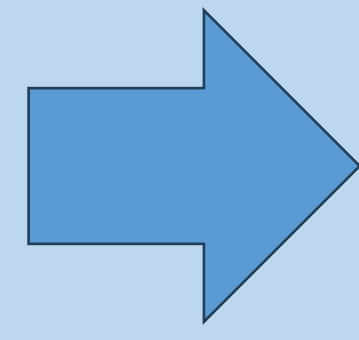


PIKACHU実験における ^{40}K 背景事象低減に向けた試み

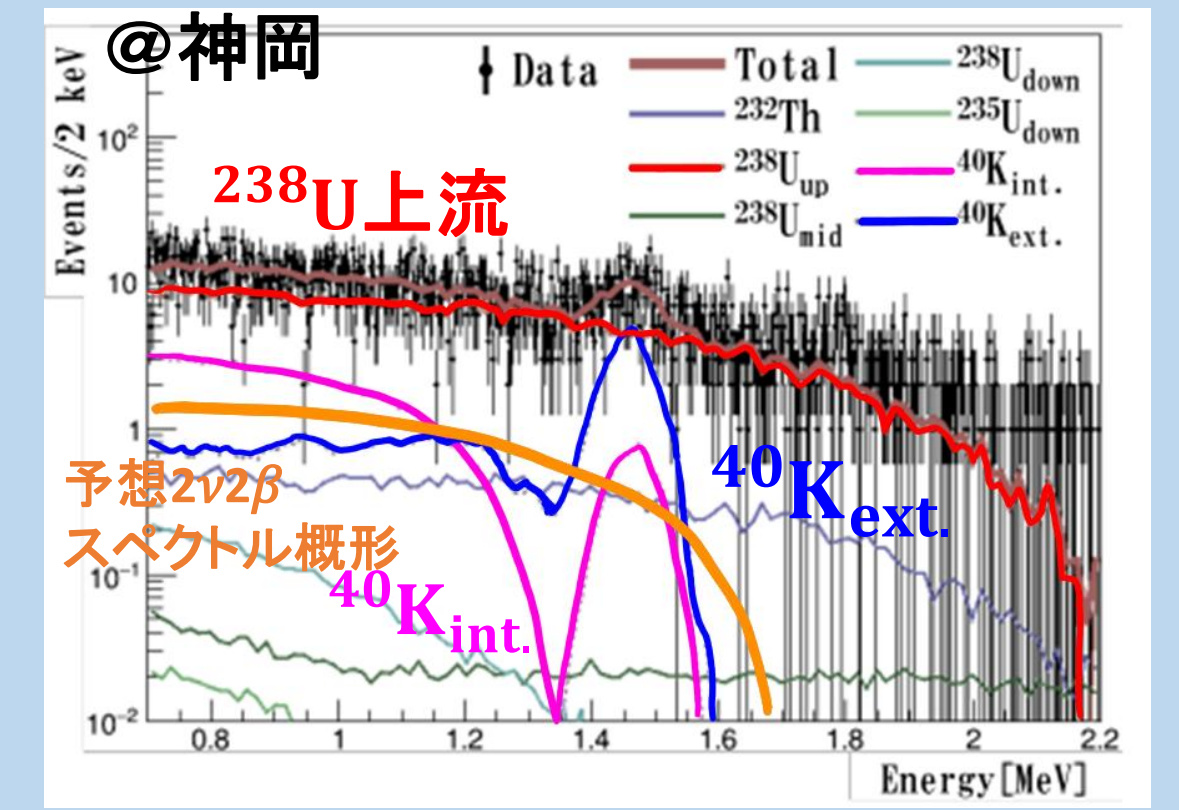
筑波大学 石上元直 飯田崇史 石舘正太郎 大森匠 for PIKACHU collaboration

I. PIKACHU実験について

- ・ ^{160}Gd を用いた2重 β 崩壊探索実験
- ・現在ウクライナでの先行研究[1]が世界最高感度
→U/Th系列の α 線バックグラウンド(BG)による感度悪化
- ・感度の1桁改善によって $2\nu 2\beta$ 発見, 半減期の理論検証を目指している

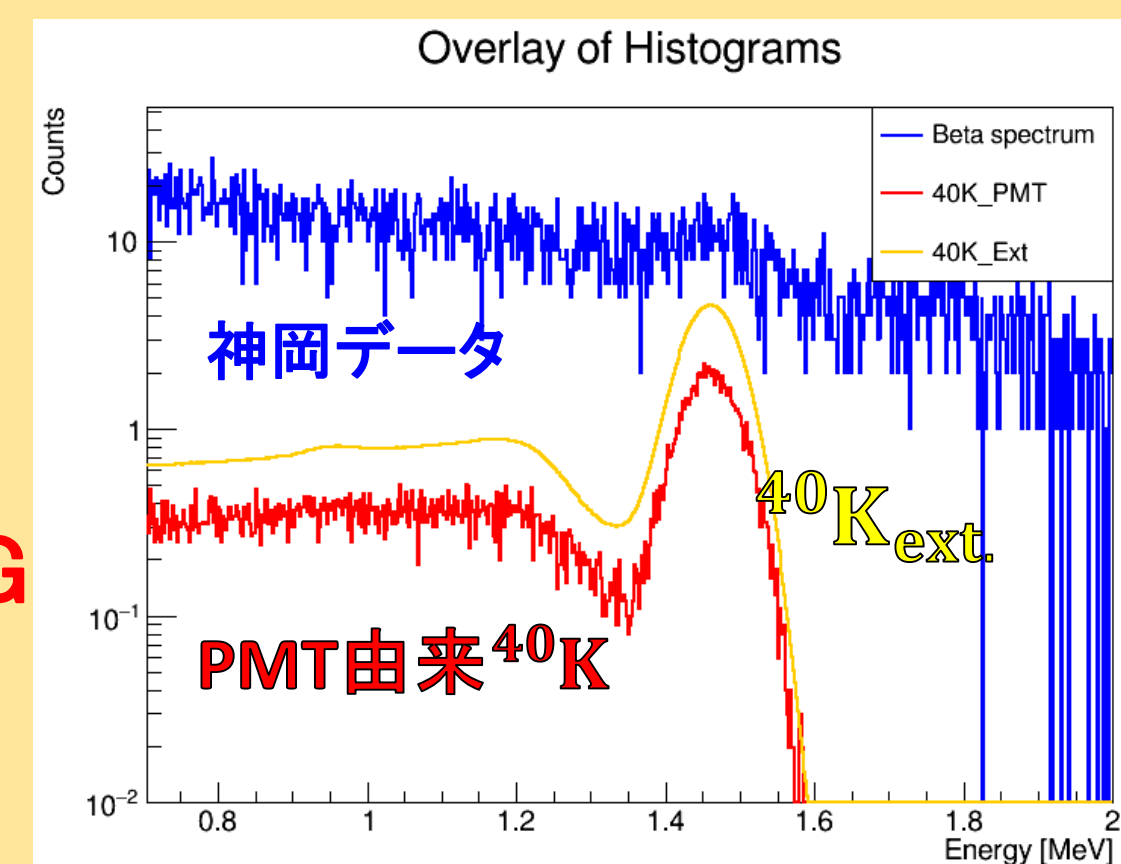


- ・U/Th系列のBG低減が実現した場合、 ^{40}K が主要なBG源となる[2]
- ・低放射能PMTを使用して外部由来の ^{40}K BGの低減を狙う



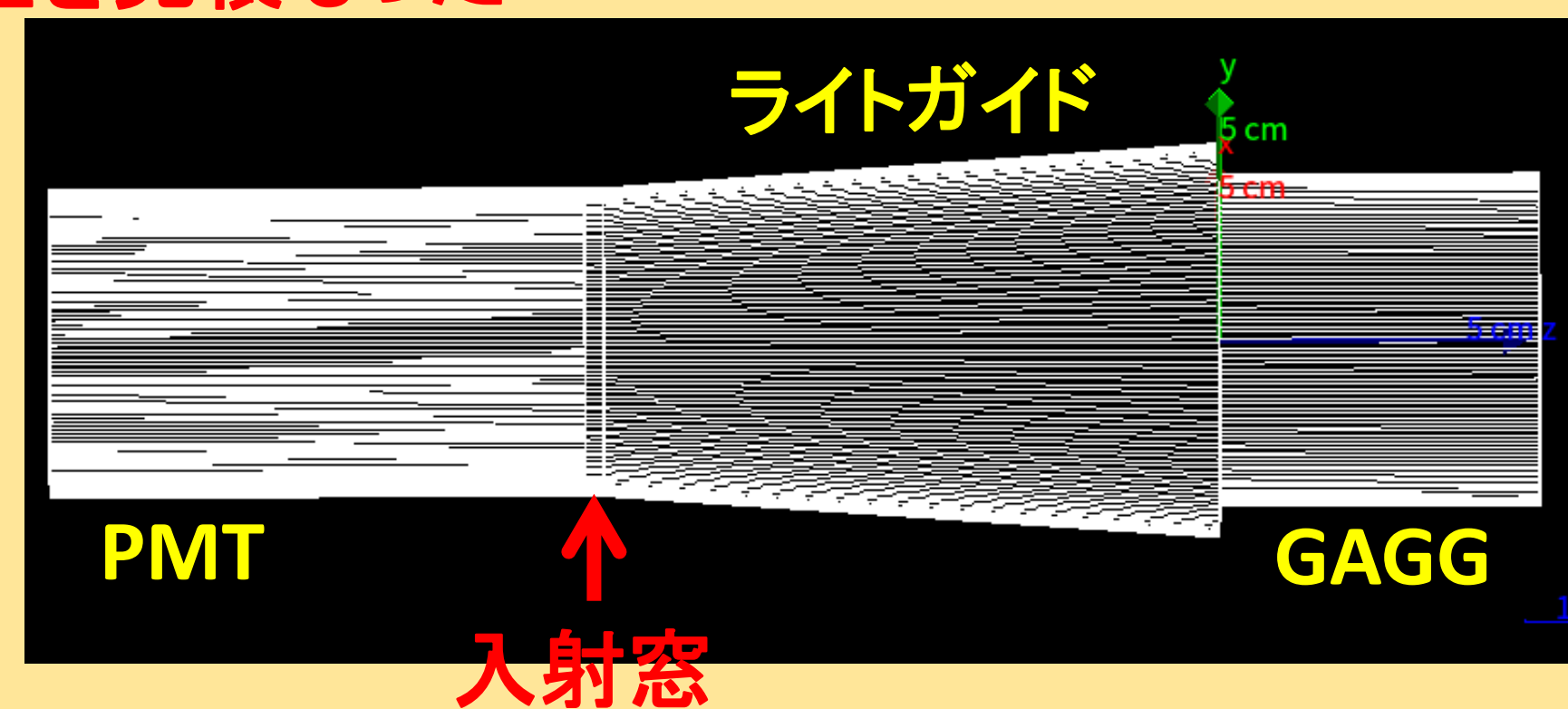
II. GEANT4シミュレーション評価

- ・2023年神岡測定の設定アップを再現
- ・入射窓に ^{40}K の1.46 MeV γ 線を一様分布させ、GAGG結晶に落とすエネルギーを計算し、PMT由来の ^{40}K BG量を見積もった



	γ 線事象数[counts]
PMT由来 ^{40}K	92.7
$^{40}\text{K}_{\text{ext.}}$	135.9 ± 3.9

約7割がPMT起源！



IV. PMTの性能比較

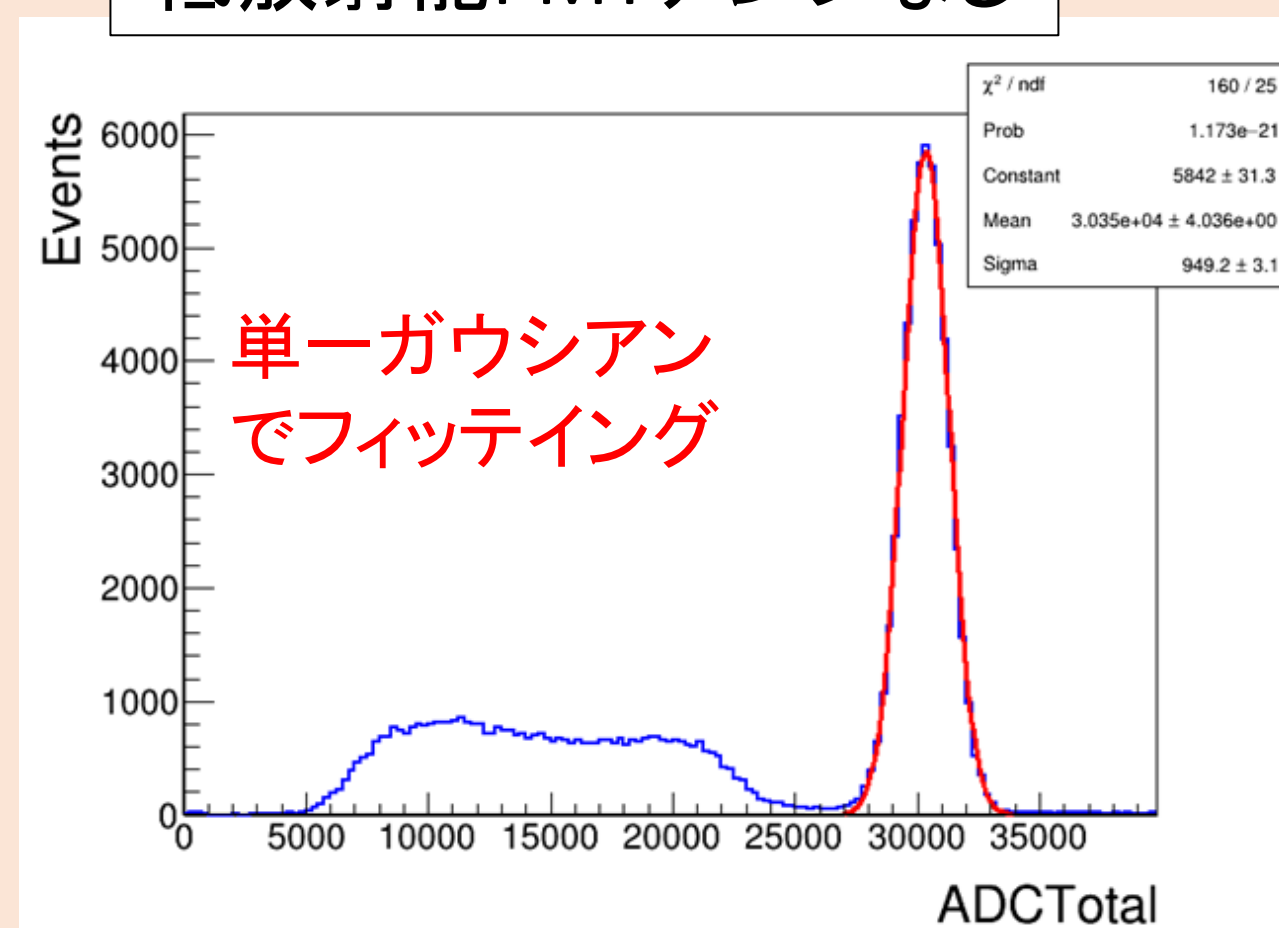
セットアップ

- ・結晶: 市販のGAGG結晶($\text{Ce: Gd}_3\text{Ga}_3\text{Al}_2\text{O}_{12}$)
2inch ϕ , 5cm
- ・アンプ(10倍)なし、ありの2通りで測定
- ・CAEN Flash-ADC (DT5720, 250 MHz)を用いて波形データを取得した

エネルギー分解能

 γ 線源 ^{137}Cs (光電ピーク662keV)を使用して測定した

低放射能PMTアンプなし



	アンプなし	アンプあり
低放射能PMT	3.13%	3.05%
通常PMT	3.24%	2.82%

※エネルギー分解能は $\frac{\sigma}{\mu}$ で計算

波形弁別能(PSD)

- ・2種類のPMTでBG測定を行い、 α 線と β 線の事象から α/β 波形識別能力を調査した
- ・ α 線が含まれるエネルギー領域を指定、Ratioの1次元分布を作りFoMを計算する
- ・Ratioの1次元分布はガウス関数でフィッティングした

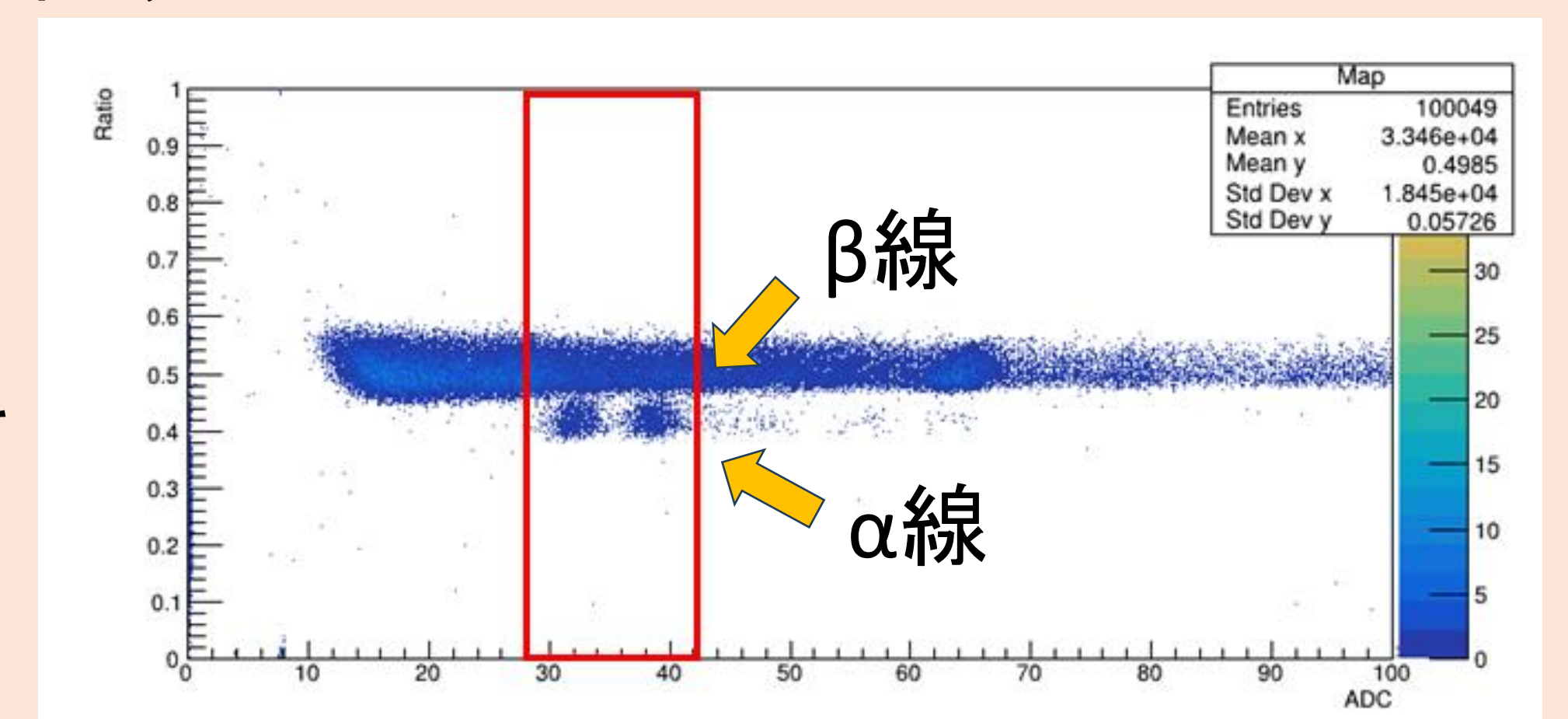
ADC: 波形全体の積分値 $\propto$ 発光量

$$\text{Ratio} = \frac{\text{波形前半(200nsまでの)の積分値}}{\text{ADC}}$$

- ・FoMは2つのガウス関数がどれだけ離れているかの尺度

$$\text{FoM} = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sigma_1 + \sigma_2}$$

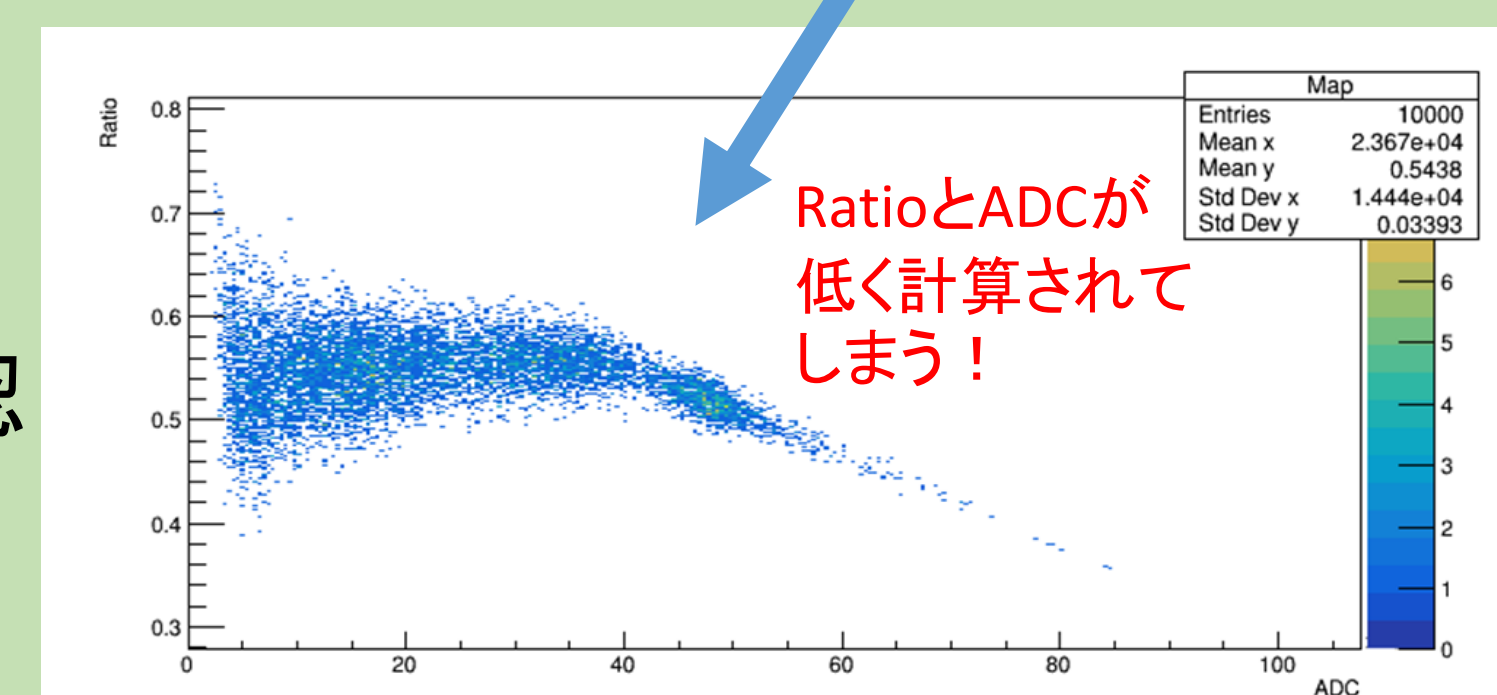
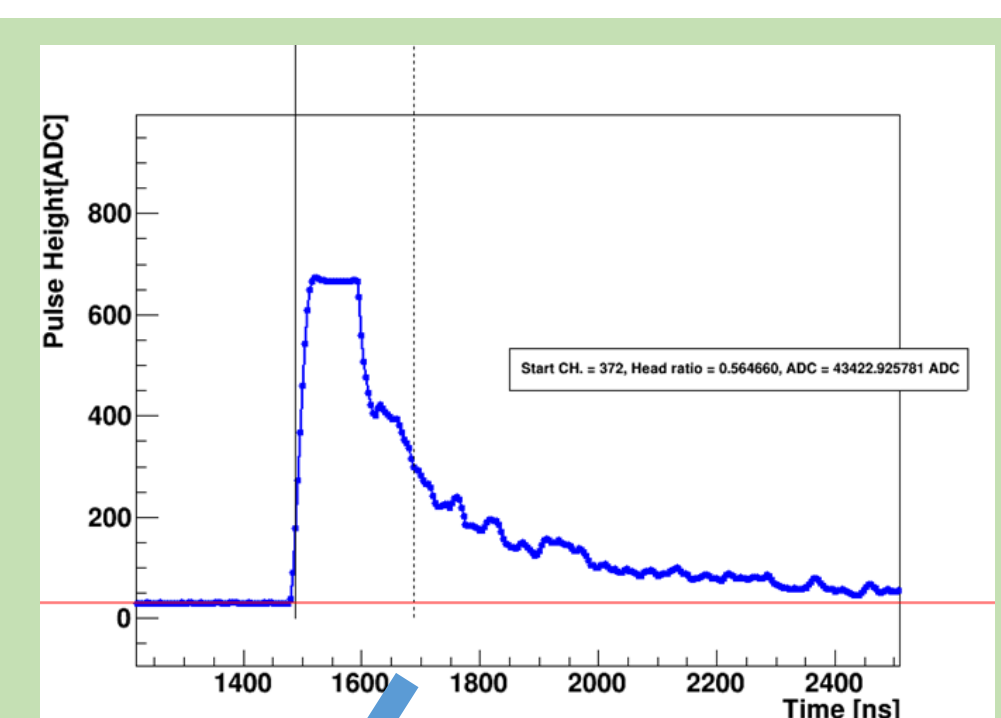
	アンプなし	アンプあり
低放射能PMT	2.45	2.39
通常PMT	2.51	2.54

ADCvsRatio(低放射能PMTアンプなし) $\times 10^4$

両観点で大きな差はない！

V. MPPC導入の検討

- ・PMTの代わりとしてMPPC(Multi-Pixel Photon Counter)の可能性を検討する
- ・MPPCアレイ(4 $\times$ 4ch, 有効受光面積12 $\times$ 12mm)と5mm角GAGGを使用
- ・GAGG結晶は発光量が大きく、MPPCで波高データを取得するとサチュレーションが頻繁に発生する
→ADCやRatioを適切に評価できない！
- ・石英柱(12 $\times$ 12 $\times$ 65mm)のライトガイドを間に挟み ^{137}Cs γ 線を測定した際はエネルギー分解能**3.9%**を得た
→サチュレーションが起きていても**PMTと同程度の分解能**を確認
- ・現在ライトガイドなどを用いて光量の調整を行っている
- ・今後受光面積の拡大によるサチュレーション低減を行う



RatioとADCが低く計算されてしまう！

VI. まとめ・今後の展望

- ・GEANT4シミュレーションによる外部由来 ^{40}K の評価により、外部からやってきている ^{40}K のうち、**約70%がPMT起源**であることが分かった
- ・ ^{40}K のBG量が約20%まで減少することが期待される低放射能PMTについて、エネルギー分解能、FoMの観点で性能を評価し、低放射能PMTと通常のPMTでは、**低放射能PMTと通常PMTの性能に大きな違いはない**ことがわかった
- ・今回の結果を受け、2024年12月に開始したPIKACHU実験Phase1では低放射能PMTを導入し測定が進められている
- ・現在、PMTに代わる光検出器としてMPPCを検討している。
- ・現状は結晶の発光量が大きくサチュレーションが頻繁に発生しているため、ライトガイドなどを用いた調整を進めている
- ・今後アレイ化に伴う受光面積の拡大によるサチュレーションの低減を行う

主要参考文献

- [1] F.A.Danevich et al. Nucl. Phys. A, Vol. 694, 2001
- [2] T. Omori et al., Prog. Theor. Exp. Phys., Vol. 2024, Iss. 3, (2024) 033D01