Event Horizon Telescope に関する成果発表

森山 小太郎　ゲーテ大学フランクフルト
小藤 由太郎　東京大学/国立天文台
小山 翔子　新潟大学/台湾中央研究院

Event Horizon Telescope

国立天文台 NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

工学院大学 KOGAKUIN UNIVERSITY

新潟大學 NIIGATA UNIVERSITY

東京大学 大学院 理学系研究科・理学部 SCHOOL OF SCIENCE, THE UNIVERSITY OF TOKYO

ICRR Institute for Cosmic Ray Research University of Tokyo

大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 統計数理研究所 The Institute of Statistical Mathematics

東京工業大学 Tokyo Institute of Technology

日本学術振興会 JAPAN SOCIETY FOR THE PROMOTION OF SCIENCE

公益財団法人 東レ科学振興会 Toray Science Foundation

計算基礎科学連携拠点 JICFuS Joint Institute for Computational Fundamental Science

SOKENDAI

Event Horizon Telescope, EHTとは

世界の80機関、300名以上の研究者からなる国際共同研究プロジェクト

地球サイズの仮想的な望遠鏡をつかい、ブラックホールごく近傍の世界を見る

2019年12月のプロジェクト会議での全体写真
（米国ハワイ州ヒロ）

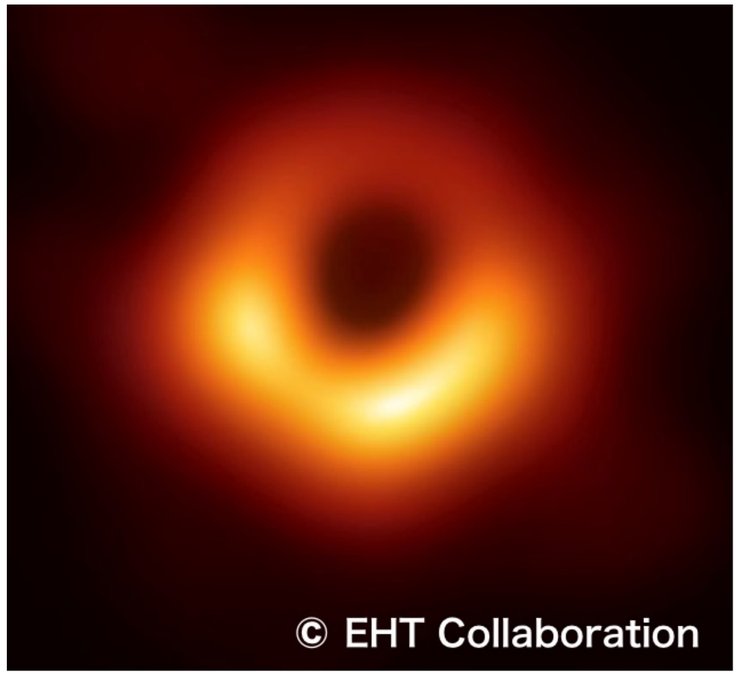
13の理事機関

Event Horizon Telescope

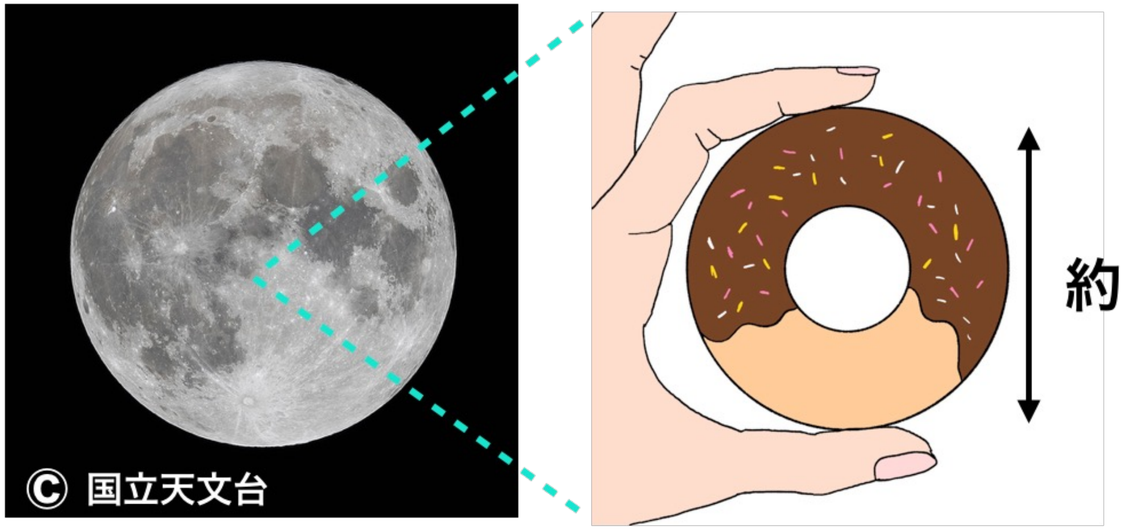
史上初のブラックホール撮影

楕円銀河M87の中心の巨大ブラックホール

ブラックホールシャドウの大きさ: **約1億分の1度** (地球から見た月の上のドーナツサイズ)



M87ブラックホールの見かけの大きさ



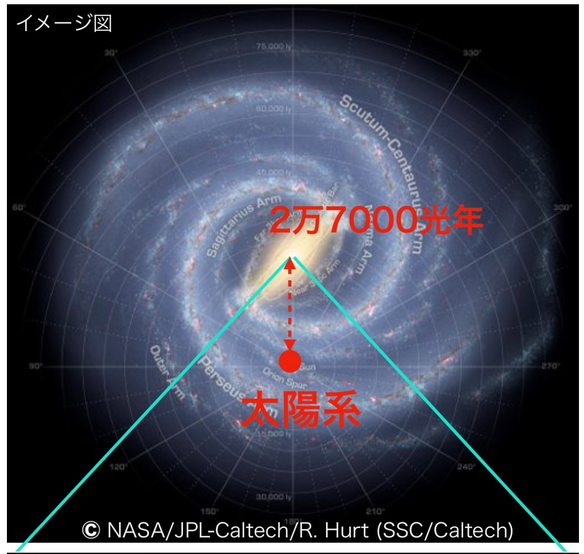
いて座A* (エースター)

<u>背景</u>

天の川銀河の中心の巨大ブラックホール候補天体

2020年のノーベル物理学賞と関連する天体

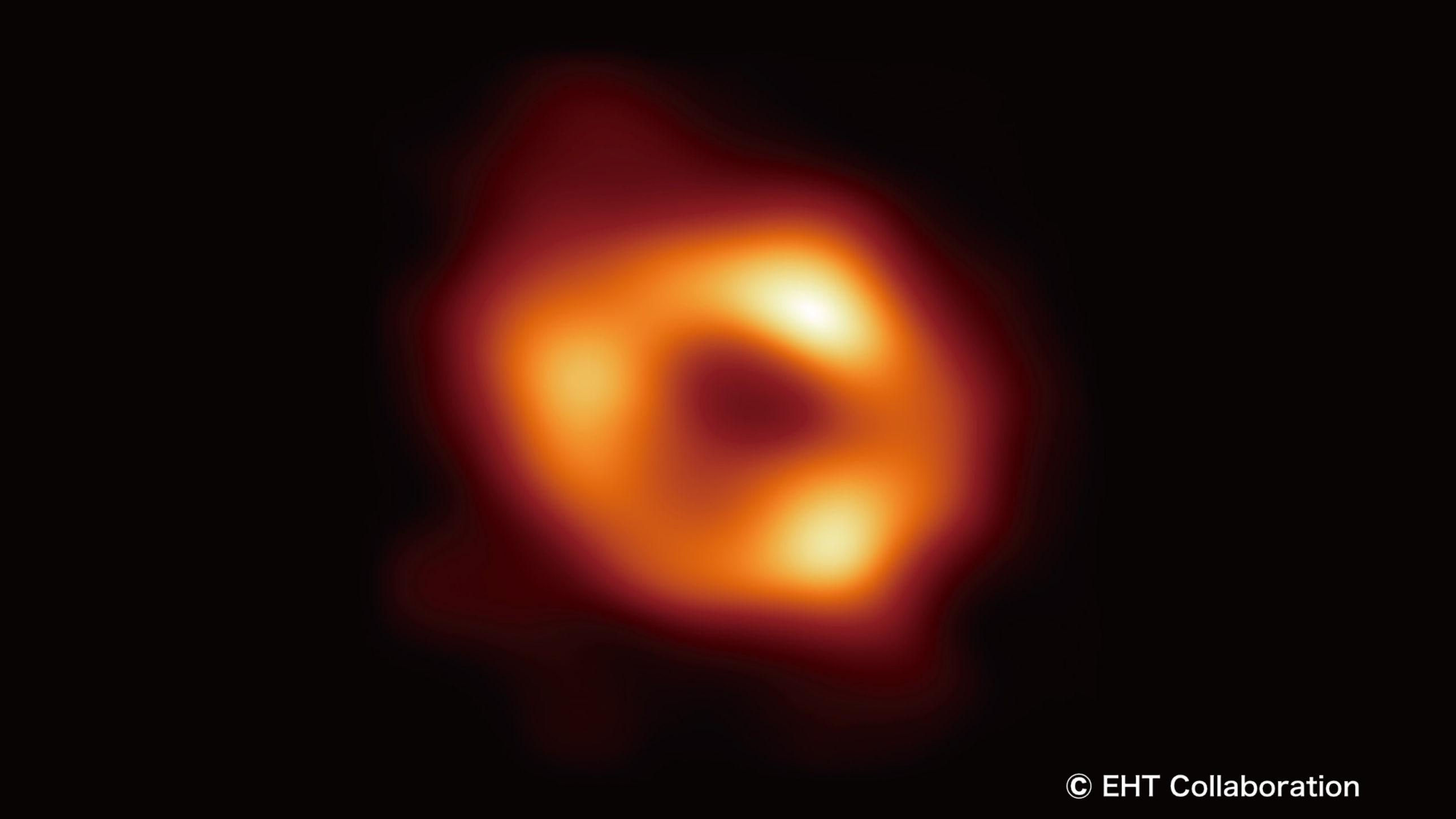
期待されるシャドウの見かけの大きさは、M87と同程度



<u>今回公開する結果</u>

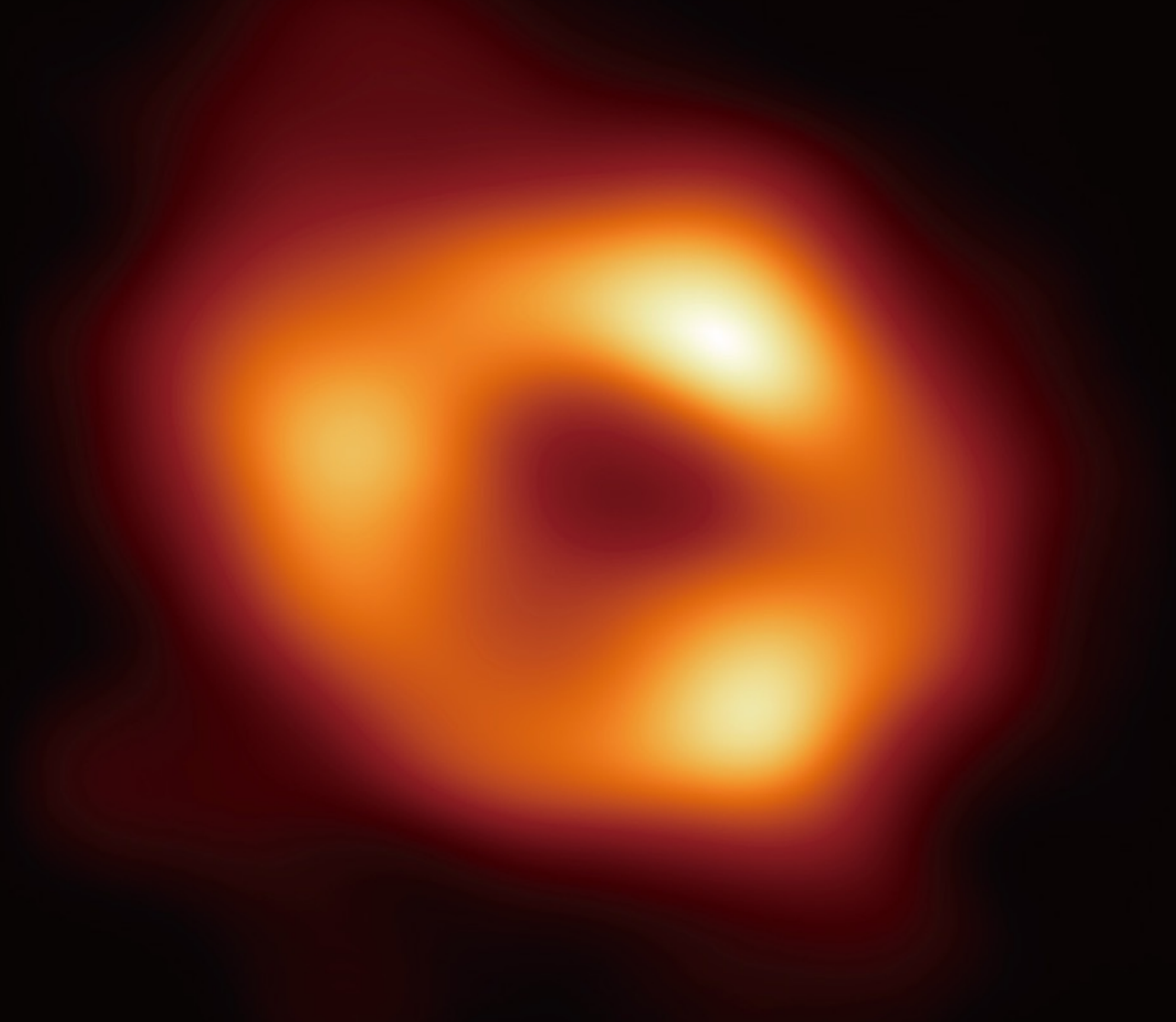
2017年4月7日の観測結果

Event Horizon Telescope



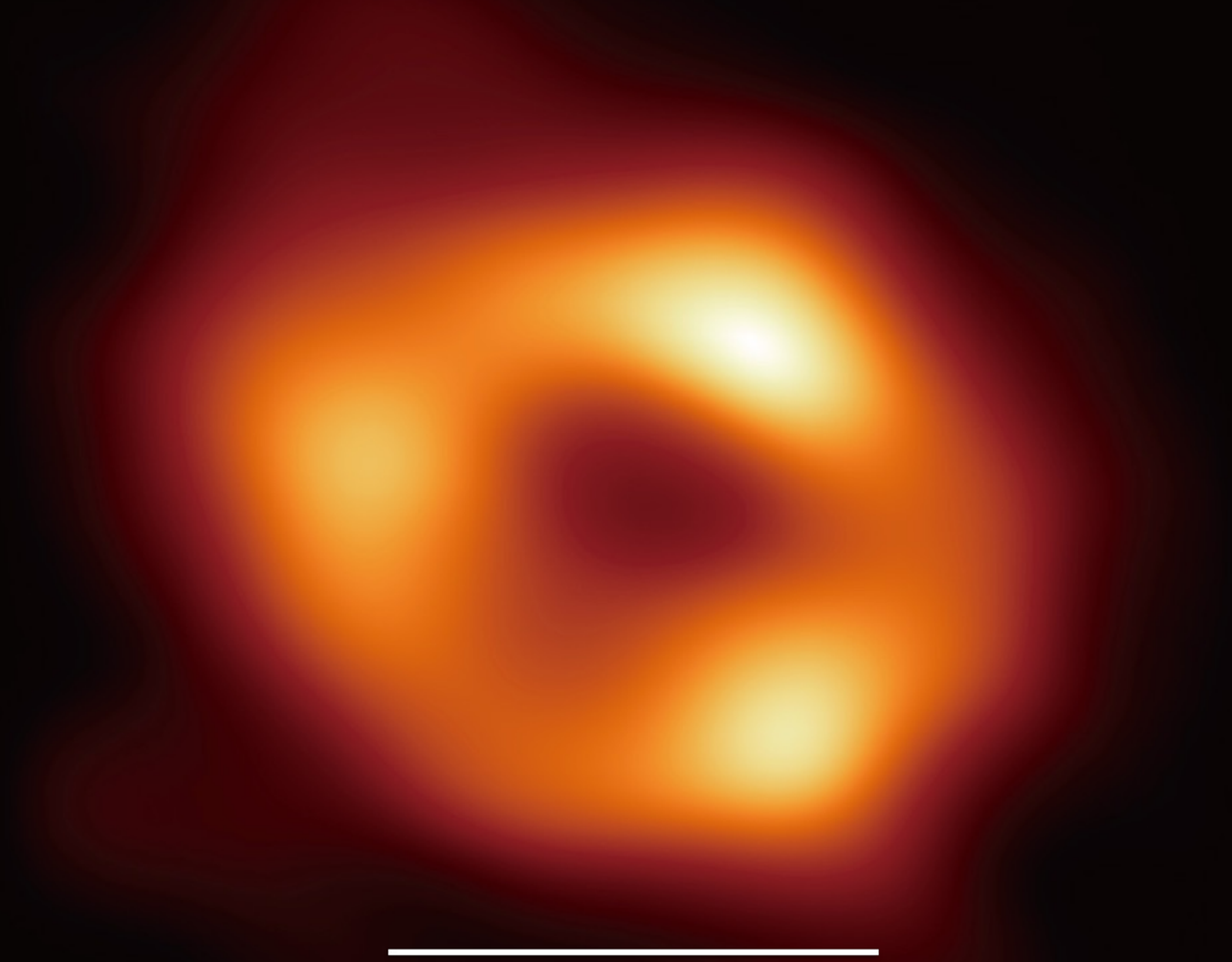
© EHT Collaboration

天の川銀河中心の巨大ブラックホール いて座A*



© EHT Collaboration

天の川銀河中心の巨大ブラックホール いて座A*

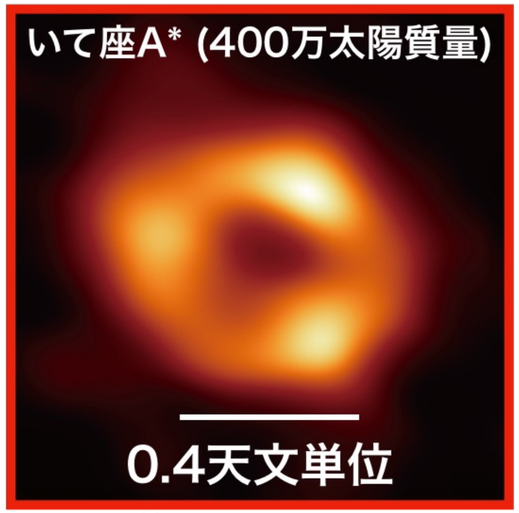


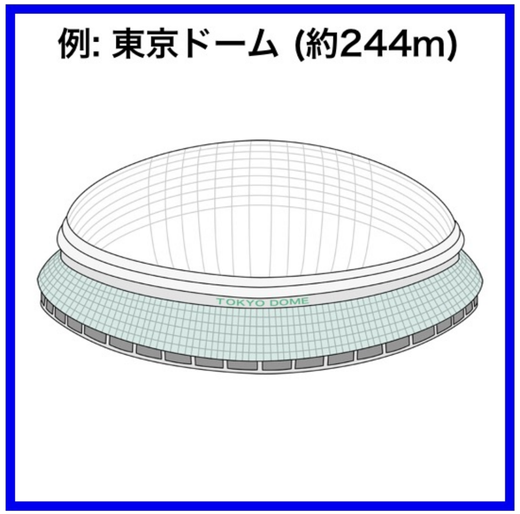
6000万 km = 0.4天文単位

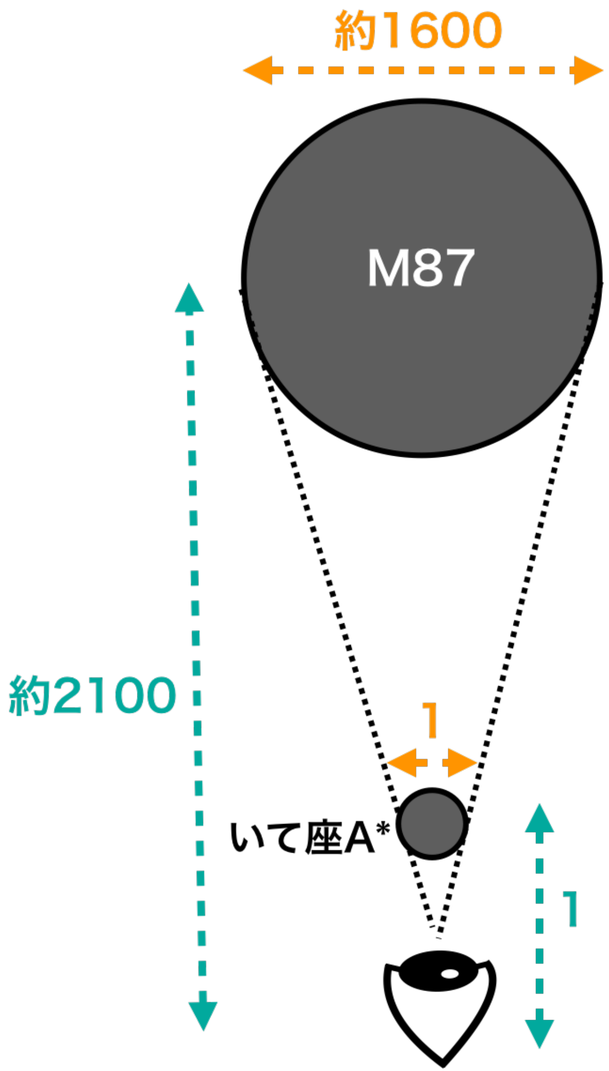
一般相対性理論の予言と一致

© EHT Collaboration

M87に対するいて座A*の大きさ





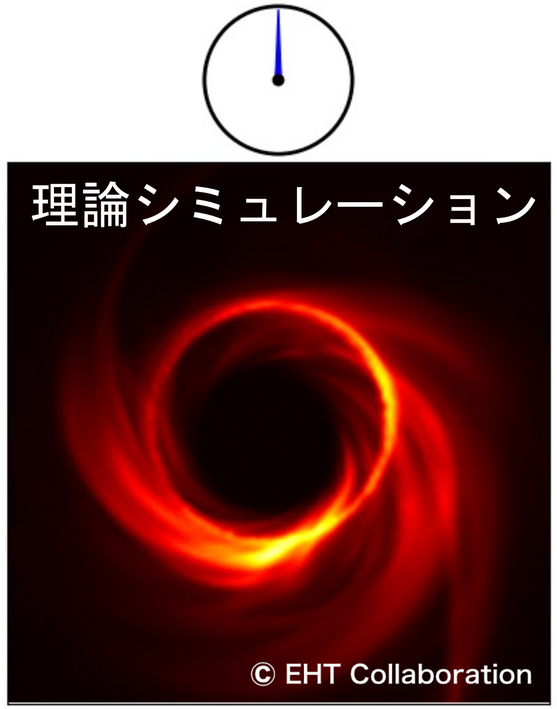


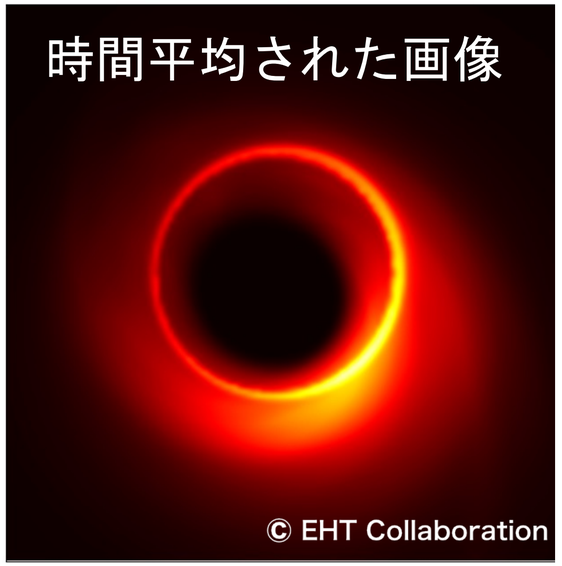
©EHT collaboration

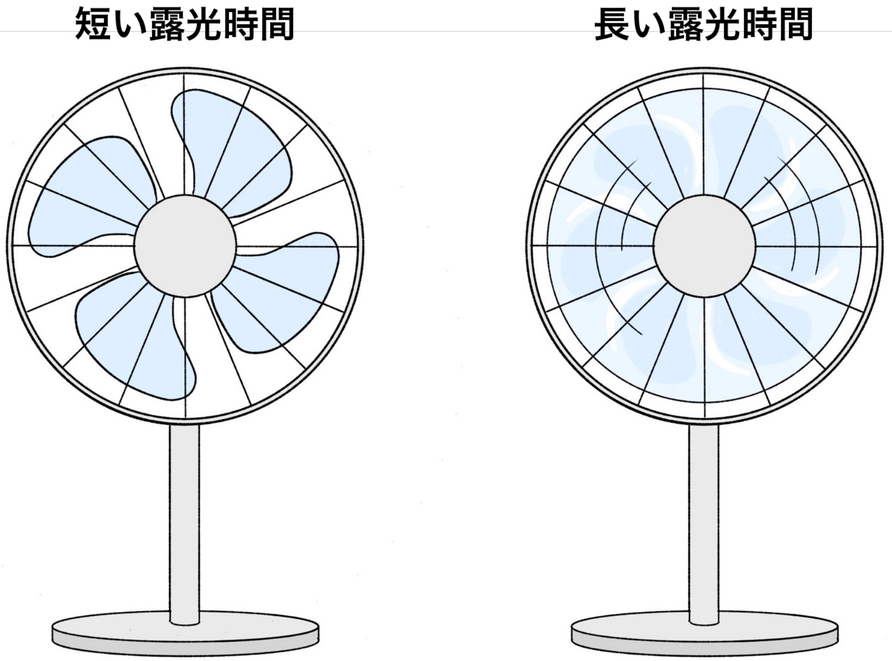
Event Horizon Telescope

いて座A* 画像化の課題：時間変化

約10時間の観測時間の間も、数分で激しく変化する
→ 時間平均された画像の推定法の開発

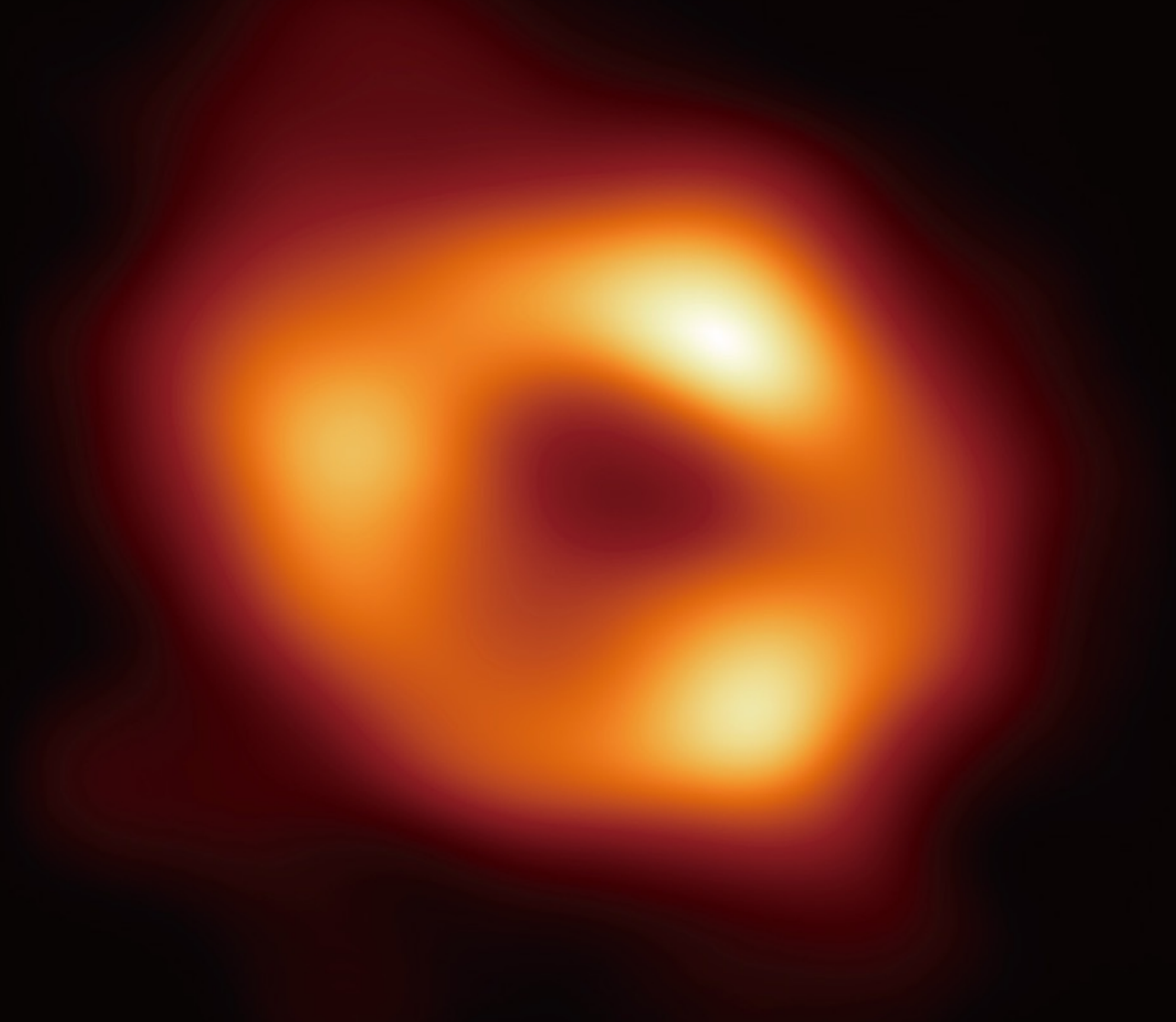






Event Horizon Telescope

天の川銀河中心の巨大ブラックホール いて座A*



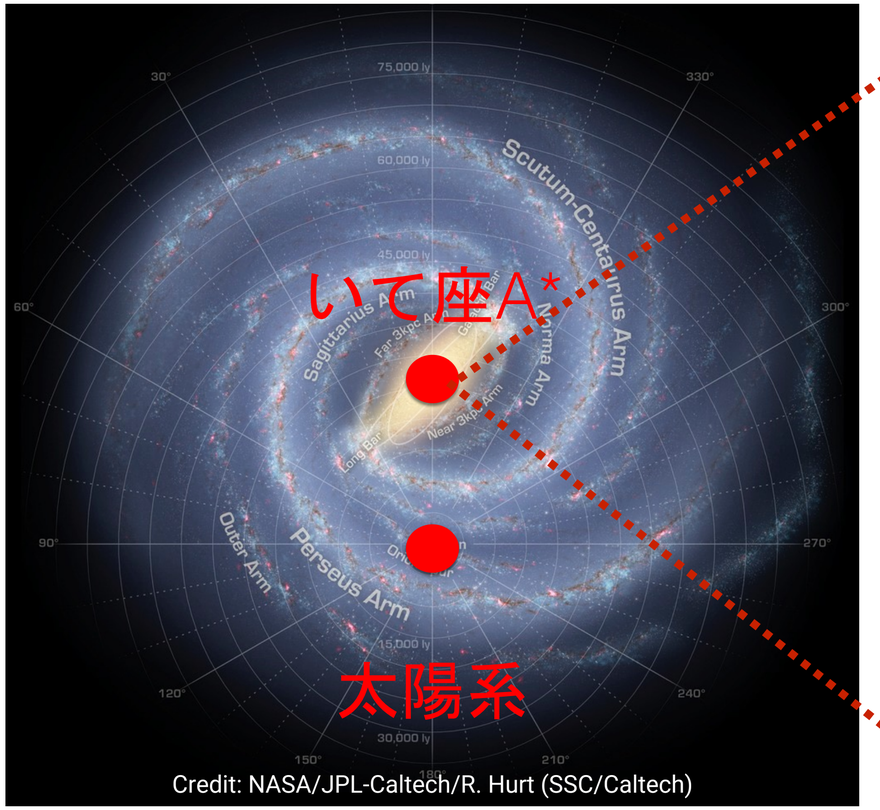
© EHT Collaboration

本成果の科学的意義

Credit : ESO/L. Calçada, N. Risinger (skysurvey.org), DSS, VISTA, VVV Survey/D. Minniti DSS, Nogueras-Lara et al., Schoedel, NACO, GRAVITY Collaboration, EHT Collaboration (Music: Azul Cobalto)

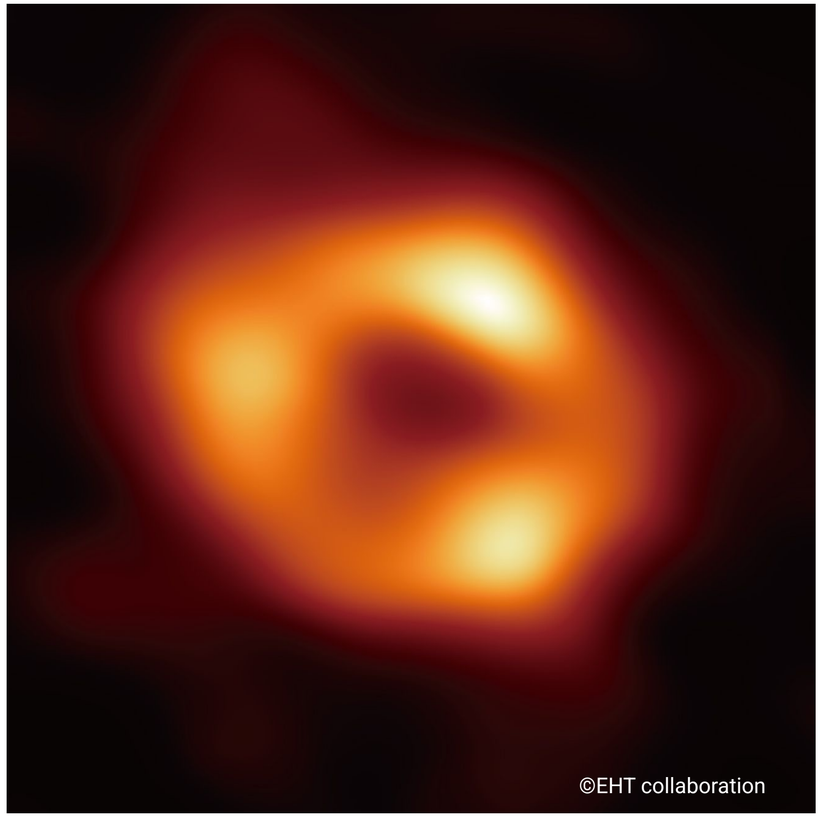
天の川銀河の中心ブラックホールの存在を証明

- 天の川銀河の中心に巨大ブラックホールが存在する初の視覚的かつ直接的な証拠
  - ブラックホールの画像としてはM87に続き2例目
- シャドウの大きさは一般相対性理論の予言と一致



Credit: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech)

天の川銀河の
想像図



©EHT collaboration

Event Horizon Telescope

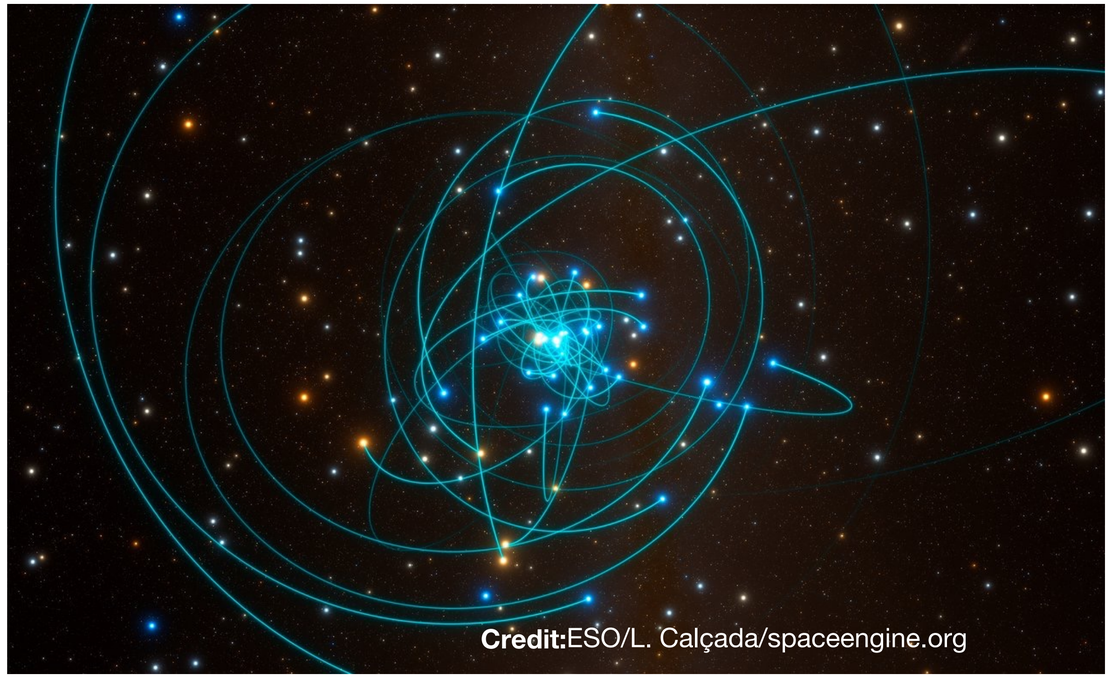
EHT成果発表　2022年5月12日

2020年のノーベル物理学賞との関連

- 周囲の星の運動から
  「天の川銀河の中心に"巨大質量のコンパクト天体"を発見した」
  → 本日の成果によって巨大ブラックホールであることを初めて視覚的に直接証明

ラインハルト・ゲンツェル博士

アンドレア・ゲズ博士

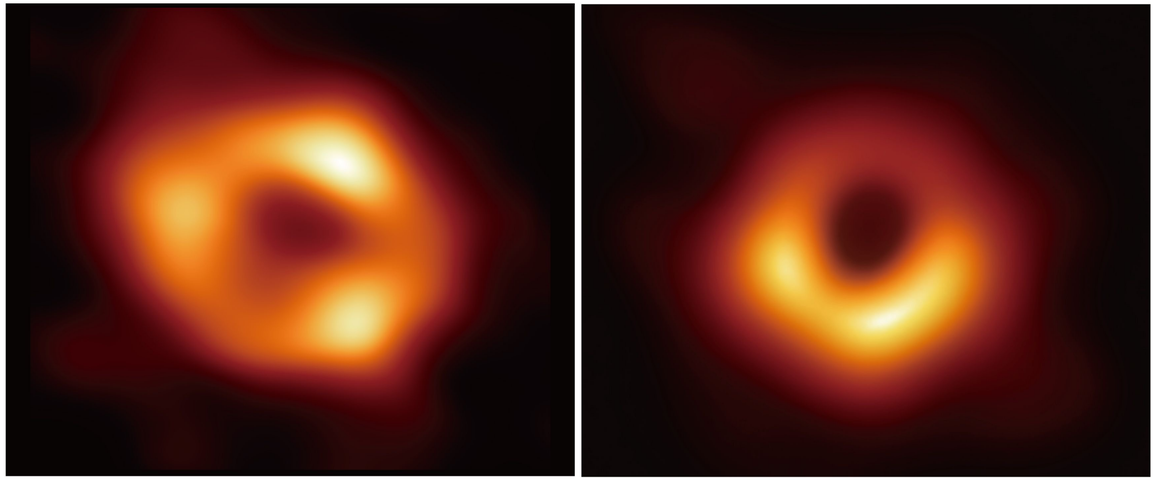


いて座A* vs M87：ブラックホール

	いて座A*	M87の 巨大ブラックホール
質量	太陽の約400万倍 最軽量	太陽の約65億倍 最大級
距離	約2万7000光年	5500万光年

- 質量が違う
- どちらもリング状

✓ ブラックホール近傍の画像は
周りの環境に依らずに
ブラックホールの強い重力によって決まる



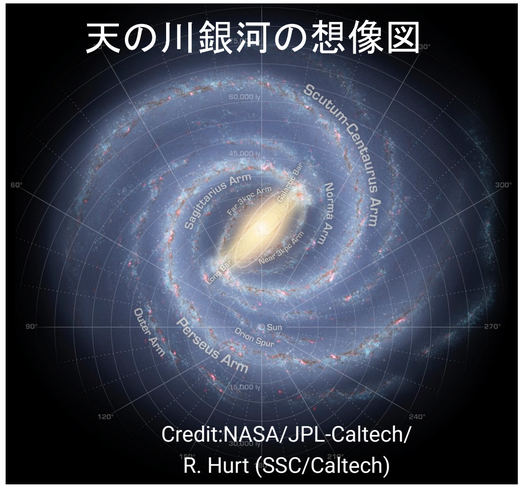
©EHT collaboration

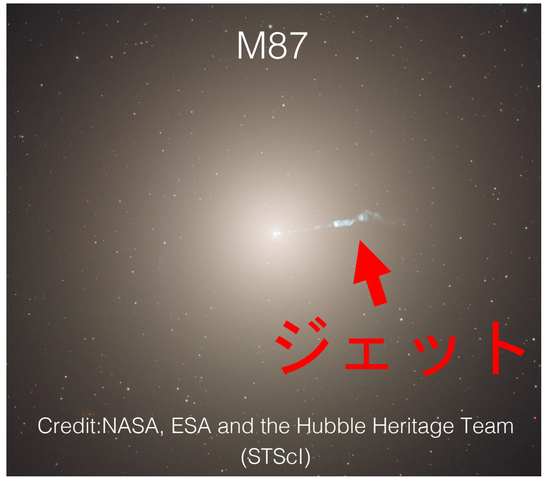
いて座A* vs M87：銀河の活動性

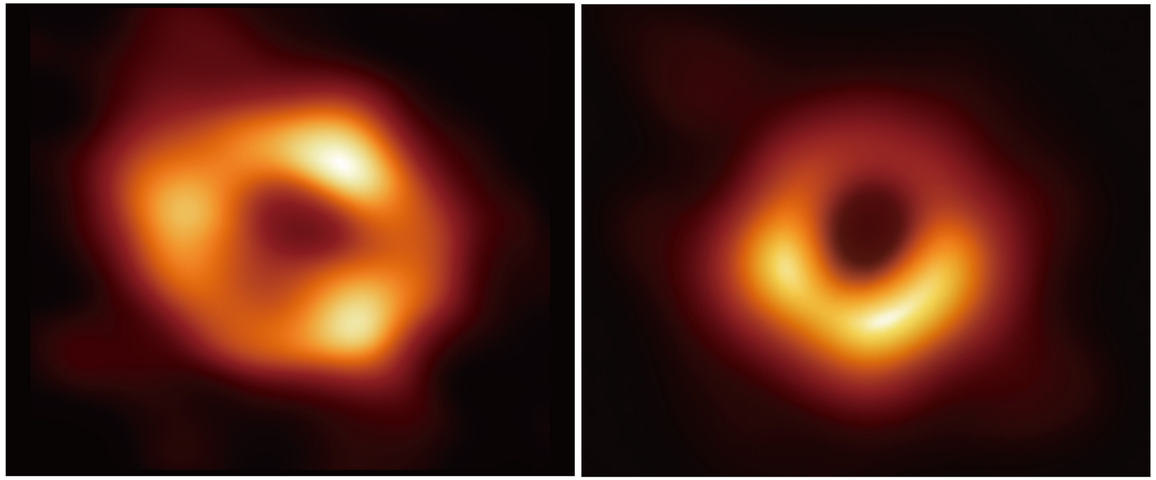
- 異なる銀河のブラックホール

→ ブラックホールや銀河の多様性

	いて座A*	M87の 巨大ブラックホール
銀河の種類	棒渦巻銀河	楕円銀河
銀河中心 の活動性	非常に弱い	ジェットを持つ







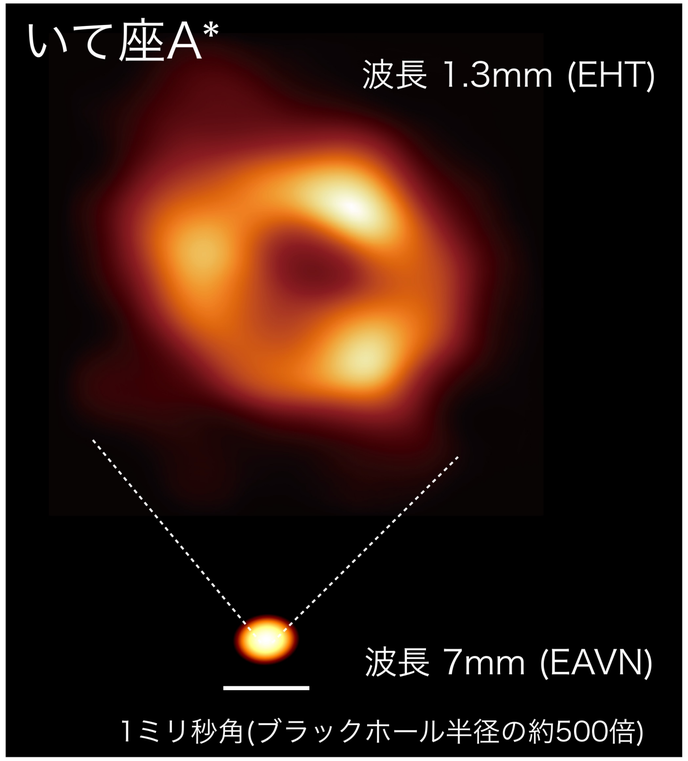
©EHT collaboration

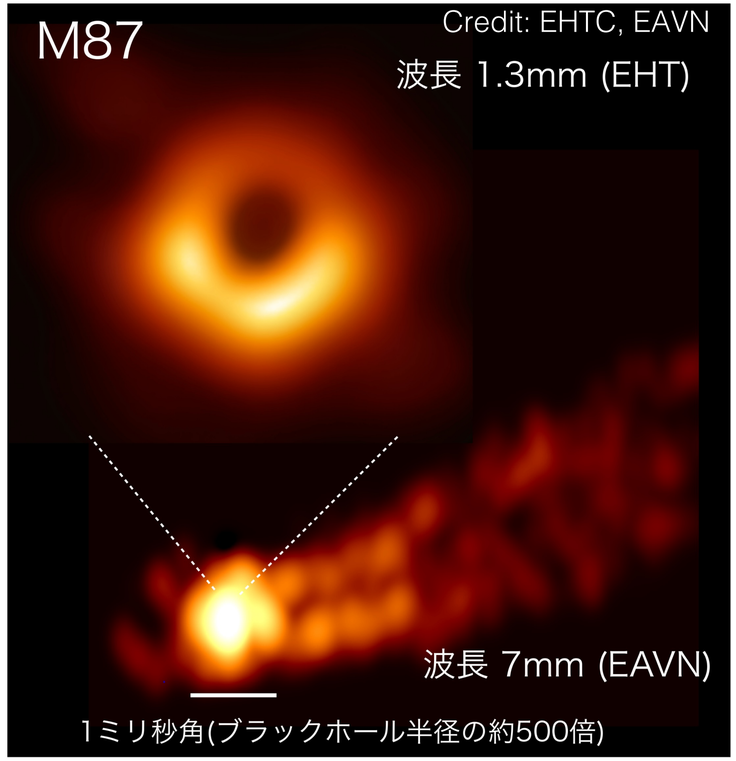
Event Horizon Telescope

次なる目標・EHTの今後

いて座A*研究の新しい時代の幕開け

- 動画として時間変動を捉える
- 明るさの時間変動を説明する理論モデルの構築
- ジェットの存在の検証
- 重力理論の検証

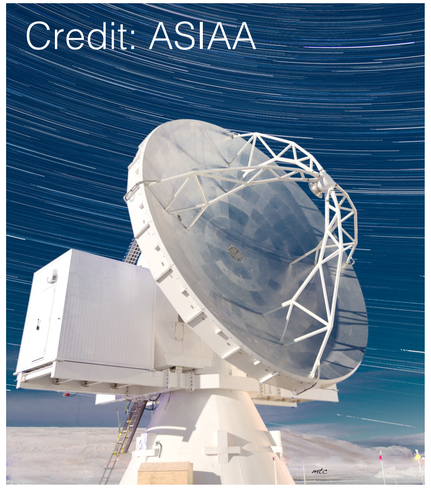




Event Horizon Telescope

EHTの今後

- より高画質・高解像度な撮影へ
  - ネットワークの拡張
    - 2018~ グリーンランド
    - 2021~ フランス, アメリカ
  - 広帯域化（帯域幅2倍）
  - 更に短い波長(0.87 mm)での観測
    - 視力1.5倍
- 静止画から動画へ



グリーンランド望遠鏡

Event Horizon Telescope

日本の貢献について

概要と日本の貢献

- 出版論文：6編の主論文＋4編の公認論文（アストロフィジカルジャーナルレターズ）
- 論文著者数：EHTメンバー＋EHT外研究者計300名超
  - 日本国内機関所属のEHTメンバー　13名
  - 米国・ドイツ・台湾・中国で活躍中のEHTメンバー　8名
  - 日本国内のEHT外研究者　5名
- 日本が貢献した主要分野

  (1) 望遠鏡と観測運用、装置開発

  (2) データ較正・画像化・画像解析

  (3) 東アジアVLBIによる多波長準同時観測

  (4) 理論・シミュレーションとの比較

  (5) プロジェクト運営上の役割

日本の貢献(1) 望遠鏡と観測運用、装置開発

アルマ望遠鏡（チリ）
国際協力で建設・運用（標高5000m）

中間山麓施設（標高2900m）

JCMT（ハワイ）
東アジア天文台として日中韓台共同運用

これらの局や観測司令部で
EHTの観測運用へ貢献

担当者：秋山、小山友、
本間、秦、松下、水野ぃ

アルマ望遠鏡をEHTに参加可能にするための国際共同開発・ALMA Phase-up Project (APP)において、データを光ファイバーで送る伝送装置を開発

担当者：秋山、小山友、**本間**

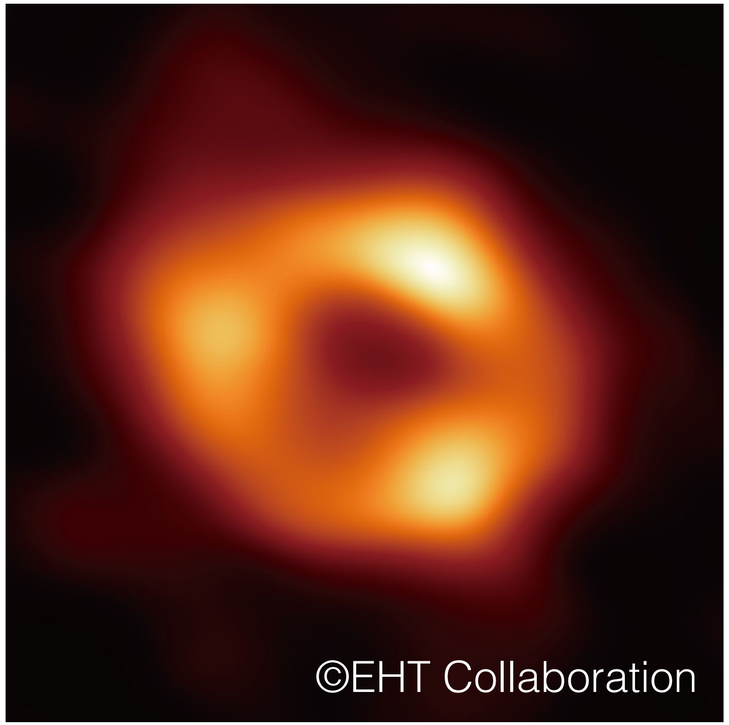
以下、赤字：出席者、下線：取材適任者

Event Horizon Telescope

日本の貢献(2) 画像化・画像解析

- 日本独自の画像化手法を開発・改良
- 今回の画像処理に採用された４つの画像化手法のうちの一つ
  - 従来法・米国提案手法・日本提案手法・カナダ提案手法
  - 従来法とカナダ提案手法の画像化にも貢献
- 作成された画像の評価・情報抽出を主導
- 最終画像の作成

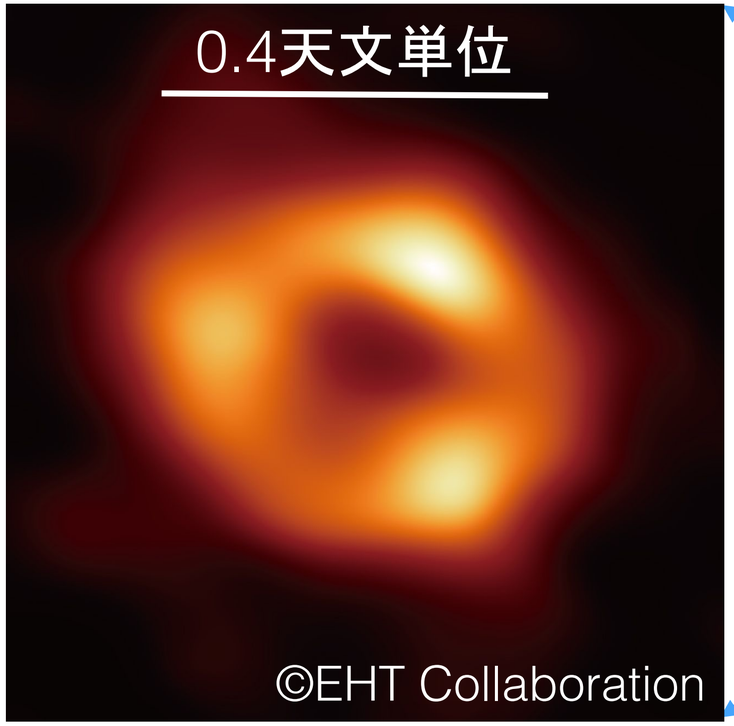
担当者：秋山、浅田、池田、沖野、崔、小藤、小山翔、笹田、田崎、永井、本間、森山



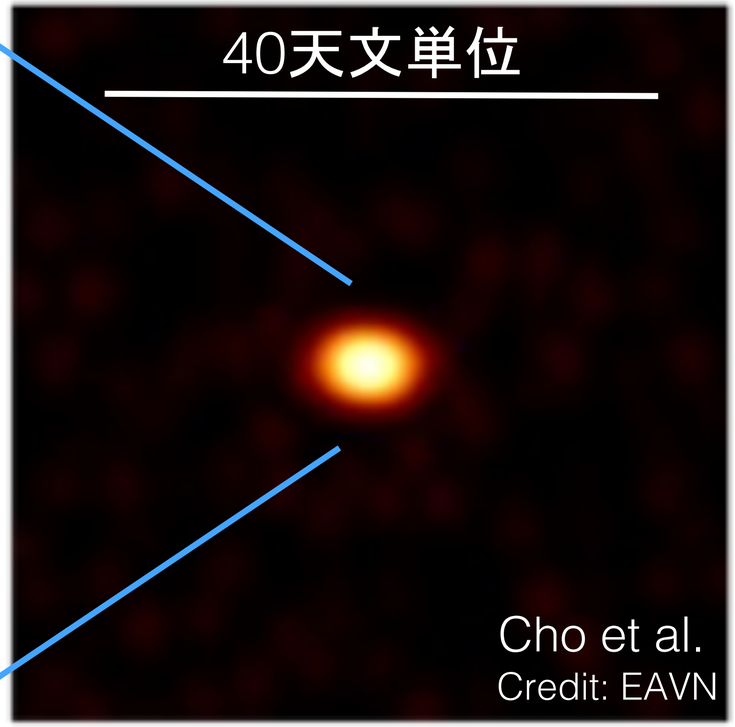
いて座A*　最終画像

日本の貢献(3) 東アジアVLBI観測網による多波長観測

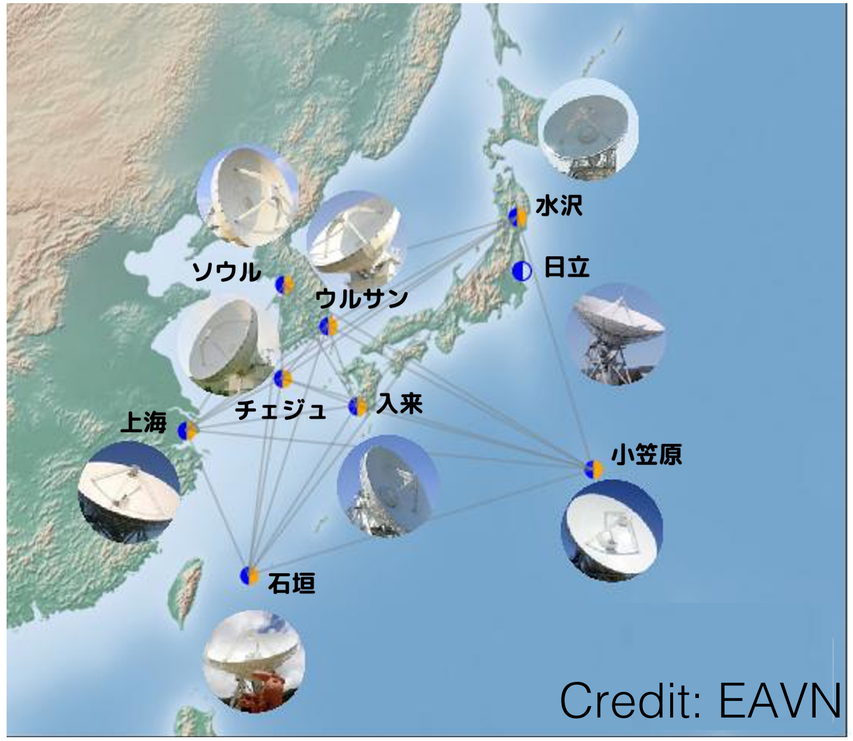
EHT 波長1.3mm



EAVN 波長 7mm



東アジアVLBI観測網 :EAVN



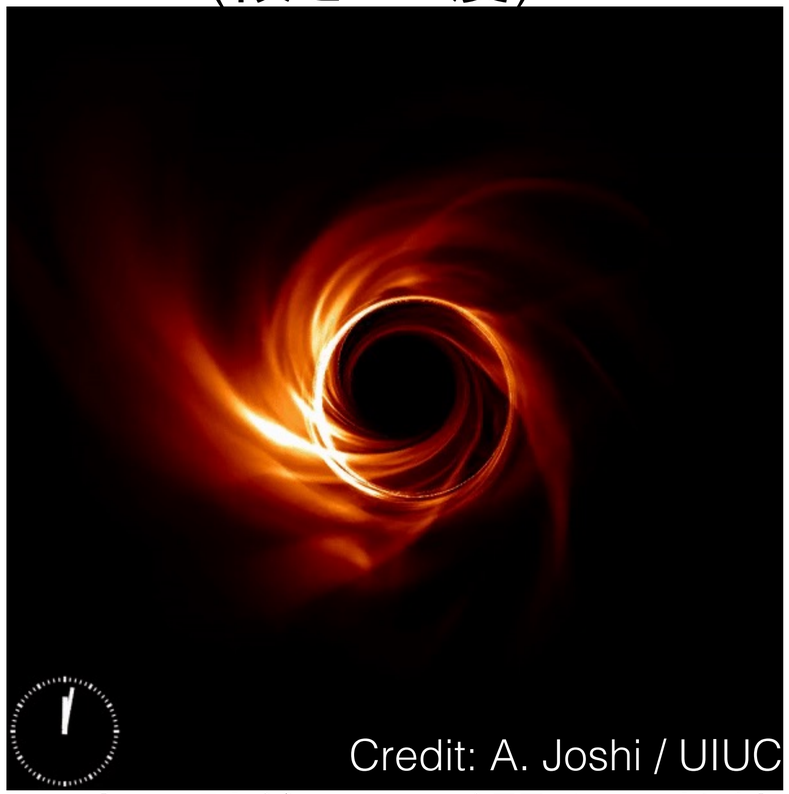
担当者：秋山、浅田、川島、紀、崔、小山翔、笹田、田崎、中村、秦、水野陽、森山

- 日本・韓国・中国から計10局参加
- 2017年4月に合計4日2波長観測（EHT観測前中後）
- いて座A*の手前にあるガスの影響を評価し、本来の姿を得ることに貢献

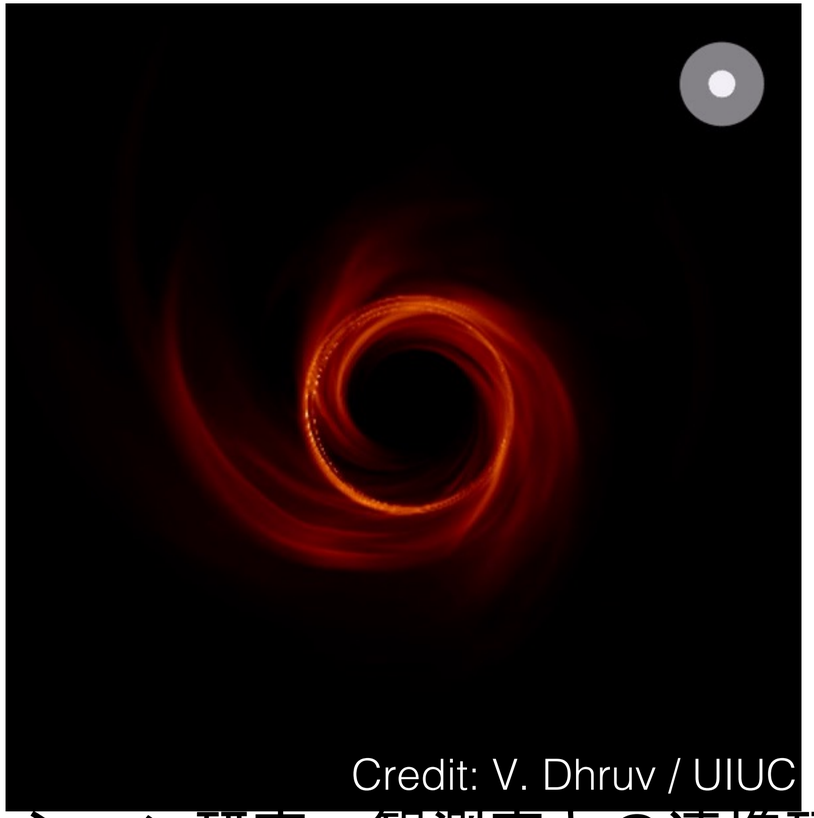
Event Horizon Telescope

日本の貢献(4)理論・シミュレーションとの比較

理論から予測されるいて座A*の時間変化
(傾き 30度)



傾きが変化する様子



- 独自の理論研究、計算コード開発、数値シミュレーション研究、観測家との連携研究を蓄積
- その知見、シミュレーションデータを提供しつつ、EHT理論班がまとめた論文に貢献

担当者：川島、紀、中村、水野陽、森山

Event Horizon Telescope

日本の貢献(5) EHTプロジェクトの主要役割

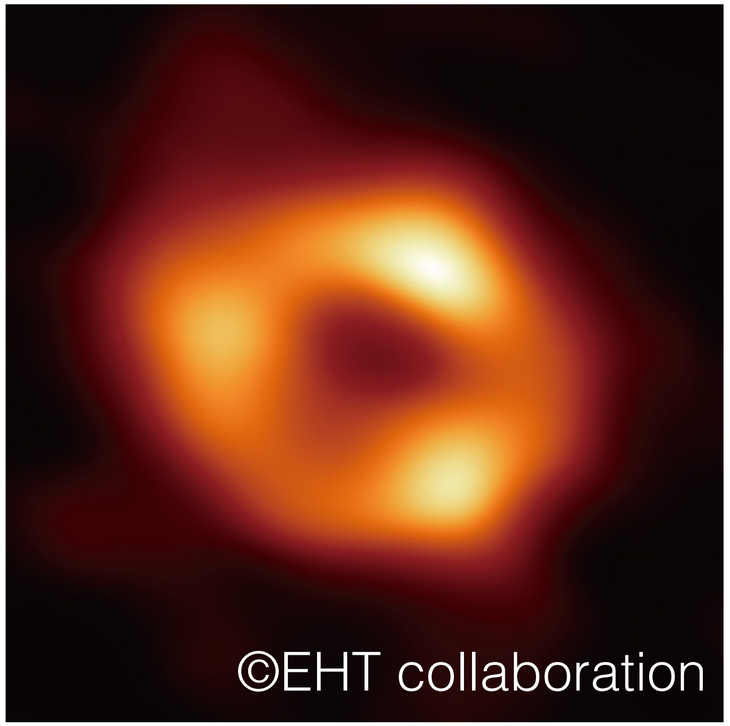
- Board (理事会)　本間、松下
- Science Council (科学諮問委員会)　浅田、小山翔、秦
- Junior Scientist Council (若手科学者委員会)　崔、森山
- WG Coordinator (作業班とりまとめ)　秋山、秦、水野陽
- Paper Coordinator (論文とりまとめ)　秋山
- Publication Comittee (出版委員会)　池田
- Outreach Comittee (広報委員会)　田崎
- Speakers Bureau (講演委員会)　秋山
- Ombuds Panel (オンブズ委員会)　浅田

台湾所属の研究者らがグリーンランド望遠鏡を建設
2018年からEHTの観測に参加
浅田、井上、小山翔、中村、松下

グリーンランド望遠鏡

まとめ

- EHTの2017年4月の観測から、天の川銀河中心の巨大ブラックホール・いて座A*の撮影に成功した。
- リングの直径は一般相対性理論の予言と一致。
- 天の川銀河の中心にも巨大ブラックホールが存在することを初めて決定付ける視覚的かつ直接的証拠を得た。



今回のいて座A*の成果は、一般相対性理論のさらなる検証や、私たちが住む天の川銀河の理解へ向けた大きな一歩である。

謝辞

- 今回の成果をともに達成することができた、EHTに関わる全ての共同研究者・関係者に感謝申し上げます。

- この活動を支援していただいた各研究機関、研究助成団体の皆様に感謝申し上げます。

- そして、EHTプロジェクトを応援してくれた全ての方々に、心より感謝申し上げます。