

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

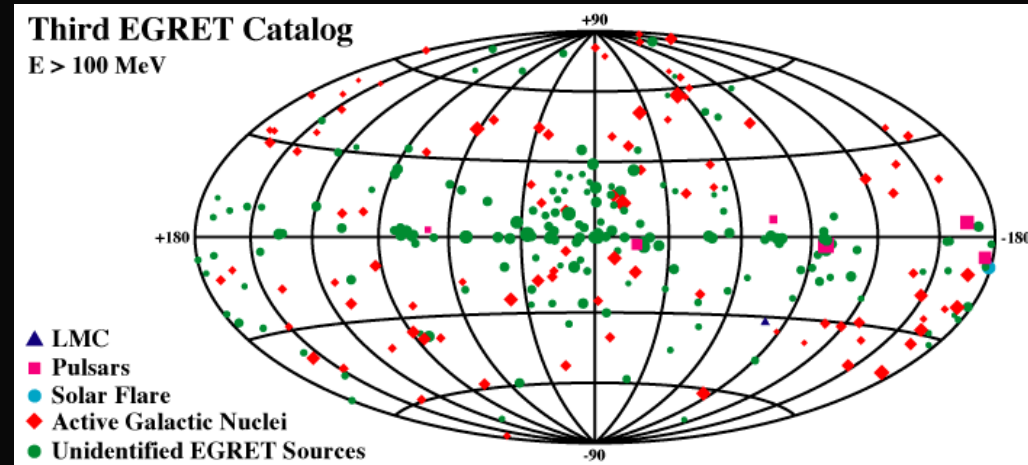
回転するマグネットが起こす高エネルギー現象
の純粋な実験場

発見以来～40年、
粒子加速のなぞがほぼ解けたかな(?)。

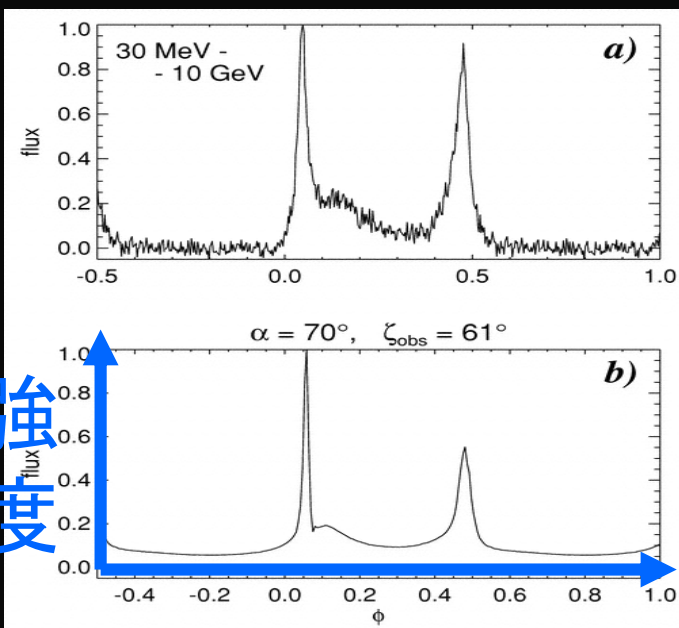
ガンマ線パルス

パルサー風

ガンマ線放射 (EGRET >100MeV 点源)



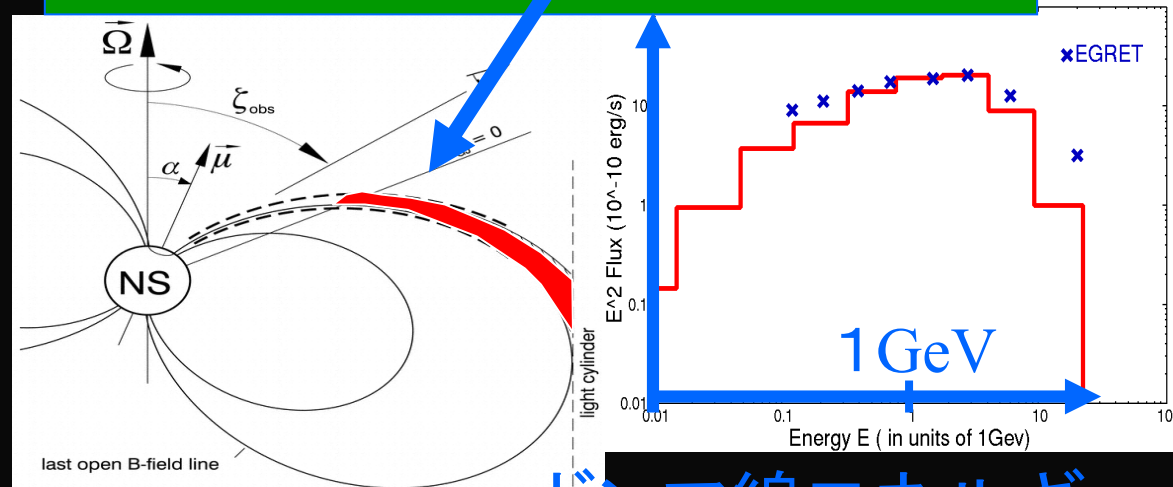
Outer Gap での沿磁力線
電場 E_{\parallel} 加速



強度

パルス位相(時間/周期)

Dyks & Rudak (2003)



ガンマ線エネルギー

Takata, Shibata, Hirotsu 2004

パルサー風：

パルサー星雲を励起する
もの

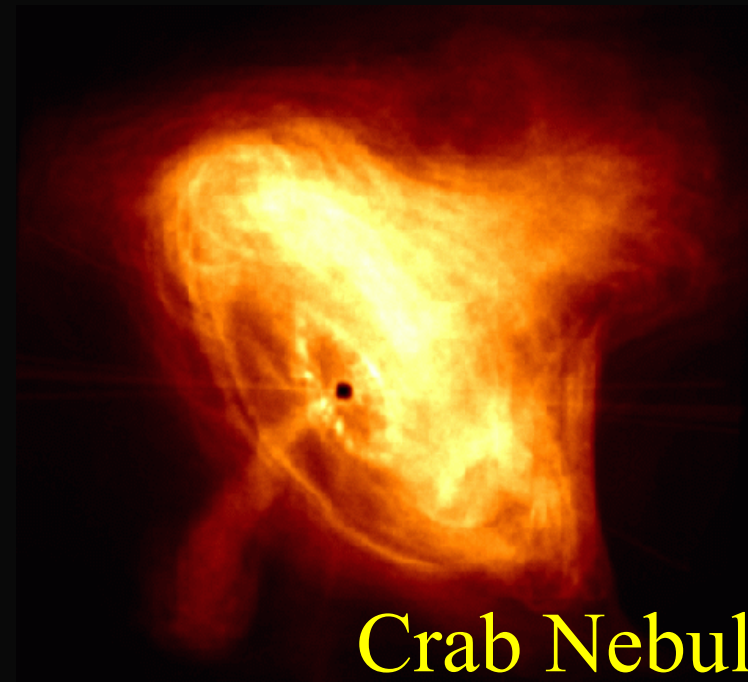
Bulk motion のローレンツ
因子 $\gamma \sim 10^6$

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

組成：電子陽電子対(+
イオン成分?)

理論：

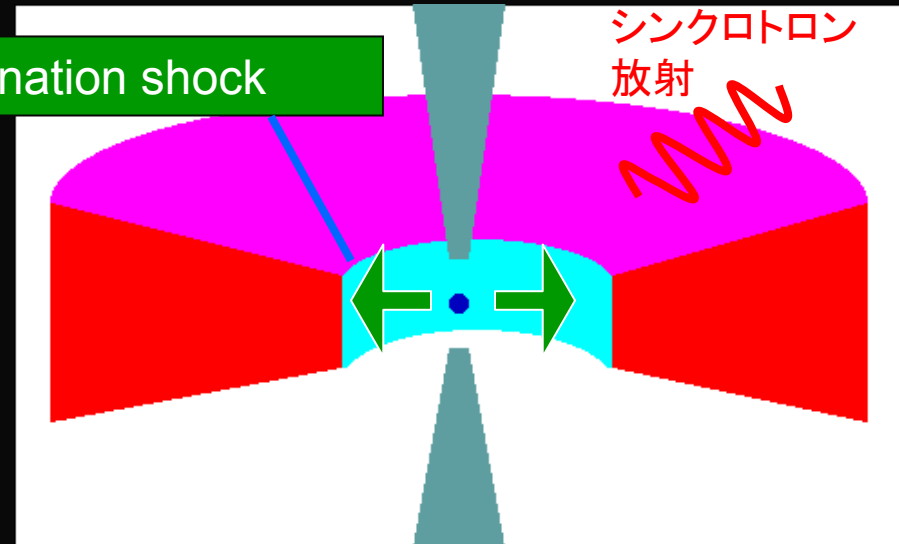
$\sigma \gg 1$, no collimation



Crab Nebula

Termination shock

シンクロトロン
放射



◆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。

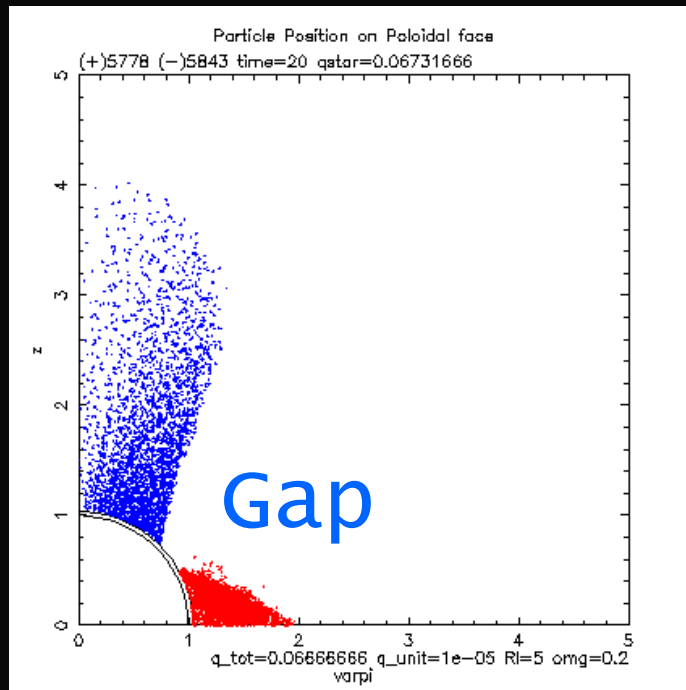
電磁誘導作用： 回転の誘導→共回転

極側

電荷分離： E_{\perp} ：

$E \times B$ ドリフト：

共回転



+
赤道側

もし、

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

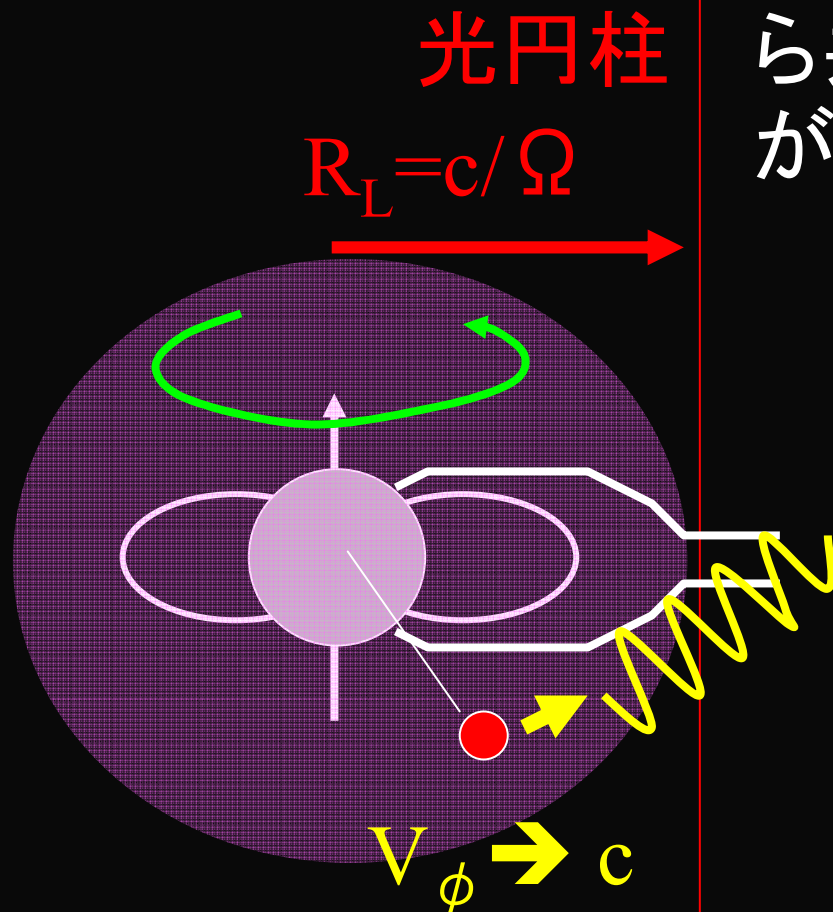
Goldreich-Julian 密度

プラズマ密度
形成(非常に

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

$\pi c e$

を



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

$$\gamma n m c^2 \sim B^2 / 8\pi$$

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

$$\mathbf{M} = n/n_0$$

放射の反作用によるドリフトが効く条件

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

パルサー磁気圏の粒子シミュレーション

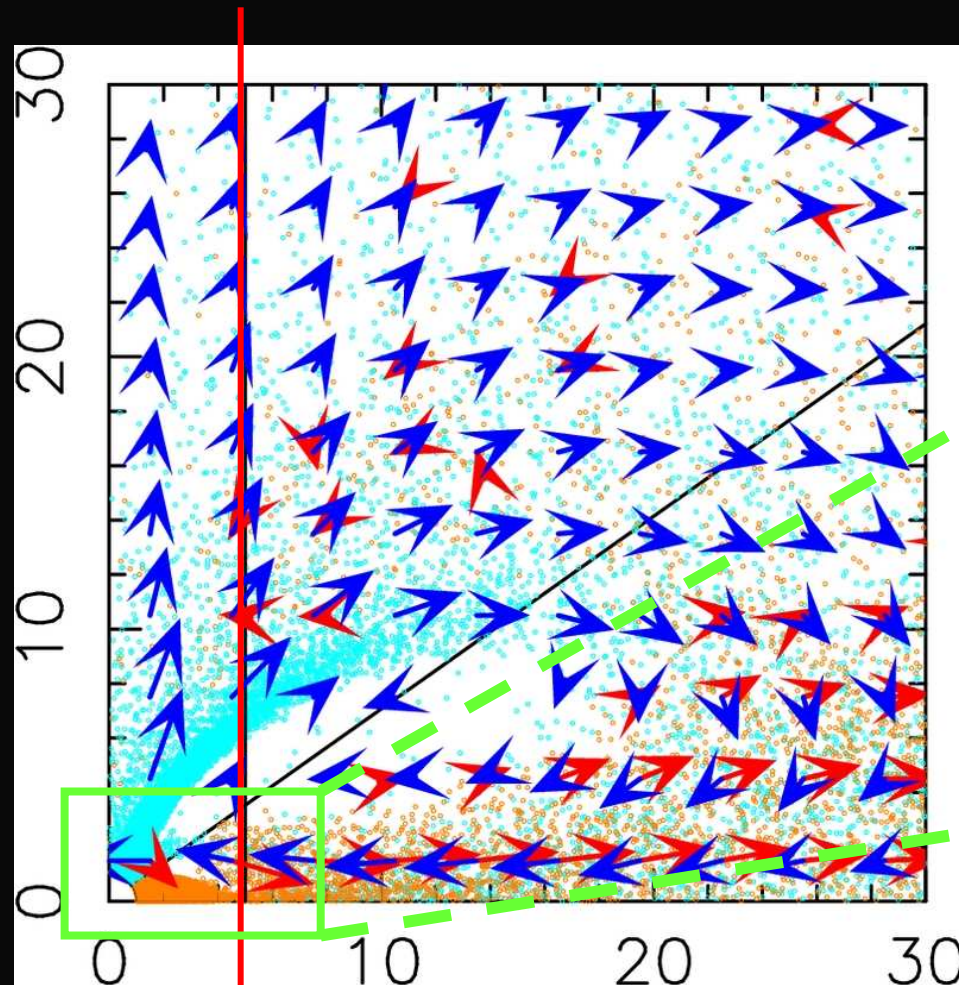
運動方程式: $dp_i/dt = q_i E + q_i v_i \times B/c + f_{rad,i}$

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

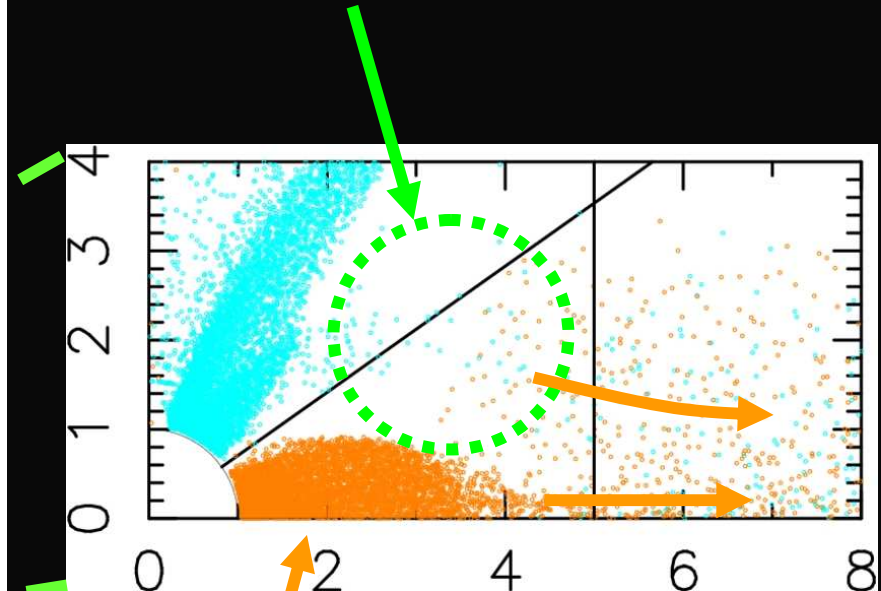
E// が強い部分に電子陽電子対を注入し、定
常になるまで追跡

結果 (Wada and Shibata 2005)



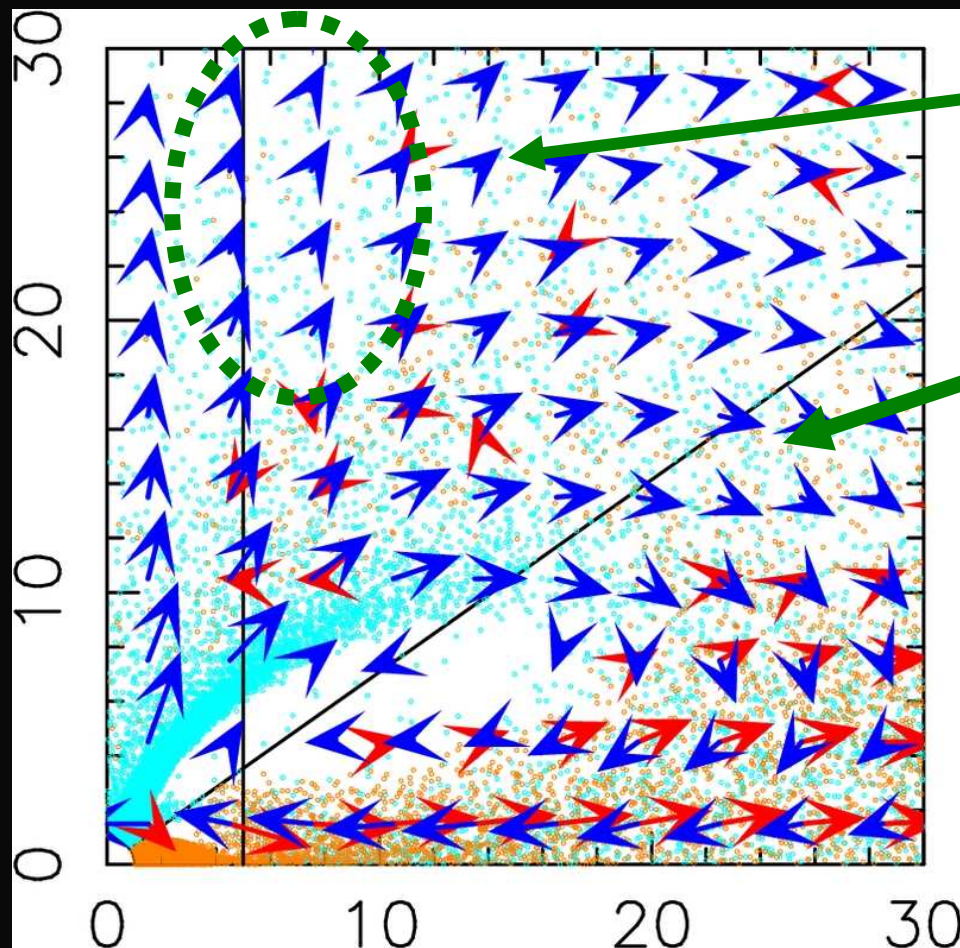
光円柱

Outer Gap が形成
E//が維持、ペア生成も維持
ガンマ線放射領域



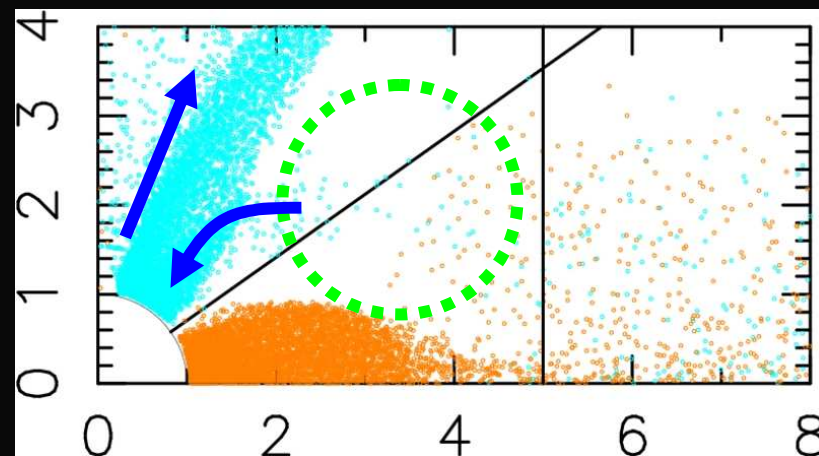
回転円盤(super-corotation)

回転の誘導により $V_\phi \rightarrow c$;
 γ 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($E_{//}$ 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)がつりあっ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