

## 研究成果報告書

研究テーマ (和文)	スパースモデリングを用いた超解像による銀河中心核ブラックホール-銀河共進化の解明		
研究テーマ (英文)	Revealing the Co-evolution of Central Black Holes and Galaxies through Superresolution with Sparse Modeling		
研究期間	2018年～2021年	研究機関名 名古屋大学	
研究代表者	氏名	(漢字)	竹内 努
		(カタカナ)	タケウチ ツトム
		(英文)	Tsutomu T. TAKEUCHI
	所属機関・職名	名古屋大学理学研究科素粒子宇宙物理学専攻・准教授	
共同研究者 (1名をこえる場合は、別紙追加用紙へ)	氏名	(漢字)	田村 陽一
		(カタカナ)	タムラ ヨウイチ
		(英文)	Yoichi TAMURA
	所属機関・職名	名古屋大学理学研究科素粒子宇宙物理学専攻・准教授	

概要 (600字～800字程度にまとめてください。)

活動銀河核 (AGN) の統一モデルは多様な AGN をトーラスと呼ばれる濃いガスとダストからなる構造の空間構造を見込む角の違いで説明する。しかし既存の装置では角分解能が足りず、トーラスの存在は直接撮像で確かめられたことはない。本研究は AGN 画像にスパースモデリングという手法を適用して超解像し、トーラスの 3 次元構造を決定する。これにより、ブラックホールと銀河の共進化問題を説明することが目的である。

本研究では電波干渉計観測データが主役となる。干渉計データにスパースモデリングを適用することで、古典的な解像度の限界を超えた超解像が実現できる。しかし、干渉計に適用する場合は相手の天体の構造に依存して最適な設定が変化するという問題があり、補助的なデータ処理方法、アルゴリズムの開発や他の電波での波長の観測の追加など、少なからぬ予備的研究も必要である。そこで、欠損のある電波画像復元の技術、スパースモデリングを含む超解像の方法論の拡充など多くのデータ科学研究を並行して行い、全体で 3 年間に延長した研究期間中および期間終了後の現在も続々と新たな成果を発表し続けている (発表論文参照)。

体系的な方法論の構築と最適化されたアルゴリズムに基づき、チリのミリ波/サブミリ波干渉計 ALMA で取得された 2 つの近傍銀河のアーカイブデータについて、中心の AGN の超解像を行った。2 銀河とも 2 型 AGN、すなわちトーラスを横から見たと考えられる可視光スペクトルを持つ。この解析の結果、実際にほぼ側面から見たトーラス構造を分解することに成功した。結果は論文として執筆済みであるが、アーカイブの取得された時期の ALMA の位置決定精度が今回の研究の要求ぎりぎりであることが判明し、結論をより強固なものにするためいったん保留とすることを決断した。

確固たる結論を導くため、我々は ALMA による同じ銀河の最適な観測を提案し、受理されている。現在はデータ送付を待つのみだが、コロナ禍により ALMA 観測が長期間中断するなど不運が重なって未だに届いていない。このデータが届き次第、論文を改訂して発表する予定である。

発表文献 (この研究を発表した雑誌・図書について記入してください。)						
雑誌	論文課題	Detection of the Far-infrared [O III] and Dust Emission in a Galaxy at Redshift 8.312: Early Metal Enrichment in the Heart of the Reionization Era				
	著者名	Tamura, Y., et al.	雑誌名	Astrophysical Journal		
	ページ	id. 27, 13 pp.	発行年	2 0 1 9	巻号	874
雑誌	論文課題	A method for unmasking incomplete astronomical signals: Application to the CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies project				
	著者名	Cooray, S. et al.	雑誌名	Publications of the Astronomical Society of Japan		
	ページ	id. 61, 15 pp.	発行年	2 0 2 0	巻号	72
雑誌	論文課題	CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies (COMING). X. Physical conditions of molecular gas and the local SFR&-mass relation				
	著者名	Morokuma-Matsui, K., et al.	雑誌名	Publications of the Astronomical Society of Japan		
	ページ	id. 90, 16 pp.	発行年	2 0 2 0	巻号	72
雑誌	論文課題	Constructing a multivariate distribution function with a vine copula: towards multivariate luminosity and mass functions				
	著者名	Takeuchi, T. T. & Kono, K. T.	雑誌名	Monthly Notices of the Royal Astronomical Society		
	ページ	4365~4378	発行年	2 0 2 0	巻号	498
雑誌	論文課題	An iterative reconstruction algorithm for Faraday tomography				
	著者名	Cooray, S., et al.	雑誌名	Monthly Notices of the Royal Astronomical Society		
	ページ	5129~5141	発行年	2 0 2 0	巻号	500
雑誌	論文課題	Spatially resolved properties of galaxies with a kinematically distinct core				
	著者名	Omori, K. C., & Takeuchi, T. T.	雑誌名	Astronomy & Astrophysics		
	ページ	id. A181, 17 pp.	発行年	2 0 2 1	巻号	647
雑誌	論文課題	CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies (COMING). IX. 12CO(J = 2-1)/12CO(J = 1-0) line ratio on kiloparsec scales				
	著者名	Yajima, Y., et al.	雑誌名	Publications of the Astronomical Society of Japan		
	ページ	257~285	発行年	2 0 2 1	巻号	73
雑誌	論文課題	Dynamical evolution of voids with surrounding gravitational tidal field				
	著者名	Minoguchi, M., et al.	雑誌名	Monthly Notices of the Royal Astronomical Society		
	ページ	2804~2813	発行年	2 0 2 1	巻号	503
雑誌	論文課題	Jets from MRC 0600-399 bent by magnetic fields in the cluster Abell 3376				
	著者名	Chibueze, J. O., et al.	雑誌名	Nature		
	ページ	47~50	発行年	2 0 2 1	巻号	593

雑誌	論文課題	MeerKAT's view of double radio relic galaxy cluster Abell 3376				
	著者名	Chibueze, J. O., et al.	雑誌名	Publications of the Astronomical Society of Japan		
	ページ	Advanced access	発行年	2 0 2 2	巻号	-
雑誌	論文課題	The bimodality in the mass-metallicity relation in SDSS-MaNGA galaxy pairs				
	著者名	Omori, K. C., & Takeuchi, T. T.	雑誌名	Astronomy & Astrophysics		
	ページ	id. A145, 8 pp.	発行年	2 0 2 2	巻号	660
雑誌	論文課題	A new galaxy spectral energy distribution model consistent with the evolution of dust				
	著者名	Nishida, K. Y., et al.	雑誌名	Monthly Notices of the Royal Astronomical Society		
	ページ	2098~2115	発行年	2 0 2 2	巻号	514
雑誌	論文課題	Wavelets and sparsity for Faraday tomography				
	著者名	Cooray, S. et al.	雑誌名	Publications of the Astronomical Society of Japan		
	ページ	Advanced access	発行年	2 0 2 2	巻号	-
雑誌	論文課題	Deblurring galaxy images with Tikhonov regularization on magnitude domain				
	著者名	Murata, K., & Takeuchi, T. T.	雑誌名	Publications of the Astronomical Society of Japan		
	ページ	Advanced access	発行年	2 0 2 2	巻号	-
雑誌	論文課題	CO(J=1-0) mapping survey of 64 galaxies in the Fornax cluster with the ALMA Morita array				
	著者名	Morokuma-Matsui, K., et al.	雑誌名	Astrophysical Journal Supplement Series		
	ページ	In press	発行年	2 0 2 2	巻号	-

英文抄録 (100語~200語程度にまとめてください。)

A unified model of the active galactic nucleus (AGN) explains the various AGNs with different angles that allow the spatial structure of dense gas and dust structures called tori. However, the existence of a torus has never been confirmed by direct imaging because the angular resolution of existing instruments is insufficient. In this research, we apply a technique called sparse modeling to AGN images and super-resolve them to determine the three-dimensional structure of the torus. The aim is to explain the problem of black hole-galaxy coevolution.

Based on the construction of a systematic methodology and an optimized algorithm, we performed central AGN super-resolution for two nearby galaxy archive data acquired by the Chilean millimeter/submillimeter interferometer ALMA. Both galaxies have a type 2 AGN, the visible light spectrum of a torus viewed from the side. As a result of this analysis, we succeeded in decomposing the torus structure seen from the side. We have already summarized the result as a paper, but it turned out that the position accuracy of ALMA at the time when the archive was acquired was barely sufficient for this research. Hence we decided to withhold it in order to make the conclusion more robust.

To draw a firm conclusion, we submitted an observation proposal of the same galaxies to ALMA, and it has been already accepted. Currently, we are just waiting for the data to be delivered, but it has not yet arrived due to a combination of bad luck, such as the long-term suspension of ALMA observations due to the COVID-19 disaster. As soon as we receive the new data, we will publish a revised paper.

共同研究者	氏名	(漢字)	池田 思朗	
		(カタカナ)	イケダ シロウ	
		(英文)	Shiro IKEDA	
	所属機関・職名		統計数理研究所・教授	
	氏名	(漢字)		
		(カタカナ)		
		(英文)		
	所属機関・職名			
	氏名	(漢字)		
		(カタカナ)		
		(英文)		
	所属機関・職名			
	氏名	(漢字)		
		(カタカナ)		
		(英文)		
	所属機関・職名			
	氏名	(漢字)		
		(カタカナ)		
		(英文)		
所属機関・職名				
氏名	(漢字)			
	(カタカナ)			
	(英文)			
所属機関・職名				
氏名	(漢字)			
	(カタカナ)			
	(英文)			
所属機関・職名				
氏名	(漢字)			
	(カタカナ)			
	(英文)			
所属機関・職名				
氏名	(漢字)			
	(カタカナ)			
	(英文)			
所属機関・職名				