



SMILE:

次世代広視野MeVガンマ線望遠鏡を用いた天体観測気球実験計画

京都大学 高田淳史

谷森達, 窪秀利, 水本哲矢, 水村好貴, 古村翔太郎
岸本哲朗, 竹村泰斗, 中増勇真, 吉川慶
谷口幹幸, 中村優太, 黒澤俊介, 澤野達哉

- MeVガンマ線天文学とETCC
- SMILE-2+/3の設計
- SMILE-2+へ向けた要素開発状況
- まとめ

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) :

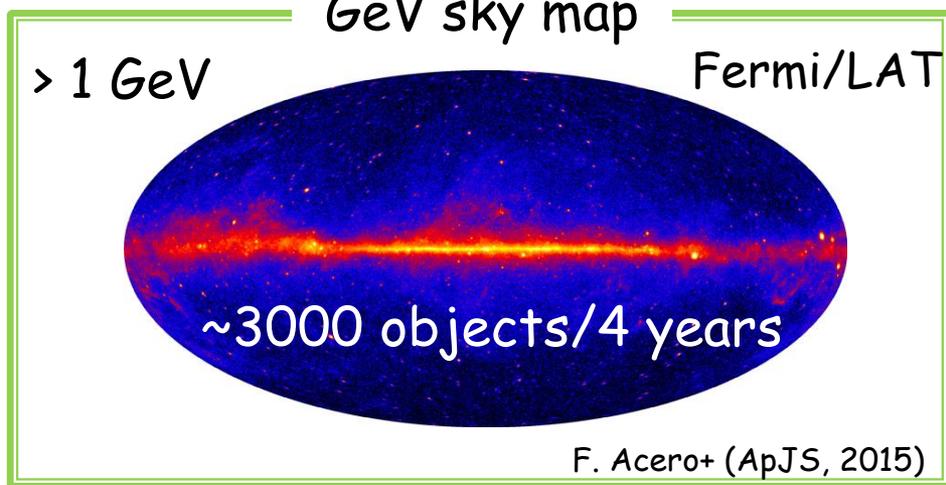
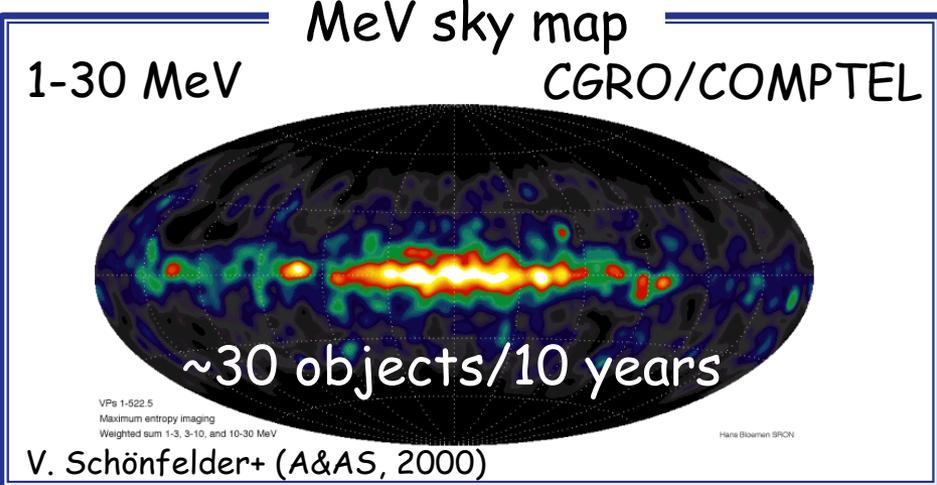
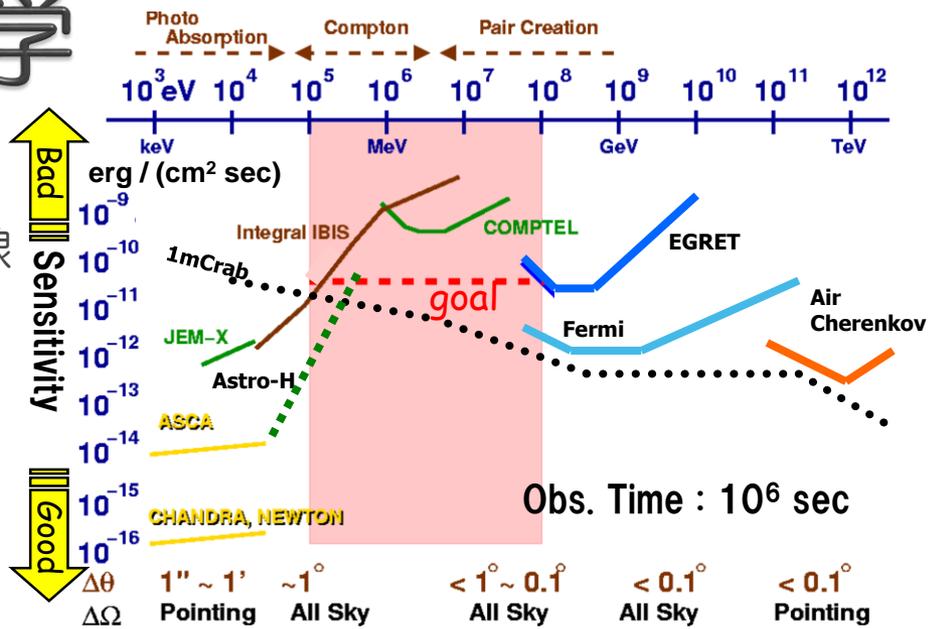
シンクロトロン + 逆コンプトン

◆ 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

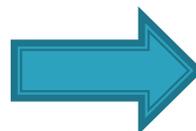


次世代MeVガンマ線望遠鏡への要請

- 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

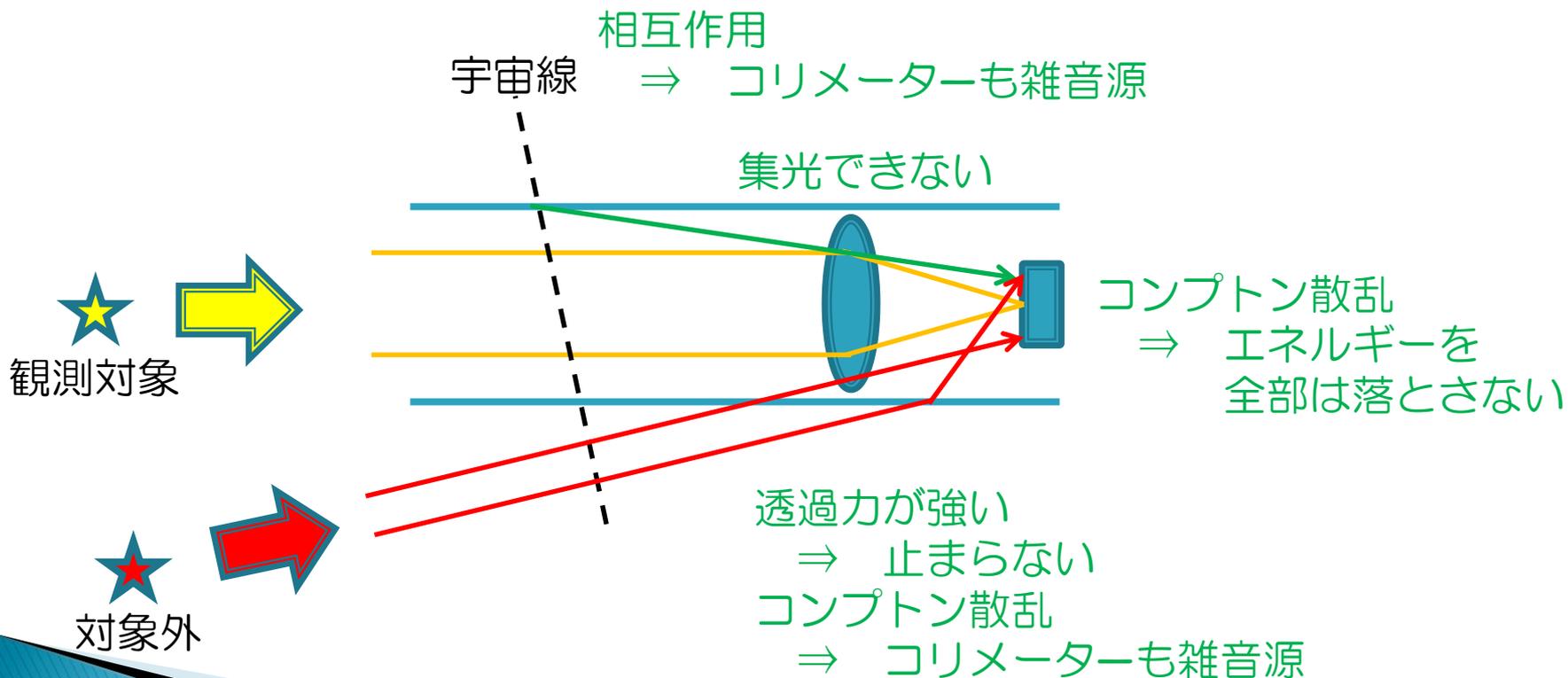
ガンマ線を見る

放射性同位体・原子核の脱励起・粒子の崩壊
対消滅・制動放射・シンクロトロン放射
逆コンプトン散乱 ...etc

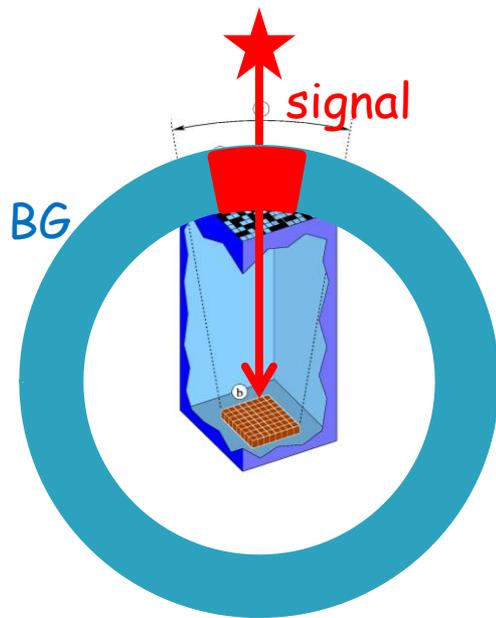


観測対象の
スペクトルだけが見たい

軟ガンマ線にあったイメージング方法が必要



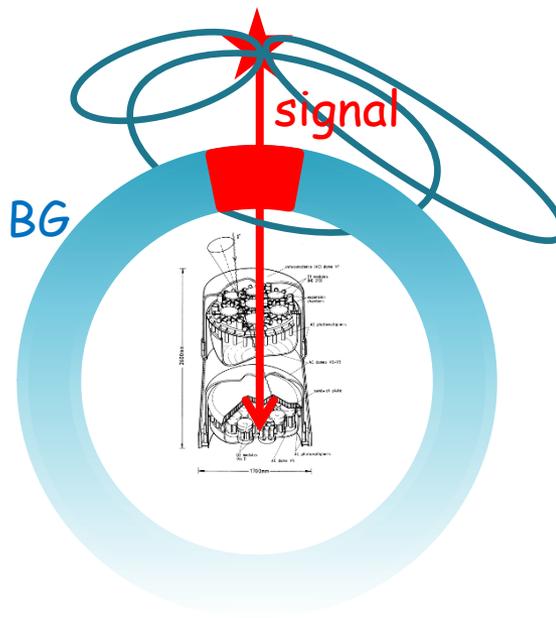
ガンマ線イメージングの問題点



Coded mask

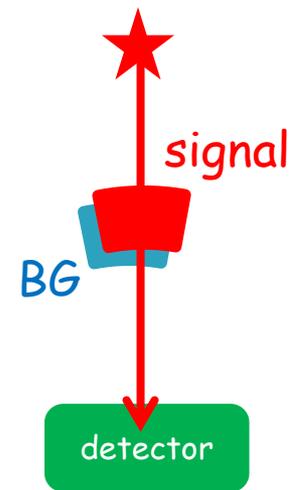
Event毎には
方向の情報がない

到来方向を得るには情報が足りない
⇒ 統計的手法で方向分布を推測



Compton imaging

Event毎には
1角のみ方向情報がある

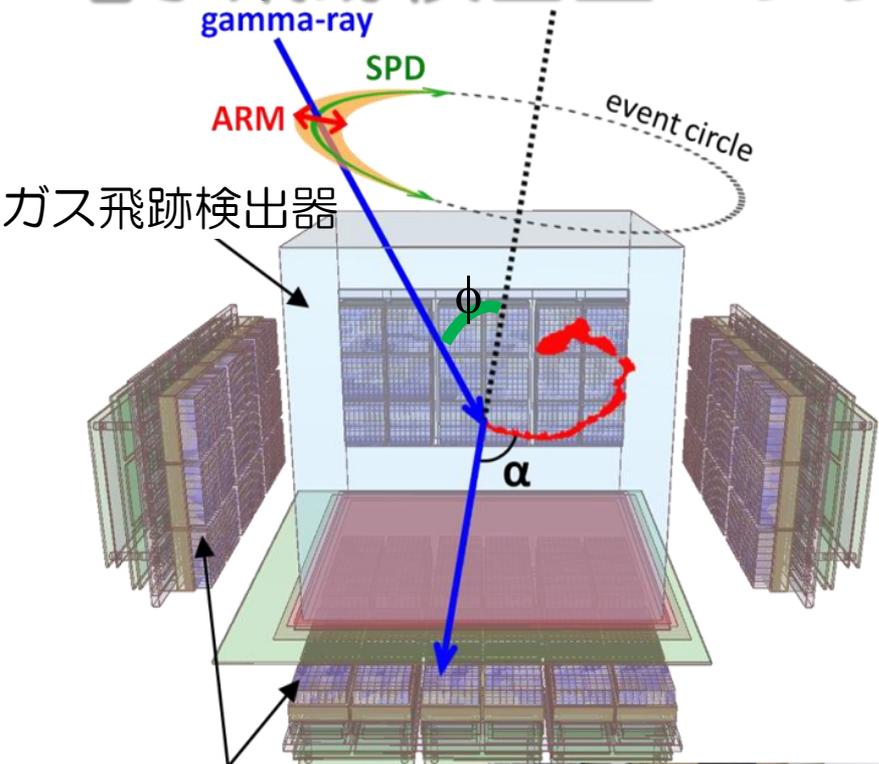


New imaging

Event毎に
2角の方向情報を得る

観測領域に被る
BGだけ考えれば良い
⇒ 大幅にSN比を改善

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

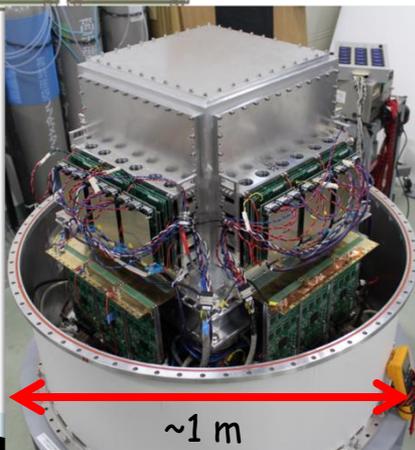
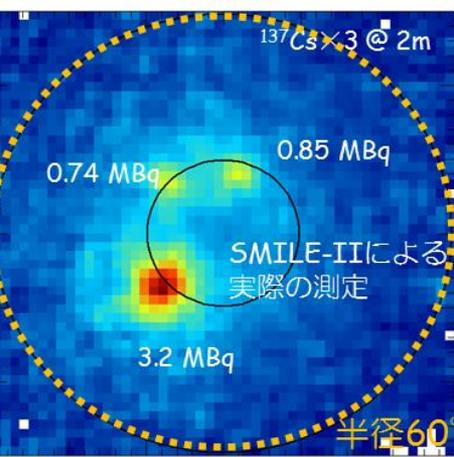
➤ ピクセルシンチレータアレイ

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-II ETCC

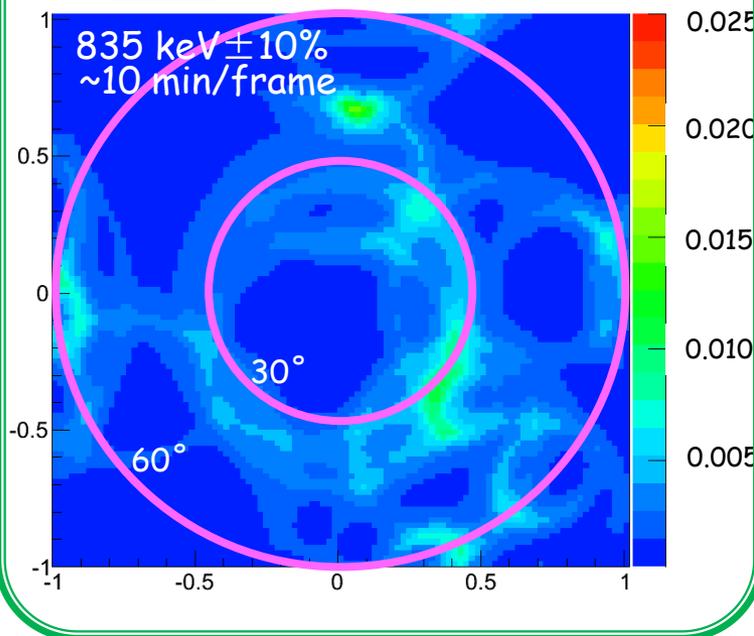
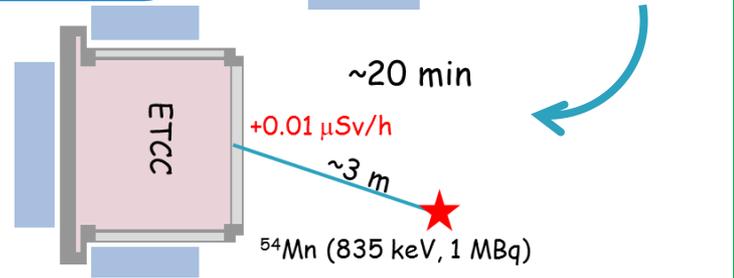
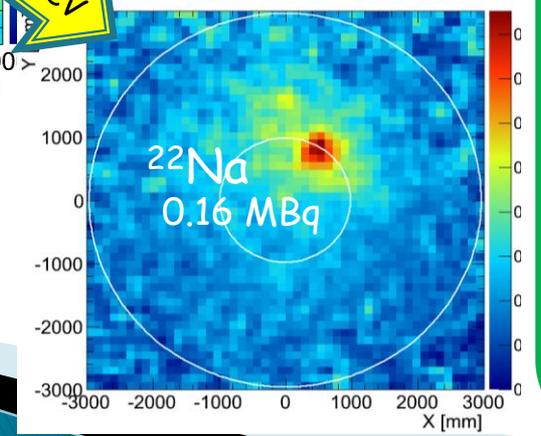
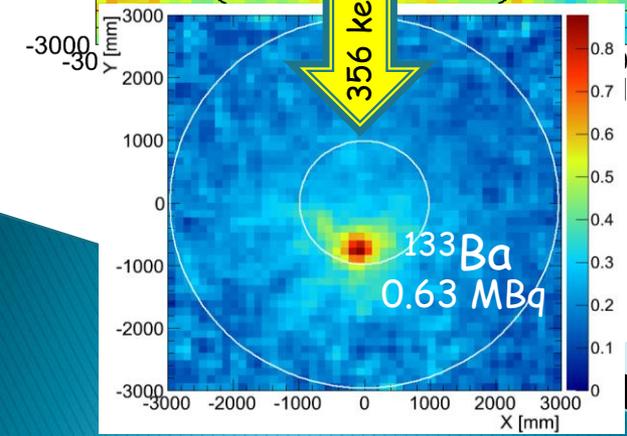
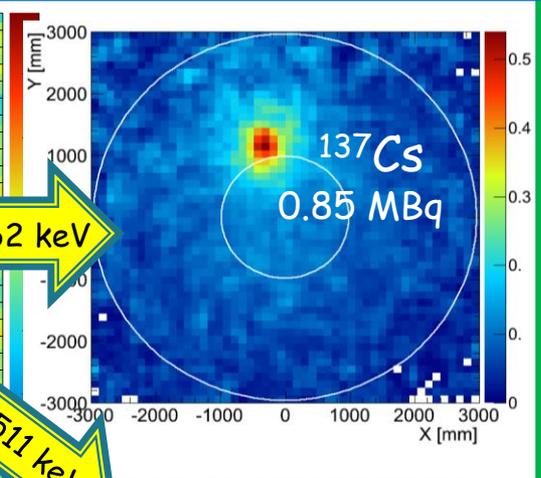
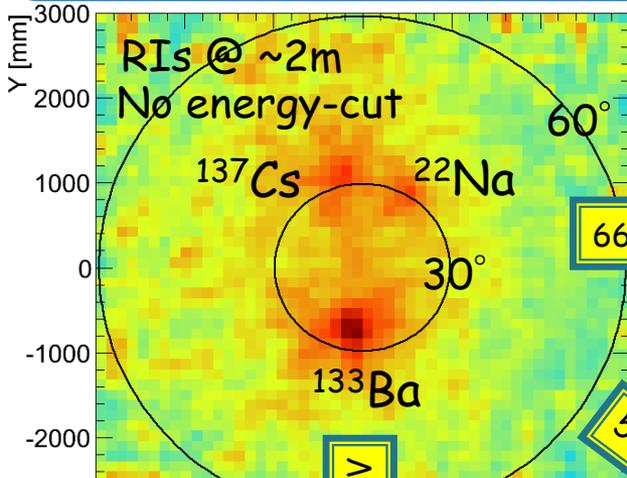
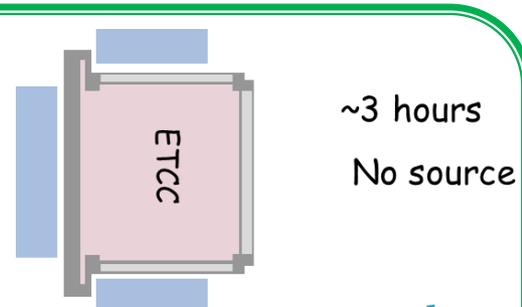
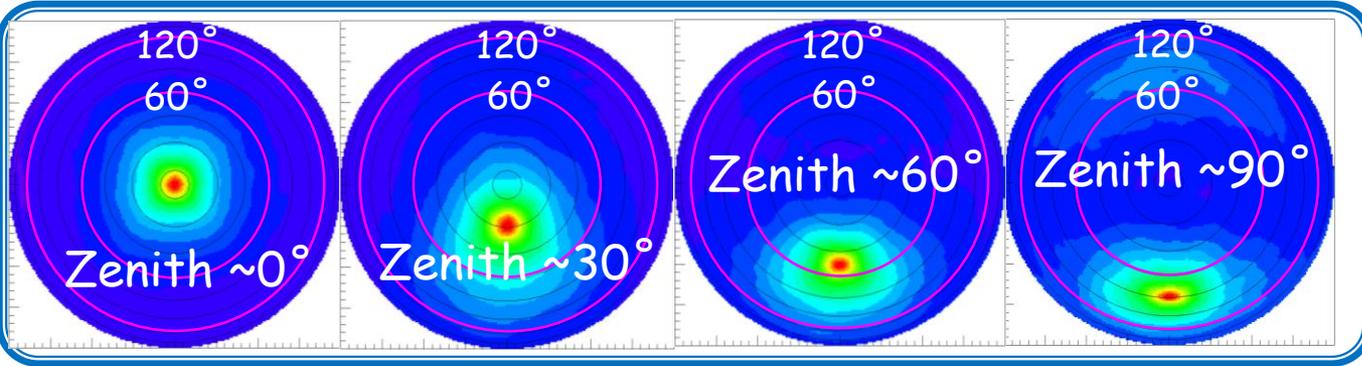
- ▶ 到来方向とエネルギーを一意に特定
- ▶ 大きな視野 (~3 sr)
- ▶ **電子飛跡による鋭いPSF**
⇒ 範囲外の雑音をイメージングで除去
- ▶ **α角によるコンプトン散乱運動学テストと dE/dxによる粒子識別による雑音除去能力**
⇒ 重いVETO検出器が不要

「ガス」検出器であることについて

	ガスTPC		半導体
	Ar 1 atm	CF ₄ 3 atm	Si
電子の数	18	42	14
密度	1.78 mg/cm ³	10.9 mg/cm ³	2.33 g/cm ³
厚み	300 mm		0.5 mm×32層
散乱確率 300 keV	0.507 %	3.26 %	32.5% (1層 : 1.22 %)
散乱確率 600 keV	0.386 %	2.48 %	25.8 % (1層 : 0.930 %)
幾何面積	30×30 cm ²		5×5 cm ²
散乱有効面積 300 keV	4.56 cm ²	29.3 cm ²	8.13 cm ²
散乱有効面積 600 keV	3.47 cm ²	22.3 cm ²	6.46 cm ²

「ガスだから有効面積が小さい」は間違い！！

SMILE-II ETCCによるガンマ線検出



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 未放球

30 cm角, Ar 1気圧

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

SMILE-II+

30 cm角, Ar > 1 気圧

- 明るい天体のイメージングが目標 511 keV from G.C. @ Alice Spring
Crab nebula/Cyg X-1 @ Fort Sumner
- 目標 有効面積 : \sim 数 cm^2 @ $< 300 \text{ keV}$
PSF : ~ 5 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 : $\sim 10 \text{ cm}^2$ @ $< 300 \text{ keV}$
PSF : < 5 度 @ 662 keV

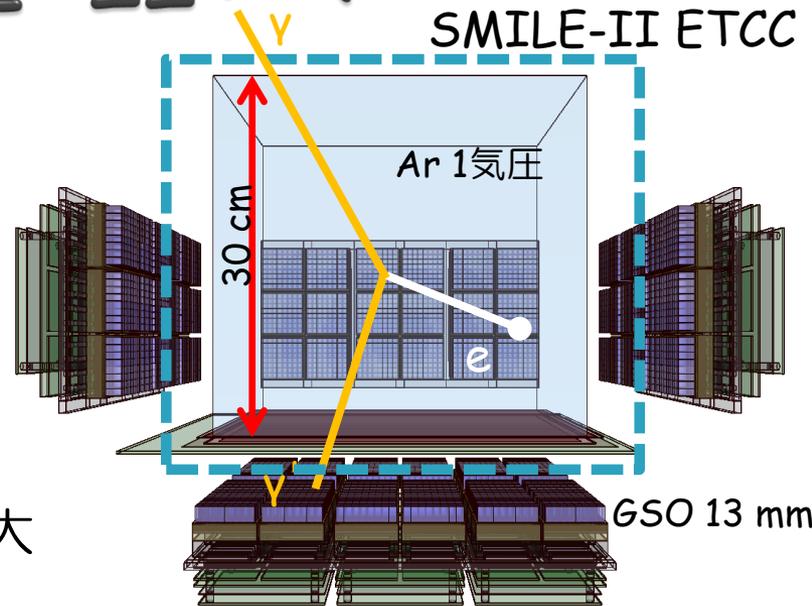
衛星による全天観測

50 cm角, CF₄ 3気圧

SMILE-IIからSMILE-II+へ

▶ 広帯域化・PSFの向上

- GSO 13 mm ⇒ 500 keVで40%は素通り
光電吸収は~25%
- Ar 1気圧, 30 cm角 ⇒ 測定できる反跳電子は
せいぜい150 keV以下
~50 keVの電子が受ける
多重散乱は~100度



- ◆ GSOの厚みを増大
⇒ 散乱ガンマ線の検出確率大
- ◆ ガス容器内にGSOを設置
⇒ >150 keVの電子も測定
多重散乱は~20度

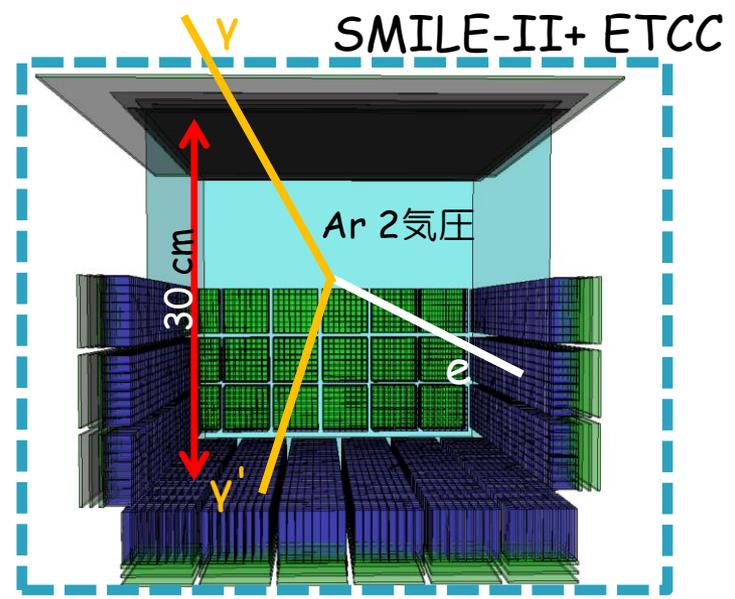
▶ 有効面積の拡大

GSOシンチの位置 ⇒ 飛跡検出器を覆えていない

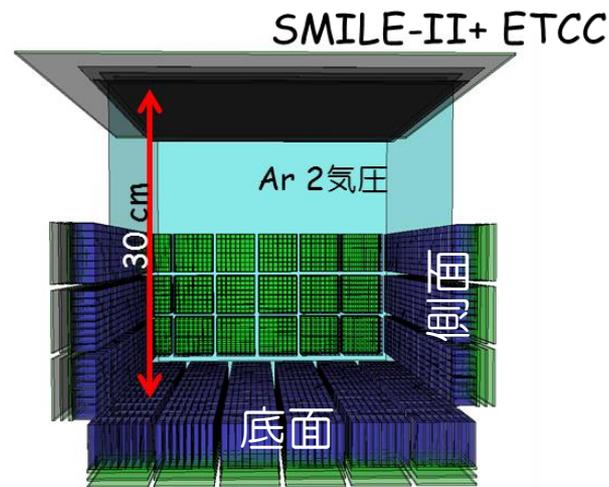
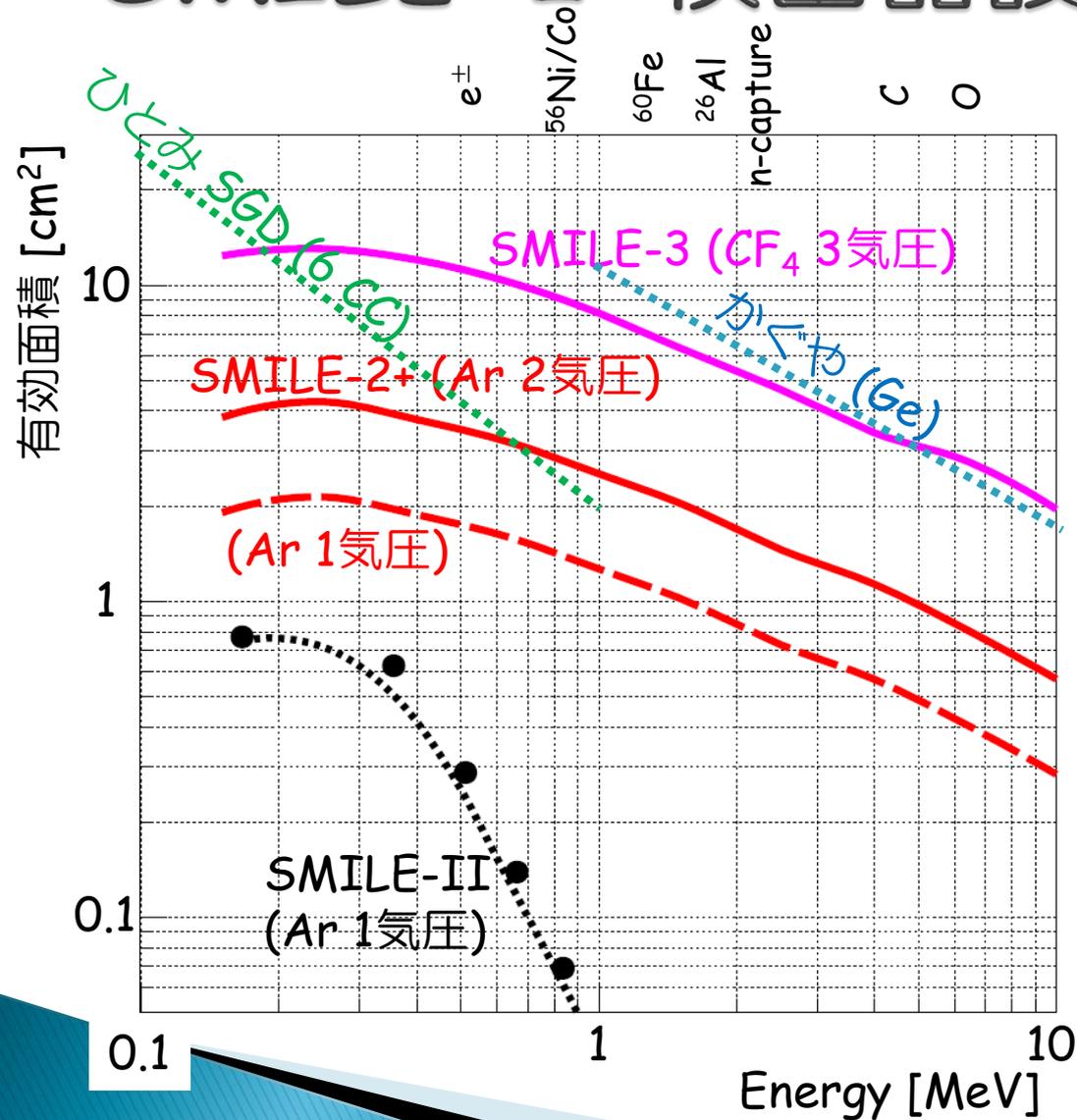
- ◆ ガス容器内にGSOを設置
⇒ シンチ間の隙間が激減

▶ 安定性・不感時間

- ◆ ガス純化の純化システム
- ◆ Ethernetによる高速DAQ

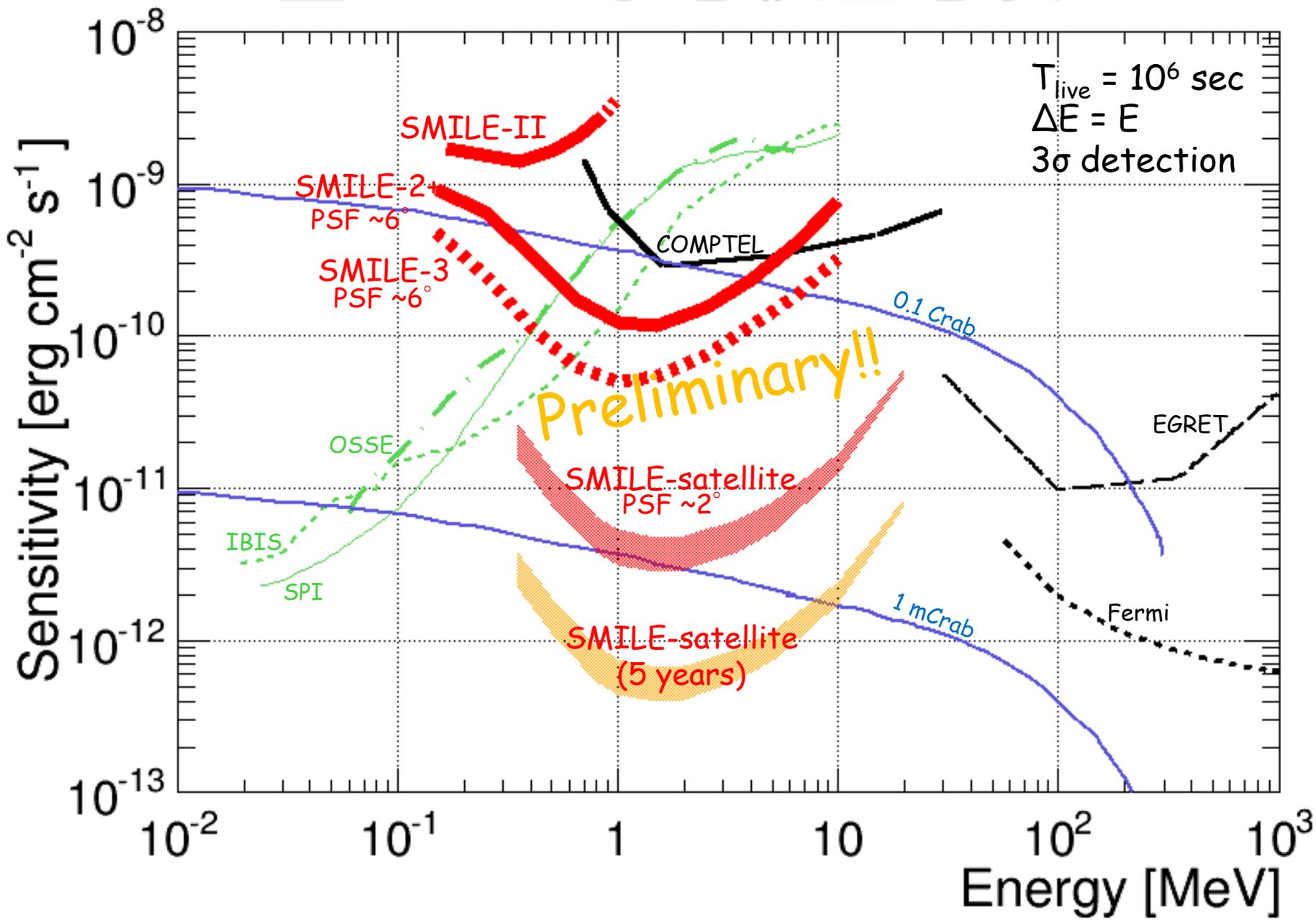


SMILE-2+検出器設計



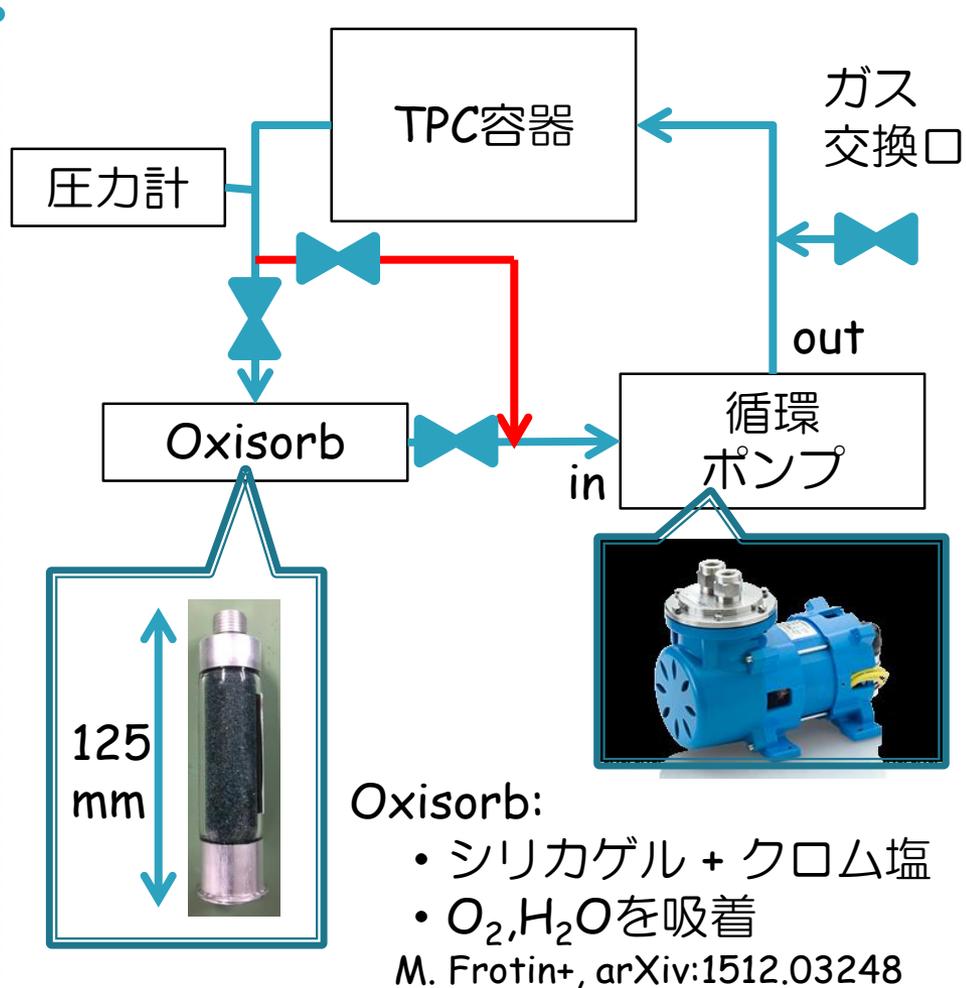
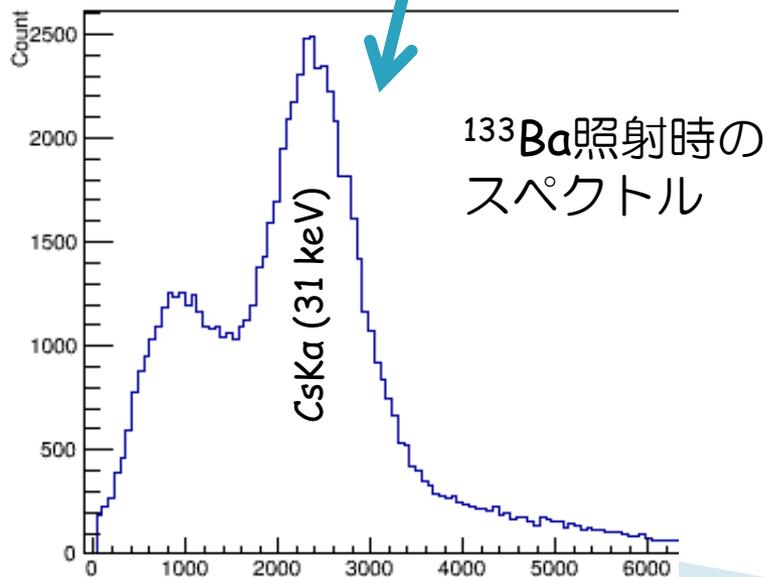
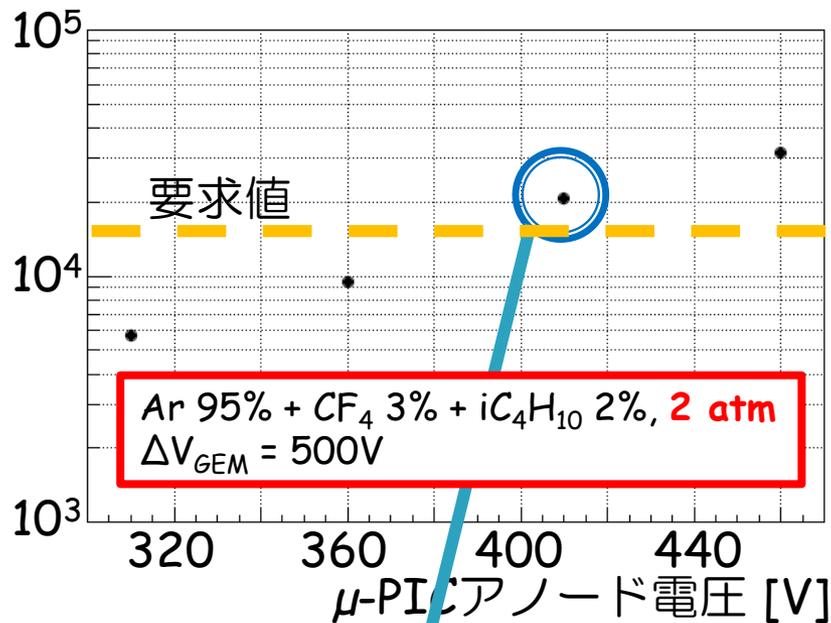
- 底面の厚みを増大 + 電子の測定にGSOも使用 + シンチレータ間の隙間減
⇒ 400 keV以上で 有効面積の大幅な改善
- ガスをCF₄ 3気圧に
⇒ 300 keVで >10 cm² ガスの変更のみで SMILE-3へ移行可能

PSFに基づいた予想検出感度



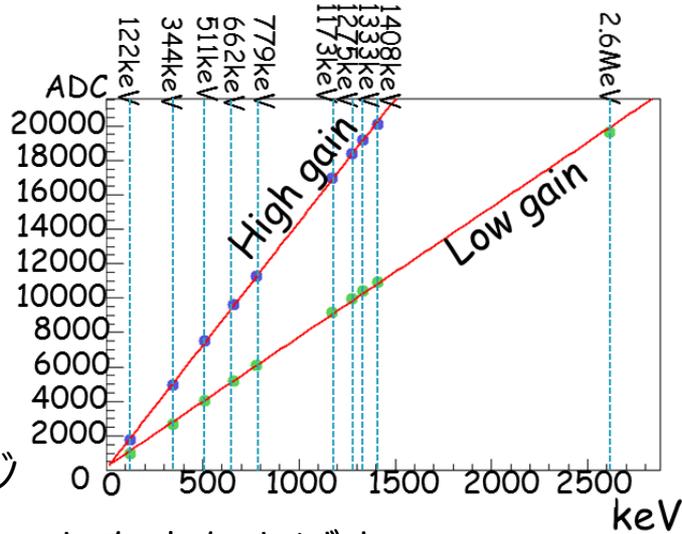
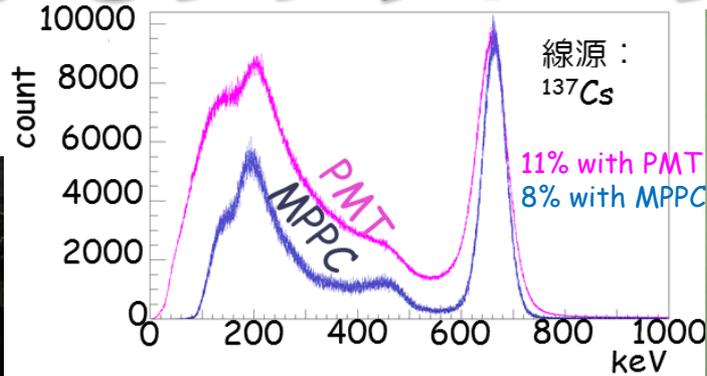
ガススタディ

ガス利得

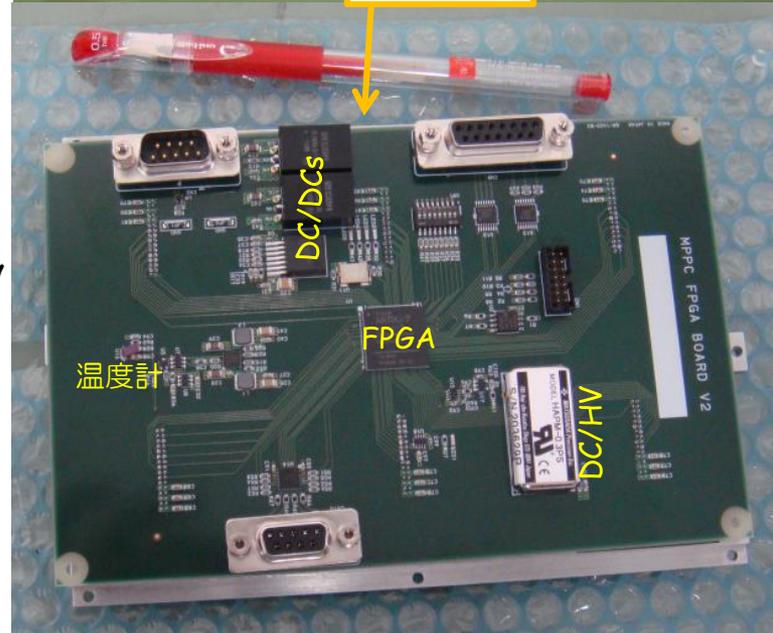
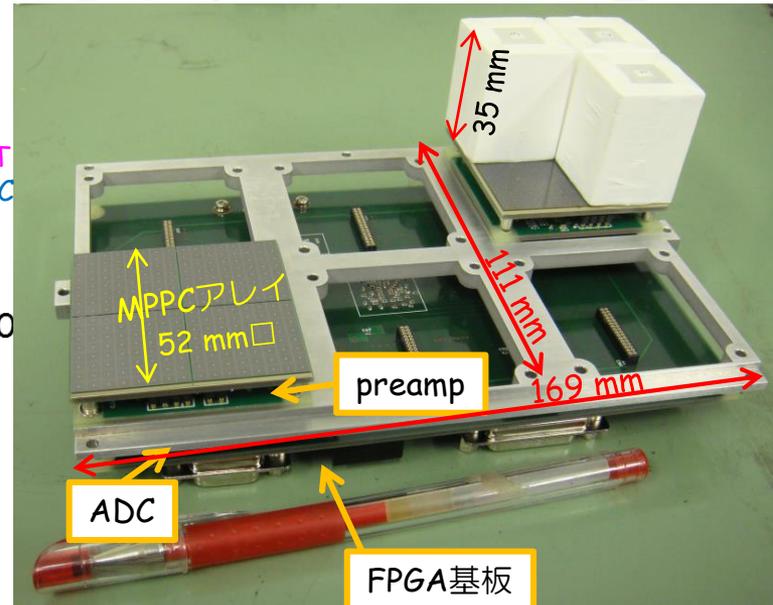


- Ar 2気圧で飛跡検出器の動作は確認
- アウトガス対策としてガス純化系を現在試験中 (他グループでは半年以上の実績有)

MPPCによるシンチレータ読み出し回路

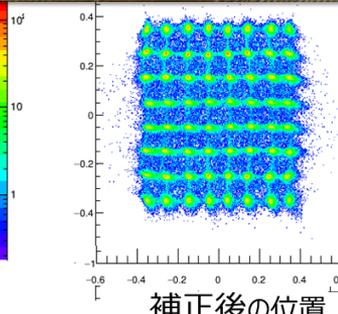
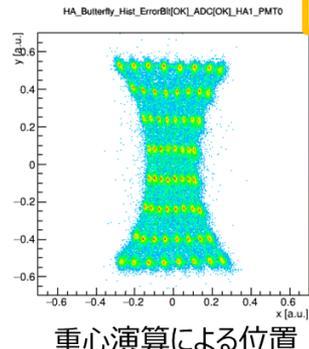
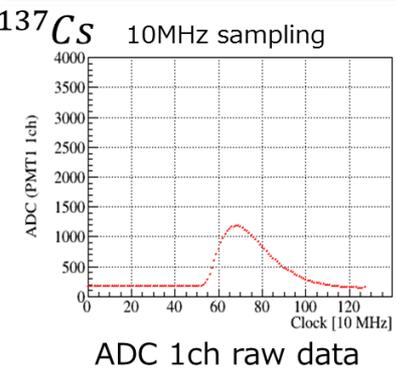
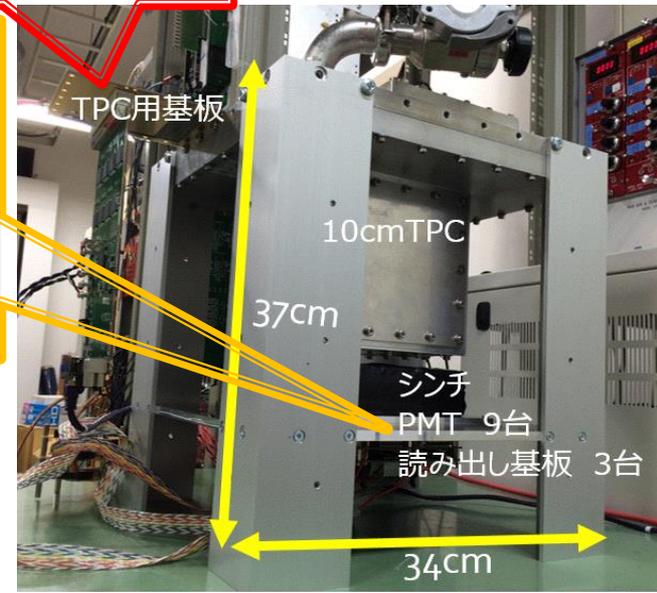
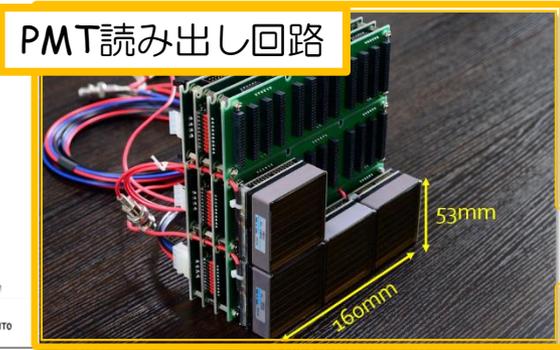
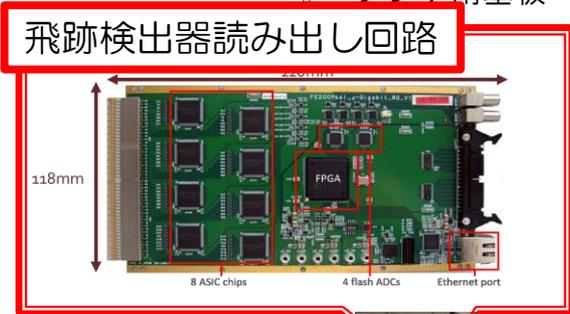
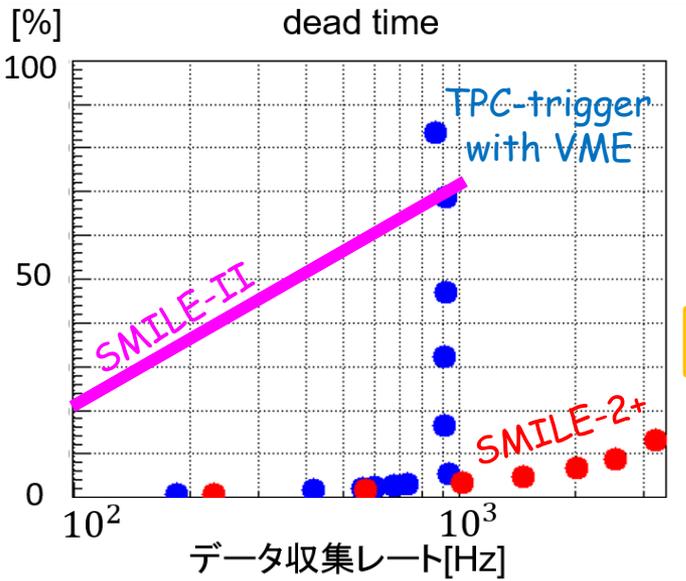
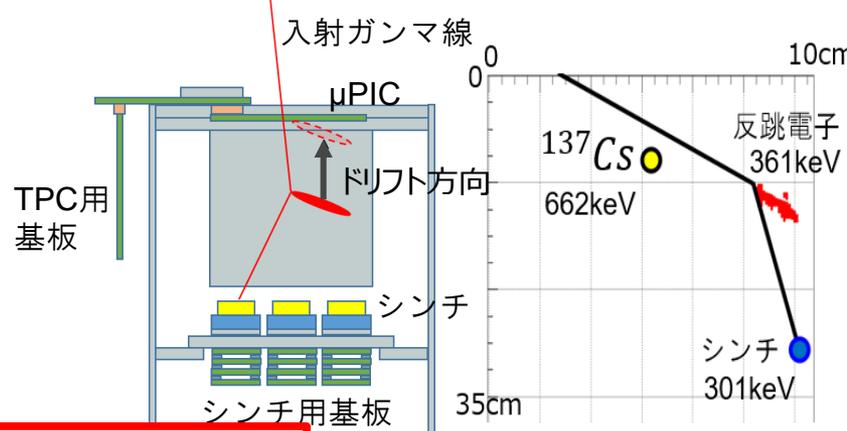


- 8% @ 662 keVのエネルギー分解能
- 0.12 - 2.6 MeVのダイナミックレンジ
- MPPC読み出しユニットを立ち上げ中
⇒ 徐々にPMTから置き換えを行う予定



高速DAQシステム

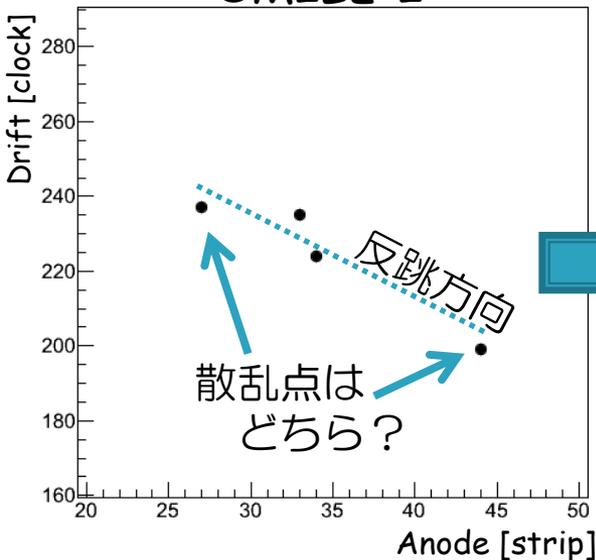
- Common stop DAQへ変更
- VMEを廃止、network型DAQへ
 - ⇒ 不感時間の大幅削減
 - 重量・消費電力の削減



近々、30 cm角ETCCへ組み込み予定

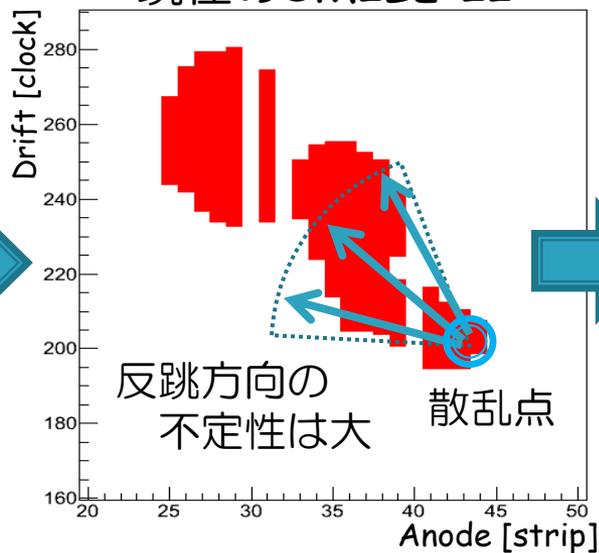
飛跡解析改良

SMILE-I



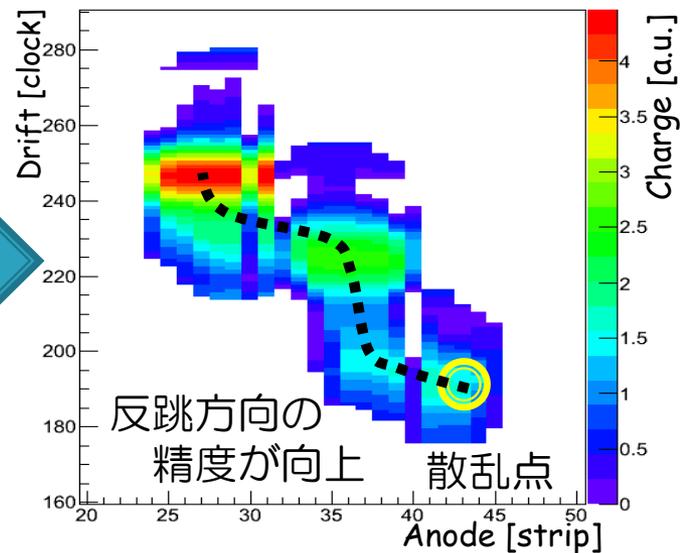
ARM : $\sim 10^\circ$
SPD : $\sim 200^\circ$

現在のSMILE-II



ARM : $\sim 5^\circ$
SPD : $\sim 100^\circ$

SMILE-2+



ARM : ?
SPD : ?

- SMILE-I \Rightarrow SMILE-II
取り零していたhit情報も出力できるようDAQを変更
- SMILE-II \Rightarrow SMILE-2+
エネルギー測定のためのアナログ波形情報も飛跡解析に使用
データ収集システムはSMILE-IIと同じ

まとめ

- ▶ SMILE-2+/3へのupgradeを進行中
 - シンチレータをガス容器内部に設置
 - シンチレータの厚みを増大

⇒ PSF・有効面積の向上、広帯域化

▶ SMILE-2+

有効面積：~2 cm² (<400 keV) PSF：~5度 (662 keV)

観測対象：銀河中心領域からの電子陽電子対消滅線 @ Alice Springs
かに星雲/Cyg X-1 @ Fort Sumner

▶ SMILE-3

有効面積：~10 cm² (<500 keV) PSF：~5度 (662 keV)

観測対象：銀河面に広がる²⁶Al
電子陽電子対消滅線の銀河面分布 など





Thank you for your attention!

<http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/research/MeV-gamma/wiki>