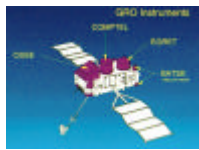


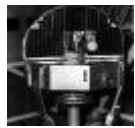
ガンマ線衛星GLASTと日本X線観測衛星による 線多波長観測

深沢泰司
広島大学大学院理学研究科

MeV--GeVガンマ線の観測



OSO-3



SAS-2



COS-B

**EGRET
(CGRO)**



GLAST

1970

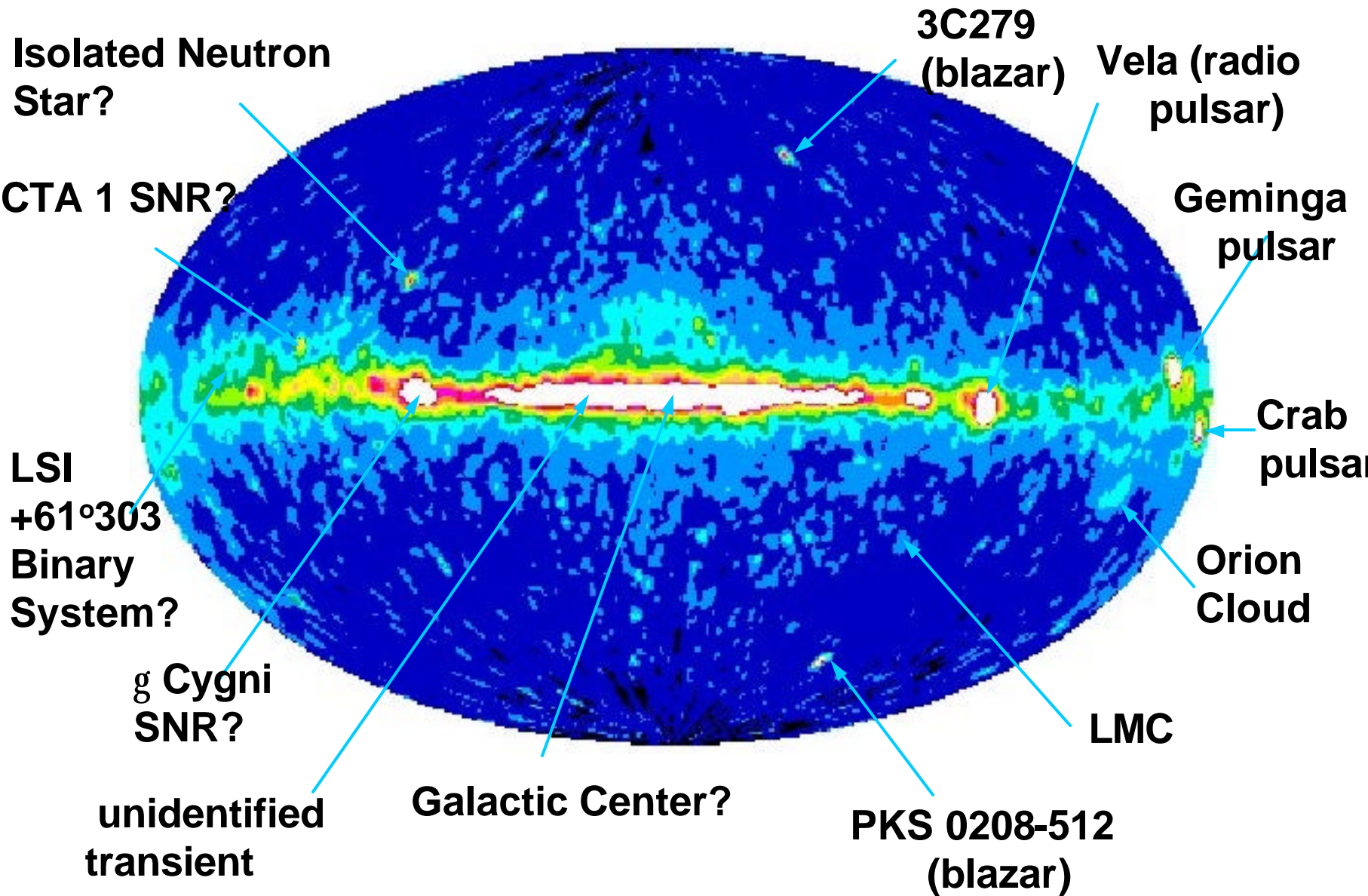
1980

1990

2000

- OSO-III (1967): 比例計数管、銀河面放射の兆候
- SAS-2 (1972): スパークチェンバー、銀河面放射、約10個の系内天体
- COS-B (1975): スパークチェンバー、25個の天体 (3C273含む)
- **EGRET**(1991): スパークチェンバー、E~10GeVまで上がる、271天体 (約170は未同程) 多数のBLAZER 5つの 線バースト天体

EGRET All Sky Map (>1 GeV)



GLAST 2007 ~

	EGRET	GLAST
エネルギーバンド	30MeV--10GeV	20MeV--100GeV
Field of View	0.5sr	2.4sr (20% of 4
有効面積	1,500cm ²	11,000cm ²
エネルギー分解能	10%	10%
1イベントデッドタイム	100ms	20 μ s
点源位置決定精度	5--30分	0.5--5分
点源感度	$\sim 1 \times 10^{-7} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\sim 1 \times 10^{-7} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (1日) $\sim 2 \times 10^{-9} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (2年)
検出天体数	271	>10000
重量	1820kg	2560kg
電力	160W	600W
Orbit(28.5度 incl.)	350km	550km
寿命	9年	>5年

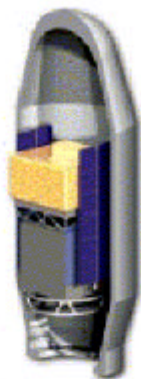
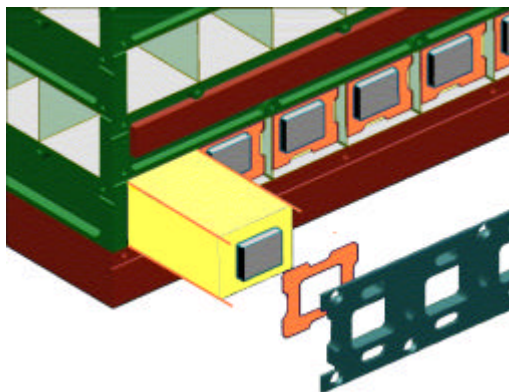
GLAST衛星の構成



Si -Pb
Tracker



CsI Calorimeter



Delta II

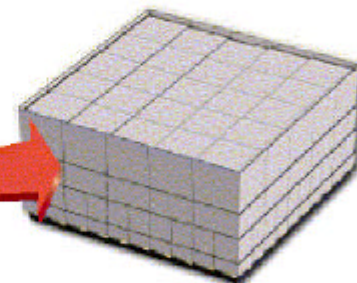
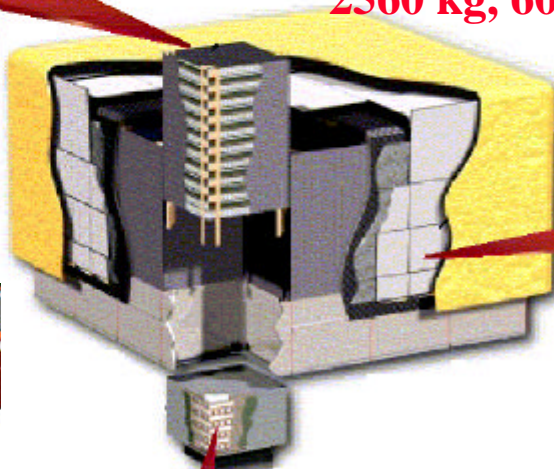
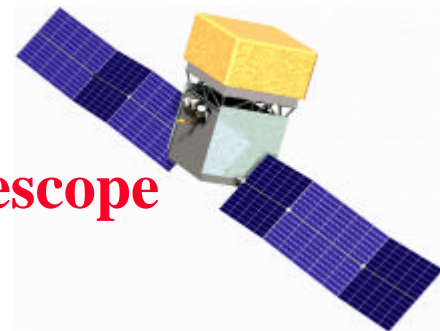


7920 H



Large Area Telescope
(LAT)

2560 kg, 600 W, $1.73^2 \times 1.06$ m



Anti-Coincidence
Detector

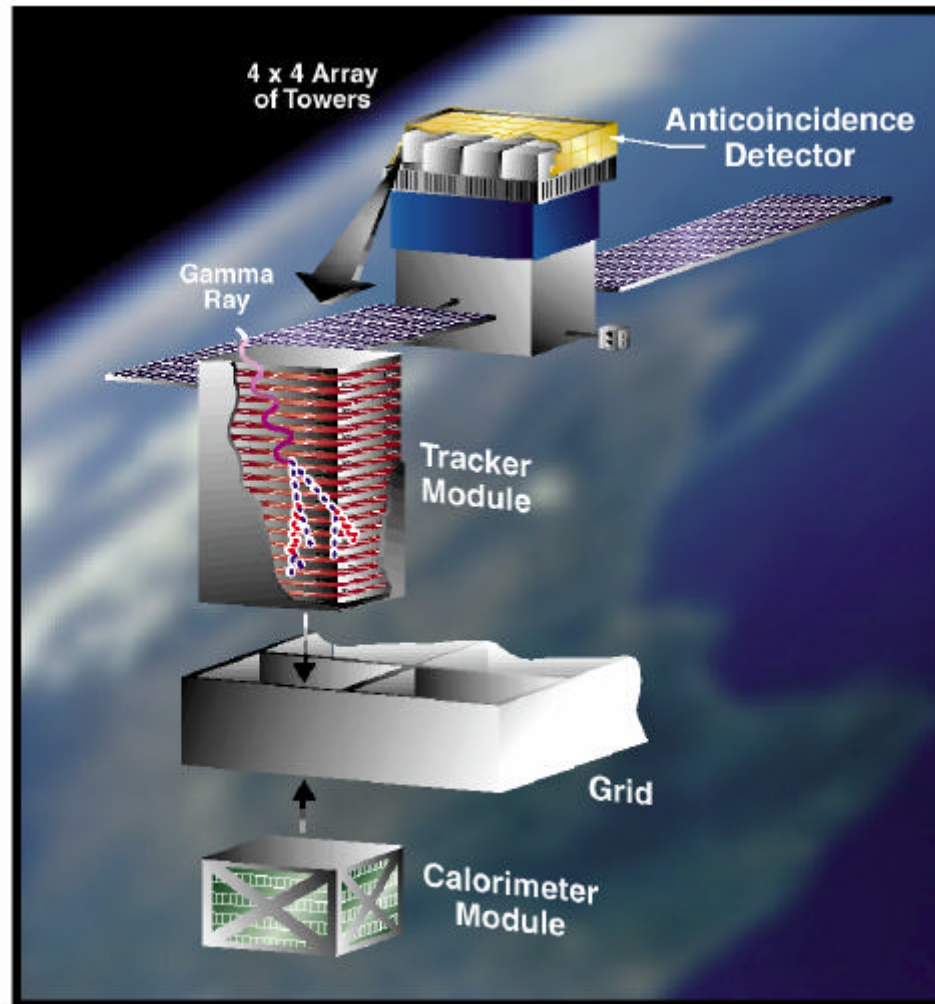


Gamma-ray Burst Monitor

検出器の構成

観測エネルギーバンド 10 MeV - 300 GeV.

- 4x4 array of identical towers
開発に都合良い、独立トリガ
- Si-strip Tracker (TKR)
18 XY Si-tracking planes, 鉛のコンバーター. 詳細な線到来方向の決定
- CsI Calorimeter(CAL)
segmented array of CsI(Tl) with PD エネルギーの計測
- Anticoincidence Detector (ACD)
segmented plastic scintillator with PMT background 除去 Segmentation による正確なバックグラウンド識別
- Data Acquisition (DAQ) System.



国際協力

Stanford University: SLAC & HEPL
NASA Goddard Space Flight Center
(GSFC)
US Naval Research Laboratory
(NRL)
University of California, Santa Cruz
(UCSC)
Sonoma State University (SSU)
University of Washington (UW)
日本: 広島大学, ISAS, 東工大, 理研
イタリア: INFN, ASI
フランス: CEA/DAPNIA, IN2P3
スウェーデン: KTH

高エネルギー分野と宇宙分野
の研究者が共同

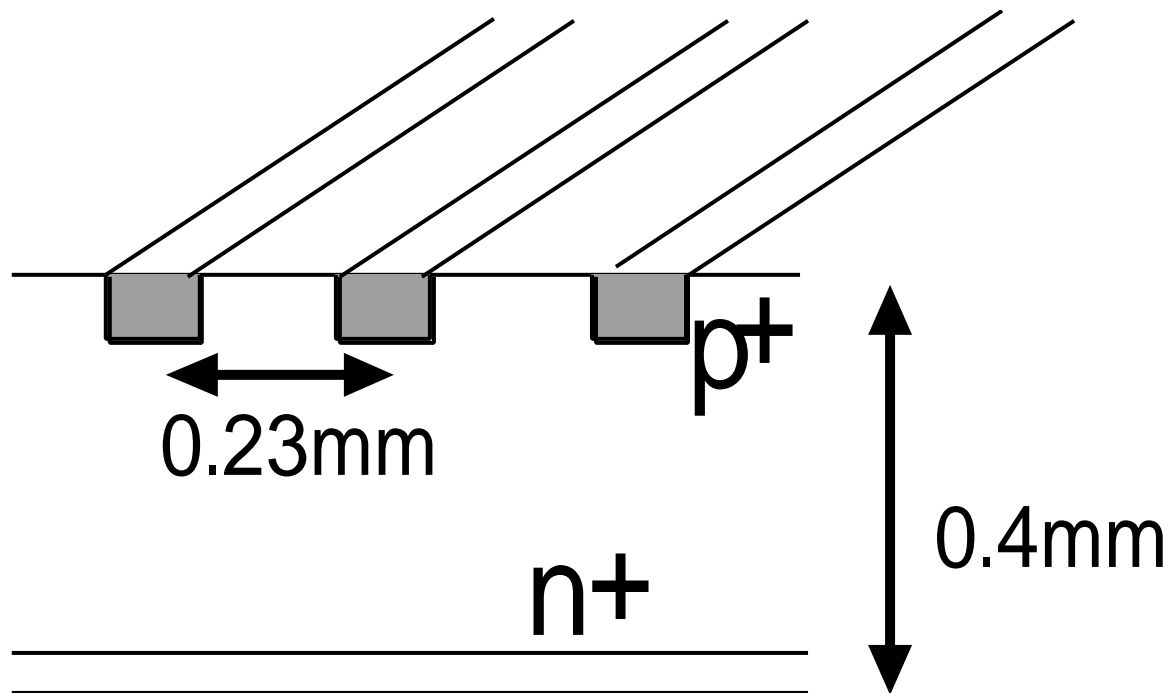
~ 100 collaborators
from 28 institutions

Country	# Collaborators
USA	45
Japan	15 (T.Ohsugi, TKR)
Italy	16 (G.Barbiellini, TKR)
France	14 (I.Grenier, CAL)
Sweden	4 (P.Carlson, CAL)
Germany	3

シリコントリップ検出器

アイデアと最初の試作: Kemmer et al (late 1970s)

日本 (浜松ホトニクス), イギリス, スイス, イタリア

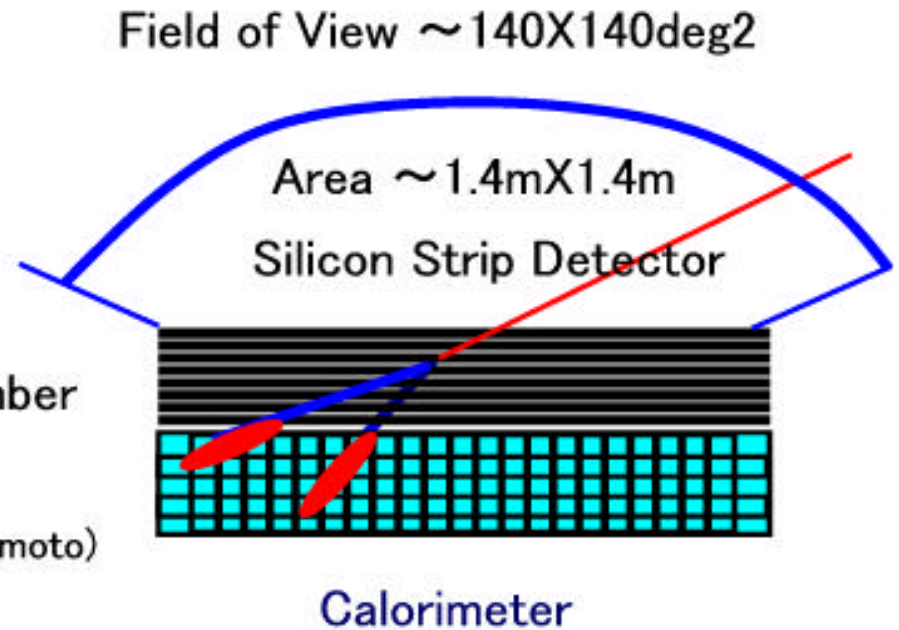
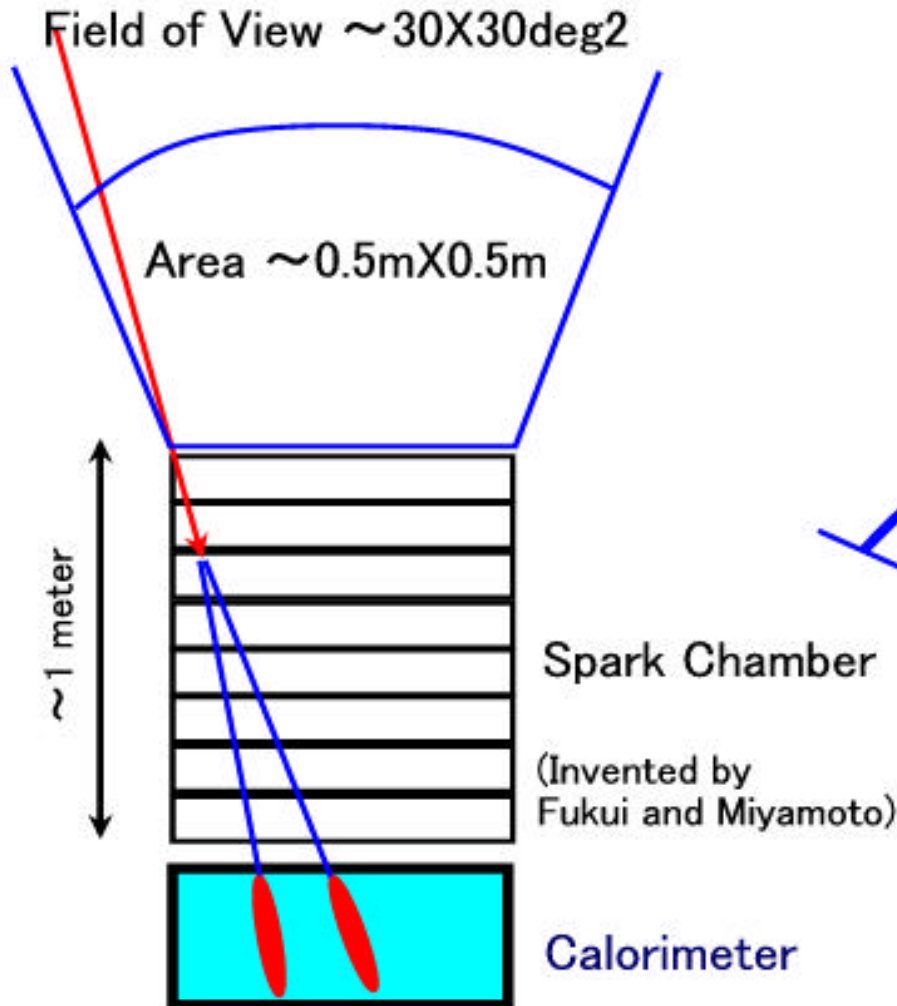


安定した動作と耐放射線劣化は、加速器実験で実証済み

GLASTのものは、広島大学が中心に開発

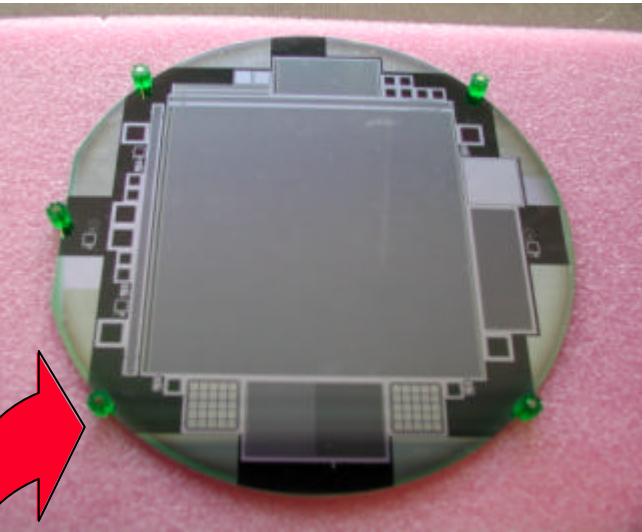
スパークチェンバー VS シリコンストリップ検出器

日本の誇る技術



広視野、高分解能が可能に！

Tracker Module Mechanical Design

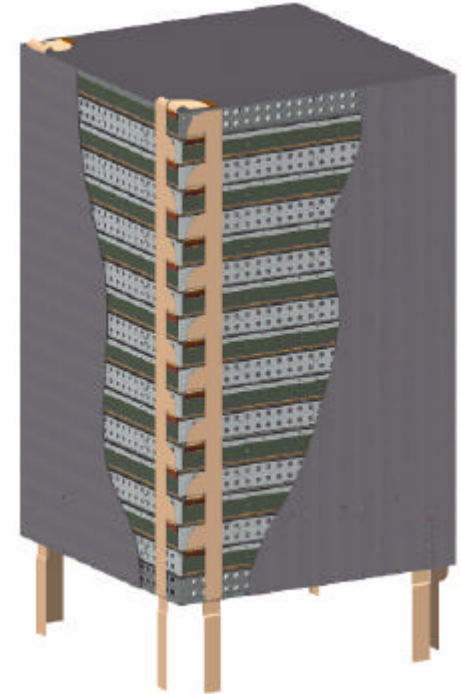


by 広島大学

4' 4 array
of Si-strip
sensors (X)

バイアス
回路

これが 16個



15cm

C-fiber face shee

Hex cell core

Al closeout

C-fiber face sheet

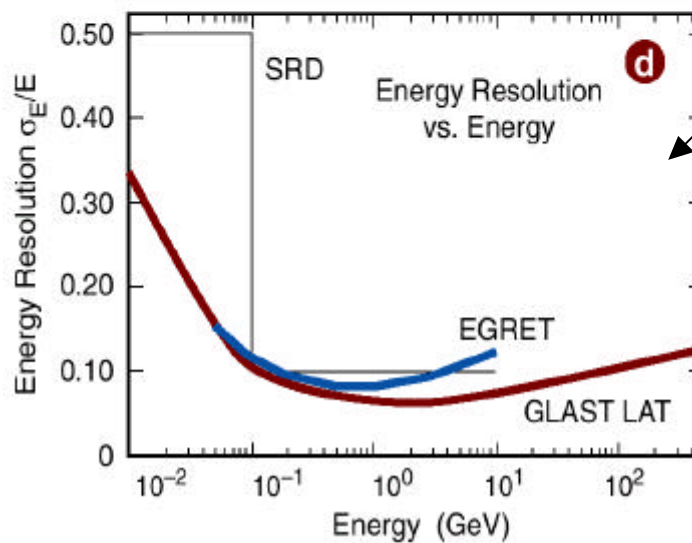
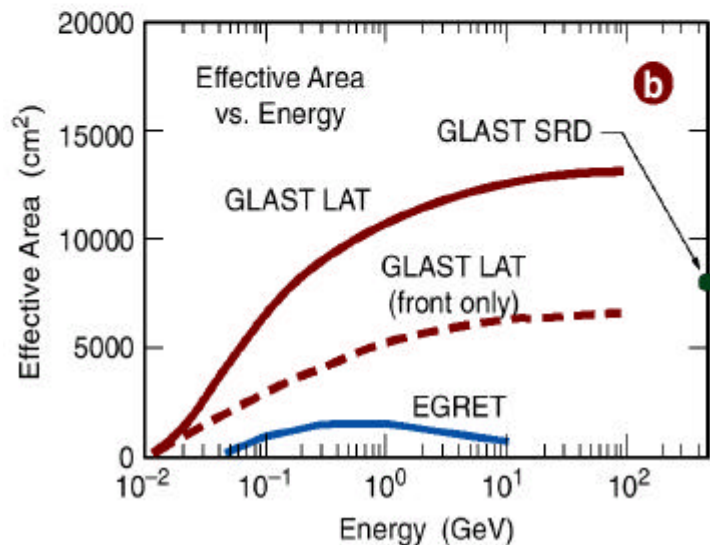
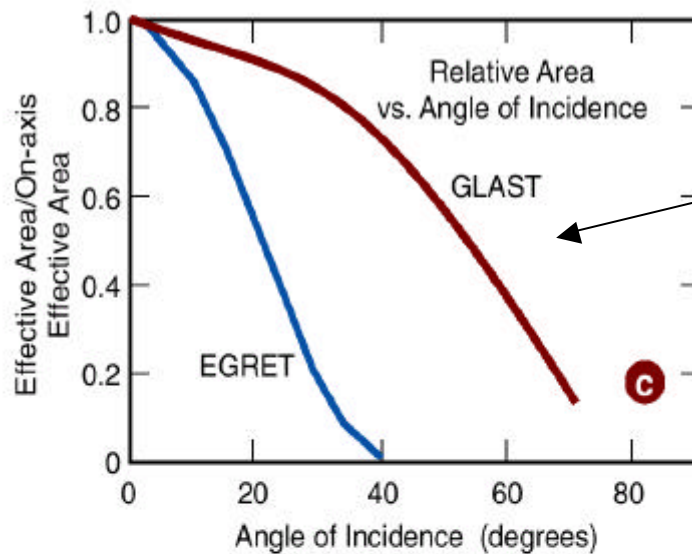
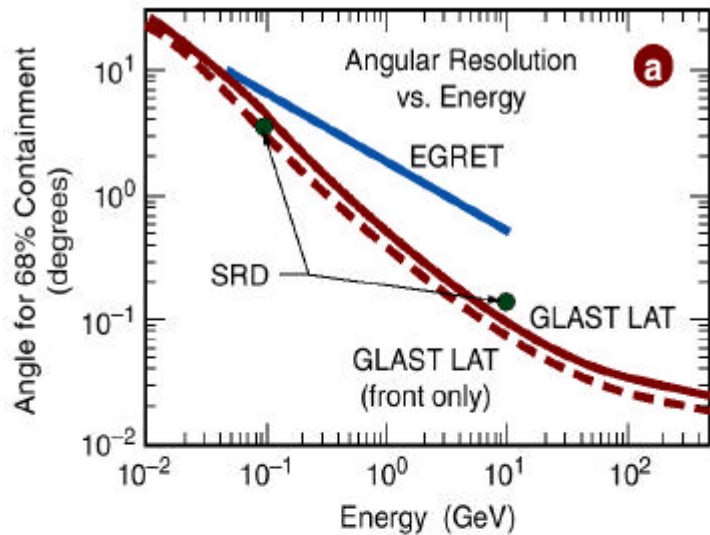
コンバータ

読み出し
回路

4' 4 array
of Si-strip
sensors (Y)

Expected Performance

(after all background rejection cuts)



FOV w/ energy measurement due to favorable aspect ratio

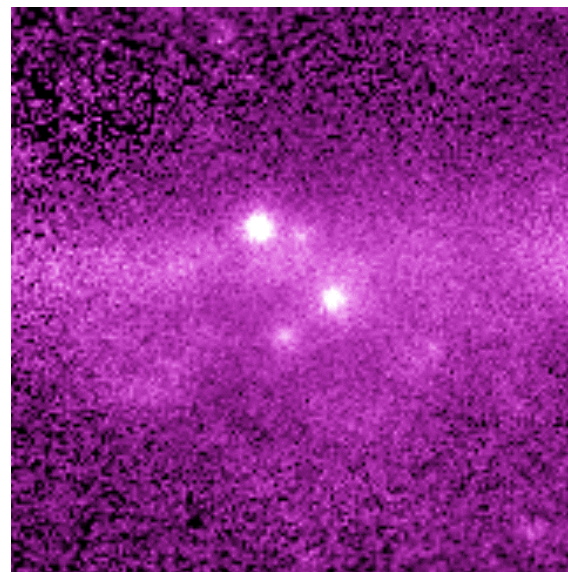
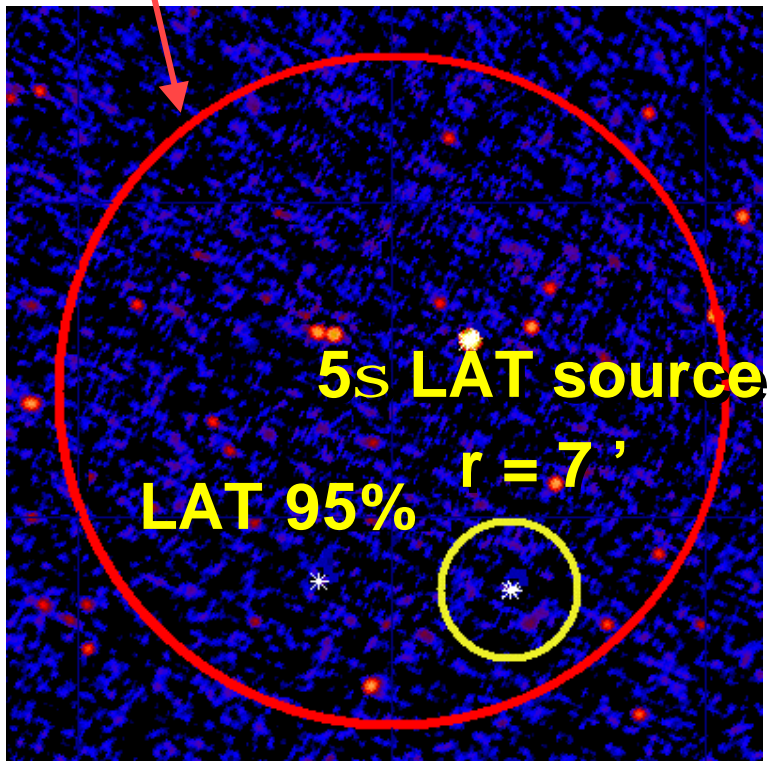
Effects of longitudinal shower profiling

点源の位置決定、分解、検出

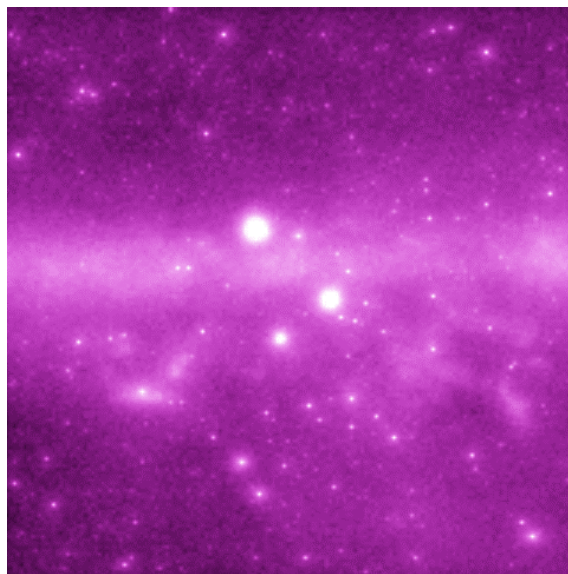
EGRET 95%



0.5 °



EGRET



GLAST

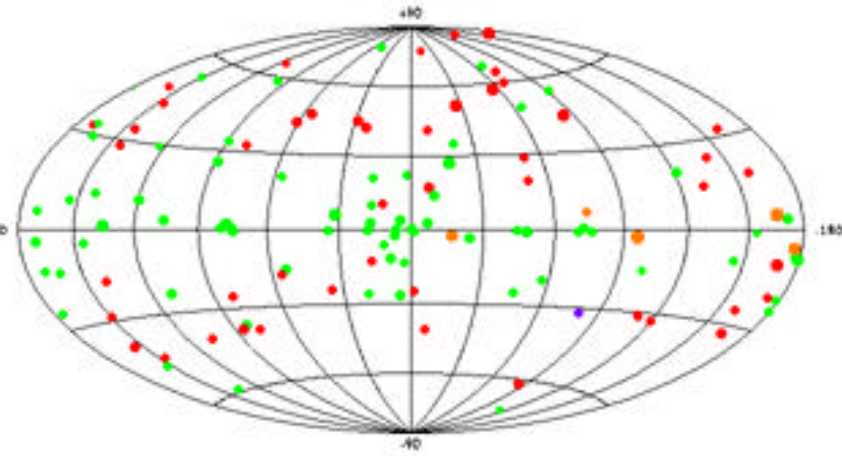
明るい天体だと
(例) 3EG19112000
 $r = 0.3'$

EGRET to GLAST – 検出天体数

EGRET(1991-1995)

Second EGRET Catalog

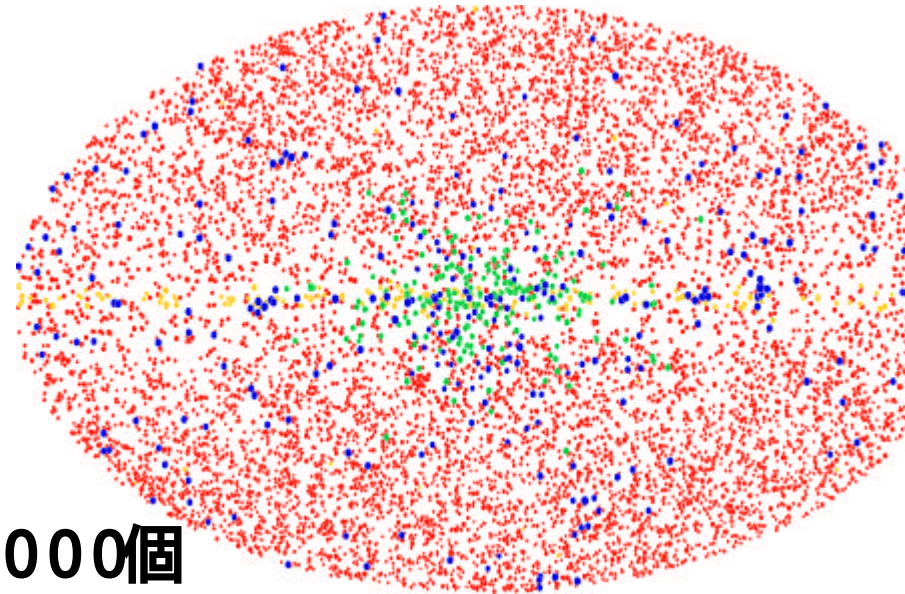
$E > 100 \text{ MeV}$



- Active Galactic Nuclei
- Unidentified EGRET sources
- Pulsars
- LMC

271個

GLAST(2007-2008)

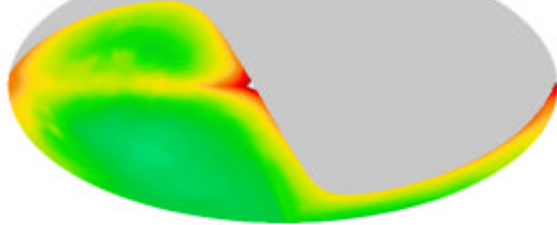


~ 10000個

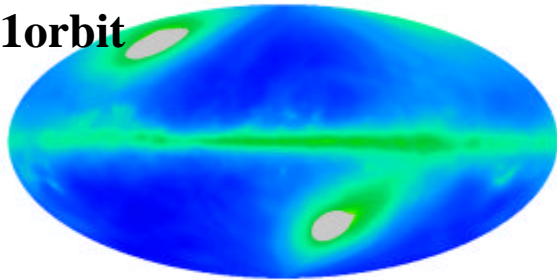
全天モニターとしてのGLAST

large field-of-view

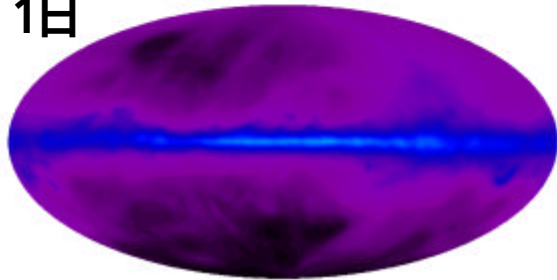
100秒



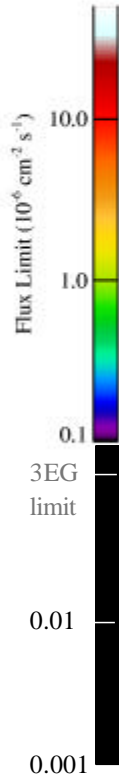
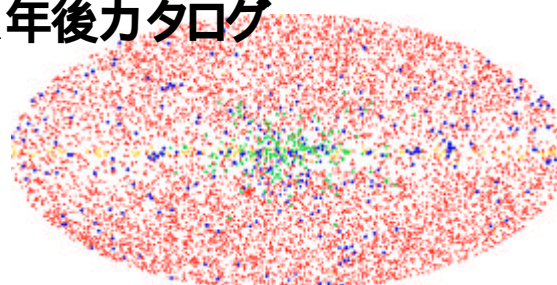
1orbit



1日



1年後カタログ



広い視野 (全天の20%)

1orbit(100分)で全天の85%をカバー

ほぼすべての天体を100分ごとにモニター

200 g bursts per year

all 3EG sources + 80 new in 2日

10^4 sources in 1年 survey

LAT 1 yr
 $2.3 \cdot 10^{-9}$
 $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$

日本のActivity(1)

Silicon Strip Detectorsの開発、製造

By 広島大理 and HPK

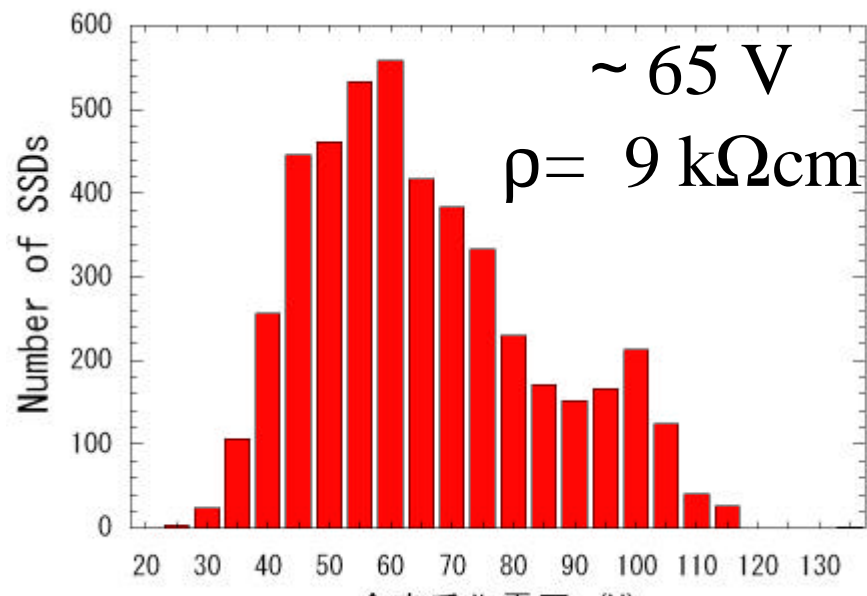
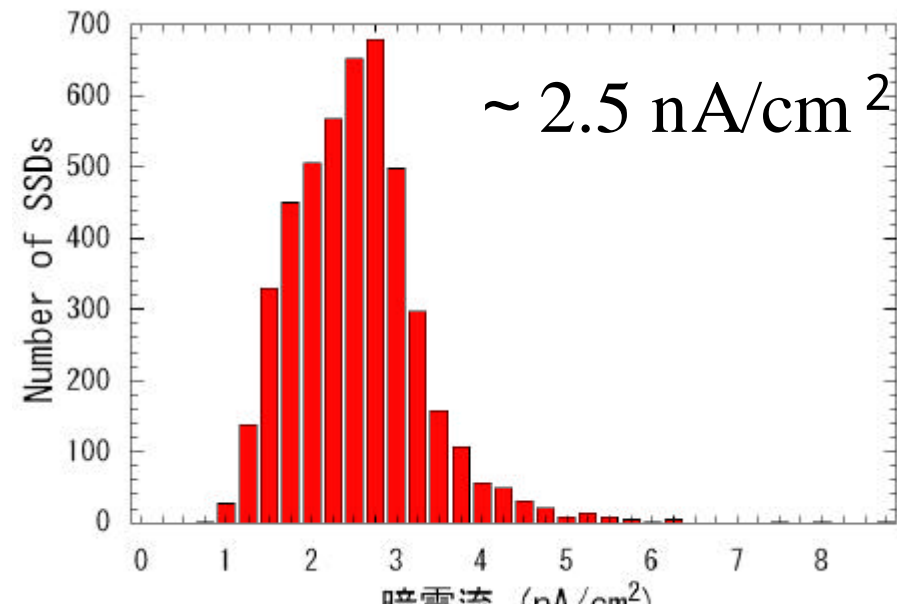
約90% の SSDs (9500枚) が既に製造済み。

Flight SSDsの非常に高いQuality

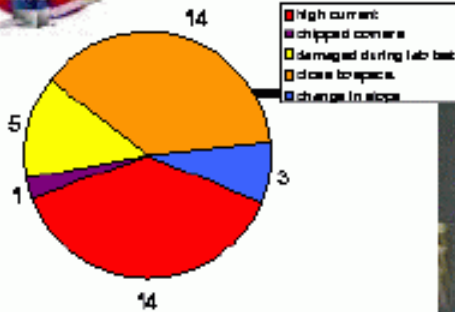
dead strip率が極めて低い! **0.008%**

in 9500 SSD × 384 strips = 3.7M strips

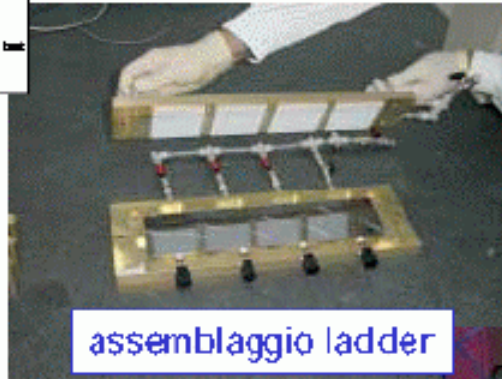
安定した製造



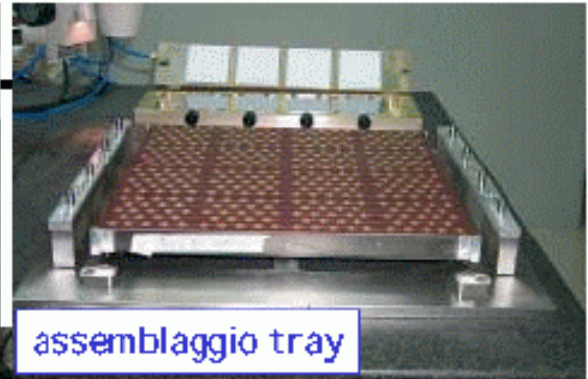
トラックー部の製造が進んでいる (イタリア)



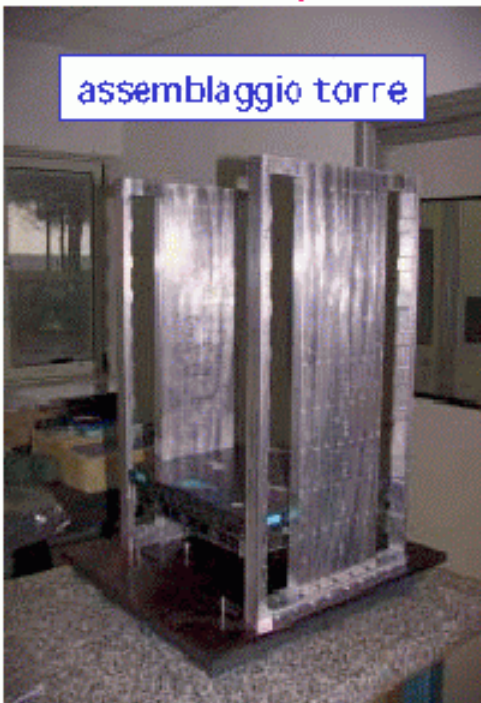
test ottici ed elettrici:
37/3500 - 1% SSD rejected



assemblaggio ladder



assemblaggio tray



assemblaggio torre



test vibrazionale



カロリメーター部 (CAL)、Anti部 (ACD) の製造



CAL

ACD

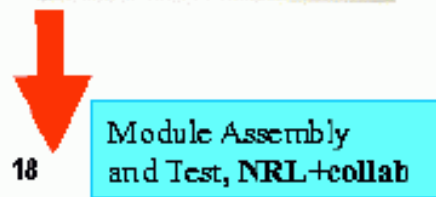
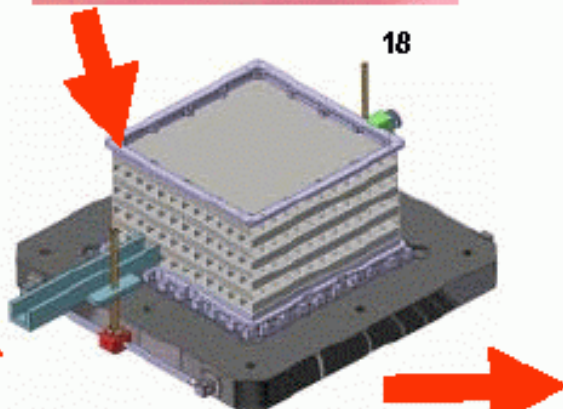
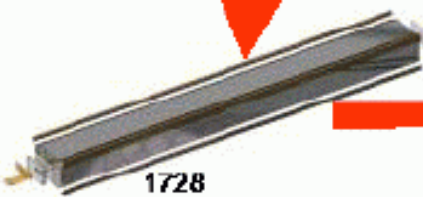
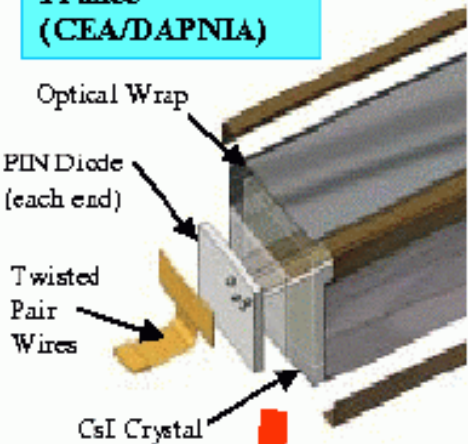
CsI Crystals
Sweden (KTH)

CDE Assembly
France
(CEA/DAPNIA)

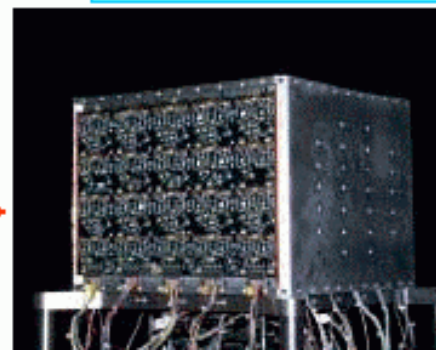
Mechanical Structure
France (IN2P3/Ecole Polytechnique)

Front-End Electronics
NRL, SLAC

o of ACD being us
and fiber routing



18
PEM Assembly
NRL



18 flight modules + 2 spares

日本のActivity(2)

検出器シミュレーターおよび バックグラウンドモデルの開発

GLAST気球実験

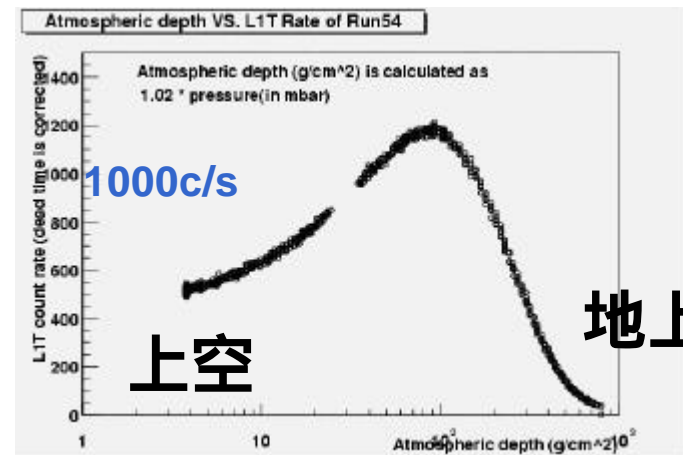
目的：宇宙線BGDデータ取得、軌道上動作確認
広島大学から、PDおよび学生が参加
装置準備、データ解析、シミュレーション



気球実験用エンジニアリングモデル
(BFEM): single tower

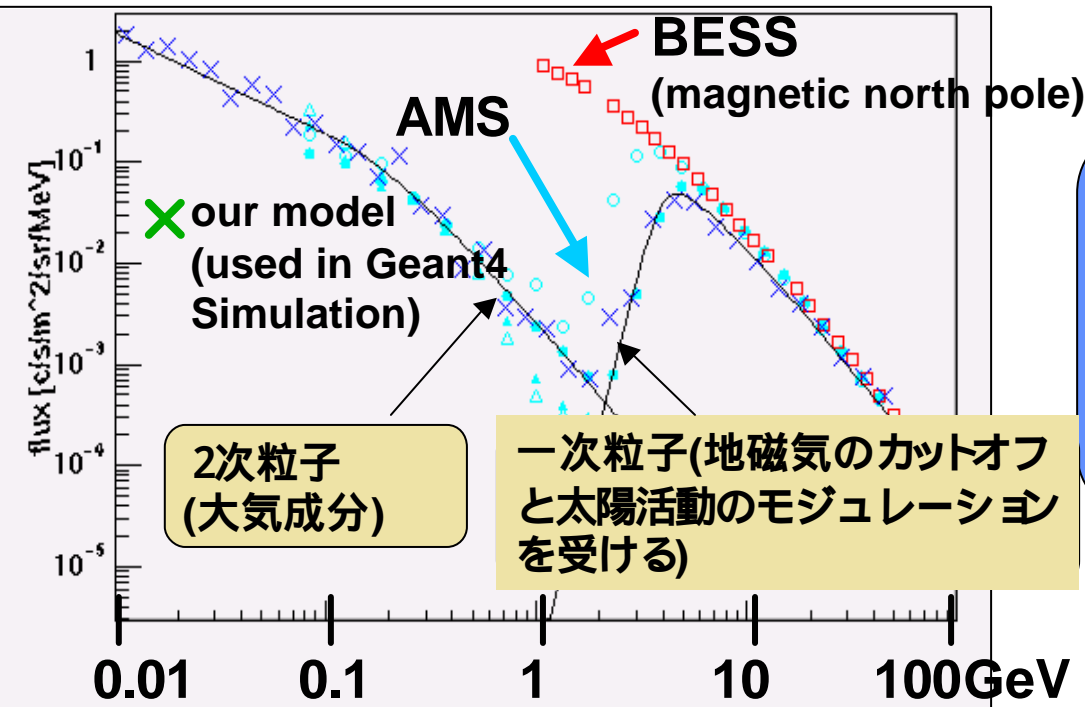


2001年 8月 気球実験



Trigger rate vs. atmospheric depth

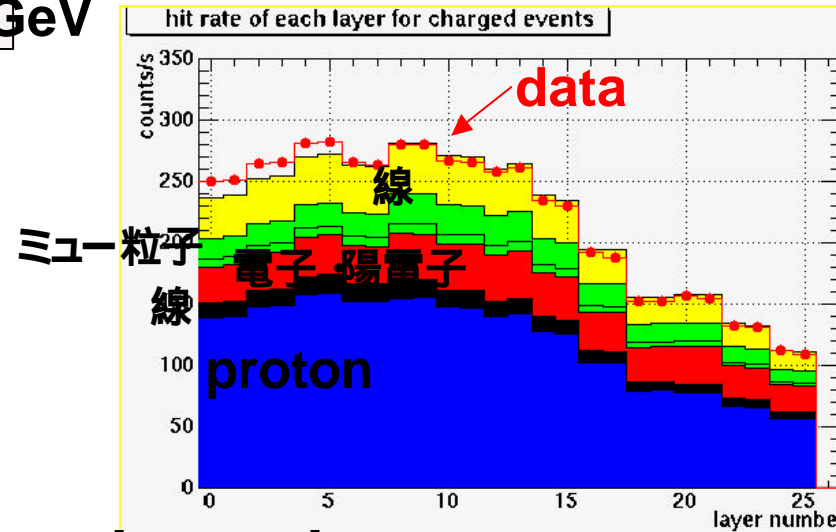
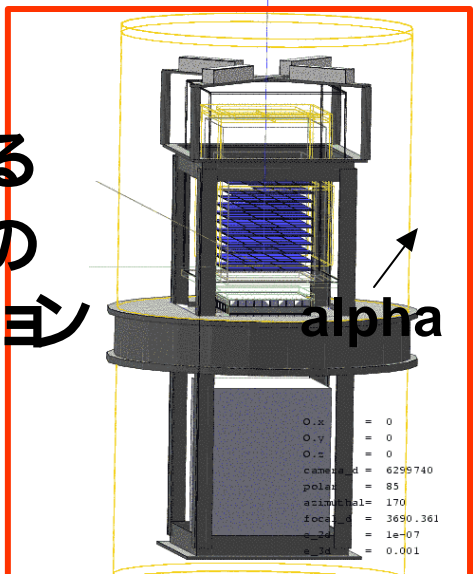
宇宙陽子線のエネルギースペクトル(天頂方向)



現在、FM - GLASTのジオメトリの構築中

宇宙線バックグラウンドモデルもアップデート中

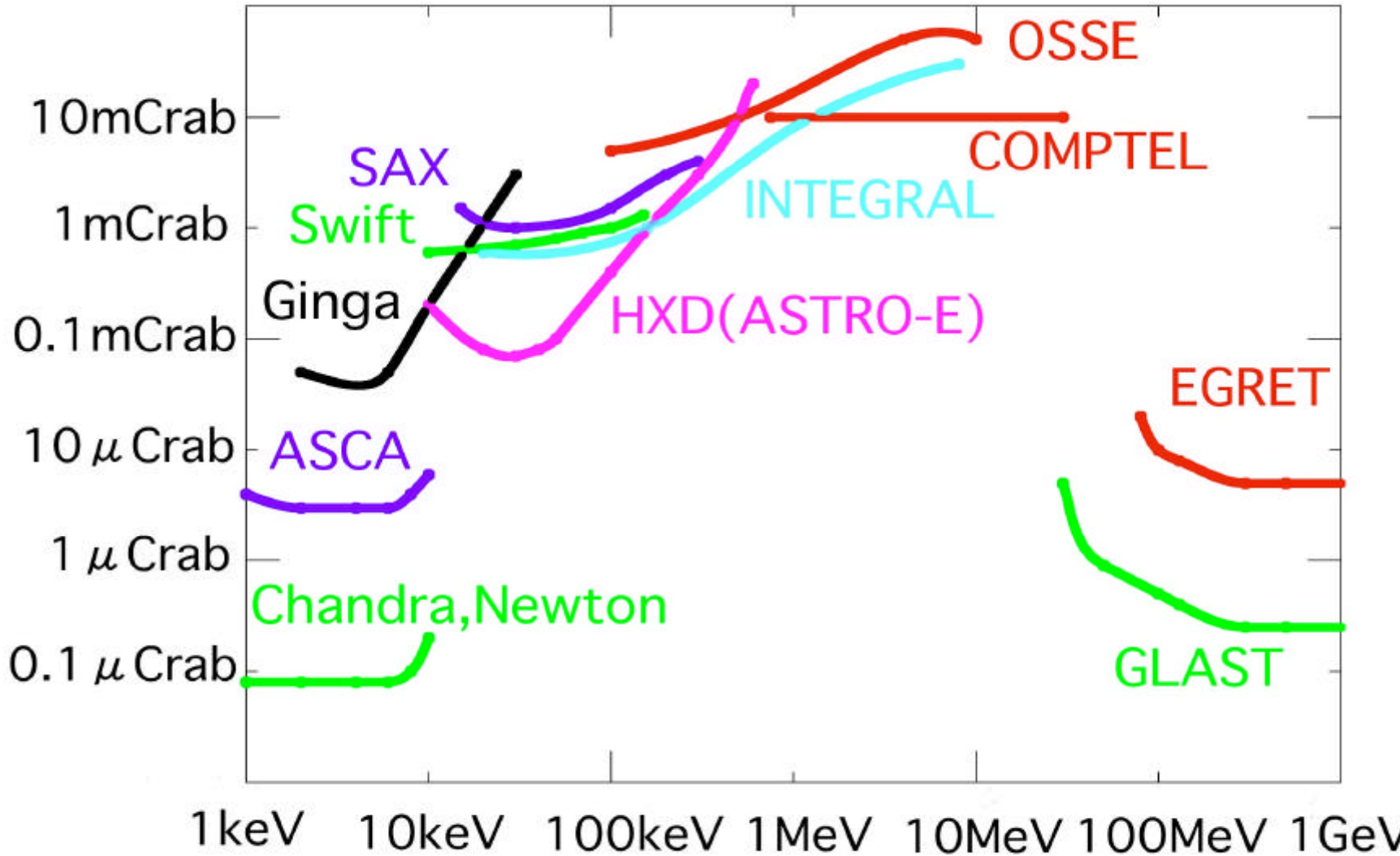
Geant4による
気球モデルの
シミュレーション



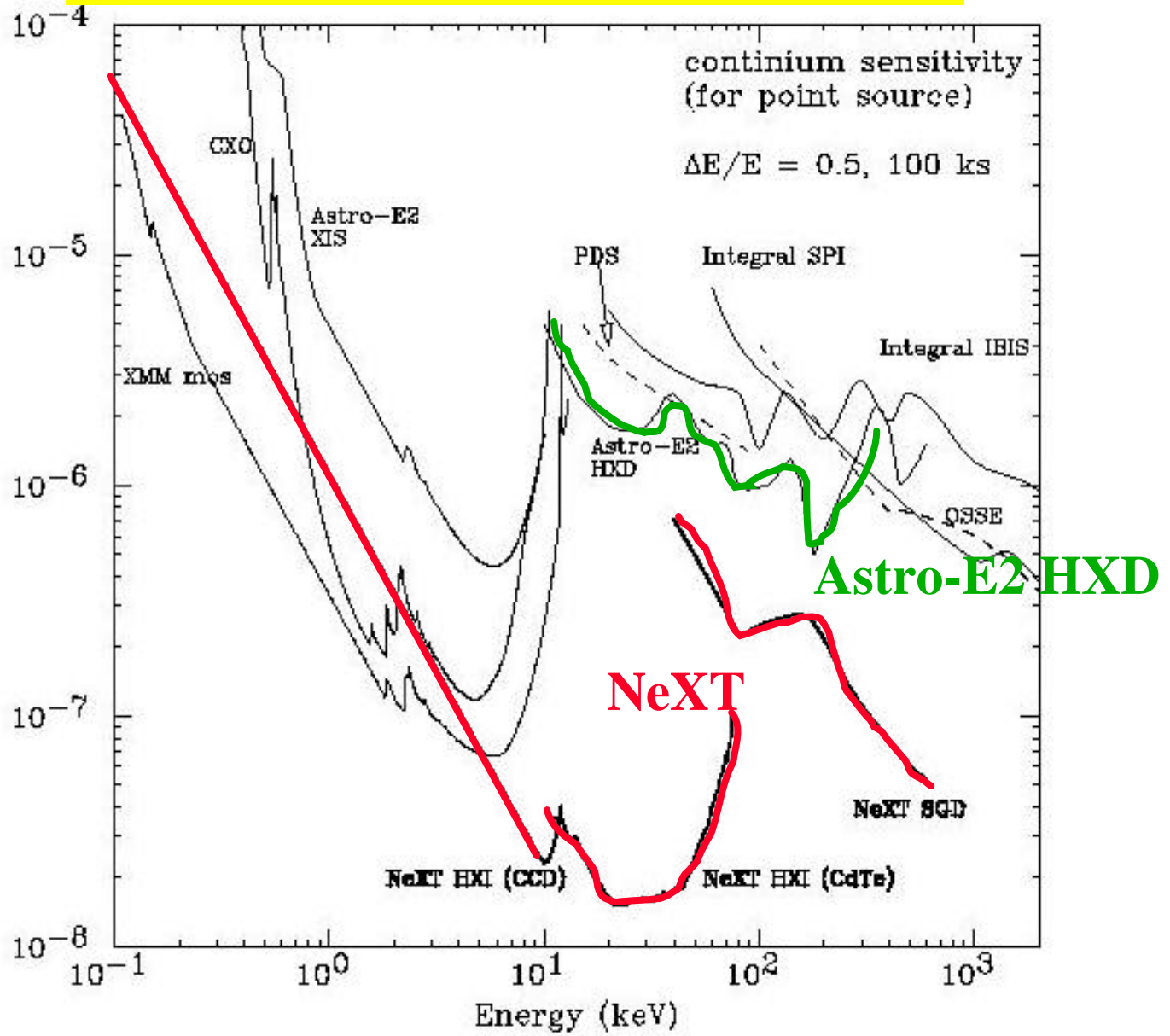
charged events
各シリコン層でのヒット数分布を

ガンマ線観測のエネルギー領域のGAP

Nonthermalな放射を観測するには、多波長観測が重要だが...

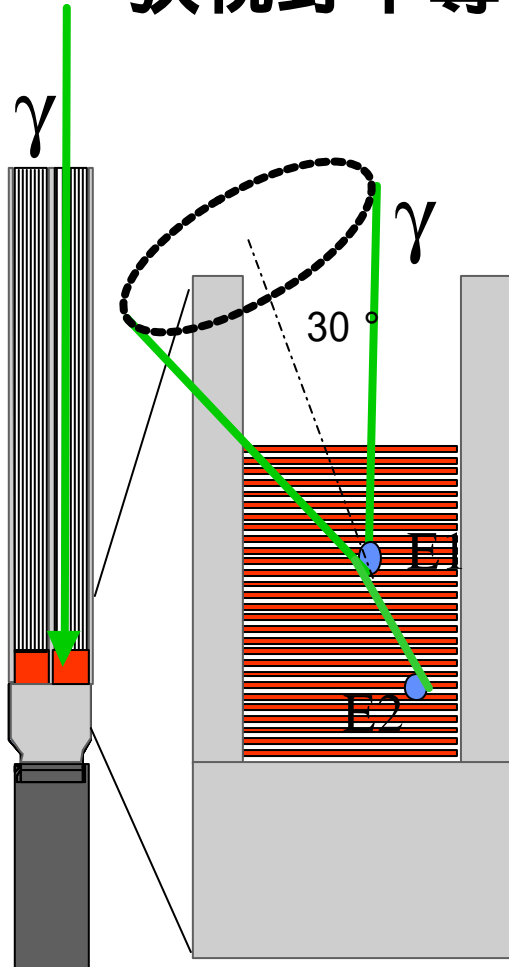


NeXT衛星の予想感度



NeXT SGD

狭視野半導体多層コンプトンカメラ



コンプトン散乱を積極的に利用して、
ガンマ線の入射方向を決定 (角度)

視野を絞ることにより、
バックグラウンド (BGD) を大幅に除去

今まで支配的だった放射化BGDが激減

Contemporary X-ray Missions

Astro-E2	0.5--600 keV	2005-	High sensitivity for diffuse hard X-ray emission High sensitivity above 10 keV Doppler measurement
MAXI	2--30keV	2005-	X-ray mapping of diffuse Galactic X-ray
NeXT	0.5--1000keV	2010??-	
INTEGRAL	5keV--5MeV	2002-	511keV, Al26 line mapping
GLAST	10MeV—300GeV	2007-	

高エネルギー粒子による宇宙のプローブ

宇宙の活動源のプローブ

過去の活動エネルギーを長く保存

電磁放射で見える放射源はすぐに変化してしまうため、過去の現象は観測しにくい。

星間物質に影響 (無視できない圧力、数割)、電離など)

銀河、銀河団の形成、進化に寄与

暗黒物質？

宇宙初期の情報、未知の素粒子

高エネルギー粒子の加速 (非平衡物理、相対論的電磁力学) の理解

衝撃波統計加速、それ以外は？

エネルギー分配、局所的エントロピー減少

加熱加速の関係

高エネルギー粒子の起源 (加速源)

超新星残骸、パルサー、ブラックホール、AGN

スターバースト銀河、銀河団、他は (時空の特異点)？

Non-thermalな硬X線軟ガンマ線放射

シンクロトロン放射

パルサー、SNR、BLAZAR..... ?

制動放射

銀河面放射、SNR (と分子雲衝突) 銀河団??

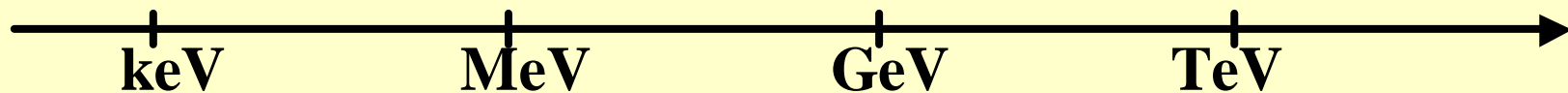
逆コンプトン散乱

SNR??、スターバースト銀河?、銀河団?
BLAZAR、電波ローブ・ジェット

ラインガンマ線

超新星 (残骸) 銀河中心 (511keV) 暗黒物質

電磁放射と電子のエネルギー



電波シンクロトロン

GLAST(制動放射)

GLAST(逆コンプトン)

硬X線、軟線



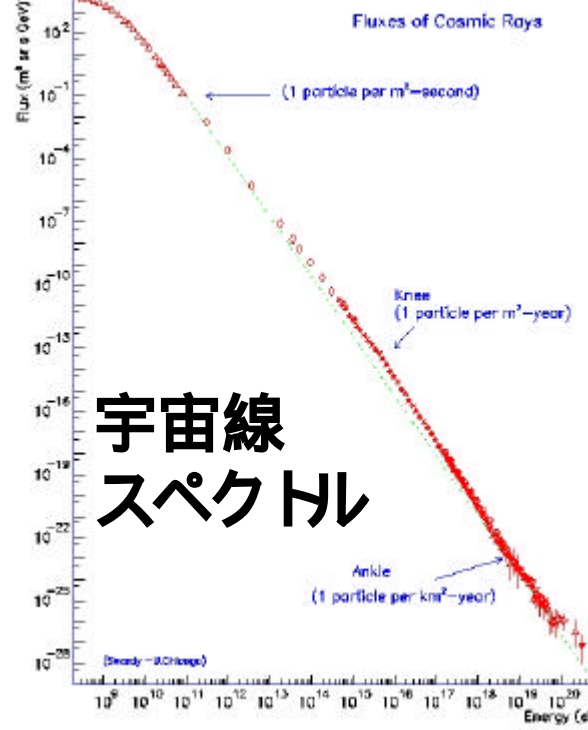
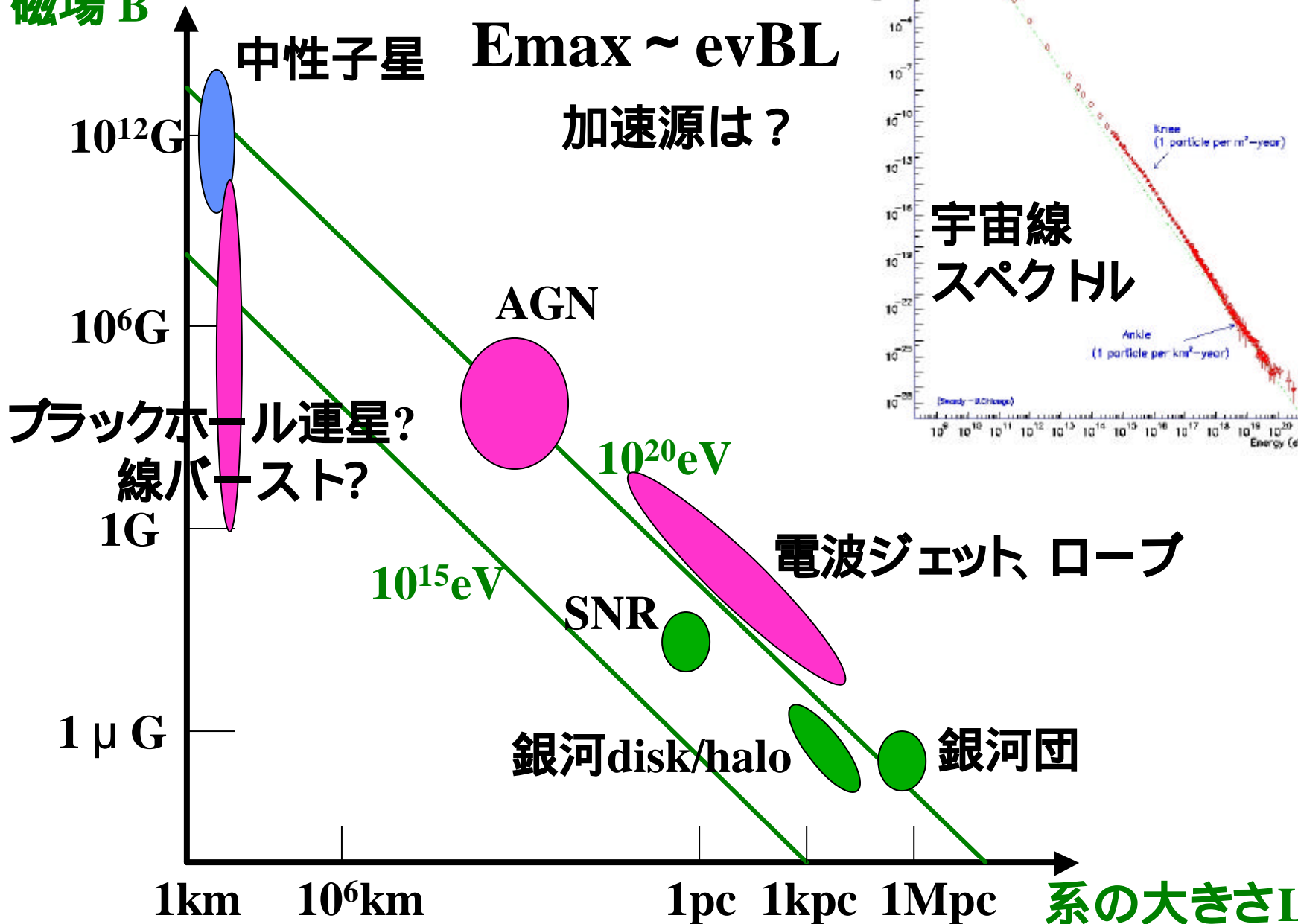
X-ray 制動放射

X-ray 逆コンプトン

X-ray シンクロトロン

Hillas ダイアグラム

磁場 B

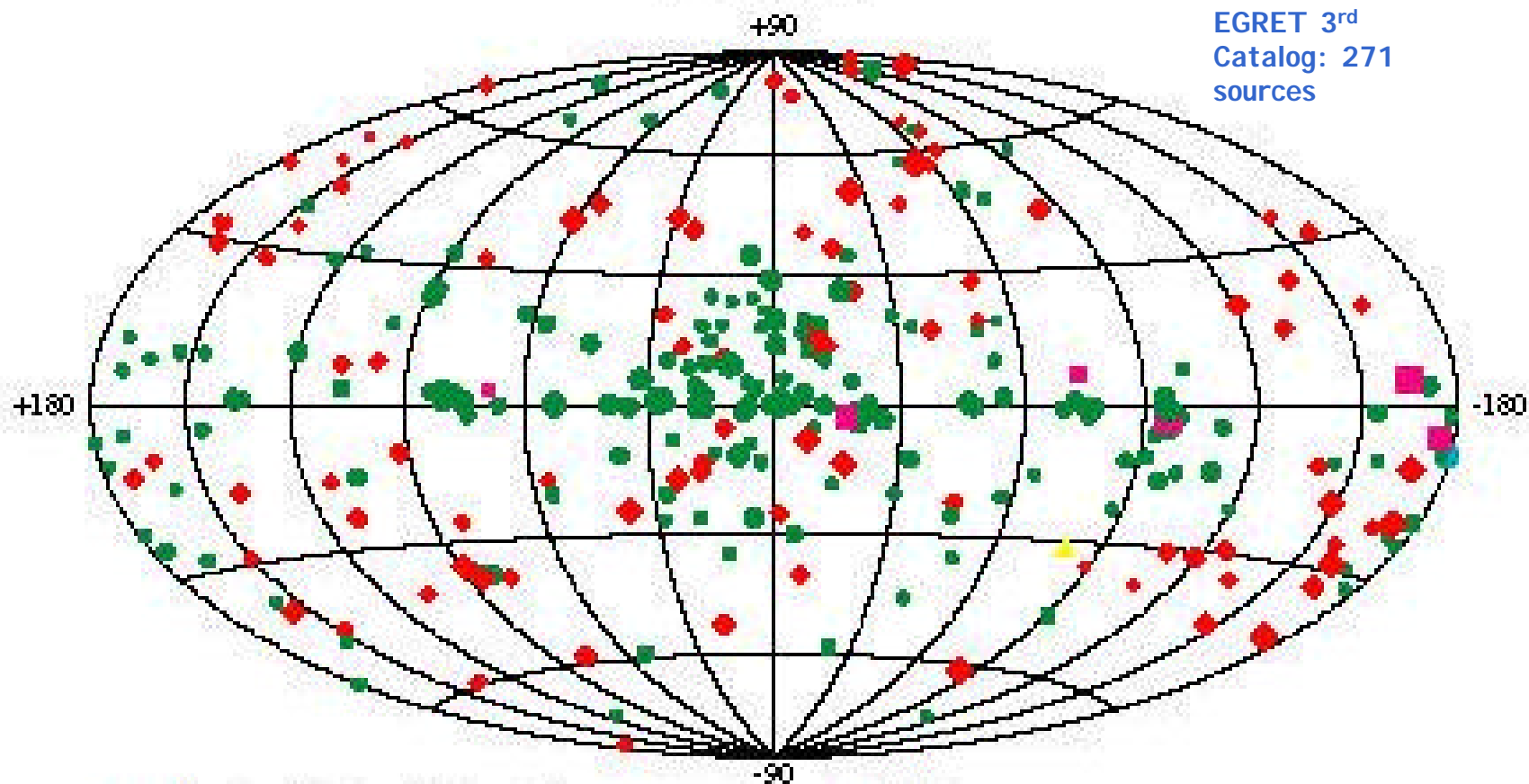


Sources

Third EGRET Catalog

$E > 100 \text{ MeV}$

EGRET 3rd
Catalog: 271
sources



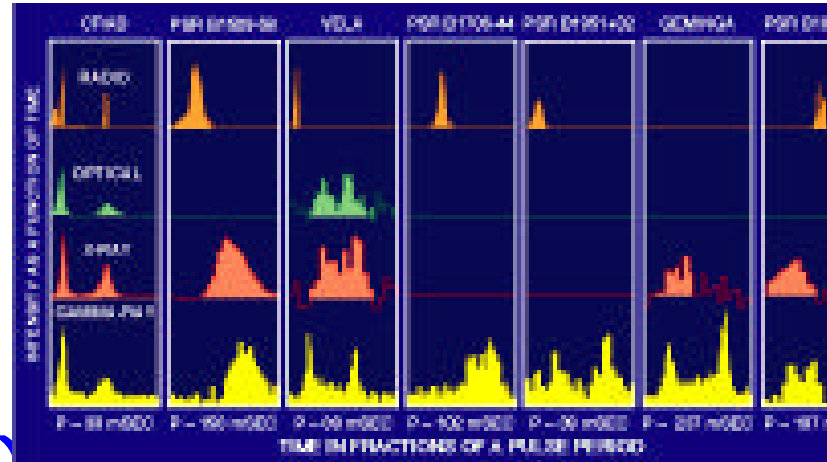
- ◆ Active Galactic Nuclei
- Unidentified EGRET Sources

- Pulsars
- ▲ LMC
- Solar FLare

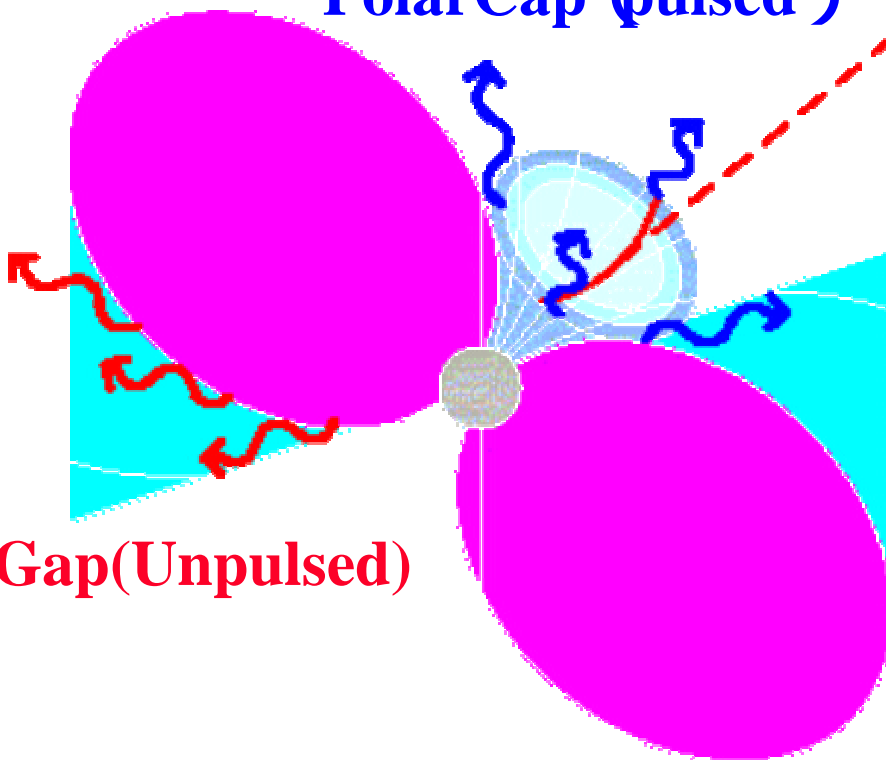
Pulsars (Rotating Neutron Stars)

GLAST will detect >50 pulsars.

Gamma-ray emission mechanisms?



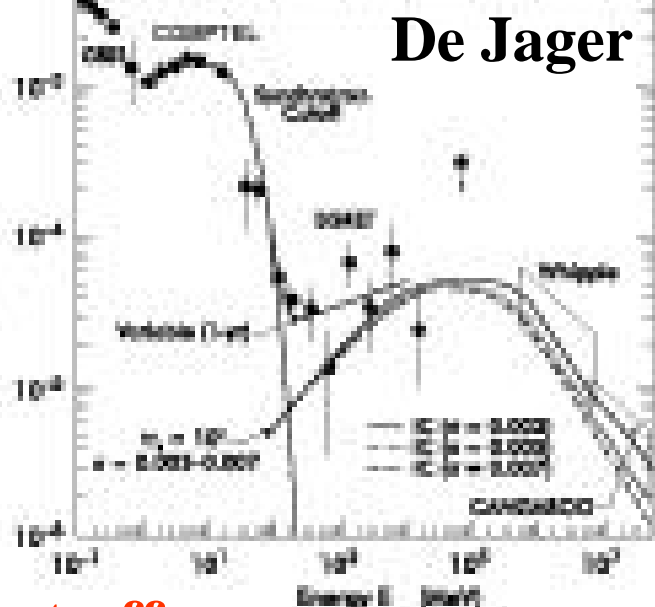
PolarCap (pulsed)



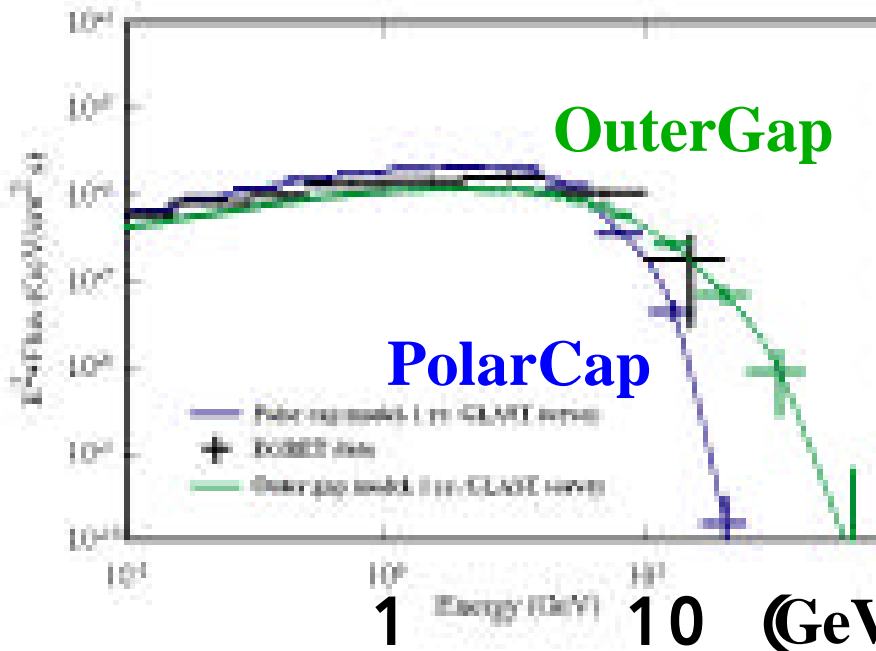
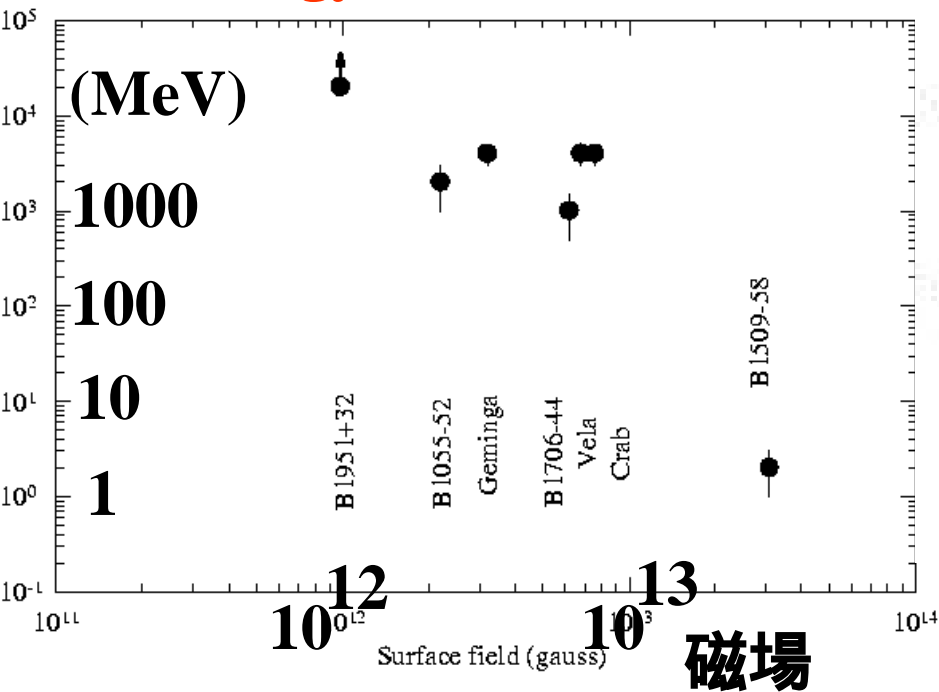
EGRETが検出した7つのパルサーのパルスプロファイル。

Thompson

De Jager

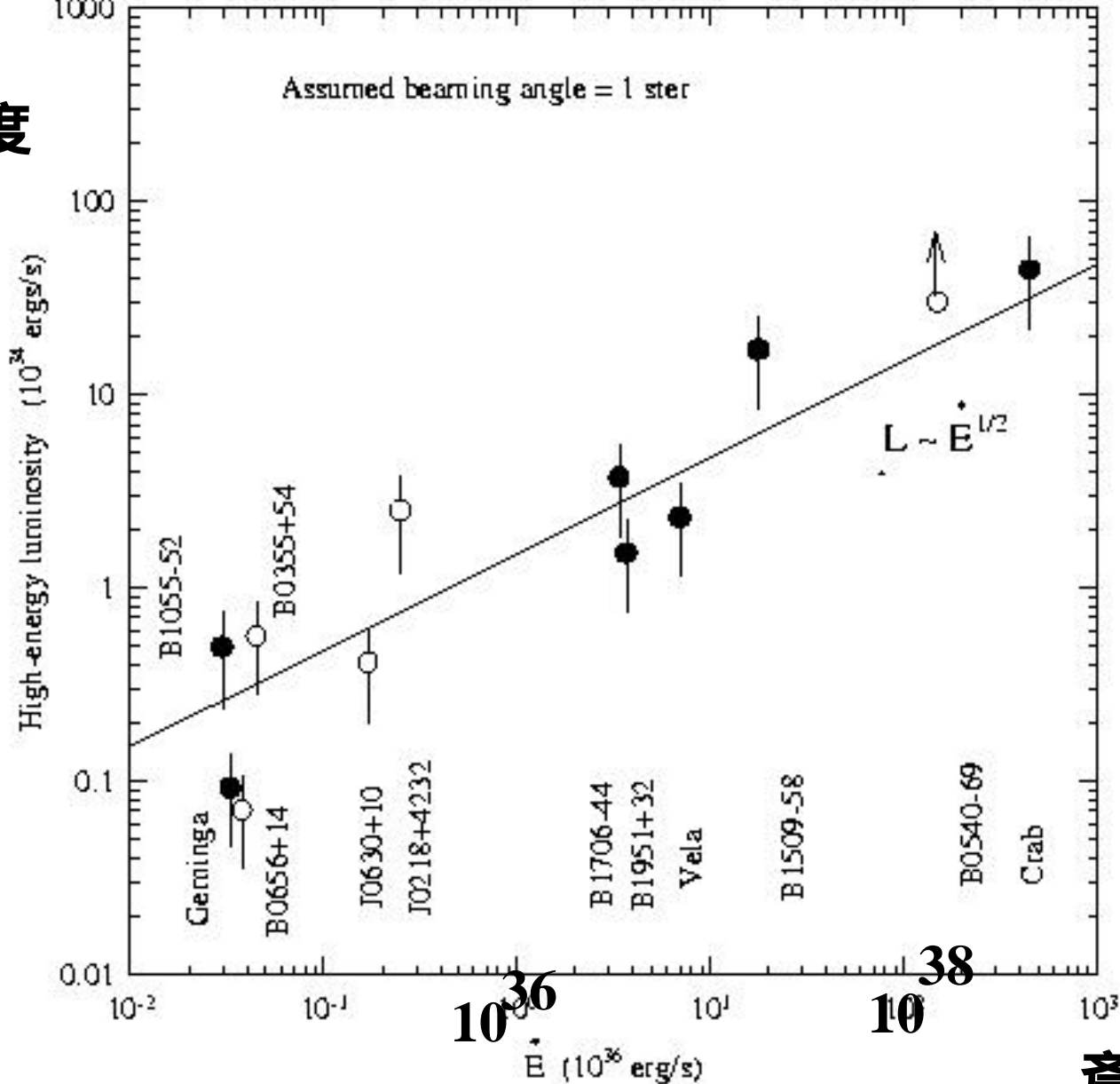


cut-off energy



ガンマ線光度

10^{34}



10^{36}

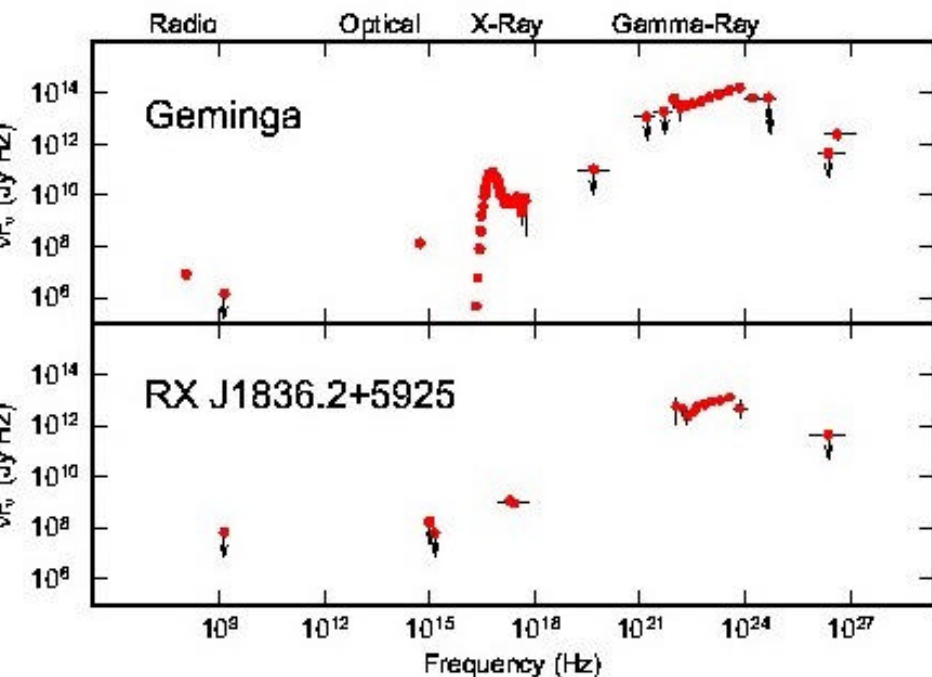
10^{38}

回転エネルギー

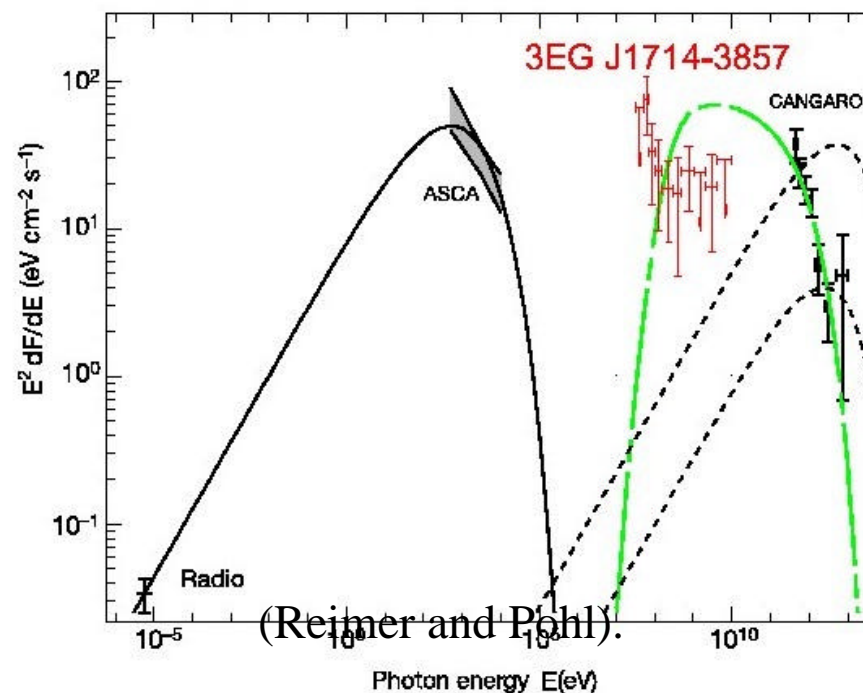
斎藤1997

Unidentified EGRET Sources

新しい天体、物理の発見

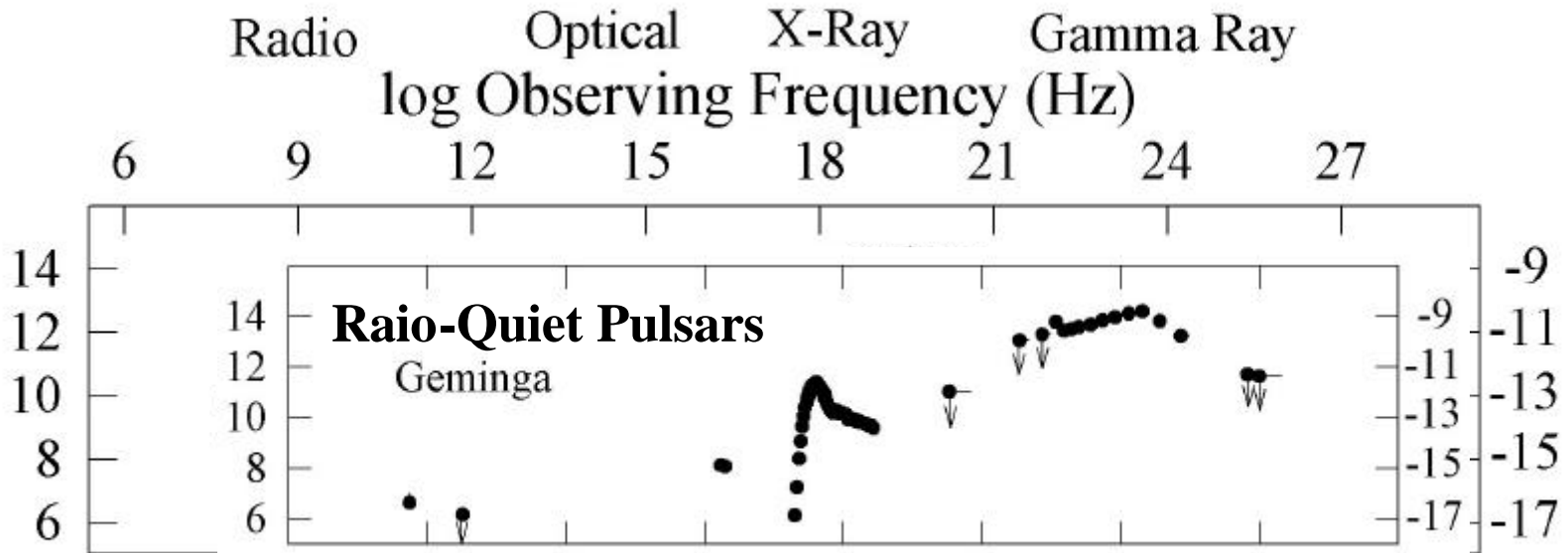


(Halpern et al., Reimer et al.)



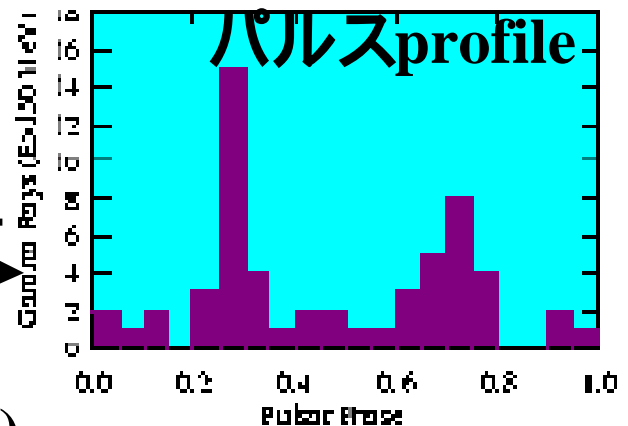
SNR RXJ1713-3946 ?

New Pulsars (like Geminga)



New discovery of Gamma-ray pulsars
(Halperns et al. 2001)

PSR J2229+6114



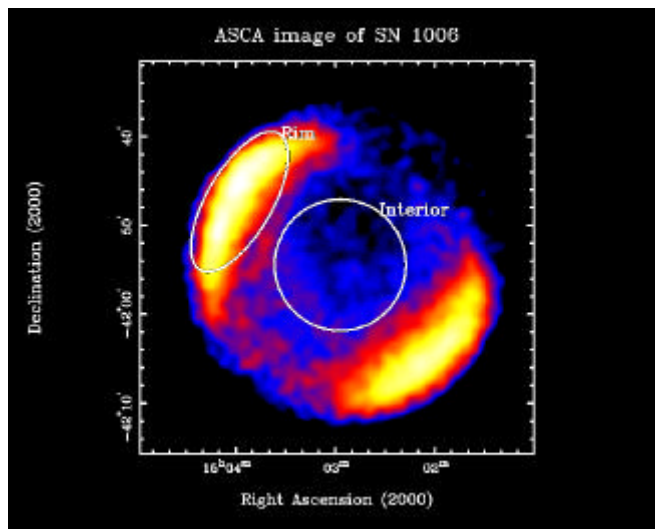
ガンマ線放射候補? (Torres et al. 2001)

PSR J1015-5719, PSRs J1412-6145,
PSR J1413-6141, PSR J1637-4642

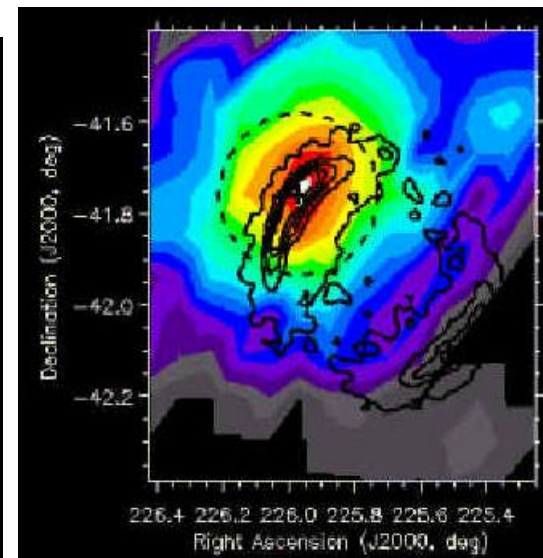
超新星残骸での宇宙線加速

特に陽子

0崩壊のガンマ線



Koyama et al. 1995

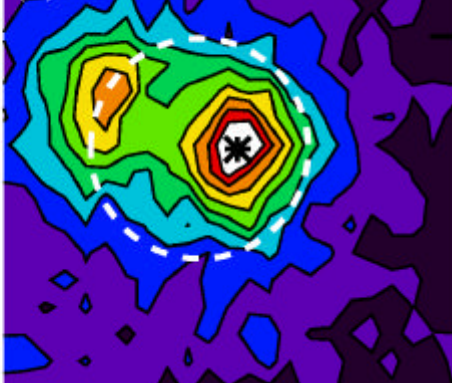


Tanimori et al. 1998

(a) EGRET data (>1 GeV)

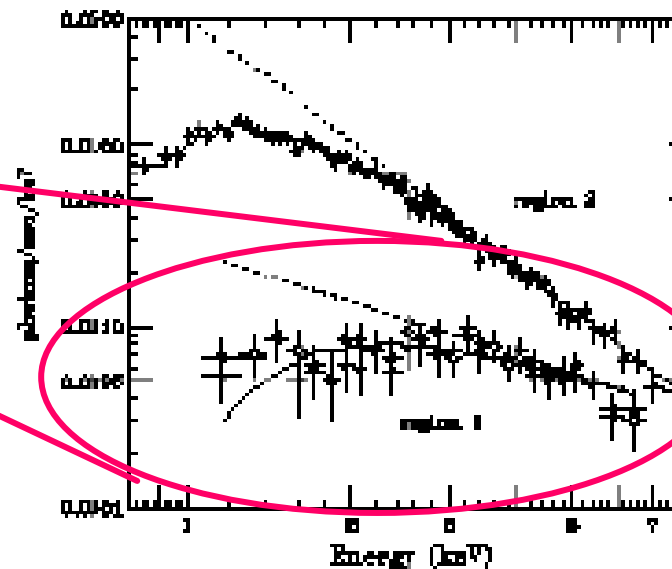
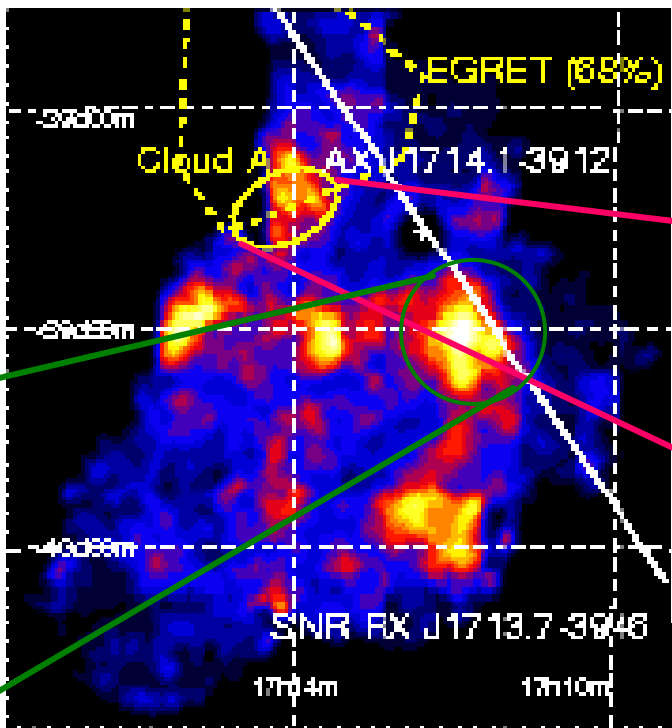
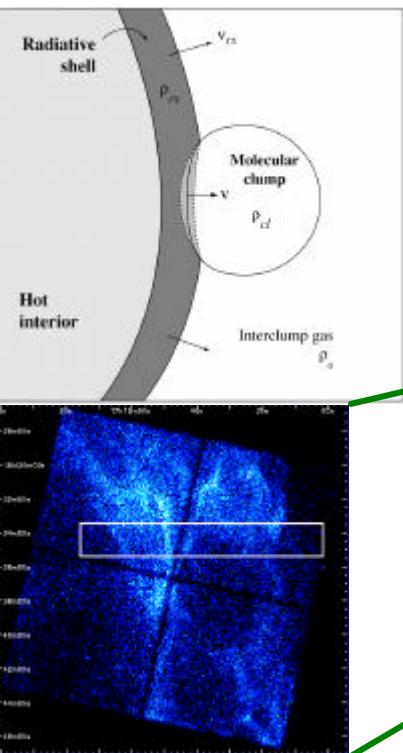


(b) GLAST simulation



超新星残骸と分子雲の相互作用でガンマ線を放射していると考えられる
Gamma CygのEGRETイメージとGLASTシミュレーション

分子雲と衝突している超新星残骸



内山 et al. (ポスター)

フラットなハート成分 制動放射 (Loss flat)

加速源 (シンクロトロン) とターゲット (制動放射)
星生成領域への影響

多数の候補 (-Cygni, W28.....)

詳細なスペクトル

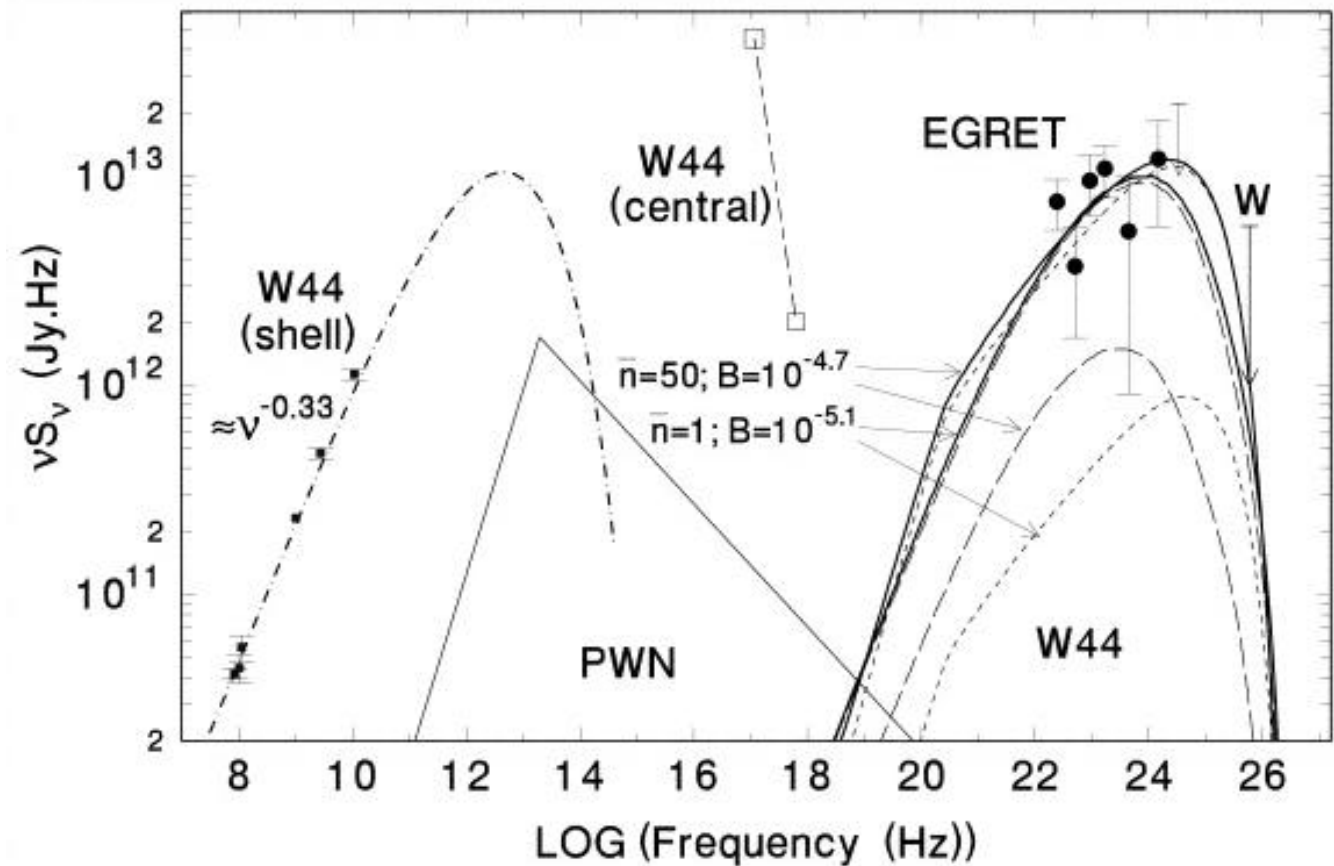
いろいろなエネルギーの電子の測定

放射メカニズムの特定

(Bremsstrahlung?, 逆コンプトン?)

Aharonian, 内山

シンクロトロン、逆Bremsstrahlung by PeV-proton)



De Jager and Mastichiadis (1997).

SNR J1713.7-3946 (Uchiyama et al.) **も重要!**

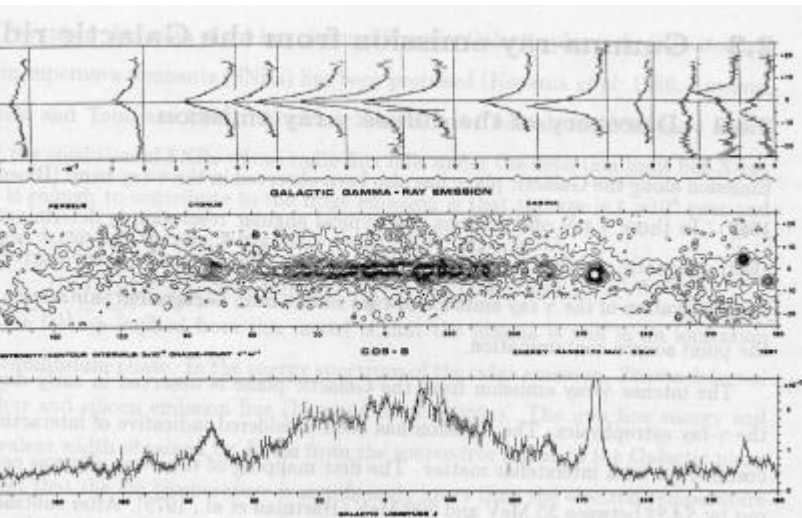
銀河面に沿ったガンマ線放射

- Pi-0 decay (cosmic ray p) * (interstellar gas)
- Bremss (cosmic ray e) * (interstellar gas)
- IC (cosmic ray e) * (interstellar photon)

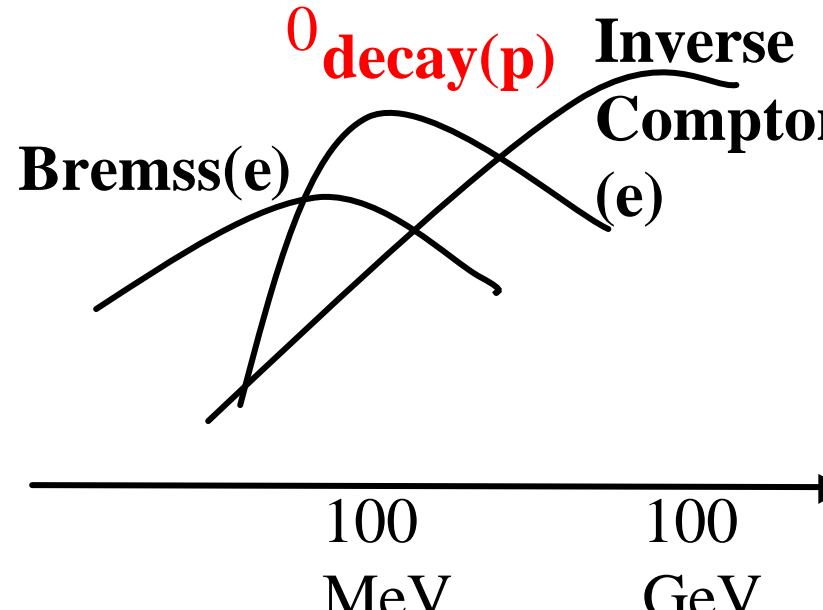
Radio-synchrotron (cosmic ray e) * (interstellar B)

Cosmic-ray Proton, Electron, and Gas (and B)
のエネルギー密度、分布を独立に測定

Energetics という観点から、銀河の構造、形成の研究

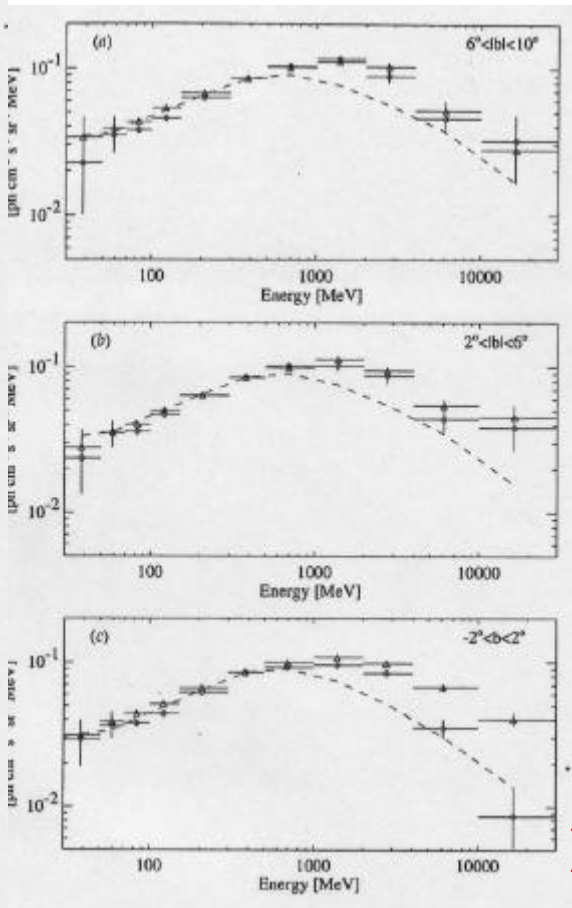
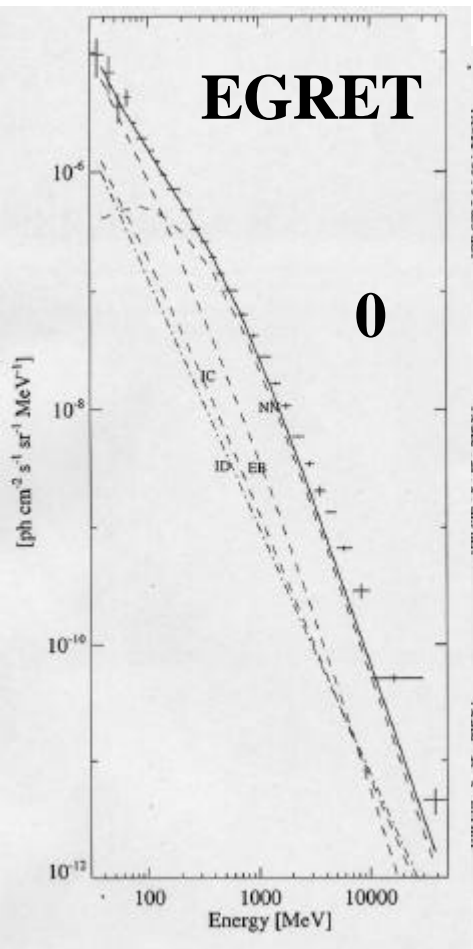


COS-B (Mayer-Hasselwander et al. 1982)



スペクトルの精密測定

点源の寄与をできるだけ小さく、光子数多く



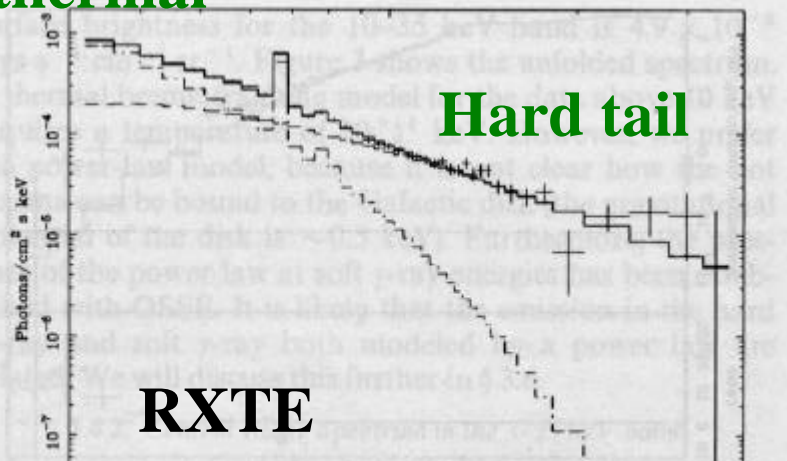
高エネルギー側でexcess?
But high energy cut-off?
TeV (Whipple)

場所によるスペクトルの変化は?

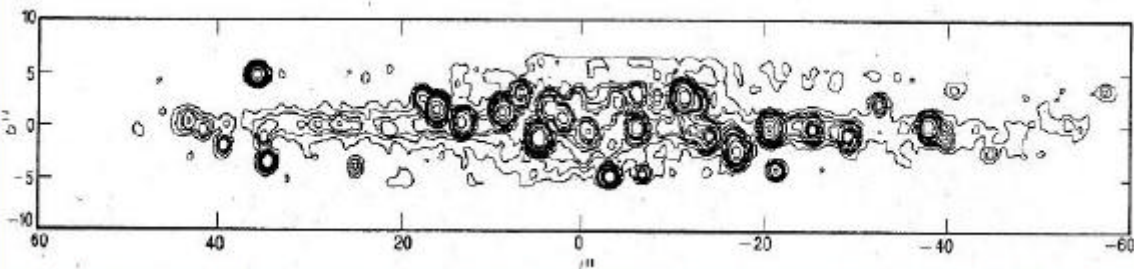
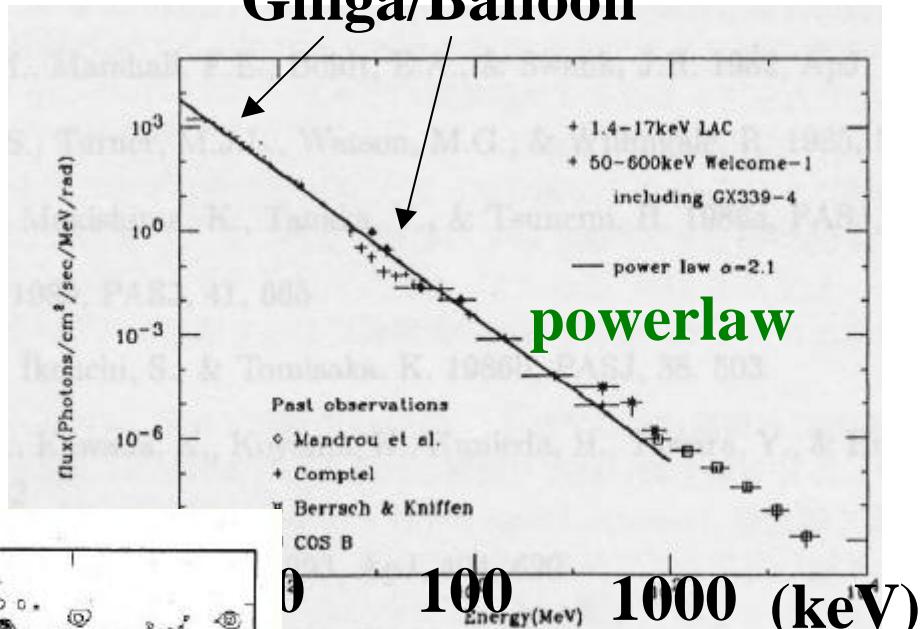
Proton escape in the outer region?

銀河面のDiffuseな非熱的放射

thermal



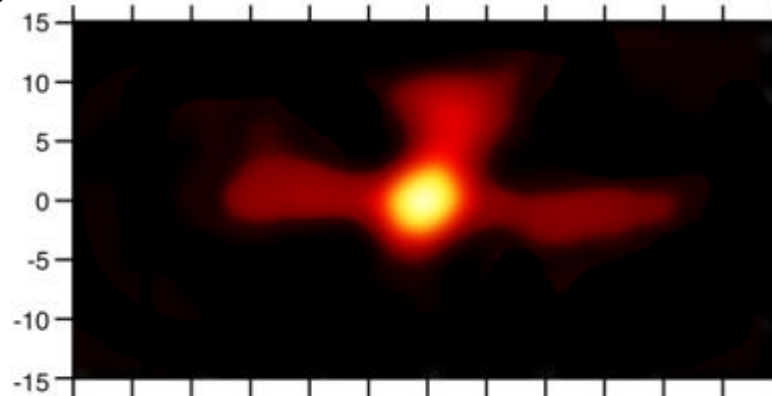
Ginga/Balloon



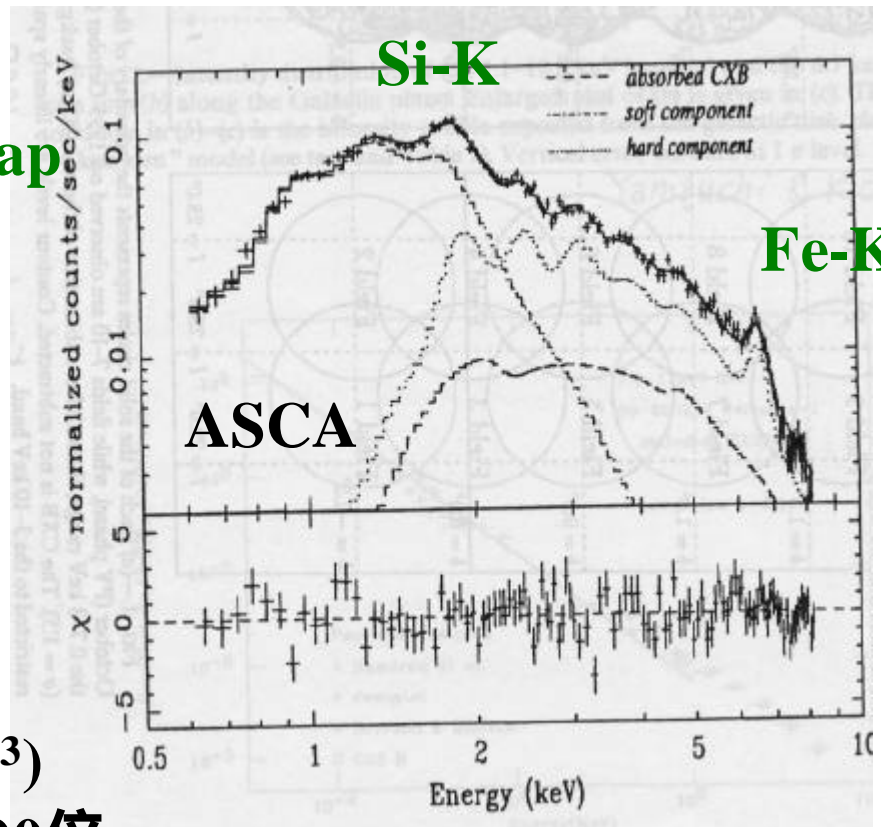
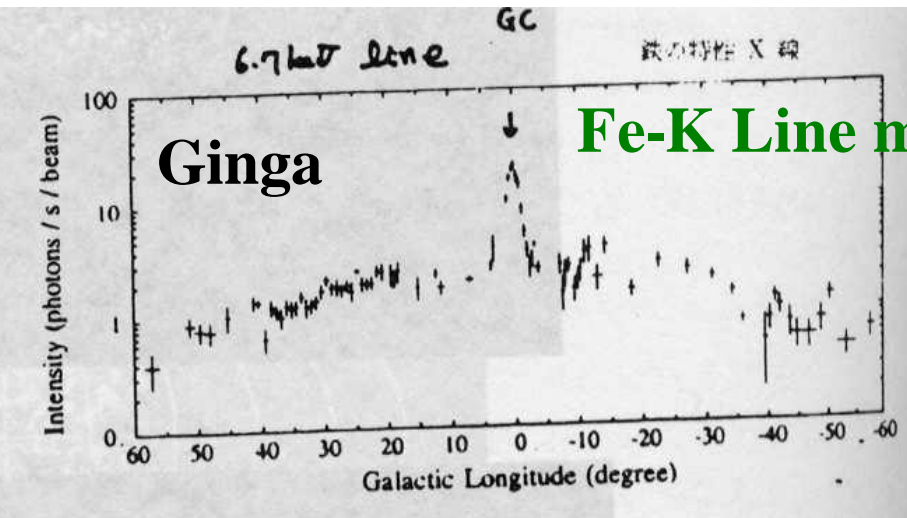
山崎 et al. 1997

銀河面の高温プラズマの加熱と関係？

Diffuse 511keV



銀河面のDiffuseな熱的放射



$kT=3-5\text{keV}$

$L_x=10^{38}\text{erg/s}$

高いエネルギー密度 (10^4eV/cm^3)

他の星間物質の10000倍

重力的に閉じ込め不可能

もし逃げていたら、SN rateで供給不能

Unknown heating and acceleration mechanisms???

X線

kT=3keV プラズマ?

軟ガンマ線

Bremss?

GeVガンマ線

0

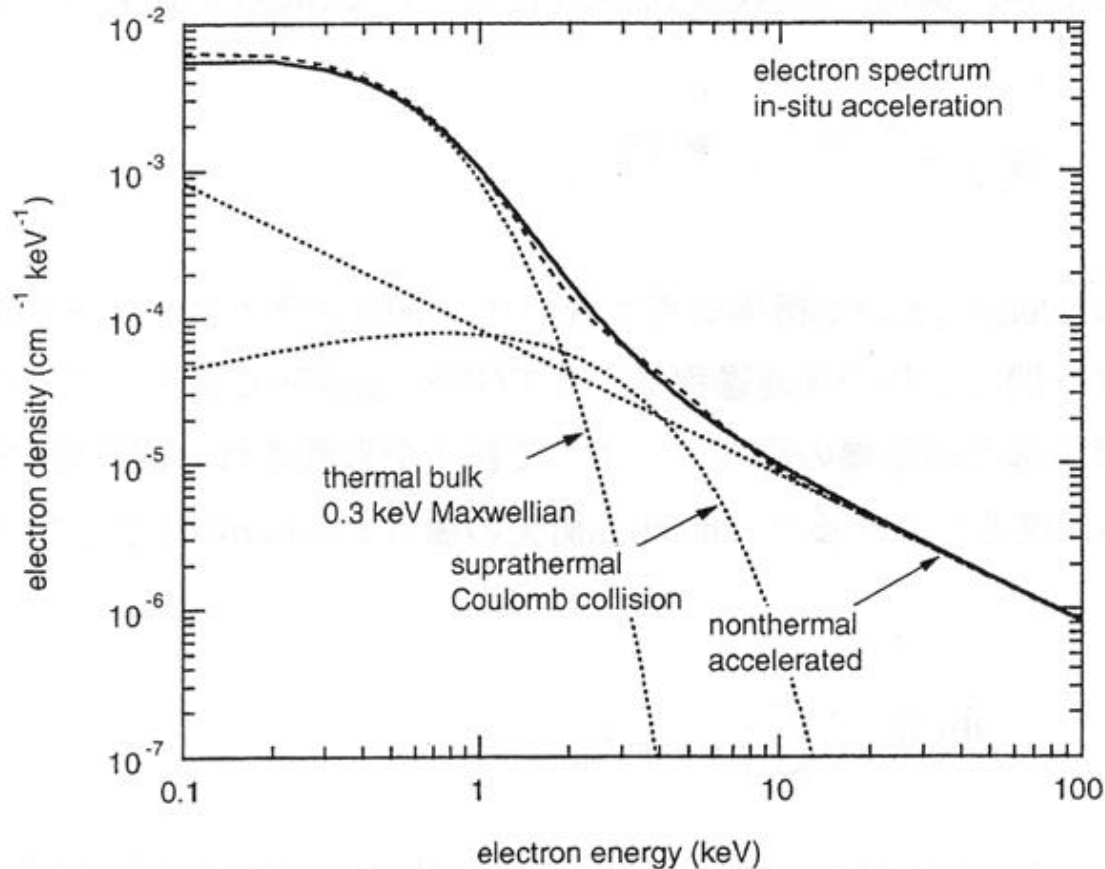
Bremss

逆コンプトン

お互いの関係は?

Electron spectrum

in-situ acceleration



政井et al.

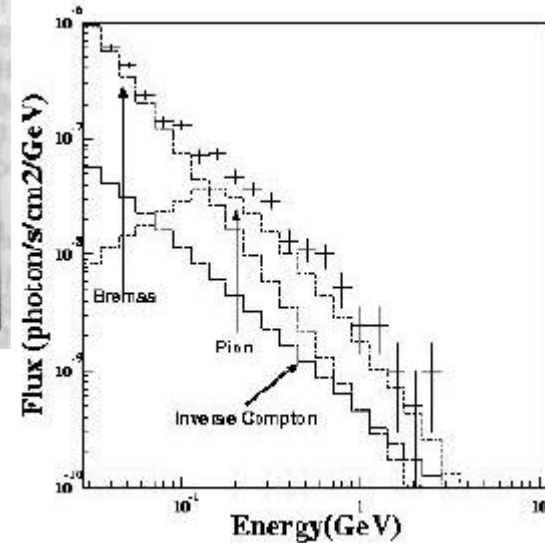
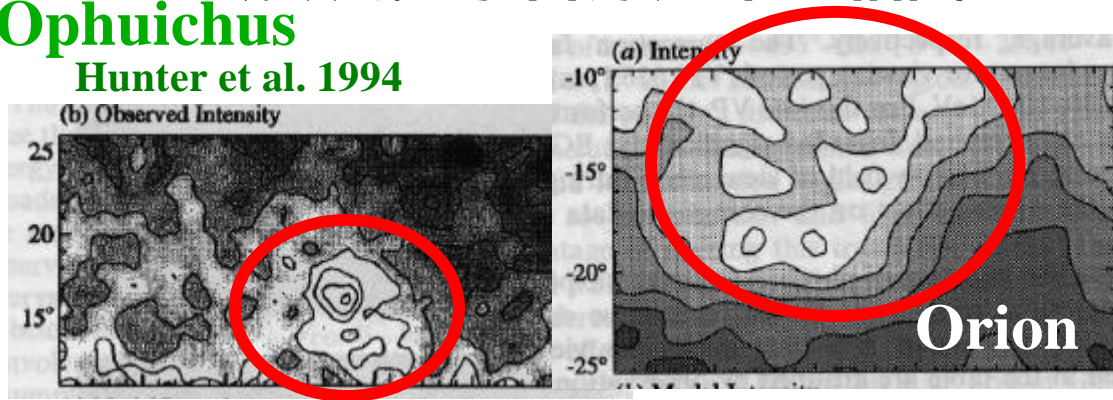
宇宙線による分子雲の探査

~ 50 Giant Molecular Clouds ($D \sim 1\text{kpc}$, $M=10^5 M_{\odot}$)

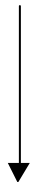
電波との比較で、宇宙線分布がわかる
星生成領域と宇宙線分布の相関？

Ophiuchus

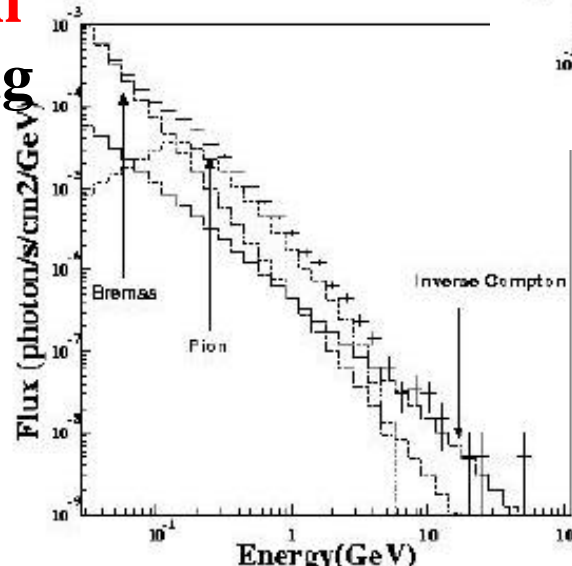
Hunter et al. 1994



Overall proton distribution
 $3 \times 3 \text{ degree}^2$ grid mapping



e and p distribution



Simulated spectra
of GLAST

銀河のCosmic-ray Content

p and e の分布や量の違いは？

電子は young SNRs or spiral arm?

Protonはuniform ?

Energy equipartitionは？

Energy density distribution of p and e \longrightarrow Ionization
Acceleration rate

他の銀河は？

銀河のタイプでの違いは？

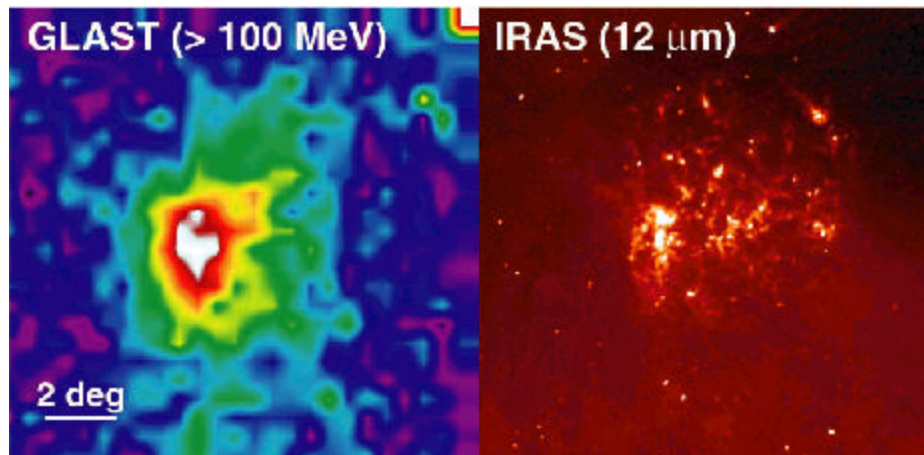
(LMC, SMC, M31, M82...)

SMCは少ない？

clusters of galaxies ?

(Coma Cluster...)

LMC simulation



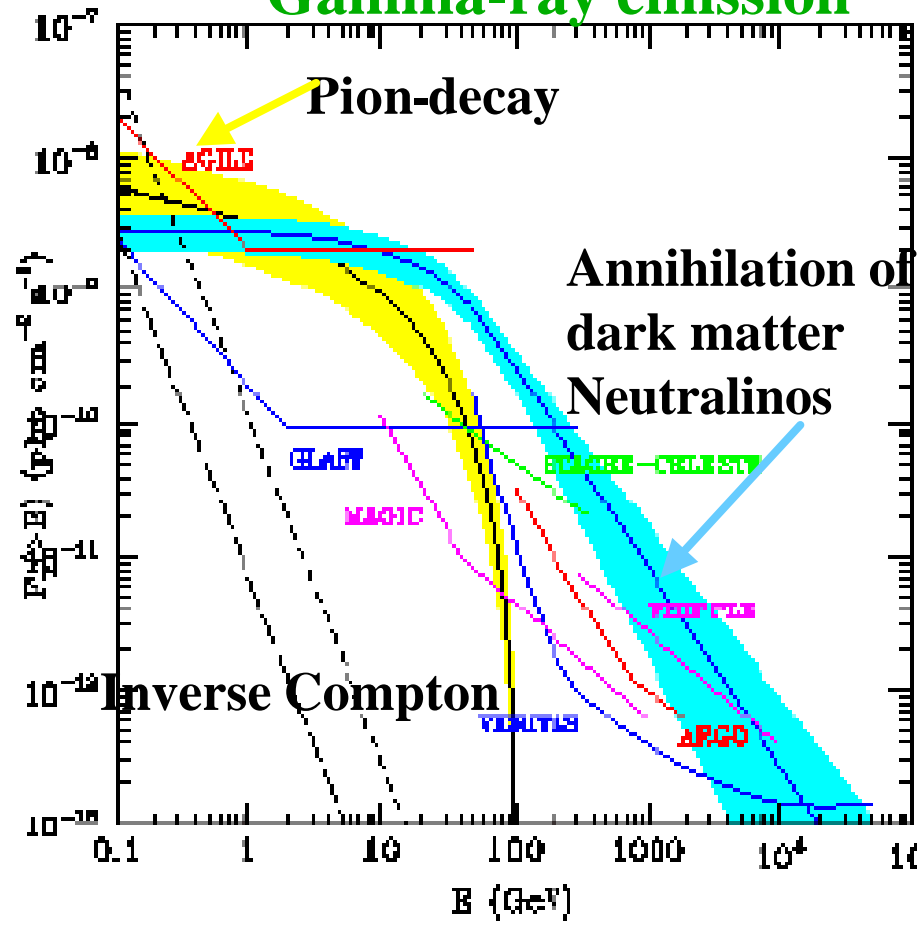
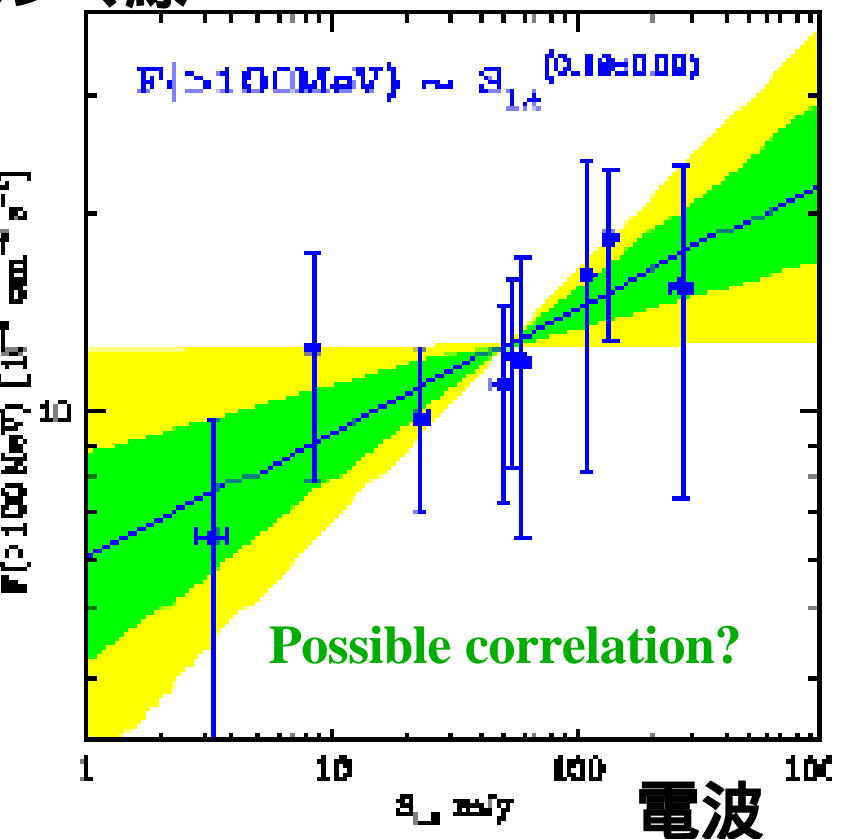
銀河団からのガンマ線放射

Proton?
 Electron? (Totani et al.)
 Dark Matter?

For Abell clusters with 1 degree
 from EGRET sources

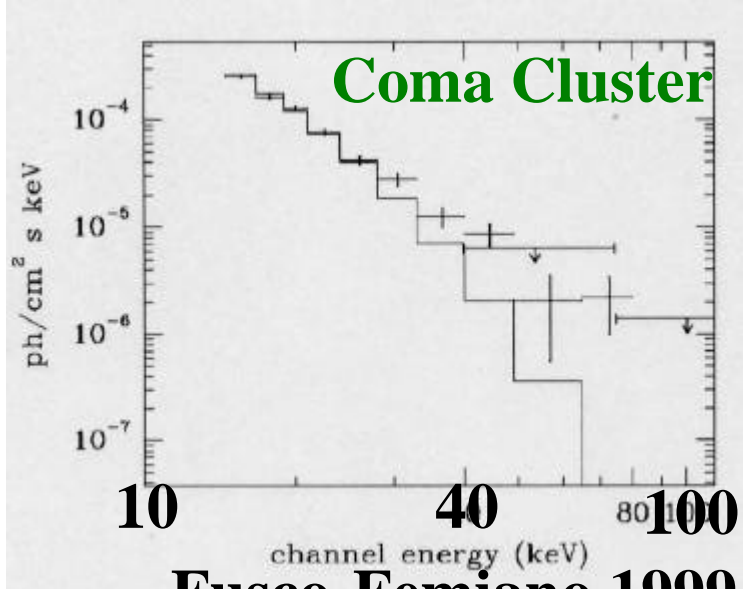
Prediction of
 Gamma-ray emission

ガンマ線

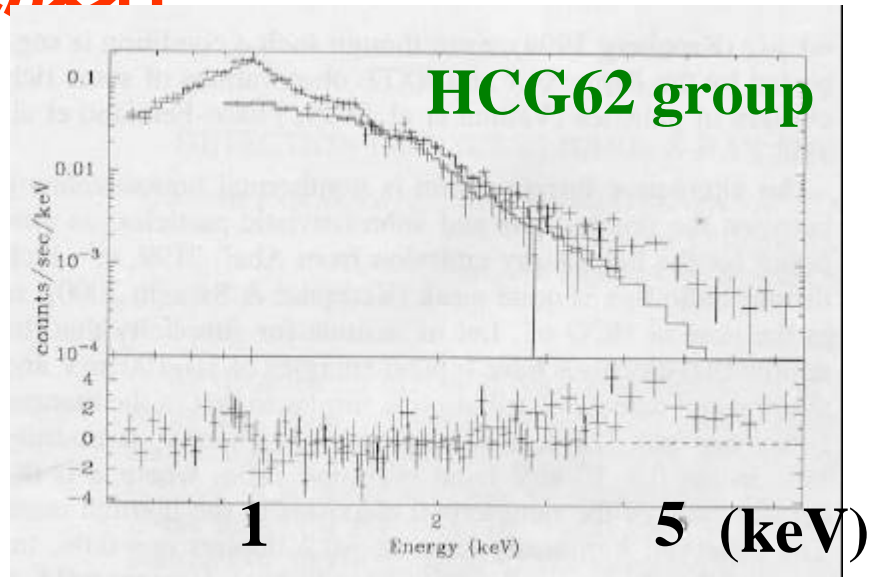


Pohr et al. (2001) gives only upper limits of EGRET

銀河団からの非熱的X線放射



Fusco-Femiano 1999



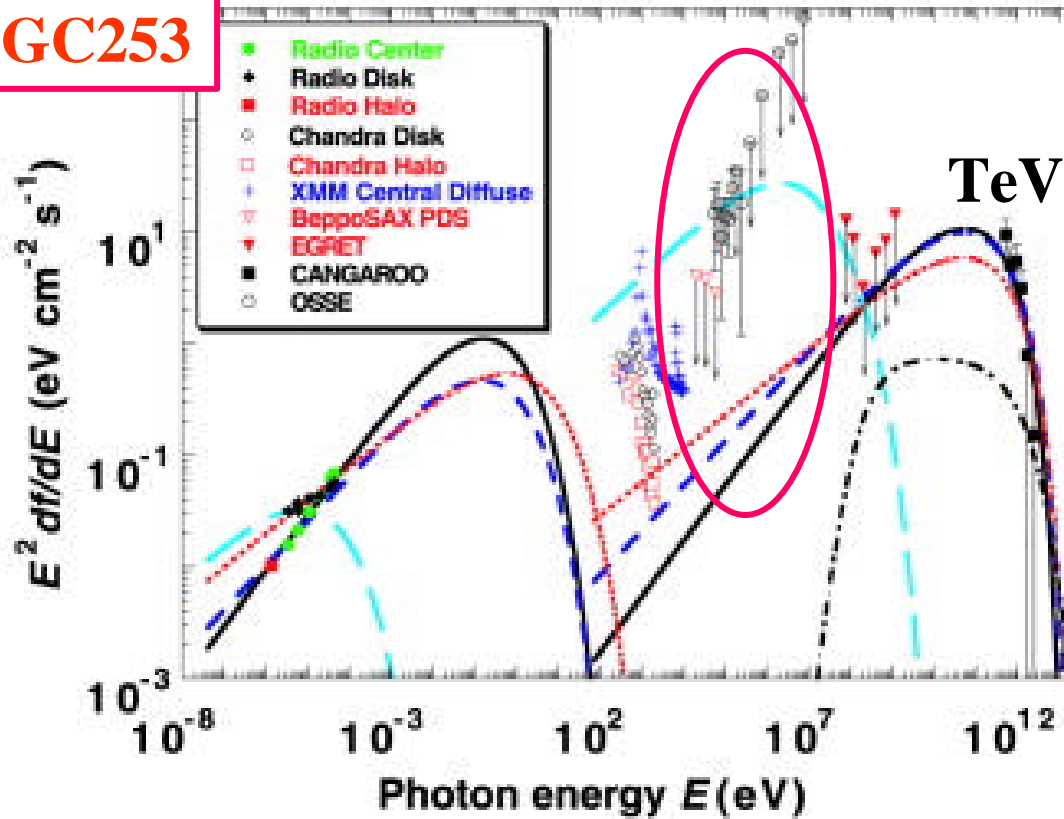
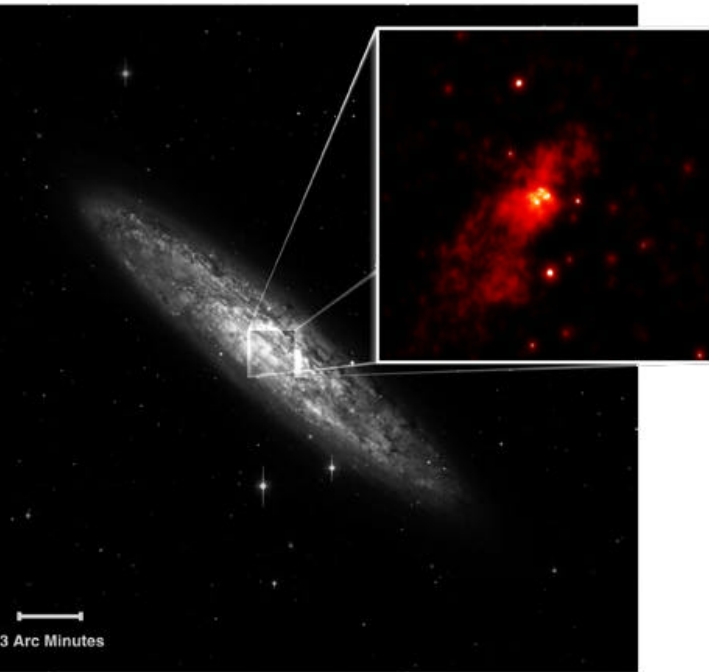
深沢 et al. 2001

逆コンプトン散乱が有力だが、制動放射も棄却できていない
銀河団形成に伴う大規模加速、無視できない非熱的圧力
加熱との関係 (Cooling Flow問題)

多数 (数 10) の銀河団からの放射を検出、イメージング
加速場所、銀河団の種類との関係、進化？
詳細スペクトル (数10 ~ 数100keV)
放射機構の特定、高エネルギー電子の量

NeXT

NGC253



爆発的星生成に伴う銀河風が磁場と相互作用？

新しい種類の加速機構

宇宙初期の星生成に伴う爆発的加速の可能性

イメージング、詳細スペクトル、他の銀河は？

放射機構の解明、加速場所と高エネルギー電子のスペクトル

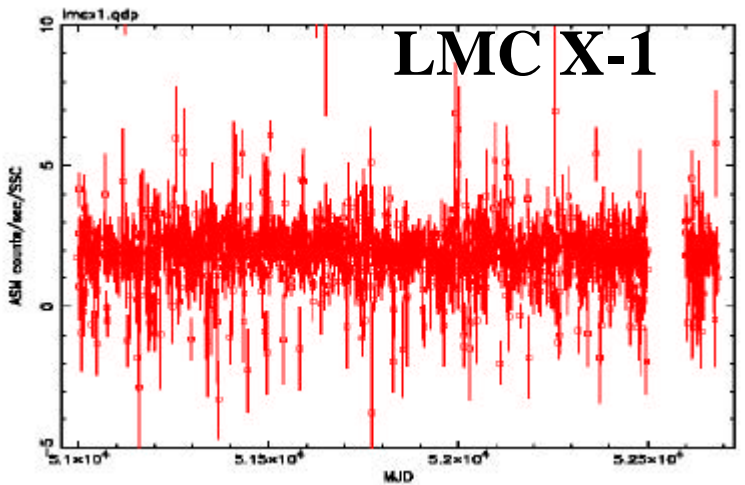
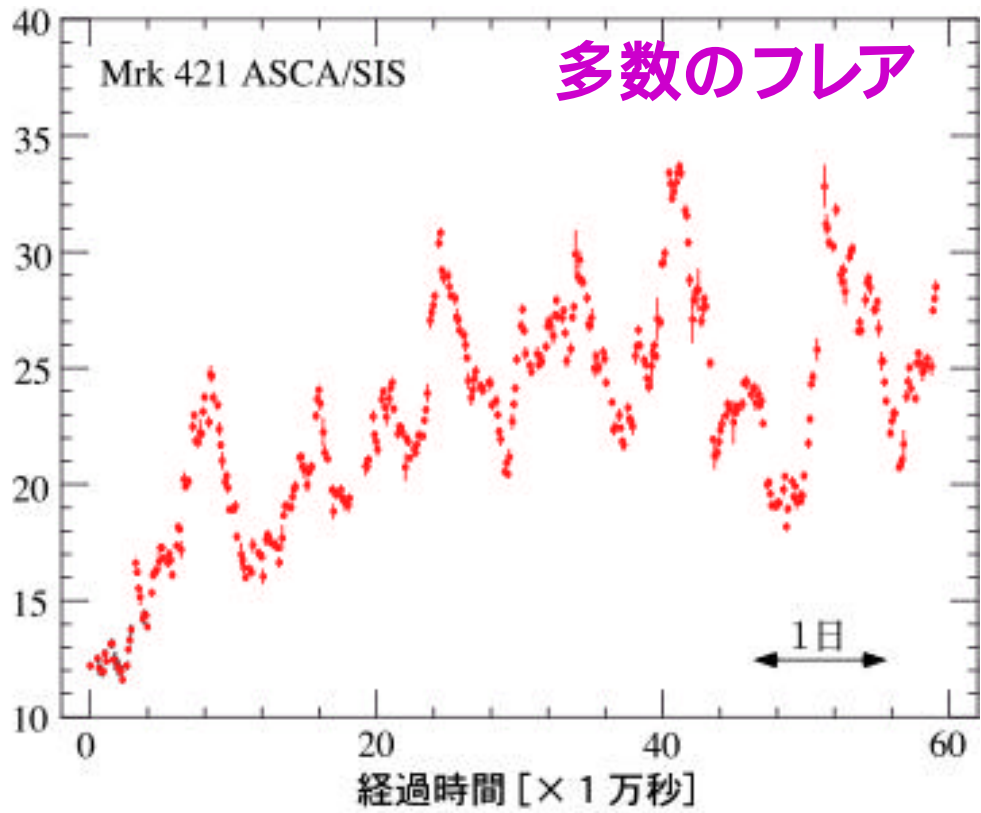
GLASTによるブラックホールからのジェットの観測

高感度、広帯域、広視野、連続モニター観測

- 高感度** 数千のBLAZER天体の検出
Galactic ブラックホール連星?
(マイクロクエーサー)
- 広帯域** スペクトルの形を精度良く決定
逆コンプトン (Internal or External??)
0崩壊の寄与 (e+ or p??)
- 広視野** 一度に多数の天体をモニター
- 連続モニター** 数年におよぶライトカーブが多数
フレア機構、周期性、種類分け.....

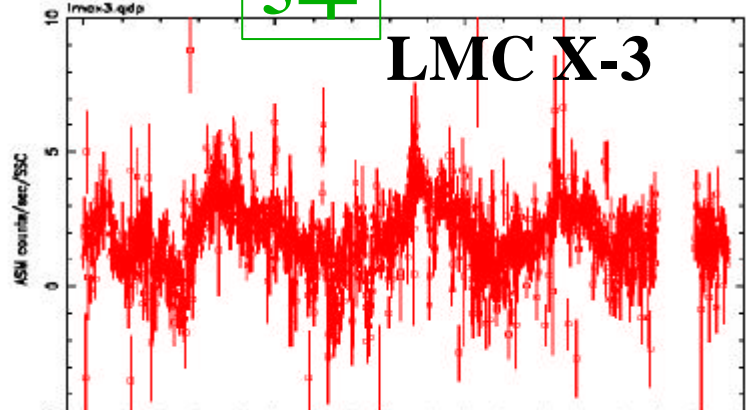
連続モニター観測によって、ブラックホール天体の知られざる姿が浮き彫りとなる。

RXTE ASMによる
ブラックホール天体の
長時間ライトカーブ



5年

A green double-headed arrow spans the width of the LMC X-1 plot, with the number '5年' (5 years) written in green inside a white box with a green border.

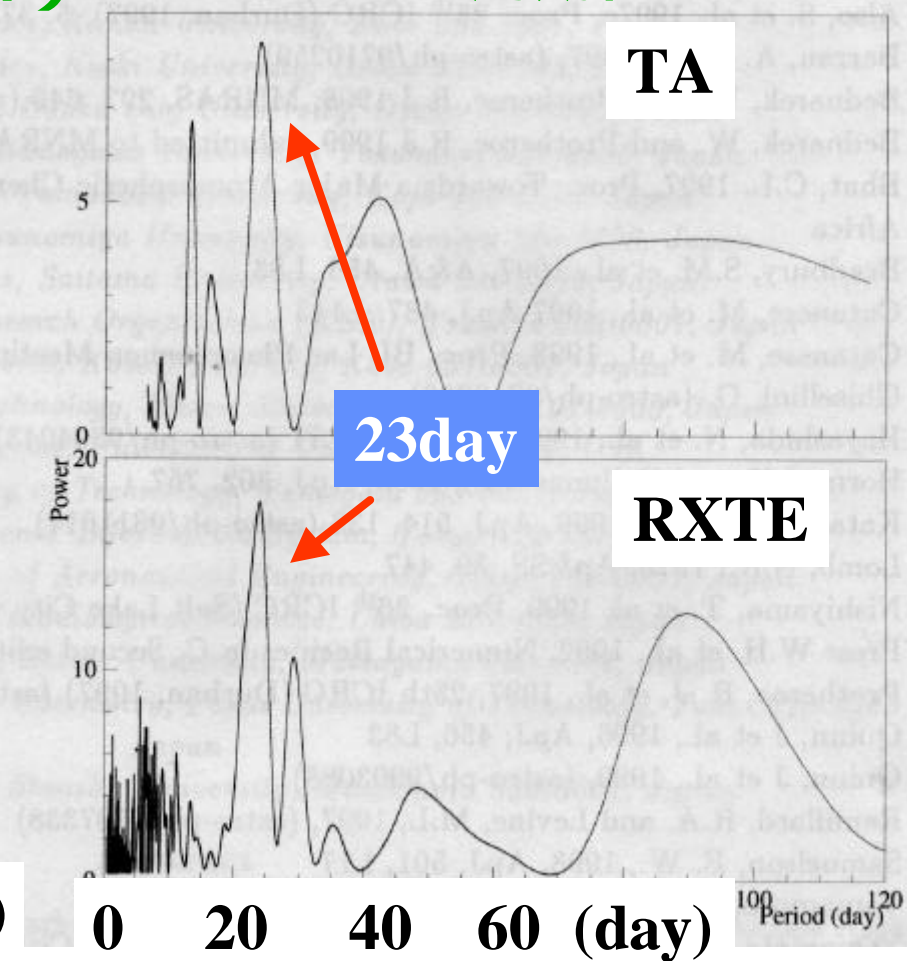
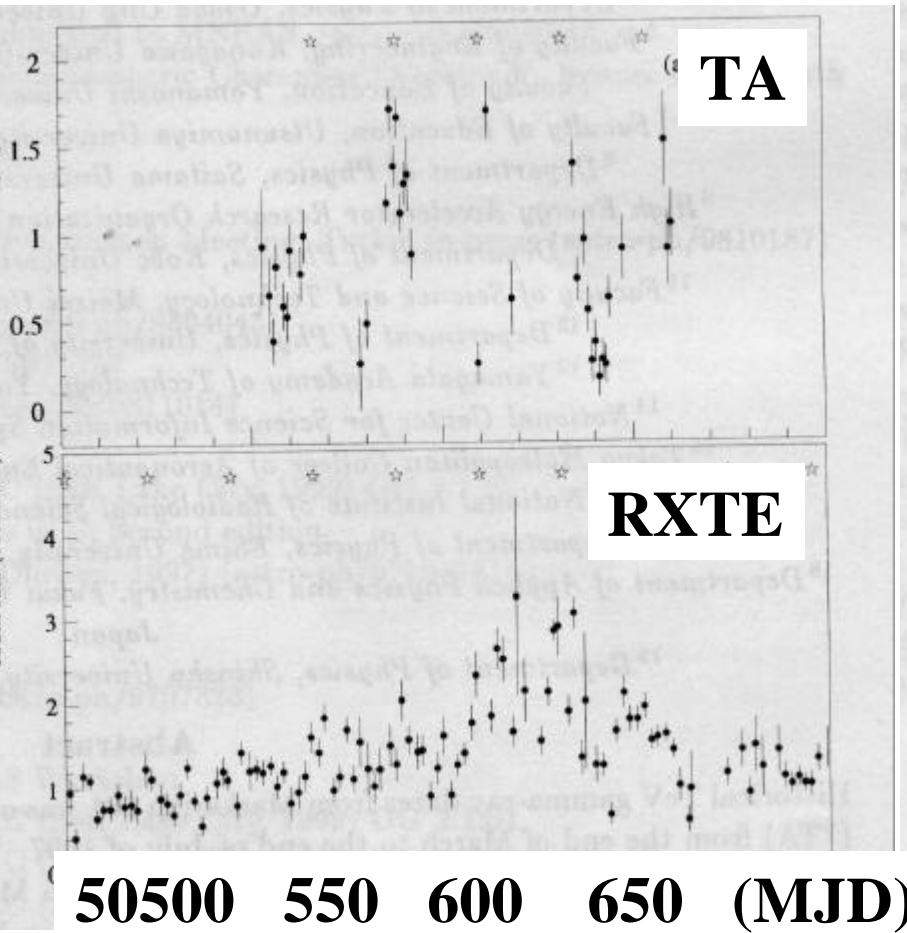


周期性の発見？

ジェットの歳差運動？、ブラックホールの合体の直前？

Mrk421 ライトカーブ (1997)

周期性



多波長同時観測

スペクトルの時間変発展

波長間の time lag

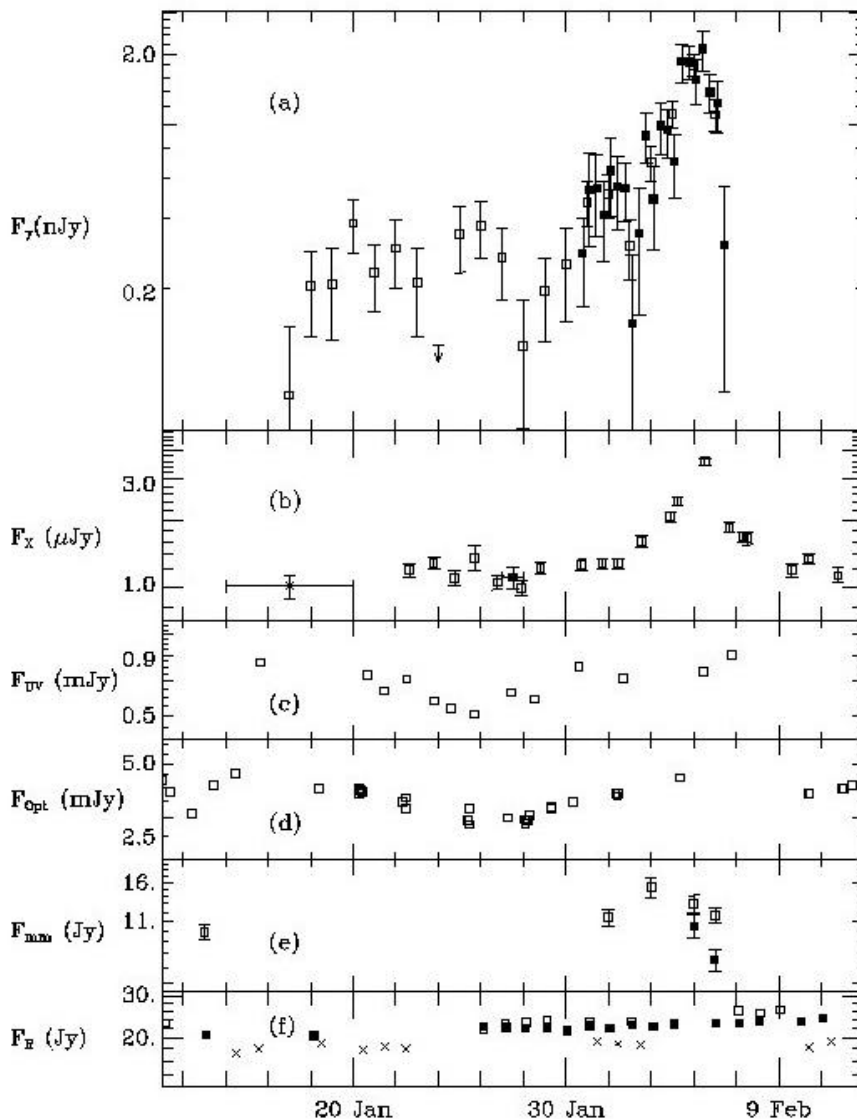
Rise time等の違い



ジェットの放射メカニズム

加速機構

詳細なライトカーブ



3C279

ガンマ線

X-rays

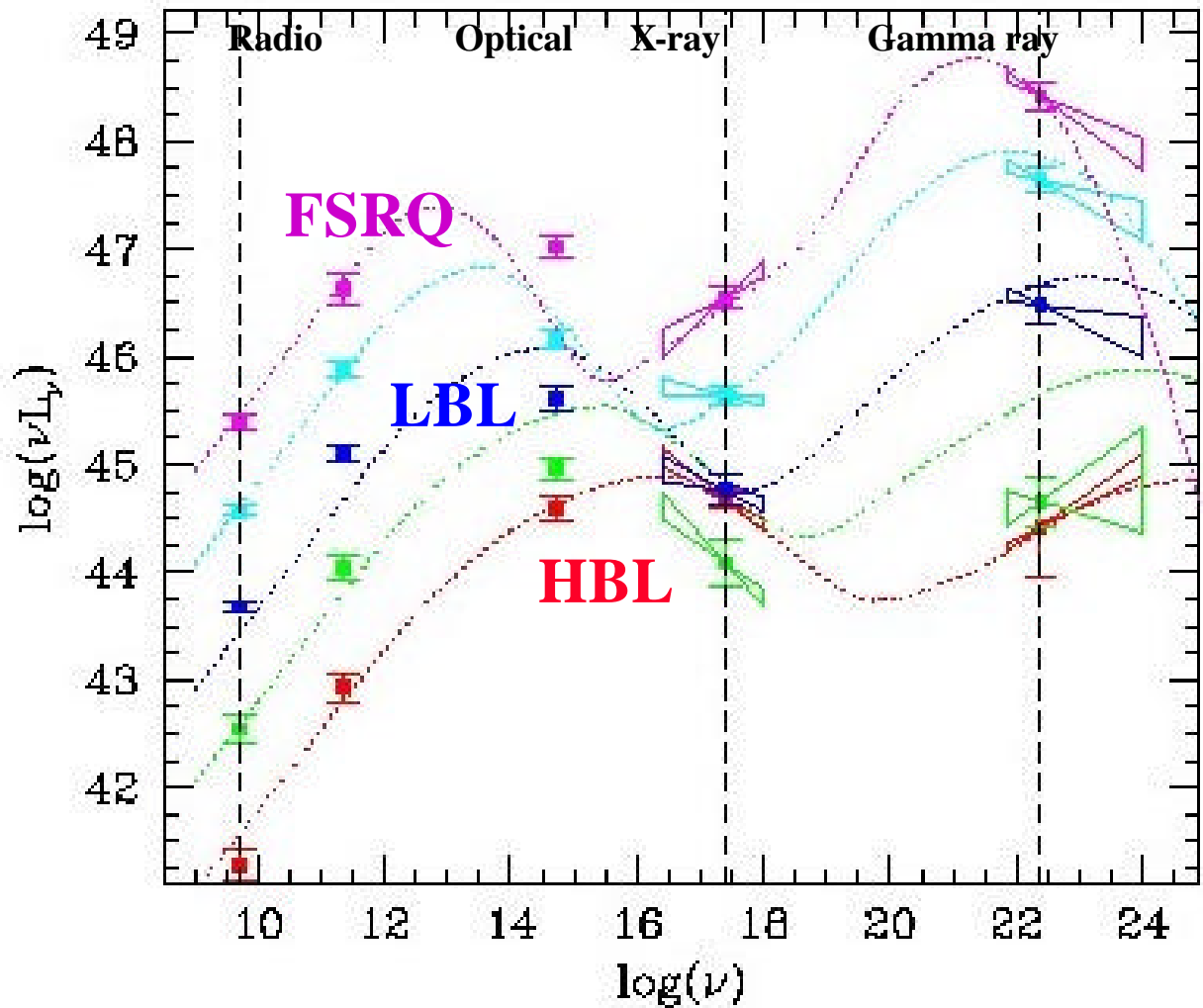
UV

Optical

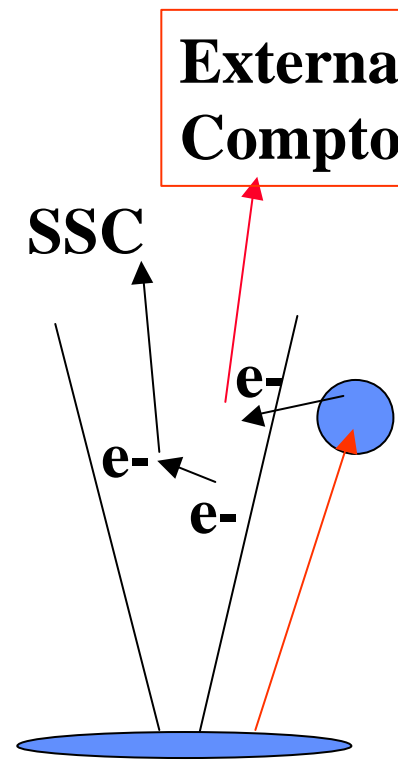
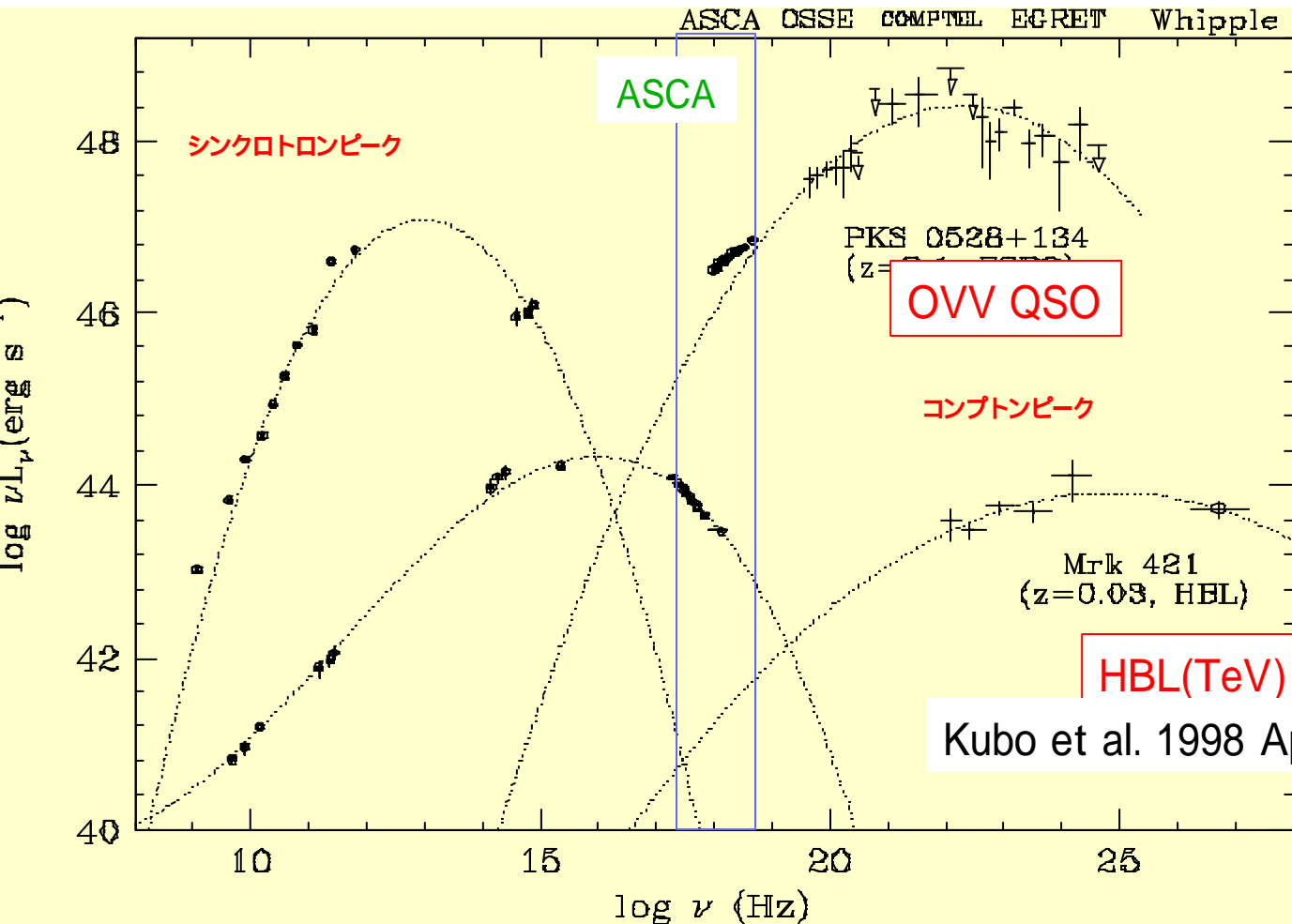
IR

Radio

BLAZER SED

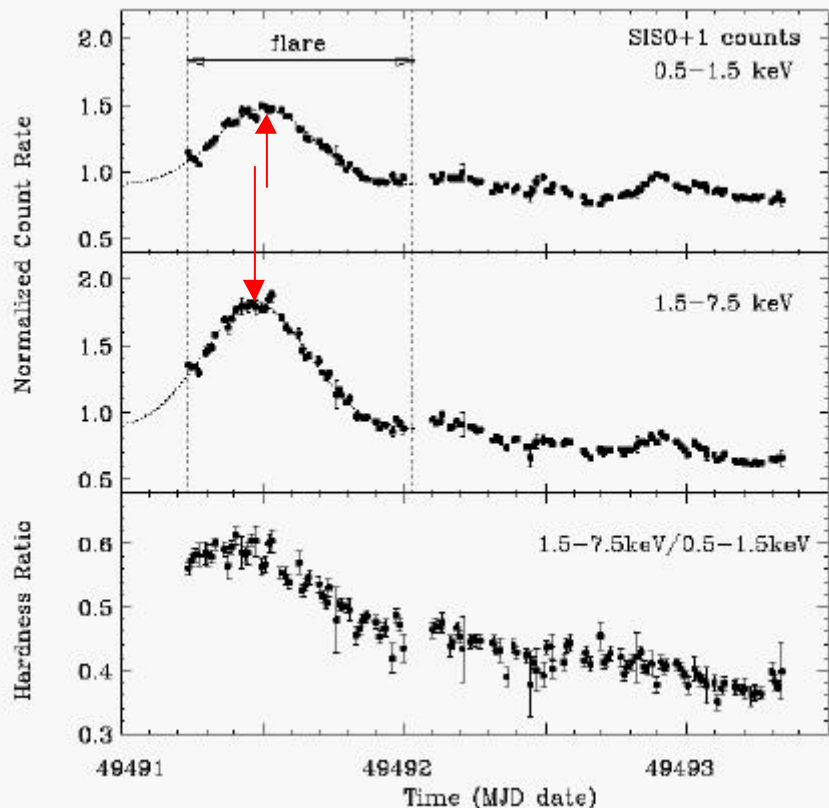


1. 強いガンマ線放射の謎
2. OVV QSOとTeV Blazar(HBL)の違い

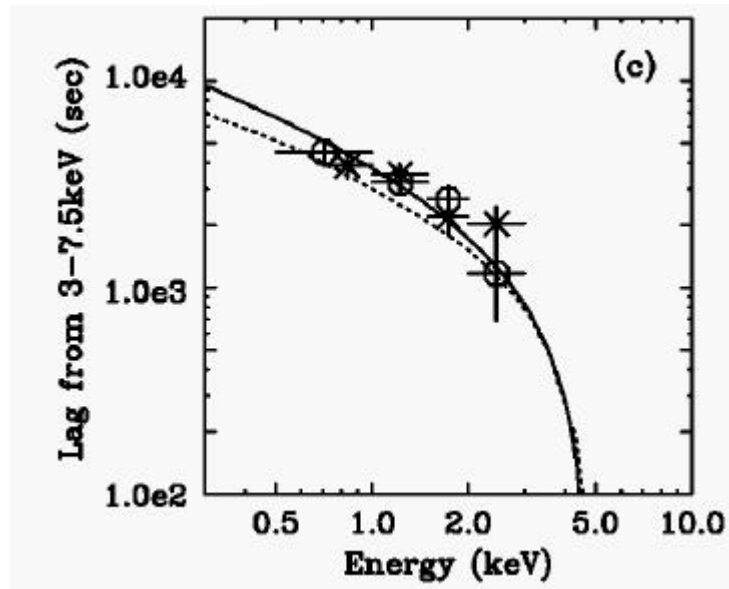


GLASTは、特にOVV QSOに威力を発揮
(シンクロtronピークは観測しにくい)

X線の光度曲線から知る電子の冷却のプロセス (PKS2155--- Kataoka et al. 1999, ApJ, 470, L89)



Soft Lag

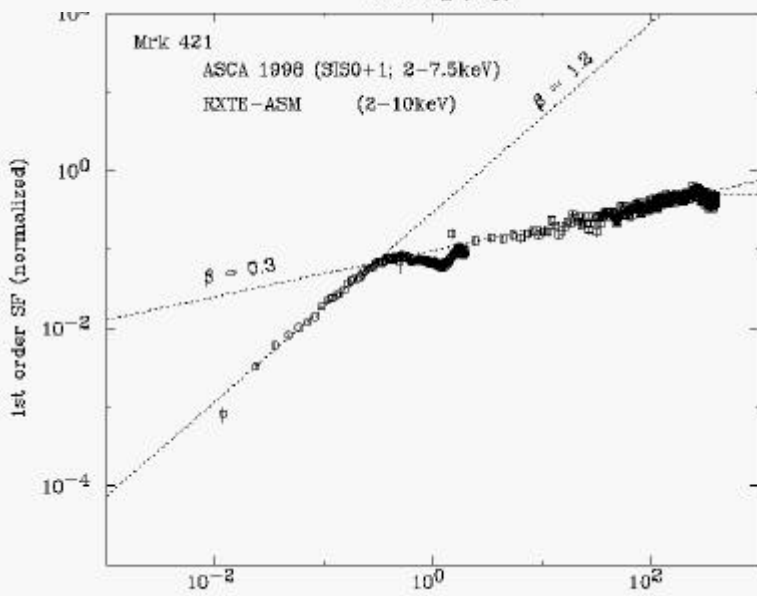
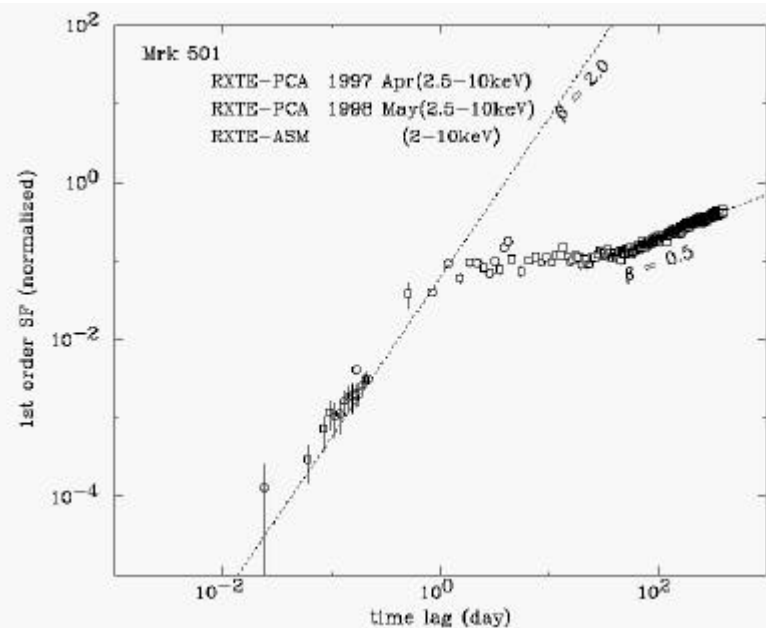


B 0.1 Gauss

硬 X線のピークがソフト X線のピーク
に先行する(光度曲線から明らか)

Structure Functionによる時間変動の解析

(Kataoka et al. 2000 ApJ submitted)



$$SF(\tau) = \frac{1}{N} \sum [a(t) - a(t + \tau)]^2,$$

TeV Blazar(HBL)

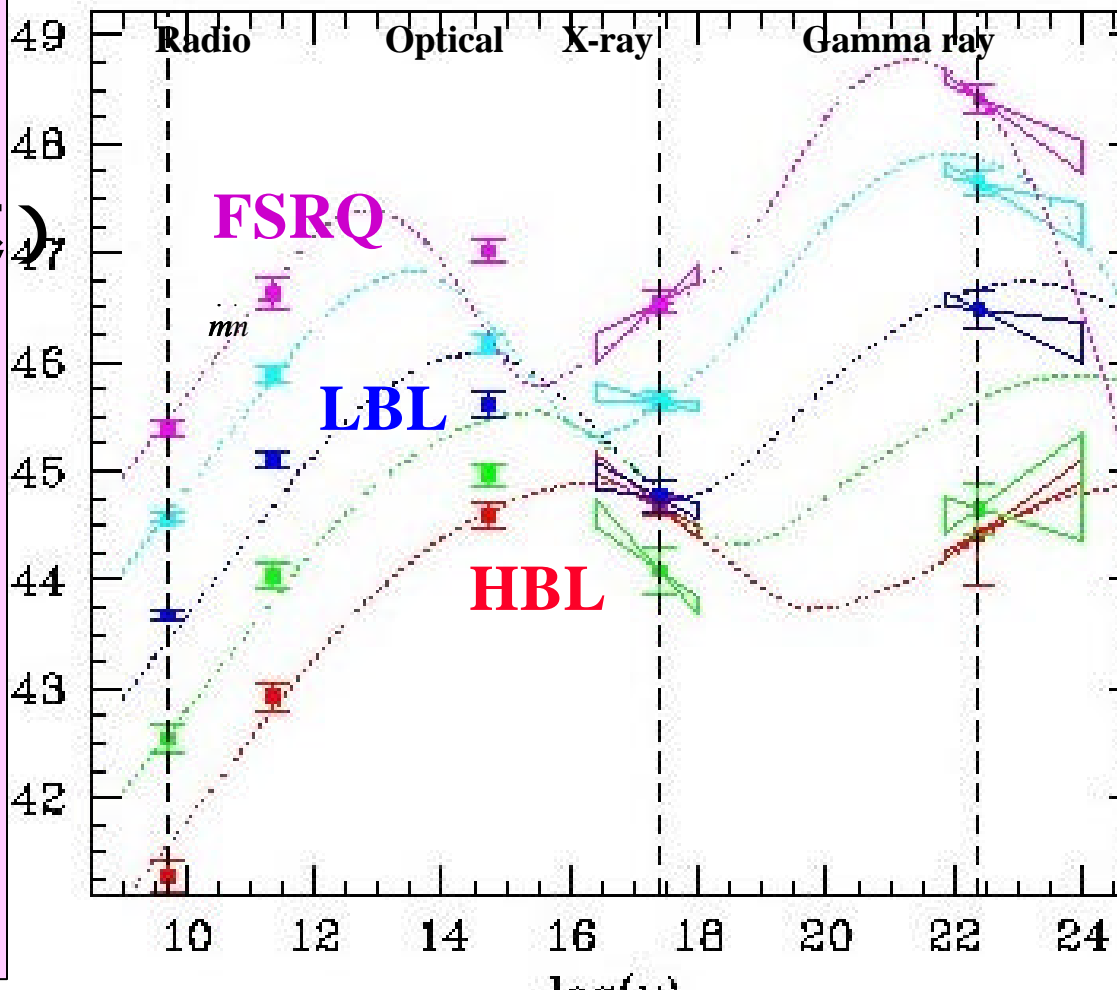
1日くらいの変動のタイムスケール

OVV QSOは?

巨大ブラックホールの進化に迫る

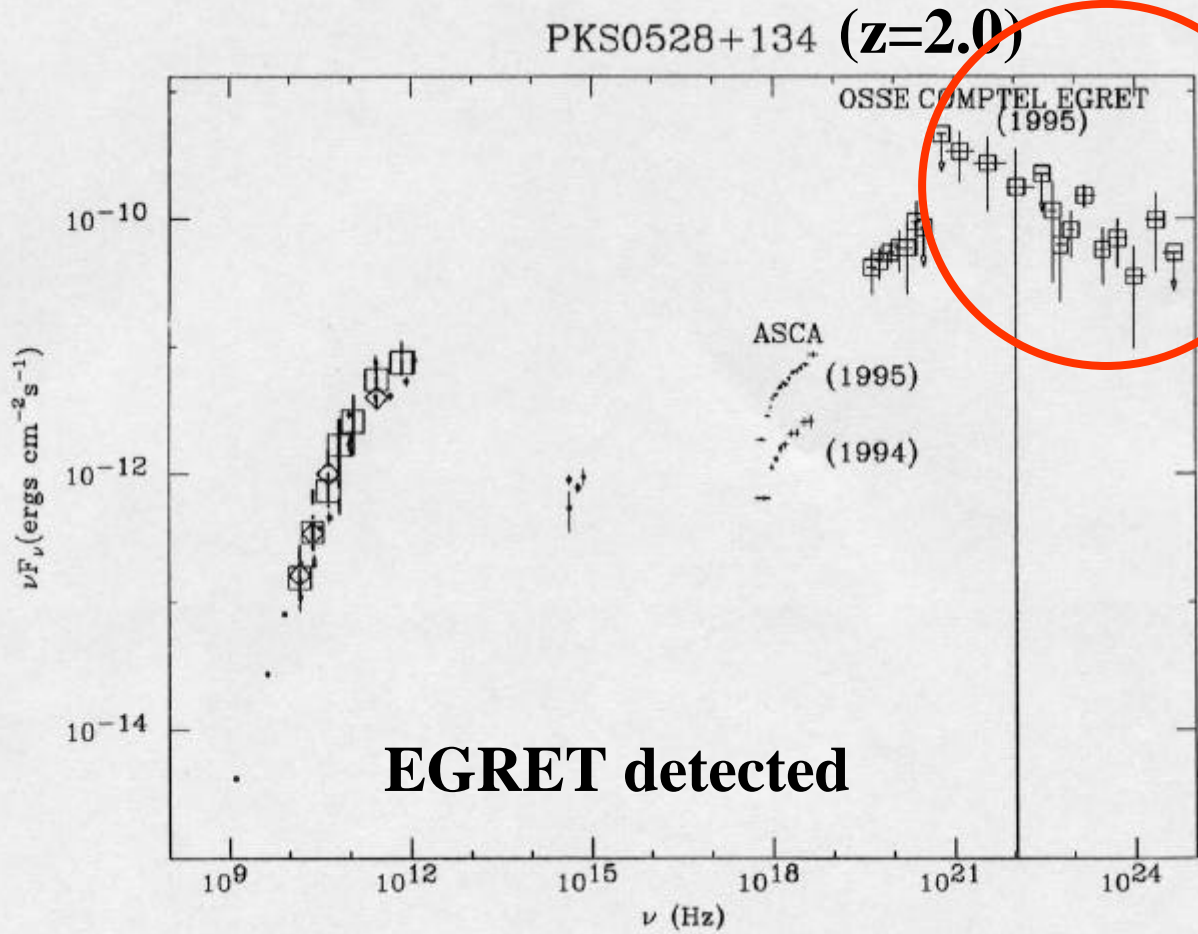


BLAZER SED



GLASTは、 $z > 6$ のdistant QSO-hosted BLAZARの検出の可能性
GLASTでは、さらに50倍ほど暗い天体まで検出可能

初期銀河におけるsupermassive BHsの形成をプローブ

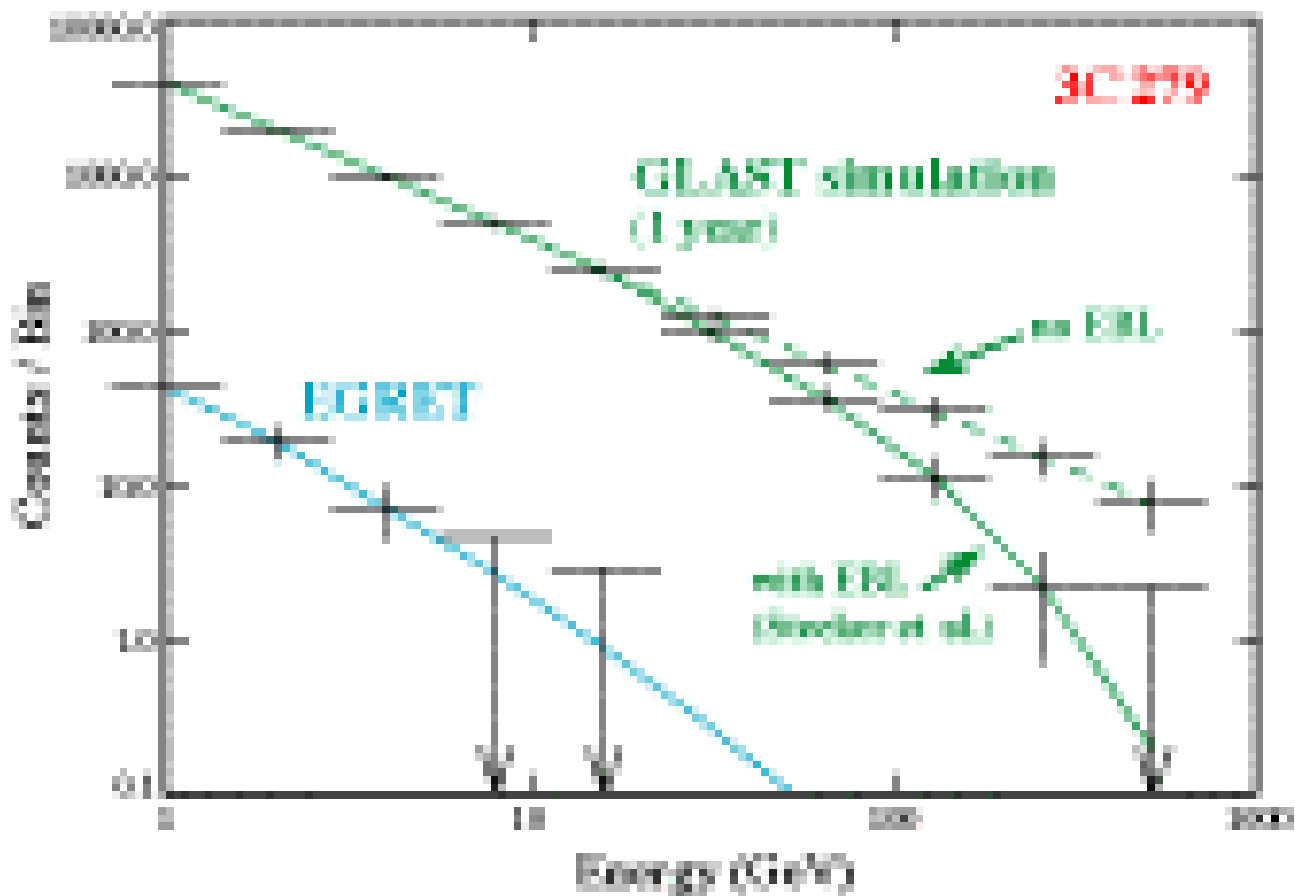


Kubo 1997

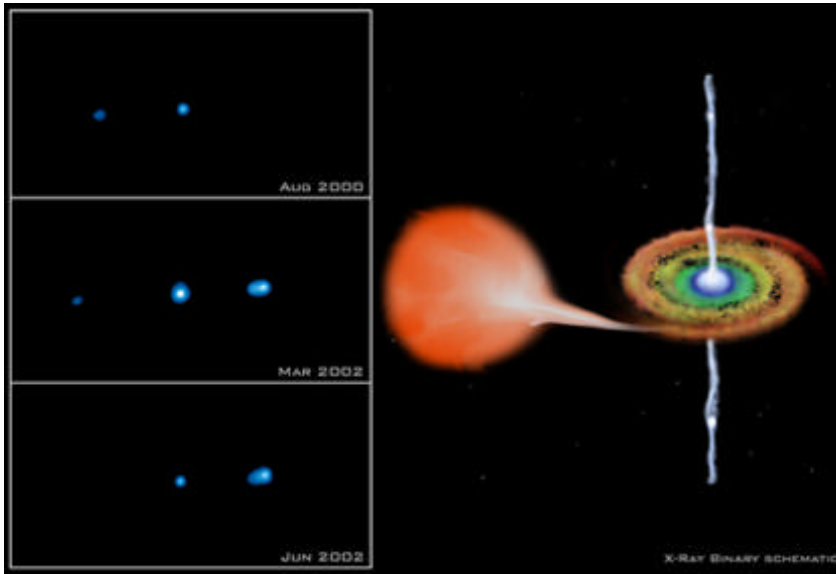
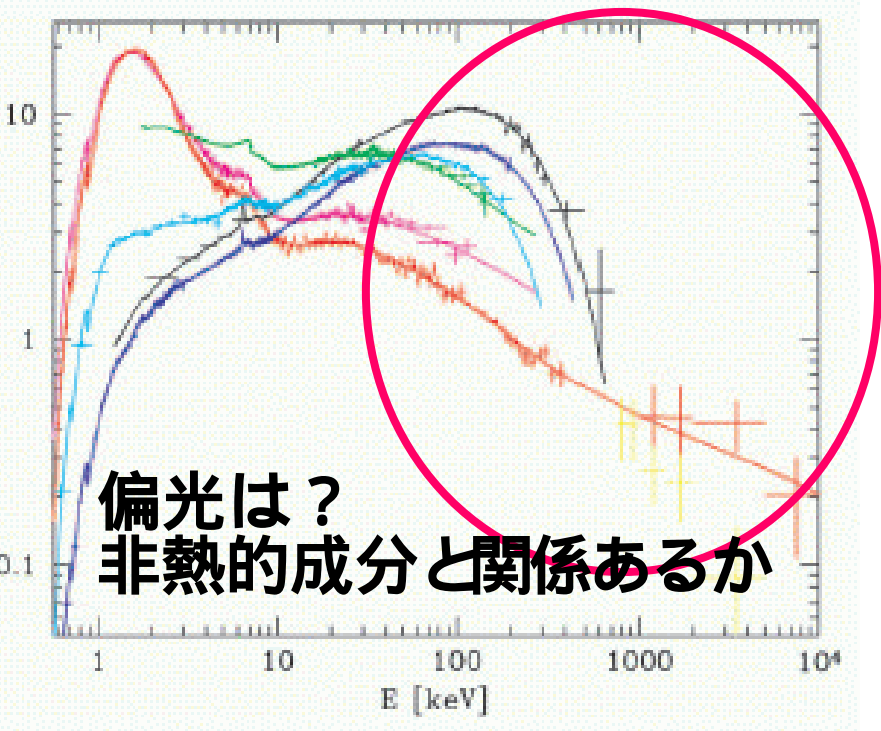
ガンマ線で宇宙の初期をプローブ

ガンマ線光子と赤外線光子の対消滅

BLAZAR, ガンマ線バースト



最近では、Galactic BHにもジェット



X線ジェット (GROJ1655)

どうい条件でジェットが出るかを、調べる

Galactic ブラックホール連星のガンマ線放射？ (マイクロクエーサー)

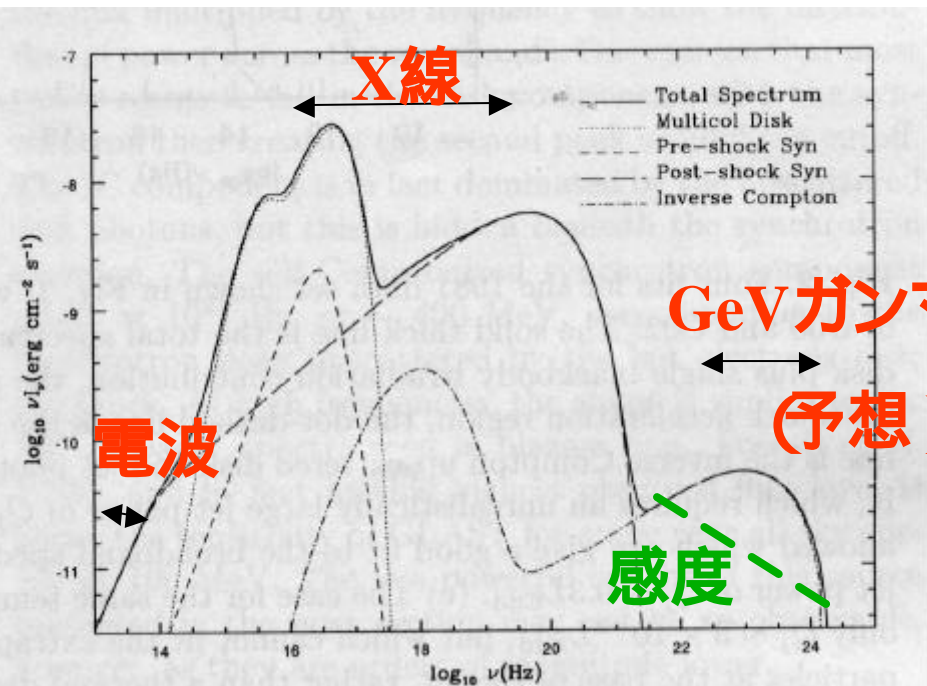
BLAZERの小型版

GLASTの高感度、高角分解能

High State \longleftrightarrow FSRQ
明るい (m大)

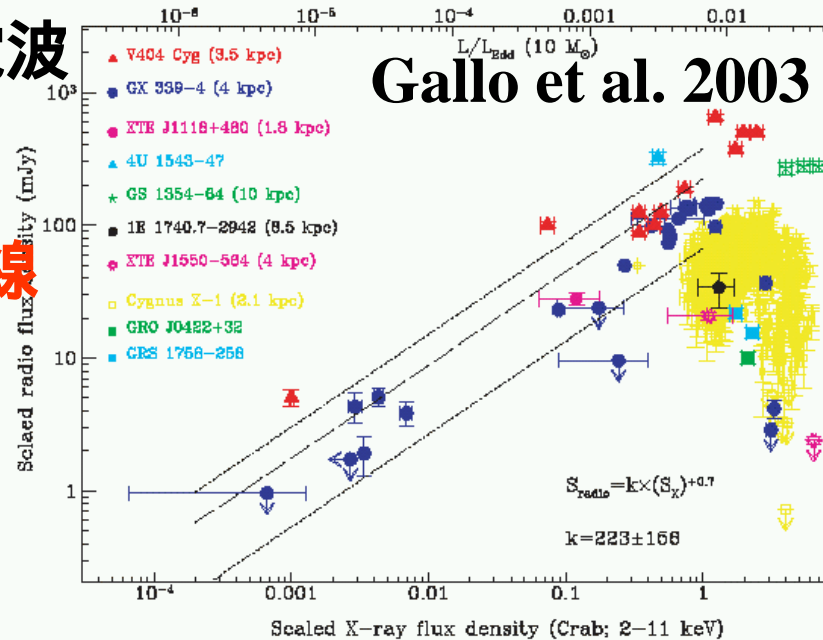
ジェットの放射？

GX339-1のSEDのモデル



電波と硬X線の光度の相関

電波



硬X線