

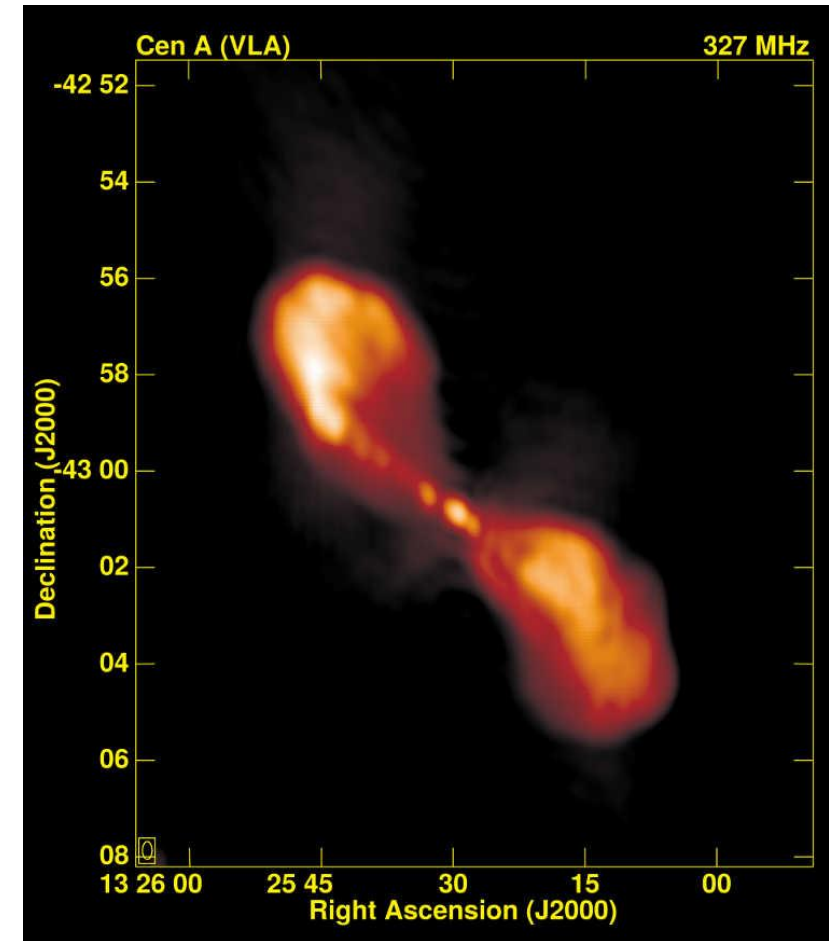
電波銀河 Cen Aのガンマ線 ジェットの研究

大庭伊織 深澤泰司 (広島大学)

Introduction

Cen A (Centaurus A)

- 最も近傍の電波銀河であり、中心のAGNから双方向に伸びる宇宙ジェットがkpcスケールで確認されている
- 外側にMpcスケールの電波ローブが存在する。
- ジェットで起こる物理過程を調べるために最適な天体！



~kpc

Cen A のkpcジェット (VLA)
Neff et al. 2015

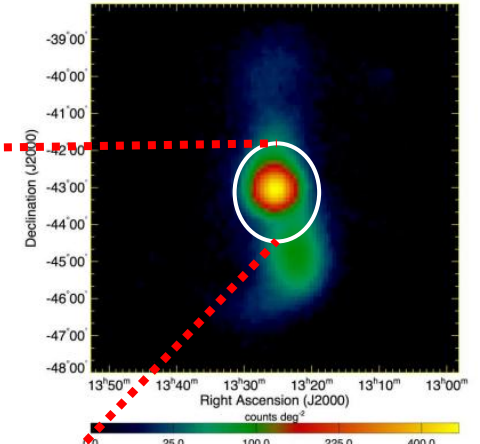
Very high energy along the Jet of Cen A

- H.E.S.S.によって、TeV領域のガンマ線が検出
- 楕円型のガウス分布モデルが最も統計的に有意
- 楕円の半長軸がジェット方向と対応

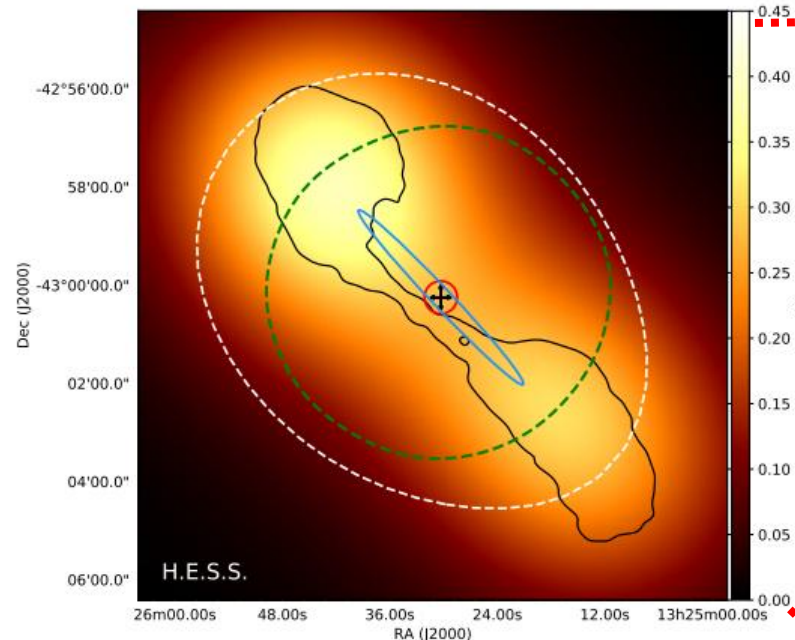
- Published in 2020
- The H.E.S.S. Collaboration, et.al

The Fermi Collaboration, et.al
2010

Count Map(Fermi)



Count Map(H.E.S.S.)



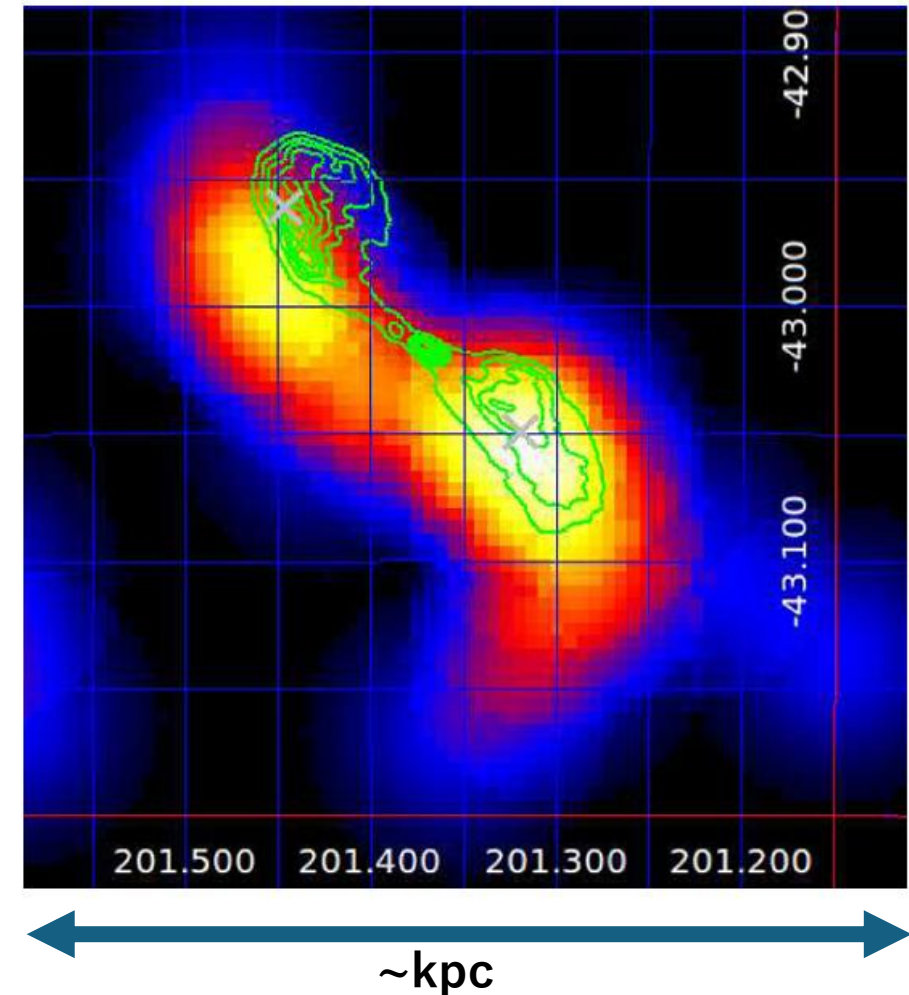
Parameter	Value	Statistical Error
σ_{maj} (°)	0.041	0.006
σ_{min} (°)	< 0.013	-
Ellipticity ε	0.92	+ 0.08 - 0.23
Position Angle φ (°)	43.4	+ 7.7 - 7.2

Fermi γ -ray from Jet

Published in 2018

D. A. Prokhorov and Colafrancesco et.al

- ・ 2008年-2017年の蓄積データにより kpc ジェットのガンマ線の構造を明らかにした
- ・ Fermi の検出光子の新しい再構成法を利用したデータ (Pass8) によりこの詳細な構造の解析が可能となった
- ・ コア付近で観測されたガンマ線光子がある程度、kpc ジェットから生成されている

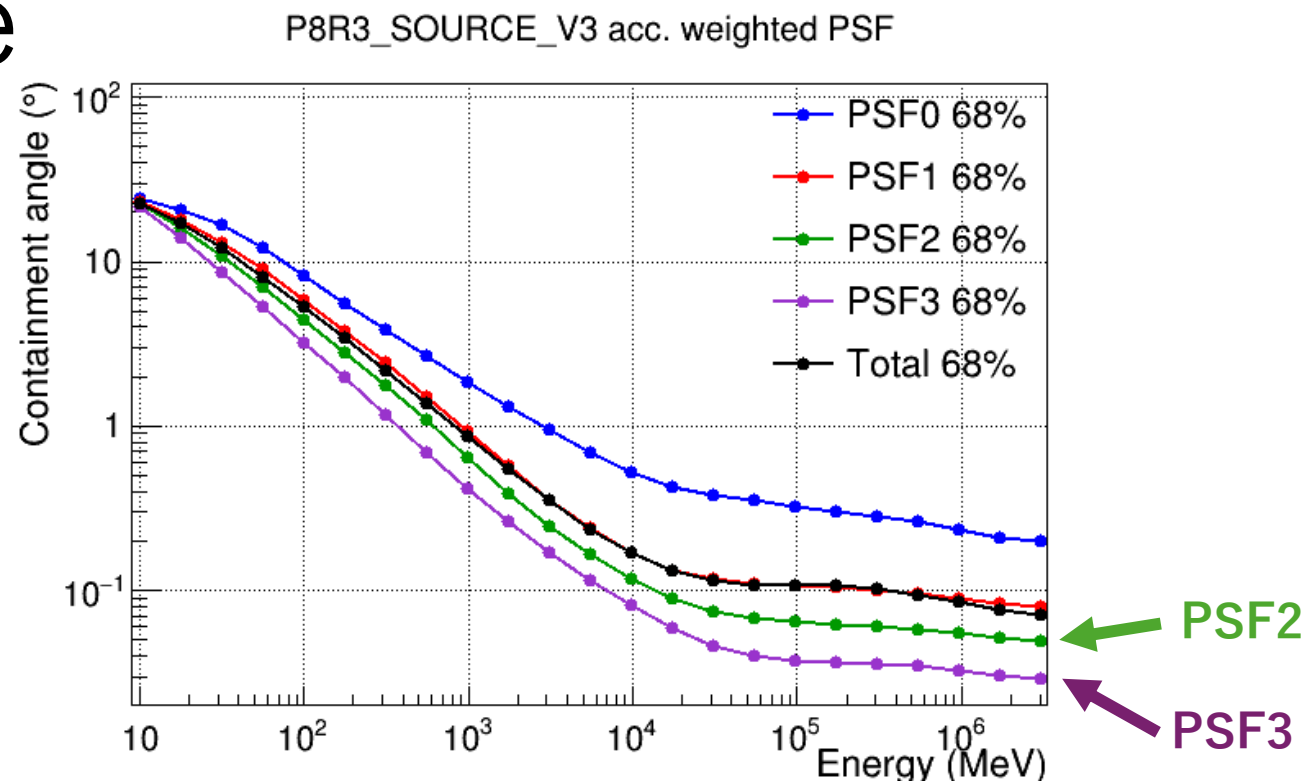


kpc ジェットの Count Map (Fermi-LAT)
smoothed with a Gaussian kernel of 0.06 °
※緑：電波(VLA)

Research Objective

- ・ガンマ線での宇宙ジェットの詳細な構造やそこで起こる物理現象は未だよくわかっていない

- ・Fermiの狭いPSFを持つイベントタイプである「PSF2」, 「PSF3」かつ以前より蓄積された統計によりkpcスケールのジェット構造が調べられる



Fermi-LATの各イベントタイプのPSF

研究目的

- ・2008年から現在に至るまでの蓄積されたFermiデータを用いることでkpcジェットの詳細な構造を調べる

TS map

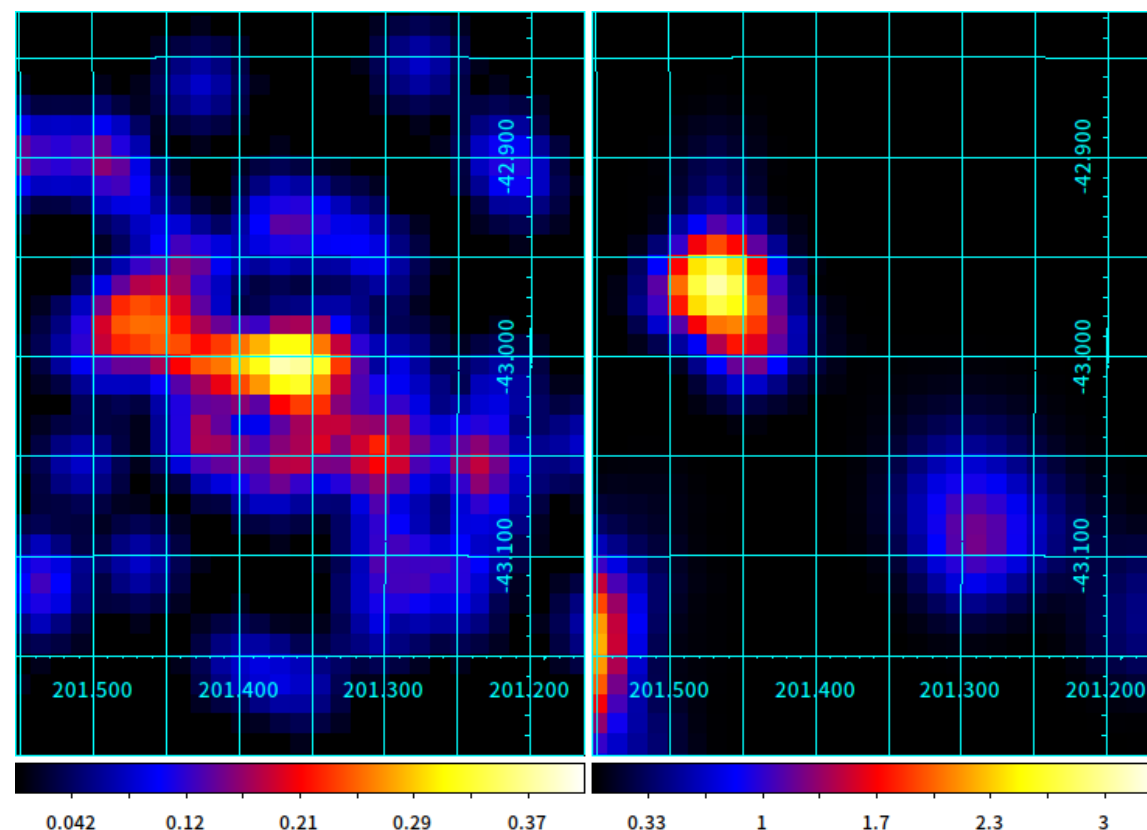
6

TS (Test Statistic) . . . ガンマ線源の有意性を評価する検定統計量

- ・ 既知の天体モデル(コア、ローブ等) をカウントマップから引き、残差マップの各ピクセルでのTSを計算し、空間マップとして表示

$0.01^\circ/\text{pixels}$

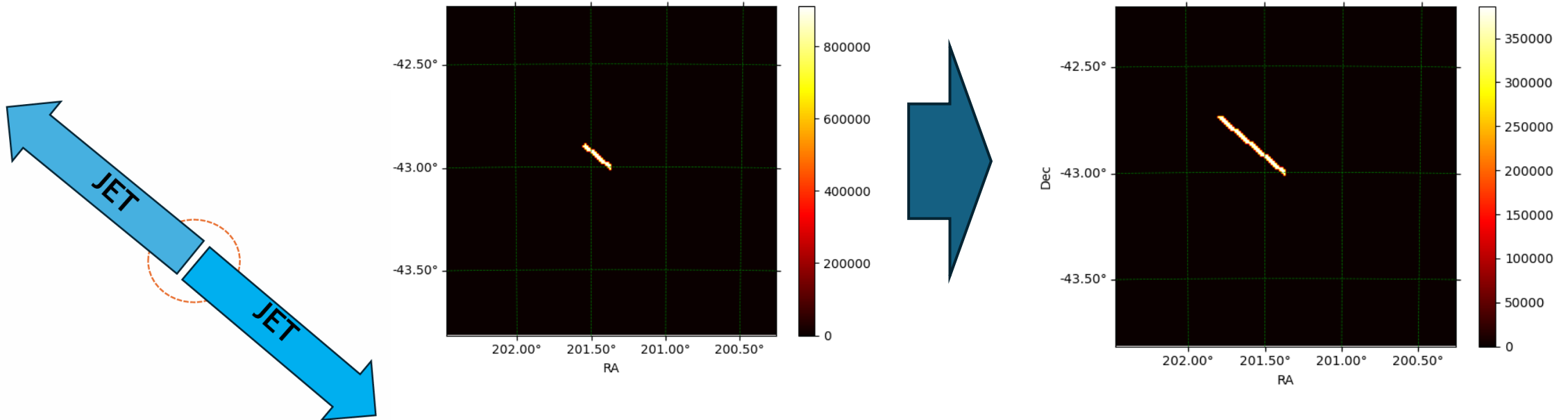
既知の天体以外にガンマ線源が確認
→ ジェットの存在の **定量的な証拠**



L : Count map(5-500 GeV) R : TS map

Jet Modeling

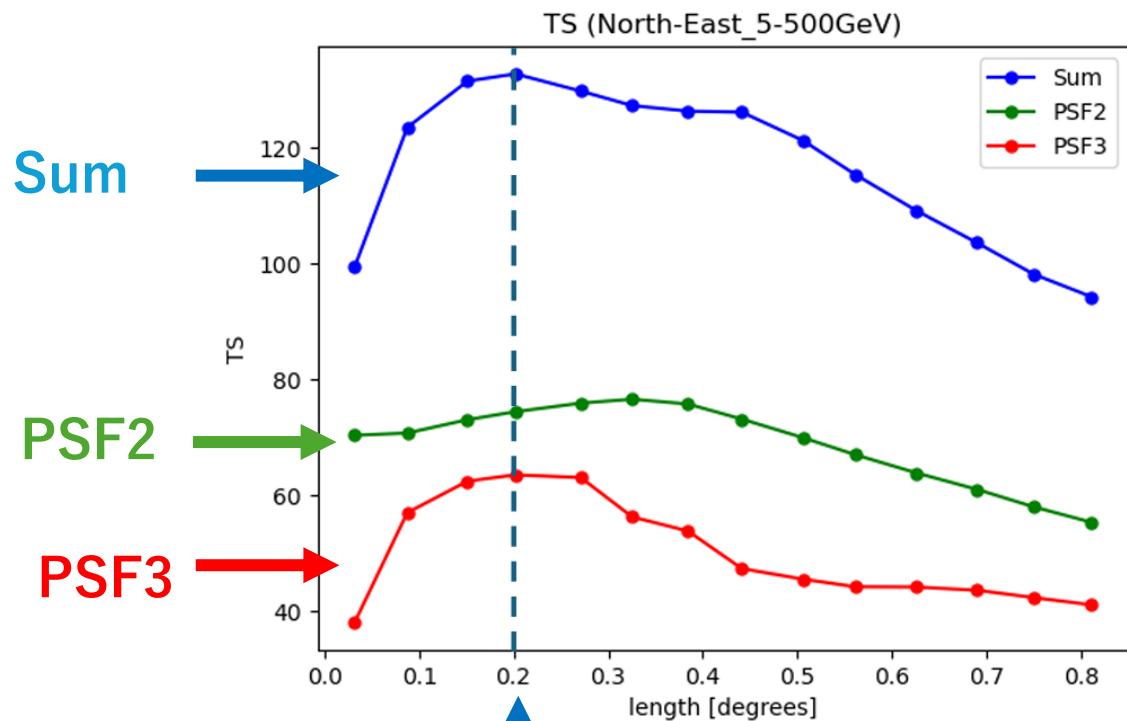
↓ モデルジェットの空間マップ（北東ジェット）



- 中心から徐々に外側にモデルジェットを伸ばしていき、
各モデルでのジェットの有意度(TS)を比較
- 北東方向のジェットと西南方向のジェットを別々に定義

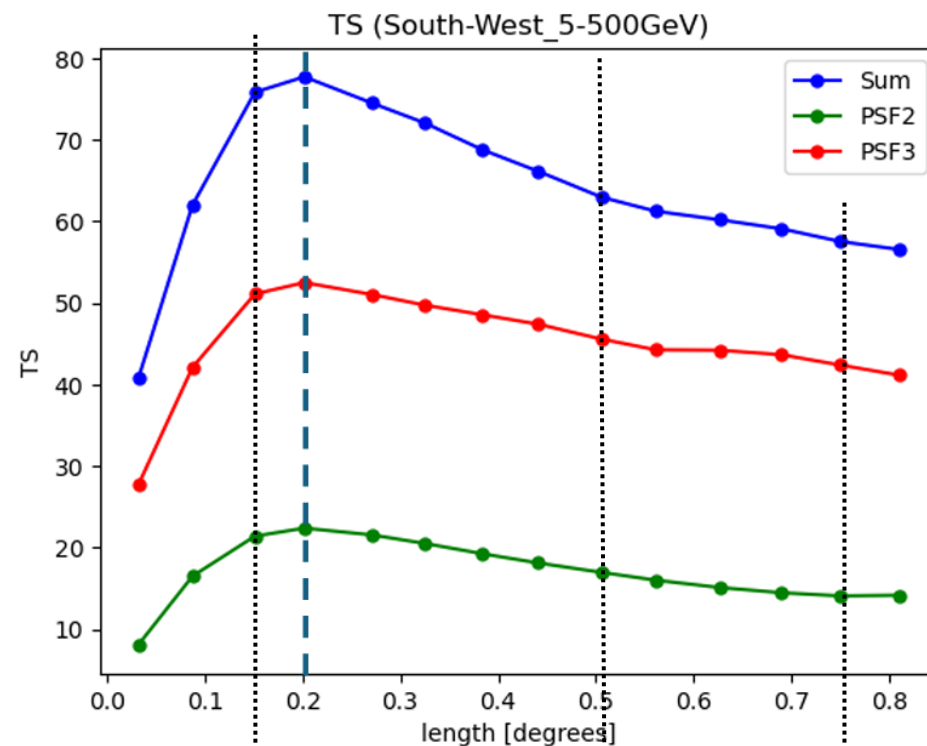
Result

モデルジェットの長さに対するTSの変化 左：North-East 右：South-West

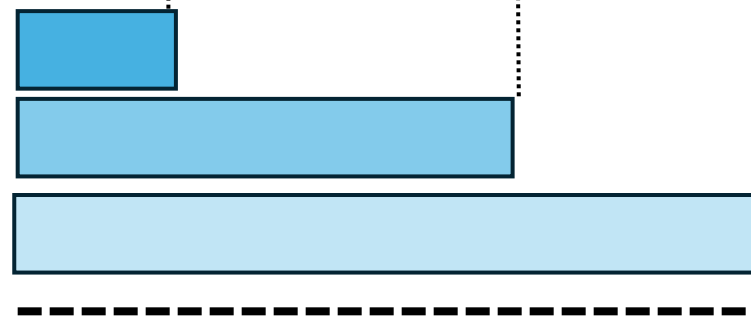


H.E.S.Sで観測されたジェットの長さ

- 0.15~0.2° でTSがピークに達しその後、減少
→12kpc付近までジェットが伸びている？

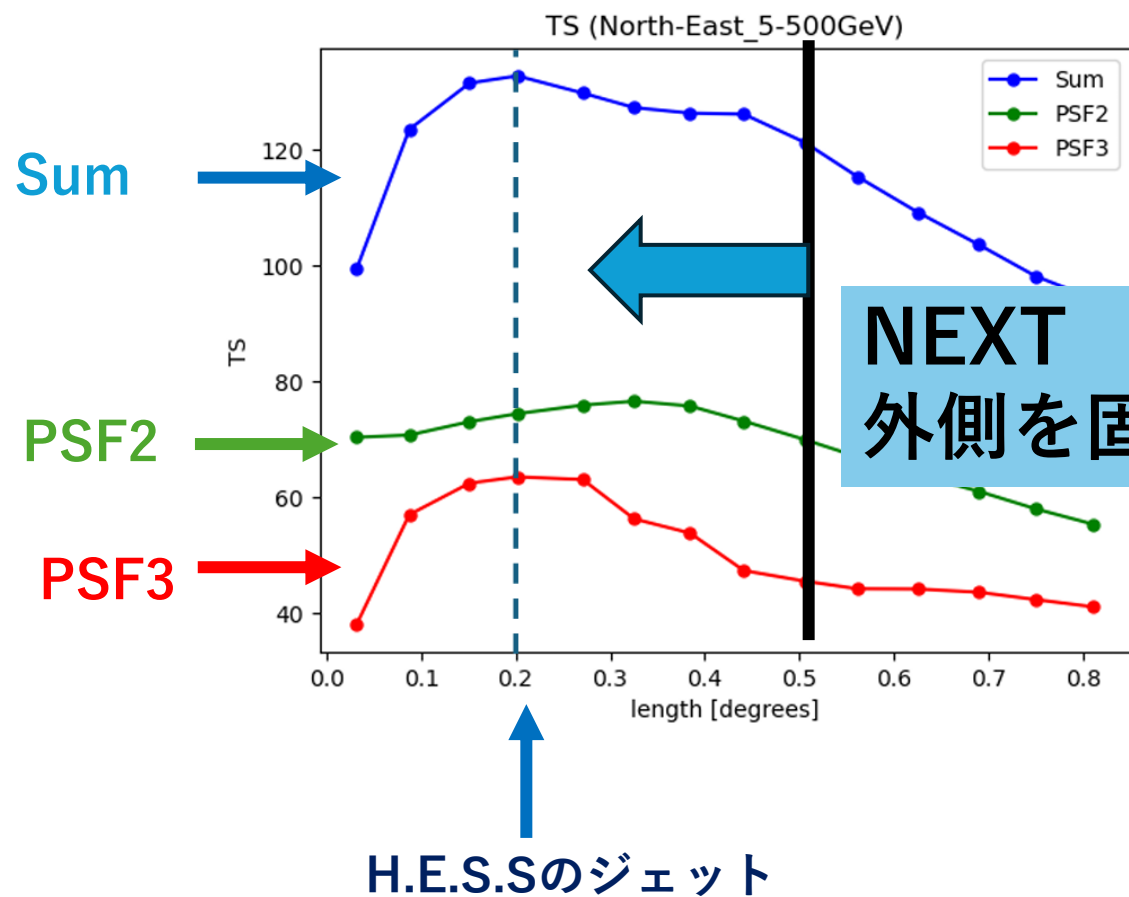


↓ Jetを外側に伸ばす



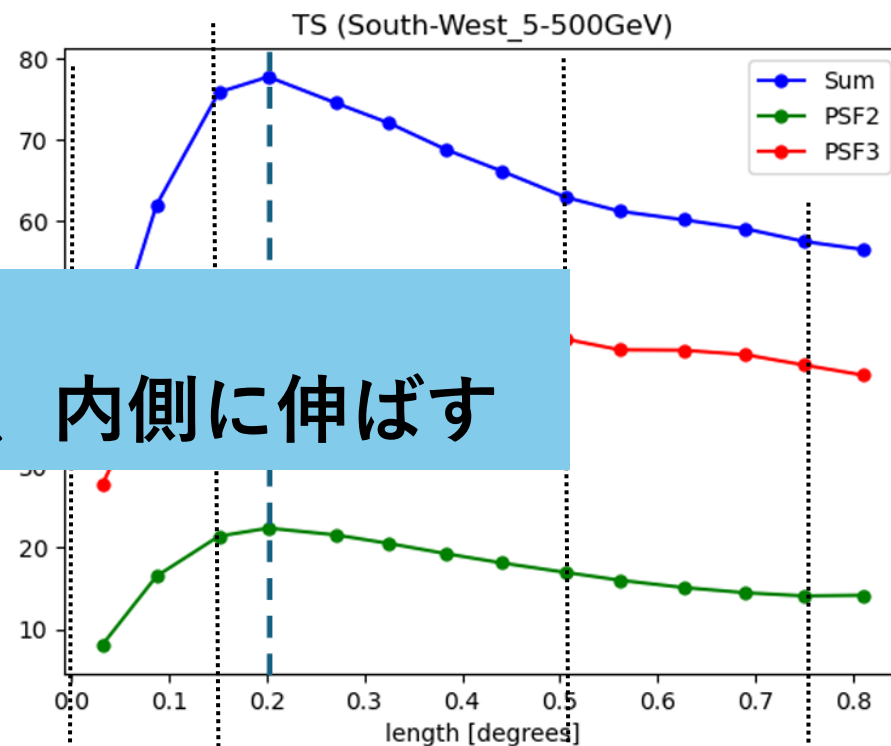
Result

モデルジェットの長さに対するTSの変化 左：North-East 右：South-West



NEXT

外側を固定し、内側に伸ばす

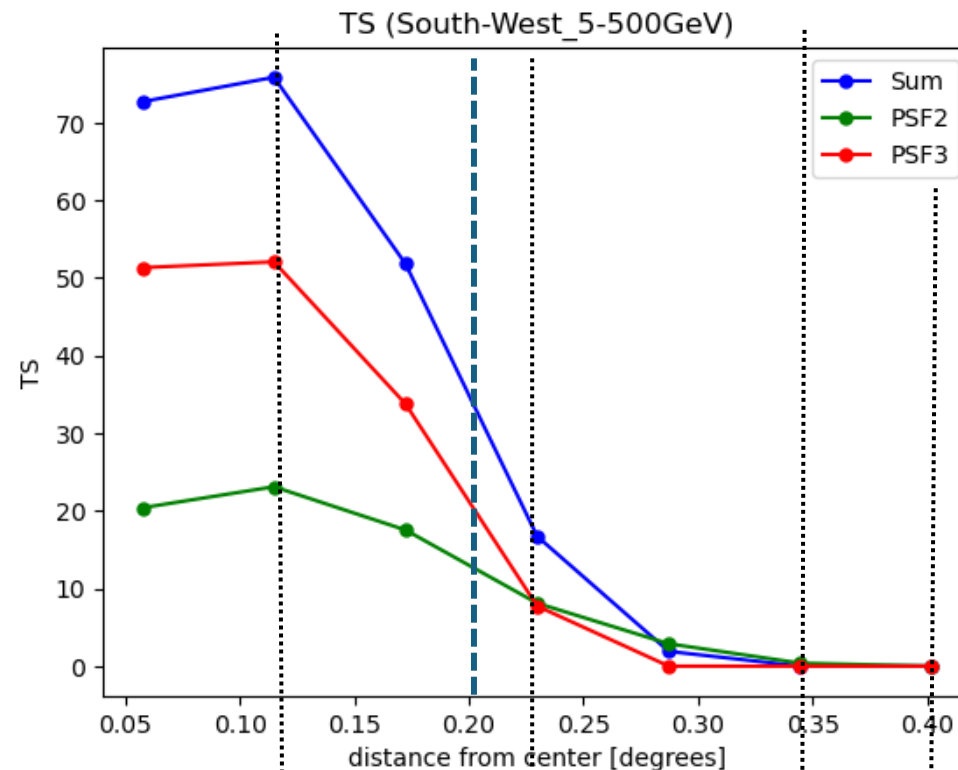
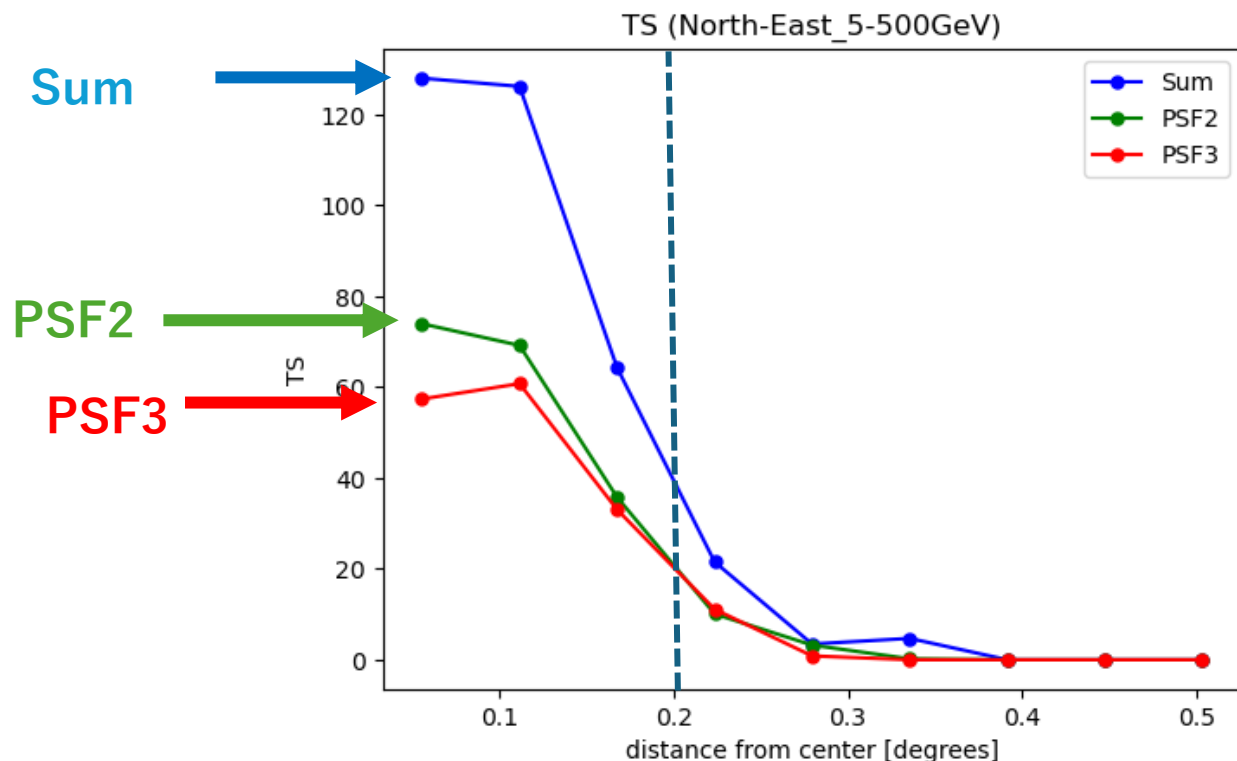


JET

- 0.15~0.2° でTSがピークに達しその後、減少
→12kpc付近までジェットが伸びている？

Result2

モデルジェットの長さに対するTSの変化 左：North-East 右：South-West

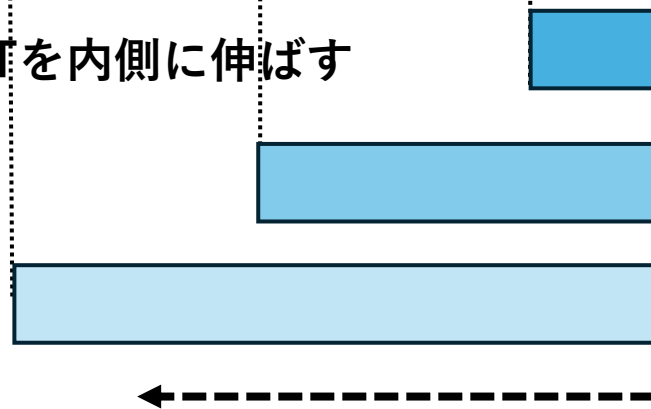


- ・ 0.2° ($\sim 12\text{kpc}$)付近までジェットからの光子が有意に検出されている

→ TeV帯とほぼ同じ領域までジェットが伸びている

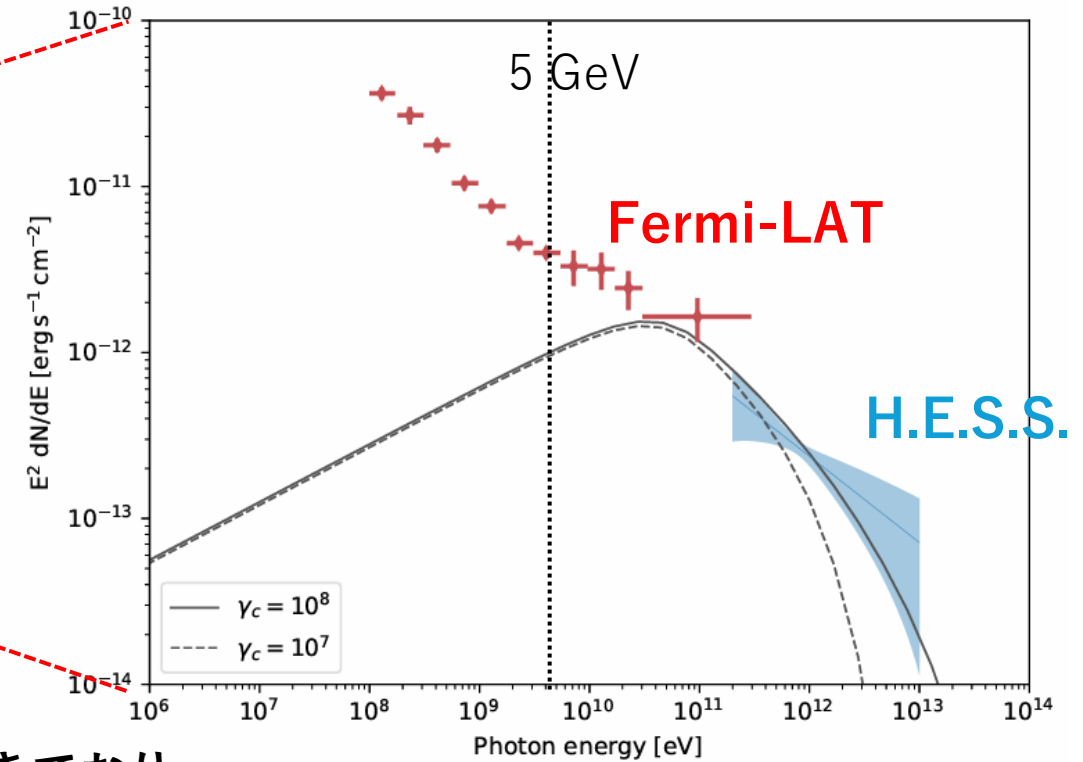
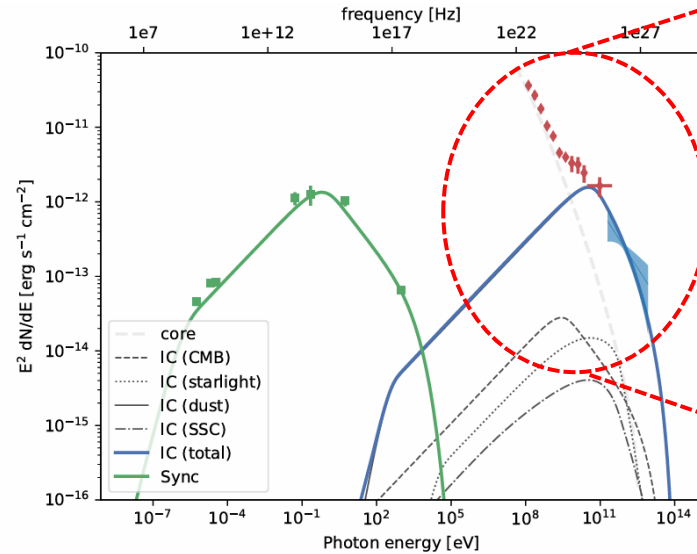
- ・ コア付近の放射が相対的に強い

JETを内側に伸ばす



コア付近のSED

Discussion



- ~12kpcで衝撃波によるガンマ線の粒子加速が顕著に起きており、それより外側の領域では、エネルギーが散逸しきっている

↑ 5 GeV以上のIndex: ~-2.0

- 数GeVを超えるとスペクトル硬化が起き、ジェットからの放射の寄与が大きくなる
- 課題→現時点ではコアとジェットの放射が混在している

	Index
N-E	-2.08
S-W	-2.54

Future Work

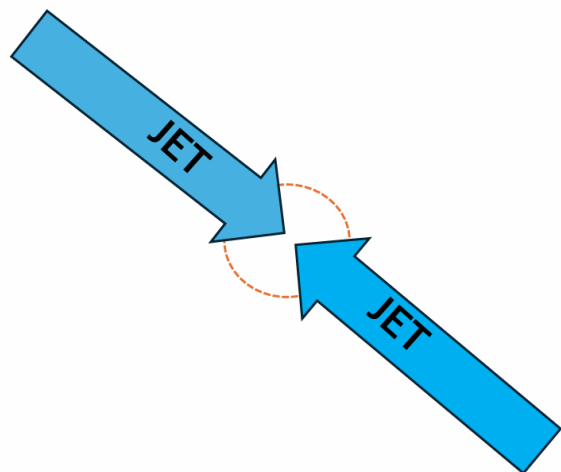
コア付近での放射のコア成分とジェット成分の放射を分離することで
ジェット成分のみの解析を行う

Summary

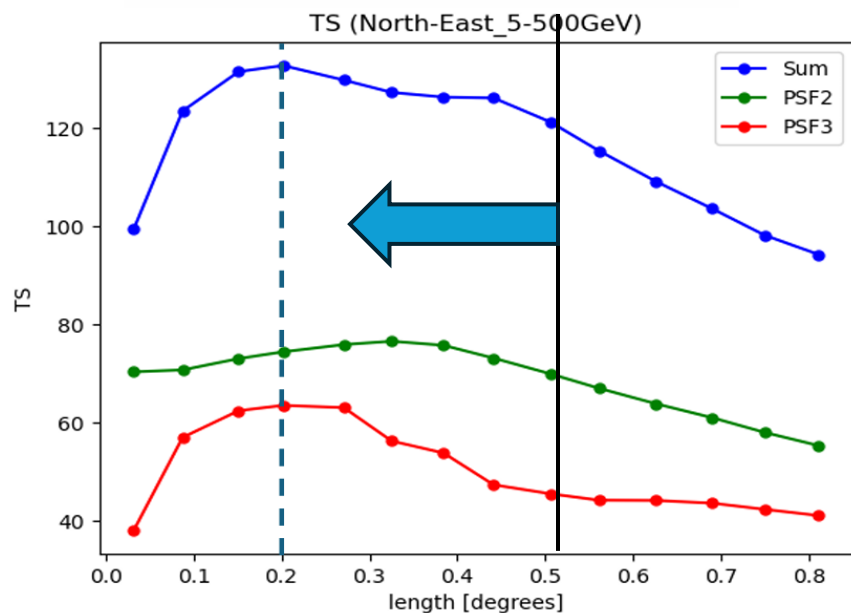
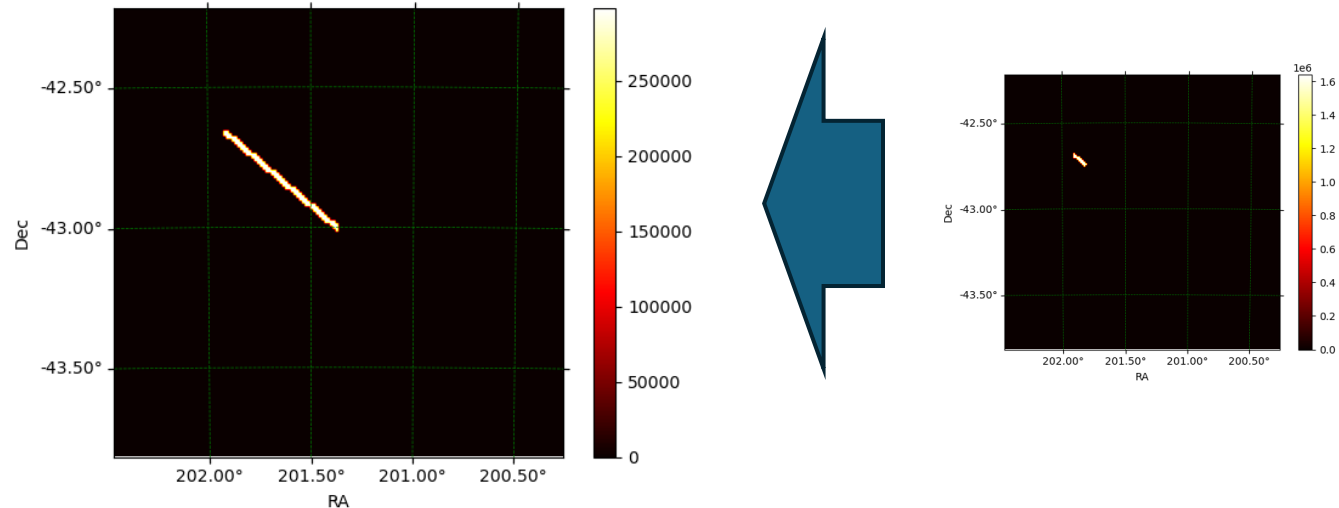
- Fermi-LATを用いて、電波銀河 Cen Aのkpcジェットガンマ線の詳細な形状を調べた。
- 12kpc付近までジェットとしてのガンマ線が有意に検出されておりその付近までジェットが伸びていることが分かった。
- ガンマ線では、 0.2° ($\sim 12\text{kpc}$)までに衝撃波による粒子加速が顕著に起きており、それより外側の領域では、エネルギーが散逸しきっている。
- コアとジェットの放射成分を分離した解析が必要！

Backup Slide

Jet Modeling 2



↓ モデルジェットの空間マップ（北東ジェット）



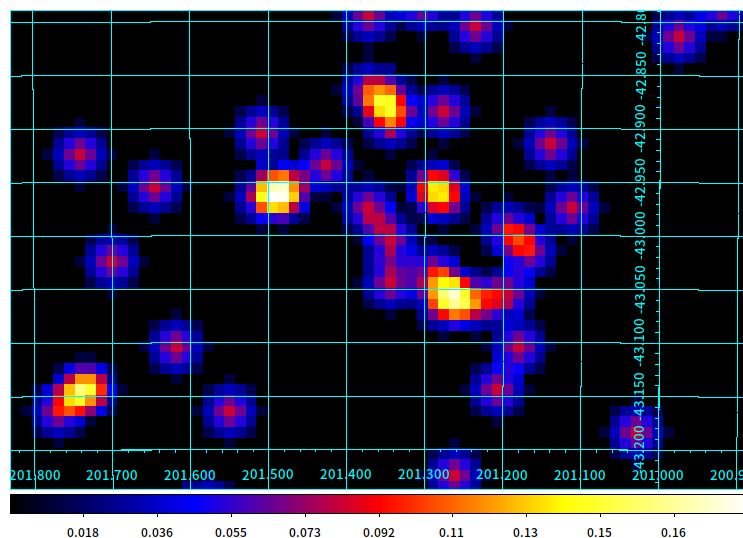
- ・ 先程とは反対にジェットを外側から内側に伸ばしていき、TSを比較
- ・ ジェットの外側の端を固定し、中心方向に伸ばす

Count Map of the jet

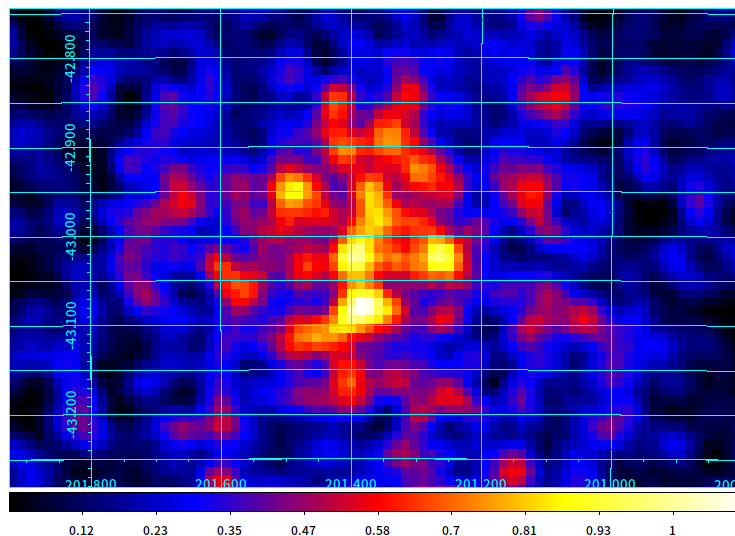
- ・エネルギーが低すぎるとPSFが広がる
- ・FermiのPSFを考慮しつつ、最大の光子数が得られるエネルギーを選択
- ・本研究では、5-500 GeVにおけるPSFの良いPSF2,PSF3を選択

Best
image ?

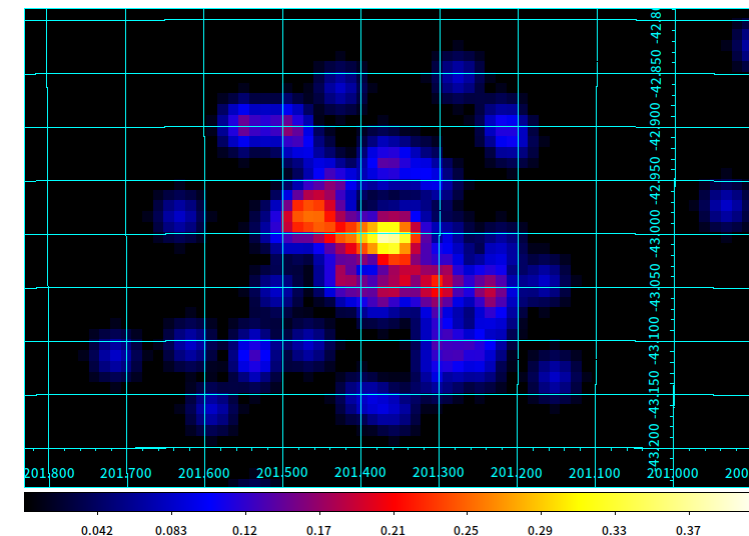
Count Map $0.01^\circ/\text{pixels}$ $0.5^\circ \times 0.9^\circ$



PSF0 5-500 GeV



PSF3 1-5 GeV



PSF3 5-500 GeV

