

ガンマ線バーストジェットからの熱 的放射に対する輻射輸送計算

✓ 柴田 三四郎 (甲南大学)

共同研究者：富永望 (甲南大学、Kavli IPMU)

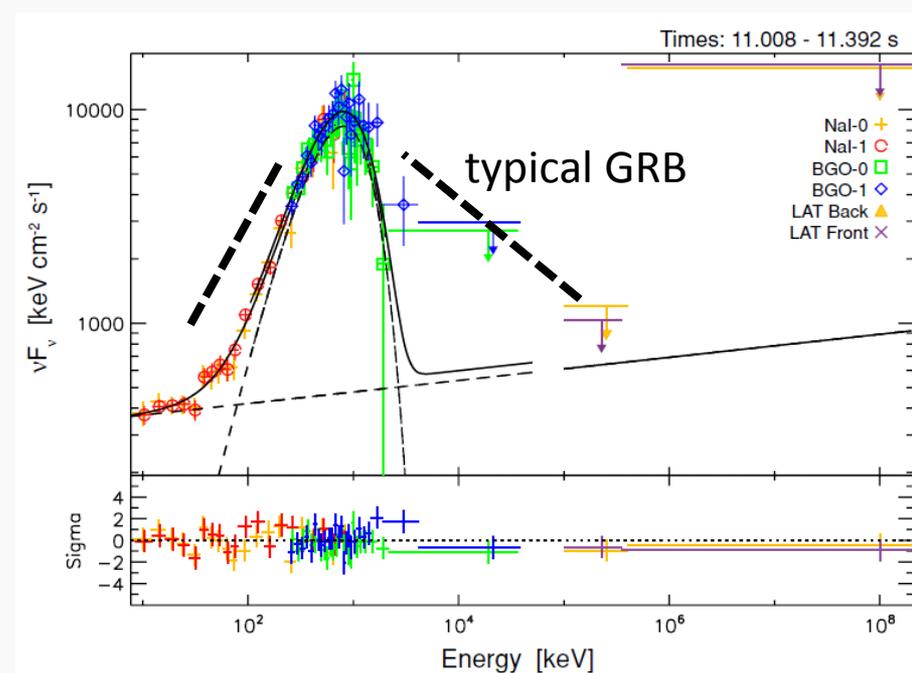
目次

- 導入
 - GRBの熱的放射
- 計算方法
 - 流体計算
 - 光子の生成場所
 - 輻射輸送計算
- 計算結果
- まとめ

導入

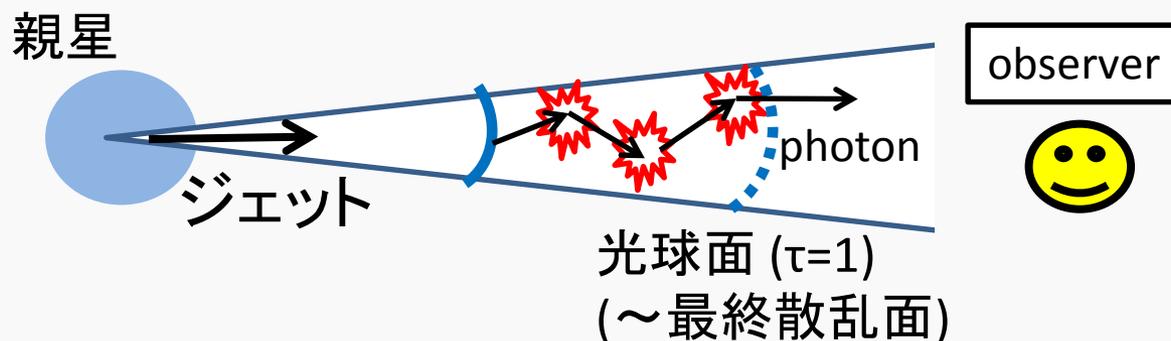
GRBにおける熱的放射

- GRBの放射機構は不明
- 多くのバーストはバンド関数でフィット出来る
- 黒体放射の様なスペクトルを示すバーストが存在 (e.g., GRB090902B) (ただし現象論的に多温度を足し合わせ)
→ 光球面からの黒体放射？



(Ryde et al 2010)

熱的放射



- ジェット内での支配的な過程は電子散乱
 - 光球～最後の散乱が起こる場所
 - 実際には光子が生成される場所はもっと内側 (e.g., Beloborodov 2013)
 - 何度も散乱を受けたのち系から脱出
- ジェットの内部構造が観測されるスペクトルに影響する

→ ジェットの内部構造、光子の生成位置を考慮に入れた
相対論的な輻射輸送計算が必要

輻射輸送計算

- GRBジェット中での輻射輸送計算を行う

計算手順

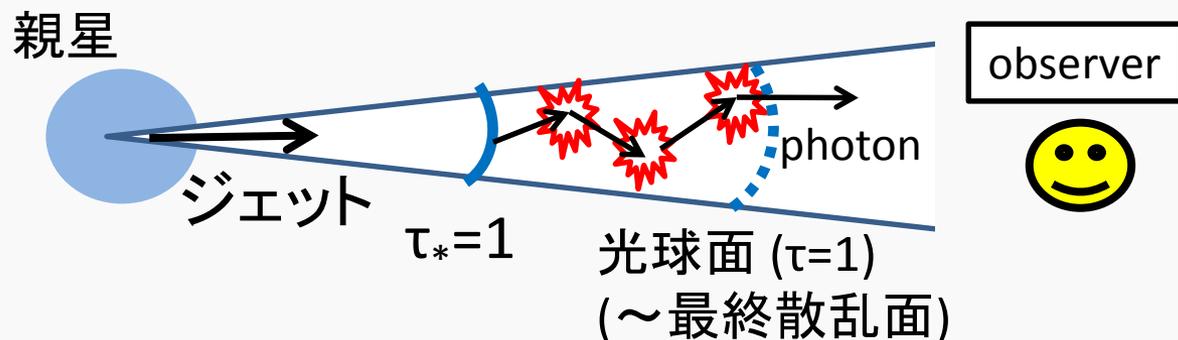
流体力学計算(ジェットの構造を求める)



光子の生成場所を求める



ジェット中での輻射輸送計算(放射スペクトルを求める)



計算方法

流体力学計算

✓ 2次元特殊相対論的流体計算 (Tominaga 2009)

✓ 計算条件

– 親星: $15M_{\text{sun}}$ WR 星 ($R_{\text{prog}} \sim 2.3 \times 10^{10} \text{cm}$)

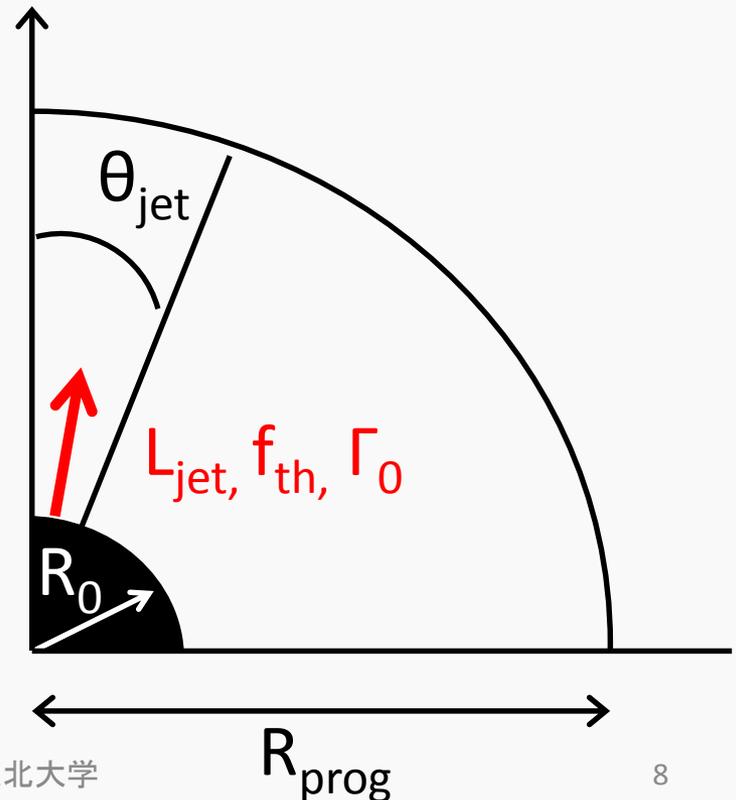
– $\Gamma_0 = 5$

– $\Theta_{\text{jet}} = 10^\circ$

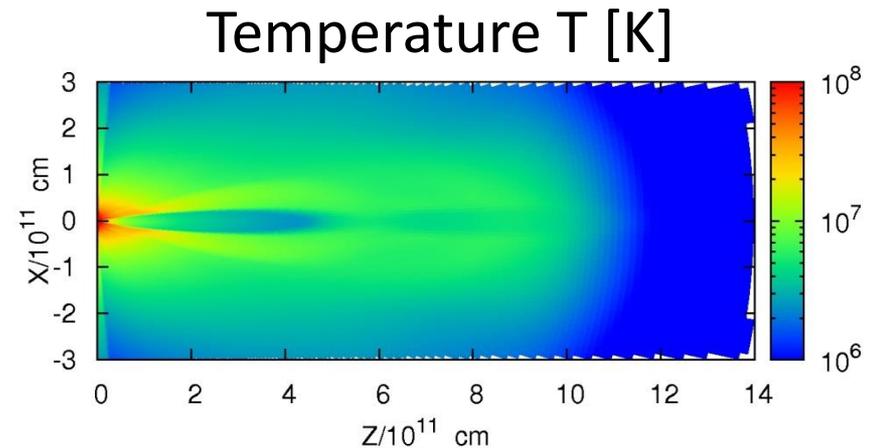
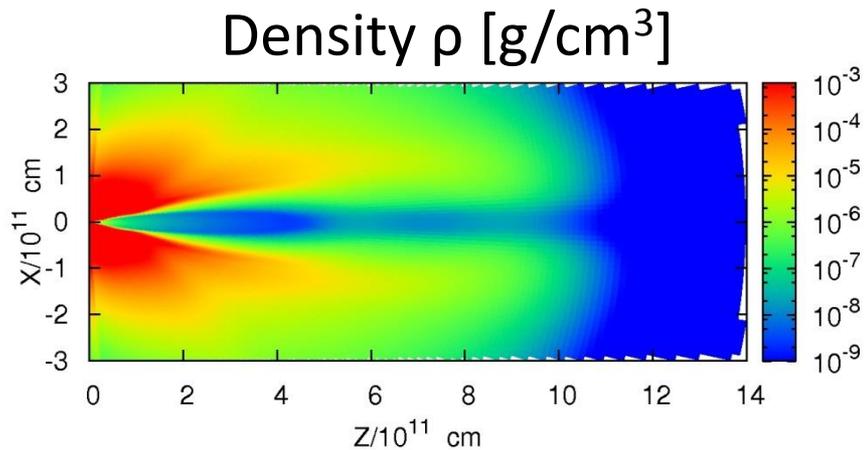
– $L_{\text{jet}} = 5.3 \times 10^{50} \text{ erg s}^{-1}$

– $f_{\text{th}} = 0.9925$ ($e_{\text{int}}/\rho c^2 = 80$)

– $(\log r, \theta) = (600, 150)$ グリッド
from $R_0 = 10^9 \text{cm}$



流体力学計算



- $t=40$ 秒の時点での流体構造を用いて輻射輸送計算を行う。

光子が生成される場所

- 有効光学的深さ τ_*

静止した物質中では (e.g., Rybicki & Lightman 1979)

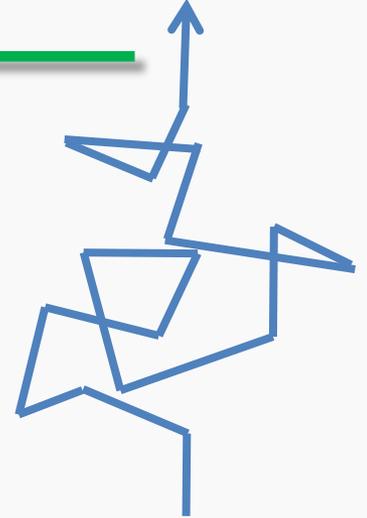
$$\tau_*^{\text{NR}} \sim \sqrt{\tau_a(\tau_a + \tau_s)}$$

相対論的速度を持った物質中 (Shibata, Tominaga & Tanaka 2014, ApJL)

$$\tau_*^{\text{R}} = \left\{ \frac{\Gamma^2}{3}(\beta^2 + 3) + (\Gamma\beta)^2 \frac{\tau_s}{\tau_a} \right\}^{-1/2} \frac{\sqrt{\tau_a(\tau_a + \tau_s)}}{\Gamma(1 - \beta \cos \theta_v)}$$

$$\tau_a = \Gamma(1 - \beta \cos \theta_v) \alpha' L$$

$$\tau_s = \Gamma(1 - \beta \cos \theta_v) \sigma' L$$



光子が生成される場所

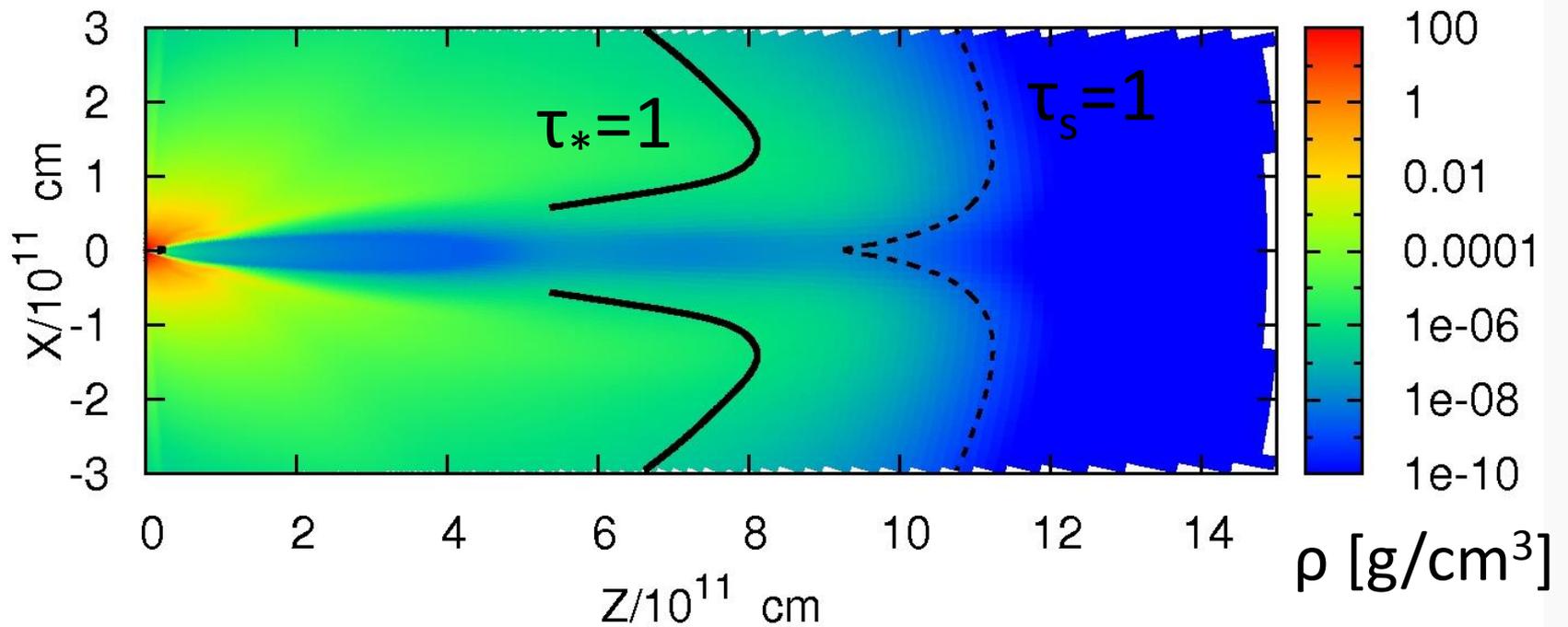
- ある半径 R_* までの τ_*

$$\tau_* = \int_{R_*}^{\infty} \left\{ \frac{\Gamma^2}{3} (\beta^2 + 3) + (\Gamma\beta)^2 \frac{\sigma'}{\alpha'} \right\}^{-1/2} \sqrt{\alpha'(\alpha' + \sigma')} dr$$

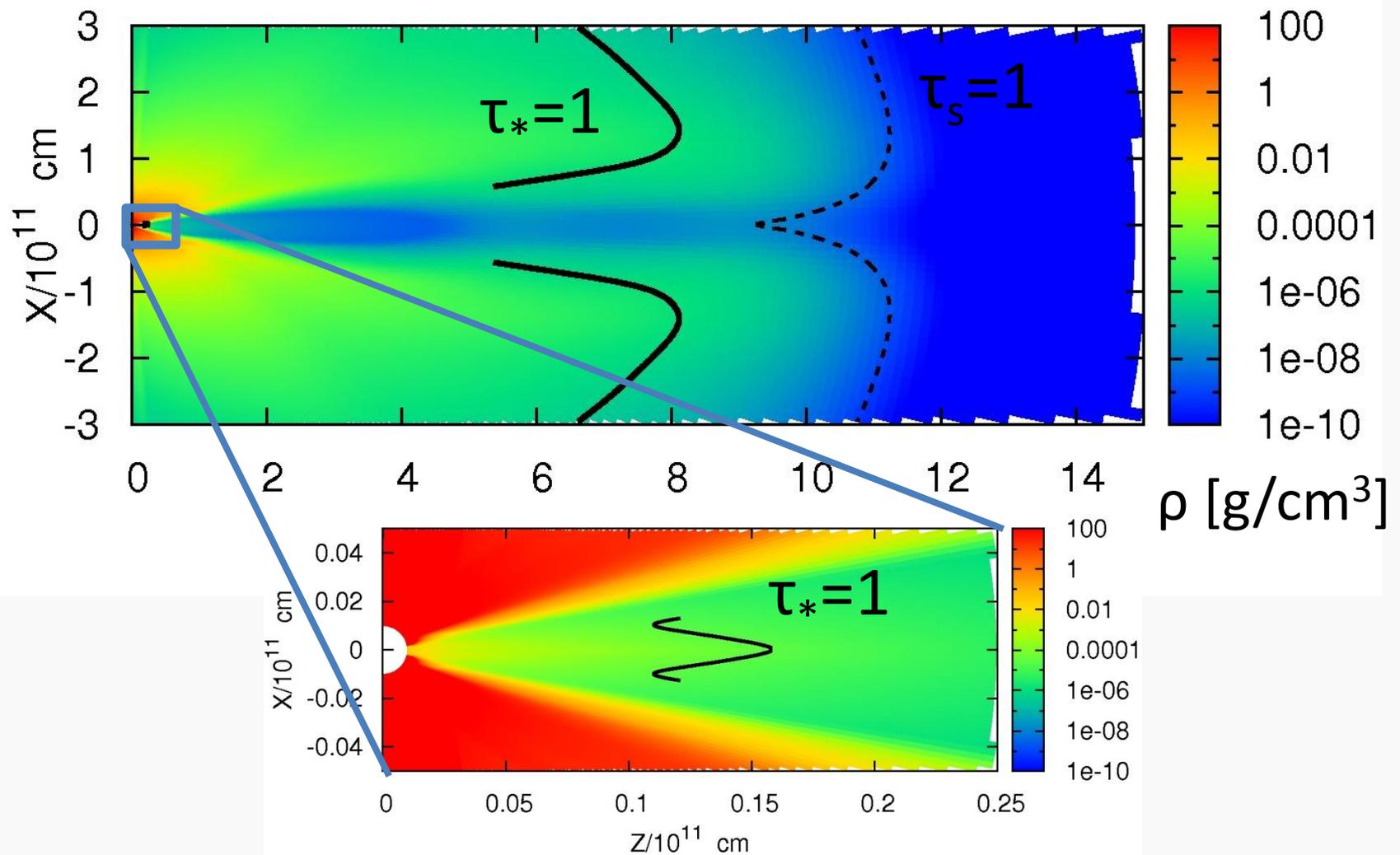
- σ' : 電子散乱の散乱係数
- α' は次の2過程に対する吸収係数
 - 自由-自由吸収 ($e + p + \gamma \rightarrow e + p$)
 - Double Compton 吸収 ($\gamma + \gamma + e \rightarrow \gamma + e$)

$\tau_* = 1$ を満たす R^* を見つける

光子が生成される場所



光子が生成される場所



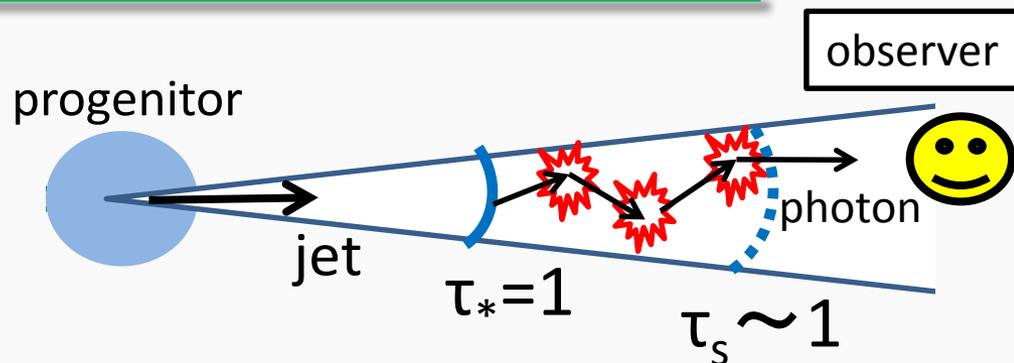
輻射輸送計算

✓ 計算コード

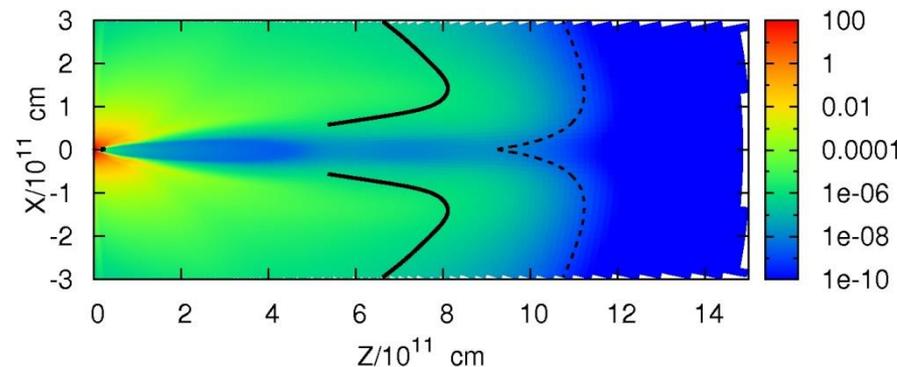
- モンテ・カルロ法
- コンプトン散乱を計算

✓ 光子の生成

- 光子は $\tau_* = 1$ で放射される
- 空間分布: $n_\gamma \propto T^3$
- 生成位置での温度でのプランク分布
- 流体静止系で等方



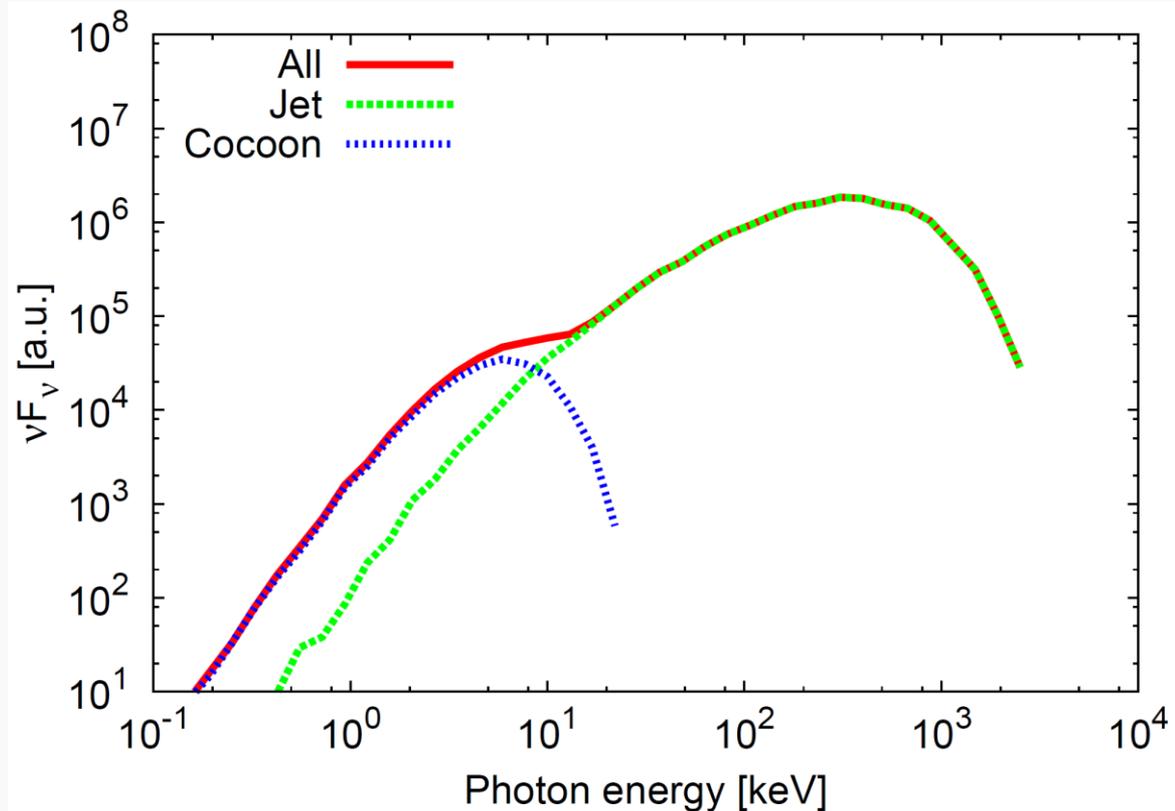
t=40秒での流体構造を用いる。



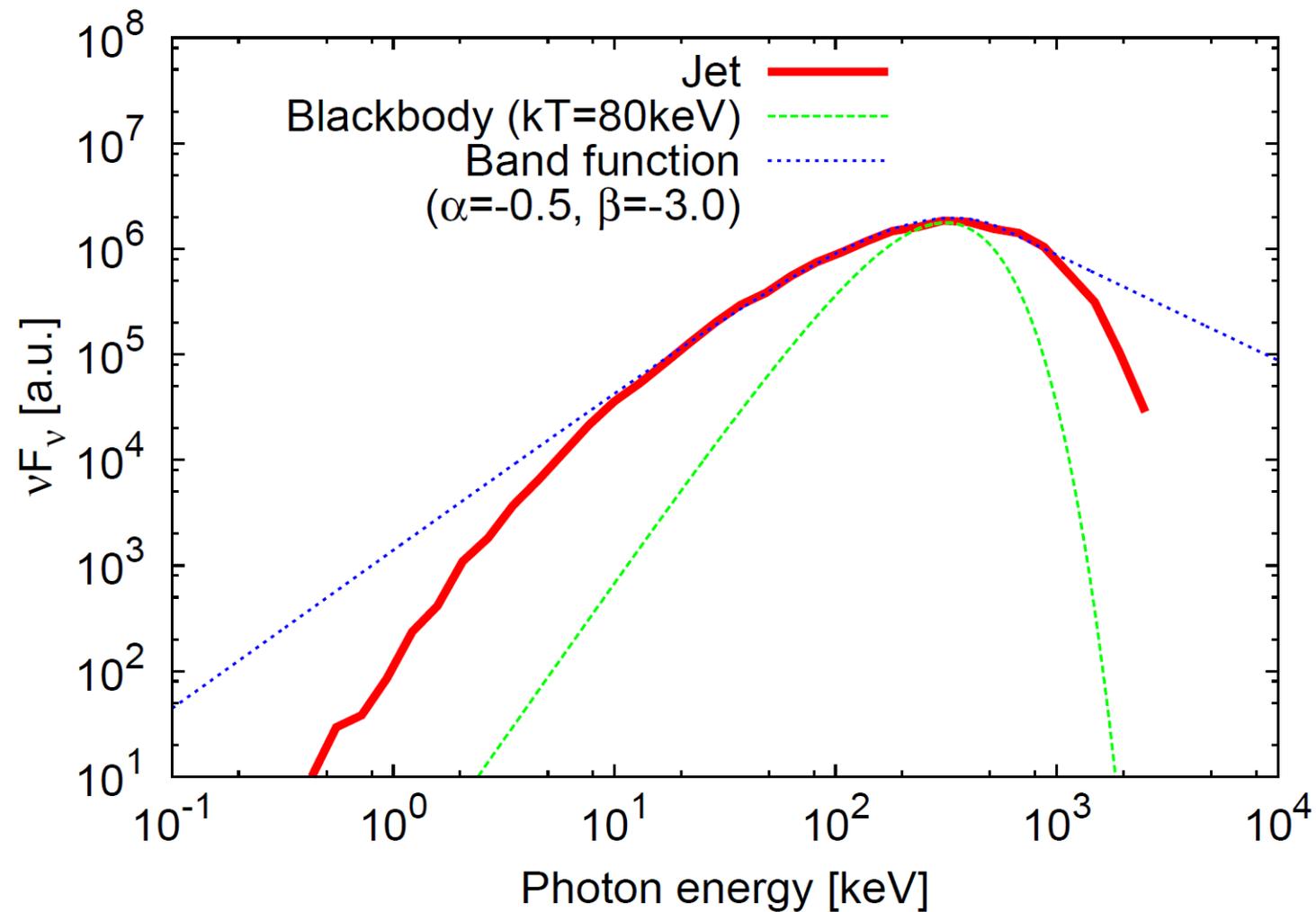
結果

エネルギースペクトル

- $E_{\text{peak}} \sim 350\text{keV}$
- 高エネルギーのジェット成分と低エネルギーのコクーン成分

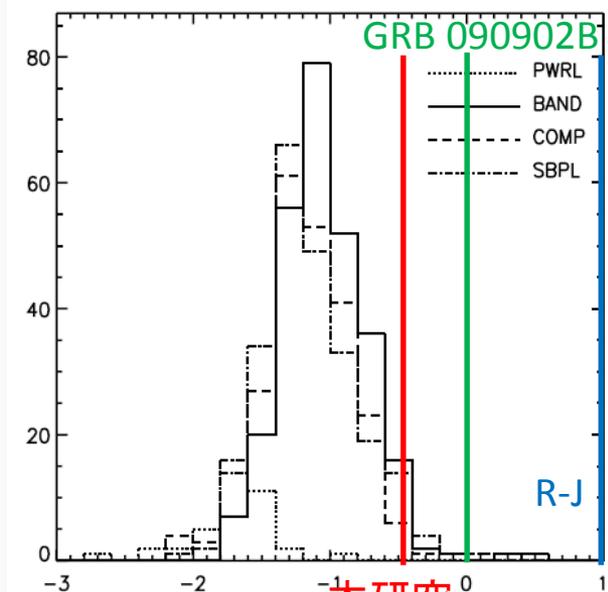


観測との比較

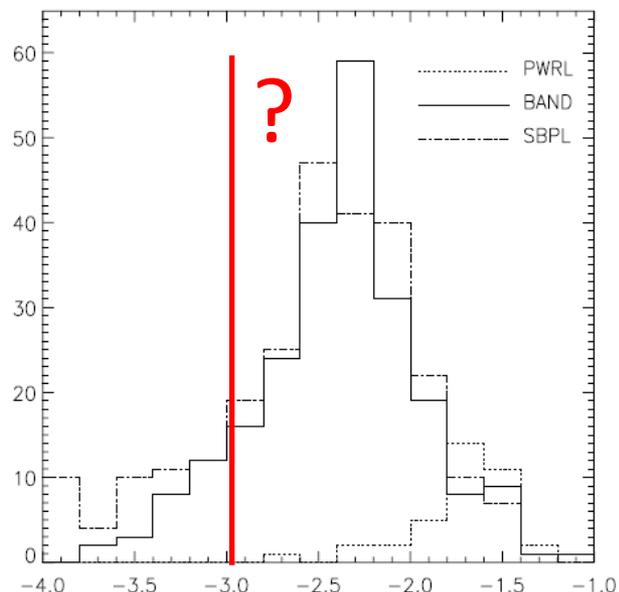


観測との比較

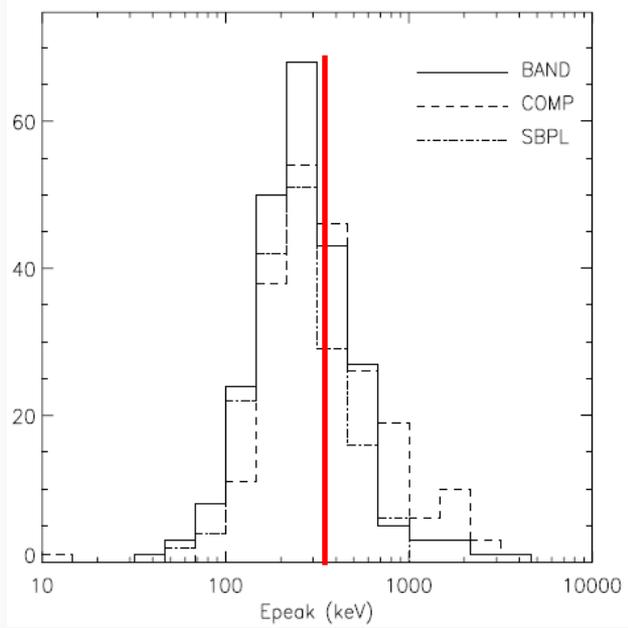
Kaneko et al 2006



本研究



低エネルギー側のべき (α) 高エネルギー側のべき (β)



ピークエネルギー (E_{peak})

まとめ

まとめ

- ✓ GRBジェットからの**熱的放射**について**輻射輸送計算**
 - GRBジェットの特殊相対論的流体計算
 - 熱的光子の生成場所の見積もり
 - モンテカルロ法を用いた輻射輸送計算
- ✓ GRBジェットからの熱的放射はプランク分布ではなく、**バンド関数**として観測される可能性を示唆

