

都市施設における自然放射性物質の挙動特性と影響評価に関する研究

○伊藤智徳^{*1} 青木徹^{*1} 横山真太郎^{*1} 嶋倉一實^{*1} 卓維海^{*2}^{*1}北海道大学、^{*2}放射線医学総合研究所

Investigation of Behavior Pattern and Risk Assessment of Natural Radioactive Substances in Urban Facilities

Tomonori ITO^{*1} Tohru AOKI^{*1} Shintaro YOKOYAMA^{*1} Kazumi SIMAKURA^{*1}
Weihai ZHUO^{*2}^{*1}Hokkaido University ^{*2}National Institute of Radiological sciences

Abstract : Radon short-lived decay products generated from the earth is one of the serious indoor air pollutants in Europe and US. We set up boxy measuring devices, which were developed by National Institute of Radiological Science, Japan, in the campus of Hokkaido University. By using the filter pack method we measured concentration of radon and its daughters inside of the boxy measuring device and the surrounding outdoor air. We also performed to measure ventilation rate of the device. By using the ventilation rate and concentration values radon exhalation rate was calculated. We found out that radon exhalation rate might be significantly related with atmosphere pressure.

It is well known that lung cancer would be induced by the hitting alpha ray of short-lived decay products to the nucleus of basal cell of alveolus and respiratory mucous membrane. We calculated the deposition rate of short-lived decay products to respiratory organ by using a simple model. The model required to data sets of particle size distribution of radioactive aerosol and deposition rates of particle in respiratory organs, for which we explored the literatures. The calculated results using the simple model showed that the deposition rate in alveolus and alveolar duct might be extremely high.

1. はじめに

1970年代頃から、室内空気汚染に関する問題が注目されるようになってきた。その背景の一つには、省エネルギー性を重視するあまり過小換気となり、室内空気汚染物質濃度が増大したことが挙げられる。地球起源のラドン短寿命娘核種はごく微小な粒子状物質であり、これらが肺中に吸入されると、気管支や肺胞に沈着し、 α 線を放出しつづけるため、細胞中の染色体に突然変異を起こさせ、肺癌のリスクを高めることが懸念されている。そのため、欧米ではラドン娘核種を深刻な室内空気汚染物質の1つと考えられている。

本報では、ラドンの土壌からの発生量について、札幌の扇状地帯にて同定した結果を述べる。次に、発ガ

ンを誘発する直接の原因物質であるラドン短寿命娘核種の呼吸器官への沈着現象について簡易モデルを援用して推定した結果について報告する。

2. 自然放射性物質の測定方法

2.1. ラドンフラックス測定装置

今回は、札幌の扇状地帯に位置する北海道大学の構内に図1に示したラドンフラックス測定装置を設置した。その寸法は H1.0[m]×D0.8[m]×W0.8[m]であり、容積が 640[l]である。測定装置の両側には、外部からの放射性エアロゾルの侵入を阻止するフィルターが付設されている。

2.2. フィルター法

本研究では2つの放射能濃度の測定法を採用した。1つは5分間という比較的短いいわば瞬時値を求めることができるフィルター法である。この方法はラドン短寿命娘核種 (Rn-Dts) のほとんどが通常の生活圏では放射性エアロゾルを形成しており、それらがフィルターによって容易に捕捉されるという性質を利用するものである。その原理は、試料空気を小型エアポンプ (IWAKI PUMPS、APN-215型) を用いて捕集効率の高いフロロポアフィルター (住友電工、AF07P-47mm φ; WP-500-50-47mm φ) を通すことによって、フィルター上にラドン娘核種を捕集するものである。このフィルター表面から発現してくる α 粒子を ZnS(Ag) シンチレーション検出器と α 線用シンチレーション・カウンタを用いて計測し、その計算値からラドン娘核種放射能濃度を算出する方法である¹⁾。

2.3. ラドン・トロンパッシブモニター法

もう1つの測定法は、図-2に示すラドン・トロンパッシブモニターによって約3ヶ月間のラドンの平均放射能濃度を求めようとするものである²⁾。パッシブモニターを装置内に5つ、装置外に2つ配置した。装置内の5つのモニターは地表面から、10[cm]、20[cm]、30[cm]、50[cm]、70[cm]の位置に設置した。測定は、2003年5月~7月、8月~10月、11月~2004年1月、2月~4月の計4回行った。本報ではラドン放射能濃度の測定結果について紹介する。

3 放射能濃度の測定結果と考察

まず、測定装置外の測定結果について述べる。図-3には瞬時値 (5分間平均値) が得られるフィルター法によるラドン放射能濃度の測定結果を示した。図を見ると、最も濃度の高い11月でも、 $9.58[\text{Bq}/\text{m}^3]$ となっていて、いずれも $10[\text{Bq}/\text{m}^3]$ 以下の低い濃度となっている。また、ラドン・トロンパッシブモニター法によるラドン放射能濃度の測定結果について図-4に示した。この場合もフィルター法の場合と同様に、いずれも $10[\text{Bq}/\text{m}^3]$ 以下の低い濃度となっている。

次に、フィルター法による装置内のラドン放射能

濃度の測定結果について図-5に示した。縦軸の数値幅は装置外のグラフの10倍となっているので、装置外に比べて非常に濃度が高いことがわかる。装置内のラドン放射能濃度は8月の $27.8[\text{Bq}/\text{m}^3]$ が最小であり、12月の $198.1[\text{Bq}/\text{m}^3]$ が最大となっている。また、ラドン・トロンパッシブモニター法による装置内のラドン放射能濃度の測定結果についてまとめると、1) 5つのモニターのラドン放射能濃度はほぼ同様であった。2) 5月~7月の平均値は $340.4[\text{Bq}/\text{m}^3]$ 、8月~10月の平均値は $297.4[\text{Bq}/\text{m}^3]$ 、11月~2004年1月の平均値は $354.6[\text{Bq}/\text{m}^3]$ 、2004年2月~4月の平均値は $159.4[\text{Bq}/\text{m}^3]$ であり、フィルター法と同様、外気に比べると濃度は非常に高いことがわかる。1)から、装置内のラドン放射能濃度は均一であると考えられる。2)については、測定結果の値を見ると、フィルター法に比べて高くなっている。これは、フィルター法では比較的良好な天候の日に5分間の計測を行うことで、瞬時値を求めたのに対し、パッシブモニター法は24時間の連続測定を行い、約3ヶ月間の平均濃度を求めたことが原因と考えられる。

4. ラドンの発生量の同定

発生量同定のために、まず測定装置内の換気回数をトレーサーガス減衰法により求めた。トレーサーガス減衰法は、室内の壁体などに沈着あるいは吸着しないトレーサーガスを一定量だけ発生させ、換気による濃度変化を測定することにより換気量を定量する方法である。今回はトレーサーガスに SF_6 を用いた。

これらの値とフィルター法によって測定した測定装置内外のラドン放射能濃度の収支をとることにより土壌からのラドンの発生量を同定した。ラドンの発生量に関するファクタを検討したところ、気圧の変化が発生量に多大な影響を及ぼしていると考えられた。図-6は単位面積当たりの発生量 $[\text{atom}/\text{m}^2]$ と気圧の関係を表したものである。ラドンの発生量と気圧との間には有意な負の相関があり ($p < 0.01$)、気圧が $1[\text{hPa}]$ 下がると、Rnは約 $1.06 \times 10^6 [\text{atom}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$ 発生する計算となる (図-7参照)。

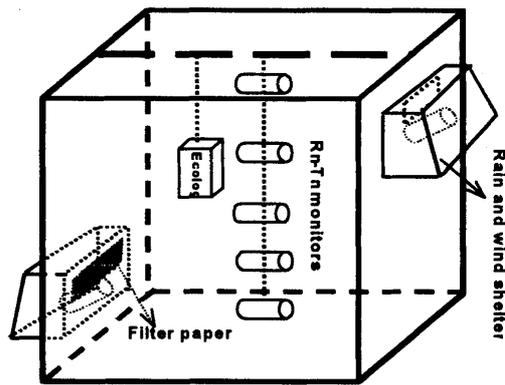


図-1 ラドンフラックス測定装置

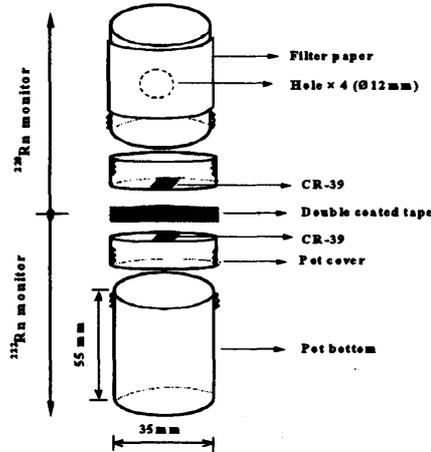


図-2 ラドン・トロンパッシブモニター²⁾

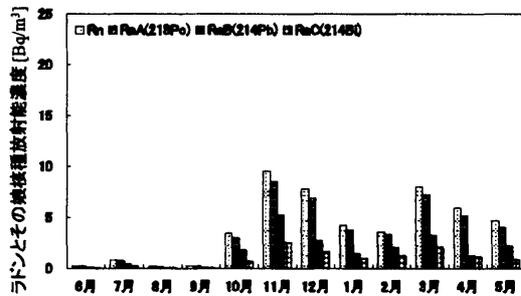


図-3 フィルター法による装置外のラドンとその娘核種濃度

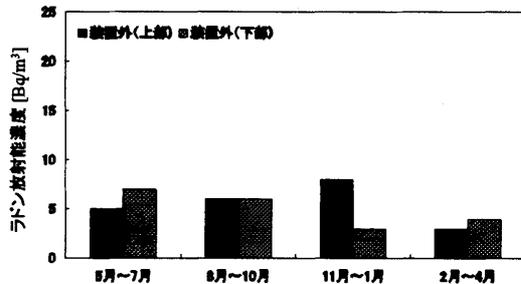


図-4 モニター法による装置外のラドンとその娘核種濃度

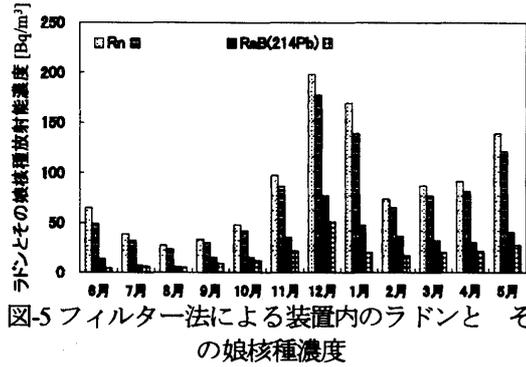


図-5 フィルター法による装置内のラドンとその娘核種濃度

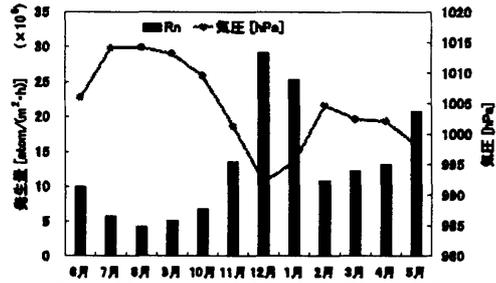


図-6 ラドンの発生量と気圧の関係(1)

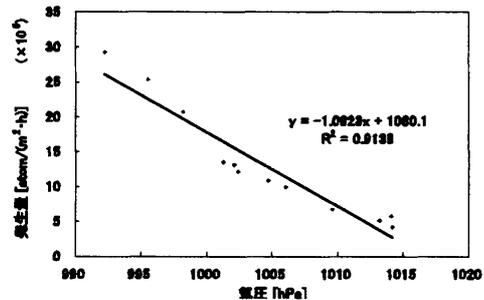


図-7 ラドンの発生量と気圧の関係(2)

5. 地下空間におけるラドン放射能濃度と換気量の関係

本節では測定地点とは異なる場所にあり、ラドン濃度の定期的測定が行われているローエネルギーハウスの地下室を対象とした検討結果についてまず述べる。同定した発生量を用いて地下室におけるラドン放射能濃度を推定し、換気回数との関係を示した(図-8 参照)。本研究による換気量とラドン測定値との関係と図-8を比較すると概ね類似の関係となっていることが示された。このことから本研究で同定した発生量は、札幌市の扇状地帯において評価や制御を行う上で極めて有用なものと考えられた。図-9には、これらをもとに低換気状態では高濃度化が予想される札幌市営地下鉄隧道の必要換気量を求めるための応用例を示した。ちなみに、基準濃度を100[Bq/m³]と設定した場合、現状の制気口を利用するとして、単一制気口あたり1053[m³/h]と推定された。

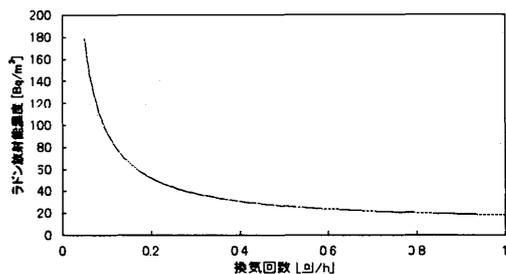


図-8 北大ローエネルギーハウス地下室におけるラドン放射能濃度と換気回数との関係

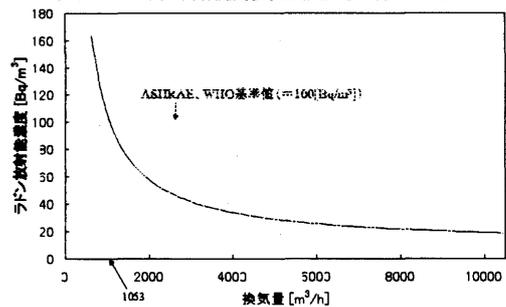


図-9 地下鉄ずい道におけるラドン放射能濃度と換気量の関係

6. 呼吸器官におけるラドン娘核種沈着割合の推定

ラドン短寿命娘核種の多くは通常大気中で放射性エアロゾルを形成し、人体呼吸器官に吸入されるとそのほとんどは沈着する。よって、人体呼吸器官におけるラドン娘核種の沈着量を求めるためには、放射性エアロゾルの粒径分布と呼吸器官の各区分における粒子の沈着率のデータが必要となる。今回は、図-10 に示すような放射性エアロゾルの粒径分布の測定資料³⁾と過去に Findeisen⁹⁾によって求められた呼吸器官の各区分における粒子の沈着率のデータを用いて、ラドン娘核種の呼吸器官の区域別沈着割合を推定した。図-11 に推定結果を示した。図から分かるように、人体呼吸器官に沈着するラドン娘核種のうち 42.5[%]が肺胞に、42.8[%]が肺胞管に沈着している可能性が示された。

7.まとめ

- 1) 北海道大学構内にラドンフラックス測定装置を設置し、装置内外のラドン・トロン放射能濃度を測定した。
- 2) それらの値と SF₆ トレーサーガス減衰法から求めた換気回数より、ラドンの単位面積あたりの発生量を同定した。

- 3) ラドンの発生量に関するファクタを検討したところ、気圧変動の影響を受けることを示した。
- 4) 資料の整っているローエネルギーハウスを対象に同定した発生量の有用性を示した。
- 5) それらに基づき札幌市営地下鉄隧道における必要換気量を推定した。
- 6) 発癌を誘発する直接の原因物質であるラドン短寿命娘核種の呼吸器官への沈着現象について簡易モデルを援用して推定した。

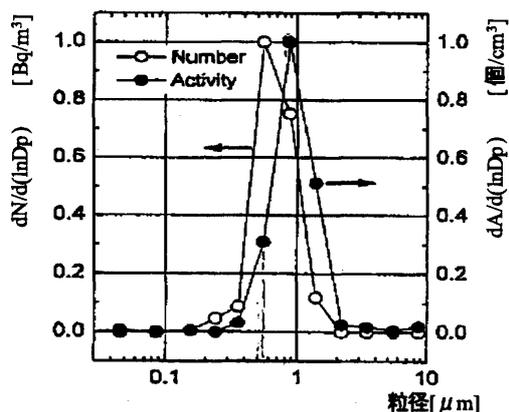


図-10 都市空間の放射性エアロゾルの粒径分布例³⁾

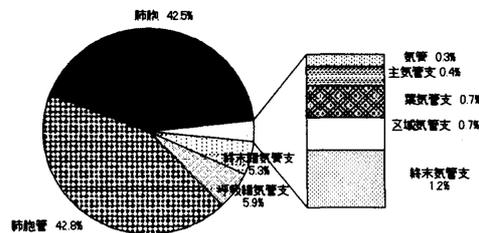


図-11 呼吸器官におけるラドン娘核種の沈着割合の推定例

参考文献

- 1) 横山真太郎ほか：北海道における屋外ラドンとラドン短寿命娘核種放射能濃度の測定調査。室内空気学会誌 Vol.6 , 2003, pp9-17
- 2) Weihai Zhuo, Shinji Tokonami, Hidenori Yoneyama, and Yuji Yamada : A simple passive monitor for integrating measurements of indoor thoron concentrations, 2002. pp2877-2881
- 3) 遠藤ほか：65MeV 準単色中性子照射で生成される放射性エアロゾルの粒径分布。日本保健物理学会第 35 回研究発表会論文集, 2000. pp. 14
- 4) N.A.Fuchs : The Mechanics of aerosols Pergamon Press ,1964.pp237-