

M87巨大ブラックホールを取り巻く降着円盤と ジェットの同時撮影に初めて成功

発表者

秦 和弘 (国立天文台 水沢 / 総合研究大学院大学) : 研究背景・今後の展望

田崎 文得 (東京エレクトロン テクノロジーソリューションズ株式会社) : 観測結果

中村 雅徳 (八戸工業高等専門学校 / 台湾中央研究院天文及天文物理研究所) : 解釈・意義

陪席者

川島 朋尚 (東京大学 宇宙線研究所)



大阪公立大学
Osaka Metropolitan University

はじめに

- 日本を含む16の国と地域、65の研究機関、100名超の研究者による国際共同研究成果
- 本研究成果はLu et al. “*A ring-like accretion structure in M87 connecting its black hole and jet*”として英国の科学雑誌『ネイチャー』に本日掲載（オンライン版も同時に掲載）
- 論文・記事解禁：日本時間 4月27日 午前0時（現在は解禁済）
- 国内合同発表機関におけるwebリリース公開：本日 午前10時以降 順次

国内の合同発表機関

- 国立天文台
- 八戸工業高等専門学校
- 総合研究大学院大学
- 東京大学 宇宙線研究所
- 新潟大学
- 工学院大学
- 大阪公立大学

海外の合同発表機関

- 上海天文台
- 台湾中央研究院天文及天体物理研究所
- マックスプランク電波天文学研究所
- 韓国天文研究院
- アメリカ国立電波天文台
- マサチューセッツ工科大学ヘイスタック観測所
- 他

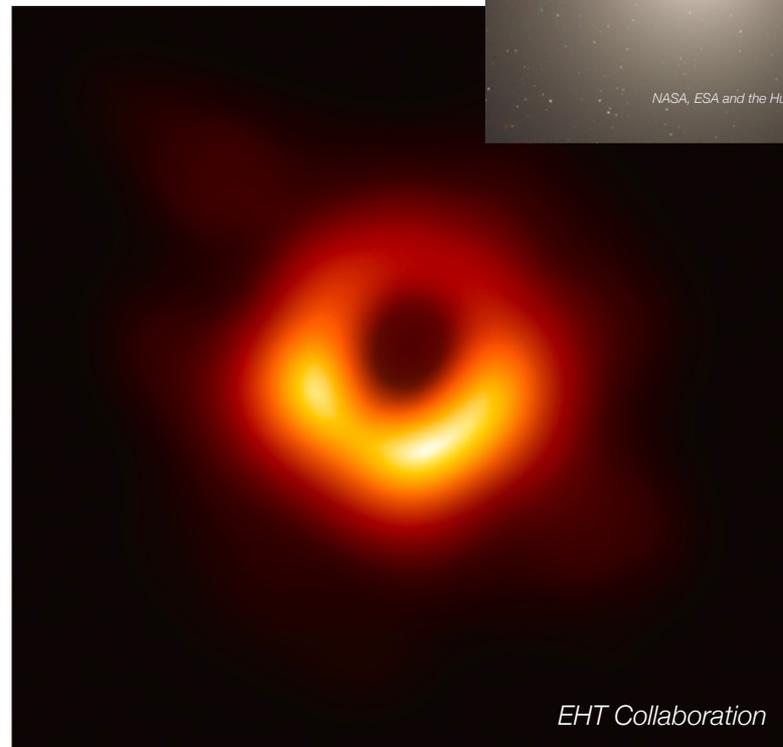
研究の背景

秦 和弘

史上初のブラックホール撮影

- 2019年4月に発表
- 撮影に成功したのはイベント・ホライズン・テレスコープ（EHT）
- 地球から5500万光年の距離にある楕円銀河M87の中心部（活動銀河核）を観測
- ブラックホールの初めての視覚的証拠を示すとともに、銀河の中心には巨大なブラックホールが存在することを決定的に

M87 (可視光)

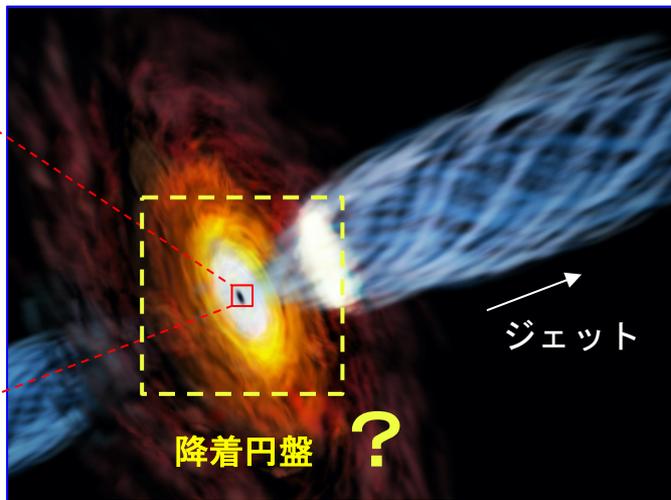
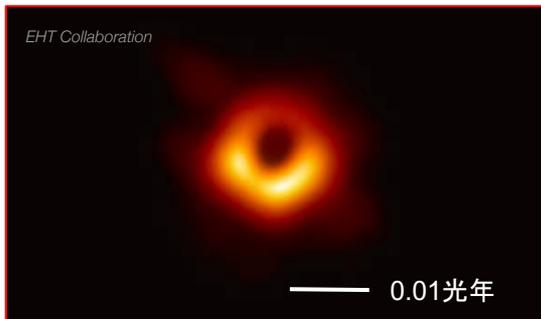


EHTが残した宿題

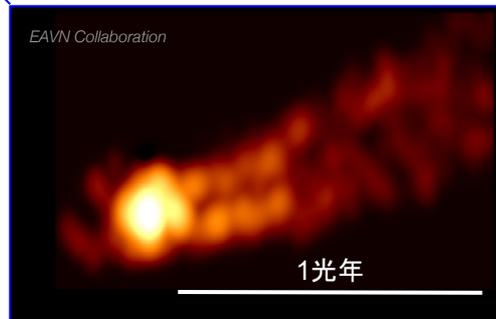
EHT画像では感度と視野の制約により、ブラックホールの周囲に広がる構造が捉えられなかった

M87ブラックホール周辺の想像図

波長1.3mm (EHT, 視力300万)



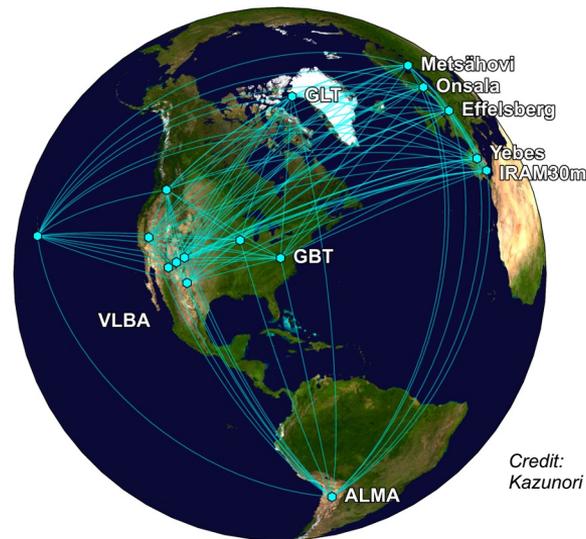
波長7mm (東アジアVLBI, 視力15万)



- **ブラックホールとジェットの橋渡し役である「降着円盤」は未だ直接撮影されたことがない**
- EHTに迫る視力とともに、周囲の構造も観測できる感度と視野も備えた望遠鏡が必要だった

今回用いた望遠鏡：GMVAとは

- **波長3.5mm帯**を用いた地球規模の電波望遠鏡 (VLBI)ネットワーク
- EHTに比べ視力はやや劣るが、より感度が高く視野が広い (EHTと相補的)
- 今回は2018年4月に行われたGMVAによるM87の観測成果を発表
- GMVAに加え、**アルマ望遠鏡とグリーンランド望遠鏡が新たに参加し、これまでで最も高品質な3.5mm帯VLBI観測データ**が得られた

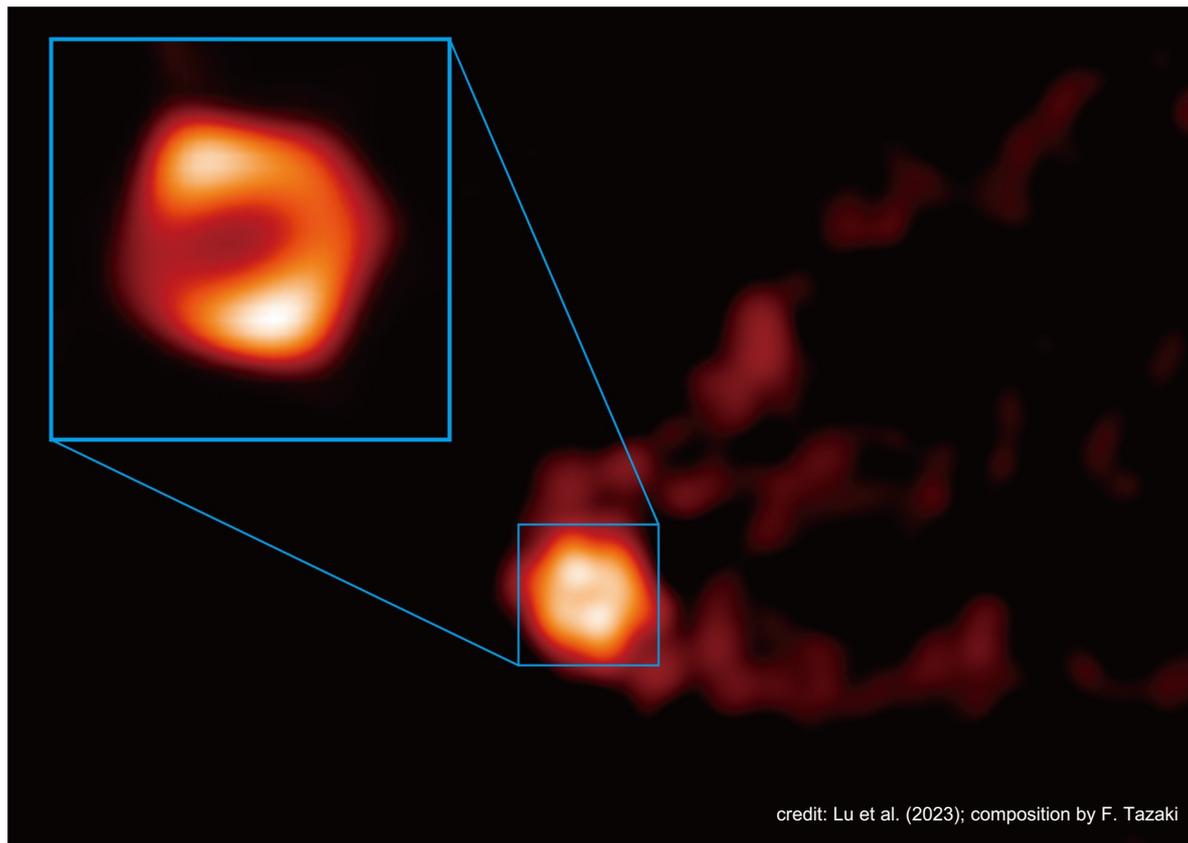


	EHT (2017年)	GMVA (2018年)
観測波長	1.3mm (230GHz)	3.5mm (86GHz)
視力	約300万	約150万
アンテナ台数	8台(6か所)	16台
感度・視野	(相対的に) 低い・狭い	(相対的に) 高い・広い

研究成果

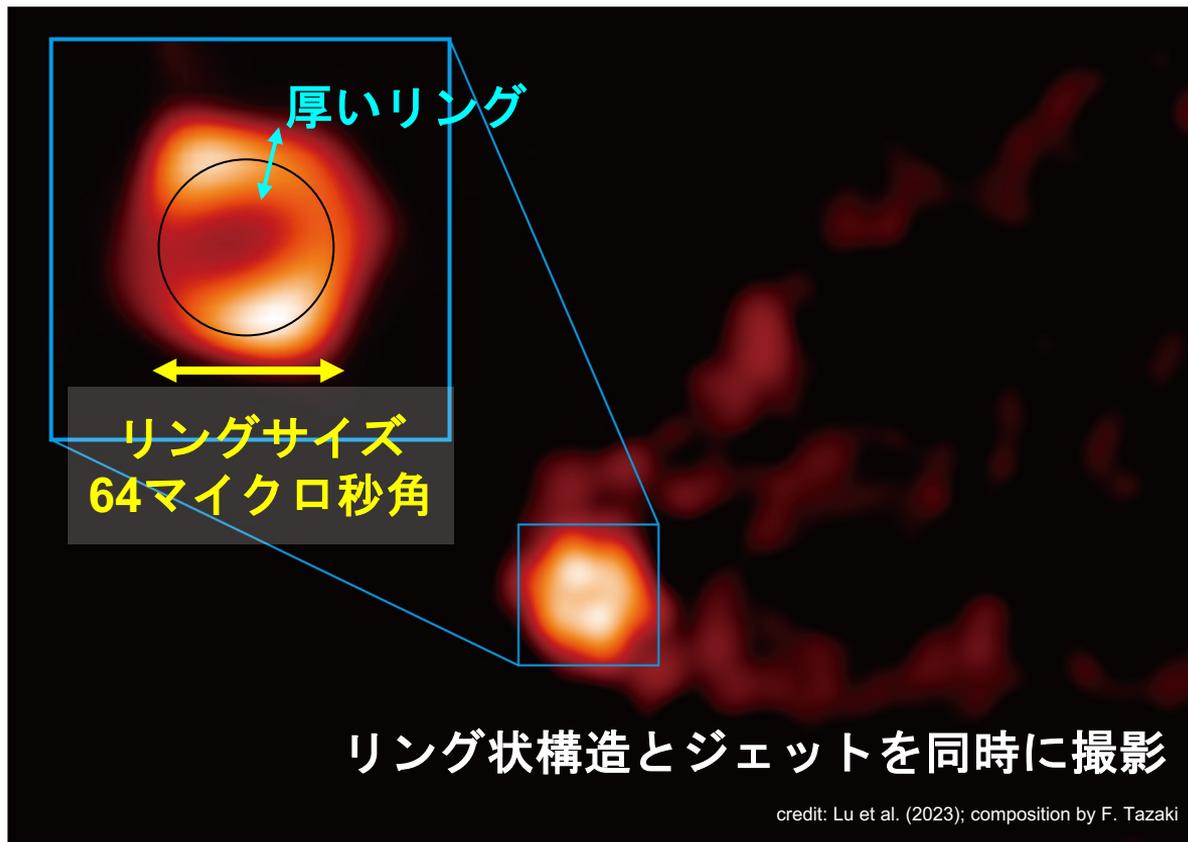
田崎 文得

GMVA で撮影した M87 の姿



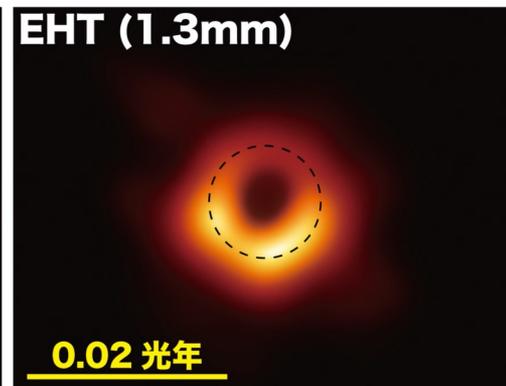
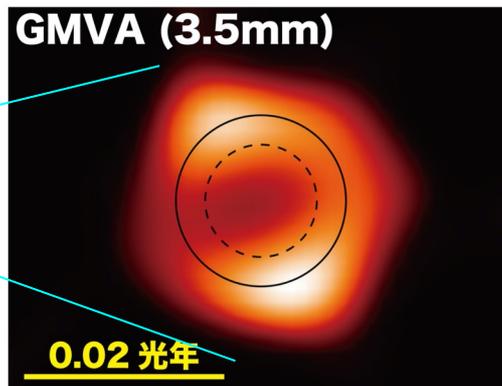
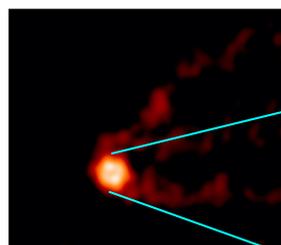
credit: Lu et al. (2023); composition by F. Tazaki

画像からわかること



EHTで撮影した M87 画像との違い

	GMVA画像 (今回)	EHT画像
撮影した構造	リングとジェット	リング
リングのサイズ	64マイクロ秒角	42マイクロ秒角
リングの厚み	20マイクロ秒角以上	20マイクロ秒角以下

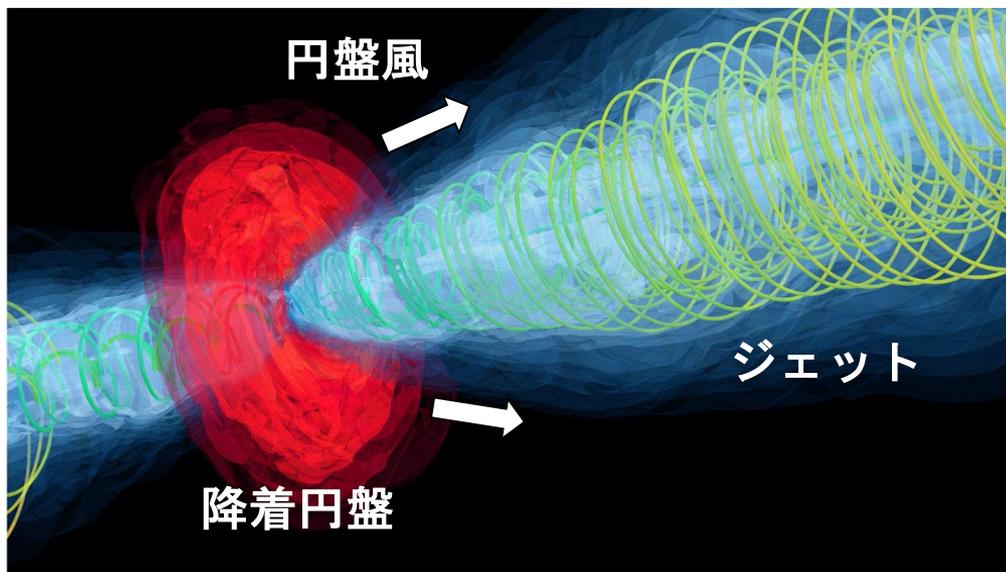


1マイクロ秒角
= 36億分の1度

解釈と意義

中村 雅徳

ブラックホール周辺の環境

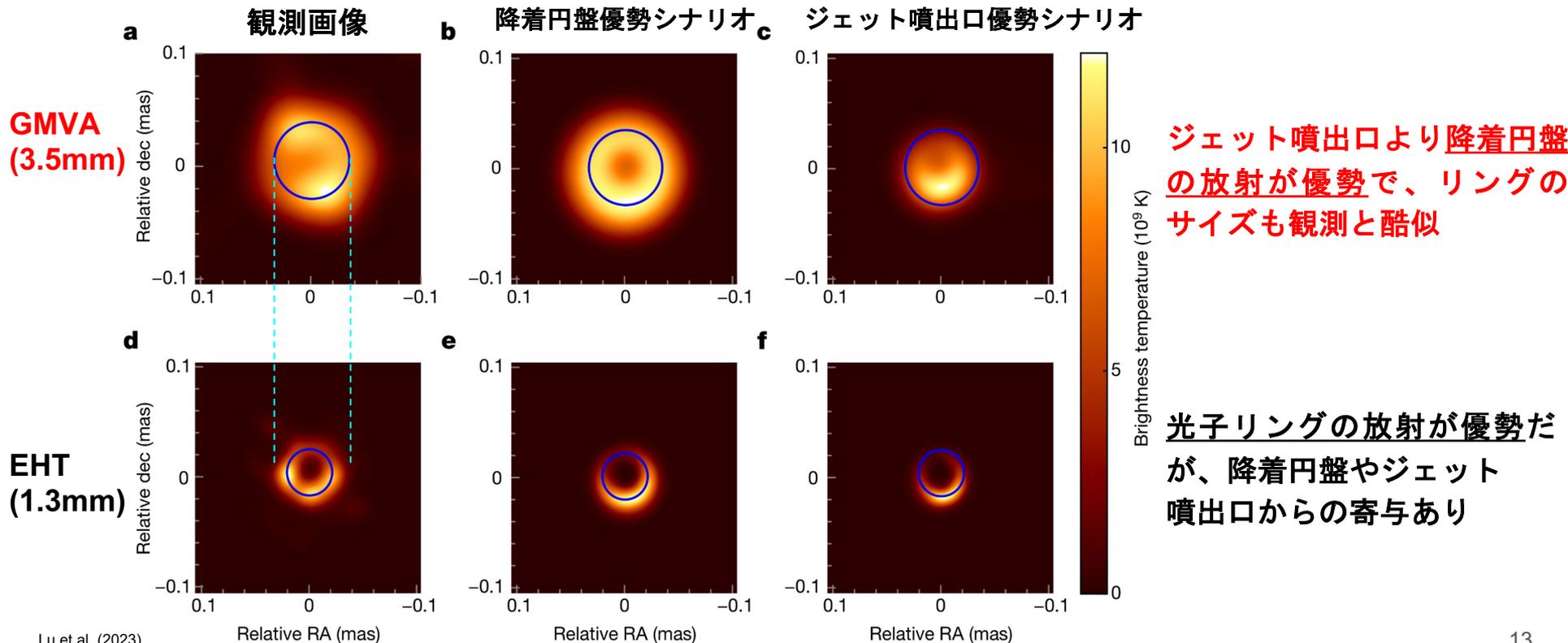


Credit: A. Cruz-Osorio

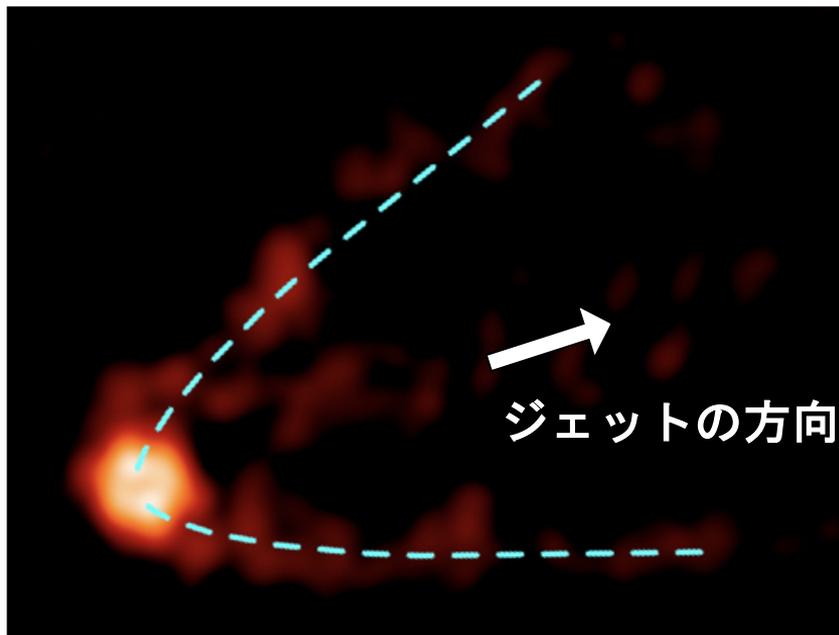
- 降着円盤ガスのもつ重力エネルギーの解放(電磁波放射)が、活動銀河核の特異な明るさを産出
- ジェット生成に必要な磁場は、降着流によりBH近傍に運ばれ、BH自転により捻じりあげられジェットが噴出
- 降着流の一部はジェットを囲むように吹き出し(円盤風)、パラボラ(放物線)型のジェットを形成

これまで降着円盤や円盤風の視覚的検証は無かった

観測画像と理論シミュレーションとの比較・考察



降着円盤とジェット根元付近の同時撮影、さらに円盤風も？



Lu et al. (2023)

- ジェット形状探査
 - パラボラ(放物線)構造が遠方まで延び、ブラックホールジェット(水色点線)を示唆
 - ジェット自身がパラボラ構造を形成することができない→ジェットの覆い(円盤風)が存在？
 - ジェット根元付近では開口角が大きくなり、真の形状(噴出口)を撮影するのが困難
- ジェット最上流付近でのジェット理論予測からの”ずれ”はジェットを取り囲む降着円盤や吹き出している円盤風の可能性を示唆

本成果の意義やインパクト

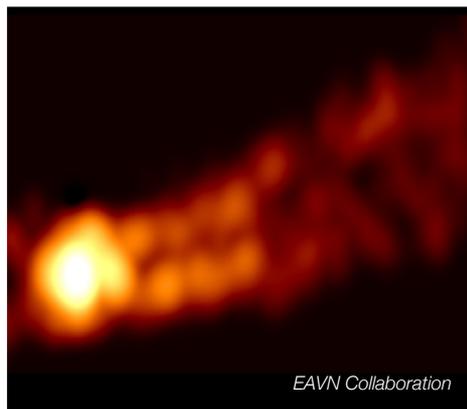
- 活動銀河核パラダイム: M87において
 - ジェット (1918年以降: 多くの観測)
 - ブラックホール (2019年以降: EHT観測)
 - **降着円盤 (今回観測)**...ブラックホールジェットが噴出するのに必要な要素(磁場)の供給源で、活動銀河核からの強烈な電磁波放射(銀河の明るさの1万倍程度)を担う中心的存在
- 「活動銀河核の最後のベールが直接観測で明らかにされた」
...ブラックホール天文学において極めて重要な進展

今後の展望

秦 和弘

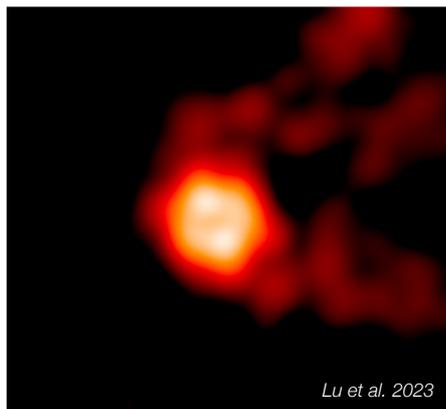
多波長（電波）による撮影画像・動画の比較

7mm (& 長い波長)



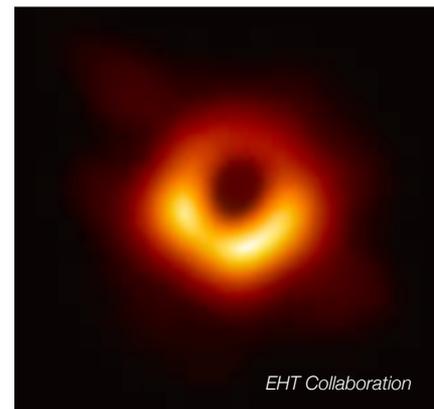
「ジェット」

3.5mm



「降着円盤」

1.3mm (& 0.87mm)



「ブラックホール
（光子リング）」

- 降着円盤やジェットの形成機構の全容解明は将来に続く
- ジェット・降着円盤・巨大ブラックホールという「活動銀河核 三種の神器」を多波長で同時に撮影・比較し、お互いの時間変動や運動の様子までモニターしていくことがカギ

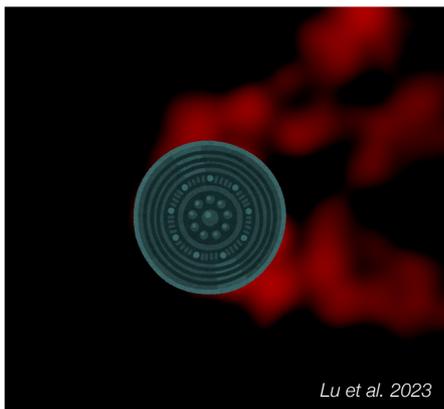
多波長（電波）による撮影画像・動画の比較

7mm (& 長い波長)



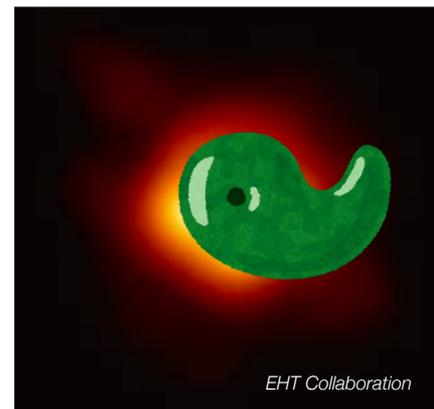
「ジェット」

3.5mm



「降着円盤」

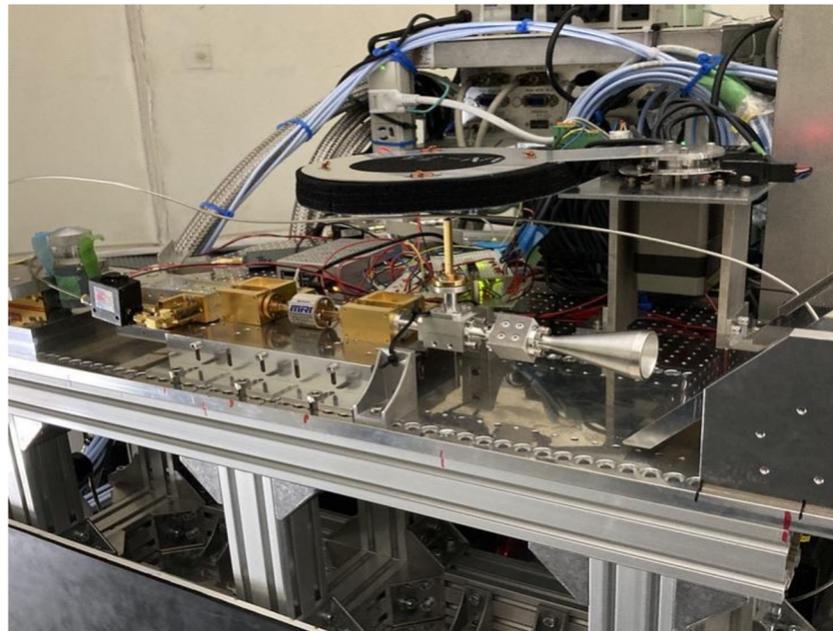
1.3mm (& 0.87mm)



「ブラックホール
（光子リング）」

- 降着円盤やジェットの形成機構の全容解明は将来に続く
- ジェット・降着円盤・巨大ブラックホールという「活動銀河核 三種の神器」を多波長で同時に撮影・比較し、お互いの時間変動や運動の様子までモニターしていくことがカギ

国内の電波望遠鏡も3.5mm帯観測ネットワーク参加へ



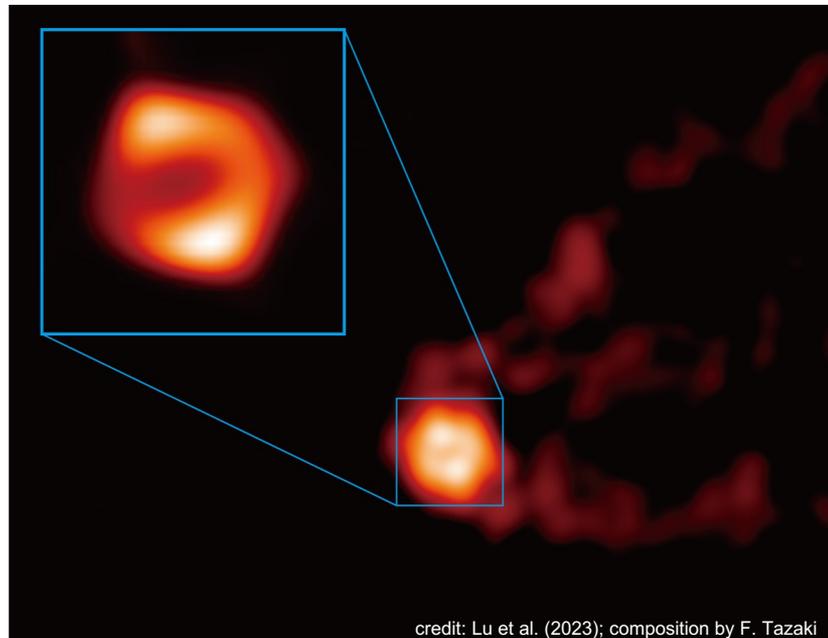
日本のVLBIネットワークVERAにおいても新たに3.5mm帯受信機を開発し、搭載試験を進めている

早ければ来年度から日本の電波望遠鏡もGMVAに参加し、「三種の神器」の動画撮影にも挑戦していきたい

水沢局にて搭載試験中の3.5mm帯受信機
(大阪公立大学との共同開発)

まとめ

- 波長3.5mm帯の電波望遠鏡ネットワークを用いて楕円銀河M87の中心部を観測
- 巨大ブラックホールの周囲に広がる降着円盤の撮影に初めて成功するとともに、ジェットをこれまでで最も高い視力で捉えた
- 「活動銀河核 三種の神器」の最後の1ピースが直接撮影によって確かめられ、ブラックホールジェットの形成メカニズム解明にも弾み
- 今後は様々な波長の電波で撮影画像を比較したり、動画撮影が重要。日本の電波望遠鏡も3.5mm帯の国際ネットワークに参加を目指す



日本・日本人の主な貢献

- 研究統括
 - 浅田、**秦**（4名の責任著者のうちの2名）
- 観測提案
 - 浅田、**秦**、**中村**
- 望遠鏡と観測運用、装置開発
 - 本間、秋山（アルマ望遠鏡のフェーズアップ）
 - 浅田、松下、西岡、小山、井上（グリーンランド望遠鏡の建設・運用）
- データ解析・画像化
 - 浅田、**田崎**、**秦**、秋山
- 理論・シミュレーションとの比較
 - **中村**、**川島**

赤字は記者発表出席者

国内機関



海外機関（台湾・米国）



謝辞

この研究は、文部科学省/日本学術振興会科学研究費補助金（No. 18H03721、19H01943、18KK0090、21H01137、21H04488、22H00157、18K03709、21H01137）他、国際的な支援を受けて行われたものです。すべての支援機関については、論文謝辞をご覧ください。

また、本研究を支援していただいた全ての関係者・関係機関の皆さまに感謝申し上げます。