

電子飛跡検出型コンプトンカメラによるガンマ線バースト観測の展望

金沢大学

澤野達哉

遠方宇宙の光源としてのlong GRB

高赤方偏移GRB観測

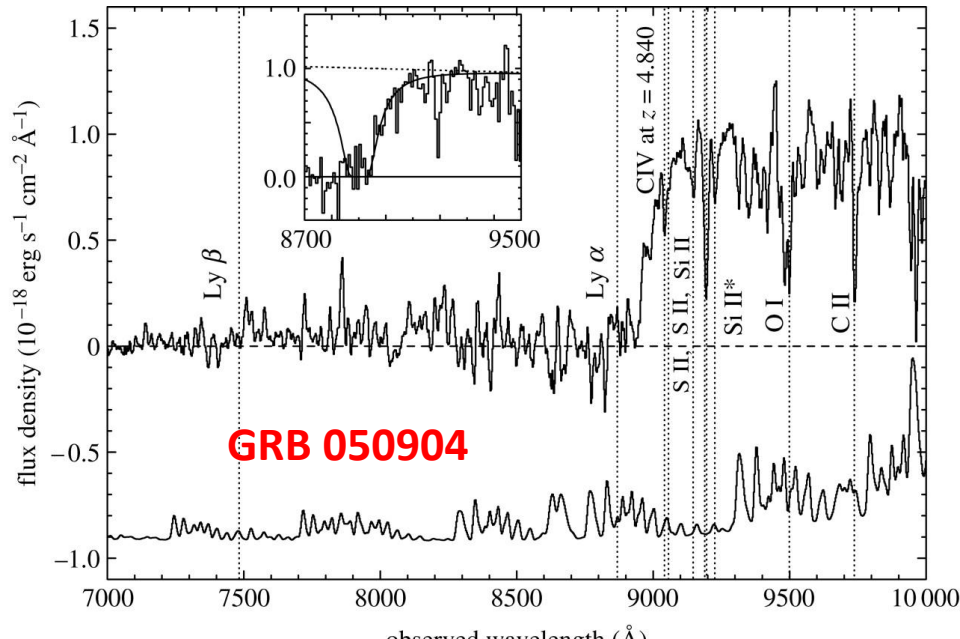
GRB 050904 at $z = 6.3$

GRB 090423 at $z = 8.2$

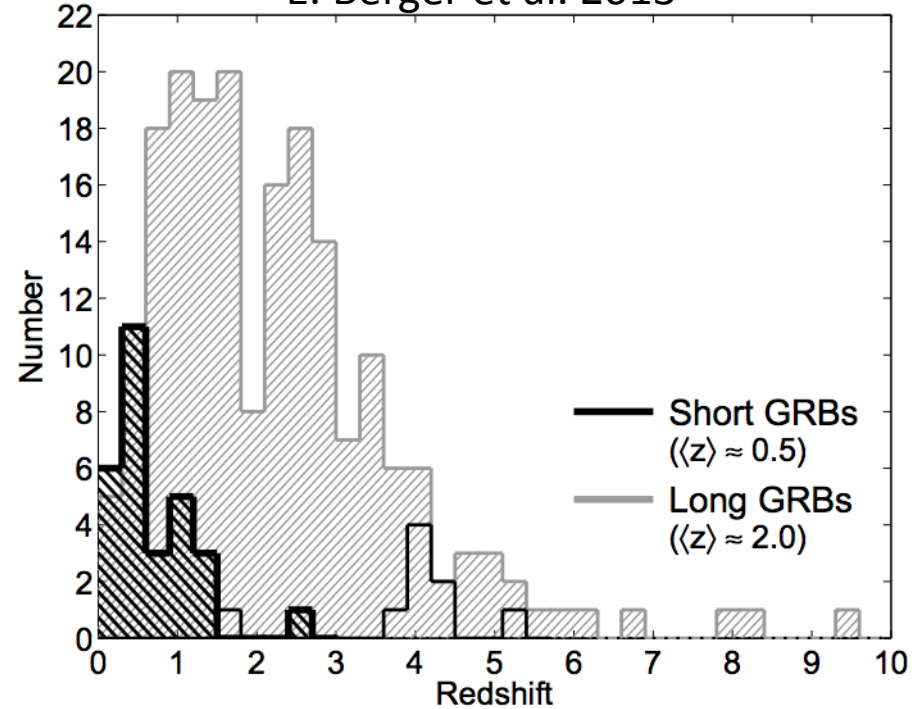
遠方宇宙を見る唯一の単独の天体

広い視野で監視することと
方向を決めて追観測で測位することが重要

N. Kawai et al. 2006



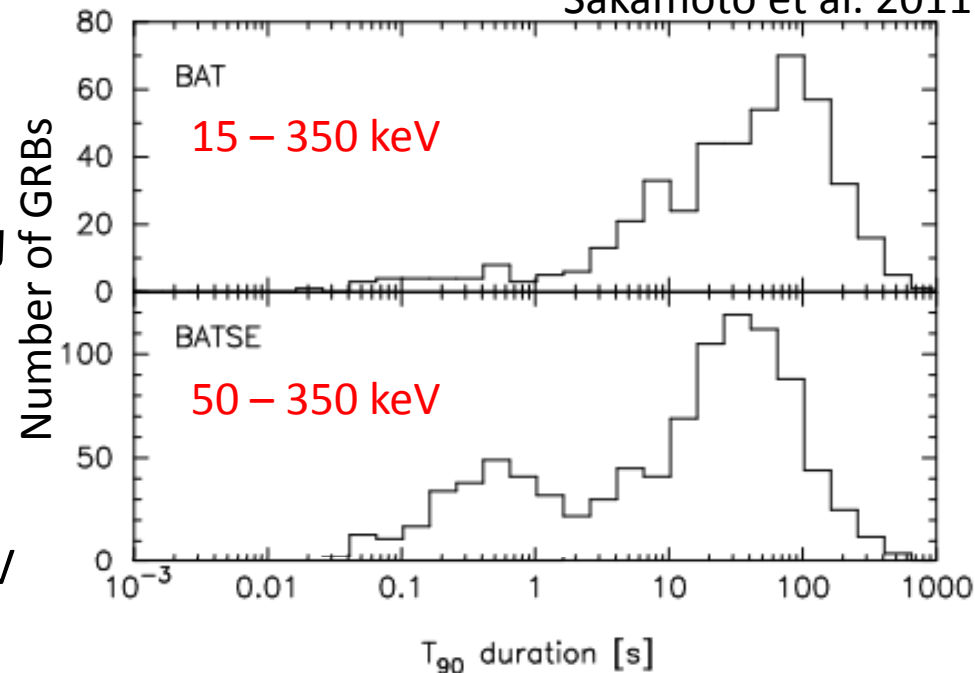
E. Berger et al. 2013



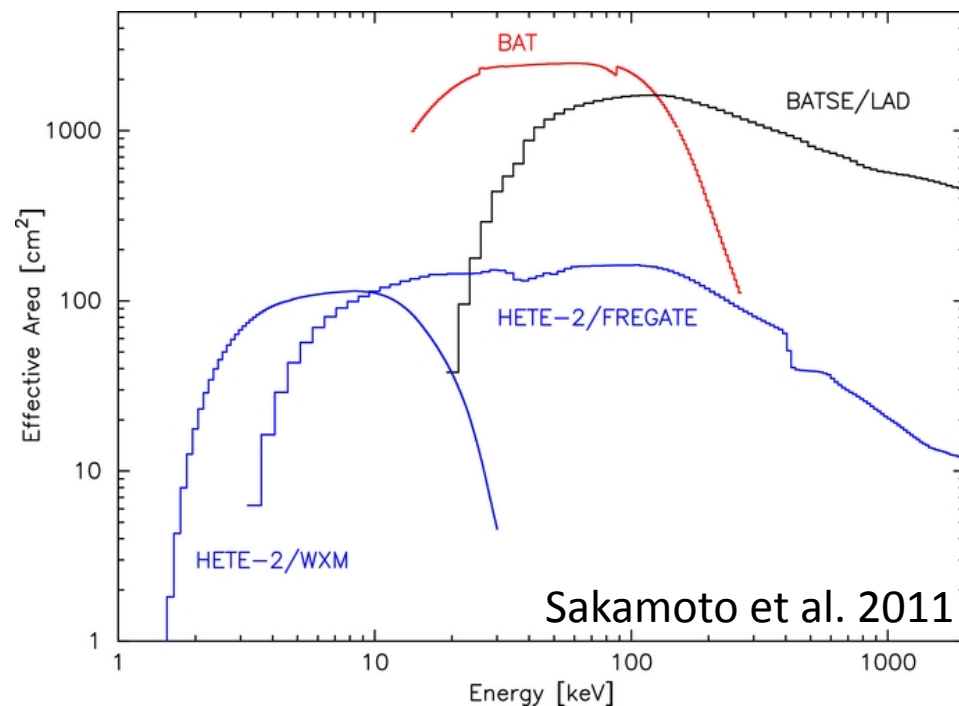
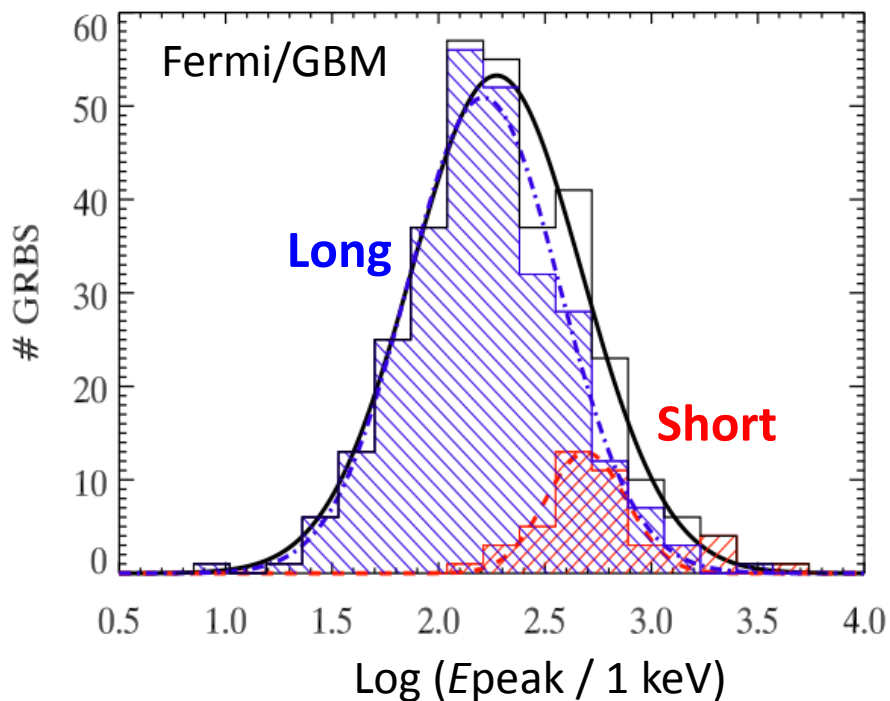
Short GRBs

- compact binary merger modelの検証
GWに同期した初期放射観測が決定的
- ガンマ線帯域は広視野でGW source
のposition regionをカバーできる
- 典型的な初期放射の E_{peak} は ~ 500 keV

Sakamoto et al. 2011



Nava et al. 2010



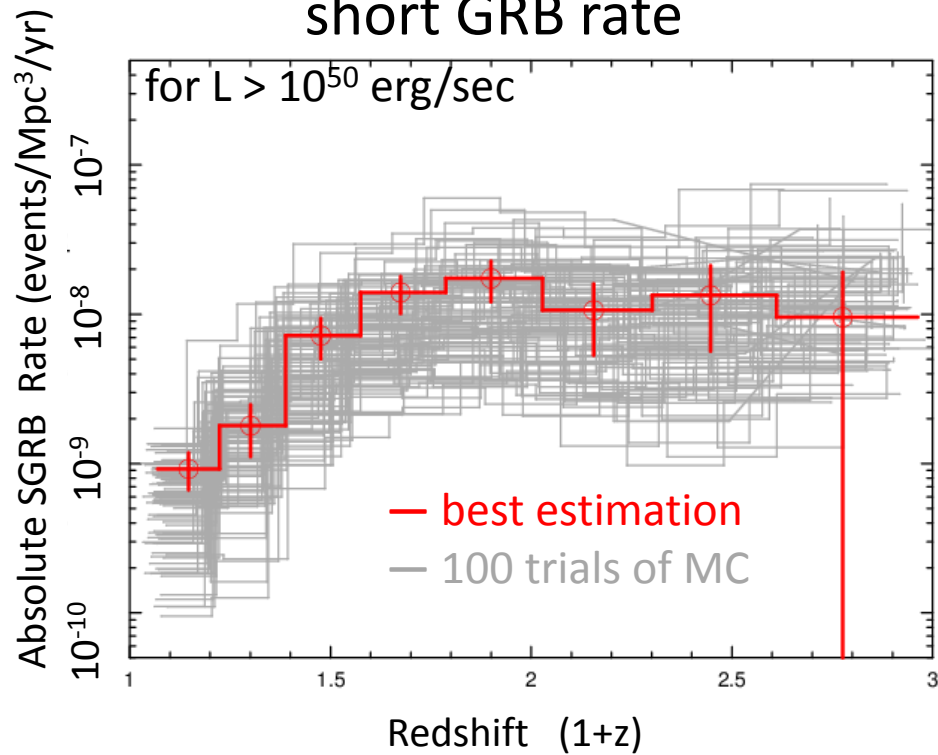
Sakamoto et al. 2011

Short GRB formation rate

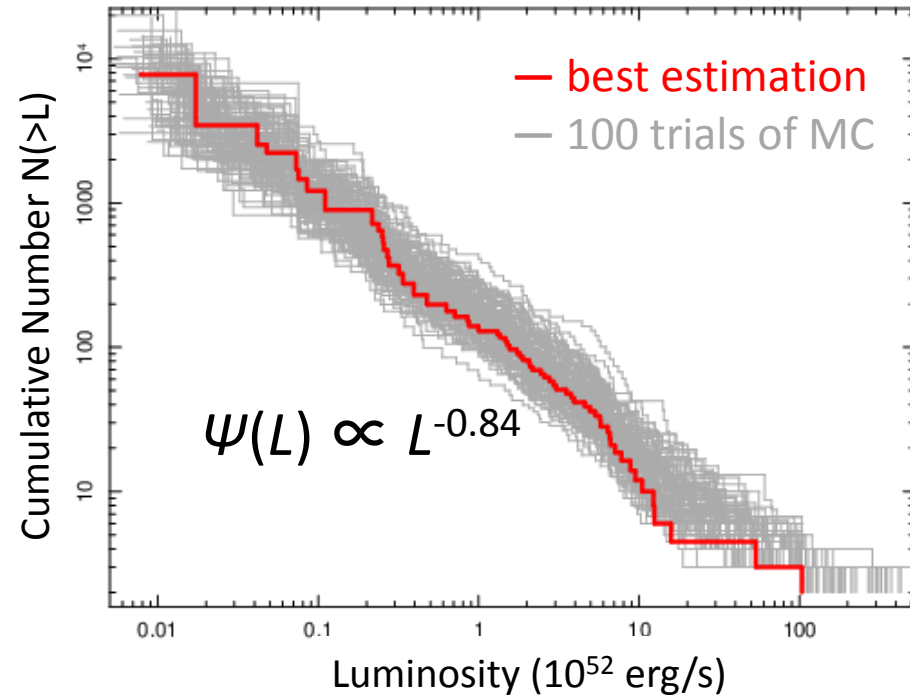
BATSEのshort GRBに対してEp-Lp関係から赤方偏移を推定

D. Yonetoku, T. Nakamura, TS et al. 2014

short GRB rate



Luminosity Function

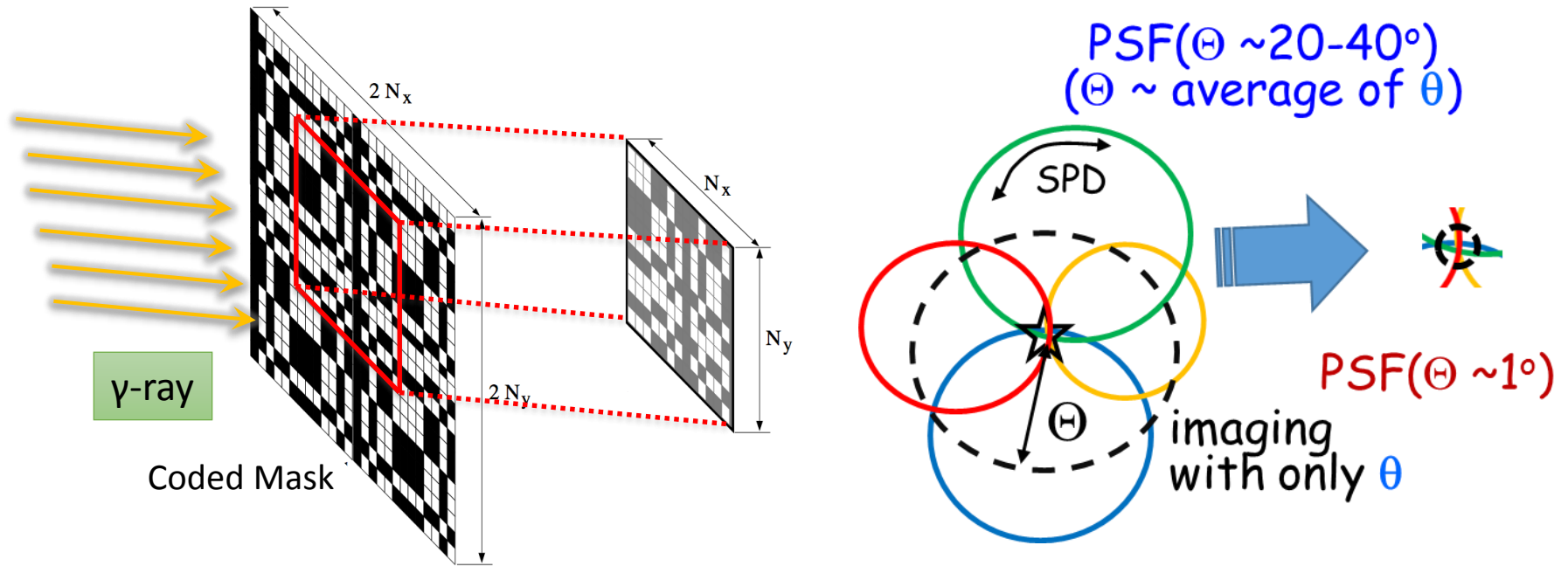


Luminosity > 10⁵⁰ erg/sの
on-axisのshort GRBの発生頻度

~ 0.02 events/year in (200 Mpc)³

BATSEより良い感度
Swift/BAT並みの位置決定精度(< 1°)
なるべく広視野

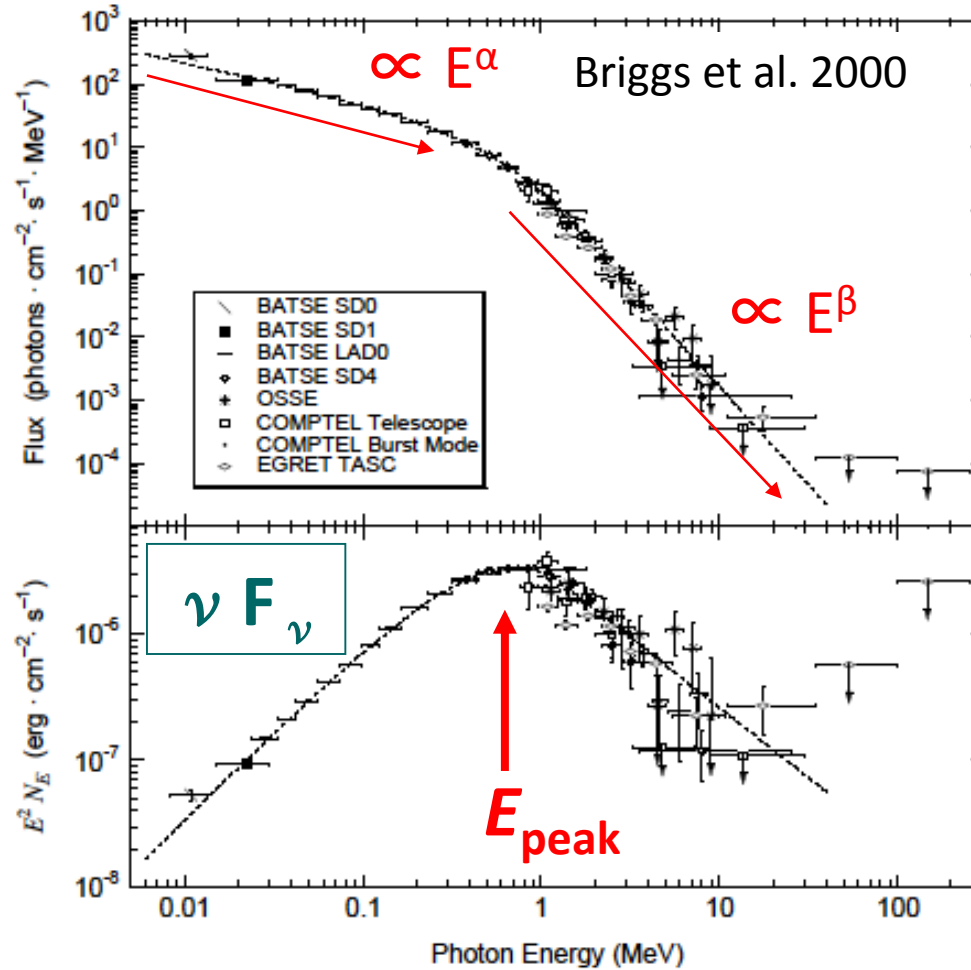
MeVの突発天体には コーデッドマスクでもなく 古典的コンプトンカメラでもなくETCC



コーデッドマスクでも古典的コンプトンカメラでも
ターゲット以外の視野からのCXBが雑音事象となる
感度と視野がトレードオフになってしまう

→ MeV帯域ではETCCだけが広視野と低雑音の恩恵を得られる

GRB Spectrum



Band et al. 1993

$$\frac{dN(E)}{dE} = \begin{cases} A \left(\frac{E}{100 \text{ keV}} \right)^\alpha \exp \left(-\frac{E(2+\alpha)}{E_{\text{peak}}} \right) & \text{if } E < \frac{(\alpha-\beta)E_{\text{peak}}}{(2+\alpha)} \equiv E_{\text{break}} \\ A \left[\frac{(\alpha-\beta)E_{\text{peak}}}{(100 \text{ keV})(2+\alpha)} \right]^{(\alpha-\beta)} \exp(\beta - \alpha) \left(\frac{E}{100 \text{ keV}} \right)^\beta & \text{if } E \geq \frac{(\alpha-\beta)E_{\text{peak}}}{(2+\alpha)} \end{cases}$$

衛星搭載型ETCCのGRB感度

- Band 2003の計算方法に従いCGRO/BATSE, Swift/BAT, ETCCを比較する

$$F_{\min} = \frac{\int_{E_L}^{E_H} N(E) dE}{\int_{E_1}^{E_2} \epsilon(E) N(E) dE} \frac{\sigma_0 \sqrt{A f_{\text{det}} \Delta t \int_{E_1}^{E_2} B(E) dE}}{A f_{\text{det}} f_{\text{mask}} \Delta t}$$

$$B(E) = \epsilon(E) \Delta\Omega f_{\text{mask}} N_B(E) + B_{\text{int}}$$

コーデッドマスクでは視野全体
ETCCではPSF

- GRBスペクトルはBand関数を仮定
 - 異なるエネルギーバンドの検出器で感度を比較するため
バックグラウンドはSwift/BATの観測によるCXBを仮定
- | | |
|-----------------------|----------|
| CGRO/BATSE, Swift/BAT | → 1x CXB |
| ETCC | → 2x CXB |

想定する衛星搭載ETCC

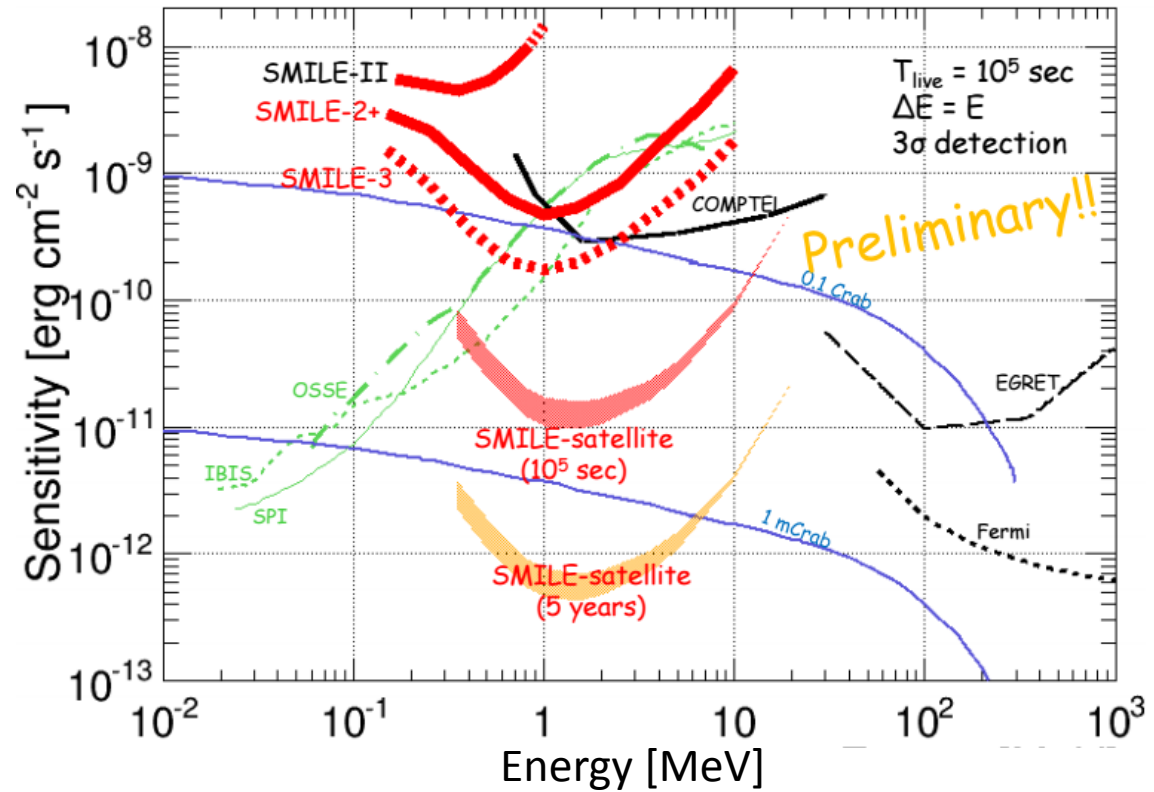
衛星のプラットフォーム
～ $1 \times 1 \text{ m}^2 = 10000 \text{ cm}^2$

コンプトンカメラの有効面積
多重散乱を抑制させるため
コンプトン確率はせいぜい5%まで
→ 500 cm^2
散乱ガンマ線吸収、解析効率
→ $\sim 200 \text{ cm}^2$

コンプトンカメラのPSF
2度を目標
→ ARM 2度、SPD < 10度

ちなみに

同等の視野4 srでマスク開口率が0.5のコーデッドマスクの場合
PSF2度のETCCと比べて500倍のCXBを見る → 同等の感度には 10 m^2 の検出器面積が必要



Sensitivity for faint long GRBs

GRBの継続時間を固定
継続時間分だけ時間積分して
最小検出フルエンス [ph/cm²]を計算

Ghirlanda+ 2015の検出レートとの比較
GRBのdurationがすべて10 – 1000 sec
と仮定すると

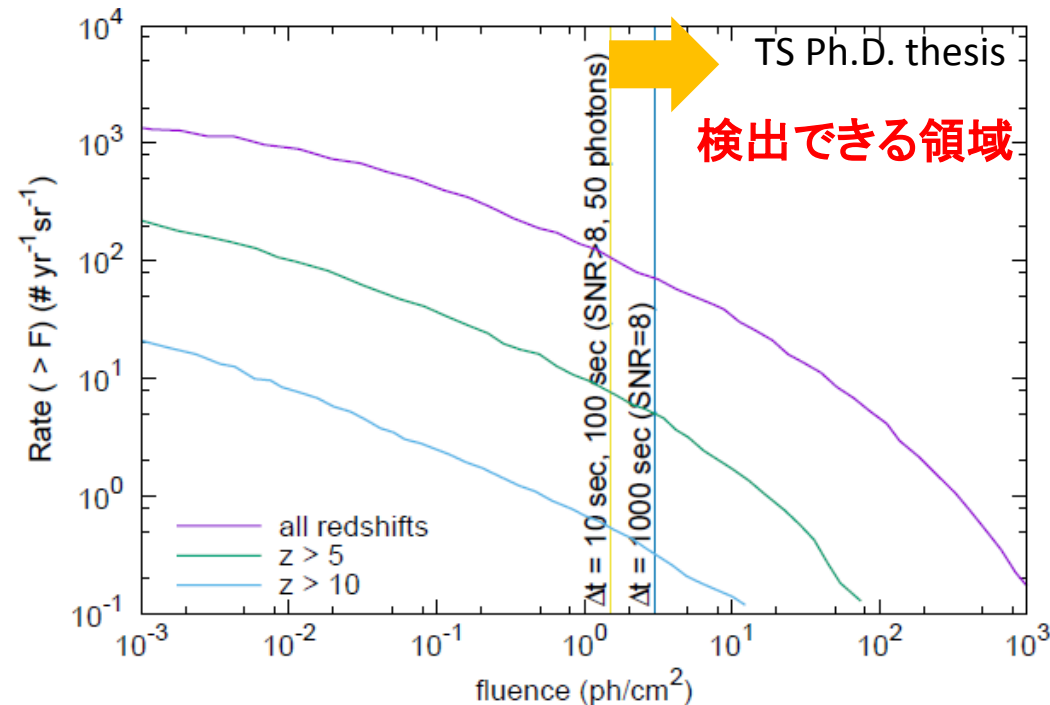
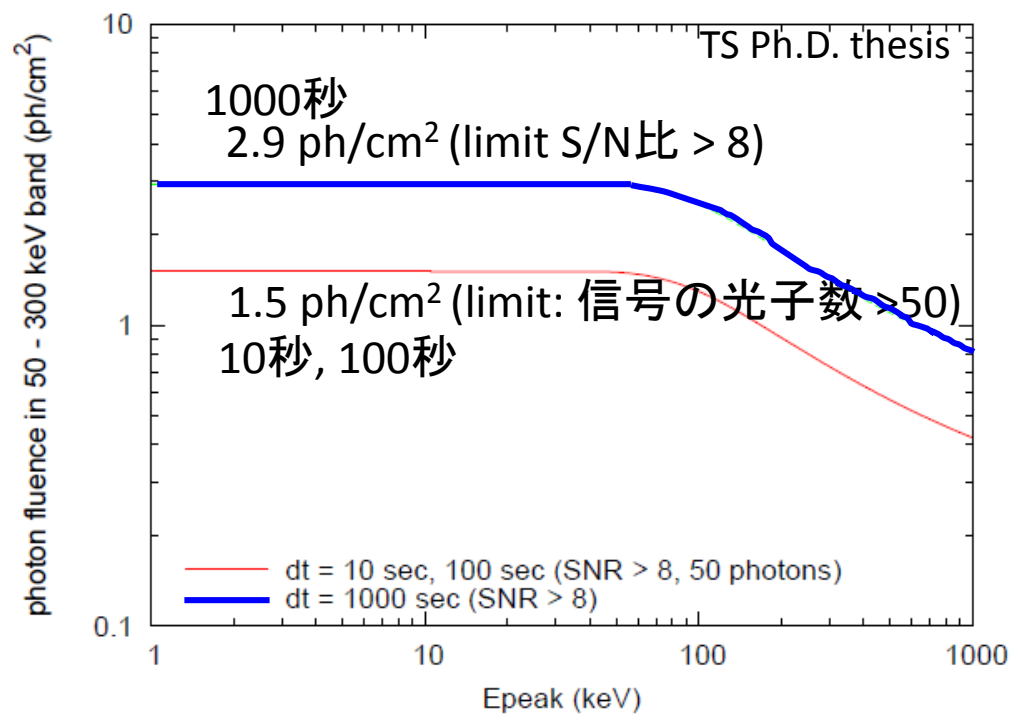
ETCCの視野4 sr

280 – 400 events/year	for all
20 – 28 events/year	for z>5
1.2 – 2 events/year	for z>10

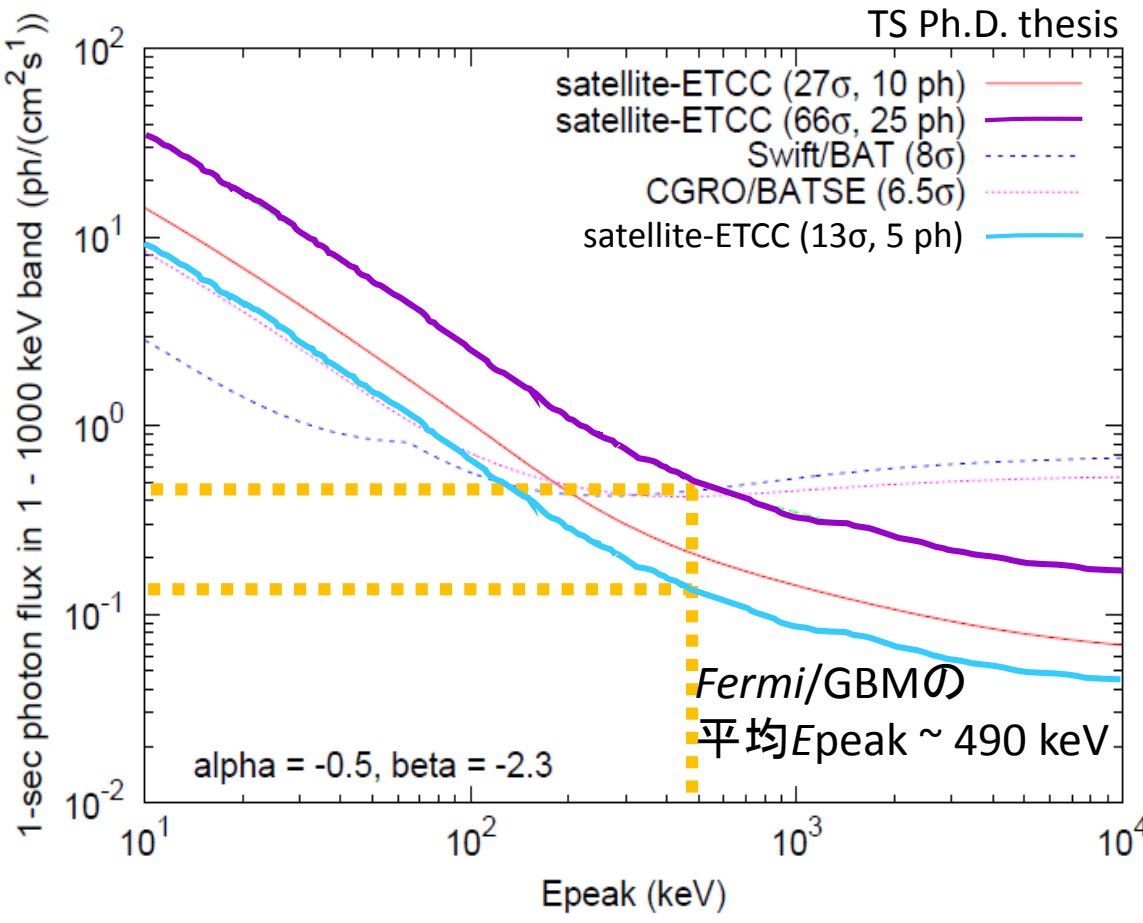
z>10 GRBを検出可能!!!

※Ghirlanda+の計算にはPop. IIIは
含まれていない

位置決定能力 $2^\circ/\sqrt{50} \sim 0.3^\circ$ で
遠方GRB探査・同定に大きく貢献



ETCC sensitivity for short GRBs



ETCCの撮像感度を
25ph, 66 σ と定義すると
0.5 ph/cm²/s (1-1000 keV)
⇒ 1.3 × 10⁻⁷ erg/cm²/s, ~ 0.4 $^{\circ}$

5 ph, 13 σ の場合
⇒ 2.6 × 10⁻⁸ erg/cm²/s, ~ 0.9 $^{\circ}$

BATSEで分光解析できるflux limit
~ 1 × 10⁻⁶ erg/cm²/s
(Yonetoku et al. 2014)

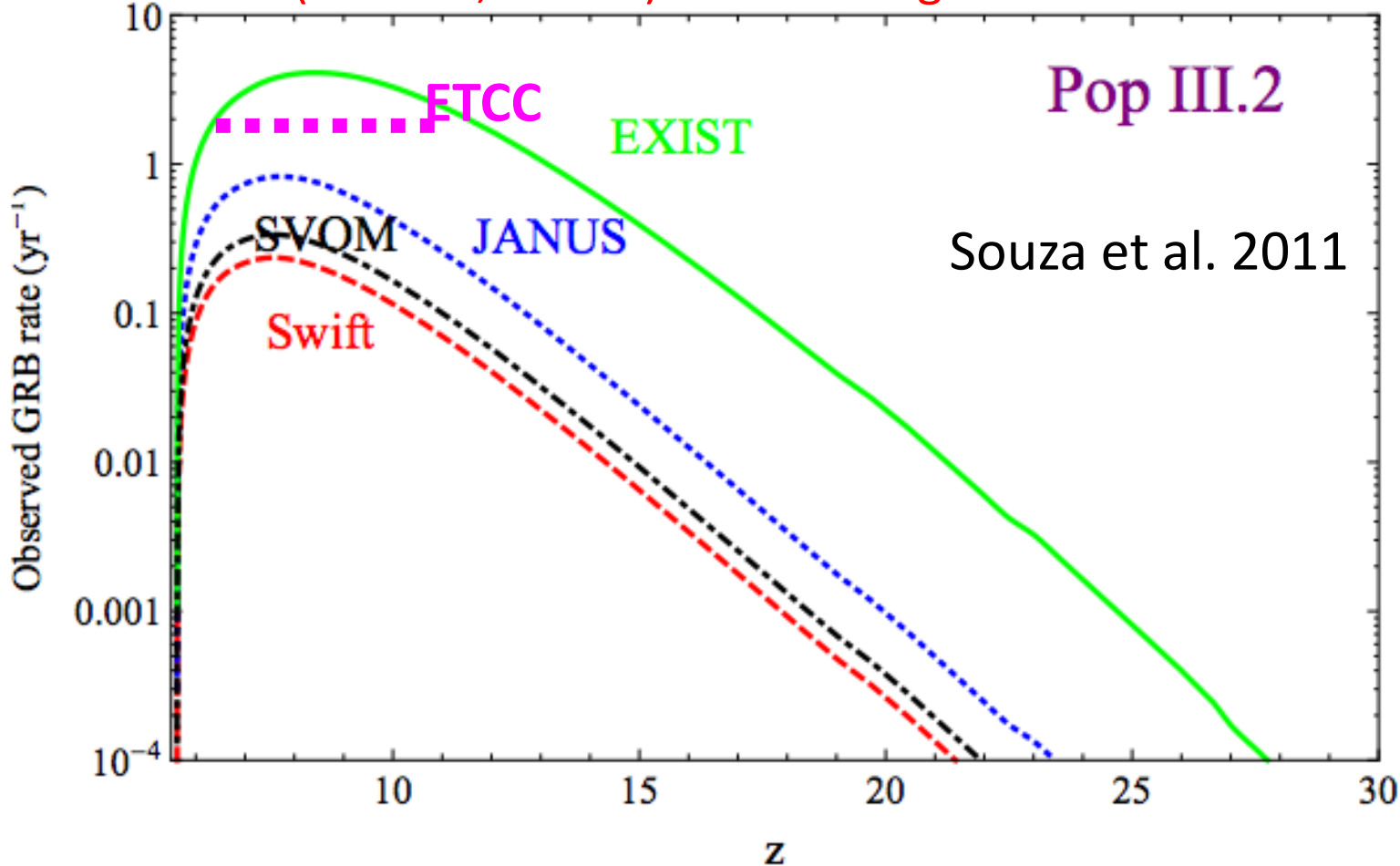
の10倍以上の感度

光度関数 ∝ L⁻¹
感度10倍 ⇒ 検出数10倍

~ 0.2 events/yearでGWに同期したShort GRBの初期放射
ミッション期間を5年とすると~1 eventの観測が期待

Pop. III GRB rate?

Swift/BAT	1.2×10^{-8} erg cm ⁻² s ⁻¹	1.4 sr
SVOM	1.2×10^{-8} erg cm ⁻² s ⁻¹	2 sr
JANUS	1×10^{-8} erg cm ⁻² s ⁻¹	4 sr
EXIST	1×10^{-9} erg cm ⁻² s ⁻¹	5 sr
ETCC (500 keV, 1000 s)	4×10^{-9} erg cm ⁻² s ⁻¹	4 sr



まとめ

- 遠方宇宙の光源として、重力波対応天体として GRBをBATSEより良い感度で、Swift/BATの位置決定精度でとらえたい
- ETCCは低雑音と視野が両立できるMeV唯一の解
- goalの感度でのpredicted GRB observed rate
 - $z > 10$ のGRB 1~2 events/year (Pop.III.2含む)
 - < 200 Mpcのprompt short GRB 5年で $O(1)$ event