

長時間気球観測による 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 小澤俊介、笠原克昌、村上浩之、日高健、赤池陽水、福田康博、平晃一、中村亮太
神奈川大学 田村忠久、日比野欣也、有働慈治、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
横浜国立大学 柴田禎雄、片寄祐作
宇宙線研究所 瀧田正人、清水雄輝
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領域での電子、ガンマ線の高精度観測
- CALETプロトタイプ(bCALET-2)の性能実証

□ 発表概要

- 電子観測の成果
- 観測装置開発状況
- 今後の予定

□ 予算

研究費: 400千円 旅費:100千円

支出内容:

トリガーシステム: 光センサーモジュール(H6780)x7

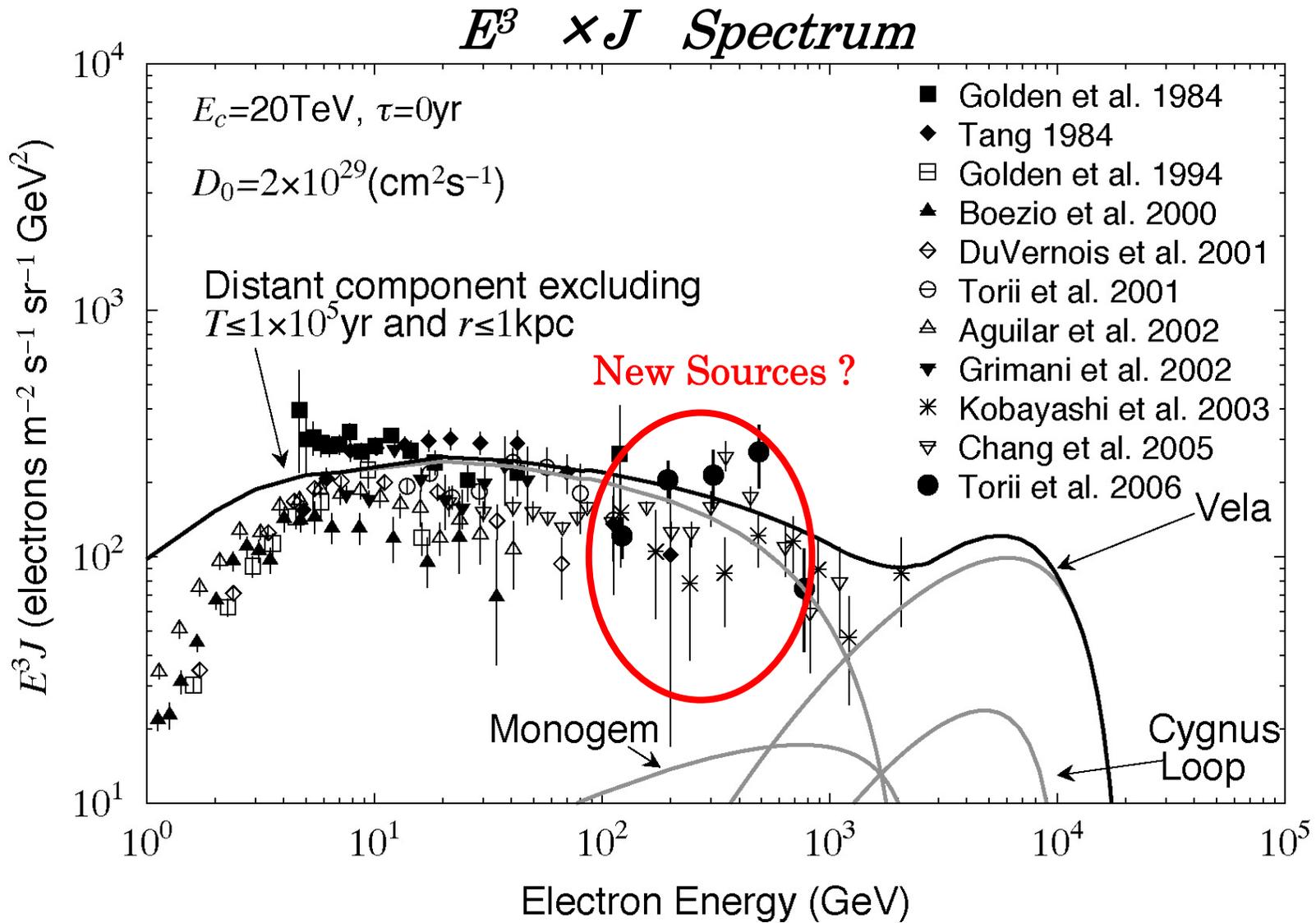
IMC: シンチファイバー(SCSF-78)

□ 共同利用

シミュレーション用計算機

チベットグループ施設

Cosmic-Ray Electron Energy Spectrum



2008.11.20

□ An excess of cosmic ray electrons at energies of 300–800 GeV

J. Chang^{1,2}, J. H. Adams Jr³, H. S. Ahn⁴, G. L. Bashindzhagyan⁵, M. Christl³, O. Ganel⁴, T. G. Guzik⁶, J. Isbert⁶, K. C. Kim⁴, E. N. Kuznetsov⁵, M. I. Panasyuk⁵, A. D. Panov⁵, W. K. H. Schmidt², E. S. Seo⁴, N. V. Sokolskaya⁵, J. W. Watts³, J. P. Wefel⁶, J. Wu⁴ & V. I. Zatsepin⁵

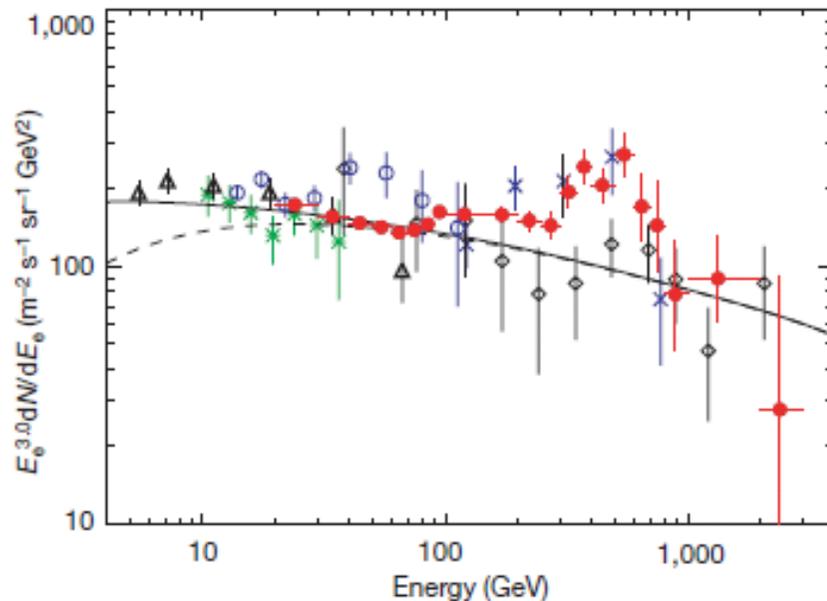
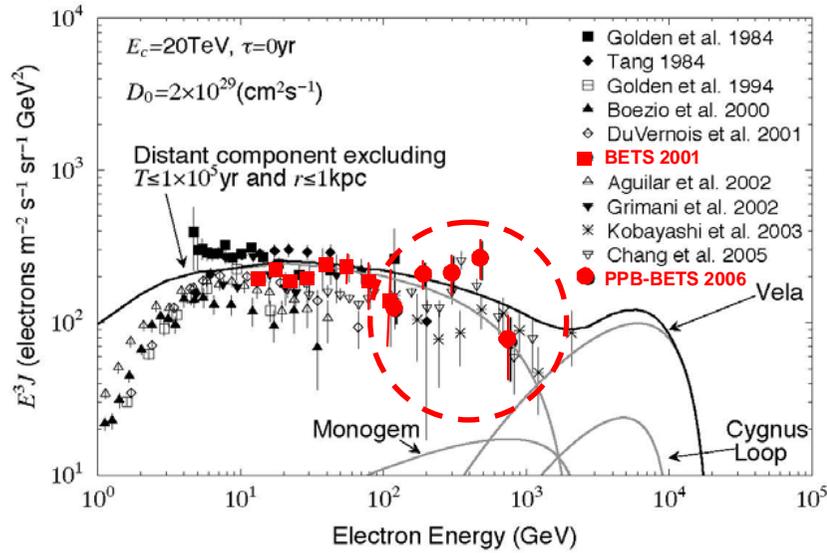


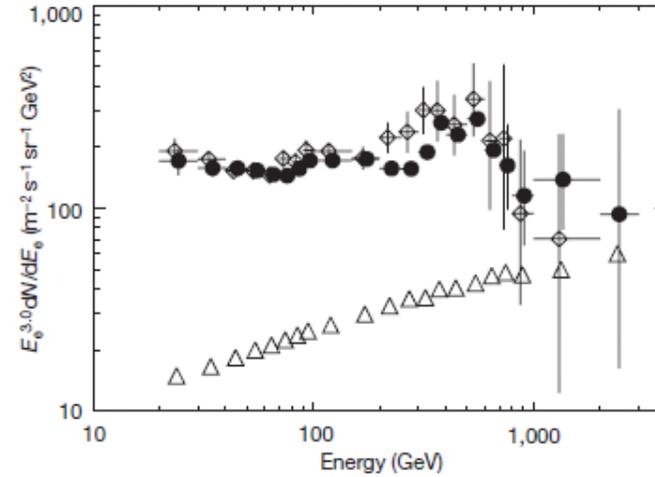
Figure 3 | ATIC results showing agreement with previous data at lower energy and with the imaging calorimeter PPB-BETS at higher energy. The electron differential energy spectrum measured by ATIC (scaled by E^3) at the top of the atmosphere (red filled circles) is compared with previous observations from the Alpha Magnetic Spectrometer AMS (green stars)³¹, HEAT (open black triangles)³⁰, BETS (open blue circles)³², PPB-BETS (blue crosses)¹⁶ and emulsion chambers (black open diamonds)^{4,8,9}, with one sigma uncertainties. The GALPROP code calculates a power-law spectral index of -3.2 in the low-energy region (solid curve)¹⁴. (The dashed curve is the solar modulated electron spectrum and shows that modulation is unimportant above ~ 20 GeV.) From several hundred to ~ 800 GeV, ATIC observes an ‘enhancement’ in the electron intensity over the GALPROP curve. Above 800 GeV, the ATIC data returns to the solid line. The PPB-BETS data also seem to indicate an enhancement and, as discussed in Supplementary Information section 3, within the uncertainties the emulsion chamber results are not in conflict with the ATIC data.

All experiments show excess of Electron flux around 300-800 GeV.

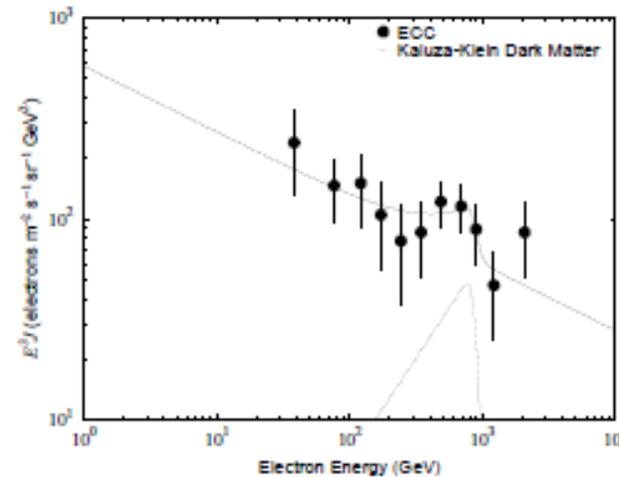
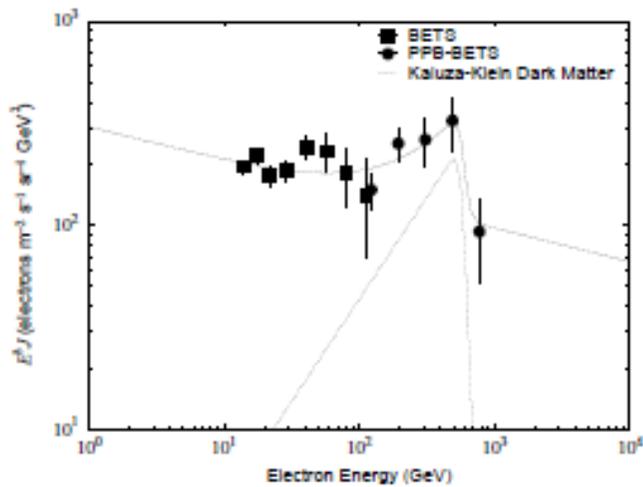
PPB-BETS + BETS



ATIC 1&2

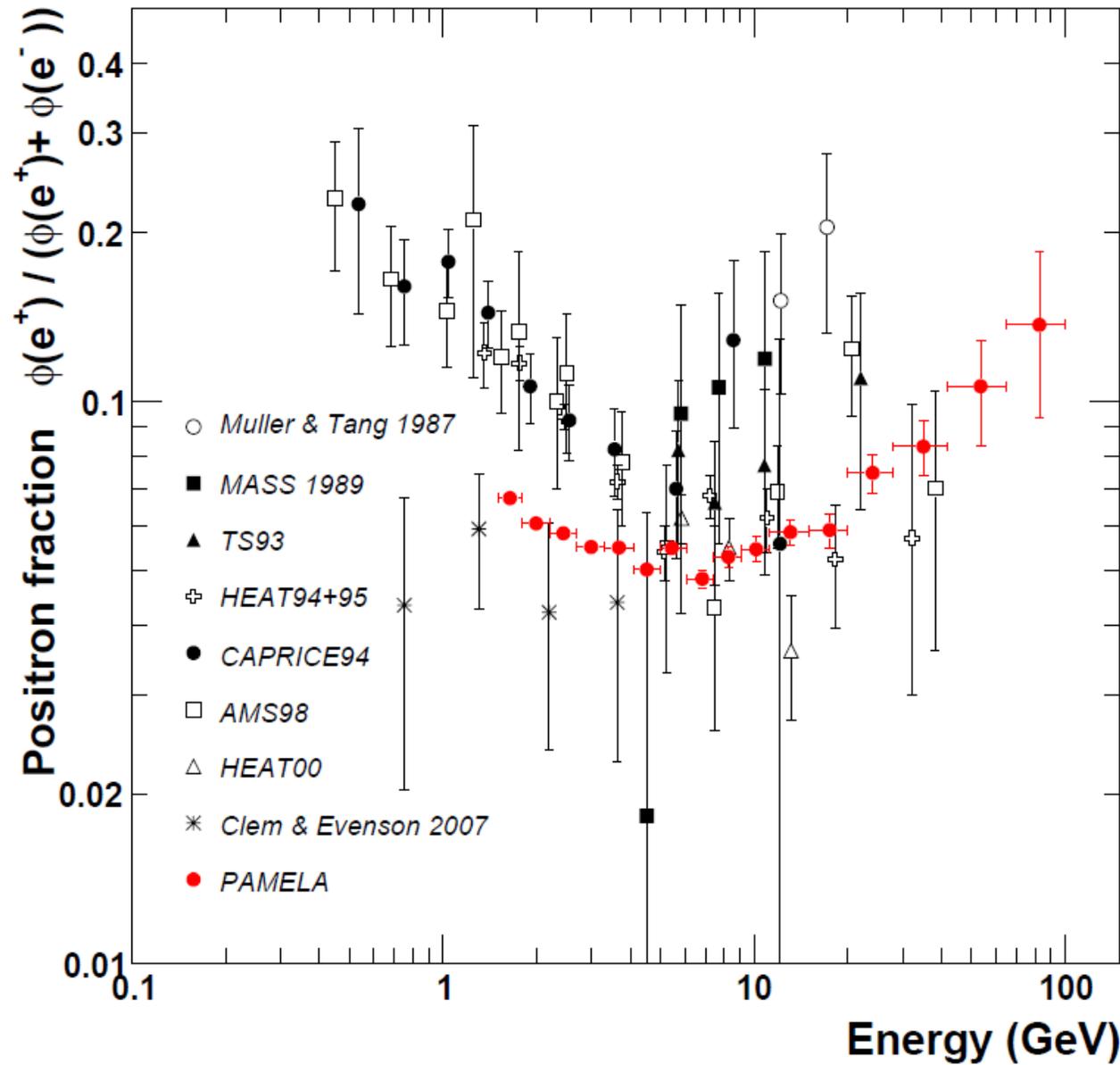


Emulsion Chamber



PAMELA Observation of Positron Ratio

arXiv:0819.4995(astro-ph)



Anisotropy Expected by Pulsars

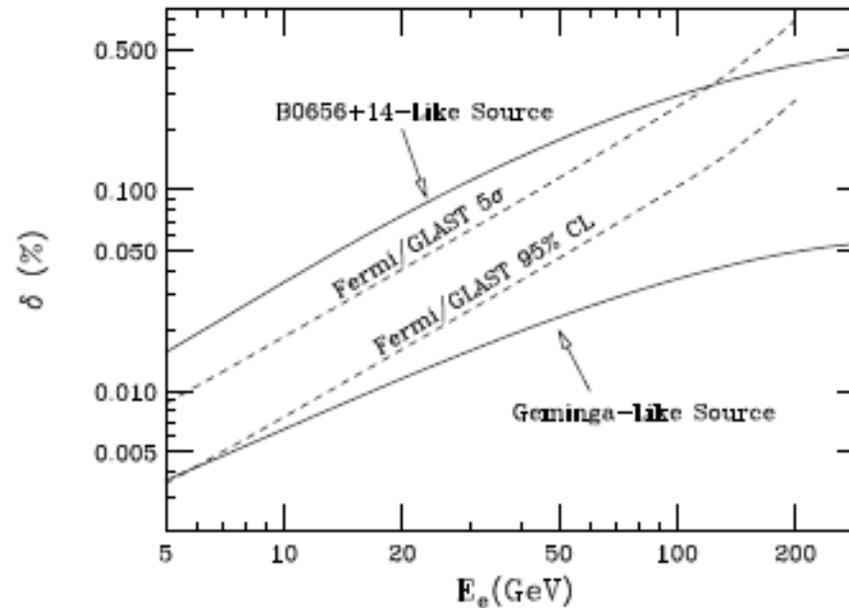


FIG. 5: The dipole anisotropy in the electron+positron spectrum from a source 110,000 years old at a distance of 290 pc (B0656+14-like) and from a source 370,000 years old at a distance of 157 pc (Geminga-like). In each case, we have normalized the energy output to match the PAMELA data and have used a spectral shape of $dN_e/dE_e \propto E_e^{-1.5} \exp(-E_e/600 \text{ GeV})$. Also shown as dashed lines is the sensitivity of the Fermi gamma-ray space telescope to such an anisotropy (after five years of observation). The Fermi sensitivity shown is for the spectrum integrated above a given energy.

Dark Matter Candidates

1. 対消滅によって電子・陽電子対を生成するKK DM
 \Rightarrow BF \sim 200
 質量 620GeV (PAMELA+ATIC/PPB-BETS)

2. 崩壊によって電子・陽電子対を生成するDM

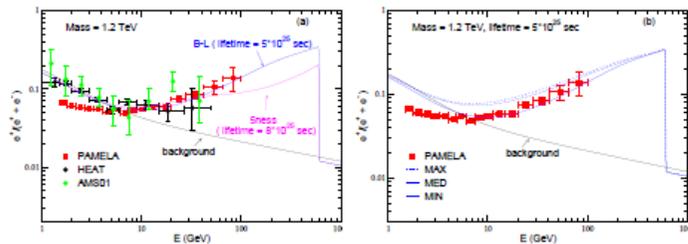


FIG. 1: (a) The predicted positron fraction from A_H decay via the kinetic mixing with $U(1)_{B-L}$ (blue line) and $U(1)_Y$ (magenta line), compared with the experimental data [13, 14], including the recent PAMELA results [1]; (b) For $U(1)_{B-L}$ case only, using different sets of parameters in solving

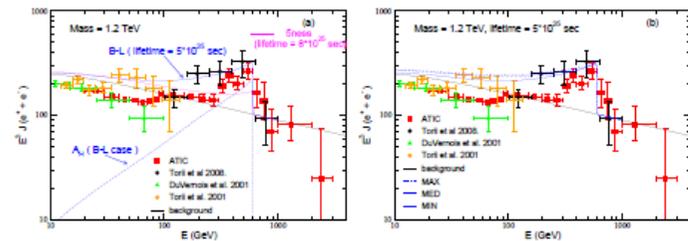


FIG. 2: (a) The predicted $(e^- + e^+)$ spectrum from A_H decay via the kinetic mixing with $U(1)_{B-L}$ (blue line) and $U(1)_Y$ (magenta line), compared with the various observational data [15, 16] including the latest ATIC [2] and PPB-BETS [3] results. (b) For $U(1)_{B-L}$ case only, using different sets of parameters in solving diffusion equation.

Decaying Hidden Gauge Boson and the PAMELA and ATIC/PPB-BETS Anomalies

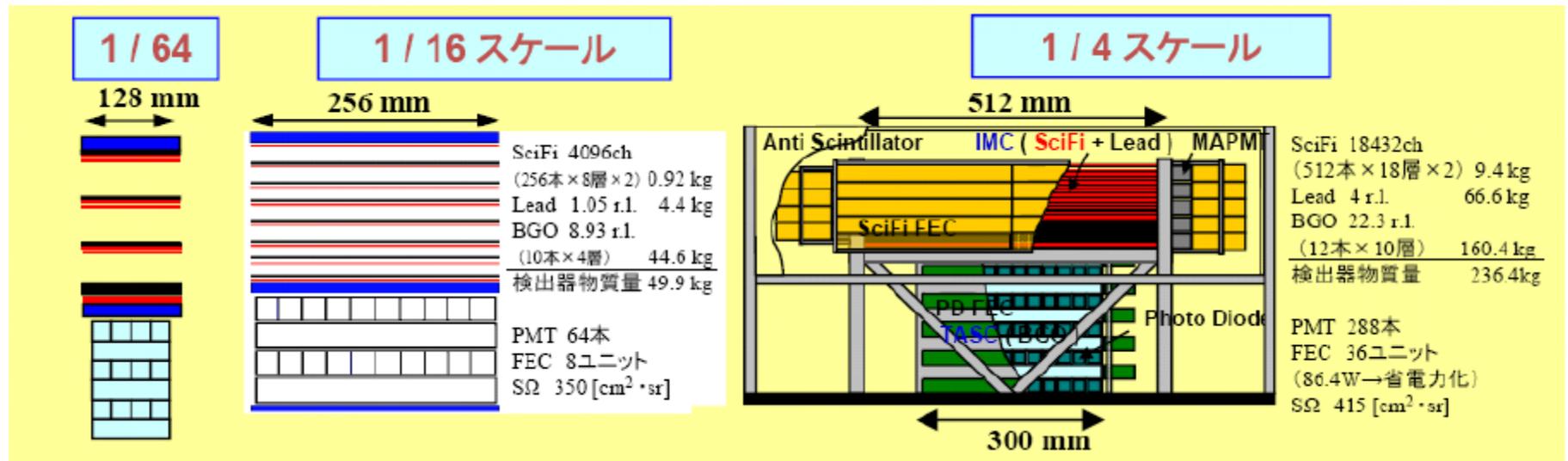
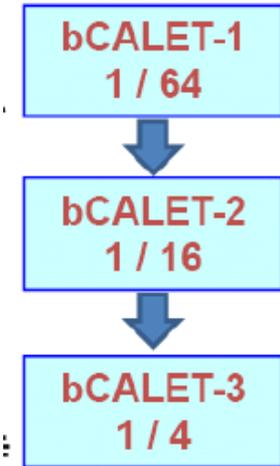
Chuan-Ren Chen¹, Mihoko M. Nojiri^{1,3}, Fuminobu Takahashi¹ and T. T. Yanagida^{1,2}

astro-ph 0810.1527

Life $\sim O(10^{26} \text{sec})$
 Mass $\sim 1.2 \text{ TeV}$

CALETプロトタイプによる気球観測計画

- bCALET1による三陸でのテストフライト 2006年
1~10GeV領域での電子観測、フロントエンド回路・検出器の動作確認
- bCALET2によるブラジルでの長時間飛行テストフライト 2009年(採択)
1~100GeV領域での電子高精度観測、長時間飛行実験のためのテクニカルフライト
- bCALET3による大陸間横断(北極周回)気球実験 2010、11年(予定)
数100GeV領域での電子過剰の検証、CALET性能実証 (~ATIC)



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

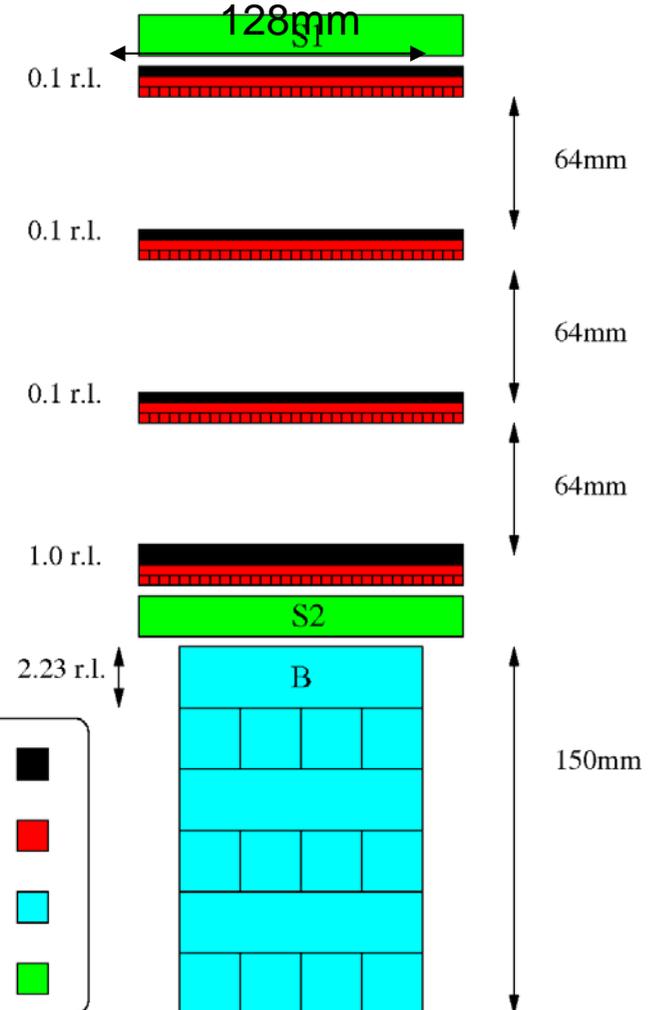
B100-14 2006年
5/25~30 装置準備、啗合せ
5/31 放球・回収



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]



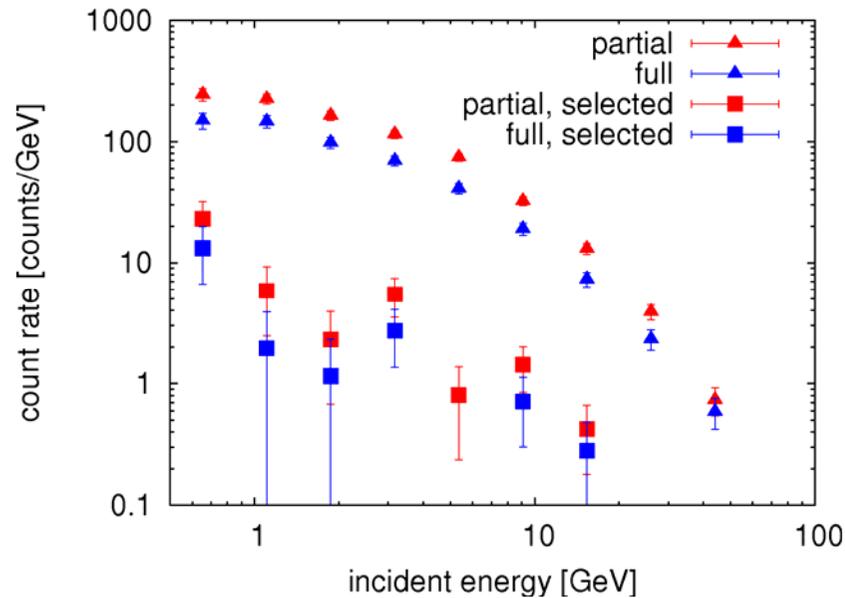
圧力容器



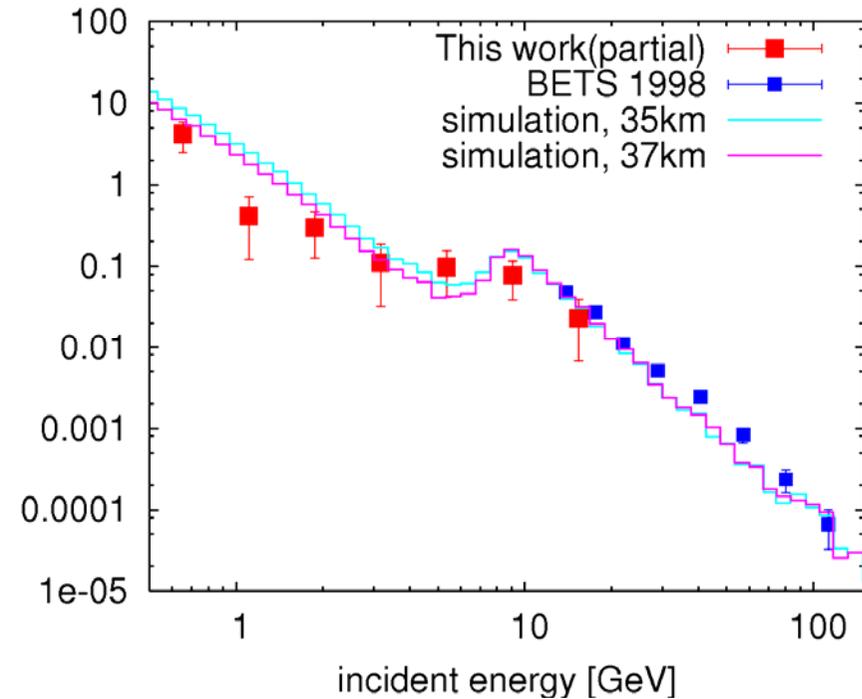
検出器内部

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



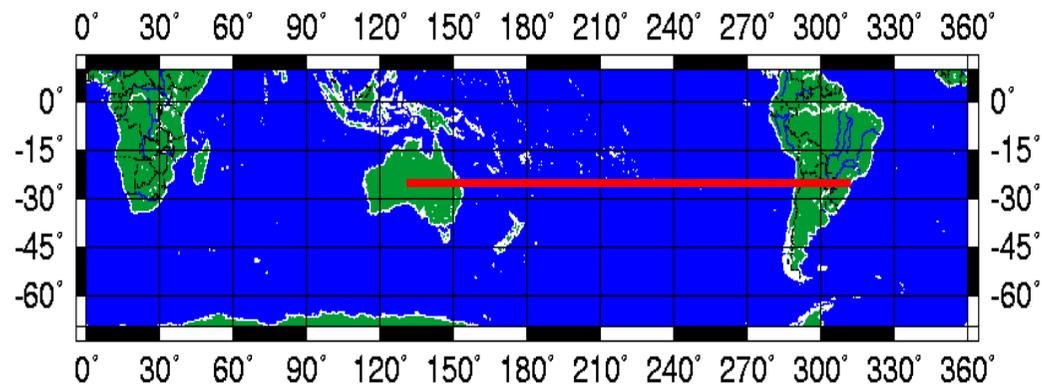
一次宇宙線のシミュレーションから求めた高度35、37kmのfluxとconsistent BETSの結果と合わせて、rigidity cut前後の一次、二次電子成分のスペクトルが得られた

今後の計画

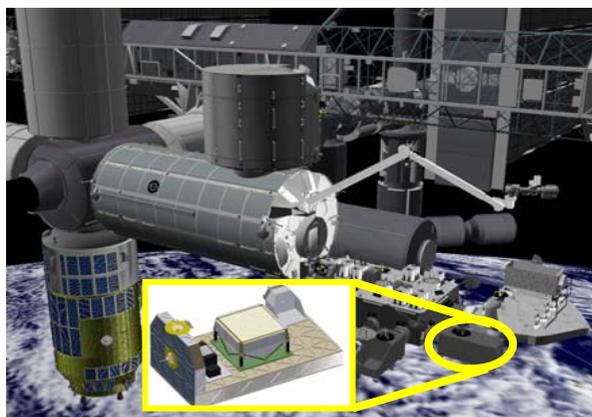
2009~2011年
JAXA/ISAS 共同実験



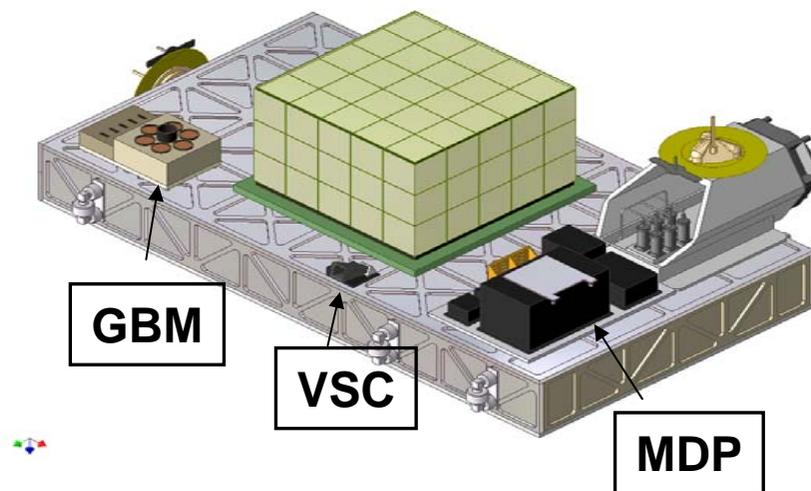
長期間気球実験 20-100日間
スーパープレッシャーバルーン、南半球周回



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



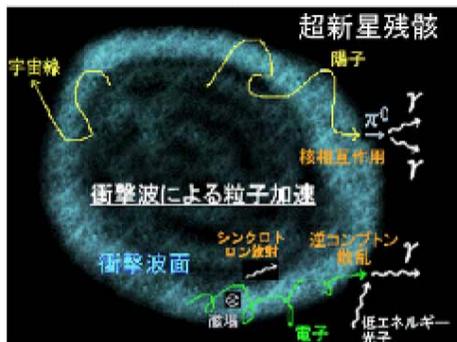
CALET on JEM/EF



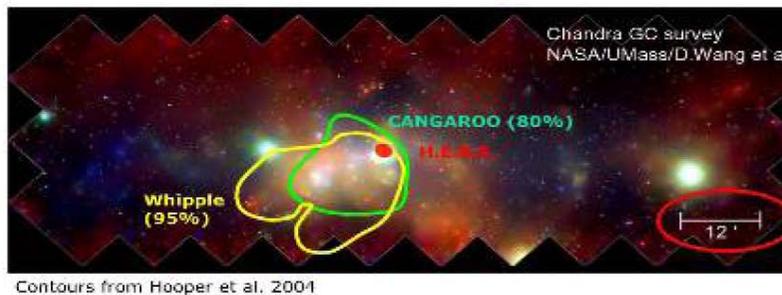
CALETの概要

□ 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

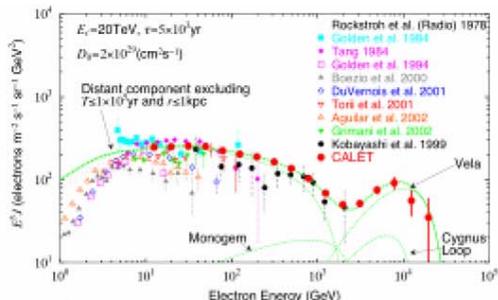


スターバースト銀河M82のジェット現象での宇宙線加速



□ 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

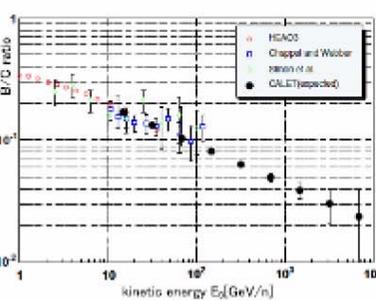


太陽変動

近傍ソース

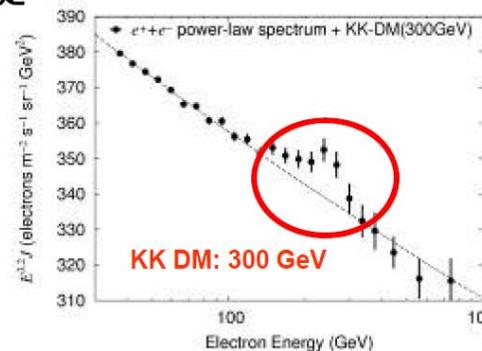
加速、伝播モデル

2次核を含む原子核成分の測定



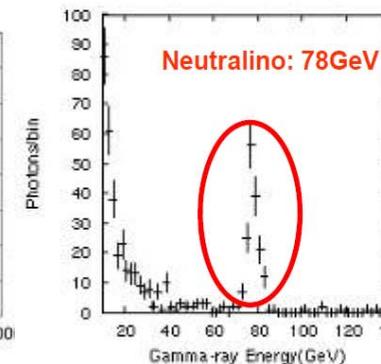
加速、伝播モデルの検証

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)

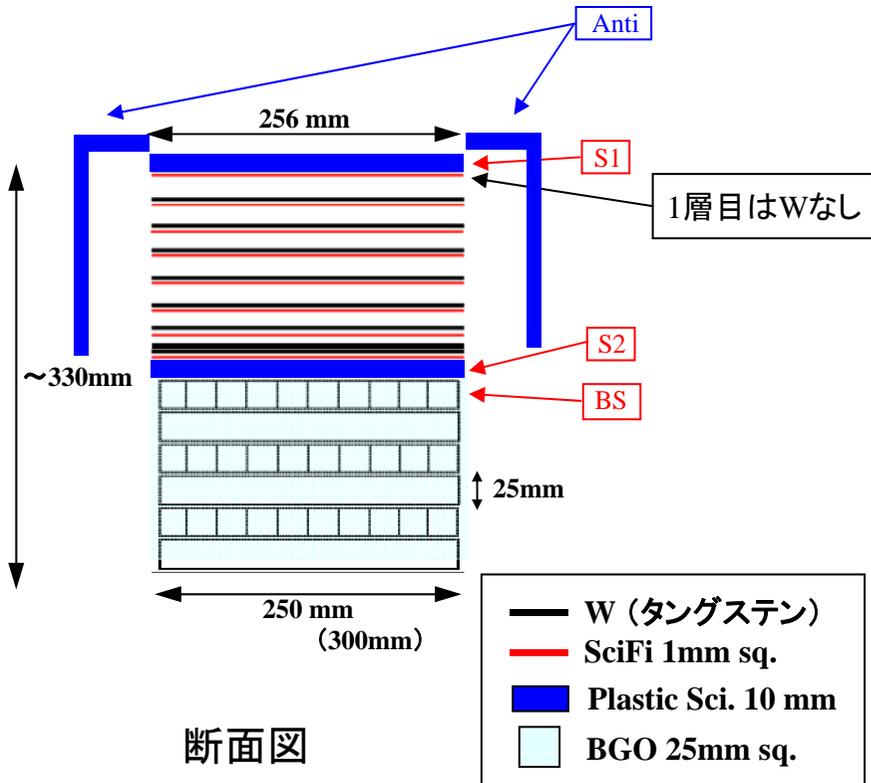
bCALET-2 概要

- 解像型カロリメータ(IMC)**
 入射軸、シャワー発達の観測精度向上
シンチレーティングファイバー (SciFi):
 1mm sq. , **256mm × 256mm × x-y8層**
 →**4096本**、64chMAPMT読み出し
タングステン(W) を直上に配置
 0.43 r.l. × 6層、1.00 r.l. × 1層

- 全吸収型カロリメータ(TASC)**
 読み出し回路を新たに開発
BGOシンチレータ:
25mm sq. × 300mm
 10本アレイ**6層**(90度交互の向きに配置)
 →60本、PD読み出し

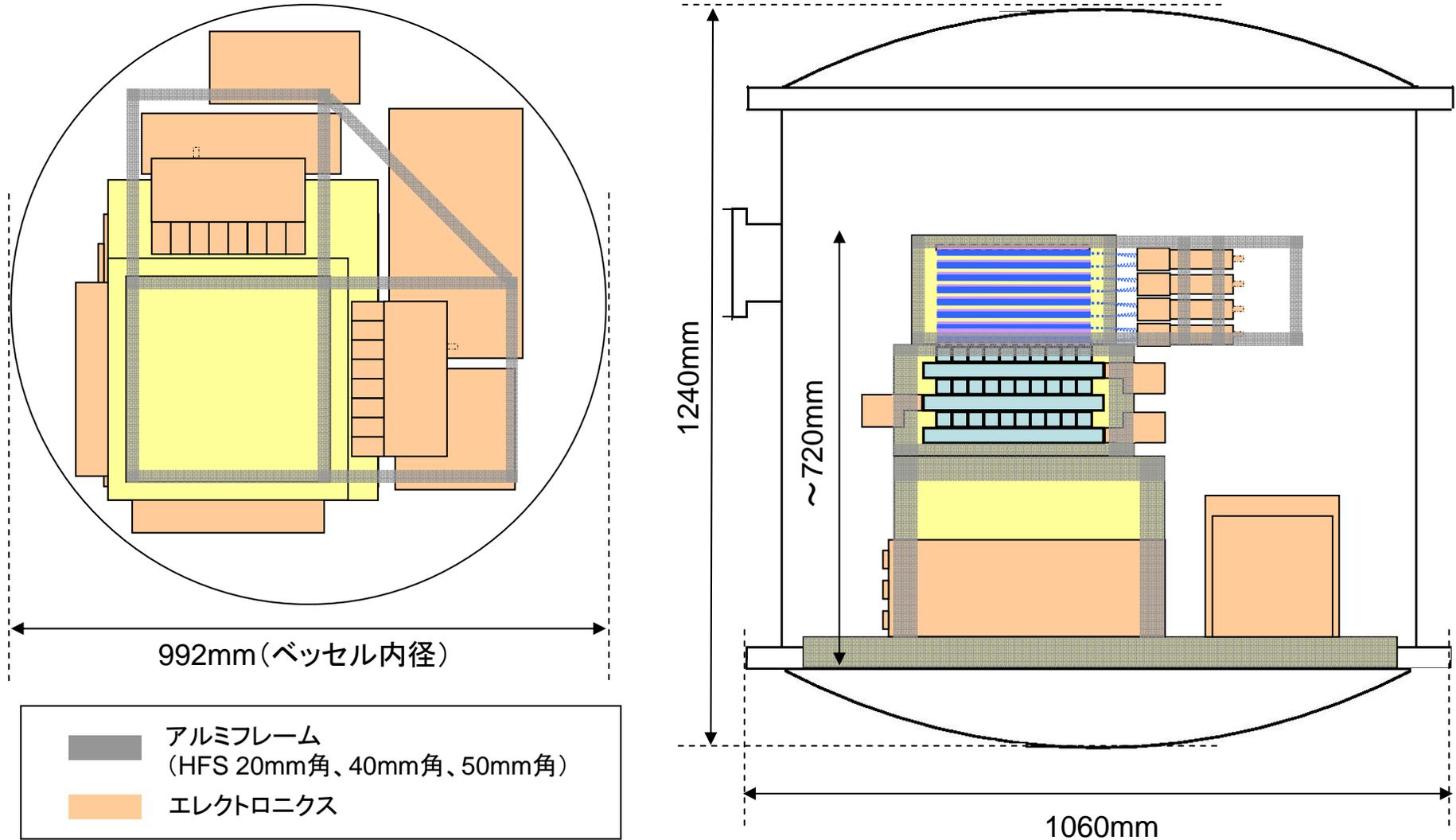
トリガー

- プラスチックシンチレータ(S1, S2)**
 10mm厚、WLS + PMT読み出し
- TASC1層目sum(BS)**
 BGO10本のPMT読み出しの合計値



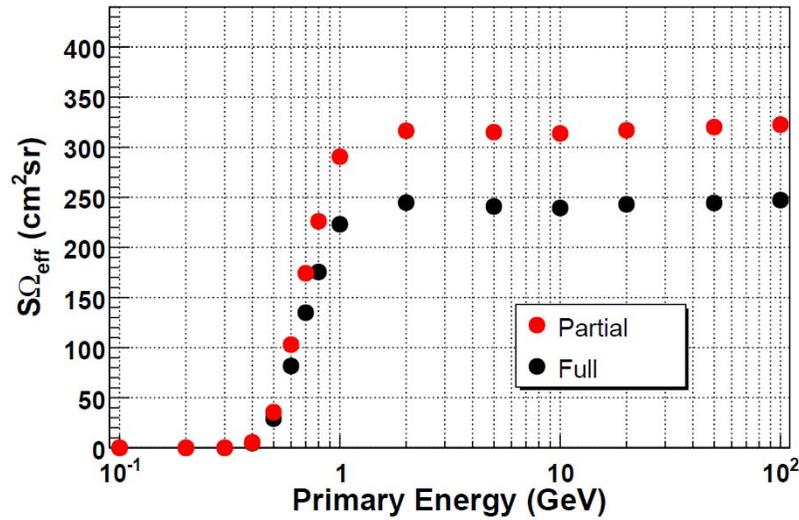
物質質量: 16.9 r.l.
 SΩ: ~320cm²sr
 装置重量: 300kg
 消費電力: ~90W
 バッテリー: ~1600Whr
 レベルフライト5時間以上想定

bCALET-2 構造概念図

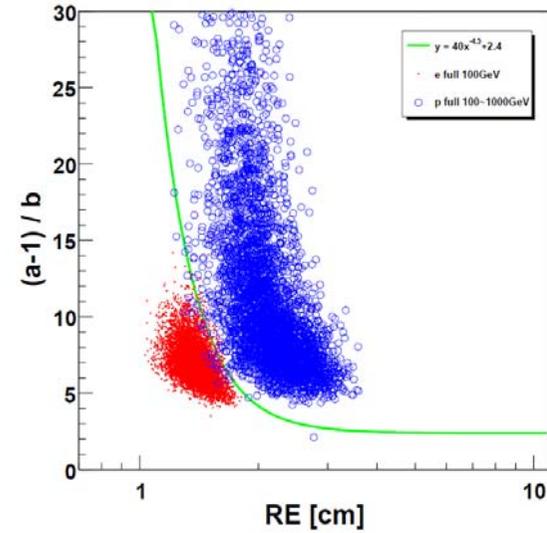


BCALET-2 Performance by Simulation

Geometrical Acceptance

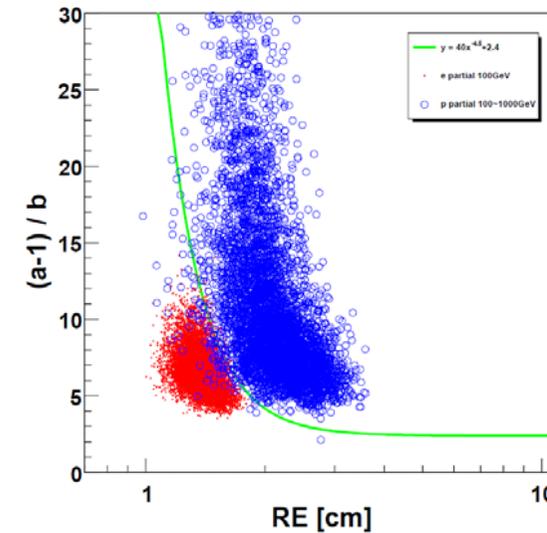
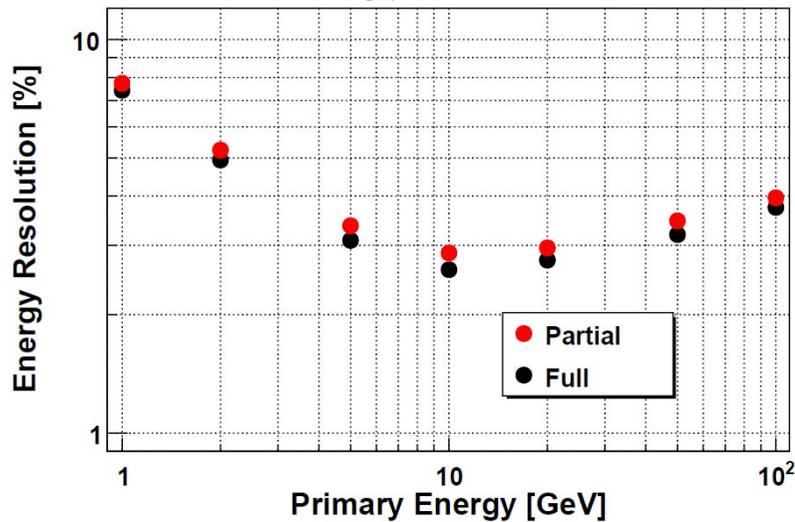


e/p Separation



Full

Energy Resolution



Partial

まとめ

- CALETプロトタイプ検出器(bCALET-1)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2009年にbCALET-2, 2010-11年にbCALET-3による長時間気球観測を行い、数100GeV領域での電子過剰を検証する。
- 現在Phase A研究を実施している国際宇宙ステーション「きぼう」でのCALET計画の2009年中での承認により、2013-14年に打上げを実現し、暗黒物質・近傍ソースの探索を実現する。

***** 「電子・陽電子観測と関連する話題」研究会案内 *****

- 日時 12月24日(水) 13:00-18:30
- 場所 新宿区大久保3-4-1
早稲田大学 大久保キャンパス(理工) 55S号館第三会議室(55S-2-04)
(地下鉄副都心線西早稲田駅直結)
- 連絡先
鳥居祥二 Tel: 03-5286-3090 e-mail: torii.shoji@waseda.jp
- プログラム
[Observation] (13:00-15:20)
 - 1) High energy electron observation by ATIC
Jin Chang (Purple Mountain Observatory, CAS)
 - 2) Electron energy spectrum at energies of 10-1000 GeV observed by the BETS detector*
Shoji Torii (Waseda University)
 - 3) The CALET Project for Dark Matter and Nearby Cosmic-Ray Source Searches*
Kenji Yoshida (Shibaura Institute of Technology)
 - 4) Propagation of electron components and high energy electron observations with Emulsion Chamber
Jun Nishimura (ISAS)
 - 5) Anti-proton observation by the BESS-Polar*
Akira Yamamoto (KEK) (not confirmed)
 - 6) Status and Initial Results from Fermi Observations of GeV Gamma-ray Sky*
Jun Kataoka (Tokyo Inst. of Technology)----- Coffee Break -----
[Dark Matter] (15:30-17:00)
 - 7) Dark Matter Candidates and Positron (Electron) Excess in Cosmic Ray
- Gravitino Dark Matter and Kaluza-Klein Dark Matter -
Shigeki Matsumoto (Toyama University)
 - 8) Decaying hidden gauge boson and the PAMELA and ATIC/PPB-BETS anomaly
Fuminobu Takahashi (IPMU)
 - 9) Signatures of dark matter annihilation in the light of recent measurements of positron/electron excess
Kazunori Nakayama (ICRR)[Astrophysics] (17:00-17:50)
 - 10) Gamma-ray burst remnants and cosmic-ray positrons
Kunihito Ioka (KEK)
 - 11) Electrons, gamma-rays and antiprotons*
Toru Shibata (Aoyama Gakuin University.)[Free Discussions] (17:50-18:30)
*は20分 それ以外は30分

