

# 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, ガラス容器, ガラス機器等  
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2年度 共同利用研究成果発表会  
2021年2月8日(月)

# 研究の目的と概要

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(2015-2017)

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(2016-2020)

➤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

栃洞坑内の坑道水のラドン濃度測定(2019-2020)

# 水中のラドン濃度測定方法

ラドン：水相⇒有機相  
溶媒抽出法による分離

液体シンチレーション法：ラドン濃度測定  
20分間測定  $C_{\text{水道水}} = 8\text{Bq/L}$

- 1) 水サンプリング 650mL フラスコ
- 2) 水量を450mLにそろえ, 液体シンチレーター(Scintisol AL-1) 30mL 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, バイアル瓶に取る
- 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



$$\boxed{\begin{matrix} C_b V_a + R_n V_w \\ \text{空気} \quad \text{水} \end{matrix}} = \boxed{\begin{matrix} C_a V_a + C_t V_t + C_w V_w \\ \text{空気} \quad \text{トルエン} \quad \text{水} \end{matrix}}$$

振とう前 振とう後

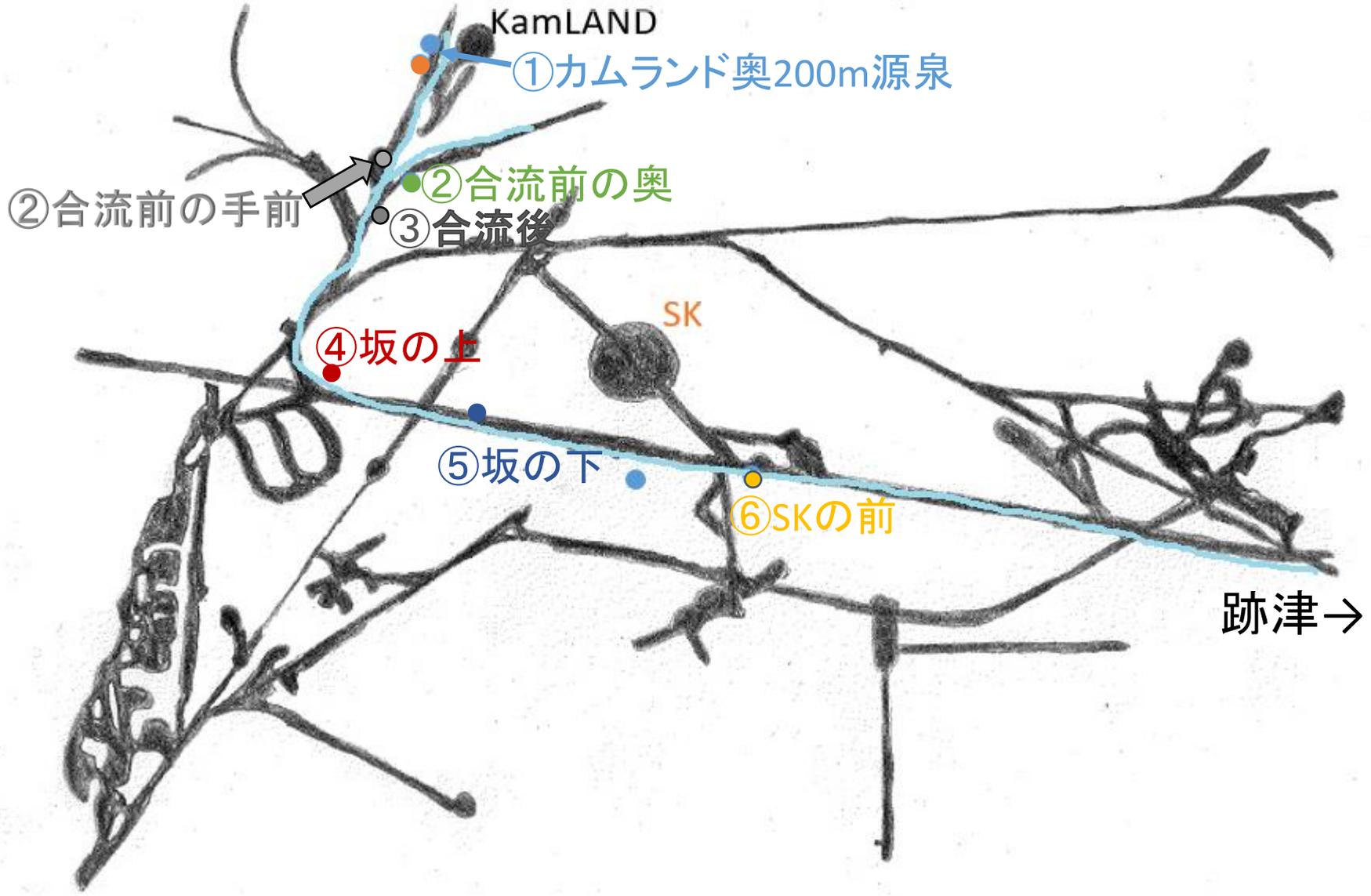
$R_n$ : 水中ラドン濃度 (Bq/L)  
 $C_b$ : 振とう前の空気中ラドン濃度 (Bq/L)  
 $C_w$ : 振とう後の水中ラドン濃度 (Bq/L)  
 $C_a$ : 振とう後の空気中ラドン濃度 (Bq/L)  
 $C_t$ : トルエン中のラドン濃度 (Bq/L)  
 $D_w$ : ラドンの水に対する分配係数  
 $D_t$ : ラドンのトルエンに対する分配係数

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

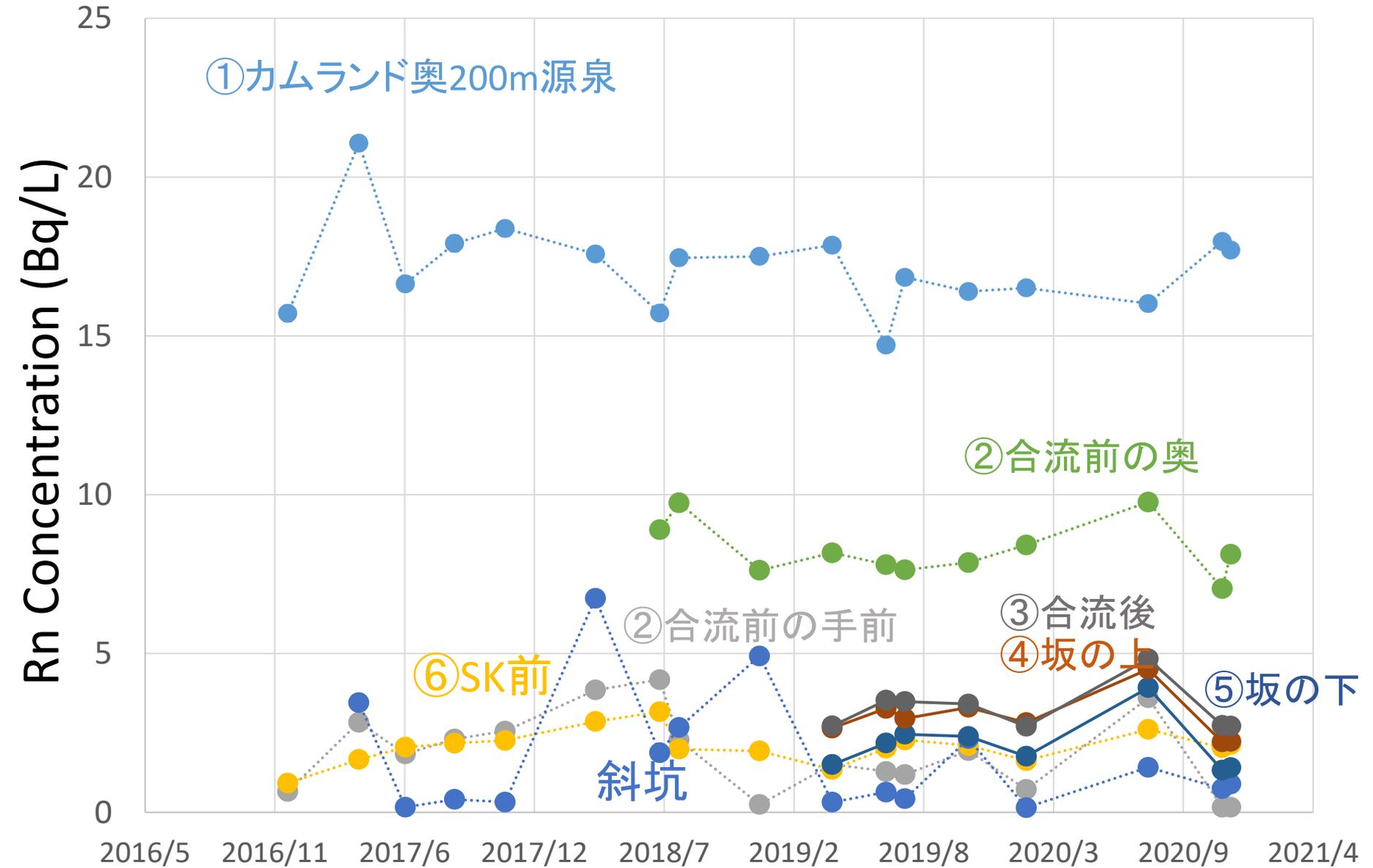
$$R_n = \left\{ \frac{V_a}{V_w D_t} + \frac{V_t}{V_w} + \frac{F_w}{D_t} - \left( \frac{C_b}{C_t} \right) \left( \frac{V_a}{V_w} \right) \right\} C_t$$

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

# 茂住坑道の側溝水の採水地点



# 側溝水中のラドン濃度測定結果



# 高感度ラドン検出器・小型ラドン計

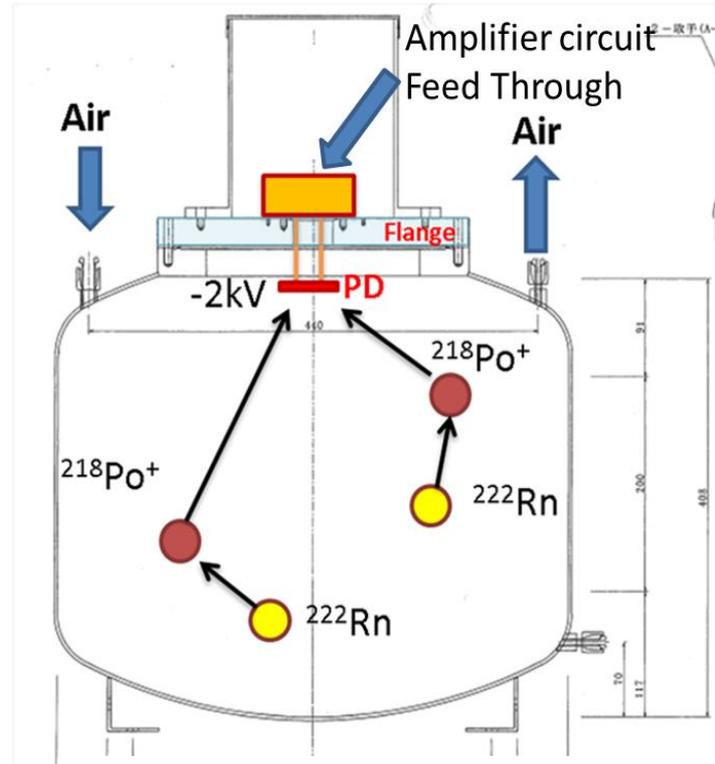
ラドンの静電捕集法:

1) ラドン娘核種<sup>218Po</sup>の90%が正に帯電

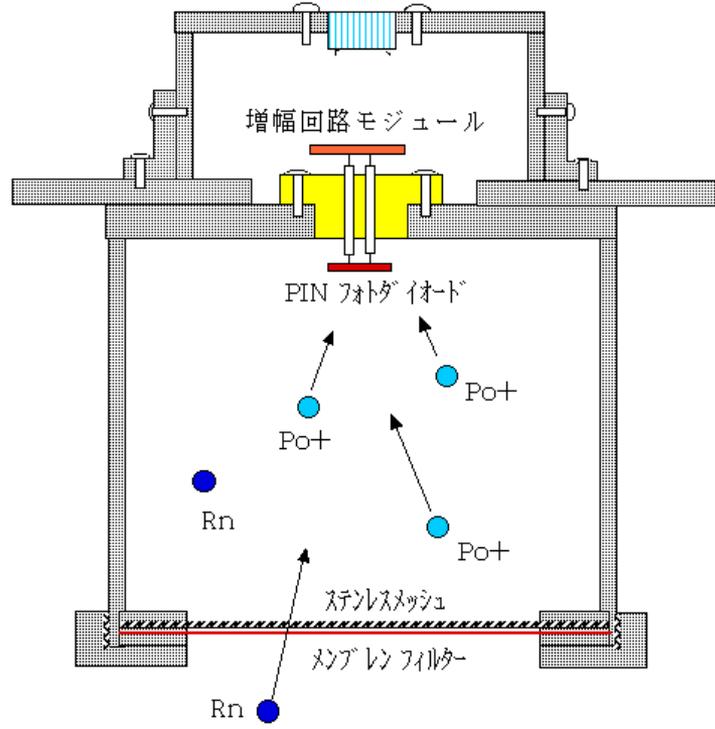


2) 高電圧-2.0kV/-150Vを印加 娘核種を半導体(PD)に捕集

3) <sup>214Po</sup>崩壊時に放出される α線(7.68MeV)をPDで検出



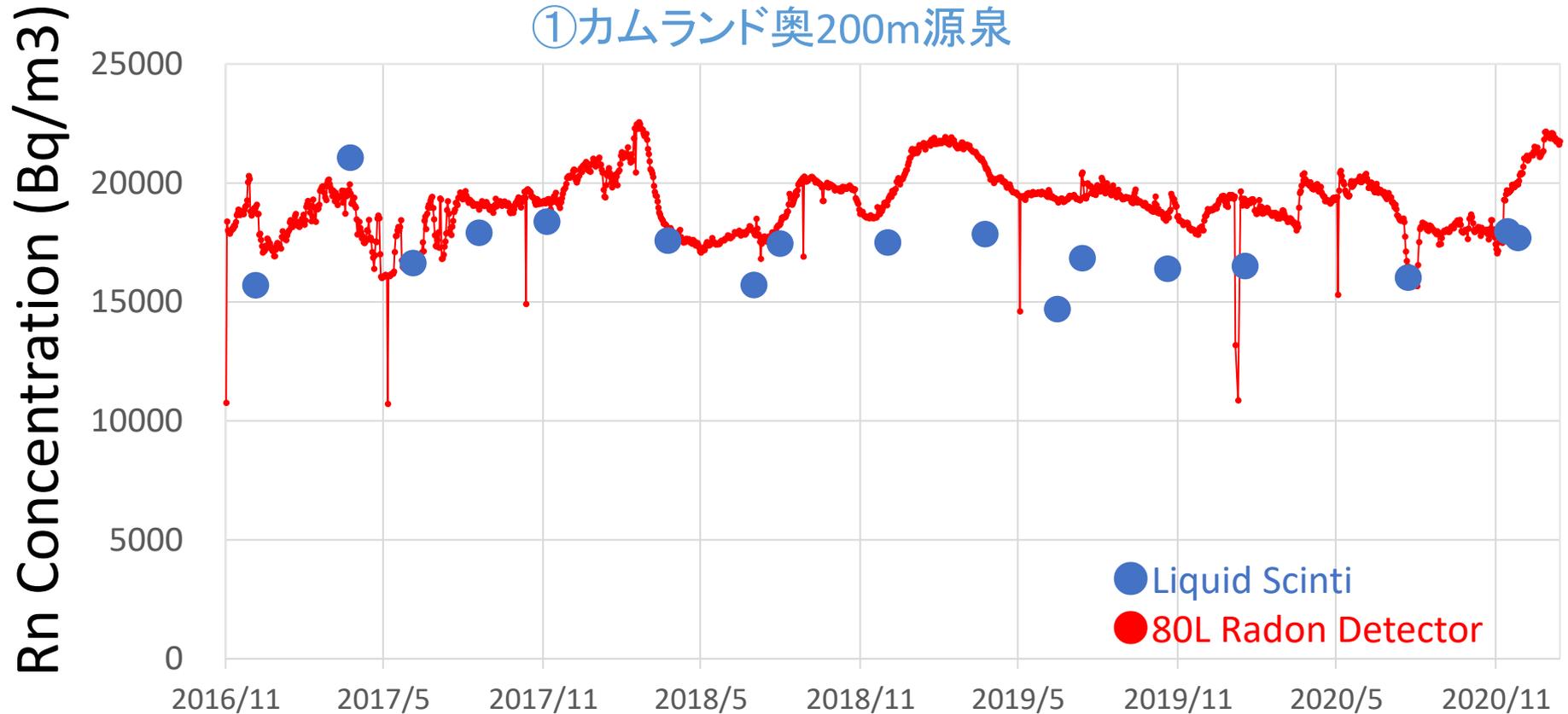
捕集容器の容積: 80L



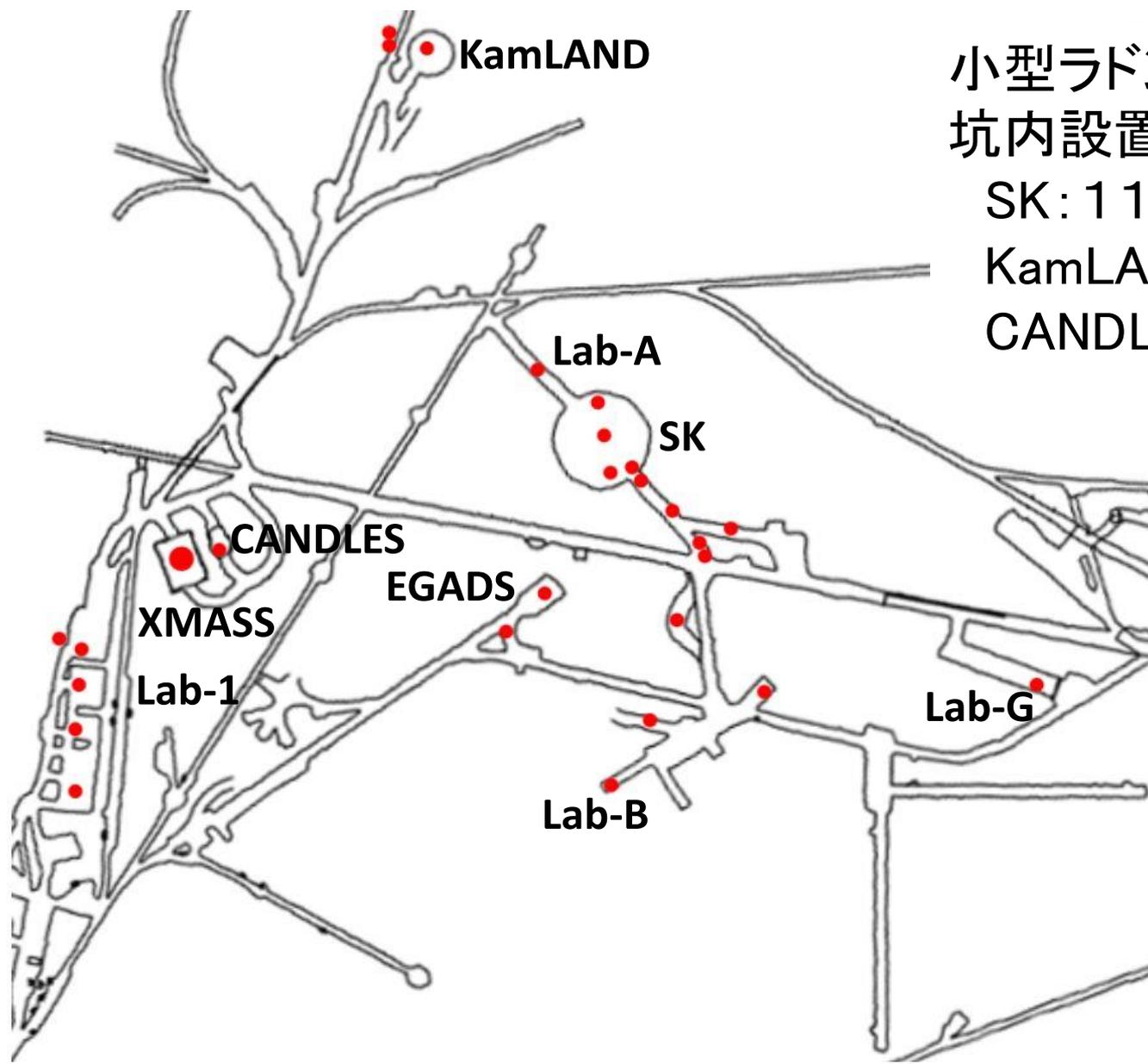
捕集容器の容積: 1L

# 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
- ラドン濃度の季節変動: 冬季に高く, 春季・夏季に低い傾向

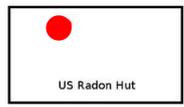


# 小型ラドン計に坑内空气中ラドン濃度測定地点(2020)



小型ラドン計  
坑内設置台数: 21台  
SK: 11台  
KamLAND: 2台  
CANDLE: 1台

跡津坑口 →

  
US-Rn-Hut

# SKエリアの空气中ラドン濃度測定



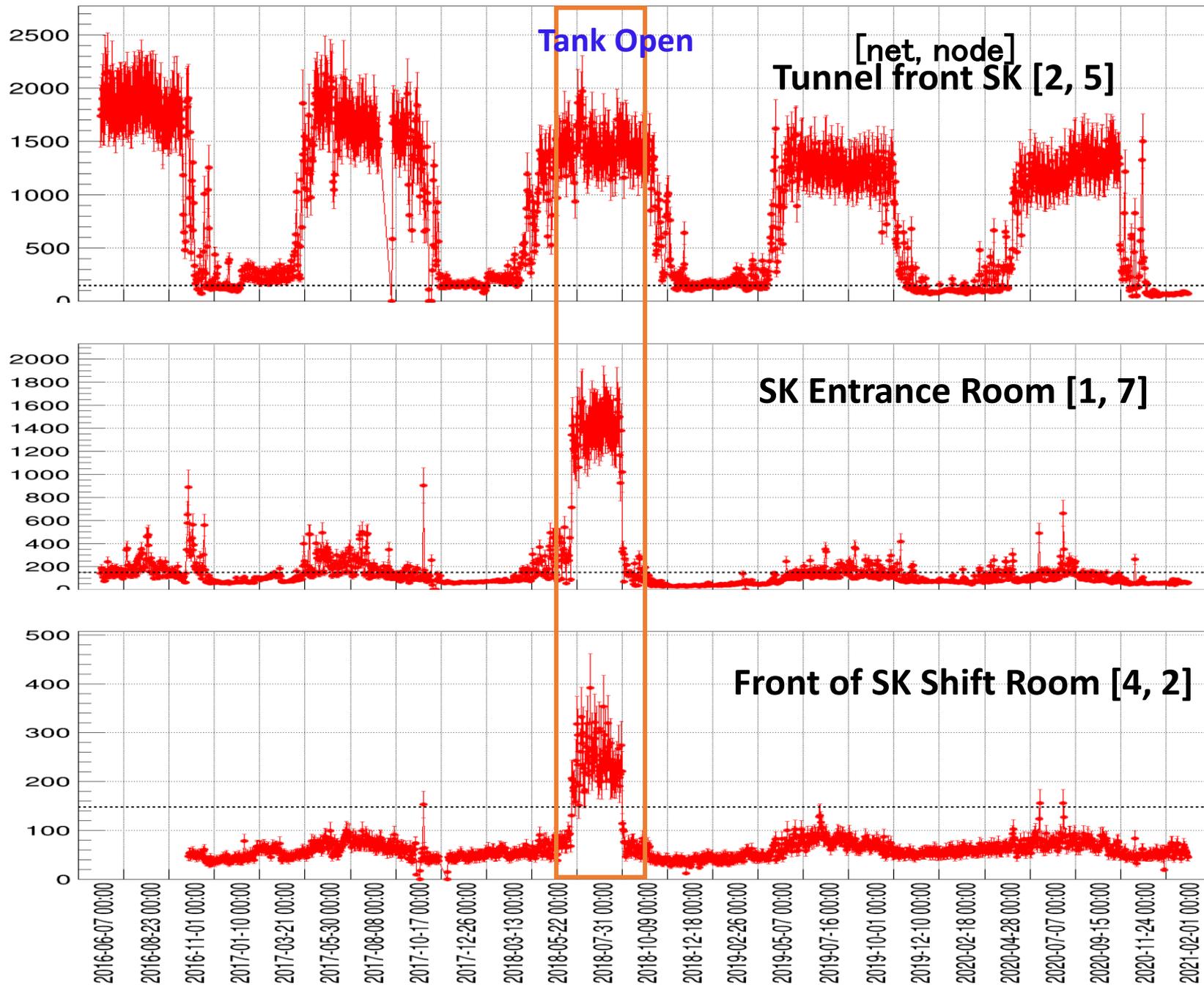
[3, 2]: Duct Air

[4, 2]: Front of Shift Room

[1, 7]: Entrance Room

[2, 5]: Tunnel

Radon Concentration(Bq/m<sup>3</sup>)



# HK 枋洞坑道内地下水中のラドン濃度測定

- 2019年8月—2020年12月に3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)
    - $7.04 \pm 0.16$  Bq/L (2020年1月)
    - $6.14 \pm 0.19$  Bq/L (2020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)
  - -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

## 坑内側溝水中のラドン濃度測定（2020年12月8日の測定データ）

- ①カムランド奥源水  $17.7 \pm 0.2$  Bq/L
- ②合流地点(奥)  $8.1 \pm 0.3$  Bq/L
- ③合流後  $2.7 \pm 0.2$  Bq/L
- ⑥SK前  $2.1 \pm 0.1$  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)
- カムランド前源水でラドン濃度の連続測定と較正
- 季節変動がある 冬季に高く夏季に低い傾向

## 小型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
- 安価に多地点ラドン濃度システム構築
- 神岡坑内21台(SK11台)設置
- 2012年以降, 最長7年の長期モニタを継続
- 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)
- 原水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。