

広輝線電波銀河 3C 111 のガンマ線・電波観測による ガンマ線放射位置とガンマ線放射機構の推定

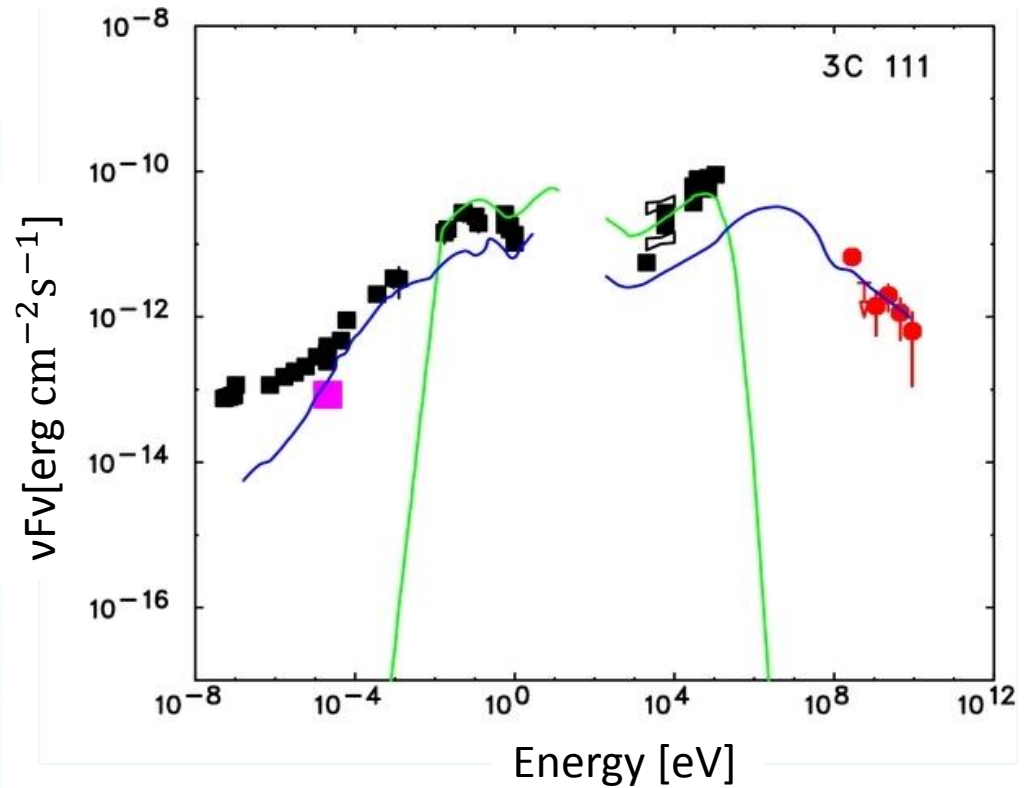
広島大学 理学部 志岐 健成

深澤泰司、田中康之、伊藤亮介、植村誠、神田優花(広大理)

土居明広、井上芳幸 (ISAS/JAXA)

AGNと電波銀河からの放射

3C 111 の広帯域SED



(Kataoka et al. 2011)

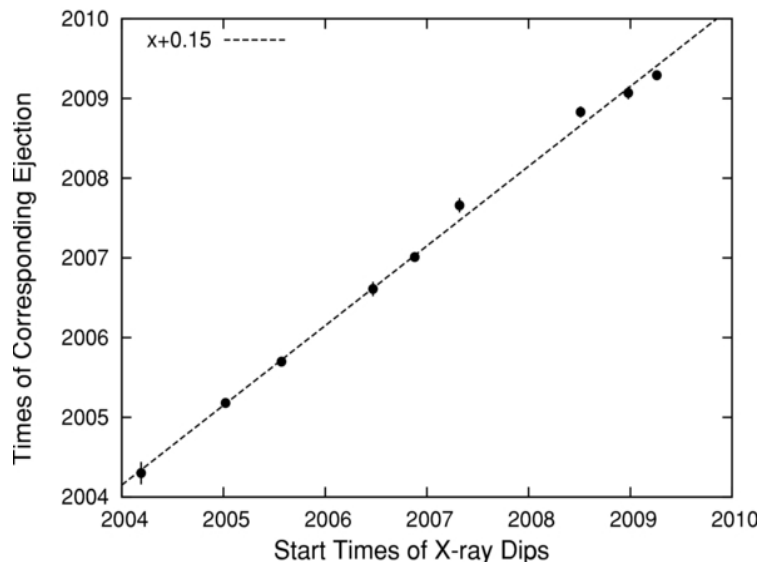
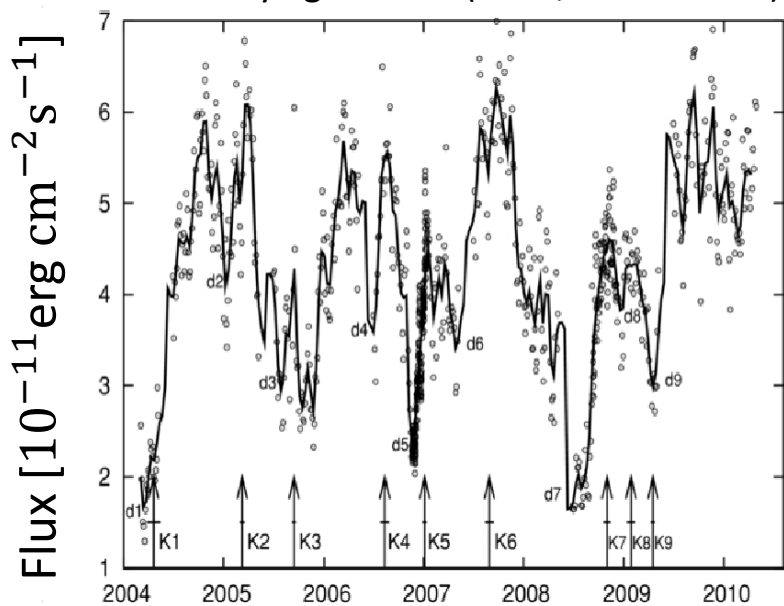
広帯域SEDは**降着円盤成分**と**ジェット成分**の重ね合わせで表される。ガンマ線の放射位置や放射機構などは詳しくわかっていない



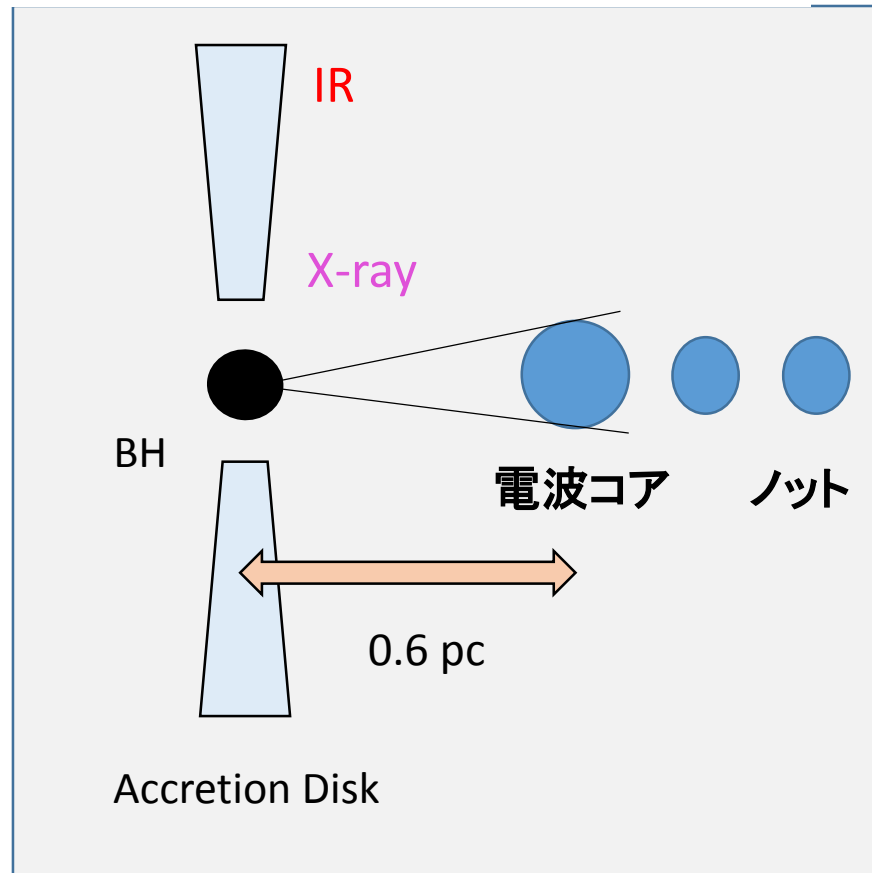
(Padovani et al. 1995)

3C 111 のX線減光に付随したノット放出

3C 111 X-ray light curve (RXTE, 2.4-10.0keV)



(Chatterjee et al. 2011)



もしガンマ線光度とノットの放出の間に
相関が見られるなら、放射位置などの
推定ができる可能性がある

(e.g., 3C 120 , Tanaka et al. 2015)

本研究の目的

ガンマ線の光度変化とノットの放出時期の相関や
広帯域SEDなどから電波銀河 3C 111 の
ガンマ線放射位置と放射機構の推定を試みる

・ガンマ線 データ

Fermi衛星 / LAT 検出器

2008年8月より科学観測開始

100MeV～300GeV以上の広帯域に感度を持つ

三時間で全天サーベイ観測



<http://fermi.gsfc.nasa.gov/>

・電波、サブミリ データ

電波: 43GHz

ボストン大学アーカイブデータ

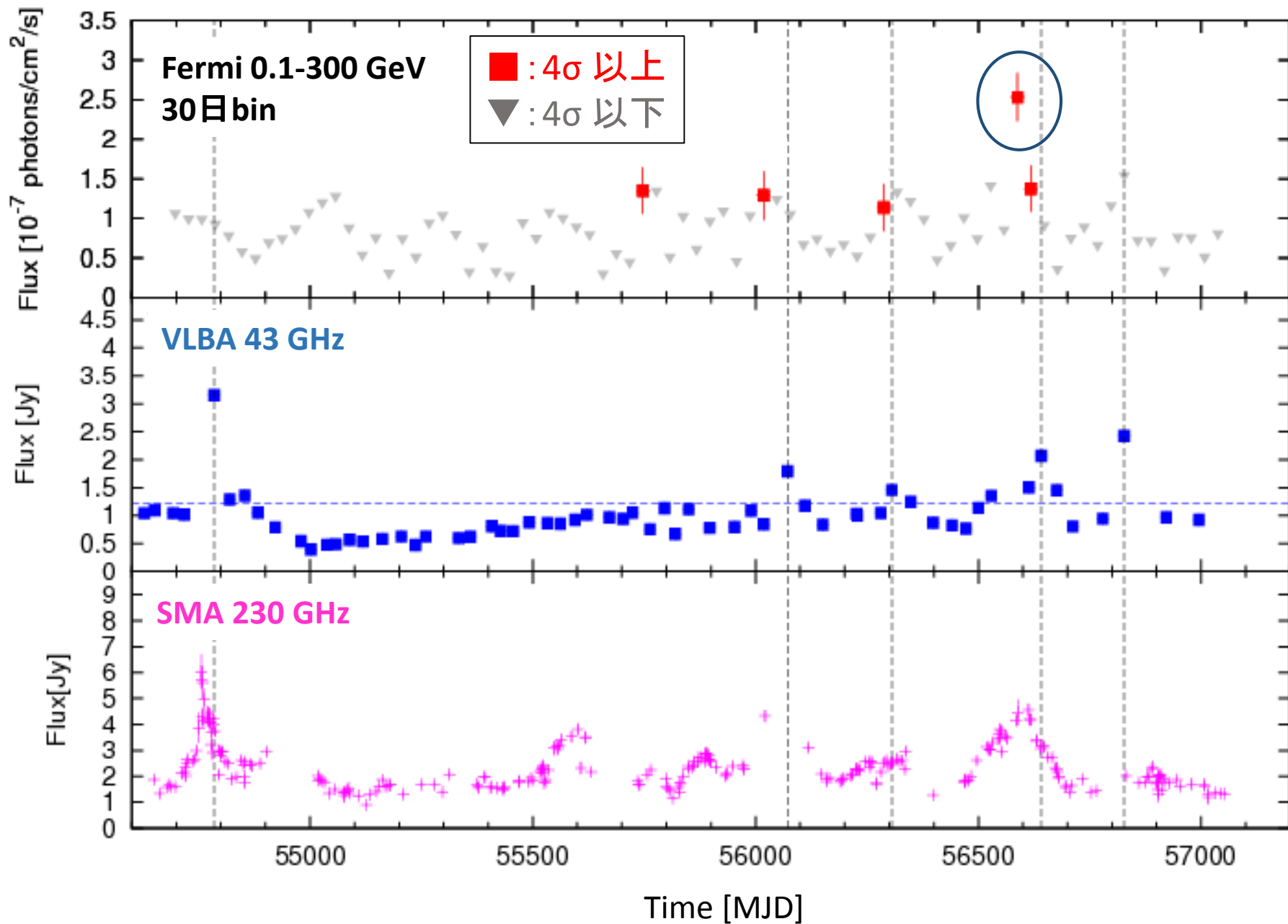
サブミリ: 230GHz

SMAアーカイブデータ

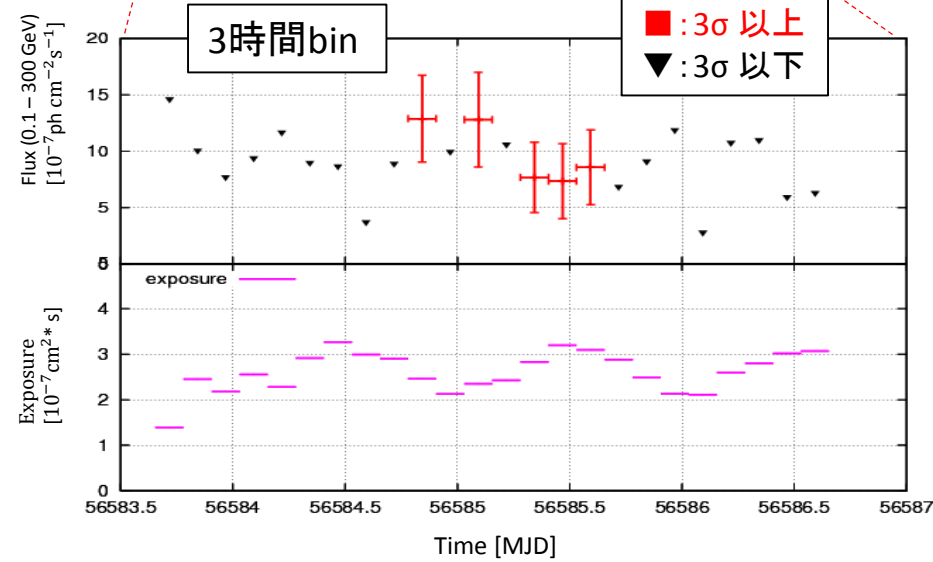
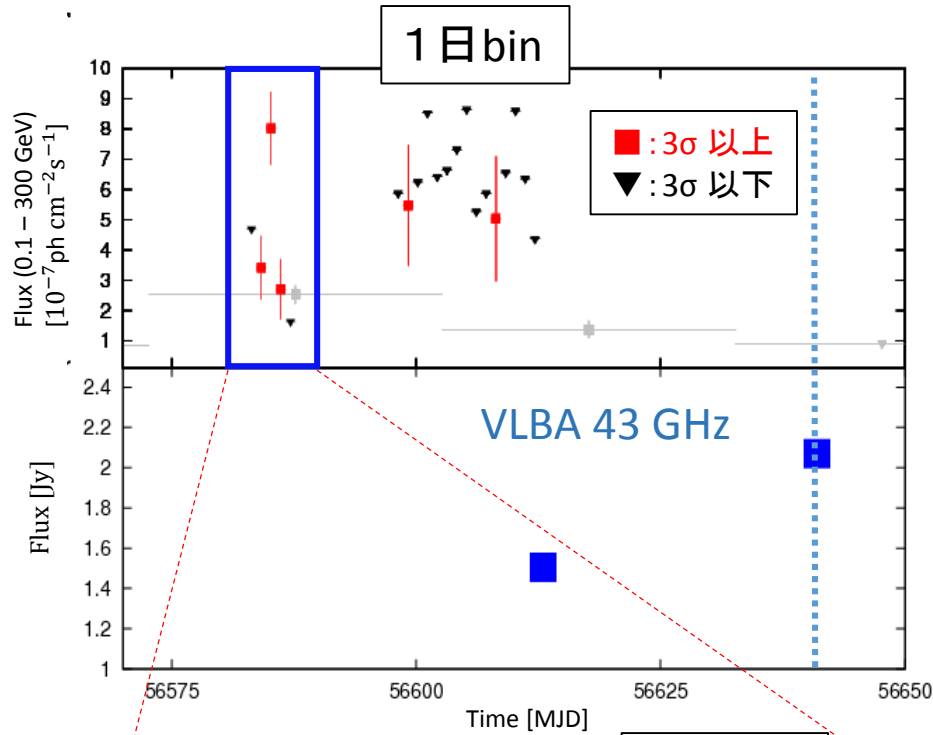


<http://sma1.sma.hawaii.edu/>

3C 111 30日bin ライトカーブ(ガンマ・電波)



フレア期の詳細解析

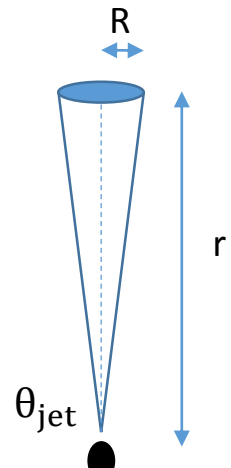


電波コアフラックスの増加以前に強いガンマ線フレアを発見した
このことからガンマ線放射領域は電波コアの内側にあることが示唆される

VLBAの観測から
 $\theta_{jet} = 2.8 \pm 0.8$ [degree]
 $\delta = 3.4 \pm 1.1$
 (Jostad et al. 2005)

R : ガンマ線放射領域のサイズ
 r : BHからの距離

$$R \leq c \delta t_{var} \sim 8.9 \times 10^{15} (\delta/3.4)(t_{var}/1 \text{ day}) [\text{cm}]$$

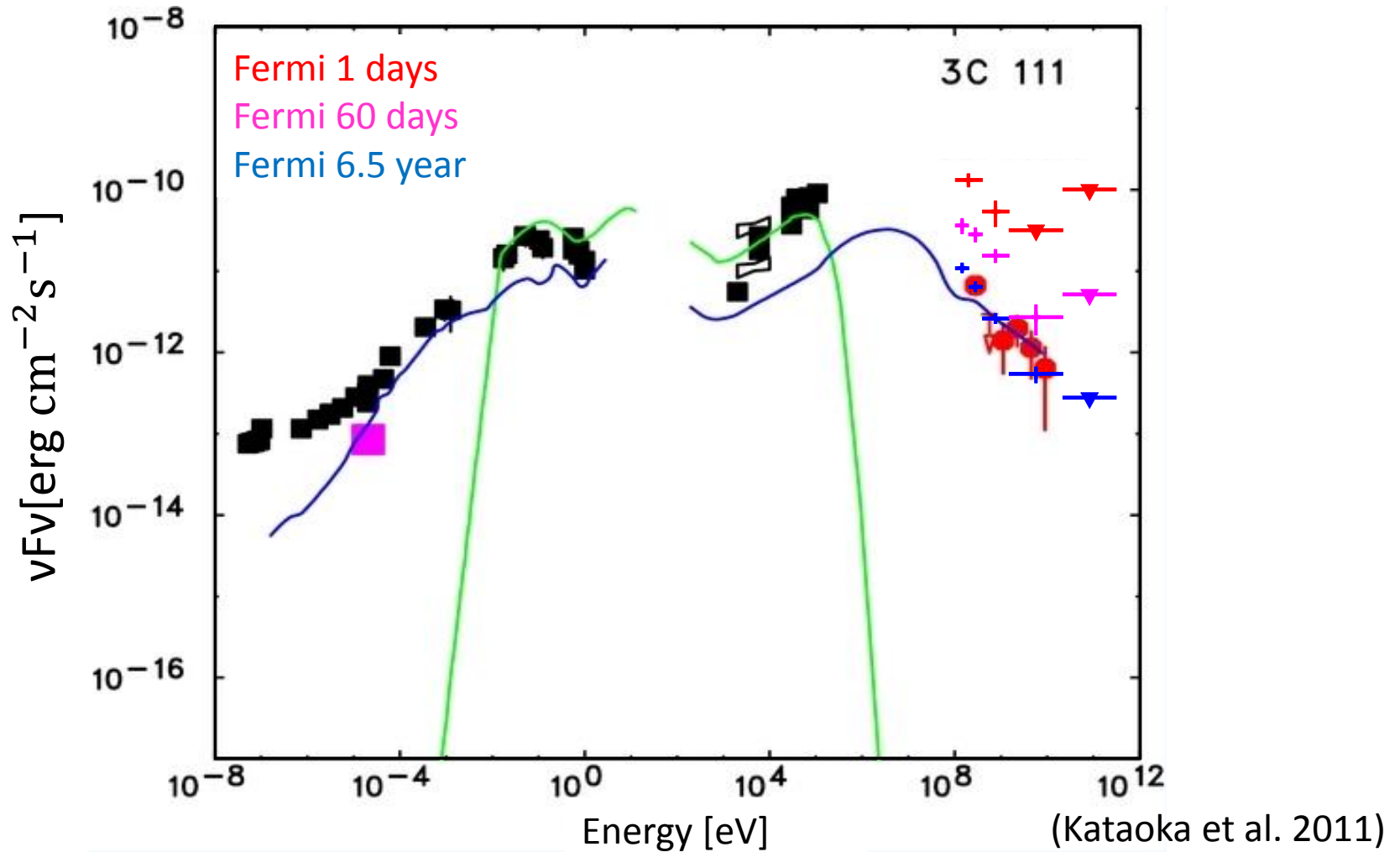


Conical jet を仮定する

$$r \sim \frac{R}{\theta_{jet}}$$

$$r \doteq 0.1 [\text{pc}]$$

3C 111 広帯域SED

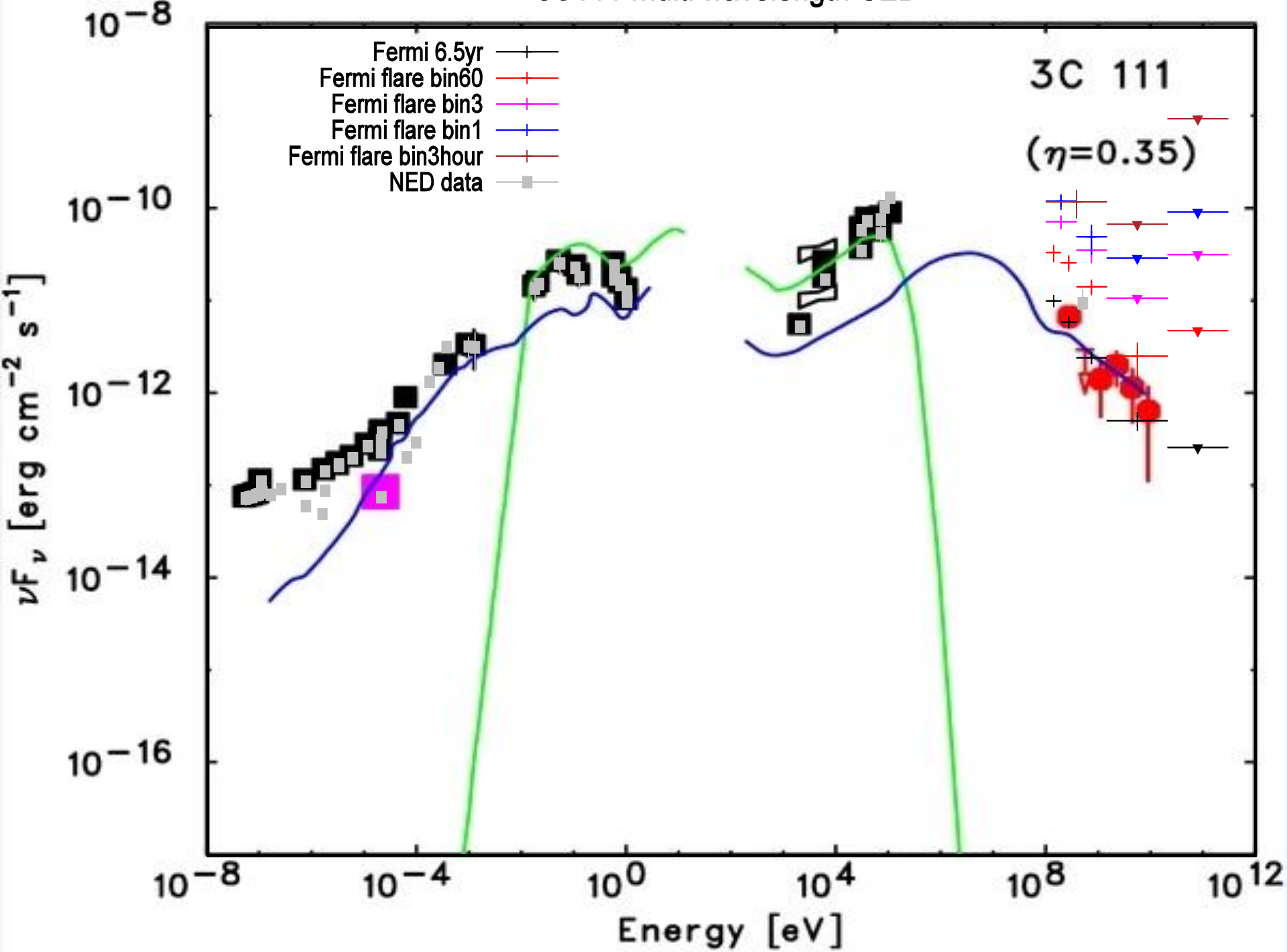


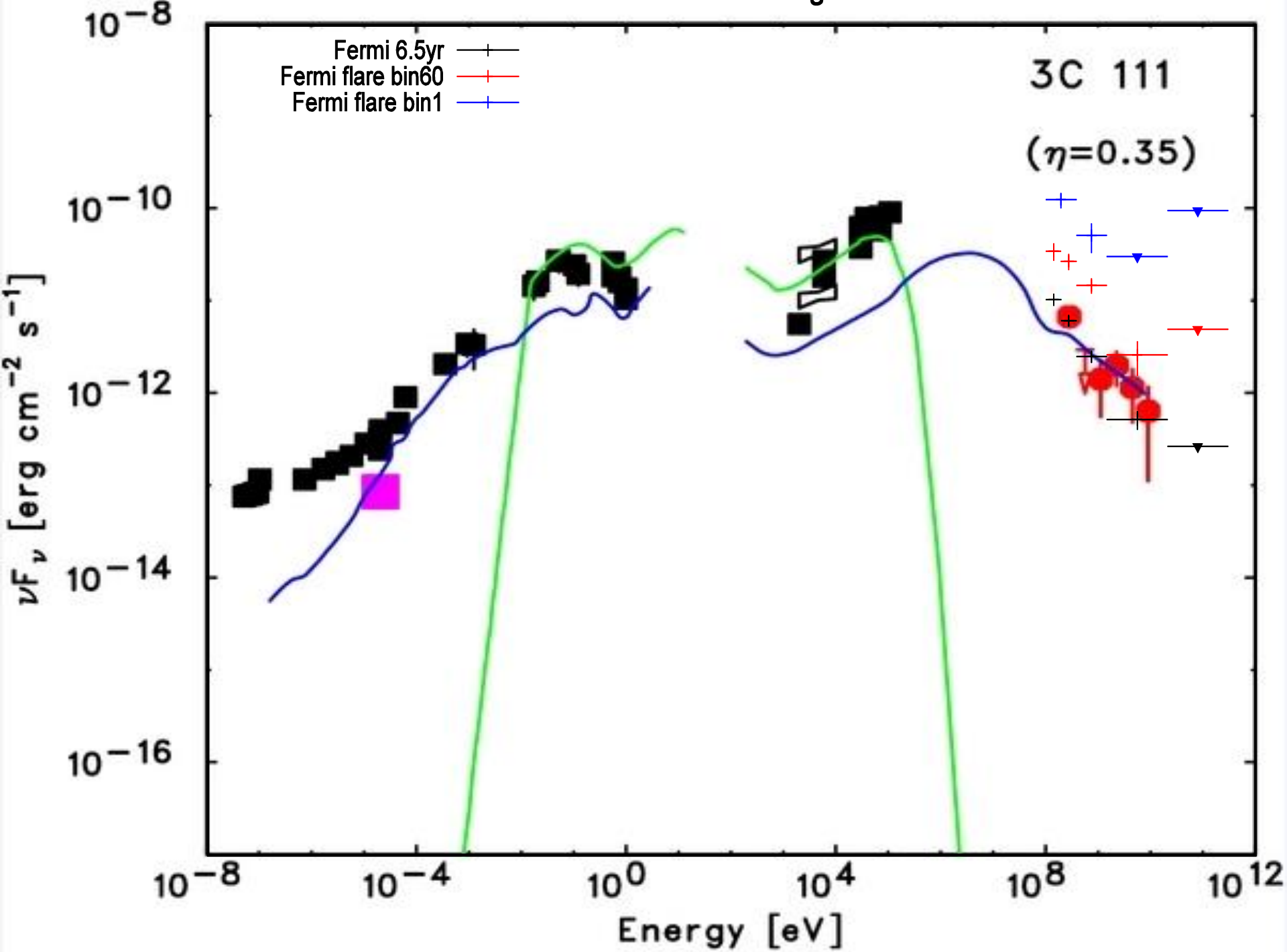
- ・フレア期の逆コンプトン散乱成分はディスクと同等か、それ以上のエネルギーフラックスを持つ
- ・フレア期の放射機構はERCモデルが優勢との報告があるが(Janiak et al. 20015)、今回の調査では推定を行うことができなかった

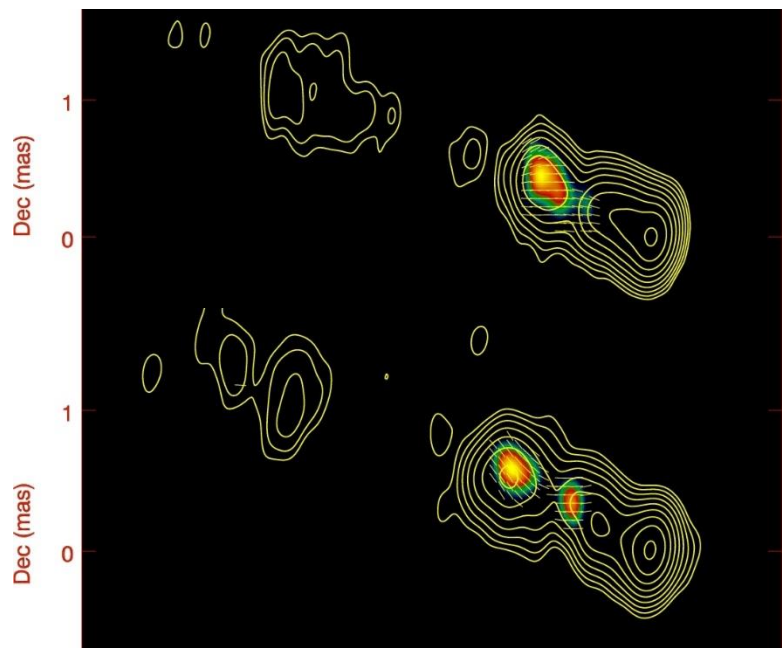
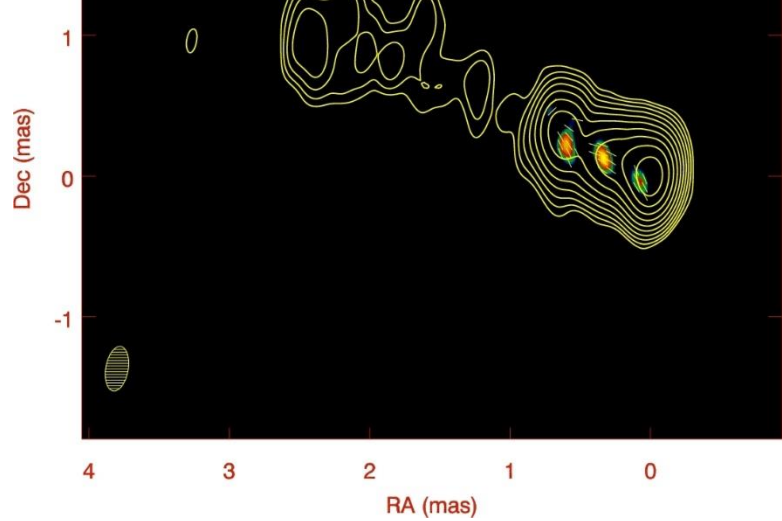
まとめ

- γ 線フレアと電波コアフラックスの増加の間に相関が見られる時期を複数発見したが、相関が見られない時期も存在した
- γ 線と電波の観測により、3C 111 の γ 線放射位置は電波コアの内側に位置する中心BHからの距離は0.1 pc であり、これは先行研究の結果と無矛盾
(Chatterjee et al. 2011)
- フレア期の放射機構を推定するためのパラメーターの定量的な評価は今後の課題である

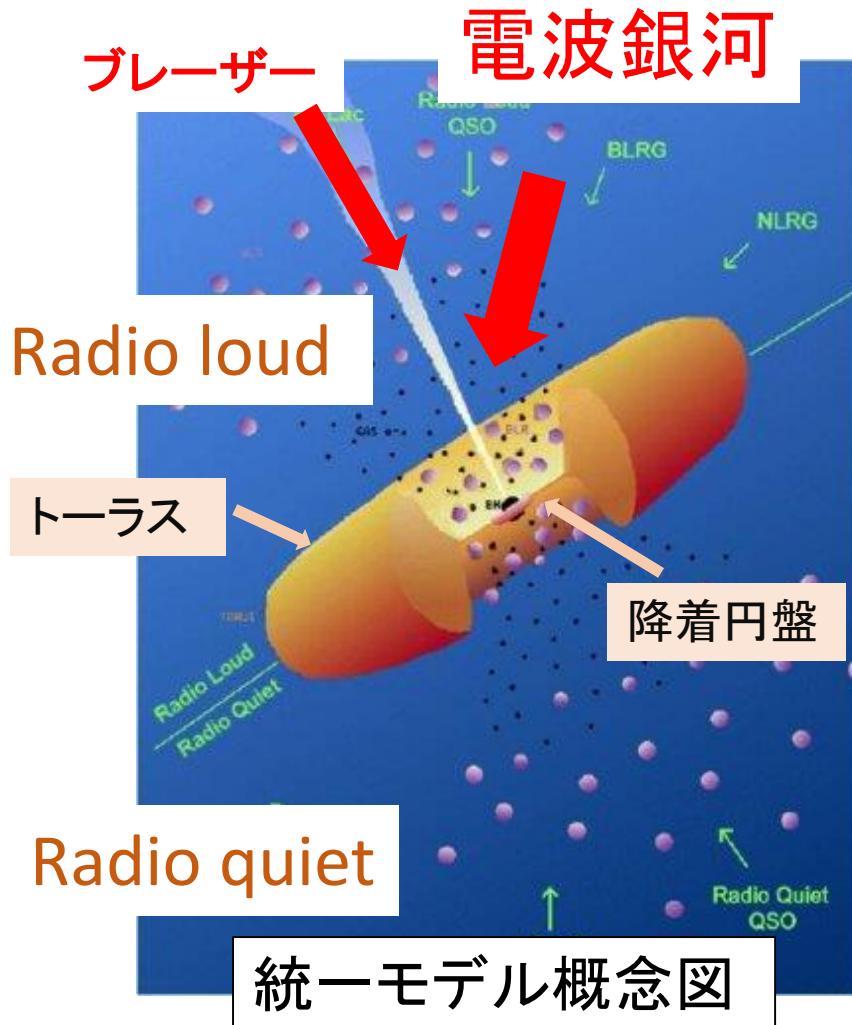
以下 隠しトラペ



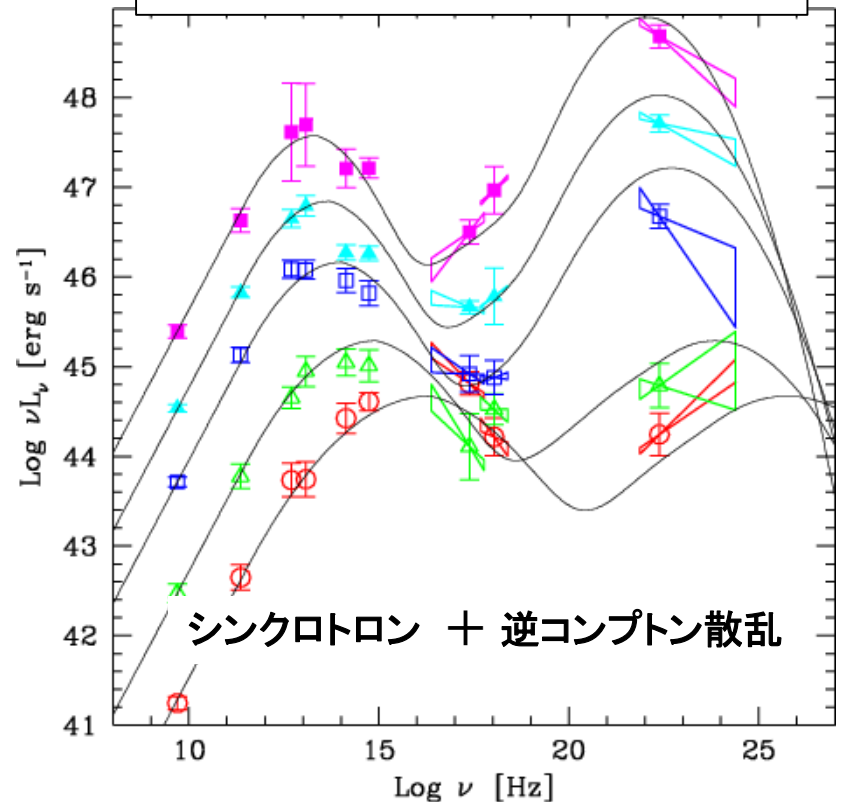




活動銀河核からのジェット放射



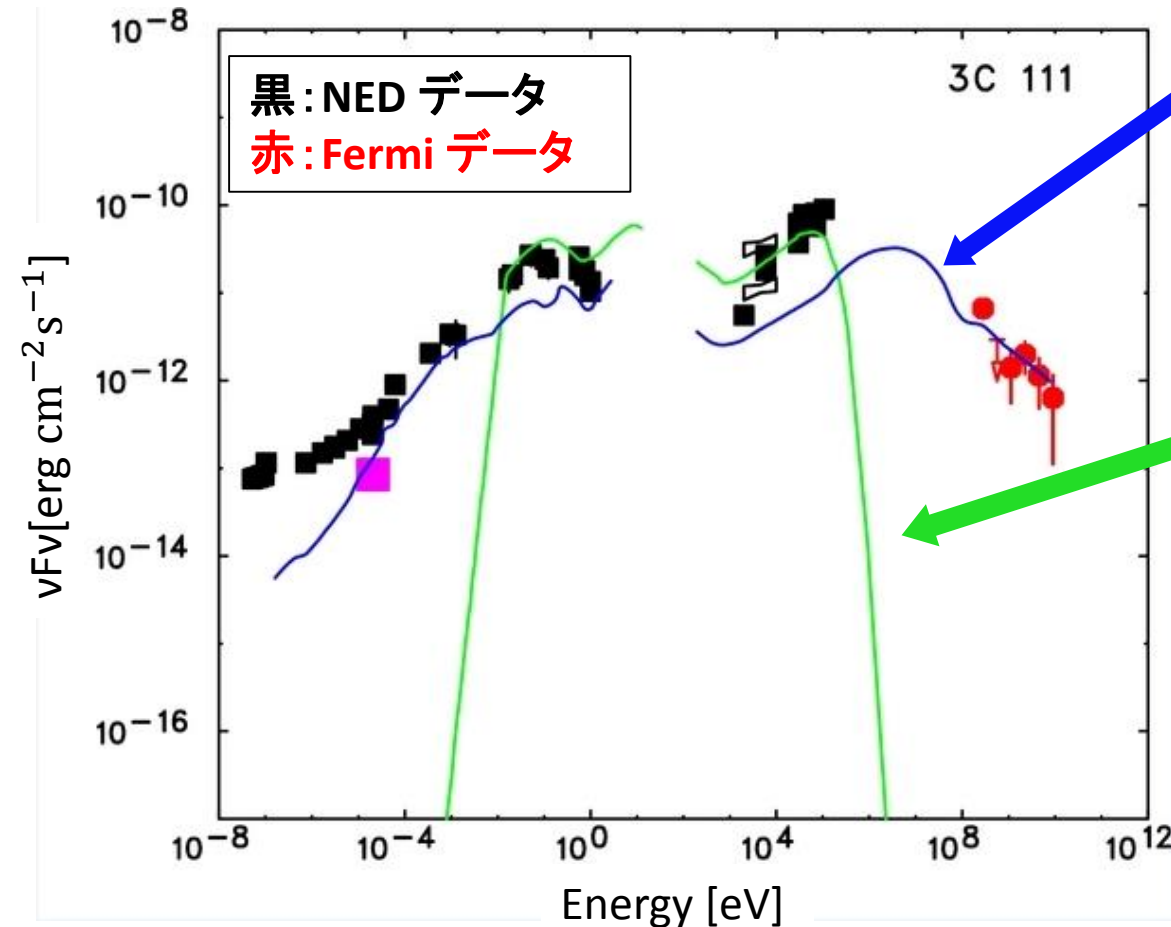
ブレイザーの平均的なSED



Donato et al. 2001, Fossati et al. 1998

ジェットで加速された高エネルギー電子由来の非熱的放射が広帯域で卓越する

3C 111 の広帯域SED



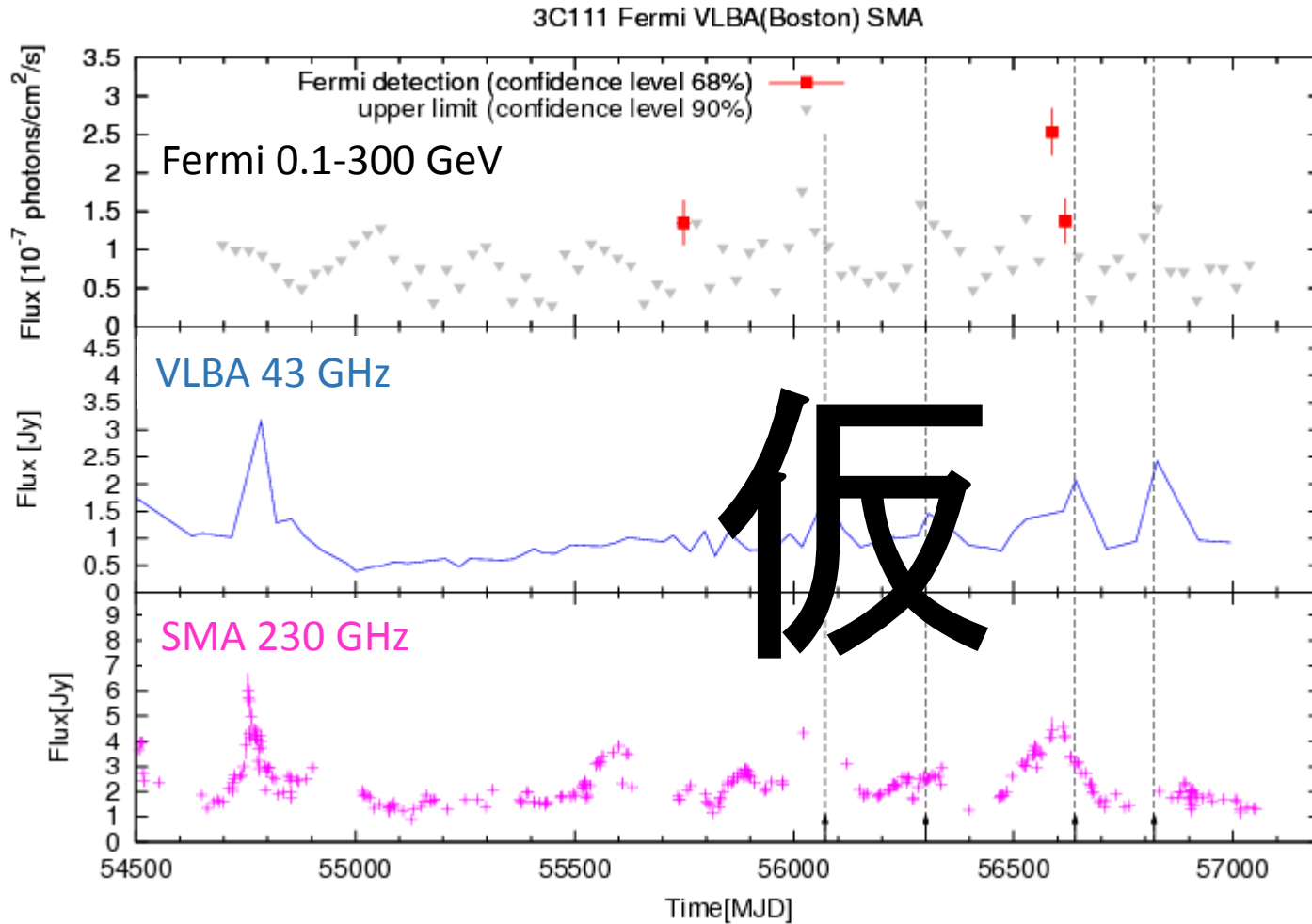
ジェット成分
(Soldi et al. 2008)
非熱的放射

降着円盤成分
(Koratkar & Blaes 1999)
熱的黑体放射

(Kataoka et al. 2011)

ビーミング因子が小さいため ($\delta: 3.4 \pm 1.1$)、ディスク成分が見える。
広帯域SEDは降着円盤成分とジェット成分の重ね合わせで表される。
ガンマ線の放射位置や放射機構などは詳しくわかっていない

結果 3C 111 30日 bin ライトカーブ (ガンマ・電波)



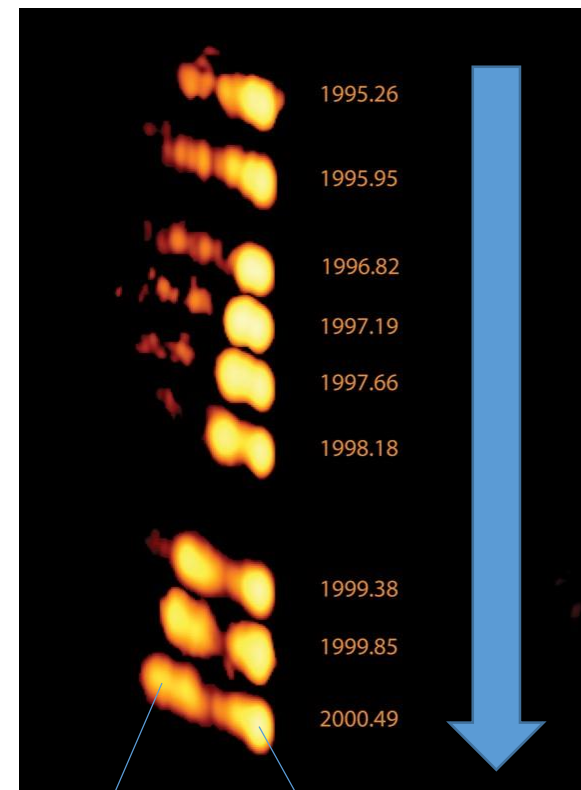
赤: TS > 25
灰: TS < 25

VLBA コアフラックスの増加とガンマ線
フレアとの

電波コアからのノット

- 電波の観測は角度分解能が良い
(<1 ミリ秒角)
- 電波銀河のjetからは電波で明るいノットが放出しており、その位置が精度よく求められているものもある
- 速度がわかれば、いつノットが出たのかがわかる

3C120のノット放射

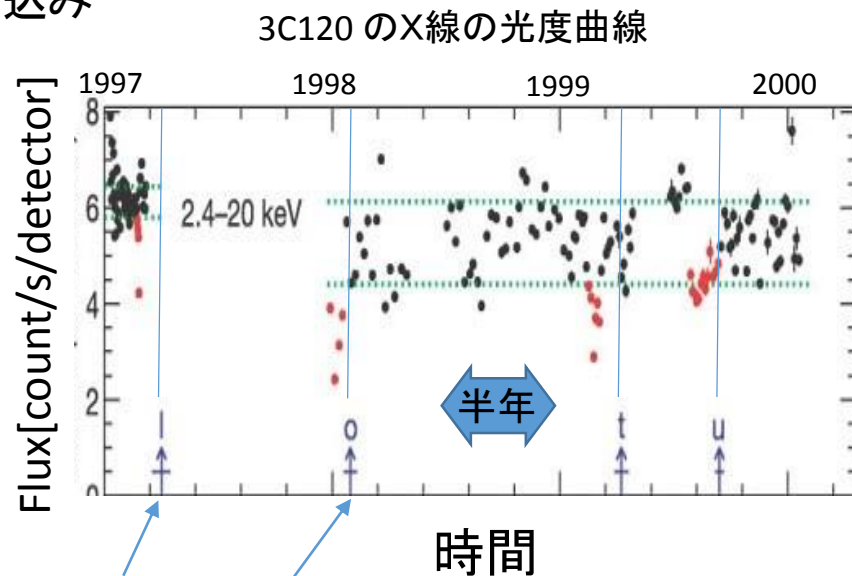
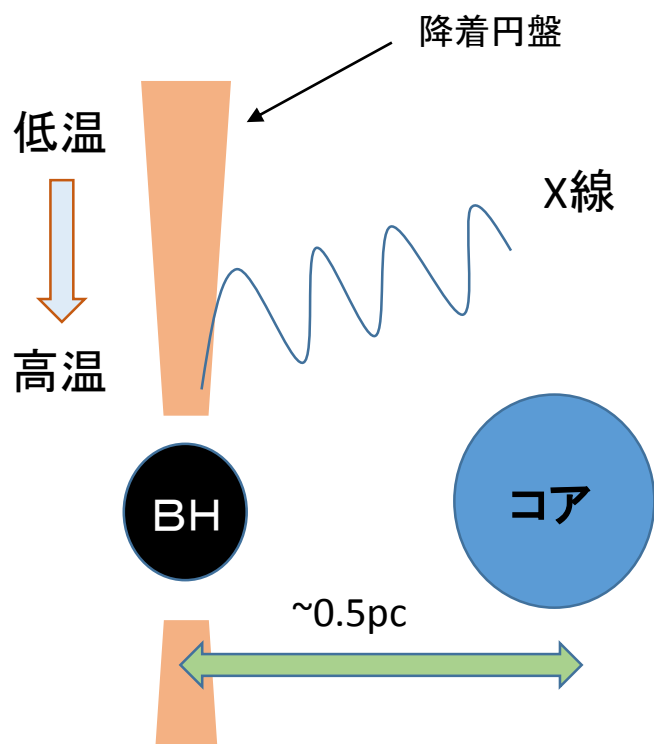


ノット

コア

X線ディップとノットの相関

- X線ディップ(X線で暗くなる)の後にノットの放出が観測される
- X線を放射する降着円盤の内側の領域がBHに落ち込み一部が外側に吹き飛ばされノットになる
- 二つの現象の時間差とノットの速度が分かれば中心BHと電波コアの距離が分かる



コアからノットが出た時間

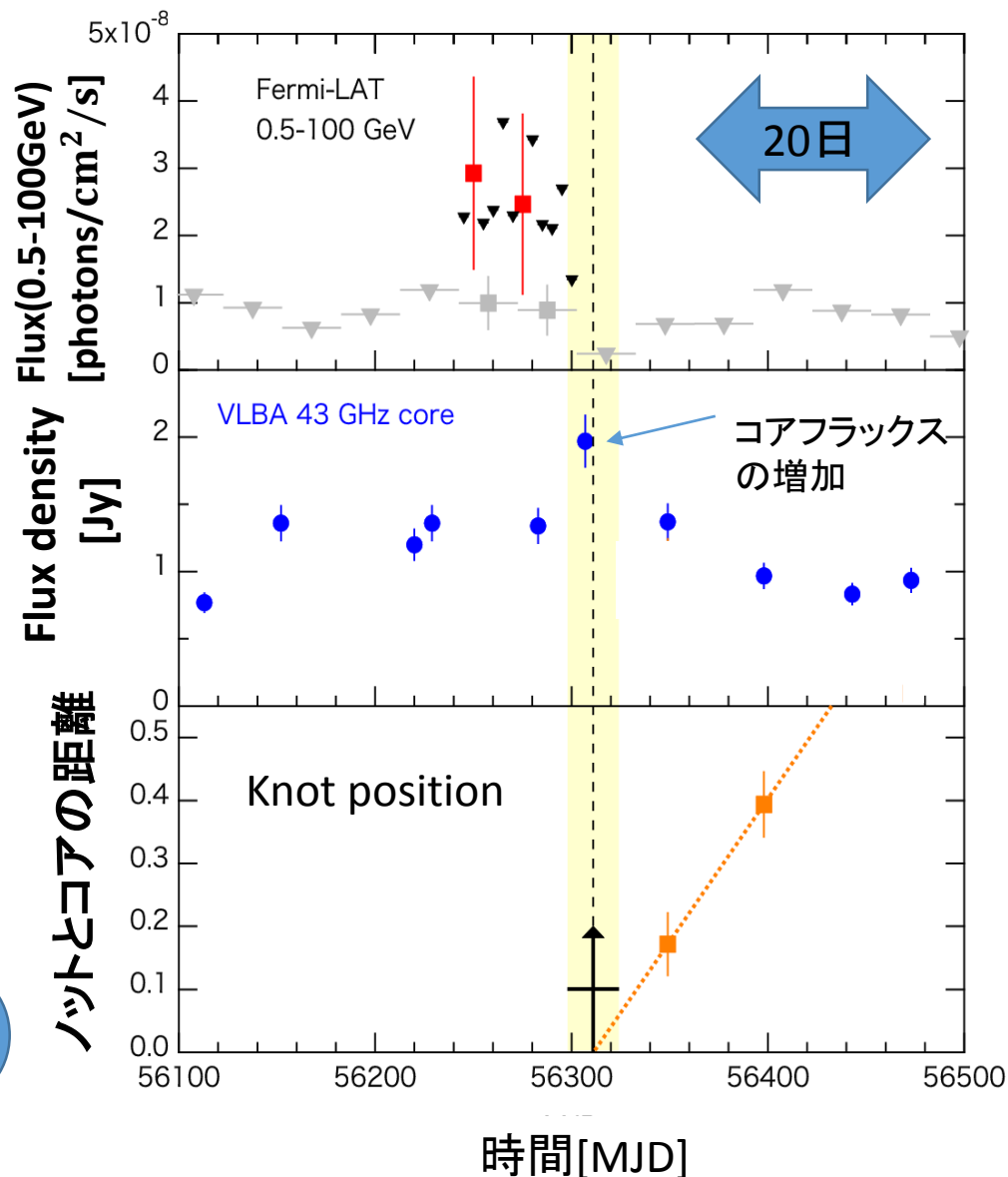
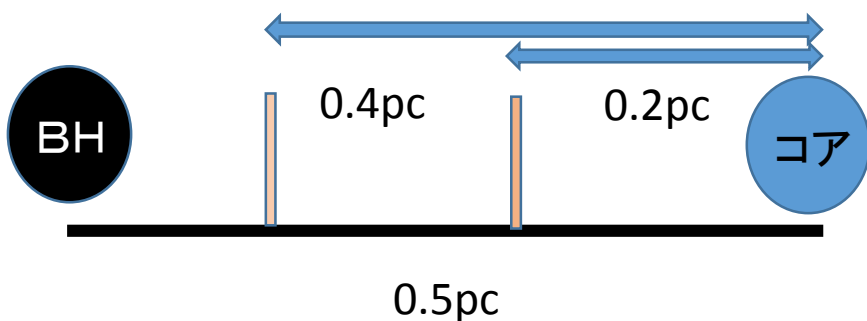
Alan Marscher nature paper 2002より抜粋



先行研究(3C120) Tanaka et al 2015

ガンマ線のフレアと電波コアの観測からガンマ線の放射位置を推定

- ガンマ線で光った後にVLBIコアが明るくなり、ノットが放射される
- 電波コアの内側にガンマ線放射源が存在することを意味する
- この天体の場合BHと電波コアの距離が0.5pcであることが分かっている
- この場合ガンマ線を放射する領域は中心BHから0.1pc、0.3pcの位置

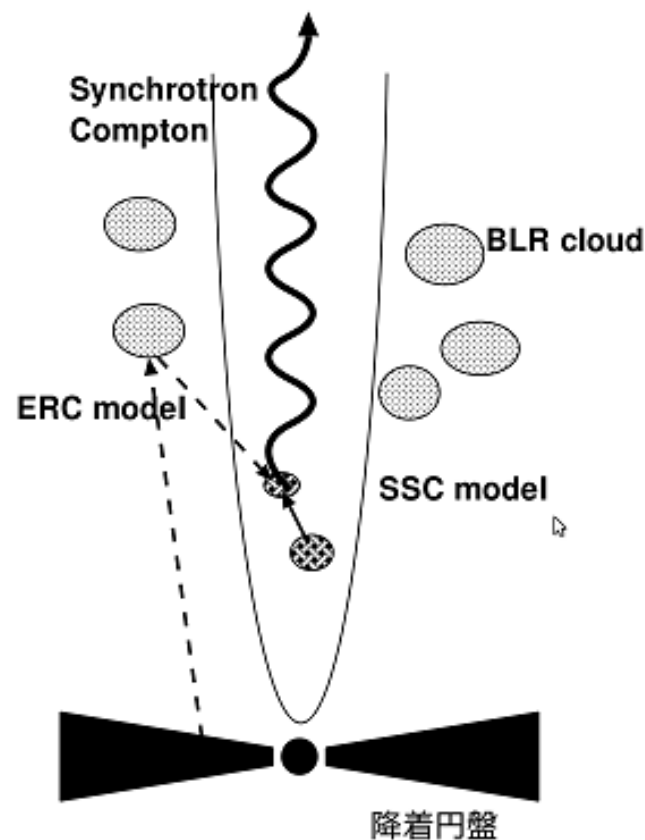


二つの放射モデル

- SSC(Synchrotron-Self-Compton)モデル

シンクロトロン放射している高エネルギー電子が
同じ領域から来たシンクロトロン光子を逆コンプトン散乱し、
X線やガンマ線領域まで叩きあげるモデル

- ERC(External-Radiation-Compton)モデル
ジェット外部からジェットに入射する光子を
考えて、それらの光子の逆コンプトン散乱
を考慮したモデル



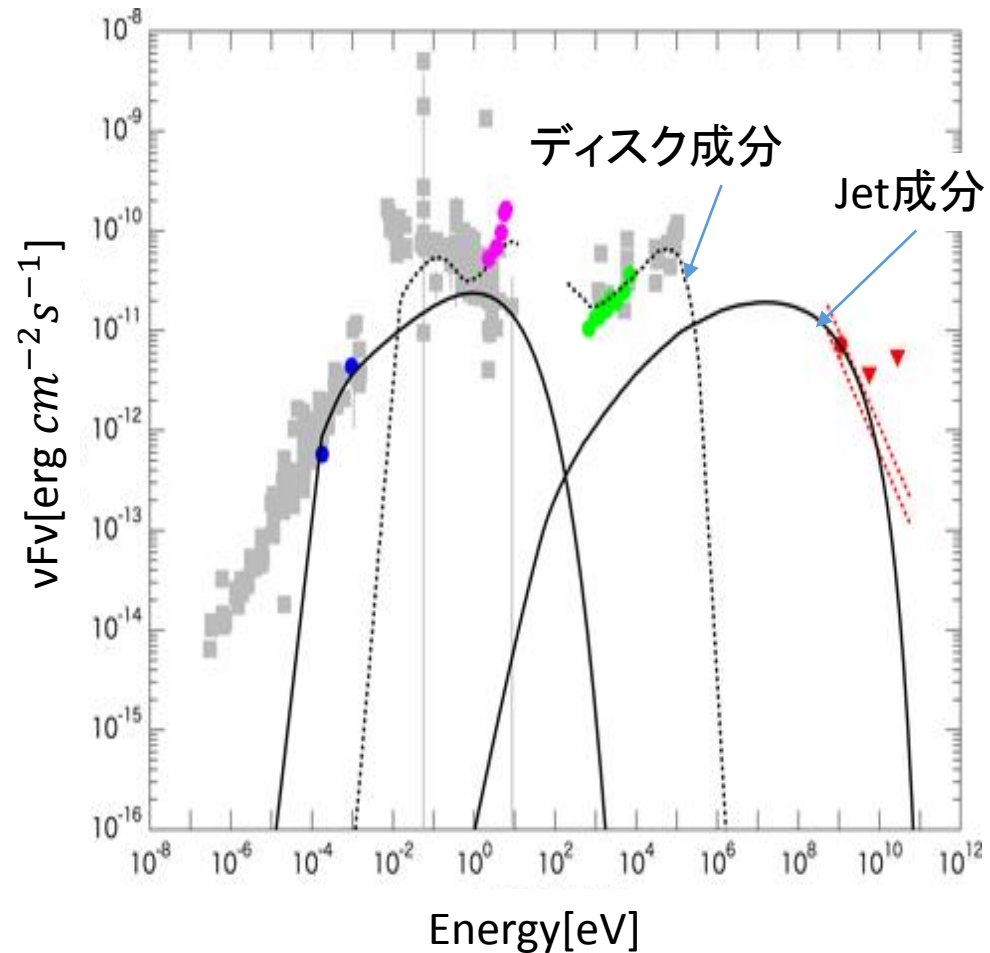
ガンマ線の放射機構

$$\begin{aligned} \frac{L_{ERC}}{L_{SSC}} &\sim c^2 \delta^8 t_{var}^2 r_{HDR}^{-2} L_{HDR} L_{syn}^{-1} \\ &\sim 0.1 \left(\frac{\delta}{2.4}\right)^8 \left(\frac{t_{var}}{7.5 \text{ day}}\right)^2 \left(\frac{r_{HDR}}{0.6 \text{ pc}}\right)^{-2} \left(\frac{\xi_{HDR}}{0.1}\right) \\ &\times \left(\frac{L_{disk}}{2 \times 10^{44} \text{ erg/s}}\right) \left(\frac{L_{syn}}{2 \times 10^{43} \text{ erg/s}}\right)^{-1} \\ &\sim 0.1 \end{aligned}$$

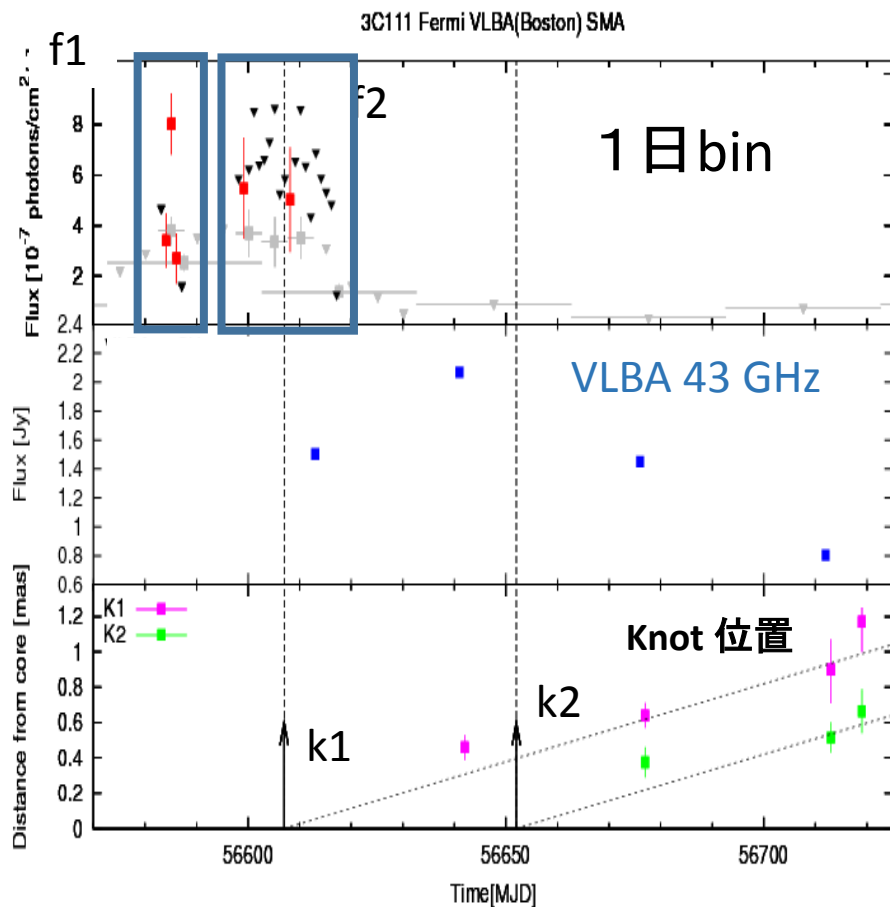
$$L_{ERC} < L_{SSC}$$

この場合 L_{SSC} が優勢

3C120の広帯域SED

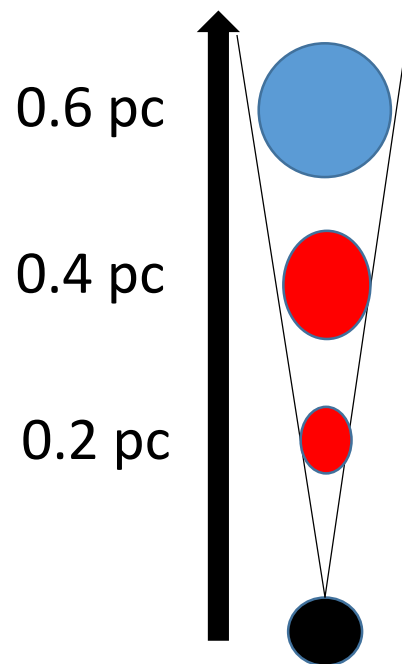


フレア期の詳細解析



ノットの放出を二つ、(k1, k2)
ガンマ線のフレアを三ヶ所発見した(f1, f2)

f1, f2 がそれぞれk1, k2 のノットに対応する
かもしれない
ガンマ線放射領域はコアの内側にあることが示唆される

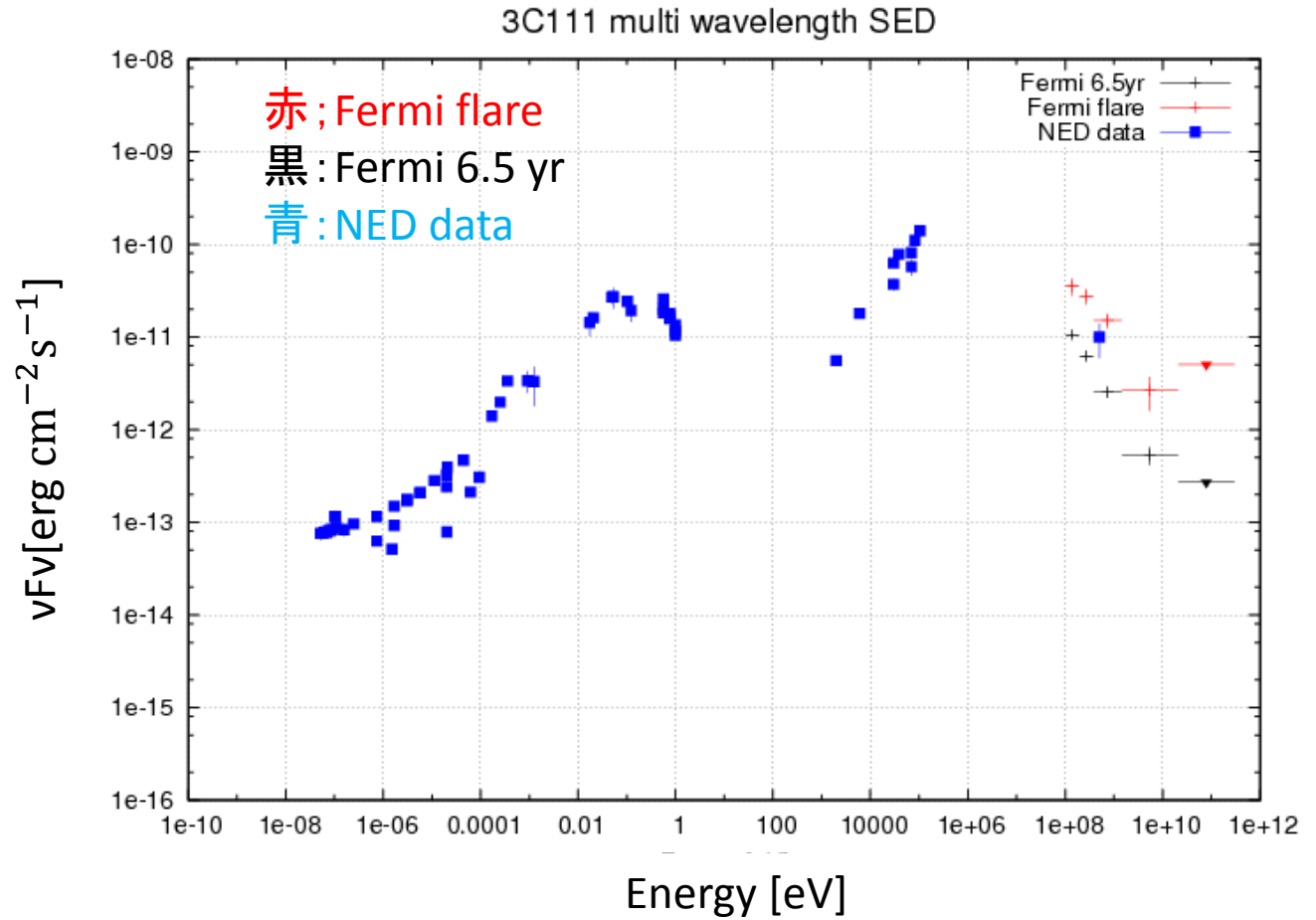


Black Hole

ガンマ線放射位置

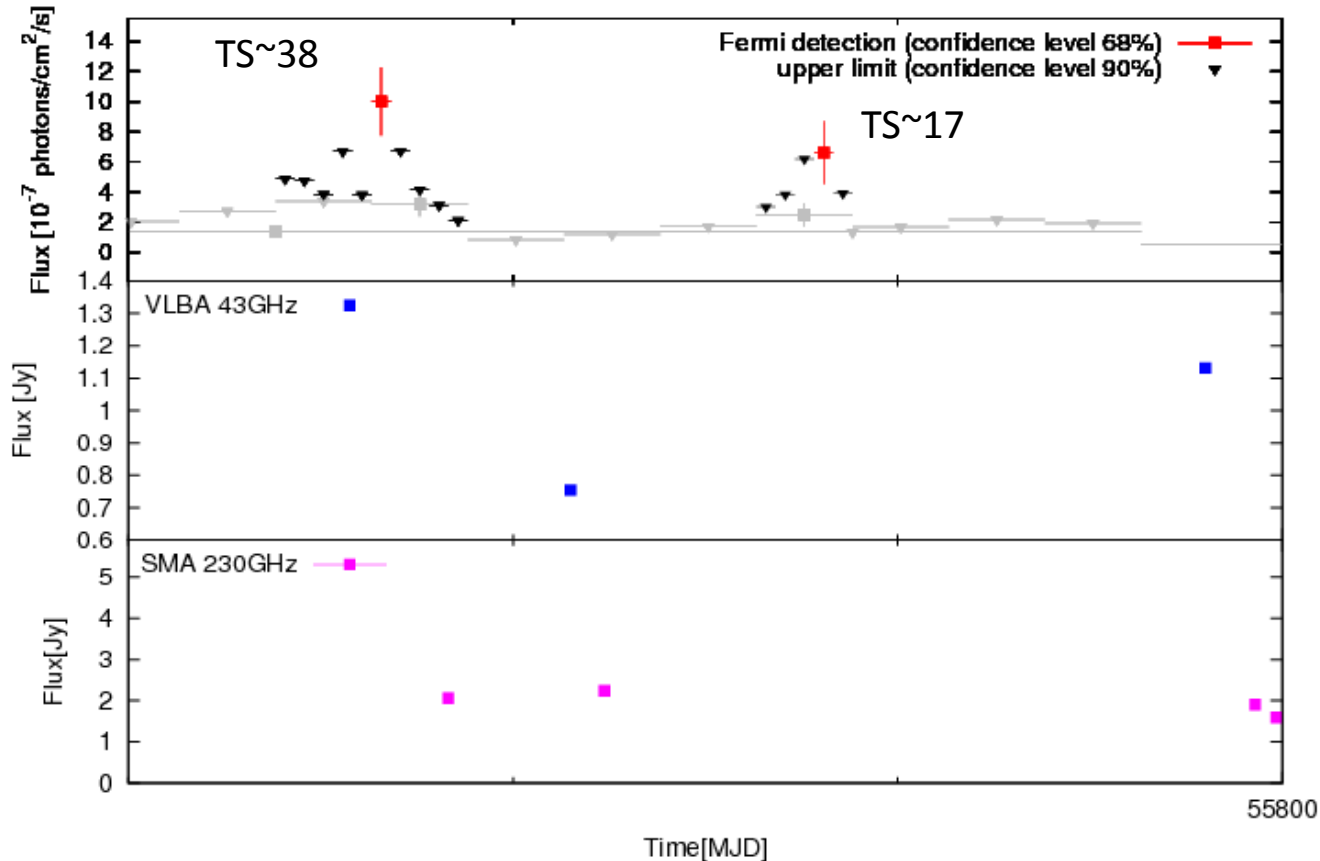
f1 - k1 : 中心BHから 約0.4 pc
f2 - k2 : 中心BHから 約0.2 pc

3C 111 多波長スペクトル



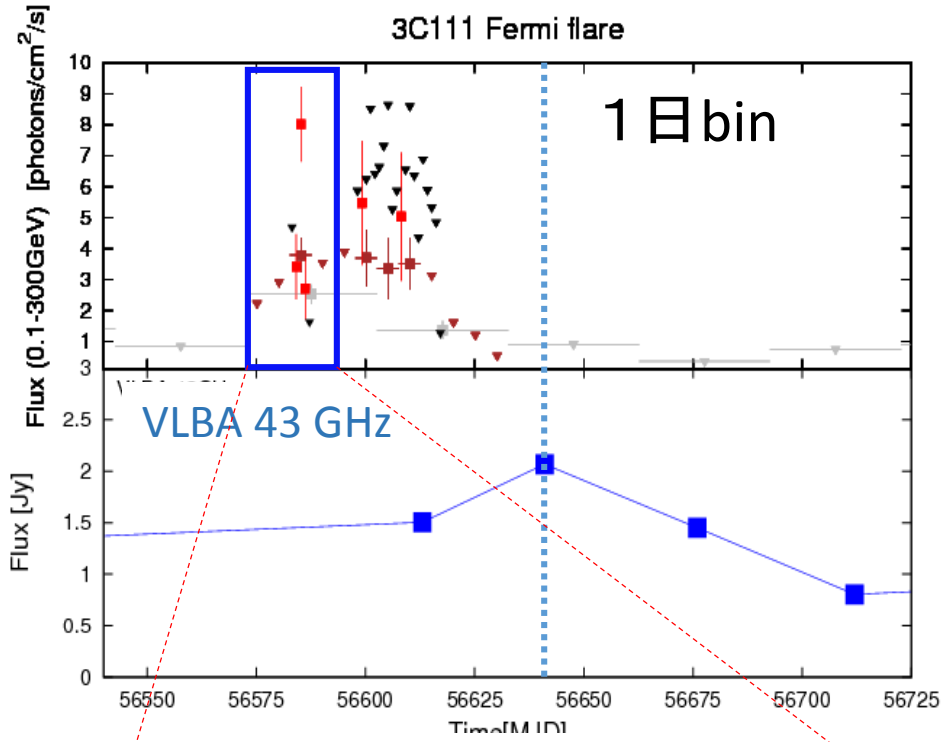
相関が無い時期の詳細解析

3C111 Fermi VLBA(Boston) SMA



短時間変動の
図を入れる

フレア期の詳細解析



電波コアフラックスの増加以前に
強いガンマ線フレアを発見

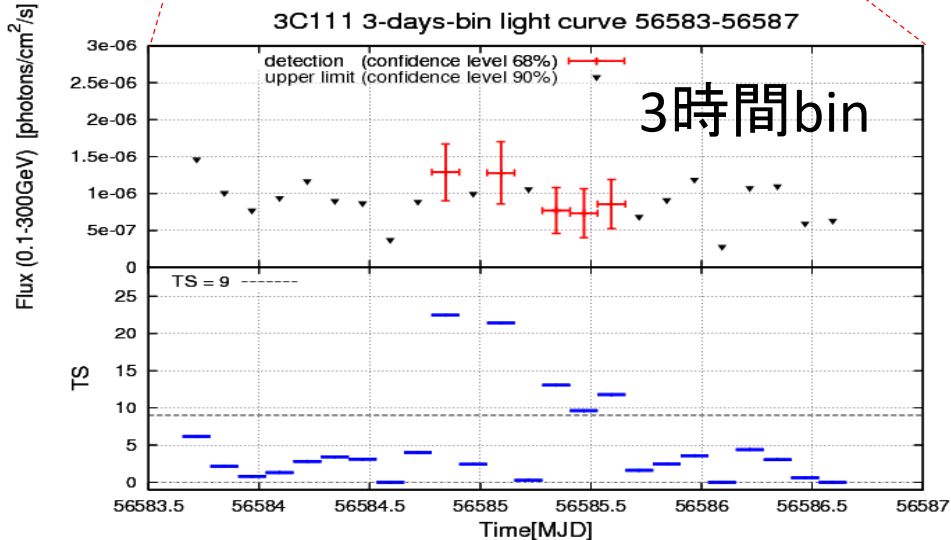
このことからガンマ線放射領域は
電波コアの内側にあることが示唆される

VLBAの観測から

$$\theta_{\text{jet}} = 2.8 \pm 0.8 \text{ [degree]}$$

(Jostad et al. 2005)

R : ガンマ線放射領域のサイズ



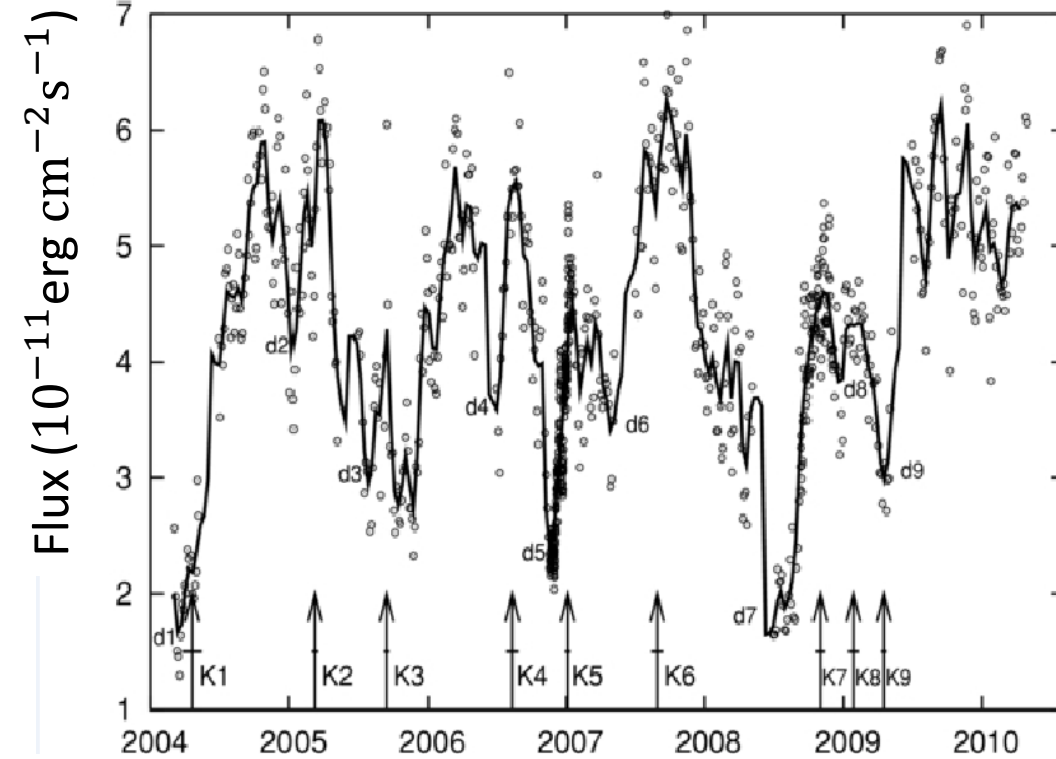
$$R \leq c \delta t_{\text{var}} \sim 8.9 \times 10^{15} (\delta/3.4)(t_{\text{var}}/1 \text{ day}) \text{ [cm]}$$

$$\theta_{\text{jet}} \sim \frac{R}{r}$$

$$r \doteq 0.1 \text{ [pc]}$$

3C 111 のX線減光に付随したノット放出

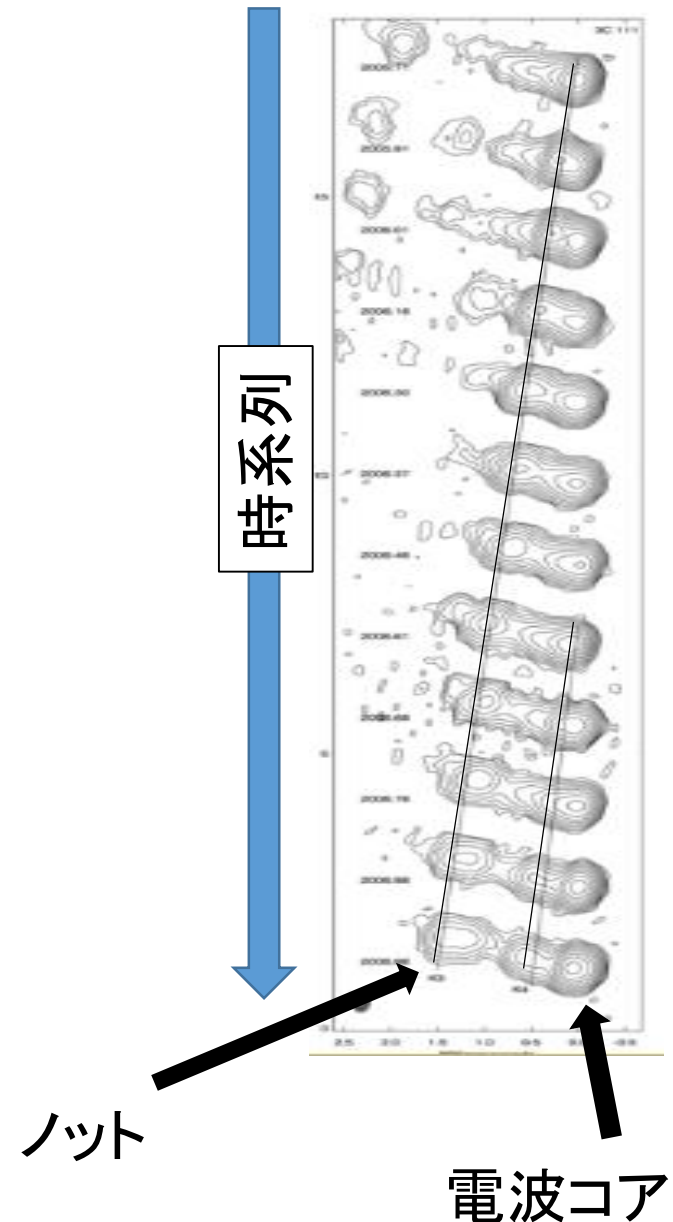
3C 111 X-ray light curve (RXTE, 2.4-10.0keV)



(chatterjee et al. 2011)

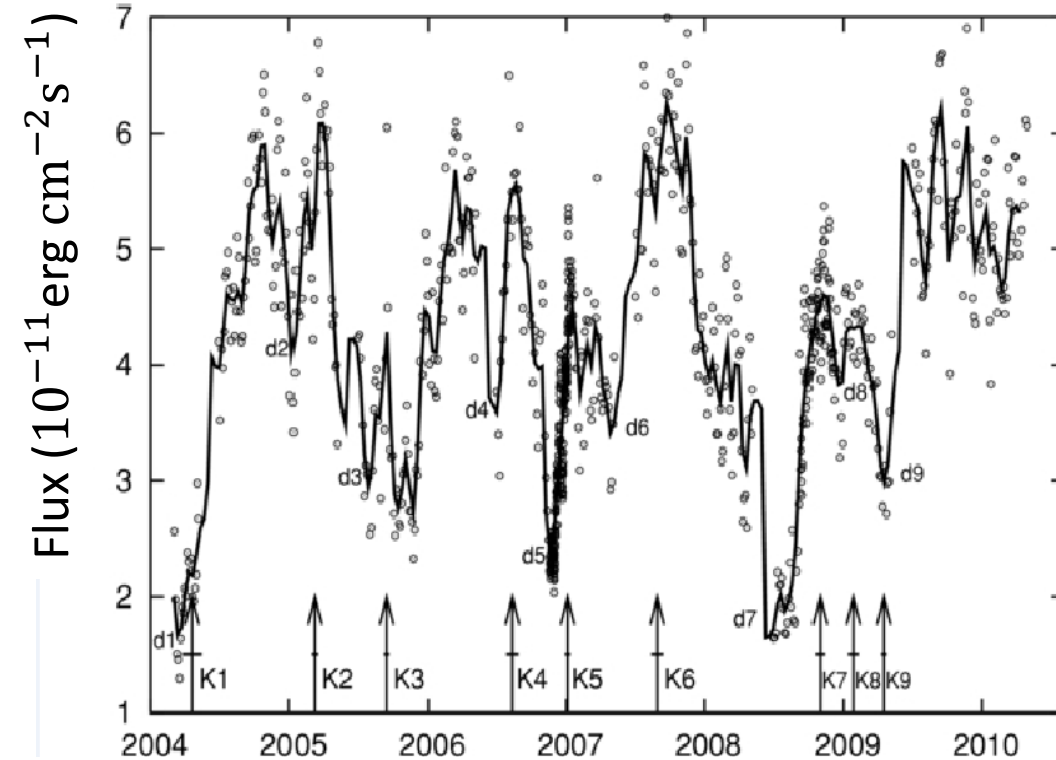
矢印はノットの放出時期を意味する
X線減光の後にノットの放出が見られる

この相関がみられる天体の数は少ない
(e.g., 3C 120 , ytanaka et al. 2015)



3C 111 のX線減光に付随したノット放出

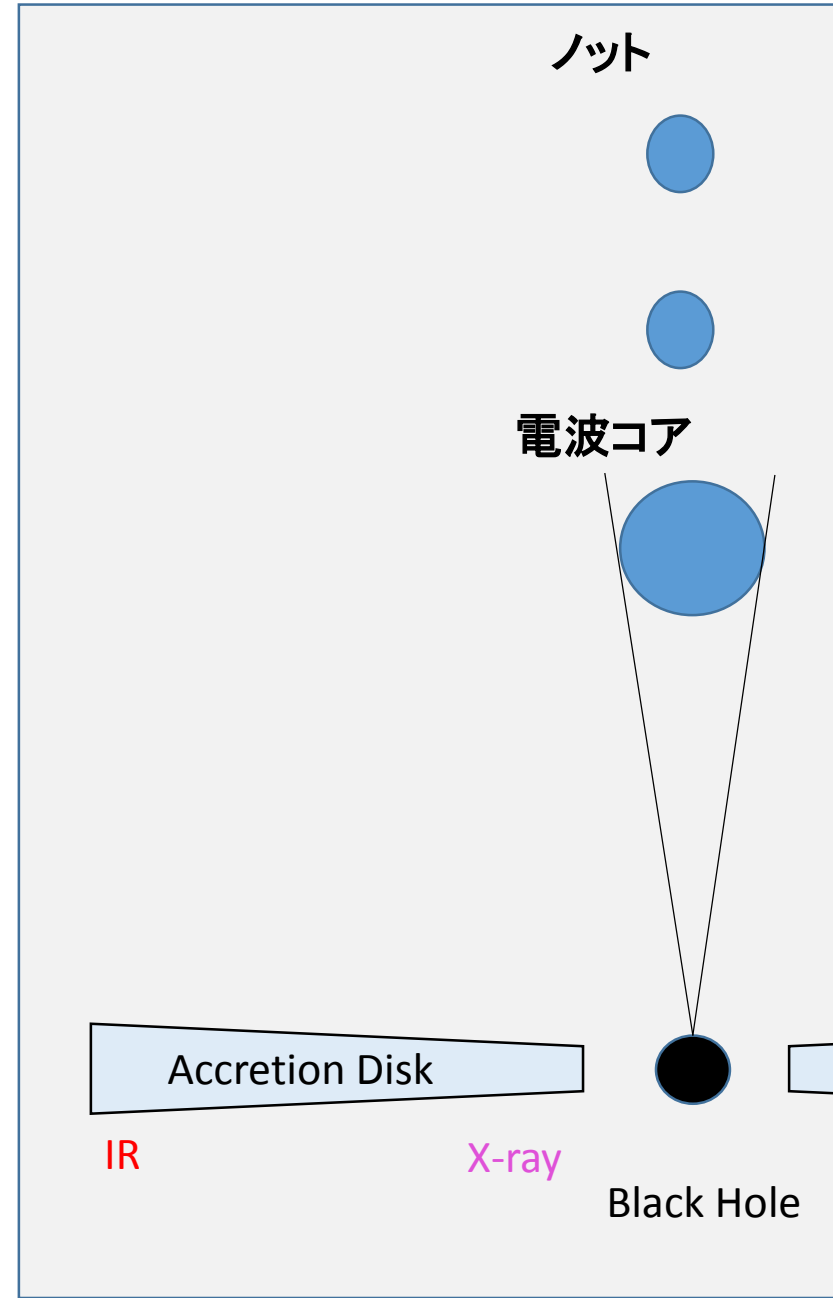
3C 111 X-ray light curve (RXTE, 2.4-10.0keV)



(Chatterjee et al. 2011)

矢印はノットの放出時期を意味する
X線減光の後にノットの放出が見られると
この図で示された

この相関がみられる天体の数は少ない
(e.g., 3C 120, Tanaka et al. 2015)



電波静穏期の γ 線フレア

