

# ハイパーカミオカンデに向けた 新型PMTの部材のRI測定

---

第7回高エネルギー物理春の学校 2017  
@びわこ

神戸大学大学院 粒子物理学研究室  
M1 宮辺裕樹

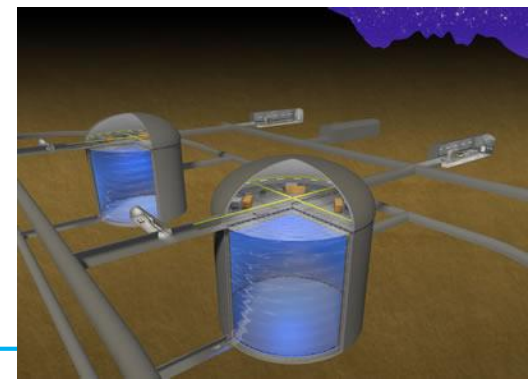
# ハイパーカミオカンデ



- ・ 超大型水チェレンコフ検出器による実験計画

(“Hyper-Kamiokande Design Report”, KEK Preprint 2016-21 ICRR-Report-701-2016-1)

- ・ 現在のスーパーカミオカンデの約17倍の有効体積 (22.5 kton → 380 kton)
- ・ 宇宙線のバックグラウンドを遮蔽するため神岡鉱山の地下に設置される
- ・ 一つの水槽の壁には20-inchのPMTが約40000本取り付けられ、水中で発生するチェレンコフ光をとらえる
- ・ 陽子崩壊探索、宇宙ニュートリノの観測、ニュートリノの性質を調べることが目的



# 動機

---

- ・ ニュートリノ反応や陽子崩壊によって発生する非常に微かな光を測定するため、高感度の大型光センサーが必要
- ・ PMTの部材自体からの放射線がバックグラウンドとなりうるので、部材の放射性不純物が極力少ないことが望ましい
- ・ 浜松ホトニクス of 新型PMT(R12860)とスーパーカミオカンデに使われているPMT(R3600) (The Super-Kamiokande Detector The Super-Kamiokande Collaboration, Nucl. Instrum. Meth. A501 (2003) 418-462;) に関して、それぞれの光電面ガラスに含まれる放射性核種を高純度Ge検出器で測定し、比較する。

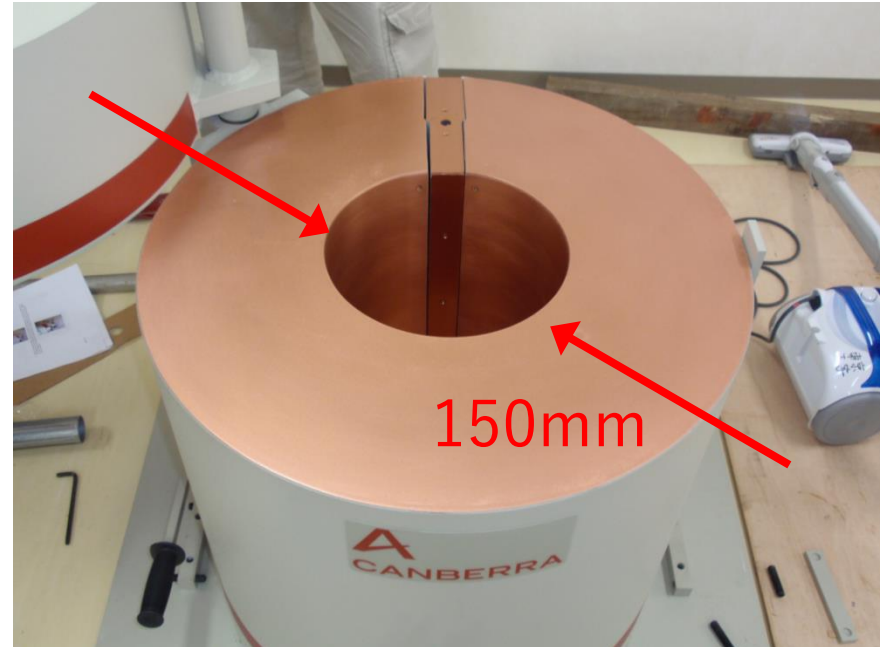
# Ge検出器

---

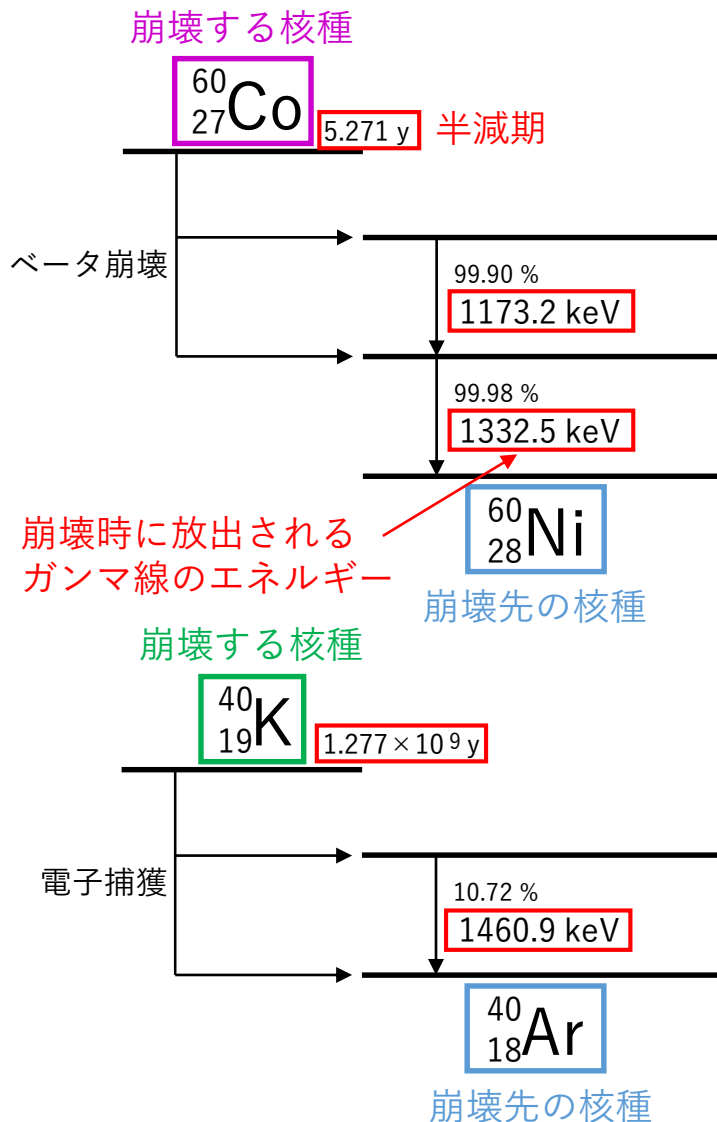
- ・ 高純度Ge検出器で放射性不純物からのガンマ線を測定
- ・ 高い分解能  $\sim 1.5\text{keV}@100\text{keV} \sim 2.5\text{keV}@1.3\text{MeV}$   
→ 高感度高精度の測定が可能
- ・ 広いエネルギー領域 数keV~数MeV  
→ 一度に様々な核種について測定可能
- ・ アルファ線、ベータ線は測定不可

# Ge検出器

- Ge結晶：  
直径 83 mm 長さ 86 mm
- サンプルスペース：  
Ge結晶上方直径 150 mm  
高さ 180 mmの範囲
- 遮蔽体：  
Pb 18 cm(内部2.5 cmは $^{210}\text{Pb} < 25\text{Bq/kg}$ のPb、  
Sn 1 mm、Cu 5.15 cm)



# 放射性不純物(60Co,40K)



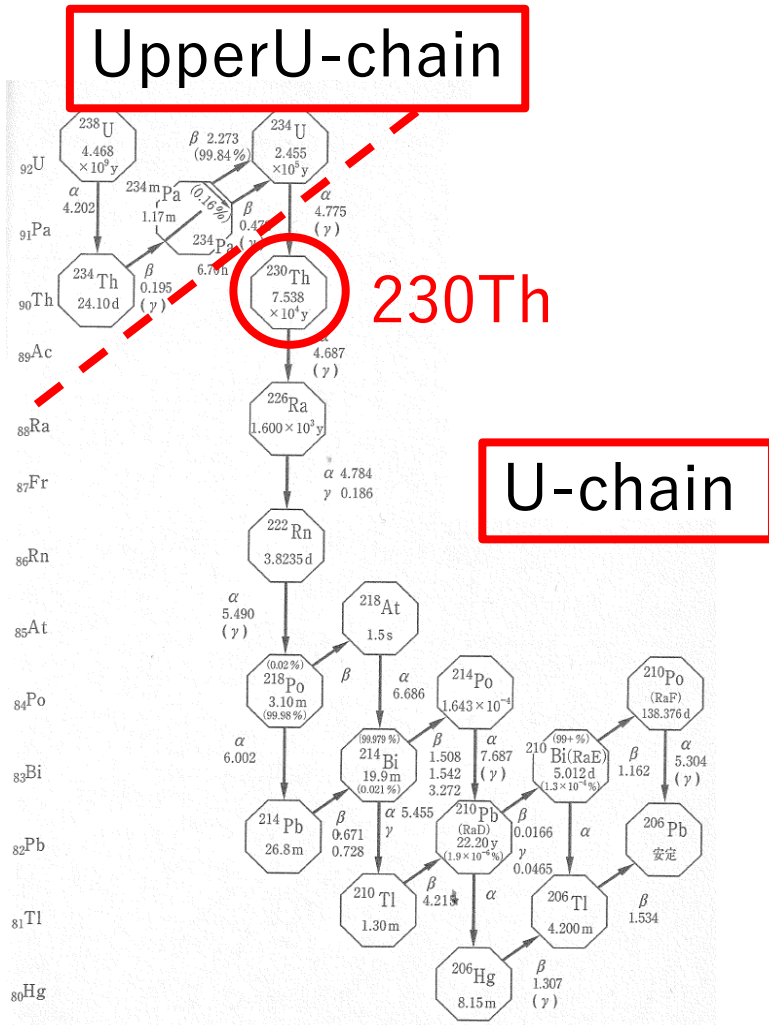
- 各放射性核種からのガンマ線ピークを検出

- 崩壊の分岐比から核種が存在する量を見積もる

- ${}^{60}\text{Co}$ : 1173.2 keV 99.90 %  
1332.5 keV 99.98 %

- ${}^{40}\text{K}$ : 1460.9 keV 10.72 %

# U系列



- 寿命の長い $^{230}\text{Th}$   
より上:

## UpperU-chain

$^{234}\text{Th}$  63.29 keV 4.8 %  
 $^{234}\text{Pa}$  1001 keV 0.84 %

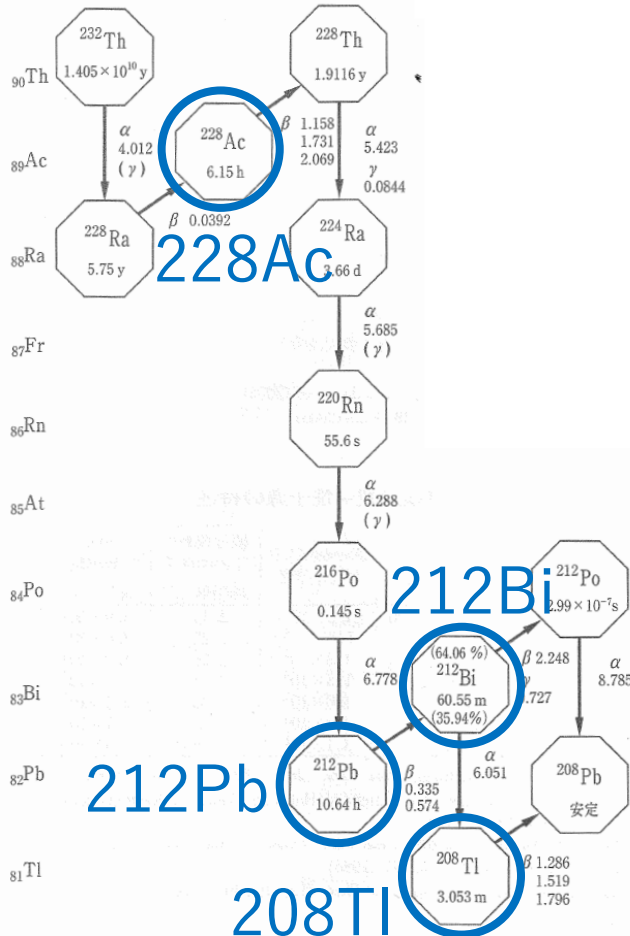
- $^{230}\text{Th}$ から下:

## U-chain

$^{214}\text{Pb}$  352 keV 37.64 %  
 $^{214}\text{Bi}$  609 keV 44.79%  
 1764 keV 15.42 %

# Th系列

## Th-chain



## Th-chain

228Ac 338 keV 11.3 %

212Pb 238.6 keV 43.3 %

212Bi 727.3 keV 6.6 %

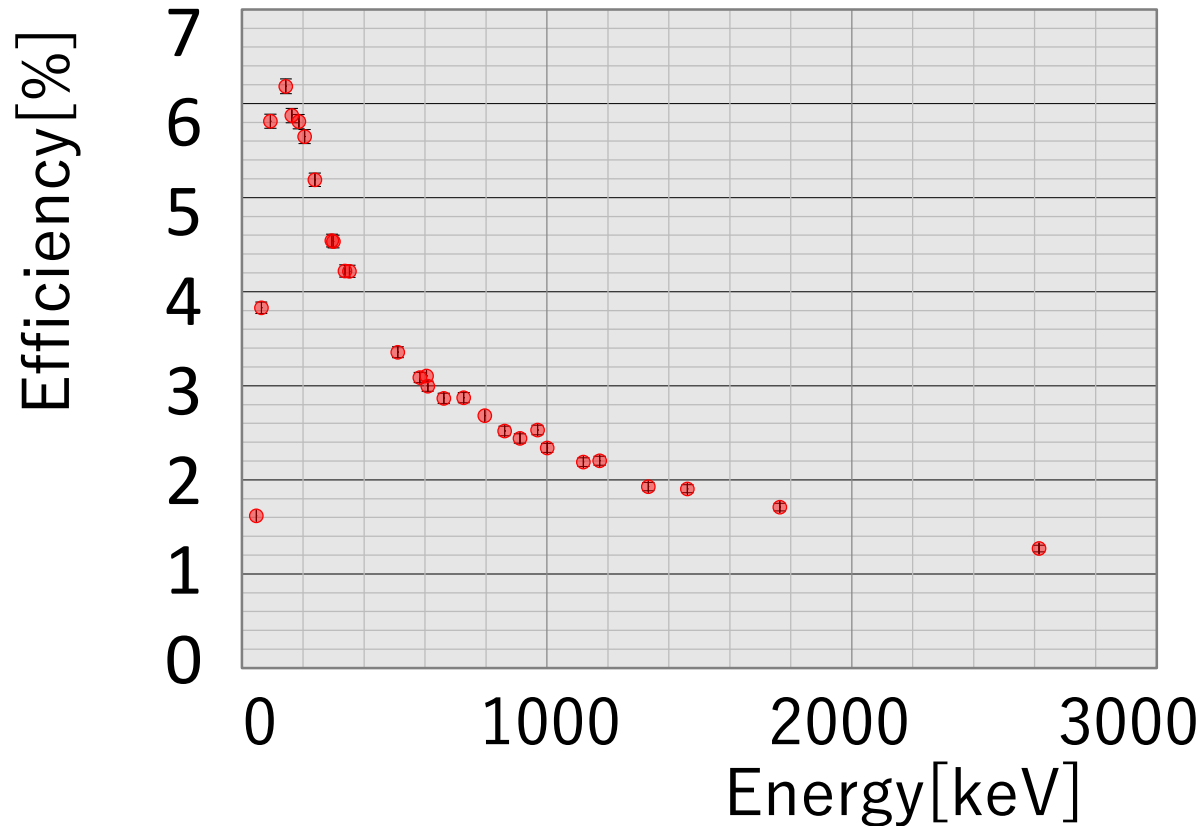
208Tl 583 keV 35.9 %  $\times$  84.6 %

2614 keV 35.9 %  $\times$  99.9 %



# 検出効率

- Geant4を用いて検出効率を計算
- Ge結晶、サンプルの構造を作製し、ガンマ線が発生させる
- 結晶内部に全エネルギーを落とす確率を検出効率とした



新型PMT(R12860)の各核種の  
ガンマ線に対するGe検出器の検出効率

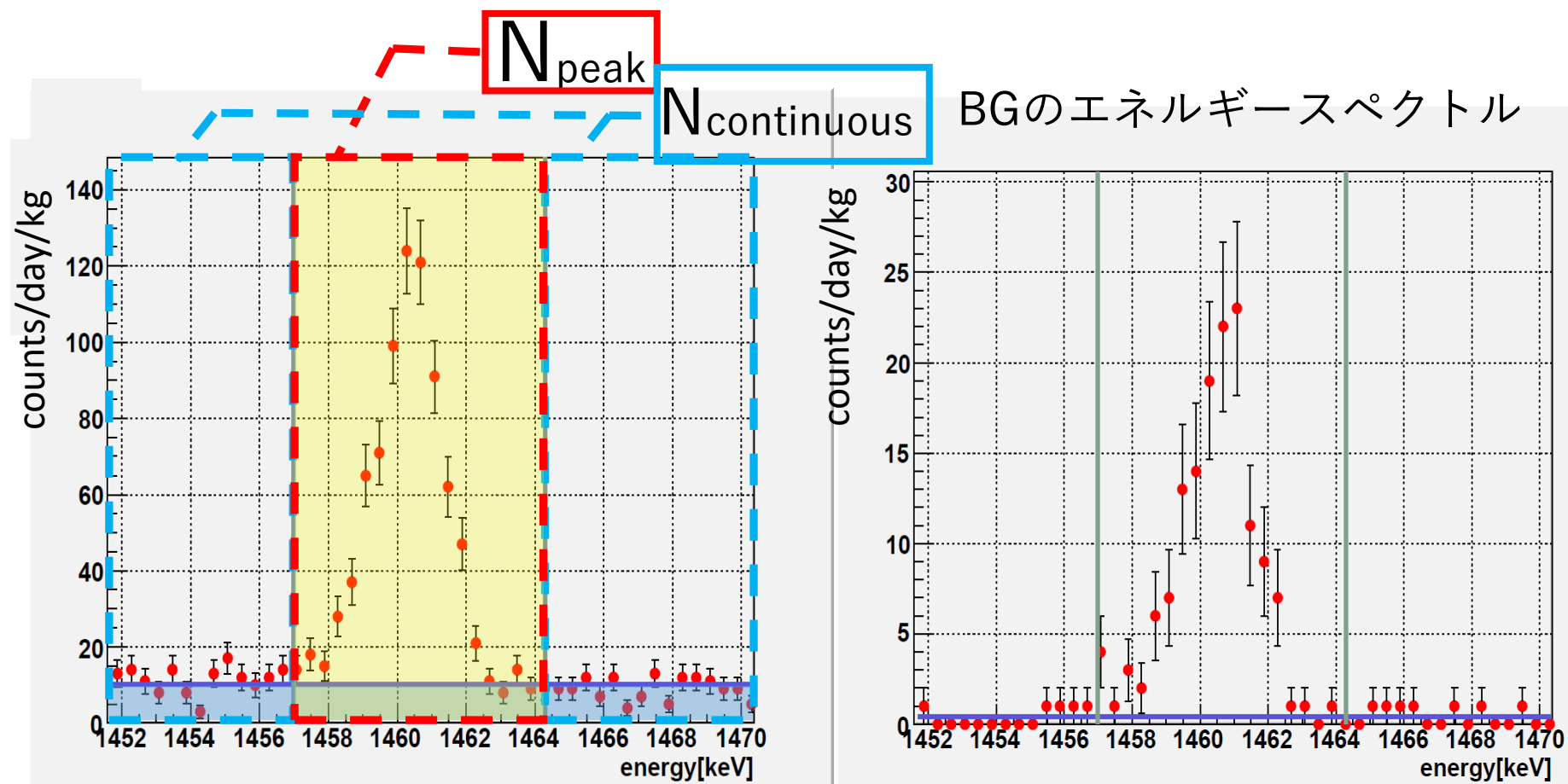
# 解析

---

- 各エネルギーピークについてサンプル起源の成分を計算
- ピーク領域を定義し、領域内のカウント数を計算  $N_{\text{peak}}$
- 領域の外側の領域の平均をとり、連続成分の量を見積もる  
 $N_{\text{continuous}}$
- ピークから連続成分を差し引き、測定時間で割り、ピーク成分のカウントレートを計算  
$$R_{\text{peak}} = (N_{\text{peak}} - N_{\text{continuous}}) / \text{time}$$
- サンプルデータのカウントレートから、サンプルを入れていないバックグラウンドレートを差し引き、サンプル起源のカウントレートを計算  $R^{\text{result}} = R_{\text{peak}}^{\text{sample}} - R_{\text{peak}}^{\text{BG}}$
- カウントレートを検出効率と分岐比で割り、核種毎のBqを計算

# 解析

- ・ 新型PMT(R12860)のガラスの40Kピークの $N_{\text{peak}}$ ,  $N_{\text{continuous}}$ とBGのエネルギースペクトル



# 結果

## R3600とR12860の核種毎の放射能

[mBq/g]	UpperU-chain	U-chain	Th-chain	60Co	40K
R3600	$4.39 \pm 0.27$	$5.46 \pm 0.04$	$1.80 \pm 0.02$	$-0.009 \pm 0.005$	$18.2 \pm 0.2$
R12860	$2.31 \pm 0.11$	$3.55 \pm 0.02$	$1.18 \pm 0.01$	$0.002 \pm 0.003$	$1.12 \pm 0.06$

- SKに使われているPMT(R3600)のガラスと比べ、新型PMT(R12860)のガラスは、すべての核種・系列において低いRIを実現

# 結論

---

- ・ 高純度Ge検出器を用いて、2種類のPMT(R3600,R12860)のガラスの放射性不純物を測定した
- ・ Geant4を用いて検出効率を計算し、核種ごとの放射能を測定することができた
- ・ 測定の結果から、HK用の新型PMTに使用されるガラスは低RIだった
- ・ 今後もHK用の様々なサンプル(PMTのケーブルやガラスの保護カバー等)の測定を行う
- ・ 今後シミュレーション等で、低RIしたことのHKの物理感度への影響を見積もる予定

# backup

---

- ・ PMTの本数

Fiducial Volumeではなく、Inner Detector Volumeで計算

220(kT)/32(kT)の2/3乗で面積は3.3倍です。11,129(SK)  
x 3.3 だと36,700本