

# 気球観測による 高エネルギー宇宙線加速天体の研究

早稲田大学 理工学研究所  
鳥居祥二

## 参加研究者及び研究補助者

早稲田大学 清水雄輝、笠原克昌、日高 健、赤池陽水、福田康博、平 晃一  
神奈川大学 田村忠久、日比野欣也、湯田利典  
JAXA/宇宙科学研究本部 山上隆正、斉藤芳隆、福家英之  
宇宙線研究所 瀧田正人、塩見昌司  
弘前大学 倉又秀一、市村雅一  
横浜国立大学 柴田槇雄、片寄祐作  
立教大学 村上浩之  
芝浦工業大学 吉田健二

# 共同利用研究概要

## □ 研究内容

高エネルギー電子、ガンマ線の気球観測

- 1-100GeV領域での一次、二次電子成分の観測
- CALETプロトタイプの実証

## □ 発表概要

- 気球実験概要とデータ解析
- 今後の予定

## □ 予算

研究費：400千円 旅費：100千円

支出内容(予定)：

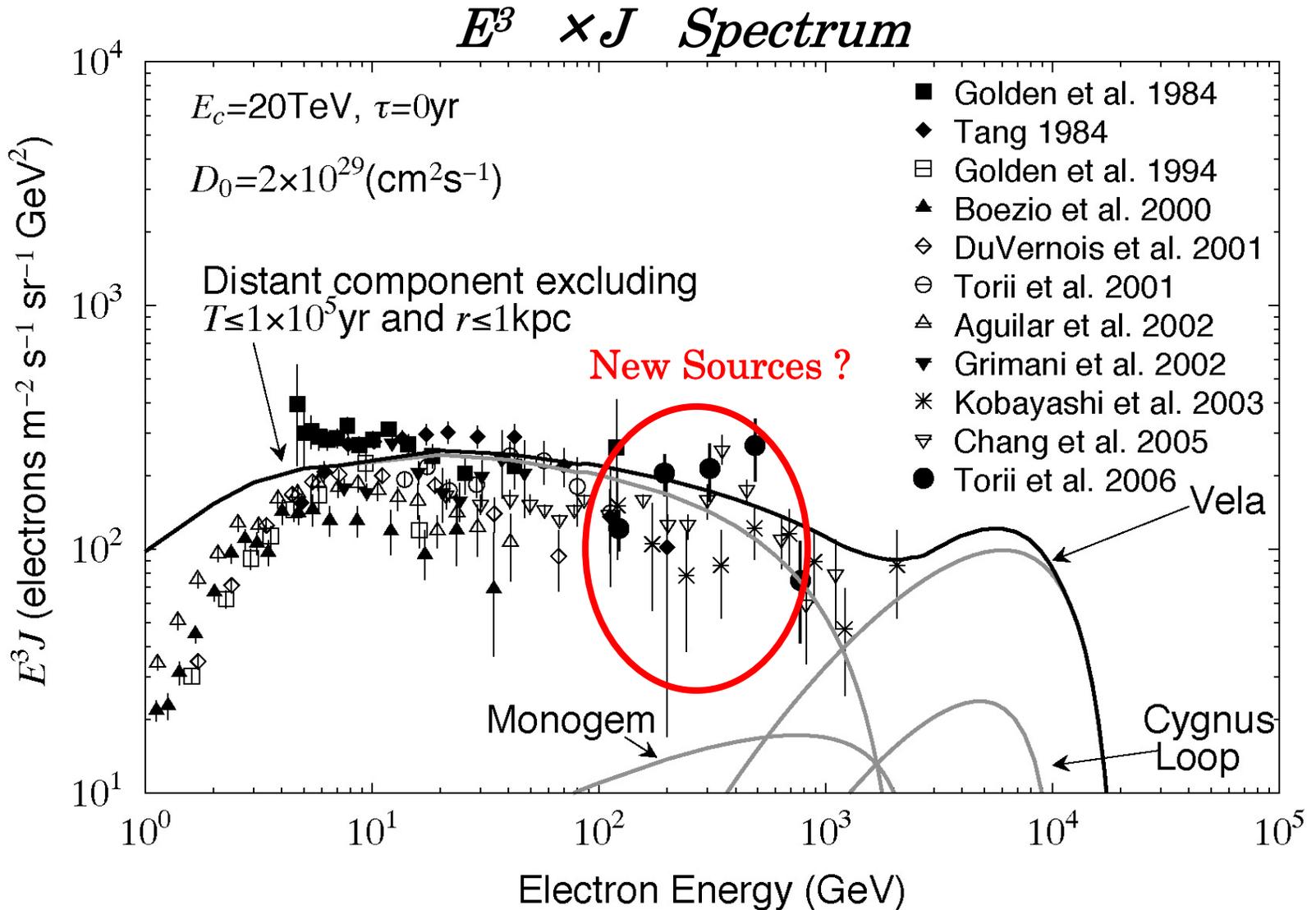
PD読み出し用アナログ回路の開発

## □ 共同利用

チベットグループ施設

シミュレーション計算用計算機

# Cosmic-Ray Electron Energy Spectrum



# 気球実験の目的

1. 技術実証: CALETに用いる要素技術の気球観測による実証化  
 IMC: SciFi+64アノードPMTのASIC (VA32HDR14)による読み出し  
 TASC: BGO+PIN PDの読み出し、一層目でのトリガー

## 2. 観測項目

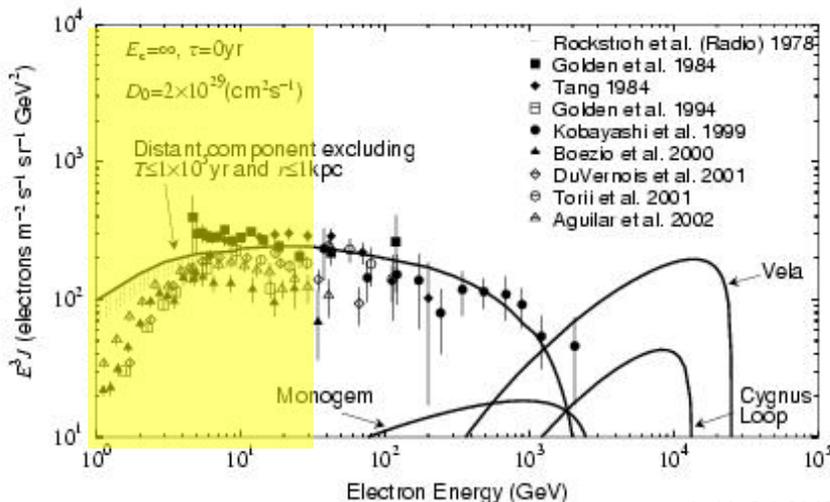
電子: 1GeV~100 GeV

- 電子フラックスの絶対強度の測定 (~10 GeV)
- Rigidity Cut 以下 (< 10 GeV)での地磁気によるエネルギースペクトルの変化

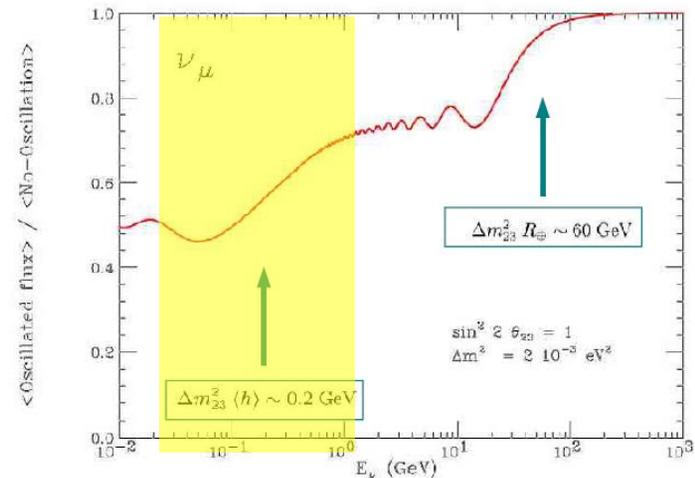
大気ガンマ線: 20MeV~1GeV

- 大気ニュートリノ振動計算に必要な核相互作用モデルの検証
- 装置バックグラウンドの評価

電子観測領域



大気ガンマ線観測領域に対応する  
大気ニュートリノの振動エネルギー領域



# 気球実験@三陸大気球観測所

宇宙航空開発研究機構  
宇宙科学研究本部  
大気球観測所

岩手県大船渡市三陸町吉浜

B100-14      2006年  
5/25~30 装置準備、噛合せ  
5/31 放球・回収



# 気球観測



6:00 放球

8:15 35km

10:20 37km

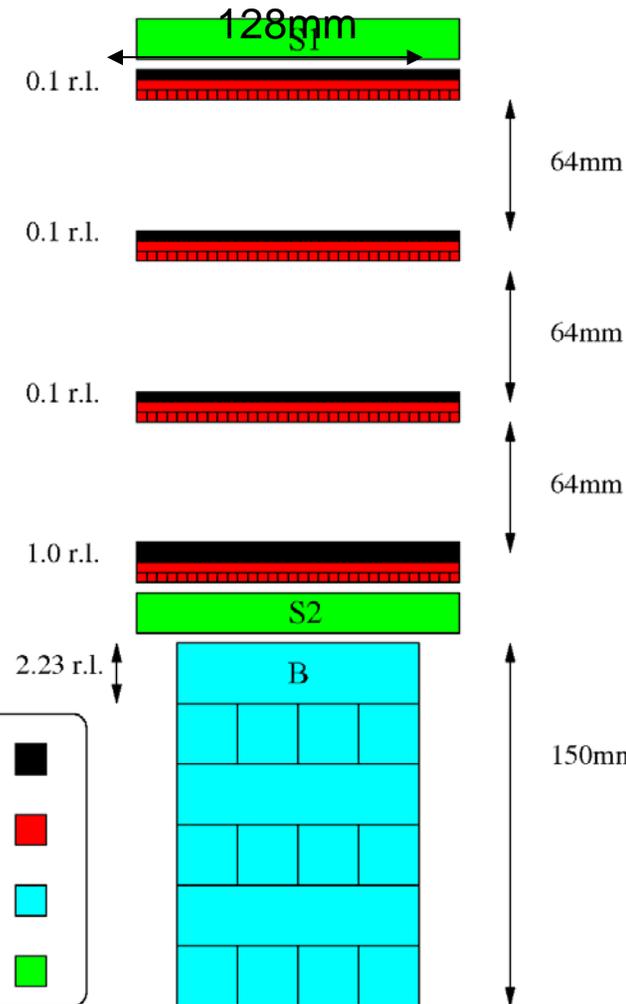
12:15 着水



# 大気球搭載プロトタイプ

## bCALET-1: 1/64スケールモデル

- シンチレーティングファイバー 1024本  
→イメージングカロリメーター (タングステン 1.3r.l.)
- BGOシンチレーター 24本  
→全吸収カロリメーター(計6層 13r.l.)
- トリガーシンチレーター 2枚 (+ BGO 一層目の和)  
トリガー条件  $S1 > 0.7$   $S2 > 0.7$   $B > 5.0$ [MIPs]



圧力容器



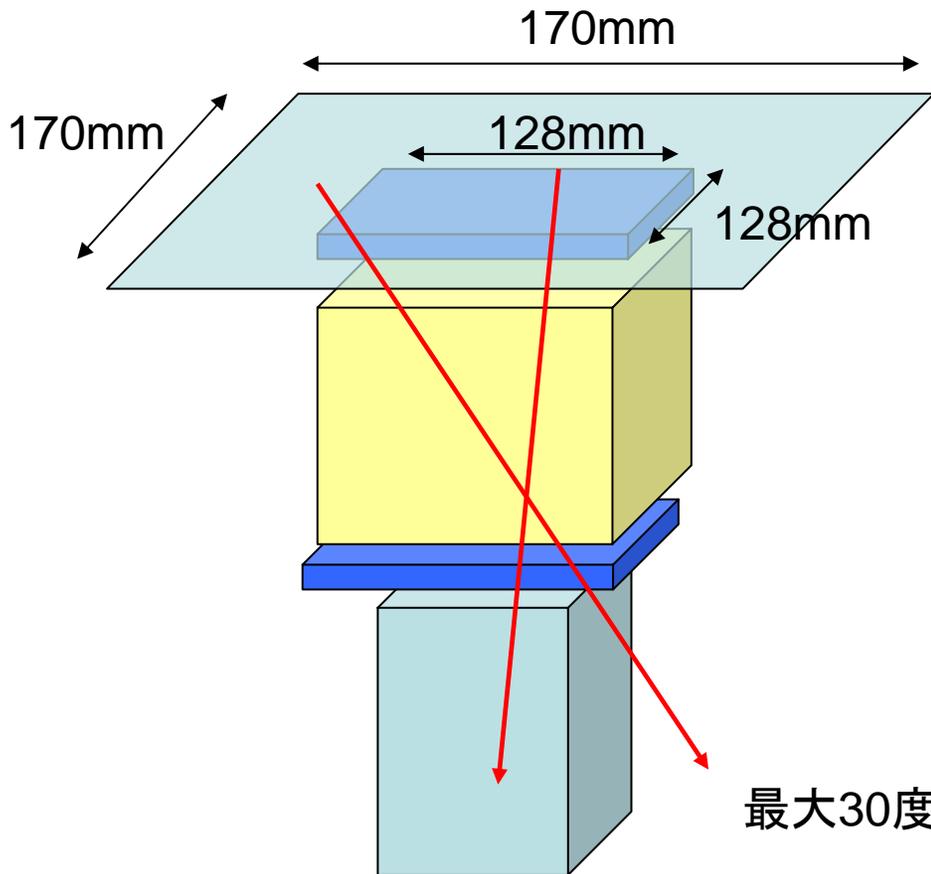
検出器内部

# シミュレーションによる性能評価

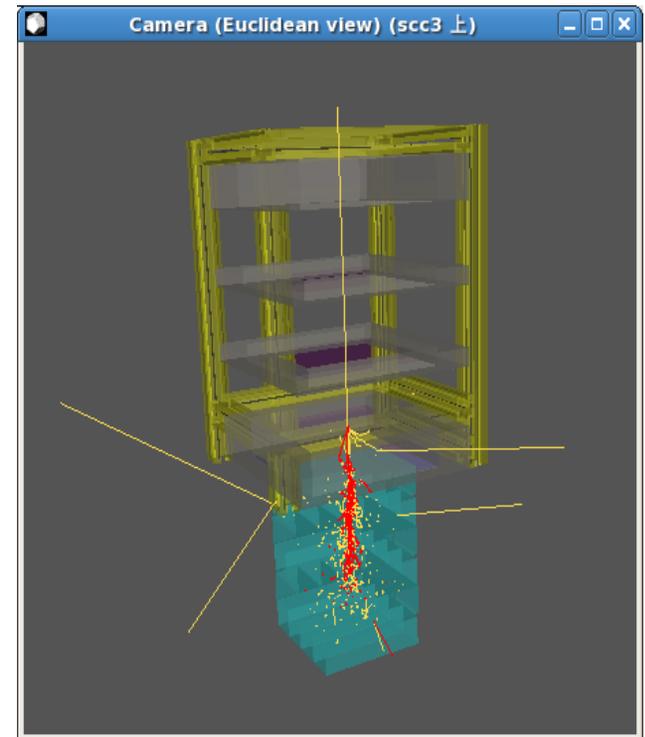
検出器上面から入射する電子に対する観測性能を評価

→ 飛跡再構成、エネルギー決定、粒子弁別方法

→ acceptance、エネルギー分解能、陽子除去率を計算



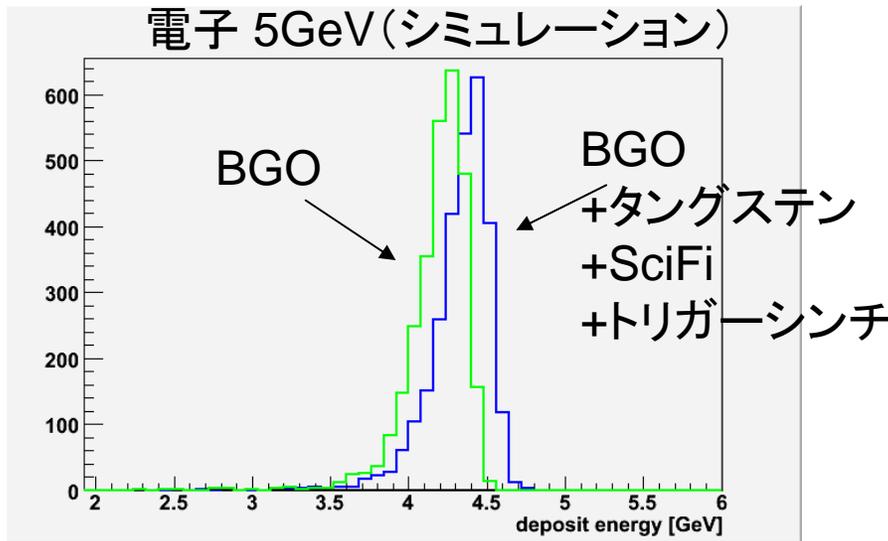
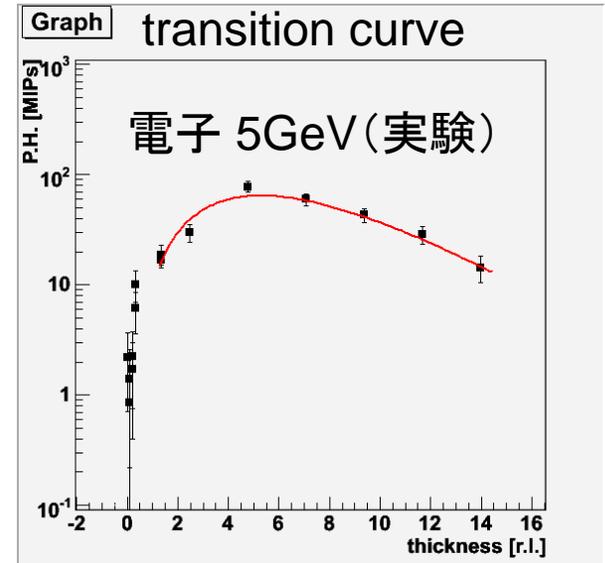
電子 5GeV(シミュレーション)



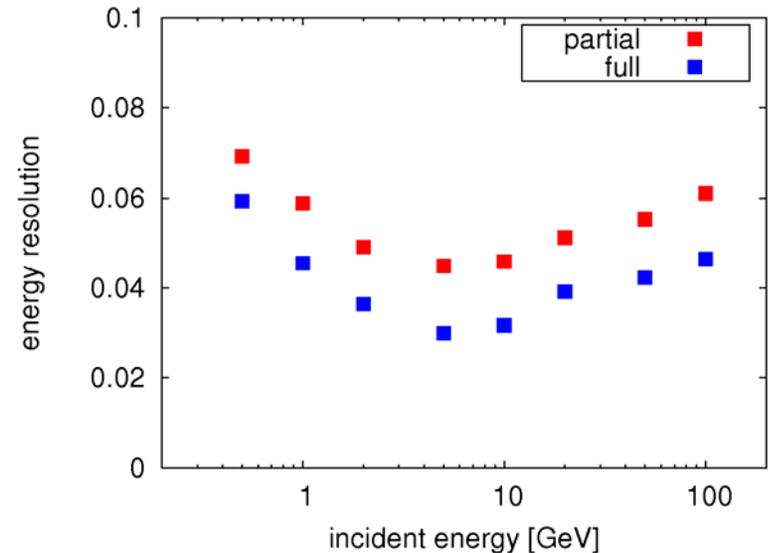


# エネルギー決定

- 大部分のエネルギーは全吸収カロリメーター中で計測されるが、一部はイメージングカロリメーターで失われる
- BGO中エネルギー損失の合計にシンチレーティング  
ファイバー、タングステン、トリガーシンチレーターでの損失を足して決定
- タングステンの寄与はシンチレーティングファイバー、トリガーシンチレーターから推定



## エネルギー分解能



# 陽子弁別

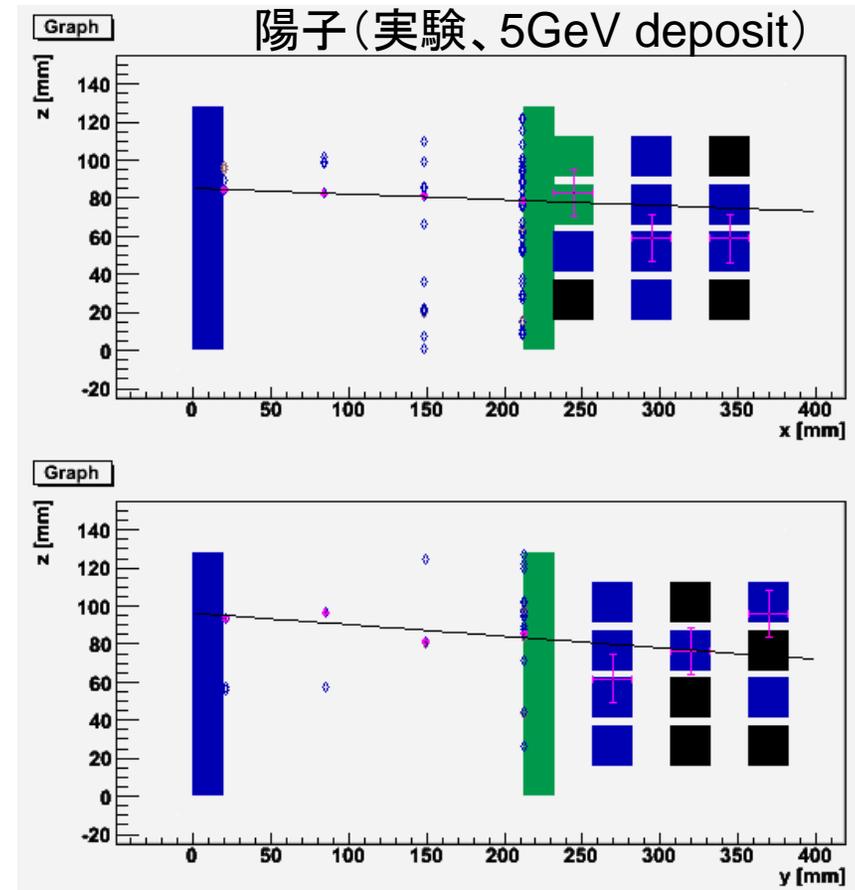
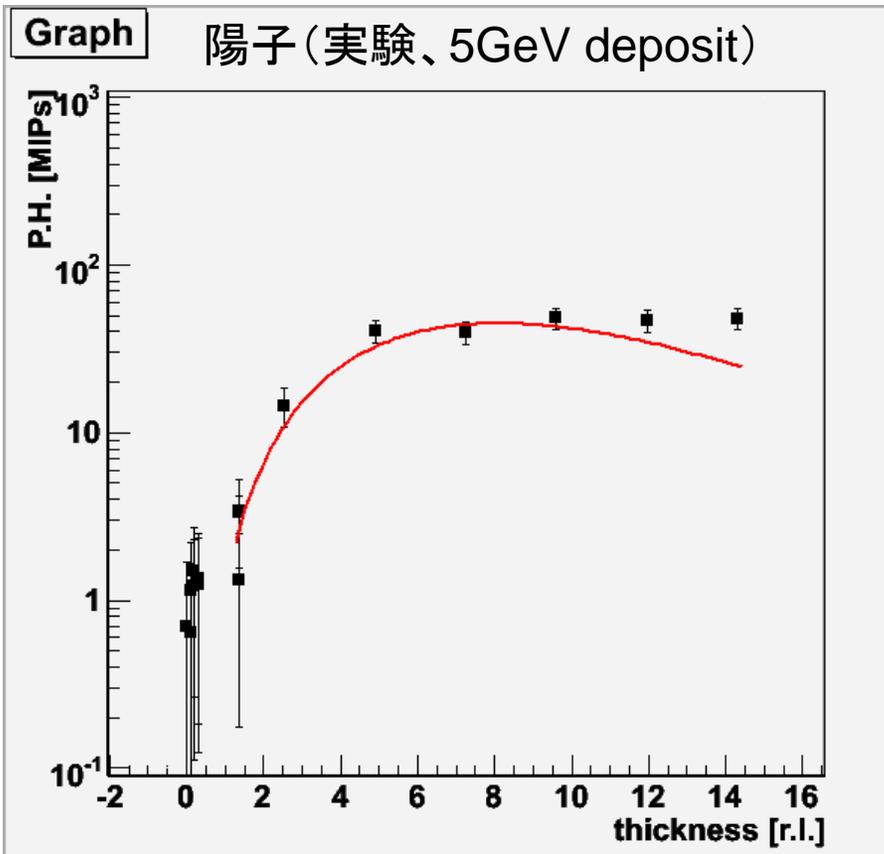
縦方向シャワー発達

横方向シャワー発達

$$\frac{dE}{dt} = \frac{E_0 b}{\Gamma(a)} (bt)^{a-1} e^{-bt}$$

transition curveをfit、  
 $\chi^2$ 、a、bの条件から  
判定する

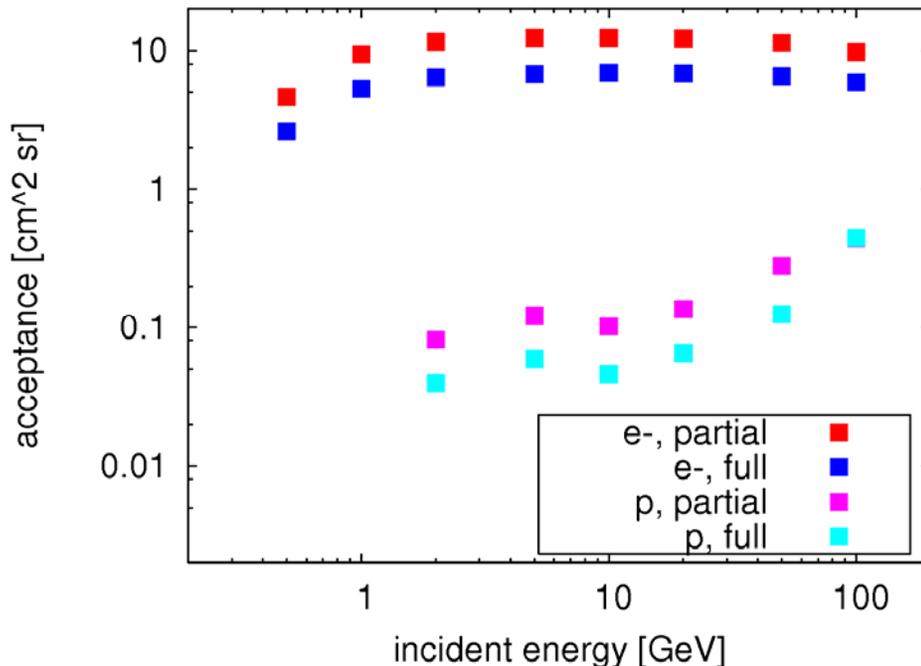
各層におけるエネルギー重心と  
シャワー軸からの広がりを計算し判定



# 陽子除去率

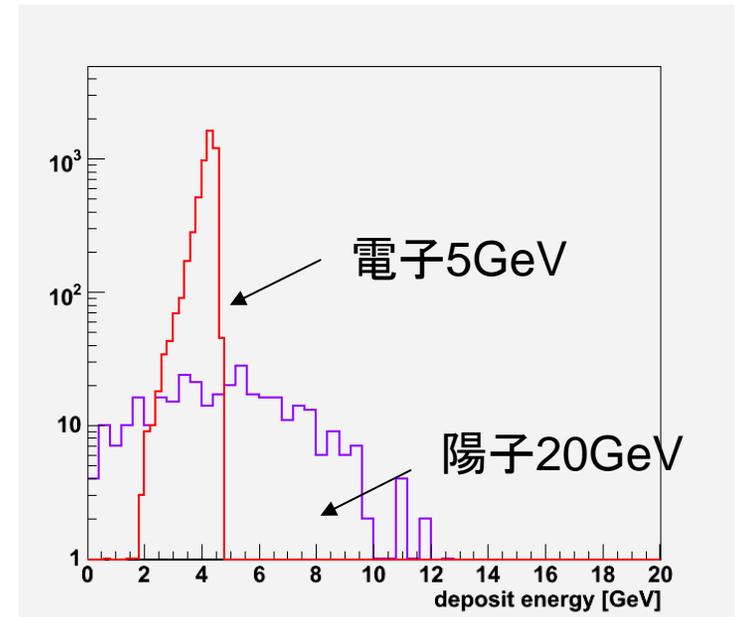
電磁シャワー判定条件により  
電子イベントのみ取り出す

電子 - 80%以上残る  
陽子 - 99%を除去(10GeV)



陽子の平均deposit energyは  
incident energyの約1/4

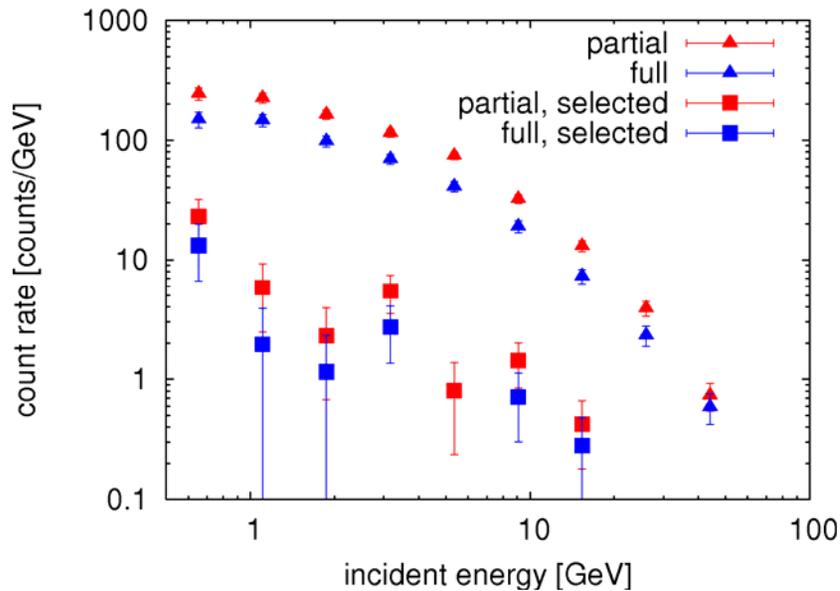
陽子flux  $\propto E^{-2.7}$  であるため  
同じincident energyのものと  
比較するとfluxは約4<sup>-1.7</sup>倍 ~ 1/10  
(energy shift)



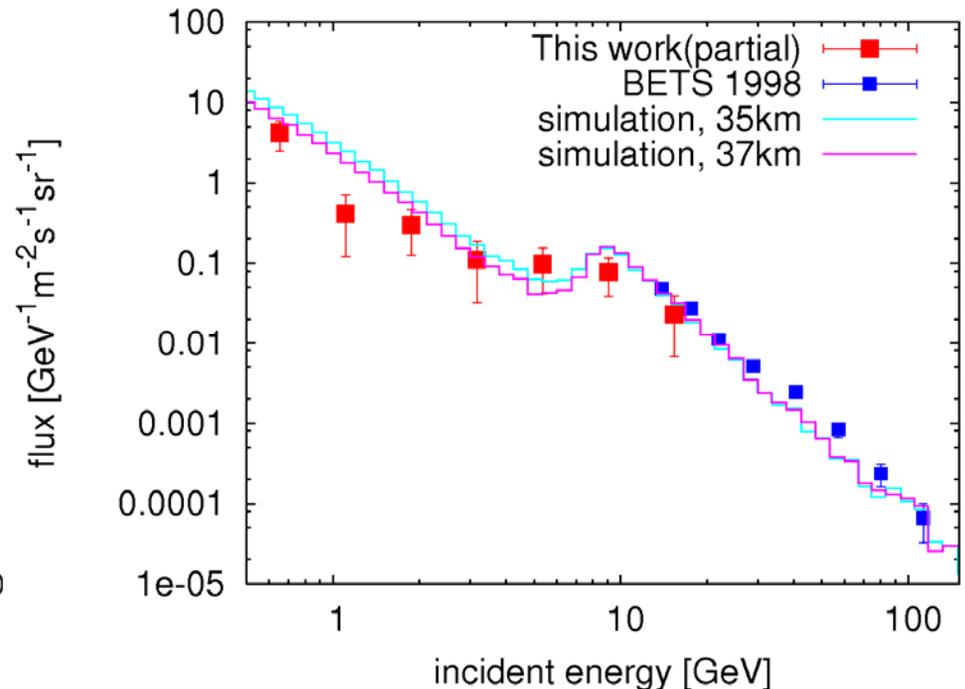
シャワー発達による陽子弁別とenergy shiftにより陽子除去率は約1/1000

# 電子スペクトル

再構成された飛跡の幾何学条件と陽子弁別条件からイベントを選択



陽子除去後のacceptanceから電子fluxを導出

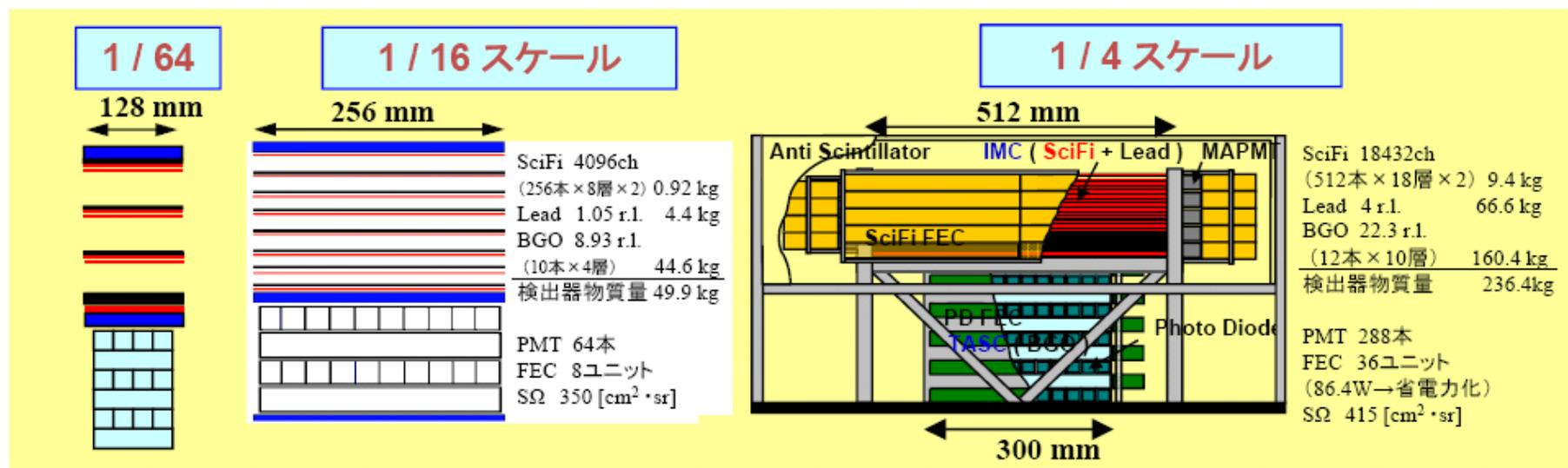
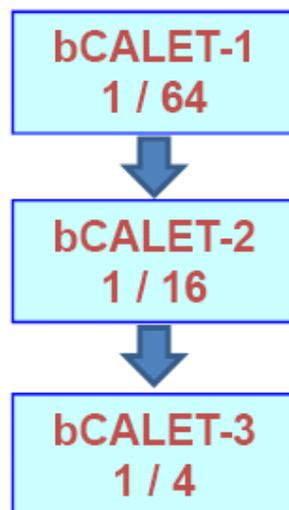


一次宇宙線のシミュレーションから求めた高度35、37kmのfluxとconsistent BETSの結果と合わせて、rigidity cut前後の一次、二次電子成分のスペクトルが得られた

# CALET実証化のための気球観測計画(3段階)



- プロトタイプの大樹町でのテストフライト 2006年**  
 電子・大気 $\gamma$ 線観測、検出器やフロントエンド回路等の動作確認
- スケールモデルの大樹町でのテストフライト 2008年**  
 かに星雲からのガンマ線検出によって性能を評価  
 テスト結果による装置の改良
- 長時間フライトによる実証実験 2009年～**  
 検出器の実証とスペース実験への改良点を把握する  
 ガンマ線天体、拡散ガンマ線、大気ガンマ線観測の結果も期待  
 長期間フライト用の通信、電力はPPBで開発済み

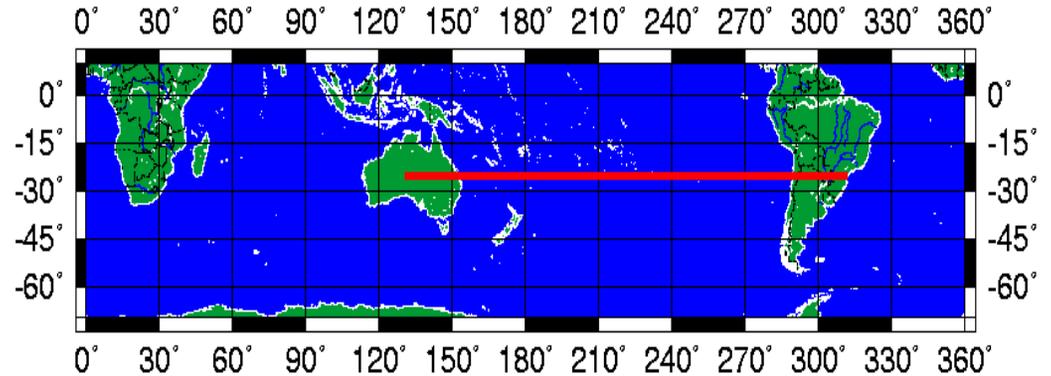


# 今後の計画

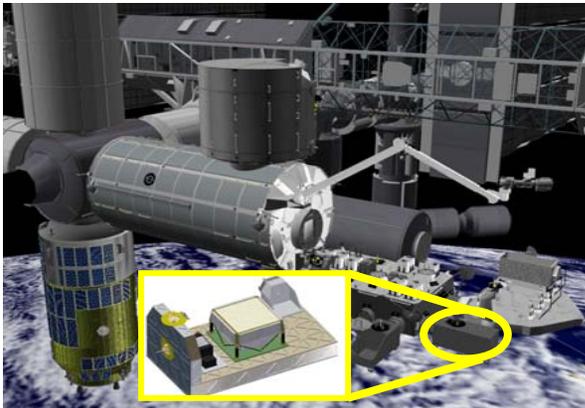
2009~2011年  
JAXA/ISAS 共同実験



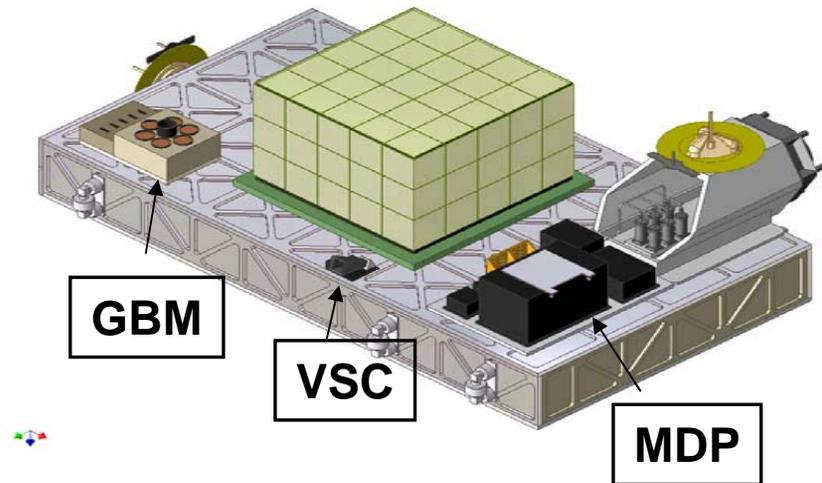
長期間気球実験 20-100日間  
スーパープレッシャーバルーン、南半球周回



~ 2013年 CALET on ISS  
JEM/EF 第2期計画候補ミッション



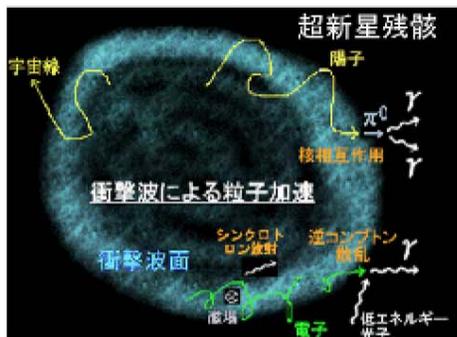
CALET on JEM/EF



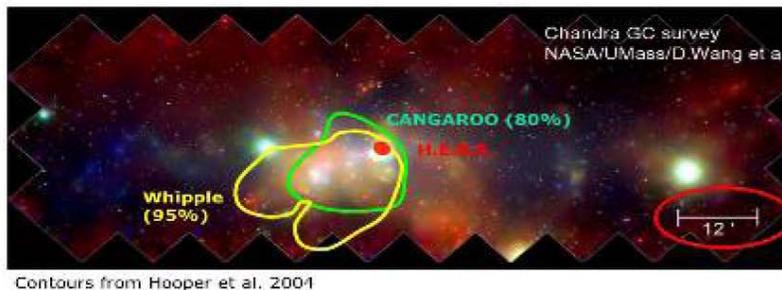
# CALETの概要

## □ CALETの研究目的：高エネルギー宇宙線の解明

超新星残骸の衝撃波による宇宙線加速



銀河中心の未同定天体を含むγ線源

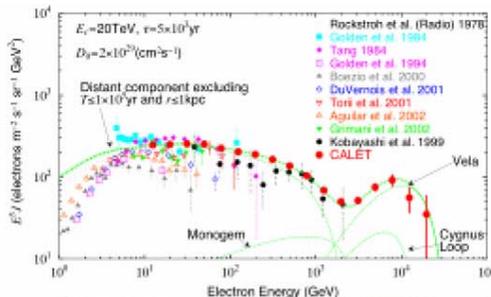


スターバースト銀河M82のジェット現象での宇宙線加速



## □ CALETによる観測：未開拓領域を含む観測

電子エネルギースペクトルの精密測定

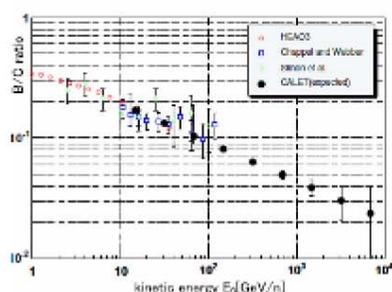


太陽変調

近傍ソース

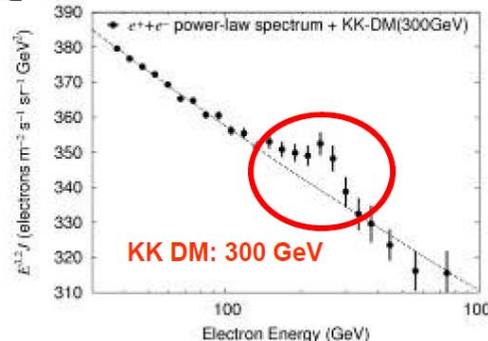
加速、伝播モデル

2次核を含む原子核成分の測定



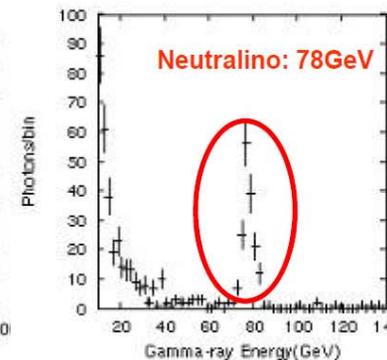
加速、伝播モデルの検証

電子(+陽電子)観測による暗黒物質の検出



Kaluza Klein DM (Cheng et al., 2002)

γ線観測による暗黒物質の検出



SUSY (Bergstrom et al., 2001)

# まとめ

- CALETプロトタイプ検出器を製作、三陸大気球観測所にて2006年に気球実験を行った。
- BETSとは異なる新技術を用いたIMC、TASCは正常に動作、技術実証に成功。
- 電子1~30GeVのfluxを求めた。結果はシミュレーションの値とよく一致し、BETSの値とも統計誤差内で一致している。
- 装置の拡充によりスーパープレッシャー気球による長時間気球観測を行い、国際宇宙ステーション「きぼう」でのCALET計画を実現する。