史から最先端の検出器の開発状況までを、市來が観測に際して邪魔な銀河系内の前景放射とその除去アルゴリズムを、そして最後に、究極を目指した理論である量子重力理論が、この観測に対して何を予言するか（あるいはしないか）を大栗がと、事業参加メンバがコアになり講演することができた。来場された方には、原始重力波を検出出来ればインフレーション宇宙仮説を証明できること、これは天文学・物理学の最重要課題の一つであること、そして、このチャレンジングな検出には素粒子実験的なセンスが、その解釈には基礎物理学理論的なアプローチが大切であることを提案者、及び講演者からの熱いメッセージとして受け取って頂けたことと思う。

一方、POLARBEAR コラボレーションのグループミーティングは若手研究者が研究成果を発表する機会と捉え、米国・フランスの共同研究者とも議論、共同研究を行った。その際、シニアの研究者は的確な指導を行っている。

6-5 今後の課題・問題点

順調に進んでいる。

6-6 本研究交流事業により発表された論文等

(1) 平成27年度に学術雑誌等に発表した論文・著書 0本

うち、相手国参加研究者との共著 0本

(2) 平成27年度の国際会議における発表 3件

うち、相手国参加研究者との共同発表 1件

(3) 平成27年度の国内学会・シンポジウム等における発表 2

うち、相手国参加研究者との共同発表 2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27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	(英文)				
	1. Arian Tae-Jin LEE・University of California, Berkeley・Professor				
	2. Matt DOBBS・McGill University・Associate Professor				
	3. Luis CAMPUSANO・University of Chile・University of Chile				

	4. Jacques DELABROUILLE • National Center for Scientific Research • Research Director	
参加者数	日本側参加者数	13名
	(米国) 側参加者数	9名
	(カナダ) 側参加者数	5名
	(チリ) 側参加者数	4名
	(仏国) 側参加者数	10名
27年度の研究交流活動	<p>26-27年度観測データも加えたさらに高精度な観測結果を目指した解析を進めた。また並行して、26年度より開始したインフレーション起源の偏光 B モード探索に特化した広域観測を今年度も継続して行った。データ解析もすでに開始し、今年度は低周波のノイズを削減するために新たに導入した偏光変調装置の特性、特に最終結果に対する系統誤差の評価を進めた。7月、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、9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 検出器の製作では、カナダと読み出し回路を製作した。また、チリの観測サイトでの POLARBEAR-2 の受け入れ体制の現状を確認し、今後の準備計画について各種合意を得た。具体的には、望遠鏡の光学系の収差設計値や超伝導検出器の性能評価のための新型校正装置のデザイン、系統誤差に関する開発方針を決定し、光学シミュレーションソフト ZEMAX での知見を得た。また、大気放射を利用し検出器のゲイン校正精度を改善、サイトでのデータ取得と解析方針に関し受信システム評価装置の系統誤差についても合意した。インフレーション B モード偏光検出を目指した広域観測のデータ解析は、新しく導入した偏光変調装置(半波長板)の復調のための解析パイプラインの開発の議論を通じて行う。Transition Edge Sensor (TES) ボロメータアレイ化のための多チャンネル同時読み出しについても、問題点と今後の研究方針を明確化した。</p>	
27年度の研究交流活動から得られた成果	<p>POLARBEAR-1 のデータ解析と系統誤差を抑えるための新たな試験観測の必要性について議論の結果、特に主要な系統誤差の要因となる偏光角の校正について新型の装置を導入し、定期的の実験サイトにて試験観測を行う事を決定した。また、POLARBEAR-2 レシーバの開発状況と今後のスケジュールについて議論をし、チリに輸送前に実験室にてチェックする評価項目についての合意を得た。</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できない。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ことができた。</p>	

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・准教授 (英文) Hirokazu ISHINO・Okayama University・Associate Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・ 職	(英文) 1. Arian Tae-Jin LEE・University of California, Berkeley・Professor 2. Matt DOBBS・McGill University・Associate Professor 3. Eiichiro Komatsu・Max Planck Institute for Astrophysics・Director 4. Jacques DELABROUILLE・National Center for Scientific Research・Research Director				
参加者数	日本側参加者数	8名			
	(米国)側参加者数	9名			
	(カナダ)側参加者数	5名			
	(仏国)側参加者数	10名			
	(ドイツ)側参加者数	5名			
27年度の 研究交流活動	<p>本研究課題は緊急・重要性を鑑み、昨年度途中で新規追加した。我が国では、7月 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。</p> <p>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。一環として、フランスの拠点機関への訪問に加え同国で開催された Low temperature detector 会議に3名を派遣、また、オランダで行われた ESA Antenna Workshop に4名を派遣し、発表やヨーロッパの尖鋭研究者との直接議論を通し、各国拠点の研究者と具体的に益ある交流を実施した。</p>				

<p>27年度の 研究交流活動 から得られた 成果</p>	<p>今年度、日米それぞれ二国で、衛星計画候補に残った。これより、共同研究のスキームは確固たるものとなった。12月に開催したセミナー（B mode from Space）では、共同研究の芽が幾つも形成され、さらに、現在米国で計画されている第4世代の地上実験に関して、国際的な共同研究が開始されつつある。また、衛星計画と地上実験の相補性についての共同研究も進めて行く必要があることを共同認識し、会話を加速している。</p> <p>さらに、フランス・ドイツと共同で、ESA(欧州宇宙機関)の同時的設計検討組織による次世代CMB観測衛星の集中的検討会にも参画を果たした。これは、現在欧州で提案募集間近と言われているM5科学衛星機会への提案のためにESAが企画したもので、欧州との関係強化も着実に進めることができた。</p>
---	--

7-2 セミナー

整理番号	S-01
セミナー名	<p>(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」</p> <p>(英文) JSPS Core-to-Core Program “B-mode from Space Workshop”</p>
開催期間	平成27年12月10日 ～ 平成27年12月16日（6日間）
開催地(国名、都市名、会場名)	<p>(和文) 日本・千葉・東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構</p> <p>(英文) Japan・Chiba・The University of Tokyo</p>
日本側開催責任者 氏名・所属・職	<p>(和文) 松村 知岳・宇宙航空研究開発機構・研究員</p> <p>(英文) Tomotake MATSUMURA・Institute of Space and Astronautical Science, Institute of Space and Astronautical Science・Researcher</p>
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.	35/ 168
	B.	25
米国 〈人／人日〉	A.	5/ 34
	B.	27
カナダ 〈人／人日〉	A.	1/ 4
	B.	1
チリ 〈人／人日〉	A.	0/ 0
	B.	0
仏国 〈人／人日〉	A.	4/ 29
	B.	15
ドイツ 〈人／人日〉	A.	1/ 5
	B.	0
オランダ(第三 国) 〈人／人日〉	A.	0/ 0
	B.	1
イギリス(第三 国) 〈人／人日〉	A.	0/ 0
	B.	4
合計 〈人／人日〉	A.	46/ 240
	B.	73

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>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本拠点に一同に介し、それぞれの研究成果の発信を行うとともに、本拠点構想や研究ビジョンの共有を主題に、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「デビュタントセミナー」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プロジェクトマネージャー人材をテーマに、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。</p>	
セミナー の成果	<p>日本側拠点機関である、東京大学 Kavli IPMU 大講義室で開催した。相手国機関に加え、8ヶ国約120名が集結した。</p> <p>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を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セッションなどで、各国の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（初日午前、土曜午後、日曜、セッション終了後等を中心）に課題ごとの打ち合わせを行い、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について、議論した。</p>	
セミナー の運営組織	<p>組織委員長 片山伸彦(東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構) 運営委員長 松村知岳(宇宙航空研究開発機構) 運営委員 長谷川雅也(高エネルギー加速器研究機構) 運営委員 石野宏和(岡山大学) 運営委員 西野玄記((高エネルギー加速器研究機構、東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構) 事務局 東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構研究戦略室</p>	
開催経費 分担内容 と金額	日本側	<p>内容 会議費 金額 446,631円 国内旅費 920,700円</p>
	(米国)側	内容 外国旅費
	(カナダ)側	内容 外国旅費
	(仏国)側	内容 外国旅費
	(ドイツ)側	内容 外国旅費

7-3 研究者交流（共同研究、セミナー以外の交流）

所属・職名 派遣者名	派遣・受入先 (国・都市・機関)	派遣期間	用務・目的等
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・菅井肇	日本・相模 原・ISAS	H27. 4. 1-H27. 4. 1	LiteBIRD 光学系に関する打合せ
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・菅井肇	日本・相模 原・ISAS	H27. 4. 8-H27. 4. 8	LiteBIRD 光学系に関する打合せ
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・片山 伸彦	日本・名古 屋・名古屋大 学	H27. 4. 10-H27. 4. 10	拠点形成事業参加機関打合せ
国立天文台・准 教授・関本裕太 郎	オ ラ ン ダ ・ノール ト ウ ェ イ ク・欧州宇宙 技術研究セ ンター	H27. 10. 4-H27. 10. 11	ESA Antenna Workshop on Antennas and RF Systems for Space Science 参加、LiteBIRD 関連打合せ
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・菅井肇	オ ラ ン ダ ・ノール ト ウ ェ イ ク・欧州宇宙 技術研究セ ンター	H27. 10. 5-H27. 10. 11	ESA Antenna Workshop on Antennas and RF Systems for Space Science 参加、LiteBIRD 関連打合せ
宇宙航空研究 開発機構・研究 員・松村知岳	オ ラ ン ダ ・ノール ト ウ ェ イ ク・欧州宇宙 技術研究セ ンター	H27. 10. 5-H27. 10. 11	ESA Antenna Workshop on Antennas and RF Systems for Space Science 成果発表、LiteBIRD 関連打合せ
大阪府立大 学・研究員・木 村公洋	オ ラ ン ダ ・ノール ト ウ ェ イ ク・欧州宇宙 技術研究セ ンター	H27. 10. 5-H27. 10. 11	ESA Antenna Workshop on Antennas and RF Systems for Space Science 参加、LiteBIRD 関連打合せ
名古屋大学・教 授・杉山直	仏国・オルセ ー・核物理研 究所	H28. 1. 30-H28. 2. 6	新しいアイデアに基づく宇宙論 のための共同研究打合せ
名古屋大学・講 師・田代寛之	仏国・オルセ ー・核物理研 究所	H28. 1. 30-H28. 2. 7	新しいアイデアに基づく宇宙論 のための共同研究打合せ
総合研究大学 院 大 学 ・ D2 (M2)・森太朗	イギリス・ポ ーツマス・ポ ーツマス大 学	H28. 1. 31-H28. 2. 28	複数場インフレーションモデルの 解析手法習得のため

7-4 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応
該当なし

8. 平成27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	カナダ	チリ	フランス	ドイツ	オランダ(第三国)	イギリス(第三国)	合計
日本	1	/	17 ()	()	()	()	()	()	()	17 (0/0)
	2		1077 ()	()	229 ()	438 ()	()	()	()	1844 (0/0)
	3		148 ()	()	()	()	()	429 ()	()	577 (0/0)
	4		215 ()	()	()	()	217 ()	()	129 ()	561 (0/0)
	計		1449 (00)	00 (00)	229 (00)	638 (00)	00 (00)	429 (00)	129 (00)	2745 (00)
アメリカ	1	()	/	()	(0)	()	()	()	()	00 (0/0)
	2	()		()	(0)	()	()	()	()	00 (0/0)
	3	(0/10)		()	()	(0)	()	()	()	00 (0/10)
	4	()		()	()	(0)	()	()	()	00 (0/0)
	計	00 (3210)		00 (00)	00 (00)	00 (00)	00 (00)	00 (00)	00 (00)	00 (00)
カナダ	1	()	()	/	()	()	()	()	()	00 (0/0)
	2	()	()		()	()	()	()	()	00 (0/0)
	3	(2/10)	()		()	()	()	()	()	00 (2/10)
	4	()	()		()	()	()	()	()	00 (0/0)
	計	00 (210)	00 (00)		00 (00)	00 (00)	00 (00)	00 (00)	00 (00)	00 (00)
チリ	1	()	()	()	/	()	()	()	()	0/0 (0/0)
	2	()	()	()		()	()	()	()	00 (0/0)
	3	()	()	()		()	()	()	()	00 (0/0)
	4	()	()	()		()	()	()	()	00 (0/0)
	計	00 (00)	00 (00)	00 (00)		00 (00)	00 (00)	00 (00)	00 (00)	00 (00)
フランス	1	()	()	()	()	/	()	()	()	0/0 (0/0)
	2	()	()	()	()		()	()	()	00 (0/0)
	3	(17/10)	()	()	()		()	()	()	00 (17/10)
	4	()	()	()	()		()	()	()	00 (0/0)
	計	00 (1710)	00 (00)	00 (00)	00 (00)		00 (00)	00 (00)	00 (00)	00 (00)
ドイツ	1	()	()	()	()	()	/	()	()	0/0 (0/0)
	2	()	()	()	()	()		()	()	00 (0/0)
	3	(1/5)	()	()	()	()		()	()	00 (1/5)
	4	()	()	()	()	()		()	()	00 (0/0)
	計	00 (15)	00 (00)	00 (00)	00 (00)	00 (00)		00 (00)	00 (00)	00 (00)
オランダ(第三国)	1	()	()	()	()	()	()	/	()	0/0 (0/0)
	2	()	()	()	()	()	()		()	00 (0/0)
	3	(1/8)	()	()	()	()	()		()	00 (1/8)
	4	()	()	()	()	()	()		()	00 (0/0)
	計	00 (18)	00 (00)	00 (00)	00 (00)	00 (00)	00 (00)		00 (00)	00 (00)
イギリス(第三国)	1	()	()	()	()	()	()	()	/	0/0 (0/0)
	2	()	()	()	()	()	()	()		00 (0/0)
	3	(4/30)	()	()	()	()	()	()		00 (4/30)
	4	()	()	()	()	()	()	()		00 (0/0)
	計	00 (430)	00 (00)	00 (00)	00 (00)	00 (00)	00 (00)	00 (00)		00 (00)
合計	1	00 (0/0)	17 (0/0)	00 (0/0)	00 (0/0)	00 (0/0)	00 (0/0)	00 (0/0)	00 (0/0)	17 (0/0)
	2	00 (0/0)	1077 (0/0)	00 (0/0)	229 (0/0)	438 (0/0)	00 (0/0)	00 (0/0)	00 (0/0)	1844 (0/0)
	3	00 (0/10)	148 (0/0)	00 (0/0)	00 (0/0)	00 (0/0)	00 (0/0)	429 (0/0)	00 (0/0)	577 (0/10)
	4	00 (0/0)	215 (0/0)	00 (0/0)	00 (0/0)	217 (0/0)	00 (0/0)	00 (0/0)	129 (0/0)	561 (0/0)
	計	00 (8748)	1449 (0/0)	00 (00)	229 (00)	638 (00)	00 (00)	429 (00)	129 (00)	2745 (8748)

※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
# 3 ()	# 9 ()	24/ 111 ()	21/ 60 ()	50/ 183 (0/ 0)

9. 平成27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	1,991,004	
	外国旅費	9,582,863	
	謝金	0	
	備品・消耗品 購入費	0	
	その他の経費	965,810	
	外国旅費・謝 金等に係る消 費税	790,238	会議参加費、海 外旅行保険料
	計	13,329,915	
業務委託手数料		1,435,500	消費税額は 内額とする。
合 計		14,765,415	

10. 平成27年度相手国マッチングファンド使用額

相手国名	平成27年度使用額	
	現地通貨額[現地通貨単位]	日本円換算額
米国	10,576 [USD]	116万円相当
カナダ	2,219 [CAD]	19万円相当
チリ	0 [USD]	0万円相当
フランス	7,690 [euro]	95万円相当
ドイツ	1,700 [euro]	21万円相当

※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。