

極低濃度ラドン測定システムの開発

岐阜大学: ○中村琢, 安田悠人, 田阪茂樹, 松原正也, 三輪美代子
東京大学: Guillaume Pronost, 関谷洋之
(SK Radon Group)

東京大学宇宙線研究所 令和5年度 共同利用研究成果発表会
2024年2月22日(木)

共同利用研究経費と使途

旅費・消耗品 : 30万円

旅費 : 岐阜⇔神岡

消耗品等

- 岐阜大学RI施設 測定の費用
- 液体シンチレーター(シンチゾールAL-1)
- ガラス容器(分液ロート), バイアル瓶, ピペッター, ピペット, フラスコ台
- ラドン計・ロガー製作, ケーブル, パーツ類

研究の概要

SK実験のバックグラウンドとなるラドン低減

小型ラドン計の製作と設置

神岡坑内の環境のラドン濃度モニターと動態の把握

▶坑内側溝水中のラドン濃度測定(2016-2023)

▶液体シンチレーション法による定点測定

▶小型ラドン計・大型ラドン計による連続測定

▶枋洞坑道内の坑道水のラドン濃度測定 (2019-2023)

水中のラドン濃度測定方法

ラドン： 水相⇒有機相 液体シンチレーション法：ラドン濃度測定
 溶媒抽出法による分離 20分間測定 $C_{\text{水道水}} \quad 8\text{Bq/L}$

- 1) 水サンプリング 650 mL フラスコ
- 2) 水量を450 mLにそろえ, 液体シンチレーター (Scintisol AL-1) 30 mL 添加
- 3) バブリング 振とう器10分
- 4) 静置 40分~1時間
- 5) 液体シンチレーターと水を分離, バイアル瓶にする
- 6) 静置 4時間
- 7) 液体シンチレーションカウンターで20分間測定



R_n : 水中ラドン濃度 (Bq/L)
 C_b : 振とう前の空气中ラドン濃度 (Bq/L)
 C_w : 振とう後の水中ラドン濃度 (Bq/L)
 C_a : 振とう後の空气中ラドン濃度 (Bq/L)
 C_t : トルエン中のラドン濃度 (Bq/L)
 D_w : ラドンの水に対する分配係数
 D_t : ラドンのトルエンに対する分配係数

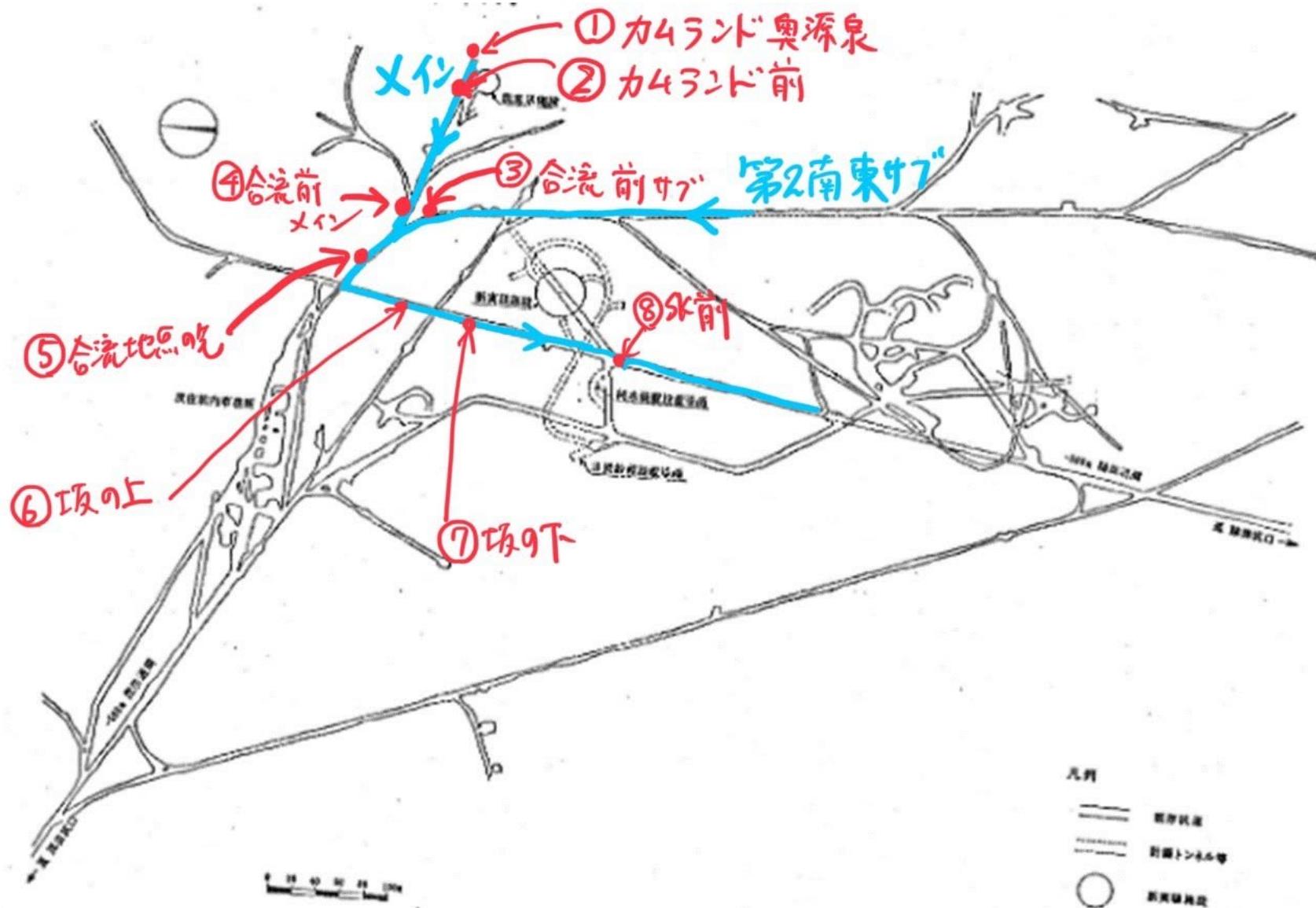
$$\begin{array}{c} \boxed{C_b V_a + R_n V_w} = \boxed{C_a V_a + C_t V_t + C_w V_w} \\ \text{空気 水} \qquad \qquad \text{空気 トルエン 水} \\ \text{振とう前} \qquad \qquad \text{振とう後} \end{array}$$

$$R_n = \frac{C_a V_a}{V_w} + \frac{C_t V_t}{V_w} + C_w - \frac{C_b V_a}{V_w}$$

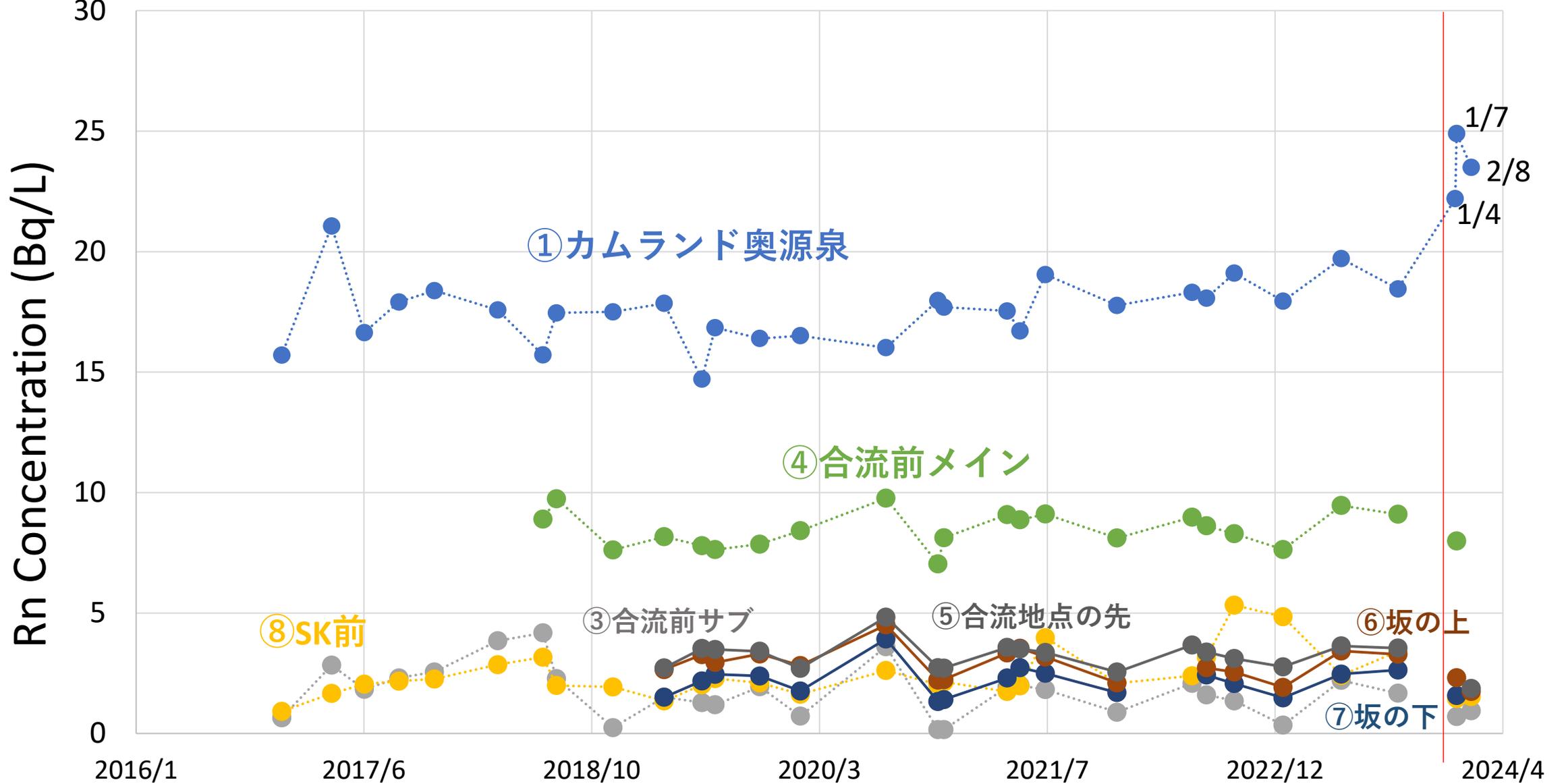
$$R_n = \left\{ \frac{V_a}{V_w D_t} + \frac{V_t}{V_w} + \frac{F_w}{D_t} - \left(\frac{C_b}{C_t} \right) \left(\frac{V_a}{V_w} \right) \right\} C_t$$

$$R_n = \left(\frac{V_a}{V_w D_t} + \frac{V_t}{V_w} + \frac{D_w}{D_t} \right) C_t$$

茂住坑道の側溝水の採水地点



茂住坑道側溝水のラドン濃度(2016-2024)

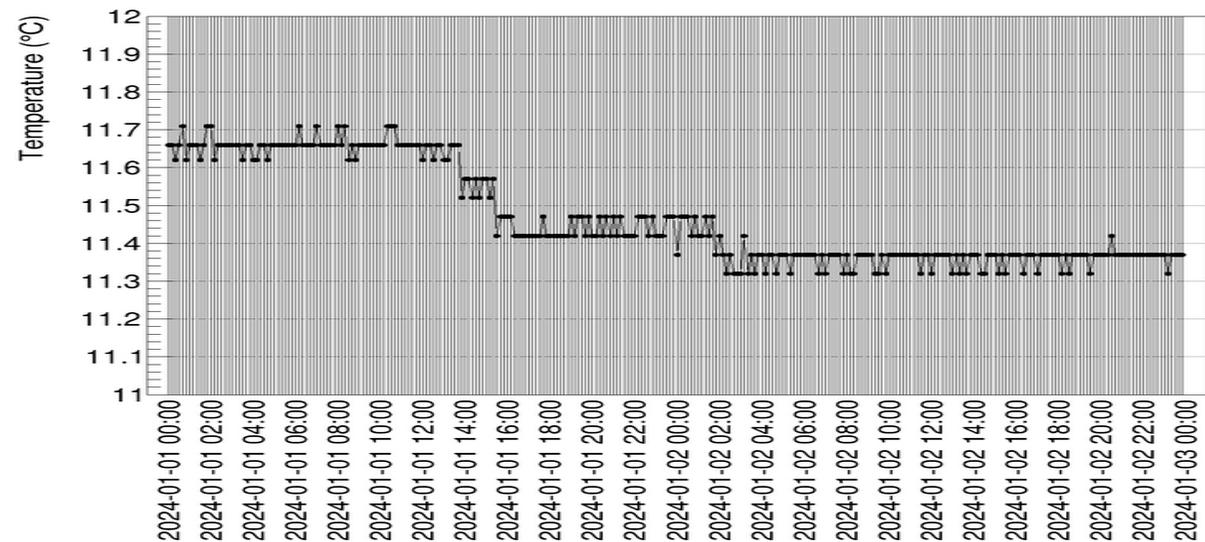
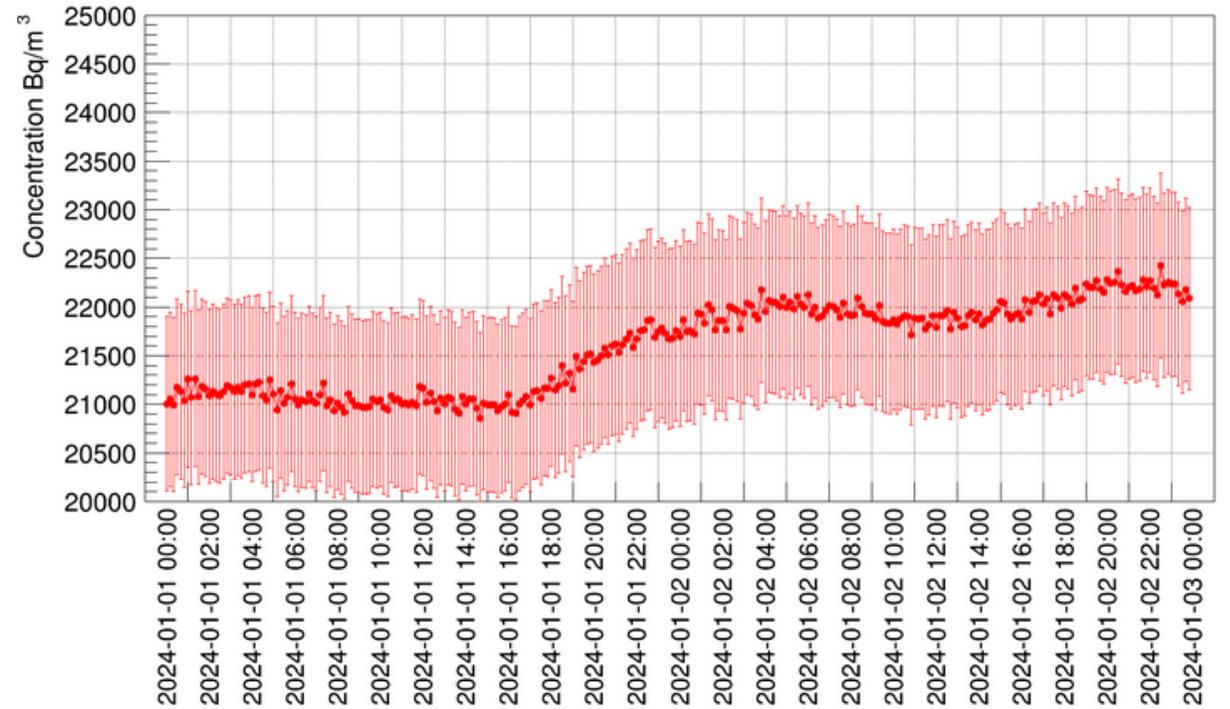
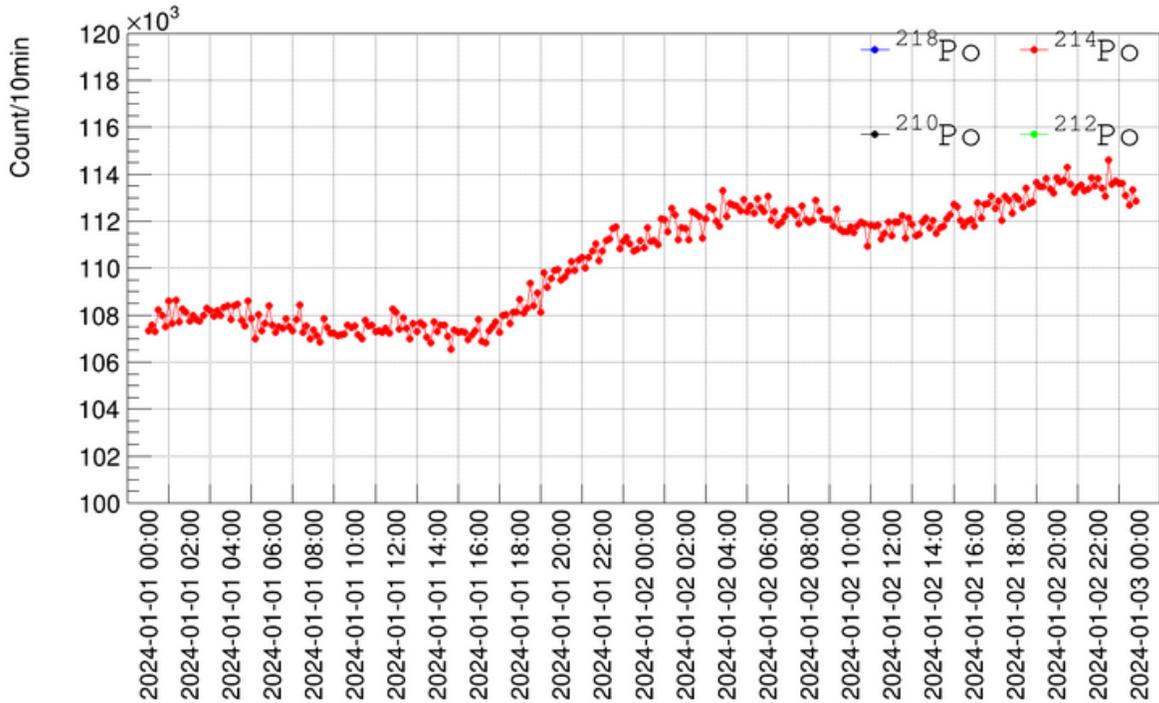


上流から下流に沿ってラドン濃度が減少

採水地点	2016年-2023年 (Bq/L)	2024年- (Bq/L)	有意性
①カムランド奥源泉	17.6 ± 0.23	23.5 ± 0.33	**
④合流前メイン	8.5 ± 0.16	8.0 ± 0.21	*
③合流後サブ	1.8 ± 0.10	0.82 ± 0.10	*
⑧SK前	2.5 ± 0.10	1.5 ± 0.11	*
SK斜坑	1.6 ± 0.11	3.5 ± 0.17	**

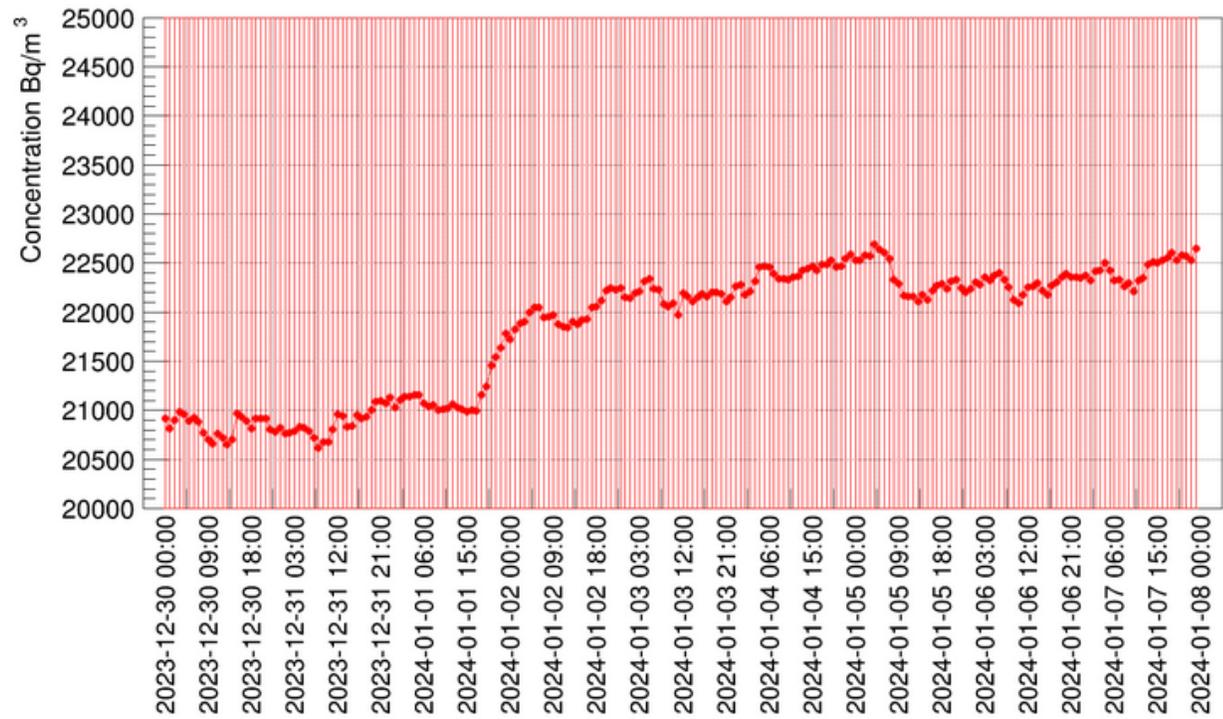
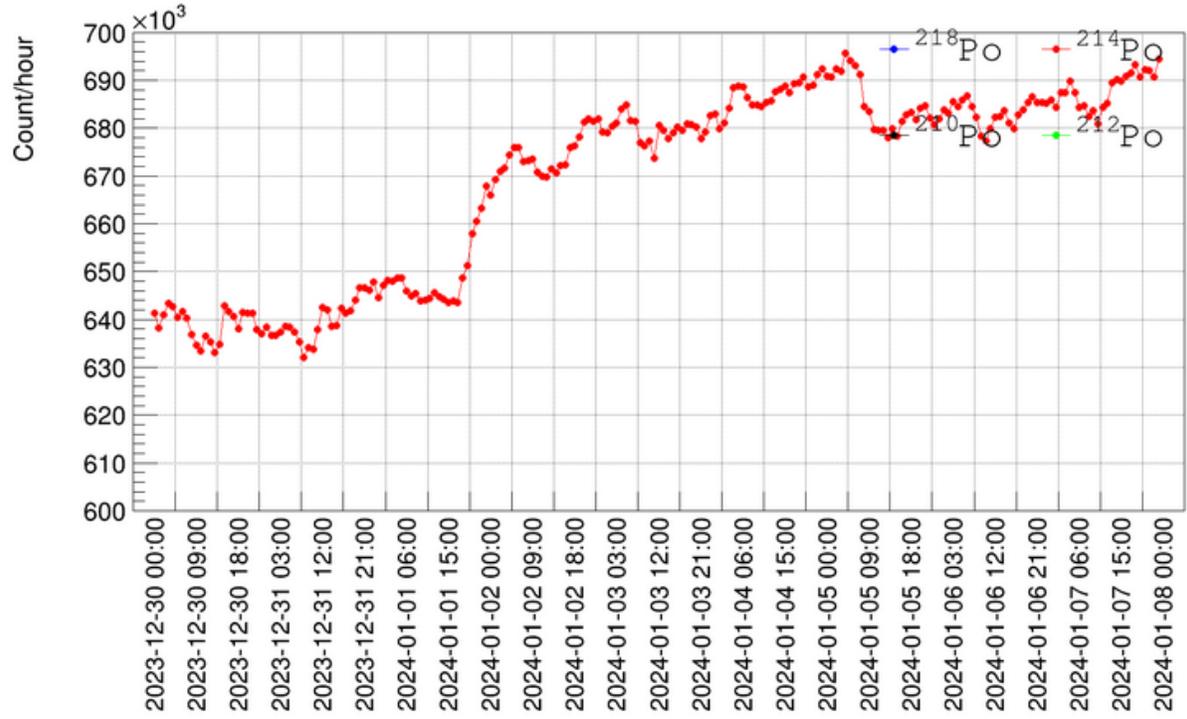
- カムランド奥源泉とSK斜坑で2024年1月以降、ラドン濃度が上昇

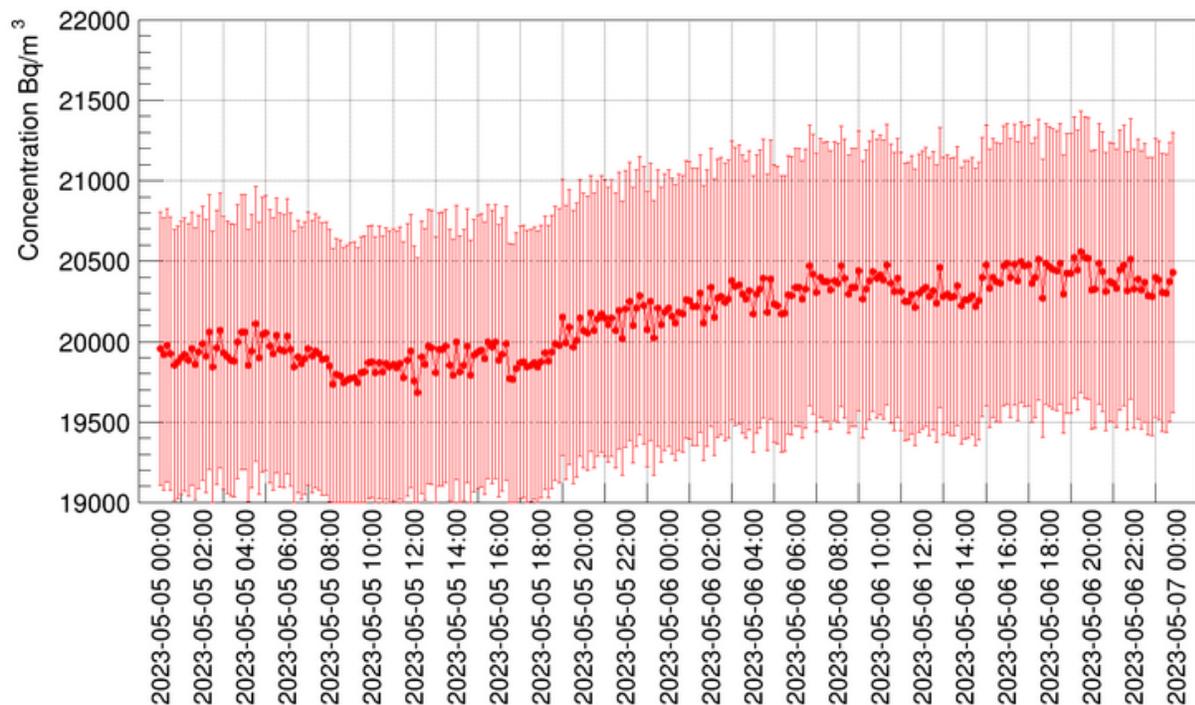
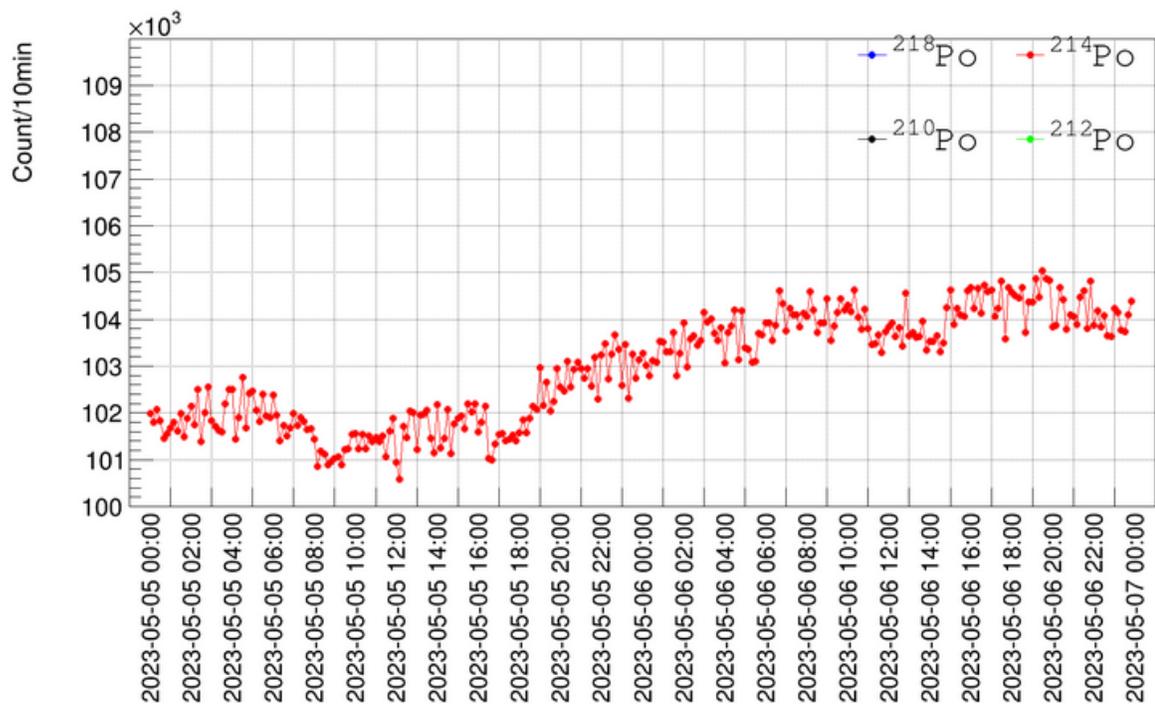
カムランド前源泉(坑内地下水源泉)中のラドン濃度



能登地震

- 2024年1月1日16時10分, M7.6
- 震度4 (飛騨市)



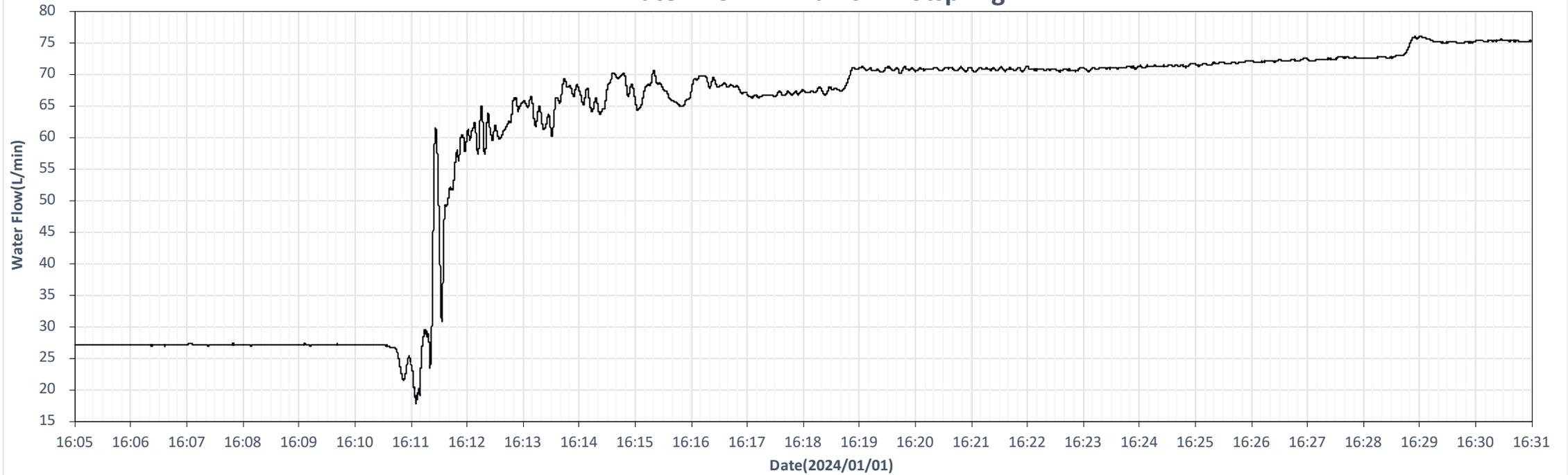


能登地方地震

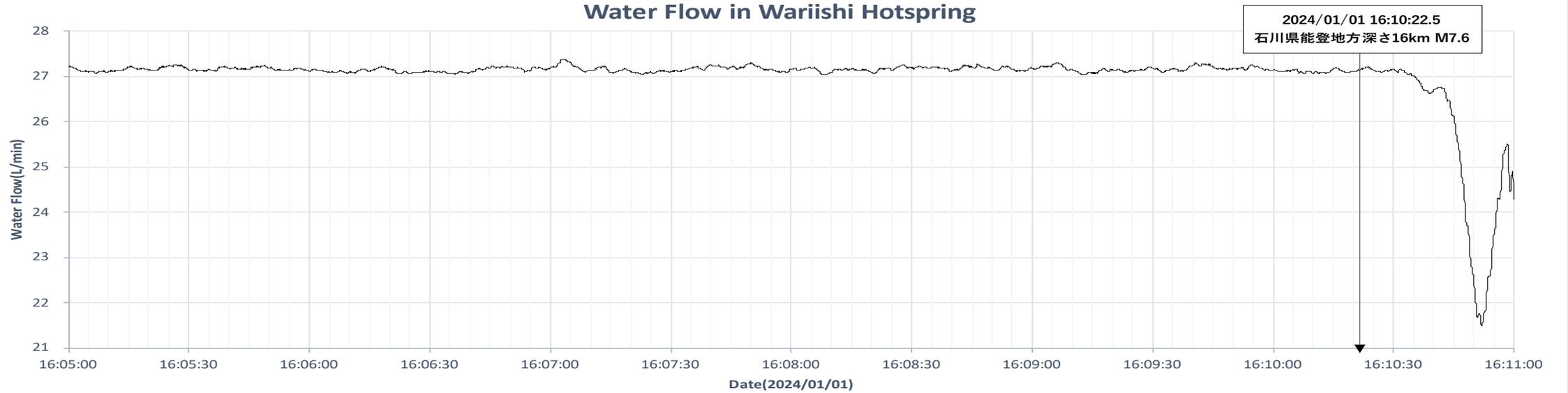
- 2023年5月5日14時42分， M6.5
- 震度3（飛騨市）

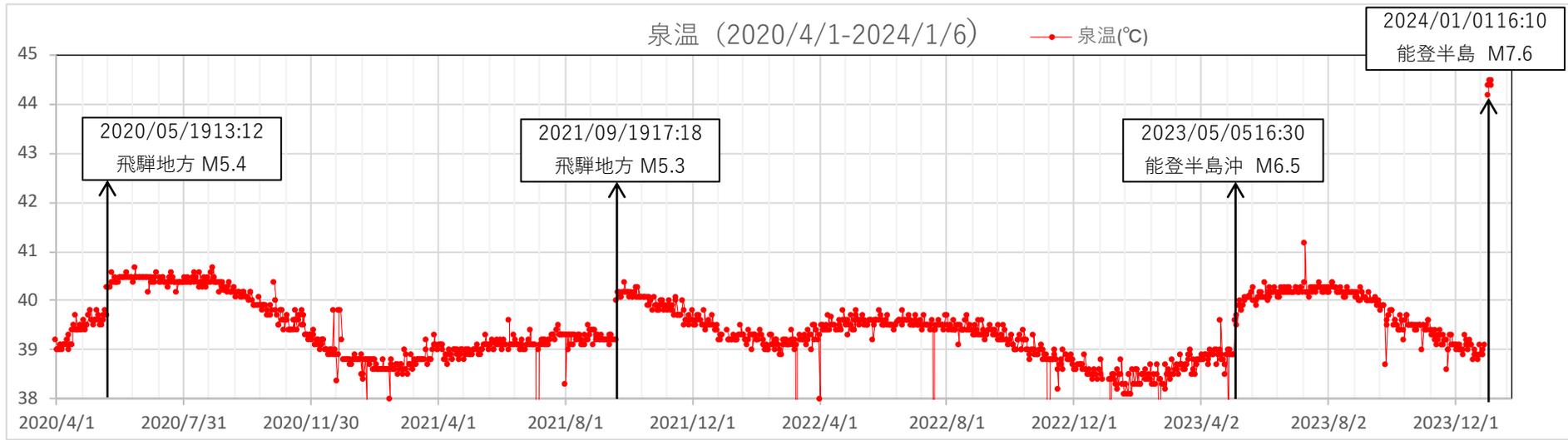
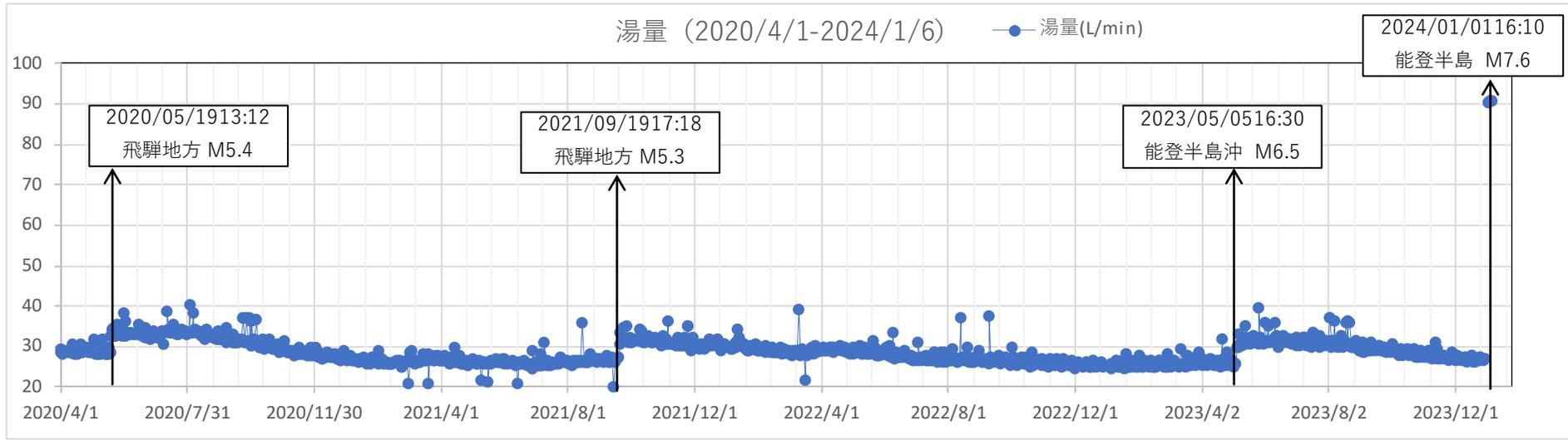
割石温泉(飛騨市)の湯量応答

Water Flow in Wariishi Hotspring



Water Flow in Wariishi Hotspring





高感度ラドン検出器・小型ラドン計

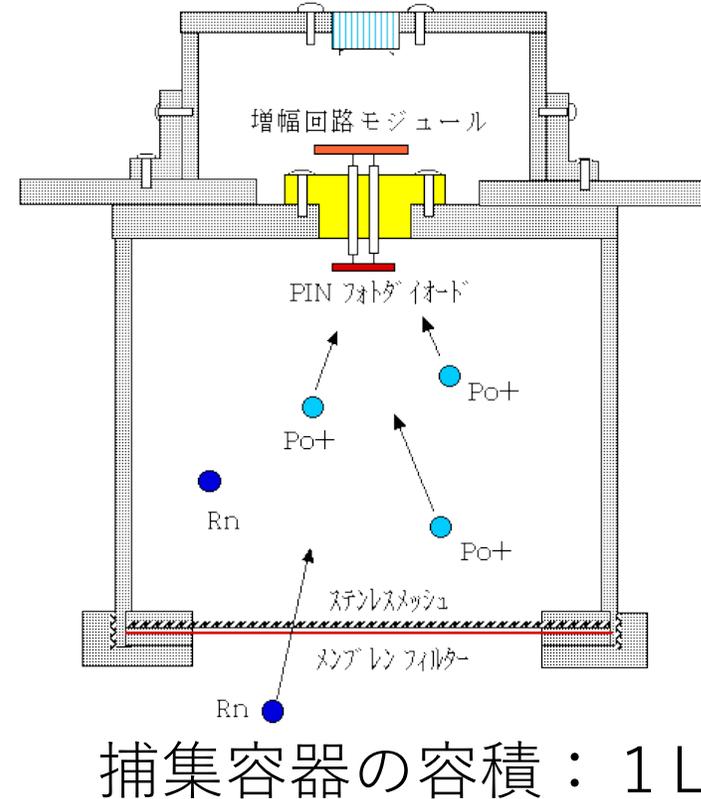
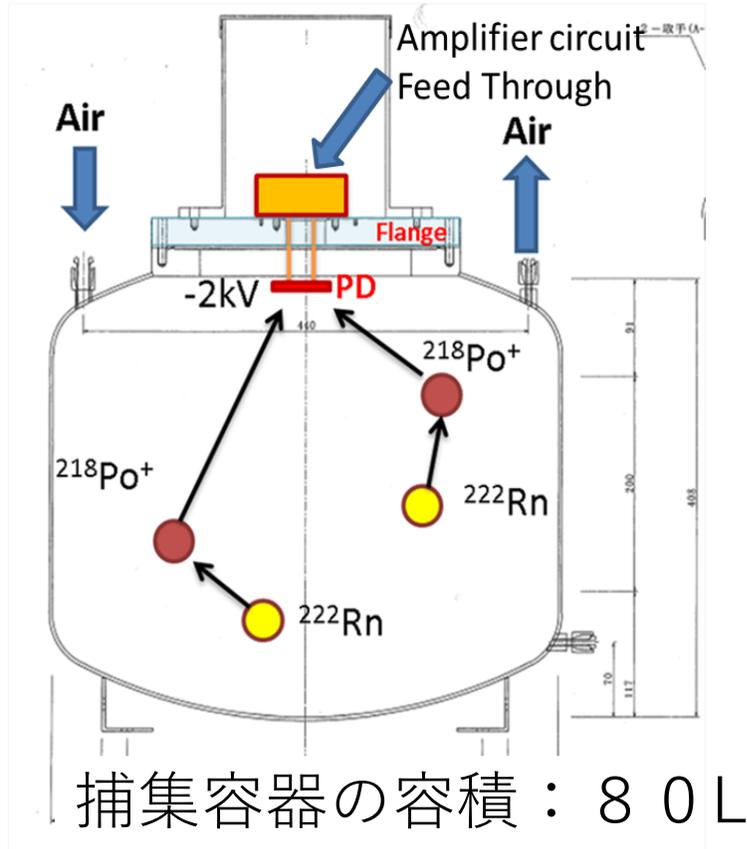
ラドンの静電捕集法：

1) ラドン娘核種 ^{218}Po の90%が正に帯電



2) 高電圧-2.0kV/-150Vを印加 娘核種を半導体(PD)に捕集

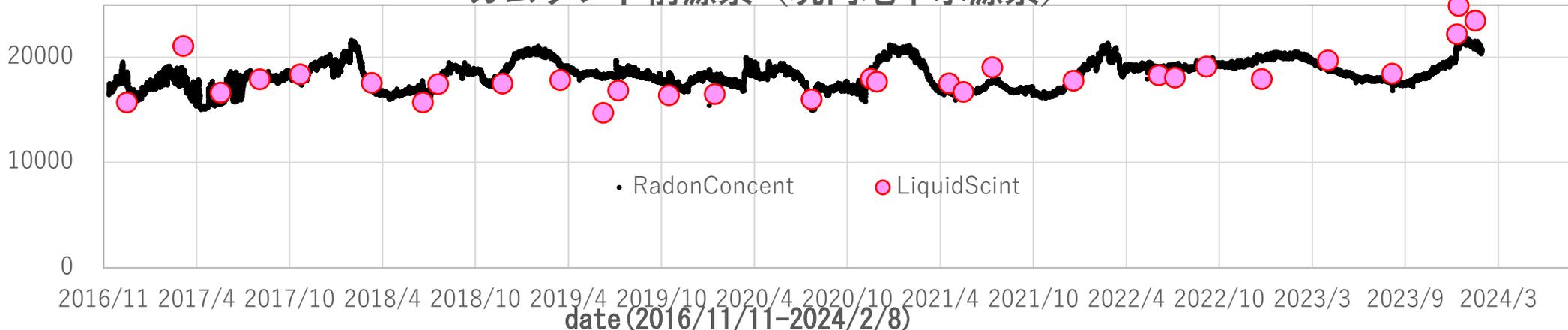
3) ^{214}Po 崩壊時に放出される α 線(7.68MeV)をPDで検出



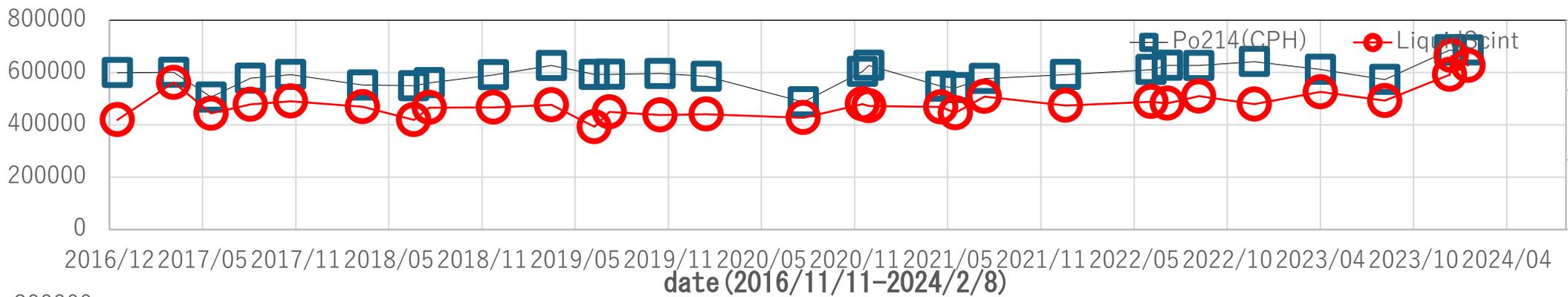
カムランド前源泉(坑内地下水源泉)中のラドン濃度を用いた較正

カムランド前源泉 (坑内地下水源泉)

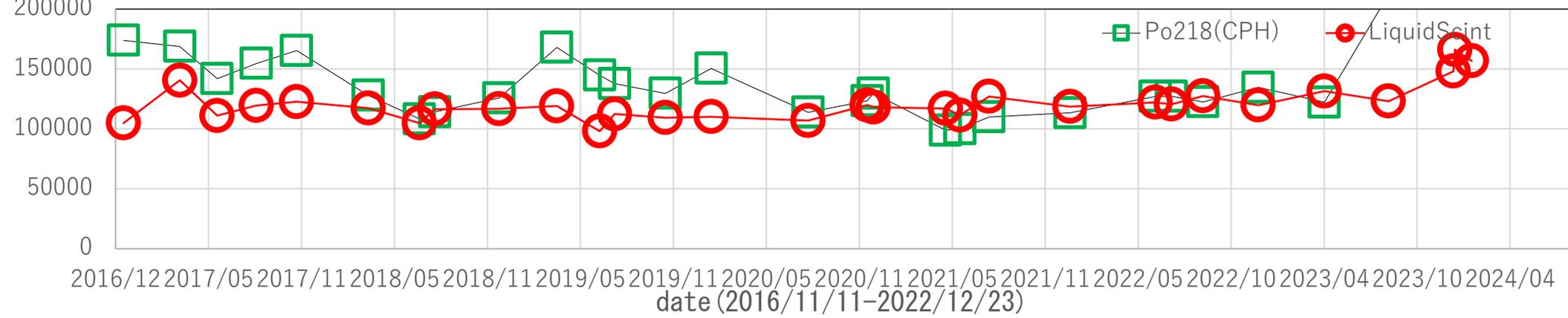
ラドン濃度 (Bq/m³)



Po214 (CPH)



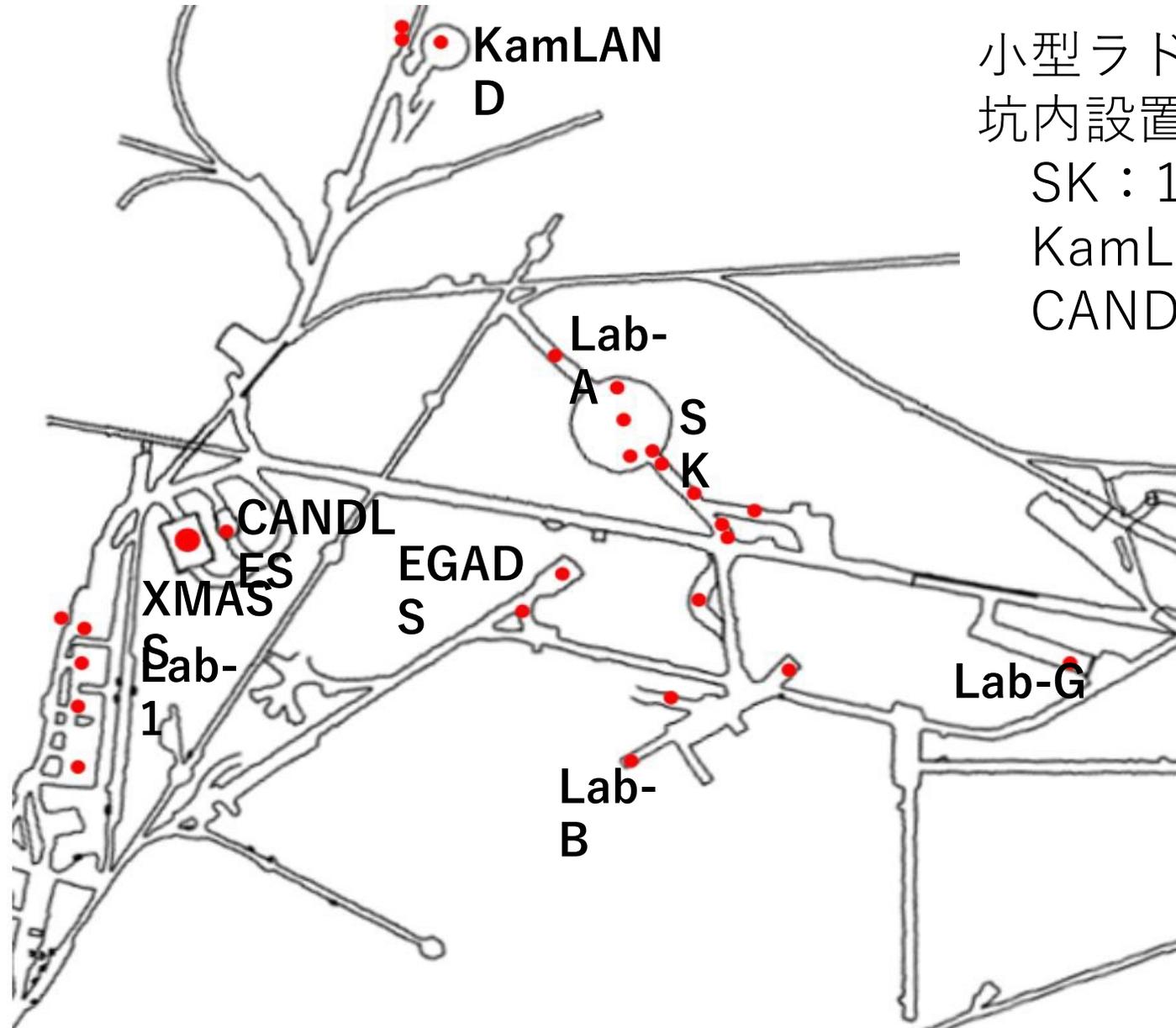
Po218 (CPH)



ラドン濃度 (Bq/m³)

ラドン濃度 (Bq/m³)

小型ラドン計に坑内空气中ラドン濃度測定地点(2023)



小型ラドン計
坑内設置台数：24台
SK：13台
KamLAND：2台
CANDLE: 1台

跡津坑口→


US-Rn-
Hut

HK 栃洞坑道内地下水中のラドン濃度測定

2019年8月－2024年2月に7回測定

- 茂住坑道よりもラドン濃度が低い
- 季節変動なし
- 原水はラドン濃度高く - 370m地点に達するまでに脱気が起こる

- - 200m 円山 (坑内清水源)
 - 6.89 ± 0.15 Bq/L (2021年7月)
 - 7.04 ± 0.16 Bq/L (2020年1月)
 - 6.14 ± 0.19 Bq/L (2020年12月)
 - 6.57 ± 0.14 Bq/L (2022年12月)
 - 6.66 ± 0.14 Bq/L (2023年9月)
 - 6.18 ± 0.14 Bq/L (2024年2月)
- - 200m 円山向 (清水源 + 合流水)
 - 0.90 ± 0.09 Bq/L (2020年1月)
 - 0.76 ± 0.07 Bq/L (2020年12月)
 - 1.86 ± 0.09 Bq/L (2023年9月)
 - 1.26 ± 0.12 Bq/L (2024年2月)
- -300m 合流前
 - 2.66 ± 0.10 Bq/L (2021年7月)
- - 300m 円山・濁水
 - 0.09 ± 0.06 Bq/L (2022年12月)
 - 0.32 ± 0.10 Bq/L (2023年9月)
 - 0.0 ± 0.09 Bq/L (2024年2月)
- - 370m
 - 坑口: 1.37 ± 0.09 Bq/L (2019年8月)
 - 円山: 1.70 ± 0.09 Bq/L (2019年8月)



まとめ

茂住坑道内 側溝水中のラドン濃度測定 (2016-2023年の結果)

①カムランド奥源水	17.6 ± 0.2 Bq/L
②カムランド前	14.1 ± 0.2 Bq/L
③合流地点前 (サブ)	1.7 ± 0.1 Bq/L
④合流地点前 (メイン)	8.5 ± 0.2 Bq/L
⑤合流地点の先	3.3 ± 0.2 Bq/L
⑥坂の上	2.9 ± 0.1 Bq/L
⑦坂の下	2.2 ± 0.1 Bq/L
⑧SK前	2.5 ± 0.1 Bq/L

- 上流から下流にかけてラドン濃度が低下する (大気中へラドンの移行)
- カムランド前源水のラドン濃度が地震に応答し上昇することを観測した。
- カムランド前源水が最もラドン濃度が高く, 季節変動はほとんどない。
- カムランド前源水でラドン濃度の連続測定と較正

HK栃洞坑道の水中ラドン濃度測定

- 茂住坑道よりもラドン濃度が低い (茂住坑道: 18 Bq/L, 栃洞坑道: 7 Bq/L)
- 茂住坑道同様に源泉が岩盤中を降りてくる際に脱気が起こりラドン濃度が下がる。
- 今後は茂住坑道と同じような定点観測と動態の解析を進めていく。