

# 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)

共同利用研究経費 旅費・消耗品: 30万円

旅費: 岐阜⇄神岡

消耗品: 液体シンチレーター(AL-1), ガラス容器, バイアル瓶,

ピペッター, ピペット, フラスコ台, 化学器具

ラドン計・ロガー製作, ケーブル, パーツ類

東京大学宇宙線研究所 令和4年度 共同利用研究成果発表会

2023年2月21日(火)

# 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測定(2016-2022)

▶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 (2019-2022)

# 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

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

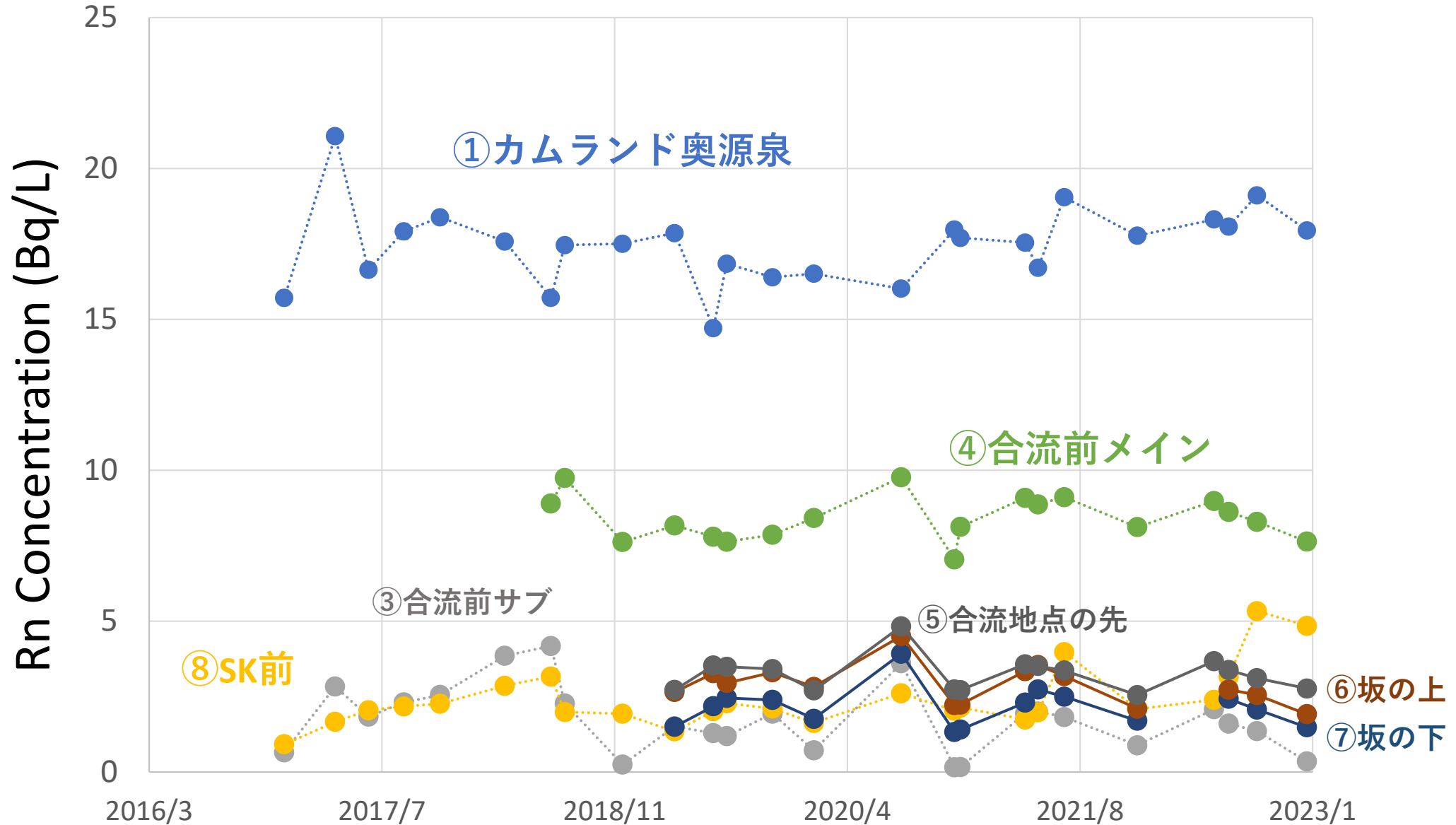
$$R_n = \frac{C_a V_a}{V_w} + \frac{C_t V_t}{V_w} + C_w - \frac{C_b V_a}{V_w}$$

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

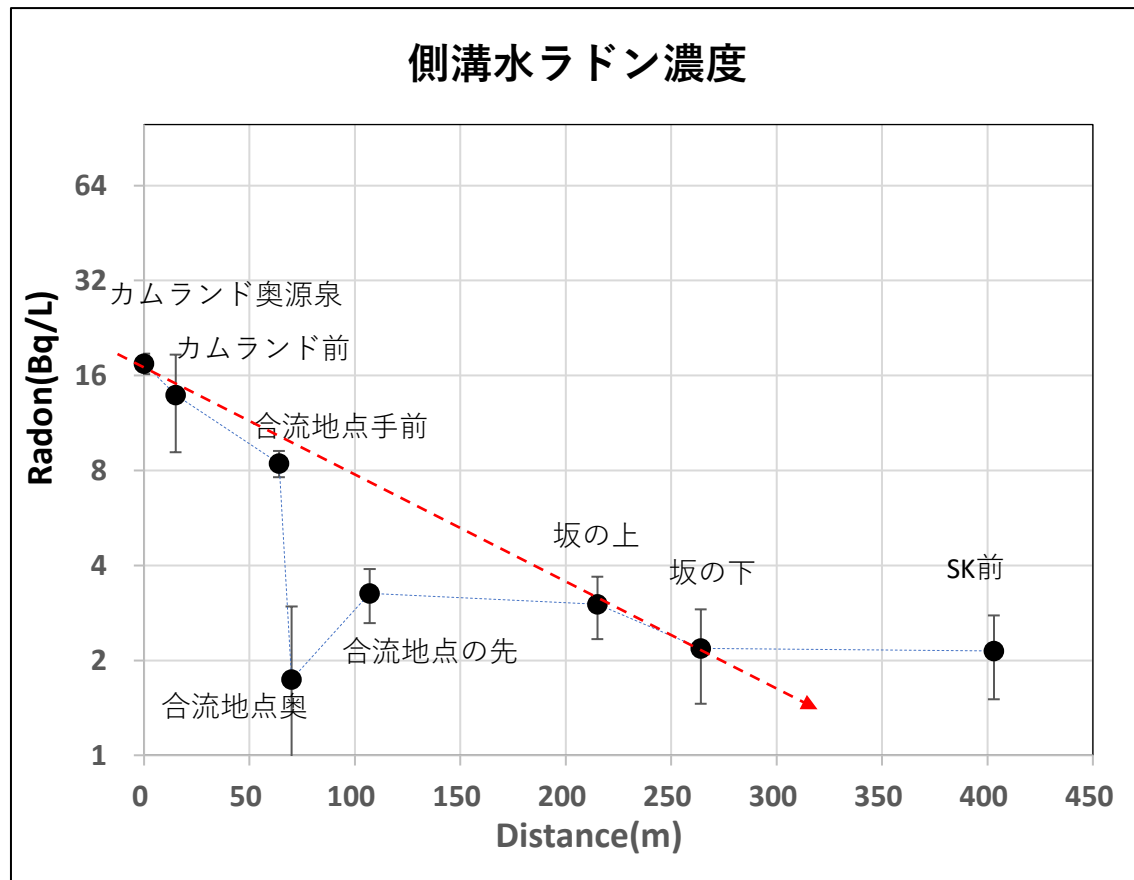
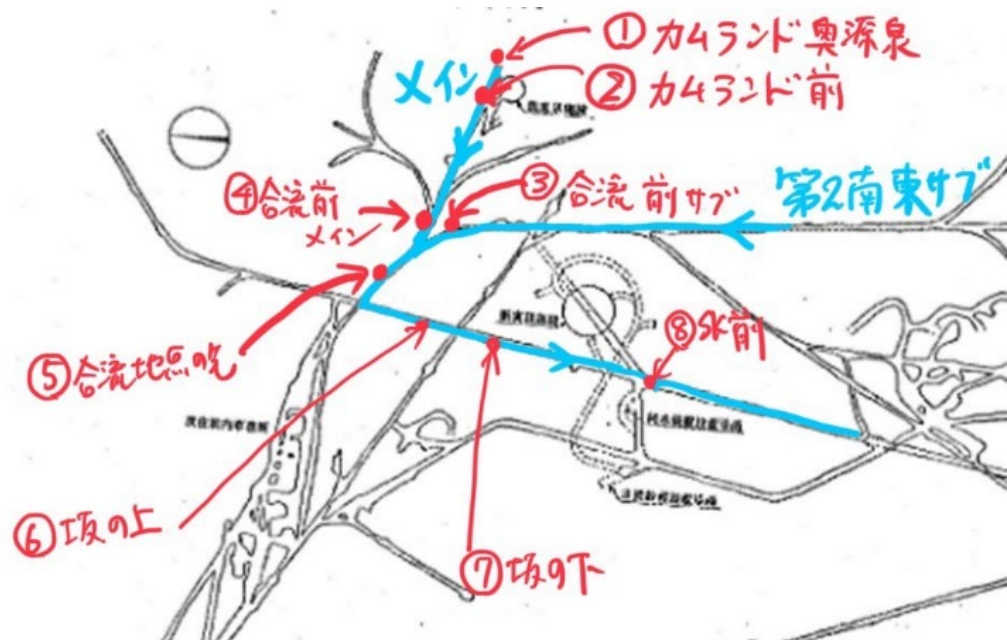
$$R_n = \left( \frac{V_a}{V_w D_t} + \frac{V_t}{V_w} + \frac{D_w}{D_t} \right) C_t$$



# 茂住坑道側溝水のラドン濃度

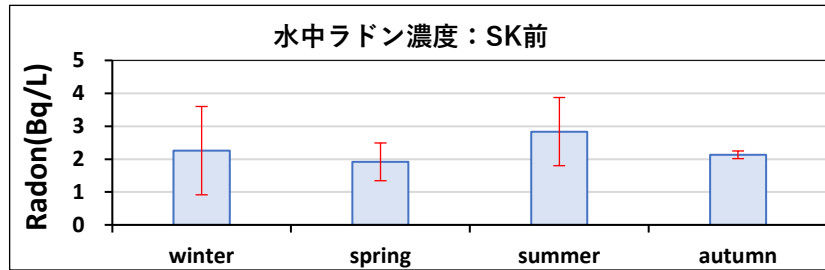
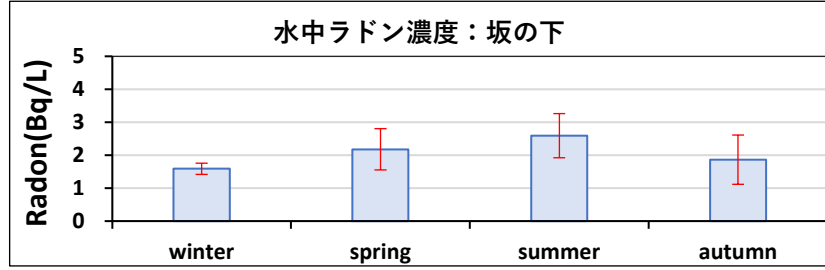
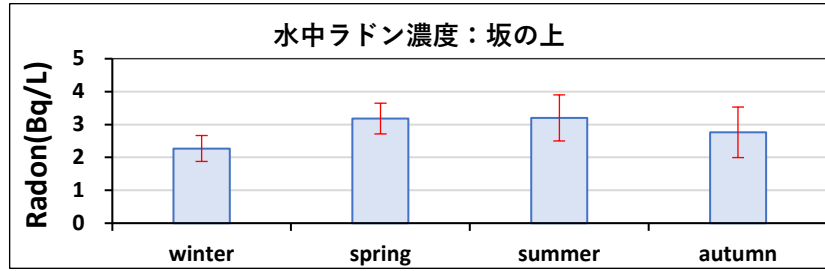
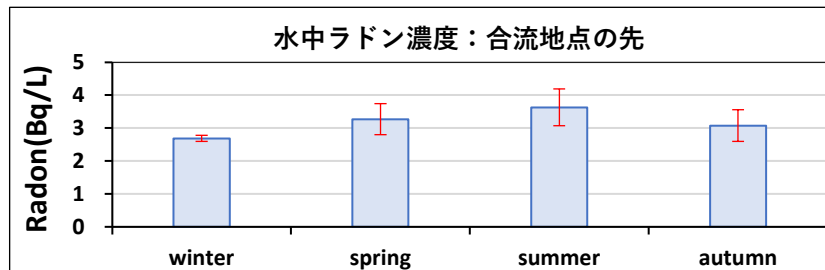
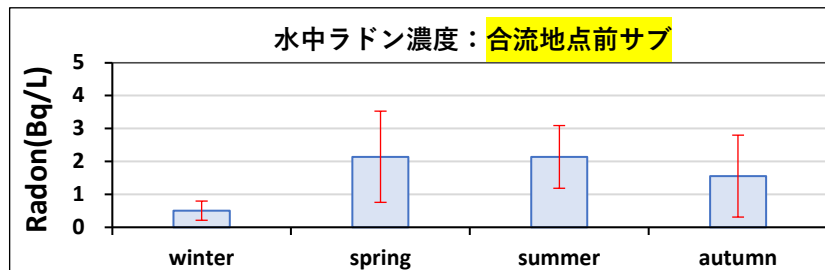
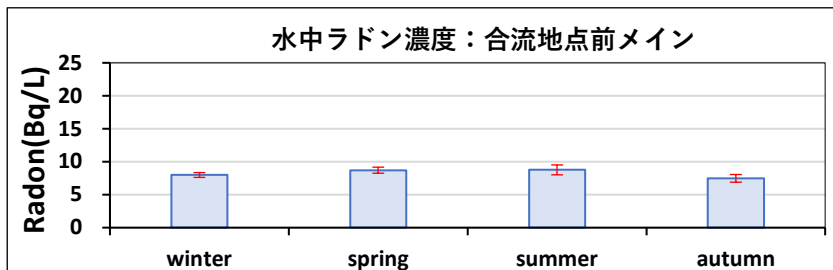
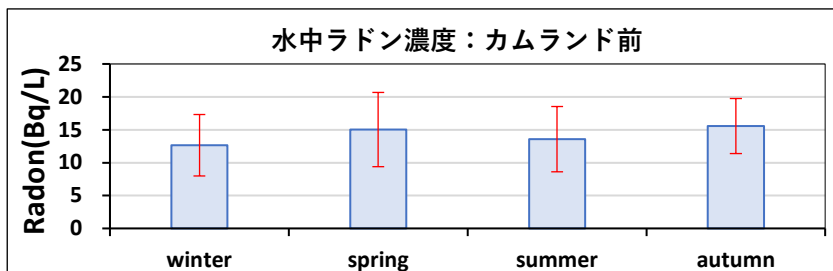
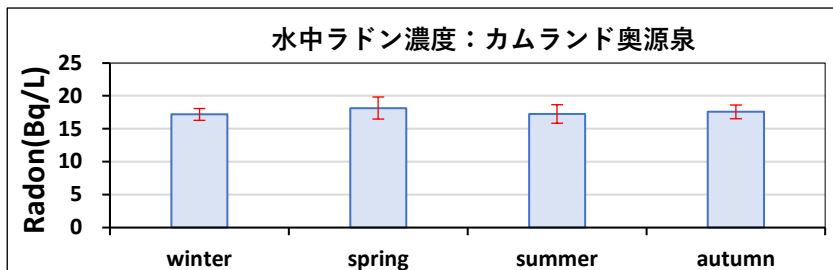


上流から下流に沿ってラドン濃度が減少



源泉から観測点までの距離(m)

# 水中のラドン濃度の季節変動

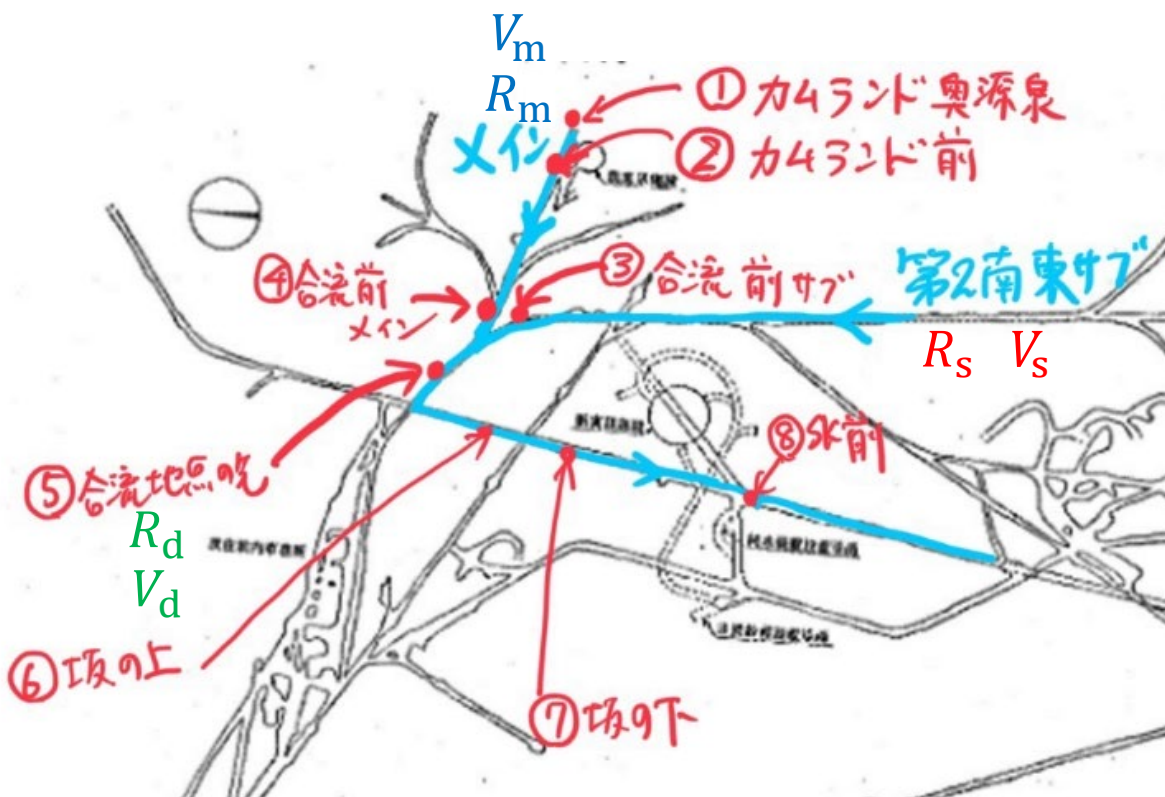


- カムランド側の源水
  - ラドン濃度に季節変動はない。
- 合流前サブ
  - ラドン濃度に季節変動がある。夏はラドン濃度高く、冬は低い。

# ラドンの放射能保存

ラドン濃度(Bq/L) 水量(ton/hr)

①カムランド奥源水	$R_m$	$V_m$
③合流前サブ (第2南東)	$R_s$	$V_s$
⑤合流地点の先	$R_d$	$V_d$



$$V_m + V_s = V_d \quad \text{水量の保存}$$

$$V_m \cdot R_m + V_s \cdot R_s = V_d \cdot R_d = (V_m + V_s) \cdot R_d$$

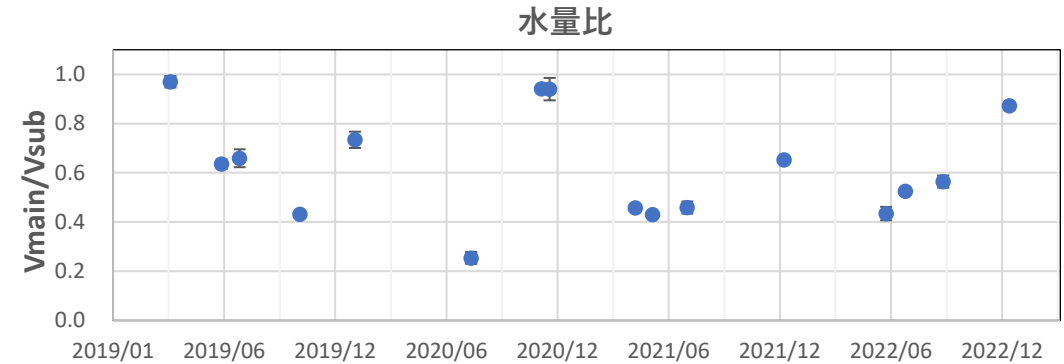
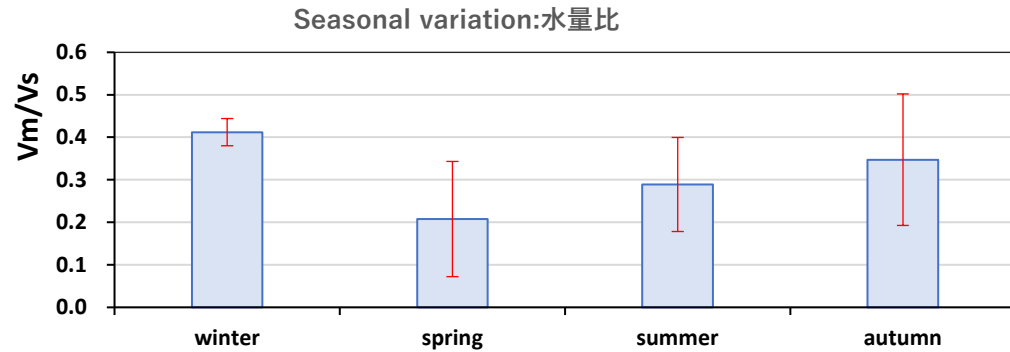
メインの放射能    サブの放射能    合流後の放射能

$$V_m(R_m - R_d) = V_s(R_d - R_s)$$

$$V_m/V_s = \frac{R_d - R_s}{R_m - R_d} \quad \text{メインとサブの流量比}$$



# 水量比の季節変動

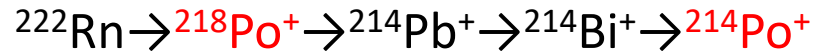


- 水量比には季節変動がある。冬はカムランド側からの相対水量が増える，春，夏にかけて水量比が減る。
- カムランド側の源水のラドン濃度は季節変動がほぼなく，サブ側はラドン濃度は低いながらも季節変動があり，夏がラドン濃度が高く冬が低い。

# 高感度ラドン検出器・小型ラドン計

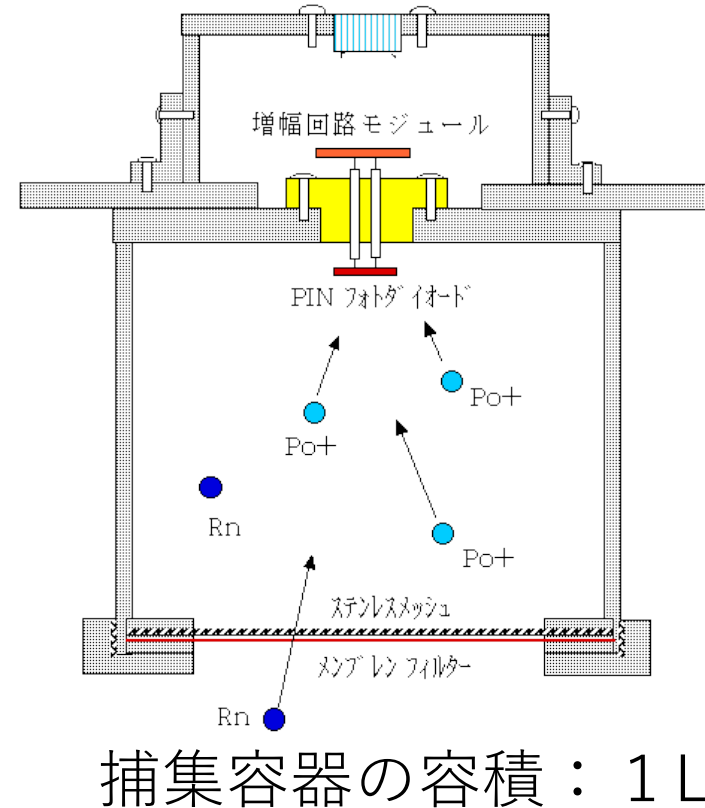
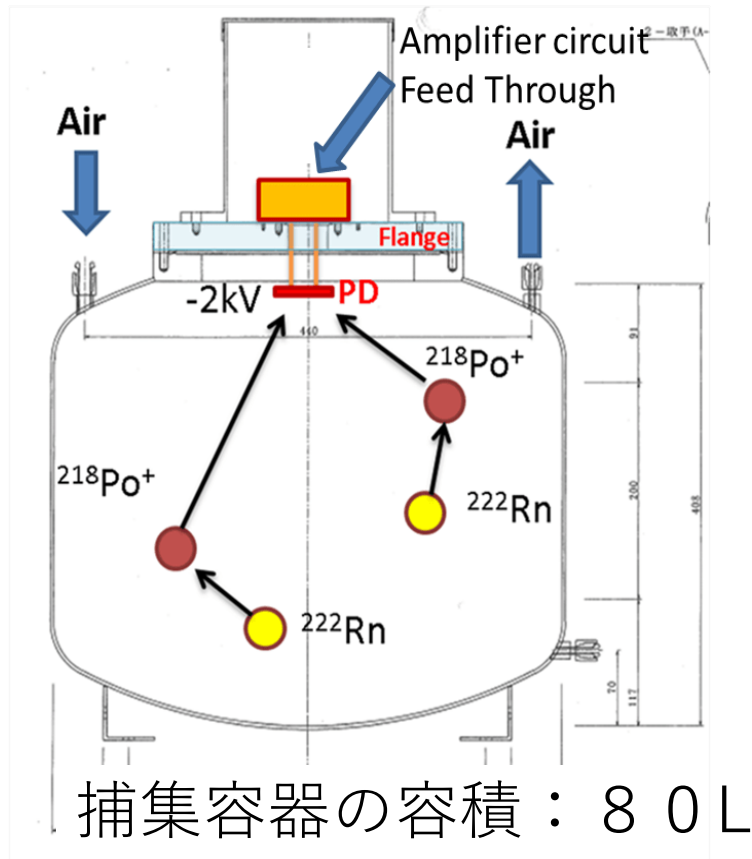
ラドンの静電捕集法：

1) ラドン娘核種 $^{218}\text{Po}$ の90%が正に帯電

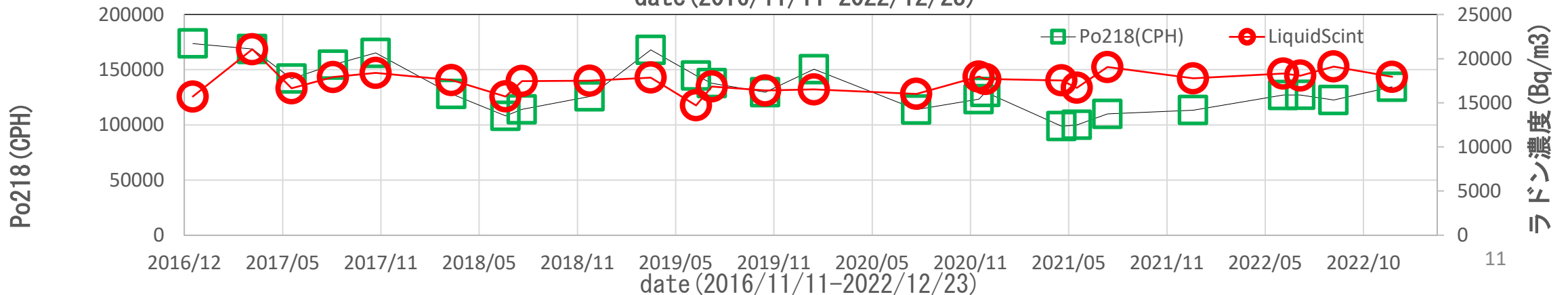
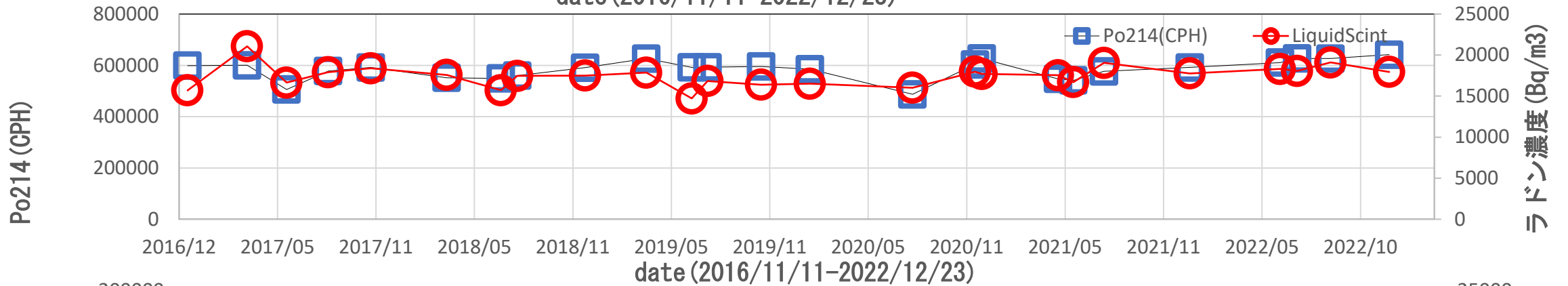
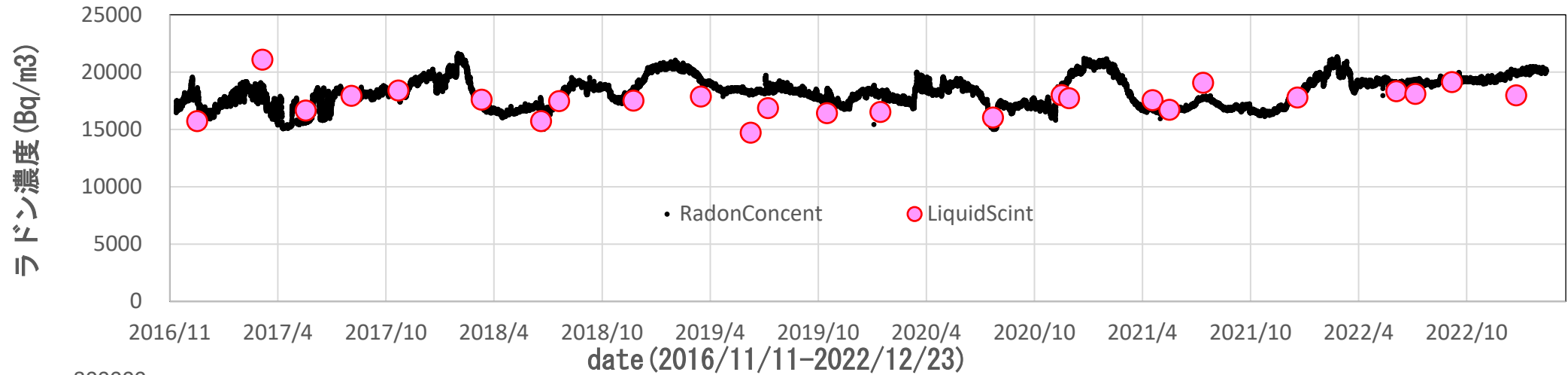


2) 高電圧-2.0kV/-150Vを印加 娘核種を半導体(PD)に捕集

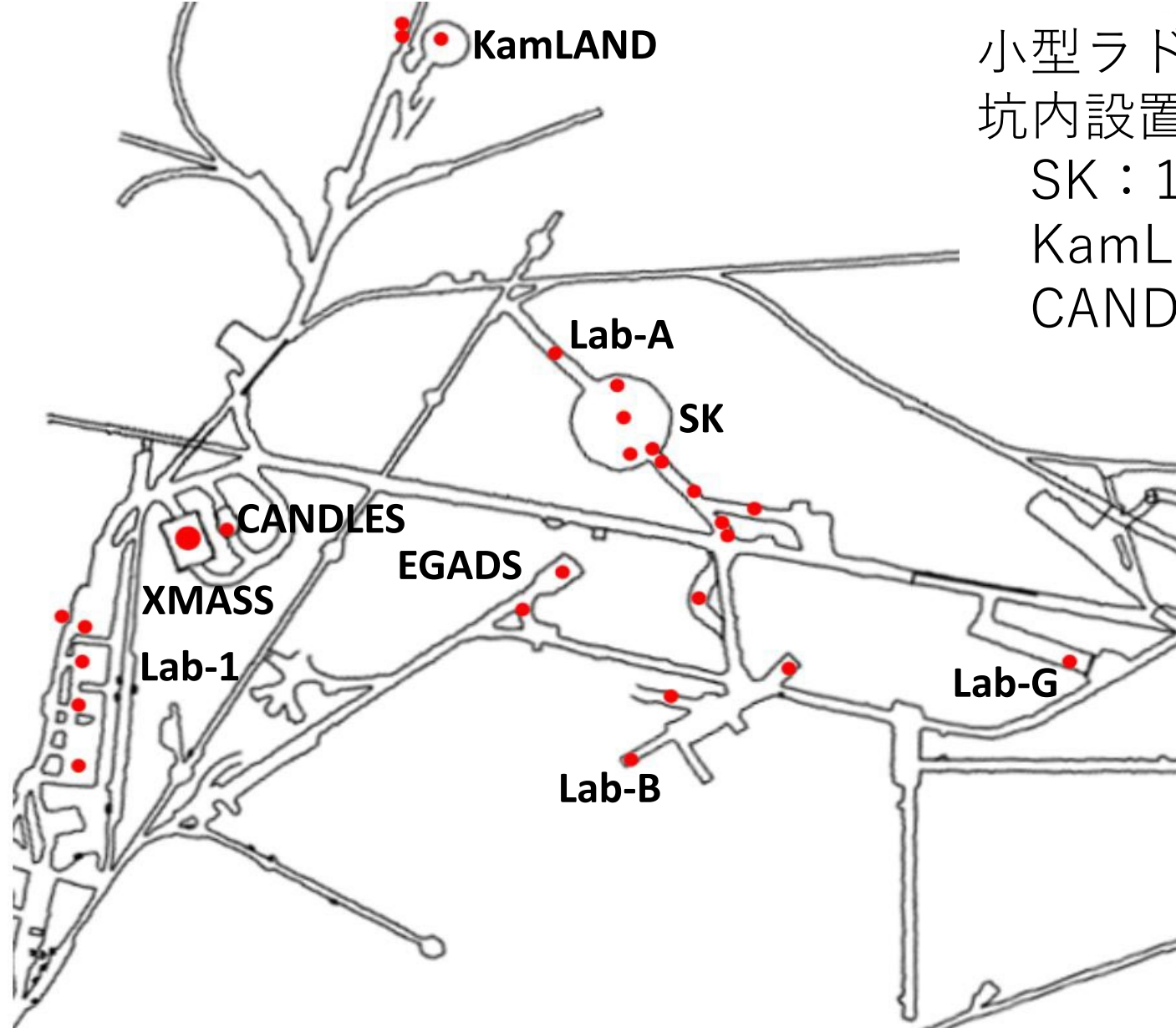
3)  $^{214}\text{Po}$ 崩壊時に放出される  $\alpha$ 線(7.68MeV)をPDで検出



# 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



# 小型ラドン計に坑内空气中ラドン濃度測定地点(2021)



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→



# HK 柝洞坑道内地下水中のラドン濃度測定

- 2019年8月－2022年12月に5回測定
- 茂住坑道よりもラドン濃度が低い
- 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）
- -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）
- -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）
- -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 側溝水中のラドン濃度測定 (2016-2022年の結果)

①カムランド奥源水	17.5 ± 0.9 Bq/L
②カムランド前	13.9 ± 0.2 Bq/L
③合流地点前 (サブ)	1.7 ± 0.2 Bq/L
④合流地点前 (メイン)	8.4 ± 0.7 Bq/L
⑤合流地点の先	3.3 ± 0.6 Bq/L
⑥坂の上	2.9 ± 0.3 Bq/L
⑦坂の下	2.1 ± 0.2 Bq/L
⑧SK前	2.4 ± 0.2 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)
- カムランド前源水が最もラドン濃度が高く, 季節変動はほとんどない。
- 第2南東 (サブ) から来る水はラドン濃度は低いものの, 季節変動がある。
  - 夏季: 2.1 ± 0.9 Bq/L, 冬季: 0.50 ± 0.3 Bq/L (坑内大気濃度変動と同様の傾向)
- カムランド前源水でラドン濃度の連続測定と較正

## HK枋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, 枋洞坑道: 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。