

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

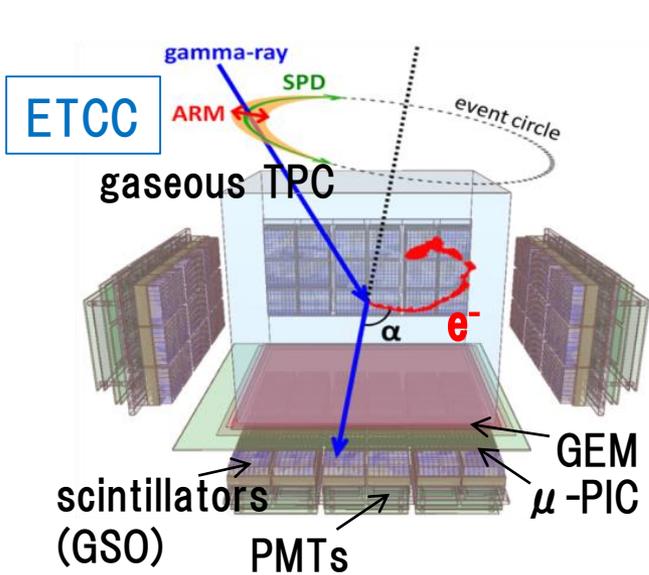
京都大学 宮本奨平

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)

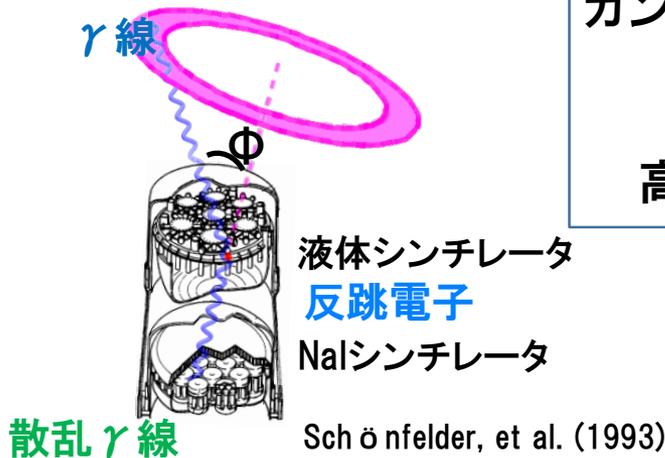
目次

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

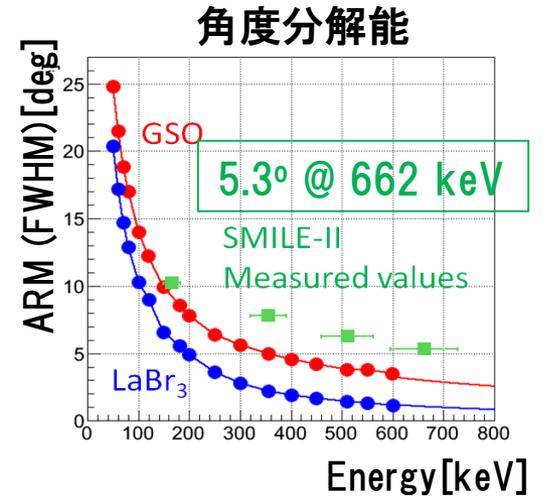
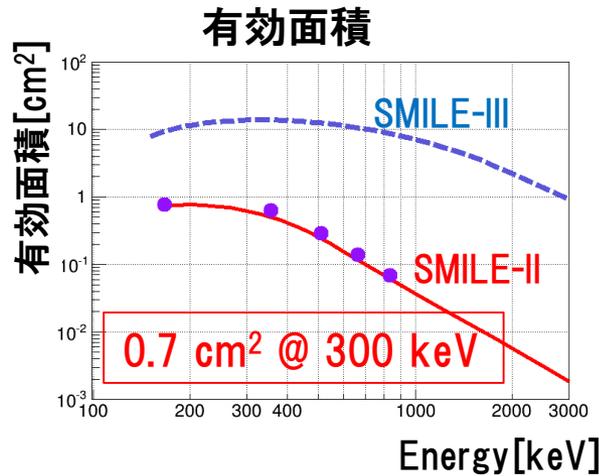
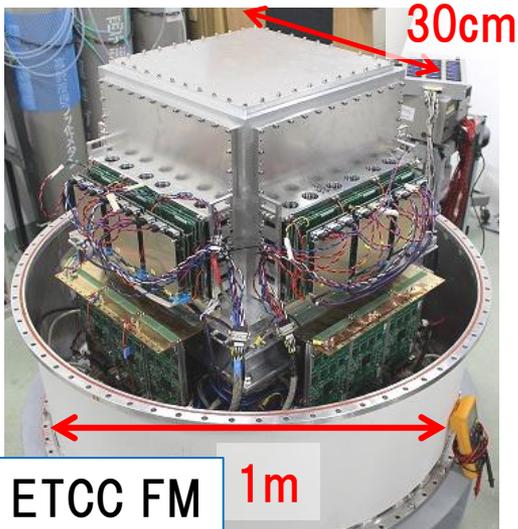
電子飛跡検出型コンプトンカメラ(ETCC)の開発 Electron-Tracking Compton Camera



COMPTON



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

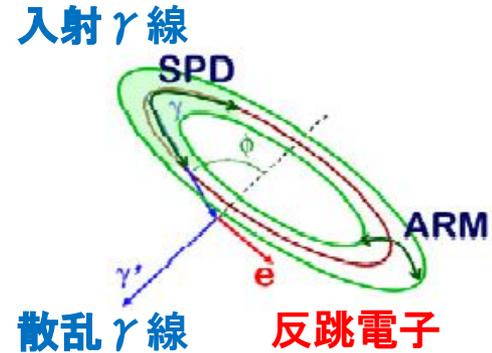


高度40 km、4時間以上観測で かに星雲を3~5 σで撮像可能

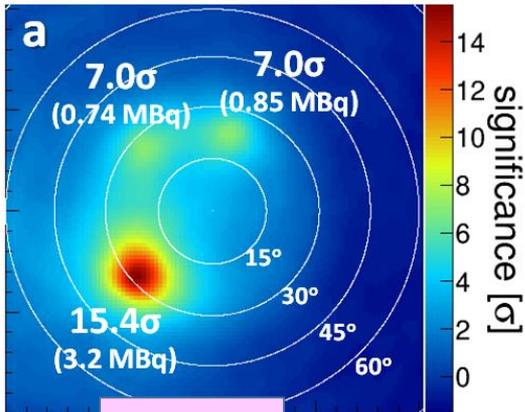
TOT補正を用いた電子飛跡解析の改良方法 SPDの導入によるイメージの向上

角度分解能の定義

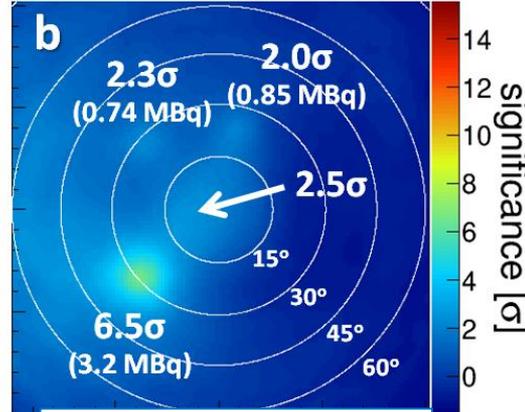
ARM: 入射 γ 線の散乱角の角度分解能
SPD: 反跳電子の散乱平面の決定精度



3つの¹³⁷Cs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

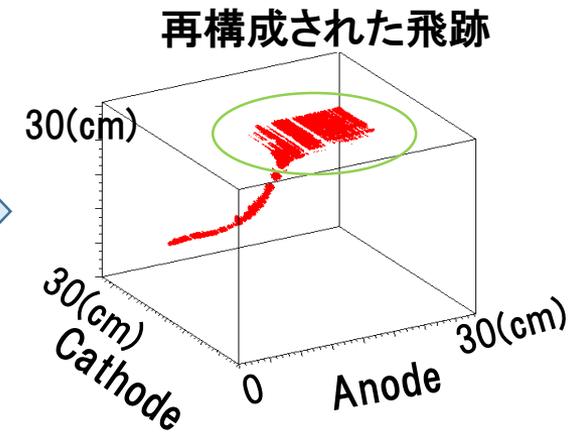
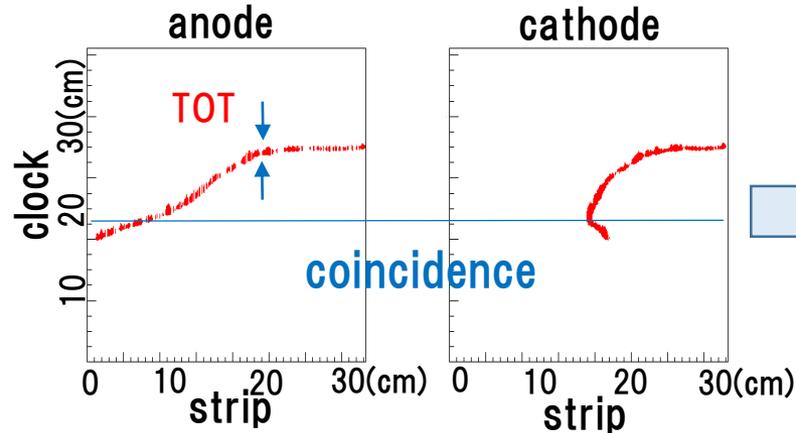
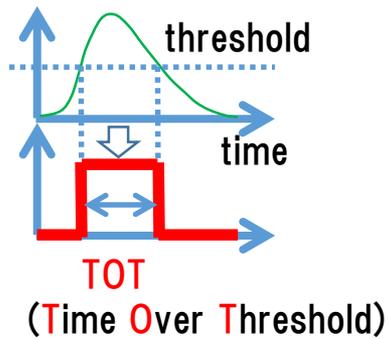
飛跡解析の課題

電子飛跡解析に改良の余地がある

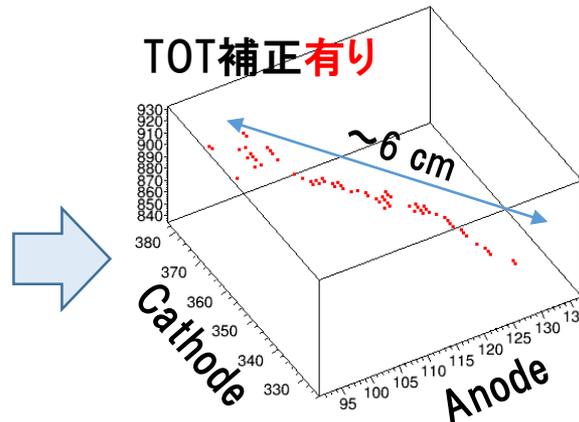
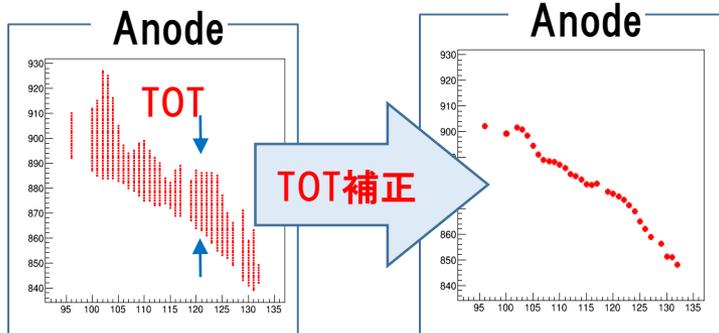
飛跡情報は2次元ストリップ読み出し

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

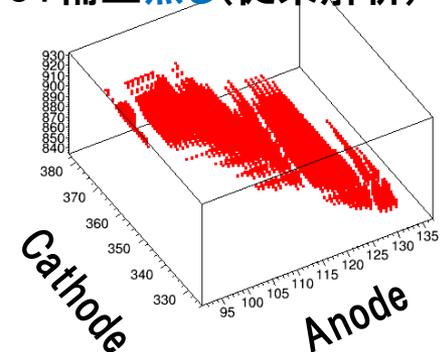
→散乱点、散乱方向の決定精度が悪くなる



Time walkを補正(TOT補正)



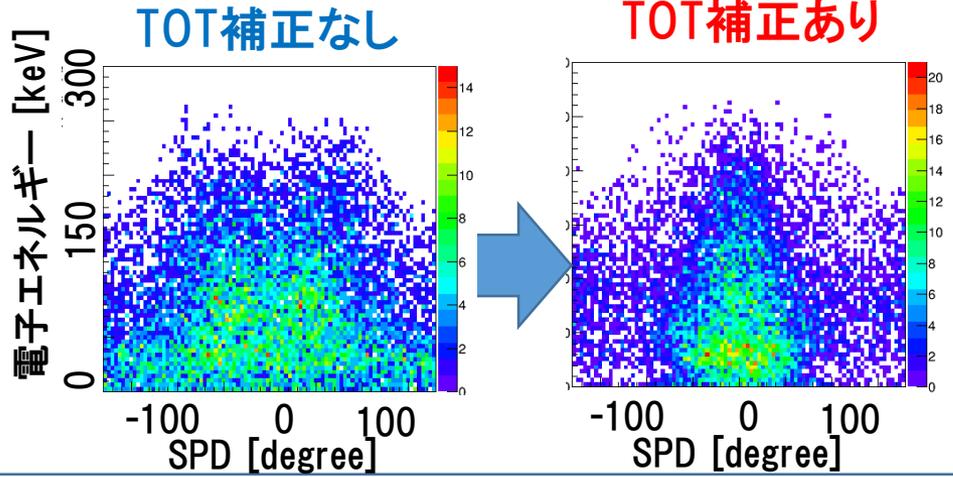
TOT補正無し(従来解析)



TOT補正を用いた飛跡解析の改良結果

線源¹³⁷Cs (662 keV)を視野中心で測定した時のSPDの値

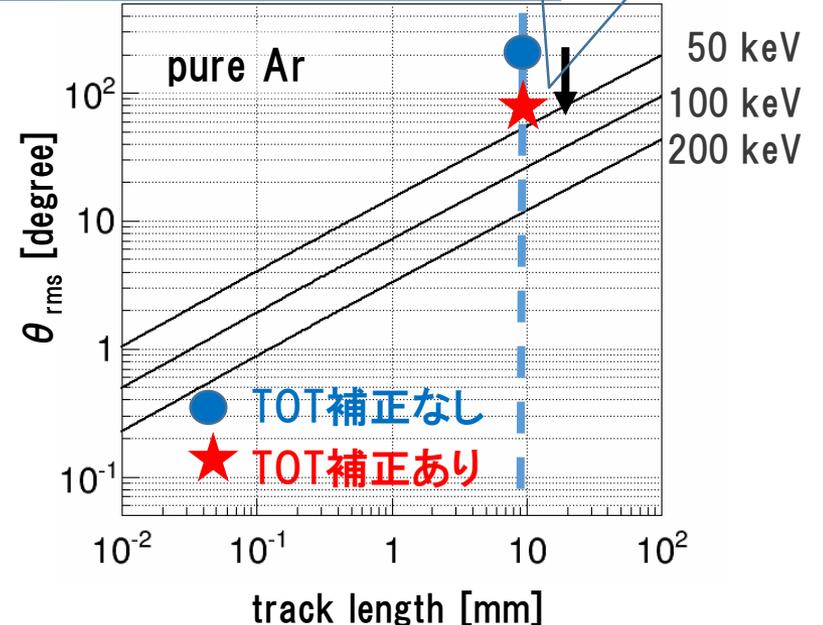
SPD分布



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

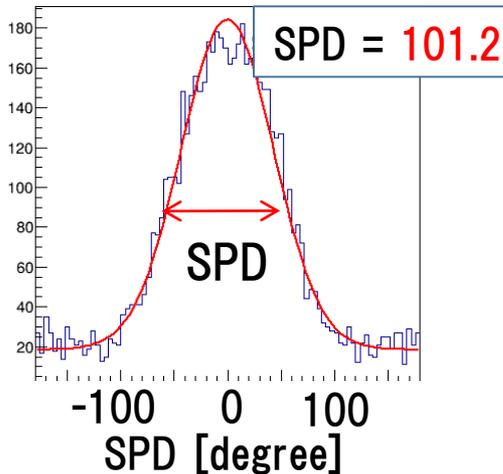
多重散乱による原理限界に近付いた

多重散乱による原理限界

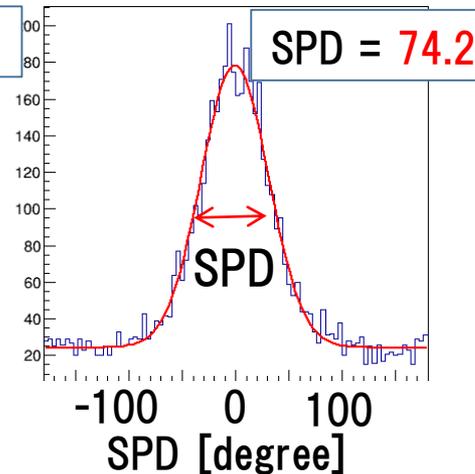


電子のエネルギーごとのSPD分布

10 keV~80 keV



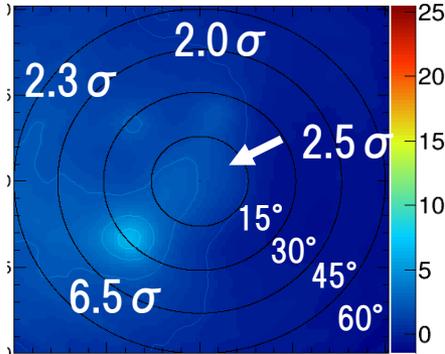
80 keV~300 keV



TOT補正を用いた飛跡解析の改良結果

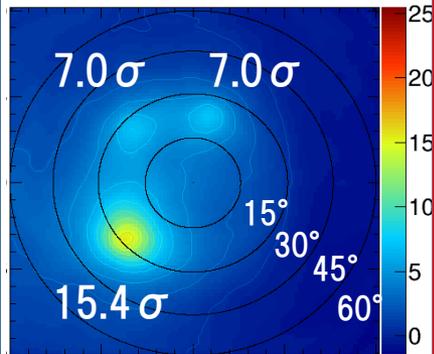
3つの ^{137}Cs 線源(662 keV)をETCCで測定した時の検出有意度マップ

従来のコンプトン法



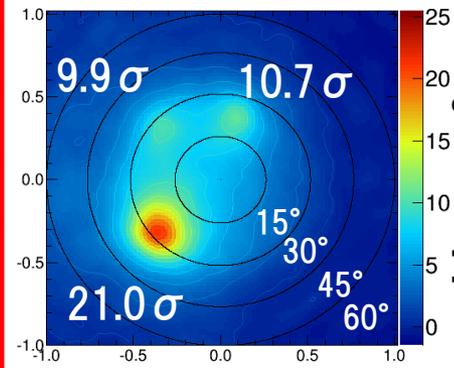
電子飛跡使用せず

従来のETCC解析

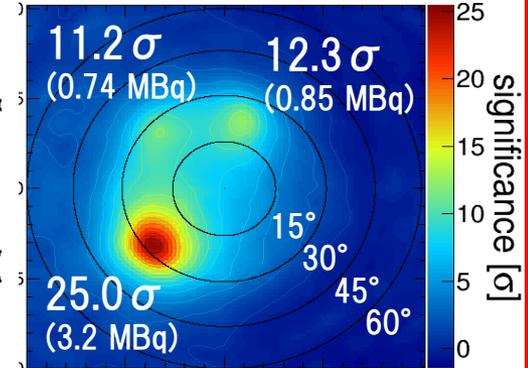


SPD = 200°

TOT補正を用いた解析



SPD = 100°



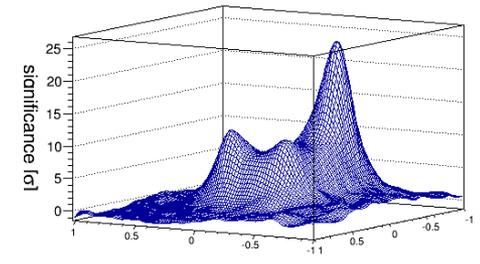
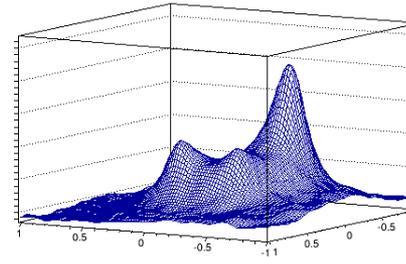
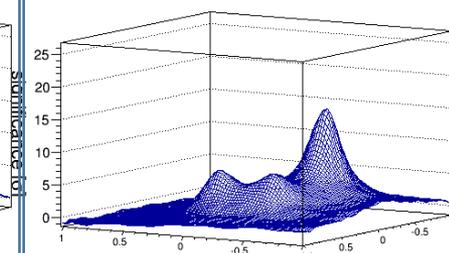
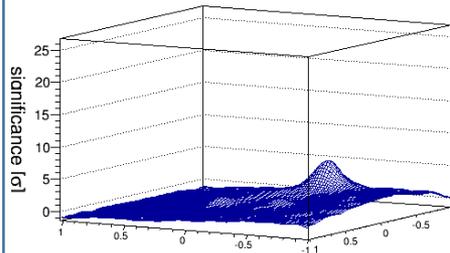
80 keV以下

SPD = 90°

80 keV以上

SPD = 45°

significance [σ]



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

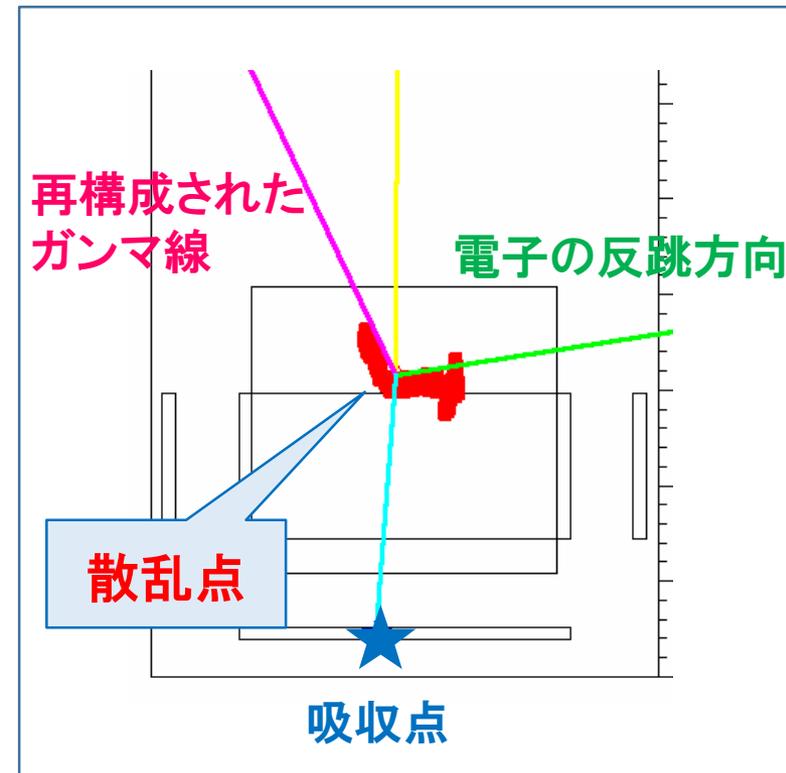
- 現在のETCCの性能
有効面積：0.7 cm² @ 300 keV
角度分解能：5.3° @ 662 keV
- TOT補正を用いて電子飛跡解析方法を改良
FWHMでSPDが200° から70° ~100° @ 視野中心、662 keV
- 検出有意度が
従来のETCC法の約1.6倍 @ 662 keV改善
従来のコンプトン法の約4~6倍 @ 662 keV改善

かに星雲を3~5 σ で撮像可能
(高度40 km、4時間)

かに星雲を5~8 σ で撮像可能
(高度40 km、4時間)

今後の展望

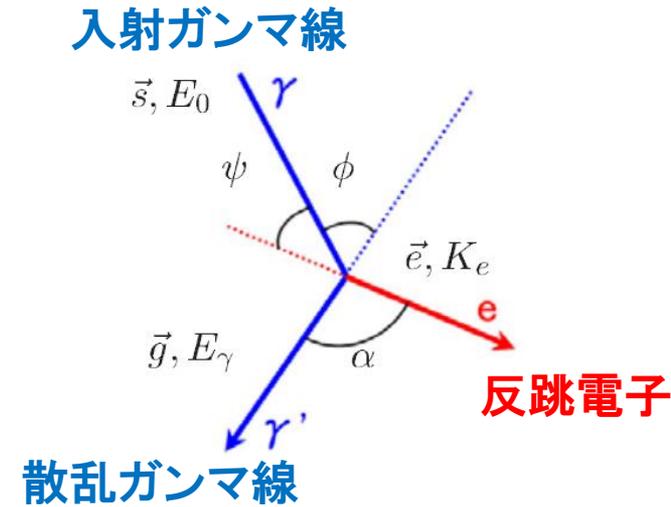
- コンプトン散乱点の決定方法の改良
SPDおよびARMが原理限界に近づくと期待できる



予備スライド

ARM、SPD導出原理

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

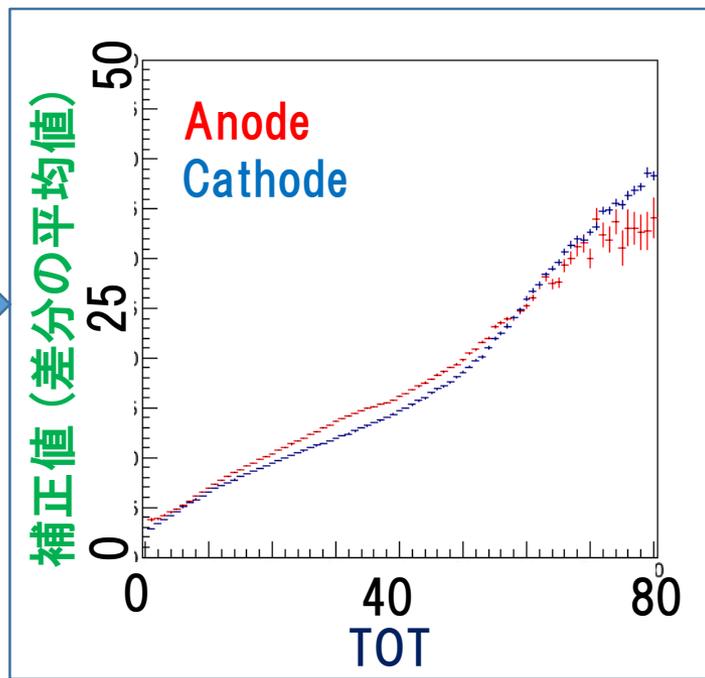
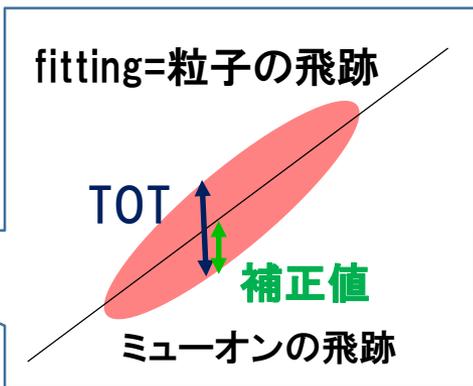
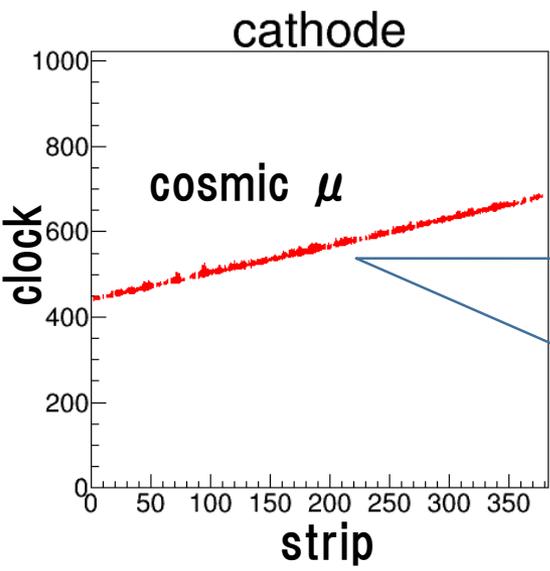
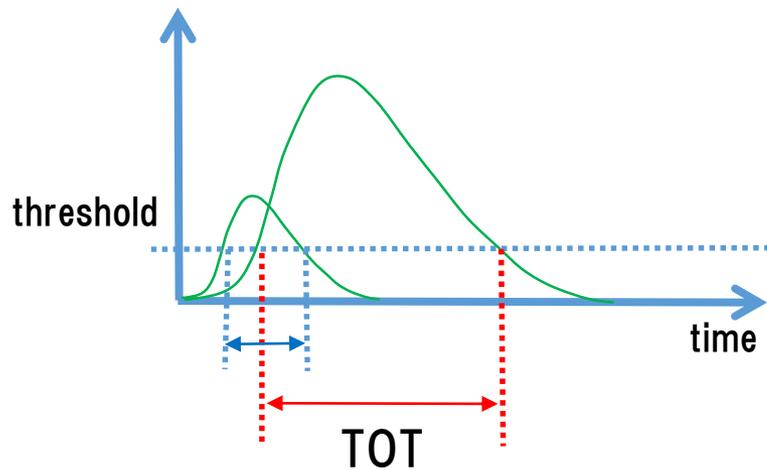


$$\Delta\phi_{\text{ARM}} = \arccos(\vec{s} \cdot \vec{g}) - \arccos\left(1 - \frac{m_e c^2}{E_\gamma + K_e} \frac{K_e}{E_\gamma}\right)$$

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



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

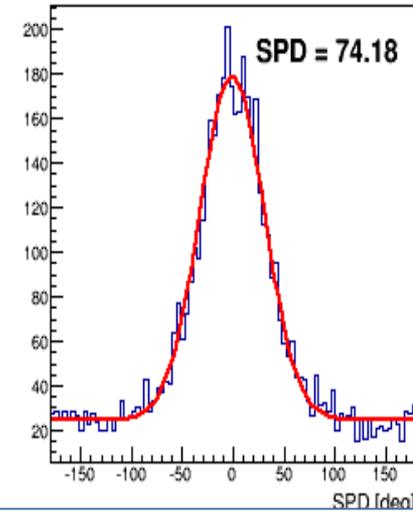
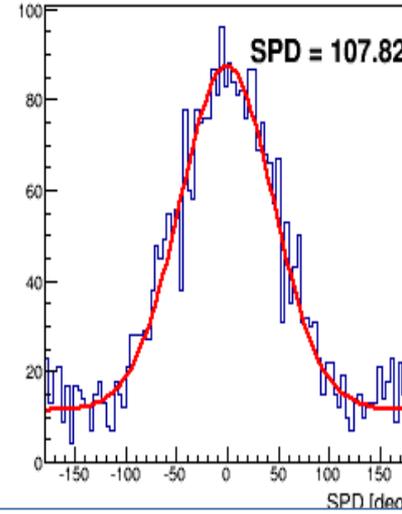
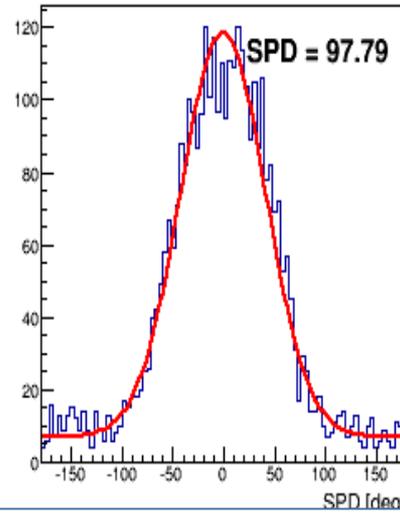
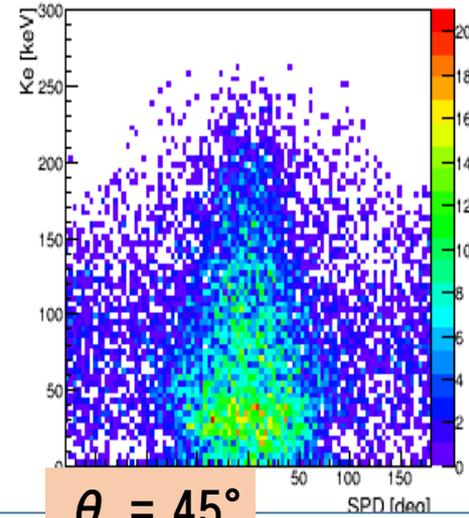
$\theta = 0^\circ$

Ke vs SPD

0 keV < Ke < 40 keV

40 keV < Ke < 80 keV

80 keV < Ke < 300 keV



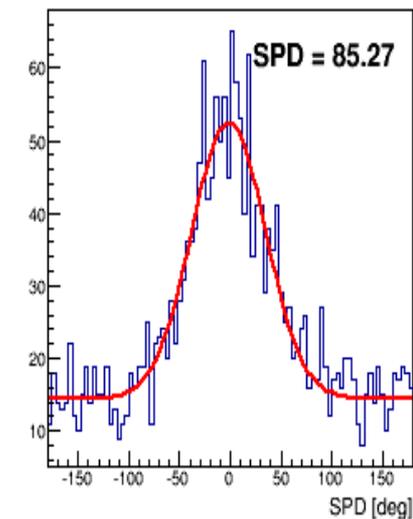
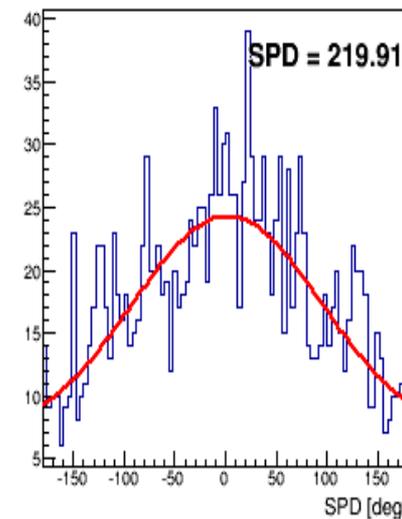
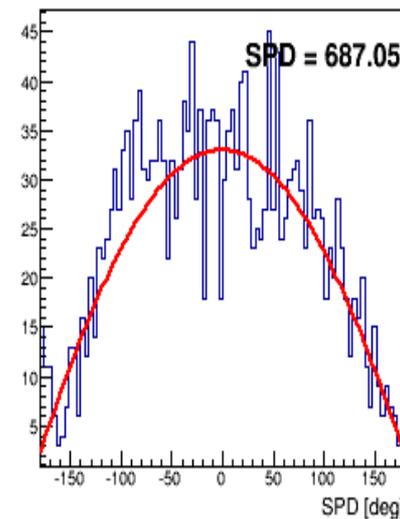
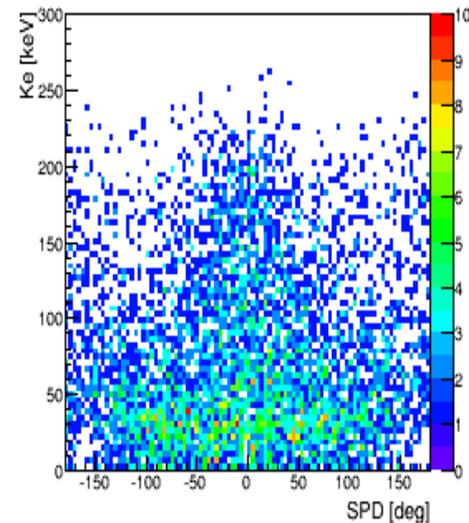
$\theta = 45^\circ$

Ke vs SPD

0 keV < Ke < 40 keV

40 keV < Ke < 80 keV

80 keV < Ke < 300 keV

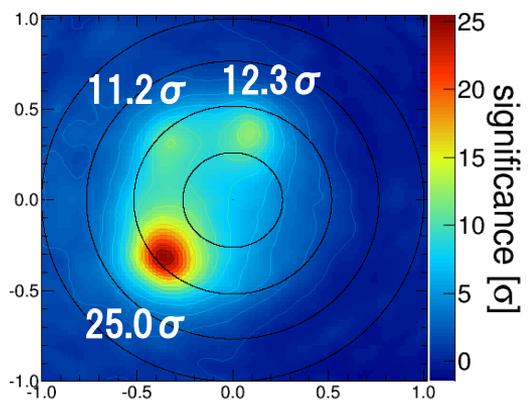


TOT補正を用いた飛跡解析の効果

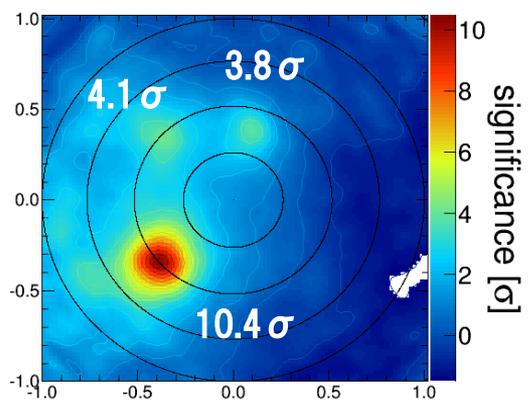
3つのCs137線源(662 keV)をETCCで測定した時の検出有意度マップ

TOT補正あり

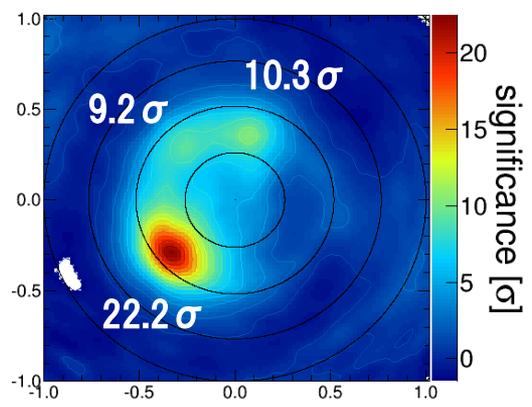
低エネルギー+高エネルギー



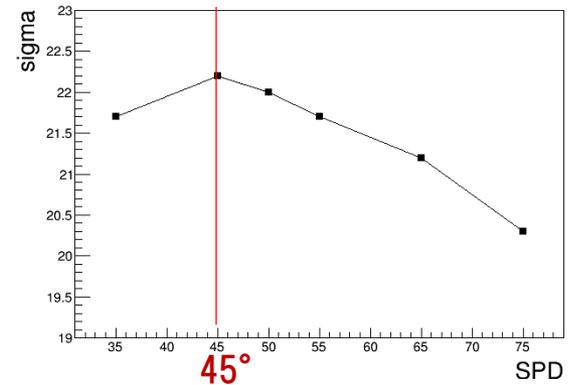
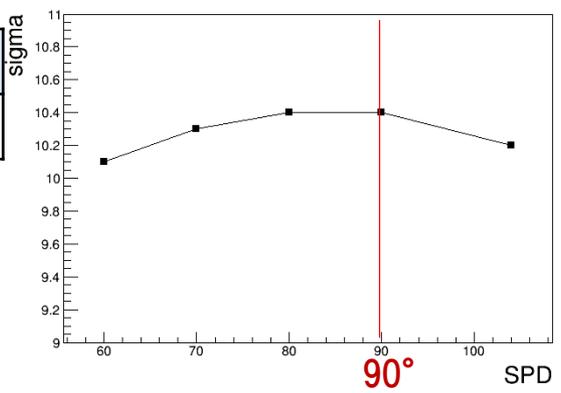
低エネルギー



高エネルギー



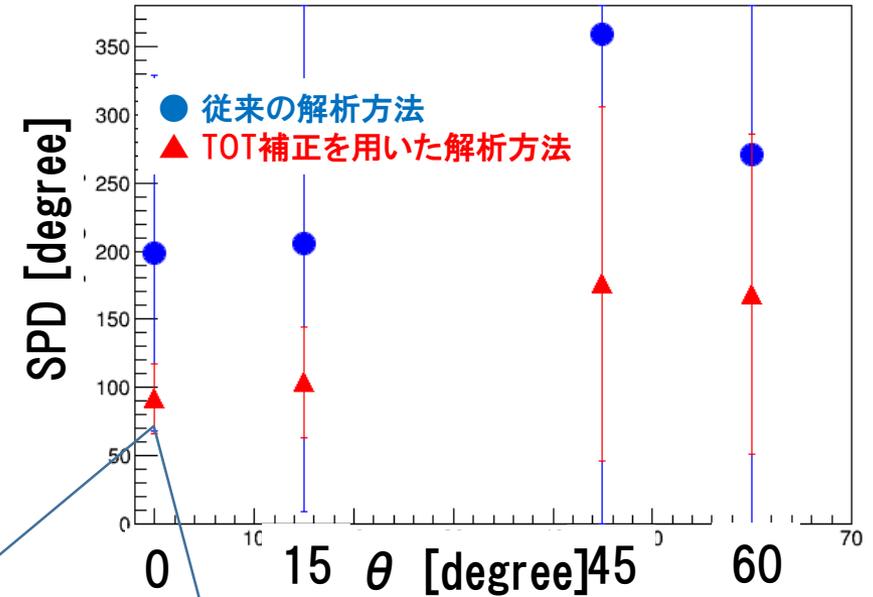
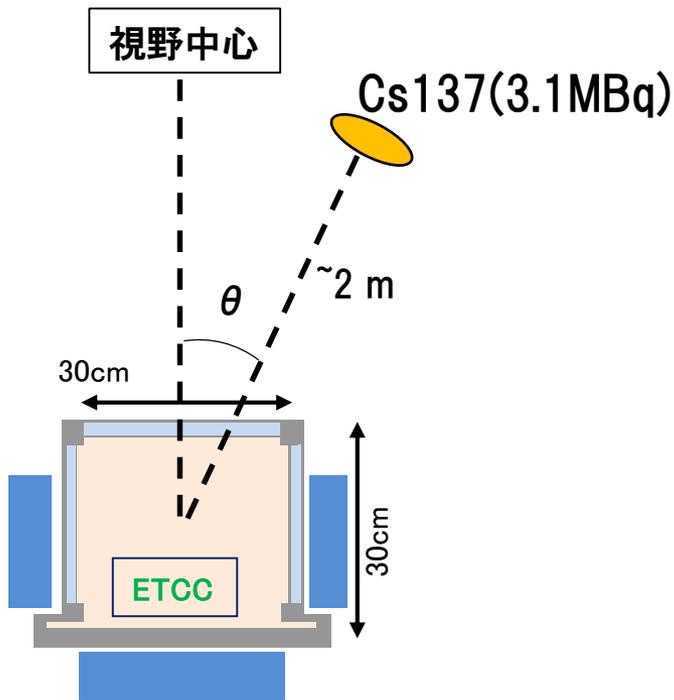
| | |
|-------------|-----------|
| Ke < 80 keV | SDP = 90° |
| Ke > 80 keV | SPD = 45° |



TOT補正を用いた飛跡解析の効果

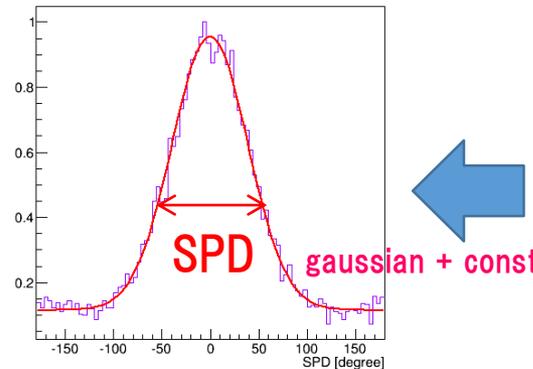
線源Cs137(662 keV)を天頂角を変えて測定した時のSPDの値

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



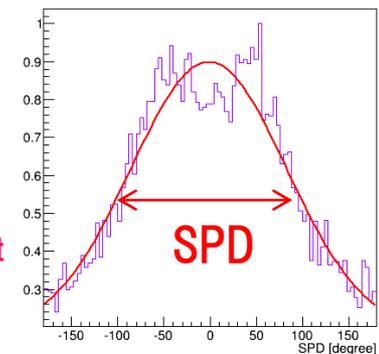
SPD分布

92.2° (FWHM)



TOT補正

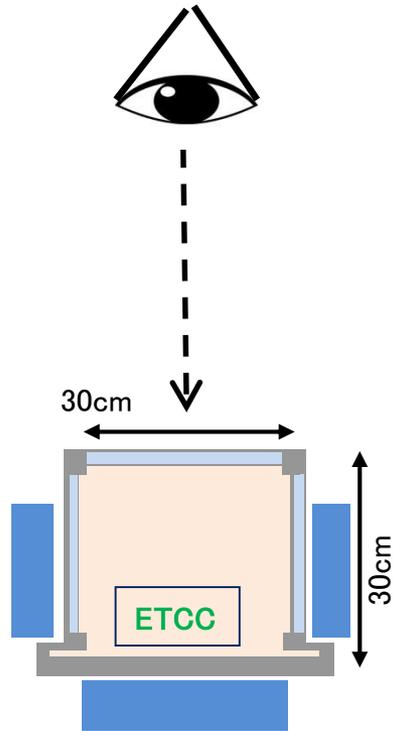
198.3° (FWHM)



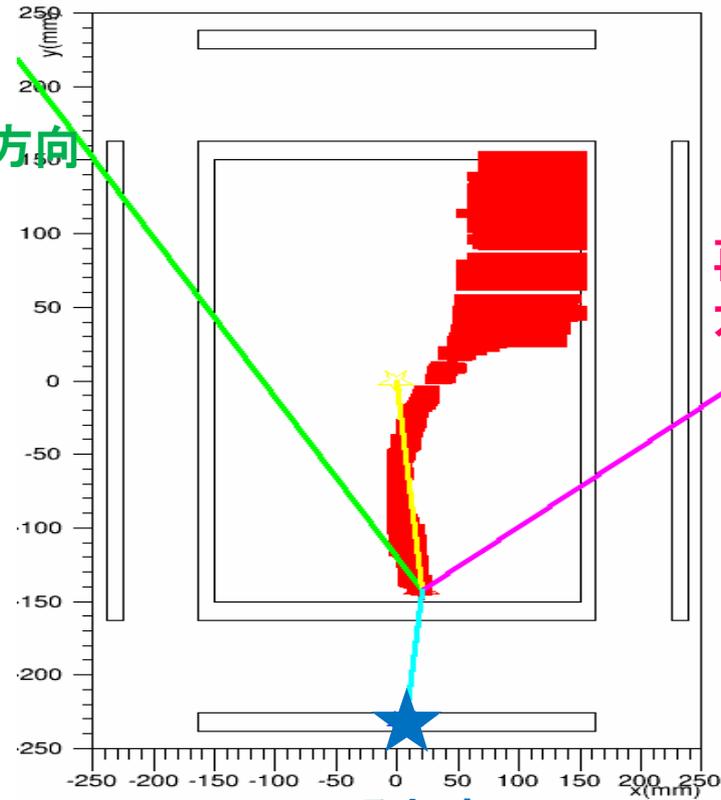
従来の方法

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



再構成された
ガンマ線

吸収点