

平成 30 年度研究拠点形成事業
(A. 先端拠点形成型) 実施報告書

1. 拠点機関

日本側拠点機関 :	東京大学宇宙線研究所
(イギリス) 側拠点機関 :	University of Glasgow
(アメリカ) 側拠点機関 :	California Institute of Technology
(オーストラリア) 側拠点機関 :	Swinburne University of Technology,
(台湾) 側拠点機関 :	National Tsing-Hua University
(韓国) 側拠点機関 :	Sogang University
(中国) 側拠点機関 :	Beijing Normal University
(インド) 側拠点機関 :	Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics
(ベトナム) 側拠点機関 :	Hanoi National University of Education
(イタリア) 側拠点機関 :	European Gravitational Observatory
(ドイツ) 側拠点機関 :	Max Planck Institute
(フランス) 側拠点機関 :	Centre National de la Recherche Scientifique

2. 研究交流課題名

(和文) : 重力波と電磁波多波長観測で挑む未踏未開宇宙

(英文) : Unexplored Universe disclosed by Gravitational Waves and Multi-messenger astronomy

研究交流課題に係るウェブサイト : <http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp>

3. 採択期間

平成 30 年 4 月 1 日 ~ 平成 35 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 宇宙線研究所

実施組織代表者 (所属部局・職名・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・職名・氏名) : 宇宙線研究所・准教授・三代木伸二

協力機関 : 東京大学, 東京大学ビッグバン宇宙国際研究センター, 東京大学地震研究所, 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, 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 大阪市立大学, 新潟大学, 長岡

技術科学大学, 東京工業大学, 富山大学, 福岡大学, 大阪工業大学, 京都大学
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: 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

(2) 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) Massachusetts Institute of Technology

(和文) マサチューセッツ工科大学

協力機関: (英文) University of Wisconsin-Milwaukee

(和文) ウィスコンシンミルウォーキー大学

経費負担区分 (A型): パターン1

(3) 国名: オーストラリア

拠点機関: (英文) Swinburne University of Technology

(和文) スウィンバーン工科大学

コーディネーター (所属部局・職・氏名):

(英文) Center for Astrophysics and Supercomputing・Professor・Matthew BAILES

協力機関：(英文) The University of Western Australia

(和文) 西オーストラリア大学

協力機関：(英文) Australian National University

(和文) オーストラリア国立大学

協力機関：(英文) Monash University

(和文) モナッシュ大学

協力機関：(英文) University of Adelaide

(和文) アデレード大学

協力機関：(英文) University of Melbourne

(和文) メルボルン大学

経費負担区分 (A 型)： パターン 1

(4) 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 of Astronomy for Photonics Technologies・Professor・Albert KONG

協力機関：(英文) Academia Sinica

(和文) 中央研究院

協力機関：(英文) National Central University

(和文) 国立中央大学

協力機関：(英文) National Taiwan Normal University

(和文) 国立台湾教育大学

協力機関：(英文) Tamkang University

(和文) 淡江大学

経費負担区分 (A 型)： パターン 2

(5) 国名：韓国

拠点機関：(英文) Sogang University

(和文) 西江大学校

コーディネーター (所属部局・職名・氏名)：

(英文) Department of Physics・Professor・Kyuman CHO.

協力機関：(英文) Inje University

(和文) 仁濟大学校

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) Ewha Womans University

(和文) 梨花女子大学

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

(和文) 韓国数理科学研究所
協力機関：(英文) Korea Basic Science Institute
(和文) 韓国基礎科学研究所
協力機関：(英文) Sejong University
(和文) 世宗大学
経費負担区分 (A 型)： パターン 2

(6) 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) Department of 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
経費負担区分 (A 型)： パターン 2

(7) 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・Sukanta BOSE
協力機関：(英文) Indian Institute of Technology Bombay
(和文) インド工科大学ボンベイ校
協力機関：(英文) Indian Institutes of Science Education and Research Kolkata
(和文) インド科学教育研究機関
経費負担区分 (A 型)： パターン 2

(8) 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) Nanotechnology and Technology Center・Lecturer・Nguyen Cao Khang
協力機関：(英文) Vietnam Academy of Science and Technology
(和文) ベトナム科学技術アカデミー
経費負担区分 (A 型)： パターン 2

(9) 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) Sapienza University of Rome
(和文) ローマ大学
協力機関：(英文) University of Perugia
(和文) ペルージャ大学
協力機関：(英文) Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN)
(和文) 核物理研究所
経費負担区分 (A 型) : パターン 1

(10) 国名：ドイツ

拠点機関：(英文) Max Planck Institute
(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 LUCK
協力機関：なし
経費負担区分 (A 型) : パターン 1

(11) 国名：フランス

拠点機関：(英文) Centre National de la Recherche Scientifique
(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・職名・氏名) :
(英文) Astroparticule et Cosmologie Laboratory・Research Director・Matteo BARSUGLIA
協力機関：なし
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

2015 年 9 月 14 日、人類史上初めて、アメリカの重力波望遠鏡 (Advanced (Adv.) LIGO) が連星ブラックホールの合体からの重力波を検出し、その後も 2 件の同種発生源による重力波信号が報告され、まさに、平成 25 年度採択の拠点形成事業「重力波天文学の創成 (代表：川村静児)」の“創”を体現する歴史的時代が始まった。これは、1915 年にアインシュタインの一般相対性理論で予測された重力波を、半世紀近い努力の末に直接的に検証した物理学・天文学上の大躍進である。日本においても、この Adv.LIGO とヨーロッパの重力波望遠鏡である Adv.Virgo に並ぶ国際的重力波観測拠点を構築すべく、2010 年に「最先端研究基盤事業」として、KAGRA (当時 LCGT) 重力波望遠鏡計画が開始された。その後、大規模学術フロンティア促進事業、科研費・特別推進、研究拠点形成事業などの支援により、

2016年に試験運転に成功し、2018年度末の装置の本格稼働、2019年度末の本格観測をめざし現在その構築作業を加速させている。このような重力波“実”観測時代を迎えた今、本拠点形成事業を行う目的は、(1)重力波の波源同定を可能にする Adv.LIGO、Adv.Virgo とのネットワーク観測とデータ解析に関する三拠点の一体的活動、(2)観測データの質的向上のための Adv. LIGO、Adv. Virgo との現世代重力波望遠鏡の改良と安定的運転技術に関する共同研究、(3)重力波発生天体の電磁波多波長観測をより発生早期から行うための協力関係の構築、将来に向けては、(4)国際的次世代極限重力波望遠鏡検討メンバー国との次世代極限重力波望遠鏡のデザインと技術開発に関する共同研究、そして、(5)アジア・オセアニア地域の研究者の KAGRA への参加を促進し、日本の KAGRA を、アジア・オセアニア地区における重力波観測研究拠点としての責務を果たすにふさわしい充実した中核拠点・研究交流拠点にすることである。この重力波研究“創世”期ともいうべき時代のみが提供しうる爆発的な数の未踏未開宇宙に関する研究の“種”は、特に若手研究者にとって十分魅力的なテーマであり、かつ、活躍できる千載一遇の好機でもあるため、さらなる拠点事業の支援により、その効果を加速させ、重力波観測研究だけにとどまらない天文・物理に関する多角的視野を有する若手研究者の育成につなげていく。

5-2 平成30年度研究交流目標

<研究協力体制の構築>

2017年8月の Adv.LIGO - Adv.Virgo による連星ブラックホール合体からの重力波のネットワーク観測と波源の方向決定精度の向上、および、連星中性子星合体からの重力波の観測と、その対応天体からのガンマ線、紫外線、可視光線、赤外線、電波といった多波長電磁波のより早い段階からの追尾観測の成功で、物理学だけにとどまらない、重力波による天文学が創生されたといえよう。今後、その発展のため、その重力波ネットワーク観測網の完成と質的向上、そして、電磁波観測母体とのさらなる密な連携を目指し、Adv.LIGO、Adv.VIRGO、各国大学及び研究機関、各観測所との研究協力体制の確立が急務である。

すでに、アメリカの Adv.LIGO では、高性能鏡の導入、追加の散乱光対策、腕共振器の光輻射圧不安定性回避制御、より長い連続運転を目指した地面振動外乱に対してロバストなシステム・制御系の開発などを行うことで、120Mpc 以上離れた場所から発生した連星中性子星合体からの重力波をとらえる感度を目指し、2台の重力波望遠鏡とも改良中で、その感度で、2018年9~12月頃の開始をめどに1年間の連続観測を予定している。Adv.Virgo もその観測に参加すべく、同様に、熱雑音対策を施した鏡懸架系の導入で、感度向上を目指した改良を行っている。まだ建設中の KAGRA も、平成30年度中には光学系の構築を終え、調整運転の後、平成31年中には、この観測運転に合流することを目指し、Adv.LIGO、Adv.Virgo とのネットワーク重力波観測とデータ解析に関する三拠点の一体的活動を目指している。よって、平成30年は、まずはネットワーク重力波観測を実現するため、研究者の相互交流による、Adv.LIGO、および、Adv.Virgo の知識と経験と技術の導入を頻繁に行うことで、KAGRA の建設を加速させる。平成30年度早々には、Adv.LIGO の主要メンバー一人を2か月間招聘し（本事業経費外）、KAGRA サイトにおいて、KAGRA の構築のサポート及びソフト開発を行っていただく予定である。データの保管や解析に関しても、一体的

活動で必須となる、データの共通処理、転送などに関するうち合わせを、LIGO-Virgo (LV) 会議や、Gravitational Wave Physics and Astronomy Workshop (GWPAW) などの国際会議を通じて行ってゆく予定である。韓国、中国、台湾、ベトナム各国とは、KAGRA のコラボレーターとして、具体的には、入射光学・補助光学系の構築（韓国）、データ収集・保管ネットワークシステムの構築、データ解析ソフトの開発、重力波発生メカニズムの理論的研究（韓国・中国・インド・ベトナム）、フォトンキャリブレーター装置の構築（台湾・インド・アメリカ）を行っていく予定であり、その密な連携は、KAGRA F2F 会議、KAGRA International Workshop (KIW)を通じても行っていく予定である。

重力波観測装置、及び、観測データの質的向上のための Adv.LIGO、Adv.Virgo との現世代重力波望遠鏡の改良と安定的運転技術に関する共同研究を行う。具体的には、コミッション会議・干渉計診断技術会議などを各重力波望遠鏡サイトで開催するなどし、迅速な感度向上に関する Adv.LIGO、Adv.Virgo の知識と経験、および、先端的試みを KAGRA で実践・導入する機会とする。安定的運用に関しても、KAGRA 独自の地殻歪計による地球物理学的な測定データの重力波望遠鏡動作安定化実験や、Adv.LIGO、Adv.Virgo で考案されている、地震計ネットワークデータを利用したフィードフォワード安定化実験などについて、Gravitational Wave Advanced Detector Workshop (GWADW)や地球物理学をテーマとする国際会議を通じて共同研究する予定である。

次世代極限重力波望遠鏡を実現するための要素技術開発に関しても、1.5 micro meter レーザー光源開発、シリコン等の新鏡基材開発、サファイア基材の大型化、高品質化、熱雑音を低減させる結晶化薄膜素材開発、そして低温技術などに関し、オーストラリア、イギリス、ドイツ、イタリア、フランス、ベトナム、アメリカと共同研究開発を行い、これも GWADW、DAWN のような国際会議、及び相互サイト・研究機関訪問を通じて、共同研究を行っていく予定である。

重力波発生天体の電磁波多波長観測をより発生早期から行うための協力関係の構築においては、国内では、電磁波観測母体集団である J-GEM グループ、特に、東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センターの木曾天文台、そして、東京大学アタカマ天文台 (TAO)との連携の強化のため、Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (JGRG) 国際会議などを通じて情報交換を行い、国外では、台湾グループの所有する天文台や、オーストラリアグループが得意とする電波天文台グループとの連携強化と共同研究を、KIW などの国際会議を通じ行っていく予定である。

<学術的観点>

重力波は、可視光、赤外線、X 線、ガンマ線などの電磁波や、宇宙線と呼ばれる素粒子といった既存の宇宙の観測手段とその発生原理が本質的に異なる波動現象であるため、重力波でしか見えない世界、すなわち、未踏未開宇宙を解明する極めて重要な観測手段である。特に、人類が検出可能な重力波は、宇宙の進化を支配する極限的に高いエネルギーを放つ現象、つまり、宇宙の誕生、超新星爆発、ブラックホールや中性子星の合体などから発生するため、宇宙の進化を解明する上で欠くことのできない情報源である。既に Adv.LIGO により、中質量のブラックホール連星の合体からの重力波の検出に 5 回成功し、ブラックホ

ールの直接的存在証明がなされ、非常に強い重力場においても一般相対性理論に有意な破綻が見られないなどの新たな知見が得られると同時に、重力波発生天体とされるブラックホールの起源に関する宇宙論的考察も活発化している。さらに、Adv.Virgo とのネットワーク観測により、連星中性子星合体からの重力波の検出、及び、発生源のより詳細な特定に成功し、その位置情報から、この重力波発生現象に時間差をおいて到達する高エネルギー電磁波、つまり、ガンマ線、X線、赤外光、電波、可視光などについて、今までにない早期からの観測にも成功した。結果、宇宙における重金属合成の過程の一つとして、連星中性子星合体が有望であることも示され、重力波研究の学術的重要性は、単なる時空の物理学だけの世界から、原子核物理学、そして、天文学へと広範囲に波及している。また、将来、ニュートリノとの重力波（非）同時観測がなされれば、超新星爆発メカニズムの解明につながると期待される。

ただし、これらの成果を生み出しつつある重力波天文学は、まだ始まったばかりであり、特に、KAGRA が同時観測に参加することによって、初めて重力波に関する完全な情報、具体的には、最後に残る重力波の偏波の情報が獲得できるため、真に、強い重力場における相対性理論の正しさに迫るには、KAGRA の完成と同時観測への合流は必須であり、学术界に対する大きな責務である。一刻も早くこれを実現するために、平成 30 年度は、Adv.LIGO、Adv.Virgo との研究交流密に行い、その知見の導入により、建設の加速化につなげていく。その後は、現重力波望遠鏡の質的改善と安定的運用により、重力波の観測数が増加し、かつ、各種パラメータ決定精度も向上することは自明であるため、今後、統計と精度の両面の改善により、ブラックホールスピンの決定、中性子星の状態方程式の解明、超新星爆発メカニズムの解明、重金属合成問題、重力理論の選別、宇宙初期における初代星、及びブラックホールの起源などを解明していきたい。ただし、重力波望遠鏡の質的改良は Adv.LIGO や Adv.Virgo であっても 1~2 年という時間スケールがかかり、KAGRA も同様であり、その改良の成果は、さらにそれに続く 1 年程度のネットワーク観測により初めて達成できるという時間スケールをご理解いただきたい。

また、KAGRA は地下に建設され、かつ、低温技術の導入という、次世代極限重力波望遠鏡で想定される先進技術を先取りしており、その技術的成果は、ET 計画をはじめとする、世界的に歩調を合わせながらその要素技術開発を行い、かつ、共同運営を目指している次世代極限重力波望遠鏡の試金石となる。その意味で、平成 30 年度に目指されている、KAGRA の 4 枚の腕共振器用サファイア鏡の 20K への冷却と、その防振装置との結合運用、そして、重力波望遠鏡としての運転は、世界に先駆けた学術的価値の高い成果として、Adv.LIGO、Adv.Virgo との研究交流を先導的に活発化させうる KAGRA の独自性であるため、この KAGRA の建設スケジュール（2018 年 5 月までに Phase1、2019 年 3 月までに Phase3 を完成させ、2019 年度中に Adv.LIGO、Adv.Virgo との共同重力波観測である O3 に参加する）を維持していきたい。

<若手研究者育成>

各重力波発生源に最適化されたデータ解析技術に関するデータ解析スクールを暫時開催し、基本的なデータ解析やプログラミング技術の取得と、若手ならではの斬新な切り口に

よる新しい解析手法や、新しい発想による、今まで主には想定されていない物理現象からの重力波解析に取り組んでいただく。

また、学生に、Adv.LIGO、Adv.Virgo の改良期の感度向上改造実験（コミッショニング）に直接的に参加していただき、その技術を学んでもらう。同時に、コミッショニング技術や干渉計診断技術会議を、KAGRA を含む各重力波望遠鏡サイトで開催し、両技術の向上に関して、各国の研究者から学ぶ。

高エネルギー天体、超新星爆発、ブラックホール、中性子星など、重力波発生天体に関する研究会に積極的に参加していただき、重力波発生と電磁波観測発生の時間差、多波長電子波の時間的发展の示す物理的意味に関して学習していただき、重力波だけに限らない、宇宙物理に関する幅広い知識の取得による研究者としての広いアンテナの獲得を支援する。

次世代極限重力波望遠鏡の実現に必要なとされる、「熱雑音の研究」「新しい鏡機材と薄膜コーティングに関する研究」「低温技術に関する研究」「重力雑音除去」「量子雑音の改善手法の開発」などの各テーマに関し、研究交流を図り、かつ可能なら R&D 実験に参加することで、新しい研究テーマを通じた若手研究者の発想、研究、交流能力の向上を図る。

アジア・オセアニア地域においては、オーストラリアを除いて、年に 1 回をめぐりに、重力波の発生理論、重力波のデータ解析、重力波望遠鏡の構造と感度向上に関するセミナーを開催し、重力波研究の認知度を高める活動を行う。興味を持つ大学院生に対しては、まず、例えば東京大学の外国人特別枠大学院入学制度を利用し合格していただくことで、テーマを設け、研究活動を通じ研鑽を積んでいただき、研究者として後継となる人物の育成、海外との連絡調整を任せられる人材に成長させる。

<その他（社会貢献や独自の目的等）>

本事業の受託契約者である東京大学宇宙線研究所は、2017 年から、岐阜県飛騨市と連携協力に関する協定を締結し、互いが連携協力を進めることで、学術研究、人材の育成 及び地域社会の発展に寄与することを目的とし活動を始めた。その一つとして、KAGRA の研究者が飛騨市において、サイエンスカフェを開催し、宇宙線研研究の紹介活動を行い、また、飛騨市が主催する市民のための大規模（300 人規模の）KAGRA 見学会などを開催し、市民との交流を図っている。それ以外にも、スーパーサイエンスハイスクール制度を利用し、飛騨市神岡地区にある、スーパーカミオカンデ等の複数研究施設を見学に来る高校生、及び、近隣で開催された物理学・天文学関係の国内外学会関係者の見学を多数受け入れ、高校生の教育活動、研究広報活動を頻繁に行っている。KAGRA の研究者は、隣県の富山市に居を構えるものも多いため、その関係で、富山県においても、サイエンスカフェや、科学館における研究展示を開催させていただいており、平成 30 年度も、積極的に地域社会との交流と連携、全国の科学に興味を持つ学生たちへの教育活動を行っていく予定である。当然ではあるが、KAGRA のホームページ、東大宇宙線研の広報室を通じ、KAGRA の建設進展状況などを報告していく予定である。

6. 平成 30 年度研究交流成果

<研究協力体制の構築>

2018年度初頭より、早速、Adv.LIGO、AdV.VirgoそしてKAGRAの3台の重力波望遠鏡による2019年度中の同時観測を実現するための具体的な協議と計画案の策定を開始し、その具体的な内容を、論文リスト(1)–2: Prospects for observing and localizing gravitational-wave transients with Advanced LIGO, Advanced Virgo and KAGRAの形でまとめ、重力波望遠鏡3拠点の協力による実効的運用体制の開始を初めて世界に宣言する成果を上げた。KAGRAは、当初2020年度からの観測運転を目指し、本拠点形成の計画もそれに沿うものであったが、3拠点同時観測からもたらされる科学的成果の質的重要性から、特に2018年度より総力を挙げての計画の前倒し建設に取り組み、それを実現するために、人的にも、技術的にも、Adv.LIGO(拠点相手国として、主にアメリカ、イギリス、ドイツ、オーストラリア、インドを含む)、及びAdV.Virgo(イタリア、フランスを含む)よりの全面的な支援を受ける協力体制も構築された。同時に、韓国、中国、台湾、ベトナムからは、直接的にKAGRAの装置の一部の構築、及び、データ解析システムの構築に従事していただく研究協力を実行していただき、本計画参加国すべてによる、重力波天文学の創生と発展のための協力体制が整えられてきた。

この3拠点による重力波の一体的観測情報をもとに、既存の世界の多波長電磁波観測望遠鏡でいち早くその重力波発生天体を同定し追尾観測する世界的規模のマルチメッセンジャー観測組織への情報伝達に関する具体的な方法についても策定・周知され、O3に合わせて開始できるまでの成果を上げてきた。多波長電磁波観測組織においても、特に日本においては、既に立ち上がっているJ-GEMのさらなる組織整備と組織間の関係強化がなされ、研究協力体制の一層の充実が図られた。

実際に、この策定計画通り、アメリカのAdv.LIGOでは、高性能鏡の導入、追加の散乱光対策、スクイーミング技術の導入、腕共振器の光輻射圧不安定性回避制御、より長い連続運転を目指した地面振動外乱に対してロバストなシステム・制御系の開発などを行うことで、2台のうち1台は135Mpc、もう一台は100Mpc離れた場所から発生した連星中性子星合体からの重力波をとらえる感度(Binary Range感度)を目指し、2台の重力波望遠鏡の改良を終え、その感度で、2018年3月からのエンジニアリング運転を開始し、2019年4月からのおよそ1年間の観測運転(O3)を目指している。Adv.Virgoも、そのO3に参加すべく、同様に、熱雑音対策を施した鏡懸架系の導入とスクイーミング技術で、感度向上を目指した改良を完了し、Binary Range感度50Mpcの能力を達成し、Adv.LIGOと歩調を合わせ、O3参加を予定している。KAGRAも、前術の策定計画を死守するため、2018年度中に、すべての光学系とその防振系、補助光学系、低温鏡懸架系の構築を終え、同時に、制御系のプログラム構築も行い、2019年度前半の調整運転の後、2019年度の後半に、この観測運転に合流することを目指し、研究協力体制の始動を目指している。

このように、研究協力体制の構築においては、計画を少なくとも半年前倒して進める計画が進行中である。

<学術的観点>

アメリカ、イギリス、ドイツ、オーストラリア、インドのグループを主に含むAdv.LIGOと、現世代重力波望遠鏡運転と感度向上に関する共同研究、および次世代重力波望遠鏡の

要素技術に関する共同研究を行ってきた。特に、Adv.LIGO の干渉計診断グループとの共同研究により、環境雑音の取得とそれとの相関解析により重力波信号の選別を行う共同研究を行い、KAGRA の干渉計診断システムの構築が、韓国グループとの協力もあり、ソフトウェア、ハードウェア双方とも進んだ。Adv.LIGO の研究者数名に KAGRA に来ていただき（一部事業外経費）、KAGRA の入射光学予備周波数安定化システム、強度安定化システム、パワー損失のない位相・強度同時変調システム、腕共振器安定化システム、出射光学系の構築が進展し、一部は完了した。Adv.LIGO のデジタル制御グループとの共同研究により、KAGRA のデジタルシステムにおけるネットワーク遅延事象、瞬間的制御不能事象の問題解決がなされ、より安定的な KAGRA の制御系の構築が可能となった。Adv.LIGO の重力波信号校正グループとの共同研究、および台湾グループとの共同研究により、KAGRA にフォトンキャリアプレーターが導入され、完成した。本事業セミナー第 4 回 KIW に Adv.LIGO のスポークスマンを招待し、かつ、Ligo-Virgo 共同会議にも KAGRA 側の研究者を派遣することで、重力波同時観測 O3 において、望遠鏡の運転、データの相互交換などに関する MOU を結ぶための事項確認が行われ、3 拠点の情報交換のための JRPC 会議への KAGRA 側の参加が開始された。アメリカでの次世代重力波望遠鏡・Cosmic Explorer に関する国際会議において、次世代極限重力波望遠鏡の真空系・低温系関し、その要求仕様の考察が進んだ。

イタリア、フランス、イギリス、ドイツを主に含む EGO・Adv.Virgo との間で、感度向上に関する共同研究、鏡防振装置に関する共同研究、次世代極限重力波望遠鏡の建設位置選別、低温鏡、低温鏡懸架装置、大型低温化システムに関する共同研究を行った。特に、Adv.Virgo の鏡防振装置グループとの共同研究により、イタリアグループの設計と制御デザインを基盤にした 4 台の Type-A 型鏡防振装置、4 基の Type-Bp 型鏡防振装置、3 基の Type-B 鏡防振装置の構築と真空槽内へのインストールが完了し、さらに、イタリアから Ph.D 研究員を招聘し加勢していただくことで（本事業外経費）、制御系の最適化を進行中である。この成果の一部は、論文リスト(1)–4 : Vibration isolation system with a compact damping system for power recycling mirrors of KAGRA として、報告された。EGO の低温鏡開発グループとの共同研究により、Type-A 防振装置の先端に装着されるサファイア低温鏡懸架防振装置も構築され、懸架装置 4 基すべてのインストールが完了したが、この際、サファイアファイバーによるサファイア鏡のシリケート接着に関し発生した問題に対し、イタリア、イギリスグループから適切なアドバイスと来訪支援を受けたことにより、問題を修繕することに成功した。フランスのグループにより、KAGRA で必要とされるサファイア鏡のコーティングがなされ、KAGRA で必要とされるすべてのサファイア鏡が完成し（本事業外経費）、プレス発表した。次世代重力波望遠鏡の低温鏡懸架装置の熱雑音低減の研究開発として、大学院生 1 名をイタリアのローマ大学へ派遣し、サファイアブレードの機械的 Q 値測定に関する共同研究を行った。イタリアの Adv.Virgo サイトで開催された次世代重力波望遠鏡 ET 計画に関する会議に KAGRA 側から 1 名を派遣し、フランス、イギリス、ドイツのグループも交えて、ET 計画と次世代極限重力波望遠鏡に必要とされる要素技術開発に関する共同研究を行うとともに、サイトでのコミショニング作業に参加し、KAGRA でのより迅速な感度向上実験に生かす準備を行った。

韓国グループとは、主に入射光学系、干渉計診断、データ転送、データ解析に関する共同研究を行った。特に、入射光学系のモードクリーナーの角度制御実験に関し、論文リスト(1)–5 : Sensing and vetoing loud transient noises for the gravitational-wave detection を出版した。干渉計診断に関するグリッチトリガー抽出プログラムとその機械学習の開発、チャンネルセーフティーモニターに関する開発が進行した。

中国からは、KAGRA の入射光学系、データ解析、低温鏡懸架系の改良について共同研究を行った。特に、中国から数名の大学院学生に長期にわたって滞在していただき、入射光学系のハイパワー化、強度・位相変調システムの改良、モードクリーナー鏡アライメントシステムの開発が進んだ。機械学習を取り入れたコンパクト連星合体からの重力波のデータ解析において、アルゴリズムの改良により、従来の方法に比べて、高速に解析できる手法が開発された。

台湾グループとは、主にフォトンキャリブレーター、フリースイングマイケルソン式信号校正技術、サファイア腕鏡表面モニターシステムの開発、スクイーミング技術、データ解析に関する共同研究を行った。台湾グループメンバーから相当の人数と、相当日数 KAGRA に滞在していただき、また、学習と予備実験のため、日本から大学院生を派遣するなどし、KAGRA の両エンド鏡用のフォトンキャリブレーター、すべてのサファイア鏡の表面モニターシステムが完成した。データ解析に関しても、KAGRA サイトからの安定したデータ転送環境の維持、および、機械学習を用いたデータ解析手法の開発が行われた。周波数無依存スクイーミングに関してもテーブルトップの実験において、良好なスクイーミング効果を確認する成果を上げ、将来の KAGRA 改良への第一ステップを成し遂げた。周波数依存型スクイーミングに関しても、ドイツ、オランダ、中国のグループと協力もあり、スクイーズド光の生成に成功し、現在基線長 300 メートルのフィルター共振器を構成中である。

インドとは、主にデータ解析、及び第 3 世代重力波望遠鏡の真空技術に関する共同研究を行った。本事業外経費ではあるが、インドグループから博士研究院を雇用し、背景重力波に関するデータ解析ツールの開発、KAGRA データ解析ライブラリーの開発などを行った。

このような活発な開発状況は、論文リスト (1)–1 : KAGRA: 2.5 generation interferometric gravitational wave detector として、Nature に掲載された。

<若手研究者育成>

各重力波発生源に最適化されたデータ解析技術に関するデータ解析集中合宿を開催し、基本的なデータ解析やプログラミング技術の取得と KAGRA で必要とされるデータ解析のライブラリーの作成、機械学習をベースとした重力波データ解析などに取り組んでいただき、育成を図った。

若手研究者に、Adv.LIGO、Adv.Virgo の改良期の感度向上改造実験（コミッショニング）に直接的に参加していただき、環境データの取得とデータの相関解析を主とする信号選別技術を学び、KAGRA への技術導入を行えるまでの育成を行った。

コミッショニング技術や干渉計診断技術を指導していただけるよう、Adv.LIGO のメンバー 3 人程度に KAGRA に滞在して頂き、環境信号取得と信号選別に関するプログラム開発、

技術指導をしていただいた（本事業経費外）。

JGRG28 のような高エネルギー天体、超新星爆発、ブラックホール、中性子星など、重力波発生天体に関する各種研究会に積極的に参加していただき、重力波発生とそこから時系列で観測される多波長電磁波の時間発展の示す物理的意味などに関して学習していただき、重力波だけに限らない、宇宙物理に関する幅広い知識の取得による研究者としての広いアンテナの獲得を支援した（本事業経費外）。

台湾グループが主導している、既知の光輻射圧による鏡の変位から、重力波信号の振幅推定をより高精度で行う校正技術の導入開発実験に大学院生に参加していただき、修士論文のテーマにつながるよう育成を図った。同様に、日本グループ内においては、鏡の防振装置の特性計測実験、低温鏡懸架システム用低温光位置センサーの開発、光の損失を伴わない光の位相と強度の同時変調技術などの KAGRA にとって重要な機器開発に大学院生に参加していただき、修士論文のテーマとしてまとめる育成を図った。

次世代極限重力波望遠鏡の実現に必要なとされる、「熱雑音の研究」「新しい鏡機材と薄膜コーティングに関する研究」「低温技術に関する研究」「重力雑音除去」「量子雑音の改善手法の開発」などの各テーマに関し、GWADW2018 会議で集中的に研究交流を図り、新しい研究テーマを通じた若手研究者の発想、研究、交流能力の向上を図った。

ベトナム訪問時には、重力波の発生理論、重力波のデータ解析、重力波望遠鏡の構造と感度向上に関するセミナーを開催し、研究者や学生・大学院生に重力波研究の認知度を高める活動を行った。KAGRA での研究に興味を持つ中国や台湾の大学院生に関しては、一定期間 KAGRA のサイトに滞在し、KAGRA 構築にかかわる具体的な開発実験を通じて研究を体験していただき、実動力として十分な成果を残すことのできる優秀な学生の獲得にも成功した。そのような優秀な外国人大学院生に対しては、例えば東京大学の外国人特別枠大学院入学制度を紹介し、学位論文獲得への道筋が実現できやすい環境を整えていった。

本事業で開催したセミナー、KIW4 と KIW5、及び、本年度に3度開催した KAGRA のコラボレーション会議である F2F 会議では、大学院生のポスターセッションへの参加を誘導し、特に F2F 会議ではポスター賞を選定することで、研究意欲の向上の一助とした。

以上のように、若手研究者育成の当初目的を、すべて完遂した。

<その他（社会貢献や独自の目的等）>

本事業の受託契約者である東京大学宇宙線研究所は、2017 年から、岐阜県飛騨市と連携協力に関する協定を締結し、互いが連携協力を進めることで、学術研究、人材の育成 及び地域社会の発展に寄与することを目的とし活動を始めた。

2018 年度の具体的な活動として、一つには、岐阜県飛騨市の神岡図書館で、芥川賞作家の先生をお招き、天文学者の先生をマスターに、常連客としてその作家さん、現役の新聞記者の方、日本側構成メンバーの一人が会話を繰り広げるトークイベント「喫茶室かぐら」を開催し、好評を博した。

飛騨市が主催する市民のための大規模（300 人規模の）KAGRA 見学会を開催し、市民の方に基礎科学・大規模研究装置への理解を深めていただき、交流を図った（一部本事業経費外）。

岐阜市の新聞社にて、「サイエンスカフェ in 岐阜市」を開催し、日本側構成メンバーの一人が「アインシュタイン 100 年の宿題に答える KAGRA -神岡からの新たな挑戦-」と題し、来場した約 30 名の中高生、一般の皆様と熱く議論を交わした。(本事業経費外)

スーパーサイエンスハイスクール制度を利用し、飛騨市神岡地区にある、スーパーカミオカンデ等の複数研究施設を見学に来る高校生、及び、近隣で開催された物理学・天文学関係の国内外学会関係者の見学を多数受け入れ、高校生の教育活動、研究広報活動を頻繁に行った。

KAGRA を特徴づける超高品質サファイアの鏡のすべての完成をプレス発表し、その基材開発で大きく貢献した日本のメーカーの貢献を紹介するなどし、多くのメディアを通じ報道紹介された。

Adv.LIGO、Adv.Virgo に次ぐ大型重力波望遠鏡であり、重力波の位置決定精度を劇的に向上させる重力波ネットワーク観測を完成させる最後の望遠鏡として認識され、さらには、唯一地下に建設され、低温サファイア鏡で感度の向上を目指すという、他の二つの観測施設にはない次世代重力波望遠鏡の技術を先取りした KAGRA の観測運転が 2019 年度に迫っているという事情から、Nature や Science、そして BBC ニュースという主要雑誌、及び、外国メディアの取材を受け、紹介された。これにより KAGRA の世界的認知度を高めることができた。

このような情報は、KAGRA のホームページ、東大宇宙線研の広報室を通じ、報告していた。

以上のように、社会貢献及び国際的大規模研究拠点としての KAGRA に対する国民への理解を得ることへの努力を行った。

<今後の課題・問題点>

このように、重力波望遠鏡の拠点形成は、その重力波望遠鏡の開発と重力理論・データ解析研究という分野の規模だけでなく、その直接検出の成功によって波及した、既存の多波長電磁波観測との連携拡大においても、未だかつてない規模に広がっており、その先には、さらなる規模の共同研究を必要とする次世代重力波望遠鏡計画である CE、ET 両計画が待っている。しかし、残念ながら、日本側にはこれらすべてをフォローできるだけの人材が整っていない。この研究拠点形成事業を通じ、特に若手の育成と、国際的な人材の獲得にまい進していきたい。

7. 平成30年度研究交流実績状況

7-1 共同研究

整理番号	R-1	研究開始年度	平成30年度	研究終了年度	平成34年度
共同研究課題名	(和文) 重力波と多波長電磁波観測で挑む未踏未開宇宙 (英文) Unexplored Universe Disclosed by Gravitational Waves and Multi-Messenger Astronomy				
日本側代表者 氏名・所属・職 名・研究者番号	(和文) 三代木伸二・東京大学宇宙線研究所・准教授・(1-1) (英文) Shinji Miyoki・Institute for Cosmic Ray Research・The University of Tokyo・(1-1)				
相手国側代表者 氏名・所属・職 名・研究者番号	(英文) Sheila ROWAN・University of Glasgow・Professor・(2-1) Rana ADHIKARI・California Institute of Technology・Professor・(3-1) Matthew BAILES・Swinburne University of Technology・(4-1) Albert KONG・National Tsing-Hua University・Professor・(5-1) Kyuman CHO・Sogang University・Professor・(6-1) Zong-Hong ZHU・Beijing Normal University・Professor・(7-1) Sukanta BOSE・Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics・Professor・(8-1) NGUYEN Cao Khang・Hanoi National University of Education・Lecturer・(9-1) Michele PUNTURO・European Gravitational Observatory・Professor・(10-1) Harald LUCK・Max Planck Institute・Senior Researcher・(11-1) Matteo BARSUGLIA・Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)・Senior Researcher・(12-1)				
30年度の 研究交流活動	1. イギリスでの低温技術に関する国際会議に大学院生1名10日を派遣し、低温でも利用可能なシリケート接着に関する共同研究を行った。本事業セミナー・第5回KIWに1名3日の参加があり、第三世代重力波望遠鏡のコーティング熱雑音に関する共同研究を行った。 2. Adv.LIGOへの若手研究者3名各15日の派遣を行い、環境雑音の取得とそれとの相関解析により重力波信号の選別を行う共同研究を行った。また、KAGRA側の研究者3名各7日が、アメリカでの第三世代重力波望遠鏡・Cosmic Explorerに関する国際会議に招待され、次世代極限重力波望遠鏡の真空系・低温系に関する共同研究を行った(本事業経費外)。アメリカで開催された重力波望遠鏡技術に関する国際会議(GWADW)、および、データ解析に関する国際会議(GWPAW)にKAGRAから本事業でそれぞれ4				

名各7日と1名7日を派遣し、現重力波望遠鏡の技術的課題や次世代極限重力波望遠鏡の要素技術開発、データの一体的共有と解析、電磁波フォローアップ観測に関する共同研究を行った。Adv.LIGOの研究者1名60日にKAGRAに来ていただきKAGRAのコミショニング・干渉計診断技術開発等で共同研究開発を行った（本事業経費外）。Adv.LIGOの研究者3名各7日にも来ていただき、環境雑音の取得と、それを利用した重力波データ選別手法の共同研究を行った。Adv.LIGOの施設関係の責任者の方1名1日滞在していただき、雑音源となる施設関連機器の配置・対策の仕方に関する共同研究を行った。Adv.LIGO スポークスマンを本事業セミナー第4回KIWに招聘し、O3における同時観測の準備に関し協議した。

3. イタリアで行われた本事業セミナー・第5回KIWに日本側から6名各5日程度を派遣し、低温鏡とその懸架装置に関する共同研究、次世代極限重力波望遠鏡の建設位置選別、及び、大型低温システムに関する共同研究をEGOと行った。さらに、大学院生1名60日をイタリアのローマ大学へ派遣し、サファイアブレードの機械的Q値測定に関する共同研究を行った。若手研究者1名9日をMG15国際会議に派遣し、KAGRAの低温鏡懸架装置に関する共同研究を行った。イタリアのAdv.Virgoサイトで開催されたET計画に関する会議にKAGRA側から1名4日を派遣し、フランス、イギリス、ドイツのグループも交えて、ET計画と次世代極限重力波望遠鏡に必要とされる要素技術開発に関する共同研究を行うとともに、サイトでのコミショニング作業を行った（本事業経費外）。イタリアの研究者2名7日にKAGRAに来ていただきKAGRAのサファイアファイバー懸架部位に関する共同研究を行った。韓国で開催された第4回KIWにも3名各5日参加していただき、シリケート接着・低温システム、低温懸架システムに関する共同研究を行った。

4. 韓国と、KAGRAで使う入射光学システムや干渉計診断、データ解析に関する共同研究を行い、論文(1)-5 : Sensing and vetoing loud transient noises for the gravitational-wave detection を出版した。韓国で開催された第4回KIWに日本側から10名各3日（及び7名各3日：本事業経費外）を派遣し、データ解析・重力波発生理論・入射光学系・干渉計診断等の共同研究に関する共同研究を行った。韓国側の参加者は8名各2日（37名各2日：本事業経費外）となり、上記課題について共同研究を行った。また、逆に、日本で開催された計3回のF2F会議にも、韓国側から、その都度2～3名各5日程度の研究者を受け入れ、データ解析・データ転送・干渉計診断に関する共同研究を行った。

5. 中国に、研究者1名7日派遣し、KAGRAの現状報告、データ解析及びスクイーピングに関する共同研究を行った。中国の研究者1名15日と1名11日、KAGRA・東大宇宙線研・国立天文台に滞在し、データ解析及び、スクイーピングに関する共同研究を行った。また、大学院生1人21日にKEK及びKAGRAに滞在していただき、低温技術の勉強と、低温装置改良共同実験に参加していただいた。中国からの大学院生1名180日がKAGRAに滞在し、入射光学系の構築の主戦力として共同研究を行った。日本で開催されるF2F会議、韓国で開催の第4回KIW、イタリアで開催の第5回KIWにも、中国側から、その都度4人程度各5日程度の研究者と大学院生に来ていただき、機械学習データ解析・スクイーピング技術について共同研究を行った。

6. 台湾の天文台に日本側の大学院生1名3日、及び若手研究者を2名3日派遣し、データ解析およびフォトンキャリブレーターに関する共同研究を行った（本事業経費外）。台湾から、のべ人数で26名約190日の研究者が断続的にKAGRAなどに滞在し、フォトンキャリブレーターの共同研究を行い、完成した。本事業で開催されるF2F会議、韓国で開催の第4回KIW、イタリアで開催の第5回KIWにも、台湾側から、その都度5人程度4日程度の研究者と大学院生に来ていただき、フォトンキャリブレーター、重力キャリブレーター、データ解析に関する共同研究を行った。周波数無依存型スクイーピングに関する共同研究として、テーブルトップ実験によるスクイーピングの効果の確認に成功した。周波数依存型スクイーピングに関しても、国立天文台において、その共同開発実験が進行した。

7. インドにKAGRAの研究者を1名3日程度派遣し、KAGRAの研究紹介を行った（本事業経費外）。インドの研究機関より、博士研究員を雇用し、背景重力波データ解析、KAGRAデータ解析ツールの整備に関する共同研究開発を開始した（本事業経費外）。日本側の研究者3名7日が、アメリカでの第三世代重力波望遠鏡・Cosmic Explorerに関する国際会議に招待された際にも、LIGO・India重力波望遠鏡、及び、次世代真空技術について、共同研究を行った。

8. ベトナムにKAGRAの研究者を1名7日派遣し薄膜技術に関する共同研究、学生教育活動を行った。さらに研究者2名を派遣し、世界の重力波望遠鏡の進行状況とその成果の紹介を行い共同研究者の獲得活動、重力波検出技術を応用した、巨視的量子力学観測のテーマに関する共同研究を行った（本事業経費外）。

	<p>9. オーストラリアに KAGRA の大学院生 1 名 9 日派遣し、低温鏡への水分子の蒸着問題や、量子雑音低減、干渉計不安定問題に関する共同研究を行った。オーストラリアから第 4 回 KIW に 2 名各 2 日の参加があり、低周波防振装置の共同研究を行った。</p> <p>10. フランスに KAGRA の研究者を 1 名 5 日派遣し、薄膜コーティングの改良に関する共同研究を行い（本事業経費外）、KAGRA で必要とされずすべての鏡を完成させた。フランスからも 1 名 3 日第 5 回 KIW に参加していただき、次世代重力波望遠鏡の候補となる大型サファイア鏡の製作に関する共同研究を行った。</p>
<p>30 年度の 研究交流活動 から得られた 成果</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Advanced LIGO への研究者の派遣により、KAGRA の入射光学系、レーザー強度安定化システム、腕共振器安定化システム、干渉計診断システムの開発が進み、平成 31 年度の KAGRA の O3 ネットワーク重力波観測参加への準備が加速された。また次世代極限重力波望遠鏡開発に関する技術課題がより明確になった。 2. EGO との研究者の双方向交流により、KAGRA の鏡防振装置、低温懸架システムがスムーズにインストールされ、同じく、平成 31 年度の O3 ネットワーク重力波観測参加への準備が加速された。また次世代極限重力波望遠鏡開発に関する技術課題がより明確になった。 3. 韓国との共同研究により KAGRA のモードクリーナー鏡アライメントシステム、干渉計診断ツール開発、データ転送系の準備が進み、同じく、平成 31 年度の O3 ネットワーク重力波観測参加への準備が進んだ。 4. 中国との共同研究により KAGRA の入射光学系の構築、そして、データ解析技術の開発が進んだ。スクイーミングに関するテスト実験が順調に進んだ。 5. 台湾との共同研究により、日本から台湾への安定的なデータ転送技術開発が進んだ。また、台湾グループの準備したマッチングファンドの充実により、KAGRA においてフォトンキャリブレーションシステムが完成した。 6. インドから博士研究員を招聘し、KAGRA のデータ解析技術の基盤整備への人的補強がなされた（本事業経費外）。第三世代重力波望遠鏡における真空技術の課題が明確化された。 7. ベトナムとの共同研究により、次世代薄膜コーティング開発に関する人的体制の拡大が実現した。 8. ドイツ、オーストラリア、イギリスとの共同研究で、次世代極限重力波望遠鏡の実現に向けた様々な要素技術の課題認識とその具体的な開発実験が進行した。

	<p>9. フランスとの共同研究により、KAGRA に必要とされるサファイア鏡の薄膜コーティングが完成した（本事業経費外）。第三世代重力波望遠鏡のための大型サファイア鏡基材開発に関する共同研究の協議を開始することができた。</p> <p>10. アジア諸国の研究者の招聘、特に若手研究者（大学院生を含む）を数週間以上の期間にわたり招聘し、KAGRA のための開発研究を行ってもらい、将来のアジア地域の重力波研究を担う若手研究者の育成を行い、主戦力として活躍していただくことができた。</p>
--	---

7-2 セミナー

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4回 KAGRA 国際ワークショップ」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “4 th KAGRA International Workshop”
開催期間	平成30年6月29日 ～ 平成30年6月30日 (2日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) 韓国・ソウル・梨花女子大学
	(英文) Korea・Seoul・Ewha Womans University
日本側開催責任者 氏名・所属・職名・研究者番号	(和文) 三代木伸二・東京大学宇宙線研究所・准教授・(1-1)
	(英文) Shinji MIYOKI・Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo・Associate Professor・(1-1)
相手国側開催責任者 氏名・所属・職名・研究者番号 (※日本以外での開催の場合)	(英文) Chunglee KIM・Ewha Womans University・Associate Professor・(6-5)
	http://yangjs.inje.ac.kr/Symposium/kiw/index.html

参加者数

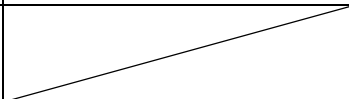
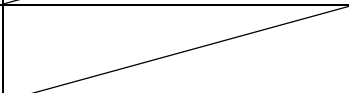
派遣先 派遣元		セミナー開催国 (韓国)		備考
		A.	B.	
日本	A.	10/30		
	B.	7		
(韓国)	A.	8/16		
	B.	36		
(中国)	A.	3/9		
	B.	1		
(台湾)	A.	3/9		
	B.	2		
(イタリア)	A.	2/6		
	B.	1		
(アメリカ)	A.	1/4		
	B.	2		
(オーストラリア)	A.	2/6		
	B.	0		
(イギリス)	A.	0/0		
	B.	1		
合計 <人/人日>	A.	29/80		
	B.	50		

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）

※人／人日は、2／14（＝2人を7日間ずつ計14日間派遣する）のように記載してください。

※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、備考欄にその内訳等を記入してください。

<p>セミナー開催の目的</p>	<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4回である。参加国は開催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、可能な限り早期の KAGRA の完成を目指せる進め方を議論し、多くの選択肢の中から最適なものを決定し、ロードマップの再構築とその情報の Wiki 上での共有を行うことである。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>		
<p>セミナーの成果</p>	<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。特に韓国は、KAGRA の重要装置開発を日本のグループとほぼ一体的に行っている。韓国科学技術情報研究院は、Tier1 データセンターとして、iKAGRA 観測以降のデータをミラーしてデータの保全を継続している。同時に、干渉計診断技術の開発が行われた。仁済大学と梨花女子大学を中心としたグループはデータ解析に関して、ソフト開発を進めた。西江大学は、チルトセンサーを開発し、既に KAGRA に導入され、論文もまとめられた。これらの成果より、本セミナーの開催により、KAGRA の計画を前倒しての構築に大きく貢献した。また、本セミナーのポスターセッションへの発表の機会を提供し、アジアの若手研究者の育成が図られた。</p>		
<p>セミナーの運営組織</p>	<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、Scientific Organizing Committee (SOC) を組織する。プログラムの設定は SOC が中心になって行う。また、会場などの担当は、韓国側研究者数名による Local Organizing Committee (LOC) が行う。</p>		
<p>開催経費 分担内容</p>	<p>日本側</p>	<p>内容 日本研究者の渡航費</p>	<p>金額 637,053 円</p>
	<p>(韓国) 側</p>	<p>内容 韓国研究者の滞在費</p>	
	<p>(中国) 側</p>	<p>内容 中国研究者の渡航費・滞在費</p>	

	(台湾) 側	内容 台湾研究者の渡航費・滞在費	
	(イタリア) 側	内容 イタリア研究者の渡航費・滞在費	
	(オーストラリア) 側	内容 オーストラリア研究者の渡航費・滞在費	
	(イギリス) 側	内容 イギリス研究者の渡航費・滞在費	

整理番号	S-2
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業「第5回 KAGRA 国際ワークショップ」 (英文) JSPS Core-to-Core Program “ 5 th KAGRA International Workshop ”
開催期間	平成 31 年 2 月 14 日 ～ 平成 30 年 2 月 16 日 (3 日間)
開催地 (国名、都市名、会場名)	(和文) イタリア、ペルージャ、ペルージャ大学 (英文) Italy, Perugia, University of Perugia
日本側開催責任者 氏名・所属・職名・研究者番号	(和文) 三代木伸二・東京大学宇宙線研究所・准教授・(1 - 1) (英文) Shinji MIYOKI・Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo・Associate Professor・(1 - 1)
相手国側開催責任者 氏名・所属・職名・研究者番号	(英文) Helios VOCCA・University of Perugia・Associate Professor・(10-4)
(※日本以外での開催の場合)	https://indico.ego-gw.it/event/12/

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (イタリア)		備考
		A.	B.	
日本	A.	23/	115	
	B.	1		
(イタリア)	A.	5/	20	
	B.	19		
(中国)	A.	3/	15	
	B.	2		
(台湾)	A.	2/	10	
	B.			
(韓国)	A.	1/	5	
	B.	3		
(ドイツ)	A.	1/	4	
	B.			
(イギリス)	A.	2/	8	
	B.	1		
(フランス)	A.	2/	8	
	B.			
(オーストリア)	A.	0/	0	
	B.	1		
(オランダ)	A.	0/	0	
	B.	2		
(アメリカ)	A.	0/	0	
	B.	1		
合計 〈人/人日〉	A.	39/	185	
	B.	30		

A. 本事業参加者（参加研究者リストの研究者等）

B. 一般参加者（参加研究者リスト以外の研究者等）

※人/人日は、2/14（＝2人を7日間ずつ計14日間派遣する）のように記載してください。

※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、備考欄にその内訳等を記入してください。

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5回である。KIW はアジアで開催されることが基本であるが、Adv.LIGO-Adv.Virgo との O3 ネットワーク重力波観測を目前に控え、その打ち合わせや、次世代極限重力波望遠鏡に関する共同研究の促進のため、Adv.Virgo 重力波望遠鏡があるイタリアで開催される。よって、多くの欧米からの参加者が見込まれる。また、若干名のアジアからの参加者も期待され、アジアの研究者の次世代極限重力波望遠鏡開発への導入ともする。</p>		
セミナーの成果	<p>本ワークショップの開催により、Adv.Virgo と Adv.LIGO との同時ネットワーク重力波観測に関する準備が加速され、半年前倒しの実現性が高まった。また、EGO は ET 計画という、次世代極限重力波望遠鏡計画を策定しており、そこで想定されている、「地下環境の利用」と「低温技術の導入」は KAGRA が先駆けて開発している技術であり、KAGRA の開発状況は、重要な試金石となり、次世代極限重力波望遠鏡の要素技術に関する共同開発が進んだ。さらに、ヨーロッパでの開催であるため、次世代極限重力波望遠鏡に想定されるその他の要素技術開発で卓越するイギリス、フランス、ドイツの参加もあり、さらに、次世代極限重力波望遠鏡の共同研究が効率よく進められた。</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、Scientific Organizing Committee (SOC) を組織する。プログラムの設定は SOC が中心になって行う。また、会場などの担当は、イタリア側研究者数名による Local Organizing Committee (LOC) が行う。</p>		
開催経費 分担内容	日本側	内容 日本研究者の渡航 費・滞在費	金額 2,024,706 円
	(イタリア) 側	内容 イタリア研究者の 渡航費・滞在費	
	(中国) 側	内容 中国研究者の渡航 費・滞在費	
	(台湾) 側	内容 台湾研究者の渡航 費・滞在費	
	(韓国) 側	内容 韓国研究者の渡航 費・滞在費	
	(イギリス) 側	内容 イギリス研究者の 渡航費・滞在費	
	(ドイツ) 側	内容 ドイツ研究者の渡 航費・滞在費	

	(フランス) 側	内容 フランス研究者の 渡航費・滞在費	
	(オーストラリア) 側	内容 オーストラリア研 究者の渡航費・滞在費	
	(アメリカ) 側	内容 アメリカ研究者の 渡航費・滞在費	

7-3 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応

該当なし

8. 平成30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

別紙のとおり

※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。

※相手国以外の国へ派遣する場合、国名に続けて（第三国）と記入してください。

8-2 国内での交流実績

第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	合計
0 / 0 (186 / 875)	0 / 0 (250 / 911)	7 / 13 (154 / 600)	1 / 2 (92 / 516)	8 / 15 (682 / 2902)

9. 平成30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	1,339,520	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	10,347,786	
	謝金	0	
	備品・消耗品 購入費	247,782	
	その他の経費	886,661	
	不課税取引・ 非課税取引に 係る消費税	678,251	
	計	13,500,000	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		1,350,000	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		14,850,000	

8-1 相手国との交流実績

派遣元	四半期	相手国														合計
		日本	イギリス	アメリカ	オーストラリア	台湾	韓国	中国	インド	ベトナム	イタリア	ドイツ	フランス	第三国(オランダ)		
日本	1			5 / 41 (13 / 83)				11 / 38 (6 / 23)	1 / 7 (/)			2 / 15 (1 / 67)			19 / 101 (22 / 242)	
	2		1 / 9 (/)								1 / 6 (/)			5 / 39 (12 / 112)		
	3			4 / 61 (9 / 163)										4 / 61 (17 / 226)		
	4													8 / 108 (26 / 255)		
	計		1 / 9 (0 / 0)	9 / 102 (32 / 353)	1 / 8 (0 / 0)	0 / 0 (2 / 12)	11 / 38 (6 / 23)	1 / 7 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	1 / 6 (5 / 45)	10 / 123 (19 / 255)	0 / 0 (2 / 33)	0 / 0 (8 / 91)	2 / 16 (3 / 23)	36 / 309 (77 / 635)	
イギリス	1													0 / 0 (9 / 68)		
	2													0 / 0 (5 / 20)		
	3													0 / 0 (3 / 22)		
	4													0 / 0 (2 / 8)		
	計	0 / 0 (3 / 22)		0 / 0 (8 / 64)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 4)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (2 / 8)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (5 / 20)	0 / 0 (19 / 118)		
アメリカ	1													0 / 0 (6 / 93)		
	2													0 / 0 (17 / 69)		
	3													0 / 0 (0 / 0)		
	4													0 / 0 (4 / 4)		
	計	0 / 0 (4 / 86)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (4 / 16)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (16 / 64)	0 / 0 (24 / 166)		
オーストラリア	1													0 / 0 (3 / 12)		
	2													0 / 0 (2 / 10)		
	3													0 / 0 (0 / 0)		
	4													0 / 0 (0 / 0)		
	計	0 / 0 (1 / 6)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 4)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (2 / 8)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 4)	0 / 0 (0 / 0)		
台湾	1													0 / 0 (5 / 22)		
	2													5 / 53 (15 / 109)		
	3													8 / 66 (9 / 85)		
	4													7 / 33 (10 / 156)		
	計	0 / 0 (1 / 6)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 4)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (6 / 24)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 4)	0 / 0 (5 / 22)		
韓国	1													3 / 14 (1 / 5)		
	2													3 / 16 (6 / 28)		
	3													2 / 9 (9 / 36)		
	4													0 / 0 (6 / 41)		
	計	8 / 39 (12 / 81)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 9)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (4 / 16)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (4 / 20)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	8 / 39 (22 / 104)		
中国	1													0 / 0 (15 / 104)		
	2													4 / 25 (7 / 215)		
	3													2 / 10 (7 / 76)		
	4													2 / 32 (8 / 307)		
	計	8 / 77 (27 / 657)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (4 / 16)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (5 / 25)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	8 / 77 (37 / 702)		
インド	1													0 / 0 (1 / 4)		
	2													0 / 0 (1 / 4)		
	3													0 / 0 (0 / 0)		
	4													0 / 0 (0 / 0)		
	計	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 4)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 4)	0 / 0 (2 / 8)		
ベトナム	1													0 / 0 (1 / 4)		
	2													0 / 0 (0 / 0)		
	3													0 / 0 (0 / 0)		
	4													0 / 0 (0 / 0)		
	計	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 4)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 4)		
イタリア	1													0 / 0 (6 / 50)		
	2													0 / 0 (11 / 113)		
	3													0 / 0 (4 / 51)		
	4													0 / 0 (2 / 151)		
	計	0 / 0 (1 / 23)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (2 / 8)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (3 / 12)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (6 / 24)	0 / 0 (23 / 423)		
ドイツ	1													0 / 0 (3 / 31)		
	2													0 / 0 (1 / 4)		
	3													0 / 0 (0 / 0)		
	4													0 / 0 (1 / 4)		
	計	0 / 0 (1 / 23)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (2 / 8)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 4)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 4)	0 / 0 (5 / 39)		
フランス	1													0 / 0 (4 / 51)		
	2													0 / 0 (6 / 60)		
	3													0 / 0 (1 / 11)		
	4													0 / 0 (3 / 36)		
	計	0 / 0 (6 / 122)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (2 / 12)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (2 / 8)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (4 / 16)	0 / 0 (14 / 158)	0 / 0 (0 / 0)		
第三国(オランダ)	1													0 / 0 (0 / 0)		
	2													0 / 0 (1 / 5)		
	3													0 / 0 (0 / 0)		
	4													0 / 0 (0 / 0)		
	計	8 / 67 (27 / 347)	0 / 0 (0 / 0)	5 / 41 (29 / 193)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	11 / 38 (27 / 107)	1 / 7 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	2 / 15 (1 / 67)	0 / 0 (1 / 14)	0 / 0 (1 / 45)	0 / 0 (0 / 0)	27 / 168 (86 / 733)	
合計	1													20 / 156 (78 / 783)		
	2													15 / 113 (51 / 578)		
	3													15 / 113 (51 / 578)		
	4													15 / 213 (57 / 909)		
	計	41 / 341 (105 / 1791)	1 / 9 (0 / 0)	9 / 102 (30 / 471)	1 / 8 (0 / 0)	0 / 0 (2 / 12)	11 / 38 (27 / 107)	1 / 7 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	1 / 6 (5 / 45)	10 / 123 (38 / 480)	0 / 0 (2 / 33)	0 / 0 (8 / 91)	2 / 16 (38 / 168)	77 / 660 (272 / 444)