

GENJI観測に基づく3C 84の

電波構造の変化の観測と ガンマ線活動の関係

VLBI懇談会シンポジウム

2018年12月1日

山口大学 M1

平野あゆみ

共同研究者

藤沢健太

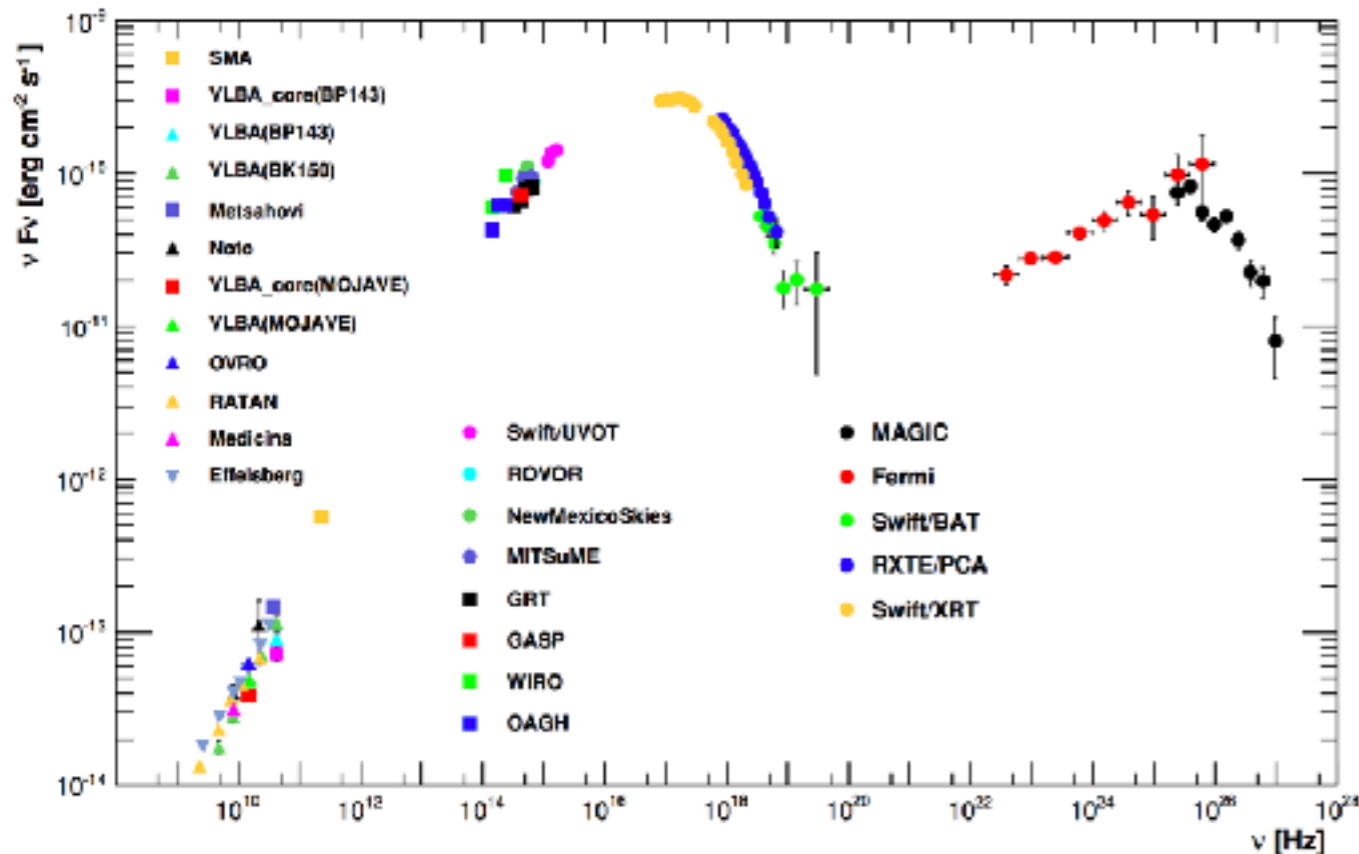
新沼浩太郎

AGNジェット

活動銀河核の中心部から放射される
相対論的ジェット

■ ジェットからの非熱的放射は広帯域

電波～ガンマ線 (GeV-TeV)



ブレーザーMrk421の多波長スペクトル (Abdo et al. 2011)

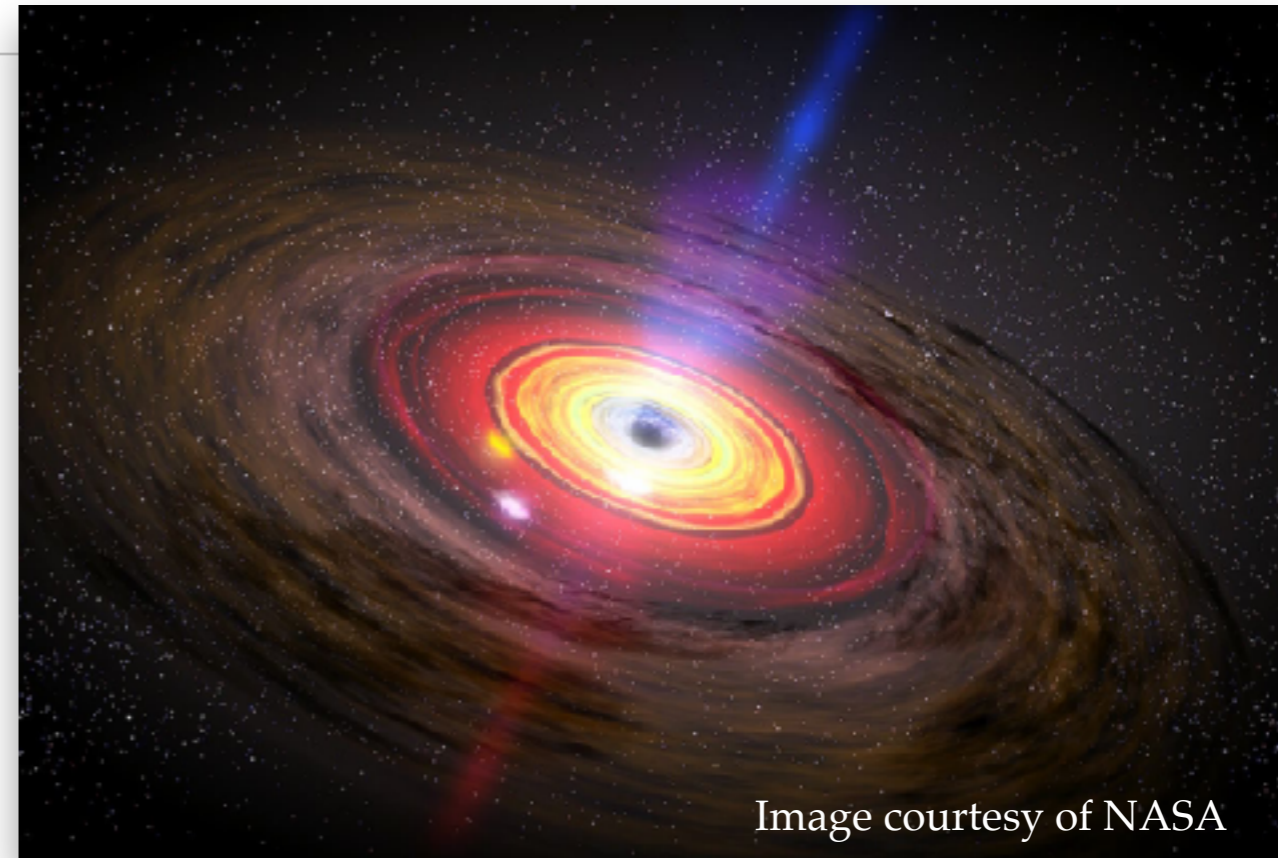


Image courtesy of NASA

■ Fermi衛星 / チェレンコフ望遠鏡

→ガンマ線源の検出増加

ブレーザーだけでなく電波銀河からも検出

Question...

ガンマ線放射位置、生成機構

ガンマ線検出

☑ VLBIによる高分解能観測

ジェットにおけるガンマ線放射領域の電波帯でのカウンターパートを高分解能観測によって捉えることができる

☑ ガンマ線で明るい電波銀河

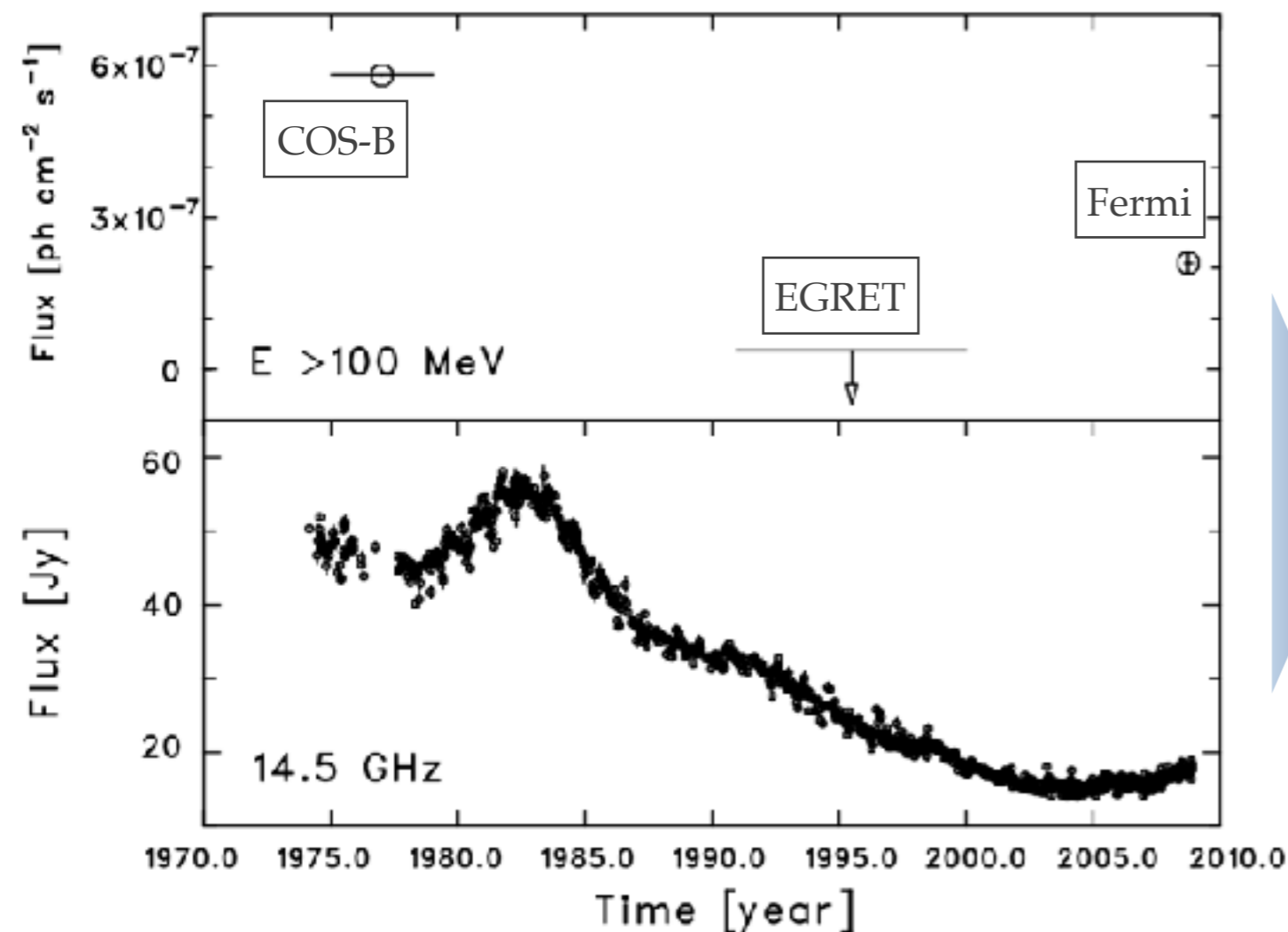
sub-pcスケールのガンマ線放射領域を分解するには
近い+ジェットを角度を持って観測できる+ガンマ線検出されている天体



3C 84

3C 84

- ◆巨大楕円銀河NGC 1275 (赤方偏移： $z=0.0176/1 \text{ mas}=0.353 \text{ pc}$)
- ◆2008年以降、Fermi衛星による観測でガンマ線検出 –EGRETの観測限界値より7倍明るい
- ◆電波帯：1980～減光/2005～増光傾向 (新たなジェット成分生成)



数十年のタイムスケール
ではガンマ線活動は電波
帯の光度曲線の振る舞い
と似ている...

電波放射領域
ガンマ線放射領域
関係している

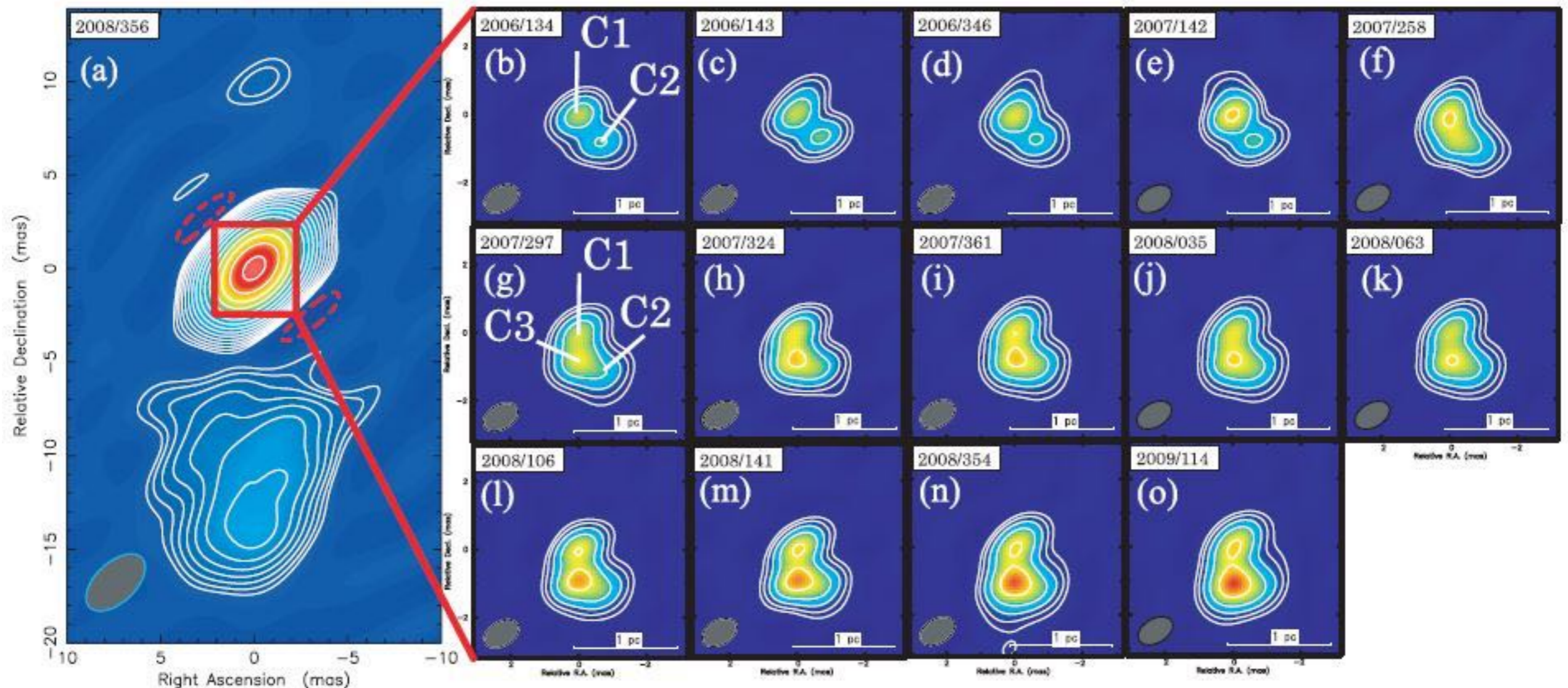
(上)100TeV以上で観測された3C84のガンマ線活動(下)1974年2月-2008年
12月にUMRAO 14.5GHzで観測された光度曲線 (Abdo et al. 2011)

3C 84 (Nagai et al. 2010)

VERA 22GHz観測

2006年：sub-pcスケールのコアが明るくなり、コア領域から新たな成分C3が生まれている

→→ 成分C3は南へ弾道的に移動しながら増光



(a) JVN 8 GHzイメージ (b)-(o) VERA 22 GHzイメージ (Nagai et al. 2010)

GENJI programme

Gamma-ray **E**mitting **N**otable-AGN monitoring by **J**apanese VLBI

AGNにおけるガンマ線放射領域の探査、ガンマ線放射機構の
解明を目指すVLBIモニタリングプログラム

(PI: 新沼 浩太郎)

■ VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry)

VERAプロジェクト観測のシステムチェックとして観測される
FRINGEファインダーの観測時間をGENJI対象天体にあてる

1天体あたり1~2週間に一度の

高頻度モニタリング観測が実現する!



最大角度分解能

22 GHz~1.2 mas

43 GHz~0.6 mas

■ ターゲット天体：ガンマ線検出されたAGN 10天体

8天体/ブレイザー、2天体/電波銀河 (M87はKaVA large programへ移行)

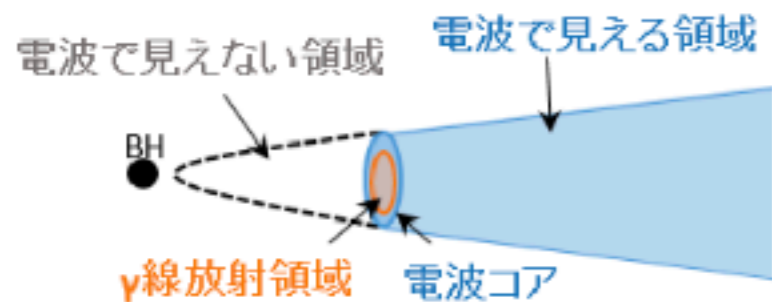
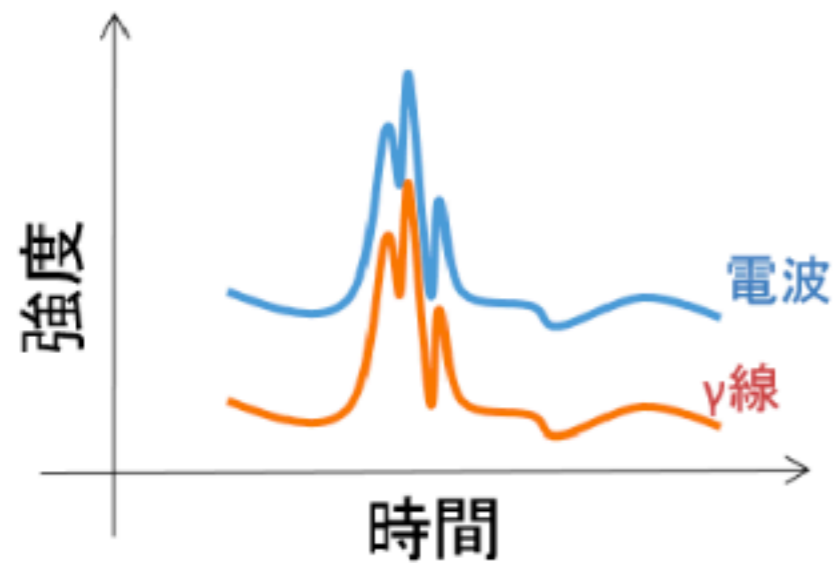
(M87, BL Lac, PKS1510-089, OJ287, CTA102, NRAO530, 3C454.3, 3C84, DA55, DA406)

GENJI programme

電波とガンマ線放射の強度変動の違いからガンマ線放射領域の位置予測

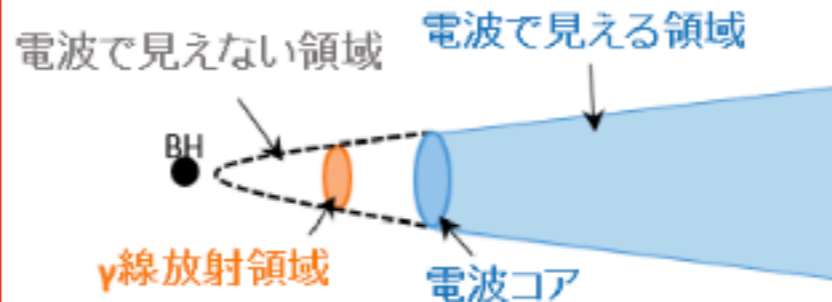
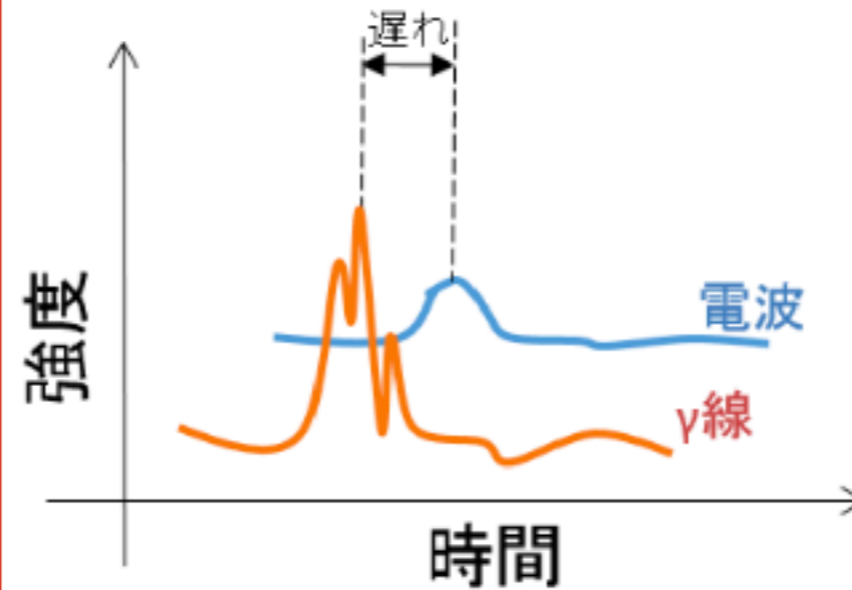
(1) 電波とガンマ線の強度変動の振る舞いが一致

ガンマ線領域 = 電波領域位置



(2) 電波の振る舞いがガンマ線に対して遅れる

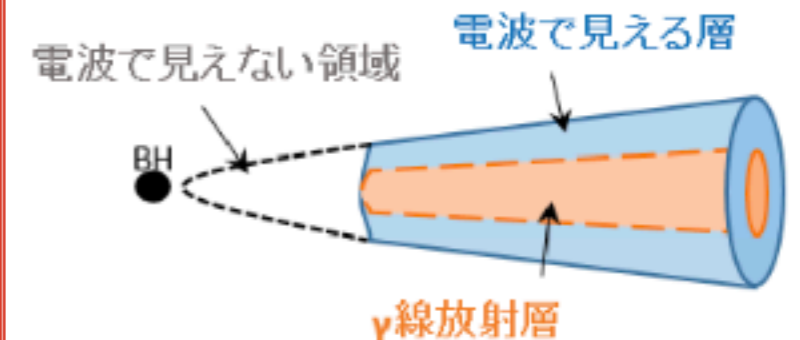
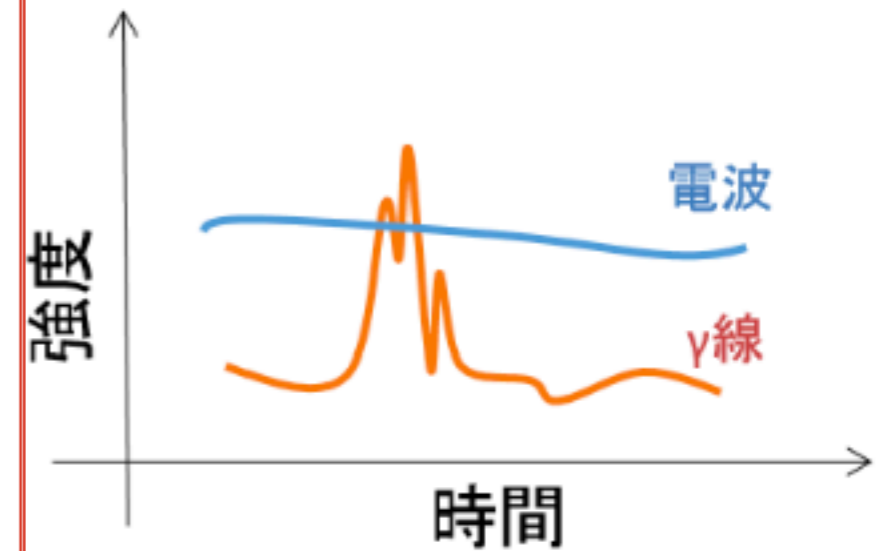
ガンマ線領域 = 電波領域上流



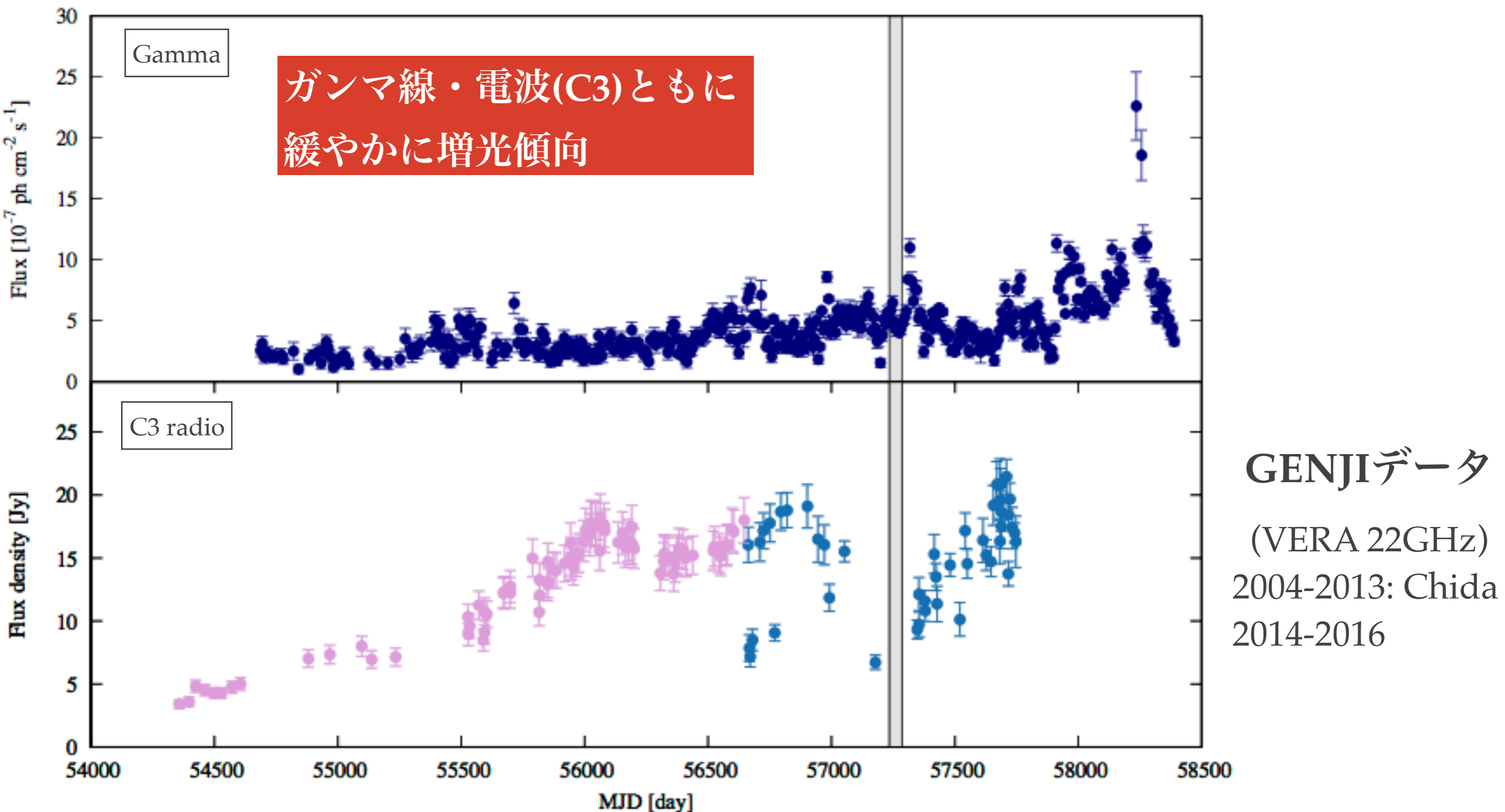
(3) 電波とガンマ線の振る舞いに関係がない

ガンマ線領域 ≠ 電波領域位置

Ex). 多層構造



3C 84 - C3 light curve -

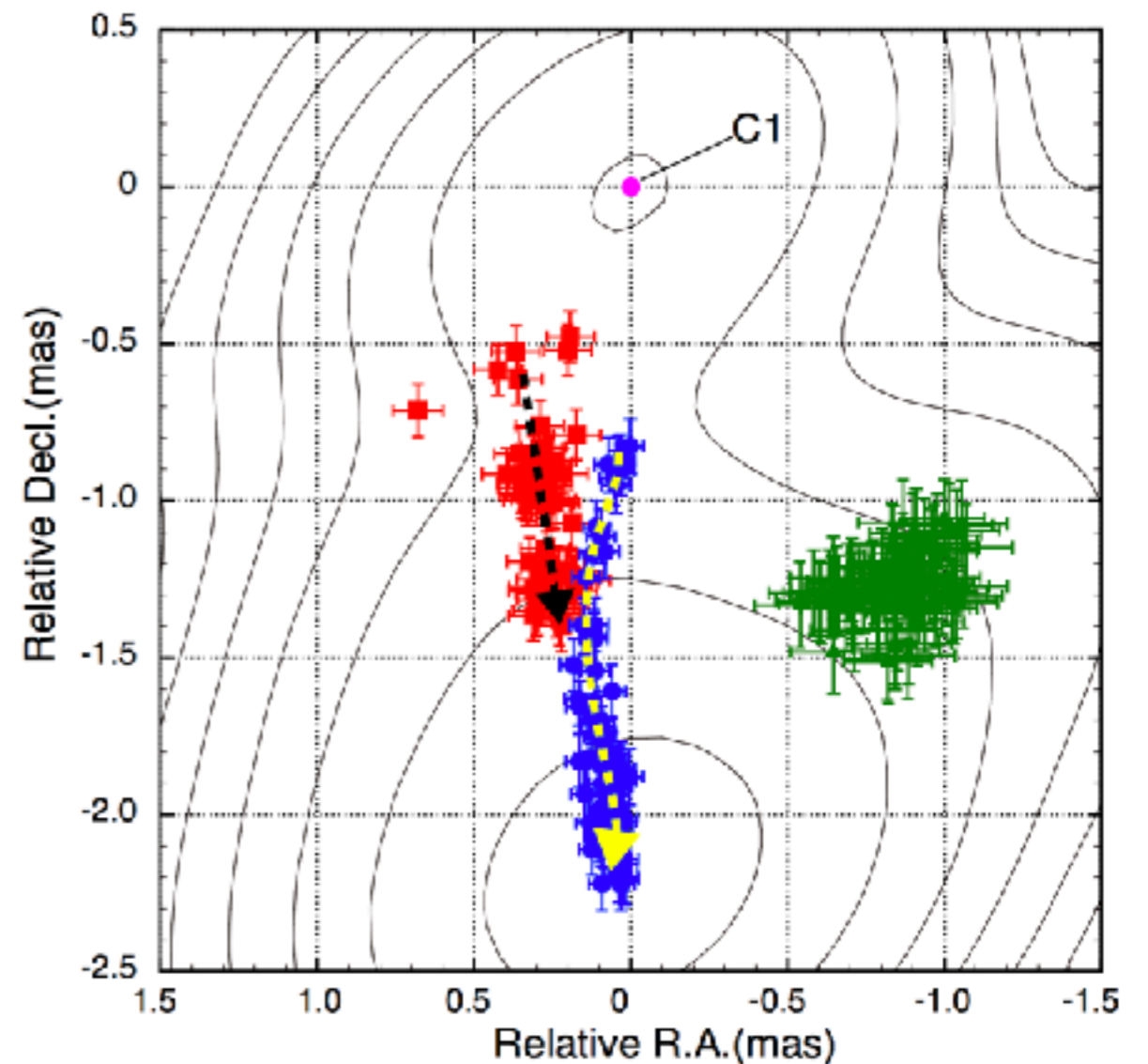
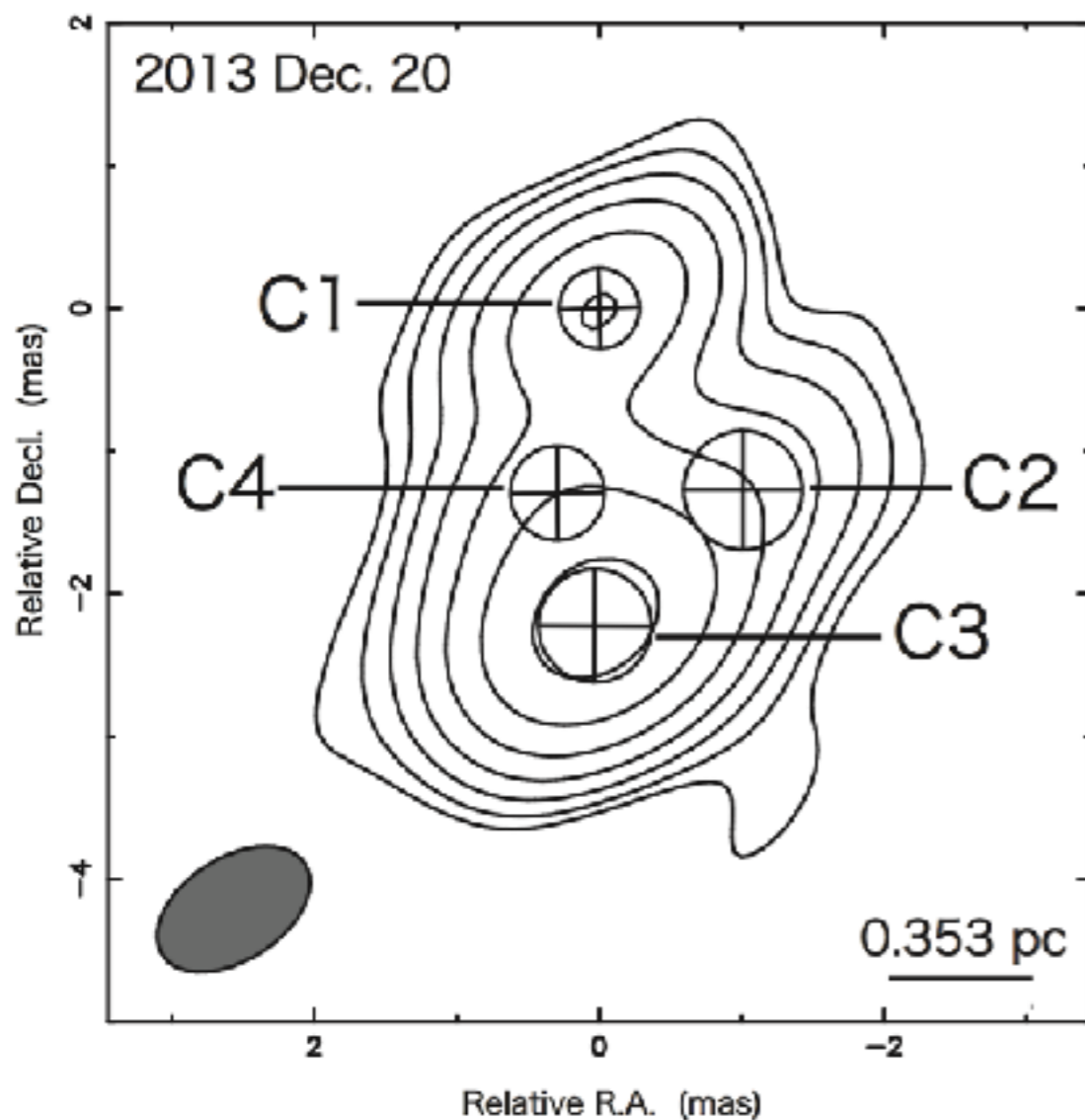


(上) Fermiによるガンマ線光度曲線 (下) 2004-2016年におけるC3の電波帯光度曲線

3C 84 (Hiura et al. 2018)

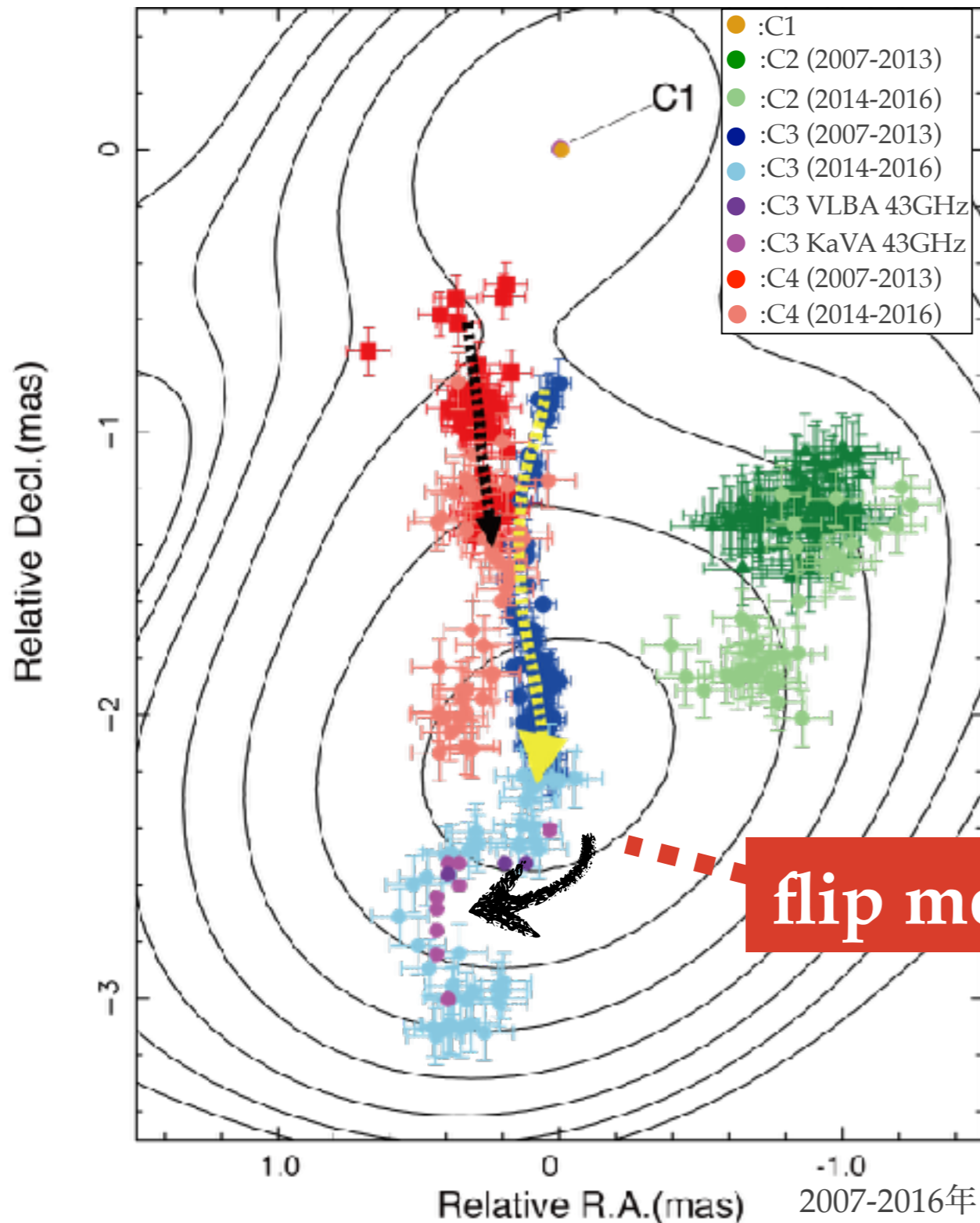
GENJIデータ：2007年10月～2013年12月（5年間）のVERA 22 GHz観測（成分C1～C4）

C3/C4：主に南(ジェット軸)方向へ動く



(左) VERA 22 GHzモデルフィッティングイメージ (右) 2007-2013年の各成分の位置プロット (Hiura et al. 2018)

3C 84 - position -



GENJIデータ

(VERA 22GHz)

2007-2013:

Hiura et al. (2018)

2014-2016

(KaVA 43GHz)

(VLBA 43GHz)

2015-2016:

Kino et al. (2018)

flip motion

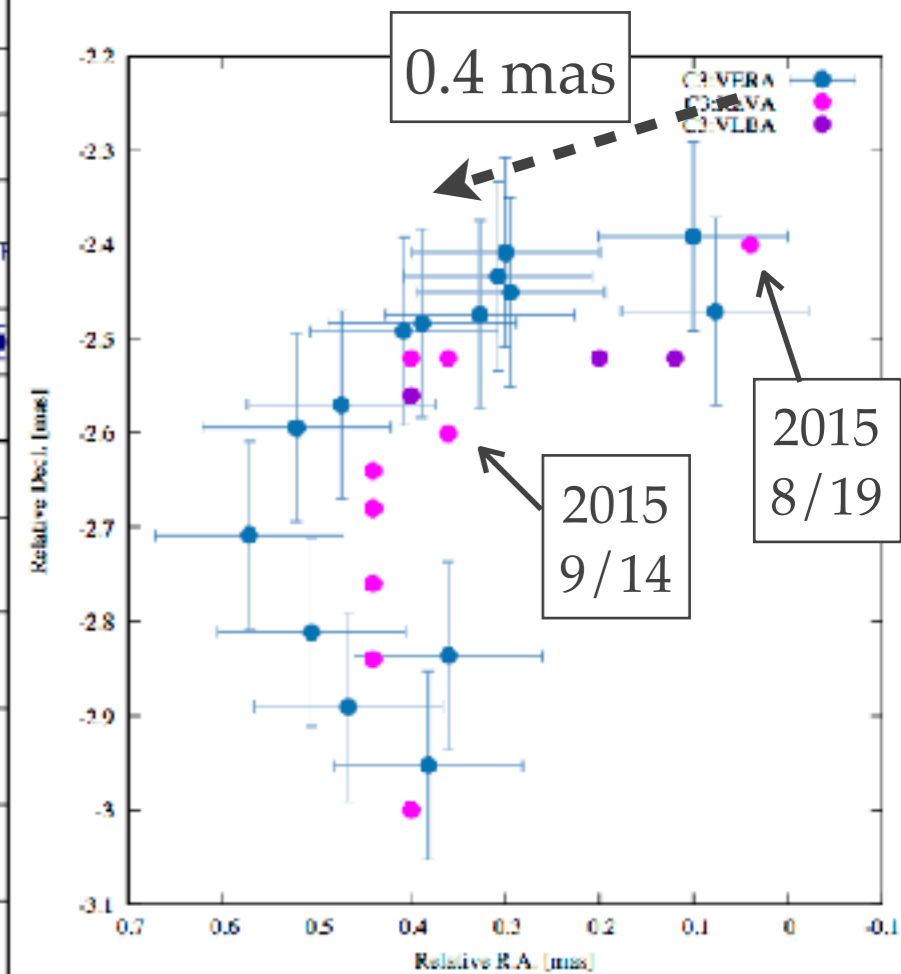
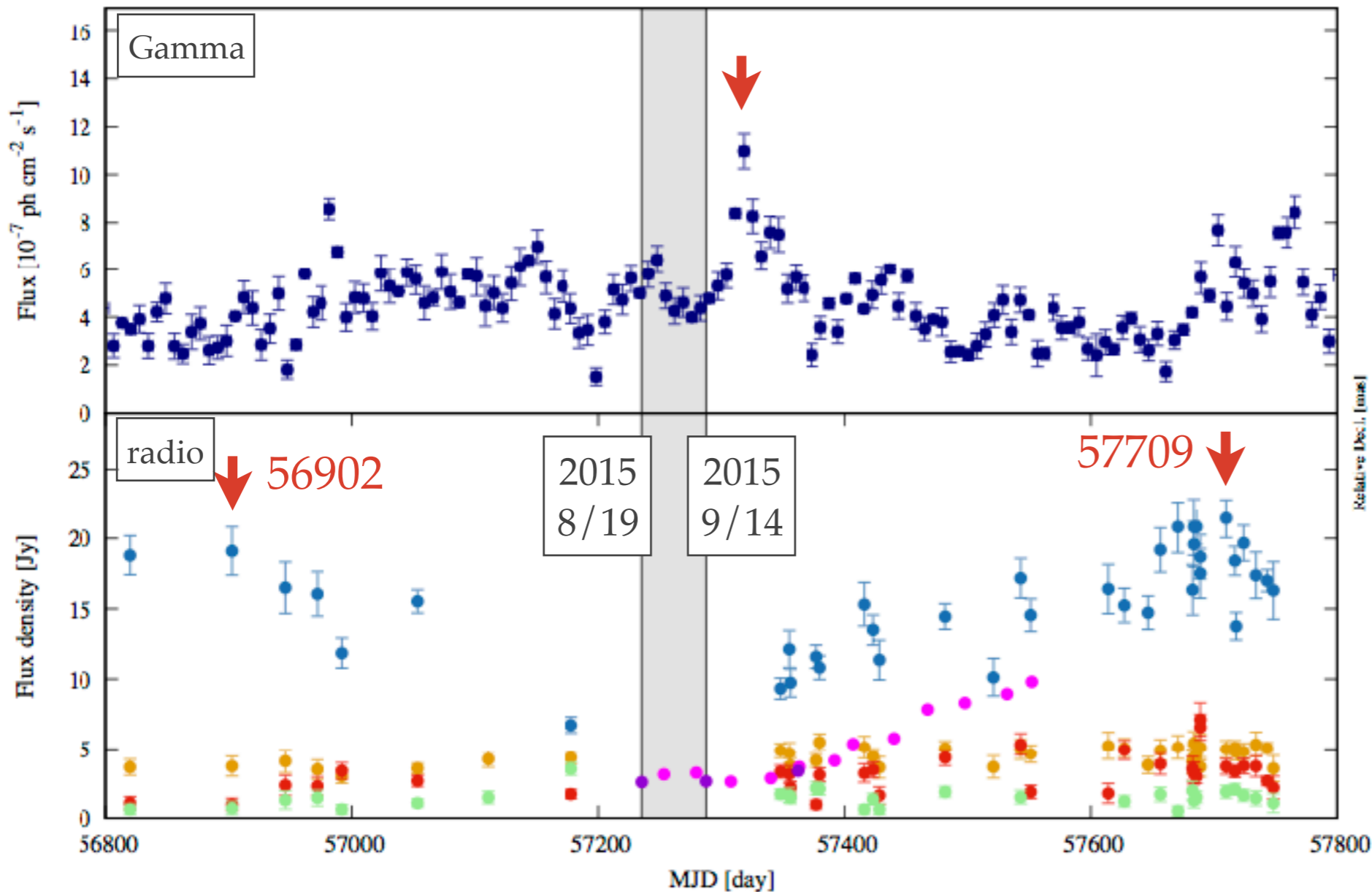
...2015年8~9月

C3 : 0.4mas (0.14pc) 東へ

3C 84 - flip motion -

ガンマ線/電波帯(C3)はフリップ後増光傾向

- ガンマ線 : 2倍フラックス値上昇
- 電波 (C3) : MJD56902 (19 Jy) から減光傾向、7 Jyまで落ち込み増光へ → MJD57709 : 21 Jy



MJD57053-57550間のC3位置変化

(上) ガンマ線の光度曲線 (下) 電波帯の光度曲線

3C 84 - flip motion -

■ ジェット運動の方向変化に伴うフラックスの減光/増光

高密度な周辺物質(clump)との衝突

- ◆ ジェット推力 < クランプのラム圧 → ジェットのフリップを起こす
- ◆ クランプによる free-free 吸収 → フラックスの減光

free-free optical depth

$$\tau_{ff} \approx 5.6 \times 10^{-8} \bar{g} \left(\frac{T}{10^4 \text{K}} \right)^{-3/2} \left(\frac{n_e}{\text{cm}^{-3}} \right)^2 \left(\frac{\nu}{\text{GHz}} \right)^{-2} \left(\frac{L}{\text{pc}} \right)$$

≈ 0.93

Fujita et al. (2017)

$\bar{g} \sim 4$: Gaunt factor

$T = 10^4 \text{K}$: 周辺ガス温度

$n_e \sim 10^5 \text{cm}^{-3}$: ガス密度

$\nu = 22 \text{GHz}$: 観測周波数

$L = 0.2 \text{pc}$: ガスの厚さ

光学的に厚い

高密度な直径0.2 pcの球状のクランプ考えると吸収は起こり得る

3C 84 - flip motion -

■ フリップ後に見られるガンマ線活動 (MJD57317) ...C3の運動に同調？

高密度な周辺物質(clump)との衝突に伴うショックの可能性

◆衝突によるショック

→電子の加速 (シンクロトロン放射/逆コンプトン散乱) →高エネルギー粒子増加

ジェットの運動エネルギー

$$\begin{aligned}
 E_b &= mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right) \\
 &= VN_p m_p c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right) \\
 &\simeq 9.5 \times 10^{44} \left(\frac{N_p}{10^9 \text{m}^{-3}} \right) \left(\frac{m}{2 \times 10^{-27} \text{kg}} \right) \text{ J}
 \end{aligned}$$

$$\Delta E = 6.8 \times 10^{44} \text{ J}$$

jet	Before 2014/9/2 ~2015/6/5	After 2016/4/3 ~2016/8/27
β^*	0.228	0.171
d^{**} [mas]	0.823	0.562
E	9.5×10^{44}	2.7×10^{44}

* : 表の期間のC3速度 (ジェットの視野角は25° Abdo et al.2009)

* : 期間内のモデルサイズの平均値

N_p : ジェットの数密度

m : 陽子の質量

V : C3のモデル体積

3C 84 - flip motion -

■ フリップ後に見られるガンマ線活動 (MJD57317)

高密度な周辺物質(clump)との衝突によるショック

◆衝突によるショック

→電子の加速 (シンクロトロン放射/逆コンプトン散乱) →高エネルギー粒子増加

ガンマ線放射エネルギー

$$\Delta E = 6.8 \times 10^{44} \text{ J}$$

$$E_{\gamma} = \left(\frac{I}{1.8 \times 10^{-7} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}} \right) \times 4\pi \left(\frac{d}{2 \times 10^{26} \text{ cm}} \right)^2 \left(\frac{s}{49 \text{ day}} \right)$$
$$= 3.8 \times 10^{46} \text{ J}$$

I : ガンマ線強度
 d : 3C84までの距離
 s : フレア期間

今後の研究方針

1. 引き続き3C 84の電波構造とガンマ線活動時期との相関を捉える

本研究で2014～2016年の解析を行った。

→ 2017年以降のデータ解析を進める。

ガンマ線光度曲線では2018年で最も活動的である。

2. フリップモーションのより詳細な議論を行う

物理パラメータの推定を進めていく

まとめ

- ガンマ線放射を伴う電波銀河3C84の電波構造を明らかにしガンマ線活動時期との比較によりガンマ線放射領域の位置の同定を目指す

GENJIデータにより2015年にジェット成分のフリップ・モーションを確認した

▶局所的なガンマ線フラックスの増光

- 3C 84では数年のタイムスケールにおいて電波帯の光度変化とガンマ線活動の相関を示すような結果を得た
- 本解析期間以降もガンマ線が活動的でありGENJIデータによる電波構造解明の継続フリップ・モーション時期のより詳細な運動をみる