

Gamma Ray Bursts From Rotating Collapsing Stars (2ndary jet からの X-ray Flares)

長倉 洋樹 (早稲田)

共同研究者

伊藤裕貴(東北)、木内建太(京都)、山田章一(早稲田)

アウトライン

1. GRB について

- ✓ GRB と超新星爆発
- ✓ X-ray Flare について

2. モデル

- ✓ 2ndary jet からの X-ray Flare

3. 数値実験

- ✓ ジェットの流体計算 + 輻射計算

4. まとめ

1. GRB について

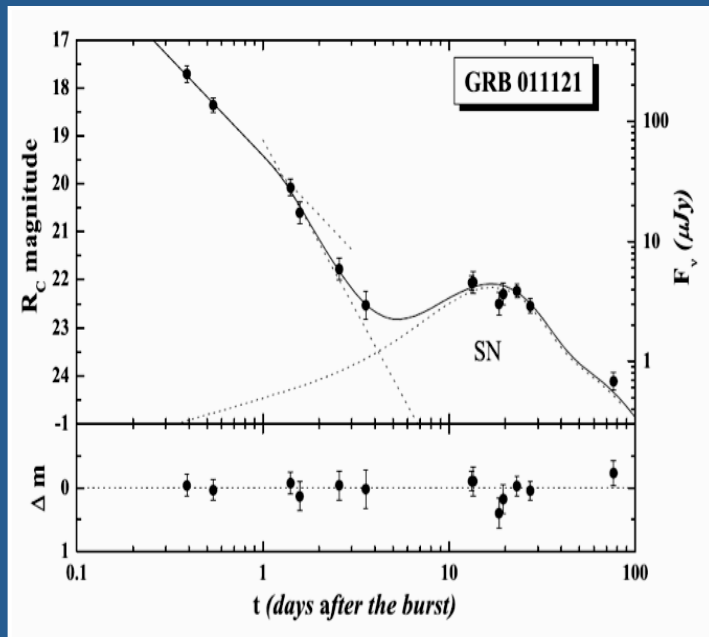
天空の一点から、非常に強烈な γ 線が降り注いで来る
宇宙最大の爆発現象

✓ エネルギー: $E_{iso} \approx 10^{52 \sim 54} \text{ erg}$

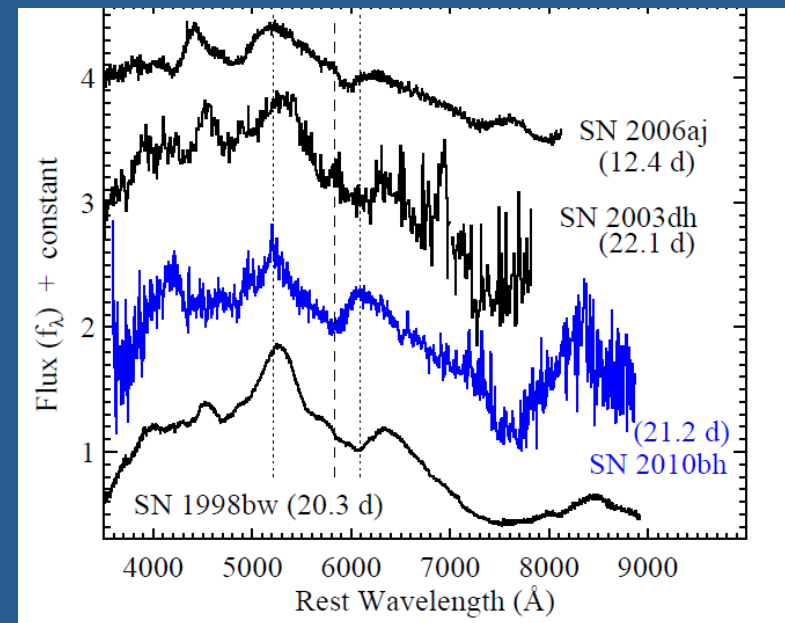
✓ 宇宙論的距離で起こっている

✓ 相対論的速度からのジェット
($\Gamma \sim 100$)

✓ 一部のGRBが超新星爆発と関連



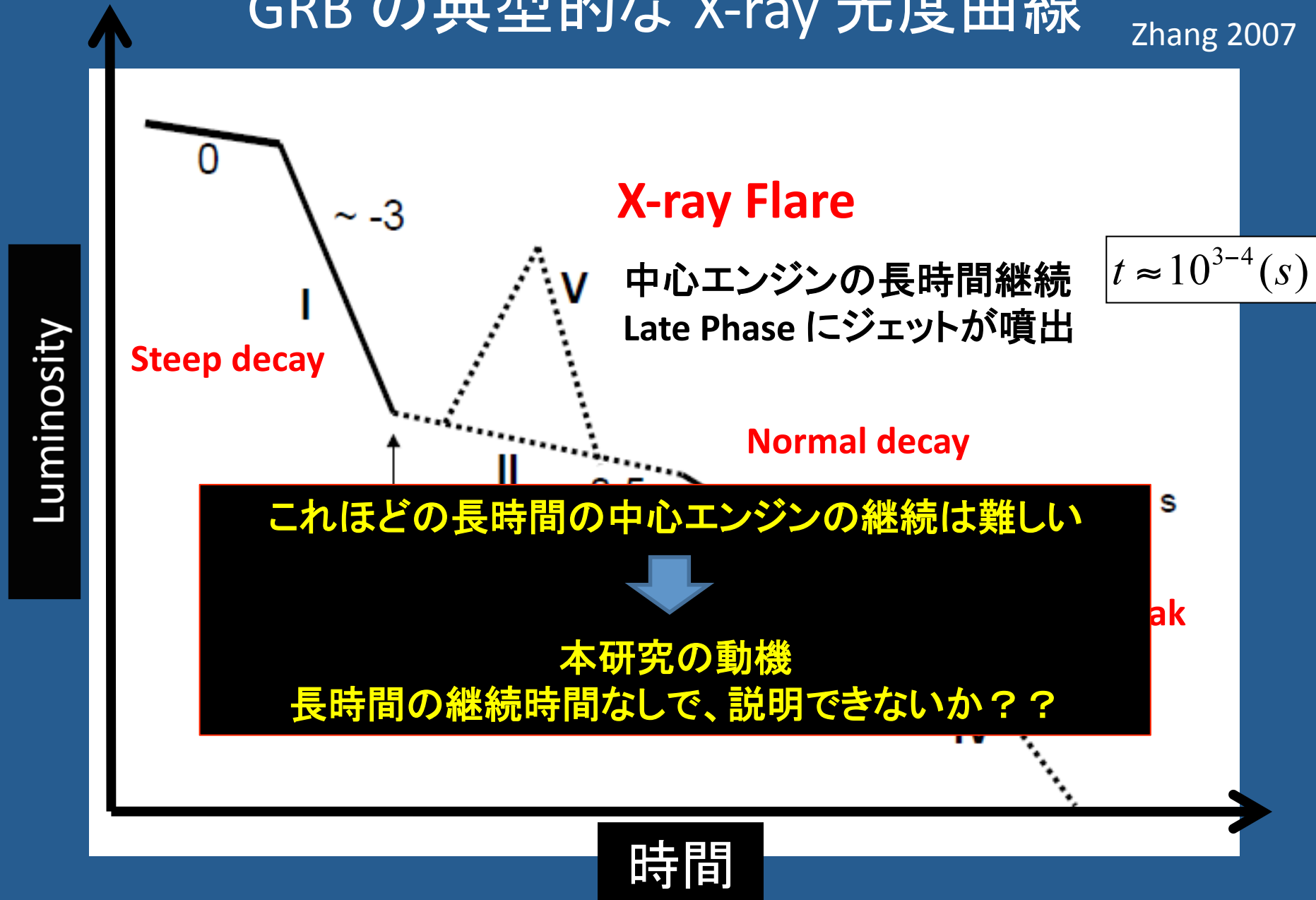
Zeh et al. 2004



Chornock et al. 2010

GRB の典型的な X-ray 光度曲線

Zhang 2007

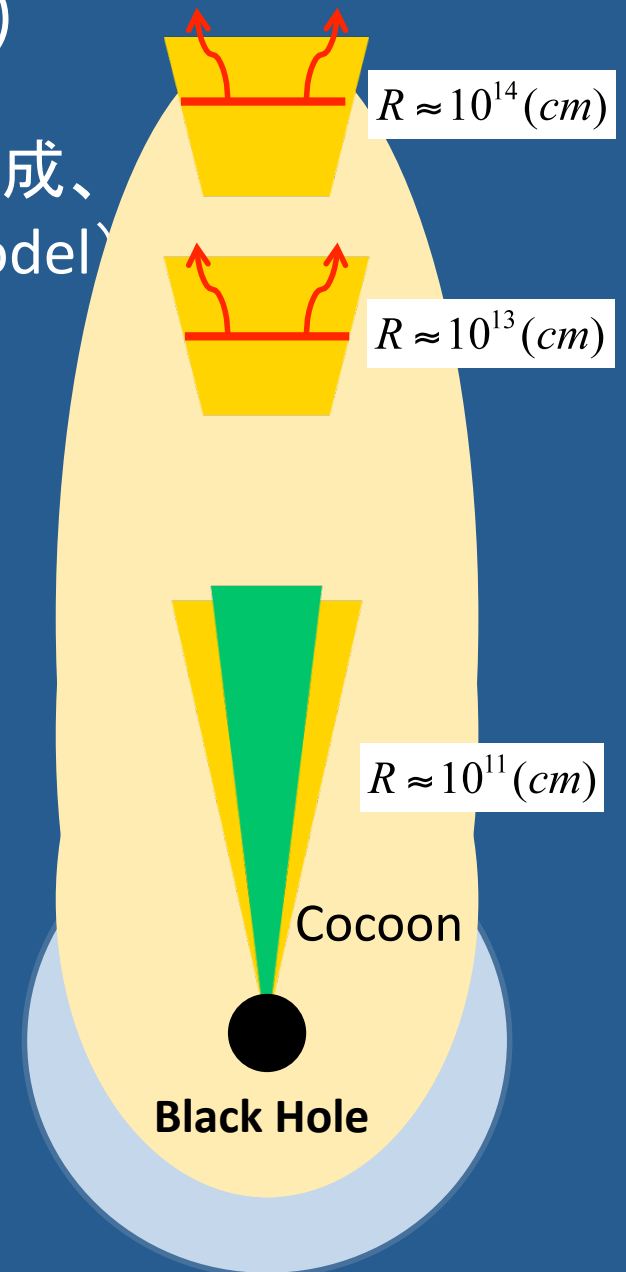


2. モデル(シナリオ)

1. 大質量星の死からの相対論的ジェットが形成、伝搬しGRBを形成 (collapsar, magnetar model)
2. First Jet が GRB の Prompt Emission を生成
3. 中心エンジンの活動が弱まる
4. 再び中心エンジンが活発になる (2ndary Jetの形成)

中心エンジンの活動が止まる、もしくは弱まると
ココーンがジェット領域を侵食する

↓
2ndary Jet はココーン中を伝搬
伝搬速度は遅くなる



time = 0.01s

5

3

1

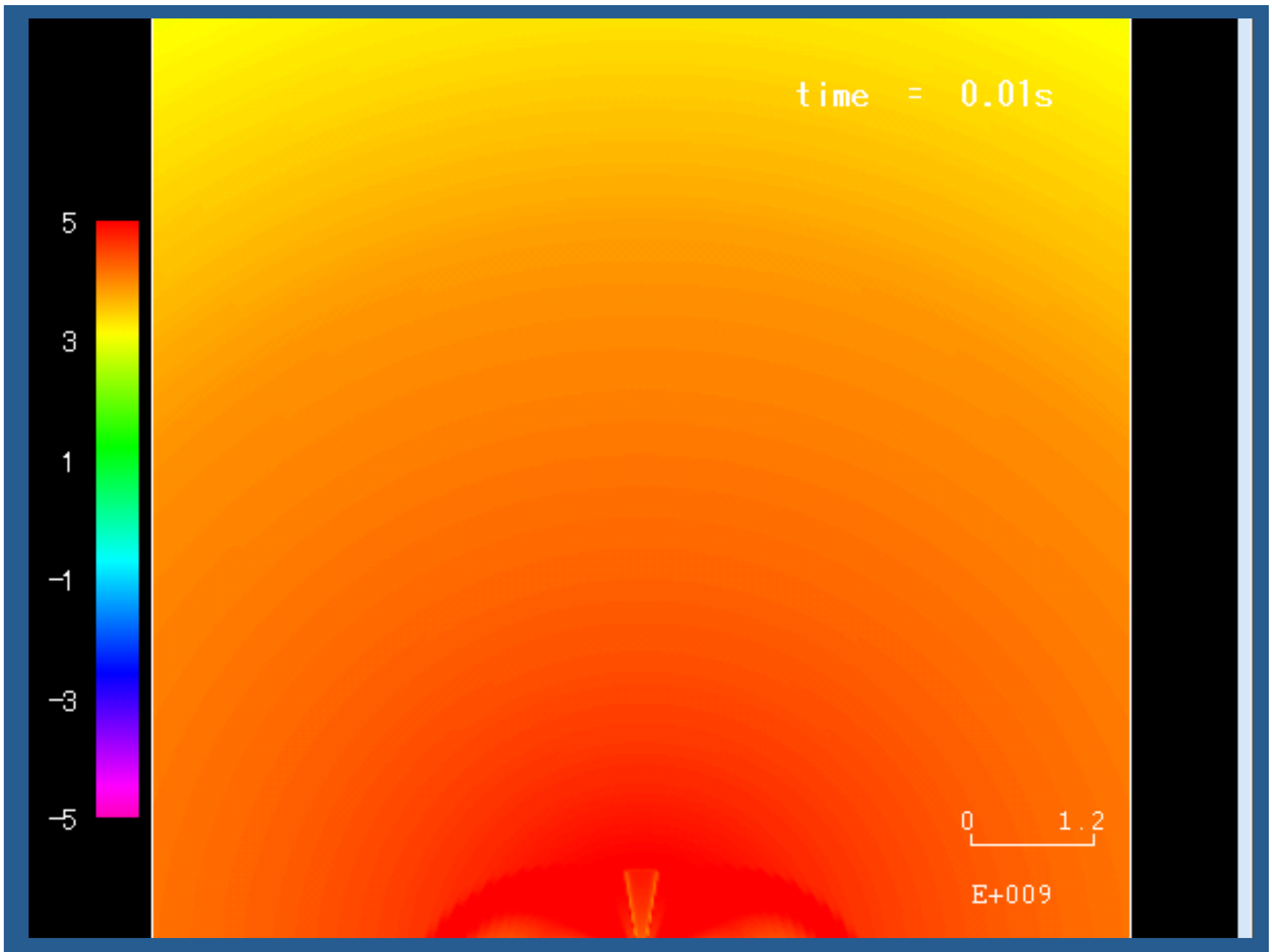
-1

-3

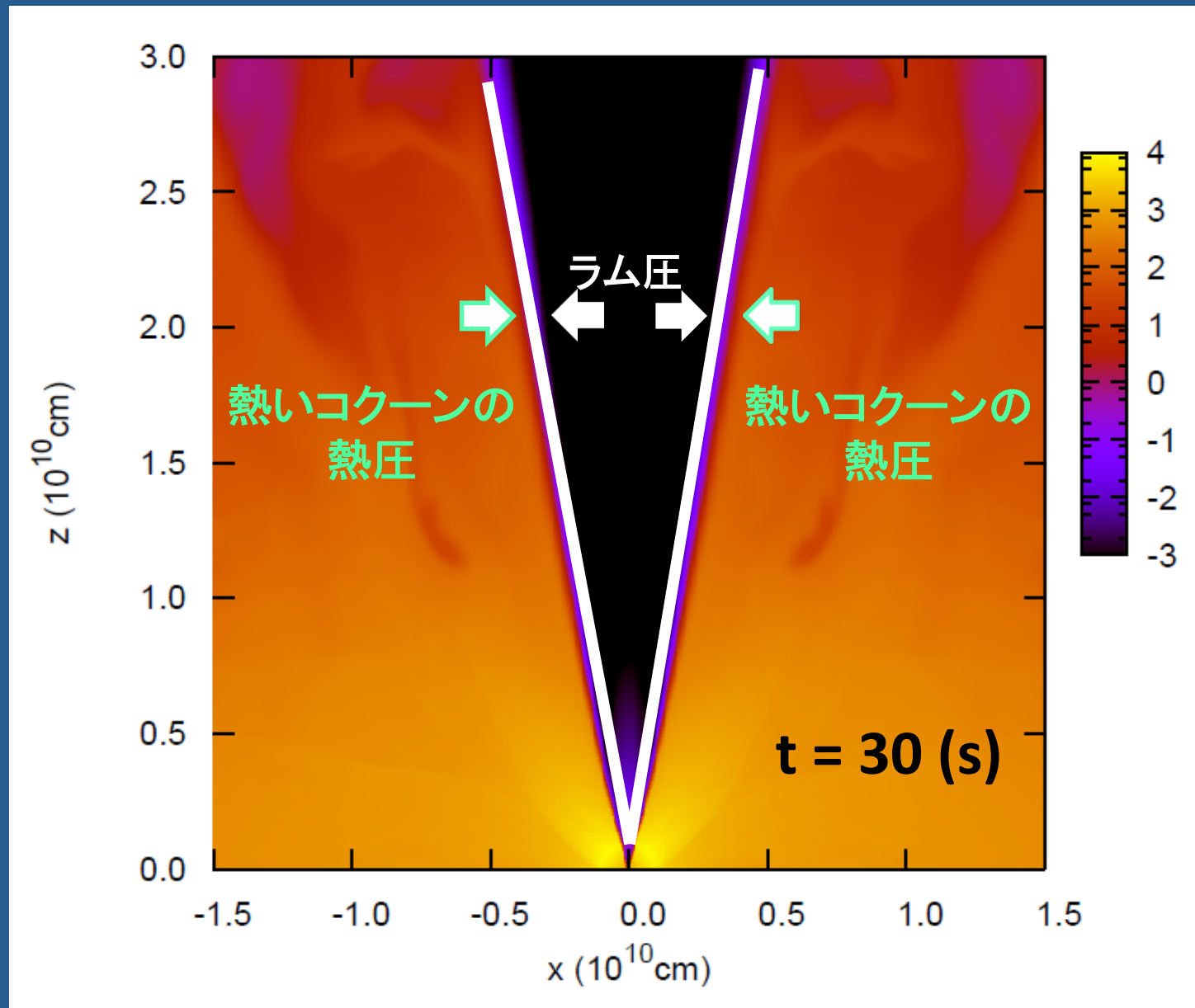
-5

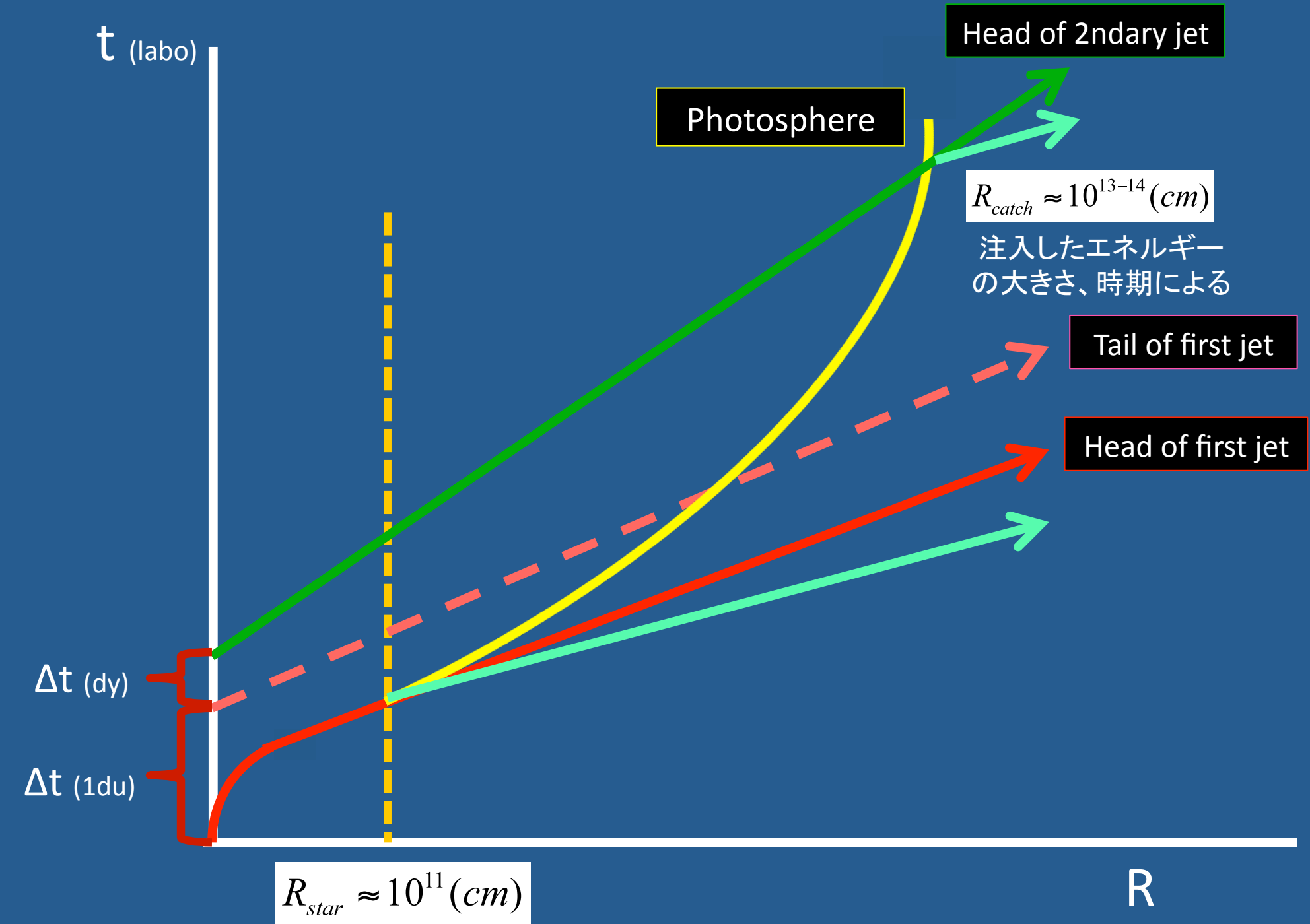
0 1.2

E+009



Inner 領域のジェットの構造





数值計算

相对論的数值流体計算

First Jet : $t_{1du} = 30(s)$

2ndary Jet : $t_{delay} = 10(s)$

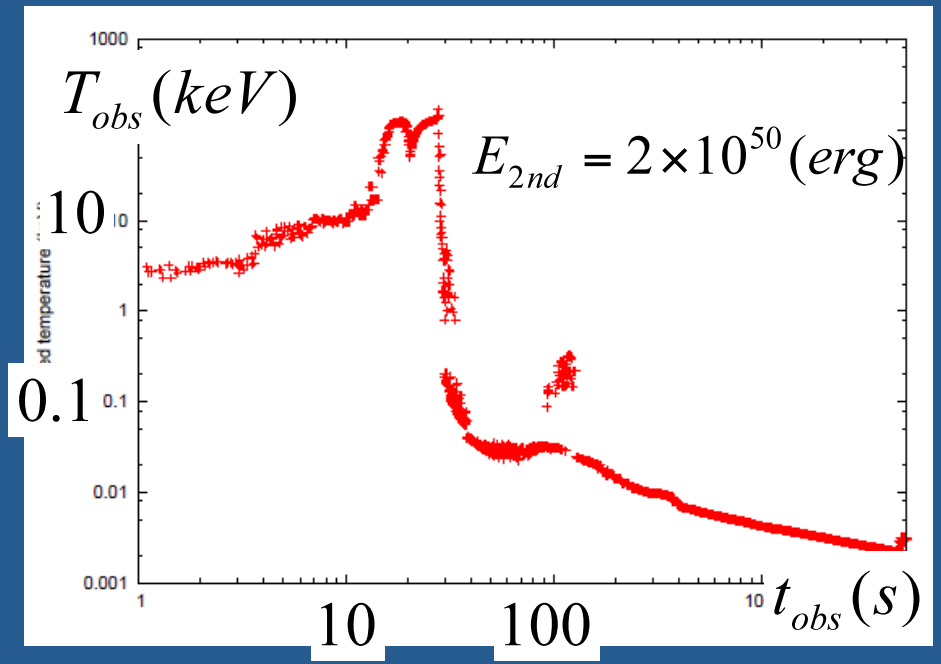
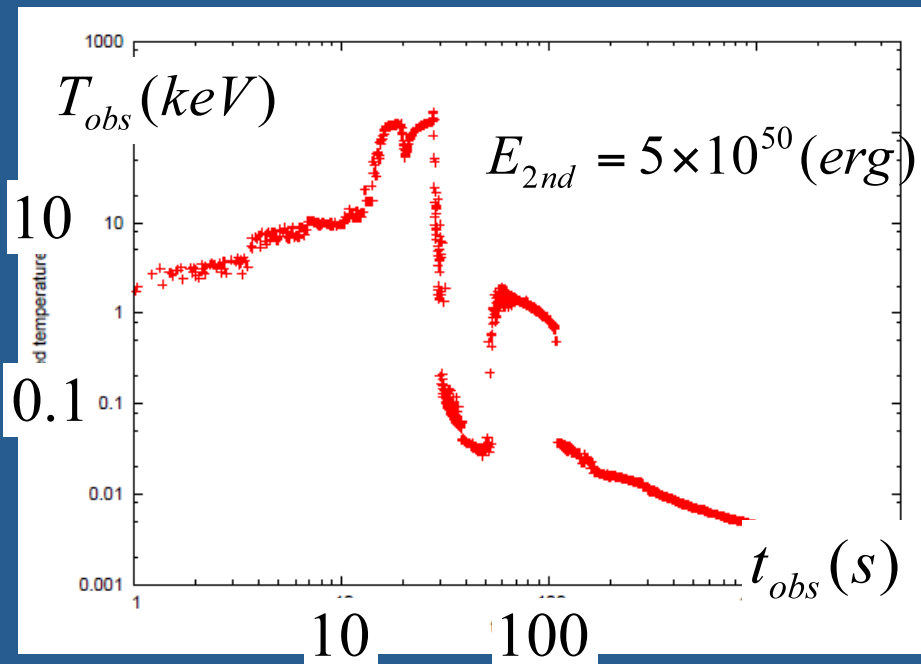
$E_{2nd} = 2(5) \times 10^{50} (erg)$

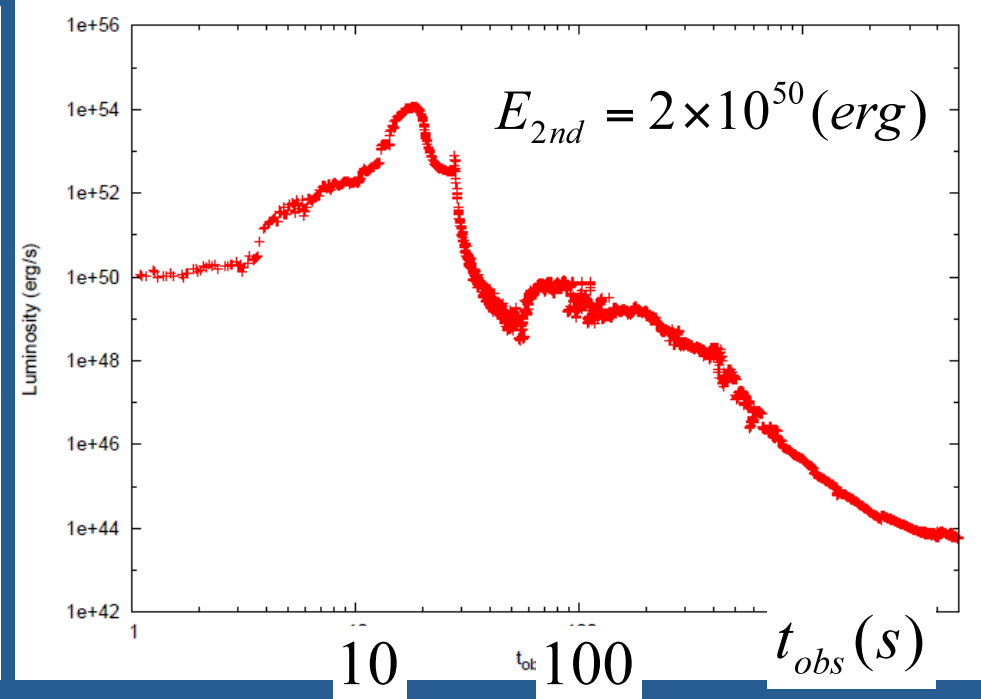
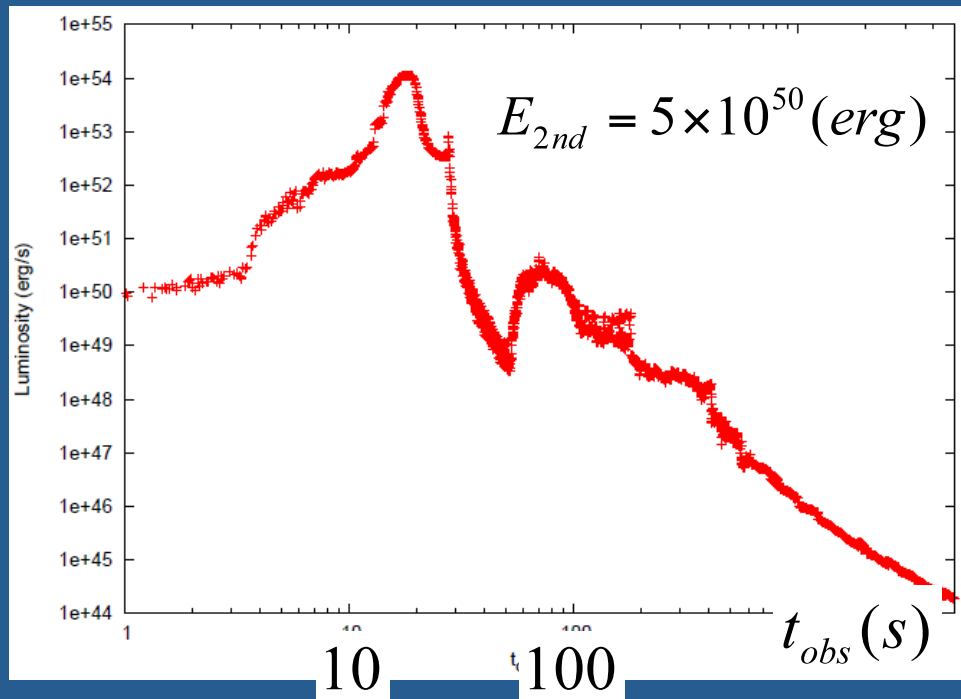
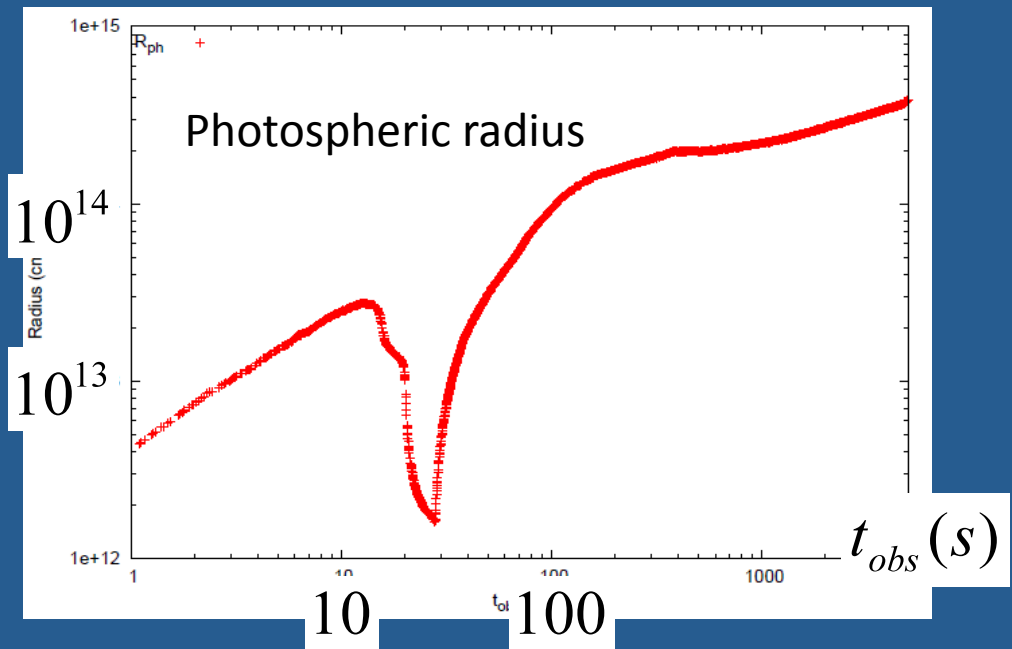
+ 輻射計算 Post Process (photospheric emission)

$$\tau(t_{obs}, r) = \int_r^\infty n_e(t^*, s) \sigma_T \Gamma(t^*, s) (1 - \beta(t^*, s) \cos \theta_v(t^*, s)) ds$$

$$L_{iso} = ac \int \mathcal{D}^4 T'^4 \cos \theta_{ph} dS$$

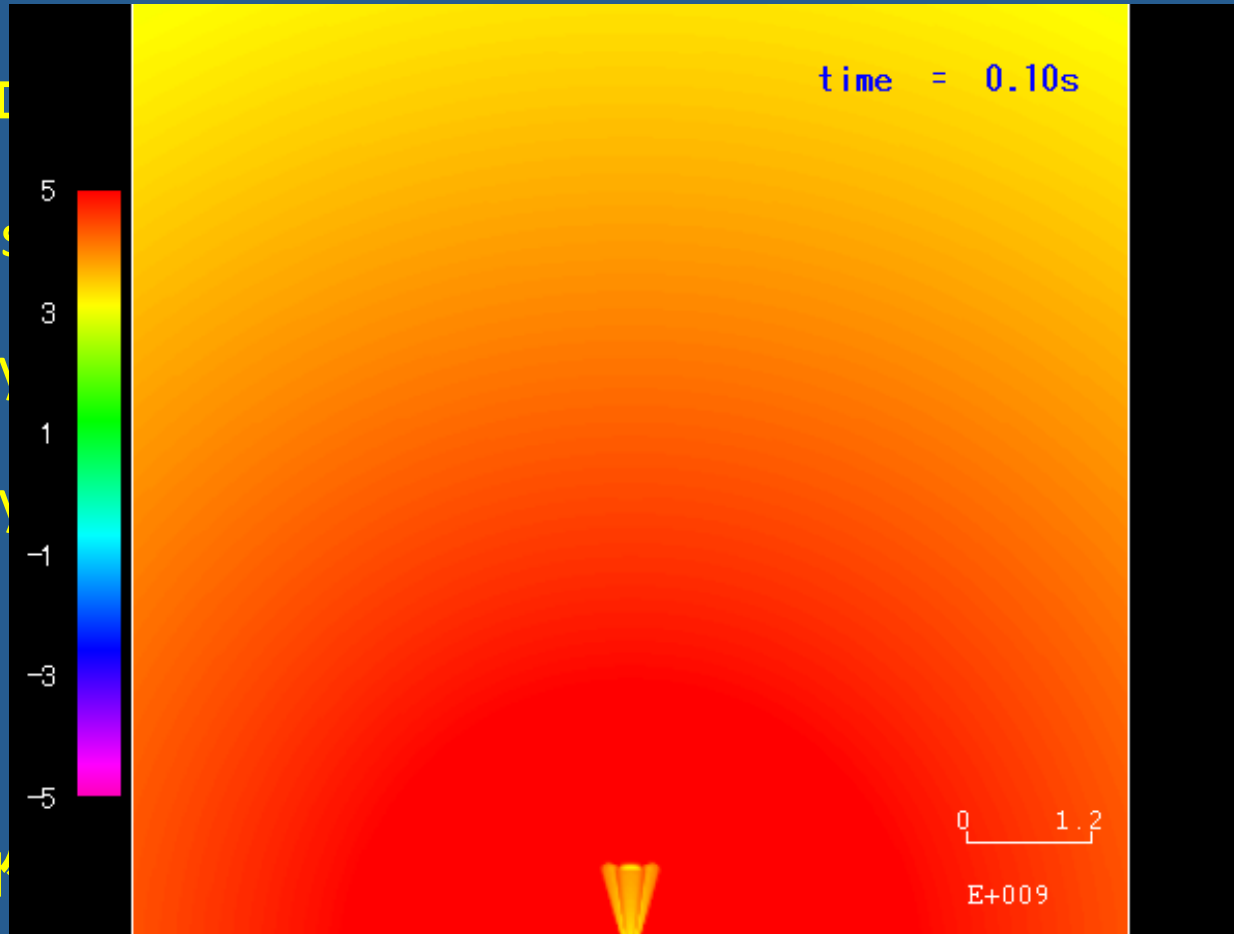
結果





まとめ

1. 中心エンジン
2. Photosphere
3. 2ndary jet
4. 2ndary jet



要ないかも
する
る
なる

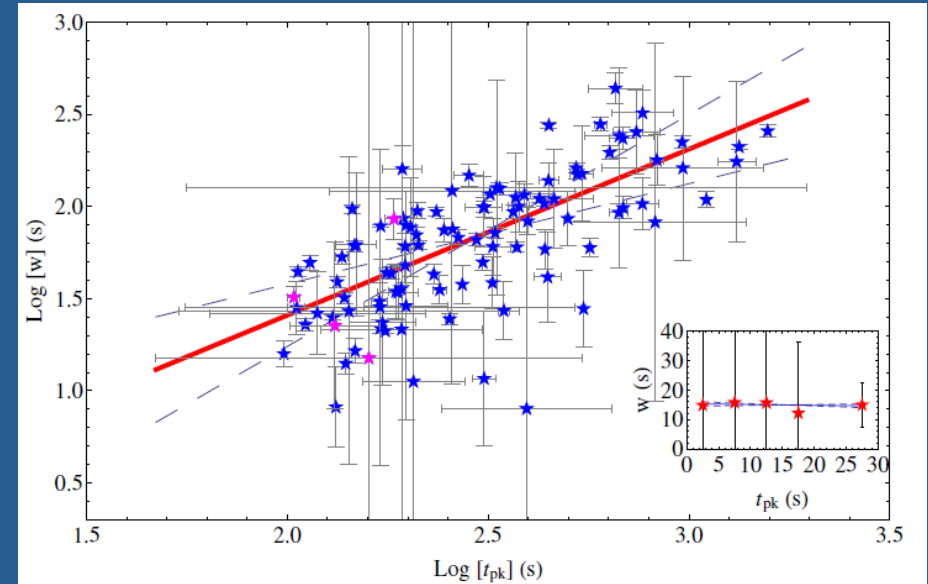
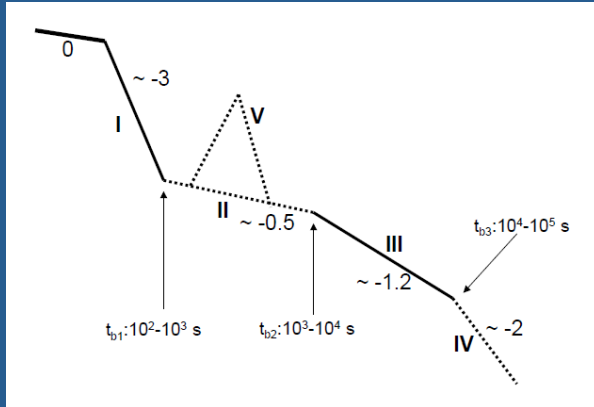
1. 定量的
2. ジェットの注入の仕方を、中心エンジンとリンクさせながらやる
3. Short GRB でも応用可能？

以下補足

X-ray Flare の特徴



Chincarini et al. 2010



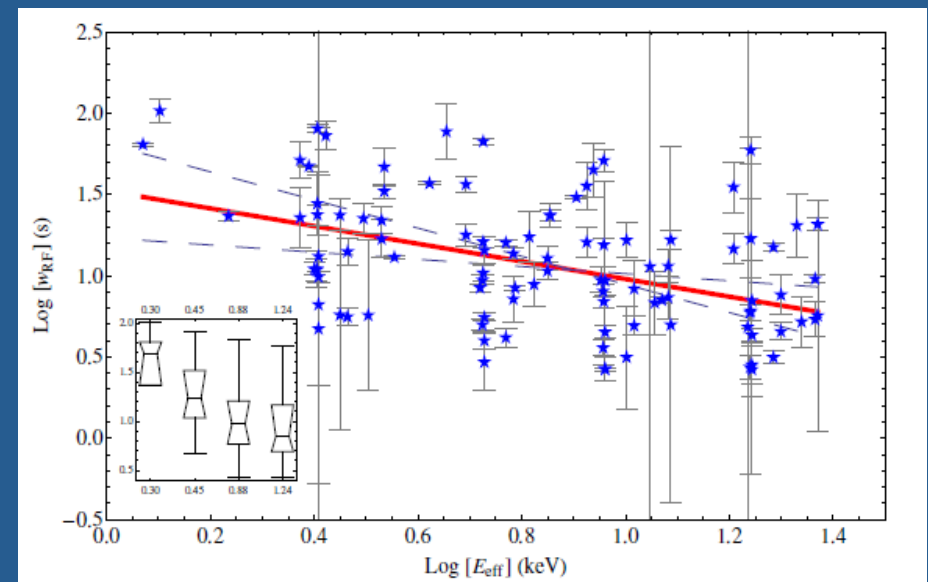
✓ 約3割のGRBで見られる

✓ Flare の時間幅とpeak時間に
Correlation

$$w \approx 0.2 t_{pk}$$

✓ Flare の時間幅とエネルギー
にもCorrelation

$$w \propto E^{-0.5}$$

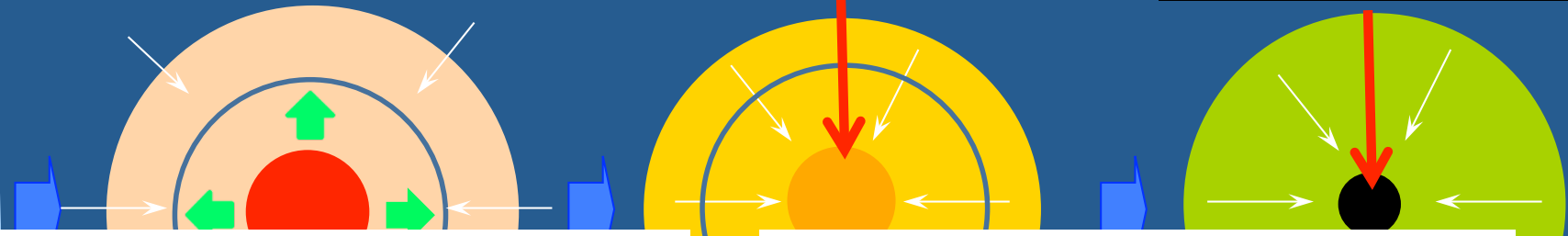


高速回転する
大質量星

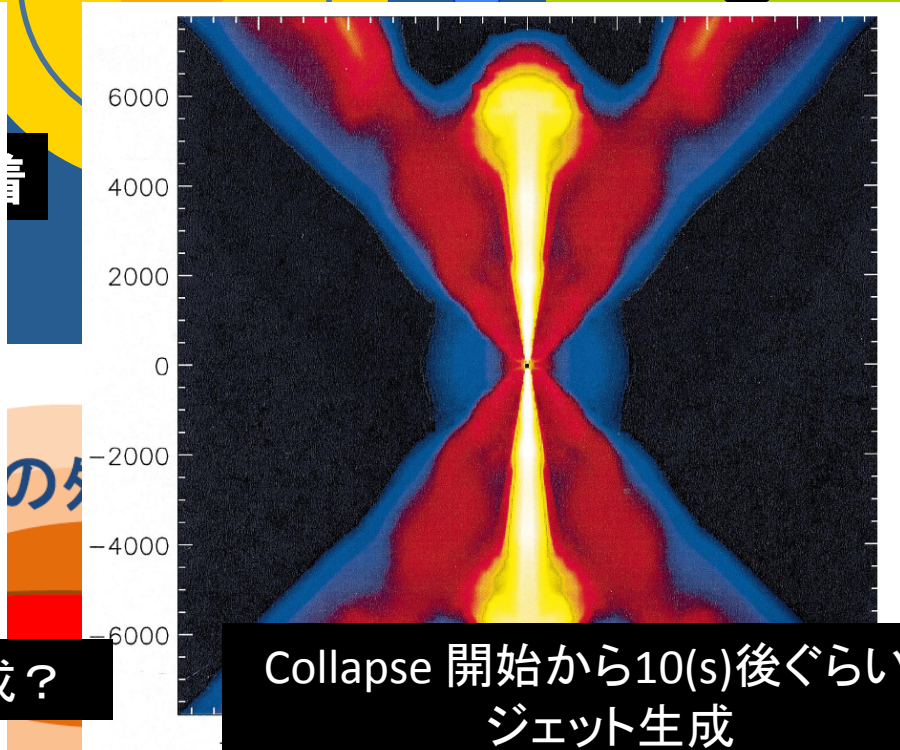
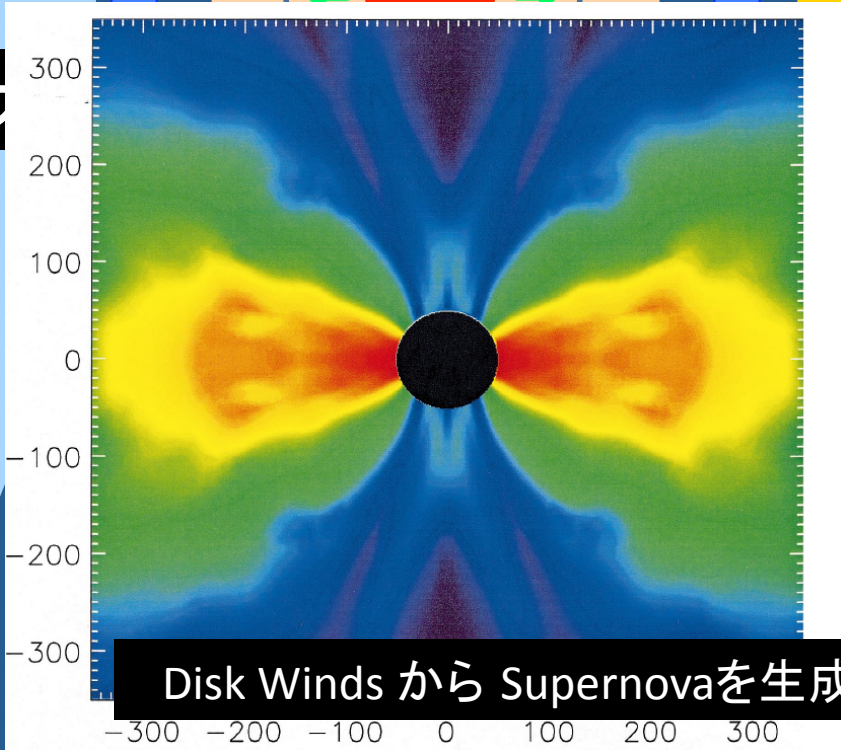
Collapsar Model

原始中性子星

ブラックホール



重力



ブラックホール

MacFadyen & Woosley (1999)

特殊相対論的弱重力場近似コード



(Einstein 方程式を弱重力場近似)

基礎方程式

High Resolution Shock Capturing Scheme

$$\partial_t \rho_* + \partial_j (\rho_* v^j) = 0$$

$$\partial_t S_r + \partial_j (r^2 \sin \theta T_r^j) = r^2 \sin \theta \left\{ -T^{00} \psi_{,r} + r T^{\theta\theta} + r \sin^2 \theta T^{\phi\phi} \right\}$$

$$\partial_t S_\theta + \partial_j (r^2 \sin \theta T_\theta^j) = r^2 \sin \theta \left\{ -T^{00} \psi_{,\theta} - r^2 \sin \theta \cos \theta T^{\phi\phi} \right\}$$

$$\partial_t S_\phi + \partial_j (r^2 \sin \theta T_\phi^j) = 0$$

$$\partial_t \tau + \partial_j (r^2 \sin \theta T^{0j} - \rho_* v^j) = -r^2 \sin \theta T^{0i} \psi_{,i}$$

$$\partial_t (\rho_* A) + \partial_j (\rho_* A v^j) = 0$$

$$\rho_* \equiv r^2 \sin \theta \rho_0 u^t$$

$$S_i \equiv r^2 \sin \theta T_i^0$$

$$\tau \equiv r^2 \sin \theta T^{00} - \rho_*$$

$$D_i D^i \psi = 4\pi \rho_0 \left\{ 2h (u^t)^2 - h + 2 \frac{p}{\rho_0} \right\}$$

A: 平均分子量

D: 3次元計量の共変微分

MICCG (修正共役勾配法)

計算領域: $10^9 \text{ cm} \leq R \leq 10^{17} \text{ cm}$

$(r, \theta) = (10^4, 60)$

+ AMR + Regrid

Photospheric emissionの評価

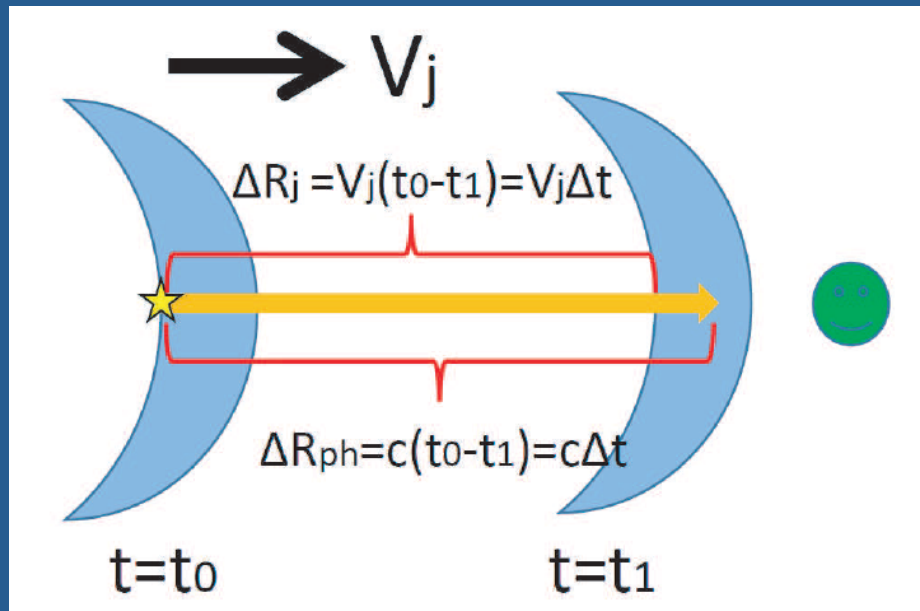


仮定: on-axis observer

(I) Photosphere ($\tau=1$) の位置の決定

Optical depth

$$\tau(t_{obs}, r) = \int_r^\infty n_e(t^*, s) \sigma_T \Gamma(t^*, s) (1 - \beta(t^*, s) \cos \theta_v(t^*, s)) ds$$



Forward shock (FS) の後ろのMatter から放射された光子がFSを超える のには時間 (labo系) がかかる

$$R \approx 10^{16} \left(\frac{\Delta t_{obs}}{100(s)} \right) \left(\frac{\Gamma}{100} \right)^2$$

広い計算領域が必要!

(II) Luminosityの評価

Black bodyを仮定

$$L_{iso} = ac \int \mathcal{D}^4 T'^4 \cos \theta_{ph} dS$$

$$\mathcal{D} = [\Gamma(1 - \beta \cos \theta_v)] : \text{ビーミング因子}$$

$$T' : \text{温度}$$

