



# SMILE

高田 淳史 (京大理)

# MeVガンマ線天文学

## ◆ 元素合成

**SNR** : 放射性同位体

**銀河面** :  $^{26}\text{Al}$ ・電子陽電子対消滅線

## ◆ 粒子加速

**ジェット (AGN)** :

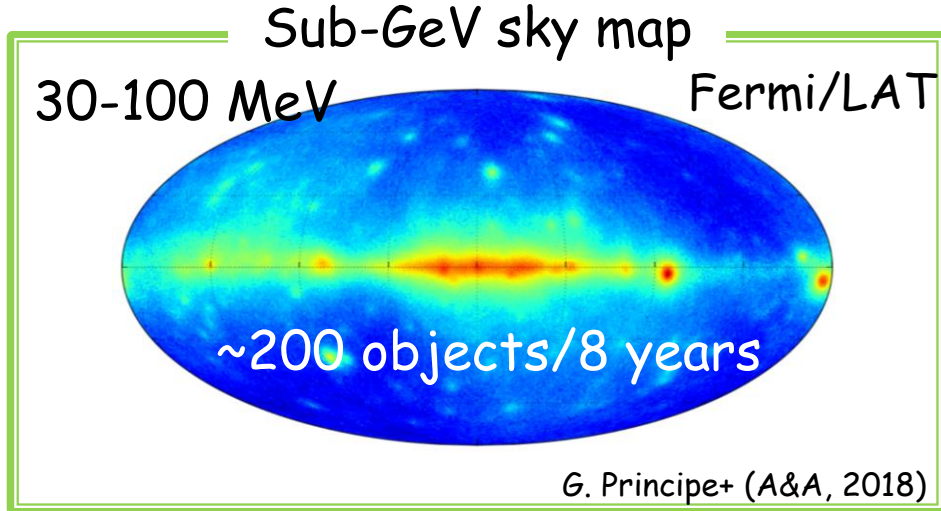
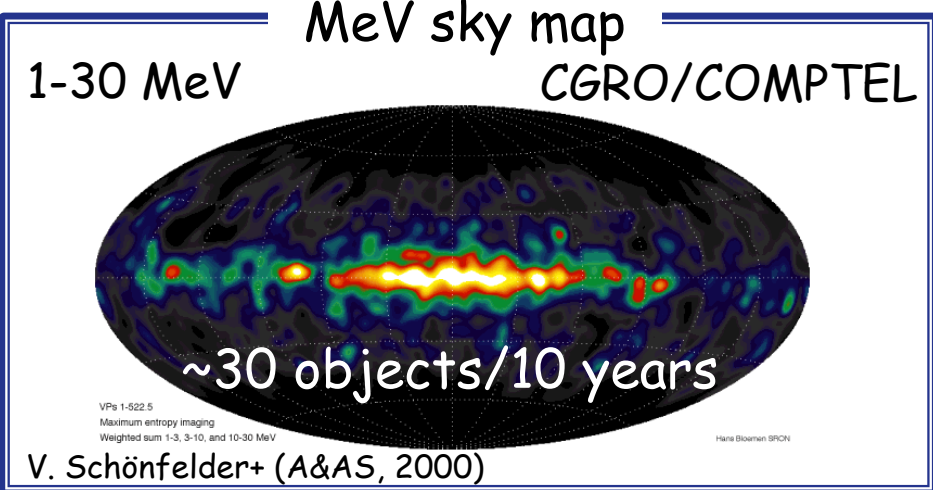
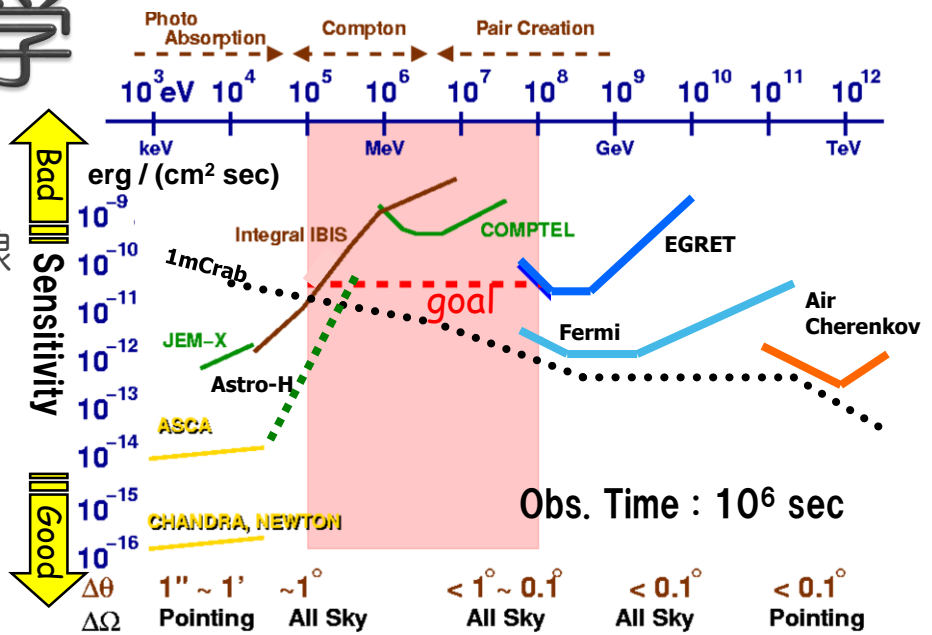
シンクロトロン + 逆コンプトン

## ◆ 強い重力場

**Black hole** : 降着円盤,  $\pi^0$

## ◆ Etc.

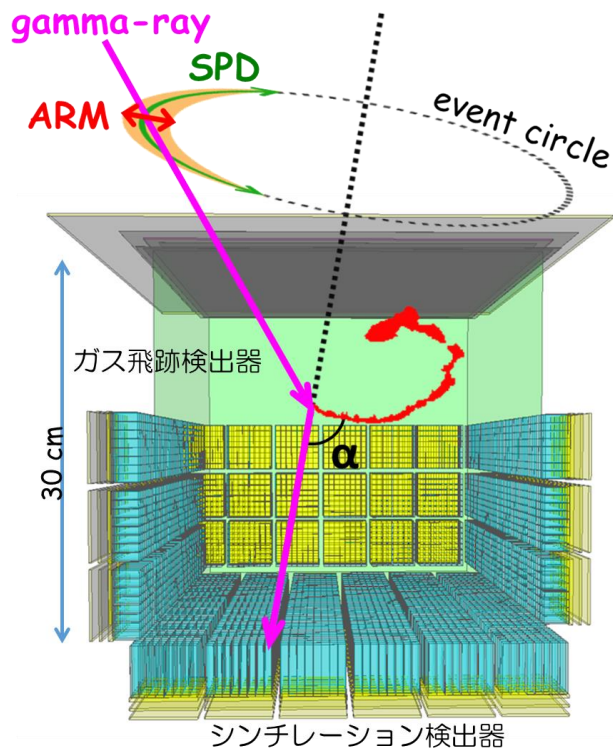
ガンマ線パルサー, 太陽フレア



次世代MeVガンマ線望遠鏡への要請

- 数百keV ~ 100 MeVの広帯域
- 全天探査の為の広い視野
- 高S/Nの鮮明な画像

# 電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡 (ETCC)



## ➤ ガス飛跡検出器

コンプトン反跳電子の  
飛跡とエネルギー

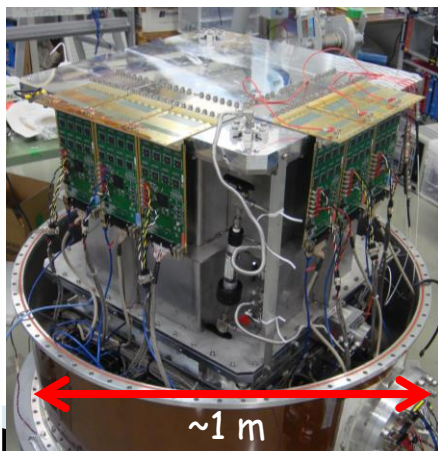
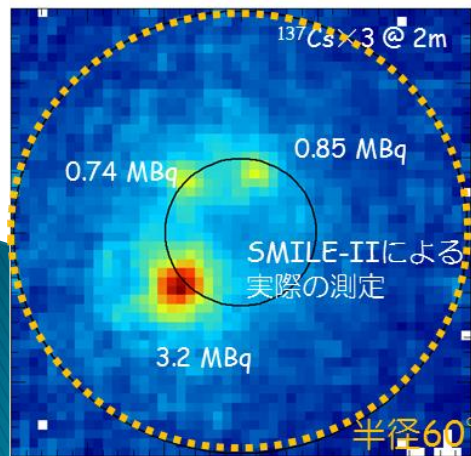
## ➤ ピクセルシンチレータアレイ

コンプトン散乱ガンマ線の  
吸収点とエネルギー



検出事象ごとに  
コンプトン散乱を完全に再現

## GSOシンチレータ



SMILE-2+ ETCC

- ▶ 到来方向とエネルギーを一意に特定
- ▶ 大きな視野 (~3 sr)
- ▶ **電子飛跡による鋭いPSF**  
⇒ 範囲外の雑音をイメージングで除去
- ▶  **$\alpha$ 角によるコンプトン散乱運動学テストと  $dE/dx$ による粒子識別による雑音除去能力**  
⇒ 重いVETO検出器が不要

# SMILE-2+

## ➤ 搭載機器

帯域：0.3~5 MeV

有効面積：~1 cm<sup>2</sup> (0.3 MeV)

PSF：~20° (0.6 MeV)

重量：511 kg 消費電力：~250W

## ➤ 観測対象：

銀河中心領域の511 keV

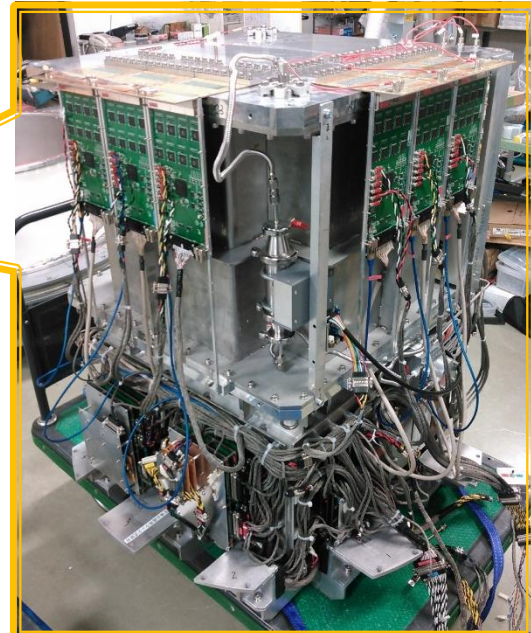
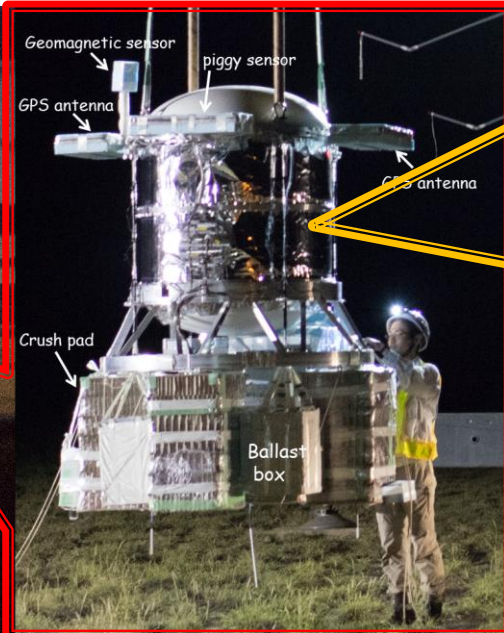
かに星雲

➤ 2018年4月7日 6:24 (ACST)放球

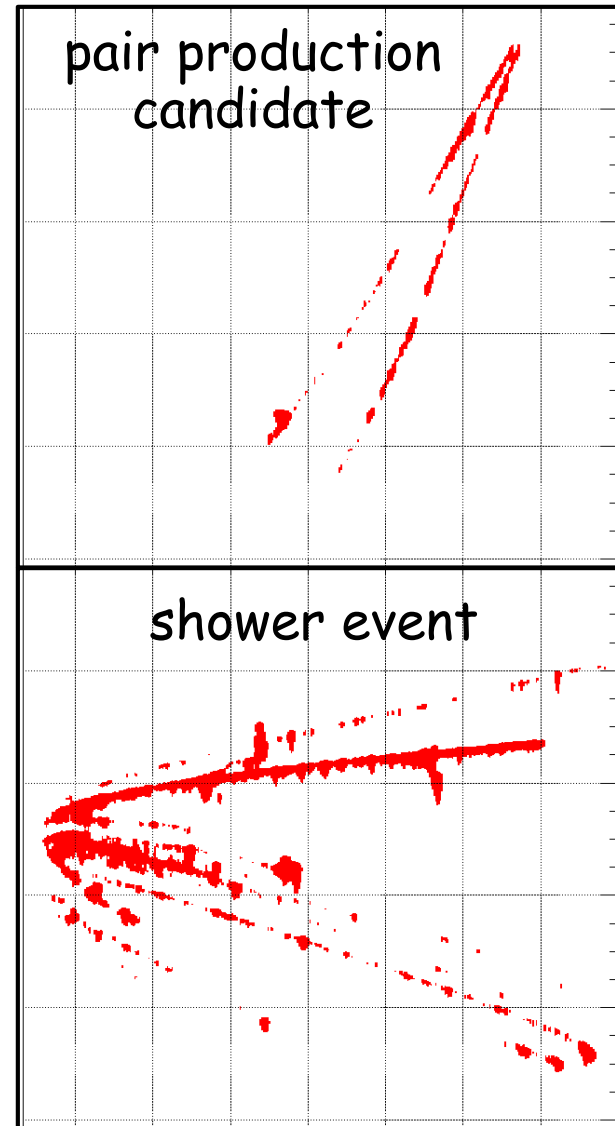
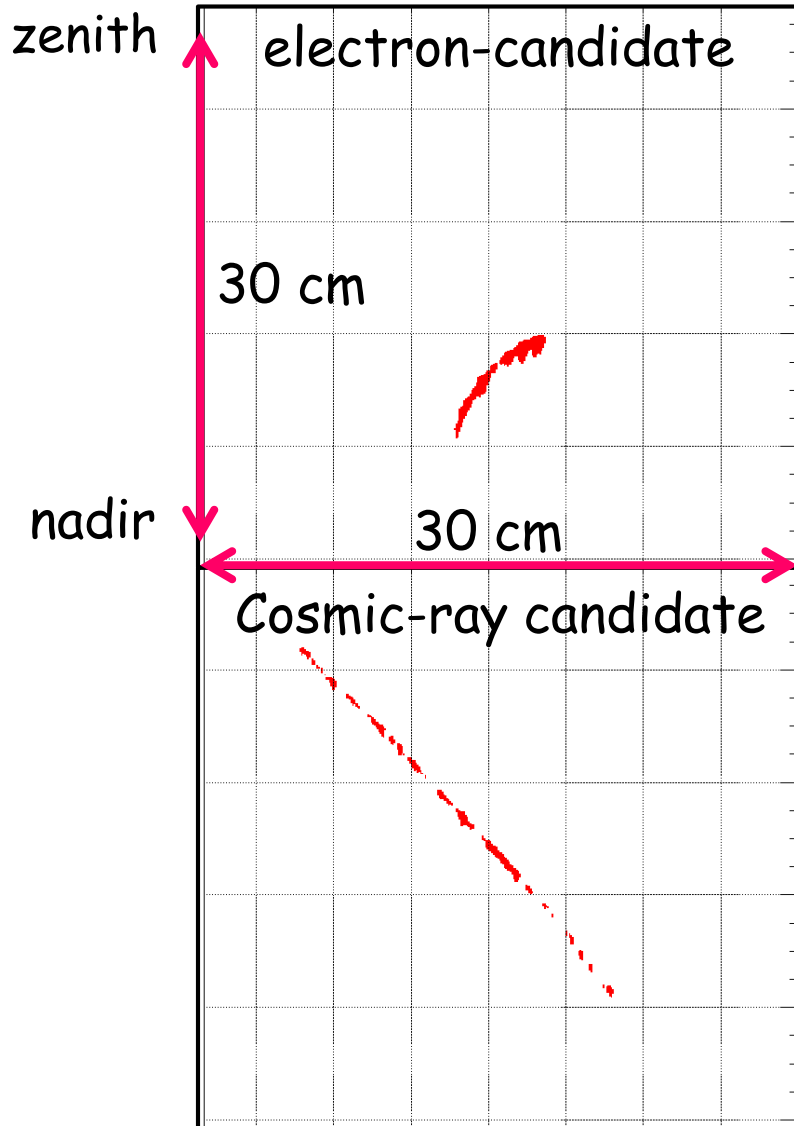
➤ 高度 >38 kmで~26時間の水平浮遊

➤ ETCCは飛翔中おおよそ安定に動作

➤ 機器は2018年4月9日に無事回収 ⇒ 現在も京大で動作中

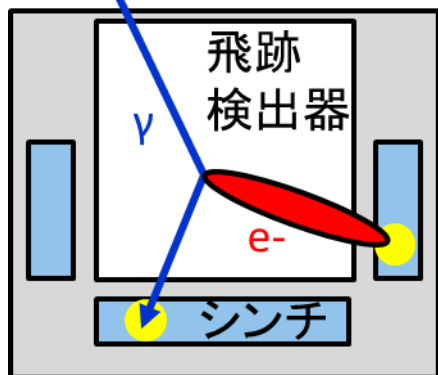


# 上空で取得した荷電粒子の飛跡

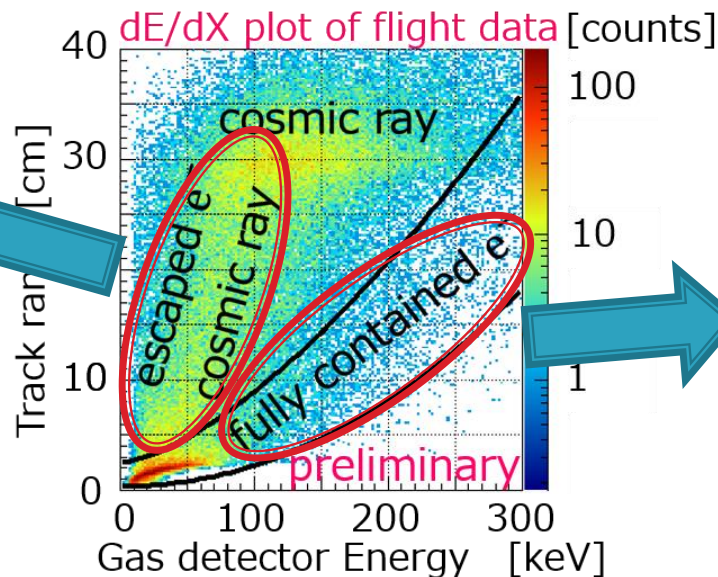
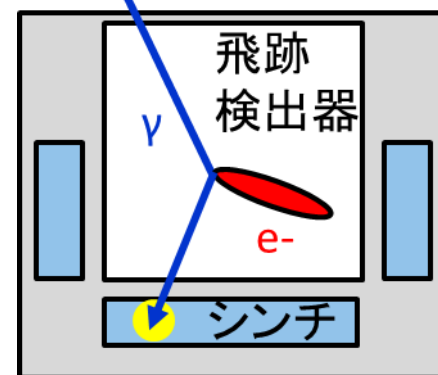


# ETCCのガンマ線解析

高エネルギー事象  
(for  $> 1$  MeV)



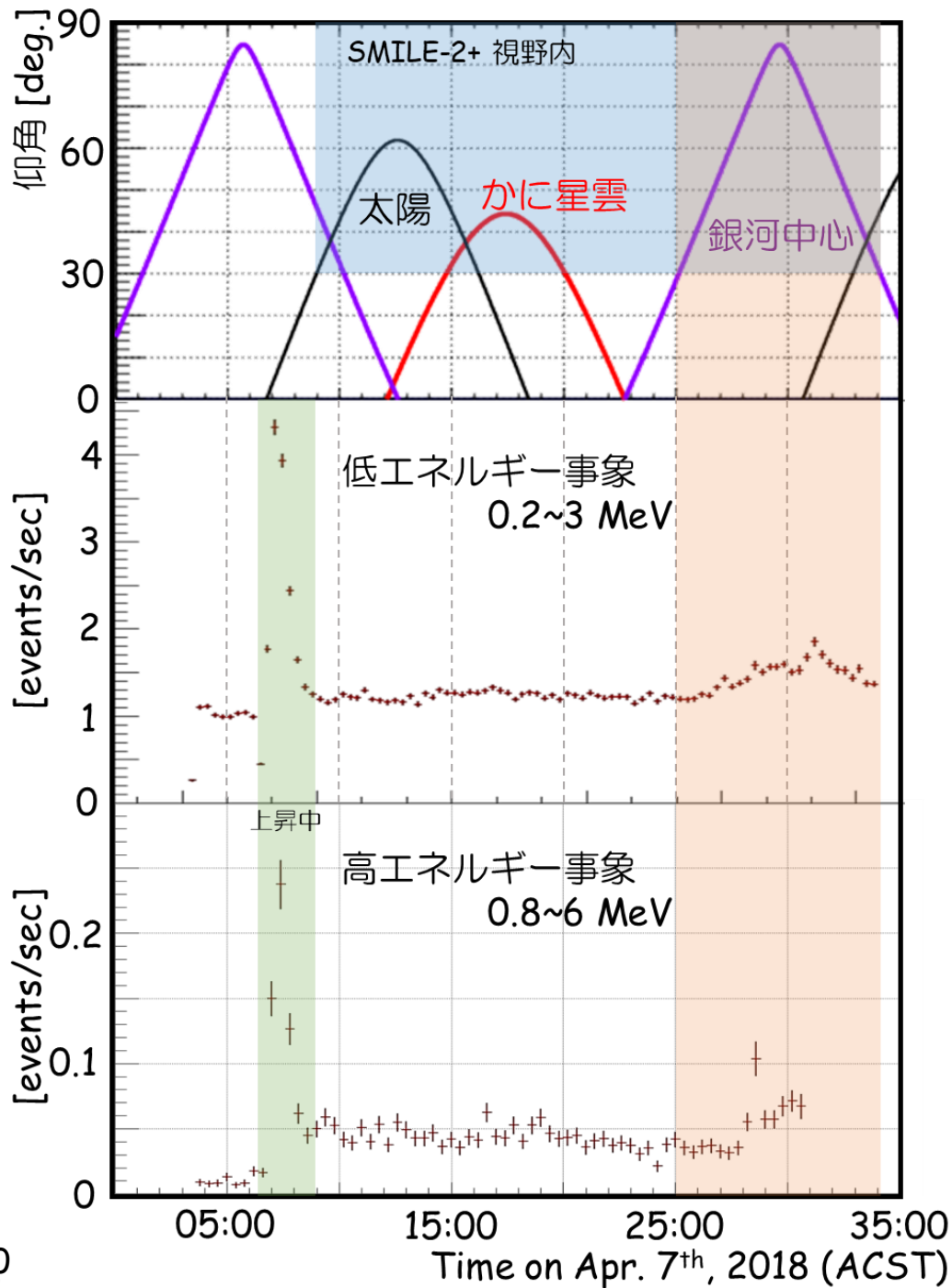
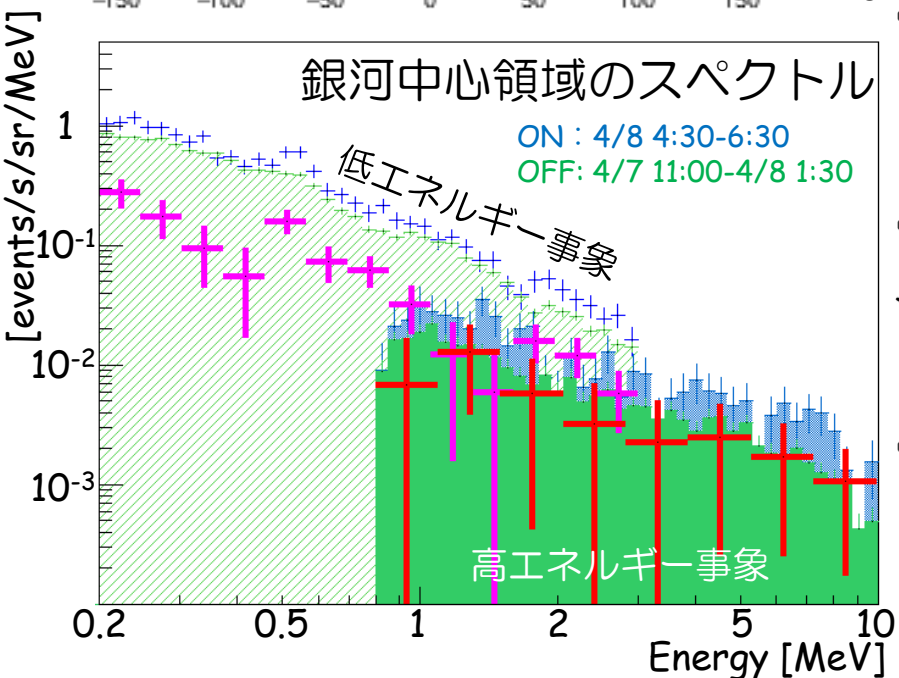
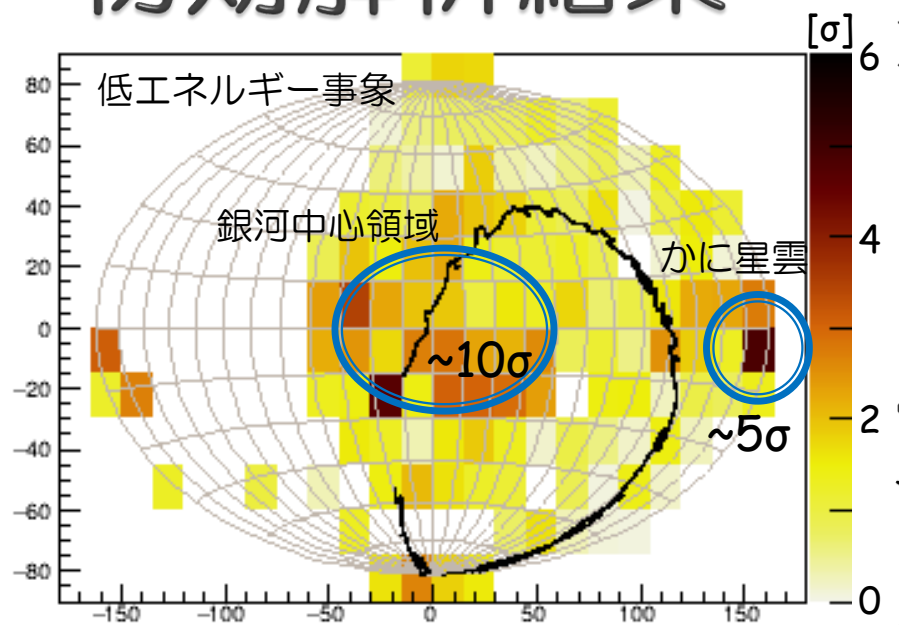
低エネルギー事象  
(for  $< 1$  MeV)



1. double scintillator hit
2. escaped electron
3. 飛跡-シンチ間の接続状況
4. 有効体積内に散乱点がある
5.  $\alpha$ 角でのCompton散乱の保証

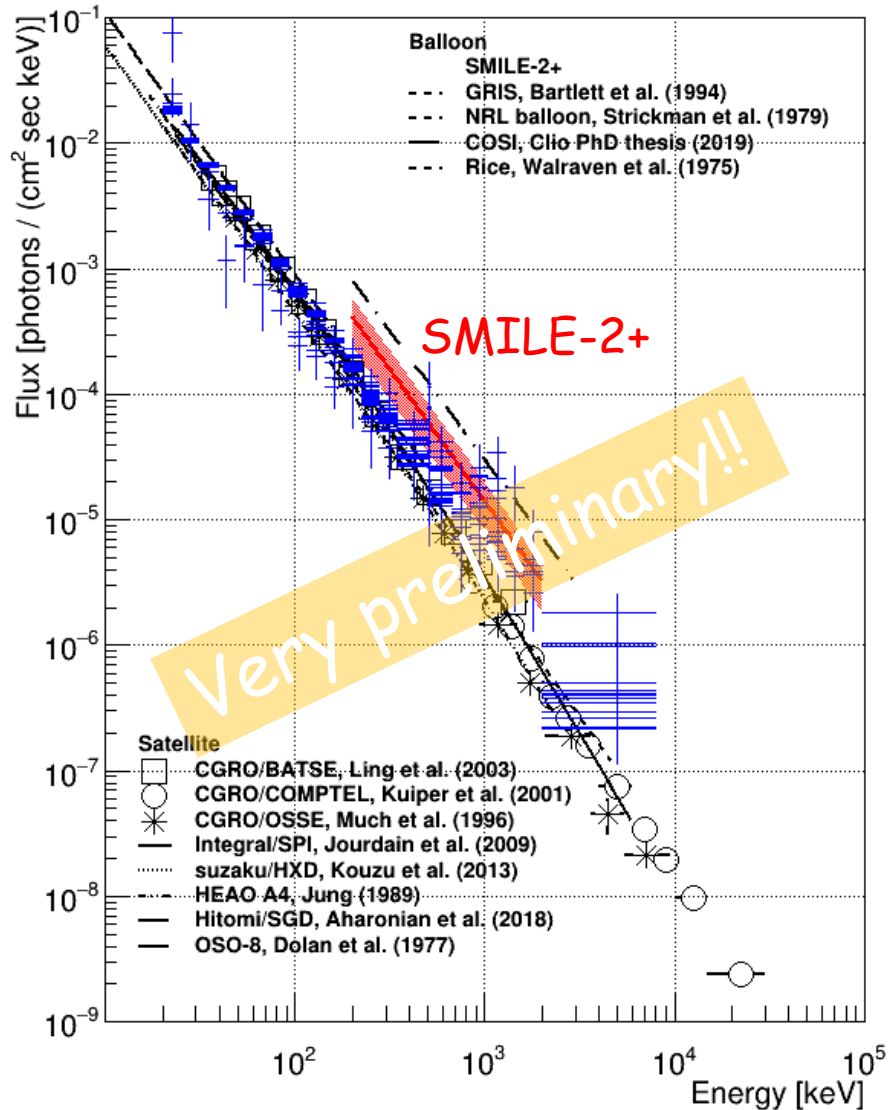
1. single scintillator hit
2. 有効体積内に散乱点がある
3. fully contained electron
4.  $\alpha$ 角でのCompton散乱の保証

# 初期解析結果

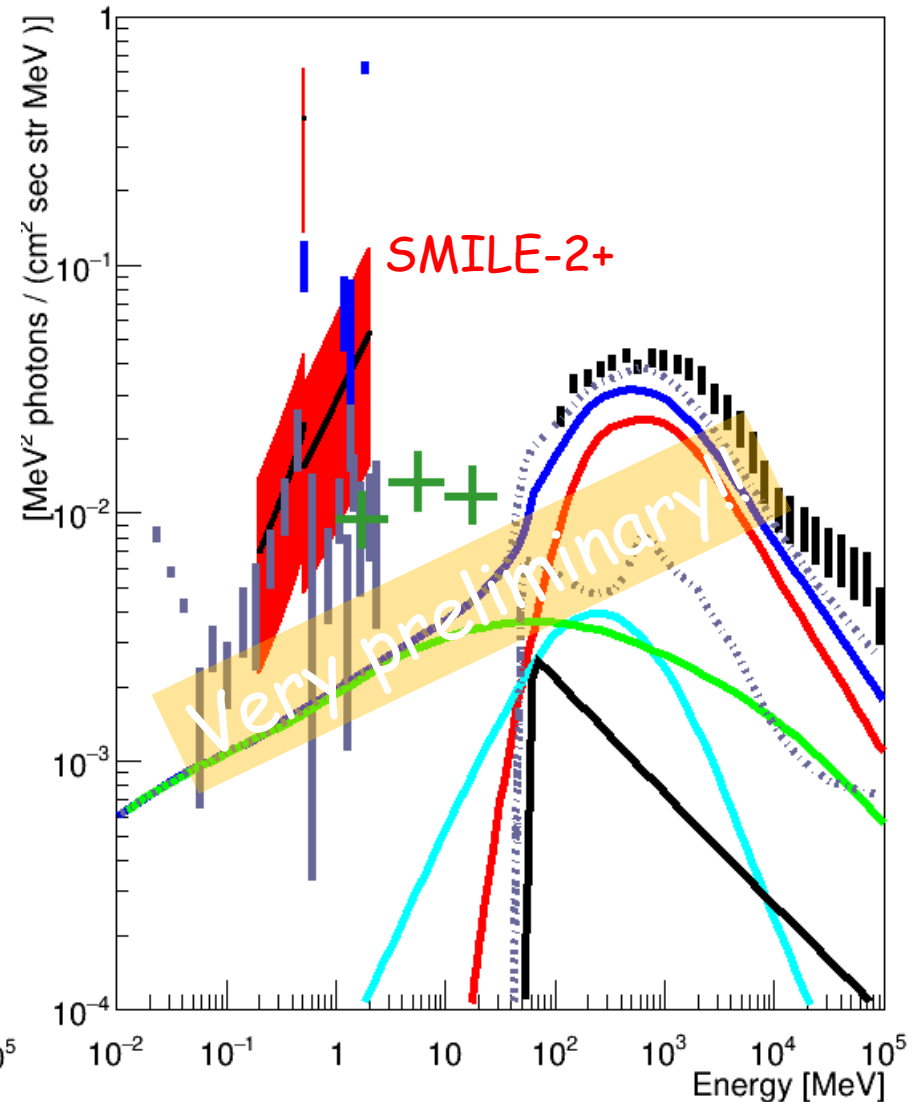


# 低エネルギー事象から得たflux

かに星雲



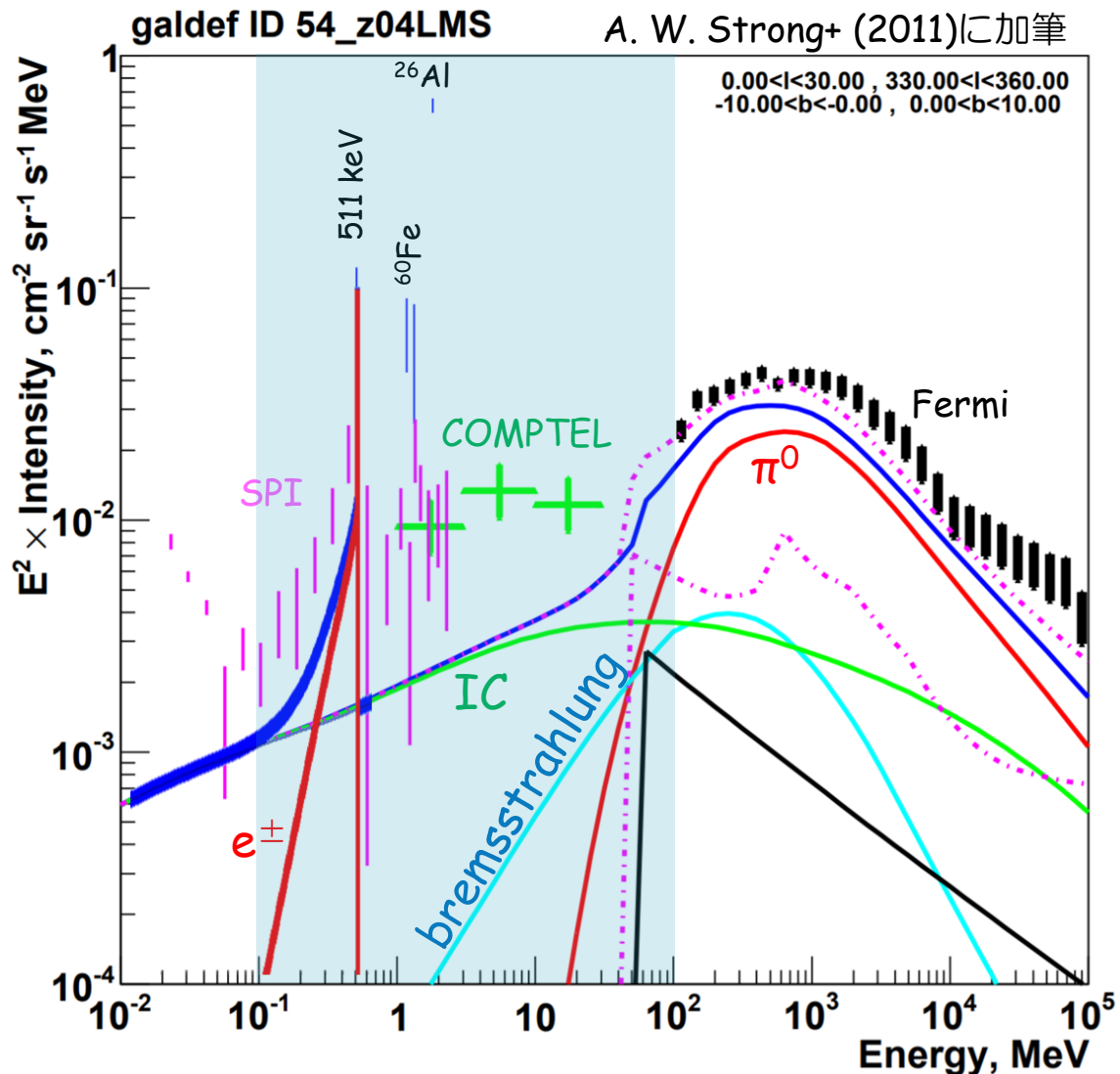
系内拡散ガンマ線





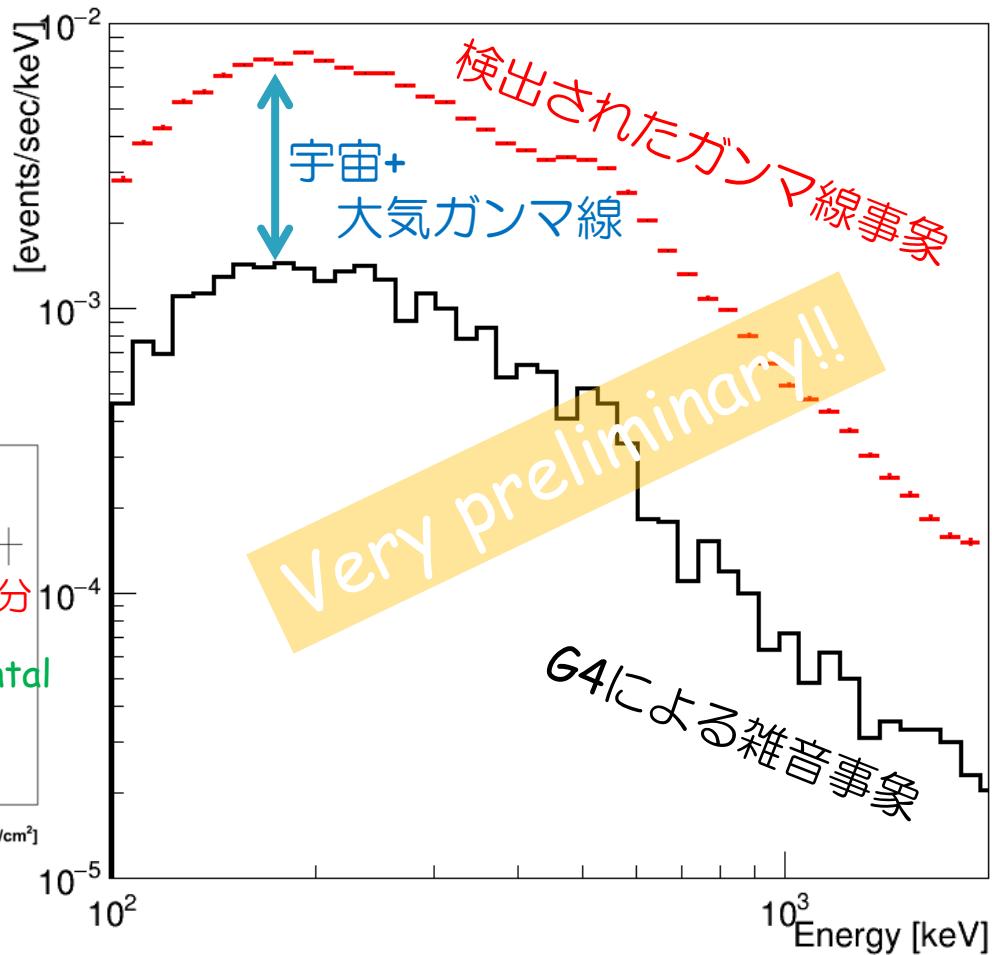
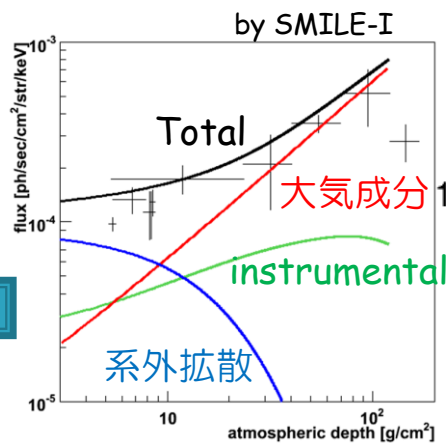
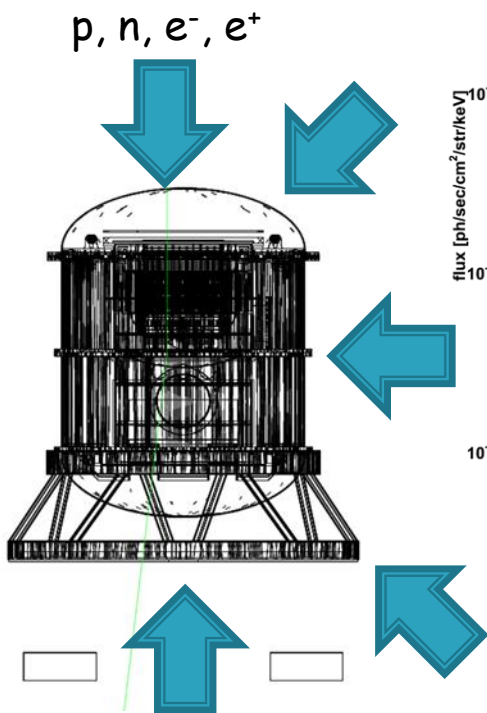
# 系内拡散ガンマ線

- 銀河面に広がる放射は MeV領域にも存在
- MeV領域の放射起源について深い議論はされていない
  - ← 観測の信頼度不足
- 宇宙線電子による逆コンプトンと観測値には乖離がある
  - 空間分解されていない天体の集合体？
  - 宇宙線で励起された原子核からの脱励起線？
  - 他の何か？



# Background simulation

- EXPACSにより環境放射線を計算
- 陽子・中性子・電子・陽電子  
⇒ 天頂角 $10^\circ$  きざみ
- Geant4で雑音環境をsimulation  
⇒ 検出器で検出される事象は？



差分の大気の厚みに対する変化  
⇒ 大気ガンマ線を見積もり  
⇒ 系外拡散ガンマ線のスペクトル

# SMILE

## Sub-MeV gamma-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiment

### SMILE-I @ 三陸 (Sep. 1<sup>st</sup> 2006)

- ▶ 宇宙拡散・大気ガンマ線の観測 (0.1 ~ 1MeV)
- ▶ dE/dXによるバックグラウンド除去の成功

A. Takada+. ApJ,2011

SMILE-II: 地上試験のみ T. Tanimori+. ApJ,2015

### SMILE-2+ 1-day flight @ Alice Springs (Apr. 7<sup>th</sup> 2018)

- ▶ MeVガンマ線天文学におけるイメージングの確立
- ▶ 明るい天体(かに星雲と銀河中心)のイメージング

Requirement

Effective area

a few cm<sup>2</sup>

(detect 5 $\sigma$ ) PSF (50% included) <sup>radius</sup> ~ 10 deg @ 662 keV

Now!!

### SMILE-3

- ▶ 長時間気球を用いた科学観測
- ▶ COMPTELの感度を上回る望遠鏡で数回放球

人工衛星による全天観測

~ sub-mCrab sensitivity

# SMILE-3へ

検出感度を向上させて科学観測へ

- ⇒ @ Alice Springs :  $e^\pm$ の銀河面分布・Cen A・NGC4945他
- @ Fort Sumner : Cyg X-1 / Crabの偏光観測

有効面積を >5倍、角度分解能2~3倍改善していく為に...

## シンチレータの改良

光読み出しをMPPCへ

⇒ エネルギー分解能向上

角度分解能向上

- $CF_4$ ガス 3気圧 ⇒ 有効面積 3.5倍
- 3軸  $\mu$ -PIC ⇒ SPD 3~4倍
- MPPC読み出し ⇒ ARM 1.2倍
- 容器軽量化 ⇒ 減衰量 ~20%低下

PSF ~3倍

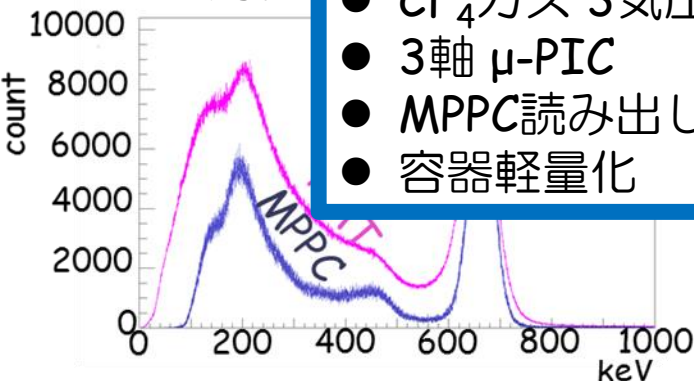
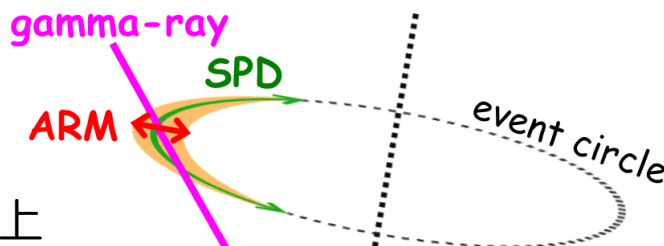
## ガス飛跡検出器の改良

$CF_4$  baseのガスで3気圧

ガス容積を $(50\text{ cm})^3$ へ

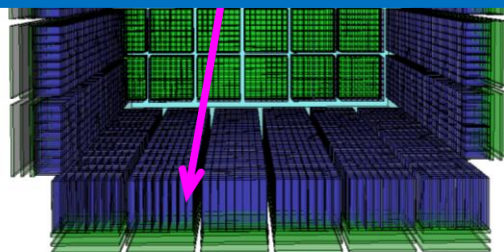
力容器の軽量化

読み出し $\mu$ -PIC



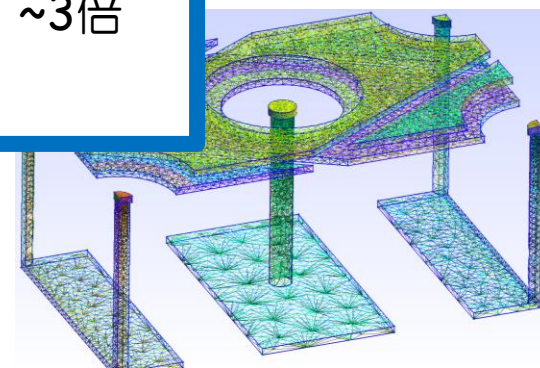
## 全体システムの改良

ガス圧力容器を露出  
構造体の見直し (軽量化)

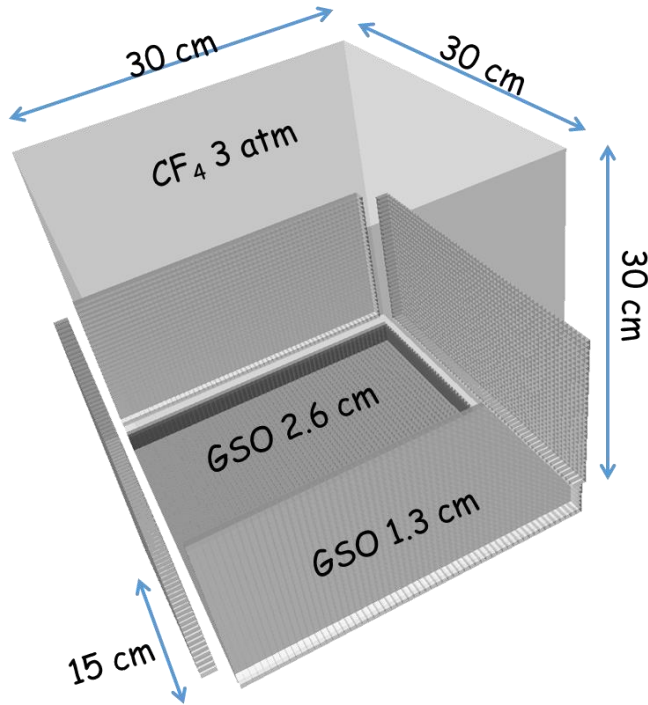


## 今回からの修正点

姿勢センサの見直し



# SMILE-3 ETCC設計(案)

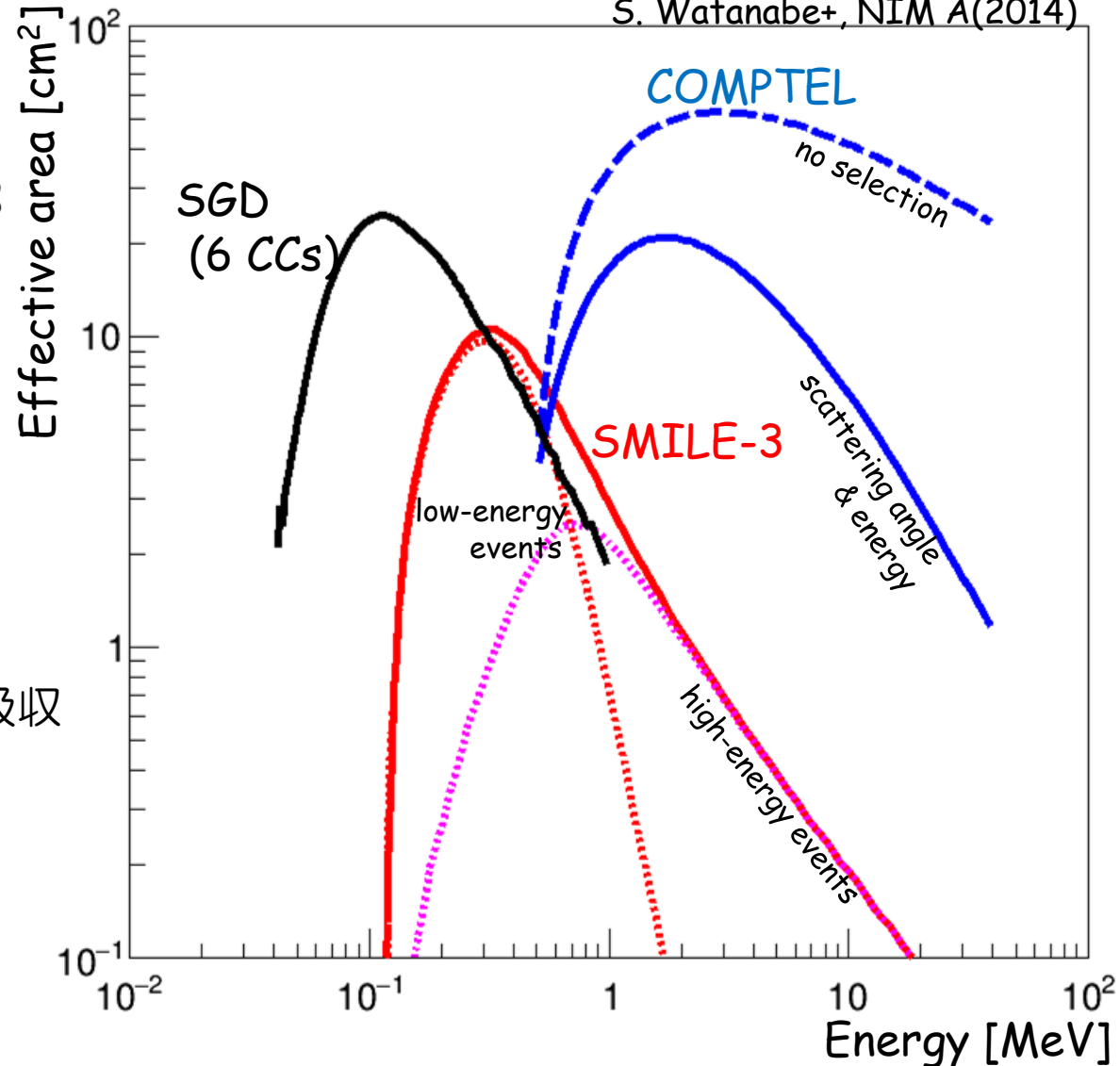


- (30 cm)<sup>3</sup>内でCompton
- 散乱ガンマ線がGSOで光電吸収
- 反跳電子がTPC内で止まる  
or GSOで止まる
- 反跳電子が2 mm以上飛び

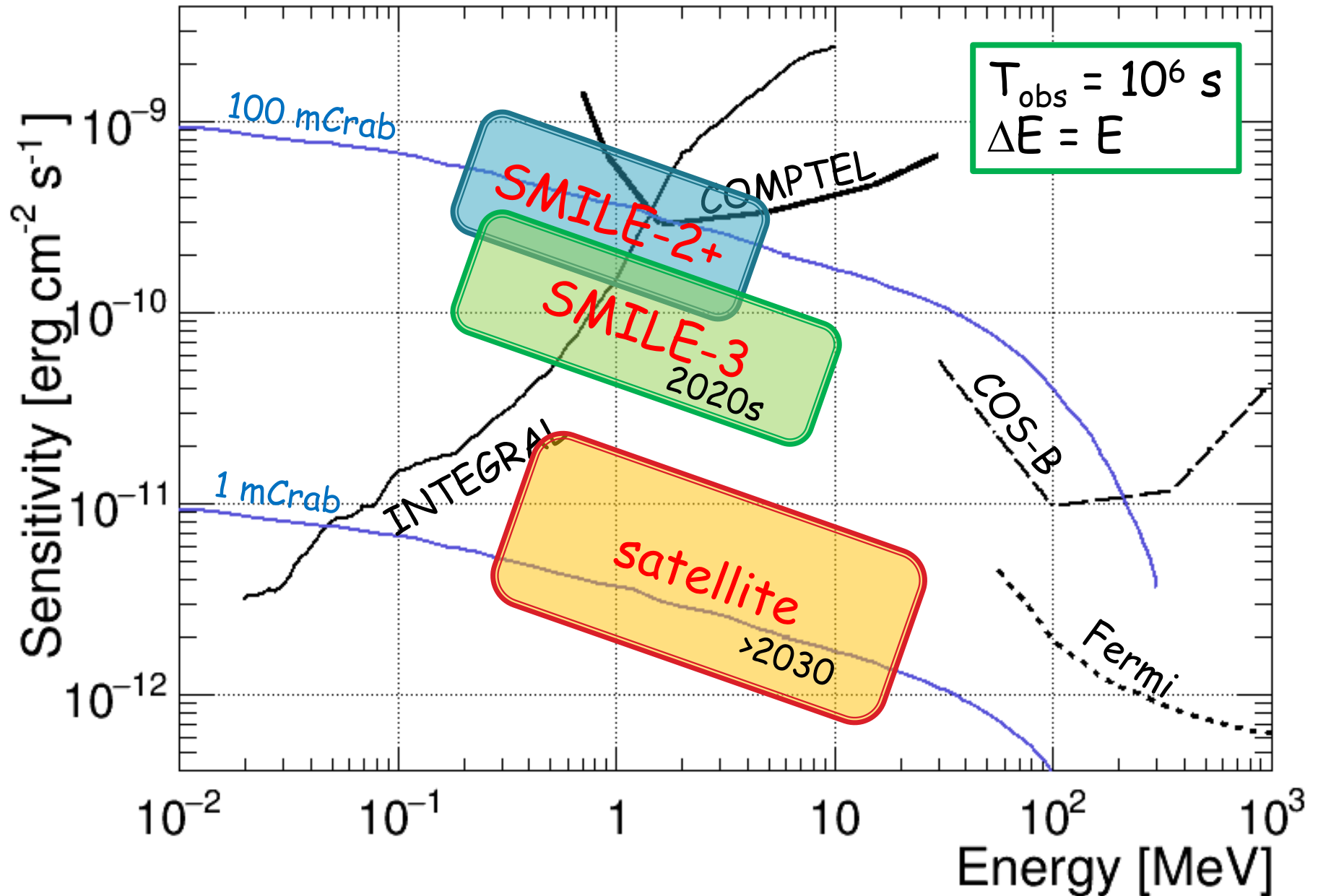


10 cm<sup>2</sup> @ 0.3 MeV  
6° @ 1 MeV

V. Schönfelder+, ApJS (1993)  
S. Watanabe+, NIM A(2014)



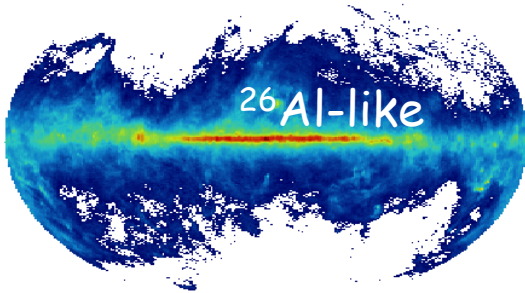
# 将来計画の予想検出感度



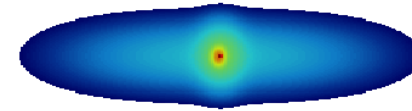
# SMILE-3で期待される観測例

電子陽電子対消滅線

銀河面に広く分布？

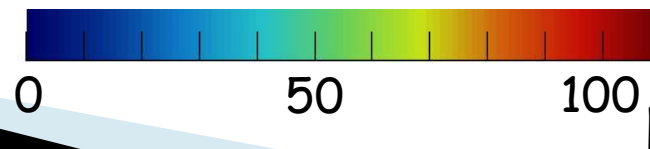
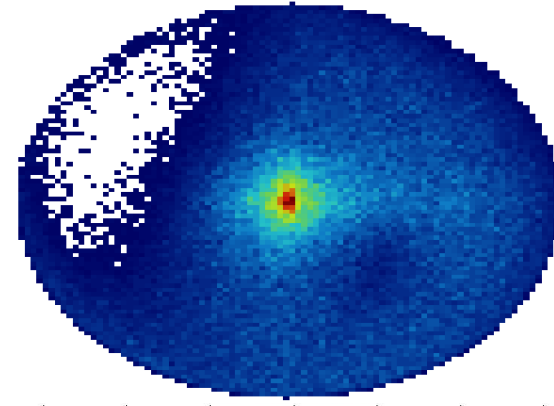
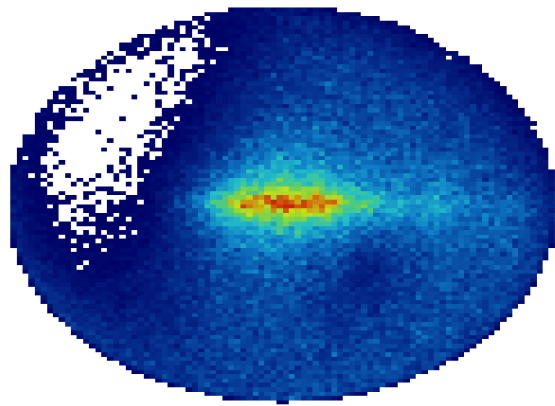


銀河中心領域十ハロ一的？



SPI/INTEGRAL  
T. Siegert+, 2016

有効面積  $\sim 5 \text{ cm}^2 @ 0.5 \text{ MeV}$   
空間分解能  $\sim 10 \text{ 度} @ 0.5 \text{ MeV}$   
南半球の高度40 kmで30日間観測



$3.6^\circ \times 1.8^\circ$  /pixel

Thank you for your attention!  
<http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp>

