

ガンマ線観測による 星・銀河形成史

河合 誠之 (東工大理)

- **ガンマ線観測 (GeV-TeV)**
 - ✓ **観測装置**
 - Air Cerenkov Telescope
 - GLAST
 - ✓ Gamma-ray background
 - ✓ EBL (Extragalactic background light)
 - ✓ 星間物質と宇宙線の相互作用
- **ガンマ線バースト**
 - ✓ 描像:relativistic jet
 - ✓ 超新星/Collapsar
 - ✓ “Standard Candle”

 - ✓ **初期宇宙研究**
 - 初代天体
 - 星生成史
 - WHIM

GLAST

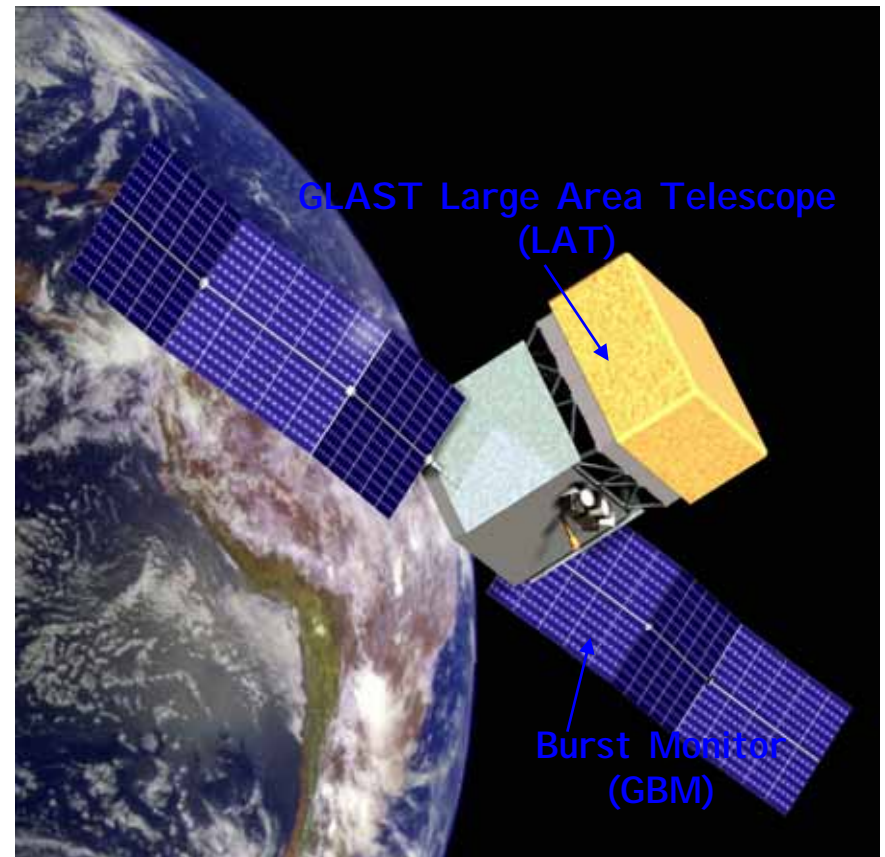
- LAT: 米・日・伊・スウェーデン、
(仏)
 - ✓ 広島大
東工大、宇宙研、理研、東大

Two GLAST instruments:

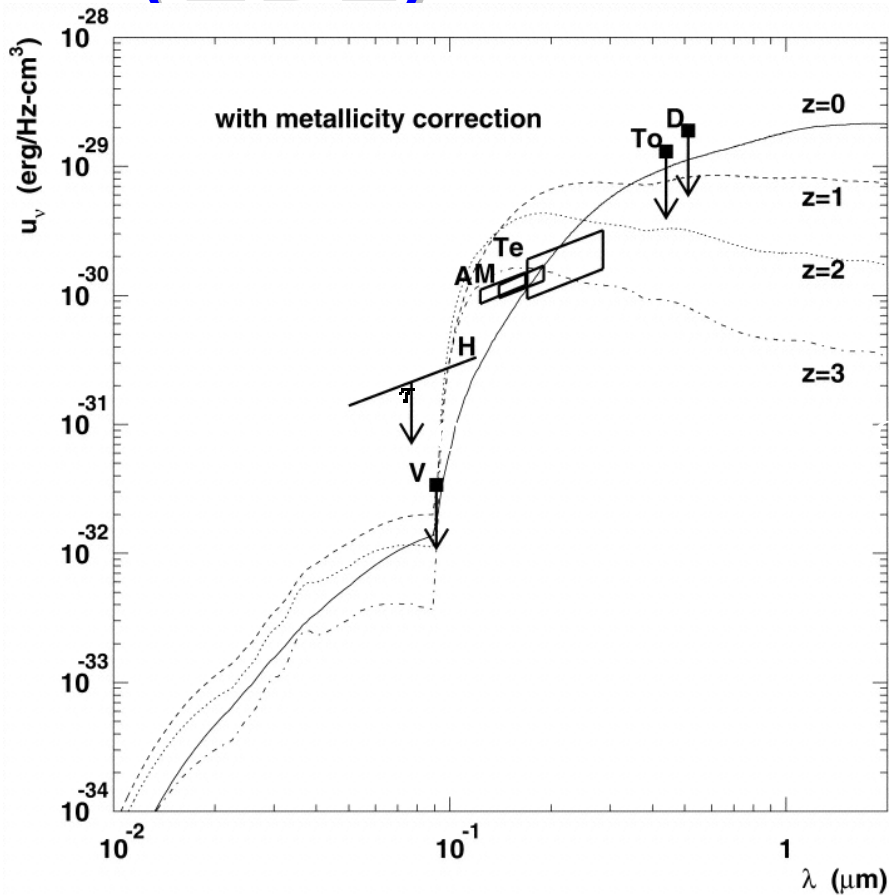
LAT: 20 MeV – >300 GeV

GBM: 10 keV – 25 MeV

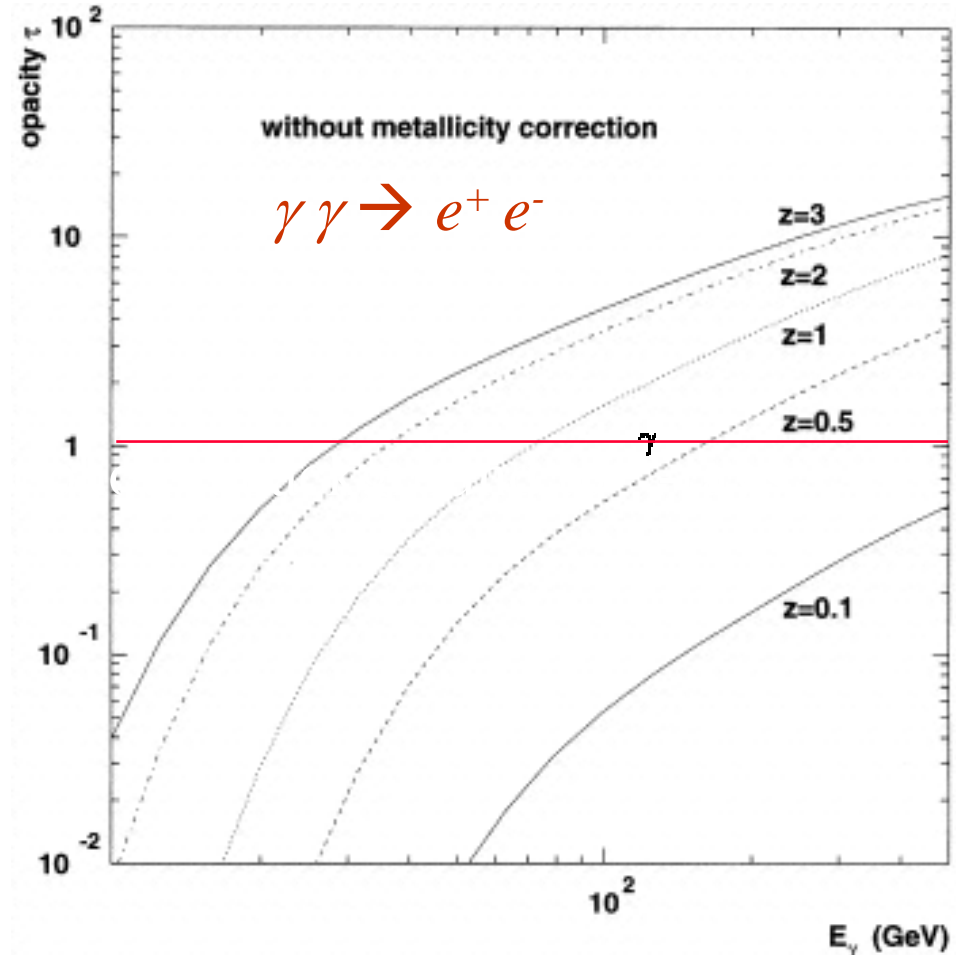
Launch: 2008



Extragalactic Background Light (EBL)



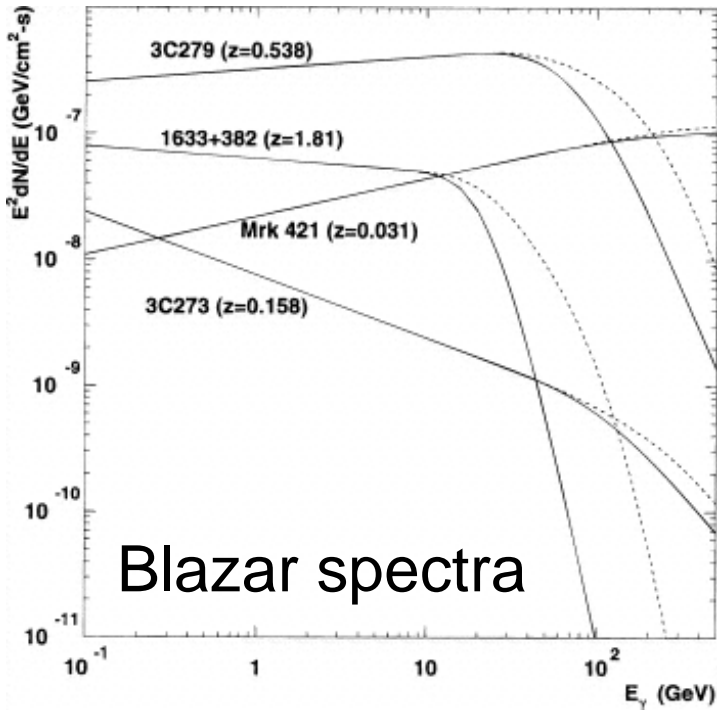
Comoving radiation energy density



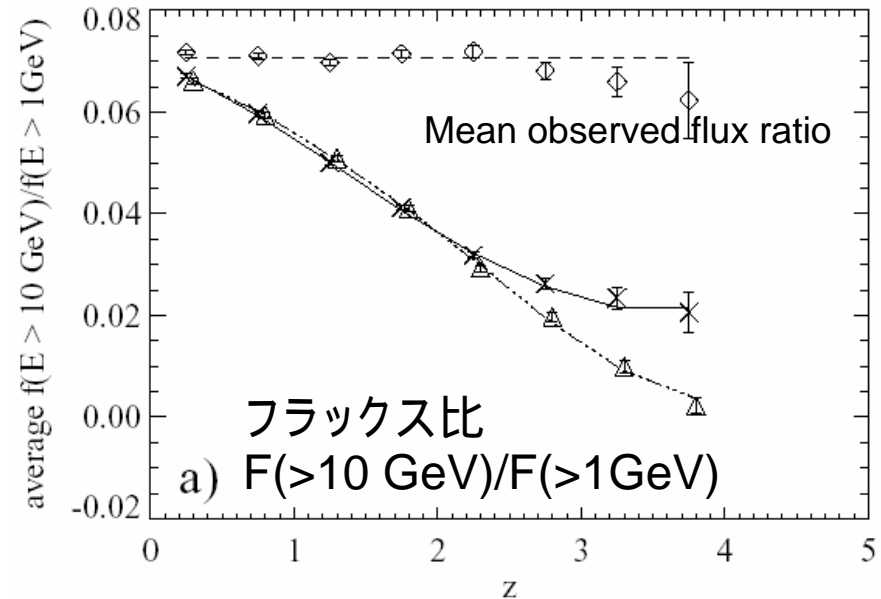
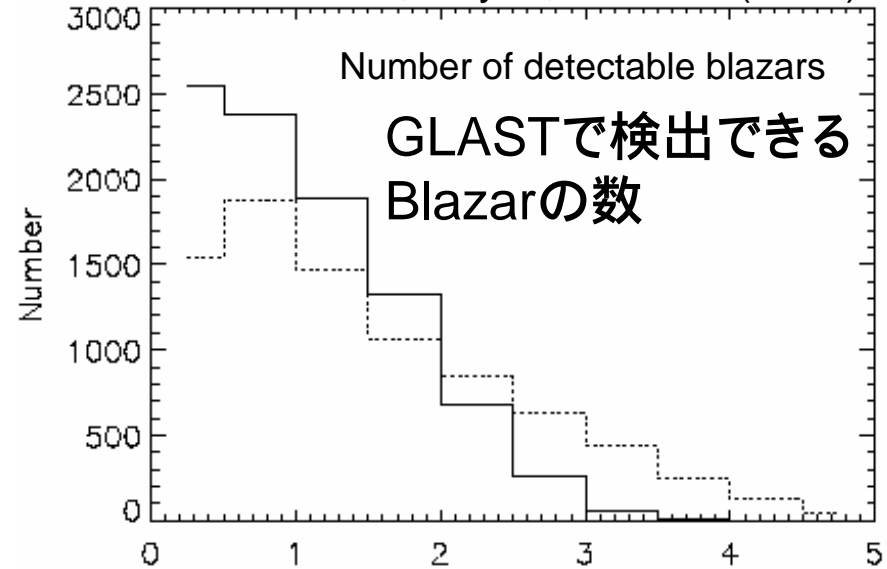
Opacity of the universal soft photon background to γ -rays

EBL effects on Blazar observations

Chen, Reyes, and Ritz (2004)



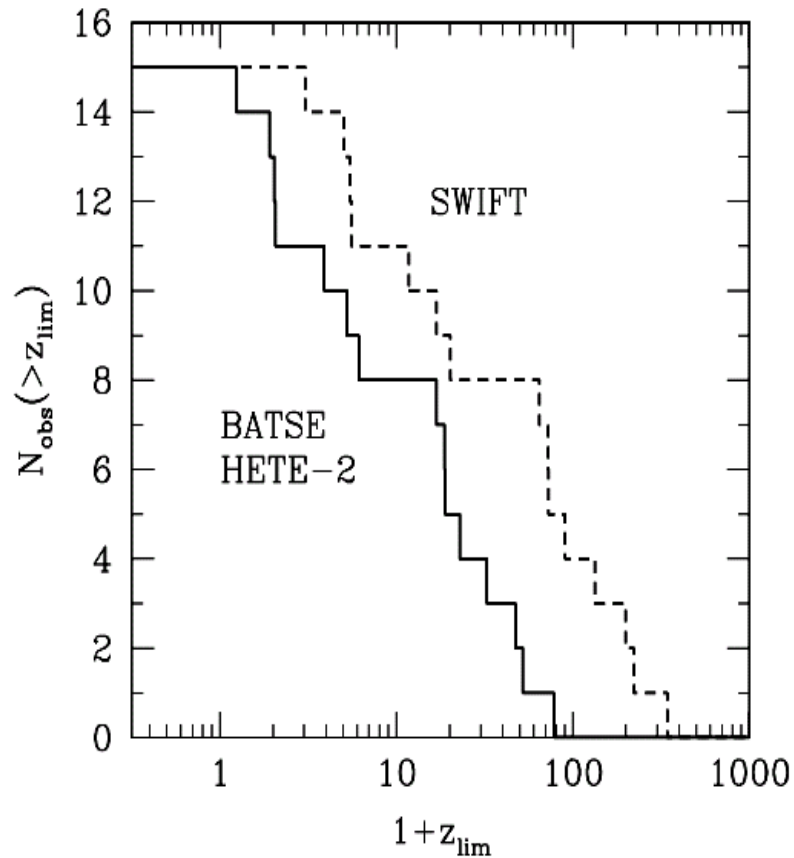
Salamon and Stecker (1998)



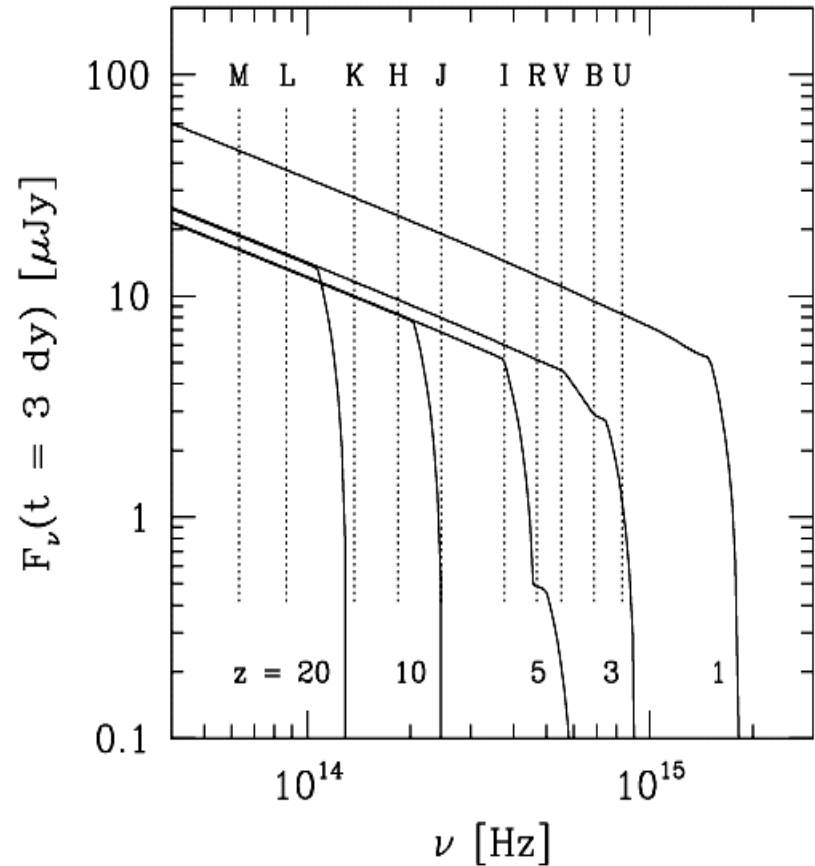
ガンマ線バースト

- X線・ガンマ線では見かけでも全天を圧倒する明るさ
 - ✓ 小型衛星でも検出可能
- 残光も直後は明るく、べき乗則で減光。
 - ✓ 小型専用望遠鏡が有用
 - ✓ 暗い母銀河の赤方偏移測定
 - ✓ 滑らかな非熱的スペクトル
- 多波長(電波～線)
ニュートリノ、重力波、宇宙線も(?)
- (大多数は)大質量星の重力崩壊起源
 - ✓ 星生成をトレース
 - ✓ 星生成銀河の目印
- 高赤方偏移($z > 20$)まで観測可能
 - ✓ 初代(種族III)の星
 - ✓ 吸収線
 - ✓ 宇宙の再電離
 - ✓ 宇宙論

Detectability of High-z GRB

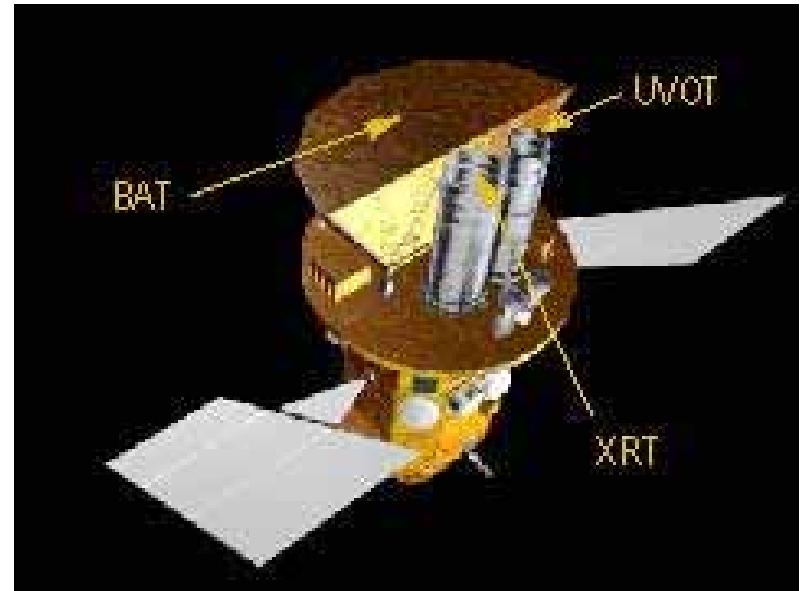


15 GRBs with well-determined redshifts



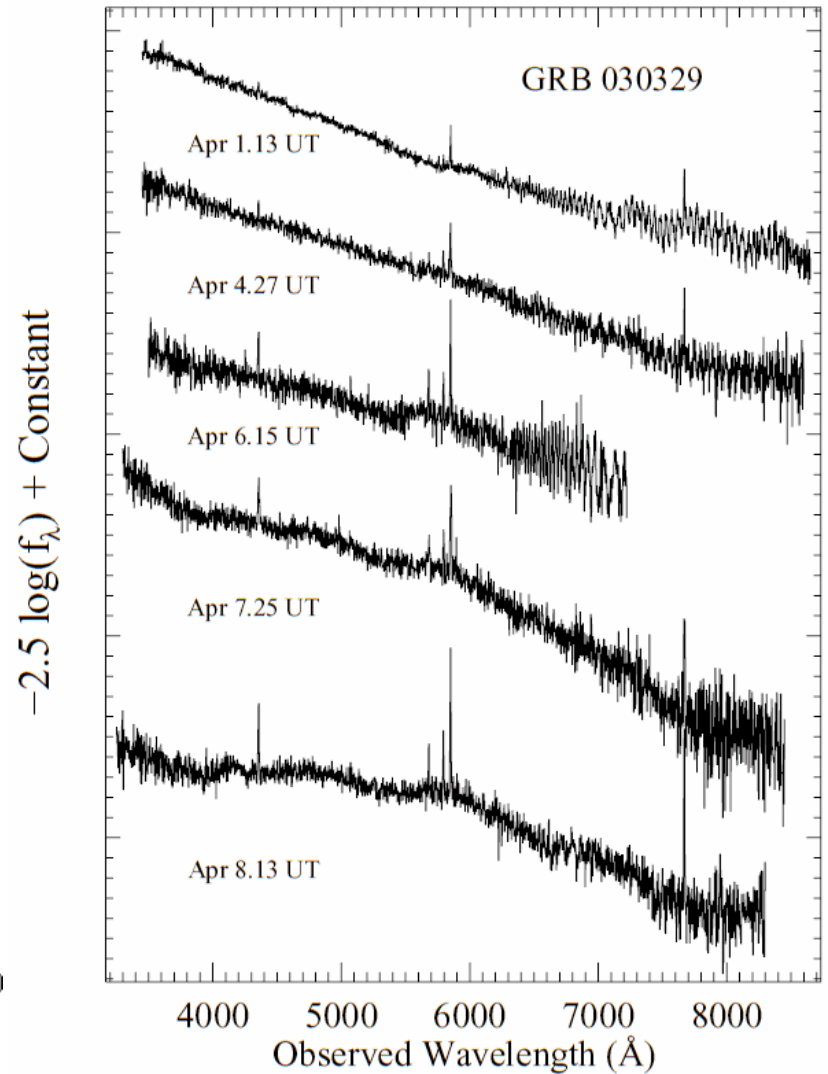
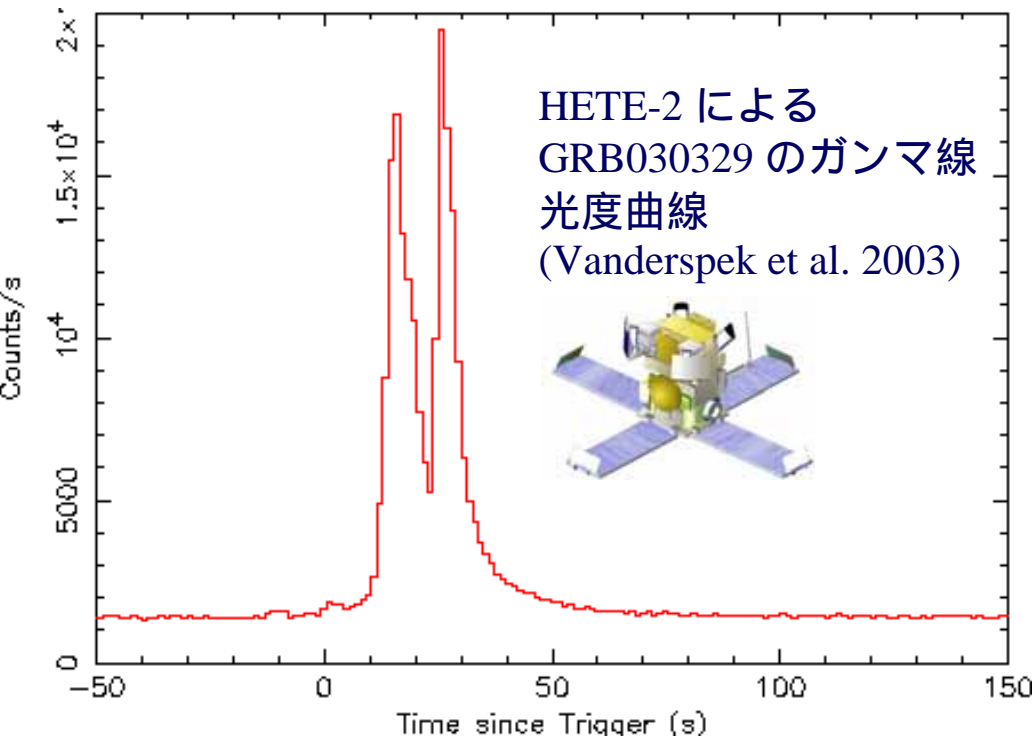
early afterglow of GRB 000131,
as observed one day after the burst

Swift



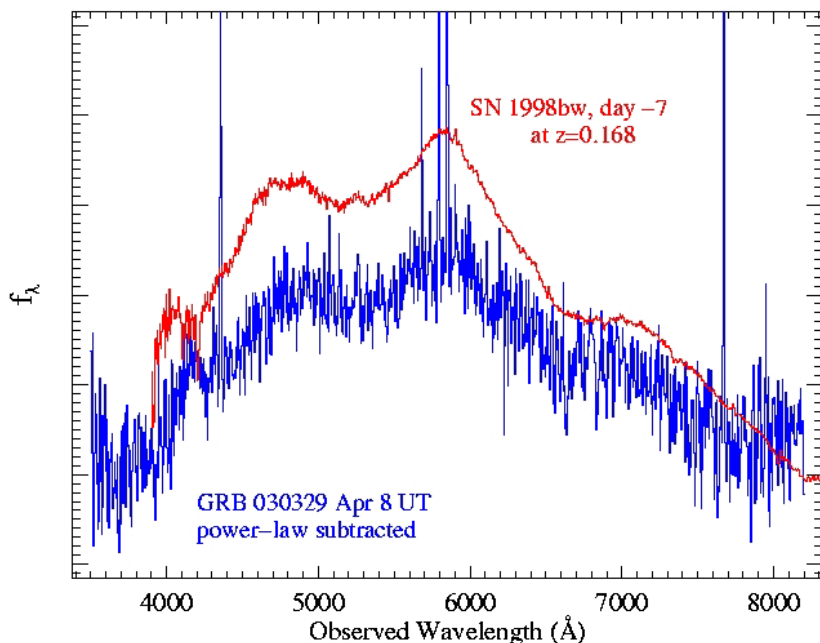
- 史上最強の 線バーストミッション
 - ✓ 2004年11月打上 ~ (+3 years)
- ~ 150 GRB observations/year
- バースト検出 + X線・光学追跡
- 現在、試験運用期間。すでに数例報告

(長い)ガンマ線バーストと 超新星の関連が確立



Stanek et al. 2003

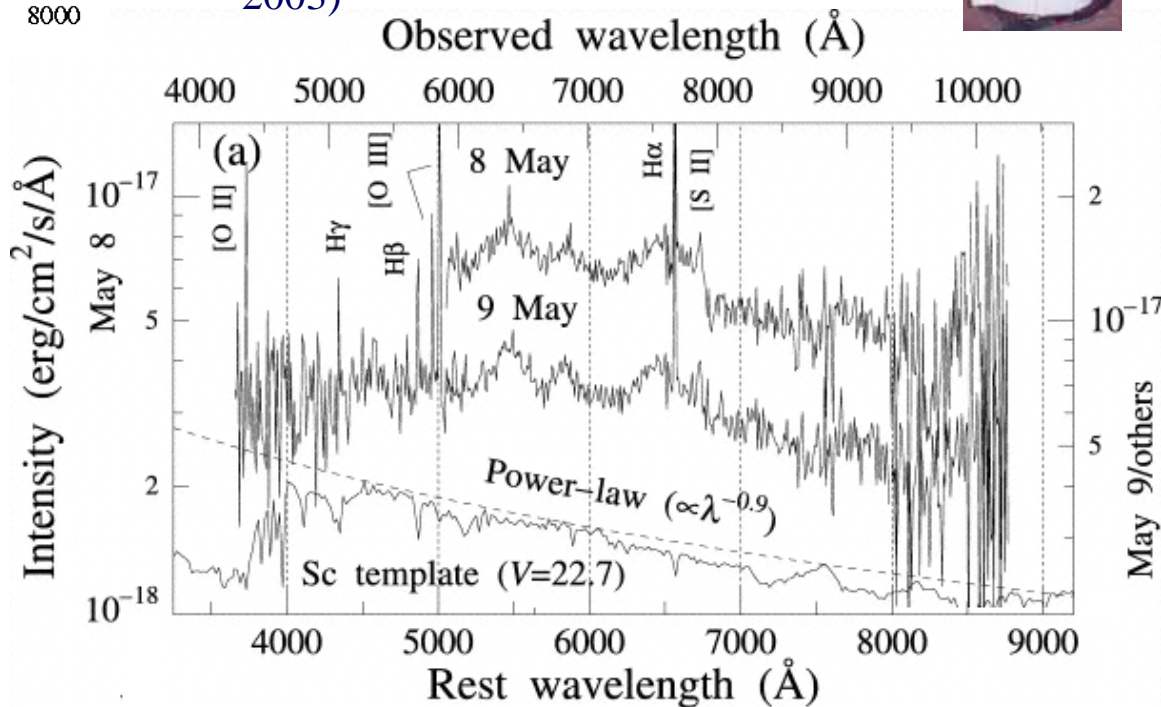
ガンマ線バースト残光に見えた超新星スペクトル



すばる望遠鏡によるGRB030329残光の可視光スペクトル (Kawabata et al. 2003)



Stanek et al. 2003
also Fynbo et al.

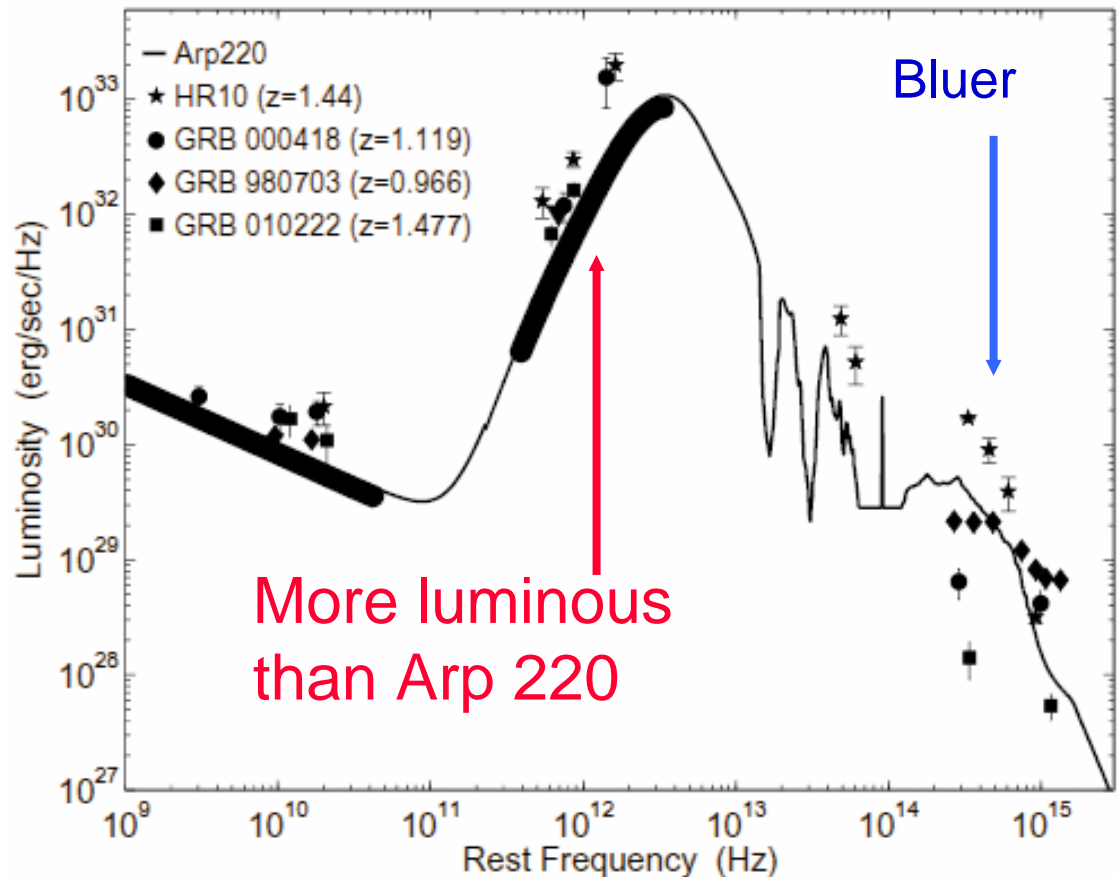


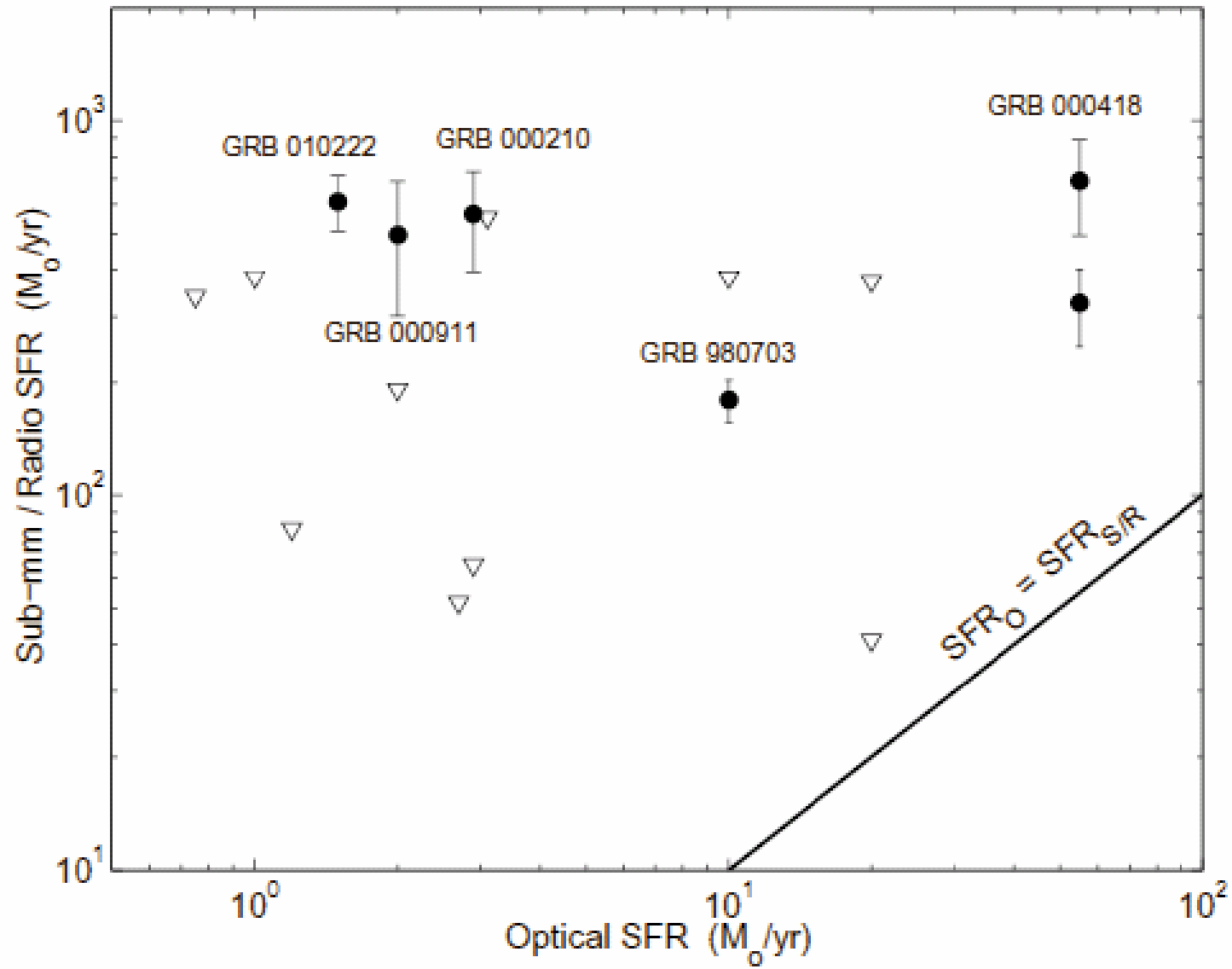
GRB Host galaxy

$$\text{SFR} \approx 10^3 M_{\oplus} \text{ yr}^{-1}$$

$$L_{\text{FIR}} \approx \text{few} \times 10^{12} L_{\odot}$$

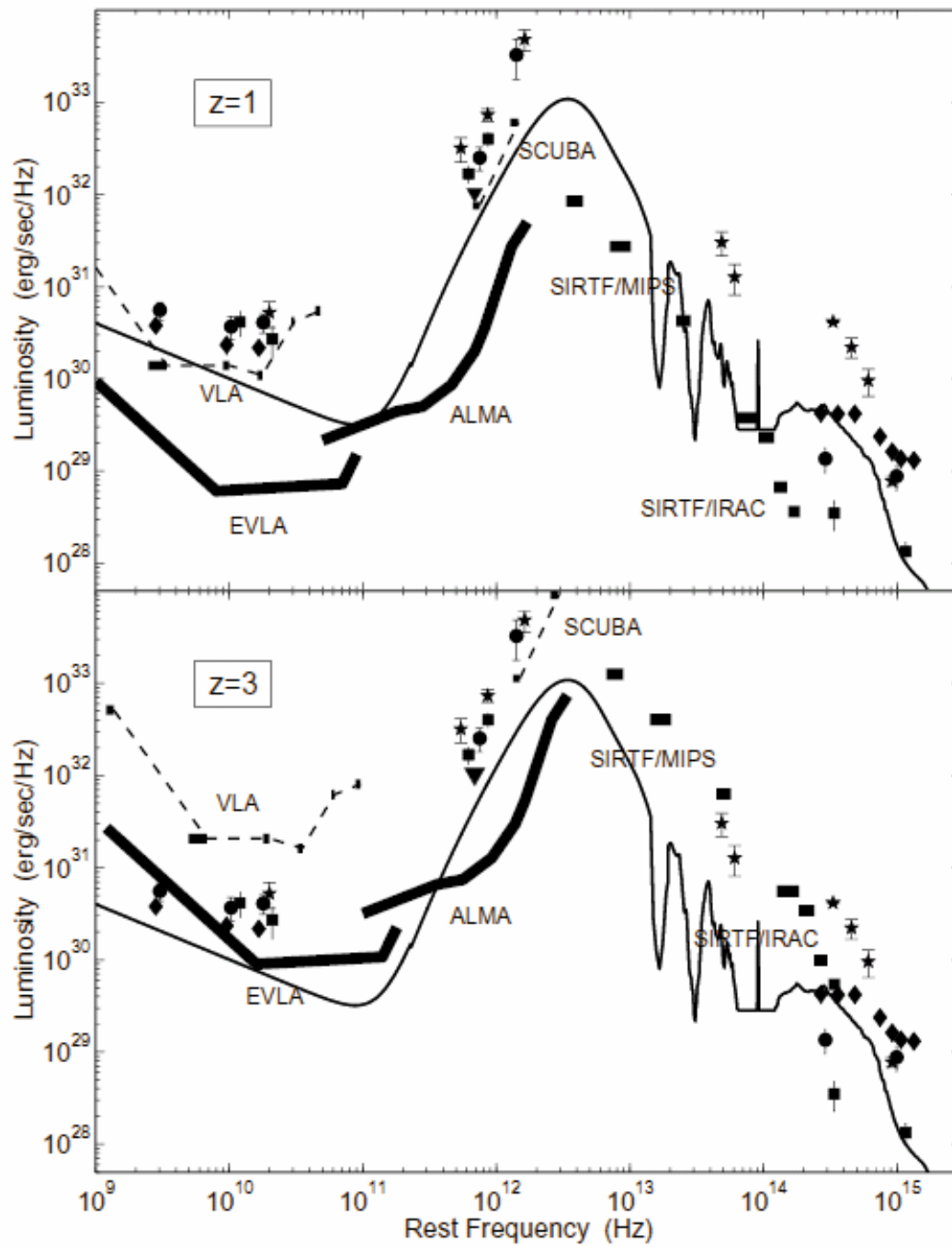
- 一般的傾向
 - ✓ 矮小銀河
 - ✓ 衝突・相互作用
 - ✓ 星生成銀河
 - ✓ 青い
 - ✓ 星生成率は同じzの標準量
- 半数近いIGRBで光学残光
 - ✓ それほどダストに隠されていない





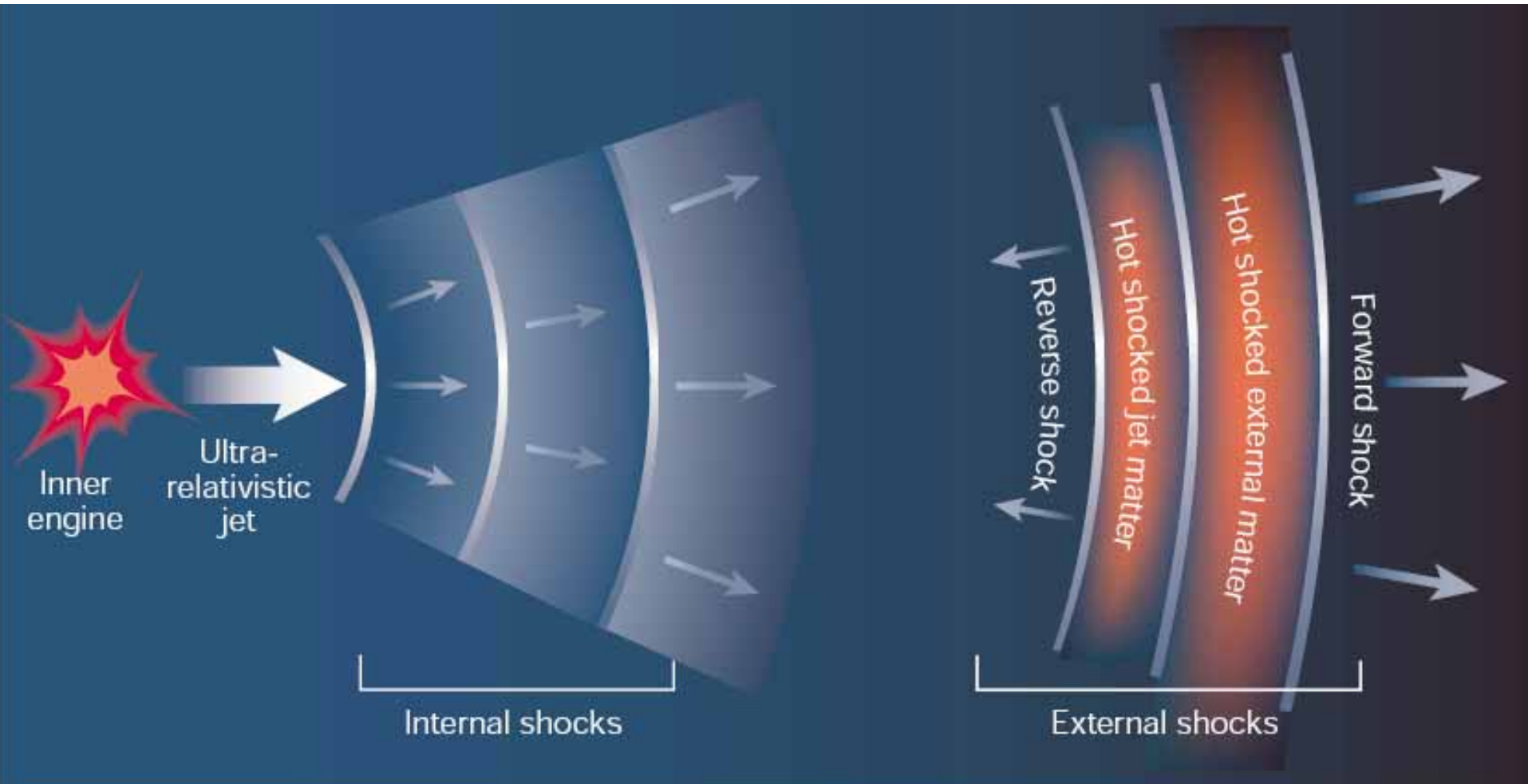
Large fraction of obscured star formation

Berger et al. 2003



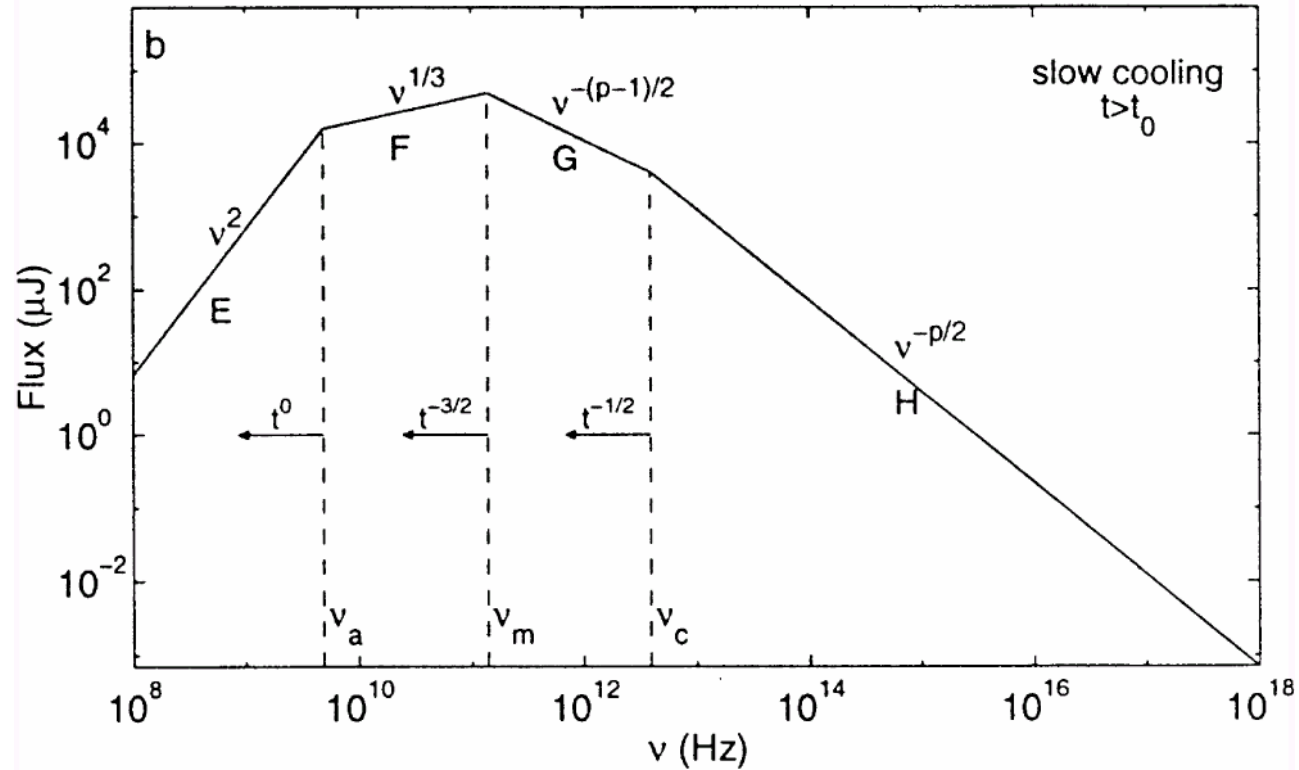
Berger et al. 2003

Fireball scenario of GRBs



Slow cooling spectrum

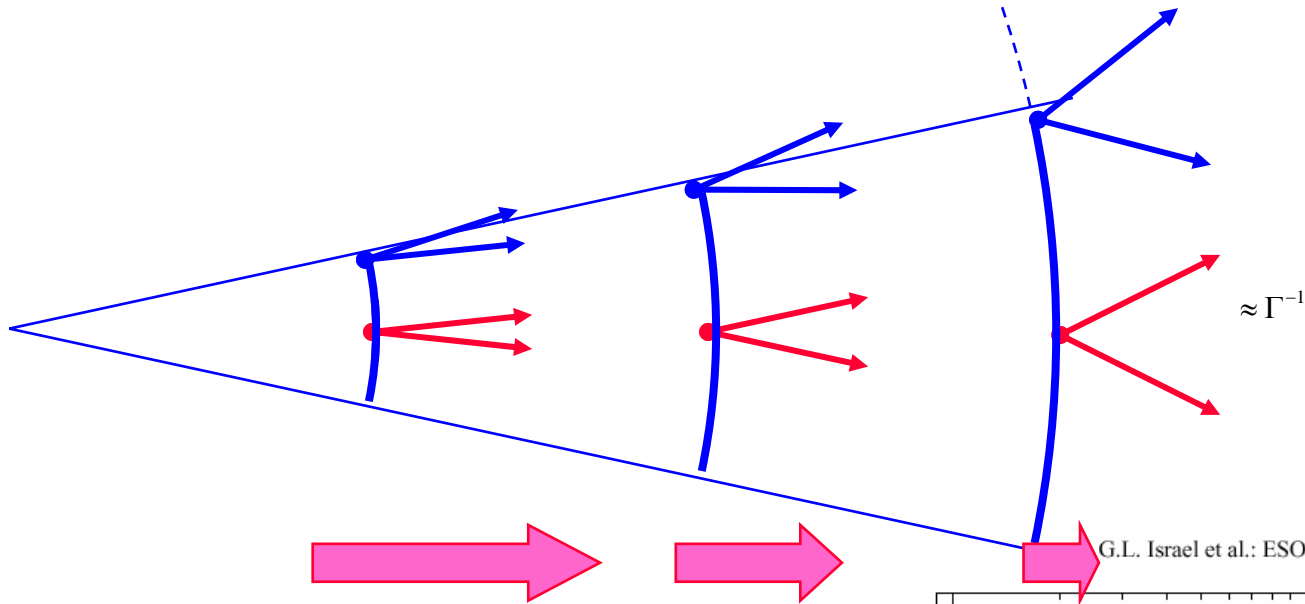
(Late afterglow)



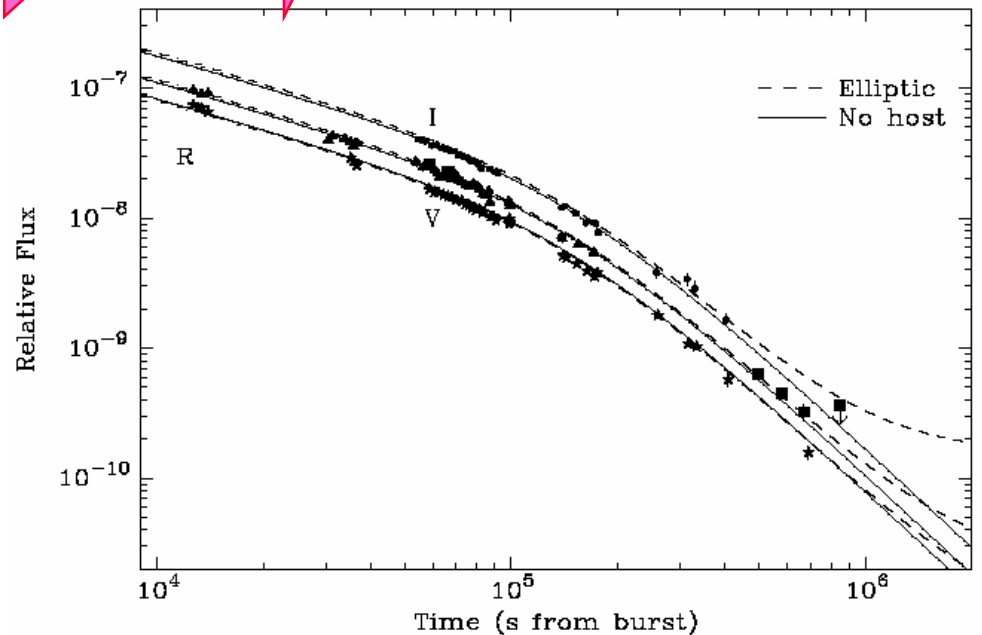
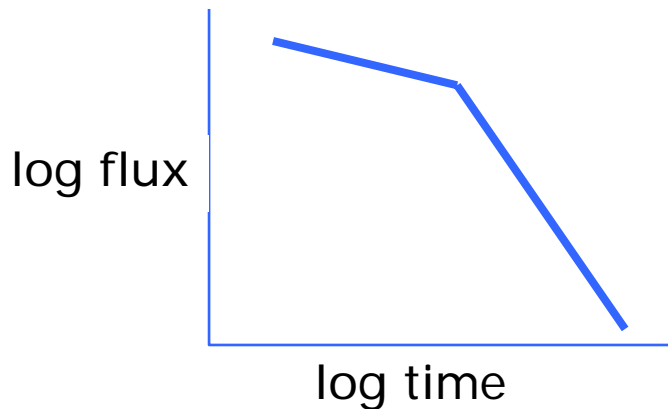
$$F_\nu \propto \begin{cases} (\nu/\nu_m)^{1/3} F_{\nu,\max}, & \nu_m > \nu, \\ (\nu/\nu_m)^{-(p-1)/2} F_{\nu,\max}, & \nu_c > \nu > \nu_m, \\ (\nu_c/\nu_m)^{-(p-1)/2} (\nu/\nu_c)^{-p/2} F_{\nu,\max}, & \nu > \nu_c. \end{cases}$$

$$\nu_m \equiv \nu_{\text{syn}}(\gamma_{e,\min}), \nu_c \equiv \nu_{\text{syn}}(\gamma_{e,c})$$

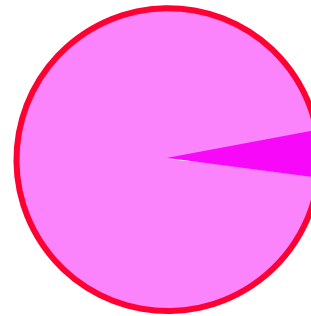
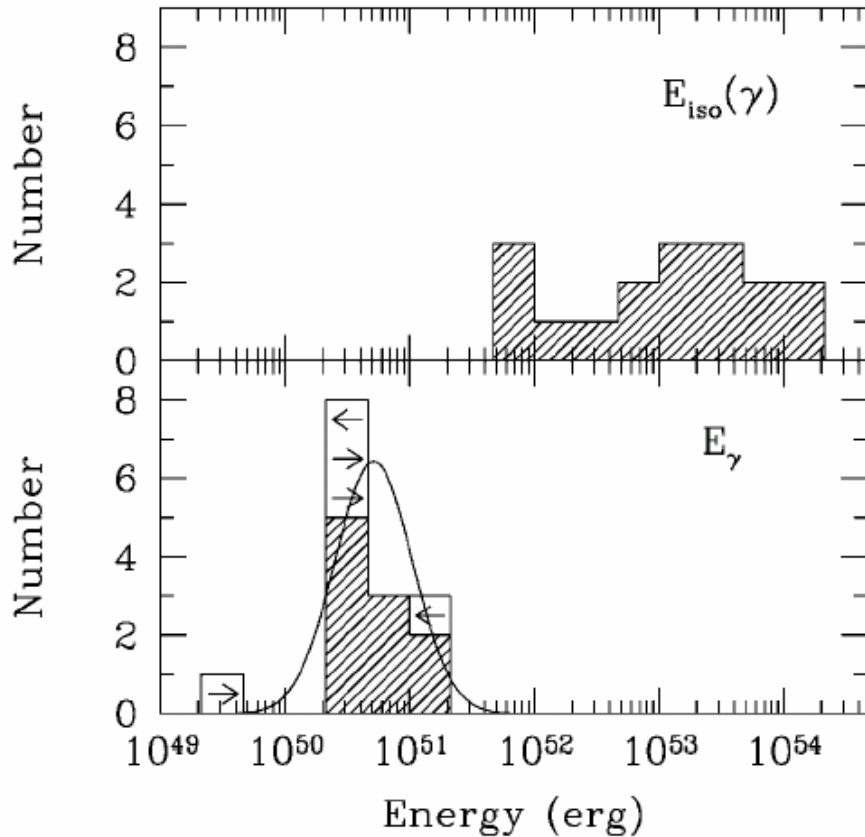
Evidence for collimation



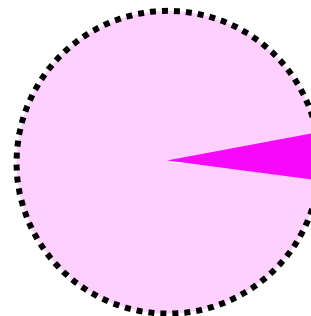
G.L. Israel et al.: ESO deep observations of the optical afterglow of GRB



“beaming-corrected” radiated gamma-ray energies



assume isotropy:
 $\log E_{\gamma}$ (erg) $\approx 51.6-54.3$



correct for beaming:
 $\log E_{\gamma}$ (erg) $\approx 50.3-51.3$

標準 線放射エネルギー！

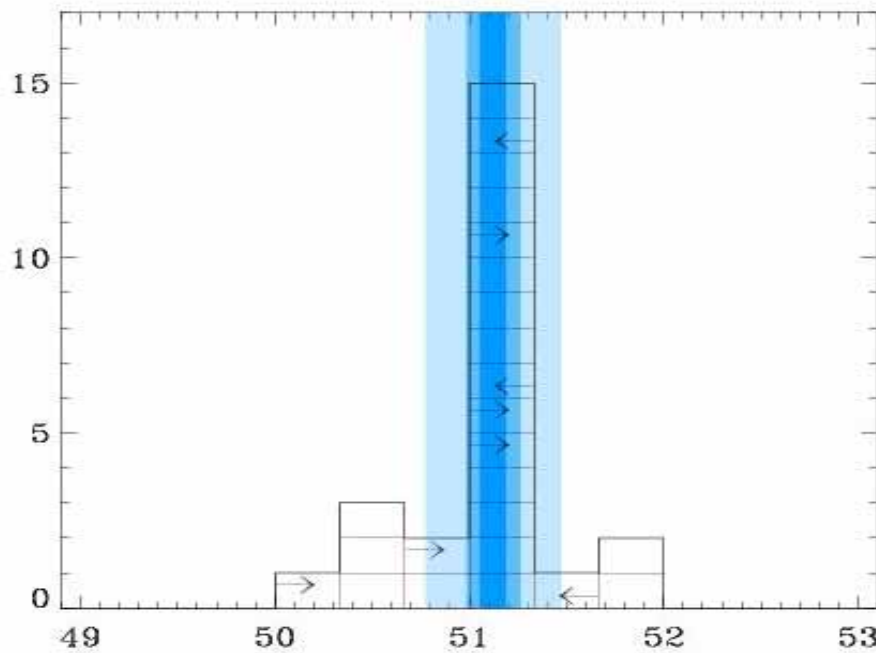
Radiated gamma-ray energy

Frail et al. 2001

GRBs Have “Standard” Energies

単一 線放射エネルギー！

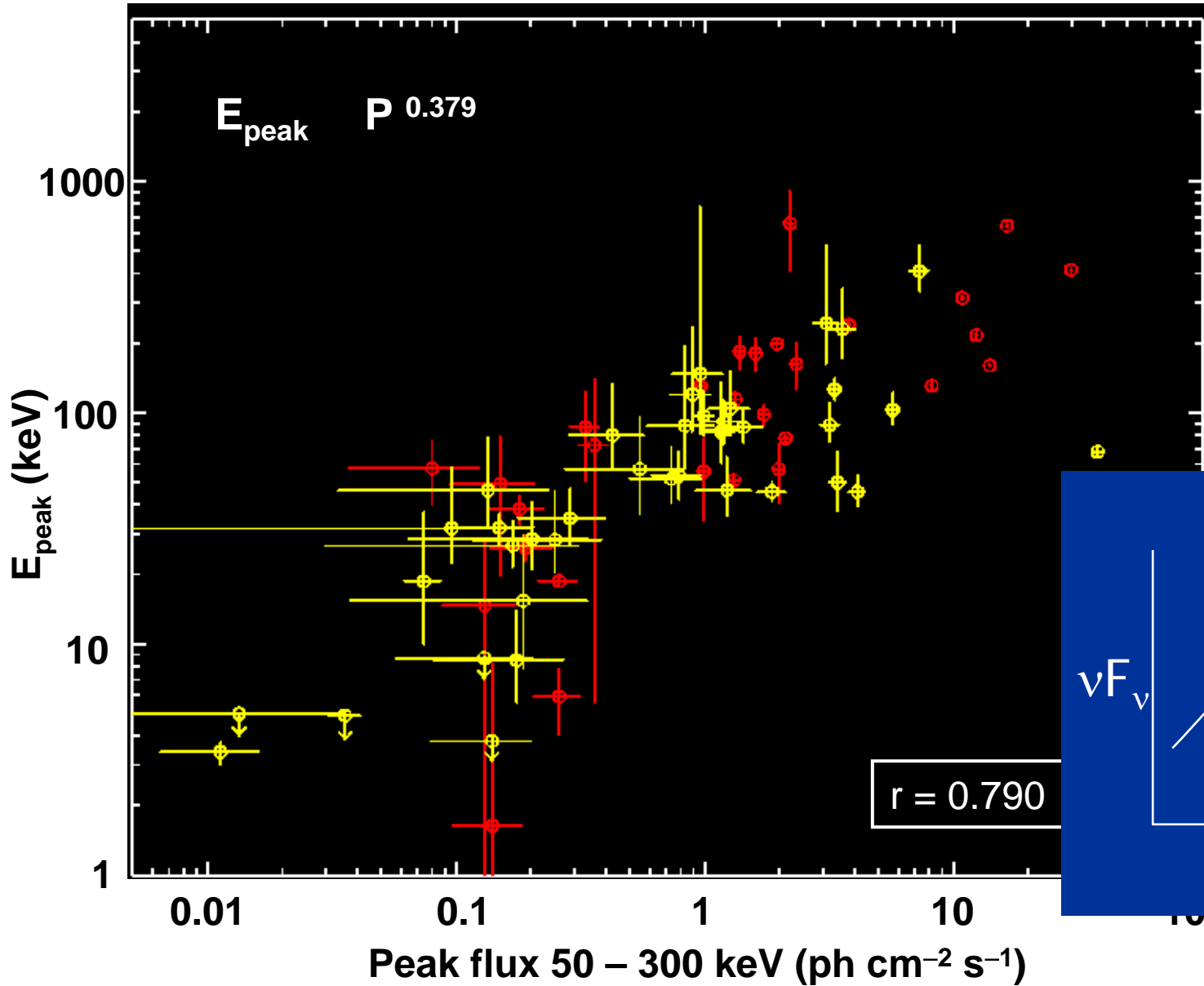
- GRBs seem to have standardizable energy.
- However,
 - There are outliers
 - Difficult to obtain bolometric flux with Swift
 - No local calibrator (cf. Type Ia SN)
 - Uncertain jet geometry
 - Application for cosmology?
maybe limited



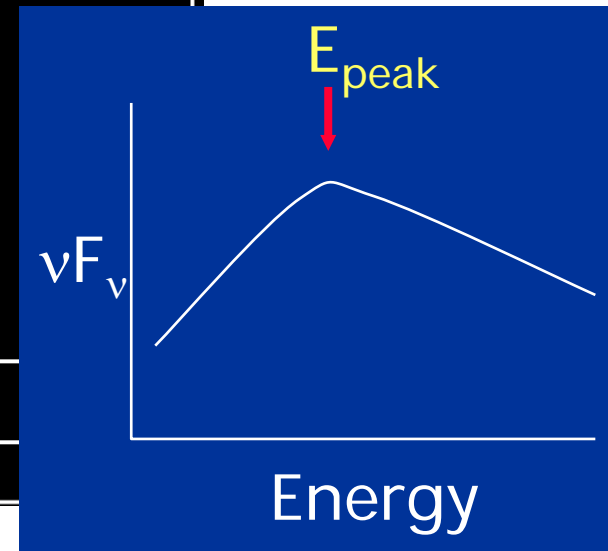
$\log E_\gamma$

Bloom et al.(2003)

Flux-spectrum correlation

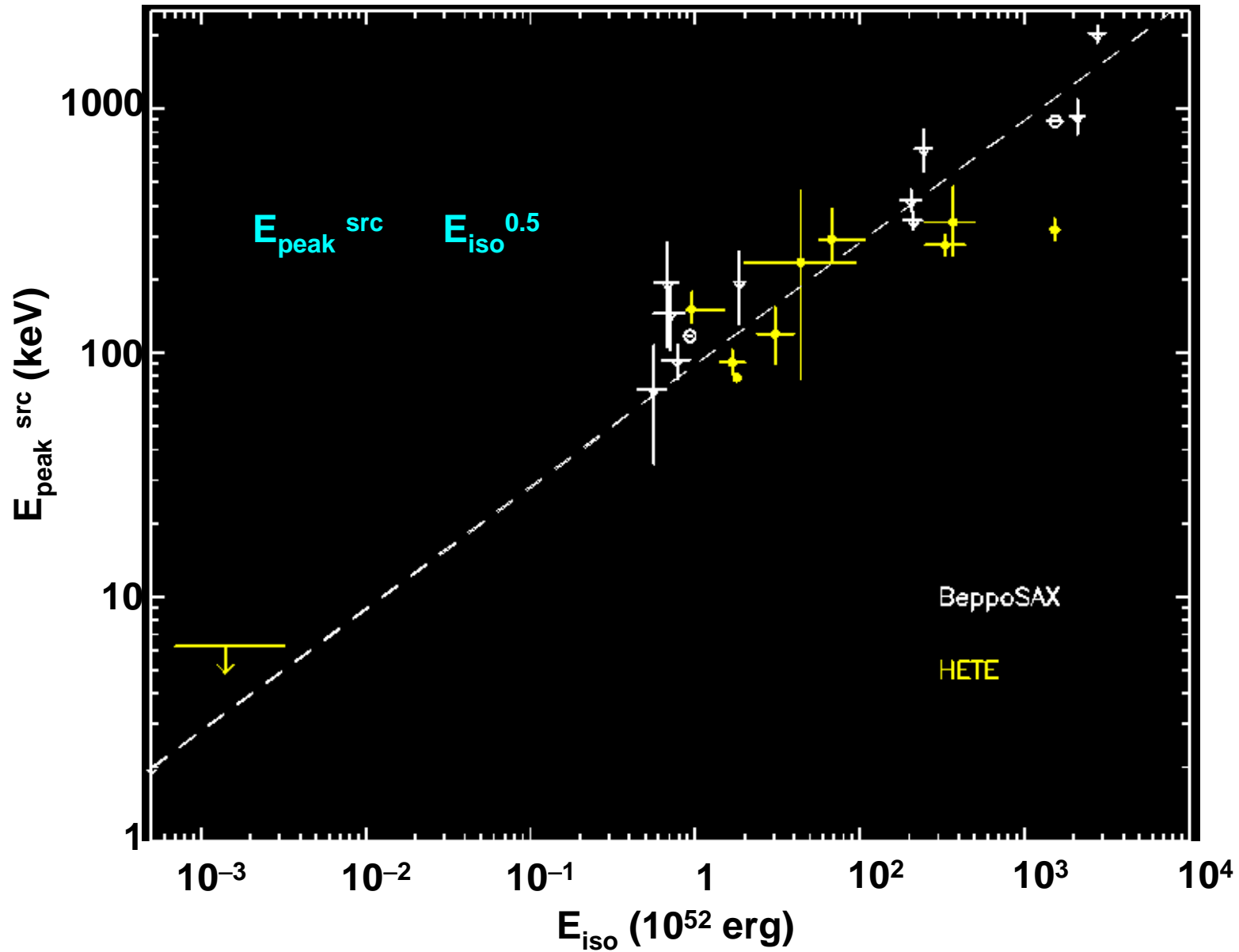


Sakamoto
2004

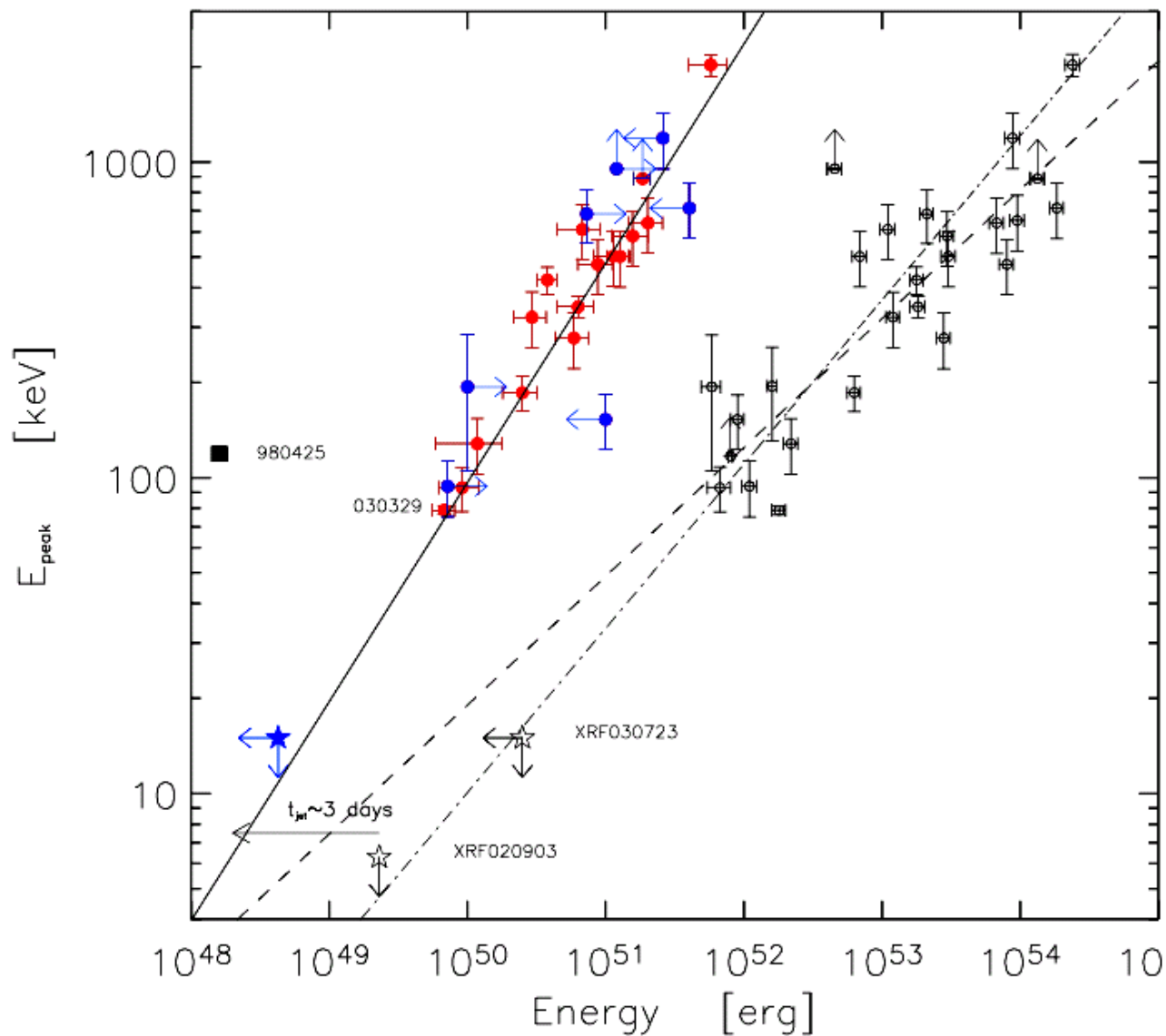


“Extended” Amati’s relation

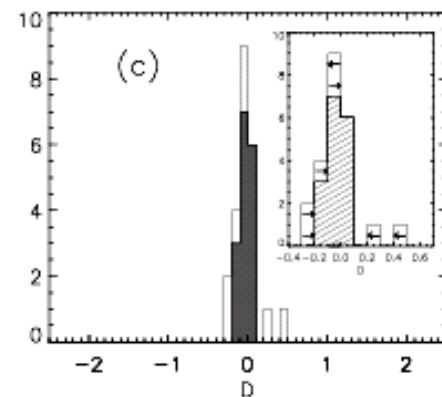
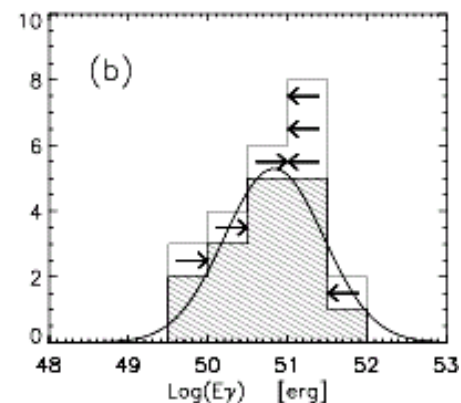
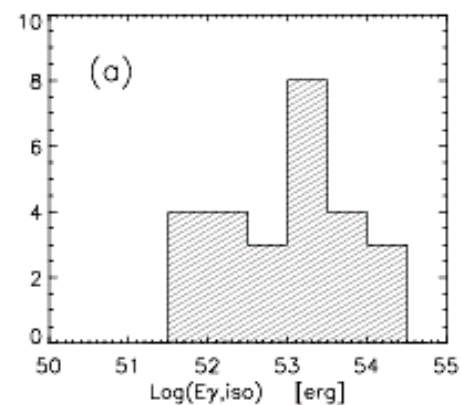
(Amati et al. 2002; sakamoto et al. 2004; Lamb et al. 2004)



コリメーション補正すると、さらに高相関

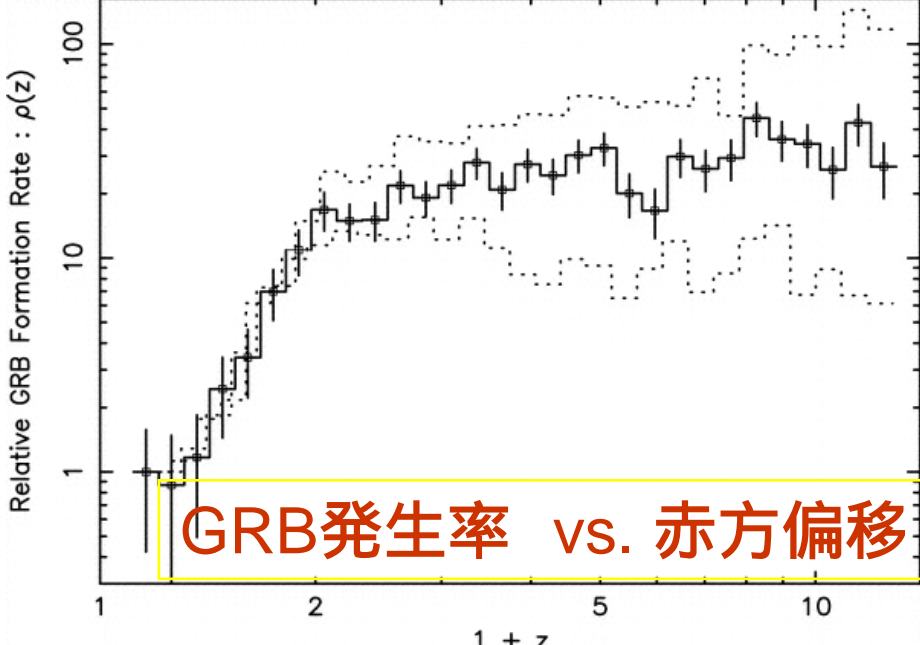
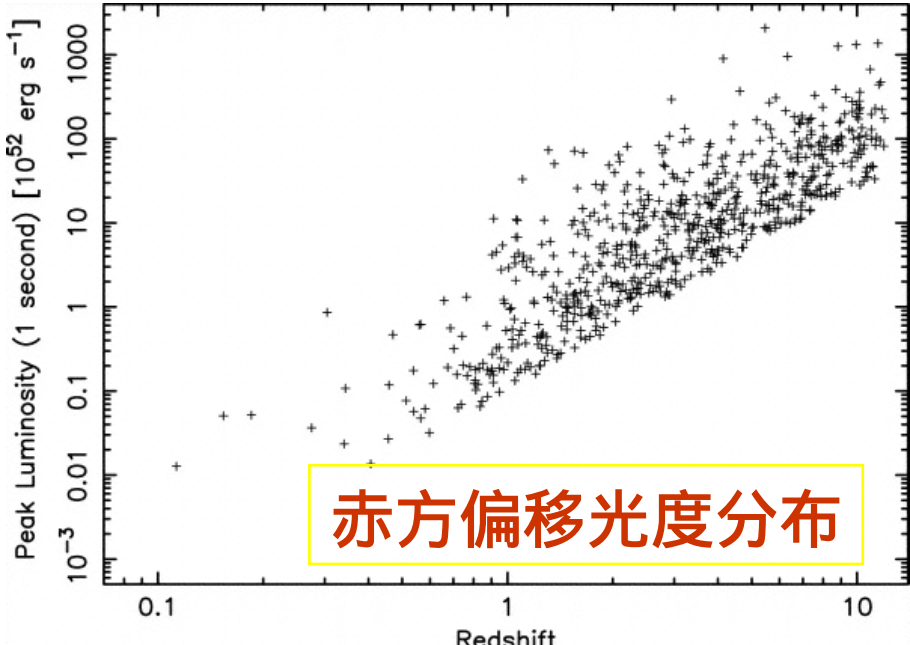
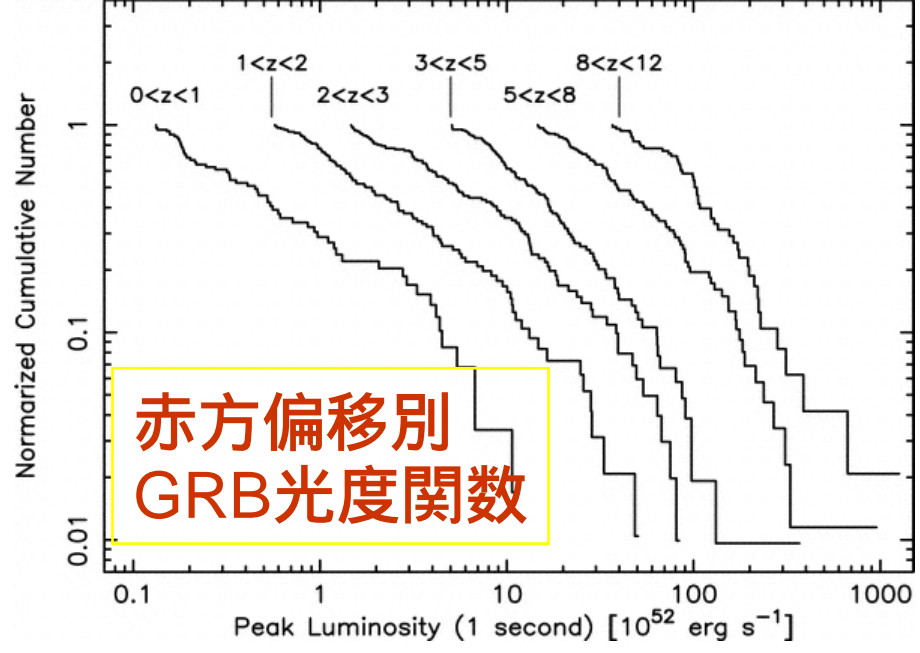
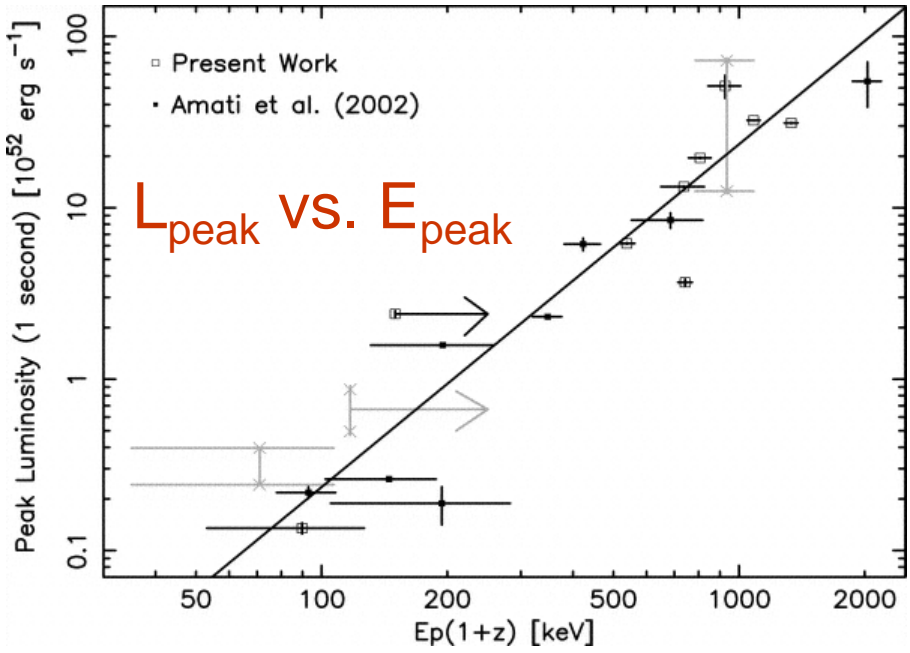


Ghirlanda et al.(2004a)



SF history by GRB

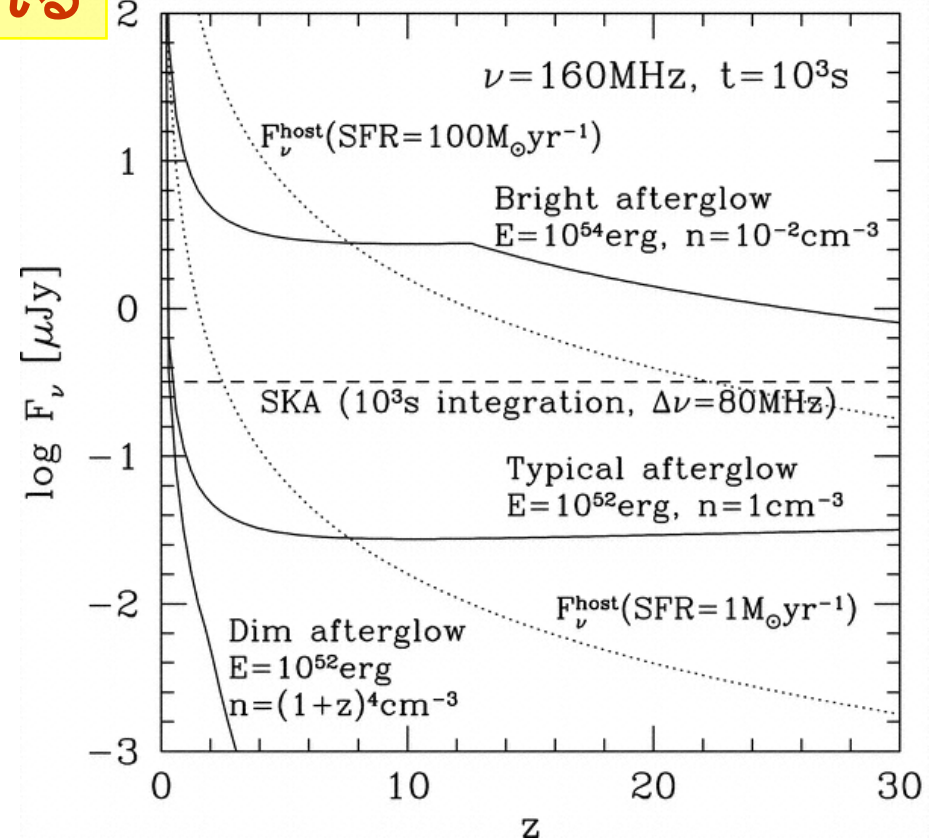
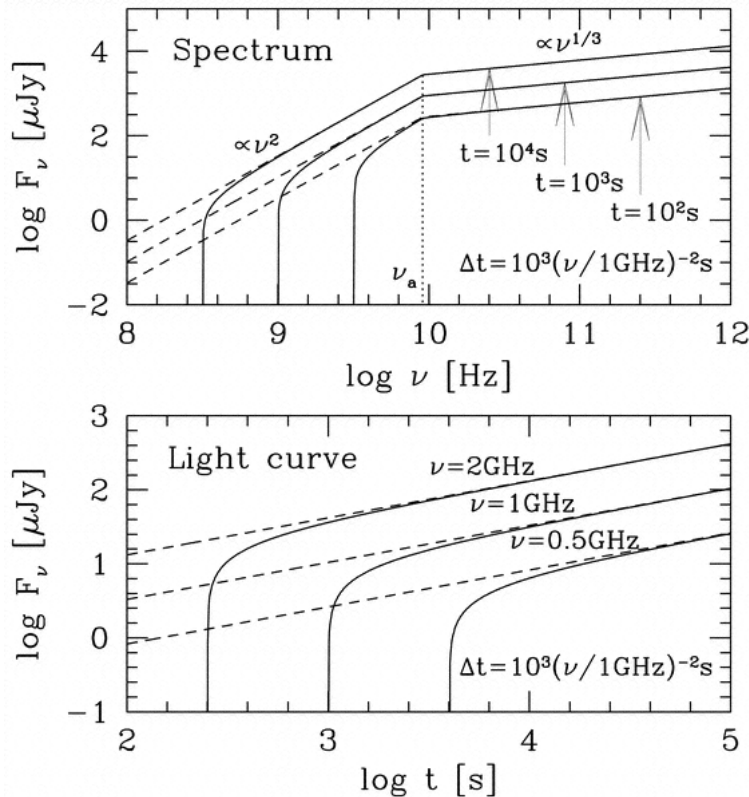
Yonetoku et al. 2004



自由電子(電離水素)の分散遅延による測定 Ioka (2003)

低周波数で立上がりが遅れる

SKAで検出可能!



Spectra and light curves of afterglows shown with and without the dispersion delay $\Delta t = 10^3(\nu/1\text{GHz})^{-2}$

Afterglow flux at a frequency 160 MHz and an observer time $t = 10^3\text{s}$

今後の 線バースト観測

2001.09.27 河合誠之

重要性

- 高赤方偏移の正統的観測対象
 - ✓ 唯一 $z > 10$ を直接観測できる
 - ✓ 「宇宙最初の星」「宇宙最初の銀河」
 - ✓ 標準光源 距離指標 宇宙論パラメータ
- 極限物理
 - ✓ 相対論、重力波、ニュートリノ、量子重力、最高エネルギー宇宙線、...

GRB ミッション

- 監視通報(斥候衛星) --- HETE, Swiftの後継
 - ✓ 残光(電波 ~ 線) 観測に必須
 - ✓ 小型(HETE-2)、寄生型(BeppoSAX)でも有用
- 自己完結型
 - ✓ スペクトル (HETE-2, GLAST)
 - ✓ X線・線偏光観測
 - ✓ 残光多波長観測 (Swift XRT/UVOT,...)
 - ✓ X線残光高分解能分光
 - DIOS
 - Estremmo (カロリメータによる非分散分光, 重元素輝線)
 - Pharos (回折格子を用いたWHIM吸収線の分光)

自己完結型ミッション(2)

線バースト専用赤外望遠鏡衛星

- 目的： $z \gg 10$
 - ✓ 近赤外～中間赤外残光の分光
 - ✓ Ly Forest、第一世代星重元素
- 検出器
 - ✓ 2 str X-ray Locator
 - (~HETE WXM or Swift BAT)
 - ✓ 1メートル級赤外望遠鏡
 - 広帯域高分散分光
- 軌道
 - ✓ 長周期楕円軌道、または L2点
- 姿勢
 - ✓ 機上 線バースト位置による自動Pointing