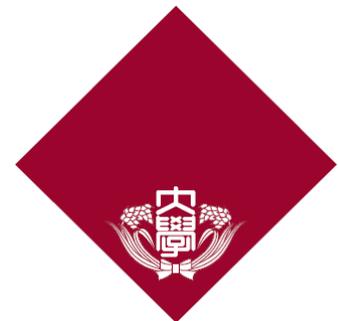




共食いする“毒蜘蛛”中性子星

—新種のパルサー発見に、日本の総力を結集—

谷津 陽一（東工大）、高橋 洋輔（早稲田大）、
片岡 淳（早稲田大）、河合誠之（東工大）、
Albert Kong（国立清華大/台湾）、高田順平（香港大）、
ほか光赤外線天文学大学間連携チーム



ガンマ線：エネルギーの高い光の一種

波長	周波数	呼び名	特性・用途
1 km	300 kHz	長波	船舶通信 AMラジオ放送 FMラジオ放送 (アナログTV放送) 地上デジタル放送
100 m	3 MHz	中波	
10 m	30 MHz	短波	
1 m	300 MHz	超短波	
10 cm	3 GHz	極超短波	
10 cm	3 GHz	マイクロ波	衛星放送・電子レンジ・携帯電話 レーダー 電波天文学
1 cm	30 GHz	ミリ波	
1 mm	300 GHz	サブミリ波	
10 μm	3 THz	遠赤外	ヒーター サーモグラフィ 赤外線リモコン
1 μm	30 THz	中間赤外	
700 nm	400 THz	近赤外	
700 nm	400 THz	赤	
360 nm	800 THz	緑	
100 nm	3 x 10 ¹⁵ Hz	青紫	日焼け・殺菌・半導体製造
10 nm	3 x 10 ¹⁶ Hz	近紫外	
		衛星紫外	レントゲン写真 PET診断
		X線	



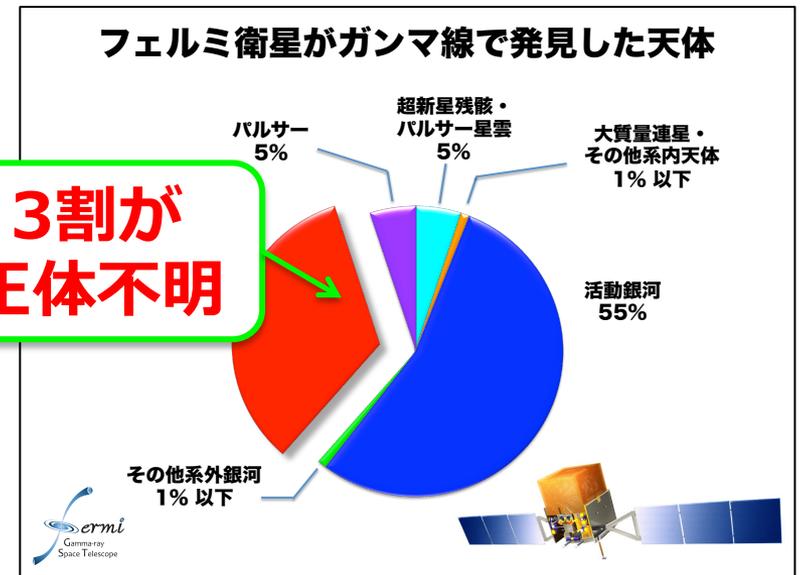
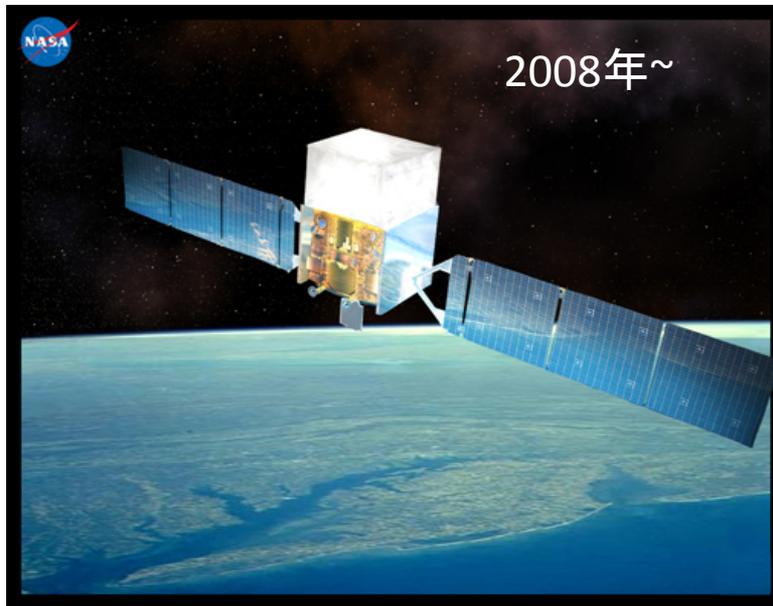
ガンマ線天文学→

加速器でも実現出来ない超高エネルギーかつ巨大な物理現象

未知のガンマ線源探査

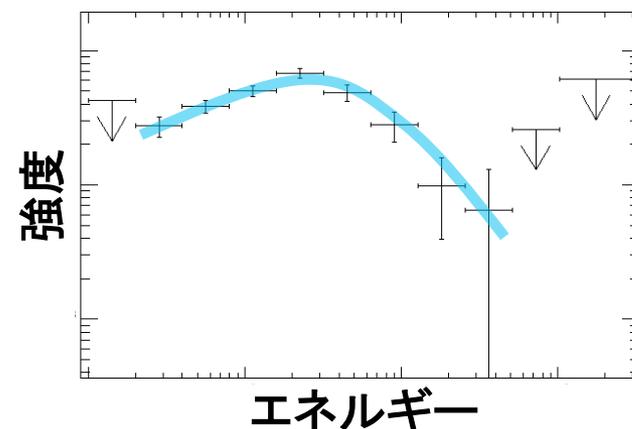
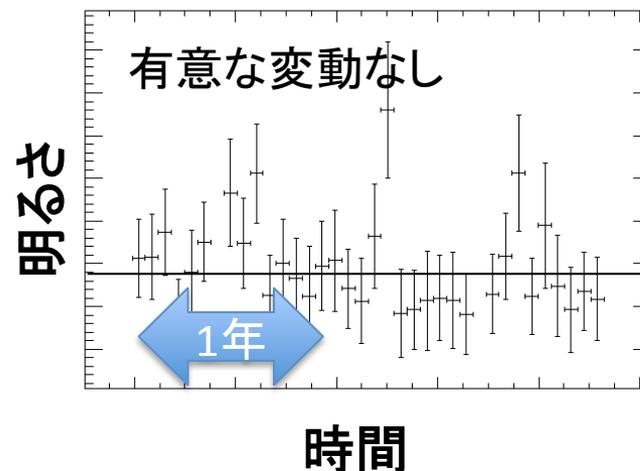
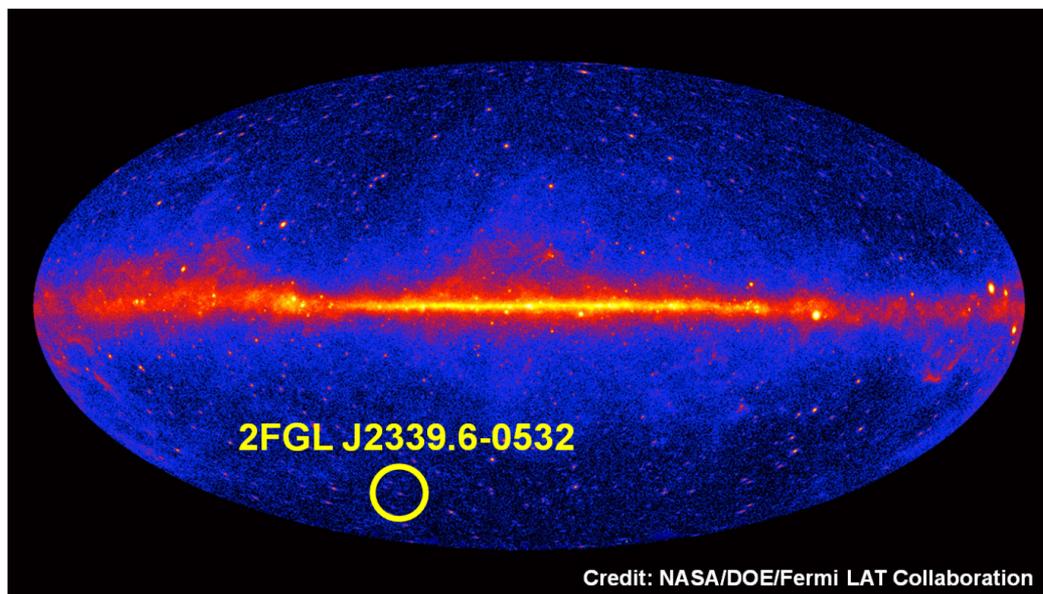
■ フェルミガンマ線天文衛星

- 日米欧の開発したガンマ線天文衛星
- 主検出器は浜松ホトニクス製の半導体
- 高感度・高分解能



×線天文衛星や地上望遠鏡を用いてその正体を探る

謎のガンマ線源： 2FGL2339.6-0532



ガンマ線の特徴	系外銀河	パルサー
位置	○	△
明るさ変動無し	△	○
スペクトル	×	○

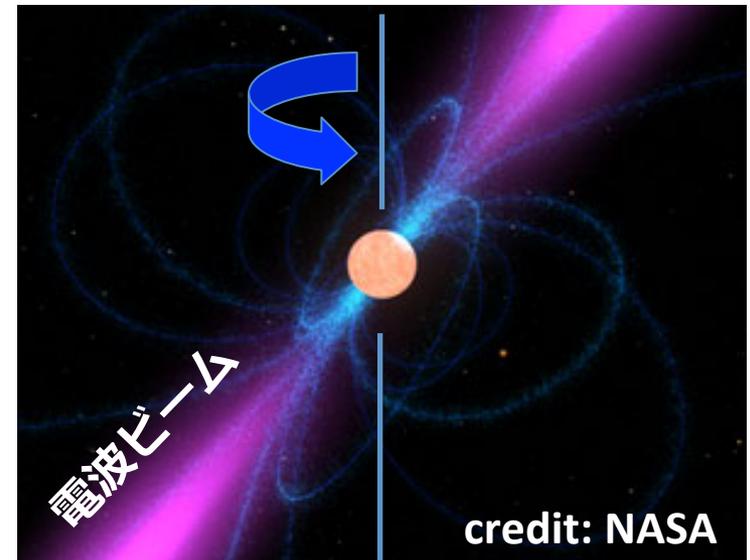
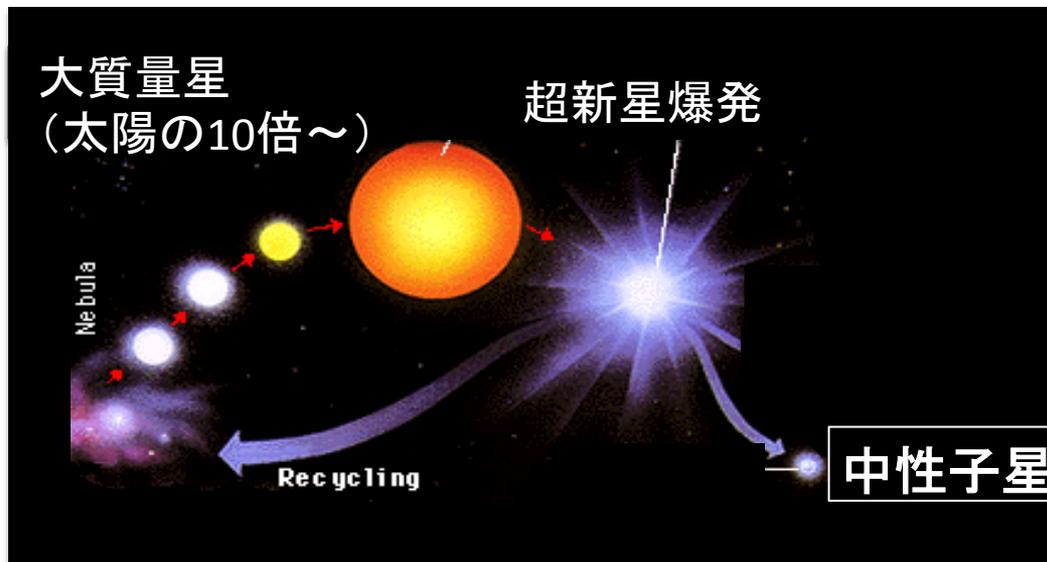
※ただし、パルサーの特徴である電波パルスが見られない

パルサーとは?

大質量星の燃え残り → 半径10 km、1.4太陽質量の中性子星

- 超高密度 1cm³あたり10億トン
- 超強磁場 (1兆~1000兆ガウス)
- 高速自転 (1秒間に0.1~1000回転)

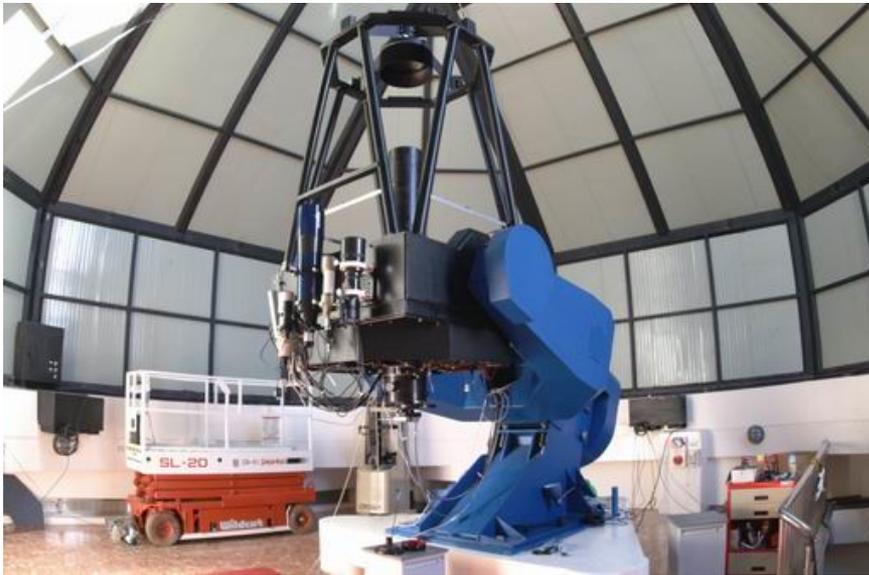
回転磁気圏から電波パルスを放射 → 「パルサー」



Credit: NASA

可視光周期変動の発見

国立清華大（台湾） / 鹿林天文台1m望遠鏡 東工大（山梨） / 明野望遠鏡



- 4.63時間の周期的光度変化 → 連星系？
- これまでに知られていない新種のパルサー？
(電波で暗いミリ秒パルサー)

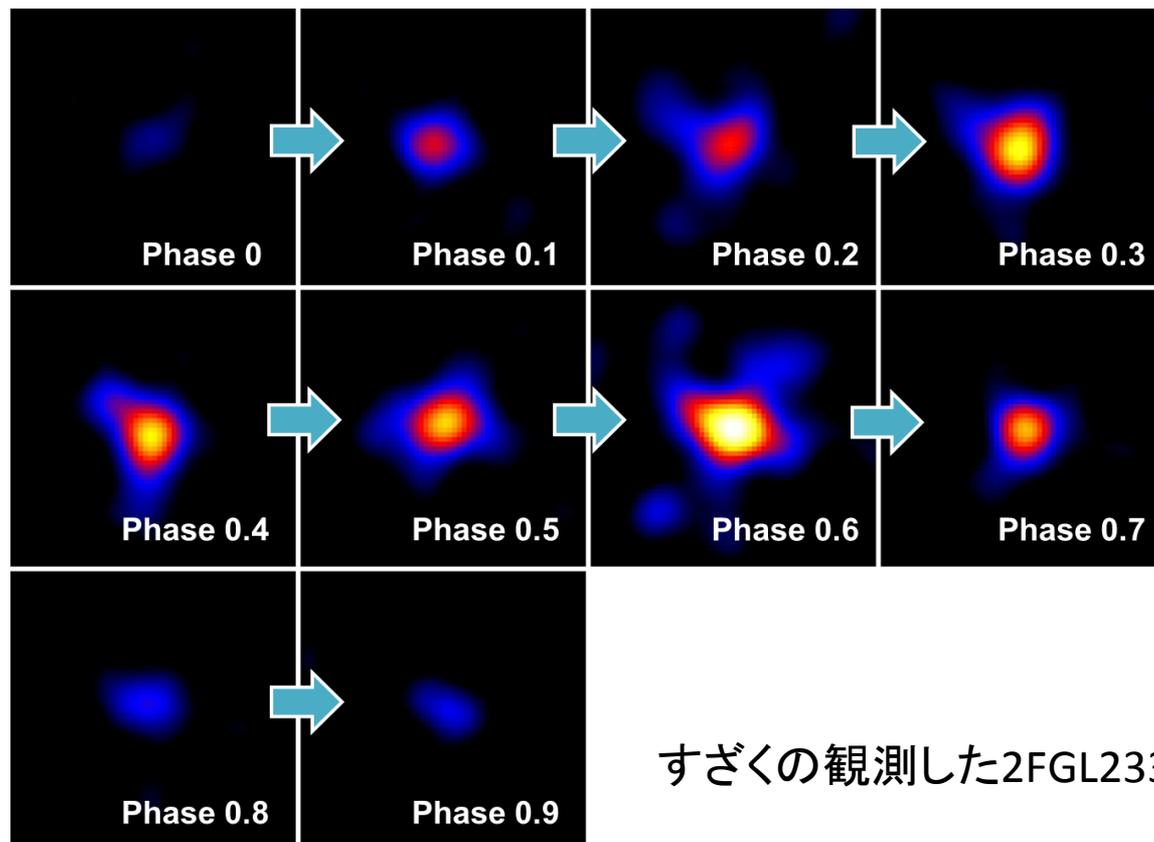
A.Kong, 谷津, 高橋, 片岡, 高田 et al. 2012

主星の正体は？

すざく衛星によるX線観測

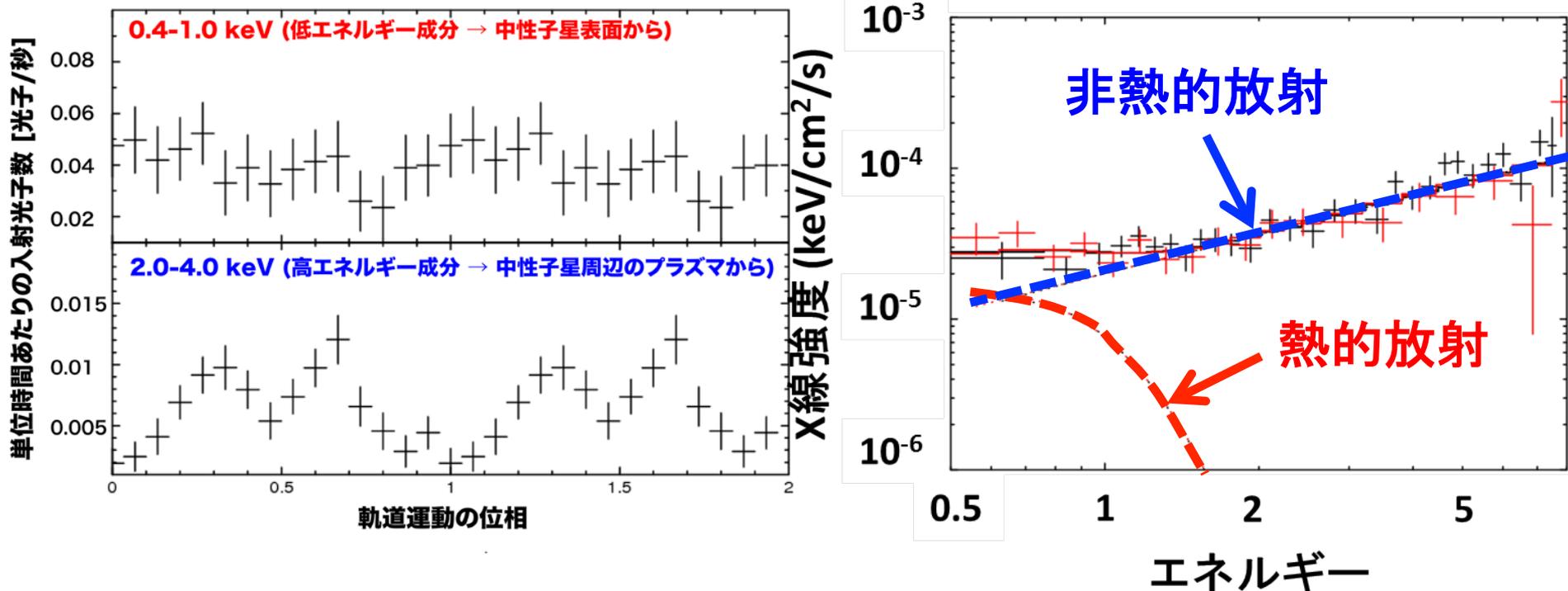


- すざく：日本のX線天文衛星（2005年打ち上げ）



すざくの観測した2FGL2339.6のX線画像

X線強度変化とスペクトル



熱的成分: 半径1.6 km, 温度100万度の物体から放射
→ **これは中性子星以外に考えられない!!**

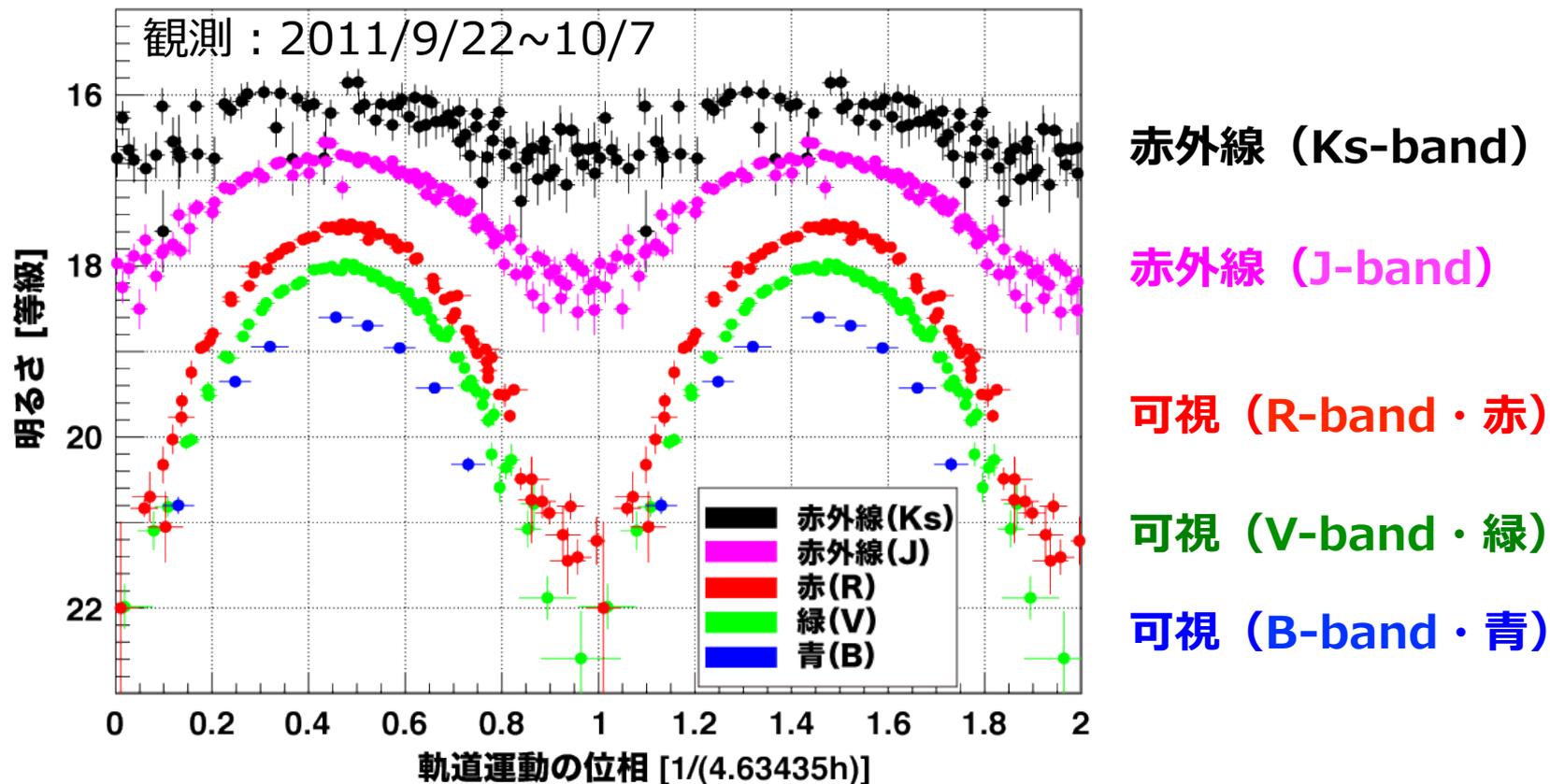
伴星の光度変動の正体は？

光・赤外線天文学大学間連携による多波長観測



国内：11観測所(12望遠鏡) + 国外：3観測所を動員
長時間にわたる多波長(様々な色)での観測

多波長でみた光度曲線

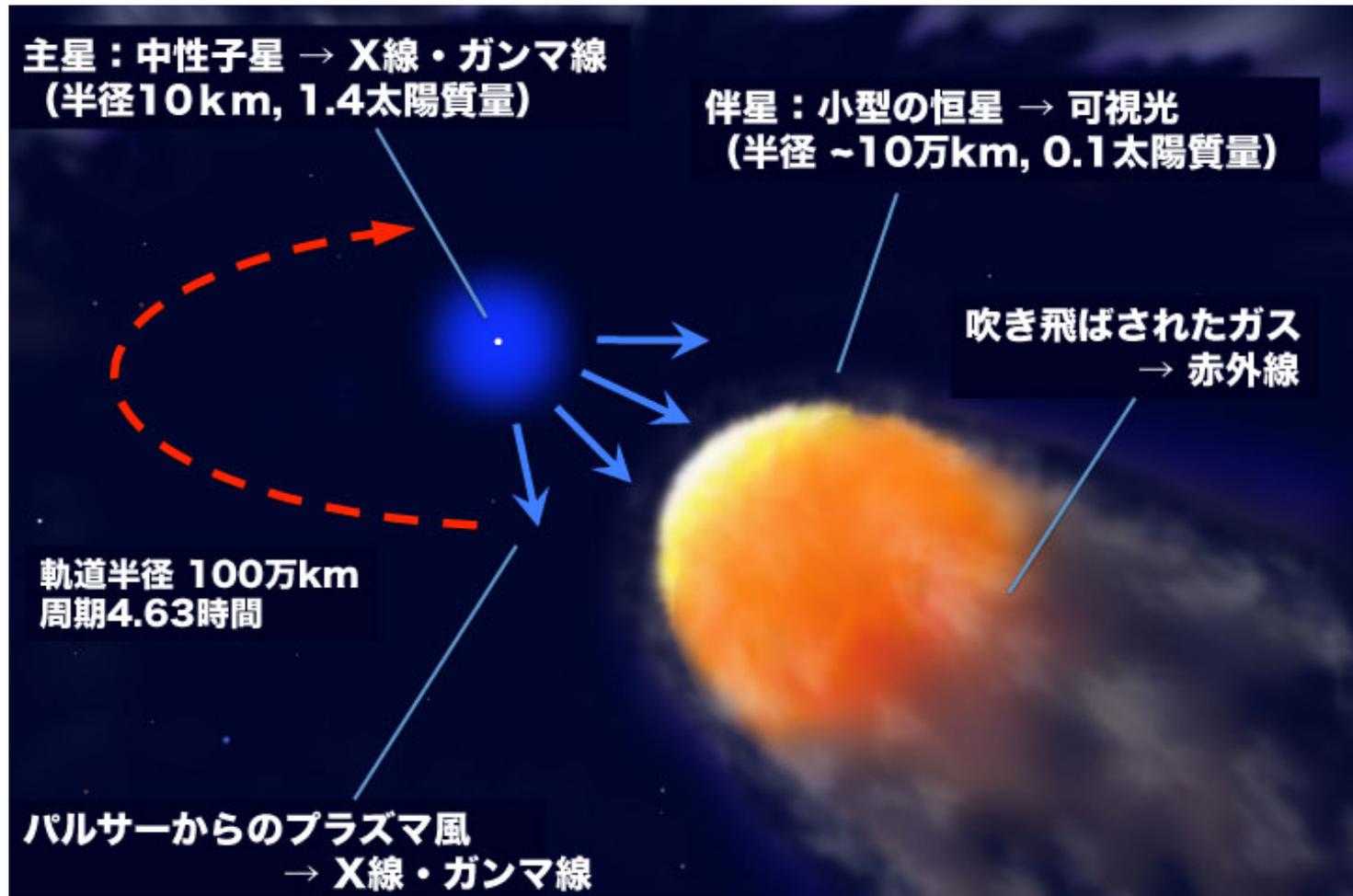


可視光：4等級の変化 → 星表面温度3000Kから7000Kまで周期変化

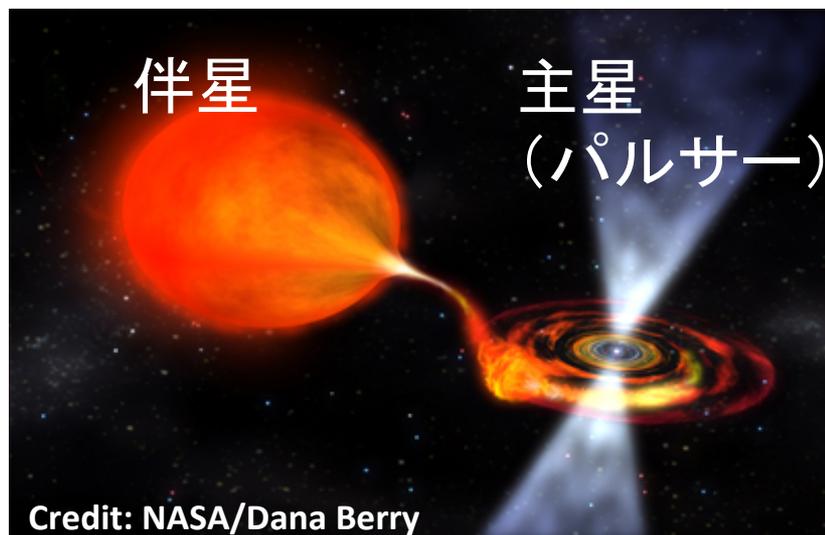
赤外線：長波長ほど変化せず → 低温の成分（ダスト/ガス）が存在？

伴星の片面が強烈に加熱され、星が蒸発しかかっていることを示唆

観測から分かってきた描像



なぜ毒蜘蛛？



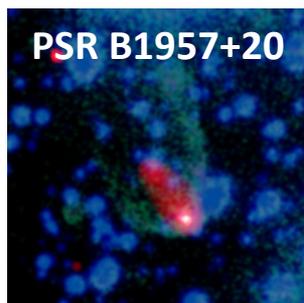
ミリ秒パルサーの想像図

- 単独のパルサー
 - 回転エネルギーだけで活動
 - 数万年で暗くなる
- 連星系のパルサー
 - 伴星からガスをもらって再加速
 - 数十万年掛けて秒速1000回転へ
→ミリ秒パルサー
- しかし、十分加速すると・・・
 - パルサーからの強烈なプラズマ
→ **養ってくれた相棒を蒸発させる**

1FGL2339.6は共食いの2例目？



黒ゴケ蜘蛛
(交尾後にオスを食べてしまう)



ブラックウィドウパルサー
(養ってくれた伴星を蒸発させてしまう)

まとめ

- 未知のガンマ線源の正体を明らかにするため、
日本全国の望遠鏡・X線天文衛星すざくを総動員
- X線観測 → **半径1.6 km、温度100万度の領域から放射**
→ **中性子星の存在を示す確固たる証拠**
- 光・赤外線 → 伴星温度が**3000~7000度**まで周期的に変化
→ **伴星は中性子星からの強烈なプラズマ風によって加熱**
今まさに蒸発しつつあると考えられる

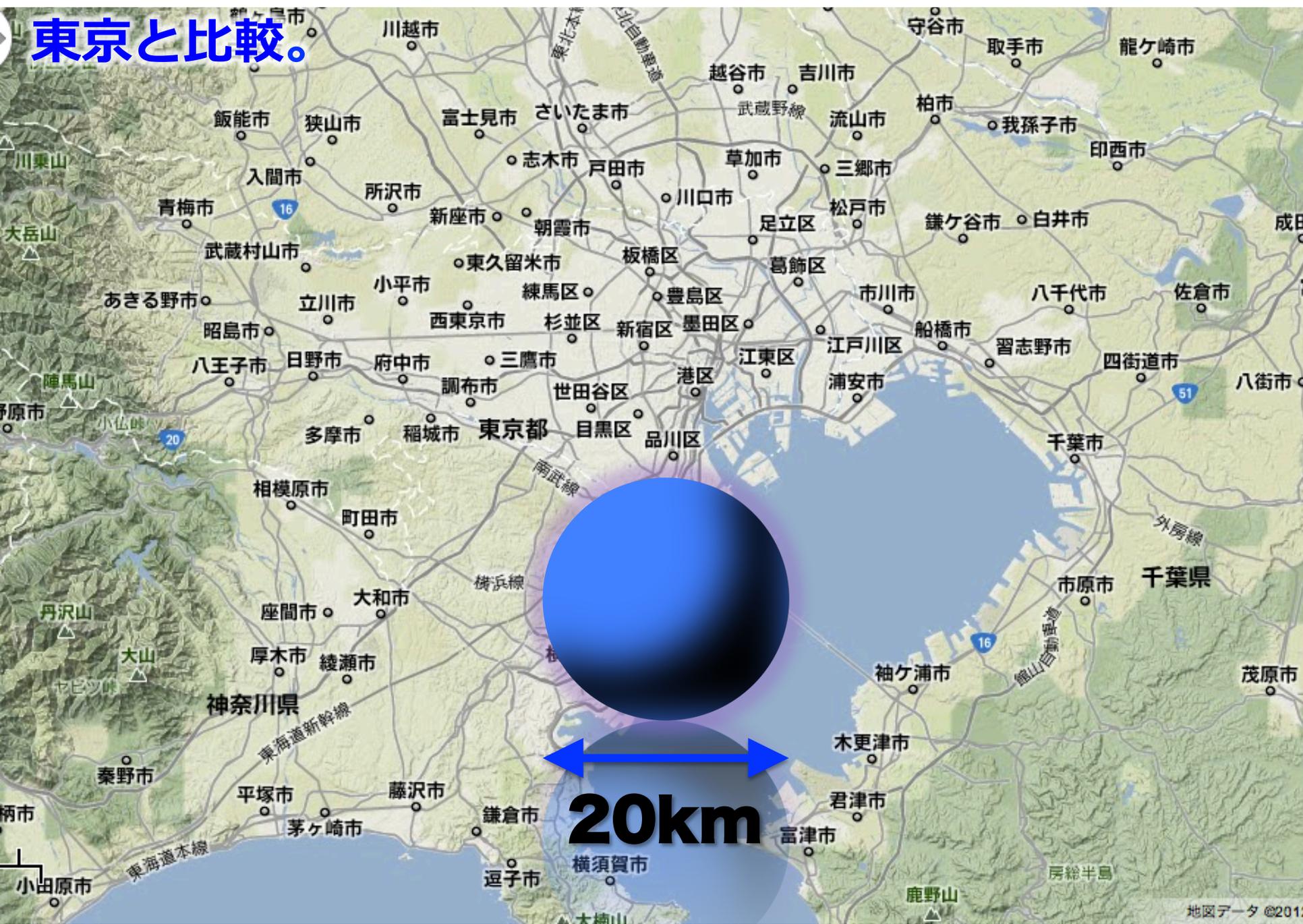
#類似天体としてミリ秒パルサー「ブラックウィドウ」
今回見つかった天体は電波パルスが見られず、
初めて発見された「電波で暗い」ミリ秒パルサーである可能性が高い。

宇宙のスケールに比べて非常に小さな「パルサー」が
半径10万キロの恒星を蒸発させつつある。

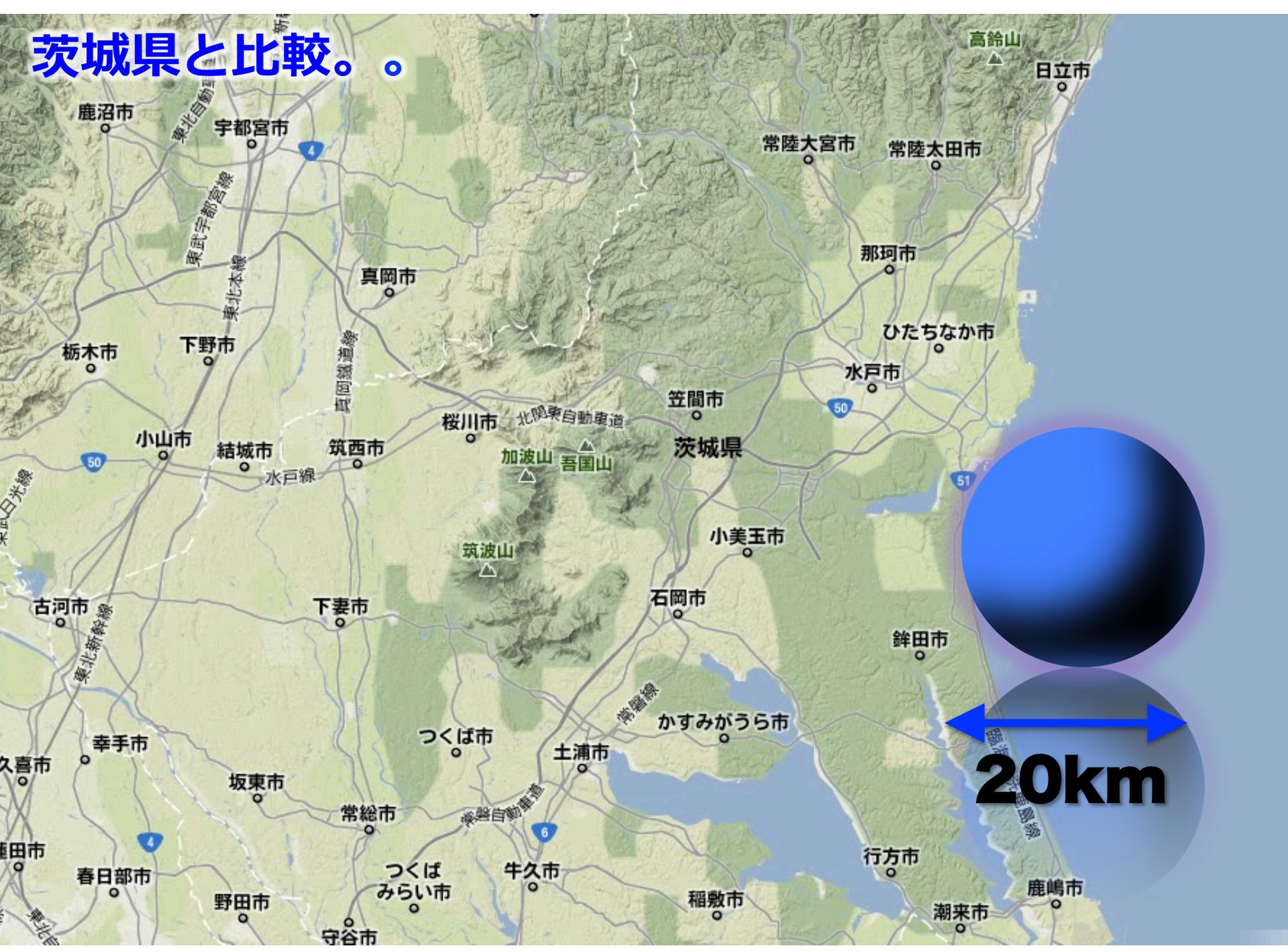
中性子星
(パルサー)
1.4太陽質量

20km

東京と比較。



茨城県と比較。。



太陽
半径: 70万キロ
質量: 2×10^{30} kg



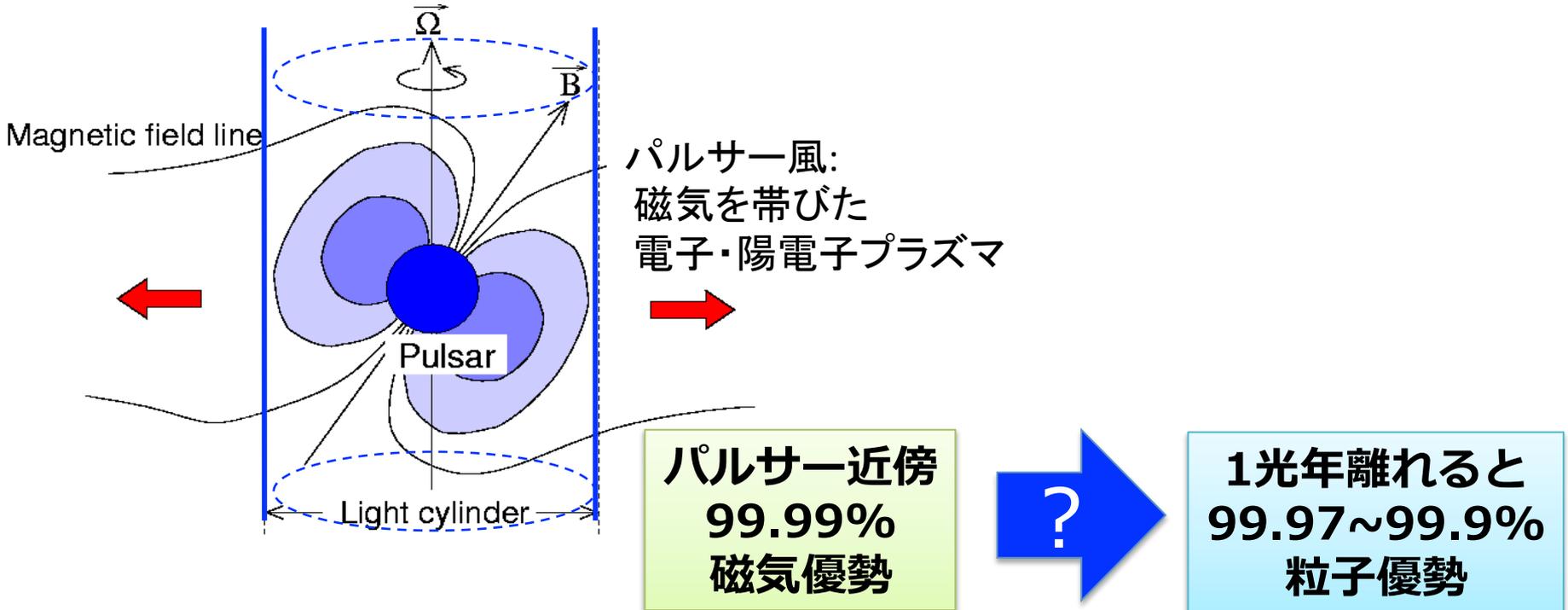
地球
半径: 6400キロ

2FGL2339.6-0532の伴星
半径: ~10万キロ
質量: 太陽の1/10)

パルサー
半径: 10キロ
質量: 太陽の1.4倍

今後の課題

- ガンマ線はどこから・どの様に出ているのか?
- パルサー周辺での粒子加速機構は?
- スピン周期の探査
- 伴星表面の温度分布からパルサー風の分布推定



Phase 0

Phase 0.1

Phase 0.2

Phase 0.3

Phase 0.4

Phase 0.5

Phase 0.6

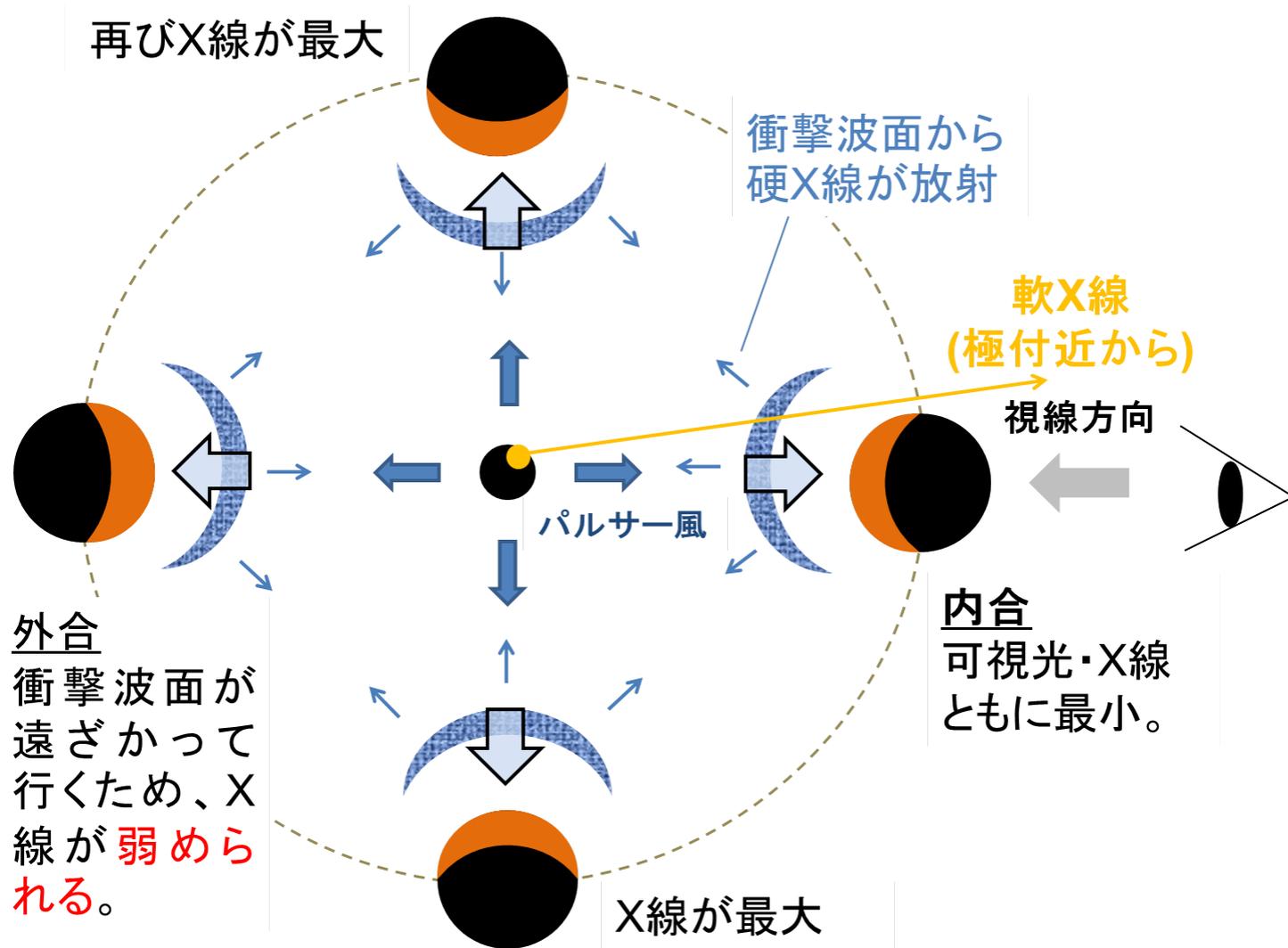
Phase 0.7

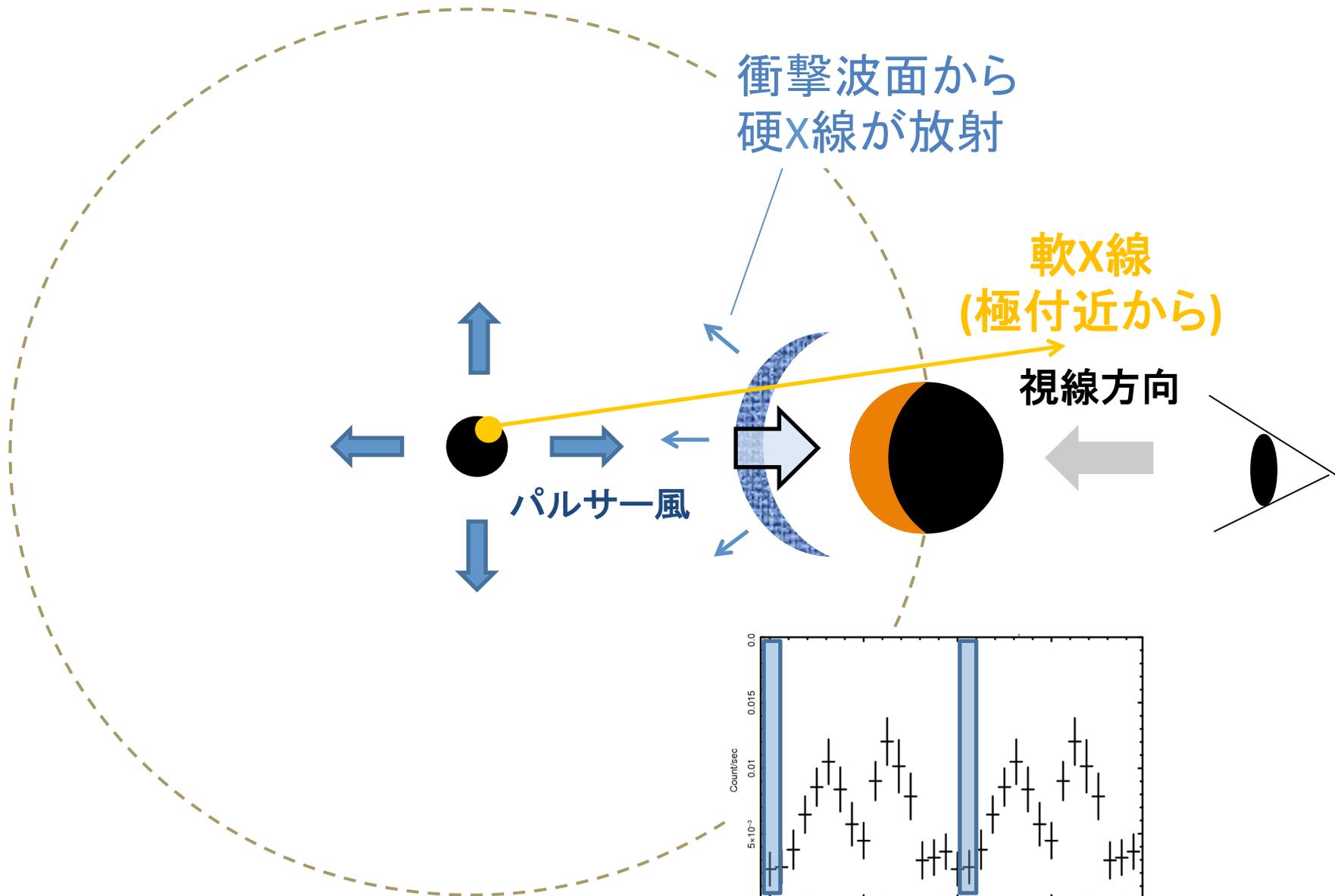
Phase 0.8

Phase 0.9

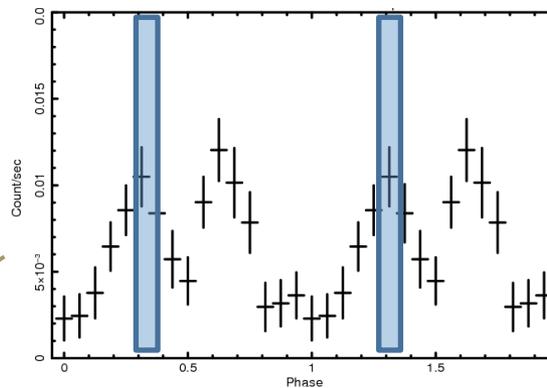
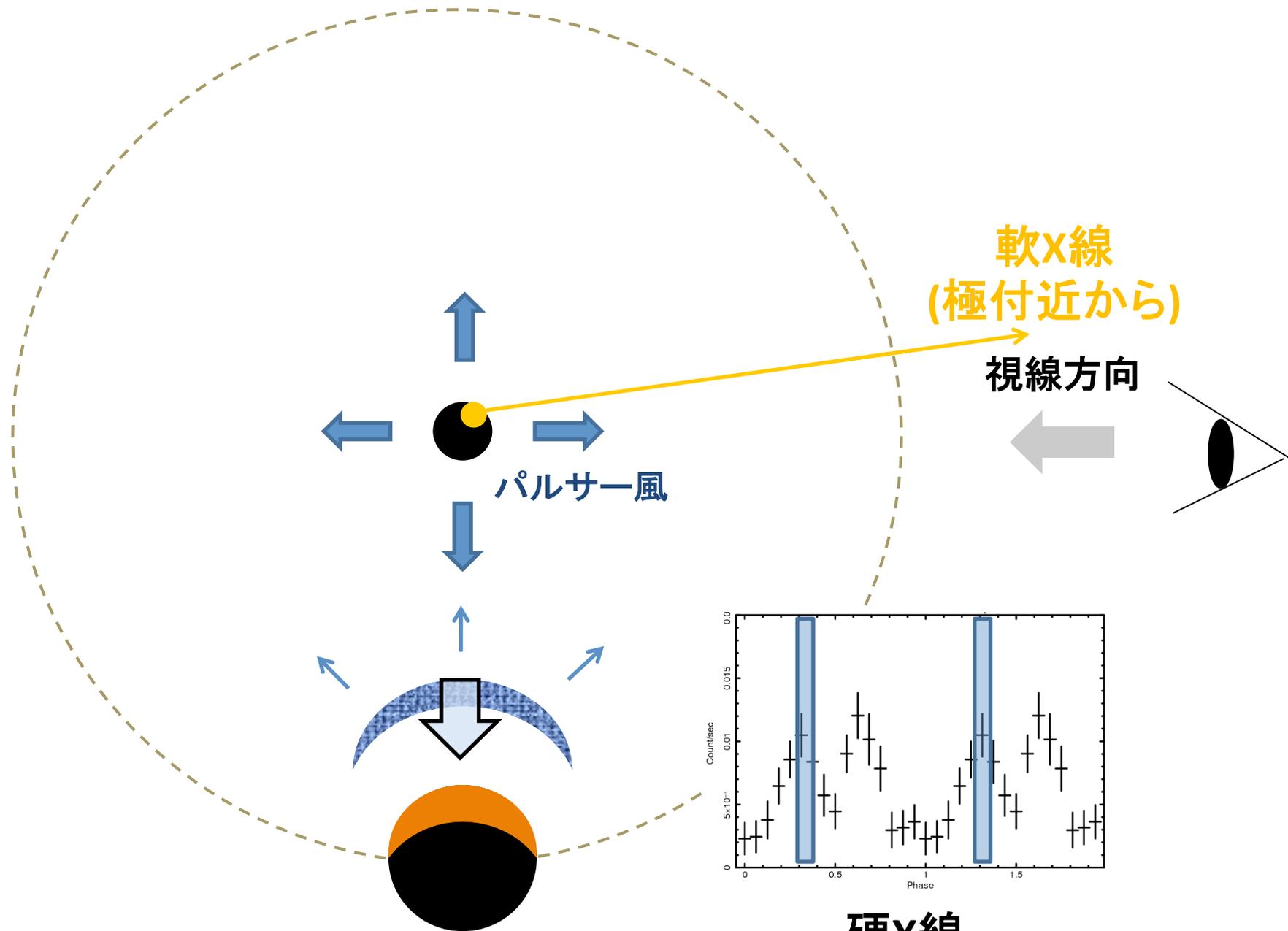
Preliminary!!

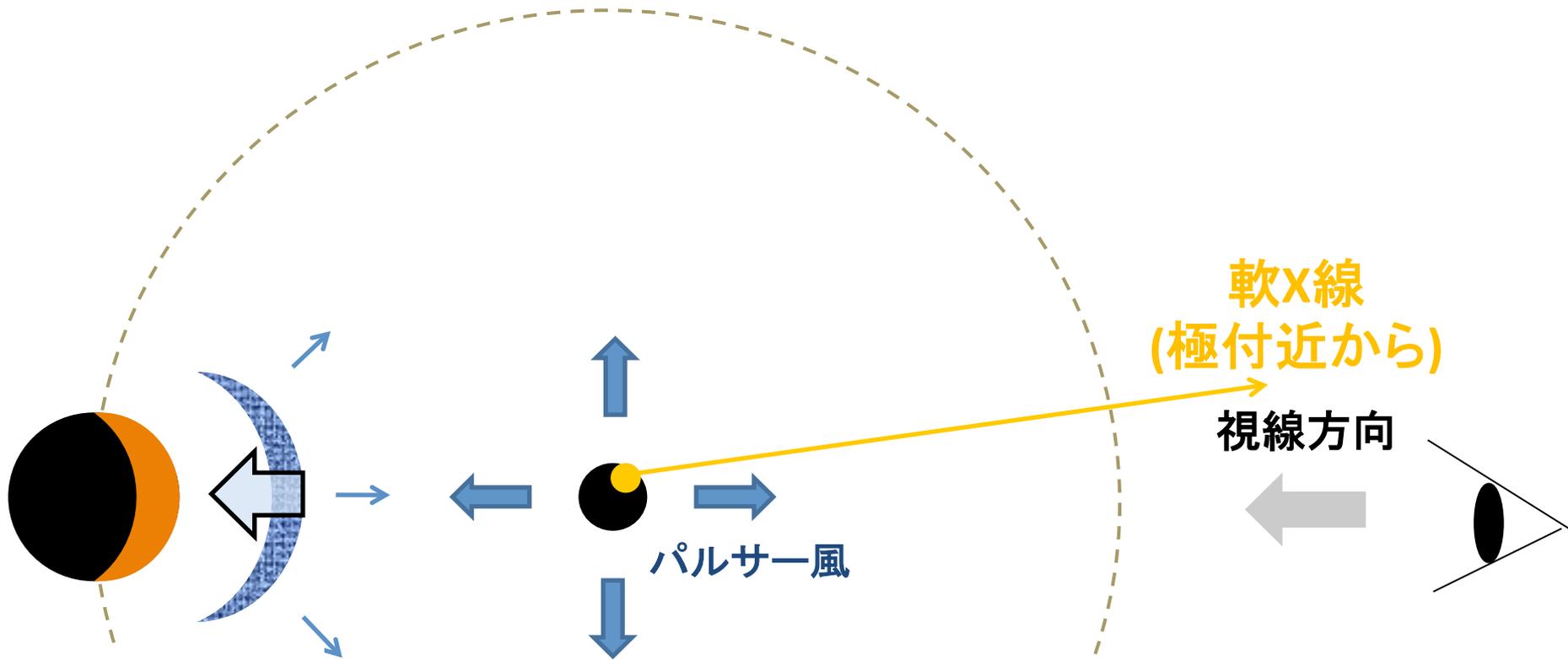
X線ダブルピークの解釈



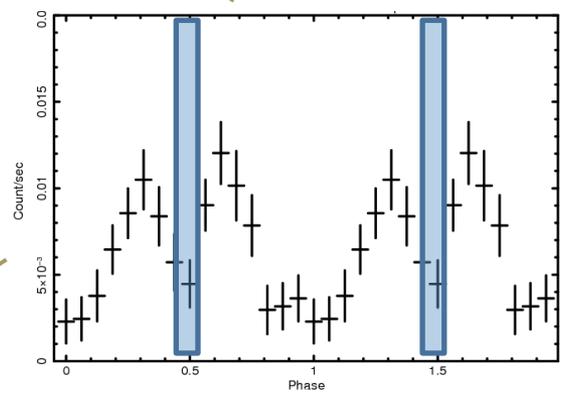


硬X線

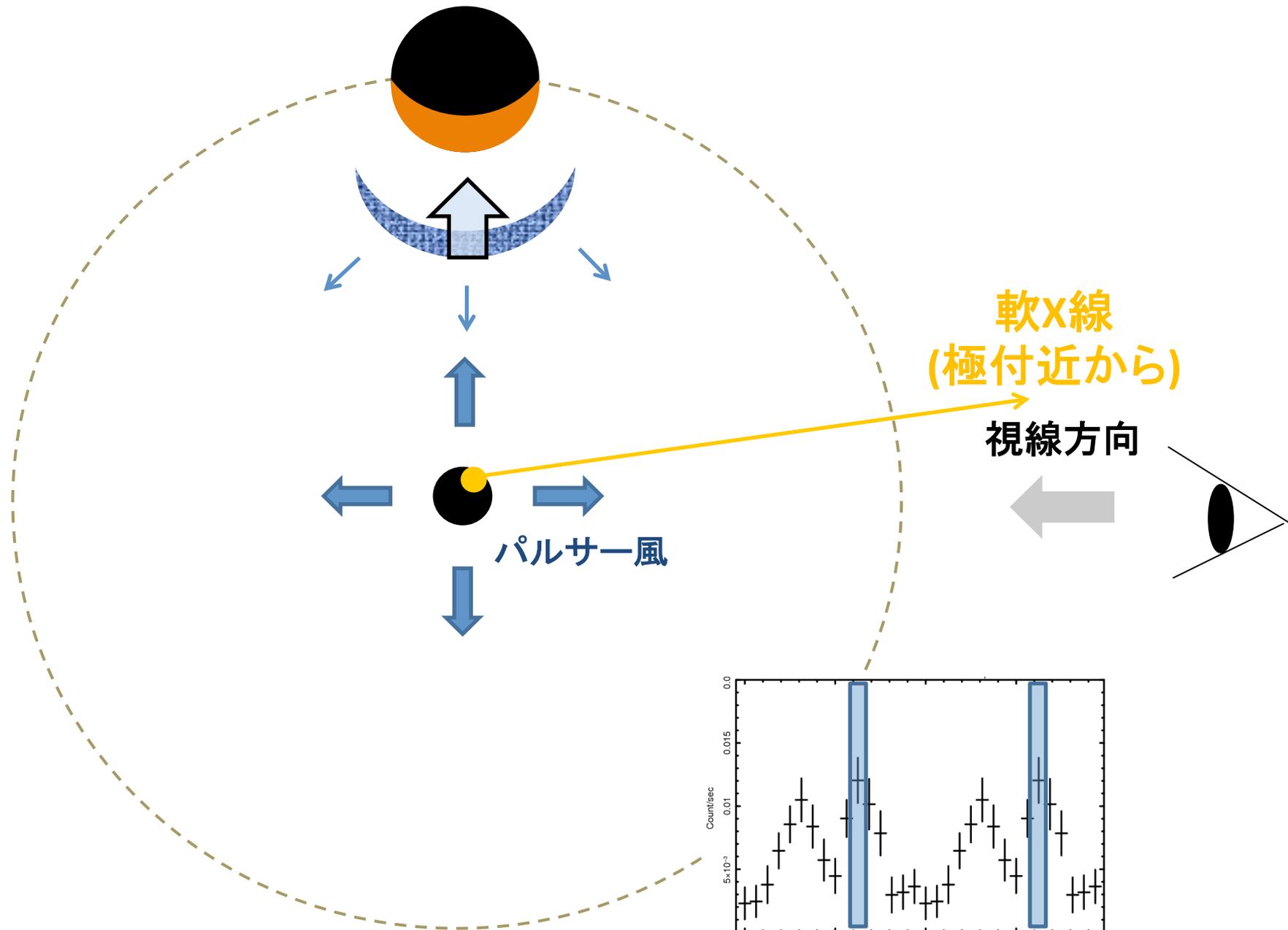




外合
 衝撃波面が遠ざかって行くため、X線が弱められる。



硬X線



硬X線

Fermiで検出されたパルサー

	電波パルスの有無	ガンマ線パルスの有無	個数
通常のパルサー	○	○	36
	×	○	35
ミリ秒パルサー	○	○	27
	×	○	0

これまでradio-quietなミリ秒パルサーだけが
見つかっていない

2FGL2339.6-0532のパラメータ

- 軌道周期 : 4.63時間
- 主星 : 中性子星 (1.4太陽質量)
- 伴星 : 恒星 (K型 ~0.075太陽質量)
- 距離 : 1.1キロパーセク (3600光年)
Kong et al. 2012, Romani et al. 2012

本家「ブラックウィドウ」パルサー ミリ秒パルサー PSR B1957+20

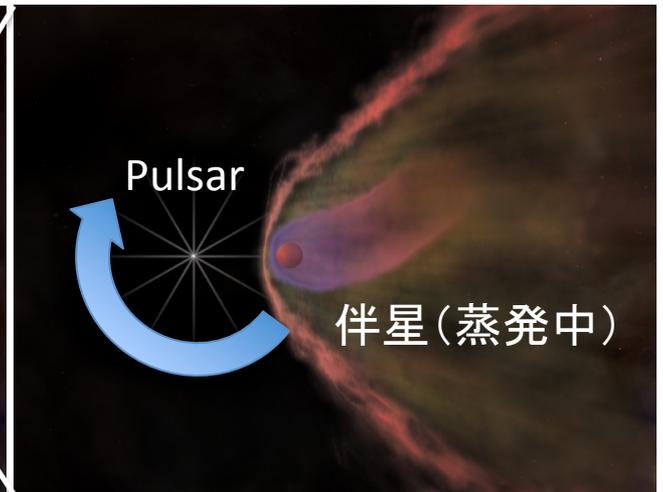
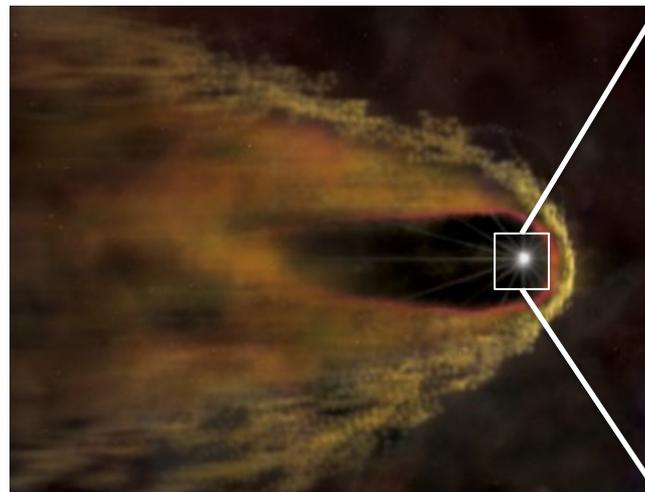
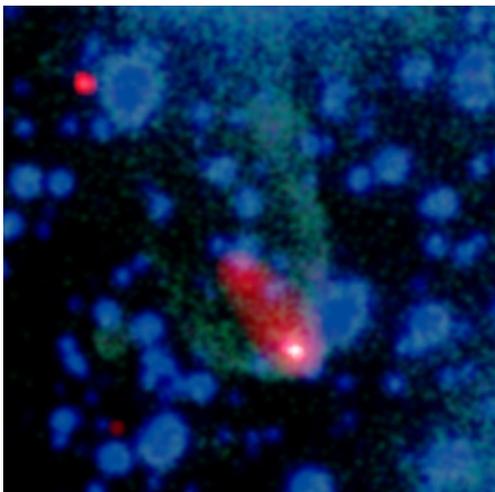
■ 低質量X線連星

■ Black Widow

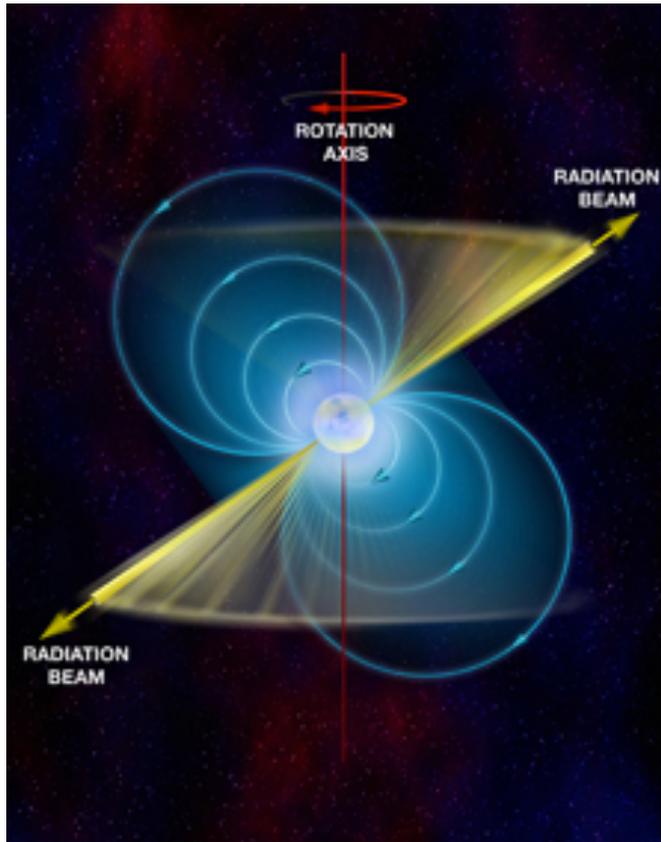
— PSR B1957+20

— 軌道周期: 9.2 時間, パルス周期: 1.3 ミリ秒

— Ha 星雲、PWN



Pulsarとは...



回転する磁化した中性子星

- 半径 ~10km
- 質量 ~1.4太陽質量
- 自転周期 ~m秒~10秒
- 磁場 ~ 10^{12-15} Gauss
- 周囲に超新星残骸を伴うことも

パルス特性から分かる物理量

- *Spin-down Luminosity*
(回転エネルギーの減少率)

$$\dot{E} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} I_{45} \Omega^2 \right)$$

- 特性年齢
(初期スピン= ∞ を仮定した年齢)

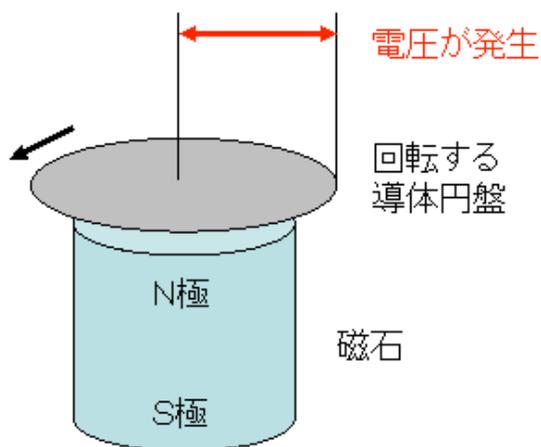
$$\tau_c = \frac{\dot{P}}{2P}$$

- 表面磁場
(双極子放射を仮定)

$$B_* \propto (P\dot{P})^{1/2}$$

電磁放射や粒子加速によって回転エネルギーを徐々に失う

Pulsar Windの生成



Crab pulsar $\rightarrow 10^{15} V$

1. 単極誘導による電位差の発生

- 電荷を引きずり出し、磁気圏を満たす
(ゴールドライク・ジュリアン密度)

2. プラズマと磁場と共回転

- 遠心力加速 \rightarrow Lorentz因子 $\sim 10^7$

3. Light cylinder ($r\Omega=c$)から...

- 磁力線が外向きに開く
- 荷電粒子の遠心力が強くなる

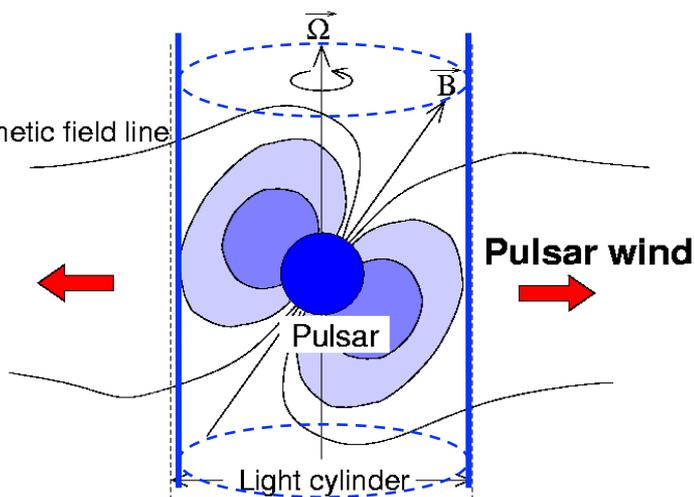
\rightarrow プラズマが磁場と共に吹き出す

パルサー風の磁化パラメータ

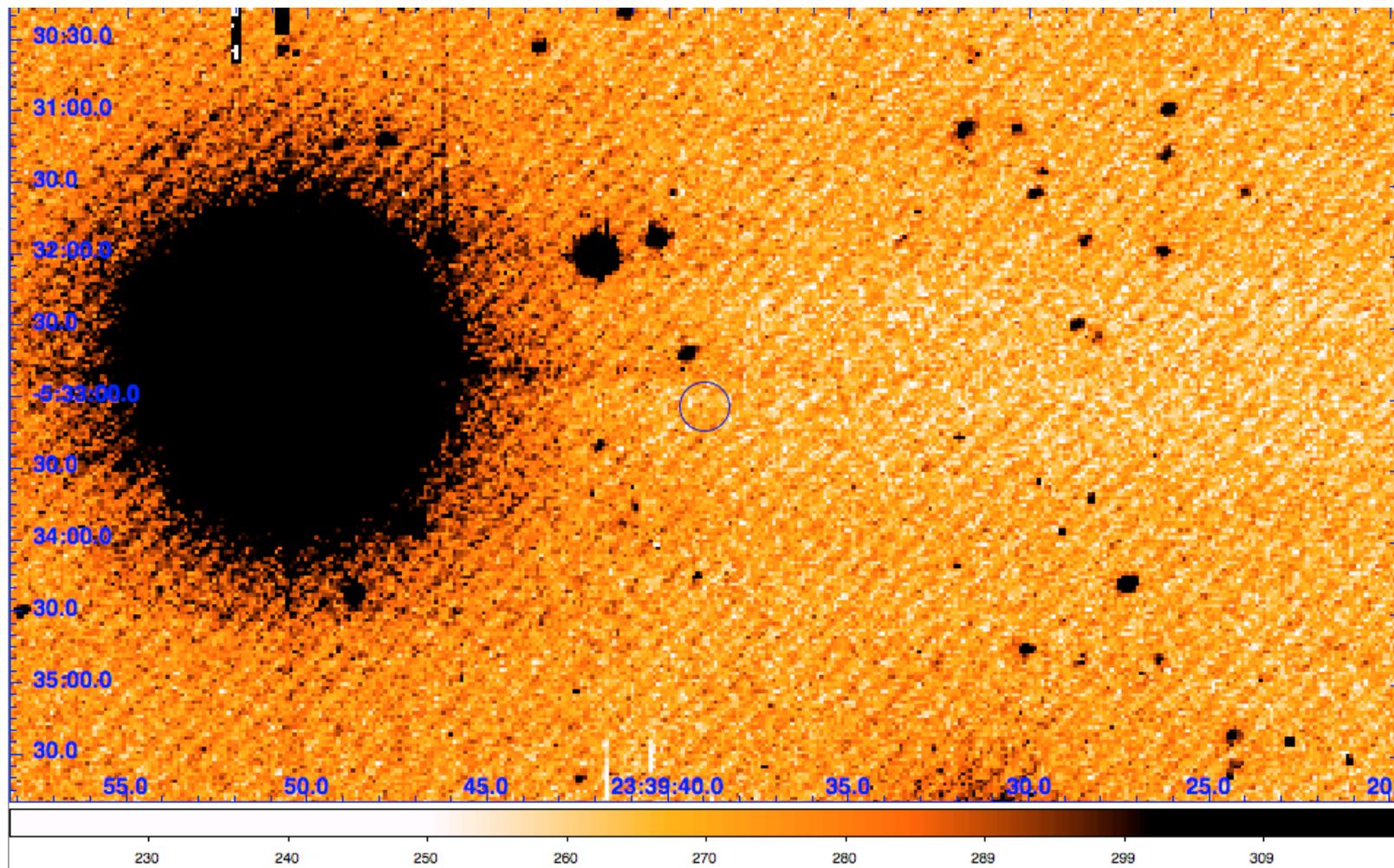
$$\sigma = \frac{F_{\mathbf{E} \times \mathbf{B}}}{F_{\text{Particle}}} = \frac{B^2}{4\pi\rho\gamma c^2}$$

光半径付近... 磁気優勢 ($\sigma=10^4$)

衝撃波付近... 粒子優勢 ($\sigma \ll 1$)



H α 撮像観測(木曾シュミット)



300s x 2frame 対応天体らしきもの見えず。



