



電子飛跡検出型コンプトン望遠鏡による 気球実験計画SMILE-2+

高田 淳史 (京都大学)

谷森 達, 水村 好貴, 古村 翔太郎, 岸本 哲朗, 竹村 泰斗, 吉川 慶,
谷口 幹幸, 中村 優太, 小野坂 健, 斎藤 要, 窪 秀利, 黒澤 俊介 (東北大),
身内 賢太郎 (神戸大), 澤野 達也 (金沢大), 濱口 健二 (GSFC)

MeVガンマ線天文学

◆ 元素合成

SNR : 放射性同位体

銀河面 : ^{26}Al ・電子陽電子対消滅線

◆ 粒子加速

ジェット (AGN) :

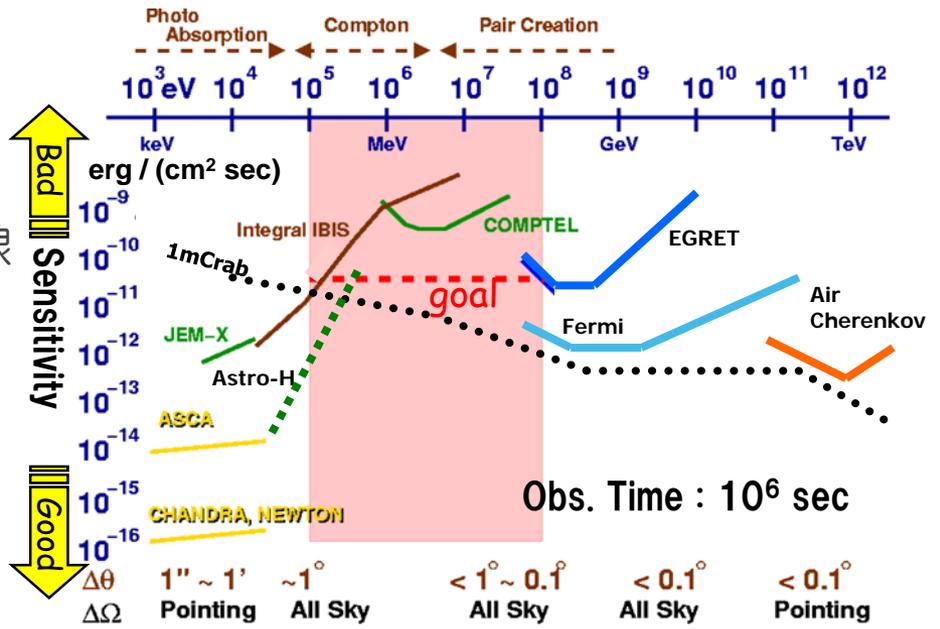
シンクロトロン + 逆コンプトン

◆ 強い重力場

Black hole : 降着円盤, π^0

◆ Etc.

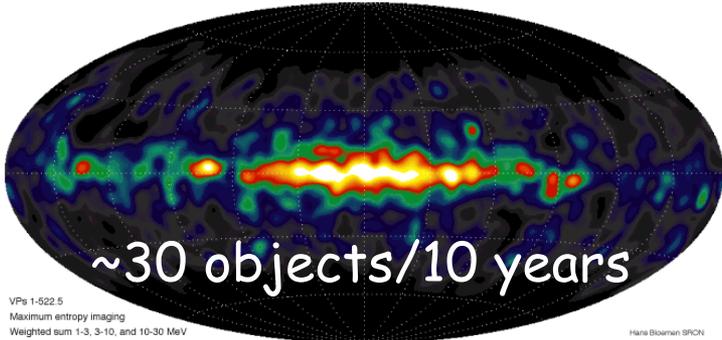
ガンマ線パルサー, 太陽フレア



MeV sky map

1-30 MeV

CGRO/COMPTEL



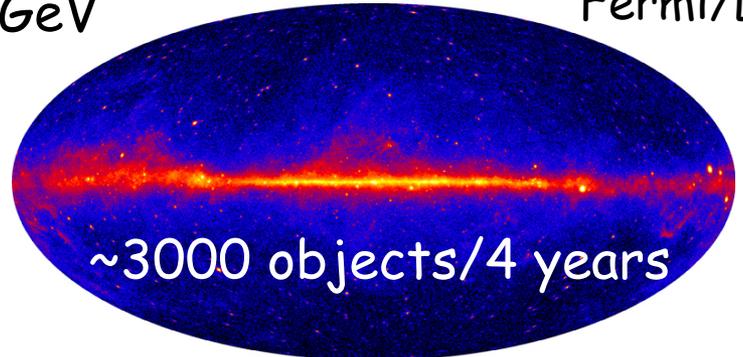
~30 objects/10 years

V. Schönfelder+ (A&AS, 2000)

GeV sky map

> 1 GeV

Fermi/LAT



~3000 objects/4 years

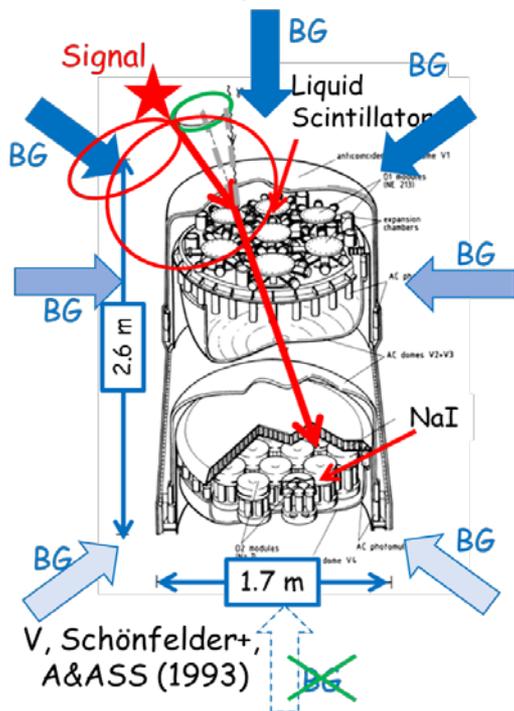
F. Acero+ (ApJS, 2015)

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の鮮明な画像

MeVガンマ線観測の現状打開へ

COMPTEL



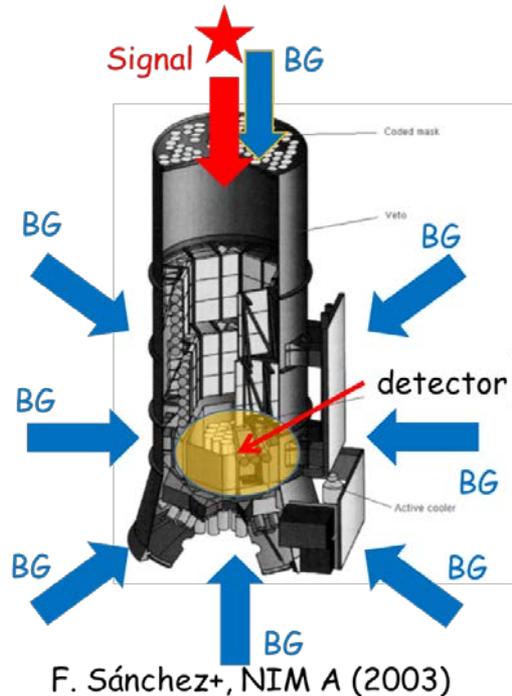
PSF ~ 平均的な散乱角

3σの有意度で検出できる最小flux

$$\text{検出感度} = 3 \times \sqrt{\frac{f_B \Delta\Omega \Delta E}{AT}}$$

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

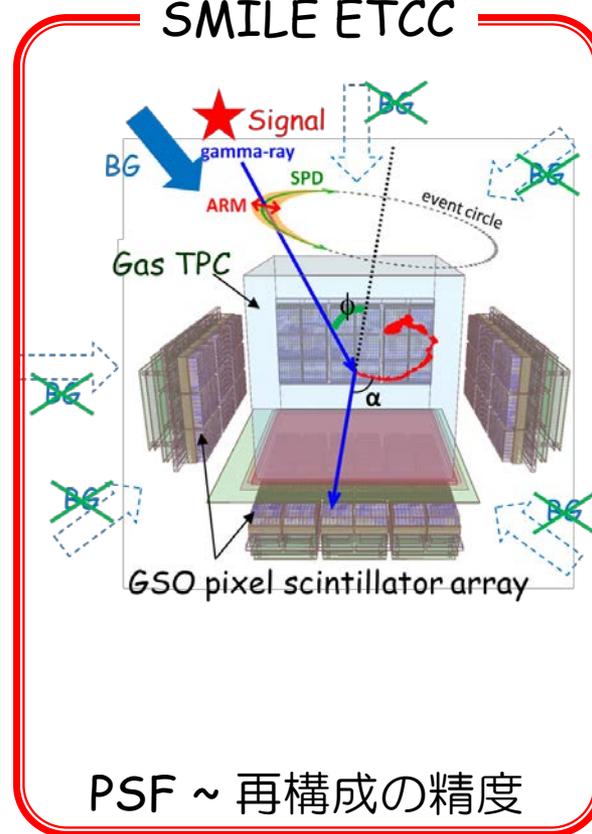
SPI/INTEGRAL



BGを含む統計量で方向検出



SMILE ETCC

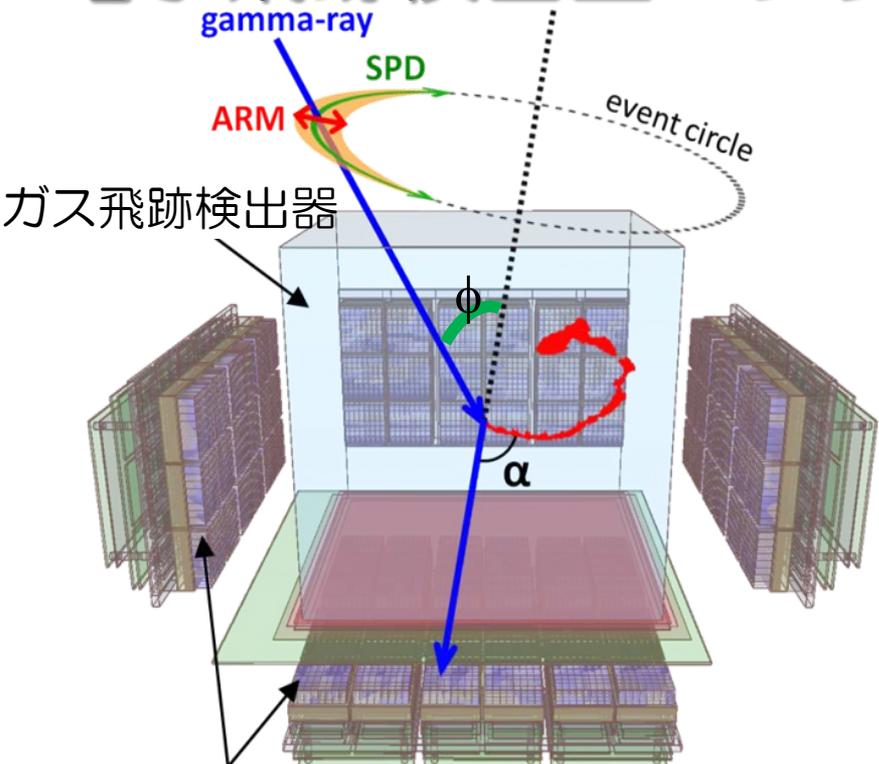


PSF ~ 再構成の精度

シミュレーション・計算で算出可能

PSFの広がり小さければ、視線方向のBGが主

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

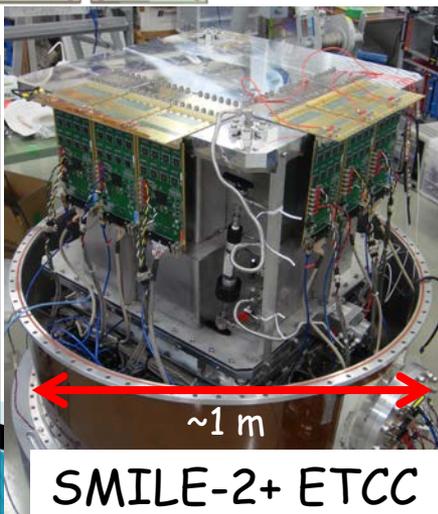
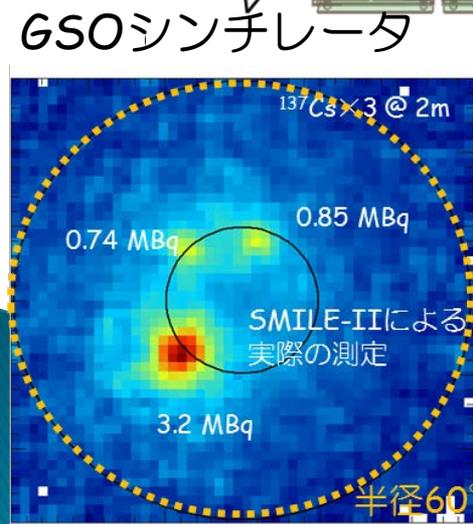
➤ ピクセルシンチレータアレイ

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

- ▶ 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
- ▶ **α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



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

SMILE-I @ 三陸 (Sep. 1st 2006)

10 cm角, Xe+Ar 1気圧

- 気球高度におけるETCCの動作試験
- 宇宙拡散・大気ガンマ線の観測 (100 keV ~ 1 MeV)
 - ⇒ 気球高度において安定に動作
 - 他の観測と矛盾のないスペクトル A. Takada+, ApJ, 2011

SMILE-II

30 cm角, Ar 1気圧

- 地上試験 ⇒ 有効面積 : $\sim 1 \text{ cm}^2$ @ <300 keV
ARM : 5.3度 SPD : ~ 100 度 @ 662 keV
⇒ PSF : ~ 15 度 @ 662 keV

SMILE-II+

30 cm角, Ar 2気圧

- 明るい天体のイメージングが目標 511 keV from G.C. & Crab nebula @ Alice Spring
- 目標 有効面積 : \sim 数 cm^2 @ <300 keV
PSF : <10度 @ 662 keV

SMILE-III

30 cm角, CF₄ 3気圧

- 長時間気球を用いた科学観測
- 目標 有効面積 : $\sim 10 \text{ cm}^2$ @ <300 keV
PSF : <5度 @ 662 keV

衛星による全天観測

50 cm角, CF₄ 3気圧

SMILE-2+

➤ 気球

アリススプリング (2018年4月)

水平浮遊高度 : 38.9 km

ペイロード重量 : ~500 kg

➤ 検出器

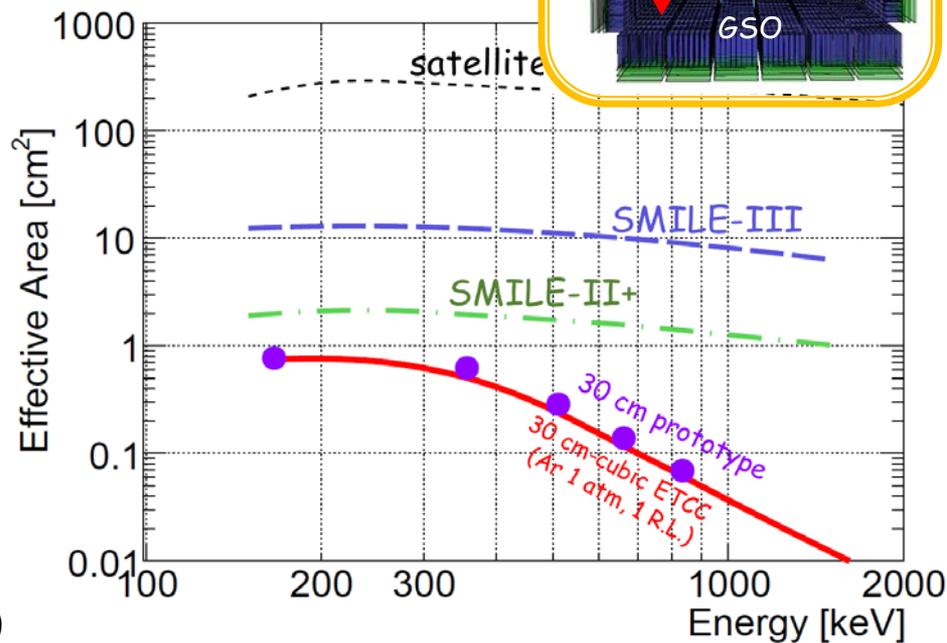
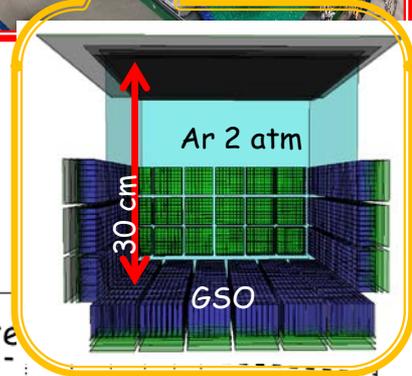
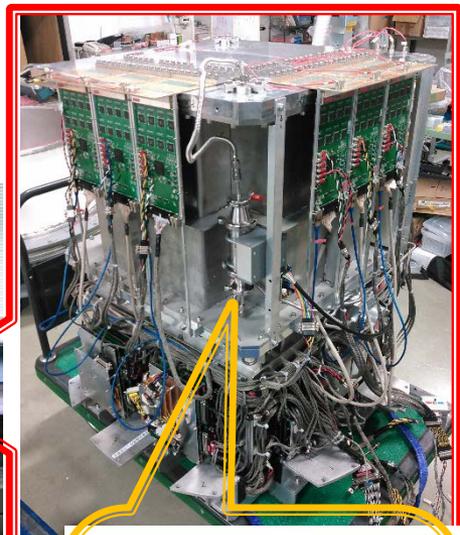
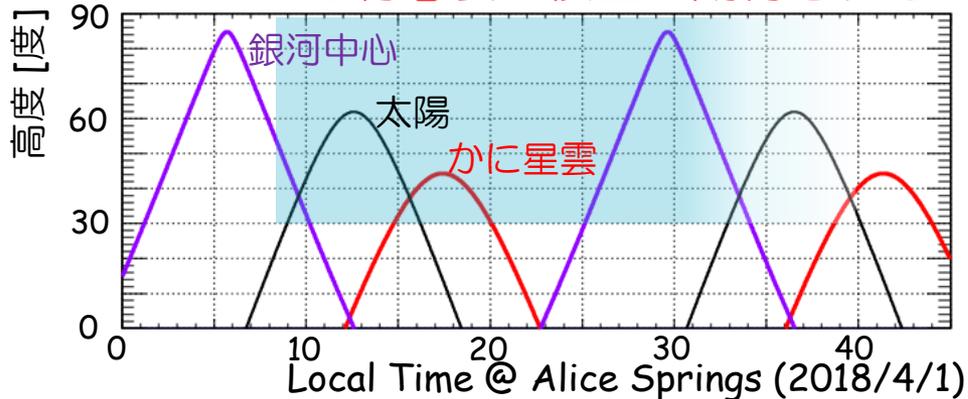
Geant4 シミュレーション →

- ◆ 有効面積 : 2~3 cm² @ 300 keV
- ◆ PSF : ~10° (half power radius)
- ◆ エネルギー帯域 : 300~1.5 MeV

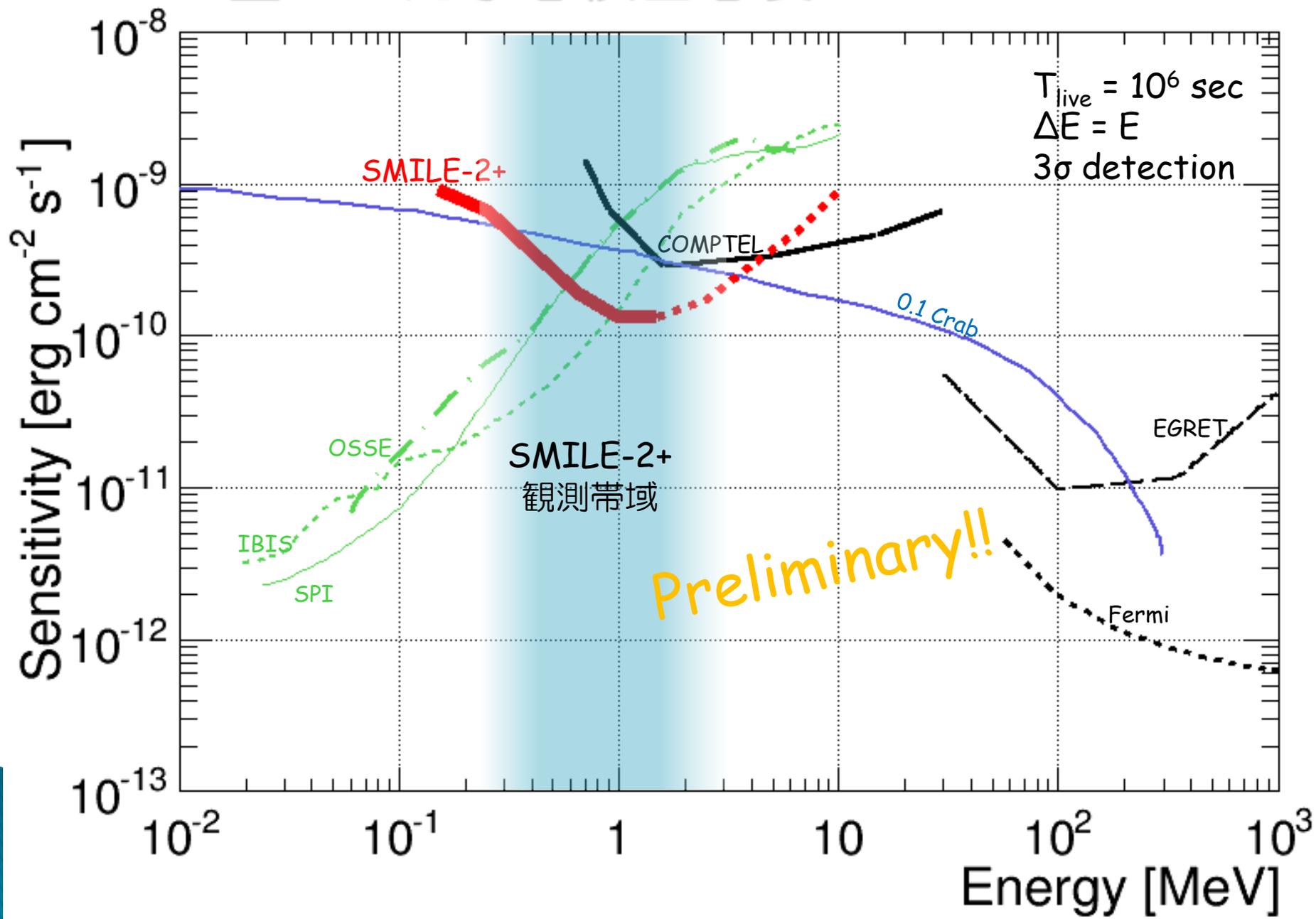
➤ 観測対象

- ◆ 電子陽電子対消滅線 @ 銀河中心領域
- ◆ かに星雲

~5σの有意度で検出が期待される



PSFに基づいた予想検出感度



電子・陽電子対消滅線

SMILE-2+

有効面積：

$\sim 2 \text{ cm}^2$

PSF：

$\sim 10^\circ$

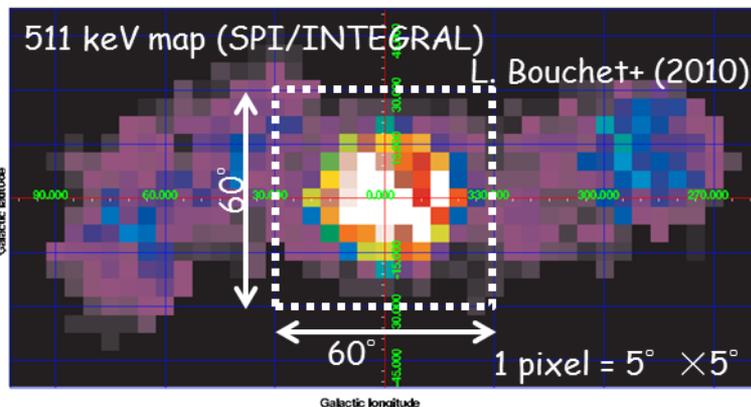
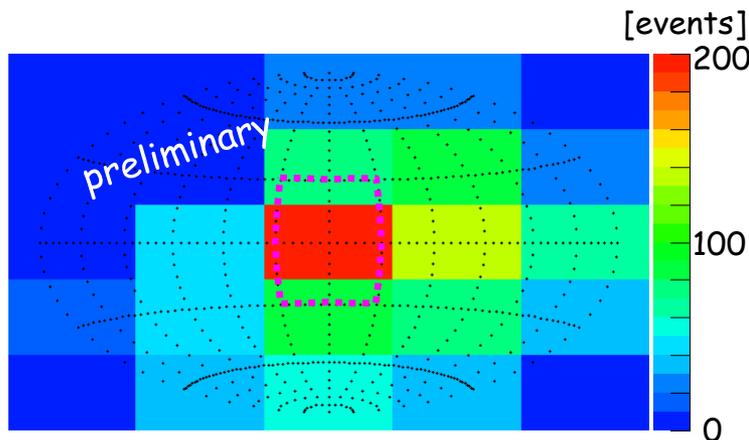
ARM: 6° SPD: 50°

大気減衰：

3 g/cm^2

観測時間：

1 day



SMILE-3

有効面積：

$\sim 10 \text{ cm}^2$

PSF：

6.7°

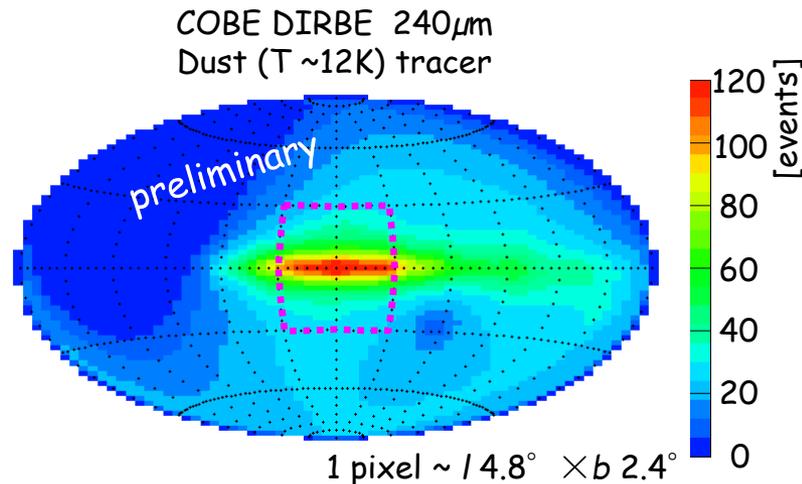
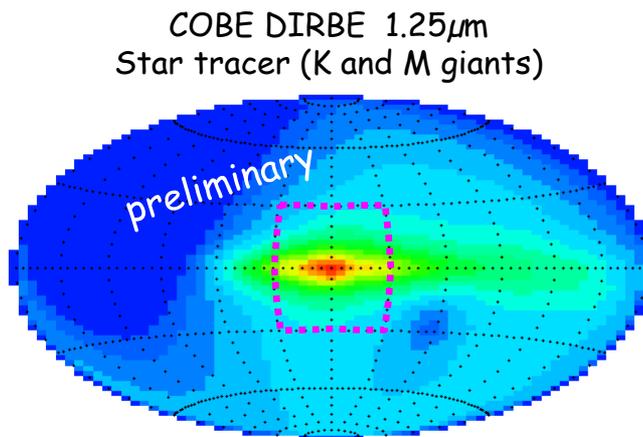
ARM: 5° SPD: 30°

大気減衰：

3 g/cm^2

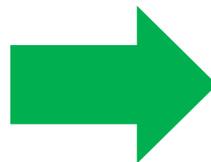
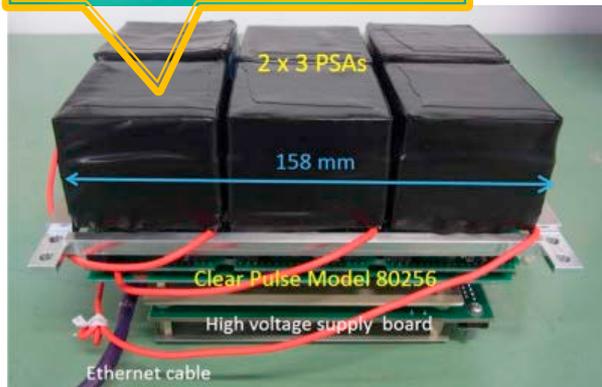
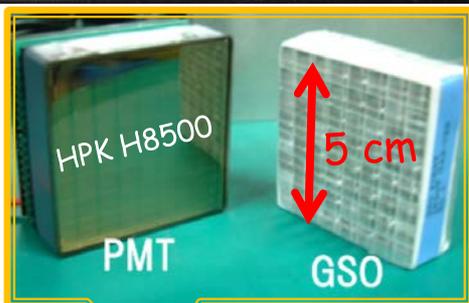
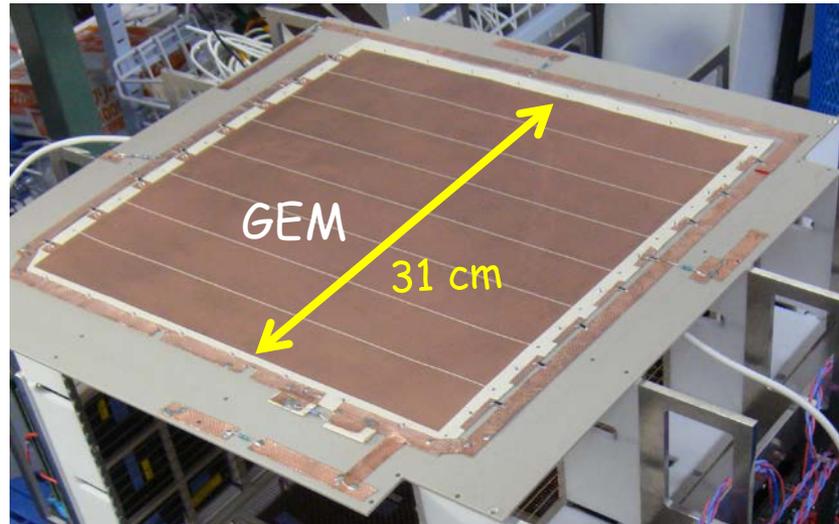
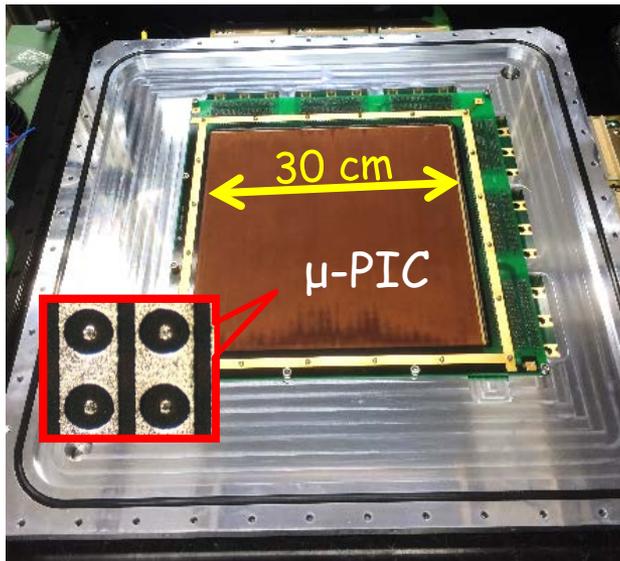
観測時間：

10 days

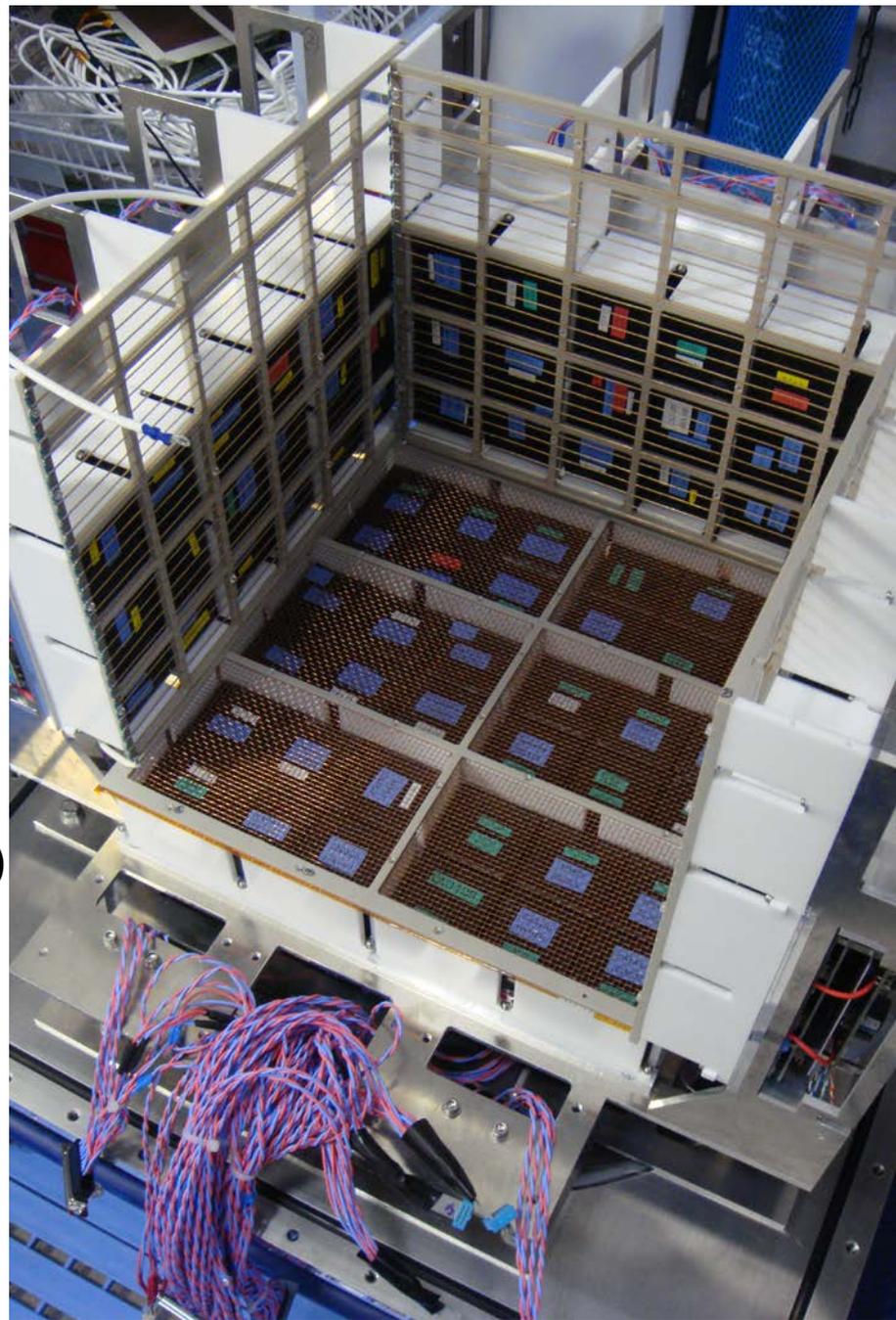
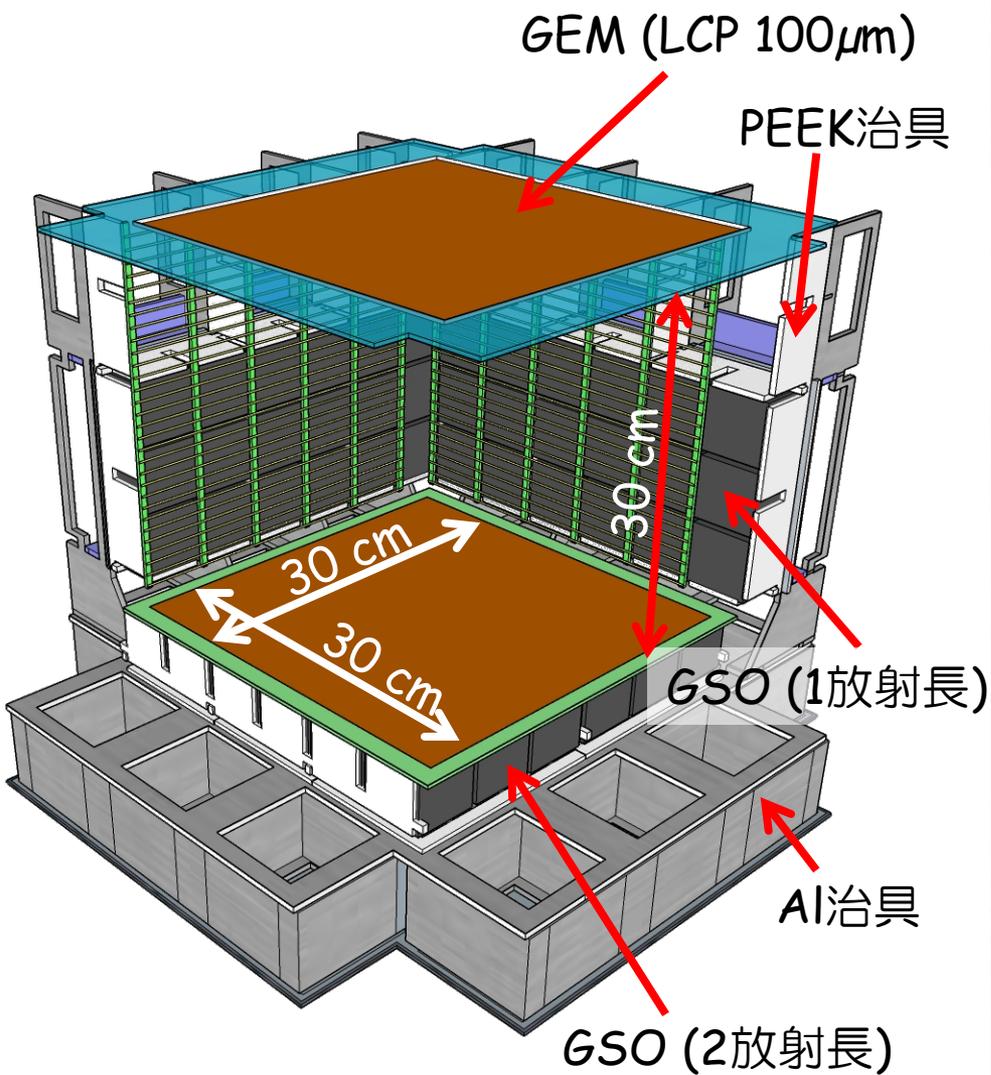


SMILE-2+：銀河中心領域に有意な超過が期待できる
SMILE-3：詳細な分布についての議論が期待できる

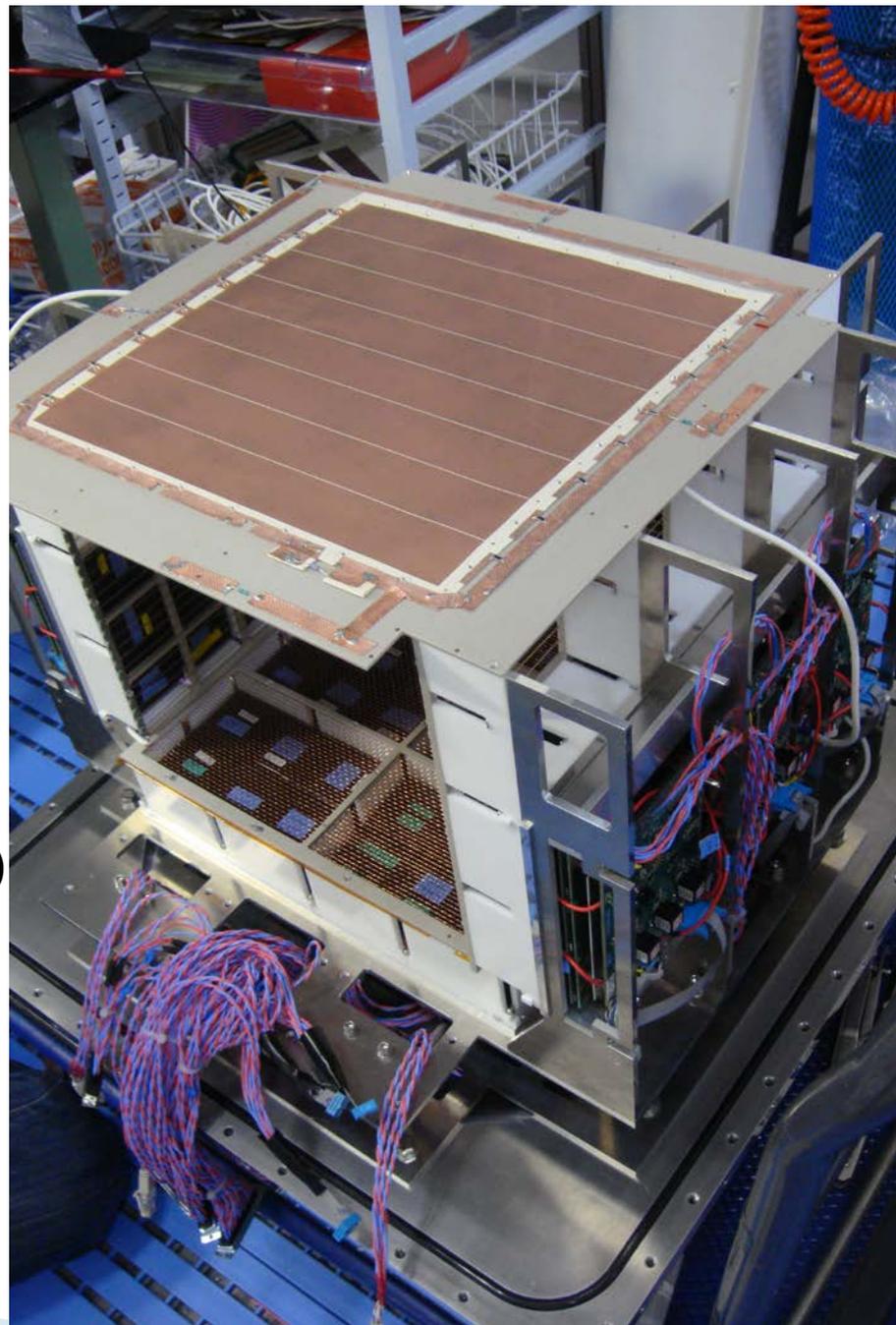
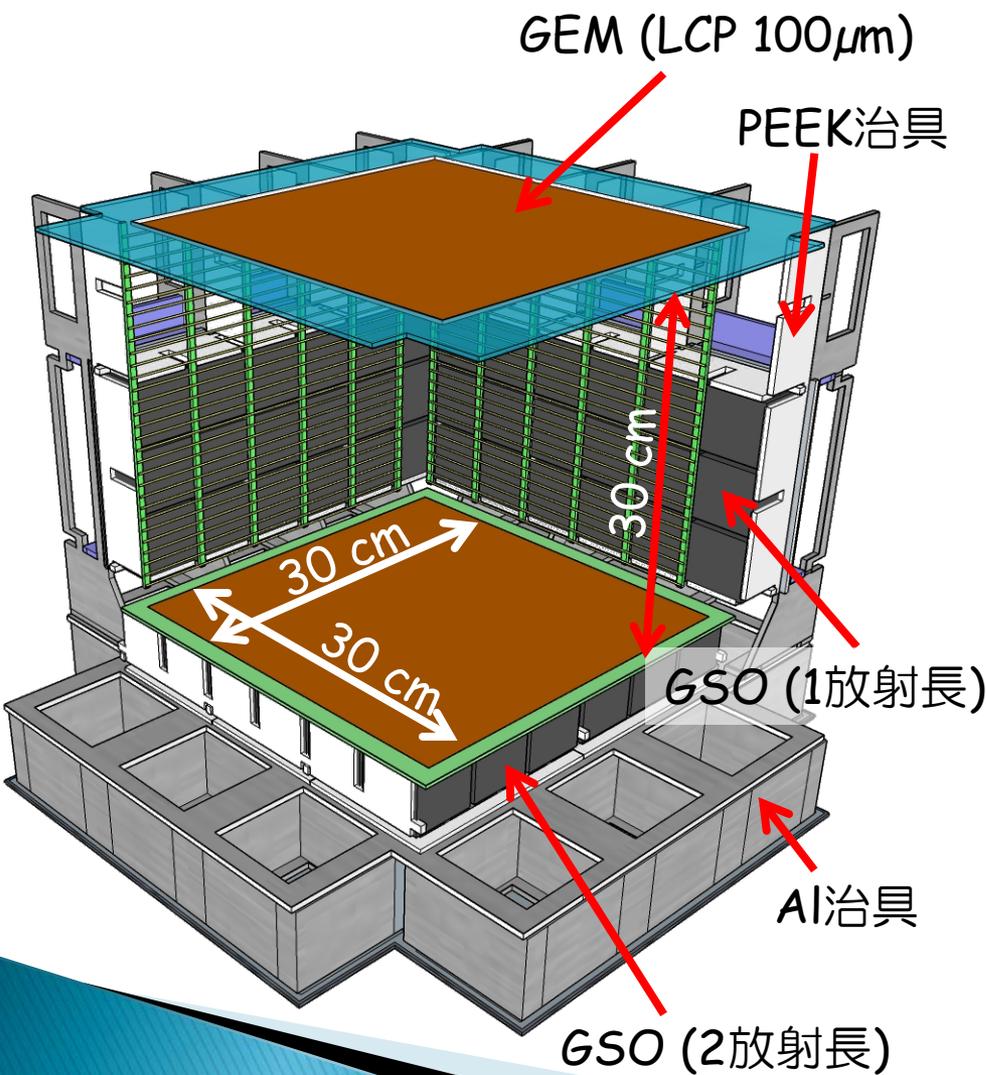
SMILE-2+ ETCC



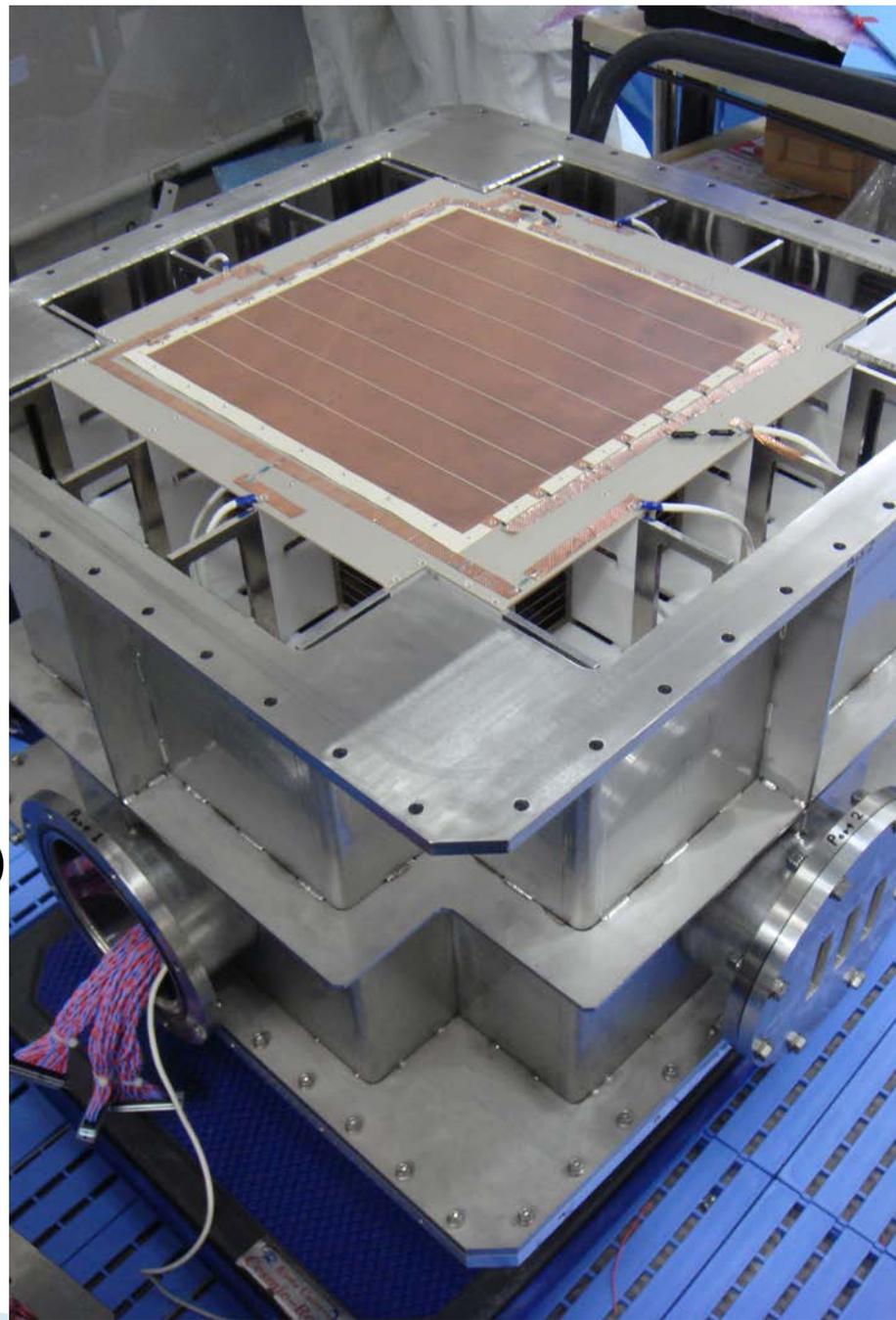
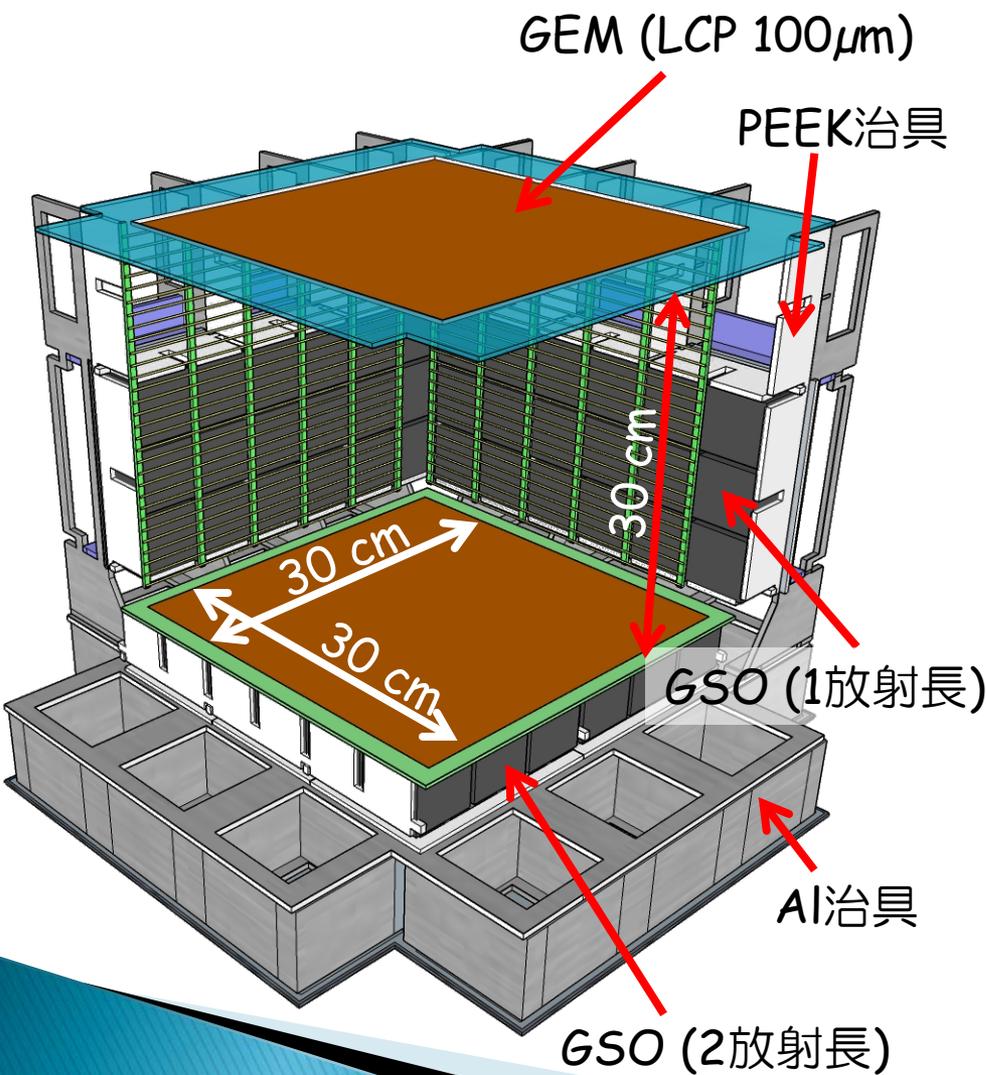
SMILE-2+ ETCC



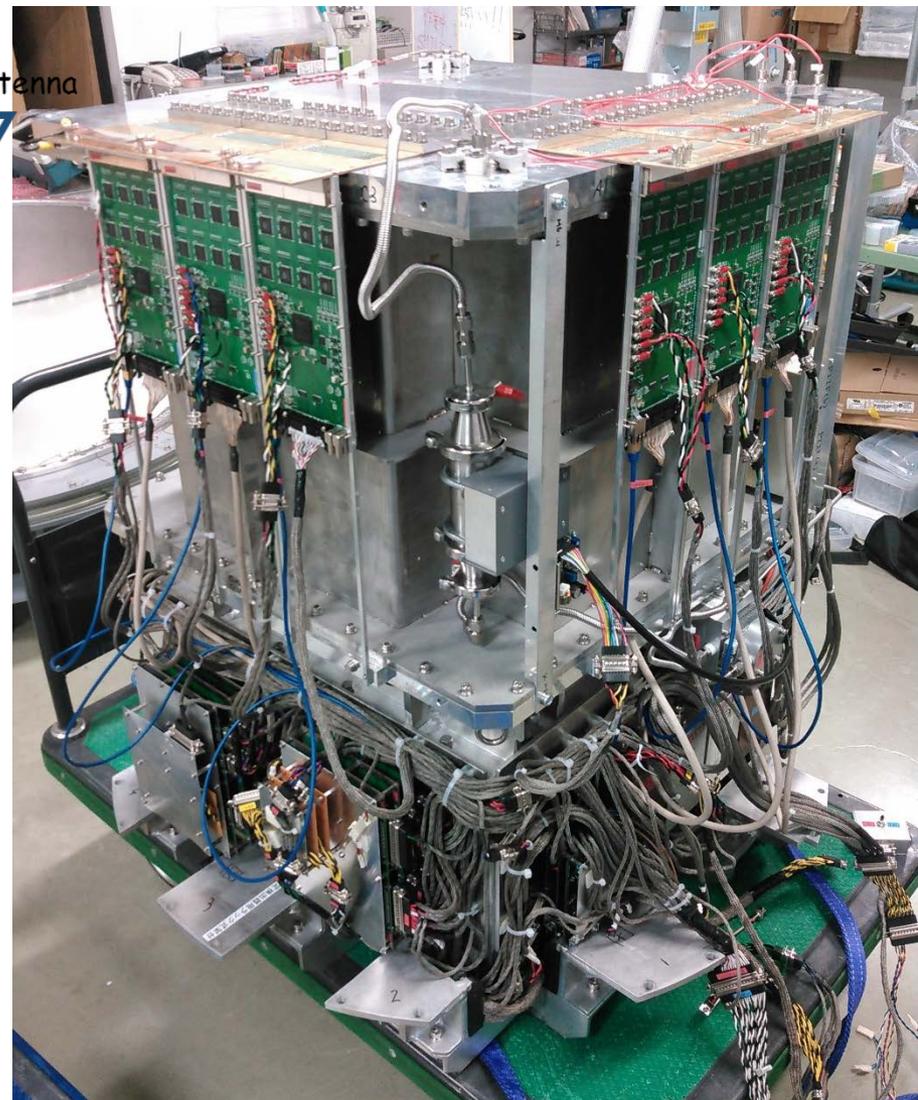
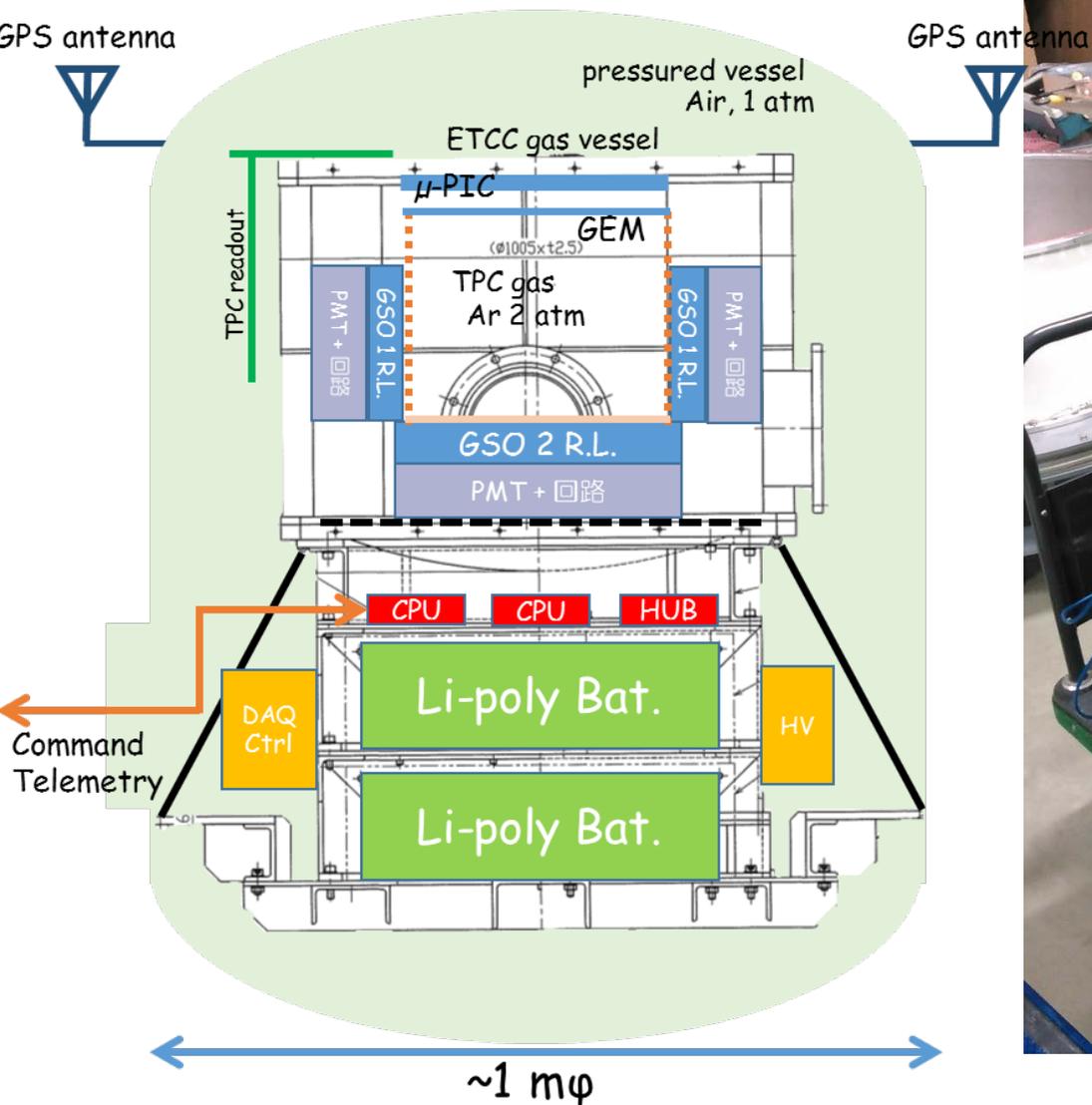
SMILE-2+ ETCC



SMILE-2+ ETCC



SMILE-2+ ETCC



ガス純化システム

これまで

- μ -PIC・GEM・ドリフトケージのみ
- ガス入れ後、~10日でガス交換

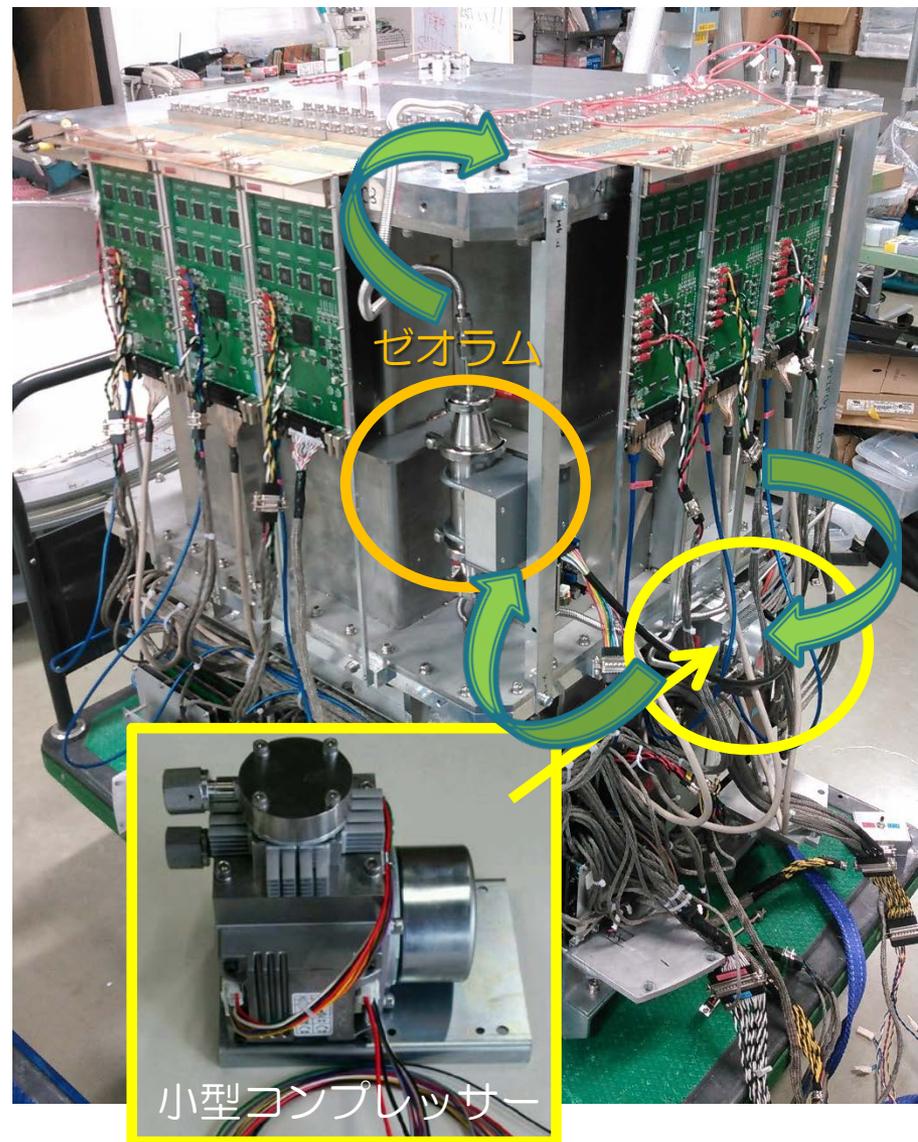
SMILE-2+ ETCC

- 容器内にPMTやGSOなど大量の物質
- 気象条件待ちで
最大1ヵ月ガス交換できない可能性

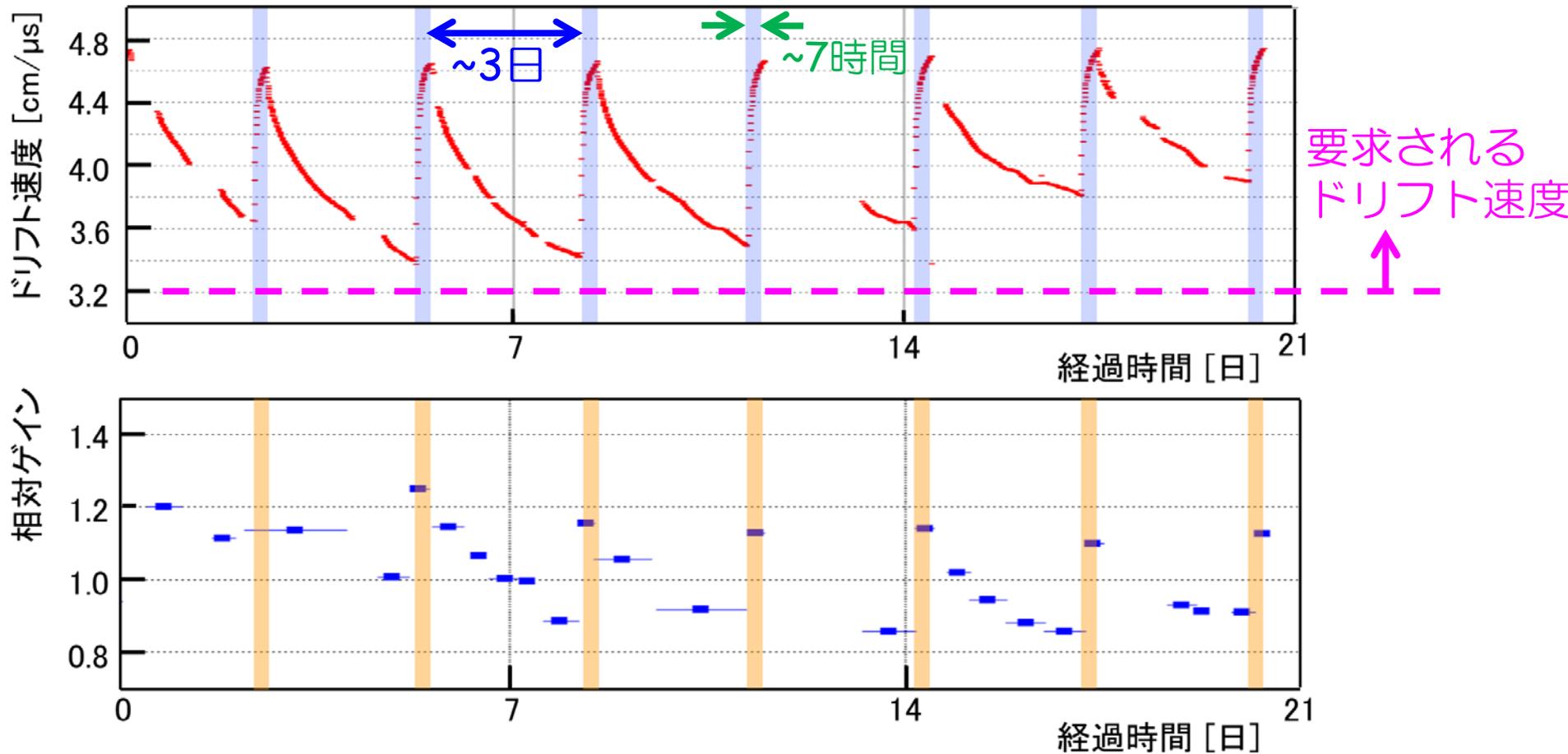
ガスが劣化して
TPCとして機能しないのでは？



ガス純化システムを搭載して
ちよくちよくきれいにしましょう！



純化システム試験 with SMILE-2+ TPC



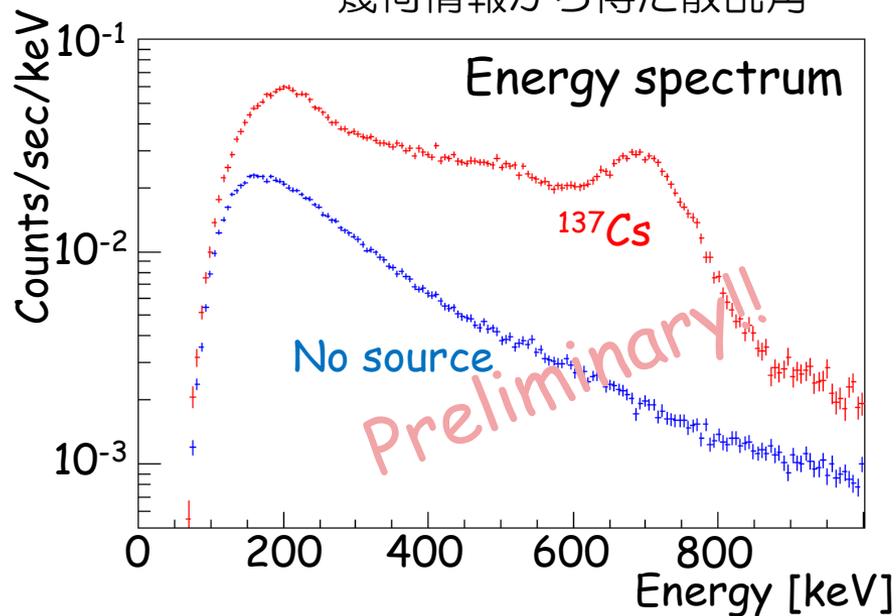
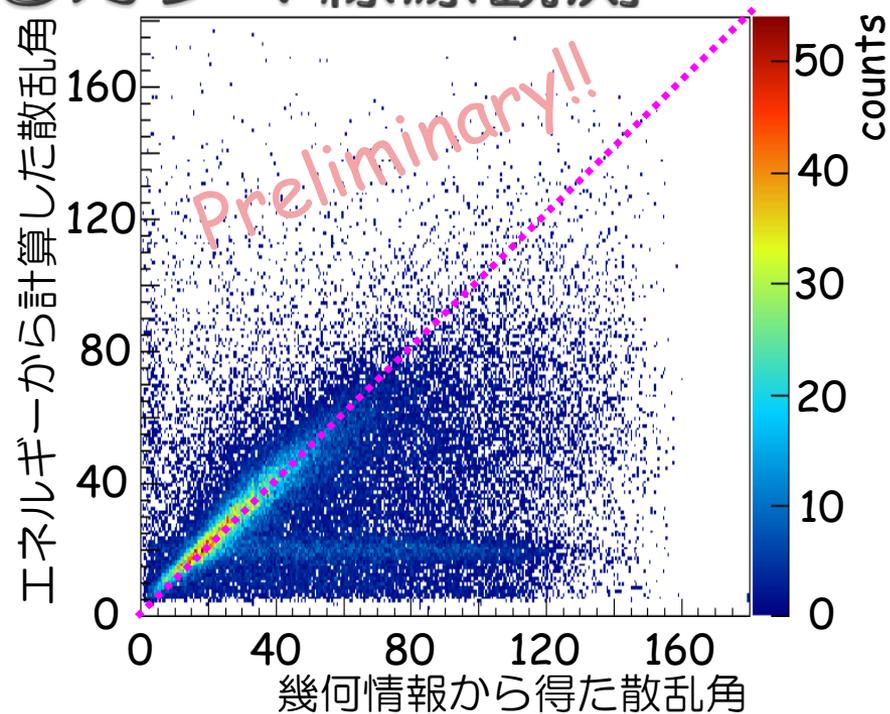
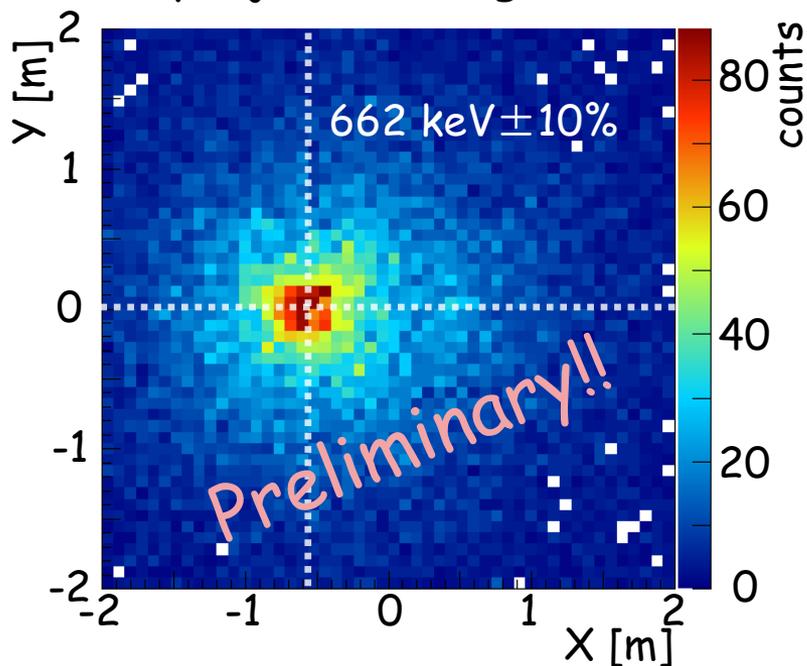
ドリフト速度・相対ゲイン値: ガス状態によって変化
3日ほどで劣化⇔7時間の浄化を繰り返す

性能劣化の回復を実証 ⇒ ガス交換無しに運用が可能に

SMILE-2+ ETCCによるガンマ線源観測



Back projection image @ 1.6 m



まとめ

- ▶ MeVガンマ線天文学の発展には『正しいPSF』が必要
 - 反復計算を用いた統計的推定法ではPSFはあやふや
 - コンプトン望遠鏡では反跳電子の方向を測定することでPSFが大きく改善する
- ▶ SMILE-2+
 - 2018年4月にアリススプリングから放球予定
 - ⇒ 銀河中心領域の e^\pm 対消滅線・かに星雲の観測
 - TPC容器内にシンチレータを設置
 - ガス純化システムによる長期間定常運用を可能に
 - ガンマ線源の検出も確認
 - ⇒ 性能評価は進行中
- ▶ スケジュール
 - 2018/1/9~18 輸出
 - 2018/3/5 現地入り
 - 2018/3/27 放球リハーサル
 - 2018/4/1~5/6 実験期間

