

極低放射能 ゲルマニウム検出器の開発

市村晃一 (東大宇宙線研)

2019/08/24~25 大阪大学

新学術・地下宇宙領域研究会

- ・ 話す内容：
 - ・ 簡単なゲルマニウム(Ge)検出器の説明
 - ・ 前回の地下素核で報告したGe検出器
 - ・ 世界と比べてどれくらいか
 - ・ 今回極低放射能Ge検出器に向けてすること
 - ・ 開発が終わったらやること
 - ・ まとめ

簡単な同軸型Ge検出器の説明

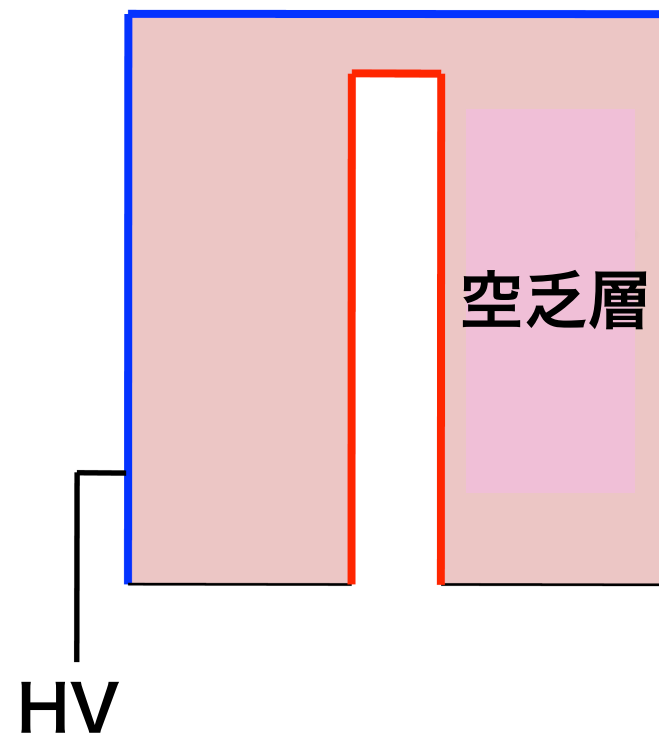
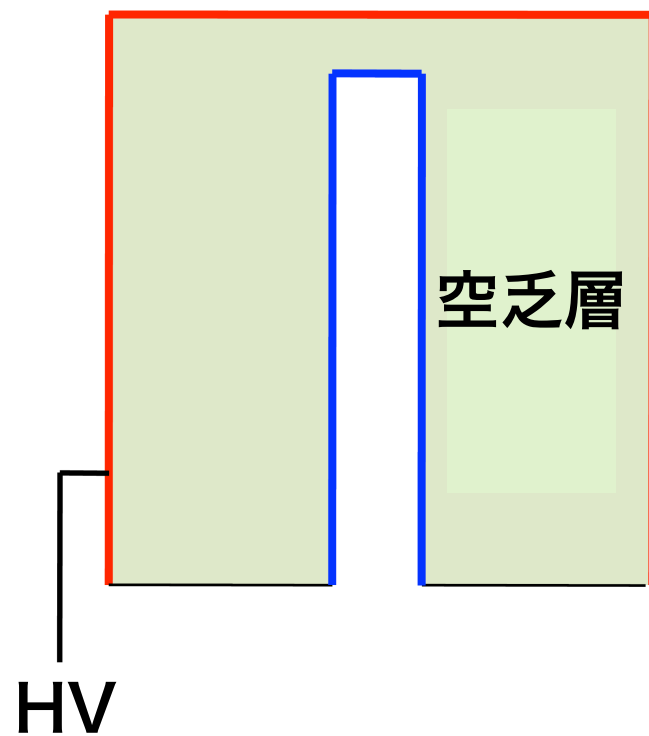
- ボロンp⁺接合 (厚さ0.3 μm)
- リチウムn⁺接合 (厚さ0.5~0.8 mm)

n型Ge結晶

P型Ge結晶

Nタイプ検出器

Pタイプ検出器



神岡LabCにあるGe検出器



- Ge検出器：結晶内部空乏層で生成される電子・正孔対を測定することで γ 線を検出
- 非破壊検査、スクリーニングに多用されている
- ➡ 高分解能 O(1 keV)：ピーク、放射性核種の特定が容易

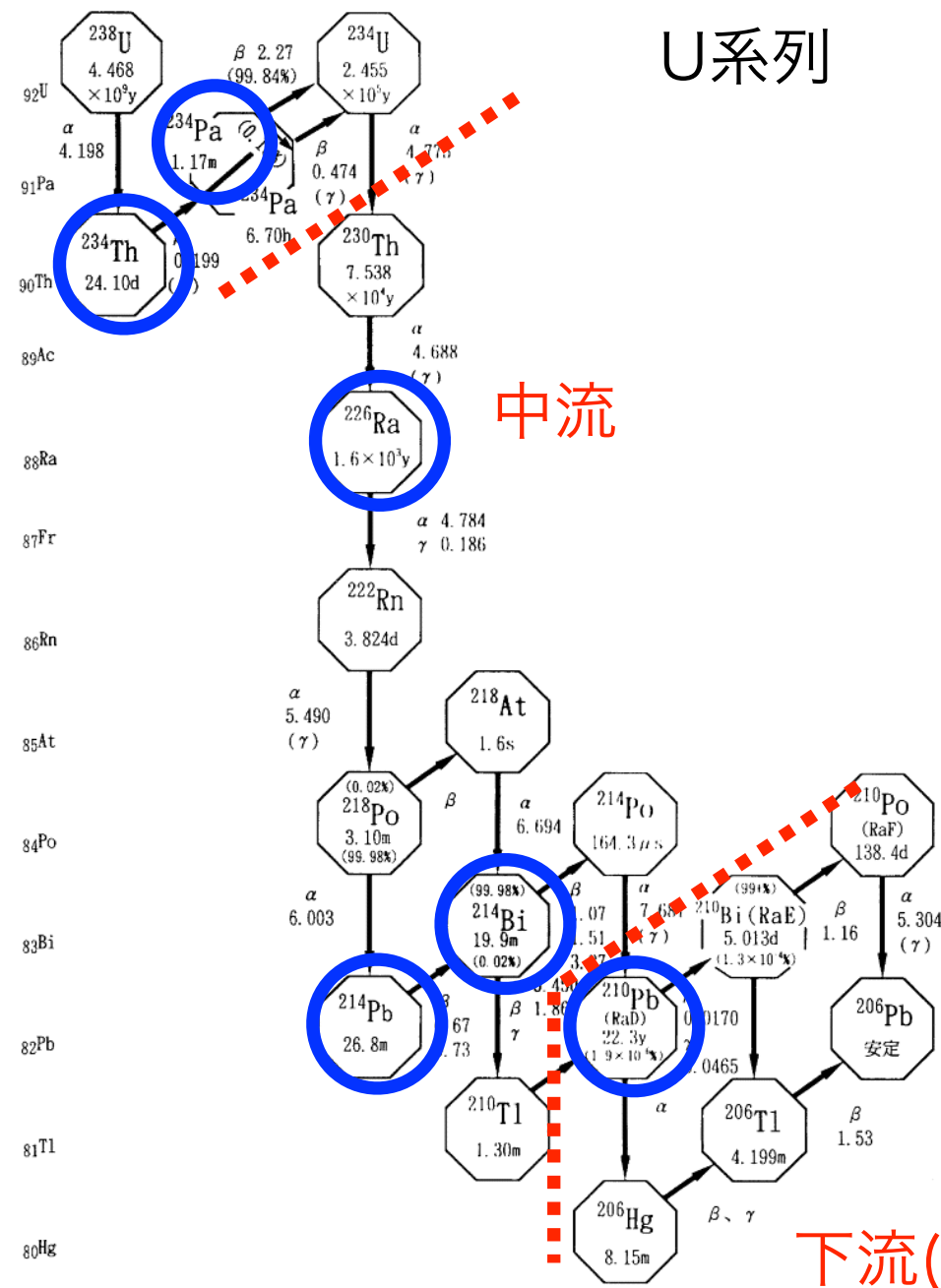
Ge検出器で分かるRIの例

上流

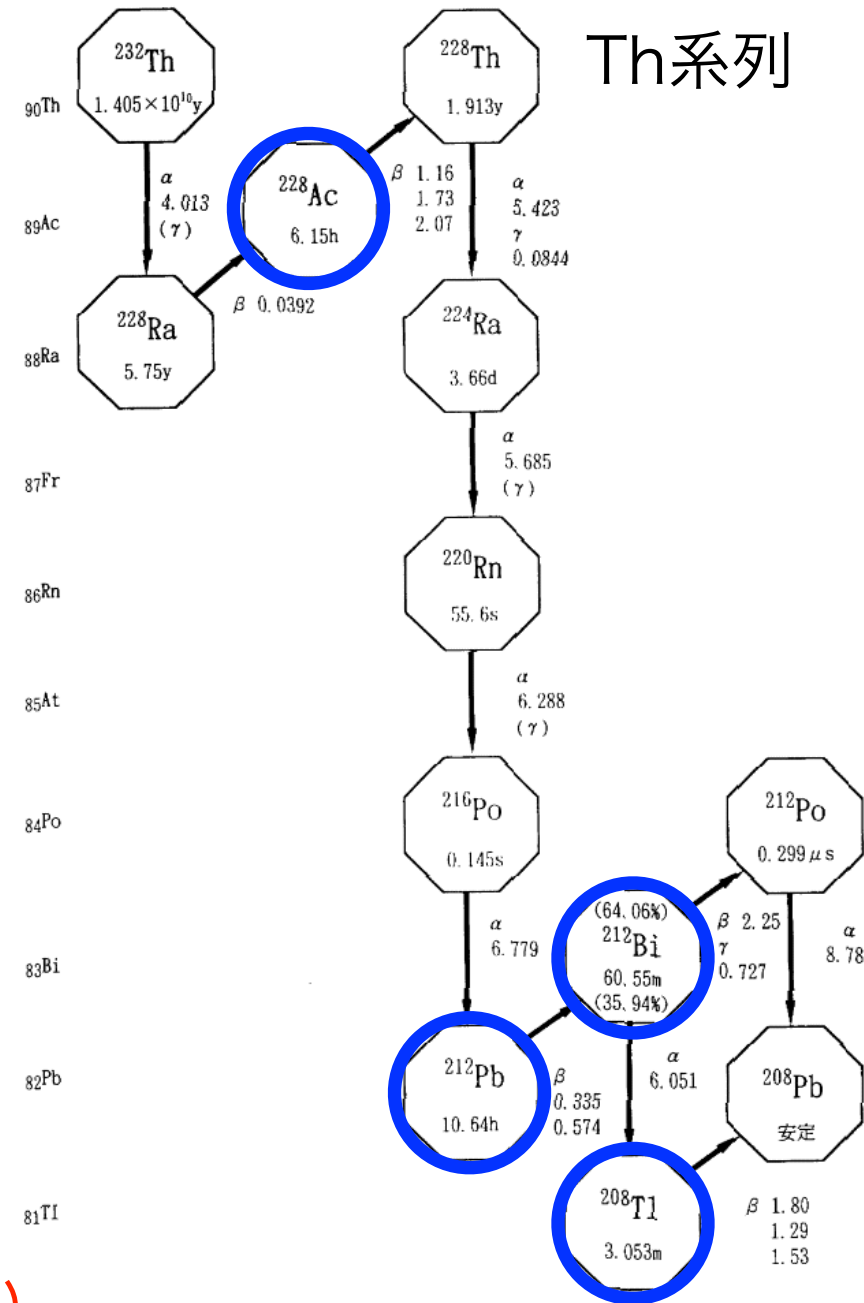
U系列

Th系列

青○：GeでRI評価に使っているガンマ線を放出する核

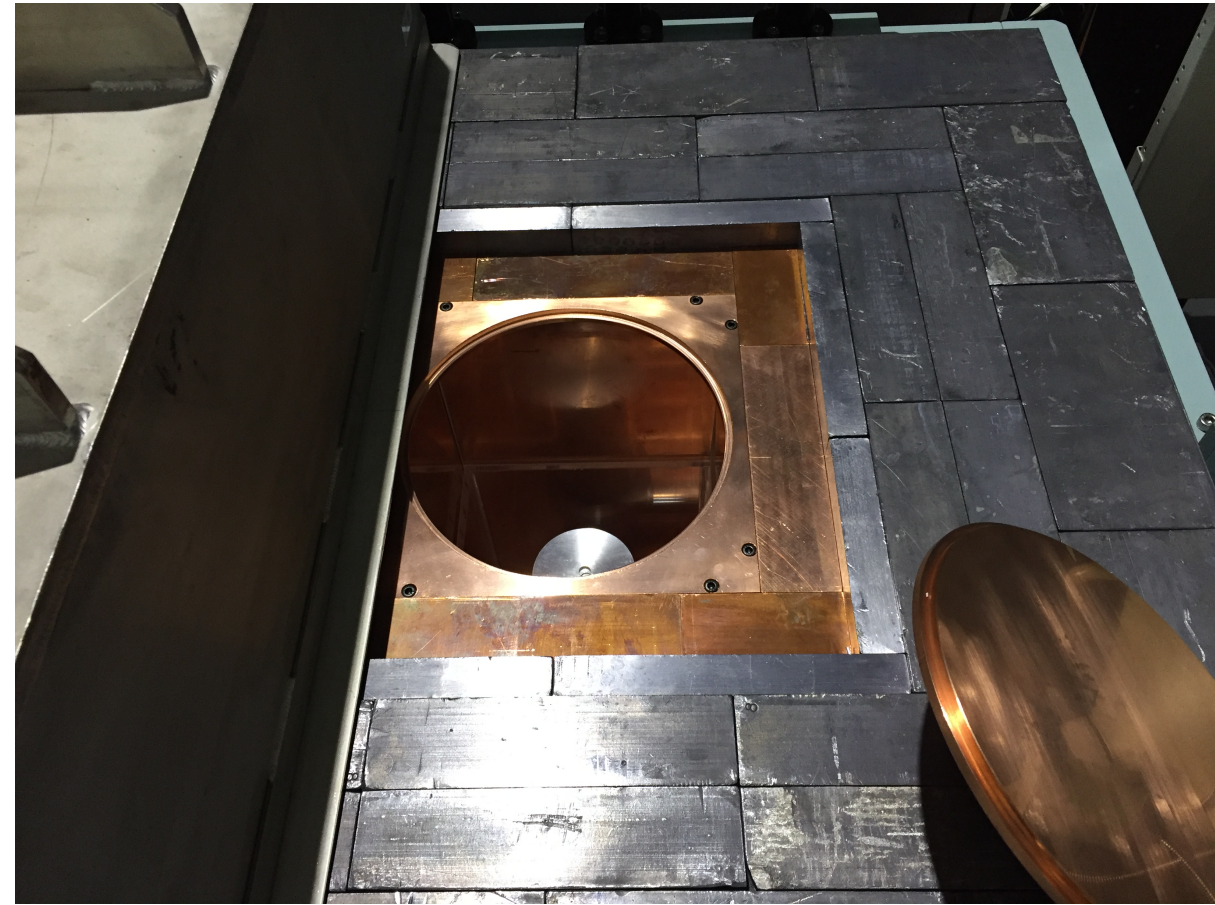
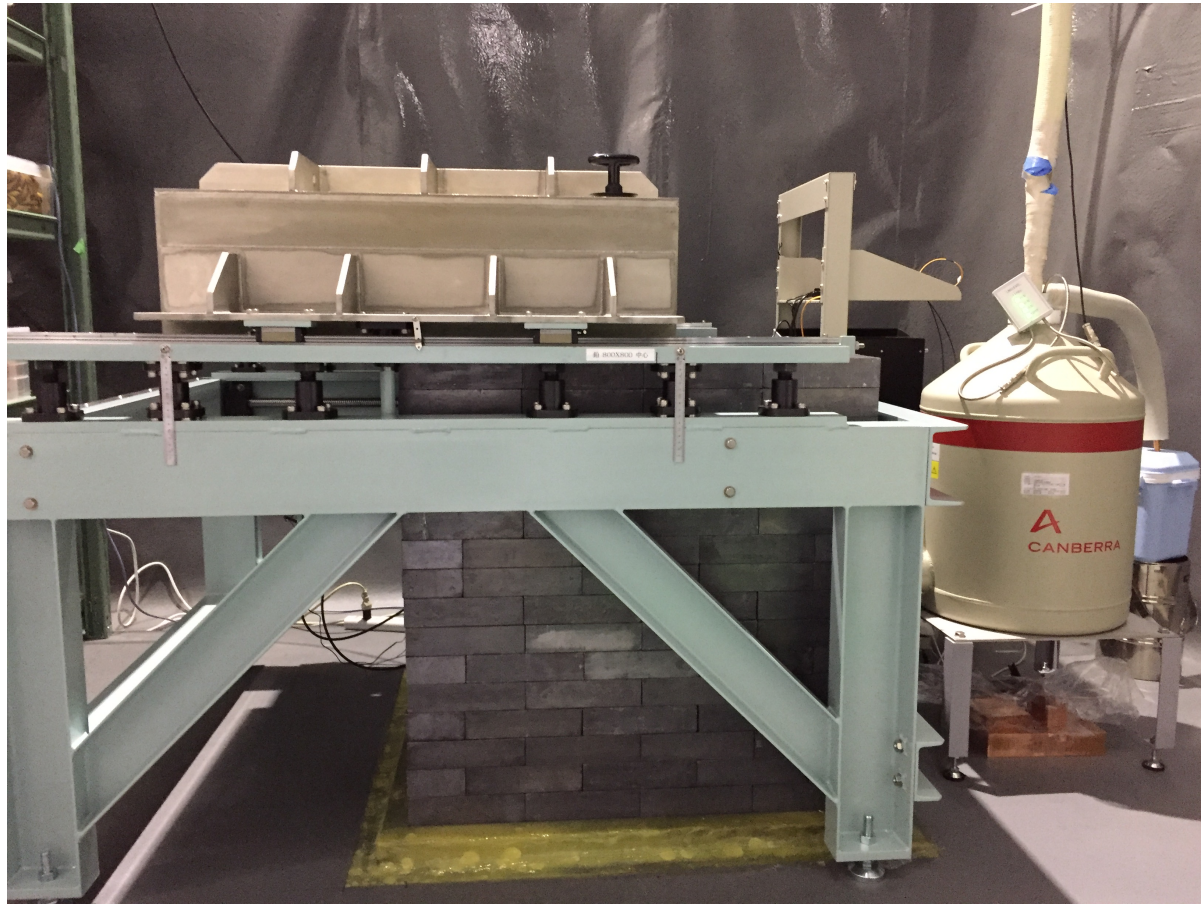


下流(^{210}Pb)



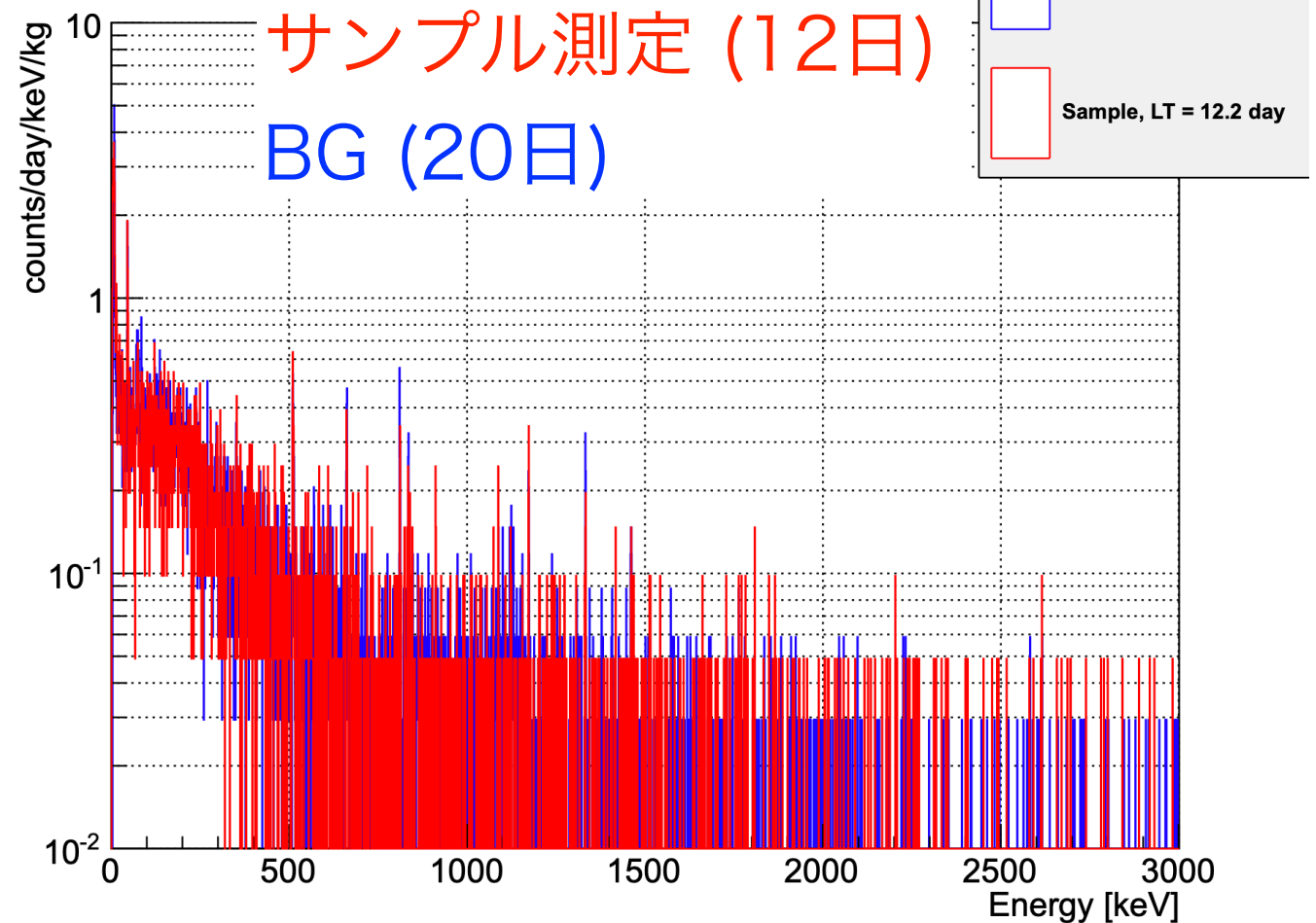
- ICP-MS (pptとかppqのレベル)には感度で負ける：Geは試料によるがウラン中流の測定結果を基にウラン元素濃度を評価すると0.1 ppbとかのレベル
- しかし放射平衡が崩れていることもよくある(ウラン系列等)
- ➡ ICP-MSでは感度があまり出ない ^{226}Ra や ^{210}Pb などがGe検出器では高感度で定量出来る
- ➡ ^{226}Ra 娘核のBGや ^{210}Po 起源の(α ,n)反応などを評価するにはGeによる測定も必要
- ➡ 特に実験で残るBGが γ 線の場合：直接的な測定となる

前回の地下素核新学術で報告したGe検出器



- キャンベラ(現ミリオンテクノロジーズ)・フランス製
- P型、相対効率80%、低放射能仕様
- 1cmの6N grade銅、5cmの銅、2.5cmの極低 ^{210}Pb ($\sim 5\text{Bq/kg}$)鉛、20cmの低 ^{210}Pb ($\sim 140\text{Bq/kg}$)鉛
➡ 6N銅とか遮蔽体開閉機構は前回の新学術の連携の成果
- サンプルスペース：Ge検出器の上部： $23 \times 23 \times 19.5 \text{ cm} = 10,315 \text{ cm}^3$
- Ge検出器の側面： $23 \times 23 \times 15 - \pi (5 \times 5) \times 15 = 6,757 \text{ cm}^3$
- 世界トップレベルでは低バックグラウンド（後述）
- 大量のサンプルを同時に測定出来る（3インチPMT13本とか、硫酸ガドリニウム $> 10 \text{ kg}$ 等）

大量のサンプルを同時に測るの例



- ・ 硫酸ガドリニウム8水和物 8kg
- ・ (EVOHの袋に入れて測定：サイズのには23 cm x 18 cm x 13 cm)
- ・ 12日の測定で：
 - ・ ^{226}Ra (^{214}Pb , ^{214}Bi の γ 線を使って評価) $< 0.4 \text{ mBq/kg}$ (90% C.L.)
 - ・ トリウム系列 (^{228}Ac , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{208}Tl の γ 線を使って評価) : $< 0.5 \text{ mBq/kg}$ など
- ・ ^{226}Ra を 0.5 mBq/kg のレベル (90% C.L.)で評価出来ている

この新学術で自分がしたいこと

- Ge検出器の測定高感度化を通し、新学術領域での極低放射能検出器開発に貢献したい

★ Ge検出器自体の高感度化、低放射能+遮蔽能に優れた遮蔽体作り

➡ 世界一の低BG Ge検出器を目指す $O(10)$ counts/day/kg_{Ge}
(30-2700 keV)

★ 試料中のRIの高感度測定手法の研究：濃縮とか

➡ サンプルによるが、(数百→数十) $\mu\text{Bq/kg}$ レベルで様々な試料を測れるようになる

★ 極低放射能な検出器部材の選定・開発

➡ 結果や手法の公開、ノウハウとかの共有（出来る範囲で）

世界のGe検出器との比較(1)

Detector Name	連続成分 60-2700 keV	²⁰⁸ Tl 2614.5 keV	²¹⁴ Bi 609.3 keV	⁶⁰ Co 1332.5 keV	⁴⁰ K 1460.8 keV
GeOroel	165.3	0.4	2.9	0.1	0.4
Asterix	189.2	0.2	2.1	0.5	0.3
Belmont	150	0.3	1.8	1.1	0.9
Merrybent	255.5	0.4	7.1	1.0	1.3
LabC	111.1	0.14	0.49	0.44	0.57

単位：counts/kg(Geの重さ)/day

神岡Ge：各ピークの値はピーク±4 keVの間に入ったカウント数から導出
連続成分の差っ引きは無し

- LRT2019のスライド https://indico.cern.ch/event/716552/sessions/310927/attachments/1847769/3032268/ScovellLRT_GeReview.pdf より
 - Canfranc (スペイン)の8台のGeのうちのBGの少ない2台(GeOroelとAsterix)
 - Boulby (イギリス)の7台のGeのうちのBGの少ない2台(BelmontとMerrybent)
- ➡ 連続成分、²⁰⁸Tl, ²¹⁴Bi等のカウント数は神岡Geのほうが優れている

世界のGe検出器との比較(2)

Detector Name	連続成分 40-2700 keV	^{214}Pb 352 keV	^{208}Tl 583 keV	^{40}K 1460.8 keV
GePaolo	226	0.83	0.38	1.4
GeCris	87	< 0.39	< 0.29	1.0
GeMPI	30	< 0.20	< 0.15	0.36
LabC	119.4	0.99	0.4	0.57

単位：counts/kg(Geの重さ)/day

神岡Ge：各ピークの値はピーク $\pm$ 4 keVの間に入ったカウント数から導出
連続成分の差っ引きは無し

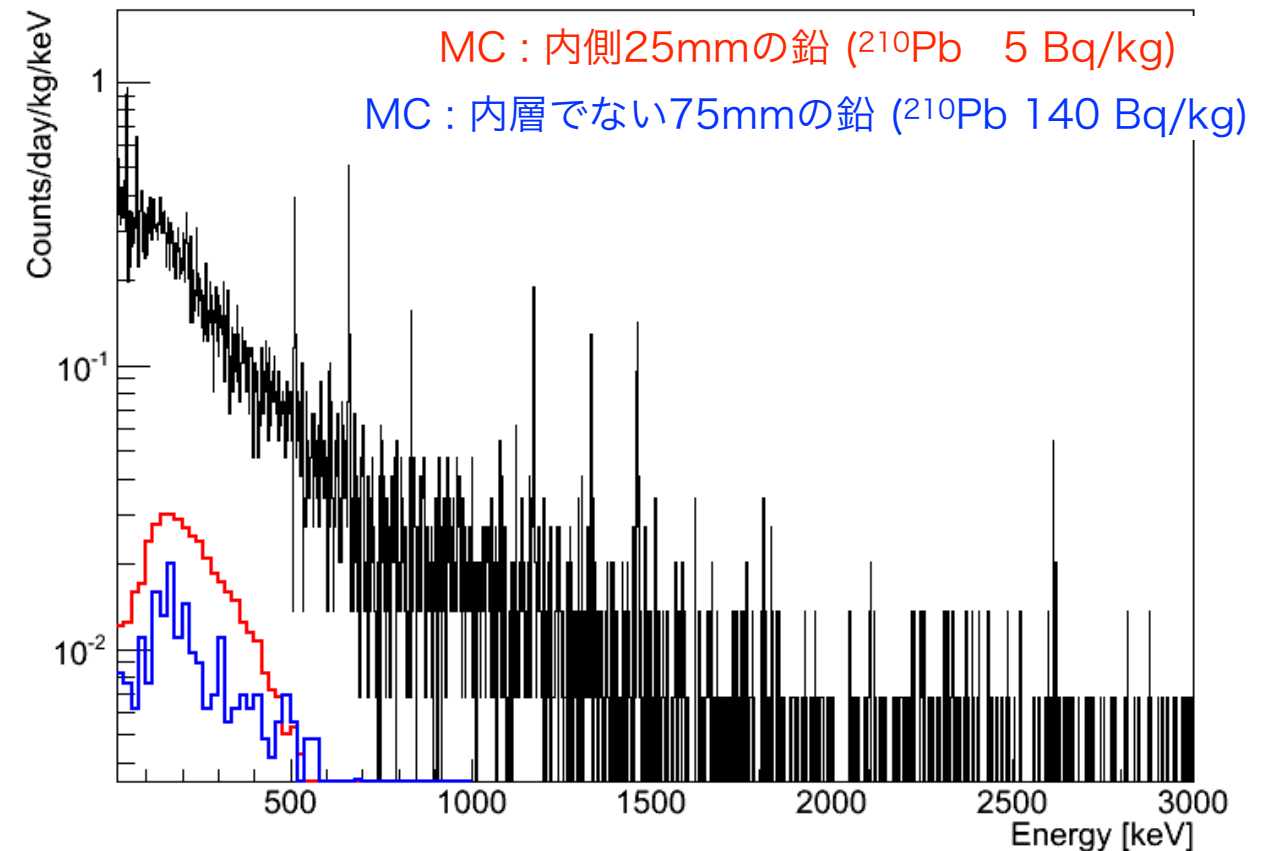
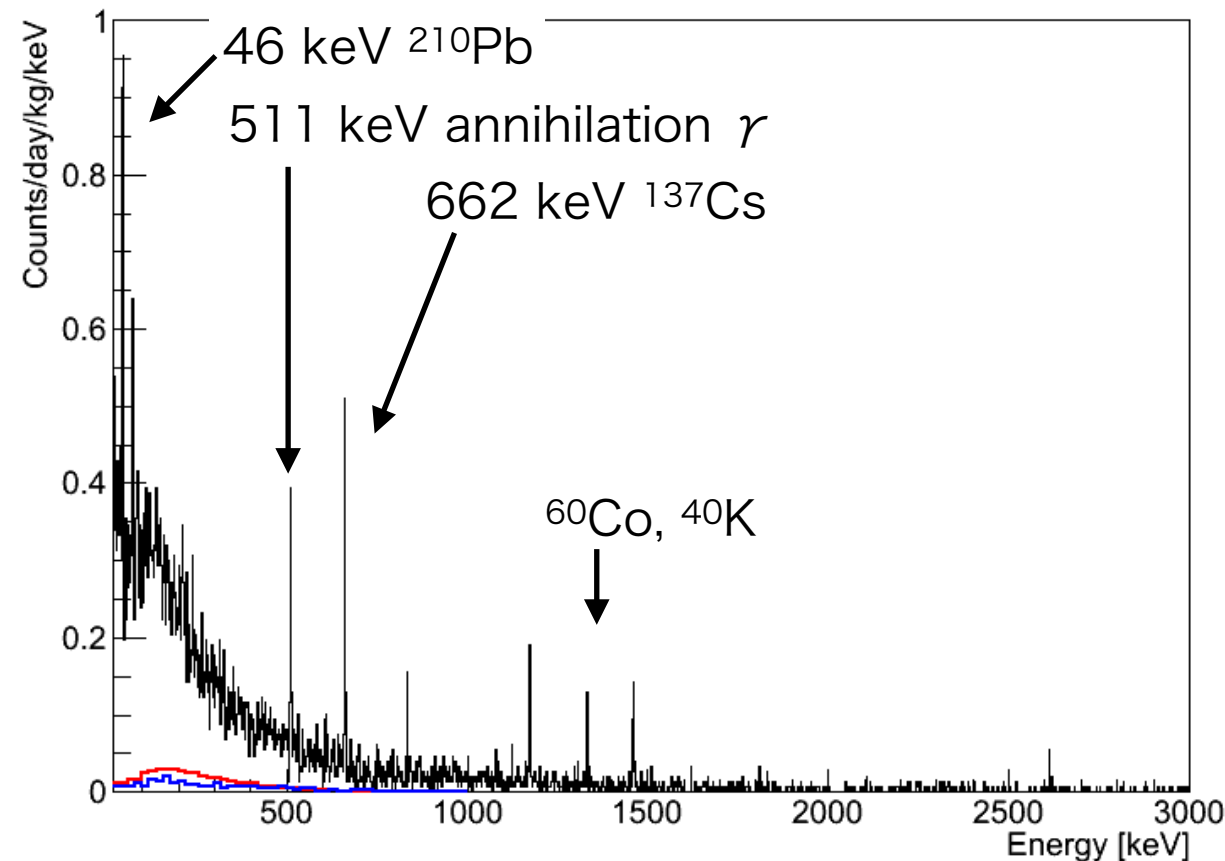
- LRT2019のスライド https://indico.cern.ch/event/716552/sessions/310927/attachments/1847769/3032268/ScovellLRT_GeReview.pdf より
- LNGS (イタリア)の7台のGeのうちのBGの少ない3台

➡連続成分をfactor4落とすと世界一を名乗れる？

極低放射能Ge検出器開発に向けてすること

• Ge検出器自身の低放射能化

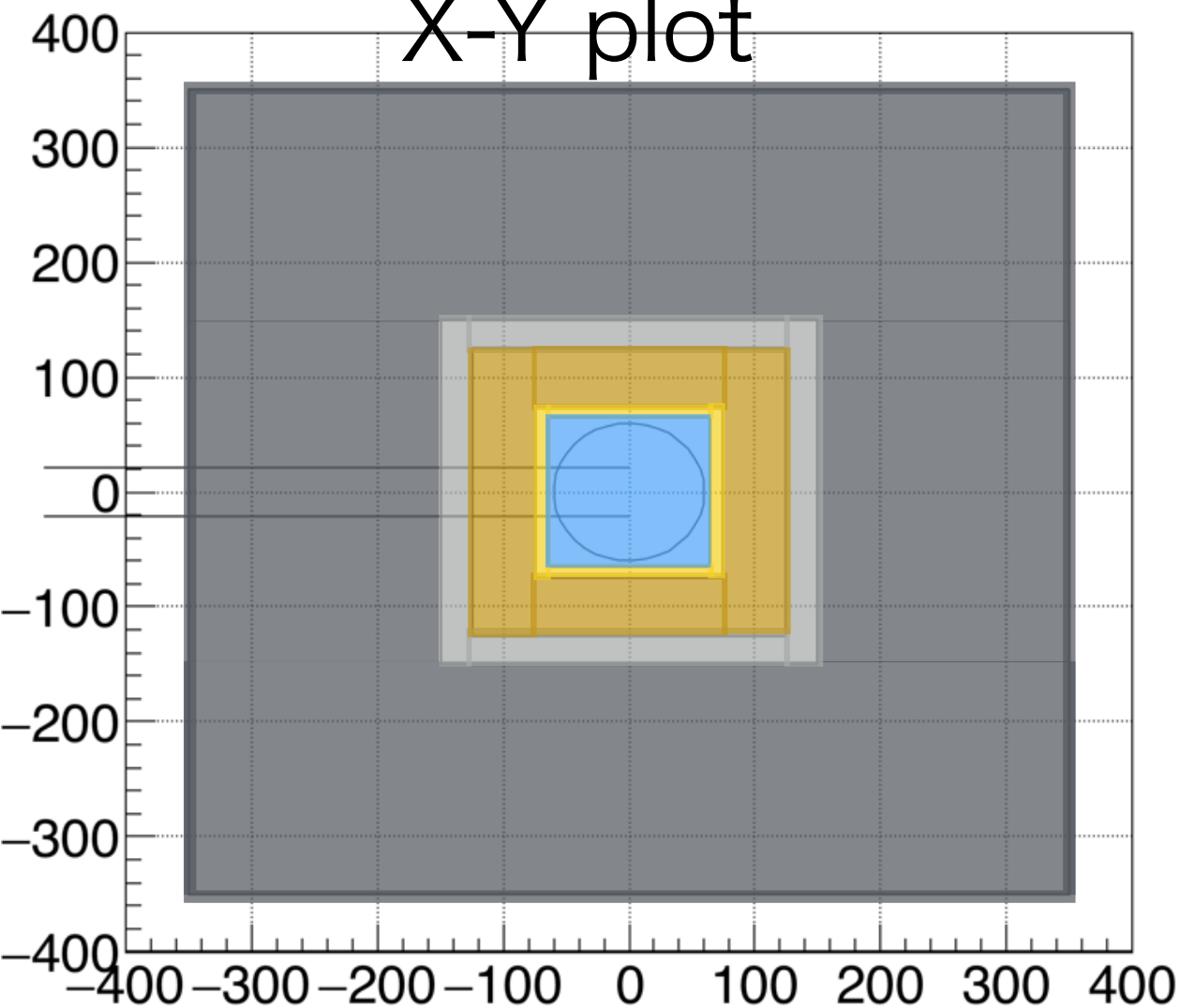
2018年10月と2019年4月に取ったBGデータ(約44日分)



- 残っているBGが遮蔽体起源では（今の所）説明出来ない：検出器内部からと考えている
- 100 ~ 500 keVで データ： 81.5 ± 1.5 cpd/kg、MC：~10 cpd/kg
- 開発するGe検出器の内部の部品も可能な限り測定させて貰う予定
- （業者さんと相談した感じとりあえず感触は悪く無かった）
- もし減らせれば：将来の実験で結晶(検出器)近くで使える素材として活かせる？

より良い遮蔽体にもむけて

X-Y plot



2017年の研究会@流葉での
Kozlovの資料

Shielding materials

- Chile, High Purity German, and old US lead was used
- **Old US A&B** lead blocks were cut at Mesco: **inch**→**cm**; **dirty surface removal (a 0.2mm-1mm-thin)**
- Old US OFHC Cu shielding, miniLAND OFHC Cu parts, and few new OFHC Cu pieces were used
- **Pb** was cleaned in **3 consequent nitric acid baths** (12-15 bricks/day); **high-purity water (2MΩ)** was used;
- **Cu** was cleaned according to the Majorana procedure ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$; $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$; H_2O) to remove ^{210}Pb ; **18.2MΩ** ultra-pure water was used.

- 現在のLabC遮蔽体：内側から
- 1cmの6N grade銅、5cmの銅、2.5cmの極低 ^{210}Pb (~5Bq/kg)鉛、20cmの低 ^{210}Pb (~140Bq/kg)鉛

上記の洗浄手法を試す他に：

安くてLowBGな鉛

鉛中の ^{210}Pb を減らす方法（もしあれば）

鉛に変わる遮蔽体（もしあれば）

等の調査とかも研究したい

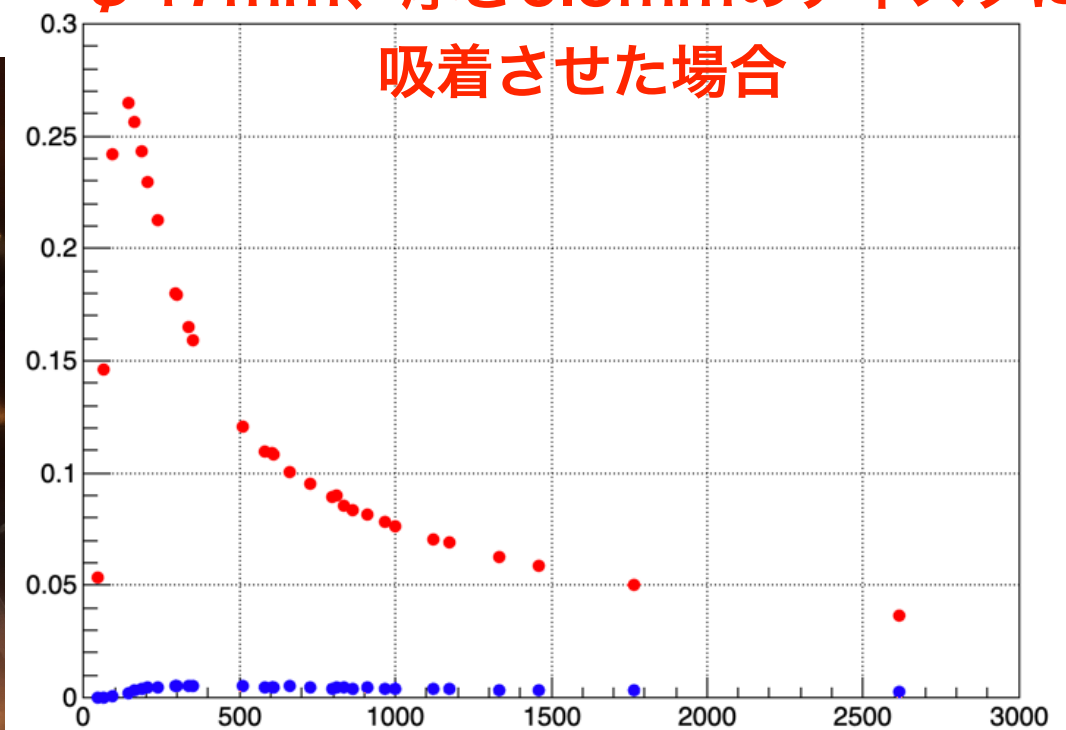
濃縮法も取り入れた高感度測定

- 同じRI量だったら化学分離(濃縮)して容積を小さくしたほうが高感度、短時間で測定出来る
- 試料をGe検出器に近付けて検出効率が上がる(Ge検出器からサンプル台上まで9mm)
- ラジウムを吸着する樹脂 (Analig-Ra01)を用い、水溶液からラジウムが吸着出来るのかを調べている

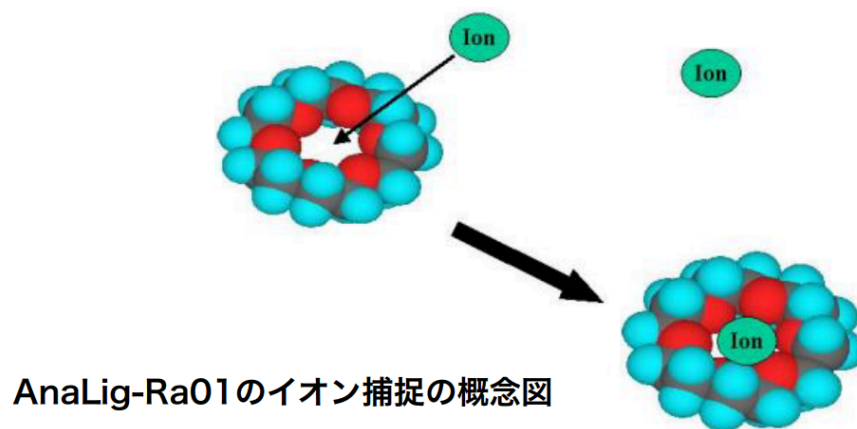
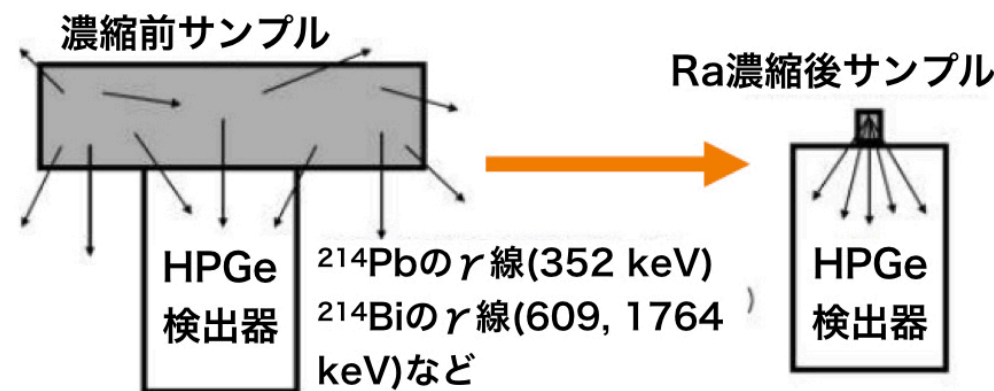
硫酸ガドリニウム8kgを直接測定

φ47mm、厚さ0.5mmのディスクに

吸着させた場合



352 keV(^{214}Pb) 0.5%→16%,
609 keV(^{214}Bi) 0.5% → 10.8% 等



AnaLig-Ra01のイオン捕捉の概念図



EVOHシートに入れた
Ra吸着ディスクを直接
エンドキャップの上に置ける

極低BG Ge検出器と組み合わせて行けるところまで行きたい
+他の元素(RI)を吸着する樹脂と組み合わせたりとかもしたい

準備状況

- 業者さんと打ち合わせ：
 - p型相対効率70%、LabCGeと同じ低放射能仕様のGe検出器なら予算の枠内でなんとかなりそう
 - 検出器内部部品も測定(Ge/ICP-MS/GD-MS等)させて貰えそうな印象（今のところ）
- エレキその他計測用品：
 - 当面はあるもので
 - Main Ampとかは使えそう
 - FADCのビット数が14bit(現在使用中)→12bit(今空いているもの)
- 外側の鉛ブロックとか：借りる



開発設置が終わったら測定したいもの



硫酸ガドリニウム



イオン交換樹脂



活性炭

- ・ 将来研究に必要な極低バックグラウンド材料の開発・選定
- ・ 硫酸ガドリニウム、イオン交換樹脂、low BG μ PIC、活性炭、KID素子(D2班) 等？
- ・ 一緒に開発していけたらいいなと思います。

情報の共有

http://133.11.143.254:5984/db_test/_design/persephone/index.html

Persephone

Material Assay Database

Search

Submit

Edit

Settings

Info

Environment

Login

Information

地下素粒子原子核実験向け 放射能データベース

データベース概要

新学術領域 [宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究の研究計画D01](#)では、放射能データベースの開発を行っています。
このデータベースは低放射性物質のスクリーニングの結果を収集し、情報の共有をはかることを目的としています。

→ [データベースへのLink \(神岡へVPN接続してください\)](#) ←

NEW 更新情報 NEW

2019年3月10日 Infoタグに海外の他のデータベースもまとめました。

2018年1月7日 LRT2017のProceedingsを置きました。

2017年9月25日 Neutrino 2017のProceeingsを置きました。

2017年3月1日 LGBT2017での発表資料を置きました。

2016年9月22日 物理学会での発表資料を置きました。

2016年9月 本ホームページを開設しました。

前新学術のデータベースを発展させていく形で
共有出来るものをしていく感じで

まとめ

- 本研究では極低検出器開発のための世界一低バックグラウンドなGe検出器の開発を目指します
- Ge検出器/遮蔽体の部材選定や高感度でのRI測定手法開発などを行いたいと考えています
- 様々な検出器部材のスクリーニングを行い、情報の共有を行うとともに、極低検出器開発を推進したいと考えています