



28pSN-1 電子飛跡検出型コンプトンカメラを用いた 環境ガンマ線イメージング (v)



友野大

京大理 宇宙線研究室

tomono@cr.scphys.kyoto-u.ac.jp

水本哲矢、高田淳史、谷森達、
岸本哲朗、古村翔太郎、窪秀利、松岡佳大、
宮本奨平、水村好貴、中村輝石、中村祥吾、
小田真、Parker Joseph、竹村泰斗
澤野達哉^{a)}、坂東直人^{b)}、奈部谷章^{c)}

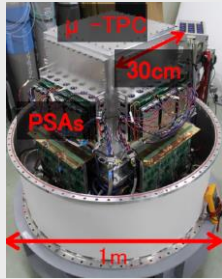
京大理、a)金沢大数物、b)堀場製作所、c)キヤノン

報告内容

1. 環境用ETCCの紹介
2. フィールドテスト結果の改善
 1. 飛跡解析の改良
 2. バックグラウンドデータ処理方法
 3. 結果の定量化
3. まとめと展望

電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC) の環境ガンマ線測定への応用

- 環境用ETCC – Cs分布の可視化&線量計測 同時に行える装置へ



SMILE-II
宇宙ガンマ線観測用ETCC
(25aSJ-10, 11, 12)

環境中の¹³⁴-Cs, ¹³⁷-Cs ガンマ線測定
小型化、製品化 (産官学連携)

信号読み出し回路
トリガー回路



検出器(μ TPC + PSA)

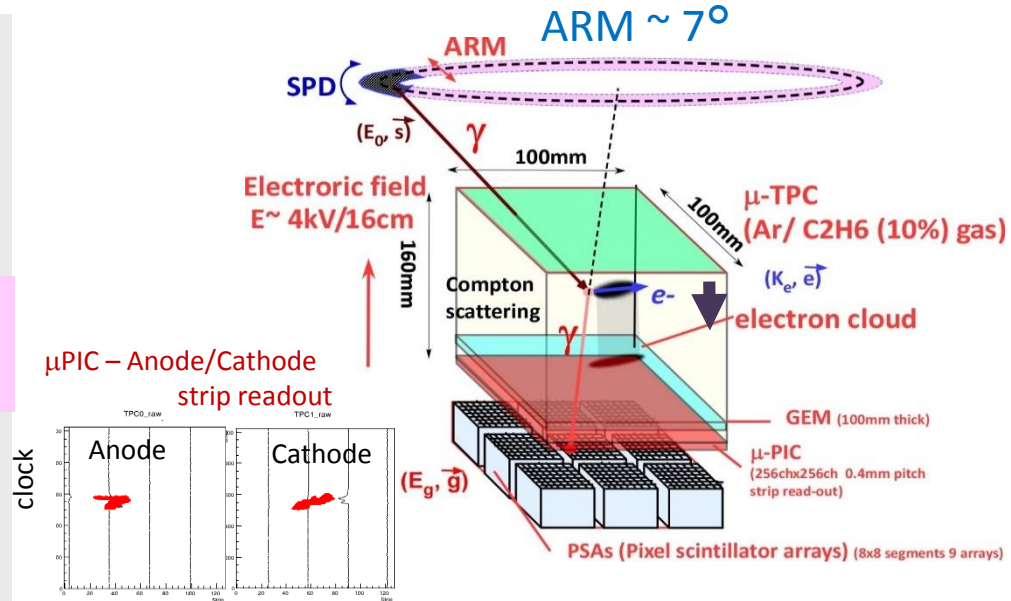
VME、データ収集制御回路

DC/DCコンバータ
(電源系統)

Li-Poly充電電池
(25V,
100 Ah)

~ 1.3m
(μ PIC中心
まで)

- ・重さ ~ 100 kg (電池込)
- ・消費電力 ~ 100W
- 1回の充電でおよそ1日動作可能



データの解析方法の課題

1. 電子飛跡解析の改良によるSPD改善
2. 高線量場中での画像、エネルギースペクトルの評価方法確立
(特に 32keV X線とのアクシデンタルヒット)

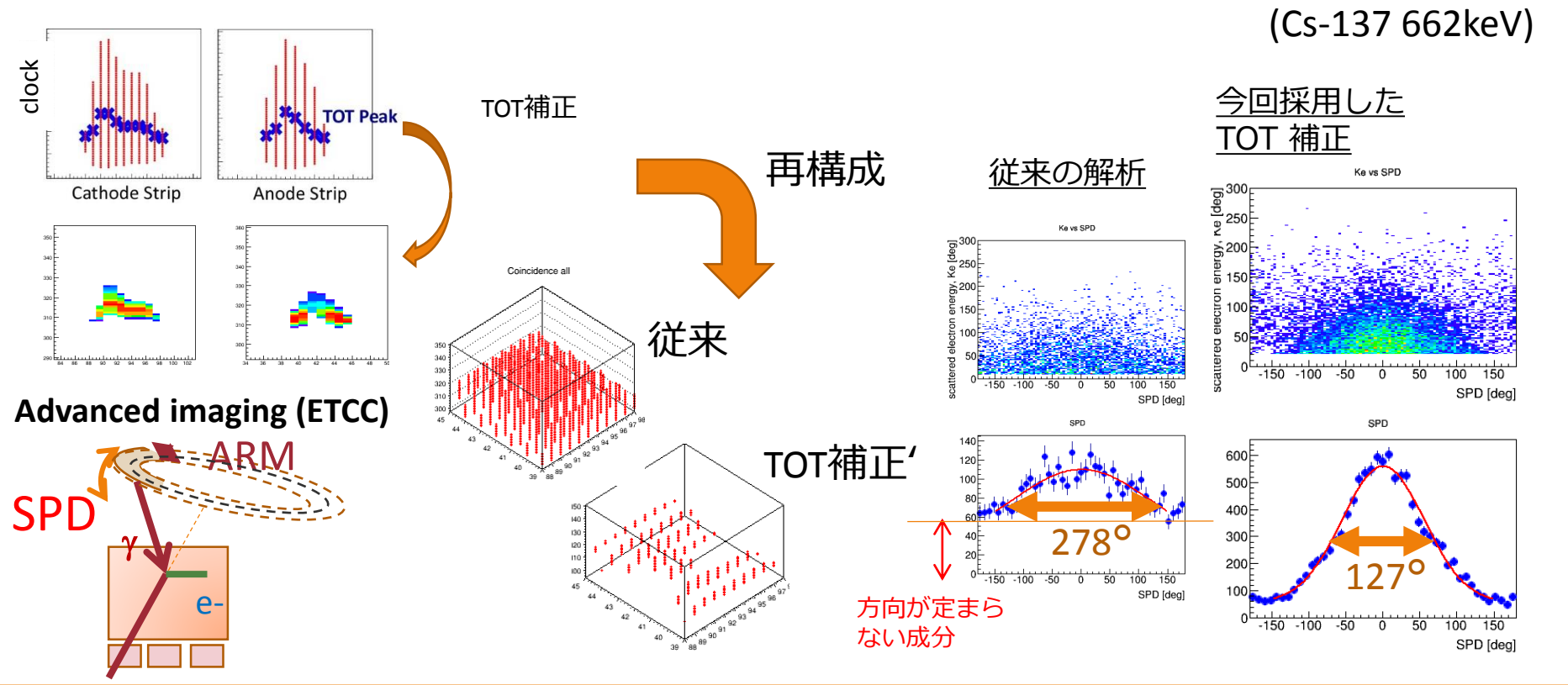


面線源の画像化、
線量 (スペクトル) の定量評価

飛跡解析の改良によるSPDの改善

- SMILE-II 30cm ETCCのTOT (time over threshold)を考慮した飛跡解析
 - SPD改善による漏れ込み成分減少、画像化能力を向上 (環境用10cmETCC版)
- 詳細は講演 25aSJ-11 (宮本)

Anode, Cathodeの飛跡の選択でTOT (time over threshold) を考慮

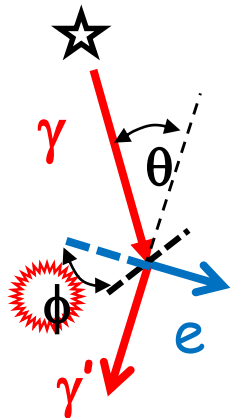
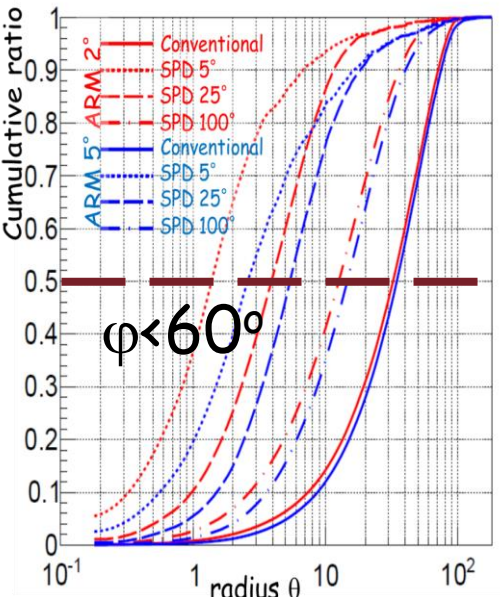


- SPD : $278 \rightarrow 127^\circ$ (FWHM) PSF内の「漏れ込み」成分なし, バックグラウンド成分も低減

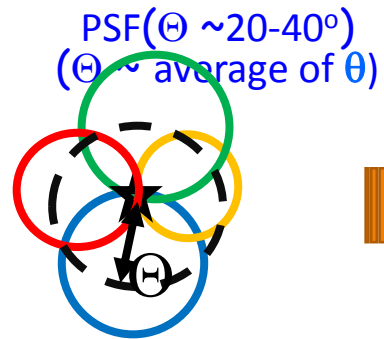
PSF 導入による感度の定義、画像の「漏れ込み」評価

- PSF (point spread function) 定量的に感度が定義可能

25aSJ-12 (高田)、30cmETCC(宇宙用) T.Tanimori et al, ApJ 810(2015)28.



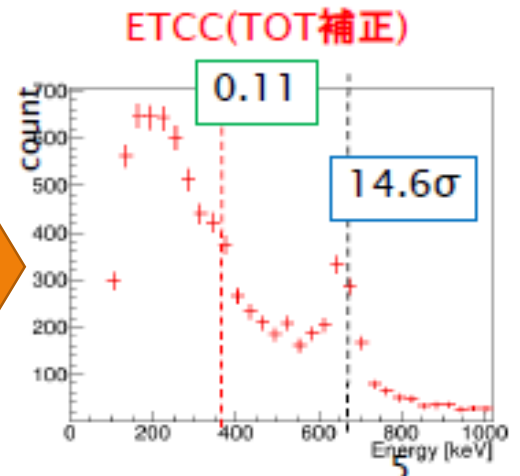
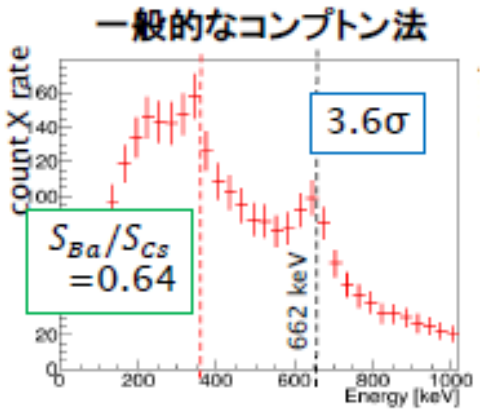
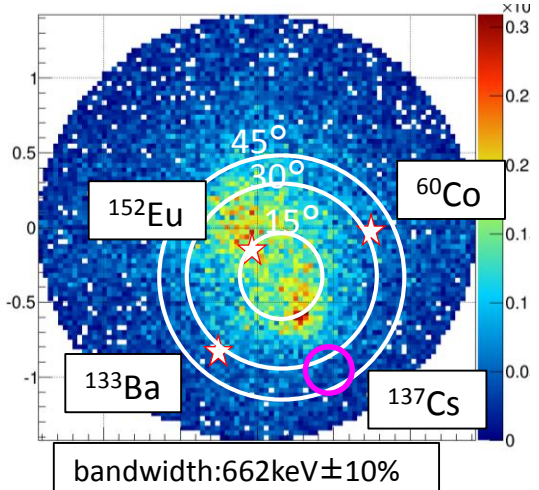
conventional Compton



electron-tracking Compton



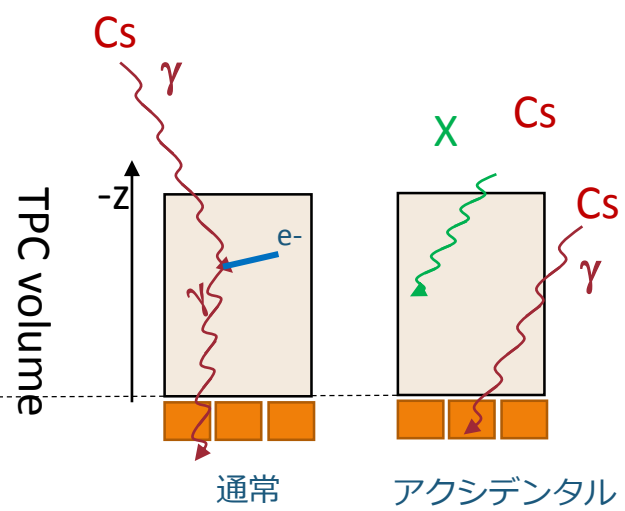
- 4線源で「漏れ込み」を評価 (30cm ETCC) 25aSJ-11 (宮本)



PSF内での「漏れ込み」がほとんどなく、面線源での定量化が可能に

高線量場でのTPCの応答

- アクシデンタルヒットの原因

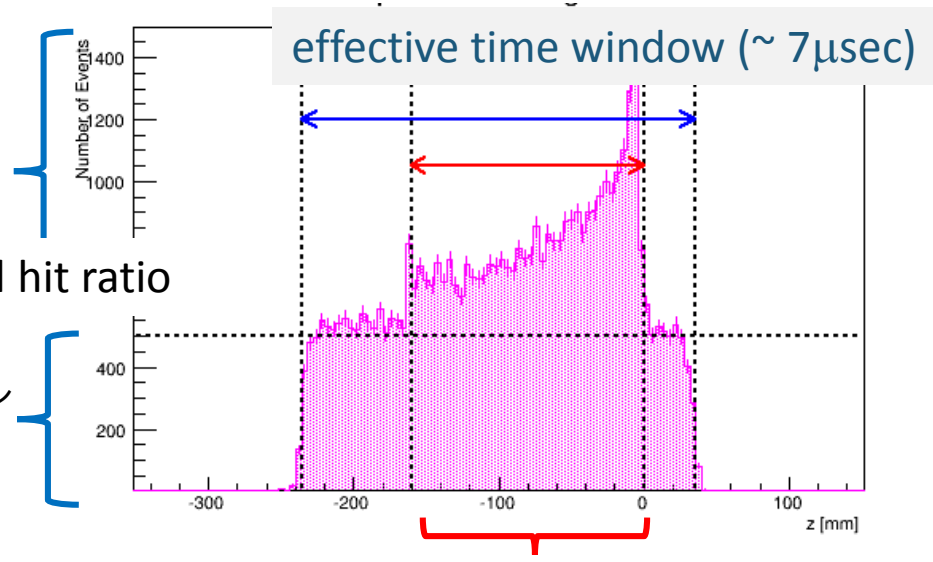


コンプトン
イベント

λ : accidental hit ratio

アクシデンタル
成分

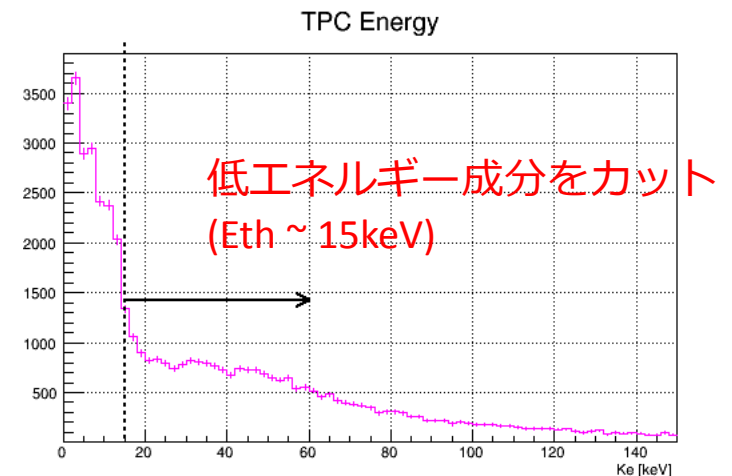
- コンプトン散乱点 (Z座標) の分布



drift volume (~ 160mm -> 3.9 μ sec)
に入ったイベント

解析

- 低エネルギー反跳電子成分カット
- コンプトンイベント、アクシデンタルヒット比率計算
- イメージ、スペクトル再構成



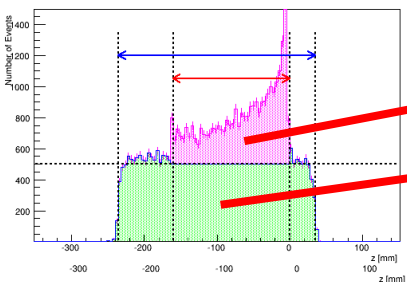
算出方法 (概略)

$$f(r, \varphi ; E) = g(r, \varphi ; E) - \lambda \tilde{h}(r, \varphi ; E)$$

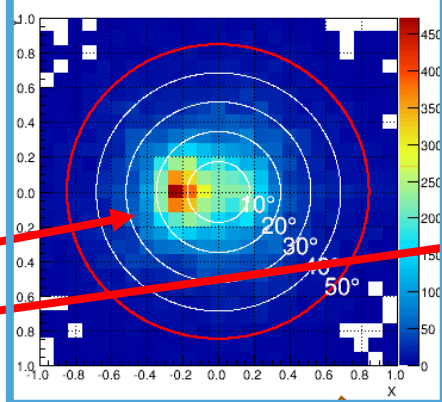
λ : accidental hit ratio

spectrum/image

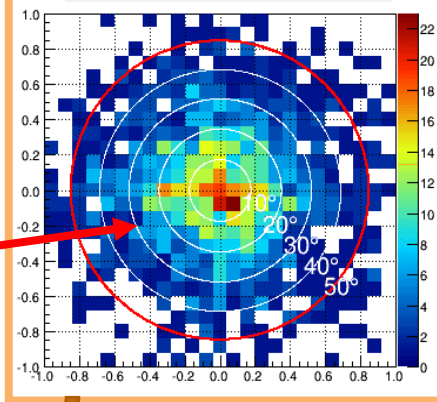
コンプトン散乱点
(Z座標) の分布



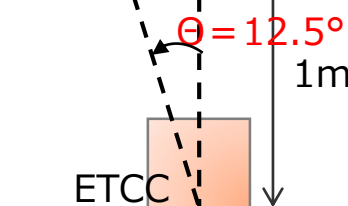
observed
spectrum/image



accidental hit
spectrum/image



3.1 MBq Cs-137

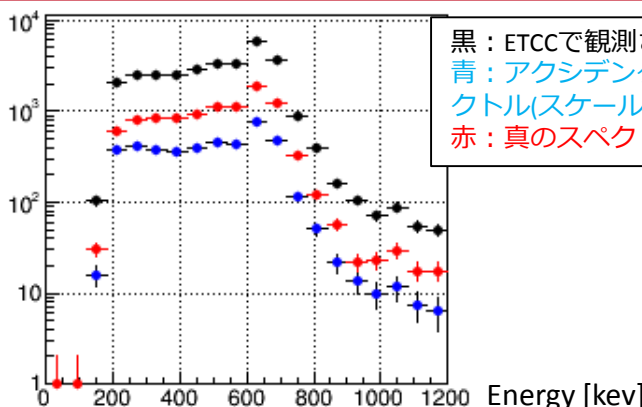
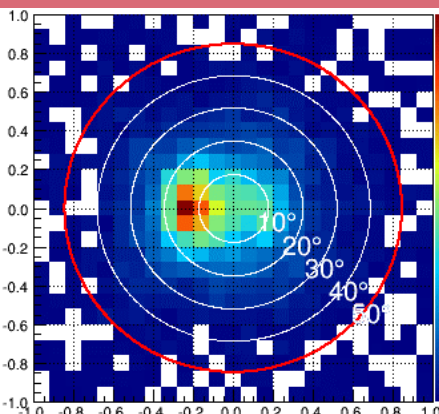


アクセプタンス補正済
(検出器の幾何補正)
バックグラウンドデータ利用

アクシデンタルヒットを規格化
 λ 値で画像をスケールして差し引く

アクシデンタルヒットイメージ：
散乱点Z座標 (TPCのドリフト時間方向)
を一様乱数にしてイメージ化、エネルギーは平均化

再構成イメージと
スペクトル
($\lambda \sim 0.14$)



黒 : ETCCで観測されたスペクトル
青 : アクシデンタルヒットのスペクトル(スケール後)
赤 : 真のスペクトル

この方法を
フィールドテスト
データに適用

フィールドテストに適用した結果

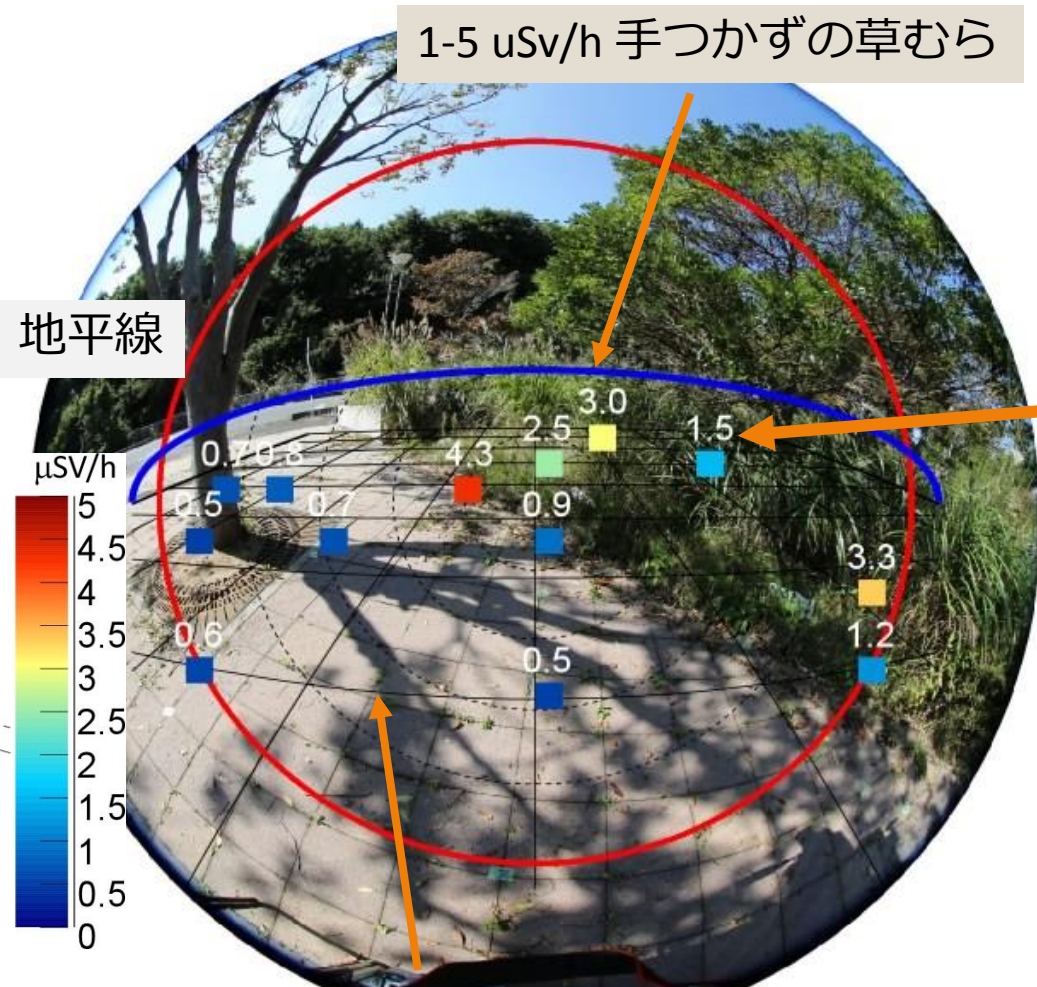
地表のCs分布イメージング スペクトル算出

10cm (地表の線量)

線量計をタングステンゴムで覆い
地面から来る成分のみを計測



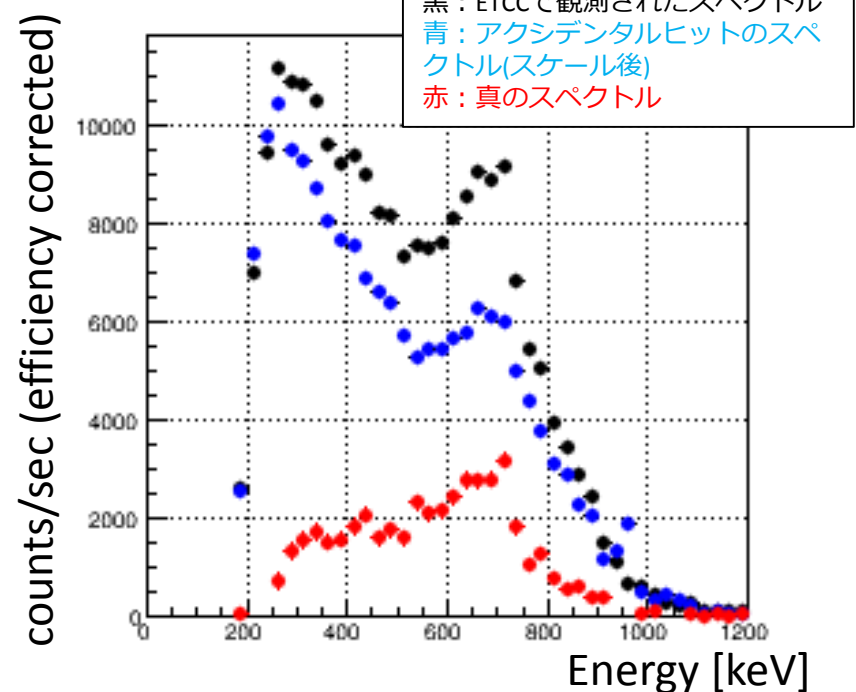
Wゴム
線量計
(PA-1100, Horiba)



< 1.0 $\mu\text{Sv/h}$ 除染済みタイル面

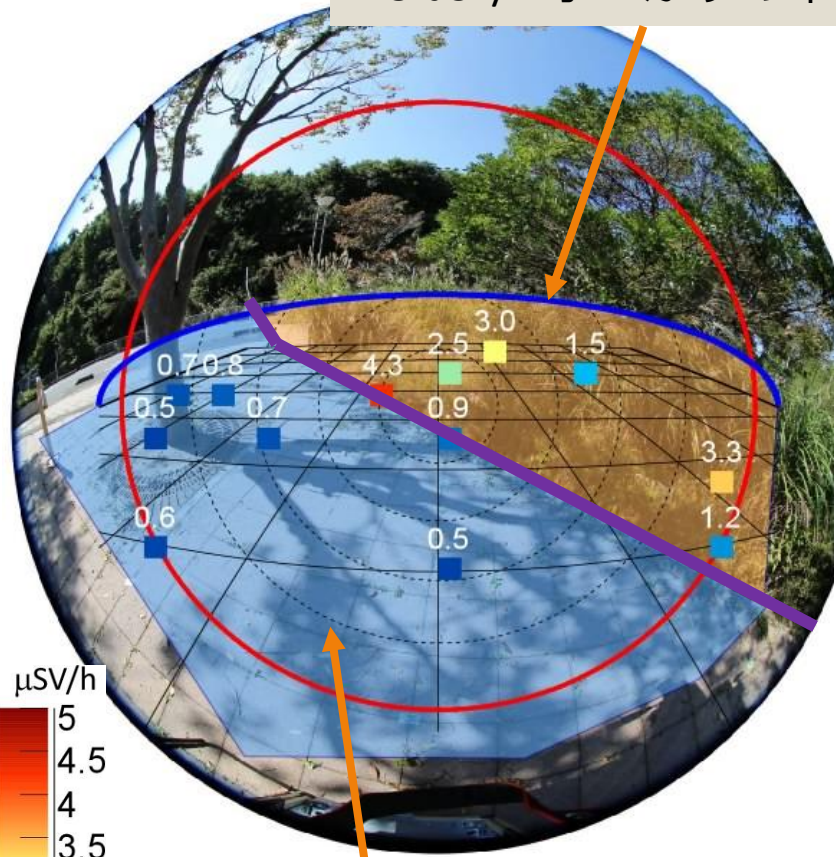
水平面から20°下方向に向けて撮像

測定値



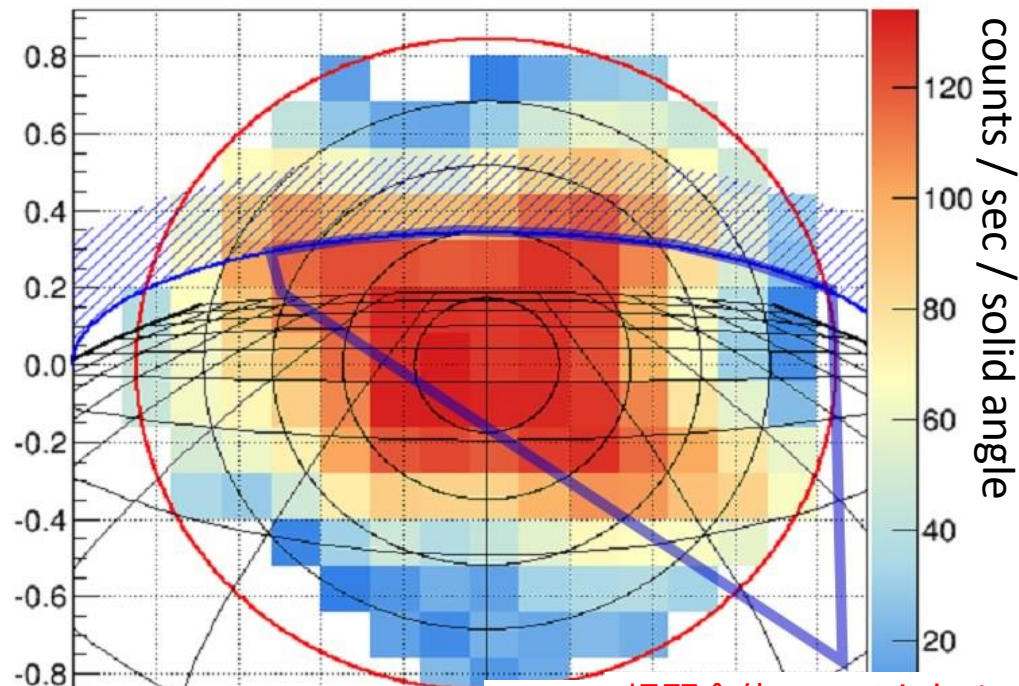
地表のCs分布イメージング

1-5 uSv/h 手つかずの草むら

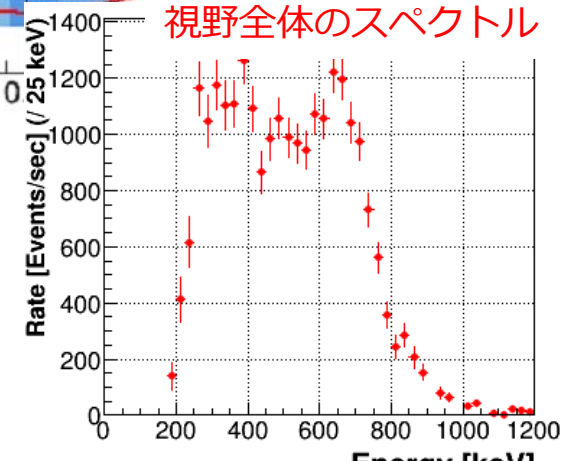


< 1.0 uSv/h 除染済みタイル面

FOV subt

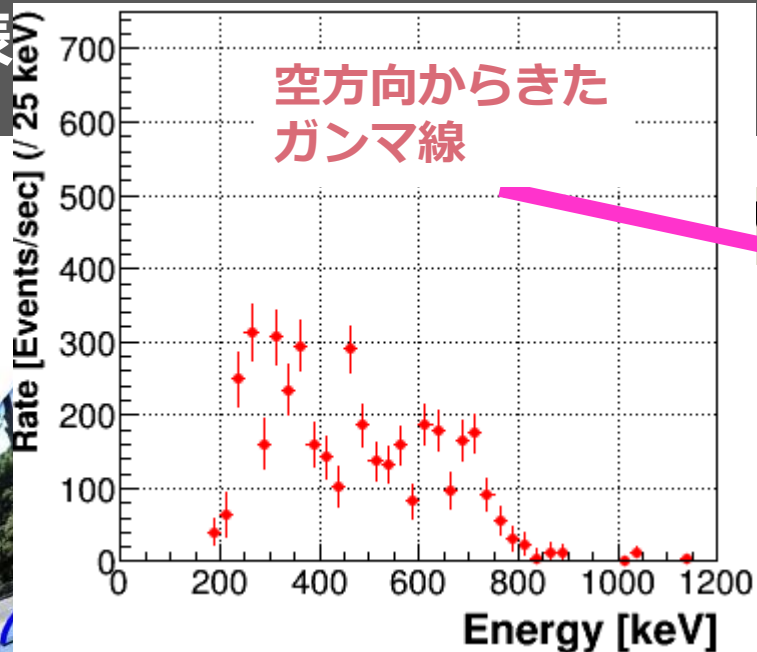


視野全体のスペクトル

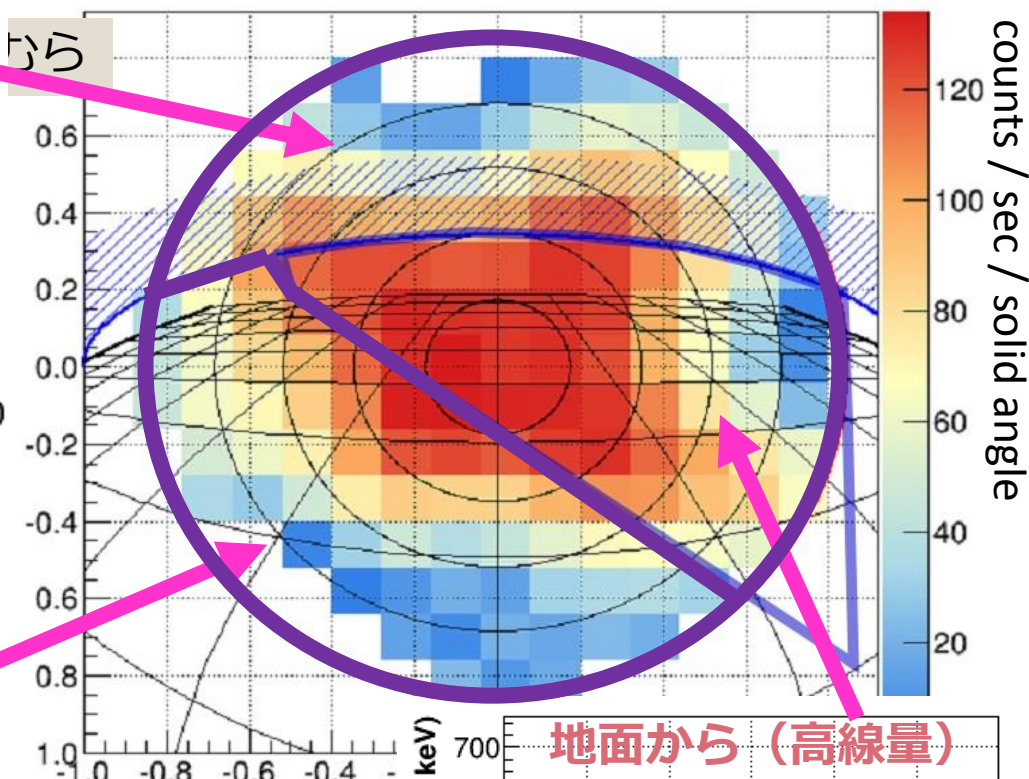


地表

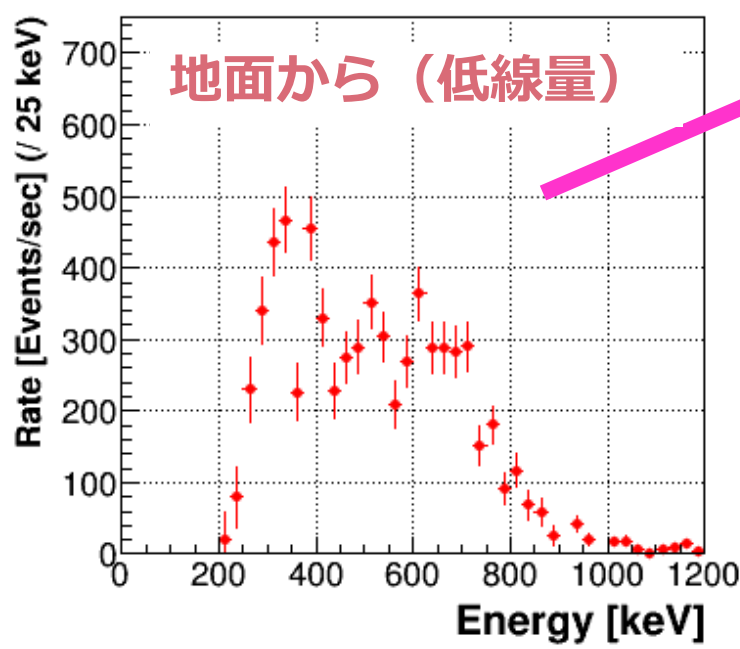
空方向からきた
ガンマ線



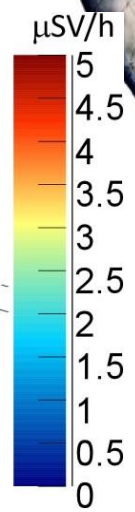
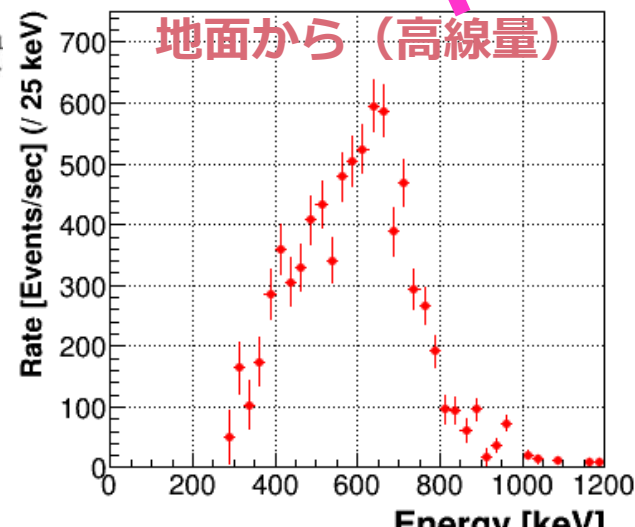
ひら



地面から (低線量)



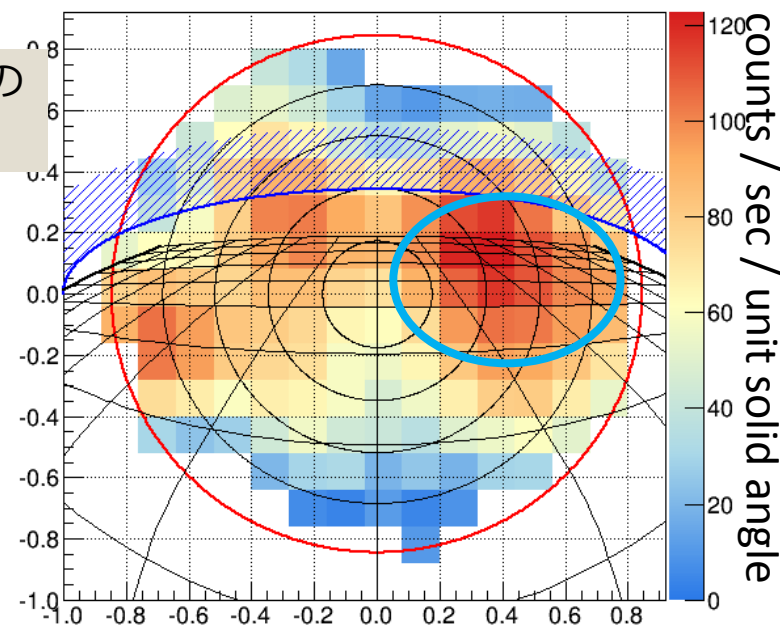
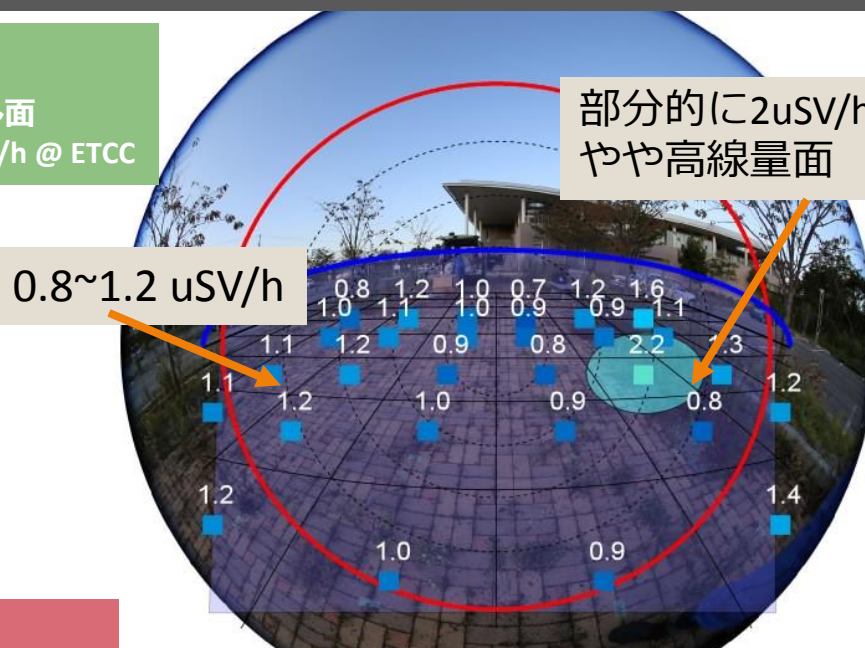
地面から (高線量)



高線量、低線量場のイメージング

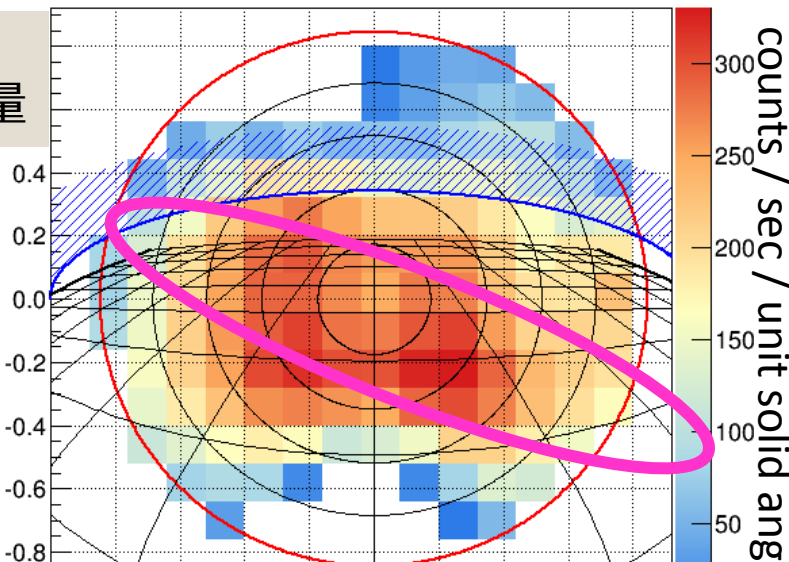
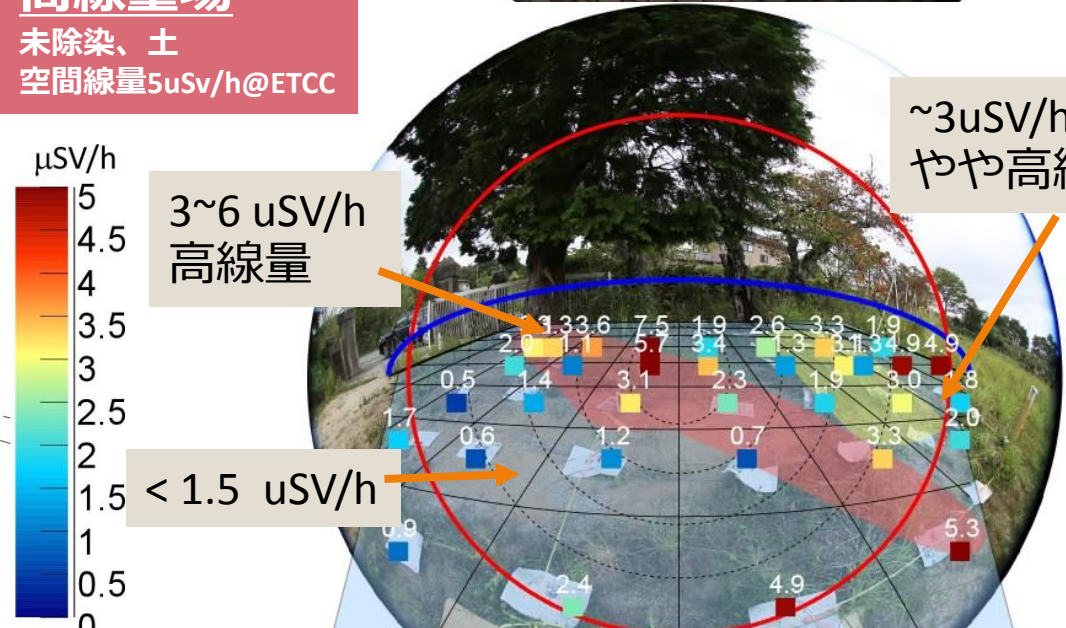
低線量場

除染済みタイル面
空間線量1.8uSv/h @ ETCC



高線量場

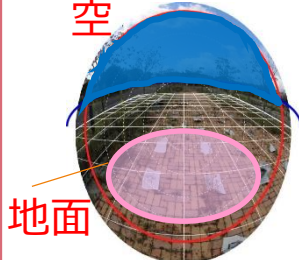
未除染、土
空間線量5uSv/h@ETCC



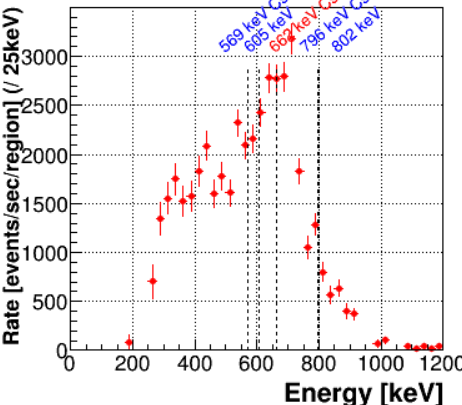
イメージから空と地面の切り分けたときのスペクトルの比較

高線量場

$\lambda \sim 0.8$



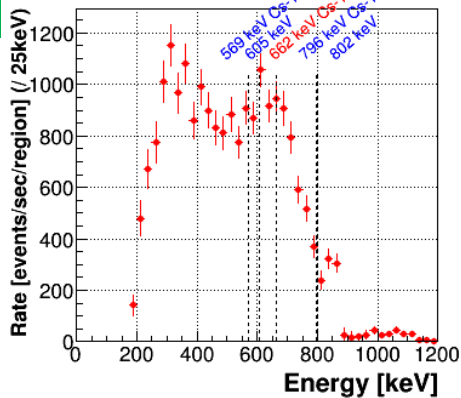
視野内



低線量場

$\lambda \sim 0.6$

視野内

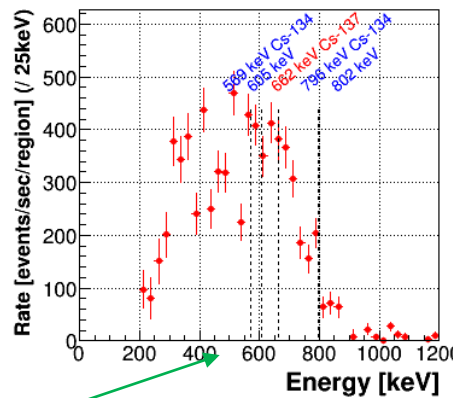
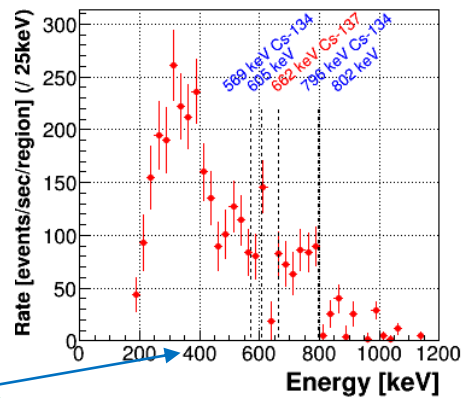
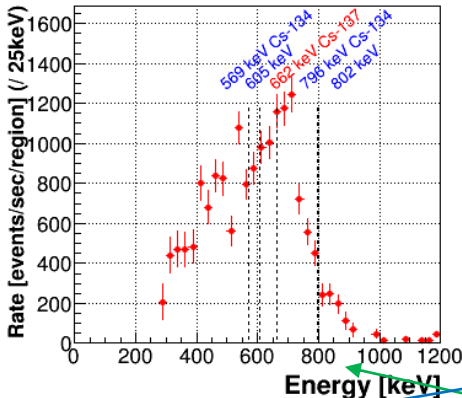
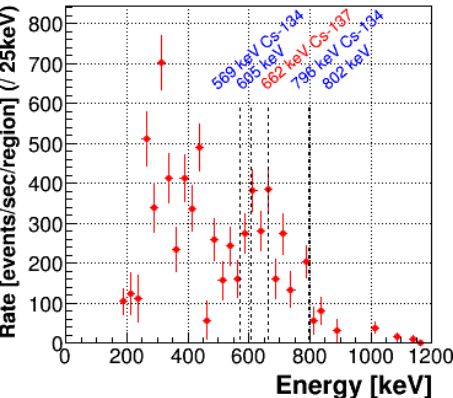


空

地面

空

地面



空 : 低エネルギー成分 (散乱成分)

地面 : Cs ピーク (直接成分)

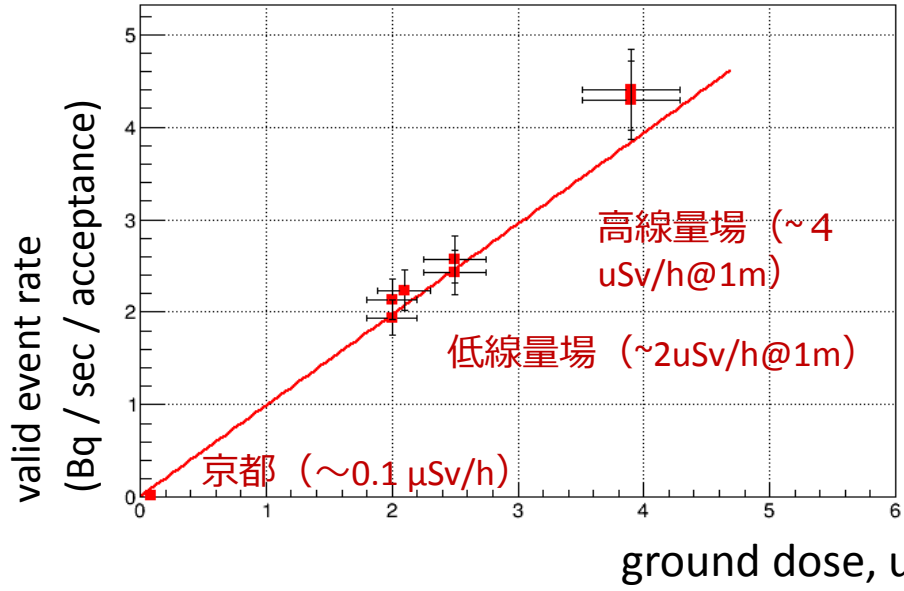
- 地面、空のスペクトルの積分値 (空間線量値)の比 一定

各測定点でのETCCの観測結果

■ 各測定点での結果

地点	高線量場		低線量場			
	1	2	1	2	3	4
除染	未除染		一部除染済		除染済	
空間線量 (視野平均) uSv/h	5.2 (3.9)	4.5 (3.2)	2.2 (2.5)	2.3 (2.5)	1.6 (2.0)	1.8 (2.0)
実効レート Hz	4.29	4.40	2.43	2.57	1.94	2.14
空/地面比率 (立体角補正込)	0.93	0.96	1.01	0.98	0.99	0.91

→ ~1 (一定!)



- 除染しても広範囲に地面成分を除去しない限り空間線量が~50%程度までしか下がらないことを示唆

- 画像中のガンマ線強度が線量と相関

まとめ

高線量場、低線量場でのETCCの応答を理解し定量化へ

- 飛跡解析改良による画像化の改善 SPD ~ 127 °
- PSF内への「漏れ込み」がほとんどないことによる画像の定量化、先鋭化を確認
- アクシデンタルヒットの定量評価とその解析方法の確立

定量的な評価を行う

- 空間線量の空と地面からの寄与は測定場所によらず同じである
- 面状に広がった線源の画像化、線量強度の評価方法を原理的に実証

●今後の環境用ETCCの進展、展望

—高感度化

- ガス変更 (Ne/CF₄) アクシデンタルヒット抑制、感度上昇 ~ x 2-4
- 測定時間の短縮 (高圧化1.5 → 3atm) x 2

測定時間の短縮 (1.5時間 -> 数分)

—解析手法の改良

—小型軽量化

環境用ガンマカメラとして、Cs分布の可視化、Cs線量計の性能を確認
原理実証、実用面でも十分に有用なガンマカメラです