

SMILE6:

高圧ガス検出器を用いた コンプトンカメラの開発

黒澤俊介 (京大理)

谷森達, 窪秀利, 身内賢太郎, 株木重人,
Parker Joseph, 上野一樹, 岩城智, 高橋慶在,
澤野達哉, 谷上幸次郎, 東直樹, 中村輝石(京大理)
高田 淳史 (ISAS/JAXA)

内容: ガンマ線観測気球実験: SMILE計画
SMILE-IIに向けた検出効率向上
高圧ガス充填カメラの性能
まとめ

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

◆ SMILE I 2006年9月 @三陸

目的: 動作実証・宇宙背景・大気ガンマ線測定 → 成功

TPC (Time Projection Chamber) :

Xe+Ar+C₂H₆ガス (80 : 18 : 2)

1気圧、10 × 10 × 14cm³

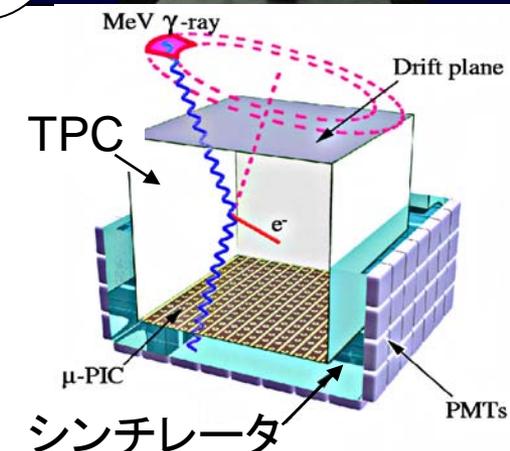
シンチレータ : : GSO(Ce) 6 × 6 × 13mm³ 2112ピクセル
(マルチアノードPMT HPK H8500 33個、TPC底面・側面配置)



水平フライト・live time3時間 : ~400光子を検出
(0.1~1MeV、高度約33km、視野: 半頂角60度)

◆ SMILE II 2011年

目的: Crab または Cyg X-1 の観測



SMILE II において

◆ 検出効率の向上

- 検出器の大型化 (40cm角の検討)
- **ガスの高圧化**
- ガスの選定 (CF₄ガスの検討)

澤野講演11aSB-2

本講演

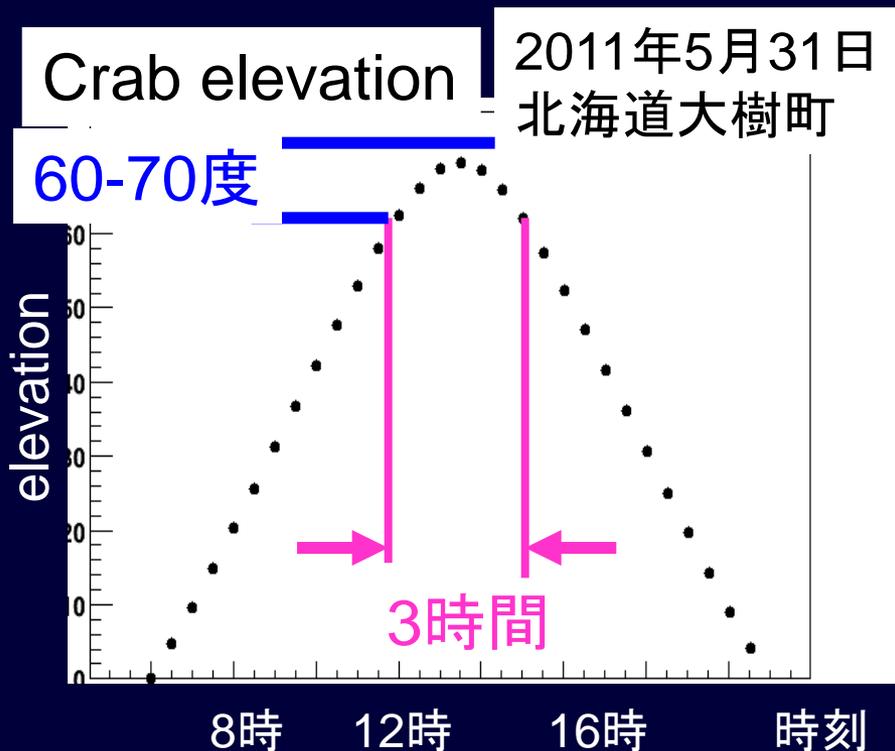
高橋講演11aSB-3

高橋講演11aSB-3

◆ TPCの電子飛跡検出の精度向上 (CF₄)

◆ 省電力化 (シンチレータの読出し改良)

岩城講演(前講演)



Geant 4 での見積

アルミベッセル(5mm厚)

CF₄ガス

2気圧

TPC40cm角

高度40cm

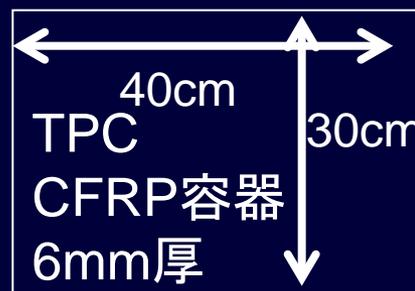
3時間測定

Crab

検出光子数

~1000個

(0.1-1MeV)



GSOアレイ:

側面 96個 底面 64個

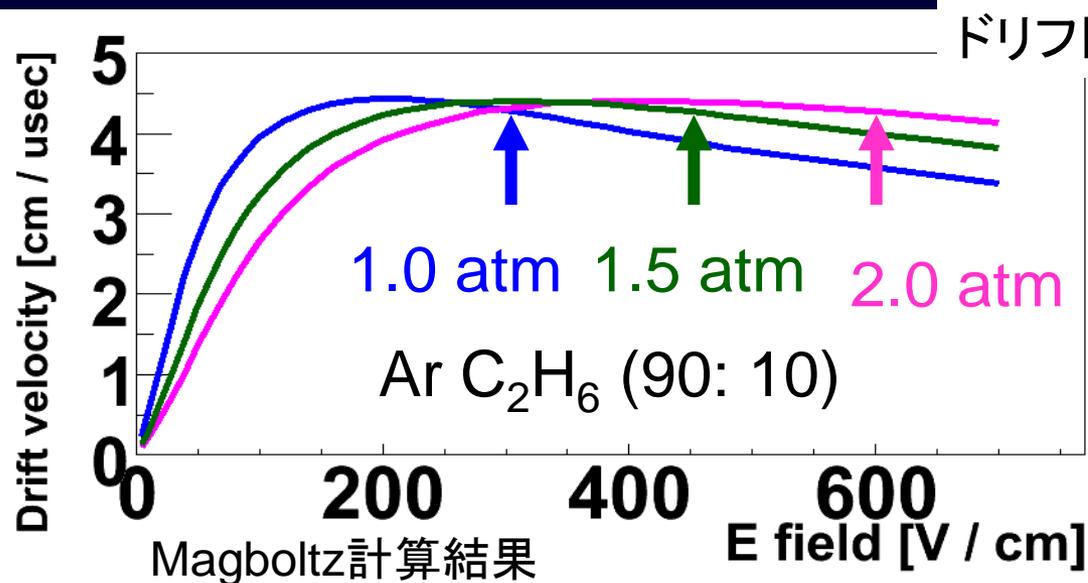
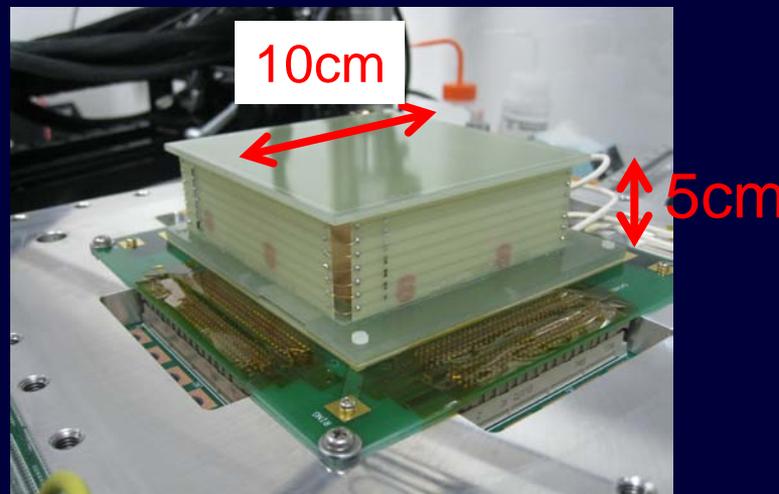
TPCセットアップ

耐圧容器(アルミ)

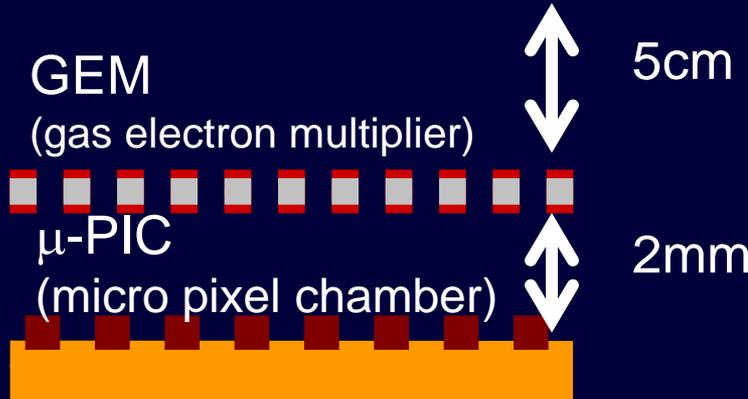
+ 10 x 10 x 5 cm³ TPC

Ar + C₂H₆ (90: 10) :1, 1.5, 2 atmで

1. TPC性能評価
2. コンプトンカメラの性能評価

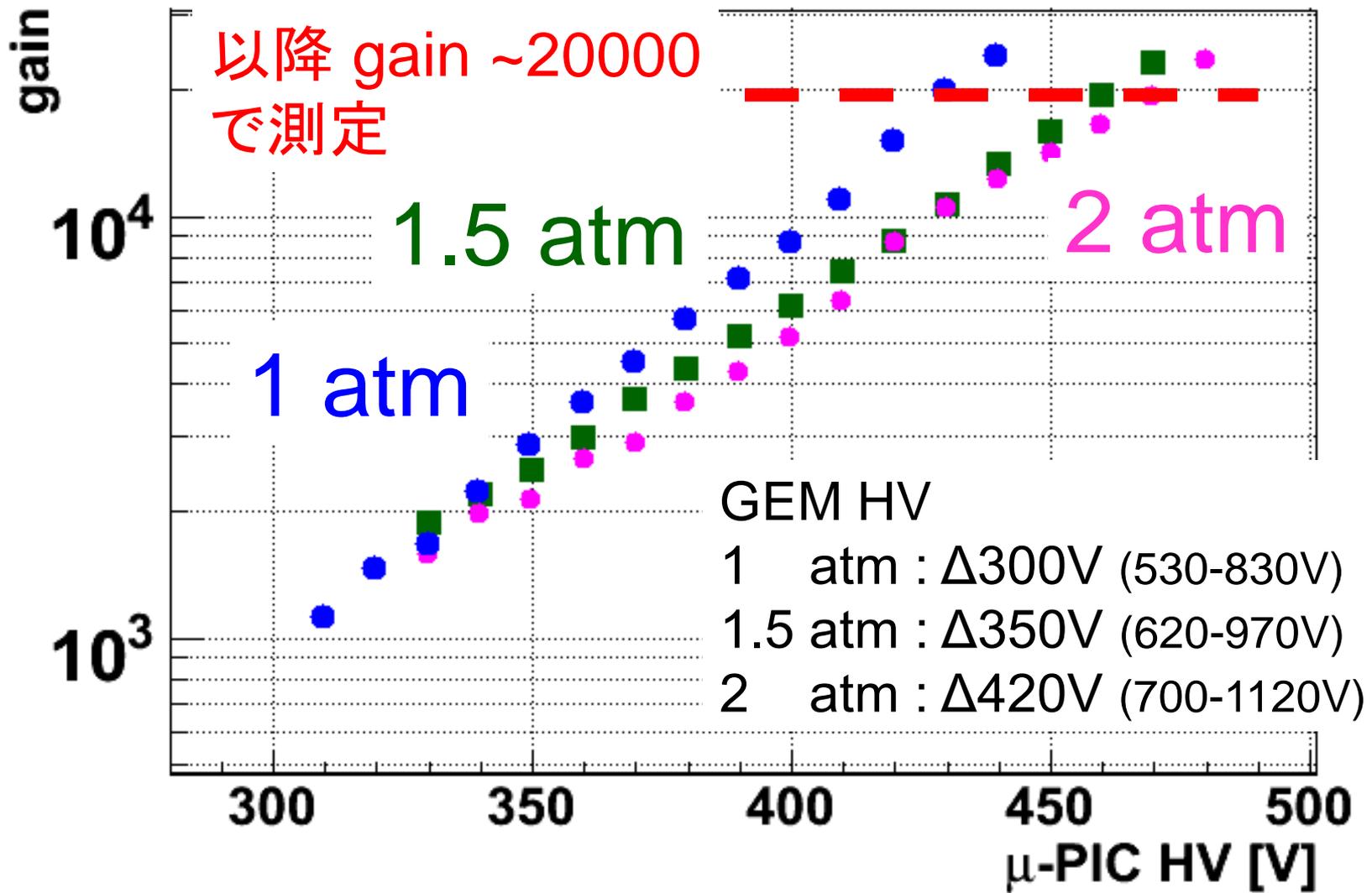


ドリフトレーン

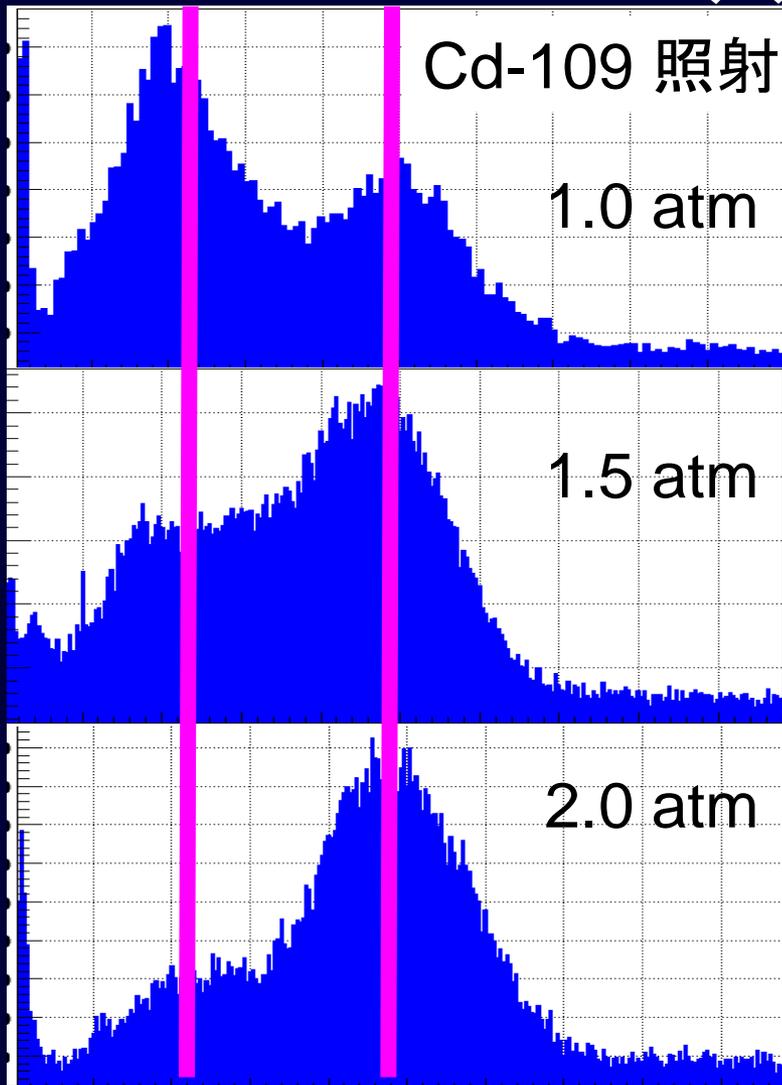


GEM: Sauli (1997), Inuzuka *et al.*(2004)

トータルガスゲイン



TPC スペクトル



8 keV 22keV

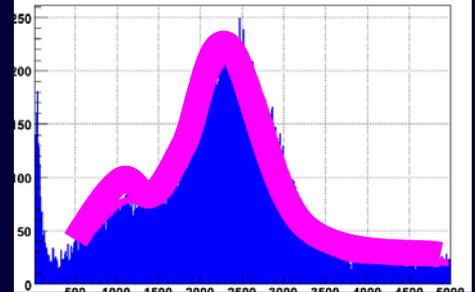
8keV・・・GEMなどにあるCuの特性X線

ダブルガウシアン
+ 一次関数で
フィット

22keVピーク側の
 σ と高さの積

↓
光電吸収ピーク
の面積に相当

→ Live timeで規格化
して検出効率とする

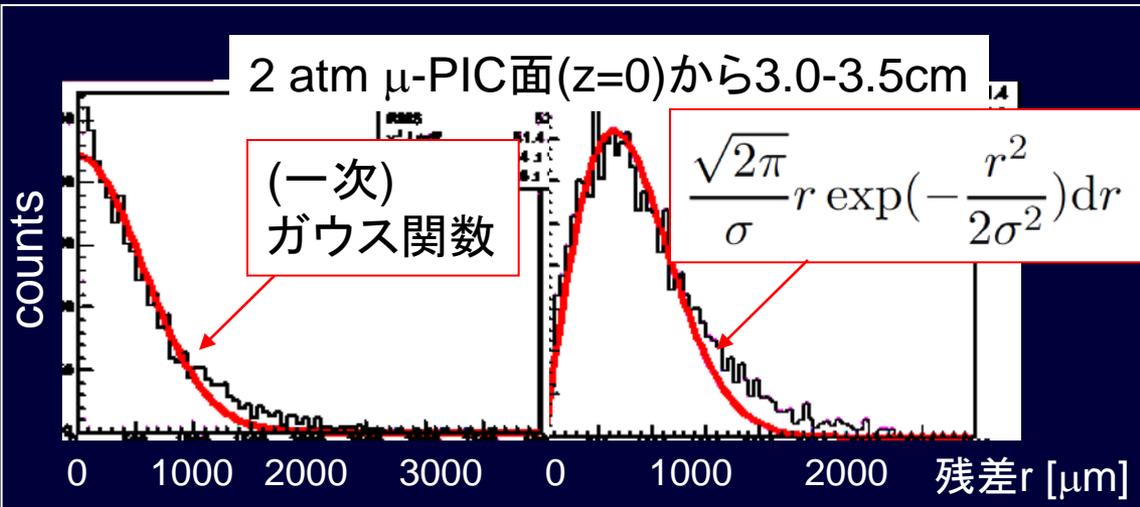
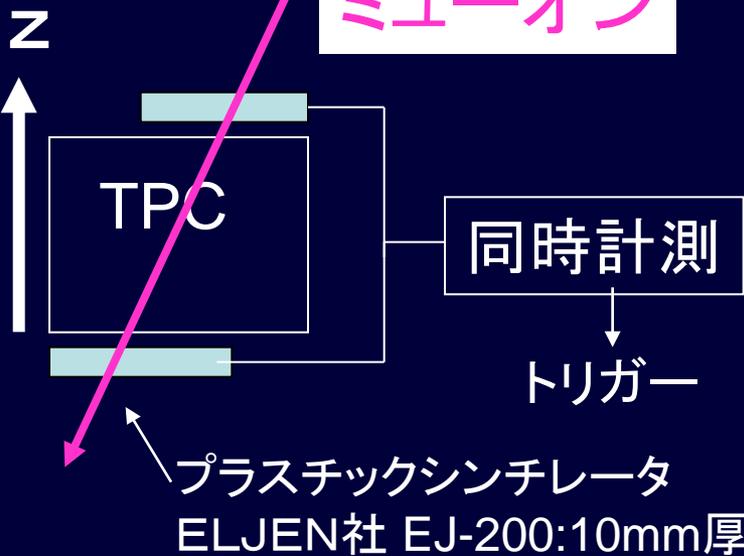


気圧 [atm]	検出効率 @22keV
1.0	1
1.5	~1.7倍
2.0	~2.1倍

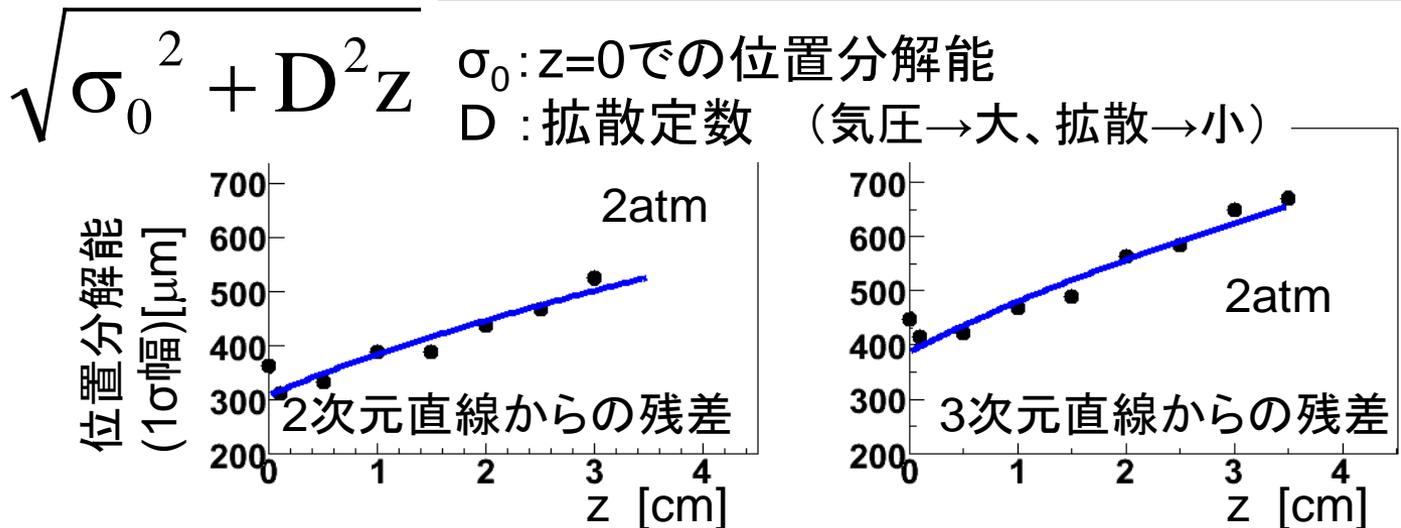
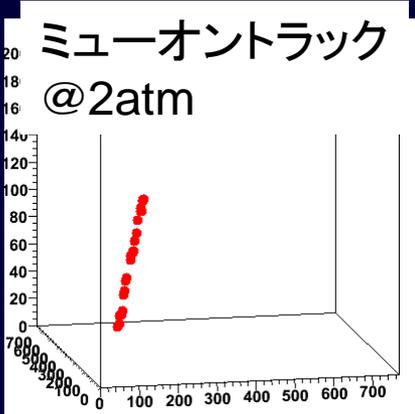
効率は
おおよそ
気圧に比例

位置分解能

ミュオン



水平面射影
2次元直線からの残差 3次元直線からの残差



各気圧での拡散係数比較

誤差は $\pm 0.5\sigma$

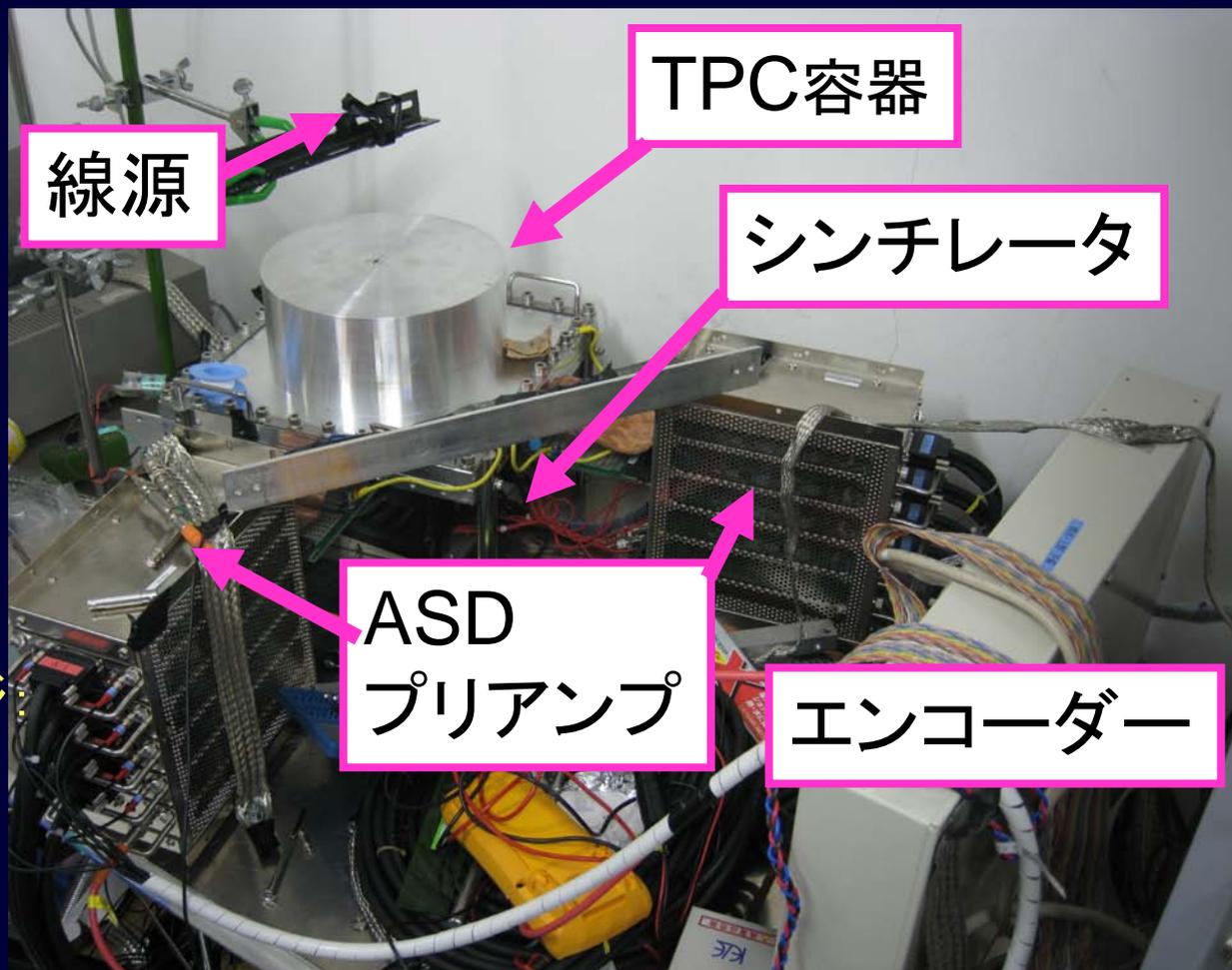
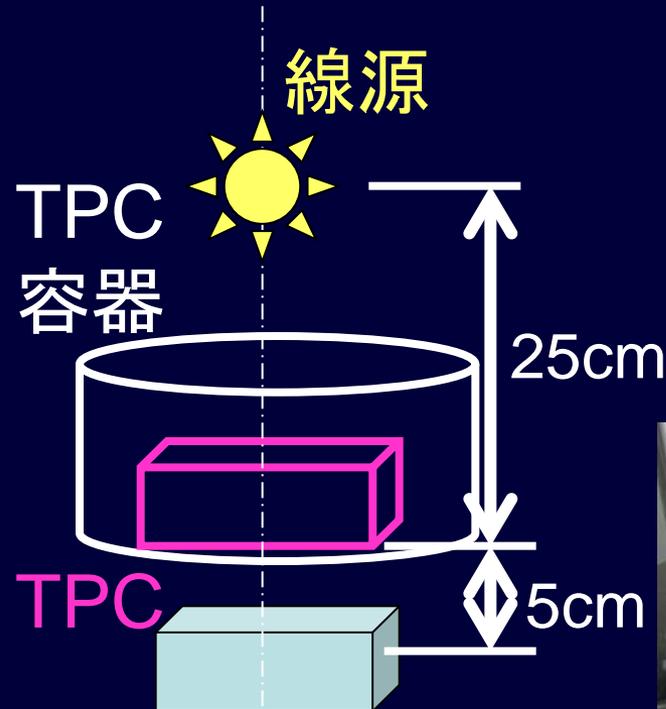
気圧 [atm]	1.0	1.5	2.0	1 : 1.5 : 2.0 atmでの比
z=0での3次元、 位置分解能 [μm]	402 ± 38	372 ± 36	387 ± 36	 <div data-bbox="1439 458 1908 706" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 位置分解能： 気圧による 変化はエラー内 </div>
z=0での水平平面上、 位置分解能 [μm]	343 ± 39	289 ± 38	308 ± 33	
拡散定数D(水平平面) [$\mu\text{ m/cm}^{1/2}$]	324 ± 32	255 ± 30	228 ± 27	
Magboltzによる拡散 係数(水平平面) [$\mu\text{ m/cm}^{1/2}$]	468	382	330	1 : 0.82 : 0.71

$(\text{拡散係数})^2 / N_{\text{eff}} = (\text{拡散定数 } D)^2$
 $N_{\text{eff}} = 2.0 - 2.2$



拡散は計算どおり

コンプトンカメラ セットアップ



シンチレータ
GSO(Ce)アレイ+
マルチアノードPMT
HPK H8500 3x3個
ダイナミックエネルギーレンジ
300 - 1000 keV
エネルギー分解能
(FWHM, 662keV)
9アレイ平均: 10.4%

検出効率 (1気圧との比)

Preliminary

コンプトン点位置条件
(fiducial volume)

水平面

10cm μ -PIC中心から
 ± 4 cm

垂直方向

μ -PIC面から
4mm-46mm

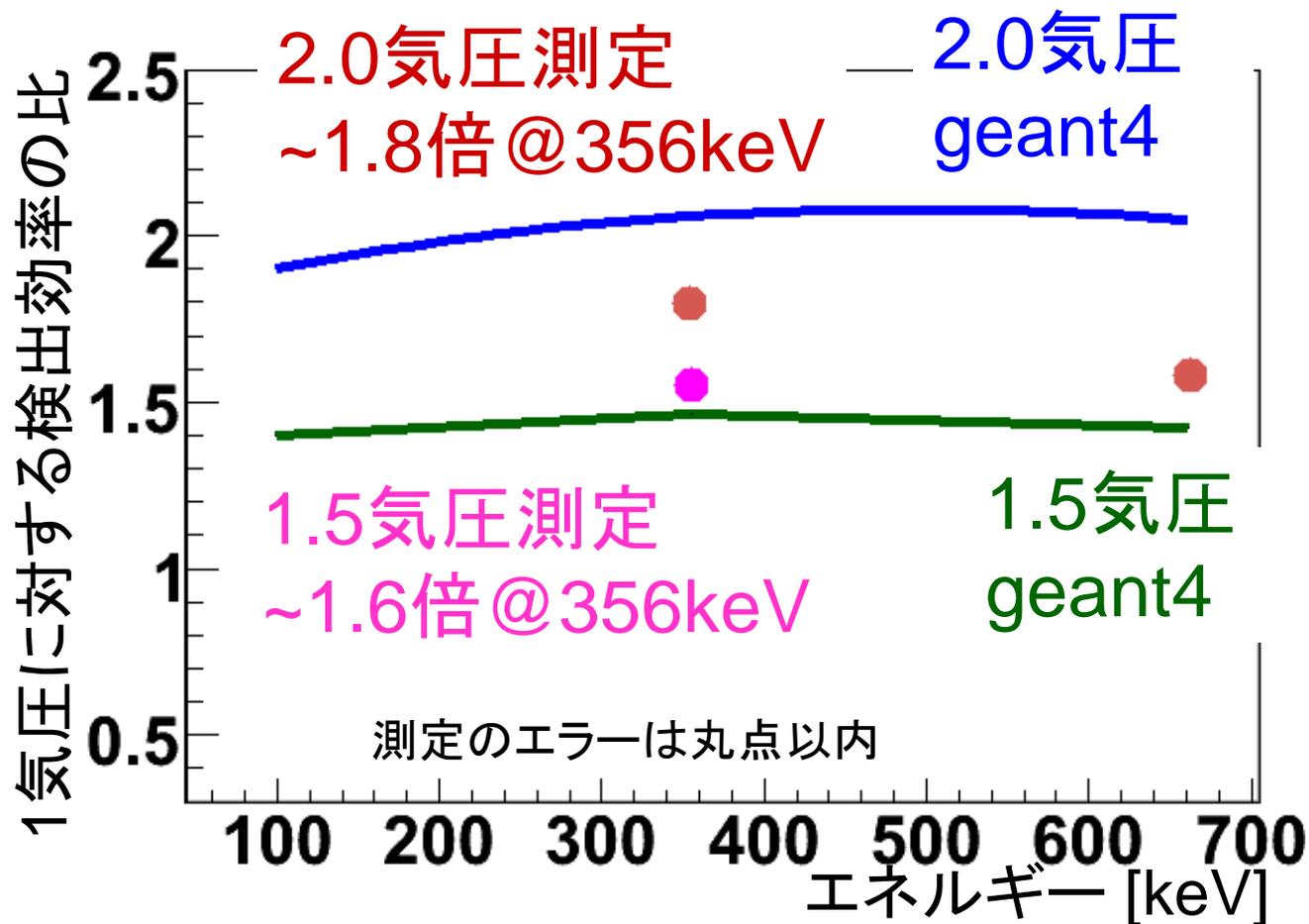
エネルギー範囲

356 keV:

310-402keV

662 keV:

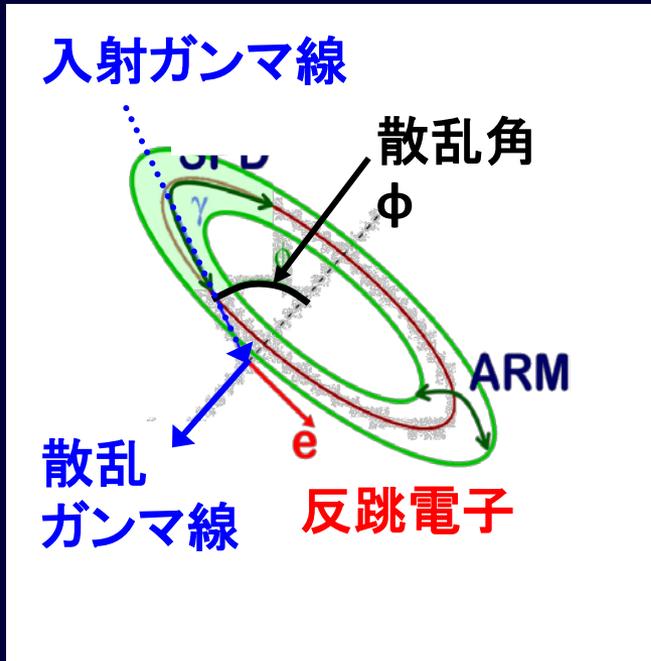
621-703keV



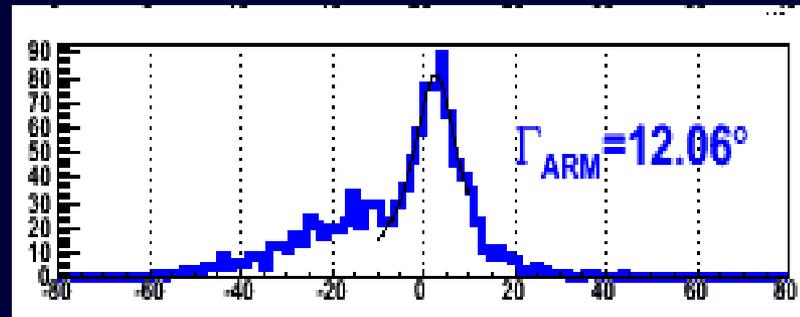
本実験のセットアップをもとにGeant 4で計算
計算では解析効率が気圧によらず一定としてある

角度分解能

Preliminary



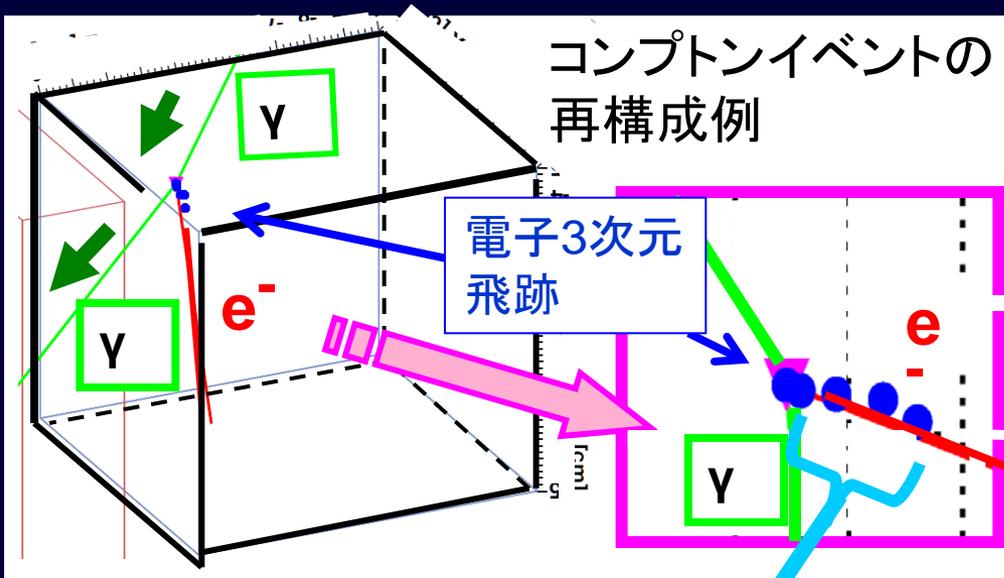
ARM :
Angular Resolution Measure



ARM @ 2気圧・356keV

気圧 [atm]		1.0	1.5	2.0
ARM (FWHM) [deg.]	356keV	8.3	9.4	12.1
	662keV	6.4	---	7.9

[考察]：検出効率・角度分解能



ガスTPC単体：検出効率 \propto 気圧 ○
コンプトンカメラ：検出効率 \propto 気圧 ×

単位長さあたりに落とす電子のエネルギー \propto 気圧

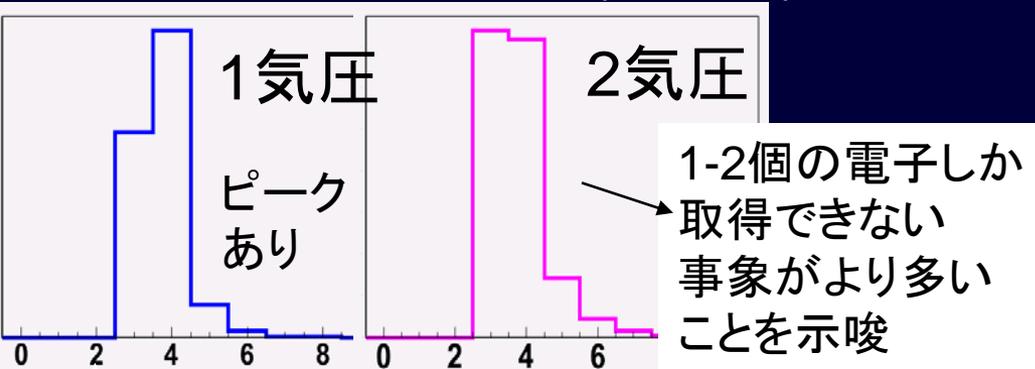
気圧が上がると取得する電子位置情報が数が少なくなる



コンプトン点の決定精度が低下
→再構成できるイベントの減少
→角度分解能の悪化

電子のヒット条件の改良(ハード的)
アノード・カソード同時計測の時間条件をゆるくして測定

ヒットした電子の数の分布(Ba-133)



2個以下は検出器としてデータを取得していない

まとめと今後の課題

- 検出効率向上のためのガス検出器の高圧化
 - Ar+C₂H₆ (90 : 10) ガス、1.0, 1.5および2.0気圧でテスト
 - ガスTPC検出器
 - 検出効率 1.0:1.5:2.0 atm = 1 : 1.7 : 2.1
 - 拡散係数 1.0:1.5:2.0 atm = 1 : 0.79 : 0.70
 - コンプトンカメラ
 - 検出効率 1.0:1.5:2.0 atm = 1 : 1.6 : 1.8 @ 356keV
 - 角度分解能 ARM(FWHM) @ 356keV
 - 1.0, 1.5および2.0 atm: 8.3, 9.4 および12.1度
- データ取得手法・解析手法の改善
 - アノード・カソード同時計測条件の改良など
- 他のガス(例:CF₄ガス:高橋講演)の高圧化
- 大型高圧容器での試験