



フェルミ衛星で発見された
ガンマ線パルサー
(Gamma-ray Pulsars
Discovered by Fermi/LAT)

高橋 弘充 (Hiromitsu Takahashi)
(広島大学 宇宙科学センター)
on behalf of the Fermi/LAT collaboration



宇宙における高エネルギー現象

加速源の候補天体

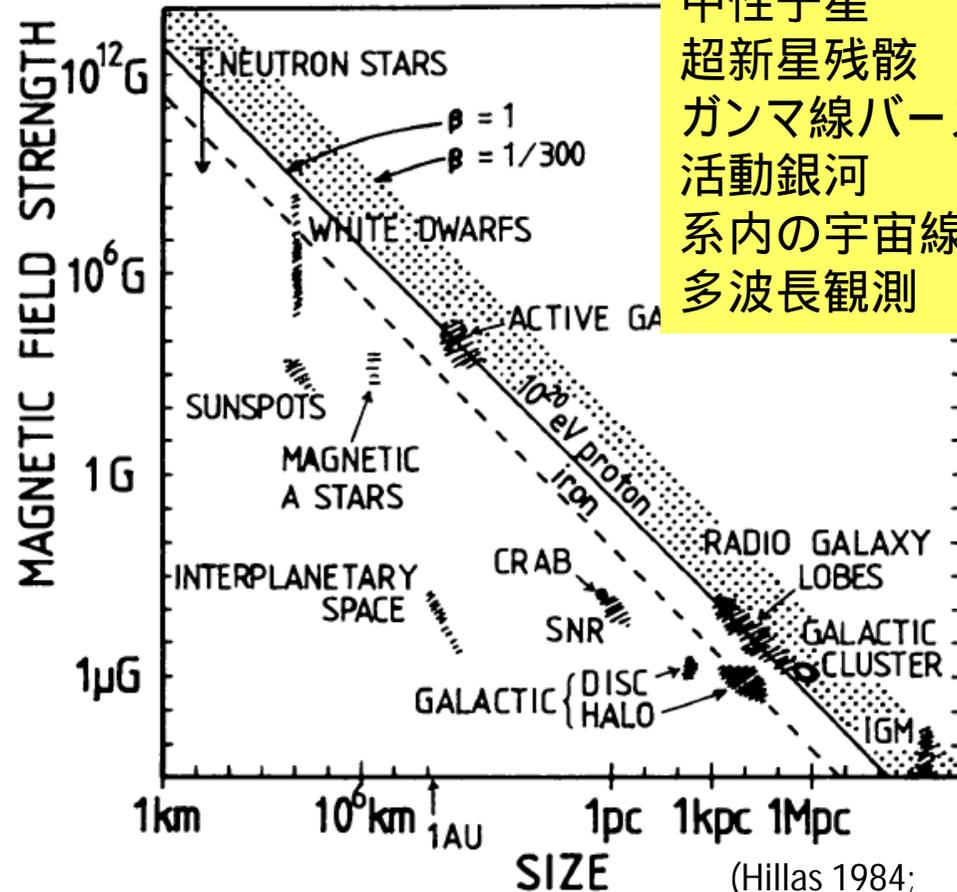
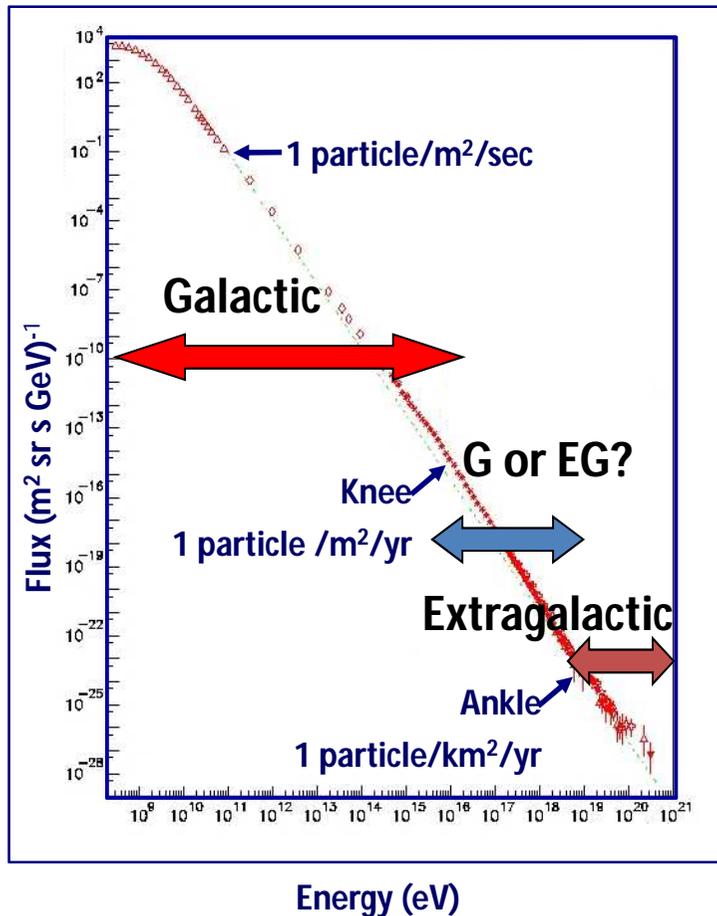
宇宙線の起源は？

1912年の発見から100年来の謎

$$E_{\max} = e v B L$$

$$\sim 6 \times 10^{16} (P/1s)^{-1} (B/10^{12}G) (L/10^6cm)^2 \text{ eV}$$

for the case of neutron stars



中性子星
超新星残骸
ガンマ線バースト
活動銀河
系内の宇宙線
多波長観測

(Hillas 1984;
Makishima 1999)

フェルミ衛星が打ち上がる以前

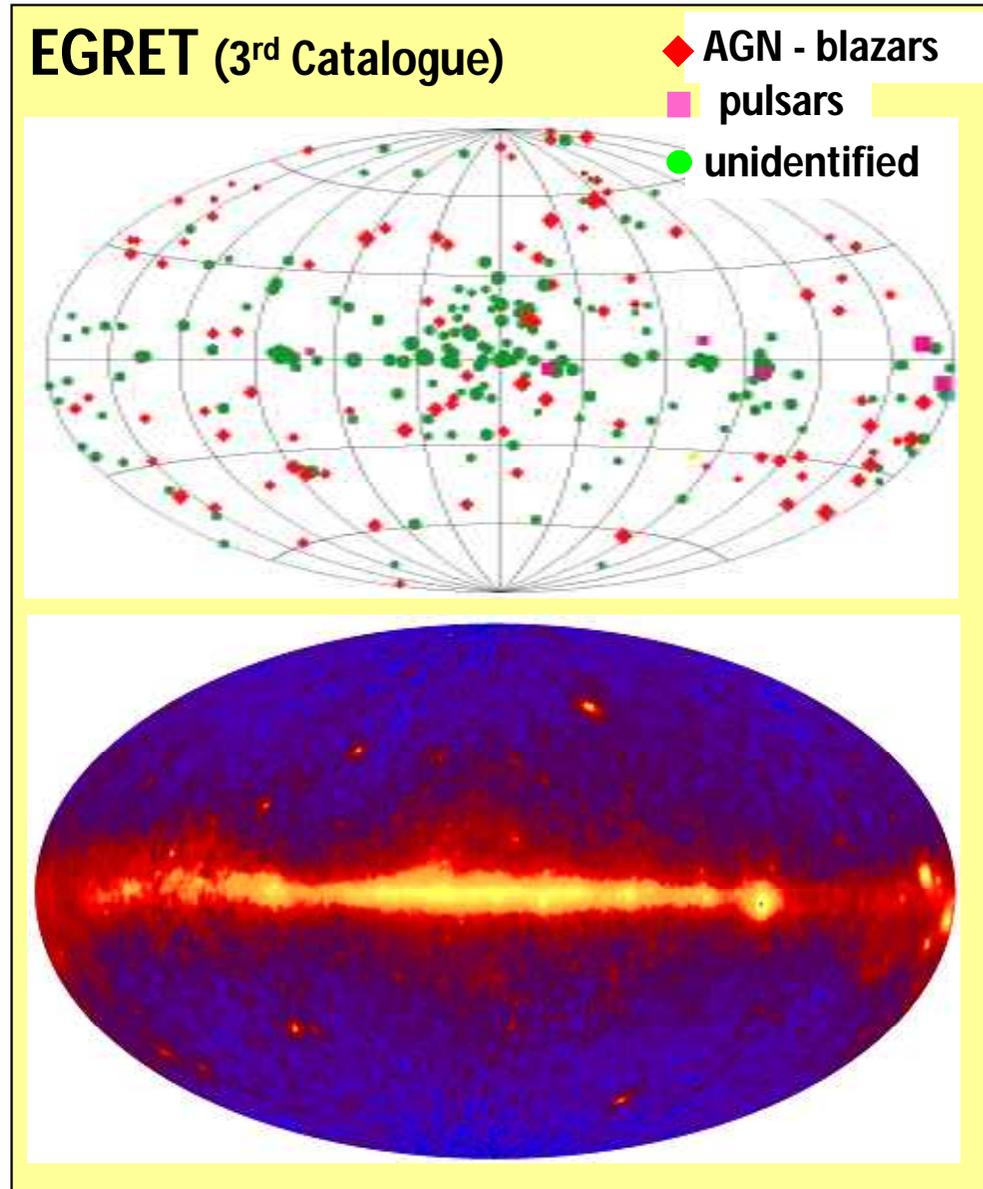
1990年代にCGRO衛星搭載
EGRET検出器によって進展

全天から～300天体を検出
銀河系に付随する拡散放射

ただし、
・天体数が少ない
・2/3が未同定天体
(とくに銀河面上)

→ 角度分解能 } 不十分
検出感度 }

フェルミ衛星では
角度分解能
広い視野 Good
(サーベイ観測)
有効面積





パルサー (中性子星)

1967年: 発見
回転する中性子星からの
規則正しいパルス信号を
電波で検出

中性子の縮退圧で重力を支える
半径: 10 km
質量: 1.4 太陽質量
自転周期: 1 ms ~ 10 s
表面磁場: $< 10^4 \sim 10^{11}$ T



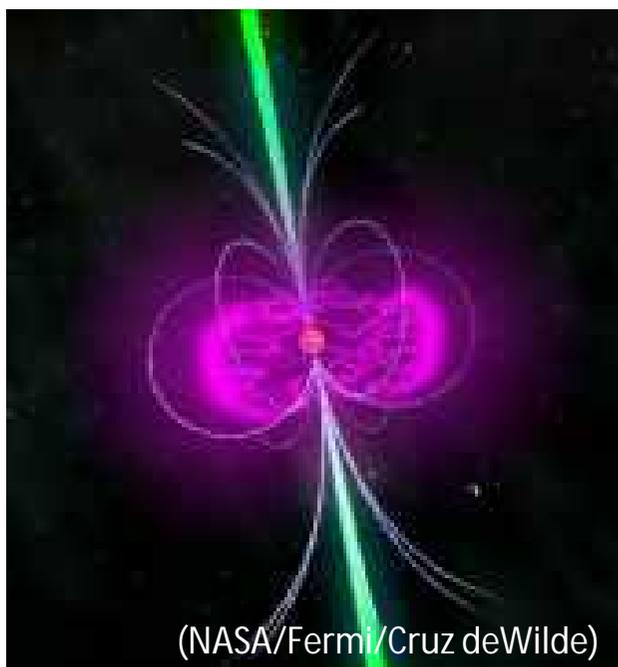
(NASA/Fermi/Cruz deWilde)

- 地球上 (太陽系) では実現できない、強い重力・磁場を研究できる
- 高エネルギーガンマ線の放射機構は？ パルサー風の物理状態は？
- どのような進化をたどるのか？ 銀河系内にどのくらい存在するのか？

パルサーの種類

単独の中性子星

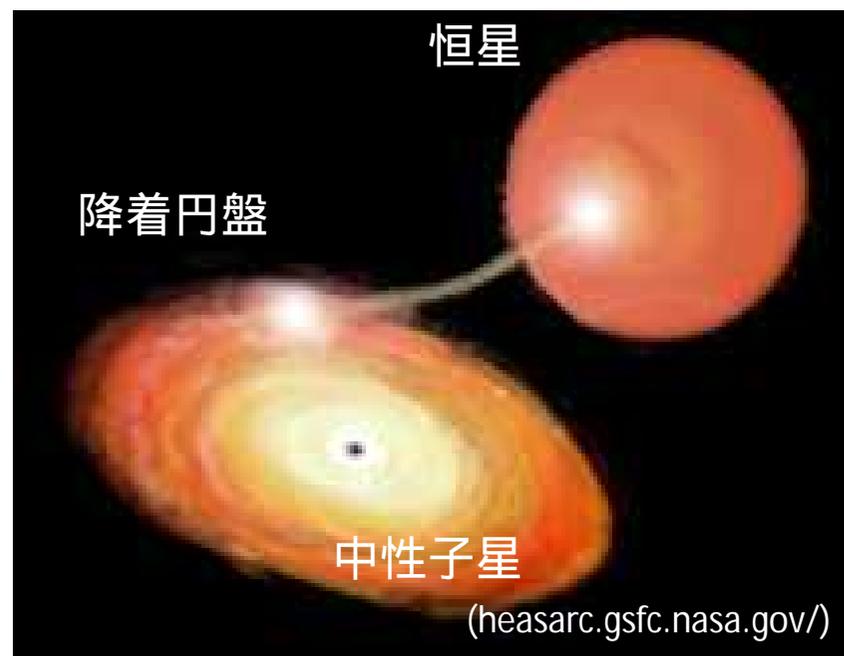
- 回転エネルギーを解放：回転駆動型
(電波～ガンマ線)
- 磁場エネルギーを解放：マグネター
(電波～軟ガンマ線)



中性子星と普通の恒星の連星系

- 降着物質が重力エネルギーを解放
：降着駆動型 (X線)

降着物質の各運動量により
中性子星がスピナップ
(進化を考える上では重要な天体)

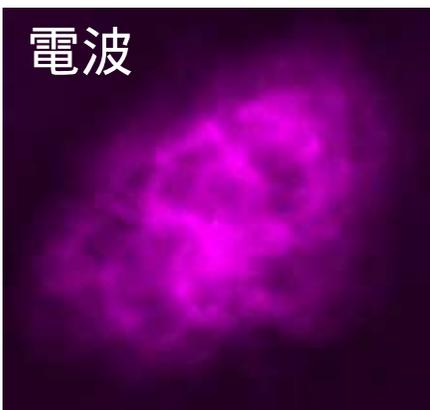




回転駆動型パルサー

カニパルサー + カニ星雲

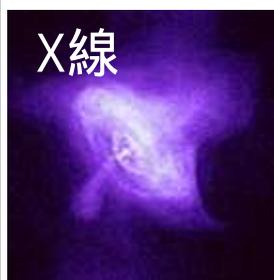
(超新星残骸、パルサー風星雲)



(NRAO/AUI/NSF)



(Palomar Obs)



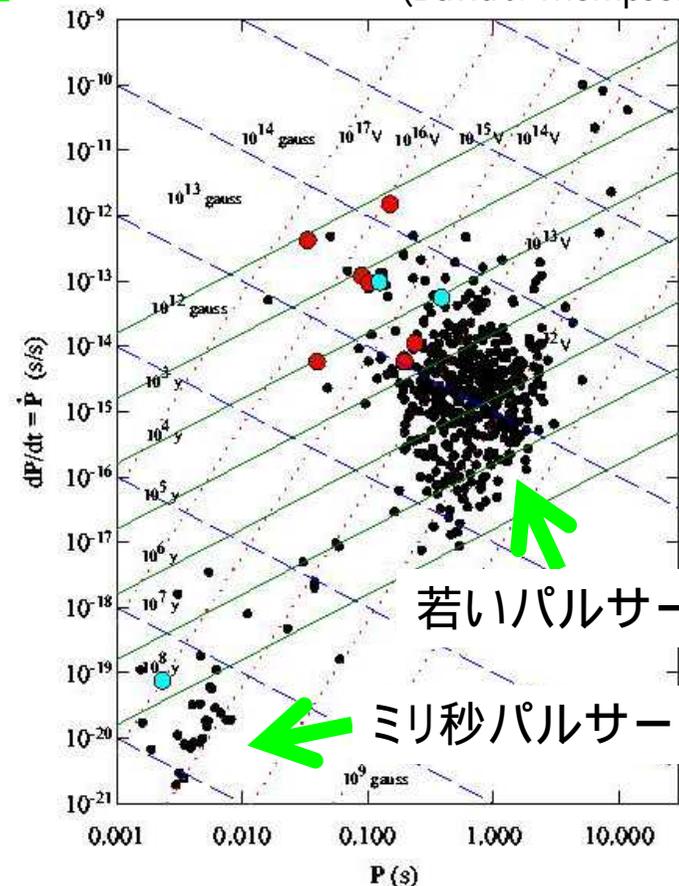
(NASA/CXC/SAO)

- パルサー風星雲 (TeV 放射) をともなっていることも
- 電波観測: 銀河系内に約1800天体が存在
- フェルミ衛星以前には、
この中の6天体からガンマ線パルスを検出

フェルミ衛星では
角度分解能
有効面積 Good

より統計の良い観測 (パルス波形、エネルギースペクトル)
 より多数のサンプルから、統計的な議論
 ミリ秒 (リサイクル) パルサーはガンマ線を放射しているのか?

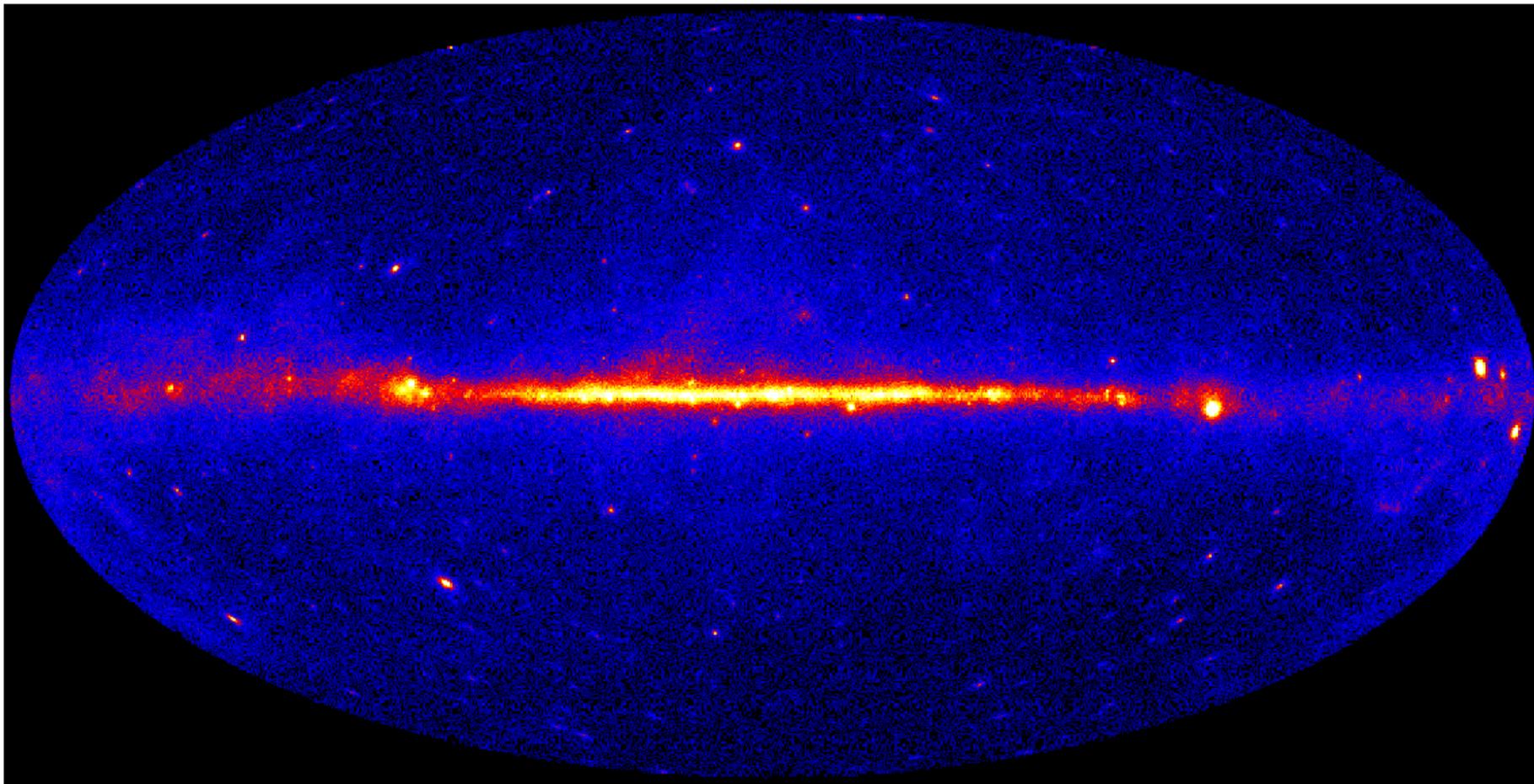
(周期) vs (周期の変化率)
 (David J. Thompson)



EGRET検出器により
 ● 検出 ● マージナルな検出

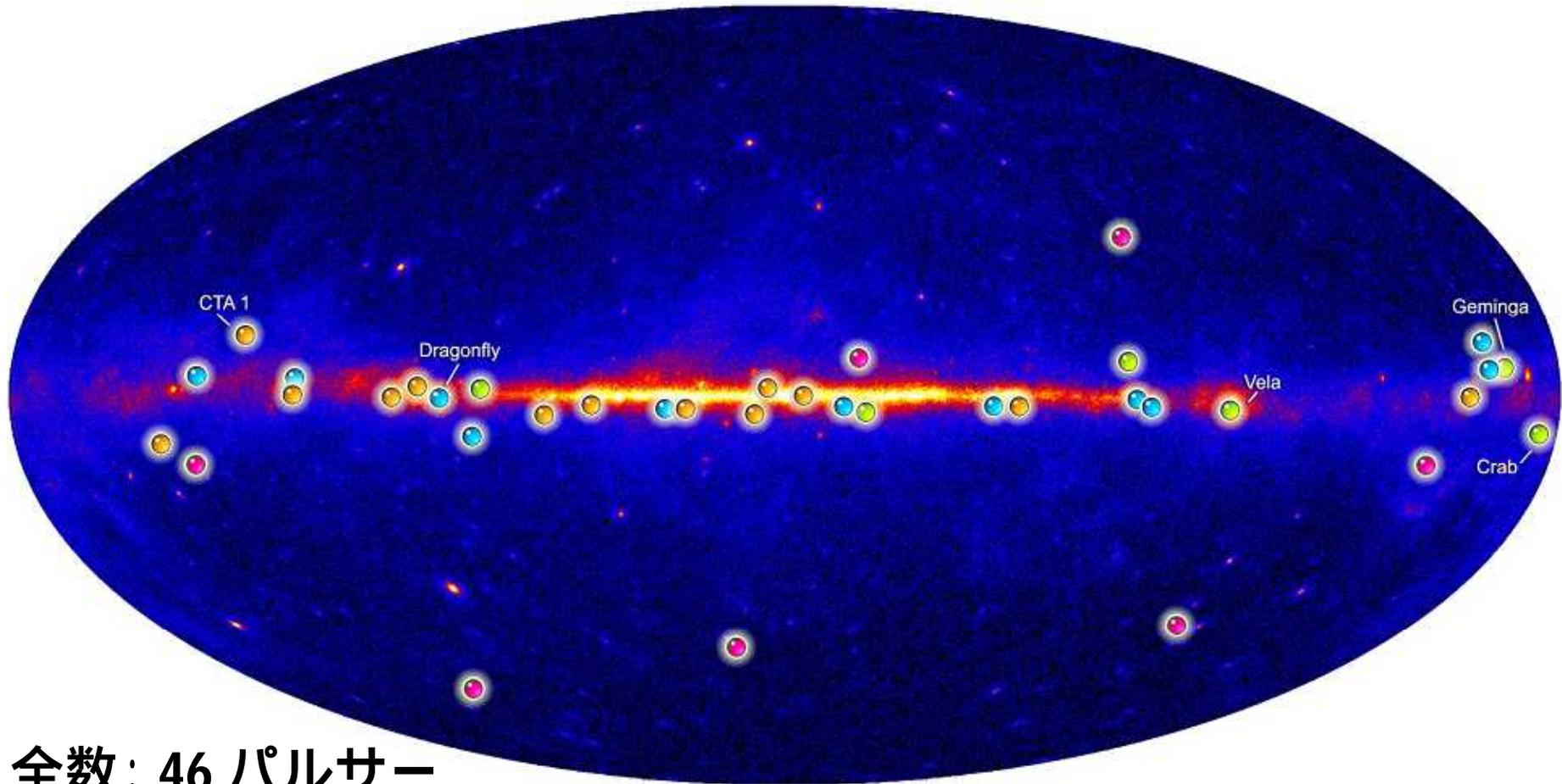
フェルミで検出されたパルサー

http://www.nasa.gov/images/content/300646main_pulsarmaplabeled2_HI.jpg



フェルミで検出されたパルサー

http://www.nasa.gov/images/content/300646main_pulsarmaplabeled2_HI.jpg



全数：46 パルサー

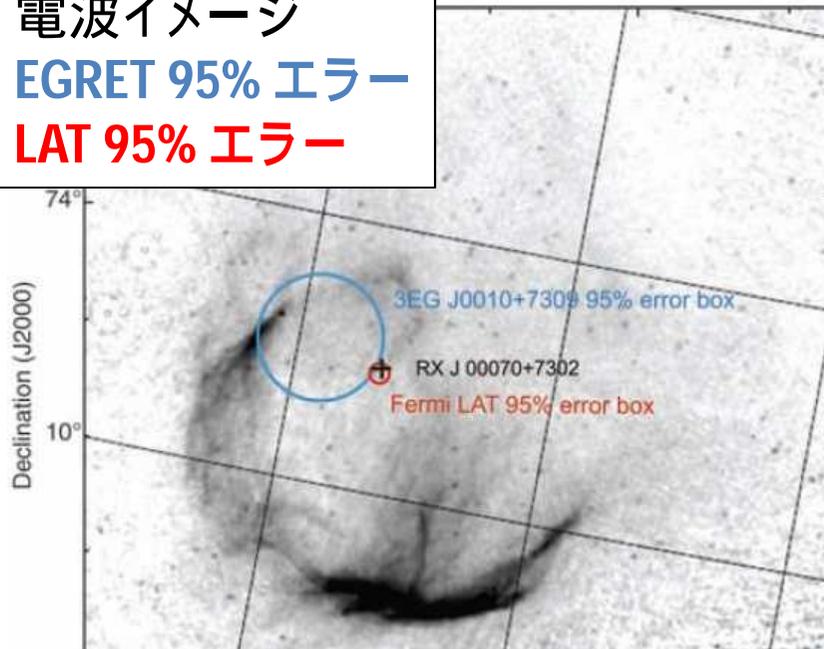
- EGRETパルサー：6
- 若い電波パルサー：16
- ガンマ線データからパルス探査：16
- ミリ秒パルサー：8

- New pulsars discovered in a blind search
- Millisecond radio pulsars
- Young radio pulsars
- Pulsars seen by Compton Observatory EGRET instrument

多くはEGRET未同定ガンマ線天体と場所が一致

ガンマ線データから発見された 電波では暗いパルサー (CTA1など)

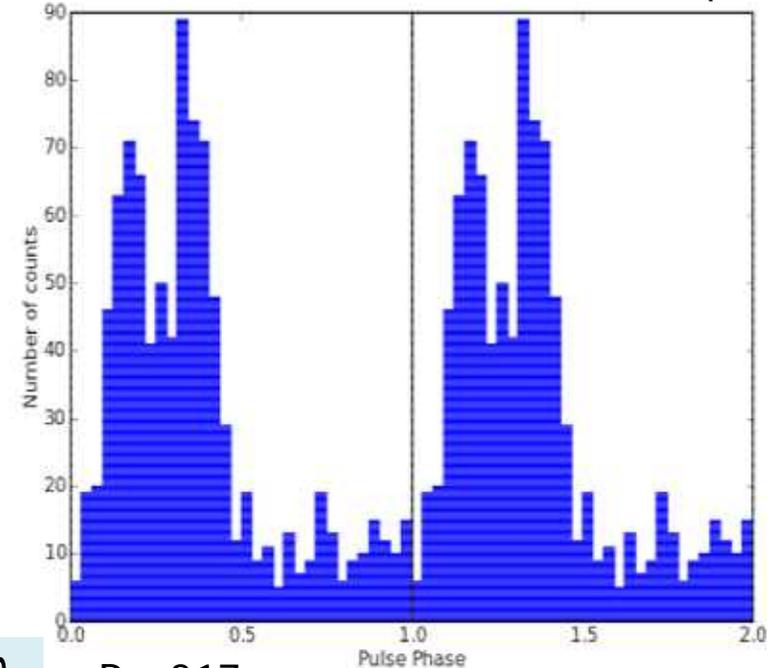
電波イメージ
EGRET 95% エラー
LAT 95% エラー



LAT検出器の優れた角度分解能と有効面積により
ガンマ線データからパルス周期が検出された

Right Ascension (J2000)

Abdo et al. science (2008 Oct., 2009 Sep.)



$P \sim 317 \text{ ms}$

$\dot{P} \sim 3.6\text{E-}13$

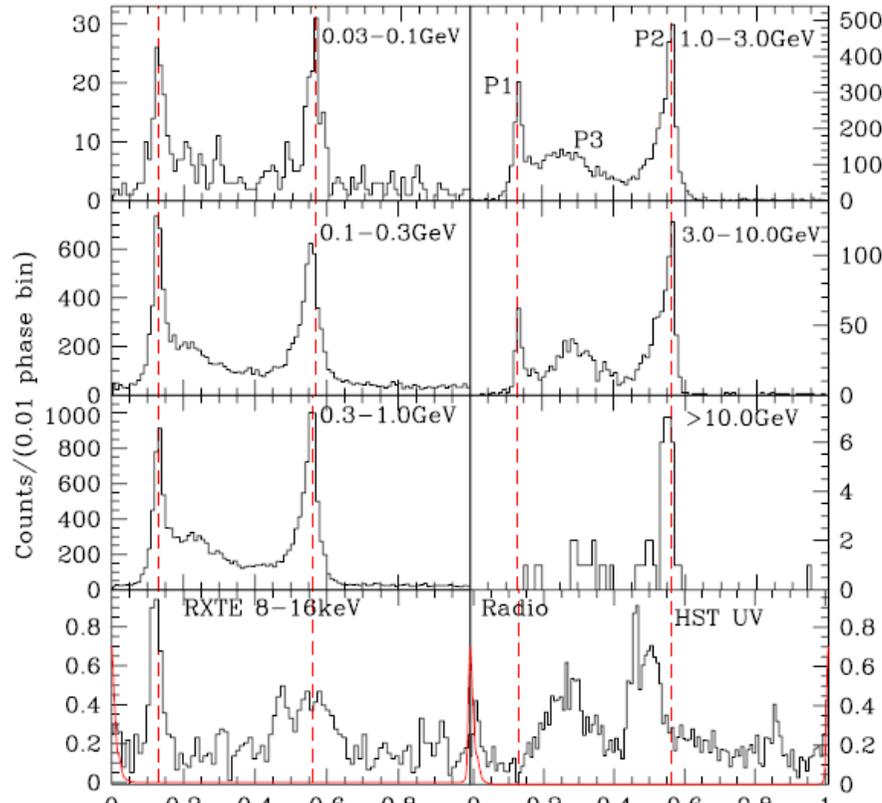
Characteristic age $\sim 10,000 \text{ yrs}$

- 対応するX線点源はあるものの、ガンマ線以外の波長 (電波やX線) ではパルス放射が検出されていない (Radio-quiet なパルサー)。
- **ガンマ線の放射領域は、電波よりも広いと考えられる。**
- フェルミで観測されたパルサーの半分ちかくを占め、未同定ガンマ線天体の候補？ (ただし2天体では詳細な他波長観測により、対応パルサーが発見されてもきている)

若いパルサーの詳細解析 (Vela : P=89 m秒)

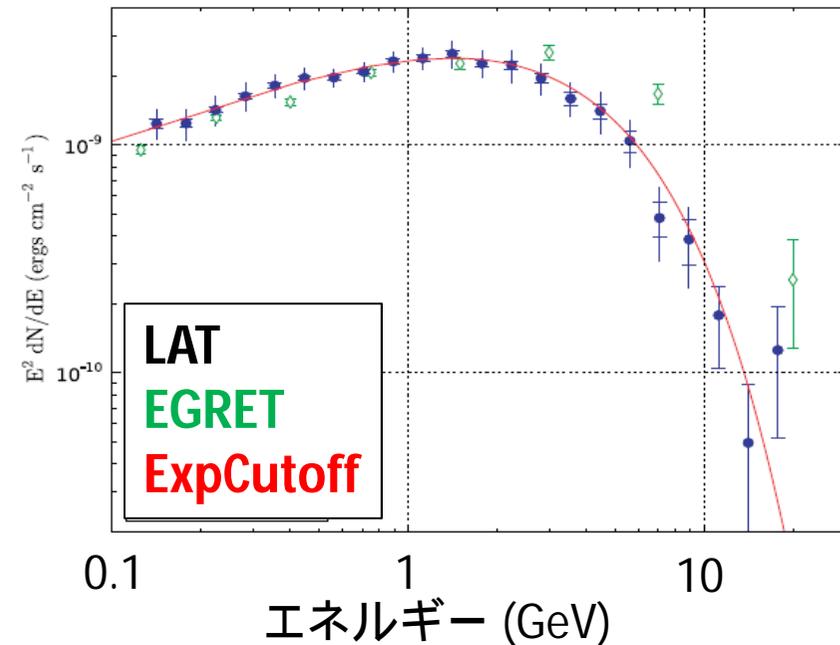
Abdo et al. ApJ 2009, 696, 1084

パルス波形 (エネルギー帯域ごと)



GPS により、絶対時刻 : 300 ns の精度
長期間、他波長との同期がとれる

エネルギースペクトル



優れた有効面積、サーベイ観測により
精度の良いスペクトル

- エネルギーによってパルス波形が変化。電波よりも遅れるが、X線とはほぼ同期。
- 単純な ExpCutoff モデルでスペクトルが再現される。
- **ガンマ線の放射領域は、電波よりも外側と考えられる。**
- 他のガンマ線パルサーでも同様な結果。

8 天体のミリ秒 (リサイクル) パルサーを検出

伴星からの質量降着により長年かけてスピナップした古いパルサー？
 周期：ミリ秒、磁場：弱い ($< 10^{10}$ Gauss)、周期の変化率：ほとんどない

パルス波形 (ガンマ線と電波)

Abdo et al. science (2009 Sep.)

エネルギースペクトル (PSR J0030+0451)

Abdo et al. 2009, ApJ, 699, 1171

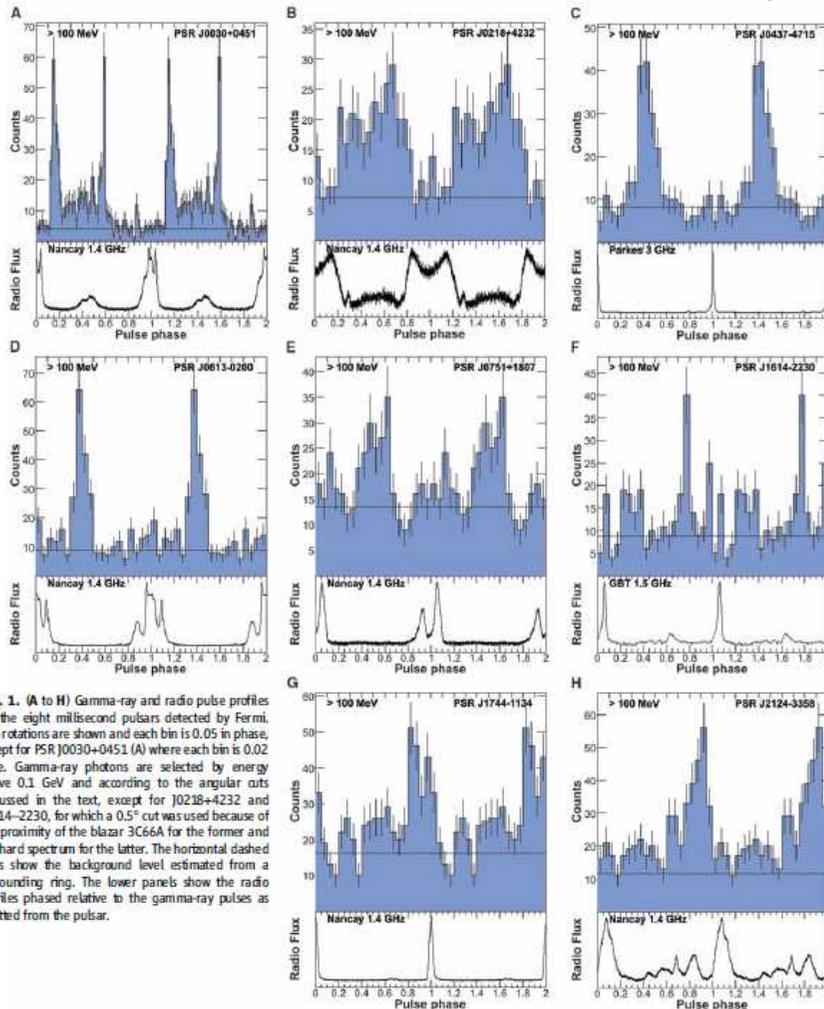
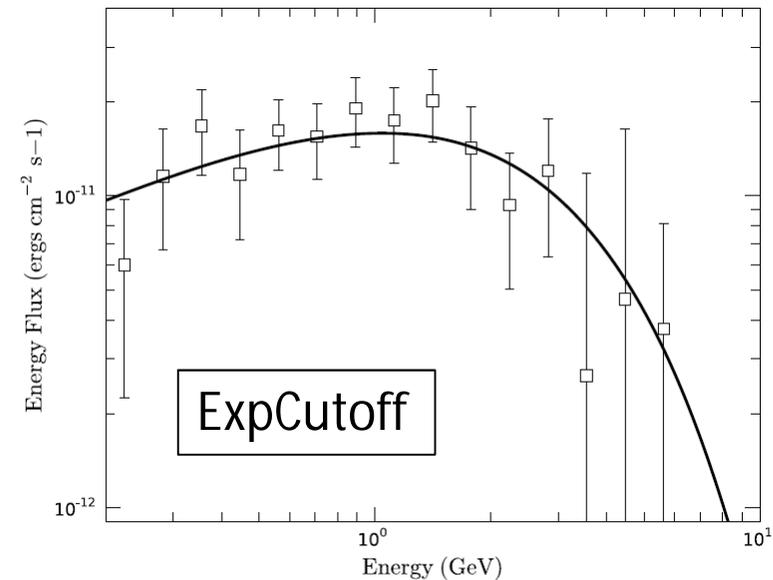


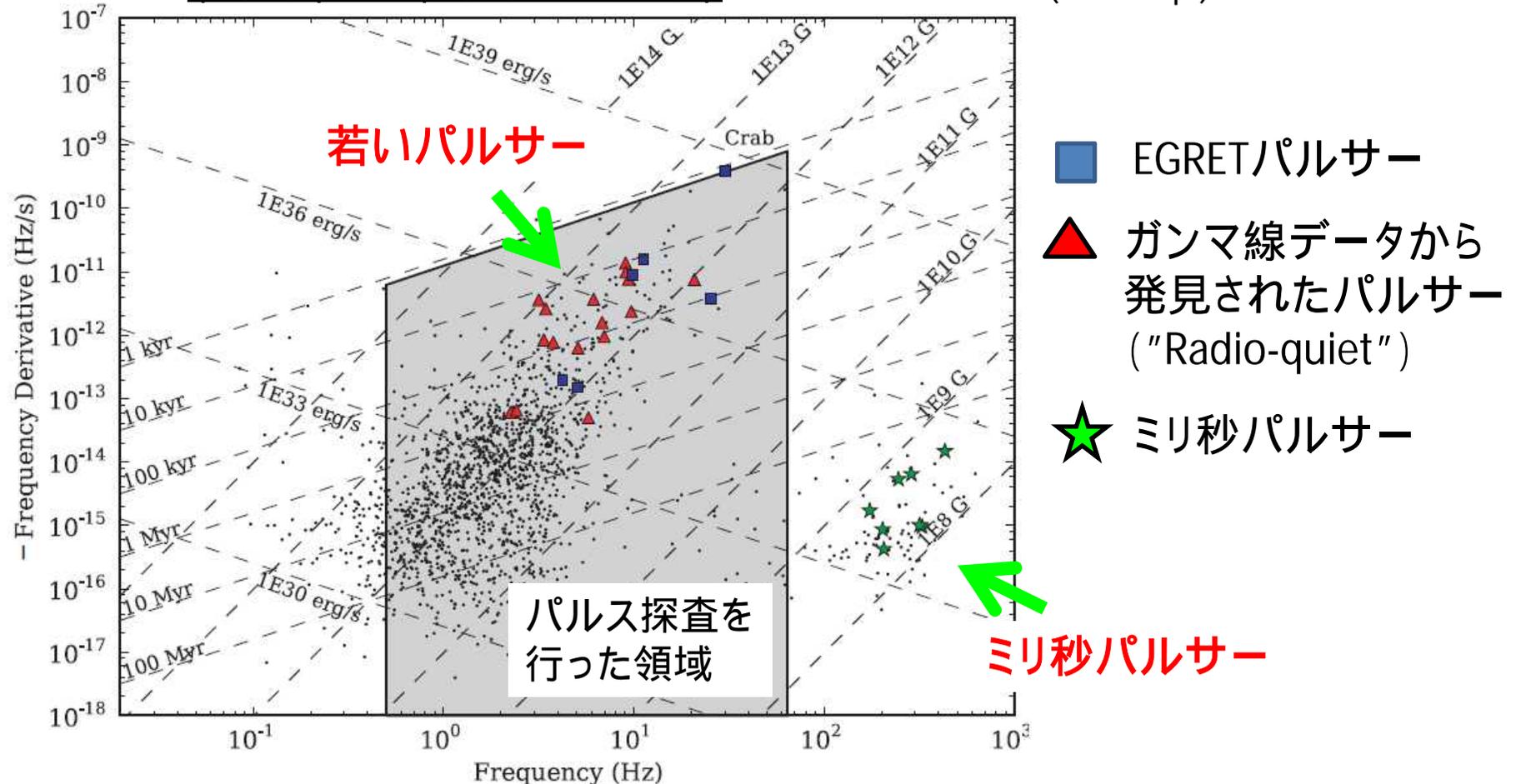
Fig. 1. (A to H) Gamma-ray and radio pulse profiles for the eight millisecond pulsars detected by Fermi. Two rotations are shown and each bin is 0.05 in phase, except for PSR J0030+0451 (A) where each bin is 0.02 wide. Gamma-ray photons are selected by energy above 0.1 GeV and according to the angular cuts discussed in the text, except for J0218+4232 and J1614-2230, for which a 0.5° cut was used because of the proximity of the blazar 3C66A for the former and the hard spectrum for the latter. The horizontal dashed lines show the background level estimated from a surrounding ring. The lower panels show the radio profiles phased relative to the gamma-ray pulses as emitted from the pulsar.



- ミリ秒パルサーも一般的にガンマ線を放射している。
- パルス波形、エネルギースペクトルは若いパルサーと良く似ている。

LATで発見されたガンマ線パルサー

(周期) vs (周期の変化率) Abdo et al. science (2009 Sep.)



- ガンマ線のフラックスは、周期や磁場の強度には依存しておらず、スピンドウンエネルギー(と距離)に相関があるように見える。
- LAT は引き続きサーベイ観測を続けることから、今後より暗いガンマ線パルサーが検出されてくることが期待される。

まとめ

- フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡LAT検出器は、この1年間で46天体ものガンマ線パルサーが検出し、EGRET未同定天体を同定してきている。今後もより暗い天体からのパルスの検出が期待される。
- ガンマ線(だけ)で明るいパルサー("Radio-quiet")が存在すること、エネルギースペクトルが単純な ExpCutoff の形で再現されることから、ガンマ線の放射領域は電波よりも外側にあると考えられる。

パルサー本体、磁気圏、加速、パルサー風の形成

- ミリ秒パルサーもガンマ線を放射していることから、ガンマ線のフラックスはスピンドウンエネルギー(と距離)との相関が示唆される。

パルサーの進化、銀河系内での分布、宇宙線への寄与

- Radio-quiet パルサーの性質を調べるため、電波やX線での他波長観測も進められている。
- 多数のミリ秒パルサーが存在する球状星団(47Tuc)からもガンマ線放射を検出している。

Abdo et al. science (2009 Sep.)



(NASA/Fermi/Cruz deWilde)