

# 極低濃度ラドン測定システムの開発

岐阜大学: \*中村琢, 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)

共同利用研究経費 30万円(旅費18万円・消耗品12万円)

旅費: 岐阜⇔神岡

消耗品: 液体シンチレーター(AL-1), ガラスフラスコ, バイアル瓶,  
ピペッター, ピペット, 化学器具

ラドン計・ロガー製作, ケーブル, パーツ類

古いラドン計の新型への改良・修理

東京大学宇宙線研究所 令和6年度 共同利用研究成果発表会

2025年1月30日(木)

# 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

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の変動測定
  - ▶液体シンチレーション法による測定
- ▶枋洞坑道内の坑道水のラドン濃度測定

# 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

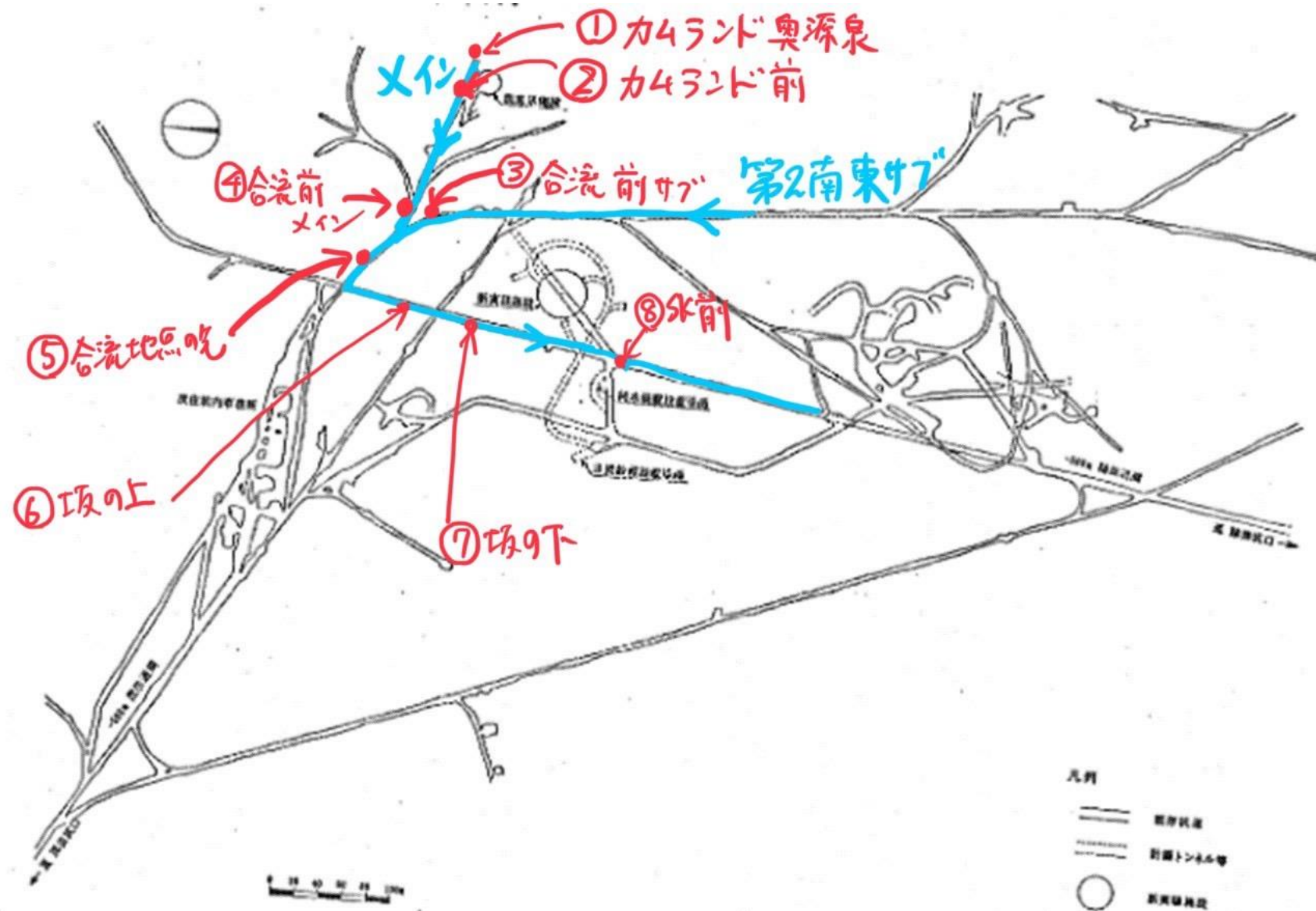
$$\begin{array}{c} \boxed{C_b V_a + R_n V_w} = \boxed{C_a V_a + C_t V_t + C_w V_w} \\ \text{空気 水} \qquad \qquad \qquad \text{空気 トルエン 水} \\ \text{振とう前} \qquad \qquad \qquad \text{振とう後} \end{array}$$

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

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

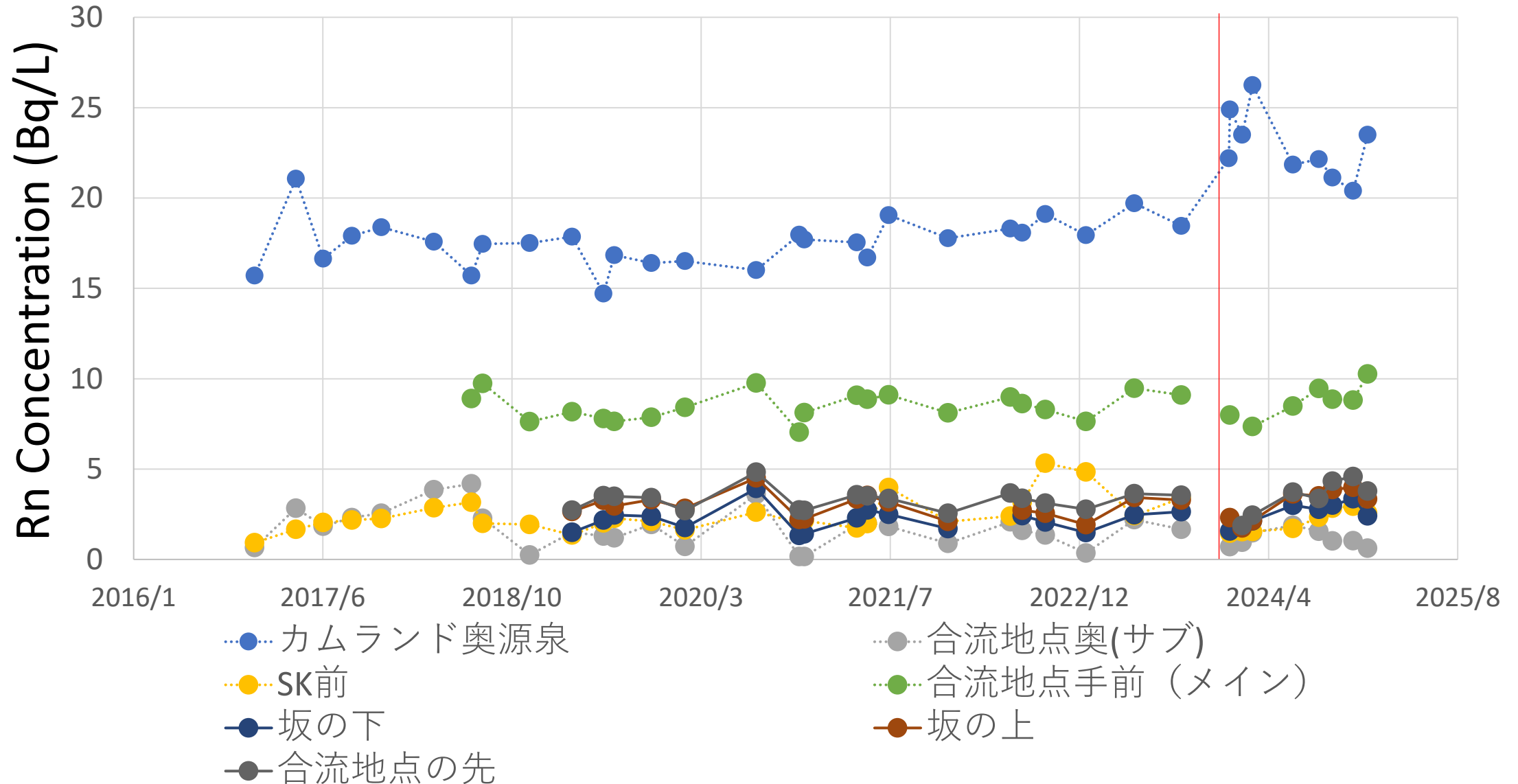
$$R_n = \left( \frac{V_a}{V_w D_t} + \frac{V_t}{V_w} + \frac{D_w}{D_t} \right) C_t$$

# 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

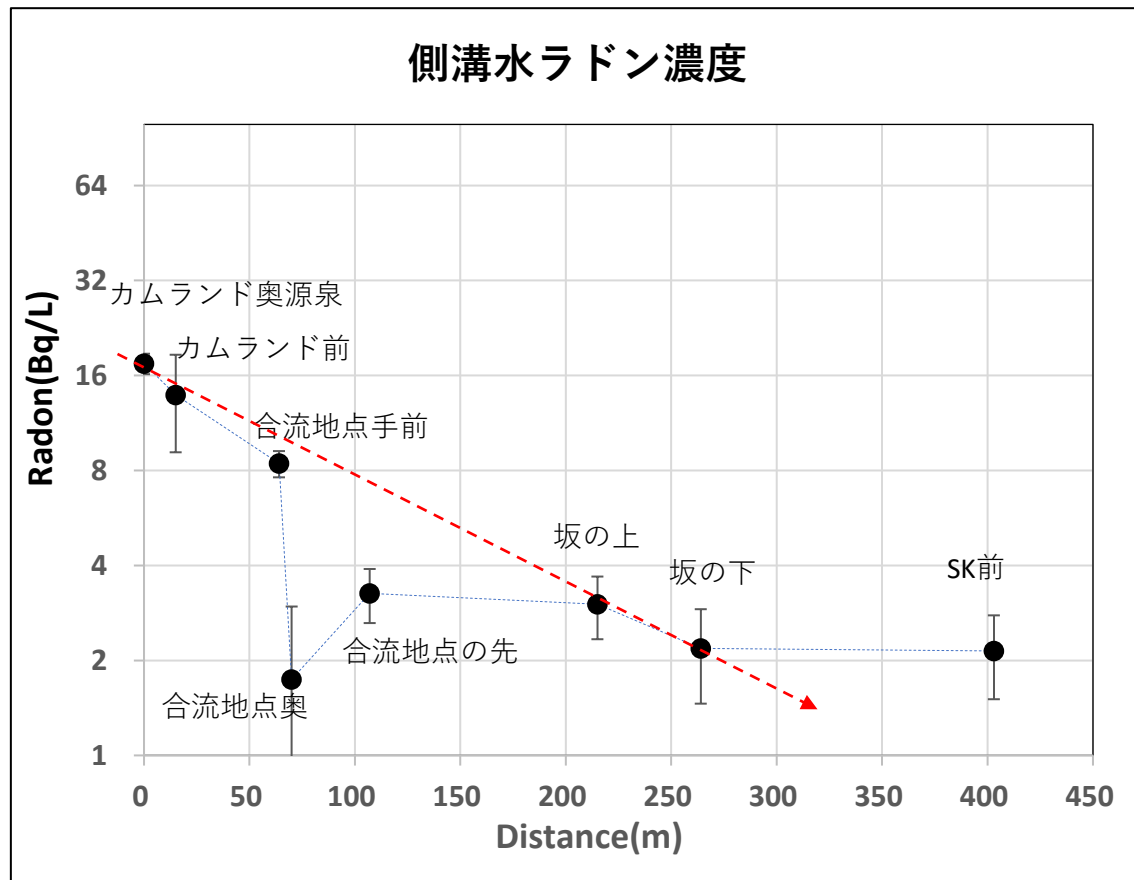
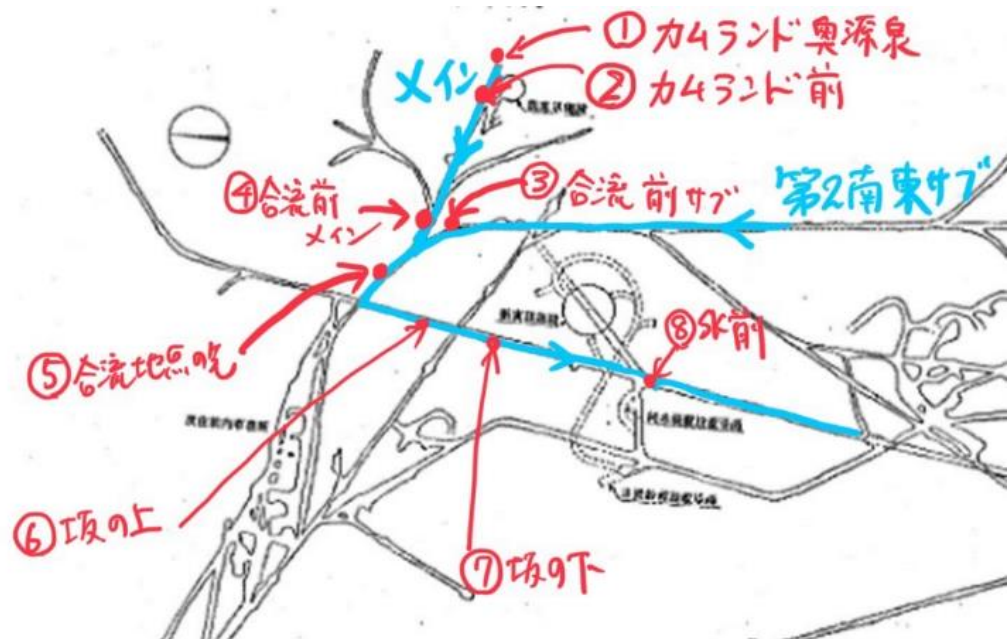
能登地震  
2024/1/1



上流から下流に沿ってラドン濃度が減少。能登地震（2024/1/1）以降、カムランド奥の源泉のラドン濃度が上昇し、同傾向が続いている。

採水地点	2016年-2023年 (Bq/L)	2024年-2005年 (Bq/L)	有意性
①カムランド奥源泉	17.6 ± 0.2	22.9 ± 0.3	**
④合流前メイン	8.5 ± 0.2	8.7 ± 0.2	*
③合流後サブ	1.8 ± 0.1	1.2 ± 0.1	*
⑧SK前	2.5 ± 0.1	2.1 ± 0.1	*
SK斜坑	1.6 ± 0.1	2.5 ± 0.2	**

- 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

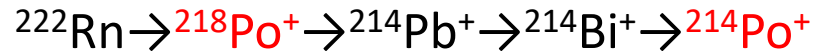


源泉から観測点までの距離(m)

# 高感度ラドン検出器・小型ラドン計

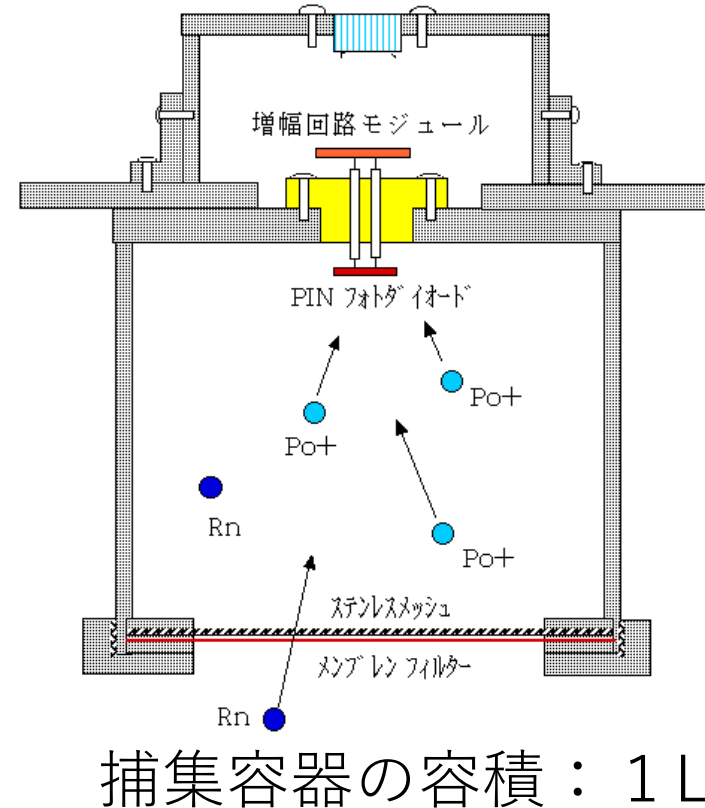
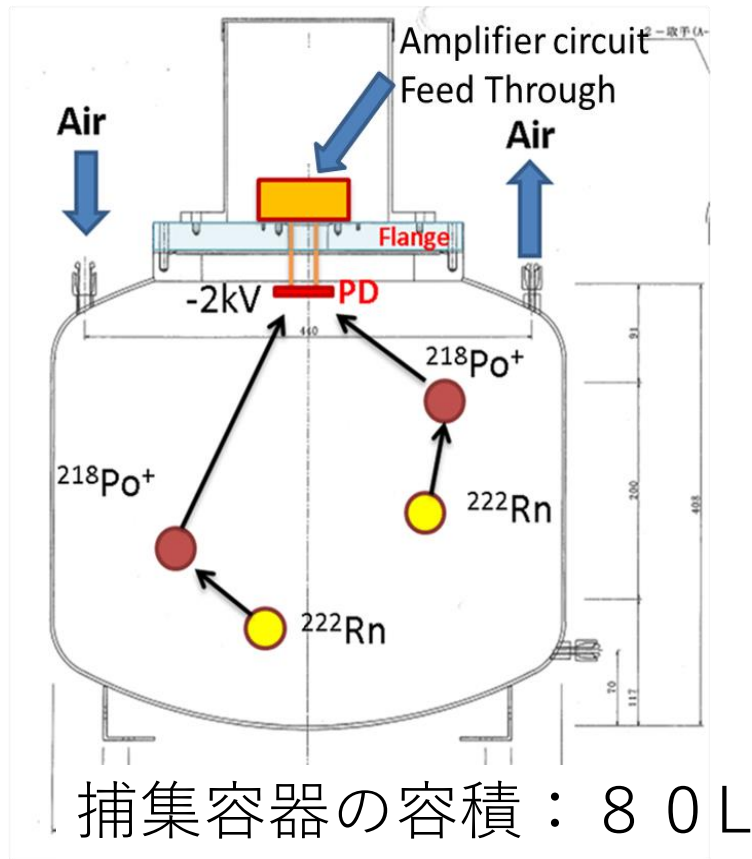
ラドンの静電捕集法：

1) ラドン娘核種 $^{218}\text{Po}$ の90%が正に帯電



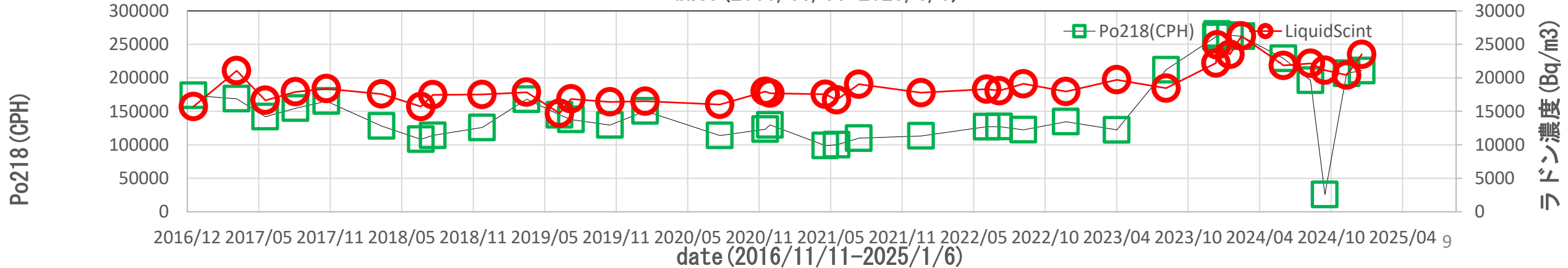
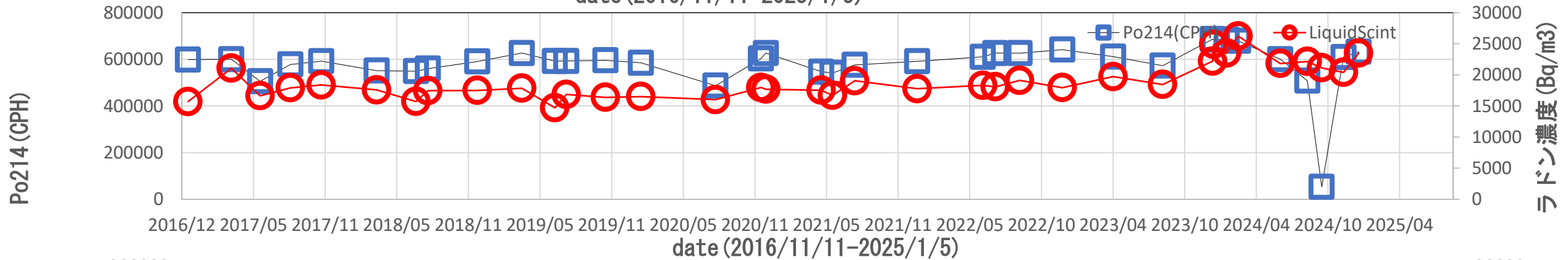
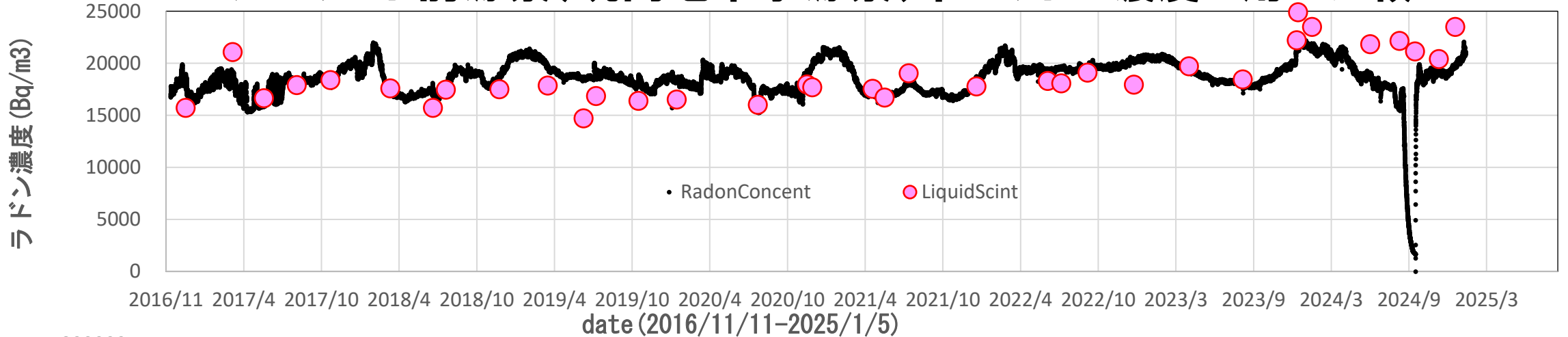
2) 高電圧-2.0kV/-150Vを印加 娘核種を半導体(PD)に捕集

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

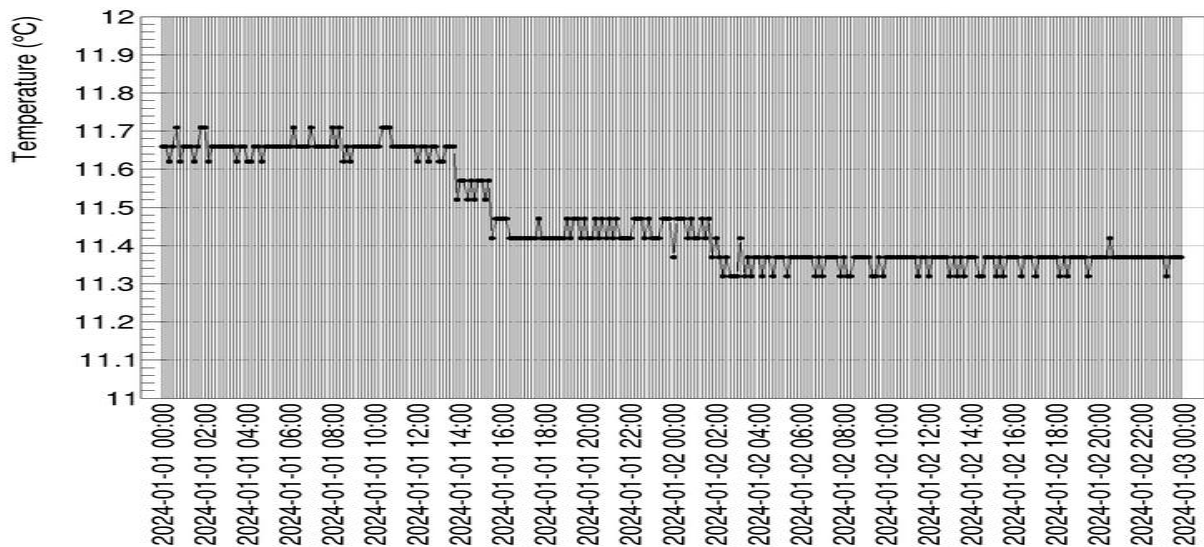
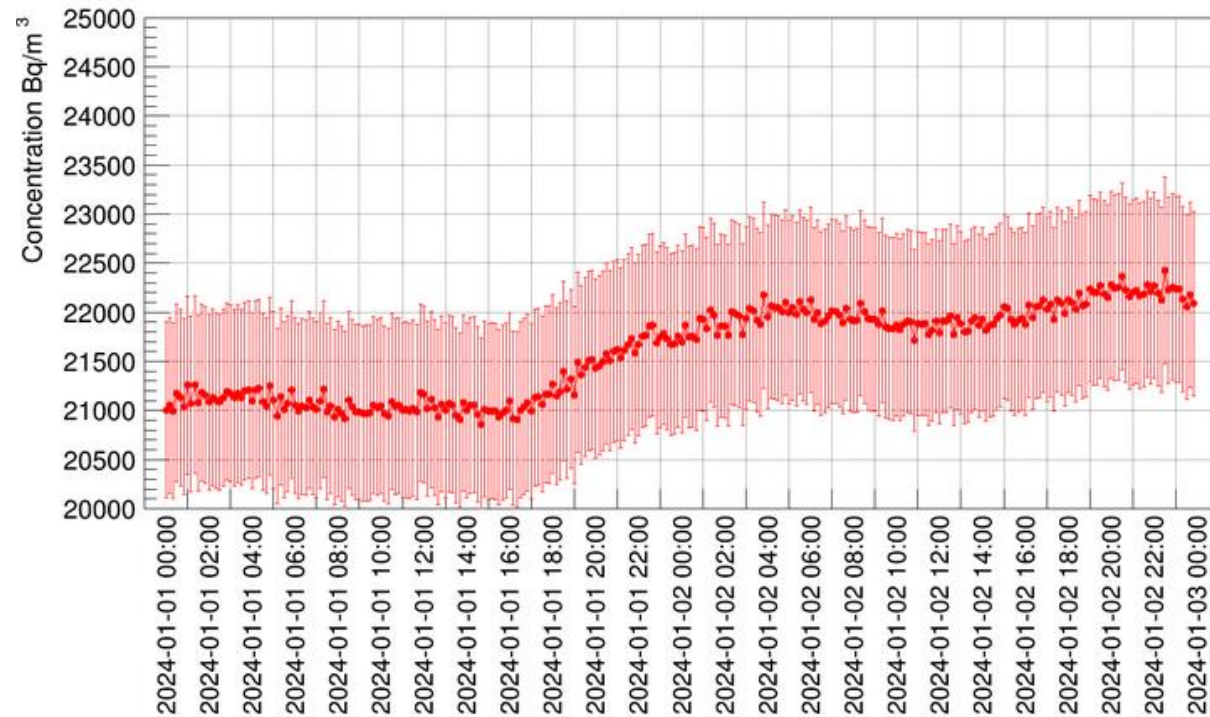
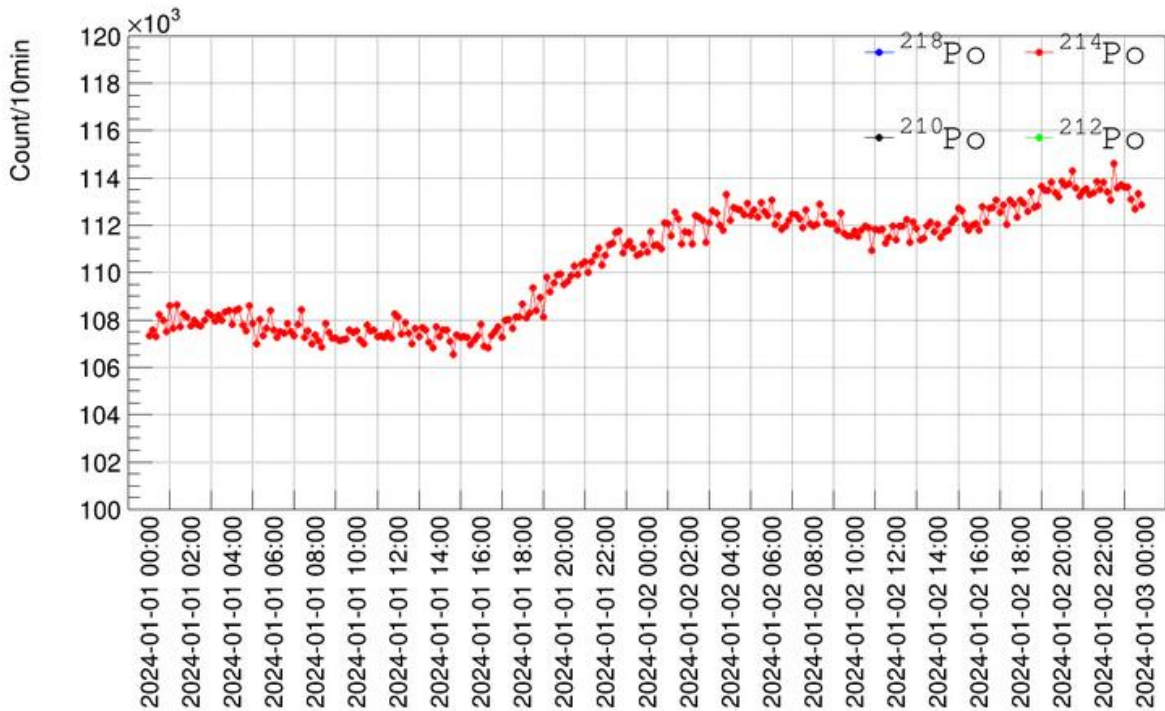




# カムランド前源泉(坑内地下水源泉)中のラドン濃度を用いた較正



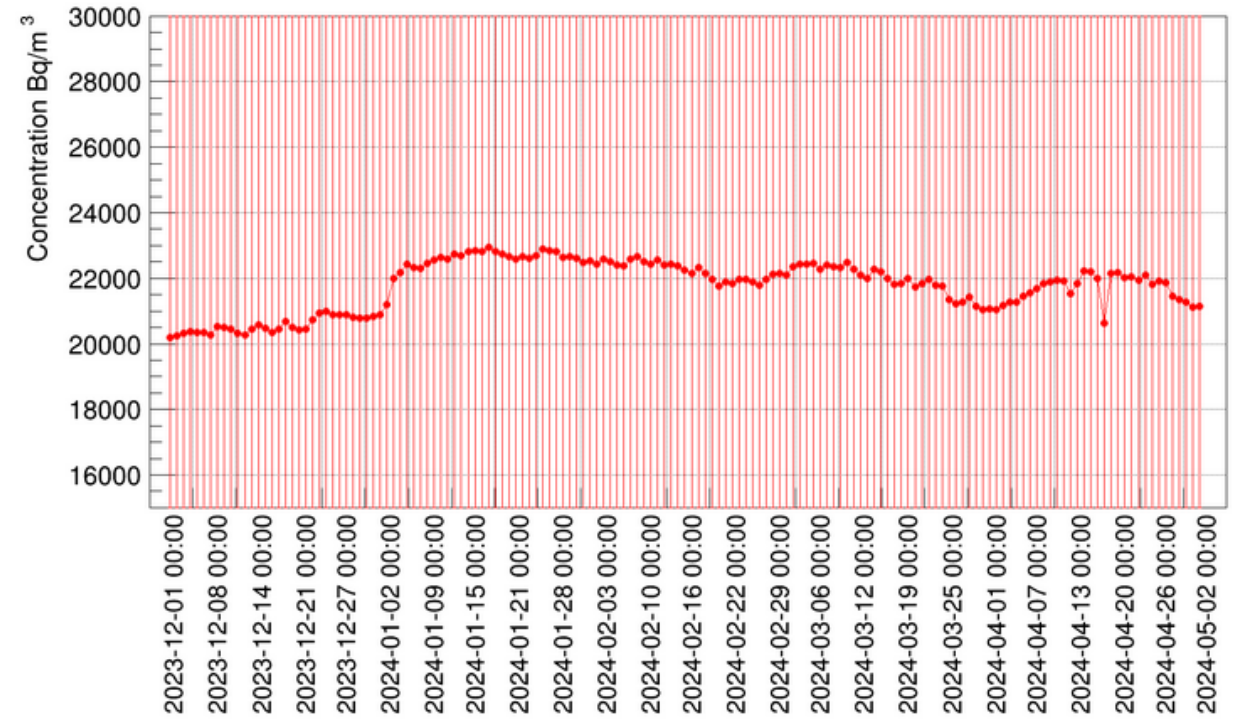
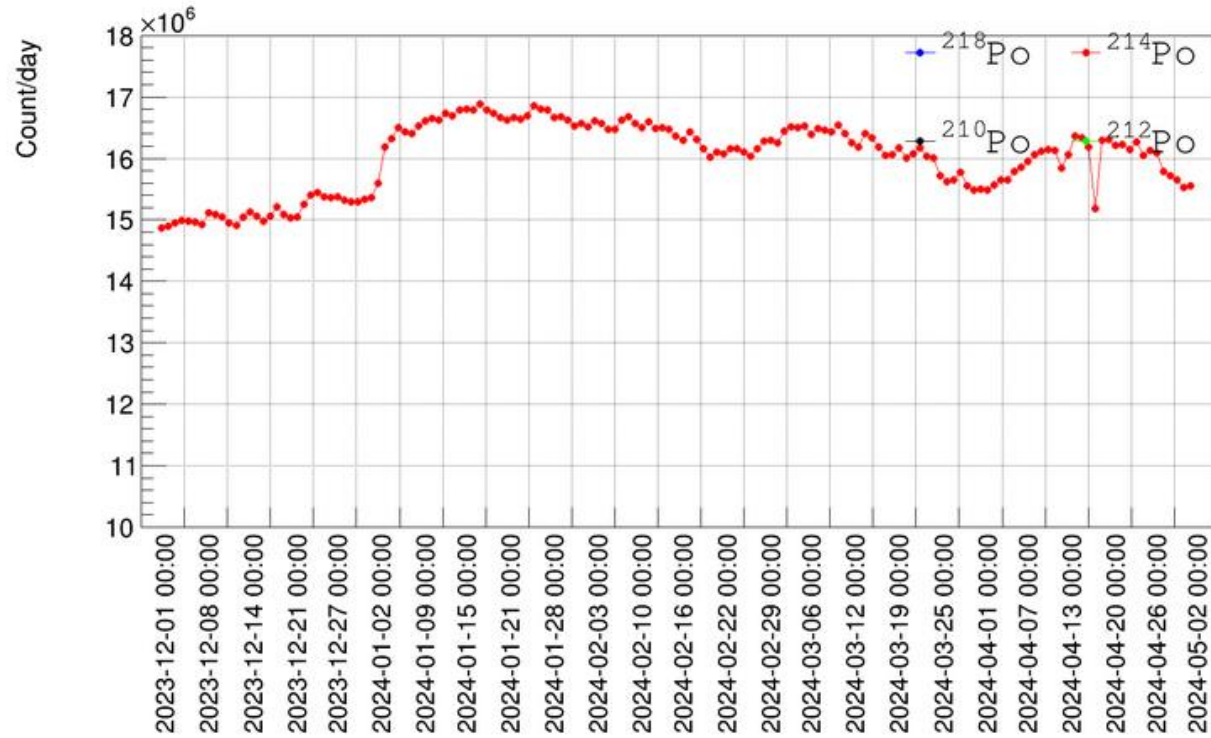
# カムランド前源泉(坑内地下水源泉)中のラドン濃度



## 能登地震

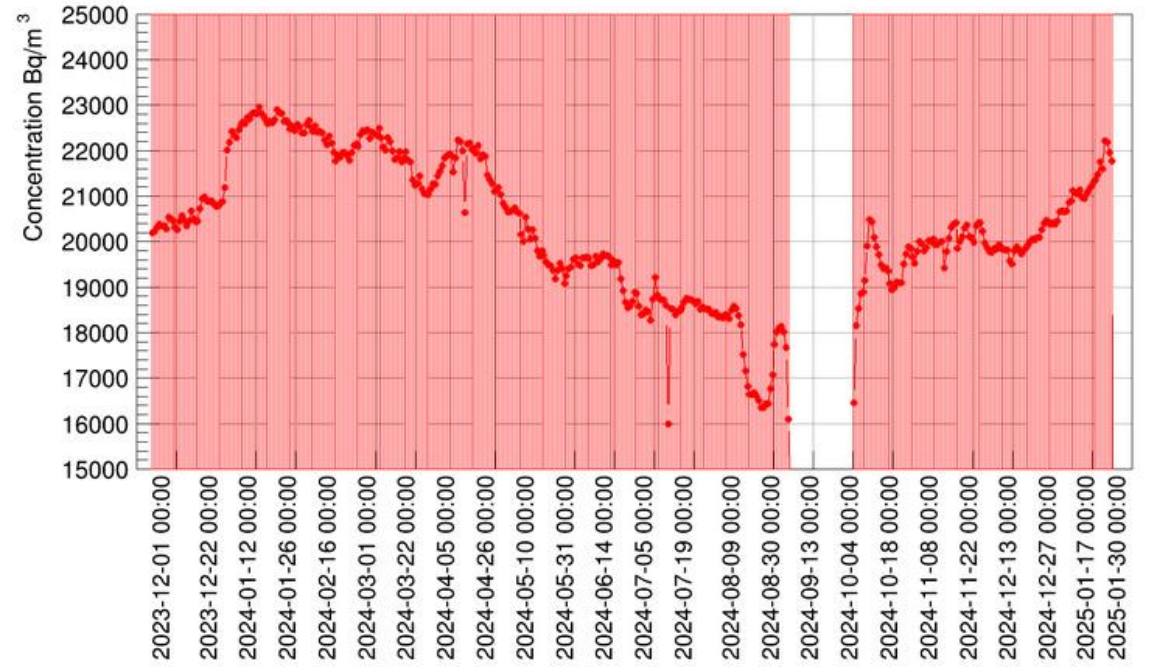
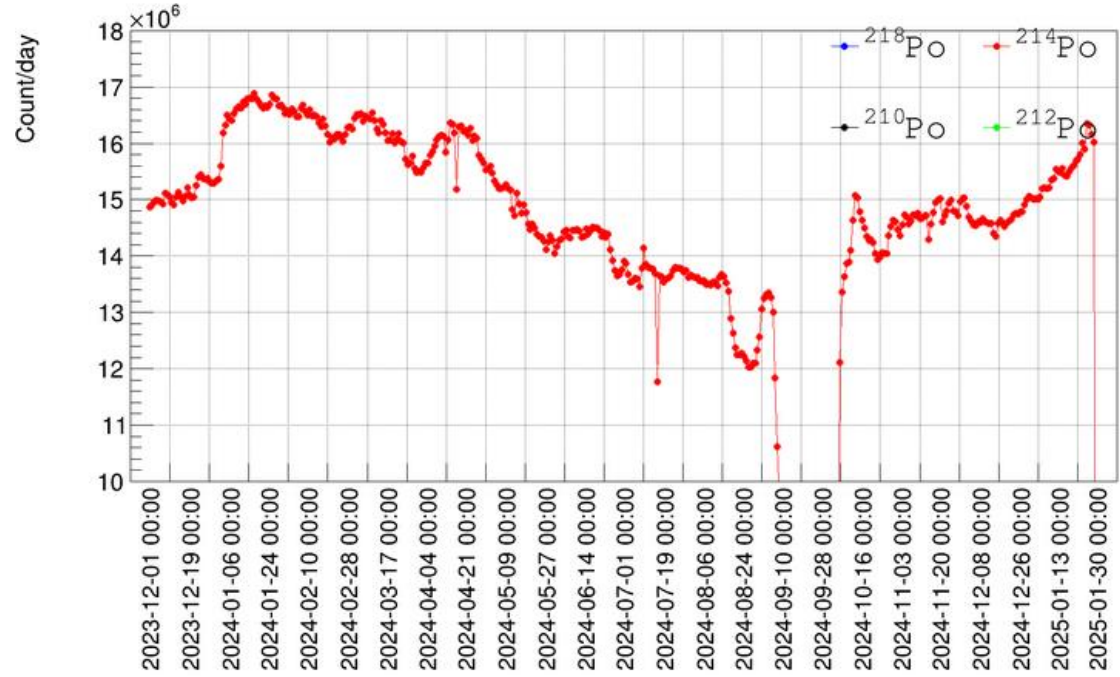
- 2024年1月1日16時10分, M7.6
- 震度4 (飛騨市)

# カムランド前源泉(坑内地下水源泉)中のラドン濃度 2023/12/1-2024/5/1

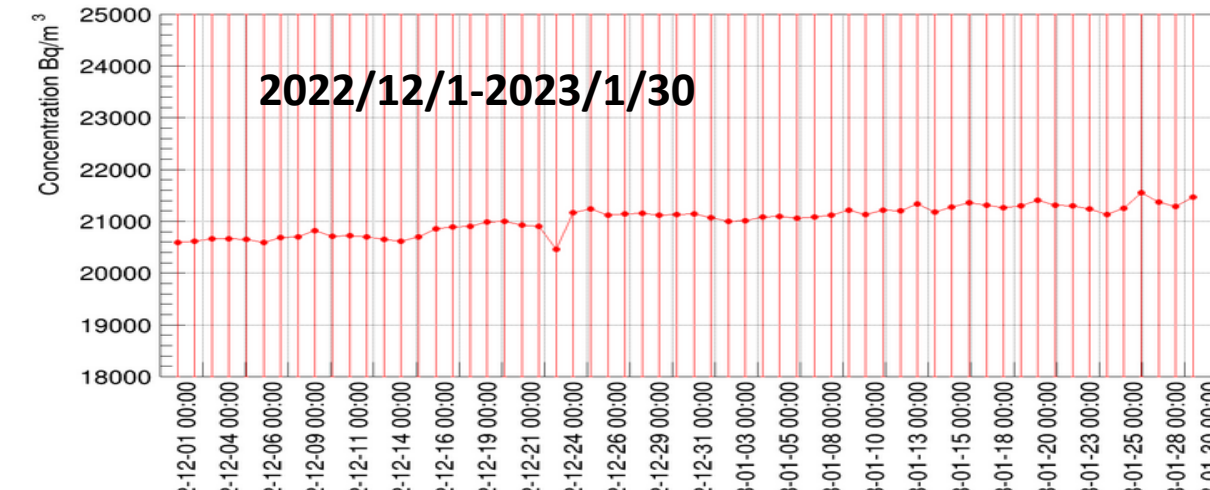
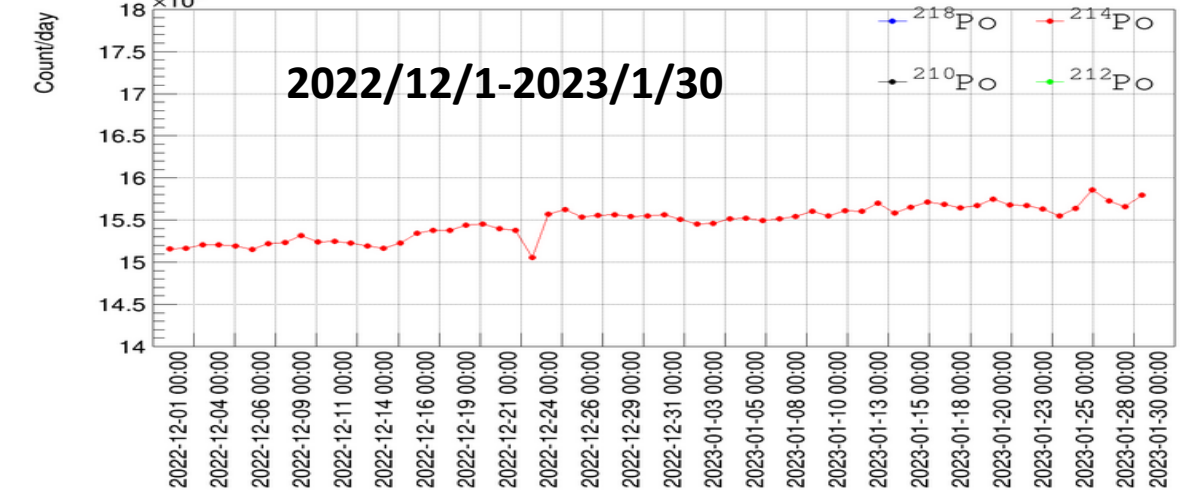
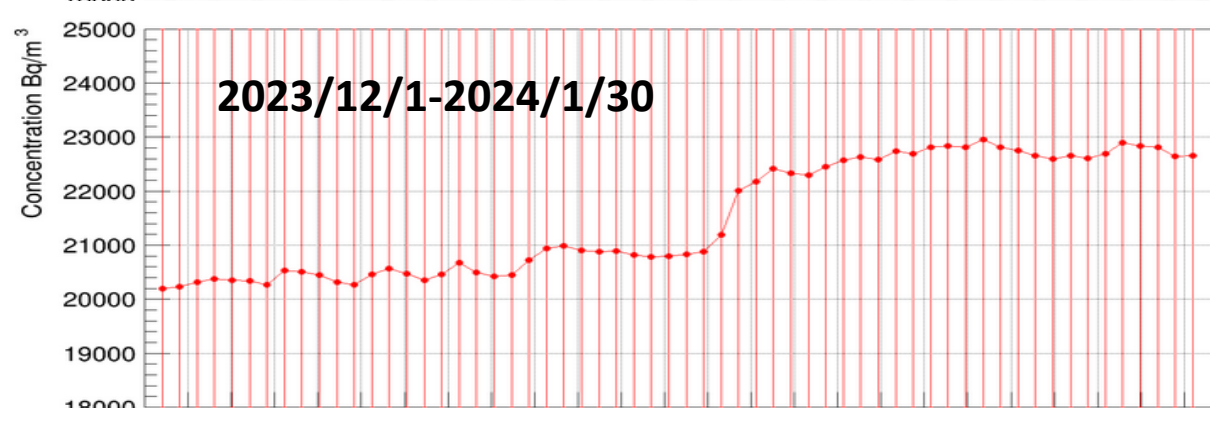
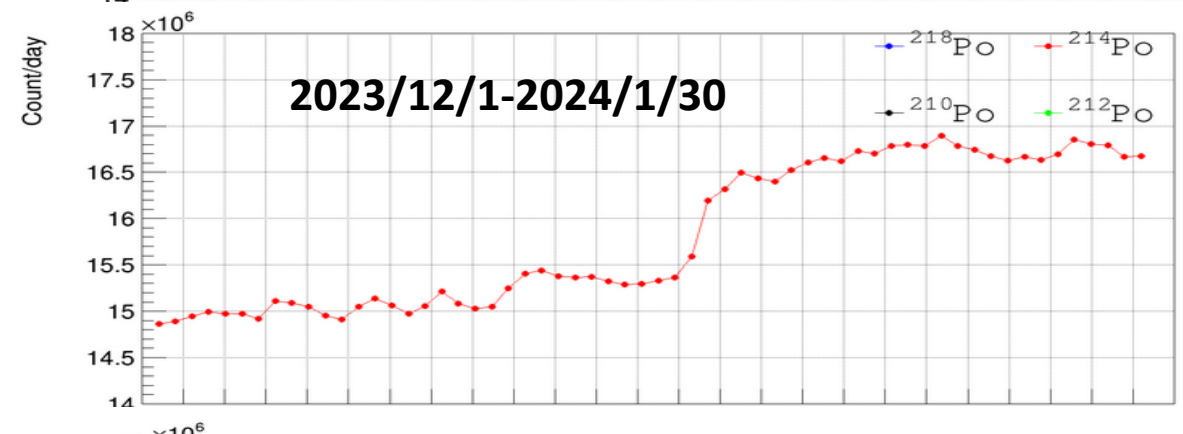
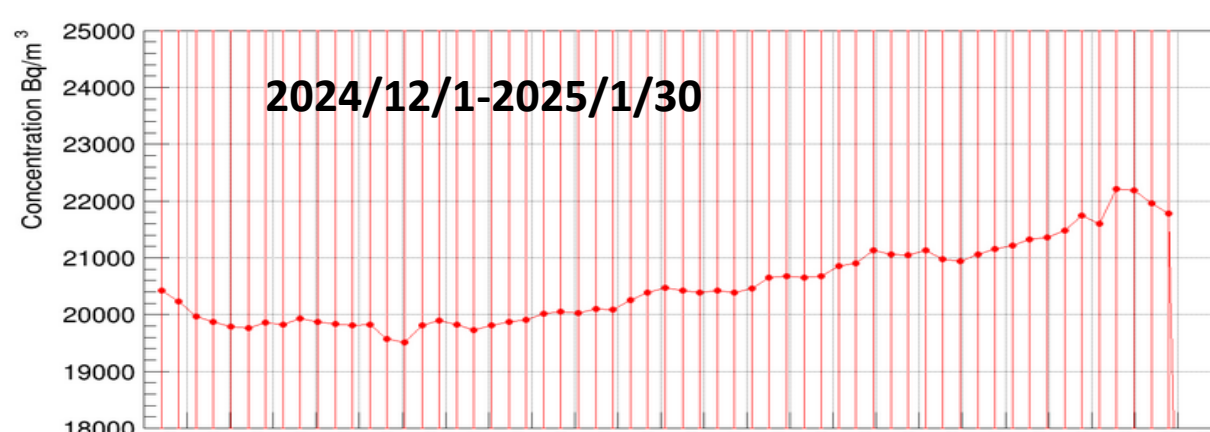


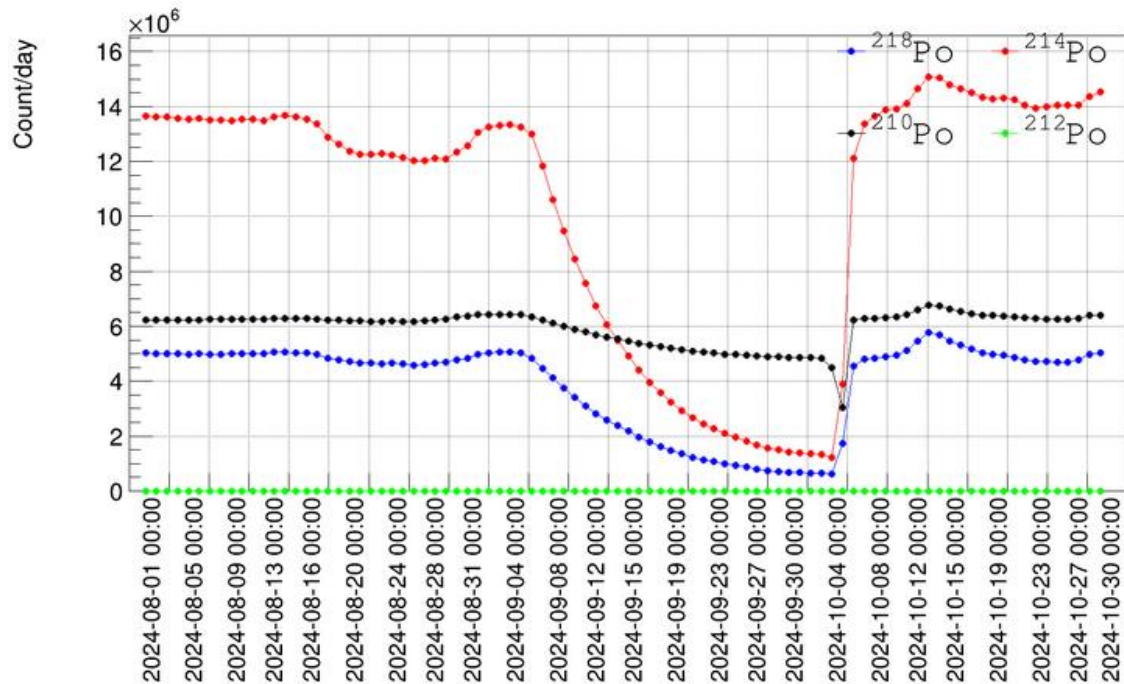
- 能登地震の直後からラドン濃度が上昇した。
-

# カムランド前源泉(坑内地下水源泉)中のラドン濃度 2023/12/1-2025/1/30



# カムランド前源泉のラドン濃度





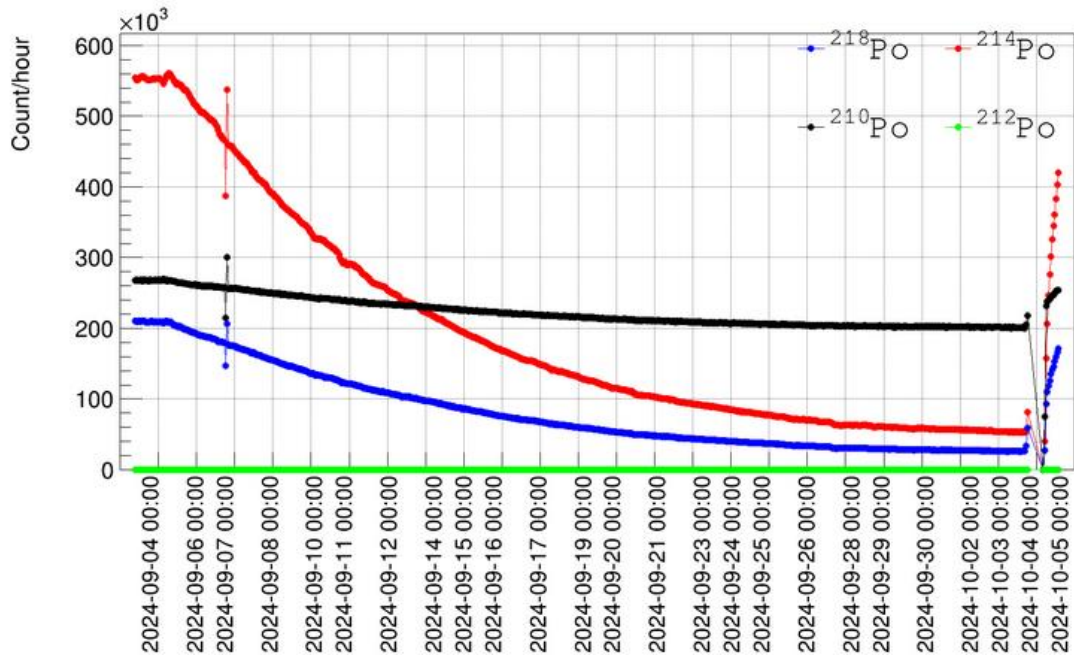
- 2024年9月4日から、①カムランド奥の源泉のラドンの連続測定値が減少した。
- ラドン計に入れる源水の流路がゴミで詰まり、流量がほぼ0まで減少したことが原因。

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

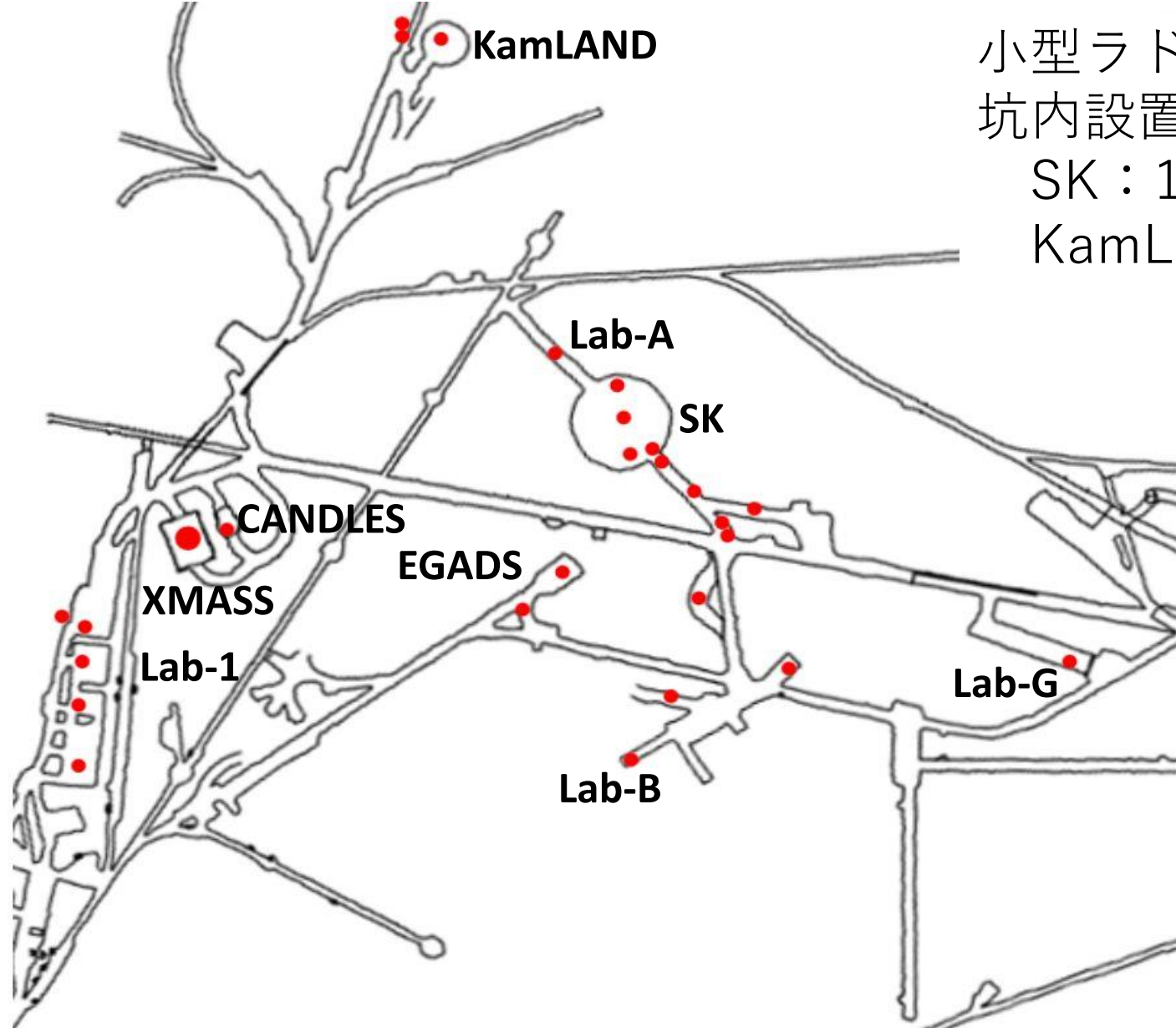
$$\sigma_{T_{1/2}} = \frac{\ln(2)}{\lambda^2} \cdot \sigma_{\lambda}$$

$$T_{1/2} = 7.60 \pm 0.04 \text{ day}$$



$^{222}\text{Rn}$ の半減期は3.8日の2倍となっているものの、流量が一気に0になったわけではなく、徐々に減少したと考えられる。

# 小型ラドン計に坑内空气中ラドン濃度測定地点



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

跡津坑口→

  
US Radon Hut  
**US-Rn-Hut**

# HK 栃洞坑道内地下水中のラドン濃度測定

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





# まとめ

- 茂住坑道内の側溝水のラドン濃度を2016年から2025年までに、液体シンチレーション法により36回測定した。
- 水中のラドンの濃度は、上流（カムランド奥の源泉）から下流（SK前）にかけて減少する。
- 能登地震（2024年1月1日）の直後から、最上流の①カムランド奥源泉で、地震前と比べて有意なラドン濃度の上昇が観測された。
- 上流（①カムランド奥の源泉）のラドン濃度は、わずかに季節変動がある。冬季に高く、夏季に低い傾向がある。
- 80Lの高感度ラドン計による連続測定の結果と、液体シンチレーション法によるサンプリングのラドン濃度を比較してラドン計を較正している。

## 茂住坑道内 側溝水中のラドン濃度測定（2024－2025年の結果）

①カムランド奥源水	22.9 ± 0.2 Bq/L	②カムランド前	18.2 ± 0.3 Bq/L
③合流地点前（サブ）	1.2 ± 0.1 Bq/L	④合流地点前（メイン）	8.7 ± 0.2 Bq/L
⑤合流地点の先	3.4 ± 0.2 Bq/L	⑥坂の上	3.1 ± 0.2 Bq/L
⑦坂の下	3.3 ± 0.2 Bq/L	⑧SK前	2.1 ± 0.1 Bq/L

## 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：23 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。