18aC310-9

CALET実験における地球磁場を用いた宇宙線鉄核の観測

市村雅一，赤池陽水[A]，笠原克昌[B]，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]，芝工大シエ[B]

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

Cutoff Rigidity

Back Tracing of antiproton

Parameters: Time, Longitude, Latitude, Altitude,
ejection angle(θ,ϕ), Rigidity R

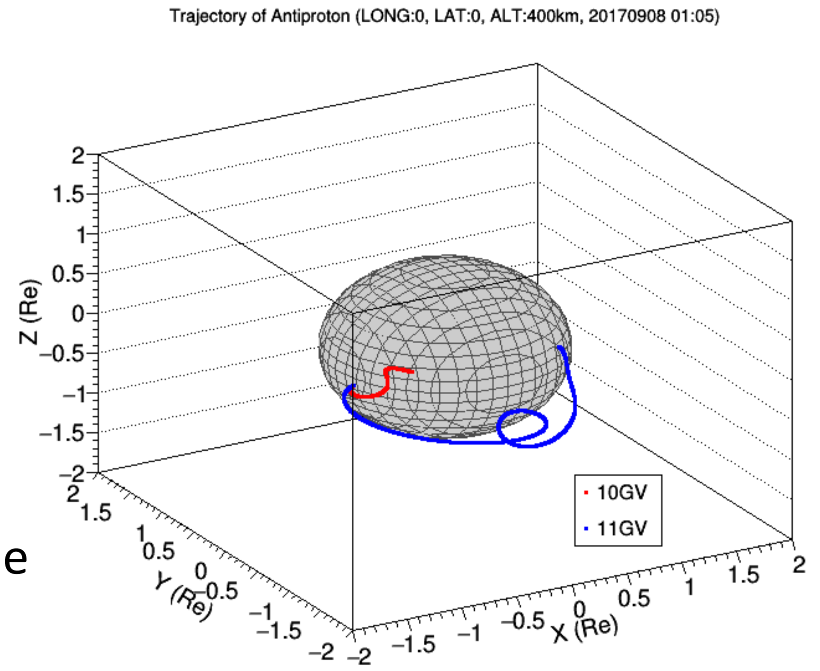
An antiproton is ejected and traced with use of the Runge-Kutta code

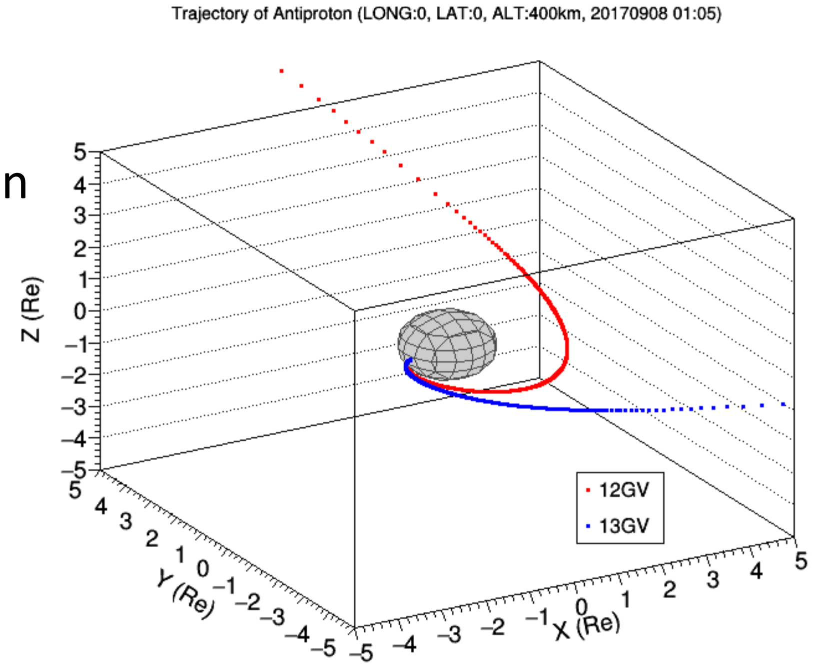
Tracing will be stopped when;

1) the particle hit the earth : forbidden region
2) the particle reached the magnetopause : allowed region
3) the particle is far from the earth more than 15Re : allowed region

Rigidity of the particle:

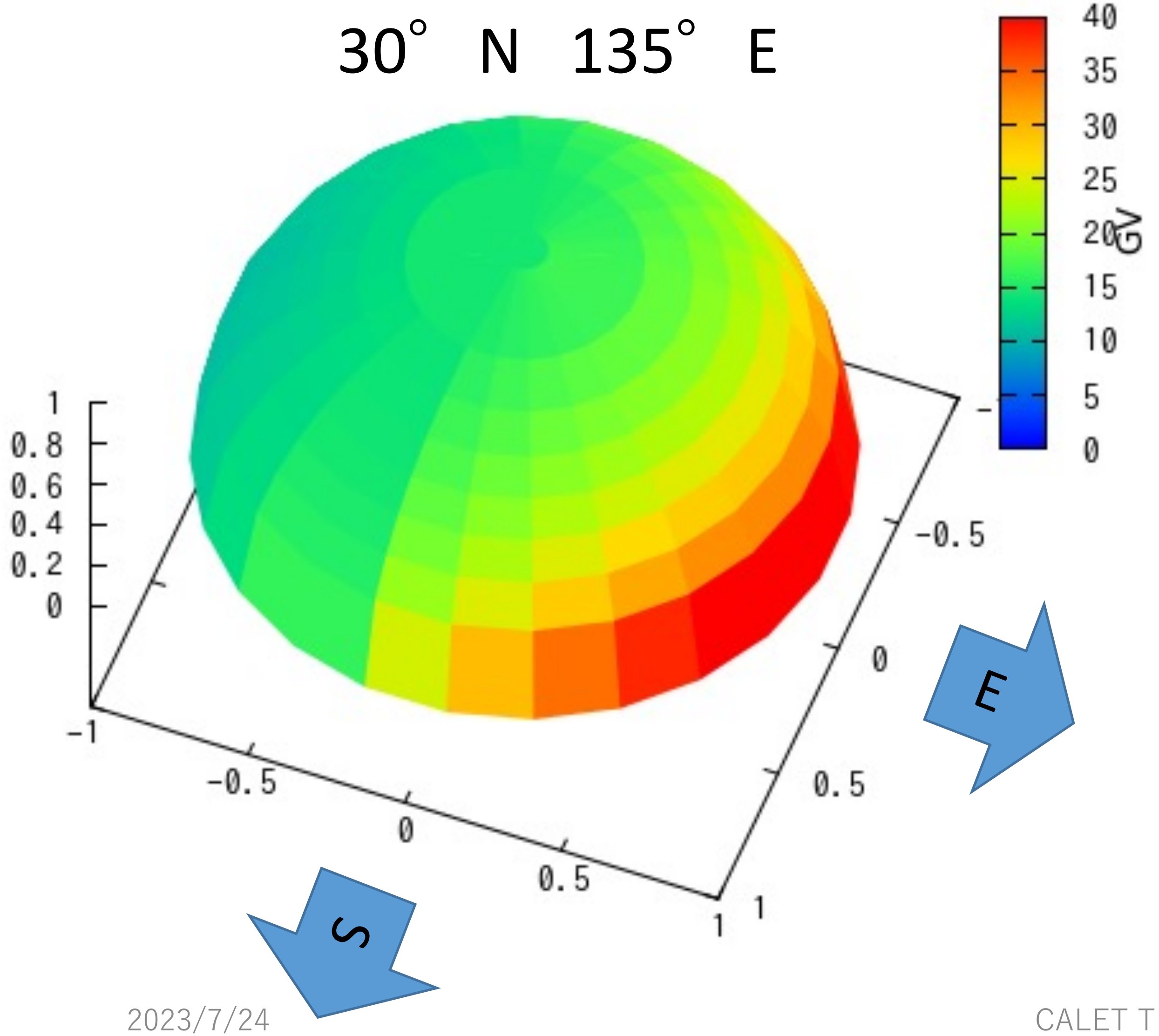
1GV-50GV with 0.01 step in logarithmic scale
(100 steps per decade)





Cutoff Rigidity

30° N 135° E

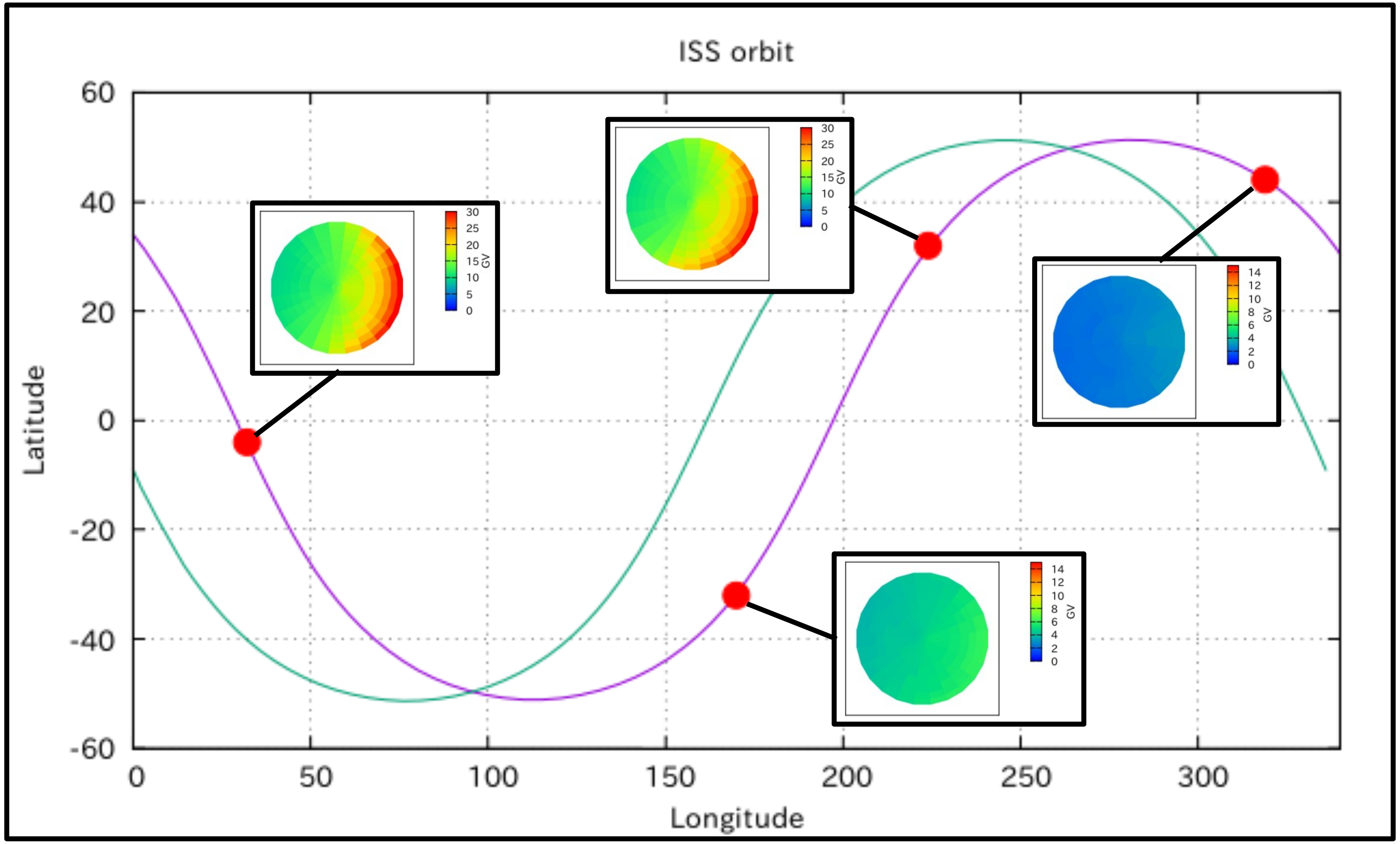


Calculation of the effective cutoff rigidity "Dome" at fixed position

- employ small solid angle bins (193 bins)
  azimuthal :
  divided into 24 equal parts
  with 15 degree step
  zenith:
  divided into 9 parts with equal
  step in the scale of $\cos\theta d(\cos\theta)$
- Do the back tracing and Rc calculation for each solid angle bin
  (1bin=π／193 sr)

Only the region of θ<45 degree is analyzed (97 bins)

Cutoff Rigidity



observation points along the ISS orbit

Period: Oct. 2015 – Feb. 2024
(101 months)
during UH trigger mode

- The longitude and latitude of observation points were digitized at 1-degree intervals
- These points were further grouped into sets of 10 points
  ~25,000 points/month

- Remove the periods without the solar wind data

Flight Data Analysis

Oct. 2015 – Feb. 2024 (101months)

- UH trigger(CHD, IMC1+2, iMC3+4)
- UH tracking（UH用の飛跡再構成アルゴリズム）

CHD(Charge Detector)

プラスチックシンチレータ 14本× 2 （x方向、y方向）

IMC(IMaging Calorimeter)

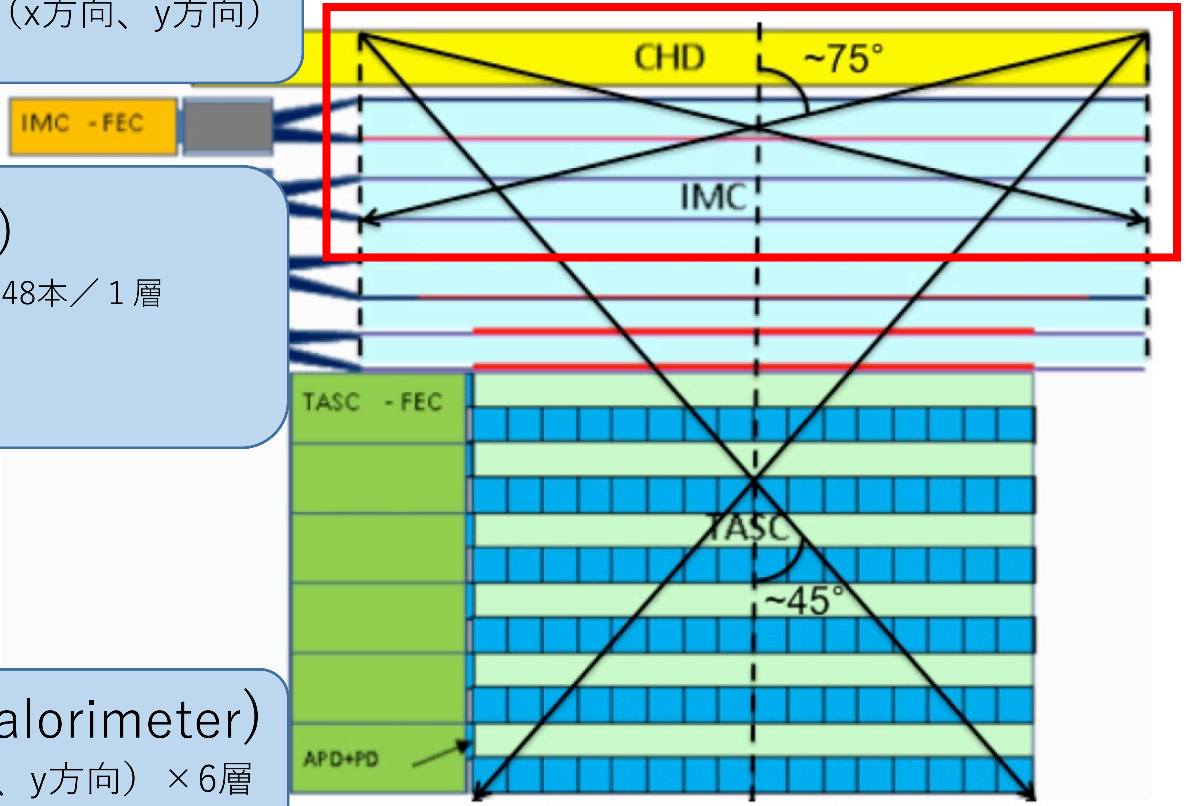
1mmx1mmx448mm のシンチファイバー448本／1層

448本× 2 （x方向、y方向） ×8層

タングステン板 7層

TASC(Total AbSorption Calorimeter)

PWOシンチレータ 16本× 2 （x方向、y方向） ×6層



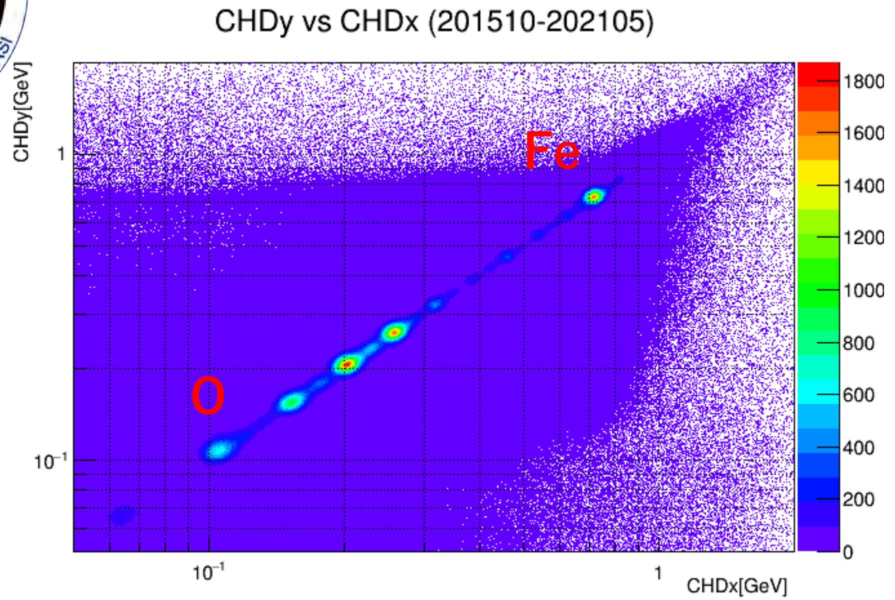
UH Trigger

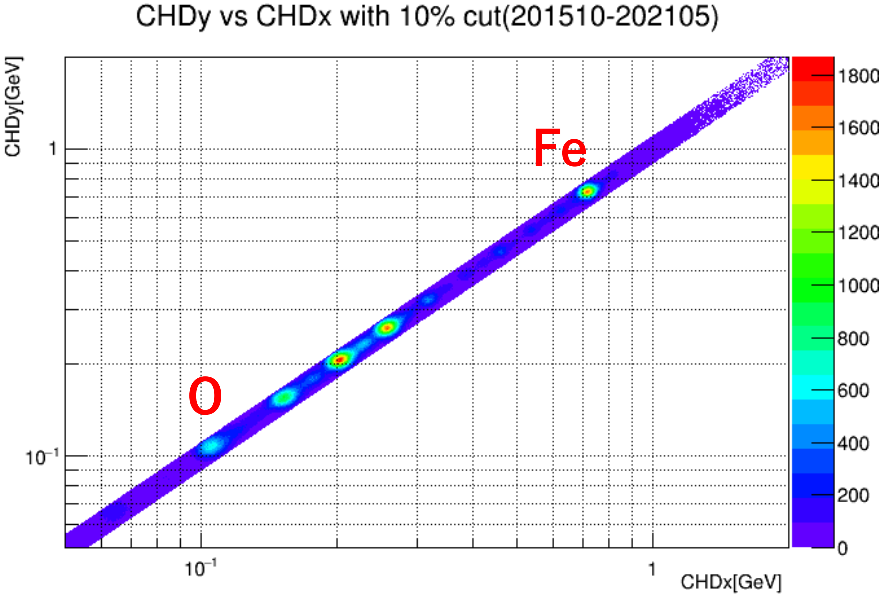
CHD2層
（CHDx+CHDy）
IMC上部4層
(IMCx1-x4, IMCy1-y4)

これらのenergy deposit が
一定値以上

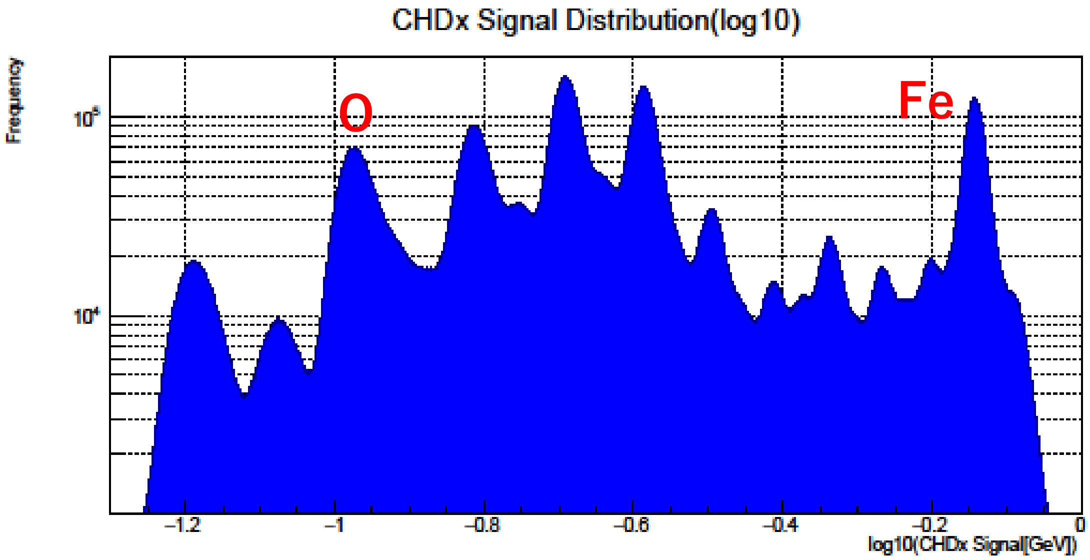
SΩ=4,400 cm^2sr

Charge Identification

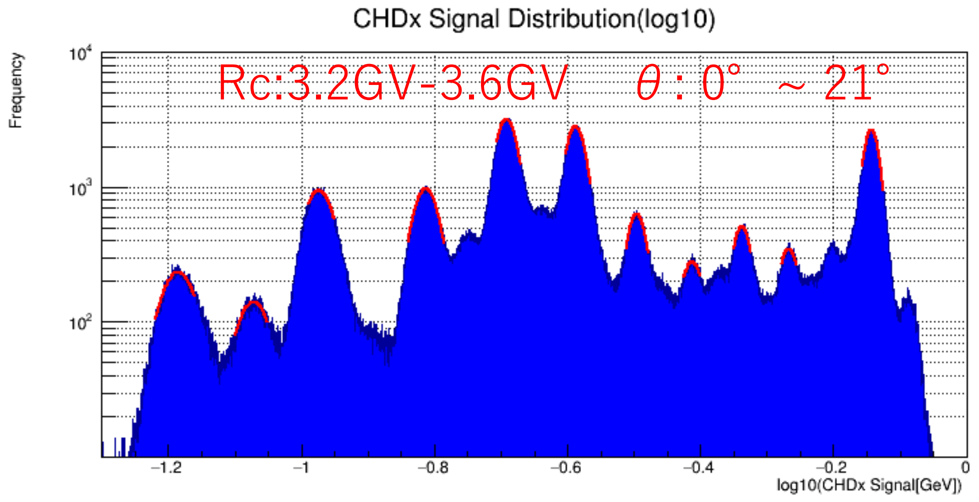


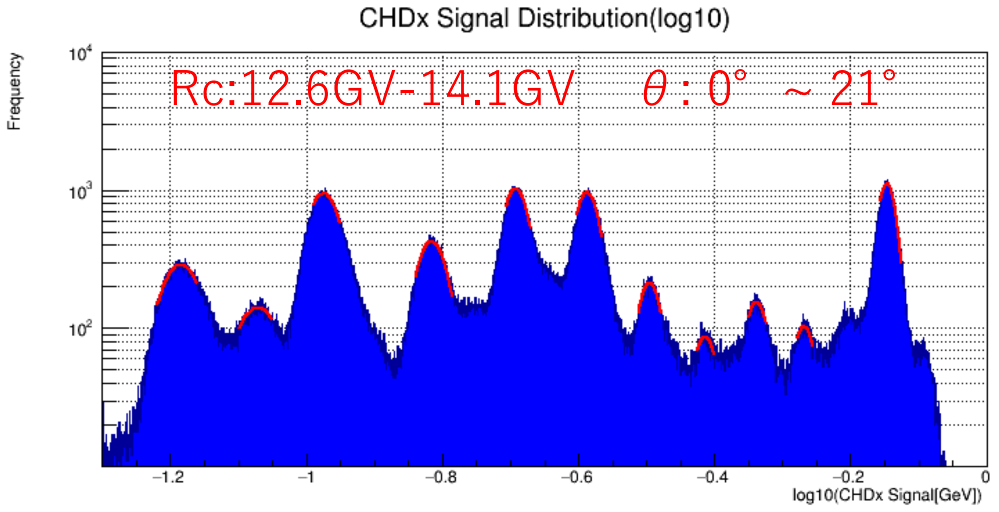


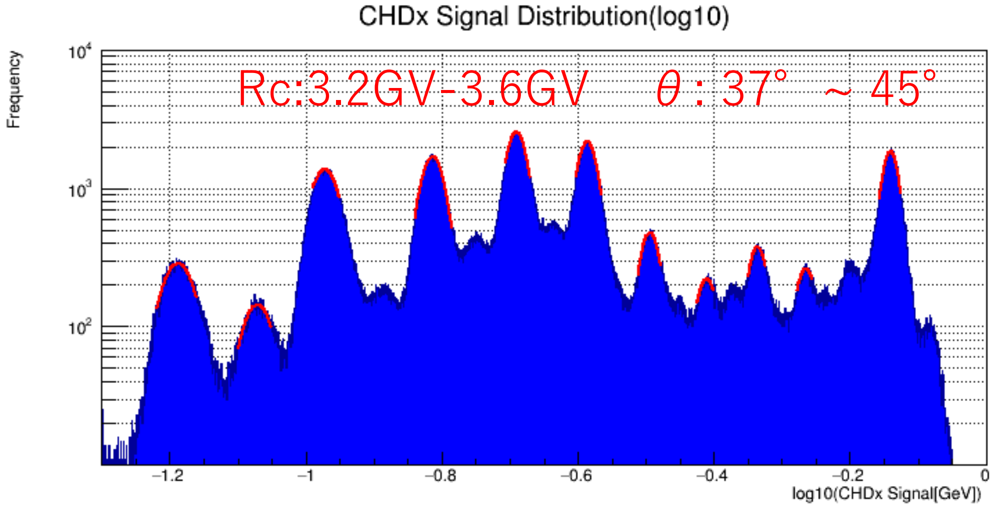
- UH trigger mode 中に検出された飛跡
- CHDx，CHDyが±10%以内のものを採用
- 再構成された飛跡それぞれについてRc を計算
- CHDx,CHDyそれぞれのヒストグラムを**Rc(16 bin)**と**天頂角(4bin)**のbin 毎に作成
- 各電荷に対応するピークを読み取る

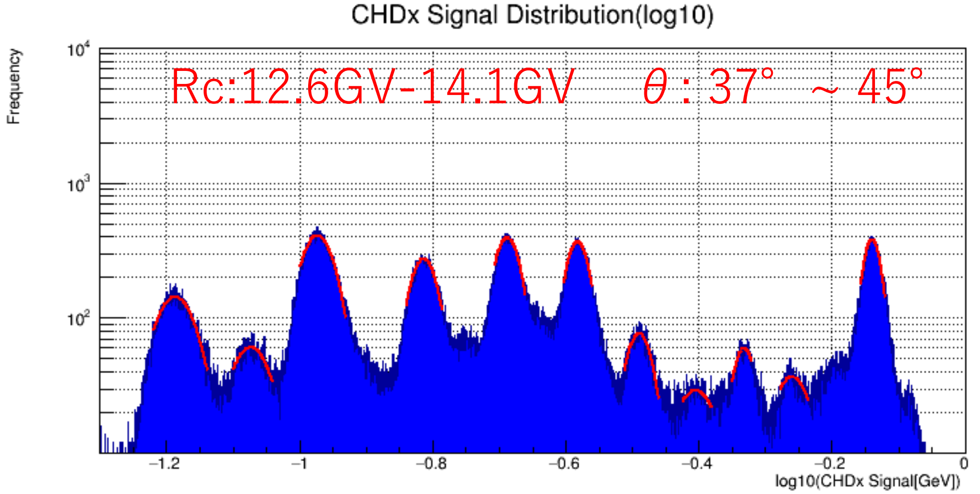


Charge Identification

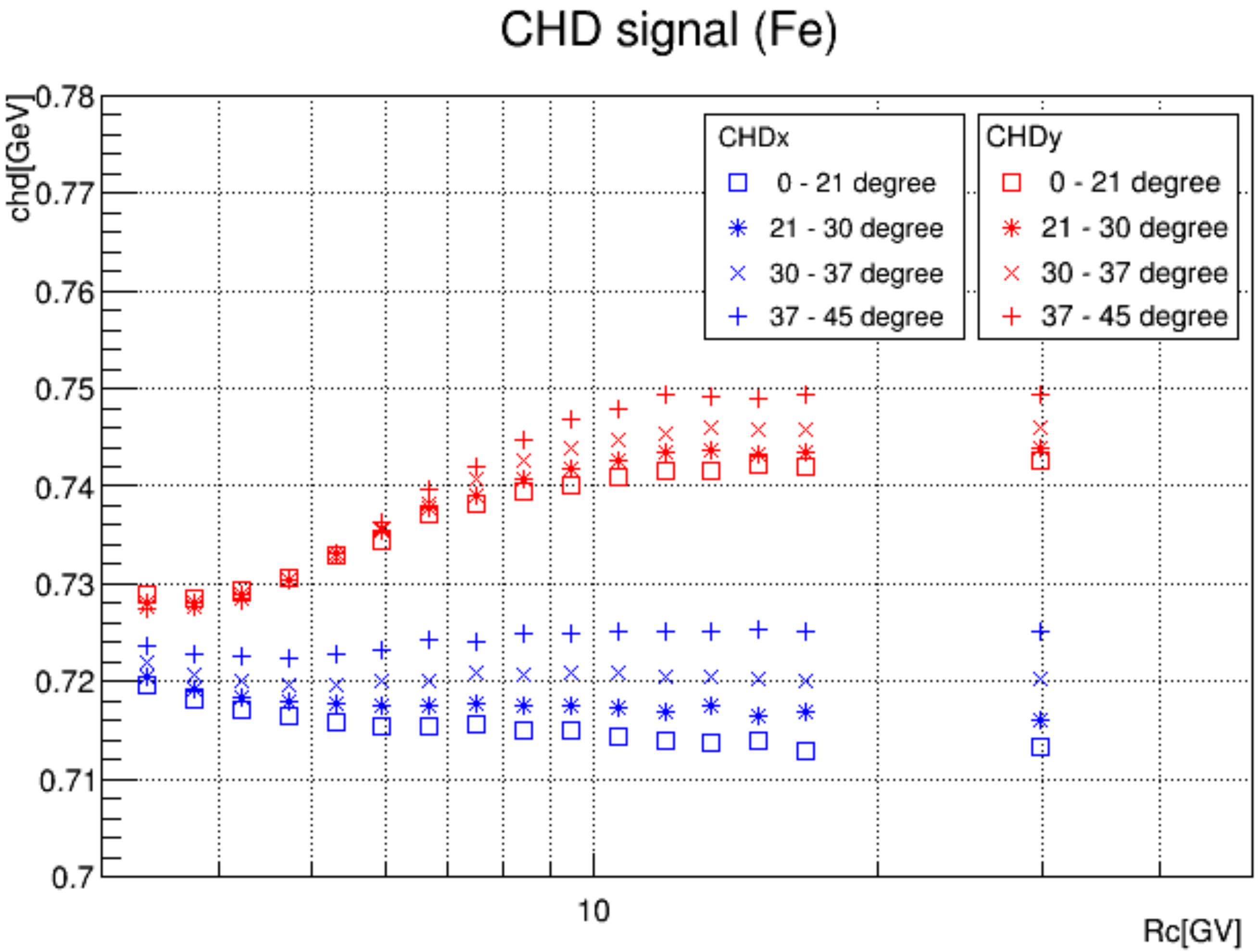








Charge Identification

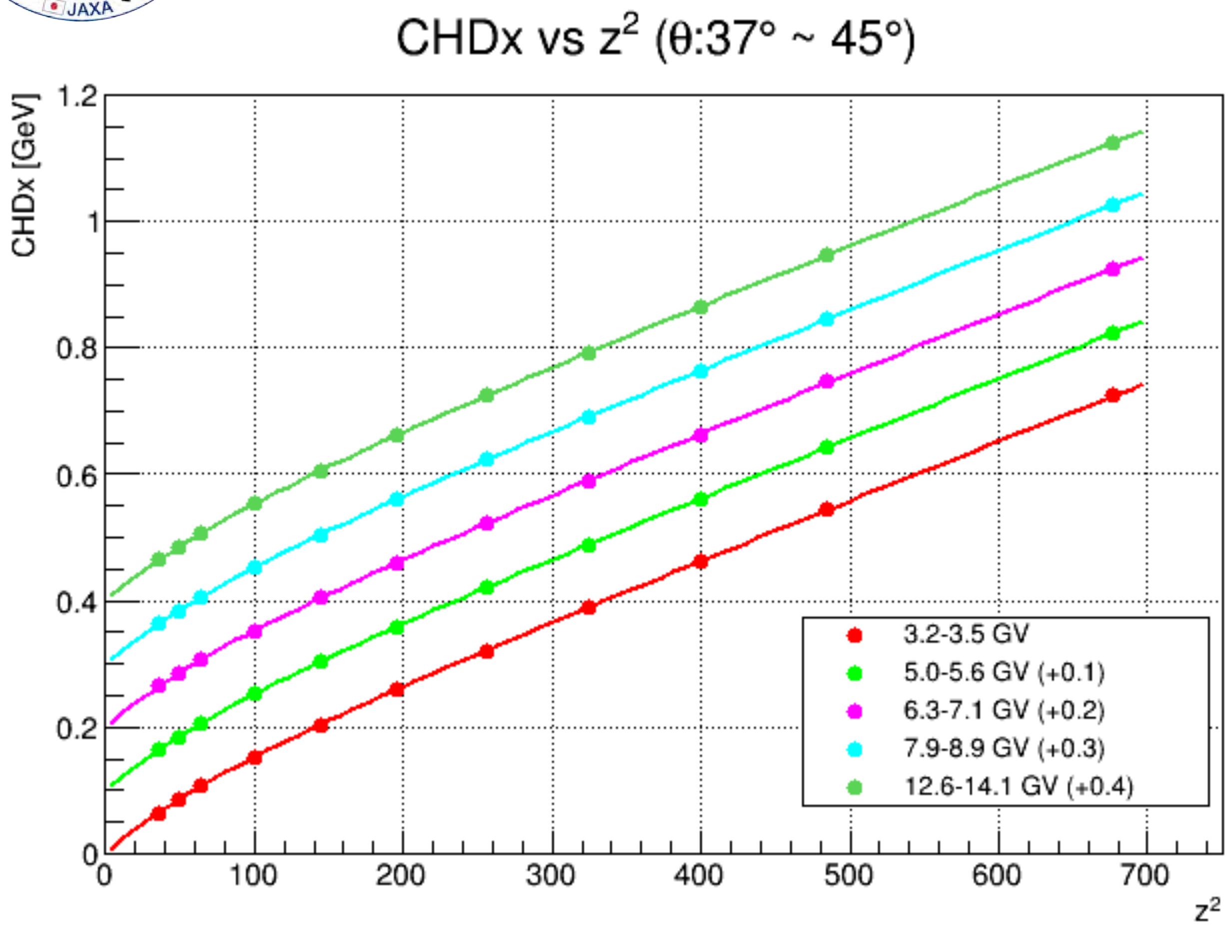


CHD signal のRc，θ依存性（Fe核）

Rc＞10GVではほぼ一定

天頂角による依存性のほうが大きい

Charge Identification



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

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

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

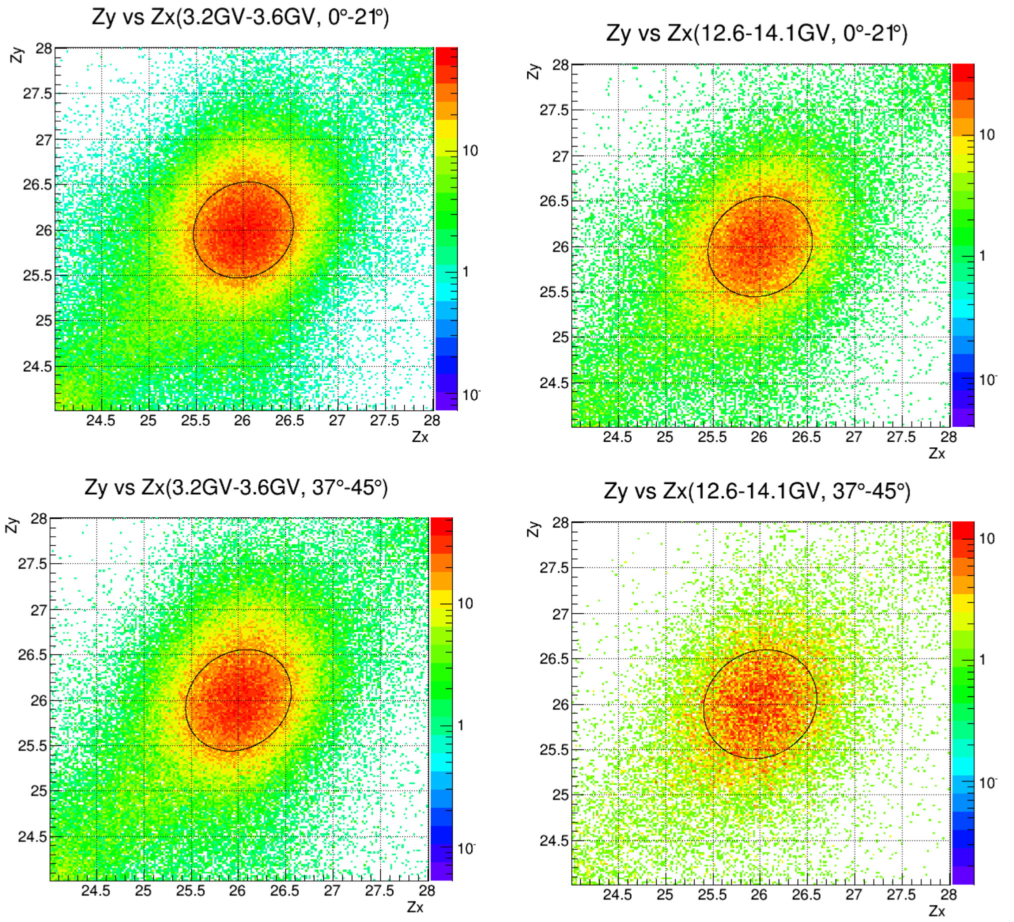
f_h : fraction in the halo

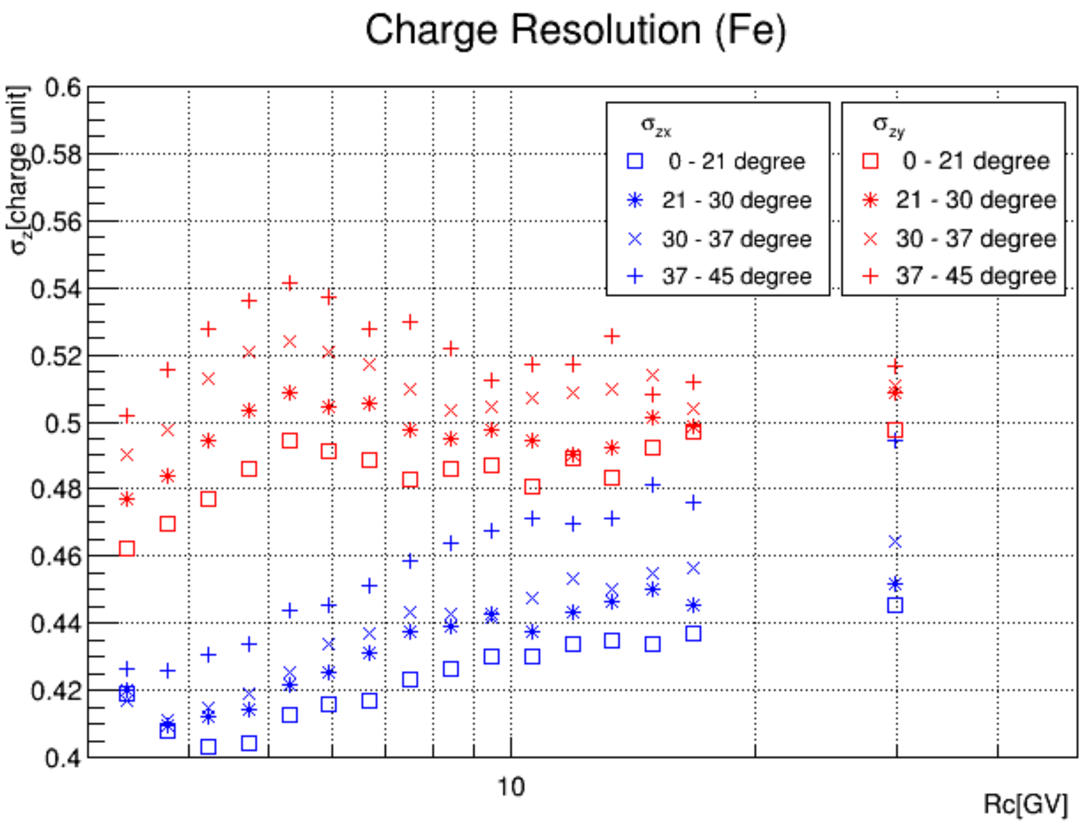
B_s : saturation parameter

A : 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

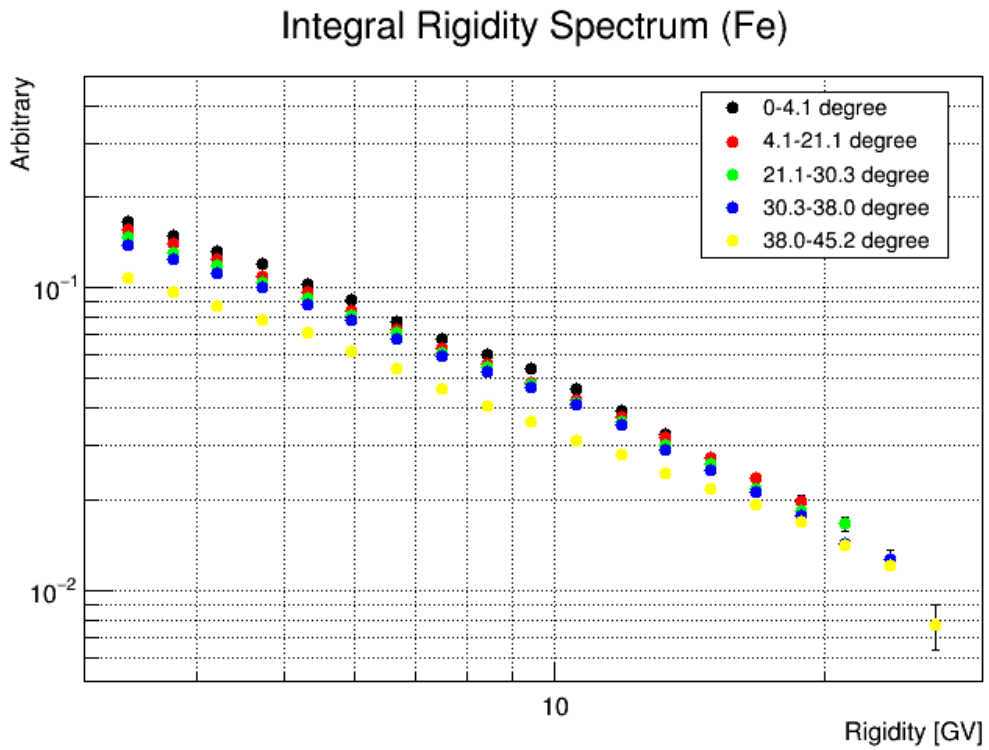


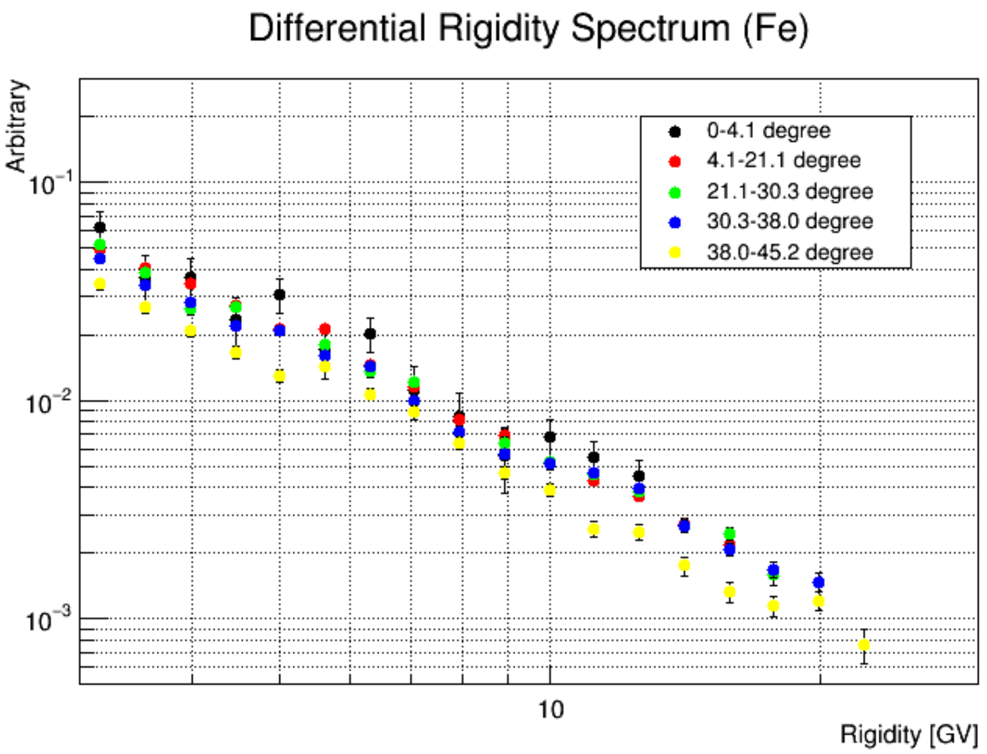


- 楕円は 1.2σ
- 1.2σ の楕円の内側にあるtrackをFe核候補とした

- Zx,Zyの標準偏差 σ_{zx}, σ_{zx}
- 最後の bin は Rc =17.8-50GV

Rigidity Spectrum

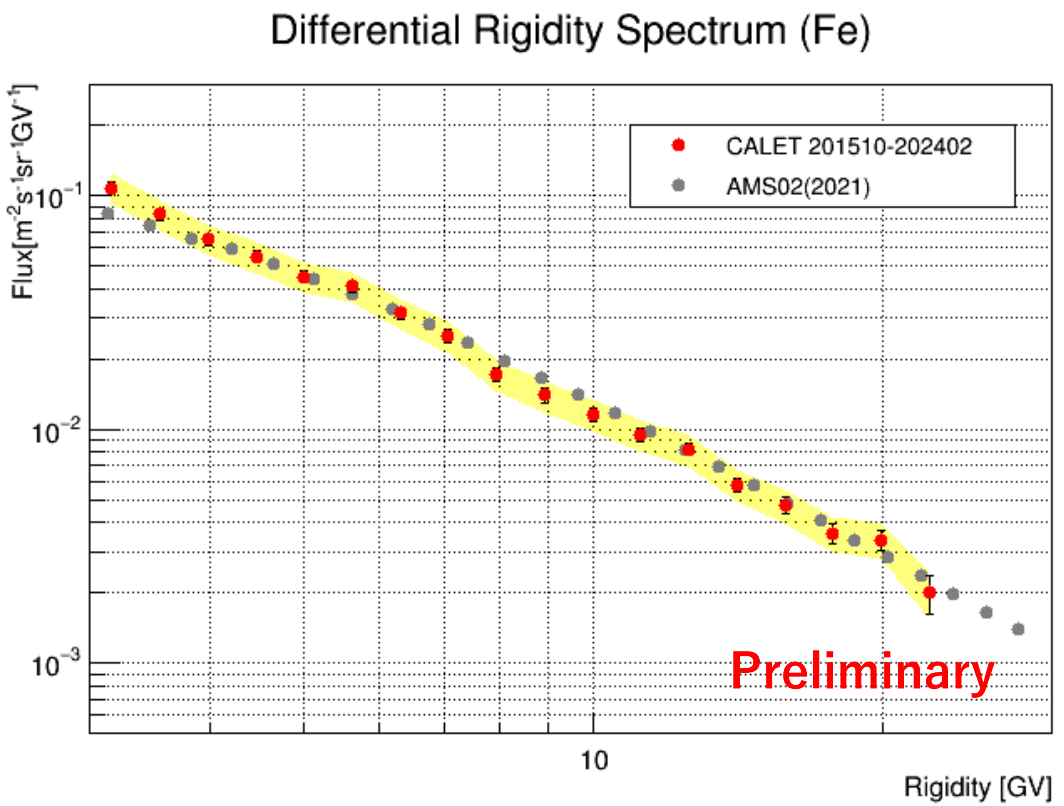


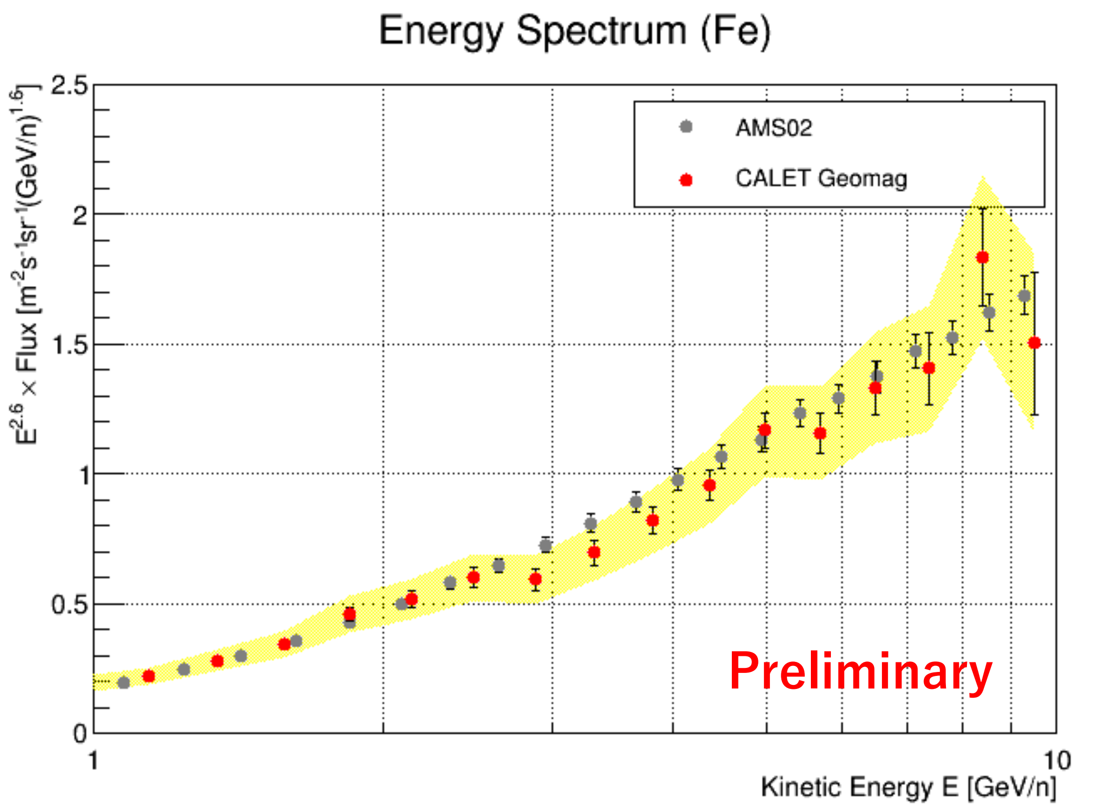


各 Rc bin内の個数をカウント（θ <45° ）
SΩTで割って積分強度を算出

積分強度の差分をとって微分強度に変換

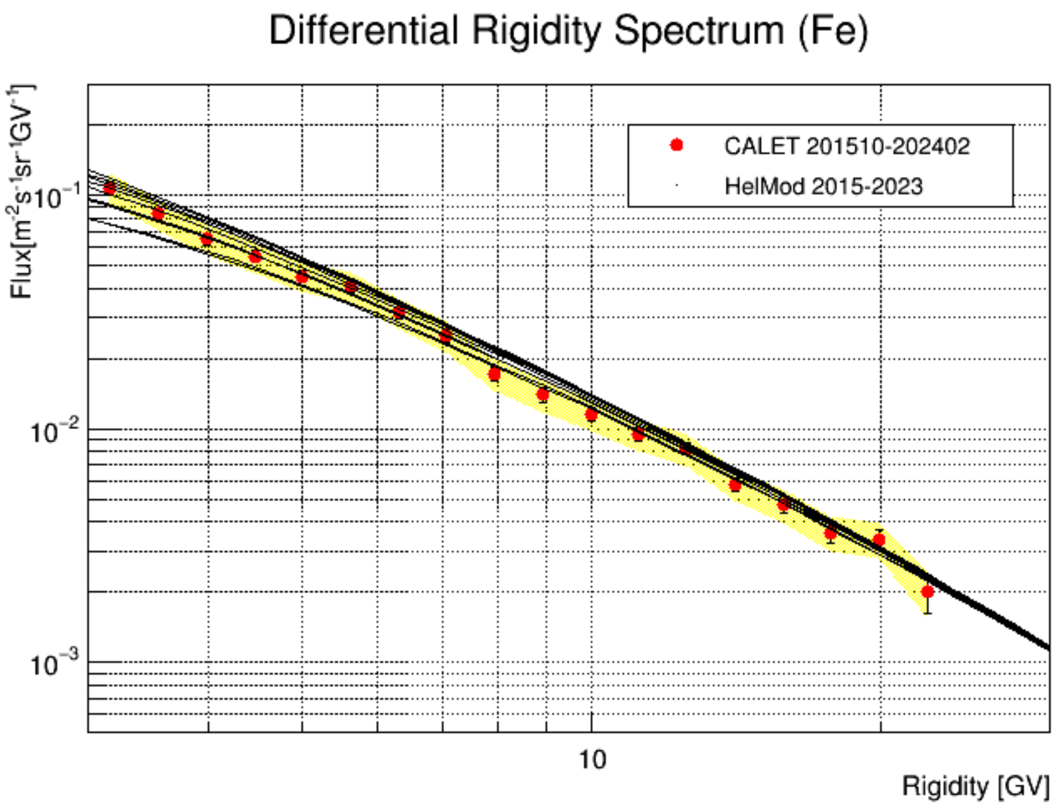
Absolute Flux

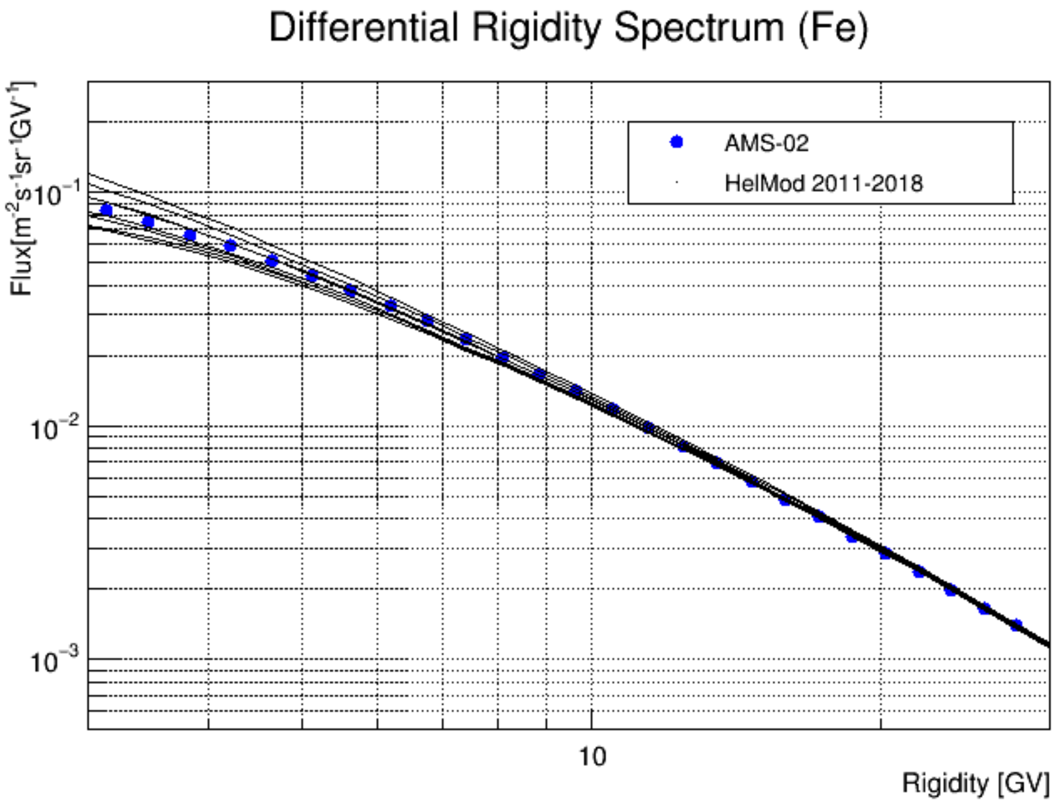




- 天頂角毎の検出効率で補正後１つにまとめた
- 誤差棒は統計誤差，黄色の範囲は total error
- A=56を仮定して運動エネルギーに変換
- 横軸は核子あたりの運動エネルギーE(GeV/n)
縦軸は flux*$E^{2.6}$

Comparison with HelMod





- 3 -4GVのずれは modulation で説明できる。

HelMod: the Modulation Model through the Heliosphere （https://www.helmod.org/）

Summary

- CALETの101ヶ月(201510-202402)の観測データを用いて 3GV-20GVの範囲で鉄核強度を算出
- 核子当たりの運動エネルギーで 1GeV/n-10GeV/n
- 天頂角毎に電荷決定を行うことで電荷分解能が改善した
- AMSの結果とほぼ一致

calorimeter の結果と比較できるよう高Rigidity側へスペクトルを拡張する