

X線・ガンマ線観測 Short duration GRB

- Short GRB
- proposed mission

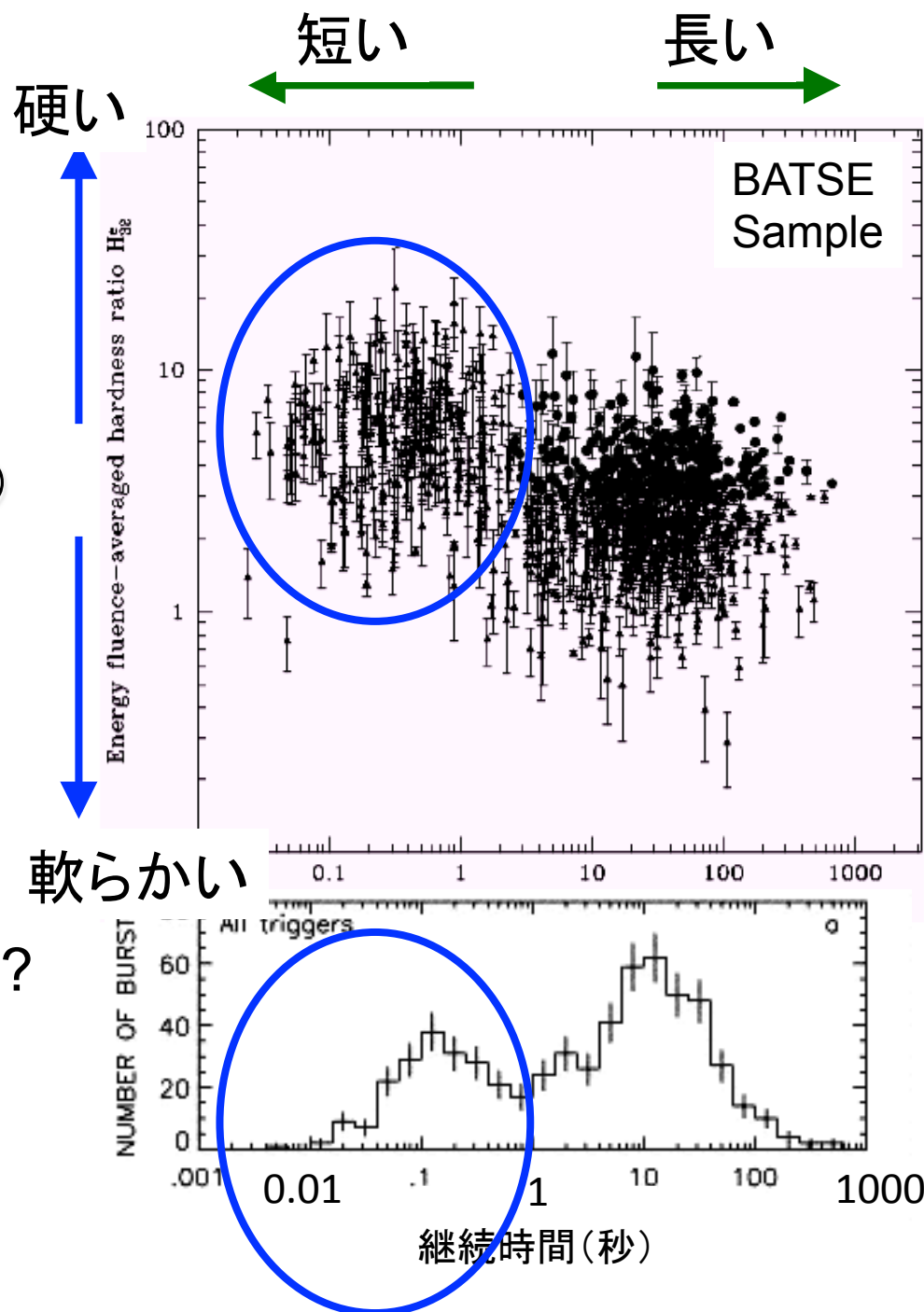
河合誠之
(東工大 WF-MAXIチーム)

“短くて硬い” ガンマ線バースト

継続時間が短くスペクトルが硬い
(高いエネルギーのガンマ線が多い)

X線、可視光残光検出例なし

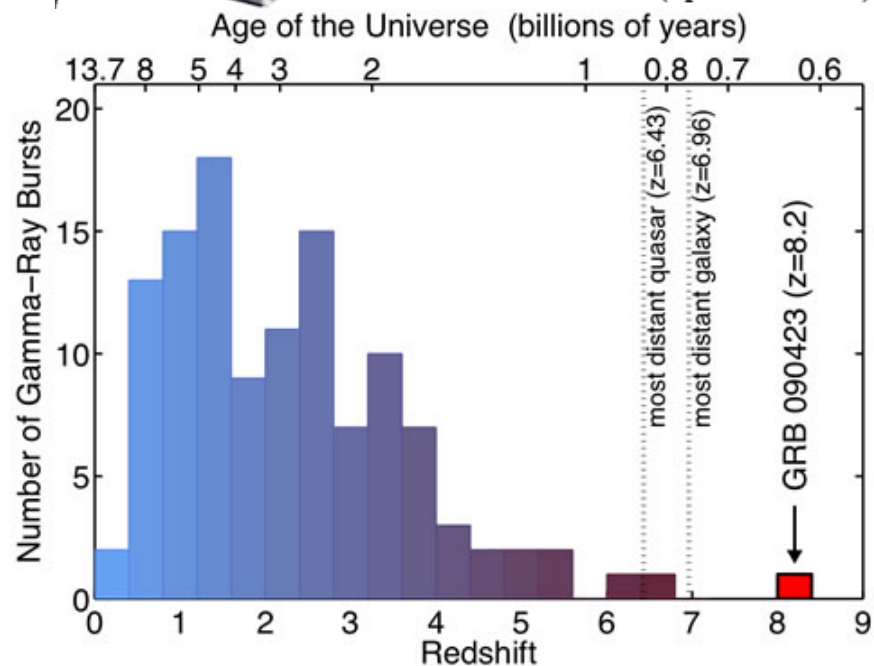
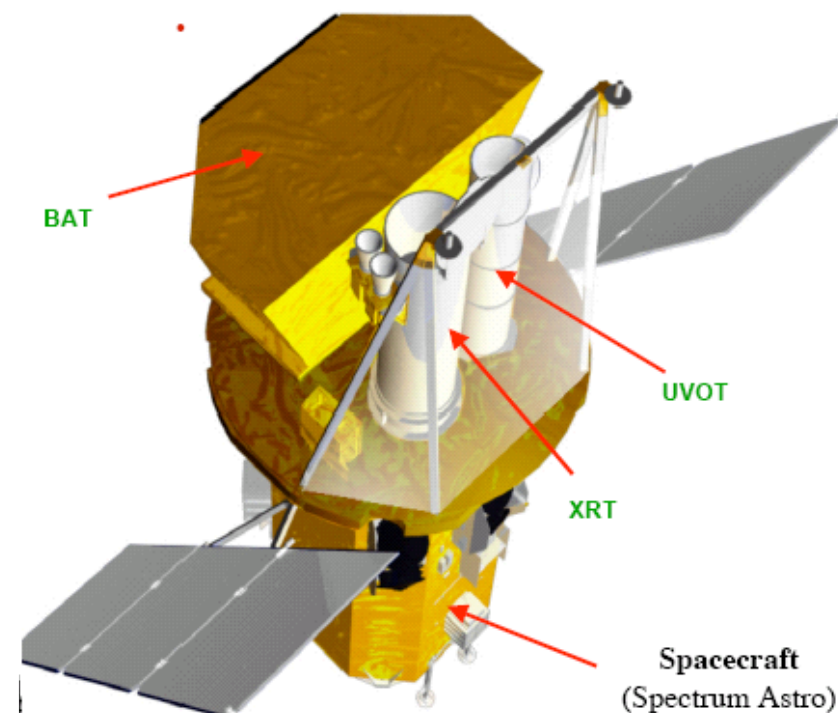
- 起源が違う？
 - 超新星？
 - 中性子星連星の衝突合体？
 - マグネターのフレア？



Swift

- 2004/10~
- ~100 GRB/year
 - 位置精度：数分角（～数秒）
→数秒角（数分）
- 自身で追跡観測
 - XRT 0.4 –10 keV
 - UVOT --- 赤外はなし

理研出身者(坂本)が
BATチーム中心メンバーの一

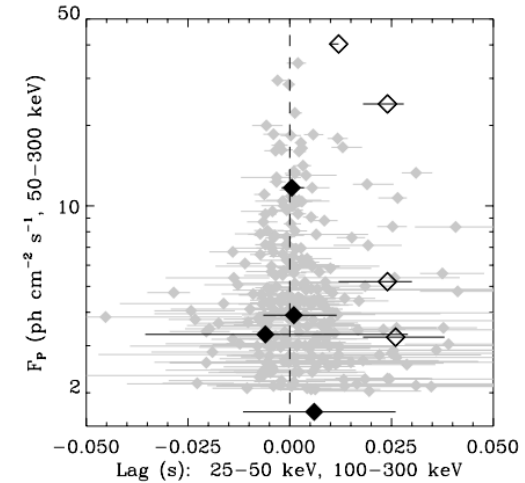
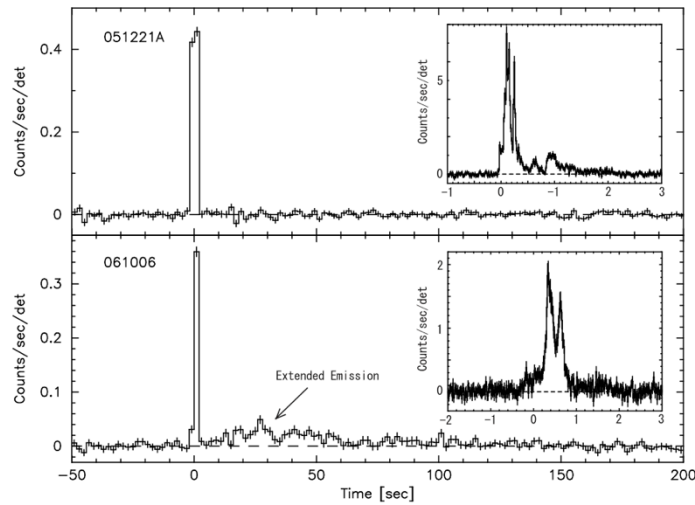


Credit: Edo Beraer (Harvard/CfA)

Prompt Emission Properties of s-GRBs

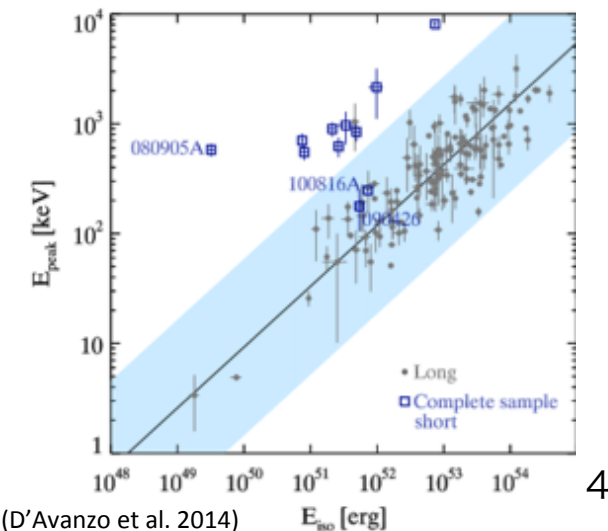
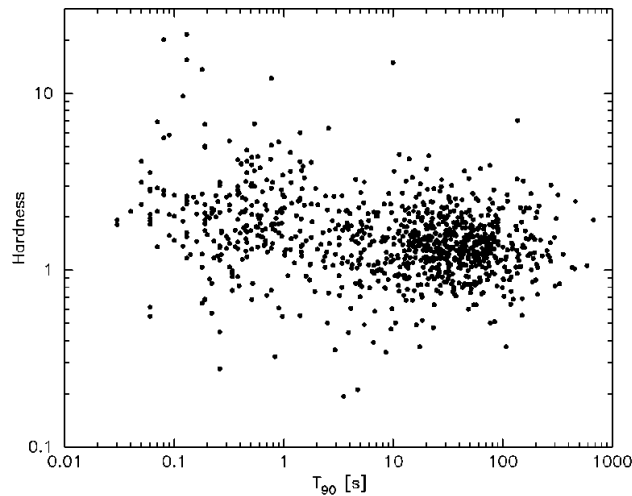
- Variable (multiple spikes) within its short duration
- With/without extended emission (E.E.) (Norris & Bonnell 2006)

- No spectral lag; 0 ± 20 ms (Norris et al. 2001)



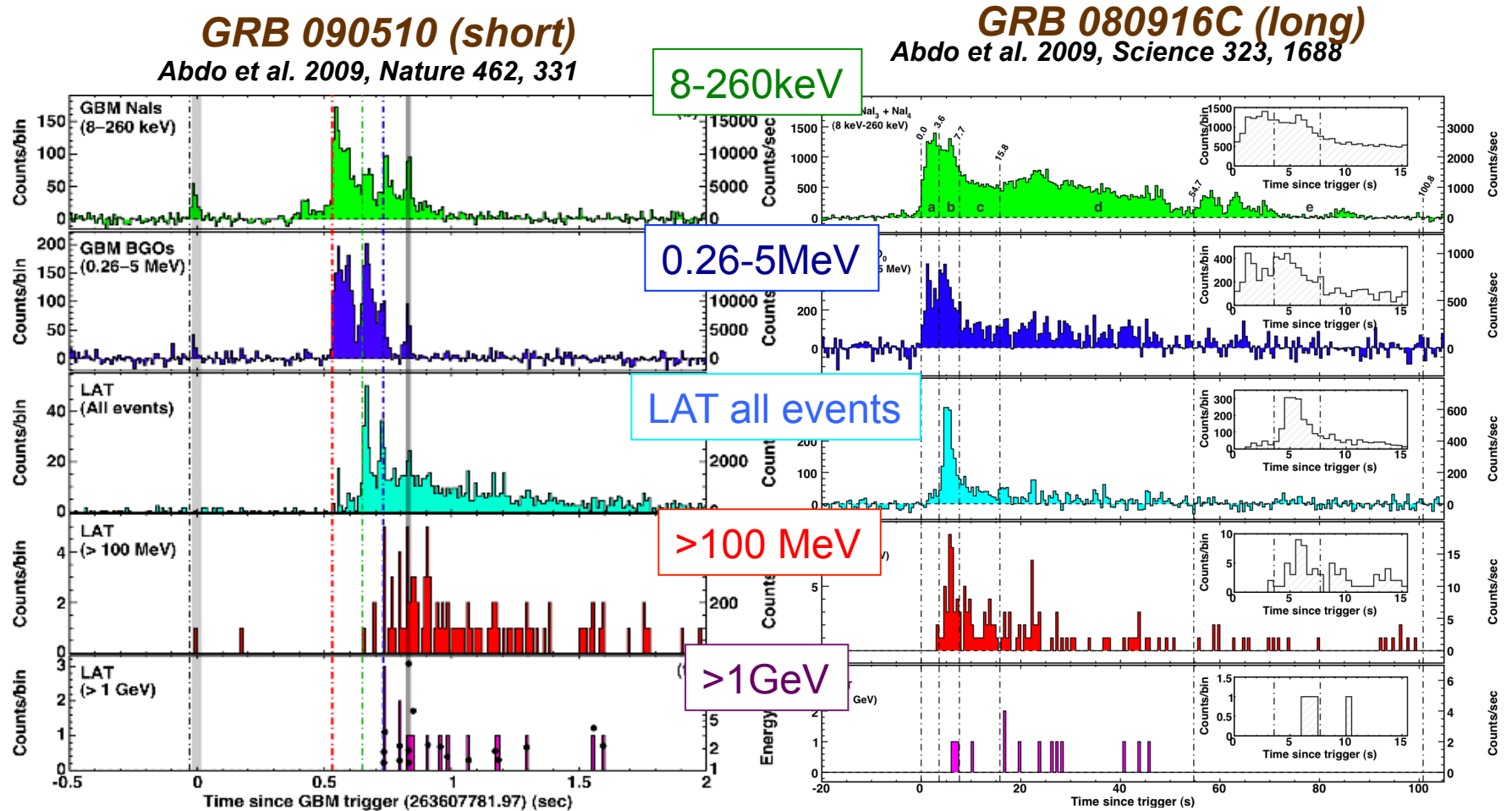
- No soft short GRBs (Kouveliotou 1993, Sakamoto 2006)

- Low fluence and high E_{peak}
(Outlier of $E_{\text{peak}}-E_{\text{iso}}$ relation) (Amati 2006)



(D'Avanzo et al. 2014)

Prompt emission of long and short GRBs



Delay in HE onset: 0.1-0.2 s

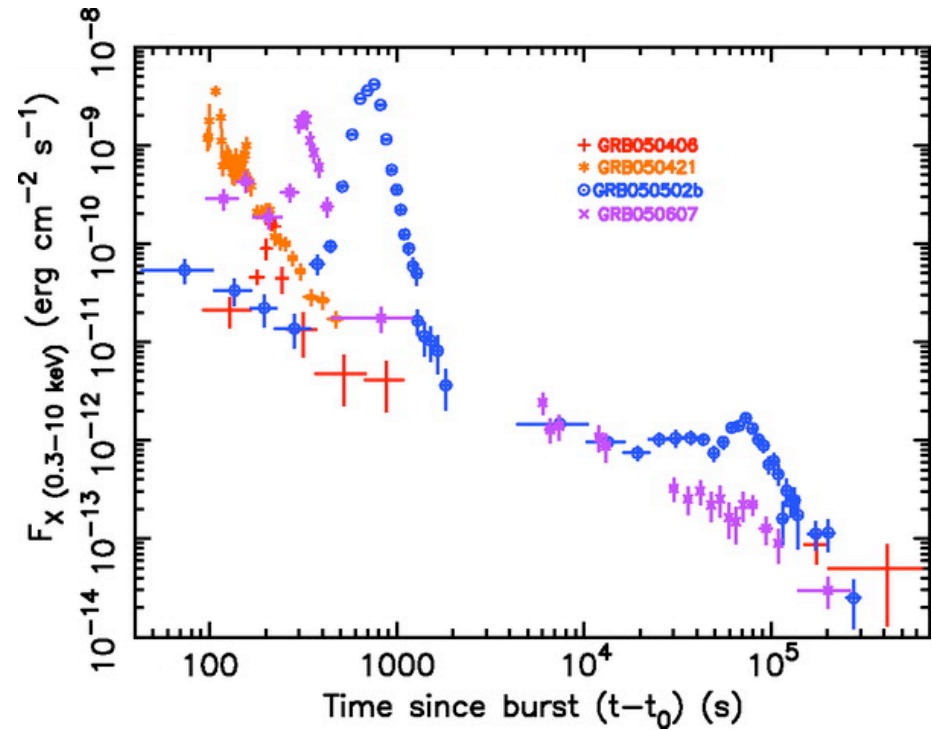
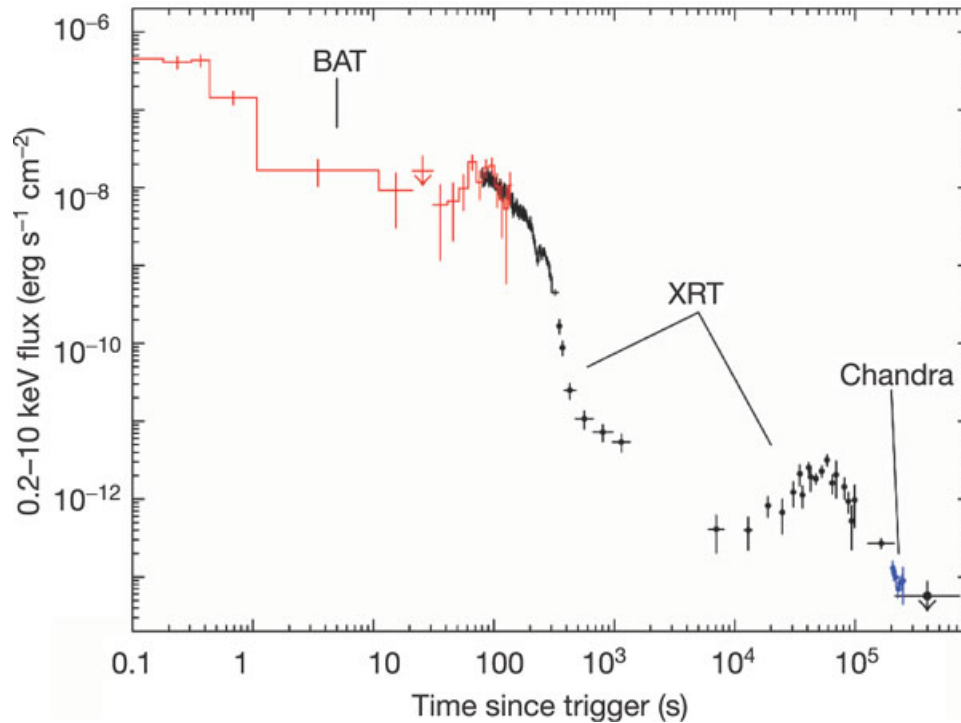
Delay in HE onset: ~4-5 s

時間尺度以外は、極めて類似 → 爆発後の物理過程はほとんど同じ

Afterglow of short and long GRBs

Short GRB050724

Long GRBs



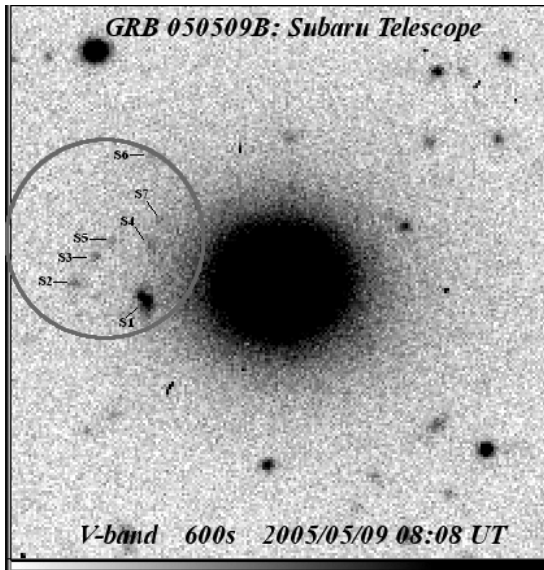
Barthelmy et al. 2005

Nousek et al. 2006

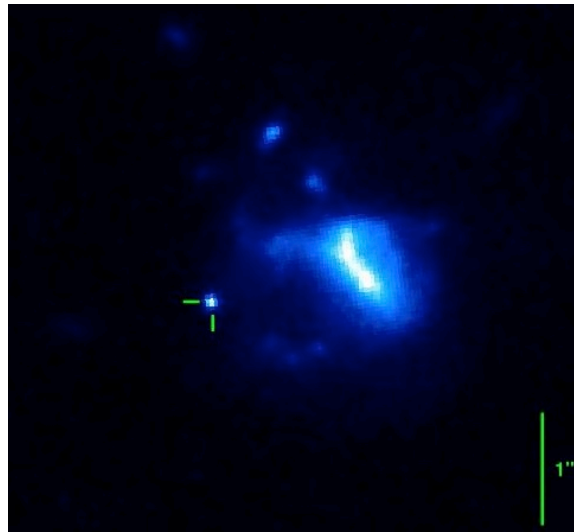
X-ray afterglows are similar to those of long GRBs

X線残光の振る舞いも似ている → 爆発後の物理過程はほとんど同じ

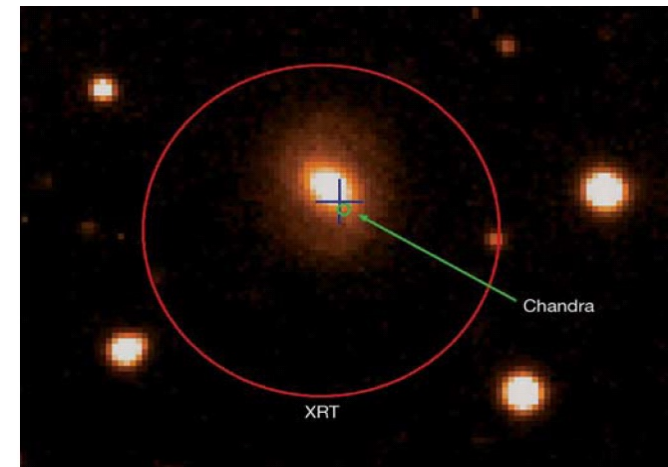
Hosts of the first three well-localized SGRB



GRB 050509B
 $z = 0.225$

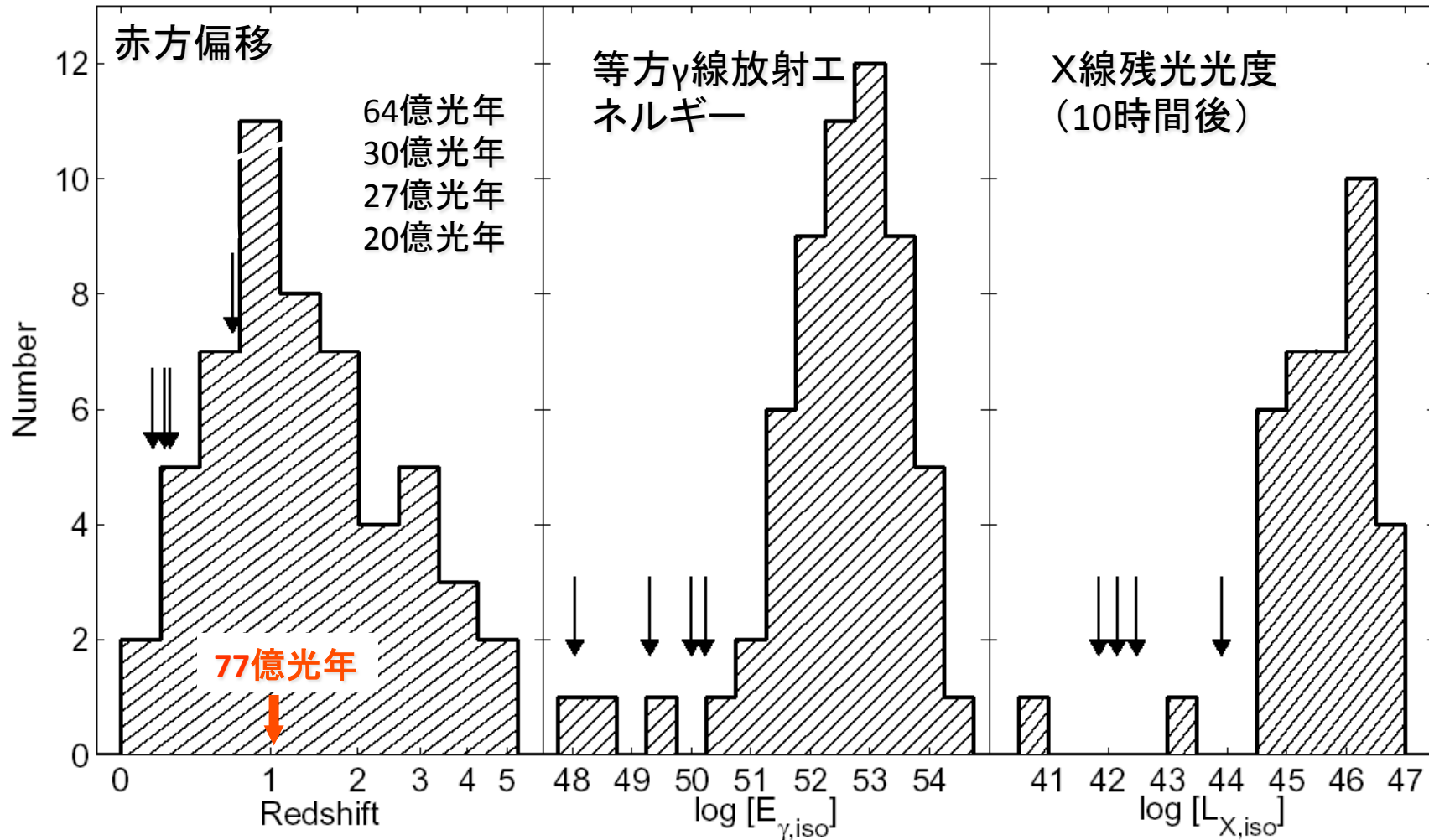


GRB 050709
 $z = 0.160$



GRB 050724
 $z = 0.258$

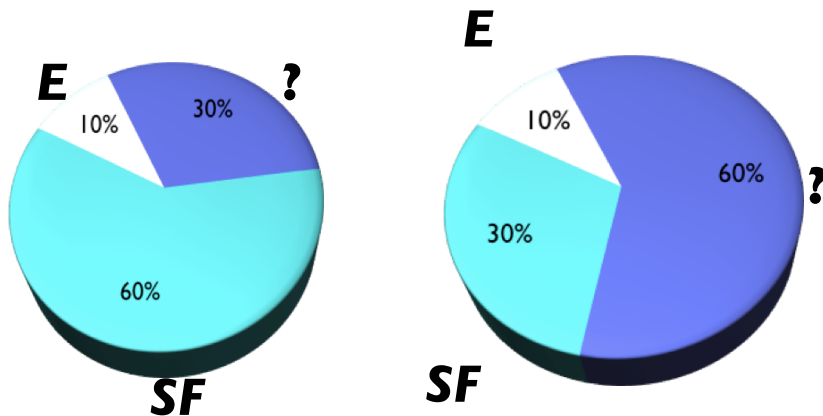
距離が既知の γ 線バーストの 赤方偏移と放射エネルギーの分布 (矢印: 短いバースト)



短いGRBの母銀河と赤方偏移の分布

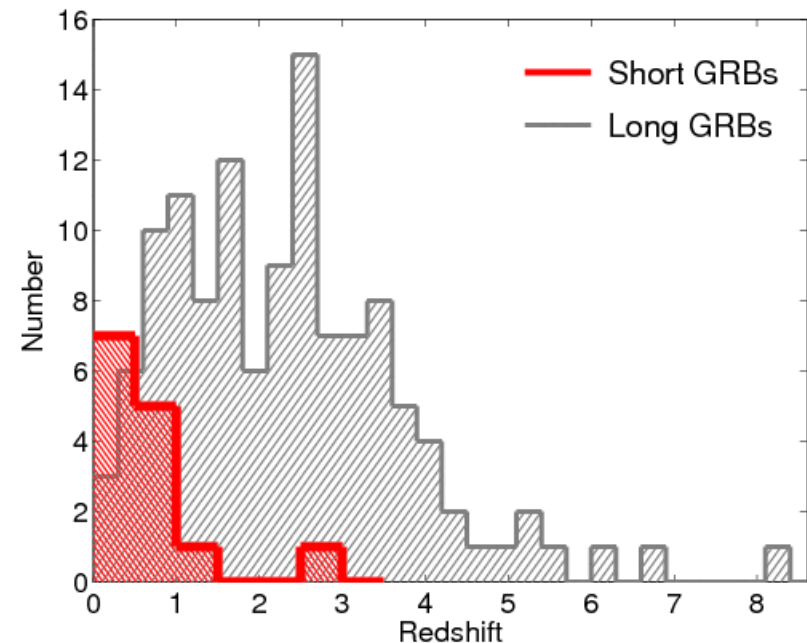
Optical Afterglows X-ray Afterglows

Berger et al. 2007; Berger 2009



E: 楕円銀河 (古い星のみ)
F: 星を生成している銀河

Confirmed hosts – E:SF = 2:11

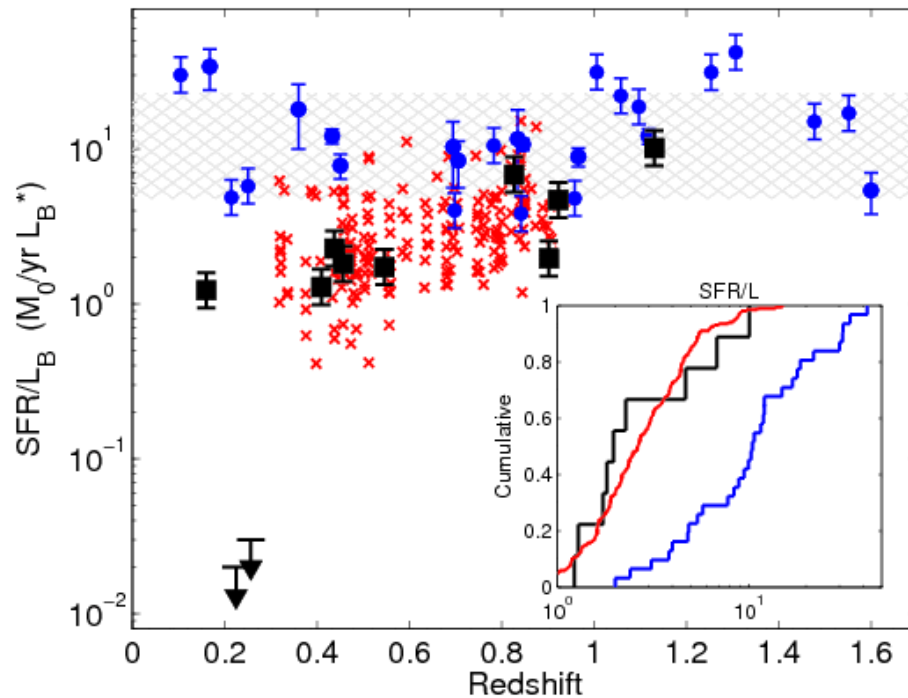


約半数の短いGRBは
 $z > 0.7$

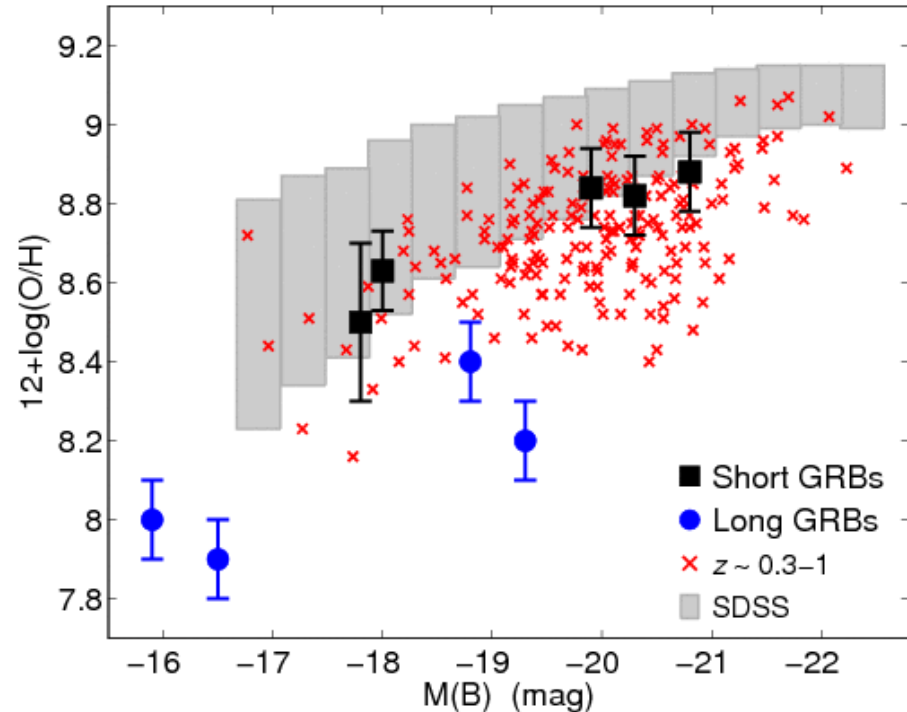
$\Rightarrow \langle \text{age} \rangle \leq 7 \text{ Gyr}$

短いGRBの母銀河 星形成率(SFR)と重元素組成比

Berger 2009

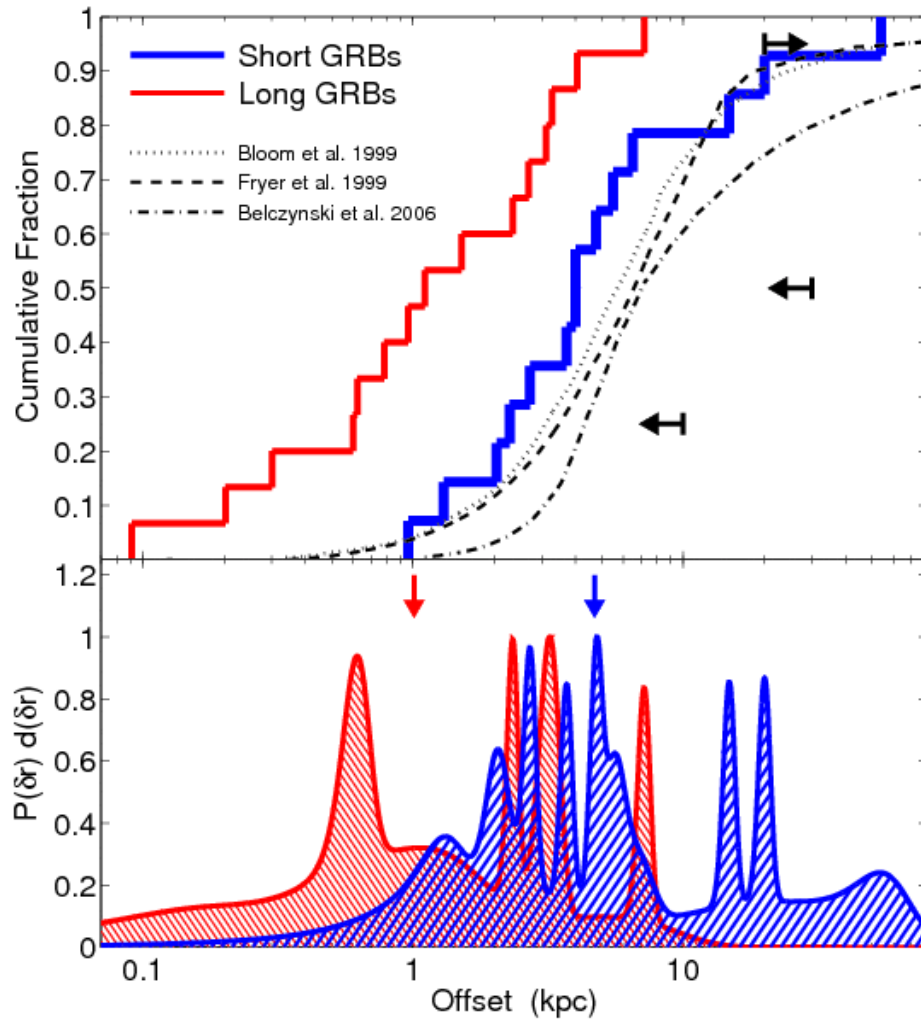


Short GRB hosts have lower specific star formation rates than long GRB hosts; they trace the general galaxy population

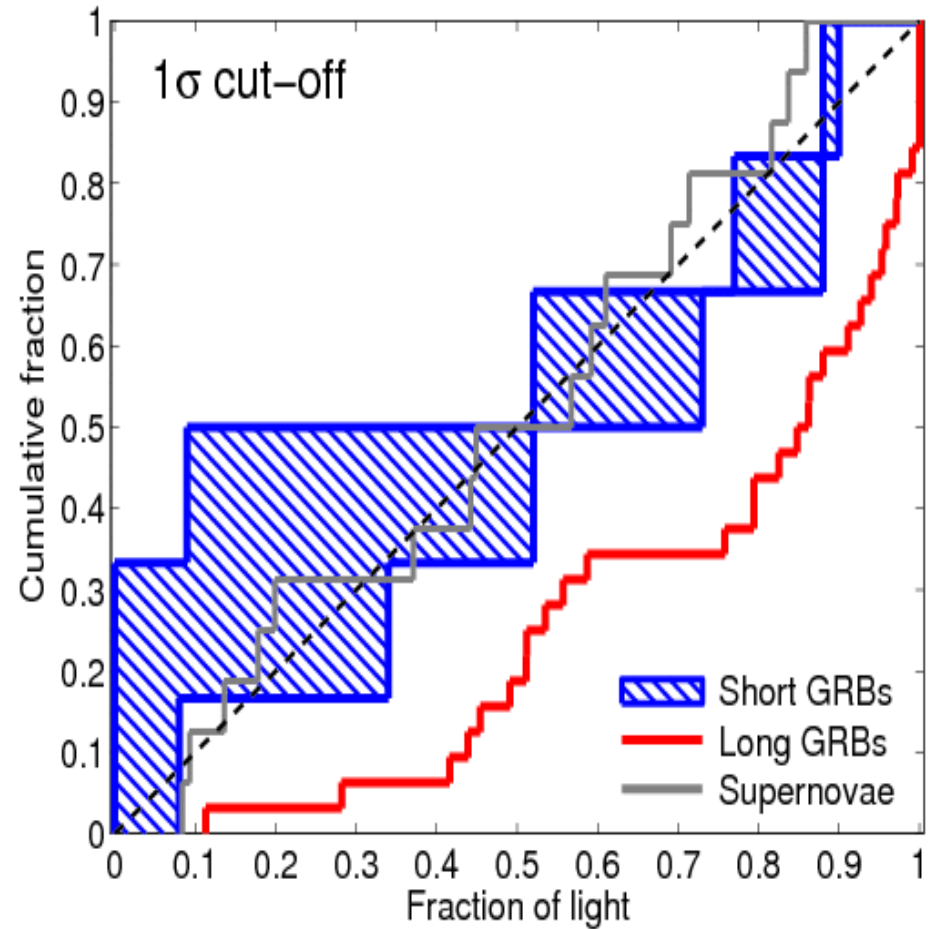


Short GRB hosts have higher metallicities than long GRB hosts; they trace the general galaxy population

短いGRBの銀河内の位置と環境



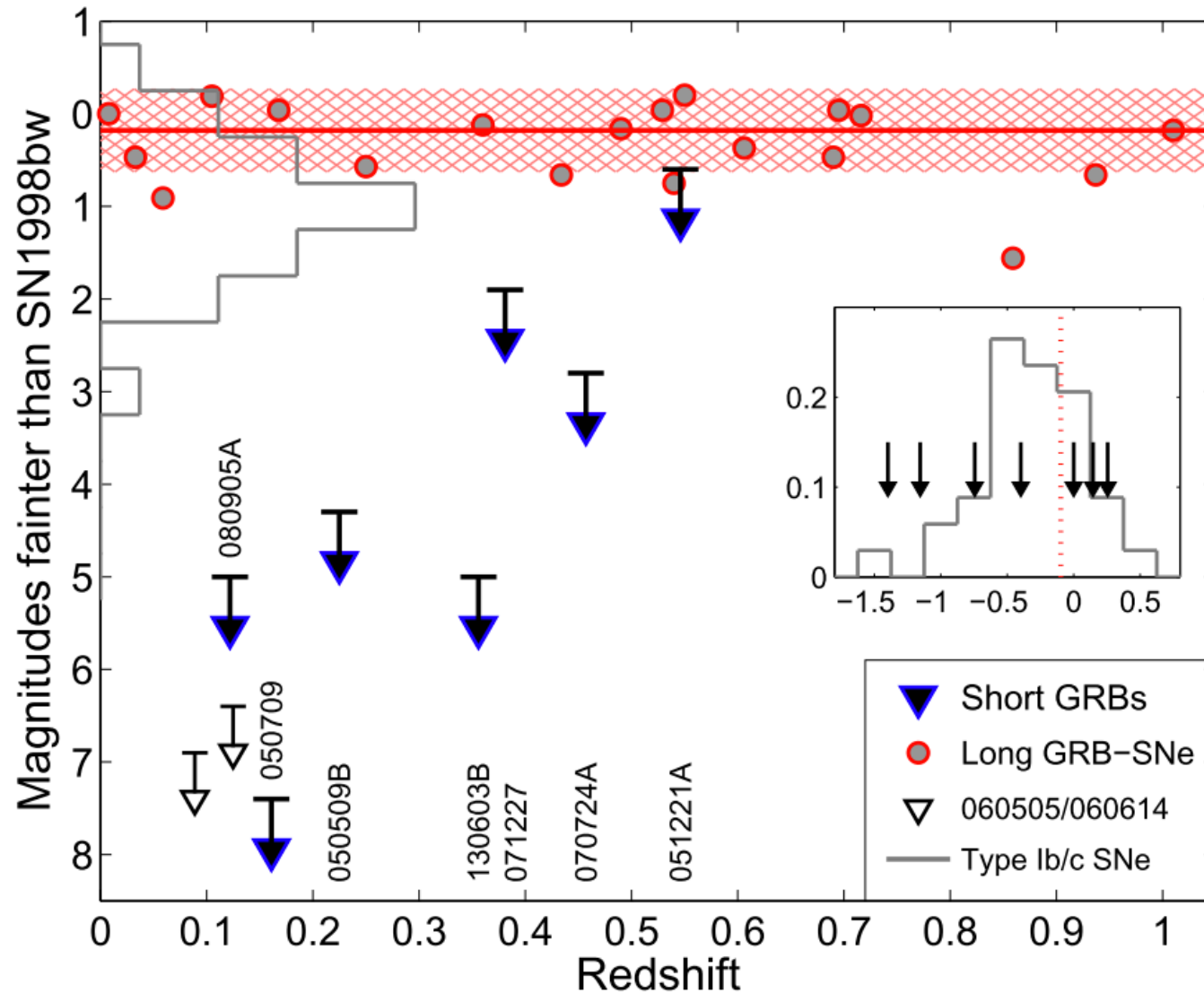
Fong, Berger, & Fox 2009



Fong, Berger, & Fox 2009

Short GRBs trace the light distribution of their host galaxies

Lack of Supernova Association



Short GRBs

Recent Statistics

“Complete Sample of Swift SGRB”

D’Avanzo et al. 2014

Swift Short GRBs:

- $\approx 10\%$ of the *Swift* GRBs
- fainter than long duration GRBs
- only 1/3 with redshifts

Criteria: ($\sim 2013/06$)

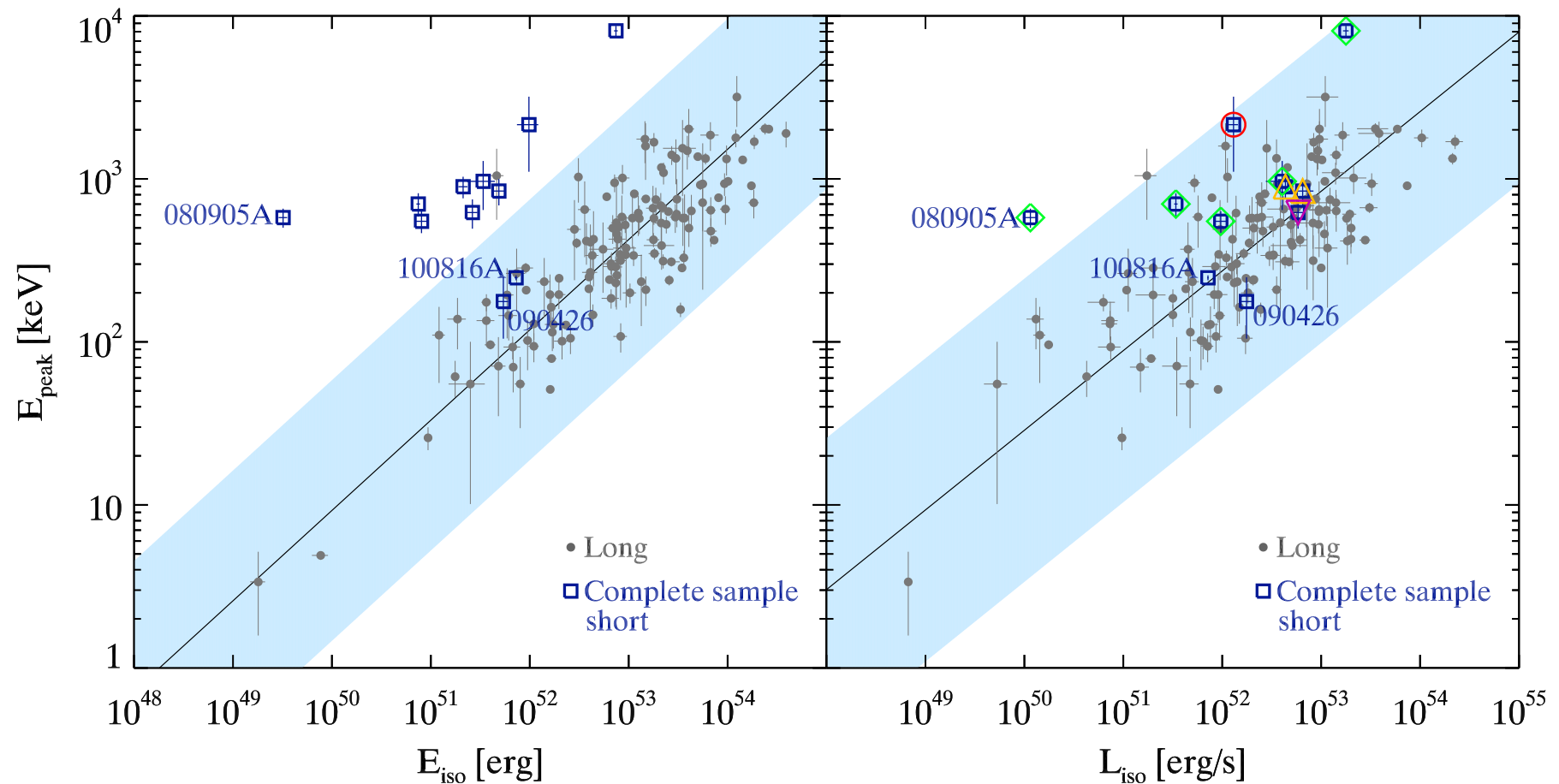
- 1) $A_v < 0.5$ & prompt *Swift*-XRT \rightarrow 36 SGRBs, 15 (42%) with redshift
- 2) Bright prompt (15-150 keV) emission (64ms peak flux > 3.5 ph/cm²/s)
 \rightarrow 16 SGRBs, 11 (69%) with redshift ($0.12 < z < 1.30$; “*Complete sample*”)

“Complete Sample of Swift SGRB”

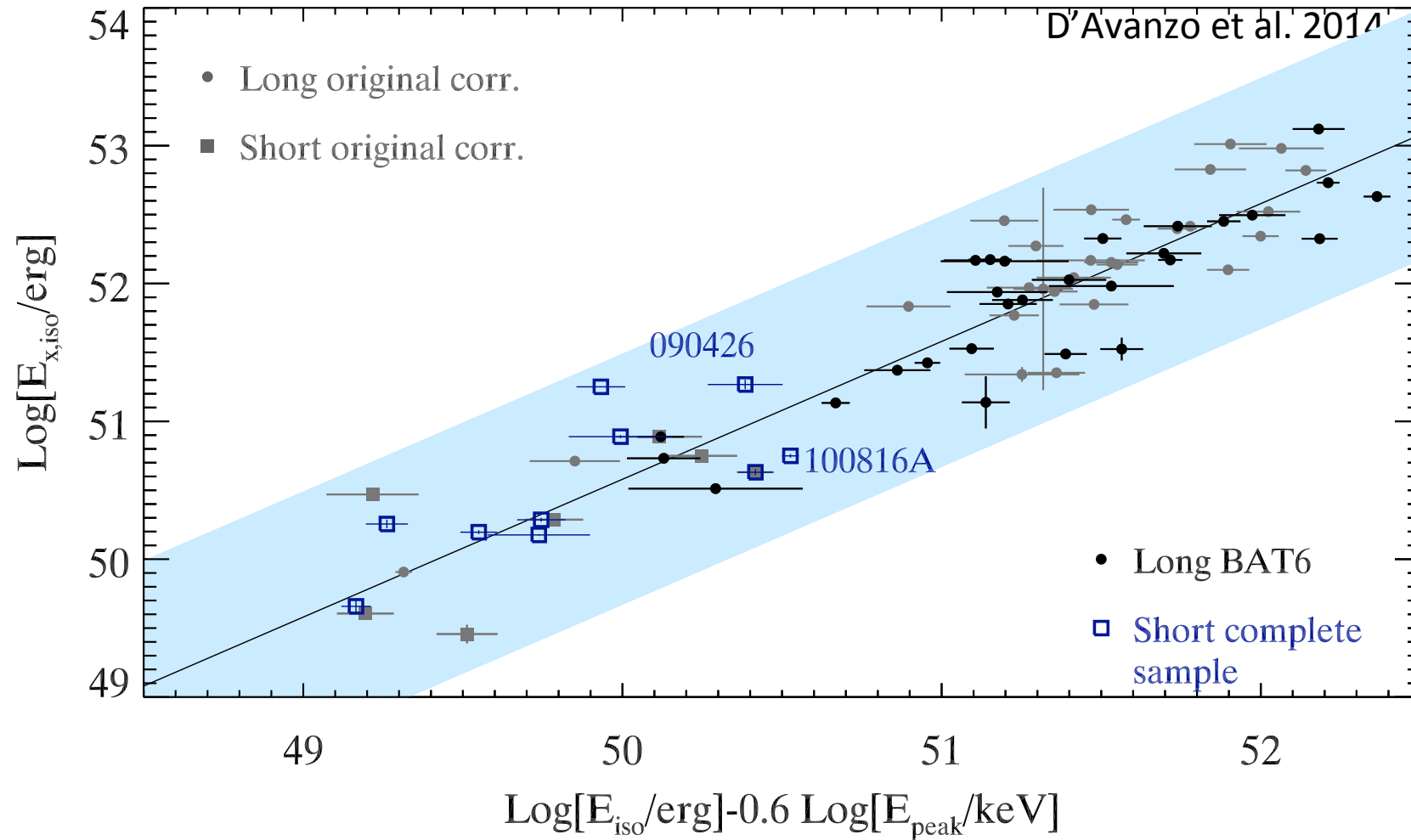
D’Avanzo et al. 2014

Amati et al.

Yonetoku et al.

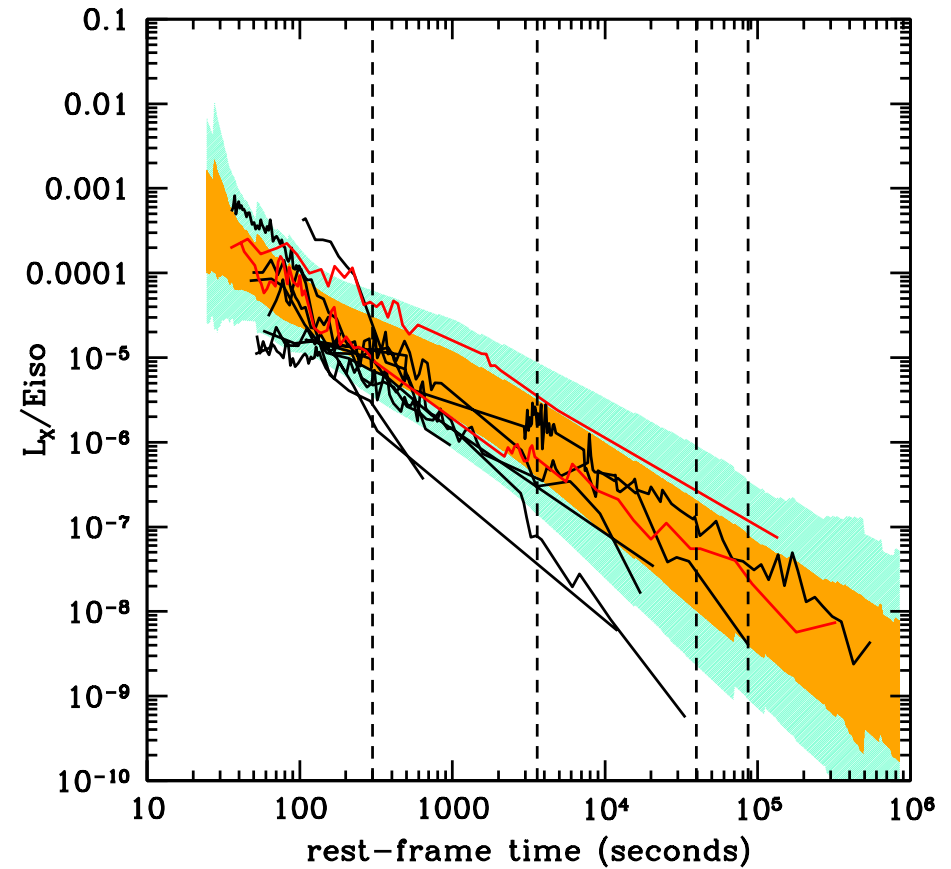
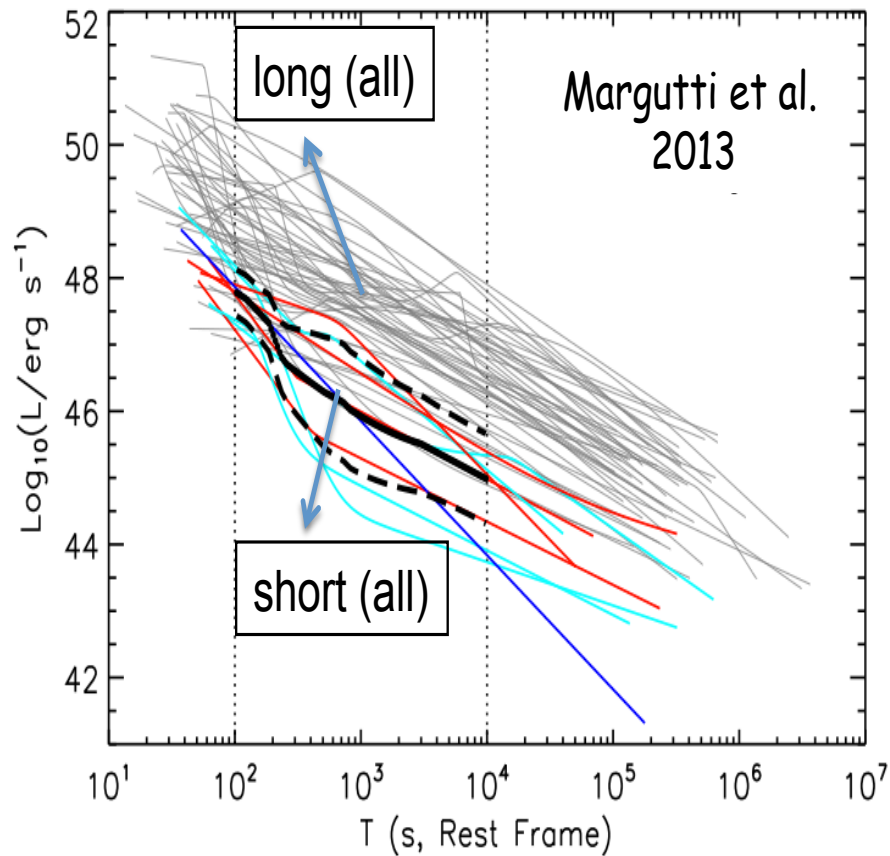


“Complete Sample of Swift SGRB”



“Complete Sample of Swift SGRB”

D’Avanzo et al. 2014



“Complete Sample of Swift SGRB”

D’Avanzo et al. 2014

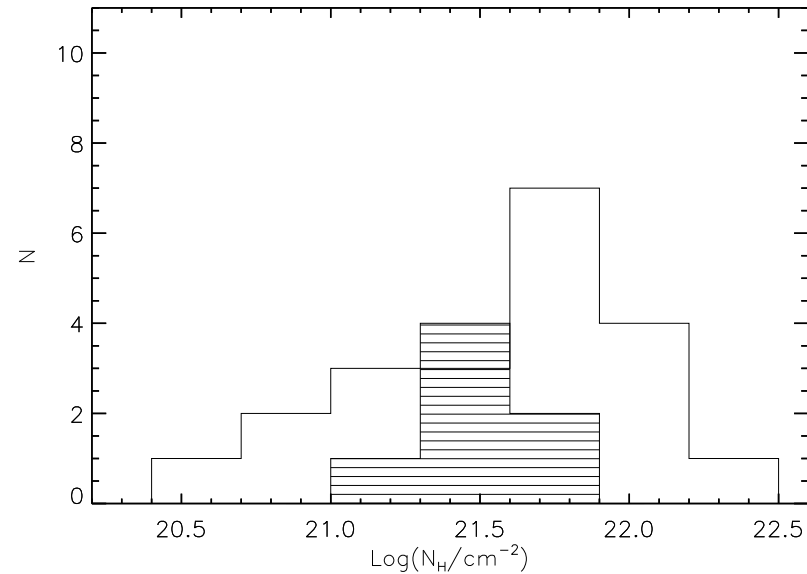
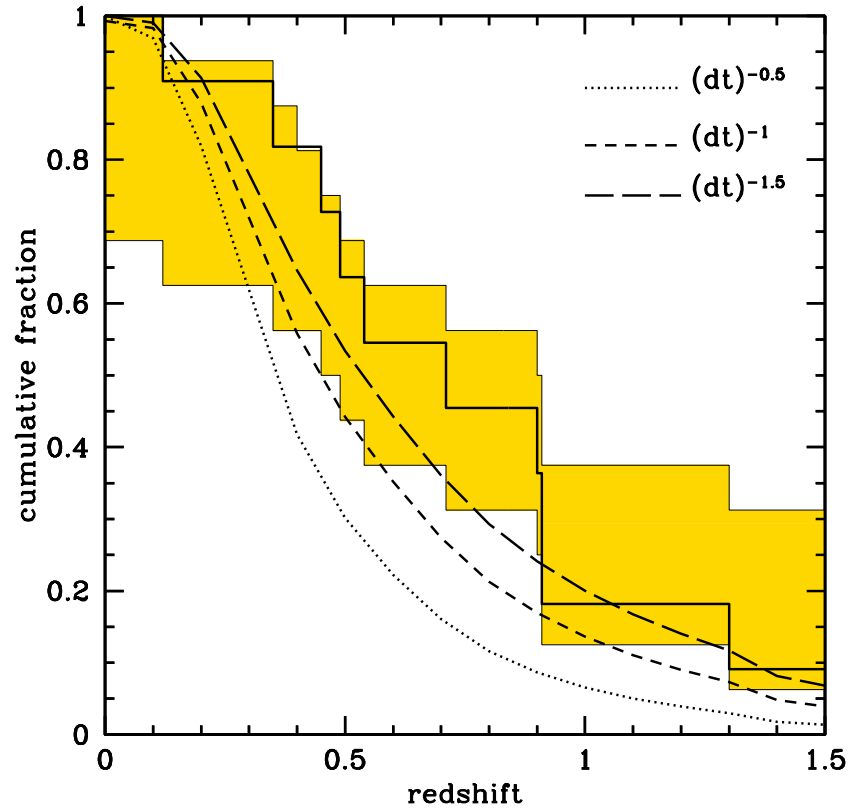


Figure 8. Distribution of the intrinsic X-ray absorbing column densities for the SGRBs of the *complete* sample (filled histogram) and of the LGRB with $z < 1.3$ of the BAT6 sample (data taken from Campana et al. 2012).

n: merging delay time distribution index

$$f_{\text{F}}(t) \propto t^n$$

SGRB rate from BATSE data using E_p - L_p relation

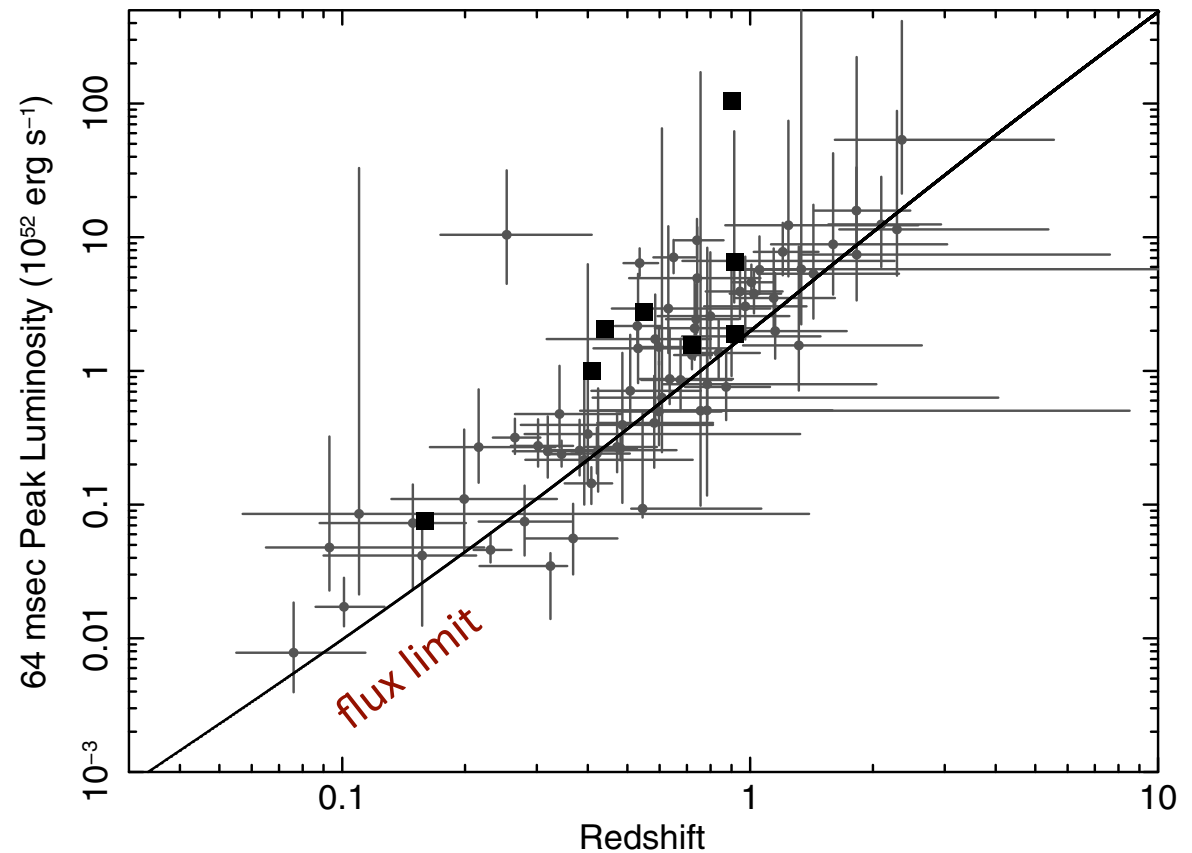
Yonetoku et al. 2014

SGRB E_p - L_p relation (Tsutsui et al. 2013)

- 8 Swift GRBs with redshift

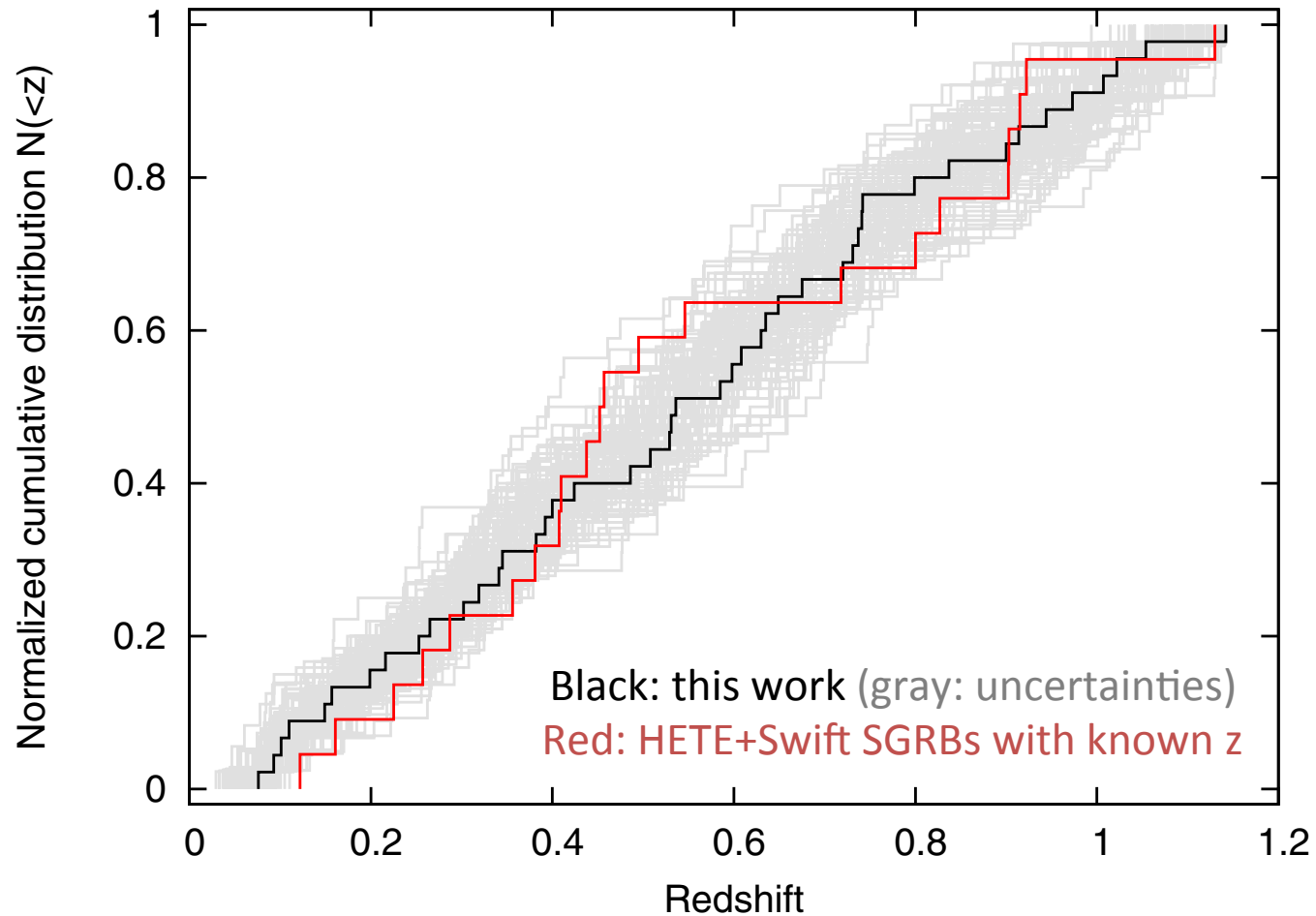
-

$$L_p = 7.5 \times 10^{50} \text{ erg s}^{-1} \left(\frac{E_p}{100 \text{ keV}} \right)^{1.59}$$



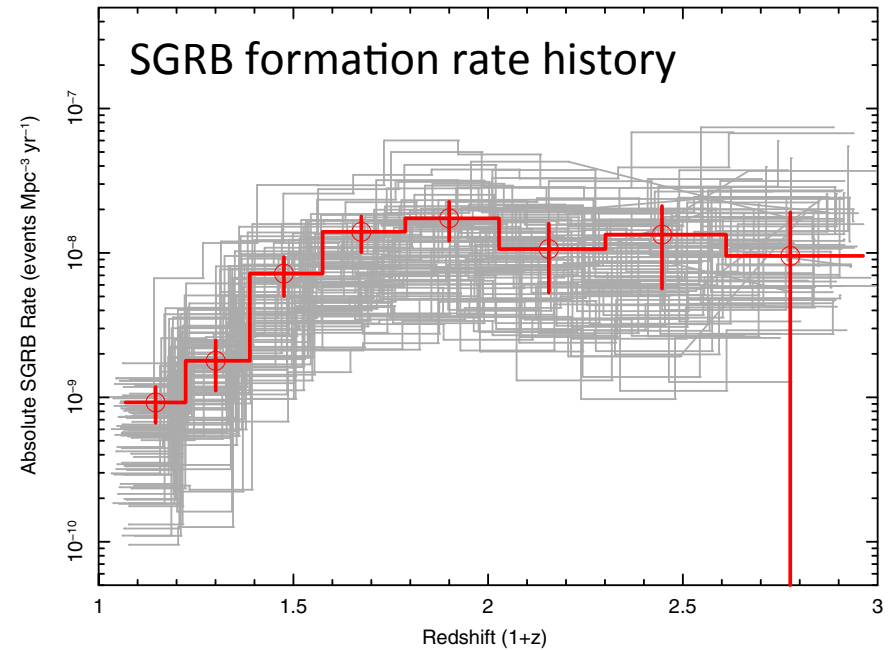
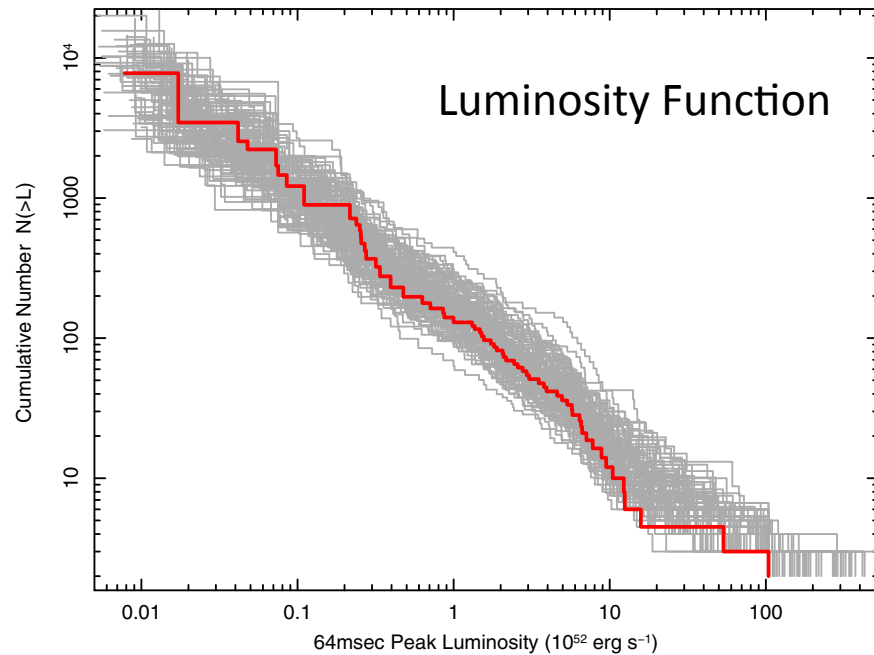
SGRB rate from BATSE data using E_p - L_p relation

Yonetoku et al. 2014



SGRB rate from BATSE data using E_p - L_p relation

Yonetoku et al. 2014



$$\rho_{\text{SGRB}}(z) \propto \begin{cases} (1+z)^{6.0 \pm 1.7} & \text{for } (1+z) < 1.67, \\ \text{const.} & \text{for } (1+z) \geq 1.67, \end{cases}$$

$$\rho_{\text{SGRB}}(0) = 6.3_{-3.9}^{+3.1} \times 10^{-10} \text{ events Mpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$$

SGRB rate from BATSE data using E_p - L_p relation

Yonetoku et al. 2014

$$\rho_{\text{SGRB}}(0) = 6.3_{-3.9}^{+3.1} \times 10^{-10} \text{ events Mpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$$

beaming angle $\sim 6^\circ \rightarrow$

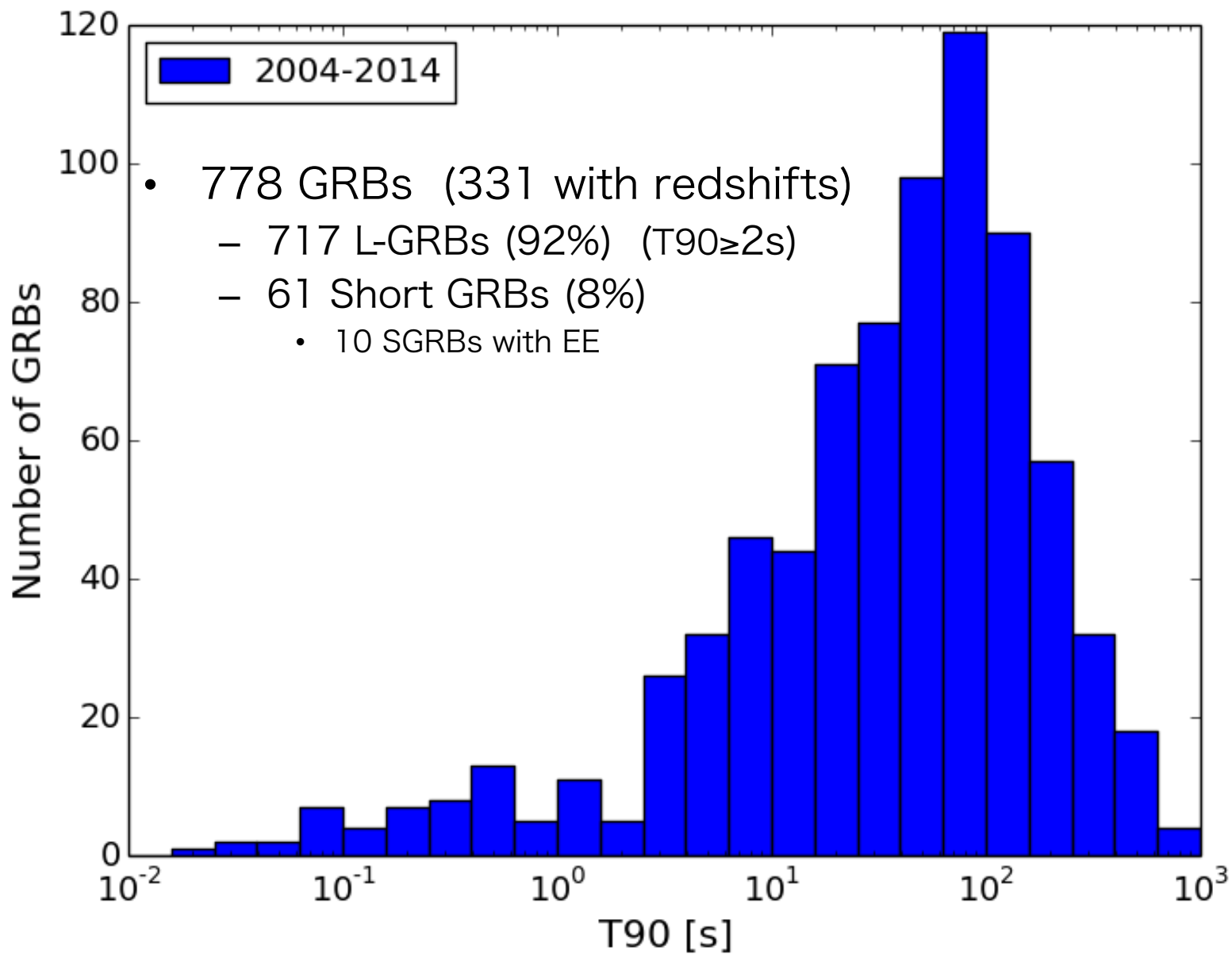
rate including off-axis events $> 1 \times 10^{-7} \text{ events Mpc}^{-3} \text{ yr}^{-3}$

GW event detection rate

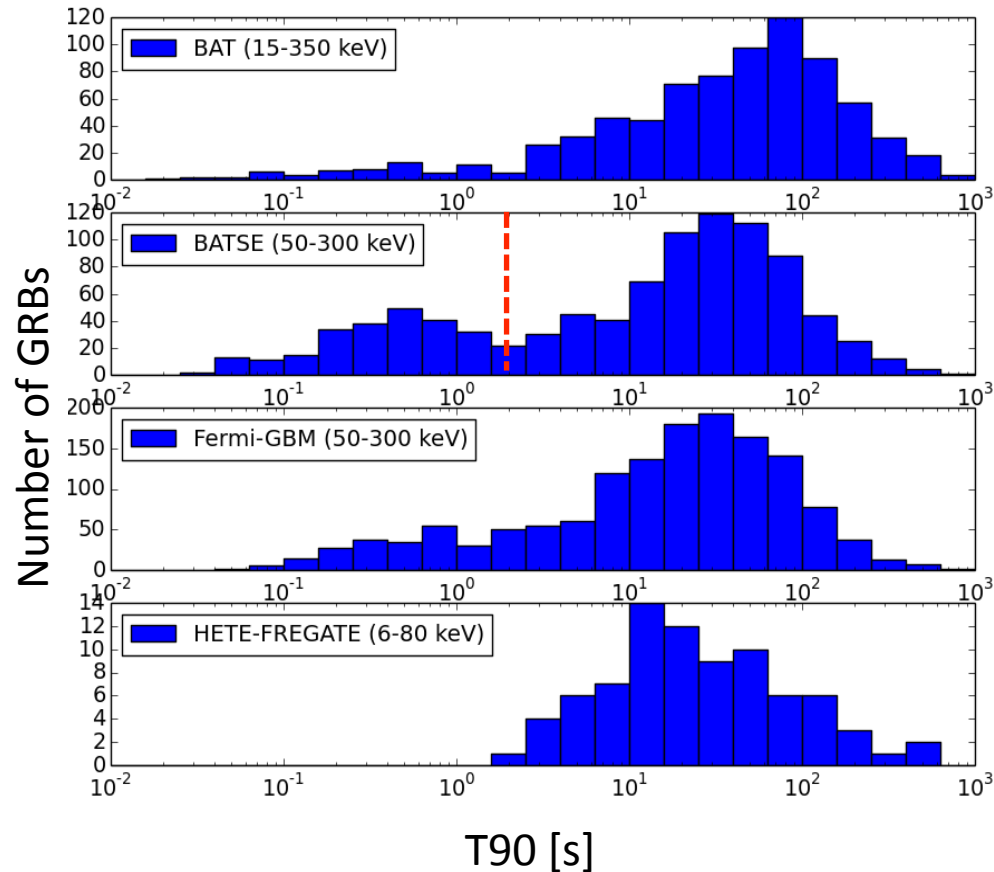
- if SGRB=NS-NS $\rightarrow 15.6_{-9.6}^{+7.6} \text{ GW events yr}^{-1}$ ($d < 200 \text{ Mpc}$)
- if SGRB=NS-BH $\rightarrow 608_{-376}^{+300} \text{ GW events yr}^{-1}$ ($d < 680 \text{ Mpc}$)

BAT 3rd GRB Catalog

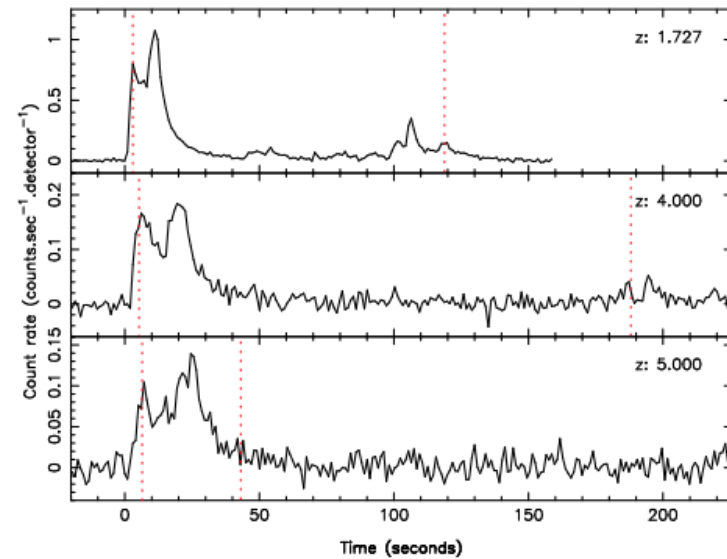
Lien, Sakamoto et al. in prep,



Duration



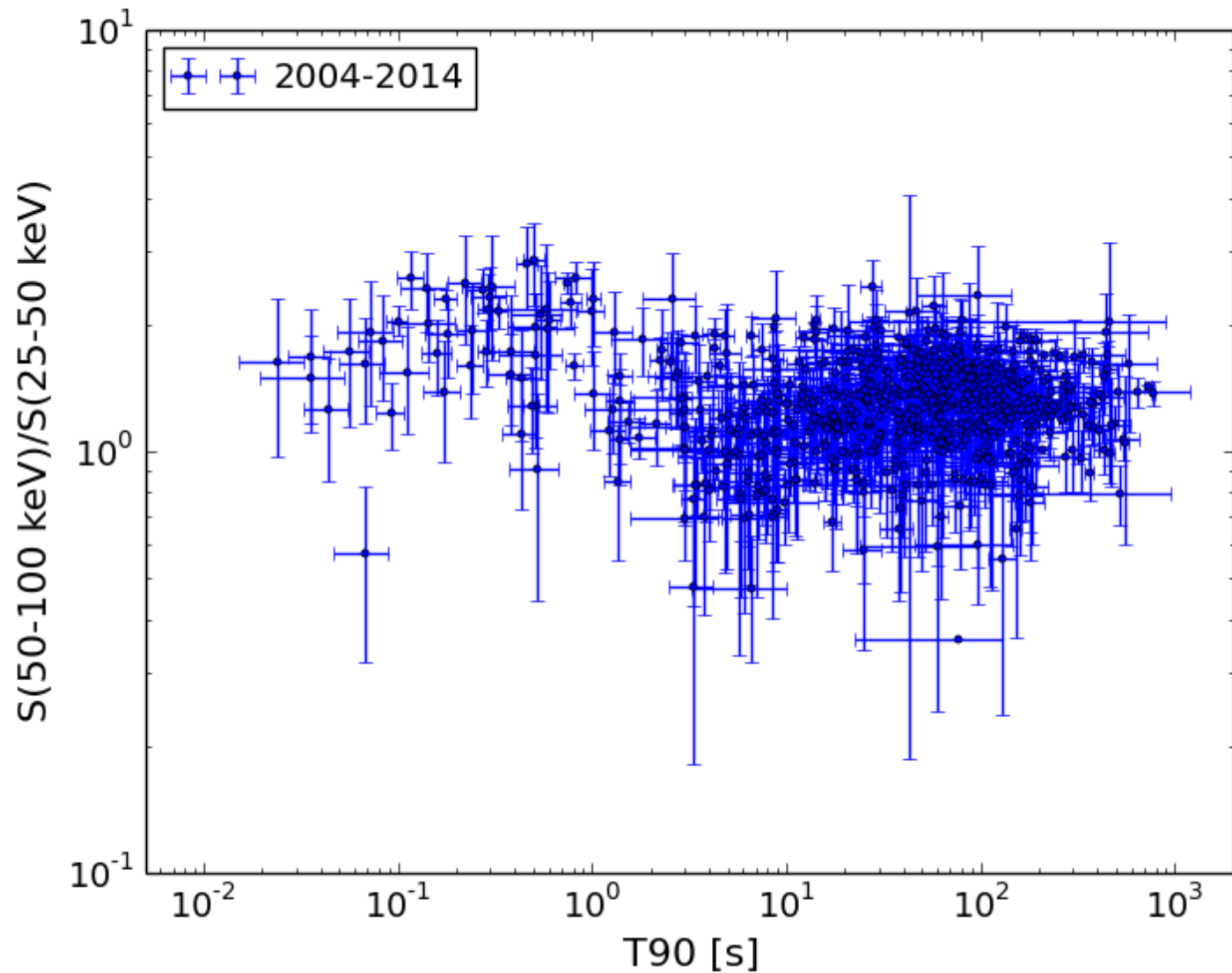
Simulation of GRB 100906A ($z=1.727$)



(Littlejohns et al. 2013)

1. The instrumental effect (sensitivity of the instrument)
2. Energy dependency of the pulse-width (Fenimore effect)
3. Cosmological time dilation ($1+z$ effect)

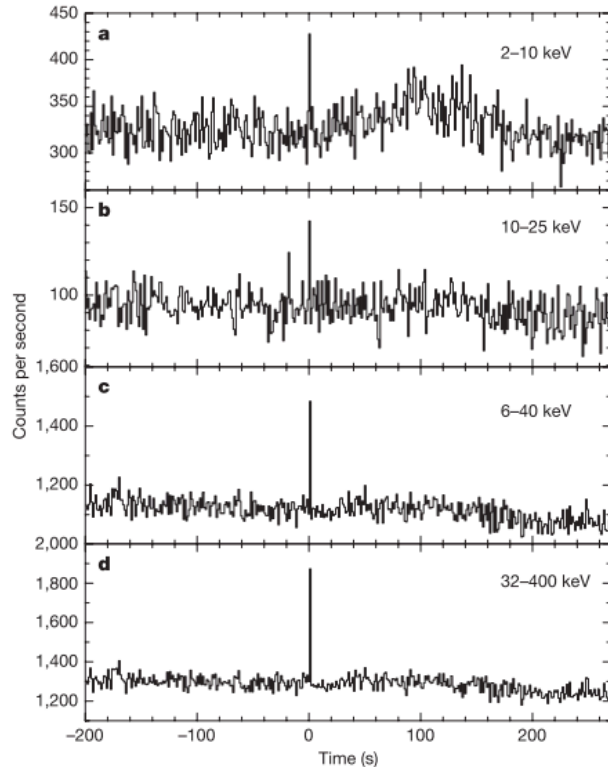
Duration vs. Hardness



Short GRBs with Extended Emission

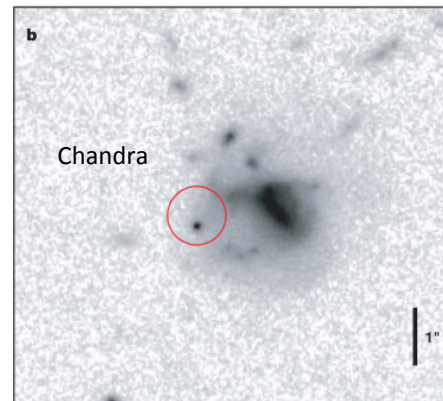
HETE: GRB 050709

Villasenor et al. 2005, Fox et al. 2005



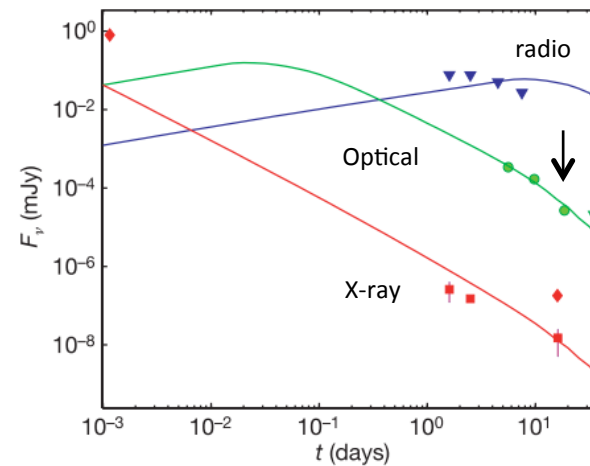
Duration:
 Initial peak (IP) : 0.2 s (2-25 keV);
 EE : 130 s (2-25 keV)
 Prompt spectrum:
 IP: Band-like spectrum ($\alpha = -0.53$, $E_p = 84$ keV)
 EE: Simple power-law ($\alpha = -2$)

HST image



Afterglow: X-ray and optical
 Host galaxy: late-type spiral galaxy
 Redshift of HG: 0.16
 No supernova association: > 27.5 mag

Afterglow light curve



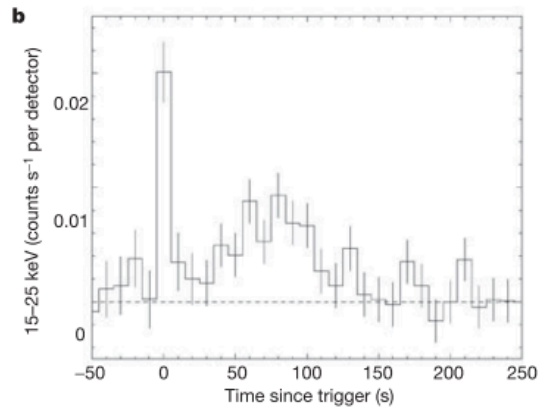
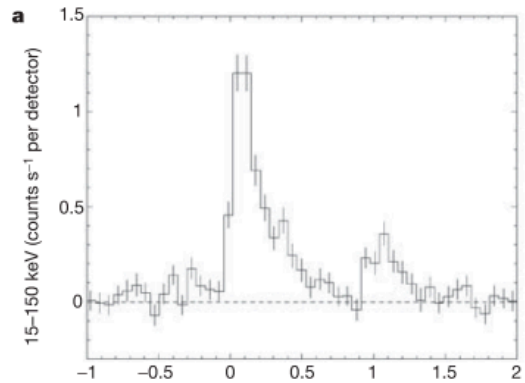
Consistent with a standard external shock emission

X-ray flare?

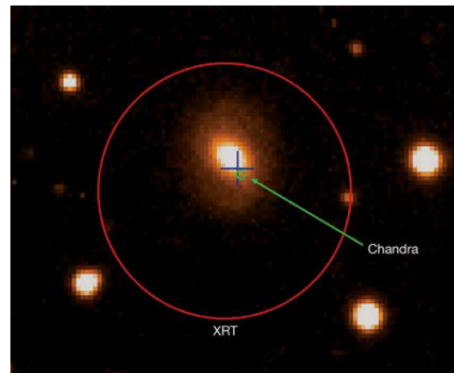
Possible jet break:
 ~ 4.3 deg

Swift: GRB 050724

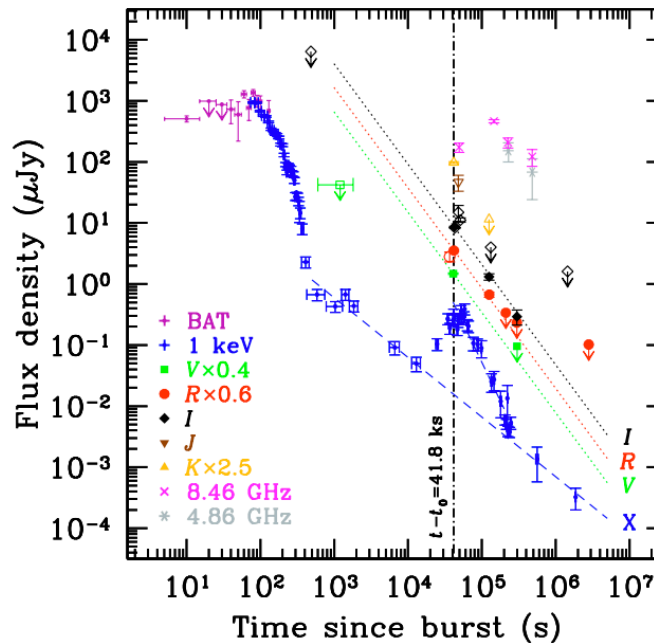
Barthelmy et al. 2005, Berger 2005, Malesani et al. 2005



VLT optical image



Afterglow: X-ray, optical and radio
 Host galaxy: elliptical galaxy
 Redshift of HG: 0.258
 No supernova association



Standard external shock emission without a jet break?

X-ray flare at $T_0+41.8$ ks

Duration:

Initial peak (IP) : 0.44 s (15-150 keV);

EE : 106 s (15-150 keV)

Prompt spectrum:

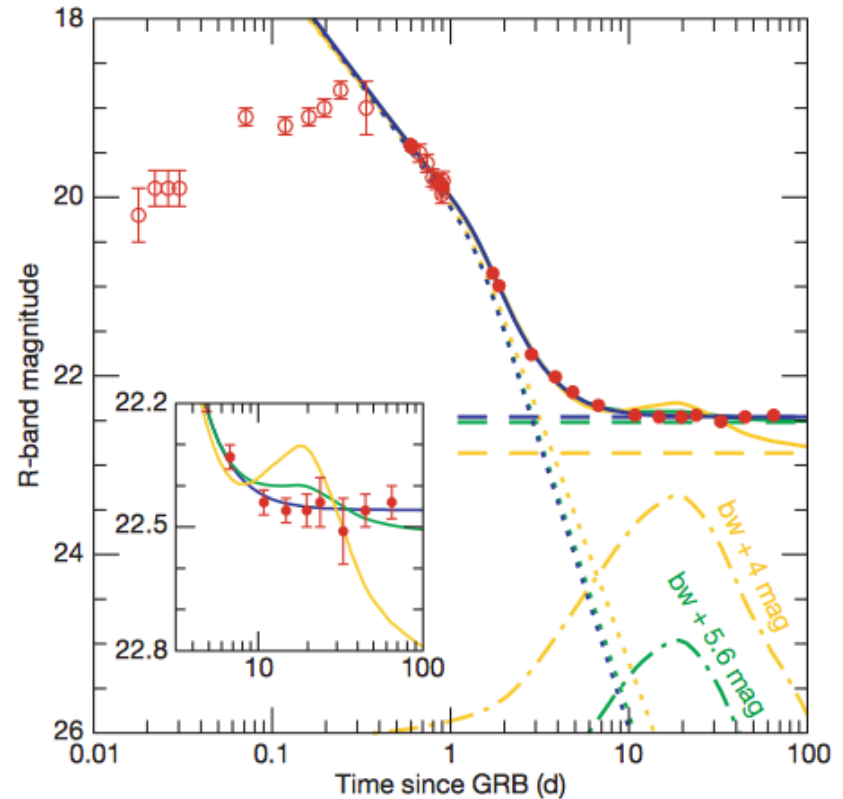
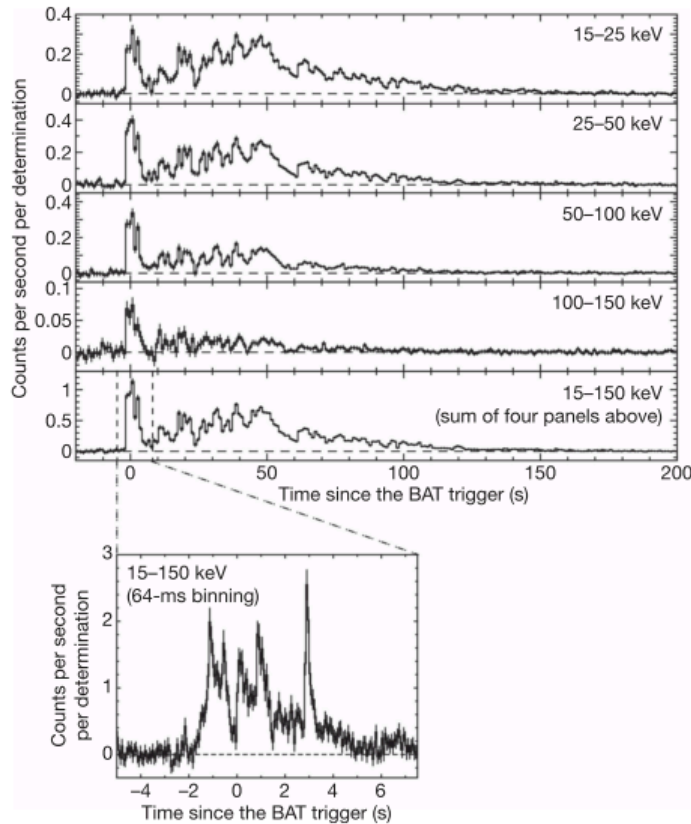
IP: Simple power-law ($\alpha = -1.38$)

EE: Simple power-law ($\alpha = -2.13$)

Lag: -4.2 (+8.2/-6.6) ms

Swift: GRB 060614

Gehrels et al., Fynbo et al, Gal-Yam et al., Della Valle et al.



- T_{90} : 102 sec
- Variable initial episode + extended emission

- Redshift of 0.1254
- Typical long GRB host
- No supernova signature

Short GRB class?

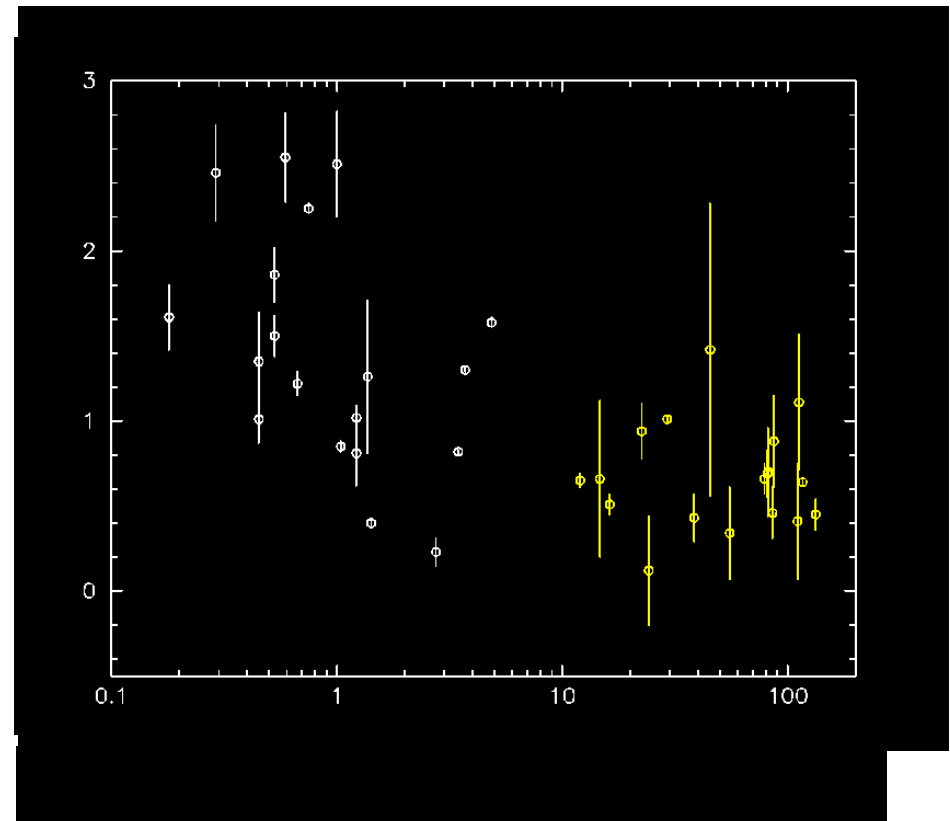
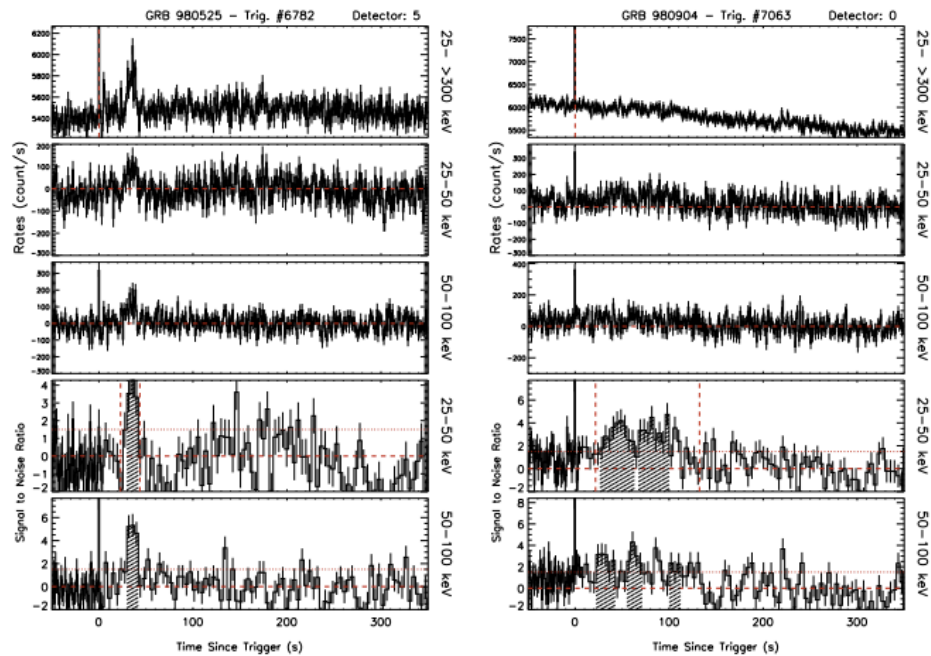
Slide by T. Sakamoto; GW workshop @ Tokyo Tech

Search for S-GRBs E.E. in BATSE GRBs

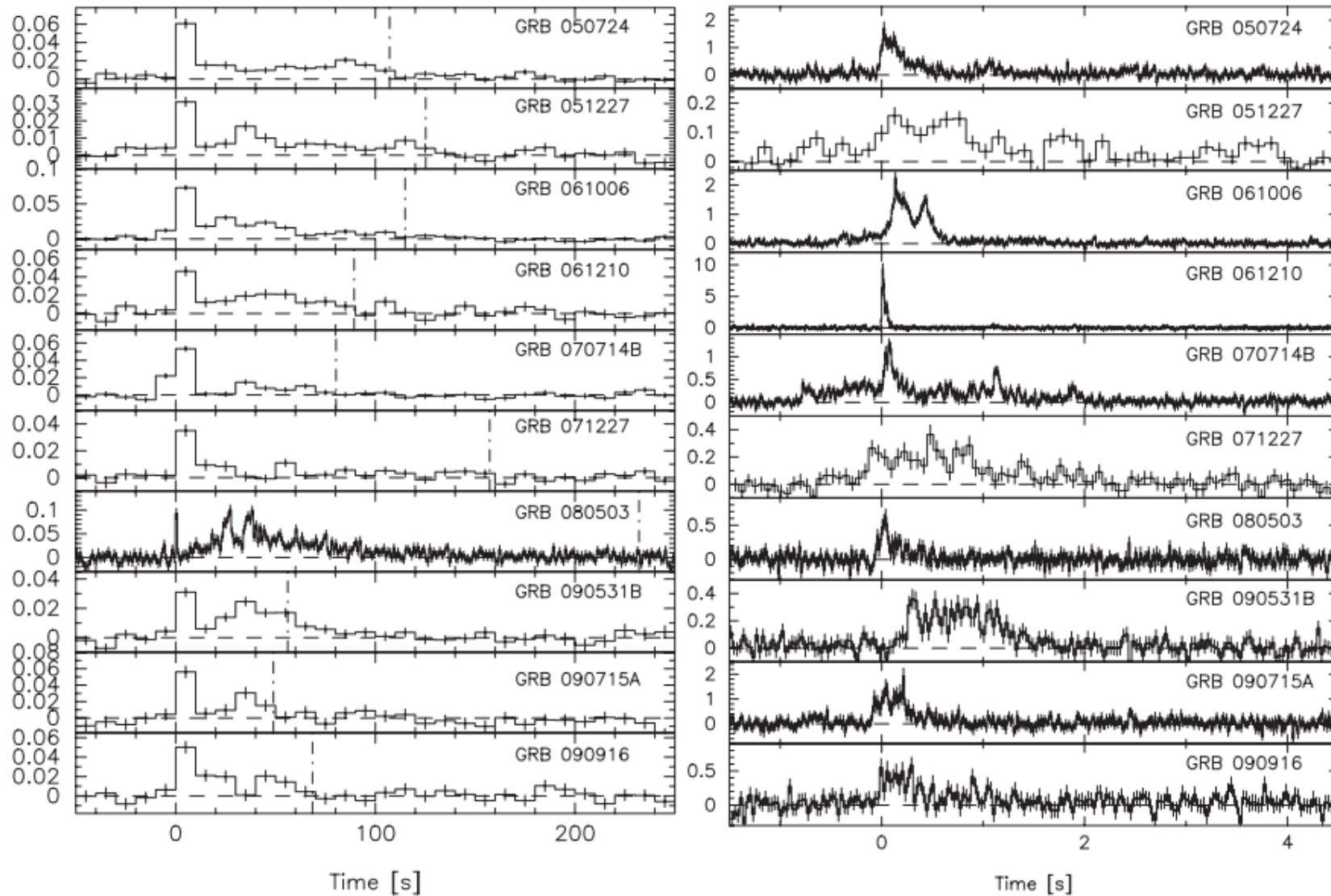
(Norris et al. 2006; Bostanci et al. 2012)

Bostanci et al. 2012

- 19 S-GRBs E.E. candidates (out of 296 GRB samples)
- No significant spectral lag for initial spike



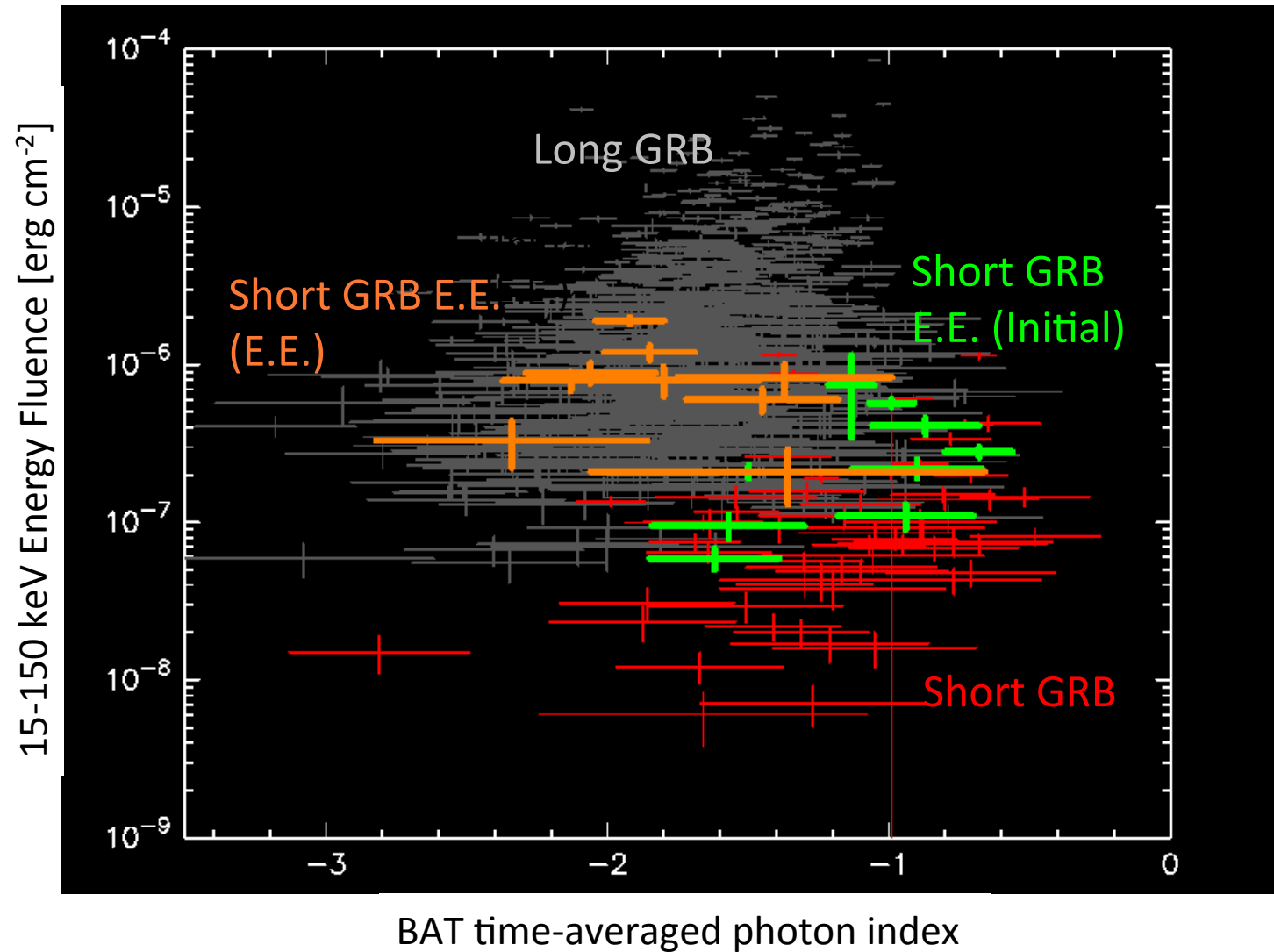
S-GRB E.E. in the Swift sample



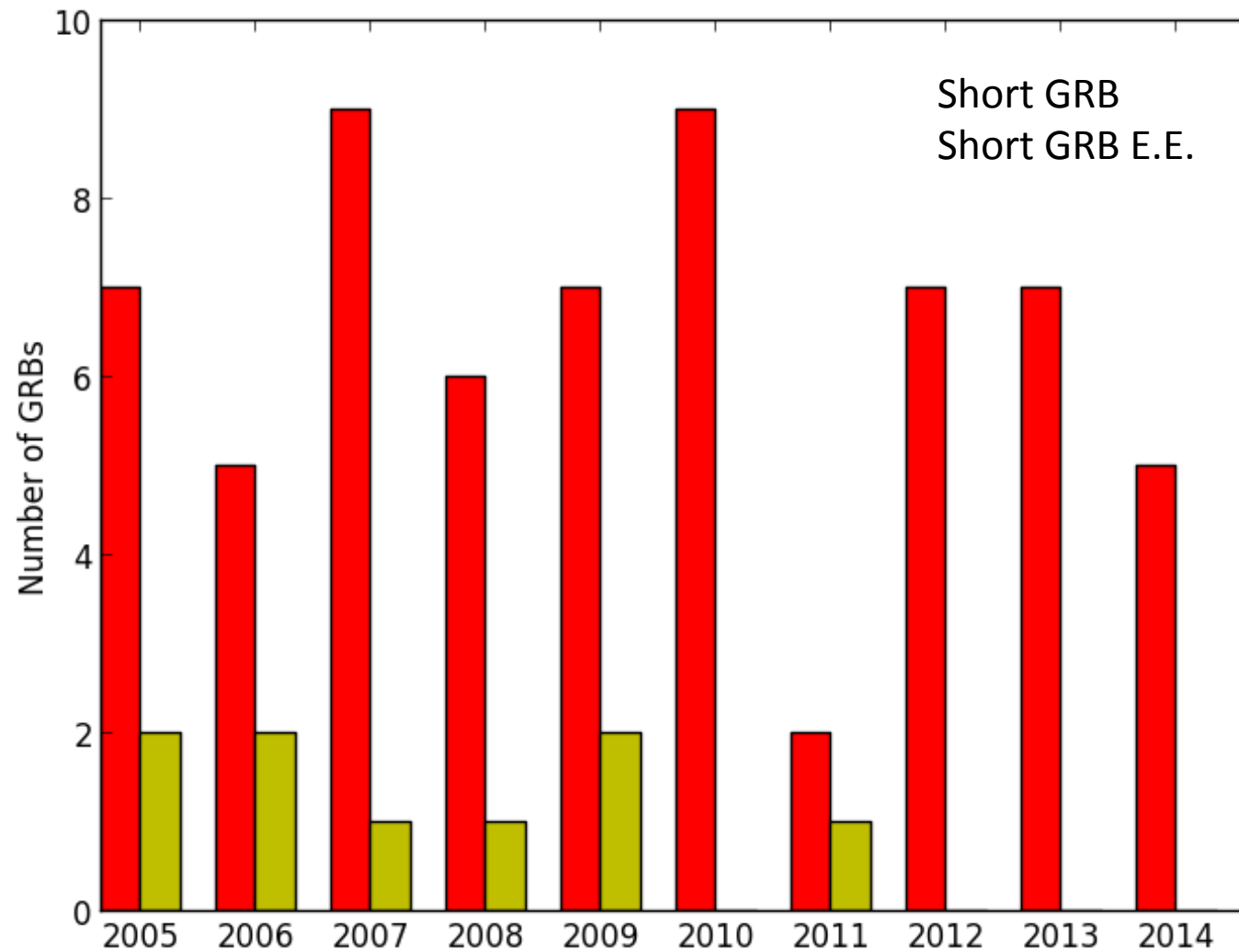
+GRB 111121A

Comparison of Spectral Properties

Long vs. Short vs. Short E.E.



Time History of Swift Short GRBs



Possible origin of Extended Emission

- Onset of the X-ray afterglow
(e.g., Lazzati et al. 2001, Villasenor et al. 2005)
- The formation of rapidly rotating proto-magnetar
(Metzger et al. 2008, Metzger et al. 2010)
- Mildly relativistic fireball formed via Blandford-Znajek process
(Nakamura et al. 2014)

Chandra Short GRB Fast ToO Program

“Identification of the Host Galaxy of Swift Short GRBs by the Chandra Sub-arcsecond Position”

T. Sakamoto, N. Gehrels, E. Troja, J. Norris, S. Barthelmy, J. Racusin, N. Kawai, A. Fruchter

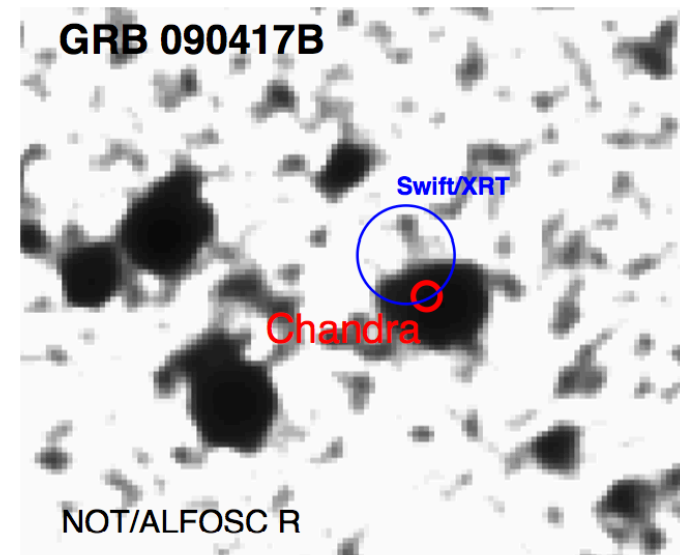
Why X-ray? Why Chandra?

- Short GRBs: **70% X-ray** afterglow detection, whereas, only **35% detection by optical**.
- **Sub-arcsecond** localization accuracy is needed to identify the host galaxy.

Chandra GO cycle 13, 14 and 15:

Trigger criteria

- **Short GRB localized by Swift/XRT**
- **No optical afterglow confirmation within 5 hr after the burst**

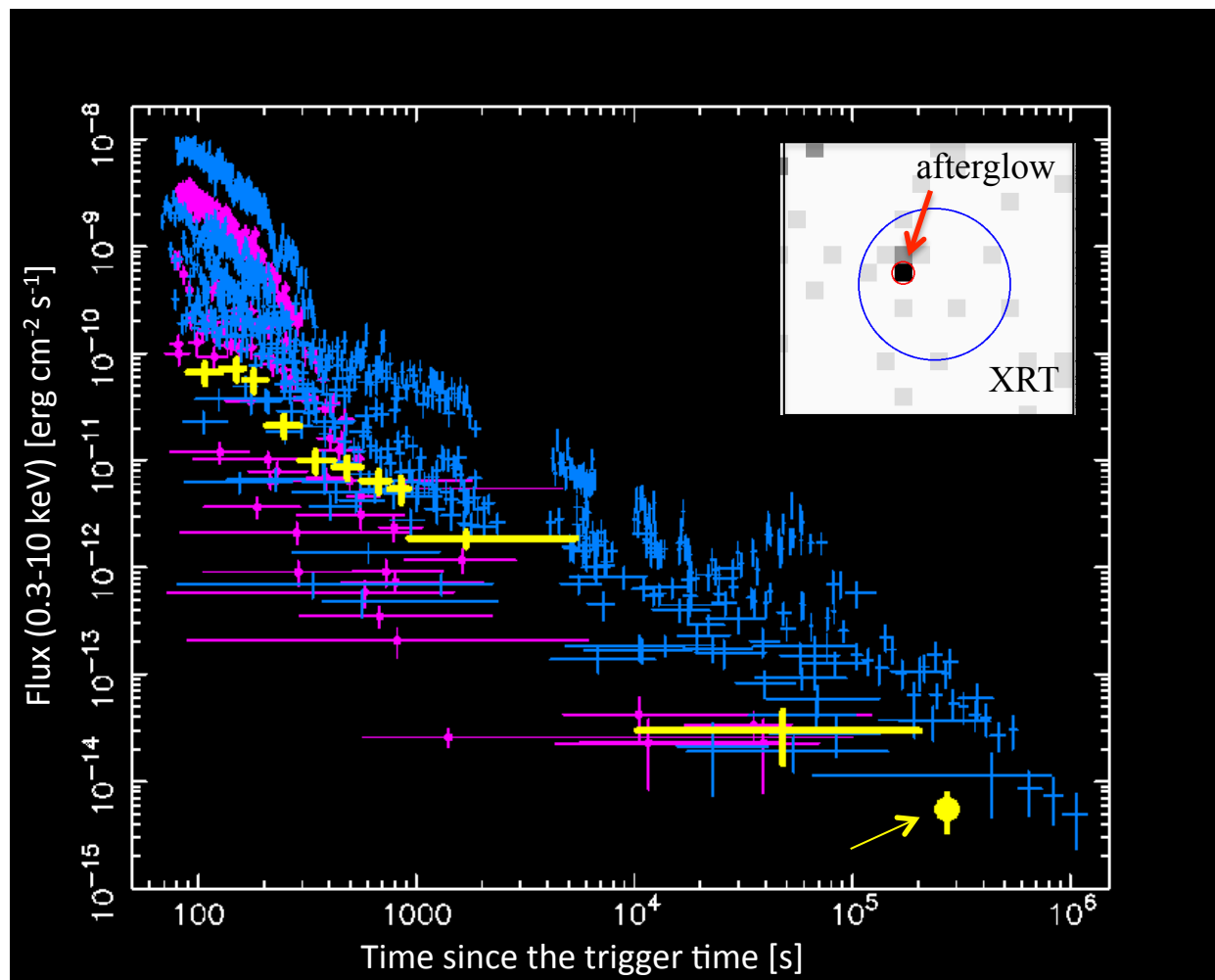


Chandra response time:
1-3 days

GRB 111117A: Chandra XA Detection

- No optical afterglow detection:
 - $T_0 + 2$ hr (GMG; Zhao et al.)
 - $T_0 + 7.9$ hr (NOT; Andersen et al.)
- Chandra ToO request: $T_0 + 6$ hr
- Chandra observation start time: $T_0 + 3$ days

3.9 σ detection (wavedetect), 0.35" (1σ)



Spectrum:

Absorbed power-law

Excess N_H :

$1.8 (+1.1/-1.0) \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$

Photon index:

$2.19 (+0.38/-0.36)$

Consistent with other
Swift short GRBs
(e.g., Fong et al. 2012)

Light curve:

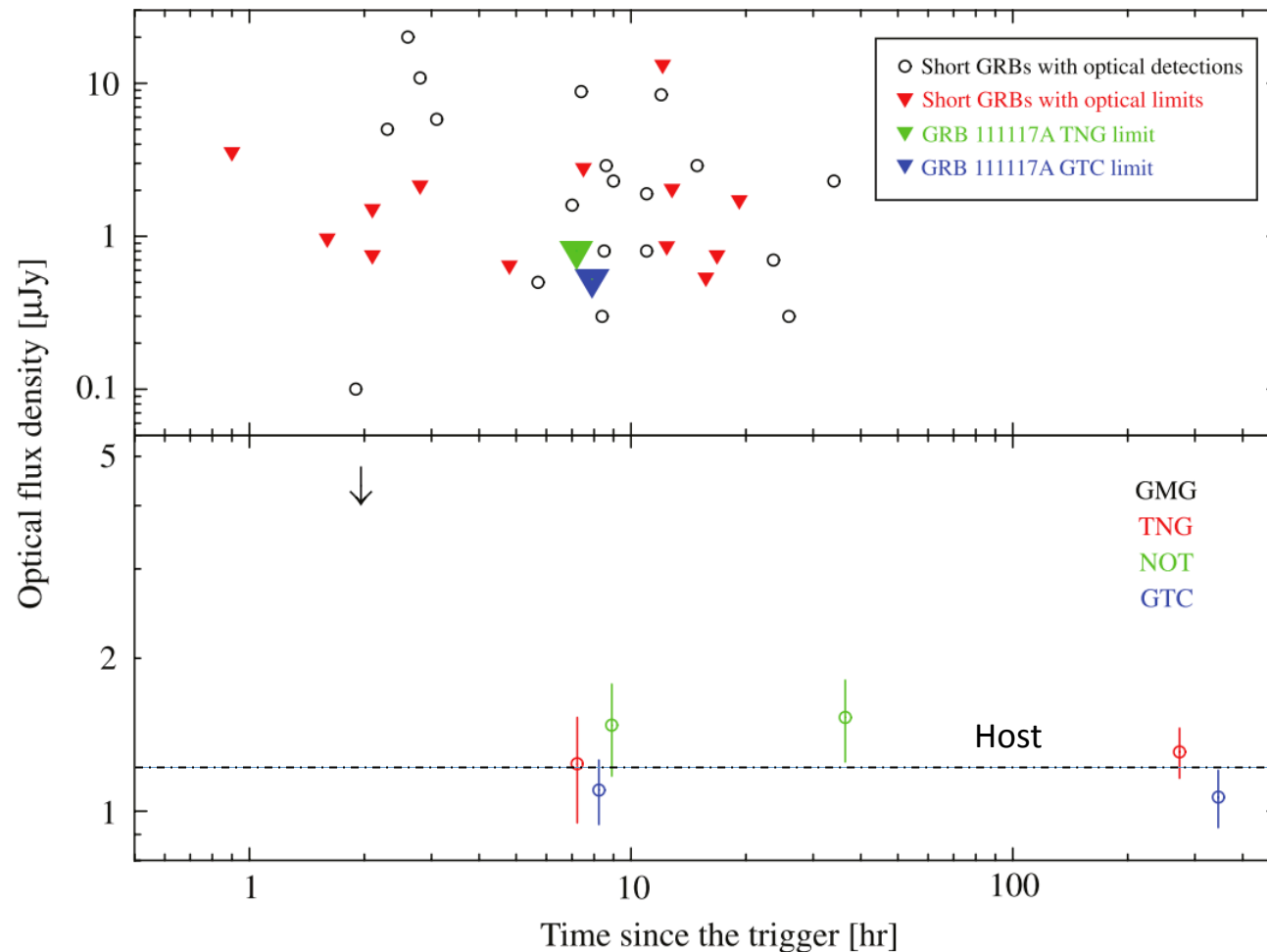
$t^{-1.25 (+0.09/-0.12)}$

- No indication of late-time break
- Dim X-ray afterglow

GRB 111117A: Optical Afterglow Limit

2.4 m Gao-Mei-Gu (GMG): R, z
2.56 m Nordic Optical Telescope (NOT): R, z
3.85 m Telescopio Nazionale Galileo (TNG): R
10.4 m Gran Telescopio CANARIAS (GTC): g, r, i

8 m Subaru: K'
4 m UKIRT: K
3.5 m Canada-French-Hawaii Telescope (CFHT): J

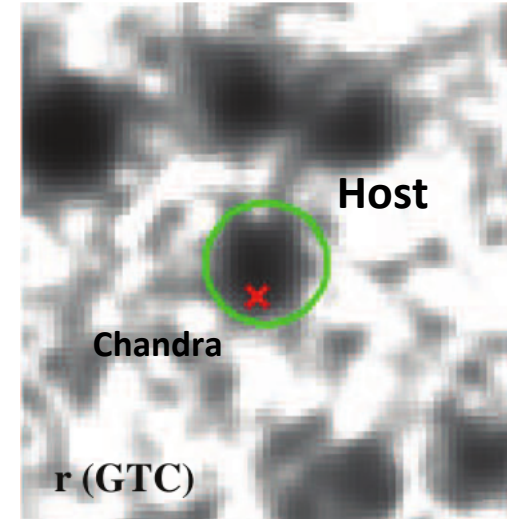
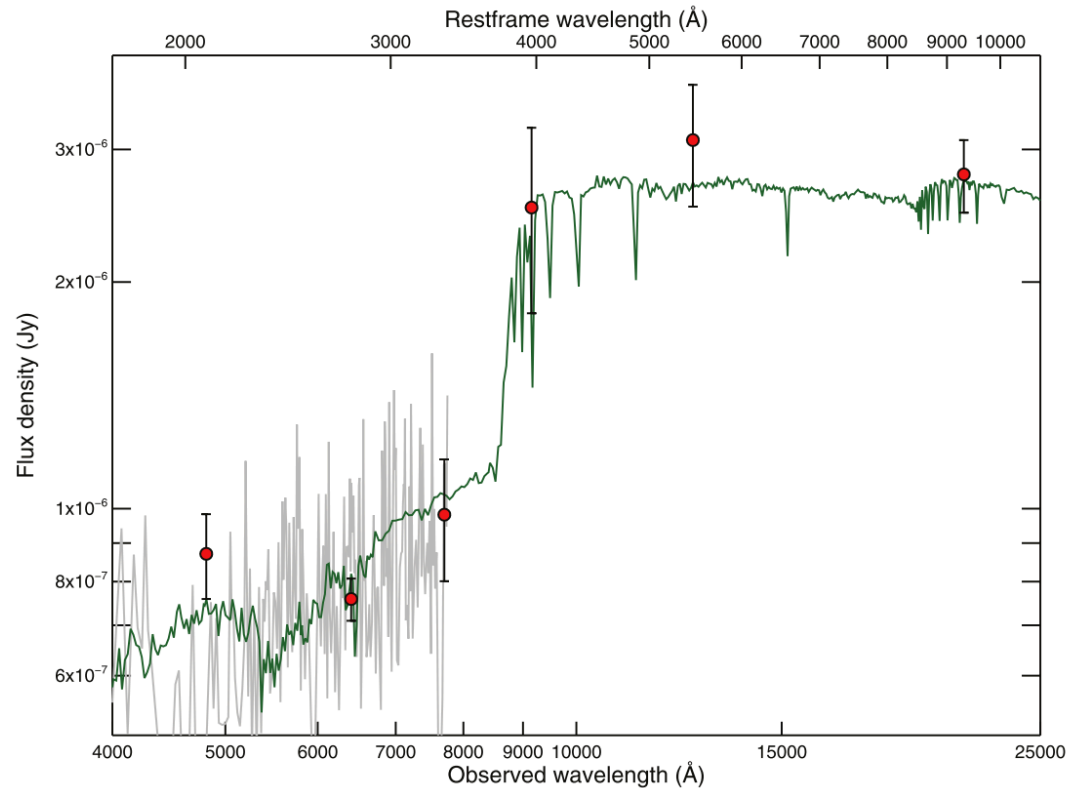


$T_0 + 7.23$ h (TNG):
 $R > 24.7$ mag
(3σ)

$T_0 + 7.89$ h (GTC):
 $r > 25.8$ (AB) mag
(3σ)

Deepest
optical limit on
short GRBs

GRB 111117A: Host Galaxy



Offset between XA and host center:

$$r = 1.0 \pm 0.2 \text{ arcsec} \\ = 8.4 \pm 1.7 \text{ kpc (} z=1.3 \text{)}$$

Minimum kick velocity:

$$v = r / \tau = 80 \text{ km s}^{-1}$$

(c.f., similar to or larger than GRB 060502B; Bloom et al. 2007)

Photometric redshift: $1.31 (+0.46/-0.23)$

Star forming galaxy: $\tau = 0.1 \text{ Gyr}$ and $1 \times 10^9 M_{\text{SUN}}$

(c.f., long GRB hosts: 0.06 Gyr and $1 \times 10^9 M_{\text{SUN}}$ Leibler & Berger 2010)

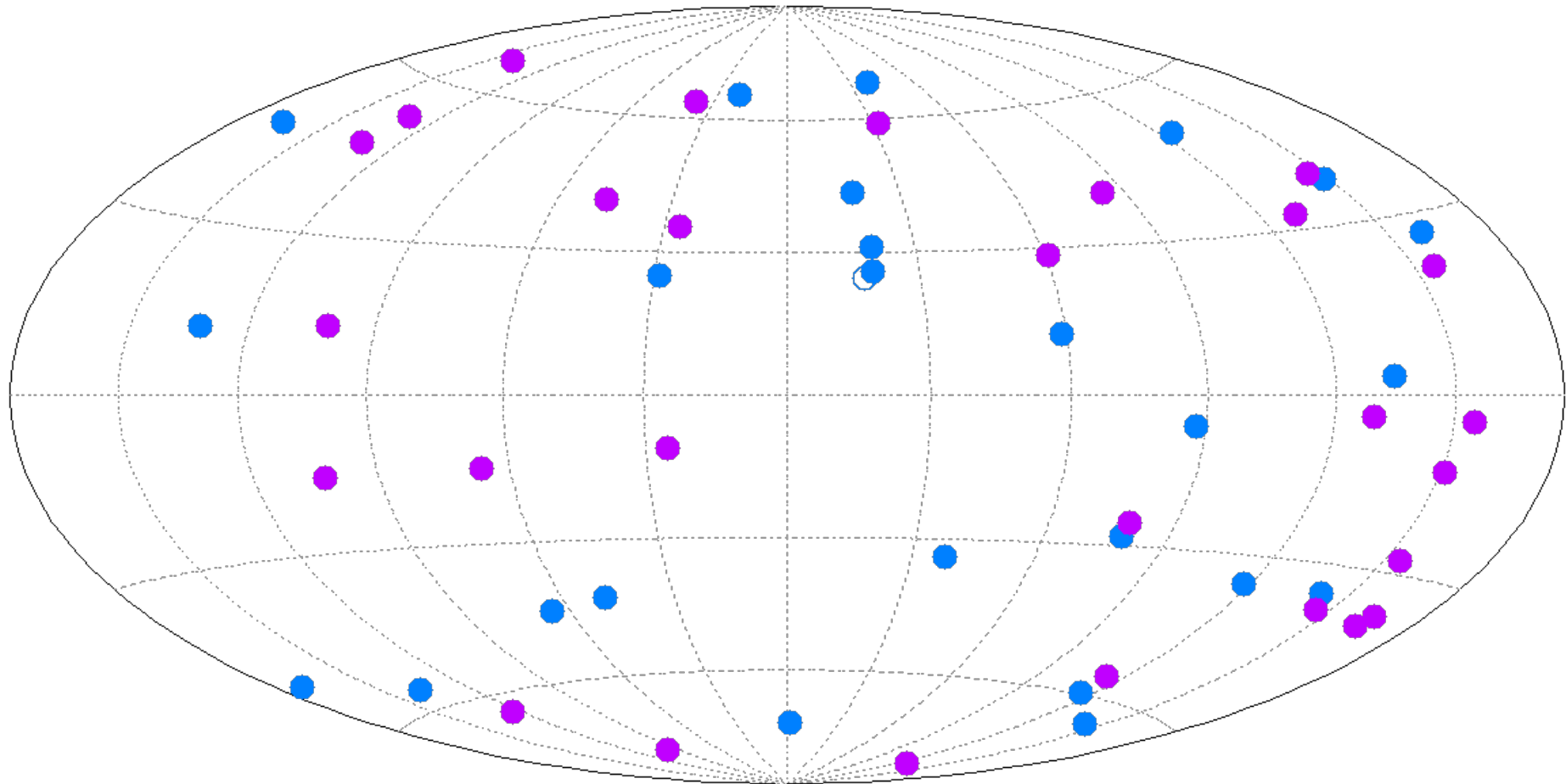
Future Prospect on S-GRBs

- Increase golden s-GRB samples
 - Secure redshift (redshift from an afterglow)
 - Sub-arcsec location of afterglow
 - Spectroscopy of s-GRB hosts
(careful investigation of E.E. emission)
- Coincidence with GW triggers
 - Advance LIGO/Virgo, KAGURA era is coming
- Importance of rapid/deep/long-term IR follow-up
 - Don't miss Kilonova emission

GRB観測の決定的要因

- 正確かつ迅速な位置決定
- 多波長、特に可視・近赤外の追観測
 - 速報＋観測開始の仕組み
 - GCN: インターネット上のGRB連絡網
 - HETE VHF: 衛星→地上への速報
 - Swift: 望遠鏡を発見衛星自体が搭載
- 将来
 - Swiftのような多波長衛星は難しい ☹
 - 発見→追観測 衛星への司令がいつでも
 - ORBCOMM等、衛星電話メッセージの活用など

MAXI GRBs and transients (2—20 keV)

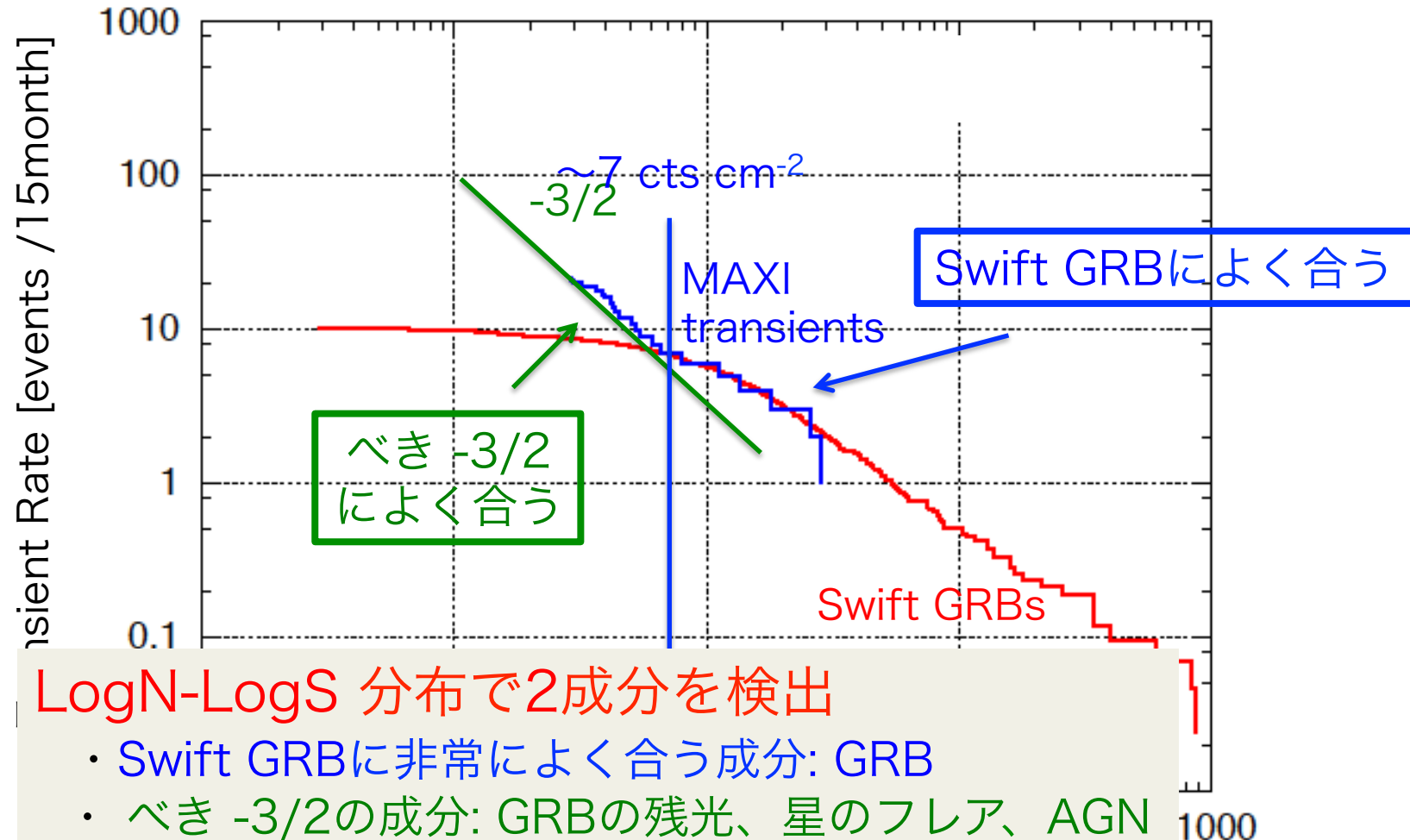


- : only MAXI
- : MAXI + other

Serino et al. (2014)

<http://maxi.riken.jp/grbs/>

LogN-LogS 分布

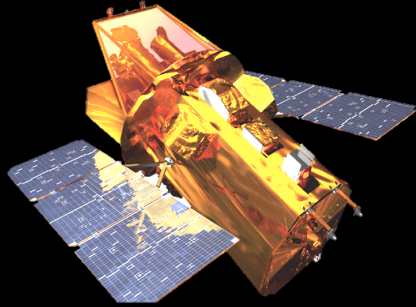


LogN-LogS 分布で2成分を検出

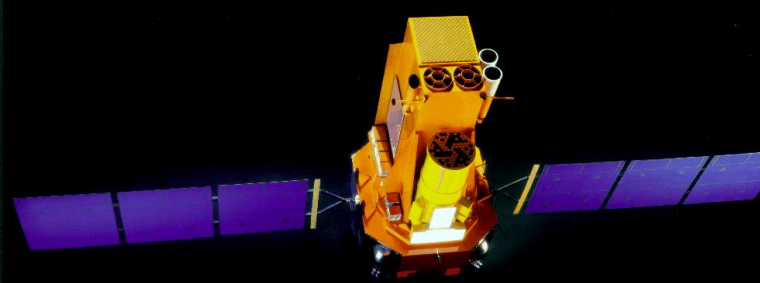
- Swift GRBに非常によく合う成分: GRB
- べき $-3/2$ の成分: GRBの残光、星のフレア、AGN 潮汐破壊、Shock breakout

Currently operating transient missions

Swift/BAT (P,L,S)



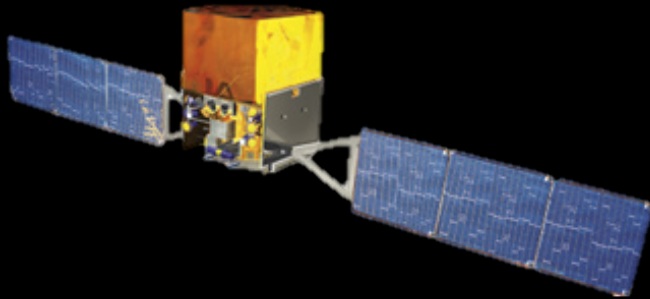
INTEGRAL/IBIS (P,L,S), SPI-ACS (L)



MAXI/GSC (P,L,S)



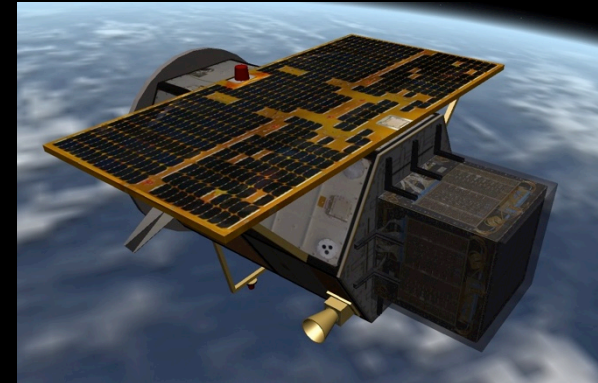
Fermi/GBM, LAT (P,L,S)



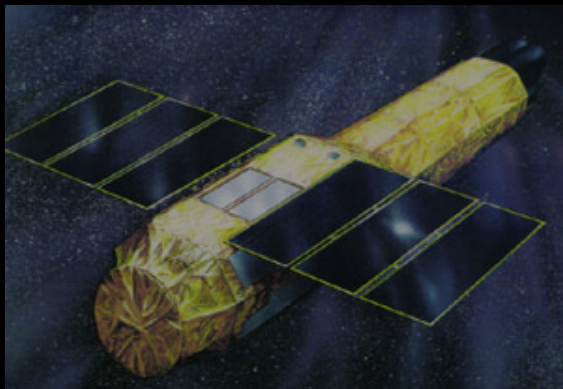
Konus-Wind (L,S)



AGILE/Super AGILE (P,L,S)



Suzaku/WAM (L,S)



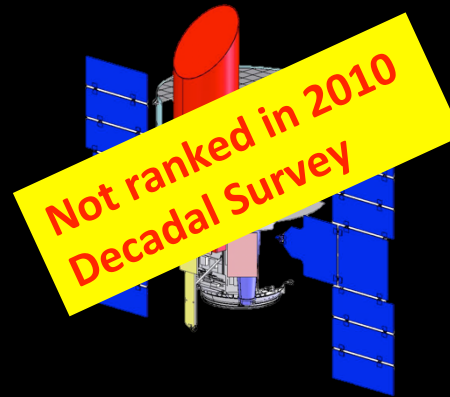
P: position, L: lightcurve, S: spectrum

Proposed transient missions

Lobster/ISS-Lobster



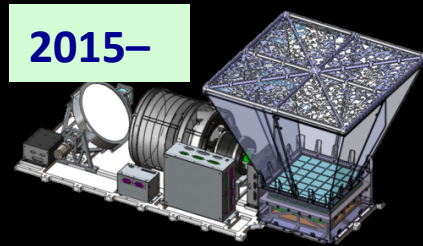
EXIST



Janus



UFFO Pathfinder



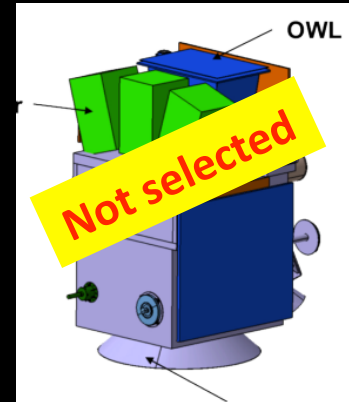
LOFT



SVOM



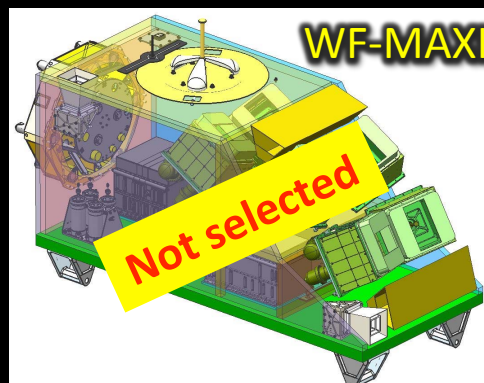
A-STAR



CALET



WF-MAXI



Astro-H/SGD shield

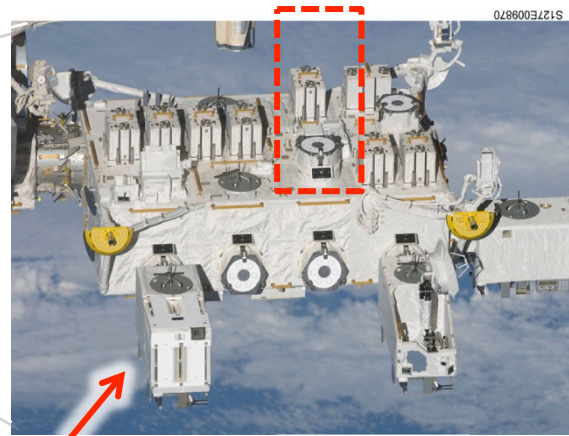
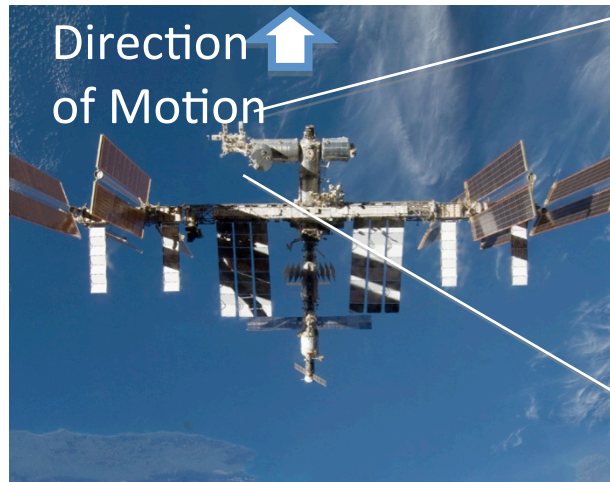


Hi-Z GUNDAM



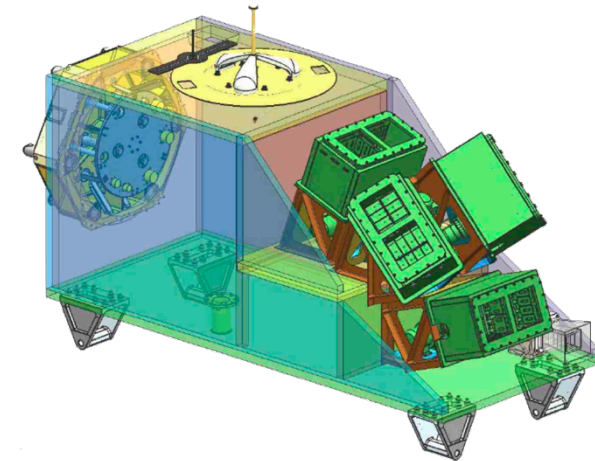
“Wide-Field MAXI” on ISS

N. Kawai + WF-MAXI Team



MAXI

JEM EF



科学目的	X線突発天体の検知と速報 重力波対応天体の発見、ブラックホール等X線連星、GRBs …
監視天域	≈常時全天の20% (92分で全天の80%をカバー)
観測装置	軟X線大立体角カメラ (SLC: 0.7–10 keV) 硬X線モニター (HXM: 20 keV–1 MeV)
感度	50 mCrab /30 s (SLC)
位置決定精度	0.1°
プラットフォーム	ISS/JEM (Selection in 2014, operation 2018–)

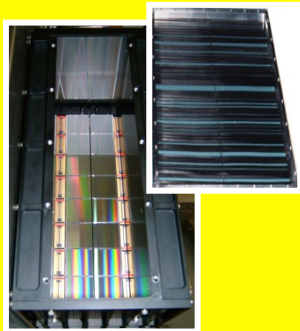
WF-MAXIの科学目的と特徴

X線突発天体の検出・位置速報

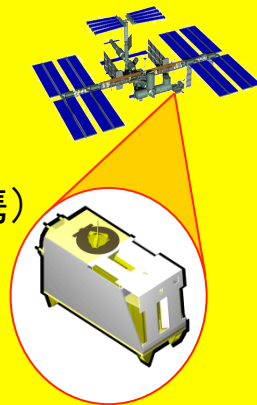
- 短いGRB(重力波源候補)をはじめとする**短時間X線トランジェント**の検出、位置決定、速報
- MAXI の使命の継承
- 世界初の本格的**軟X線**大天域モニター
→新種／稀少 天体現象
- 最高優先度で実施されている大型プロジェクト(KAGRA, ASTRO-H)をサポート
- **開発済み技術**と**ISS搭載機会**を活用して速く安く開発・配備
→次世代重力波望遠鏡の本格始動時(2018~20)に運用
- 「**X線天文学**」に閉じず、多波長+非光子天文学・基礎物理学の広いコミュニティに貢献

計画研究 A01 : 重力波天体からのX線・γ線放射の探索

広天域突発X線監視 WF-MAXIの開発

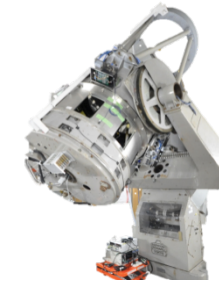


軟X線大立体角カメラ
河合・富田・常深(連携)
・三原
硬X線モニター: 谷津



通報

対応現象の探索



A02班
光赤外

A03班
ニュート
リノ

通報

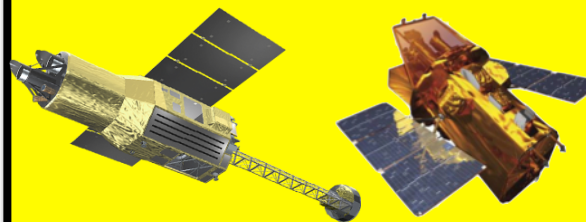
A04班 (重力波
データ解析)



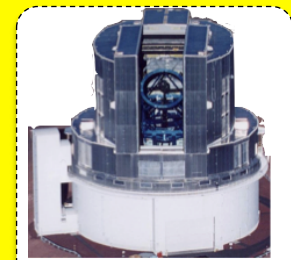
KAGRA

A05班
(重力波
理論)

重力波源候補天体の詳細観測



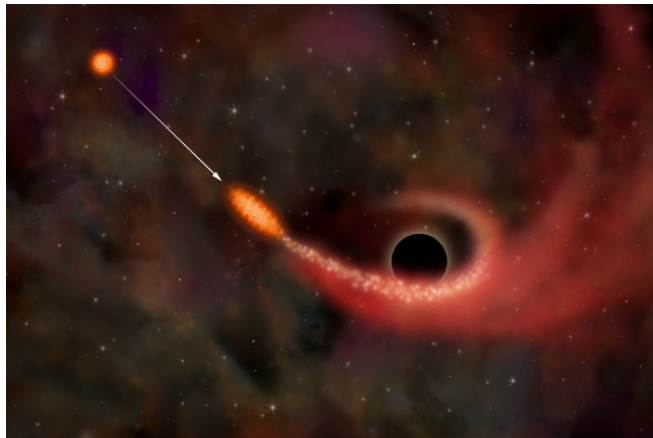
ASTRO-H (X線天文衛星) Swift (GRB観測衛星)



地上大望遠鏡

短時間トランジェント現象

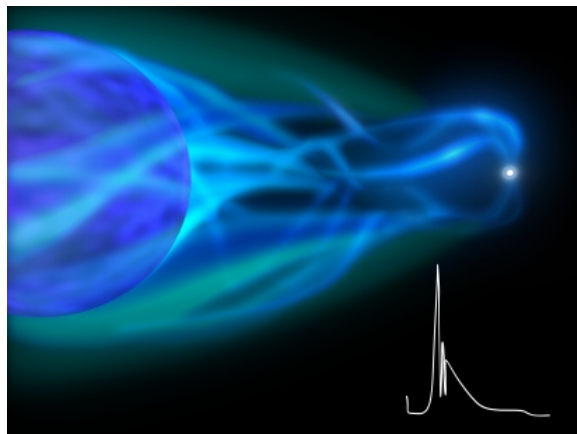
Tidal disruption



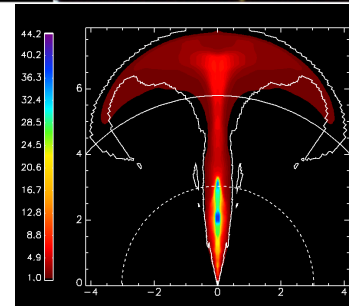
Supernova /GRB
shock breakout



Merging neutron
star binary



Supergiant fast
X-ray transient



WF-MAXI

- ISAS H25年度小規模プロジェクト公募に提案 → 不採択
 - (予算 全小規模プロジェクト合計で年間10億円以下)

- (3) エキストラサクセスとされている最大の目的が達成されれば、その科学的な価値は高い。しかし、天空をカバーする領域(20%)と稼働率(50%)を考慮すると重力波の対応天体を発見する確率はあまり高くなく、リスクは大きい。地上の観測網のみでフォローアップする場合との費用対効果をよく検討すべきである。
- (4) 高エネルギー宇宙物理のコミュニティは将来計画の策定作業中であり、位置づけは不明である。一方、重力波天体は宇宙線分野の最重要な研究対象の一つと認識されていることから、対応天体の検出確率を高めて、宇宙線分野のミッションとして再定義することを検討するほうがよいかもかもしれない。
- (5) 評価委員会は、コスト(リスク経費を含めると50億と予想)に対して、サイエンスのアウトプットは十分ではないと判断し、提案チームに対してコスト削減の検討を依頼した。その結果、コストを下げると、エキストラサクセスを達成する確率が更に小さくなることが明らかになった。

WF-MAXIでのサイエンス(復習)

「突発天体観測が担う重要課題」のうち、以下をカバーする。

① 重力波放出源としての突発天体監視

- 2018年頃に本格稼働する重力波望遠鏡でとらえた現象の対応天体を捉え、位置を世界へ通報する。
- 対応天体の広帯域(特に低エネルギー領域)スペクトルを取得し、従来のガンマ線バースト観測にも対応する。

② 全天モニターの軟X線領域への拡大

- 多波長・非光子観測との連携

MAXIで開拓した軟X線での新しいサイエンス(星の巨大フレア、新星(白色矮星)爆発の点火、など)を広げるとともに、従来の銀河系内連星系(BH, NS, 白色矮星)の検出・モニターも行う。発見は迅速に世界へ通報し、X線(ASTRO-H)を含む多波長での観測を促す。

プロジェクトの概要

前頁に示したサイエンス実現のための必要条件は以下の通り。

- ① 出来るだけ多くの現象をとらえる広視野、長期間観測
- ② 重力波天体に対応する早期の観測開始
- ③ 発見を迅速へ世界へ速報するデータ転送
- ④ 軟X線を含む広いエネルギー領域をカバーするX線カメラ

上記達成のため国際宇宙ステーション(ISS)きぼう曝露部にX線CCDカメラ(SLC)とシンチレータカメラ(HXM)を設置する。「低コスト・低リスク」という一般的要請においてもISS曝露部は目的に一致している。

参考

- ◆ 気球やロケットでは①が実現できない。
- ◆ イプシロンクラスの衛星では②が困難。
- ◆ 小型衛星では③に別途コストが必要

バスの変更

2013年度の小規模ミッション公募時と比較して、ISS曝露バスを「大型(MAXIと同タイプ)」から「中型(iSEEP)」へ変更する(規模は縮小)。

==== 背景 =====

- 出来るだけ早期の観測開始(前項②)のため、簡素化してselectionまで及び開発の期間を短くしたい。
- 2013年度公募ヒアリングで5年程度の小規模ミッションとしては予算規模が大きいとのコメントがあった(バス部に対する予算獲得見込みが甘い)。大型バスではカメラ数を減らしても、開発予算は大幅には減らない(バス部が予算の60%以上)。
- 中型バスは2013年時点では熱設計などで不定性があった(WF-MAXIでの採用は見送った)が、メーカ等での解析が進み、WF-MAXIでの使用に目途がたった。

上記によりWF-MAXIは新しい中型バスに変更することとし、小規模ミッションのカテゴリBを前提としてデザイン等を進める方針とした。

==== メリット・デメリット =====

長所：低コスト化、開発期間短縮

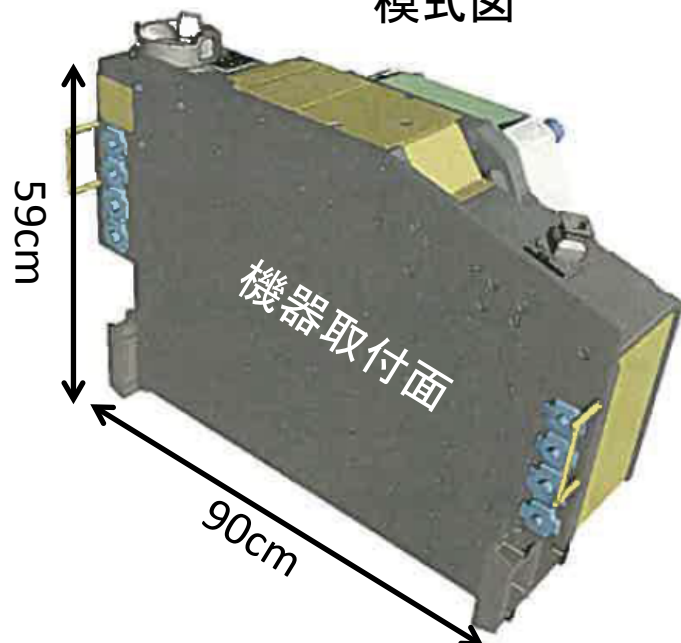
短所：サイエンスの低下

プロジェクトの特色

- ◆ 国際宇宙ステーション(ISS)きぼう曝露部の積極的活用
 - ポインティング観測には向かないが、全天モニタに適した視野がある。0.1°程度の位置決定なら十分可能(実績がある)。
 - 開発済の再利用型中型バス活用で開発コストを抑えられる。
 - 豊富なリアルタイムリンク(全期間の約70%)があり、速報に最適
 - 宇宙飛行士、与圧部リソースの活用(軌道上での組立、修理)が可能
- ◆ 実績あるハードウェアをベースとして迅速に開発
 - MAXI/SSC, ASTROH/SXI(CCDカメラ), HETE2/WFM, ほどよし等の設計資産・稼働実績を活用する。
- ◆ MAXIチームを母体とする開発体制
 - MAXIの開発・運用チームを引きつぐことで。速報システム等もMAXIの遺産を活用できる。
- ◆ ハードウェア開発で国際協力は考えてないが、速報やISSからのデータ転送などでは国際協力が重要と考えている(MAXI体制を引継以外の具体案は未定)。

きぼう曝露部中型バス

模式図



- 新規開発済・再利用型(軌道上では未実績)
- 2機器を取り付け可能(合わせて1機器も可)
- 取付可能重量 200kg以下(2機器で)
- 電力は400W以下(2機器で)
- 通信はEthernet
- IFは約20°C程度(冷媒循環)
- 再利用型なのでWF-MAXIで占有はできないが、2号機の開発も検討している。

中型バスの利用シーケンス

中型バス打上

WF-MAXI
開発・打上

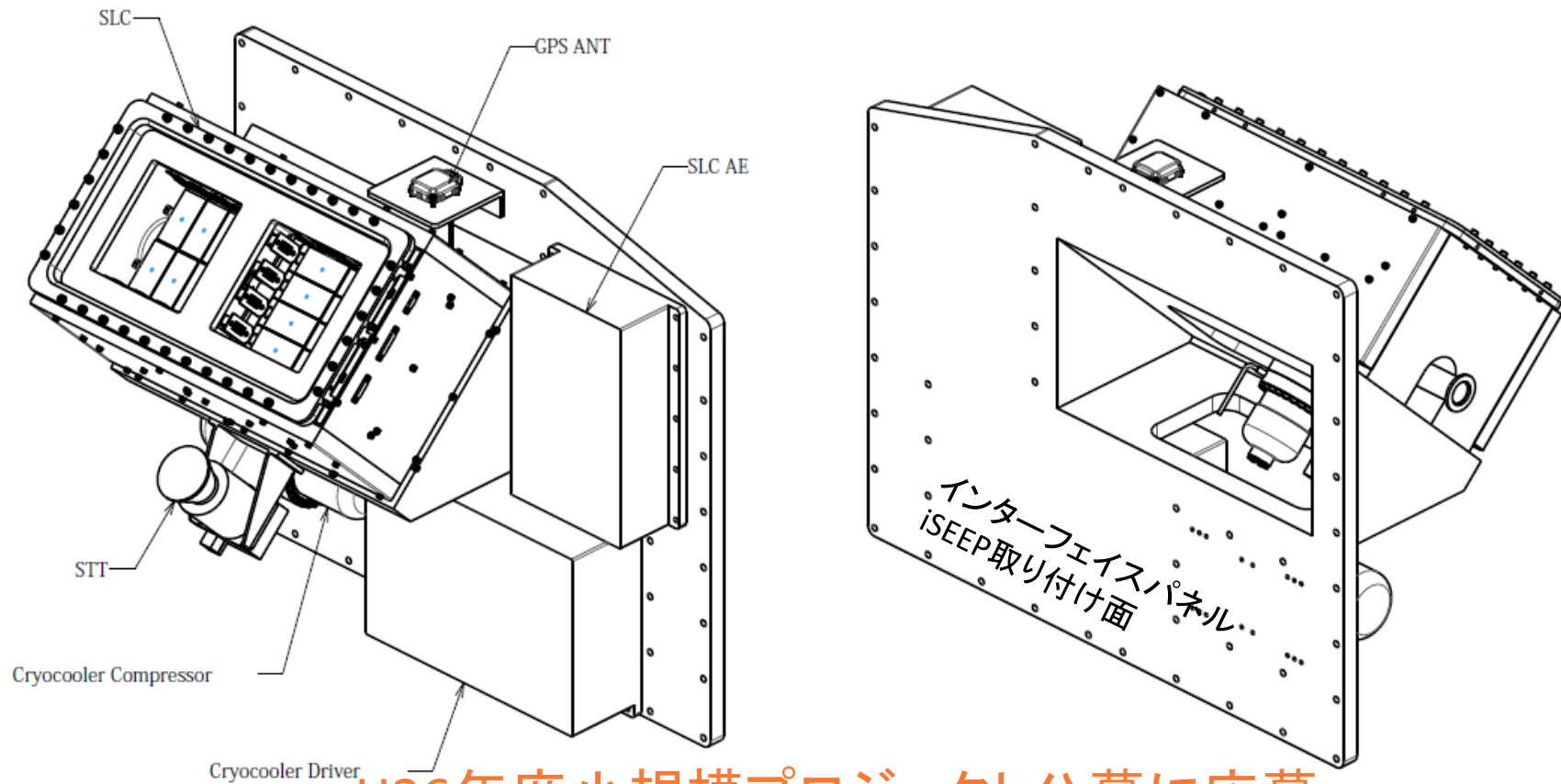
ISS与圧部で宇宙飛行士が組立

ロボットアーム等で曝
露部に取り付けて観測

故障の場合は与圧部に戻して
修理も可能

WF-MAXIと中型バス

WF-MAXIの中型バスへの搭載例
SLC1台、HXMなしの場合(配置を含めて最適化実施中)
従来(大型バス)案に対してカメラの数は4台から1台へ減らす(視野の減少)。



H26年度小規模プロジェクト公募に応募
(締切 2015年2月27日)

X線トランジェント

