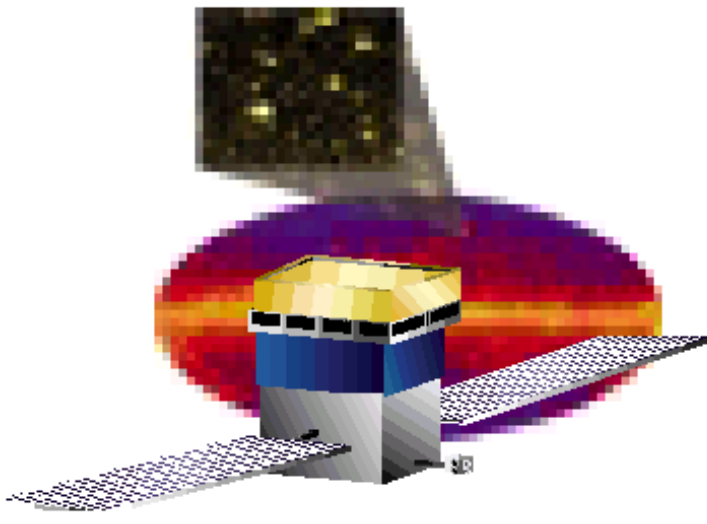




次期ガンマ線観測衛星

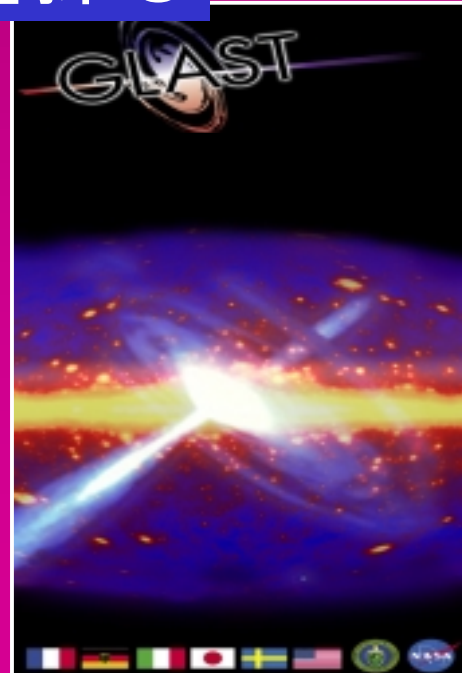
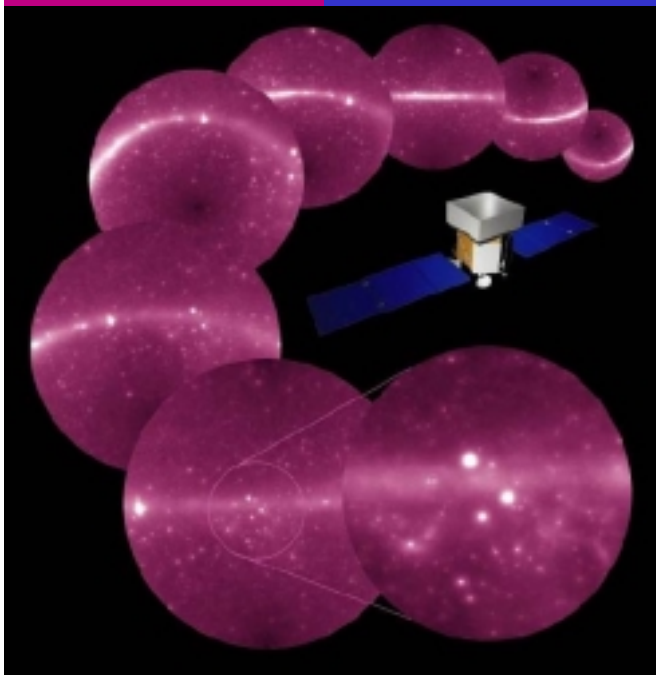
# GLAST

(Gamma-ray Large Area Space Telescope)

深沢泰司、釜江常好、大杉節、吉田勝一、水野恒史(広島大学)、  
尾崎正伸、高橋忠幸(ISAS)、河合誠之(理研)

米日伊仏共同(日本:広島大学・宇宙研・東京工業大学・理研)

極限状態の宇宙を探る



# ガンマ線観測の新時代到来を告げる衛星計画

10MeV-100GeVのガンマ線領域の観測は1967年のOSO-3によって始まり、1970年代のSAS-2、COS-Bによって本格的な観測結果が得られ、1990年代のEGRET(CGRO衛星搭載)によって大きく前進した。特にCGRO衛星搭載EGRETは、予想以上にガンマ線源が多く存在することを発見し、ガンマ線観測の重要性を人々に認識させた。

EGRETの検出した天体の数は約270にもなり、全天に分布し系外天体も含まれている。今のところ同定されている天体は、パルサー、BLAZAR、銀河面Diffuse成分であるが、驚くことに半数近い天体は他の波長で同定されていない。ガンマ線天体の位置決定精度が悪いことも要因であるが、中にはそれを考慮しても対応天体がないものもあり、謎につつまれている。

こうした中、次期ガンマ線観測衛星GLASTが計画され、米日伊仏共同で2005年の打ち上げに向けて開発が進められることになった。GLASTは感度がEGRETの50倍近くになり、検出天体数は10000個を超えると見込まれており、天体の種類もパルサー、BLAZARばかりではなく、超新星残骸、分子雲、星生成領域、近傍銀河、銀河団などにおよび、ガンマ線観測の新時代は迎える。

OSO-3



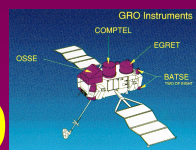
SAS-2



COS-B



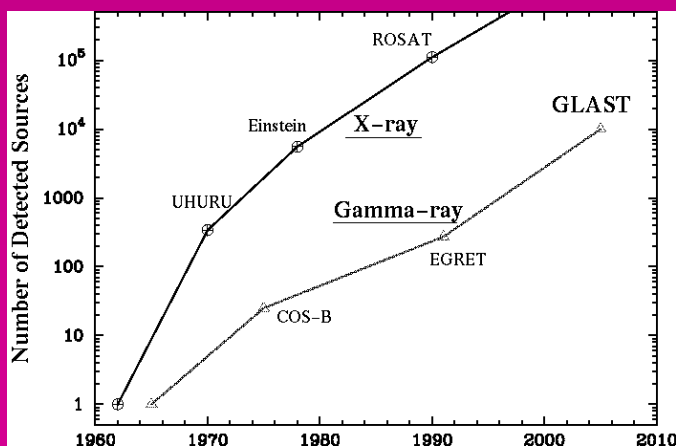
EGRET  
(CGRO)



GLAST

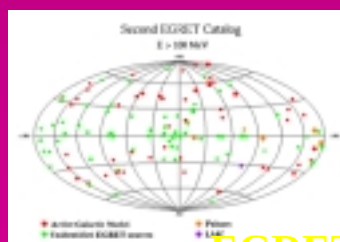


X線観測でEinstein衛星のデータが人前に出始めたときの興奮を人類に与えるだろう。

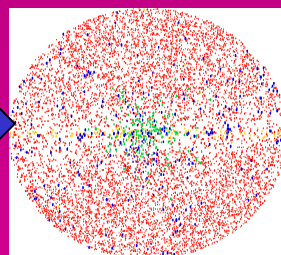
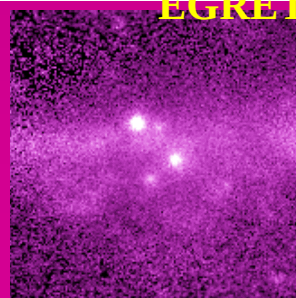


もはや特殊天体に限らない

天体数の増加



EGRET



GLAST



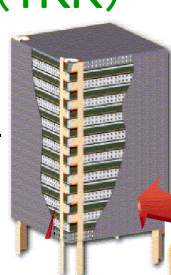
イメージの向上

# 日本の技術が大きく寄与する衛星

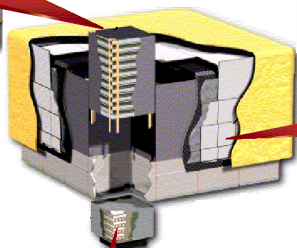
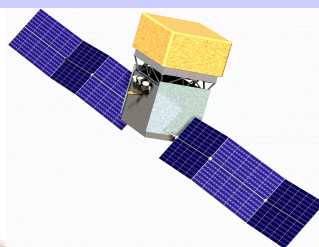
## GLAST衛星の構成

Si -Pb Tracker (TKR)

4x4 array of identical towers



Delta II  
7920 H



Plastic-Scinti  
+ PMT

Anti-Coincidence Detector (ACD)

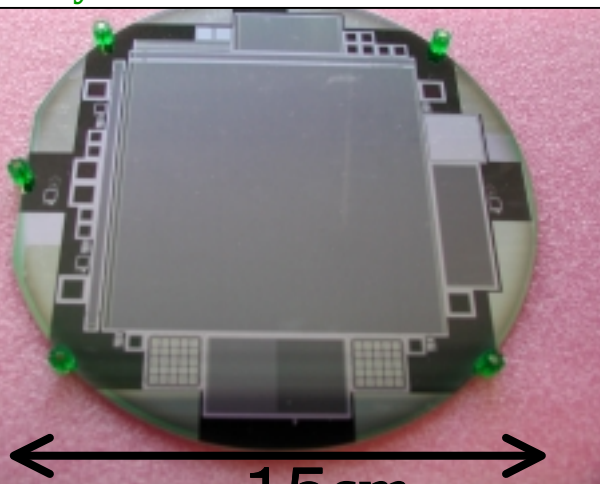
PD readout



Large Area Telescope (LAT)

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

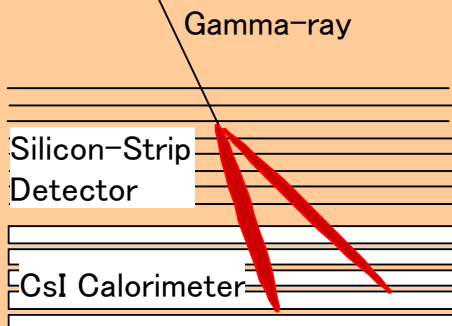
CsI-Array Calorimeter (CAL)



これまではガンマ線が検出される際に発生する電子陽電子対を追跡するものとしてスパークチェンバーが用いられてきたが、シリコンストリップの登場により、位置決定精度が格段に向上する。また、検出器の高さを低くすることができ、大きな視野を確保でき、観測の効率化が可能となる。シリコンストリップは加速器実験で既に安定動作が確認されている。

**Silicon-Strip  
Detector (FM)**

電子陽電子対生成型検出器



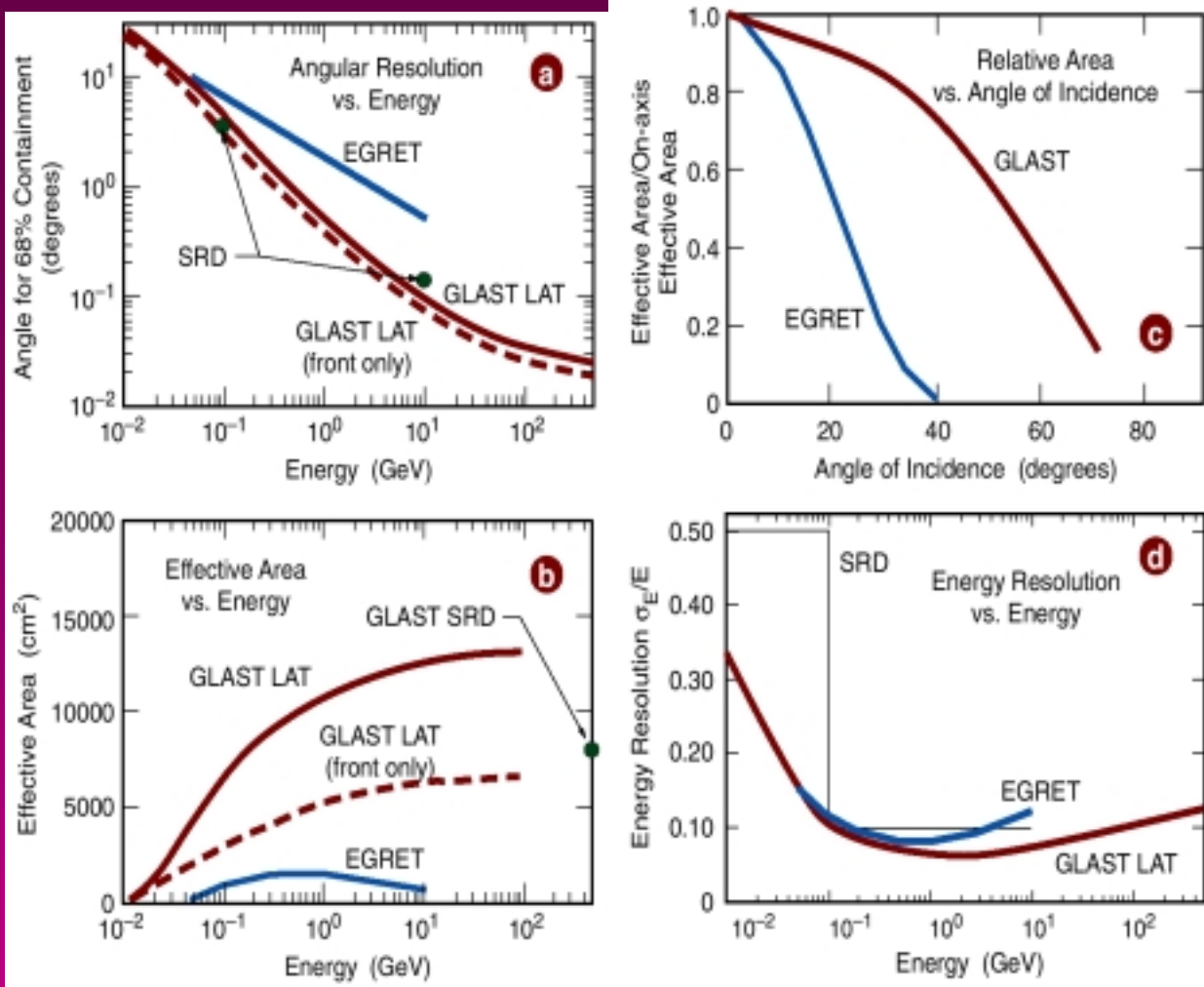
日本のチームの設計開発した  
シリコンストリップの採用

6インチウェーハ-上で、不感チャネル  
0.1%以下の高信頼性

広島大学と浜松ホトニクスで開発

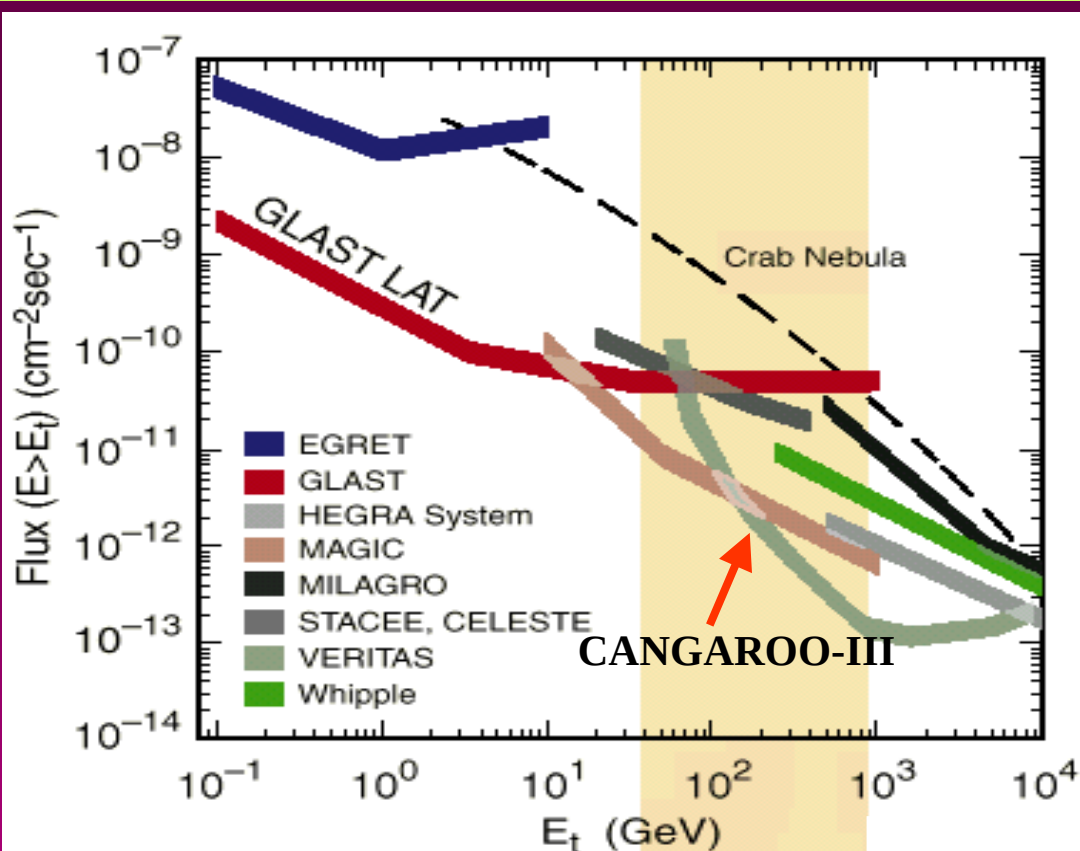


# GLASTの基本性能



|                            | EGRET                                                | GLAST                                                                                                                        |
|----------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Energy Band                | 30MeV--10GeV                                         | 20MeV--100GeV                                                                                                                |
| Field of View              | 0.5sr                                                | 2.4sr (20% of $4\pi$ )                                                                                                       |
| Effective Area             | 1,500cm <sup>2</sup>                                 | 11,000cm <sup>2</sup>                                                                                                        |
| Energy Resolution          | 10%                                                  | 10%                                                                                                                          |
| Dead time per 1 event      | 100ms                                                | 20 $\mu$ s                                                                                                                   |
| Source Location            | 5--30arcmin                                          | 0.5--5 arcmin                                                                                                                |
| Sensitivity                | $\sim 1 \times 10^{-7} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ | $\sim 1 \times 10^{-7} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ (1day)<br>$\sim 2 \times 10^{-9} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ (2years) |
| Number of Detected objects | 271                                                  | >10000                                                                                                                       |
| Weight                     | 1820kg                                               | 2560kg                                                                                                                       |
| Orbit(28.5° incl.)         | 350km                                                | 550km                                                                                                                        |
| Life time                  | 9years                                               | >5yesrs                                                                                                                      |

## 他のガンマ線観測装置と連携(広いエネルギー帯)



## ガンマ線バーストモニター

BATSEの後継

FOV ~ 8.6sr (NaI)

126cm<sup>2</sup>

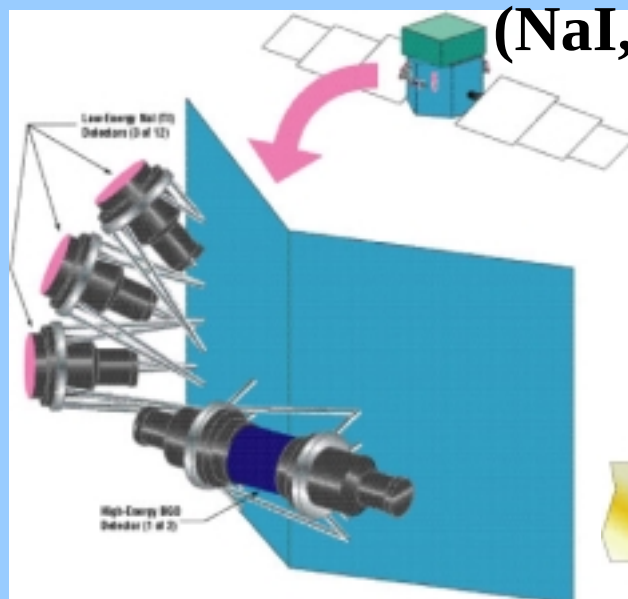
(NaI, BGOとも)

12個のNaIシンチレータ

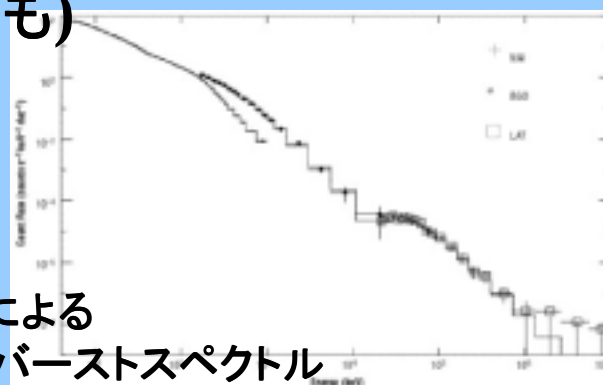
5—1000keV

2個のBGOシンチレータ

0.2—20MeV

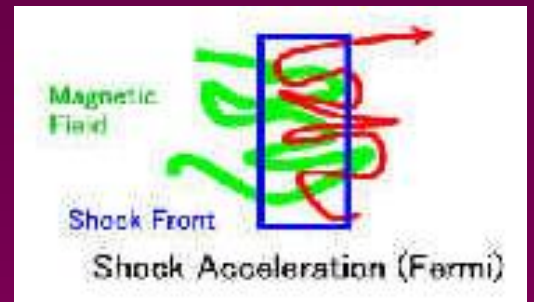


GLASTによる  
ガンマ線バーストスペクトル



# 宇宙線の起源と加速機構に迫る

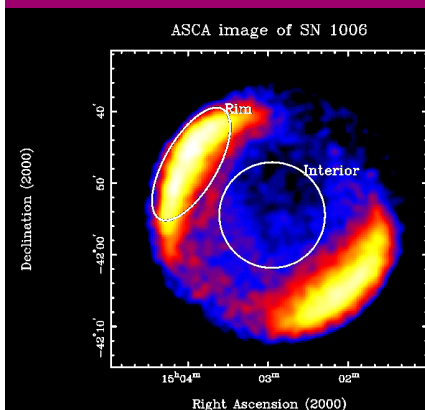
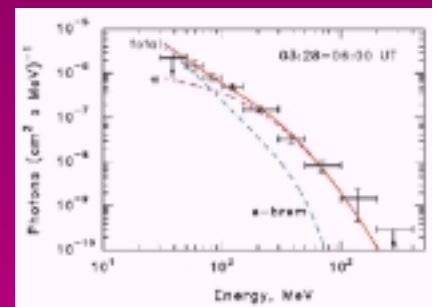
宇宙線がどのような場所でどんなメカニズムで発生するのは現宇宙物理学で最大の謎の1つである。最近、X線やガンマ線によって超新星残骸で宇宙線電子が加速されているらしい証拠が2つほど見つかった。果たして、多数の超新星残骸がそうであるのか？ 宇宙線陽子はどうなのだろうか？ 他の加速の候補は？ GLASTは、こうした疑問を解決するためのデータを与えてくれるだろう。太陽フレアも検出されると予想され、太陽における磁気リコネクションによる粒子加速の研究も行える。



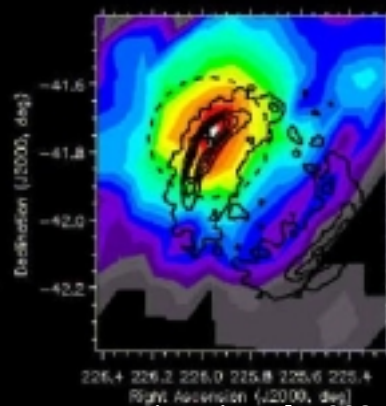
超新星残骸SN1006のX線とTeVガンマ線のイメージ。X線は、加速された高エネルギー電子のシンクロトロン放射、TeVガンマ線はシンクロトロン自己コンプトン放射による。

EGRETの検出した太陽フレアのスペクトル

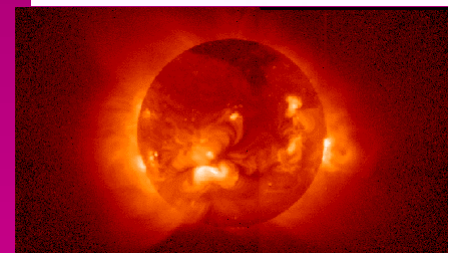
Kanbach et al. 1993



Koyama et al. 1995

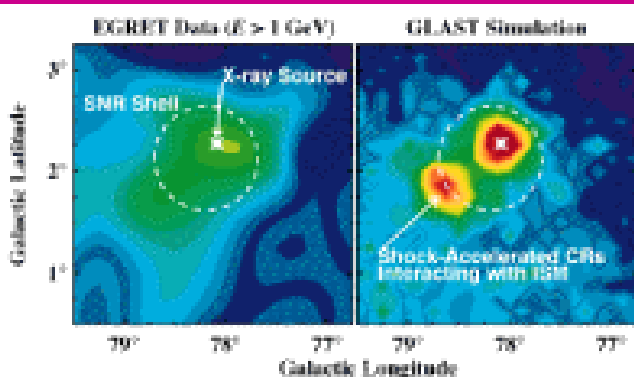


Tanimori et al. 1998

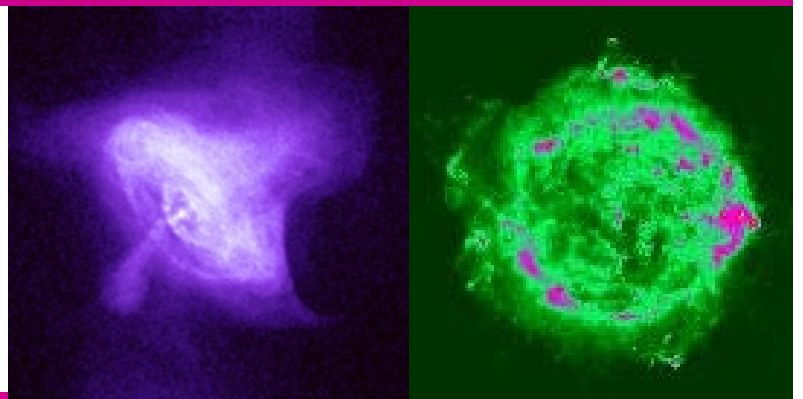


超新星残骸と分子雲の相互作用でガンマ線を放射していると考えられるGamma CygのEGRETイメージとGLASTシミュレーション

かに星雲(左)とCas-A(右) ChandraによるX線イメージ



Brazier et al. 1996

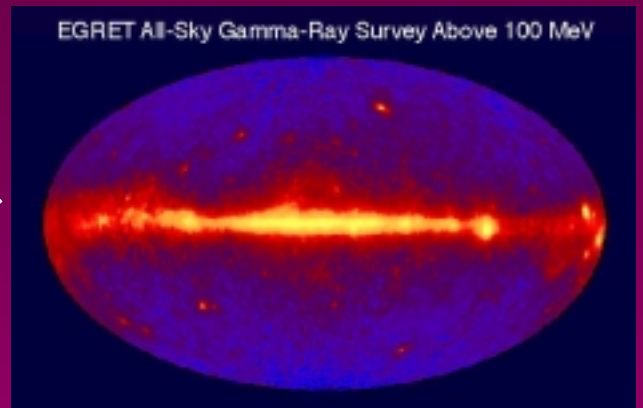




# 銀河系の構造を探る

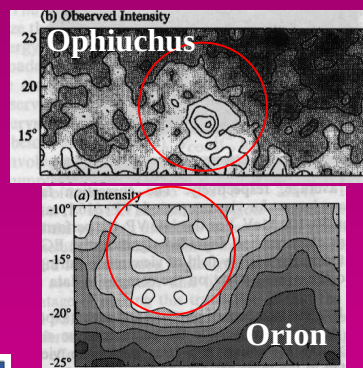
宇宙線と星間ガスの相互作用に伴う銀河面に沿って広がったガンマ線放射を観測することにより、宇宙線の起源や加速についての情報を得られ、さらに銀河の構造をエネルギー分配という新しい観点から研究することができる。特に、星間高エネルギー陽子を観測する唯一のエネルギー領域となるので注目されている。

GLASTでは有効面積が大きくなるので、詳細なガンマ線分布が得られ、銀河面の宇宙線分布が得られるだろう。EGRETで3つほど検出された近傍の巨大分子雲も、GLASTでは50個ほど検出されると予想されている。他の波長データと合わせれば、銀河系の星間ガス、宇宙線の分布と絶対量が得られることになり、銀河系の構造を探ることができる。さらにGLASTではLMC/SMC/M31/M82などの近傍銀河や近傍銀河団Comaなどからのガンマ線放射も期待され、興味深い。

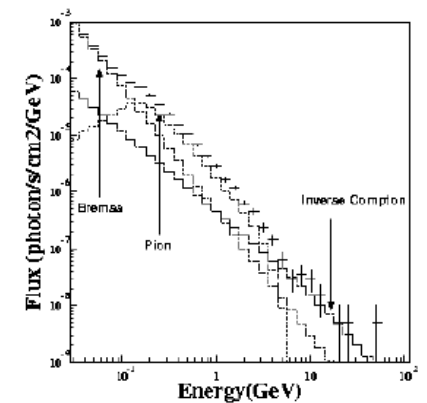


EGRETによる  
巨大分子雲イメージ  
Hunter et al. 1994

銀河面から予想される  
GLASTのガンマ線スペクトル



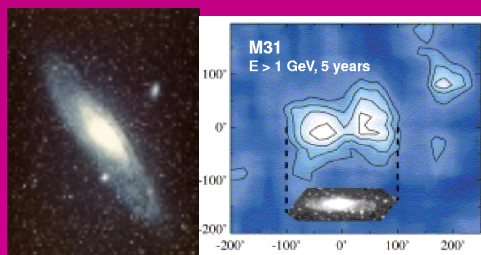
Digel et al. 1999



LMCのGLAST  
シミュレーション



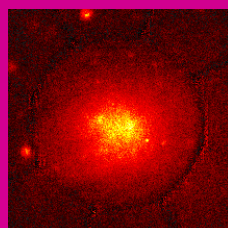
SMC



M31

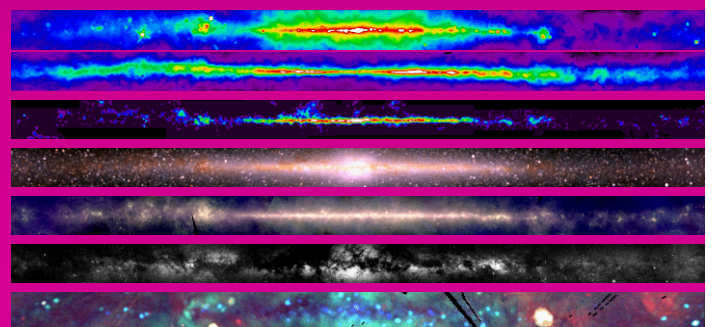


M82



銀河団

銀河面多波長イメージ

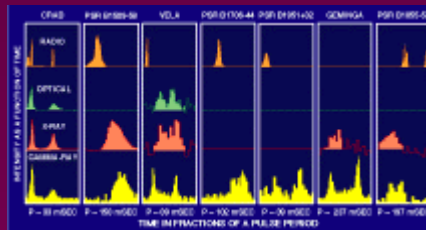


上から、408MHz (Synchrotron)、21cm(HI)、CO(H<sub>2</sub>)、FIR (dust, HI)、NIR・可視光(stars)、X線 (高温ガス)

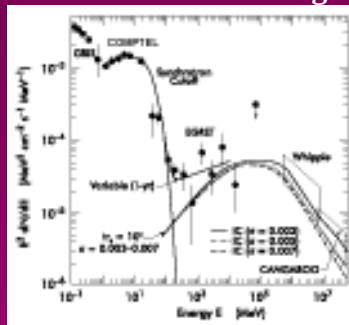
# 宇宙で最も激しい天体の極限物理状態の解明

## ガンマ線パルサー

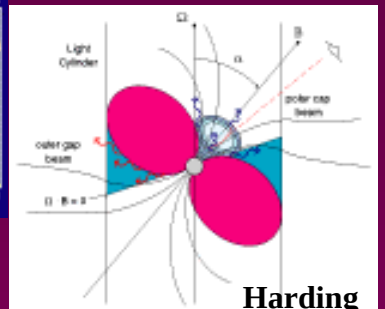
回転駆動型パルサーの一部は、ガンマ線領域でも明るく輝いている。中には、Gemingaのようにガンマ線領域で最も明るく光っているものもある。こうしたガンマ線パルサーは今のところ10個以下しか見つかっていないが、GLASTにより数十個に増える予想され、パルサーの種族進化やガンマ線放射機構の解明につながる。また、パルサー風に伴う粒子加速がどれほど起こっているかも興味深い。



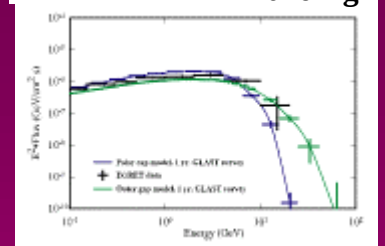
EGRETが検出した7つのパルサーのパルスプロファイル。  
Thompson  
De Jager



EGRETのデータを用いた「かに星雲」のパルスしていない成分の多波長ガンマ線スペクトル。



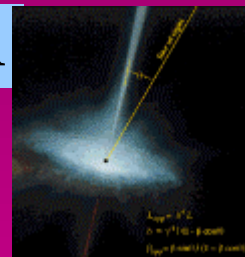
Harding



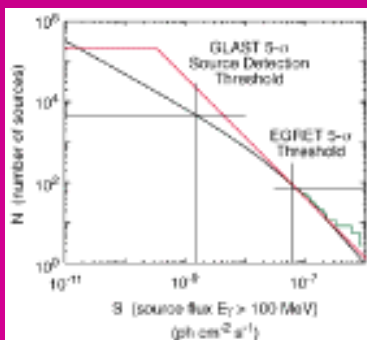
(上)標準的なパルサーのガンマ線発生モデル。Polar-capとOuter-gap説。  
(下)この2つのモデルが予想するガンマ線スペクトルの違い。

## 巨大なジェット発生天体BLAZAR

BLAZARはAGNの一種で、激しく変動し、ジェットを真正面から見ている天体ではないかと言われている。EGRETは、多くのBLAZARがガンマ線領域で明るいことを発見した。GLASTでは検出天体数は数千に増えると予想され、BLAZARの進化やガンマ線放射の解明に迫る。また、GLASTの全天モニター機能を利用し、BLAZARのフレアアップを検出して、フレアアップに伴う粒子加速の物理的描像を探る。



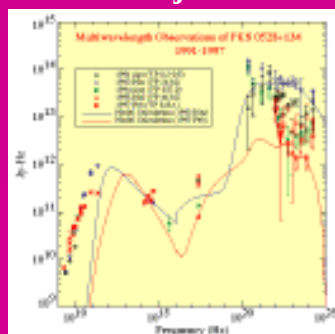
EGRETで見つかったBLAZARのフレアアップ



予想されるガンマ線BLAZARのlogN-logS。

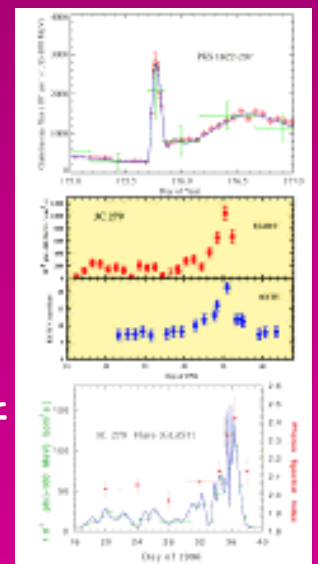
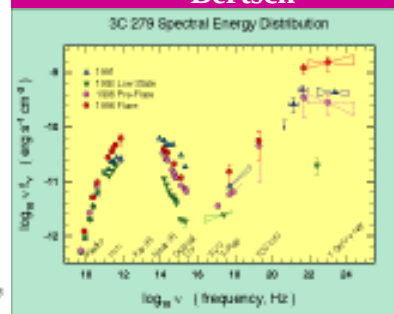
Willis

PKS0528+134  
Mukherjee



3C279

Bertsch



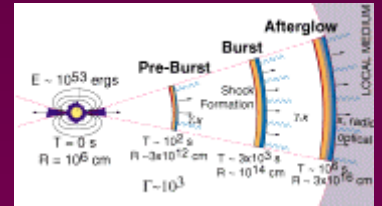
Mattox

BLAZARの多波長スペクトルの例。



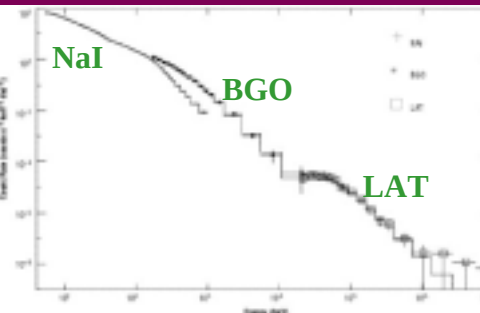
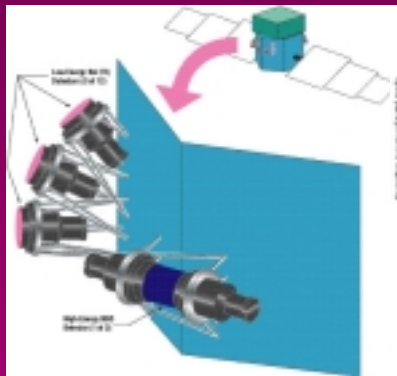
# 宇宙で最大の爆発事象ガンマ線バースト

ガンマ線バーストは、GLASTでは1年に100個ほど検出されると予想されている。GLASTには主検出器LATの他に低エネルギー側をカバーするガンマ線バーストモニターが搭載され、ガンマ線バースト発見の強化および広いエネルギーバンドを確保し、ガンマ線バーストの発生機構に迫る。



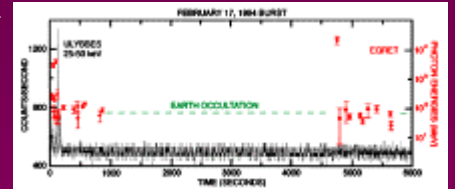
## GLAST搭載ガンマ線バーストモニター

LATを補強、7桁に及ぶスペクトル

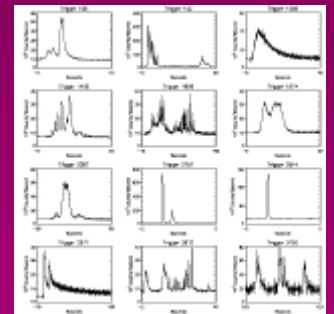


GLASTで得られるガンマ線バーストのスペクトルのシミュレーション

Hurley



BATSEによるバーストプロファイルの例

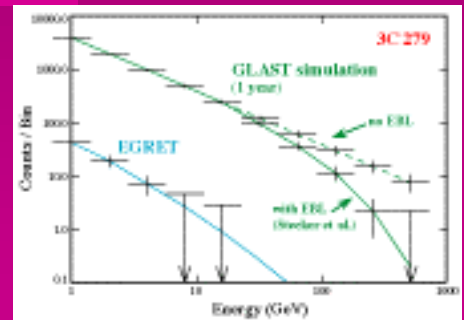


Bonnell

# 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

遠方天体の発生したガンマ線光子は、エネルギーが高いほど地球に届くまでに赤外線光子と衝突して対消滅してしまう確率が高い。これを利用して、遠方のBLAZERやガンマ線バーストのスペクトルの高エネルギー側のカットオフを調べることで、宇宙初期の赤外線光子密度を推測することができ、宇宙初期の星生成率に制限をつけられる。

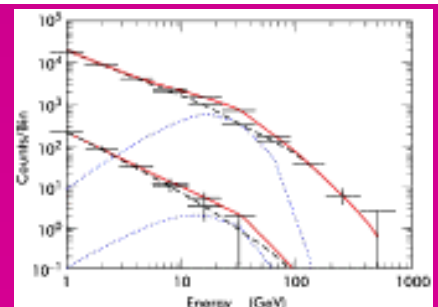


Willis

## ダークマタ-探索

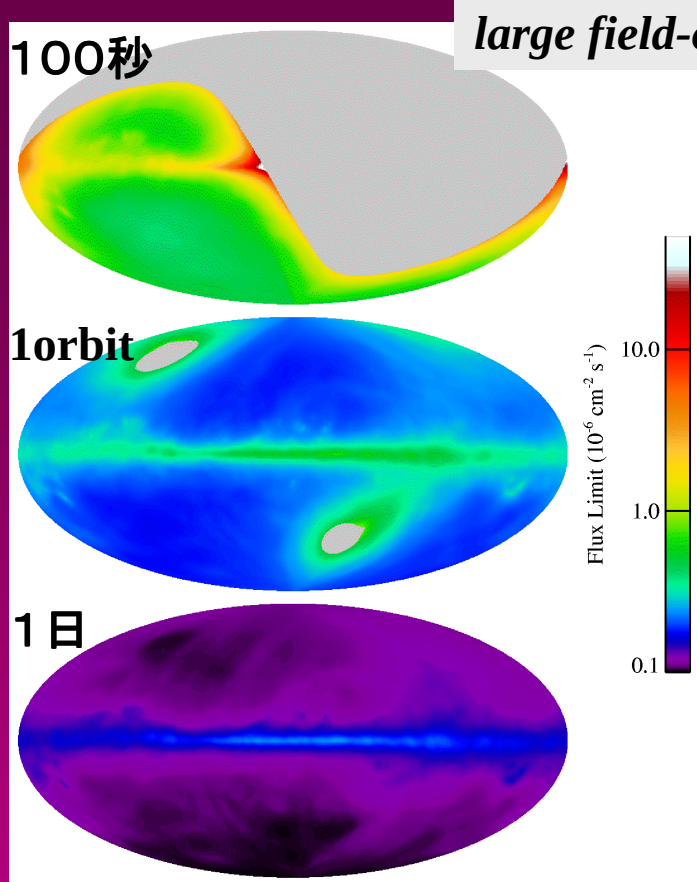
ビッグバン直後には、超対称性粒子  $\chi$  が大量に生成されることが予想されている。この粒子は寿命が比較的長く、ダークマタ-の候補にもなっている。宇宙初期には、密度が大きかったため、これらが衝突して対消滅したときに発生する  $\gamma$  線ラインがGeV領域に出てくる。宇宙ガンマ線背景放射のスペクトルにそれを示唆するバンブ構造が見える可能性があり、宇宙初期をプローブするとともに、ダークマタ-探索にもつながる。

$$\chi \chi \rightarrow Z \gamma, \gamma \gamma$$



Willis

# 全天モニターとしてのGLAST



広い視野(全天の20%)  
1 orbit(100分)で全天の  
85%をカバー

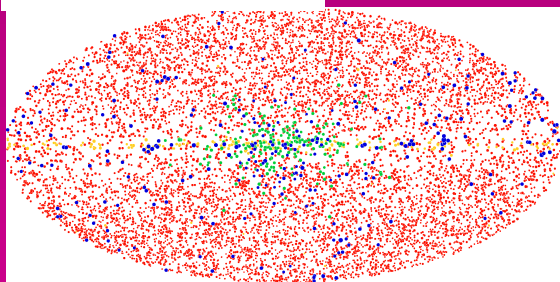
↓  
ほぼすべての天体を100分ごとに  
モニター

200  $\gamma$  バースト/1年

All 3EG sources / 2日

10,000 sources / 1年

1年後カタログ



同時期の他のX線ガンマ線モニターと連携

SWIFT (2003-) 10-150 keV

MAXI(2005-) 2-20keV

Astro-E HXD(2005-) 0.1-1MeV

## 国際共同開発

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)

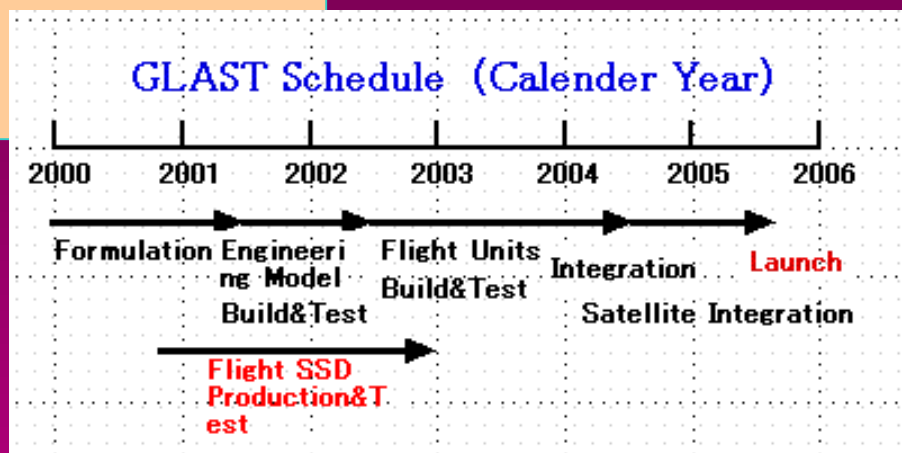
日本: 広島大学, ISAS, 東京工業大学, 理研, ICRR

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



## 日本の役割

シリコンストリップの製造管理、性能評価  
Geant4による検出器シミュレータの開発

### 2000－2001年度の活動

FM型シリコンストリップのデザイン決定、試作、性能評価

気球実験の準備

(講演W16a 増田 et al.)

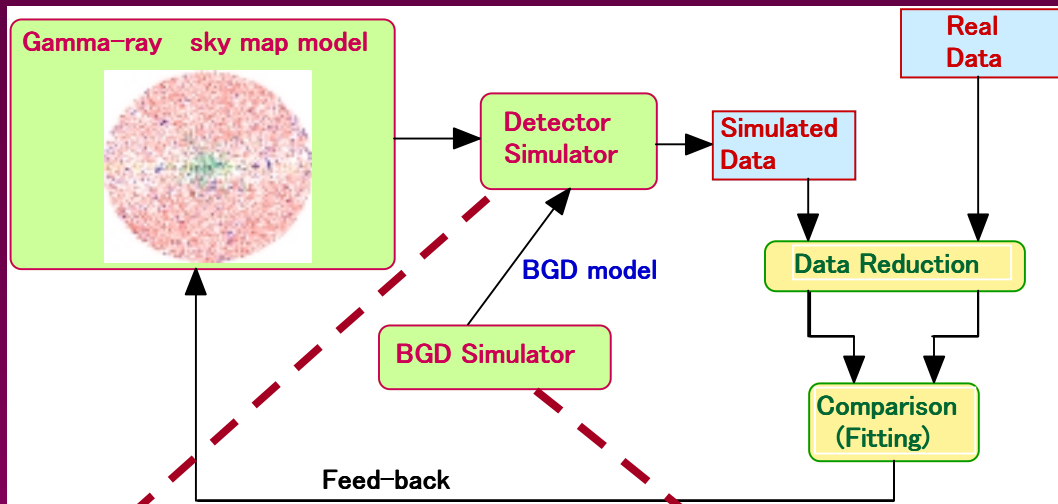
2001年6月に予定されている気球実験(動作確認、  
キャリブレーション)に向けたハードウェア準備

GLASTシミュレーションソフトの開発

Geant4、バックグラウンドモデルなど

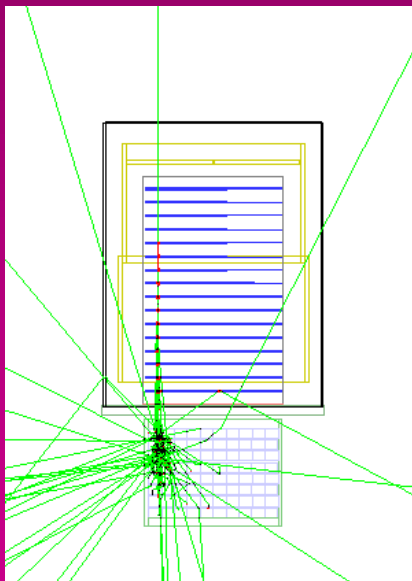
(ポスターW24b 尾崎 et al.)



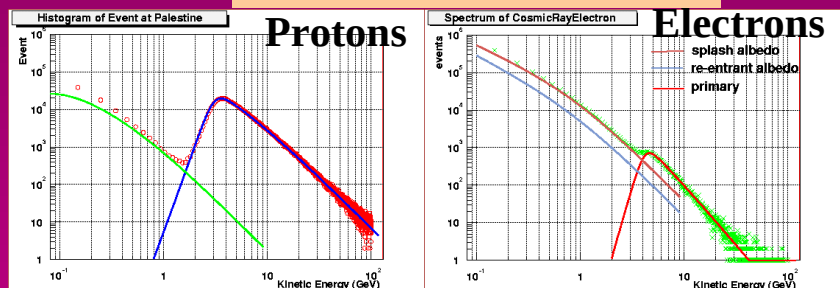


現在日本側が担当して開発中 .....

Detector simulator (Geant4)



Cosmic-ray generator for BGD simulation



これらのシミュレーターは、最初は6月に行われる気球実験に応用される。

Further works...

Extention to FM model, include He, e+, gamma-ray etc.