

# SMILE22

## 電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC)の気球実験に向けた開発状況

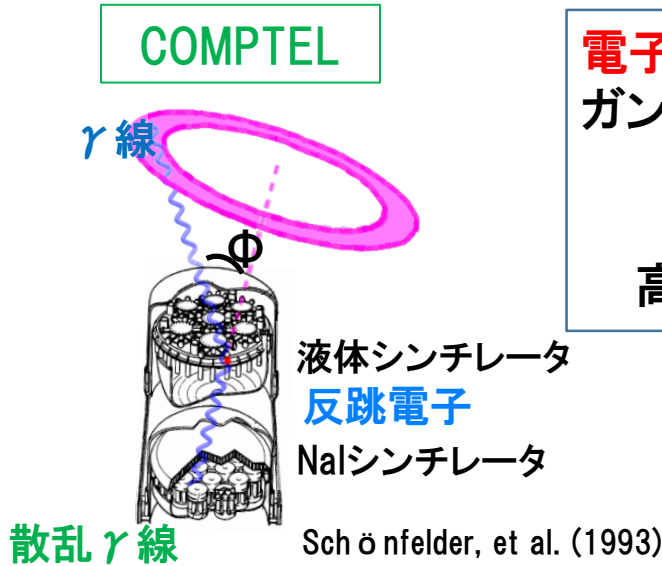
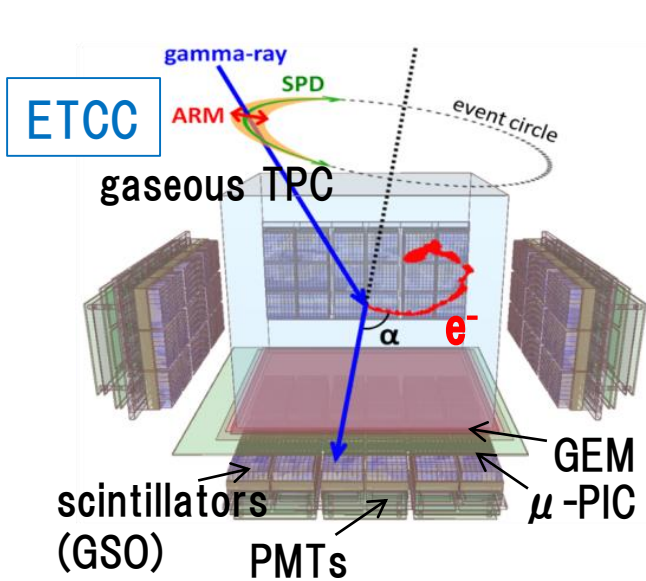
京都大学 宮本奨平

谷森達, 窪秀利, 高田淳史, Parker Joseph, 水村好貴,  
水本哲矢, 園田真也, 友野大, 岩城智, 澤野達哉,  
中村輝石, 松岡佳大, 古村翔太郎, 中村祥吾,  
岸本哲朗, 小田真, 竹村泰斗, 身内賢太郎(神戸大学)

# 目次

1. 電子飛跡検出型コンプトンカメラ(ETCC)の開発状況
2. TOT補正を用いた電子飛跡解析の改良方法
3. TOT補正を用いた電子飛跡解析の改良結果
4. まとめと今後の展望

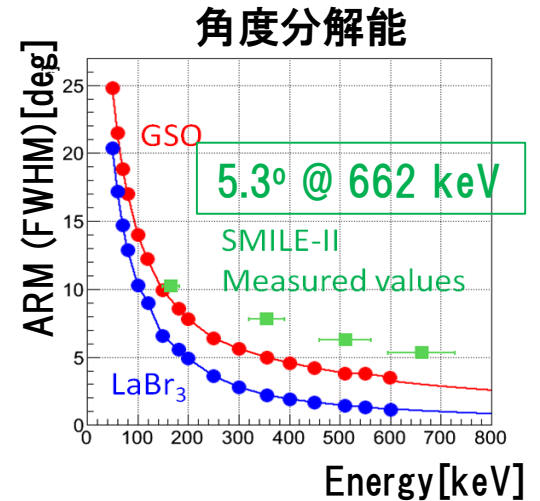
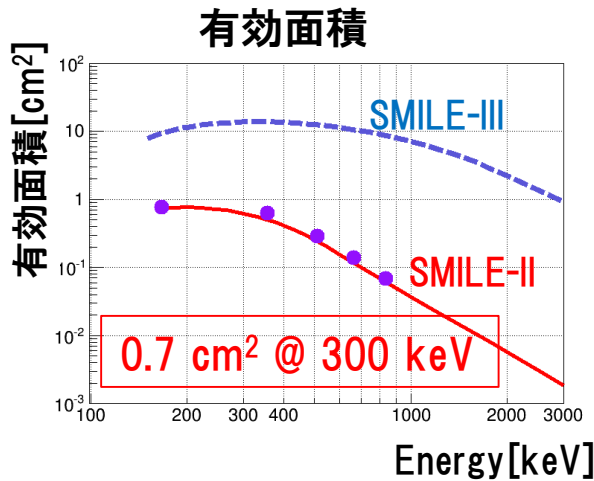
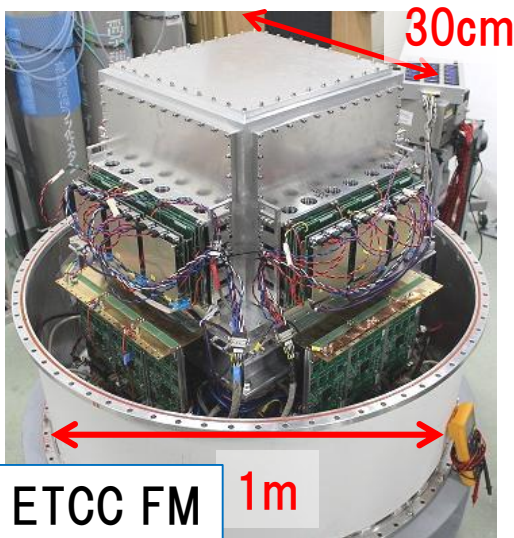
# 電子飛跡検出型コンプトンカメラ(ETCC)の開発 Electron-Tracking Compton Camera



電子飛跡取得  
ガンマ線の到来方向が

円環 → 扇

高いイメージング能力



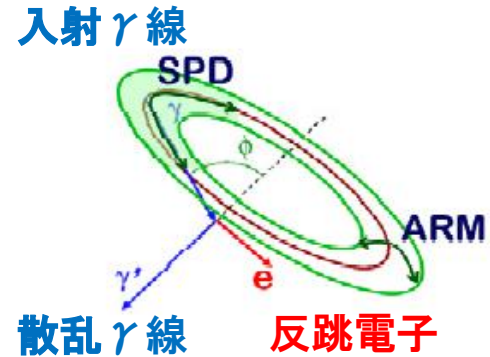
高度40 km、4時間以上観測で かに星雲を3~5  $\sigma$ で撮像可能

# TOT補正を用いた電子飛跡解析の改良方法

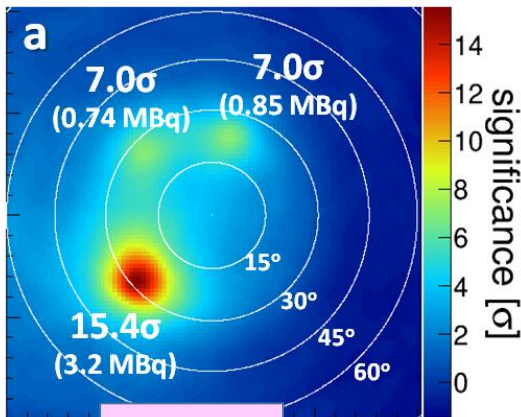
## SPDの導入によるイメージの向上

### 角度分解能の定義

ARM: 入射  $\gamma$  線の散乱角の角度分解能  
 SPD: 反跳電子の散乱平面の決定精度

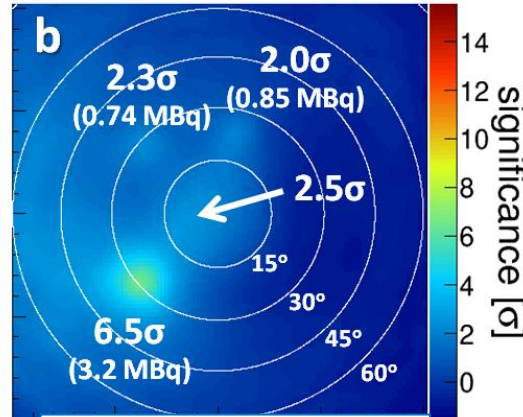


3つの<sup>137</sup>Cs線源(662 keV)を測定した時の検出有意度マップ



ETCC法

SPD=200°



従来のコンプトン法

電子飛跡未使用

SPD=200° で有意度が約3倍の改善



電子の多重散乱による原理限界は  
 20° ~ 100° (エネルギーに依存)  
 SPDが原理限界まで改善すると  
 さらに約4倍の有意度改善が期待できる

# TOT補正を用いた電子飛跡解析の改良方法

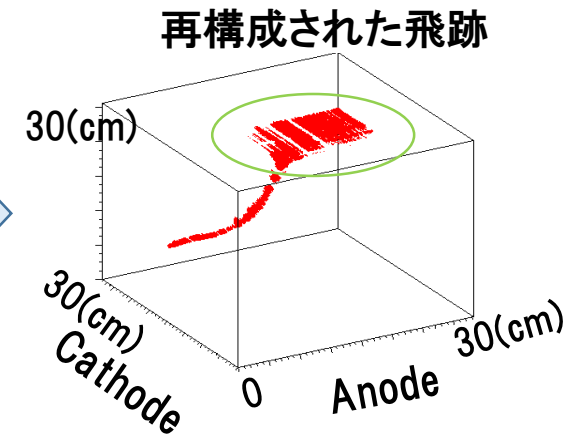
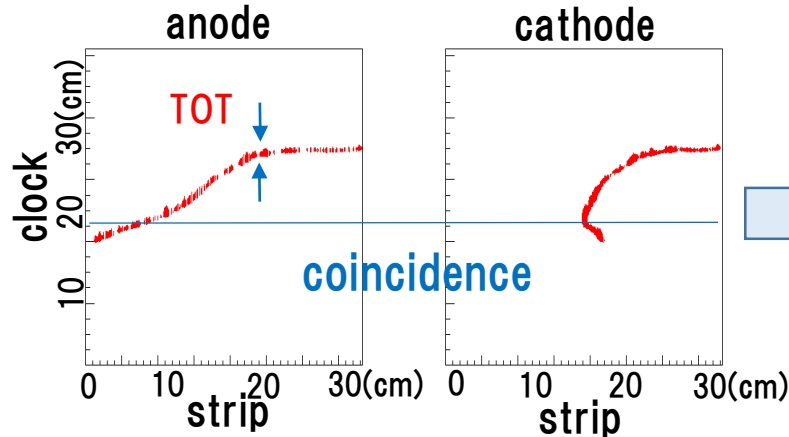
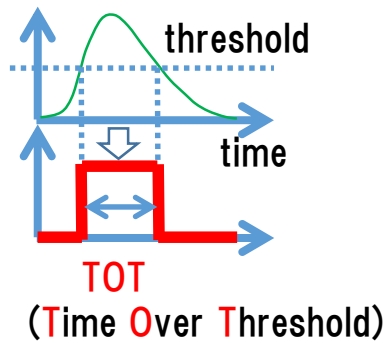
## 飛跡解析の課題

電子飛跡解析に改良の余地がある

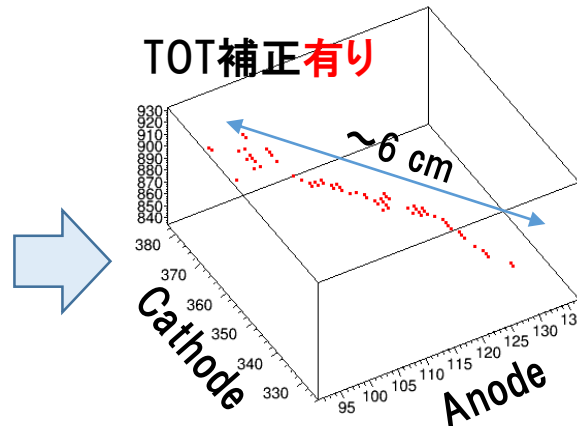
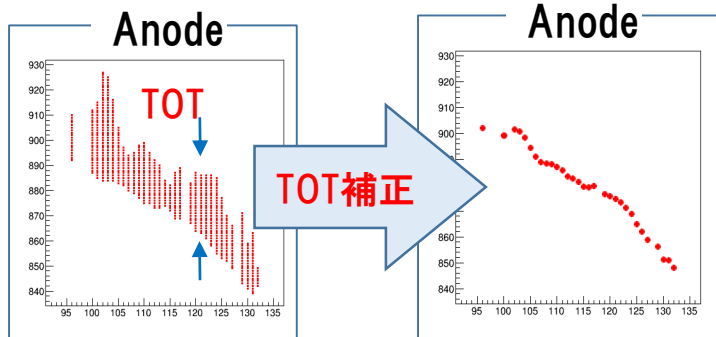
飛跡情報は2次元ストリップ読み出し

課題→横方向に走った飛跡や短い飛跡は直方体状に再構成される

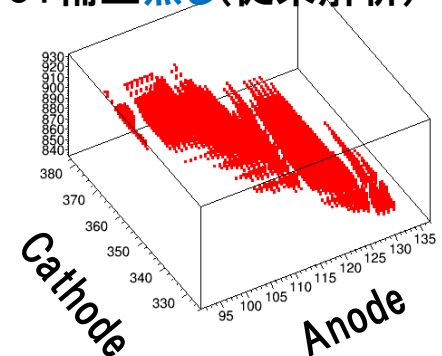
→散乱点、散乱方向の決定精度が悪くなる



Time walkを補正(TOT補正)



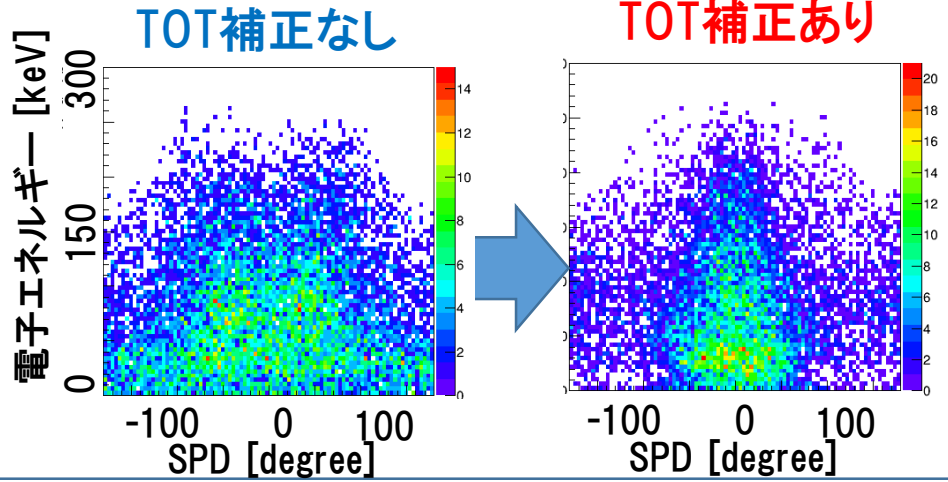
TOT補正無し(従来解析)



# TOT補正を用いた飛跡解析の改良結果

線源<sup>137</sup>Cs (662 keV)を視野中心で測定した時のSPDの値

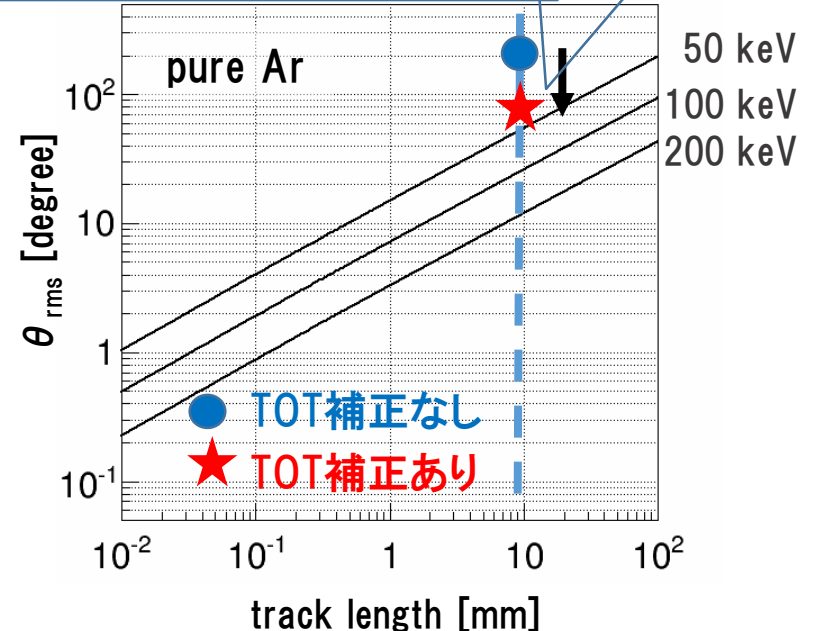
## SPD分布



TOT補正を用いることにより  
FWHMでSPDが200度→70~100度  
@ 662 keV, 視野中心

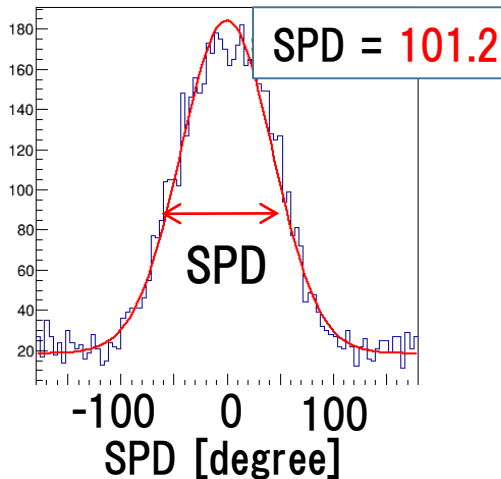
多重散乱による原理限界に近付いた

## 多重散乱による原理限界

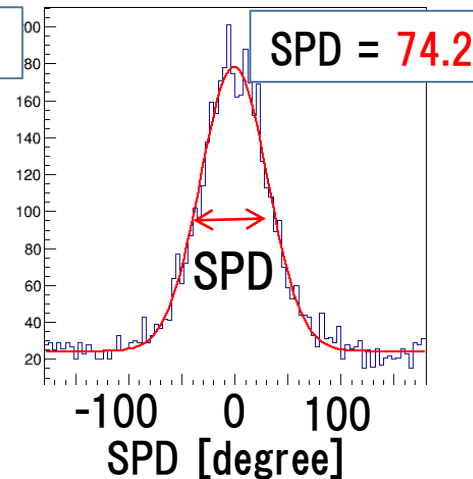


## 電子のエネルギーごとのSPD分布

10 keV~80 keV



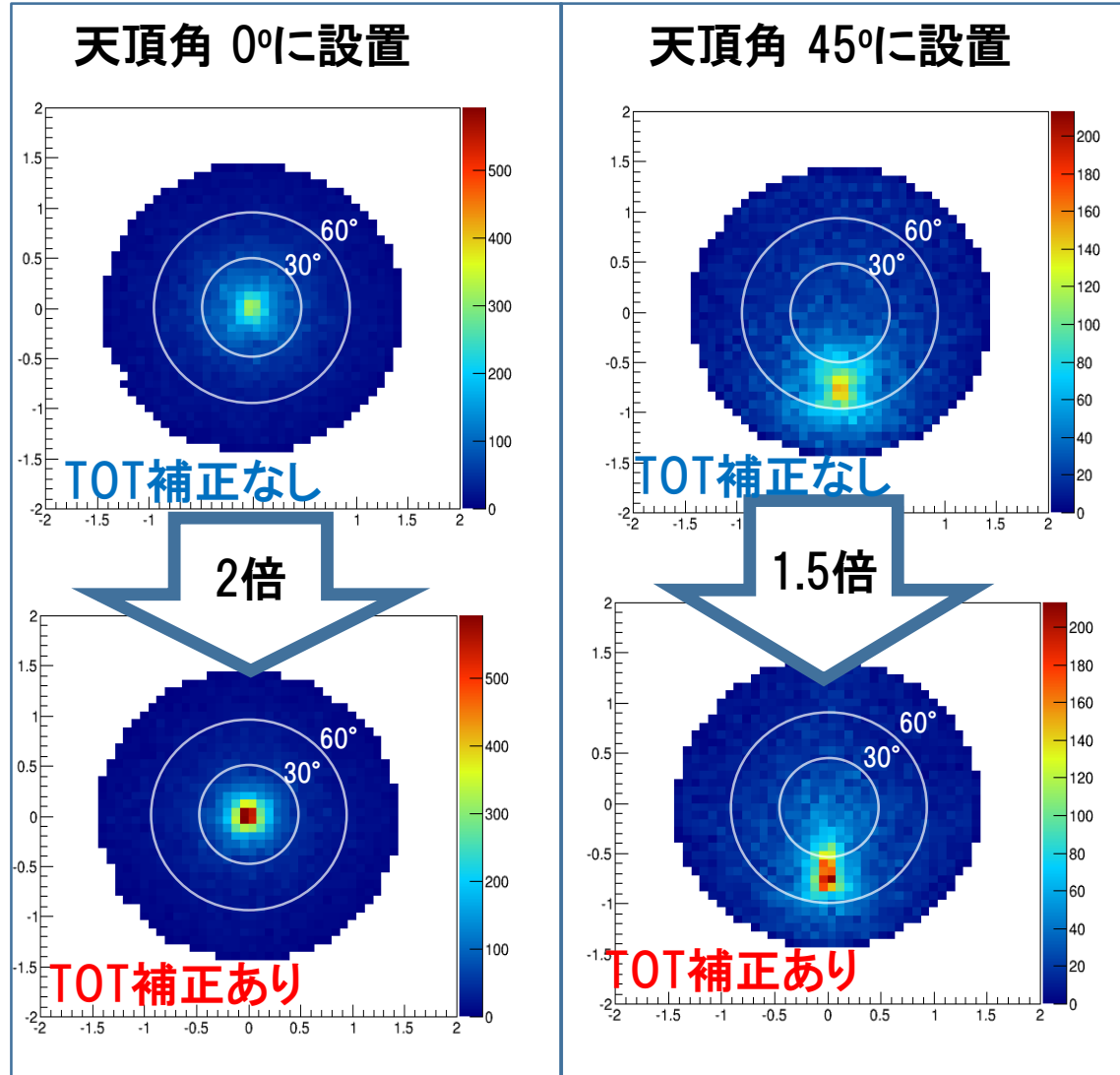
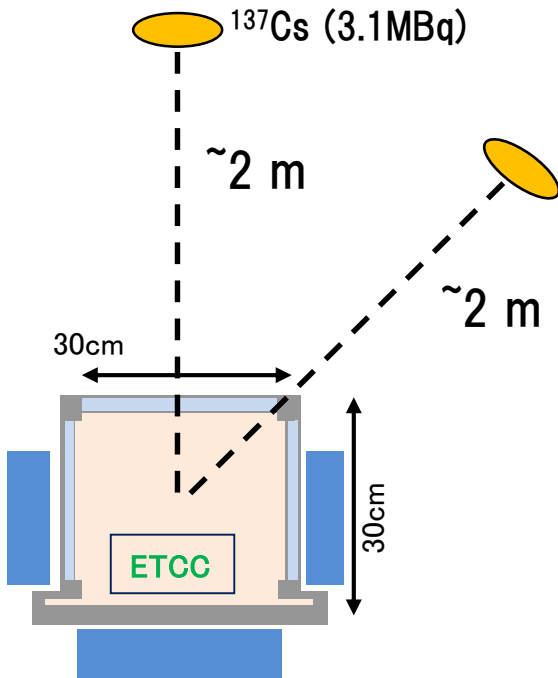
80 keV~300 keV



# TOT補正を用いた飛跡解析の改良結果

## $^{137}\text{Cs}$ (662 keV)を測定した時のガンマ線到来方向の分布

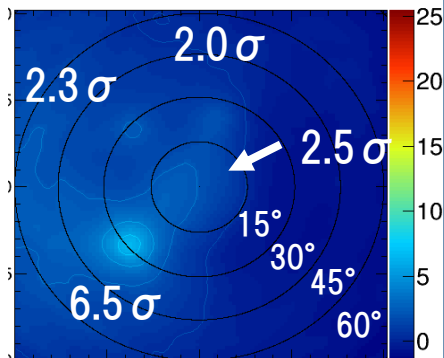
飛跡解析の改良で  
電子の散乱方向の  
決定精度がよくなったので  
イメージの集中度が上がった



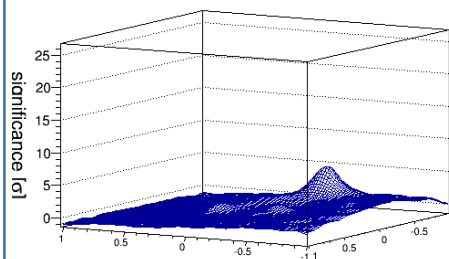
# TOT補正を用いた飛跡解析の改良結果

3つの $^{137}\text{Cs}$ 線源(662 keV)をETCCで測定した時の検出有意度マップ

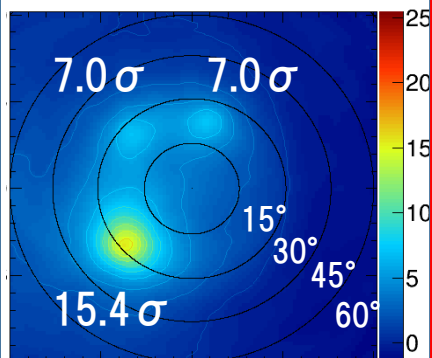
## 従来のコンプトン法



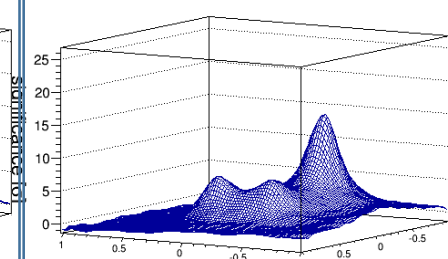
電子飛跡使用せず



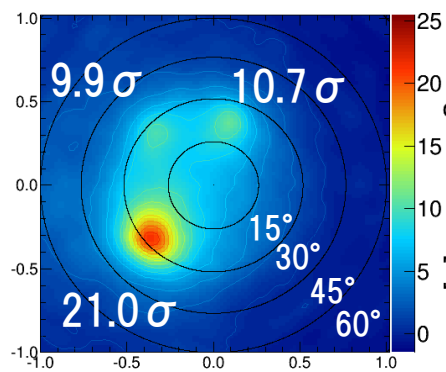
## 従来のETCC解析



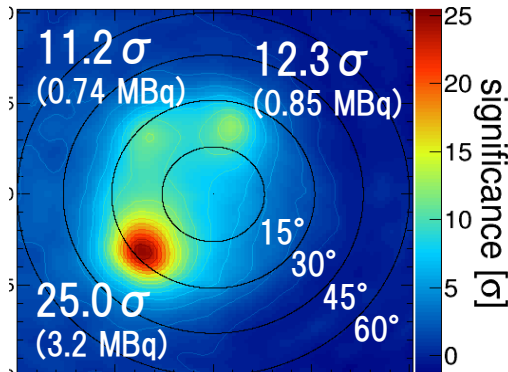
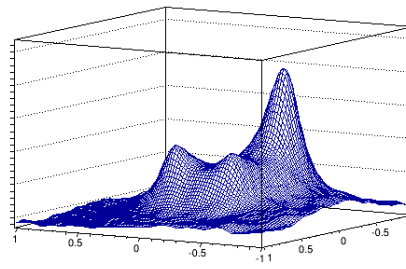
SPD = 200°



## TOT補正を用いた解析



SPD = 100°

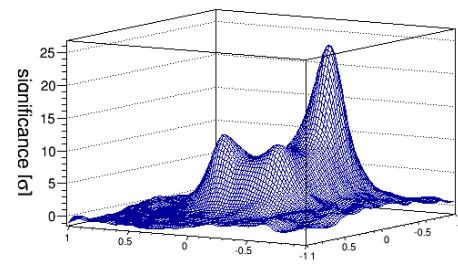


80 keV以下

SPD = 90°

80 keV以上

SPD = 45°



従来の解析方法の約1.6倍 @ 662 keV改善

電子飛跡使用しないコンプトン法の4~6倍 @ 662 keV



# まとめと展望

## まとめ

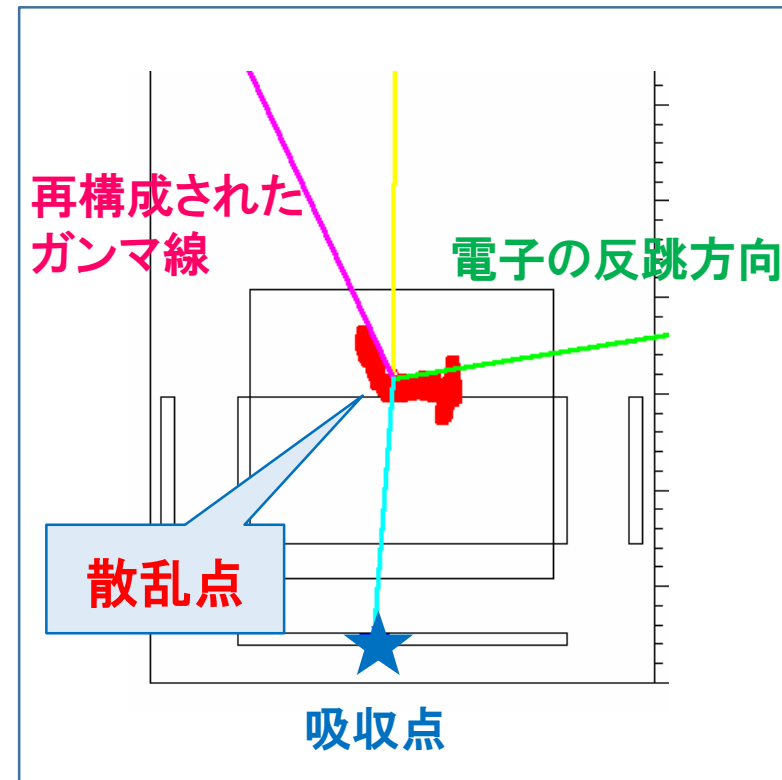
- 現在のETCCの性能  
有効面積：0.7 cm<sup>2</sup> @ 300 keV  
角度分解能：5.3° @ 662 keV
- TOT補正を用いて電子飛跡解析方法を改良  
FWHMでSPDが200° から70° ~100° @ 視野中心、662 keV
- 検出有意度が  
従来のETCC法の約1.6倍 @ 662 keV改善  
従来のコンプトン法の約4~6倍 @ 662 keV改善

かに星雲を3~5  $\sigma$  で撮像可能  
(高度40 km、4時間)

かに星雲を5~8  $\sigma$  で撮像可能  
(高度40 km、4時間)

## 今後の展望

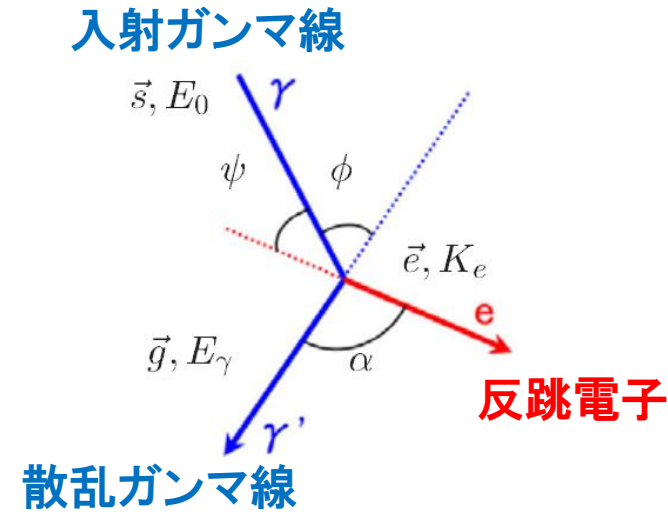
- コンプトン散乱点の決定方法の改良  
SPDおよびARMが原理限界に近づくと期待できる



**予備スライド**

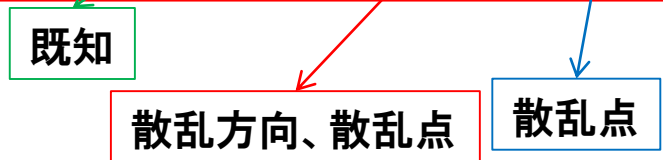
# ARM、SPD導出原理

$$\begin{aligned} \vec{s}_{\text{rCS}} &= \left( \cos \phi - \frac{\sin \phi}{\tan \alpha} \right) \vec{g} + \frac{\sin \phi}{\sin \alpha} \vec{e}, \\ &= \frac{E_\gamma}{E_\gamma + K_e} \vec{g} + \frac{\sqrt{K_e(K_e + 2m_e c^2)}}{E_\gamma + K_e} \vec{e}. \end{aligned}$$

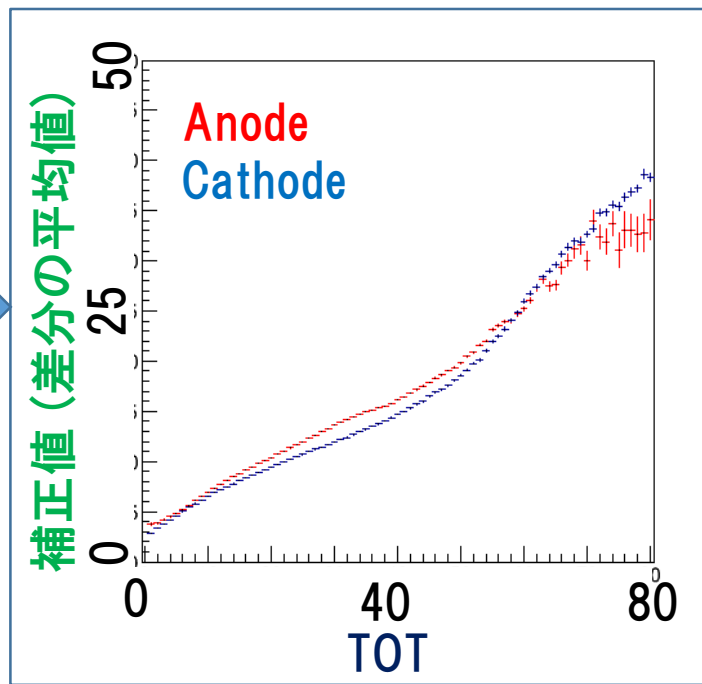
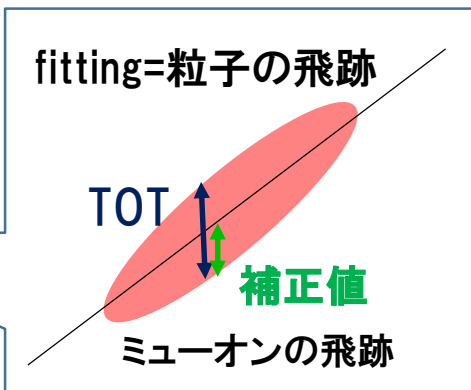
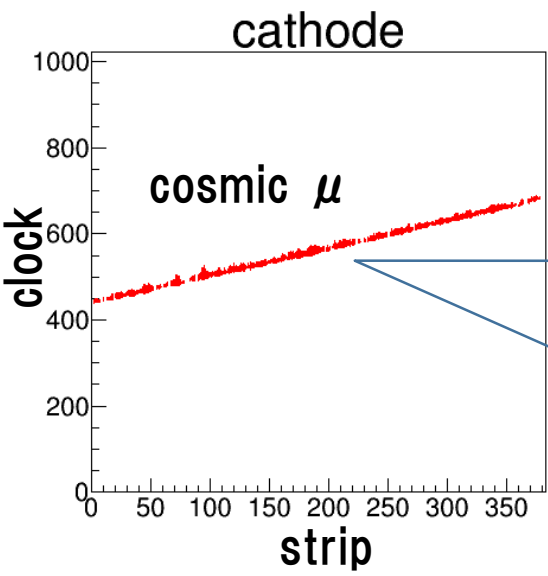
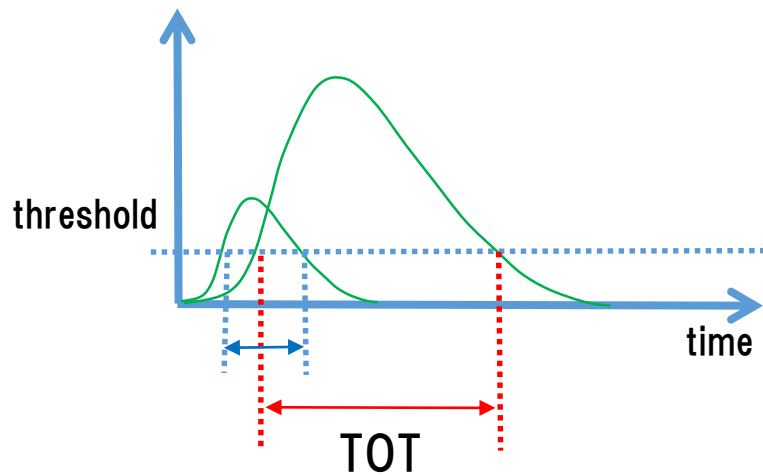


$$\Delta\phi_{\text{ARM}} = \arccos(\vec{s} \cdot \vec{g}) - \arccos\left(1 - \frac{m_e c^2}{E_\gamma + K_e} \frac{K_e}{E_\gamma}\right)$$

$$\Delta\nu_{\text{SPD}} = \text{sign}\left(\vec{g} \cdot \left(\frac{\vec{s} \times \vec{g}}{|\vec{s} \times \vec{g}|} \times \frac{\vec{s}_{\text{rCS}} \times \vec{g}}{|\vec{s}_{\text{rCS}} \times \vec{g}|}\right)\right) \arccos\left(\frac{\vec{s} \times \vec{g}}{|\vec{s} \times \vec{g}|} \cdot \frac{\vec{s}_{\text{rCS}} \times \vec{g}}{|\vec{s}_{\text{rCS}} \times \vec{g}|}\right)$$



# TOT補正を用いた電子飛跡解析の改良方法



# SPDの電子エネルギー依存性

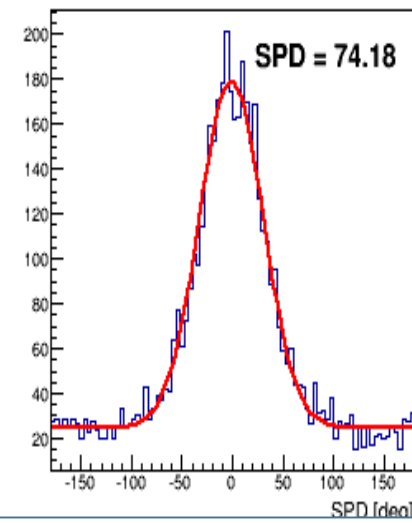
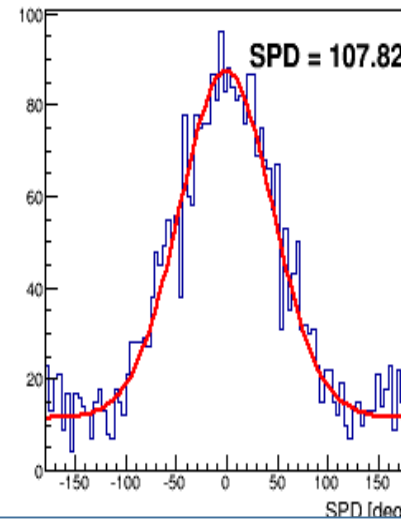
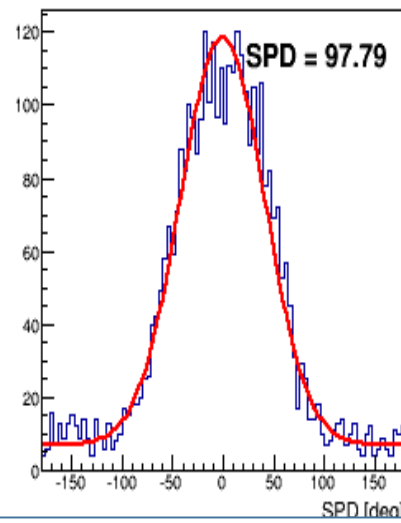
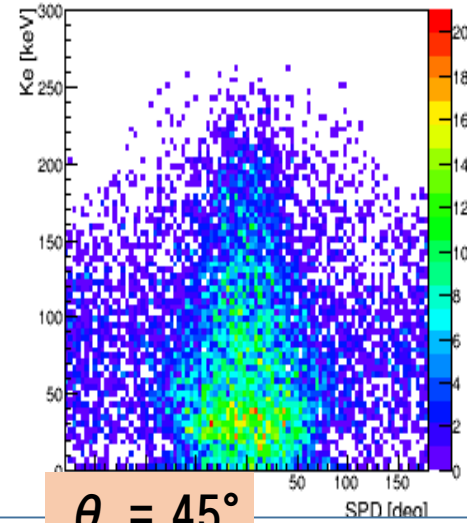
$\theta = 0^\circ$

Ke vs SPD

0 keV < Ke < 40 keV

40 keV < Ke < 80 keV

80 keV < Ke < 300 keV



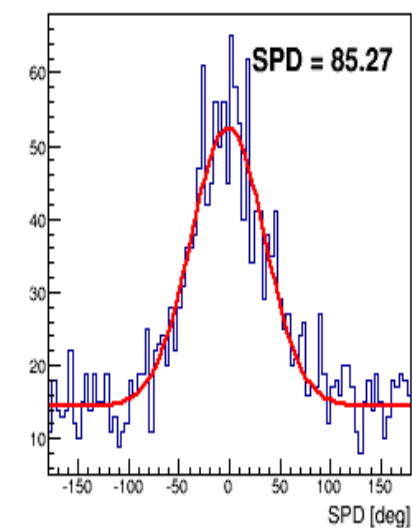
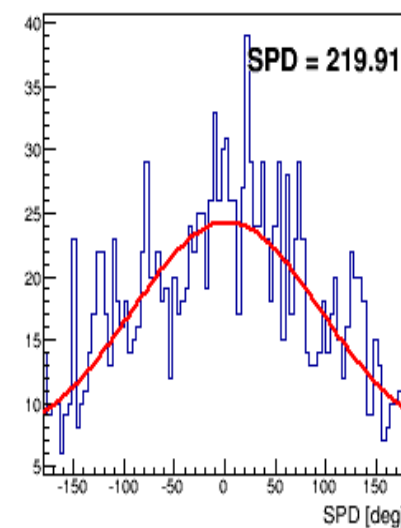
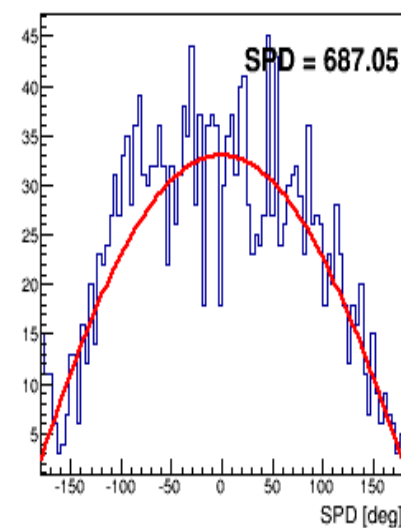
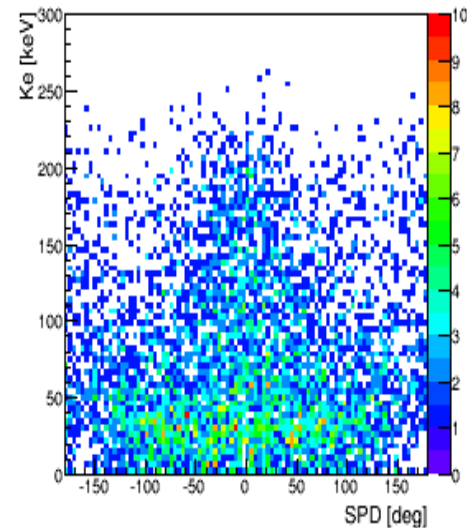
$\theta = 45^\circ$

Ke vs SPD

0 keV < Ke < 40 keV

40 keV < Ke < 80 keV

80 keV < Ke < 300 keV

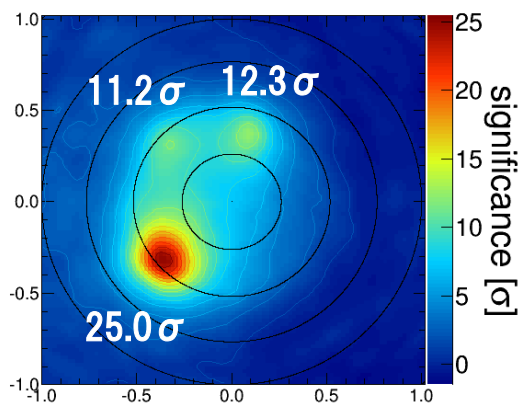


# TOT補正を用いた飛跡解析の効果

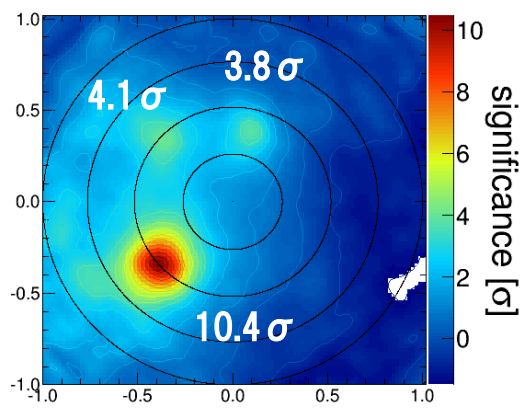
## 3つのCs137線源(662 keV)をETCCで測定した時の検出有意度マップ

TOT補正あり

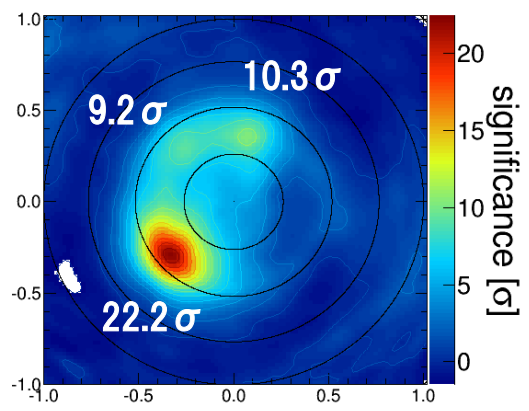
低エネルギー + 高エネルギー



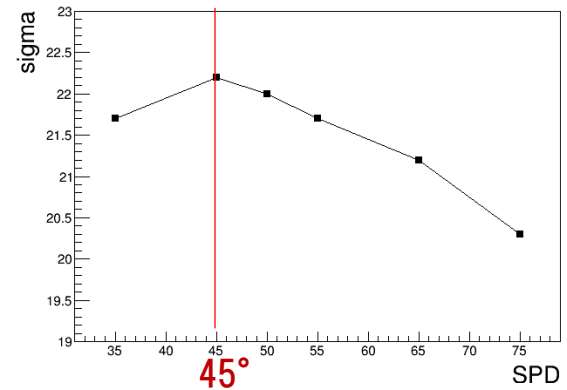
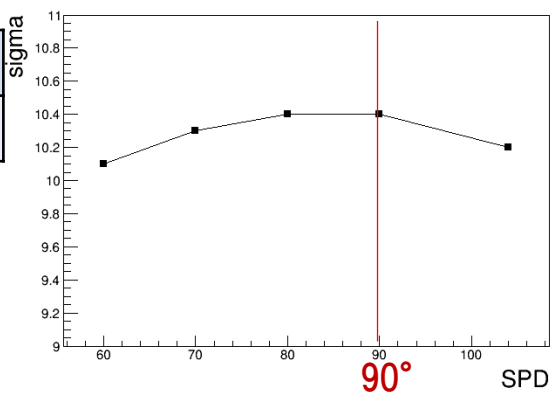
低エネルギー



高エネルギー



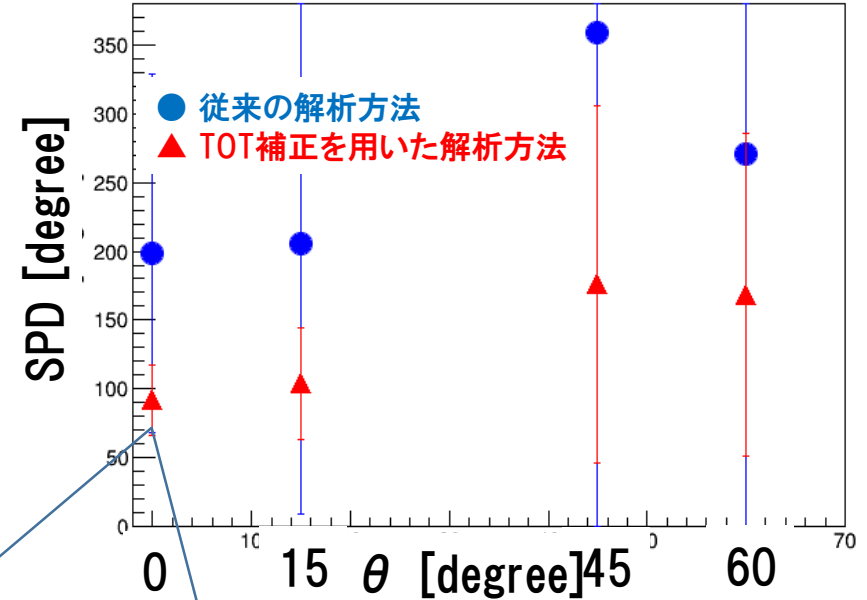
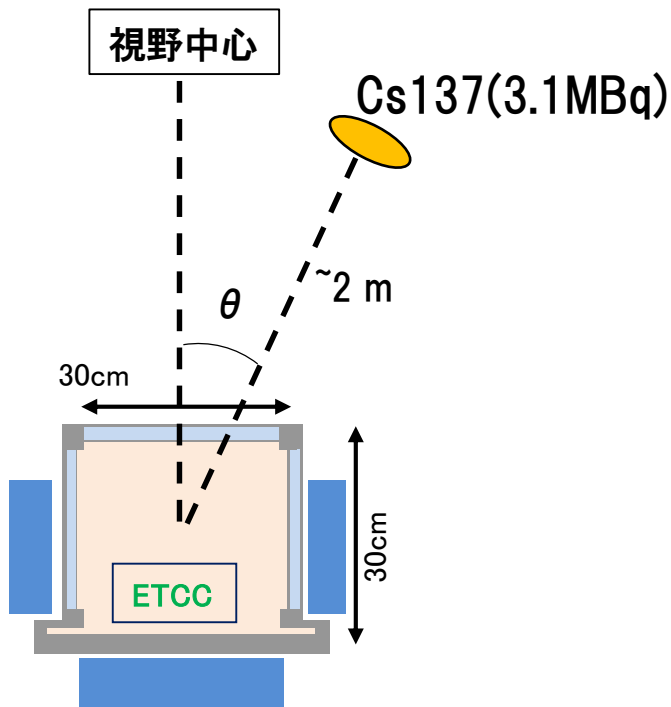
Ke < 80 keV	SDP = 90°
Ke > 80 keV	SPD = 45°



# TOT補正を用いた飛跡解析の効果

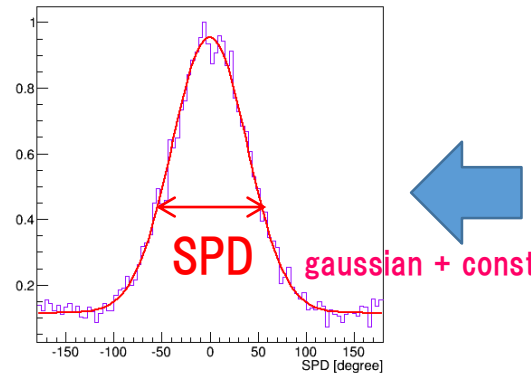
線源Cs137(662 keV)を天頂角を変えて測定した時のSPDの値

TOT補正を用い解析方法を改良することでSPDが100度程度まで改善  
 ・FWHMで200度→90度 @ 662 keV, 視野中心



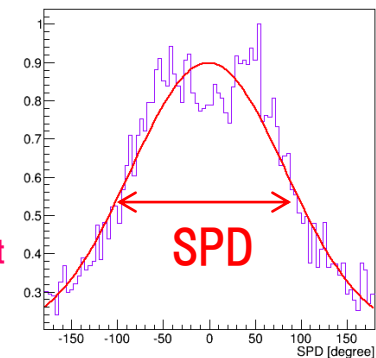
SPD分布

92.2° (FWHM)



TOT補正

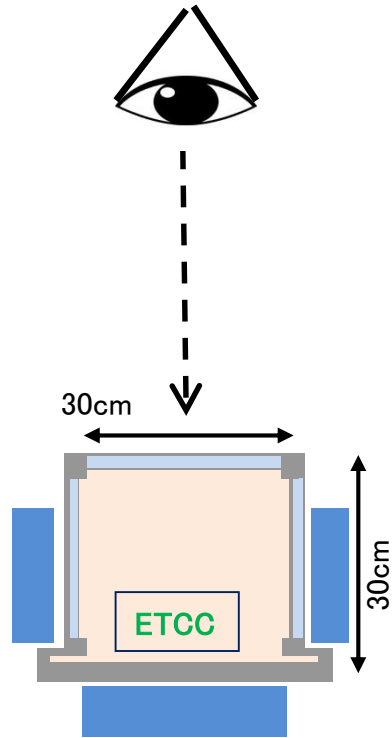
198.3° (FWHM)



従来の方法

# 散乱点の決め方

電子飛跡をxy平面に射影し  
散乱ガンマ線の吸収点の一番近く



電子の反跳方向

