

# 電波銀河NGC 4261における相 対論的ビーミング効果による 電波ジェット非対称性

岐阜大学大学院  
自然科学技術研究科  
宇宙科学研究室  
内田 千尋

# 電波ジェット

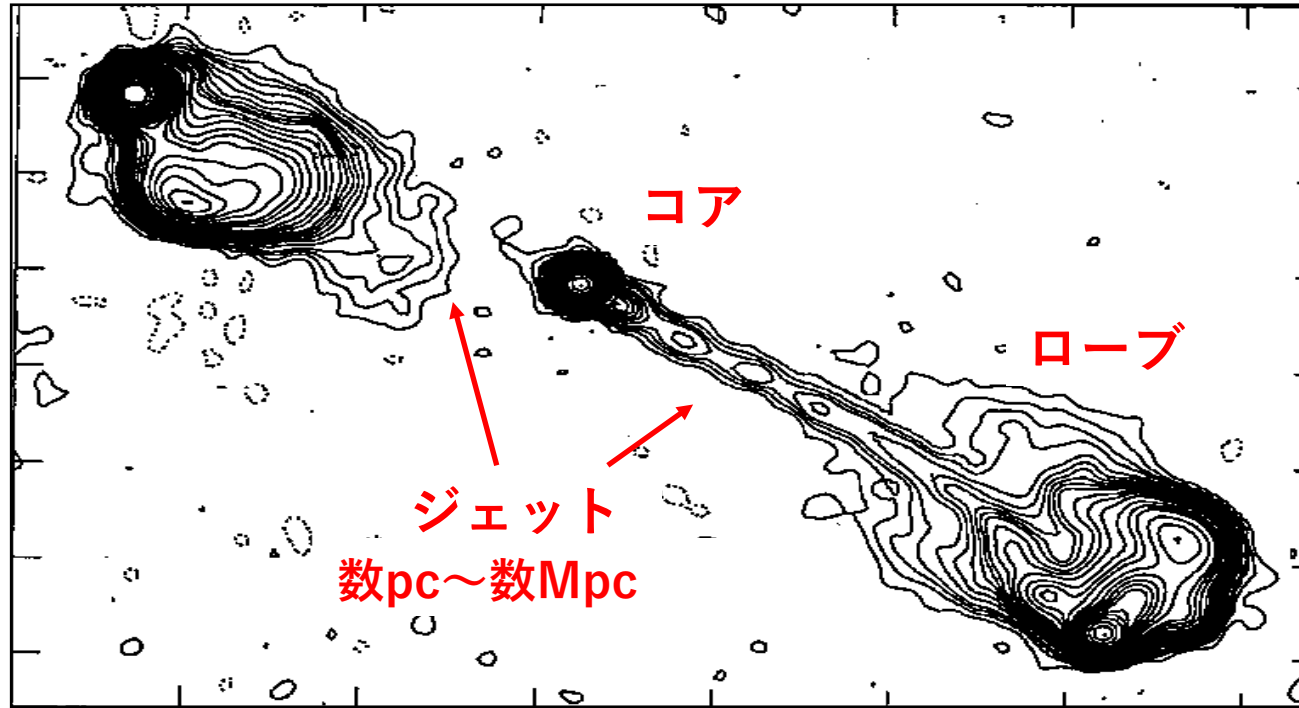
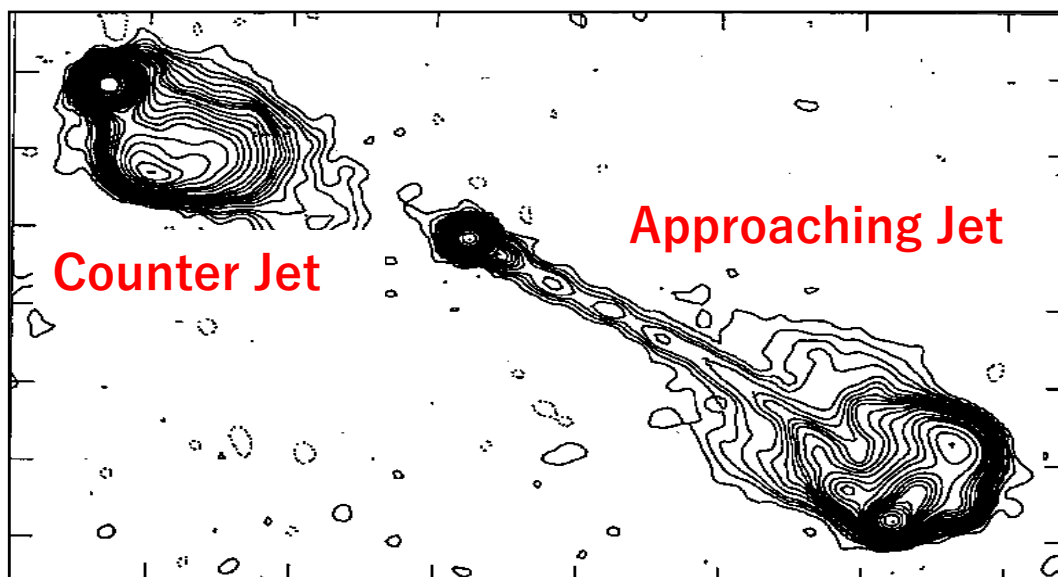


図1：クェーサー3C 175の電波画像 \*Bridel et al.(1994)

- 活動銀河核(AGN)から**ほぼ光速**で**双方向**に放出されているプラズマの噴流
- コアの中心部には**巨大ブラックホール**が存在していると考えられているが、詳細な構造や物理パラメータはまだ十分に理解されていない。

# 電波ジェットとの相対論的ビーミング効果



Approaching JetはCounter Jetに比べて、

**1 明るい**

**2 長い**

特徴を持つ。

これらはジェットが相対論的速度を持つことが起因する。

図1：クェーサー3C 175の電波画像 \*Bridel et al.(1994)

本来のジェットの構造が**双方向に等しいと仮定**すれば、

電波強度の関係式  $F_{\nu}(\nu) = \delta^{3+\alpha} F'_{\nu'}(\nu)$   $\delta$

Approaching Jet/Counter Jetの長さ比  $H$



ジェットの速度  $\beta c$

視線角度  $\theta$

を求めることができる。

# ドップラーファクター $\delta$

- 電波強度の関係式

$$F_{\nu}(\nu) = \delta^{3+\alpha} F'_{\nu'}(\nu) \quad (1)$$

$F_{\nu}$  : 観測系  $F'_{\nu}$  : 静止系

$\alpha$  : Spectral Index

- ドップラーファクター  $\delta$

$$\delta = [\gamma(1 - \beta \cos \theta)]^{-1} \quad (2)$$

$\gamma$  : ローレンツファクター

ジェットの世界速度  $\beta c$  と視線角度  $\theta$  の関数

相対論的効果を示す指標

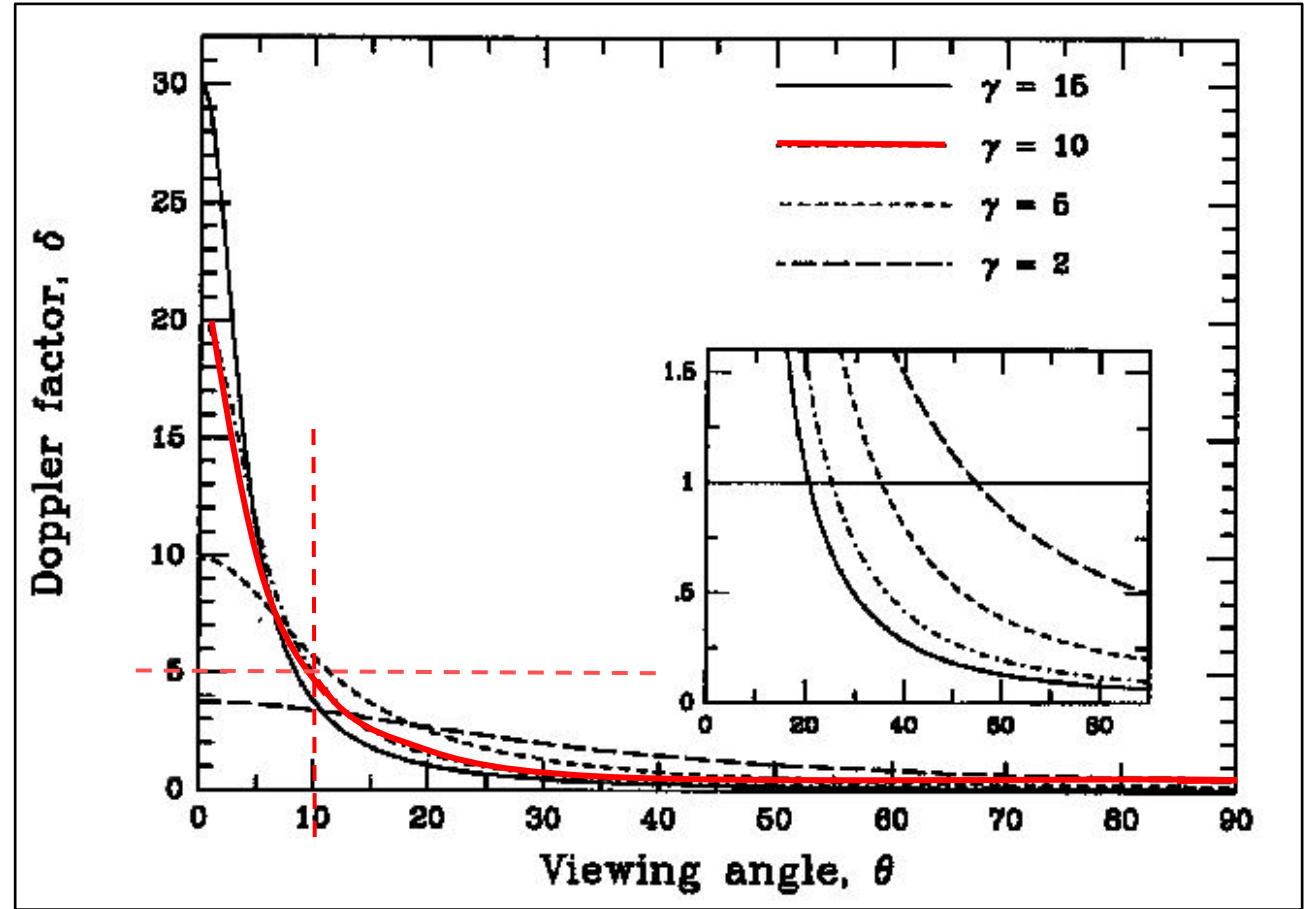


図2 : C.Megan et al.(1995) Fig.20

$\gamma = 10$  ( $\beta = 0.995$ ) ,  $\theta = 10^\circ$  のとき  $\delta \doteq 5$

本来のジェットの電波強度に比べて

Approaching Jet : 約125倍

Counter Jet : 約  $1.25 \times 10^{-4}$  倍

になる。

# 長さの比 H

Approaching JetとCounter Jetの速度、傾きは等しいと仮定する。

$t = 0$ でコアから速度 $v$ で双方向にプラズマが放射された。時刻 $t_2$ では $r_2 = vt_2$ に到達する。

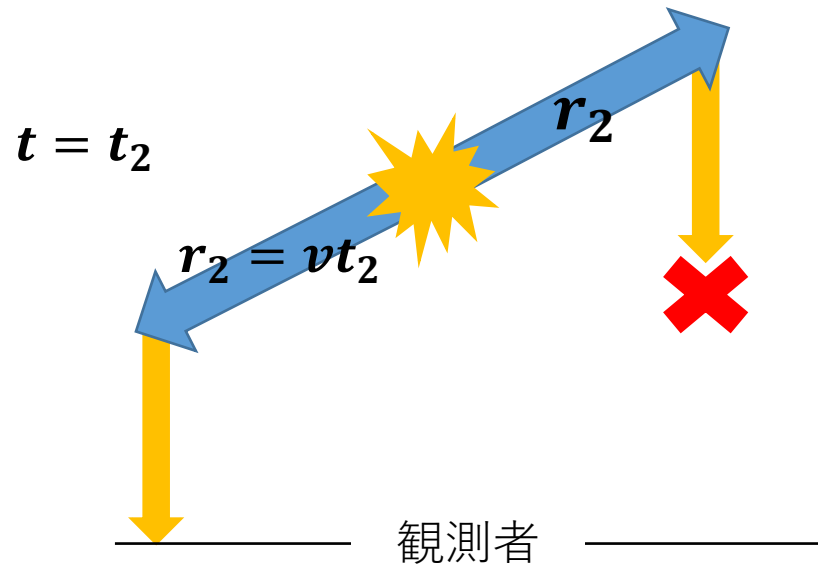


図3：時刻 $t_2$ におけるジェットの様子

Approaching Jet側で時刻 $t_2$ で放射された光が観測者に届いたとき、Counter jet側の光は届いていない。

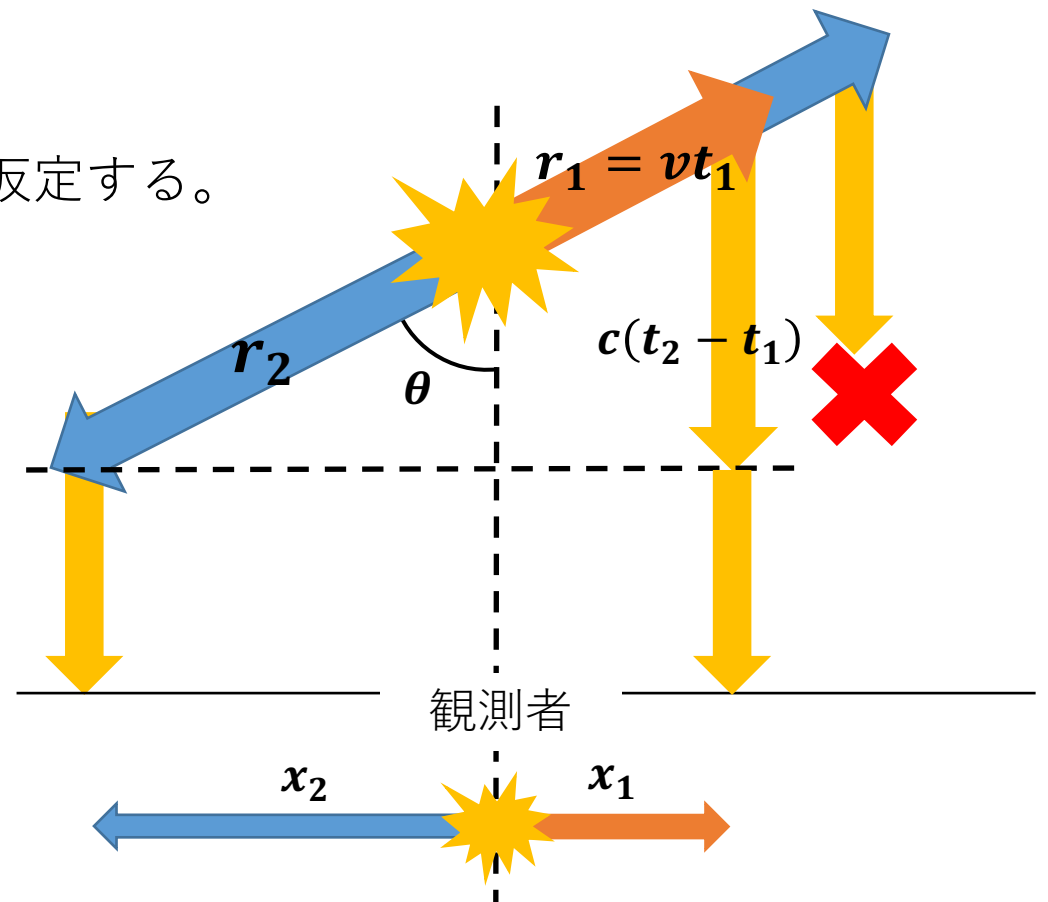


図4：Approaching JetとCounter Jetの光行路の違い

このとき、観測者に届くCounter Jet側は時刻 $t_1 (< t_2)$ で放射された光である。つまり、Counter Jet  $x_1$ はApproaching Jet  $x_2$ よりも短く観測される。

Approaching JetとCounter Jetの光行路差  $\rightarrow$   $H = \frac{1 + \beta \cos \theta}{1 - \beta \cos \theta}$

$(\beta, \theta) = (0.995, 10^\circ)$  のとき  $H = 98$  となる。

## 目的と方法

ジェットの性質に関わる  $\beta$  と  $\theta$  を **定量的に** 求める手法の確立を目的とする。

- 双方向に吹き出す電波ジェットの構造が等しいと仮定する。
- 様々な  $(\beta, \theta)$  から、相対論的ビーミング効果の影響を計算する。
- 観測データ  $(F, H)$  に最もよく合う  $(\beta, \theta)$  を求める。

# NGC 4261

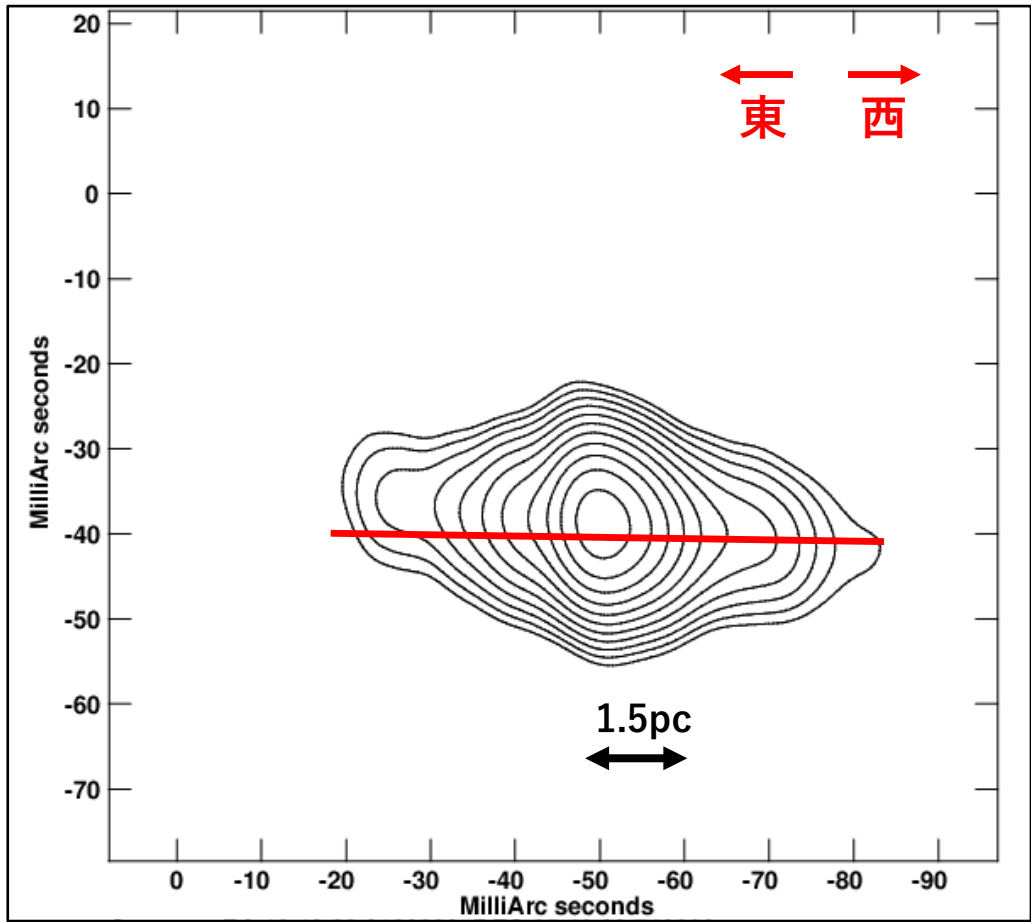
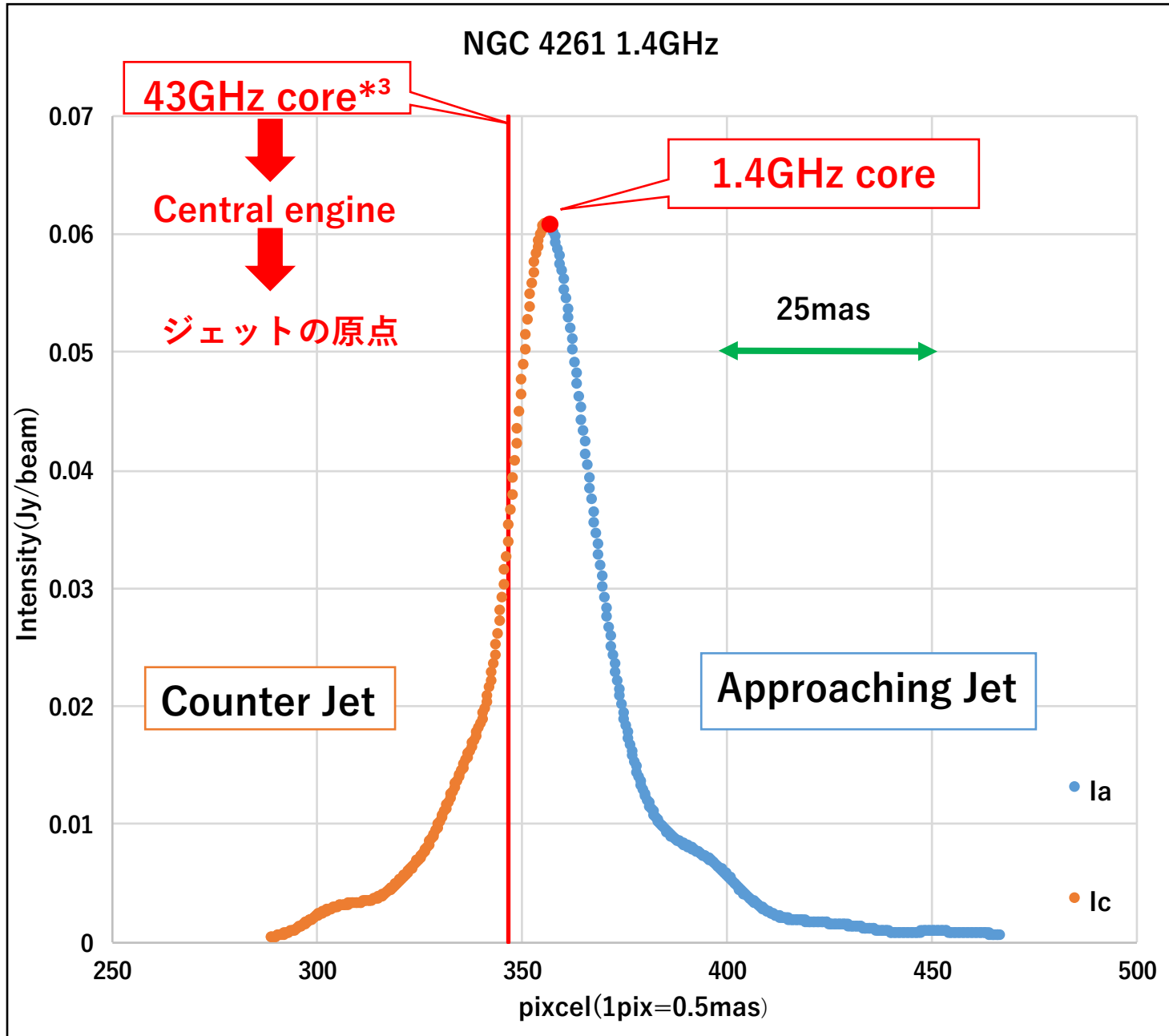


図5 : NGC4261 VLBA 1.4GHz Map

- FR- I 型電波銀河
- 距離 : 31.6Mpc (0.15pc/mas)<sup>\*1</sup>
- BH質量 :  $(4.9 \pm 1.0) \times 10^8 M_{\odot}$ <sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>Tonry et al.(2000) <sup>\*2</sup>Ferarese et al.(1996) <sup>\*3</sup> Haga et al(2013)



グラフ 1 : NGC 4261 1次元電波強度グラフ

# 吸収領域の削除

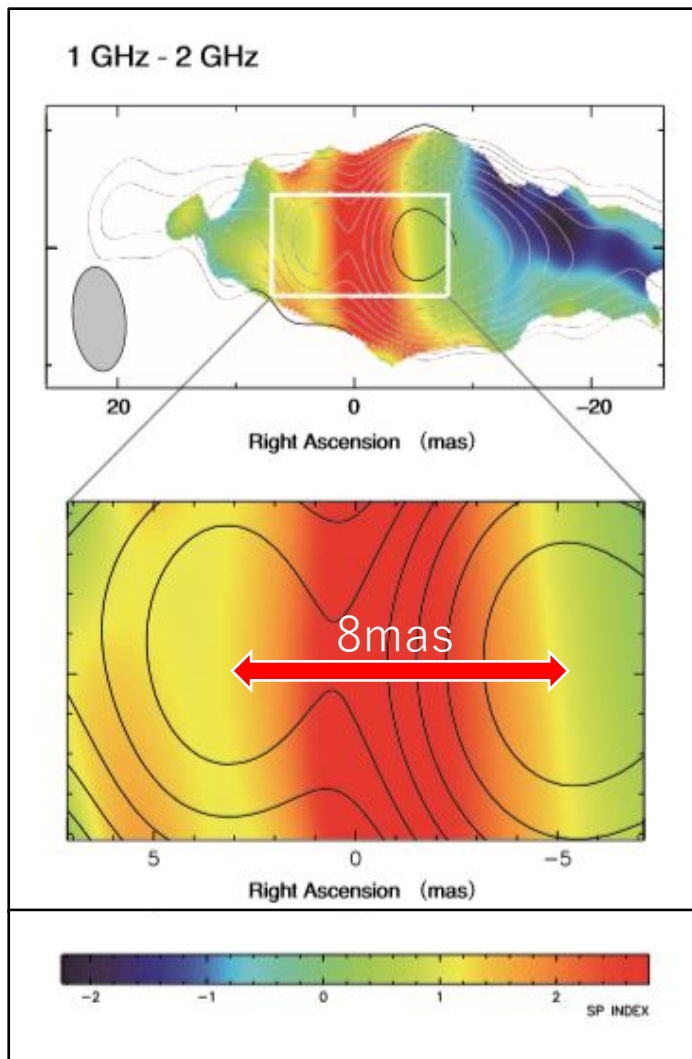


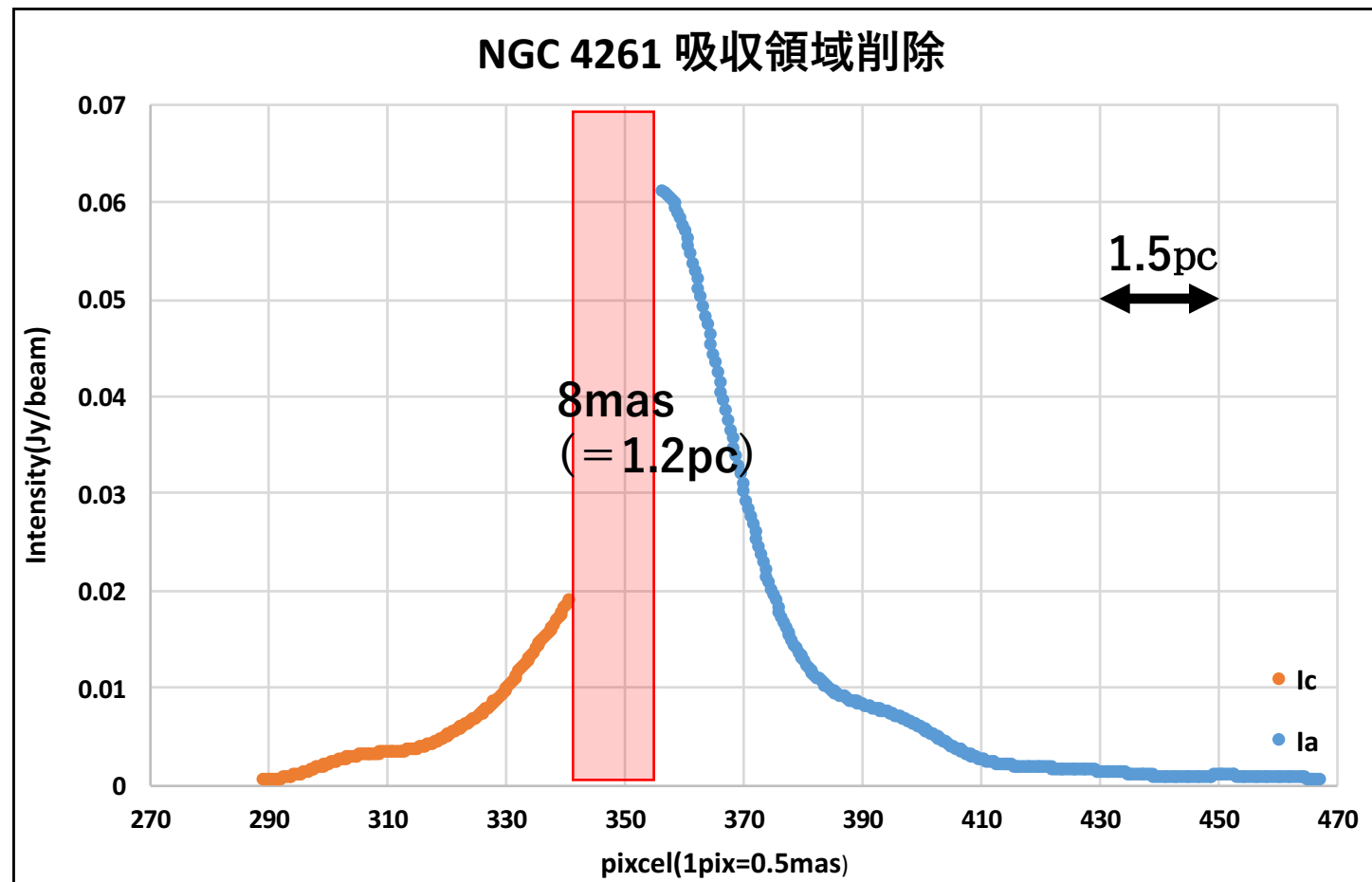
図6 : Haga et al.(2013) Fig3  
1-2GHzのSpectral index Map

中心付近は吸収の強い領域見られる.

コアからCounter Jet側に8mas ( $\alpha \geq 1.5$ ) 吸収領域とする。 ( $S \propto \nu^\alpha$ )



相対論ビーミング効果以外の影響なので、データから削除した。

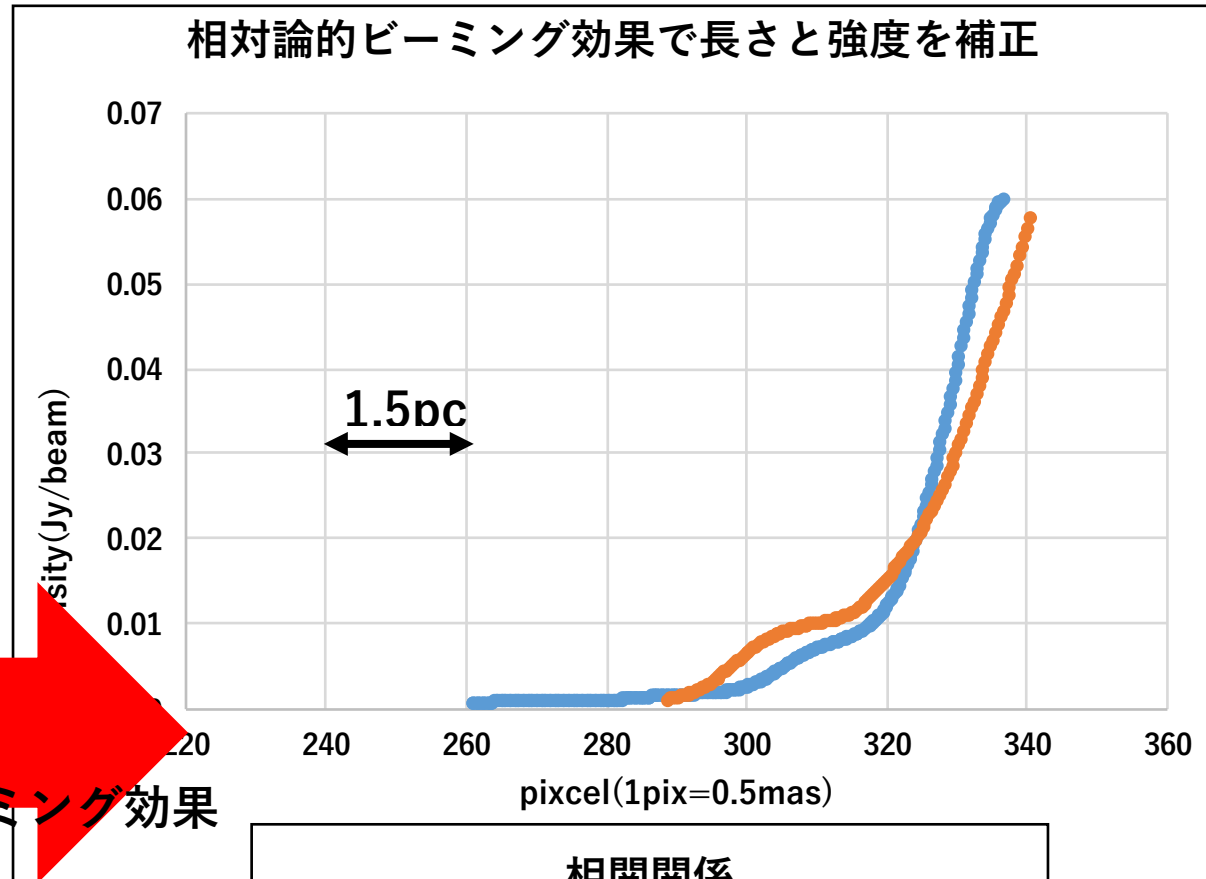
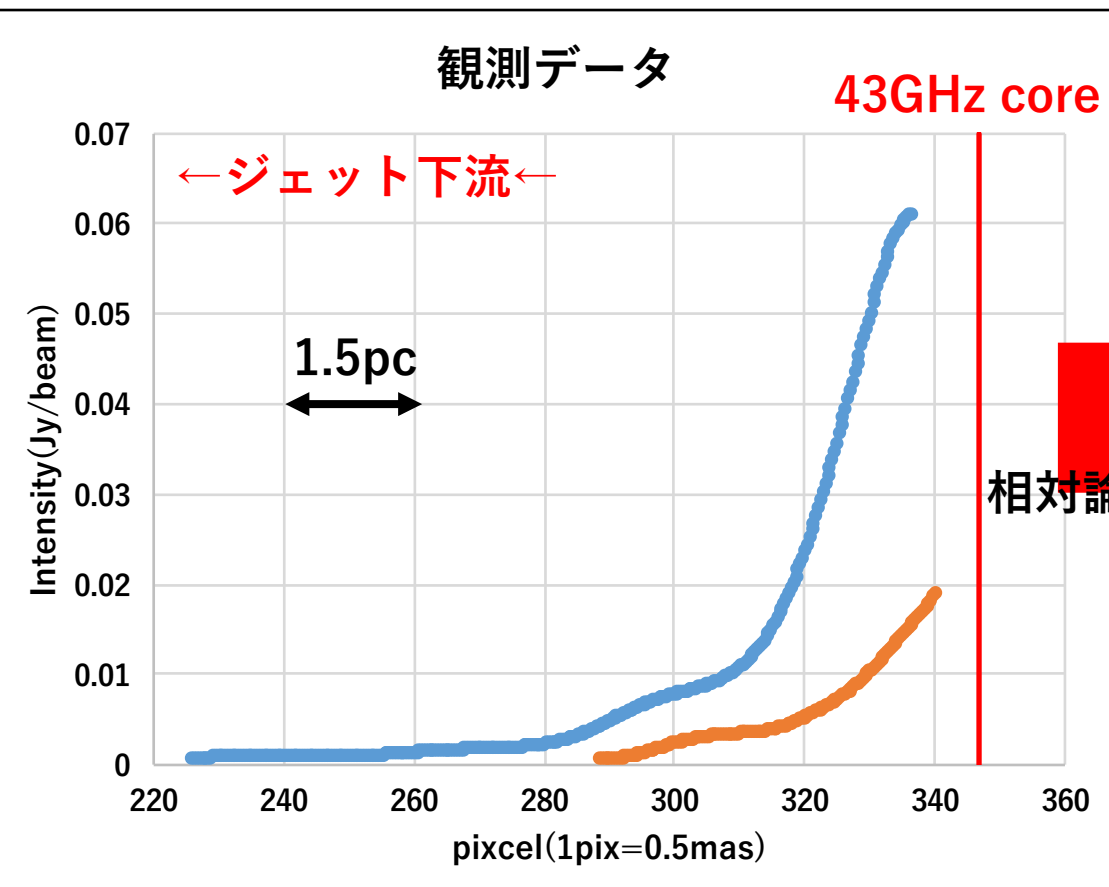


グラフ2 : 吸収領域を削除したNGC 4261



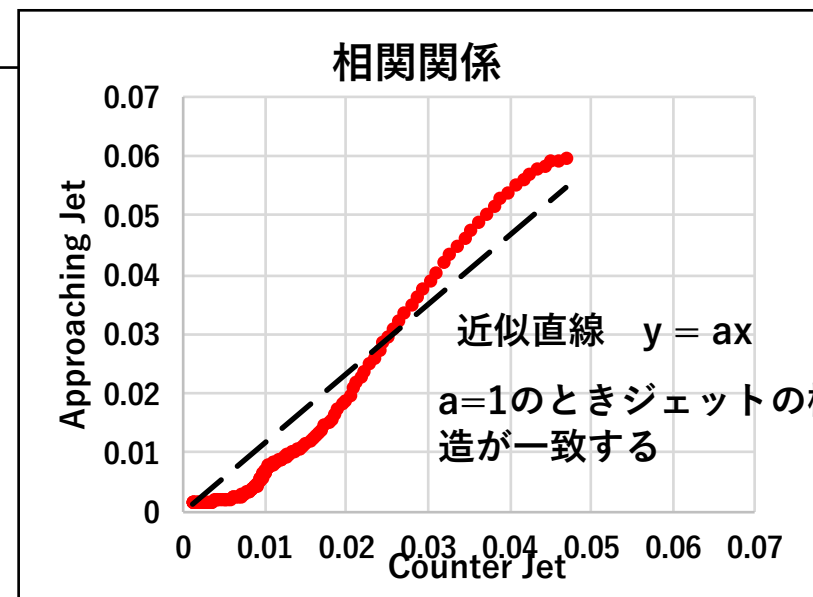
# 相対論的ビーミング効果による補正

吸収領域を削除し、43GHz core に対してApproaching Jetを反転したものを観測データとする。



$\beta, \theta$

相対論的ビーミング効果



グラフ3(左)：観測データ

グラフ4(右上)：観測データを相対論的ビーミング効果で補正したグラフ

グラフ5(右下)：グラフ4における相関関係

# 結果

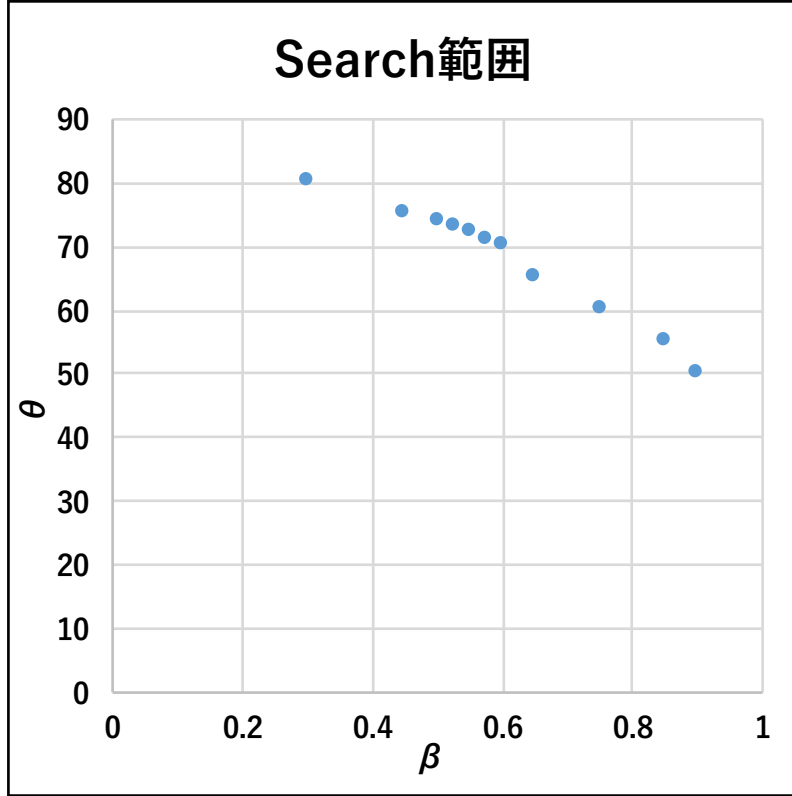


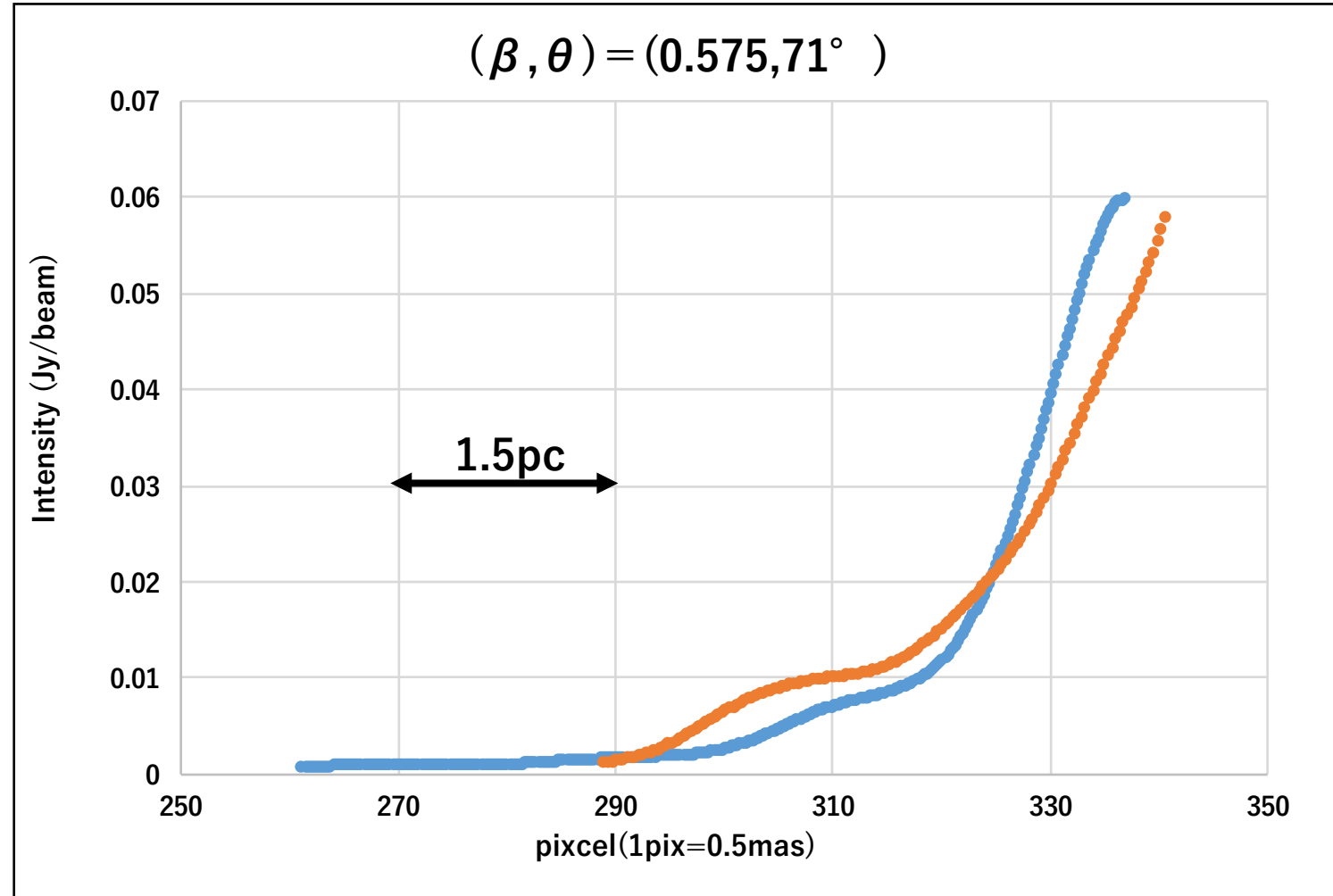
図7：Searchした  $\beta, \theta$  の組み合わせ

NGC 4261はビーミング効果があまり効いていないので、

$$1 \leq \delta \leq 1.1$$

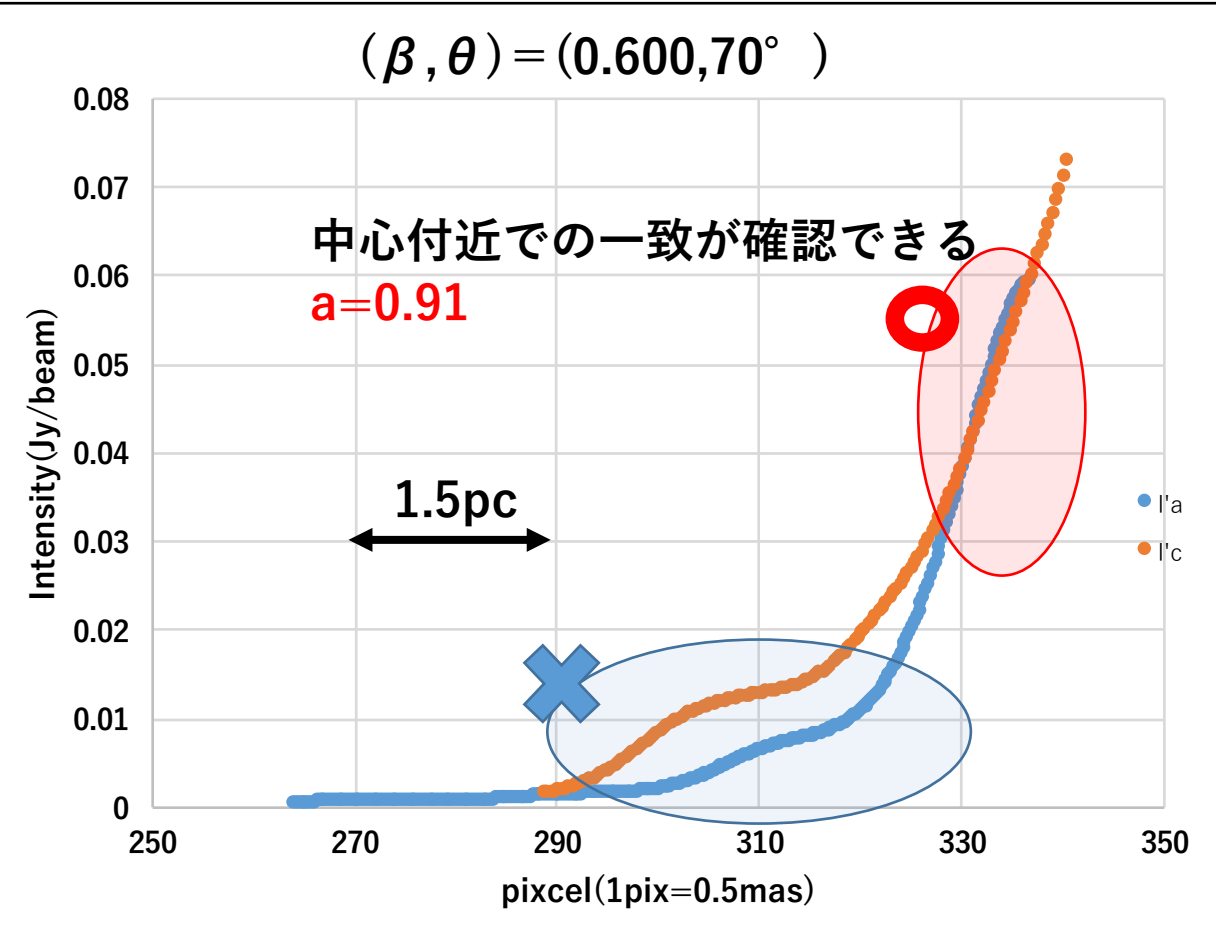
となるような  $\beta, \theta$  を選んだ。

- $(\beta, \theta) = (0.575, 71^\circ) \Rightarrow \delta = 1.007 \quad H = 1.5$
- 一致部分は少ないが、全体的に構造が似ている。
- 近似直線の傾き  $a = 1.17$



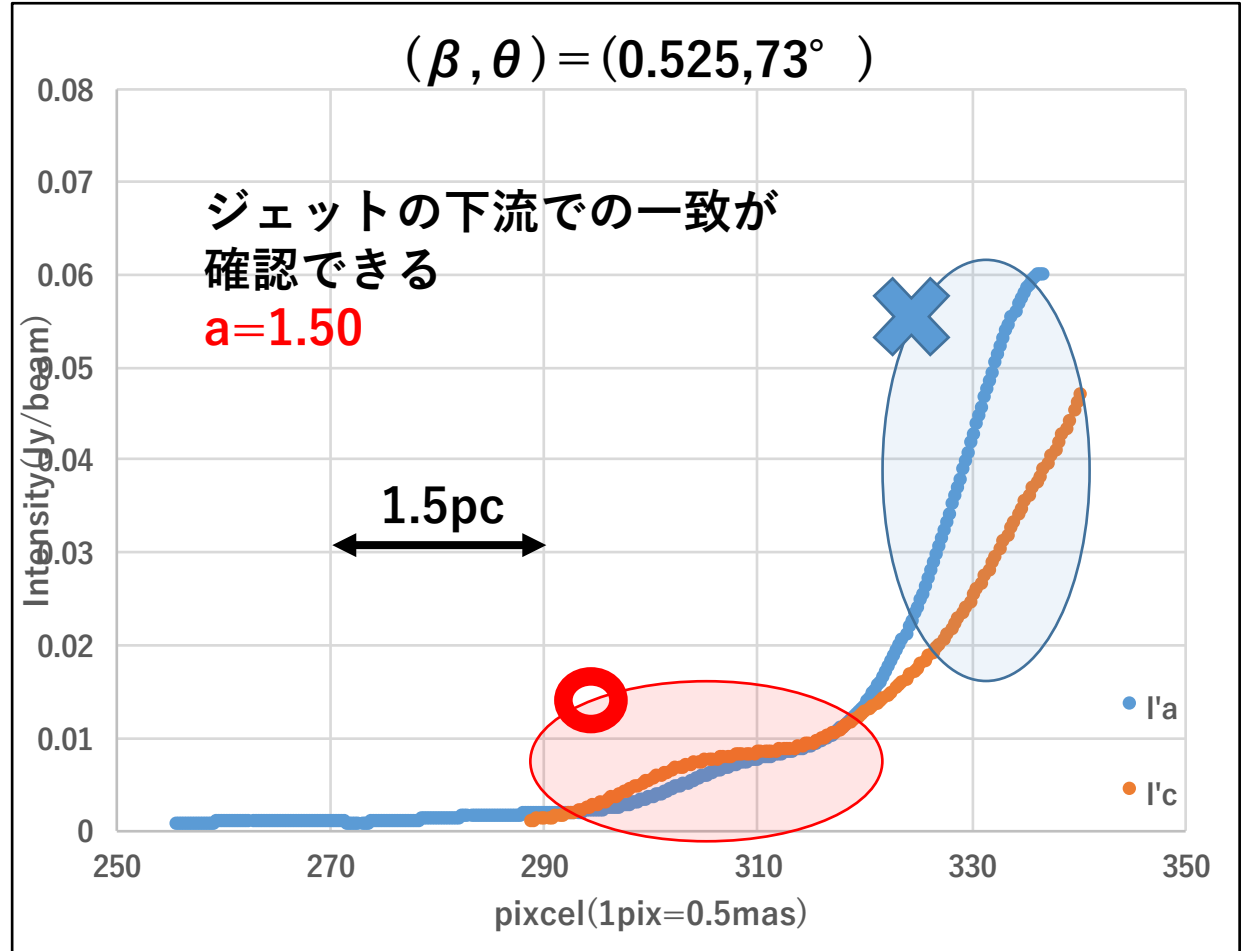
グラフ6：  $(\beta, \theta) = (0.575, 71^\circ)$  で与えられる相対論的ビーミング効果で観測データを補正したグラフ

# 別条件での様子



グラフ 7 :  $(\beta, \theta) = (0.600, 70^\circ)$  で与えられる相対論的ビーミング効果で観測データを補正したグラフ

$(\beta, \theta) = (0.60, 70^\circ)$   
 $\delta = 1.007$   $H=1.5$   
 $a=0.91$



グラフ 7 :  $(\beta, \theta) = (0.525, 73^\circ)$  で与えられる相対論的ビーミング効果で観測データを補正したグラフ

$(\beta, \theta) = (0.525, 73^\circ)$   
 $\delta = 1.005$   $H=1.4$   
 $a=1.50$

# 結果と考察

$$0.525 \leq \beta \leq 0.600$$

$$71^\circ \leq \theta \leq 73^\circ$$

の条件において大まかなApproaching JetとCounter jetの構造の大まかな一致が確認できた。

Piner(2001)：ジェット運動より、  
 $(\beta, \theta) = (0.45 \pm 0.02, 63 \pm 3^\circ)$

しかし、明らかに構造が異なる部分も確認できる。これは中心付近の吸収の影響が残っているからだと考えられる。

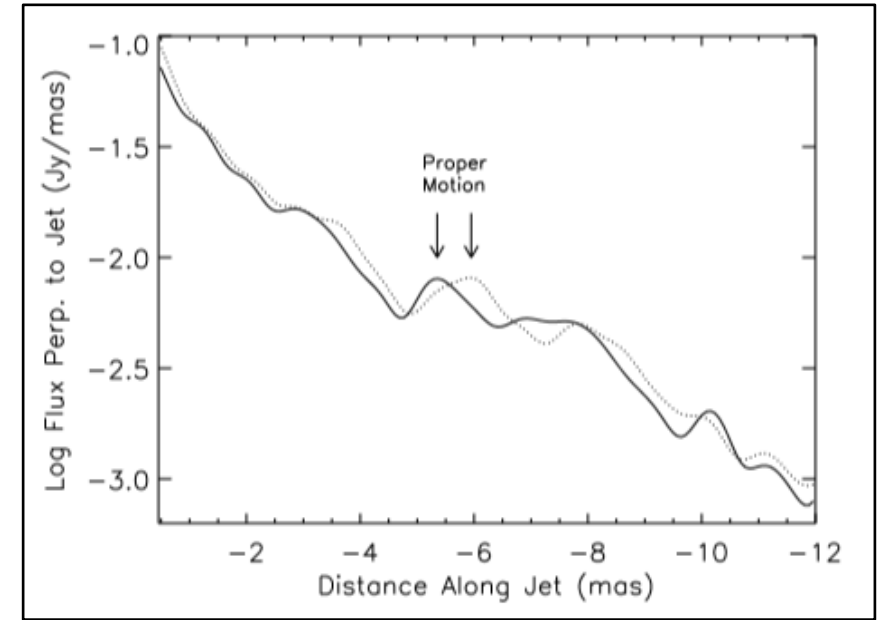


図7:Piner et al.(2001) Fig.4  
19990226~19991021でジェットの運動をモニターしたグラフ

## 今後の課題

- 中心付近の吸収領域の検討

Spectral index  $\alpha \geq 1.5$  よりも吸収領域を拡大する。たとえば、 $\alpha \geq 1$  の領域を吸収領域と指定すると、Counter Jet側のデータを15mas程度削除することになる。

- 1.4GHzのより吸収の少ない高周波での研究

NGC 4261は多周波数観測されている。2.3, 5.0, 8.3, 15GHzでは2side-jetが確認できている。この4つの周波数において同様の条件での研究を行う。

# 参考文献

- Unified Schemes for Radio-Loud Active Galactic Nuclei (C.MEGAN URRY, 1995)
- The core size measurements for two-sided jet affected by Free-Free absorption using VLBA (Takafumi Haga, 2013)
- ORIENTATION AND SPEED OF THE PARSEC-SCALE JET IN NGC 4261(3C 270) (B. Glenn Piner,2001 )

# Approaching JetとCounter Jetの長さの比 H の導出

Approaching Jet側で $r_2 = vt_2$ に到達したプラズマが観測者に向けて光を放射したとする

この光が観測されたとき、Counter Jetから届く光は時刻 $t_2$ で放射された光ではない。なぜなら、Counter Jetは観測者から離れていくジェットなので、Approaching Jetに比べて光の進む距離が長くなるからである。(A,B)

このとき、Counter Jet側で観測されるのは時刻 $t_1 (< t_2)$ で放射された光で、距離 $c(t_2 - t_1)$ 長い行路を進む。(C)

ジェットは視線角度 $\theta$ 傾いているので、

$$\cos \theta = \frac{c(t_2 - t_1)}{r_2 + r_1} = \frac{c(t_2 - t_1)}{v(t_2 + t_1)} \Leftrightarrow \beta \cos \theta = \frac{t_2 - t_1}{t_2 + t_1}$$

ここで、距離 $x_1, x_2$ 比をHとおく。

$$H = \frac{x_2}{x_1} = \frac{r_2 \sin \theta}{r_1 \sin \theta} = \frac{vt_2}{vt_1} = \frac{t_2}{t_1}$$

つまり、

$$\beta \cos \theta = \frac{H - 1}{H + 1} \Leftrightarrow H = \frac{1 + \beta \cos \theta}{1 - \beta \cos \theta}$$

$t = 0$ でcentral engineから速度 $v$ で双方向にプラズマの塊が放出されたとする。時間 $t$ 秒後には、距離 $r = vt$ に到達する

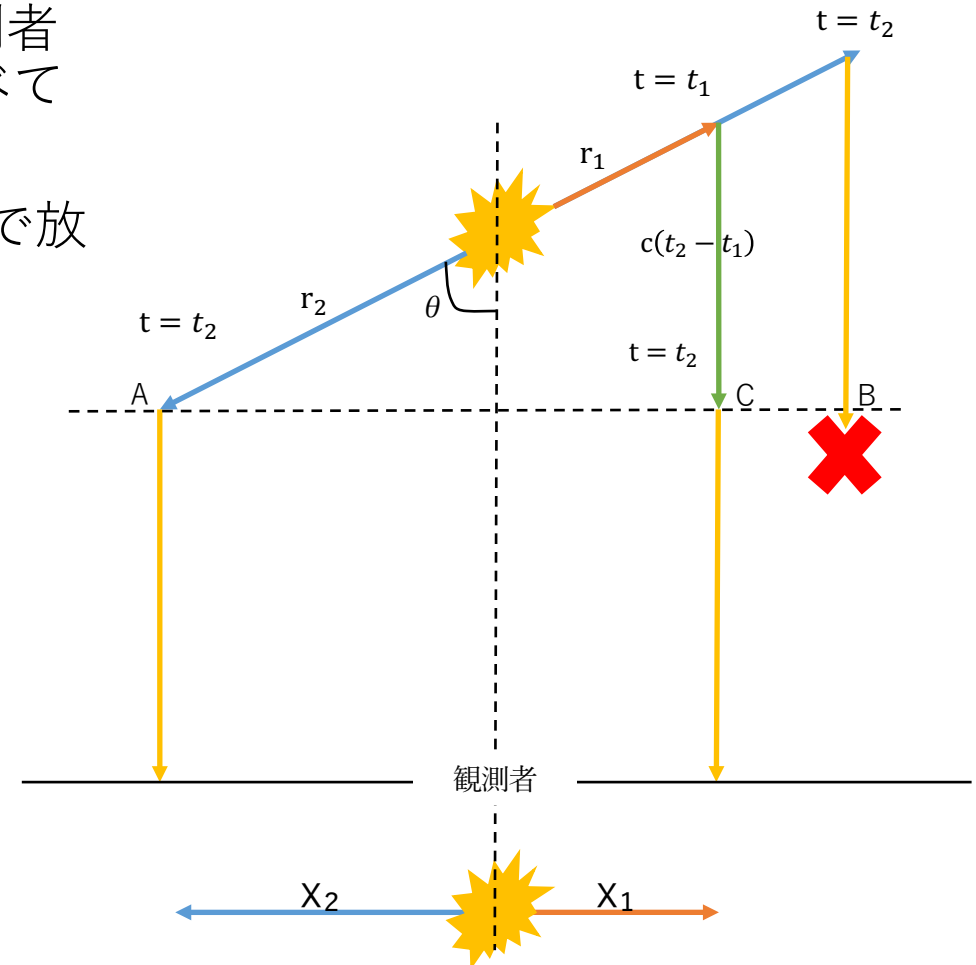


図7：時刻 $t_2$ におけるジェット

# NGC 4261において43HGzコアに収束する様子

- Haga et al (2013)より、  
NGC 4261のコアは周波数が大きくなるにつれて43GHzコアに近づく。  
無限大の周波数では43GHzコアから、 $82 \pm 16 \mu\text{as}$ 離れている位置に漸近する。

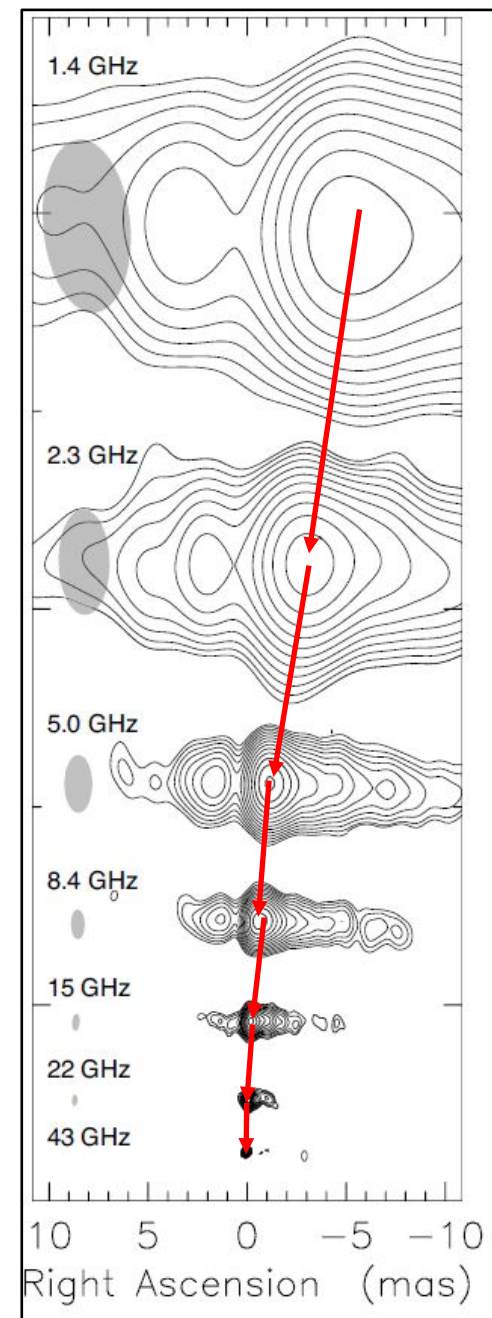
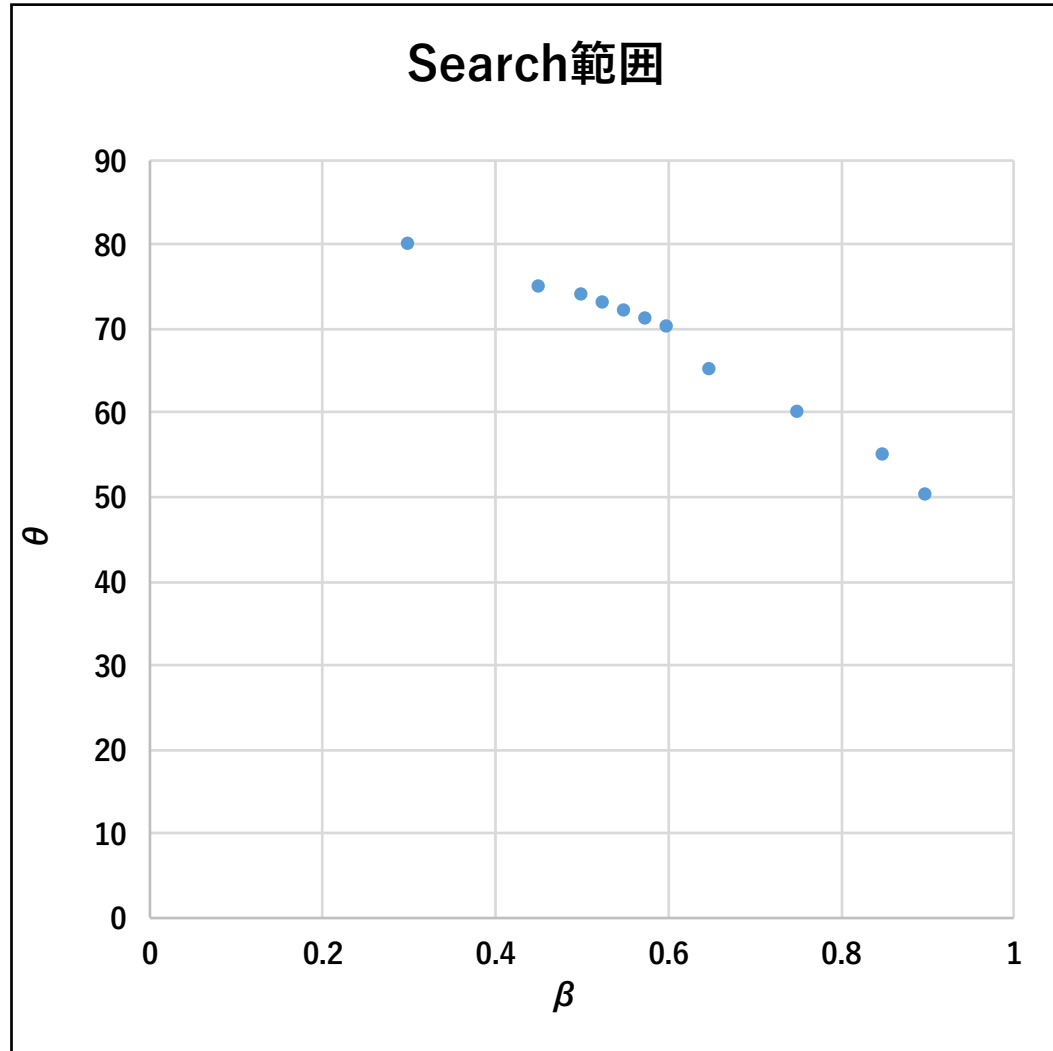


図8 : Haga (2013) Fig1



# Search範囲の結果



$\beta$	$\theta$	$\delta$	H	a
0.300	80	1.006	1.11	2.98
0.450	75	1.011	1.26	1.78
0.500	74	1.004	1.32	1.68
0.525	73	1.005	1.36	1.53
0.550	72	1.006	1.41	1.33
0.575	71	1.007	1.46	1.17
0.600	70	1.007	1.52	0.91
0.650	65	1.048	1.76	0.54
0.750	60	1.058	2.20	0.23
0.850	55	1.028	2.90	0.09
0.900	50	1.034	3.76	0.02

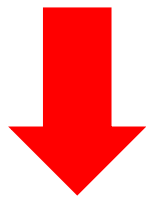
# 本研究の手法におけるPiner(2001)の検証

- Piner et al.(2001)より、

$$(\beta, \theta) = (0.46, 63^\circ)$$

$$\Rightarrow \delta = 1.12 \quad H=1.5$$

- 一致部分は少ないが、全体的な構造が似ている。
- 近似直線の傾き  $a=0.99$



- $\beta, \theta$  の組み合わせは異なるが、 $(\beta, \theta) = (0.575, 71^\circ)$  の条件と似た構造になった。

