

GRBの可視光残光の形態における 理論的モデルとX線残光との相関

青山学院大学M1

宮内 宏

Optical afterglows of GRBs: peaks, plateaus and possibilities
A. Panaitescu and W.T. Vestrand (2011)

ガンマ線バーストとは

GRB(ガンマ線バースト) : 1日に約1回という頻度で観測されている継続時間は0.01~300秒で典型的に250keV程度のガンマ線

GRBはどこから、どのように放射されているのか？

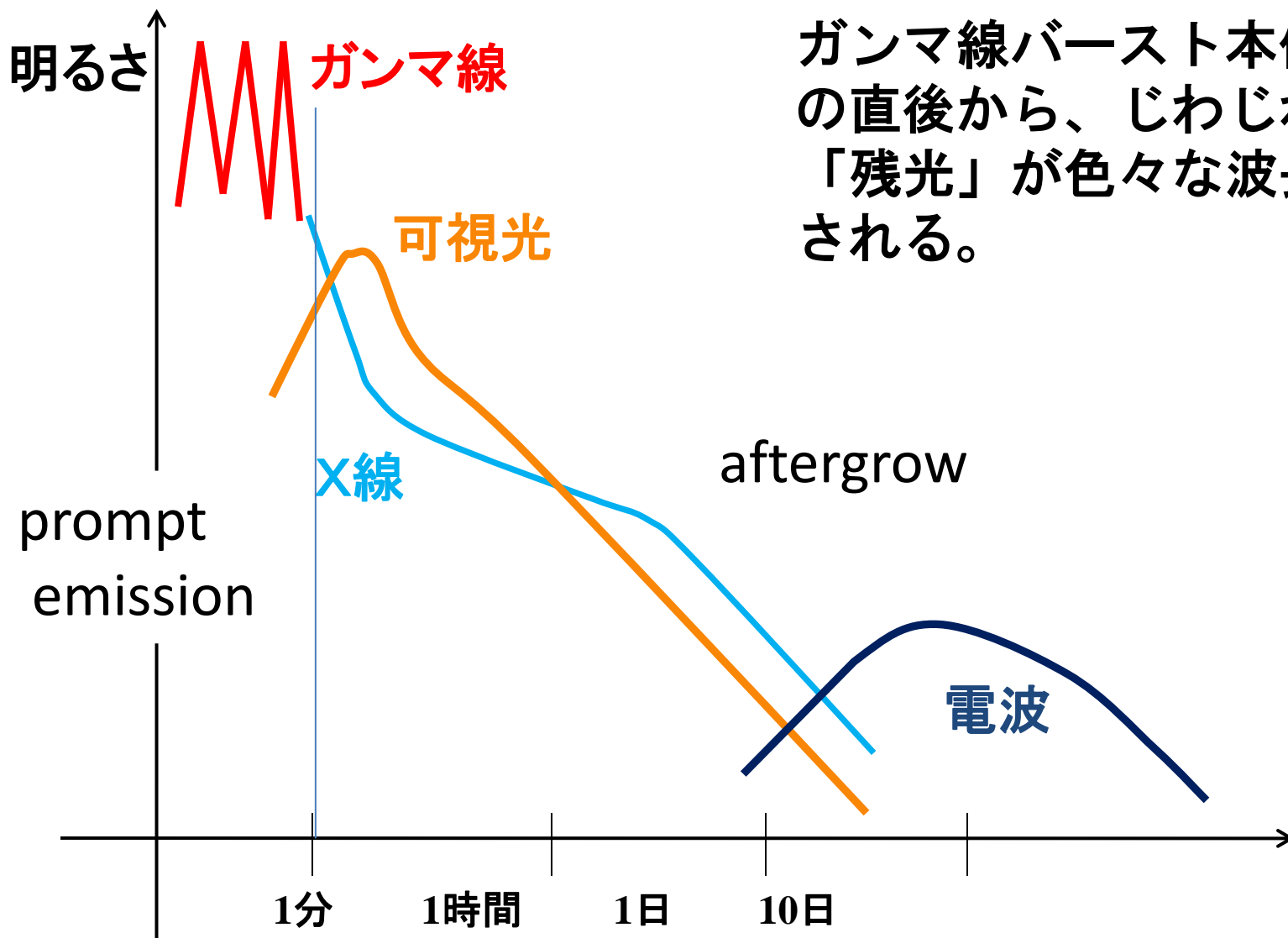
(等方的に到来している。
赤方偏移をしている。

宇宙論的距離(~100億光年)に放射源が存在する。

compactness問題

放射源はローレンツ因子 $\Gamma \geq 100$ の速度で我々に向かっている。

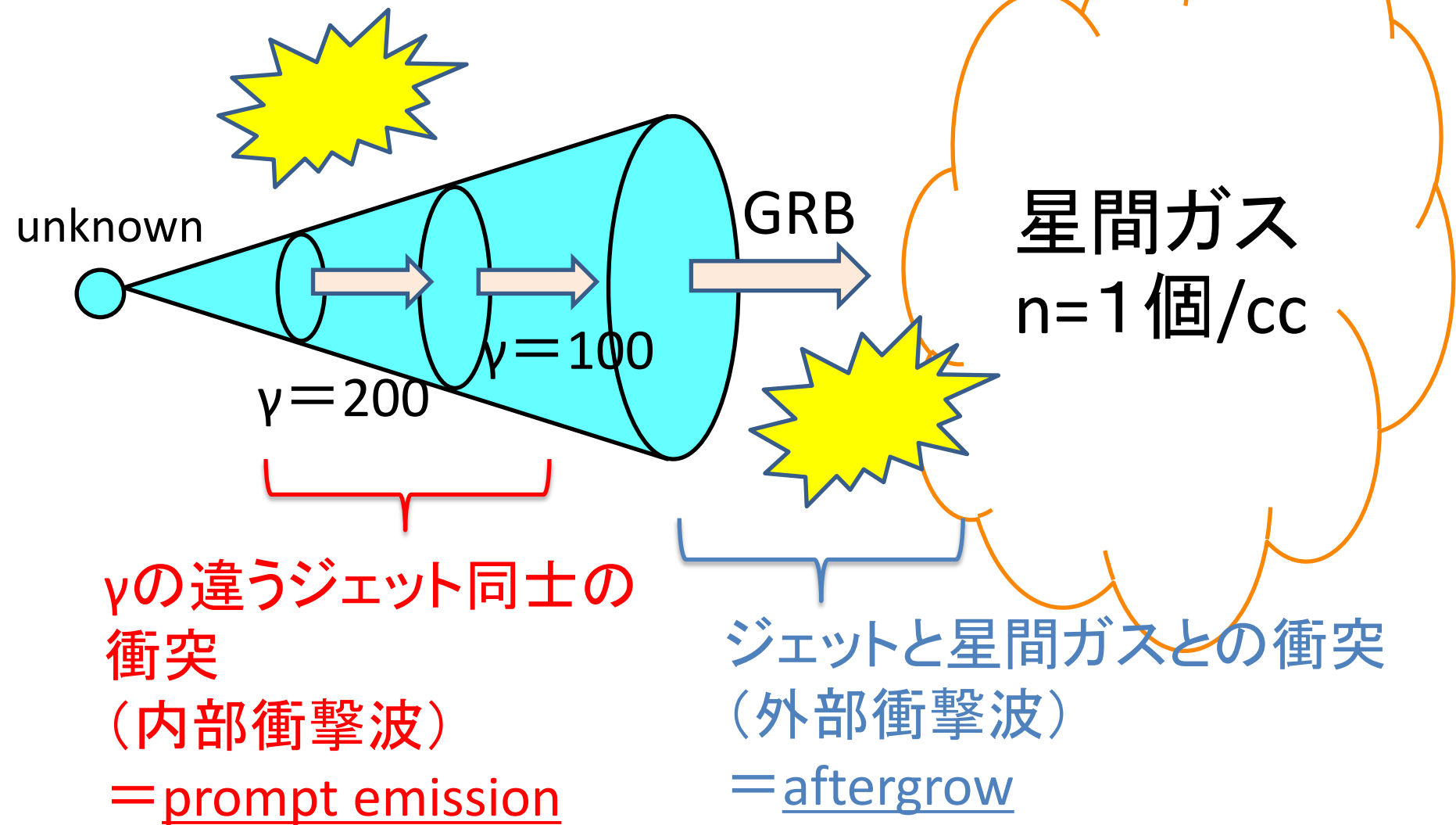
ガンマ線バースト本体とその「残光」



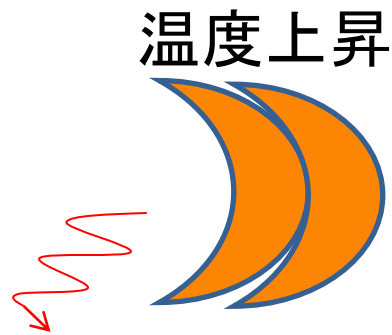
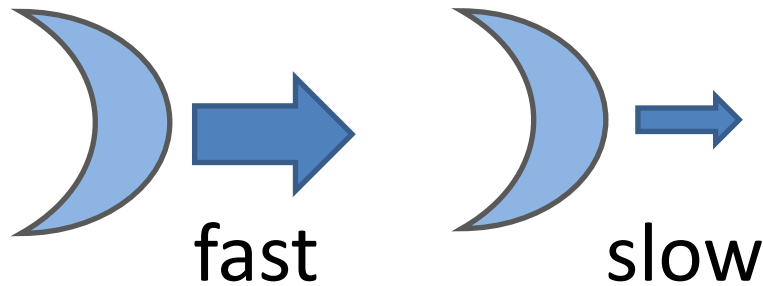
ガンマ線バースト本体の放射の直後から、じわじわと光る「残光」が色々な波長で観測される。

バースト発生からの経過時間 (対数) 引用:山崎

2つの衝撃波



内部衝撃波モデル(シェル同士の衝突)



シェル: 加速された電子や陽子のかたまり (jet の一部)

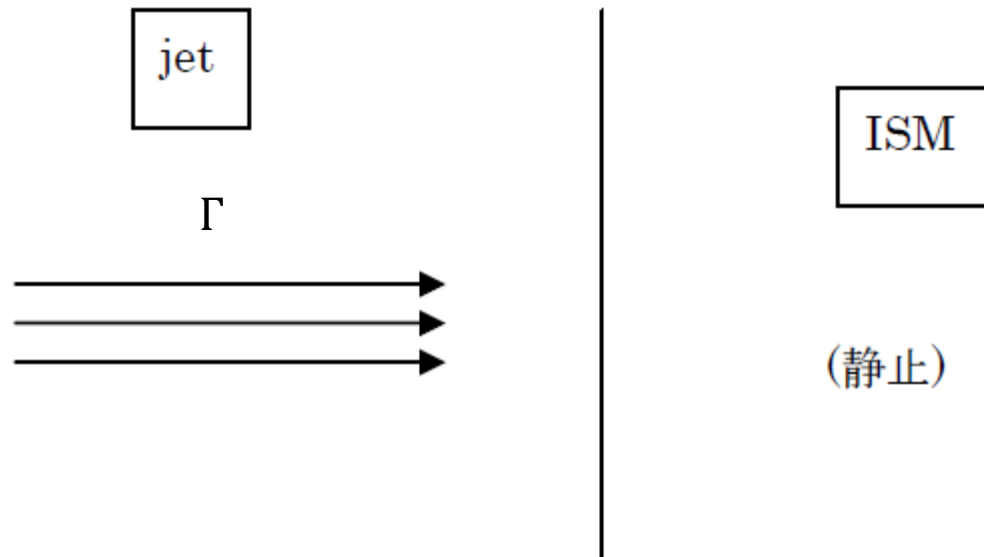


運動エネルギー



放射エネルギー

外部衝撃波モデル(シェルとISMの衝突)



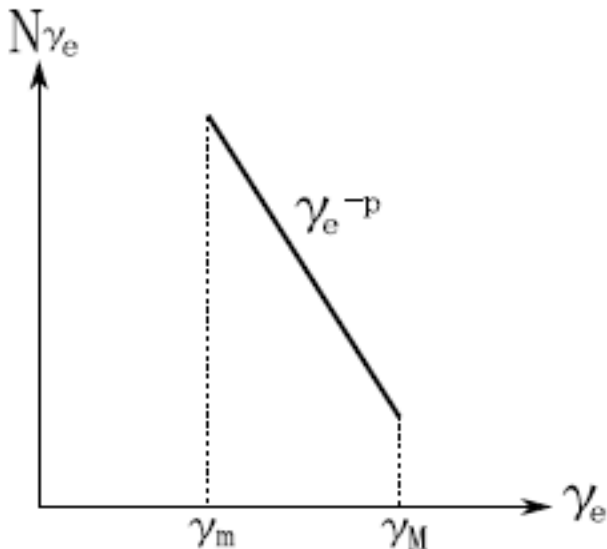
シンクロトロン放射を考えれば
aftergrowの光度曲線の概形が描けるはず！！

理論モデル

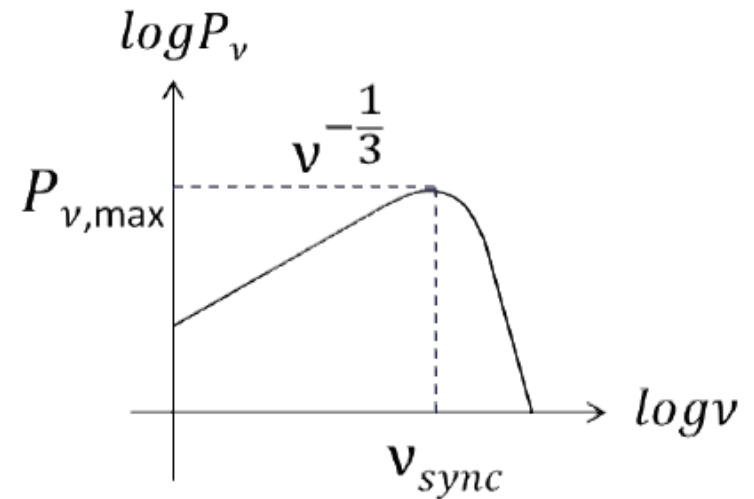
Shell内の電子の分布関数を
べき則と仮定

$$N_e = f\gamma^{-p}$$

γ : 電子のローレンツ因子



シンクロトロン放射の放射強度 P_ν [erg/s]



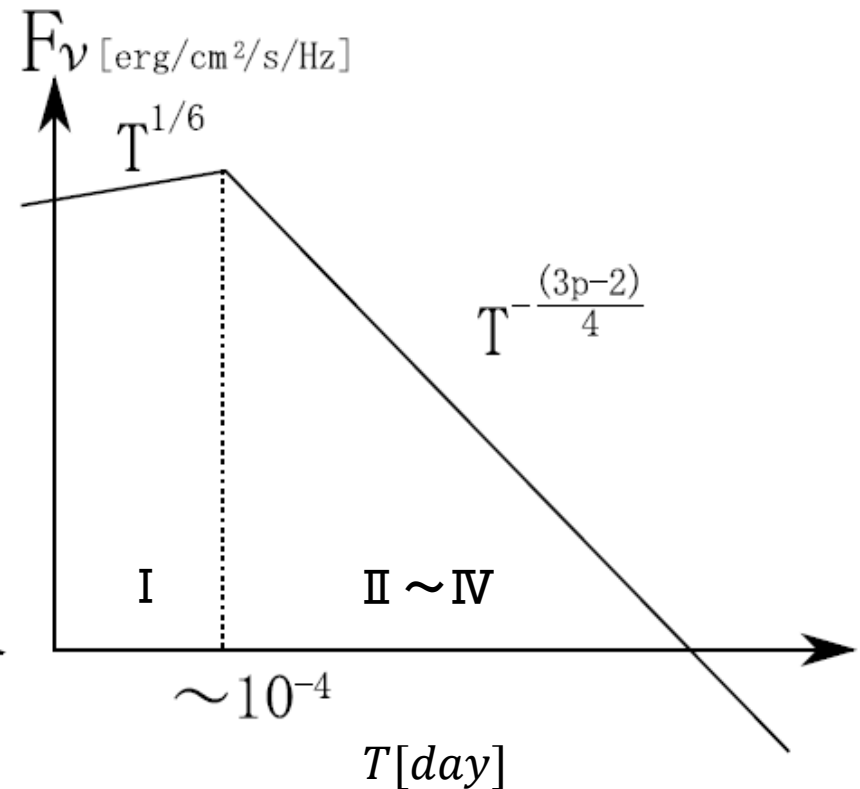
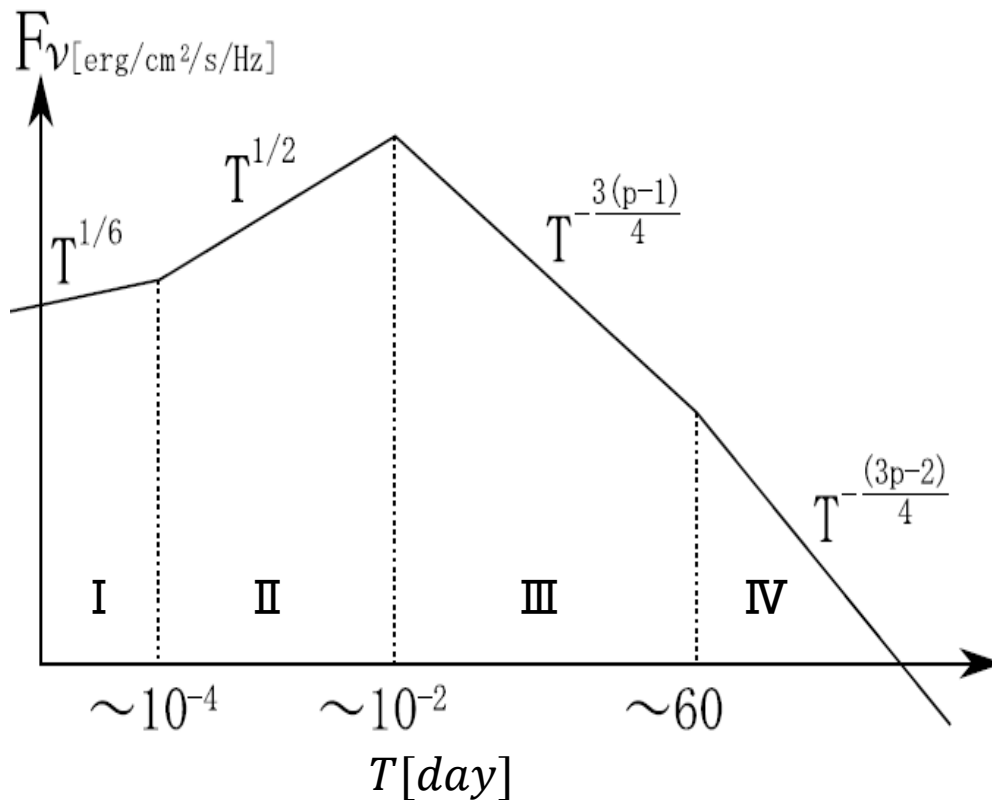
coolingを考える。

→ シンクロトロン放射によるエネルギー損失

予想される light curve

可視光($\nu_o \equiv 4 \times 10^{14} \text{ Hz}$)

X線($\nu_X \equiv 3.3 \times 10^{17} \text{ Hz}$)



α と β の関係

$$F_\nu \propto T^{-\alpha} \nu^{-\beta}$$

とすると

$$\nu = \nu_X$$

Period	I	II~IV
α	$-\frac{1}{6}$	$\frac{3p-2}{4}$
β	$-\frac{1}{3}$	$\frac{p}{2}$

X線の α と β の関係

$$\alpha = \frac{3}{2}\beta - \frac{1}{2}$$

$$\nu = \nu_o$$

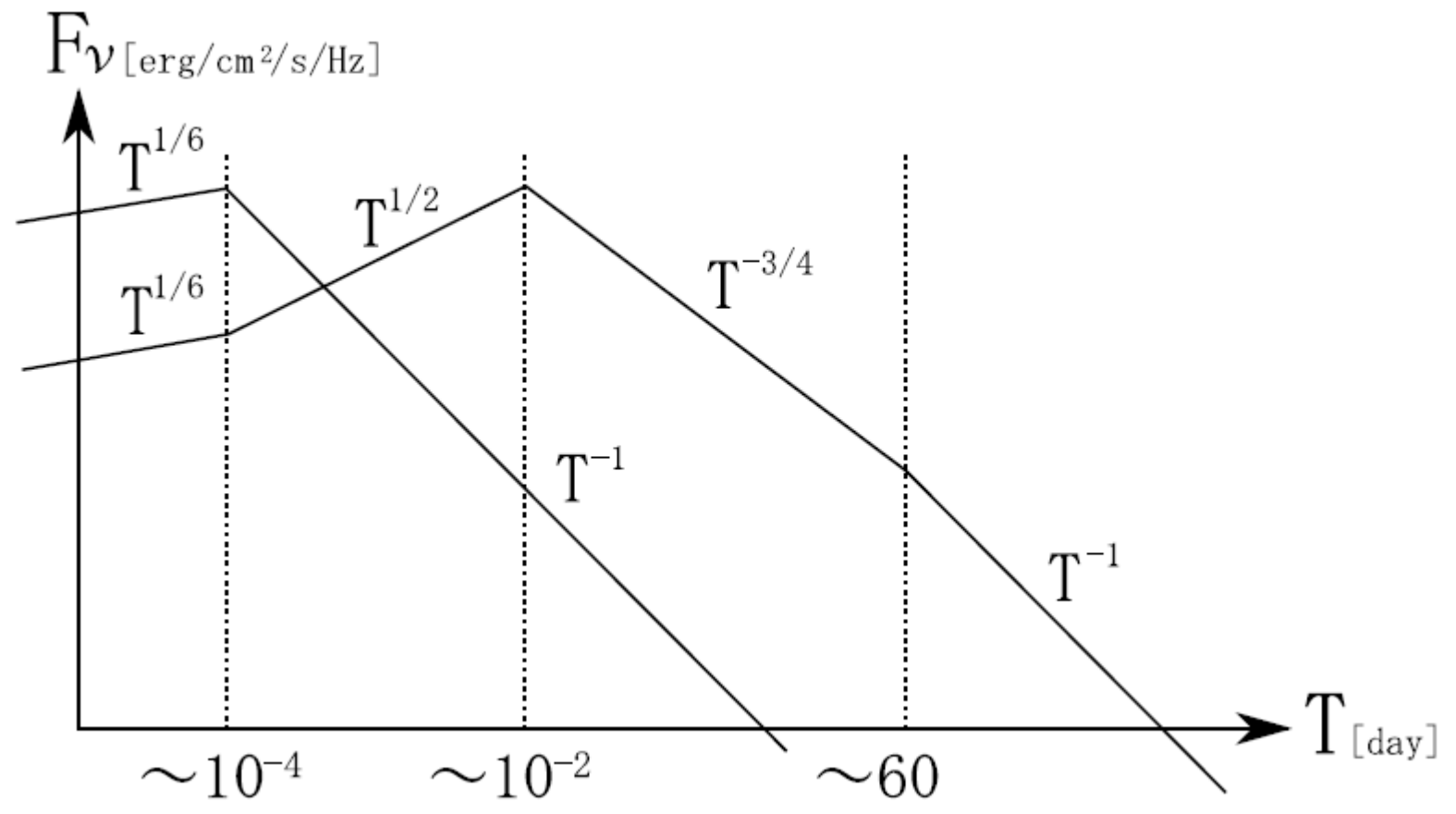
可視光の α と β の関係

III $\alpha = \frac{3}{2}\beta$

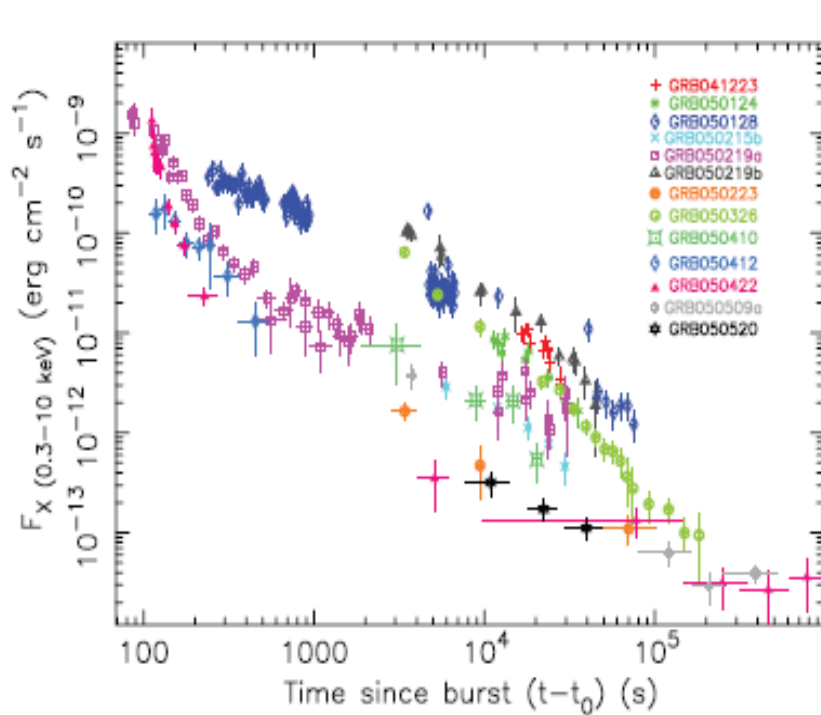
IV $\alpha = \frac{3}{2}\beta - \frac{1}{2}$

Period	I	II	III	IV
α	$-\frac{1}{6}$	$-\frac{1}{2}$	$\frac{3(p-1)}{4}$	$-\frac{3p-2}{4}$
β	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{p-1}{2}$	$-\frac{p}{2}$

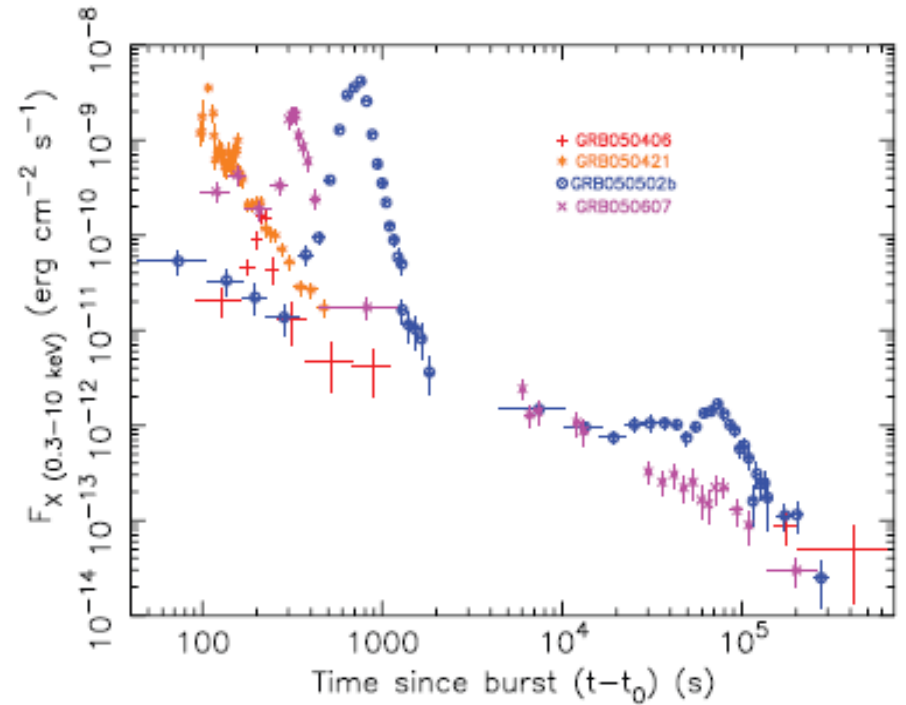
p=2の場合のX線、可視光light curve



観測されたX線light curveとの比較



X-ray flareを持たないlight curve



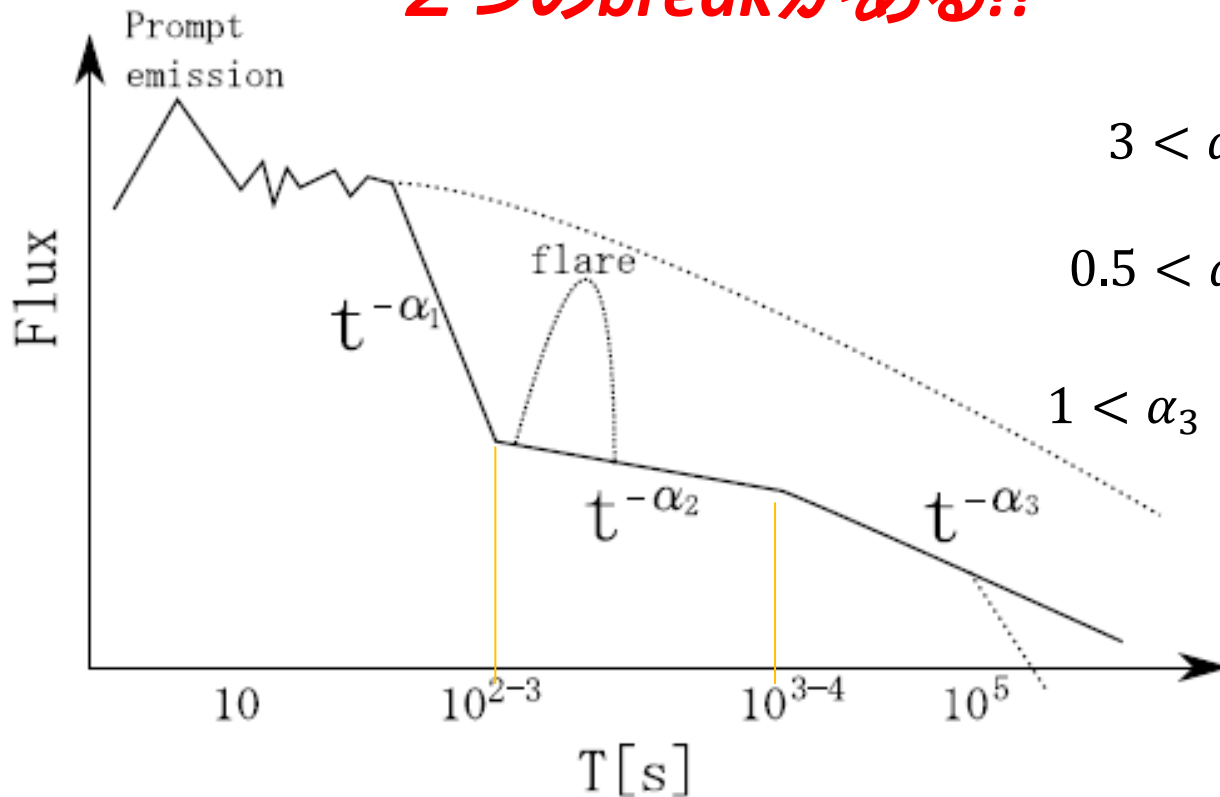
X-ray flareを持つlight curve



理論モデル light curveと全然違う

観測されたX線light curveとの比較

2つのbreakがある!!



$3 < \alpha_1 < 5 \rightarrow$ *too steep*

$0.5 < \alpha_2 < 1 \rightarrow$ *too shallow*

$1 < \alpha_3 < 1.5 \rightarrow$ 理論モデルに合う

上図より1つ目のbreakを見る時、prompt emissionが混ざるのでX-rayでは適していない。

観測された可視光残光の検証

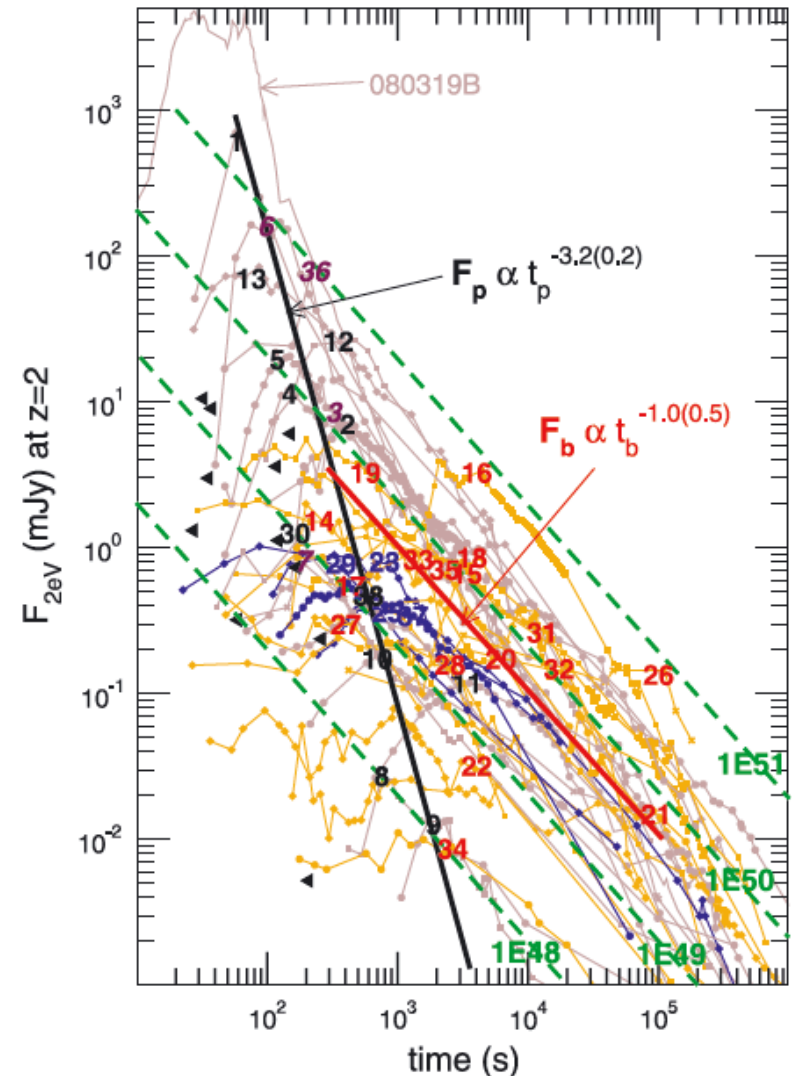
可視光残光は大きく2つのタイプに分かれる。

- Peaky aftergrow

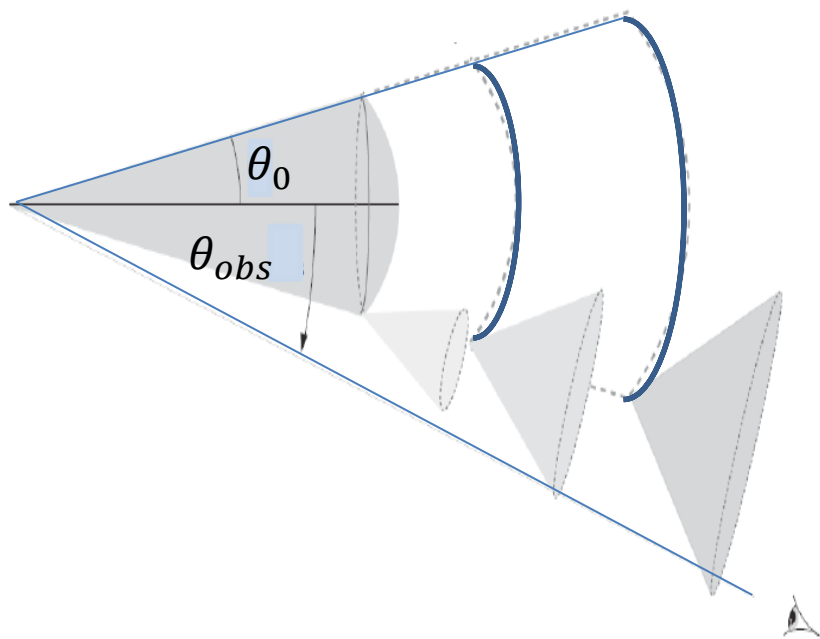
$$F_p \propto t_p^{-3}$$

- Plateau aftergrow

$$F_b \propto t_b^{-1}$$



今まで考えられていたoff-axis model



この理論から考えられる
 F_p と t_p の関係は

$$F_p \propto t_p^{-2}$$

→ 観測された反相関より
小さかった。

Off-axis model

deceleration-onset model

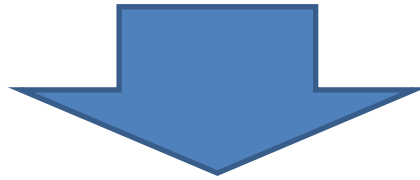
今回shellの周りの媒質密度の多様性を考慮し、減速のtime-scaleが密度に依存しているというように考えた。

→ wind-like medium (時間変化する密度) で
 $v_i < v_o < v_c$ 、 $\beta_o = \frac{4}{3}$ の時

$F_p \propto t_p^{-3}$ を満たした。

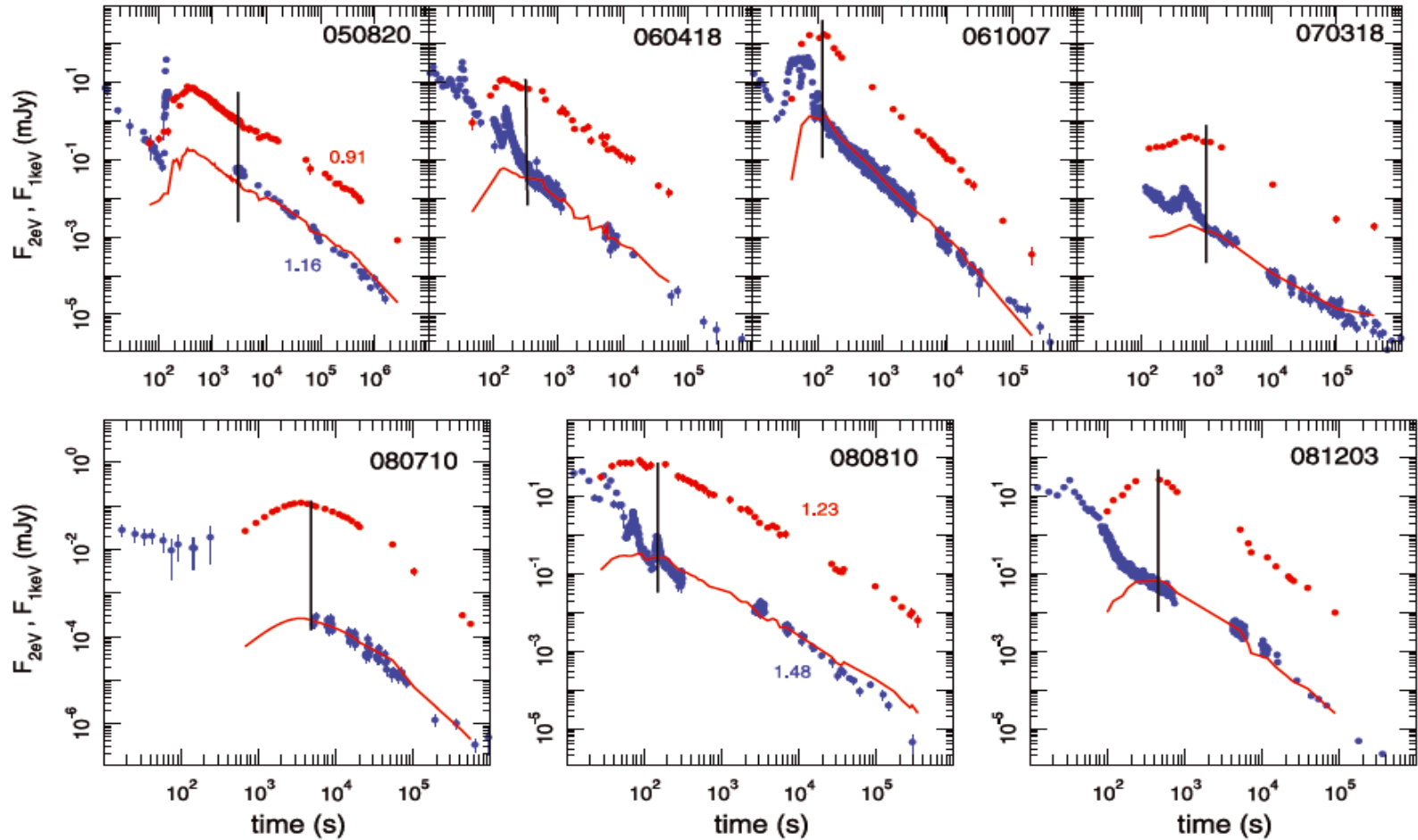
可視光とX線のlight curveの比較

可視光とX線のlight curveがcoupleとdecoupleの2タイプに分かれている。

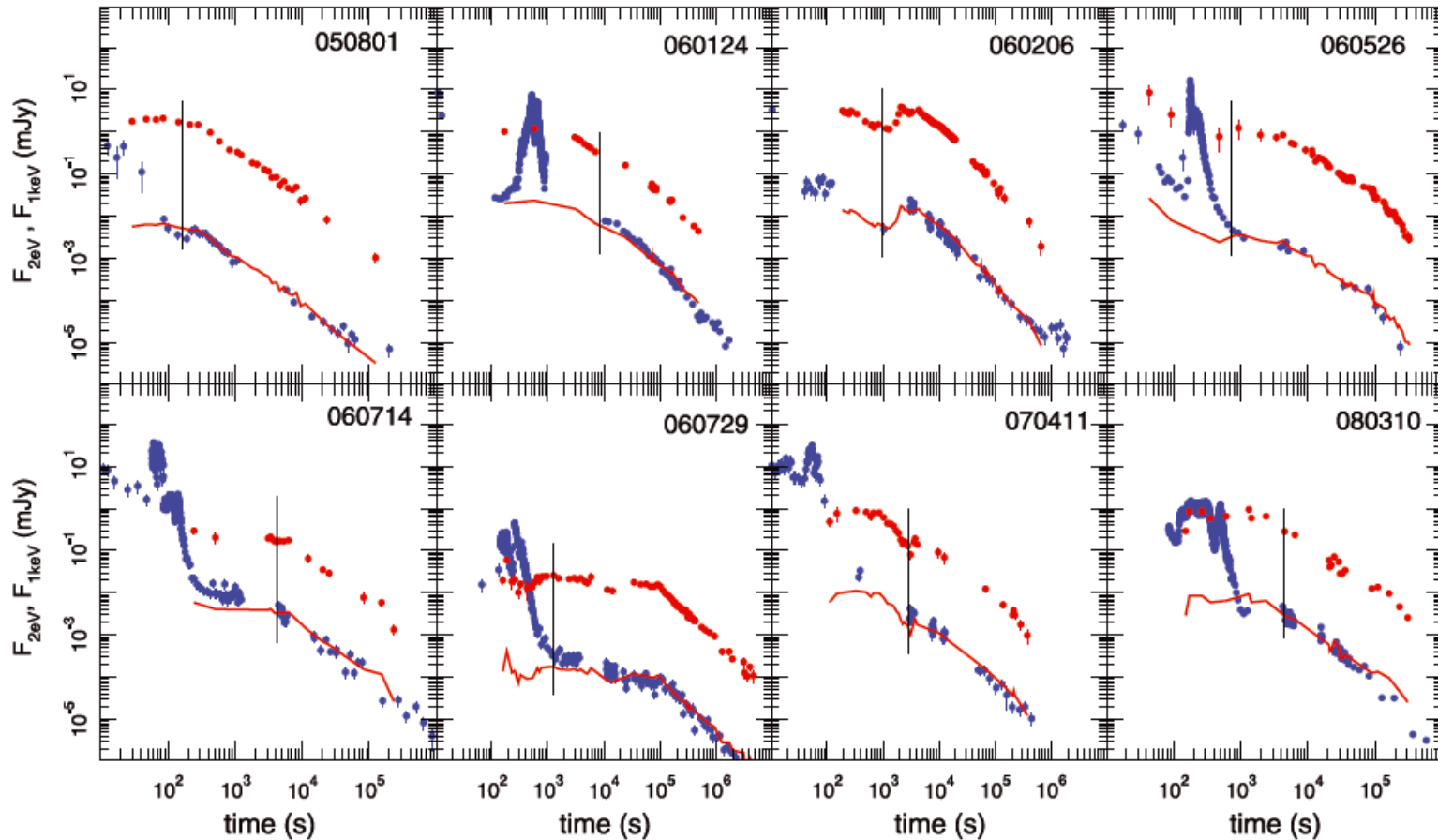


off-axisモデルを用いるとcouple light curveが予想できる。decouple light curveを満たすモデルを考察

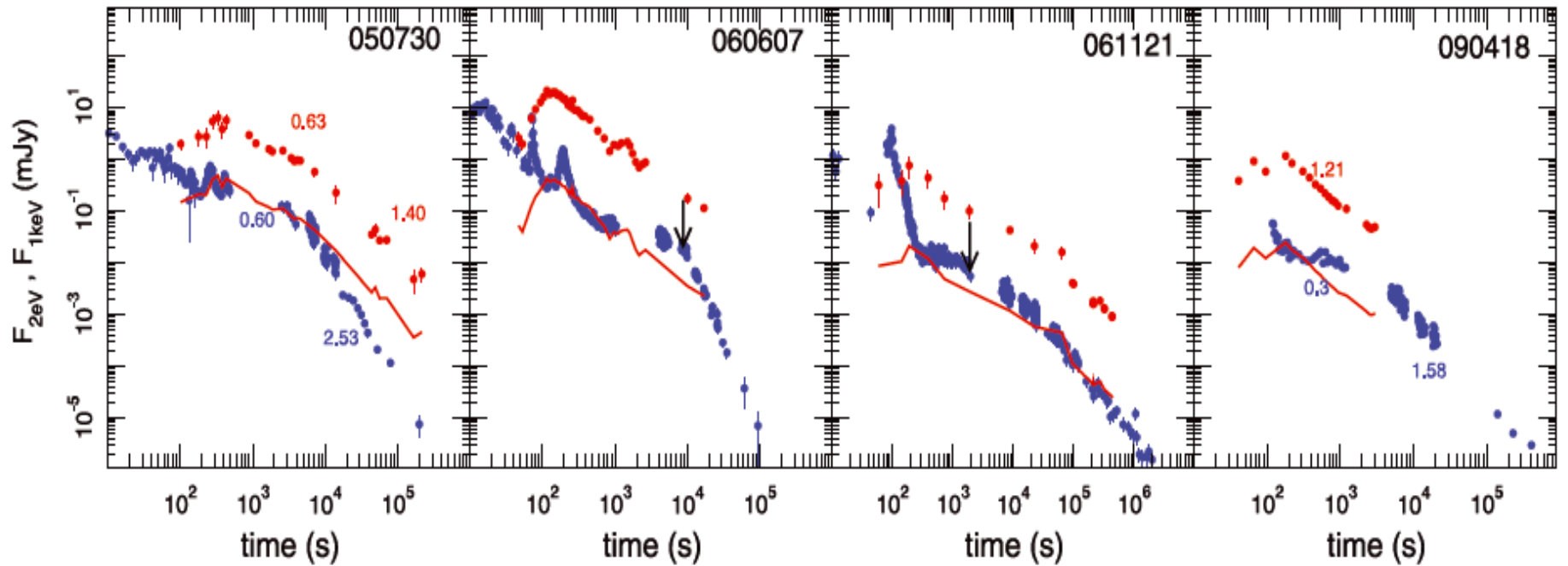
coupled peaky optical and X-ray



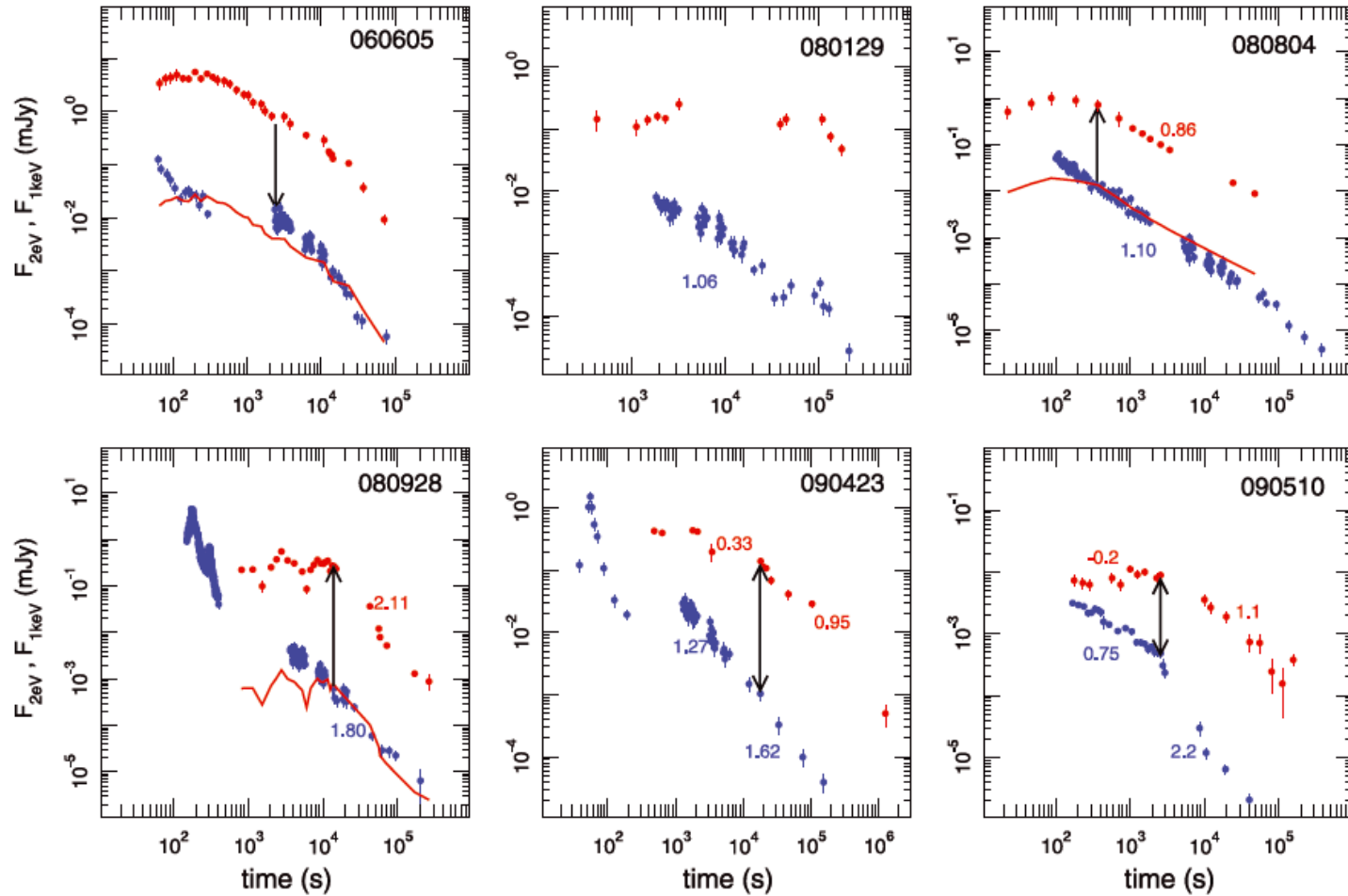
coupled plateau optical and X-ray



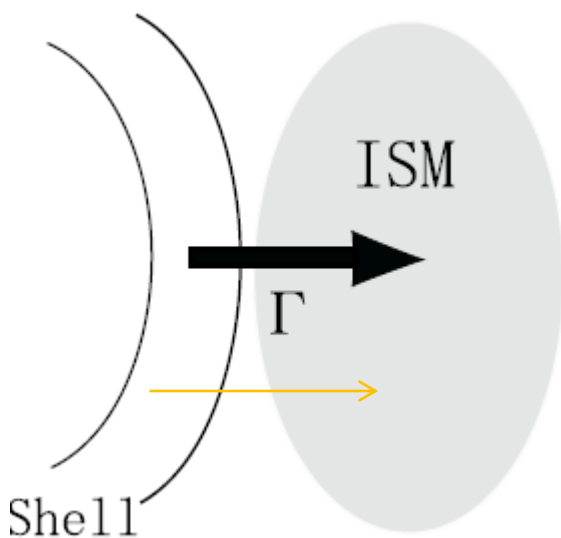
decoupled peaky optical and X-ray



decoupled plateau optical and X-ray



decoupleの予想モデル



ssc(synchrotron self-compton)モデル：
周りの媒質が十分に濃いなら
shellで出た放射が逆コンプトン散乱
を起こし、より強い放射(X線)を出す。

可視光はシンクロトロン放射、X線は逆コンプトン散乱
と違う放射過程を考える。可視光よりX線フラックスの
方が早く減少すると予想できる。

—————> decouple light curve ?

結果と考察

- deceleration-onsetモデルはpeakのフラックスと時間の反相関を良く表せている。しかし、plateauではうまく表せていなかった。
 - sscモデルはすべてのdecouple light curveの組み合わせを表すことが出来ていない。なので別のモデルが存在し得る。
- X線、可視光に加えてガンマ線とも比較してみようと考えている。