

(研究題目)

教育現場における大気中ラドン濃度の測定の試行--青少年期の肺線量の評価のために
Screening measurement of radon levels in air at a school

-- to evaluate a lung dose for young students

(研究者)

代表研究者:松沢孝男, 茨城工業高等専門学校, 助教授

Takao Matsuzawa, Ibaraki College of Technology, associate professor

共同研究者:添田孝幸, 茨城工業高等専門学校, 助教授

Takayuki Soeta, Ibaraki College of Technology, associate professor

沼田マミ, 茨城工業高等専門学校, 技官(看護婦)

Mami Numata, Ibaraki College of Technology, nurse

森信二, 茨城工業高等専門学校, 講師

Shinji Mori, Ibaraki College of Technology, lecturer

河原永明, 茨城工業高等専門学校, 講師

Nagaaki Kawahara, Ibaraki College of Technology, lecturer

長本良夫, 茨城工業高等専門学校, 助教授

Toshio Osamoto, Ibaraki College of Technology, associate professor

山本茂樹, 茨城工業高等専門学校, 助教授

Shigeki Yamamoto, Ibaraki College of Technology, associate professor

小西聖子, 東京医科歯科大学難治疾患研究所, 講師

Takako Konishi, Tokyo Medical and Dental University, lecturer

雁部敬, 日立製作所水戸総合病院, 名誉院長

Kei Ganbe, The Mito Branch, Hospital of Hitachi Co. Ltd., honorary director

野田洋平, 茨城大学教育学部, 教授

Yohei Noda, Ibaraki University, professor

We measured the indoor radon concentration in classrooms of our school by passive type radon monitors for more than six months. The average of the radon concentration in classrooms is about 30 Bq/m³. We also measured the radon concentration in the bedrooms of the students' homes (132 homes) by the same type passive radon monitors. The average radon concentration of students' bedrooms is about 8.6 Bq/m³.

4-1. 研究目的

近年、自然放射能の線量当量の再評価が行われ、大気中のラドン・トロン及びそれらの娘核種の肺へのα線被ばくまで評価すると従来考えられていた被ばく量のほぼ2倍強になることが明らかにされた。ICRP(国際放射線防護委員会)や、米国政府のEPA(環境保護庁)からは、疫学調査に基づいた、環境大気中のラドンの吸入と肺ガンの発生との関係を指摘する報告、警告が発せられている。

果たして、それほど多量のラドン・トロンが大気中に存在するのか興味をもち、平成元年の暮よりCR-39系のプラスチック固体飛跡検出器(商品名ラドトラック)を用

いて代表研究者の勤務する学校の教室、実験室、教官室、事務室、図書館、計算機センター、学生寮、食堂、地下室、校庭等の大気中のラドン濃度を測定してきた。共同研究者の勤務する病院の様々な居住空間についても測定を繰り返してきた。対照試料として測定した学外の地点(建物)も含め約70箇所を測定した。算術平均は 30 Bq/m³程度、最大値は、締め切った部屋では 200 Bq/m³程度となった。窓や扉を締め切った空気の澁んだ部屋ではラドン濃度が著しく高くなるという結果になった。

これらラドン濃度の測定値を集団の被ばく線量に換算し、特に新陳代謝が盛んで年間の呼気量が成人の 2~3 倍も激しい青少年(極大は男子で16歳)の、ラドンの吸入量、肺の被ばく量を国勢調査や労働統計等の統計資料からでなく、本校の学生(高専は5年制のため 15歳から20歳迄分布している)の実測データから評価を行うことを目指す。

必要なデータは、学校の各教室等のラドン濃度の他、学生の自宅の(寝室)、及び居住地(住宅)の屋外のラドン濃度のデータである。本校は国立工業高等専門学校(高専)のため、学生の居住地は茨城県全域に亘る(通常国立高専は1県に1校のみ存在する)。

肺の被ばく線量の評価に必要な肺気量、及び体表面積の計算には、学生の身体検査の結果よりの予測値及びオースパイロメーターによる肺気量の実測値と、一日の行動時間と、運動量の程度等のアンケート資料が必要である。勤務先が学校であるので、毎年行われる学生の定期健康診断の身体検査のデータと、ラドン濃度の測定データを組み合わせ、学生の自宅のラドン濃度の測定と生活時間と運動量の実態調査を行えば、限られた集団ではあるが、逆にあいまいさの少ない、その集団の肺線量の算定を、年齢毎に行える。このような勤務(通学)先と自宅のラドン濃度の同時測定は、まだ誰も試みていない。

4-2. 研究経過および成果

4-2-1. パッシブモニタによる学内のラドン濃度の測定

CR-39系の固体飛跡検器を用いたパッシブモニタ(ラドトラック)を利用して、自分達の身の周りの教育現場(勤め先の学校)の様々な空間の大気中ラドン濃度を測定してきた。第1年度(平成元年冬期)から1年間、学内の7箇所上記パッシブモニタを吊し、3か月毎に交換し、測定を続けた。第2年度から第3年度は、ラドン濃度の季節変化のような微小変化を求めることは諦め、パッシブモニタの特徴である積分量の簡易測定という点に着目して測定点を増やした。同僚や校医のほか、学内外に協力者を得て測定点を順次増やした。曝露期間は、はじめ3か月であったのを6か月ないし1年を標準とすると考え方を変えた。

'91 ラドンシンポジウム(熊取)の折、下道国先生(名古屋大学)の発表[1]に、ラドン濃度と活動度(生活様式)、呼吸量で肺線量は決まるというものがあった。恥かしいことに、われわれはそれまで何のためにラドン濃度を測るかの視点が欠けていた。肺線量の評

備のためと割り切ると、上述の学生の参加を復活できることに気がついた。下先生の発表によれば、肺線量のピークは、新陳代謝が盛んで呼吸量がピークとなる16歳(男子)になるという。これは、ちょうど高等専門学校生の年齢層(15歳から20歳)に相当する。

「教育現場における大気中ラドン濃度の測定の試行 --青少年期の肺線量の算定のために--」と副題を付けて平成4年度の科学研究費補助金の申請を行った。学校の各種教室のラドン濃度の測定のほか、同時に学生の自宅の寝室にもパッシブモニタを吊しラドン濃度の測定をするとともに、彼等の諸肺気量の測定を行うとの計画を立てた。従来このような同時測定は行われていない。これにより、平成4年度の科学研究費補助金(一般(C)萌芽、原子力)を受け、1クラス分の測定を行った。本年度(平成5年度)は、同じ趣旨で日産科学振興財団学術研究助成(一般研究 B)を受け、測定を4クラスに拡大して測定を続けた。別にオートスパイロメーターを入手し、1クラスについて諸肺気量の測定を試みた。安静時の呼吸量(TV,一回換気量)のデータは、(強制)肺活量などと異なり、身長・体重・年齢・性別等による実験式がなく、実測に頼るしかないのである。(内部被ばくの計算では、体格に関係無く一律 500 ml と固定していることがある)

ラドン濃度の実測値の例を示す。

本校の地下ピット(約 100 Bq/m³)よりラドン濃度の高い空間が2箇所見つかった。計算機センターの端末室(約 200 Bq/m³)及び図書館の閉架式書庫(約 150 Bq/m³)であった。

本校が原子力研究の中心地・茨城県東海村に隣接する勝田市にあり、学生の大半がこの界隈に居住していることから、ラドン濃度(放射能)の測定は、学生および家族の不安感を逆撫でする恐れもある。旨く行けば自然放射能に関する啓蒙教育になるものの、逆効果になる場合と紙一重であり、無闇に測定点(学生数)を増やすわけにもいかない。一挙に行うのではなく、何年もかけて授業で気心の知れた学生を使いかつ丁寧に説明を繰り返して測定を依頼する必要があると思われる。測定の主旨の徹底(宣伝)のため、学校の校長室、事務長室をはじめ、教室や廊下の随所に目立つようにラドンモニタを吊し、モニタに対する違和感の解消に努めてもいる。放射能という物理量の測定というより社会調査のようなものである。こういう事情が、以前の放射線医学総合研究所の行った居住空間のラドン濃度の全国調査が、学校ではなく高校の理科教員の自宅のみに限定された理由かも知れない。この間、週休2日制も製造業や銀行・公務員を中心に広まり、生活時間の実態調査も、従来のものでそのままでは使えなくなる事態も生じてきた。先の、放射線医学総合研究所による居住空間のラドン濃度の全国調査(全国の高校の理科教員の自宅7,000軒の測定, 全都道府県)[2]の問題点も次第に明らかになってきた。ラドンとトロンの分離測定の問題と、全国の家屋(母集団)に対する高校の理科教員の家屋及び生活様式(公務員、共働き、公務員住宅あるいはアパート、都市部)の代表性の疑問点である。総データ数の少ない我々のデータの方がかえってあらゆる階層のあらゆる生活様式を反映(代表)している可能性がでてきた。

我々は、学生や同僚にラドン濃度及びその測定に興味をもって貰うため、学内だけでなく学校周辺の様々な場所のラドン濃度の測定を併せ行ない、結果を授業や学校の文化祭の折に紹介した。校医の勤務する病院、県立の図書館・美術館、喫茶店、勝田市内にある装飾古墳「虎塚」の観察室、県外のICメーカーのクリーンルーム、本校の近隣の大学等である。本校の近隣の大学の居住空間のラドン濃度の予備測定の結果を表1に示す。

表1 本校の近隣の大学の居住空間のラドン濃度の予備測定の結果（パッシブモニタ）

大 学	所在地	部 局 等	測定箇所	ラドン濃度 Bq/m ³	窓 枠
茨城大学	水戸市	A学部 C学部	B 教官室	25.9	アルミニウム
			D 教官室	25.9	//
E 学校	勝田市		1 階倉庫	66.6	アルミニウム
			2 階倉庫	66.6	//
東北大学	大洗町	金研大洗施設 アクチノイド棟	屋外（玄関）	3.7	軒先
			事務室	22.2	アルミニウム
			サービスエリア	33.3	窓無し
			2階ピット	185	//
筑波大学	つくば市	医学部	ゼミ室	11.1	アルミニウム
			教官室	11.1	//
東京医科 歯科大学	東京都	難治疾患研究所	ゼミ室	18.5	アルミニウム
			資料室	33.3	//

4-2-2. アクティブ法による学内のラドン娘核種の濃度の測定

学内で、数箇所ラドン濃度の高い空間が見つかった。これらの部屋については、パッシブモニタによる測定に再現性があり確実と思われる。これらの部屋のラドン娘核種の測定を試みた。カナダ T&N 社製ラドンWLメーターおよび Eberline社のα線測定器ALPHA6をそれぞれ借用し30分ないし1時間毎の連続測定を続けている。両者ともミリポアフィルターに捕捉されるラドン娘核種のα線測定を行うものである。前者は、ラドンの平衡等価濃度(Bq/m³ [EEC])を与え、後者は1~10 MeVのα線スペクトルを与える。

本校の計算機センターでは、ラドン濃度と空調機の運転は直接関係し、停止するとラドン濃度は上昇し、その濃度は300 Bq/m³ [EEC]を遥かに越え、障害防止法告示別表1の空气中濃度限界の1,000 Bq/m³ [EEC]に近い900 Bq/m³ [EEC]程度にもなる。

一般科目の教室や事務室についても、カナダ T&N 社製ラドンWLメーターでラドン娘核種の測定を行なった。この事務室の窓枠は鉄で、窓を閉めても空気は自由に隙間から通過している。同様の測定を保健室で行なった。保健室は、一般科目の事務室とは別の建物にあって、ドアも窓もアルミサッシで気密性がよい部屋である。事務室も保健室も24時間（1日）周期のラドン濃度の濃度変化を示した。平均値は、事務室で

16 Bq/m³ [EEC]、保健室では44 Bq/m³ [EEC]であった。ラドン濃度の平均値の差は部屋の気密性の差（窓枠の差）によると考えられる。

4-2-3. 学生の自宅の学生の寝室のラドン濃度の測定

パッシブモニタを用いて学生の自宅の寝室のラドン濃度の測定を行った。

学生の自宅の学生の寝室のラドン濃度の測定は、一日のうちで一番滞在時間の長い（居住係数の大きい）空間（睡眠+学習+くつろぎの空間）のラドン濃度の測定として企てられた。先に（平成4年11月から）行われた1クラス33名と、新たに平成5年7月から4クラス160名の寝室の測定を行った。

学生の自宅の寝室のラドン濃度の分布（データ数132）は、対数正規分布で表され、その平均値は8.6 Bq/m³であった。この値は、放射線医学総合研究所のラドン濃度の全国調査[2]や、他の専門家の報告[3]の平均値に比べ1/2ないし1/3である。報告[2],[3]は、母集団に対するサンプリングの偏りへの無関心が目立つ。我々の求めた学生の寝室のラドン濃度の分布、累積分布及び寝室のラドン濃度の市町村別平均濃度の図を次に示す（1つの都道府県について民家の屋内のラドン濃度の市町村別平均濃度のデータは我々の茨城県についてのものしか知らない）。

全体の分布が対数正規分布で表されるだけでなく、学生数の多い日立市、水戸市、勝田市のデータもそれぞれ単独でも対数正規分布で表される。ラドン濃度の市町村別平均濃度は、環境中のラドン濃度を愛知県地方を中心に精査した下[1]のデータと似て海沿いの地域で低く、内陸部で高い値を示した。また、窓枠の種類（部屋の気密性）と室内ラドン濃度には明らかな関係が認められた。屋内ラドン濃度の市町村別濃度分布は今までだれも求めていない。我々は、学生を相手に更に測定を続けこの室内ラドン濃度のデータを充実させていく所存である。

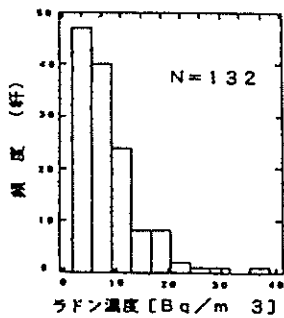


図1 学生の寝室のラドン濃度の分布

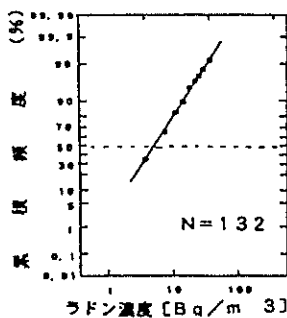


図2 学生の寝室のラドン濃度の累積頻度分布

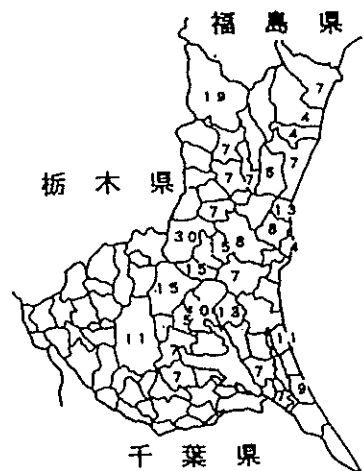


図3 市町村別学生の寝室のラドン濃度 [Bq/m³] 茨城県（暫定値）

4-2-4. 肺線量評価の手法 (L U D E P) について

計画当初は、新呼吸気道モデルを用いた I C R P P u b . 3 0 の改訂作業と並行して開発されているイギリス N R P B (国立放射線防護局)の肺の内部被ばく評価プログラム L U D E P (Lung Dose Evaluation Program)を入手すれば容易に行えると思われていた肺線量の評価法が怪しくなってきた。平成5年度、6年度と日本保健物理学会の I C R P 新呼吸気道モデル専門研究会(主査稲葉次郎氏)にオブザーバー参加し、I C R P P u b . 3 0 の改訂版のドラフト(英文)の勉強会を行い、ラドンによる肺の被ばくの線量評価方法を理解し、プログラム L U D E P の初版を入手し、そのソフトが走る I B M パソコン (P S / V) も別途入手して準備していたところ、I C R P P u b . 3 0 の改訂版のドラフトの最新版では、ラドンによる肺線量の評価の章や付録がすべて削除されていることがわかった。ラドンによる線量評価に関し、I C R P の内部被ばくの作業部会と、その上部委員会とで解釈・評価に差があるらしい。我々は、当分、基礎データの収集に専念し、線量の評価方法の落ちつくのを待つ必要が生じた。これは予定外のことである。

4-2-5. 今後に残されたこと(肺線量の評価のために)

本校の未測定 of 各教室のラドン濃度の測定(学内のすべての教室や事務室の測定)
近隣の学校の各教室のラドン濃度の測定(学内の教室や事務室の測定)
いくつかの高専の各教室のラドン濃度の測定(学内の教室や事務室の測定)
いくつかの大学の各教室のラドン濃度の測定(学内の教室や事務室の測定)
本校の学生の自宅の学生の寝室のラドン濃度の測定(継続して行う)
近隣の学校の学生の自宅の学生の寝室のラドン濃度の測定
いくつかの高専の学生の自宅の学生の寝室のラドン濃度の測定
いくつかの大学の学生の自宅の学生の寝室のラドン濃度の測定
学校の教室及び学生の寝室の各部屋ごとの換気率の測定。
個々の学生の一回換気量(Tv)の測定データの蓄積。
L U D E P を用い個々の学生の肺の年内部被ばく線量の計算。

4-2-6. 参考文献

- [1] 下道国,関和典,菊池功「生活様式を考慮したラドンによる線量 --特に呼吸率と居住係数に着目して --」,下道国,辻本忠編集「環境ラドン」,1992年2月刊,(財)電子科学研究所, pp. 579-592.
- [2] 小林定喜ほか,日本保健物理学会第25回研究発表会要旨集(平成2年) p. 56.
- [3] 太田庸起子,屋内ラドン濃度の調査知見, RADIOISOTOPES, 42, pp. 461-466, (1993).

4-3. 発表論文リスト等

4-3-1. 口頭発表（予稿集のあるもの）

- [1] 松沢孝男, 添田孝幸, 沼田マミ, 森信二, 小西聖子, 雁部敬, 野田洋平.
「教育現場及び医療現場における高ラドン濃度空間の存在」
保健物理学会第28回研究発表会, 平成5年5月, 於博多市, 予稿集 p. 120.
- [2] 松沢孝男, 添田孝幸, 森信二, 野田洋平, 小西聖子, 雁部敬, 鈴木吉光.
「学校の教室と学生の自宅の寝室の空気中ラドン濃度の測定の試行」
保健物理学会第29回研究発表会, 平成6年5月, 於敦賀市, 予稿集 p. 121.
- [3] 松沢孝男, 添田孝幸, 森信二, 山本茂樹, 長本良夫, 河原永明, 野田洋平,
小西聖子, 雁部敬, 鈴木吉光. 「パッシブモニタによる居住空間のラドン濃度の
測定の試みー茨城高専の各教室及び茨城県全域に広がる学生の自宅の寝室の
場合」, 日本原子力学会1994年秋の大会, 平成6年9月28-30日, 於北海道大学,
予稿集 p. 311.
- [4] 松沢孝男, 鈴木吉光. 「パッシブモニタによる教育現場におけるラドン濃度の
測定の試行」, 応用物理学会放射線部会主催「放射線夏の学校」平成5年7月
(第5回, 於中津川市), 予稿集 pp. 63-65.
- [5] 松沢孝男, 鈴木吉光. 「パッシブモニタによる居住空間のラドン濃度の測定
--高専の一般科目で学生や同僚と素人が素手で α 線を測る--」, 日本化学会関東
支部茨城地区懇談会, 平成5年11月, 於水戸市(茨城大学), 予稿集 p. 28.
- [6] 松沢孝男, 添田孝幸, 森信二, 山本茂樹, 長本良夫, 河原永明, 野田洋平,
小西聖子, 雁部敬, 三頭聡明, 鈴木吉光. 「パッシブモニタによる居住空間の
ラドン濃度の測定(2), --茨城高専生の自宅の寝室のラドン濃度について--」
日本化学会第5回関東支部茨城地区懇談会, 平成6年11月25日, 於那珂郡東海村
(N T T茨城研究開発センター), 予稿集 p. 18.
- [7] T. Matsuzawa, T. Soeta, S. Mori, S. Yamamoto, Y. Osamoto, E. Kawahara,
Y. Noda, T. Konishi, and K. Ganbe, "Coinciding measurement of indoor
radon concentration of a school and of students' bedrooms by passive
radon monitor", HANDBOOK & ABSTRACTS, (Indoor Air - An Integrated
Approach, International Workshop, Gold Coast, Australia, 27 November -
1 December, 1994), p. 108.

4-3-2. 論文

- [1] 松沢孝男, 添田孝幸, 森信二, 山本茂樹, 長本良夫, 河原永明, 野田洋平,
小西聖子, 雁部敬, 鈴木吉光.
「パッシブモニタによる教育現場におけるラドン濃度の測定の試行」
「放射線」vol.20 no.4 (1994) (掲載予定).

- [2] 松沢孝男，添田孝幸，森信二，山本茂樹，長本良夫，河原永明，沼田マミ，野田洋平，小西聖子，雁部敬．
「環境中ラドン濃度の測定を通して放射能への理解を深める」
平成5年度東レ理科教育賞受賞作品集（第25回） pp. 30-33.（平成6年6月）
- [3] 松沢孝男，沼田マミ，添田孝幸，森信二，小西聖子．
「教室の照度測定と学生の定期健康診断データの解析による視力の実態調査」
茨城工業高等専門学校研究彙報 第29号（平成6年3月） pp. 7-16.
（注：論文のタイトルは「照度と視力」になっているが，茨城高専の全校生1,000人の2年分の定期健康診断の身体測定データ（延べ2,000人分）をパソコンデータとして入力した。個々の学生の肺線量評価の際必要な身体測定データの蓄積（データベース化）ができた。）

4-3-3. その後，新たに得た研究費および賞金（平成 5,6年度分）

- [1] 平成5年度東レ理科教育賞（佳作）賞金（平成6年3月）
「環境中ラドン濃度の測定を通して放射能への理解を深める」 200,000 円
- [2] 平成5年度「エコー茨城」環境保全基金研究助成（平成6年3月）
「バッシブモニタによる学校の教室及び学生の自宅のラドン濃度の測定から茨城県における居住環境の健全性を考える」 300,000 円
- [3] 平成6年度文部省科学研究費補助金（試験研究(B)(2)，建築学）
「居住空間におけるラドン濃度の実態調査」 1,400,000 円
- [4] 平成6年度住友財団環境研究助成（平成6年11月）
「学校を中心とする居住空間のラドン濃度の実態調査」 1,000,000 円