

**平成29年度 研究拠点形成事業(A. 先端拠点形成型)  
中間評価資料(進捗状況報告書)**

**1. 概要**

|                                |                               |                      |  |
|--------------------------------|-------------------------------|----------------------|--|
| <b>研究交流課題名<br/>(和文)</b>        | 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     |                      |  |
| <b>日本側拠点機関名</b>                | 東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構      |                      |  |
| <b>コーディネーター<br/>所属部局・職名・氏名</b> | 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 |                      |  |
| <b>相手国側</b>                    | <b>国名</b>                     | <b>拠点機関名</b>         | <b>コーディネーター所属部局・職名・氏名</b>  |
|                                | 米国                            | カリフォルニア大学<br>バークレー校  | Physics Department・Professor・<br>Adrian Tae-Jin LEE                                  |
|                                | カナダ                           | マギル大学                | Department of Pysics・<br>Associate Professor・Matt DOBBS                              |
|                                | チリ                            | チリ大学                 | Physics Department・<br>Professor・Luis CAMPUSANO                                      |
|                                | 仏国                            | 国立科学研究センタ<br>ー       | Astroparticle and Cosmology<br>Laboratory・Research Director・<br>Jacques DELABROUILLE |
|                                | ドイツ                           | マックスプランク<br>天体物理学研究所 | Physical Cosmology Division・<br>Director・Eiichiro KOMATSU                            |

**2. 研究交流目標**

申請時に計画した目標と現時点における達成度について記入してください。

○申請時の研究交流目標

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、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

カ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。

#### ○目標に対する達成度とその理由

上記目標に対する2カ年分の計画について、

■十分に達成された

□概ね達成された

□ある程度達成された

□ほとんど達成されなかった

#### 【理由】

日本側拠点の発足時の目標は、観測衛星 LiteBIRD 実現に向けた若手研究者育成のため、地上観測による共同研究 R-01・POLARBEAR 実験を遂行し同時にサイエンスの成果を出すことであった。その後、日本側拠点研究者による提案が JAXA 宇宙科学研究所の戦略的中型宇宙科学ミッションの最終候補の一つとして選定され、米国側拠点でも研究代表者である Adrian LEE 教授を主任研究者 (PI) とするグループが NASA の Missions of Opportunity という海外宇宙研究機関における衛星計画への参加に対する公募の最終候補に選定されたことにより、観測衛星 LiteBIRD 実現の可能性は飛躍的に高まった。そして、より具体的に観測衛星 LiteBIRD に使用する科学技術の検討を通じて人材を育成するために H27 年 7 月より、共同研究 R-02・LiteBIRD 計画を立ちあげた。なお、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 件の一つに選ばれており、本事業を通じた人材育成に期待が高まっている。また、H29 年度からは、米国側拠点が中心になり始動した Simons Observatory プロジェクトにも本格的に参加するため共同研究 R-03 を立ち上げる予定である。これは、CMB 偏光観測分野では最大規模の観測プロジェクトであり、国際的舞台での研究交流による人材育成をさらに加速することが可能である。

2 年間の事業期間中に謝辞記載の上、学術誌等に発表した論文は、2 編であるが、うち 1 編は相手国参加研究者との国際共著論文である (“Making maps of Cosmic Microwave Background polarization for B-mode studies: the POLARBEAR example”, Astronomy & Astrophysics, 600, A60 (2017))。なお、H29 年度中には、POLARBEAR 実験での 2 シーズン分のデータ解析をまとめた論文等数編が学術誌に発表される予定である。国際会議および国内会議での発表数は合計 30 件 (相手国参加研究者との共同発表 6 件、博士課程大学院生による国際会議発表 2 件を含む) を数え、修士課程・博士課程大学院生による学会発表も後押しした (大学院生による学会発表 15 件)。また毎年米国側拠点で開催されている POLARBEAR Face to Face Meeting にも積極的に若手研究者や大学院生を参加させ、国際的な場で自らの研究成果を英語で発表する機会を与えている (H27 年度 6 名、H28 年度 5 名を派遣)。

全拠点を対象とした研究交流を目的として H27 年度、H28 年度とも国際セミナーを開催した。H27 年度には、日本側拠点 (東京大学 Kavli IPMU) において第 1 回 JSPS Core-to-Core Program “B-mode from Space Workshop” を開催し、各国拠点からの参加者を中心に、8 カ国から約 120 名の参加者を集め、関連分野の研究者のこのプロジェクトへの関心の高さを示した。H28 年度は開催地をカナダ側拠点 (マギル大学) に移し、第 2 回 JSPS Core-to-Core Program “B-mode from Space Workshop” を開催した。これには総勢 43 名の参加があり、活発な議論が展開された。このセミナーにも本事業研究経費により日本側若手研究者や大学院生など 5 名の参加を支援し、海外開催の国際会議の経験を積ませた。

各国拠点との交流は、上記のセミナーや米国側拠点で開催される Face to Face Meeting や定期的な Web ミーティングだけでなく、実際に各国の研究拠点を相互に訪れる形でも順調に進んでいる。2年間の海外拠点との交流状況は、日本側拠点から海外拠点へ 64 名・568 人日、交流相手国から日本側拠点へ 58 名・424 人日（うち相手国側参加研究者リスト記載済の研究者の交流状況は 12 名・83 人日）であったが、その他にも H28 年 5 月に JAXA で行われた LiteBIRD 衛星計画の国際レビューの際には、米国側拠点とフランス側拠点から関係者がそれぞれ 1 名ずつ来日している。

H27 年度には、LiteBIRD 計画の参加研究者 4 名が、フランス側拠点を訪れ LiteBIRD 衛星に搭載する冷凍機等の詳細な技術検討打合せをドイツ側拠点研究者も含めて行い、欧州側拠点との研究交流体制を強化した。チリ側拠点には、H27 年度、H28 年度とも長期間日本側の研究者を派遣している。特に H28 年度は若手研究者の西野玄記（KEK 特任助教）をチリ側拠点代表者の Luis CAMPUSANO 氏らのもとに約 3 週間派遣し、POLARBEAR 実験の望遠鏡システム制御開発に関して深い議論を行った。H28 年には Luis CAMPUSANO 氏も日本側拠点を訪れ、将来計画を含めた研究討議や若手研究者に向けたセミナー講演を行っている。また、若手研究者の長期派遣という観点では、H27 年度に米国側拠点の Adrian LEE 氏のもとに大学院生の高倉理（大阪大学（総研大・KEK））を約 7 週間派遣し、米国側拠点がもつ優位技術である CMB 観測装置に関連する検出器の技術を体得させた。

若手研究者の人材育成における本事業参加研究者のキャリアパスの具体的な好例としては、総合研究大学院大学（総研大・KEK）にて博士号取得した井上優貴が、2016 年 4 月より台湾アカデミアシニカ研究員に着任している。研究者としてのファーストキャリアを海外研究機関で積むことにより、今後、国際的な舞台でリーダーシップを発揮できる人材に成長していくことが期待されている。また、高倉理も大阪大学より博士号取得後、2017 年度からは特任研究員として高エネルギー加速器研究機構に着任することが内定し、今後ドイツ側拠点への長期派遣も計画されている。

このように、日本側拠点は共同研究を主翼に多国間の研究交流と人材育成を推進し、地上から、そして宇宙空間から CMB 偏光の精密観測を行い、原始重力波の痕跡を探し出す「インフレーション宇宙」の実証を目指す拠点として着実に目標を達成していると言える。

### 3. これまでの研究交流活動の進捗状況

(1)これまで(平成 29 年 3 月末まで)の研究交流活動について、「共同研究」、「セミナー」及び「研究者交流」の交流の形態ごとに、派遣及び受入の概要を記入してください。※各年度における派遣及び受入実績については、「中間評価資料(経費関係調書)」に記入してください。

#### ○共同研究

H27 年度、H28 年度は共同研究【R-01】【R-02】を双翼に共同研究による研究交流活動を進めた。それぞれの共同研究ごとの概要は以下の通りである。

【R-01】研究課題名:地上観測による研究プロジェクト POLARBEAR での研究

【日本側代表者】長谷川雅也 高エネルギー加速器研究機構・助教

【相手側参加国】米国、カナダ、チリ、フランス

#### 【概要】

R-01 では、各拠点形成機関との国際協力により、(1)チリ・アタカマ高地での POLARBEAR 実験の実施、及びそのアップグレード計画である(2)POLARBEAR-2 レシーバシステムの開発、を強力に推進している。

(1)については、2012 年の観測開始以来、毎週各拠点機関を電話会議で結び、日々の観測計画について確認しながら安定した長期間のデータ収集を実現している。これまでに取得したデータを用いて、重力レンズ B モード信号の（CMB の情報のみを用いた）初検出をはじめ、学術的評価の高いハイプロファイルな論文を 8

本（本事業の謝辞は記載していないが H27 年度以降では 5 本）発表している。解析に関しても、毎週の電話会議での研究交流に加えて、拠点機関を中心とした関係者が一堂に介して行う“ハッカソン”と呼ばれる解析コードの開発を集中して行う交流活動を定期的に開催し、効率的なデータ解析の進展（短期間での論文発表の実現）に一役買っている。現在は、インフレーション B モード偏光の検出を目指した、広域観測およびそのデータ解析を進めており、本計画期間内に結果を出す事を目標としている。

(2) については、POLARBEAR 実験より一桁高感度な偏光観測を実現するための、新しいレーザシステム (POLARBEAR-2 レーザシステム)の開発を進めている。H28 年度には、本番仕様の検出器及び読み出しシステムを搭載した“ほぼ最終形態の”レーザシステムを日本側拠点(KEK)の実験室にて動作させる事に成功している。これはチリへの移設に向けた大きな一歩であると共に、日・米・カナダの拠点機関を中心とした共同作業により達成した成果である。現在は、チリ・米の拠点機関と観測サイトの準備やレーザの移設の準備を開始している。

なお、H27、28 年度とも、本事業研究費により、日本側研究者をチリ・アタカマ高地の観測現場に派遣し、チリ側研究者と詳細な研究打合せを進めている。また、チリ側拠点の代表者も H28 年度に来日しており、相互の交流が進んでいる。H27 年度に 1 回（米国側拠点）、H28 年度に 3 回（日、米、仏の拠点にて各 1 回）グループミーティングを行い、共同研究体制の構築の強化を図った。この POLARBEAR Face to Face Meeting には、人材育成を目的に若手研究者も多く参加させた。本分野では、国際協力なしには実験を遂行する事はできず、各種課題に対しきめの細かい検討が重要である。定期的な電話会議に加え、グループミーティングにて Face-to-Face に議論し、(1)(2)に関して複数の合意が得られた事は非常に大きな進展であった。

【R-02】研究課題名：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

【日本側代表者】石野宏和 岡山大学・教授

【相手側参加国】米国、カナダ、ドイツ、フランス

【概要】

LiteBIRD 衛星計画の実現性が高まったことにより、申請時の計画を変更し、H27 年 7 月より本共同研究をスタートし、米国およびカナダ、欧州側拠点の研究者らと国際協力により、LiteBIRD の概念設計を進めている。米国側拠点とは、先方が提供する検出器と冷凍機のインターフェースの定義および調整を行い、宇宙線陽子線による検出器の影響と、それを軽減する手法の開発を行った。カナダ側拠点とは、LiteBIRD 衛星における室温電子回路の開発および衛星側システムとのインターフェースについての定義を行った。特に、データ圧縮回路とのインターフェース・仕様について情報交換を行い、プロトタイプ的设计に必要な情報を得ている。欧州側拠点の研究者とは、複数の周波数帯域の観測を行うことにより、銀河内の前景放射を効率よく分離するアルゴリズムの開発、および前景放射のモデル化によるシミュレーション疑似データの作成を共同で行った。特に、フランスグループとは、1/f 雑音や半波長板に関連する系統誤差の研究を進めており、無偏光から偏光への漏れ込に対するハードウェアへの要求値を算出した。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の打ち合わせを行っている。

研究打合せは主に電話会議やメール交換などによって進められているが、後述するセミナーでの交流以外に、本事業研究費によって H27 年には日本側拠点から 4 名の研究者を派遣し、欧州側拠点の研究者らと直接の研究討議を重ねることができた。また H28 年 5 月に日本で行われた LiteBIRD の国際レビューには、米国側拠点、フランス側拠点から関係者が来日・参加し、国際共同研究の体制を堅固なものとした。このように、相互交流を深め研究体制をより強化し、計画の推進を加速することができた。

○セミナー

|      | 平成27年度 | 平成28年度 |
|------|--------|--------|
| 国内開催 | 1(1)回  | 0(1)回  |
| 海外開催 | 0回     | 1回     |
| 合計   | 1(1)回  | 1(1)回  |

## 【概要】

毎年 1 回、2 年間で 2 回、全拠点参加研究者を対象とした国際セミナーを開催した。それぞれ多数の参加者を集め、シニア研究者による講演、若手研究者による発表、全体討議などを通じて活発な議論が展開された。

H27 年度は日本側拠点(東京大学 Kavli IPMU)において第 1 回日本学術振興会拠点形成事業「宇宙背景放射 B モード偏光観測ワークショップ」を前半と後半にプログラムを分け、6 日間にわたり開催した(平成 27 年 12 月 10-12 日、14-16 日)。チリを除く 4 拠点から 11 名の参加があったほか、その他参加研究者以外の参加も多く、8 か国から 120 名の参加者を集めた。前半では、CMB 偏光観測についてのこれまでの経験(地上観測、気球観測、衛星観測)と将来計画という観点から幅広い内容の話題提供があった。COBE、WMAP に続く CMB 観測衛星 Planck の責任者を務めた招待講演者の Jan TAUBER 氏からは、「CMB 偏光観測に向けた大きな国際的なうねりが表出した会議であった」と、力強いコメントを頂き、若手研究者を含め、このプロジェクトにかかわる全研究者が、将来衛星計画 LiteBIRD が切り開いていく CMB 偏光観測の可能性を共有できた実り大きい会議となった。会議後半は、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、冷却系、TES/MKID 超伝導体検出器および読出系などそれぞれの技術に焦点を当てた進展報告や議論が行われた。若手研究者によるポスターセッションの時間も多く確保し、各国の主担当者と共に議論をできる機会を設けた。

H28 年度はカナダ側拠点(マギル大学)に場所を移し、第 2 回日本学術振興会拠点形成事業「宇宙背景放射 B モード偏光観測ワークショップ」を開催した。各国拠点に加え、イタリア、イギリスからも研究者の参加があり、計 43 名が参加した盛況なものとなった。日本側拠点からは参加研究者 17 名(うち若手研究者・大学院生 5 名)の派遣を行った。期間中の 43 講演および 3 件のポスターセッションでの議論に加え、積極的に大学院生をミーティングにも参加させ、世界と伍して研究開発を進めるということを体感する良い機会になったと好評であった。また、米国 Lawrence Berkeley National Laboratory で Space Science Lab の衛星開発に携わるエンジニアが参加したことにより、NASA 流の衛星計画の進め方について考え方を共有する機会にもなった。

なお、実施計画に記載しているセミナーとは別に、毎年度、日本側拠点において若手研究者や大学院生を対象としたスクール形式の研究会も開催している。各年度ともに延べ 100 名近い参加者を集め、若手研究者の育成に寄与している(表中()内数字)。

## ○研究者交流

### 【概要】

H27 年度には、LiteBIRD 計画の参加研究者 4 名が、オランダで開催された 36Th ESA Antenna Workshop にて成果発表を行った。その後、フランスおよびドイツ側拠点の研究者と共同で ESA(欧州宇宙機関)の同時的計設計検討組織(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、装置開発から検証方法・新技術にいたるまでの研究開発成果についてのお互いの知見を交換している。H28 年度にもイギリスで開催された SPIE 国際会議に 3 名を派遣し、成果発表を行っている。

また、日本側拠点では、2 つ観測実験を事業の柱としているが、インフレーション宇宙の実証を目指すためには、同時に理論分野でも世界的に通用する研究者を育成する必要がある。国際会議での研究成果発表の他、インフレーション理論の共同研究を目的に、両年度とも理論物理を専攻する大学院生の森太朗(総研大・KEK)をイギリス(ポーツマス大学・オックスフォード大学)へ派遣し、複数場インフレーションモデルの解析手法を習得させた。この成果は、国際共著論文としてプレプリントサーバーへ投稿済みである(Taro Mori, Kazunori Kohri, Jonathan White, “Multi-field effects in a simple extension of R2 inflation”, arXiv:1705.05638)。

(2)(1)の研究交流活動を通じて、申請時の計画がどの程度進展したか、「学術的側面」、「若手研究者の育成」、及び「研究交流拠点の構築」の観点から記入してください。

## ○学術的側面

本事業により交流を進めたことで、POLARBEAR 実験では重力レンズ効果 B モードに特化して行った 2012-2013 年の 2 シーズン分のデータの解析結果をまとめることができ、これは H29 年度中に論文として発表する予定である( POLARBEAR collaboration, “A Measurement of the Cosmic Microwave Background B-Mode Polarization Power Spectrum at Sub-Degree Scales from 2 years of POLARBEAR Data”, arXiv:1705.02907 )。また、データ解析用パイプラインの開発に関連して、バイアスの無い偏光マップの作成法を提案し、論文にまとめて発表している。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も、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をまとめ、論文として学術誌に発表した( D.Poletti et. al, “Making maps of Cosmic Microwave Background Polarization for B-mode studies: the POLARBEAR example0”, arXiv:1608.01624)。

POLARBEAR-2 レシーバの開発に関しては、本番グレードの検出器から、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を部分的に導入し、動作させる事に成功した。これは、チリへの輸送に向けた大きな一歩であり、拠点機関を中心とした共同作業により達成した成果である。また関連して、(CMB 実験では最大級の)光学素子に用いる反射防止膜の技術を確認し論文を発表した(Y. Inoue et. al, “Two-layer anti-reflection coating with mullite and polyimide foam for large-diameter cryogenic infrared filters”, Appl. Opt. 55(2016)22)。これは衛星実験にも応用が期待出来る画期的な手法である。

LiteBIRD 計画では、シミュレーション・データ解析のための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関する仕様を検討し、宇宙での使用に向けて半波長板などの光学素子の開発を行うなどの成果を得ている。日本側拠点では LiteBIRD 衛星計画に対する JAXA/ISAS による国際レビューおよび Phase-A1 計画審査があり、H28 年 9 月に合格した。また、米国側は NASA Missions of Opportunity において、CSR (Conceptual Study Report)を H28 年 7 月に提出し、NASA 側からの米国研究拠点への訪問による審査が H29 年 1 月に行われ、サイエンスの重要性から開発予備費が NASA から認められた。H29 年 1 月にカナダ側拠点で開催されたセミナーでは、前景放射の除去に関する研究報告、系統誤差評価の進捗報告と体制構築、偏光変調器の開発に関する報告と技術的な議論、科学衛星に関連するハードウェア・ソフトウェア全般にわたり深く議論され、国際的な枠組みをより一層強固にすることができた。また、セミナーの後は、TV 会議システムを用いた国際的な打ち合わせがさらに活発化され、その結果、Phase-A1 中間審査に向けた土台を築くことができた。

本分野のように大型の観測実験では、国際協力無しに実験を遂行することはできない。各種課題に対し、きめ細かく検討し合意を重ねていく必要があり、本事業による直接の交流を通じ、両共同研究と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ことは大きい。

## ○若手研究者の育成

POLARBEAR 実験は実際にチリ・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。加えて、米国で毎年開催される Face to Face meeting への若手研究者や大学院生の参加を積極的に後押しし、国際共同研究の経験を積ませている (H27 年度 6 名、H28 年度 5 名)。LiteBIRD 計画の検討メンバー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研究成果発表のサポートを行な

い、物理学会や天文学会など国内学会だけでなく、国際会議での研究成果発表も積極的に後押ししている。(2年間の大学院生学会発表支援件数：国内学会件 13 件、国際学会 2 件)。

また、H27 年度、H28 年度とも、若手研究者や大学院生に向け、CMB 実験に関する勉強会を開催した。H27 年度は、UC バークレーや国立天文台 (NAOJ) などから講師を招き、現代宇宙論から電波天文学、TES や MKID といった最先端の検出器原理・実用まで、幅広い講義を 5 日間にわたり開催し、延べ 100 名の参加があった。H28 年度は、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、若手研究者を対象に宇宙論に関する集中講義を日本側拠点において開催した。4 日間にわたって開催された集中講義には、延べ 80 名の参加があった。なお、この運営責任者には POLARBEAR 実験にかかわる若手研究者の金子大輔 (Kavli IPMU 特任研究員) を抜擢し、研究会マネジメントを体得させた。

本事業を通じて、積極的に若手研究者や博士課程学生に国際共同実験にかかわる機会を与えたことで、前述した井上や高倉のように徐々に研究者として着実なキャリアパスを築いている者も育成されはじめています。

#### ○研究交流拠点の構築

日本側拠点は、既に理論物理系の基礎研究において世界トップレベル研究所として、国際性および宇宙探求に関する実績、実務能力のいずれも備えているが、H28 年度は別の事業予算にて日本側拠点機関研究棟の改装を行い、実験室を拡充し、CMB 偏光観測には欠かせない偏光変調器等の開発のために、0.1K まで冷却して超伝導検出器を使用した精密な性能表が可能な環境を整えた。また、H28 年 10 月より、米国大学院にて研鑽を積み日本人として始めて CMB 偏光観測実験に携わった松村知岳を日本側拠点機関の特任准教授に迎え、ソフト面においてもハード面においても、真に「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」として最適な拠点になっている。本事業経費によって、国内の協力機関から、定期的に若手研究者や大学院生が日本側拠点を訪れ、CMB 偏光観測に必要な一連の技術を学んでいる。また日本側拠点機関では、H28 年度の秋から Planck 実験でのデータ分析経験を持つフランス人研究員を雇用しており、当該研究者を交えた英語によるミーティングや、日本側拠点機関の特色の一つである国際的な雰囲気を通じて、様々な分野の外国人研究者と自然に交流し国際性を身につけている。

CMB 偏光観測という共通の目的のために、それぞれの拠点がもつ強みを相補的に組み合わせることでスタートした相手国との交流は大変良好に進んでいる。H29 年度のセミナーは米国で開催されることが決定している。また、セミナーとは別にドイツ側拠点から Eiichiro KOMATSU ら研究者を招き、若手研究者や博士課程大学院生向けに CMB 観測に関する集中講義も計画されている。POLARBEAR 実験に携わる若手研究者を複数名チリ側拠点に長期間派遣することも予定されている。さらに、H29 年度からは、米国側拠点が中心になり始動した Simons Observatory プロジェクトに参加するため共同研究 R-03 を立ちあげる予定である。これはチリ・アタカマ高地に計画されている CMB 偏光観測分野では最大規模の次世代観測プロジェクトであり、国際的舞臺での研究交流による人材育成をさらに加速することが期待できる。

#### 4. 事業の実施体制

本事業を実施する上での、「日本側拠点機関の実施体制」、「相手国拠点機関との協力体制」、及び「日本側拠点機関の事務支援体制」について記入してください。

##### ○日本側拠点機関の実施体制 (拠点機関としての役割・国内の協力機関との協力体制等)

日本側拠点機関の事務局としては、コーディネーターの片山伸彦 (東京大学 Kavli IPMU・教授) が全体統括を担当し、共同研究 R-01 (POLARBEAR 実験) 代表者の長谷川雅也 (高エネルギー加速器研究機構・助教)

および共同研究 R-02 (LiteBIRD 計画) 代表者の石野宏和 (岡山大学・教授) がそれぞれの参加研究者からの派遣計画申請をとりまとめ、適切な運営を行っている。また、POLARBEAR-2 実験の研究代表者であり、東京大学 Kavli IPMU 主任研究員と KEK 教授を併任する羽澄昌史は、プログラムに運営に対して適宜助言を行っている。セミナーの日本側開催責任者は、菅井肇と松村知岳 (ともに東京大学 Kavli IPMU 特任准教授) がつとめ、桜井雄基と金子大輔 (ともに東京大学 Kavli IPMU 特任研究員) が若手研究者・大学院生向け研究会のマネジメントを担当している。

以下に、日本側拠点機関の実施体制概念図を示す。



※共同研究 R-03 は H29 年度より始動予定

協力機関とは、それぞれのテーマにそって定期的にミーティングを行っている。協力機関の名古屋大学や KEK の理論グループは、理論研究によるアプローチでインフレーション宇宙の実証に迫っている。NAOJ とは技術者交流を行い、総合研究大学院大学 (KEK) や岡山大学、横浜国立大学からは定期的に大学院生が日本側拠点を訪れ、観測実験に関する技術を学びながら共同研究を進めている。JAXA/ISAS とは、本事業申請時に記載した、日本側拠点到サイエンスセンターを置き、観測データ解析から成果発表に至る一連の研究活動の中心となるという将来の衛星計画実行時における共同研究体制の実現向け、新たな共同研究が始まる予定である。

#### ○相手国拠点機関との協力体制 (各国の役割分担・ネットワーク構築状況等)

日本側拠点を中心として、お互いが優位とする知見を持ち寄り、相補的に研究交流を進めることで、日米欧の衛星計画における共通課題の解決を目指している。各国拠点の役割分担とネットワーク構築状況は以下のとおりである。

##### ・米国側拠点 (カリフォルニア大学バークレー校) : 衛星用超伝導センサー開発担当

米国側拠点は、CMB 観測装置の検出器技術で世界をリードしてきた。POLARBEAR 実験において日本の CMB 観測グループは長年にわたる共同研究を行っている。また、日本側拠点も校内にサテライトを持っており、この体制をさらに発展させ、若手研究者の派遣交流を行うことで技術向上を推進させていく。さらに H29 年度からは、これまでアメリカ側拠点より研究に参加してきた Lawrence Berkeley National Laboratory の日下暁人が、東京大学大学院理学系研究科准教授を兼務することが決定しており、より綿密な日米の協力関係を構築していく。なお、H29 年度の第 3 回 JSPS セミナーは、米国側拠点にて開催される予定である。

##### ・フランス側拠点 (国立科学研究センター) : 解析パイプライン開発と前景放射分離

Planck 衛星計画での豊富な技術的知見を持つフランス側拠点とは、POLARBEAR 実験において解析パイプライン開発の共同研究を進め、LiteBIRD 計画において前景放射の分離手法を共に検討している。今後、日本側拠点到フラ



ンス側拠点から数名の研究者を招聘し解析パイプラインや前景放射除去について、集中討議を行う予定である。また、共同で LiteBIRD 計画に関して ESA へのプロポーザルも計画されている。なお、H30 年度の第 4 回 JSPS セミナーは、フランス側拠点にて開催される予定である。

#### ・カナダ側拠点(マギル大学):高速データ読み出し技術開発

カナダ側拠点とは、POLARBEAR 実験、LiteBIRD 計画に共通するデータ読み出し技術に関わる共同研究を進めている。特に LiteBIRD 計画においては、宇宙空間で使用するための低消費電力読み出し回路の開発を進めていく予定である。なお、H28 年度の第 2 回 JSPS セミナーはカナダ側拠点にて開催された。

#### ・チリ側拠点(チリ大学):長期間観測データと系統誤差

拠点代表者を日本側拠点へ招聘し、将来計画を含めた議論を行い、また、アタカマ高地の POLARBEAR 観測所に日本側拠点から若手研究者を長期間派遣することで相互交流を進めている。国際共同実験の現場での定常的な観測の推敲、新規導入する機器の現場での試験や設置調整など現場責任者としての経験を積むことで国際共同実験におけるリーダーシップのあり方を学ぶ絶好の機会であり、今後も重点的に若手研究者のチリ拠点への派遣を予定している。

#### ・ドイツ側拠点(マックスプランク天体物理学研究所):宇宙理論・観測的宇宙論

ドイツ側拠点代表者の Eiichiro KOMATSU 氏は宇宙理論・観測的宇宙論の第一人者であり、H29 年度より日本側拠点の主任研究者(PI)を併任することが決定している。KOMATSU 氏らによる若手研究者を対象とした研究会も計画されており、今後はますますネットワークは強固なものとなることが期待されている。なお、H31 年度の第 5 回 JSPS セミナーは、ドイツ側拠点にて開催される予定である。

#### ○日本側拠点機関の事務支援体制(拠点機関全体としての事務運営・支援体制等)

事務手続きに関する支援としては、日本側拠点機関である東京大学 Kavli IPMU の経験豊富な事務組織(予算管理、出張旅費手続、国際会議運営、研究者招へい手続、来日後のサポートなど)が全面的にプログラム支援を行っている。特に Kavli IPMU において H27 年度に開催された国際会議(セミナー) B-mode from Space や毎年開催している若手研究者向け研究会では、東京大学の国際高等研究所である Kavli IPMU に蓄積された国際研究会運営の手法が発揮された。また、東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライトの居室を定期借用し、日本側拠点参加研究者が優先的に会合に使用できるようにしている。なお、キャンパス敷地内のゲストハウス(共同利用施設)に加え、キャンパス付近にある東京大学インターナショナルロッジ柏ロッジにも日本側拠点機関は優先使用枠を持っているため、招聘研究者の長期受入にも対応している。