

銀河進化と遠方宇宙

低金属大質量星を起源とする ガンマ線バーストと超高輝度超新星

仲内 大翼 (京都大学)
天体核研究室, D2

共同研究者:

檜山 和己 (Penn. State Univ.), 諏訪 雄大 (京大基研)
坂本貴紀 (青山学院), 矢島秀伸 (Univ. of Edinburgh)
中村 卓史 (京都大学)



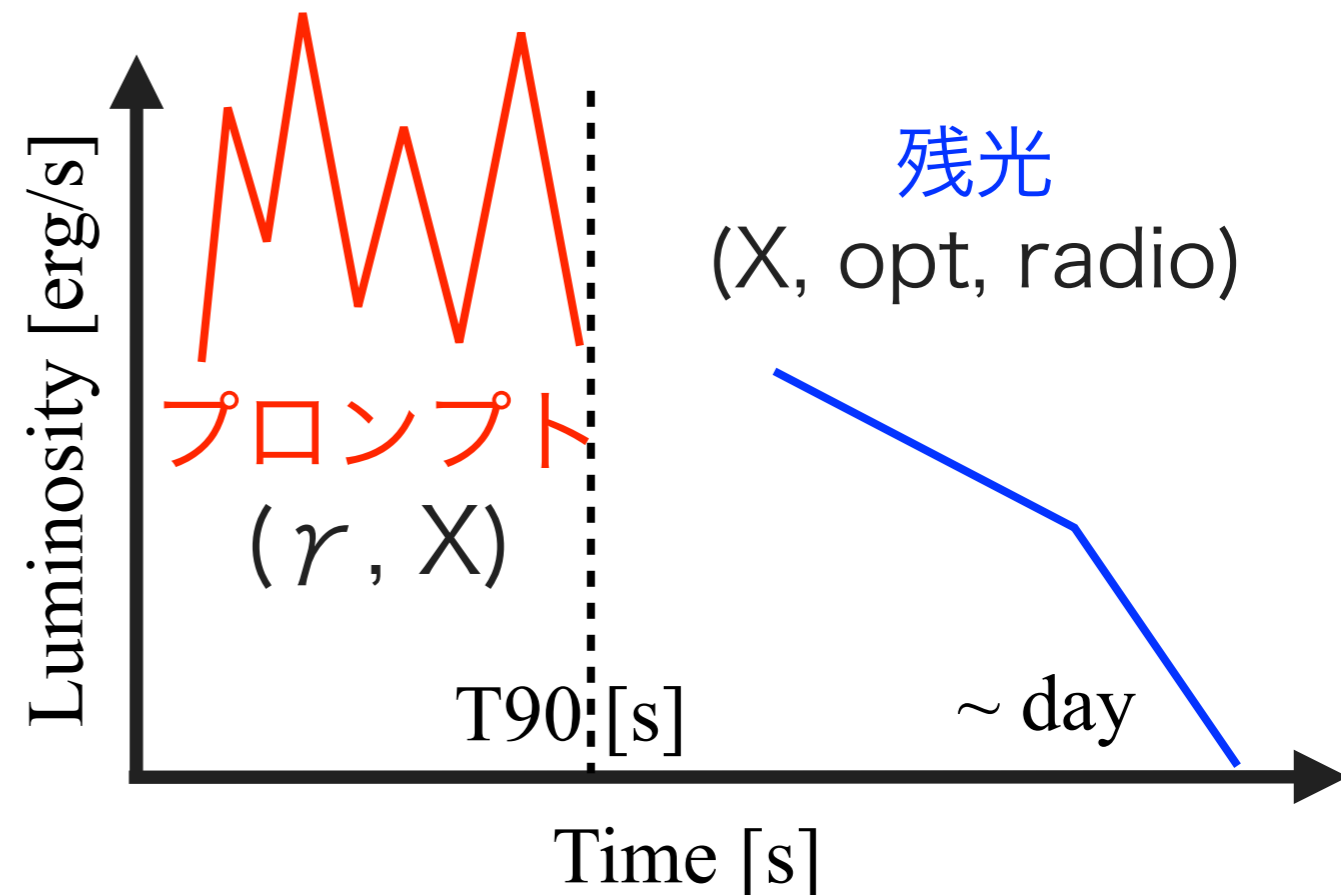
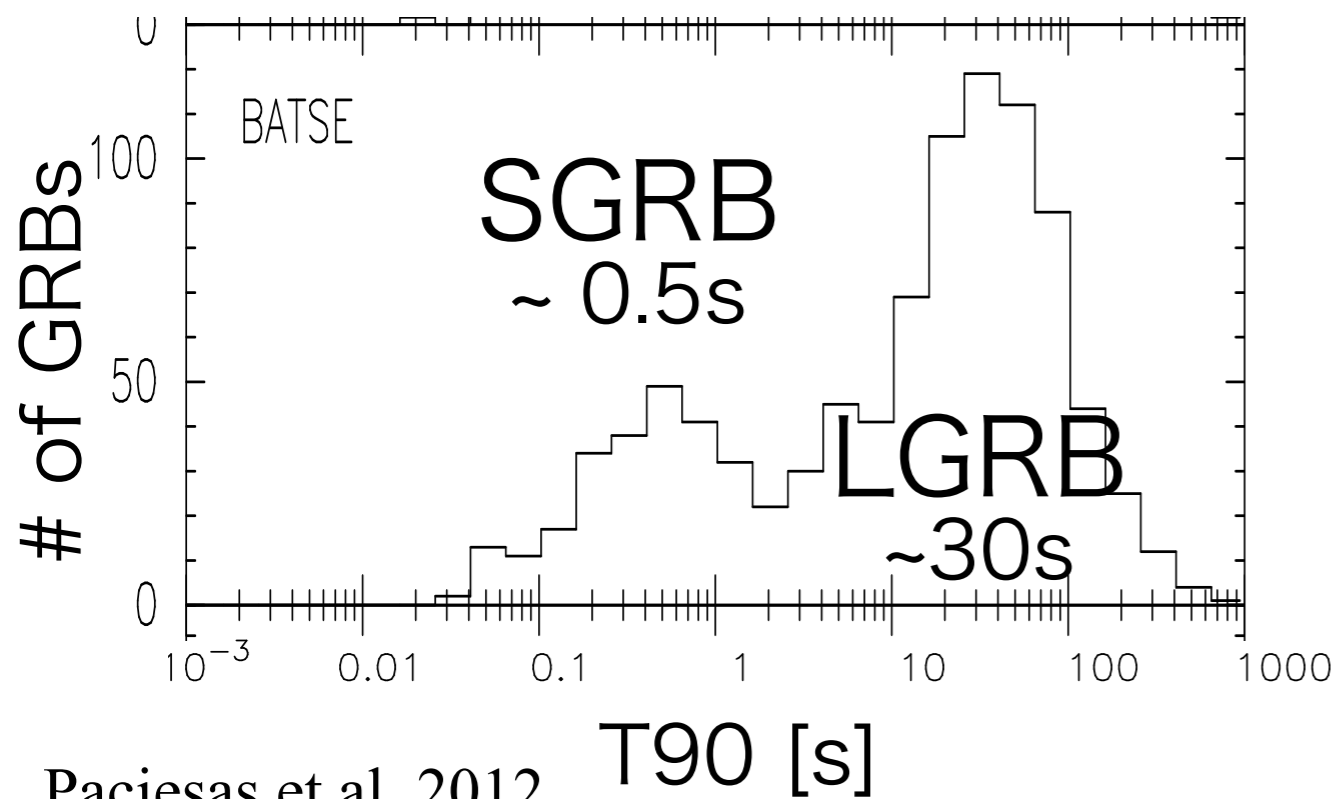
Tue. 25 Mar. 2014



1. Introduction

Gamma-Ray Burst (GRB)

- ✓ X- γ 線で光る宇宙で最も明るい天体.
- ✓ **プロンプト** (γ , X) + **残光** (X, opt, radio).
- ✓ 相対論的ジェットが関係 $\Gamma_{\text{jet}} \gtrsim 300$.
- ✓ 宇宙論的な現象. $\langle z \rangle \sim 2.1$
- ✓ 2つの種族: Long / Short GRB.



Long GRB

Schulze et al.
arXiv:1401.3774

★大質量星重力崩壊説

Woosley 1993, MacFadyen & Woosley 1999

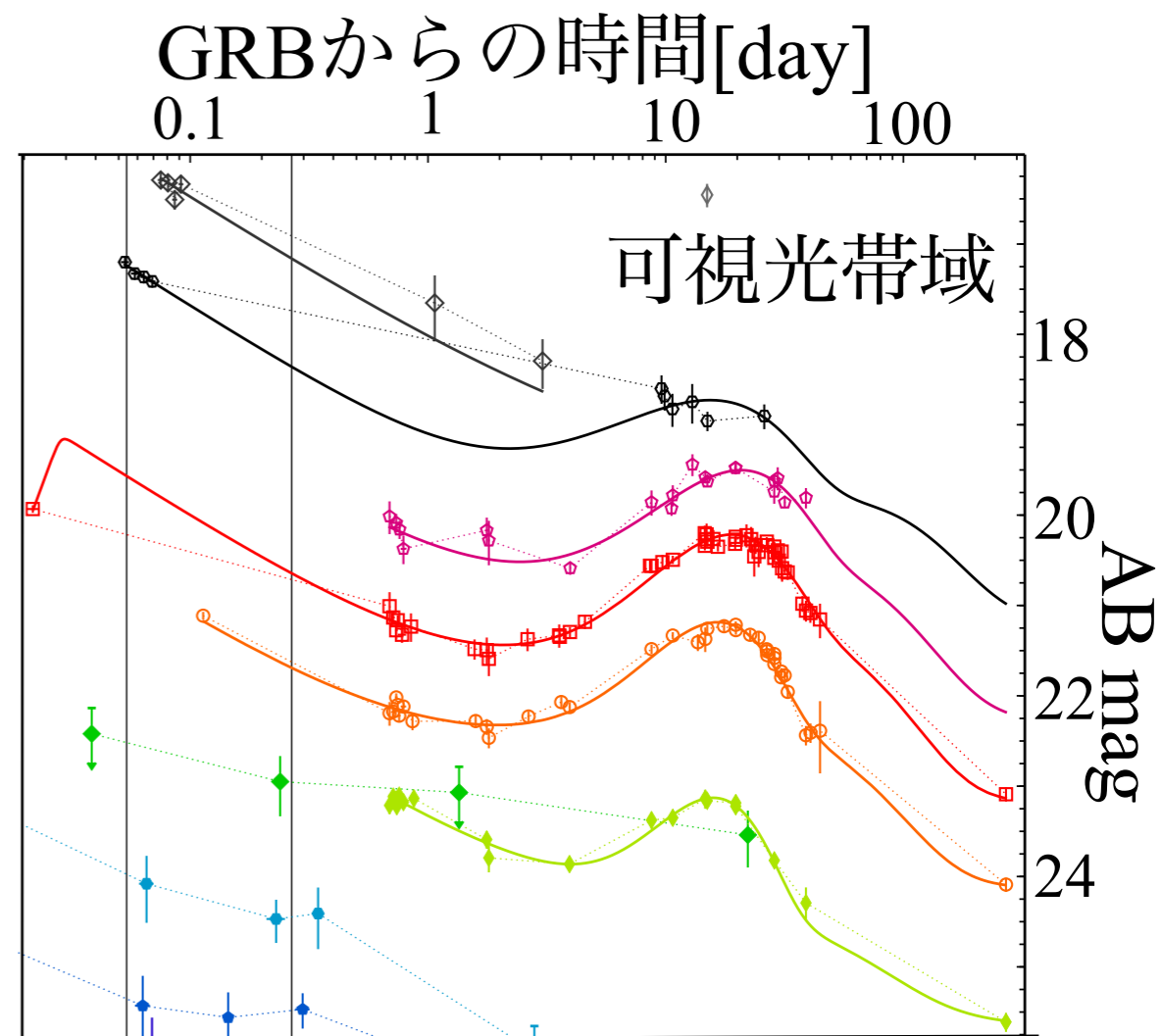
- ・ 星形成が活発な母銀河. Fruchter et al. 2006
- ・ 超新星(SN)が付随したGRBの存在.
- ・ すべて Type Ic SN.
→ H, He外層を失った大質量星,
Wolf-Rayet(WR)星が親星候補.

★最遠方天体の1つ

- ・ GRB 090423: $z = 8.26$ Tanvir et al. 2009
- ・ GRB 080913: $z = 6.7$ Greiner et al. 2009
- ・ GRB 050904: $z = 6.3$ Kawai et al. 2006
- ・ GRB 130606A: $z = 5.9$ Chornock et al. 2013

*c.f., galaxy:
 $z \sim 7.51, 7.215, 7.213$

Finkelstein et al. 2013
Shibuya et al. 2012
Ono et al. 2011



➡ GRB : 初期宇宙を観測する重要な手段の一つ.

遠方宇宙におけるGRB

★ $z > 10$: 初代星, 初代銀河形成期

時間
(年)

- ・ 初代星起源のGRB (Pop III GRB) の寄与.
- ・ 初期宇宙における星形成の情報を得る可能性.

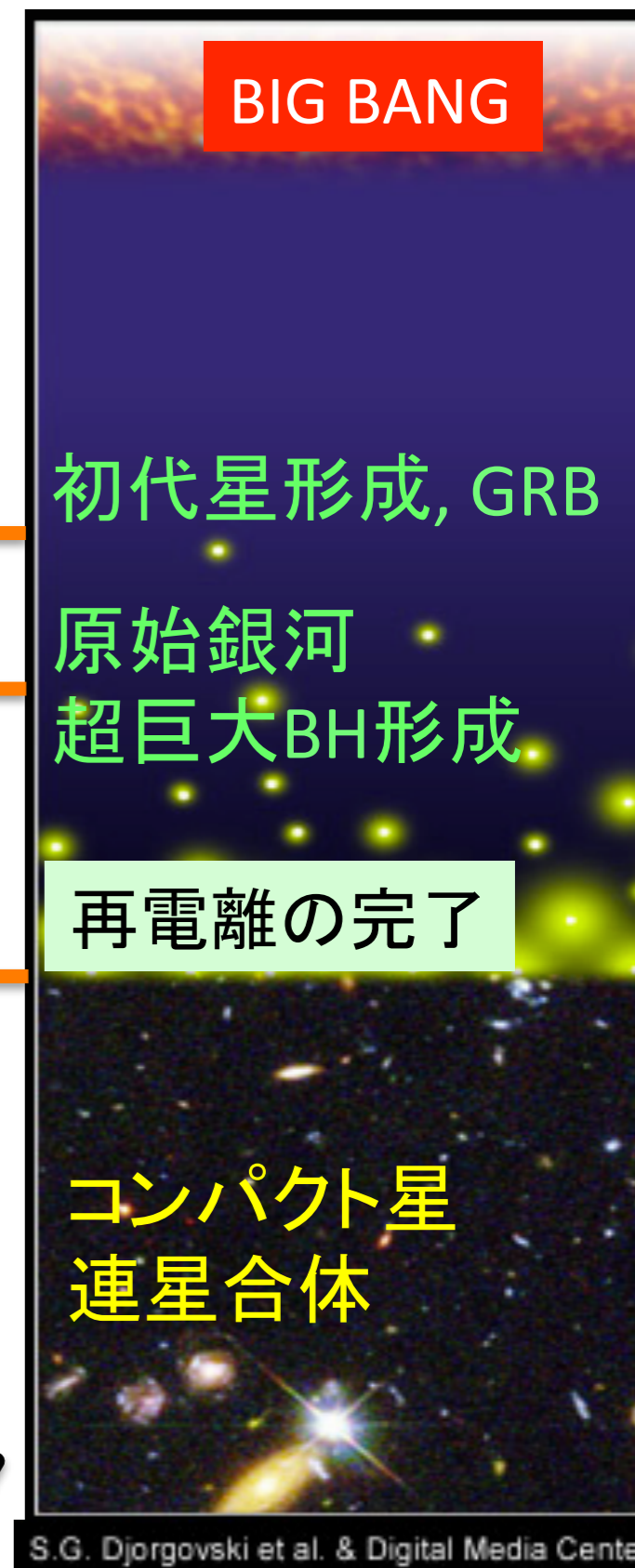
★ 初代星

- ・ ゼロ金属量の始原ガスから形成される.
- ・ 現在の星より大質量 $\sim 10-10^3 M_{\odot}$.

➡ Pop III GRBの観測的特徴と可能性を議論.

- ・ 星風による質量損失が小さい.
→ H, He 外層をもつ半径の大きな親星.
親星の違いがどう反映されるか.

現在
137億



2. Population III GRB

計算モデル

Suwa & Ioka 2011
Nakauchi et al. 2012

✓ Pop III 親星モデル: $40, 70M_{\odot}$, $Z = 0$. Woosley et al. 2002

- 大きな水素外層をもつ, 青色超巨星(BSG).
- 半径はWR星の ~ 100倍.

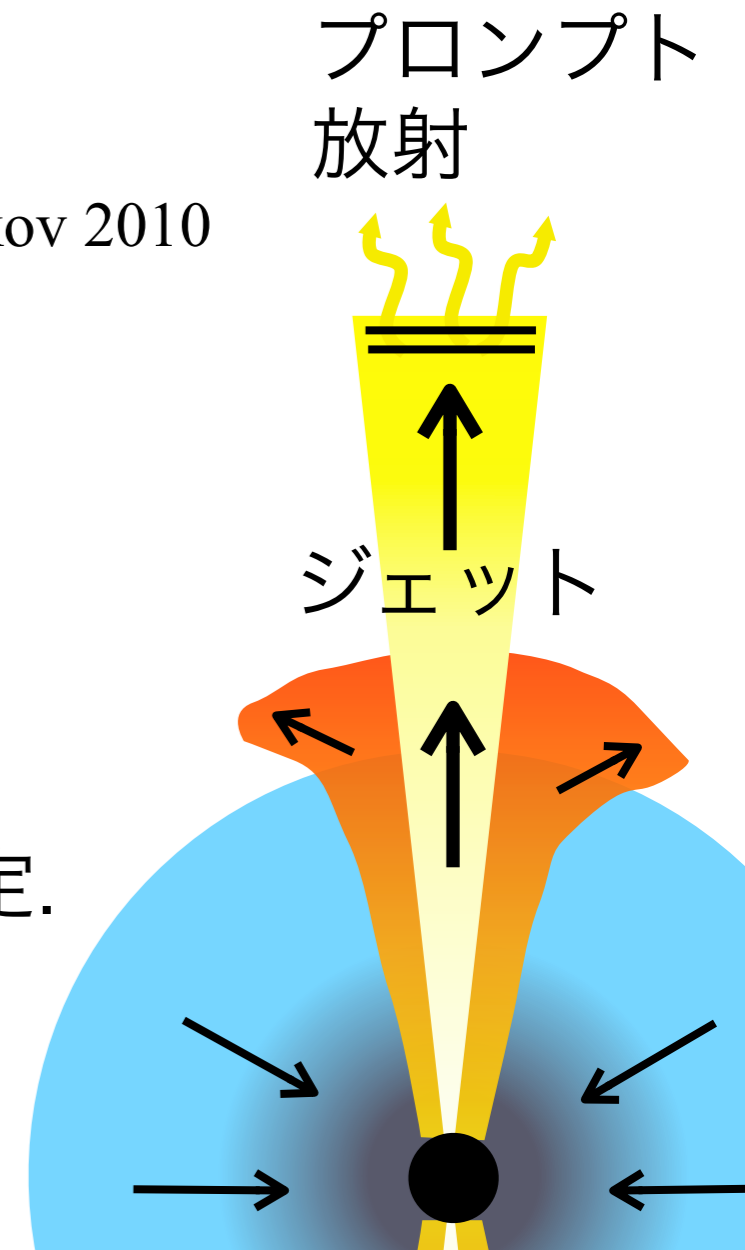
✓ ジェットモデル: → ジェット伝播を計算.

$$\theta_j = \text{const.}, \quad L_j(t) = \eta_j \dot{M}(t) c^2. \quad \text{Komissarov \& Barkov 2010}$$

$$\dot{M} = dM_r/dt_{\text{ff},r} : \text{球対称, 自由落下}$$

✓ 放射モデル: → ジェット貫通後の諸量を計算.


- 放射効率: ϵ_{γ} $L_{\text{iso}}(t) = \epsilon_{\gamma} (2/\theta_j^2) L_j(t)$
- $E_p - L_p / E_p - E_{\gamma, \text{iso}}$ 関係, Band スペクトルを仮定.
- 各パラメタは観測で得られた典型値を用いる.







Pop III GRB -観測的特徴-

Nakauchi et al. 2012

	Long GRB		Pop III GRB ($z = 9$)
T_{90} [s]	10^{1-3}	<	6×10^4
$E_{\gamma,iso}$ [erg]	10^{52-54}	<	10^{54}
L_p [erg s $^{-1}$]	10^{52-53}	>	6×10^{50}

- ★特徴
- ・ **とても長い継続時間.**
 - ・ 大きめの放射エネルギー.
 - ・ 小さめの放射光度.  Swift衛星での検出は難しい.
将来衛星での観測可能性を議論.
- Suwa & Ioka 2011

- ★理由
- ・ 高赤方偏移
 - ・ 大きな水素外層の降着
→ 中心エンジンの活動時間を長びかせられる.
 - ・ 大きな半径  ジェット貫通時間   L_{jet} 

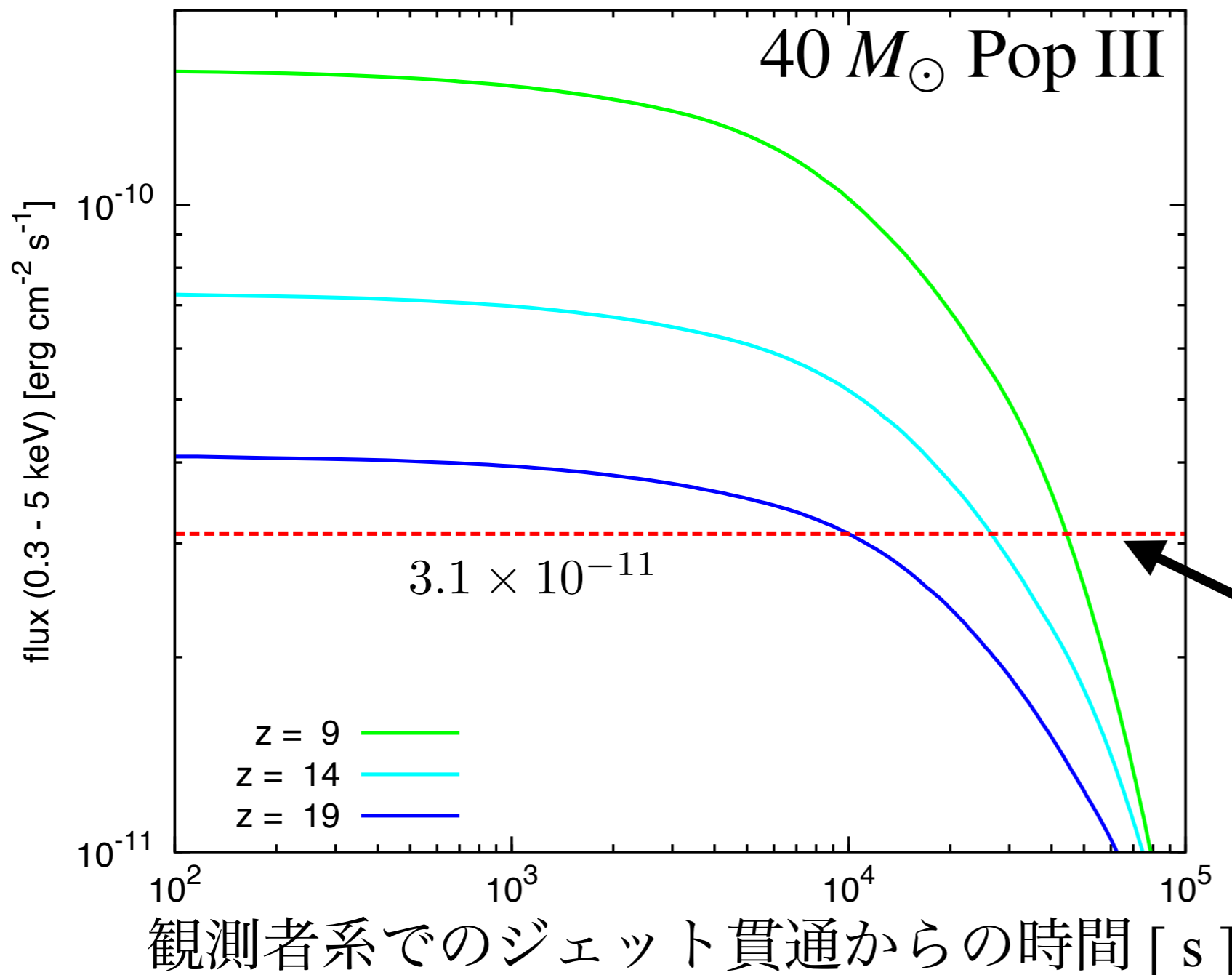
観測可能性: $E_p - L_p$ 関係の場合

Yonetoku et al.
2004

Pop III GRB = ultra-long X-ray flash

$E_p^{\text{obs}} \sim 5 \text{ keV} @ z \sim 9 \rightarrow$ Lobster衛星の観測帯域.

Gehrels et al. 2012



- $z \sim 19$ まで検出可能.
- GRBがLobsterの視野に入ると,
~450秒間観測される.

5 σ sensitivity
exposure time / pointing
~ 450 s \ll event duration

Nakauchi et al. 2012

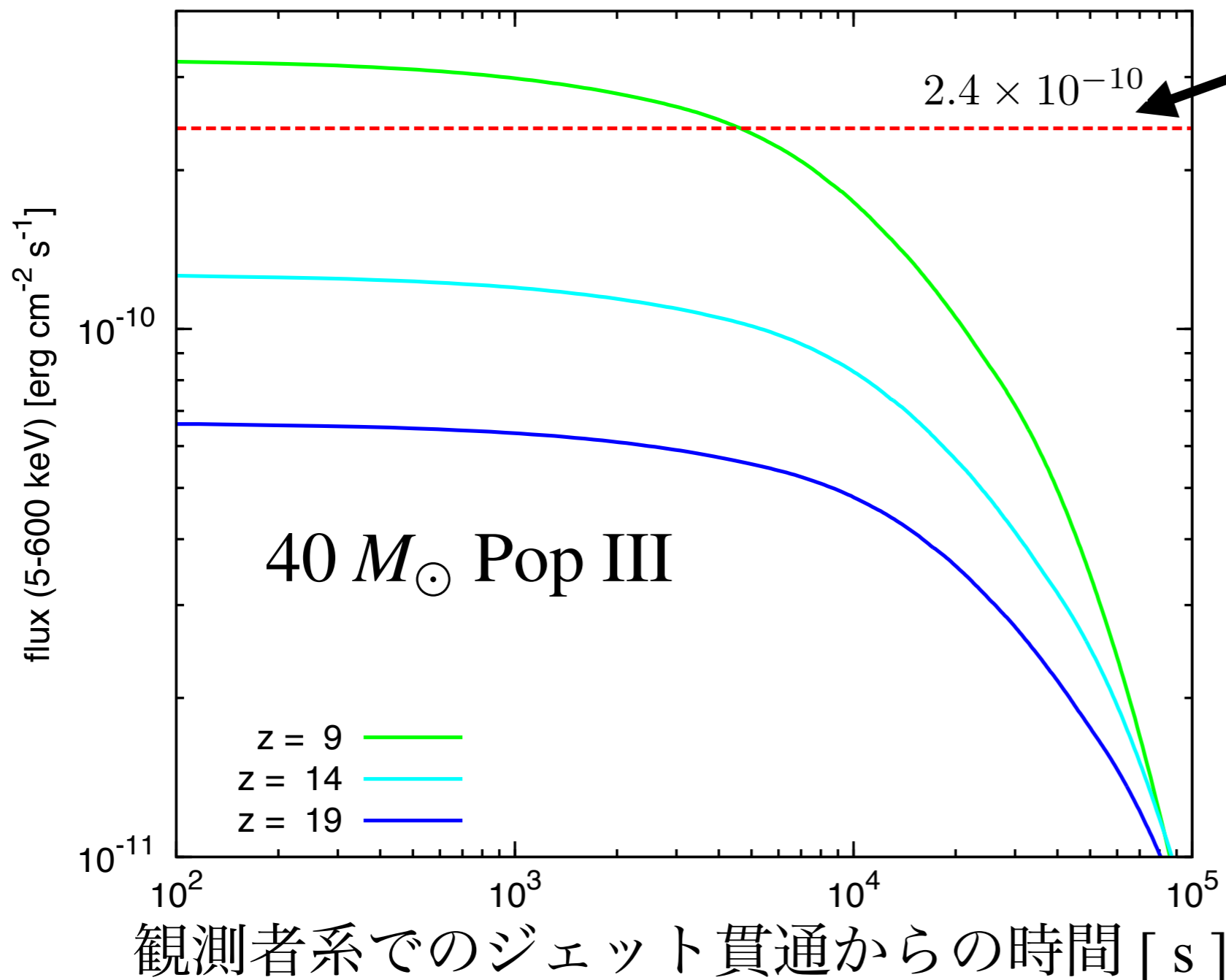
観測可能性: $E_p - E_{\gamma,iso}$ 関係の場合

Amati et al.
2002

Pop III GRB = ultra long X-ray rich GRB

$E_p^{obs} \sim 120 \text{ keV} @ z \sim 9 \rightarrow$ **EXIST**衛星の観測帯域.

Hong et al. 2009

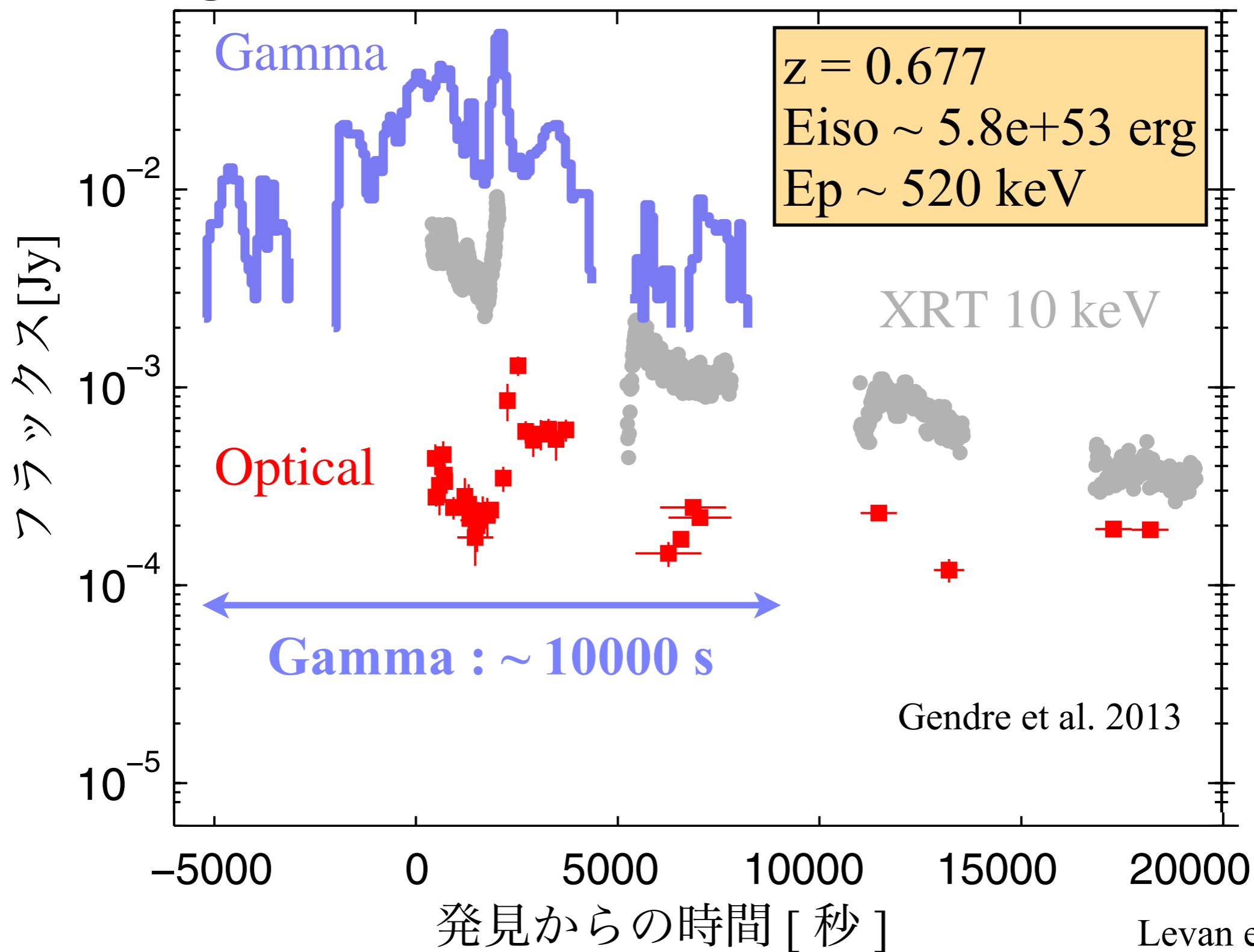


5 σ sensitivity
exposure time / pointing
~ 510 s \ll event duration

- $z \sim 9$ まで検出可能.
- GRBがEXISTの視野に入ると,
~510秒間観測される.

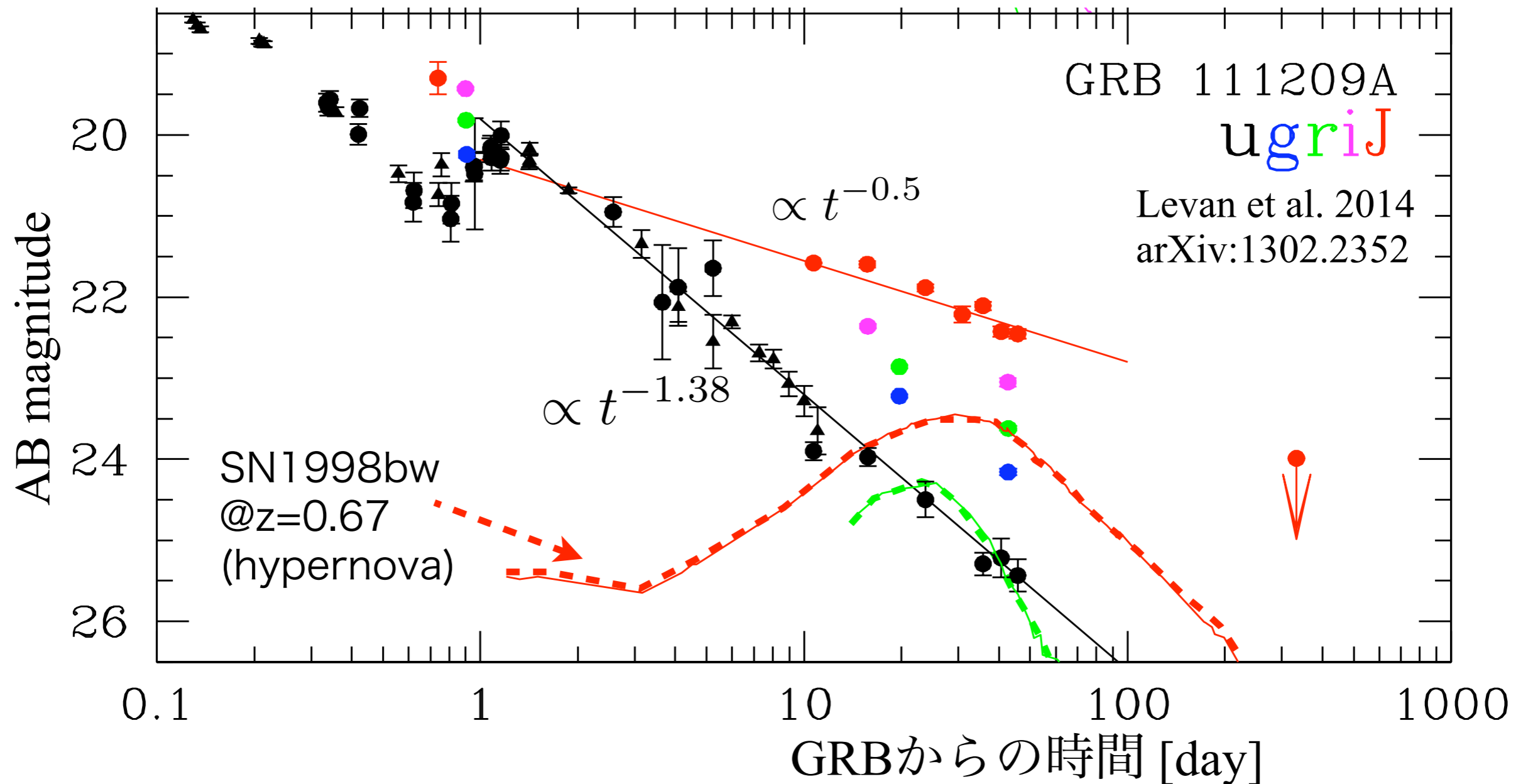
Nakauchi et al. 2012

Ultra-long GRB111209A: 観測史上最長のGRB



他に101225A, 121027A, 130925A; **Ultra-Long GRB.**

紫外-赤外帯域における明るいSN的成分



✓ X/UV: 通常のベキ的減衰.

(Spectrum not taken.)

✓ Opt/IR: 明るいSN的成分の存在 ~ SN×10倍に匹敵.

➡ 青色超巨星 (BSG) モデルの範囲内で説明可能か調べる.

3. ULGRBの青色超巨星モデル

ジェット伝播とコクーン形成

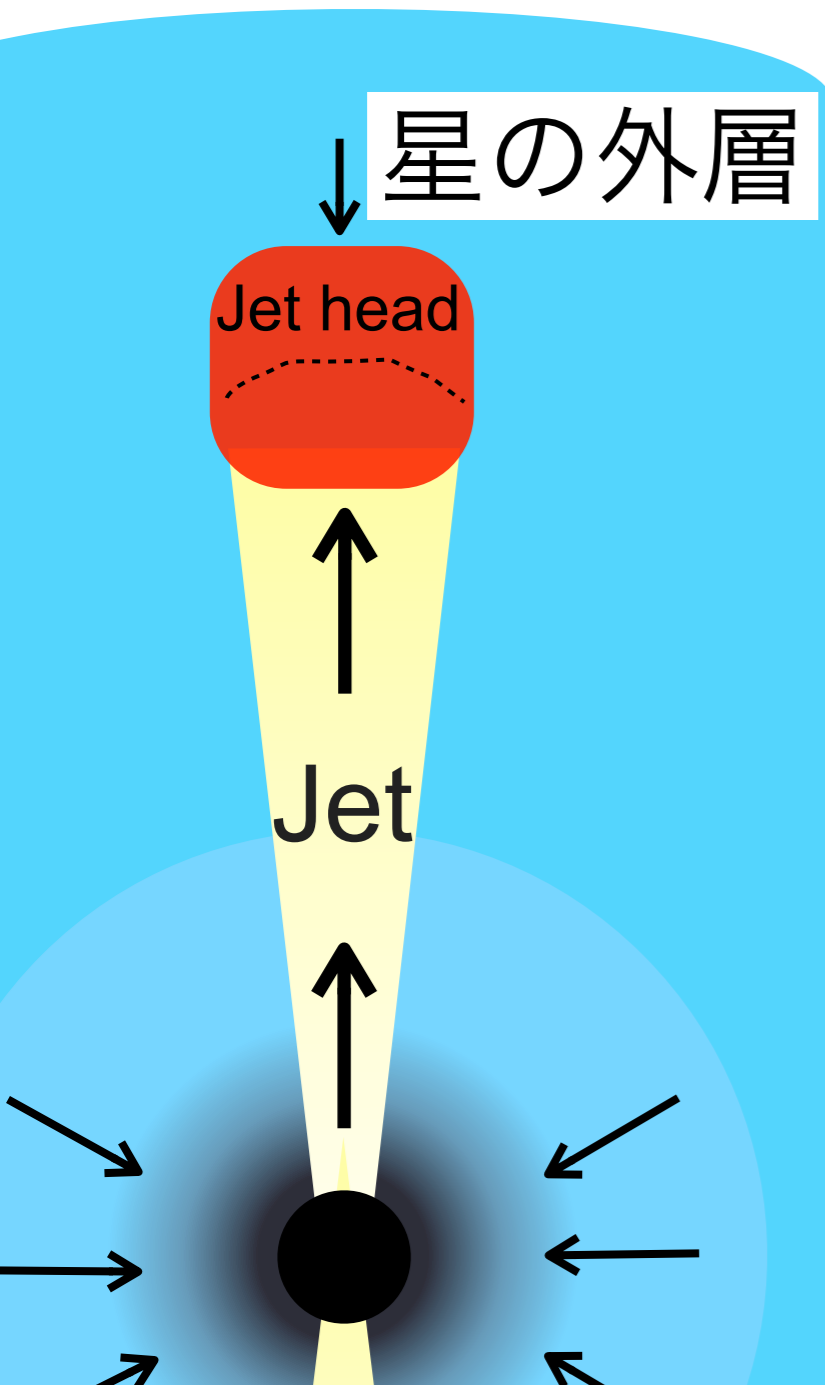
Matzner 2003,
Suwa & Ioka 2011
Nagakura et al. 2012
Nakauchi et al. 2012

Shocked jet head

Slow jet head $\beta_h \sim 0.1$



- Jet head の物質が水平方向に膨張できる, コクーン形成.



ジェット伝播とコクーン形成

Matzner 2003,
Suwa & Ioka 2011
Nagakura et al. 2012
Nakauchi et al. 2012

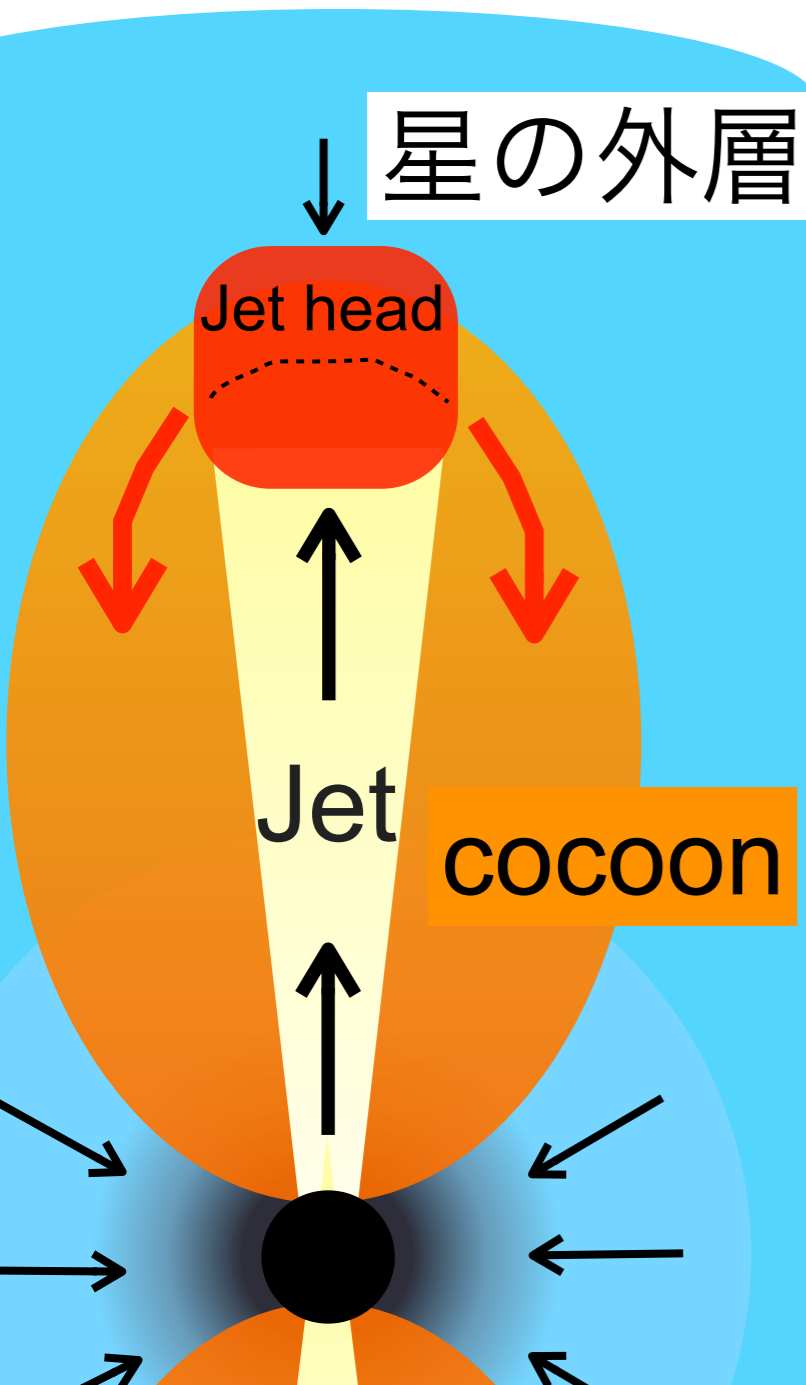
Shocked jet head

Slow jet head $\beta_h \sim 0.1$



• Jet head の物質が水平方向に膨張できる, コクーン形成.

- 星の中ではジェットのエネルギーはコクーンに溜められ, コクーンは膨張する.
- Jetとともに, コクーンも星を貫通する.



ジェット伝播とココーン形成

Matzner 2003,
Suwa & Ioka 2011
Nagakura et al. 2012
Nakauchi et al. 2012

Shocked jet head
Slow jet head $\beta_h \sim 0.1$



• Jet head の物質が水平方向に膨張できる, ココーン形成.

- 星の中ではジェットのエネルギーはココーンに溜められ, ココーンは膨張する.
- Jetとともに, ココーンも星を貫通する.



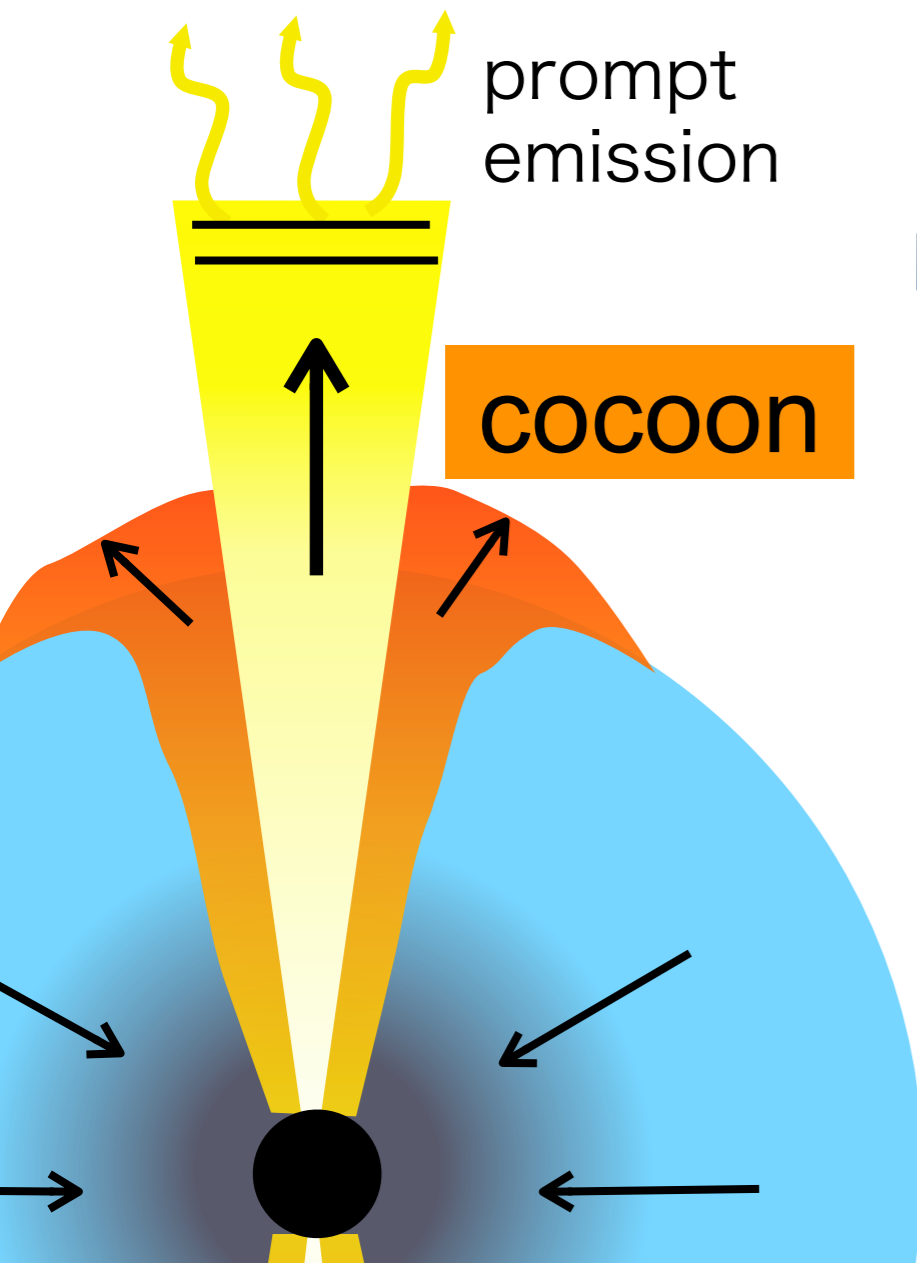
ココーン放射を考え, 明るいSN的成分を説明できるかを調べた.

- 親星モデル: 青色超巨星(BSG).

$$75 M_{\odot} \ 10^{-4} Z_{\odot} \quad \text{Woosley et al. 2002}$$

- Jet 伝播を計算, ココーンが最終的にもつエネルギー・質量を評価.

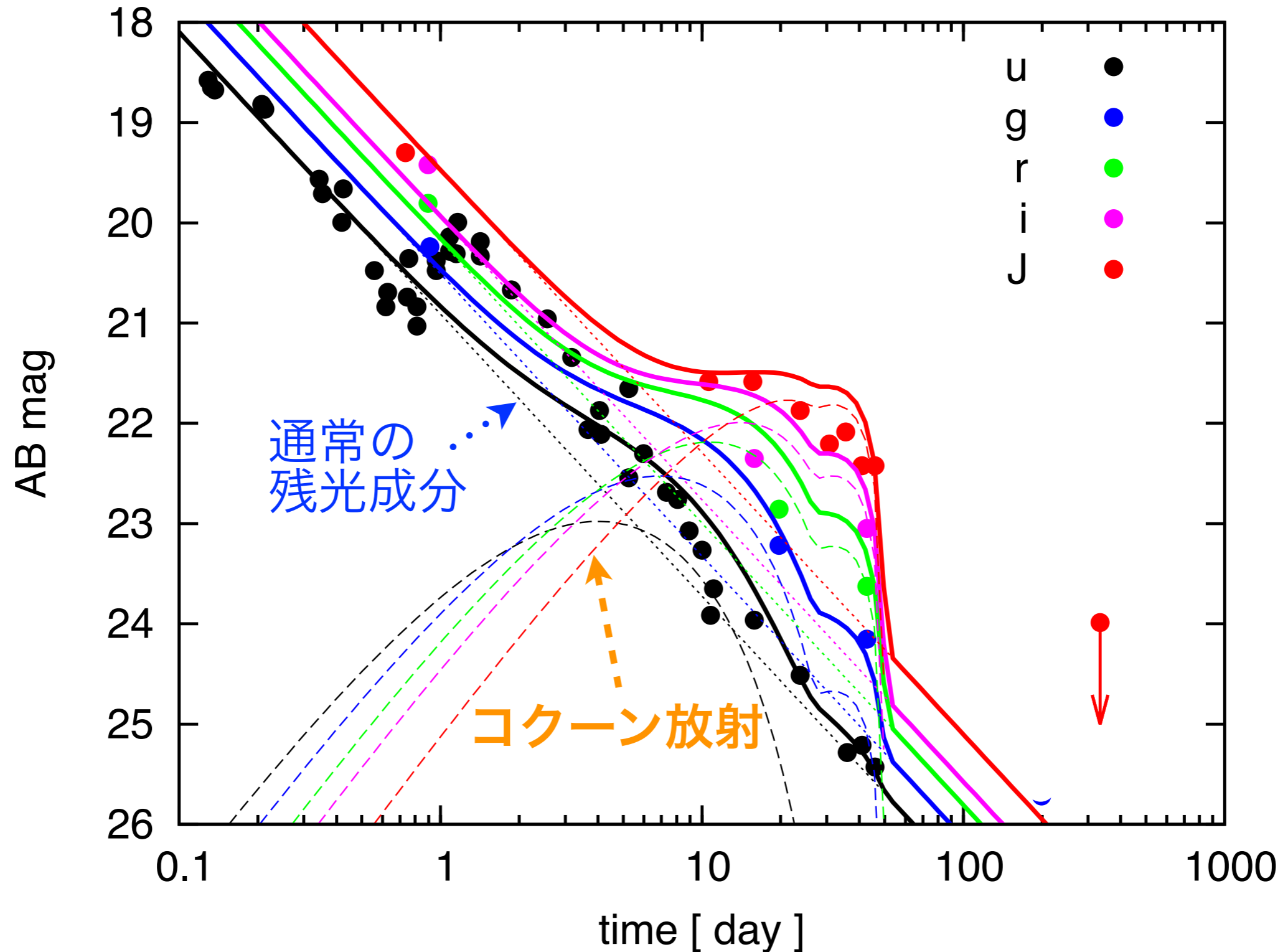
$$E_c \sim 10^{53} \text{ erg} \quad M_c \sim 6 M_{\odot}$$



GRB 111209A

Nakauchi et al. 2013

コクーン放射により明るいSN的成分を無矛盾に説明できた。



*パラメタ: プロンプト, 残光の観測を再現するようフィット.

4. Summary & Discussion

Summary & Discussion

- ✓ GRBは遠方宇宙を探る重要な手段の1つ.
 - ✓ Pop III GRBの観測的特徴と観測可能性を議論した.
 - ✓ Pop III GRBはとても長い継続時間をもつ.
 - ✓ 将来観測衛星で $z \sim 10$ のGRBも観測されるだろう.
 - ✓ Pop III GRBと似た性質をもつULGRBの発見.
 - ✓ コクーン放射で明るいSN的成分を無矛盾に説明.
 - ✓ Pop III GRBにも明るいSN的成分の付随が期待される.
 - Pop III 親星モデルでコクーン放射を計算. [Kashiyama, DN et al. 2013](#)
 - コクーン放射起源のSN的成分はJWSTで $z \sim 15$ まで観測可能.
- ➡ Pop III GRB + 明るいSN的成分の同時観測が有用かもしれない.