

長期間気球観測による 高エネルギー宇宙線加速天体の研究

研究代表者：鳥居祥二(早大 理工研)

神奈川大学 田村忠久

参加研究者及び研究補助

早稲田大学 笠原克昌、小澤俊介、清水雄輝、村上浩之、
赤池陽水、相場俊英、中井幹夫、植山良貴、仁井田多絵、
伊藤大二郎、効部樹彦、中村正則、近藤慧乃輔
神奈川大学 田村忠久、日比野欣也、有働慈治、
JAXA/宇宙科学研究所 斎藤芳隆、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
芝浦工業大学 吉田健二
立命館大学 森 正樹

平成22年度共同利用研究成果発表研究会

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 - 100 GeV領域での電子、ガンマ線の観測
- 気球実験によるCALETプロトタイプの性能実証

■ 発表概要

- bCALET-2観測概要
- 観測データ解析
- 電荷測定器の開発(bCALET-3 & CALET)

■ 予算

研究費 : 500千円

支出内容: 電荷測定器用 PMT (321千円)
装置機装材料 (152千円)

■ 共同利用

計算機(シミュレーション計算)

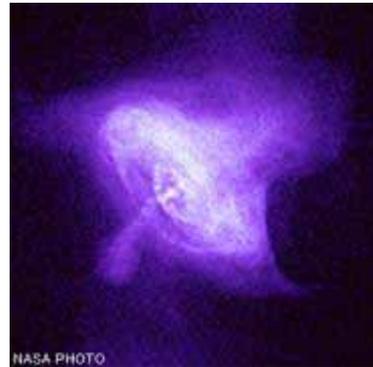
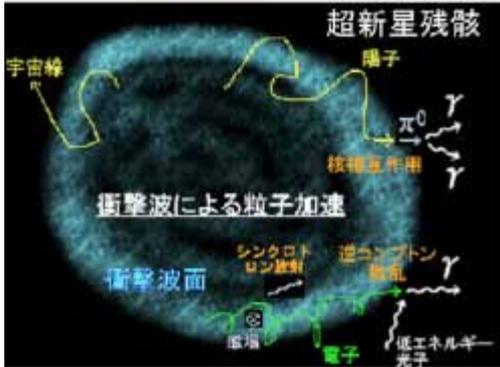
電子・陽電子観測

高エネルギー宇宙線電子・陽電子の観測により、宇宙物理学における最大の謎である**暗黒物質**及び**宇宙線加速源**の解明

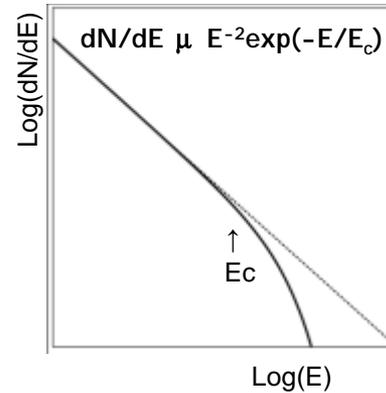
宇宙物理的起源

超新星残骸における衝撃波加速

パルサー風星雲における加速

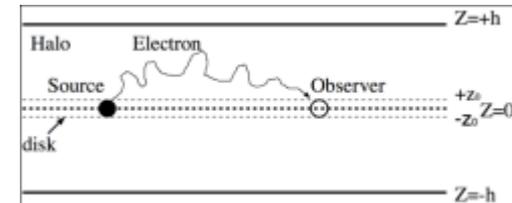


生成スペクトル
(冪型関数 + カットオフ)



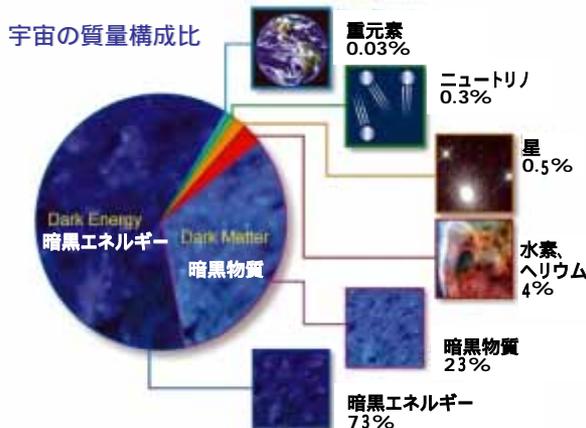
銀河内伝播機構

- 拡散過程
- エネルギー損失
 $dE/dt = -bE^2$
(シンクロトロン放射 + 逆コンプトン散乱)
- $p^{+/-}$ or $K^{+/-}$ \otimes $m^{+/-}$ \otimes $e^{+/-}$



素粒子物理的起源

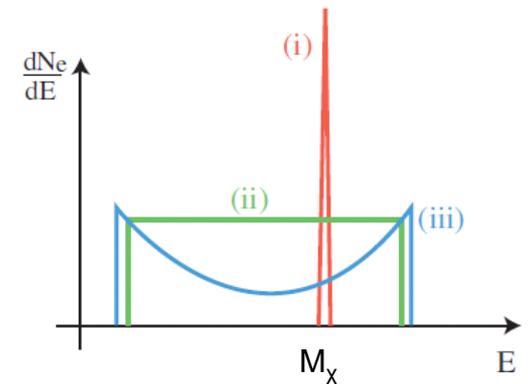
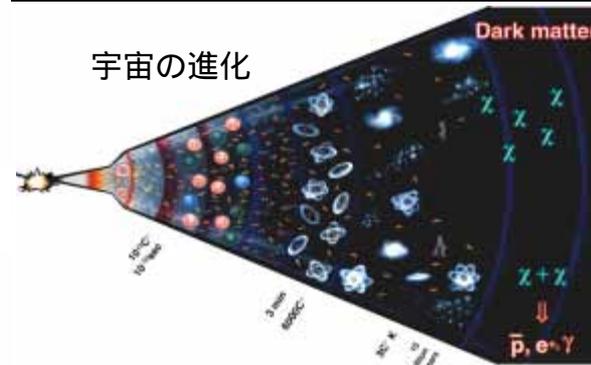
宇宙論観測による暗黒物質の割合



暗黒物質 (WIMP) の対消滅



宇宙の進化



生成スペクトル (WIMPの種類に依存)

- () 単一エネルギー: 電子・陽電子対直接生成 (LKP)
- () 一様分布: 一様分布で崩壊する中間粒子を經由
- () ダブルピーク: 双極的分布で崩壊する中間粒子を經由 (SUSY)

bCALET-2 装置構造

シリコン検出器アレイ (SIA)

入射電荷量測定
粒子入射位置同定

SIA側信号受付の不具合により、
データ収集を行わなかった。

解像型カロリメータ (IMC)

飛跡再構成
シャワー開始深さ同定

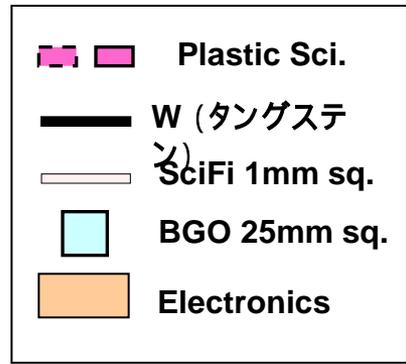
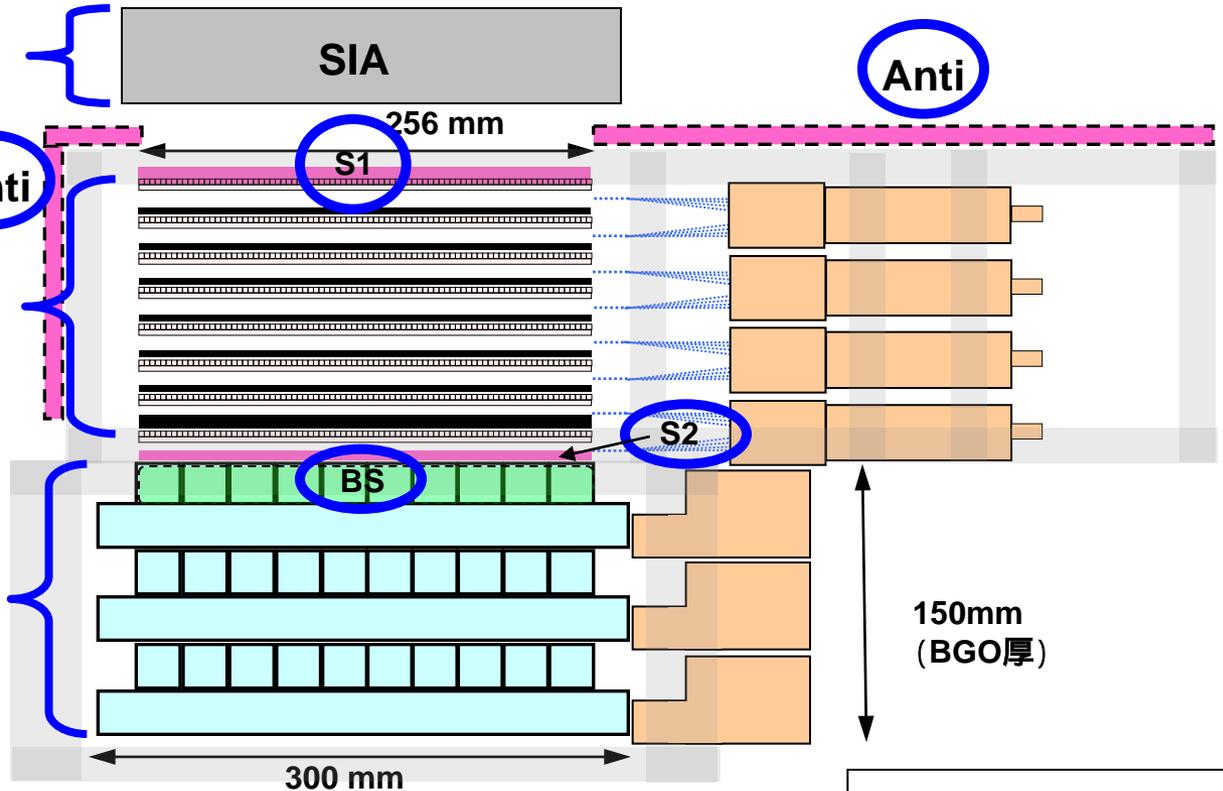
全吸収型カロリメータ (TASC)

エネルギー測定
電子、陽子の識別

トリガーシステム

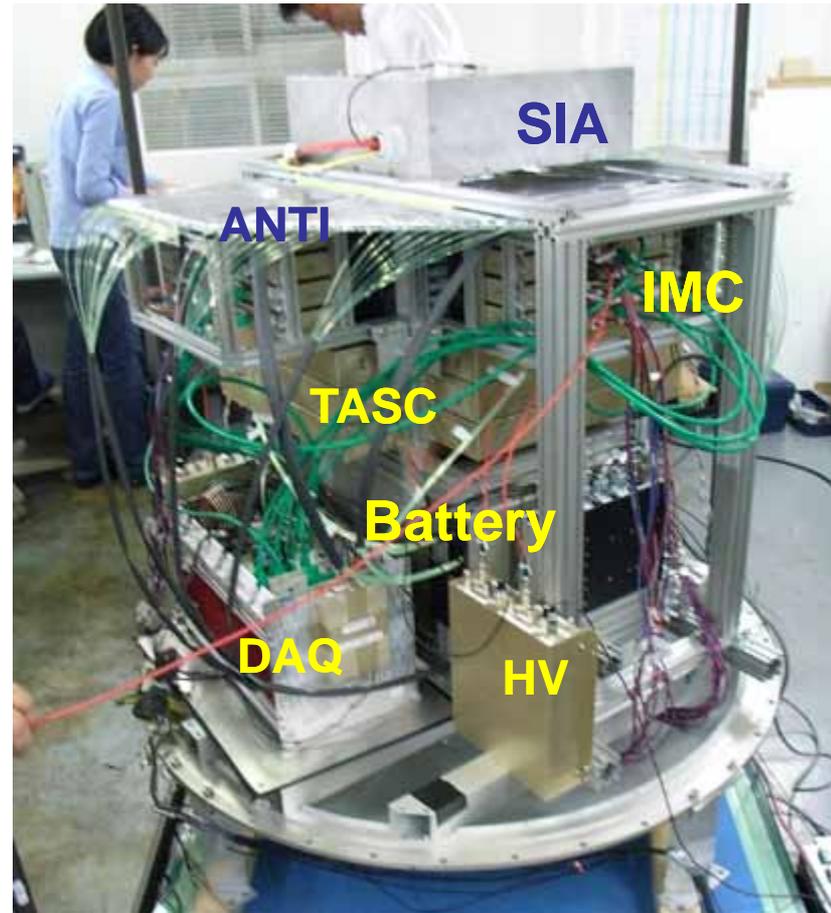
S1 }
S2 } プラスチックシンチレータ+PMT
Anti }

BS TASC1層目の信号 (PMTにより読み出し) 10本分の和



bCALET-2観測概要

- ρ 放球日時: **2009年8月27日(木) 6:21**
- ρ 放球場所: **JAXA大樹航空宇宙実験場**
- ρ 飛行高度: **~ 35km**
- ρ 飛行時間: **約4.5時間**
(35kmレベルフライト約2.5時間)
10:50 観測終了 - 切り離し
11:45 十勝港沖約25kmにてゴンドラ回収
- ρ 取得データ数
 - レベルフライト(~35km 約2.5時間)
約13,000例
 - 上昇時(約2時間)
約12,000例トリガーモード別
 - 電子 + ガンマ線
約19,000例
 - 電子
約6,000例



シャワー軸再構成

シャワー軸

➡ 入射位置決定、到来方向決定、粒子識別

∅IMC

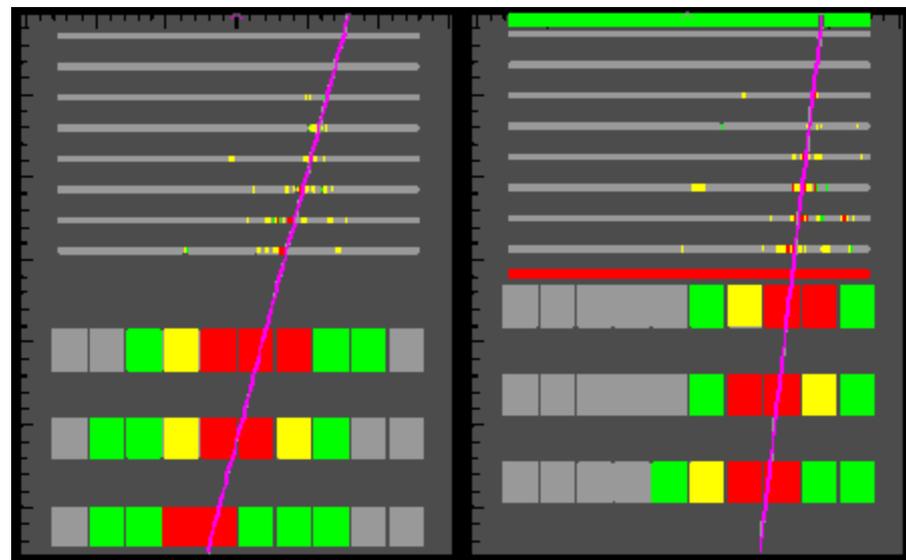
各層で最も発光したSciFi とその
両隣のエネルギー重心を算出

∅TASC

各層で最も発光したBGOとその
両隣のエネルギー重心を算出



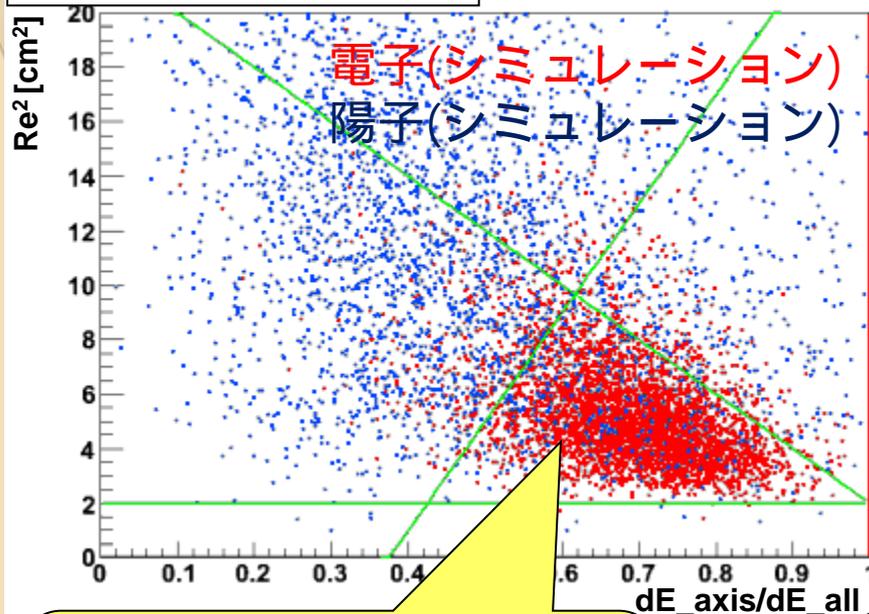
全層の重心を直線フィット



電子24GeV 再構成例
(シミュレーション:発光量を色で表現)

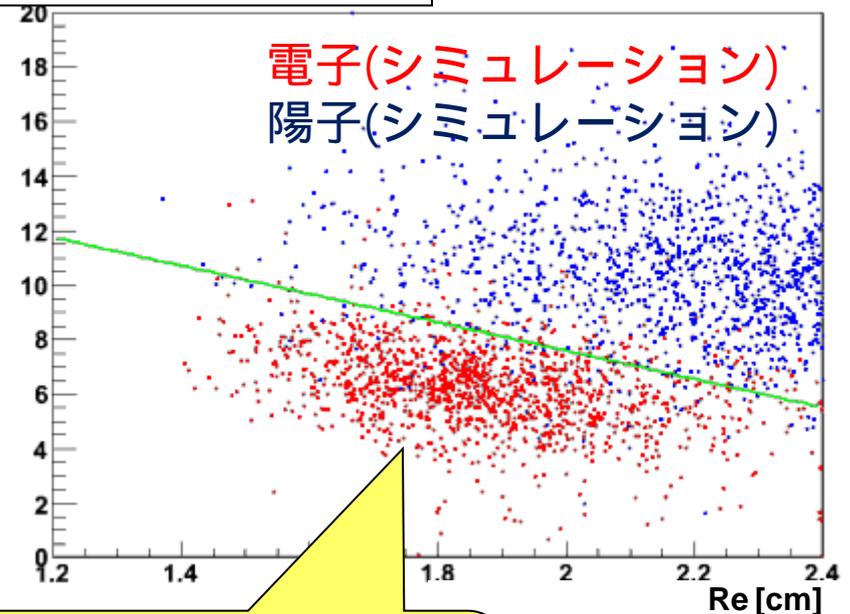
各パラメータの二次元分布により電子・陽子を識別、 シミュレーションデータから電子イベントのcriteriaを決定

1GeV~6.7GeV

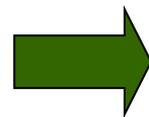


電子残存率 : 73.7%
陽子混入率 : 7.95%

6.7GeV 以上



電子残存率 : 83.5%
陽子混入率 : 5.41%



実験データから電子候補 68イベントを選別
(bCALET-2)

電子・ γ 線識別

高エネルギーの γ 線は、後方散乱によって
電子トリガーにかかる・・・

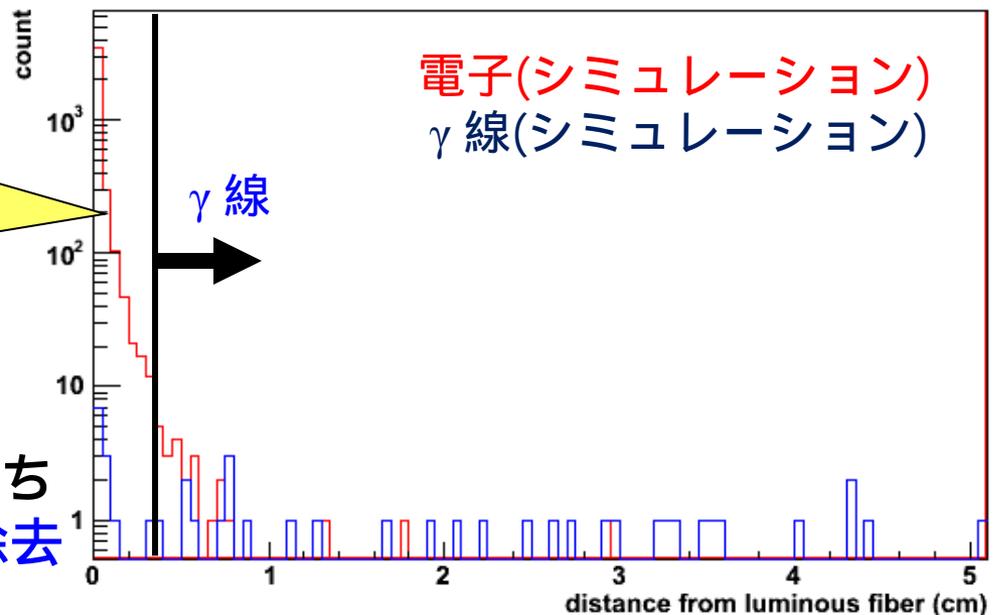
IMCの1層目において、
シャワー軸に最も近い発光点までの距離で判定

電子残存率：97.9%

γ 線混入率：0.23%



電子候補 68イベントのうち
3イベントを γ 線として除去
(bCALET-2)



電子フラックスの導出

$$Flux [m^{-2}sr^{-1}s^{-1}GeV^{-1}] = \frac{N}{\Delta E \cdot t \cdot S\Omega} (1 - c_p) \times (1 - c_\gamma) \frac{1}{\varepsilon_e}$$

N : 各エネルギー幅の粒子数

ΔE : エネルギー幅

t : 観測時間

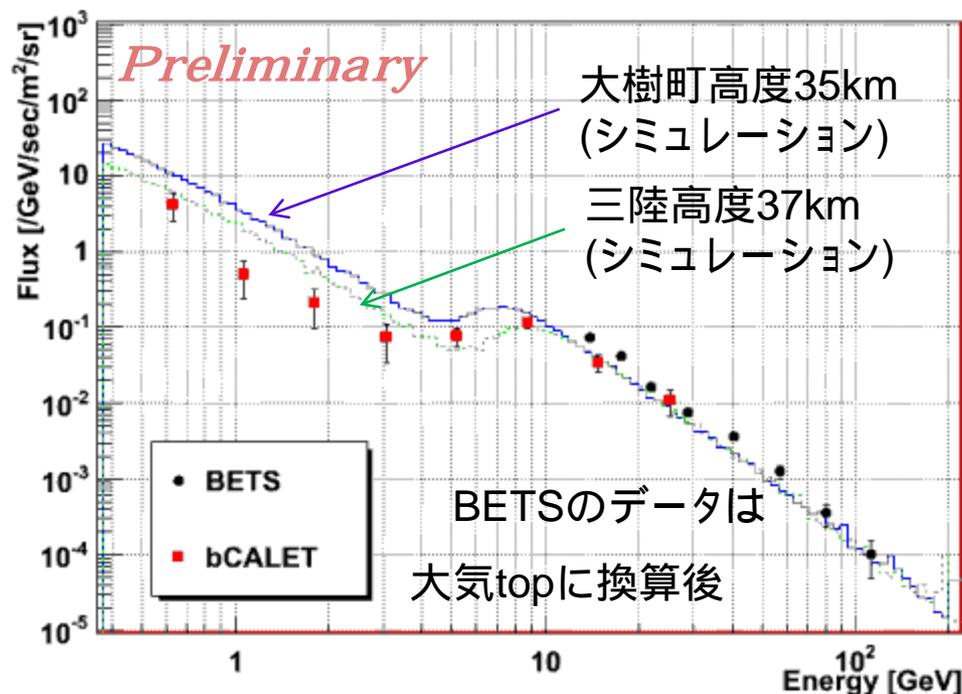
$S\Omega$: 幾何学的因子

c_p : 陽子の混入率

c_γ : γ 線の混入率

ε_e : 電子の残存率

BETSとbCALET-1は三陸で観測
→ Rigidity cutの位置が違う



CALET構造モデルとしてのbCALET-3の開発

セグメント化したシンチレータを用いた入射粒子電荷測定器の開発

L 450 mm / W 32 mm / T 10 mm



プラスチックシンチレーター-EJ204
(BC404相当品)

ライトガイド

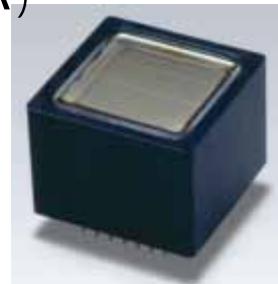
φ R9880 (SBA/UBA)

8 mm φ
(HV: 900V)



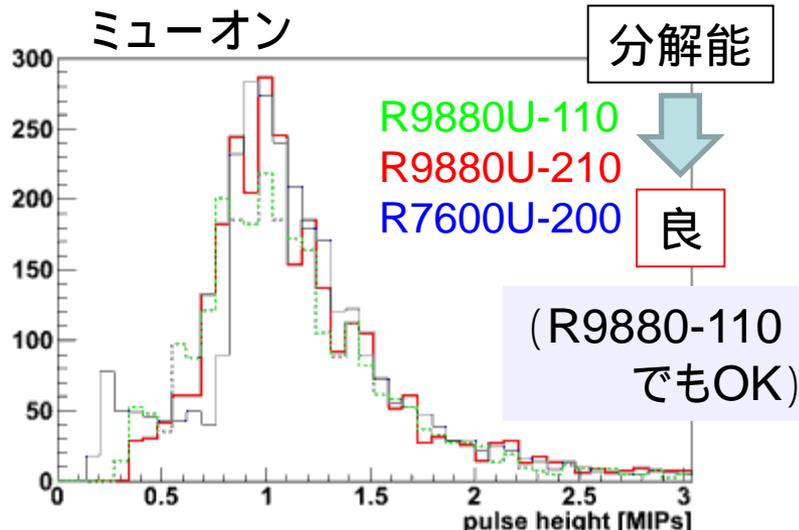
φ R7600 (UBA)

18 mm Sq
(HV: 700V)



	Area	QE [%]	Gain (typ.)	Output [pC]	p.e.
R9880U-110 (SBA)	0.5cm ²	~30	8 × 10 ⁵	14pC	~100
R9880U-210 (UBA)	0.5cm ²	~40	8 × 10 ⁵	12pC	~100
R7600U-200 (UBA)	2.56cm ²	~40	4 × 10 ⁵	140pC	~1000

p.e. : SBA ~ UBA (個体差?)
R7600/R9880 面積比 ~ 5倍
p.e.比 ~ 10倍

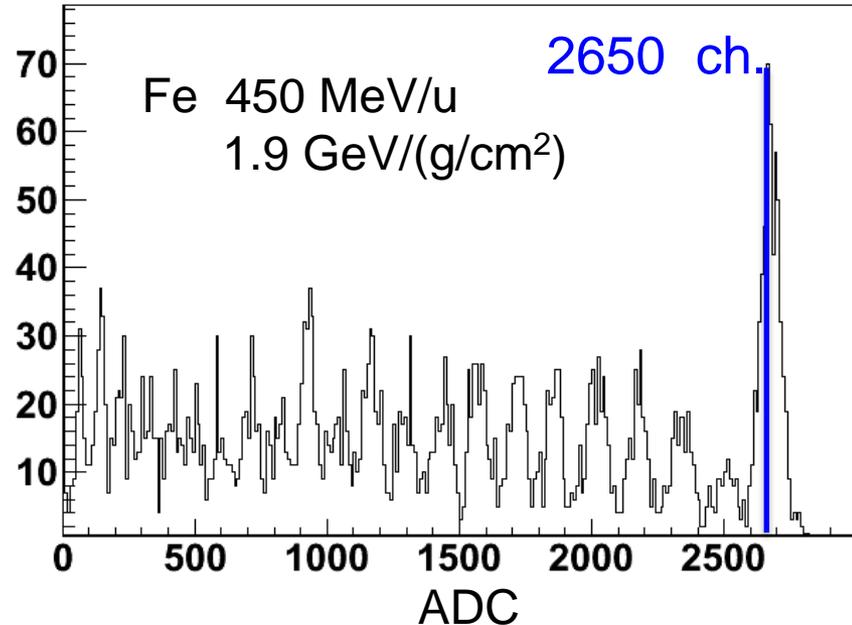
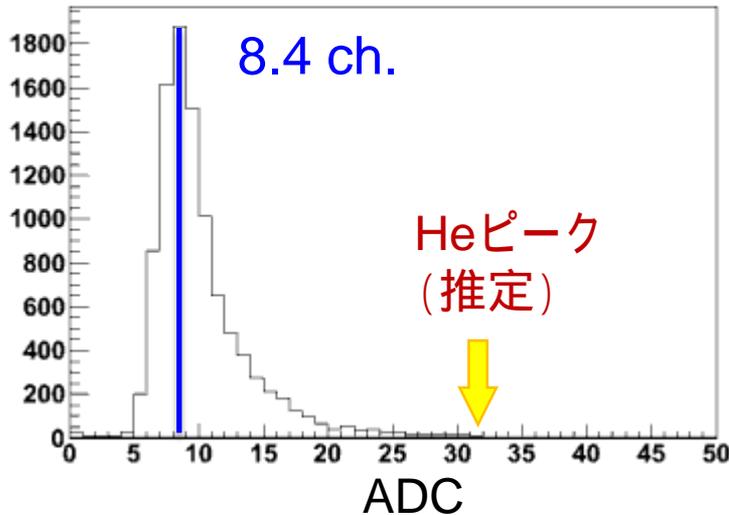


ダイナミックレンジ (Fe/ μ)

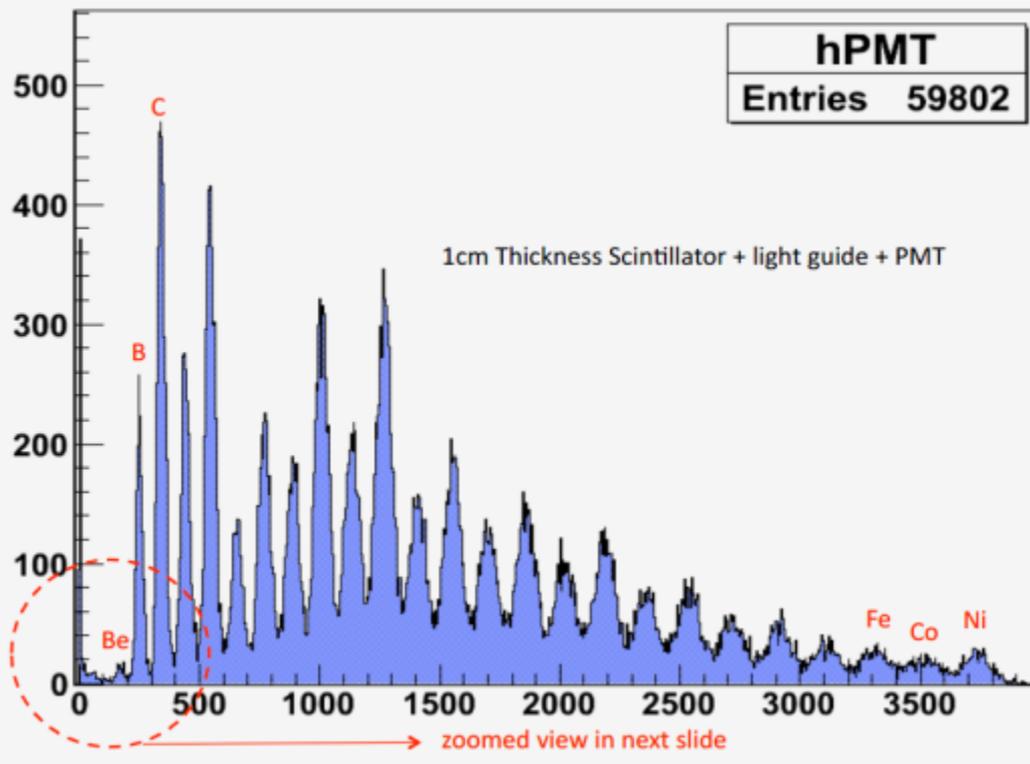
R9880-110 (-600 V)

Fe 450 MeV/u @ HIMAC

宇宙線ミュオン



- ・ピーク比 (Fe / μ) から、Quenching Factor: $f_q = 0.36$
(R9880-210, R7600-200 (2本) の同様な結果も合わせて)
- ・相対論的なFe (1.3 GeV/(g/cm²)) に対しては、
 $f_q = 0.4$ (Matsufuji *et al.* NIM-A437)
必要なダイナミックレンジ (Fe / μ) は、約260
- ・He ~ Niの重粒子検出が可能

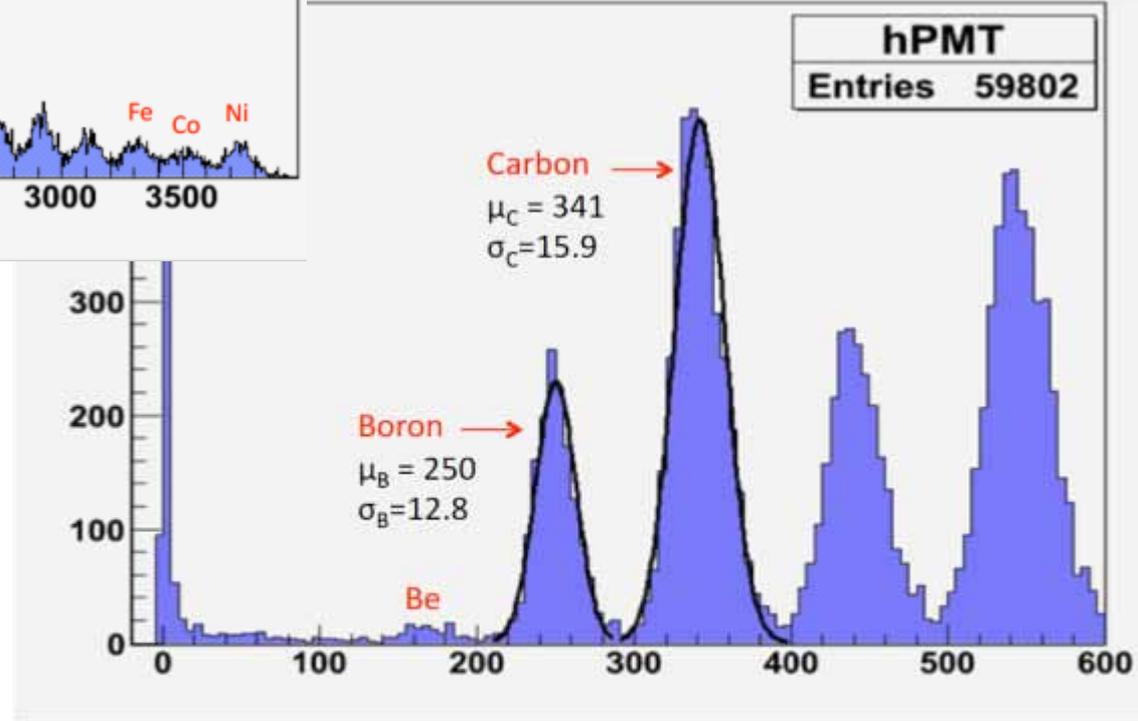


GSI BEAM TEST (Oct.2010)

Primary BEAM:

Ni (Z=28) 1341 MeV/u

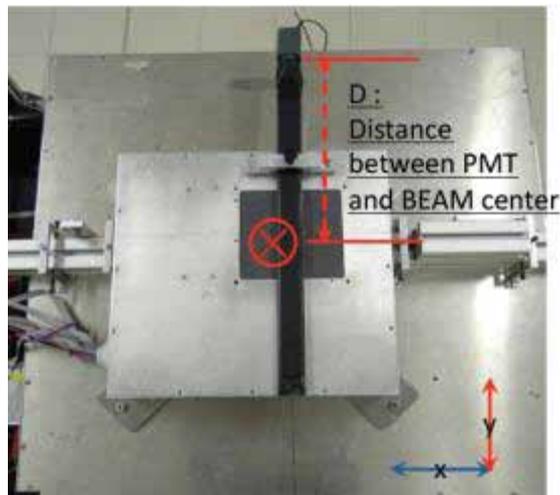
by Italy Group



Preliminary Charge Resolution in the B/C region:

$$\text{Boron: } \Delta Z = \frac{1}{2} \frac{\sigma_B}{\mu_B} \cdot 5 = 0.13$$

$$\text{Carbon: } \Delta Z = \frac{1}{2} \frac{\sigma_C}{\mu_C} \cdot 6 = 0.14$$



まとめ

- CALETプロトタイプ検出器(bCALET-2)を製作、JAXA大樹町三陸大気球観測所にて2009年に気球実験を行った。CALETのために開発している新技術を用いたIMC、TASCは正常に動作、技術実証に成功するとともに、これまでの結果と矛盾しない電子エネルギースペクトルが得られた。
- 2010年以降の圧力气球を用いたbCALET-3 による長時間気球観測は、CALETプロジェクトが採択されて、打ち上げが2013年と決まったため、圧力气球による観測より早く宇宙実験が可能となった。このため、bCALET-3はCALET構造モデルとして開発を実施。
- bCALET-3 & CALETのために、セグメント化したプラスチックシンチレータを用いた入射粒子電荷測定器を開発し、Niまで十分な電荷分解能があることを、重粒子ビームテストで実証した。