

フェルミ衛星による Broad Line Radio Galaxy 3C120のモニター観測と多波長 データによる MeV/GeVガンマ線放射 位置と放射機構の探索

田中康之^A, 土居明広^B, 井上芳幸^B, C. C. Cheung^C, L. Stawarz^B, 深沢泰司^D,
M.A. Gurwell^E, 田原将也^F, 片岡淳^F, 伊藤亮介^D

広島大宇宙科学センター^A, ISAS/JAXA^B, NRL^C, 広大理^D, Harvard-Smithsonian
Center for Astrophysics^E, 早大理工^F

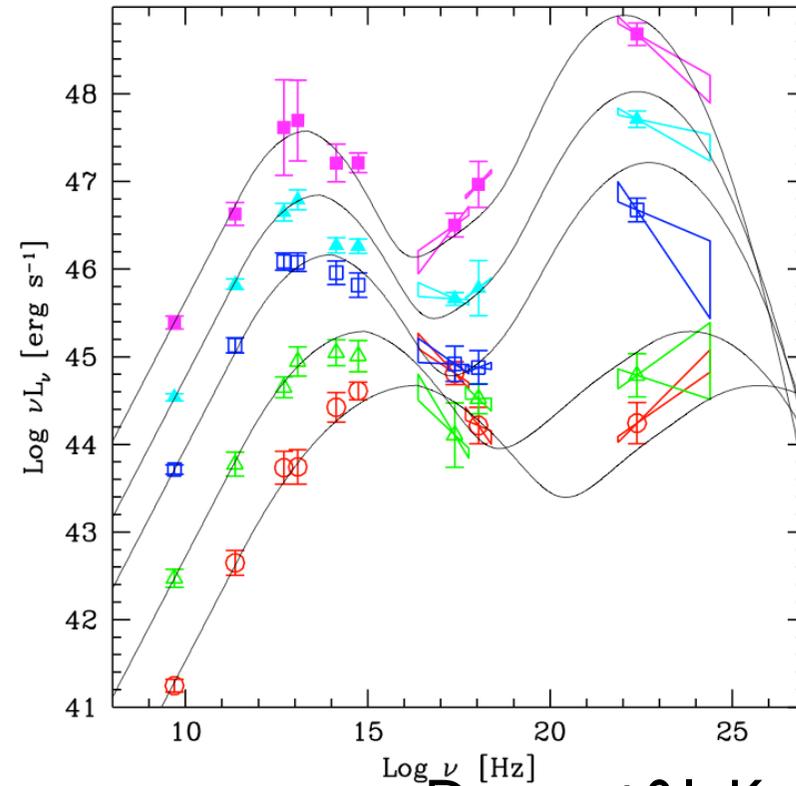
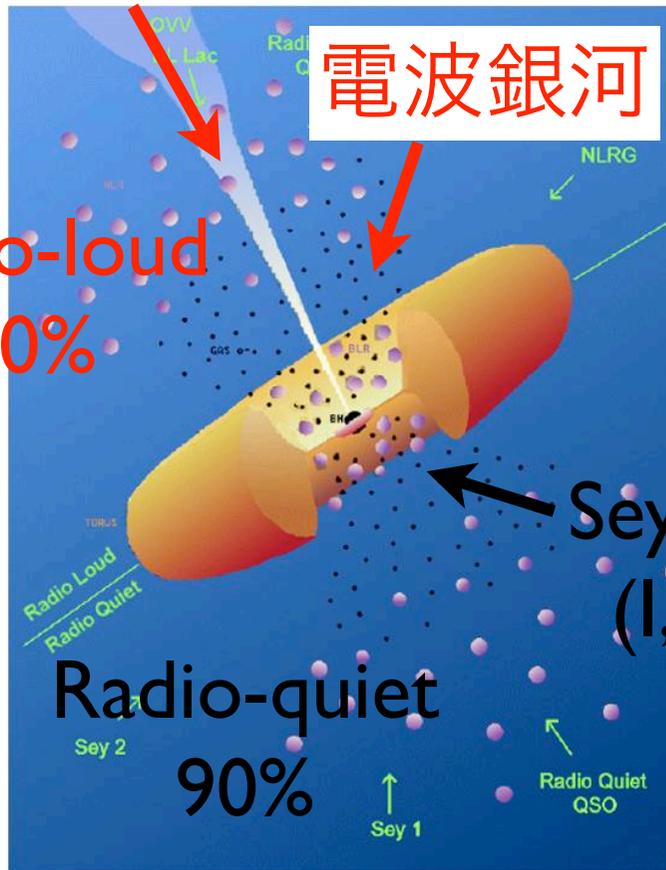
Tanaka et al. 2015, ApJL, arXiv: 1412.3903

ブレイザーと電波銀河

ブレイザーSED

ブレイザー

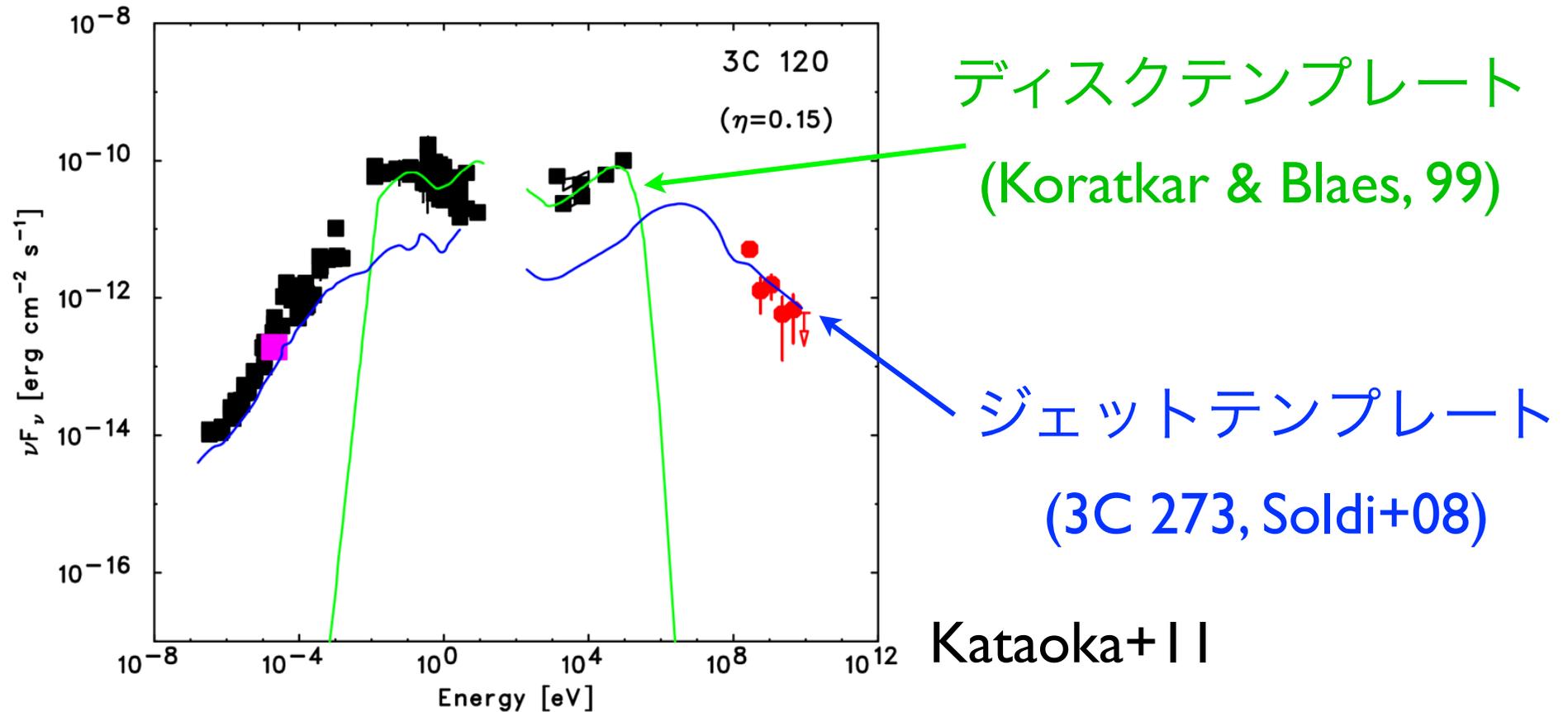
Radio-loud
10%



Unified model of AGN

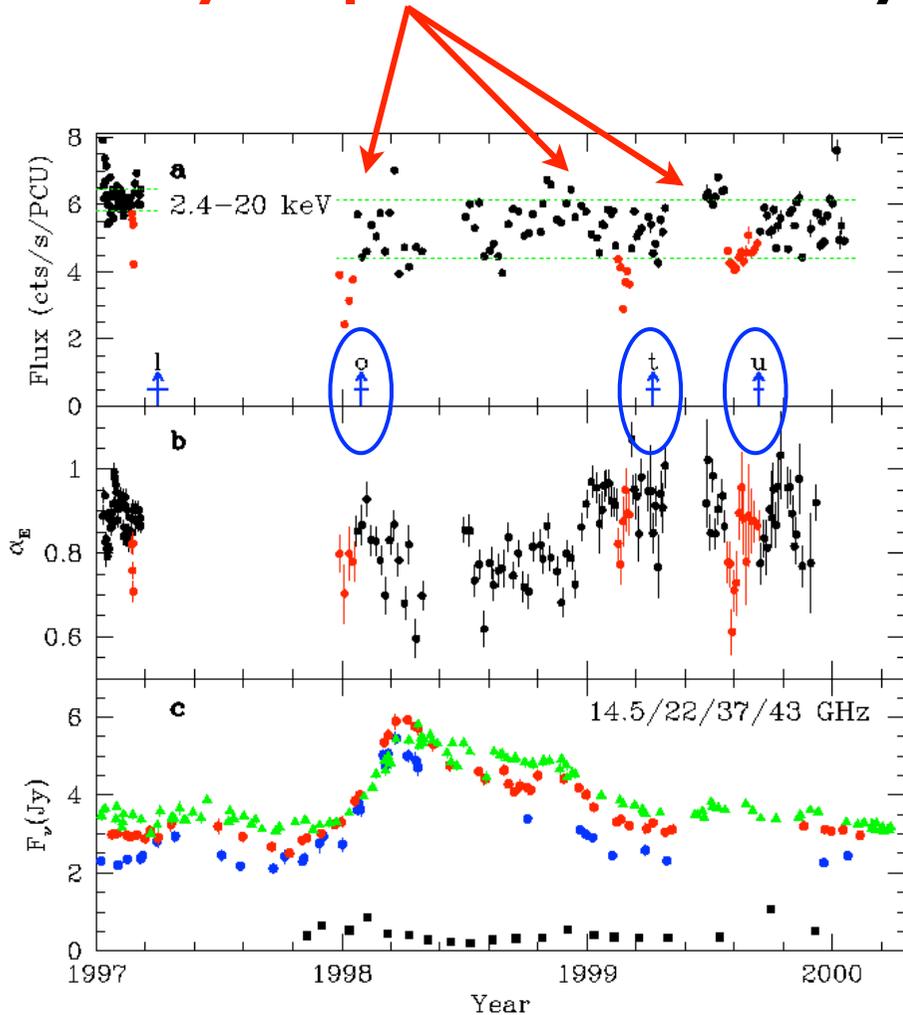
- ビーミング効果により非熱的放射が全波長で卓越 ($L_{\text{obs}} \sim \delta^4 L$, beaming factor $\delta \sim 10$)
- ジェットで加速された電子によるシンクロトロン放射+逆コンプトン放射

電波銀河の広帯域スペクトル (3C 120を例に)

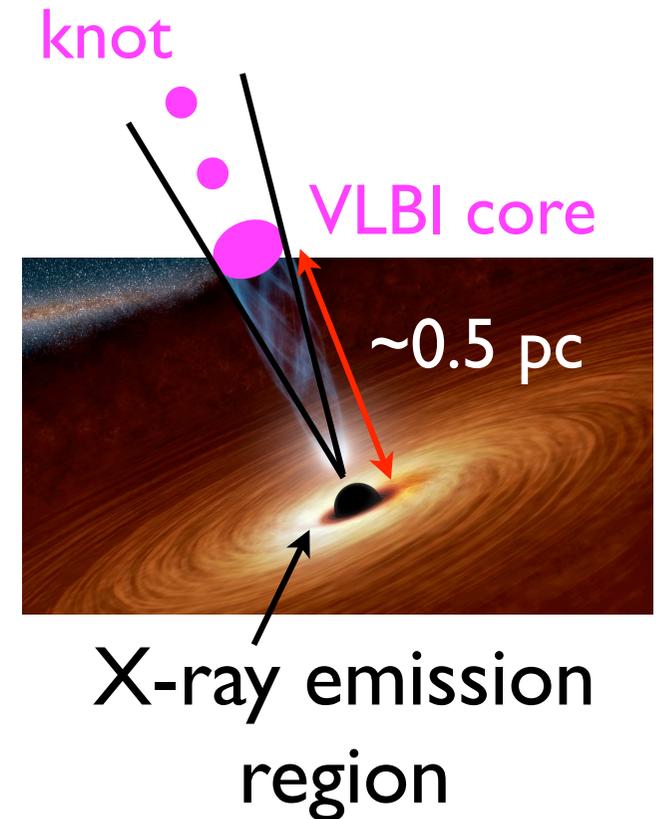
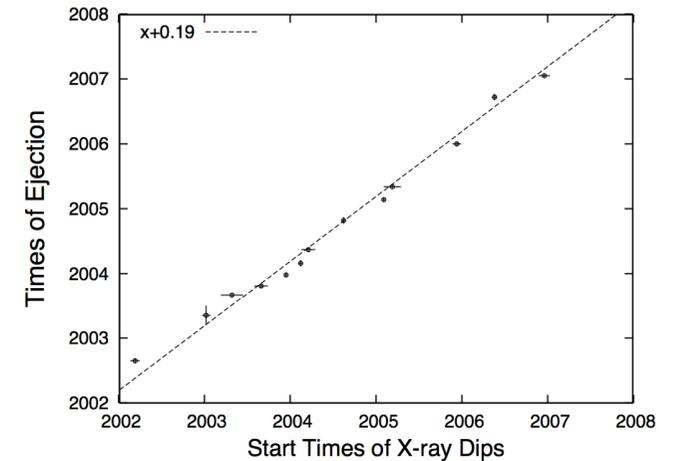
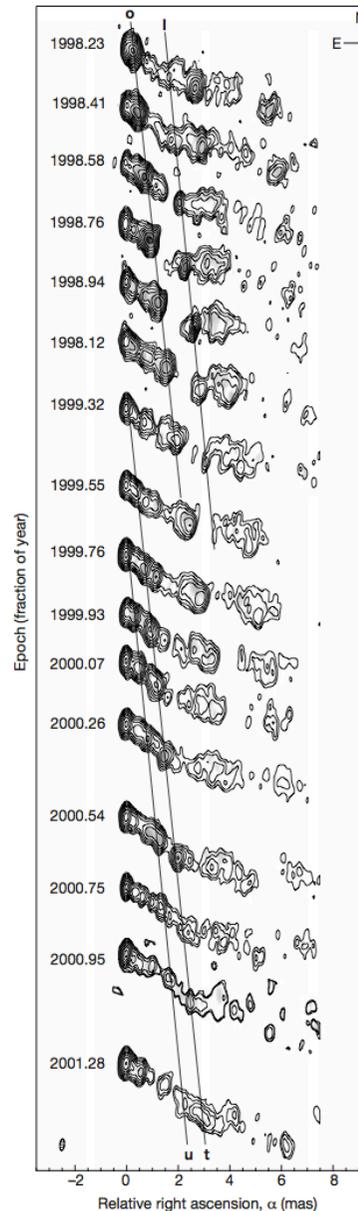


- 広帯域スペクトルは、**熱的ディスク放射**+ **非熱的ジェット放射**でよく表される (見込み角 ~ 14 deg, beaming factor $\delta \sim 2-3$)
- Disk-jet connectionの研究に最適な天体で、多くの先駆的な研究がなされてきた
- ガンマ線放射位置や放射メカニズムはよくわかっていない

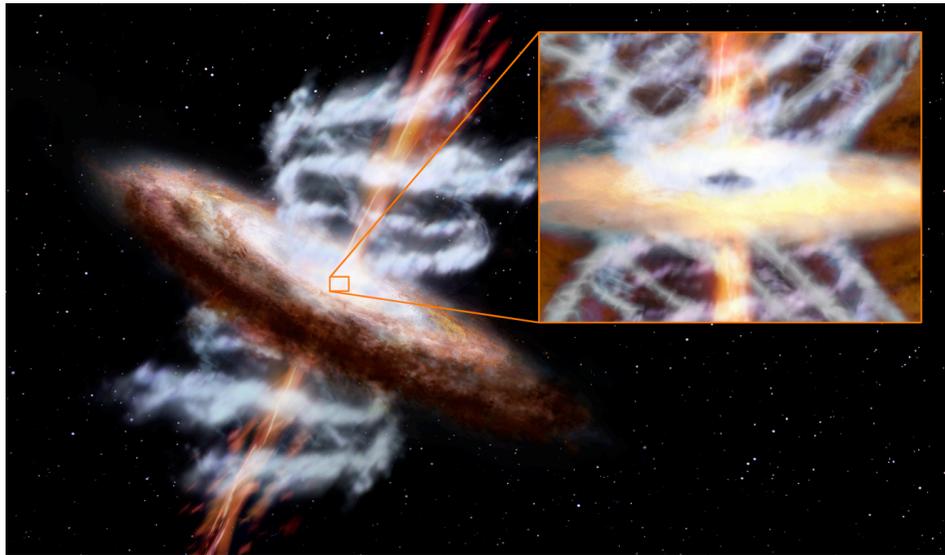
X-ray dips followed by knot ejection for 3C 120



Marscher+02, Chatterjee+09

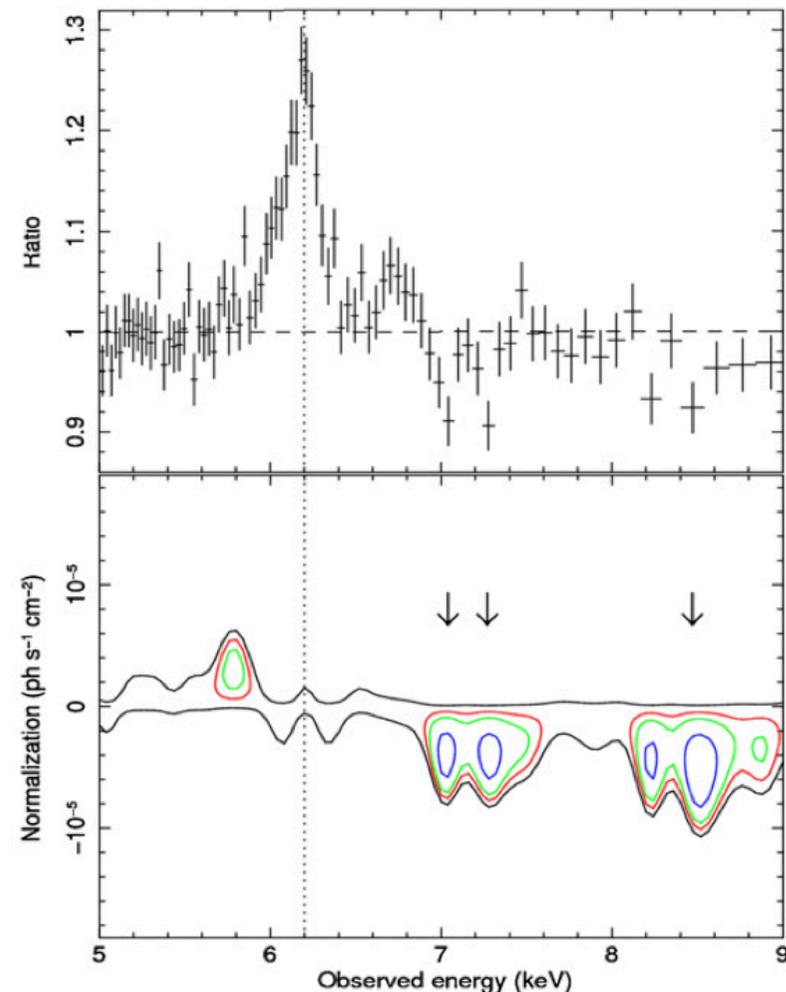


3C 120からの超高速アウトフロー (Ultra-fast outflow)の検出



- X線スペクトルで7~9 keVに吸収線
- He-like, H-like Fe (6.7 and 6.97 keV)による吸収線がブルーシフト
- $V_{\text{outflow}} \sim 0.1c$
- Kinetic energy $\sim 10^{45}$ erg/s, bolometric luminosity, jet power と同程度

3C 120 Suzaku spectrum



Fermi Gamma-ray Space Telescope

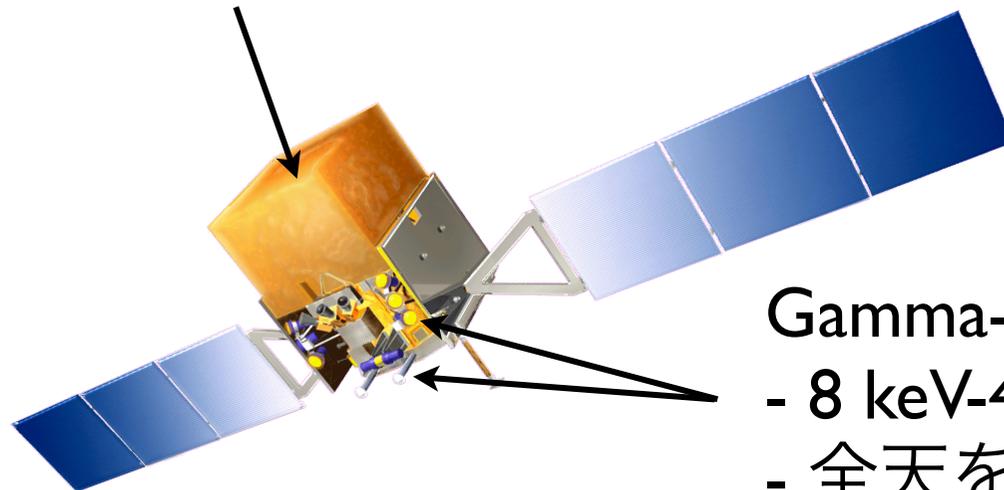
- 2008年6月11日打ち上げ
- 順調に観測を継続中
- 全天サーベイモード



Large Area Telescope (LAT)

- 20 MeV-300 GeV

- 2.4 strの広い視野を生かして、3時間毎に全天をスキャン



Gamma-ray Burst Monitor (GBM)

- 8 keV-40 MeV

- 全天を監視

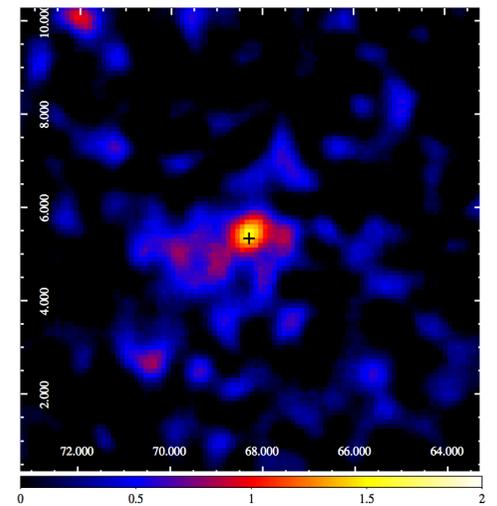
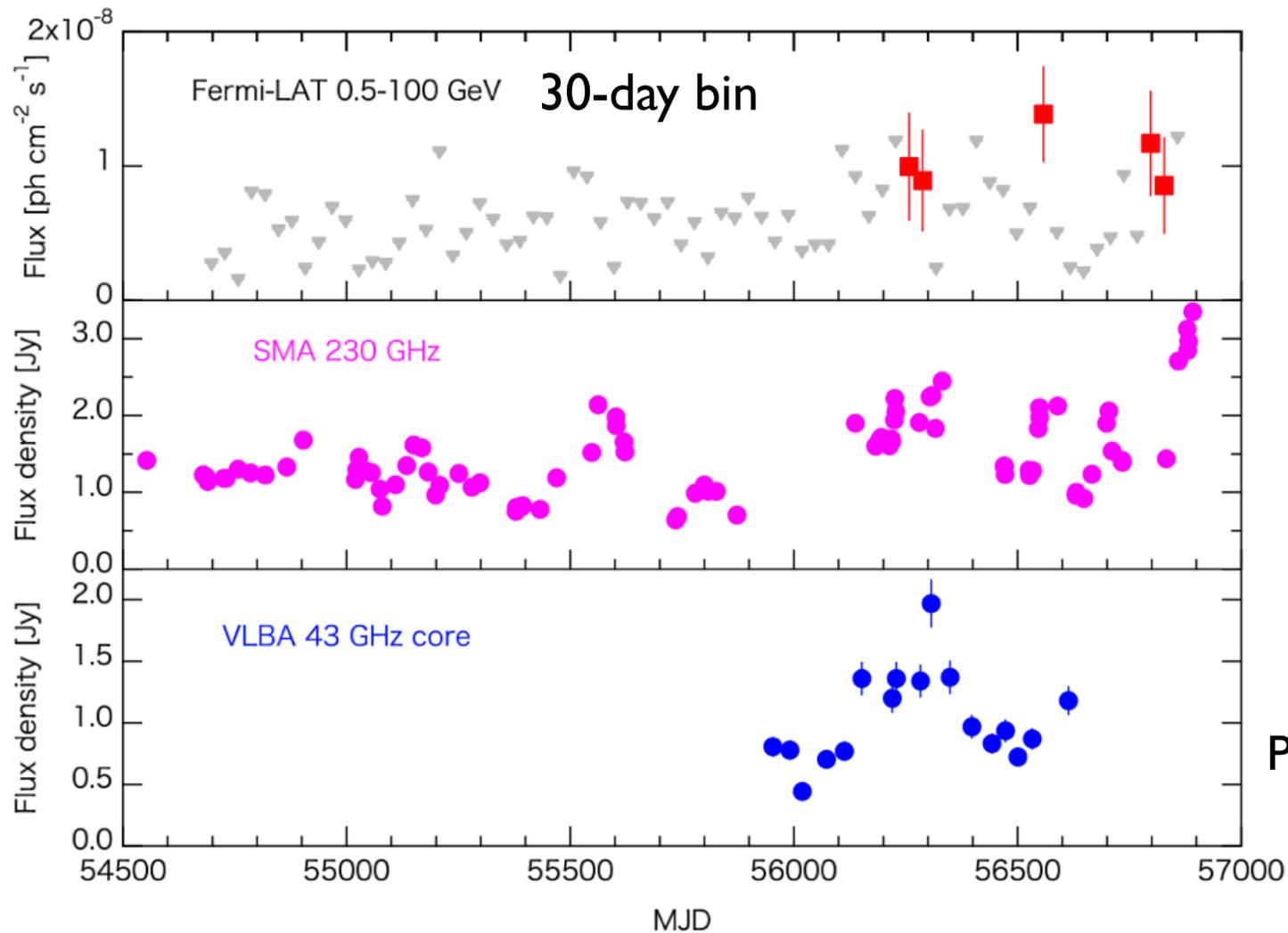
BLRGsのフェルミ初期結果 (Kataoka et al. 2011)

Table 2
Results of the *Fermi*-LAT Data Analysis

Name	TS	Γ_γ	$F_{>0.1\text{GeV}}$ (10^{-9} ph cm $^{-2}$ s $^{-1}$)	$[\nu F_\nu]_{0.1-10\text{GeV}}$ (10^{-12} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$)	$\log L_\gamma$ (erg s $^{-1}$)	$\log L_{\text{acc}}^a$ (erg s $^{-1}$)	η^b
BLRGs							
3C 18	1.5	2.5f ^c	<9.2	<4.0	<44.6	45.3	0.070
B3 0309+411B	<1	2.5f	<8.9	<3.9	<44.3	45.5	0.12
3C 111	31	2.7 \pm 0.2	35 \pm 12	15	43.9	45.0	0.35
3C 120	34	3.0 \pm 0.3	37 \pm 14	16	43.6	44.9	0.15
Pictor A	20	2.5f	<15	<6.3	<43.2	44.5	0.25
3C 215	13	2.5f	<14	<6.1	<45.6	45.9	0.034
3C 227	<1	2.5f	<5.0	<2.2	<43.6	44.9	0.017
3C 303	2.0	2.5f	<5.9	<2.6	<44.1	45.0	0.20
RGB J1722+246	<1	2.5f	<38	<16	<45.1	45.0	0.058
3C 382	2.8	2.5f	<12	<5.2	<43.6	45.1	0.025
3C 390.3	3.2	2.5f	<7.4	<3.2	<43.4	45.0	0.075
3C 411	8.4	2.5f	<18	<7.6	<45.8	45.7	0.17
4C 74.26	3.1	2.5f	<11	<4.7	<44.1	45.6	0.015
S5 2116+81	1.6	2.5f	<5.9	<2.6	<43.6	45.3	0.023
4C 50.55	<1	2.5f	<180	<77	<43.8	44.4	0.024
PKS 2153-69	1.4 ^d	2.5f	<10	<4.4	<42.9	44.2	0.10
3C 445	<1	2.5f	<2.1	<0.90	<42.8	44.8	0.022
PKS 2251+11	<1	2.5f	<5.4	<2.3	<44.9	45.4	0.010

- 3C 120, 3C 111, Pictor A を2年データから検出

3C 120 6-year ライトカーブ

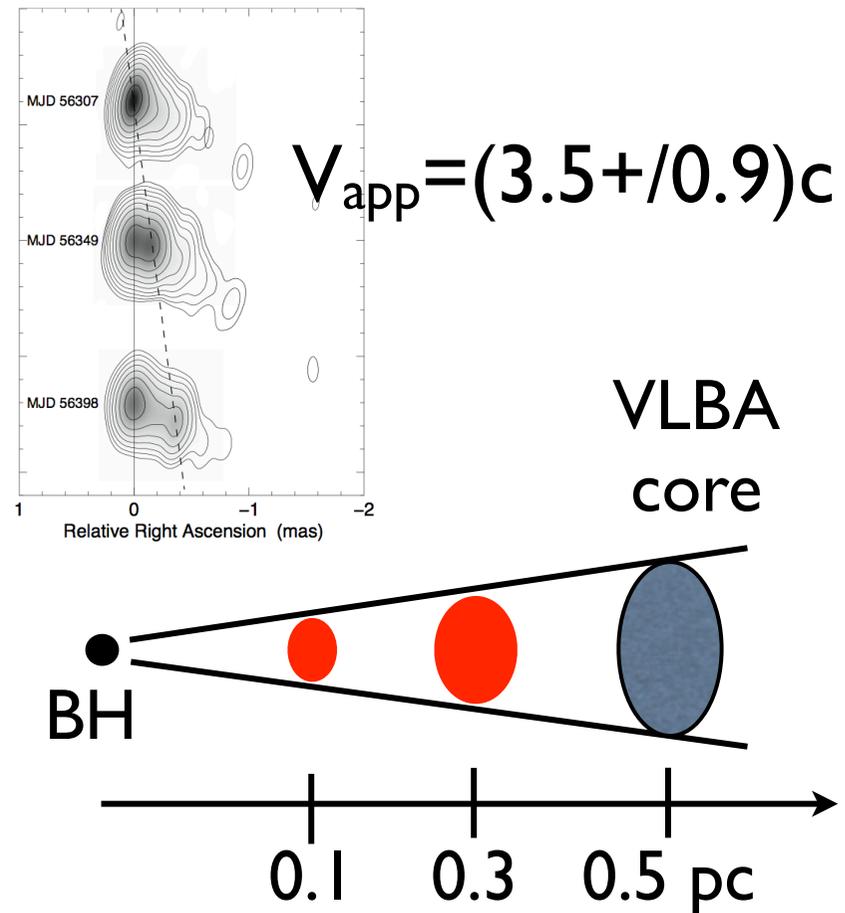
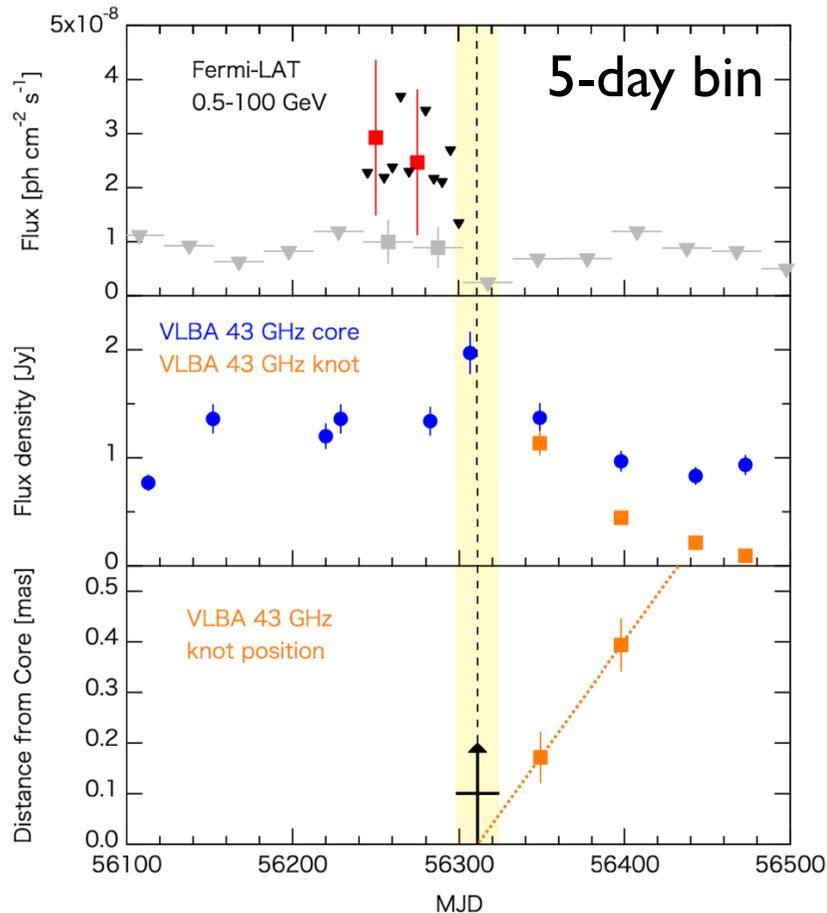


Fermi-LAT 0.5-100 GeV residual map

TS=47.6
PL index $\Gamma=2.95\pm 0.22$

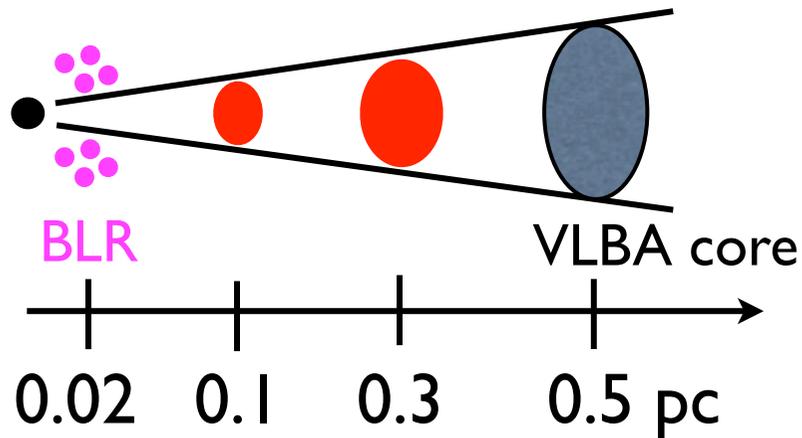
- MJD 56000 以降、230 GHz fluxが増加し、high stateに

GeVフレア付近の光度曲線



- ガンマ線検出のあとに、コアフラックスの増加とknot ejectionが観測
→ガンマ線放射領域はVLBIコアの内側
- ガンマ線フレアとknot ejectionのタイムラグから、ガンマ線放射位置は中心BHから 約0.1 pcと約0.3 pc

ガンマ線放射機構 (SSC or EC)

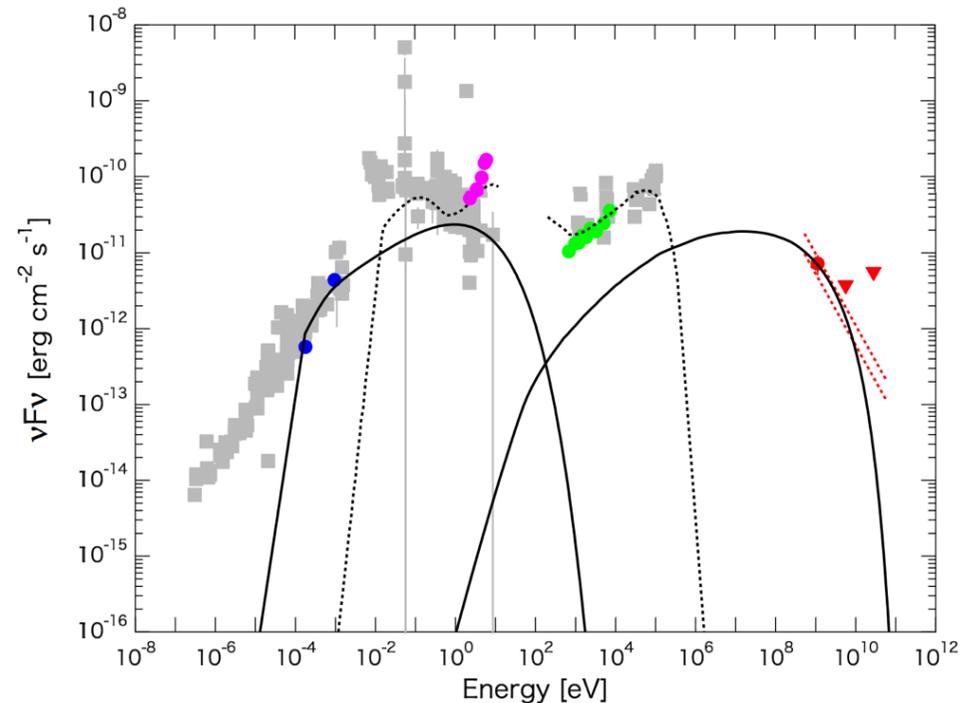


$R_{\text{BLR}} = 0.019 - 0.024 \text{ pc}$ のため
 (Poza Nunez+14) BLRからの
 光子の寄与は無視できる

$$\frac{L_{\text{ERC}}}{L_{\text{SSC}}} \approx c^2 \delta^8 t_{\text{var}}^2 r_{\text{HDR}}^{-2} L_{\text{HDR}} L_{\text{syn}}^{-1}$$

$$\sim 0.1 \left(\frac{\delta}{2.4} \right)^8 \left(\frac{t_{\text{var}}}{7.5 \text{ day}} \right)^2 \left(\frac{r_{\text{HDR}}}{0.6 \text{ pc}} \right)^{-2} \left(\frac{\xi_{\text{HDR}}}{0.1} \right)$$

$$\times \left(\frac{L_{\text{disk}}}{2 \times 10^{44} \text{ erg/s}} \right) \left(\frac{L_{\text{syn}}}{2 \times 10^{43} \text{ erg/s}} \right)^{-1}$$



トーラス IR光子の逆コンプトン散乱
 (L_{ERC})よりもSSC 光度 (L_{SSC})は10倍大

SEDモデリングとジェットのエネルギー収支

$$L_{\text{rad}} = (4/3) (\Gamma^2/\delta^4) (L_{\text{syn}} + L_{\text{SSC}})$$

$$= 4.9 \times 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$$

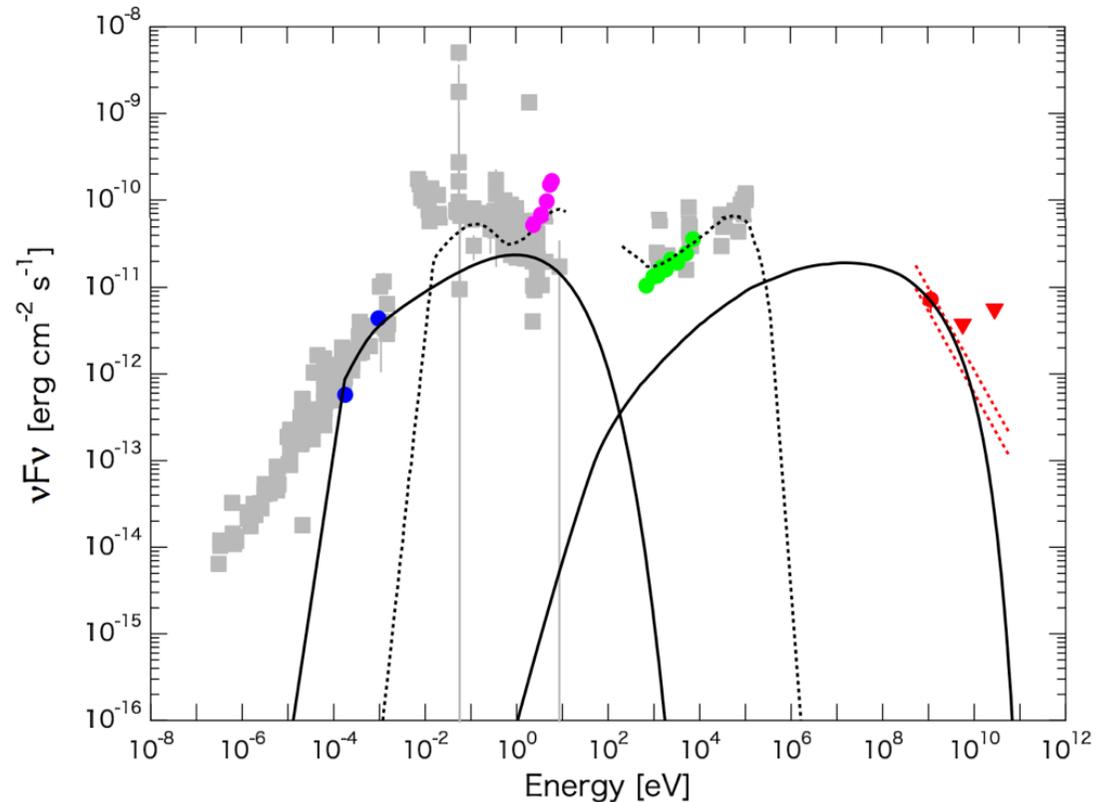
$$L_{\text{jet}} \simeq 10L_{\text{rad}} = 4.9 \times 10^{45} \text{ erg s}^{-1}$$

(Nemmen+12)

$L_{\text{disk}} \sim 2 \times 10^{44} \text{ erg/s}$ から10%の
radiative efficiencyを仮定すると

$$L_{\text{acc}} \sim 2 \times 10^{45} \text{ erg/s}$$

(total power of accreting plasma)



- $L_{\text{jet}} \sim L_{\text{acc}}$, 効率の良いジェット生成 (see also Tanaka+11, Saito+13, Ghisellini+14)
 - $L_{\text{rad}} > L_e + L_B (= 1.8E44)$, L_{rad} よりも大きいpowerをもつcold proton 成分の存在を示唆 (see also Ghisellini+14)
- $B = 1.0 \text{ G}$
 $s = 2.2$
 $(Y_{\text{min}}, Y_{\text{brk}}, Y_{\text{max}}) = (10^2, 7.5 \times 10^3, 10^6)$
 $u'_e/u'_B \sim 0.4$

Summary

- フェルミとVLBIの観測により、3C 120におけるガンマ線放射領域はVLBIコアの内側にあり、中心BHから ~ 0.2 pc程度に位置
- ガンマ線放射機構はSynchrotron Self-Compton
- $L_{\text{jet}} \sim L_{\text{acc}}$, ジェットパワーとaccreting plasmaのパワーがほぼ同じで、非常に効率の良いジェット生成を示唆
- $L_{\text{rad}} > L_e + L_B$, 放射パワーを説明するためには、磁場と電子のエネルギーだけでは足りない。ジェットにcold protonが含まれていて $L_p > L_{\text{rad}}$ のエネルギーを持っている可能性を示唆
- 3C 111とともに、Disk-jet-wind connectionの研究へ展開