

# シンチレーターを用いた 宇宙ラインガンマ線用コンプトン カメラの基礎開発



2015年12月19日  
平成27年度共同利用研究成果発表会  
@東大宇宙線研

茨城大学 片桐 秀明

# はじめに

- 福島第一原発事故に起因する放射能を可視化する安価で高感度なコンプトンカメラ「 $\gamma$ I (ガンマアイ)」を開発した。

目的：

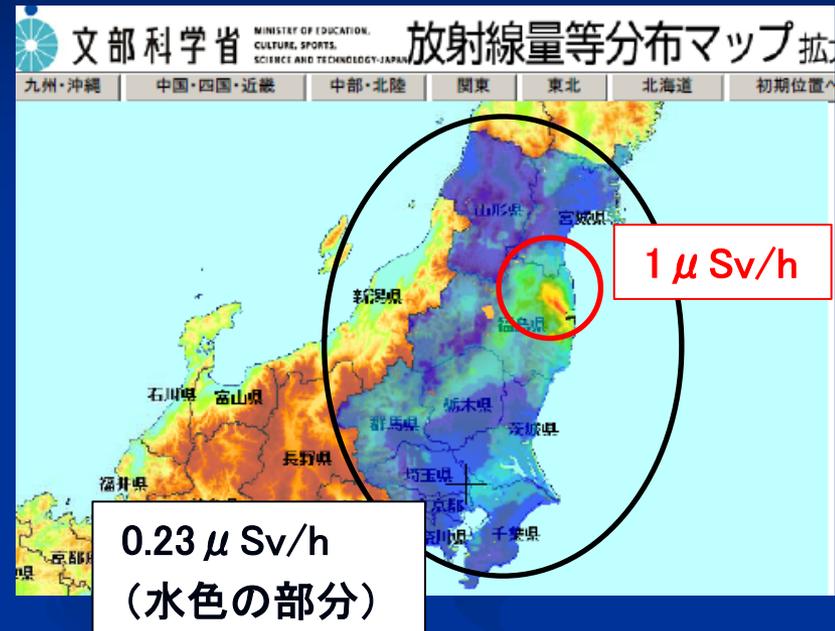
この技術を宇宙線測定に利用できないか、検討する。

- 計算機を利用させて頂きまして、ありがとうございました。

# $\gamma$ I (ガンマアイ) 開発の背景

## ■ 環境省の基準

- 「長期的な目標として追加被ばく線量が年間1ミリシーベルト以下となること」
- 1mSv/年～  
0.23 $\mu$ Sv/h



<http://ramap.jaea.go.jp/map/>

除染を行うべき範囲は関東・東北の一円と広大  
⇒ 除染作業の効率化が不可欠

# 放射能分布の可視化

- サーベイメーターは“点”
  - ガンマ線の到来方向が分かるとよい
- 到来方向の分かる検出器
  - 様々な検出器が開発されている  
しかし、数1000万と高額、さらに感度が低い



安価で高検出効率のガンマ線到来方向のわかる測定器「ガンマアイ ( $\gamma$ I)」を東大、茨城大、北里大、KEK、企業で共同開発

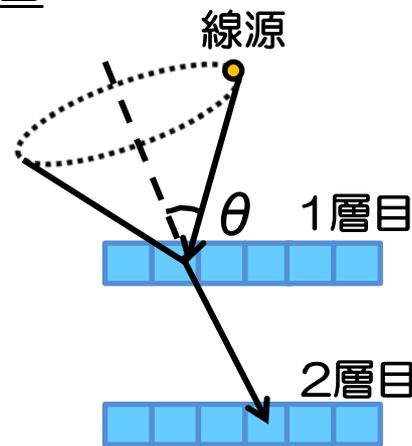
⇒ 普及品として自治体などで広く使ってもらおう

# 測定原理

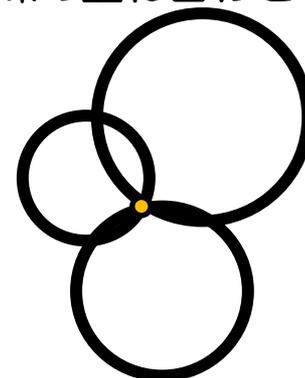
安価でエネルギー分解能のよいCsI(Tl) 結晶シンチレータ  
+ 光電子増倍管のアレイを2層設置

散乱角  $\theta$  (コンプトン散乱の式)

$$\theta = \arccos\left(1 + \frac{m_e c^2}{E} - \frac{m_e c^2}{E - E_1}\right)$$



円環の重ね合わせ

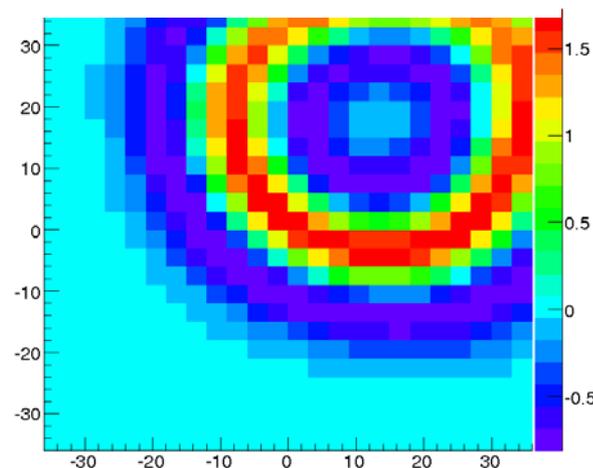


角度分解能  $\sigma_\theta$

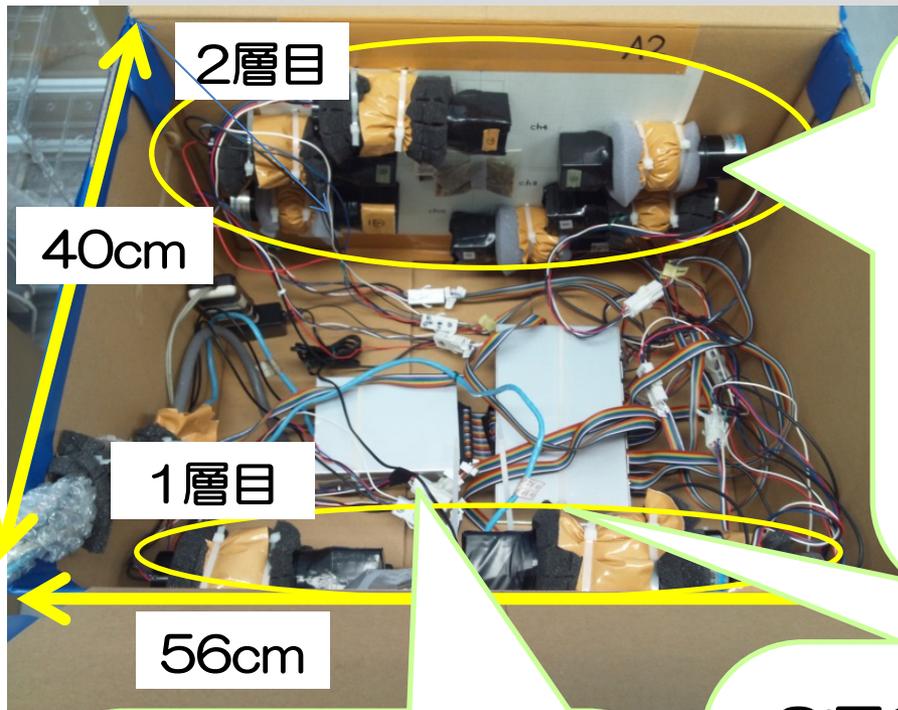
結晶サイズ (3.5cm角)、  
配置 (1・2層距離35cm)

⇒  $\sigma_\theta \sim 3.5^\circ$  (イメージフィルター後)

価格との性能のトレードオフで決定



# 検出器の各コンポーネント



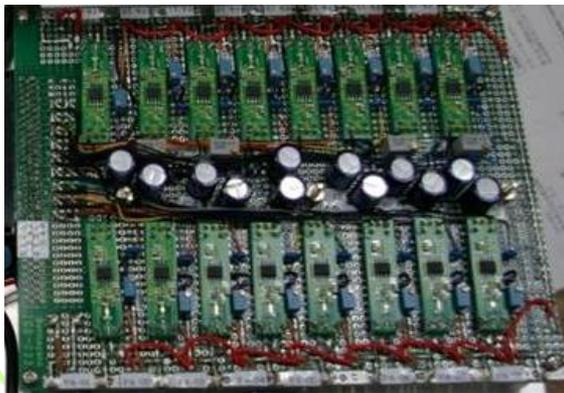
## シンチレーション検出器



3.5cm角  
CsI(Tl)結晶

スーパーバイアルカリ  
光電面PMT

## プリアンプボード (16ch用)



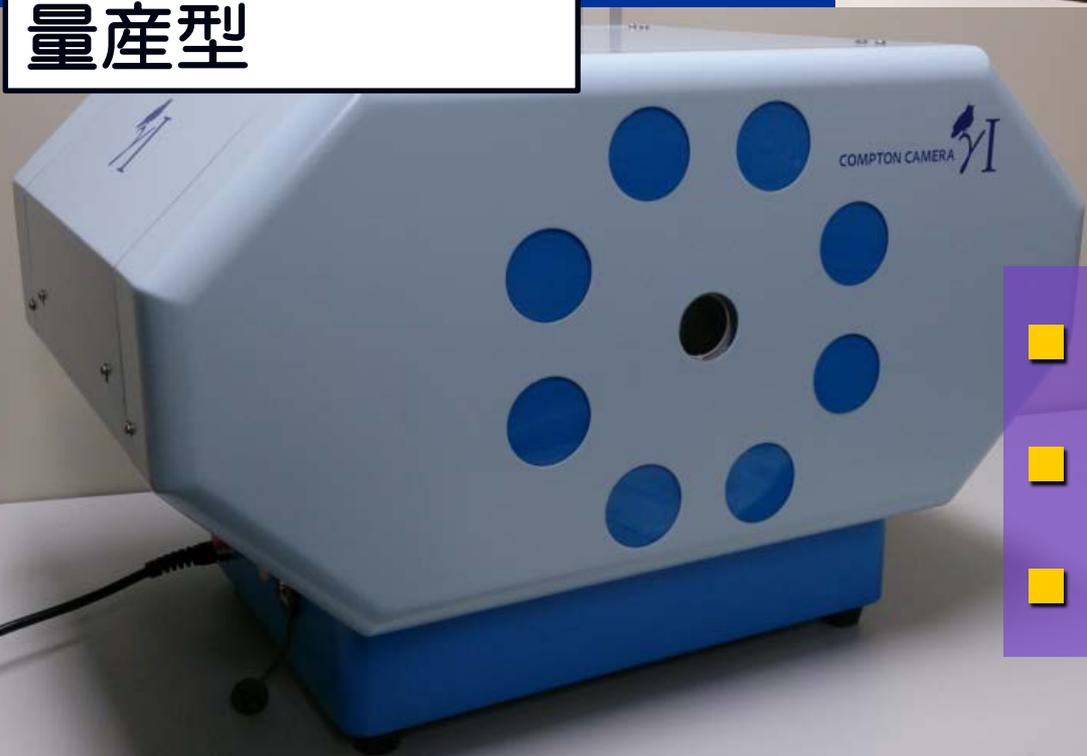
## SiTCPボード



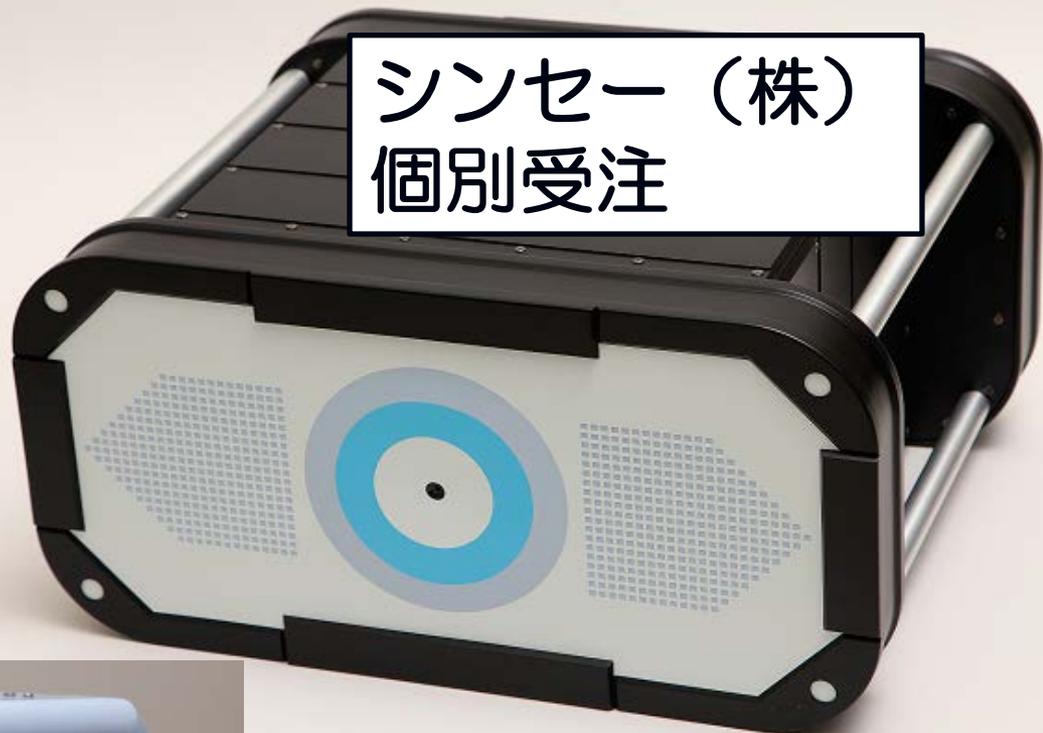
- 16ch Flash ADC  
ボード
  - データ転送 Gbit  
Ethernet (SiTCPプ  
ロトコル ; KEK開発)
  - FPGA制御
- 軽量 (~100g)、  
高速読み出し、1.5万/ch

# 16結晶の カメラを2年前 に製品化

(株) 富士電機  
量産型



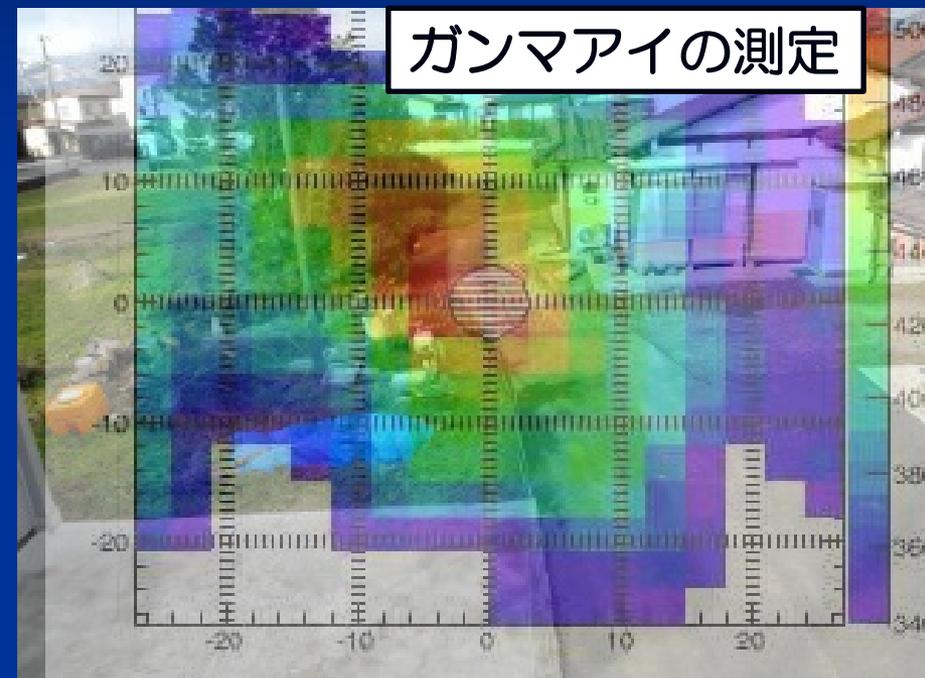
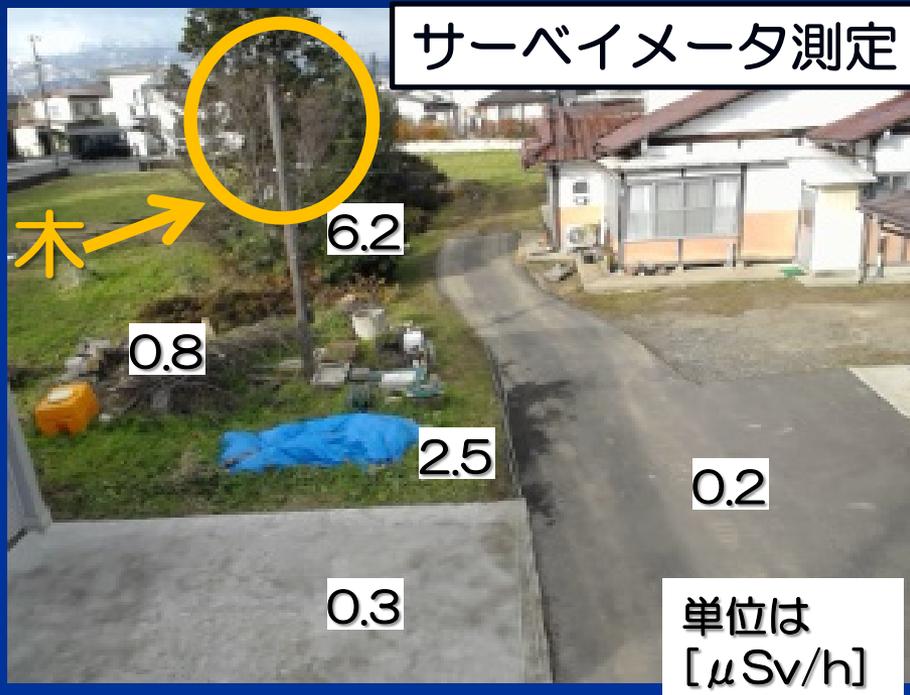
シンセー (株)  
個別受注



- 視野 $\sim 50^\circ$
- 角度分解能 $\sim 3.5^\circ$
- 製品価格 800万

# 民家での実証試験

測定時間：90分、測定距離：15.5m、高さ4m



\* 透明部分は平均以下

～ $1\mu\text{Sv/h}$ 以下の環境下で、数百平米を一度に  
リーズナブルな時間で放射能可視化

# 大学院生が研究の主役

2014年 日本医学物理学会学術大会  
の大会長賞を受賞！



2015年 日本医学物理学会学術大会  
優秀研究賞を受賞



- 2015年 日本医学物理学会学術大会 優秀研究賞
- 2015年 日本原子力学会 フェロー賞、およびポスター賞
- 2014年 第33回日本医用画像工学会大会 奨励賞
- 2014年 第107回日本医学物理学会学術大会 大会長賞
- 2013年 第106回日本医学物理学会学術大会 優秀研究賞

# Allskyモニター

FE 富士電機

Innovating Energy Technology

## コンプトンカメラ ガンマ・アイ エボリューション



COMPTON CAMERA

### 広範囲を可視化

高感度、広視野角(水平・垂直180°)でガンマ線源を素早く特定。

### 線量率測定・アラーム機能

常時線量率( $\mu\text{Sv/h}$ )を表示・記録することができ、通常のサーベイメータでは検知できない低レベルの汚染を発見し、アラームでお知らせすることが可能。

### 核種同定モードを搭載

放射性セシウム、ヨウ素、その他設定された核種の汚染分布を色分けして表示。

### 小型・軽量

本体重量約9kg以下、大きさ・重量とも従来製品の半分以下。

### 録画機能

セキュリティにも用いられている高性能ビデオカメラで通常時/アラーム時の映像を録画することが可能。

軽量化、  
ス、空港  
対策に、

北里大、東大  
中心に開発

COMPTON CAMERA



天井に設置しての  
測定が可能。

三脚に設置しての  
測定が可能。

### 仕様

〔機器名〕	ガンマ・アイ エボリューション
〔検出器〕	CsI(Tl)シンチレーション検出器
〔測定対象核種〕	Cs-134、Cs-137、I-131等(核種同定機能付き)
〔測定時間〕	約2分(1MBq相当・距離3mにて)
〔検出限界〕	約0.1MBq(10mにて)
〔最大視野角〕	360°(全方向)
〔電源〕	AC100V 50/60Hz、外部バッテリー
〔外形寸法〕	約100mm(高)×210mm(幅)×210mm(奥行)
〔外部出力〕	PC(専用ソフトウェア)、有線LANによる接続

■ 全方向型

■ 小型化、軽量化

■ 本体 < 8kg

■ 高感度化

■ さらに安価

### 安全に関するご注意

本製品は放射線計測器であり、放射線からの被曝を低減させるものではありません。放射線からの被曝を低減させるためには、放射線からの被曝を低減させるための適切な対策を講じてください。

TEL: 042-585-8024

© 2015 FUJIELECTRIC CO., LTD. All rights reserved.

Printed in Japan DEC 2015.10

# 福島県での測定

測定時間：70分、測定距離：3m、高さ2.5m

2D if t



- 全方向型、軽量・小型  
⇒ 方向を気にせず、庭の中心  
に三脚で検出器固定した測定

※数値はサーベイメータ  
測定値 (単位： $\mu\text{Sv/h}$ )

# 放射線医療施設での測定 ～患者の動画撮影～

- 再構成間隔：10秒、再構成距離：100 cm



トイレからの漏えいガンマ線の可視化に成功

# 患者がソファに座っている様子

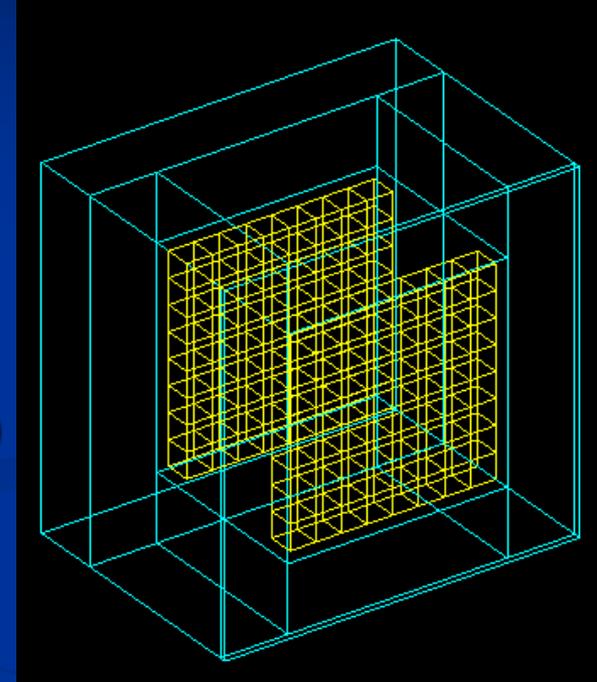
- 再構成間隔：10 秒、再構成距離：100 cm

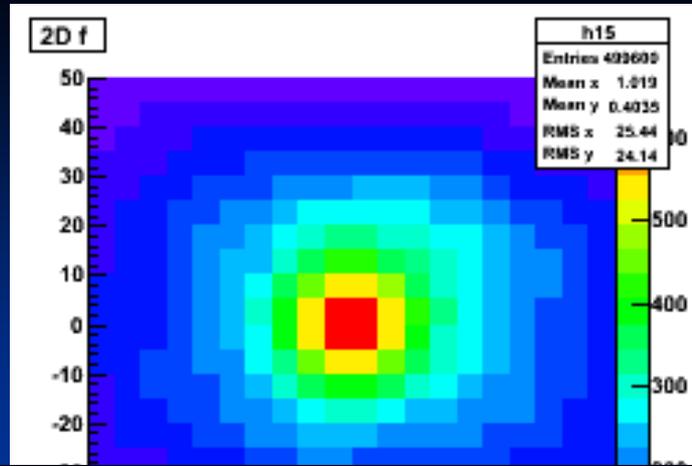


患者の位置の可視化に成功

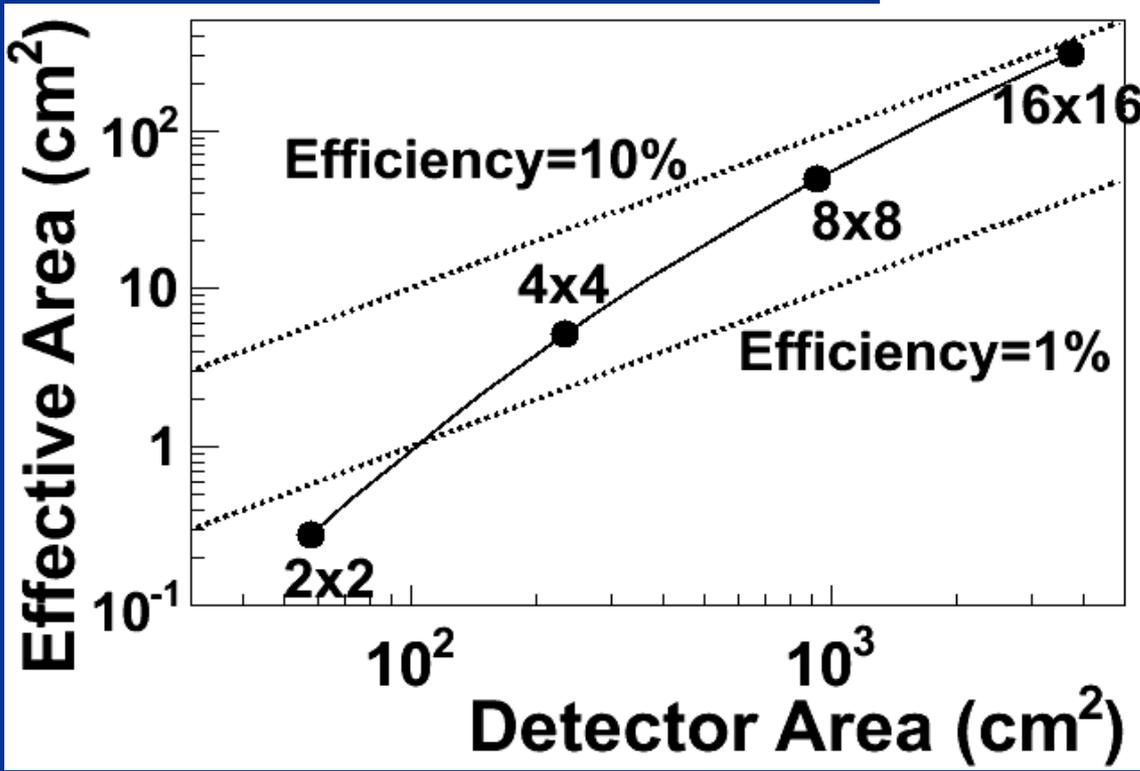
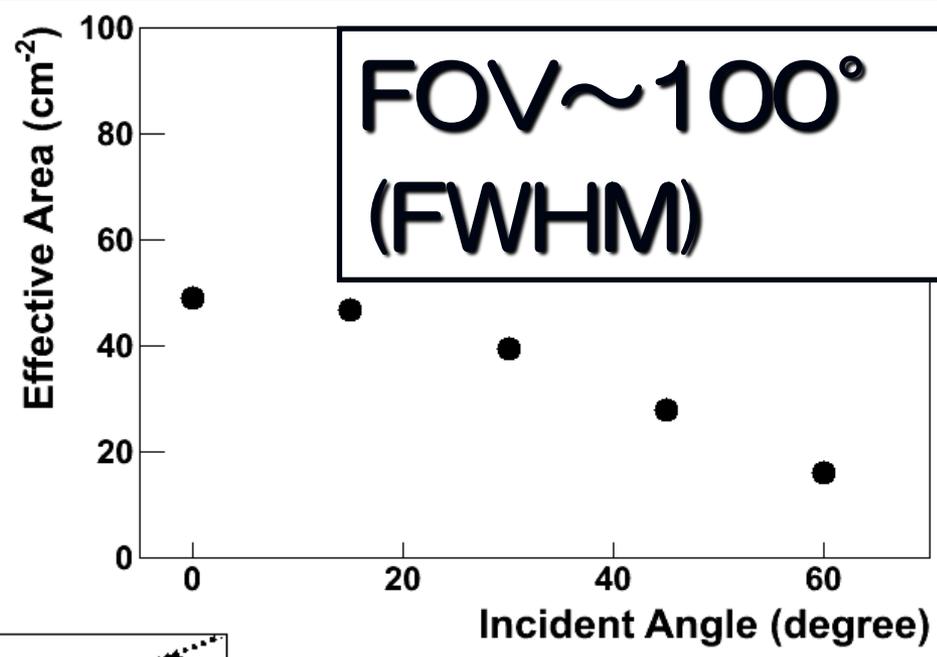
# 宇宙観測用カメラの検討 ～Geant 4 シミュレーション～

- 低リソースで、高感度、広視野
- 511keV (～1MeV前後)
- 仕様
  - 1層目 (コンプトン散乱体) NaI(Tl)  
安価、高 $\Delta E$  → 高 $\Delta\theta$
  - 2層目 (吸収体) BGO  
高原子番号 → 高検出効率
  - 厚み～3.81cm NaI(Tl)の1散乱長
  - 層間距離 > 21.6cm →  $\Delta\theta < \sim 10$ 度  
有効面積最大化するため、21.6cmで固定





$\Delta\theta \sim 10^\circ (\sigma)$



- (16x16の場合)
- ~61cm, 153kg
  - S ~ 308cm<sup>2</sup>
  - SΩ ~ 691cm<sup>2</sup> sr
- \* 参考値
- INTEGRAL/SPI  
SΩ ~ 5cm<sup>2</sup> sr
  - ASTROGAM  
SΩ ~ 277cm<sup>2</sup> sr

# まとめ

- 福島第一原発事故に起因する放射能を可視化する安価で高感度なコンプトンカメラ「 $\gamma$ I (ガンマアイ)」を開発した。
- ガンマアイの開発経験を生かして、この技術を宇宙線測定に利用できないか、検討している。
- 検出感度や現実的な制限（重量、価格など）を踏まえつつ、結晶種類、構造などの設計を検討中。