

Fermi時代における ブレーザーと 宇宙ガンマ線背景放射

井上芳幸（京大）

共同研究者：戸谷友則（京大）、井上進（京大）、

上田佳宏（京大）、森正樹（東大）

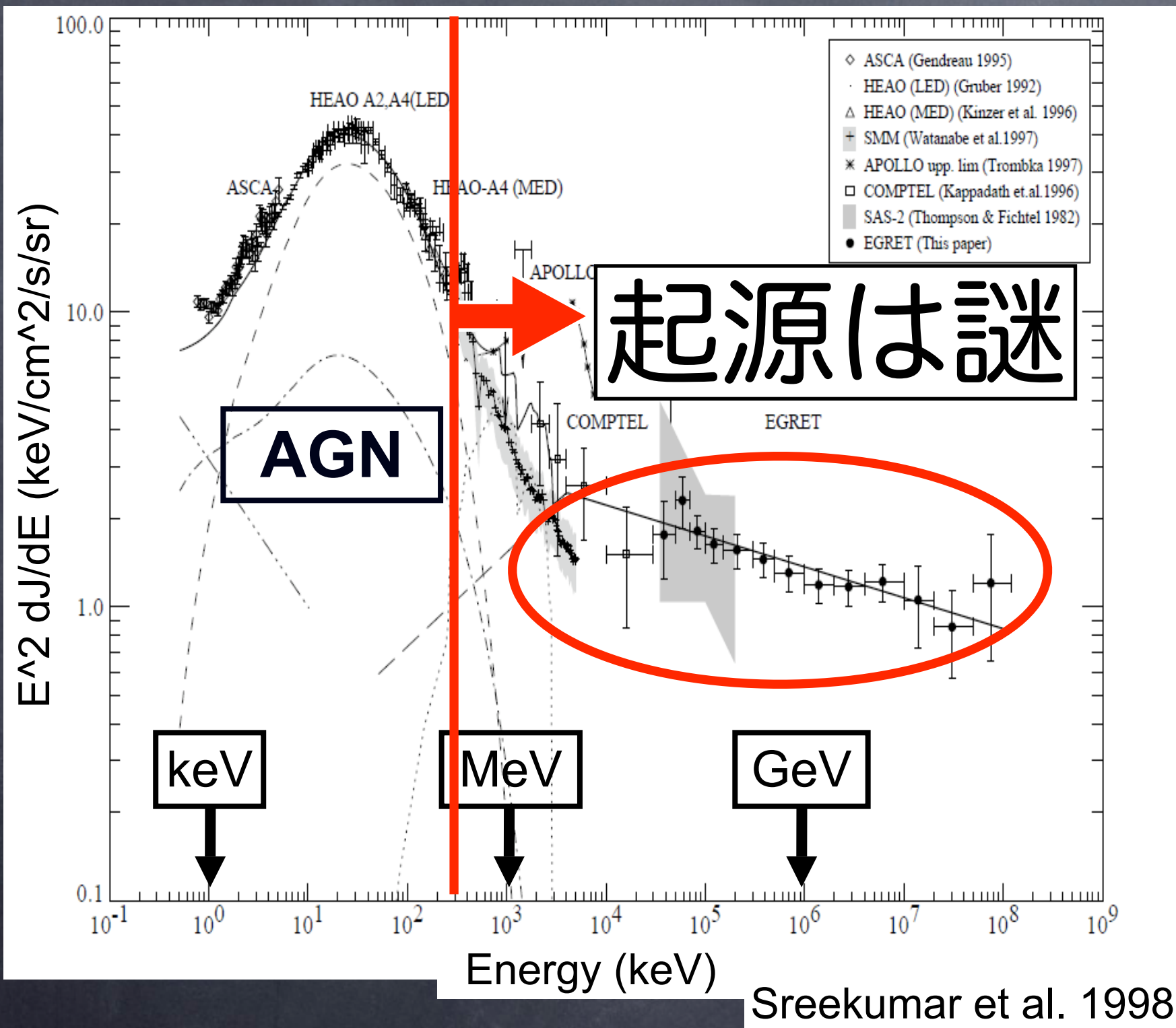
Outline

- Introduction
- Blazarの光度関数 & Spectral Energy Distribution (SED)
- 系外ガンマ線背景放射
- Predictions for the Fermi mission
- (Prospects for CTA)
- Summary

**The Blazar Sequence and
the Cosmic Gamma-ray Background
Radiation in the Fermi Era**
submitted to ApJ, **arXiv:0810.3580**

YI & Totani 2008

宇宙X線・ガンマ線背景放射



👁 GeVガンマ線背景
放射の起源候補

👁 **Blazars?** (Stecker & Salamon '96, Chiang & Mukherjee '98, Mücke & Pohl 00, Narumoto & Totani '06, Dermer '07)

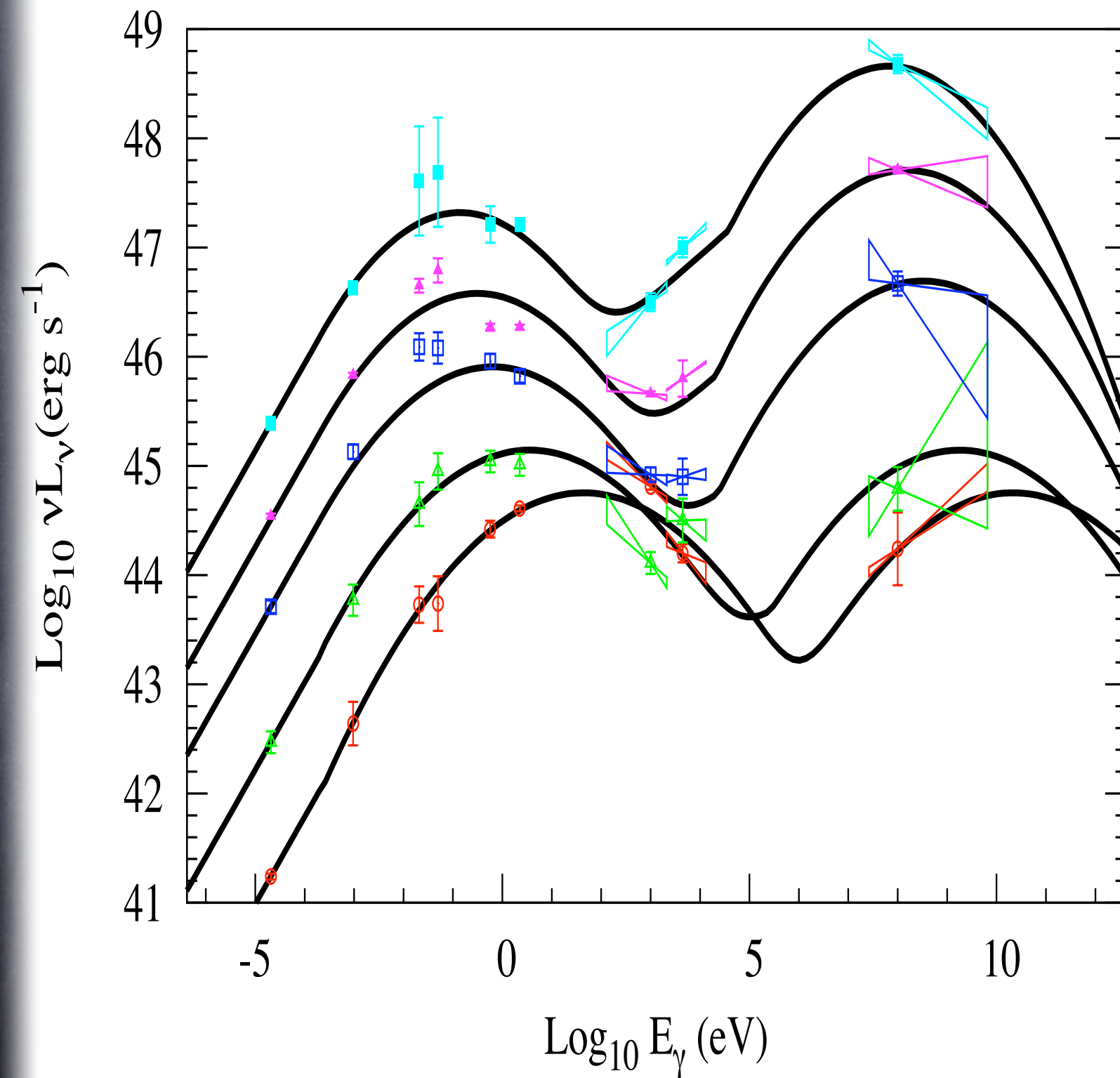
👁 **Galaxy Cluster Merger?** (Loeb & Waxman '00; Totani & Kitayama '00)

👁 **Dark Matter Annihilation?** (Oda et al. '05; Horiuchi & Ando '06; Ando+ '07)

Blazarの宇宙論的進化モデル

- Blazarのガンマ線光度関数 (GLF)を構築するために。
 - ✓ Blazar population (FSRQ, BL Lac)
 - ✓ Spectral Energy Distribution (SED)
 - ✓ 光度関数モデル
 - ✓ EGRETのデータとの比較
 - これら全てをきちんと考慮したモデルはない。
- 光度関数モデル：Luminosity Dependent Density Evolution (LDDE) (Narutmoto & Totani '06)
 - AGNのX線光度関数モデル (Ueda+03)。
 - 過去のモデルよりEGRET blazarのredshift、光度分布を良く再現。Blazarでガンマ線背景放射の25–50%を説明。
- しかし、これまでのモデルではBlazarのSEDをpower-lawと仮定。

Blazar Sequence



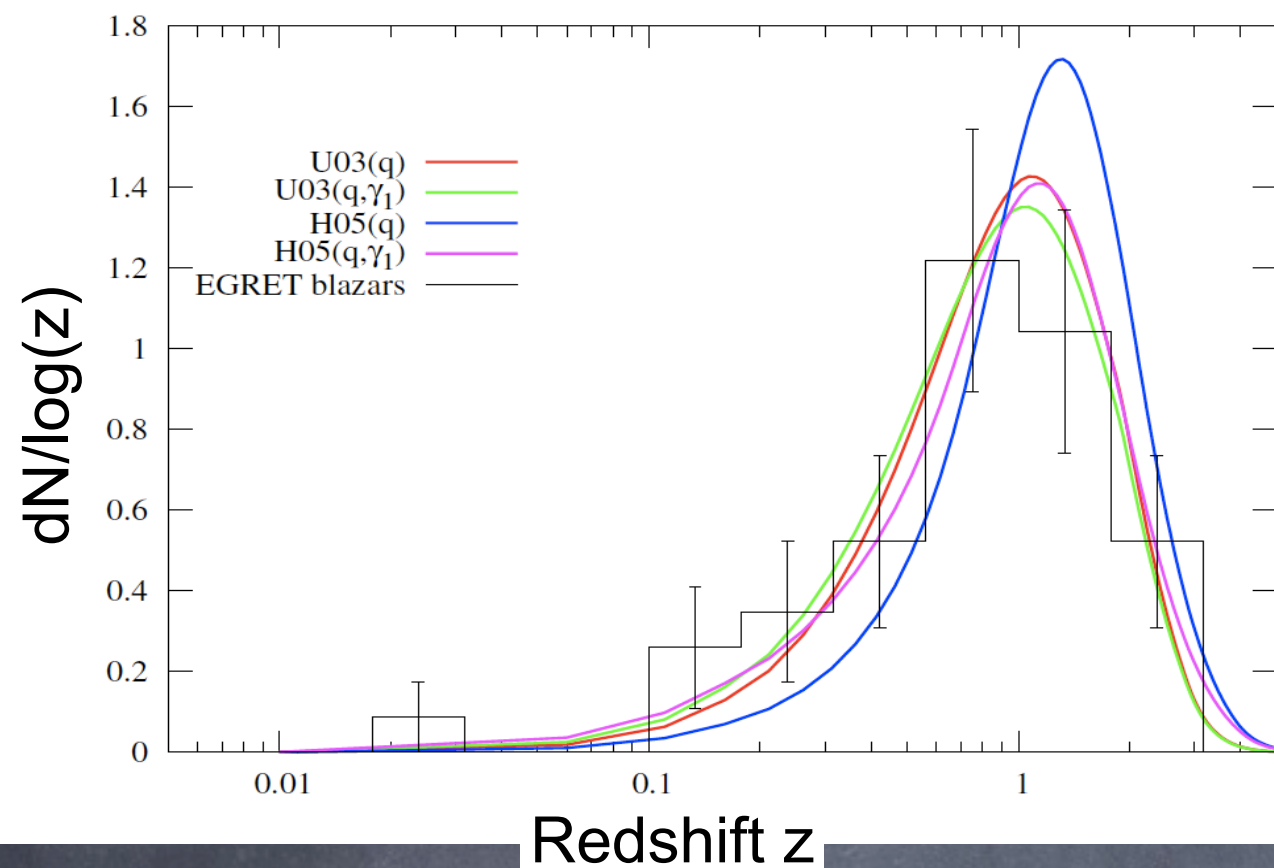
☉ Blazarの放射成分：
シンクロトロン成分＋
逆コンプトン成分

☉ Blazar sequence：
ピークエネルギーが上
がるにつれて
bolometric光度が下
がる (Fossati+'97,'98; Donato
+'01)

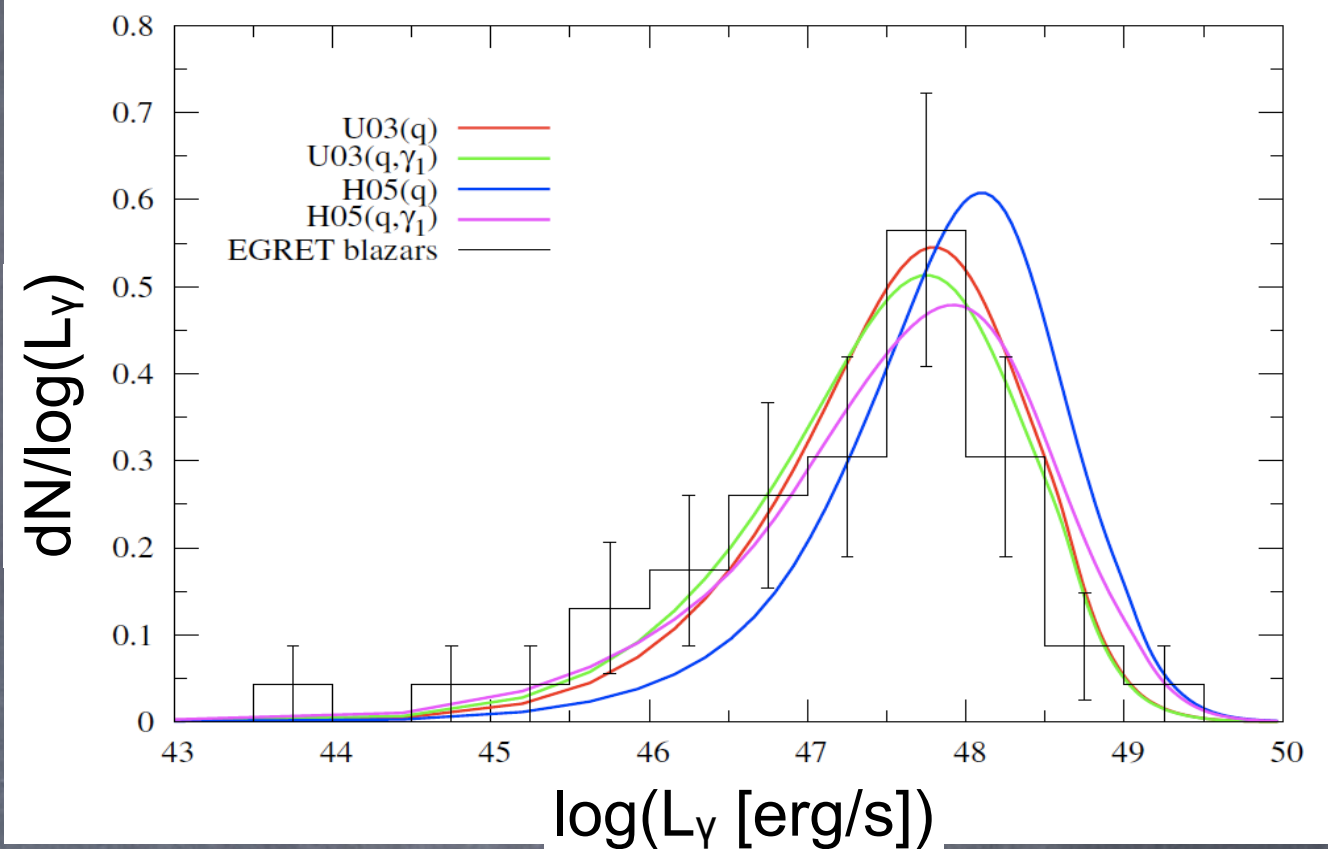
Blazar ガンマ線光度関数

- ブレーザーガンマ線光度関数を構築する為に。
 - ✓ Blazar Sequence SED
 - ✓ LDDE model (AGN X-ray Luminosity function): Ueda+'03 (hereafter U03)
 - ✓ $L_{\text{jet, bol}} \propto L_{\text{disk, X}}$
- EGRET blazarのデータを用いてlikelihood解析で光度関数に制限をつける。

EGRET Blazars



Redshift分布



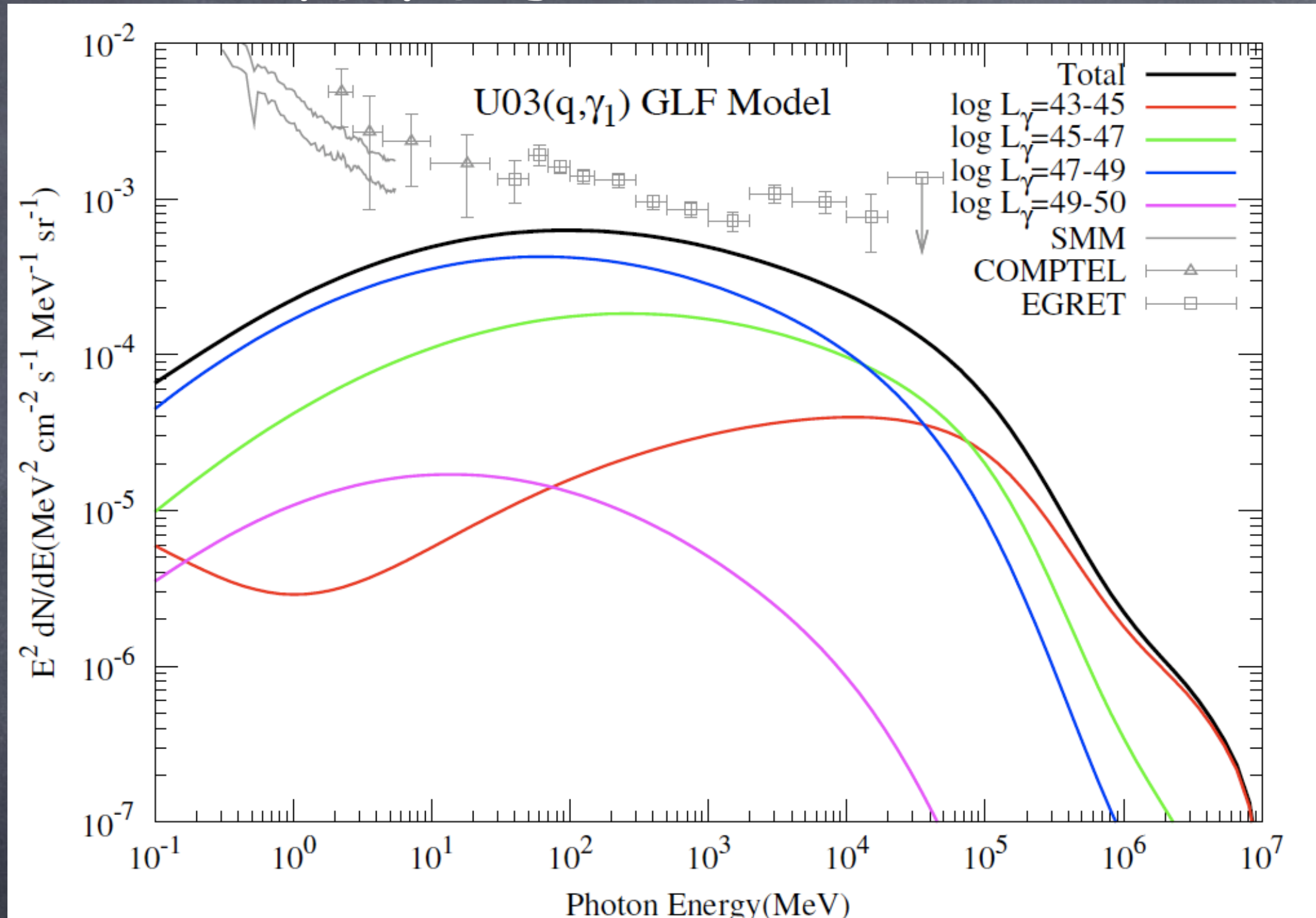
Luminosity分布

	U03(q)	U03(q, γ_1)	H05(q)	H05(q, γ_1)
q	$4.92^{+0.21}_{-0.10}$	$4.93^{+0.25}_{-0.10}$	$5.29^{+0.26}_{-0.22}$	$5.35^{+0.25}_{-0.21}$
γ_1	0.86^a	0.93 ± 0.13	0.87^a	$1.11^{+0.11}_{-0.12}$
κ	1.7×10^{-6}	1.5×10^{-6}	9.5×10^{-6}	6.0×10^{-6}
KS test probabilities				
z	53.8%	86.9%	0.15%	33.0%
L_γ	25.6%	48.4%	0.08%	28.5%

best-fit model

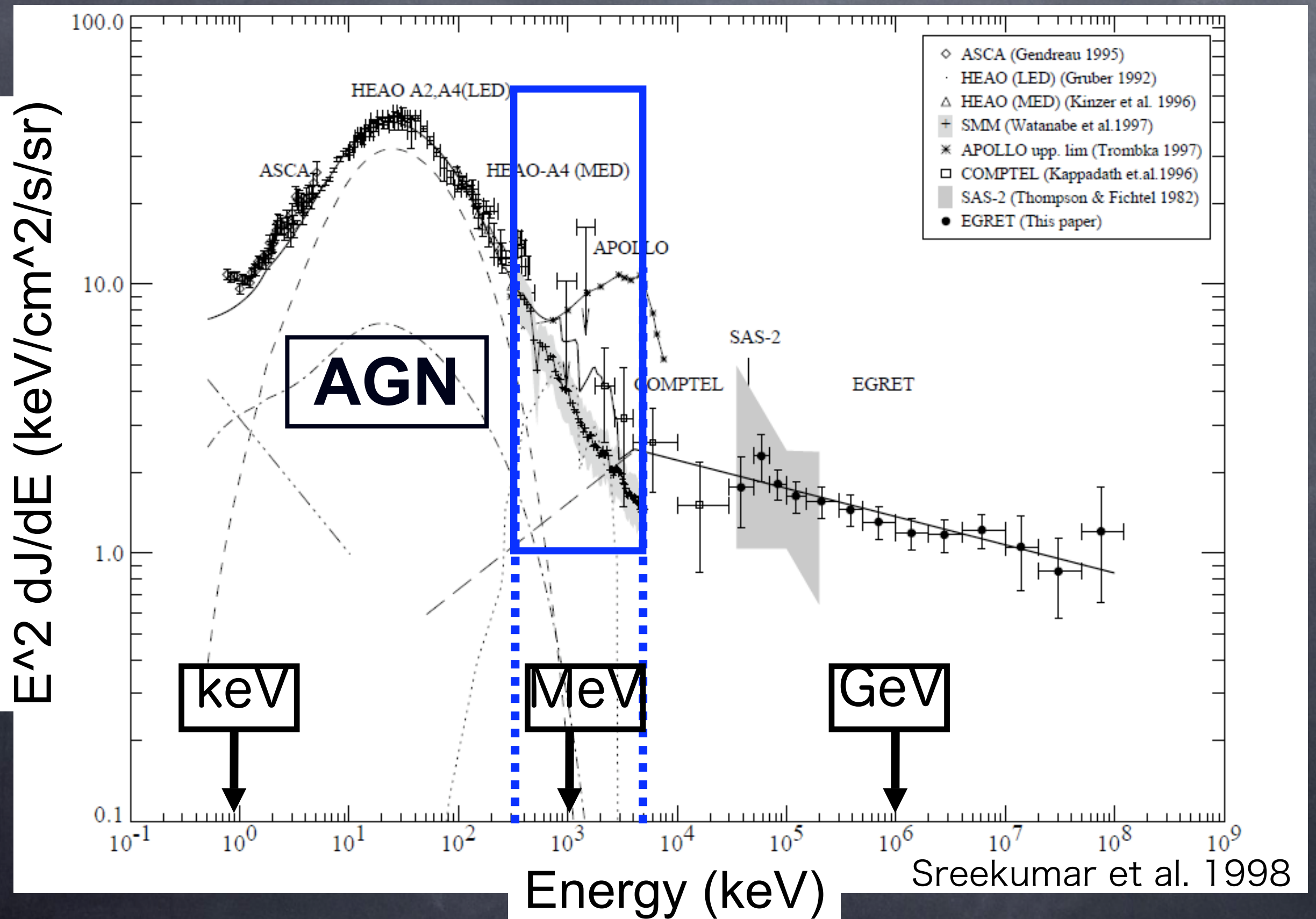
Extragalactic Gamma-ray Background Spectrum

ガンマ線背景放射スペクトル



- 明るいBlazarが背景放射に寄与。
- ガンマ線背景放射 flux ($>100\text{MeV}$)の~45%をBlazarで説明可。

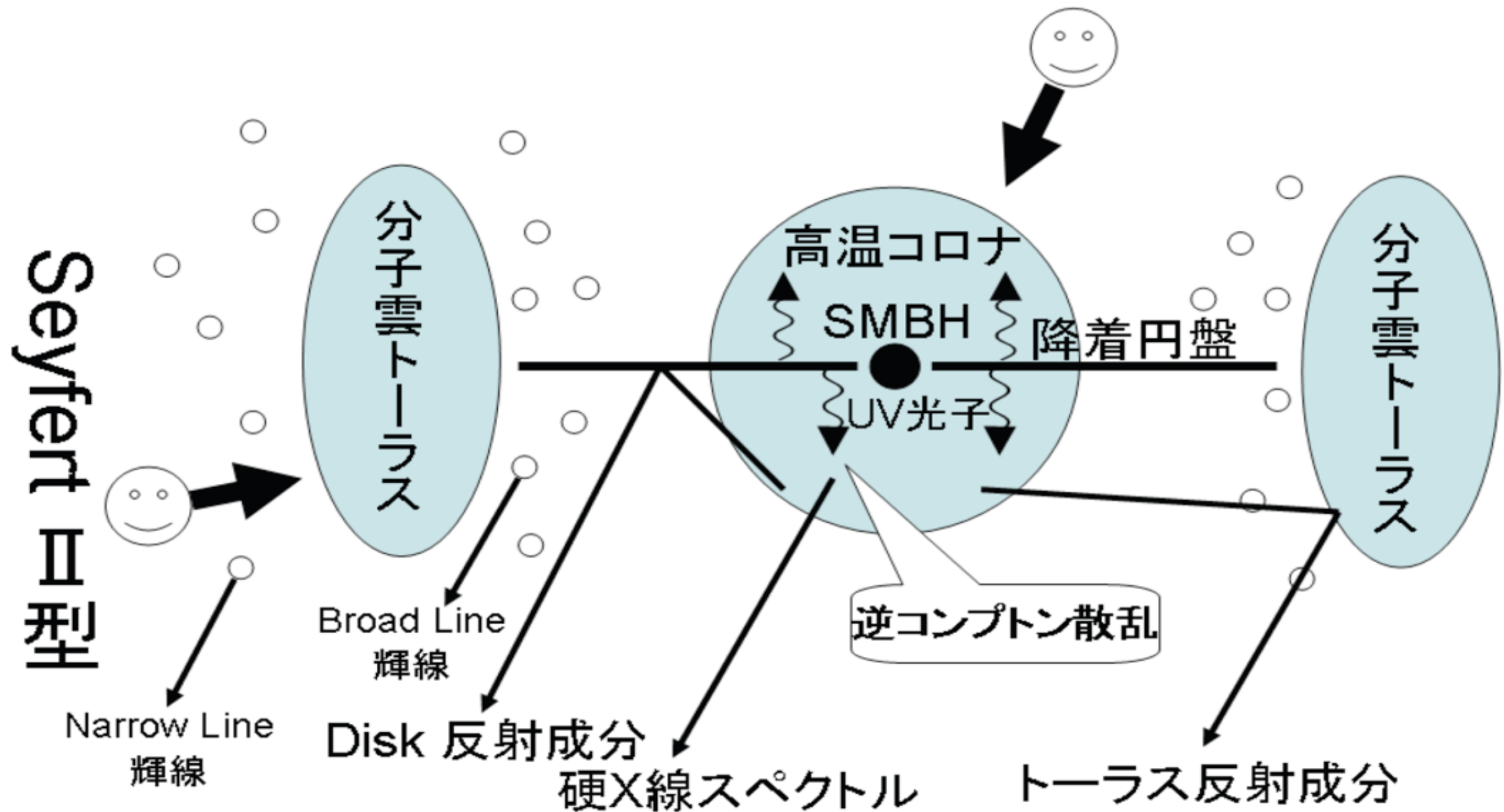
宇宙MeVガンマ線背景放射



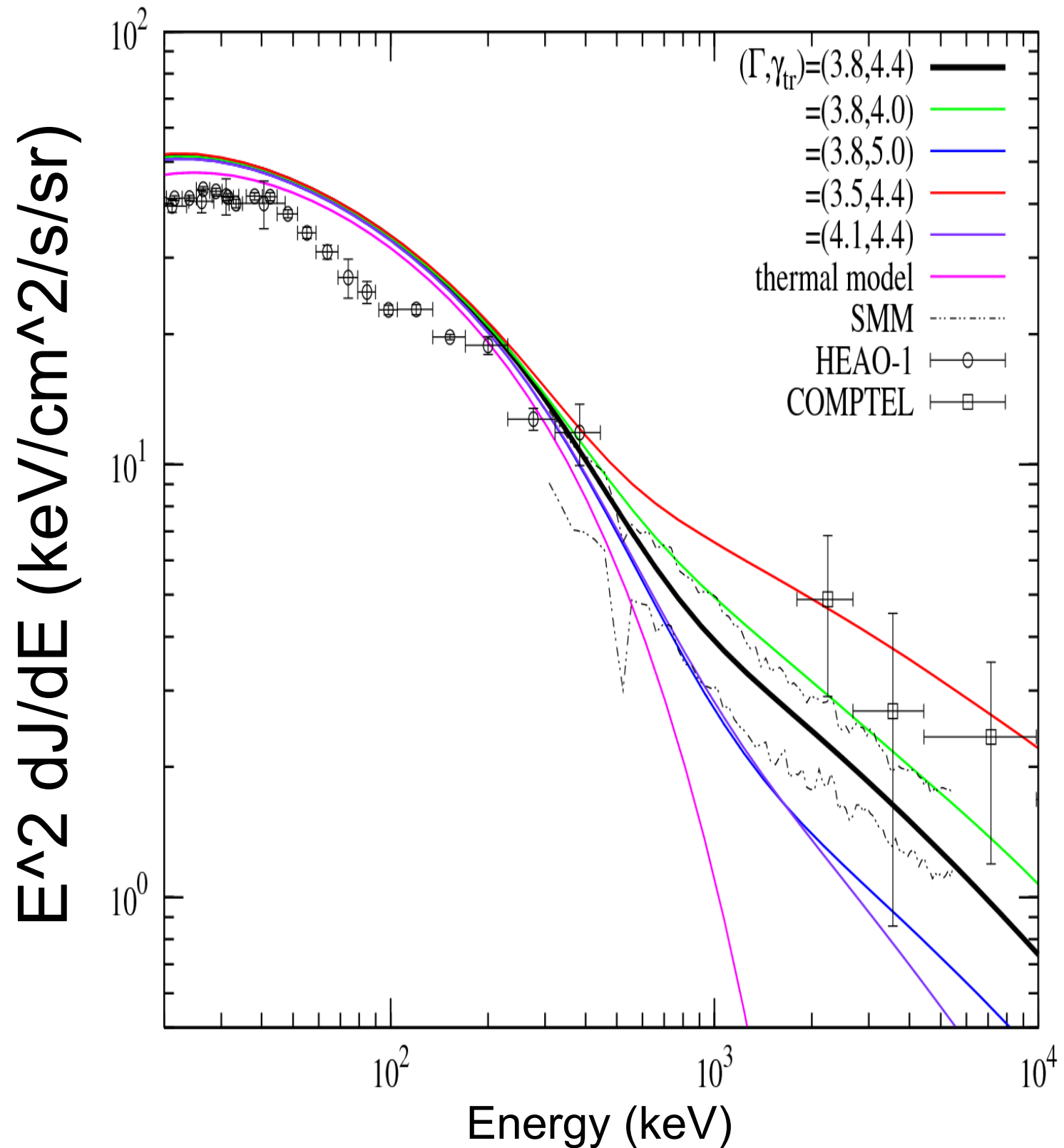
AGNの硬X線スペクトル起源

AGNの硬X線スペクトル起源
の概念図

Seyfert I 型



宇宙MeVガンマ線背景放射



YI, Totani, & Ueda '08

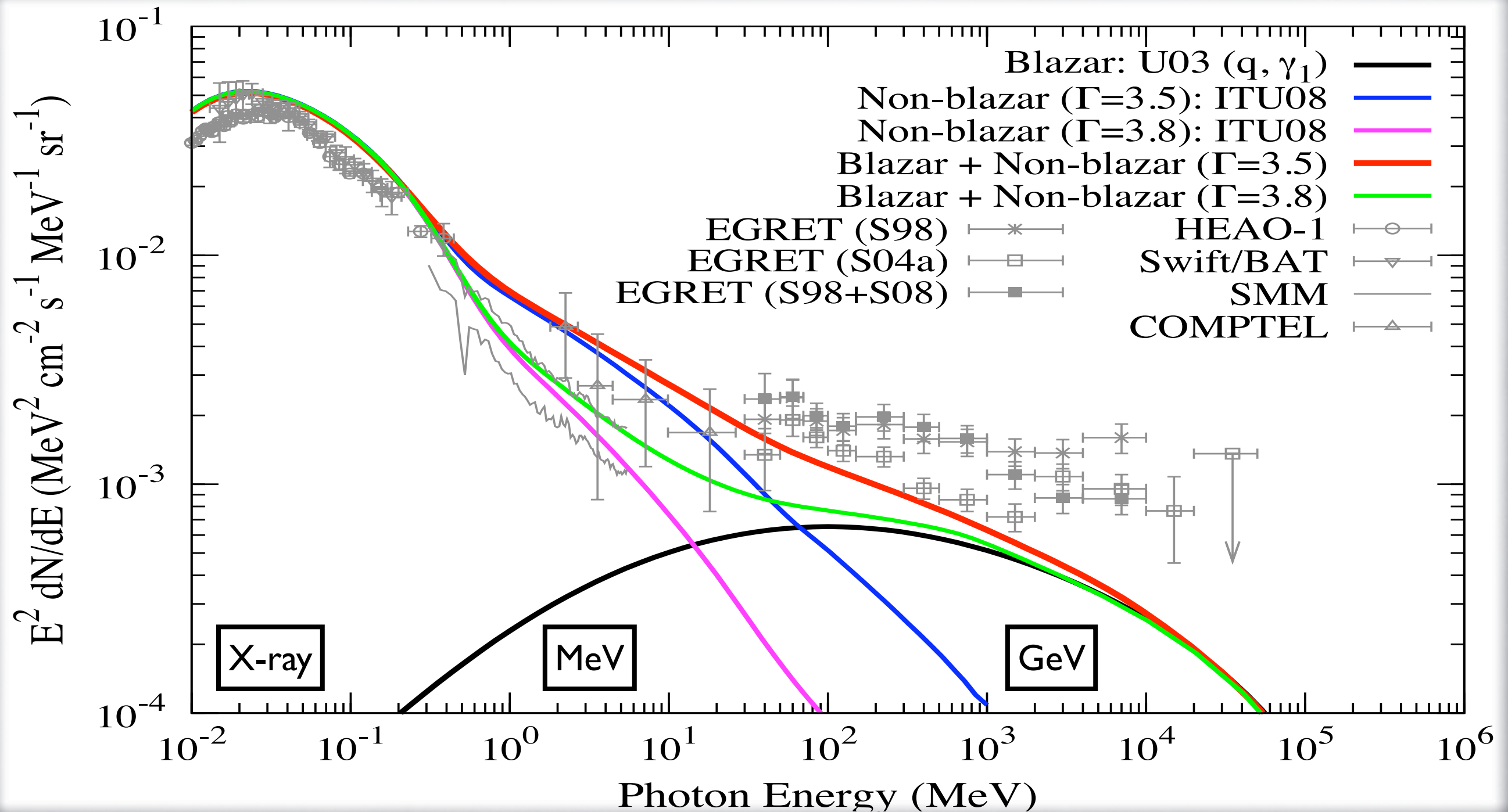
☉ コロナ中の非熱的電子によるIC散乱でMeV背景放射を説明できる。

☉ 非熱的電子分布は観測された磁気リコネクション非熱的電子分布に近い。

☉ コロナの加熱機構

➡ 磁気リコネクション加熱コロナモデル (Liu, Mineshige, & Shibata '02)

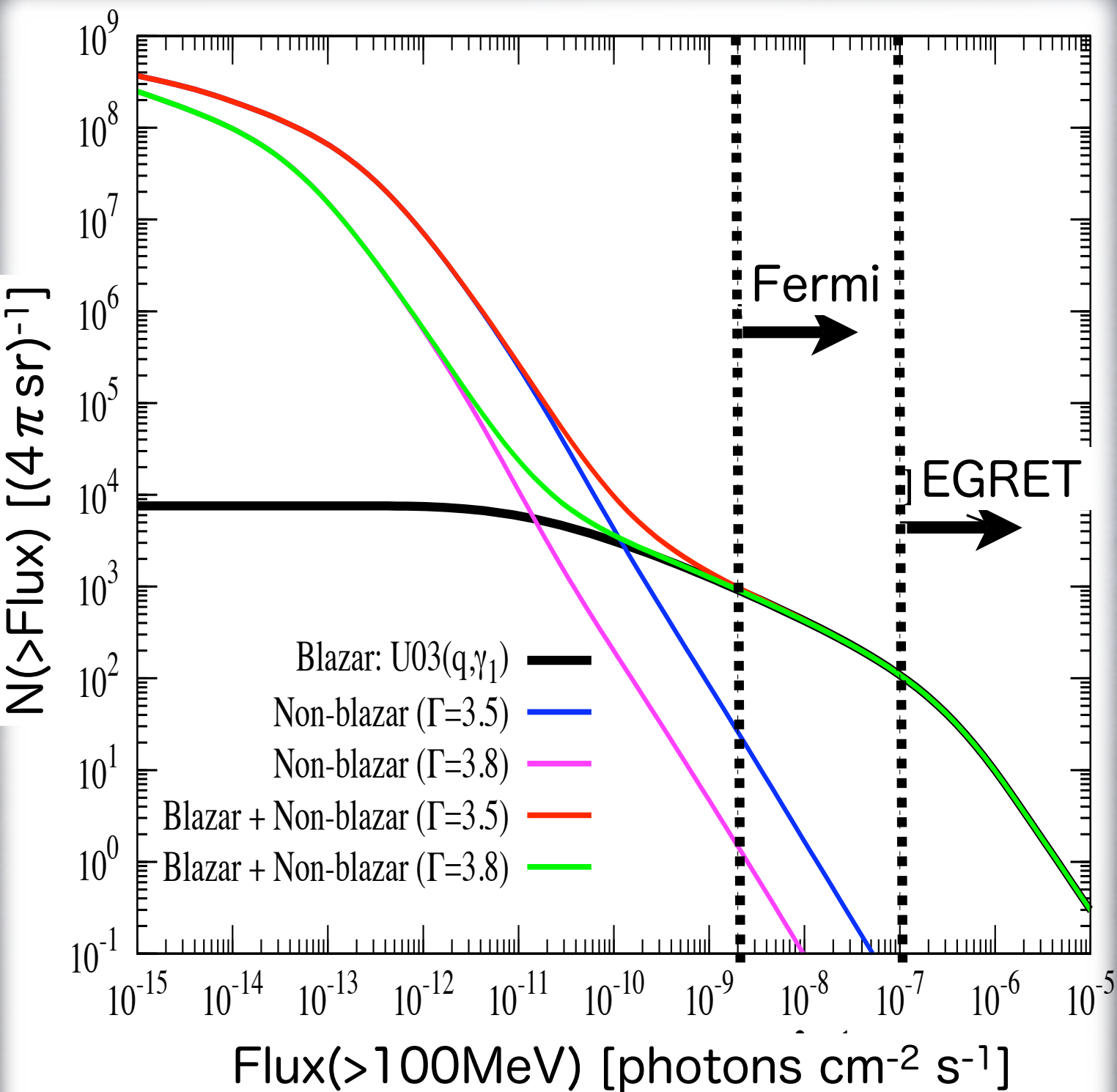
宇宙X線・ガンマ線背景放射



- ☉ Blazar+non-blazar→ガンマ線背景放射flux(>100MeV)の~80%
- ☉ <100MeVはnon-blazar, >100MeVはblazarが支配的。

Predictions for the *Fermi* mission

Expected Number of blazars and Non-blazar AGNs



~1000 Blazars (1 year)

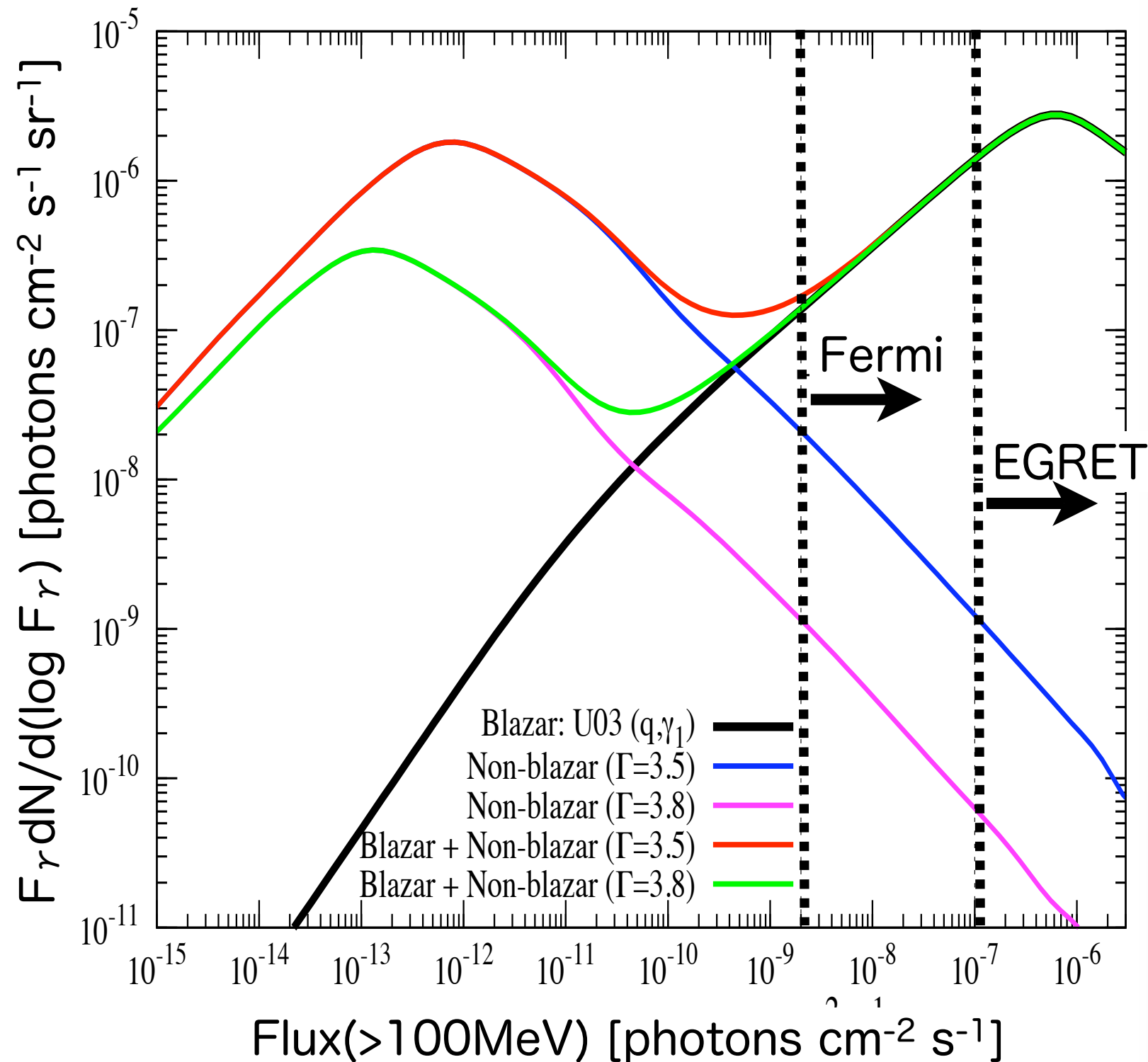
1-30 Non-blazar AGNs.

NGC 4151 (最も明るい Seyfert) から期待されるガンマ線 Flux ($>100\text{MeV}$)

3.8×10^{-8} photons/
 cm^2/s (for $\Gamma=3.5$)

→ Detectable by Fermi

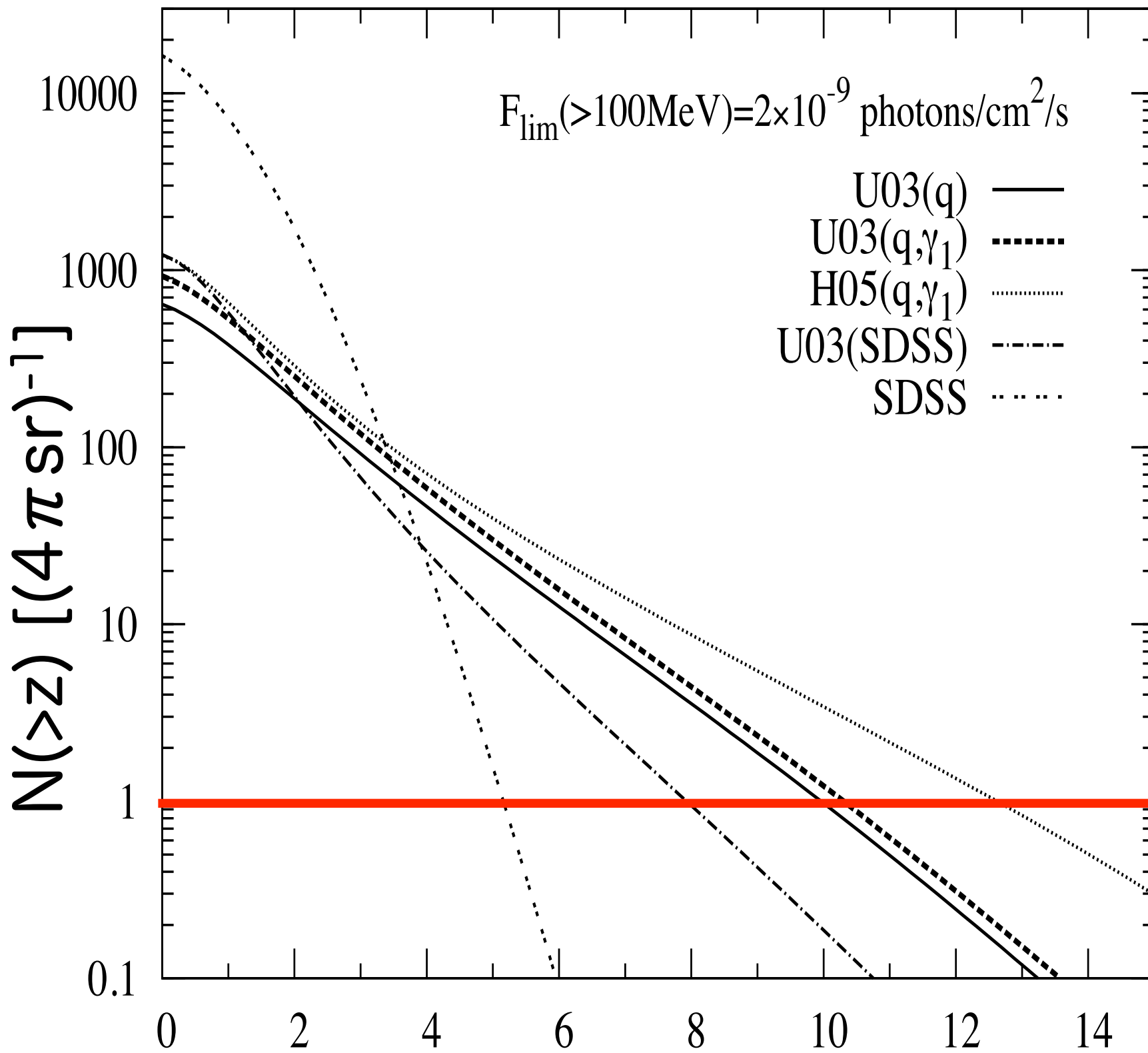
EGRB distribution



☉ Fermiによって
Blazarからの背景放
射Fluxの~99%が分
解される。

☉ non-blazarの分解
は難しい。

High- z Fermi blazars



● Fermi衛星で $z\sim 8$ の Blazarが見つかるかもしれない。

● $\gamma(\text{GeV})\gamma(\text{UV})\rightarrow e^+e^-$
宇宙再電離への制限。

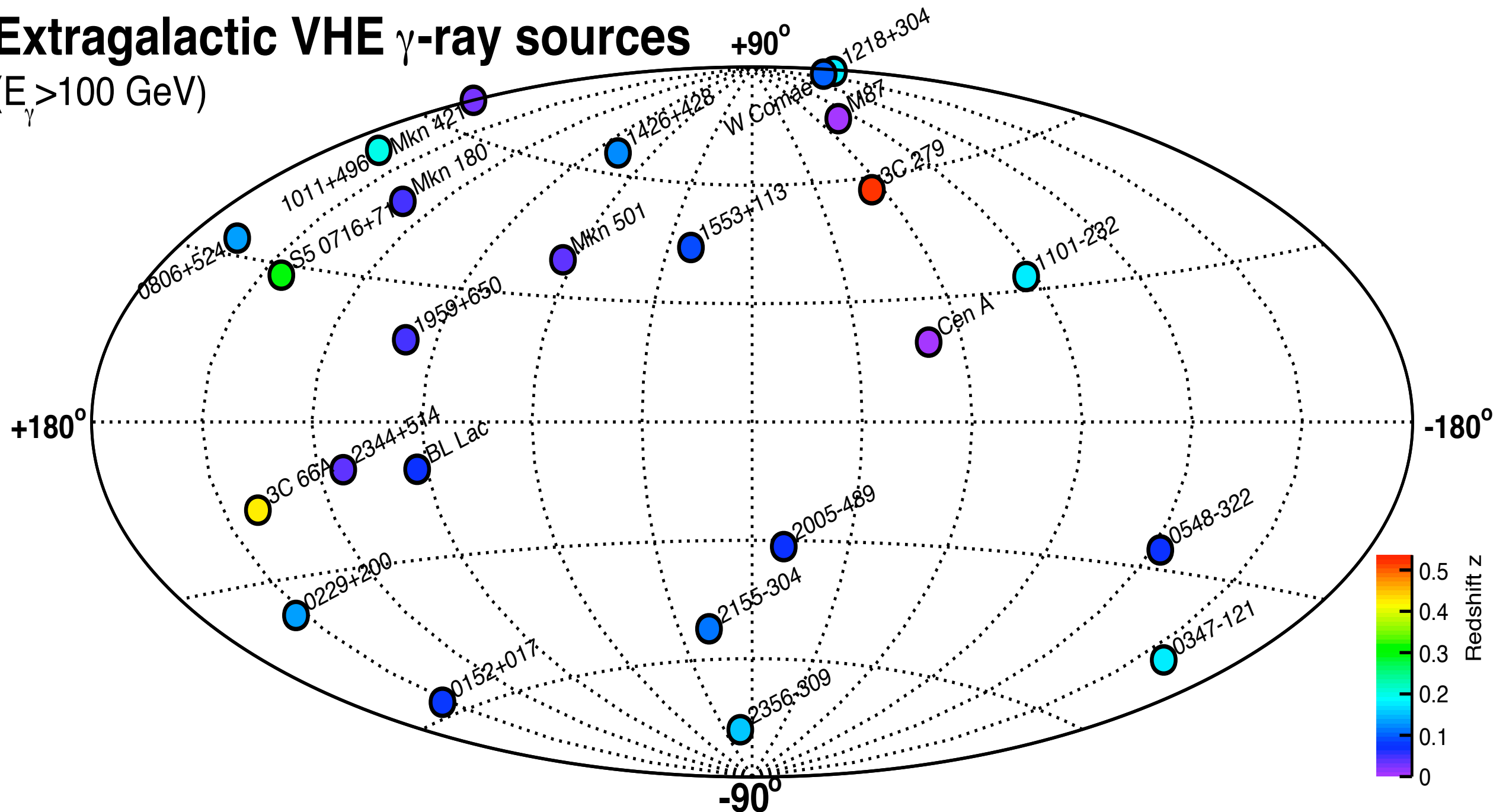
Prospects for TeV blazars survey by CTA

YI, Totani, & Mori (in prep.)

Current TeV AGNs

Extragalactic VHE γ -ray sources

($E_{\gamma} > 100$ GeV)

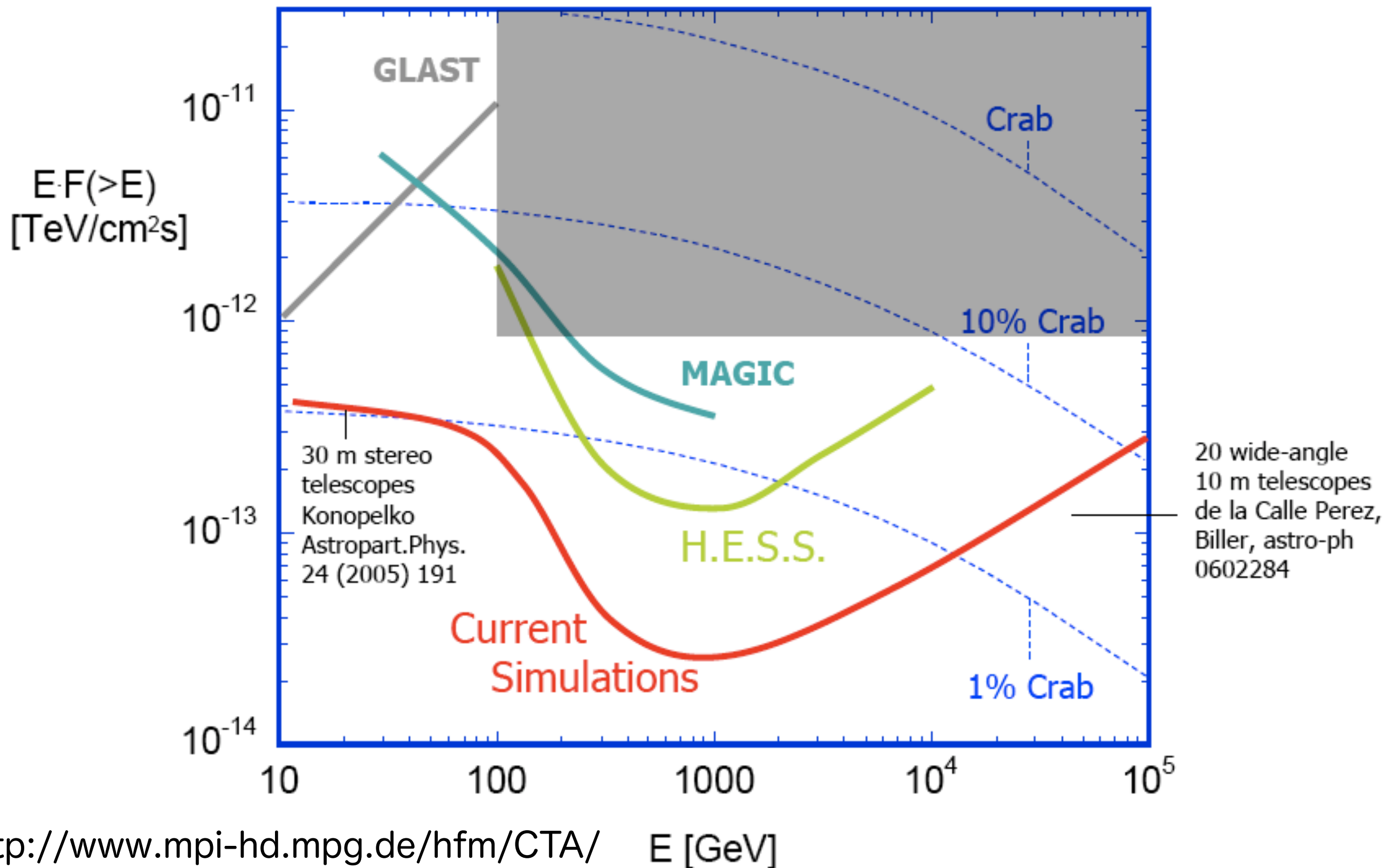


2009-02-04 - Up-to-date plot available at <http://www.mppmu.mpg.de/~rwagner/sources/>

<http://www.mppmu.mpg.de/~rwagner/sources/>

~20個のブレーザー

CTA Sensitivity Cherenkov Telescope Array (CTA)



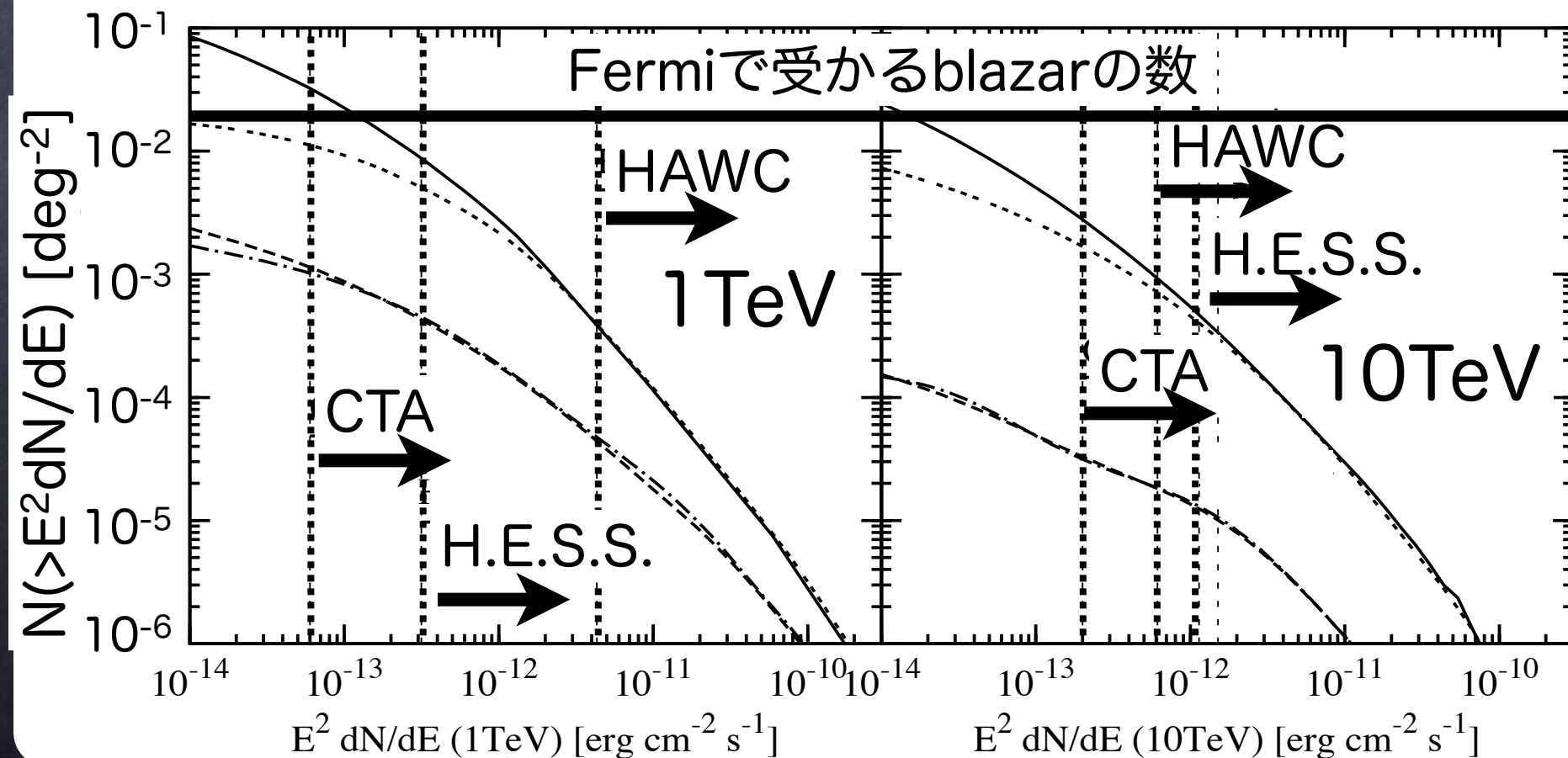
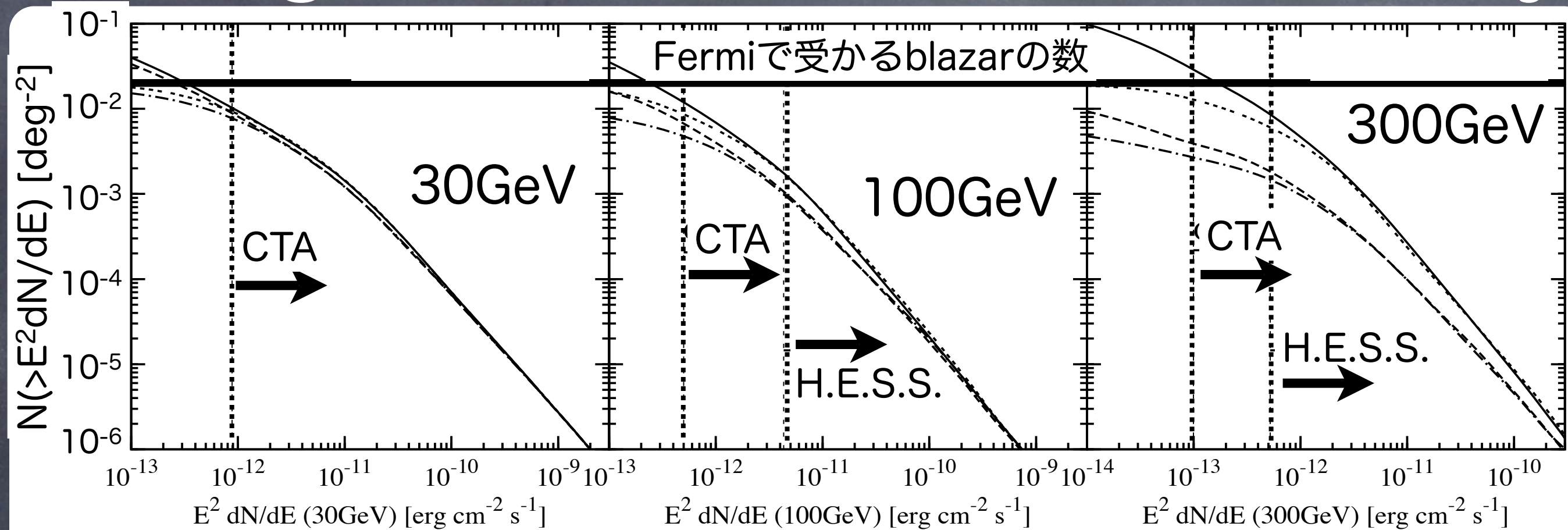
TeV Blazars Survey by CTA

- TeV Blazarの統計的な議論
 - ✓ AGNの種族の理解へ。
 - ✓ SMBH周辺での高エネルギー現象の理解へ。
- Extragalactic Background Light (EBL)への制限
 - ✓ 星・銀河の形成史の理解へ。

Blazar Survey 方法

- 1) Blank Field Survey (H.E.S.S.の銀河面探査のExtragalactic版)。
- 2) Fermiなど他波長での観測をFollow up。

Extragalactic Blank Field Survey



横軸：各エネルギーでの
 $E^2 dN/dE [\text{erg/cm}^2/\text{s}]$

Unabs —
 Abs - - -
 Fermi:unabs ···
 Fermi:Abs - · -

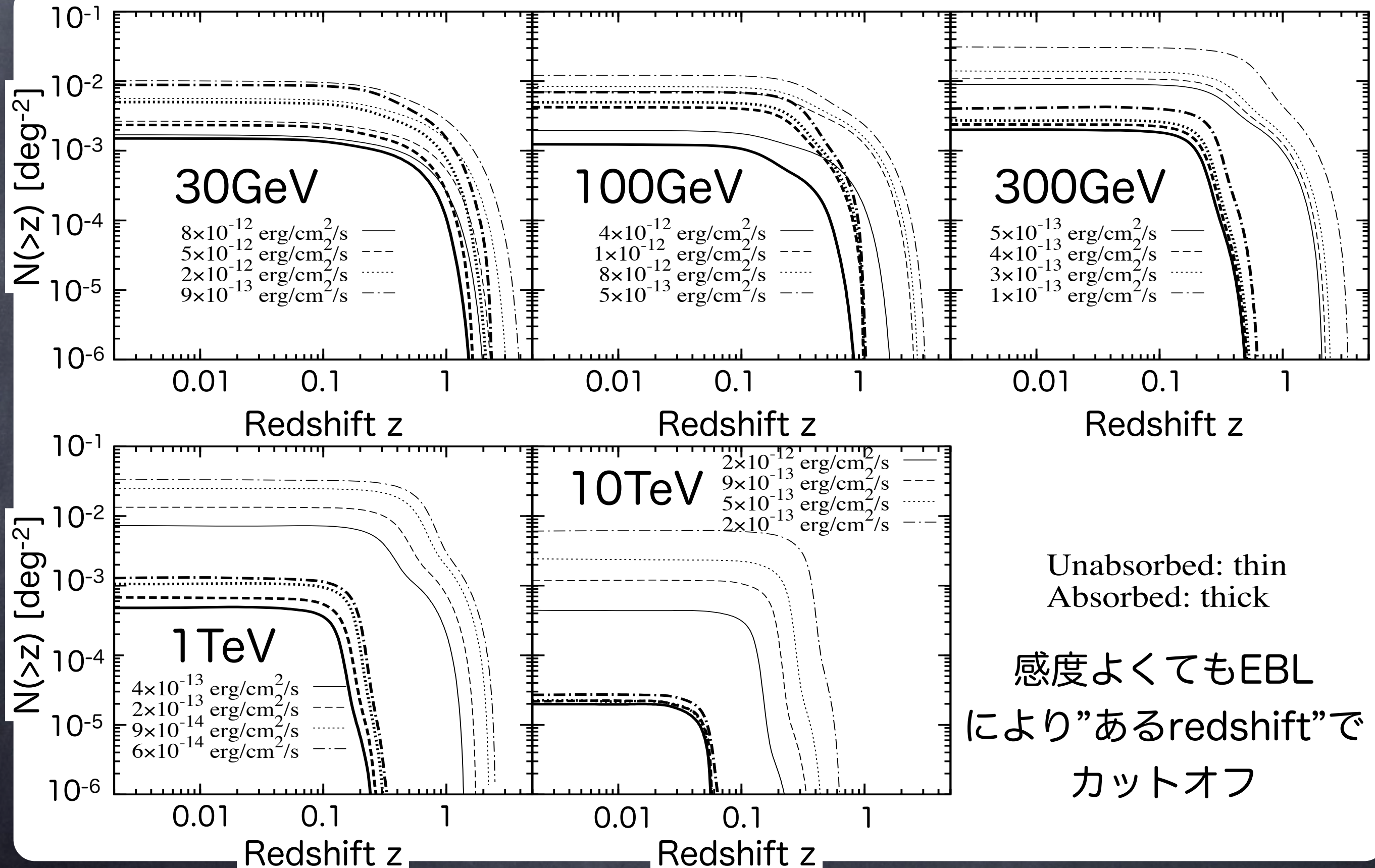
CTA, H.E.S.S. : 50 hr

HAWC : 1 year

EBLのモデル :

Totani & Takeuchi '02

Cumulative z-distribution



Extragalactic Blank Field Survey

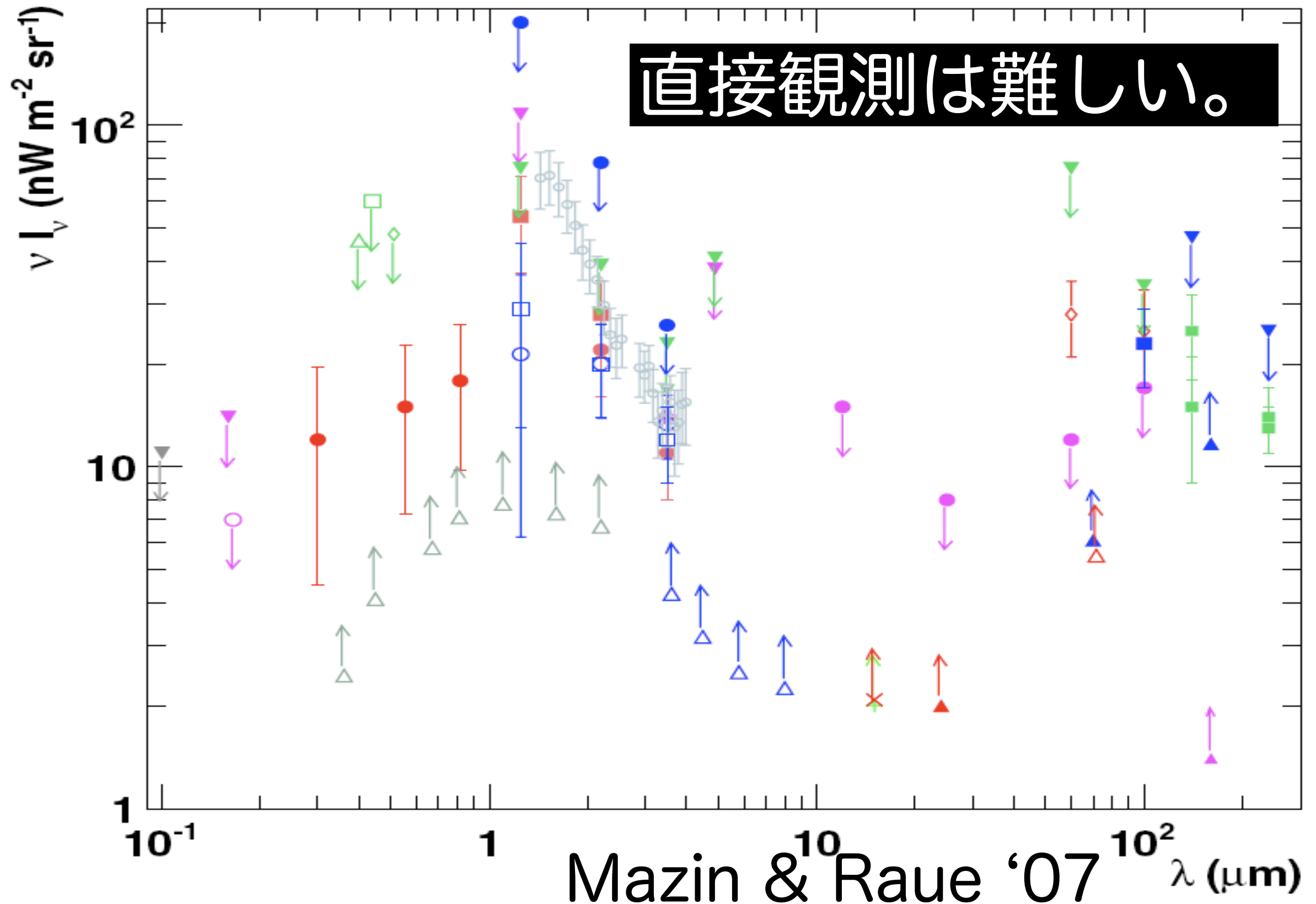
- 全サーベイ時間 = 100hr での Blazar の期待値 @ 100 GeV
(1 視野 6 平方度。感度 $\propto (\text{観測時間} / \text{視野})^{-1/2}$ 。)
- 0.31 個 (6hr / 視野) : 100 平方度
- 1.2 個 (0.5hr / 視野) : 1200 平方度
- 他のエネルギーバンドでも大差なし。
- Blank Field Survey は期待薄。
- 広視野観測の HAWC, Tibet も厳しい。
- 銀河面探査をしても Blazar の混入はほとんどない。

Following up Fermi blazars

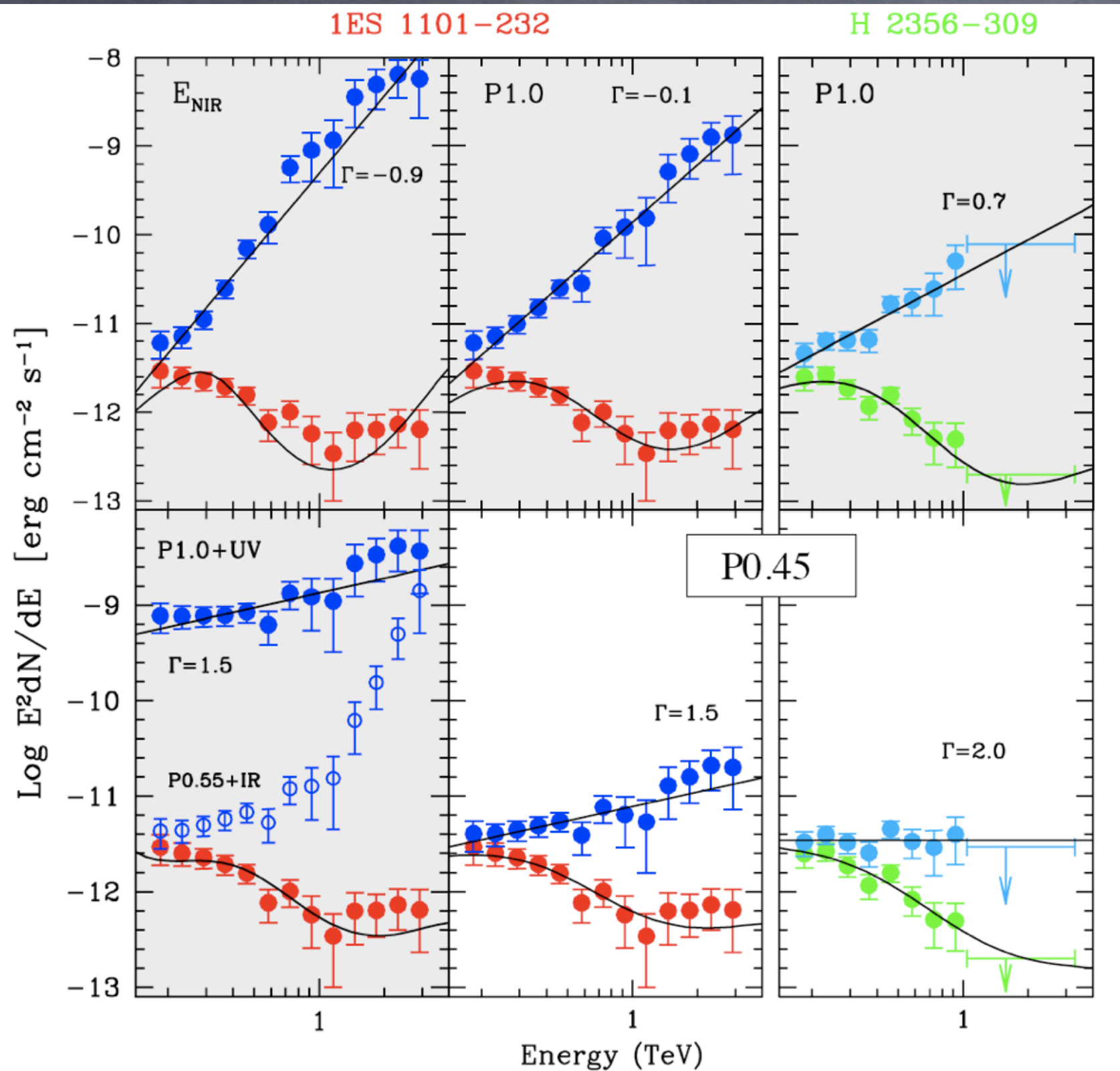
- Fermiによって約1000個のblazarが受かる。
(YI & Totani '09)
- Fermi blazarをFollow up。
 - CTAで~100個のblazarが受かる(~100hr程度)。
 - ただし、Fermiでは受からないがCTAで受かるタイプを見落とす。

EBL Determination

EBL(可視赤外背景放射) Spectrum



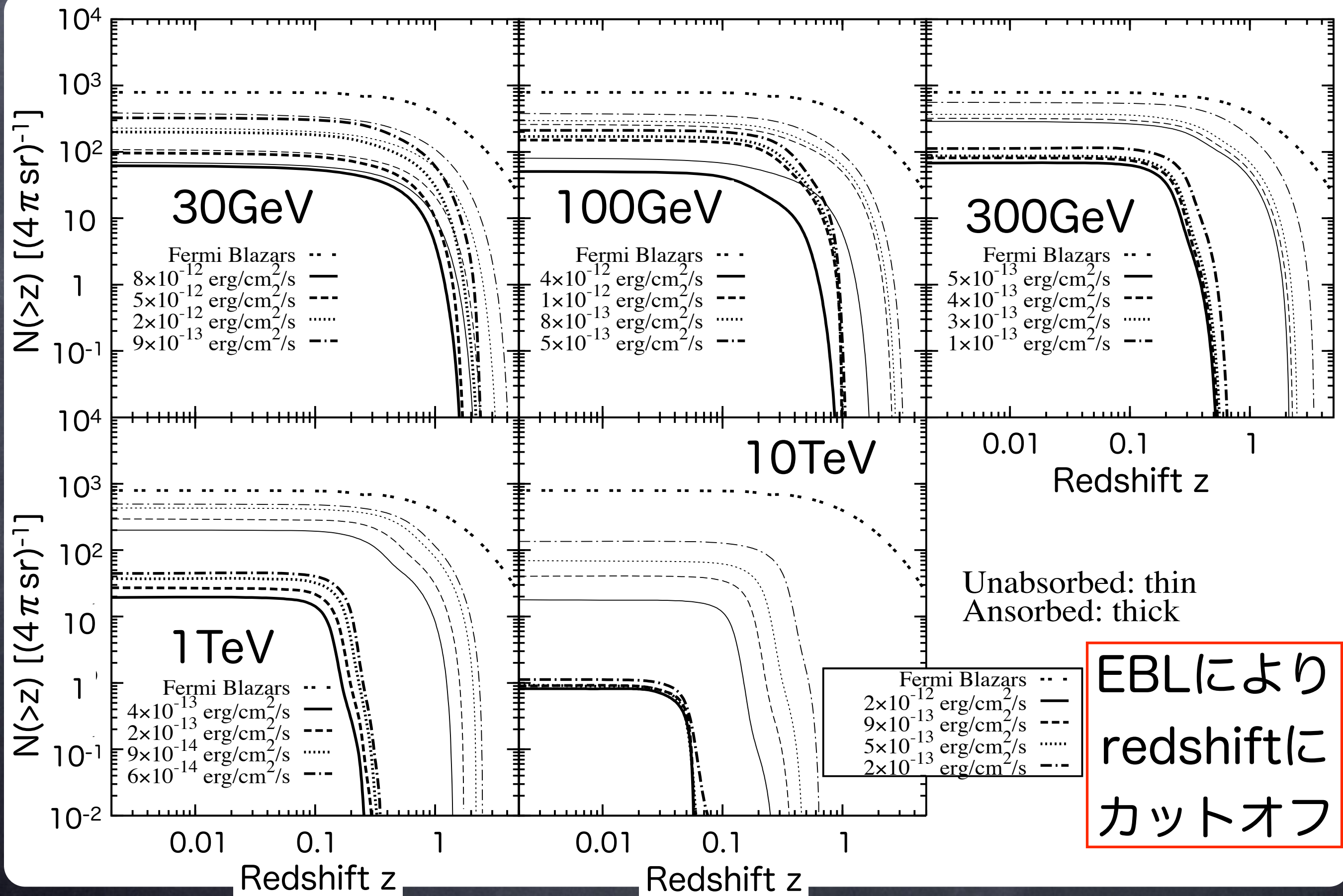
Constraint on the EBL



Aharonian+'06

- $\gamma(\text{TeV}) + \gamma(\text{EBL}) \rightarrow e^+ + e^-$
- 3C279($z \sim 0.5$) by MAGICが最遠方
- 吸収前のスペクトルを仮定する事によってEBLに制限。
(個々のBlazarについて。)

z distribution of Fermi blazars



New EBL Constraint Method

- CTAでは統計的にTeV blazarについて議論可能。
- EBLの影響で z 分布にカットオフ。CTAとFermiの z 分布との観測データ同士での比較。
 - ➡各エネルギー毎のカットオフredshiftでEBLに制限をつける。(SEDの仮定なし。)
- Systematic Errorの見積もりは今後の課題。

Summary

- 初めてblazar SED sequenceを考慮しLDDEに基づきblazar GLFをEGRETのデータとの比較から構築。
- SEDを取り入れる事で背景放射のSEDまで予言。
- Non-blazar AGNとblazarによってX線から10GeVまでに渡る宇宙背景放射を説明可能。
- Fermiによって1000個のblazarと1-30個のnon-blazar AGNが検出。
- CTAでextragalactic blind surveyをしても個数は期待できない。Fermiのフォローアップ観測が重要。
- TeV blazarの z 分布からEBLに制限ができるかもしれない。