

# 真空環境における光電子増倍管の残留ガス由来のアフターパルスの評価



岡山大学 花川靖磨

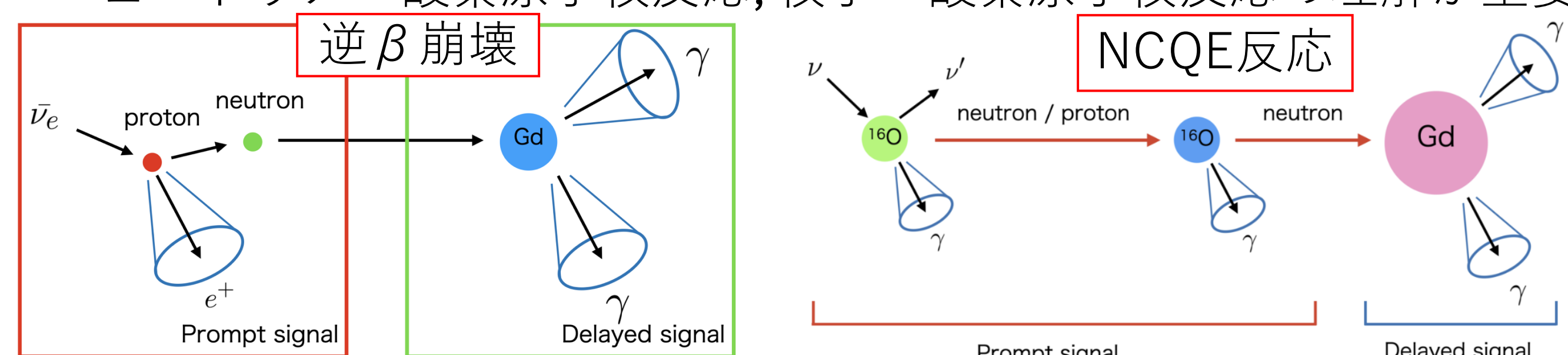


小汐由介, 多田智昭, 水野裕介<sup>A</sup>, 林崎響<sup>A</sup>, Wentao Cai<sup>A</sup>, 安部清尚<sup>A</sup>  
 中島康博<sup>A</sup>, 酒井聖矢<sup>B</sup>, 大津秀暁<sup>B</sup>, 阿久津良介<sup>C</sup>  
 (岡山大理, 東大理<sup>A</sup>, 理研仁科セ<sup>B</sup>, 高エネ研<sup>C</sup>)

## 1. Introduction

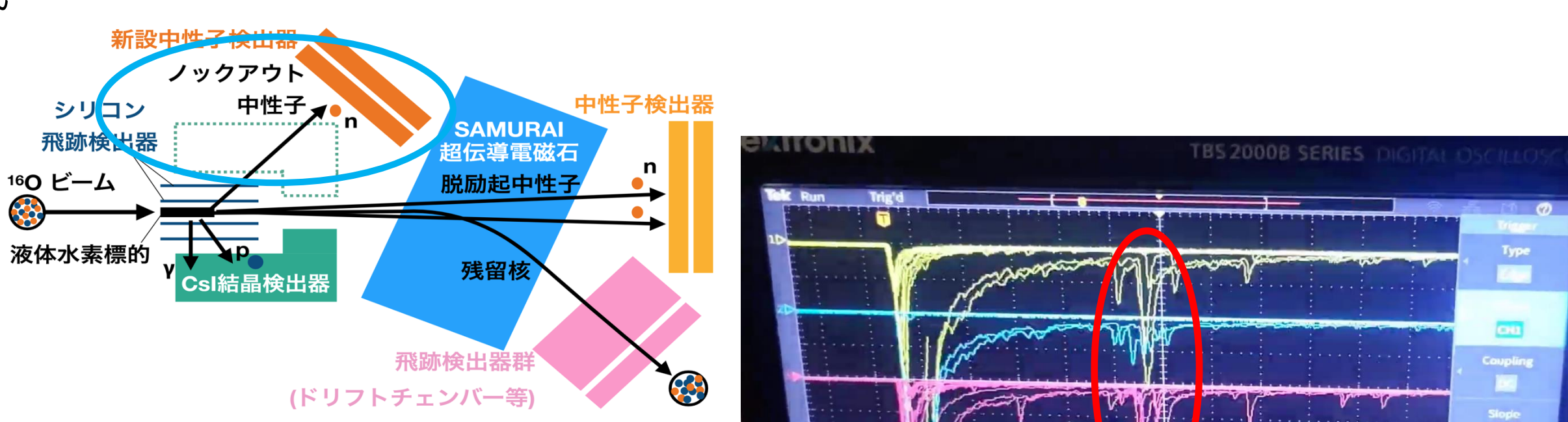
### スーパーカミオカンデ(SK)

- 地下約1000mに設置された大型水チェレンコフ検出器
- DSNB (超新星背景ニュートリノ)の世界初観測を目指す  
→水中の陽子による逆β崩壊によって観測
- 主要な雑音事象として大気ニュートリノと酸素原子核反応(中性カレント弾性反応(NCQE)など)が存在
- ニュートリノ・酸素原子核反応, 核子・酸素原子核反応の理解が重要



### SAMURAI-79実験 (理化学研究所仁科センター)

- 目的: 励起された酸素原子核の脱励起過程の測定  
→ 励起エネルギーとその時の崩壊分岐比の測定
- 励起エネルギーはロックアウト中性子と反跳陽子の同時測定から再構成



## 2. Motivation

### 新規中性子検出器

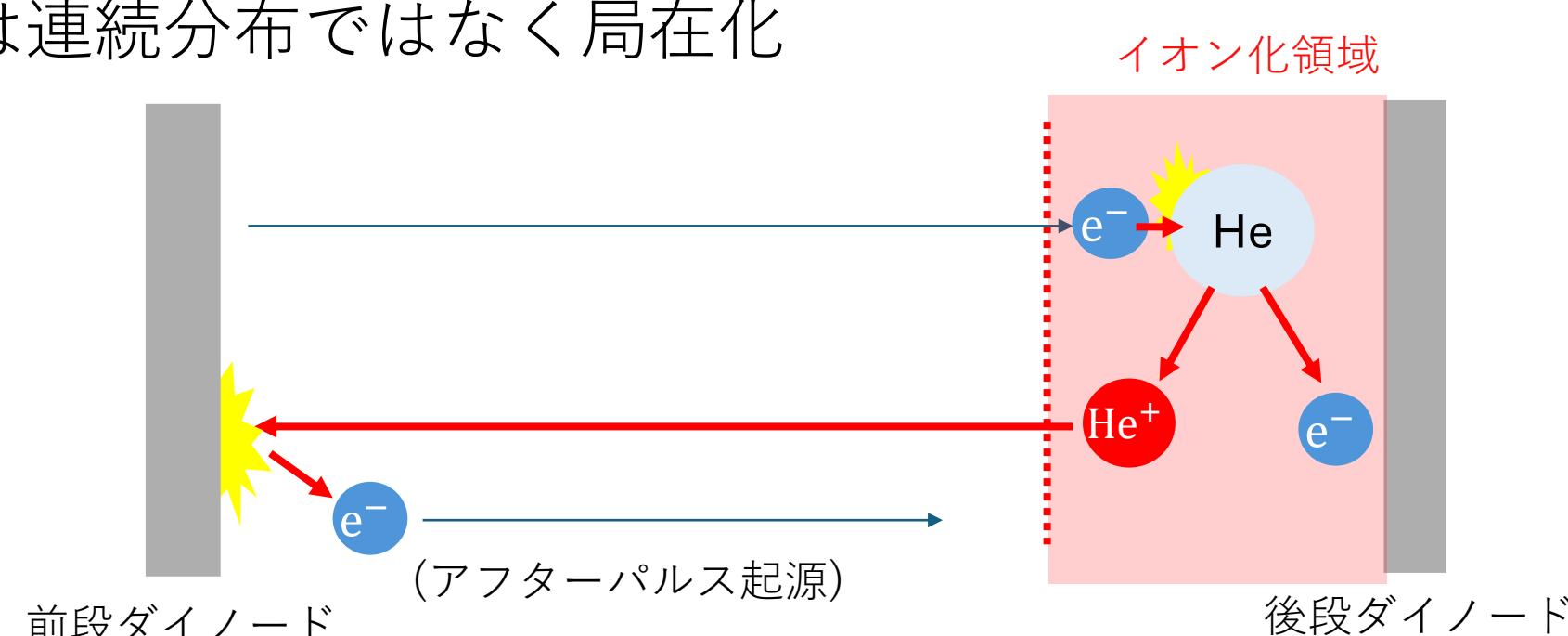
- プラスチックシンチレータ付きPMT(両側読出し) × 68本
- 再利用したPMTのいくつかでアフターパルスを検出  
→ ToF条件および電荷積分に影響を及ぼす可能性を懸念  
→ メインパルス後、約600ns後に出現を確認

### アフターパルスの発生原理 [1]

- 光電子が加速される
- 残留ガスに衝突して電離、正イオンができる
- 正イオンがダイノードや光電面に戻り衝突して電子を放出
- 遅れてパルスが出る(アフターパルス)

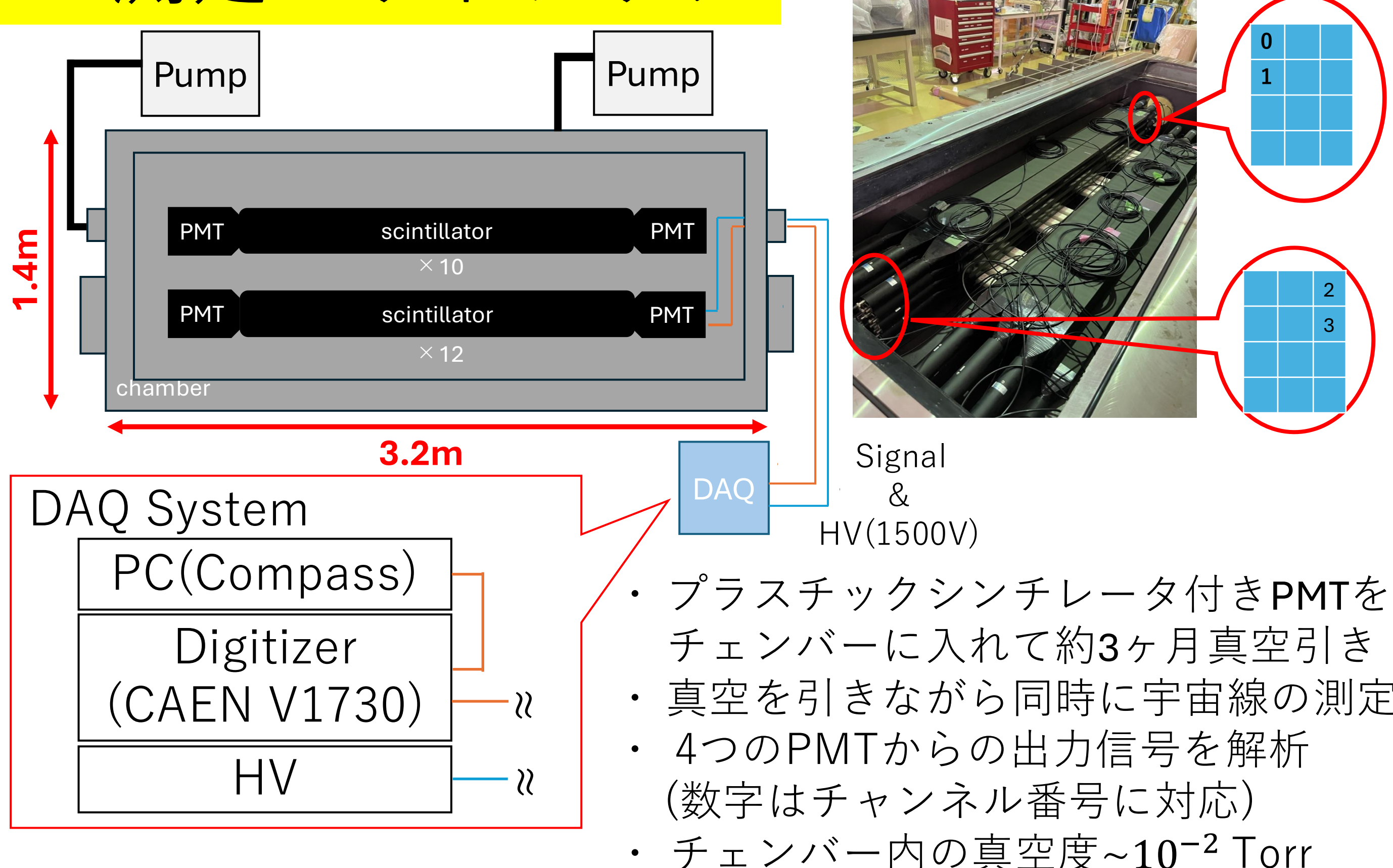
### アフターパルス発生時間

- ヘリウムガスを仮定すると約300ns
- トランジットタイム40ns。ダイノード12段のため1段あたり約3nsの移動時間
- Heの質量は電子の約8000倍よりHeの走行速度は約√8000倍遅い  
→ 3(ns) × √8000 ≈ 300nsの遅れ
- イオン化は終端近傍で発生  
→ 発生時間は連続分布ではなく局在化



- 目的: アフターパルスの起源がガス(He)であると仮定し真空引きによって除去できるか検証

## 3. 測定セットアップ

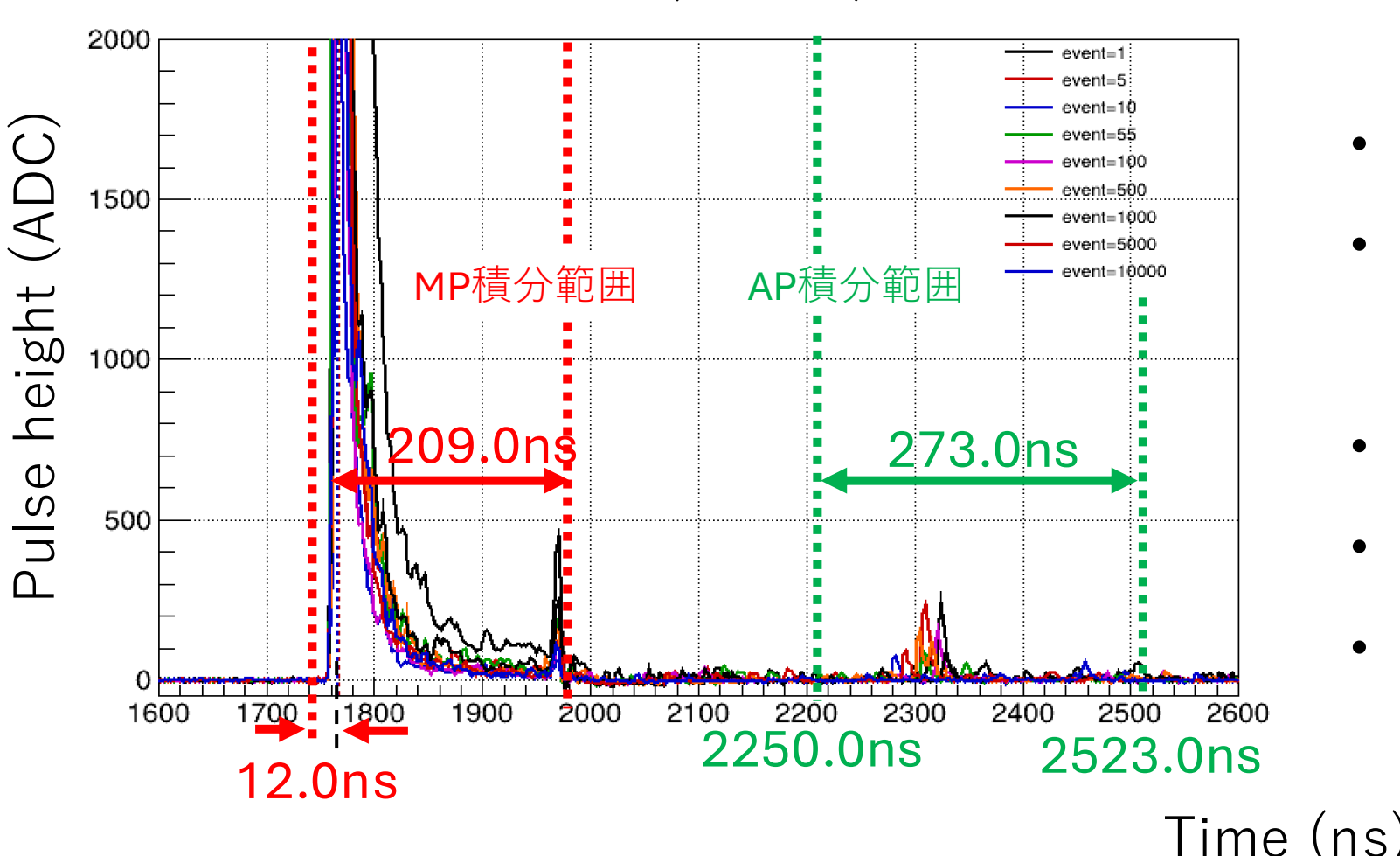


## 4. 解析方法と結果

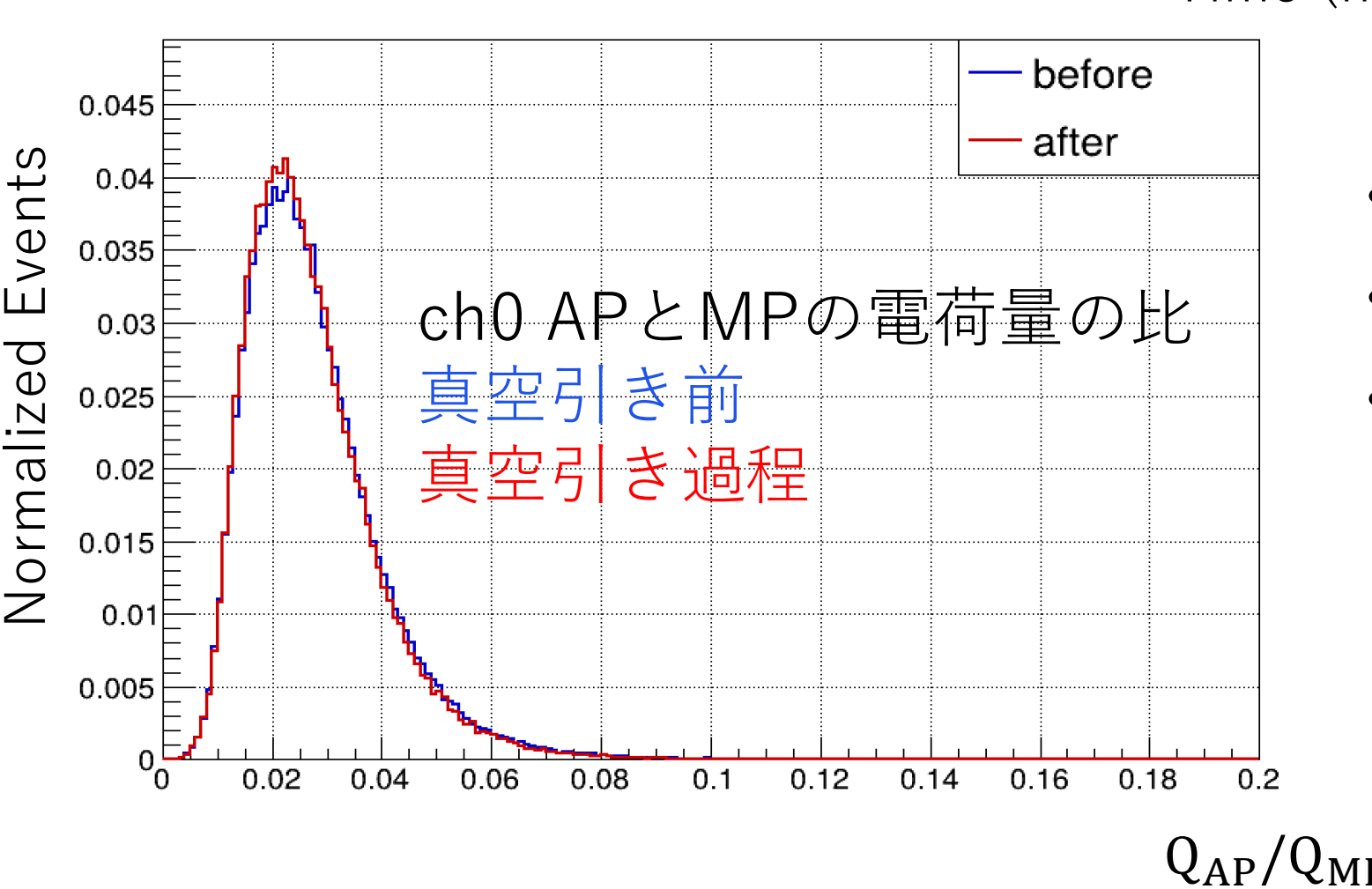
### データ取得時間

真空引き前	真空引き過程
111時間1分46秒 (4.6日)	1313時間10分31秒 (54日)

### メインパルス(MP)とアフターパルス(AP)の電荷量の比



- AP電荷量(Q<sub>AP</sub>)/MP電荷量(Q<sub>MP</sub>)
- MP波形、AP波形の検出時間を考慮し積分範囲を決定(全イベントで共通)
- MPはピークを基準に積分範囲を指定
- APは典型的に見られる範囲を指定
- 1 ADC count ≈ 0.12 mV (2Vpp, 14-bit)

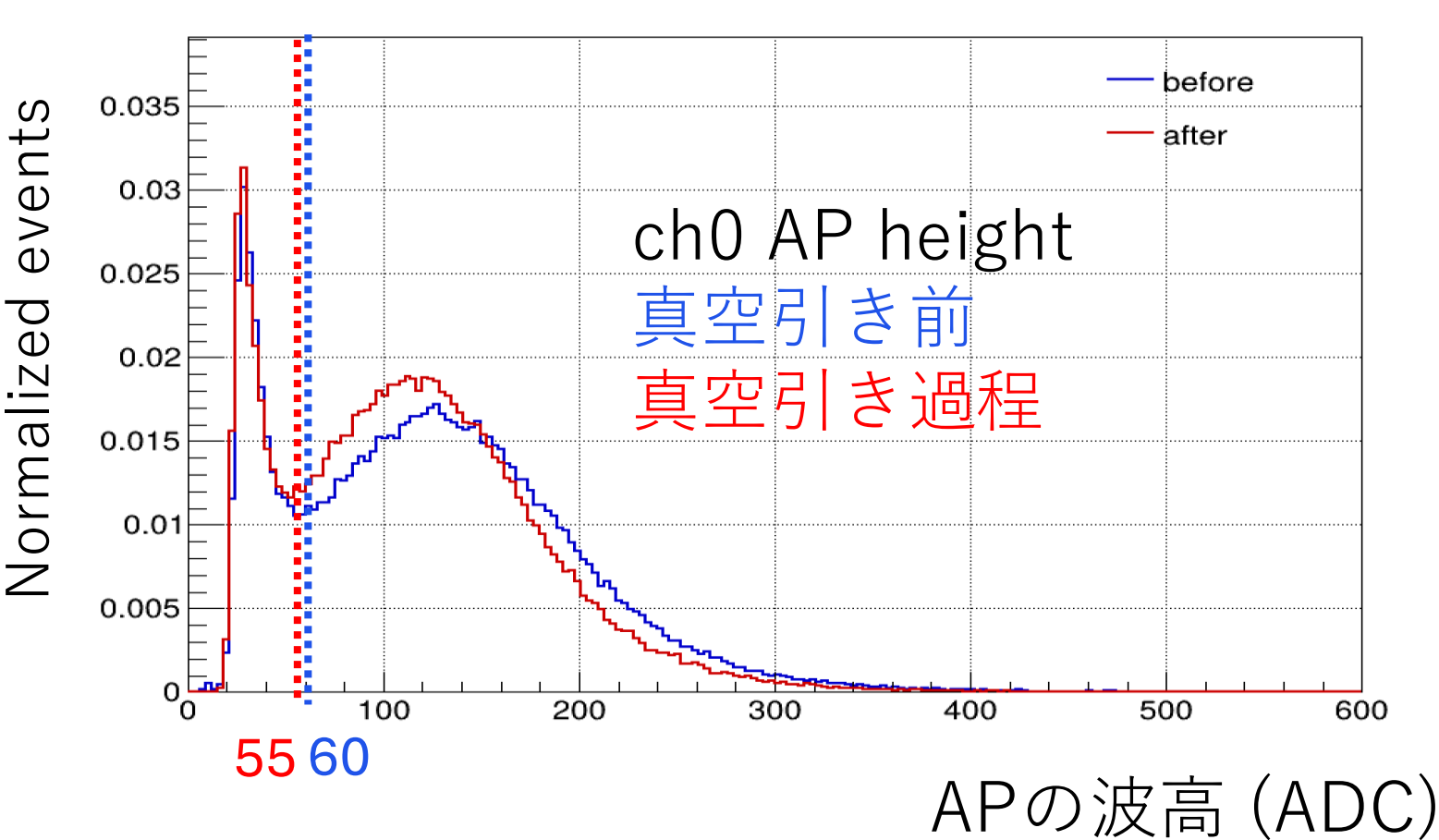


- 各イベントで電荷量の比を算出
- 下図から各チャンネルで大きな変化なし
- APの電荷量はMPの電荷量の2~3%程度

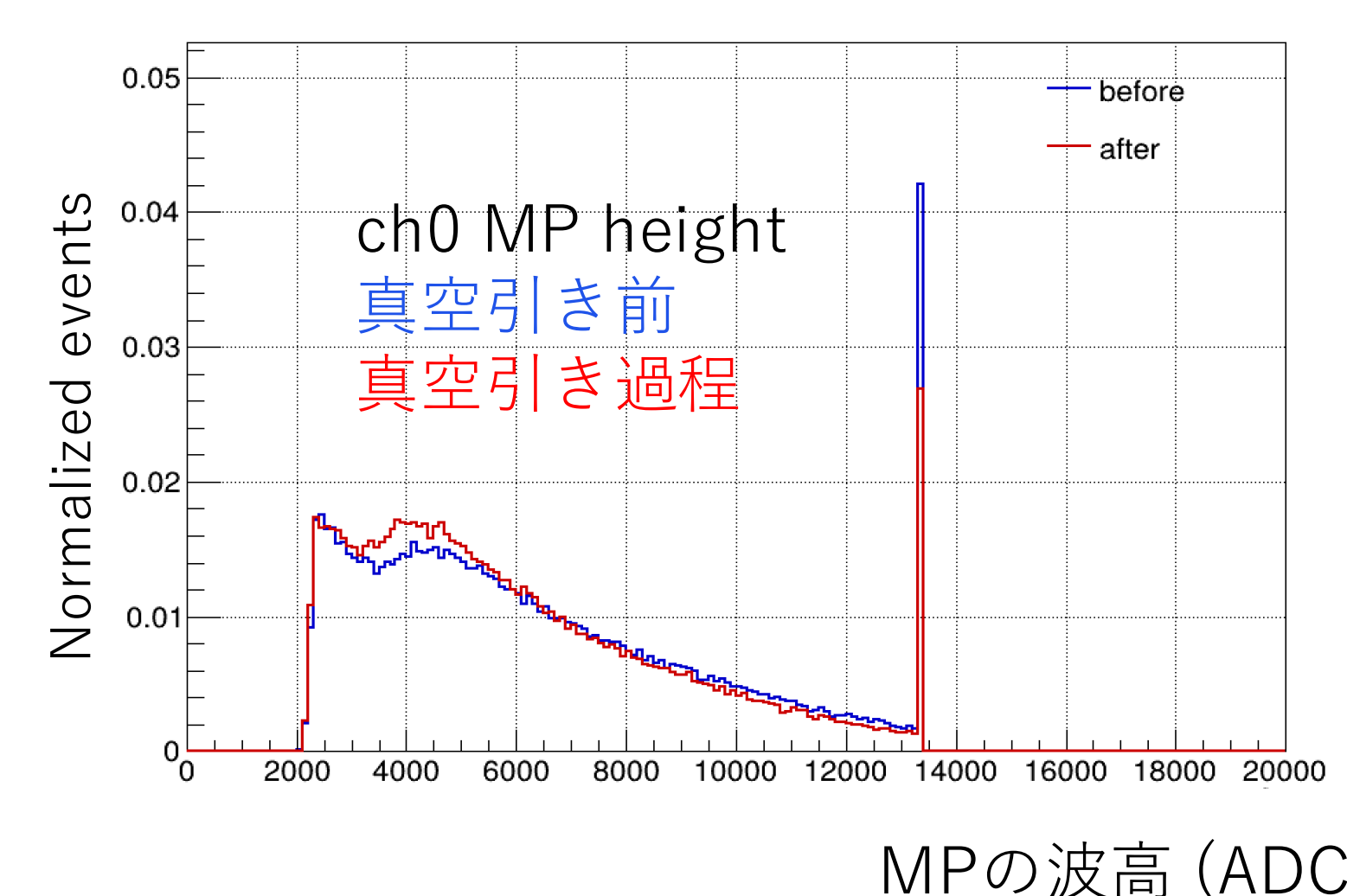
	真空引き前	真空引き過程
ch0	0.02758±0.00004	0.02771±0.00003
ch1	0.02194±0.00002	0.02272±0.00003
ch2	0.03008±0.00004	0.02916±0.00003

### アフターパルスの検出頻度

- MPの最大波高から300nsより後ろでの最大波高をAPの波高と定義
- APのイベント数と全イベント数の比を頻度とする



- APの波高分布  
→ 低波高成分(ペDESTAL)と高波高成分(アフターパルス)が存在
- 分離するため分布の谷を閾値として設定
- 真空引き過程でゲインが変化(MPとAPの波高)したため閾値を変える(60 ADC → 55 ADC)



	真空引き前	真空引き過程
ch0	78.9±0.1 (%)	78.3±0.1 (%)
ch1	90.7±0.1 (%)	89.1±0.1 (%)
ch2	78.8±0.1 (%)	81.0±0.1 (%)

- 80~90%の割合でAPを検出
- 真空引き前後でアフターパルスの検出頻度および電荷量の比に有意な変化は観測されていない

## 5. 考察

- 定量的な解析によりAPの状況(電荷量、頻度)が判明  
→ 電荷量の比が約2%: Thresholdを的確に設定することでビーム実験での利用可能性がある
- 現時点で真空引きによる変化は観測されていない  
→ 真空度が不十分(~10<sup>-2</sup> Torr ≈ ~10<sup>0</sup> Pa)  
→ チェンバー体積が大きいことによる排気速度の低下、リークの可能性

## 6. まとめと今後

- 中性子検出のためのPMTにアフターパルス検出
- 真空引きして除去を試みるも変化は観測されていない

### 今後

- 正常と思われる単体PMTにHeを入れてその前後の波形を比較
- 解析結果からガス由来のパルスの特徴を知りアフターパルスの原因を特定

謝辞

本研究はJST/ERATO(JPMJER2304)の助成を受けたものである

参考文献

[1] 光電子増倍管 その基礎と応用 第4版 浜松ホトニクス p.79