

**研究拠点形成事業（A. 先端拠点形成型）**  
**最終年度 実施報告書（平成25年度採択課題）**

（※本報告書は、前年度までの実施報告書とともに事後評価資料として使用します。）

### 1. 拠点機関

日本側拠点機関：	東京大学 宇宙線研究所
（米国）拠点機関：	カリフォルニア工科大学
（ドイツ）拠点機関：	マックスプランク研究機構
（英国）拠点機関：	グラスゴー大学
（オランダ）拠点機関：	原子物理学高エネルギー物理学研究所
（イタリア）拠点機関：	ヨーロッパ重力観測所
（オーストラリア）拠点機関：	西オーストラリア大学
（韓国）拠点機関：	高麗大学
（中国）拠点機関：	北京師範大学
（中国）拠点機関：	上海師範大学
（台湾）拠点機関：	国立清華大学
（インド）拠点機関：	天文・宇宙物理共同利用機関
（ベトナム）拠点機関：	ハノイ師範大学
（フランス）拠点機関：	フランス国立科学研究センター

### 2. 研究交流課題名

（和文）：重力波天文学の創成  
（交流分野： 重力波天文学 ）

（英文）：Establishment of gravitational wave astronomy  
（交流分野： Gravitational Wave Astronomy）

研究交流課題に係るホームページ：<http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/>

### 3. 採用期間

平成 25 年 4 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日  
（ 5 年度目）

### 4. 実施体制

#### 日本側実施組織

拠点機関：東京大学宇宙線研究所

実施組織代表者（所属部局・職・氏名）：宇宙線研究所・所長・梶田隆章

コーディネーター（所属部局・職・氏名）：宇宙線研究所・教授・大橋正健

協力機関：東京大学、大学共同利用機関法人自然科学研究機構国立天文台、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、東京工業大学、独立行政法人産業技術総合研究所、

大阪市立大学、大阪大学、電気通信大学、独立行政法人情報通信研究機構、富山大学、新潟大学、防衛大学校

事務組織：東京大学宇宙線研究所

**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) California Institute of Technology

(和文) カリフォルニア工科大学

コーディネーター（所属部局・職・氏名）

(英文) Division of Physics, Mathematics and Astronomy・Professor・

Rana ADHIKARI

協力機関：(英文) University of Florida

(和文) フロリダ大学

協力機関：(英文) Rochester Institute of Technology

(和文) ロチェスター工科大学

協力機関：(英文) University of Minnesota

(和文) ミネソタ大学

協力機関：(英文) Syracuse University

(和文) シラキュース大学

協力機関：(英文) Louisiana State University

(和文) ルイジアナ州立大学

協力機関：(英文) MIT

(和文) マサチューセッツ工科大学

協力機関：(英文) LIGO Laboratory

(和文) レーザー干渉計型重力波天文台研究所

経費負担区分 (A型)： パターン1

(2) 国名：ドイツ

拠点機関：(英文) Max Planck Society

(和文) マックスプランク研究機構

コーディネーター（所属部局・職・氏名）：

(英文) Albert Einstein Institute・Senior Researcher・Harald LUECK

協力機関：(英文) Friedrich Schiller University Jena

(和文) フリードリヒ・シラー大学イェーナ

協力機関：(英文) Leibniz Universitaet Hannover

(和文) ハノーファー大学

経費負担区分 (A型)：パターン1

(3) 国名：英国

拠点機関：(英文) University of Glasgow

(和文) グラスゴー大学

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：

(英文) Institute for Gravitational Research・Professor・Sheila ROWAN

協力機関：(英文) University of the West of Scotland

(和文) 西スコットランド大学

経費負担区分 (A型)： パターン1

(4) 国名：オランダ

拠点機関：(英文) NIKHEF

(和文) 原子物理学高エネルギー物理学研究所

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：

(英文) National Institute for Subatomic Physics・Professor・Jo VAN DEN BRAND

経費負担区分 (A型)： パターン1

(5) 国名：イタリア

拠点機関：(英文) European Gravitational Observatory

(和文) ヨーロッパ重力観測所

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：

(英文) Professor・Michele PUNTURO

協力機関：(英文) University of Rome

(和文) ローマ大学

協力機関：(英文) University of Sannio

(和文) サニオ大学

協力機関：(英文) INFN

(和文) 核物理研究所

経費負担区分 (A型)： パターン1

(6) 国名：オーストラリア

拠点機関：(英文) University of Western Australia

(和文) 西オーストラリア大学

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：

(英文) Faculty of Life and Physical Sciences・Professor・David BLAIR

協力機関：(英文) University of Adelaide

(和文) アデレード大学

協力機関：(英文) Australian National University

(和文) オーストラリア国立大学

経費負担区分 (A 型) : パターン 1

(7) 国名 : 韓国

拠点機関 : (英文) Korea University

(和文) 高麗大学

コーディネーター (所属部局・職・氏名) :

(英文) Department of Physics ・ Professor ・ Tai Hyun YOON

協力機関 : (英文) Inje University

(和文) 仁済大学校

協力機関 : (英文) Pusan National University

(和文) 釜山大学校

協力機関 : (英文) Seoul National University

(和文) ソウル大学校

協力機関 : (英文) Hanyang University

(和文) 漢陽大学校

協力機関 : (英文) National Institute for Mathematical Sciences

(和文) 数理科学国立研究所

協力機関 : (英文) Korea Institute for Science and Technology Information

(和文) 韓国科学技術情報研究院

協力機関 : (英文) Myongji University

(和文) 明知大学校

協力機関 : (英文) Sogang University

(和文) 西江大学校

経費負担区分 (A 型) : パターン 2

(8) 国名 : 中国

拠点機関 : (英文) Beijing Normal University

(和文) 北京師範大学

コーディネーター (所属部局・職・氏名) :

(英文) Astronomy ・ Professor ・ Zong-Hong ZHU

協力機関 : (英文) Ting-Hua University

(和文) 清華大学

協力機関 : (英文) University of Science and Technology of China

(和文) 中国科学技術大学

協力機関 : (英文) The Chinese University of Hong Kong

(和文) 香港中文大学

経費負担区分 (A 型) : パターン 2

(9) 国名：中国

拠点機関：(英文) Shanghai Normal University

(和文) 上海師範大学

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：

(英文) Shanghai United Center for Astrophysics・Professor・Xiang-Hua ZHAI

経費負担区分 (A型)：パターン2

(10) 国名：台湾

拠点機関：(英文) National Tsing-Hua University

(和文) 国立清華大学

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：

(英文) Institute for Photonics Technologies・Professor・Shiuh CHAO

経費負担区分 (A型)：パターン2

(11) 国名：インド

拠点機関：(英文) Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics

(和文) 天文・宇宙物理共同利用機関

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：

(英文) Astrophysics division・Professor・Sanjeev V. DHURANDHAR

協力機関：(英文) Indian Institute of Science Education and Research

(和文) インド科学教育研究所

協力機関：(英文) RRI

(和文) ラマン研究所

協力機関：(英文) CMI

(和文) チェンナイ数学研究所

協力機関：(英文) TIFR

(和文) タタ基礎研究所

協力機関：(英文) RRCAT

(和文) ラジャ・ラマンナ先端技術センター

協力機関：(英文) ICTS

(和文) 理論科学国際センター

経費負担区分 (A型)：パターン2

(12) 国名：ベトナム

拠点機関：(英文) Hanoi National University of Education

(和文) ハノイ師範大学

コーディネーター (所属部局・職・氏名)：

(英文) Department of Physics・Associate Professor・NGUYEN Quynh Lan

経費負担区分 (A 型) : パターン 2

(13) 国名 : フランス

拠点機関 : (英文) Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)

(和文) フランス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) Laboratoire des Matériaux Avancés (LMA) ・ Professor ・ Gianpietro CAGNOLI

経費負担区分 (A 型) : パターン 1

## 5. 研究交流目標

### 5-1. 平成 29 年度研究交流目標

<研究協力体制の構築>

(1) アメリカの LIGO は現在、第 2 世代検出器 (Advanced LIGO) の目標感度の 3 分の 1~2 分の 1 が達成されたところであり、現在は第 2 回目の観測を行っているところである。観測のあとはノイズハンティングを行い、さらに感度の向上を目指していく予定である。KAGRA と Advanced LIGO には、レーザー技術、干渉計技術、制御システム、データ取得システムなど共通技術が多く、お互いの優れた点や経験を共有することにより、それぞれの装置の信頼性や完成度が高まることが期待できる。これらに関する共同研究を、主に双方向の研究者交流により継続していく。また、第 2 世代技術に関する共同研究も引き続き行っていく。さらに、第 3 世代技術の開発に関しても、KAGRA の特に低温技術や量子雑音についての共同研究を継続して行っていく予定である。

(2) ヨーロッパのドイツ、英国、イタリア、オランダ、フランスでは第 3 世代検出器 ET の準備研究が進められている。これらの研究者と第 3 世代技術を中心とする共同研究を双方向の人材交換により引き続き行っていく。イタリアの第 2 世代検出器 Advanced Virgo は現在、観測に向けて最終段階のコミッショニングが行われているところでありそれに関する研究者交流も行う。

(3) アジア・オセアニア地域の各国の研究者を、KAGRA に質・量ともによりよい形で参加していただくよう引き続き努力していく。韓国については、強固な研究協力体制のもと双方向の研究者交流によりこれを行っていく。特に KAGRA で実際に使うものの開発に力を入れる。中国に関しては、主に大学院生を日本に招へいすることにより引き続き共同研究を進める。台湾に関しては、宇宙線研究所および高エネルギー加速器研究機構と MOU を結び、データ解析や低温懸架システムに関する共同研究を行い、より多くの研究者に KAGRA に参加していただく。また、台湾の若手研究者に日本に来てもらい共同研究を行う。オーストラリアについては、KAGRA の装置に関する共同開発を進める。インドとは、データ解析について共同研究を進めていく。ベトナムともデータ解析などについて共同研究を進めていく。

## <学術的観点>

KAGRA は、前年度中に第一段階の Initial KAGRA の試験運転を終了させ、最終段階の baseline KAGRA のインストレーションを行ってきた。今年度は低温マイケルソン干渉計の動作と観測を目指していく。それに伴って以下のような研究交流を行う予定である。

(1) 先行するアメリカの LIGO グループから、引き続きインストレーションの手順や特に気を付けるべき点などを学び、その経験を KAGRA に応用することにより、最終段階の装置のインストレーションをスムーズに行うことが期待できる。特に防振システムのクラッキング雑音の研究や量子雑音に関する共同研究を推し進めていく。また、LIGO との間で、重力波ネットワーク観測に影響を与える環境雑音の洗い出しとその対策、また各観測点での環境雑音の影響を調べ、その知見を共有し、より安定した重力波観測ネットワークを構築する。

(2) 第3世代検出器にとっては、『地下設置による地面振動や重力場雑音の低減』、『低温鏡による熱雑音の低減』が必要不可欠の技術であることから、KAGRA の当該技術に関する共同研究を、引き続き主に双方向の研究者交流により行う。これにより、KAGRA の地下および低温の技術をより確かなものにするのができ、最終段階の装置である baseline KAGRA をより信頼性の高いものにするのが可能となる。特に、極低温サファイア技術関係では、イタリアの研究者を宇宙線研の雇用経費を財源として客員教員として迎え、夏に日本に招いてサファイア接合を実施する予定である。これらの研究交流から、KAGRA 低温懸架系 2 セットをインストールする。また、ドイツとは ET の研究および GEO-HF のアップグレードに関する研究で交流を進めていく予定である。また、Virgo と共に、重力波ネットワーク観測に影響を与える環境雑音の洗い出しとその対策、また各観測点での環境雑音の影響を調べ、その知見を共有し、より安定した重力波観測ネットワークを構築する。

(3) アジア・オセアニア地域の各国の研究者に、baseline KAGRA に関する開発に参加していただいたり、実際の現場で KAGRA のインストレーションに参加していただいたりすることにより、装置の建設を迅速に進めていく。韓国との間では、チルト・センサーを高感度を保ったままより安価に制作し、インプット・モード・クリーナーのすべてのミラーにインストールする。このセンサーをインプット・モード・クリーナー共振器制御の総合的なシステムの一つとして、各ミラーの傾き計測を行い、ミラーの振り子を利用したミラー揺れのダンピングや、インプット・モード・クリーナー共振器の動作点引き込みの安定化を行う。また、KAGRA の新しい主データ保管装置に対応したデータ転送ならびに複製保管の方針をさだめ、ソフトウェアによるデータ転送の仕組みを更新する。また、主に多変量解析による偽検出率の低減法の共同開発を進め、iKAGRA 試験観測データを用いた重力波探査に、偽検出率低減法を適用していく。中国との間ではデータ解析に関する共同研究を行う。台湾に関しては、重力波干渉計のキャリブレーション、及びデータ解析等を中心に研究活動と研究交流を深めていく。また、KAGRA の新しい主データ保管装置に対応したデータ転送ならびに複製保管の方針をさだめ、ソフトウェアによるデータ転送の仕組みを更新する。さらに、極低温冷却技術および低温懸架系制御技術では台湾から引き続き研究員を受け入れて KEK および神岡を拠点として共同研究を実施する予定である。オーストラリアとは引き続きア

ウトプット・モード・クリーナーの懸架系の開発で交流を進めていく予定である。インドに関しては、データ解析について、コンパクト連星合体重力波解析やラジオメトリに関して技術的な交流を行う予定である。ベトナムに関しては、重力波の理論、検出器、データ解析などについての共同研究を進めていく。

#### <若手研究者育成>

(1) 若手研究者、特に大学院生を、アメリカの LIGO グループに派遣して共同研究を行うことにより、LIGO の技術を学んでもらい、それを KAGRA の建設に役立ててもらおう。特に今年度は、LIGO は第 2 回の観測後に高度なノイズハンティングを行う予定であるので、その手法を学んでもらう。また、第 3 世代技術の開発に関する共同研究により若手の技術を高める。

(2) ヨーロッパの研究機関からの研究者と共同研究を行うことにより、第 3 世代技術を習得してもらい、それを baseline KAGRA の設計に役立ててもらおう。特に、低温懸架システムの開発は非常に重要な段階であるので引き続きこれを中心に行う。これと並行して、Advanced Virgo との間で、若手研究者の交流も行う。

(3) アジア・オセアニア地域の各国の若手研究者に、KAGRA に本格的に参加していただくことにより、彼らを将来のアジア・オセアニア地域の重力波研究を担うことのできる研究者へと育てていく。特に、大学院生に将来 KAGRA に参加していただくことも視野に入れてこれを行う。

#### <その他（社会貢献や独自の目的等）>

本共同研究で得られた研究成果を、インターネット、一般講演会、研究機関の一般公開、新聞・雑誌などを通じて広く社会に伝えていく。

### 5-2. 全期間を通じた研究交流目標

重力波は、アインシュタインの一般相対性理論により予言され、2015 年 9 月に Advanced LIGO により初検出された。これは、地球から約 13 億光年離れたところで起こった、太陽の 30 倍程度の質量を持つブラックホール連星の合体から発生した重力波だった。この発見により、中性子星やブラックホールの連星合体、超新星爆発、パルサー、インフレーションなどについて重力波を用いて観測する、いわゆる重力波天文学が誕生した。

我々は、重力波天文学をより発展させていくために、大型低温重力波望遠鏡 KAGRA 計画を推進している。KAGRA は 3km の基線長を持ち、Advanced LIGO や Advanced Virgo などの重力波検出器の標準である第 2 世代技術に加えて、『地下設置による地面振動や重力場雑音の低減』、『低温鏡による熱雑音の低減』という、第 3 世代重力波検出器に必要な 2 つの特徴を持つ。

本研究拠点形成事業の目標は、(1) アメリカの LIGO グループと、KAGRA の第 2 世代技術を中心とする共同研究および、(2) ヨーロッパの第 3 世代検出器 ET 開発グループと KAGRA の第 3 世代技術を中心とする共同研究を行い、(3) アジア・オセアニア地域の

各国の研究者に、KAGRA に本格的に参加していただくことにより、我が国と世界各国の研究教育拠点機関をつなぐ持続的な協力関係を確立し、世界の重力波ネットワークの中核的拠点、特にアジア・オセアニア地域における研究交流拠点を構築することである。また、これらの国々との双方向の研究者交流やワークショップの開催を通じて、次世代の重力波研究を担う若手研究者を育成する。そして、KAGRA を成功へと導き、重力波観測のネットワークに参加する。また本事業の終了後も中核的な国際研究交流拠点として継続的な研究交流を行い、重力波天文学のさらなる発展を目指していく。

### 目標に対する達成度とその理由

研究交流目標は十分に達成された

研究交流目標は概ね達成された

研究交流目標はある程度達成された

研究交流目標はほとんど達成されなかった

#### 【理由】

本研究拠点形成事業によって、(1) アメリカの LIGO グループと、KAGRA の第 2 世代技術を中心とする共同研究および、(2) ヨーロッパの第 3 世代検出器 ET 開発グループと KAGRA の第 3 世代技術を中心とする共同研究を行い、(3) アジア・オセアニア地域の各国の研究者に、KAGRA に本格的に参加していただくことにより、我が国と世界各国の研究教育拠点機関をつなぐ持続的な協力関係を確立することに成功した。例えば、LIGO-Virgo と新しい MOU を締結することを目標として、様々な作業を行っていく合意が得られた。また、アジア・オセアニア地域における研究交流拠点を構築することができた。さらに、これらの国々との双方向の研究者交流やワークショップの開催を通じて、次世代の重力波研究を担う多くの若手研究者を育成した。具体的には、台湾で開催された International Workshop on KAGRA には研究員 2 名、学生 4 名を派遣し、主に低温懸架やキャリブレーションに関する共同研究交流を行い、台湾からはポスドクと大学院生の各 1 名が長期及び短期で受入れ、KAGRA のキャリブレーション共同研究として装置の開発、設置などに従事して頂いた。中国北京からは、大学院生 1 名が長期で富山大学に滞在し、KAGRA 入射光学系の共同研究に従事し技術を学んだ。韓国からはポスドク 1 名が来日し、共同研究の一環であったチルトセンサーについて、実際に KAGRA へ導入する作業を行った。

今後、KAGRA を成功へと導き、世界の重力波観測のネットワークに参加し、中核的な国際研究交流拠点として継続的な研究交流を行い、重力波天文学のさらなる発展を目指していくための準備がほぼ完了した。

## 6. 研究交流成果

### 6-1. 平成 29 年度の成果

<研究協力体制の構築状況>

(1) アメリカの LIGO は現在、第 2 世代検出器 (Advanced LIGO) の目標感度の 2 分

の1程度が達成されたところであり、現在は第2回目の観測を終え、得られたデータの解析、およびさらなる感度の改善を目指してノイズハンティングを行っている。KAGRA と LIGO には、レーザー技術、干渉計技術、制御システム、データ取得システムなど共通技術が多く、これらに関する共同研究を、主に双方向の研究者交流により継続して行った。

特に、KAGRA で使用されている電気光学変調器、ファラデーアイソレータは、フロリダ大学において熱レンズなどの特性評価を行ってきた。このため既に協力関係にあるが、各素子等の特性についてフロリダ大学の研究者と議論を重ねることにより、さらに深い協力体制となった。

さらに、第3世代技術の開発に関しても、KAGRA の特に低温技術や量子雑音についての共同研究を継続して行った。

また、LIGO-Virgo の会議に、KAGRA のメンバーが参加し、LIGO Scientific Collaboration (LSC)や Virgo の代表者らと KAGRA の次期観測への参加に向けた LIGO-Virgo-KAGRA の3極の共同研究体制構築について話し合いを行った。その結果、平成30年9月のLIGO-Virgoの会議にて新しいMOUを締結することを目標として様々な作業を行っていくこととなっている。また、LIGO や Virgo の多くの参加者に KAGRA への協力を呼びかけ、ポジティブな反応を得ると共に、具体的に KAGRA の作業への参加についての話も数件行った。

また、KAGRA の研究者が、マルチメッセンジャー天文学にフォーカスを置いた国際学会 IAU で KAGRA の進捗と展望を発表し、LIGO や Virgo の関係者らと議論を深めた。その際、KAGRA のポスドク・大学院生とともに LIGO リビングストーン観測所を訪問し、その研究者や大学院生と情報交換・交流を行った。

また、フランスの CNRS-APC との間では KAGRA のアップグレードを視野に入れた、周波数依存スキージングの共同研究も行われた。先方の研究者や大学院生数名が日本を訪問し、共同研究を行った。CNRS-APC とは、結晶コーティングに関する共同研究も行った。

(2) ヨーロッパのドイツ、英国、イタリア、オランダ、フランスでは第3世代検出器 ET の準備研究が進められている。これらの研究者と第3世代技術を中心とする共同研究を双方向の人材交換により引き続き行った。また、イタリアの第2世代検出器 Advanced Virgo は現在、観測を終え、得られたデータの解析、およびさらなる感度の改善を目指してノイズハンティングを行っているところである。

特に、観測前のコミッショニングの段階での Virgo への訪問は、重力波検出器の最終的な感度出しという最も重要な段階における、Virgo と KAGRA の研究協力体制を構築するのに重要な役割を果たした。本訪問では、KAGRA の主干渉計部分を担う大学院生2名が Virgo を訪問し、Virgo の最終的な感度出し段階における主干渉計の調整作業に参加した。この2名の参加は KAGRA 側から Virgo 側への協力であるが、今後、同様に KAGRA の主干渉計グループのメンバーが Virgo において協力して調整作業に参加することや、反対に Virgo の主干渉計の経験に富んだメンバーが KAGRA の感度出し段階に協力し貢献すること、といった近い将来の研究協力体制への道筋をつけた。

(3) アジア・オセアニア地域の各国の研究者を、KAGRA に質・量ともに前年度までよりよい形で参加していただいた。

韓国については、強固な研究協力体制のもと双方向の研究者交流によりこれを行った。特に KAGRA で実際に使うものの開発に力を入れた。例えば、KAGRA の研究者が Sogang Univ.を訪問し、チルトセンサーの研究協力の打ち合わせを行い、その後、彼らが開発したチルトセンサーを彼らと KAGRA 側の研究者が協力して KAGRA に導入するなど、研究協力体制を確固たるものとするなどした。

中国に関しては、KAGRA の研究者が北京師範大学を訪問し、今後の協力体制について話し合い、大学院生を日本に招へいし、KAGRA に関する研究を行ってもらうことで合意し、それを実現させた。

台湾に関しては、宇宙線研究所および高エネルギー加速器研究機構と MOU を結び、データ解析や低温懸架システムに関する共同研究を行い、前年度までより多くの研究者に KAGRA に参加していただいた。また、台湾の若手研究者に日本に来てもらい共同研究を行った。なお、Academia Sinica (AS) は 2016 に台湾から KAGRA に参加した比較的新しいグループながらも、キャリブレーションサブグループ (CAL) のチーフ、サブチーフとしての役割を受けもってもらい、海外コラボレータとして KAGRA 重力波望遠鏡の設置及び運営の一部を担っていただくことができた。ICRR-AS および、KEK-AS 間の MOU 締結の後、拠点形成事業の支援を受けながら、光子輻射圧の原理を用いた重力波キャリブレーション装置の開発、KAGRA トンネル内への装置の設置、および、関連技術を応用して得られたサブファイアテストマスの遠隔監視システムの構築などで貢献していただいた。また、第 3 回 KAGRA 国際ワークショップを AS で開催することにより、学生や事務スタッフも含めたグループ全体のアクティビティを確認することができ、より深い協力体制を築くことができた。

オーストラリアについては、KAGRA のアウトプット・モード・クリーナーの防振装置に関する共同開発を継続して進めた。

インドとは、データ解析について共同研究を進めた。特に、インドで進行中の LIGO-India 計画に関連し、KAGRA との間でデータ解析とコンピュータ環境構築に関する協力関係の更なる発展のための方策について議論を行った。

ベトナムとは、連星中性子合体から発生する重力波の波形シミュレーションに関し、理論的な手法開発に関する研究を行った。また、第三世代重力波望遠鏡で必要とされる、結晶性光学薄膜の性能評価方法に関し議論を行った。さらに、ベトナムの研究者に対する重力波研究への理解を得て、さらに共同研究者を増やすことを目的とし、ハノイ教育大学等での KAGRA 国際ワークショップの開催について、その具体的実現案について議論した。

以上、LIGO-Virgo とは、新しい MOU を締結することを目標として様々な作業を行っていくことに合意するなどし、ET との間では低温懸架システムの KAGRA への導入などの密接な研究協力体制を維持し、アジア・オセアニア地域の諸国とも KAGRA に質・量ともに前年度までよりよい形で参加していただき、全体として、各参加国と密接な研究協力体制を構築することができた。

### <学術面の成果>

KAGRA は、最終段階の baseline KAGRA の導入を行ってきた。今年度は低温マイケルソン干渉計の動作にあとわずかと迫ることができた。それに伴って以下のような研究交流の成果を上げた。

(1) 先行するアメリカの LIGO グループから、引き続きインストレーションの手順や特に気を付けるべき点などを学び、その経験を KAGRA に応用することにより、最終段階の装置のインストレーションをスムーズに行った。

特に防振システムのクラッキング雑音の研究や量子雑音に関する共同研究を推し進めた。KAGRA の研究者がカリフォルニア工科大学を訪問し、彼らの実験に参加することにより、KAGRA 側で行っている実験をよりスムーズに行いこれを完了させることができた。その結果、KAGRA のクラッキング雑音は目標感度達成の大きな妨げにはならないであろうことが判明した。

また、KAGRA の研究者がフロリダ大学を訪問し、電気光学変調器の残留強度雑音や重力波検出器で問題となる散乱光の測定方法等について議論した。電気光学変調器の複雑な変調方式については先方の大学院生と共に基礎実験を行った。さらにフロリダ大学で開発中のソレノイドコイルを使用したファラデーアイソレータなどの新たな技術を見学することにより、重力波検出器に使用できる新しい技術を学ぶことができた。

また、LIGO との間で、重力波ネットワーク観測に影響を与える環境雑音の洗い出しとその対策、また各観測点での環境雑音の影響を調べ、その知見を共有し、より安定した重力波観測ネットワークを構築した。

また、LIGO-Virgo の会議に参加することにより、LIGO-Virgo の第 2 期観測の観測結果に関する最新の情報を得ることができた。

IAU 国際会議では、重力波による中性子連星合体と、その他のマルチメッセンジャー望遠鏡との同時観測が会議当日に発表され、最速で研究発表を聞くことができた。

LIGO リビングストーン観測所の訪問には KAGRA の研究者、ポスドク、大学院生 2 名が参加した。大学院生 2 名は、それぞれ、環境センサを用いた実験と 523nm レーザーを用いた干渉計制御実験について、LIGO の研究者らと議論を交わした。またポスドクは、LIGO の CDS システムについて情報交換を行った。CDS システムは、計算機を用いたリアルタイム制御システムであり、KAGRA では LIGO との技術提携に基づき同じものを使用している。KAGRA で見られる問題や不具合について、有用な指摘を得ることができた。

また、Amaldi 国際会議に KAGRA 研究者や大学院生が参加し、KAGRA の現状報告をするとともに、KAGRA のコミッショニングに関する様々な議論を行い、重要な情報を得ることができた。

(2) 第 3 世代検出器にとっては、『地下設置による地面振動や重力場雑音の低減』、『低温鏡による熱雑音の低減』が必要不可欠の技術であることから、KAGRA の当該技術に関する共同研究を、引き続き主に双方向の研究者交流により行った。これにより、KAGRA の地下および低温の技術をより確かなものにするのができ、最終段階の装置である baseline

KAGRA をより信頼性の高いものにすることが可能となった。

特に、極低温サファイア技術関係では、イタリアの研究者を宇宙線研の雇用経費を財源として客員教員として迎え、サファイア接合を実施した。これらの研究交流から、KAGRA 低温懸架系 1 セットの導入を完了させることができた。もう 1 セットは現在インストール中である。

また、ドイツとは ET の研究および GEO-HF のアップグレードに関する研究で交流を進めた。

また、Virgo と共に、重力波ネットワーク観測に影響を与える環境雑音の洗い出しとその対策、また各観測点での環境雑音の影響を調べ、その知見を共有し、より安定した重力波観測ネットワークを構築した。

また、イタリアとは、低温で動作する加速度計の開発、KAGRA のクライオスタットのサイトにおける共振振動計測での共同研究を実施した。

また、Virgo への KAGRA の大学院生の訪問では、検出器の感度を制限している技術的な雑音を一つ一つ取り除いていく作業に参加した。具体的には、散乱光由来と思われる雑音の散乱源の究明、散乱雑音の大きさが予想より大きいことの原因の絞り込み、突然グラウンドループの雑音が大きくなってしまった問題の原因の特定などを行った。このような雑音特定・低減のプロセスは、Virgo の LIGO との共同観測にとって不可欠であったものであり、本訪問では、LIGO・Virgo の共同観測による 2 例の重力波検出にとって重要な一部分に参加したと言える。

また、フランスの CNRS-APC との間では周波数依存スクイーミングや結晶コーティングに関する共同研究も行い、一定の成果を上げた。

(3) アジア・オセアニア地域の各国の研究者に、baseline KAGRA に関する開発に参加していただいたり、実際の現場で KAGRA の導入に参加していただいたりすることにより、装置の建設を迅速に進めることができた。

韓国との間では、チルトセンサーを高感度を保ったまま、より安価に制作し、インプット・モード・クリーナーの一部のミラーにインストールした。制作やインストールなどの主要な部分は韓国のグループが主体的に行い、良好な動作結果を得ることができた。これに関しては、韓国と KAGRA の共著論文を執筆しすでに投稿済みである。また、KAGRA の新しい主データ保管装置に対応したデータ転送ならびに複製保管の方針をさだめ、ソフトウェアによるデータ転送の仕組みを更新した。また、主に多変量解析による偽検出率の低減法の共同開発を進め、iKAGRA 試験観測データを用いた重力波探査に、偽検出率低減法を適用した。また、韓国の重力波グループ KGWG と望遠鏡診断ソフトウェアの開発で共同研究を行った。将来の LIGO、Virgo との共同観測に向けて、観測データの質を LIGO、Virgo と同様の基準を定めるため、韓国グループは LIGO のソフトウェアの KAGRA への導入を行い、iKAGRA データに適用してデータの質の評価を行った。この共同研究のために、KAGRA の研究者が韓国の KASI を訪問した。また、韓国からは GIST の大学院生が 1 か月半の期間、KAGRA サイトに滞在して、データの質を評価するソフトウェアの共同開発を行った。

中国との間ではデータ解析に関する共同研究を行った。また、北京師範大学大学院生を

富山大学で受入れ、約 2 ヶ月間にわたり入射光学系の開発実験を行い、これを当初の予定よりスムーズに進めることができた。

台湾に関しては、重力波干渉計のキャリブレーション、及びデータ解析等を中心に研究活動と研究交流を深めた。また、KAGRA の新しい主データ保管装置に対応したデータ転送ならびに複製保管の方針をさだめ、ソフトウェアによるデータ転送の仕組みを更新した。さらに、極低温冷却技術および低温懸架系制御技術では台湾から引き続き研究員を受け入れて、KEK および神岡を拠点として共同研究を実施した。また、LIGO での初検出以来、重力波を用いた新たな物理解明の研究が進んでいる。重力波検出器の精密なキャリブレーションはそれに不可欠なプロセスであり、拠点形成事業の支援の下、KAGRA におけるキャリブレーションの開発の貢献を通して、重力波を用いた未知の物理解明に貢献するための重要な一部を担っていただいた。また、台湾における第 3 回 KAGRA 国際ワークショップにおいては、baseline KAGRA へ向けた取り組みについての報告があり、その進捗状況が確認され、将来の KAGRA のアップデートについても議論がなされた。LIGO-Virgo-KAGRA の世界的な重力波観測網を築き上げる上で、互いの測定器由来の誤差を検証する上でもキャリブレーションの研究と理解は今後大きな国際貢献を行えると期待される。

オーストラリアとは引き続きアウトプット・モード・クリーナーの懸架系の開発で交流を進めた。特に、KAGRA の大学院生を西オーストラリア大学に派遣し、これに関する共同研究を行った。共同研究の成果は国際学会で発表され、Proceeding 論文も 1 本出版された。また、オーストラリアで行われた国際会議に KAGRA のメンバーが参加し、会議の参加者と次世代極限重力波望遠鏡の鏡の候補素材であるシリコン基材、コーティング素材である結晶化膜の機械的・光学的損失に関する知見や、量子雑音を低減するスピードメーター技術、共振器光不安定性回避に関する基礎研究について議論を深めた。

インドに関しては、データ解析について、コンパクト連星合体重力波解析やラジオメトリに関して技術的な交流を行った。

ベトナムに関しては、重力波の理論、検出器、データ解析などについての共同研究を進めた。

#### <若手研究者育成>

(1) 若手研究者、特に大学院生を、アメリカの LIGO グループに派遣して共同研究を行うことにより、LIGO の技術を学んでもらい、それを KAGRA の建設に役立ててもらった。また、第 3 世代技術の開発に関する共同研究により若手の技術を高めた。

また、日米の若手研究者がフロリダ大学で会することにより、若手育成の足場を作る機会となった。具体的には、LIGO グループで研究をおこなっているポスドクや大学院生らと若手で議論をすることができたことは、先方および日本の若手育成に寄与したといえる。

また、LIGO-Virgo の会議に KAGRA の大学院生数名が参加し、研究発表を行うと共に、多くの参加者と議論を行い、若手育成の点から非常に有意義であった。

また、LIGO リビングストーン観測所を訪問したポスドク・大学院生 3 名は、いずれも LIGO の実際のサイトを見るのは初めてのことであり、世界最高感度を出している観測所の

雰囲気を経験してもらうことができた。研究者とも交流できたため今後の研究でも技術互換や情報交換が進むと期待できる。

(2) ヨーロッパの研究機関からの研究者と共同研究を行うことにより、第3世代技術を習得してもらい、それを **baseline KAGRA** の設計に役立ててもらった。特に、低温懸架システムの開発は非常に重要な段階であるので引き続きこれを中心に行った。

これと並行して、**Virgo** との間で、若手研究者の交流も行った。クライオスタットの振動計測では、日本側の大学院生が、その成果を修士論文にまとめるに至り、論文投稿することが決まった。

また **KAGRA** 側から研究者と大学院生が **Virgo** のコミッショニングの一つである、鏡のシリカファイバーへの交換作業に参画し、**Virgo** の性能向上と次期観測への準備活動に貢献し、かつ、現地で次世代極限重力波望遠鏡における低温吸着による鏡の性能劣化などに関する問題点と解決方法などについても議論した。また、**Virgo** への大学院生2名の訪問は、若手研究者育成という点について、極めて重要な役割を果たした。本訪問では彼らは **Virgo** の最終的な感度出し段階における主干渉計の調整作業に参加した。このような作業への参加は非常に貴重な経験である。なぜなら検出器が完成して観測段階に入ってしまうとこのような作業は行われなためである。その経験を大学院生2名が得たことにより、近く行われる **KAGRA** の観測段階に向けた **KAGRA** の感度出し段階において、この2名がその経験を生かして主体的に活躍するものと思われる。このような点において、本訪問が若手研究者育成に対して果たした役割は大きいと言える。

また、フランスの **CNRS-APC** との間で行った周波数依存スキージングや結晶コーティングに関する共同研究においては、若手研究者を長期間受け入れ、彼らの育成に役立てた。

(3) アジア・オセアニア地域の各国の若手研究者に、**KAGRA** に本格的に参加していただくことにより、彼らを将来のアジア・オセアニア地域の重力波研究を担うことのできる研究者へと育てた。特に、大学院生に将来 **KAGRA** に参加していただくことも視野に入れてこれを行った。

また、**KAGRA** の大学院生を西オーストラリア大学に派遣し共同研究も行った。

また、台湾からは、複数名の学生、ポスドク研究員を **KAGRA** 観測施設に派遣していただき、現地での検出器開発や設置作業、制御、及び、データ解析などの重力波実験に直接携わる貴重な機会を与えることができた。また、台湾における第3回 **KAGRA** 国際ワークショップにおいては、多くの学生による発表があり、特に低温鏡及び低温懸架系の開発研究に対して若手の育成が進んでいることが感じられた。

また、北京師範大学の大学院生を富山大学の研究室で受入れ、約2ヶ月間にわたり入射光学系に関する教育を行った。その間、富山大学大学院生との交流や **KAGRA** 会議への参加などで相互理解を深めた。

以上、**LIGO** や **Virgo** のコミッショニングに **KAGRA** の若手研究者が参加したり、アジア諸国の若手研究者に **KAGRA** に本格的に参加していただくことにより、若手研究者の育成を効果的に行うことができた。

<社会貢献や独自の目的等>

KAGRA の目的、方法、現状などについては、インターネットや新聞、雑誌、講演会などを通じて発信した。たとえば、新聞としては、朝日新聞(2017.6.22; 2017.7.30; 2017.10.5)、毎日新聞(2017.10.4)、読売新聞(2017.10.5)、中日新聞(2017.8.11; 2017.9.18; 2017.10.4; 2017.10.5; 2018.3.3; 2018.3.9; 2018.3.10)等がある。講演会については、第27回青少年のための科学の祭典(2017.8.19、150名)、JASIS2017サイエンスセミナー(2017.9.8、285名)、第17回IPMU・ICRR合同一般講演会(2017.11.3、369名)、岐阜県市町村教育委員会連合会研究総会講演会(2017.11.10、250名)、はまぎんキッズ・サイエンス(2017.11.18、200名)等がある。また、市民見学会(2017.9.17、212名)を行い、一般の市民の方々にKAGRAの見学をしていただいた。このように、社会一般へ情報等を共有することで取り組みを周知し、研究への理解や学問への関心を高めた。

- (1) 平成29年度に学術雑誌等に発表した論文・著書 5本  
うち、相手国参加研究者との共著 2本
  - (2) 平成29年度の国際会議における発表 0件  
うち、相手国参加研究者との共同発表 0件
  - (3) 平成29年度の国内学会・シンポジウム等における発表 0件  
うち、相手国参加者との共同発表 0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。)

## 6-2 全期間にわたる研究交流成果

### (1) 研究協力体制の構築状況

#### ① 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)

日本側拠点機関である、東京大学宇宙線研究所は、拠点機関として、研究交流の策定および事務処理を行った。

研究交流の策定に関しては、コーディネーターが数名の他機関の委員とともに、拠点形成事業の運営委員会を作り、そこで、全体の方針および各年度ごとの研究交流案の策定を行った。そして、それに基づき、全KAGRAメンバーに各研究交流への参加を募った。希望者が多すぎる場合は、運営委員会において議論し、各研究交流への参加者を決定した。また、行うべき研究交流に対して希望者がいない場合は、もっとも適任であると思われるKAGRAメンバーに参加を打診するなどして、全体の研究交流を最適化した。

#### ② 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)

KAGRA側には、各相手国拠点機関とのやりとりに関する窓口的な研究者が存在し、その研究者と各相手国拠点機関の代表者との間で具体的な研究交流が進められた。

### ③ 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）

事務処理に関しては、東京大学宇宙線研究所の特任専門職員が、各参加者の旅費の事務手続きを行った。また、東京大学宇宙線研究所の事務室は、拠点形成事業の研究実施計画や研究報告などの提出に関する支援を行った。

## （２）学術面の成果

KAGRA は、平成 28 年度の当初に、第一段階の検出器である initial KAGRA の試験運転を完了させ、その後、initial KAGRA の解体と、最終段階の検出器である baseline KAGRA のインストレーションを行ってきた。平成 29 年度末までに、低温マイケルソン干渉計の動作にあとわずかと迫ることができた。それに伴って以下のような研究交流の成果を上げた。

① LIGO との間では、KAGRA 側の研究者が LIGO のコミッショニングに参加することにより、平成 26 年度の後半からスタートした KAGRA のコミッショニングをスムーズに進める上での貴重な情報と経験を得ることができた。また、LIGO にとっても KAGRA の研究者が参加することにより、コミッショニングをより効率的に進めることが可能となった。さらに、種々の会議で議論を重ねることにより、双方のコミッショニングに関する理解がより一層深まった。また、第 2 世代検出器の個別技術や、第 3 世代検出器に関する開発研究においても共同研究を行い多くの成果を上げた。以下に、その例を示す。

- ・Advanced LIGO が最初の観測の前に最後の調整を行っている段階での日本側の研究者の訪問により、Advanced LIGO の各システム、例えば、入射光学システムやレーザー安定化システムなどについて彼らの経験から得られた貴重なノウハウを学ぶことで、KAGRA のコミッショニングをスムーズに行うことに役立てることができた。

- ・LIGO の入射光学システムについて LIGO の経験から得られた貴重なノウハウを学ぶことで、KAGRA のインストレーションをスムーズに行うことに役立てることができた。

- ・KAGRA の研究者のノイズハンティングに関する知識を先方の研究者と共有することで、Advanced LIGO のコミッショニングの手助けを行うことができた。

- ・KAGRA のハイパワー用ファラデーアイソレーターの開発をフロリダ大学と共同で行い、これを製作し、無事インストールし、動作の確認を行った。

- ・KAGRA の大学院生が LIGO の拠点に 2 か月近く滞在し、LIGO の強度安定化システム等の改良を共同研究として行った。これは LIGO のためのものだが、baseline KAGRA でもそこで改良したシステムをそのまま使うことができるという意味で双方にとって非常に有益な共同研究であった。

- ・双方の検出器の防振システムに存在するであろうクラックリング雑音に関する共同研究を行った。KAGRA の研究者がカリフォルニア工科大学を訪問し、彼らの実験に参加することにより、KAGRA 側で行っている実験をよりスムーズに行いこれを完了させることができた。その結果、KAGRA のクラックリング雑音は目標感度達成の大きな妨げにはならないであろうことが判明した。

- ・KAGRA 側の研究者が Advanced LIGO のプリ・モードクリーナーの改造に協力するとともに、LIGO の研究者には日本を訪問してレーザー安定化システムの開発に協力していただいた。

- ・入射光学系のハイパワー電気光学変調器の共同開発をフロリダ大との間で行い、最終的に baseline KAGRA で使うハイパワー電気光学変調器を完成させることができた。

- ・LIGO との間で、重力波ネットワーク観測に影響を与える環境雑音の洗い出しとその対策、また各観測点での環境雑音の影響を調べ、その知見を共有し、より安定した重力波観測ネットワークを構築した。

- ・LIGO リビングストーン観測所を訪問し、LIGO のリアルタイム制御システムについて情報交換を行い、KAGRA で見られる問題や不具合について、有用な指摘を得ることができた。

② ヨーロッパの第3世代検出器 ET 開発グループとの研究交流により、低温、防振、量子雑音低減などに関する共同研究が行われた。その結果、KAGRA で用いられる低温懸架システムにおいて、強度、熱伝導度、機械的ロスなどに関する厳しい条件を満たす技術の開発に成功し、低温懸架システムの設計が完了した。そして、低温懸架システムはインストールされ、その動作が確認された。これらの成果は、同時に、ET の技術開発につながるものとなった。また、Advanced Virgo のインストレーションやコミッショニングに参加し、そのノウハウを学び KAGRA の防振システムのインストレーションやコミッショニングに役立てることができた。また、第2世代検出器の個別技術や、第3世代検出器に関する開発研究においても共同研究を行い多くの成果を上げた。以下に、その例を示す。

- ・ドイツで行われた熱雑音に関するワークショップに KAGRA から多くの大学院生が参加し熱雑音低減に関する議論を行い、その後の低温懸架システムの設計に役立てた。

- ・オランダ及びイギリスと、LIGO パイプラインによる連星合体重力波のパラメータ推定について技術的な交流を行った。

- ・極低温サファイア技術関係では、イタリアの研究者を宇宙線研の雇用経費を財源として客員教員として迎え、サファイア接合を実施した。これらの研究交流から、KAGRA 低温懸架系1セットのインストールを完了させることができた。

- ・Virgo と共に、重力波ネットワーク観測に影響を与える環境雑音の洗い出しとその対策、また各観測点での環境雑音の影響を調べ、その知見を共有し、より安定した重力波観測ネットワークを構築した。

- ・イタリアと、低温で動作する加速度計の開発、KAGRA のクライオスタットのサイトにおける共振振動計測での共同研究を実施した。

- ・KAGRA の大学院生が Virgo のコミッショニングに参加した。検出器の感度を制限している技術的な雑音を一つ一つ取り除いていく作業に参加し、LIGO・Virgo の共同観測による2例の重力波検出にとって重要な一部分に参加した。

- ・フランスの CNRS-APC との間で、周波数依存スキージングや結晶コーティングに関する共同研究も行き、一定の成果を上げた。

③ アジア・オセアニア地域の各国の研究者とさまざまな分野における共同研究を行った。特に、アジアの研究者や大学院生に、KAGRA や周辺研究機関を訪問していただき、KAGRA のサブシステムの設計、製作、インストレーション、コミッショニング等を、主体的に、あるいはサポート的に遂行していただき、多くの成果を上げた。以下に、その例を示す。

#### [韓国]

- ・韓国と共同で開発した、ファイバー・リング・キャビティを使ったレーザー周波数の安定化システムを initial KAGRA の入射光学系に用い、良好な動作を確認した。

- ・韓国側が開発したチルトセンサーを、インプット・モード・クリーナーの一部のミラーにインストールした。制作やインストールなどの主要な部分は韓国のグループが主体的に行い、良好な動作結果を得ることができた。これに関しては、韓国と KAGRA の共著論文を執筆しすでに投稿済みである。

- ・ initial KAGRA の運転データを韓国のサイトに複製保管した。

- ・検出器の特性評価に関して、artificial neural network をベースとした非定常雑音判定手法を KAGRA に取り入れる研究、Hilbert Huang 変換を用いた非定常雑音検出手法についての共同研究、相関解析による多チャンネル解析についての共同研究などを進めた。

- ・データ解析において、マッチドフィルター解析によってみつかるコンパクト連星合体重力波イベント候補に対して、マルコフ連鎖モンテカルロ法によってパラメータ決定精度の詳細な評価を行うためのコード開発を行った。

- ・韓国で行われた第 1 回 KAGRA 国際ワークショップに KAGRA から多数の研究者、大学院生が参加し、KAGRA の共同研究に関する議論を行った。

- ・韓国のグループは LIGO のソフトウェアの KAGRA への導入を行い、iKAGRA データに適用してデータの質の評価を行った。

#### [中国]

- ・中国の大学院生に、KAGRA の防振システムのクラックリング雑音の実験装置に数か月参加していただき、これを完了することができた。彼はまた、KAGRA の防振装置のインストレーションにも参加した。

- ・中国の大学院生を富山大学で受入れ、約 2 ヶ月間にわたり入射光学系の開発実験を行い、これをよりスムーズに進めることができた。

- ・中国で開かれた Second International Workshop on KAGRA に KAGRA から多数の研究者、大学院生が参加し、KAGRA の共同研究に関する議論を行った。

#### [台湾]

- ・台湾のポスドク 1 名が東大宇宙線研究所柏キャンパス、高エネルギー加速器研究機構に 4 ヶ月間滞在し低温懸架系の研究活動に従事した。

- ・台湾では KAGRA Tier1 データセンターとして、initial KAGRA 観測以降のデータを定期的にミラーして、データの保全に努めている。また、KAGRA の新しい主データ保管装置に対応したデータ転送ならびに複製保管の方針をさだめ、ソフトウェアによるデータ転送の仕組みを更新した。

・台湾のグループは、キャリブレーション、及びデータ解析等を中心に研究活動と研究交流を行った。

・initial KAGRA 観測シフトに、台湾から数名が参加した。

・台湾における第3回 KAGRA 国際ワークショップにおいては、baseline KAGRA へ向けた取り組みについての報告があり、その進捗状況が確認され、将来の KAGRA のアップデートについても議論がなされた。

[オーストラリア]

・オーストラリアとの研究交流により、KAGRA のレーザーについてはほぼ要求値に近いものができた。

・オーストラリアの研究者を東工大に招へいして共同研究した内容をもとに、東工大の大学院生が西オーストラリア大を訪問し、共同研究を行った。その結果として、KAGRA のアウトプット・モード・クリーナの懸架系開発を加速的に進めることができた。共同研究の成果は国際学会で発表され、Proceeding 論文も1本出版された。

・オーストラリアで行われた国際会議に KAGRA のメンバーが参加し、会議の参加者と次世代極限重力波望遠鏡の鏡の候補素材であるシリコン基材、コーティング素材である結晶化膜の機械的・光学的損失に関する知見や、量子雑音を低減するスピードメーター技術、共振器光不安定性回避に関する基礎研究について議論を深めた。

[インド]

・データ解析について、コンパクト連星合体重力波解析やラジオメトリに関して技術的な交流を行った。

[ベトナム]

・KAGRA の研究者1名が先方を訪問し、薄膜コーティングを専門とする研究者と、第三世代重力波望遠鏡の鏡に必要される薄膜コーティング技術の可能性について議論した。

・重力波の理論、検出器、データ解析などについての共同研究を進めた。

### (3) 若手研究者育成

双方向の若手の交流を通じて、KAGRA 側、そして先方の若手の育成を行った。

① LIGO との間では、主に、KAGRA の若手を LIGO 観測所や周辺研究機関に派遣し、第2世代検出器の設計やインストレーション、そしてコミッショニングのノウハウを学んでもらい、KAGRA の建設に役立てることを念頭に育成を行った。また、LIGO の研究者に KAGRA に来ていただき、若手を指導してもらうことも行った。一方、LIGO の若手に KAGRA あるいは周辺研究機関に来ていただき、KAGRA の第3世代の技術を実際の研究の中で学んでももらうことも行った。また、国際会議での議論を通して若手の育成を行った。以下に、その例を示す。

・KAGRA 側の大学院生が LIGO の観測所に1~2か月滞在し、LIGO の様々なシステムの共同研究を行った。これにより彼らは LIGO のノウハウを学び、それを KAGRA に応用す

ることができた。

- ・LIGO の研究者に KAGRA に来ていただき、Advanced LIGO のコミッショニングについてのノウハウを KAGRA の大学院生に教えていただいた。

- ・日米の若手研究者がフロリダ大学で会することにより、若手育成の足場を作る機会となった。具体的には、LIGO グループで研究をおこなっているポスドクや大学院生らと若手で議論をすることができたことは、先方および日本の若手育成に寄与したといえる。

- ・LIGO-Virgo の会議に KAGRA の大学院生数名が参加し、研究発表を行うと共に、多くの参加者と議論を行い、若手研究者が世界最先端の装置の開発状況を把握し、それを KAGRA に応用する手法を学ぶことができるなど、非常に有意義であった。

- ・LIGO リビングストーン観測所をポスドク・大学院生 3 名が訪問し、世界最高感度を出している観測所の雰囲気を経験してもらうことができた。研究者とも交流できたため今後の研究でも技術互換や情報交換が進むと期待できる。

② ET との間では、主に、先方の若手を KAGRA や周辺研究機関に招待し、第 3 世代検出器の共同研究の中で必要な技術を学んでもらい、ET の建設に役立てることを念頭に育成を行った。また、KAGRA 側の若手を先方の研究機関に派遣し、共同研究を行うことで育成を行った。また、KAGRA の若手を Virgo 観測所に派遣し、インストラクションやコミッショニングのノウハウを学んでもらい、KAGRA の建設に役立てることも行った。また、国際会議での議論を通して若手の育成を行った。以下に、その例を示す。

- ・ヨーロッパの研究機関との間で、大学院生などの若手研究者を短期間～長期間、双方向の交流による共同研究を行うことにより、先進的技術の開発に外国人の研究者とともに研究を行うという貴重な経験を得た。

- ・ET との第 3 世代技術に関して、KAGRA 側の大学院生を含めた多数の若手研究者をワークショップ開催に伴いドイツやイタリアへ派遣、また ET 側から日本へも多数の若手研究者の受入を行うなど、双方向の交流による共同研究を行うことにより、低温や熱雑音に関する開発技術を習得することができた。

- ・ドイツで行われた熱雑音に関するサマースクールに KAGRA から多数の大学院生が参加し熱雑音低減に関する議論を行った。本サマースクールは KAGRA と ET の知見を交換する貴重な場となっている。

- ・Virgo との間で、若手研究者の交流も行った。クライオスタットの振動計測では、日本側の大学院生が、その成果を修士論文にまとめるに至り、論文投稿することが決まった。

- ・KAGRA 側から研究者と大学院生が Virgo のコミッショニングの一つである、鏡のシリカファイバーへの交換作業に参画し、Virgo の性能向上と次期観測への準備活動に貢献し、かつ、現地で次世代極限重力波望遠鏡における低温吸着による鏡の性能劣化などに関する問題点と解決方法などについても議論した。

- ・Virgo へ大学院生がコミッショニング参加のため訪問した。若手研究者育成という点について、極めて重要な役割を果たした。本訪問では彼らは Virgo の最終的な感度出し段階における主干渉計の調整作業に参加した。この経験を大学院生 2 名が得たことにより、KAGRA

の感度出し段階において、主体的に活躍することが期待できる。

- ・フランスの CNRS-APC との間で行った周波数依存スキューニングや結晶コーティングに関する共同研究においては、若手研究者を長期間受け入れ、彼らの育成に役立てた。

③ 主としてアジアの若手に KAGRA あるいは周辺研究機関に来ていただき、KAGRA の第 3 世代の技術を実際の研究の中で学んでもらうことを行った。特に、アジアの大学院生に将来 KAGRA に参加していただくことも視野に入れてこれを行った。また、KAGRA の若手をオーストラリアの研究機関に派遣し、共同研究を行うことで育成した。以下に、その例を示す。

#### [韓国]

- ・韓国の大学院生が、日本にて長期間研究を行うことにより、KAGRA の技術を学び、今後の KAGRA のコミショニングなどへ参加して、研究に貢献するための下地ができた。また、KAGRA 側の大学院生が、韓国の大学院生と一緒に研究を行うことにより、将来の研究交流のボトムアップ的道筋をつけた。

- ・韓国で行われた First International Workshop on KAGRA に KAGRA から多数の大学院生が参加し、KAGRA の共同研究に関する議論を行った。

#### [中国]

- ・中国からは大学院生が来日し、KAGRA の防振システムのクラックリング雑音の研究に数か月間参画し、第 2 段階の実験を完了させた。

- ・中国で開かれた Second International Workshop on KAGRA に KAGRA から多数の大学院生が参加し、KAGRA の共同研究に関する議論を行った。

- ・中国の大学院生を富山大学の研究室で受入れ、約 2 ヶ月間にわたり入射光学系に関する教育を行った。その間、富山大学大学院生との交流や KAGRA 会議への参加などで相互理解を深めた。

#### [台湾]

- ・台湾からは、複数名の学生、ポスドク研究員を KAGRA 観測施設に派遣していただき、現地での検出器開発や設置作業、制御、及び、データ解析などの重力波実験に直接携わる貴重な機会を与えることができた。

- ・台湾における第 3 回 KAGRA 国際ワークショップにおいては、多くの学生による発表があり、特に低温鏡及び低温懸架系の開発研究に対して若手の育成が進んでいることが感じられた。

#### [オーストラリア]

- ・東工大の大学院生が西オーストラリア大を訪問し、共同研究を行った。

以上、LIGO、Virgo、ET、そしてアジア・オセアニア諸国との双方向の若手の交流を通じて、KAGRA 側、そして先方の若手の育成を行った。

#### (4) 国際研究交流拠点の構築

LIGO や Virgo とは、研究協力を行い、KAGRA を一刻も早く完成させ、世界的ネットワークに国際研究交流拠点として参加できるような体制を整えてきた。また、ET との間では第 3 世代検出器の技術開発を行うことで、将来の重力波天文学の一層の発展を可能にするようなフレームワークを構築することができた。また、アジアの国々に対して KAGRA に積極的に参加していただくことにより、アジアにおける重力波検出実験の拠点としての役割を果たしてきた。

① KAGRA と LIGO との間では、以前より共通技術に関する研究協力体制が存在するが、本拠点形成事業による研究交流、例えば KAGRA 側の研究者の LIGO のコミッションングへの参加や、LIGO が主催するコミッションング・ワークショップへの KAGRA 側研究者の参加などを通じて、第 2 世代検出器に関する協力体制が一段と強化された。また、第 3 世代検出器に関しても、技術開発に関する共同研究を行うことで合意するなど、協力体制の構築が開始された。以下に、その例を示す。

- ・アメリカの LIGO グループと、レーザー技術、干渉計技術、制御システム、データ取得システムなどの第 2 世代技術に関する共同研究を、主に双方向の研究者交流により行った。

- ・アメリカでは、低温技術、量子雑音の低減などに関する第 3 世代技術の開発が始まり研究グループが組織されており、KAGRA の特に低温技術や量子雑音などについての意見交換などを行った。

- ・LIGO の将来計画を議論するワークショップにも KAGRA の研究者が参加し、KAGRA との共同研究の議論を行った。

- ・KAGRA で使用されている電気光学変調器、ファラデーアイソレータは、フロリダ大学において熱レンズなどの特性評価が行われてきた。各素子等の特性についてフロリダ大学の研究者と議論を重ねることにより、さらに深い協力体制が構築された。

- ・LIGO-Virgo の会議に、KAGRA のメンバーが参加し、LIGO Scientific Collaboration (LSC) や Virgo の代表者らと KAGRA の次期観測への参加に向けた LIGO-Virgo-KAGRA の 3 極の共同研究体制構築について話し合いを行った。その結果、平成 30 年 9 月の LIGO-Virgo の会議にて新しい MOU を締結することを目標として様々な作業を行っていくこととなった。また、LIGO や Virgo の多くの参加者に KAGRA への協力を呼びかけ、ポジティブな反応を得ると共に、具体的に KAGRA の作業への参加についての話も行った。

- ・KAGRA の研究者が、国際学会 IAU で KAGRA の進捗と展望を発表し、LIGO や Virgo の関係者らと議論を深めた。

- ・その際、KAGRA のポスドク・大学院生とともに LIGO リビングストーン観測所を訪問し、その研究者や大学院生と情報交換・交流を行った。

② KAGRA プロジェクトとヨーロッパのドイツ、英国、イタリア、オランダ、フランスが行っている第 3 世代検出器 ET プロジェクトとの間の研究協力体制は以前より行われてきたが、本事業により、低温懸架システムなどの共同研究を行い、これらを KAGRA にイ

ンストールすることにより、より一層緊密な協力関係が構築された。また、Virgo のコミッションングへの KAGRA の研究者の参加により、第 2 世代検出器においても同様の連携がなされた。これら両面の研究において、内容の豊富な双方向の研究交流をバランスのとれた形で行うことができ、研究協力体制を確固たるものとした。以下に、その例を示す。

- ・ ET の研究者・大学院生が来日し、低温懸架システムの開発などに関する共同研究を行ったり、KAGRA の研究者・大学院生が先方を訪問し、先方の装置などを用いて同様の共同研究を行ったりした。

- ・ 日本で行われた ET と KAGRA の合同会議には、多数の ET の研究者・学生が参加し、低温懸架システムなどの第 3 世代検出器の技術に関する議論を行った。

- ・ ET の研究者が多数、KAGRA や周辺研究機関を訪れ、KAGRA の低温懸架システムなどの設計、製作、インストレーション、コミッションングなどを行った。

- ・ Virgo のコミッションングに KAGRA の研究者らが参加した。特に、観測前のコミッションングの段階での Virgo への訪問は、Virgo と KAGRA の研究協力体制を構築するのに重要な役割を果たした。本訪問では、KAGRA の主干涉計部分を担う大学院生 2 名が Virgo を訪問し、Virgo の最終的な感度出し段階における主干涉計の調整作業に参加した。この 2 名の参加は KAGRA 側から Virgo 側への協力であるが、今後、同様に KAGRA の主干涉計グループのメンバーが Virgo において協力して調整作業に参加することや、反対に Virgo の主干涉計の経験に富んだメンバーが KAGRA の感度出し段階に協力し貢献すること、といった近い将来の研究協力体制への道筋をつけた。

④ アジア・オセアニア地域の各国には、KAGRA の研究の一部を担当して研究を行っていただいた。また、KAGRA の国際会議を各国に開催していただくことにより、一層の連携が強化された。これらの研究交流活動により、我が国と欧米の研究教育拠点機関をつなぐ持続的な協力関係をより強固なものにし、また、世界の重力波ネットワークの中核的拠点、特にアジア・オセアニア地域における研究交流拠点を構築することをさらに進めた。特に、アジア・オセアニア地域からの KAGRA コラボレーターの数を 5 年間で 45 名程増やすことに成功した。以下に、その例を示す。

#### [韓国]

- ・ 韓国との間では、KAGRA に関する具体的な研究項目を立ち上げ、それに関する研究を遂行し、ワークショップや定期的なリモート会議を通して、それらの研究に関する議論をするなど、強固な研究協力体制を築き上げた。

- ・ 韓国については、具体的な研究協力項目を増やしていき、より強固な協力関係を構築した。実際、韓国の研究者には KAGRA に本格的に参加していただき、KAGRA の入射光学系、データ解析、検出器の特性評価などに関する共同研究を行っていただいた。

- ・ 2 名の方に宇宙線研究所客員教授としても来日していただき KAGRA に関する共同研究を行った。

- ・ 韓国の研究者には KAGRA に本格的に参加していただき、KAGRA の入射光学系、補助光学系、検出器の特性評価、データ解析などに関する共同研究を行った。

・強固な研究協力体制のもと、KAGRA で実際に使うものなどの開発を双方向の研究者交流を通して引き続き行った。

・KAGRA の研究者が Sogang Univ.を訪問し、チルトセンサーの研究協力の打ち合わせを行い、研究協力体制を確固たるものにした。

・韓国の研究者に検出器特性評価のサブシステムのサブチーフになってもらった。

・KAGRA に関する国際ワークショップを韓国・大田にて開き、日本、韓国、その他の国から多くの研究者が参加した。

#### [中国]

・KAGRA の研究者が北京師範大学を訪問し、今後の協力体制について話し合い、大学院生を日本に招へいし、KAGRA に関する研究を行ってもらうことで合意し、それを実現させた。

・中国から大学院生が来日し、KAGRA の防振システムのクラックリング雑音の研究および KAGRA の防振装置のインストラクションに3か月間参画した。

・中国で開かれた重力波検出に関するワークショップに KAGRA の研究者が参加し、中国との今後の共同研究に関する打ち合わせを行った。

・KAGRA に関する国際ワークショップを中国・北京にて開き、日本、中国、その他の国から多くの研究者が参加した。

#### [台湾]

・より広い範囲の研究者に KAGRA に参加してもらうため、台湾物理学会において KAGRA の話をし、特別セッションで今後の研究協力の可能性について議論をした。

・台湾において、KAGRA に関するミニワークショップを開き、装置開発、データ解析、データ管理などの項目で共同研究を行っていくことで合意し、これを開始した。

・データ解析や低温懸架システムに関する共同研究を行い、より多くの研究者に KAGRA に参加していただいた。

・Academia Sinica (AS) は 2016 に台湾から KAGRA に参加した比較的新しいグループながらも、キャリブレーション・サブグループのチーフ、サブチーフとしての役割を受けもってもらい、海外コラボレータとして KAGRA 重力波望遠鏡の設置及び運営の一部を担っていただくことができた。

・ICRR-AS および、KEK-AS 間の MOU 締結の後、拠点形成事業の支援を受けながら、光子輻射圧の原理を用いた重力波キャリブレータ装置の開発、KAGRA トンネル内への装置の設置、および、関連技術を応用して得られたサファイアテストマスの遠隔監視システムの構築などで貢献していただいた。

・第3回 KAGRA 国際ワークショップを AS で開催することにより、学生や事務スタッフも含めたグループ全体のアクティビティを確認することができ、より深い協力体制を築くことができた。

#### [オーストラリア]

・レーザーの開発に関する共同研究を行った。

・アウトプット・モード・クリーナーの防振システムの共同開発を行った。

[インド]

- ・データ解析の研究協力が行われた。

[ベトナム]

- ・データ解析などについて共同研究を進めた。
- ・ベトナムで KAGRA に関するワークショップを開催する可能性についても議論した。

#### (5) 社会貢献や独自の目的等

KAGRA の目的、方法、現状などについては、インターネットや新聞、雑誌などを通じて発信している。

#### (6) 予期しなかった成果

韓国の研究者に検出器特性評価のサブシステムのサブチーフになってもらった。また、台湾の研究者 2 名に、キャリブレーション・サブグループのチーフ、サブチーフになってもらった。

#### (7) 今後の課題・問題点及び展望

インド、ベトナムに関してはもう少し交流を増やし共同研究を活発化する必要がある。

#### (8) 本研究交流事業により全期間中に発表された論文等

- ①全期間中に学術雑誌等に発表した論文・著書 30 本  
うち、相手国参加研究者との共著 9 本
- ②全期間中の国際会議における発表 2 件  
うち、相手国参加研究者との共同発表 0 件
- ③全期間中の国内発表・シンポジウム等における発表 0 件  
うち、相手国参加研究者との共同発表 0 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年度及び全期間にわたる研究交流実績状況

### 7-1 共同研究

整理番号	R-1	研究開始年度	平成 25 年度	研究終了年度	平成 29 年度
研究課題名	(和文) 重力波天文学の創成 (英文) Establishment of gravitational wave astronomy				
日本側代表者 氏名・所属・職	(和文) 大橋正健・東京大学宇宙線研究所・教授 (英文) Masatake OHASHI・Institute for Cosmic Ray Research・ The University of Tokyo, Professor				
相手国側代表者 氏名・所属・職	(英文) Rana ADHIKARI・California Institute of Technology・Professor Harald LUECK・Max Planck Society・Senior Researcher Sheila ROWAN・University of Glasgow・Professor Jo VAN DEN BRAND・NIKHEF・Professor Michele PUNTURO・European Gravitational Observatory・ Professor David BLAIR・University of Western Australia・Professor Tai Hyun YOON・Korea University・Professor Zong-Hong ZHU・Beijing Normal University・Professor Xiang-Hua ZHAI・Shanghai Normal University・Professor Shiuh CHAO・National Tsing-Hua University・Professor Sanjeev V. DHURANDHAR・Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics・Professor NGUYEN Quynh Lan・Hanoi National University of Education・ Associate Professor Gianpietro CAGNOLI・Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)・Professor				
29年度の研 究交流活動及び得 られた成果	1. Advanced LIGO への研究者の派遣を行った。特に若手研究者(大学院生を含む)数名を1週間程度派遣し、コミッショニングに参加させた。また、研究者1名を2週間程度派遣し、第3世代検出器に関する共同研究も行った。また、アメリカで開催される重力波の国際会議に KAGRA から数名を派遣しコミッショニングや第3世代技術に関する議論を行った。さらに LIGO の研究者1名に KAGRA に来ていただき KAGRA のコミッショニングに参加していただいた。これらの交流により、baseline KAGRA のインストレーションをスムーズに行うことができた。 2. ET との研究者の双方向交流による第3世代検出器に関する共同研究を行った。特に研究者1名を1週間の期間にわたりイタリアへ派				

遣し、低温技術等に関する共同研究を行った。また、大学院生 3 名を約 1 か月程度 Advanced Virgo に派遣し、コミッショニングに参加させた。また、フランスで開催された重力波の国際会議(GWPAW, Gravitational Wave Physics and Astronomy Workshop)に KAGRA から大学院生 1 名を派遣し、データ解析に関する議論を行った。また、ET の研究者 1~2 名に KAGRA に来ていただき KAGRA のコミッショニングに参加していただいた。これらの双方向交流により、baseline KAGRA の特に低温懸架システムについて KAGRA にインストールすることができた。

3. 韓国との KAGRA で使うシステムや手法に関する共同研究を行った。特にチルトセンサーの開発に関して、KAGRA の研究者が 1 名 1 週間程度韓国を訪れ、またチルトセンサーの KAGRA へのインストレーションのために、韓国の研究者 2 名が 2 週間程度 KAGRA を訪れた。この共同研究により baseline KAGRA の開発とインストレーションを加速することができた。

4. 中国に、研究者 1 名 1 週間派遣し、各種共同研究に関する打ち合わせを行った。また中国の大学院生 1 名を 2 か月程度 KAGRA に招へいし、入射光学系に関する共同研究を行った。これにより、入射光学系に関する開発実験が加速した。

5. 台湾で行われる KAGRA に関するワークショップに KAGRA から約 10 名を派遣し、低温システムや校正システムその他の共同研究に関する議論を行った。また、台湾の若手研究者 2 名を各 2 か月間以上招へいし、上記の共同研究を進めた。この共同研究により低温懸架システムやキャリブレーションが進展した。

6. オーストラリアで行われる重力波の国際会議(GWADW, Gravitational-wave Advanced Detector Workshop)に、KAGRA の研究者を数名派遣し、出射モードクリーナーの防振システムなどの共同研究について議論した。これにより、アウトプット・モード・クリーナーの設計が確立した。

7. インド・ベトナムと共同研究を行った。これにより KAGRA 全般の技術の底上げができた。

8. 重力波に関する国際会議での成果発表を行い、それらに関する議論を通して、研究状況の客観的評価を行い今後の進め方を議論し決定した。

<p>全期間にわたる 研究交流活動及 び得られた成果 の概要</p>	<p>LIGO との間では、KAGRA 側の研究者が LIGO のコミッショニングに参加することにより、平成 26 年度の後半からスタートした KAGRA のコミッショニングをスムーズに進める上での貴重な情報と経験を得ることができた。また、LIGO にとっても KAGRA の研究者が参加することにより、コミッショニングをより効率的に進めることが可能となった。さらに、種々の会議で議論を重ねることにより、双方のコミッショニングに関する理解がより一層深まった。また、第 2 世代検出器の個別技術や、第 3 世代検出器に関する開発研究においても共同研究を行い多くの成果を上げた。</p> <p>ヨーロッパの第 3 世代検出器 ET 開発グループとの研究交流により、低温、防振、量子雑音低減などに関する共同研究が行われた。その結果、KAGRA で用いられる低温懸架システムにおいて、強度、熱伝導度、機械的ロスなどに関する厳しい条件を満たす技術の開発に成功し、低温懸架システムの設計が完了した。そして、低温懸架システムはインストールされ、その動作が確認された。これらの成果は、同時に、ET の技術開発につながるものとなった。また、Advanced Virgo のインストレーションやコミッショニングに参加し、そのノウハウを学び KAGRA の防振システムのインストレーションやコミッショニングに役立てることができた。また、第 2 世代検出器の個別技術や、第 3 世代検出器に関する開発研究においても共同研究を行い多くの成果を上げた。</p> <p>アジア・オセアニア地域の各国の研究者とさまざまな分野における共同研究を行った。特に、アジアの研究者や大学院生に、KAGRA や周辺研究機関を訪問していただき、KAGRA のサブシステムの設計、製作、インストレーション、コミッショニング等を、主体的に、あるいはサポート的に遂行していただき、チルトセンサー、入射光学系、低温懸架システムの導入などの目標が達成された。また、キャリブレーションシステムや出射モードクリーナーの防振システムに関しても設計が完了するなどの成果を上げた。</p>
--	---

## 7-2 セミナー

### (1) 全期間において実施したセミナー件数

	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
国内開催	1 回	1 回	1 回	0 回	0 回
海外開催	0 回	0 回	1 回	2 回	1 回
合計	1 回	1 回	2 回	2 回	1 回

### (2) 平成 29 年度セミナー実施状況

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「第 3 回 KAGRA 国際ワークショップ」 (英文) JSPS Core-to-Core Program “3rd KAGRA international workshop”
開催期間	平成 29 年 5 月 21 日 ~ 平成 29 年 5 月 22 日 (2 日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 台湾、台北市、中央研究院 (英文) Taiwan, Taipei, Academia Sinica
日本側開催責任者 氏名・所属・職	(和文) 大橋正健・東京大学宇宙線研究所・教授 (英文) Masatake OHASHI・Institute for Cosmic Ray Research・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) Sadakazu HAINO・Academia Sinica・Associate Research Fellow

参加者数

日本 〈人／人日〉	A.	19/ 38	
	B.	2	
台湾 〈人／人日〉	A.	6/ 12	
	B.	45	
中国北京 〈人／人日〉	A.	1/ 4	
	B.		
韓国 〈人／人日〉	A.	1/ 4	
	B.		
アメリカ 〈人／人日〉	A.	1/ 4	
	B.		
ドイツ 〈人／人日〉	A.	1/ 4	
	B.		
オランダ 〈人／人日〉	A.	1/ 4	
	B.		
インド 〈人／人日〉	A.	1/ 4	
	B.		
合計 〈人／人日〉	A.	31/ 74	
	B.	47	

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>本セミナーは、一昨年度から開催された「KAGRA 国際ワークショップ」の第3回である。参加国は開催国(アジアのいずれかの国)を中心に主にアジアの各国の参加が見込まれるものである。また、欧米豪からも若干の参加者が見込まれる。本セミナーの目的は、現在継続中の共同研究についての進捗状況の発表を行い、それらに関する議論を通して、研究状況の客観的評価を行い、今後の進め方を議論し決定することである。さらに、今後のアジアの若手研究者の招へいについても、日程や実験の詳細についての検討をおこなう。</p>	
セミナーの成果	<p>本ワークショップの開催により、特にアジア各国との共同研究をより一層進めることができた。特に台湾からは、昨年度から多くの研究者が KAGRA に新規参加している。中央研究院はキャリブレーションサブシステムを担当して、輻射圧キャリブレータの開発などを台湾の研究者を中心に行っているとともに、Tier1 データセンターとして、iKAGRA 観測以降のデータを継続的にミラーしてデータの保全に努めている。また、台湾師範大学を中心としたグループはデータ解析に関して日本と共同研究を進めようとしている。これらのことから、本セミナーの開催が KAGRA の成功に大きな寄与をした。また、本セミナーによりアジアの若手研究者の招へいをスムーズそしてタイムリーに行うことが可能となり、セミナー開催の目的のひとつであった、日程や実験の詳細について決めることができた。</p>	
セミナーの運営組織	<p>日本とアジア各国そしてヨーロッパから数名出し合い、<b>Scientific Organizing Committee (SOC)</b>を組織した。プログラムの設定は SOC が中心になって行った。また、会場などの担当は、台湾側研究者数名による <b>Local Organizing Committee (LOC)</b>が行った。</p>	
開催経費 分担内容 と金額	日本側	<p>内容 日本研究者の渡航費 705,590 円 会議参加登録費 (教員のみ) 18,940 円 合計 724,530 円</p>
	(台湾) 側	<p>内容 日本研究者の滞在費、台湾研究者の自国内交通費 会議開催費用</p>
	(中国北京) 側	<p>内容 中国 (北京) 研究者の海外旅費</p>

	(韓国) 側	内容 韓国研究者の海外旅費
	(アメリカ) 側	内容 アメリカ研究者の海外旅費
	(ドイツ) 側	内容 ドイツ研究者の海外旅費
	(オランダ) 側	内容 オランダ研究者の海外旅費
	(インド) 側	内容 インド研究者の海外旅費

### 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。

#### （1）平成29年度実施状況

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	
5日間	都丸 隆行・高エネルギー加速器研究機構・准教授			LSC-VIRGO 2017Meetingにて低温懸架に関する成果発表（CERN 国際機関 欧州原子核研究機構）	スイス 第三国

#### （2）全期間にわたる実施状況概要

2013年7月7日から13日にかけてポーランドのワルシャワ大学にて開催された、Amaldi10（Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves）に研究者2名と大学院生の6名を派遣し、KAGRAに関する研究発表を行い、重力波に関する研究交流を深めた。また同年7月28日から8月3日にかけて、ベトナムのクイニョン ICISE conference centerで開催された Hot topics in General Relativity and Gravitation (HTGRG)国際会議に研究者を派遣し、KAGRAの現状報告などを行った。その後、ベトナムのハノイ教育大学と日本との間で行われてきた天文観測に関する研究協力の歴史に基づき、彼らが、様々な研究テーマの中でも、重力波の研究が最も将来性があると考え、KAGRAに参加し、共同研究を実施するという強い自発的意思を示すに至り、ベトナムが交流相手国に加わった。

2014年11月18日～20日にかけてフランス、リオンのLMAで開催された第6回ET国際会議に研究者3名を派遣し、KAGRAに関する成果発表や議論を行った。また2015年2月には研究者1名がLMAを訪問し、鏡やコーティングに関する共同研究打合せを行い、交流相手国としてフランスが参加することに至った。

2017年7月にはLSC-VIRGO 2017Meetingの研究者一名を派遣。LSC-Virgo Meetingは、アメリカを代表とする重力波プロジェクトであるLIGOグループとヨーロッパの重力波プロジェクトであるVirgoグループの合同会議であり、“欧米の第3世代検出器開発グループとKAGRAの第3世代技術（特に低温技術）を中心とする共同研究の一環として研究発表を行った。

### 7-4 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応

※中間評価の指摘事項等を踏まえ、交流計画等に反映させた場合、その対応について記載してください。

以下の3点について対応を行った。

1. アジア諸国からの学生やポスドクのより長期的な受け入れを行うことにした。これに関して、中国の大学院生をより長期的に受け入れるなどして実現できた。
2. 「KAGRA 国際ワークショップ」を年間2回行う。

当初は、2度の KAGRA 国際会議を予定していた。しかし、2回目の会議の中国の研究者がキャンセルをし、その後ベトナムでの開催を検討したが実現には至らなかった。

3. アジア・オセアニア諸国との間の共同研究を具体的に進めていく。

韓国、中国、台湾、オーストラリアにおいては具体的な共同研究を進めることができた。しかし、インドとベトナムに関しては、一般的な共同研究にとどまった。

## **8. 研究交流実績総人数・人日数**

### **8-1 平成29年度の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。)

※日本側予算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。(合計欄は( )をのぞいた人数・人日数としてください。)

### 8-2 平成29年度の国内での交流実績

1		2		3		4		合計	
0/0	( 124/613 )	4/10	( 220/874 )	0/0	( 219/817 )	3/12	( 148/548 )	7/22	( 711/2852 )

### 8-3 全期間にわたる派遣・受入人数

年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
派遣人数 (人)	54/527 (54/353)	36/310 (19/137)	40/375 (46/362)	41/353 (63/517)	37/345 (58/462)
受入人数 (人)	21/129 (427/759)	31/205 (126/1360)	16/181 (66/541)	30/311 (60/584)	33/374 (33/564)

※各年度の実施報告書の「相手国との交流実績」に記載の人数を転記してください。相手国側マッチングファンド等日本側予算によらない交流については( )で記載してください。

## 9. 経費使用総額

### 9-1 平成29年度経費使用額

(単位 円)

	経費内訳	金額	備考
研究交流経費	国内旅費	1,292,874	国内旅費、外国旅費の合計は、研究交流経費の50%以上であること。
	外国旅費	12,702,057	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	4,313	
	その他の経費	1,149,306	国際会議の参加登録費含
	不課税取引・非課税取引に係る消費税	851,450	
	計	16,000,000	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		1,600,000	研究交流経費の10%を上限とし、必要な額であること。また、消費税額は内額とする。
合計		17,600,000	

### 9-2 全期間にわたる経費使用額

(単位 千円)

	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度
国内旅費	2,557	4,590	1,728	3,175	1,293
外国旅費	12,292	9,569	10,907	10,381	12,702
謝金	0	0	0	0	0
備品・消耗品購入費	0	192	35	32	4
その他の経費	528	862	938	678	1,149
外国旅費・謝金等に係る消費税(※2)	623	787	892	734	852
合計	16,000	16,000	14,500	15,000	16,000

※各年度の実施報告書の「経費使用額」を千円単位にして転記してください。

※2 平成28・29年度は「不課税取引・非課税取引に係る消費税」となります。

## 10. 相手国マッチングファンド使用額

### 10-1 平成29年度使用額

相手国名	経費負担区分	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	パターン1	7,760 [ドル]	830,000 円相当
ドイツ	パターン1	1,520 [ユーロ]	200,000 円相当
英国	パターン1	0 [ユーロ]	0 円相当
オランダ	パターン1	1,930 [ユーロ]	250,000 円相当
イタリア	パターン1	14,770 [ユーロ]	1,950,000 円相当
オーストラリア	パターン1	5,000 [豪ドル]	425,000 円相当
韓国	パターン2	2,800 [ドル]	300,000 円相当
中国/北京	パターン2	6,820 [ドル]	730,000 円相当
中国/上海	パターン2	0 [RMB/CBY ドル]	0 円相当
台湾	パターン2	3,000 [ドル]	320,000 円相当
インド	パターン2	0 [ルピー]	0 円相当
ベトナム	パターン2	0 [ドル]	0 円相当
フランス	パターン1	1,890 [ユーロ]	250,000 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。

※経費負担区分

パターン1：日本側研究者の経費は振興会が、相手国側研究者の経費は相手国側学術振興機関等が負

担。

パターン2：派遣国が派遣にかかる費用を負担し、受入国が受入にかかる滞在費等を負担。

## 10-2 全期間にわたる相手国のマッチングファンドの状況概要

全期間において、相手国のマッチングファンドはおおむね良好であった。ただし、インドとベトナムに関しては、マッチングファンドは比較的少額であった。