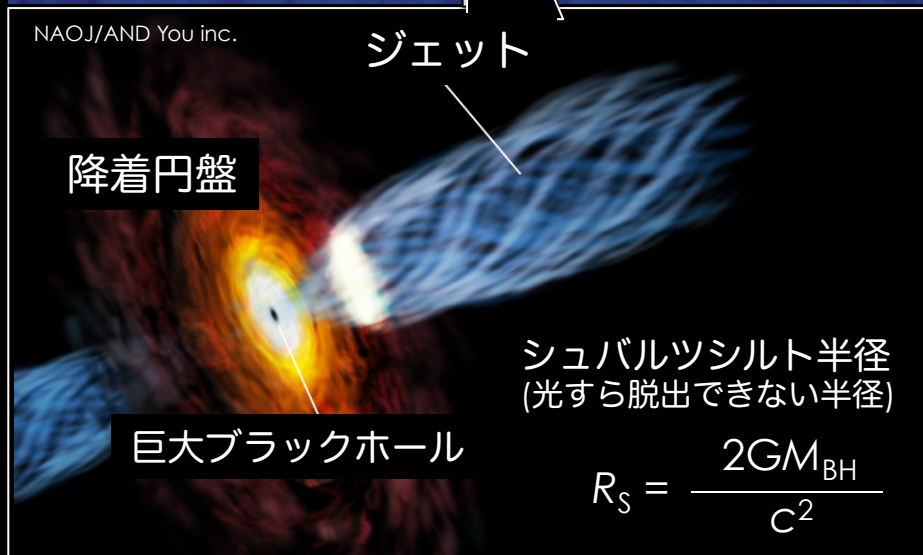
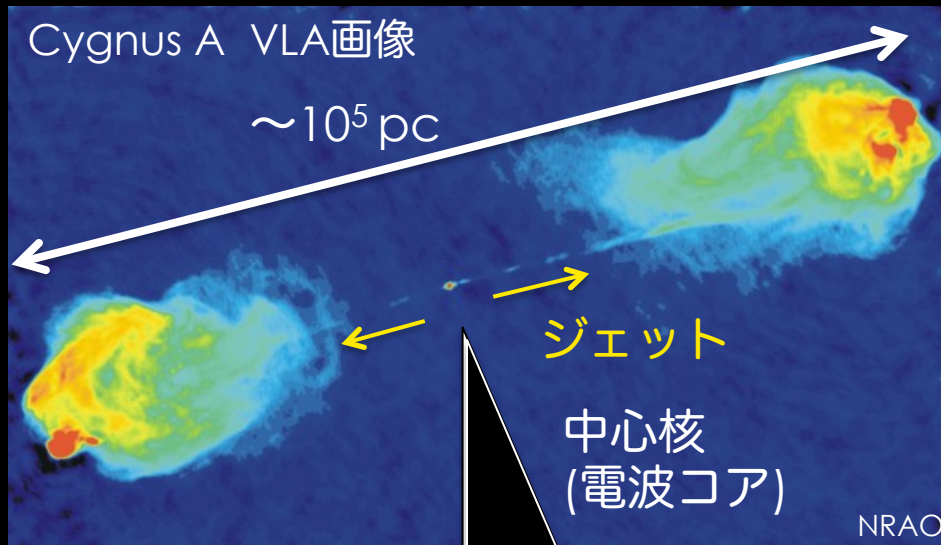


多周波VLBI観測による NGC 4261ジェット形状探査

中原 聡美 総研大D1/JAXA

土居 明広, 村田 泰宏 JAXA
秦 和弘 NAOJ
浅田 圭一, 中村 雅徳

活動銀河核 (Active Galactic Nuclei; AGN)



- AGN
銀河中心の狭い領域が膨大なエネルギーを放射している活動銀河の中心核部分

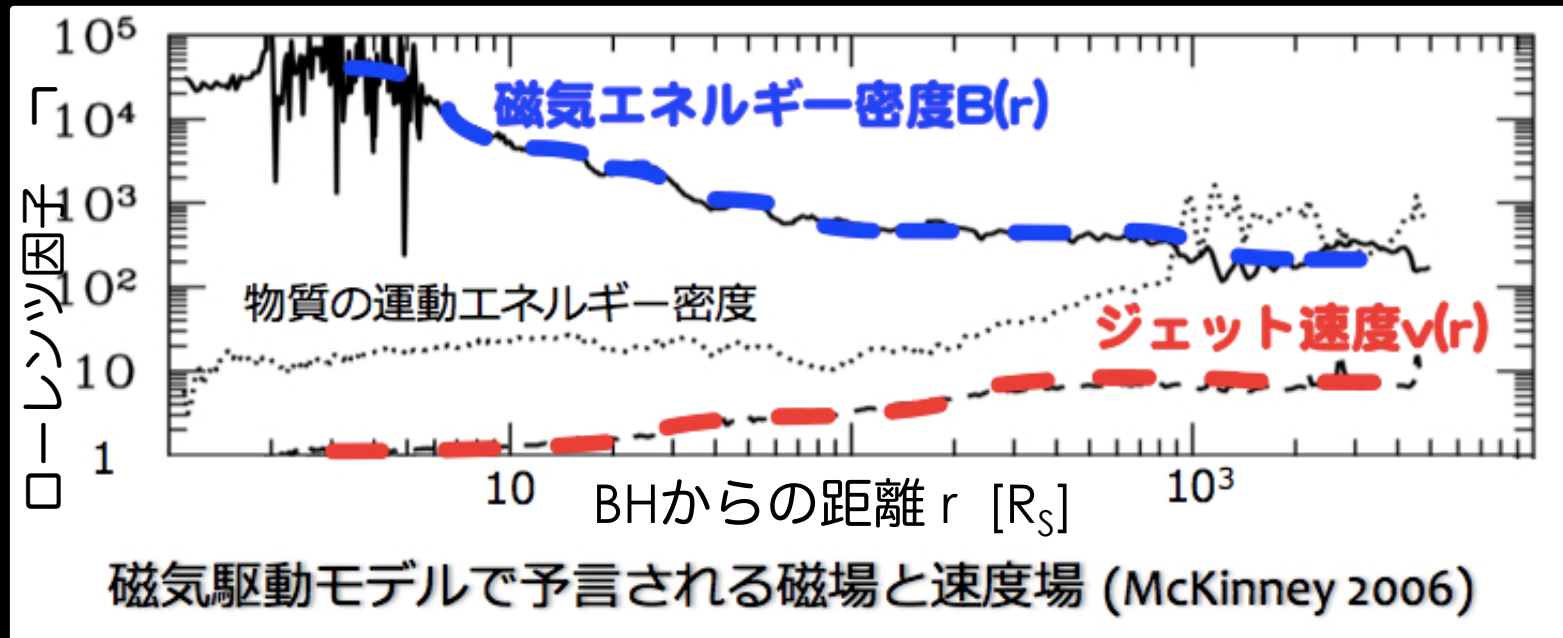
- AGN ジェット
中心ブラックホール(BH)から相対論的な速度で脱出するプラズマ流

未解決問題

ジェットの生成メカニズム

- 相対論的な速度 $\Gamma \sim 10$
- 細く絞られた形状
- 駆動源

理論モデルと観測的アプローチ

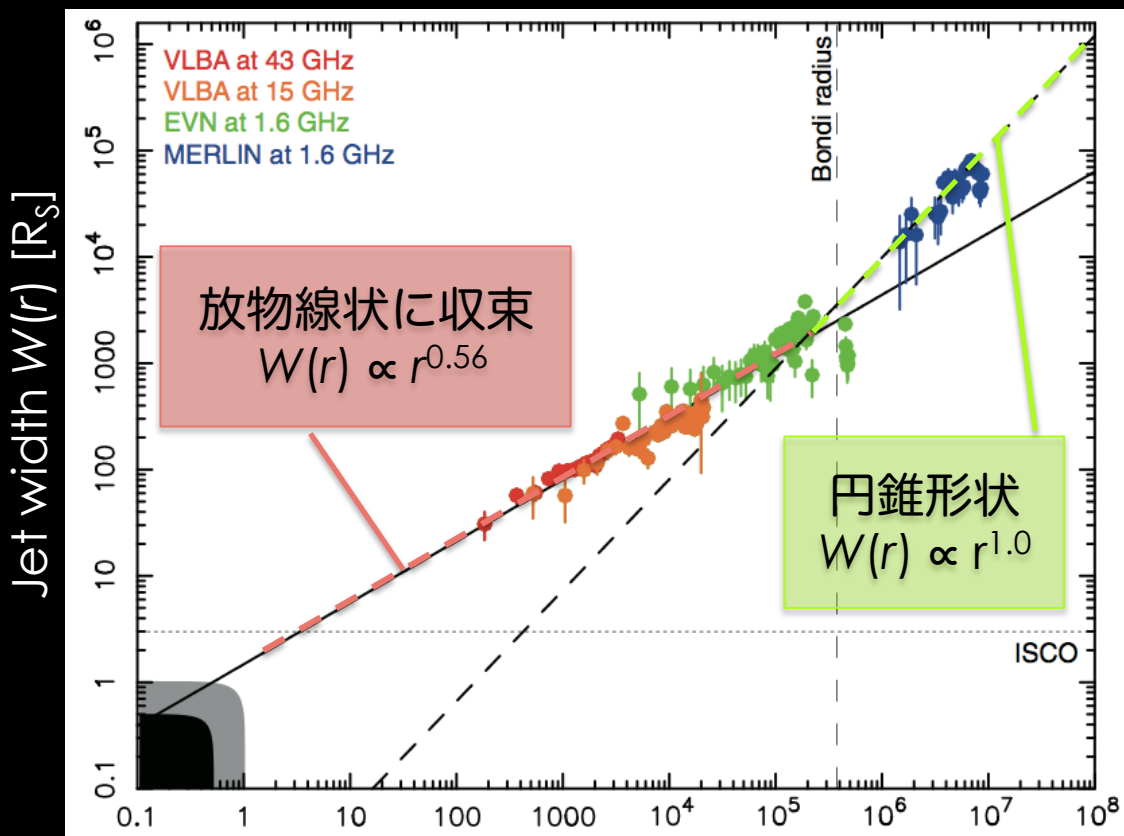


磁気エネルギー $B(r) \rightarrow$ ジェットの加速エネルギー

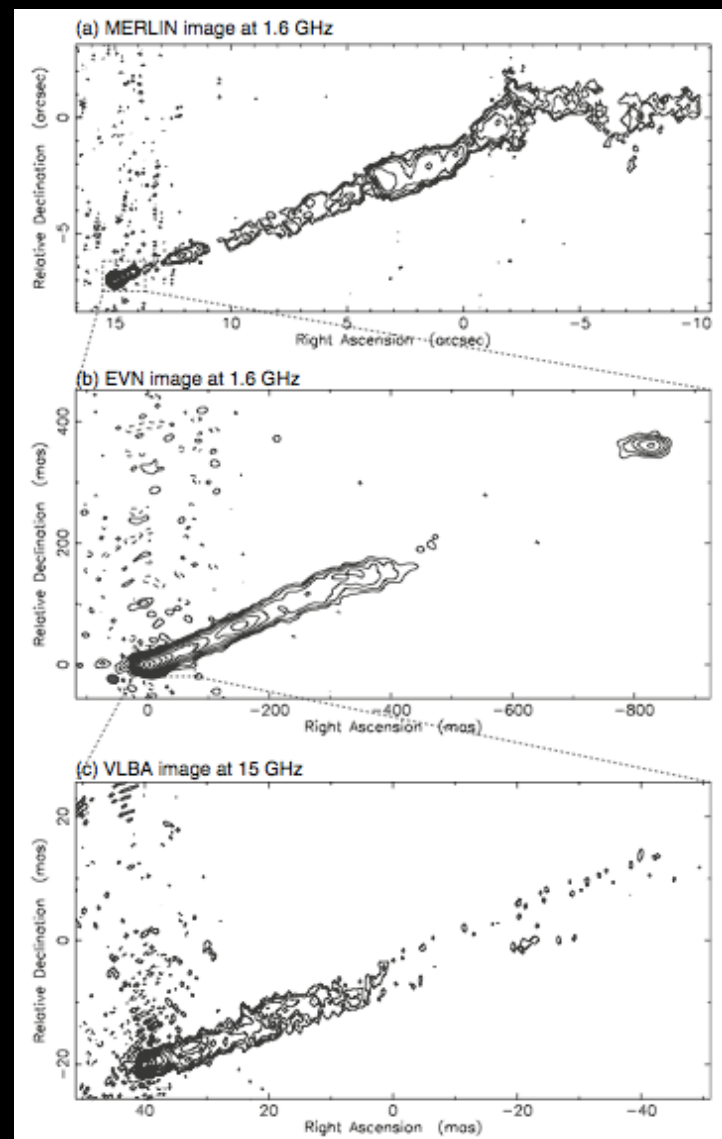
ジェットの速度 $v(r)$ や ジェットの幅 $W(r)$
が変化する

M 87ジェット収束プロファイル

Asada & Nakamura 2012

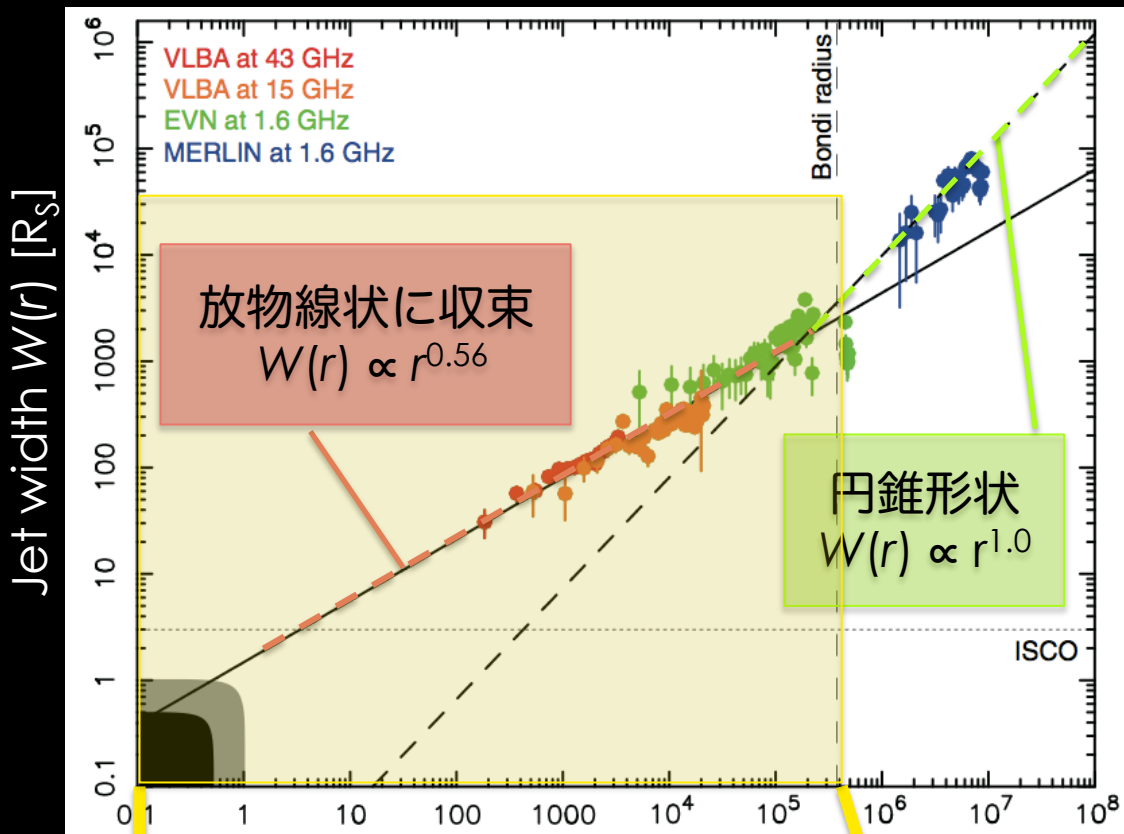


$R > 10^5 R_s$: 円錐形状
 $R < 10^5 R_s$: 放物線状に収束

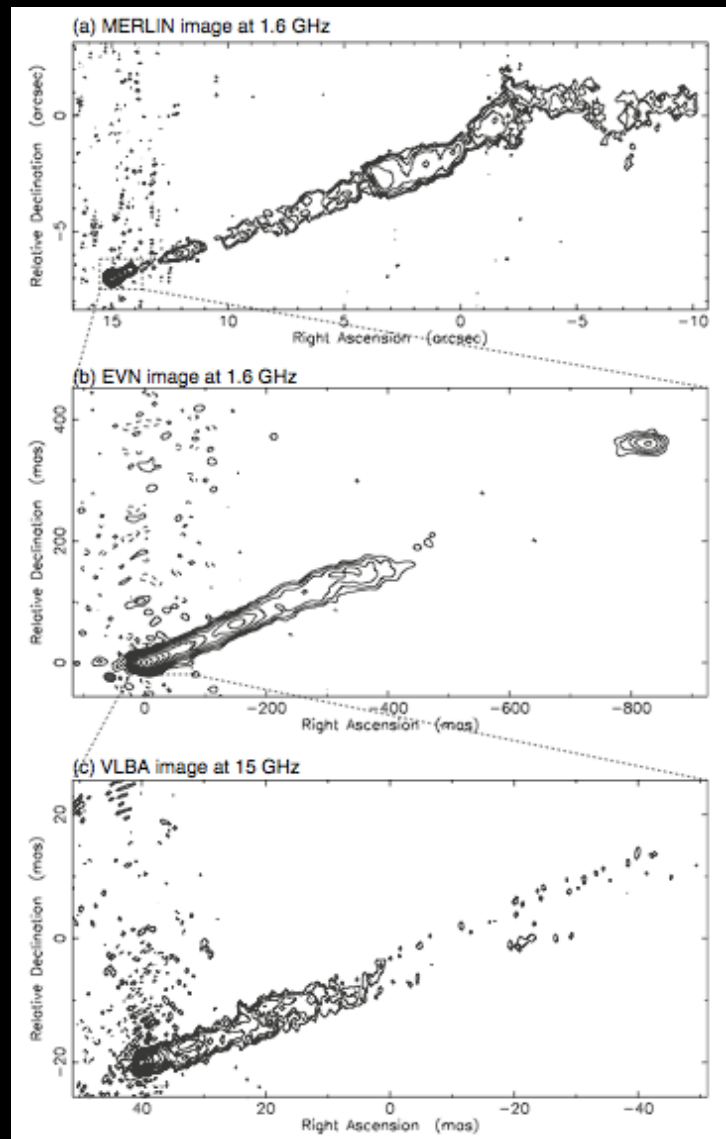


M 87ジェット収束プロファイル

Asada & Nakamura 2012

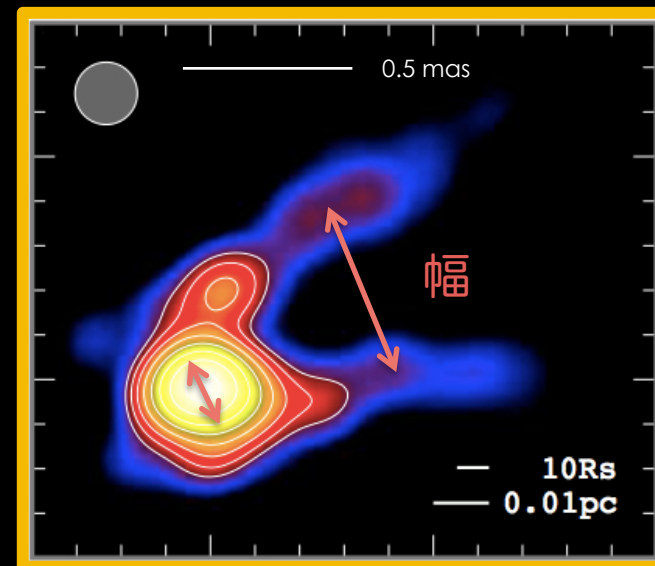
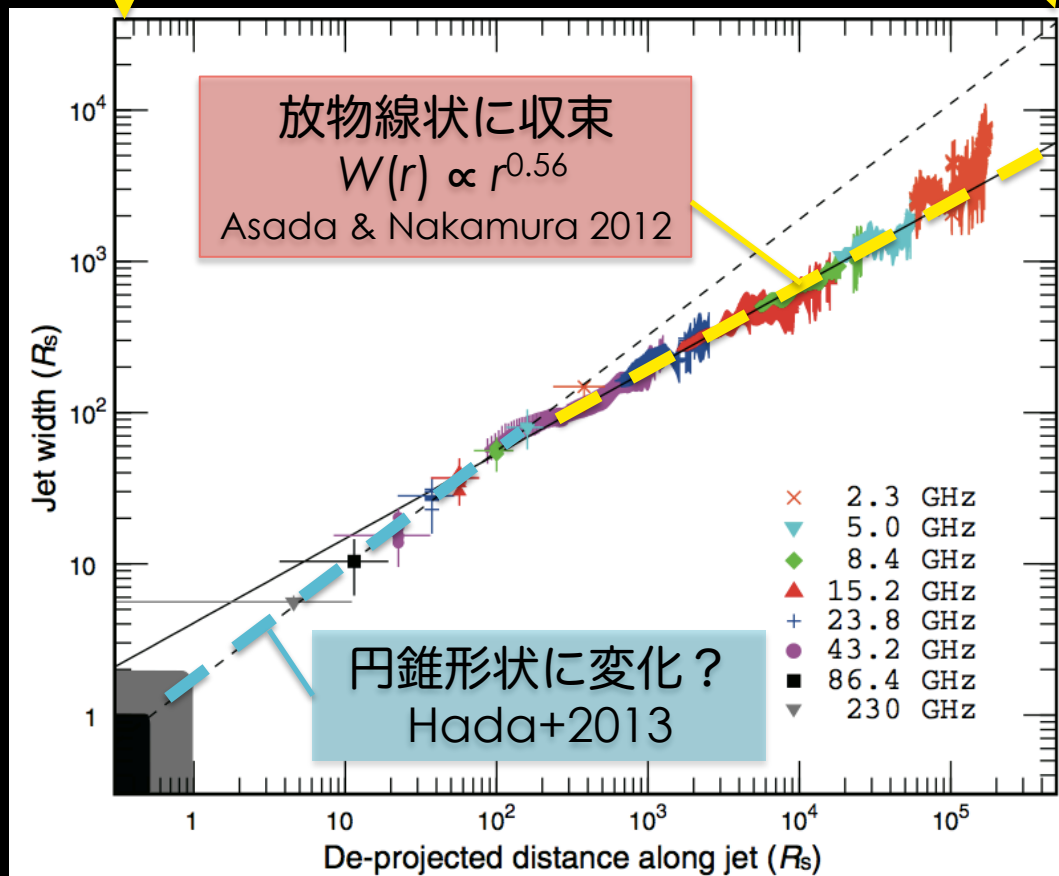


$R > 10^5 R_s$: 円錐形状
 $R < 10^5 R_s$: 放物線状に収束



M87ジェット収束プロファイル

Hada et al. 2013



コアのサイズも測定
 プロファイルが変化する傾向

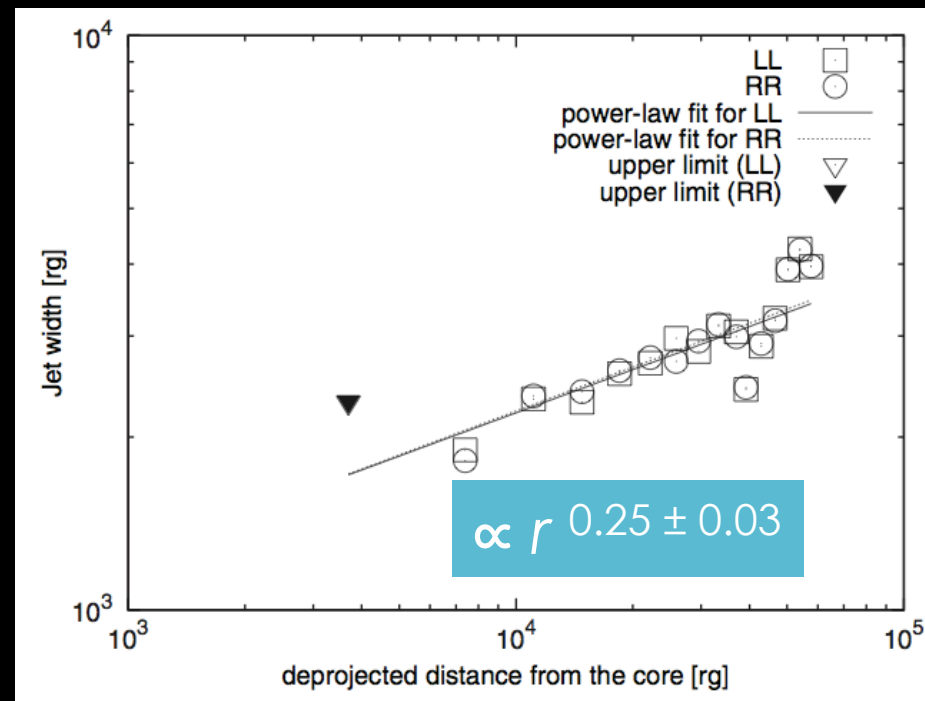
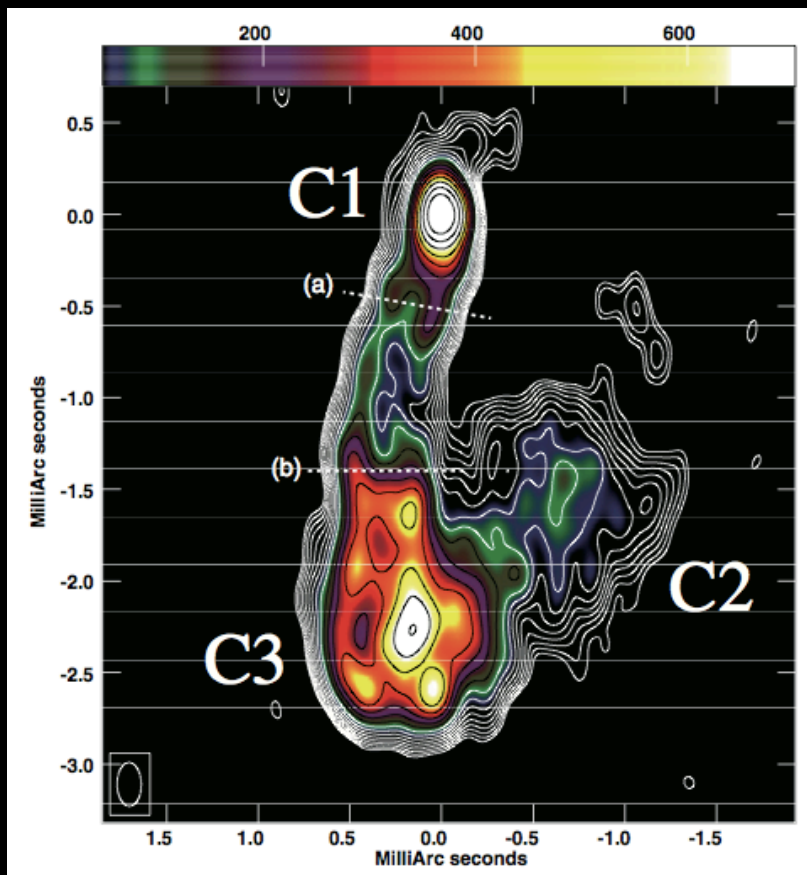
$R > 10^5 R_s$: 円錐形状

$R < 10^2 R_s$: 円錐形状

$R < 10^5 R_s$: 放物線状に収束

3C 84 ジェット収束プロファイル

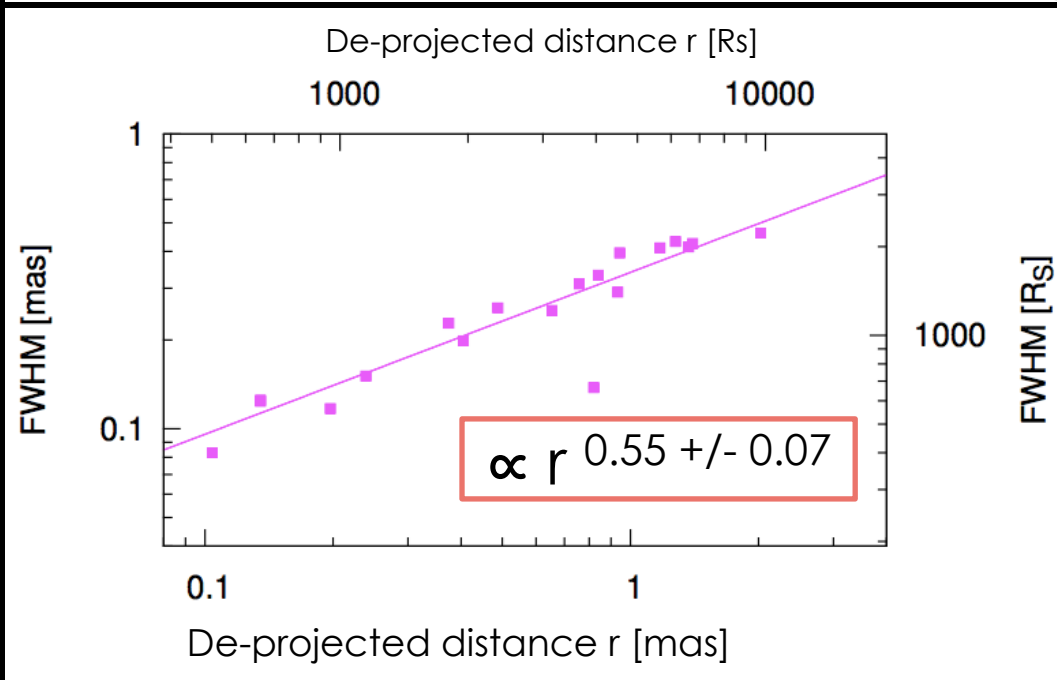
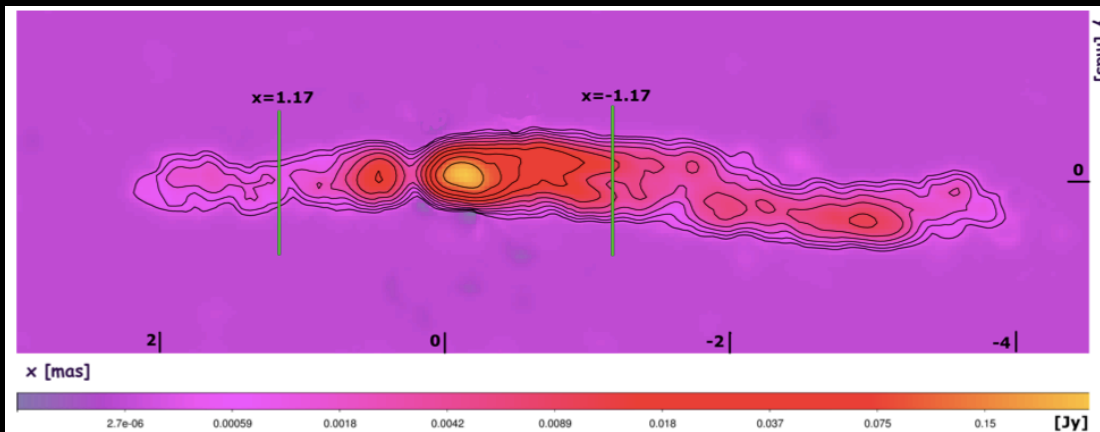
Nagai et al. 2014



M87よりきつい収束
M87のような形状の変化なし

Cygnus A

Boccardi et al. 2015



放物線状に収束
形状の変化なし

	スケール	形状
M 87	$>10^5 R_S$	$r^{1.0}$
M87	$10^2 - 10^5$	$r^{0.56}$
3C 84	$10^3 - 10^6$	$r^{0.25}$
Cygnus A	$100 - 10^4$	$r^{0.55}$

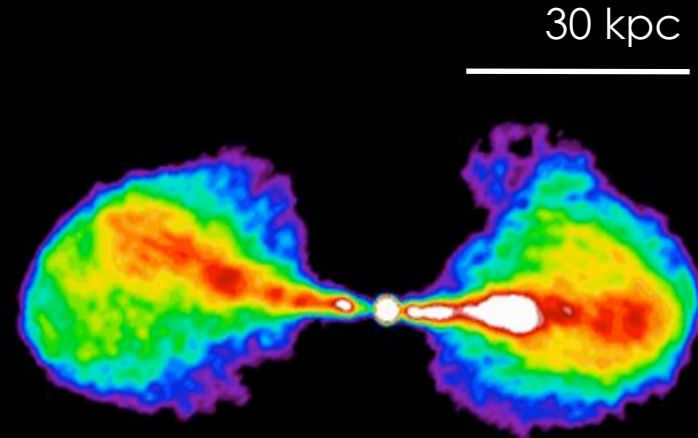
Boccardi+ 2015

AGNジェット形状の統一的な傾向は
まだわからない

→ 他の天体を調査しサンプル数を増やす

NGC 4261 (3C 270)

- FR-I 型電波銀河
- 距離 : 31.6 Mpc ^{*1}
– 1 mas ~ 0.15 pc ~ 3200 R_S
- BH質量 : $4.9 \times 10^8 M_{\odot}$ ^{*2}
- アプローチングジェットの見込み角,
 $\theta = 63^\circ$ ^{*3}
- コアシフトを利用してBH位置測定済み^{*4}
- ジェット速度 $0.46 \pm 0.02 c$ @8 GHz



(*1: Tonry et al. 2001, *2: Ferrarese et al. 1996, *3: Pinner et al. 2001, *4: Haga et al. 2015)

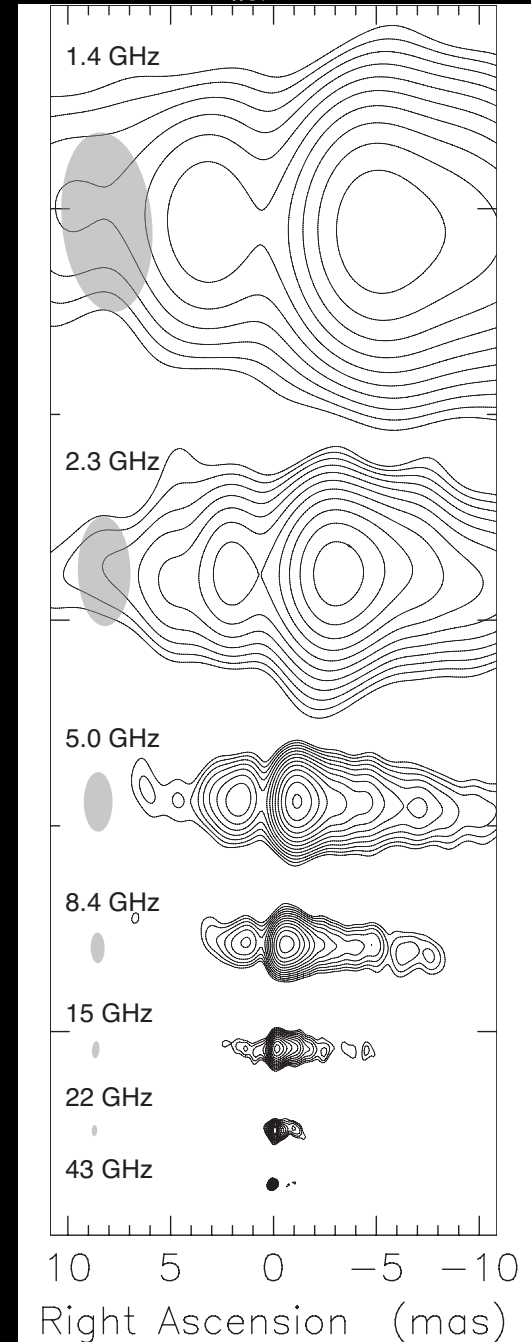
使用データ VLBA

観測日 (A) 2003年 6月28日 (15,22,43 GHz)
(B) 2003年 7月 5日 (1,2,5,8 GHz)

ν [GHz]	θ beam [mas \times mas]	σ [mJy/beam]
1.4	8.9 \times 4.4	0.50
2.3	5.4 \times 2.6	0.69
5.0	2.5 \times 1.2	0.58
8.4	1.5 \times 0.7	0.60
15	0.9 \times 0.4	0.71
22	0.6 \times 0.3	1.27
43	0.3 \times 0.2	0.94

θ beam : ビームサイズ(=角分解能), σ : 雑音レベル,
1 mas \sim 0.15 pc

コントア : 3σ から $\sqrt{2}$ 倍ごと
楕円 : ビームサイズ

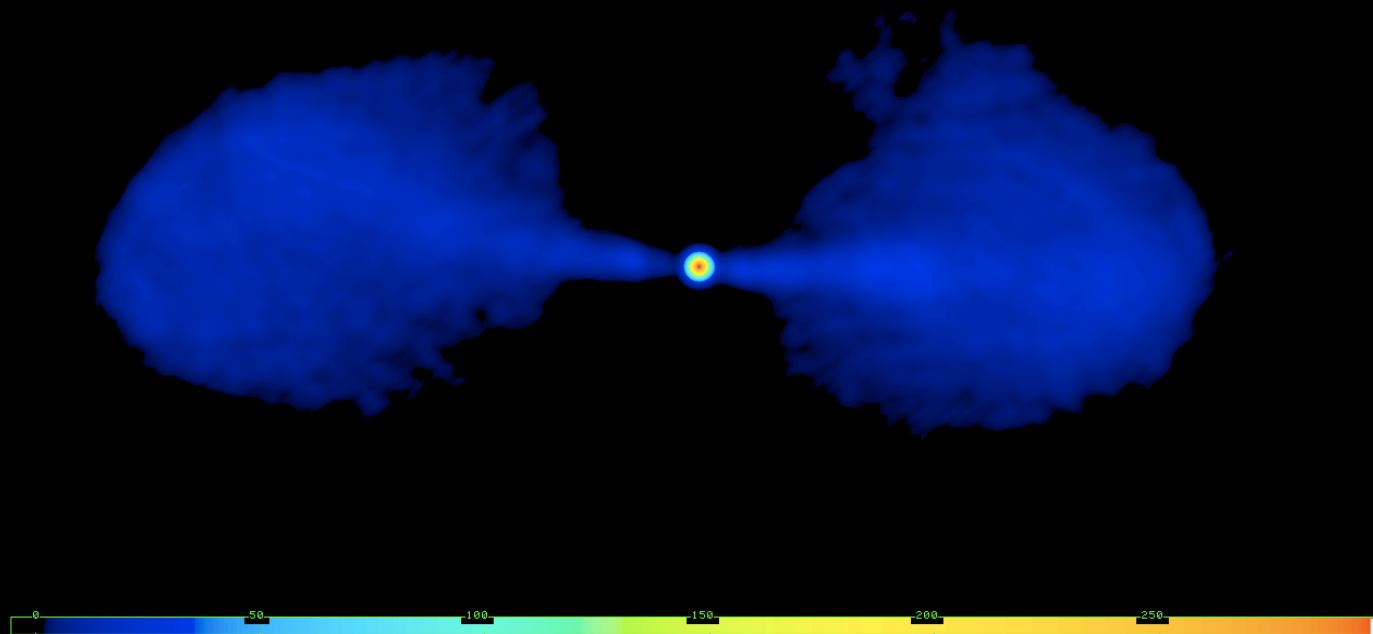


使用データ

VLA

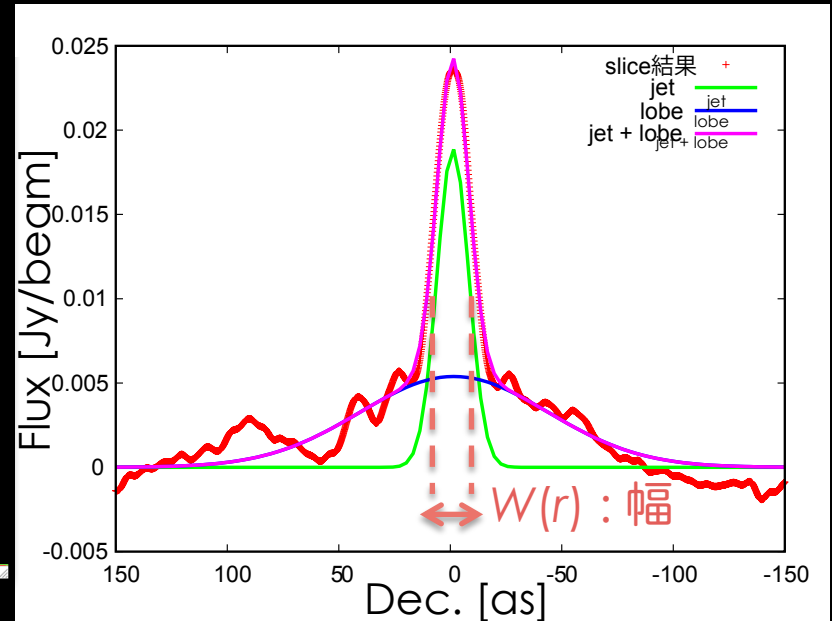
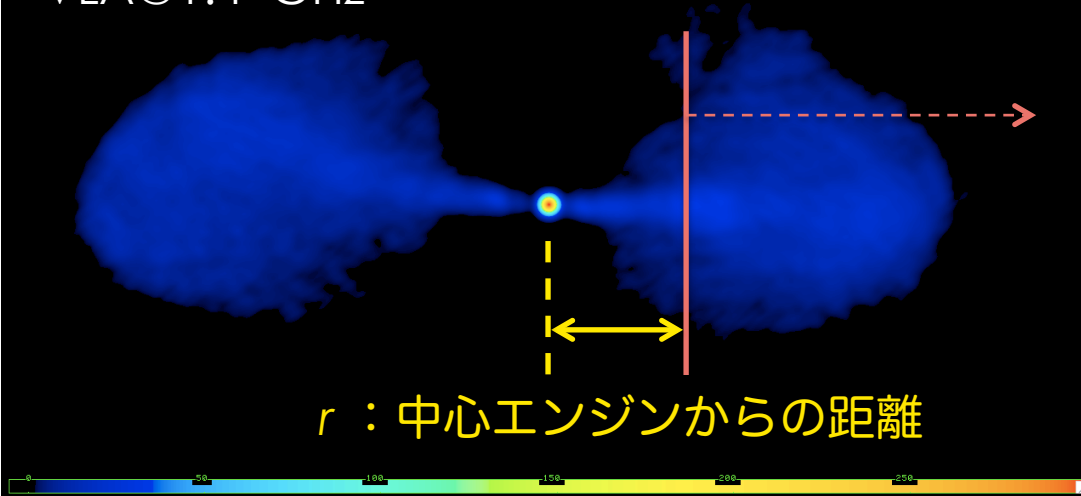
観測日 1984年 4月22日 (5,1.4 GHz)

ν [GHz]	θ beam [mas \times mas]	σ [mJy/beam]
1.4 + 5	8.9 \times 4.4	0.39

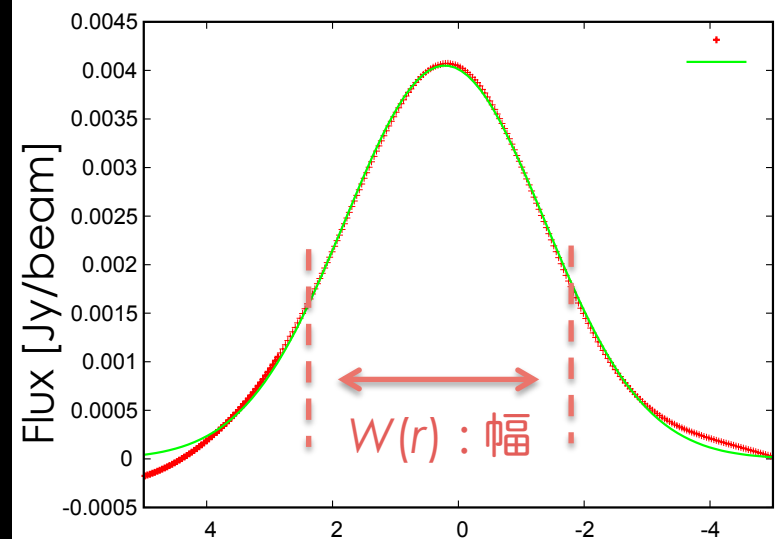
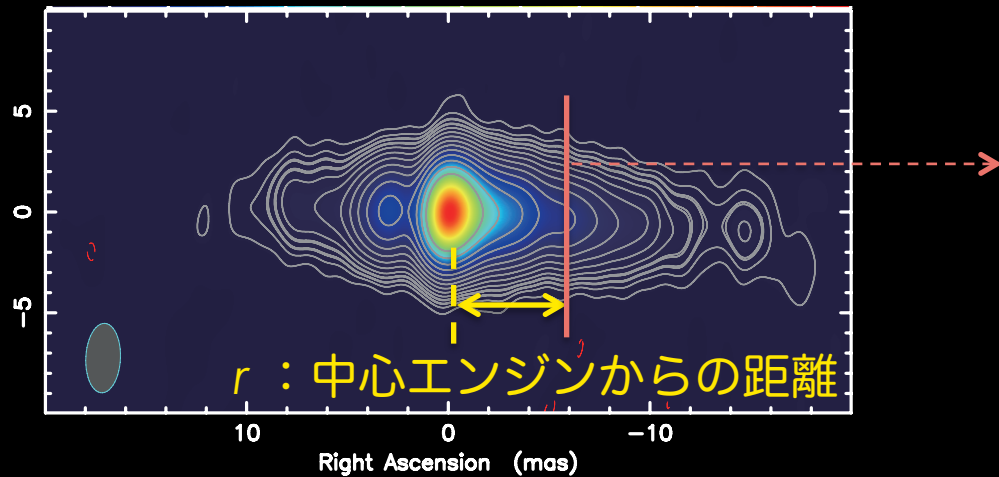


ジェットの幅測定

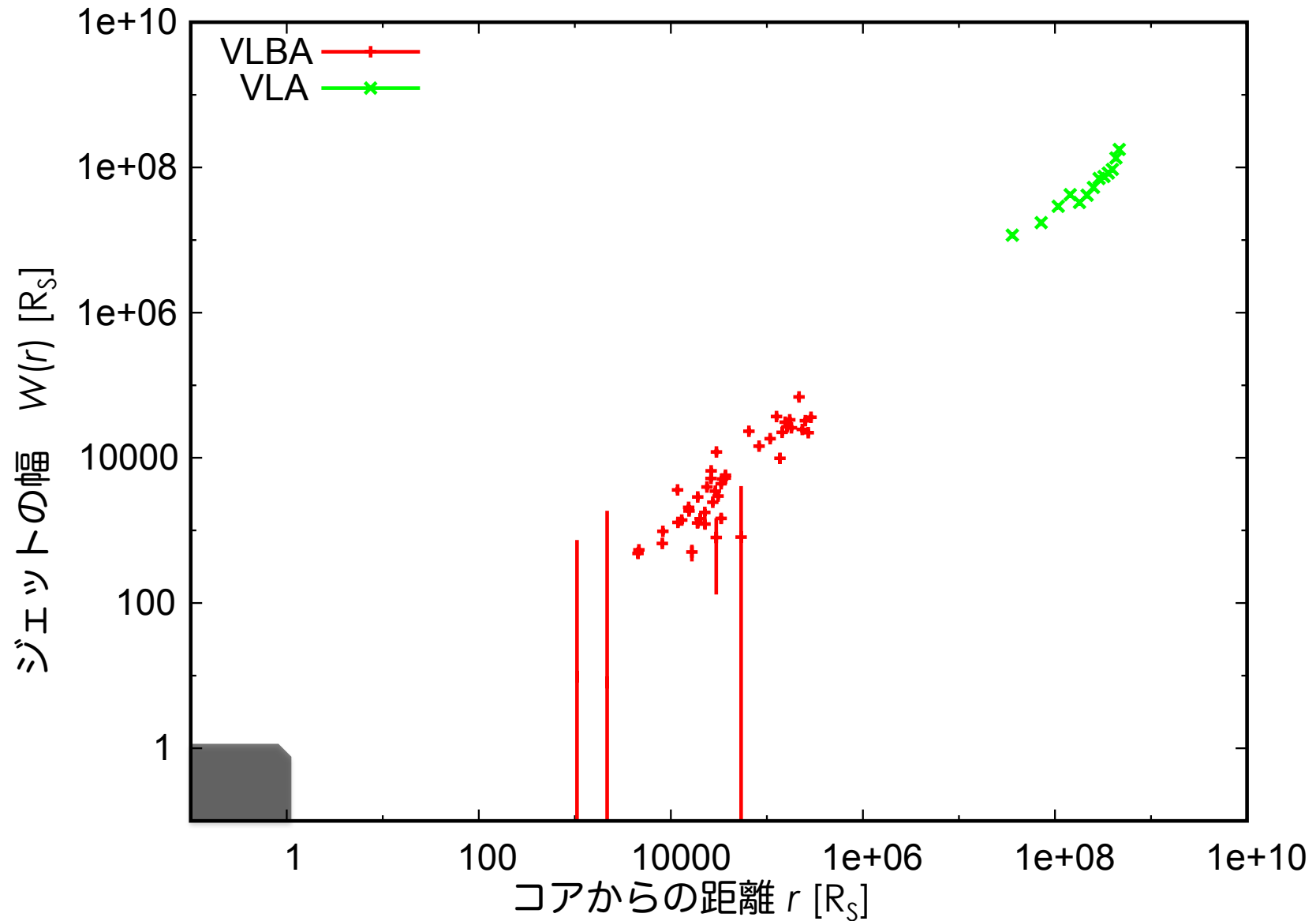
VLA@1.4 GHz



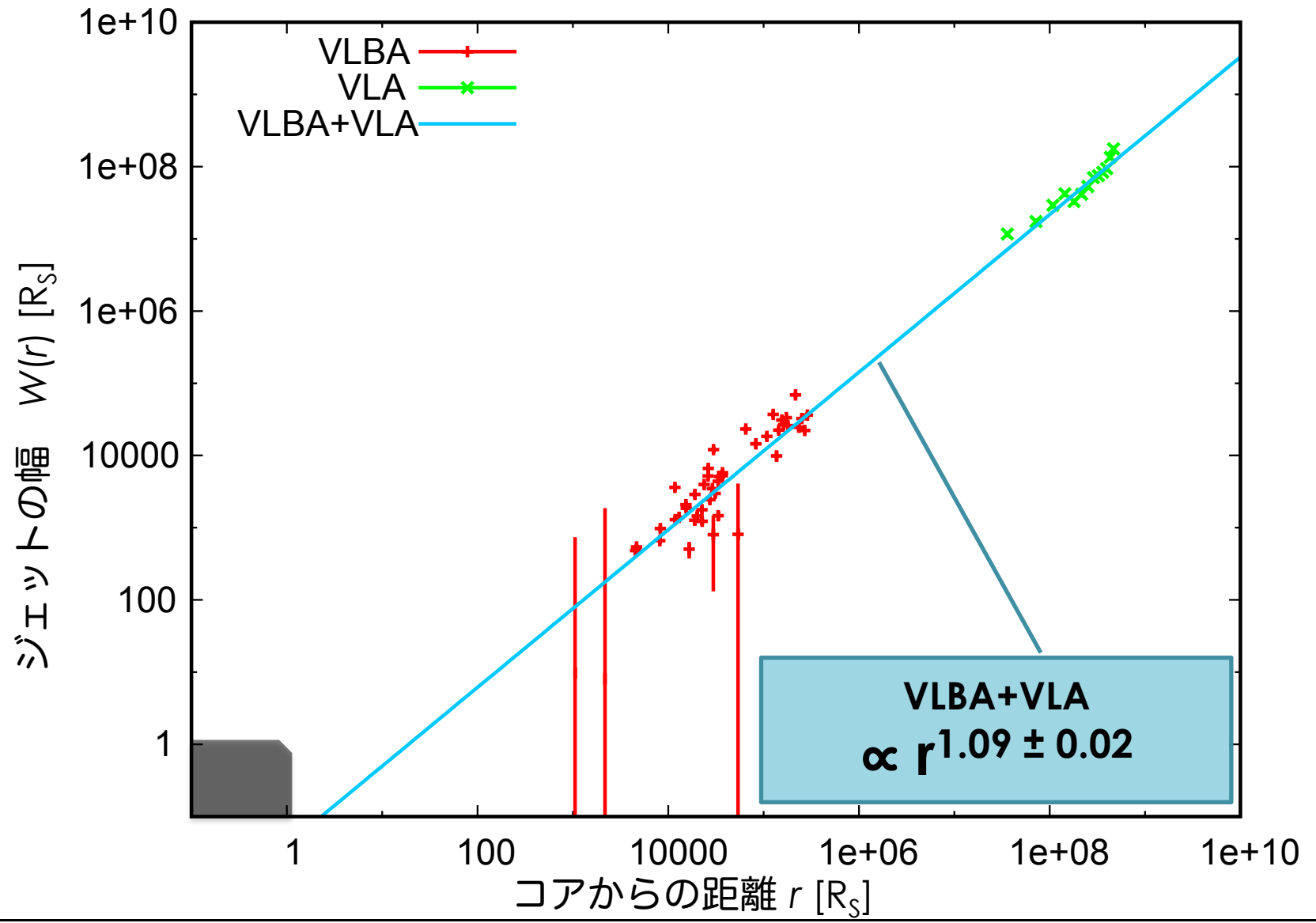
VLBA@5 GHz



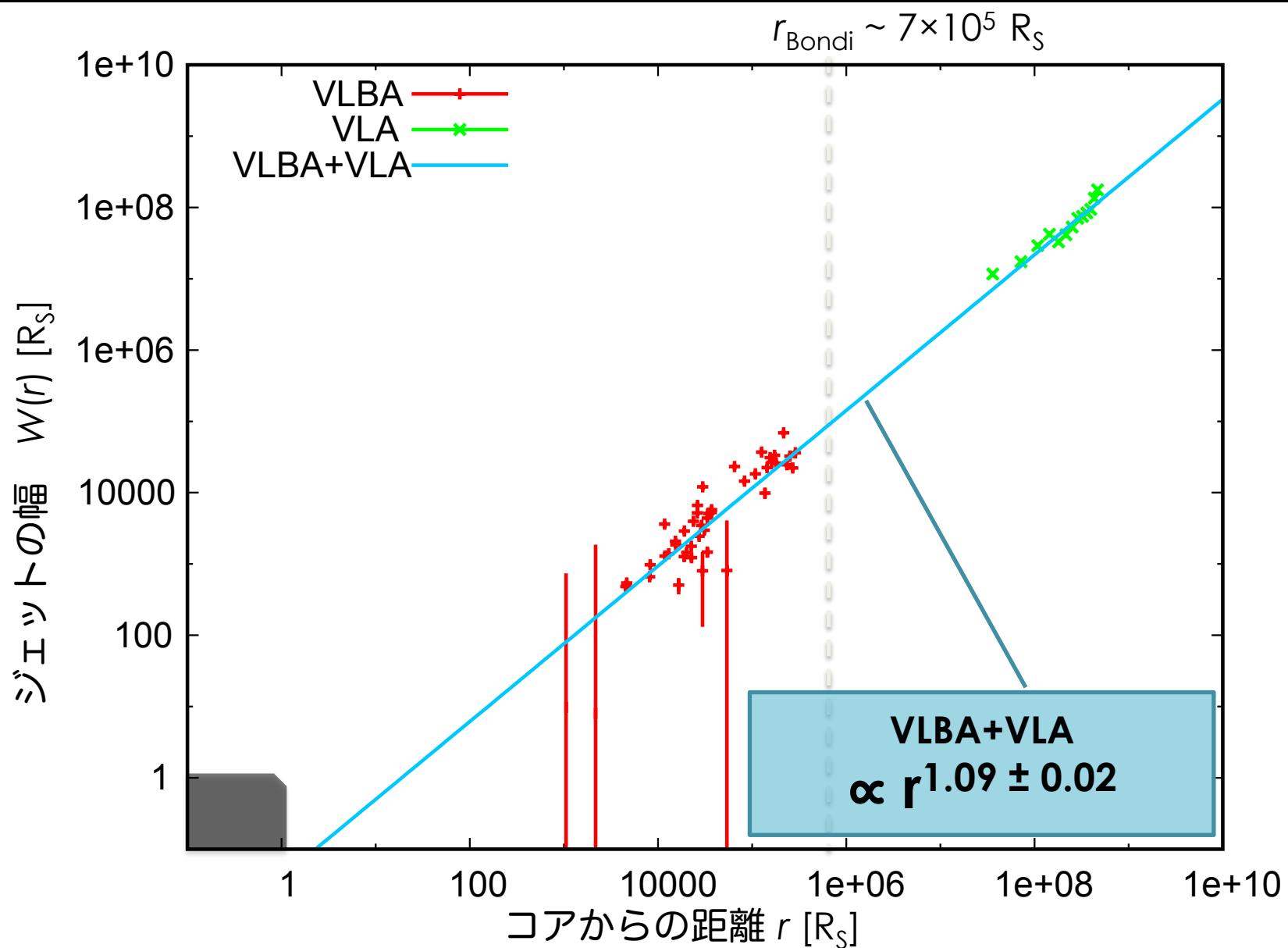
NGC 4261 ジェット幅プロファイル



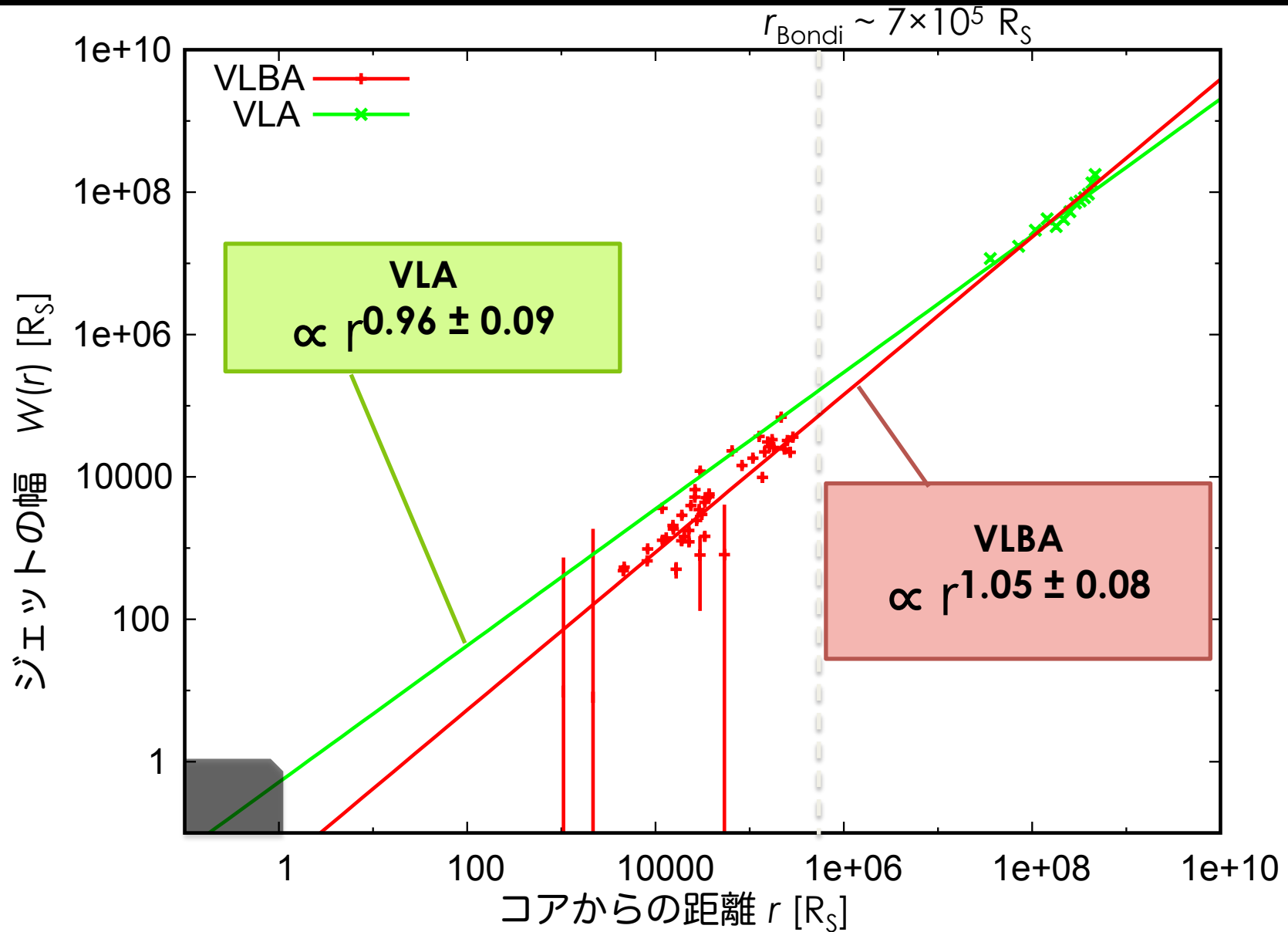
NGC 4261 ジェット幅プロファイル



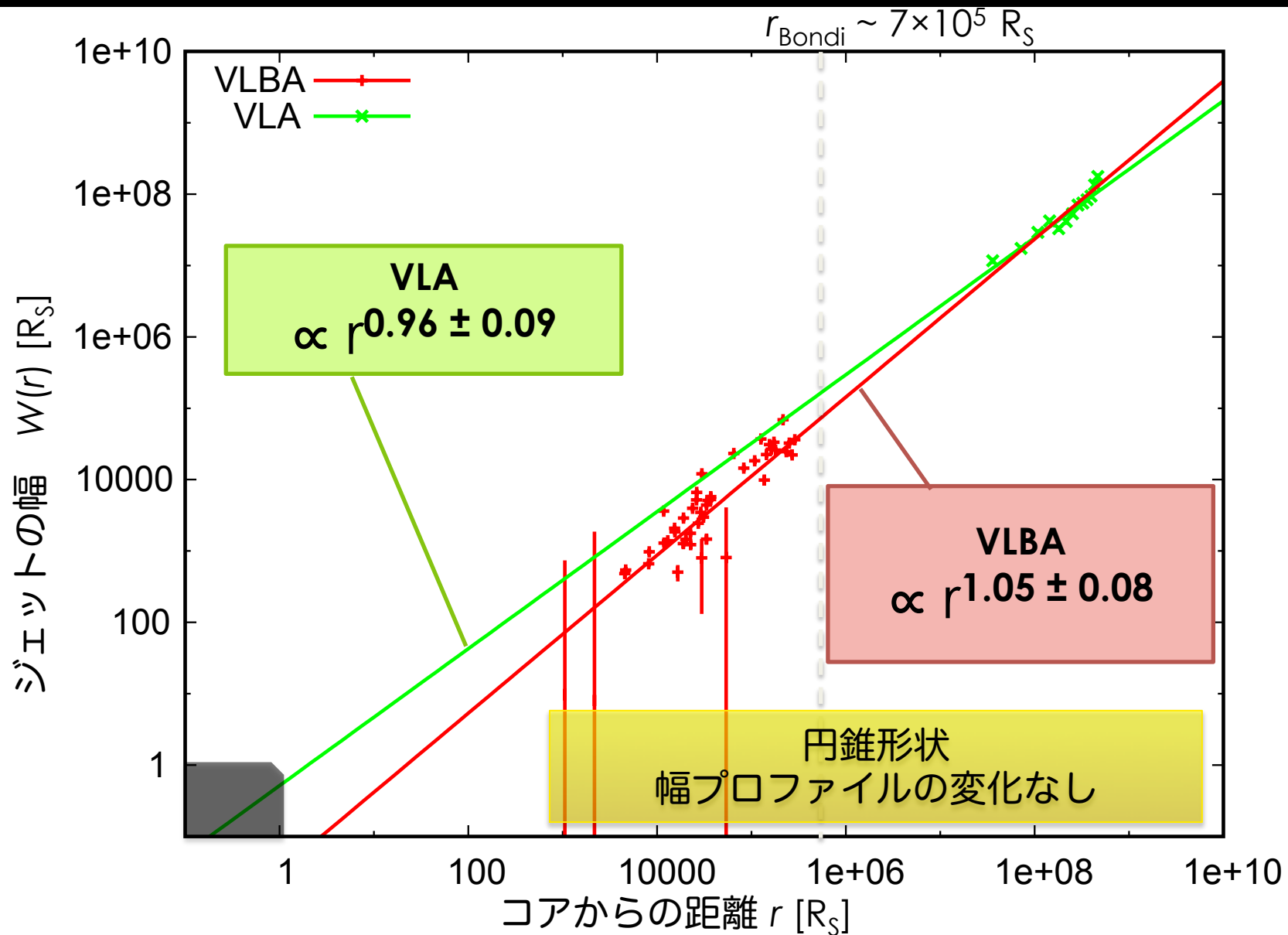
NGC 4261 ジェット幅プロファイル



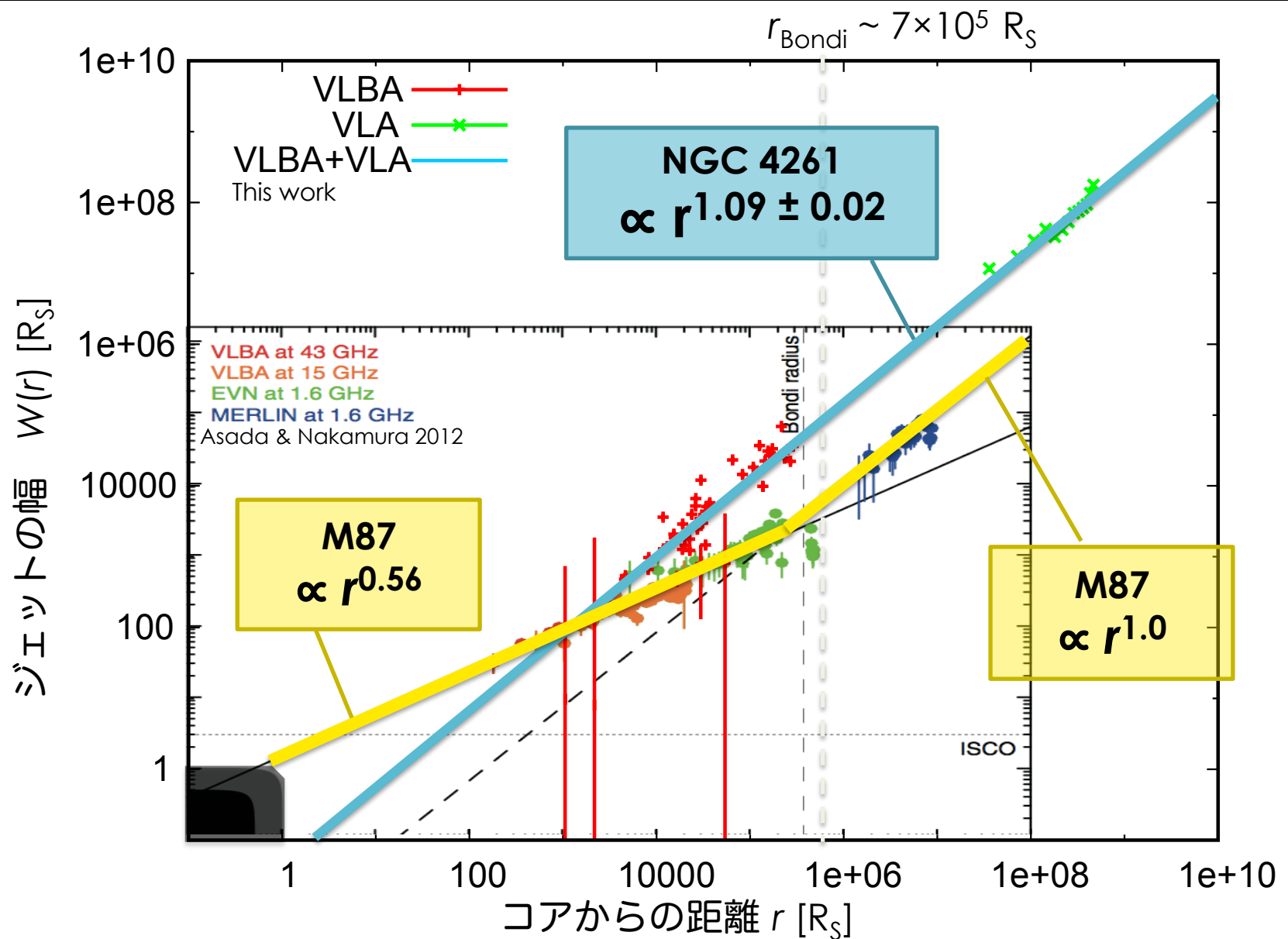
NGC 4261 ジェット幅プロファイル



NGC 4261 ジェット幅プロファイル



M87 との比較



	スケール [R_s]	形状
NGC 4261	$100 - 10^9$	$r^{1.09}$
M 87	$>10^5$	$r^{1.0}$
M 87	$10^2 - 10^5$	$r^{0.56}$
3C 84	$10^3 - 10^6$	$r^{0.25}$
Cygnus A	$100 - 10^4$	$r^{0.55}$

Boccardi+ 2015

NGC 4261ジェットでは Bondi半径の前後、
コアサイズとジェット幅でM87のような
プロファイルの変化は起きていない

ジェットの幅プロファイルの要因

- ジェットの圧力 p_{jet} と外圧 p_{ext} のバランス

Komissarov et al. 2009, Nakamura et al. 2008

- 磁場のフープストレスによる締め付け

Blandford & Payne 1982

まとめ

- ジェット生成機構解明の手がかりとなるジェットの形状の普遍性や多様性を調査するため、NGC 4261のジェット幅の空間プロファイルを調査した
- NGC 4261のジェットの幅 $W(r)$ は $W(r) \propto r^{1.09}$ の円錐形状をとることがわかった
- Bondi半径の前後、コアサイズとジェット幅でM87のようなプロファイルの変化は起きていない

→ Future work

- カウンタージェットの形状の調査, 比較
- さらなるサンプルを増やす