

宇宙線研究室

MeVグループ

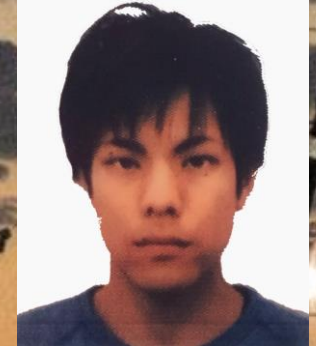
高田助教



特定研究員
園田



学振研究員
池田

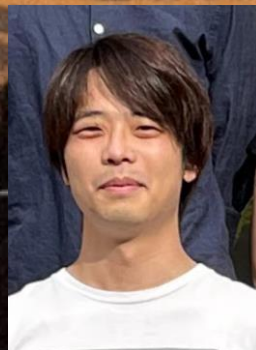


博士課程 2名

阿部



荻尾



修士課程 2名

小林



田原



MeVガンマ線天文学とその現状

天体からのMeVガンマ線

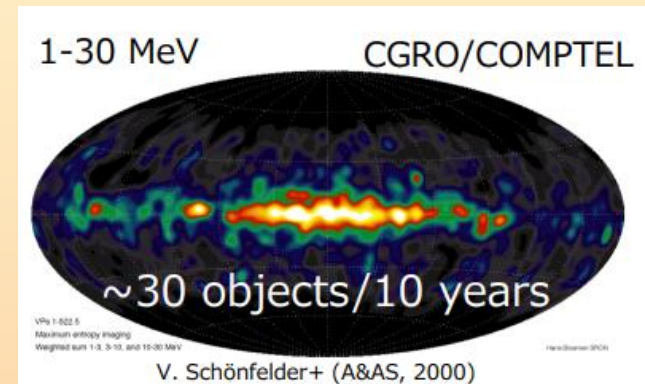
- 元素合成：超新星爆発
- 粒子加速：ジェット(AGN)
- 強い重力場：Black hole
- Etc.：ガンマ線パルサー, 太陽フレア, ...

MeVガンマ線観測の難点

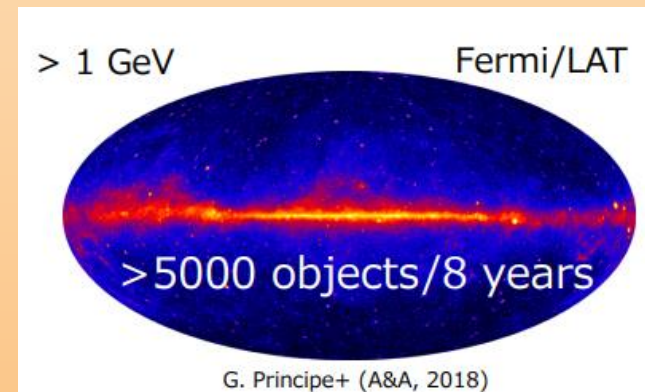
- 散乱優位
エネルギー、到来方向等の情報を失う
- 雑音が多い
宇宙線と筐体の相互作用、地球大気等

次世代望遠鏡へ要求

- ✓ 放射機構解明⇒広エネルギー帯
- ✓ MeV天体探査⇒広視野
- ✓ 高検出感度 ⇒高雑音除去能力



MeV sky map

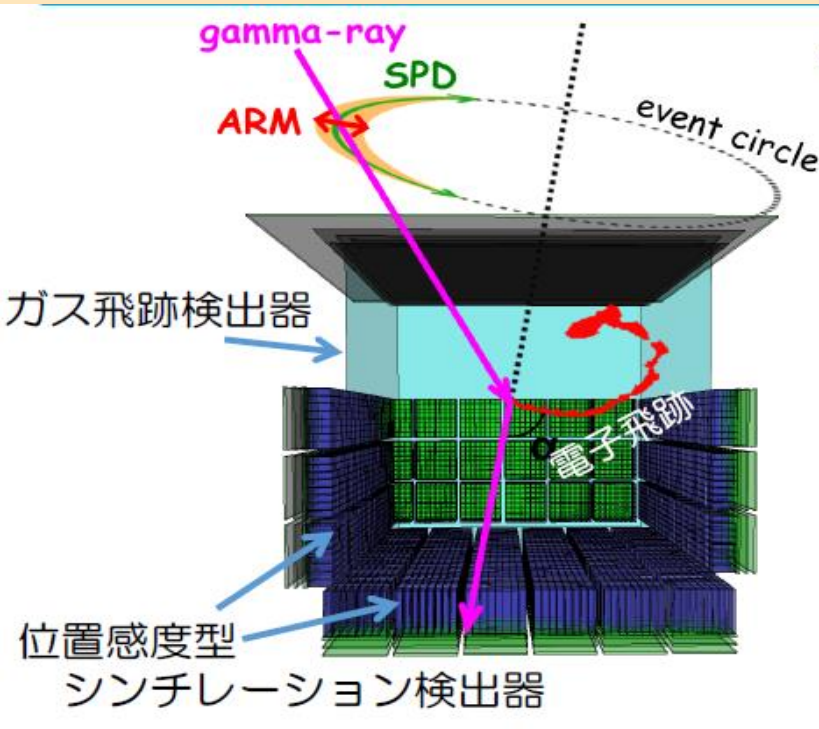


GeV sky map

電子飛跡検出型コンプトンカメラ(ETCC)

ETCC

(Electron-Tracking Compton Camera)



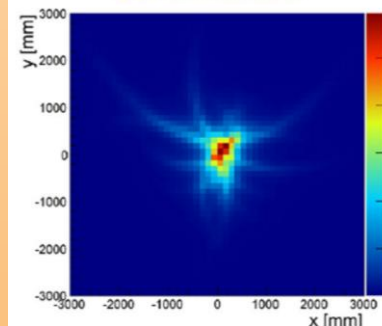
ガス飛跡検出器

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
散乱ガンマ線の吸収点とエネルギー

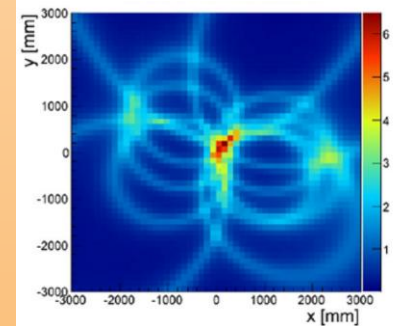


検出事象ごとに
コンプトン散乱を一意に再現

電子飛跡有り



電子飛跡無し



SMILE-I @ 三陸 (Sep. 1st 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. 7th 2018)

- ▶ MeVガンマ線天文学におけるイメージングの確立 T. Tanimori+. JPCS, 2020
- ▶ 明るい天体(かに星雲と銀河中心)のイメージング A. Takada+. ApJ, 2022

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-2+ (2018 4/7-8)

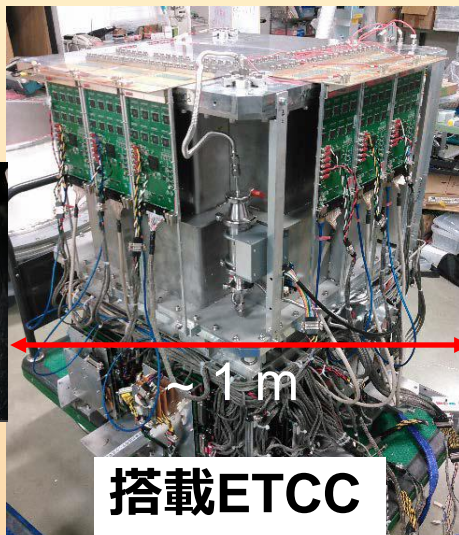
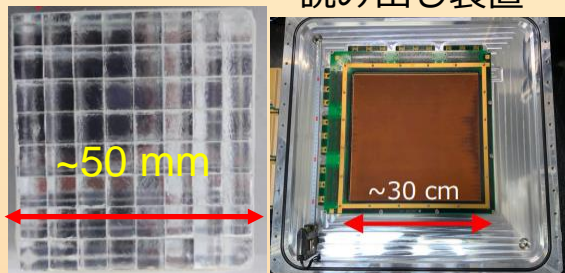
目的

ETCCのイメージング性能実証実験

観測対象

銀河中心からの電子陽電子対消滅線
かに星雲

GSO シンチレータ
μPIC ガス飛跡検出器の読み出し装置



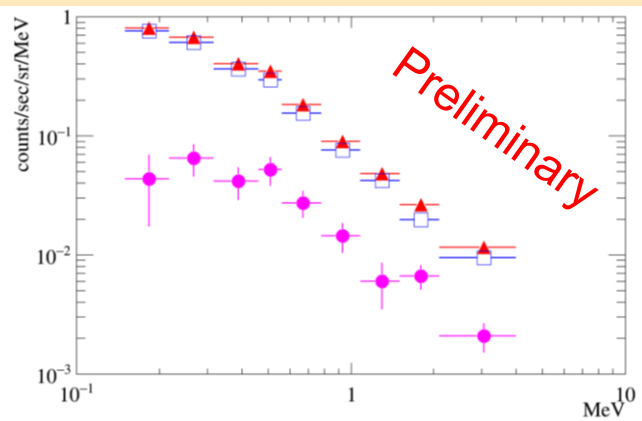
水平浮遊高度約40 km、
約26時間のフライトに成功！
上空で安定動作



フライトデータ解析状況

銀河中心領域

銀河中心領域には多量の e^\pm 消滅線の放射が存在
(e^+ の起源：放射性核種？ 高エネルギー天体？ダークマター？)



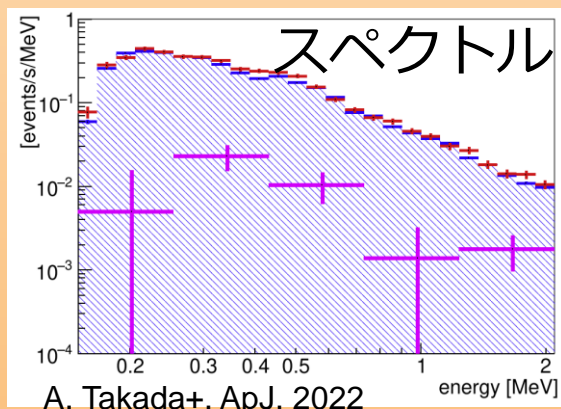
銀河中心視野内
銀河中心視野外
差分

銀河中心領域に超過を $\sim 10\sigma$ @0.2~2.1 MeV で検出！
超過量も文献値とオーダーで一致！

かに星雲

MeVで最も明るい点源

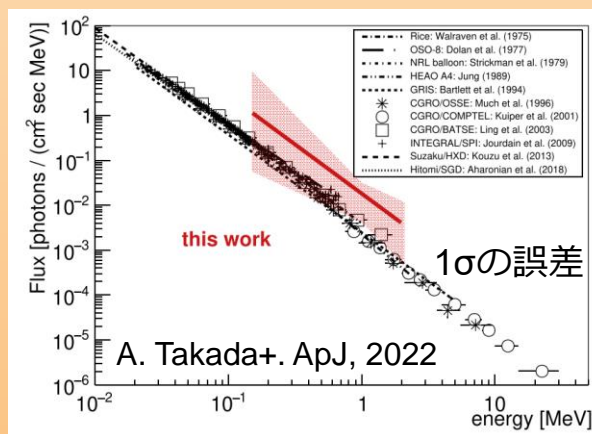
かに星雲から到来するフラックス



かに星雲視野内
かに星雲視野外
差分

A. Takada+. ApJ, 2022

かに星雲を $\sim 4\sigma$ で検出！



A. Takada+. ApJ, 2022

過去の観測と無矛盾！

ETCCの天体撮像能力が実証された！

次期計画 SMILE-3の観測対象と観測例

◆SMILE-3で期待される観測対象

目標;有効面積>5倍、角度分解能2~3倍

• 長時間気球を用いた科学観測

銀河中心領域 ⇒ e^\pm 対消滅線・系内拡散ガンマ線

銀河面 ⇒ ^{26}Al ・ ^{60}Fe

高銀緯領域 ⇒ 系外拡散ガンマ線・GRB

かに星雲・Cyg X-1・Cen A・新天体探査

• 数年に1度程度の頻度で複数回の気球観測

南半球:

SPB @ 中緯度

ZPB @ 南極(NASA)

ZPB @ 中緯度(JAXA)

北半球:

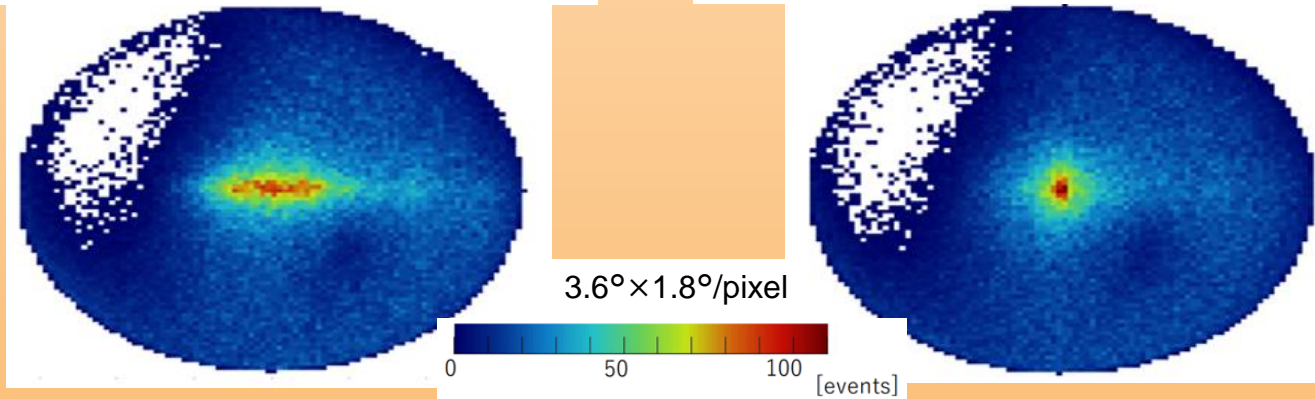
ZPB @ 中緯度 (NASA)

ZPB @ 高緯度 (SSC, NASA)

◆SMILE-3で期待される観測例 (電子陽電子対消滅線)

対消滅線が銀河面に
広く分布していると仮定

対消滅線が銀河中心領域に
ハロー状に広がっていると仮定

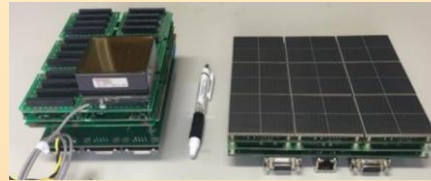
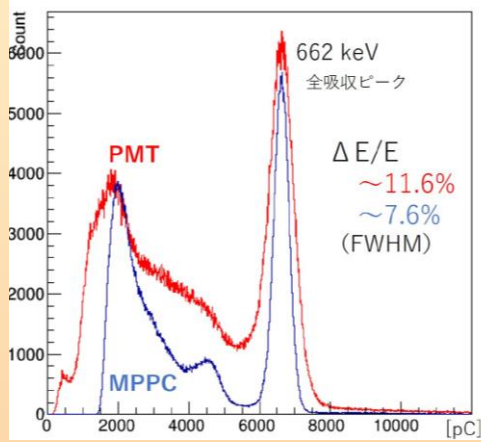


角度分解能 9°
有効面積 10 cm²
高度 40 km
観測時間 30日間

SMILE-3に向けた検出器改良

目標;有効面積>5倍、角度分解能2~3倍

シンチレーション検出器の改良



光読み出しをPMTからMPPCへ
⇒エネルギー分解能**向上**
⇒散乱角決定精度 **1.2倍**

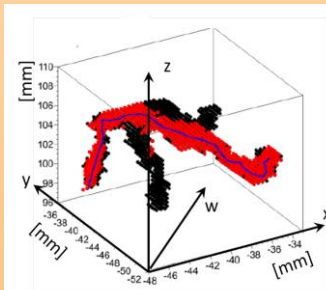
トリガー回路の改良

不感時間~1桁削減

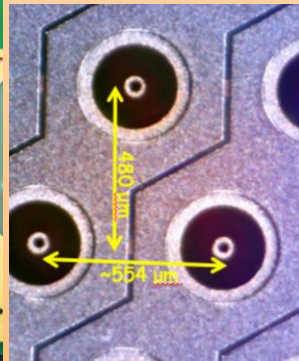
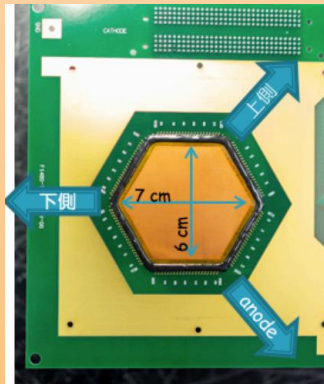
全体のシステムの改良

ガス圧力容器を露出、軽量化

ガス飛跡検出器の改良



黒：2軸（従来）
赤：3軸（改良）



- ・CF₄ベースのガスで3気圧
- ・ガス容積の大型化
- ・3軸 μ-PICの使用
- ・機械学習を用いた飛跡解析
⇒散乱平面決定精度 **3~4倍以上**
有効面積 **5~10倍**

まとめ

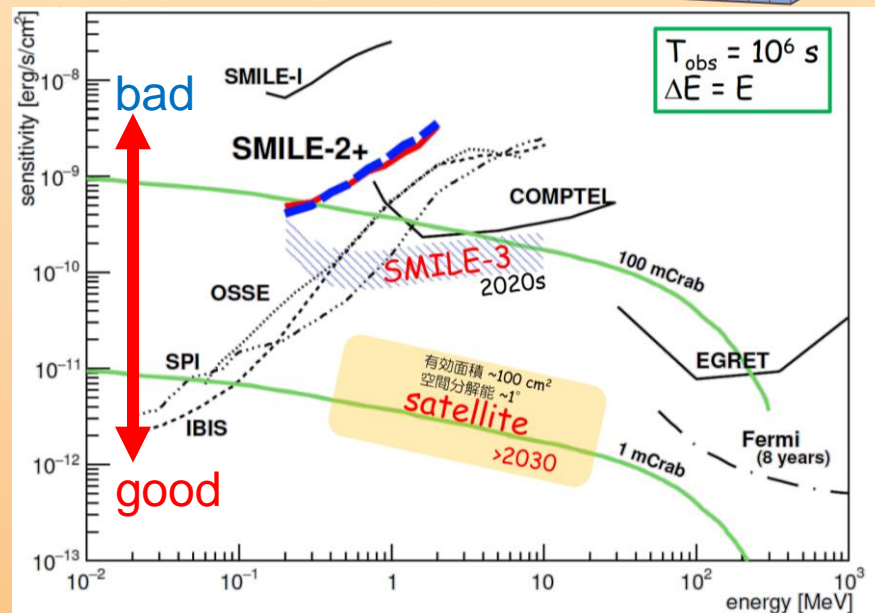
- MeVガンマ線は元素合成を直接探れるプローブである一方、光子による天文学最後の未開拓領域。



- 撮像性能実証のための観測 **SMILE-2+** を2018年に実施し、解析は事前シミュレーションと合致

- 次期計画 **SMILE-3** から本格科学観測！

- 現在SMILE-3に向けて検出器改良中
目標：有効面積 5~10倍
角度分解能 2~3倍



COMPTTELの検出感度越えはもう間近。
世界最高の観測が自分のものにできる！！