

様式6（第15条第1項関係）

平成30年4月10日

独立行政法人  
日本学術振興会理事長 殿

研究機関の設置者の所在地	〒351-0198 埼玉県和光市広沢2番1号	
研究機関の設置者の名称	国立研究開発法人理化学研究所	
代表者の職名・氏名	理事長・松本 紘 (記名押印)	
代表研究機関名 及び機関コード	国立研究開発法人 理化学研究所	82401

平成29年度戦略的国際研究交流推進事業費補助金  
実績報告書

戦略的国際研究交流推進事業費補助金取扱要領第15条第1項の規定により、実績報告書を提出します。

整理番号	R2804	補助事業の完了日	平成30年 3月 31日	関連研究分野 (分科細目コード)	4902
------	-------	----------	--------------	---------------------	------

補助事業名（採択年度）	超伝導ミリ波センシングと広天域・多帯域観測で宇宙創成の謎に迫る国際研究網（平成28年度）	補助金支出額（別紙のとおり）	33,700,000 円
-------------	--	----------------	--------------

代表研究機関以外の協力機関  
高エネルギー加速器研究機構、埼玉大学、京都大学

海外の連携機関  
スペイン：カナリア宇宙物理研究所、オランダ：デルフト工科大学、オランダ宇宙研究所

1. 事業実施主体

フリガナ 担当研究者氏名	所属機関	所属部局	職名	専門分野
主担当研究者 オオタニチコウ 大谷 知行	理化学研究所	光量子工学研究領域	チームリーダー	テラヘルツ工学、超伝導工学
担当研究者 タイノトオル 田井野 徹	埼玉大学	大学院理工学研究科	准教授	超伝導検出器、テラヘルツ波光学
タジマオサム 田島 治	京都大学	大学院理学研究科物理学・宇宙物理学専攻	准教授	宇宙素粒子物理学
オグリシユウゴ 小栗 秀悟	理化学研究所	光量子工学研究領域	基礎科学特別研究員	宇宙素粒子実験
ミマサトル 美馬 寛	理化学研究所	光量子工学研究領域	研究員	超伝導デバイス工学
ウチダ トモヒサ 内田 智久	高エネルギー加速器研究機構	素粒子原子核研究所	准教授	放射線検出システム、エレクトロニクス開発
計6名				

フリガナ 連絡担当者	所属部局・職名	連絡先（電話番号、e-mailアドレス）
マツオ ヨウイチロウ 松尾 洋一郎	外部資金室・主査	048-467-9736, gaisui-jsps@riken.jp

※2頁以降は、交付決定を受けた時点の事業計画の項目に合わせて必要に応じて修正すること。

## 2. 本年度の実績概要

本課題における研究上の目的は、宇宙マイクロ波背景放射（CMB）の偏光の大角度スケール渦パターン「原始重力波 B モード」をプローブとする時空の加速膨張「インフレーション」の存在の証明である。その達成のために、(1) 広天域・多帯域観測と、(2)超伝導ミリ波センシングを推進し、(1)では、欧州の宇宙観測のメッカであるカナリア天文学研究所（IAC）と、(2)超伝導ミリ波検出器において世界一の実装実績を誇るオランダ宇宙研究所（SRON）・デルフト大（TU Delft）と密接に連携し、本事業を通じた頭脳循環を図り若手研究者の育成に努めている。

### 【研究者派遣】

若手研究者の派遣では、平成 28 年度に引き続き、平成 29 年度もオランダ・デルフト工科大（TU Delft）の Akira Endo 助教、Kenichi Karatsu 研究員のもとに若手研究者 2 名（成瀬雅人氏、鈴木惇也氏）を派遣した。また、TU Delft とオランダ宇宙研究所（SRON）は電車で 1 時間の距離にあるため、SRON の Jochen Baselmans 氏が定期的に TU Delft に来訪し、最先端の超伝導検出器である MKID（Microwave Kinetic Inductance Detector）の宇宙観測への実装に関して指導を受けた。鈴木氏は、スペイン・カナリア天文学研究所（IAC）の Rebolo Lopez 所長、Genova Santos 研究員の元にも約 1 週間滞在した。

具体的な研究内容は、昨年度に引き続き成瀬雅人氏がチリにあるサブミリ波望遠鏡である ASTE 望遠鏡に搭載する分光検出器 DESHIMA の開発に参画し、究極性能を有する超伝導検出器のデバイス作製技術、デバイス性能評価技術、及び、システム化技術の習得を行った。そして、ミリ波オンチップ分光器の心臓部である超伝導バンドパスフィルタを 300 nm 幅の細線で作製することで周波数分解能を 1,500 程度まであげられることを電磁界解析で明らかにし、極低温での光学特性評価でほぼ設計どおりの周波数分解能を得た。

また、鈴木惇也氏は、究極性能を有する超伝導検出デバイスからの信号読み出し・データ処理技術を習得するとともに、DESHIMA のデータ解析を行って MKID 検出器特有のデータ処理法について Endo 氏、Karatsu 氏、Baselmans 氏らと議論を行いながら最適な構成の検討を進めた。鈴木氏はまた、スペイン IAC に滞在して、2018 年度に観測開始が予定されている GroundBIRD 望遠鏡のテイデ天文台への設置に向けた議論や環境測定を行なった。Rafael Rebolo Lopez 所長、Ricardo Genova Santos 研究員、José Albert Rubiño Martin 上級研究員らと議論した。

### 【研究者招へい】

研究者の招へいでは、IAC から Rebolo Lopez 所長と Genova Santos 研究員を、TU Delft から A. Endo 氏と K. Karatsu 氏をそれぞれ招いて、日本側拠点（理研、KEK、京都大）を訪れ、GroundBIRD 望遠鏡、及び、MKID 検出器の開発に関して議論を行った。

TU Delft の A. Endo 氏と K. Karatsu 氏は、2017 年 7 月と 2018 年 3 月に来日し、このうち、本事業では、Endo 助教の 1 回分、Karatsu 研究員の 2 回分の来日・滞在の支援を行った。両名とは主として GroundBIRD 望遠鏡に搭載する MKID 検出器について議論を行った。また、MKID 検出器による宇宙観測の世界的権威である SRON の Jochen Baselmans 上級研究員も 2017 年 7 月に来日し、ともに議論を行った。

IAC の所長である Rebolo Lopez 教授と Genova Santos 研究員は、2017 年 4 月にスペイン・フェリペ国王の来日に合わせて来日し、若手研究者との研究打合せや施設訪問を行う

とともに、日本-スペインの国家間の関連イベントにも参列した。さらに、2018年3月に両名が再来日し、その折りに韓国・高麗大の研究者も合わせて来日して合同打合せを行うとともに、日本-スペイン外交関係樹立 150 周年の記念事業の一環として在日スペイン大使館が主催したイベントにも大谷、田島とともに出席した。本事業では、Rebolo Lopez 所長の 1 回分、Genova Santos 研究員の 2 回分の来日・滞在の支援を行った。これによって、若手研究者への指導をしてもらうとともに、プロジェクト推進に関する議論、さらには、将来計画の議論なども行った。また、研究上の活動に加えて、食事をともにしたり、政治・経済・国際情勢などについて議論を交わす機会を持った。このように、共同研究を実施する研究者が国を代表して来日し、両国間の交流・発展のために尽力する姿を間近で体感したり、欧州のように多数の国々が隣接して存在している状況を実感したりすることは、単なる頭脳循環の枠組みにとどまらず、グローバル化する世界の中で、国際人として、また、日本国民としてどのように行動し世界と関わっていくべきかを学び感じる貴重な機会となったと考えている。これらの経験を通じて、人的ネットワークとはどういうものかを実感してくれたと確信する。また、このようにして得た個々人の国際的な人的ネットワークは、事業期間中だけでなく、これから歳月を重ねる中でさらに広がり強固になっていくと考えている。また、プロジェクト推進の過程で韓国・高麗大の積極的な参画が決定し、アジア内のネットワークも切り拓いた。

### 3. 到達目標に対する本年度の達成度及び進捗状況

平成 29 年度は、平成 28 年度に引き続いて 2 名の派遣を行うとともに、海外機関の 4 名について招へいを行った。その成果は上記の通りで、当初の目的を達成できた。

また、研究項目については、

- (1) 地上実験で広視野観測を実現する回転型の GroundBIRD 望遠鏡システムを開発
- (2) GroundBIRD 望遠鏡に冷却光学系を搭載し、冷却温度 4K を達成
- (3) GroundBIRD 望遠鏡の焦点面の冷却系を開発し、到達温度 250 mK、連続冷却時間 24 時間以上を達成
- (4) GroundBIRD 望遠鏡の回転速度として、設計値である 20 rpm での冷却運転と低振動動作を確認

といった成果を挙げた。

一方、平成 29 年度に計画していた望遠鏡の現地での建設については、下記の事情により遅れが生じた。望遠鏡の建設においては、収納する全開放型ドームの建設も必要であり、費用と安全性の両面に注意深く配慮した上で、最終的に IAC テイデ観測所での実績も有するドイツの Baader Planetarium 社のドームを平成 29 年度中に導入することとしていた（科研費・基盤 S での購入）。この際、欧米では購入における商習慣として費用の 50% を前払いし、納品後に残りの 50% を支払うのが通例であったが、費用の支払いについては、Baader 社を直接訪問してプロジェクトに対する理解を得るとともに相互信頼関係を確立し、日本の商習慣に合わせた納品・検収後の 100% の支払いについて了承を得た。ところが、この問題を解決して契約直前まで至った平成 29 年 8 月に同社のドーム製造のキーパーソンが長期療養することとなり、契約が約 7 ヶ月後ろ倒しとなった。この時、そのままドーム購入を断られることが一番の懸念材料であったため、すぐさま同社を再訪して継続して購入の意思があることを明確に伝え、ドームの購入が後ろ倒しになるものの、平成 30 年度初頭に契約を行ってドーム導入、望遠鏡移設、試験観測と繋げていく予定である。

#### 4. 日本側研究グループ（実施主体）の研究発表状況（本年度分）

##### ①学術雑誌等（紀要・論文集等も含む）に発表した論文又は著書

論文名・著書名 等	
<p>（論文名・著書名、著者名、掲載誌名、査読の有無、巻、最初と最後の頁、発表年（西暦）について記入してください。）（以上の各項目が記載されていれば、項目の順序を入れ替えても可。）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・査読がある場合、印刷済及び採録決定済のものに限って記載して下さい。査読中・投稿中のものは除きます。</li> <li>・さらに数がある場合は、欄を追加して下さい。</li> <li>・著者名について、責任著者に「※」印を付してください。また、主担当研究者には<u>二重下線</u>、担当研究者については<u>下線</u>、若手研究者については<u>波線</u>を付してください。</li> <li>・海外の連携機関の研究者との国際共著論文等には、番号の前に「◎」印を、また、それ以外の国際共著論文等については番号の前に「○」印を付してください。また、主要連携研究者については<u>斜体・太下線</u>、連携研究者については<u>斜体・破線</u>としてください。</li> </ul>	
1	H. Watanabe, ※ <u>S. Mima</u> , <u>S. Oguri</u> , M. Yoshida, M. Hazumi, H. Ishino, H. Ishitsuka, A. Kibayashi, <u>C. Otani</u> , N. Sato, <u>O. Tajima</u> , N. Tomita, "Development of an Optical Coupling with Ground-Side Absorption for Antenna-Coupled Kinetic Inductance Detectors", <i>IEICE Trans. Electron.</i> vol. E100-C, pp. 298-304 (2017).
2	※ <u>田島 治</u> 、"クモデスーミリ波分光で竜巻・ゲリラ豪雨の「予兆の予兆」を捉える", 光と画像の技術雑誌「OplusE」 2017年6月号（第451号）

##### ②学会等における発表

発表題名 等	
<p>（発表題名、発表者名、発表した学会等の名称、開催場所、口頭発表・ポスター発表の別、審査の有無、発表年月（西暦）について記入してください。）（以上の各項目が記載されていれば、項目の順序を入れ替えても可。）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発表者名は参加研究者を含む全員の氏名を、論文等と同一の順番で記載すること。共同発表者がいる場合は、全ての発表者名を記載し、責任発表者名は「※」印を付して下さい。発表者名について主担当研究者には<u>二重下線</u>、担当研究者については<u>下線</u>、若手研究者については<u>波線</u>を付してください。</li> <li>・口頭・ポスターの別、発表者決定のための審査の有無を区分して記載して下さい。</li> <li>・さらに数がある場合は、欄を追加して下さい。</li> <li>・海外の連携機関の研究者との国際共同発表には、番号の前に「◎」印を、また、それ以外の国際共同発表については番号の前に○印を付してください。また、主要連携研究者については<u>斜体・太下線</u>、連携研究者については<u>斜体・破線</u>としてください。</li> </ul>	
招待講演（口頭）	
◎ 1	※ <u>成瀬雅人</u> ，“ミリ波帯超伝導フィルターバンク分光器(DESHIMA)の広帯域・高周波化”，超伝導エレクトロニクス研究会，仙台，2017年10月
◎ 2	※ <u>成瀬雅人</u> ，“超伝導共振器アレイによるミリ波サブミリ波観測装置の大規模化”，日本学術振興会146委員会 センシング分科会研究会，港区，2018年1月
◎ 3	※ <u>田島 治</u> ，石塚 光， <u>内田智久</u> ， <u>大谷知行</u> ， <u>小栗秀悟</u> ，木内健司，古谷野 凌， <u>鈴木惇也</u> ，関本裕太郎，瀬本宗久， <u>田井野 徹</u> ，富田 望，永井 誠，長崎岳人，羽澄昌史，服部 誠，箕輪 眞， <u>美馬 覚</u> ，吉田光宏， <i>Jihoon Choi</i> ，Thushara Damayanthi， <u>Ricardo T. Genova-Santos</u> ， <i>Kyungmin Lee</i> ， <u>Rafael Reboló Lopez</u> ， <u>José Alberto Rubiño-Martín</u> ， <i>Eunil Won</i> ，“GroundBIRD 実験”，宇電懇シンポジウム，三鷹，2018.3.20.
◎ 4	※ <u>O. Tajima</u> ， <u>R. T. Genova-Santos</u> ， <i>J. Choi</i> ，T. Damayanthi，M. Hattori，M. Hazumi，H. Ishitsuka， <u>S. Mima</u> ，K. Kiuchi，R. Koyano，H. Kutsuma， <i>K. Lee</i> ，M. Minowa，M. Nagai，T. Nagasaki， <u>S. Oguri</u> ， <u>C. Otani</u> ， <u>R. Reboló Lopez</u> ， <u>J. A. Rubiño-Martín</u> ，Y. Sekimoto，M. Semoto， <u>J. Suzuki</u> ， <u>T. Taino</u> ，N. Tomita， <u>T. Uchida</u> ， <i>E. Won</i> ，M. Yoshida，“CMB experiments: QUIJOTE and GroundBIRD”，Japan-Spain 150 year memorial symposium 'Large Infrastructures for Astrophysics: Synergies and Cooperation between Spain and Japan' Tokyo，2018.3.7.

◎ 5	※ <u>美馬 覚</u> , "はじめての超伝導デバイスプロセス+国内インフラ紹介", '簡単・便利な超伝導計測 ? 100 倍精度の計測を非専門家の手で'研究会, 和光, 2018.1.14.
◎ 6	※ <u>C. Otani</u> , "Terahertz Sensing, Imaging and Applications," Seminar at Seoul University, Seoul, South Korea, 2018.1.12.
◎ 7	※ <u>C. Otani</u> , "Terahertz Sensing, Imaging and Applications," 1st NIP-RIKEN Joint Research Workshop, Quezon City, Philippines, 2017.11.10-11.
◎ 8	※ <u>O. Tajima</u> , <u>J. Choi</u> , T. Damayanthi, <u>R. T. Genova-Santos</u> , M. Hattori, M. Hazumi, H. Ishitsuka, <u>S. Mima</u> , K. Kiuchi, R. Koyano, H. Kutsuma, <u>K. Lee</u> , M. Minowa, M. Nagai, T. Nagasaki, <u>S. Oguri</u> , <u>C. Otani</u> , <u>R. Rebolo Lopez</u> , <u>J. A. Rubiño-Martin</u> , Y. Sekimoto, M. Semoto, <u>J. Suzuki</u> , <u>T. Taino</u> , N. Tomita, <u>T. Uchida</u> , <u>E. Won</u> , M. Yoshida, "GroundBIRD - KIDs meet the Cosmic Inflation", Exploring Energetic Universe 2017, Astana, Kazakhstan, 2017.8.7-12.
◎ 9	※ <u>大谷知行</u> , "テラヘルツ光～見えない光の魅力と可能性～," 理研仙台一般公開セミナー, 仙台, 2017.7.29.
◎ 10	※ <u>大谷知行</u> , "宇宙の始まりを超伝導ミリ波検出器で探る," 公開講演会「マイナス約 270 度の冷たい検出器で探る熱い宇宙と宇宙の創生」, 久留米, 2017.7.22.
◎ 11	※ <u>K. Kiuchi</u> , <u>J. Choi</u> , T. Damayanthi, <u>R. T. Genova-Santos</u> , M. Hattori, M. Hazumi, H. Ishitsuka, <u>S. Mima</u> , R. Koyano, H. Kutsuma, <u>K. Lee</u> , M. Minowa, M. Nagai, T. Nagasaki, <u>S. Oguri</u> , <u>C. Otani</u> , <u>R. Rebolo Lopez</u> , <u>J. A. Rubiño-Martin</u> , Y. Sekimoto, M. Semoto, <u>J. Suzuki</u> , <u>T. Taino</u> , <u>O. Tajima</u> , N. Tomita, <u>T. Uchida</u> , <u>E. Won</u> , M. Yoshida, "Neutrino mass from Cosmology", Gordon Research Conference-Particle Physics, Hong Kong, China, 2017.6.25-30.
◎ 12	◎※ <u>大谷知行</u> , "テラヘルツセンシング・イメージングと応用可能性～テラヘルツ光が拓くイノベーション～," 理研イブニングセミナー, 東京, 2017.6.14.
一般講演 (口頭, ポスター)	
◎ 13	※ <u>T. Nagasaki</u> , <u>J. Choi</u> , T. Damayanthi, <u>R. T. Genova-Santos</u> , M. Hattori, M. Hazumi, H. Ishitsuka, <u>K. Kiuchi</u> , K. Kiuchi, R. Koyano, H. Kutsuma, <u>K. Lee</u> , <u>S. Mima</u> , M. Minowa, M. Nagai, <u>S. Oguri</u> , <u>C. Otani</u> , <u>R. Rebolo Lopez</u> , <u>J. A. Rubiño-Martin</u> , Y. Sekimoto, M. Semoto, <u>J. Suzuki</u> , <u>T. Taino</u> , <u>O. Tajima</u> , N. Tomita, <u>T. Uchida</u> , <u>E. Won</u> , M. Yoshida, "GroundBIRD - observation of CMB polarization with a high-speed scanning and MKIDs", 17th International Workshop on Low Temperature Detectors (LTD17), Kurume, Japan, 2017.7.17-21. (口頭)
◎ 14	※ <u>J. Suzuki</u> , <u>K. Lee</u> , <u>K. Kiuchi</u> , <u>J. Choi</u> , T. Damayanthi, <u>R. T. Genova-Santos</u> , M. Hattori, M. Hazumi, H. Ishitsuka, <u>S. Mima</u> , K. Kiuchi, R. Koyano, H. Kutsuma, M. Minowa, M. Nagai, T. Nagasaki, <u>S. Oguri</u> , <u>C. Otani</u> , <u>R. Rebolo Lopez</u> , <u>J. A. Rubiño-Martin</u> , Y. Sekimoto, M. Semoto, <u>T. Taino</u> , <u>O. Tajima</u> , N. Tomita, <u>T. Uchida</u> , <u>E. Won</u> , M. Yoshida, "Development of a data acquisition system for kinetic inductance detectors: wide dynamic range and high sampling rate for astronomical observation", (LTD17, 17th International Workshop on Low Temperature Detectors (LTD17), Kurume, Japan, 2017.7.17-21. (ポスター)
15	※ <u>H. Kutsuma</u> , F. Kanno, M. Hattori, K. Hosokawa, K. Ishidoshiro, K. Kiuchi, <u>S. Mima</u> , T. Nagasaki, <u>S. Oguri</u> , A. Ohno, T. Okada, <u>C. Otani</u> , <u>J. Suzuki</u> , <u>O. Tajima</u> , "Optimization of geomagnetic shielding for MKIDs mounted on rotating cryostat", 17th International Workshop on Low Temperature Detectors (LTD17), Kurume, Japan, 2017.7.17-21. (ポスター)
◎ 16	※ <u>K. Lee</u> , <u>J. Choi</u> , T. Damayanthi, <u>R. T. Genova-Santos</u> , M. Hattori, M. Hazumi, H. Ishitsuka, <u>S.</u>

	<p><u>Mima</u>, K. Kiuchi, R. Koyano, H. Kutsuma, M. Minowa, M. Nagai, T. Nagasaki, <u>S. Oguri</u>, <u>C. Otani</u>, <u>R. Rebolo Lopez</u>, <u>J. A. Rubiño-Martin</u>, Y. Sekimoto, M. Semoto, <u>J. Suzuki</u>, <u>T. Taino</u>, <u>O. Tajima</u>, N. Tomita, <u>T. Uchida</u>, <u>E. Won</u>, M. Yoshida, “Development of cross-talk suppression algorithm for MKID readout”, 17th International Workshop on Low Temperature Detectors (LTD17), Kurume, Japan, 2017.7.17–21. (ポスター)</p>
17	<p>※ <u>S. Oguri</u>, K. Kiuchi, <u>S. Mima</u>, M. Minowa, T. Nagasaki, <u>J. Suzuki</u>, <u>O. Tajima</u>, N. Tomita, <u>T. Uchida</u>, “Search for hidden photon cold dark matter using radio telescopes”, 17th International Workshop on Low Temperature Detectors (LTD17), Kurume, Japan, 2017.7.17-21. (口頭)</p>
◎ 18	<p>※ K. Kiuchi, <u>J. Choi</u>, T. Damayanthi, <u>R. T. Genova-Santos</u>, M. Hattori, M. Hazumi, H. Ishitsuka, <u>S. Mima</u>, R. Koyano, H. Kutsuma, <u>K. Lee</u>, M. Minowa, M. Nagai, T. Nagasaki, <u>S. Oguri</u>, <u>C. Otani</u>, <u>R. Rebolo Lopez</u>, <u>J. A. Rubiño-Martin</u>, Y. Sekimoto, M. Semoto, <u>J. Suzuki</u>, <u>T. Taino</u>, <u>O. Tajima</u>, N. Tomita, <u>T. Uchida</u>, <u>E. Won</u>, M. Yoshida, “Development of dual-polarization sensitive KIDs for CMB measurements”, 17th International Workshop on Low Temperature Detectors (LTD17), Kurume, Japan, 2017.7.17–21. (ポスター)</p>
19	<p>※ A. Tokiyasu, M. Hattori, H. Kutsuma, <u>S. Mima</u>, <i>et al.</i>, 17<sup>th</sup> International Workshop on <i>Low Temperature Detectors</i>, Kurume, Japan, 2017.7.17-21. (ポスター)</p>
◎ 20	<p>※ <u>小栗秀悟</u>, 石塚 光, <u>内田智久</u>, <u>大谷知行</u>, 木内健司, 古谷野 凌, <u>鈴木惇也</u>, 関本裕太郎, 瀬本宗久, <u>田井野 徹</u>, <u>田島 治</u>, 富田 望, 永井 誠, 長崎岳人, 羽澄昌史, 服部 誠, 箕輪 眞, <u>美馬 覚</u>, 吉田光宏, <u>Jihoon Choi</u>, Thushara Damayanthi, <u>Ricardo T. Genova-Santos</u>, <u>Kyungmin Lee</u>, <u>Rafael Rebolo Lopez</u>, <u>José Alberto Rubiño-Martin</u>, <u>Eunil Won</u>, “GroundBIRD 望遠鏡の観測に向けた超伝導検出器 MKID のノイズ対策” 日本物理学会第 73 回年次大会, 野田, 2018.3.22-25. (口頭)</p>
◎ 21	<p>※ 沓間弘樹, 石徹白晃治, <u>大谷知行</u>, 大野 敦, 岡田智香, <u>小栗秀悟</u>, 官野史靖, 木内健司, <u>鈴木惇也</u>, <u>田島 治</u>, 長崎岳人, 服部 誠, 細川佳志, <u>美馬 覚</u>, “超伝導検出器MKIDsの磁場応答測定とシールド設計の研究”, 日本物理学会第73回年次大会, 野田, 2018.3.22-25. (口頭)</p>
◎ 22	<p>※ 長崎岳人, 石塚 光, <u>内田智久</u>, <u>大谷知行</u>, <u>小栗秀悟</u>, 木内健司, 古谷野 凌, <u>鈴木惇也</u>, 関本裕太郎, 瀬本宗久, <u>田井野 徹</u>, <u>田島 治</u>, 富田 望, 永井 誠, 羽澄昌史, 服部 誠, 箕輪 眞, <u>美馬 覚</u>, 吉田光宏, <u>Jihoon Choi</u>, Thushara Damayanthi, <u>Ricardo T. Genova-Santos</u>, <u>Kyungmin Lee</u>, <u>Rafael Rebolo Lopez</u>, <u>José Alberto Rubiño-Martin</u>, <u>Eunil Won</u>, “大角度スケール CMB 偏光観測実験 GroundBIRD - 回転読み出し性能評価”, 2018 年春季天文学会, 千葉, 2018.3.14-17. (口頭)</p>
◎ 23	<p>◎※ <u>鈴木惇也</u>, 石塚 光, <u>内田智久</u>, <u>大谷知行</u>, <u>小栗秀悟</u>, 木内健司, 古谷野 凌, 関本裕太郎, 瀬本宗久, <u>田井野 徹</u>, <u>田島 治</u>, 富田 望, 永井 誠, 長崎岳人, 羽澄昌史, 服部 誠, 箕輪 眞, <u>美馬 覚</u>, 吉田光宏, <u>Jihoon Choi</u>, Thushara Damayanthi, <u>Ricardo T. Genova-Santos</u>, <u>Kyungmin Lee</u>, <u>Rafael Rebolo Lopez</u>, <u>José Alberto Rubiño-Martin</u>, <u>Eunil Won</u>, “高速回転変調と MKID による CMB 地上観測実験 ”GroundBIRD”, 第 18 回受信機ワークショップ, 三鷹, 2018.2.22-23. (口頭)</p>
◎ 24	<p>※ <u>鈴木惇也</u>, 石塚 光, <u>内田智久</u>, <u>大谷知行</u>, <u>小栗秀悟</u>, 木内健司, 古谷野 凌, 関本裕太郎, 瀬本宗久, <u>田井野 徹</u>, <u>田島 治</u>, 富田 望, 永井 誠, 長崎岳人, 羽澄昌史, 服部 誠, 箕輪 眞, <u>美馬 覚</u>, 吉田光宏, <u>Jihoon Choi</u>, Thushara Damayanthi, <u>Ricardo T. Genova-Santos</u>, <u>Kyungmin Lee</u>, <u>Rafael Rebolo Lopez</u>, <u>José Alberto Rubiño-Martin</u>, <u>Eunil Won</u>, “GroundBIRD 実</p>

	験に向けた回転性能試験と検出器運用システムの開発", 日本物理学会 2017 年秋季大会, 宇都宮, 2017.9.12-15. (口頭)
◎ 25	※ <u>美馬 覚</u> , 石塚 光, <u>内田智久</u> , <u>大谷知行</u> , <u>小栗秀悟</u> , 木内健司, 古谷野 凌, <u>鈴木惇也</u> , 関本裕太郎, 瀬本宗久, <u>田井野 徹</u> , <u>田島 治</u> , 富田 望, 永井 誠, 長崎岳人, 羽澄昌史, 服部 誠, 箕輪 眞, 吉田光宏, <i>Jihoon Choi</i> , Thushara Damayanthi, <u>Ricardo T. Genova-Santos</u> , <i>Kyungmin Lee</i> , <u>Rafael Reboló Lopez</u> , <u>José Alberto Rubiño-Martín</u> , Eunil Won, "GroundBIRD 実験に向けた超電導検出器 KIDs アレイの開発", 日本物理学会 2017 年秋季大会, 宇都宮, 2017.9.12-15. (口頭)
◎ 26	※ <u>杵間弘樹</u> , 石徹白晃治, <u>大谷知行</u> , 大野 敦, 岡田智香, <u>小栗秀悟</u> , 官野史靖, 木内健司, <u>鈴木惇也</u> , <u>田島 治</u> , 長崎岳人, 服部 誠, 細川佳志, <u>美馬 覚</u> , "GroundBIRD 望遠鏡での磁気シールドの評価", 日本物理学会 2017 年秋季大会, 宇都宮, 2017.9.12-15. (口頭)
◎ 27	※長崎岳人, 石塚 光, <u>内田智久</u> , <u>大谷知行</u> , <u>小栗秀悟</u> , 木内健司, 古谷野 凌, <u>鈴木惇也</u> , 関本裕太郎, 瀬本宗久, <u>田井野 徹</u> , <u>田島 治</u> , 富田 望, 永井 誠, 羽澄昌史, 服部 誠, 箕輪 眞, <u>美馬 覚</u> , 吉田光宏, <i>Jihoon Choi</i> , Thushara Damayanthi, <u>Ricardo T. Genova-Santos</u> , <i>Kyungmin Lee</i> , <u>Rafael Reboló Lopez</u> , <u>José Alberto Rubiño-Martín</u> , Eunil Won, "高速回転変調による大角度スケールの CMB 偏光観測-GroundBIRD 実験", 日本天文学会 2017 年秋季年会, 札幌, 2017.9.11-13. (口頭)
◎ 28	※瀬本宗久, <u>美馬 覚</u> , 木内健司, <u>成瀬雅人</u> , 明連広昭, <u>大谷知行</u> , <u>田島 治</u> , <u>小栗秀悟</u> , <u>鈴木惇也</u> , <u>田井野 徹</u> , "TiN/Ti積層膜を用いてCMB偏光観測に最適化したKIDsの作製と評価", 第78回応用物理学会秋季学術講演会, 福岡, 2017.9.5-8 (口頭)

## 5. 若手研究者の派遣実績 (計画)

### 【海外派遣実績 (計画)】

年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	合計
派遣人数	2 人	2 人 ( 2 人)	3 人 ( 2 人)	3 人

※当該年度は実績、次年度以降は計画している人数を記載

### 【本年度の海外派遣実績】

#### 派遣者①の氏名・職名：成瀬 雅人・助教

(当該若手研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)

平成 29 年度は、平成 29 (2017) 年 4 月 1 日より平成 29 (2017) 年 8 月 31 日まで及び平成 29 (2017) 年 12 月 26 日から平成 30(2018)年 1 月 9 日までオランダ・デルフト工科大の Endo 氏、Kratsu 氏のもとに滞在した。デルフト工科大 (TU Delft) とオランダ宇宙研究所 (SRON) は電車で 1 時間の距離にあるため、実際には研究上の必要に応じて両機関を行き来したほか、オランダ宇宙研究所の Baselmans 氏がほぼ毎週デルフト工科大に来訪し、最先端の超伝導検出器である MKID (Microwave Kinetic Inductance Detector) の宇宙観測への実装に関して双方の指導を受けた。ミリ波オンチップ分光器の心臓部である超伝導バンドパスフィルタを 300 nm 幅の細線で作製することで周波数分解能を 1,500 程度まであげられることを電磁界解析で明らかにし、極低温での光学特



性評価でほぼ設計どおりの周波数分解能を得た。

### (具体的な成果)

本年度は、南米チリにあるサブミリ波望遠鏡である ASTE 望遠鏡に搭載するオンチップ分光検出器である DESHIMA の開発に参画した。まず、電磁界解析ソフトウェアを用い超伝導バンドパスフィルタに 300 nm の細線構造を用いることで放射損を抑え、これまでのデバイスよりも高い周波数分解能が実現できることを示した。また、電子線ビーム描画及び光学描画という異なるフォトリソグラフィ技術を併用して1つのデバイスを作製することに成功した (図 1)。

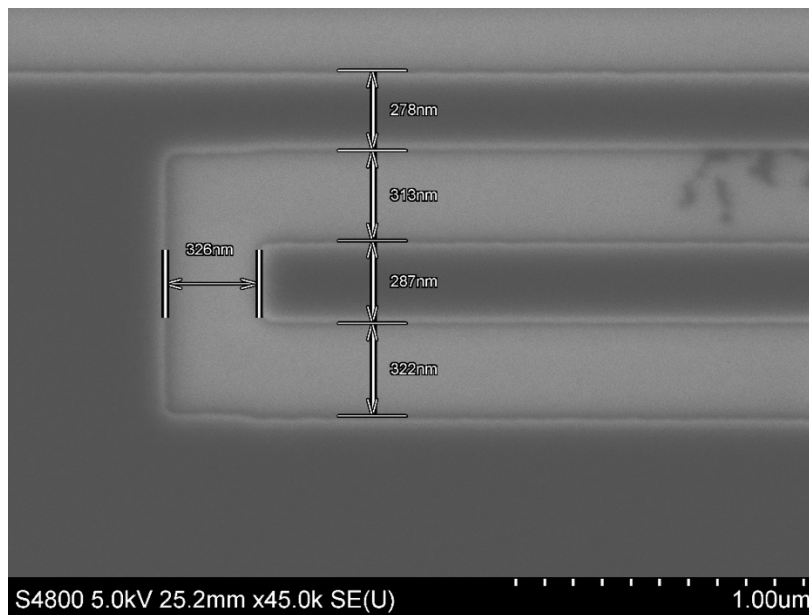


図 1. 作製した 300 nm 幅の超伝導フィルターの SEM 画像

また、作製した素子を極低温下でミリ波・サブミリ波帯で光学特性評価を行ったところ、ほぼ設計どおりの周波数分解能を得た (図 2)。ミリ波帯でのオンチップ超伝導分光器を設計・製作・評価するこれら一連の技術・ノウハウは、GroundBIRD 望遠鏡の開発、高性能化において必要不可欠であり、平成 30 年度に実施するデバイス製作・詳細な光学特性評価、及び、GroundBIRD 実験の実施を行うための準備を進めることができた。

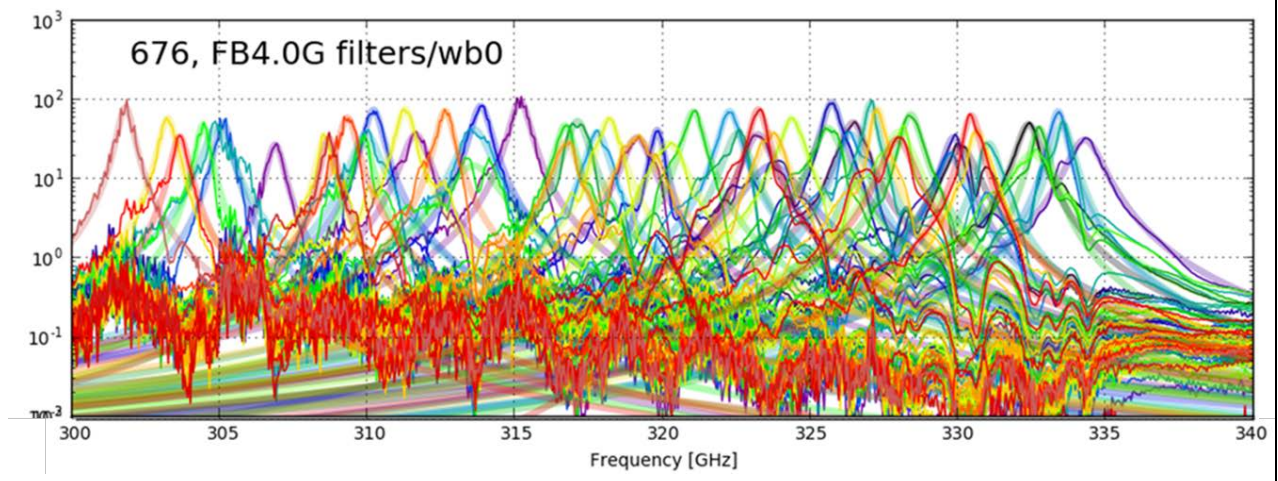


図 2. 作製したオンチップミリ波分光器のフィルター特性

派遣先 (国・地域名、機関名、部局名、受入研究者)	派遣期間			合計
	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	
オランダ、デルフト工科大学、電気工学数学計算科学部、Akira Endo	119 日	153 日 (この 他、15 日 間 短期滞 在)	100 日 (予定)	372 日 (予定)
オランダ、オランダ宇宙研究所、技術開発部、Jochem Baselmans	0 日	0 日	15 日 (予定)	15 日 (予定)

※ デルフト工科大とオランダ宇宙研究所は電車で 1 時間の距離にあるため、実際には研究上の必要に応じて両者を行き来する。

派遣者②の氏名・職名：鈴木 惇也・JSPS 特別研究員

(当該若手研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)

平成 29 年度は、平成 29 (2017) 年 12 月 28 日より平成 30 (2018) 年 1 月 8 日まで及び平成 30 (2018) 年 1 月 13 日から平成 30 (2018) 年 2 月 26 日までオランダ・デルフト工科大の Akira Endo 氏、Kenichi Karatsu 氏のもとに滞在した。研究上の必要に応じて、オランダ宇宙研究所 (SRON) とも行き来した。

デルフト工科大学で開発を進めているオンチップ分光検出器である DESHIMA は、平成 29 (2017) 年の秋にチリの ASTE 望遠鏡に搭載し試験観測を行なった。本滞在中では、Akira Endo 氏、Kenichi Karatsu 氏と議論を行いながら試験観測の結果を解析する作業に参画し、超伝導検出器 MKID を実際の観測で運用する上での留意点、検出器校正の手法について検討を進めた。

また、平成 30 (2018) 年 1 月 8 日から平成 30 (2018) 年 1 月 13 日までスペイン・カナリア天体物理研究所の Ricardo Tanausu Genova Santos 氏のもとに滞在した。GroundBIRD はカナリア諸島テネリフェ島にあるテイデ天文台での観測を予定している。この観測を円滑に進めるための準備を行うとともに、先行している QUIJOTE 望遠鏡における知見を獲得するための滞在であった。

(具体的な成果)

【オランダ・デルフト工科大学での成果】

本年度は、オンチップ分光検出器である DESHIMA の試験観測の解析に参画した。DESHIMA のオンチップ分光器は、チップ上に実装されたサブミリ波フィルタと MKID の組み合わせでできている。GroundBIRD 実験でも用いる MKID の運用手法と解析をここで学び、来年度から始まる観測へと活かすことを本滞在中の目的とした。

チップ上に実装された超伝導共振器である MKID は、その感度の高さと運用の容易さから検出器として大きな注目を集めている。一方、新しい技術であることから、まだ実際の観測に利用されたケースは数える程しかなく、その運用手法については未だ確立されていない。本滞在ではその貴重な一例である、実際に 2017 年秋に実際に試験観測を行なった DESHIMA の解析、そしてそれに基づく検出器較正の検討を行った。運用手法についてあらかじめ経験し多角的に検討を行うことで、GroundBIRD の観測開始を円滑に進め早い段階での高感度化が期待できる。

オンチップ分光器 DESHIMA は 2017 年秋にチリの ASTE 望遠鏡に搭載し、試験観測を行なった。MKID やサブミリ波フィルタの性能を検証する為に様々な測定が行われ、今後観測結果や実験室での性能測定についての論文が出版される予定である。

本滞在ではそこで取得されたデータのうち、検出器応答の理解を行う為に取得された「スカイディップ」測定について、デルフト工科大学・オランダ宇宙研究所のメンバーと議論の上で解析を進めた。スカイディップ測定とは、望遠鏡の仰角を動かすことで検出器に入る大気放射の強度を変え、応答の変化を見る測定である。天頂近くに望遠鏡が向いた時に比べて、地表へと傾いた方が、宇宙へ向かうまでに通過する大気の層を厚く感じる。大気中には水蒸気や酸素などの「暖かい」物質が満ちており、その放射の受け方が望遠鏡の仰角によって変わることになる。

水蒸気や酸素などの吸収・放射には、周波数依存性がある。分光器である DESHIMA でスカイディップ測定を行う上でポイントとなるのは、この周波数依存性の理解である。

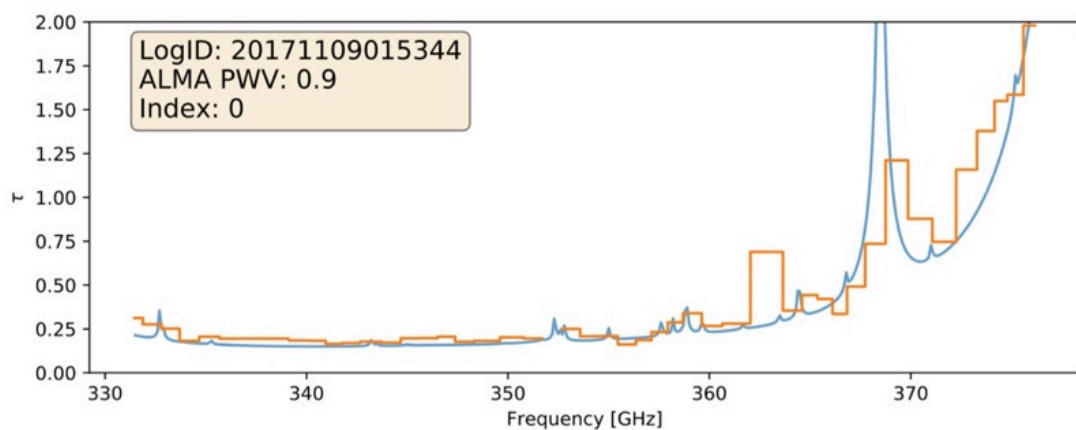


図 3. ASTE に搭載された DESHIMA でのスカイディップ測定の結果

上図は本滞いで得たスカイディップ測定の解析結果の一例を示す。縦軸が応答の強さ、横軸が周波数を示している。青色の線は大気の理論により予測される応答、オレンジの線が実際に測定を解析して得られた応答である。このように予測される周波数応答性が再現されていることから、実験室で行なった較正や大気応答の理解に大幅な誤りがないことがわかった。この理解をもとに予測とのズレを計算することで、測定期間内の応答性の変化の程度を見積もった。

#### 【スペイン・カナリア天体物理研究所での成果】

GroundBIRD 望遠鏡のテイデ天文台への設置に向けた議論や環境測定を行なった。Ricardo Tanausu Genova Santos 氏との議論を通して、観測を立ち上げるうえで必要と

なる研究員の滞在についてなどの、実際上の問題について洗い出した。また、GroundBIRD の取得データを転送するためのネットワークについて、その速度を測定した。観測で用いる小屋と研究所の間のネットワークにボトルネックがあることを突き止め、原因となっている装置の換装についてカナリア天体物理研究所に依頼した。

派遣先 (国・地域名、機関名、部局名、受入研究者)	派遣期間			合計
	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	
オランダ、デルフト工科大学、電気工学数学計算科学部、Akira Endo	6 4 日	5 8 日	3 0 日 (予定)	1 5 2 日 (予定)
スペイン、カナリア天体物理研究所、天体物理学部、Ricardo Tanausu Genova Santos	0 日	6 日	1 5 0 日 (予定)	1 5 6 日 (予定)

※本年度の派遣者毎に作成すること。

## 6. 研究者の招へい実績 (計画)

### 【招へい実績 (計画)】

年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	合計
招へい人数	2 人	4 人 ( 2 人 )	4 人 ( 3 人 )	5 人

※当該年度は実績、次年度以降は計画している人数を記載

### 【本年度の招へい実績】

#### 招へい者①の氏名・職名：Ricardo T. Genova Santos (研究員)

(当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)

本年度は、GroundBIRD 望遠鏡の開発準備に関して鈴木淳也氏を受け入れた。また、平成 29 (2017) 年 4 月 2 日より 4 月 7 日までと、平成 30 (2018) 年 3 月 4 日より 3 月 9 日まで来日して、国立研究開発法人理化学研究所が受け入れを行った。

(具体的な成果)

GroundBIRD 望遠鏡の準備に当たり、現地観測サイトのマネージメントを行っている招聘者①を招へいした。また、招へい者①②と派遣者②が協力して、実際の建設状況を想定した準備状況の確認を進めた。また、GroundBIRD 望遠鏡と QUIJOTE 実験の統合解析に関する議論を開始した。特に、本研究に欠かせない 2 大前景放射 (シンクロトロンとダスト) の総合理解を進めるための議論を行った。さらに、月例のネット会議を持ち、定期的に意見交換も行った。

また、2017 年 4 月の来日はスペイン・フェリペ国王の来日に合わせたものであり、若手研究者との研究打合せや施設訪問を行うとともに、日本-スペインの国家間の関連イベントにも参列した。また、2018 年 3 月の再来日では、韓国・高麗大の研究者も合わせた合同打合せを行うとともに、日本-スペイン外交関係樹立 150 周年を記念するイベントの一環として在日スペイン大使館が主催したイベントに大谷、田島とともに出席した。これらの活動によって、若手研究者への指導、プロジェクト推進に関する議論、さらに

は、将来計画の議論などを行った。また、研究上の活動に加えて、食事をともにしたり、政治・経済・国際情勢などについて議論を交わす機会も持った。これにより、共同研究を実施する研究者が国を代表して来日し、両国間の交流・発展のために尽力する姿を間近で体感し、また、欧州のように多数の国々が隣接して存在している状況を実感する機会を提供できた。

招へい元（機関名、部局名、国名）及び 日本側受入研究者（機関名）	招へい期間			合計
	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	
スペイン・カナリア宇宙物理研究所（IAC） ・天文物理学部、大谷知行（国立研究開発 法人理化学研究所）	日	1 2 日	1 5 日 （予定）	2 7 日 （予定）

### 招へい者②の氏名・職名：Rafael Rebolo Lopez（所長・教授）

#### （当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動）

本年度は、GroundBIRD 望遠鏡の開発準備に関して鈴木淳也氏を受け入れた。また、平成 29（2017）年 4 月 1 日より 4 月 12 日までと、平成 30（2018）年 3 月 5 日より 3 月 10 日まで来日し、うち前者について国立研究開発法人理化学研究所が受け入れを行った。

#### （具体的な成果）

GroundBIRD 望遠鏡の準備に当たり、現地観測サイトの責任者でもある招聘者②を招へいした。また、招へい者①②と派遣者②が協力して、実際の建設状況を想定した準備状況の確認を進めた。また、GroundBIRD 望遠鏡と QUIJOTE 実験の連携を基盤とした次の合同プロジェクト計画に関する議論を開始した。

また、2017 年 4 月の来日はスペイン・フェリペ国王の来日に合わせたものであり、若手研究者との研究打合せや施設訪問を行うとともに、日本-スペインの国家間の関連イベントにも参列した。また、2018 年 3 月の再来日では、韓国・高麗大の研究者も合わせた合同打合せを行うとともに、日本-スペイン外交関係樹立 150 周年を記念するイベントの一環として在日スペイン大使館が主催したイベントに大谷、田島とともに出席した。これらの活動によって、若手研究者への指導、プロジェクト推進に関する議論、さらには、将来計画の議論などを行った。また、研究上の活動に加えて、食事をともにしたり、政治・経済・国際情勢などについて議論を交わす機会も持った。これにより、共同研究を実施する研究者が国を代表して来日し、両国間の交流・発展のために尽力する姿を間近で体感し、また、欧州のように多数の国々が隣接して存在している状況を実感する機会を提供できた。

招へい元（機関名、部局名、国名）及び 日本側受入研究者（機関名）	招へい期間			合計
	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	
オランダ、デルフト工科大学、電気工学数 学計算科学部、大谷知行（国立研究開発法 人理化学研究所）	日	1 2 日	2 0 日 （予定）	3 2 日 （予定）

### 招へい者③の氏名・職名：Akira Endo・助教

(当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)

本年度は、最先端の超伝導検出器である MKID の宇宙観測の実施に必要なデバイス作製、信号読み出し、データ処理技術等に関して、成瀬雅人氏と鈴木淳也氏を受け入れた。また、平成 29 (2017) 年 7 月 13 日より 7 月 21 日までと平成 30 (2018) 年 3 月に来日して、このうち前者について、国立研究開発法人理化学研究所が受け入れを行った。

(具体的な成果)

チリにあるサブミリ波望遠鏡である ASTE 望遠鏡に搭載する分光検出器である DESHIMA の開発を通じて、成瀬氏と鈴木氏を受け入れ、究極性能を有する超伝導検出デバイスの性能評価技術、システム化技術、信号読み出し・データ処理技術、ソフトウェア開発について指導を行った。これらの技術・ノウハウは、GroundBIRD 望遠鏡の開発、及び、運用において必要不可欠である。また、また、日本側拠点 (理研、KEK) を訪れて GroundBIRD 望遠鏡の開発に関する議論を行った。以上のことから、GroundBIRD 望遠鏡による実観測、及び、データ解析を行うための準備を進めることができた。

招へい元 (機関名、部局名、国名) 及び 日本側受入研究者 (機関名)	招へい期間			合計
	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	
オランダ、デルフト工科大学、電気工学数学計算科学部、大谷知行 (国立研究開発法人理化学研究所)	15 日	11 日	20 日 (予定)	46 日 (予定)

招へい者⑤の氏名・職名 : Kenichi Karatsu・ポスドク

(当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)

本年度は、最先端の超伝導検出器である MKID の宇宙観測の実施に必要なデバイス作製、信号読み出し、データ処理技術等に関して、成瀬雅人氏と鈴木淳也氏を受け入れた。また、平成 29 (2017) 年 7 月 13 日より 7 月 28 日と平成 30 (2018) 年 3 月 17 日より 3 月 21 日まで来日して、国立研究開発法人理化学研究所が受け入れを行った。

(具体的な成果)

チリにあるサブミリ波望遠鏡である ASTE 望遠鏡に搭載する分光検出器である DESHIMA の開発を通じて、成瀬氏と鈴木氏を受け入れ、究極性能を有する超伝導検出デバイスの性能評価技術、システム化技術、信号読み出し・データ処理技術、ソフトウェア開発について指導を行った。これらの技術・ノウハウは、GroundBIRD 望遠鏡の開発、及び、運用において必要不可欠である。また、また、日本側拠点 (理研、KEK) を訪れて GroundBIRD 望遠鏡の開発に関する議論を行った。以上のことから、GroundBIRD 望遠鏡による実観測、及び、データ解析を行うための準備を進めることができた。

招へい元 (機関名、部局名、国名) 及び 日本側受入研究者 (機関名)	招へい期間			合計
	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	
オランダ、デルフト工科大学、電気工学数学計算科学部、大谷知行 (国立研究開発法人理化学研究所)	13 日	21 日	20 日 (予定)	54 日 (予定)

※本年度の招へい者毎に作成すること。

## 7. 翌年度の補助事業の遂行に関する計画

--

※ 補助事業が完了せずに国の会計年度が終了した場合における実績報告書には、翌年度の補助事業の遂行に関する計画を附記すること。