



CERN-SPSにおける熱構造モデルを用いたCALET性能実証実験



赤池陽水¹, 寺澤敏夫¹, 鳥居祥二², 笠原克昌², 小澤俊介², 浅岡陽一², 植山良貴², 仁井田多絵², 片平亮², 金子翔伍², 村田彬², 下村健太², 齊藤優², 田村忠久³, 片寄祐作⁴, 清水雄輝⁵, P. S. Marrocchesi⁶, P. Maestro⁶, G. Bigongiari⁶, S. Bonechi⁶, P. Brogi⁶, O. Adriani⁷, N. Mori⁷, S. Oleksandr⁷, R. Sarvoli⁸, L. Marcelli⁸, V. Di Felice⁸, F. Palma⁸, A. Basti⁹, S. Tolaini⁹, A. Orsini⁹, J.W. Mitchell¹⁰, B. Rauch¹¹, 他CALETチーム

1:東大宇宙線研, 2:早大理工研, 3:神奈川大, 4:横国大, 5:JAXA/SEUC, 6:Siena Univ./INFN, 7:Florence Univ./INFN, 8:Rome Univ. Tor Vergata/INFN, 9:Pisa Univ., 10:NASA/GSFC, 11:Washinton Univ. St. Louis

CALETは国際宇宙ステーションに搭載予定の宇宙線観測実験で、2014年度の打ち上げを予定している。CALETの主検出器であるカロリメータは、30放射長の物質質量を持つ電子観測に最適化した検出器であり、電子成分に対して2%のエネルギー分解能と 10^5 の陽子選別能力を有する。これまでに検出器性能検証のため、欧州原子核研究機構(CERN)のSPS加速器でビーム実験を実施した。ここでは特に、2012年度に熱構造モデル(STM)を用いて実施した、電子、陽子、ミュー粒子によるビーム試験で得られた実験結果について、シミュレーション計算による再現性と共に報告する。

CALETミッション

CALET: CALorimetric Electron Telescope

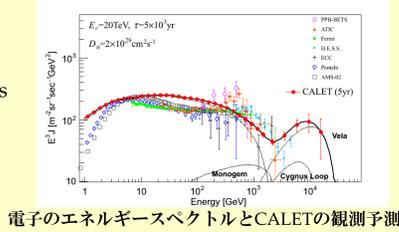
CALETは、国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」の船外プラットフォームに搭載予定の宇宙線観測装置で、2014年度に打ち上げ、5年間を目標に観測予定

観測対象と観測目的

電子 1GeV - 20TeV	近傍加速源、暗黒物質探索、 粒子加速・伝播機構、太陽磁気圏
ガンマ線 10GeV - 10TeV	暗黒物質探索、拡散ガンマ線、 点源 (SNR, パルサー, AGN等) ガンマ線バースト
陽子、原子核 数10GeV - 1000TeV	粒子加速機構、伝播機構

CALET検出器の特徴

- 高エネルギー分解能
- ~2% (>100 GeV) for electrons
 - 強力な粒子識別性能
- 陽子除去性能
~ 10^5 @ TeV
- ⇒ 高精度な電子成分の観測



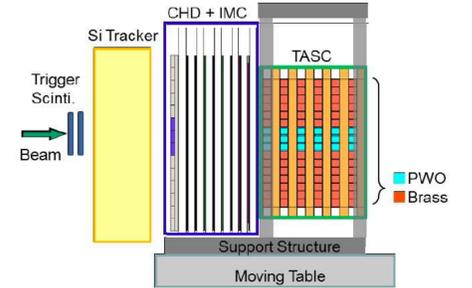
電子のエネルギースペクトルとCALETの観測予測

CERN-SPSビーム実験

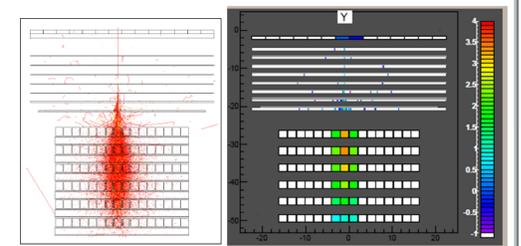
実験概要

- 目的
 - 観測技術実証・装置性能検証
 - シミュレーション計算の精度検証
- 実験日時
 - 2週間 (2012年9月24 - 10月8日) @H8
 - 1週間 (2012年10月8日 - 15日) @H4
- ビーム種類
 - ミューオン: 150, 180 GeV/c
 - 電子: 10 - 290 GeV/c
 - 陽子: 30, 100, 400 GeV/c

実験セットアップ



粒子検出イメージ

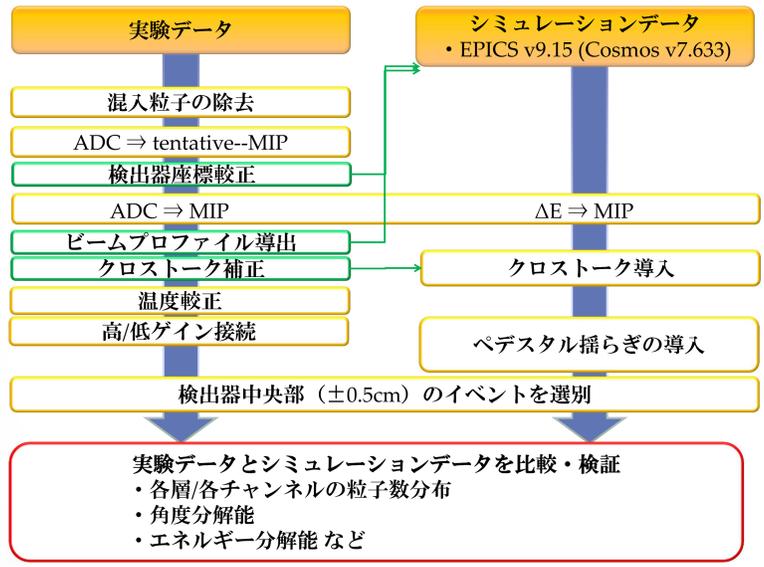


シミュレーションによる290GeVの電子の検出例
右図はY側の検出イメージで、色は検出粒子数を表す

検出器 (熱構造モデル: STM)

- Charge Detector (CHD)
 - 電荷測定
 - プラスチックシンチレータ: 3枚 x (X, Y)
 - 1枚: 3cm x 45cm x 1cm
- Imaging Calorimeter (IMC)
 - 到来方向、粒子識別
 - シンチレーティングファイバーバレル: 256本 x (X, Y) x 8層
 - 1本: 1mm x 1mm x 448mm
 - タングステン板: (0.2X₀ x 5層) + (1.0X₀ x 2層)
- Total Absorption Calorimeter (TASC)
 - エネルギー測定、粒子識別
 - PWO: 3本 x (X, Y) x 6層 (計27X₀)
 - 1本: 1.9cm x 2cm x 32.6cm

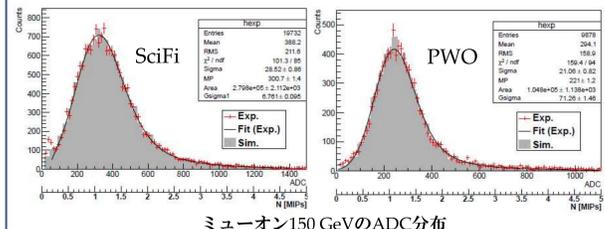
データ解析



検出器校正

ミューオンによるエネルギー較正

- ミューオンの最小電離損失粒子を利用して、検出器の各ADC値を粒子数に換算する
- ADC分布は、Landau関数にGauss関数を畳み込んだ関数でフィッティングし、Landau関数成分の最頻値を1粒子通過相当のエネルギー損失として定義する
- シミュレーションで得られるエネルギー損失も同様に粒子数に換算し、実験データで得られているGauss成分を基に装置由来のゆらぎとして導入する

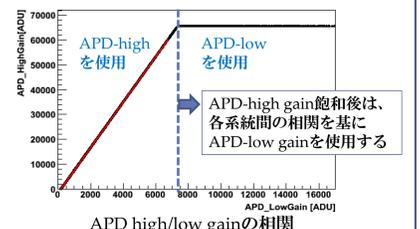


ミューオンによる座標較正

- ミューオンが検出器中を直進する性質を利用して、検出器個々の精度な座標較正を行う

シャワー粒子によるゲイン較正

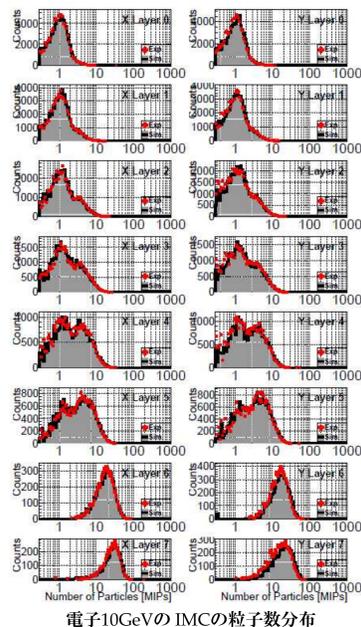
- 電子や陽子のシャワー粒子を利用して、TASC読み出しの4系統 (APD-high/low, PD-high/low) を較正する [P2-17参照]
- ビーム試験では、最大粒子数が3000MIPのため、APD-high/lowの2系統を使用する



STM検出器の電子に対する応答 (実験とシミュレーション計算との比較)

シャワー初期発達

IMCにおけるシャワー粒子の初期発達形状を右図に示す。1粒子のピークと、3粒子以上のピークがきれいに選別でき、シャワー開始位置の同定が可能である。これは、電子/陽子の識別や電子/ガンマ線の識別に重要な要素である



電子10GeVのIMCの粒子数分布

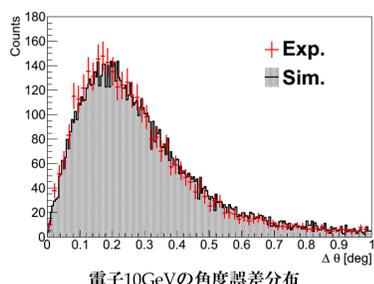
角度分解能

飛跡再構成

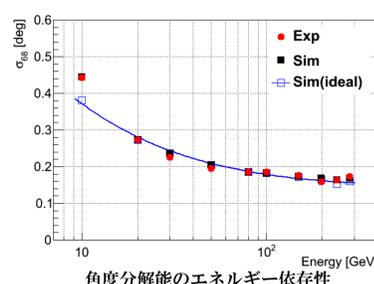
粒子の到来方向は、主にIMCにおけるシャワー軸を再構成することで推定する。IMCの下層は、シャワーが十分に発達しシャワーコアが容易に推定可能であるため、下層部から上層に向けてシャワー軸を再構成し、これを粒子の到来方向とする

角度分解能

左下図に到来方向の角度誤差分布を示す。シミュレーションに座標較正を取り入れた後の誤差分布は、実験データをよく再現する。右下図は角度誤差のエネルギー依存性であり、シミュレーションが実験をよく再現することが確認できる



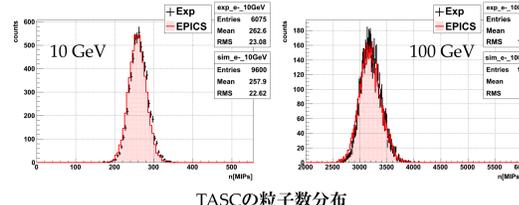
電子10GeVの角度誤差分布



角度分解能のエネルギー依存性

エネルギー分解能

TASCにおけるエネルギー損失からシャワーエネルギーを推定する



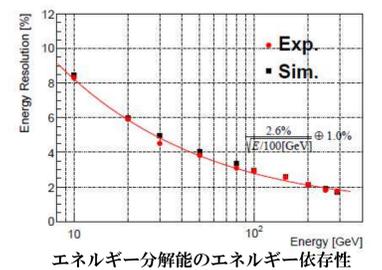
TASCの粒子数分布

シャワー横拡がり

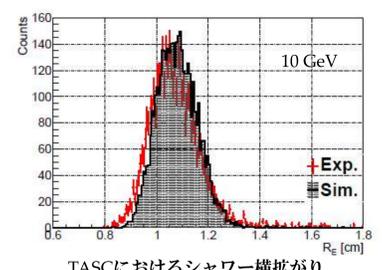
シャワー横拡がりには粒子識別に重要なパラメータである。下式で横拡がりを定義すると、右図の通りシミュレーションが実験データをよく再現する

$$R_E = \frac{\sum_i \Delta E_i R_i^2}{\sum_i \Delta E_i} \quad R_l = \frac{\sum_j \Delta E_{ij} (x_j - x_c)^2}{\sum_j \Delta E_{ij}}$$

R_i : Energy weighted spread in i_{th} layer
 ΔE_{ij} : Energy deposition of j_{th} scintillator in i_{th} layer
 x_c : position of shower axis
 x_j : position of j_{th} scintillator



エネルギー分解能のエネルギー依存性



TASCにおけるシャワー横拡がり

まとめ

- CERN-SPSで、CALETの熱構造モデルを用いたビーム実験を実施した
- これまでCALETの性能評価に用いてきたシミュレーションモデルが実験データをよく再現することを確認できた
- 現在陽子の詳細な解析を進めており、CALETに最適なハドロン相互作用モデルの検証を行っている