Some recent results from Swift

Masaki Mori

- Goro Sato, presentation for Ph.D. thesis defense (January 2006)
- P. Jakobsson et al., A&A 447, 897 (2006)
- N. Kawai et al., astro-ph/0512052

ICRR CANGAROO group internal seminar, April 27, 2006

ガンマ線バーストと相対論的ジェット

ガンマ線バースト(Gamma-ray Burst: GRB)とは?

- ガンマ線での見かけの明るさが全天を凌駕
- 宇宙論的な距離(これまでの平均 z~1.3)
- 宇宙最大の爆発現象(10⁵¹-10⁵⁴ erg)

ガンマ線放射源は?

- 火の玉(ファイアボール)R < c ∆t ~ 3000 km
- ローレンツ因子100以上の相対論的ジェット

爆発の正体は?

- 大質量星が重力崩壊し、ブラックホールを生成、ジェットを放出?
- しかし! そもそも、ジェットの構造、実際のローレンツ因子、構成要素、時間発展などの物理過程はことごとく未解決

本研究の目的:GRBジェットの時間発展から、物理状態に制限をつける 〜 Swift衛星を用いたGRB解明への第一歩 〜







- X線残光を発見、時間のべき-1.3(t^{-1.3})で減光
- さらにHSTなどによる可視光追観測

→ 母銀河の発見 → 赤方偏移(z = 0.695)



これまでの残光観測



し、GRD先生直後からの観測が美現すると、

- ジェットの時間発展の全体像を調べることが初めて可能に

- 残光が明るいうちに観測

→ 赤方偏移を決定できるGRBの数が飛躍的な増大

Swift衛星

GRBの監視だけでなく、自動追尾まで行う初めての衛星

米NASAを中心とする国際共同ミッション 約3年間という短い期間で開発 **BAT (Burst Alert Telescope)** ガンマ線イメージャ 15-150 keV 自動的に 姿勢制御 全天の6分の1をカバー 1-4分角の角度分解能 UVOT UV可視光望遠鏡 (170-600 nm) XRT X線望遠鏡 (0.3-10.0keV)

約100秒での追観測を実現

2004年11月20日打ち上げ



Delta II, ~600 km, ~21°

BAT検出器の開発





G.Sato, Ph.D. thesis

BAT detector







Figure 3.5: The response of the BAT to a simulated GRB. (NASA/GSFC)

Table 3.1. BAT Instrument Paramters.

| Property | Description |
|---------------------|---|
| Apeture | Coded mask |
| Detecting Area | 5200 cm^2 |
| Detecor | CdZnTe |
| Detectoer Operation | Photon counting |
| Field ov View | 1.4 sr (half-coded) |
| Detection Elements | $256 \ {\rm modules} \ {\rm of} \ 128 \ {\rm elements}$ |
| Detector Size | $4~\mathrm{mm} \times 4~\mathrm{mm} \times 2~\mathrm{mm}$ |
| Telescope PSF | 17 arcmin |
| Energy Range | 15–150 $\rm keV$ |

Swift ~BAT~ のパワー

288日間(2005年9月まで)で、77GRBsを検出 = 年間100個のペース







これまでのGRBスペクトルとコンシステント

XRT/UVOTによる残光の検出

• XRT



• より暗いGRBを見ている?

早期X線残光



X線残光とジェットブレイク



まだ結論は出ていない 世界中で議論が進行中

GRBジェットの膨張



ジェットは、星間物質に突入して、
時間とともに減速
$$\Gamma >> \frac{1}{\theta_{j}}$$
角度一定 $\Gamma \approx \frac{1}{\theta_{j}}$ 急速に膨張

流体力学的な運動学で決まる → 様々な波長で同時に観測されるはず

Swiftによる観測:可視光が暗いため、X線残光での観測が期待される

X線でも見つからない



ジェットブレイクが見つかると

ジェットの開き角を導出

ジェットと星間物質のエネルギー保存



[Panaitescu&Meszaros, ApJ 526, 707 (1999); Sari, Piran&Halpern, ApJ 519, L17 (1999)]



loka, Talk at Kyoto symposium (2003 Dec)





プロンプト放射のエネルギー

スペクトルとの関係

Ghirlanda et al. 2004



プロンプト放射のエネルギー



解析サンプル

- 赤方偏移の決定
- プロンプト放射の評価(Ep, Eiso)
- X線光度曲線の高いサンプリング

²⁰⁰⁵年7月までで 赤方偏移が判明している GRB10個の中から選別













ジェットブレイクの存在し得る時間帯

1. より早い時間帯:

X線観測により、カバーされている X線ブレイク = ジェットブレイク?

α-β 関係からは、考えづらい

しかし、ジェットブレイクだと 仮定すると、"E γ "を計算できる (結果は次のviewgraph)

2. より遅い時間帯:





Ghirlanada関係のアウトライヤーを発見



Swiftの3つのGRBは、Ghirlanda関係のアウトライヤーになる

Amatiの関係の考察



シンクロトロン放射のピークエネルギー



我々の結果:



Ghirlandaの関係の考察





セレクションエフェクトはあるか?



GRBジェットへの制約

ガンマ線プロンプト放射と、可視光残光の明るさからは、 明確なサンプルの違いは無さそうだが、



Ghirlandaの関係は宇宙論的研究に使えるか?



Ghirlanda et al. 2004b



A mean redshift of 2.8 for Swift gamma-ray bursts

P. Jakobsson et al., A&A 447, 897 (2006)

Table 2. A list of all long-duration GRBs which have a Galactic extinction $A_V^{\text{Gal}} < 0.5 \text{ mag}$, a declination between -70° and $+70^\circ$, and are localised with the *Swift*/XRT after 1 March 2005. Here θ_{Sun} is the Sun-to-field distance, θ_{Moon} the Moon-to-field distance and I_{Moon} the Moon illumination at the time the burst occurred. For a burst detected in the optical but without a reported redshift, an upper redshift limit is estimated based on the filter it is detected in. References are [1] Kelson & Berger (2005); [2] Berger & Mulchaey (2005); [3] Fynbo et al. (2005a); [4] Watson et al. (2005a); [5] Rol et al. (2005); [6] Cenko et al. (2005b); [7] Cenko et al. (2005a); [8] Berger et al. (2005a); [9] Foley et al. (2005); [10] Berger & Becker (2005); [11] Tanvir et al. (2005); [12] Poole et al. (2005); [13] Starling et al. (2005); [14] Blustin et al. (2005a); [15] Fynbo et al. (2005b); [16] This work; [17] Prochaska et al. (2005); [18] Fynbo et al. (2005c); [19] Kawai et al. (2005); [20] Fugazza et al. (2005); [21] Bloom (2005); [22] Jakobsson et al. (2005b).

| GRB | z | A_V^{Gal} | θ_{Sun} | θ_{Moon} | I _{Moon} | Ref. | GRB | z | A_V^{Gal} | θ_{Sun} | θ_{Moon} | I _{Moon} | Ref. |
|-------------|------|--------------------|----------------|-----------------|-------------------|------|---------|-------|-------------|----------------|-----------------|-------------------|------|
| | | [mag] | [deg] | [deg] | [%] | | | | [mag] | [deg] | [deg] | [%] | |
| 050315 | 1.95 | 0.16 | 59 | 114 | 24 | 1 | 050730 | 3.97 | 0.17 | 84 | 150 | 31 | 13 |
| 050318 | 1.44 | 0.06 | 64 | 83 | 52 | 2 | 050801 | <2.0 | 0.32 | 82 | 127 | 15 | 14 |
| 050319 | 3.24 | 0.04 | 132 | 44 | 61 | 3 | 050802 | 1.71 | 0.07 | 79 | 102 | 9 | 15 |
| 050401 | 2.90 | 0.22 | 122 | 36 | 62 | 4 | 050803 | | 0.25 | 136 | 113 | 4 | |
| 050406 | <3.5 | 0.07 | 59 | 58 | 10 | 5 | 050814 | 5.3 | 0.09 | 99 | 74 | 60 | 16 |
| 050412 | | 0.07 | 159 | 121 | 11 | | 050819 | | 0.40 | 132 | 59 | 99 | |
| 050416A | 0.65 | 0.10 | 145 | 69 | 44 | 6 | 050820A | 2.61 | 0.15 | 147 | 34 | 100 | 17 |
| $050502B^a$ | <8.5 | 0.10 | 98 | 177 | 42 | 7 | 050822 | | 0.05 | 105 | 63 | 93 | |
| 050505 | 4.27 | 0.07 | 90 | 130 | 13 | 8 | 050824 | 0.83 | 0.12 | 129 | 17 | 77 | 18 |
| 050525 | 0.61 | 0.32 | 121 | 57 | 98 | 9 | 050904 | 6.29 | 0.21 | 143 | 145 | 0 | 19 |
| 050603 | 2.82 | 0.09 | 56 | 39 | 15 | 10 | 050908 | 3.34 | 0.08 | 146 | 151 | 16 | 20 |
| 050714B | | 0.18 | 67 | 25 | 44 | | 050915A | <13.0 | 0.09 | 93 | 109 | 86 | 21 |
| 050716 | <8.0 | 0.37 | 108 | 125 | 64 | 11 | 050922B | | 0.12 | 171 | 57 | 80 | |
| 050726 | <5.0 | 0.21 | 88 | 147 | 73 | 12 | 050922C | 2.20 | 0.34 | 138 | 93 | 80 | 22 |

^a The OA was detected in I but not V, suggesting a high redshift (Cenko et al. 2005a).

P. Jakobsson et al., A&A 447, 897 (2006) A mean redshift of 2.8 for *Swift* gamma-ray bursts



Fig. 3. The cumulative fraction of GRBs as a function of redshift for 42 pre-*Swift* bursts (upper stepwise curve) and 16 *Swift* bursts (lower stepwise curve). Overplotted are three simple models for the expectation of the redshift distribution of GRBs: model II from N05 in which the GRB rate is proportional to the star formation rate (solid curve), model IV from N05 in which the GRB rate increases with decreasing metallicity (dashed curve) and a model from G04 in which the GRB rate is proportional to the star formation rate (dash-dotted curve). All three models fold in the *Swift*/BAT flux sensitivity.

"The mean redshift of our relatively unbiased *Swift* sample $(z_{mean} = 2.8)$ is larger than the mean redshift of sub-mm galaxies ($z_{mean} = 2.4$: Chapman et al. 2003) and is similar to that of Type 2 AGNs $(z_{mean} \sim 3$: Padovani et al. 2004)."

Gehrels, EBHU 2005

GRB050904

Distance = 12.8 billion light years (z=6.3)

X-ray Afterglow





Flux x100 of high-z luminous X-ray AGN

GRB050904: z=6.295±0.002



| Observed Wavelength (Å) | Equivalent Width (Å) | Column Density log (cm ⁻²) | Line Identification | Redshift |
|------------------------------------|---------------------------------|--|-------------------------------|------------------------------|
| 9041.0 ± 0.8 | 4.5 ± 1.0 | 14.44 ^{+0.14} | C IV λ1548.2 (N V λ1238.8) | 4.840±0.001 (6.298±0.001) |
| 9055.9 ± 1.7 | $\textbf{1.7} \pm \textbf{1.0}$ | 14.21 ^{+0.25} | C IV λ1550.8 (N V λ1242.8) | 4.840±0.001 (6.287±0.001) |
| 9146.4 ± 1.8 | $\textbf{3.8} \pm \textbf{1.1}$ | $15.60^{+0.14}_{-0.17}$ | S II λ1253.8 | 6.295±0.001 |
| 9188.7 ± 2.6 | $\textbf{6.1} \pm \textbf{3.7}$ | $16.20\substack{+1.87 \\ -0.92}$ | S II λ1259.5 | 6.295±0.002 |
| 9195.9 ± 1.2 | $\textbf{8.3}\pm\textbf{2.7}$ | $14.29^{+0.57}_{-0.39}$ | Si II λ1260.4 | 6.296±0.001 |
| $\textbf{9225.8} \pm \textbf{1.8}$ | $\textbf{3.9} \pm \textbf{1.1}$ | $13.63^{+0.13}_{-0.16}$ | Si II* λ 1264.7 | 6.295±0.001 |
| $\textbf{9499.1} \pm \textbf{0.9}$ | 10.3 ± 1.9 | $15.85\substack{+0.39\\-0.28}$ | Ο I λ1302.2 | 6.295±0.001 |
| $\textbf{9737.2} \pm \textbf{1.1}$ | 12.3 ± 2.4 | $15.41^{+0.30}_{-0.26}$ | C II λ1334.5 | 6.296±0.001 |

Table 1: List of the absorption lines detected in the spectrum of the optical afterglow of GRB 050904. The wavelengths and equivalent widths were derived by fitting a single

N.Kawai et al., astro-ph/0512052

GRB skymap by Swift

173 bursts from Aug.25, 2004 to Apr.18, 2006



http://grb.sonoma.edu/