

# 反電子ニュートリノ観測

宇宙・素粒子スプリングスクール2022  
ニュートリノグループ

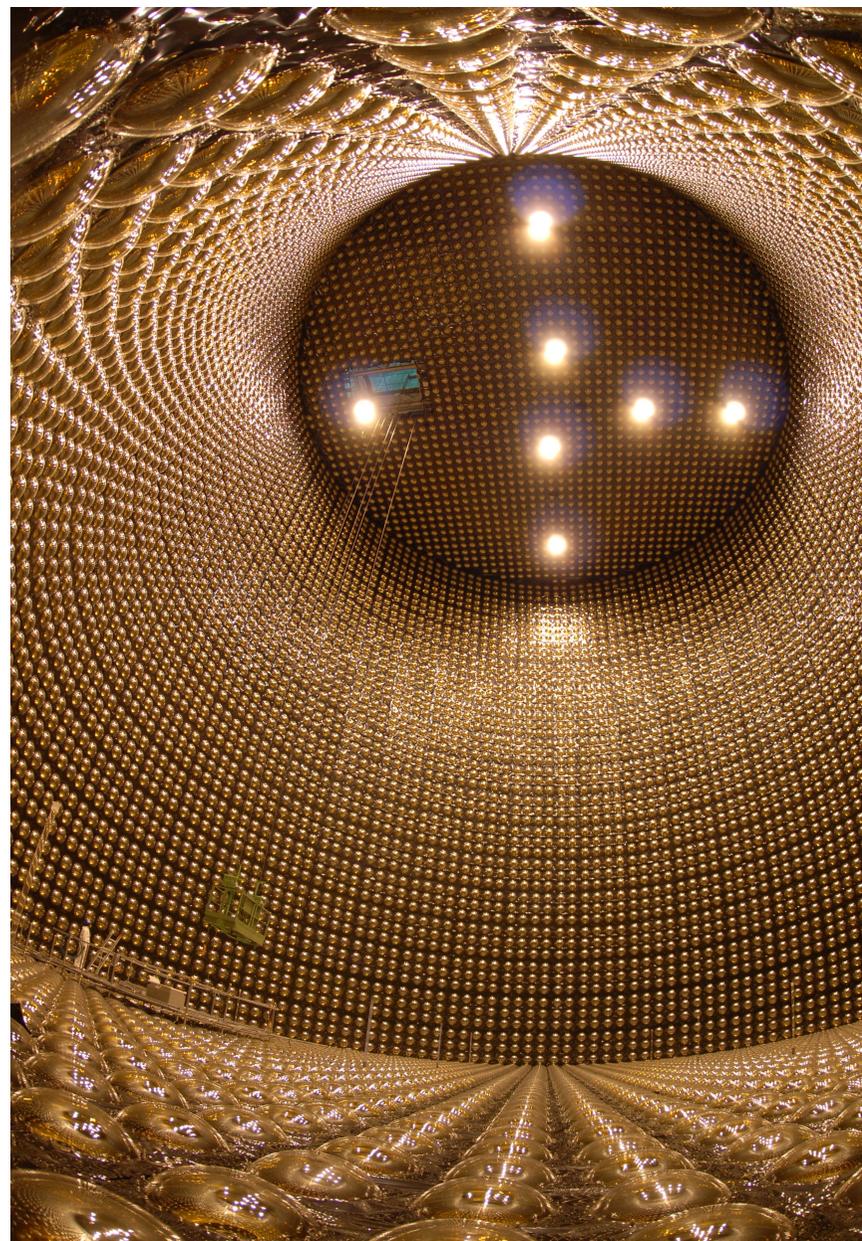
Member:

佐藤大斗, 新居智将,  
Oba Ishikawa Caio Takanori, 水野敦之, 後藤佳歩  
SV: 竹田, TA: 金島, 清水  
2022/03/04

# 目次

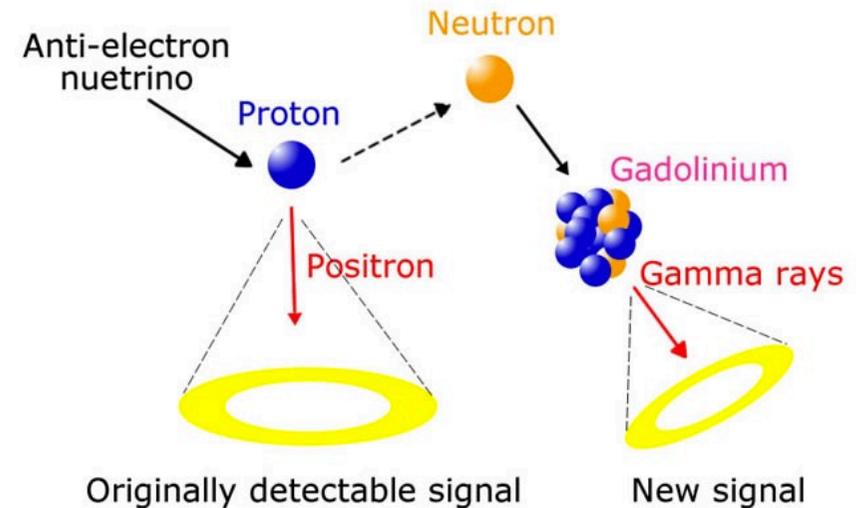
1. 研究の目的
2. 原理
3. 実験装置
4. 議論
5. 実験の流れ
6. データ解析結果
7. 考察
8. まとめ

<https://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/detector/index.html>



# 研究の目的

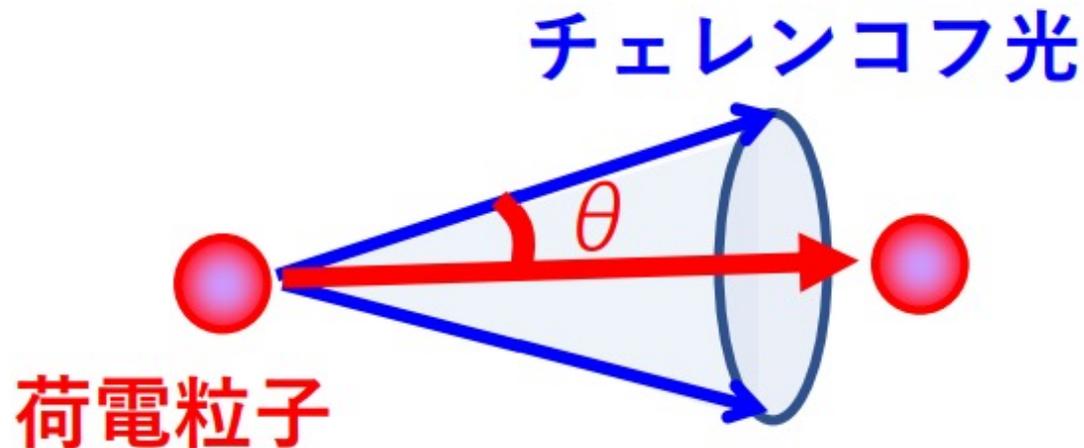
PMTと、身近にあるものを使った実験装置で反電子ニュートリノ事象の検出



出典：<https://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/physics/srn-e.html>

# 原理 (1/5)

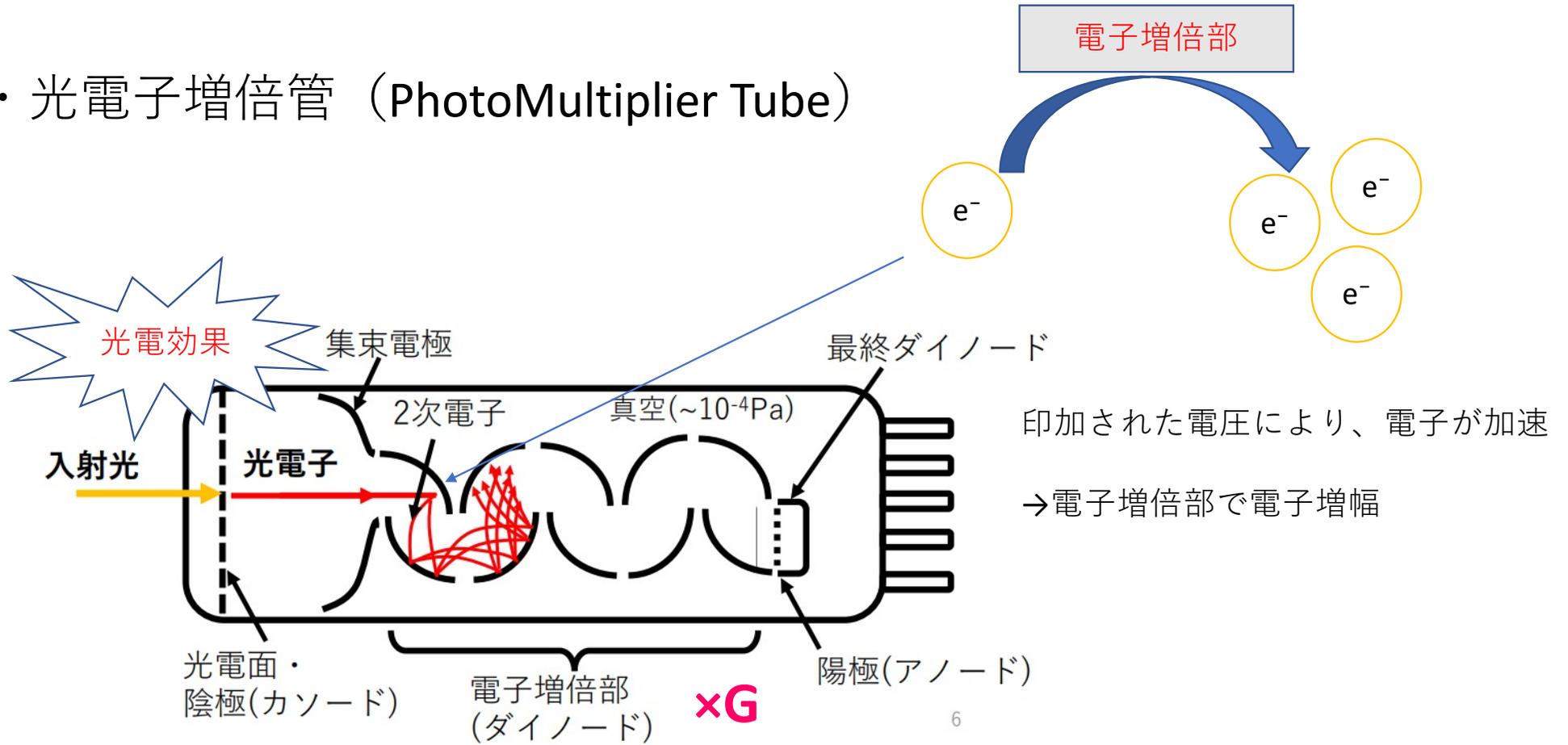
- チェレンコフ光の原理
  - チェレンコフ光とは、荷電粒子が物質中での光の速さを超えた時に光を円錐状に放射する現象を指す。



水中では...  
 $\theta \sim 42^\circ$

# 原理 (2/5)

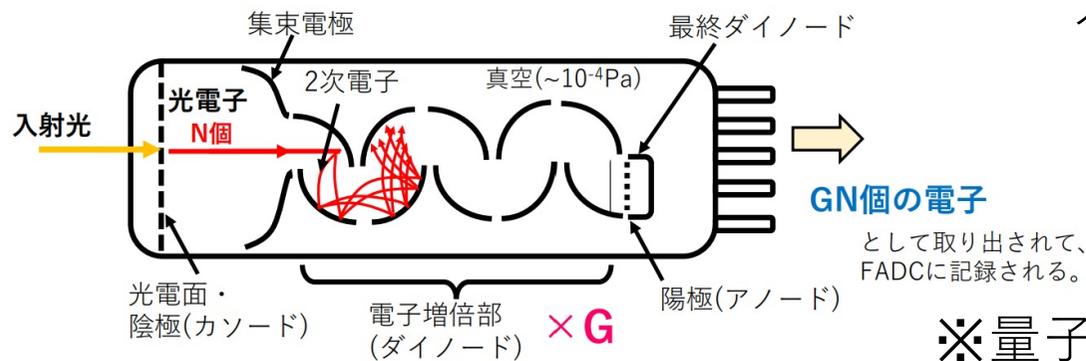
- 光電子増倍管 (PhotoMultiplier Tube)



# 原理 (3/5)

観測できるのは、GN個の電子

→増幅される度合い（Gain）を解析すれば、  
入射光で励起された光電子数がわかる。

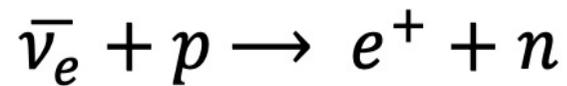


※量子効果により、入射する光子数と光電子数は一致しない。

→これを知りたい場合、光量が既知の線源を持ち  
いて校正を行う。

# 原理 (4/5)

- デイレイド・コインシデンス現象  
逆ベータ崩壊反応

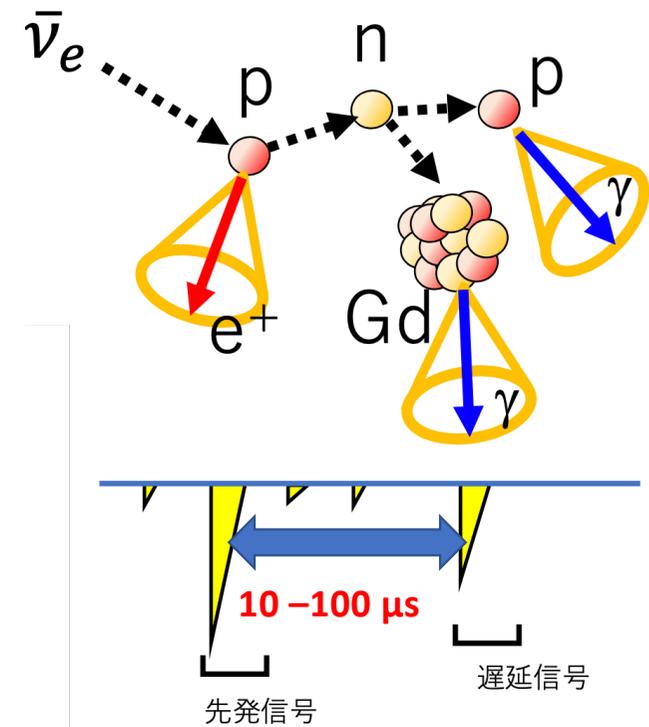


$\bar{\nu}_e$  : 反電子ニュートリノ

$p$  : 陽子

$e^+$  : 陽電子

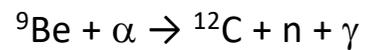
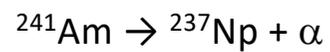
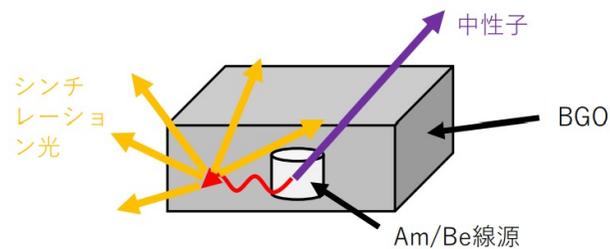
$n$  : 中性子



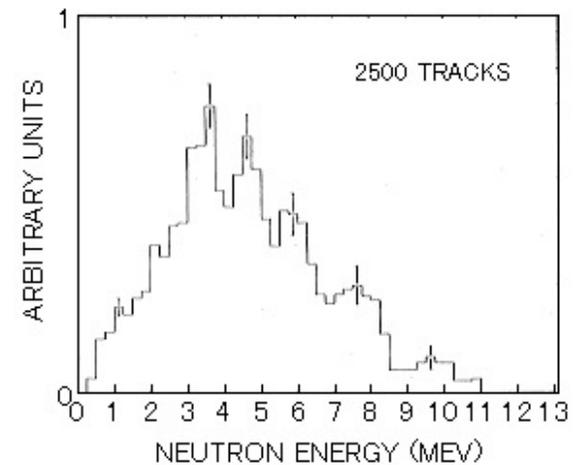
# 原理 (5/5)

今回はBGOを用いた  
 $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$

- Am/Be線源・シンチレーター



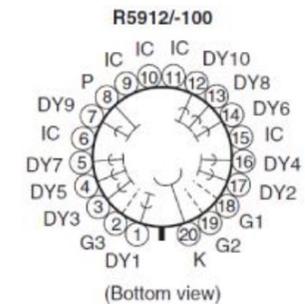
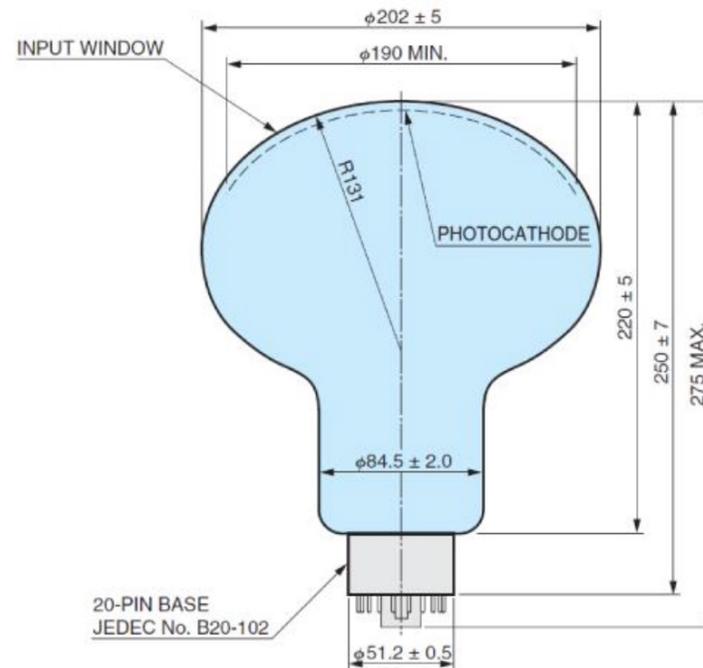
放出される中性子のエネルギーは一定でない



Am/Be からの中性子のエネルギー分布  
F.D. Guarrini, et.al., NIM 92 (1971) 277-284

# 実験装置 (1/4)

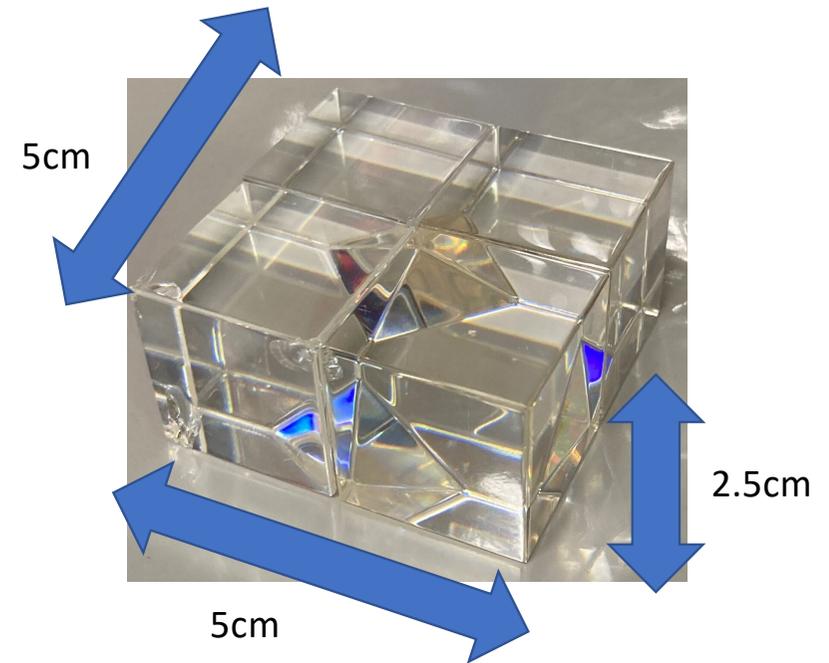
- 本実験では直径が約20cmのPMT、R5912を2本使用する
- cf) スーパーカミオカンデ：直径50cmのPMT



IC: Internal connection  
(Do not use)

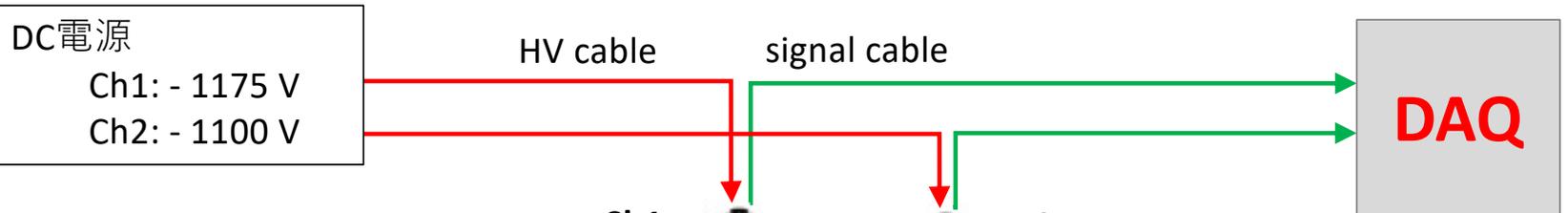
## 実験装置 (2/4)

今回、Am/Be線源とBGOは、ディレイドコインシデンスと類似する信号を発生させるものとして用いた。

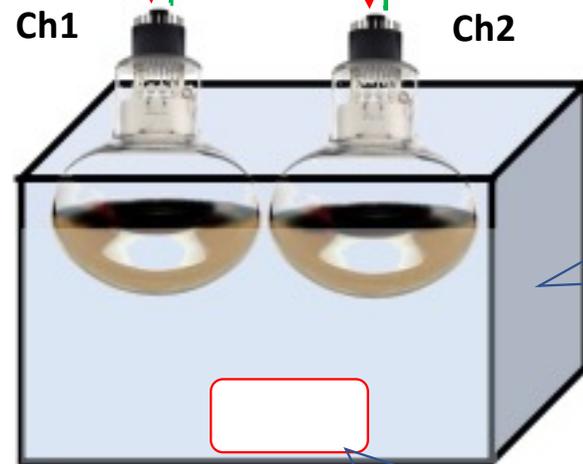


# 実験装置 (3/4)

データ収集



水面の高さを  
変更可能



- 空気
- 純水

- Nothing
- LED
- 線源(Am/Be)
- 線源+シンチ(BGO)

## 実験装置 (4/4)



プラスチック製容器

容積  $40\text{cm} \times 50\text{cm} \times 40\text{cm} \sim 80\text{L}$

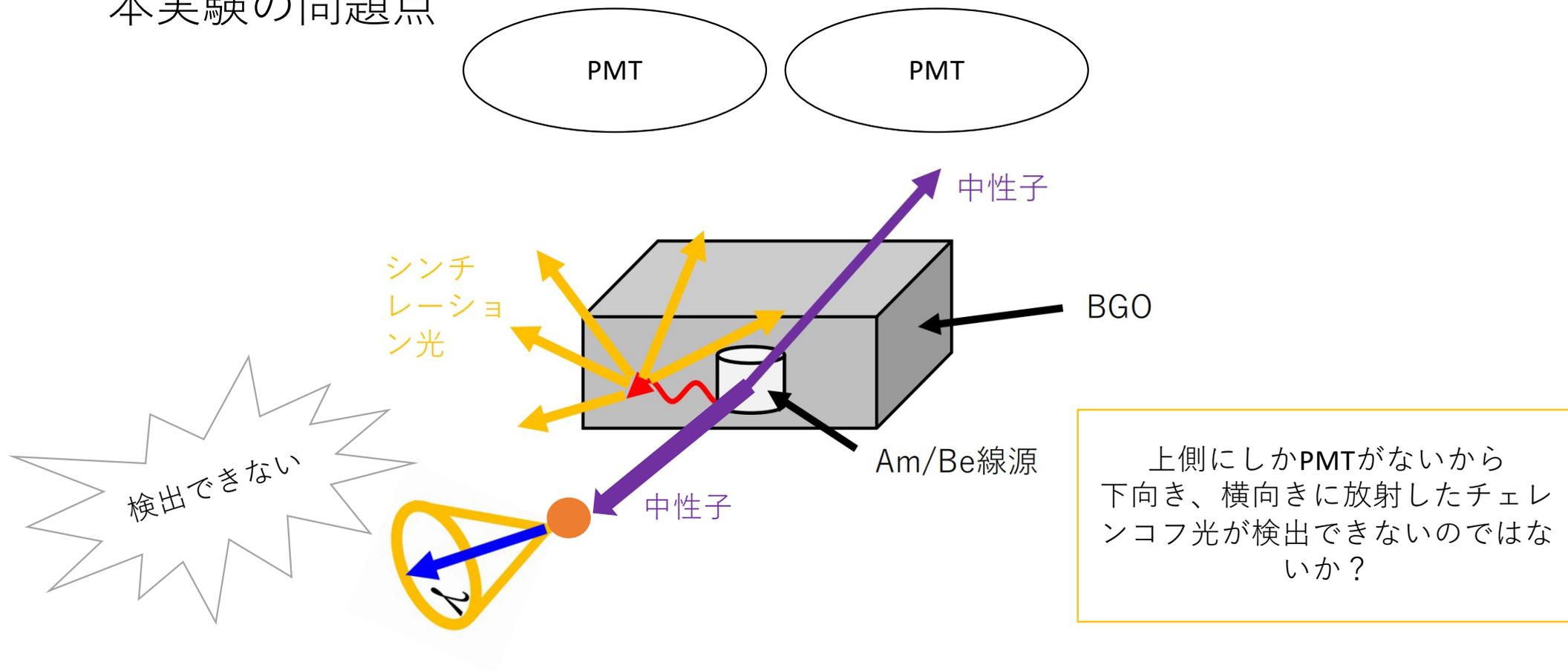
水の体積  $40\text{cm} \times 50\text{cm} \times 25\text{cm} \sim 50\text{L}$

cf) スーパーカミオカンデ  
32ML (内水槽の体積)

出典: <https://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/detector/outline.html>

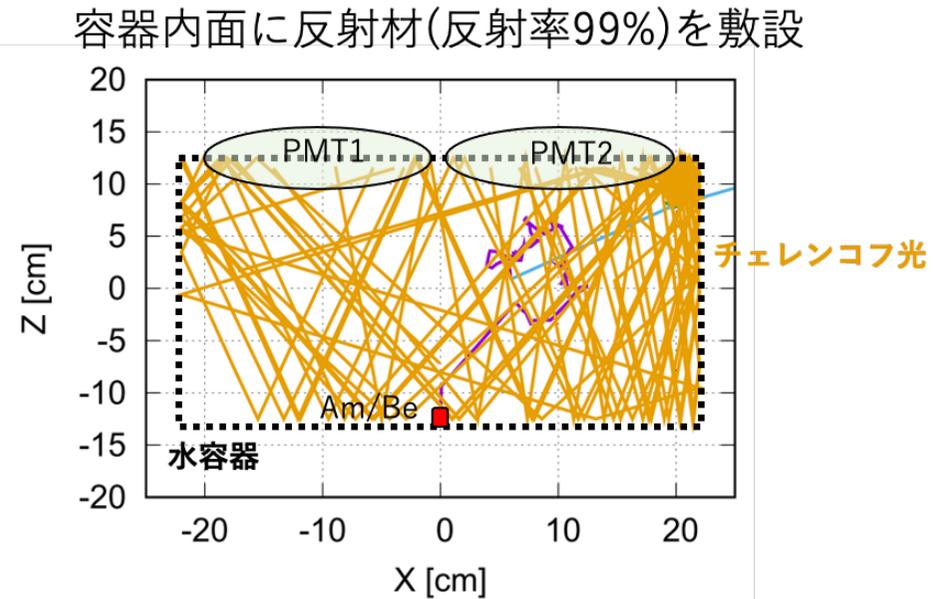
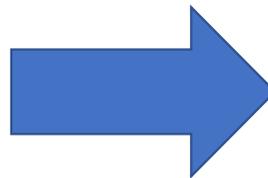
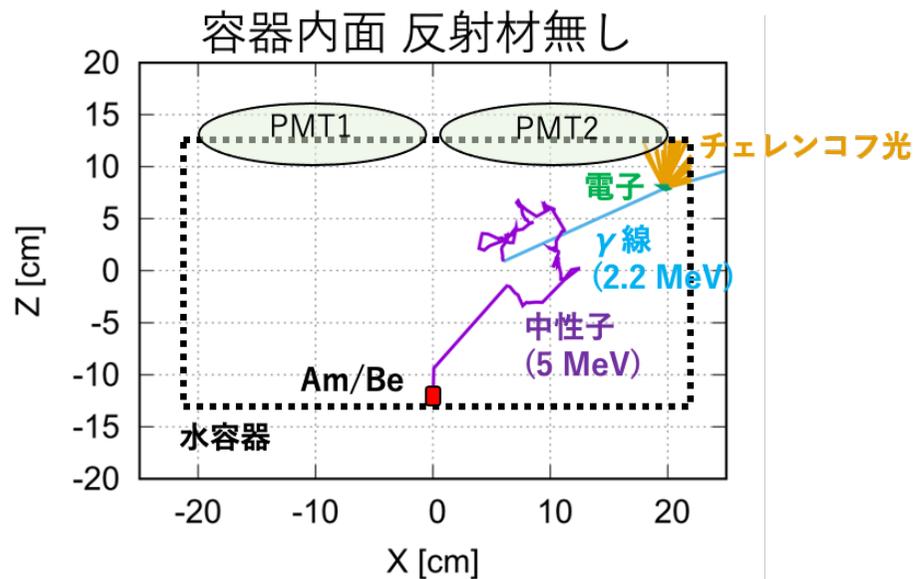
# 議論 (1/4)

本実験の問題点



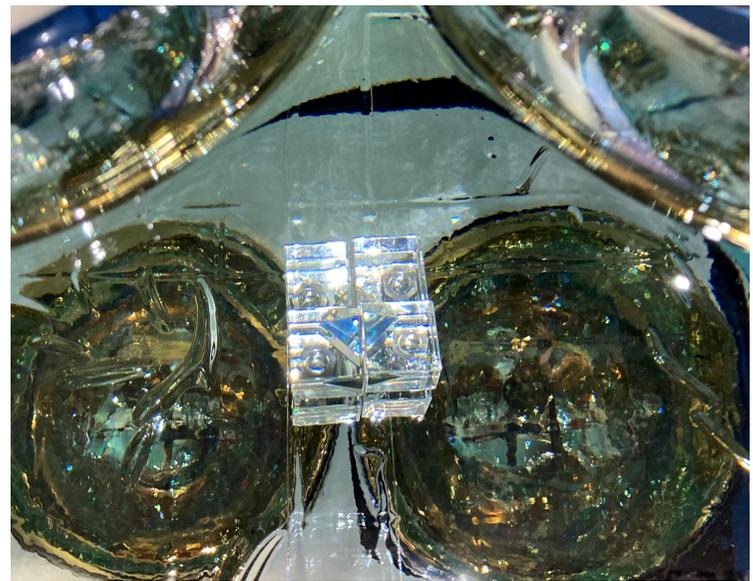
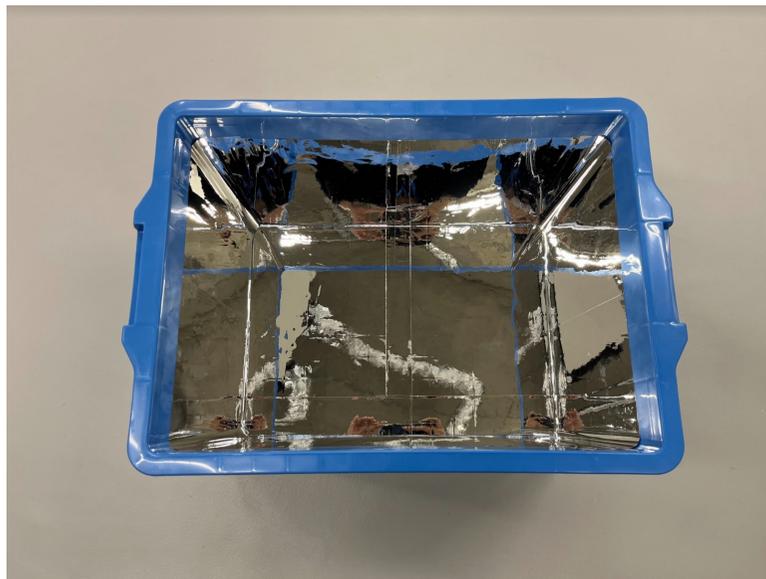
# 議論 (2/4)

geant4でのシミュレーション結果

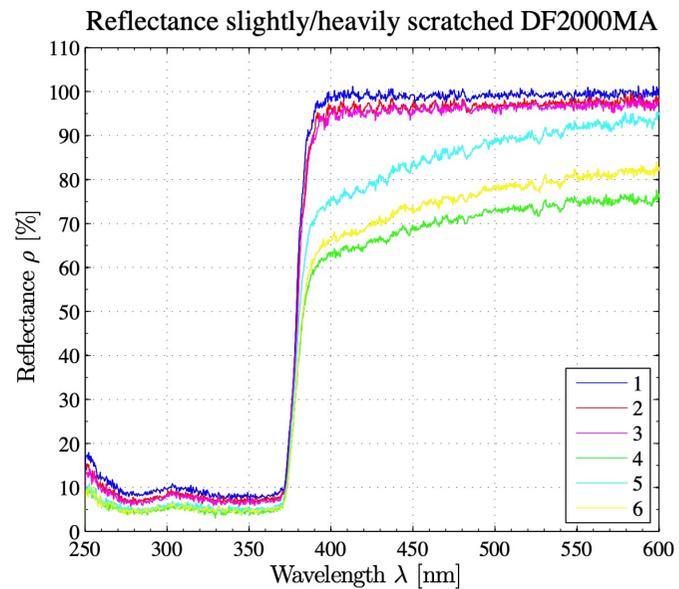


# 議論 (3/4)

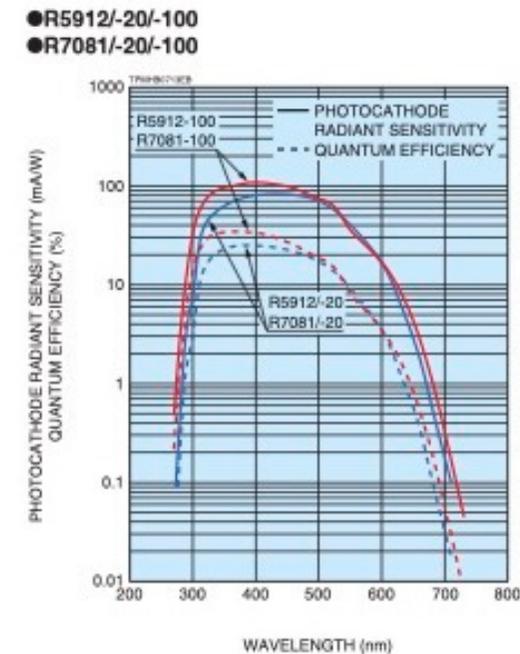
反射材(DF2000MA) を容器の底面・側面に引き詰めた様子



# 議論 (4/4)



出典:<https://arxiv.org/abs/1706.03687>



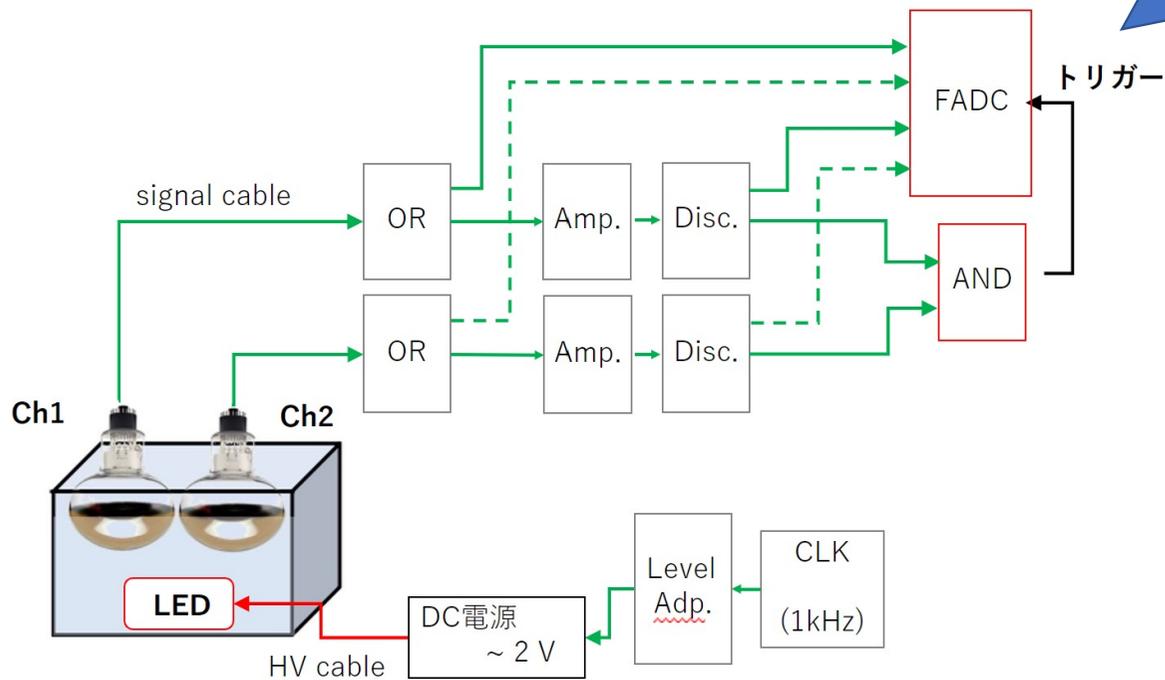
出典：

[https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/99\\_SALES\\_LIBRARY/etd/LARGE\\_AREA\\_PMT\\_TPMH1376E.pdf](https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/99_SALES_LIBRARY/etd/LARGE_AREA_PMT_TPMH1376E.pdf)

# 本実験の流れ

- LEDを用いたPMTの校正する  
LEDを使って出力受光量と入射した光子数との関係を調べる
- 反射材の使用/無使用でのチェレンコフ光の検出する  
ディレイド・コインシデンス反応を観測する  
反射材有無について違いを調べる

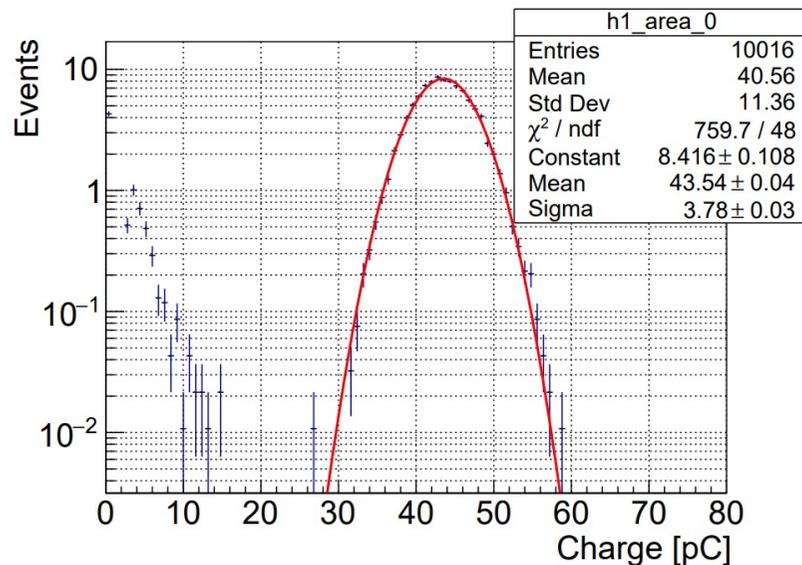
# LEDでの較正



ANDは、CH1とCH2双方から信号が来た場合にFADCに信号を送る

→FADCはその回数をカウント

# LEDでの較正



例:CH1(LEDが明るいつき)

- PMTで光電子は増幅（**G**倍）されたので、横軸の値は、光電子数に比例する量である。
- 観測される光電子数は、ポアソン分布に従うので、増幅率**G**は以下のように求められる。

$$(\text{Mean}) = GN \times 1.602\text{e-}19 [\text{C}]$$

$$(\text{Sigma}) = G\sqrt{N} \times 1.602\text{e-}19 [\text{C}]$$

$$\rightarrow G = (\text{Sigma})^2 \div (\text{Mean}) \div 1.602\text{e-}19$$

# LEDでの較正

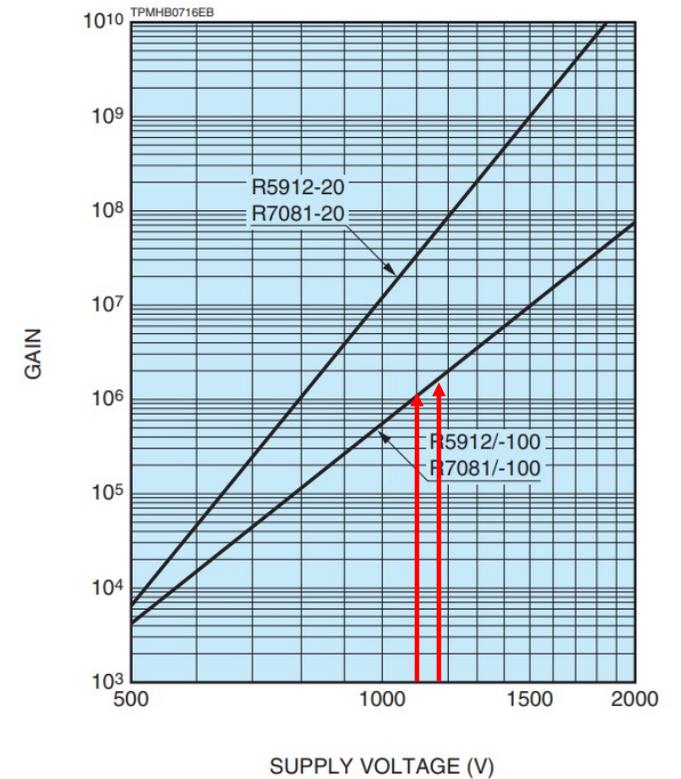
## Gain解析結果

LEDの明るさ	CH	佐藤	新居	Caio	水野	後藤	平均値
LED(暗)	1	2.06e6	2.03e6	2.06e6	2.06e6	2.06e6	2.06e6
LED(明)		1.90e6	1.90e6	1.90e6	1.90e6	1.90e6	1.90e6
LED(暗)	2	1.65e6	1.65e6	1.65e6	1.65e6	1.65e6	1.65e6
LED(明)		1.63e6	1.62e6	1.63e6	1.63e6	1.63e6	1.63e6

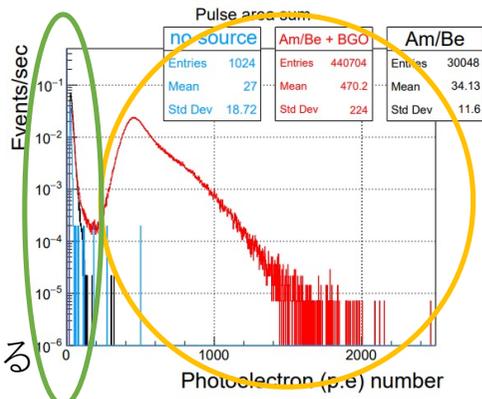


**CH1 : G = 1.98e6**  
**CH2 : G = 1.64e6**

\* 補足  
LED(暗): 2.31 V  
LED(明): 2.35 V

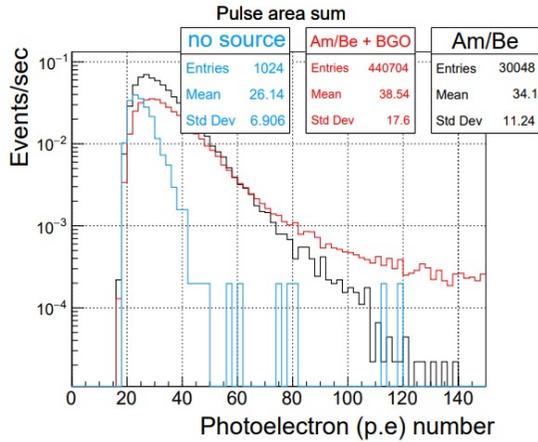
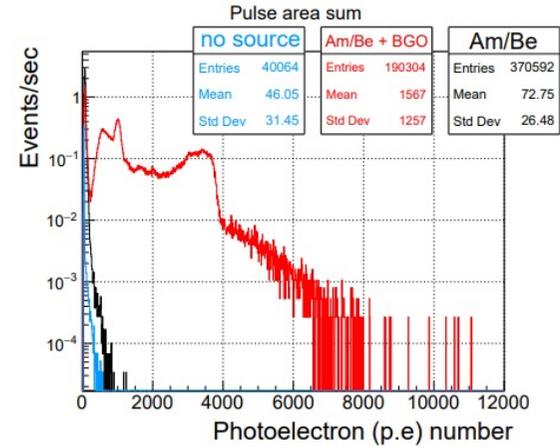


# データ解析結果

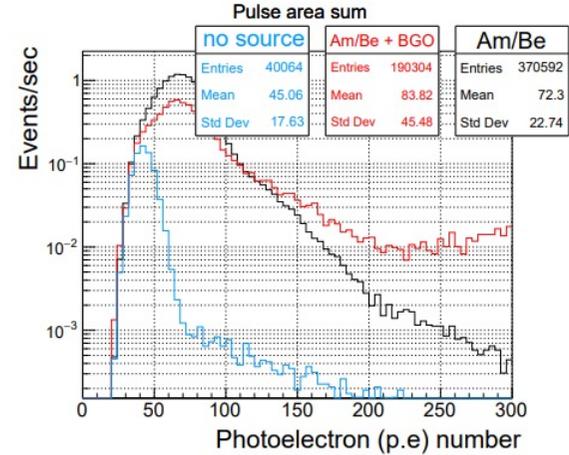


チェレンコフによる  
発光

BGOによる発光



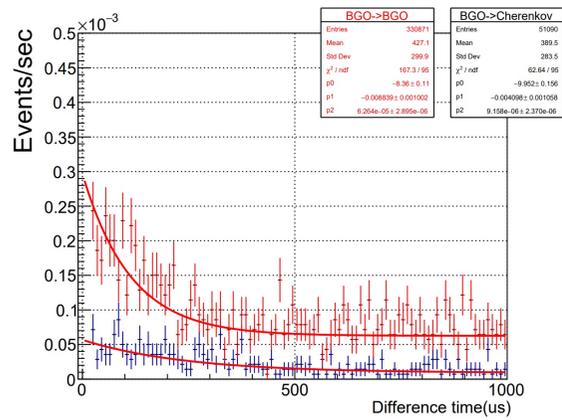
反射材なし



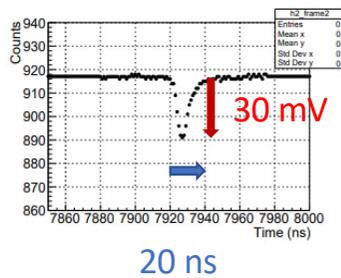
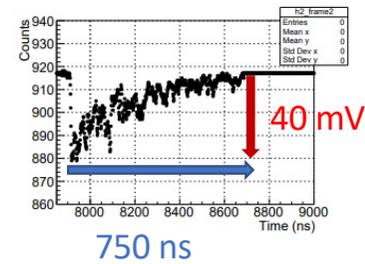
反射材あり

# データ解析結果2

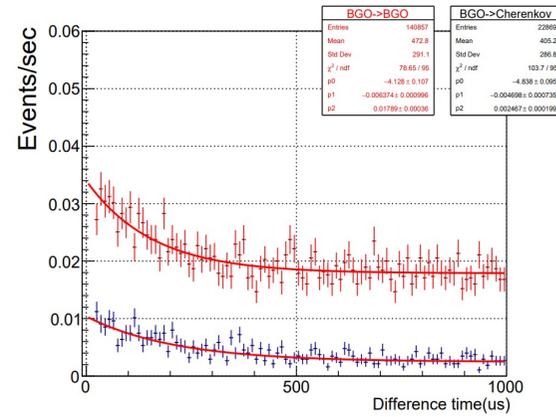
反射材無し



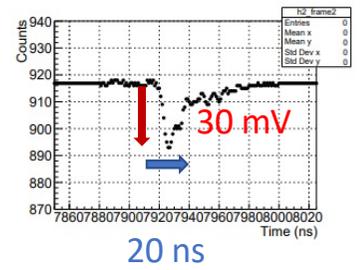
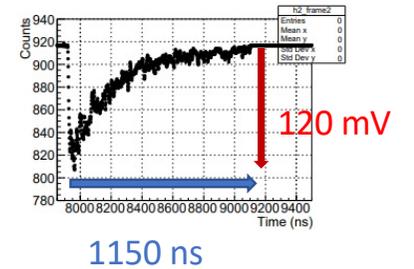
時定数:  
 後発がp.e.>200: 113us  
 後発がp.e.<200: 244us



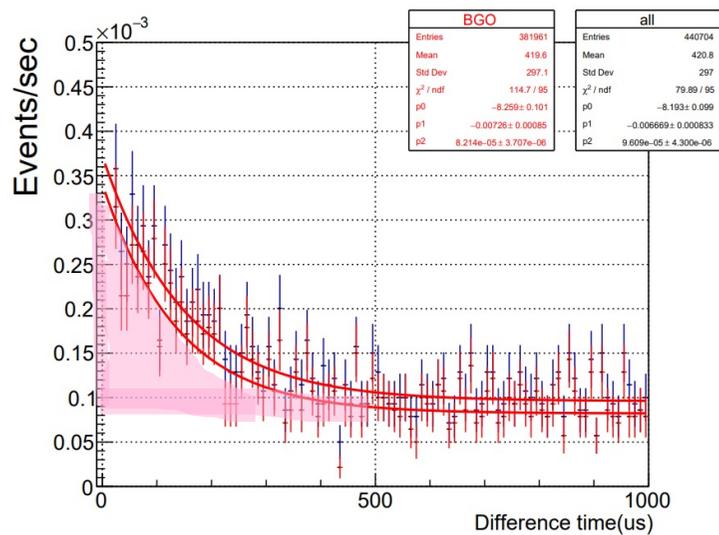
反射材有り



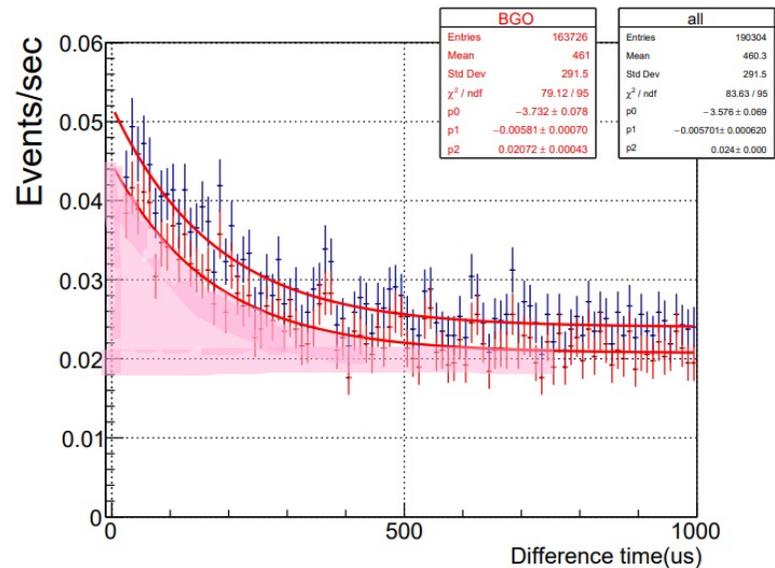
時定数:  
 後発がp.e.>200: 157us  
 後発がp.e.<200: 213us



反射材無し



反射材有り



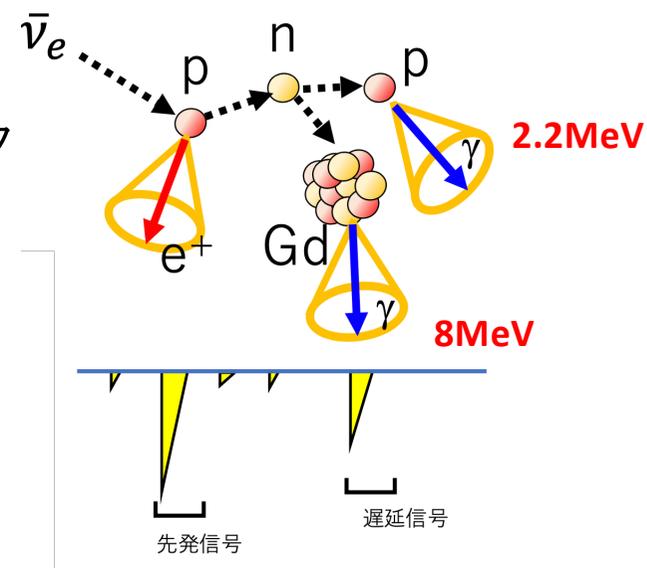
	反射材無し	反射材有り
BGO後発事象	0.00357 events/sec	0.412 events/sec
BGO発光	2.734 events/sec	46.39 events/sec
検出効率	$1.31 \times 10^{-3}$	$8.88 \times 10^{-3}$

約7倍

# 考察

- 検出効率を求めるのに使用された**BGO**発光事象には、バックグラウンドが含まれている。その割合を評価するための**BGO**のみのバックグラウンドデータを取っていない。

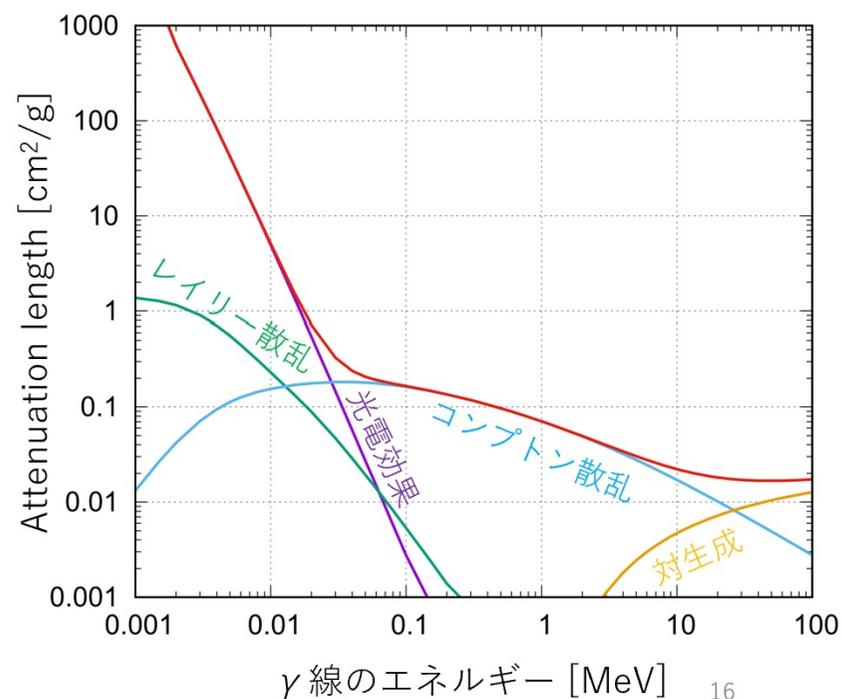
- ガドリニウムを用いることで、チェレンコフ事象の光量が増え検出効率が上昇すると考えられる。



# 考察

- また、水の体積を増やすことでもガンマ線の落とすエネルギーを上昇させることができるため、チェレンコフ事象の検出効率は向上すると考えられる。

<https://www.nist.gov/pml/xcom-photon-cross-sections-database>



# まとめ

- 反電子ニュートリノ事象であるディレイド・コインシデンス反応を観測する実験を行った
- 反射材有無についても調べ、検出効率の違いを求めた
- 反射材があると、検出効率が約7倍になることがわかった
- けれど検出効率はまだ1%以下であるため、効率を上げるためにガドリニウムの使用や、水の体積を増やすとよりよい実験になると考察した