

理論懇 2005。12

# ガンマ線放射と 相対論的Windが 共存する パルサー磁気圏の構造

柴田 晋平(山形大学理学部)

和田 智秀(山形大学理工学研究  
科)

# 回転駆動型パルサー

セントラルエンジン：

強磁場( $10^{12}$ G)で高速自転( $10^3 \sim 0.1$ Hz)する中性子星：  
自転のエネルギーを開放している系

回転するマグネットが起こす高エネルギー現象

の純粋な実験場

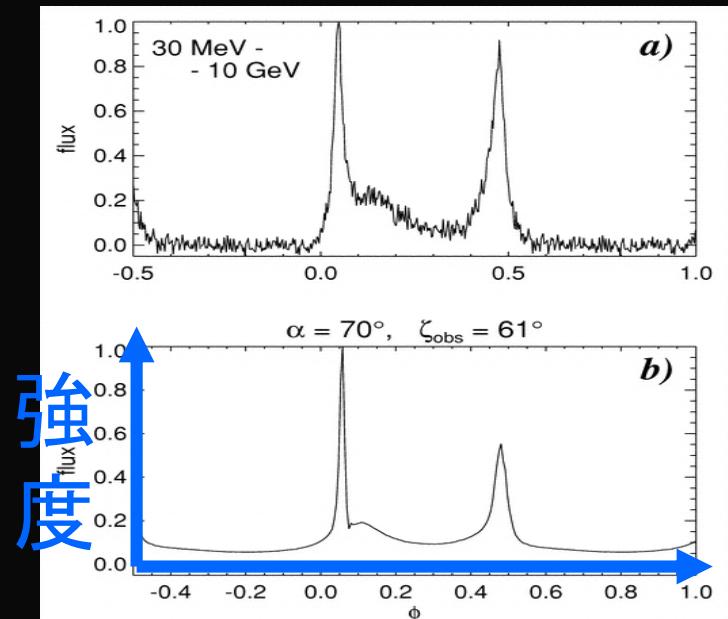
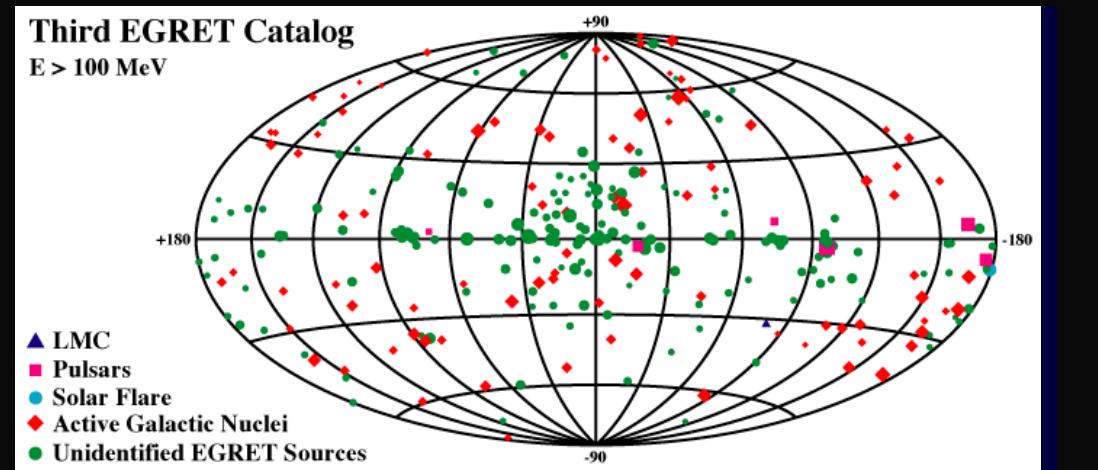
発見以来～40年、  
粒子加速のなぞがほぼ解けたかな(?)。



ガンマ線パルス

パルサー風

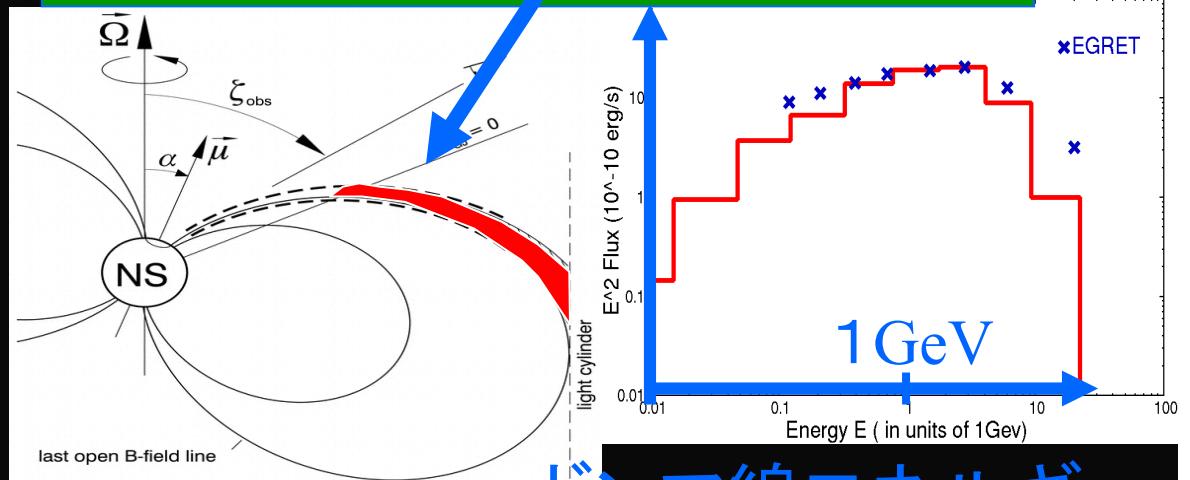
# ガンマ線放射 (EGRET $>100\text{MeV}$ 点源)



パルス位相(時間/周期)

Dyks & Rudak (2003)

Outer Gap での沿磁力線  
電場  $E//$  加速



ガンマ線エネルギー  
Takata, Shibata, Hirotani 2004

# パルサー風:

パルサー星雲を励起する  
もの

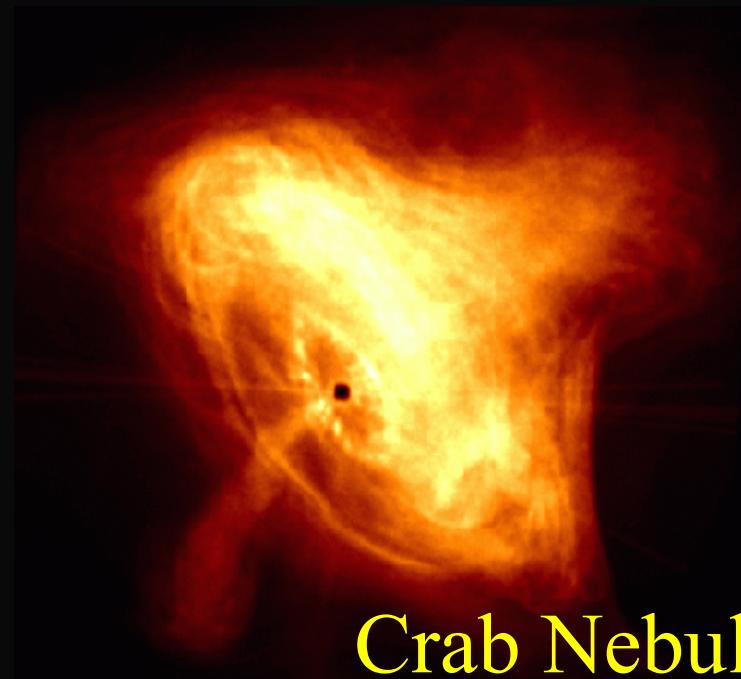
Bulk motion のローレンツ  
因子  $\gamma \sim 10^6$

$$EME/KE = \sigma \ll 1?$$

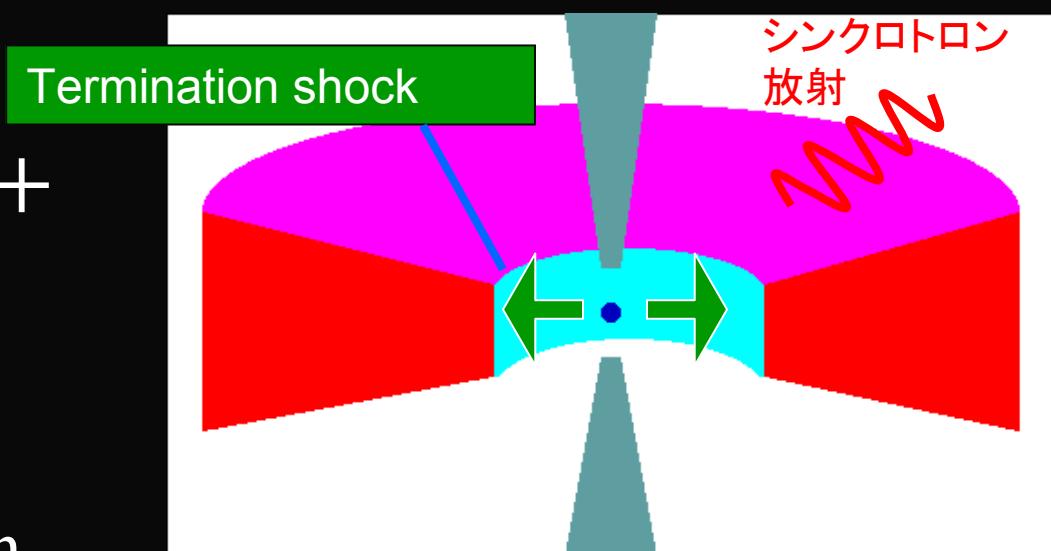
組成: 電子・陽電子対(+  
イオン成分?)

理論:

$$\sigma \gg 1, \text{ no collimation}$$



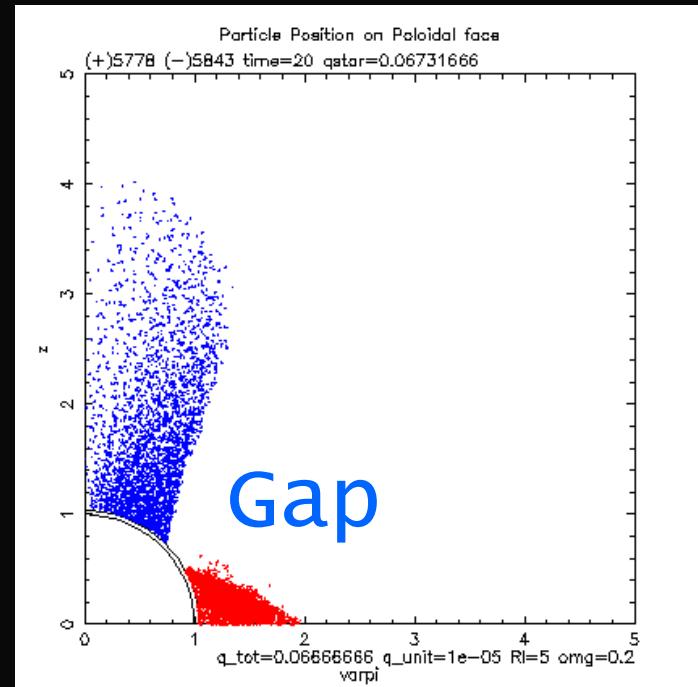
Crab Nebula



- ◆電子陽電子プラズマのなかでどうやって加速電場を維持するか。Outer Gap の形成機構。
- ◆パルサー風の粒子はどこから供給され、
- ◆どのように加速されるか。

# 電磁誘導作用：回転の誘導→共回転

—  
極側



プラズマ密度  
形成(非常に)

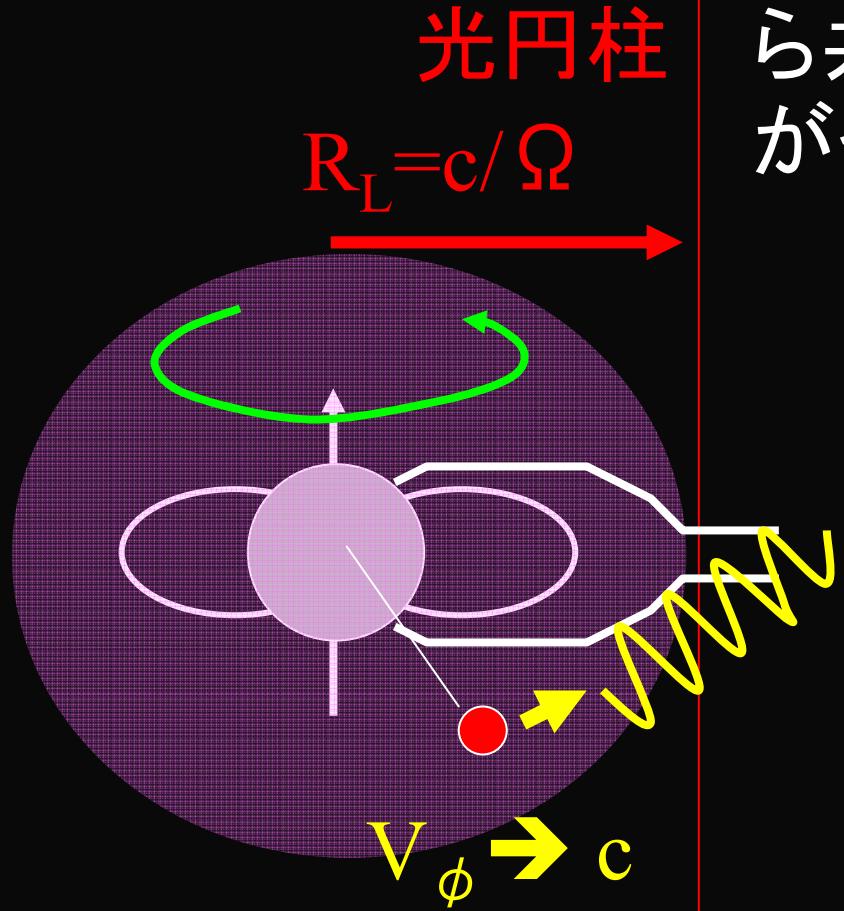
電荷分離:  $E_{\perp}$ :  
 $E \times B$  ドリフト:  
共回転

$$\rho_{\text{GJ}} = \Omega \cdot B / 2 \pi c$$

Goldreich-Julian 密度

+ 赤道側 もし、

ギャップは強い  $E_{\parallel}$  を持  
ち、電子陽電子対生成  
に対して不安定



密度  $n \gg n_0 = \Omega B / 2\pi ce$  なら  
共回転が光円柱まで広  
がって  $V_\phi \rightarrow c$ 、

$$\gamma nmc^2 \stackrel{?}{\sim} B^2 / 8\pi$$

$$\gamma_A \sim 10^7 \mu_{30} / M P^2$$

$$M = n/n_0$$

放射の反作用によるドリ  
フトが効く条件

$$\gamma_{rad} \sim 10^7 (\mu_{30}/P)^{1/4}$$

# パルサー磁気圏の粒子シミュレーション

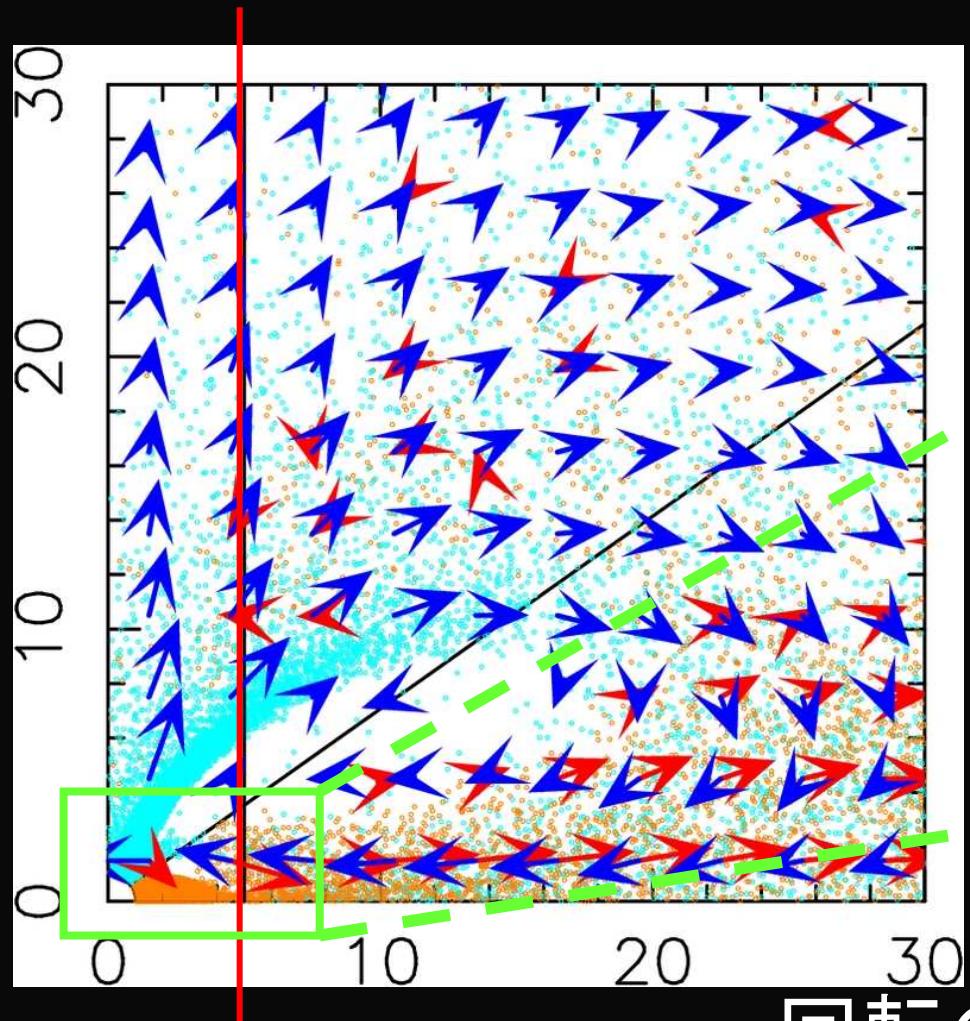
運動方程式 :  $dp_i/dt = q_i E + q_i v_i \times B/c + f_{rad,i}$

密度は大きくない:  $\gamma_A > \gamma_{rad}$ : 双極磁場

星の回転起電力を厳密に再現するため電場  
はGreen関数法: Grape6で積分

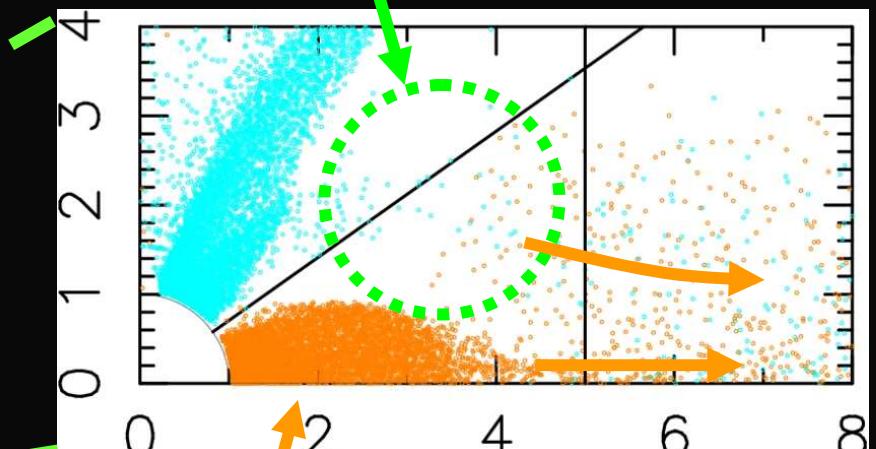
$E_{\parallel}$  が強い部分に電子陽電子対を注入し、定  
常になるまで追跡

# 結果 (Wada and Shibata 2005)

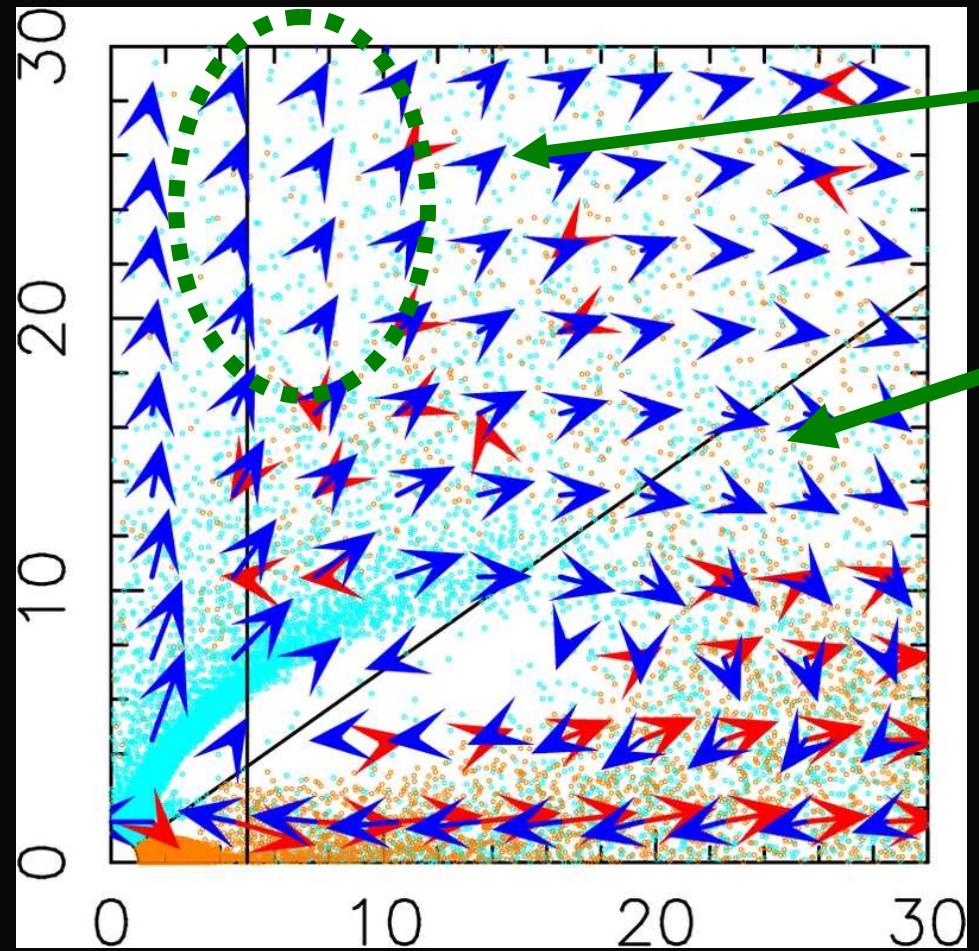


光円柱

Outer Gap が形成  
E//が維持、ペア生成も維持  
ガンマ線放射領域

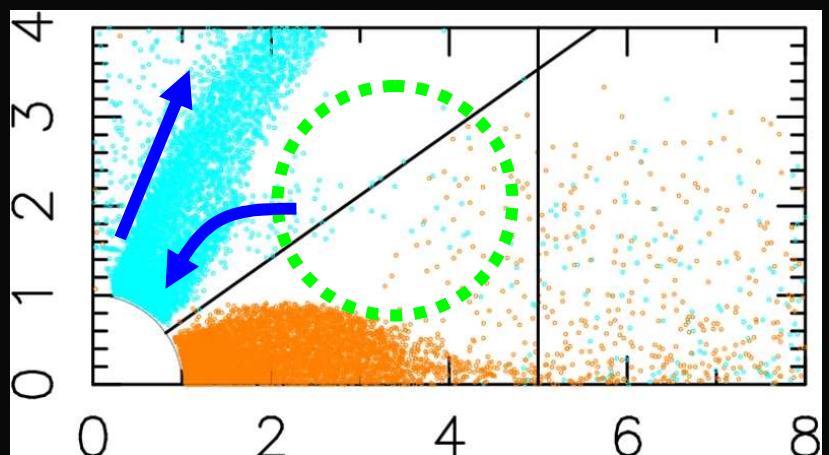


回転の誘導により  $V_\phi \rightarrow c$ ;  
 $\gamma$  増大; 放射の反作用; 流出



遠心力駆動の  
outflow

放射反作用による  
ドリフト: 循環電流



系の総電荷  $Q \sim 0$   
(若干負で電子を押し出し、定常を保っている).

## まとめ

- パルサー磁気圏は強い電荷分離のためギャップを形成し( $E_{\parallel}$ 加速)、ギャップは電子陽電子対を生成する。
- 電子陽電子プラズマが豊富であれば $E_{\perp}$ 加速によってoutflow(パルサー風)を作る。
- プラズマの生成(gap)と流出(wind)がつりあつた状態で定常磁気圏ができる。
- Outflowの形成においては、
  - ・対生成率が低いときは放射反作用ドリフトが重要であり、
  - ・対生成が盛んなときは磁場が開いて遠心力が重要となる。
- ガンマ線の中にOuter gap以外の新しいソース;磁気中性面近傍のものを示唆。
- ポーラーキャップ加速の兆候が見られた。
- 開いた磁場の計算、斜め回転→今後のプロジェクト