



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道におけるラドンならびにラドン娘核種の放射線濃度
Author(s)	横山, 真太郎; 黄, 昶寿; 落藤, 澄
Description	第5回衛生工学シンポジウム (平成9年11月6日 (木) -7日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 5 測定・調査 . 5-5
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 5, 195-200
Issue Date	1997-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7732
Type	departmental bulletin paper
File Information	5-5-5_p195-200.pdf



5-5

北海道におけるラドンならびにラドン娘核種の放射能濃度

横山 真太郎・○黄 昶寿・落藤 澄
(北海道大学大学院工学研究科)

1. はじめに

近年、省エネルギーを考慮した高気密建物が増えつつある。しかし、土壌やコンクリートから発生するラドンならびにラドン娘核種が高気密建物で蓄積することによってその建物に居住或いは活動している人に肺ガンをもたらし危険性がある。そこで、本報ではラドンならびにラドン娘核種の崩壊特性と屋内挙動について触れ、測定に用いたラドンならびにラドン娘核種の測定法について述べる。次に、札幌を中心に1984年以来測定を継続している一般住宅、ブロック造¹⁾、R-2000仕様住宅、今年北海道大学構内で建てられたローエネルギーハウスなどのデータについて解析して、北海道におけるラドンならびにラドン娘核種の放射能濃度レベルと季節間変動の結果を報告する。

2. ラドン・ラドン娘核種の崩壊特性と屋内挙動

ラドンならびにラドン娘核種は自然放射性物質であり、崩壊系列のウラン系列に属する。その最終生成物は鉛の安定同位元素²⁰⁶Pb (RaG) である。

ウラン系列では崩壊過程でガス状の成分ラドン (²²²Rn) 及びエアロゾルと反応性の高いラドン娘核種 ²¹⁸Po (RaA)、²¹⁴Bi (RaB) と ²¹⁴Pb (RaC) が生成される。これらの自然放射性物質の崩壊特性を表1にまとめた。

一方、ラドンならびにラドン娘核種の屋内の挙動に関しては崩壊、壁・床への沈着、エアロゾルへの付着・反跳などの現象と換気が絡み合って、二酸化炭素のような通常の室内空気汚染物質とは異なり、やや複雑な様相を呈する²⁾。図1にラドンとラドン娘核種の室内挙動を模式的に示した。

3. ラドンとラドン娘核種の測定法

ラドンとラドン娘核種の放射能濃度測定法にはいくつかの方法があるが、以下に今回用いたラドンモニター法とフィルター法の二つの方法について簡単に説明する。

表1 ラドン及び娘核種の崩壊特性

ラドン及び娘核種	放射線	半減期 $t_{1/2}$ [min]	崩壊係数 λ [min ⁻¹]
Rn	α	5.507×10^3	1.258×10^{-4}
RaA	α	3.11	0.2283
RaB	β	27	0.02567
RaC	β	19.9	0.03482
RaC'	α	2.73×10^6	2.538×10^{-5}

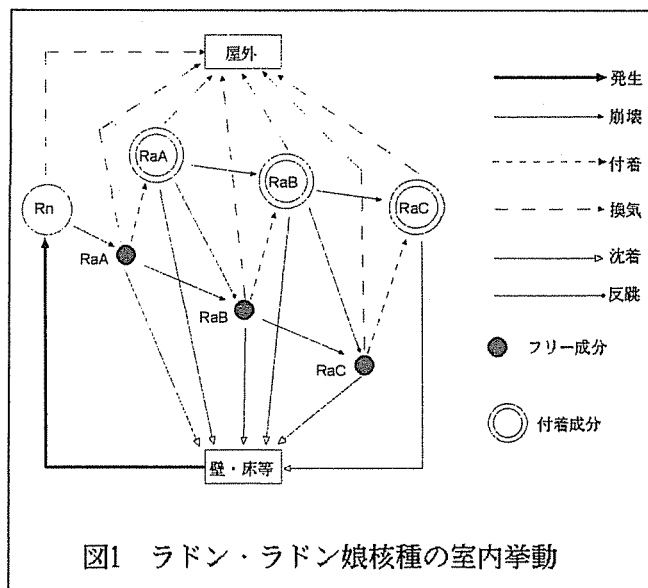


図1 ラドン・ラドン娘核種の室内挙動

ラドンモニター法の装置は、名古屋大学原子工学科において開発されたものである。居住環境のみならず低レベルの自然大気まで測定するために、2~3ヶ月にわたって捕集して高い検出感度を得る積分型ラドン濃度測定器と言える。フィルターによって空気中のラドン娘核種のいわゆる放射性エアロゾル成分を除去し、容器内にはラドンのみが流入する。流入したラドンが α 崩壊してRaAに変換した時点で、アルミニウム・マイラー上に捕集される。電極上で崩壊したRaAからの α 線は固体飛跡検出器に入射してトラックを造る。そのエッチピットを計測することによって、ラドン濃度[Bq/m³]が求まる。

フィルター法はラドン短寿命娘核種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、それらは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。試料空気を小型エアポンプを用いて捕集効率の高いフロロポアフィルターを通すことによって、フィルター上にラドン娘核種を捕捉する。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・カウンターを用いて計測し、その計測値から濃度を算出する。サンプリングが安定している場合、計測回数を3回にすれば、RaA、RaB、RaCの各娘核種毎の濃度が求まる。

一般に、屋内環境のラドンならびにラドン娘核種の定常状態における挙動は次式で表される。

$$\xi \nu n_1^0 + \lambda_n n_n - (\lambda_1 + \nu + \gamma) n_1 = 0 \quad \text{--- (1)}$$

$$\xi \nu n_2^0 + \lambda_1 n_1 - (\lambda_2 + \nu + \gamma) n_2 = 0 \quad \text{--- (2)}$$

$$\xi \nu n_3^0 + \lambda_2 n_2 - (\lambda_3 + \nu + \gamma) n_3 = 0 \quad \text{--- (3)}$$

ここで； n_n 、 n_1 、 n_2 、 n_3 ：ラドン及びラドン娘核種原子数濃度[atom/m³]； λ_n 、 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 ：ラドン及びラドン娘核種の崩壊常数； ξ ：給気設備の漏洩率（1- ξ が除塵効率を表す）[-]である。 n_1^0 は屋外空気を表し、屋外空気の濃度は極微小と考えると、ラドン濃度（Rn）と換気回数（ ν [回/h]）と壁・床への沈着率（ γ [-/h]）を推定することができる³⁾。

なお、当研究室ではフィルター法での測定に必要な α 線用シンチレーション・カウンターとZnS(Ag)シンチレーション検出器を2式現有している。

測定システムA：Handy Scaler（アカ、TDC-103）； α 線用シンチレーション検出器（アカ、ZDS-451B）。

測定システムB：Basic Scaler（アカ、TDC-105）； α 線用シンチレーション検出器（アカ、ZDS-451Fu）。

4. フィルター法における計数効率の検討

ラドン娘核種を測定するにあたって α 線検出器の計数効率 ϵ について検討した。測定システムAの α 線検出器の計数効率 ϵ_A は名古屋大学工学部原子工学科と共同研究により、グリッド付き電離箱を基準測定器として、 $\epsilon_A=0.28$ と同定した。測定システムBの α 線検出器の計数効率 ϵ_B はRaD・E標準線源およびU₃O₈標準線源を5組ずつ用いて検討した（表2参照）。それぞれの測定システムについて検出

表2 標準線源の α 線発生実効面積・直径・厚さ

標準線源	α 線発生実効面積 [cm ²]	直径 [mm]	厚さ [mm]	
RaD・E	No.1	1.174	25.38	1.68
	No.2	1.243	25.40	1.60
	No.3	1.157	25.38	1.60
	No.4	1.097	25.38	1.60
	No.5	1.215	25.35	1.60
U ₃ O ₈	No.1	4.909	25.00	1.00
	No.2	4.909	25.00	0.95
	No.3	4.909	25.00	0.98
	No.4	4.909	25.00	0.95
	No.5	4.901	24.98	1.00

器の中心、前端と右端の位置別に検討し、その結果を表3にまとめた。測定システムAと測定システムBの計数率比（SB/SA）を求めた（表3参照）。RaD・Eの物理的性質と発生する α 線の均一性よりRaD・Eの中心の平均計数率比を用いると、 $\epsilon_{\text{B}}=0.30$ と算定された。

5. モニター法によるラドン放射能濃度レベル

札幌市およびその近郊の住宅を対象に1985年以来、モニター法を用いてブロック造住宅38例、RC造集合住宅40例、一般木造住宅40例、R-2000仕様住宅（木造）29例の測定を行った。これらの測定結果を表4にまとめた。尚、表4にはあわせて地下室と外気濃度ものをせた。

表3 標準線源の平均計数率比と標準偏差

標準線源	測定位置	計数率比SB/SA	標準偏差
		[-]	[-]
RaD・E	中心	1.065	0.008
	前端	1.083	0.013
	右端	1.096	0.015
U ₃ O ₈	中心	1.095	0.020
	前端	1.156	0.014
	右端	1.192	0.016

注 SA：システムA SB：システムB

表4 モニター法によるラドン放射能濃度の平均値・最大値・標準偏差及び変動係数

	ラドン放射能濃度 [Bq/m ³]	標準偏差 [-]	変動係数 [%]	備考	
					平均値
ブロック造住宅 (n=38)	43.80	241.80	60.46	138.03	7戸
RC造住宅 (n=40)	33.24	126.70	26.37	79.31	6戸
木造住宅(一般) (n=40)	22.07	47.53	9.06	41.07	8戸
木造住宅(R-2000仕様) (n=29)	6.67	18.54	8.10	121.48	8戸
地下室 (n=2)	139.12	231.15	-	-	
外気 (n=25)	2.31	4.33	0.90	39.04	

注 n：データ数

木造住宅の一般とR-2000仕様を比較するため、R-2000仕様木造住宅の特徴を簡単に説明する。R-2000仕様住宅はR-2000住宅技術基準検討委員会で技術基準作成が検討されたR-2000住宅に準拠して建築された高断熱・高気密住宅である。R-2000仕様住宅では機械換気装置による連続給気があり、台所・浴室・トイレから連続的に排気を行い、タイマによる急速排気スイッチを設けていることにその特徴がある。内外差圧50Paの時に漏気量が換気回数で1.5回/h以下となっている⁶⁾。

表4において建築構造別に平均値と最大値を比較すると、ブロック造とRC造住宅ではいずれも木造住宅より高い値を示している。同じ木造住宅の一般群とR-2000仕様群を比べるとR-2000仕様の方が低いラドン放射能濃度レベルにある。これは、北海道の木造住宅では、ブロック造およびRC造住宅よりもラドン放射能濃度レベルが現状ではより低いレベルにあることを意味し、R-2000仕様のように機械換気設備を作動させるとそのレベルがさらに安全側になることを意味している。表4の中での最大値はブロック造の241.80[Bq/m³]であったが、これは土質学的に比較的富ラジウムの日本の中国地方で得られた最高濃度の289[Bq/m³]（米原、1987）⁴⁾とほぼ同レベルとなった。一方、表4の標準偏差と変動係数をみると、ブロック造住宅とRC造住宅が共に高

い値をとっている。これは同じブロック造あるいはRC造住宅といたしながらも、ラドン放射能濃度レベルが多様であることを意味し、日常の管理の重要性を示唆していると考えられた。

なお、外気のラドン放射能濃度の平均値は $2.31[\text{Bq}/\text{m}^3]$ 、最大値 $4.33[\text{Bq}/\text{m}^3]$ と、いずれも非常に低い値を示し、標準偏差と変動係数も小さい。これは外気中のラドン放射能濃度は極微小かつ一定であることを意味すると共に、著者らのフィルター法でのラドン濃度と $(\nu+\gamma)$ の推定値の妥当性は与えていると考えられる。

他方、世界的な規模から見ると、ウラン鉱脈の豊富なスウェーデンでは、調査例中10%の家屋で $400[\text{Bq}/\text{m}^3]$ レベル、 $2000[\text{Bq}/\text{m}^3]$ レベルに達する例が1-2%存在している (Swedjemark et al., 1987)⁵⁾。それらと比較すると、現状の北海道の住宅は日本では高濃度とされるが、相対的に低濃度の部類といえる。しかし、表4にあるように地下室は高い値となっている。近年、省エネルギーの観点から地下空間の居住空間化を推奨する傾向にあるが、地下空間のラドンならラドン娘核種の放射能濃度に留意する必要があるといえる。

6. モニター法によるラドン放射能濃度の季節変動

前節では建築構造別、地下室および外気のモニター法によるデータについての年間のラドン放射能濃度レベルを解析した。本節では、ラドン放射能濃度の季節変動の解析結果について述べる。表5と図2にR-2000仕様住宅における結果をまとめた。それ以外の結果を表6と図3に一括して掲げた。

R-2000仕様住宅では先述したように継続換気をしているが、表5と図2からわかるようにラドン放射能濃度の平均値と最大値は、共に夏季に低く、冬季に高いことがわかった。しかし、標準偏差と変動係数からみると、いずれも小さくR-2000仕様住宅群におけるラドン濃度が全体として安定していることもわかった。R-2000仕様住宅においては冬季にラドン問題に対する留意の必要性が示唆された。

表5 R-2000仕様住宅における夏期と冬季のラドン放射能濃度の平均値・最大値・標準偏差及び変動係数

	ラドン放射能濃度 [Bq/m ³]	標準偏差 [-]	変動係数 [%]
春 (n = 7)	4.80 6.43	1.66	34.52
夏 (n = 7)	2.58 4.23	0.84	32.38
秋 (n = 7)	6.87 12.43	2.71	39.45
冬 (n = 8)	11.57 18.54	3.96	34.19

注 n: データ数 春: 6/25~7/30 夏: 7/30~8/27
 秋: 8/27~10/1 冬: 1/8~3/5

表6と図3によれば、RC造とブロック造住宅でのラドン放射能濃度の季節変動が顕著であることがわかった。すなわち、夏には最も低く、冬になると高くなっていき、春になると再び低下するという変動を示す。表6と図3の木造住宅でのラドン放射能濃度は、R-2000仕様住宅のような明らかな季節変動が読みとれなかった。RC造とブロック造住宅では高気密住宅が多く冬季に自然換気量が減少することが主因と考えられた。一方、一般木造住宅群には、在来型、高気密化型、地下室付き住宅が混在し、全体として明瞭な季節変動がみられなかったと解釈される。

これについては、検討を継続していく予定である。

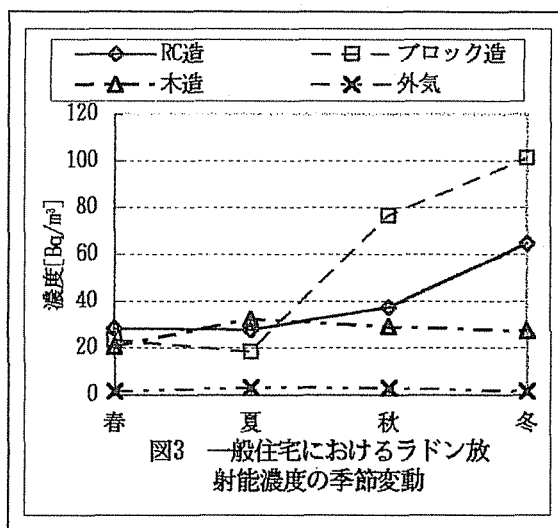
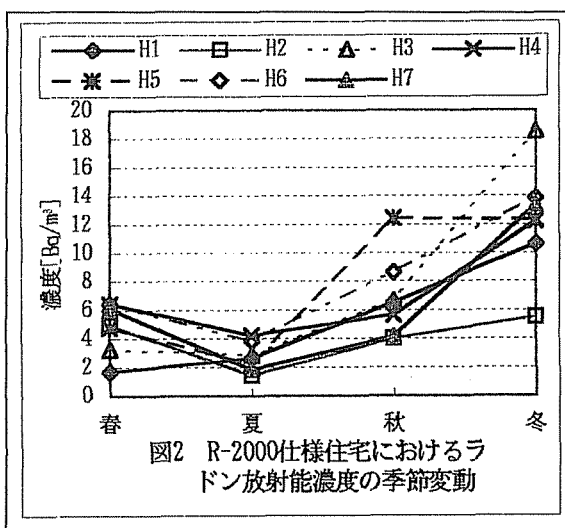
表6 一般住宅における季節別ラドン放射能濃度の
 平均値・最大値・標準偏差及び変動係数

		ラドン放射能濃度 [Bq/m ³]		標準偏差 [-]	変動係数 [%]
		平均値	最大値		
RC造	春 (n = 7)	28.59	58.55	18.75	65.56
	夏 (n = 1)	27.80	27.80	-	-
	秋 (n = 4)	37.41	69.35	20.18	53.95
	冬 (n = 10)	64.87	164.65	45.05	69.45
ブロック造	春 (n = 8)	23.44	59.56	15.55	66.34
	夏 (n = 1)	18.52	18.52	-	-
	秋 (n = 4)	76.56	236.29	92.46	120.77
	冬 (n = 7)	101.30	212.22	93.32	92.12
木造	春 (n = 7)	20.77	37.53	12.68	61.04
	夏 (n = 1)	32.40	32.40	-	-
	秋 (n = 4)	29.15	47.53	13.83	47.45
	冬 (n = 8)	27.49	41.74	11.91	43.33
外気	春 (n = 4)	1.60	2.66	0.62	38.73
	夏 (n = 1)	3.10	3.10	-	-
	秋 (n = 3)	2.87	3.11	0.19	6.54
	冬 (n = 5)	1.64	3.18	1.29	78.52

注 n: データ数 春: 4月~7月 夏: 8月~9月 秋: 10月~11月 冬: 12月~3月

7. フィルター法によるラドン娘核種の放射能濃度の計測

フィルター法によって各娘核種毎の放射能濃度を測定し、ラドン濃度と換気回数と沈着率の和 ($\nu + \gamma$) の同定する研究に着手した。表7はH大とW小の学校冬季と秋季における結果である。これによると、通常教室は表6のモニター法による同様の建築構造を持つRC造住宅と比較すると低い値となっていることがわかった。これは、学生、生徒の建物の入退出に伴う換気増加が主



因と考えられた。一方、発生量がさらに大きく、換気量が低減されると考えられる地下室ではRaA濃度で約240[Bq/m³]、推定ラドン濃度で約255[Bq/m³]、本測定中最大の値となっていた。推定($\nu+\gamma$)の値もその傾向を反映し、活用に値すると考えられる。表8および表9に最新の測定値である。北大構内にあるローエネルギーハウス(木造)と病院における結果をまとめた。ローエネルギーハウスでは2階に比較して地下室、1階の高濃度傾向にあることが示された。病院では、機械換気ならびに患者による窓開放により、少なくとも夏季は低レベルに保持されていることが分かった。今後、測定時間が短いフィルター法による各核種および推定Rnと($\nu+\gamma$)を活用して、研究を継続してゆく予定である。

表7 学校におけるラドンならびにラドン娘核種放射能濃度[Bq/m³]

	RaA	RaB	RaC	Rn(推定)	$\nu+\gamma$ (推定)	備考
H大教室	31.04	12.36	10.40	36.41	2.35	1月中旬
W小教室	37.88	19.39	10.99	42.00	1.48	1月中旬
H大地下室(1)	245.46	159.21	147.41	260.59	0.84	11月初旬
H大地下室(2)	236.02	165.50	161.62	247.46	0.66	11月初旬

注 ν :換気回数[回/h] γ :付着率[-/h]

表8 北大ローエネルギーハウスにおけるラドンならびにラドン娘核種放射能濃度[Bq/m³]

	RaA	RaB	RaC	Rn(推定)	$\nu+\gamma$ (推定)	備考
地下室	36.56	19.75	15.27	39.19	0.96	97/05/18
	32.08	21.72	7.67	37.56	2.28	97/06/22
1階	38.92	12.23	5.11	48.04	3.13	97/04/16
2階	18.95	5.72	3.84	22.19	2.29	97/04/16

注 ν :換気回数[回/h] γ :付着率[-/h]

表9 病院におけるラドンならびにラドン娘核種放射能濃度[Bq/m³]

	RaA	RaB	RaC	Rn(推定)	$\nu+\gamma$ (推定)	備考
A病院	9.07	8.67	2.51	10.83	2.59	3階
B病院	4.71	2.49	0.39	6.95	6.34	8階
C病院	4.38	1.71	1.56	4.81	1.31	10階

注 測定日:97/08/07 ν :換気回数[回/h] γ :付着率[-/h]

稿を終えるにあたり、名大 池辺先生、飯田先生、放医研 下先生、北大 増子先生に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 横山真太郎、落藤澄、持田徹; 室内空気環境の現状と将来展望、空気調和・衛生工学、第64巻第11号、p.915~920。
- 2) 落藤澄; 現代の空気調整工学、朝倉書店、p61。
- 3) 横山真太郎、落藤澄、近藤肇、坂井俊和、佐藤正章; 北海道における居住環境のラドン・ラドン娘核種の放射能濃度レベル、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1990)。
- 4) 米原英典(1987): 第15回放医研環境セミナー予稿集、p.14-17
- 5) Swedjemark, G. A., H. Waren, A. Makitalo, W. Tell & E. Melander(1987): Indoor Air'87, Vol. 2, p.425-429.
- 6) 横山真太郎、月館司; 北海道の気密住宅の室内空気質、空気調和・衛生工学第69巻第10号、p.807~810。