

B37b

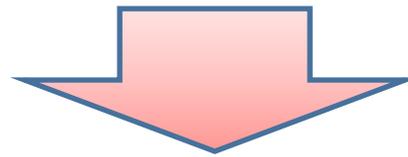
# 高感度VLBI 観測による未同定ガンマ線源 に付随する高輝度電波源サーベイ

新沼浩太郎 (山口大学)

藤永義隆, 藤澤健太, 元木業人 (山口大学), 澤田-佐藤聡子, 小山友明, 河野祐介 (NAOJ), ほか大学VLBI連携関係者

# 目的

- 活動銀河核（AGNs）ジェットの高エネルギー放射メカニズムを探るため
  - カタログ化されている高エネルギー源のうち大きな割合を占めるブレーザーの特徴を理解
    - 暗いブレーザーを含んだ系統的特徴の議論（”ブレーザーシーケンス”）
  - ブレーザー以外の高エネルギーAGNの数の増加をめざし、



高銀緯の未同定高エネルギー天体に対して  
高感度VLBI観測を行う！！

# 目的

- 未同定  $\gamma$  線天体の電波同定を目指すうえでVLBIを選択  
メリット：AGN（～高輝度温度天体）を選択的に検出
  - 仮定として“ $\gamma$ 線源 = AGN”
- 従来のVLBI観測は非常に明るいAGNのみが対象（感度の問題）
- 従来の検出感度よりも暗いAGN(それでも高輝度温度)もサンプルとして増やす必要→統計的議論の有意性
  - 従って高感度VLBI

# Fermi/LAT 2<sup>nd</sup> カタログ

## ~ Fermi Gamma-ray Space Telescope ~

2008年から始動

受信帯域：20[MeV] - 300[GeV]以上  
( $\gamma$ 線帯域)



<http://fgst.slac.stanford.edu/WhatIsFGST.asp>

## ~ Fermi large area telescope second source catalog ~

2年間(2008-2010)で検出した、1873の $\gamma$ 線源のカタログ  
観測帯域：100[MeV] - 100[GeV]

1298天体	127天体	・・・種類まで判明
	1171天体	・・・対応天体と思われる天体を発見
575天体	対応天体不明	

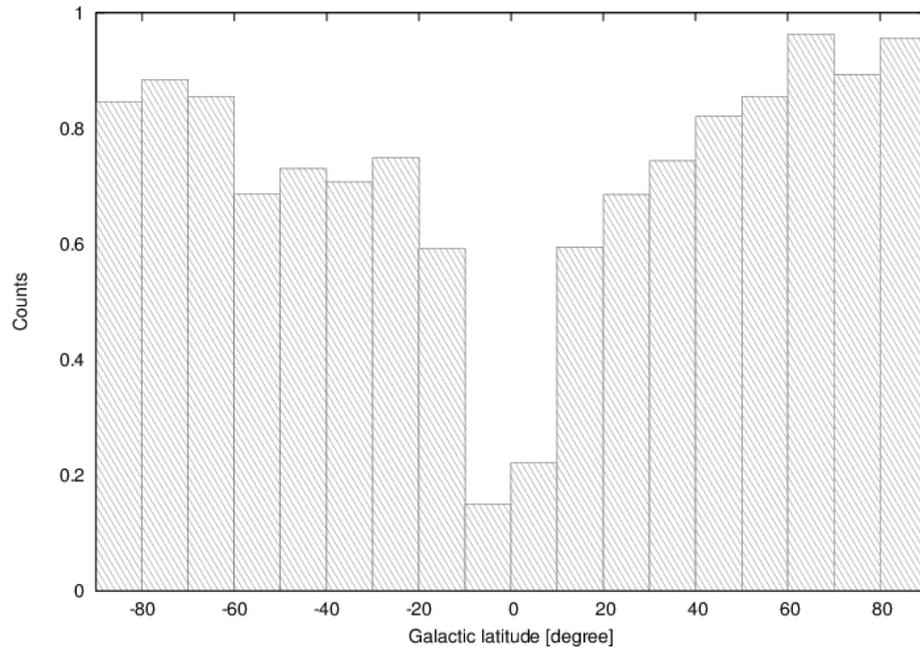
# Fermi/LAT 2<sup>nd</sup> カタログ

## ~ Fermi large area telescope second source catalog ~

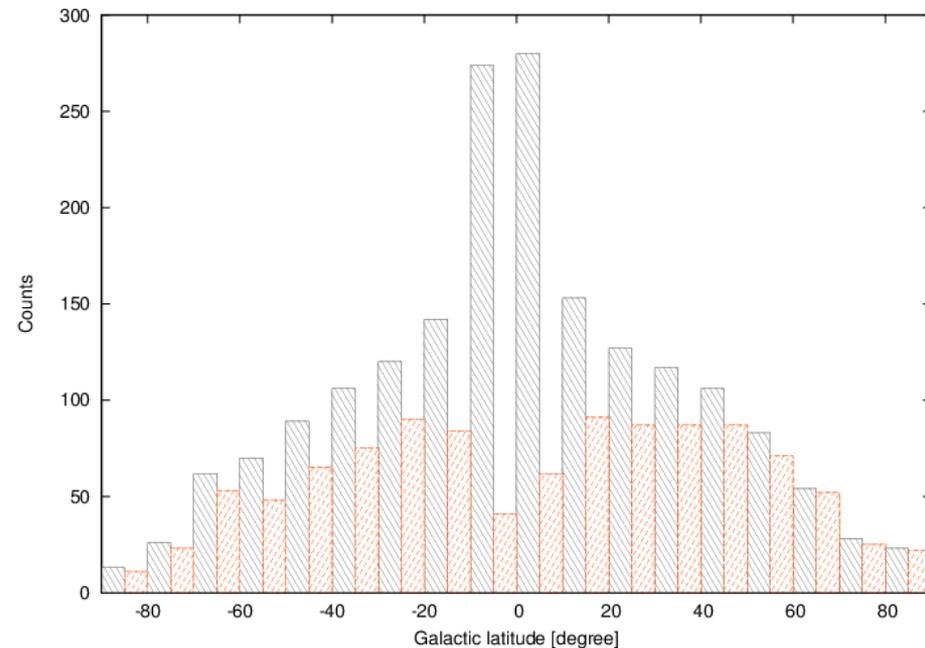
同定・対応付けが行われている天体の61%がブレーザー

( 1298天体のうち806天体 )

→ 特に高銀緯の天体の場合、ほとんどがブレーザー( Ackermann et al. 2011 )



同定 $\gamma$ 線天体中のAGNの割合のヒストグラム



同定 $\gamma$ 線天体(青)とその中のAGN(赤)のヒストグラム

# 天体の選定

## ～ 未同定 $\gamma$ 線天体の選定 ～

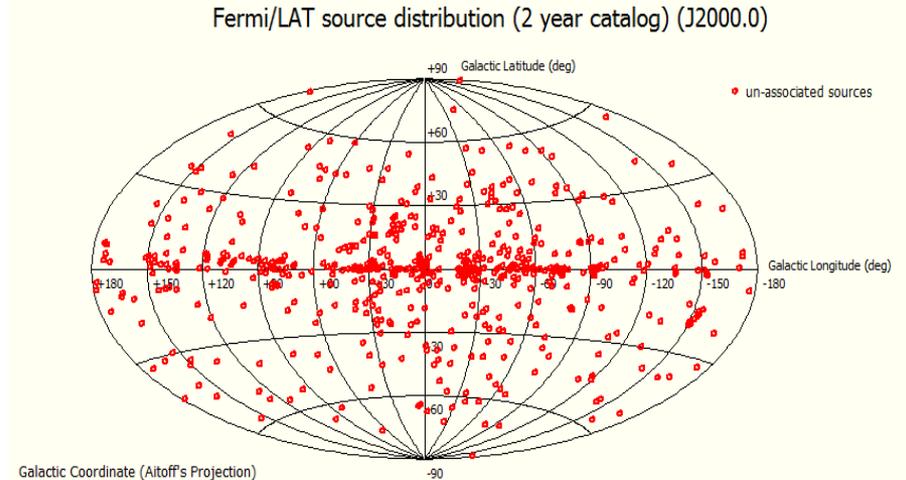
条件	
銀緯	-5度以下, 5度以上
赤緯	-30度以上

- 銀緯 . . . 銀河面から離れている  
= 系外天体の可能性が高い
- 赤緯 . . . 観測可能は範囲

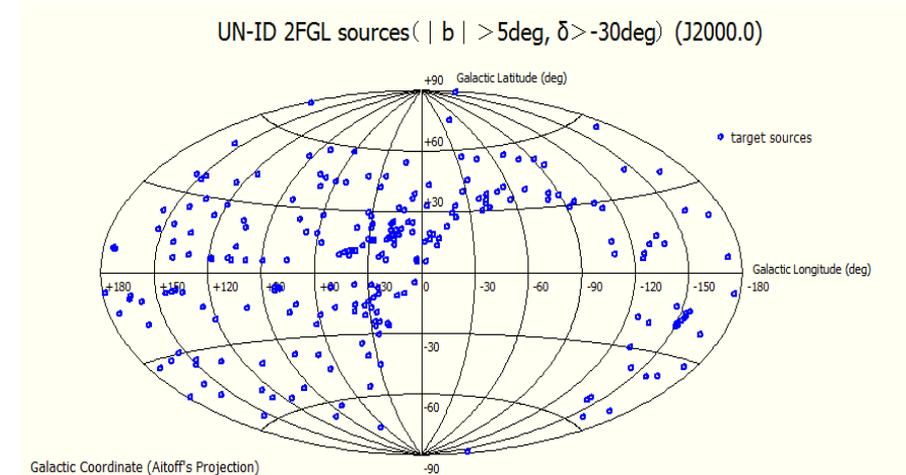
575天体の未同定  $\gamma$  線天体



234の  $\gamma$  線天体を選定



未同定  $\gamma$  線天体の銀河座標での分布



選定した  $\gamma$  線天体の銀河座標での分布

# 天体の選定

## ～ 電波天体の選定 ～

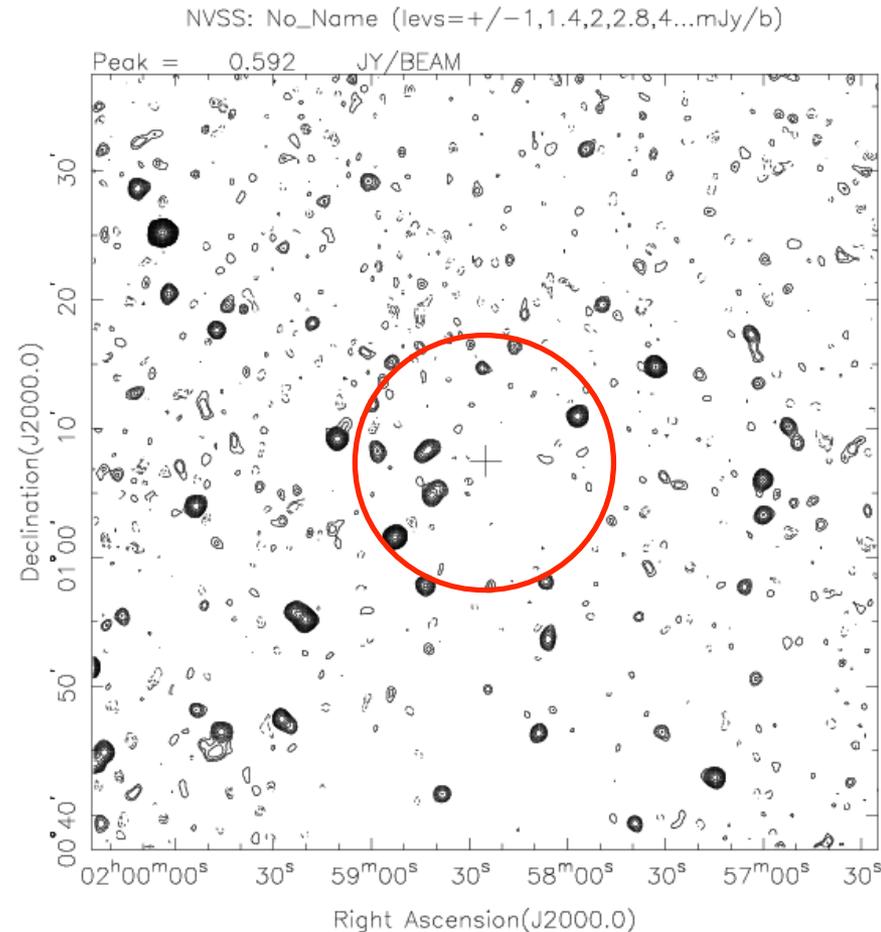
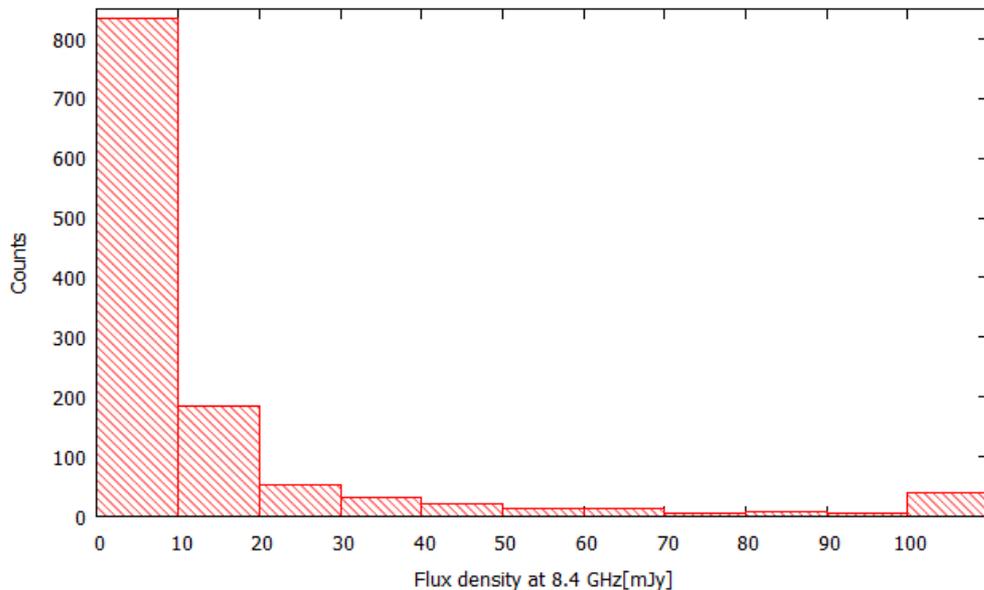
選定した $\gamma$ 線天体の位置誤差内にある  
電波天体を既存のカタログから選出

選定に用いた電波カタログ

NVSS @1.4 GHz

FIRST @1.4 GHz

⇒ 1211天体の電波天体を選定



2FGL J0158.4+0107

( <http://www.cv.nrao.edu/nvss/postage.shtml> )

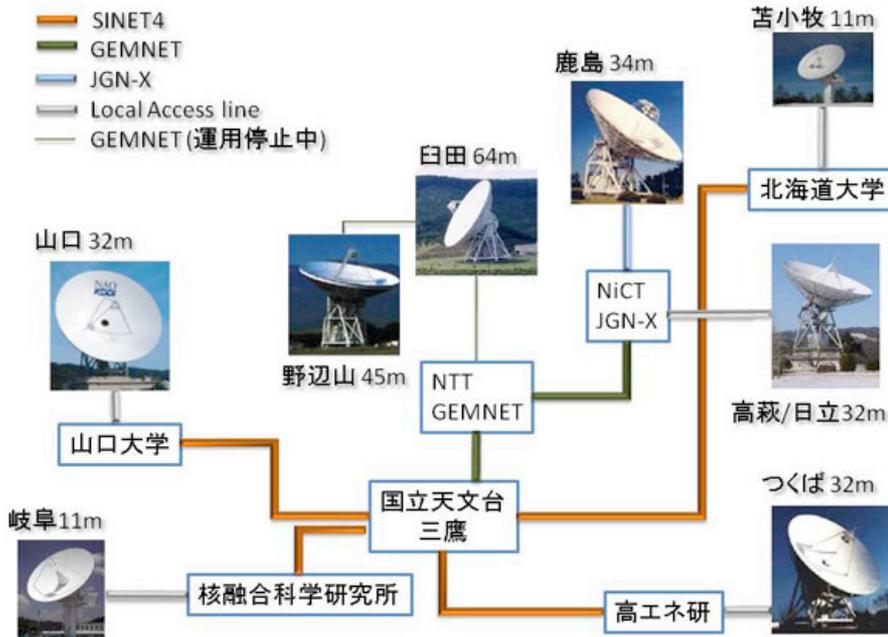
赤丸：ガンマ線源の位置誤差

# 光結合VLBI (高感度VLBI観測)

## 光結合VLBIシステム – OCTAVE –

(Optically Connected Array for VLBI Exploration)

- SINET4
- GEMNET
- JGN-X
- Local Access line
- GEMNET (運用停止中)



OCTAVEホームページ

<http://veraserver.mtk.nao.ac.jp/evlbi/network/>

高速光回線 (国立情報学研究所のSinet4を利用) による数 Gbpsのデータ伝送レート

- 各局から国立天文台三鷹相関局へのデータ伝送+記録
- 専用H/W相関器による実時間相関処理

大学VLBI連携のサブアレイとして広帯域記録システム同様, 512 MHzの帯域を処理可能

- 2Gbps = 2bit x 1024 Msps

詳細は大学間連携セッション B22a(小山ほか)参照

# 観測概要

## < 観測エポック情報 >

### 観測エポック情報

観測日及び時間	観測周波数[GHz]	天体数
12月1日 6時間13分	8.192~8.704	85
12月2日 21時間27分		248
12月3日 5時間8分		66
12月8日 12時間30分		154
12月24日 22時間27分		292

観測できた天体数は計845天体(時間不足)

## < 観測システム >

光結合VLBI 山口-つくば基線 (基線長: 約800km)

角分解能: 9.2 mas

$$\theta \cong \frac{\lambda}{D} \quad \theta: \text{角分解能} \quad \lambda: \text{波長}$$

$$D: \text{基線長}$$

予想雑音レベル:  $\sim 0.8 \text{ mJy}$   $\Delta S_{ij} = \frac{1}{\eta_s} \sqrt{\frac{SEFD_i SEFD_j}{2\Delta B \tau}}$

$\Delta S$ : ノイズレベル  $\eta_s$ : 量子化損失  
 $\Delta B$ : 帯域幅  $\tau$ : 積分時間  
 $SEFD$ : システム等価フラックス密度

1 天体あたり3分のスナップショット観測

$SEFD$ : システム等価フラックス密度

# 検出天体

## < 検出条件 >

積分時間を120s, 150s 170sと変化させてもクロスパワースペクトルのピーク位置 (右図参照) が変化しない, 及び  
S/Nが6以上 → 検出天体  
S/Nが6程度 → 準検出天体

検出天体・・・15天体  
準検出天体・・・14天体  
計29天体検出

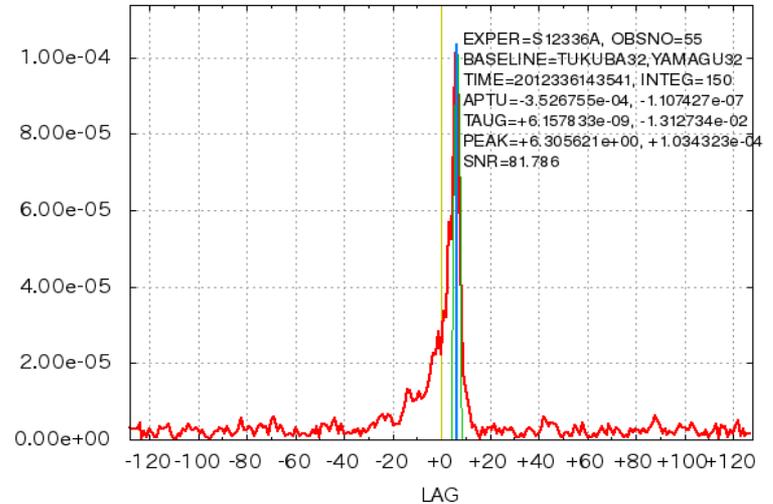
本観測での最大角分解能(9mas)を天体の大きさと仮定して計算



検出・準検出天体は全て輝度温度の下限値が $\sim 10^7$  [K]!

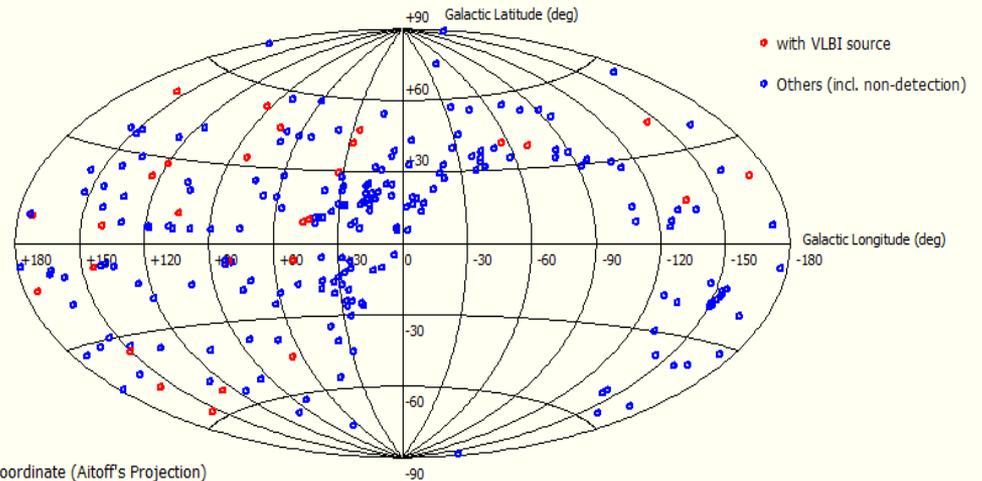
2FGL J1208.6-2257を除き、1つの $\gamma$ 線源に対して1つの高輝度温度電波源が見つかった

J0307.4A



結果として出力されるクロスパワースペクトル

UN-ID 2FGL sources ( $|b| > 5\text{deg}$ ,  $\delta > -30\text{deg}$ ) (J2000.0)



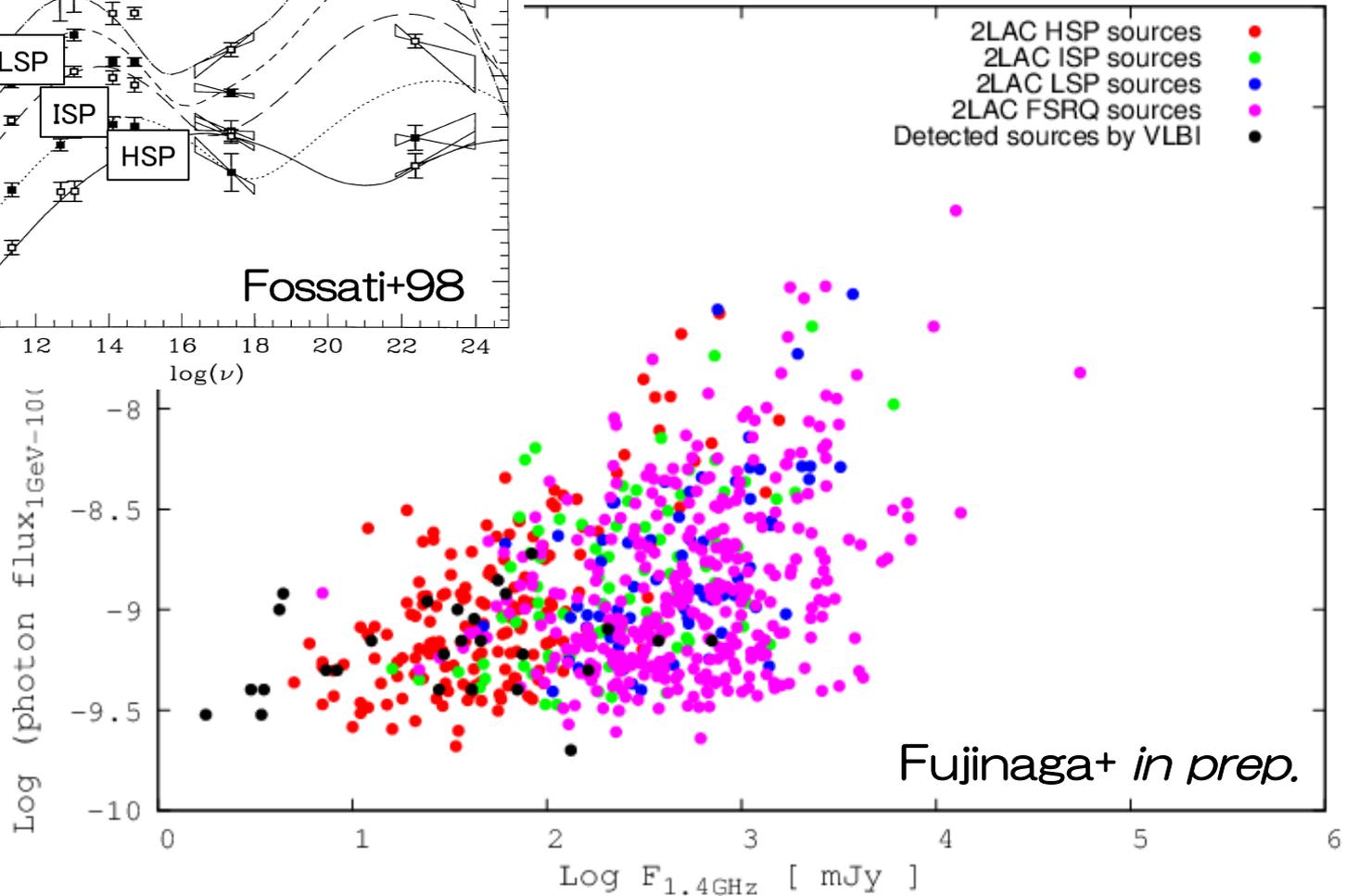
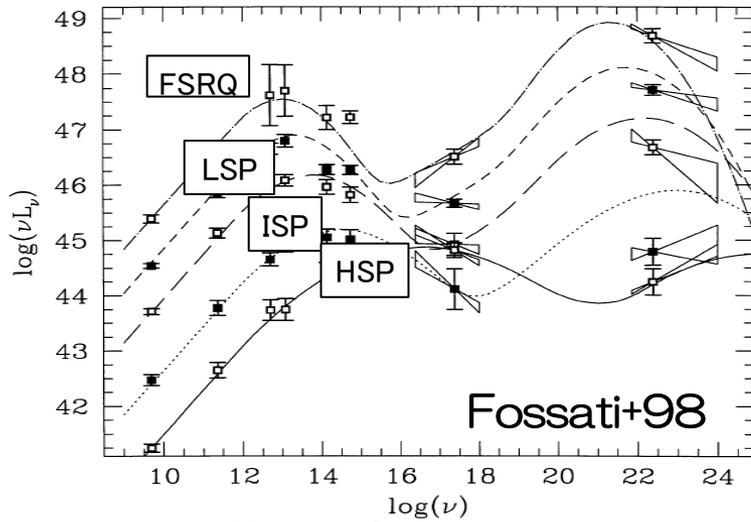
Galactic Coordinate (Aitoff's Projection)

観測対象した未同定 $\gamma$ 線天体の銀河座標での分布  
赤：今回新たにVLBI天体が検出された $\gamma$ 線源 (28天体)  
(Fujinaga, KN et al., submitted to PASJ)

# 検出天体の種類の推定

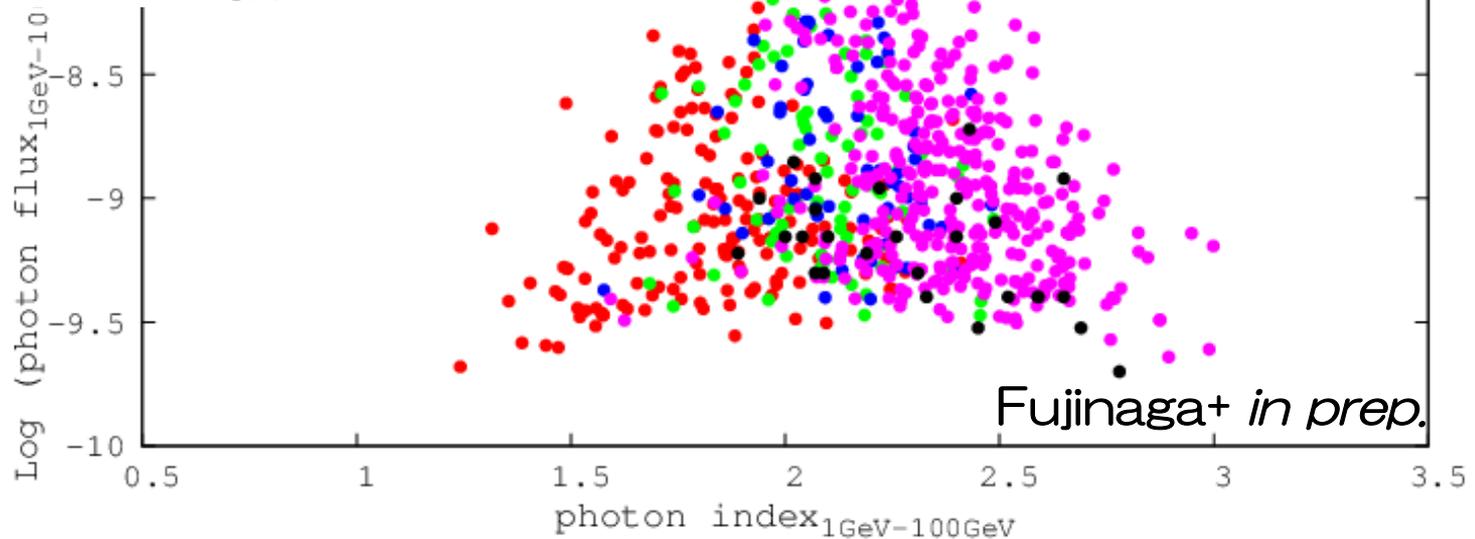
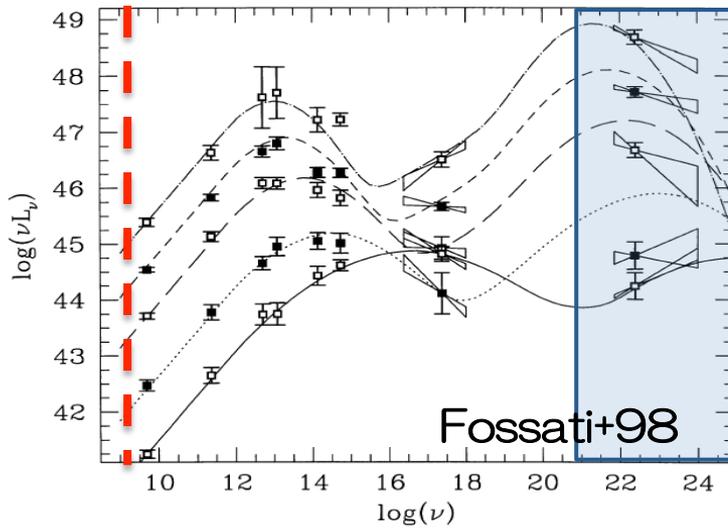
- 検出天体は輝度温度が非常に高い ( $T_B > \sim 10^7$  K)
  - IDされている2FGLの $\gamma$ 線源の多くはAGNである
    - その多くにVLBI天体が付随
      - Nolan et al. (2012)では~500天体
      - 現時点では2FGLの同定 $\gamma$ 線源のうち~800天体でVLBI天体が見つまっている (<http://astrogeo.org/faps/>)
- 輝度温度の観点から検出天体はAGNである可能性が高い  
→ どの種族のAGNであるのかを以下の3通りの手法で推定 (VLBI天体と $\gamma$ 線源が対応しているという仮定)
  1. WISE gamma-ray strip (WGS; Massaro et al. 2012) を用いた推定  
28個の $\gamma$ 線源のうち、14天体がWISEカウンターパートを伴う。  
上記14天体, 9天体が $\gamma$ 線ブレーザー
  2. 他のカタログとの比較 (Massaro et al. 2013a, b, c)  
検出した28天体中15天体が $\gamma$ 線ブレーザー
  3. 同定済み $\gamma$ 線源と、相関図を用いて比較を行う

# 検出天体の種類：相関図



電波フラックス(1.4GHz)-Photonフラックス(1-100 GeV) → HSP寄りの傾向

# 検出天体の種類：相関図



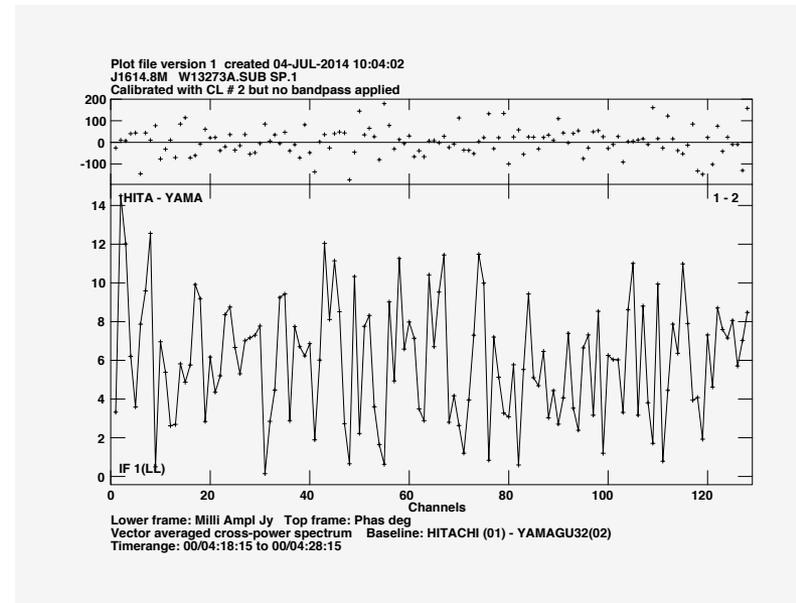
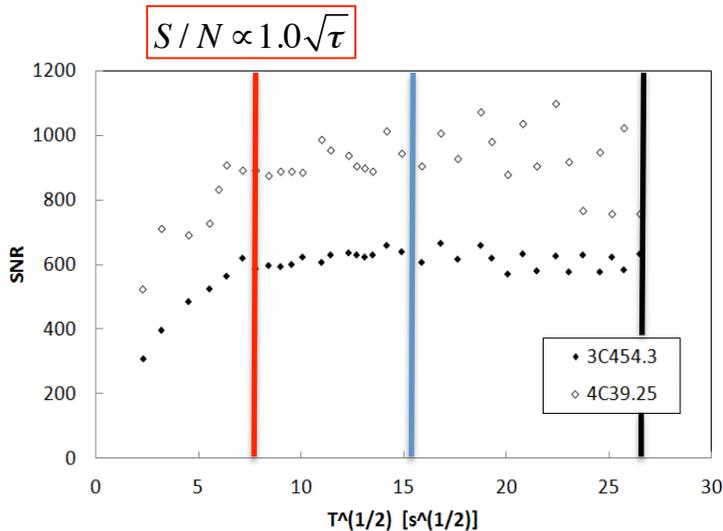
Photonフラックス(1-100 GeV)-Photon index (1-100 GeV) → ISP-FSRQ寄りの傾向

# まとめ

- 未同定  $\gamma$  線源の位置誤差内に存在する全ての電波源に対し広帯域かつ高角度分解能な観測（高感度VLBI）を行い, 計29の新しい高輝度電波源を検出（28個の  $\gamma$  線源の位置誤差内）
- 新しく検出されたVLBI天体が他の  $\gamma$  線源の大半と同様に  $\gamma$  線ブレーザーであると仮定すると, 従来のブレーザーシーケンスには従わない可能性
  - もしくはブレーザーに比べ非常に数の少ない他の  $\gamma$  線AGNの可能性

# 今後

- 2013年秋に準検出だった天体に対し、追観測を実施したところ数個の天体が有意に検出（下図右）
  - 観測時間を3 min/天体 → 5 min/天体に増加
  - 2012年の観測時、山口局の水素メーザに大きなドリフトが見られた（レート）→ 実質の有効積分時間は1分程度（2013年春季年会にて報告：V50b, 下図左）

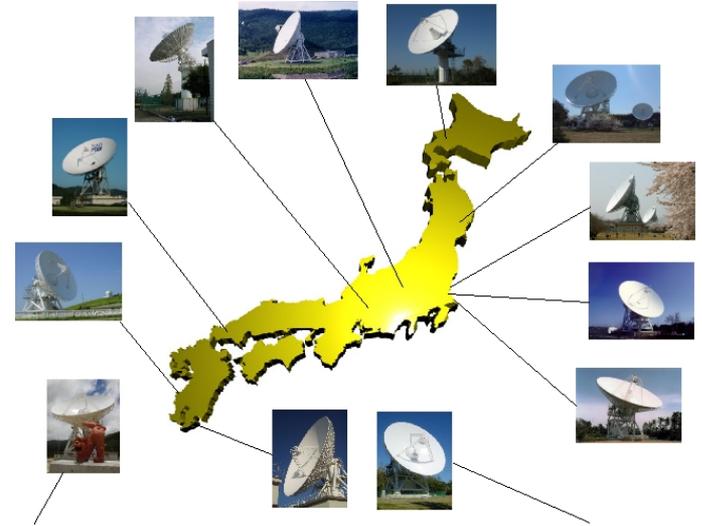


山口-日立基線での追観測 (OCTADISK記録)によりFRINGE検出が確認された2FGL J1614.8+4703に付随する電波源 ( $S/R > 16$ )

縦軸: 信号対雑音比、横軸: 積分時間の1/2乗 2013年春季年会 (新沼ほか, V50b)

# 今後

- まだ観測を行えていないor前回の観測では高輝度電波源を見つけられていない未同定 $\gamma$ 線源に対し、大口径望遠鏡（山口・茨城・臼田）を用いた大規模な追観測を計画中
- 対象とする $\gamma$ 線源は~200, 電波源は~1,000
  - 10 min/電波源とすることで  
1 $\sigma$ ~0.5 mJyの検出感度で観測
  - 前回の実時間相関処理に対し、  
今回はディスク記録システムの利用を検討
  - 2014年7月末にJVNへ観測提案済み（藤永, 新沼ほか）



<http://www.astro.sci.yamaguchi-u.ac.jp/jvn/index.html>

# 参考文献

- Fujinaga et al. 2014, submitted to PASJ
- Nolan et al. 2012, ApJS 199, 31
- Massaro et al. 2012, ApJ 750, 138
- Massaro et al. 2013a, ApJS 206, 13
- Massaro et al. 2013b, ApJS 207, 4
- Massaro et al. 2013c, ApJS 209, 10
- Fossati et al. 1998, MNRAS 299, 433-448
- 新沼 ほか, 2013, 日本天文学会春季年会, V50b