

超巨大ブラックホール近傍から噴出する 電波ジェット根元のふらつき現象を発見！



研究代表者：

新沼浩太郎（山口大学理工学研究科・准教授）

共同研究チーム同席者：

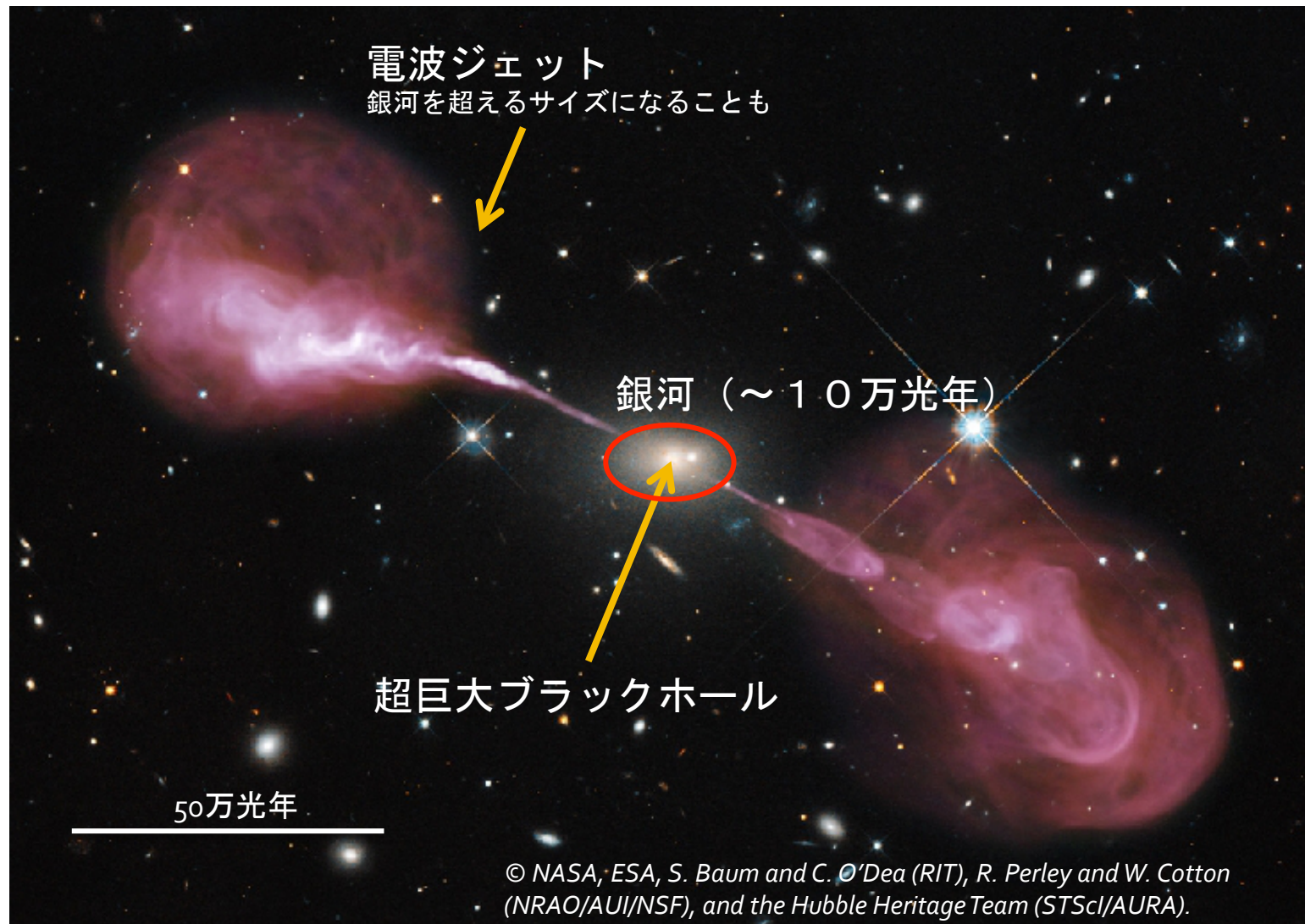
紀 基樹（韓国天文宇宙科学研究院 上席研究員）

本研究の概要

- 活動銀河マルカリアン₄₂₁（以降Mrk 421）の超巨大ブラックホール（BH）付近でX線での大爆発現象が発生した直後から、超巨大BHから噴出するガス流『電波ジェット』の根元をVERA電波望遠鏡による高空間解像度・高頻度の観測を実施
- 動かないはずの電波ジェットの根元が大きくふらつく現象を世界で初めて捉えることに成功
- 電波ジェットがどのように形成され噴出しているのか？という宇宙物理学における長年の謎を解き明かすための大きな手掛かりになることへ期待

本研究の背景と動機

活動銀河と電波ジェット

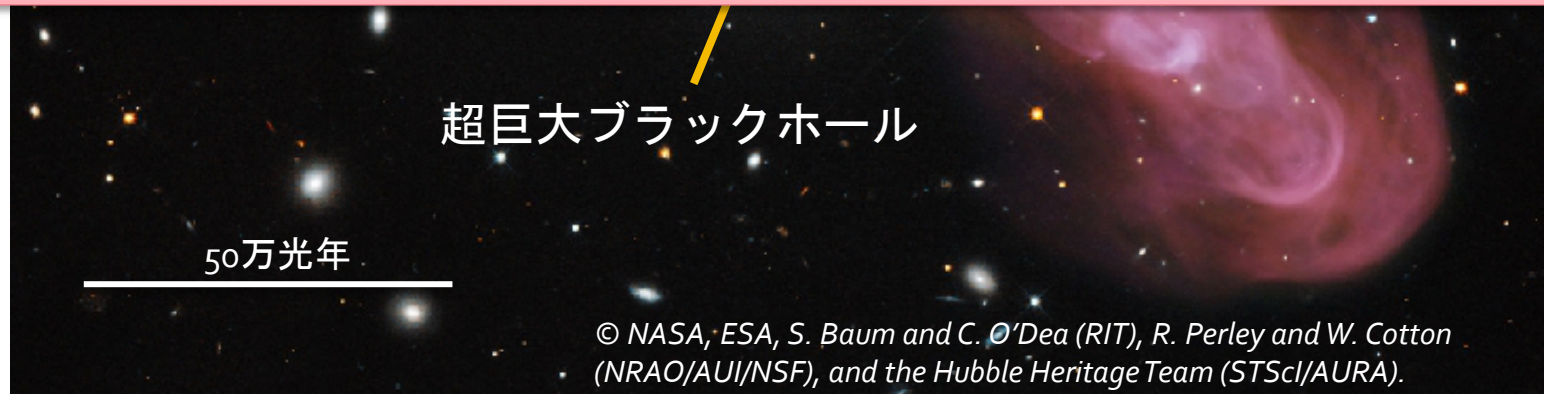


活動銀河と電波ジェット



電波ジェット
銀河を超えるサイズになることも

電波ジェットを作り出すメカニズムは宇宙物理学最大の謎！



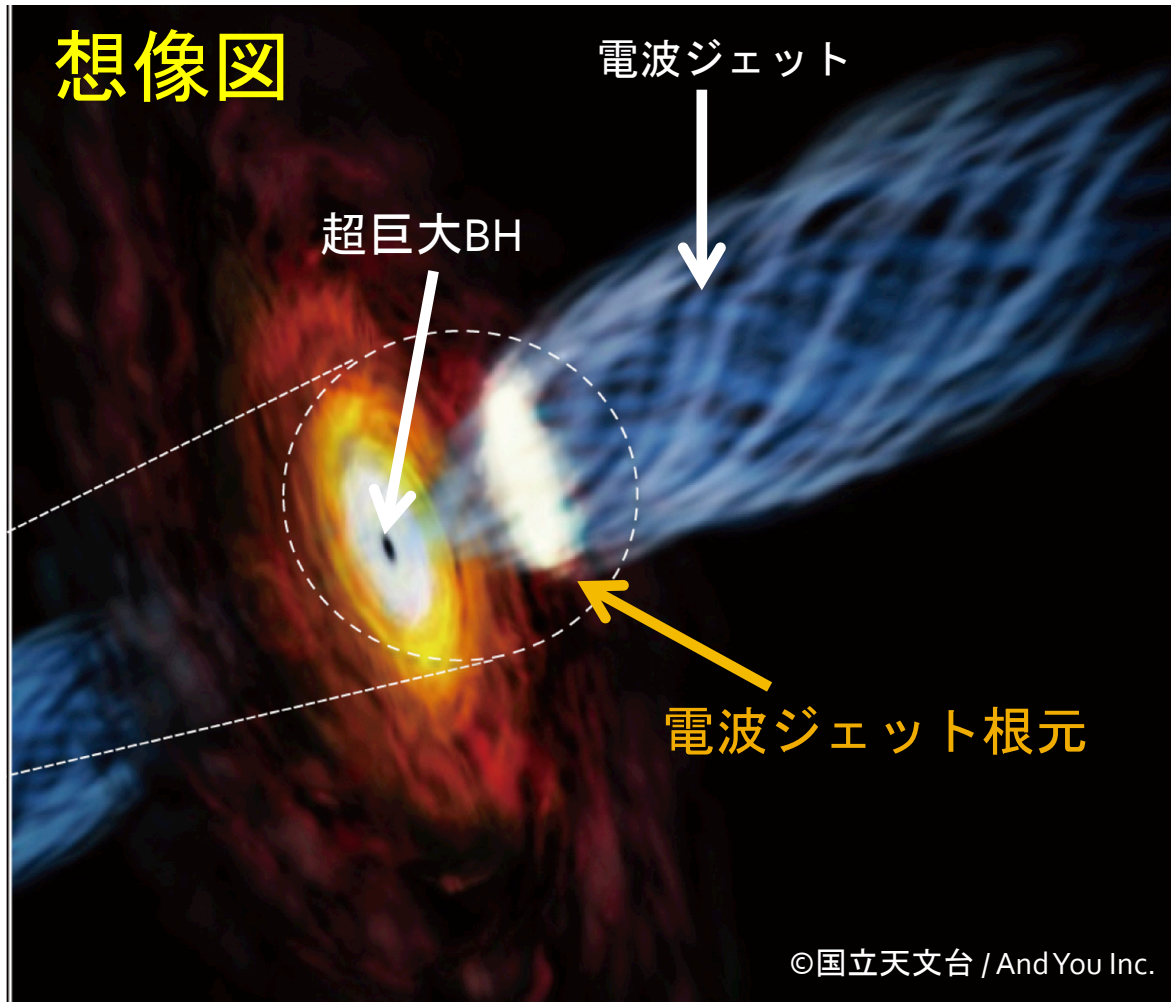
超巨大ブラックホール

50万光年

© NASA, ESA, S. Baum and C. O'Dea (RIT), R. Perley and W. Cotton (NRAO/AUI/NSF), and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA).

活動銀河と電波ジェット

想像図



©国立天文台 / AndYou Inc.

活動銀河中心が 明るいの理由

非常に狭い領域 (< 10 光年) から莫大なエネルギー (太陽の ~1兆倍) を放出

しかし、

電波ジェットがどのように作られ、どのように噴き出されているのか、未だに良くわかっていない。

とくに、

電波ジェット根元を調べることはとても重要

立ちはだかる壁

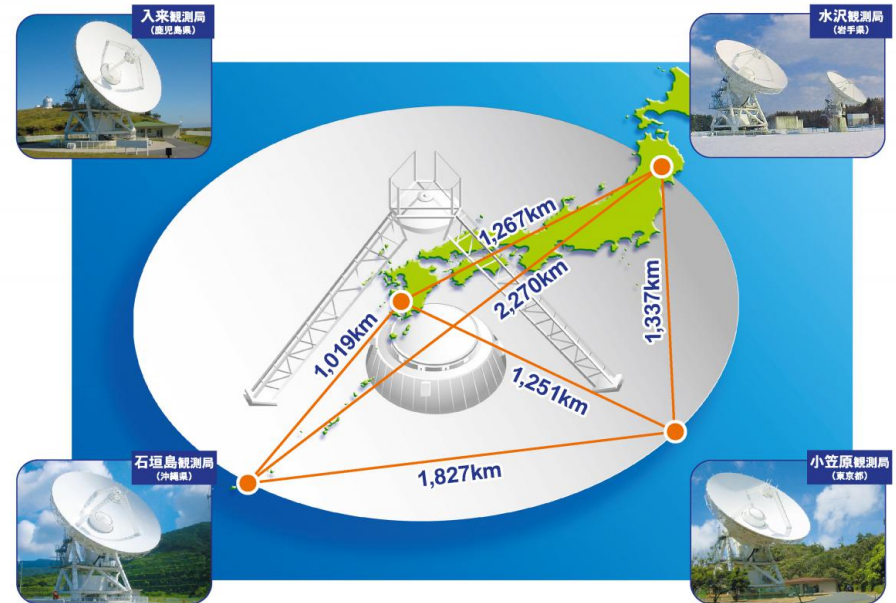
- 活動銀河は遠い、電波ジェットが形成される領域は小さい
 - 比較的近い活動銀河でも 1 光年が 1 0 0 万分の 1°の大きさしかない
- このような天体を観測するためにはとても高い空間解像度（＝視力）を持つ装置が必要
- そのような装置はあるのか？

圧倒的な視力を誇る観測装置 - VLBI

- 超長基線電波干渉計 (Very Long Baseline Interferometer: VLBI)
- 各地の電波望遠鏡を繋ぎ、数1000キロメートルサイズの実効口径を持つ巨大電波望遠鏡を実現する技術

大きな望遠鏡→**高い視力**！

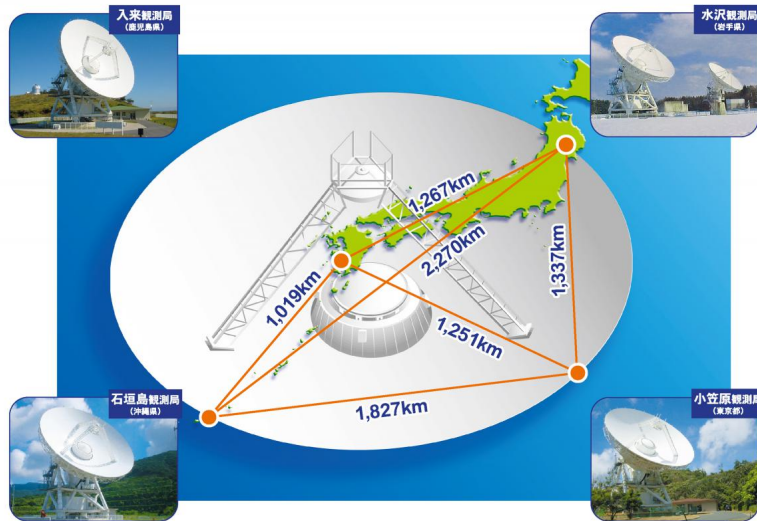
- あらゆる天文観測装置の中で圧倒的な視力と位置精度を実現



例：国立天文台のVLBI観測装置“VERA”
©国立天文台, <http://www.miz.nao.ac.jp>

VLBIと他の装置

■ VLBI



©国立天文台, <http://www.miz.nao.ac.jp>

■ ハッブル宇宙望遠鏡



観測装置	口径 D	波長 λ	解像度 (λ/D)	視力
VLBI (VERAの場合)	約 2,270 km	約 1.3 cm	0.001 秒角	約 60,000
ハッブル宇宙望遠鏡	約 2.4 m	約 550 nm	0.05 秒角	約 1,200

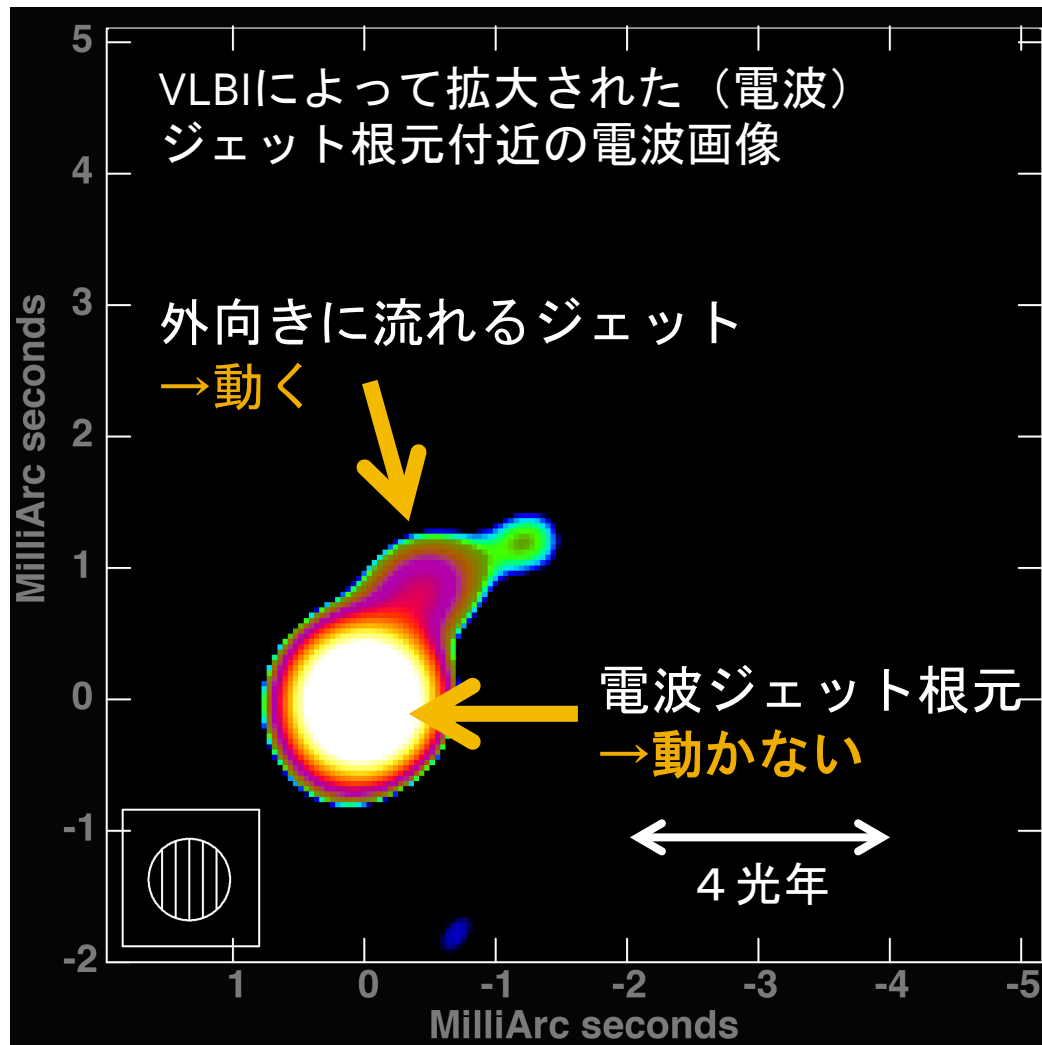
表：解像度は口径と波長で決まる。電波のVLBIは波長が長いと不利であるが、実効口径の大きさにて圧倒的な解像度を実現する

電波ジェット根元の理解の現状

- VLBIでも電波ジェット根元の十分な理解はまだ得られていない
 - 従来のVLBI観測ではまだ視力が不十分
- 根元は不動であると信じて電波ジェット研究が進められてきた

従来の考え方

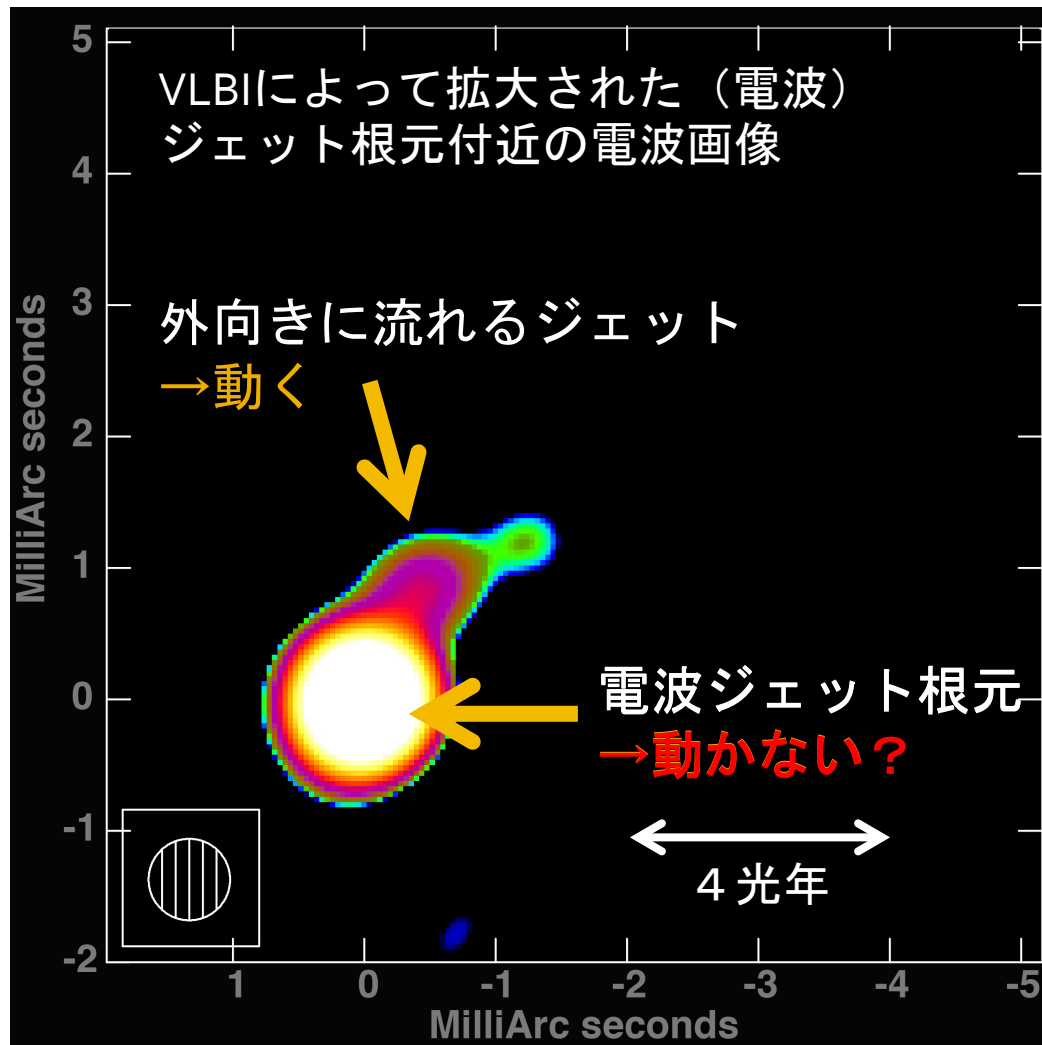
電波ジェット根元の場所是不変



動かない根元に対する動く
ジェットを調べる研究が大半

従来の考え方

電波ジェット根元の場所是不変



根元は本当に
『不動』なのか？

動かない根元に対する動く
ジェットを調べる研究が大半

今回の考え方

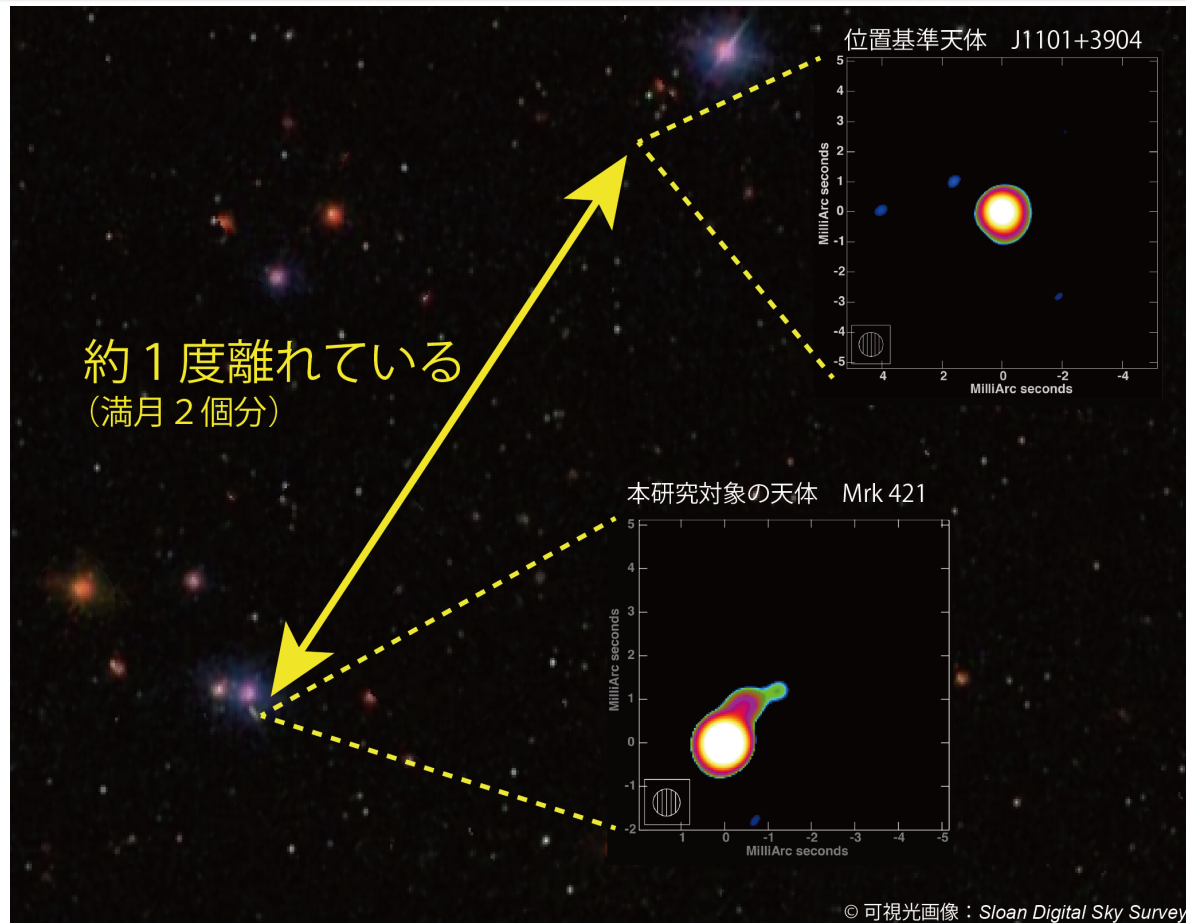
電波ジェット根元の場所が変わるはず！？

- 電波ジェット根元が何か？は良くわかっていない
- 電波ジェット根元はX線でも明るく激しく輝いている
 - このX線の放射は超巨大BHから噴き出すプラズマの塊の“玉突き衝突”で説明できる（右動画）
- 玉突き衝突の明るく輝く場所が電波ジェット根元
 - 噴出するプラズマ塊の速度がバラツけば、根元の位置も変わるはず



相対VLBI

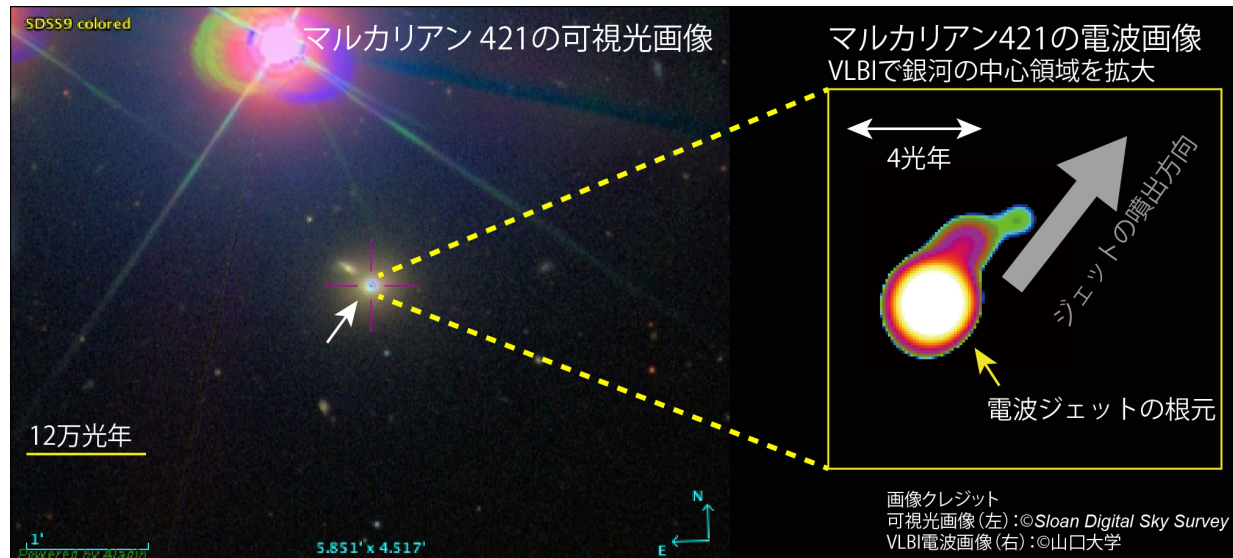
「電波ジェット根元」の場所の変化を測定可能



- 2天体の相対位置（及びその変化）を超高精度測定

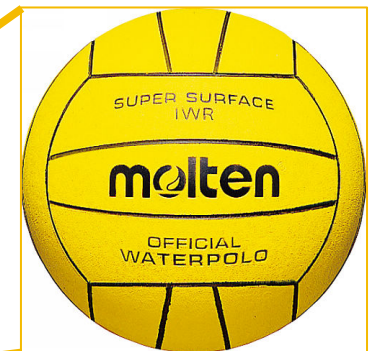
観測天体 マルカリアン421

- マルカリアン421
 - 地球から近い：予想される『根元』位置の変化を詳細に調べるのに適している
 - X線で活動的：『根元』の位置のバラツキが大きくなることが期待できる
- 玉突き衝突モデルから予想される位置の変化を捉えるためには**100マイクロ秒角**の位置決定精度が必要



位置精度 – 100マイクロ秒角

- 36,000,000分の1度
 - 地球から月面上を見たときに、水球ボール1個分の位置精度で“場所”の測定が可能

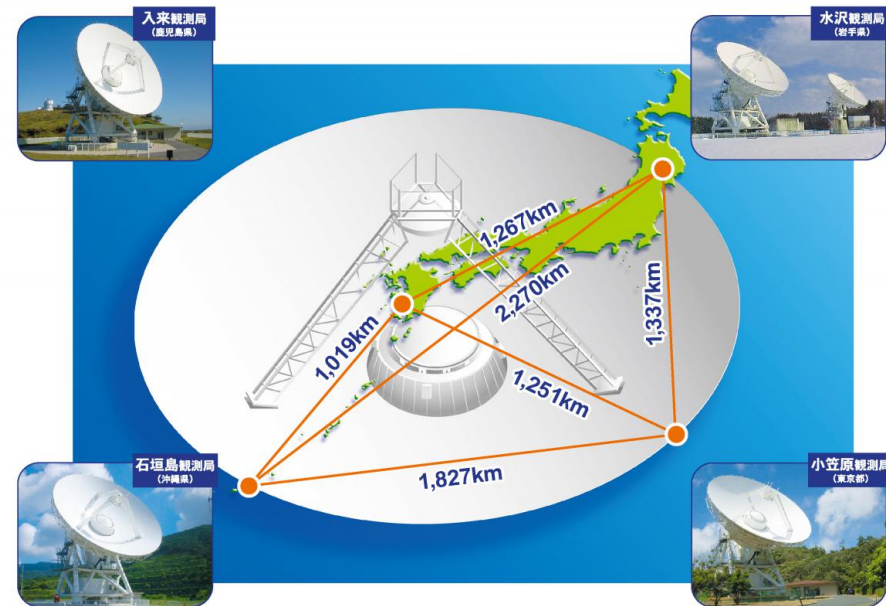


©Molten

©JAXA/NHK

使用した電波望遠鏡：VERA

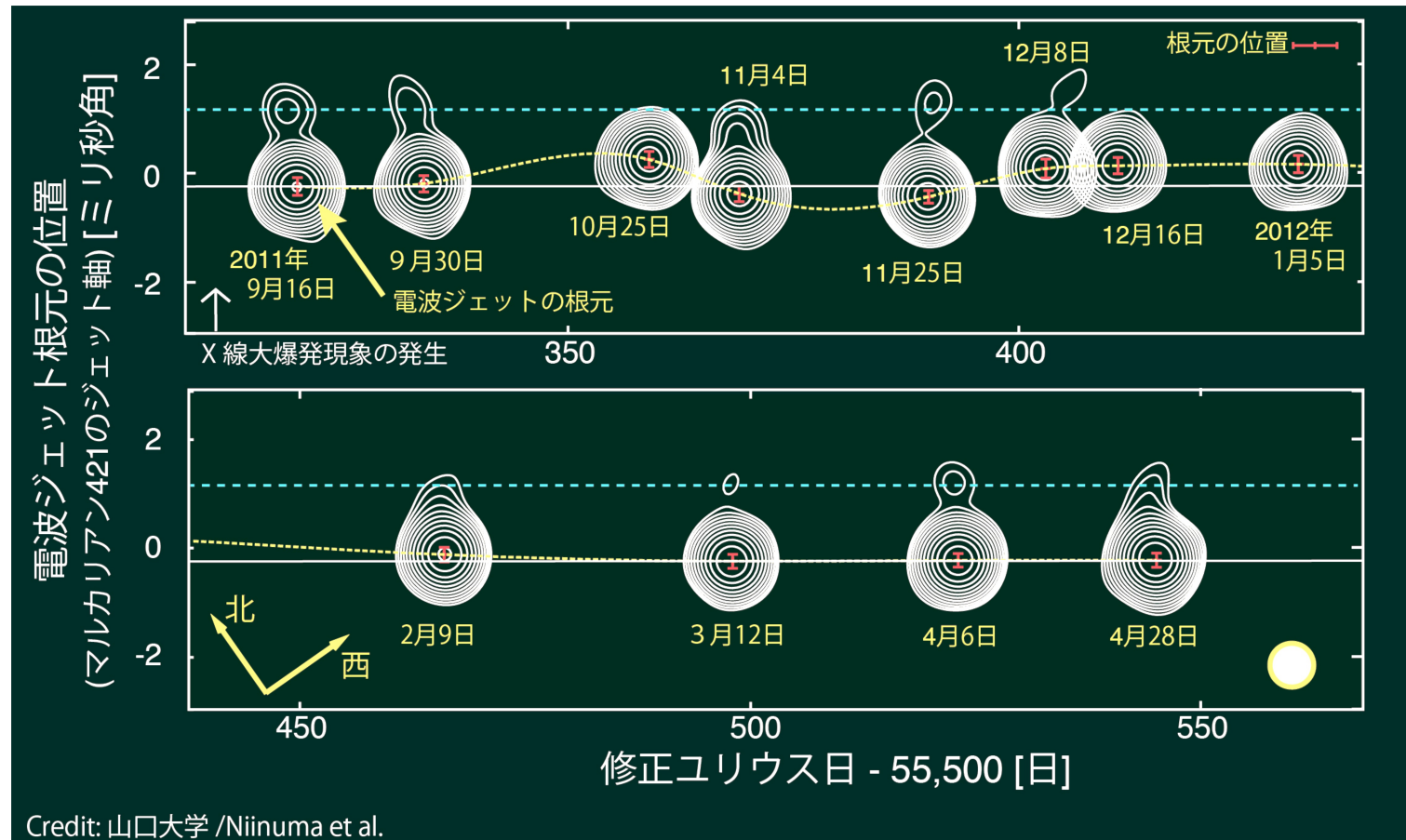
- 国立天文台が所有する日本国内のVLBI観測装置VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry)
- 日本列島を口径 (2270km) に持つ電波望遠鏡に相当
- 天体の位置を高い位置精度で測定する相対VLBI観測が得意
 - 100マイクロ秒角の位置精度で観測が可能



例：国立天文台のVLBI観測装置“VERA”
 ©国立天文台, <http://www.miz.nao.ac.jp>

本研究成果について

観測結果

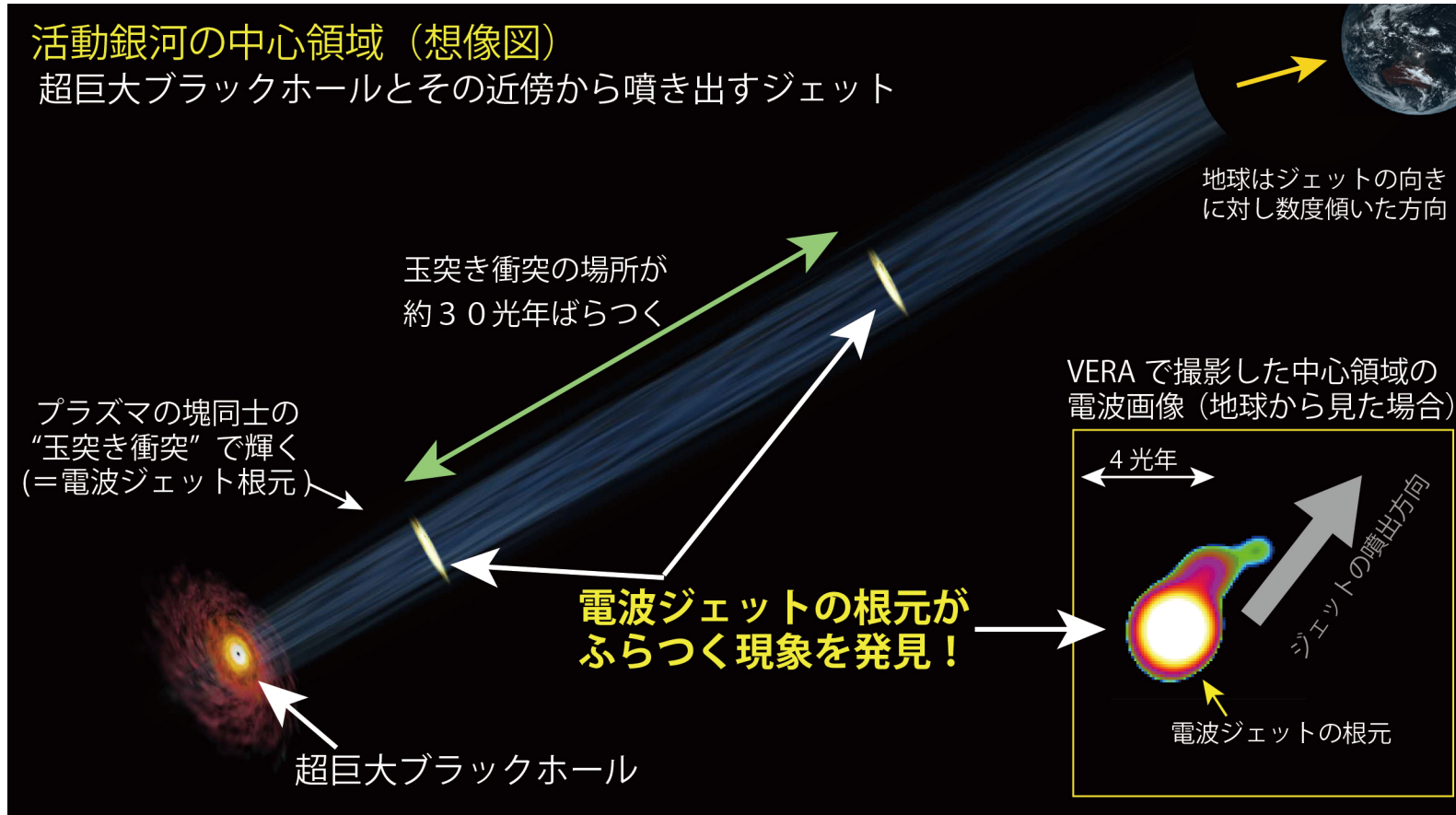


- X線の大爆発発生後、観測期間7ヶ月間観測
- **~500マイクロ秒角のふらつきを検出！**



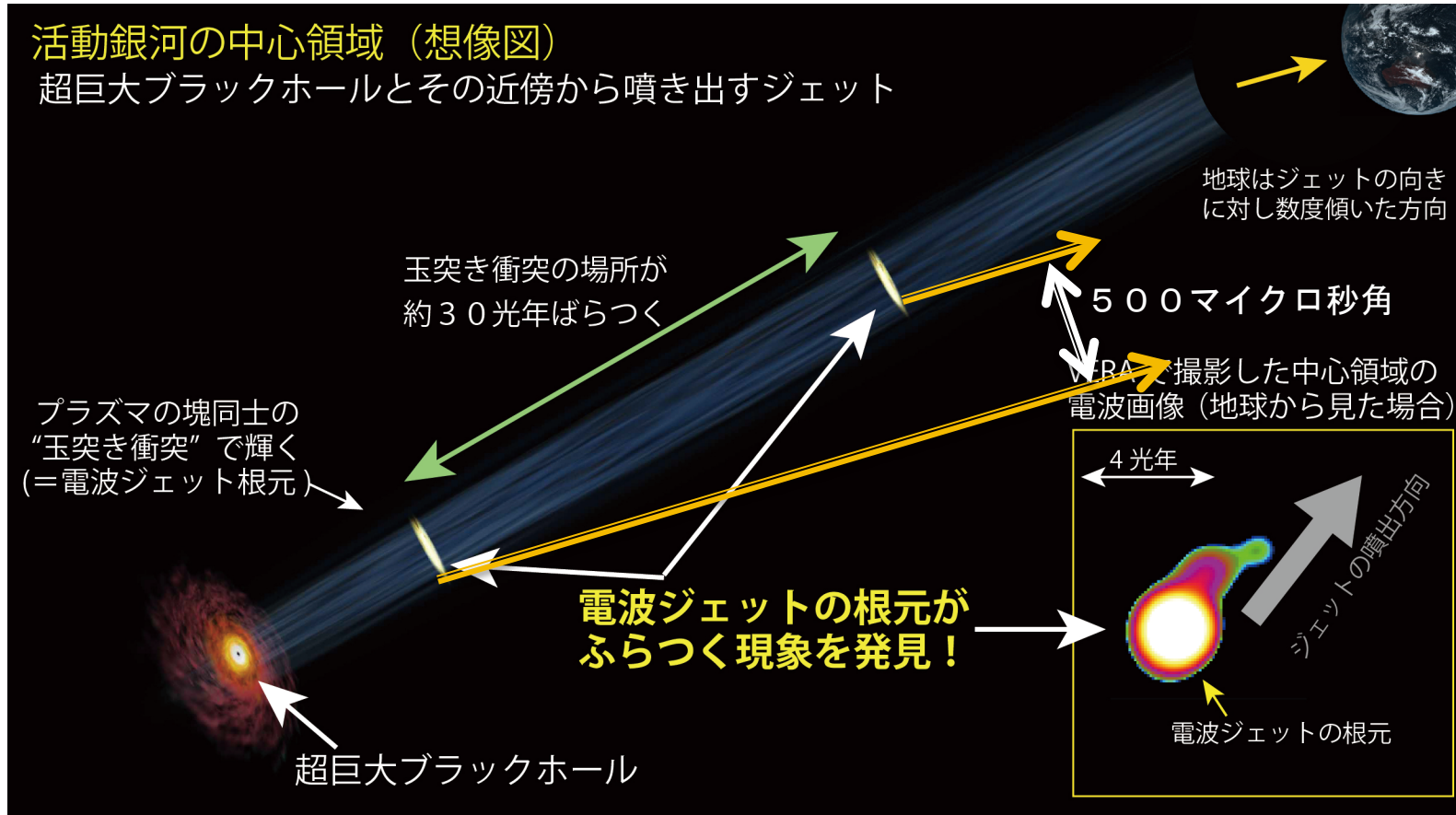
超大質量ブラックホール

全体像



- ～500マイクロ秒角のふらつきは30光年に相当

全体像



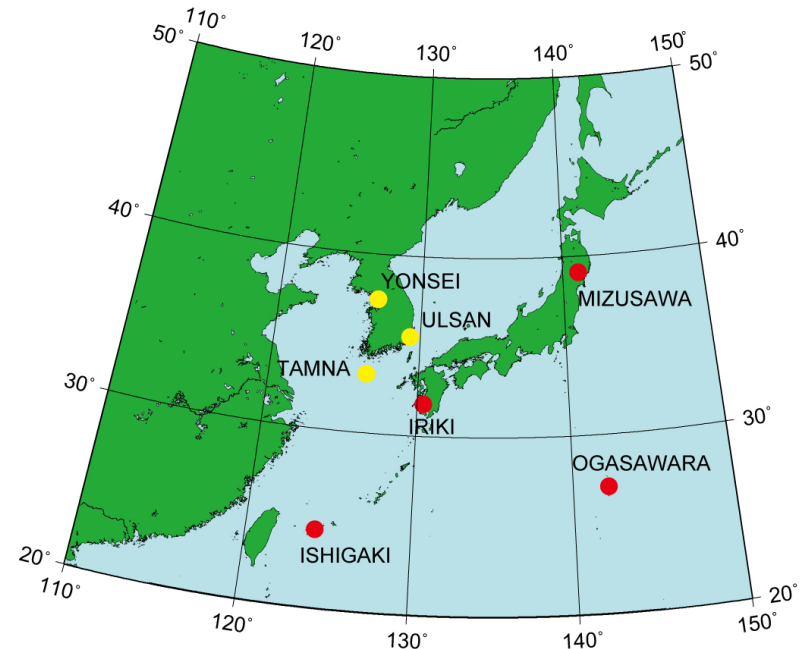
- ～500マイクロ秒角のふらつきは30光年に相当

科学的意義・展望

- 本研究で検出された“ふらつき現象”は、「電波ジェット根元は常に不動である」という従来の理解を根本からくつがえす発見
- 電波ジェット根元の動的性質は電波ジェット形成を調べるための新たな手掛かりとなっていくと期待

技術的な展望

- 日韓VLBI電波望遠鏡による『相対VLBI観測』の実現
- より高い視力の実現（高い周波数のVLBI）
 - 参考：山口大学平成27年6月5日プレスリリース（時間学研究所 藤澤健太教授）



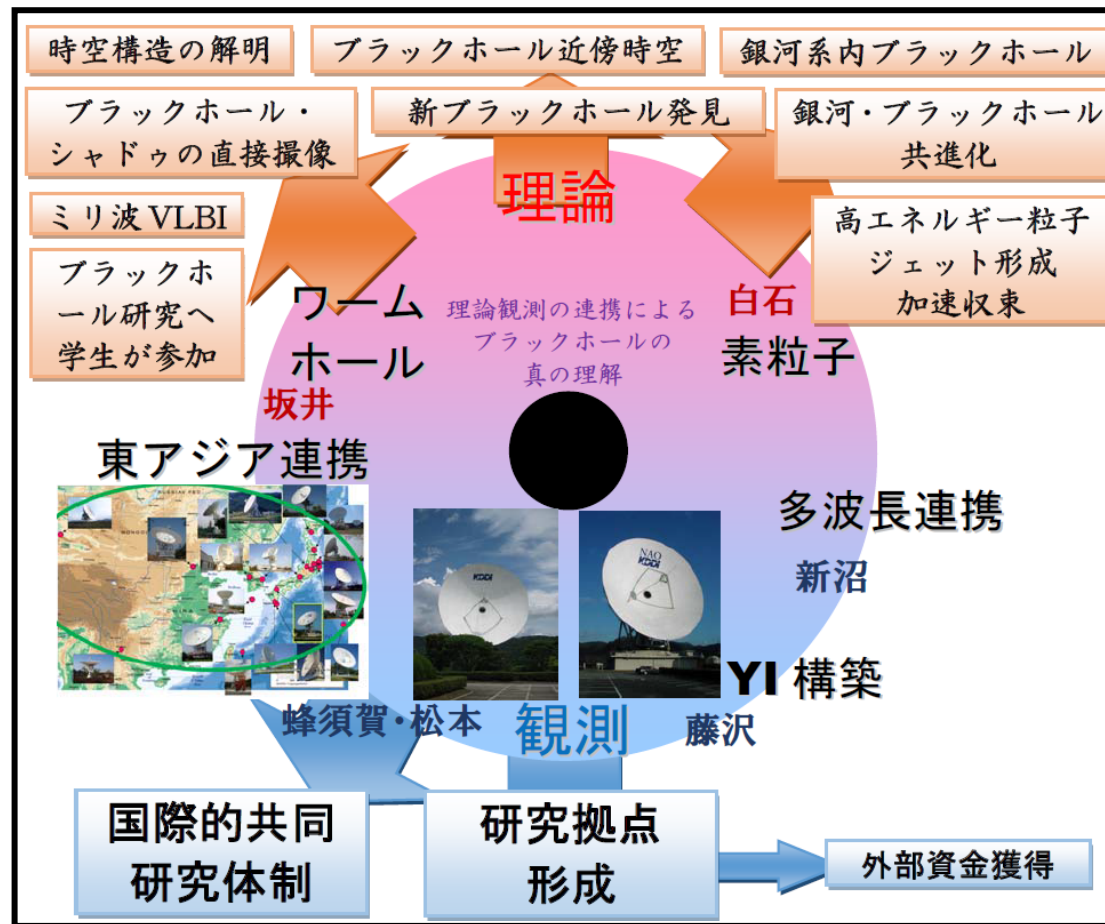
©KaVAホームページ

による電波ジェット根元の
研究を展開

天文学者の夢： ブラックホールの理解！

山口大学の研究課題

『ブラックホール研究の拠点形成』



山口大学「新呼び水プロジェクト」の支援を受けています

ブラックホールを理解する

ブラックホール研究と山口大学の研究の位置付け

■ 『ブラックホールの観測』

高い周波数でのVLBI観測によるBH影の直接撮像
(国際チーム)

国内における高い周波数のVLBI観測技術の確立
代表者：藤澤
(時間学研究所教授)

ブラックホールにおける極限物理の理論的研究

■ 『ブラックホール周辺環境』

超巨大BHによって噴出される電波ジェットの研究
(代表者：新沼)

日韓VLBI電波望遠鏡を用いた高精度観測
(日韓合同チーム)

ブラックホールの物理を理解する

山口干渉計 YI



山口第2アンテナ

山口32m電波望遠鏡

本研究成果は以下のサイトで
公開しています

<http://www.astro.sci.yamaguchi-u.ac.jp/~niinuma/pr/pr20150727/mrk421>

補足資料

共同研究チーム

- 新沼 浩太郎（研究代表者，山口大学理工学研究科・准教授）
- 紀 基樹（韓国天文宇宙科学研究院・上席研究員）
- 土居 明広（宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所・助教）
- 秦 和弘（日本学術振興会特別研究員／国立天文台）
- 永井 洋（国立天文台チリ観測所・特任准教授）
- 小山 翔子（マックスプランク電波天文学研究所・研究員）

