



高エネルギー天体現象の未解決問題 と将来観測計画

浅野 勝晃 (東工大)



高エネルギー宇宙物理

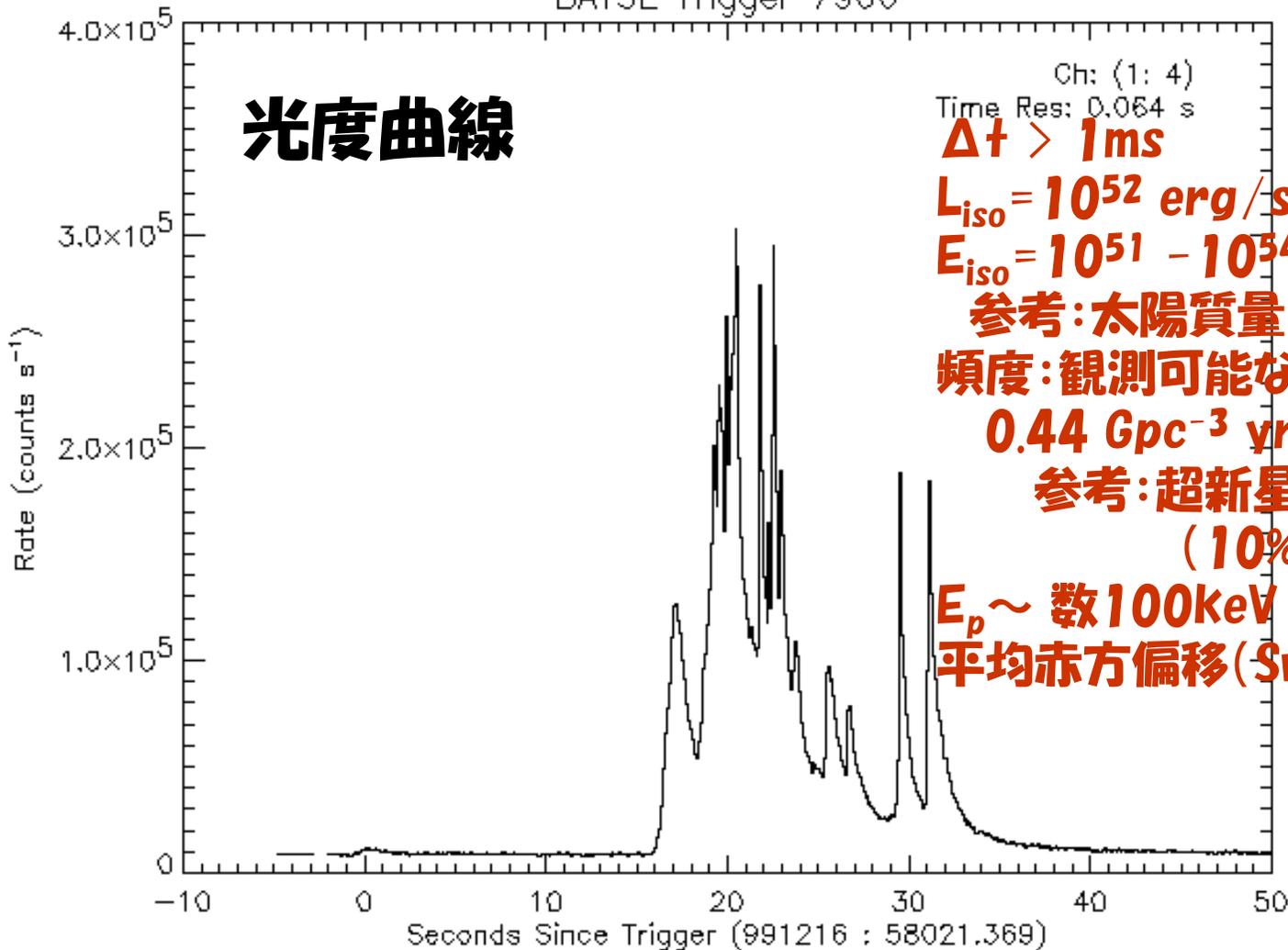
- 高エネルギー天体现象のメカニズムそのもの
- 高エネルギー現象が星形成、銀河形成などに与える影響
- 宇宙論などを議論する際の道具としての高エネルギー天体现象
- 一般相対論の検証
- 予言(○×衛星が打ち上がると年間?個※※が観測される)

高エネルギー天体

- ・ 超新星 → 鈴木さん
- ・ ガンマ線バースト
- ・ パルサー
- ・ X線連星
- ・ 活動銀河核ジェット
- ・ 超新星残骸
- ・ 宇宙線・ニュートリノ → 村瀬さん、高見さん

ガンマ線バースト

BATSE Trigger 7906



$\Delta t > 1 \text{ ms}$

$L_{\text{iso}} = 10^{52} \text{ erg/s}$,

$E_{\text{iso}} = 10^{51} - 10^{54} \text{ erg}$

参考: 太陽質量 10^{54} erg

頻度: 観測可能なもの 1000発/1yr

$0.44 \text{ Gpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$

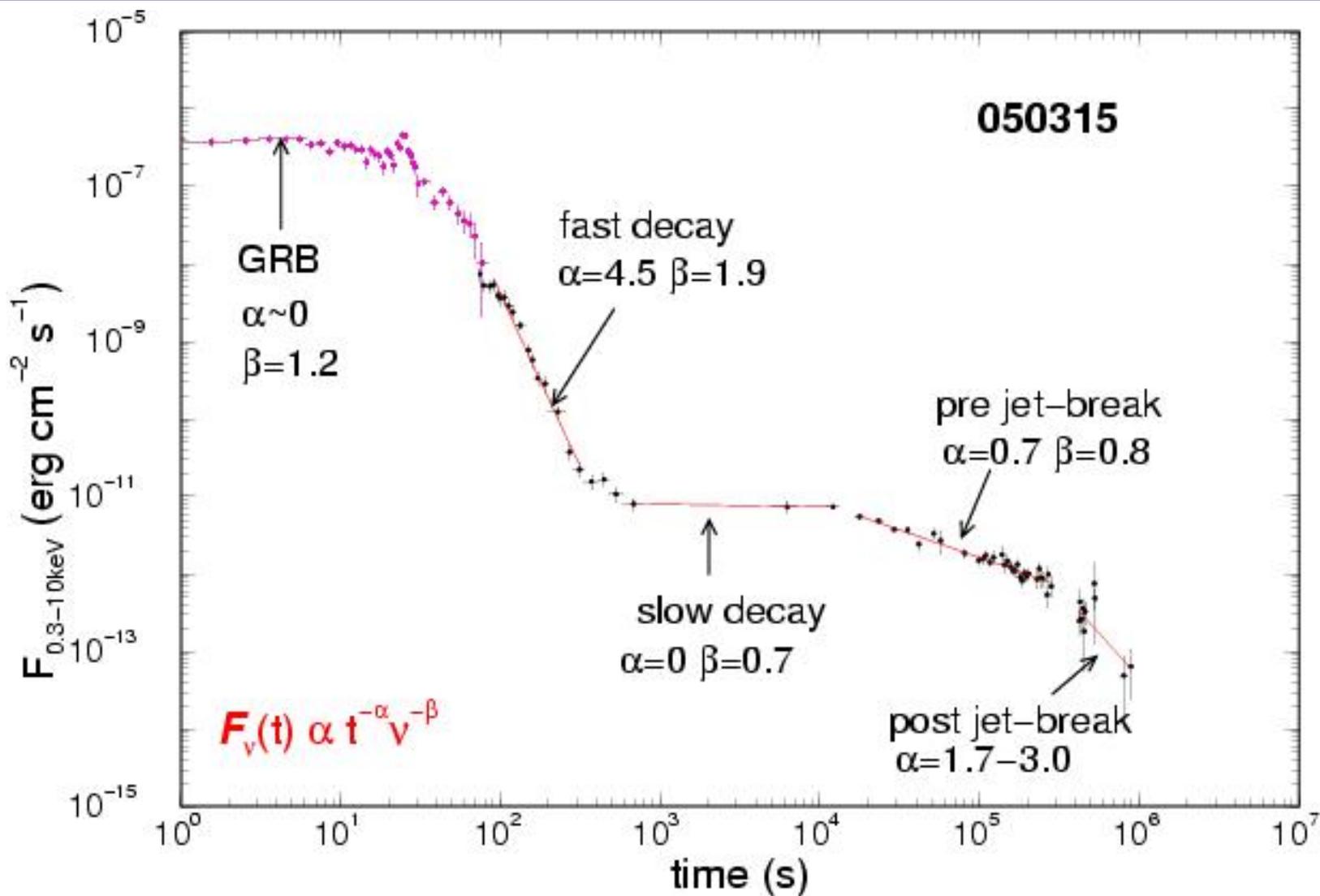
参考: 超新星 $2.4 \times 10^5 \text{ Gpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$

(10%がType Ib/c)

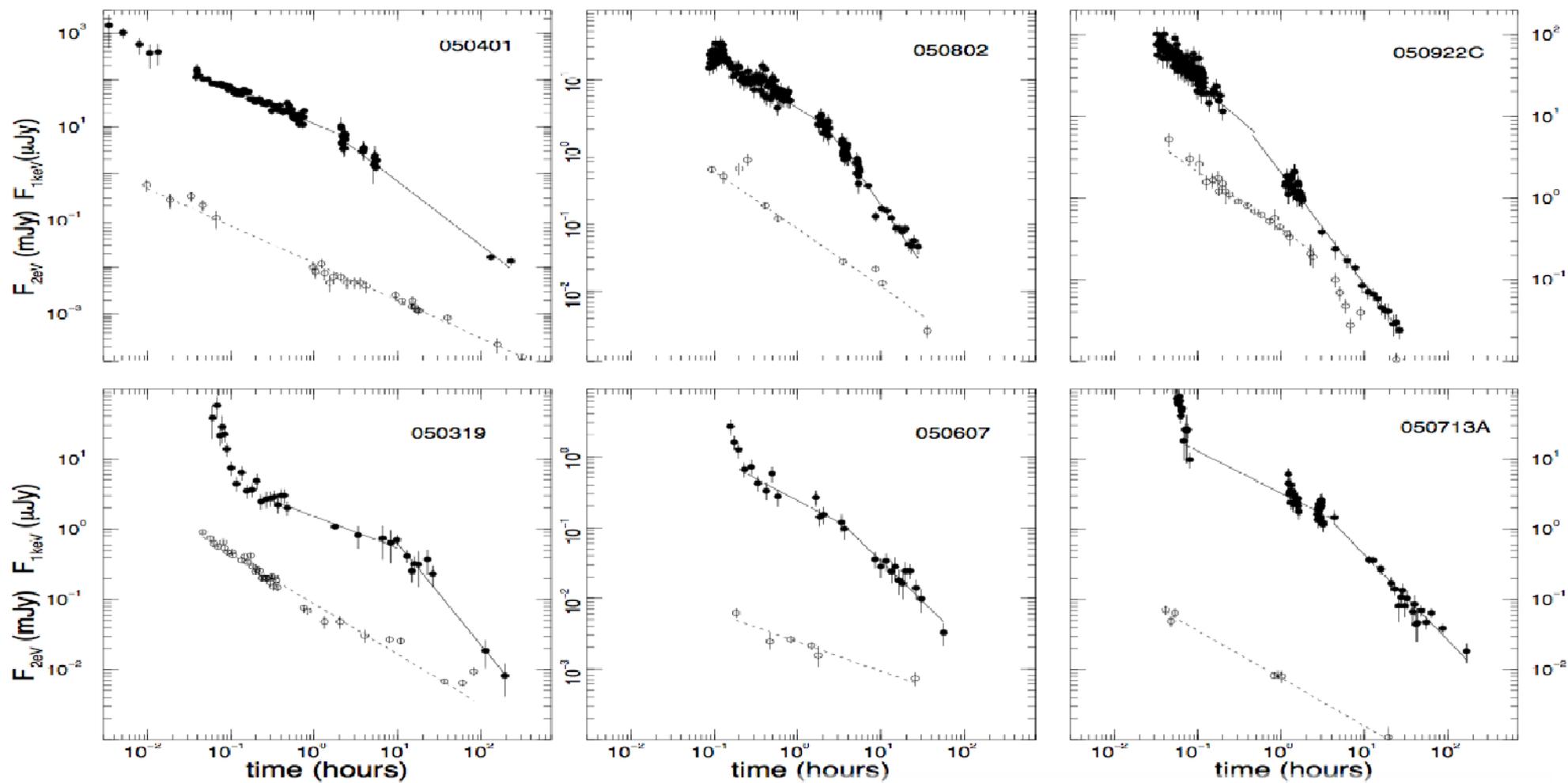
$E_p \sim$ 数100keV

平均赤方偏移 (Swift) 2.8

X線残光

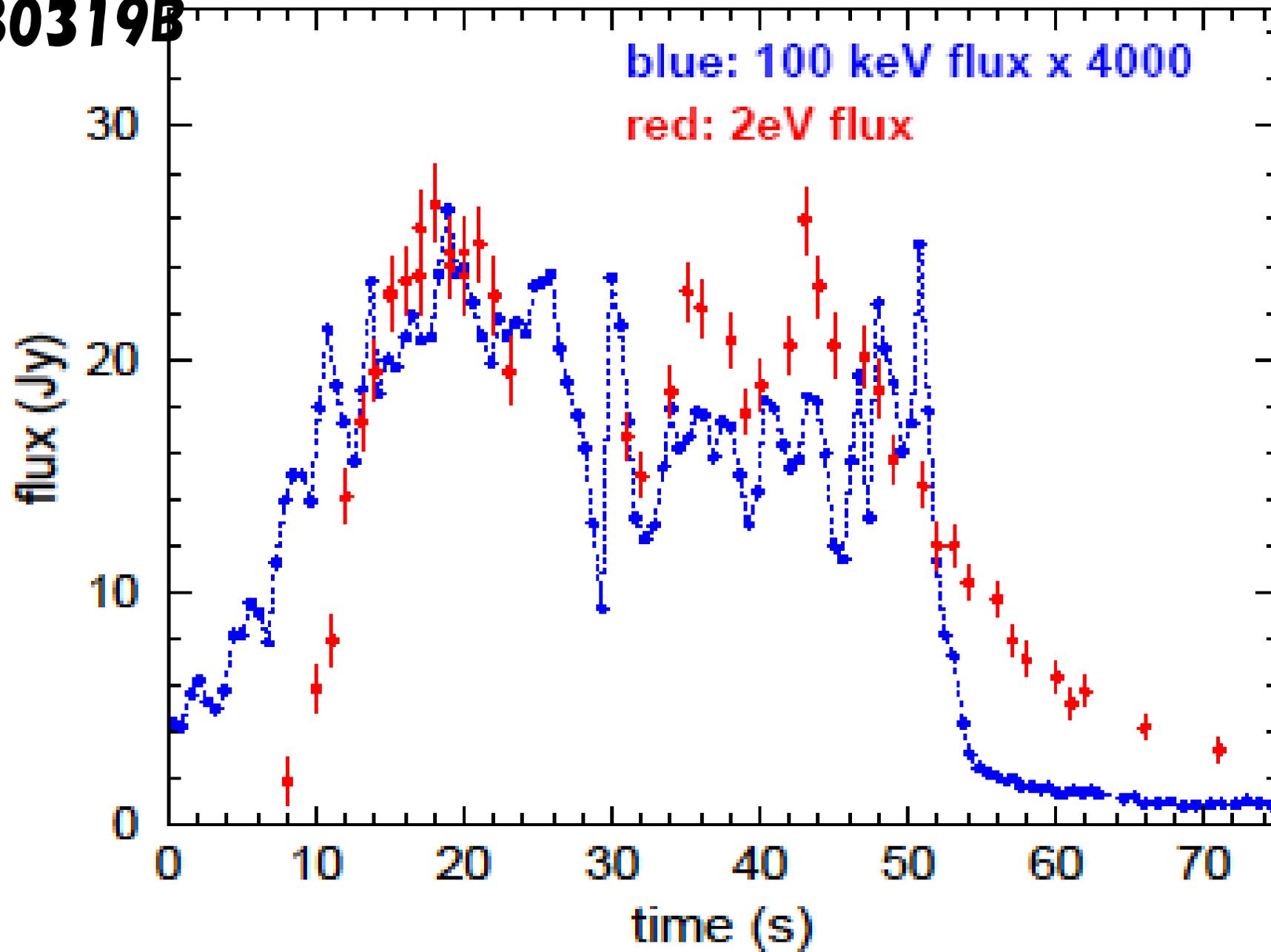


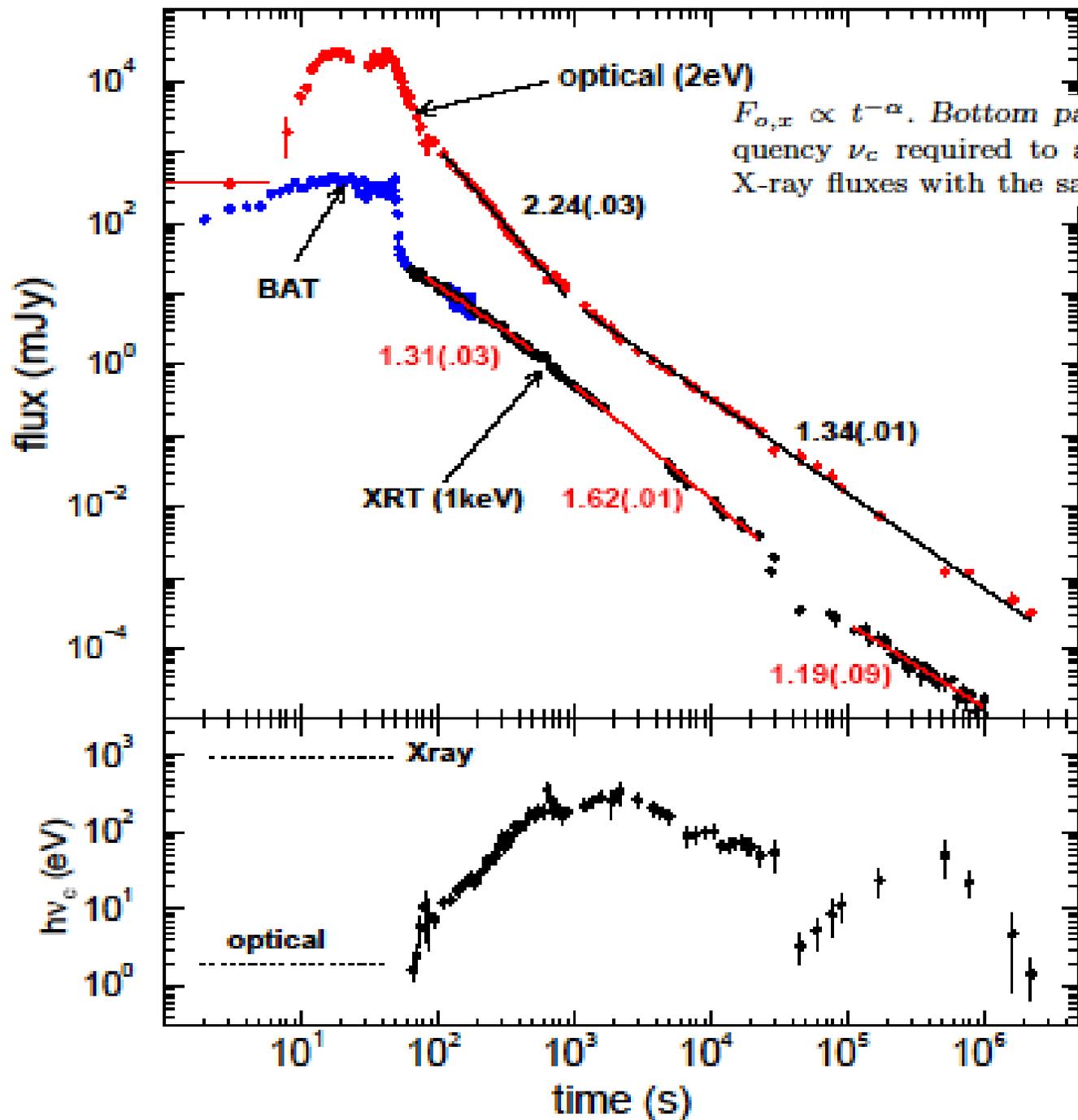
X線及び可視残光



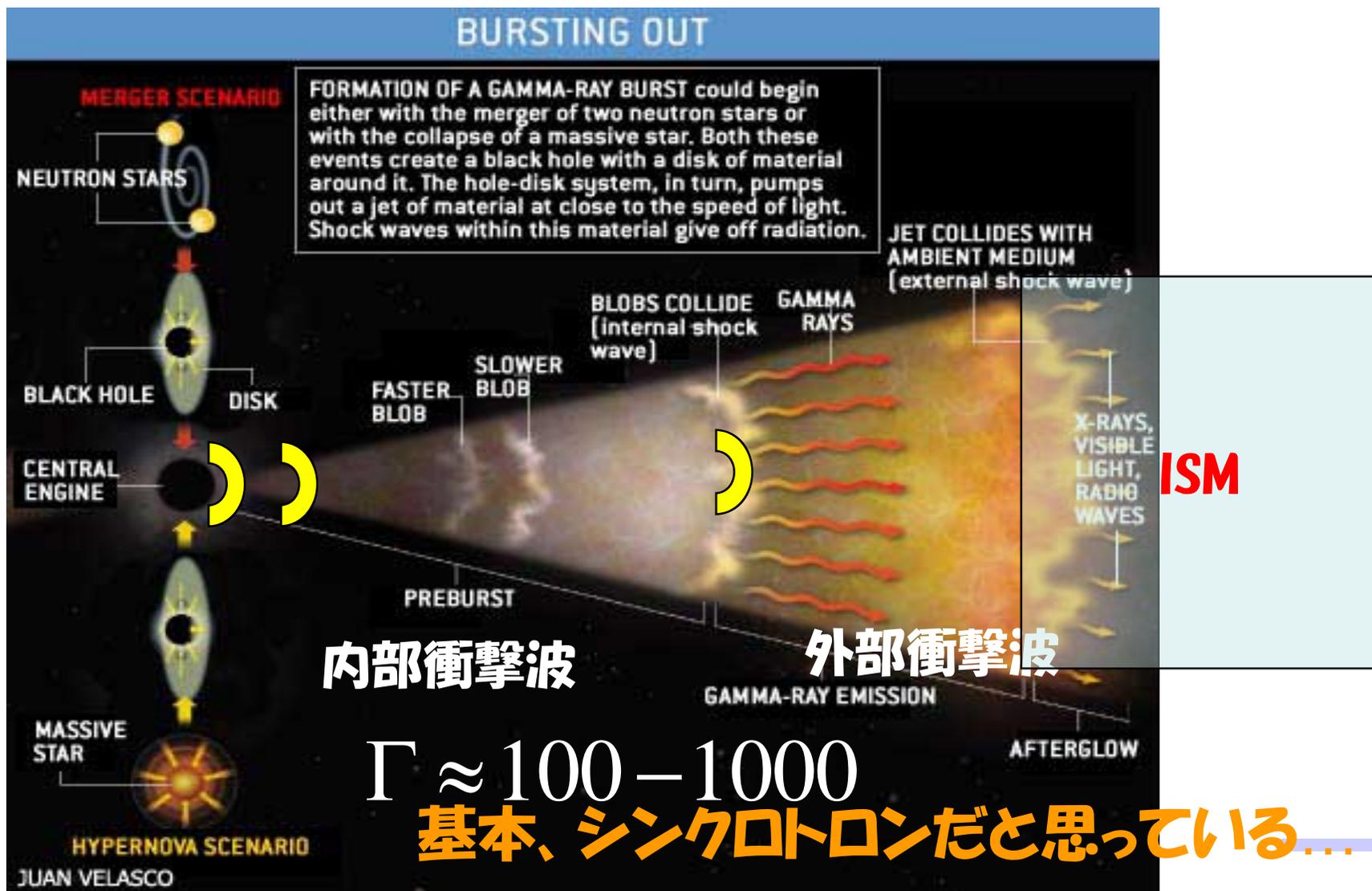
Panaitescu et al. (2006)

080319B



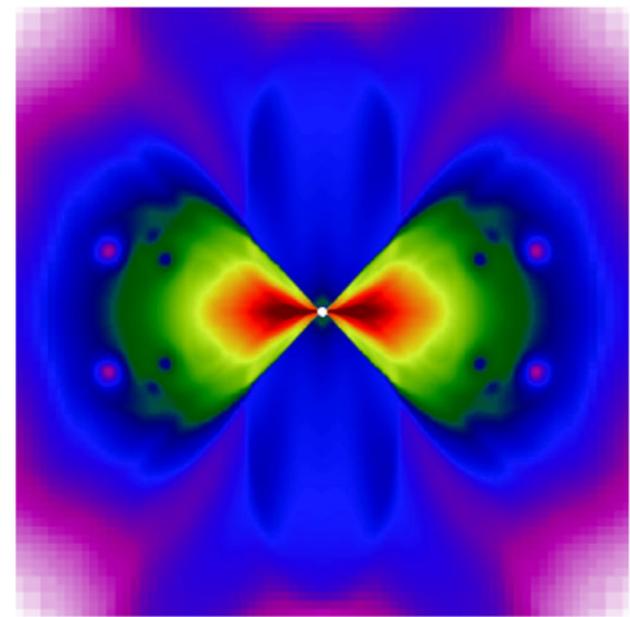


標準的な描像



中心エンジンに要求されていること

- $\Gamma > 100$ のOutflowを作る
- $10^{51} \text{erg/s} < L_{\text{iso}} < 10^{54} \text{erg/s}$
- $10^{48} \text{erg} < E_{\text{iso}} < 10^{54} \text{erg/s}$
- 激しい時間変動で、複数のシェルを作る
- Γ には桁でばらつく、大きな分散
- 1000秒以上の活動性
- 絞られたジェット $< 1/100(?)$



内部衝撃波によるエネルギー解放効率

Efficiency

$$f \equiv \frac{\Gamma_m \varepsilon}{(M_r \Gamma_r + M_s \Gamma_s) c^2} = 1 - \frac{2\sqrt{\Gamma_r / \Gamma_s}}{1 + \Gamma_r / \Gamma_s} \approx 1 - 2\sqrt{\Gamma_s / \Gamma_r}$$

equal mass

$\Gamma_r \gg \Gamma_s$

If $\Gamma_r / \Gamma_s = 2 \Rightarrow f = 0.057$

$\Gamma_r / \Gamma_s = 10 \Rightarrow f = 0.43$

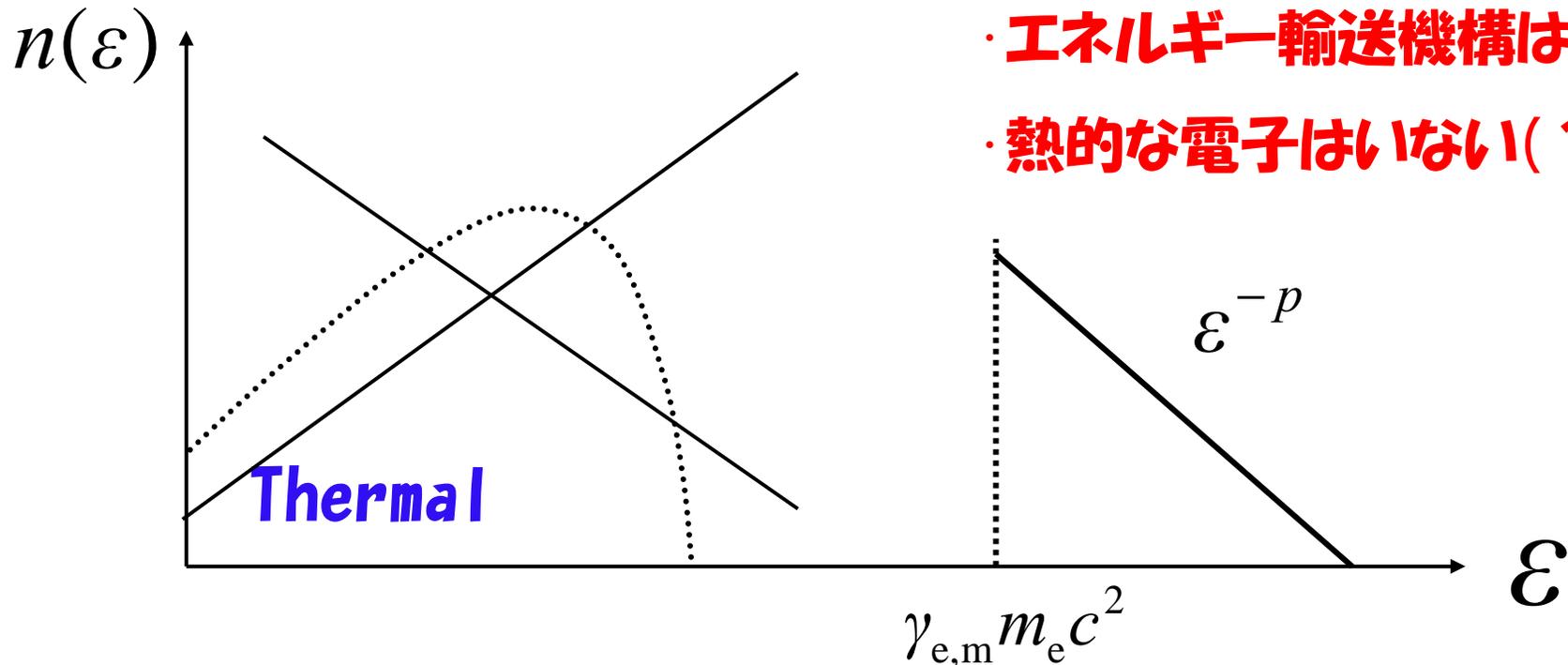
Large Γ -dispersion is required!

標準理論における電子加速

最初は陽子がエネルギーを持っていて...

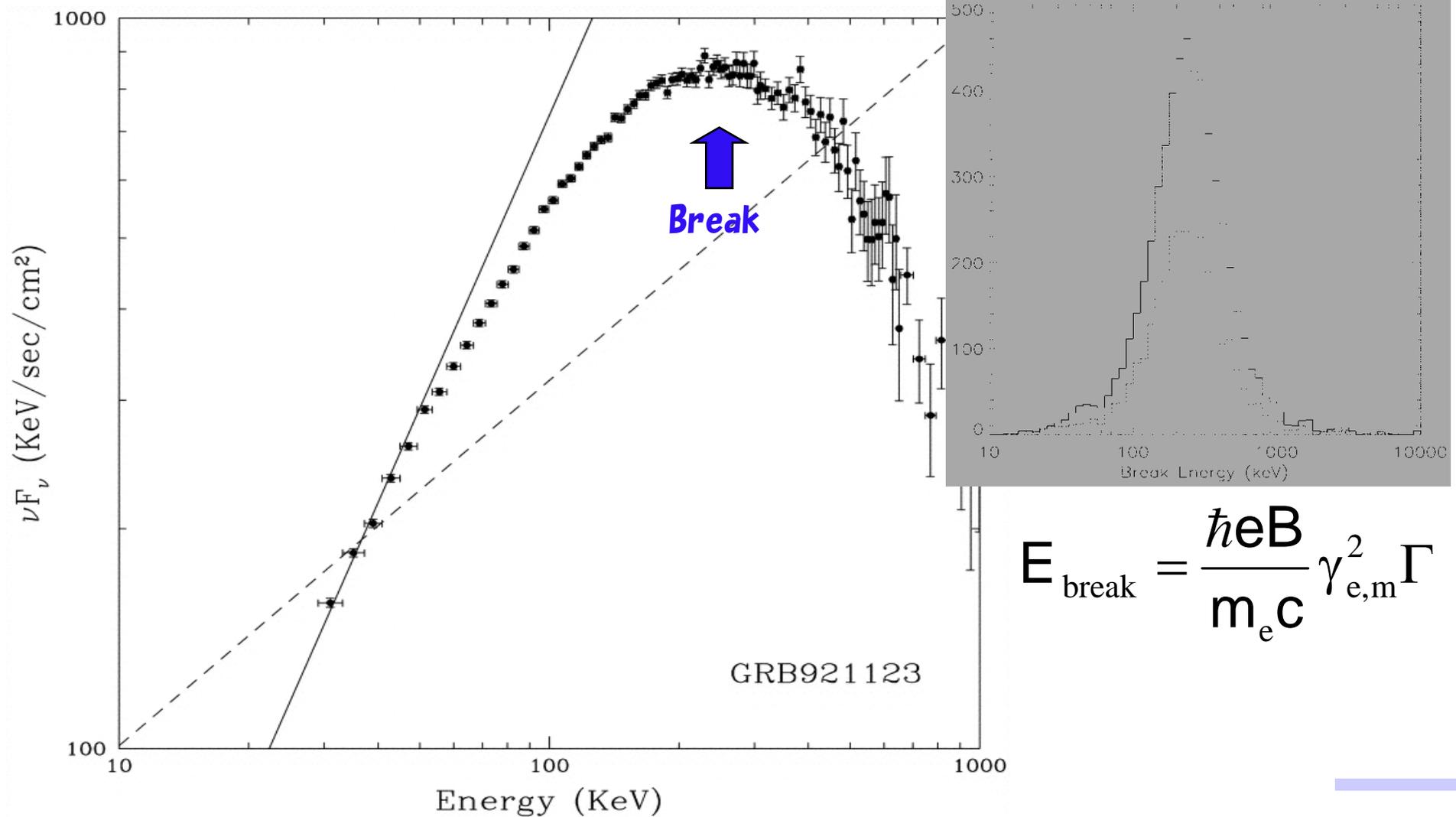


電子へエネルギーは輸送され、ベキ乗分布となる

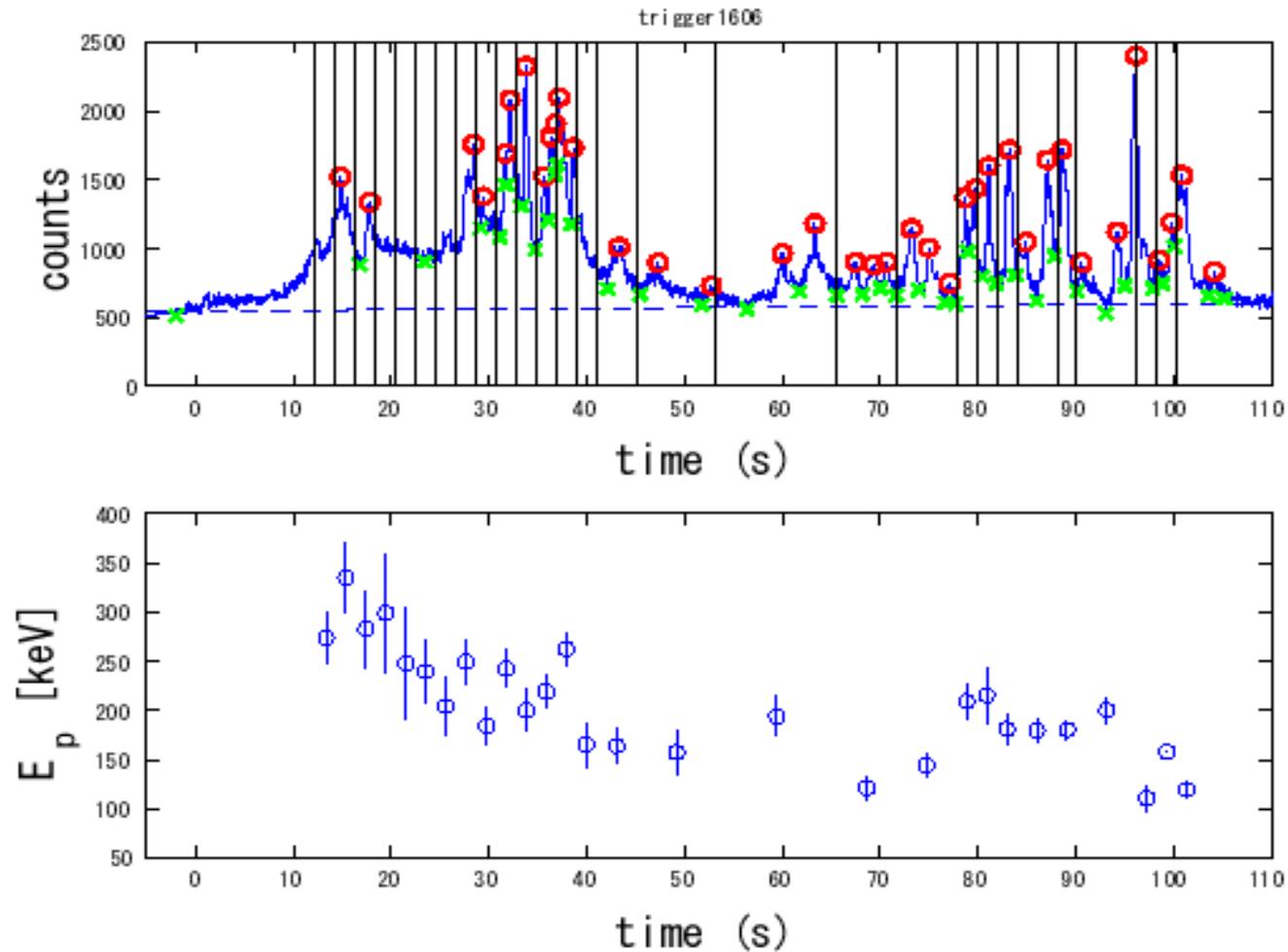


- ・エネルギー輸送機構は不明
- ・熱的な電子はいない(?)

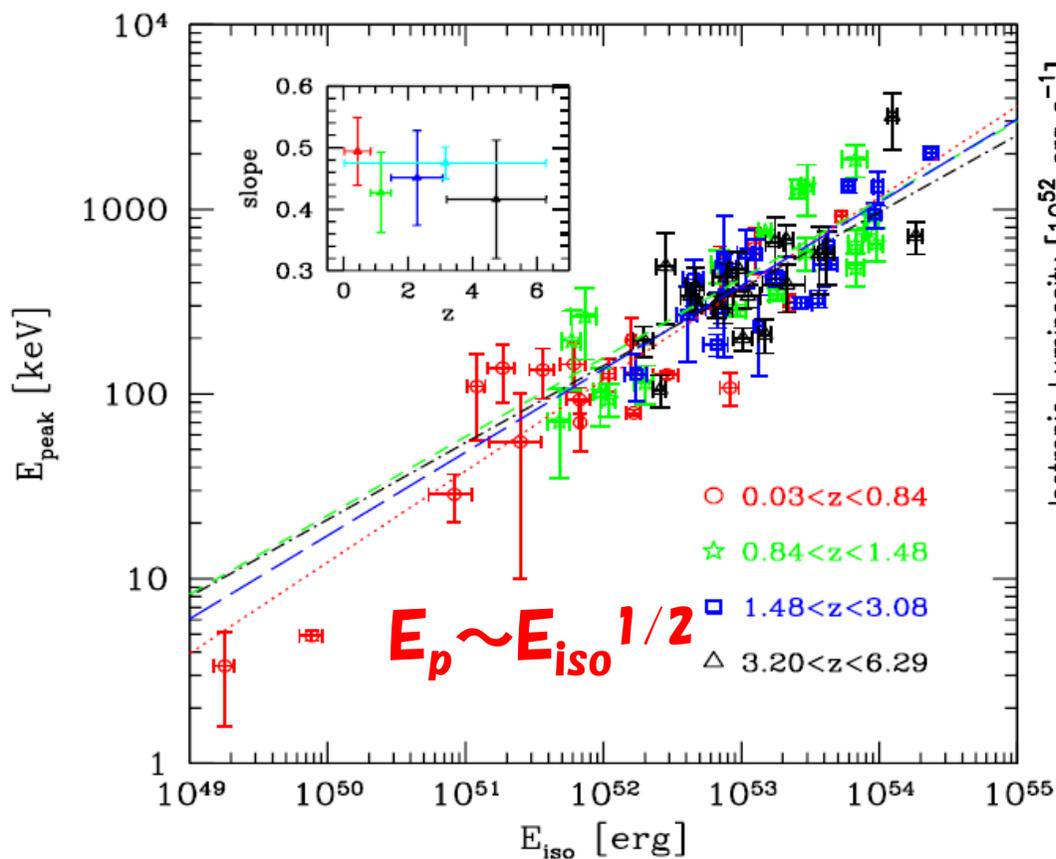
Break Energy



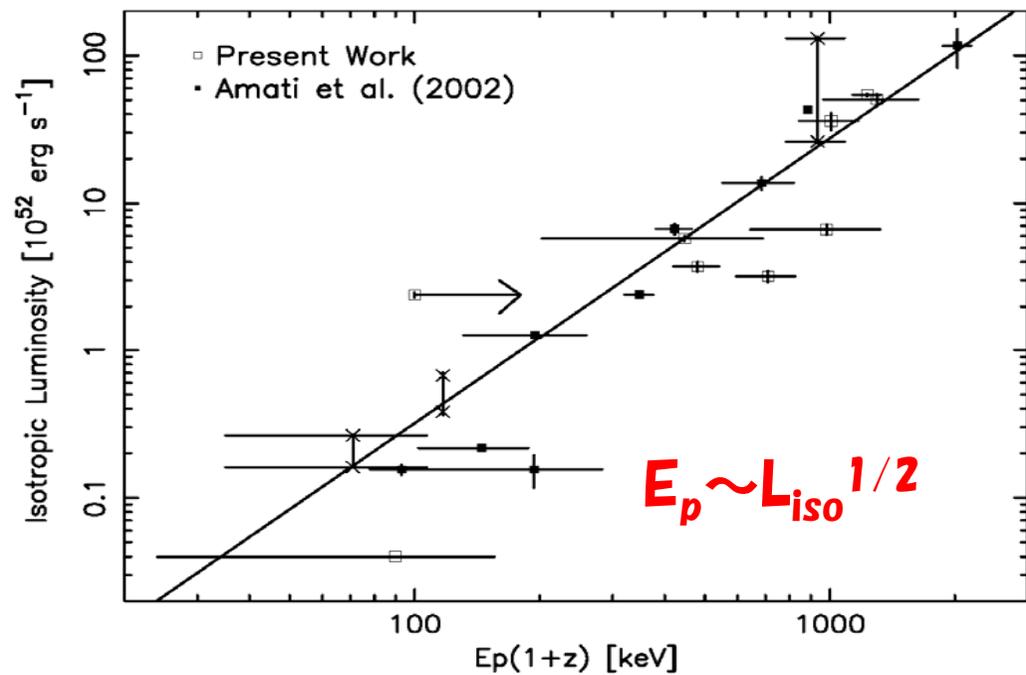
独立なShellが光ってるはずなのに...



ブレイクエネルギーの奇妙な相関



Ghirlanda+(08)



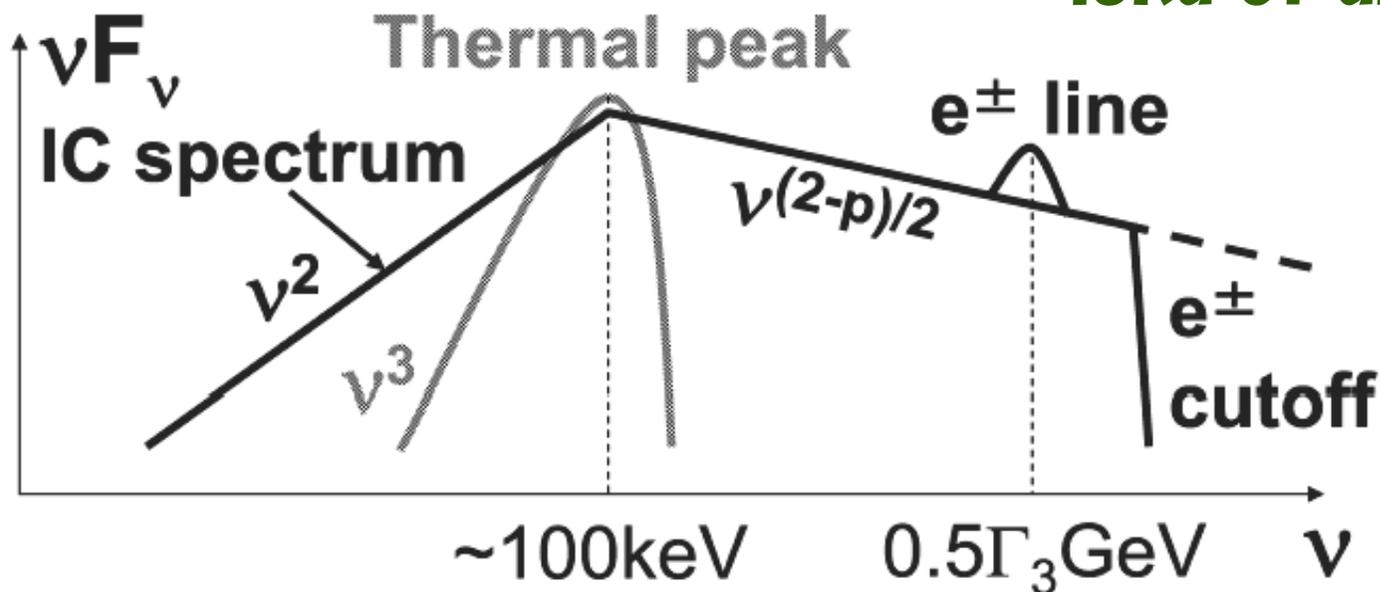
Yonetoku(03)

GRBの問題点のまとめ

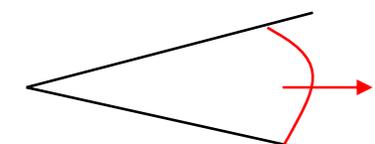
- **超相対論的なジェットを作る中心エンジン**
- **異常に高いガンマ線放射効率**
- **電子の加速と分布**
- **ブレークエネルギーの不思議な相関**
- **わかっていたはずの残光も不思議な振る舞い**

最近はやってる光球モデル

loka et al. 2007

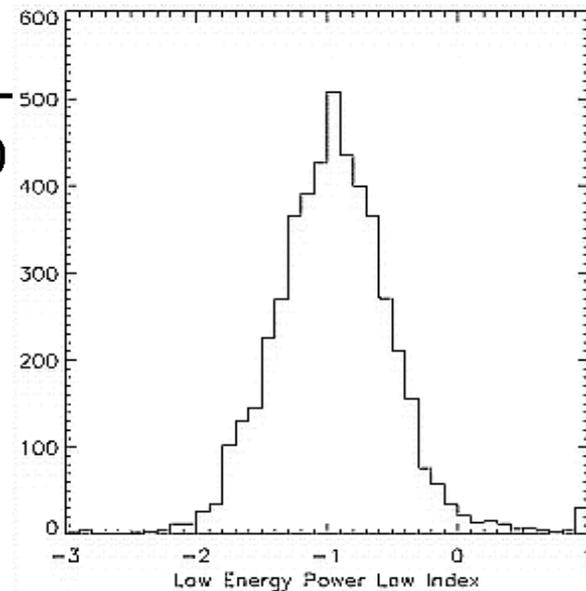
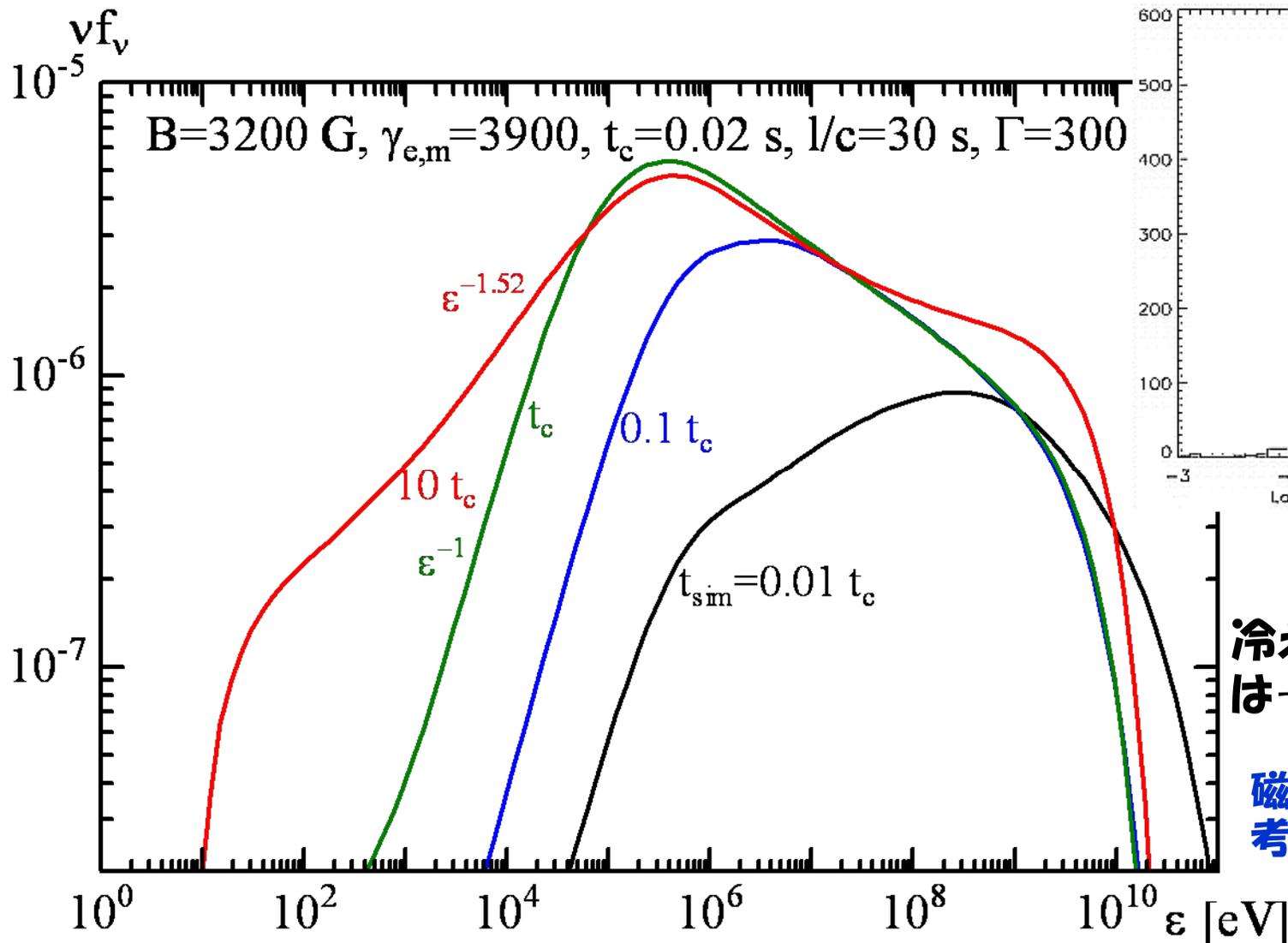


Meszáros & Rees (2000) etc.



ジェットの加速が終わる前に晴れ上がり、
Thermal放射が出てきている。

ヒントは低エネルギーにあるかも...



冷えた電子からの放射
は-1.5を予言する一方

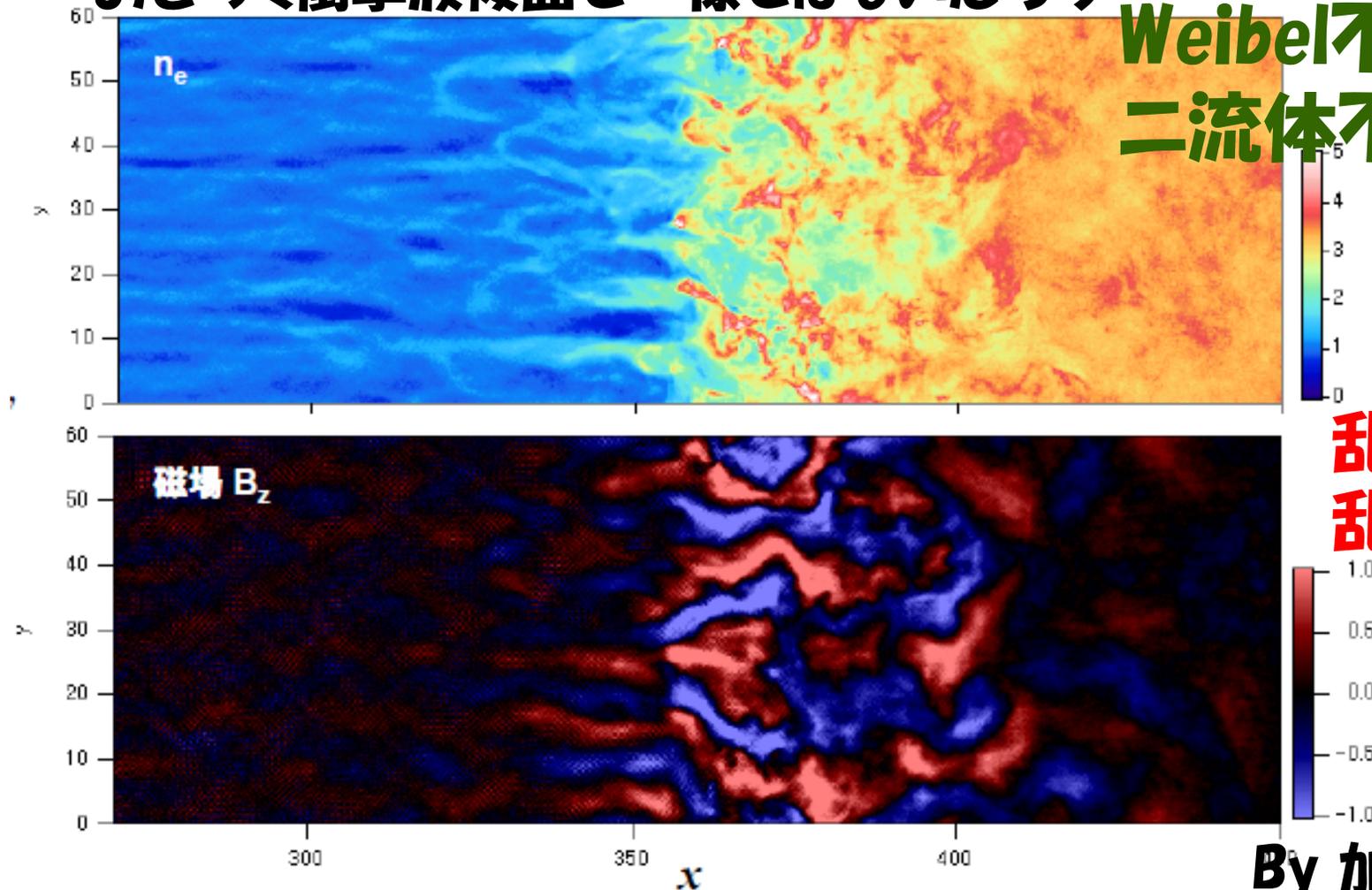
磁場が消失すると
考えるのは悪くないが...

乱流磁場

おそらく衝撃波後面で一様ではないだろう

t = 233

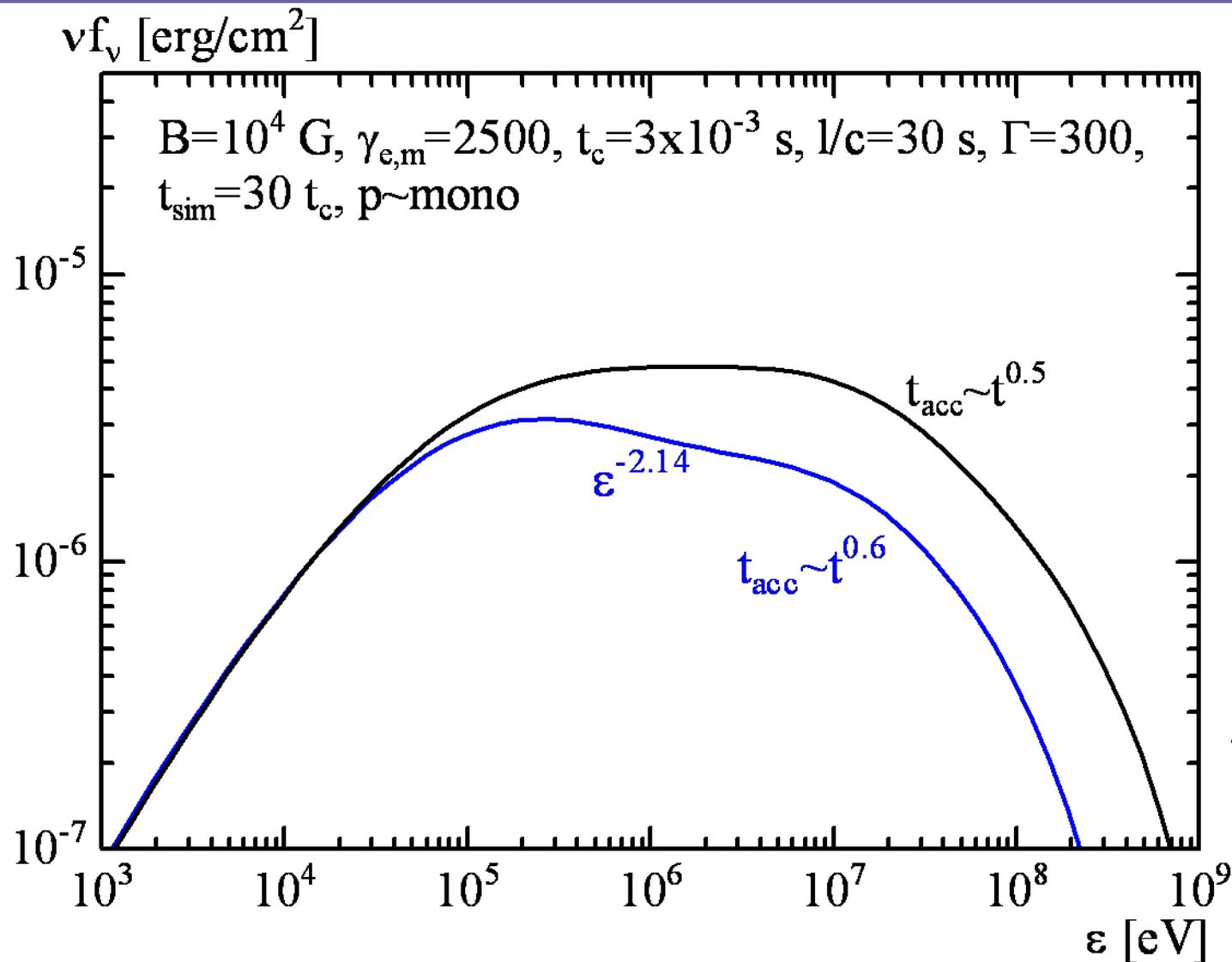
Weibel不安定性
二流体不安定性



乱れた磁場、
乱流が存在

By 加藤恒彦

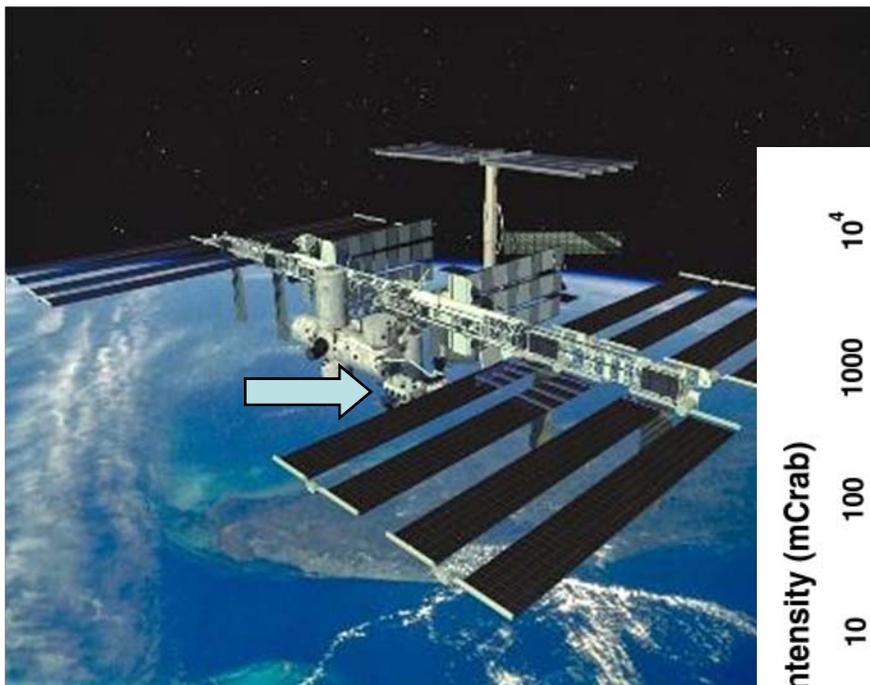
二次加速？



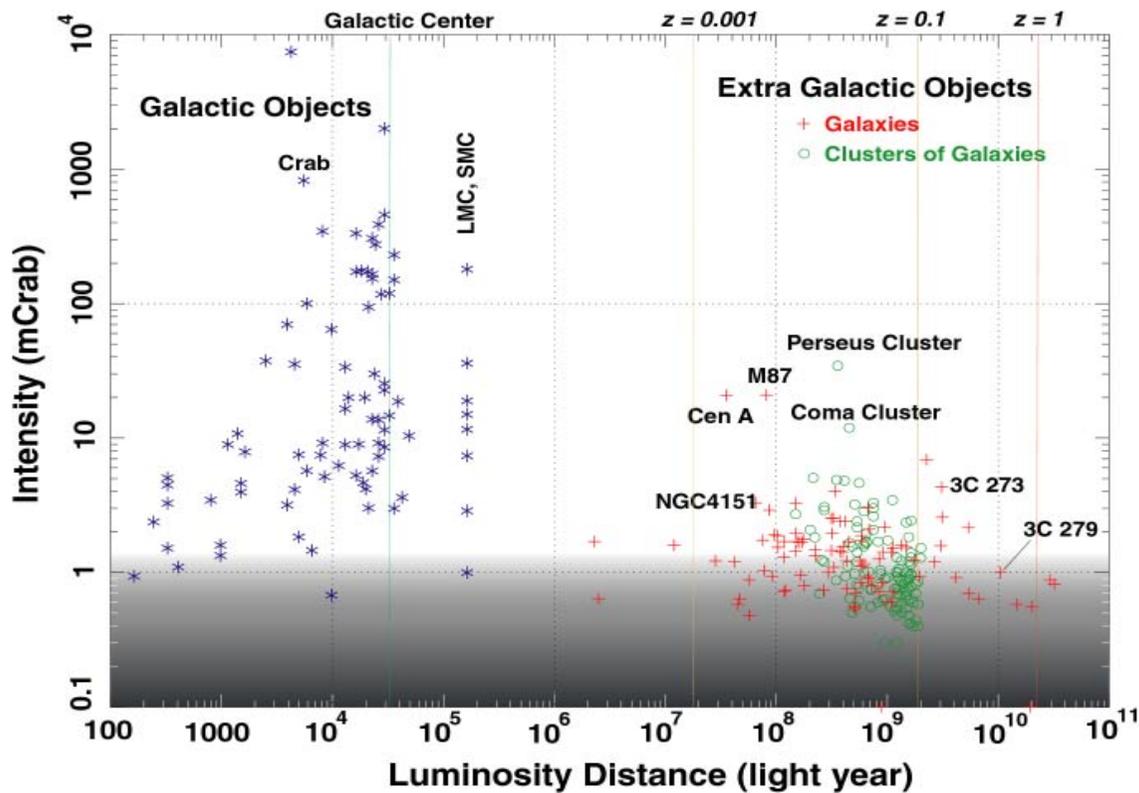
**Asano & Terasawa
in Prep.**

MAXI

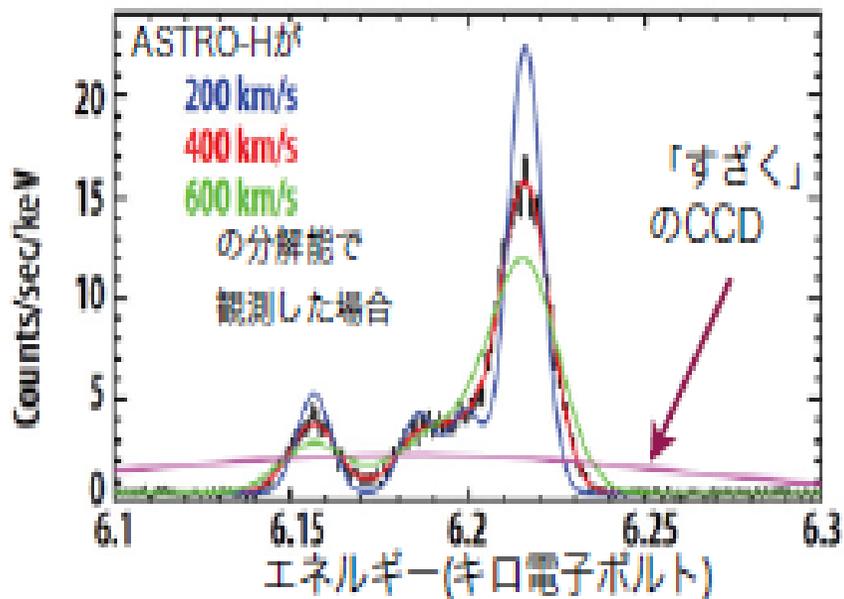
全天X線監視装置



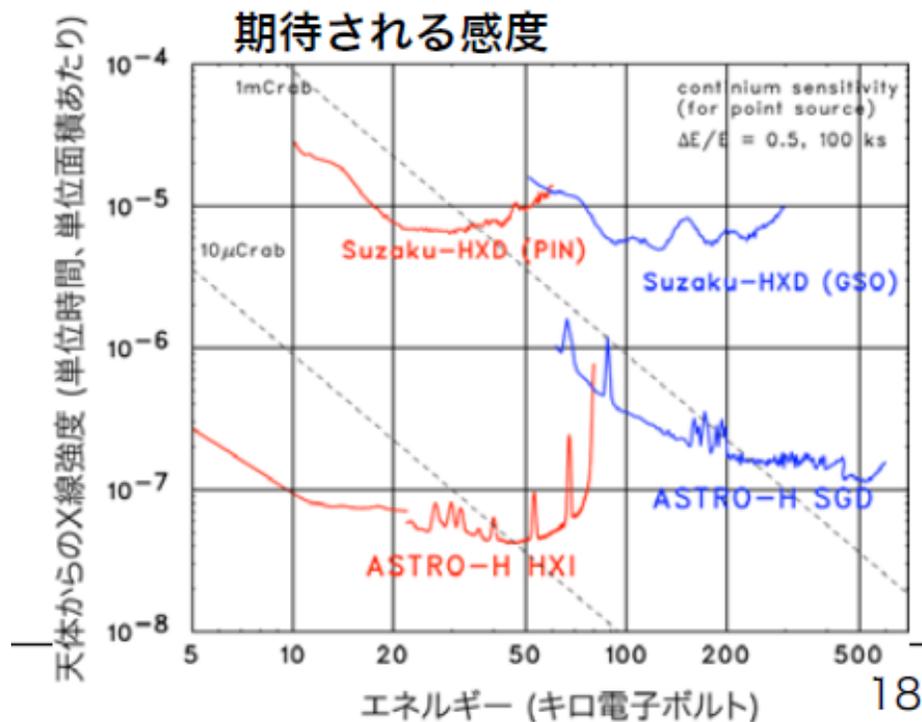
検出限界 1日積分
3 mCrab (2-10keV)
6 mCrab (0.5-2keV)



Astro-H



2013~

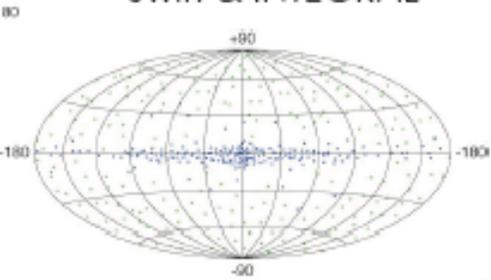


EXIST

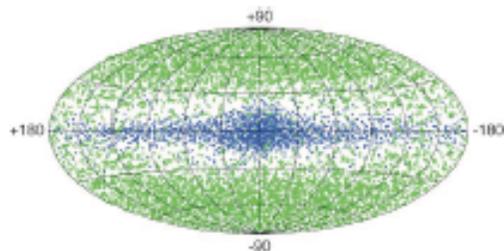
High Energy Telescopes
HET (10-600keV)
(Array of 19 coded aperture telescopes;
154° x 65° FoV)

Low Energy Telescopes
LET (3-30 keV)
(Array of 32 coded aperture telescopes;
160° x 64° FoV)

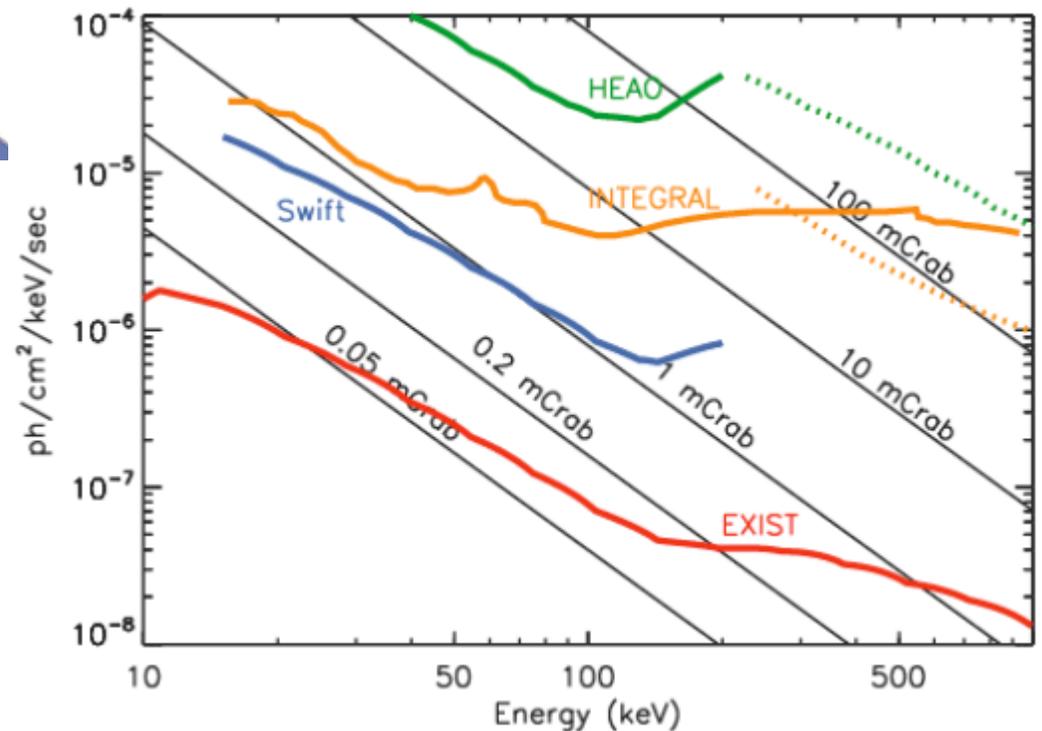
≤2010 Hard X-ray Sky
Swift & INTEGRAL



2015(?) Hard X-ray Sky
EXIST



$z > 10$ の GRB を狙う



JANUS

ガンマ線バーストモニター＋赤外望遠鏡 On boardで赤方偏移を測る

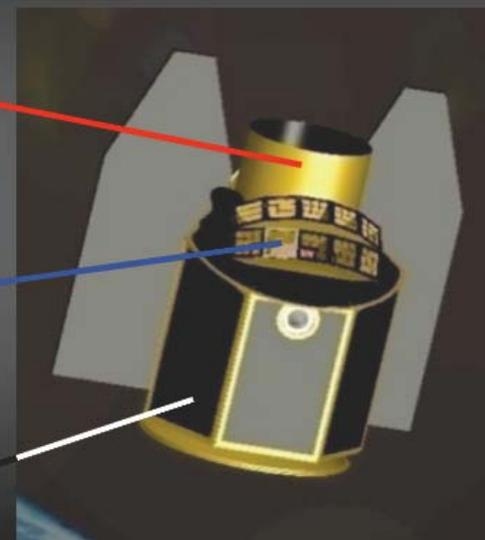
2012年

米・英・伊：小規模Mission

Near InfraRed Telescope (UK)
uses slitless spectroscopy to
get redshifts of $z > 5$ gamma
ray bursts, and surveys the
sky for highest redshift
quasars

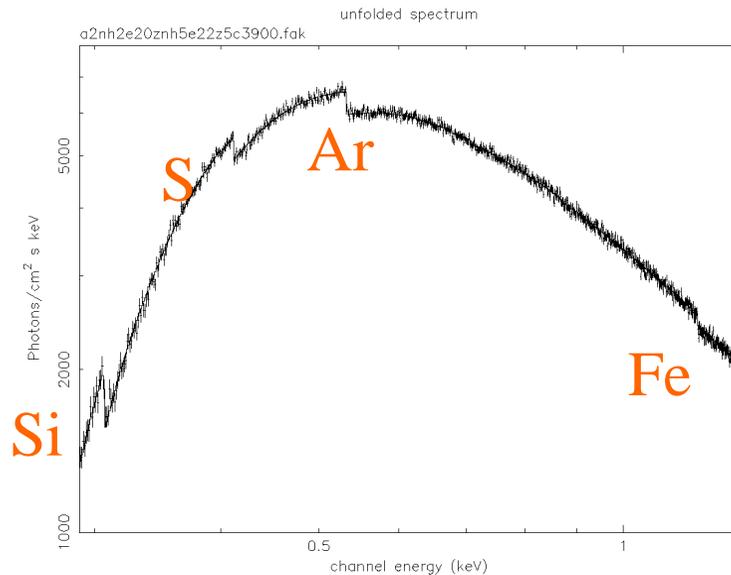
X-ray flash monitor
(Penn State) has huge
field of view (4 str) to
find high-redshift
gamma-ray bursts

Ultra-agile satellite
bus (SWRI/DRAPER)
looks anywhere
quickly



EDGE

Dark Baryon 探査



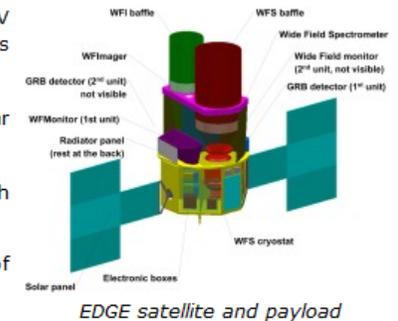
Mission Profile

Science instruments

The science is feasible using existing technology combined with innovative instrumental capabilities on a single satellite comprising four instruments:

- **Wide Field Spectrometer (WFS)**: effective area 1000 cm², 3 eV resolution, 0.7 x 0.7 deg² Field of View (FoV, optics with 2/4 reflections and TES calorimeter as detector)
- **Wide Field Imager (WFI)**: effective area 1000 cm², 15· angular resolution constant over the full 1.4° diameter FoV, CCD detectors
- **Wide Field Monitor (WFM)**: FoV ∞ of the sky, consistent with requirement for follow up measurements of 80 bright bursts per year
- **Gamma-Ray Burst Detector (GRBD)**: extension of energy range of the instruments to 3 MeV

Mission profile

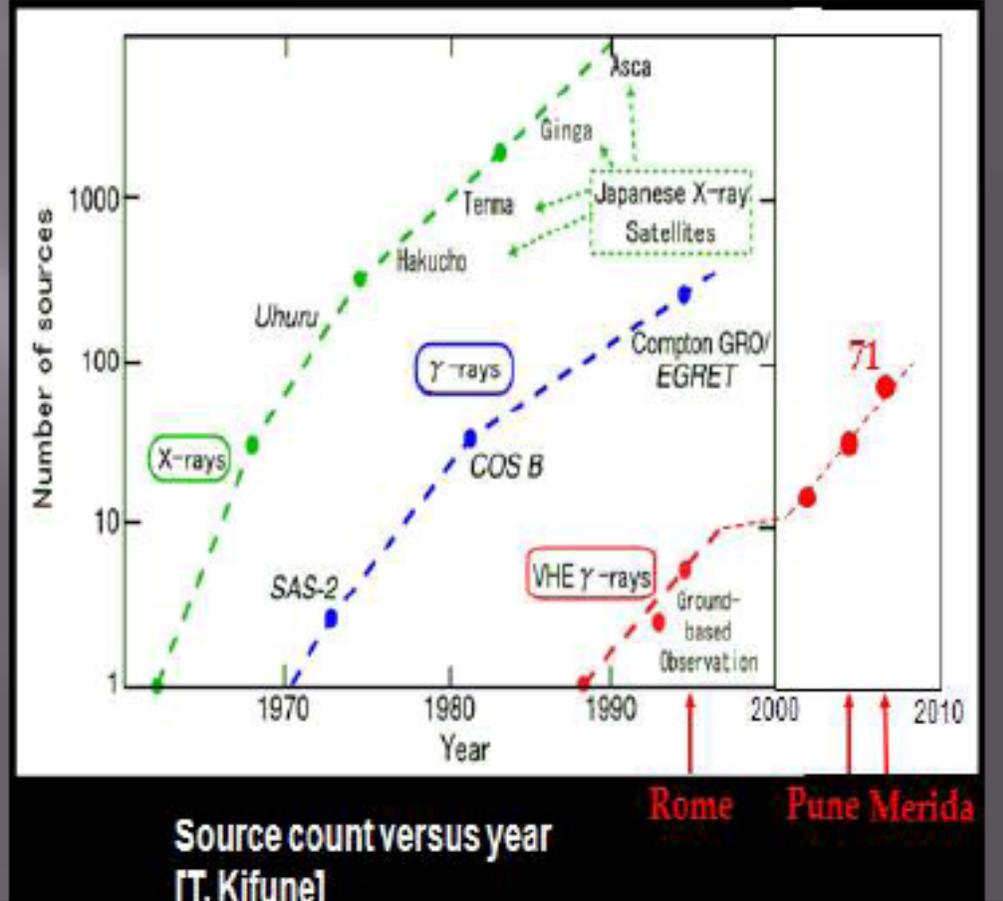


Italy, Japan, Netherlands, Denmark, France, Germany, Switzerland, UK and the USA

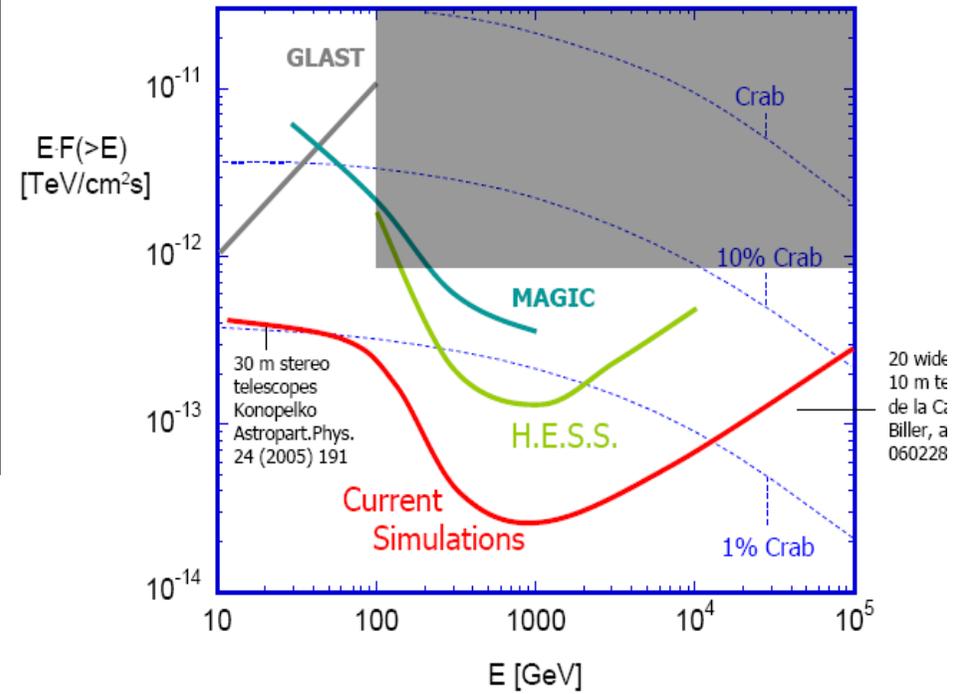
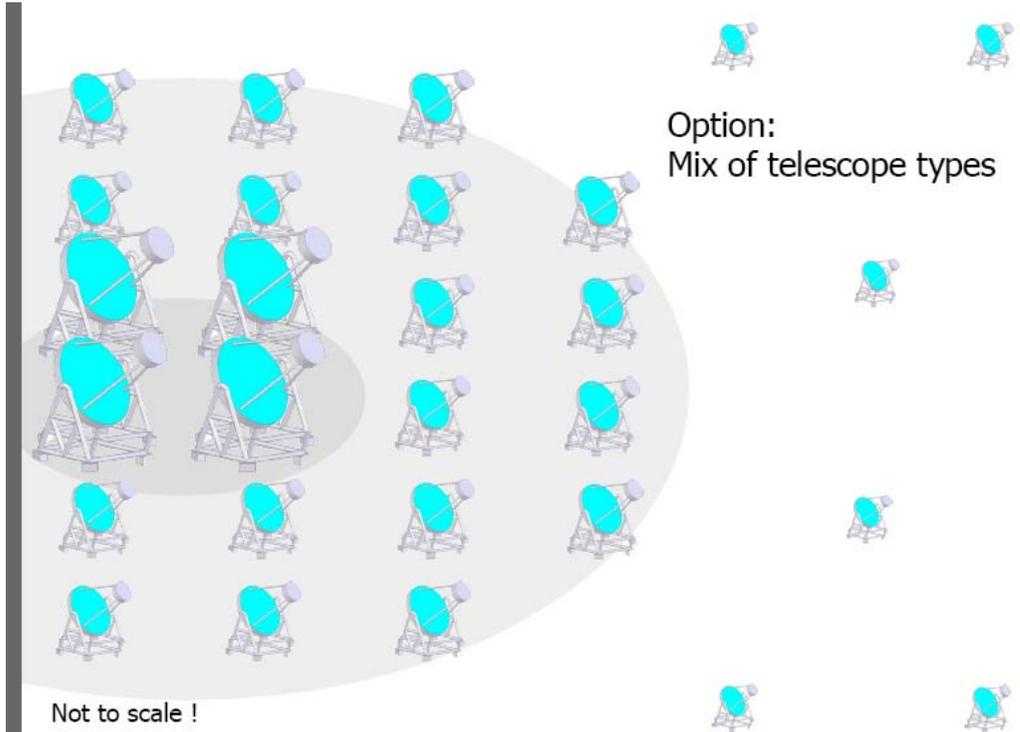
X-ray redshift !

TeV天体

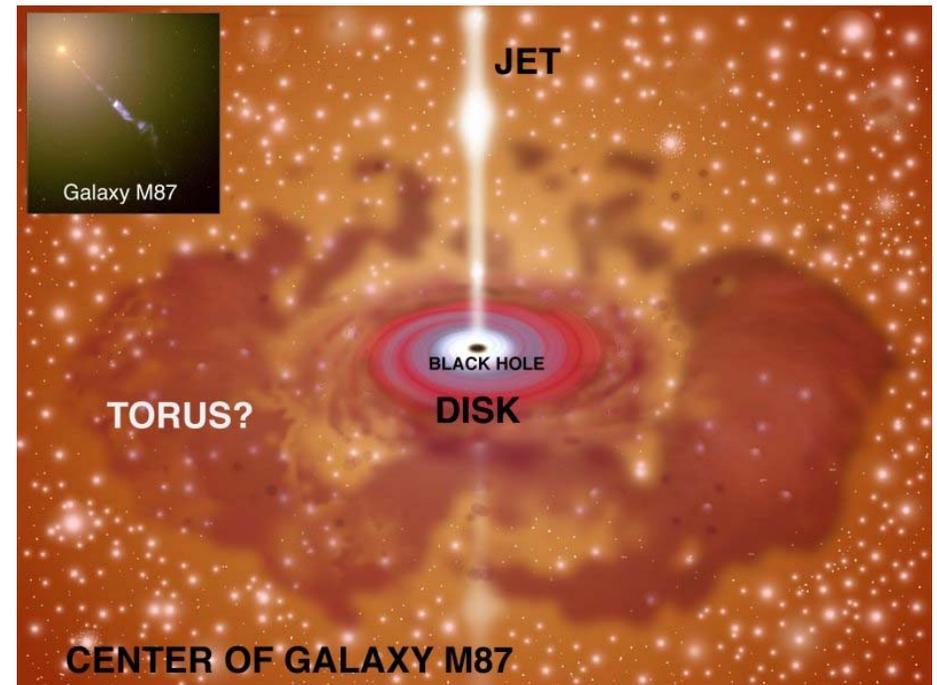
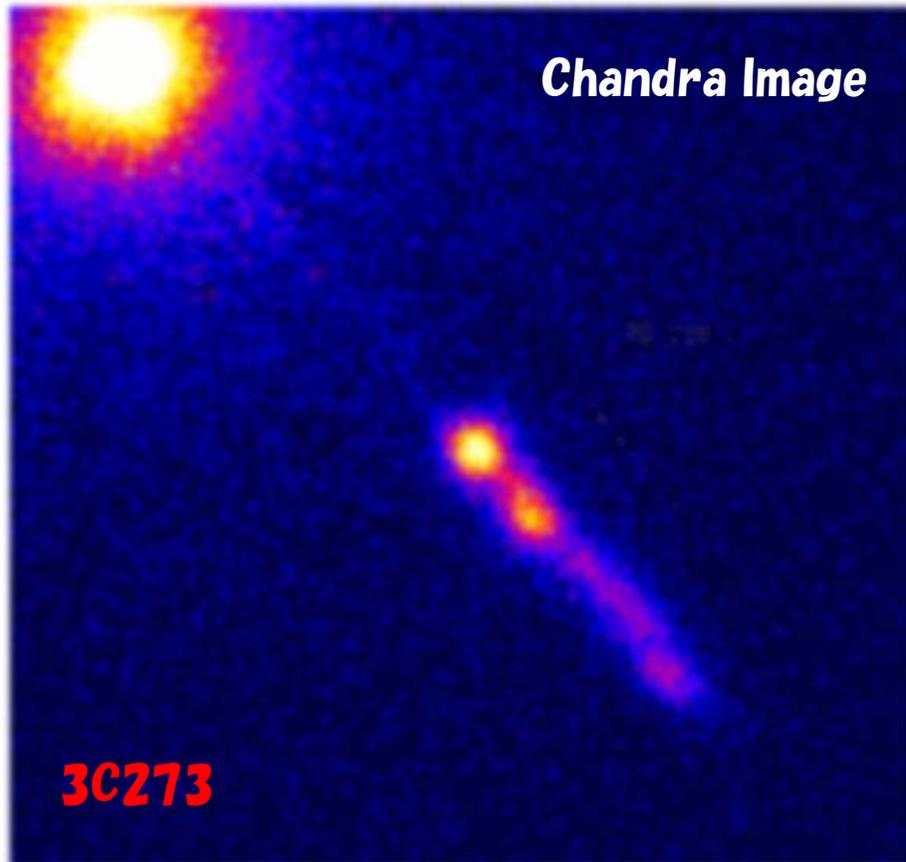
Class	2003	2005	2007
<i>PWN</i>	1	6	18
<i>SNR</i>	2	3	7
<i>Binary</i>	0	2	4
<i>Diffuse</i>	0	2	2
<i>AGN</i>	7	11	19
<i>UnId</i>	2	6	21
Total	12	33	71!



CTA/AGIS



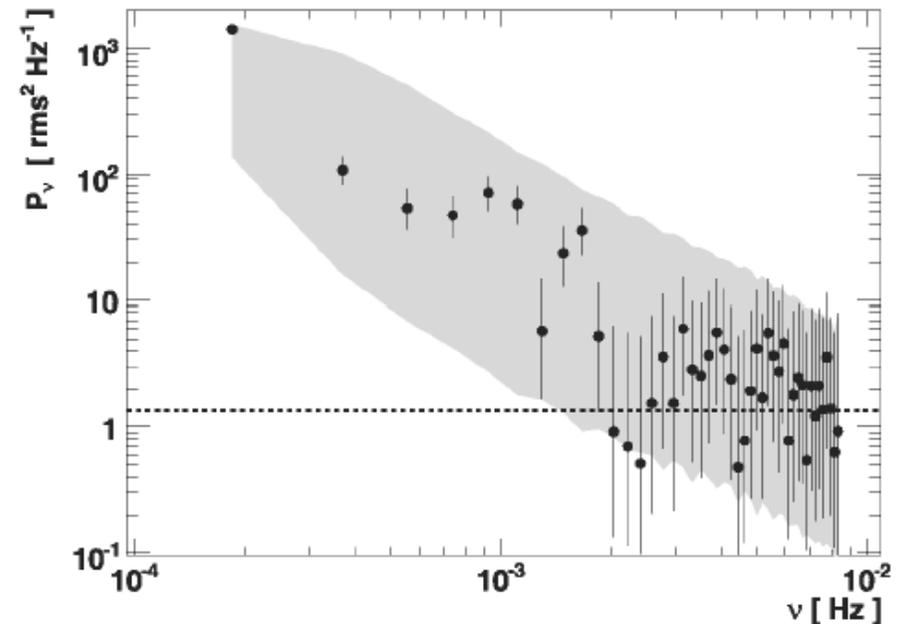
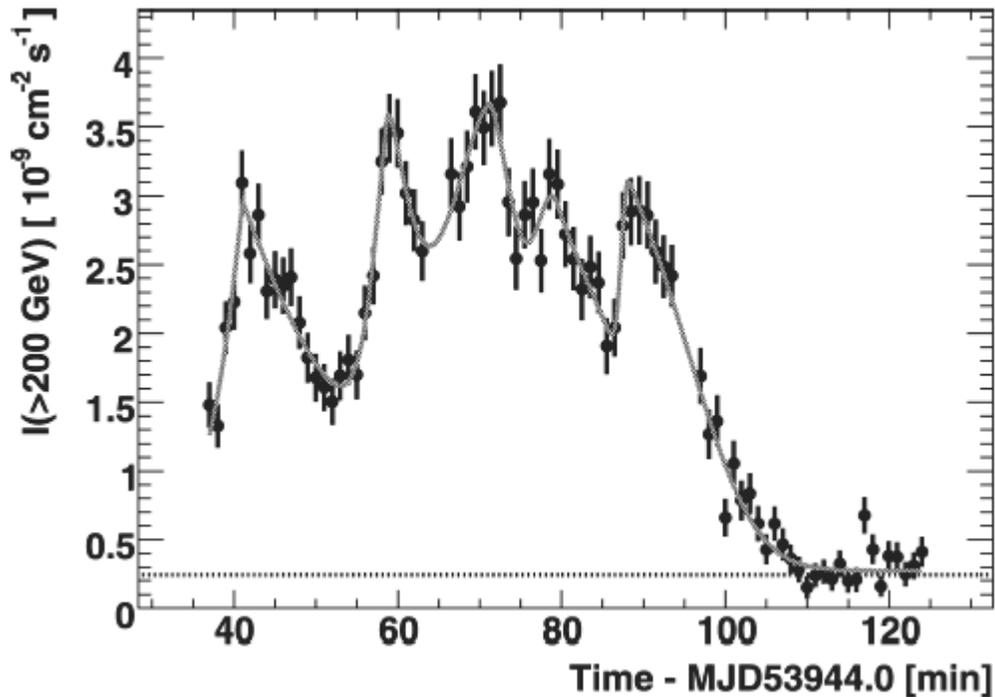
AGNジェットはどうやって加速してるか？



$$\Gamma \approx 10$$

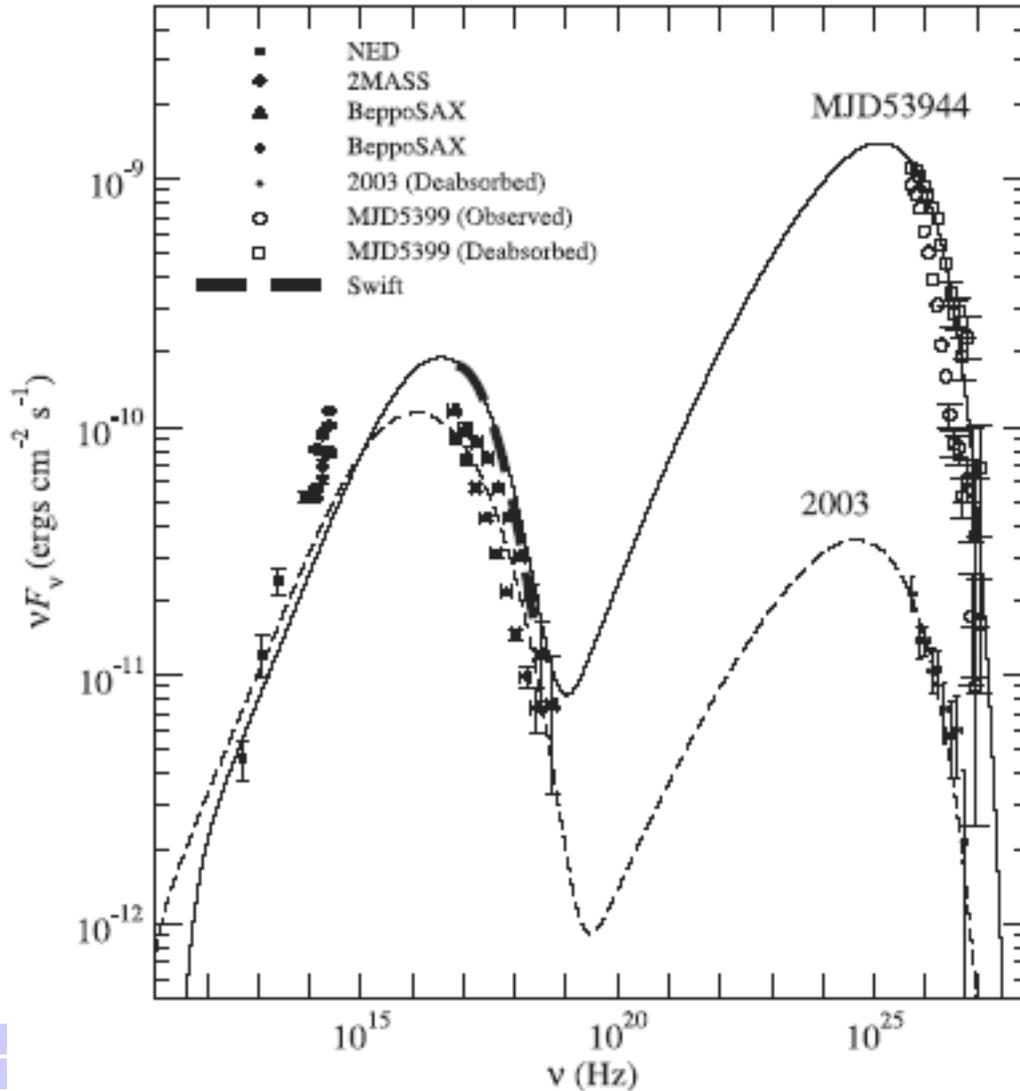
TeV ブレーザー PKS 2155-304

$z=0.117$



Aharonian et al. 2007

$\Gamma \sim 100$



Parameter	Model A	Model B	Model C
Γ	90	100	120
\mathcal{D}	90	100	120
B (G)	0.1	0.14	0.08
R (10^{14} cm)	9.6	5.4	6.5
p	1.9	1.9	1.9
γ_{\max} (10^4)	8.0	6.7	5.5
γ_{\min}	10	10	10

Kusunose & Takahara 2008

磁場駆動モデル

必要条件

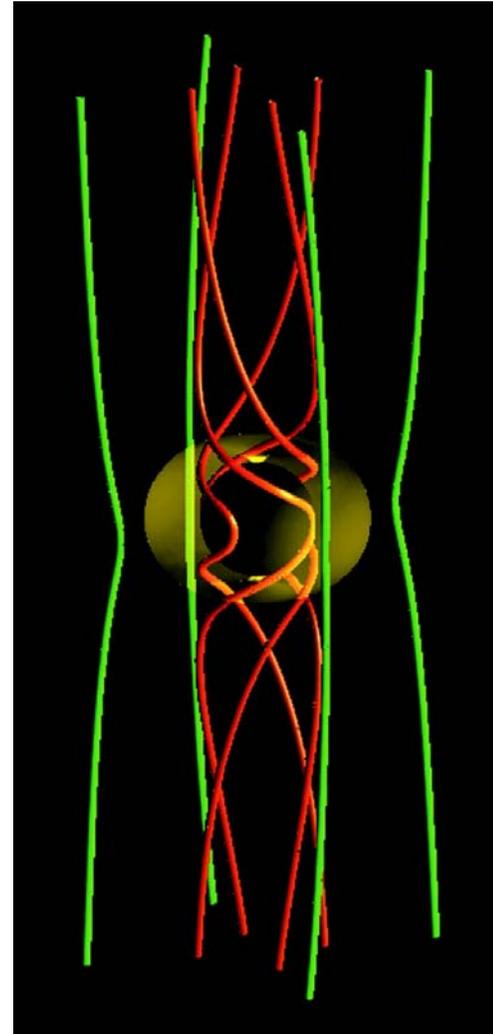
$$B^2 / 8\pi \gg \rho c^2$$

初期条件としては不適當

磁気回転不安定性により、

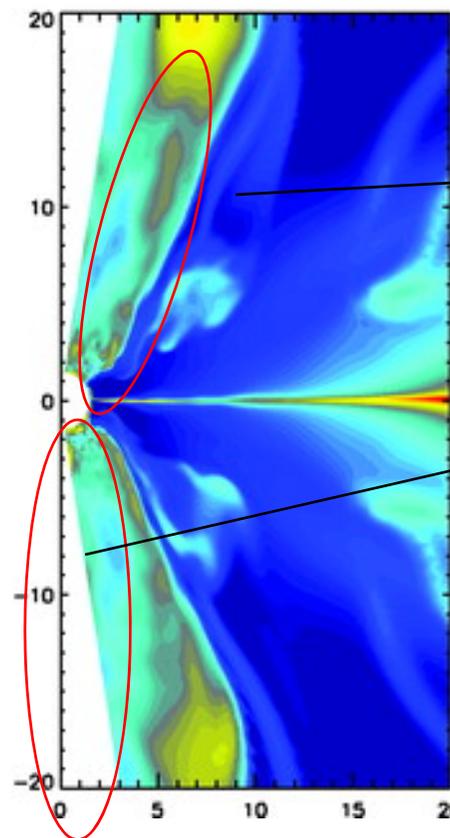
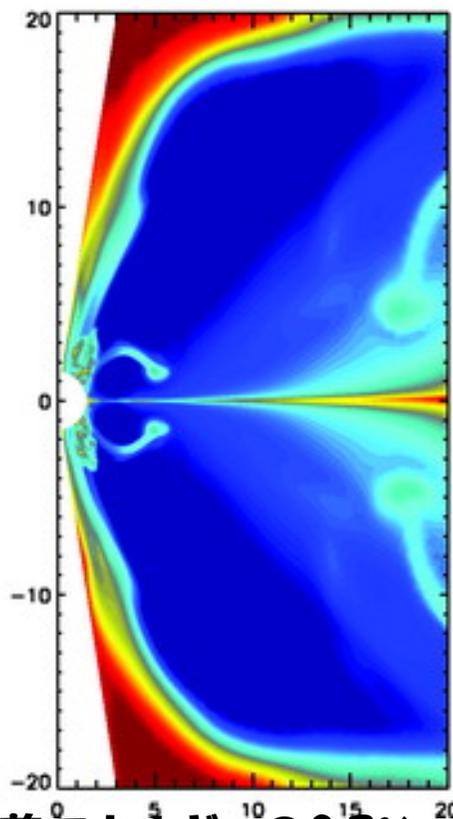
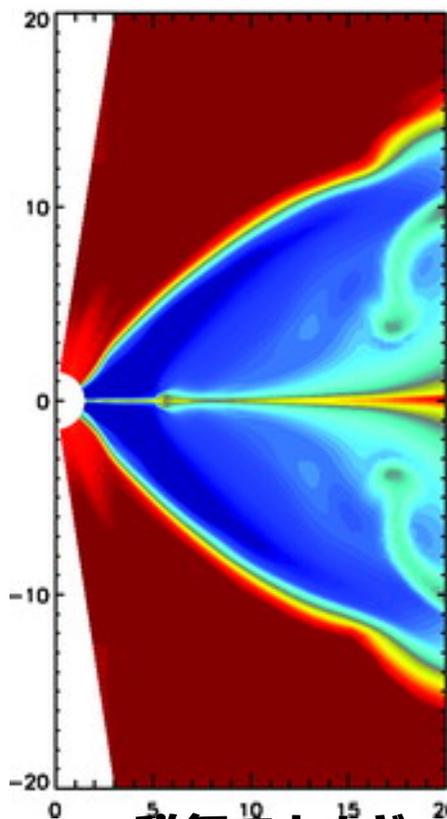
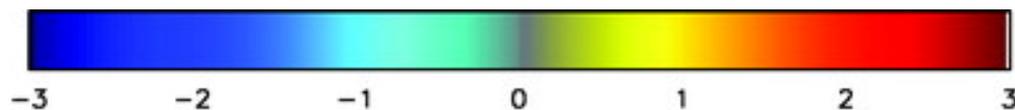
$$B^2 / 8\pi > P_{\text{gas}}$$

は可能



カーBHシミュレーション

β



非相対論的Jet
(ガス圧駆動)

相対論的Jet
(磁気エネルギーが支配的)
 $10 < \sigma < 1000$

磁気エネルギーは降着エネルギーの0.2%
McKinney (2006)

Hawley & Krolik . 2006

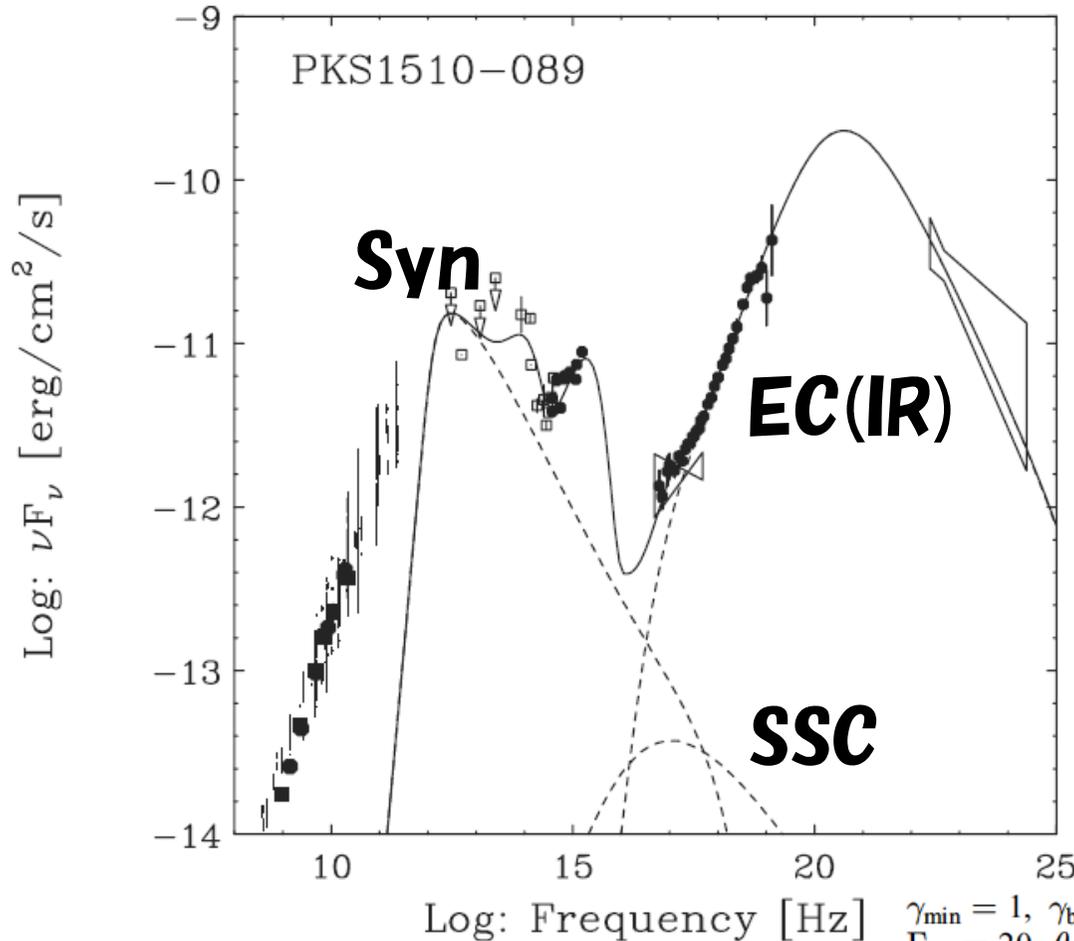
電子・陽電子対

- ・ ペアの方が軽いので加速には有利
- ・ 輻射圧で加速できないか??

ペアプラズマを示唆する例

- ・ 偏光観測 (Wardle et al. 1998, Wardle & Homan 1999)
- ・ Synchrotron self-absorption $\propto neB^2$ (Hirofani et al. 1999)
- ・ Bulk Comptonによる議論 (Sikora & Madejski 2000)
- ・ SSC + 1D-Dynamics (Kino & Takahara 2004)

少なくとも純粋なp-eプラズマではなさそう



$$\frac{N_e}{N_p} = \eta_e \frac{m_p(\bar{\gamma}_p - 1)}{m_e \bar{\gamma}_{inj}}$$

この論文では電子が
陽子の10倍あると結論

$$\cdot 2.2 \times 10^{46} (1 - \eta_e) / \eta_e \text{ erg s}^{-1}.$$

$$L_e \simeq n'_e \bar{\gamma}_{inj} m_e c^3 \pi R^2 \Gamma_{sh}^2 \simeq 5.6 \times 10^{45} \text{ erg s}^{-1}$$

電子・陽電子を作る環境は
光子密度が高いだろう
→ 輻射圧加速か？

$\gamma_{min} = 1, \gamma_{br} = 100, \gamma_{max} = 10^5, p = 1.35, q = 3.25, K_e = 0.9 \times 10^{47} \text{ s}^{-1},$
 $\Gamma_{jet} = 20, \theta_{jet} = 0.05 \text{ rad}, \theta_{obs} = 0.05 \text{ rad}, r_{sh} = 10^{18} \text{ cm}, B = 1.3 \text{ G}, r_{ext} =$
 $3.0 \times 10^{18} \text{ cm}, L_{ext} = 3.7 \times 10^{45} \text{ erg s}^{-1}, \text{ and } h\nu_{ext} = 0.2 \text{ eV. See Moderski et al.}$

輻射輸送入り多流体シミュレーション

- ペア流体が輻射圧で流出する効果を取り入れる。
- **Coulomb 散乱** ($e-p, e-e, e^+-e^-$)
- **制動放射** ($e-p \rightarrow \gamma, e-e \rightarrow \gamma, e^+-e^- \rightarrow \gamma$)
- **対消滅** ($e^+-e^- \rightarrow 2\gamma$)
- **対生成** ($\gamma-\gamma \rightarrow e^+e^-$)
- **Compton散乱** ($\gamma-e$)

ペアプラズマの輻射圧加速

[cm⁻³]

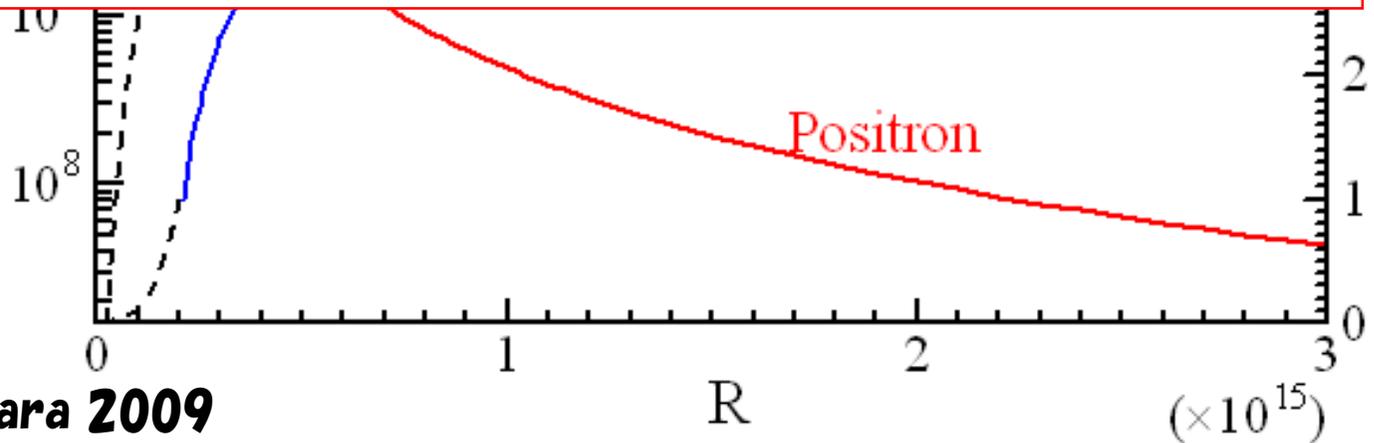
U

アウトフローのLuminosity: 1.6×10^{45} erg/s
→ Total Luminosityの1/60

この系全体が光速の34%程度で運動していれば、我々には $\Gamma = 10$ の流れになる。

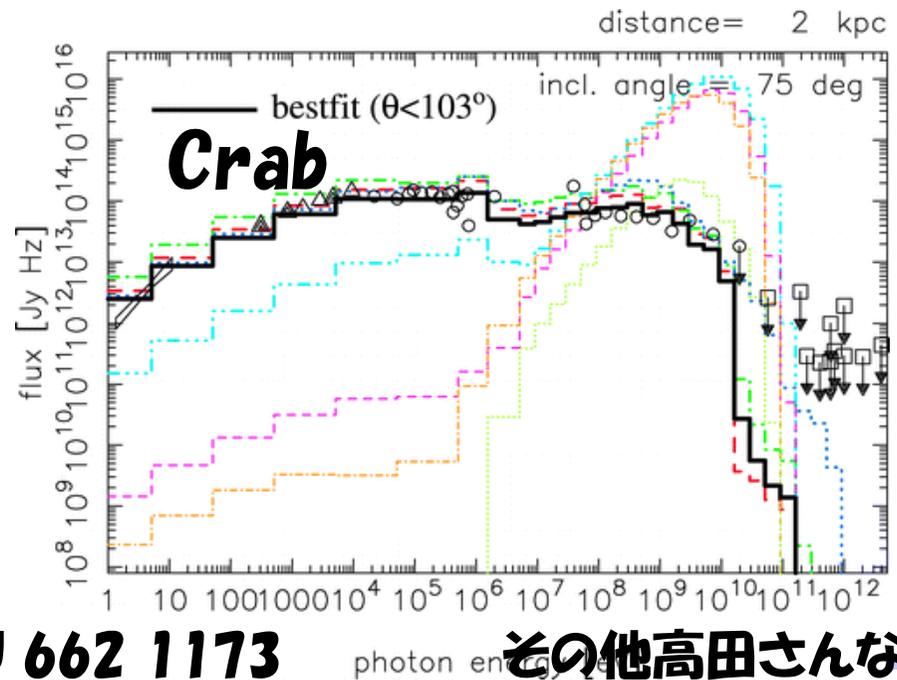
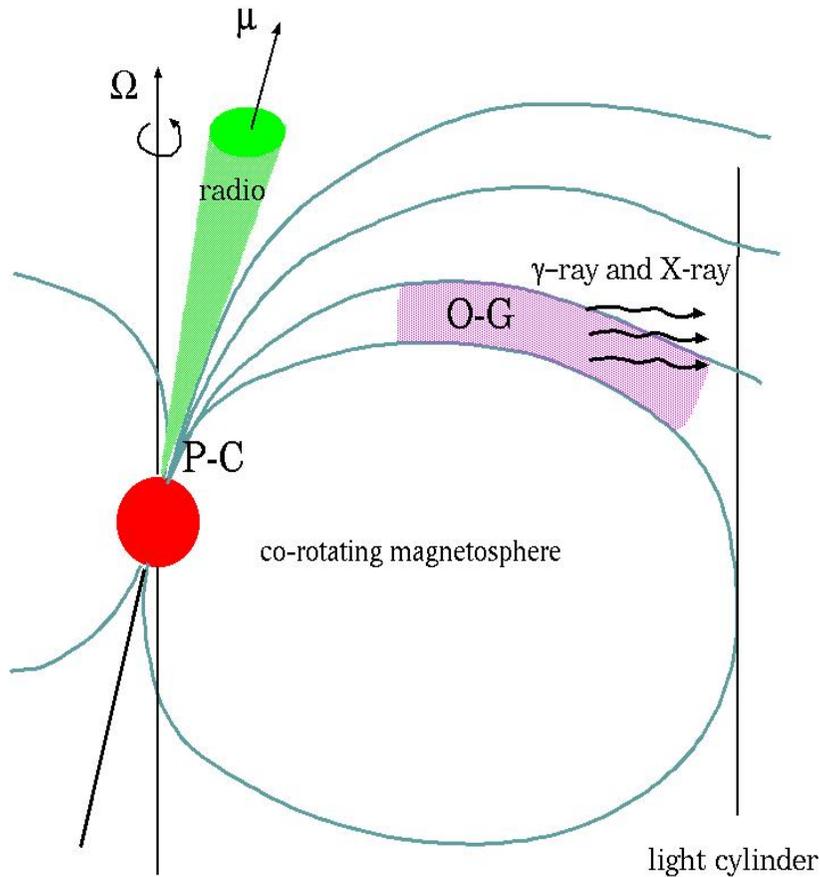
$$n_0 = 10^{10} \text{ cm}^{-3},$$

$$R_0 = 10^{14} \text{ cm}$$



パルサー

- ・パルサー風での σ 問題
- ・電波放射メカニズム
- ・極冠電場の形成
- ・マグネター



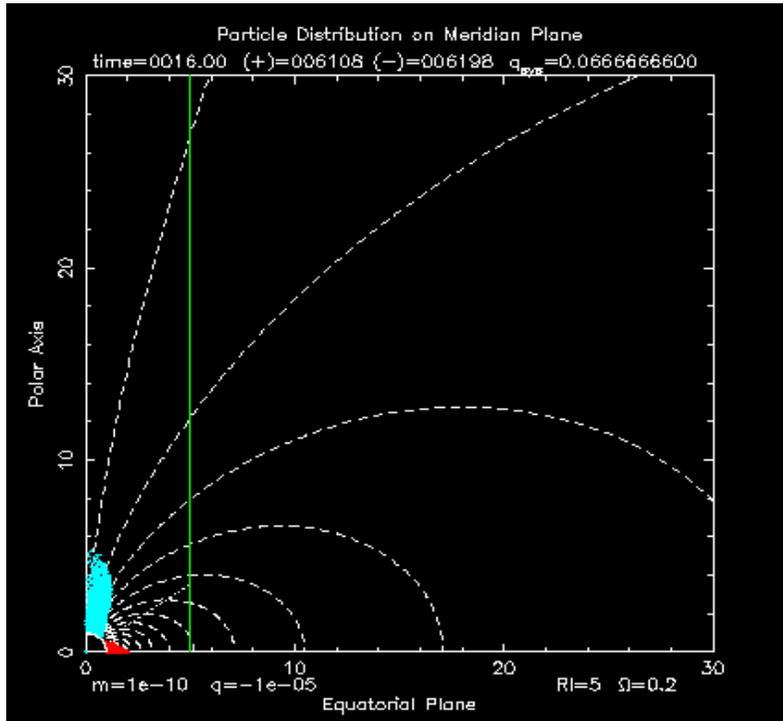
Hirofani (2007) ApJ 662 1173

その他高田さんなど

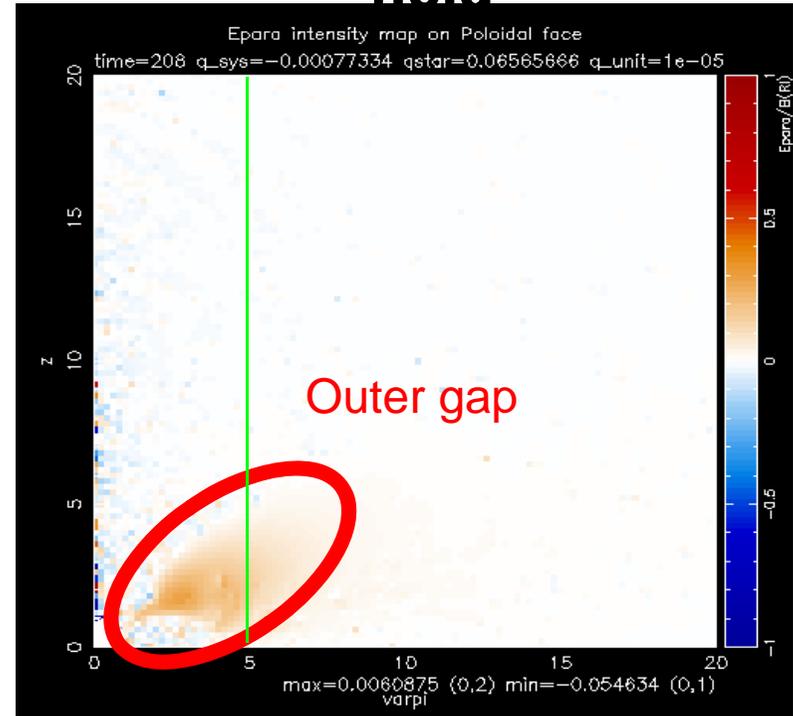
Pair Creating Gap + wind

Particle distribution

● electrons
● positrons



Map of field-aligned electric field



Outflow (equal amount of electrons and positrons are lost from the magnetosphere.

Outer Gap : pair creating region with E_{\parallel}

柴田晋平さんのスライド Polar-capは如何に？



予備スライド



$$\gamma_e = (650 \text{ keV} / 5 \nu_{io} \text{ eV})^{1/2} \sim 380 \nu_{io}^{-1/2}$$

$$B\Gamma \sim 10^3 \nu_{io}^2 \text{ Gauss}$$

$$F_p = 10^{-56.5} \Gamma B N_e \text{ Jy}$$

$$N_e \quad B \sim 2 \nu_{io}^{(\beta_o + 5)/2} \text{ G}$$

τ_e

$$\tau_e = \sigma_{Th} N_e / (4\pi R_\gamma^2) \longrightarrow$$

$$R_\gamma \sim 10^{16.5} \nu_{io}^{-\beta_o - 1} \text{ cm}$$

$$\Gamma \sim 500 \nu_{io}^{-(\beta_o + 1)/2}$$