

ガンマ線バーストからの 可視光

2004. 3. 27 日本物理学会

山岡 均(九州大・理)

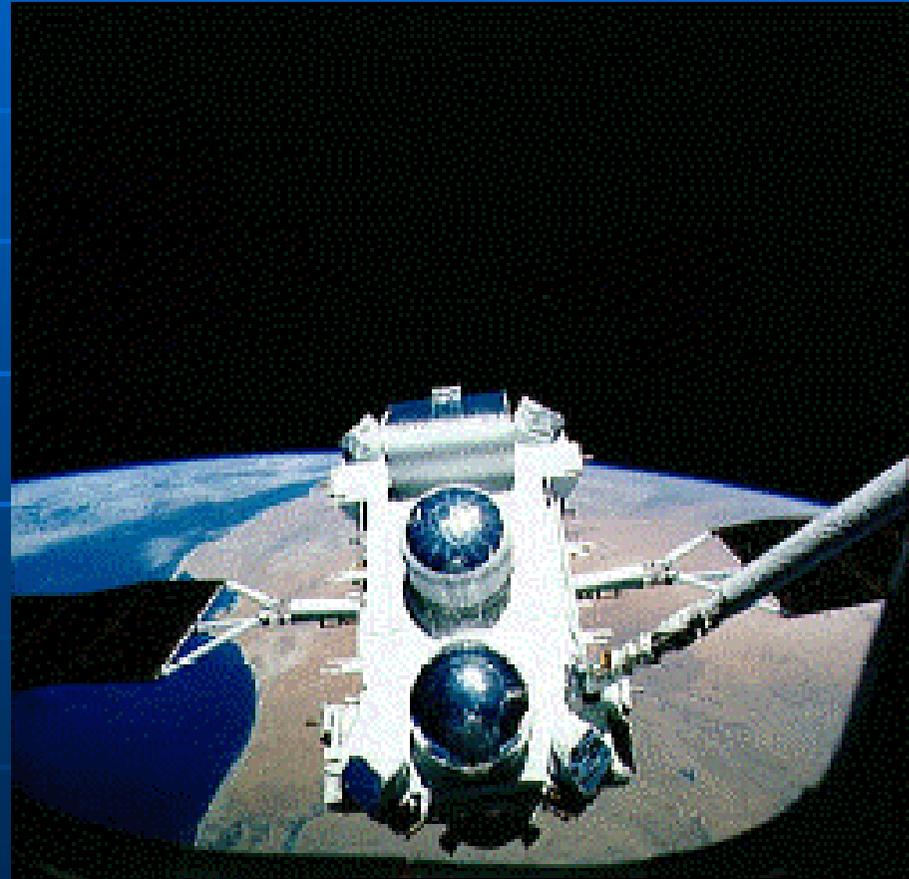
- 目次:
1. introduction
 2. 残光・閃光・極超新星
 3. 最近の残光の観測
GRB 021004
GRB 030329
 4. GRB観測の今後

Introduction

- **ガンマ線バースト からの 可視光**
 - 形容矛盾？
 - 天体はすべての波長の電磁波を放出
 - 多波長観測 天体の真の理解に不可欠
 - さらに多面的に：ニュートリノ・重力波
- **ガンマ線による観測：スペースのみ**
 - 位置決めが困難
 - 1980年代まで理解が進まず
- **可視光観測：地上で可能**
 - 位置精度は1"程度
 - 原子スペクトルからさまざまな情報

CGRO (1991-2000)

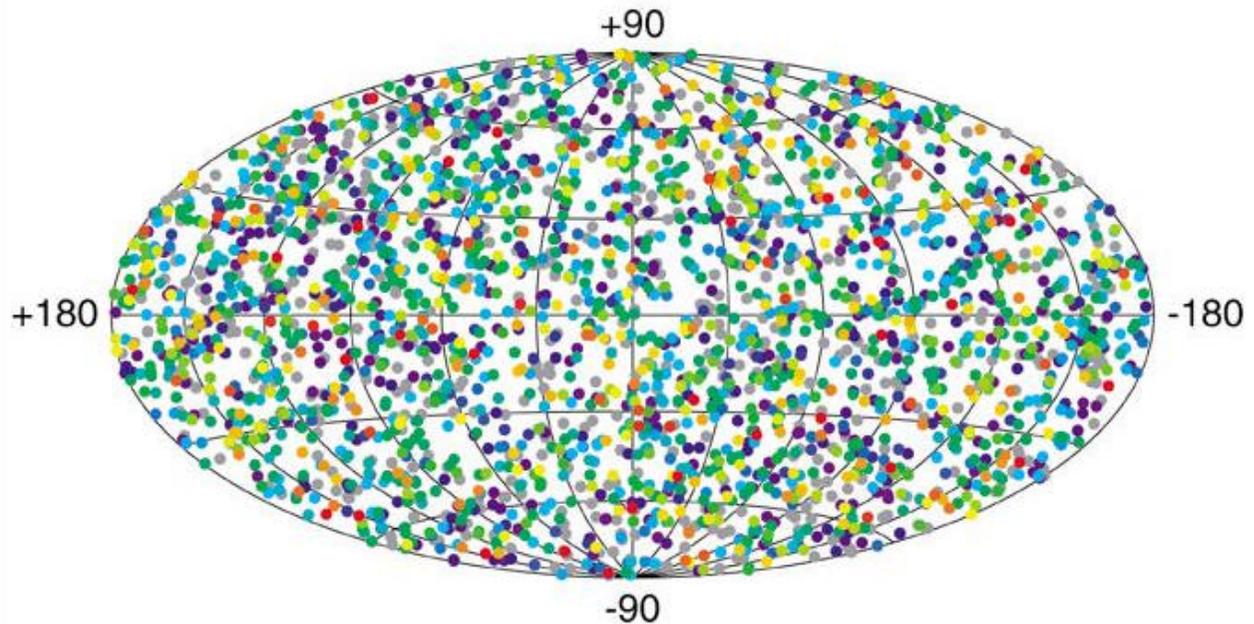
- BATSE検出器
 - 精度数度で位置を即時に
 - RBR: 精度 $2-3^\circ$ で数時間以内に
- 1日1個のバースト検出(総計2704個)



CGROの成果(1)

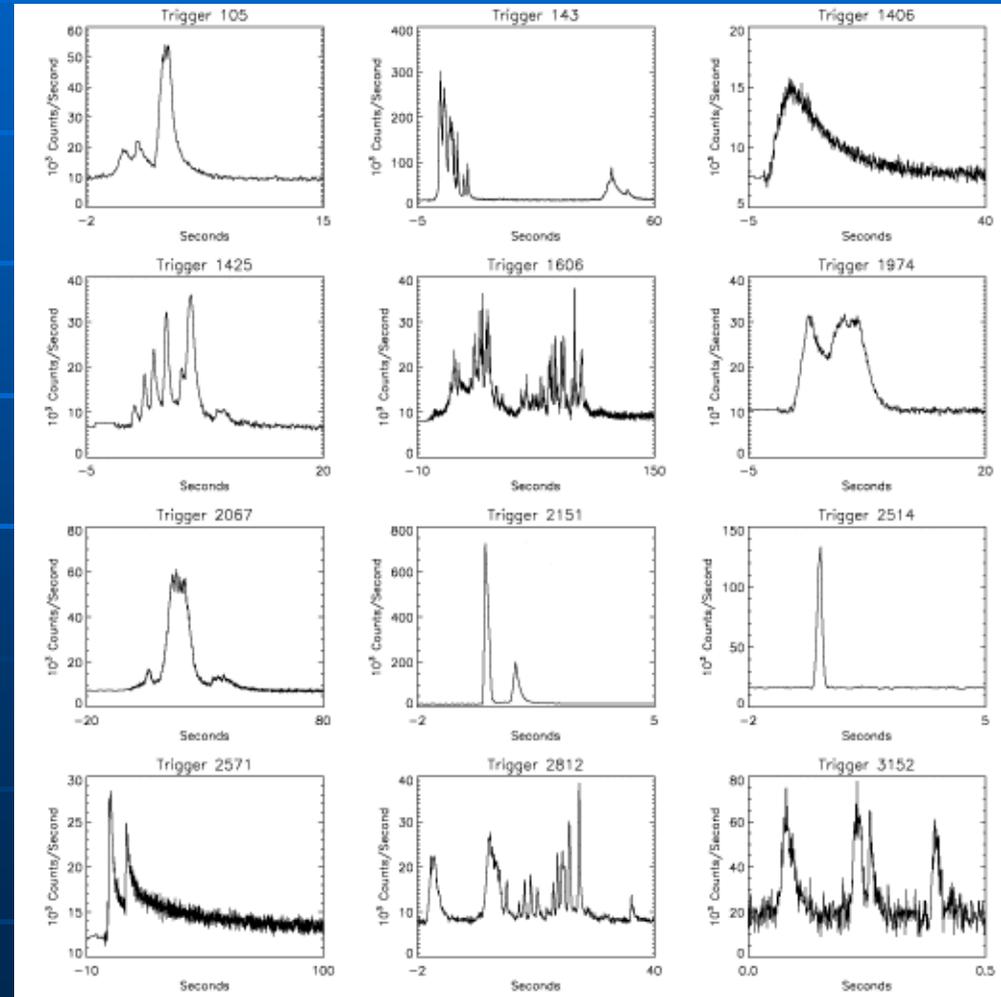
- 等方的な分布
 - 銀河系内 ×
 - 宇宙論的？
 - 銀河ハロー？

2704 BATSE Gamma-Ray Bursts

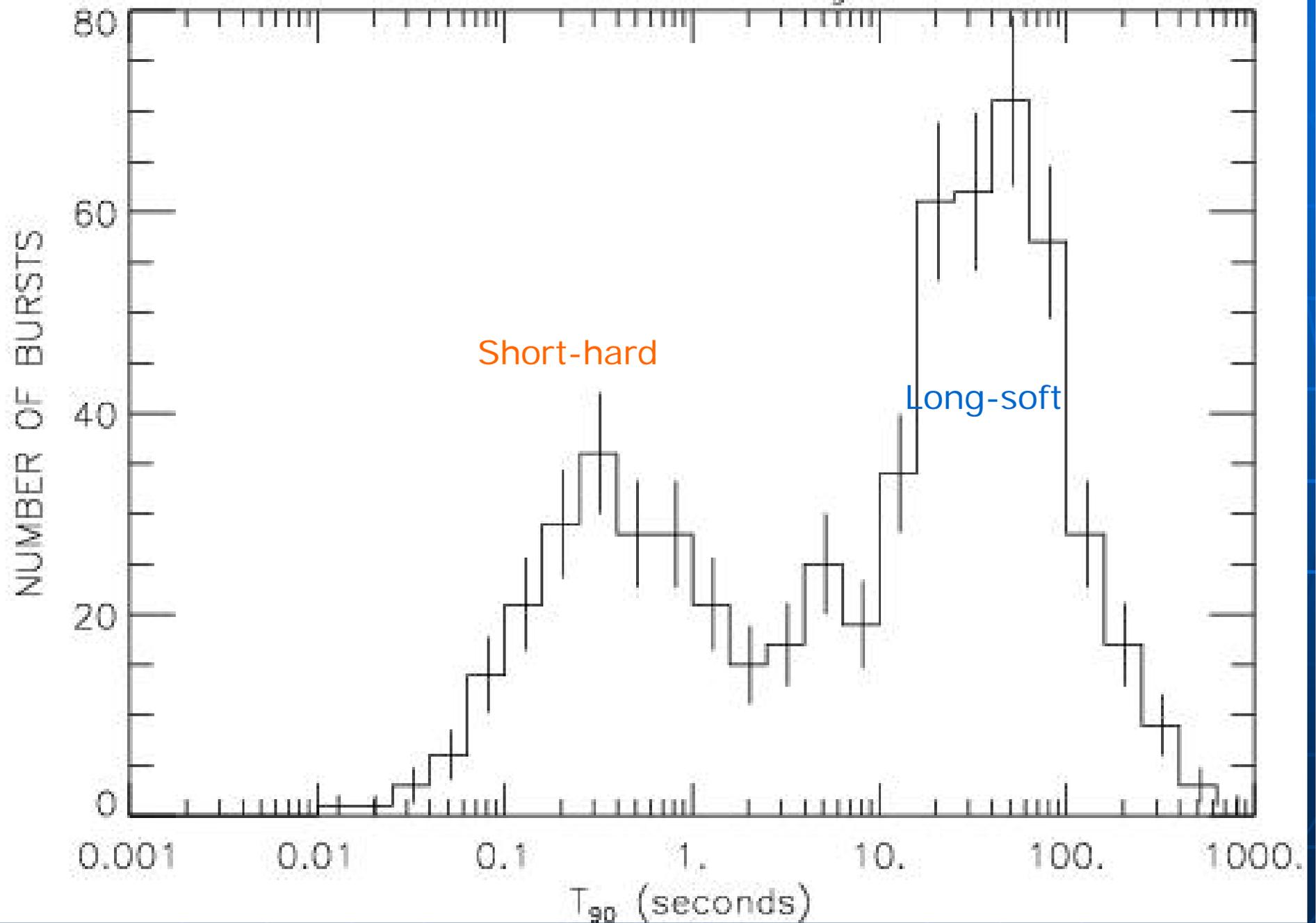


CGROの成果(2)

- 光度曲線
 - さまざまな形
 - タイムスケールもいろいろ
- スペクトルとの相関
 - short-hard
 - long-soft

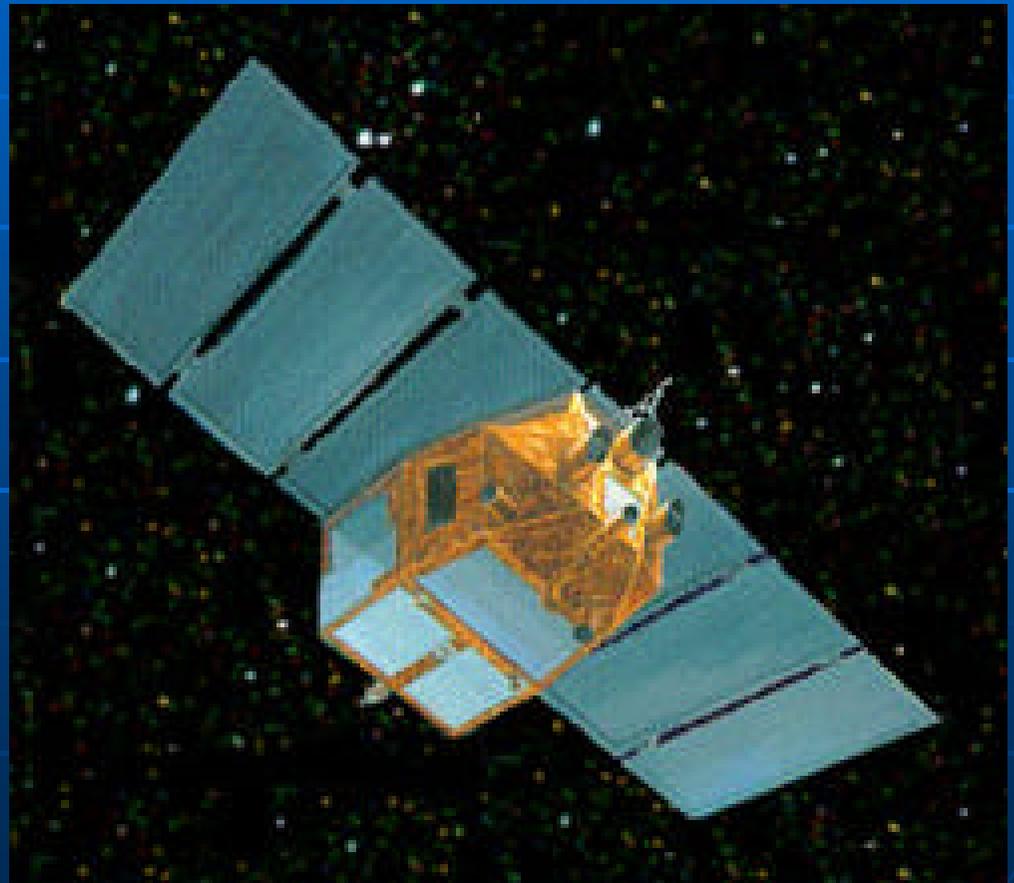


BATSE 4B Catalog

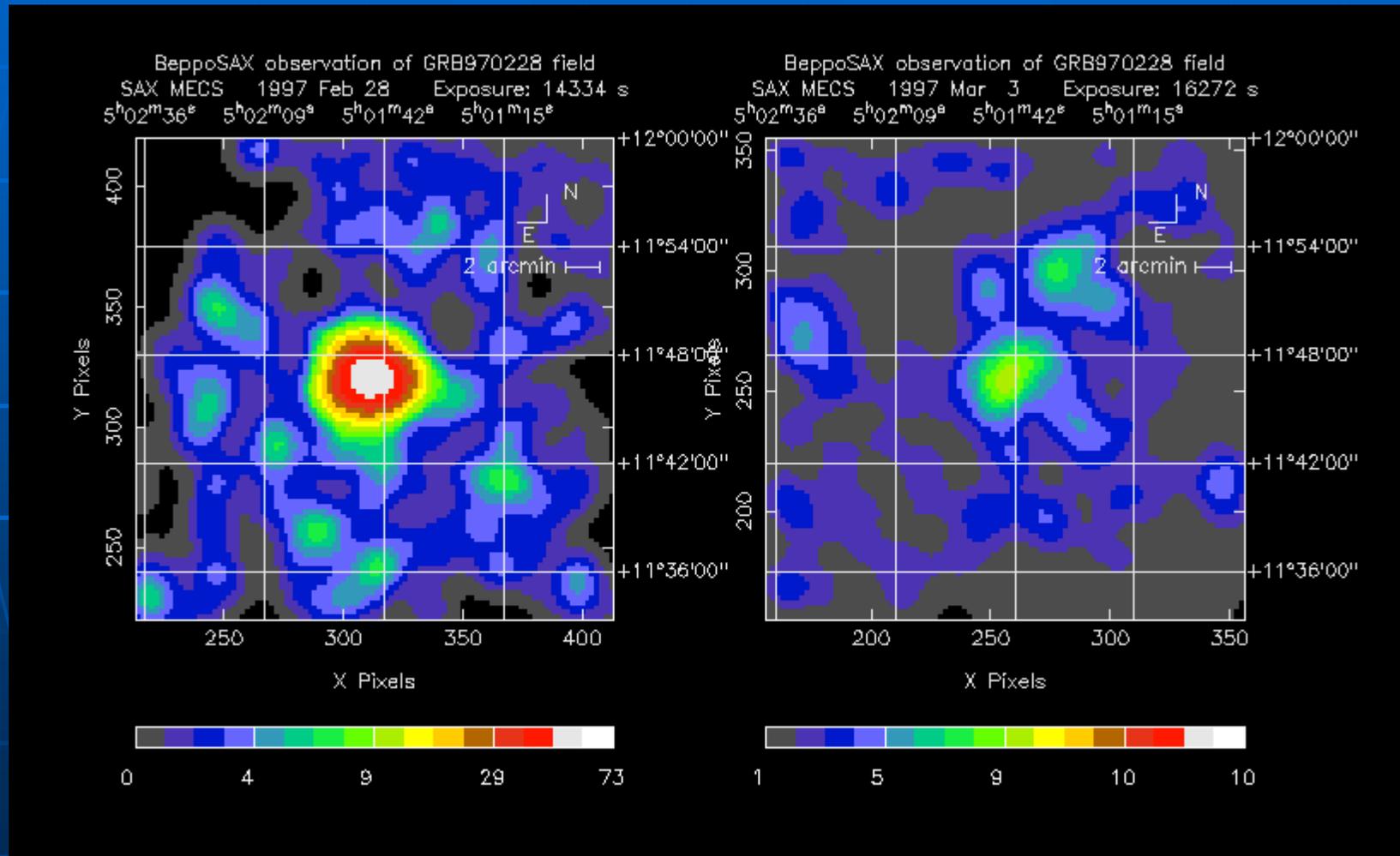


BeppoSAX (1996-2002)

- 欧州の衛星
- X線望遠鏡搭載
 - 位置精度数分角
- 残光(afterglow)現象の発見
 - 他波長対応天体
 - GRB 970228

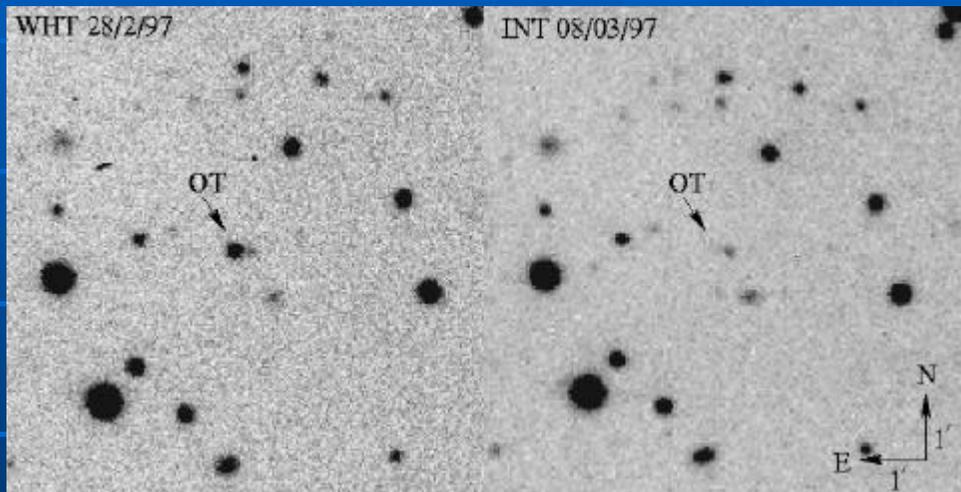


残光現象の発見(GRB 970228)

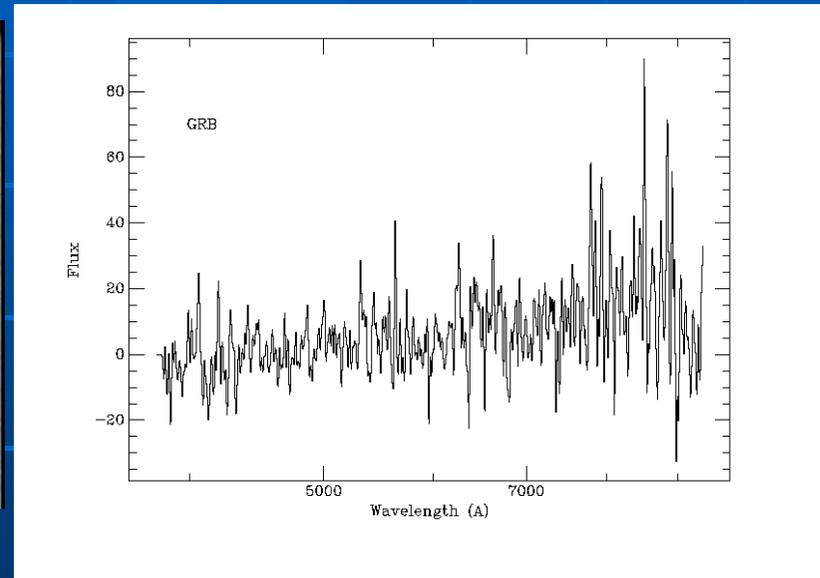


(BeppoSAX team, IAUC 6572)

残光現象の発見(GRB 970228)



(Groot et al., 1997, IAUC 6584)



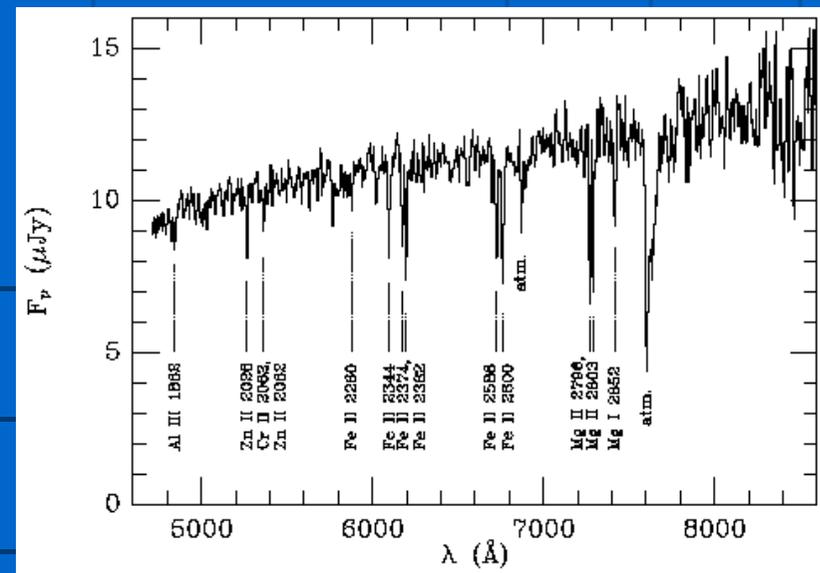
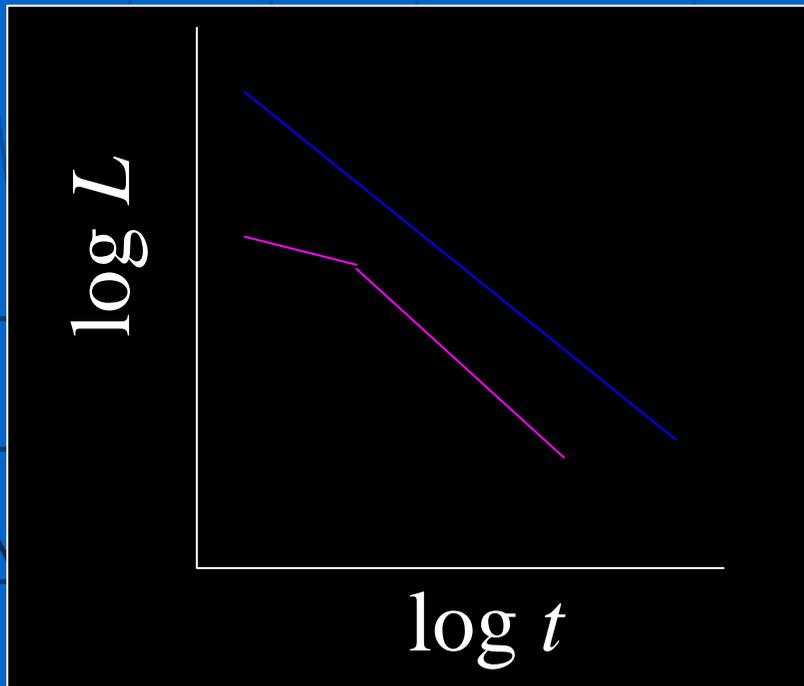
Keck spectrum

$z = 0.695$

(Tonry et al., 1997, IAUC 6620)

残光の性質

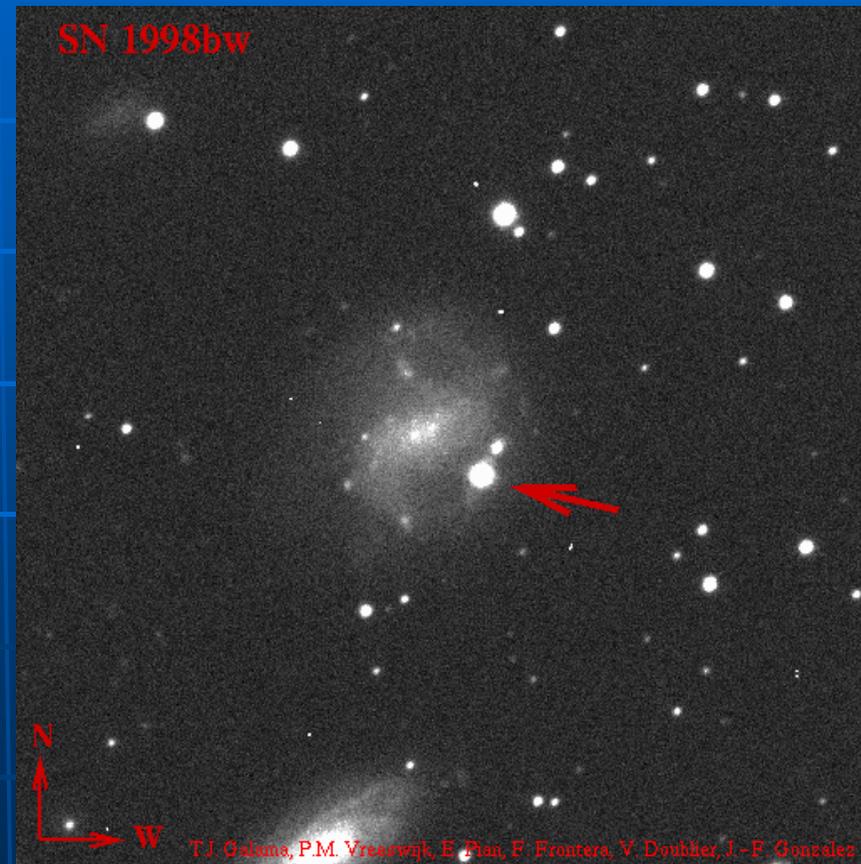
- 時間のべきで減光
 - $L \sim t^{-\alpha}$ 、 $\alpha \sim 1$
- $t \sim 1$ 日でべきが大きくなる (break) 例も多い
- スペクトル: べき型
 - $F(\lambda) \sim \lambda^{-\beta}$ 、 $\beta \sim 0.5$
- 吸収線から距離がわかる
 - $z \sim 1$



(GRB 990123: Kulkarni et al., 1999)

GRB 980425: SN 1998bw

- 残光搜索中に
超新星を発見
($V=13.8$)
- 特異なスペクトル
 - $v_{\text{exp}} = 30000 \text{ km/s}$
 - 極超新星
- luminous, 近傍
 - $v_r = 2500 \text{ km/s}$
 - $M_v = -19.0$
- 残光見えず



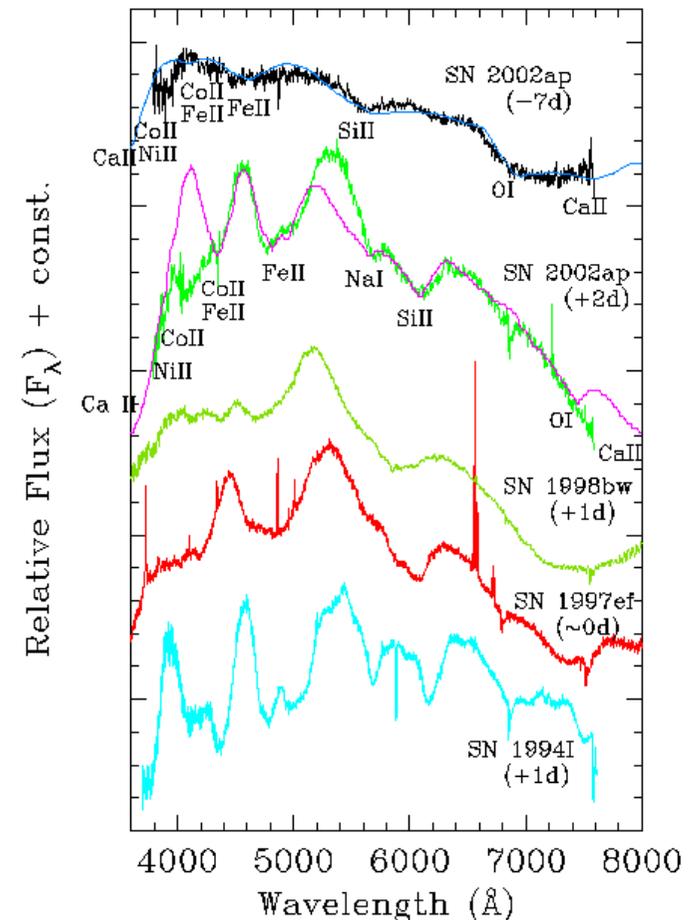
(Galama et al., 1998)

極超新星 (hypernova)

より重い星(25太陽質量)の重力崩壊による爆発

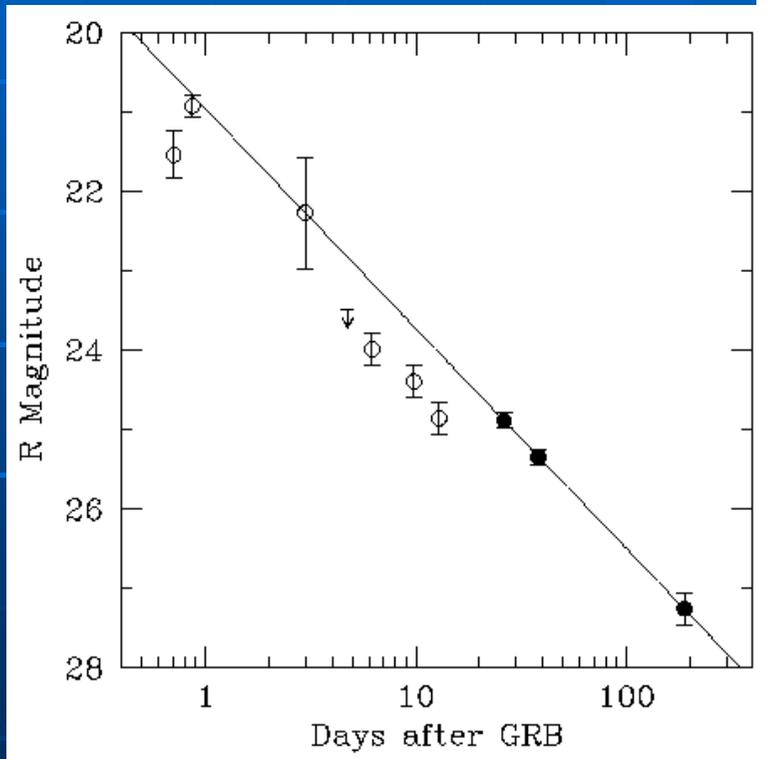


渦巻き銀河 M74と超新星 SN2002ap
150cm 反射望遠鏡 (B1分, V, R20秒露出) Gunma Astronomical Observatory



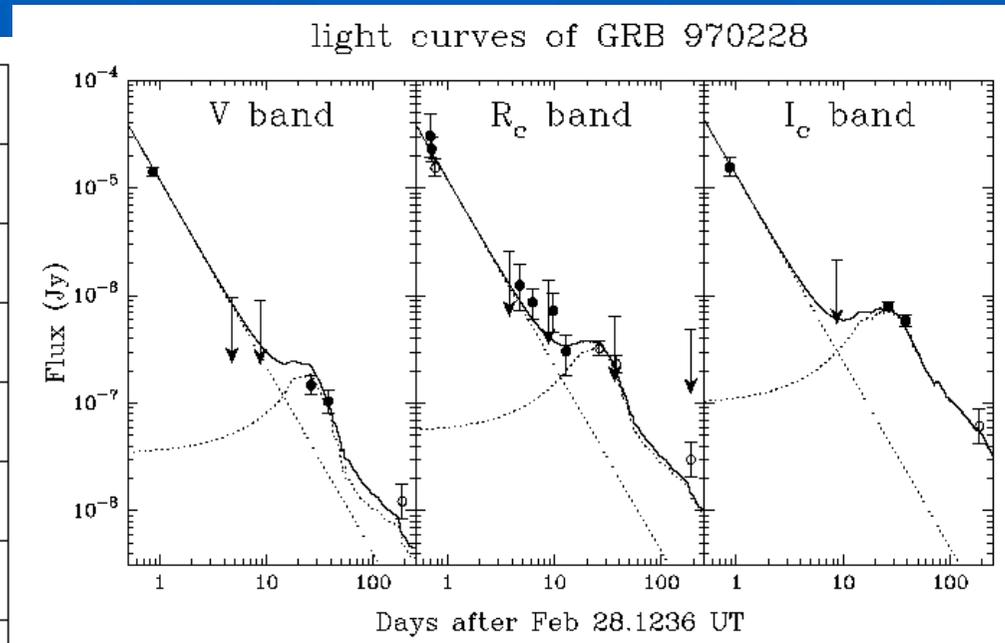
(Mazzali et al. 2002)

GRB 970228:SN bump ?



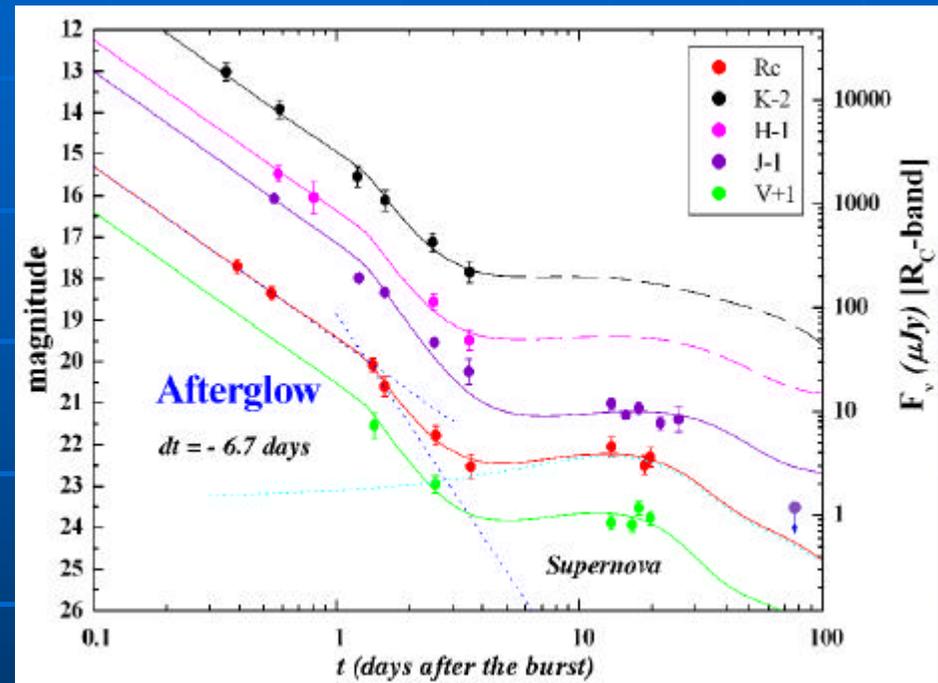
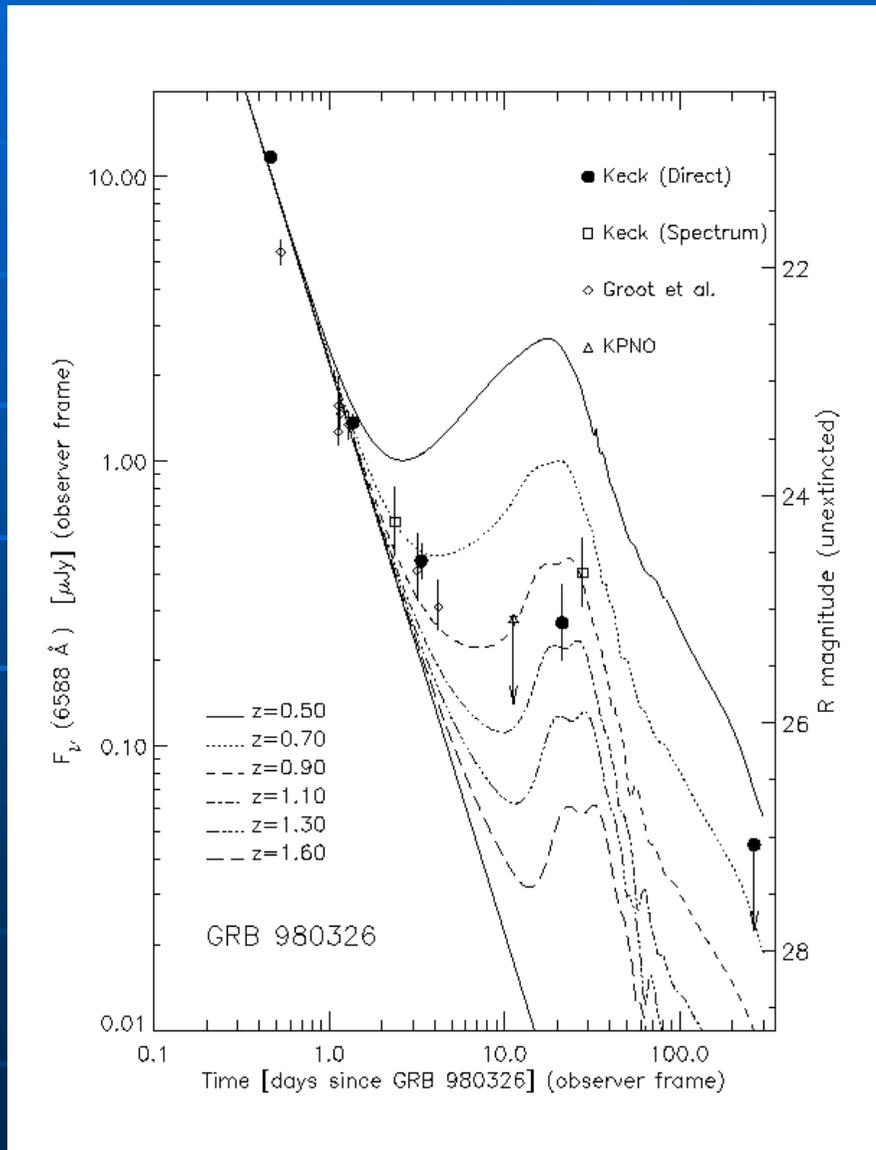
(Fruchter et al. 1999)

時間のべきで減光($L \sim t^{-1}$)



(Galama et al., 2000)

他のGRBでのSN bumpの例



GRB 011121: Bloom et al. 2002

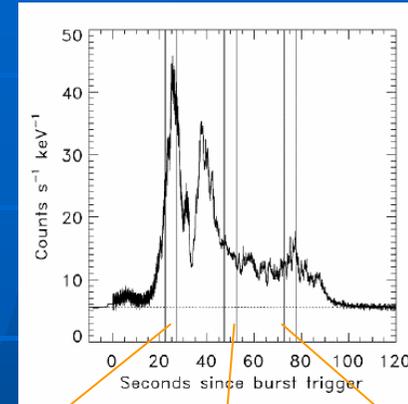
$z \sim 0.36$

GRB 980326: Bloom et al. 1999

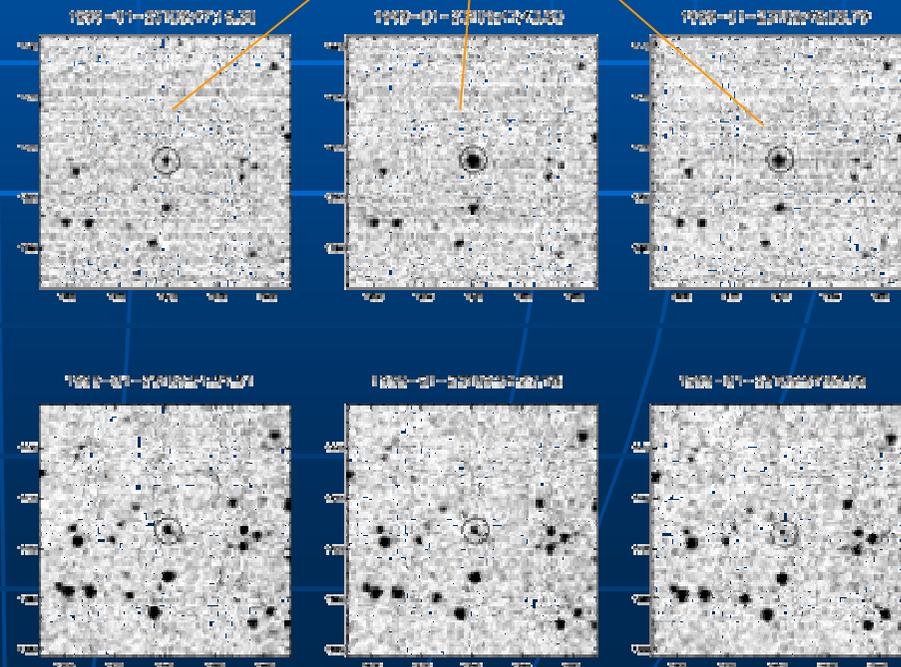
$z \sim 1$

GRB 990123: 閃光の発見

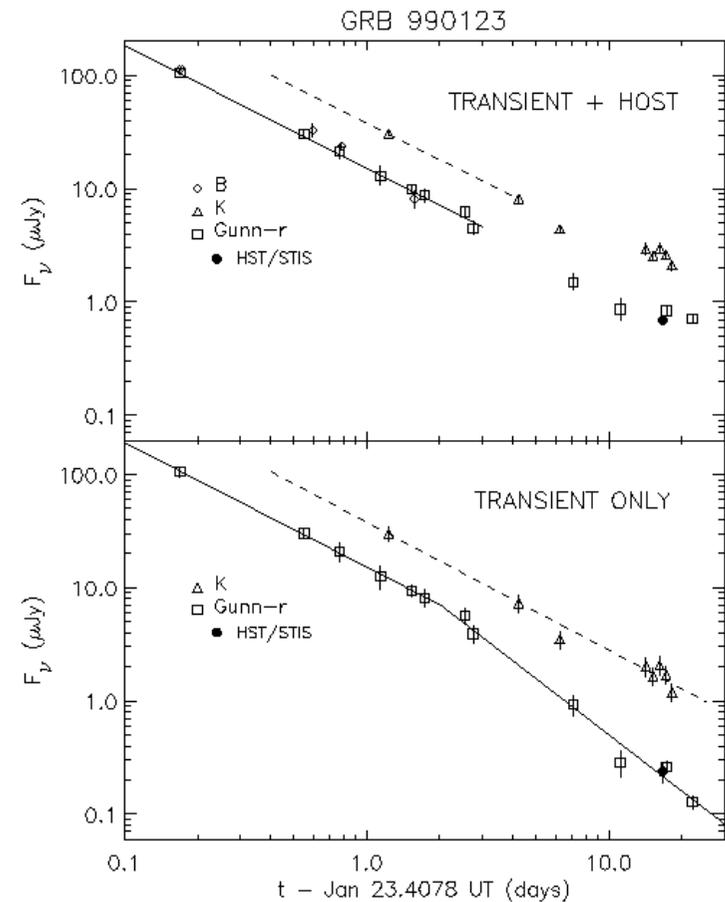
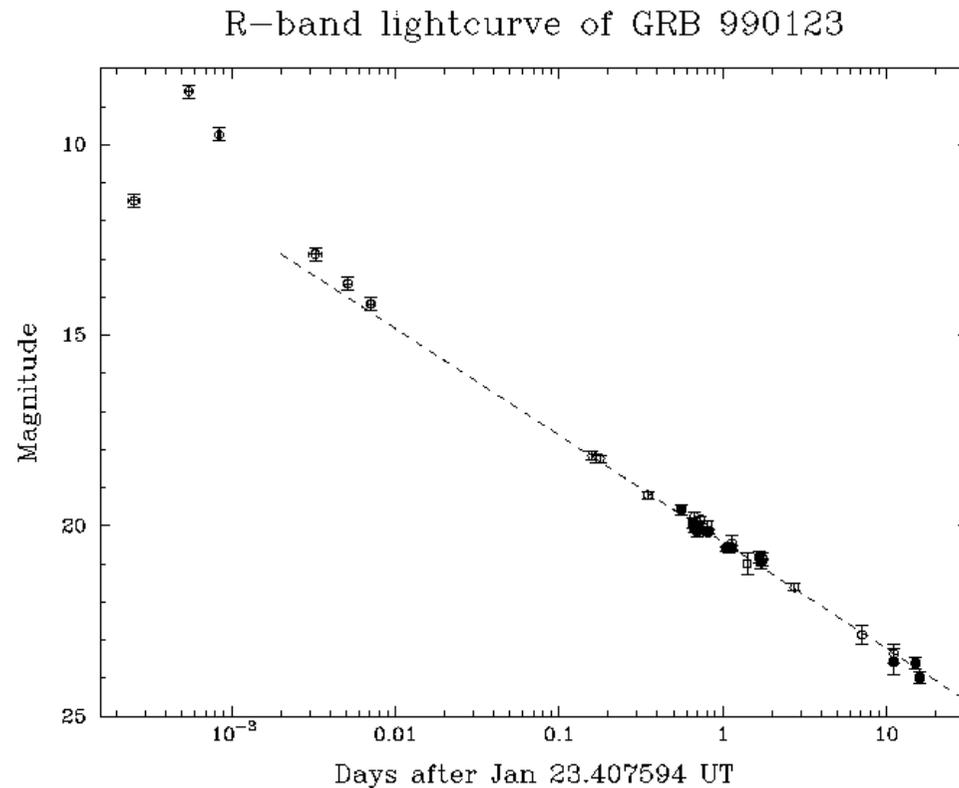
- バースト継続中に小望遠鏡が向く
- 9等級(!)の対応天体



- $z = 1.60$
 - とてつもない明るさ
 - $E_{\text{iso}} \sim 3 \times 10^{54}$ erg



GRB 990123の光度曲線



(Galama et al., 1999)
閃光と残光は別種のもの
(early afterglow, optical flash)

(Kulkarni et al. 1999)

GRBと残光のモデル: $\sim 10^4$ の火の玉

■ ガンマ線バースト

- ジェット内シェル衝突 (internal shock)

■ 残光

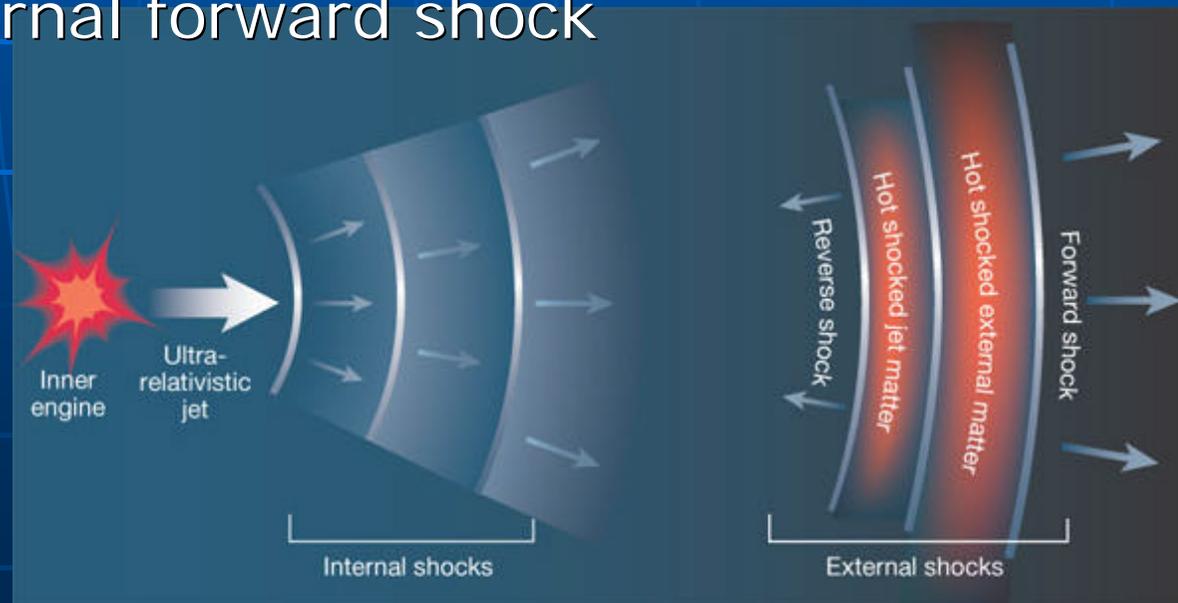
- CSM/ISMとジェットの衝突, external forward shock

■ 閃光

- 衝突によるreverse shock

■ SN bump

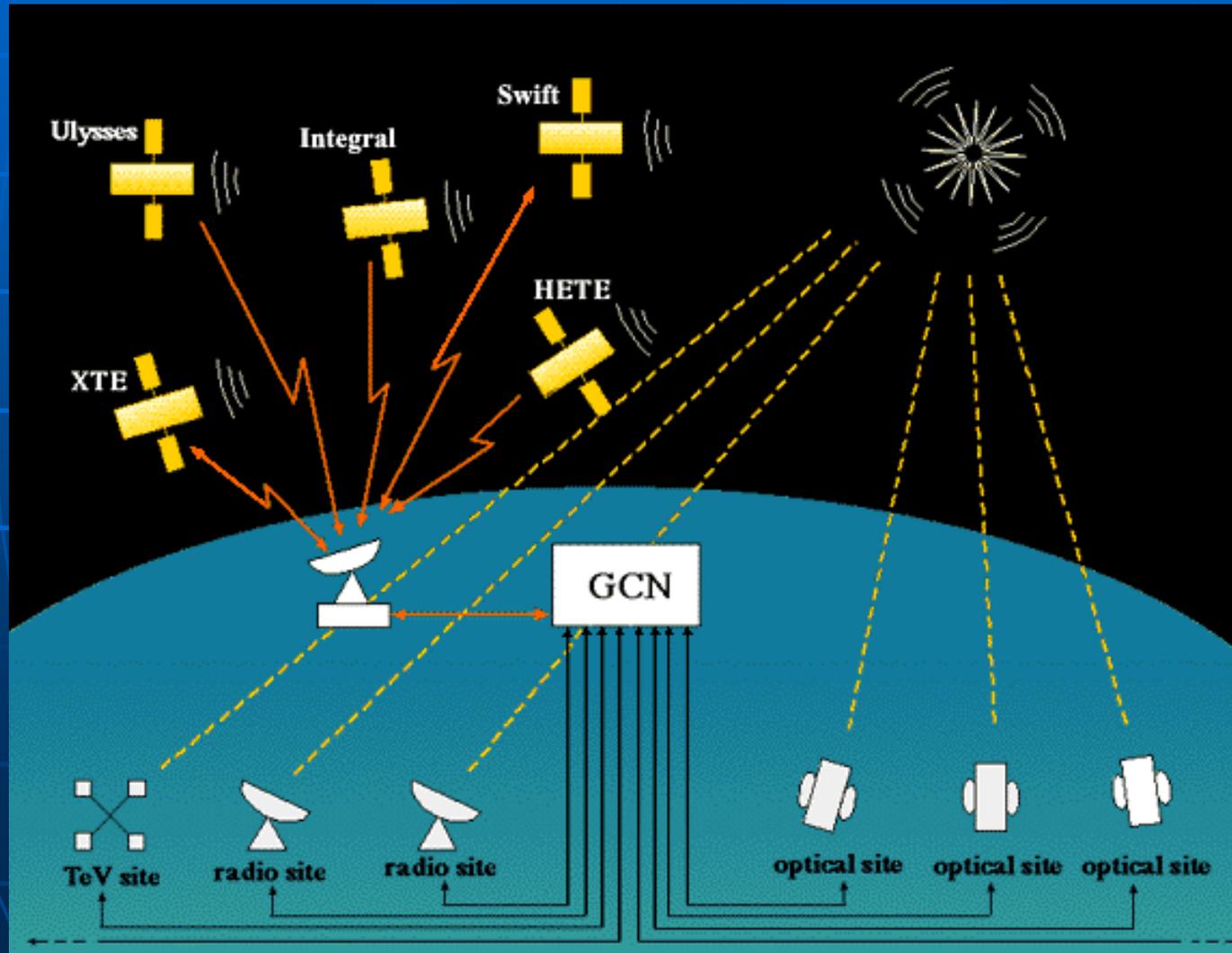
- 火の玉(ジェット)を作るのは(極)超新星?



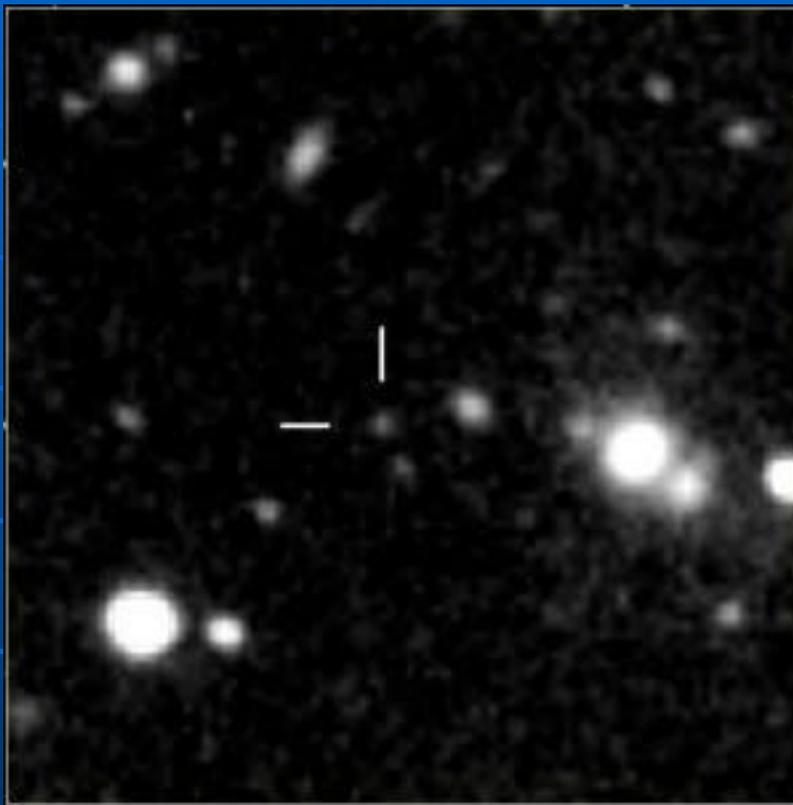
VSNET-grb: メーリングリスト

- VSNET: 変光星と突発天体の国際共同研究
 - <http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/vsnet/>
 - 山岡も管理グループの一員
 - Kato et al. (2004) PASJ 増刊号
- さまざまなsublist
 - vsnet-alert, vsnet-campaign-sn,
 - SN 2002ap, WZ Sge, V4641 Sgr,
 - Nova, X-ray transient,
- VSNET-grb: 2000年6月作成

GCN: GRB Coordinates Network



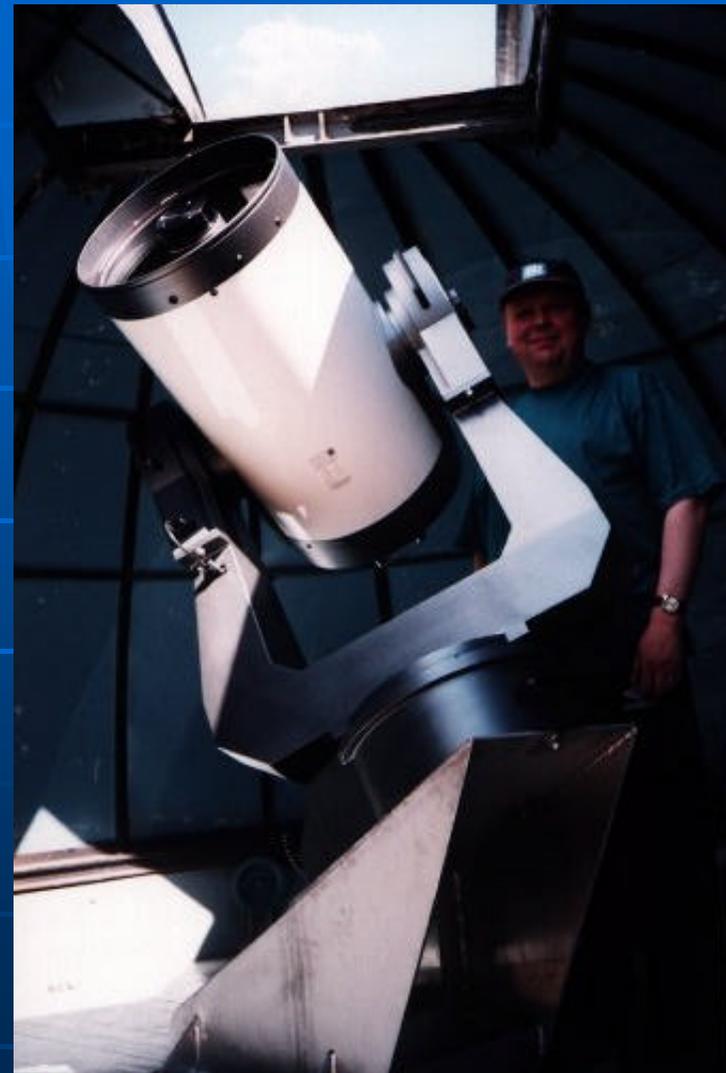
GRB 000926: VSNET group初検出



(Yamaoka, Oksanen, Kato 2000)

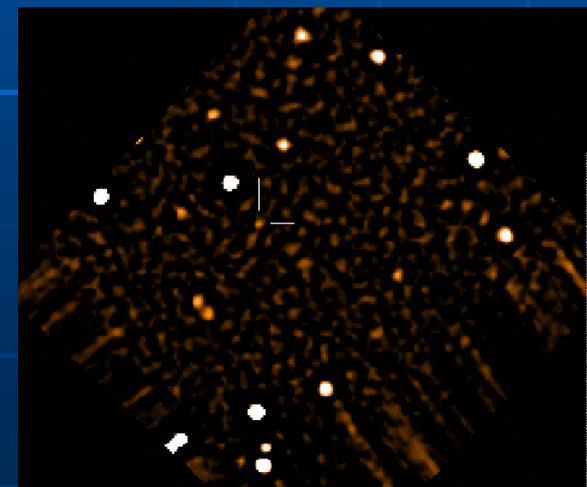
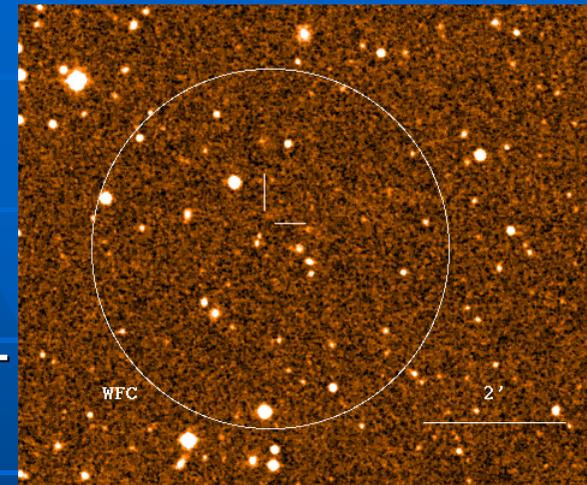
$z = 2.066$

ヨーロッパのアマチュアの初検出
Sky and Telescope 2001 Jan.

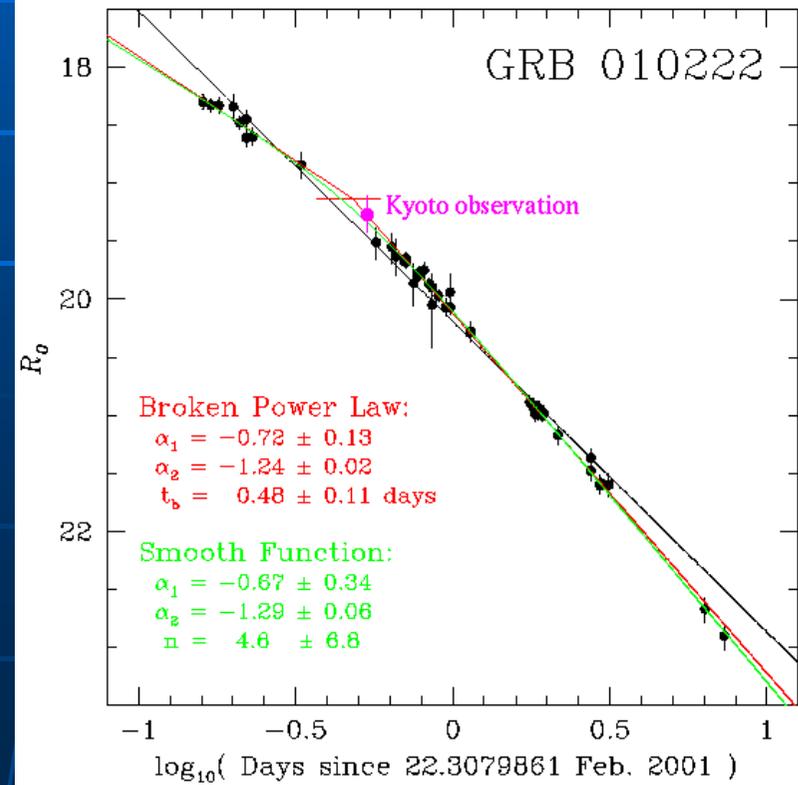
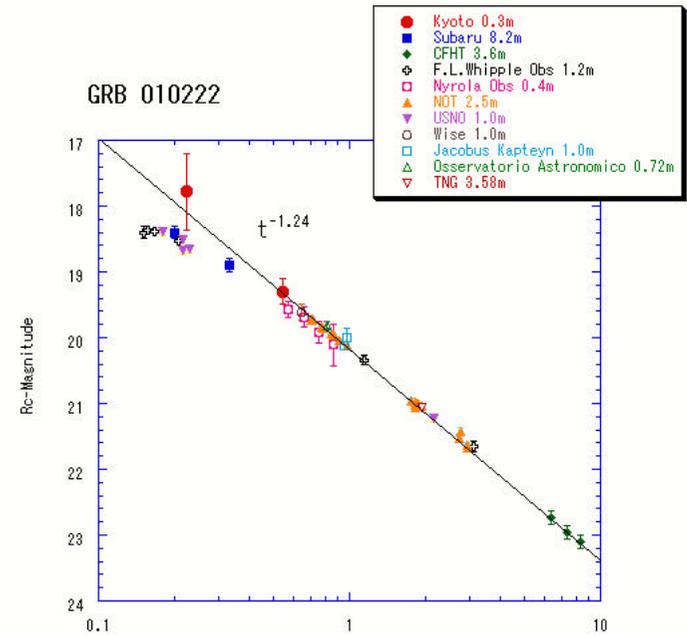


GRB 010222: 日本国内初検出

- BeppoSAXの位置決定
 - バースト発生: 22.31日UT
 - アメリカ大陸で残光検出
 - 発生から0.2日で日本も観測可
 - $z = 1.477$
- VSNET group(京大屋上)
 - 22.81日に19.3等で検出



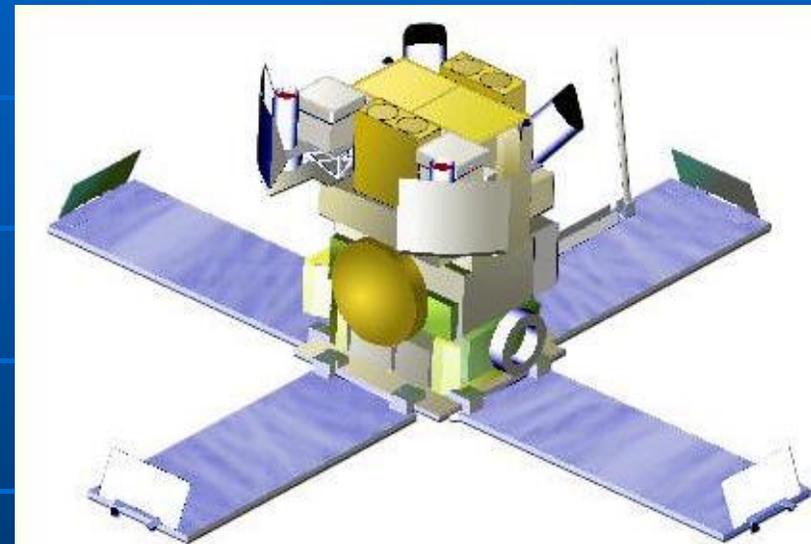
(Yamaoka et al., 2002)



HETE-2 (2000-)

: GRBに特化した小型衛星

- HETE-1 (1996)
 - 打ち上げ失敗
- 同型機HETE-2
 - WFC 機上で精度1度
発生後数秒
 - SXC 地上解析で数分角
発生後1時間



GRB 021004: 即時検出

GRB発生 12:06:13.57

UT

HETE S/C update 12:07:02
($r=30'$)

HETE GA WXM 13:19:54
($r=10'$)

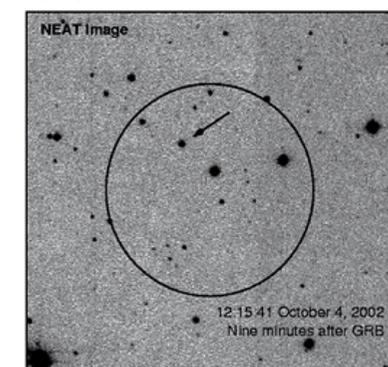
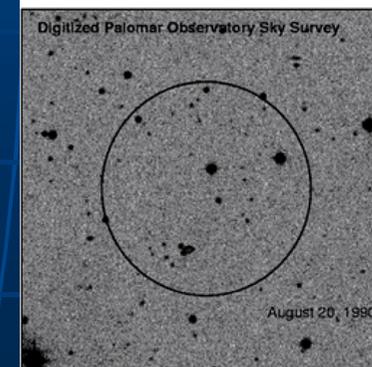
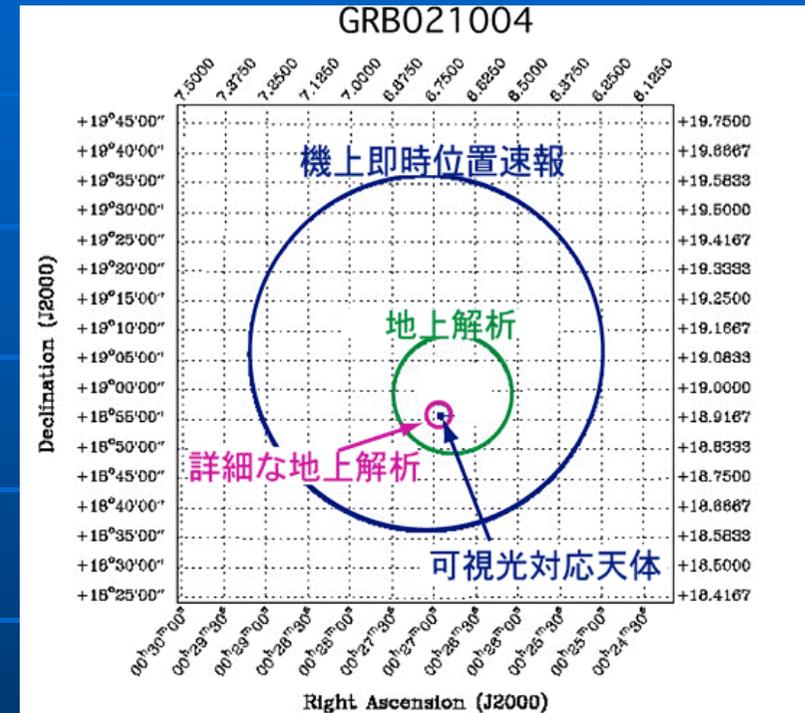
HETE GA SXC 14:39:51
($r=2''$)

Palomarで検出

12:15:11 ~

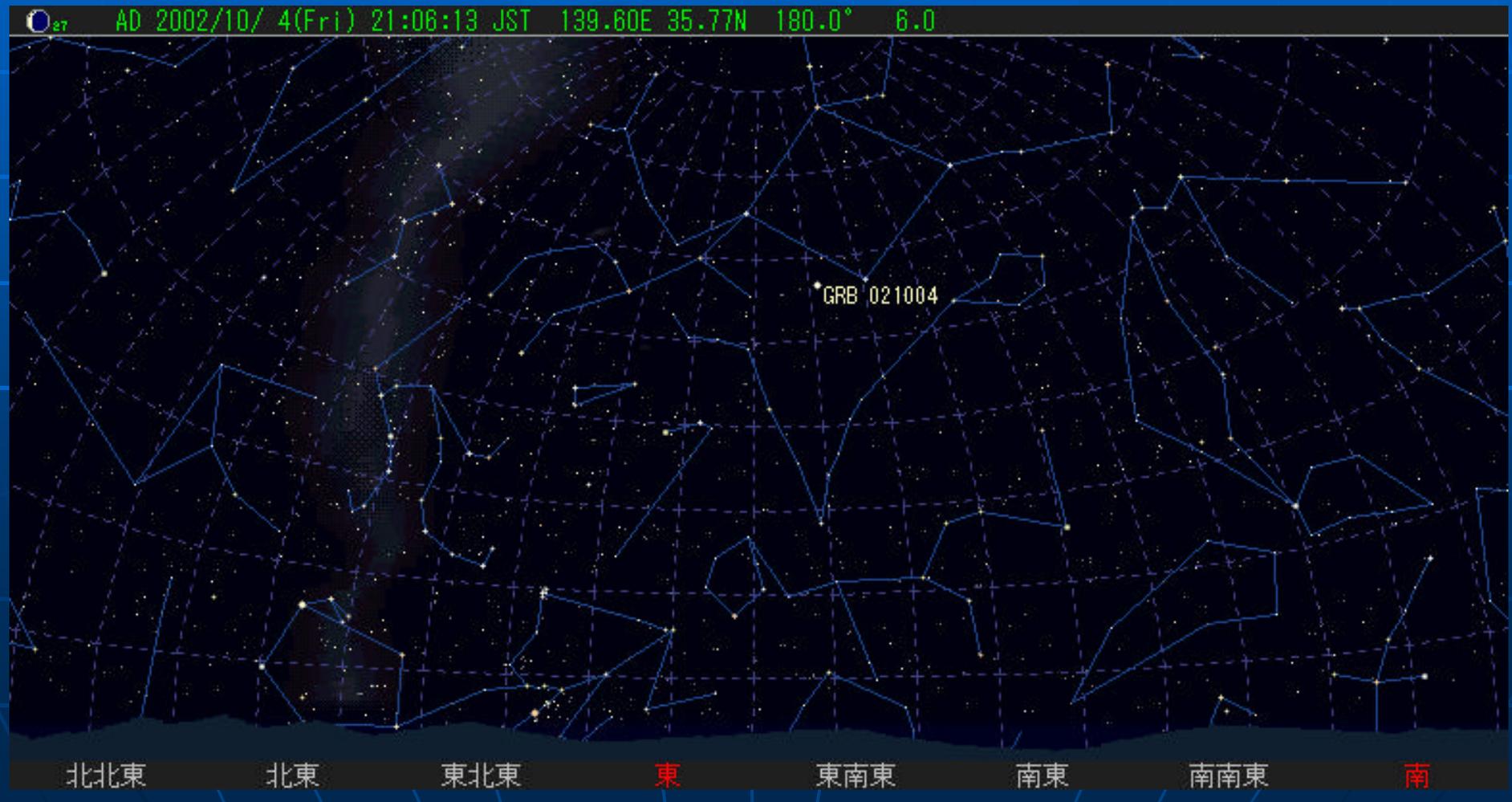
15.4 – 15.8等

$z = 2.3$

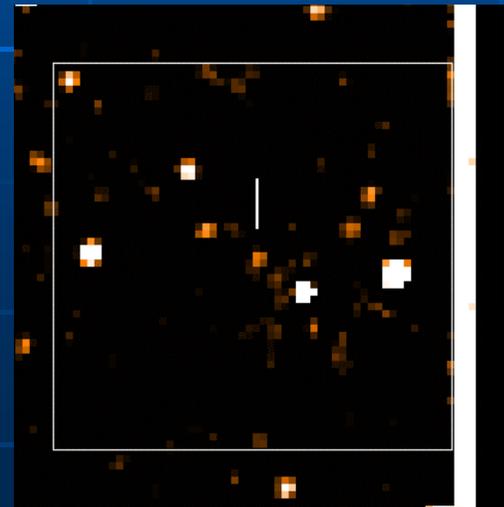
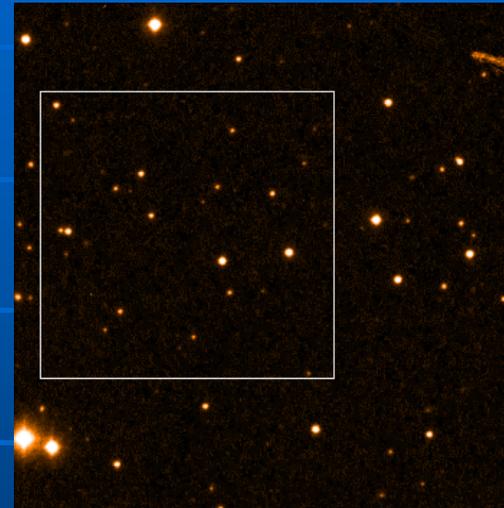


GRB 021004

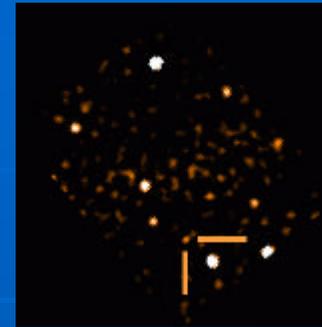
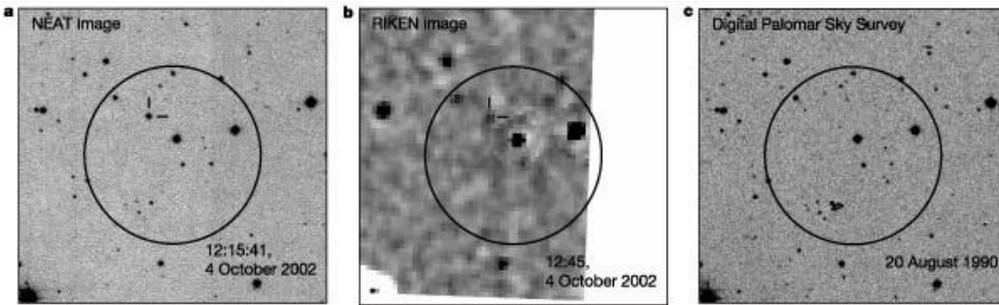
■ 発生時：埼玉県の空



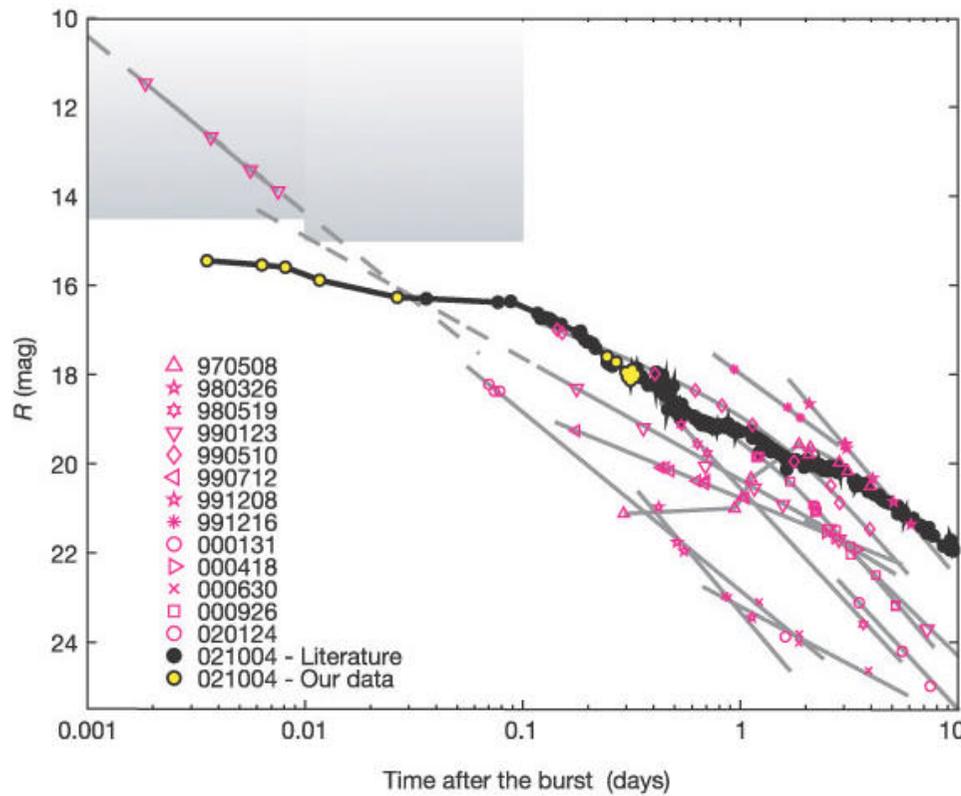
理研ARTでの検出



バースト
3分後！

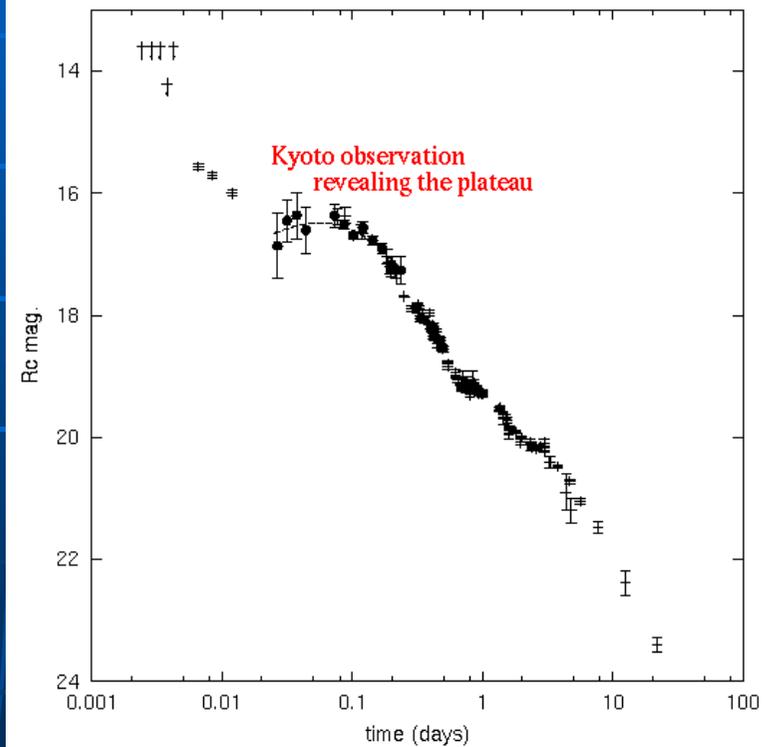


VSNET 京都



(Fox et al. 2003)

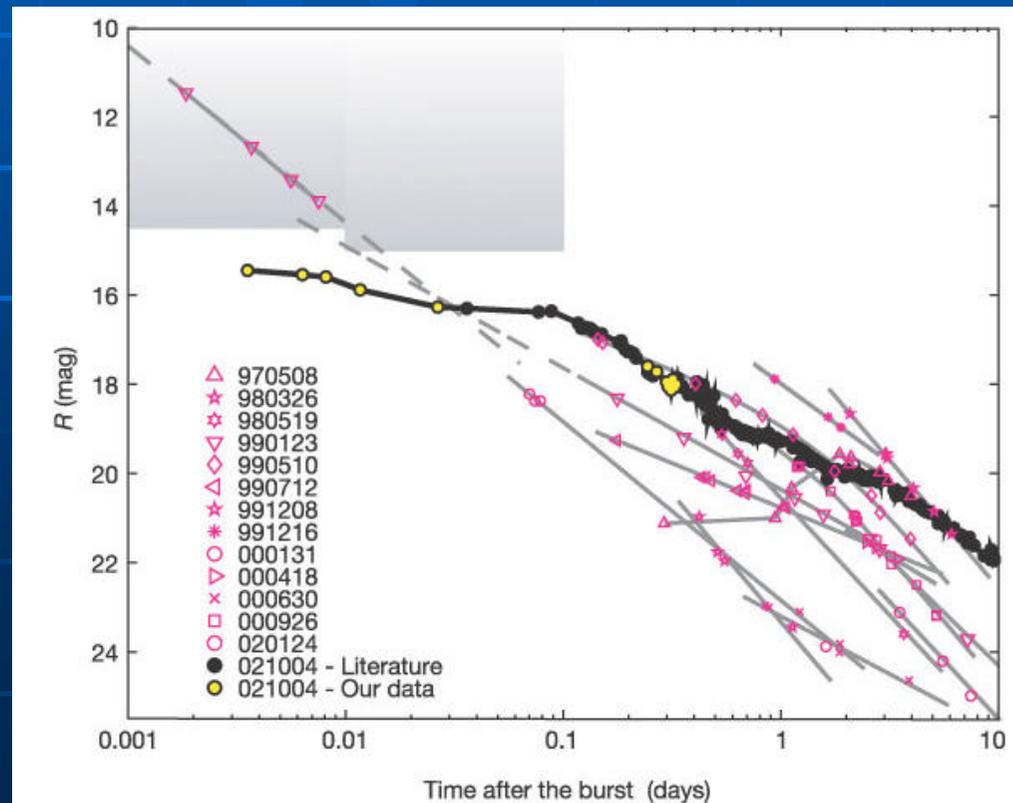
Overall Light Curve of GRB 021004 (from Uemura et al. 2003)



(Uemura et al. 2003)

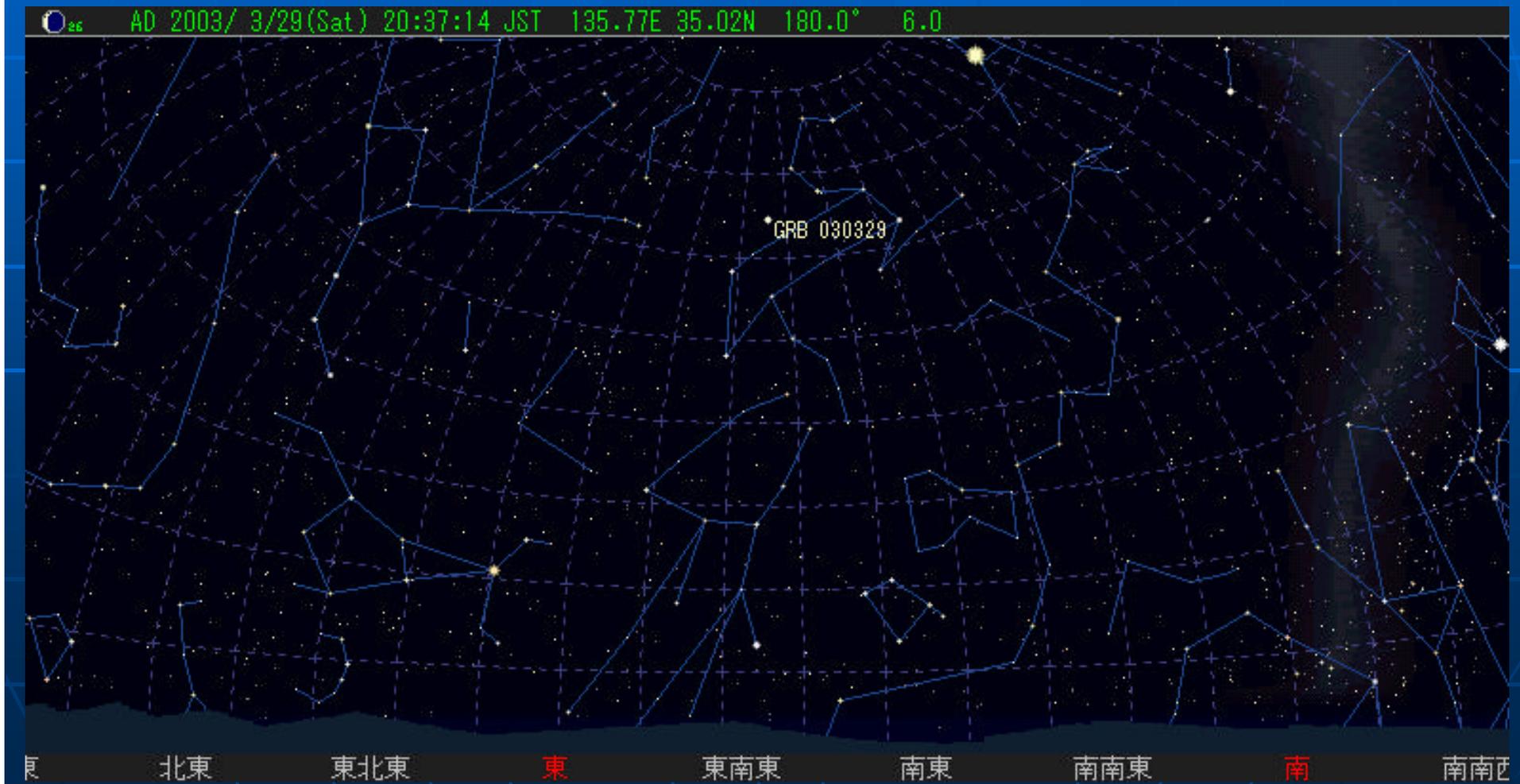
GRB 021004: 複雑な光度曲線

- 単なるpower lawとはかけ離れた振る舞い
 - 1つの折れ曲がりでは説明がつかない
- plateau, bump
 - CSM/ISMの密度構造？
 - エネルギーの再注入？
- SN/GRBを支持



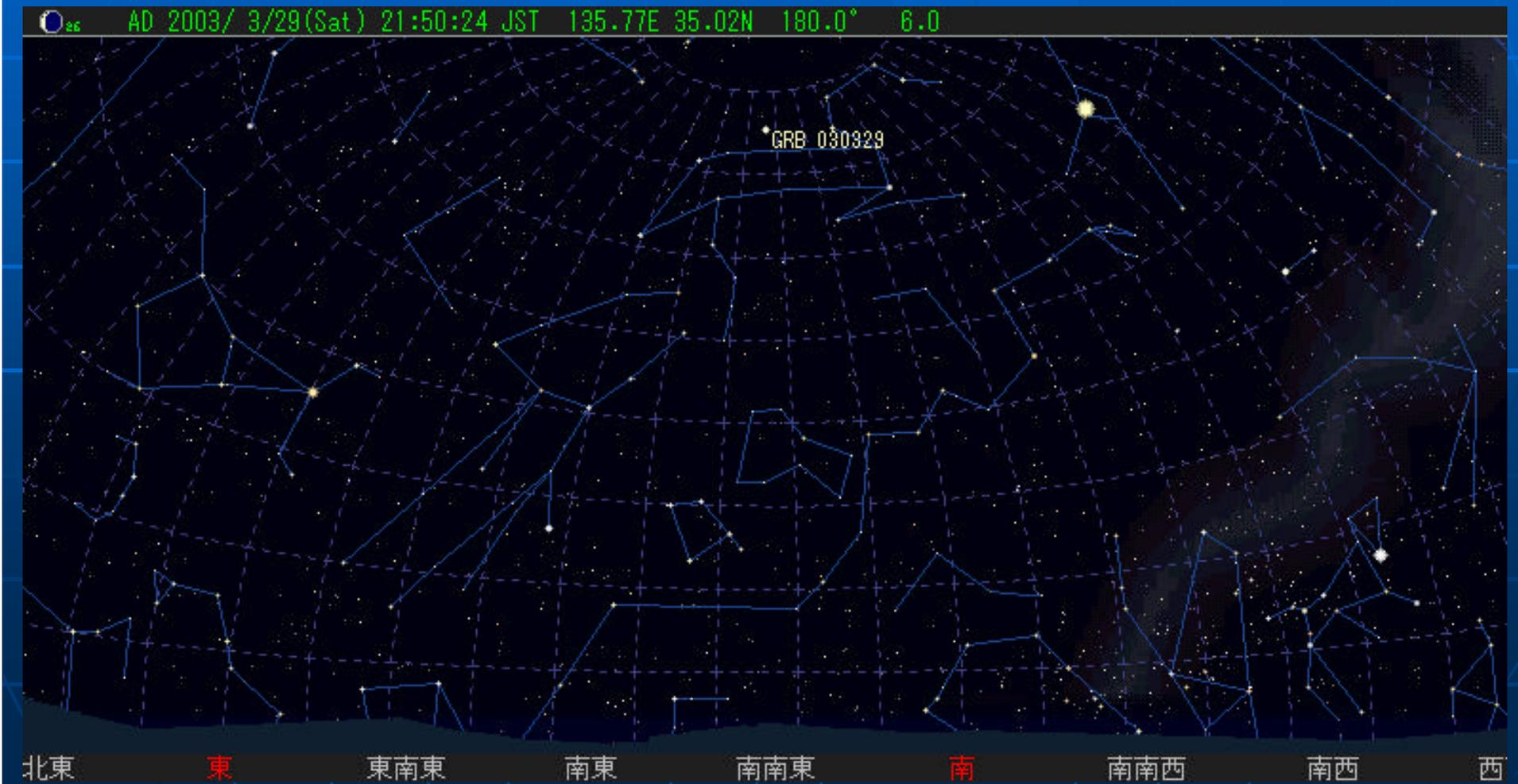
GRB 030329

- GRB発生: 11時37分14秒



GRB 030329

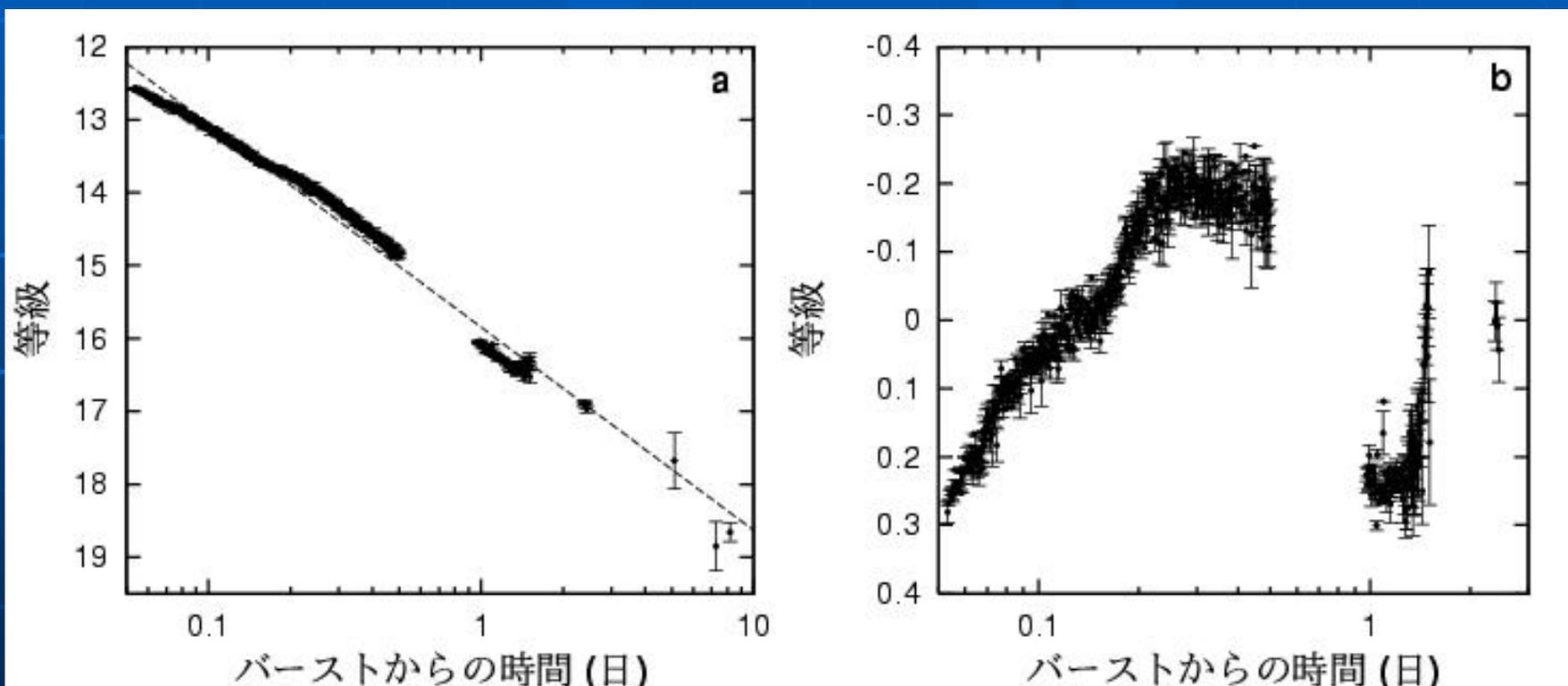
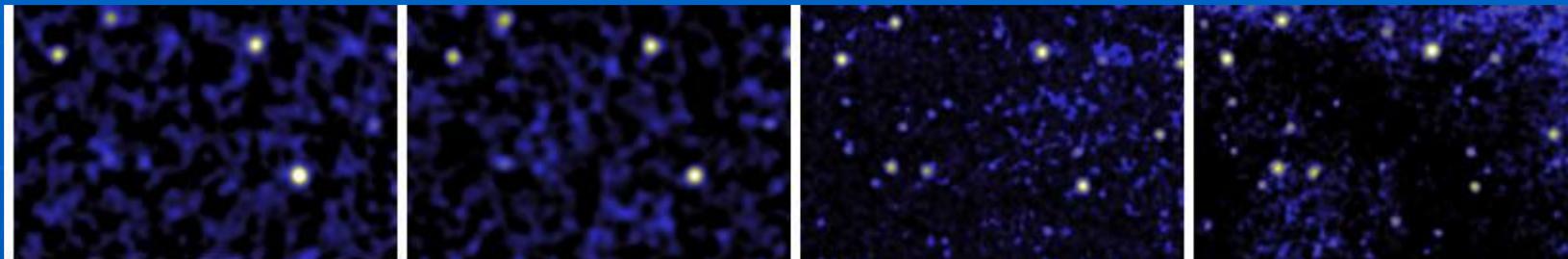
- SXC position: 12時50分24秒



GRB 030329から見た地球

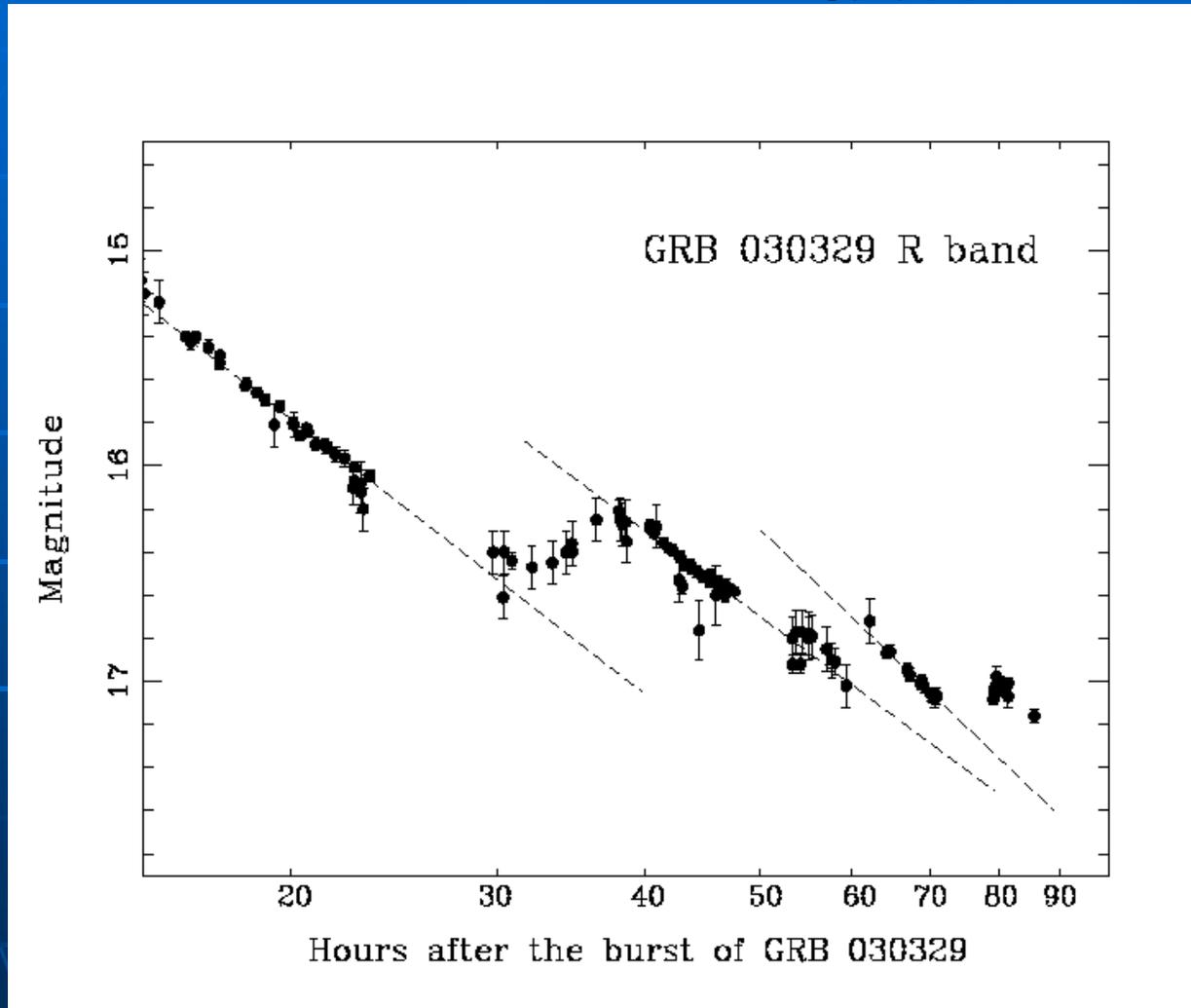


GRB 030329: 12等級の残光



連続観測：国際協力の賜 (Uemura et al. 2003)

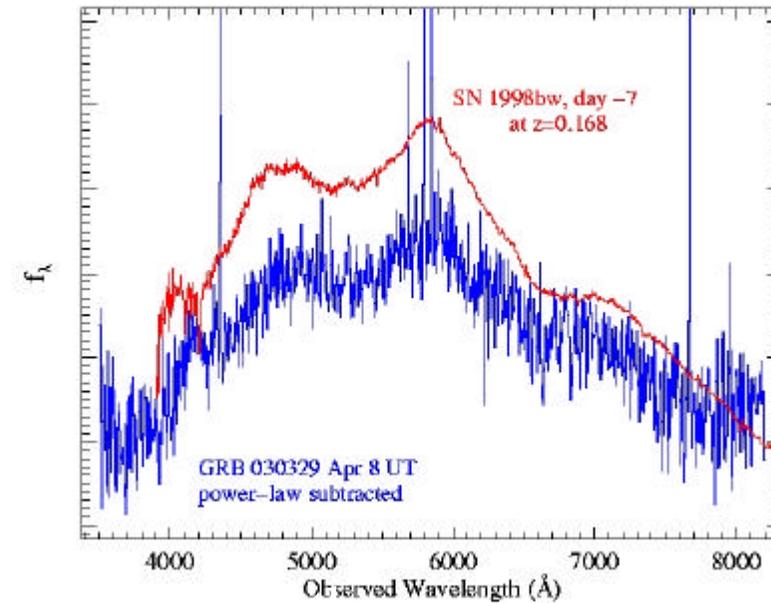
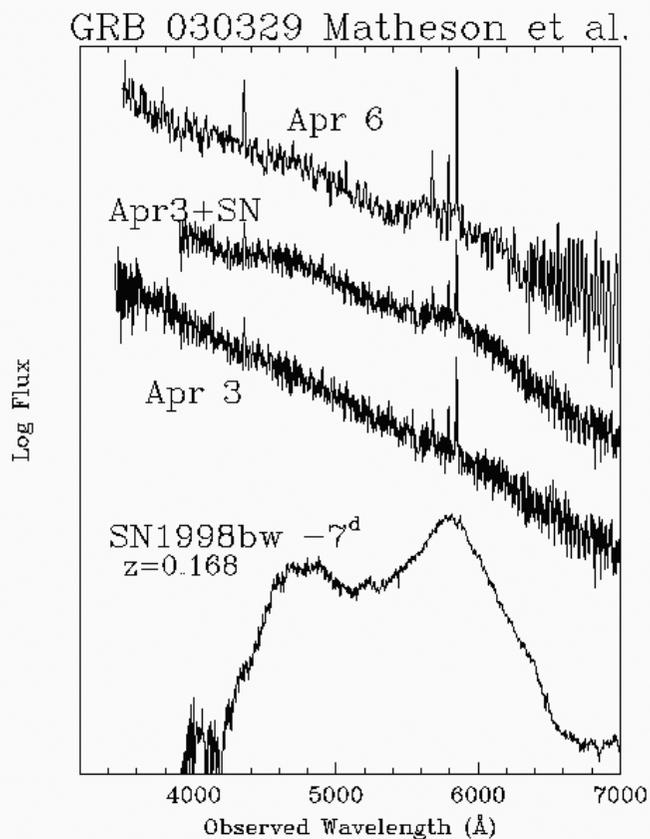
GRB 030329:より複雑な光度曲線



(Li et al. 2003)

増光: CSM密度構造では説明できない エネルギー追加?

GRB 030329:残光スペクトルから極超新星



$z = 0.168$: 近傍、古くない
SN/GRB connectionの
間違いない例

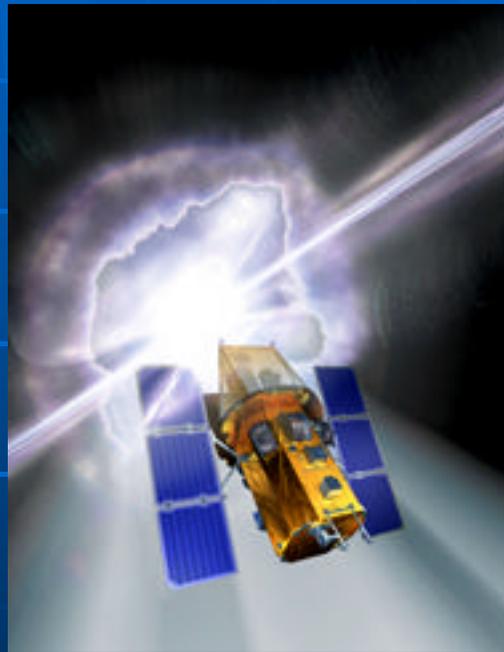
GRBのこれから

- long-softは(極)超新星起源だろう
 - 続々とSN bumpやスペクトルが確認
- short-hardは? 中性子星の合体?
 - 重力波との同時観測
- XRFは? GRBと連続的な存在?
 - 残光が見出される例も
- 残光 赤外、多色、偏光
- もちろん残光・central engineのモデルも

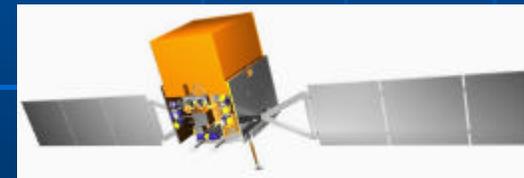
次世代の衛星

■ Swift (2004-)

- 光学望遠鏡を搭載
- 継続観測はできない



- GLAST(2006-)
– より暗いIGRBまでとらえる



地上との連携・国際協力は今後とも有効