日本物理学会2022年秋季大会 6aA124-10



CALETによる10GeV/n以下の 鉄核の観測

市村雅一,赤池陽水^A,浅岡陽一^B,笠原克昌^C,小林兼好^A,鳥居祥二^A,他CALETチーム

弘前大理工,早大理工総研^A,東大宇宙線研^B,芝工大シエ^C



Iron Flux

CALET実験ではカロリメータによりエネルギーが 10GeV/n以上の領域で鉄核の flux を算出している

地球磁場を用いて10GeV/n 以下の flux を求める

手順
(1) CALETの観測地点毎に、全入射方向について Cutoff Rigidity を計算
(2) Cutoff Rigidity の bin毎の入射粒子数をカウント
(3) 積分強度算出
(4) 微分強度へ変換

今回: Tracking algorithm の変更、Interaction model の改良



Cutoff Rigidity

反陽子の Back Tracing

- ・観測地点(緯度、経度、高度)から
 ある方向(θ, φ) へある Rigidity で反陽子を射出
- ・運動方程式を解きながら追跡
- ・以下のいずれかを満たしたら追跡終了
 - 1) 地球に衝突: forbidden region
 - 2) 磁気圏界面に到達: allowed region
 - 3) 地球半径の15倍以上に到達: allowed region

Rigidity:1GV~50GVを log10 スケールで 0.01 刻みで変化 (100 steps per decade)

Allowed region と Forbidden region の境目が Cutoff Rigidity Rc







地球磁場モデル

• IGRF13 + TS05(Tsyganenko 05) GEOPACK-2008 code を使用

内部磁場: IGRF13 (main field)

外部磁場:TS05(太陽風による擾乱) 太陽風の観測値が必要



Cutoff Rigidity

40 30° N 135° E 35 30 25 2000 15 10 0.8 0.6 0.4 0.2 -0.5 0 E 0.5 -0.5 5

1つの観測点につき、193方向に
 反陽子を射出、tracingして、
 Cutoff Rigidity Rc を算出

立体角のbinは 方位角: 15° step 24等分 天頂角: 9分割 0.0°~4.1°~21.1°~30.3° ~38.0°~45.1°~52.4° ~60.1°~69.4~90.0° (cosθd(cosθ)dφ で等分) 1bin=π/193



Cutoff Rigidity



Rc Dome を計算した 観測点

対象期間:

- 2015年10月~2021年5月で、
 UH trigger mode の期間
- 緯度、経度それぞれを1度刻み で区切る:

~250,000地点/month

・ おおよそ10点ごとにまとめる: ~25,000地点/month

 太陽風観測データが無いところ はカット



Flight Data Analysis

Oct. 2015 - May 2021 (68months)

- UH trigger(CHD, IMC1+2, iMC3+4)
- UH tracking

(飛跡再構成アルゴリズムをより適切なものに変更)





Charge Identification

CHDy vs CHDx (201510-202105)



- 再構成された飛跡それぞれについてRc を計算
- Rc>3.0GVのみ採用 (low rigidity event を cut)
- ±10%以内のものを採用
- CHDx,CHDyそれぞれのヒストグラムを作成
- 各電荷に対応するピークを読み取る





Charge Identification



Scintillation の saturation を考慮した halo model によるfitting (Marrocchesi et al. NIM A659(2011)477)

$$\frac{dL}{dx} = \frac{A(1 - f_h)\alpha Z^2}{1 + B_s(1 - f_h)\alpha Z^2} + Af_h\alpha Z^2$$

$$\alpha \simeq 2\text{MeV/g/cm}^2$$

$$f_h : \text{fraction in the halo}$$

$$B_s : \text{saturation parameter}$$

$$A : \text{normalization constant}$$

CHDx,CHDyそれぞれについてfitting→ それぞれ電荷へ変換(ZCHDx,ZCHDy)

Charge Identification



 $1\sigma \geq 2\sigma$ の楕円 2σ 以内のものをFe核として採用 (2D gaussian の cut efficiency:86.47%)



Arbitrary

10

10

Rigidity Spectrum

Integral Rigidity Spectrum (Fe, θ <45 degree)

(*θ*~45°で最大Rc~23.5GV)



Differential Rigidity Spectrum (Fe, θ <45 degree)



Efficiency



検出効率:

Simulation Code: COSMOS8.042 + EPICS9.311

- CALET検出器上部に等方分布で入射
- CHDtop + IMC4bot を通過 && Tracking に成功したものを採用

Interaction models:

< 1GeV/n (<56GeV) : **PHITS** model K.Niita et al., Radiation Measurements,41, 1080(2006)

1GeV/n~20GeV/n(56GeV~1120GeV) : **JAM** model Y.Nara et al., Phys.Rev.C, 61, 024901(1999)

Heavy fragment の放出の違いから 2つのmodel間にgap がある!!



JAM model の改良

JAM model の変更 (Nara, Kasahara) ・Heavy fragment を放出するように改良 ・parameter により調整可能 parameter の最適化を行った PHITS(1GeV/n以下)となめらかにつながるようなパラメータを選択 dr: 相対距離 dm: 相対運動量 dt: 時間





Parameter の最適化

dr=2.0 [fm] に決定 kinetic energy <100GeV/n で jam を適用

Epics parameter JamFragment=2,,2.0,,100.0

Tracking and Geometrical Efficiency (JamFrag=2,dr=2.0,Emax=20.0)

Efficiency 0.9

0.8

0.7

0.4

0.





14

10⁴

Kinetic Energy [GeV/particle]



Efficiency(previous tracking algorithm)



Tracking and Geometrical Efficiency (JamFrag=2,dr=2.0)



修正後

修正前



Efficiency(UH tracking algorithm)

Tracking and Geometrical Efficiency (CHD_top-IMCY4_bot)(JamFrag=2,dr=2.0)



Tracking and Geometrical Efficiency (CHD_top-IMCY4_bot)(JamFrag=2,dr=2.0)





Differential Rigidity Spectrum



Differential Rigidity Spectrum (Fe, θ <45 degree)

天頂角ごとにEfficiency で割って値を補正 → ほぼ重なった

Rigidity [GV]



Differential Rigidity Spectrum

Differential Rigidity Spectrum (Fe)



天頂角をまとめて flux を算出





AMS(2021)(青)と比較



Summary

- 地球磁場を用いて鉄核のRigidity Spectrum を算出
 - Tracking algorithm を変更 → 統計量増加
 - Interaction model の改良 → 検出効率の再計算
- フラックスは、~6GV以下でAMS-02に比べて20%程度の差異が生じており、
 全体的に更なる検討が必要

- ・ 天頂角>45°の立体角binについても同様の計算を行う予定
 → 統計量増加、Rc最大値増加
- 系統誤差(検討中)