

B06 高純度ゲルマニウム検出器を用いたSK-Gd 計画等のための放射性不純物量測定

東京大学宇宙線研究所共同利用研究成果発表会

2023.02.22

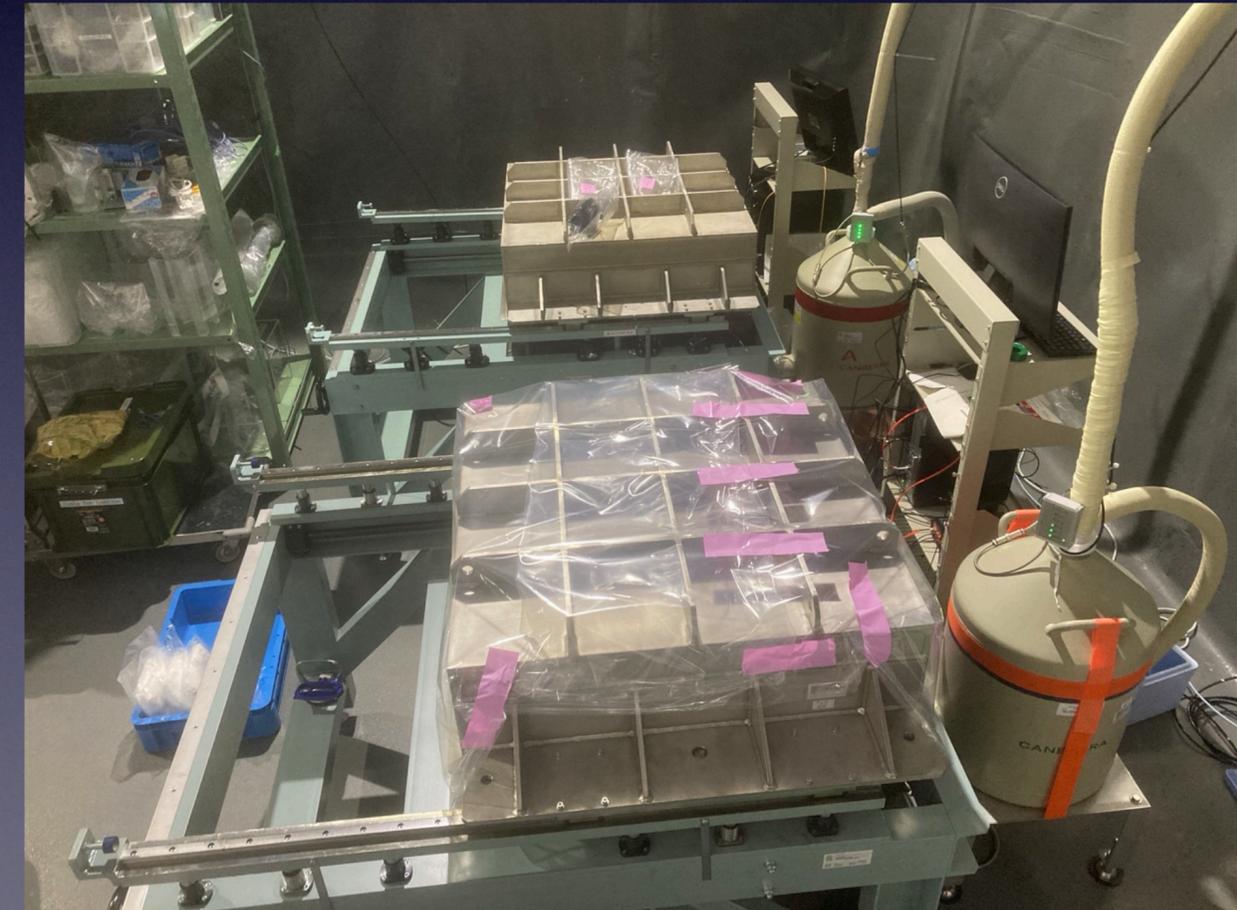
東北大学ニュートリノ科学研究センター 岸本 康宏

申請時所属機関とメンバー (B06)

- 東北大RCNS：市村晃一, 岸本康宏, 池田晴雄、千葉健太郎 (学生)
- 東大宇宙線研：関谷洋之, 竹田敦, 安部航, 池田一得, 細川佳志
- 東大：中島康博
- 東京理科大学：伊藤博士
- 東北大：中村輝石
- 横国大：南野彰宏, 芝山凌 (学生)

査定金額と使途

- 採択額：100千円(旅費として)
 - 神岡－仙台間の旅費
 - 同軸ケーブル等の消耗品 に使わせて頂きました

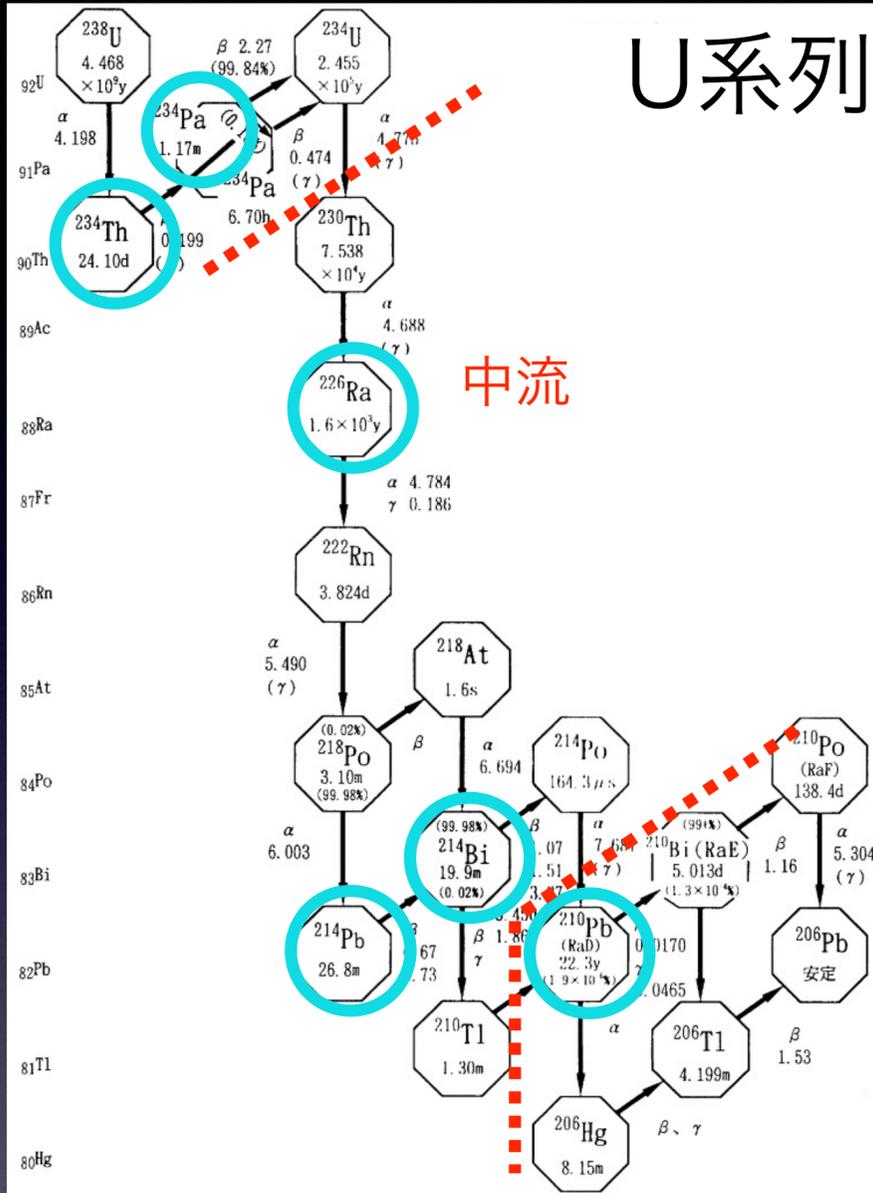


ご支援いただき大変有難うございました

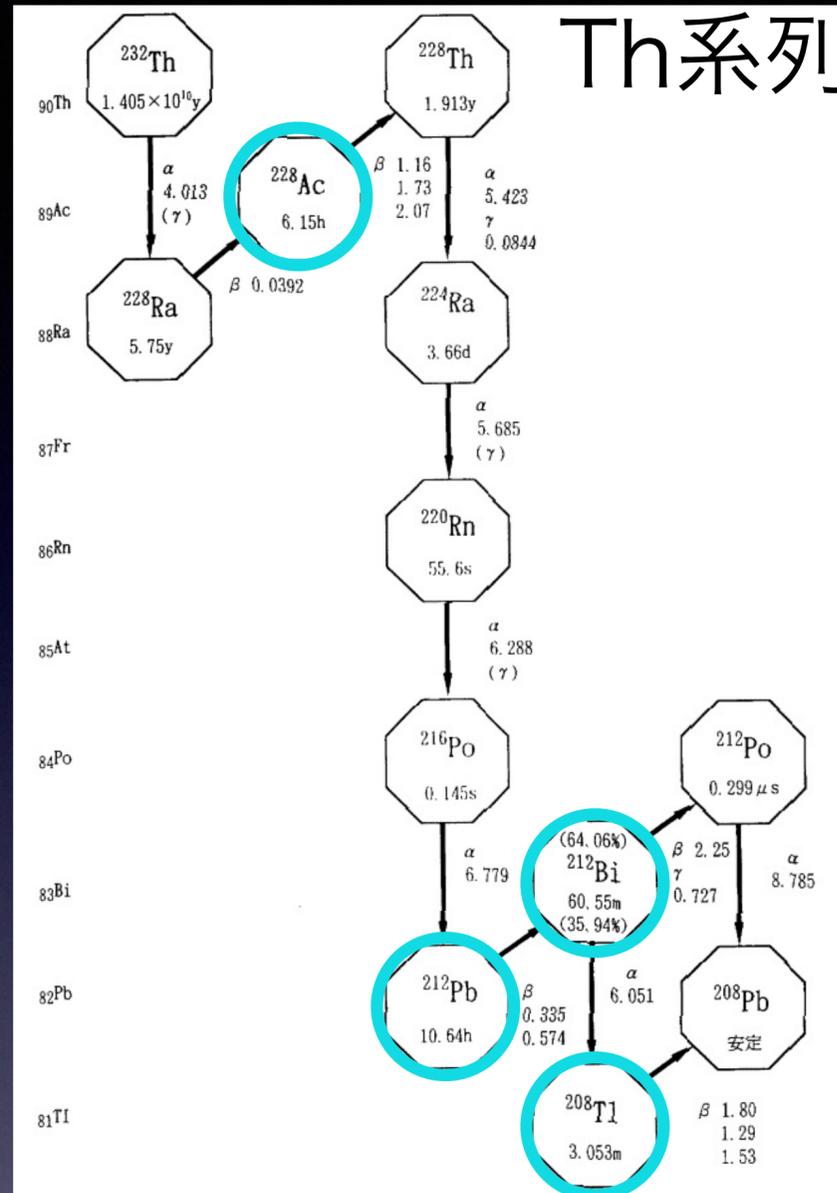
Ge検出器でのRI測定の意義

青○：GeでRI評価に使っているガンマ線を放出する核

U系列



Th系列



SK-Gd計画での硫酸ガドリニウム8水和物 1kg中のRIの要求値

^{238}U : < 5 mBq/kg

^{232}Th : < 0.05 mBq/kg

^{226}Ra : < 0.5 mBq/kg

^{228}Ra : < 0.05 mBq/kg など

- 高純度ゲルマニウム(HPGe)検出器：Ge結晶内にエネルギーを落とした γ 線を計測：O(1 keV)の高分解能でRIの特定、定量
- 感度：試料の材質、形状にもよるがウラン中流 (^{214}Pb , ^{214}Bi 等) で0.1ppb (~ 1mBq/kg)のレベルで定量可能
 - ICP-MS(Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy)： ^{238}U や ^{232}Th を高感度で測定可能(pptとかppqのレベル)だが、放射平衡が崩れていることも
 - ^{226}Ra ：娘核の ^{214}Bi (Q値3.27 MeV)、 ^{228}Ra ：娘核の ^{208}Tl (Q値5.00 MeV)はSK実験 太陽ニュートリノ観測のBGに
- SK-Gd実験だけでなく様々な極放射能検出器の開発にGe検出器でのスクリーニングは重要

本年度の研究成果

- 2021年に運用を開始したHPGe検出器(2号機)の性能評価、BGレートの経時変化、サンプル測定例を記述した論文がpublish

- PTEP Volume 2023, Issue 12, December 2023, 123H01
- <https://doi.org/10.1093/ptep/ptad136>

Development of a low-background HPGe detector at Kamioka Observatory

K. Ichimura ^{1,*}, H. Ikeda¹, Y. Kishimoto^{1,3}, M. Kurasawa¹, A.A. Suzuki¹, Y. Gando^{1,6}, M. Ikeda ^{2,3}, K. Hosokawa ², H. Sekiya ^{2,3}, H. Ito ⁴, A. Minamino ⁵, and S. Suzuki⁵

¹Research Center for Neutrino Science, Tohoku University, 6-3 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8578, Japan

²Kamioka Observatory, Institute for Cosmic Ray Research, The University of Tokyo, 456 Higashi-Mozumi, Kamioka, Hida, Gifu 506-1205, Japan

³Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (WPI), The University of Tokyo Institutes for Advanced Study, The University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8582, Japan

⁴Department of Physics and Astronomy, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science, 2641 Yamazaki, Noda, Chiba 278-8510, Japan

⁵Department of Physics, Yokohama National University, 79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama, Kanagawa, 240-8501, Japan

⁶Department of Human Science, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Inada-cho Nishi 2-11, Obihiro, Hokkaido 080-8555, Japan

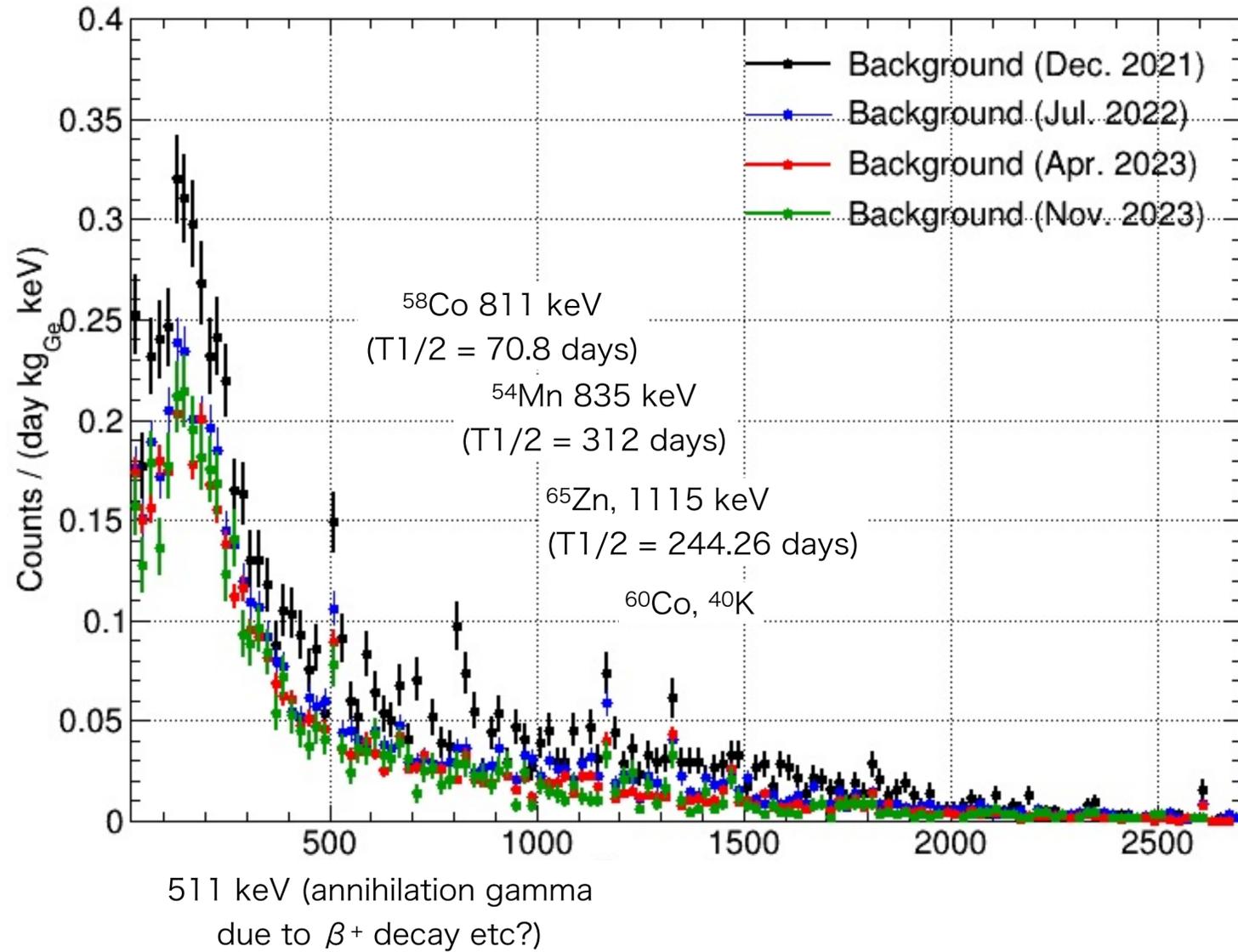
*E-mail: ichimura@awa.tohoku.ac.jp

Received August 10, 2023; Revised October 26, 2023; Accepted November 7, 2023; Published November 8, 2023

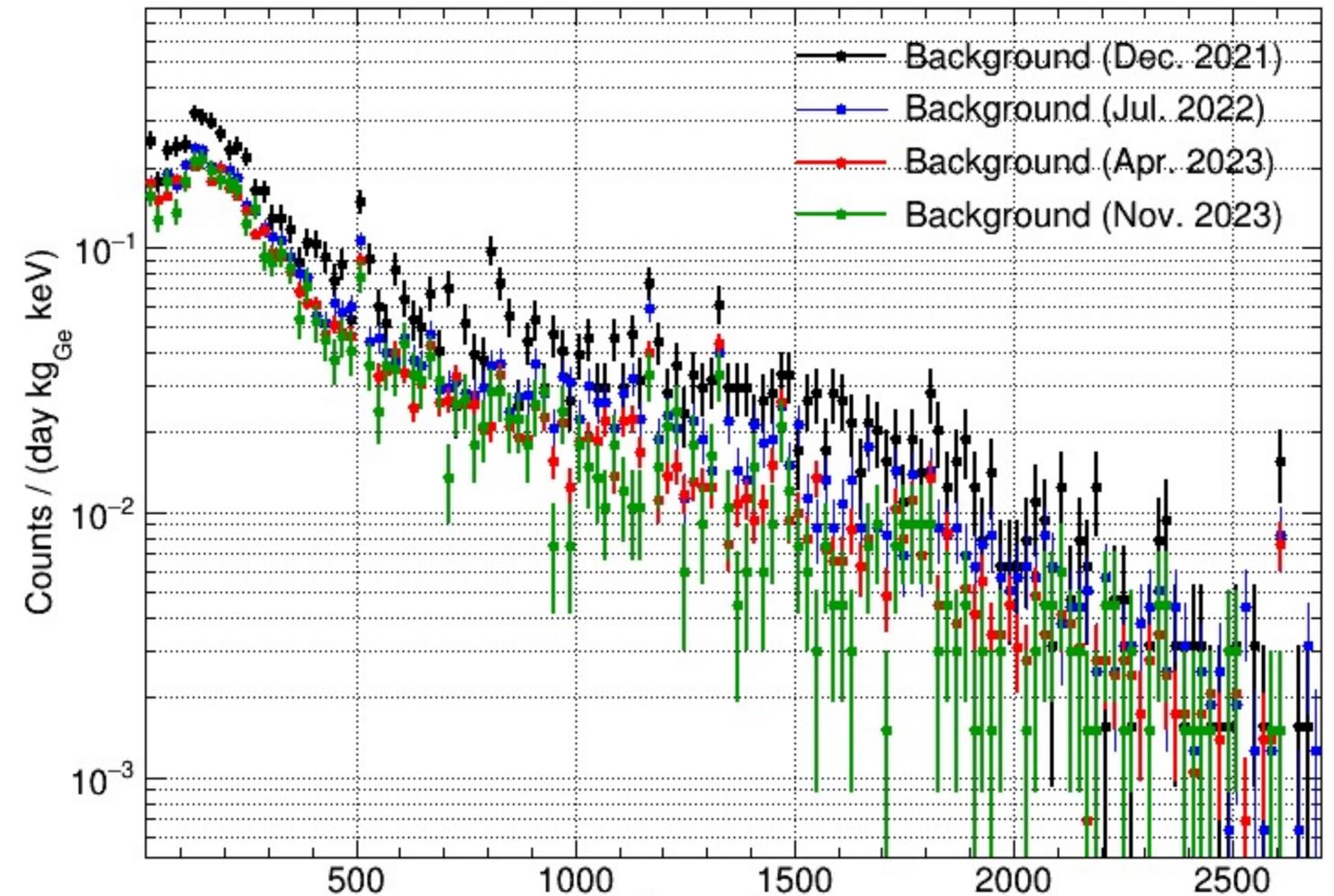
.....
A new ultra-low background high-purity germanium (HPGe) detector has been installed at the Kamioka underground experimental site. The background count rate in the energy range from 40 keV to 2700 keV is about 25% lower than that of the first HPGe detector installed in 2016, which has the same detector specification and similar shielding geometry. This paper describes the shielding configuration, including the cleaning of the material surface, the comparison of calibration data and simulation, the time variation of the background spectra, the sample measurement procedure, and some results of the radioactivity in the selected samples.
.....

本年度の研究：BGスペクトルの時間変化①

リニアスケール



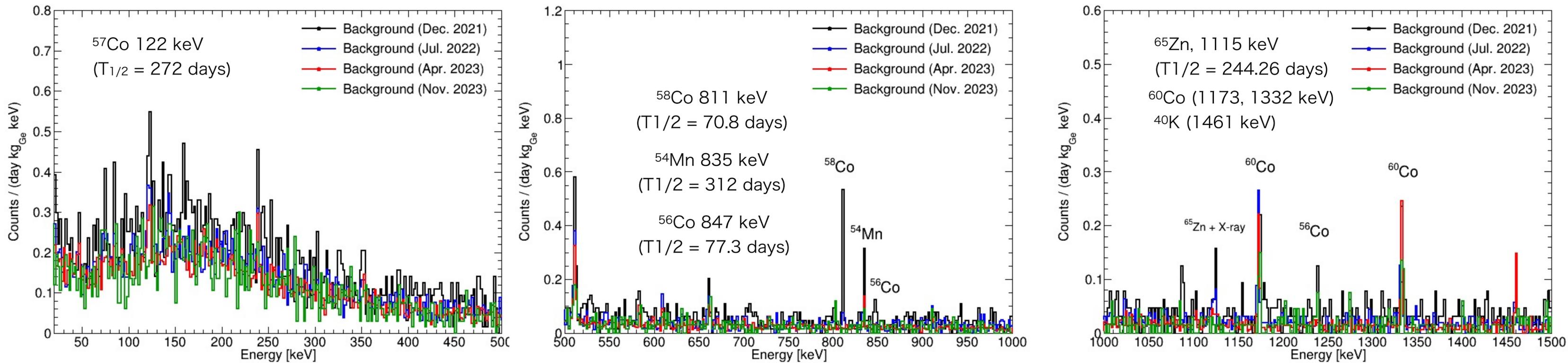
ログスケール



- 黒：2021年12月のBGデータ (LiveTime = 19.0 d), 青：2022年07月のBGデータ (LiveTime = 47.2 d)
- 赤：2023年04月のBGデータ (LiveTime = 86.2 d), 緑：2023年11月のBGデータ (LiveTime = 19.9 d)
- **40-2700 keV**のカウントレート： 140.2 cpd/kg_{Ge} → 100.0 cpd/kg_{Ge} → 84.3 cpd/kg_{Ge} → 80.0 cpd/kg_{Ge}

カウントレートは順調に低減

本年度の研究：BGスペクトルの時間変化②



- 黒：2021年12月のBGデータ (LiveTime = 19.0 d), 青：2022年07月のBGデータ (LiveTime = 47.2 d)
- 赤：2023年04月のBGデータ (LiveTime = 86.2 d), 緑：2023年11月のBGデータ (LiveTime = 19.9 d)

- 遮蔽体やGe検出器自体のcosmogenic activationに由来すると考えられる、半減期の短い⁵⁸Co等のガンマ線成分は順調に減ってきている
- 連続成分の理解のためのシミュレーションも行っている (横浜国立大学 南野研究室 鈴木芹奈 修士論文(2022年度))

世界のスクリーニング用 HPGe検出器との比較

Site	Detector	Crystal mass [kg]	Relative efficiency [%]	FWHM at 1333 keV [keV]	BG rate 60 – 2700 keV [$\text{kg}_{\text{Ge}}^{-1} \text{d}^{-1}$)]
日本	Kamioka Ge02 (This work)	1.68	80	1.82	<u>81.3±0.7</u>
	Ge01 [2]	1.68	80	2.39	104.5
イタリア	LNGS Gator [16]	2.2	100.5	1.98	89.0±0.7
	GeMPI [16]	2.2	98.7	2.20	24±1
イギリス	BUGS Belmont [2]	3.2	160	1.92	90.0
	Merrybent [2]	2.0	100	1.87	145.0
スペイン	LSC GeOroel [2]	2.31	109	2.22	128.7
	Asterix [2]	2.13	95.1	1.92	171.3
	GeAnayet [2]	2.26	109	1.99	461.2
アメリカ	BHUC Maeve [17]	2.0	85	3.19	956.1
スイス	LVdA GeMSE [16,18]	2.0	107.7	1.96	88±1

<https://doi.org/10.1093/ptep/ptad136> の表2

世界のスクリーニングに用いているトップレベルHPGeと比べて遜色ないレベルの極低BGレート

Ge検出器でのサンプル測定写真

ZnWO₄結晶関連
東京大学 河内弘輝 修士論文 '24

イオン交換樹脂



純水装置用フィルター



希釈冷凍機用磁気シールド



- SK-Gd用硫酸ガドリニウム測定完了後もSK純水装置で用いるイオン交換樹脂（使用前後）の測定やフィルター類の測定などSK, HK関係のサンプルを中心に様々なサンプルのスクリーニングを行っている

まとめと今後

- 引き続き高純度ゲルマニウム検出器を用いたスクリーニングを行っている
- Ge検出器の性能評価などについてとりまとめた論文をpublish
 - PTEP Volume 2023, Issue 12, December 2023, 123H01
 - <https://doi.org/10.1093/ptep/ptad136>
 - 世界のスクリーニング用トップレベルHPGeと比べ遜色ないレベルの極低BGレート
- SK-Gd用硫酸ガドリニウム測定完了後も純水装置に用いるイオン交換樹脂やフィルター類など、SK, HK関係のサンプルを中心に様々な測定を行っている
 - 引き続き継続して様々なサンプルの測定を行い、フィードバックをする