

# SMILE49: 豪州気球実験SMILE-2+における天体解析報告

吉川慶 (京都大学)

谷森達, 高田淳史, 水村好貴, 竹村泰斗, 中村優太,  
阿部光, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 谷口幹幸, 小野坂健,  
斎藤要, 水本哲矢, 園田真也, 窪秀利, 黒澤俊介<sup>A</sup>,  
身内賢太郎<sup>B</sup>, 澤野達哉<sup>C</sup>, 濱口健二<sup>D</sup> 小財正義<sup>E</sup>, 荘司泰弘<sup>F</sup>  
京大理 <sup>A</sup>東北大NICHe <sup>B</sup>神大理 <sup>C</sup>金沢大  
<sup>D</sup>メリーランド大 <sup>E</sup>ISAS/JAXA <sup>F</sup>阪大工

写真：放球直前 @ オーストラリア, アリススプリングス, 2018/4/7

# 目次

---

- 銀河系内拡散ガンマ線
- 電子飛跡検出型コンプトンカメラ ETCC
- SMILE-2+実験 これまでのまとめ
- 検出器シミュレーションと応答関数
- 応答関数の引き戻し
  - 地上実験  $^{137}\text{Cs}$
  - フライトデータ 系内拡散ガンマ線
- まとめ

# 銀河系内拡散ガンマ線

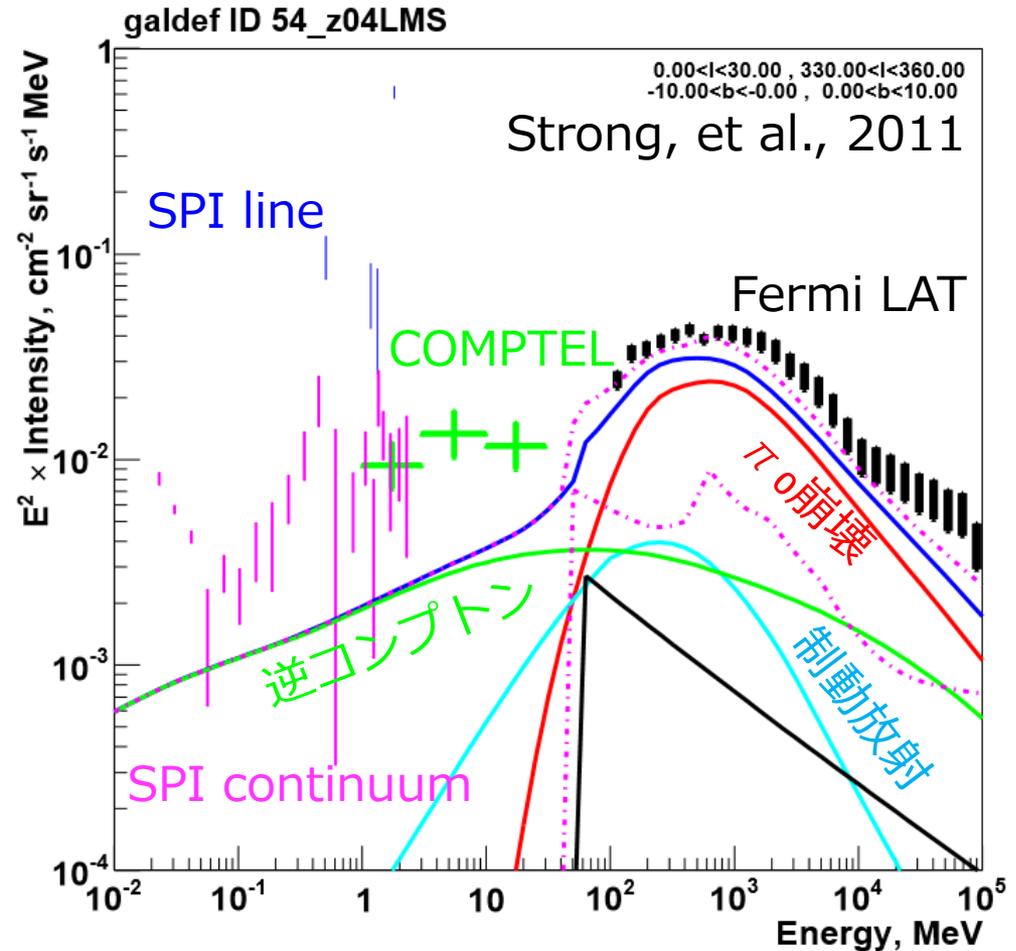
- COMPTEL、INTEGRAL等が観測
- GeV付近は $\pi^0$ 放射で観測を説明。
- MeV付近は、 $\sim 1$ 桁観測が高い。

未分解の天体由来？

軽いダークマター由来？

MeV付近を議論できない原因

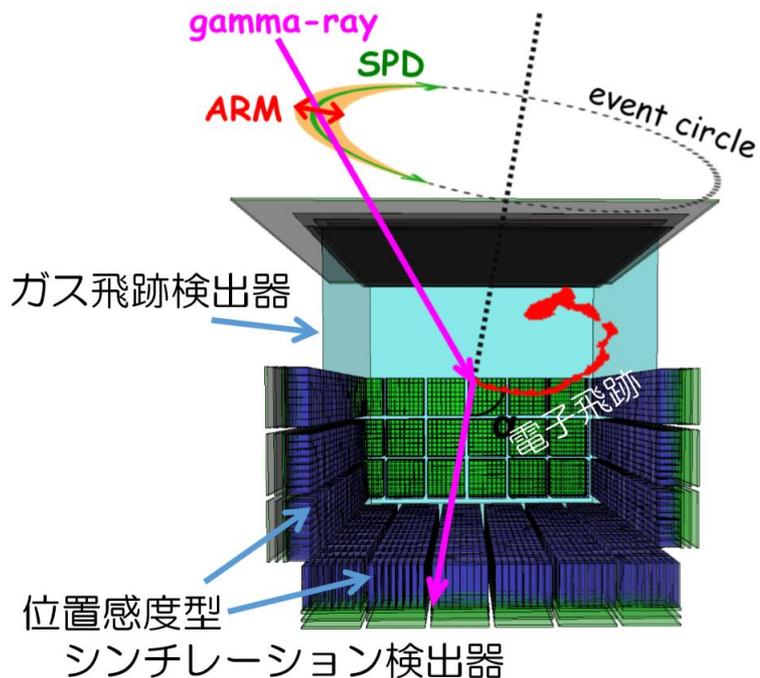
- 信号雑音比が100倍以上
- 明るい天体による漏れ込みを制限できていない



次世代MeVガンマ線  
望遠鏡への要請

数百keV ~ 100 MeVの広帯域  
全天探査の為に広い視野  
高S/Nのために強力な雑音除去能力, 高角度分解能

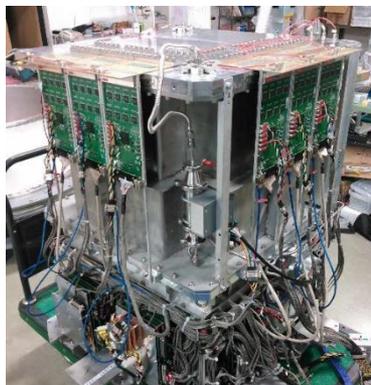
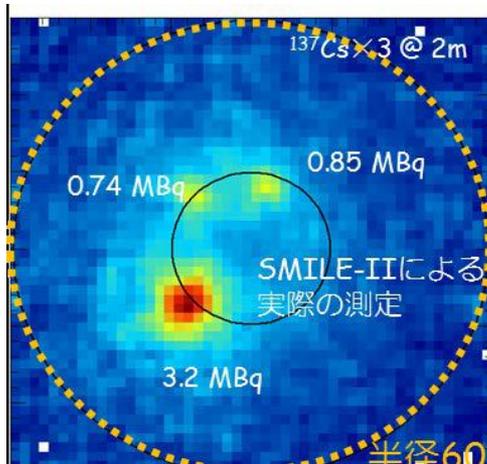
# 電子飛跡検出型コンプトンカメラ ETCC



- ガス飛跡検出器(TPC + GEM +  $\mu$ PIC)  
反跳電子の飛跡とエネルギー
- 位置有感シンチレーション検出器(GSO + PMT)  
散乱ガンマ線の吸収点とエネルギー



検出事象ごとに  
コンプトン散乱における全物理量を取得

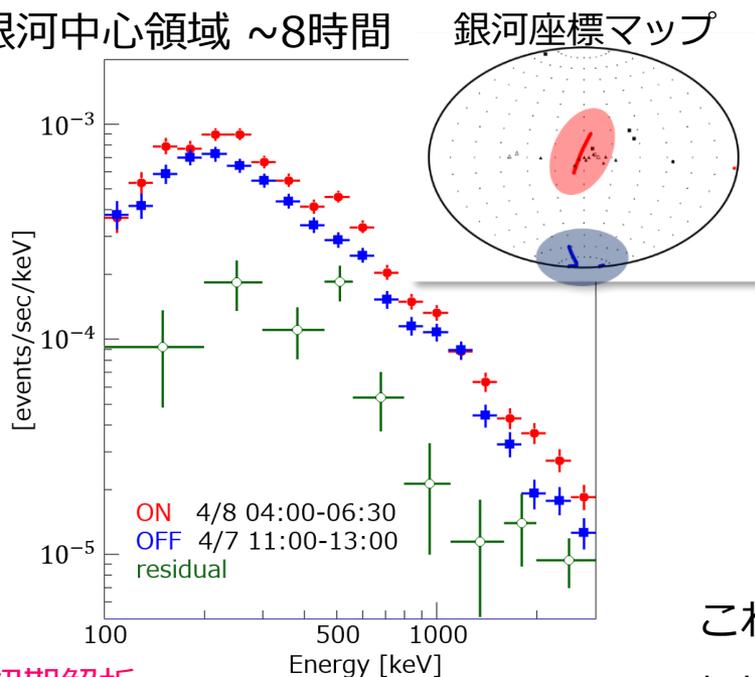


SMILE-2+ ETCC

- 到来方向を一意に決定
- 天空上の像の拡がり関数PSFを厳密定義
- 大きな視野  $\sim 3$  str
- $\alpha$ 角によるコンプトン散乱運動学テストとエネルギー損失率による粒子識別で冗長な雑音除去能力

# SMILE-2+ これまでのまとめ

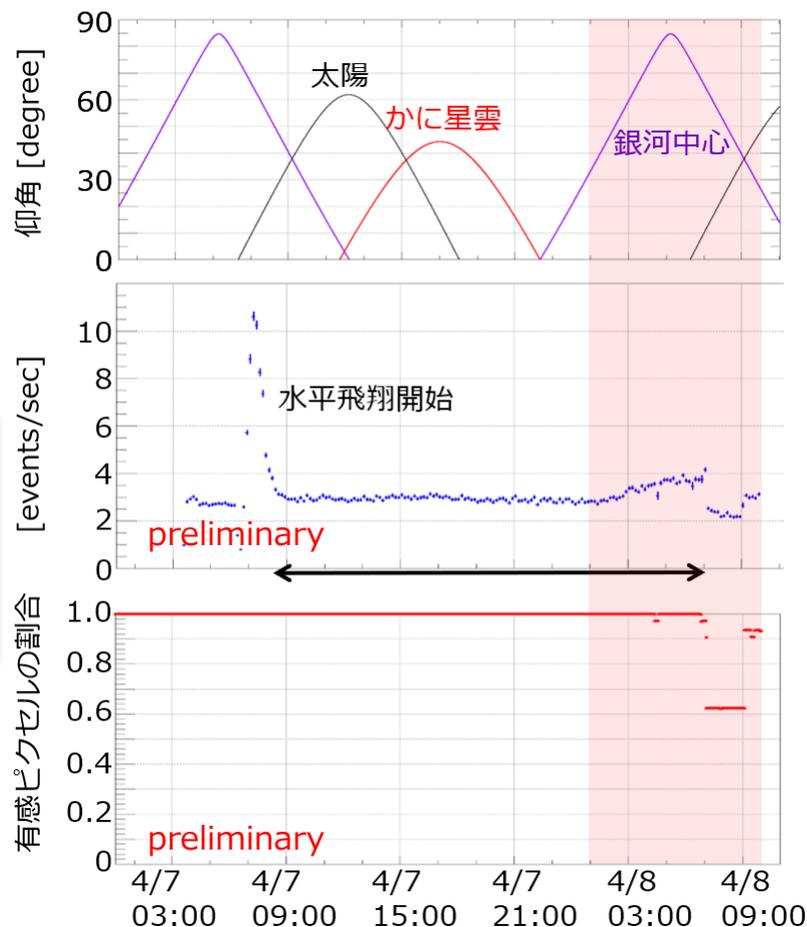
- 目的 明るい天体の観測による撮像分光能力の実証
- 2018/4/7-8 オーストラリア
- 水平飛行 26時間 高度 ~39 km
- かに星雲 ~6時間
- 銀河中心領域 ~8時間



初期解析 :

5.5 $\sigma$  @ 460 - 560 keV

10.0 $\sigma$  @ 100 - 3000 keV



これまでは検出事象数による初期解析。

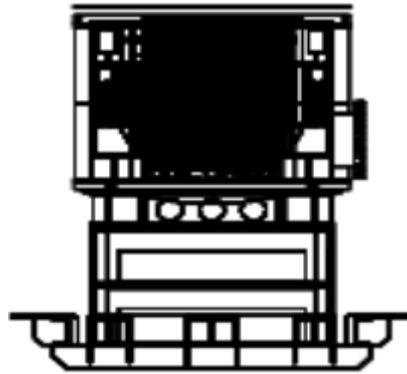
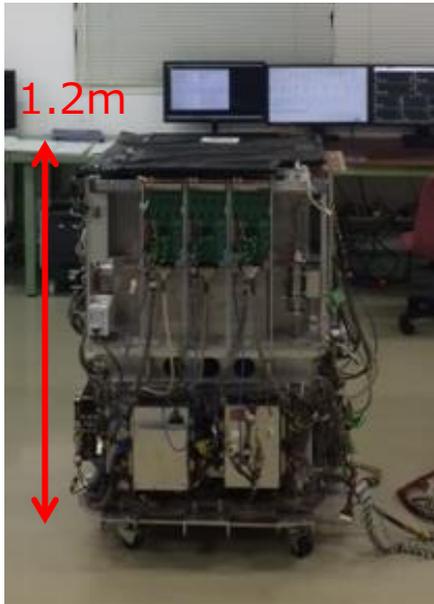
初期解析の結果は予定通り。

今回は光子数による詳細解析の話をしてします。

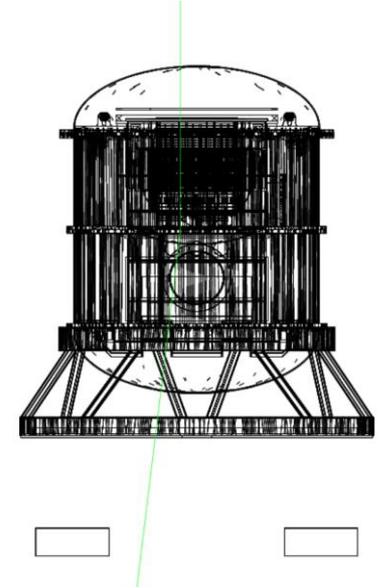
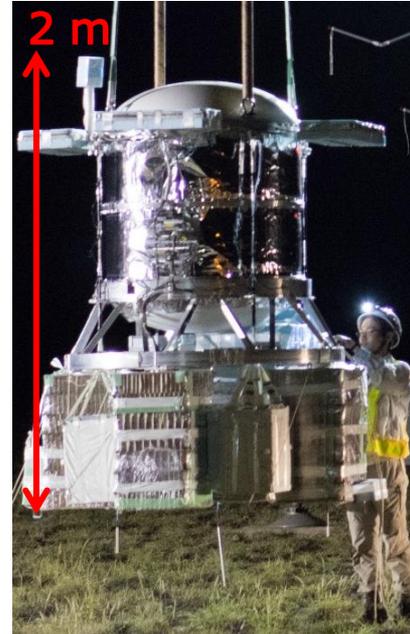
# 検出器シミュレーション

- Geant4 4.10.04.p02
- ele-mag G4EmLivermorePhysics

地上実験モデル



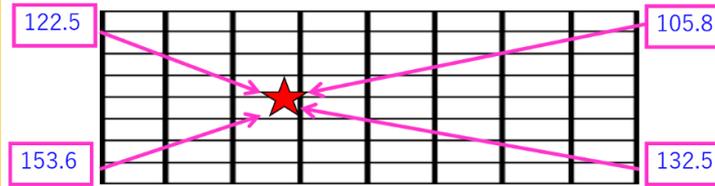
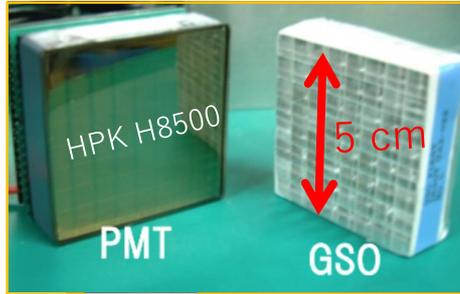
フライトモデル



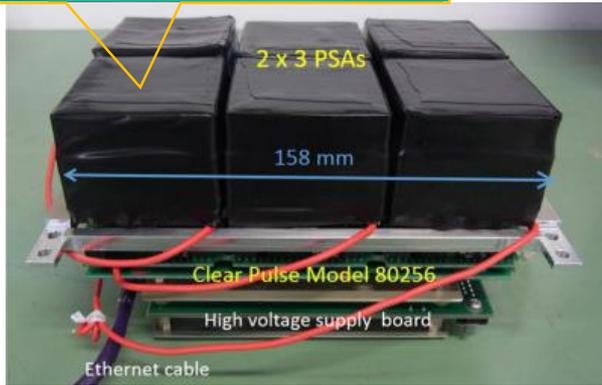
[kg]	実測	シミュレーション
全体	511.0	514.6
与圧容器	95.9	90.8
システム部	132.2	138.9

地上実験・フライトモデルそれぞれジオメトリを作成。

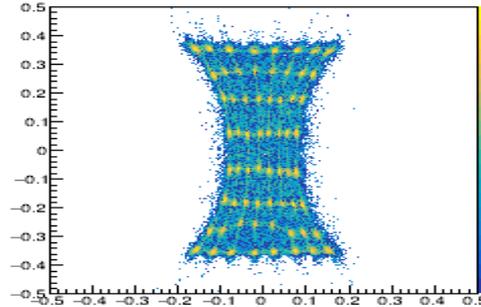
# エミュレータの構築 シンチレーション検出器



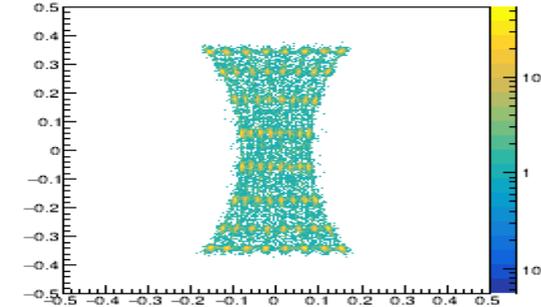
8x8ピクセルを抵抗でつなぎ  
4端読み出し重心演算で位置取得



実測

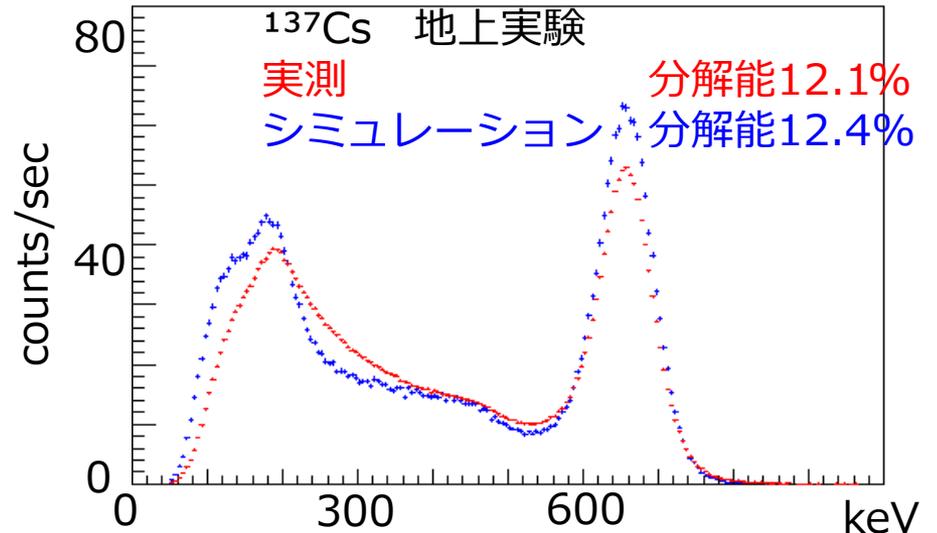


シミュレーション

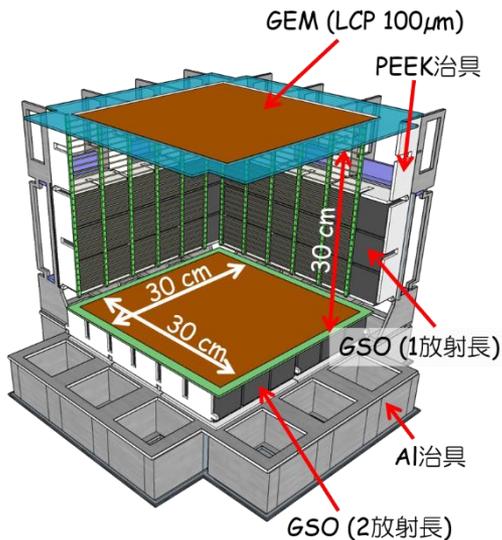


## 論理

- Geant4→エネルギー・位置を取得
- 周囲のピクセルへのリーク(~40%)計算
- 1ピクセルエネルギー分解能でぼかす。  
(~11%@662keV)
- 抵抗比で分割・4端で値を取得
- 値をゲインでスケール
- データフォーマット化



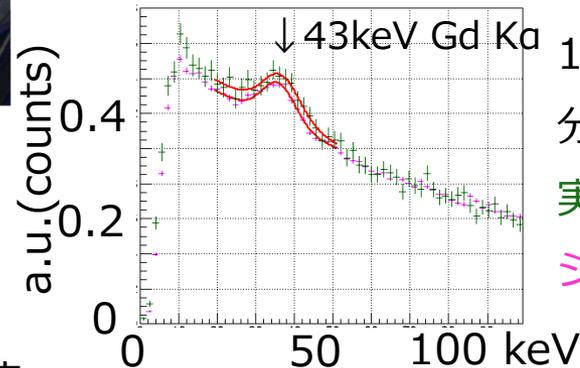
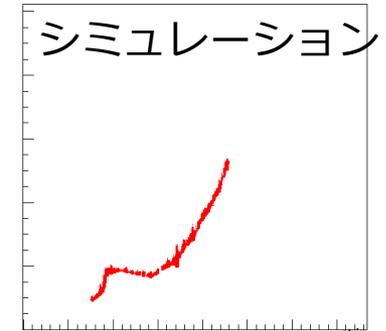
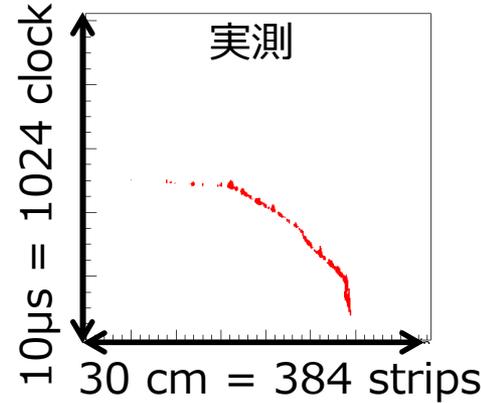
# エミュレータの構築 ガス飛跡検出器



Ar CF4 isoC4H10 2気圧

## 論理

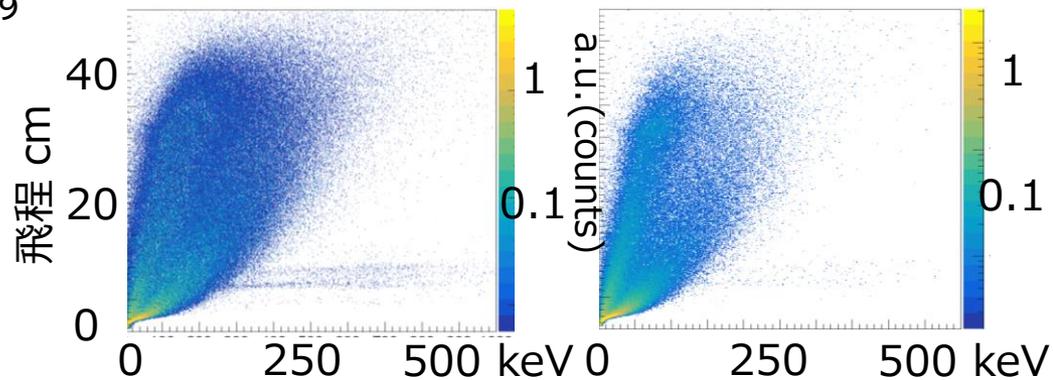
- Geant4→エネルギー・位置を取得
- トリガータイミング揺らぎ10nsでほかす
- W値27.2keV
- ファノファクター 0.2
- 電子数をポアソン分布で振る。
- ドリフト時間に合わせて、位置を拡散
- GEM、uPICポリア分布で増幅
- 回路応答を適用
- データフォーマット化



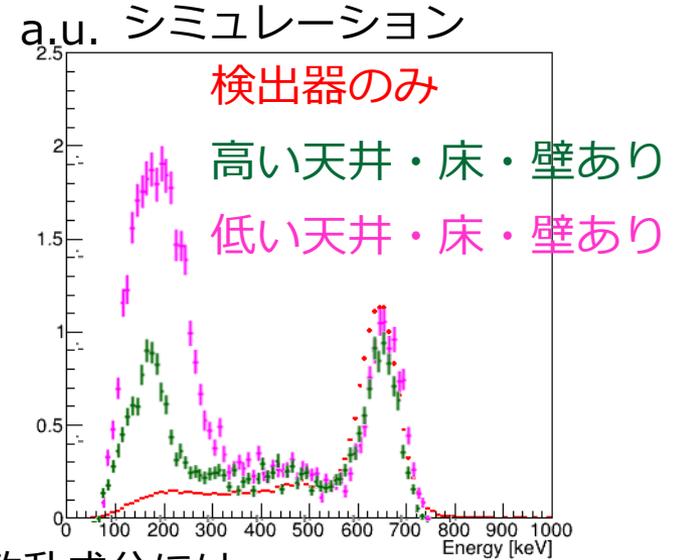
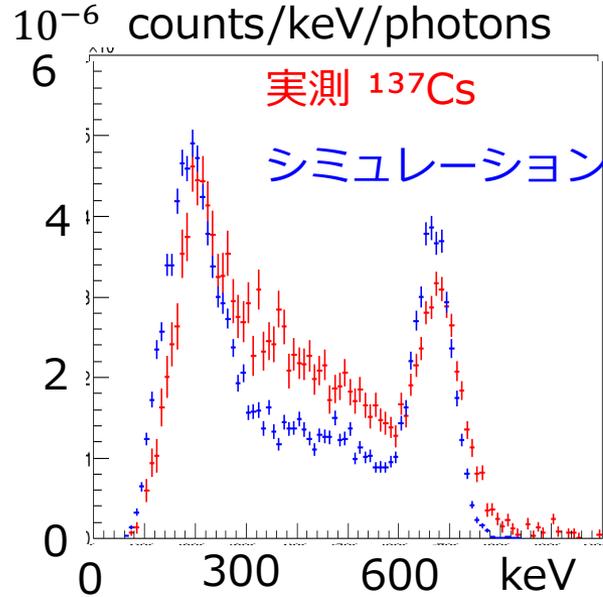
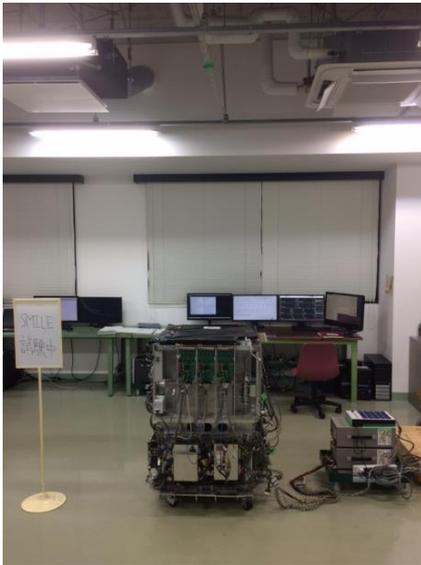
137Csスペクトル  
分解能

実測30.5%

シミュレーション28.1%



# エミュレータの構築 ETCC

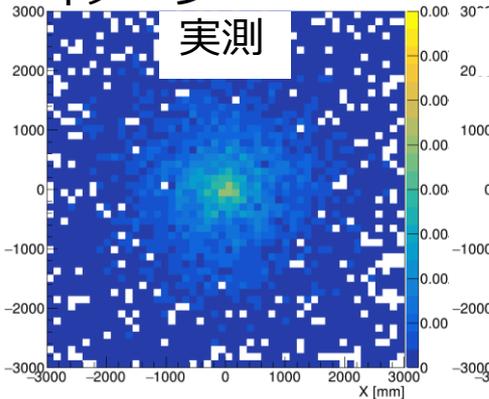


散乱成分には

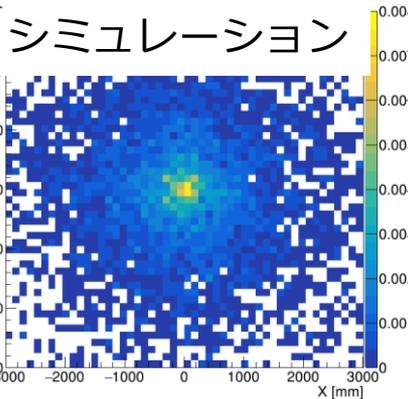
近い物、重たい物、天井の影響力大

イメージ

実測



シミュレーション



有効面積 662keV

実測 点源  $^{137}\text{Cs}$

$0.221 \pm 0.004 \text{ cm}^2$

シミュレーション 点源 地上実験モデル  $0.244 \pm 0.003 \text{ cm}^2$

シミュレーション 平行光 地上実験モデル  $0.224 \pm 0.007 \text{ cm}^2$

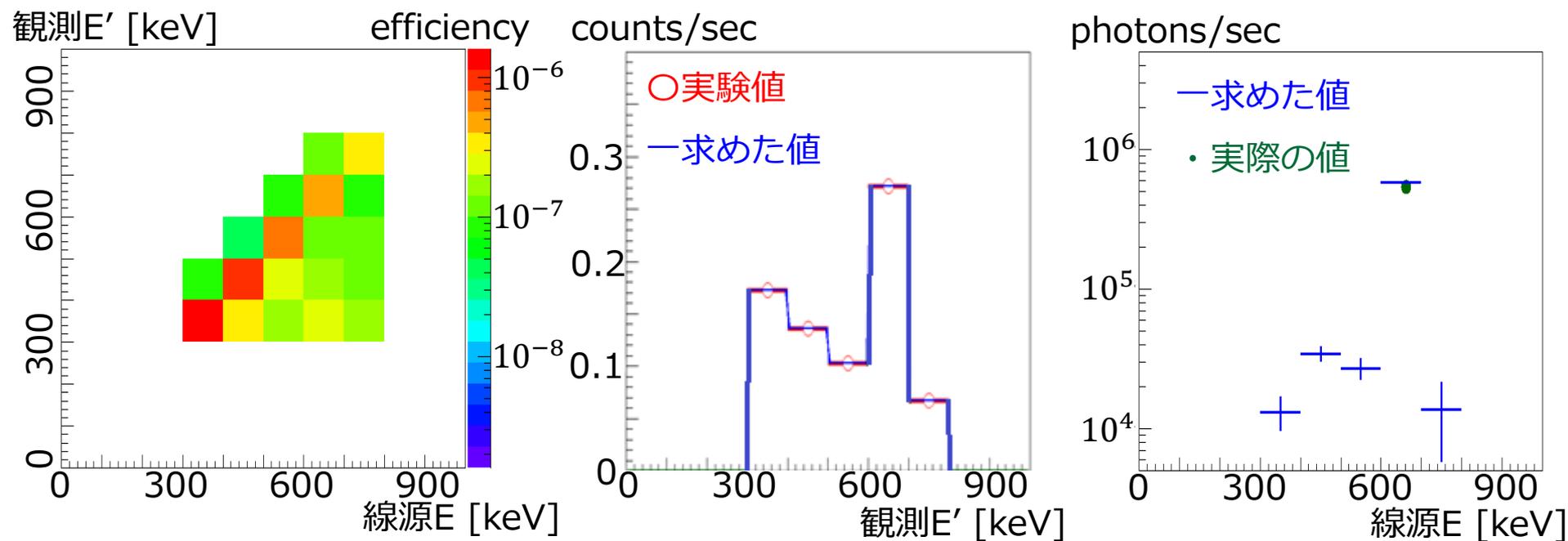
シミュレーション 平行光 フライトモデル  $0.221 \pm 0.005 \text{ cm}^2$

60条件で測定。体系的にエミュレータと比較中。

おおむね実測を再現するエミュレータが完成した。応答関数を作成可能に

# 地上実験での $^{137}\text{Cs}$ の強度算出

- 線源位置は既知。エネルギーEごとの強度[photons/sec]を求める。
- フォワードフォールディング(350, 450, 550, 650, 750 keV lineモデル)
- 観測量( $E'$ )[counts/sec] =  $\sum$  efficiency( $E, E'$ )  $\times$  線源強度( $E$ )[photons/sec]

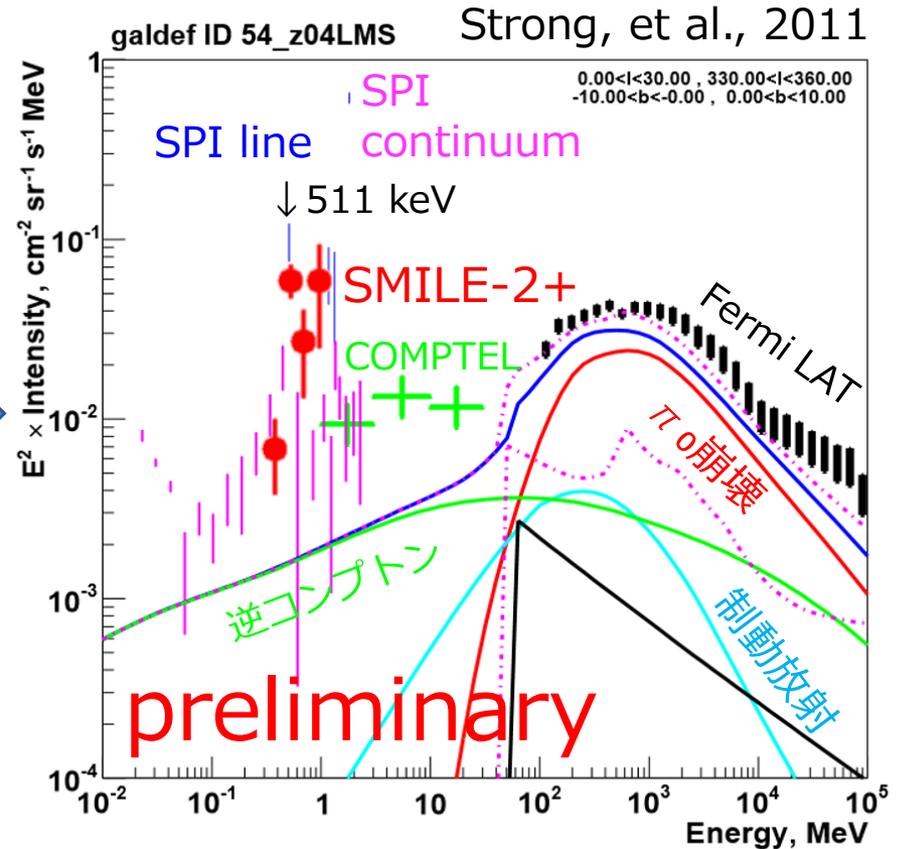
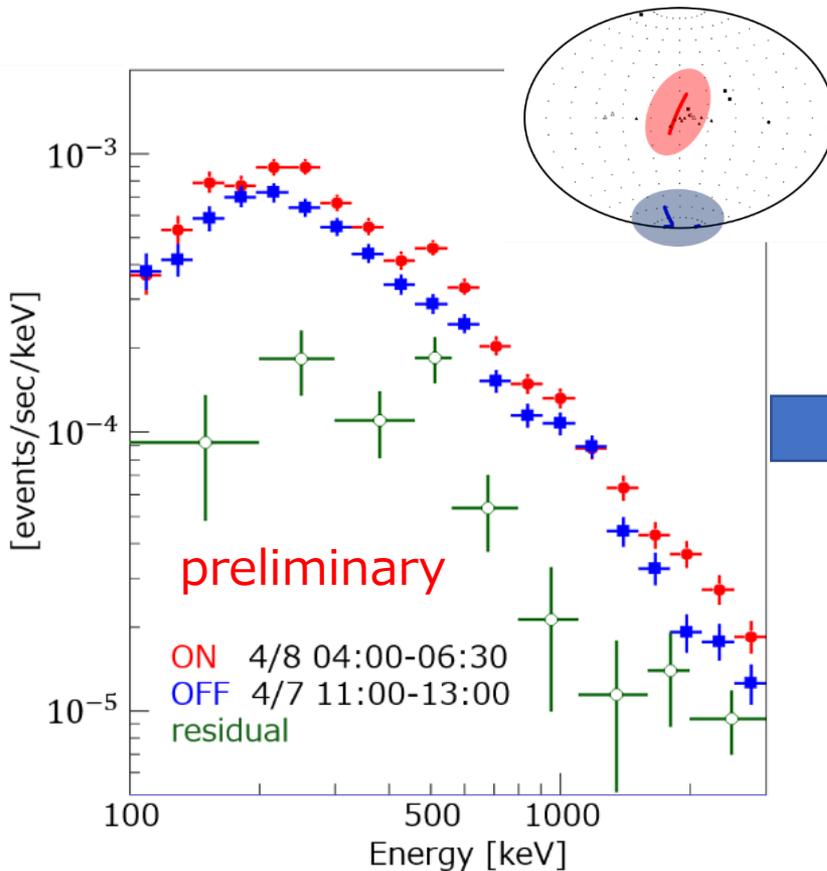


求めた線源強度と、実際の線源強度が誤差 $\sim 10\%$ で一致。

650 keV以外の成分が数%ずつある理由：

- ① Geant4ジオメトリにはない物からの散乱成分。
- ② シミュレーションのずれ

# 銀河中心領域での強度算出



他の観測と近い値を算出。解析や、特に誤差の評価はこれから詰めていく。

この結果から分かること:

- ① SMILE-2+の解析の先に、軽いダークマターの制限など、さまざまな物理がある。
- ② この延長線上の将来の衛星観測で、sub-mCrabの感度が実現できる。

# まとめ

---

- SMILE-2+の目的は天体観測によるイメージングの実証
- 2018年4月にオーストラリアで気球実験を実施。
- 1日のフライトで銀河中心領域を8時間、かに星雲を6時間の観測に成功した。
  
- 今回、検出器を再現するエミュレータを作成し、実測と比較した。
- 実験環境も合わせこまないと、正確なエミュレータは作成できない。
- レスポンスを作成し、地上実験での $^{137}\text{Cs}$ の強度を算出し、誤差 $\sim 10\%$
- 銀河中心領域からのスペクトルを算出。これまでの観測と近い値。
  
- 今後、検出器のシミュレーションの改善・バックグラウンド事象の評価、レスポンス引き戻し法の確立し、系内・系外・大気拡散ガンマ線の算出、銀河座標マップを作成する。
  
- この延長線上の将来の衛星観測で、sub-mCrabの感度が実現できる。

# シンチレーション検出器のスペクトル比較

