

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 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, 水中ラドン較正実験用備品

東京大学宇宙線研究所 令和3年度 共同利用研究成果発表会

2022年1月25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

極低濃度ラドン測定

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(2016-2021)

 - ▶液体シンチレーション法による測定

- ▶小型ラドン計による長期間測定

栃洞坑道内の坑道水のラドン濃度測定 (2019-2021)

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



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

R_n : 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

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

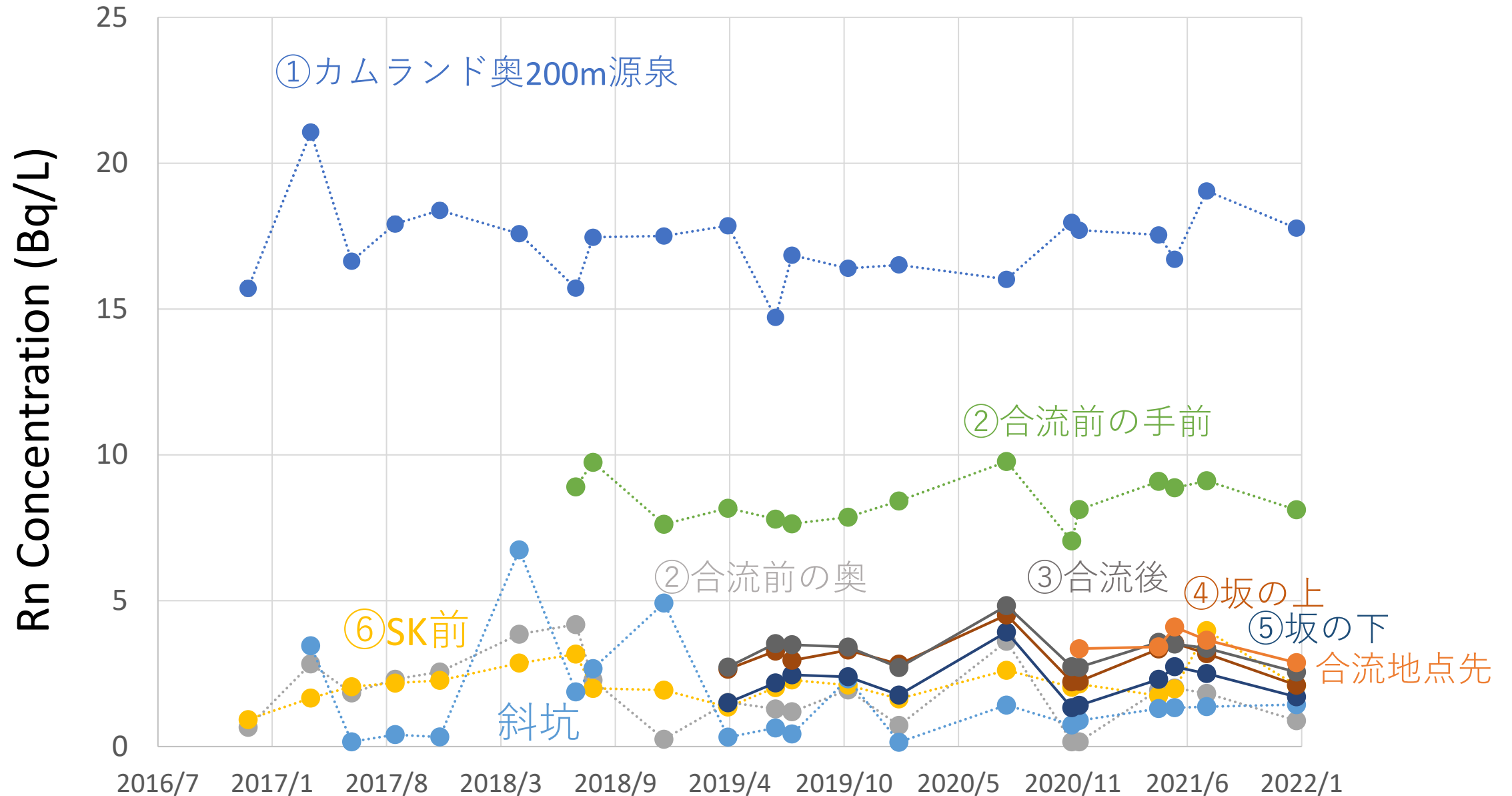
$$R_n = \left\{ \frac{V_a}{V_w D_t} + \frac{V_t}{V_w} + \frac{F_w}{D_t} - \left(\frac{C_b}{C_t} \right) \left(\frac{V_a}{V_w} \right) \right\} C_t$$

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

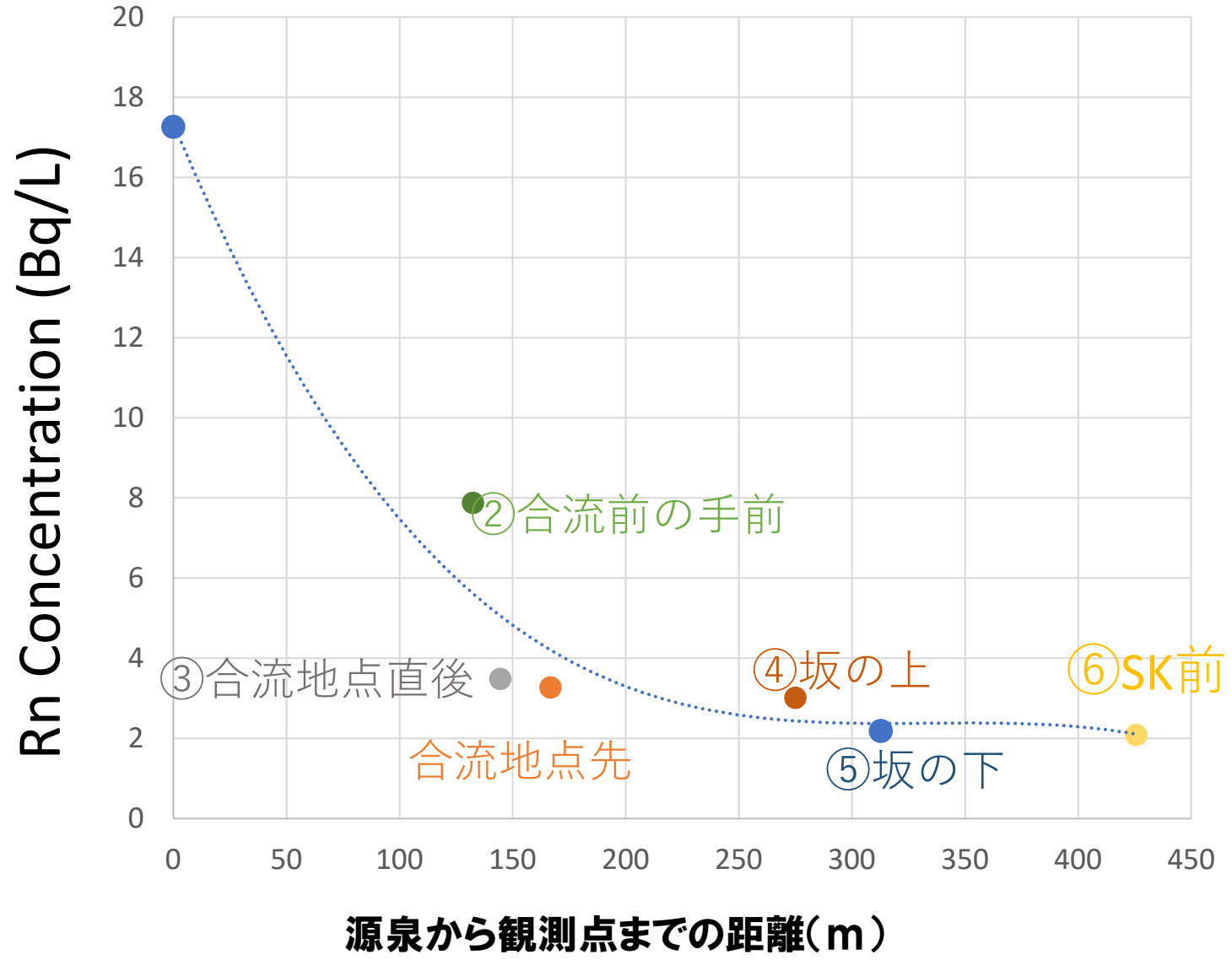
茂住坑道の側溝水の採水地点



茂住坑道側溝水のラドン濃度



- 上流から下流に沿ってラドン濃度が減少。下流では夏季にラドン濃度が高く、冬季に低い傾向。⁵

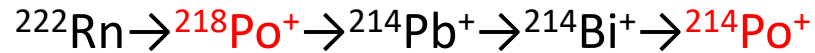


- 源泉から130mでラドン濃度が半減, 合流後に25%の濃度 (3.5Bq/L) に減衰

高感度ラドン検出器・小型ラドン計

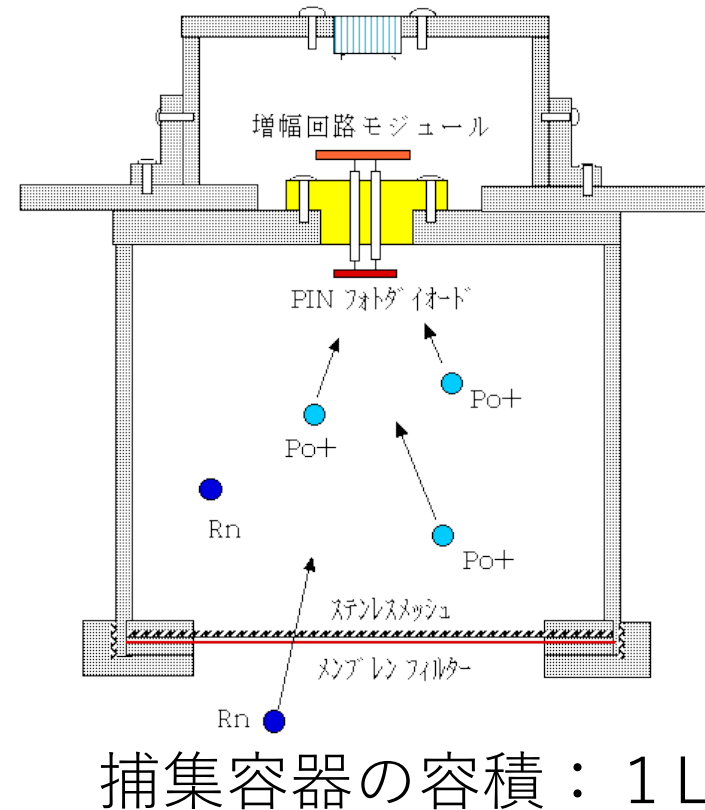
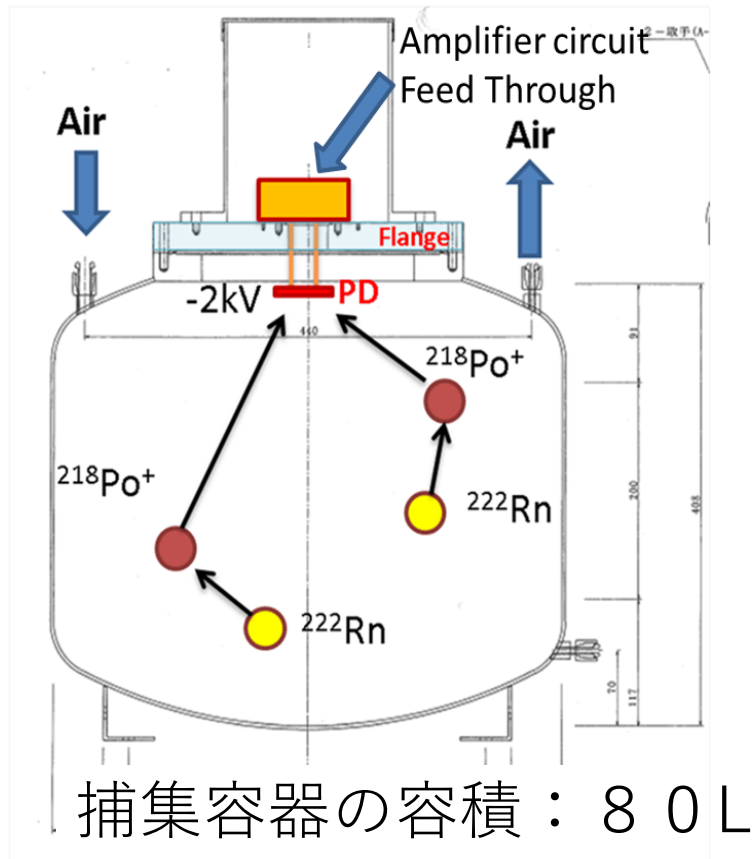
ラドンの静電捕集法：

1) ラドン娘核種 ^{218}Po の90%が正に帯電



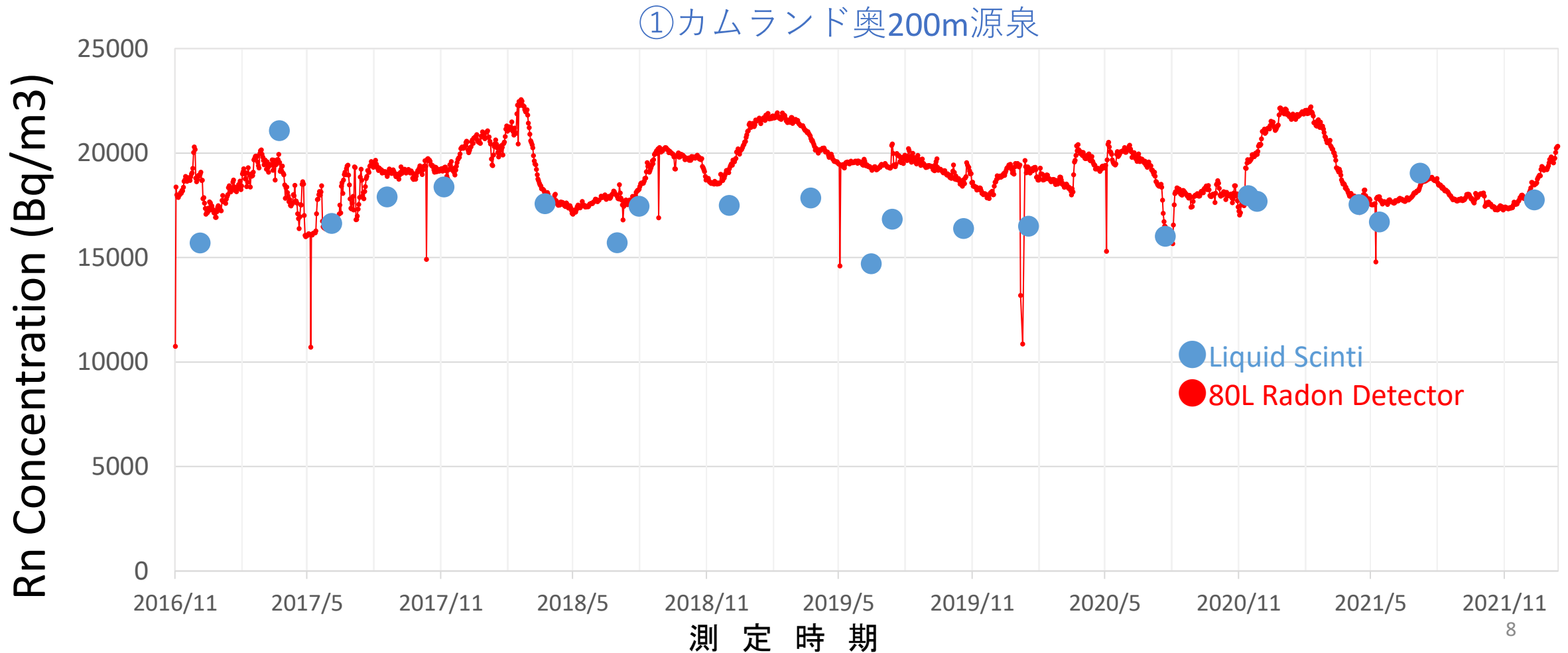
2) 高電圧-2.0kV/-150Vを印加 娘核種を半導体(PD)に捕集

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

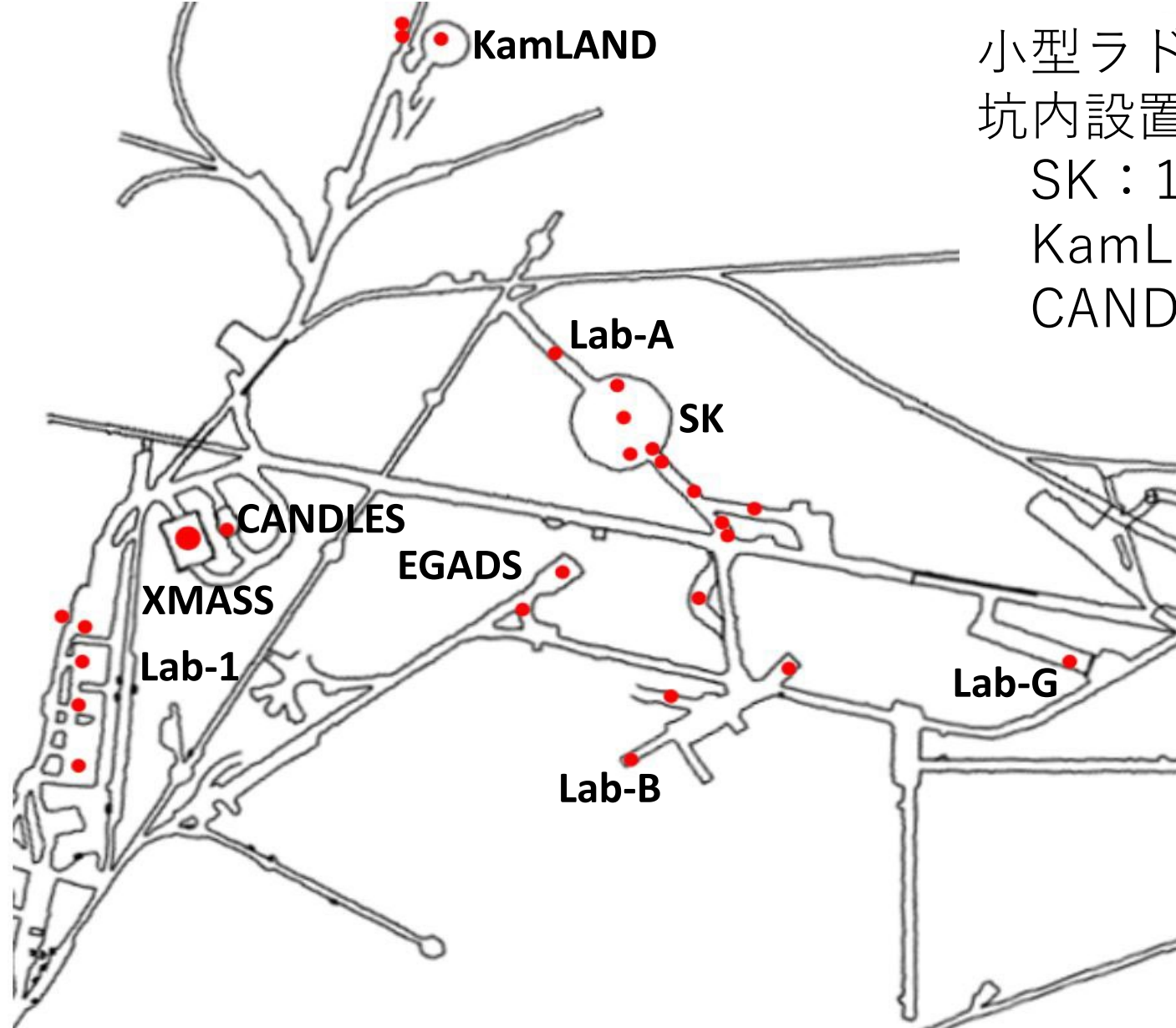


カムランド前源水中のラドン濃度の連続測定結果

- 高感度ラドン計(80L)による連続測定
- 液体シンチレーション法による測定結果と比較・校正計数
- ラドン濃度の季節変動: 上流では冬季に高く, 春季・夏季に低い傾向



小型ラドン計に坑内空气中ラドン濃度測定地点(2021)

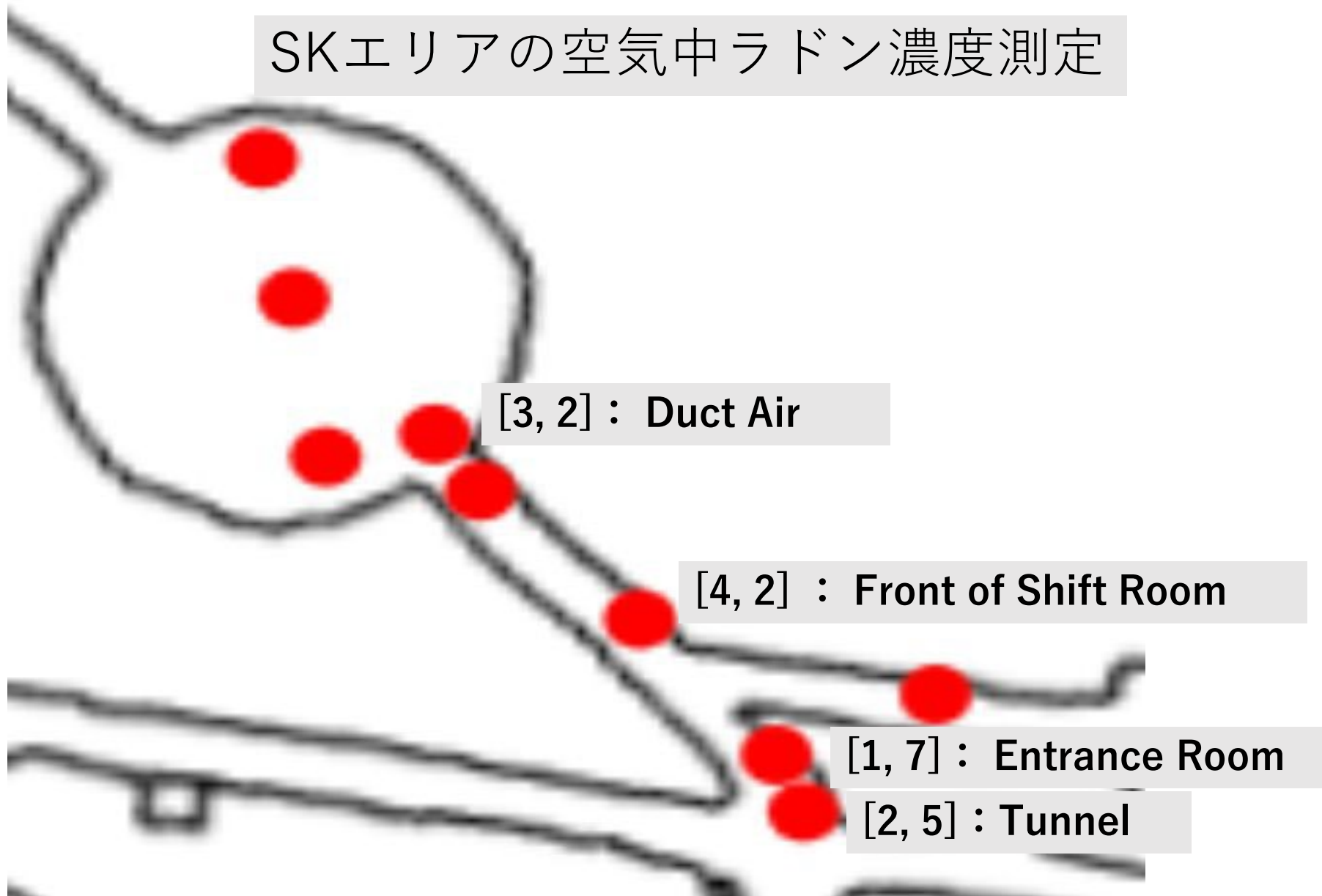


小型ラドン計
坑内設置台数：24台
SK：13台
KamLAND：2台
CANDLE: 1台

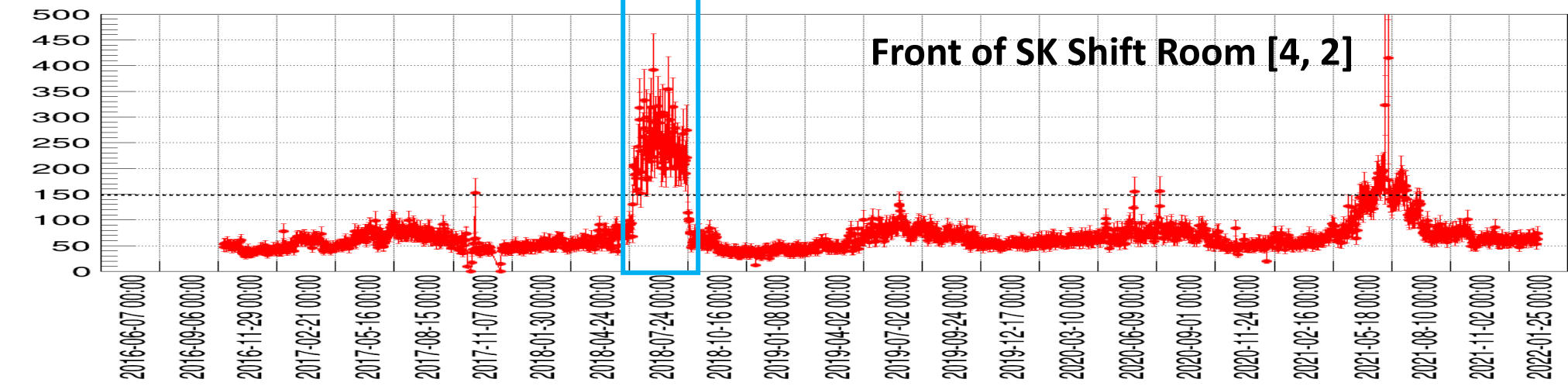
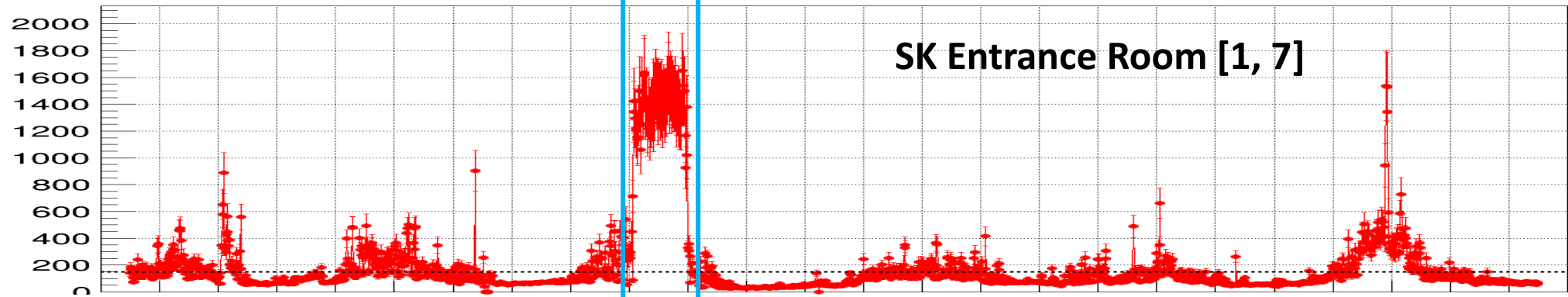
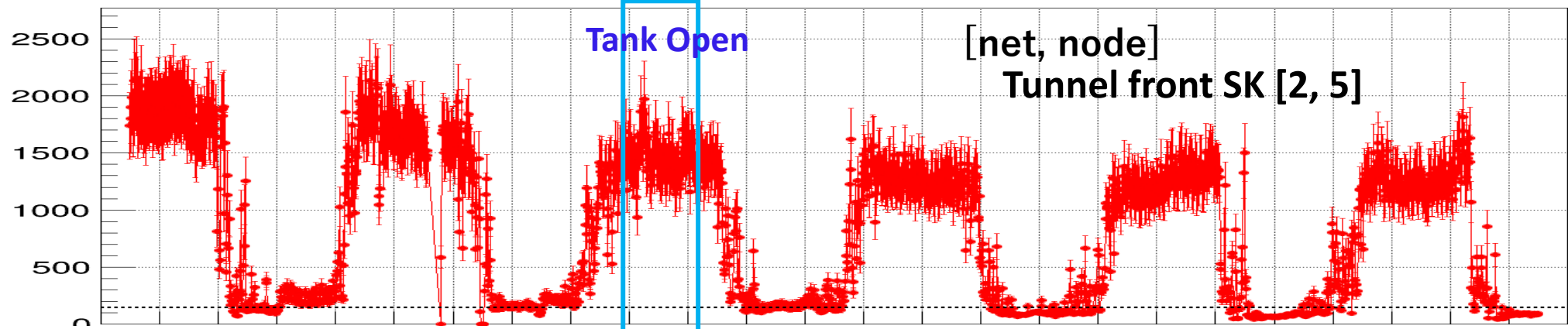
跡津坑口→



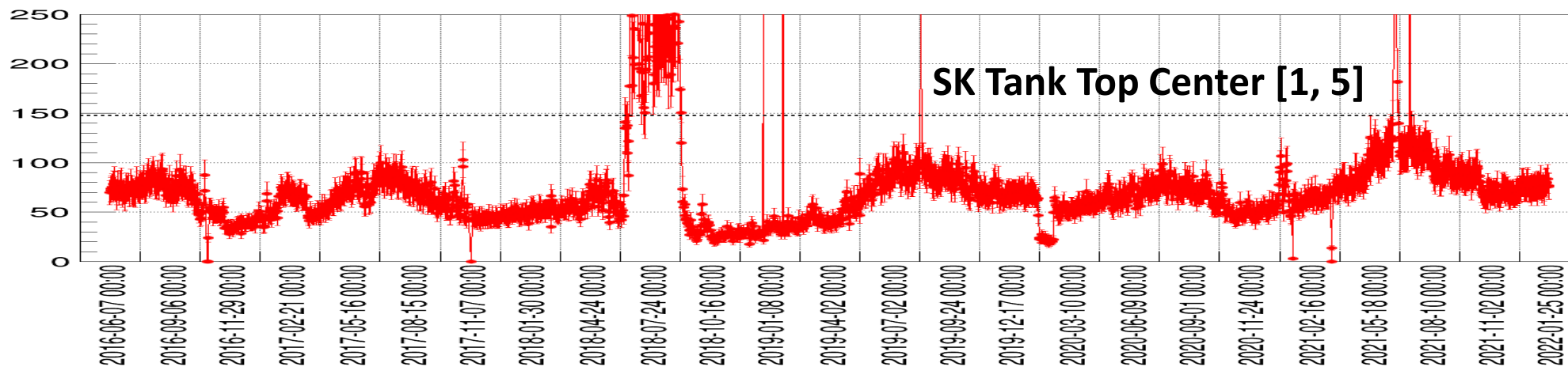
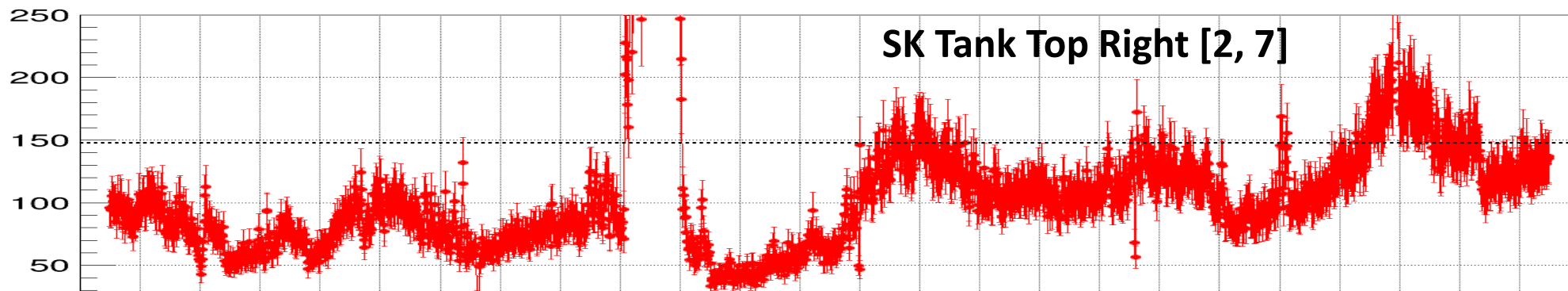
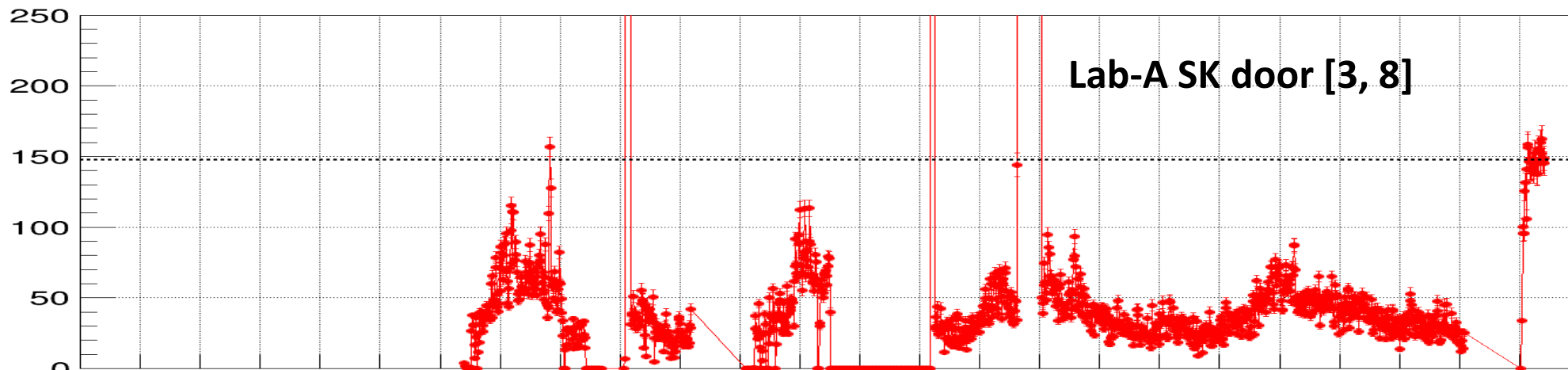
SKエリアの空气中ラドン濃度測定



Radon Concentration(Bq/m3)



Radon Concentration(Bq/m3)



HK 枋洞坑道内地下水中のラドン濃度測定

- 2019年8月－2021年7月に4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 ± 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）
- -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）
- -300m 合流前
 - 2.66 ± 0.10 Bq/L （2021年7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 (2016-2021年の結果)

①カムランド奥源水	17.3 ± 0.2 Bq/L
②合流地点前 (手前)	8.4 ± 0.2 Bq/L
③合流後	3.5 ± 0.1 Bq/L
⑥SK前	2.1 ± 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)
- 源泉から130mで水中ラドン濃度は半減 (8 Bq/L), 坑内水との合流でさらに半減 (3.5Bq/L)
- カムランド前源水でラドン濃度の連続測定と較正
- ラドン濃度に季節変動があり, 上流と下流で異なる。

上流：冬季に高く, 夏季に低い傾向, 下流：冬季に低く, 下記に高い傾向 (坑内大気と同様)

1 Lラドン計による坑内空气中ラドン濃度測定

- Raspberry Pi を用いた小型データロガーによる測定
- 神岡坑内 2 1 台 (SK 13台) 設置, メンテナンス, 較正試験を実施
- 長期モニタを継続
- 大気の流れによる季節変動 冬季に低く夏季に高い

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。