

地下環境におけるラドン族の  
空間分布の解析と線量評価に関する研究  
Analysis of Spatial Distribution of Radon  
Family Underground and Its Dosimetry

東京大学 環境安全本部  
飯本 武志

# Natural Radiation Exposure to Public

Annual effective dose from exposure to natural radiation sources

**Inhalation exposure (1.26mSv, 53%)**

Uranium and thorium series (0.006)  
**Radon [Rn-222] (1.15mSv, 50%)**  
Thoron [Rn-220] (0.10mSv)

**Terrestrial radiation (0.48mSv, 20%)**

Outdoors (0.07mSv)  
Indoors (0.41mSv)

**Cosmic radiation (0.39mSv, 16%)**

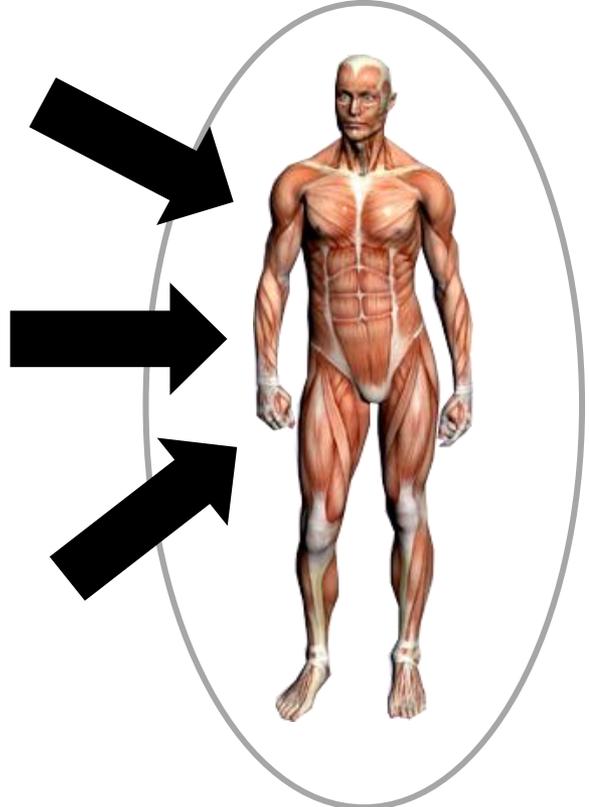
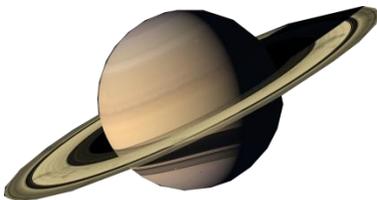
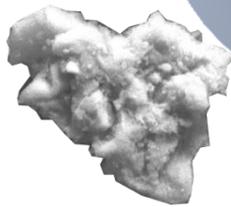
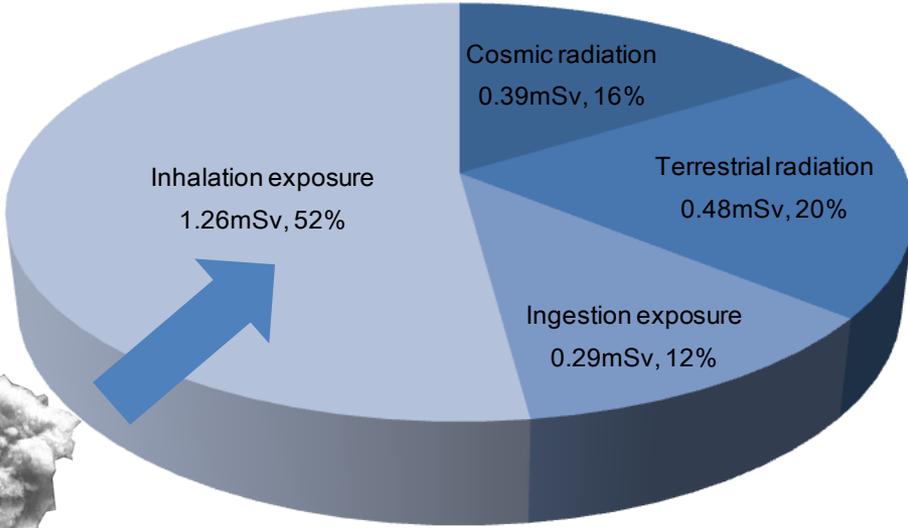
Cosmic radiation

- Directly ionizing and photon (0.28mSv)
- Neutron component (0.10mSv)

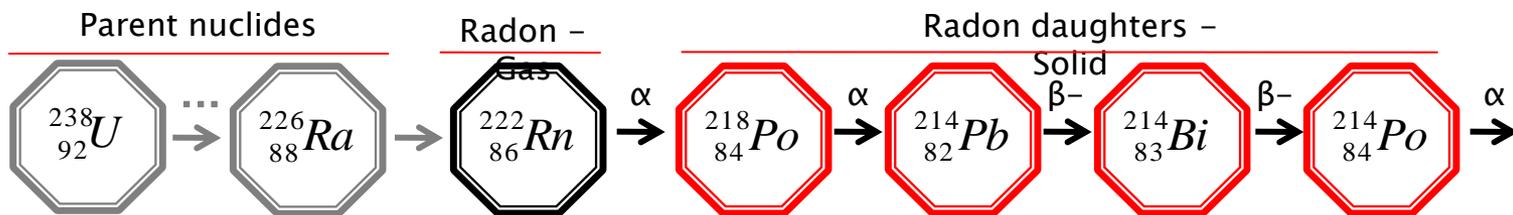
Cosmogenic radionuclides (0.01mSv)

**Ingestion exposure (0.29mSv, 12%)**

K-40 (0.17mSv)  
Uranium and thorium series (0.12mSv)



# Inhalation exposure to radon and its progeny



## Health effect

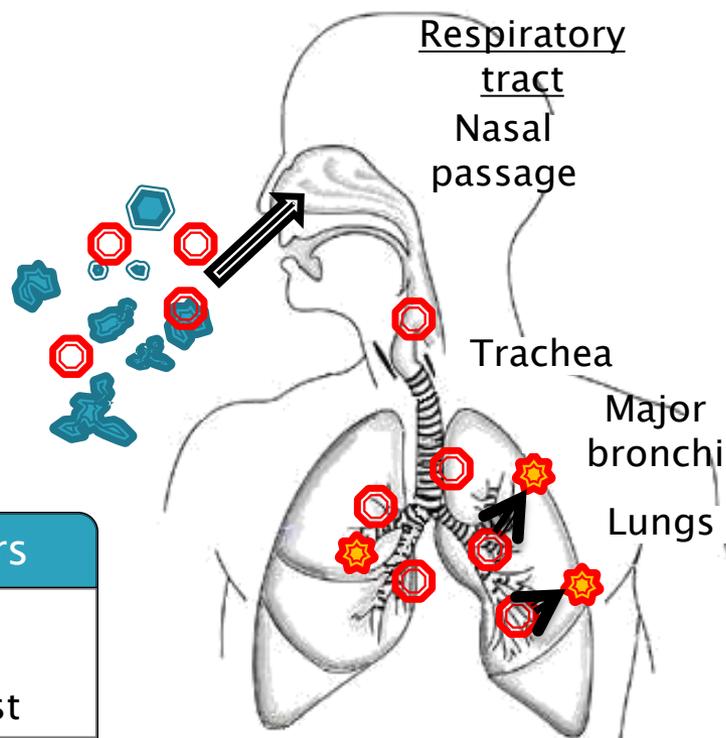
- About half of public exposure to natural sources of radiation (1.2/2.4mSv)
- Second leading cause of lung cancer after smoking
- About 3% to 15% of all lung cancers worldwide

## Exposure factors

- Aerosol size distribution
- Unattached fraction
- Breathing rate
- Deposition in the airways
- Location of target cells
- Mucous clearance rate

## Confounding factors

- Cigarette smoke
- Uranium ore dust
- Diesel engine exhaust



## Risk estimation

Dosimetric models

Epidemiological and; residential case studies

Inhalation →

Dose →

Risk

# ラドンを取り巻く国際動向

議論のきっかけとなったのは

「欧州13カ国の住居内ラドン疫学調査の総合分析」

▶ S. Darby (英国) *Br Med J*, 2004

- 7,148の症例を含む13の疫学データ
  - ← 対照研究の統合解析
- ラドンによる肺がんリスクすべての濃度範囲で直線性
- ラドン測定の不確実性を補正

→ 100 Bqm<sup>-3</sup>当たりの

過剰相対リスクは16%

# ラドンを取り巻く国際動向

## ICRP 2007年勧告 + 2009年声明

- 住居や職場における屋内のラドン
  - 重要な「現存被ばく状況」
- 具体的な勧告はPublication 65(1994年)で「済」
- その後、いくつかの住居ラドンの疫学的研究
  - ラドン被ばくによる健康リスクが確認され、委員会の勧告が全般的に裏付けられた、との認識
- 当局は「国の参考レベル」を設定すべき、と勧告
- 年間線量参考レベル
  - = 10 mSv (← 住居300 Bqm<sup>-3</sup>、職場750Bqm<sup>-3</sup>に相当)

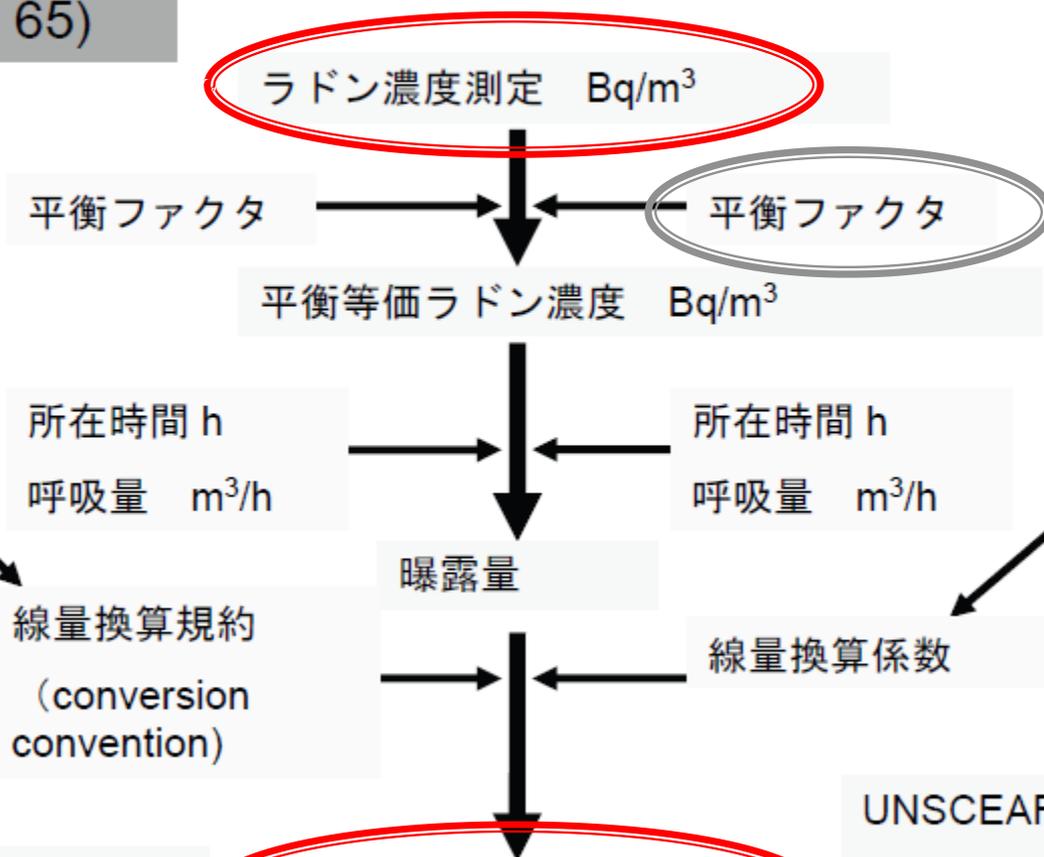
# ラドン吸入被ばくにおける線量評価法

ICRP (Publ. 65)

UNSCEAR

ウラン鉱山  
と原爆被爆者  
の疫学から  
のリスク  
係数の比較

フリー成分割合  
粒径分布  
肺モデル  
除去の効果  
細胞の位置  
放射線荷重係数  
組織荷重係数



ICRP Publ.65

**6** nSv/(Bq h m<sup>-3</sup>)

UNSCEAR

1982年報告

屋内 8.7 屋外 17

1988年報告

10 nSv/(Bq h m<sup>-3</sup>)

1993,2000報告

**9** nSv/(Bq h m<sup>-3</sup>)

# 論 点

- ▶ 参考レベル=10 mSv/年（これはほぼ「OK」）
  - ▶ 【仮定】 屋内の平衡ファクタ=0.4  
ラドン濃度×0.4=平衡等価ラドン濃度（壊変生成物濃度）  
→ ラドン濃度として  
住居300 Bqm<sup>-3</sup> 職場750Bqm<sup>-3</sup> に相当??
  - ▶ さらにラドン濃度で約1,000 Bq/m<sup>3</sup>  
=現存被ばく状況において、**職業被ばくの防護の要件を適用する入口**であると勧告。つまり「計画被ばく」  
→ よいのか??
- ★すべての環境について、平衡ファクタ=0.4の扱いのまま  
までよいか。する必要のない管理を強制することになって  
はいけない。**リスクマネジメントには合理性も求められる。**  
→ さまざまな「特徴的な」環境もあるはず。

# 共同利用研究の目的

- ▶ 地下環境におけるラドンおよびその解変生成物の空間濃度分布を測定し、それをモデル解析することにより、土壌からの自然放射性物質の散逸、成長、輸送の過程を明らかにする。

→ 自然発生するラドンの空間分布の解釈、予想。

## 平衡ファクタの変動を解析

- ※ なお、神岡施設の研究サイト内(研究者等の滞在空間、実験室など)の実効線量は低く、作業環境としてすでに十分に考慮がなされ、適切に管理されている

# 地下環境における濃度分布の測定

## ◆測定対象

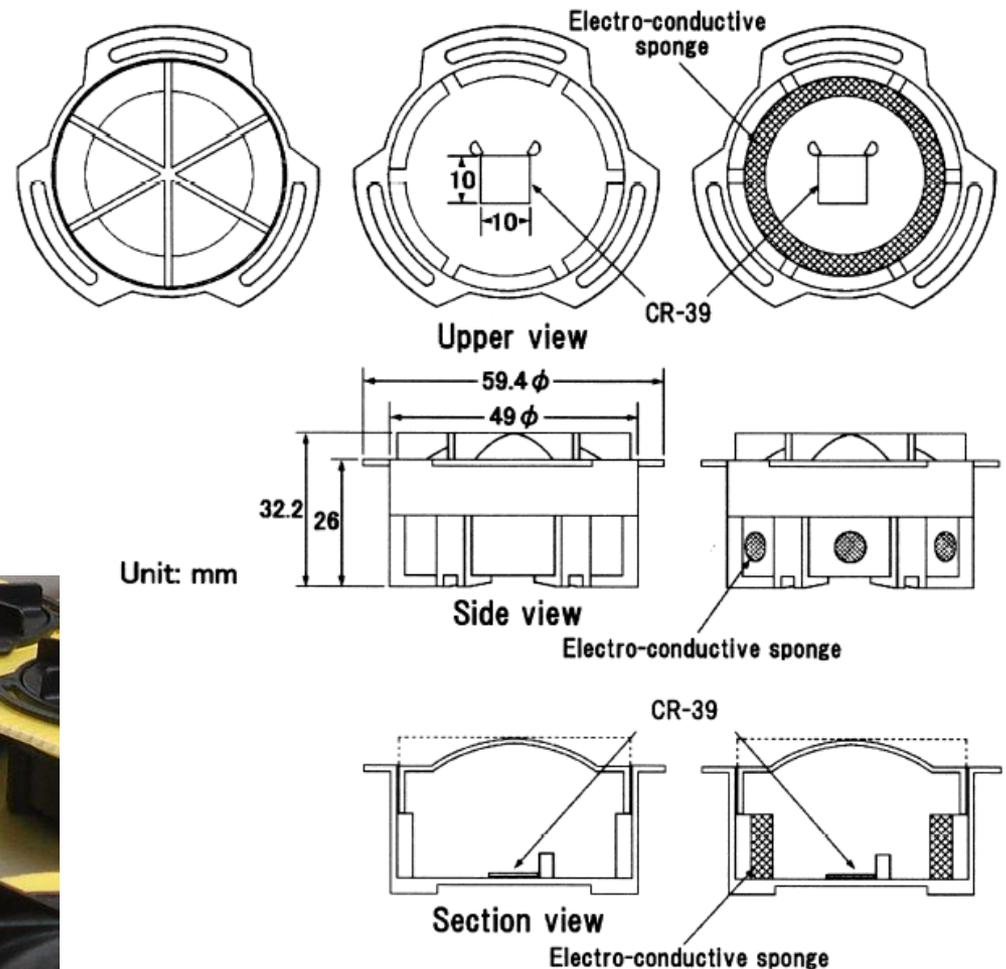
- **ラドン濃度** (CR-39法 (RADUET) : 45日、活性炭法 (ピコラド) : 1日、ZnSシンチレーションセル法 : 30分 + **簡便法の開発**)
- **ラドン子孫核種** (個別) 濃度 (ZnS検出器システム)
- **ラドン散逸率** (ZnSシンチレーションセル法)
- **ガンマ線量率** (NaIシンチレーションサーベイメータ)
- **温湿度、気圧、風向・風速**

★ダイナミックな季節変動があるよう、、、

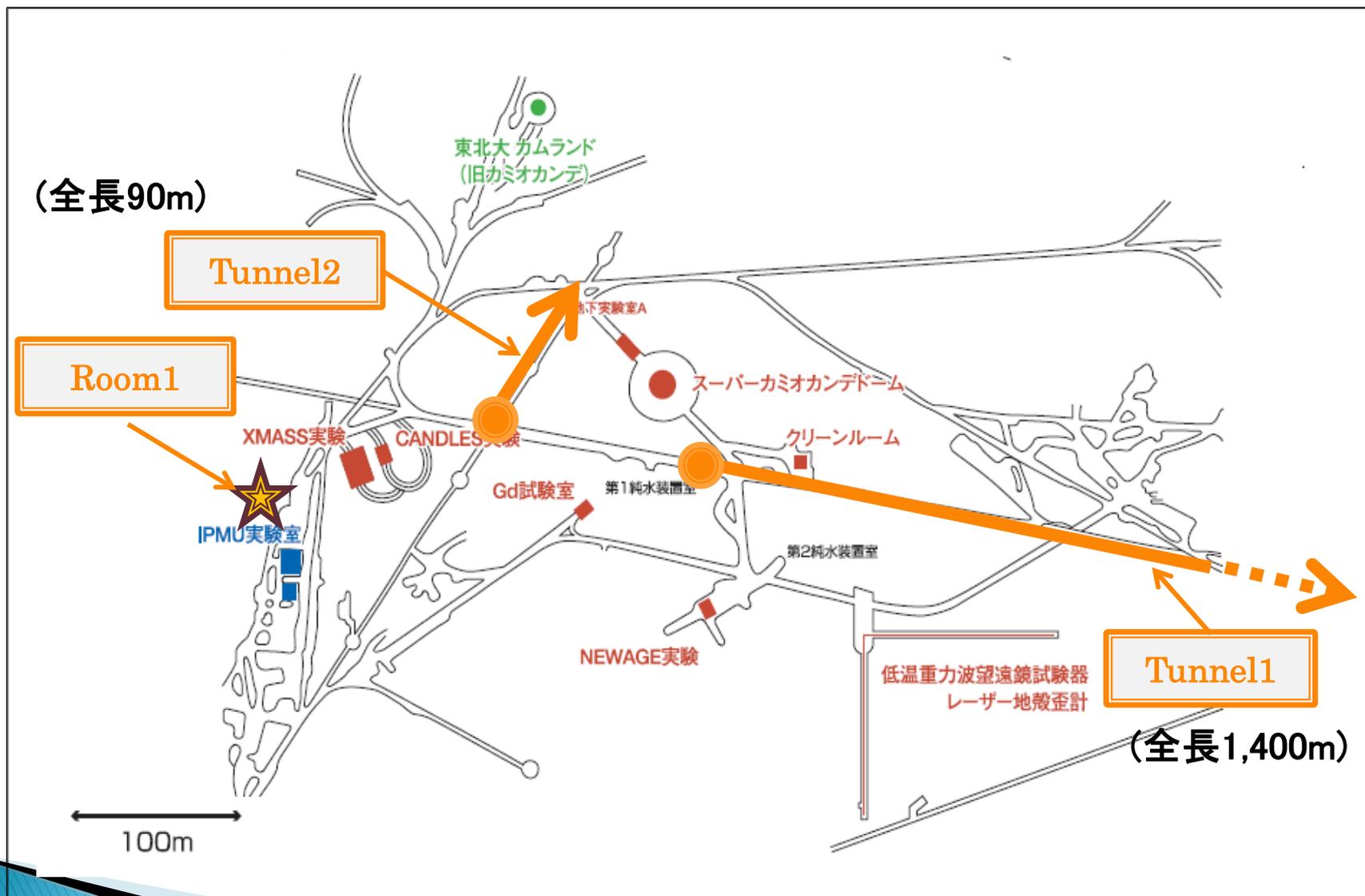
## ◆坑道内／居住区域濃度分布測定

- 濃度分布モデルの構築へ (一般形へ)  
(トンネルモデル、滞留モデル)

# RADUET (30-45日間測定:ラドン)



# 測定ポイント



# 45日間ラドン濃度の積算測定を開始 (2010年7月15日～)

— 80個の測定器 (RADUET)

— 13個 × 6期

I 期 No. 1 ~ 13

II 期 No. 14 ~ 26

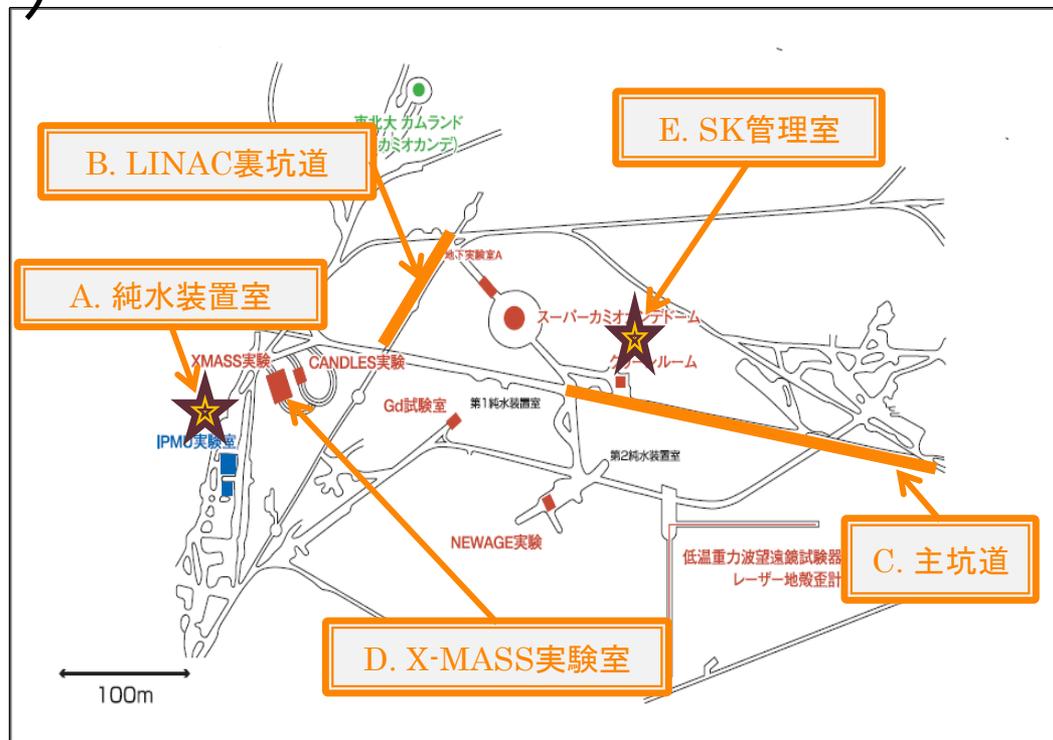
III 期 No. 27 ~ 39

IV 期 No. 40 ~ 52

V 期 No. 53 ~ 65

VI 期 No. 66 ~ 78

※No.79および80はBG用



(2010年)

7/15

①9/1

②10/15

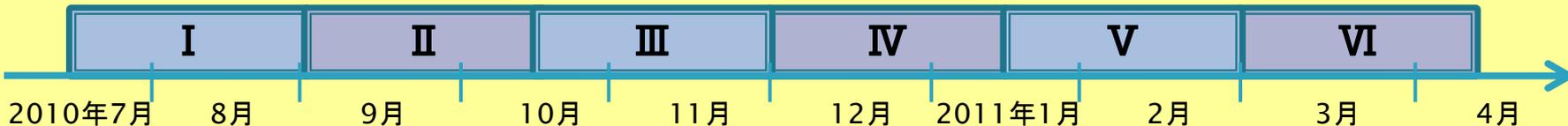
③12/1

(2011年)

④1/15

⑤3/1

⑥4/15

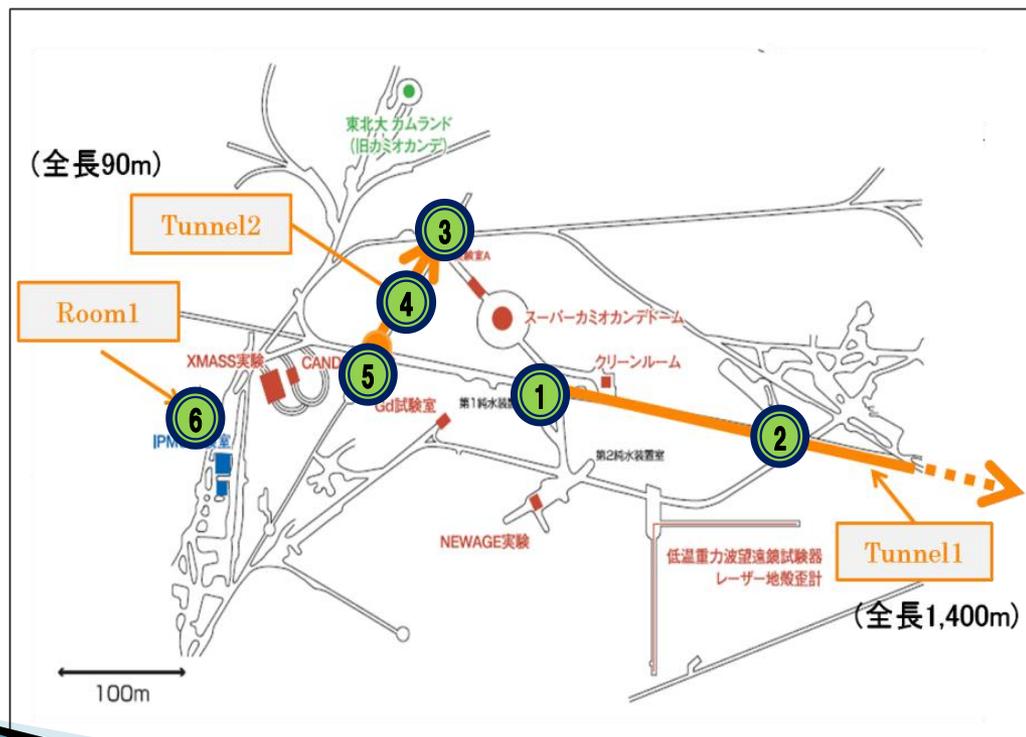


# 平衡ファクタ測定結果 (2010年7月実施分)

ラドン濃度が高い夏季

→ 平衡ファクタ 0.1~0.2(?)

→ ラドン濃度が多少高くても線量は低い



測定点	F
①主坑道_SK前	0.15
②主坑道_中間	0.17
③小坑道_SK裏	0.17
④小坑道_中間	0.13
⑤小坑道_奥	0.12
⑥純水室前	0.11

# 平成22年度の共同利用研究

(研究費「20万円」 → すべて旅費として使用)

- ▶ 第1回詳細測定 7月14日～7月16日
- ▶ 第2回詳細測定 11月29日～12月1日
- ▶ 第3回詳細測定(予定) 2月末～3月上旬(3日間)

【出張者】飯本武志(環境安全本部:准教授)

阿部琢也(工・原子力:助教)

瀬戸口雄紀(工・原子力国際:M2)



# これまでの知見

- ▶ (一例ではあるが) 平衡ファクタが大きく0.4から外れる環境が存在することが実証された
- ▶ 自然の風向き、風速の状況により、ラドン濃度が3ケタの範囲で大きく変動することがある
- ▶ 土壌からの自然ラドンの散逸率 ( $\text{Bq m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) に1ケタ程度の範囲で、大きな地域分布がありそう
  - 90日間計測の結果含め、もう少し継続的なデータの集積が必要。
    - ※ なお、神岡施設の研究サイト内(研究者等の滞在空間、実験室など)の実効線量は低く、作業環境としてすでに十分に考慮がなされ、適切に管理されている