

SKA-VLBIによる系外サイエンス

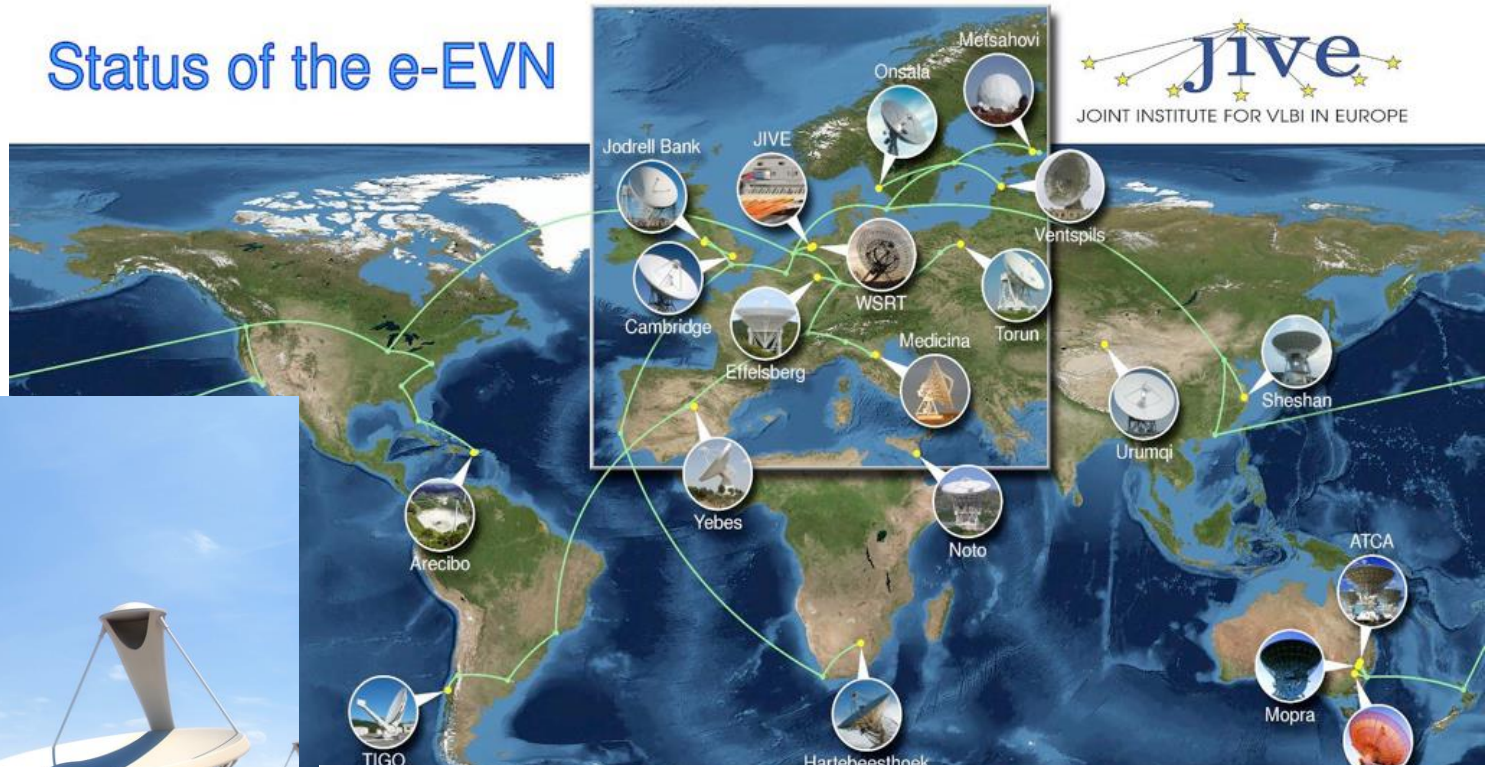
新沼浩太郎（山口大学理工学研究科）

第13回水沢VLBI観測所ユーズ・ミーティング

2015年9月24日-25日 @ 水沢VLBI観測所

SKA(-MID)-VLBI

Status of the e-EVN



As can be seen in Table 1, the image sensitivity of a moderate SKA-VLBI array is $3 \mu\text{Jy beam}^{-1} \text{hr}^{-0.5}$ at $\sim 3 - 8 \text{ GHz}$. Assuming a baseline length up to 10,000 km (resolution $\sim 1 \text{ mas}$), this will ensure a noise-limited position fit with a theoretical precision of a few μas for stars with flux density exceeding $\sim 1 \text{ mJy}$ (SNR > 100), even if observed in a snapshot mode ($\sim 10 \text{ min. per target}$). As explained in previous sections, the systematic errors can be reduced significantly by

Zsolt Paragi et al. (2015)

SKA-VLBIとブレーザー

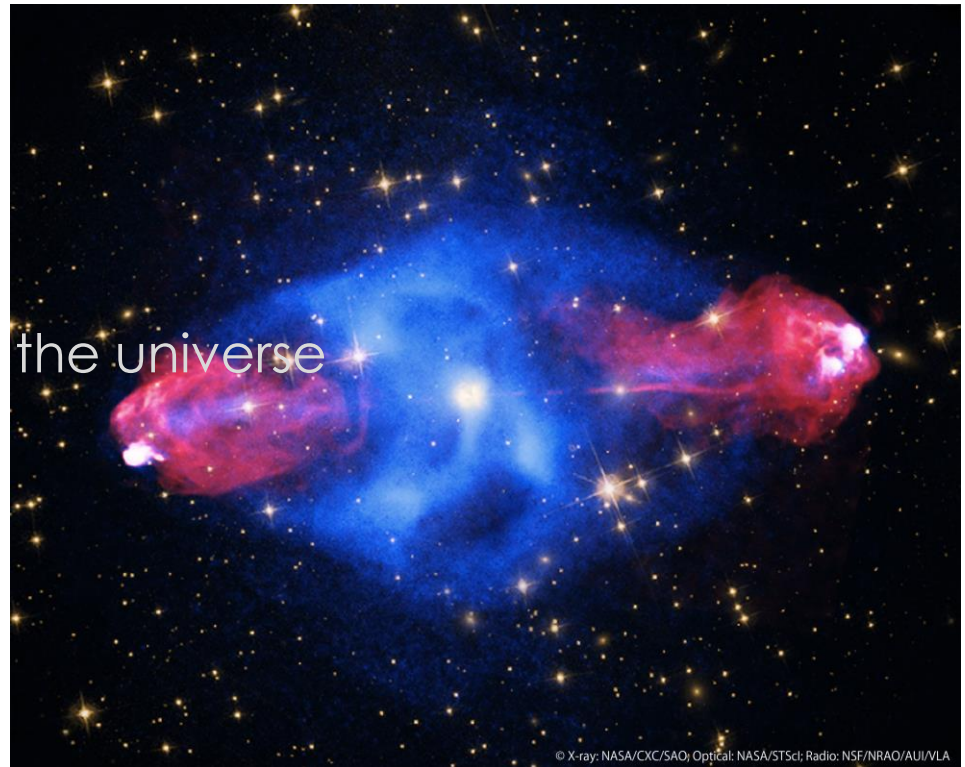
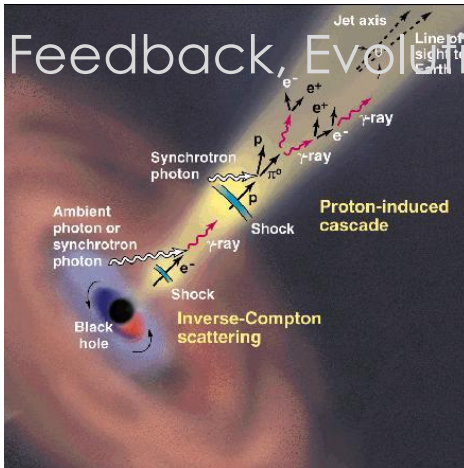
- Connection between radio – gamma
 - Truly simultaneous observation with multi- λ

- Core shift measurement
 - Location / B-field of the jet base and BH

- pc-scale jet viewing angle

AGN jet - open questions

- Formation, Collimation, Acceleration (bulk), and sub-pc to Mpc (> host gal.)
- Plasma composition
- Particle acceleration
- Feedback, Evolution in the universe

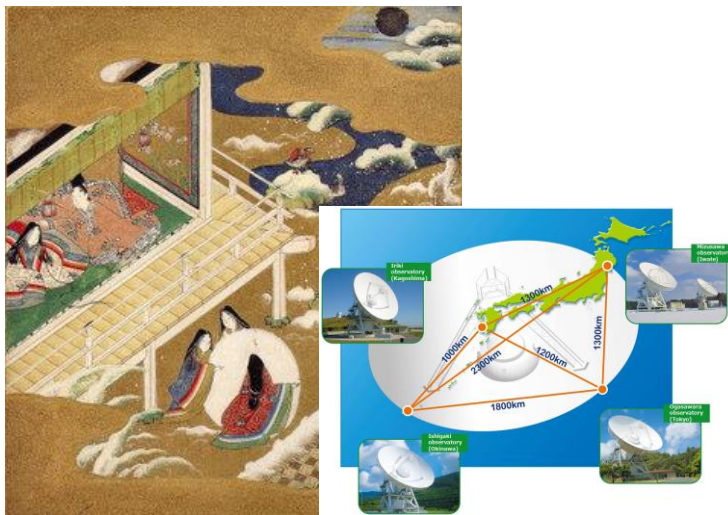
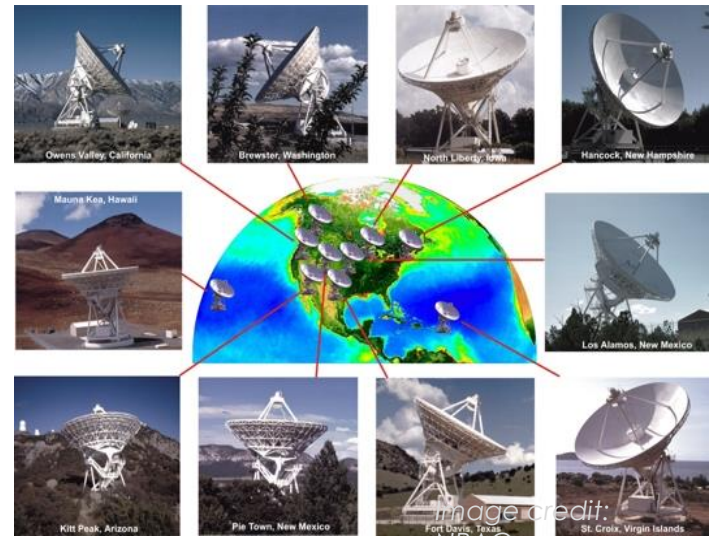


主としてブレーザーを用いた研究!

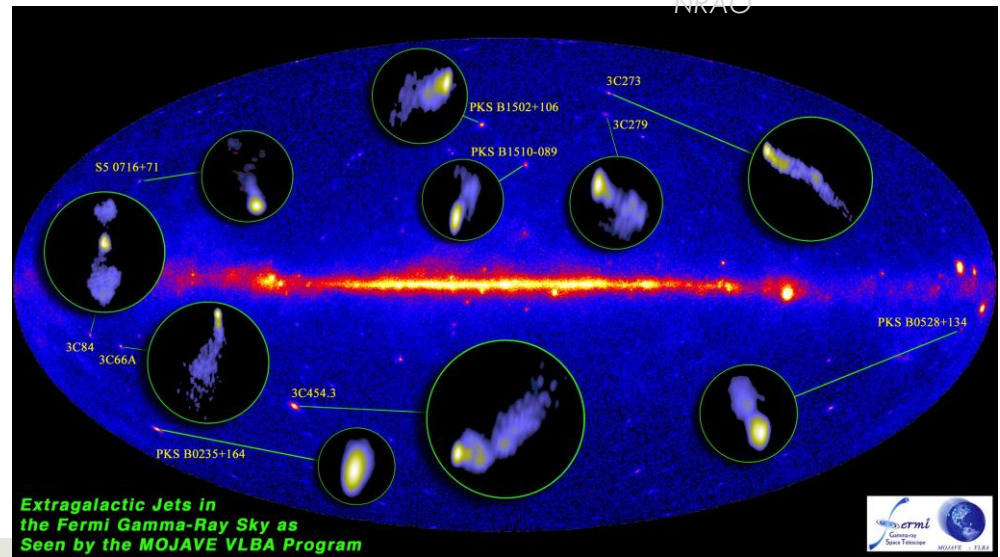
※電波で強く、ジェットの見込む角が小さく、電波から γ 線にわたって放射をする典型的なAGN

高エネルギー放射領域を特定する試み

- VLBI intensive blazar monitor (bi-weekly ~ several monthly)
 - TANAMI (AUS/LBA) *southern hemisphere
 - Boston U. (US/VLBA)
 - MOJAVE (US/VLBA)
 - GENJI (JP/VERA)
 - 今後日韓VLBI (KaVA) 使用も視野



GENJI: Gamma-ray Emitting Notable-AGN monitoring by Japanese VLBI

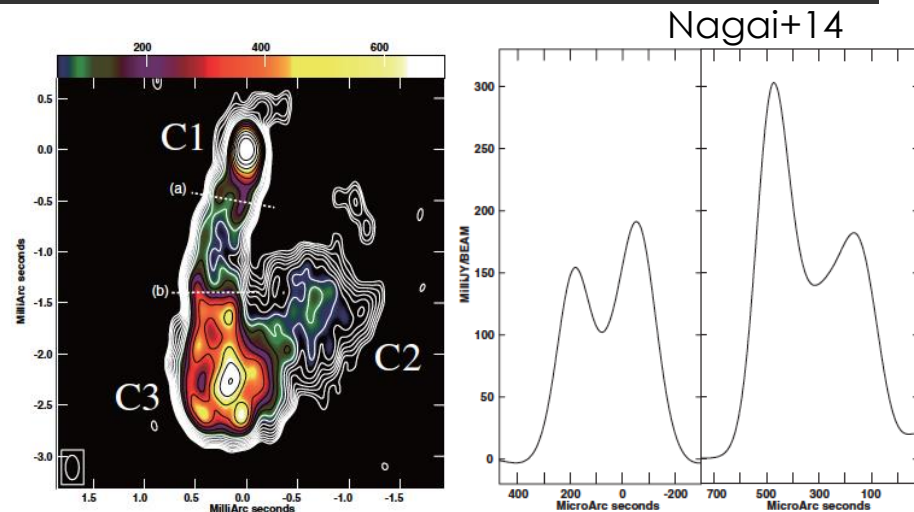


高エネルギー放射領域特定に向け - VLBI

- AGNジェットの構造について
 - 理論モデルとVLBI観測
- 現状の時間分解能 (weekly ~ monthly)
 - 他波長の振る舞いと合わない
- 他波長と同期した高い時間分解能モニター ($\Delta t \sim \text{sec} - \text{min}$)
 - 高空間分解能イメージにより
 - 形状の時間変化
 - 多層構造・オパシティー構造の変化 (数GHz - 数十GHz) ?
 - 個性 (天体依存? 種族依存? 時期?) を検証



AGNジェットにおける高エネルギー粒子生成領域に関する新たな知見

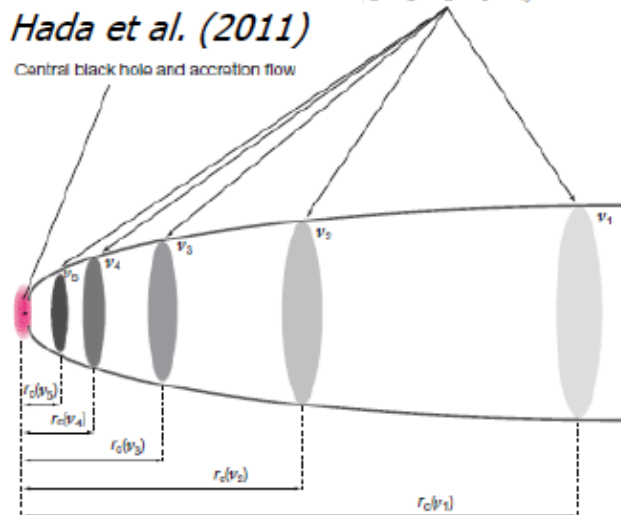


Core-shift in AGN

Hada et al. (2011)

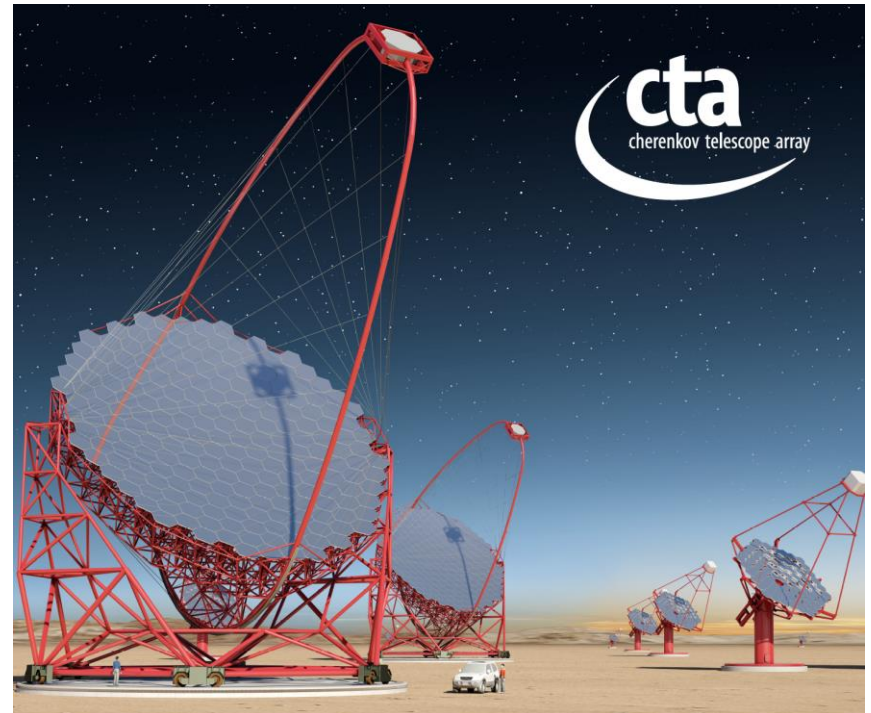
Central black hole and accretion flow

radio core at different frequencies
 $\nu_5 > \nu_4 > \nu_3 > \nu_2 > \nu_1$



Cherenkov Telescope Array

- 20 GeV~100 TeVまでの広いエネルギー帯域
- 従来よりも1桁以上の高感度化
(~1000個のTeV天体)
 - これまでのブレーザーはより細かく (高時間分解能)
 - 他の種族のTeV AGNも増えると期待
- 従来にも増して、多波長研究の重要性
 - 高分解能な電波観測の重要度は高いはず
 - ※ただし、時間分解能は重要



フルオペは2020年~ (SKA1 era)

“Cherenkov Telescope Array 計画書” より
CTA-Japan Consortium

Core shift measurement

広帯域+高分解能 (~mas) によるコアシフト計測

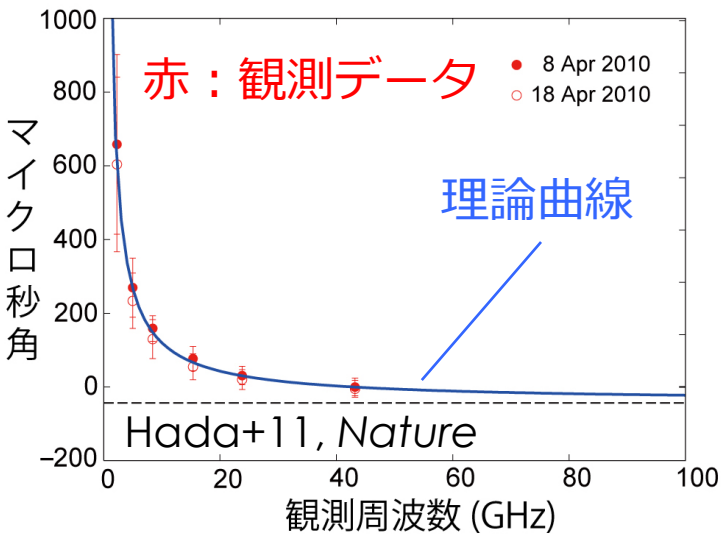
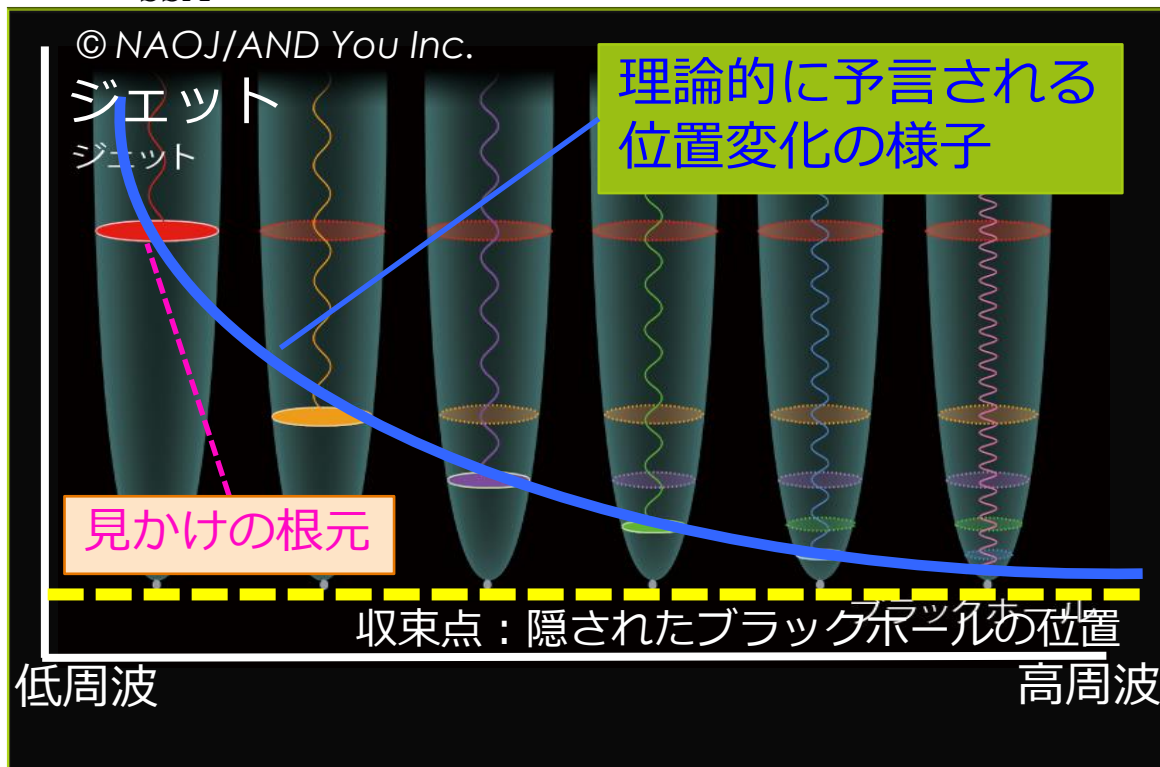
・コアシフト

(Blandford & Konigl 79, Lobanov 98, Hirotoni+05)

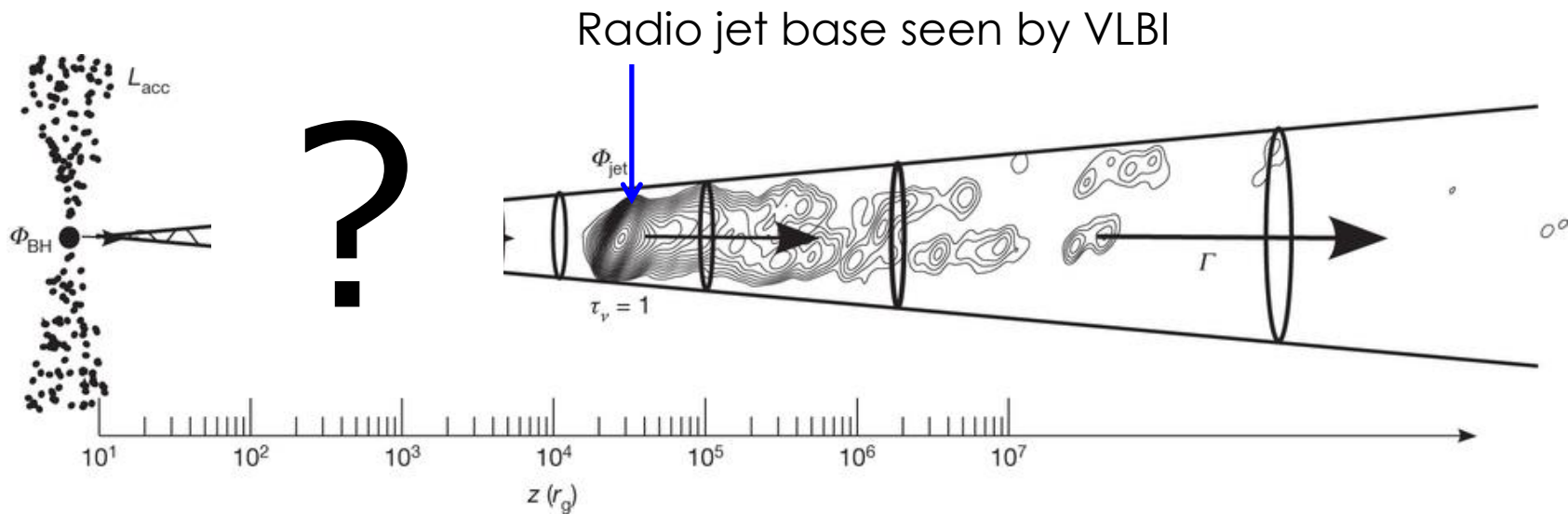
$$Dr_{\text{core}} = Wn^{-k}$$

$$(n_e \propto r^{-2}, B \propto r^{-1} \Rightarrow k = 1)$$

電波コアは自己吸収 (SSA) に対して不透明
 -> $t_{\text{SSA}} \sim 1$ 表面を見ている



位置精度 ~ beam/snr ~ 10s μas

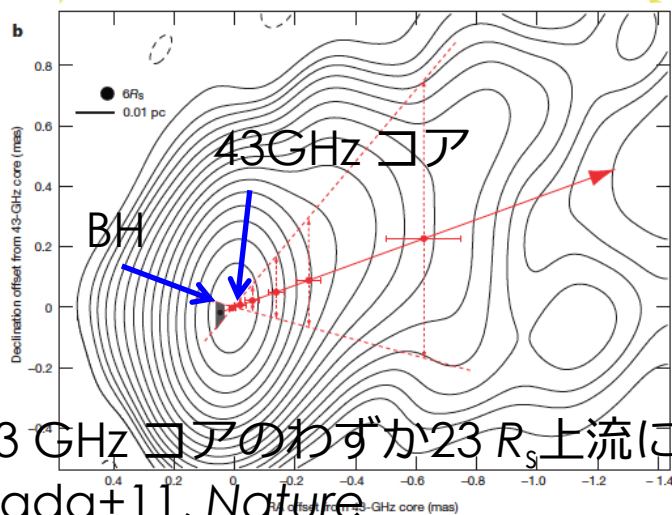
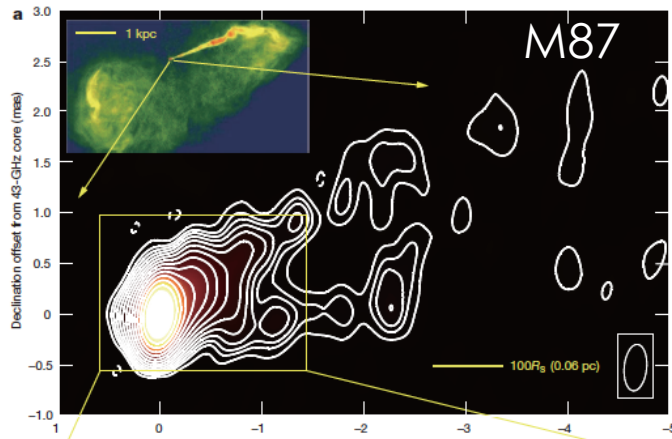


Zamaninasab+14, *Nature*

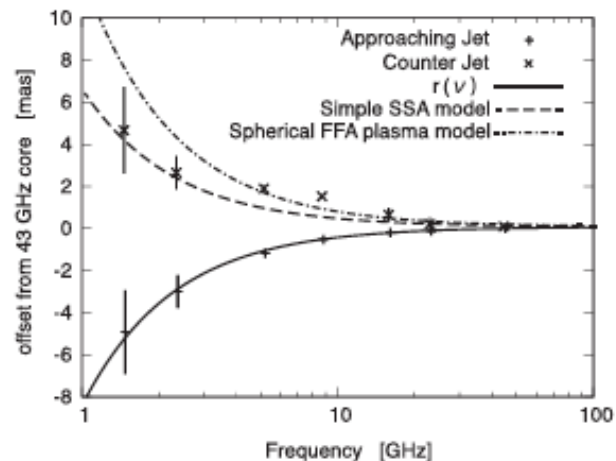
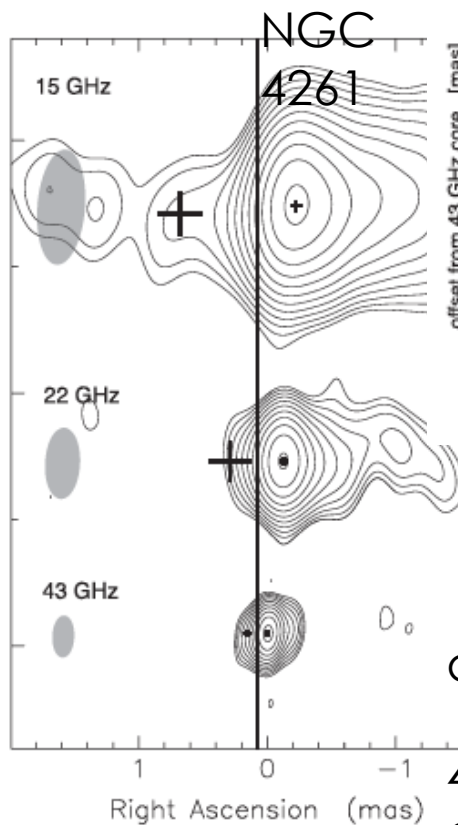
Location of the central engine

電波コア-BH 電波銀河

VLBI astrometry (phase-referencing) によるコアシフト計測



43 GHz コアのわずか23 R_s 上流にBH
Hada+11, Nature



$k > 1 \Rightarrow$ not simple SSA
(e.g., SSA + FFA)

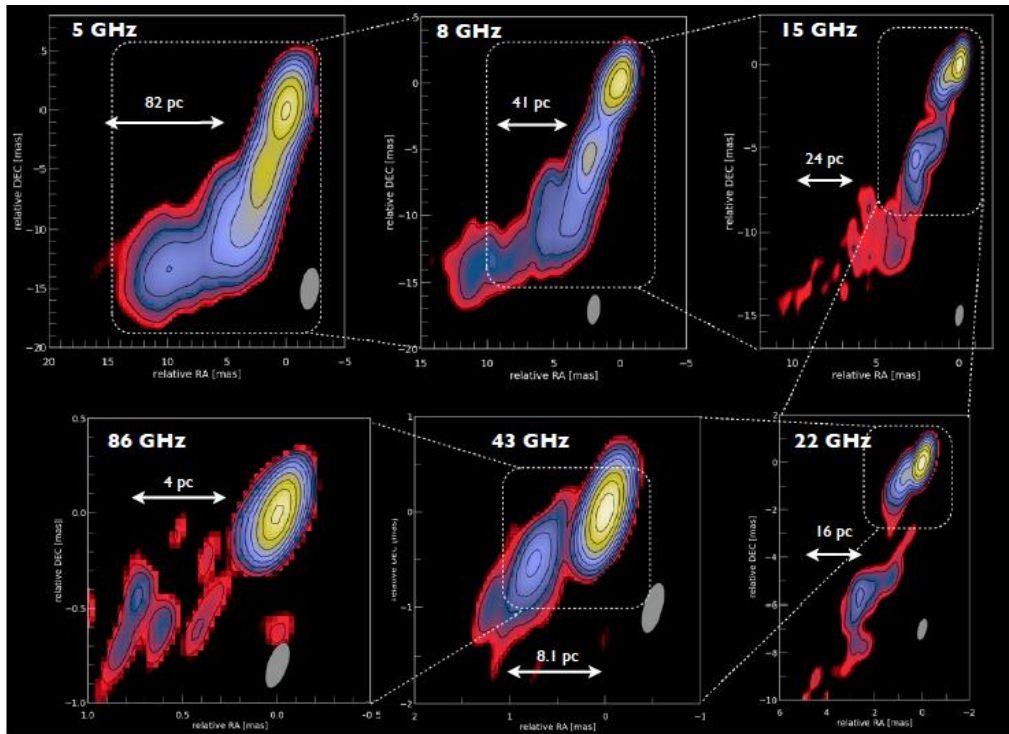
approaching/counter jets

43 GHz コア
approaching jet側の
上流
 $310 \pm 60 R_s$ にBH; Hada+15

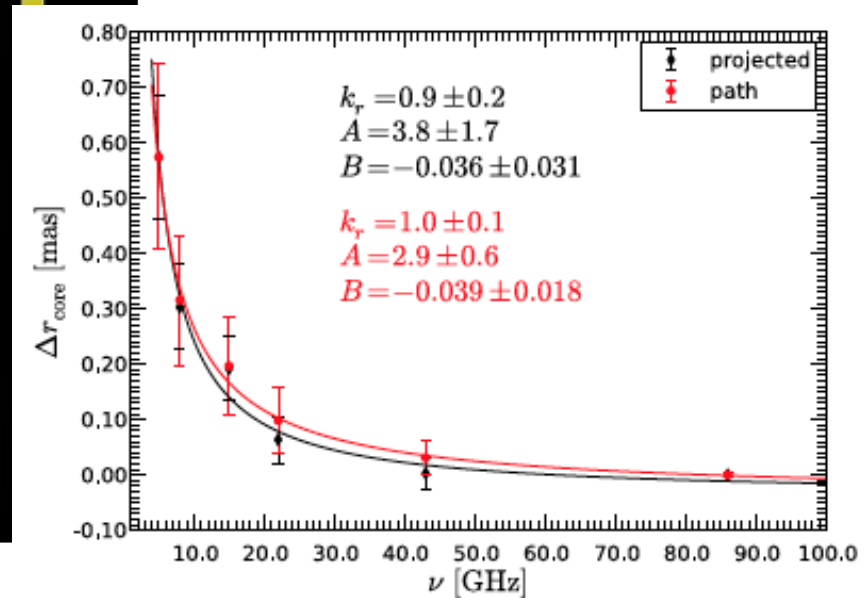
*Radio core is $T_{SSA} \sim 1$ surface

Direct measurement

電波コア-BH ブレーザー



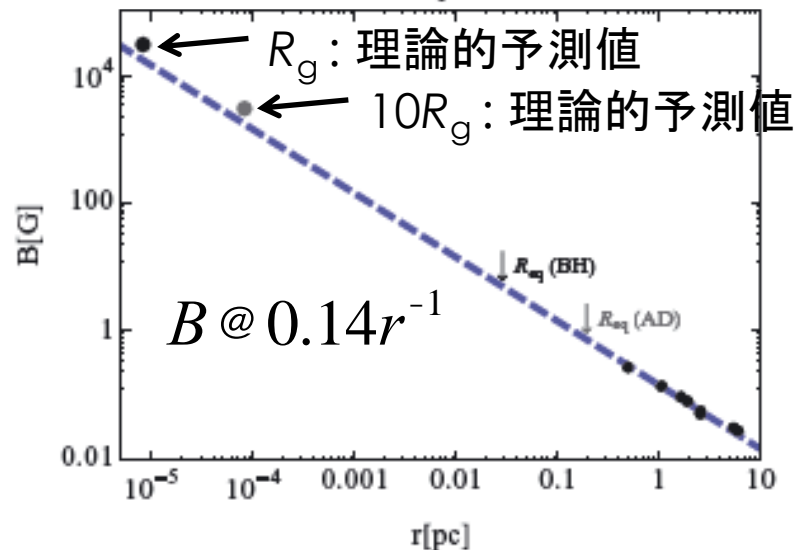
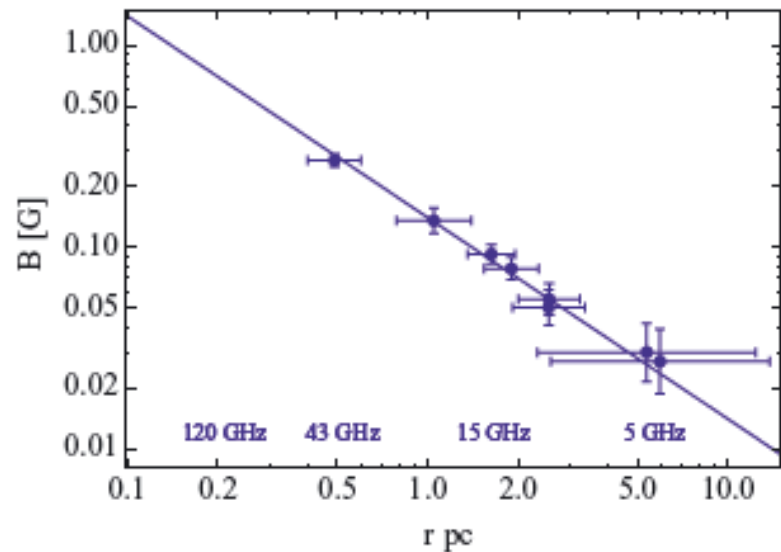
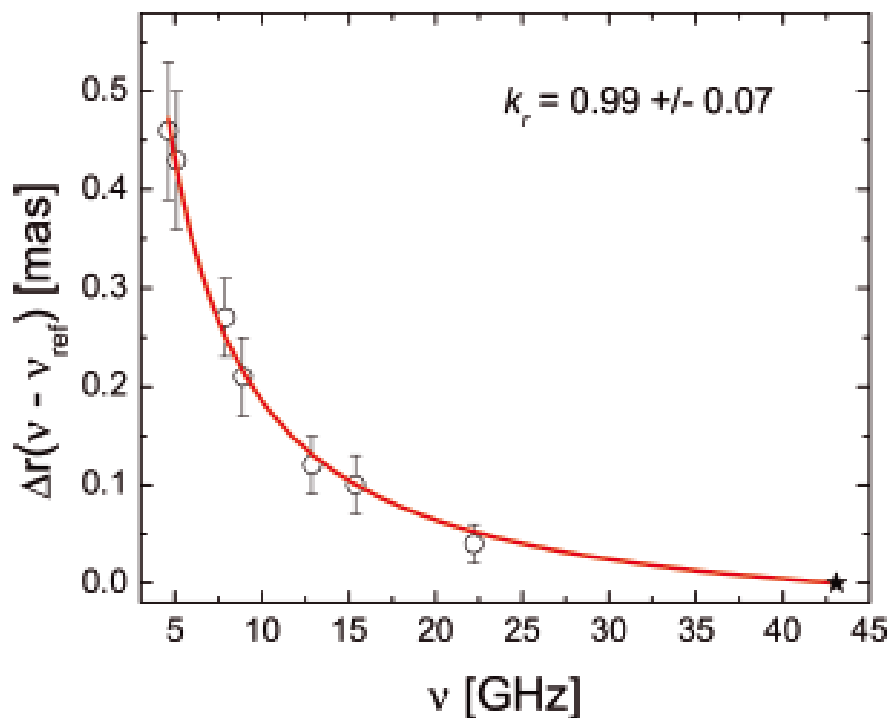
Fromm+15, CTA102
Core-shift measurement by
Self-referencing



CTA102 SMBH is located at ~ 7 pc ($4 \times 10^4 R_s$)
upstream from 86 GHz radio core (w/ 50% error)

B-field: core shift measurement

$$B_{\text{core}}(n) = B_1(Dr, n)r^{-1}$$



ブレーザージェット

MOJAVE

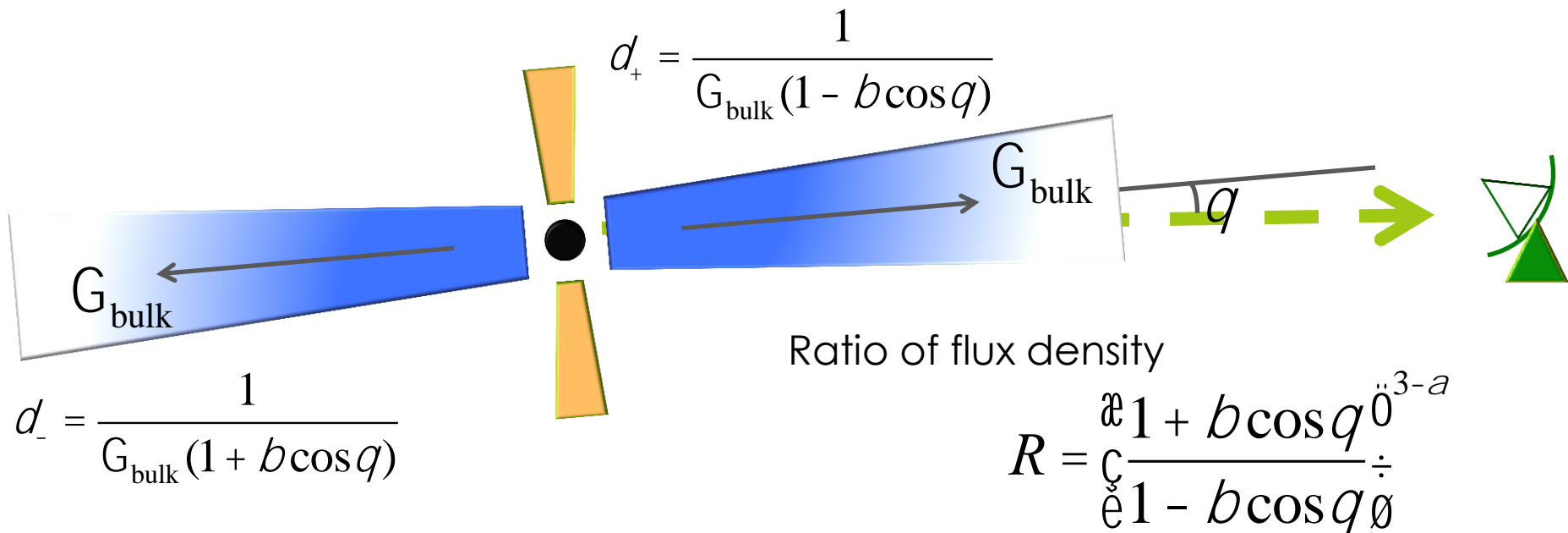


The Brightest Radio Galaxies in the Northern Sky

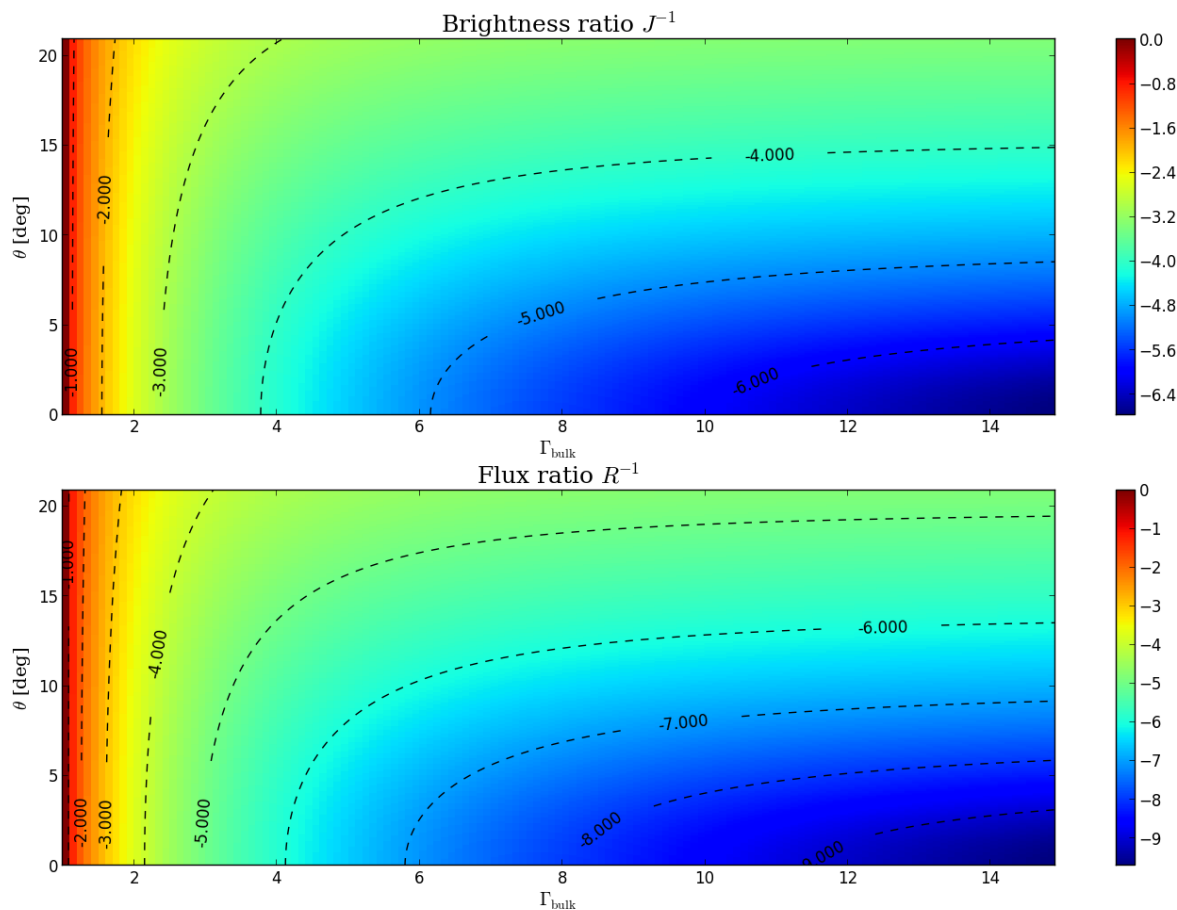


ブレーザー・ジェット・ジオメトリ

- Viewing angle, bulk Lorentz factor
 - Fundamental parameters of blazars
 - 高エネルギー観測, SEDsなどで δ ($\sim \Gamma$) を仮定 $\rightarrow \theta$ を推定
 - Doppler boostが効き過ぎて (pc scale) counter jet は暗い



ブレーザー・ジェット・の・ジオメトリ

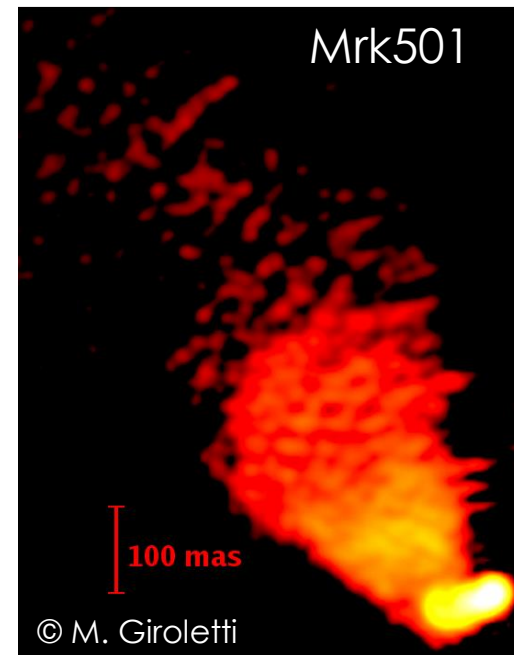


減速ジェットモデル

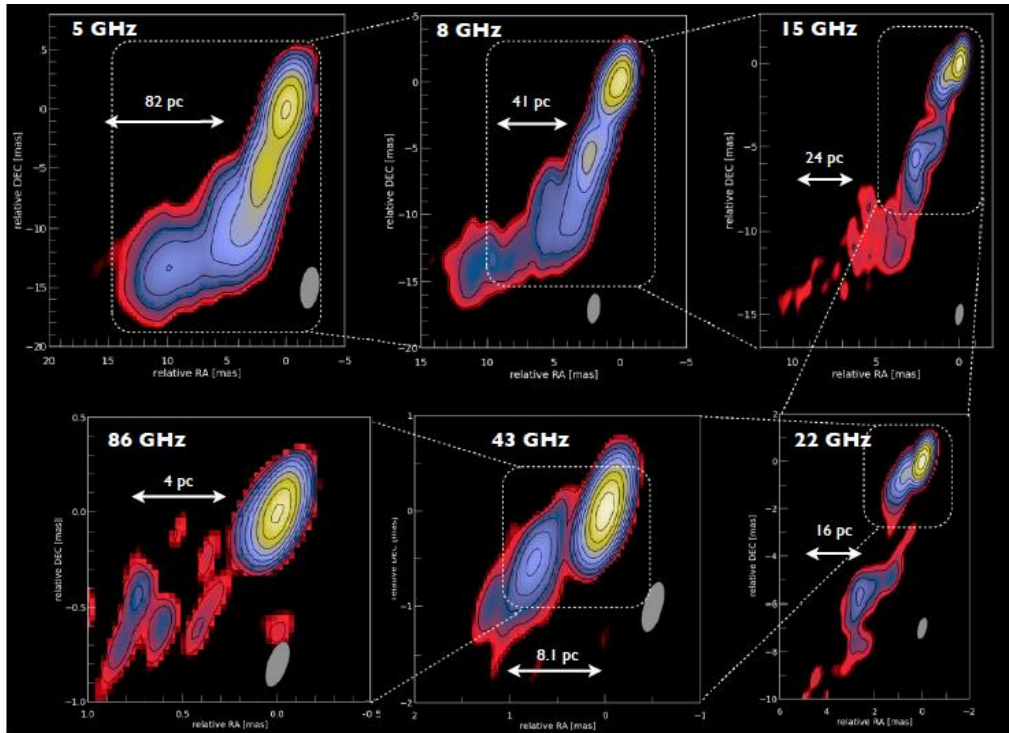
(Georganopoulos & Kazanas 03)

によれば、pc-scaleに届く頃には $\Gamma_{\text{bulk}} \sim > 10$ が $\Gamma_{\text{bulk}} \sim 2$ 程度にまで減速

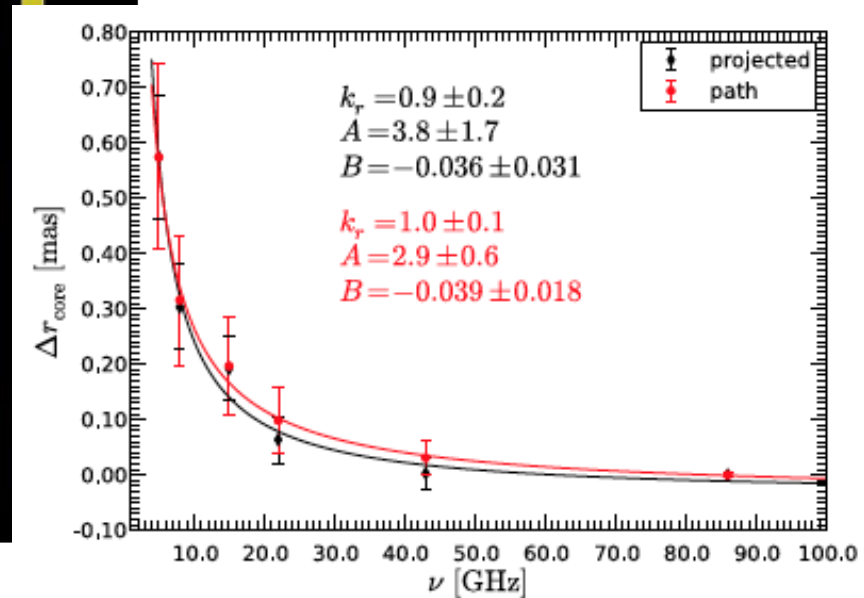
pc-scale counter jetの検出は各ブレーザーの geometryを調べるために重要な情報



電波コア-BH ブレーザー



Fromm+15, CTA102
Core-shift measurement by
Self-referencing



CTA102 SMBH is located at ~ 7 pc ($4 \times 10^4 R_s$)
upstream from 86 GHz radio core (w/ 50% error)

まとめ

- VLBIは（現状では）ジェット形成領域に迫る唯一の観測装置
 - しかし、特定の天体の研究に特化
 - 感度が悪い=天体を選ぶ
 - 特徴的な現象と天体名が（ほぼ）一対一対応

- SKA (-VLBI or phase2) era -> 多天体で議論
 - SMBH-radio core: Far/Near, 何が違うのか？
 - Jet launching siteの磁場
 - 特徴的な現象と天体種族を一対一対応へ

- SKA (-VLBI): 第2（といわず数百個くらい）のM87を！