

# 軟ガンマ線検出器環境試験データにおける フラグ等を用いた動作検証

幅田翔、河野貴文、枝廣育実、白川裕章、北口貴雄、大野雅功、  
高橋弘充、水野恒史、深沢泰司(広島大)、一戸悠人、内田悠介、  
米田浩基、林克洋、渡辺伸、高橋忠幸(ISAS/JAXA)、山岡和貴、  
田島宏康(名大/STEL)、湯浅孝行(RIKEN)

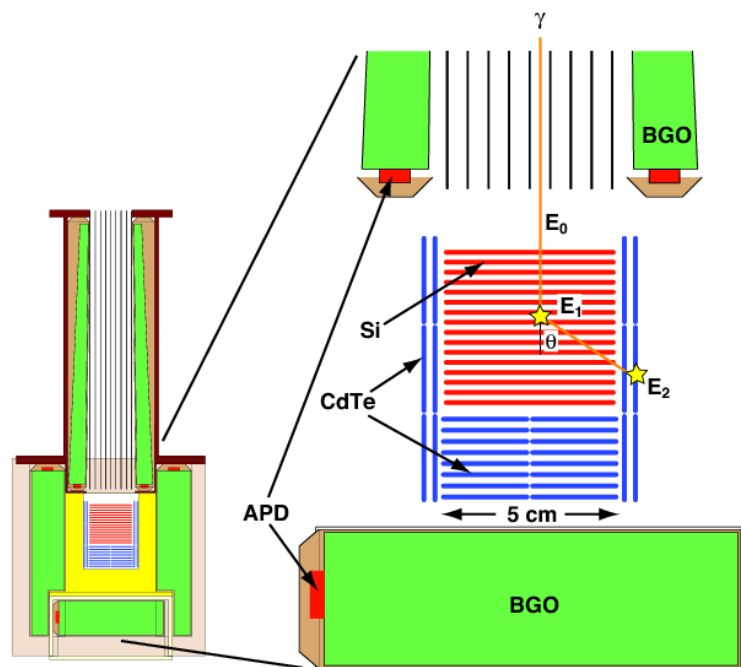
# 軟ガンマ線検出器 (SGD)

= **コンプトンカメラ(CC)** × 3

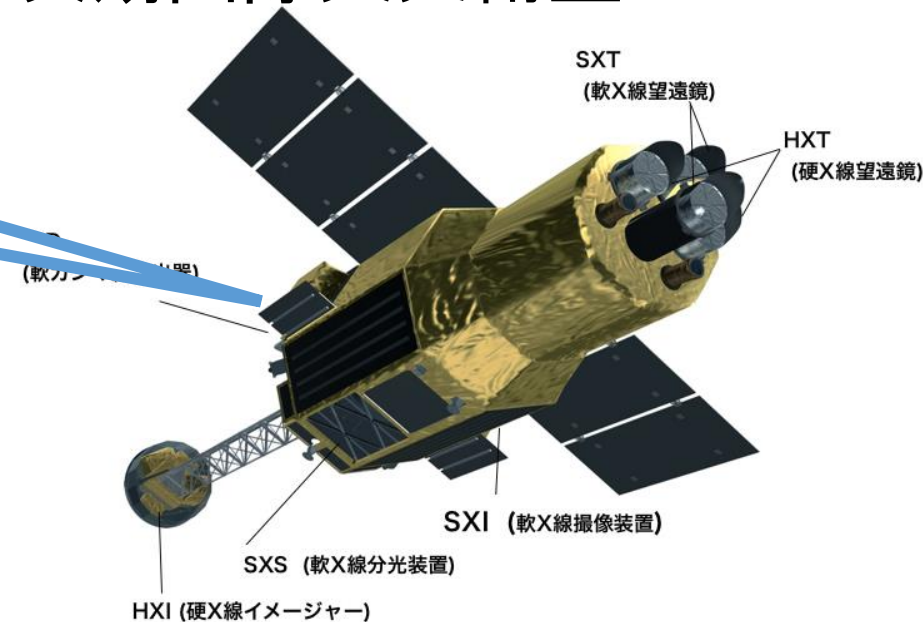
## CCの構成

- Si/CdTe半導体検出器
- BGOアクティブシールド: 視野 $10^\circ$
- リン青銅製ファインコリメータ:  
視野 $0.5^\circ$  (150 keV以下)

徹底したバックグラウンド除去



# 次期国際天文衛星ASTRO-H



- 2015年度打ち上げ予定
- 全長14m、総重量2.5t
- 4つの検出器(SXS, SXI, HXI, SGD)



0.3 – 600 keVに亘る過去最高の広域観測 2

# ASTRO-H衛星熱真空試験

SGDは各種地上動作検証、較正試験は全て完了し正常に動作していることが確認された。

一方で、SGD各種試験により得られたデータの健全性をより詳細に検証する必要がある。



## ●ペDESTALの変遷

衛星熱真空試験開始時/終了時においてペDESTALが安定しているかを確認

## ●バックグラウンドスペクトル

CCで得られた環境放射線のスペクトルを用いてエネルギー較正を確認

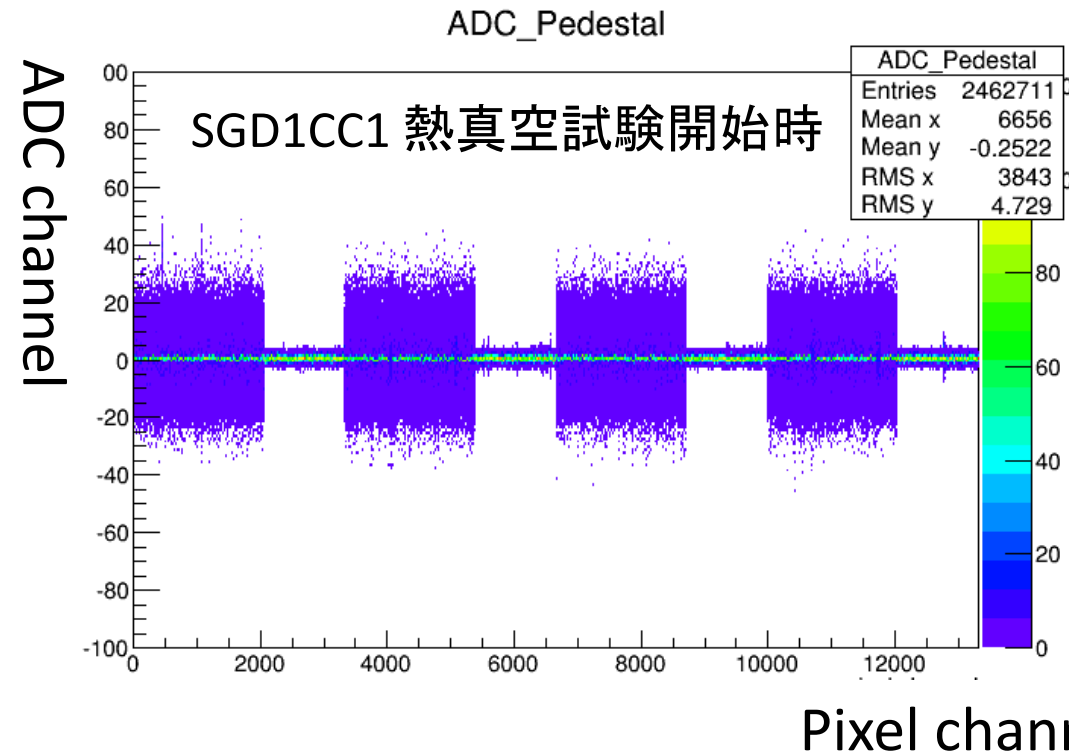
## ●カウントレートの変遷

SGDのバックグラウンドレートが安定しているか確認

## ●宇宙線イベント解析

宇宙線イベントを抽出し、反同時係数フラグが付いていること、また宇宙線デポジットエネルギーが予想される振る舞いを示しているか確認

# ペDESTALとその変遷

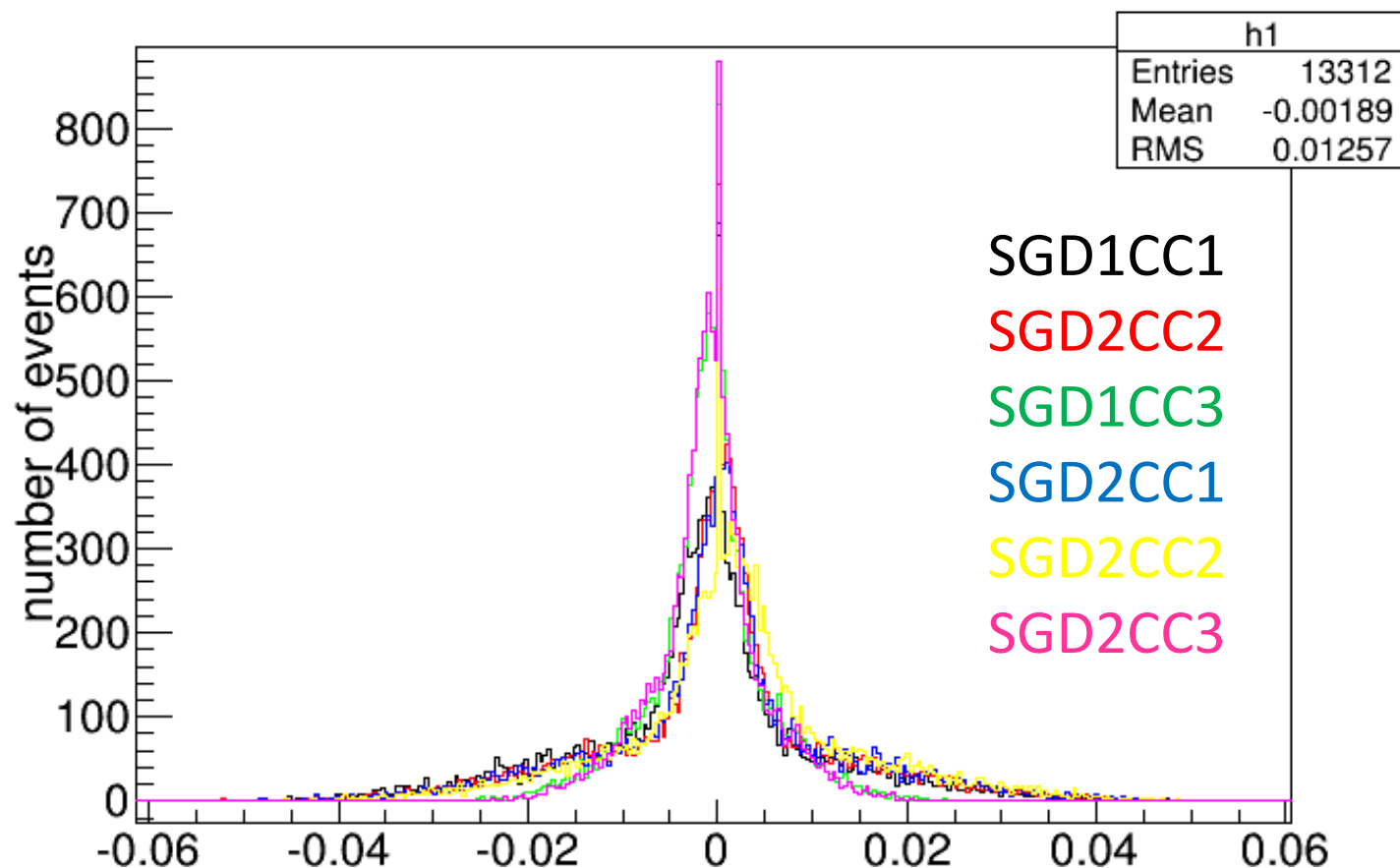


ペDESTALはASICの無信号時のADC値

- 測定時間によらず平均がADC値0 ch 付近となる

1. 熱真空試験開始時、終了時の各チャンネルのペDESTAL 平均値を求める
2. 終了時と開始時の各チャンネルのペDESTALの1イベント 当たりのADC値の差分の頻度分布を作成

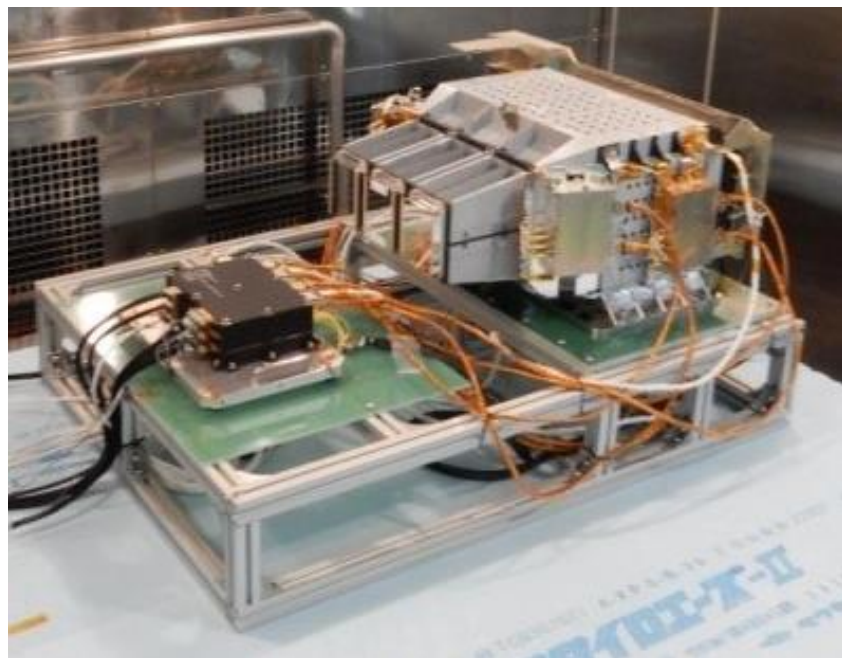
# 試験前後での各チャンネルペDESTAL値平均の差分の頻度分布



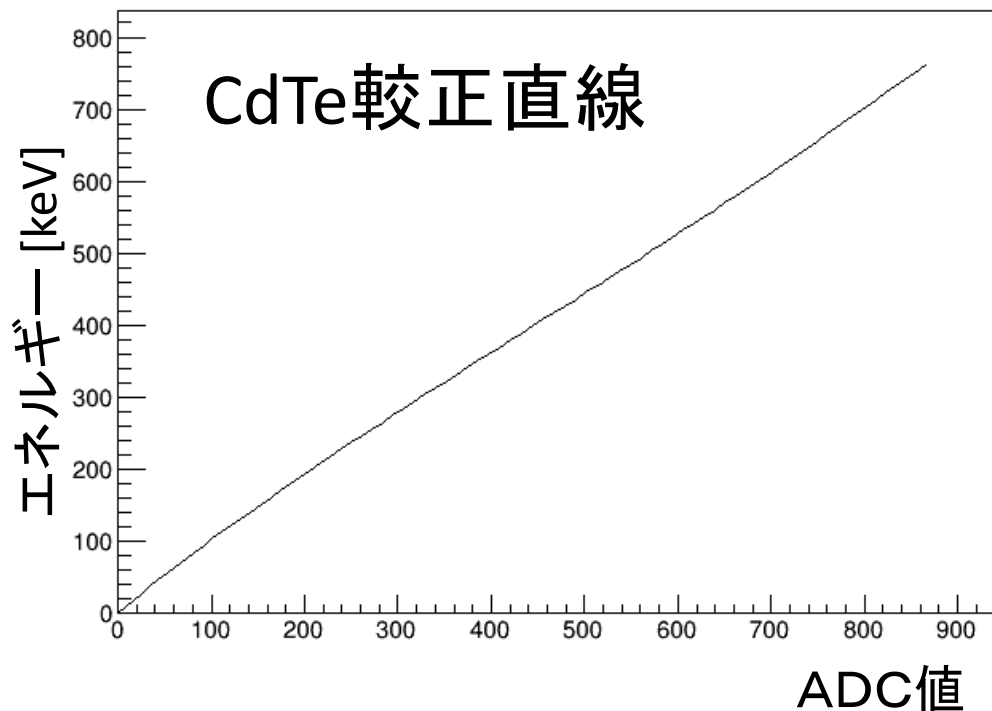
1イベント当たりのペDESTALADC値平均の差分

各CCで衛星熱真空試験の開始時・終了時で各チャンネルでペDESTAL値はほぼ変化が無かった。CCは安定して動作していたことが分かった。

SGD地上キャリブレーション(2014年度冬)でガンマ線源による照射によってエネルギー較正を行いエネルギー較正データベースを作成



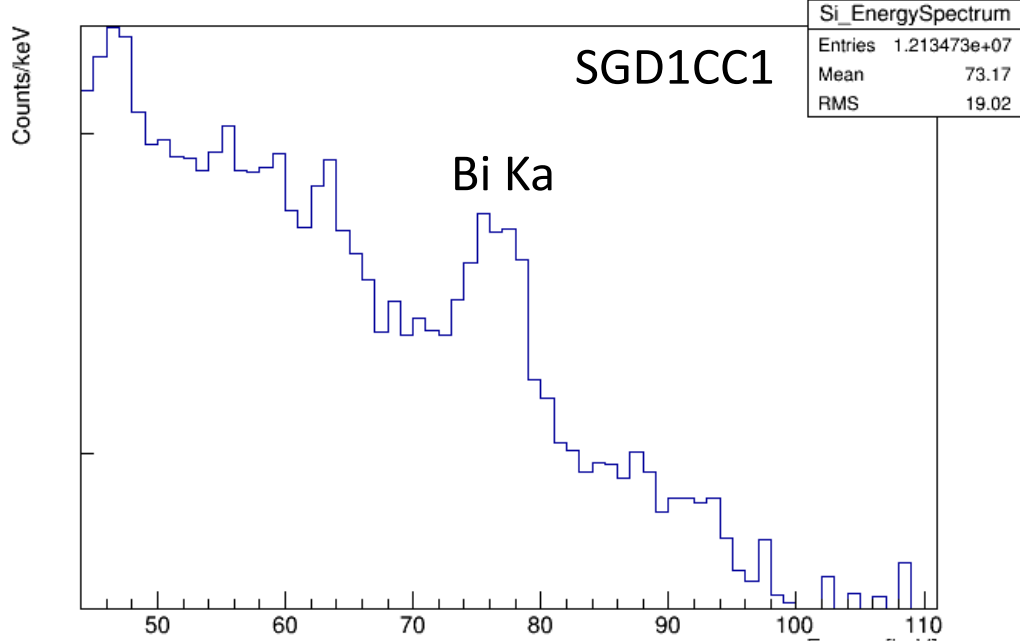
地上キャリブレーション試験



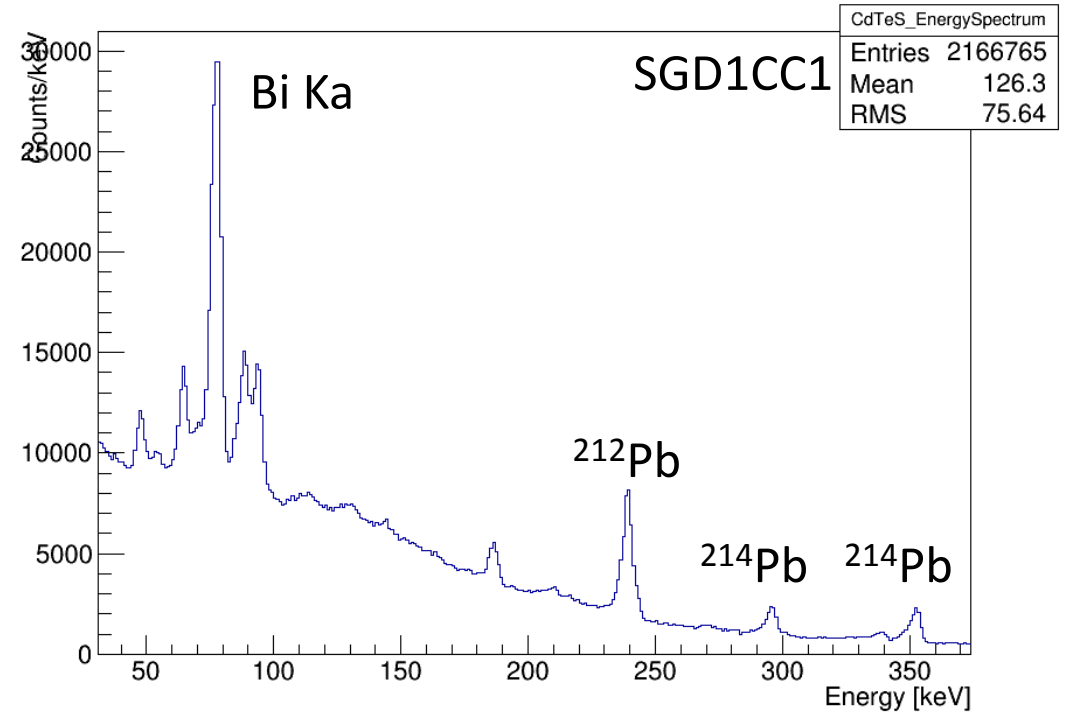
較正データを衛星熱真空試験データに適用し、エネルギースケールが変わっていないか確認した

# バックグラウンドスペクトル

Si\_EnergySpectrum

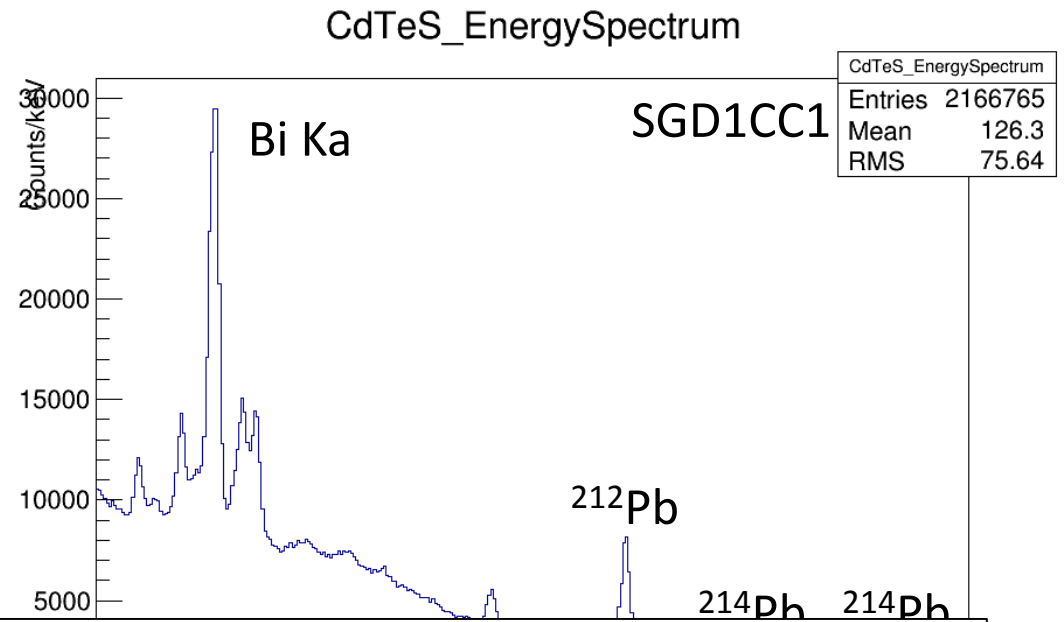
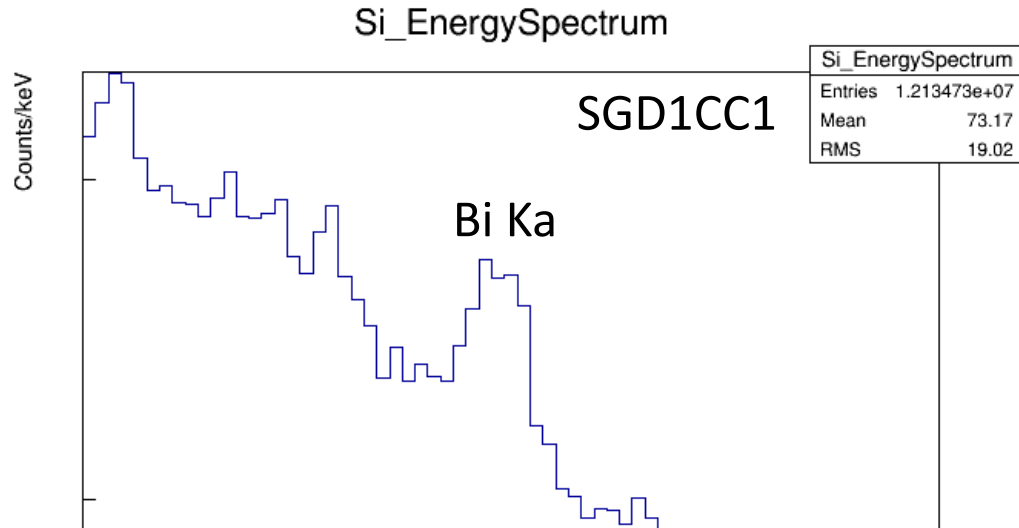


CdTeS\_EnergySpectrum



	Bi Ka	<sup>212</sup> Pb	<sup>214</sup> Pb	<sup>214</sup> Pb
理論値	75.6 keV	238.6 keV	295.2 keV	352.0 keV
SGD1CC1	76.1 ± 0.1	239 ± 0.03	296 ± 0.05	351 ± 0.04
SGD1CC2	75.6 ± 0.4	239 ± 0.02	295 ± 0.06	352 ± 0.02
SGD1CC3	75.8 ± 0.2	239 ± 0.02	296 ± 0.07	352 ± 0.1
SGD2CC1	76.0 ± 0.7	239 ± 0.02	295 ± 0.06	353 ± 0.2
SGD2CC2	76.0 ± 0.3	239 ± 0.02	295 ± 0.06	352 ± 0.06
SGD2CC3	75.9 ± 0.2	239 ± 0.02	296 ± 0.05	352 ± 0.05

# バックグラウンドスペクトル



CCのエネルギースケールは、地上キャリブレーションと変化が無かった

理論値	75.6 keV	238.6 keV	295.2 keV	352.0 keV
SGD1CC1	76.1 ± 0.1	239 ± 0.03	296 ± 0.05	351 ± 0.04
SGD1CC2	75.6 ± 0.4	239 ± 0.02	295 ± 0.06	352 ± 0.02
SGD1CC3	75.8 ± 0.2	239 ± 0.02	296 ± 0.07	352 ± 0.1
SGD2CC1	76.0 ± 0.7	239 ± 0.02	295 ± 0.06	353 ± 0.2
SGD2CC2	76.0 ± 0.3	239 ± 0.02	295 ± 0.06	352 ± 0.06
SGD2CC3	75.9 ± 0.2	239 ± 0.02	296 ± 0.05	352 ± 0.05

# バックグラウンドカウントレート

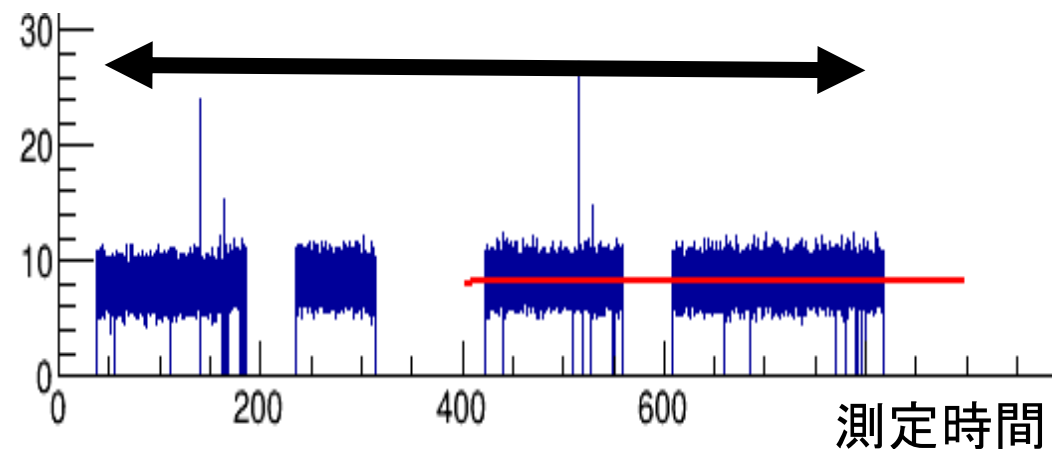
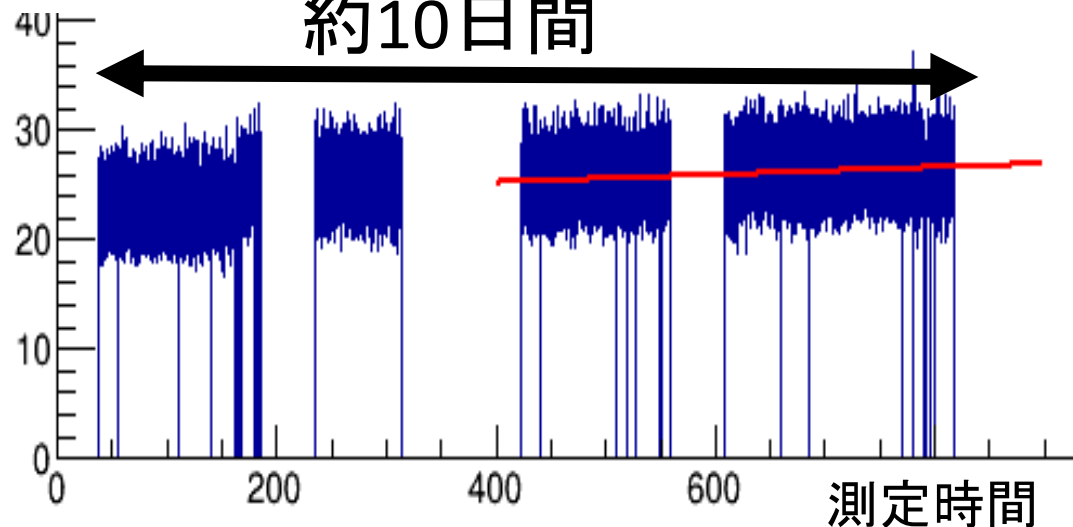
ノイズ(全てのヒットのADC値<50ch)

ノイズ以外

約10日間

約10日間

カウントレート



試験中カウントレートはほぼ安定していた

SGD1CC2	上昇率(=傾き×10日間/平均レート)
ノイズ	10%
ノイズ以外	3.1%

ノイズの上昇は、センサー付近の温度上昇が原因と思われる。  
ノイズ以外の上昇は、わずかであるが、原因はまだ不明。

# 宇宙線解析

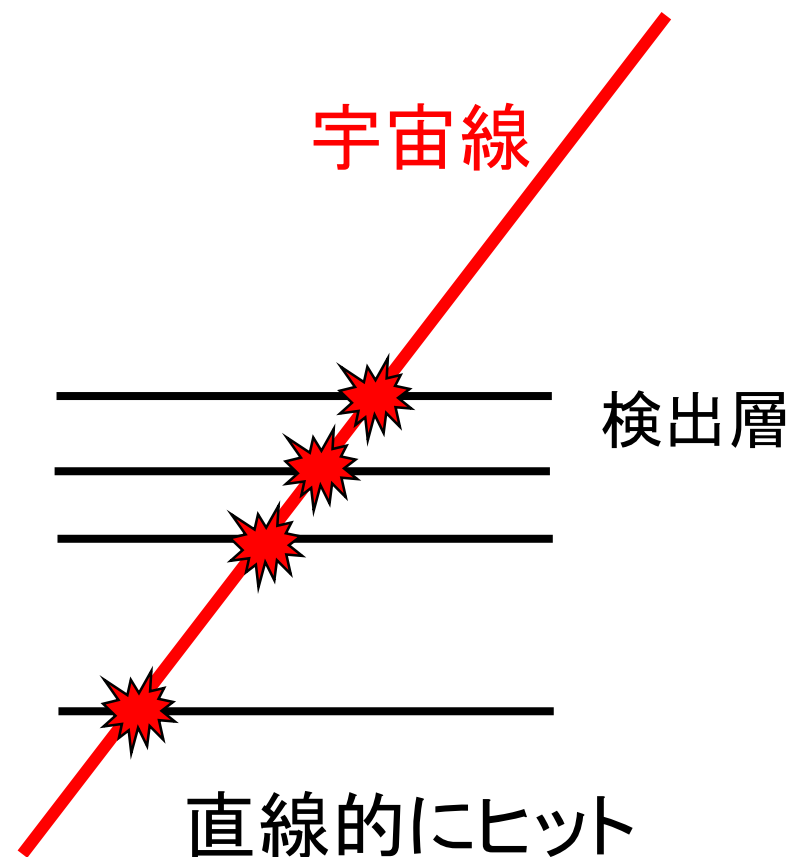
- 宇宙線イベントを選定し、宇宙線スペクトルをエネルギー空間で描く
- 宇宙線入射角度とスペクトルの関係を調べ、物理的矛盾がないか確認

- 各CCについて衛星熱真空試験のバックグラウンドデータを足しあわせて宇宙線スペクトルを作成
- CdTe-Sideは除外し、Si: 32層、CdTe-Bottom: 8層を解析

Bethe-Bloch式から求めた  
MIPデポジットエネルギー

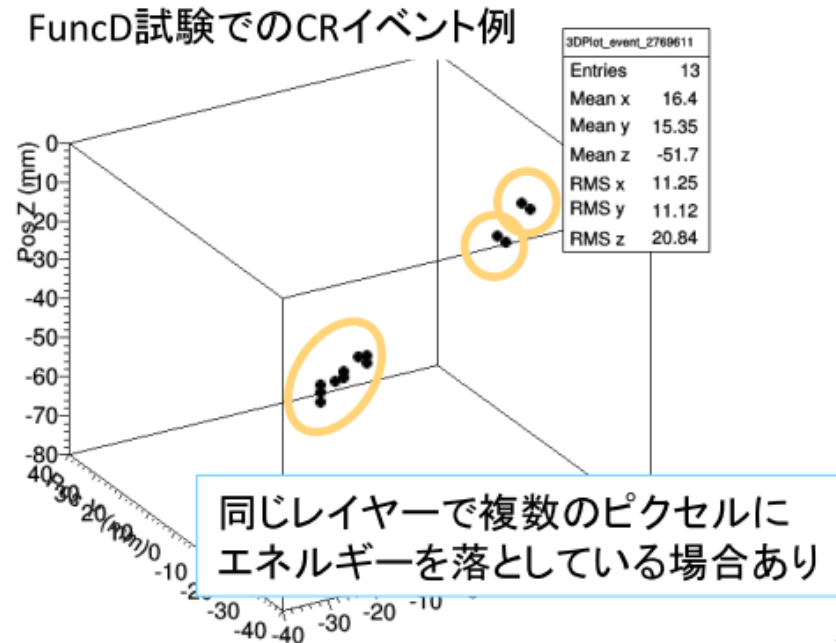
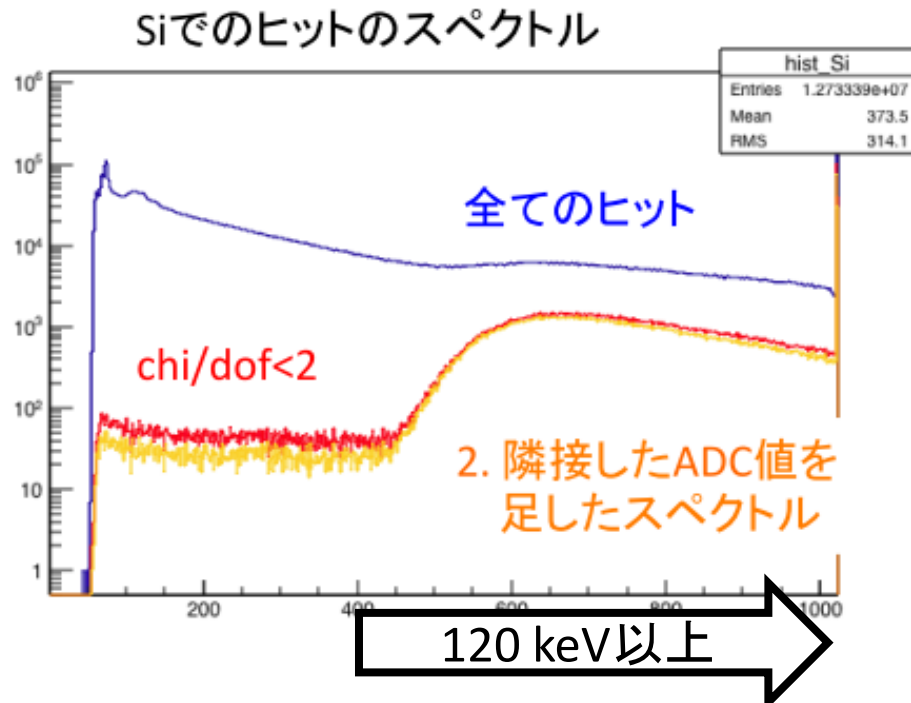
Si : 220 keV

CdTe : 550 keV



# 宇宙線イベント選定、スペクトル作成方法

1. 9層以上通過し、直線フィットで残差の小さいイベント
2. 隣り合うピクセルでヒットがあれば合計する  
同じ層で複数ピクセルにエネルギーを落としている場合がある
3. 各層で合計したエネルギーが約120 keV超える場合を用いる  
ノイズを取り除くため(MIPのピーク ~ 200 keV)
4. 各層のエネルギースペクトルから全層、全Si層、全CdTe-B層のスペクトルをそれぞれ作成

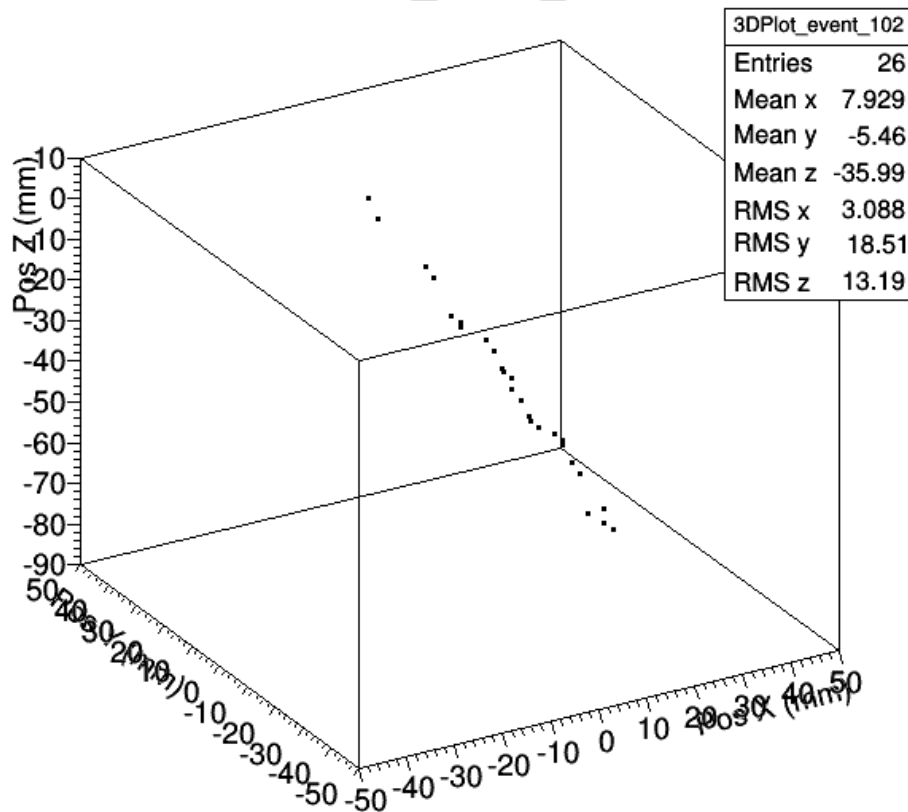


以前の性能試験と同様の宇宙線イベントセレクションを  
衛星熱真空試験でも行い、ヒットマップを作成。

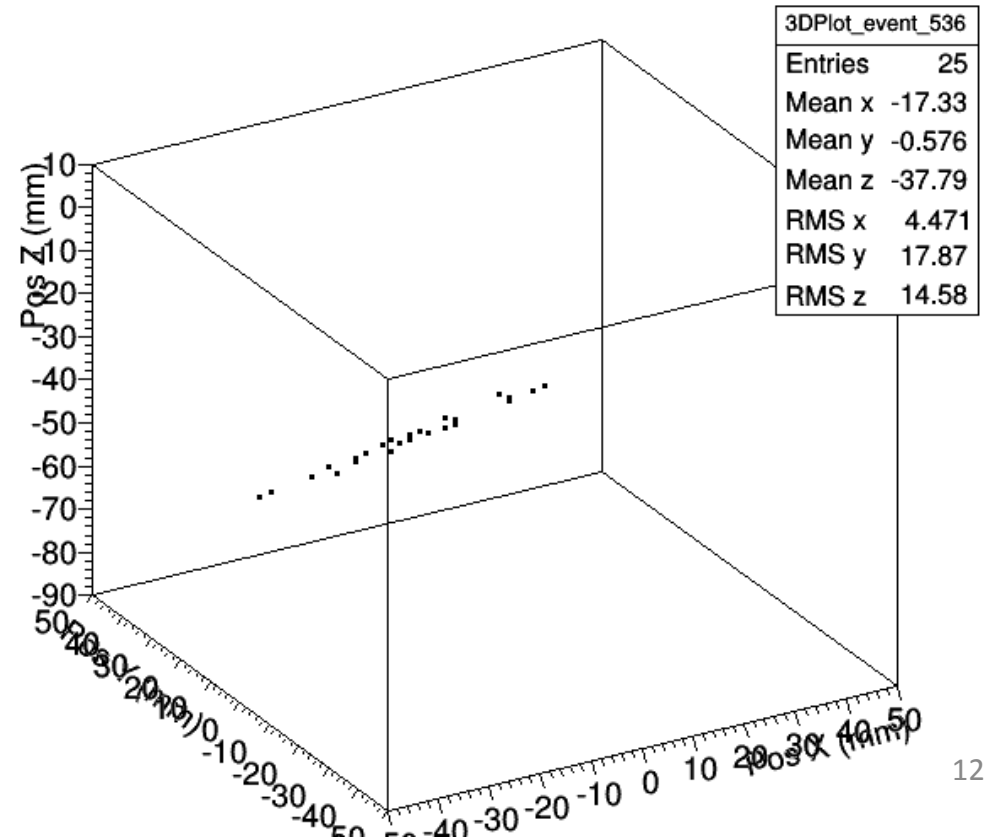
下図のような宇宙線らしい直線的なヒットマップが描けた。

→熱真空試験でも宇宙線イベント抽出に成功

Sgd1\_cc1\_20150627\_030701  
3DPlot\_event\_102



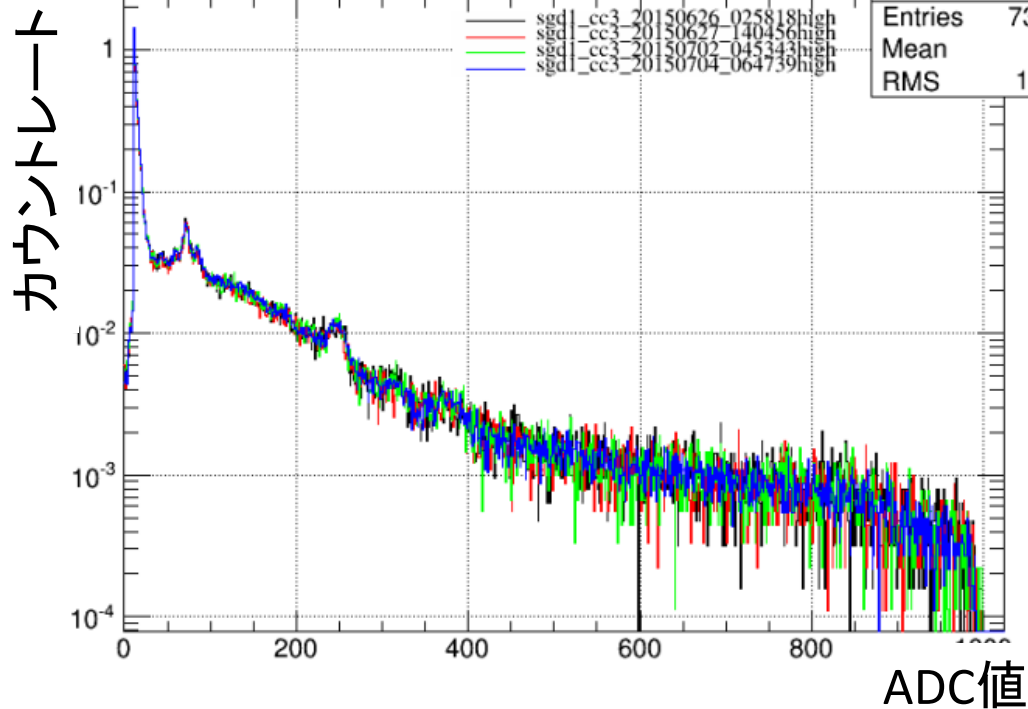
Sgd1\_cc3\_20150627\_030701  
3DPlot\_event\_536



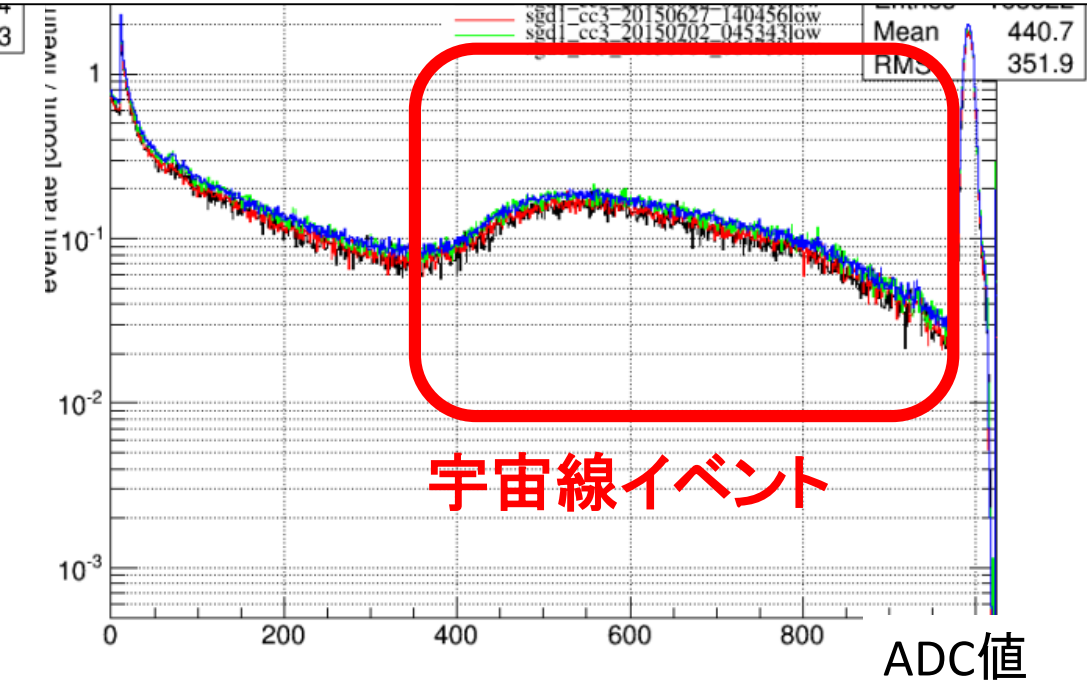
# 反同時計数フラグ付イベント数/全宇宙線イベント数

	SGD1CC1	SGD1CC2	SGD1CC3	SGD2CC1	SGD2CC2	SGD2CC3
全イベント	24348	32670	33165	6084	5414	5001
フラグ付	24345	32665	33160	6083	5412	5001

カテゴリーH(通常イベント)

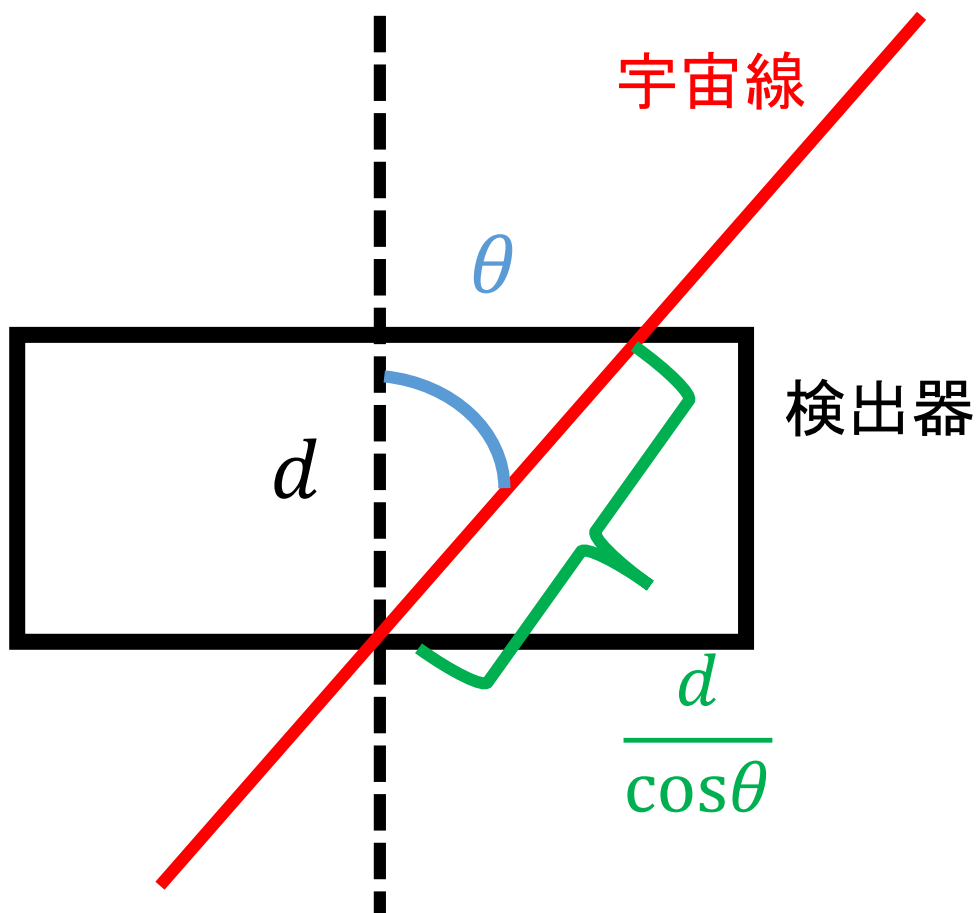


カテゴリーL(優先度の低いイベント)  
反同時計数フラグ付イベントも含まれる



ほぼ100%のイベントに反同時計数フラグ付いていることが確認された

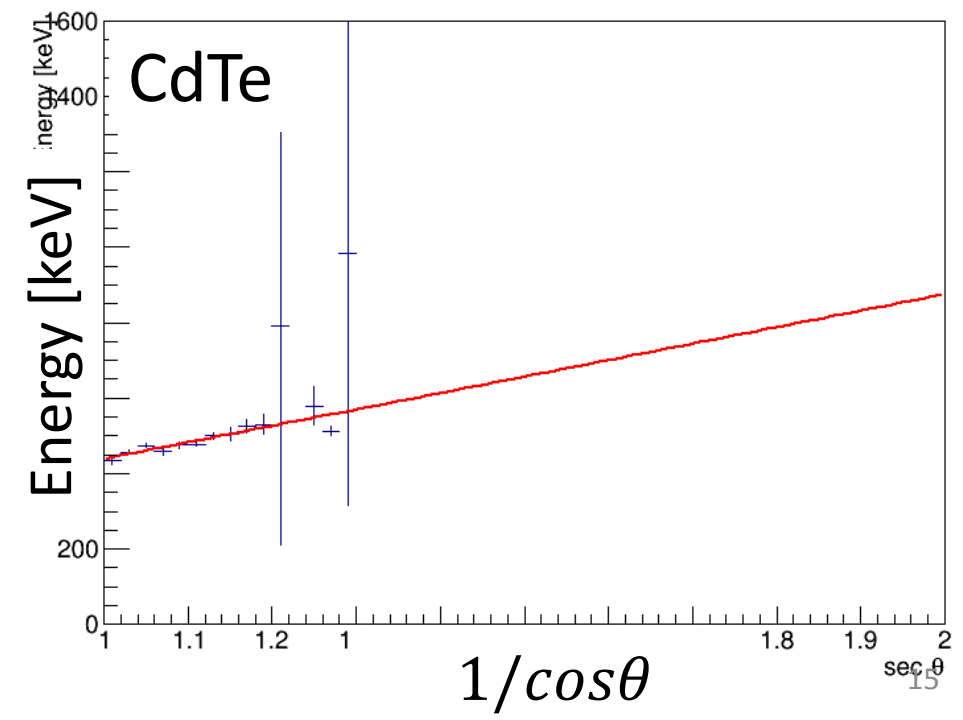
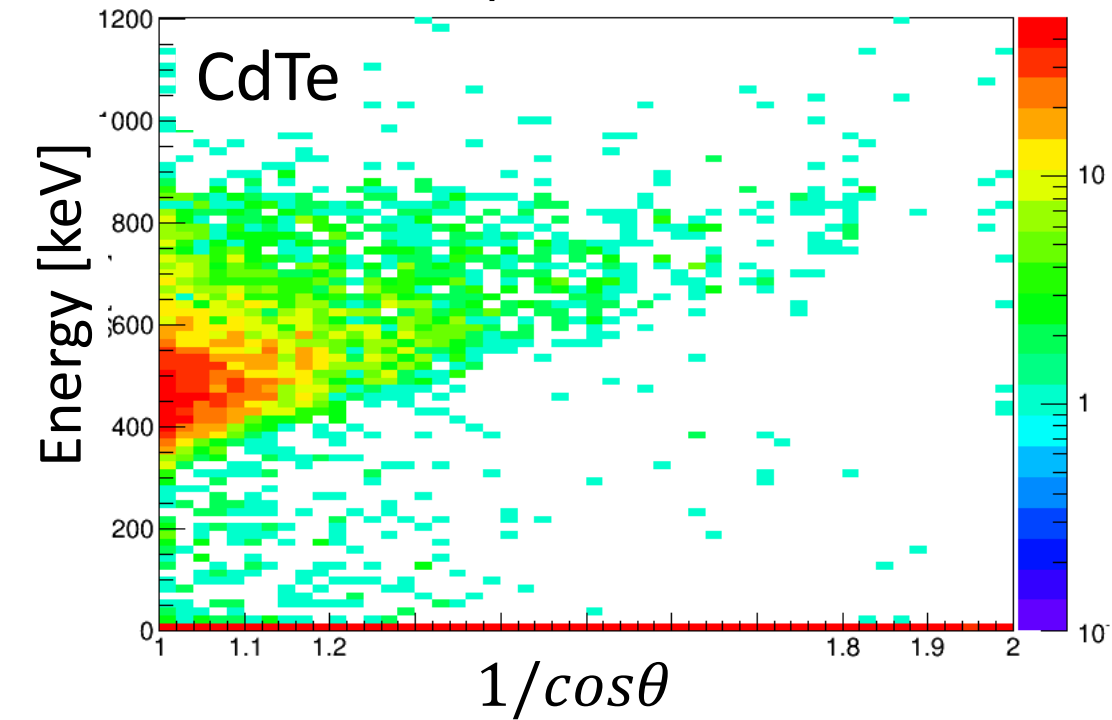
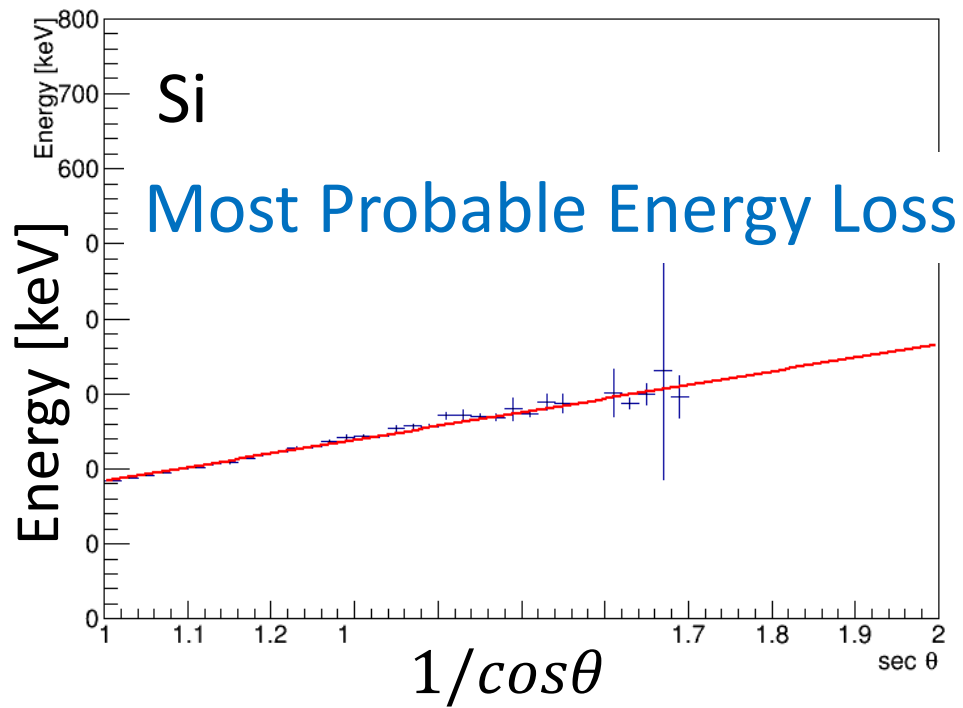
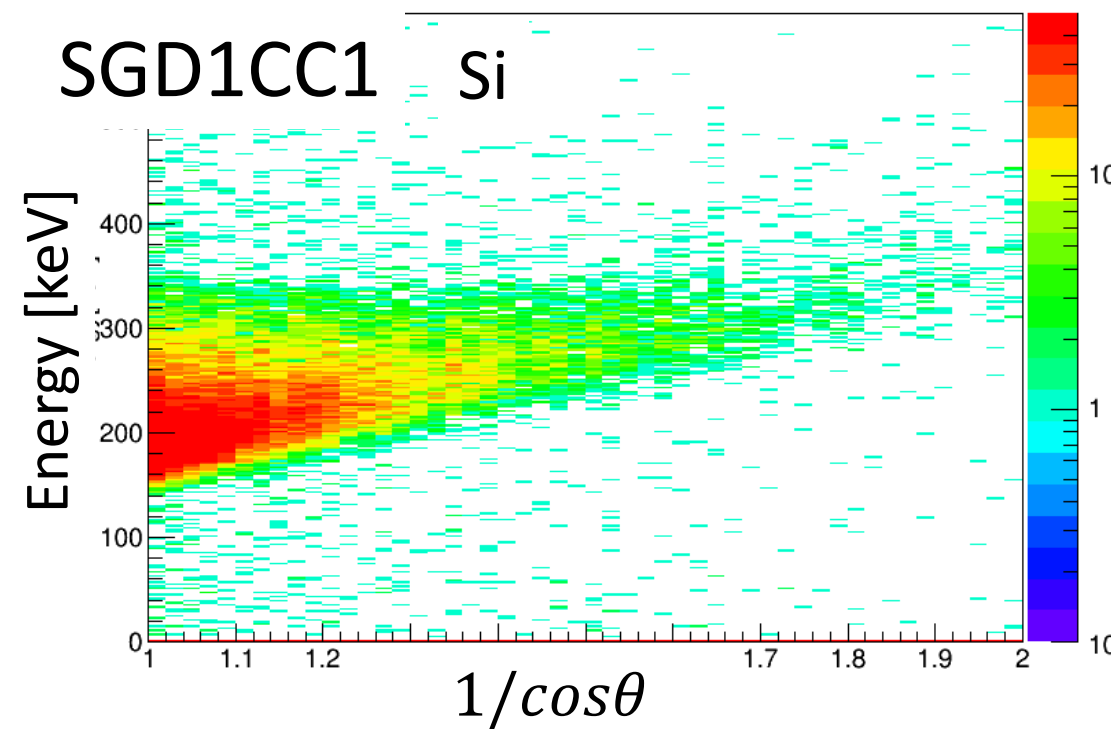
# 宇宙線入射角度とデポジットエネルギー



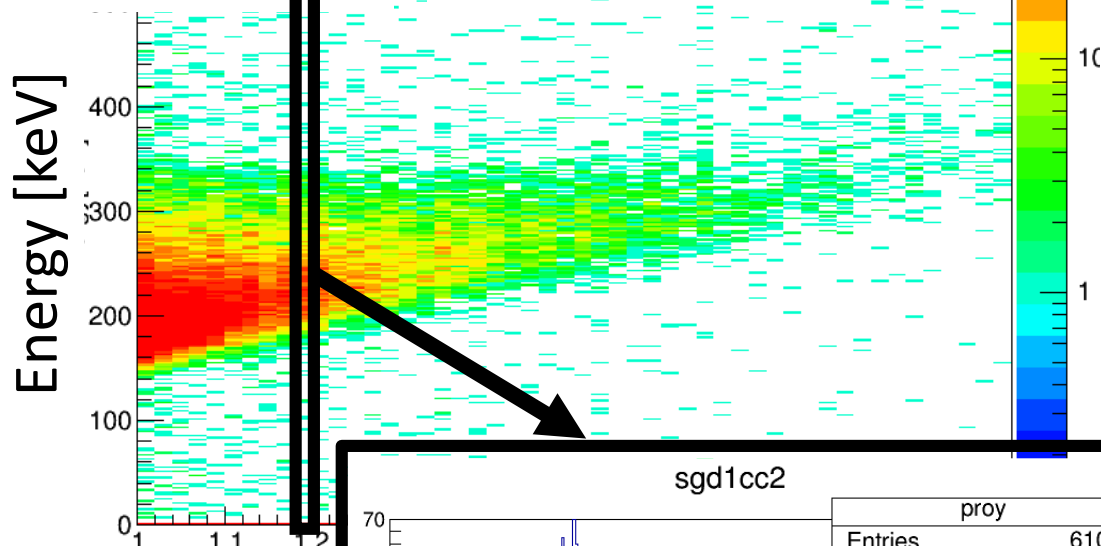
$\theta = 0$ でのデポジットを $E_0$ とおくと  
デポジットエネルギー $E_d$ は、

$$E_d = E_0 / \cos\theta$$

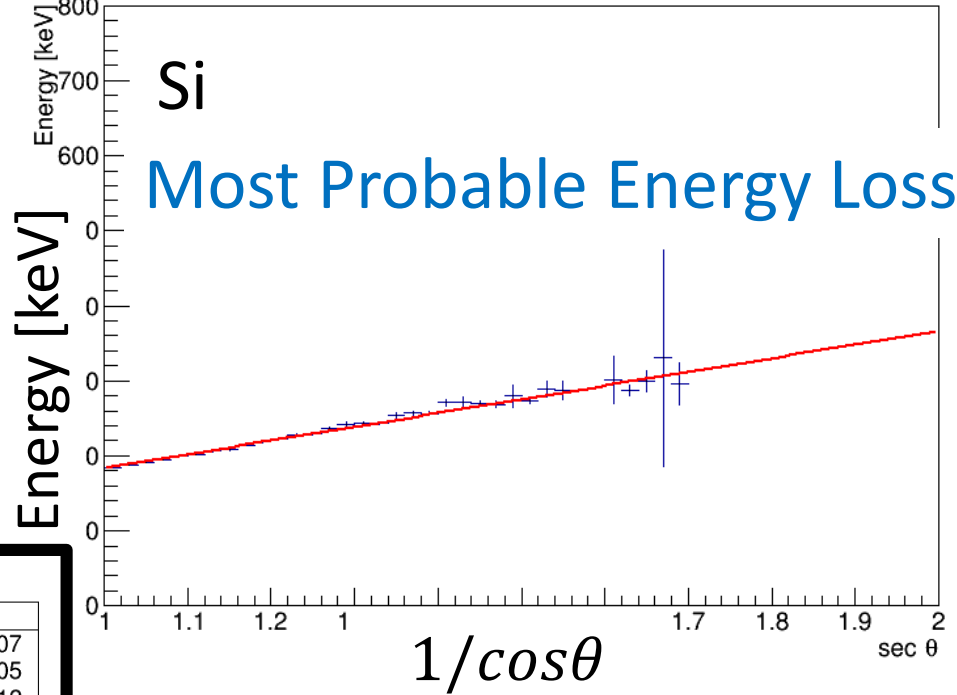
SGD1CC1 Si



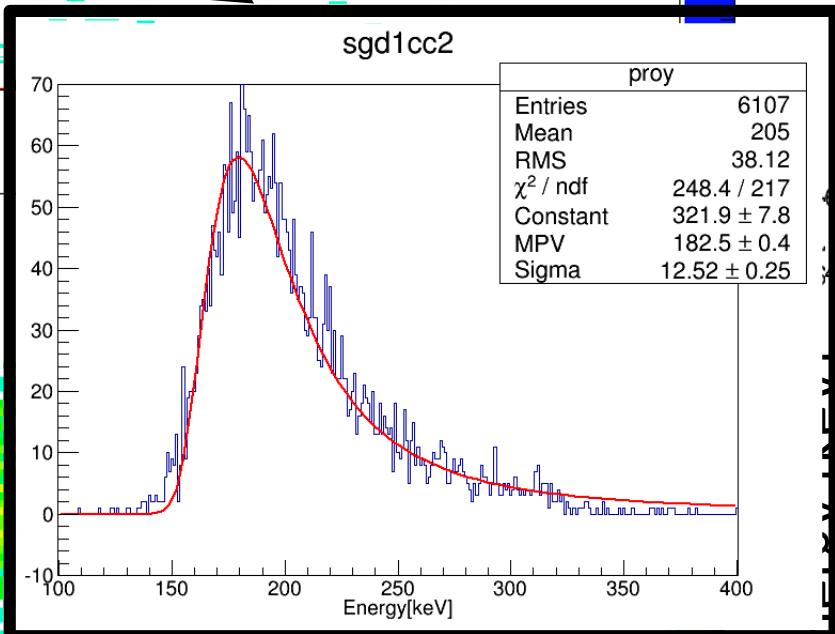
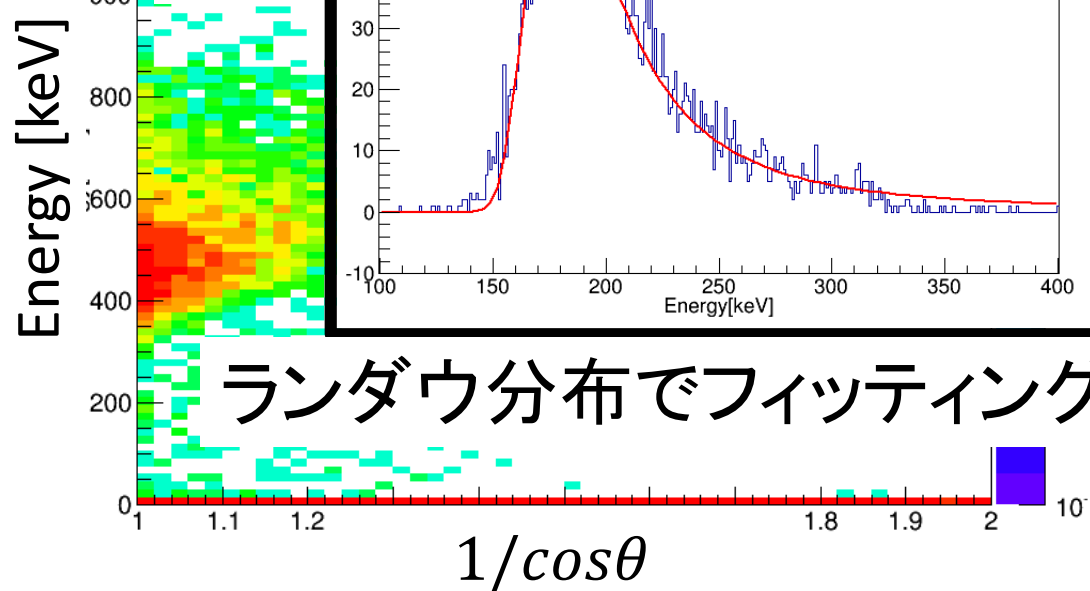
SGD1CC1 Si



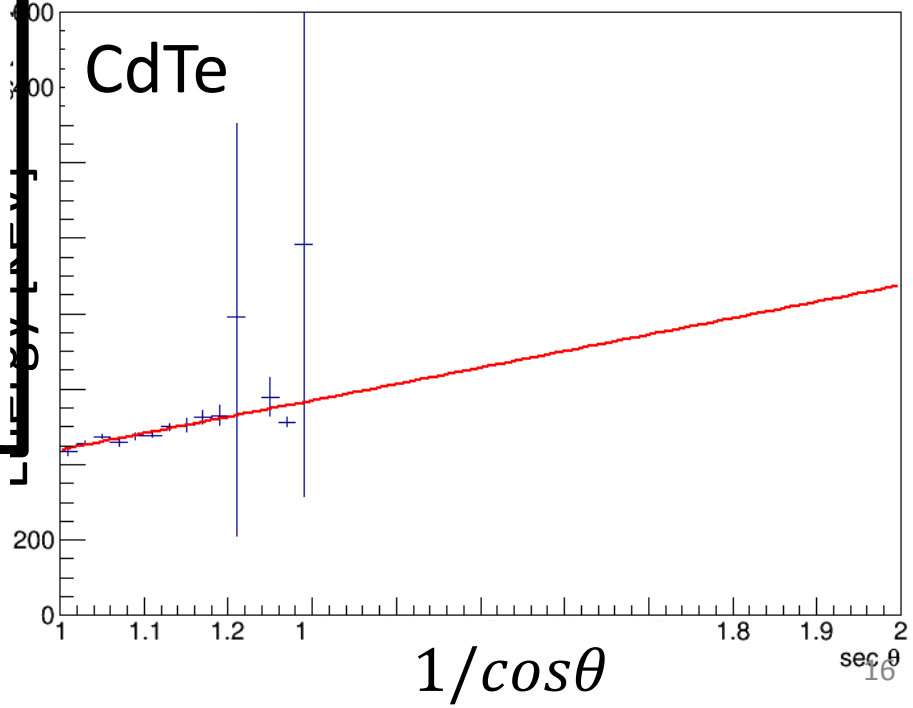
Si  
Most Probable Energy Loss



CdTe

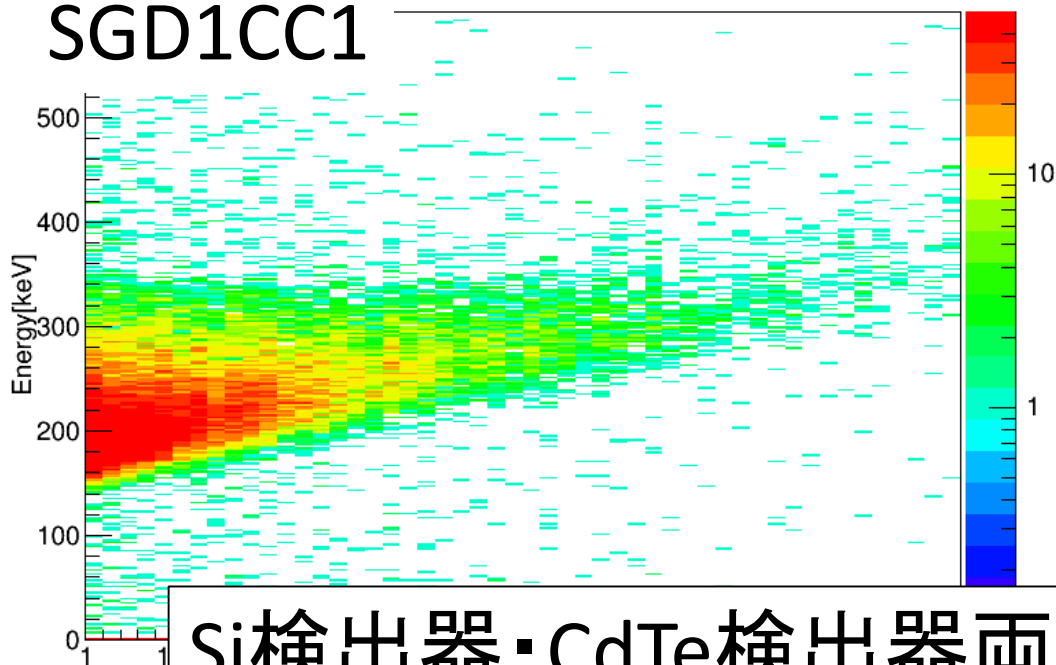


CdTe

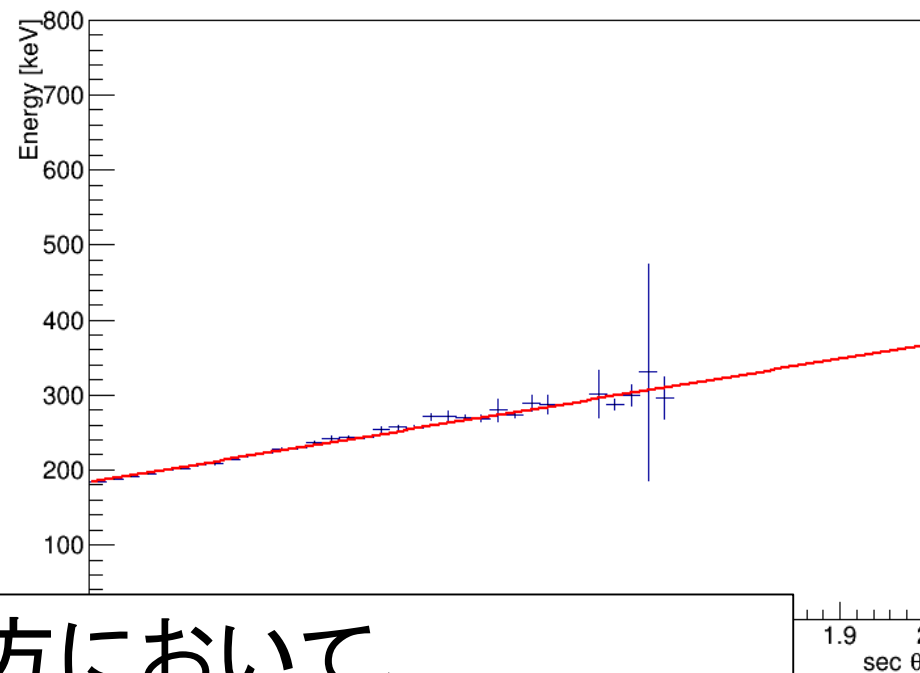


Si\_sec\_theta\_energy

SGD1CC1

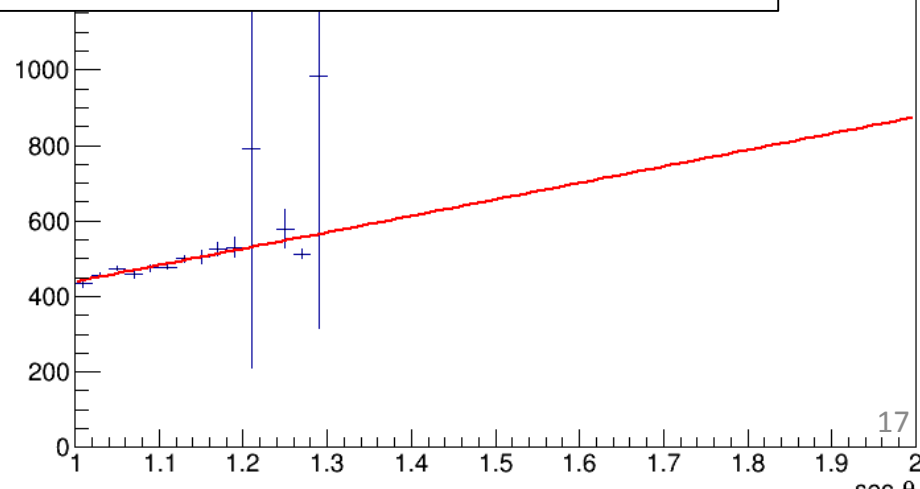
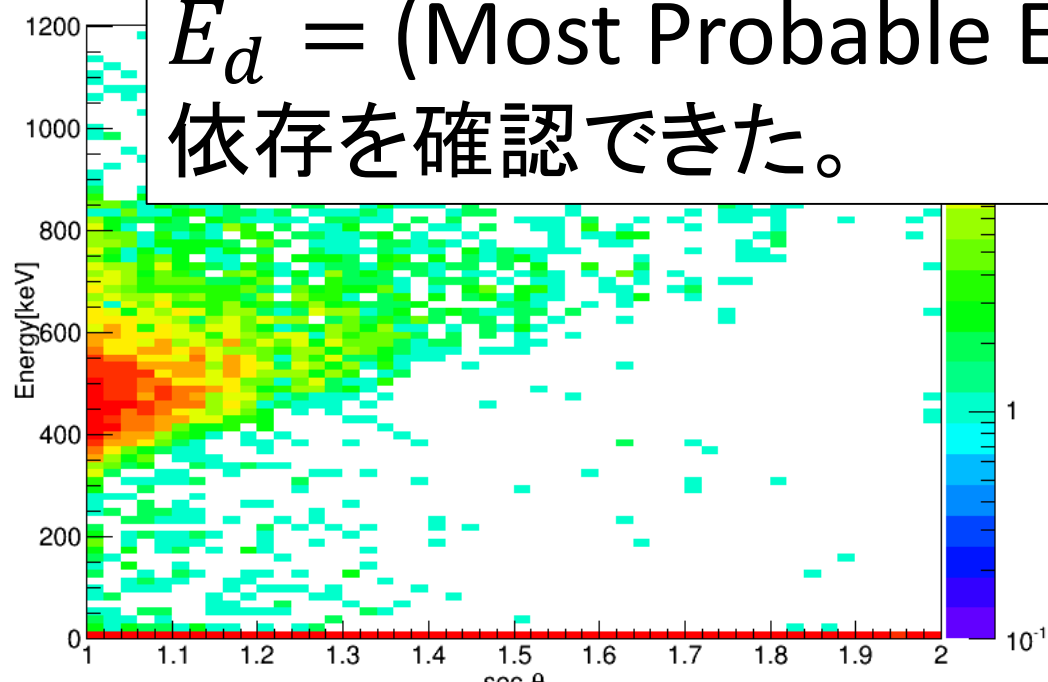


Si\_fitslicesy\_1(mean), y = 182 \* x



Si検出器・CdTe検出器両方において、

$E_d = (\text{Most Probable Energy Loss}) / \cos \theta$   
依存を確認できた。



## 推定した $\theta = 0$ でのMPEL

検出器	SiのMPEL [keV]	CdTeのMPEL [keV]
SGD1CC1	182 $\pm$ 0.2	436 $\pm$ 2
SGD1CC2	183 $\pm$ 0.2	439 $\pm$ 3
SGD1CC3	183 $\pm$ 0.1	443 $\pm$ 2
SGD2CC1	183 $\pm$ 0.1	442 $\pm$ 2
SGD2CC2	182 $\pm$ 0.2	443 $\pm$ 2
SGD2CC3	184 $\pm$ 0.2	440 $\pm$ 2

Bethe-Bloch式から求めたMIPデポジットエネルギー

Si : 220 keV      CdTe : 550 keV

Most Probable Energy Loss はランダウ分布のパラメータであり予測値の約8割位となるものであるため、概ね正しい。

この値をモニターすることで検出器正常動作の一つの指針とすることができると思われる。

# まとめ

衛星熱真空試験のデータを用いて、ペDESTAL・カウントレート・宇宙線イベント解析を行った

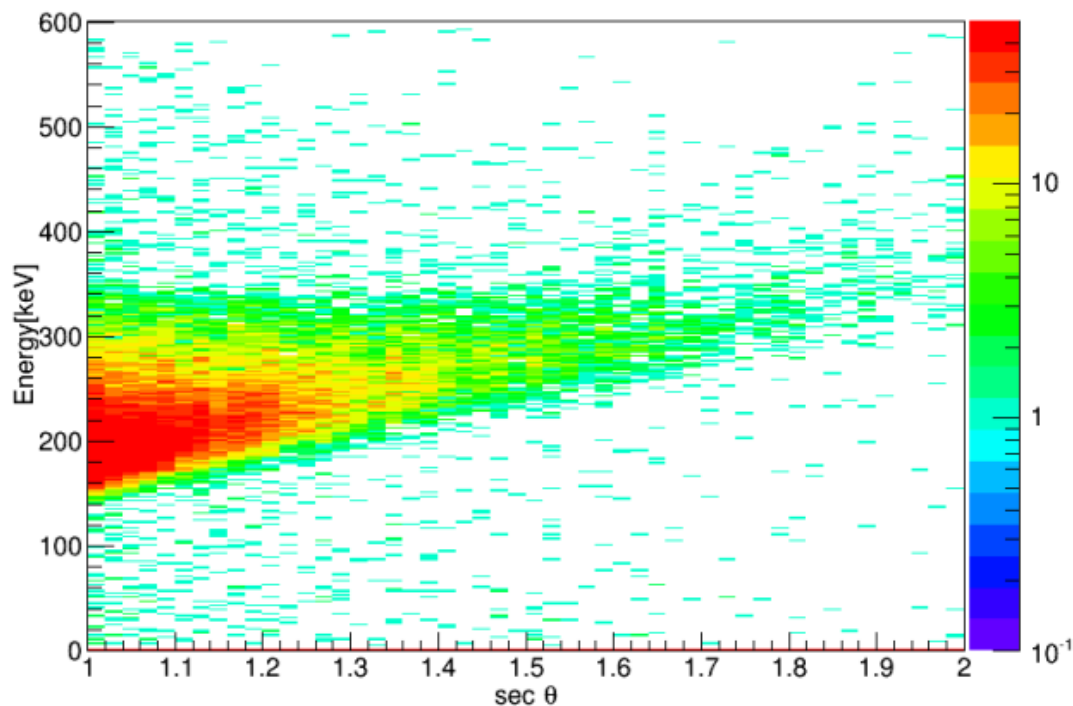
- ペDESTAL分布は安定していた
- エネルギー較正に変化が無かった
- バックグラウンドレートは、ほぼ安定していた
- 宇宙線イベントは、ほぼ100%反同時計数フラグが付いていた
- 宇宙線イベント解析から、デPOSITエネルギーは入射角と予想される関係性を示していた

以上のことから、SGD環境試験で取得されたデータの健全性を確認することができた

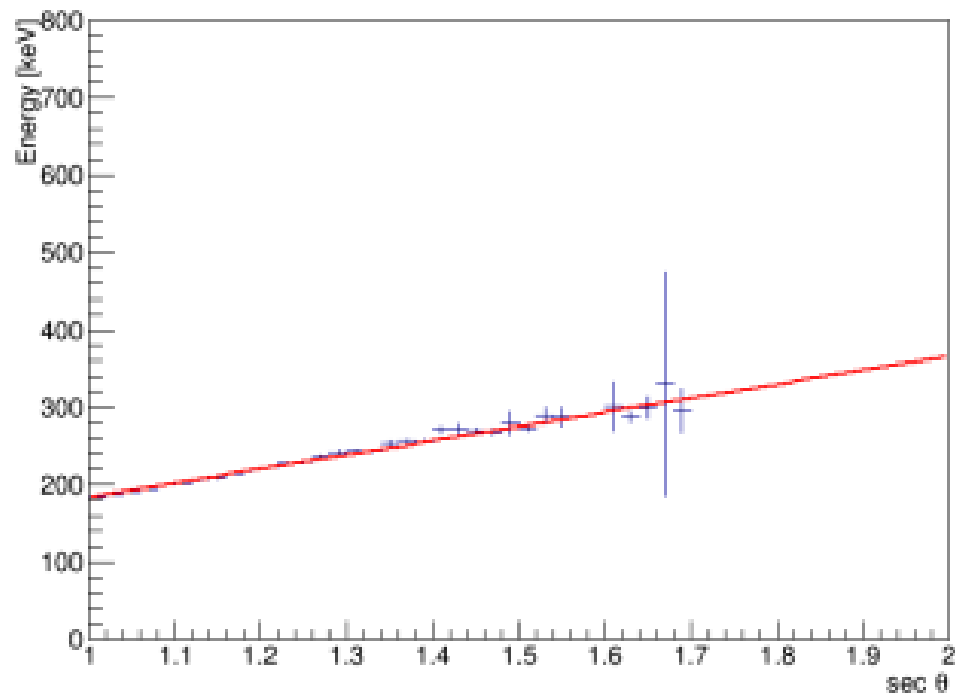
# 補足スライド

sgd1cc1

Si\_sec\_theta\_energy

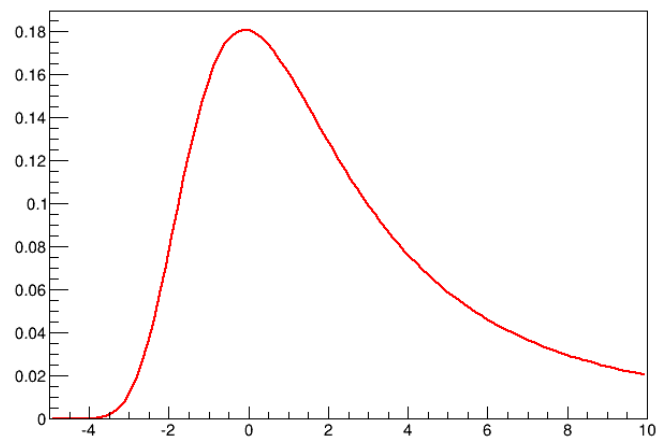


Si\_fitslicesy\_1(mean), y = 182 \* x



2次元ヒストグラムをxの各ビンでy軸に投影し、それぞれ宇宙線のエネルギー分布が従う landu 関数でフィットを行う

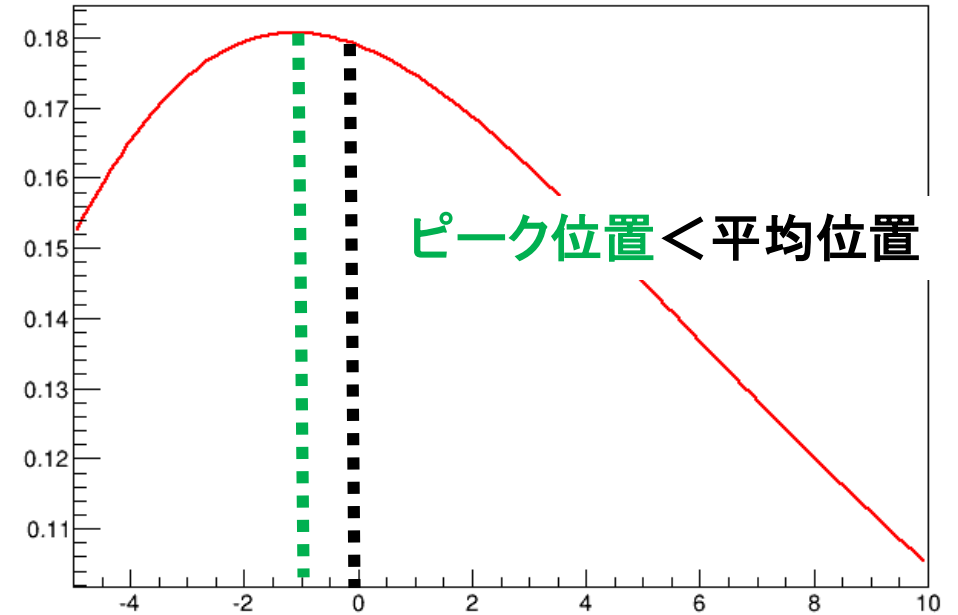
TMath::Landau(x,[0],[1],0)



# ランダウ分布

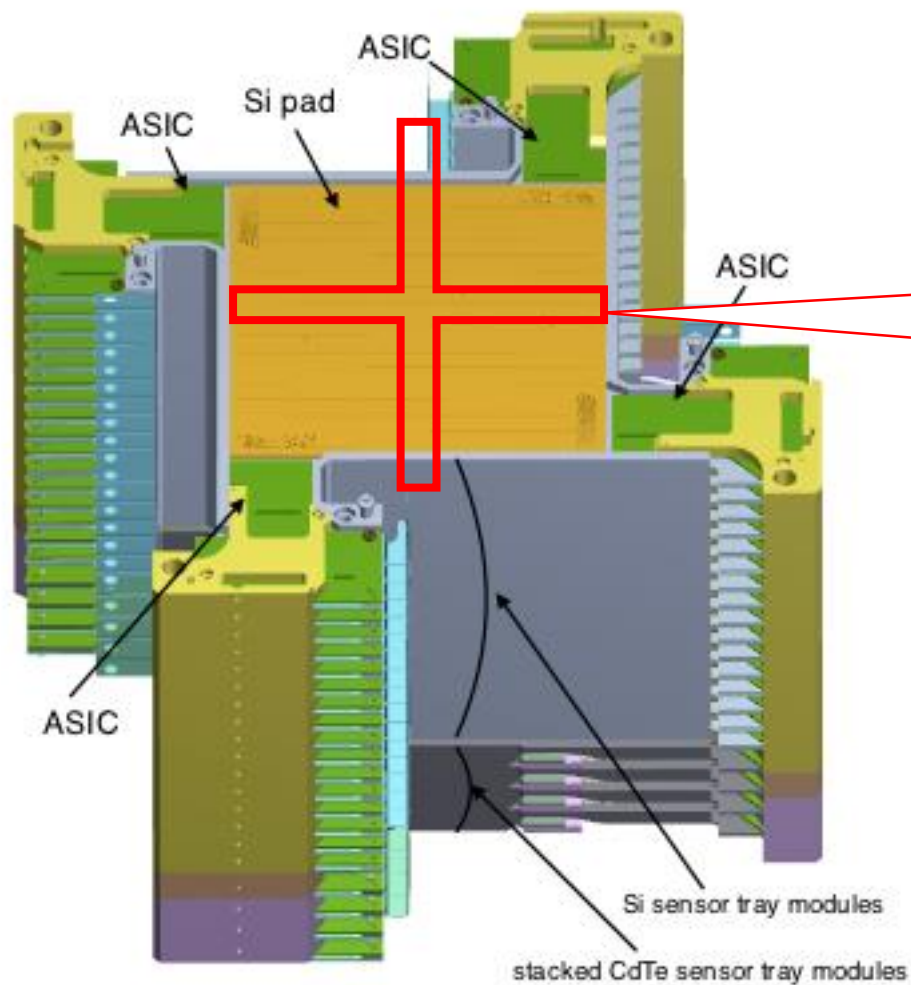
薄い物質層を相対論的なエネルギーを持つ荷電粒子が通過するときの電離損失のゆらぎ

$$p(x) = \frac{1}{2\pi i} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} e^{xs+slns} ds$$



予想値はランダウ分布の平均値であり、ランダウフィットから得られるMost Probable Energy Loss (ピーク位置)よりも高くなる。

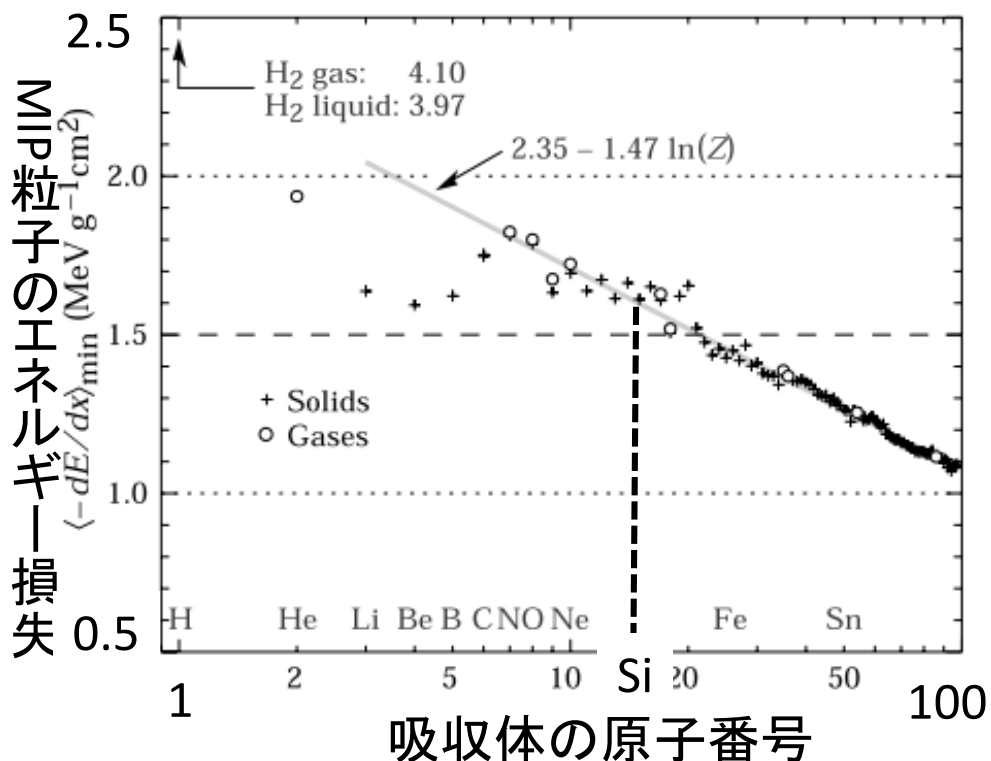
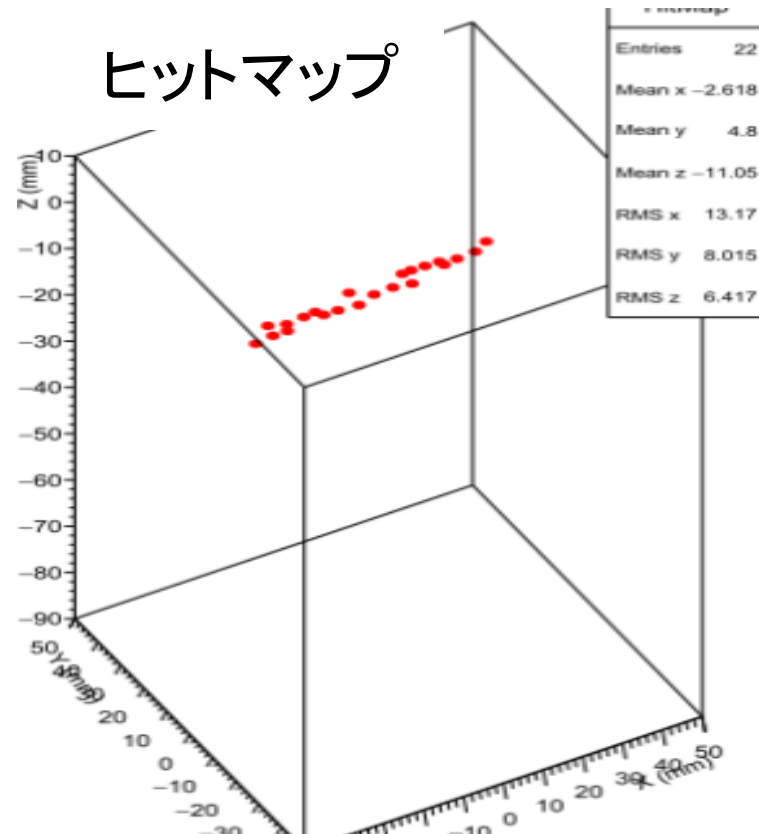
# 区間を跨ぐCRイベントの除去



読み出し区画の境目にCRがエネルギーを落とすと、エネルギーが区画を跨いで分裂する可能性がある

# 宇宙線(Cosmic ray)

非常に高エネルギーの宇宙線は、CCに入射するとほぼ直線的なヒットマップが描かれる  
 ⇒このようなイベントを宇宙線イベントとみなしエネルギースペクトルを作成



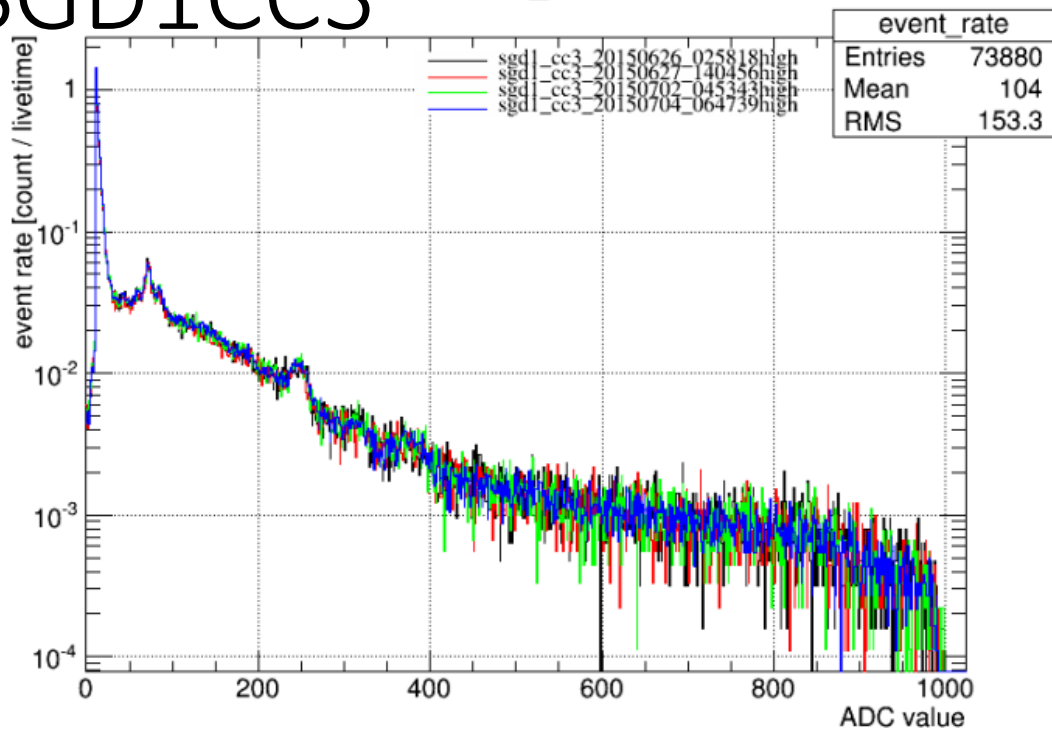
ベーテブロッホの式より、平均のエネルギー損失は

$$-\frac{dE}{dx} = K z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[ \frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{\max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta}{2} \right]$$

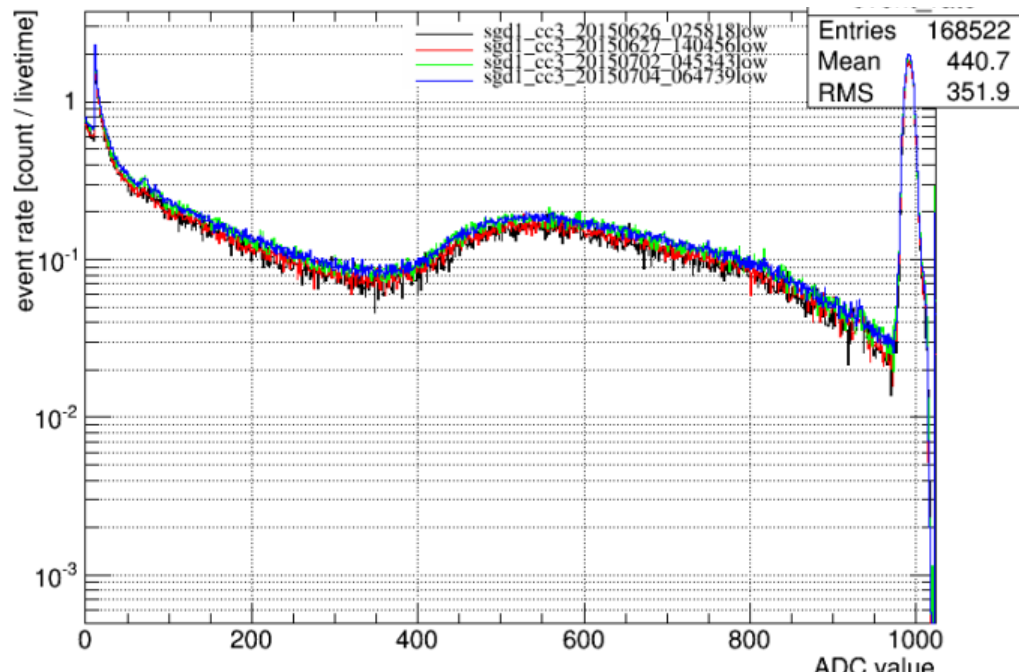
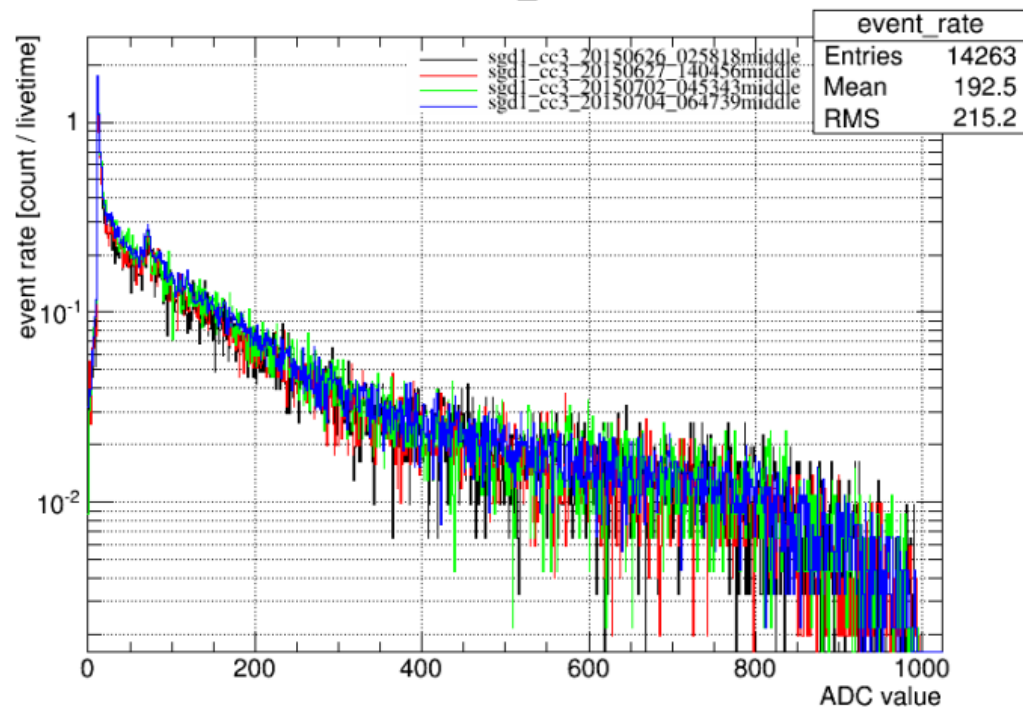
地表に届く宇宙線のほとんどはMIP粒子なため、エネルギーをある程度予測することができる  
 ⇒予想と正しいか比較

# SGD1CC3

event\_rate



event\_rate



時間経過: 黒→赤→緑→青