

日本天文学会早川幸男基金渡航報告書

2026 年 6 月 10 日採択

申請者氏名	中馬史博 (会員番号 8897)
連絡先住所	〒 263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33 理学部 2 号館 千葉大学宇宙物理学研究室
所属機関	千葉大学融合理工学府
職あるいは学年	D2
任期 (再任昇格条件)	
渡航目的	研究集会での口頭発表
講演・観測・研究題目	Constraining the lensing dispersion from the angular clustering of binary black hole mergers
渡航先 (期間)	オランダ (2026 年 8 月 23 日～8 月 29 日)

本渡航では日本天文学会早川幸男基金の支援を受け、2026 年 8 月 24 日から 28 日まで、オランダの Leiden 大学で開催された COSMO-26, 29th International Conference on Particle Physics & Cosmology に参加し、口頭発表の機会を得たので、その成果について報告する。開催地の Leiden 大学は 16 世紀後半に創設されたオランダ最古の大学であり、Lorentz や Ehrenfest、de Sitter が教鞭をとり、Einstein も宇宙論の議論のために頻繁に訪れた。ライデン瓶や Snell の法則、Zeeman 効果、スピン、超伝導、Oort 定数、電波天文学における 21cm 水素線など、物理学史上重要な発見がなされてきた。現在でも初期宇宙論から宇宙論シミュレーション、重力波宇宙論まで幅広い研究が活発に行われており、近隣の Utrecht 大学とともに欧州における宇宙論の一大拠点となっている。1997 年から毎年開催されている COSMO は宇宙の暗黒面「invisible universe」の研究の発展を目的とした国際学会で、当初は量子物理学と重力に主眼が置かれていたが、現在では天文学・宇宙論へと領域を広げ、多様な研究背景をもつ研究者が世界中から集まる宇宙論に関する有数の国際会議となっている。今年の organiser には Matthieu Schaller 氏や Koen Kuijken 氏（いずれも Leiden 大学）、Elisa Chisari 氏（Utrecht 大学）など弱重力レンズ・大規模構造・重力波宇宙論・宇宙論シミュレーションを専門とする研究者が多く名を連ねていた。

今回は「Constraining the lensing dispersion from the angular clustering of binary black hole mergers」というタイトルで、連星ブラックホールからの重力波を用い、赤方偏移を用いずに小スケールの密度揺らぎを制限する新手法に関する研究について発表を行った。連星ブラックホールからの重力波は光度距離を直接的に少ない系統誤差で測定でき、高赤方偏移における強力な宇宙論プローブであり、標準サイレンとしてだけではなく小スケールの密度揺らぎを制限できる可能性をもつ。一方で、赤方偏移を直接得ることができないことが連星ブラックホールの宇宙論への応用における重要な課題であった。そこで我々は、重力波源の天球上におけるクラスターリングの角度相関を用いることで、赤方偏移を用いることなくレンズ収束場の分散を制限する手法を提案した。光度距離に対する 2 次の重力レンズ効果を組み込むことにより、観測量である重力波源のクラスターリングの自己相関がレンズ収束場の分散の減少関数であることを見だし、信号対雑音比の評価から第 3 世

代の重力波観測器を用いて十分観測可能であることを示した。また、連星ブラックホールの分布の線形バイアスとレンズ収束場の分散が縮退することを明らかにした上で、銀河と重力波源の相互相関との Joint 解析によってこの縮退を解き、小スケールの密度揺らぎを制限できる可能性を示した。

発表は学会 4 日目であったが、会期中を通して Elisa Chisari 氏や Alessandra Silvestri 氏をはじめとする大規模構造・重力波の専門家に論文を直接手渡しで紹介し、連星ブラックホールの分布のバイアスをいかにモデル化するか、および FRB をともに用いた制限の可能性といった論点について議論を行うことができた。論文のコピーを入れていたスーツケースが delayed luggage となり 3 日間手渡しができないというハプニングもあったが、改めてコメントをいただけることになっており、学会終了後も引き続き議論を重ねていきたい。また発表後には、普段は銀河のシアを観測している学生から、シアを経由せずにレンズ収束場を直接測定できる重力波を用いた手法の特徴について質問を受けた。さらに、Ia 型超新星を用いてレンズ収束場の分散に制限を与えた羽田龍一郎氏 (ASIAA) とは、Ia 型超新星と重力波の性質の違いに起因する手法上の差異を比較しながら議論し、双方の手法に対する理解を深めることができた。

本学会では多くのセッションがあったが、主に Plenary セッションおよび大規模構造 (LSS) のパラレルセッションに参加した。重力波観測を専門とする Chris van den Broeck 氏 (Utrecht 大学・Nikhef) の Plenary 講演では、質疑応答の場で Einstein Telescope の形状 (三角形か 2 拠点 L 字型か) が検出器性能に与える影響について質問した。回答として、三角形配置は 3 台の V 字型検出器の出力の和が重力波信号を打ち消す「ヌルチャンネル」を形成でき、信号とノイズの分離という点で優位性を持つ一方、L 字型の 2 拠点構成は天球上の位置決定精度がわずかに優れるとの説明を得た。自身の研究は重力波源の角度クラスタリングを用いる手法であるため、検出器配置に依存するノイズ分離性能や位置決定精度の違いは、将来的な系統誤差評価においても参照すべき論点だと理解した。また、宇宙論的流体シミュレーション FLAMINGO/COLIBRE を主導する Joop Schaye 氏 (Leiden 大学) の Plenary 講演も強く印象に残った。同講演では、超新星・AGN フィードバックによるガスの排出がハローの質量分布やパワースペクトルを抑制する一方、この過程を数値的にモデル化する際、サブグリッドスケールに与えられた熱エネルギーが過剰に冷却されてしまい十分なフィードバックが働かない「オーバークーリング問題」という技術的困難が伴うことが説明された。さらに、kSZ 観測や eROSITA の X 線観測が示すハローのバリオン質量分率はいずれも従来の想定より低く、FLAMINGO の標準モデルよりも強いフィードバックによってガスが排出されていることを示唆しており、こうした緊張関係が観測・シミュレーションの双方で共有されつつあるとの指摘があった。この点は、小スケールの重力レンズ効果を用いる自身の研究において主要な系統誤差の一つであり、直接的に参考になる内容であった。他にも、Willem Elbers 氏 (Durham 大学) による CMB・DESI BAO・Lyman-alpha forest を組み合わせたニュートリノ質量制限に関する講演や、Chiara Caprini 氏 (Geneva 大学・CERN) による後期宇宙の膨張史および初期宇宙物理を重力波で探るレビュー講演など、幅広く興味深い内容の Plenary 講演が 18 件行われた。

LSS のパラレルセッションでは、宇宙論解析における系統誤差をいかに分離・制御するかを主題とする発表を数多く聴講した。とりわけ印象に残ったのは、銀河バイアスのスケール依存性を天体物理的な不定性から切り分けようとする試みである。Maxim von

Wietersheim-Kramsta 氏 (Durham 大学) は、確率性と非局所性を線形次数の段階から取り込んだ解析的な射影銀河バイアスモデルを提案し、FLAMINGO などの流体力学シミュレーションでキャリブレーションすることで、天体物理的な系統誤差と真にスケール依存的な構造成長とを分離できることを示した。これは観測量に混在する天体物理的な不定性を、スケール依存性に基づき宇宙論的信号から切り分けるものであり、自身が進めている小スケール重力レンズ研究と問題意識を共有する内容で、新たな視点を与えられる非常に興味深い内容であった。

また今回は、羽田龍一郎氏、栗田智貴氏 (Max Planck 天体物理学研究所)、糸潤哉氏 (Helsinki 大学) という、海外でポスドクとして研究生活を送っている先輩方にも知遇を得ることができ、海外ポスドク生活の様子や滞在先選択のアドバイスなど助言を得ることができた。今後も積極的に相談するなどして、自身の進路を確実なものにしていきたい。当初は単身での参加で知り合いもほとんどいなかったが、積極的にコミュニケーションをとることで、今後の研究に結びつく多くの人脈を得ることができた。本学会で得た知見と人脈を最大限に活用し、現在進行中の研究に邁進していきたい。末筆となるが、今回の渡航に際して援助いただいた早川幸男基金の関係者の皆様に深謝申し上げたい。