

先端国際共同研究推進事業
2023 年度採択
Top 研究者のための ASPIRE
量子分野

2023 年度～2024 年度
年次報告書（公開版）

研究課題名	重力波天文学のための量子制御技術
日本側研究代表者	宗宮 健太郎 東京科学大学 教授
相手側研究代表者	David McClelland, Distingusihed Professor/Director, Centre for Gravitational Astrophysics, Australian National University
研究期間	2024 年 2 月 1 日～2029 年 3 月 31 日

1. 研究成果の概要

① 研究構想にかかる成果

<実施したこと>

5月に豪州ハミルトン島で開催された GWADW (Gravitational-Wave Detector Workshop)や、12月にブリスベンで開催された OzGrav (ARC Centre of Excellence for Gravitational Wave Discovery) Retreat (オフサイトミーティング) など、多くのワークショップにおいて、日豪の研究者で交流を実施した。8月には在日オーストラリア大使館で ASPIRE ワークショップを実施し、オーストラリアから招聘した8名の研究者を含む40名超の研究者や大使館関係者で親交を深めると共に、高周波重力波望遠鏡開発に関する議論をした。5月と11月には日本の研究者が UWA (The University of Western Australia) や ANU (The Australian National University) を訪問し、共同研究を実施した。7月と8月には ANU の研究者、2月には UWA の研究者が1か月単位で来日し、科学大、天文台、KAGRAなどで、量子制御や結晶鏡の複屈折解析などに関する共同研究を実施し、KAGRA 望遠鏡のコミッショニングに貢献した。

<得られた成果>

オーストラリアでは、詳細な解析の結果、中性子星連星合体の観測頻度が1年に一度以下であることが分かり、NEMO 建設の意見がトーンダウンしている。一方で、日本では KAGRA+を高周波特化する意見に賛同の声が増えている。観測頻度が1年に一度以下である事実に対する懸念は日本側でも出ており、事態を打開するにはあと2倍程度の量子雑音軽減が必要である。干渉計の信号リサイクル共振器内に遅延線を導入する LSRC と呼ばれる技術が注目されているが、干渉計の高出力化や他の量子制御技術も含めて開発を続け、感度の向上を図ることが必須である。

② 国際ネットワーク構築・拡大に関する成果

<実施したこと>

(1) IGWN (The International Gravitational-Wave Observatory Network) 会議における意見交換：現在、重力波望遠鏡の国際ネットワークは、欧米日の三者による MOU を基盤としているが、2025年6月から IGWN という新組織のもとで、より統合されたものに変更される。オーストラリアグループは LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) の傘下であり、LIGO 望遠鏡のコミッショニング作業への参加が条件として課されているため、ASPIRE で若手研究者を招聘しようとしても、米国が優先されてしまうため、IGWN のもとで条件が変更されるよう、働きかけを実施した。

(2) OzGrav への参画：これまで OzGrav のメンバーリストに日本人は誰も掲載されていなかったが、2024年9月に宗宮が Associate Investigator として正式に参画した。同12月には、OzGrav のメンバーだけが参加できるイベントに出席し、高周波重力波望遠鏡の技術開発を議論するセッションを担当したことに加え、ASPIRE を宣伝するブースを開設した等、積極的に活動した。

(3) KAGRA Project R&D への参入：KAGRA のオーサiershipは、KAGRA への貢献度の積算で決められる。2024年度、ASPIRE における量子制御技術の開発が Project R&D として承認され、オーストラリアグループの貢献の見える化と、ASPIRE の若手にオーサiershipを得る機会の付与を実現した。

<得られた成果>

IGWN に関しては、ASPIRE-GW グループの中で意識の共有ができてきている。現状では、2025年度から IGWN が運用を開始し、日豪の協力がこれまでよりスムーズに進むと期待される。OzGrav への参画が達成されたことで、Instrumental Science チームだけでなく理論・データ解析のチームにも ASPIRE が浸透した。Project R&D への参入が達成できたことで、KAGRA 会議内で情報発信する機会が増えた。R&D を担当する若手研究者の中で KAGRA のコミッショニングに興味を持つ者も出てくると期待される。

③ 国際頭脳循環の促進に資する若手研究者の人材育成に関する成果

<実施したこと>

ワークショップでの人材交流や中長期の若手研究者の派遣を実施。5 月ワークショップで 20 名の若手研究者（13 名の大学院生と 7 名のポスドク研究員）を派遣、うち 7 名はワークショップ後に UWA と ANU を見学し、親交を深めた。8 月には ASPIRE ワークショップを開催し、8 名の研究者（うち 4 名は大学院生、2 名はポスドク研究員）をオーストラリアから招聘し、親交を深めた。5-6 月に天文台の大学院生を ANU に 1 か月派遣した。その学生は 8 月に日本へ招聘した ANU の大学院生と共同研究を開始し、12 月と翌 2 月に 1 か月ずつ ANU を訪問し、共同研究を進めた。延べ 3 か月の研究交流ということになる。8 月から翌 2 月には科学大の大学院生を ANU に 6 か月派遣した。その学生は 12 月の OzGrav Retreat の若手研究者セッションにも参加し、オーストラリアの若手と親交を深めた。豪州の若者を長期で日本に招聘するプログラムを ASPIRE Fellowship と名づけ、OzGrav Retreat でブースを開設して宣伝した。10 名の大学院生と 4 名のポスドク研究員を含む 18 名の研究者がエントリーしてくれた。

<得られた成果>

国内では、オンサイトの学生とオフサイトの学生の親交が深まったのを感じるし、OIST（沖縄科学技術大学院大学）や名古屋大などこれまで KAGRA 関連の研究と縁がなかった大学の研究者とも交流をもつことができた。日豪間でも、多くの若手研究者が交流し、日本で研究することを検討する若者も少なからず出てきた。日豪それぞれで若手研究者が活躍しており、日豪間での交流も活性化している。

2. 研究実施体制

研究テーマ	中心となる研究者氏名	所属機関・部署・役職名
1 NEMOとKAGRA+の比較検討	宗宮 健太郎 David Ottaway	東京科学大学・理学院・教授 University of Adelaide・Professor
2 低温高出力干渉計技術	Chunnong Zhao 麻生 洋一	University of Western Australia・Associate Professor 国立天文台・准教授
3 量子制御による量子雑音軽減技術	David McClelland 宗宮 健太郎	Australian National University・Professor 東京科学大学・理学院・教授
4 量子センサ技術	安東 正樹 Bram Slagmolen	東京大学・理学系研究科・教授 Australian National University・Researcher

3. 代表的な業績（原著論文、プレスリリース、表彰など）

- [1] H.Wang et al., "Characterization of birefringence inhomogeneity of KAGRA sapphire mirrors from transmitted wavefront error measurements," **Phys.Rev.D**, 110, 082007 (2024)
- [2] M.Eisenmann et al., "Birefringence compensation method of test-mass substrates for gravitational wave detectors with arbitrary polarization states," **Opt. Lett.**, 49, 3404-3407 (2024)
- [3] Y.Nishino et al., "Frequency-dependent squeezing for gravitational-wave detection through quantum teleportation," **Phys. Rev. A**, 110, 022601 (2024)
- [4] S.Otabe et al., "Kerr-Enhanced Optical Spring," **Phys.Rev.Lett.**, 132, 143602 (2024)
- [5] S.Tian et al., "Feedback cooling of an insulating high-Q diamagnetically levitated plate," **Appl.Phys.Lett.**, 124, 124002 (2024)