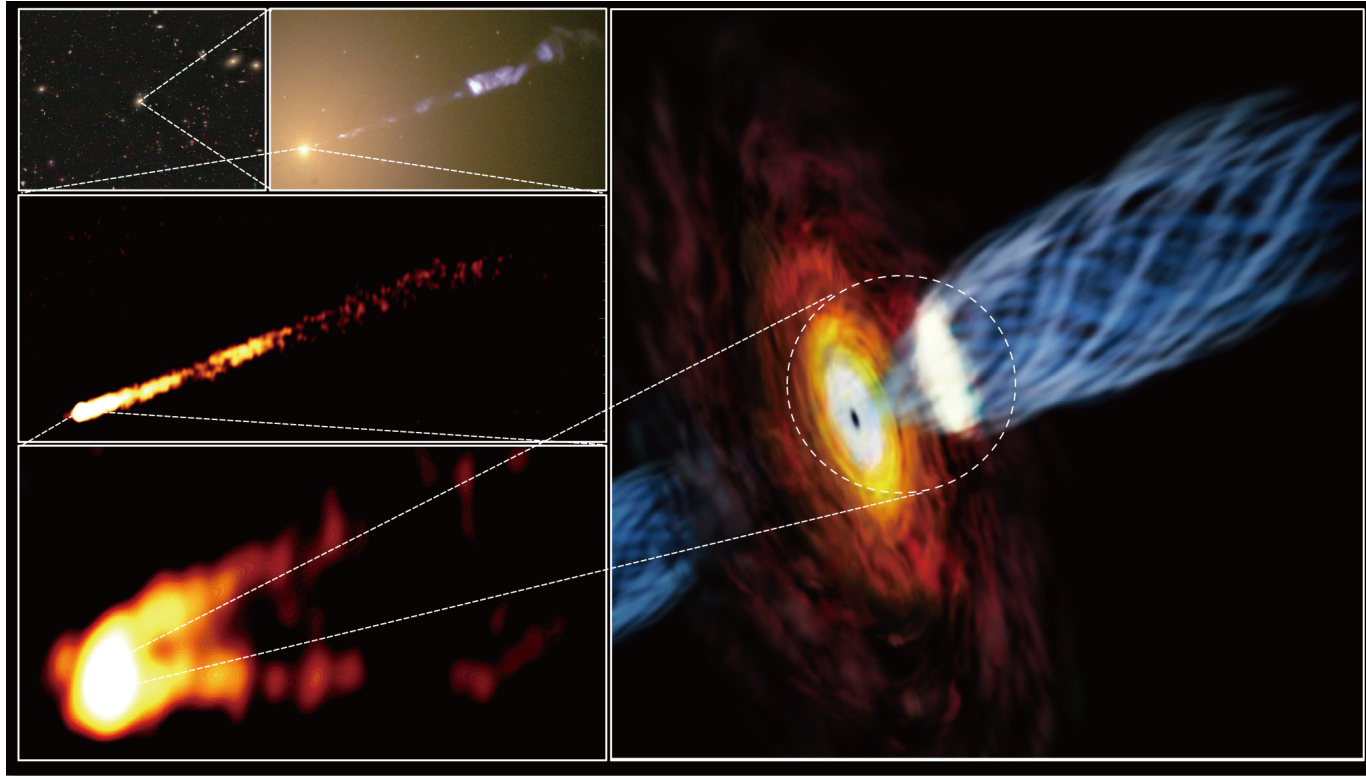


VLBIで探る巨大ブラックホール探査 の最前線(前半)



NAOJ/And You Inc.

長野ブラックホール天文教育研究会 2015年5月30日

秦 和弘

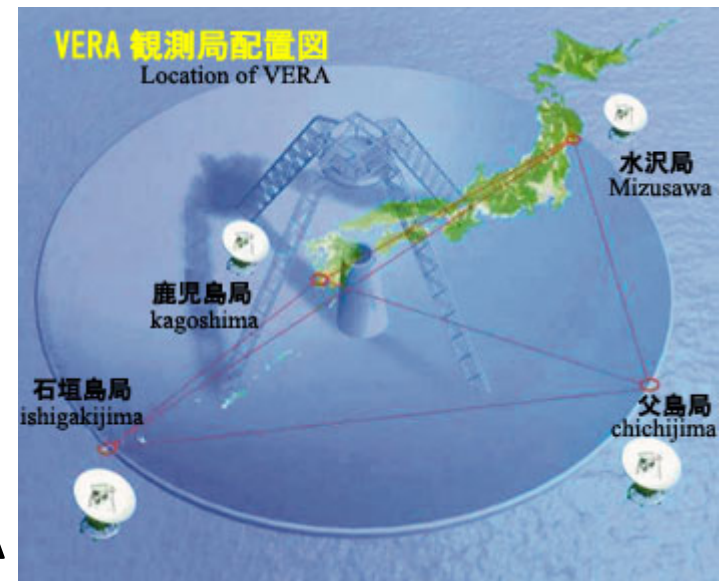
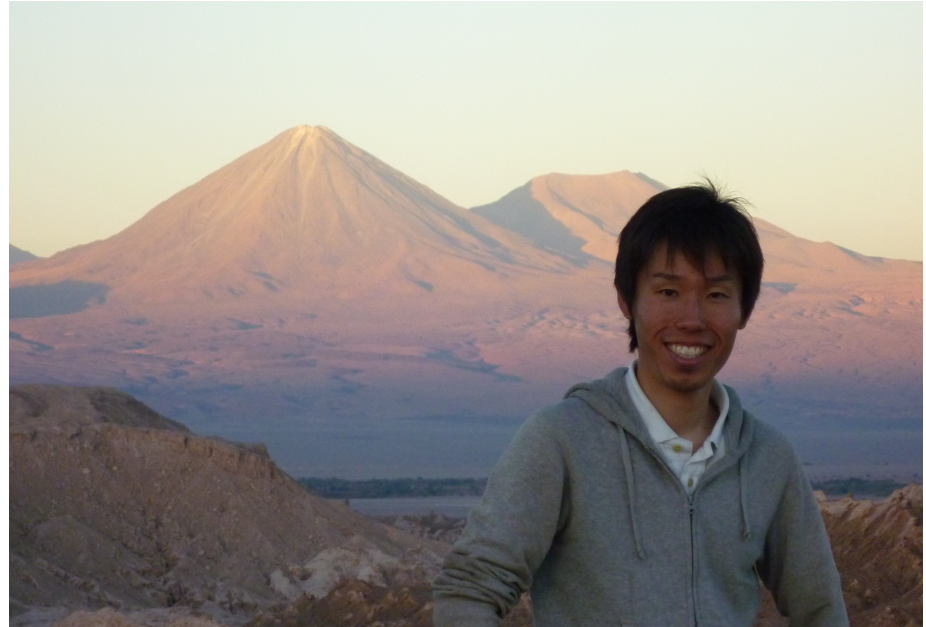
国立天文台 水沢VLBI観測所

Outline

- 秦
 - 巨大BHからの噴出流「ジェット」
 - 代表例M87 VLBI観測最新動向
- 秋山
 - ご本尊、ミリ波VLBI(EHT)、SgrA, M87

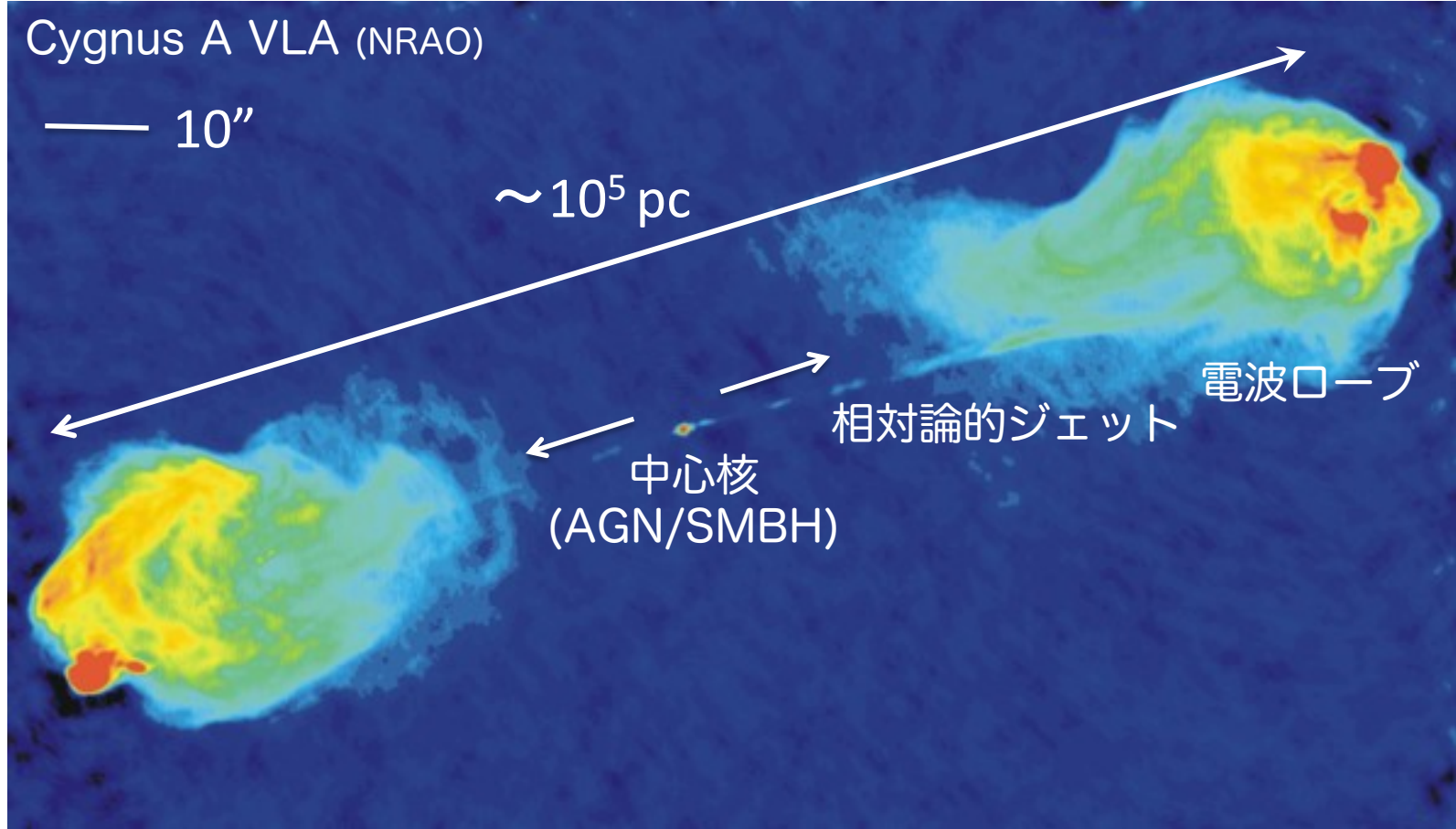
自己紹介

- 秦 和弘(はだ かずひろ)
 - 島根県松江市
 - (祝 松江城国宝認定)
 - ~~(鳥取にスタバopen)~~
 - 大学：名古屋大学
 - 大学院：総研大
 - 学位取得後 ポスドク@イタリア 2年半
 - 国立天文台 水沢VLBI観測所 学振研究員



VERA

巨大BHからの「噴出流」



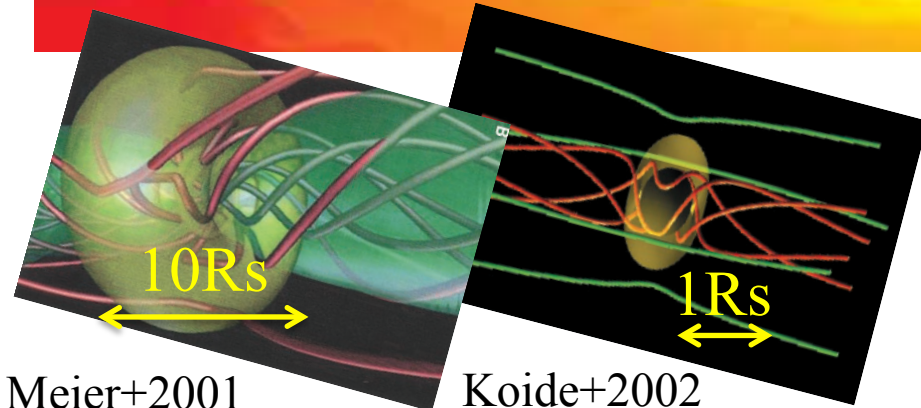
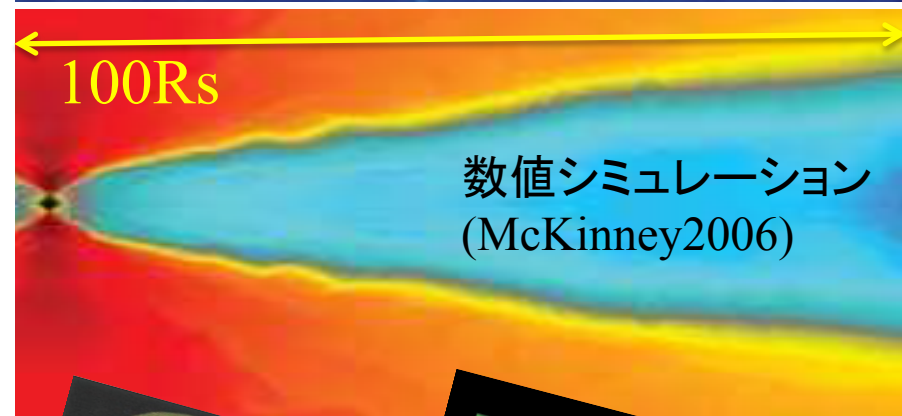
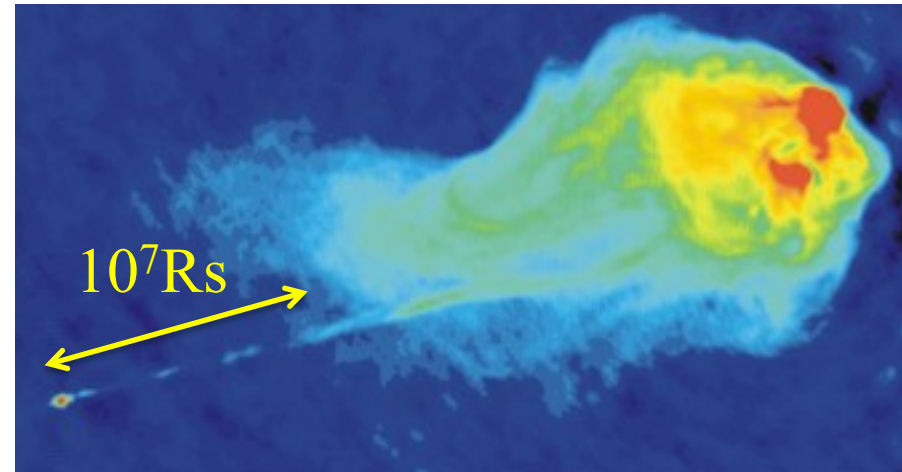
- 巨大BH+降着円盤が「駆動する」細く絞られた相対論的速度のプラズマ流
- 宇宙最大級の高エネルギー現象(BHサイズの100万倍以上)
- 非熱的シンクロトロン放射、ドップラービーミング

$$L_{syn} \propto E^2 B^2$$

$$\delta = [\Gamma(1 - \beta \cos \theta)]^{-1}$$

BHジェット形成の基本的問題

- バルク加速($\Gamma \sim 10$)
- 収束(\sim a few deg)
 - どこで? 如何にして?
- 磁場の役割は?
- 駆動源
 - BH, 円盤, BHスピン
- $R < 10^3 R_s \sim 1 \text{ pc} \sim 1 \text{ mas}$
 - ($10^8 M_{\text{sun}} @ 1 \text{ Gpc}$)
- 高分解能VLBIによるジェット根元の直接観測がカギ

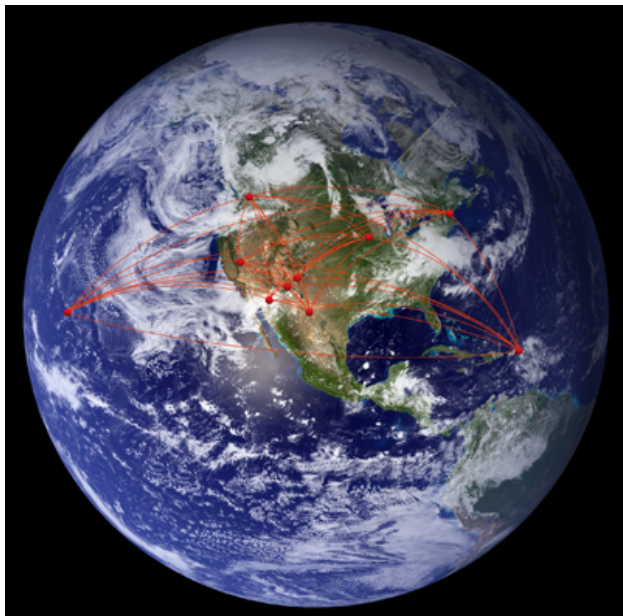


Meier+2001

Koide+2002

人類最高の「瞳」：VLBIとは

～ ブラックホールごく周辺まで直接迫ることができる唯一の観測技術 ～



- 超長基線電波干渉計
(Very Long Baseline Interferometer)
- 各地の電波望遠鏡を繋ぎ、地球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
- あらゆる天文観測装置の中で圧倒的な解像度を実現

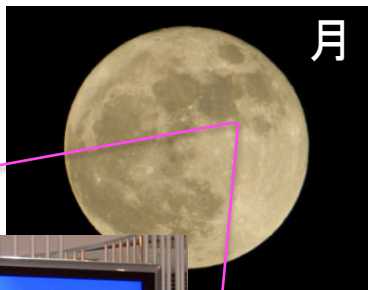
世界最大級のVLBI観測網「VLBA」
全米に散らばる10台の電波望遠鏡から構成



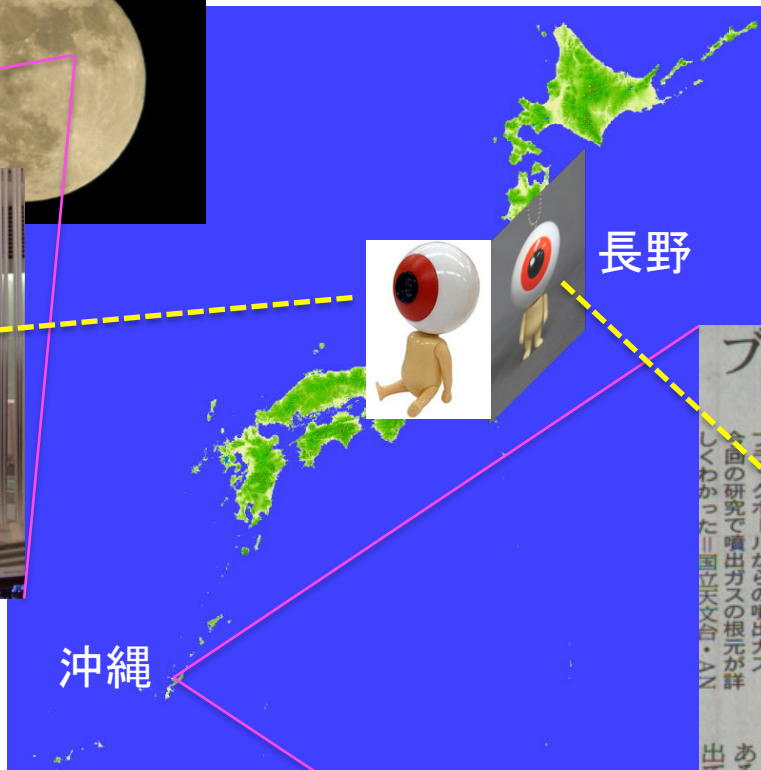
	口径 D	波長 λ	解像度 (λ / D)	視力
人間の瞳	約 3mm	約550nm	約 30秒角	約2
すばる望遠鏡	約 8 m	約2.4 μ m	約 0.06 秒角	約1000
ハubble望遠鏡	約 2.4 m	約550nm	約 0.05 秒角	約1200
VLBI	約 8000 km	約1cm	約 0.0003 秒角	約200000

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

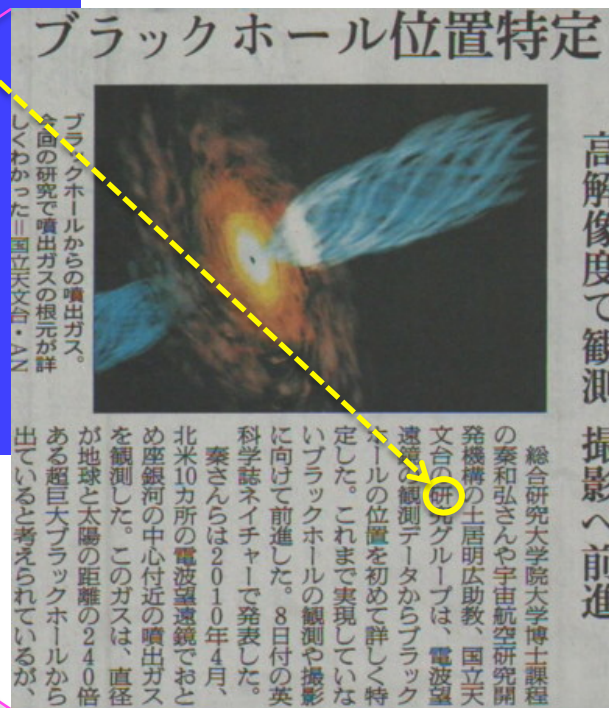
視力「50万」の生活♪



家から月にあるテレビが
楽しめる
(26インチ以上推奨)



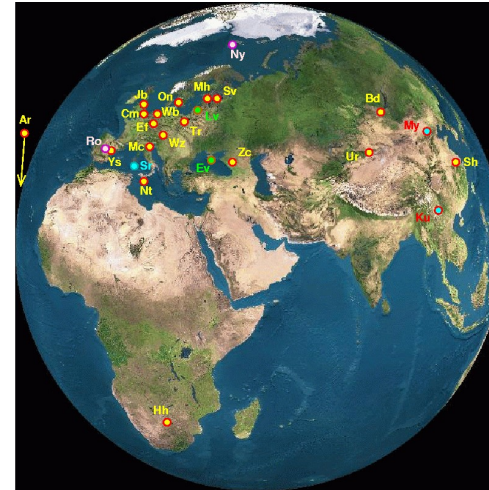
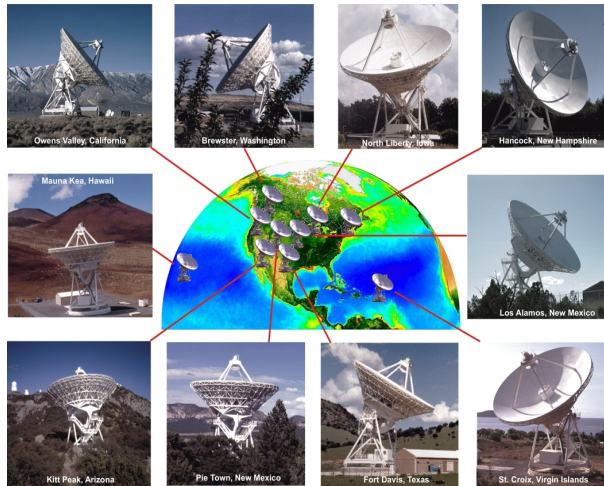
長野から沖縄にある
新聞が楽々読める



世界のVLBIアレイ (cm帯)

VLBA

EVN

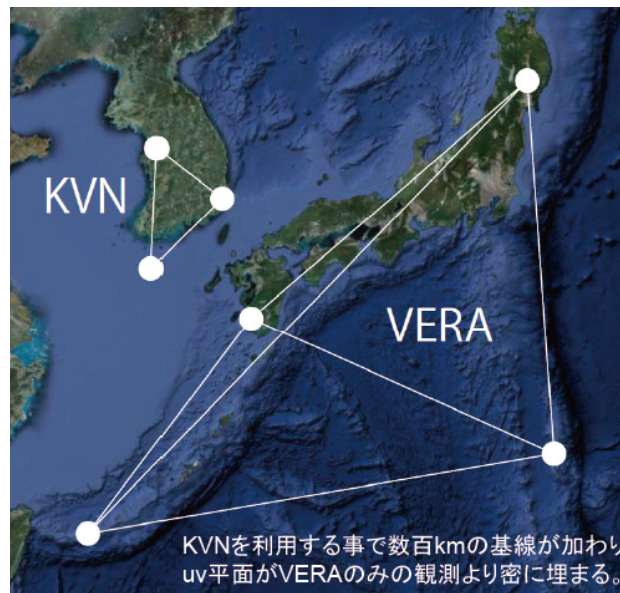


D~10000km
低周波がメイン

D~8600km
 $\lambda \rightarrow 7\text{mm}(3\text{mm})$
 $\nu \rightarrow 43\text{GHz}(86\text{GHz})$
 $\theta \sim 0.15\text{mas}$
万能型

KVN

D~480km
 $\lambda \rightarrow 1\text{cm} \sim 2\text{mm}$



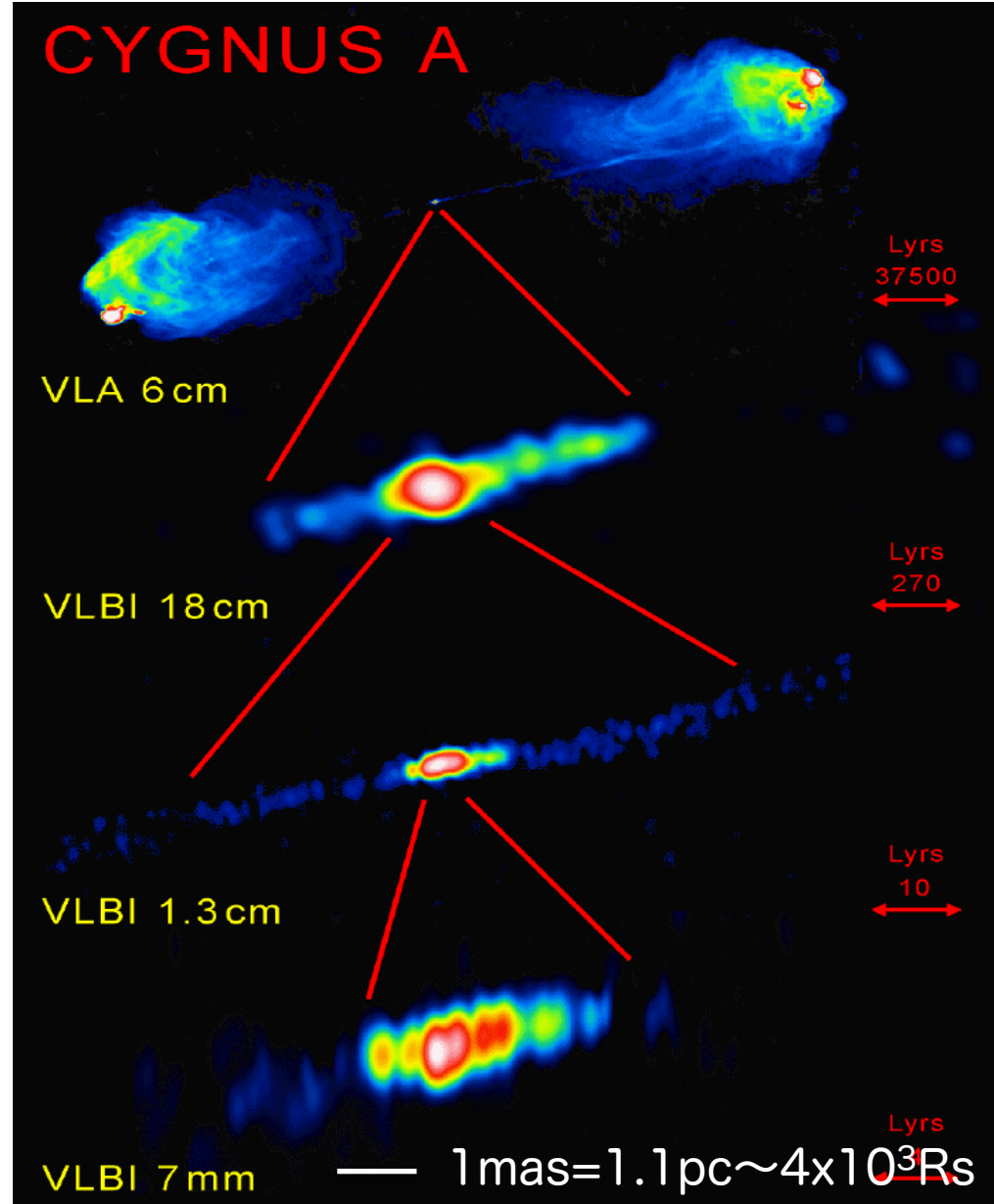
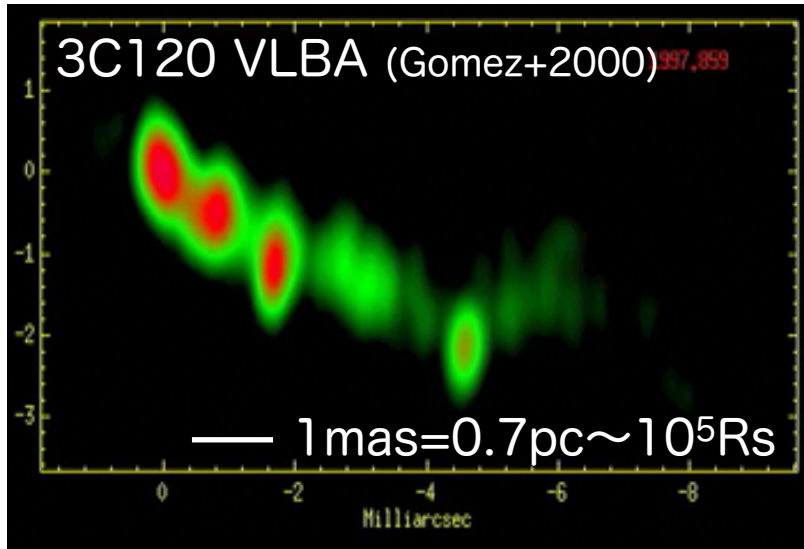
VERA

D~2300km
 $\lambda = 1\text{cm}, 7\text{mm}$
 $\theta \sim 1\text{mas}$
2ビーム位相補償
位置天文が得意

KaVA (KVN and VERA Array)

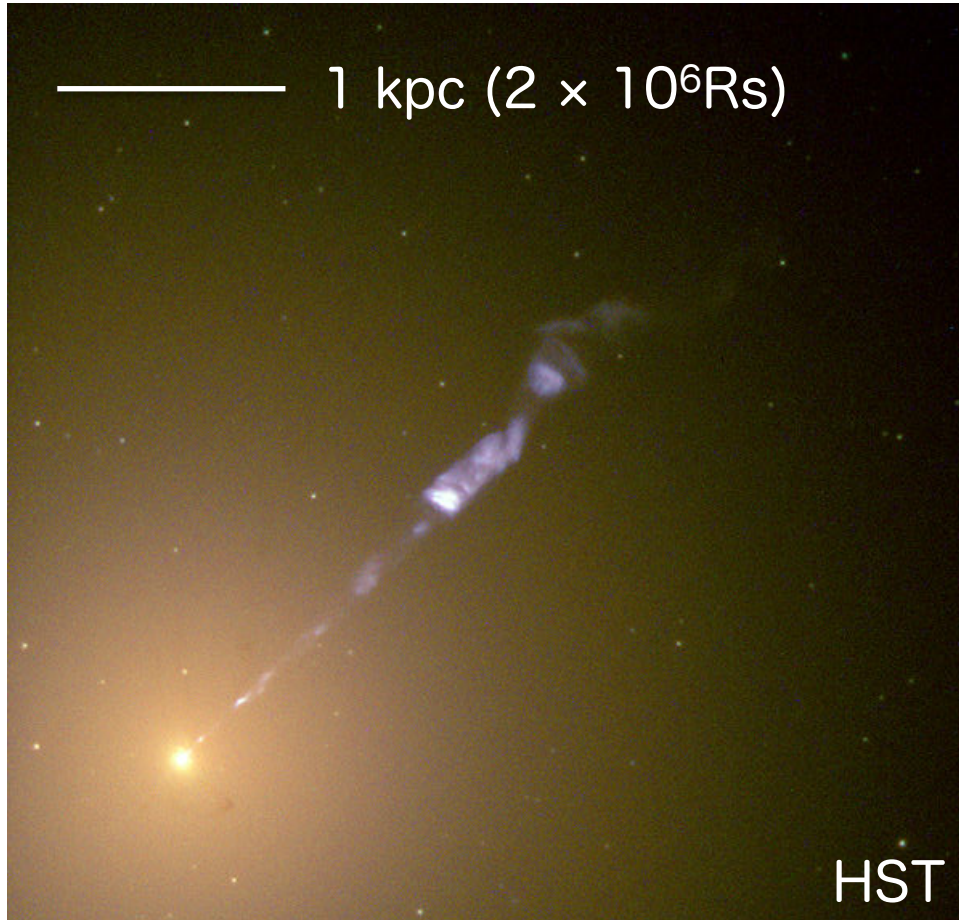
VLBIで観測すると何がうれしいか

- 根元BH最近傍の
- 形状
 - 収束
- 運動
 - 加速、速度場
- 偏波
 - 磁場構造
- が空間的に直接見てわかる



M87 (おとめ座A)

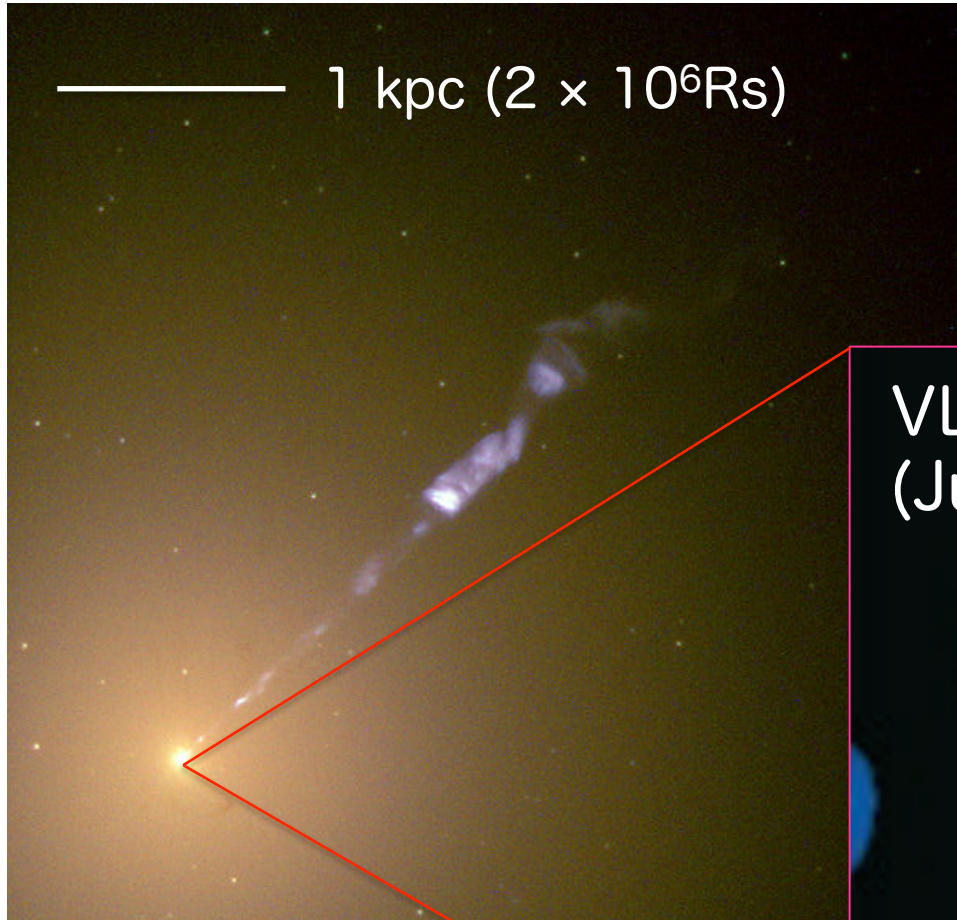
~巨大BHジェット研究のロゼッタストーン~



- $D \sim 16.7 \text{ Mpc}$,
 $M_{\text{BH}} \sim 6 \times 10^9 M_{\text{sun}}$
- $1 \text{ mas} = 0.08 \text{ pc} = 140 R_s$
 - ($1 R_s = 7 \text{ マイクロ秒角}$)
 - SgrA*とほぼ同じ

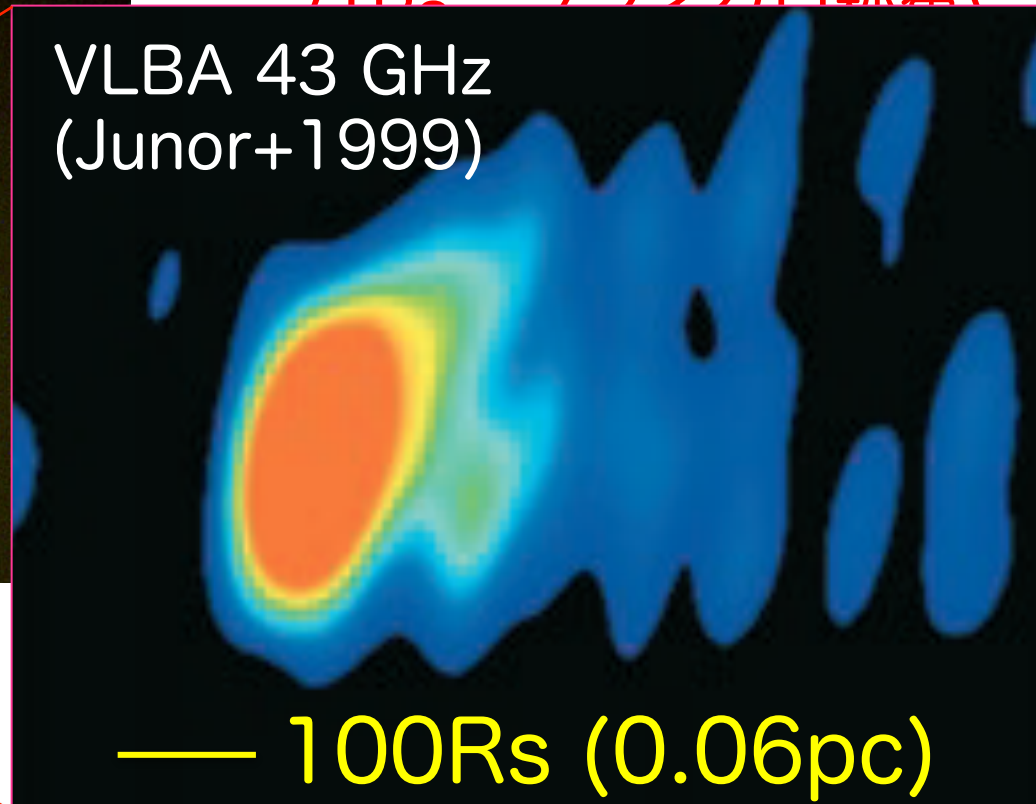
M87 (おとめ座A)

~巨大BHジェット研究のロゼッタストーン~



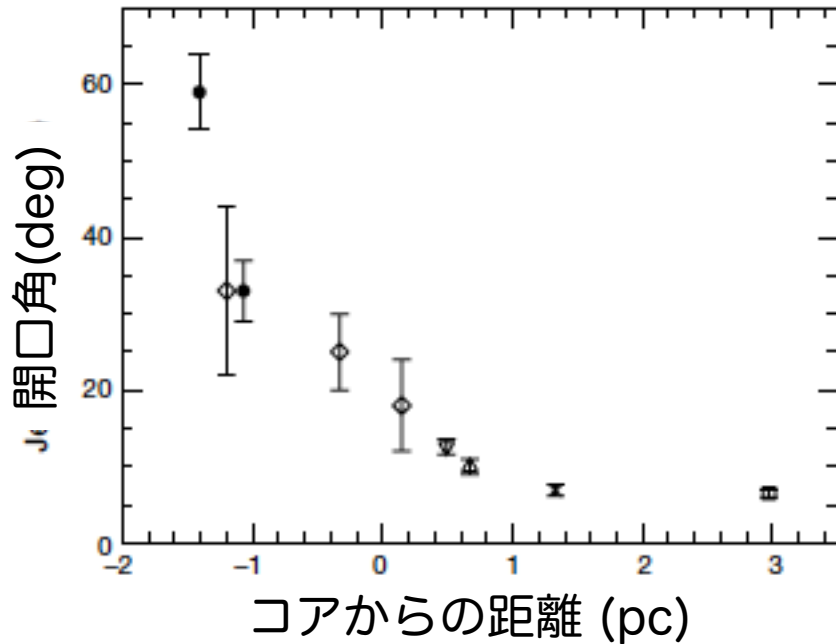
- $D \sim 16.7 \text{ Mpc}$,
 $M_{\text{BH}} \sim 6 \times 10^9 M_{\text{sun}}$
- $1 \text{ mas} = 0.08 \text{ pc} = 140 R_s$
(1 mas = 73 μs / 1 arcsec)

VLBA 43 GHz
(Junor+1999)



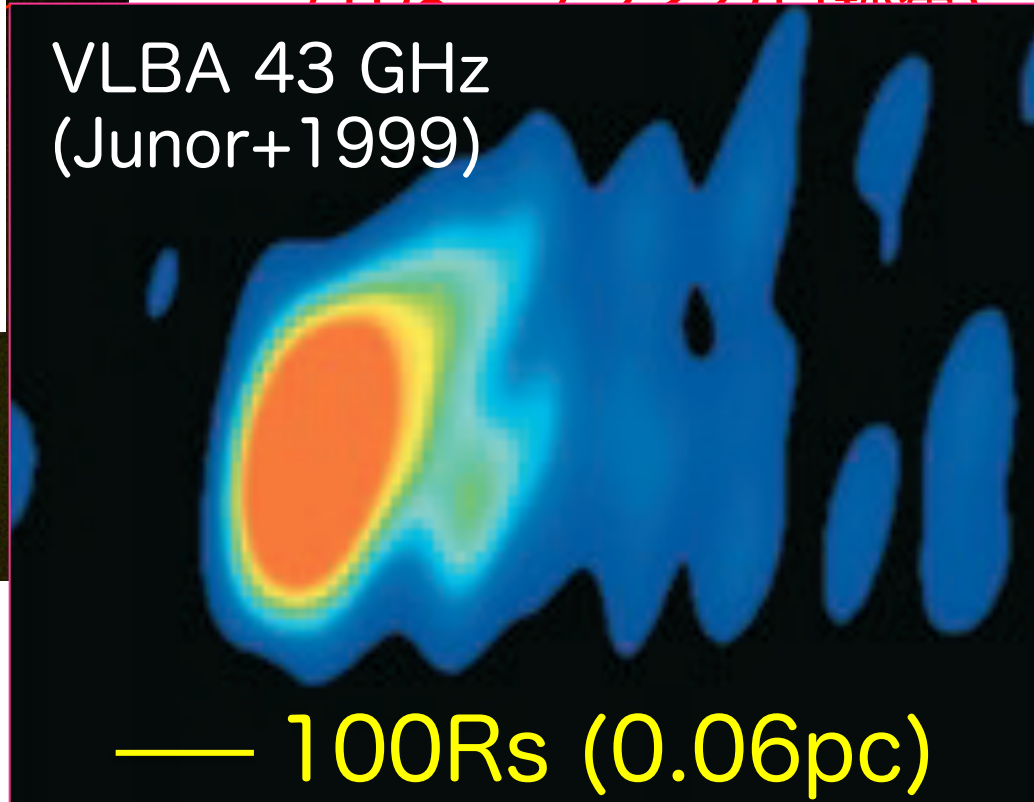
M87 (おとめ座A)

~巨大BHジェット研究のロゼッタストーン~



- $D \sim 16.7 \text{ Mpc}$,
 $M_{\text{BH}} \sim 6 \times 10^9 M_{\text{sun}}$
- $1 \text{ mas} = 0.08 \text{ pc} = 140 R_s$
(1 pc = 3.26 × 10⁷ 光年)

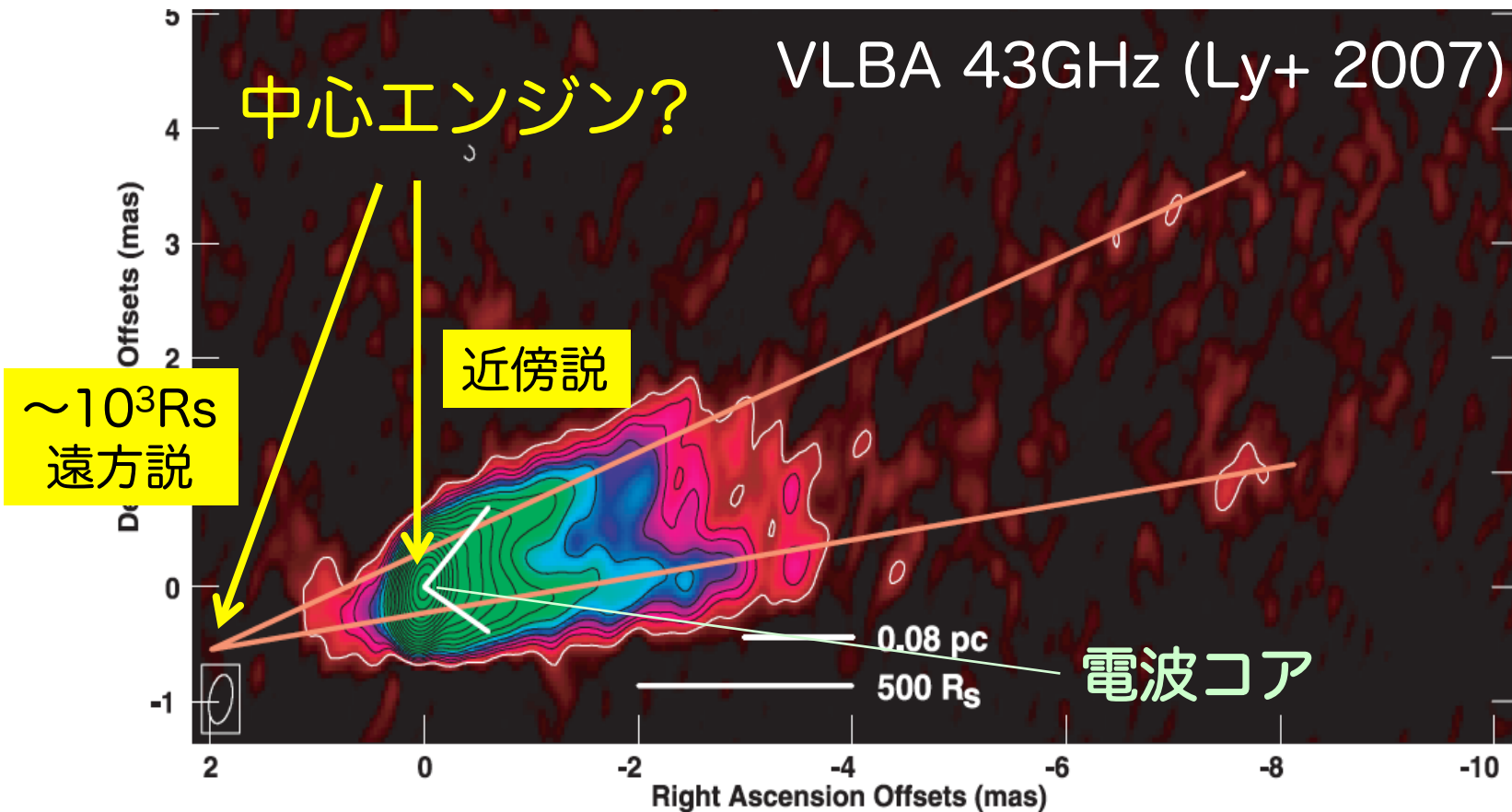
VLBA 43 GHz
(Junor+1999)



M87 VLBI観測の進展 (since 2011)

- 中心エンジン位置探し (Hada+2011)
- 根元サイズ決定@230GHz (Doeleman+2012
=>秋山さん)
- ジェット収束プロフィール (Hada+2013)
- 超最新：根元の超高感度高分解能撮像
@86GHz (Hada+ to be submitted)

中心エンジンは何処に？



見えないジェット
(光学的に厚い)

電波コア
 $\tau \sim 1$

見えるジェット
(光学的に薄い)

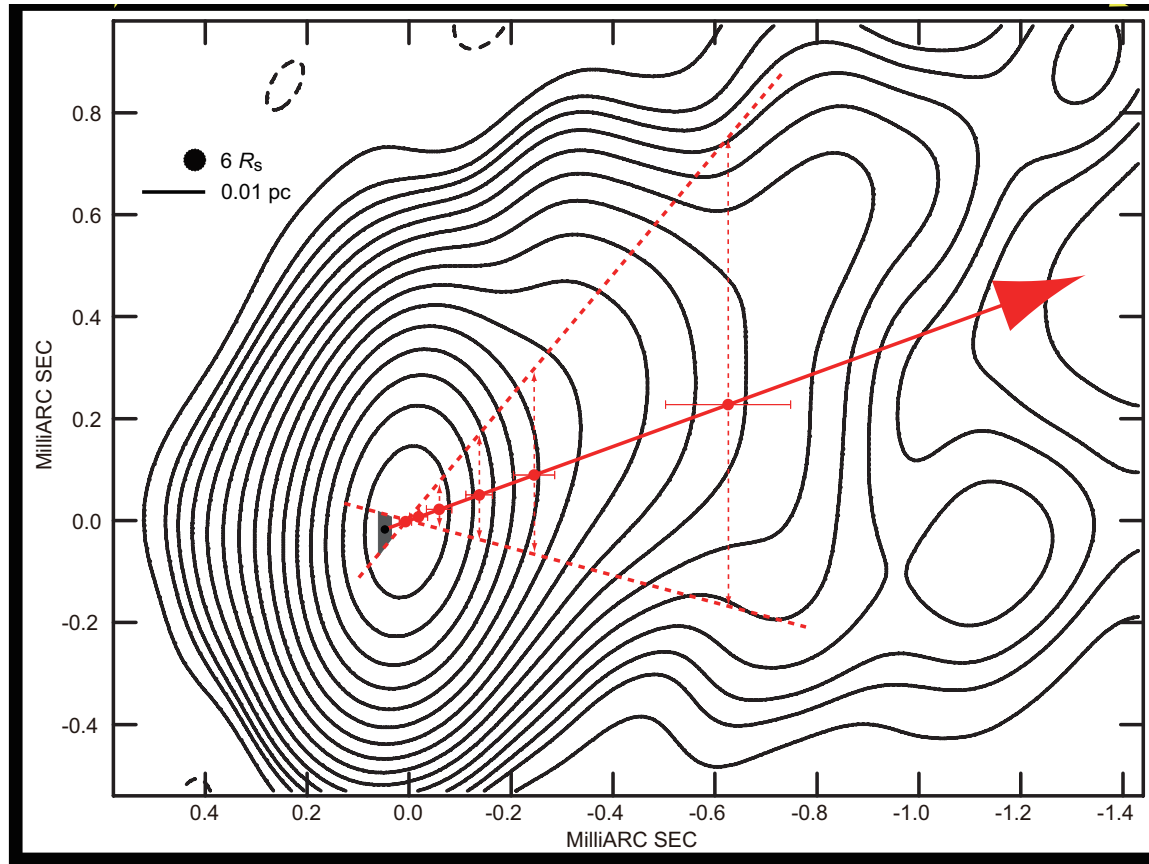
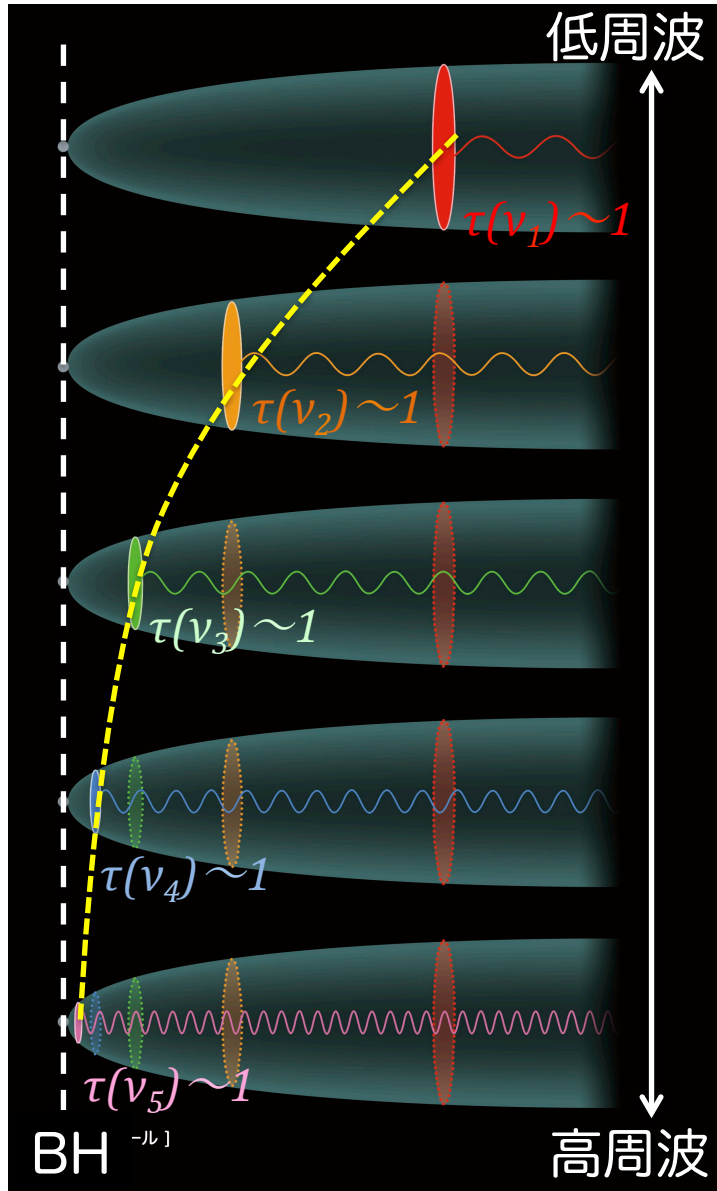
- 電波コア:
 - シンクロトロン自己吸収 $\tau \sim 1$ 表面

中心
エンジン

?

多周波相対VLBIによる「源流地点」の特定

(Hada et al. 2011, Nature)



- 43GHzコアの僅か~20Rs上流にジェットの「収束点」



43GHz

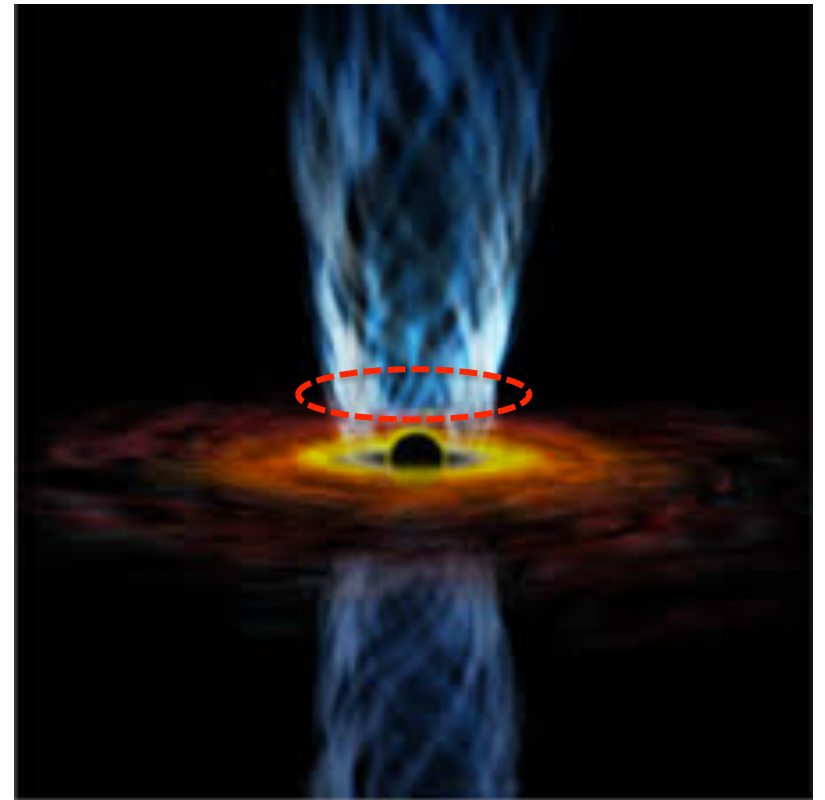
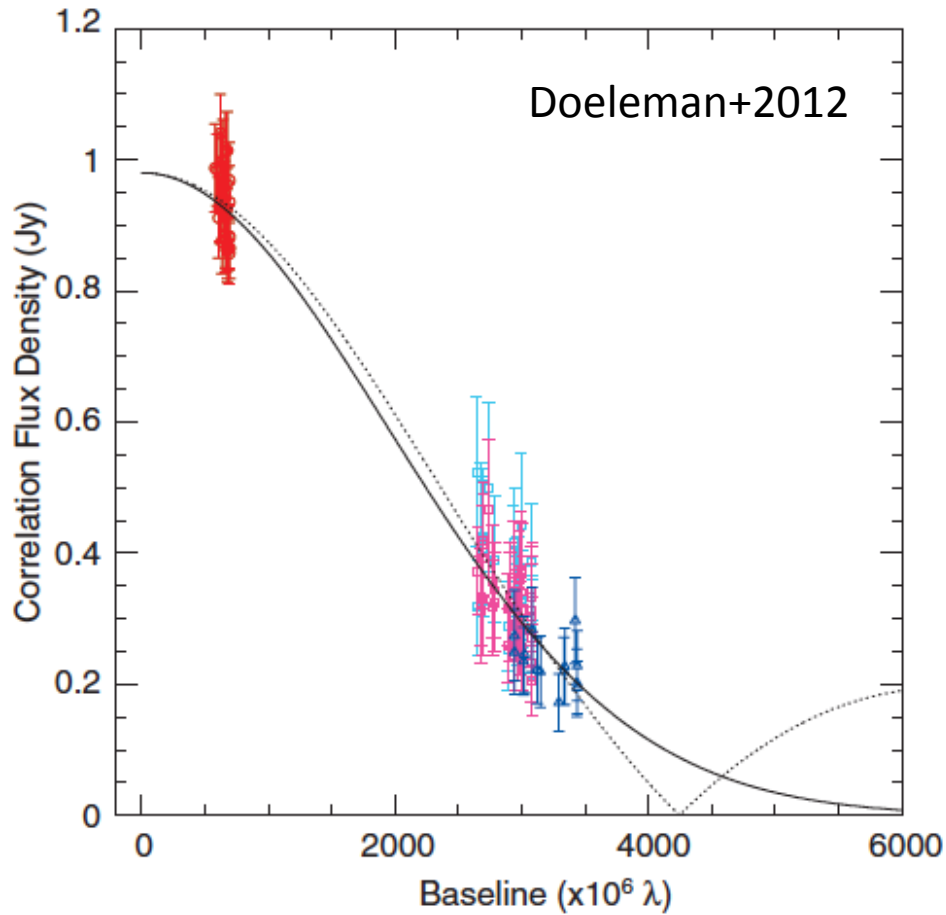
0.1 光年



● ブラックホール直径の10倍

根元サイズ決定@230GHz

(Doeleman et al. 2012 Science; Akiyama et al. 2015 ApJ)

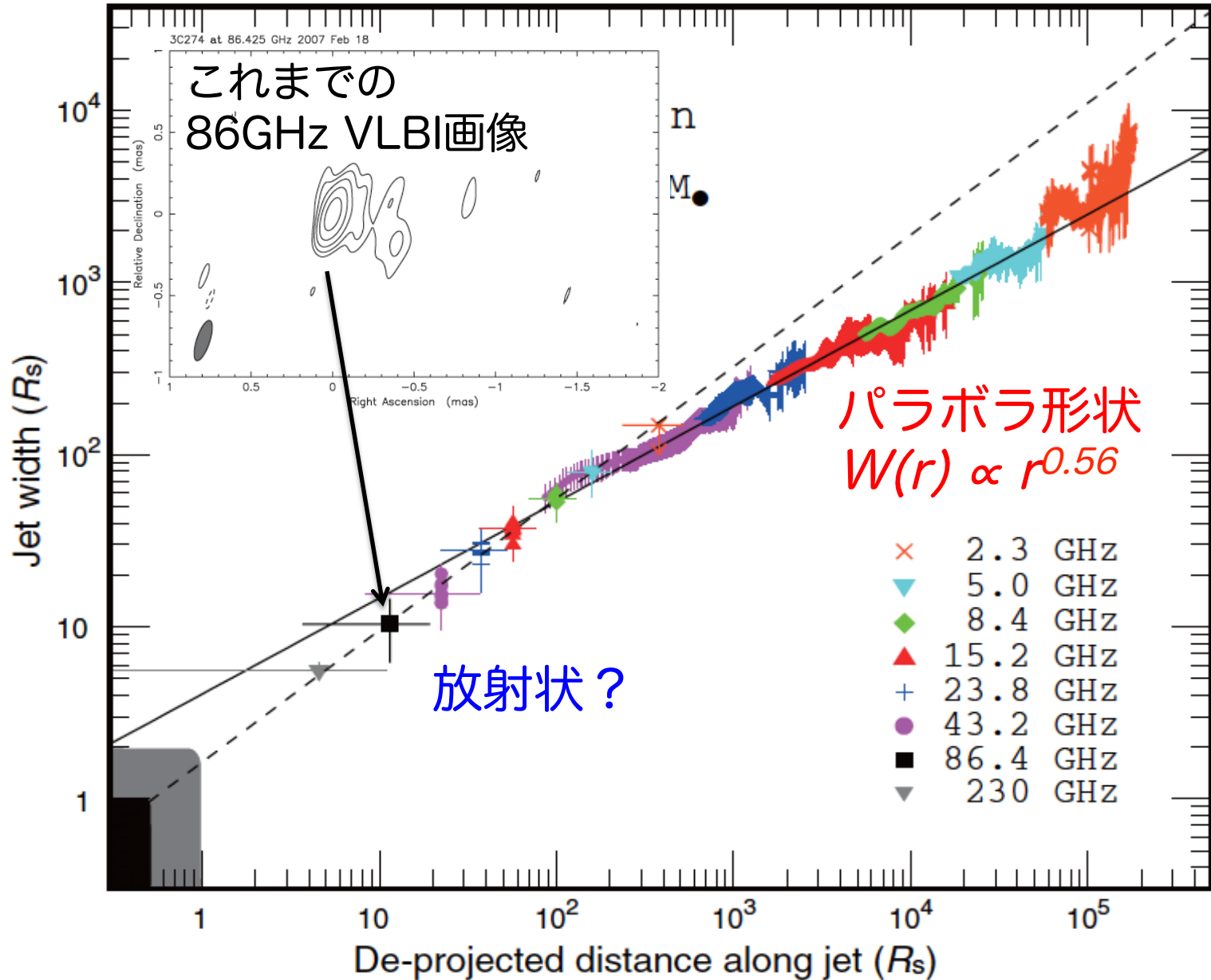


NAOJ/And You Inc.

付け根サイズ = 40マイクロ秒角 = 5.5Rs

ジェット収束プロフィール

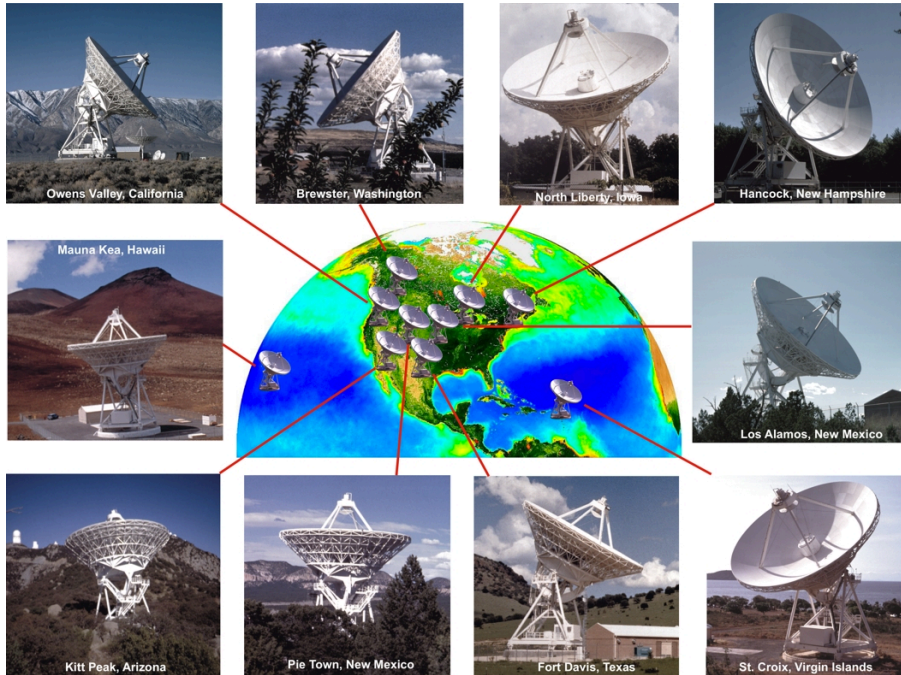
(Hada et al. 2013, ApJ)



最新：超高感度86GHz撮像

(Hada et al. to be submitted)

VLBA (25m)



GBT 100m

+



分解能: 80マイクロ秒角=0.006pc=11Rs
感度：過去最高画質(これまでの10倍以上)

まとめ

- 巨大BHからの噴出流「ジェット」
- VLBIはジェット根元を直接撮像
 - 形状、運動、偏波
 - 収束、加速、磁場構造
- M87根元 VLBI観測は新時代突入
 - 86GHz(3.5mm)による「撮像」 + 230GHz(1.3mm)による「分解」
 - 10Rs領域の高感度「写真」