



SMILE 26:

ETCCの散乱平面決定精度の効果と 到達予想感度

京都大学 高田淳史

谷森達, 窪秀利, 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, 小田真, 竹村泰斗
宮本奨平, 中増勇真, 吉川慶, 身内賢太郎, 黒澤俊介

- Introduction
- ARM/SPDとPSF
- 到達予想感度
- まとめ

T. Tanimori+, ApJ 810 (2015), 28

検出感度の見積り

検出感度： $3 \times \sqrt{\frac{f_B \Delta\Omega \Delta E}{AT}}$
 3 σ の有意度で検出できる最小flux

f_B : 雑音量
 A : 有効面積
 $\Delta\Omega$: 立体角

これらを見積れば
 検出感度が予想できる

目標：1 mCrab

⇒ ~1度の角度分解能

実際のコンプトン望遠鏡では...

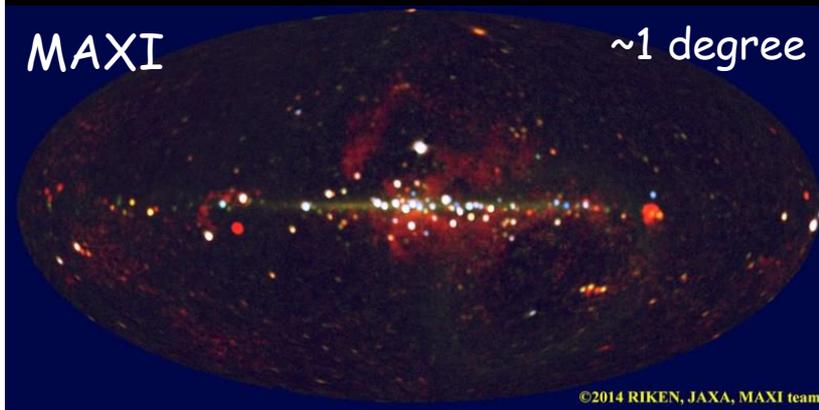
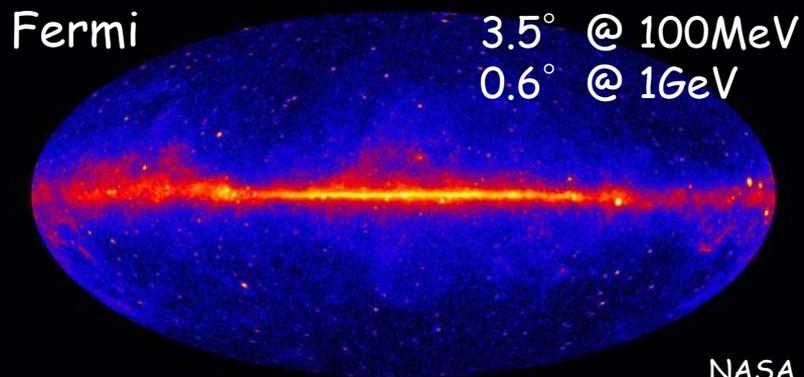
COMPTTEL 予想の1/3の検出感度
 LXeGRIT Crabの検出できず
 NCT (Crab) 予想の1/6の検出事象数

何かの見積もりを根本的に誤っている？

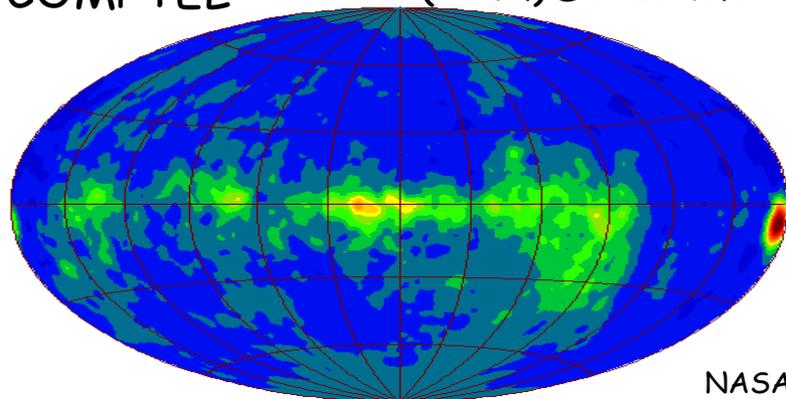
PSF ~ ARMは本当か？



コンプトン望遠鏡の
 角度分解能($\Delta\Omega$)を再検討




 同程度の角度分解能？
 COMPTTEL ~1° (ARM)@3-10 MeV



再構成ガンマ線イメージ (実験)

電子飛跡の解析手法を変更 ⇒ 反跳方向の精度に影響

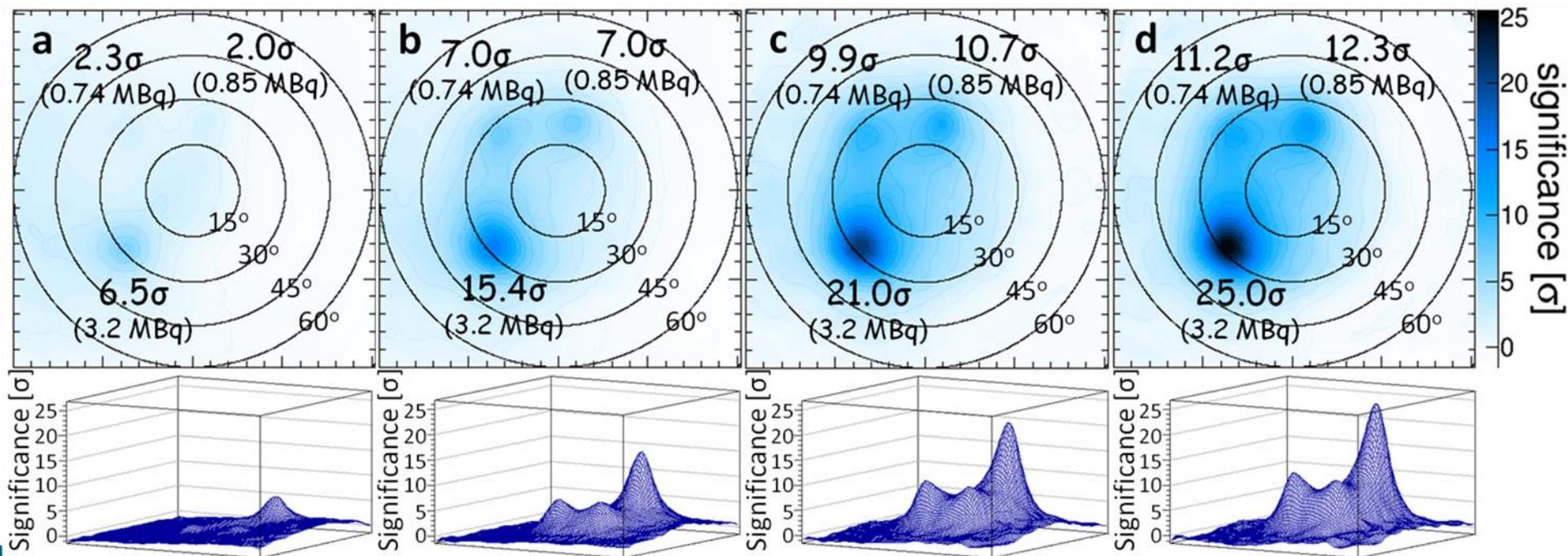
⇒ SPDの違いによる効果を検証

Conventional

SPD $\sim 200^\circ$

SPD $\sim 100^\circ$

SPD $\sim 90^\circ$ (< 80 keV)
 $\sim 45^\circ$ (> 80 keV)



SPDの改善 ⇒ 大きな有意度

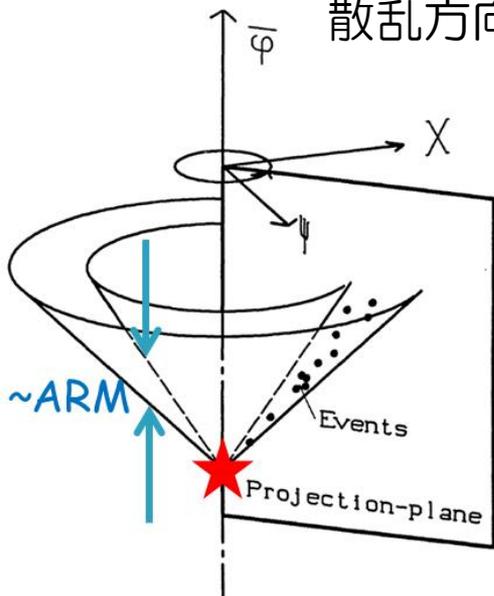
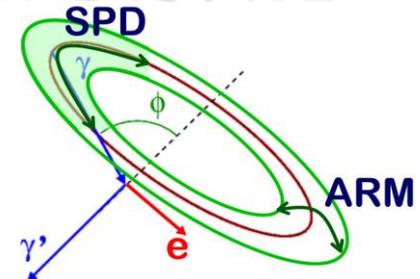
コンプトン望遠鏡の角度分解能

Angular Resolution Measure :

コンプトン散乱角の決定精度

Scatter Plane Deviation :

散乱方向を軸とする散乱平面の決定精度



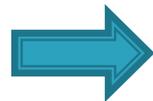
COMPTELのデータ空間 : V. Schönfelder et al., ApJSS, 1993, 86, 657

散乱方向(χ, ψ)と散乱角(ϕ)の3次元空間

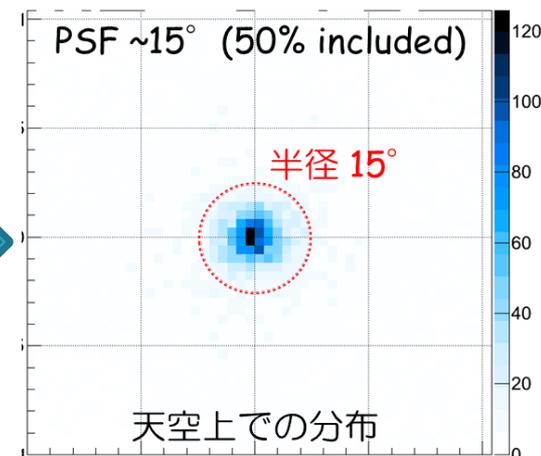
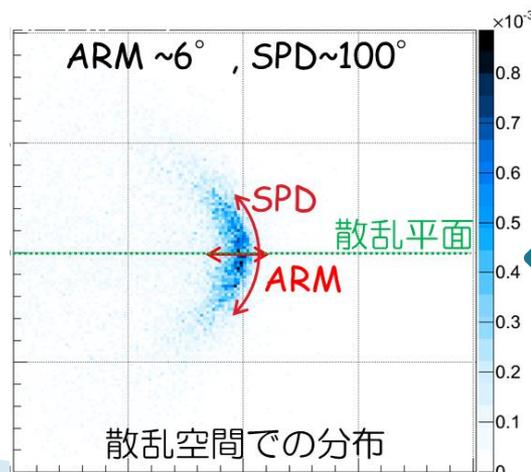
コンプトン事象は 45° の円錐状に分布

円錐の頂点 = 線源の位置

ϕ 軸方向の平均的な揺らぎがARM



頂点の(χ, ψ)平面上の揺らぎはARM程度?



ETCCで実際に取得したデータ ⇒ PSFはARMともSPDとも一致しない

ARM・SPDからPSFの導出

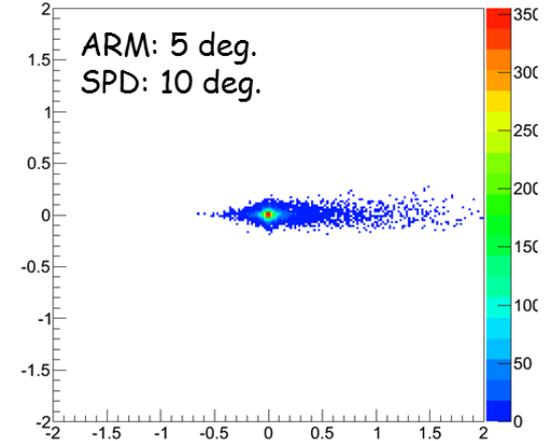
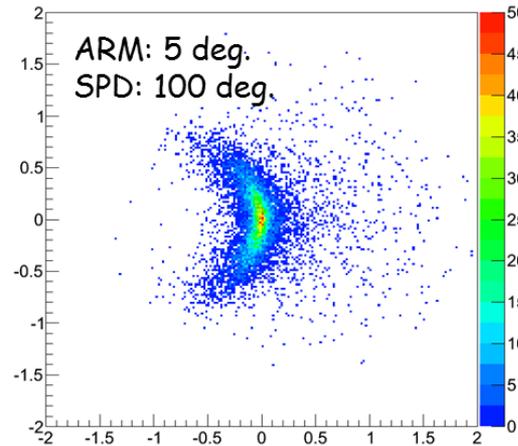
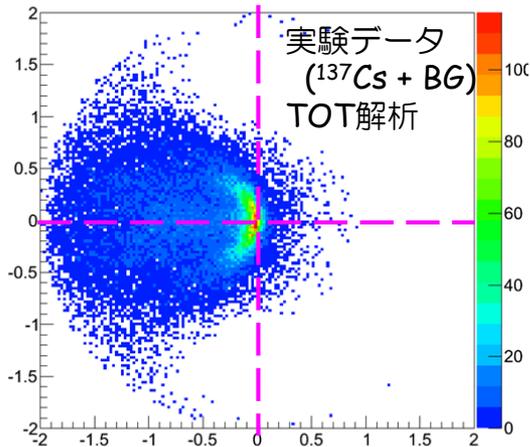
for ETCC

ARM ⇒ FWHMを与えて、Lorentz分布を仮定

SPD ⇒ FWHMを与えて、Gauss分布を仮定



様々なARM/SPDを emulate



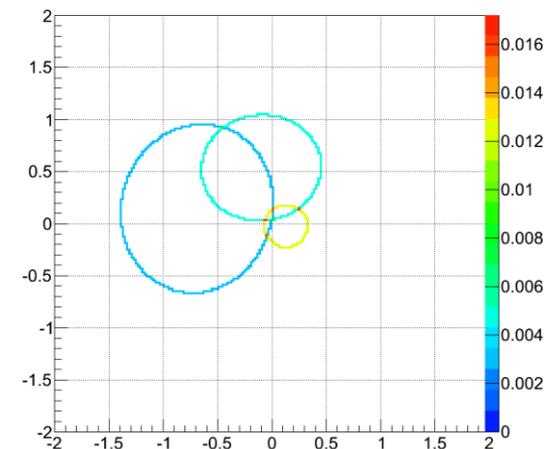
for Conventional Compton Camera

ARM ⇒ FWHMを与えて、Lorentz分布を仮定

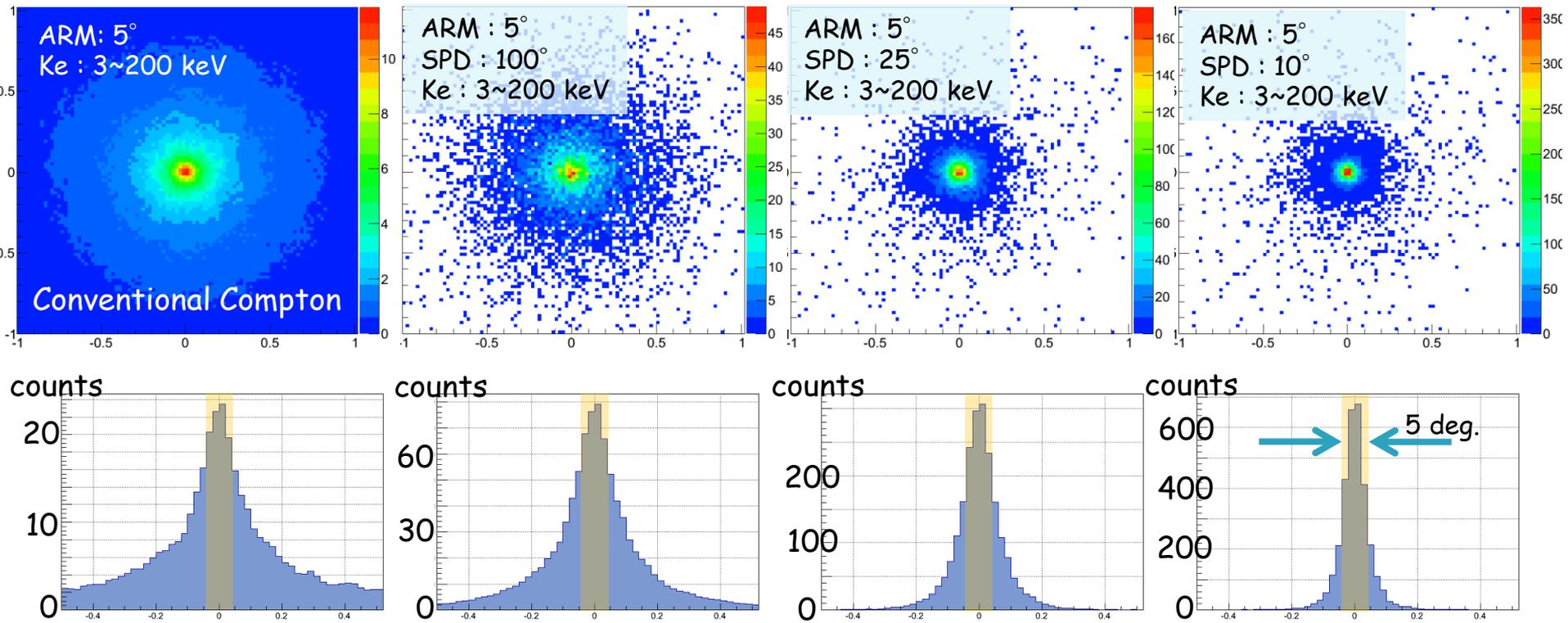
1/円周長で重み付け

回転変換で天空座標に変換

⇒ 線源位置からの離角でPSFを求める



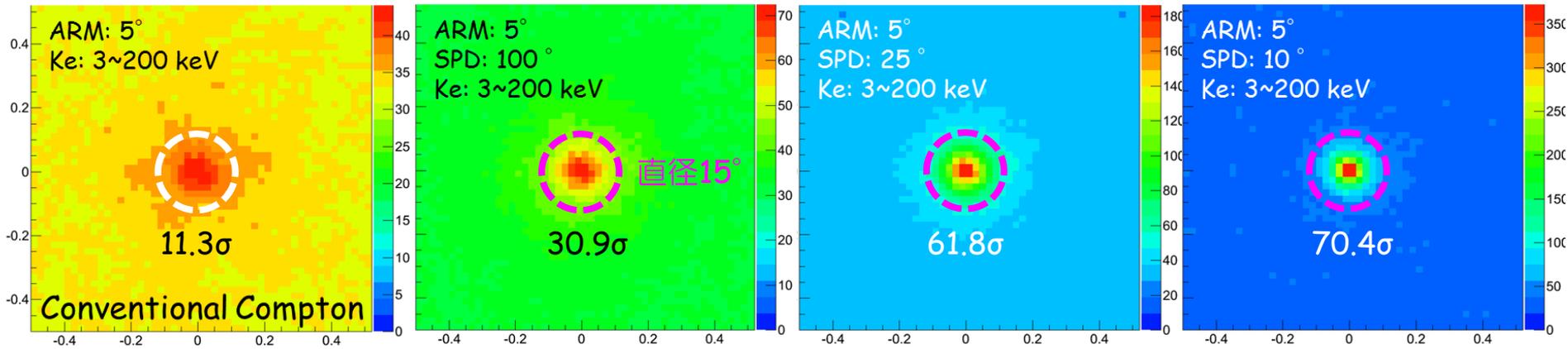
Signalの像の天空上の広がり



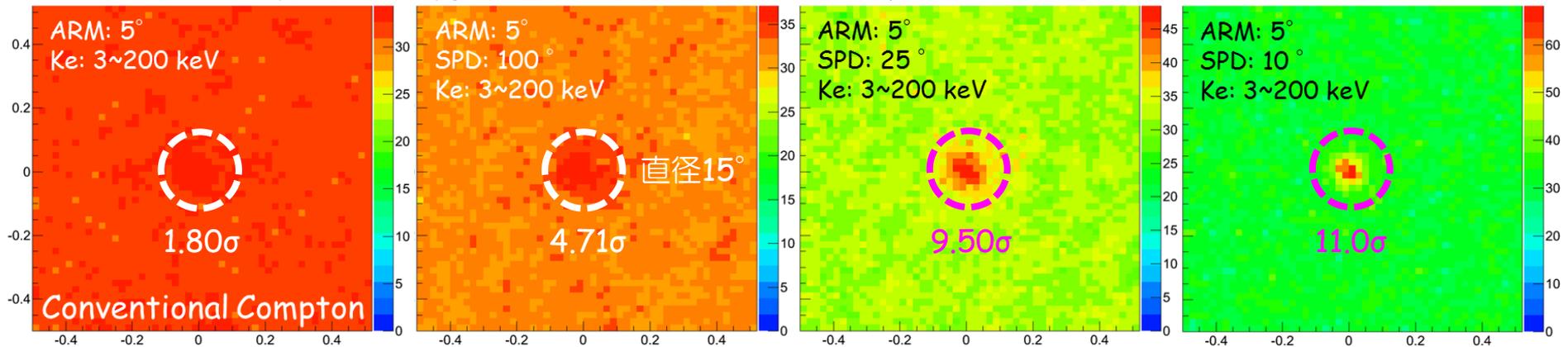
- 同じARMでもSPDの違いによってPSFに大きな差がある
- ARM ≠ PSF
- SPDが悪い ⇒ 測定領域に周囲からの大量のもれこみ
中心のevent数も激減

再構成ガンマ線イメージ

線源は画像中心にあるとしBGは一様 SN比は $10^4:10^6$

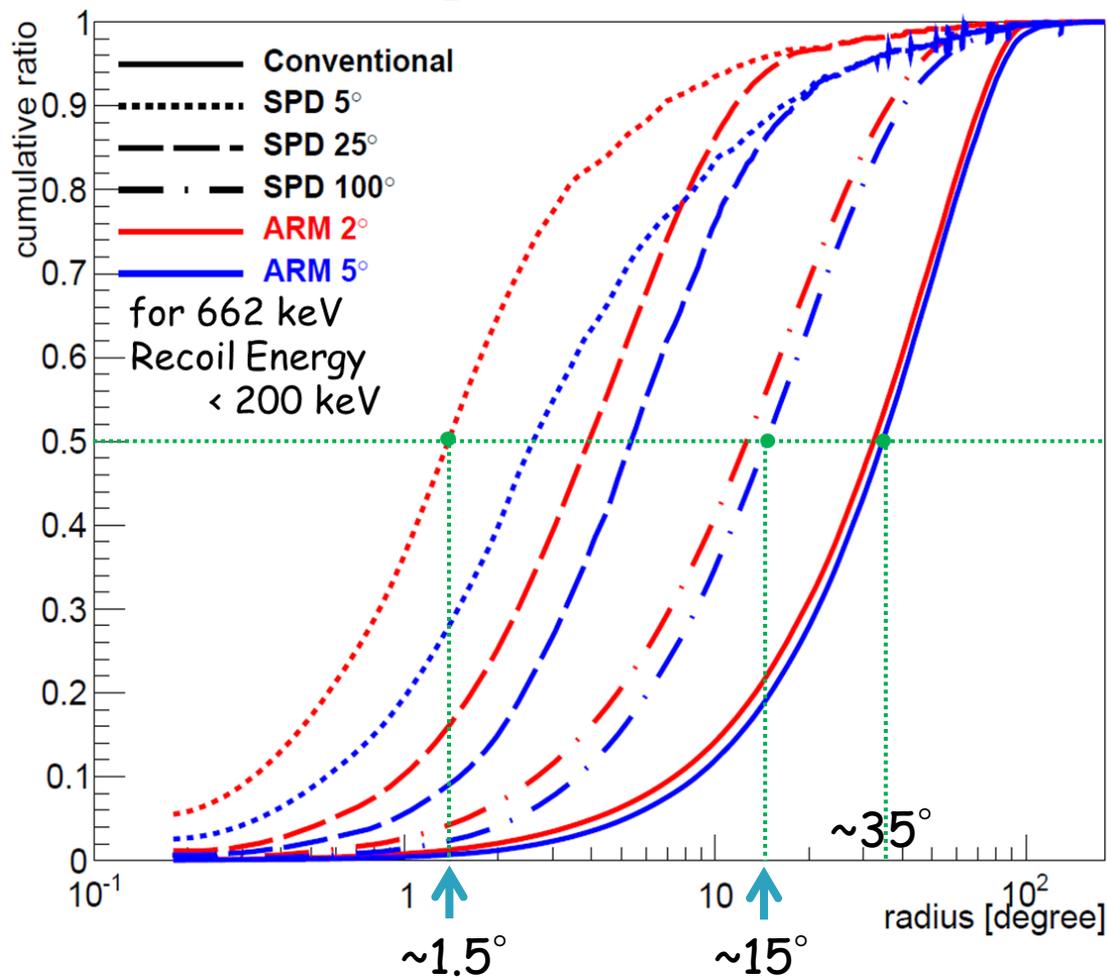


線源は画像中心にあるとしBGは一様 SN比は $10^3:10^6$



- 小さいPSF ⇒ 有意度大
- SN比 = 1/1000 ⇒ Crab : 系外拡散ガンマ (@ sub MeV) 程度でConventionalな方法は厳しい

Point spread function



SPDが悪い ⇒
ARMが良くても
PSFは良くなる

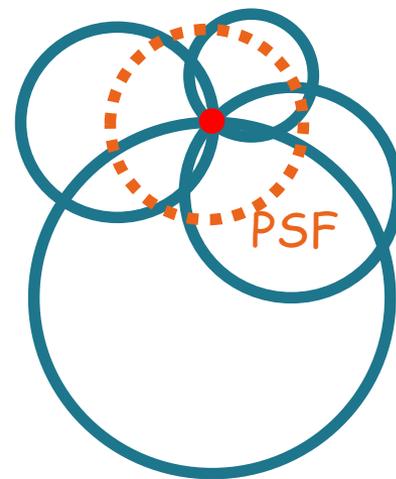
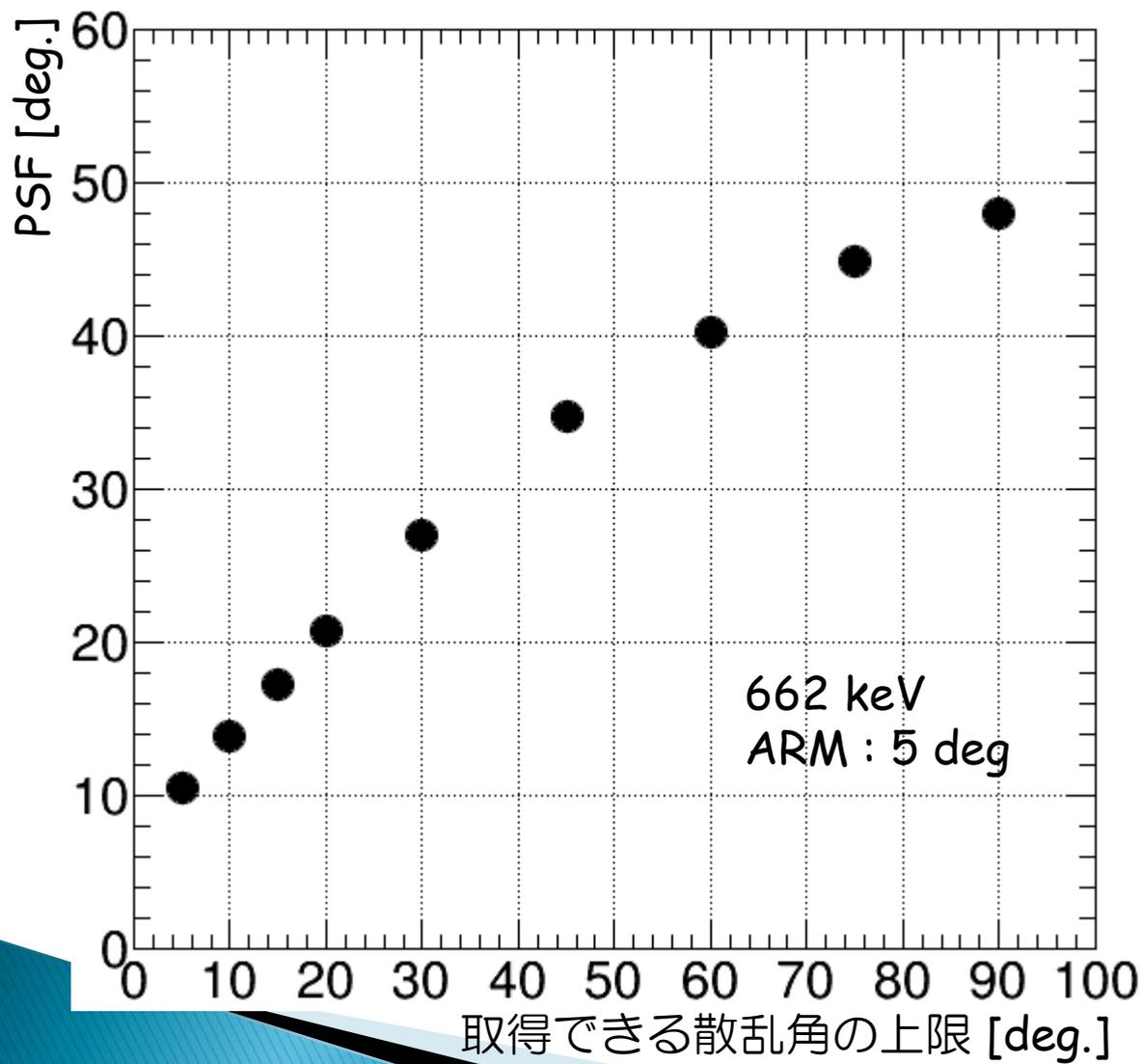
ARM ≈ SPD ⇒
PSF ≈ ARM

現状のSMILE-II:
ARM ~6° SPD ~100°
PSF ~15°
SPD ~50° (> 50 keV)
PSF ~8°
実測値をほぼ説明



ARM・SPD共5°以下にすることが
PSF ~1° (= 1 mCrab)の条件！！

Conventional Comptonの角度分解能



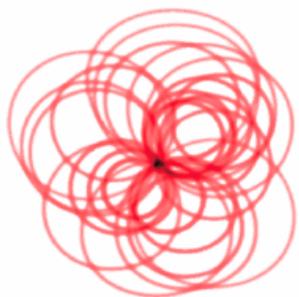
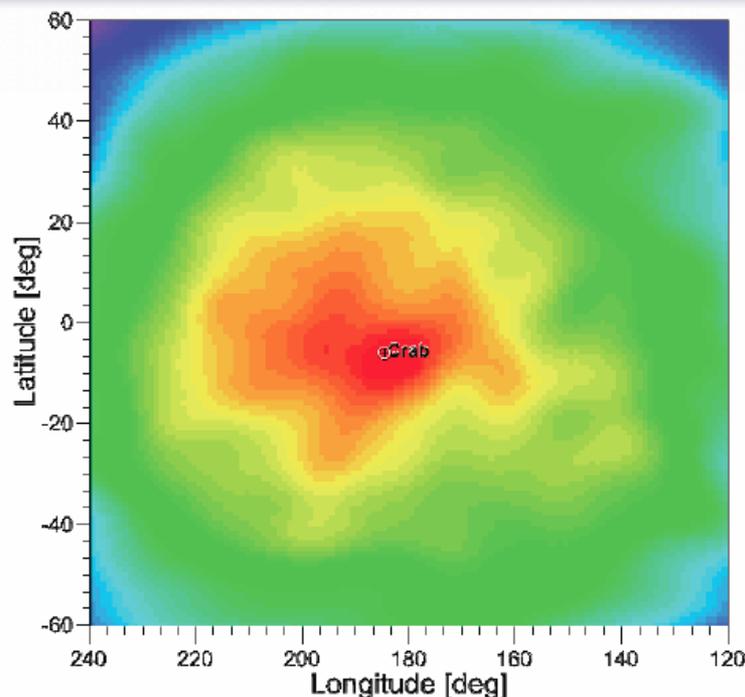
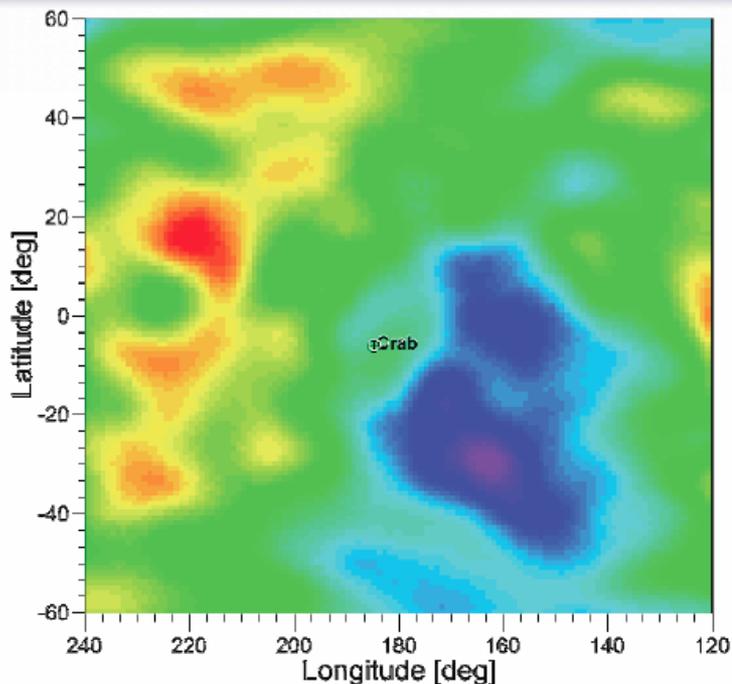
平均的な散乱角
⇒ PSFの広がり来决定



散乱角に制限 ⇒ PSF改善
COMPTTELでは 30°

高エネルギー
⇒ 前方散乱が卓越
⇒ PSF良くなる

Analysis Challenge 3: Event Selections



*Images show
backprojections only*

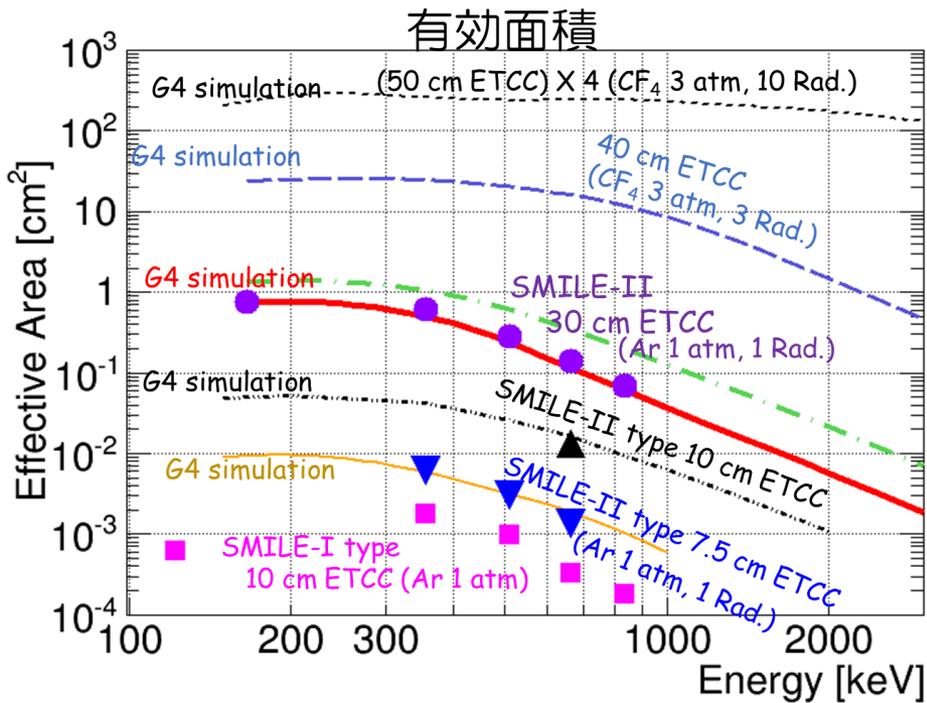
Left: All data (with time cut) - no event selections

- Dominated by atmospheric background

Right: Optimized event selections

- Dominated by emission from “above”
- Cut on energy, earth horizon distance, event reconstruction quality factor, Compton scatter angle
 - But at the cost of a reduced effective area!

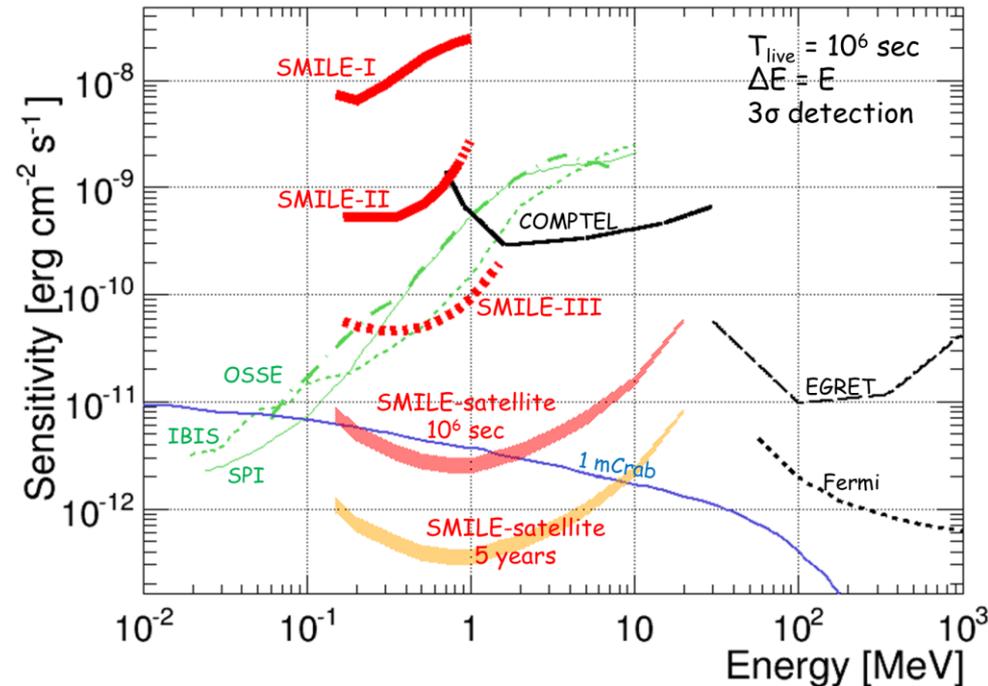
到達予想検出感度



PSFの明確な定義

⇒ 予想検出感度への
不定性が排除される

検出感度



SMILE-satellite:

CF₄ 3atm, 50cm-cube ETCCを4台
PSF ~ 2°

SPD改善の展望

SPDは多重散乱で律速



$$\theta_0 = \frac{13.6 \text{ MeV}}{\beta c p} z \sqrt{x/X_0} \left[1 + 0.038 \ln(x/X_0) \right]$$

X_0 : 放射長

SPDを 5° 以下に抑えるには $\sim 10^{-5} X_0$ 程度で方向決定が必須



$$\sim 10^{-5} X_0 = \text{Ar} : \sim 1 \text{ mm}, \text{Si} : \sim 1 \mu\text{m}$$

➤ 3軸読み出しで情報増

⇒ 低エネルギー電子飛跡の高精度化

➤ ピクセルピッチの微細化

例) MicroMEGAS + 半導体Readout

⇒ $\sim 100 \mu\text{m}$ のサンプリング

➤ 高エネルギー電子検出の高効率化

例) ガス飛跡検出器を飛び出す電子を止める検出器を
ガス容器内に設置

⇒ 多重散乱の影響の小さい $\sim \text{MeV}$ の反跳電子の検出

まとめ

- ▶ **コンプトンカメラのPSFを初めて明確に定義**
 - PSFはARM・SPDの両方に依存 ⇒ ARMのみの改善は無意味
 - **1 mCrabの感度** ⇔ **~1度のPSFの実現** ⇔ **ARM 2° SPD 5°**
多重散乱が $< 5^\circ = (10^{-5} \times \text{放射長})$ 以下
放射長 Ar : 1.1×10^4 cm/atm ⇒ < 1 mm/atm
Si : 9.4 cm ⇒ < 1 μ m
 - 従来型のPSF: コンプトン散乱角の平均値に依存
散乱角を制限するcut = PSFは改善 有効面積は減る
 - 現在のSMILE-II : ARM $\sim 6^\circ$ SPD $\sim 100^\circ$ ⇒ PSF $\sim 15^\circ$
- ▶ **PSFの定義 + 有効面積 ⇒ 正確な到達予想感度**
- ▶ **SMILEの手法で既存の技術の拡張で1 mCrabの感度に到達できる**
- ▶ **PSFを正しく評価し**
改善することが全てのコンプトンカメラの急務