

# Tomo-e Gozenによる 可視パルサー サーベイ

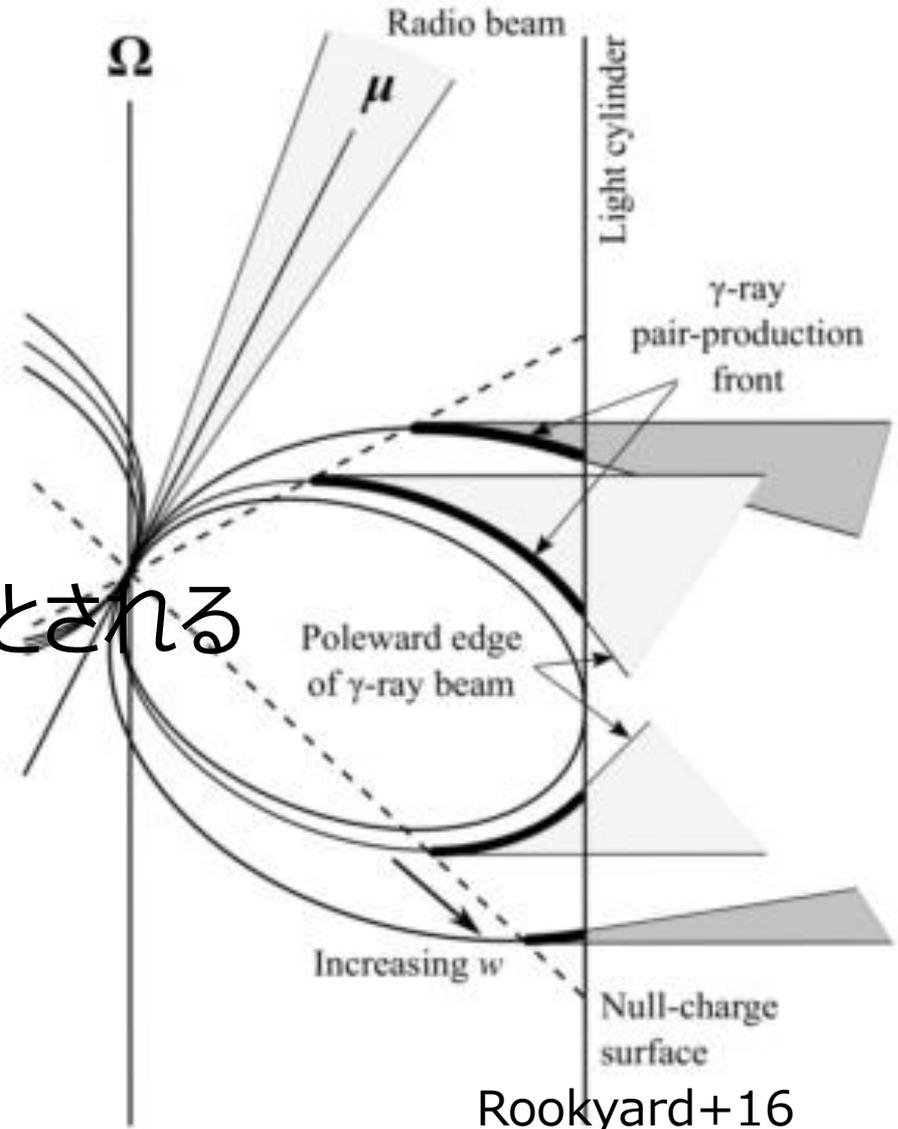
木曾広視野サーベイと京都3.8m即時分光による  
タイムドメイン天文学の推進(2017/2/22)

東京大学 修士課程1年  
一木 真

- パルサーとは
- パルサー観測のこれまで
- パルサーの放射機構・放射領域
- 可視パルサーサーベイの可能性

# パルサーとは

- 回転軸方向とずれたビームが周期的なパルスとして観測される天体
- 電波で1967年に発見
- 多波長で観測されている
- 強磁場( $\sim 10^{12}\text{G}$ )で高速回転( $P \lesssim \text{sec}$ )の中性子星(と白色矮星)とされる



# Rotation-powered pulsar

## Spin-down Luminosity

$$\frac{dE}{dt} = -4\pi^2 I \frac{\dot{P}}{P^3}$$

磁気双極子放射  $r \dots$  中性子星表面

$$\frac{dE}{dt} = \frac{2}{3c^3} r^6 B^2 \left(\frac{2\pi}{P}\right)^4 \sin^2 \alpha$$

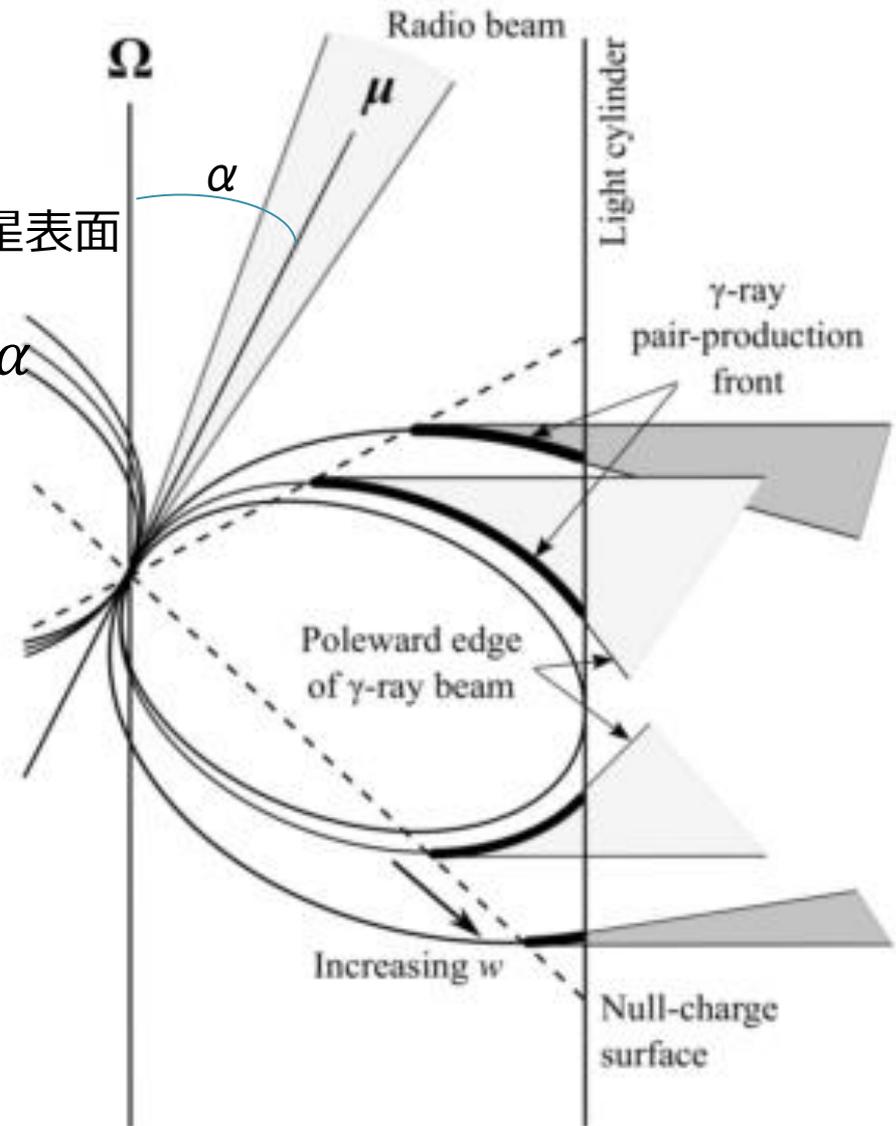
→

表面磁場

$$B \simeq 10^{12} G \left(\frac{\dot{P}}{10^{-15}}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{P}{1s}\right)^{\frac{1}{2}}$$

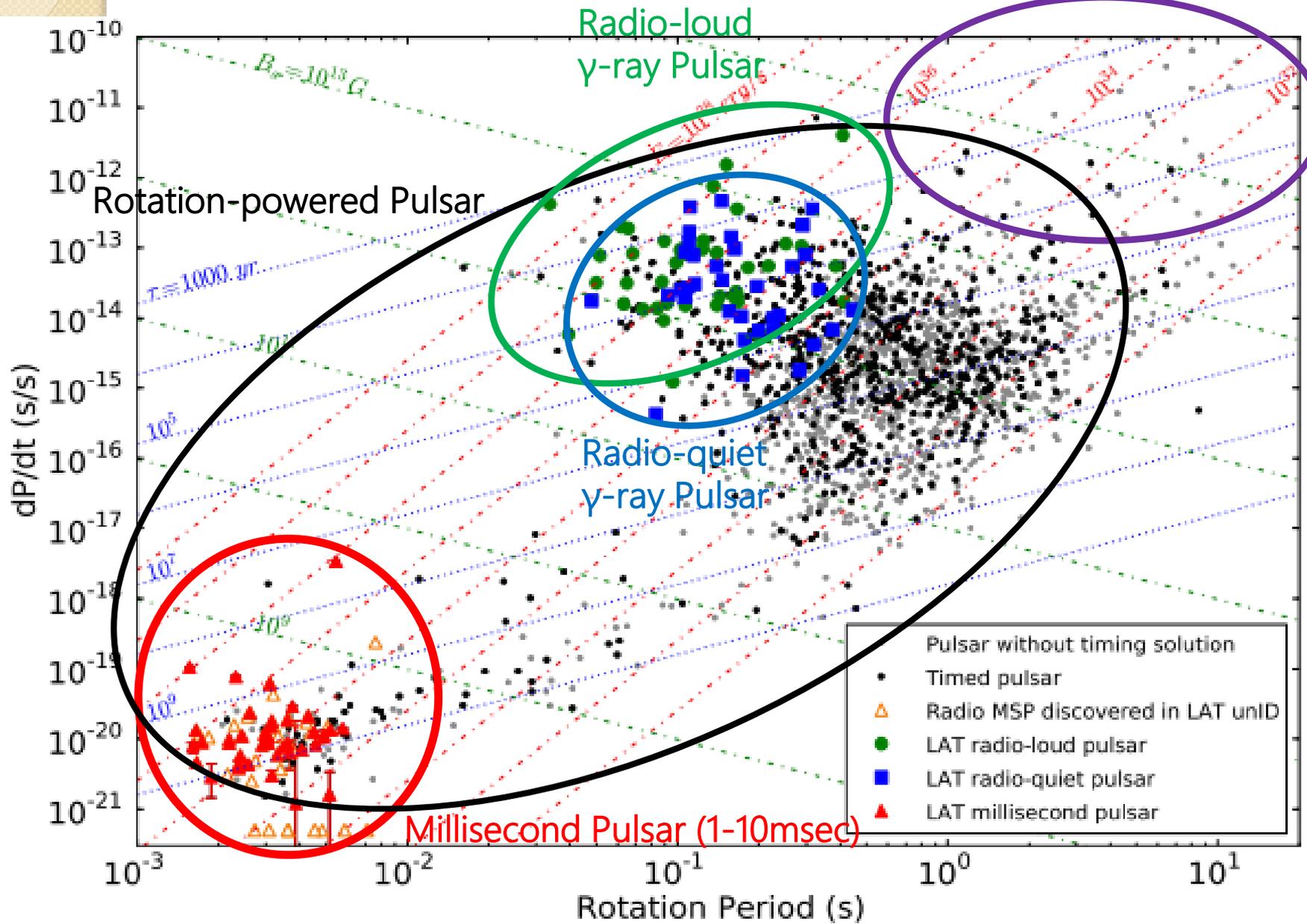
“Characteristic age”

$$\tau \simeq 16 Myr \left(\frac{10^{-15}}{\dot{P}}\right) \left(\frac{P}{1s}\right)$$



# 色々なパルサー

Magnetar ( $\geq$ several  $10^{13}$  G)

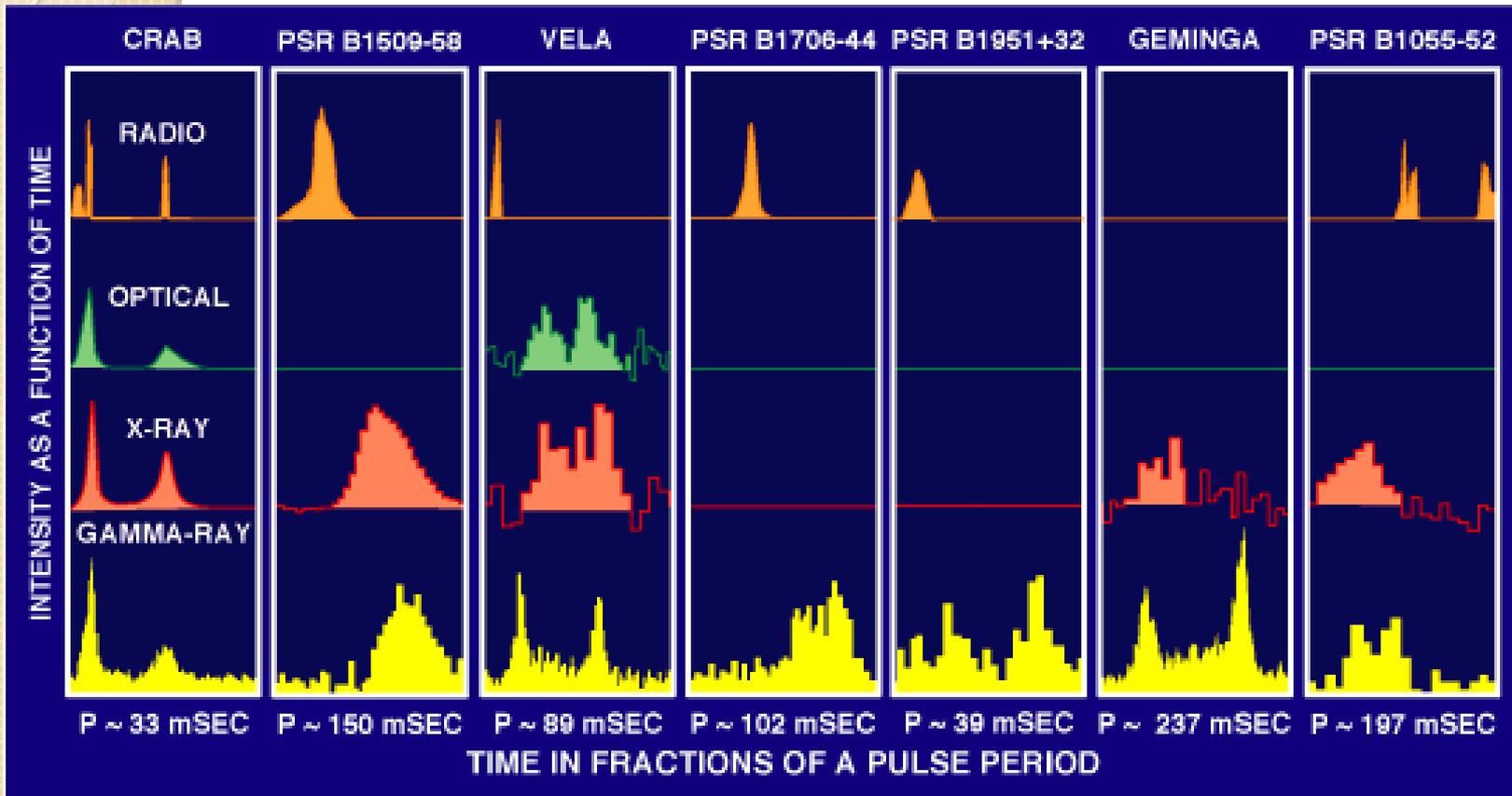


Abdo+13

# パルサー観測のこれまで

	Radio	UVOIR	X-ray	γ-ray
1960s	B1919+21発見 Crab PSR発見	B1919+21 Crab PSR (V=16.5mag)	Sco X-1発見 Crab PSR	Crab PSR
1970s	Molongloサーベイ	Vela PSR同定 (V=22.6)	Cen X-3発見	
1980s	msec PSR発見	B0540-69@LMC (V=22.5)		Geminga発見
1990s	Parkeesサーベイ	HST, VLTにより 多くの同定	Magnetar提唱 ROSATによる観測	
2000s			Non-accreting NS発見	Fermi/LAT による観測
2010s		γ線パルサーの 追観測		
発見数	≦2000個(2013)	≦30個(2012)	≦400個(2012)	≦200個(2013)

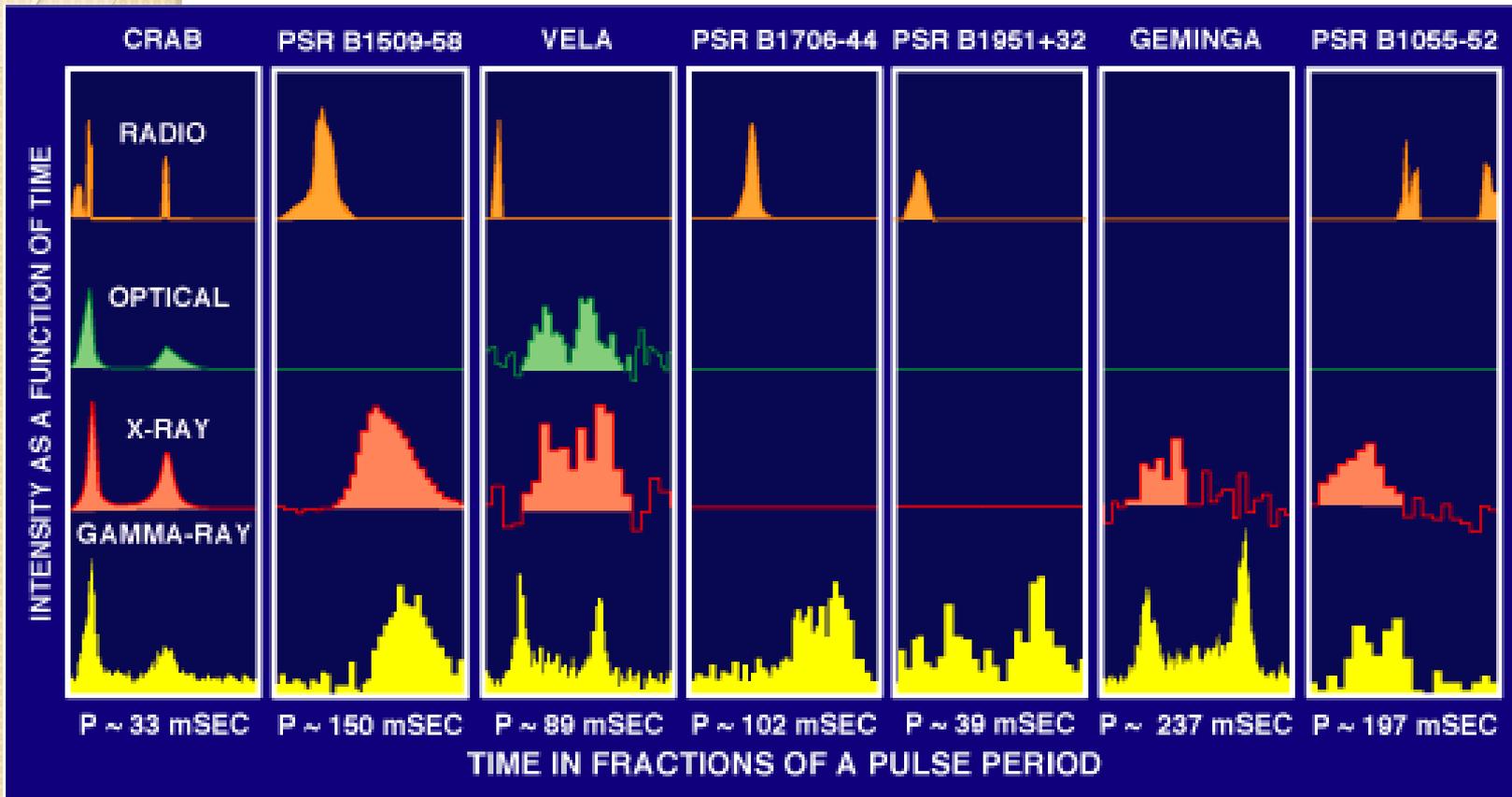
- ・可視光でパルスが分解して観測されているのは~5個
- ・可視光では他波長での発見の同定のみ行われている



## 電波

- ・シングルピーク or 半周期のダブルピーク
- ・ピーク幅狭い

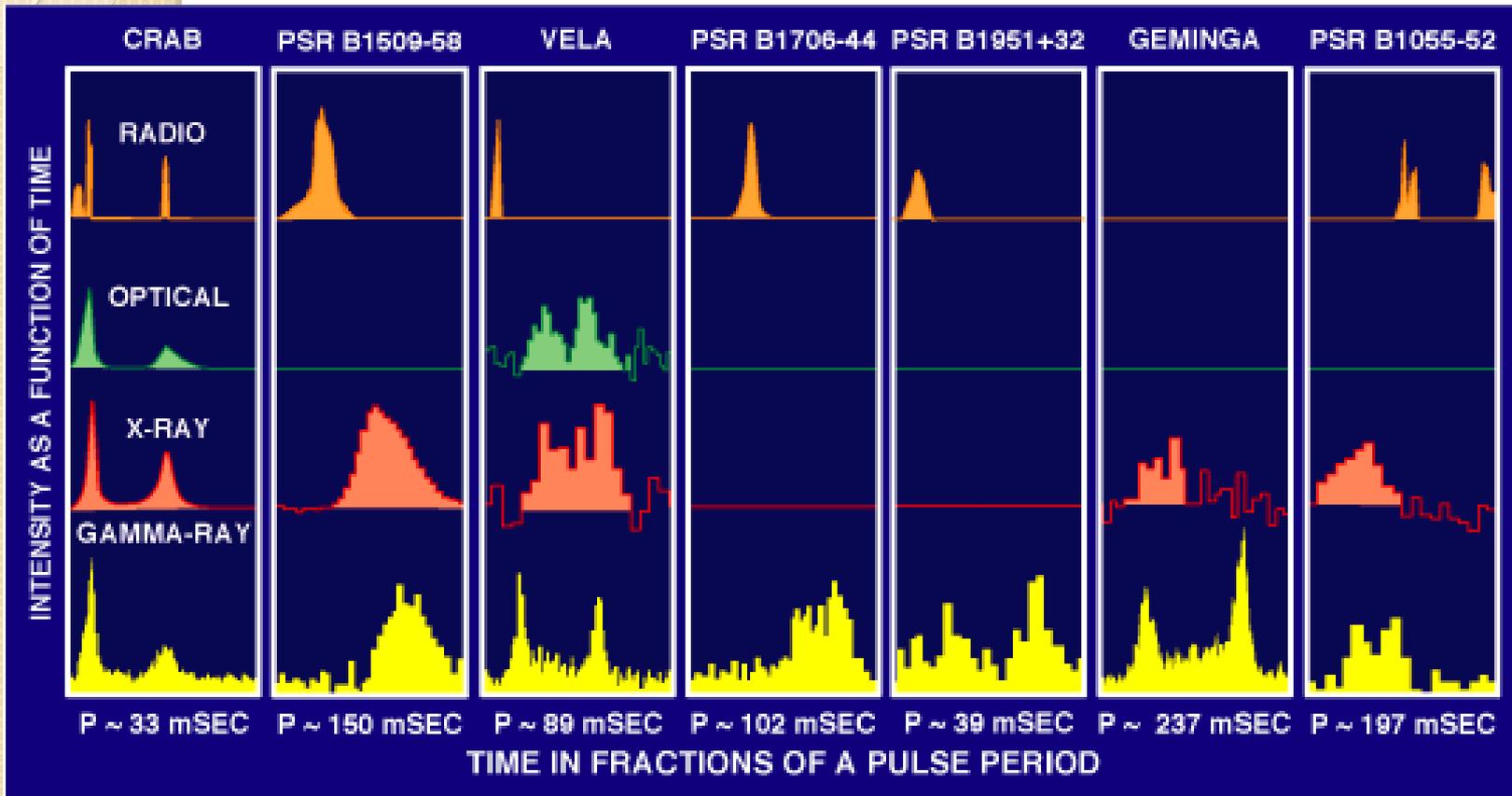
} 磁極方向の放射



## γ線

- 電波とフェーズがずれる
- γ線パルサーの半分はradio-silent

} 磁極方向から  
離れた放射方向



## X-ray

- 電波とγ線と比べるとγ線パルス放射方向と近い?

## 可視

- X線放射方向と近い?



# 放射領域・放射機構

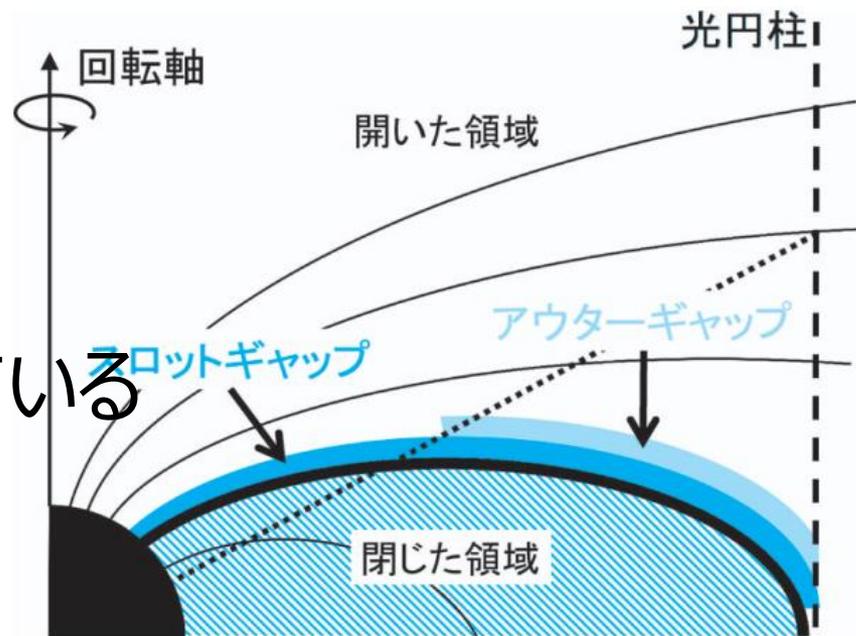
電波 … “polar cap”(old) & 外部磁気圏(young)

可視- $\gamma$ 線 … 外部磁気圏

$\gamma$ 線 … outer gap

X線-可視 … slot gap

とするモデルなどが考えられている



Kisaka+2012

中性子星表面からのThermal  
な放射がX線-可視で見られる

# 放射領域・放射機構

## Thermal 成分

可視 ...  $\sim 10^5\text{K}$  Black Body  
X-ray ...  $\sim 10^6\text{K}$  Black Body

非一様な表面温度?  
(Mignani 2011)

## Non-thermal パルス成分

電波 ... coherent放射 (Melrose 2006)

可視- $\gamma$ 線 ... incoherent放射

◎ Cychrotron放射 ... 電波(polar)

◎ Synchrotron放射 ... 電波 -  $\gamma$ 線 ← 若いパルサーの

◎ Inverse Compton放射 ...  $\gamma$ 線 主な放射

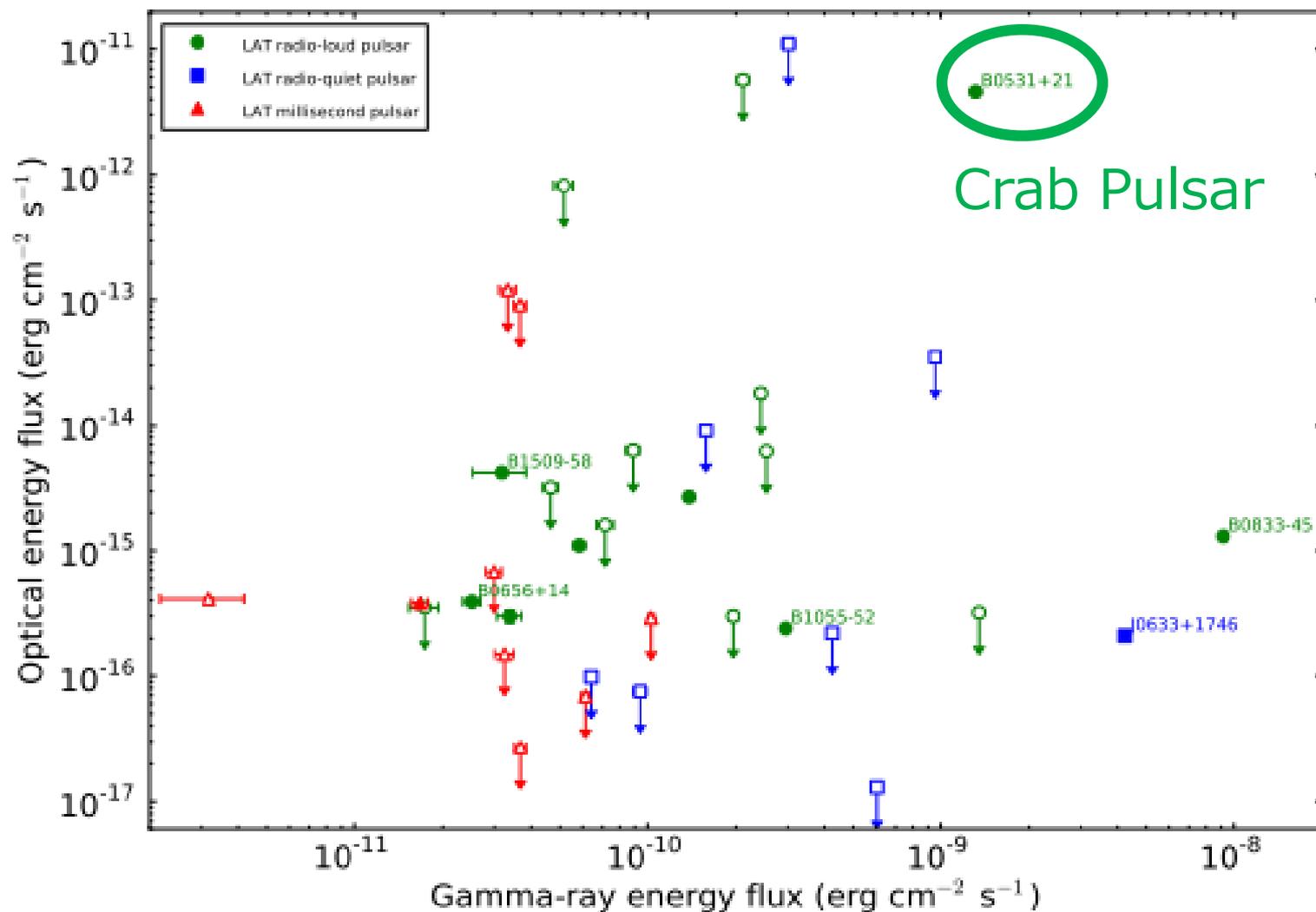
◎ Curvature放射 ...  $\gamma$ 線

$$F \propto \nu^{-\alpha}$$

$\alpha$ は波長帯ごと異なっている

$L_{\text{opt}} \propto E_{\text{rot}}^{1.7}$  ,  $L_{\gamma} \propto E_{\text{rot}}^{0.5}$  可視の方が $E_{\text{rot}}$ への依存性強い

$\gamma$ 線と可視の強度比( $F_{\text{opt}}/F_{\gamma}$ )の相関は見えていない



## Tomo-e Gozenによるサーベイ

- 可視でのパルサーサーベイは行われたことがない
- 既知のパルサーの対応天体の発見も探査数も不十分

パルサーは可視光では基本的に暗いが …

- 放射領域や機構が違う
  - 可視で明るい角度や年齢があるかも?
- 電波でのGiant Radio Pulse (msecで $\sim 1000$ 倍)や $\gamma$ 線でのFlare-up ( $\sim 10$ dayで $\sim 10$ 倍) 等のような増光現象が可視でもあるかもしれない

# Tomo-e Gozenによるサーベイ

部分読み出しモード：cadence(=積分時間)ごとの視野

cadence	0.5s	0.005s
視野	22deg <sup>2</sup>	0.12deg <sup>2</sup>
限界等級 <sub>(5σ)</sub>	18.2mag	14.1mag
[erg/cm <sup>2</sup> /t]	3.25e-13/0.5s	1.36e-13/0.005s

8 pix \* 1600 pix  
\* 84 chip

Crab pulsar の場合 可視Pulse 継続時間  $\leq 0.003\text{sec}$   
典型的に 継続時間 0.001 – 0.01 sec

(サーベイ例)

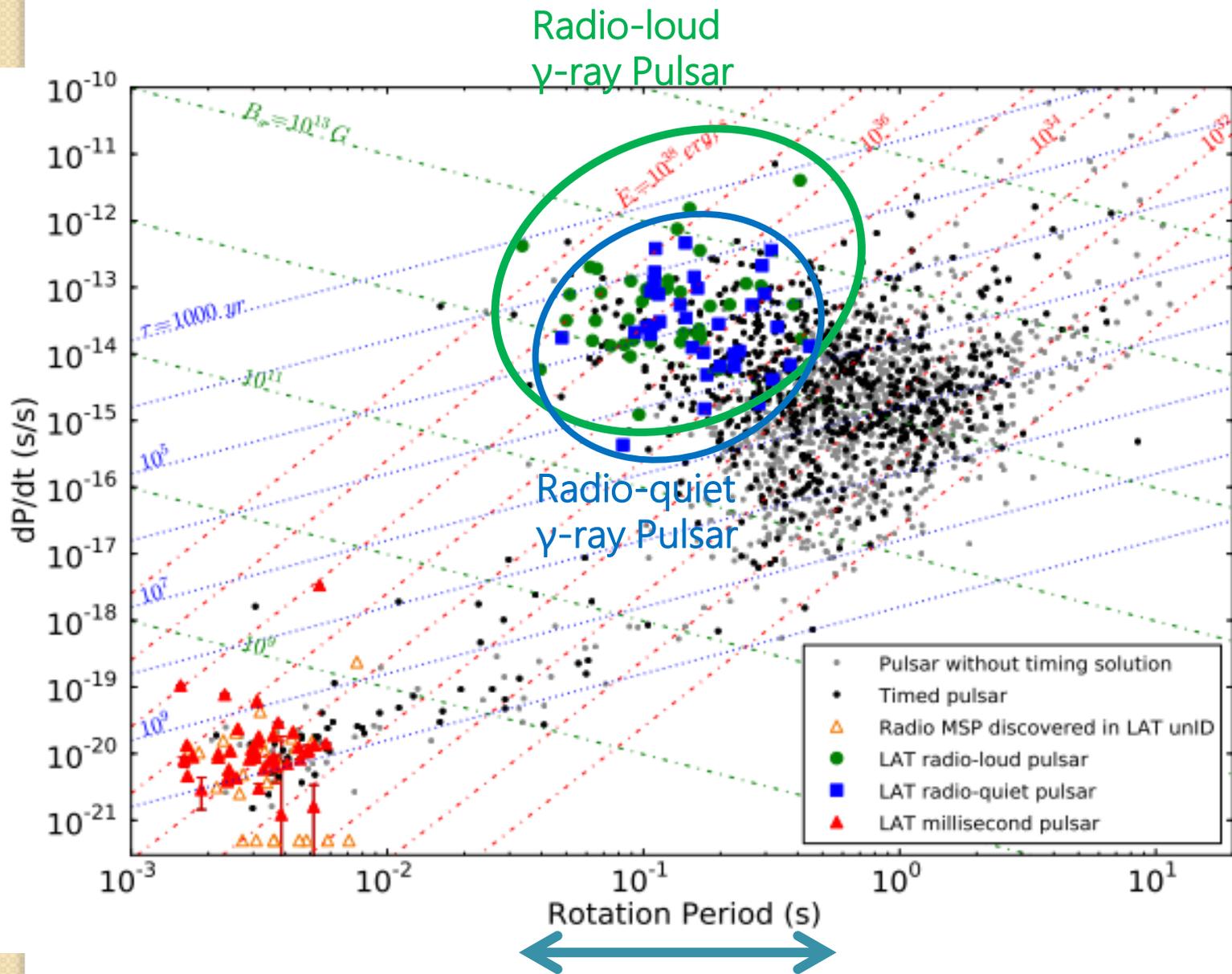
1視野に対して 0.005sec x 600サンプリング = 計3sec

116時間(15観測夜)で1万平方度を掃く

周期 0.03secのパルサー → pulse回数  $\leq 100$ 回 (S/N 10倍)

周期 0.5sec のパルサー → pulse回数  $\leq 6$ 回 (S/N 2倍)

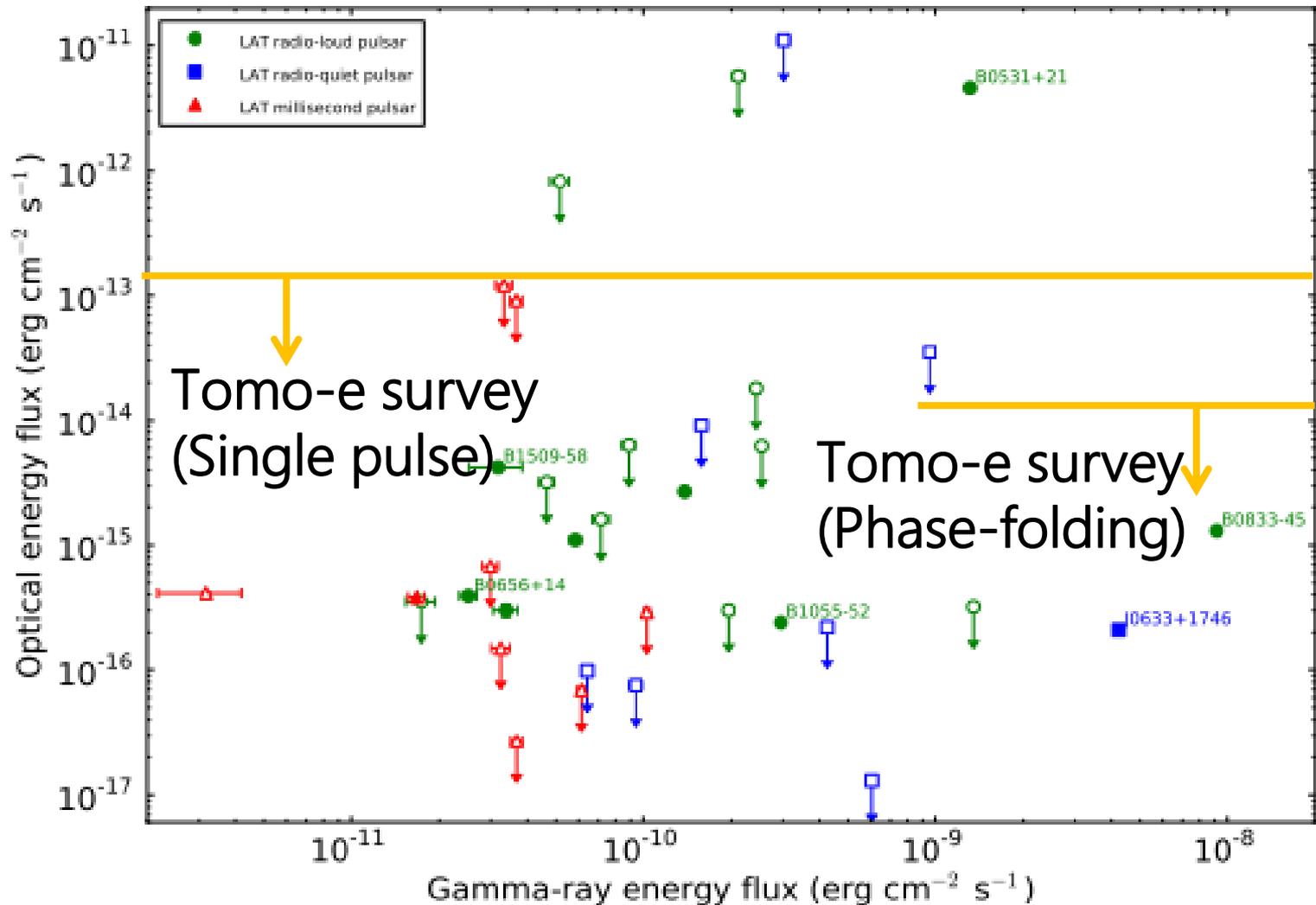
# Tomo-e Gozenによるサーベイ



←→ Tomo-e でのサーベイで狙う周期

# Tomo-e Gozenによるサーベイ

$\gamma$ 線パルサーのうち可視での制限がかけられているのは  $\sim 40/200$ 個



## まとめ

- パルサーは電波、X線、 $\gamma$ 線で発見され、可視光ではその対応天体のフォローのみが行われてきた
- Tomo-e Gozenの部分読み出しモードで  
(例えば)フレームレート5msec, 1視野600サンプリングで  
1万平方度を15観測夜でサーベイ可能
- 周期 $\sim 0.1$ -1秒のCrab pulsarの $1/10$ の明るさより明るい可視パルサーを発見可能
- 上限の全くつけられていない $\gamma$ 線パルサー $\sim 100$ 個に上限をかけられる
- 周期の短いものは周波数空間を探索することでCrab pulsarの $1/100$ の明るさ程度まで発見可能