

2003.09.27 秋季天文学会

アバランシェフォトダイオードと高阻止能結晶
シンチレータBGOを用いた軟ガンマ線検出器

中本 達也、深沢 泰司、川埜 直美、阿部 由紀子、高橋 拓也、
永江 修、松浦 大介 (広大理)、片岡 淳、五十川 知子 (東工大理)

Introduction

現在の宇宙観測 数10 keV ~ 数MeVに**感度ギャップ**
▶ コンプトン散乱が支配的
▶ バックグラウンドが大きい

MeV領域の軟ガンマ線を効率よく検出するため
バックグラウンドの混入を防ぐため

↓
▶ **阻止能が高い**
▶ **大きく作り易い**
高阻止能結晶シンチレータ**BGO**が有効
(Integral, HXD)

特性	NaI:TI	CsI:TI	BGO	GSO
実効原子番号	50	54	74	59
密度 (g/cm ³)	3.67	4.51	7.13	6.71
最大発光波長 (nm)	410	565	480	430
蛍光出力 (相対値)	100	45	12	20
蛍光減衰時間 (ns)	230	1000	300	60
吸収係数 (11keV:1cm)	0.34	0.41	0.955	0.674

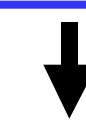
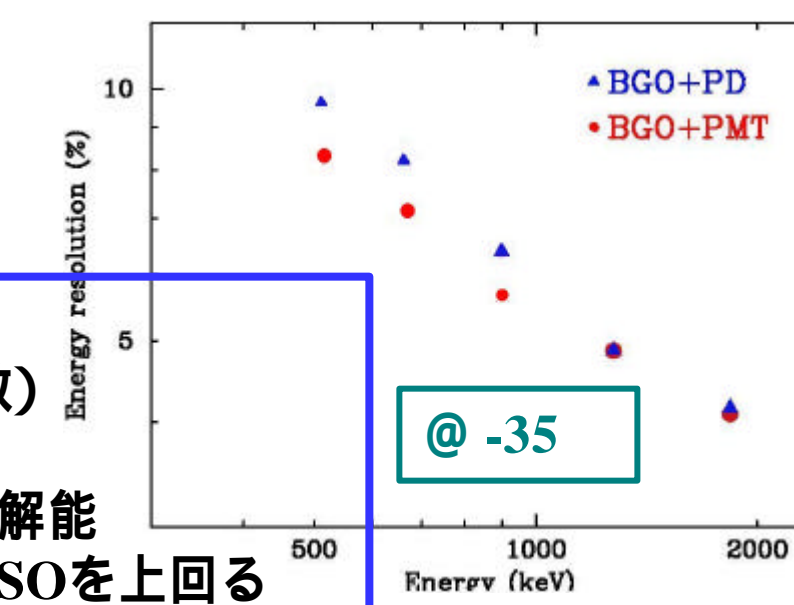
BGOを用いた性能のよい軟ガンマ線検出器の開発を目指す

これまでの成果と今回の測定

BGOは阻止能は高いが光量が低い

BGO+PMT
量子効率 ~ 20% 限界がある

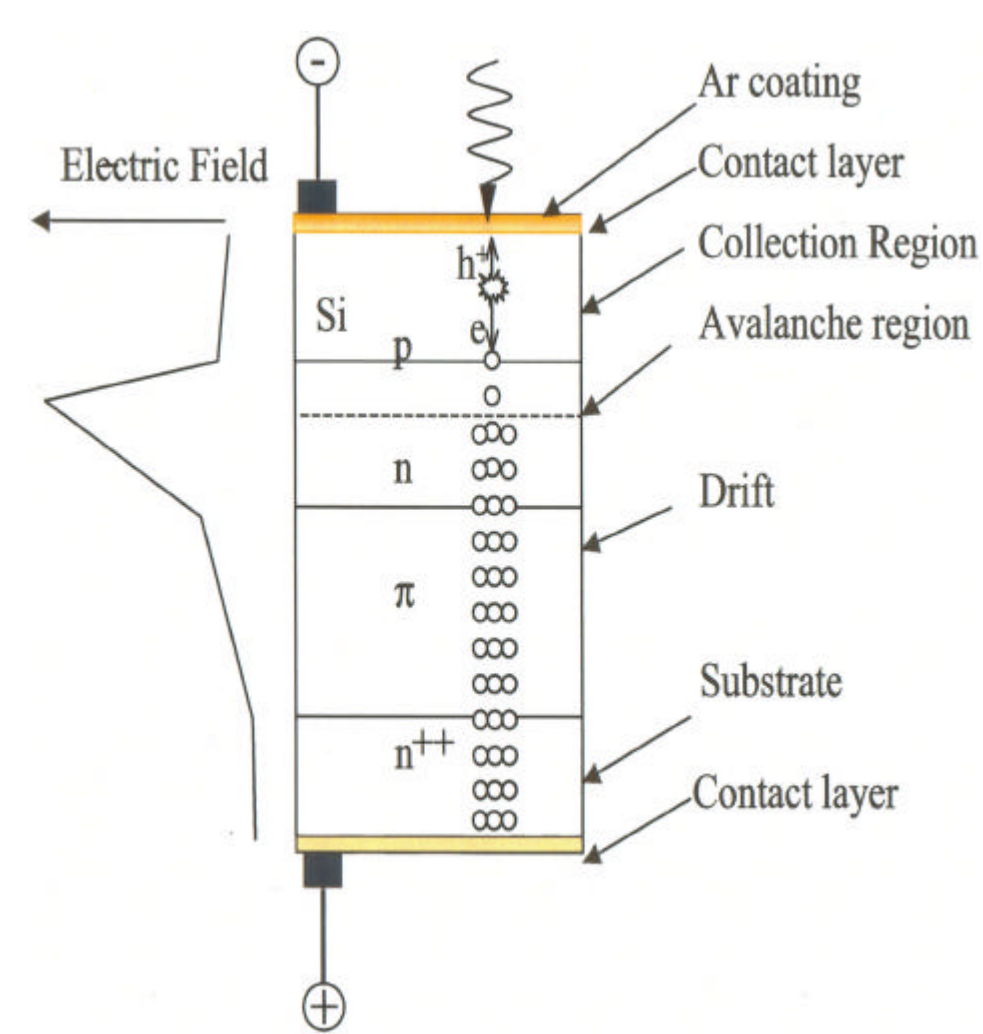
BGO+フォトダイオード(PD)
量子効率 ~ 85% (BGOの発光波長帯と一致)
性能の良いCSA(CP5102)
▶ MeV領域ではPMTと同等のエネルギー分解能
▶ 冷却し(BGOの光量up) 光量の相対値がGSOを上回る
▶ 信号が小さく電気回路系雑音に埋もれがち、S/N比が悪い



BGO + アバランシェフォトダイオード(APD)

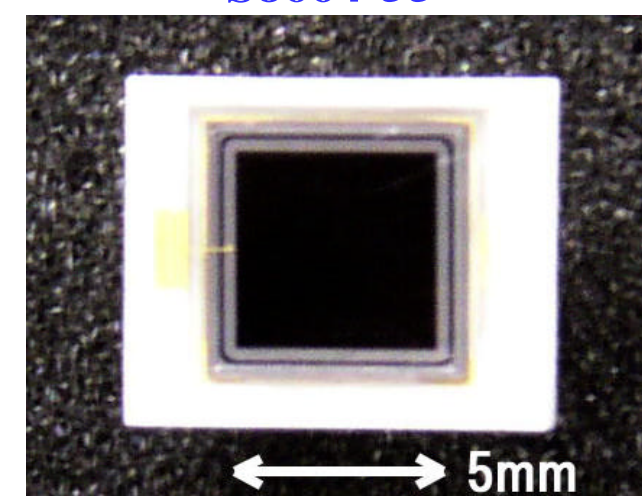
内部増幅、量子効率が大きい(~80%)、コンパクト、磁場の影響を受けにくい
東工大の片岡らにより最近性能のよいAPDが報告されている(W50a 五十川)
S/N比が改善。エネルギー分解能、thresholdの性能の向上が期待される

アバランシェフォトダイオード (APD)



高い電場の領域で雪崩現象を起こし増幅する

浜松ホトニクス社
S8664-55



逆電圧 -290V (最適値)

端子間容量 100 pF

暗電流 1 nA

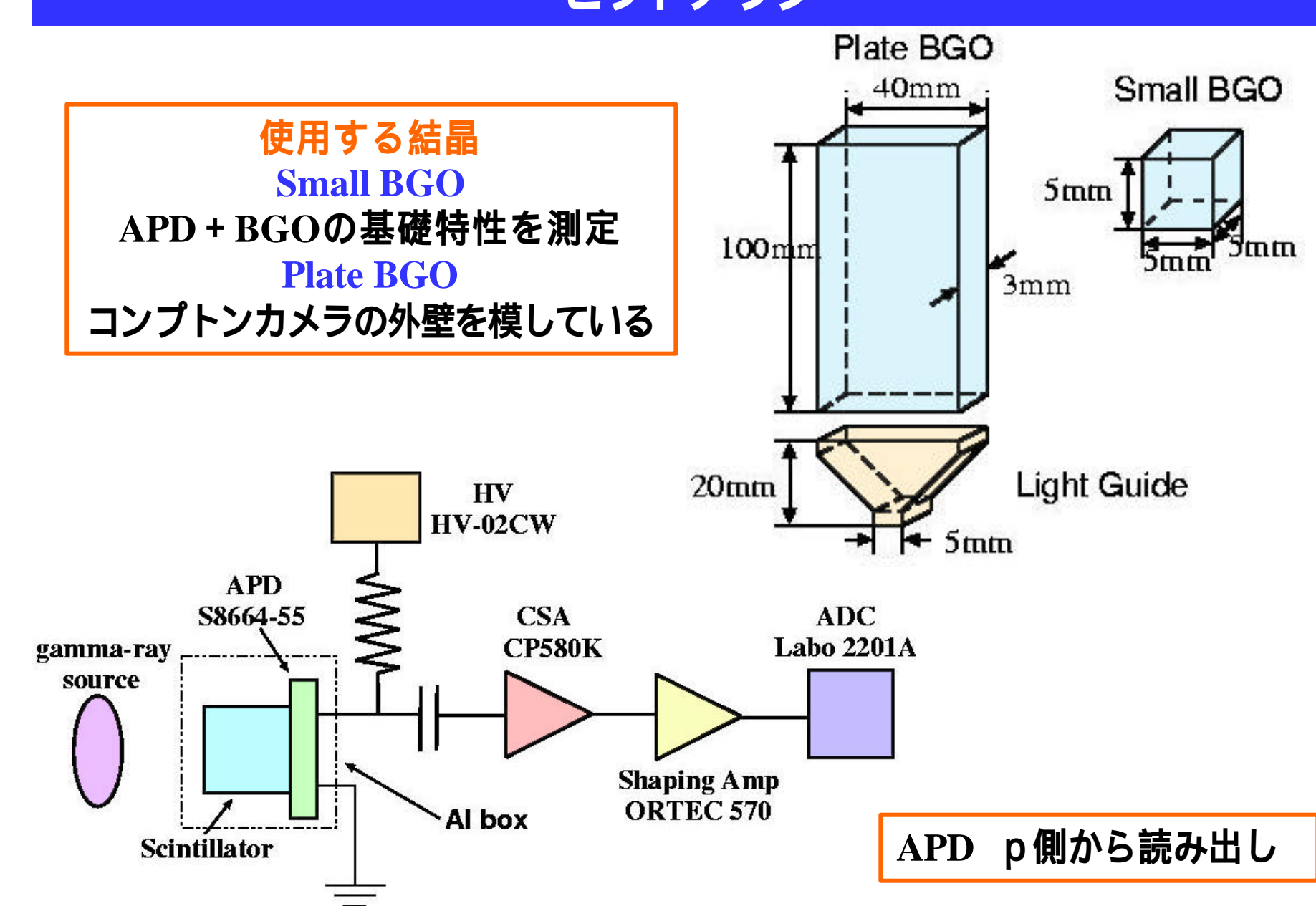
増幅率 ~20倍

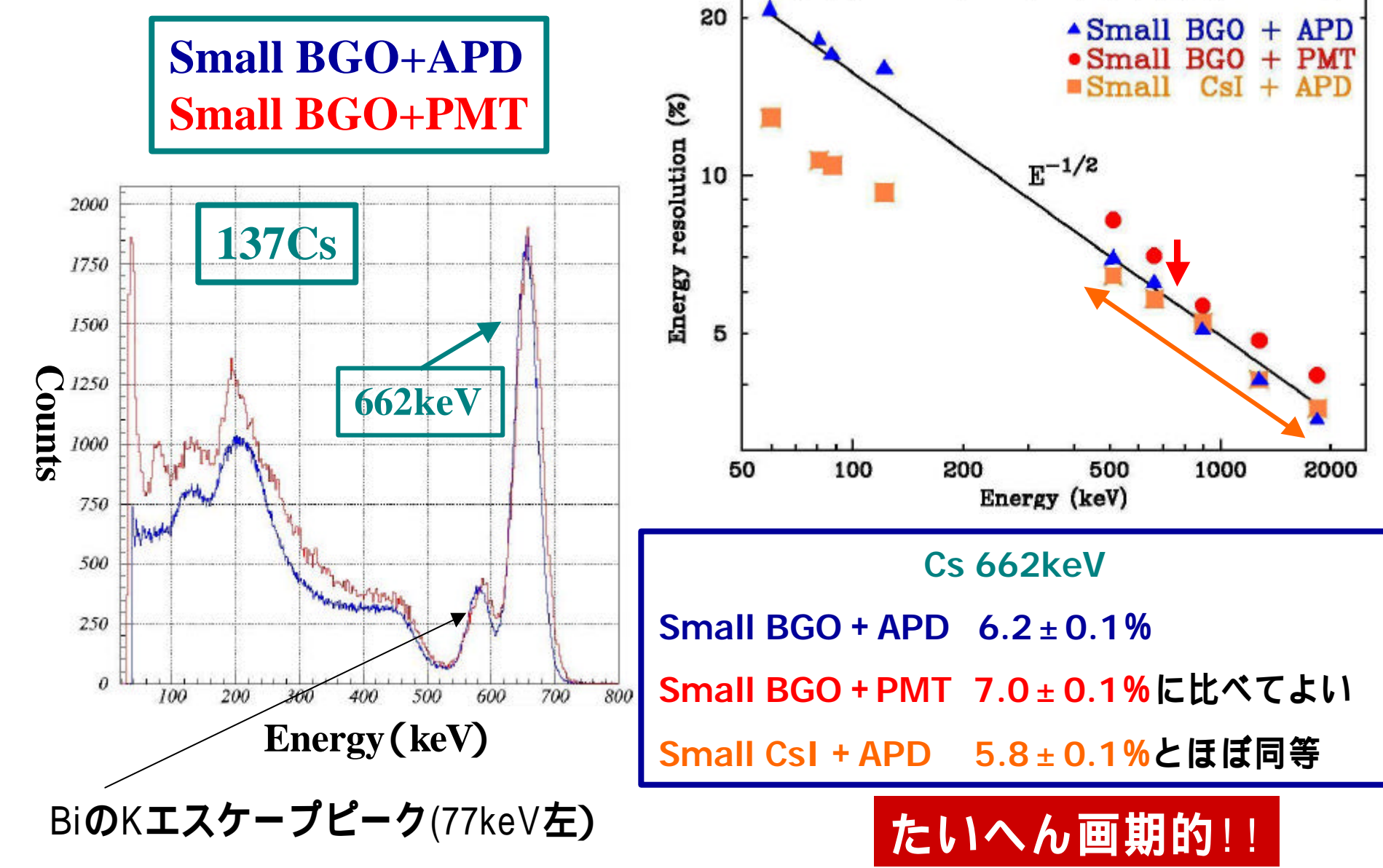
量子効率 ~80%

(BGO 430nm ~ 530nm)

セットアップ

使用する結晶
Small BGO
APD + BGOの基礎特性を測定
Plate BGO
コンプトンカメラの外壁を模している

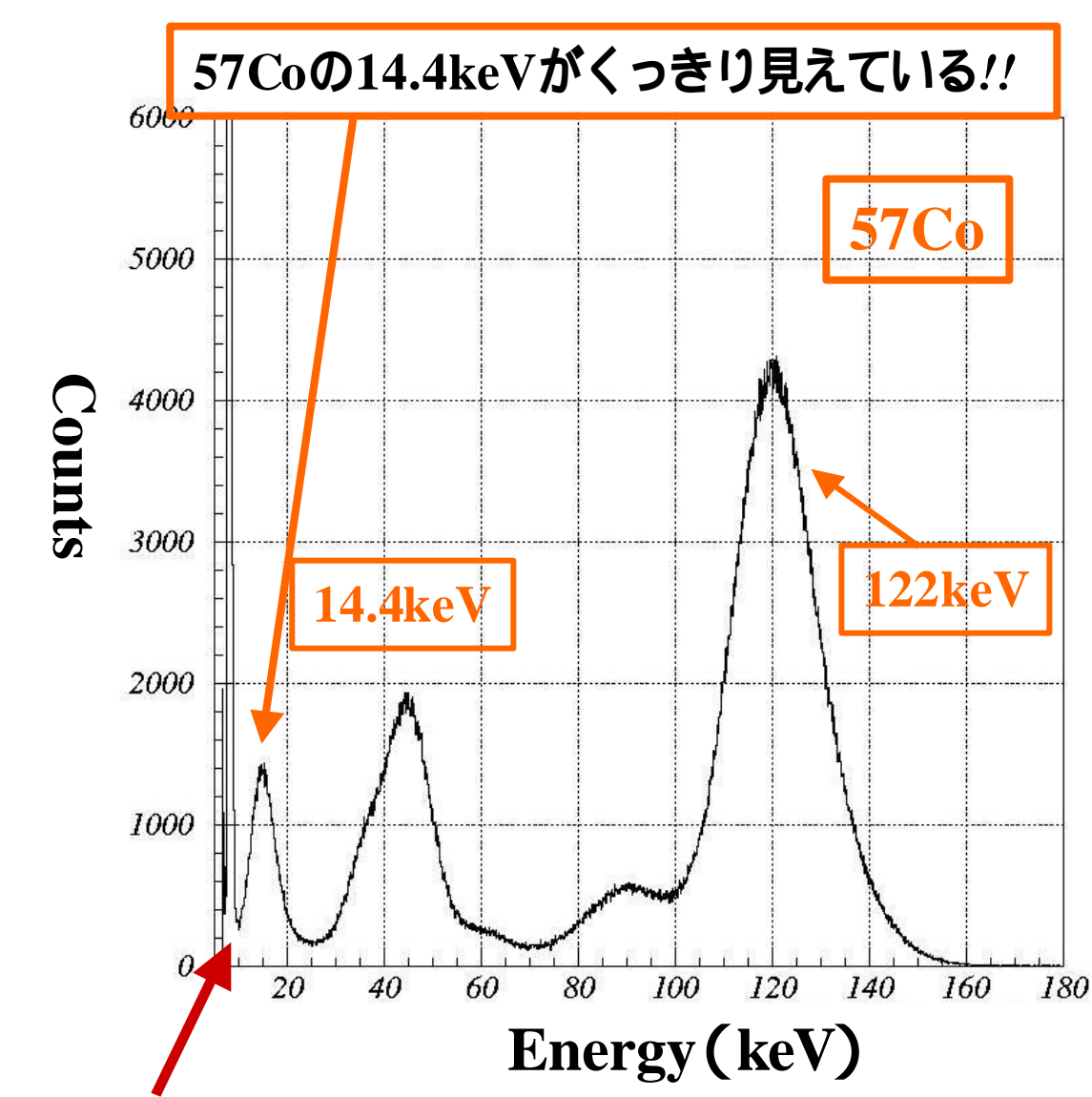




BiのKエスケープピーク(77keV左)

たいへん画期的!!

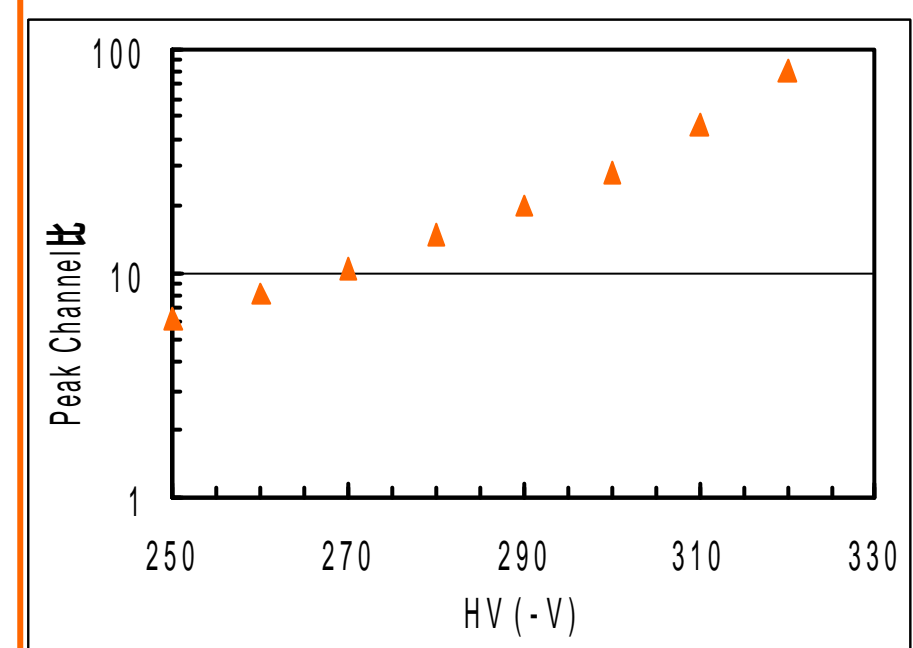
Small BGO+APDのThreshold @ -35



光量の小さいBGOでThreshold 9keVという素晴らしい結果を得た

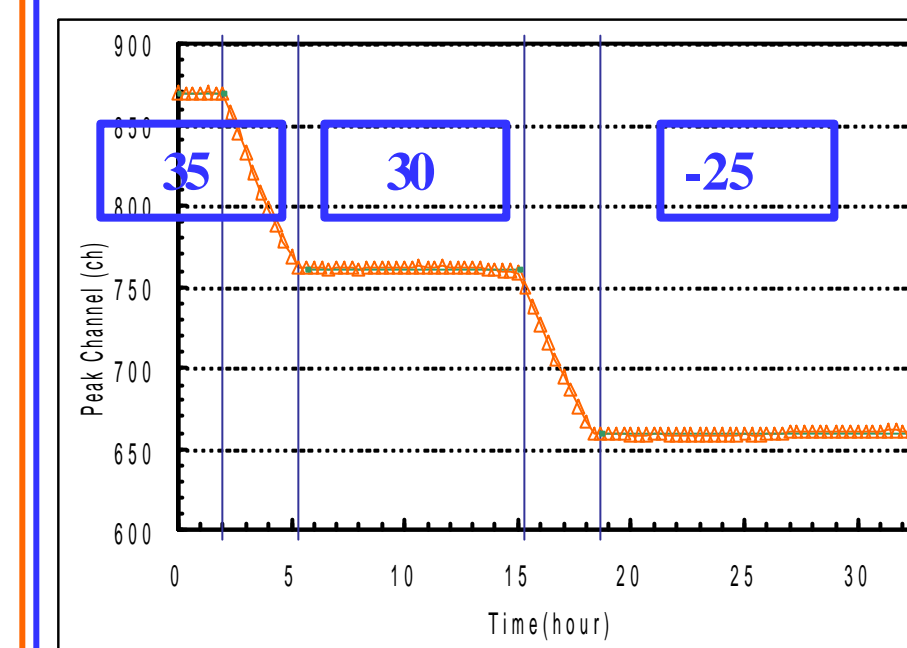
Small BGO + APDのGain

BGO+APDの電圧依存性



-290Vの周辺
Gain 2%以内 $V = \pm 0.5V$
エネルギー分解能の変動 $\pm 0.1\%$
 $PeakChannel[ch] \propto V^{18.14}$

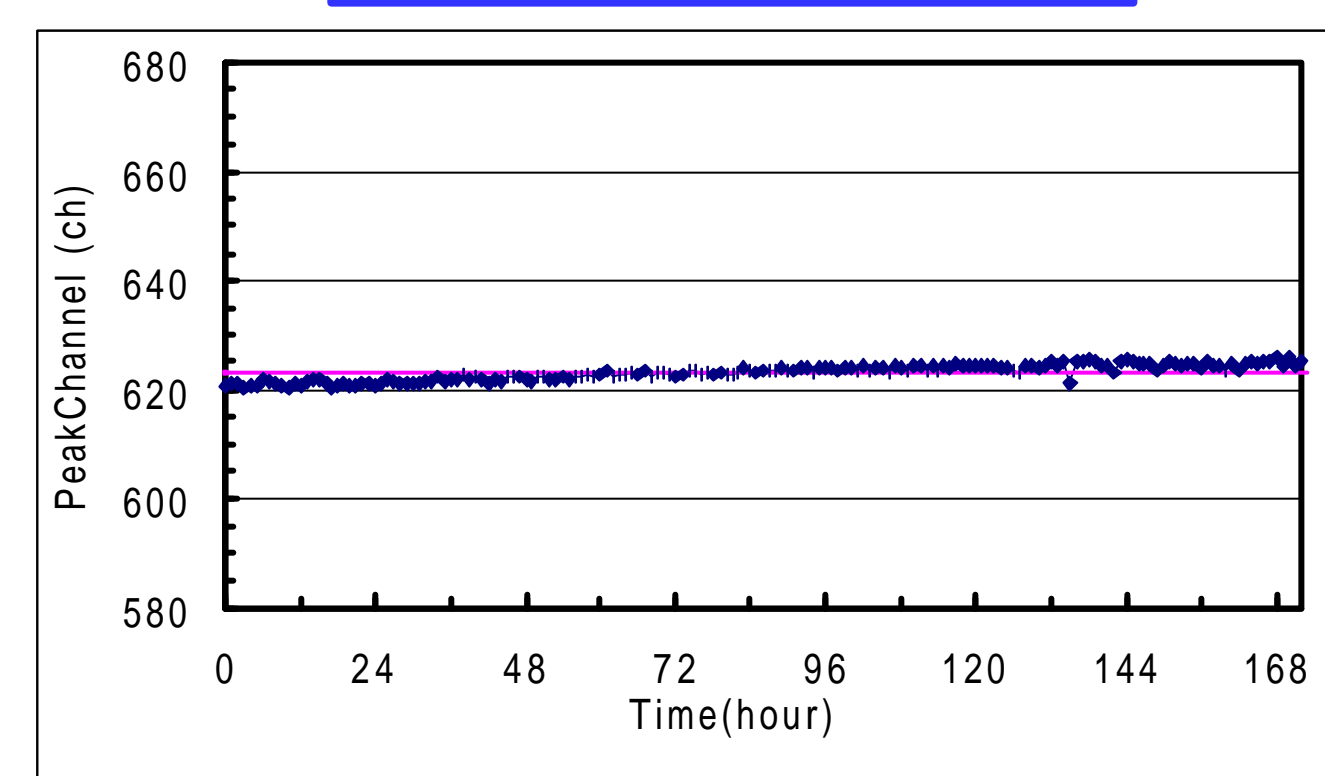
BGO+APDの温度依存性



-35 の周辺
Gain 2%以内 $T = \pm 0.8K$
エネルギー分解能の変動 $\pm 0.2\%$
 $PeakChannel[ch] \propto T^{0.305}$

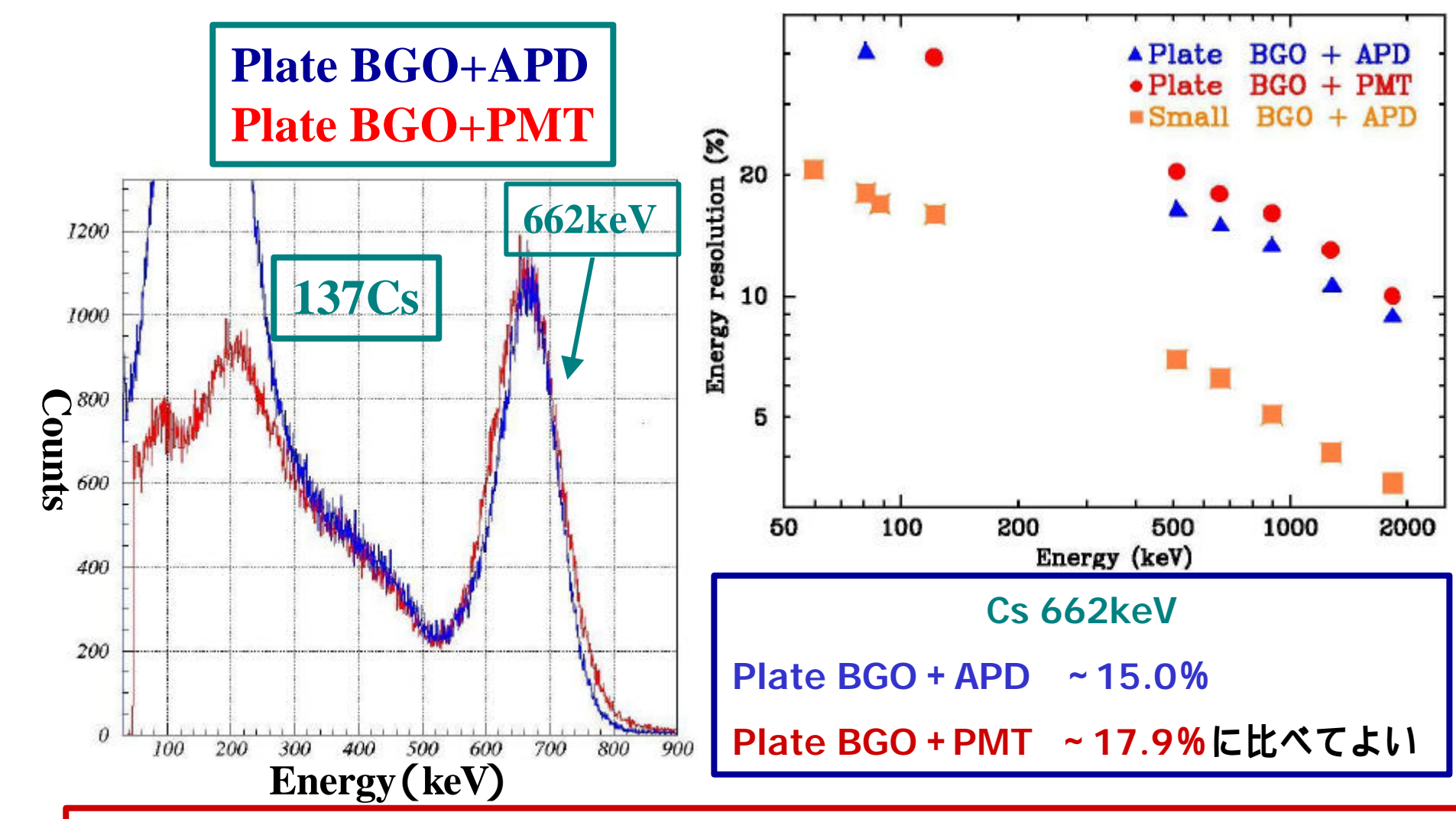
Small BGO + APDの長時間安定性

温度一定 -20
電圧一定 -290V
一週間測定



Gain
エネルギー分解能
安定した結果を得た

Plate BGO+APDでの測定 @ -35



ライトガイドを最適化すれば、さらにエネルギー分解能の向上が望める
アレイAPDを使い位置測定(コンプトンカメラ外壁に必要、コンパクトなAPDだからできる)

まとめ

- ◆Small BGO+APD エネルギー分解能 ^{137}Cs : 662keV 6.2%
(PMTよりよい、MeV領域ではCsIと同等)
- ◆Small BGO+APD Threshold 9keV
- ◆Small BGO+APD 電圧依存性 Gain 2%以内 $V = \pm 0.5\text{V}$
- ◆Small BGO+APD 温度依存性 Gain 2%以内 $T = \pm 0.8\text{K}$
- ◆Small BGO+APD 長時間(1週間)の測定でも安定
- ◆Plate BGO+APD エネルギー分解能 ^{137}Cs : 662keV 6.2%

BGOは阻止能は高いが発光量が小さくエネルギー分解能やThresholdが悪いという欠点があった。しかし、量子効率が高く内部増幅するAPDを使うことにより改善される結果を得た。BGOとAPDの組み合わせは軟ガンマ線検出に有効であると言える。

今後

- ◆エネルギー分解能がもっとよいはず、入射位置による増幅率の揺らぎが原因か？
- ◆コンプトンカメラの外壁へ応用(エネルギー分解能の向上、位置測定)