

初撮影から1年後のM87ブラックホールの姿

発表者

小山 翔子 (新潟大学 / 台湾中央研究院天文及天文物理研究所) : 研究背景

小藤 由太郎 (東京大学) : 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) : 日本の貢献

本間 希樹 (国立天文台水沢VLBI観測所 / 東京大学) : 今後の展望



はじめに

- イベント・ホライズン・テレスコープ(EHT)は、世界の80機関、300名超の研究者からなる国際共同研究プロジェクト
- 本研究成果はEvent Horizon Telescope Collaboration et al. “The persistent shadow of the supermassive blackhole of M87. I. Observations, calibration, imaging, and analysis”として欧州の天文学専門誌『アストロノミー・アンド・アストロフィジクス』に掲載
- 論文・記事解禁： 日本時間 1月18日 午後5時
- 国内合同発表機関におけるwebリリース公開： 1月18日 午後5時以降 順次

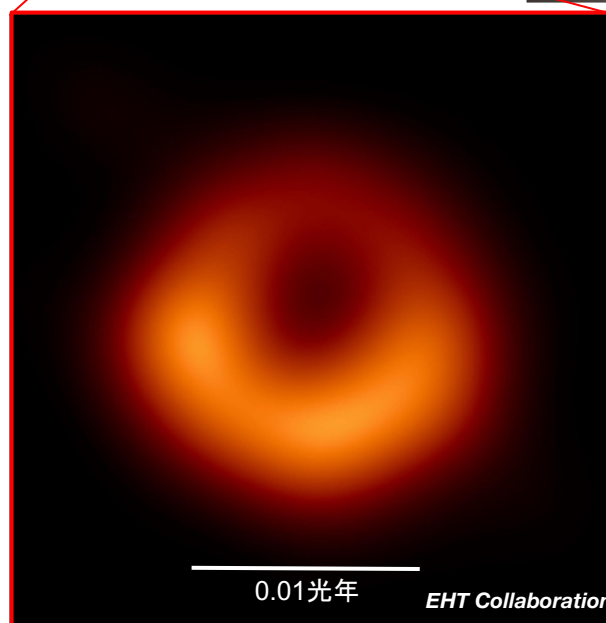
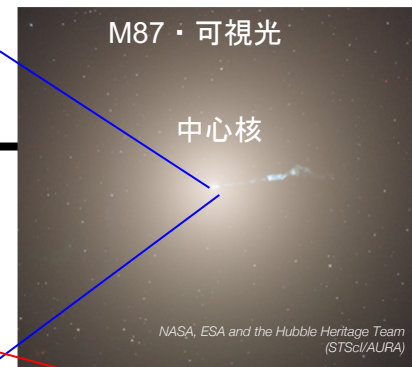
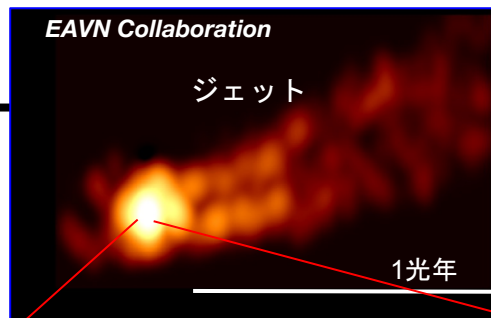
EHT-Japan web: <https://www.miz.nao.ac.jp/eht-j/c/pr/pr20240118>

研究の背景

小山 翔子

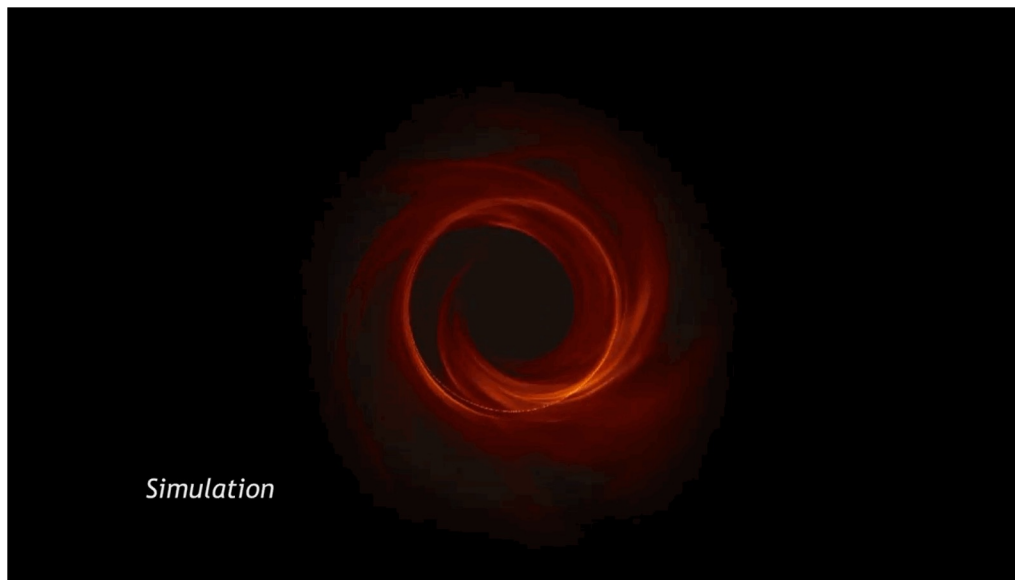
史上初のブラックホール撮影

- 初撮影は2017年4月に観測が行われ、2019年4月に成果発表
- 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）
- 地球から約5500万光年先の楕円銀河M87の中心部（活動銀河中心核）を観測
- 明るいうつらに囲まれた中心の暗部が、約65億倍の太陽質量を持つブラックホールシャドウ(影)に相当
- ブラックホールの視覚的証拠を初めて示した



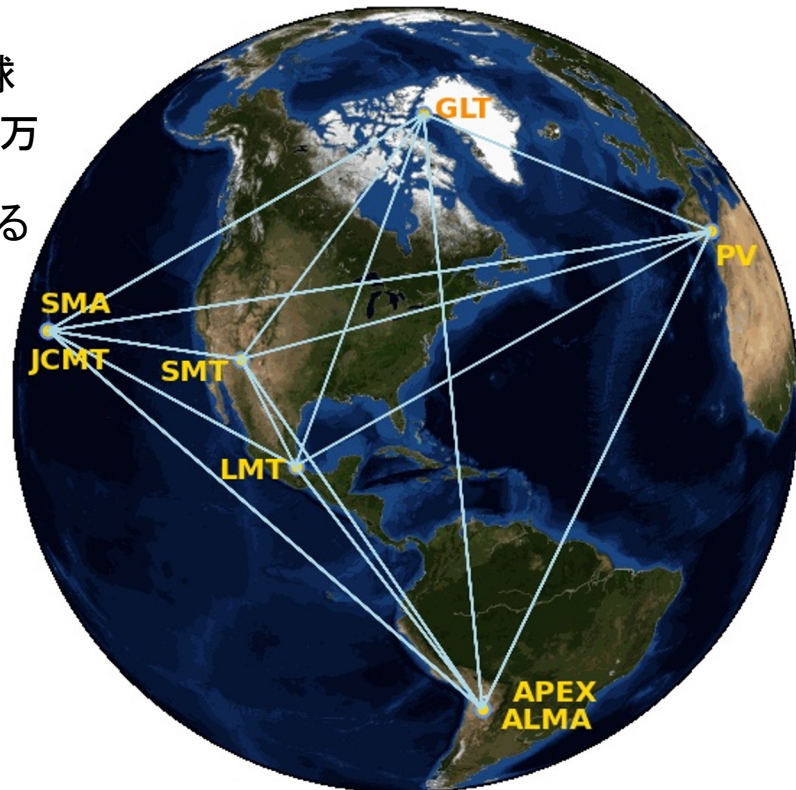
継続観測の重要性

- 一般相対性理論が予言するブラックホールは、その質量だけで決まる直径のリングを作る
- M87のブラックホール質量は1年程度では増えないので、リングの直径は変わらない
- 一方、ブラックホールへ吸い込まれるガスの流れによりリングの明るい場所が変わりうる



本観測の詳細

- EHT: **波長1.3mm帯(周波数230GHz帯)**を用いた地球規模の電波望遠鏡(VLBI)ネットワーク、視力約300万
 - 初撮影の約1年後、2018年4月に行われたEHTによるM87の観測成果を発表
 - 2017年4月からのアップグレード
 - M87を観測した5ヶ所7台の望遠鏡に加え、**グリーンランド望遠鏡(GLT)**が新規参入
観測地点の組み合わせが10→15に増加
 - 帯域幅が2倍に増加
- 高精度な検証が可能に



研究成果

小藤 由太郎

2017年4月11日

2018年4月21日



2017年4月11日

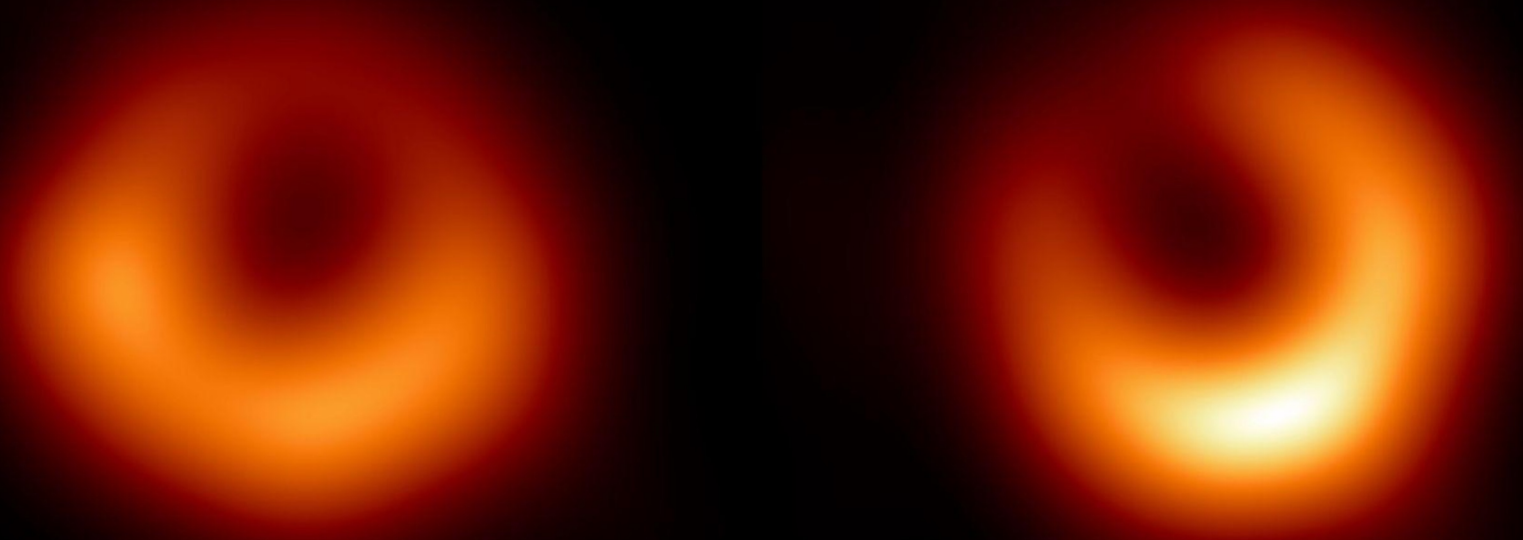
2018年4月21日



©EHT collaboration

2017年4月11日

2018年4月21日

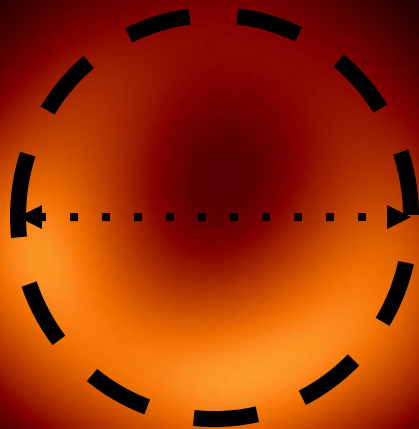


©EHT collaboration

2018年の独立な観測においてもシャドウが見えた！

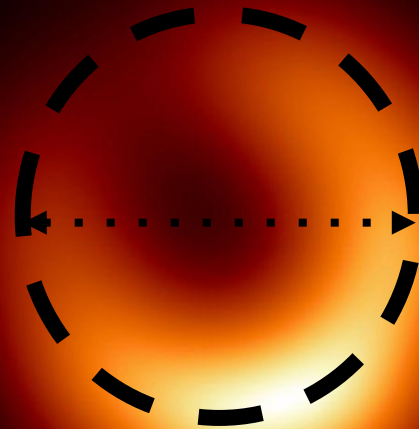
2017年4月11日

42 ± 3 マイクロ秒角



2018年4月21日

$43.3^{+1.5}_{-3.1}$ マイクロ秒角



©EHT collaboration

2018年の独立な観測においてもシャドウが見えた！
リングの大きさは変わらない
→一般相対性理論が予言するブラックホール存在のより強固な証

2017年4月11日

6時の方向



2018年4月21日

5時の方向

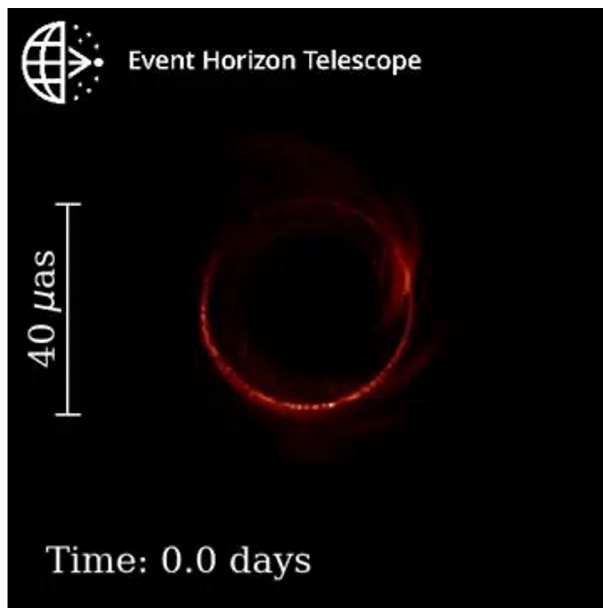


明るい領域の位置が変化
明るさのコントラストも変化

明るい領域の変化の原因は？

- ・ ブラックホール近傍の物質の乱流状の振る舞いを示唆
※変動の時間スケールは数日程度
- ・ 明るさ/位置の変化は一般相対性理論の正しさには影響しない

シミュレーション
の動画



Credit: G. Wong, B. Prather, Ch. Gammie, M. Wielgus & the EHT Collaboration

本研究の意義

- 1年後の独立な観測においてもリングの大きさは変わらなかった

→

物理学的意義：

一般相対性理論が预言するブラックホール存在のより強固な証拠

- リングの明るい場所が変わった

→

天文学的意義：

理論で予測されるブラックホール近傍の物質の振る舞いを視覚的に確認
ブラックホールへの物質降着の解明に繋がる



日本の貢献

中村 雅徳

グリーンランド望遠鏡(GLT)

- 2010年計画始動(台日米の研究者により創設)
目標: M87のブラックホールとジェット撮影
 - 中央研究院天文及天文物理研究所(台)と
スミソニアン天体物理研究所(米)による運用
 - 邦人メンバー: 井上允, 浅田圭一, 中村雅徳,
松下聡樹, 西岡宏明, 小山翔子
 - 2017年ピトフィク宇宙軍基地(米)に建設
 - 2018年運用開始 (3.5mm, 1.3mm)
波長3.5mm帯でM87降着円盤撮影成功(Lu et al. 2023)
→ "EHT(1.3mm帯)では今回が初成果"



GLT観測(建設・開発・運用)



© Ming-Tang Chen, Keiichi Asada, Hideo Ogawa

日本・日本人の主な貢献

- 研究統括・論文編集・最終調整
 - 浅田、秋山、池田、小山翔、田崎
- 観測提案
 - 秋山、浅田、秦、中村
- グリーンランド望遠鏡の計画・開発・建設・運用
 - 浅田、井上、小山翔、中村、西岡、松下
 - 小川、木村、長谷川、井上他
- JCMT観測運用・装置開発
 - 小山友、秦、水野い、森山
- データ解析・画像化
 - 秋山、浅田、池田、沖野、小山翔、小藤、田崎、永井、秦、本間、森山
- 多波長観測(投稿準備中)
 - 川島、紀、笹田、秦
- 理論・シミュレーションとの比較(投稿準備中)
 - 川島、当真、中村、水野陽



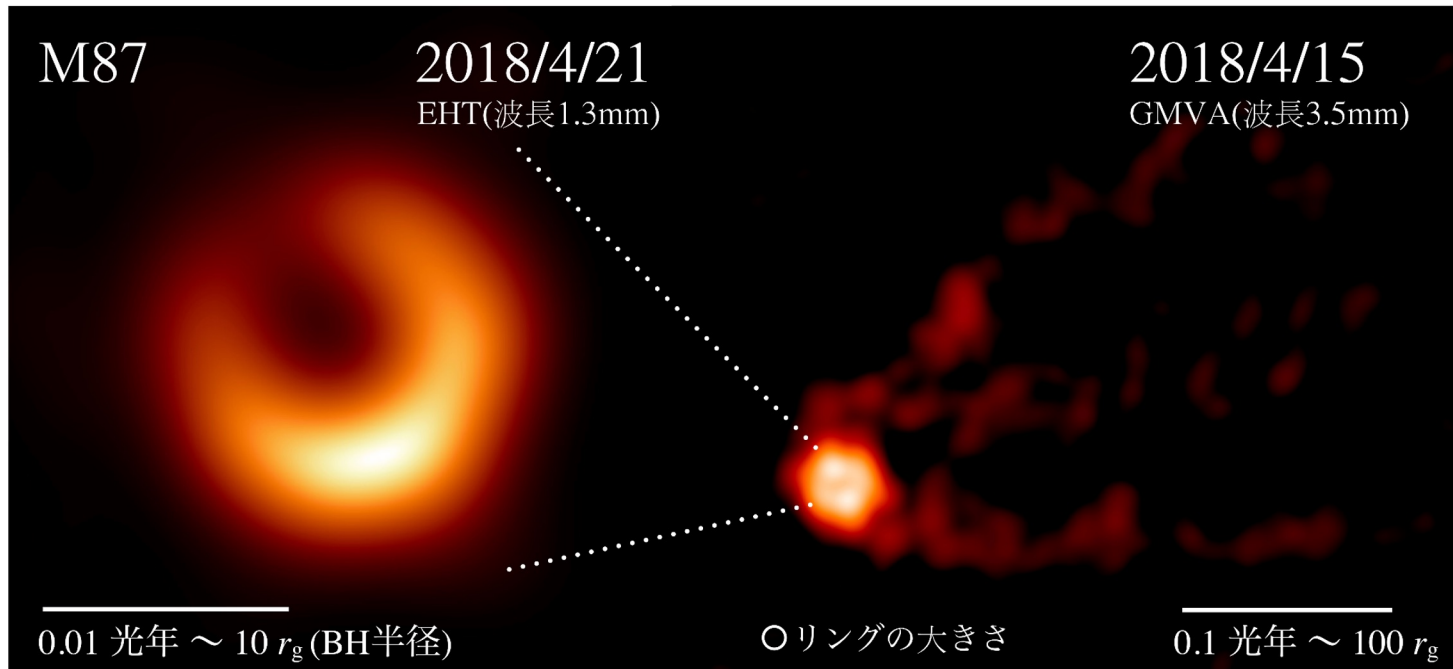
赤字は記者発表出席者(含陪席者)



GLT入ネットワークでとらえた活動銀河中心核の正体

ブラックホール +

降着円盤 + ジェット



EHT Collaboration (2024)

Lu+ (2023)



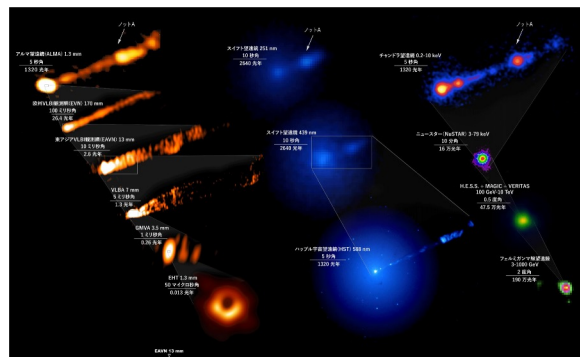
Event Horizon Telescope

今後の展望

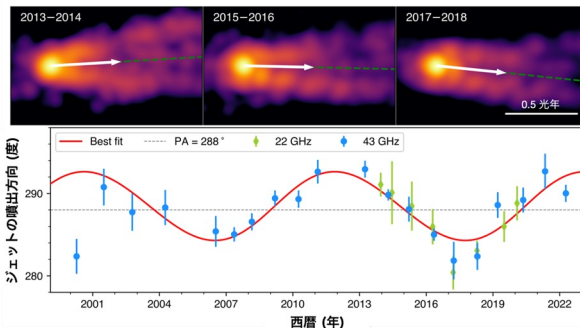
本間 希樹

多波長による動画作成の重要性

- ・ M87を含む活動銀河中心核は
ブラックホール + 降着円盤 + ジェット
からなる動的なシステムであり、その理解の
深化には多波長による動画作成が必須。
 - ・ M87のジェットの動画 (Cui+ 2023、波長
7mm)によるブラックホールの自転の証拠の
発見は、動画化の重要性を改めて示した。
- 今後もEHTおよび関連装置を拡充しつつ
観測を継続することが重要。



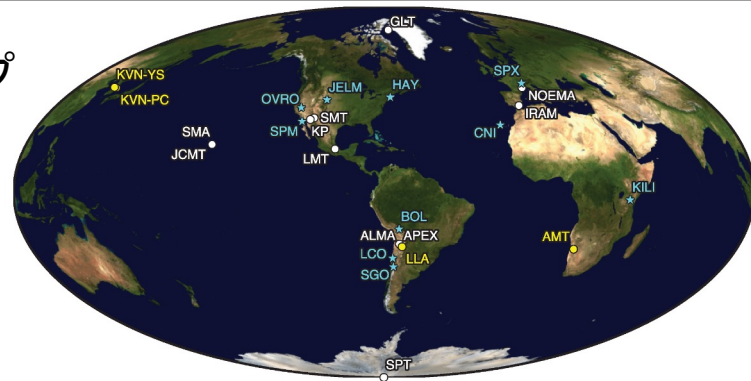
EHT 多波長観測キャンペーンで見た2017年のM87
(EHT Multiwave WG 2022)



EAVN等が捉えたM87ジェットの長期変動 (Cui+ 2023)

2018年以降のEHTの状況と今後の観測

- ・ EHTの観測ネットワークは現在9カ所11台にアップグレードされて、新たな観測が行われている。



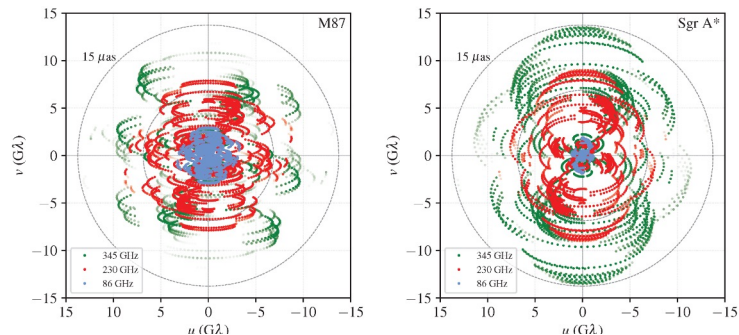
2021年 M87 + Sgr A*

2022年 M87 + Sgr A*

2023年 Sgr A*

また、

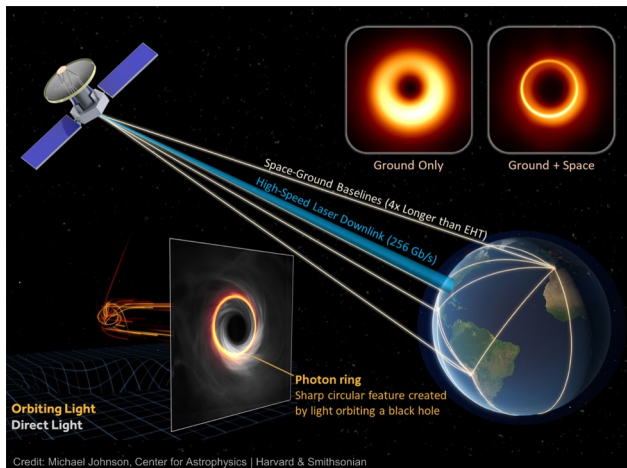
- ・ 2024年以降韓国の新望遠鏡も参加予定。
- ・ 新しい局を追加する次世代EHTについても概念検討が進んでいる。



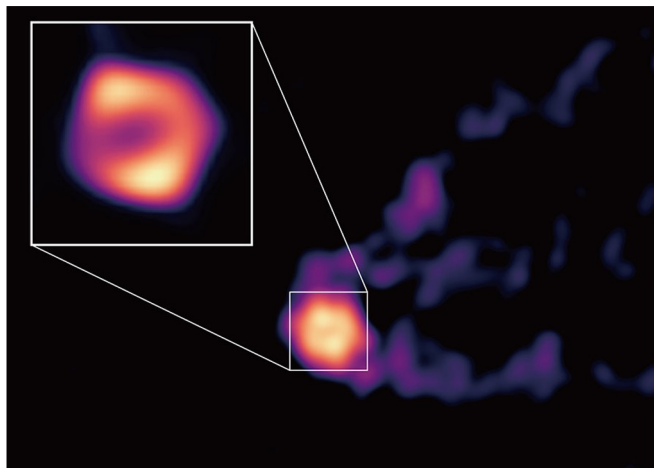
次世代EHTの観測局配置予想図とUV分布

将来的にはより高い解像度へ

- ・ ミリ波スペースVLBI衛星計画 (Black Hole Explorer = BHEx)
米国・日本など国際協力で視力を向上 → リングの高解像度化 + 動画作成
- ・ 国内望遠鏡の3.5mm帯受信機設置とそれによるEAVN・グローバルVLBIによる
ジェット観測 → ジェットの解像度化 + 動画作成

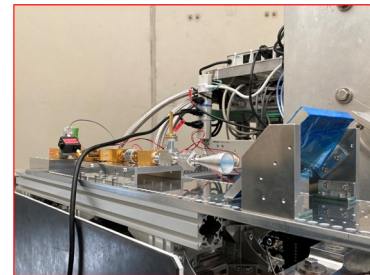


BHEx projectの概念図



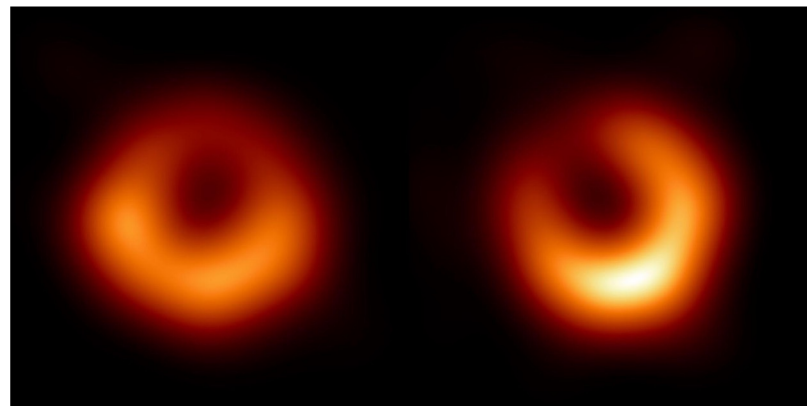
3.5mm帯で見たM87 (Lu+2023)

VERA水沢局用
3.5mm帯試験受信機



まとめ

- EHT 2017年4月に続き、2018年4月の観測からも、楕円銀河M87中心の巨大ブラックホールの撮影に成功した。
- 2017年4月と2018年4月の比較から
 - リングの大きさは変わらず、一般相対性理論が予言するブラックホール存在のより強固な証拠を得た。
 - リング上の明るい場所が移動し、ブラックホール周辺の乱流状態の変化が示唆された。
- 今後は様々な波長での動画作成が重要になる。EHTのさらなる拡充や、日本の電波望遠鏡の3.5mm帯の国際ネットワークへの参加、衛星計画の推進などで一層の進展が期待される。



2017年

2018年



謝辞

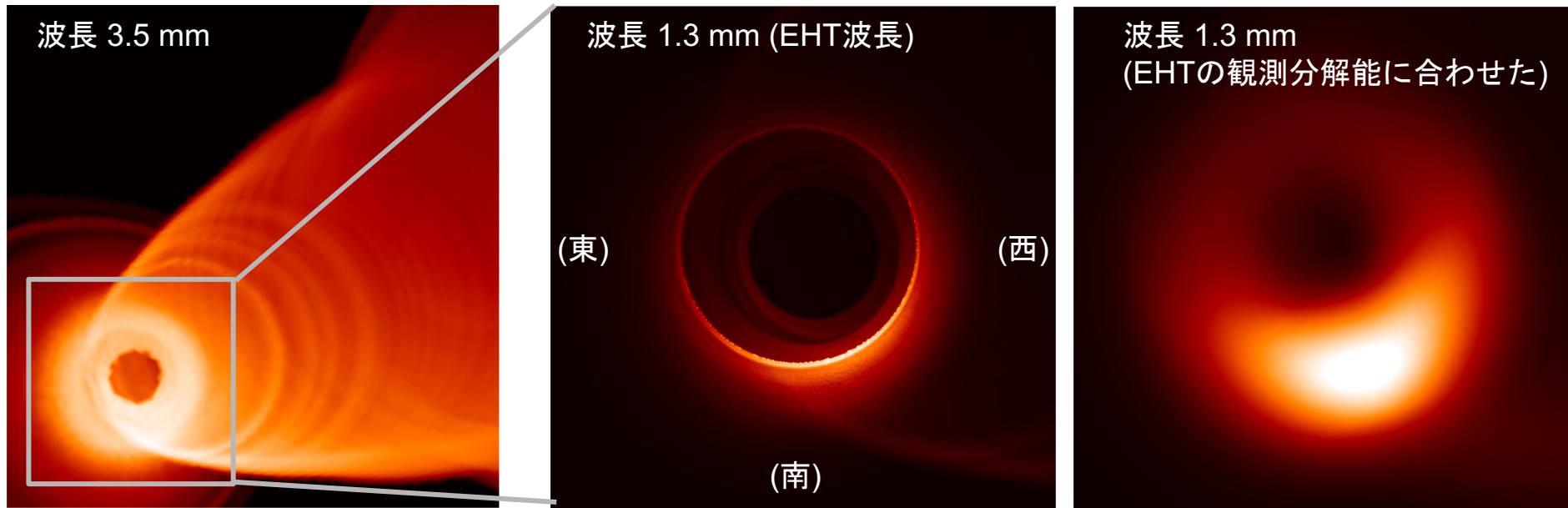
この研究は、文部科学省/日本学術振興会科学研究費補助金（No. 18K13594, 18H01245, 18H03721, 18KK0090, 18K03709, 19K14761, 19H01943, 19KK0081, 21H01137, 21H04488, 25120007, 22H00157, 23K03453）文部科学省「富岳」成果創出加速プログラム「宇宙の構造形成と進化から惑星表層環境変動までの統一的描像の構築」（JPMXP1020200109）および計算基礎科学連携拠点（JICFuS）、他、国際的な支援を受けて行われたものです。すべての支援機関については、論文謝辞をご覧ください。

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。

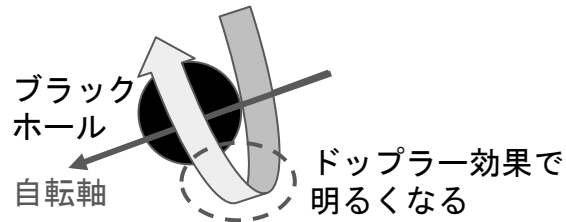
補足資料

理論シミュレーションの画像例 (EHT-Japanページ掲載画像を改編)

© 一般相対論的放射輸送計算 (国立天文台アтелиイII使用) : 川島朋尚, 一般相対論的磁気流体シミュレーション : 中村雅徳



ブラックホールの自転により、プラズマは時空と共に回転
→ドップラー効果で南西側が明るくなりやすい

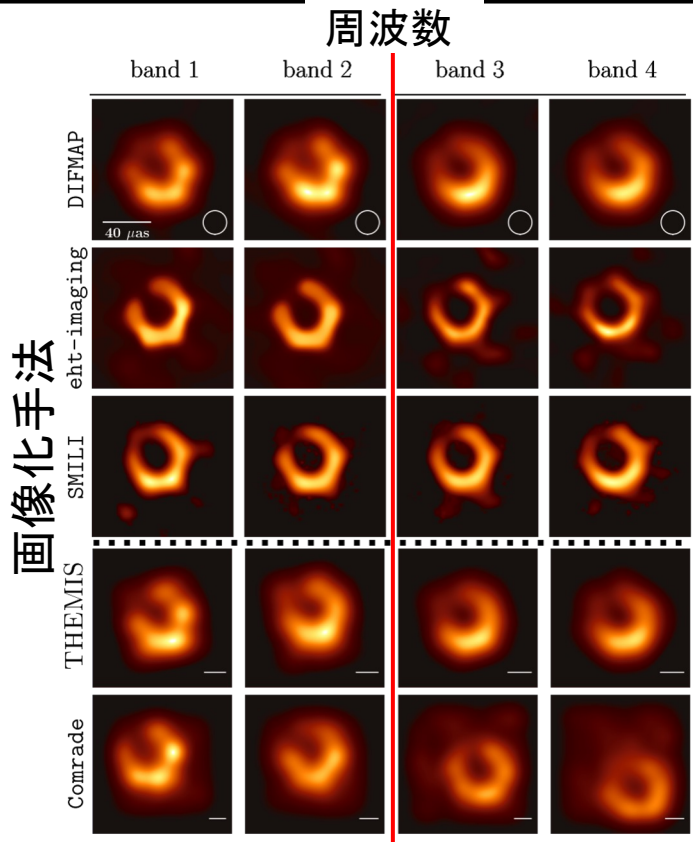


GLT参入の効果

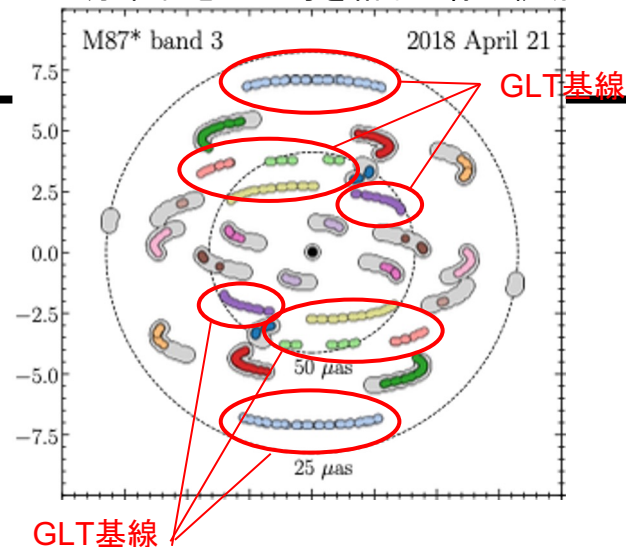
GLTなし

GLTあり

2018年4月21日画像



UV分布:任意の2局を結ぶ基線の軌跡



GLT加入により基線数が増え
やや鮮明な画像になった
→サイズの測定誤差が減少
(明るい場所も手法間でより
整合的)

