

# 乱流磁場を考慮した 高輻射効率の 相対論的磁気流体風

Shuta J. Tanaka (Konan Univ.)

with

K. Toma (Tohoku Univ.) & N. Tominaga (Konan Univ.)



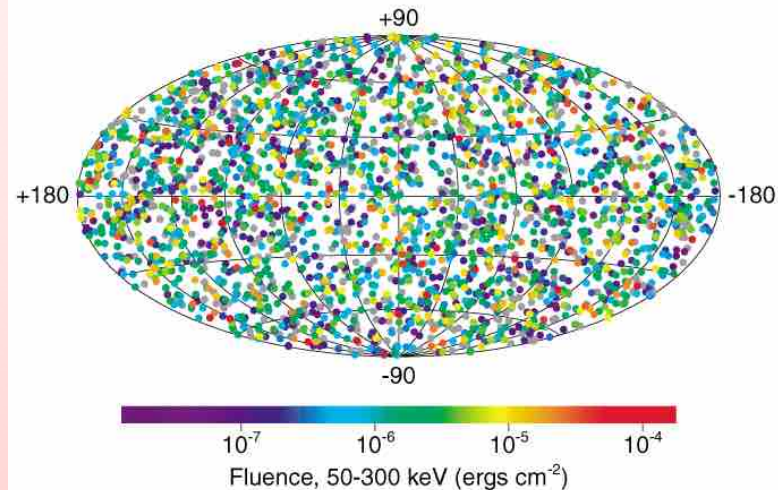
# Introduction

# Relativistic Outflows

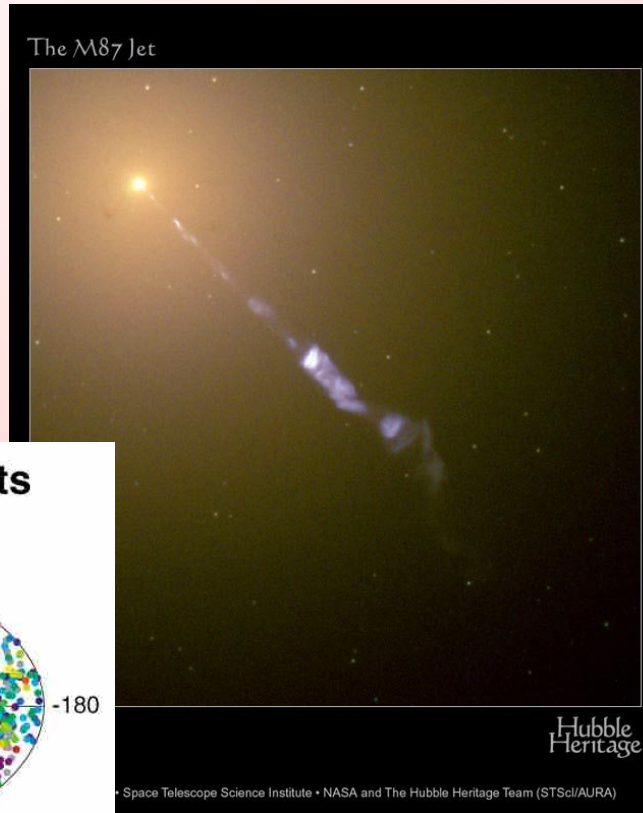
平均流が相対論  
的速度である。

Gamma-ray Bursts

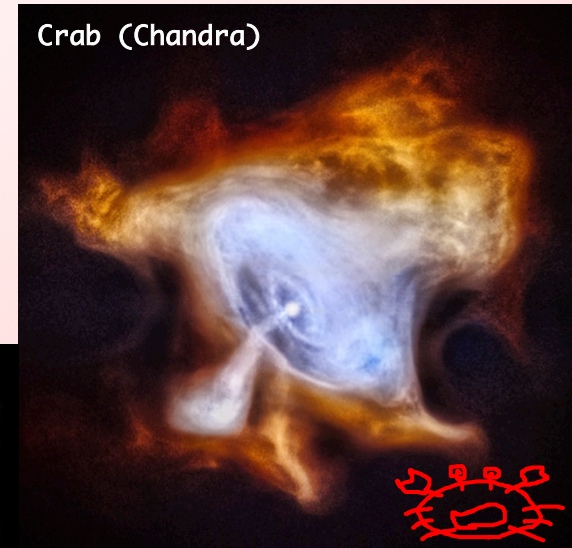
2704 BATSE Gamma-Ray Bursts



Active Galactic Nuclei



Crab (Chandra)



Pulsar Winds

コンパクト天体  
を中心エンジン  
とする。

磁気駆動と考  
えられる。

# Review of Models

相対論的球対称定常  
動径流出+トロイダル磁場

# Early Simple Models

Fireball  
(Acceleration)

$$\begin{aligned} u &\propto r, \\ p &\propto r^{-4}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \partial_\mu(\rho u^\mu) &= 0, & 4\pi\rho ur^2 &= \dot{M}, \\ \partial_\mu T^{\mu t} &= 0, & 4\pi w u \gamma r^2 &= L, \\ u_\nu \partial_\mu T_{\text{FL}}^{\mu\nu} &= 0, & d(w - p) &= -w dn^{-1}, \\ e^{\phi\nu\alpha\beta} \partial_\nu F_{\alpha\beta} &= 0. & b^2 u^2 r^2 &= \Phi. \end{aligned}$$

KC model of PWN  
(Deceleration)

Low- $\sigma$

$$\begin{aligned} u &\propto r^{-2}, \\ p &\propto r^0, \\ b &\propto r. \end{aligned}$$

High- $\sigma$

$$\begin{aligned} u &\propto r^0, \\ p &\propto r^{-8/3}, \\ b &\propto r^{-1}. \end{aligned}$$

Minimum torque by Michel'69  
(Acceleration)

$$\gamma_\infty = \sqrt{\sigma_\infty}, \quad \sigma_\infty = \frac{\Phi}{u_\infty \dot{M}}$$



# Magnetic Dissipation

Magnetic Dissipation by  
Lyubarski&Kirk'01, Drenkhahn'01  
(Acceleration)

$$\partial_\mu(\rho u^\mu) = 0,$$

$$\partial_\mu T^{\mu t} = 0,$$

$$u_\nu \partial_\mu T_{\text{FL}}^{\mu\nu} = \frac{b^2}{c\tau_{\text{diss}}},$$

$$u_\nu \partial_\mu T_{\text{EM}}^{\mu\nu} = -\frac{b^2}{c\tau_{\text{diss}}}.$$

$$w = \rho c^2 + \frac{\hat{\Gamma}}{\hat{\Gamma} - 1} p$$



$$\tau_{\text{diss}} = \alpha \gamma \Omega^{-1} \quad \text{観測者系で一定}$$

$$u \propto r^{1/3}$$

$$\tau_{\text{diss}} = \epsilon \Omega^{-1} \quad \text{固有系で一定}$$

$$u \propto r^{1/2}$$

$\tau_{\text{diss}}$  : B-field dissipation

# Our Model

TTT17 in prep.

TTT17 in prep.

TTT17 in prep.

TTT17 in prep.

TTT17 in prep.

TTT17 in prep.

$$\langle \partial_\mu (n u^\mu) \rangle = 0,$$

$$\langle \partial_\mu T^{\mu t} \rangle = -\gamma \Lambda_{\text{rad}} / c,$$

$$- \langle u_\nu \partial_\mu T_{\text{FL}}^{\mu\nu} \rangle = \frac{\delta b^2 / 2}{c \tau_{\text{diss}}} - \frac{\Lambda_{\text{rad}}}{c},$$

$$\frac{1}{2} \langle \bar{b}_\mu e^{\mu\nu\alpha\beta} \partial_\nu F_{\alpha\beta} \rangle = - \frac{\bar{b}^2 / 2}{c \tau_{\text{conv}}},$$

$$\frac{1}{2} \langle \delta b_\mu e^{\mu\nu\alpha\beta} \partial_\nu F_{\alpha\beta} \rangle = - \frac{\delta b^2 / 2}{c \tau_{\text{diss}}} + \frac{\bar{b}^2 / 2}{c \tau_{\text{conv}}}.$$

$\tau_{\text{diss}}$  : B-field dissipation

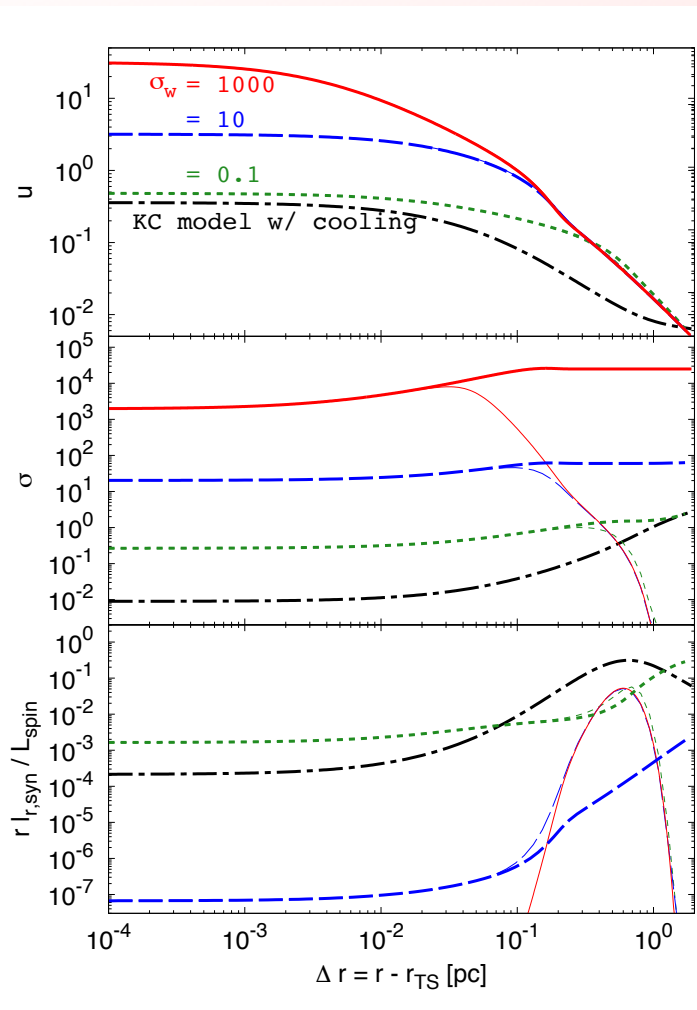
$\tau_{\text{conv}}$  : B-field conversion

$\Lambda_{\text{rad}}$  : Radiative cooling

## B-field conversion & dissipation

# Application to Crab Nebula

$$\epsilon(\beta^2 - \beta_c^2) \frac{du}{dr} = \frac{2u}{r} \left( \hat{\Gamma} p + \frac{2}{9} \delta b^2 \right) + \underbrace{(\hat{\Gamma} - 1) \frac{\Lambda_{\text{rad}}}{c}}_{\text{冷却項}} + \underbrace{\frac{\bar{b}^2}{3c\tau_{\text{conv}}}}_{\text{変換項}} + \underbrace{\left( \frac{4}{3} - \hat{\Gamma} \right) \frac{\delta b^2}{2c\tau_{\text{diss}}}}_{\text{散逸項}}.$$



減速したい!!

- Conversionで減速。
- Dissipationは減速に寄与せず。
- **Dissipationすると光る。**

$$\epsilon(r) \equiv w + \bar{b}^2 + (2/3)\delta b^2,$$

$$\beta_c^2(r) \equiv \frac{\hat{\Gamma} p + \bar{b}^2 + (2/9)\delta b^2}{\epsilon},$$

$$\sigma(r) \equiv \frac{\bar{b}^2 + (2/3)\delta b^2}{w},$$

$$p_{\text{syn}} = \frac{4}{3} \sigma_T c \gamma_{\text{th}}^2 \frac{\bar{b}^2 + \delta b^2}{2},$$



# Motivation

加速したい!!

- 乱流磁場 ~ 光子ガス なので高効率加速になる?
- 磁場散逸で放射効率をコントロールできる?

$$\Lambda_{\text{rad}} \equiv np_{\text{syn}}$$

今回はpulsar windのパラメータで計算

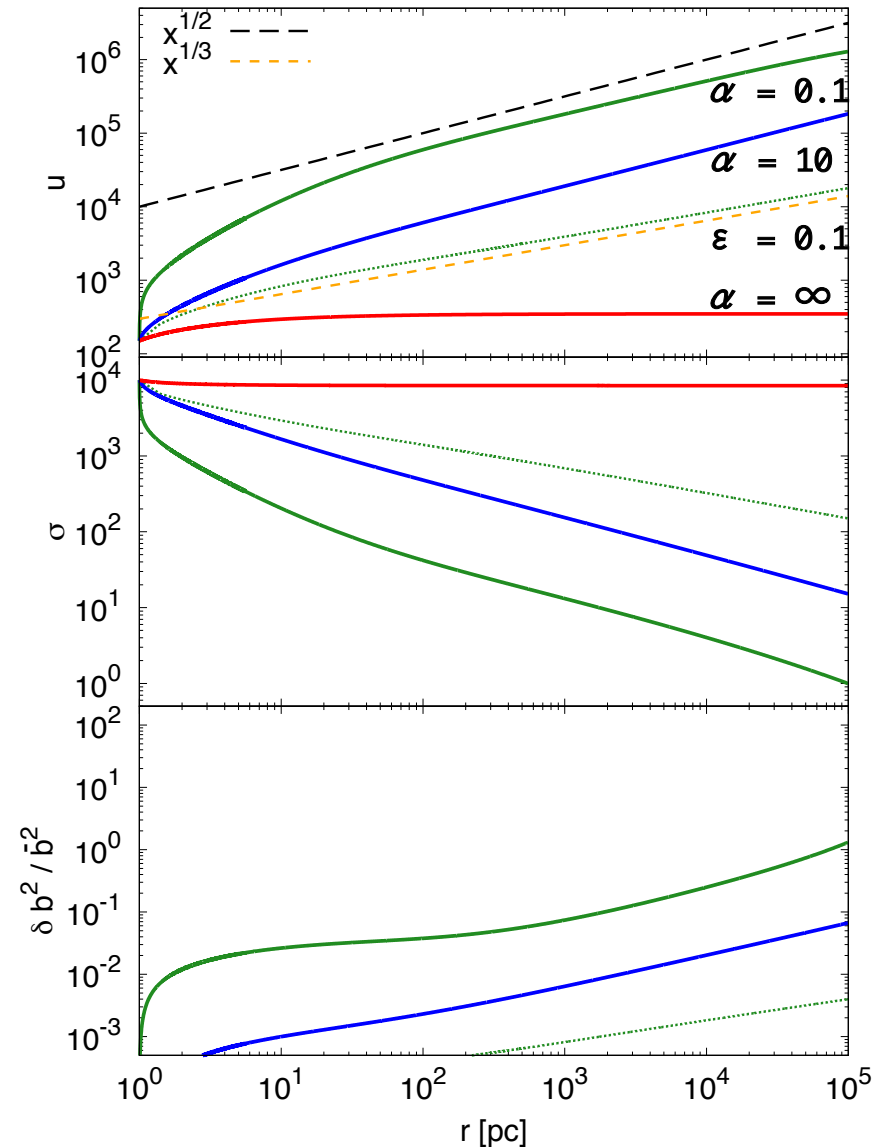
(もちろんGRBのパラメータでも計算可)

$$\Lambda_{\text{rad}} \equiv k \frac{u c}{r} (n \gamma_{\text{th}} m_e c^2)$$

# Results

# 加速効率

$$\epsilon(\beta^2 - \beta_c^2) \frac{du}{dr} = \frac{2u}{r} \left( \hat{\Gamma} p + \frac{2}{9} \delta b^2 \right) + (\hat{\Gamma} - 1) \frac{\Lambda_{\text{rad}}}{c} + \frac{\bar{b}^2}{3c\tau_{\text{conv}}} + \left( \frac{4}{3} - \hat{\Gamma} \right) \frac{\delta b^2}{2c\tau_{\text{diss}}}.$$



$$\tau_{\text{diss}} = \infty$$

$$\tau_{\text{conv}} = \alpha \gamma \Omega^{-1} \text{ 観測者系で一定}$$

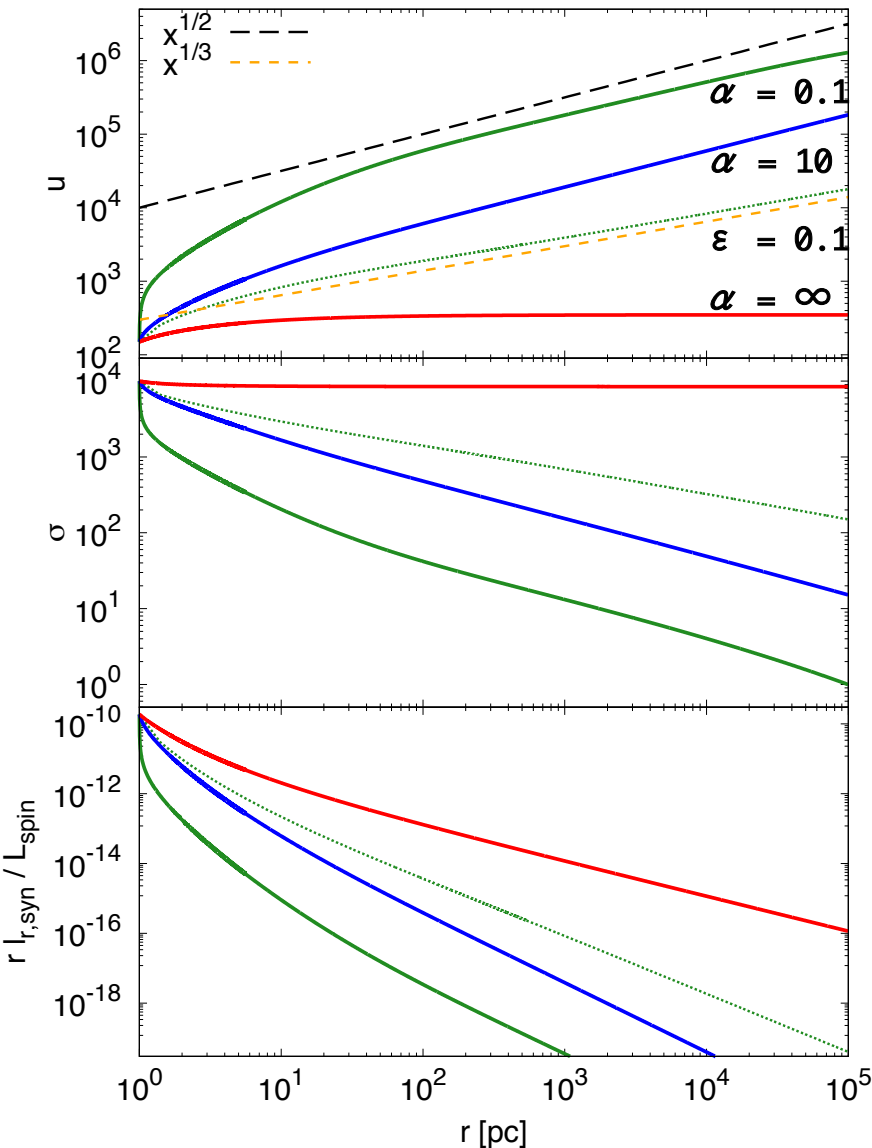
$$u \propto r^{1/3}$$

$$\tau_{\text{conv}} = \epsilon \Omega^{-1} \text{ 固有系で一定}$$

$$u \propto r^{1/2}$$

磁場散逸無しで、乱流磁場への変換  
磁場が散逸するモデルと同じ振る舞い

# 放射効率



$$L_{\text{wind}} = \kappa \dot{N}_{\text{GJ}} \gamma_w m_e c^2 (1 + \sigma)$$

乱流磁場が小さいので磁場が散逸重要にならない。

パルサーの典型的なパラメータでは放射効率は低い。

$$(\kappa = 10^4, \sigma = 10^4, \gamma = 10^2)$$

# Summary

## 乱流磁場の散逸を考慮した相対論的磁気流体風

- 乱流磁場と磁場散逸は現象論的に取り入れた。 c.f., Drenkhan02
- 乱流磁場により加速することは可能、磁場散逸は効かない。
- パルサー風の典型的なパラメータでは放射効率は悪い。