

生活環境におけるラドン 〈濃度変動と実効線量〉

生田美抄夫・藤井幸一

Radon in the Living Environment <Changes in Concentration and Effective Dose>

Misao IKUTA, Kouichi FUJII

キーワード：ラドン、実効線量、日周期変動、平衡等価ラドン

1. はじめに

ラドン (Rn-222) は、ウラン (U-238) から始まるウラン系列に属している原子番号86、質量数222、密度 9.96kg/m^3 (空気： 1.29kg/m^3) の α 壊変をする自然界で最も重い放射性希ガスで、半減期は3.8日であり、壊変を続けて、最後に鉛 (Pb-206) で安定する。

15世紀、ヨーロッパにおける鉱山労働者の死亡率が高かったが、その主な死因は肺癌であった。その後、この癌はラドンによる被曝が原因であったことが確認されている。

ウラン、ラジウムは地殻に広く存在し、コンクリートや石膏ボードなどの建築用資材にも含まれているため、生活環境においても省エネ化によって住宅の気密性が高くなったことから、屋内でのラドンの蓄積が見られ、近年、問題視されるようになった。

国連科学委員会 (UNSCEAR) によると世界の屋内ラドン濃度は人口荷重平均で 40Bq/m^3 であり、屋外ラドン濃度は 10Bq/m^3 であるとされている¹⁾。それによる内部被曝線量は 1.3mSv で、年間の自然放射線による被曝線量 2.4mSv のうち半分以上を占めている。

このラドンによる被曝線量については、屋外、屋内ラドン濃度の平均値および滞在時間で求められるが、屋外、屋内ともラドン濃度は時間変動し、地域や付帯設備も含めた家屋構造により著しい差がある。

我々の業務の目的は環境放射能・環境放射線を測定し、最終的には原子力施設起因による人体への被曝線量を算出することである。そのためには、常にバックグラウンドとしての自然放射線による被曝線量を把握しておくことが重要となる。

しかし、通常は一般環境 (屋外) を対象とした放射能測定、線量率測定が中心であり、人が多くの時間を過ごす生活環境は対象としていない。また、屋内のラドン濃度決定には通常パッシブ型のラドン濃度測定器

が使用され、時間変動は見えない。そこで今回、屋内ラドンの測定とラドンの濃度変動を考慮した個人の被曝線量の推定をおこなったので報告する。

2. 調査方法

2. 1 調査地点

松江市西浜佐陀町の保健環境科学研究所 (保環研) (標高6m) 及び研究所から東北東5kmの松江市法吉町の住宅 (標高20m) の2地点 (図1)

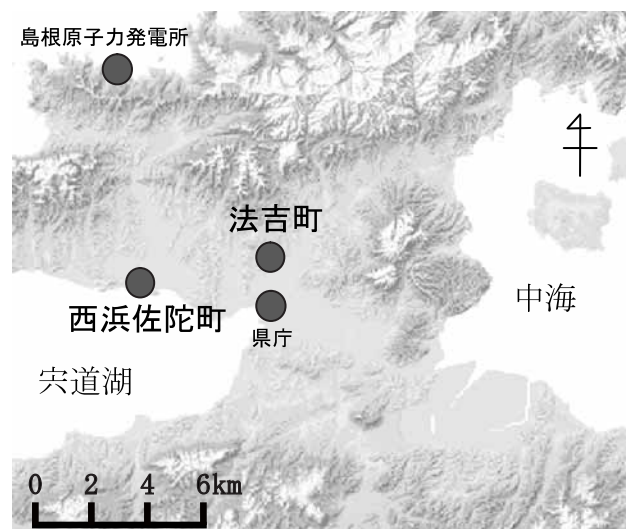


図1 調査地点

2. 2 測定方法

- ・屋外ラドン：1994年1月～1996年3月連続測定 (1時間値)
通気式静電ラドンモニター (応用光研)
(検出容積： 16.8 l 、シンチレータ：ZnS(Ag)、
捕集電圧： -3000V 、捕集流量：約 1 l/min)

- ・屋内ラドン：1994年8月から1996年3月連続測定（1時間値）
通気式静電ラドンモニター（PYLON）
（検出容積：17.5ℓ、シンチレータ：ZnS(Ag)、
捕集電圧：-1300V、捕集流量：約1ℓ/min）

3. 調査結果及び考察

3. 1 ラドン濃度の時系列変動

屋内ラドン濃度は西浜佐陀町と法吉町で測定した。
松江市西浜佐陀町：保環研内の主に放射線監視室で行った。この部屋は床はコンクリート上にフリーアクセス床、壁は鉄骨に石膏ボード、天井は石膏ボードであり、室内空気の強制換気機能は無く、隙間及び入り口扉の開閉時のみで空気の交換がある。エアコンで室内は一定温度に保たれている。

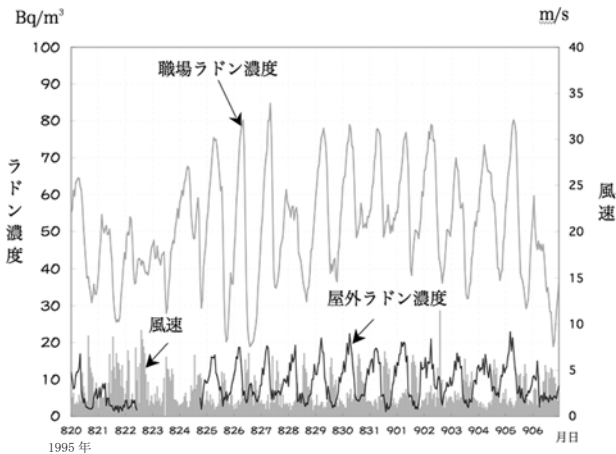


図2 西浜佐陀町 屋外及び屋内のラドン濃度

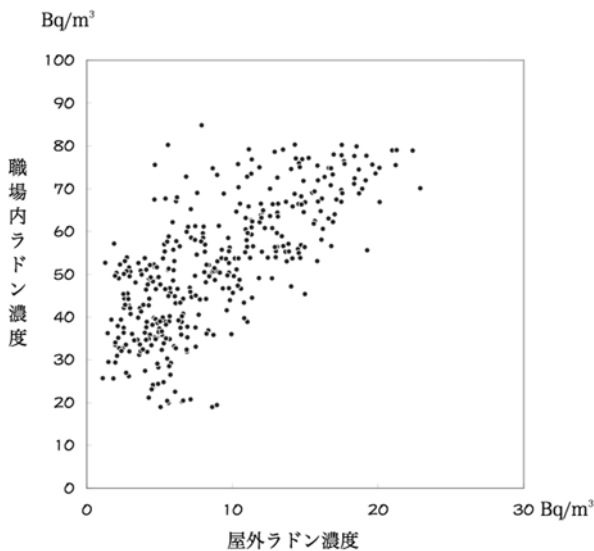


図3 西浜佐陀町 屋外及び屋内ラドン濃度の関係

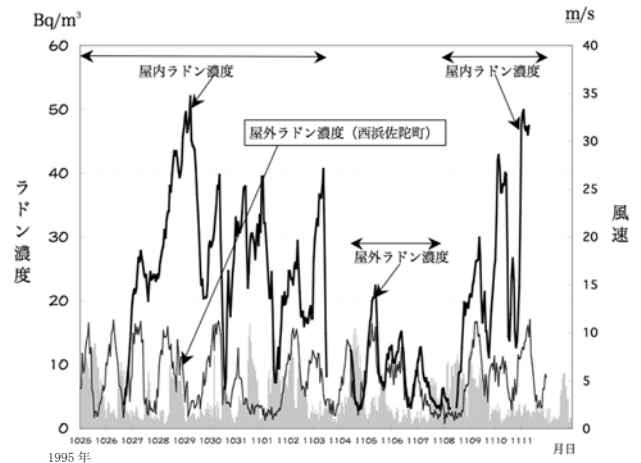


図4 法吉町 屋外及び屋内ラドン濃度の関係

図2に西浜佐陀町での測定結果の一部を示した。強風時、換気率が上がりラドン濃度の増加が抑えられるが測定期間中ラドン濃度は20～80Bq/m³まで変動した。外気との交換がほぼ一定しているためか、屋外のラドン濃度より高い濃度で、しかもその変化にほぼ連動していた。(図3) また、人の出入りのない日曜日にも日変動が見られることから、放射線監視室は締め切られているようでも、常に自然換気が行われていると推定できる。

松江市法吉町：2階建て木造プレハブ作りの住宅1階6畳の居室で行った。床下はコンクリート、床は畳、壁と天井は石膏ボードにビニルクロス貼り、開口部は2面がふすま扉で隣室に通じており、1面がガラスサッシで屋外に通じる。

図4に法吉町での測定結果の一部を示した。ラドン濃度は5～50Bq/m³まで変動した。

また、不在時には外気との交換が少ないため、日周期変動は見られず、屋内ラドン濃度は増加した。つまり、この住宅は保環研に比べ気密性が高く、屋内ラドン濃度の変動が生活パターンに依存する部分があることを示唆している。

法吉町、西浜佐陀町ともに屋外ラドン濃度の測定を行ったが、良い相関があり、しかも濃度はほぼ等しかった。(図5)

風速との関係では、西浜佐陀町、法吉町ともに風速と負の相関が存在する。

3. 2 ラドン濃度の時刻別変動

図6に西浜佐陀町及び法吉町の時刻別のラドン濃度を示した。

屋外のラドンは夜間の風速が弱い時に濃度が増加し、5～7時に最も高くなり、日の出以降、風速が強まると減少し17～18時に最も低くなった。

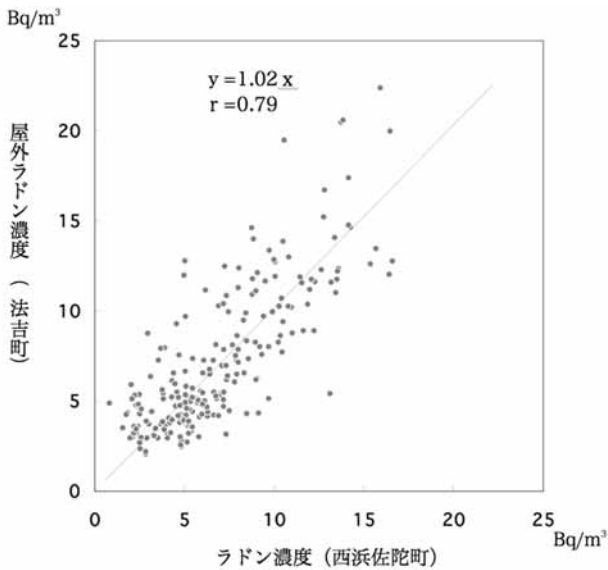


図5 西浜佐陀町と法吉町の屋外ラドン濃度の関係

西浜佐陀町の屋内濃度は7～8時に最も高くなり、部屋の使用により扉の開閉で換気が生じるため、10時～13時まで急速に減少し19時に部屋を閉め切った以降濃度が上昇する。

法吉町の屋内濃度も7～8時に最も高くなり、生活の開始後13時まで急速に減少し、後は一定で、21時以降に濃度が上昇する。

4. 実効線量

保環研を職場とし、法吉町に居住する職員について個人のラドンによる被曝線量を推定した。

被曝時間：2007年の勤務記録、行動記録から平日は8, 12, 19時台の3時間を屋外、それ以外を屋内とし、そのうち勤務時間を9時間とした。休日は11, 13, 15時台の3時間を屋外、それ以外を屋内とした。一年間の平日は235日、休日は130日とした。よって年間被曝時間は平日屋内4,935時間、平日屋外705時間、休日屋内2,730時間、休日屋外390時間。

4. 1 濃度変動を考慮しない場合

通常、ラドン濃度から呼吸による肺への線量を求めるためには図7のような手順で行う。

(1) ラドン濃度

屋内：調査期間内の西浜佐陀町の屋内ラドン濃度は平均51.0Bq/m³（被曝時間2,115時間）、法吉町の屋内ラドン濃度は平均18.2Bq/m³（被曝時間5,550時間）より荷重平均屋内ラドン濃度を27.3Bq/m³とした。

屋外：調査期間内の西浜佐陀町屋外ラドン濃度は平均7.1Bq/m³（被曝時間1,095時間）

(2) 平衡係数

国連科学委員会が示す平衡係数の屋内0.4、屋外0.6を用いた。

(3) 平衡等価ラドン濃度

屋内：27.3×0.4=10.9Bq/m³

屋外：7.1×0.6=4.3Bq/m³

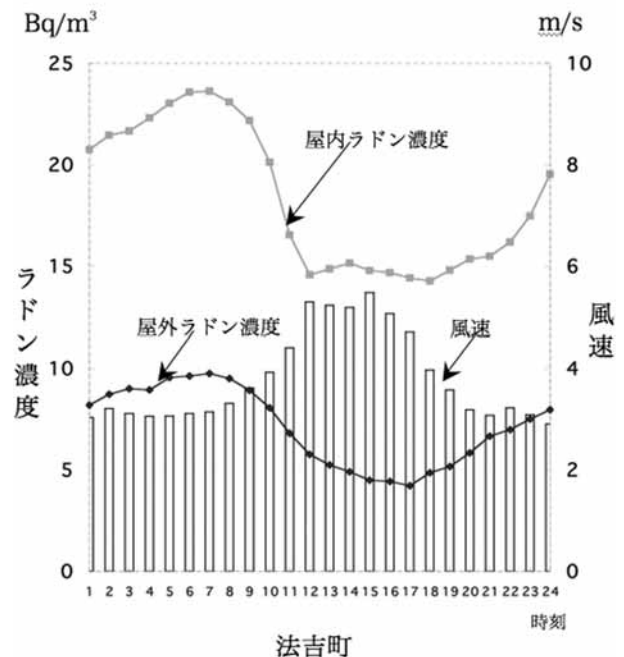
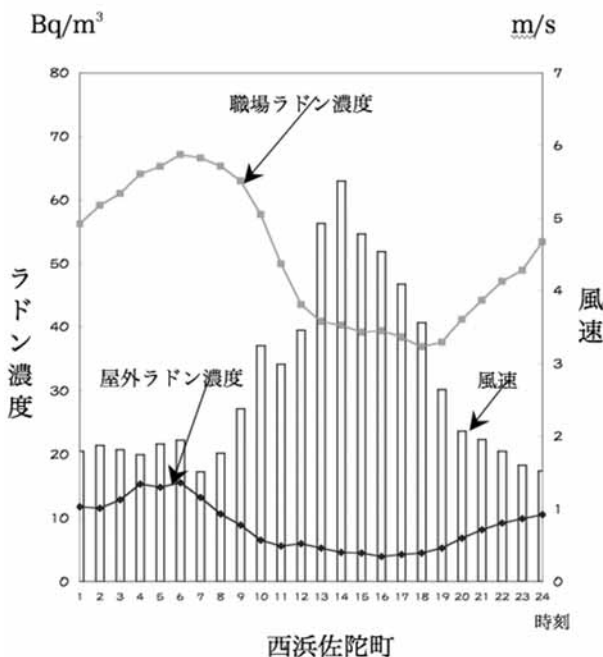


図6 西浜佐陀町と法吉町の時刻別ラドン濃度

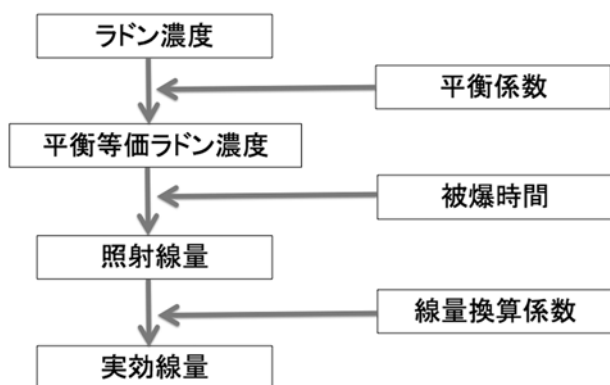


図7 実効線量算出過程

(4) 被曝時間

前述の年間屋内7,665時間、屋外1,095時間を用いた。

(5) 線量変換係数

ラドン濃度から実効線量を導くための換算係数には確定した値がない。国連科学委員会はラドン子孫核種の吸入に対する実効線量係数を平衡等価ラドン濃度1 Bq/m³で時間当たり屋内屋外ともに9 nSvとしているため、この数値を採用した。

よってラドンの時間による濃度変動を考慮しない実効線量は

実効線量： $(10.9 \times 7665 + 4.3 \times 1095) \times 9 = 0.79 \text{ mSv}$

4. 2 濃度変動を考慮した場合

(1) ラドン濃度

屋内：西浜佐陀町及び法吉町のラドン変動と居住時間帯のラドン濃度より算出した結果、平日屋内30.8 Bq/m³、休日屋内18.8 Bq/m³

屋外：西浜佐陀町の濃度変動より平日屋外6.8 Bq/m³、休日屋外5.7 Bq/m³とした。

(2) 平衡係数

国連科学委員会の屋内0.4、屋外0.6を用いた。

(3) 平衡等価ラドン濃度

平均ラドン濃度と平衡係数より、平日屋内12.3 Bq/m³、平日屋外3.7 Bq/m³、休日屋内7.5 Bq/m³、休日屋外3.1 Bq/m³。

(4) 被曝時間

平日屋内4,935時間、平日屋外705時間、休日屋内2,730時間、休日屋外390時間を用いた。

(5) 線量変換係数

国連科学委員会の1 Bq/m³で時間当たり屋内屋外ともに9 nSvとした。

実効線量：

$(12.3 \times 4935 + 3.7 \times 705 + 7.5 \times 2730 + 3.1 \times 390) \times 9 = 0.76 \text{ mSv}$

5. まとめ

ラドンの濃度変動を考慮する場合としない場合で実効線量としては大きな差がなかった。

これは屋内被曝が大部分を占めること、職場と家庭のラドン濃度変動がほぼ一致しているため、家庭の夜間における高濃度被曝を職場の昼間の低濃度被曝により全体として平均化されているためと考えられる。

しかし、標高が高いところでは日周期変動が逆になることも多く、家庭と職場での濃度変動パターンが異なる場合や同じ変動パターンでも家庭と職場で濃度差が極端にある場合などは変動を考慮した被曝線量算出が必要であろう。

日本分析センターでは1992年度から全国の屋内、屋外、職場のラドン濃度をパッシブ型ラドン測定器により測定したが、2004年度までに屋内ラドン濃度15.5 Bq/m³、屋外6.1 Bq/m³、職場20.8 Bq/m³を得ている²⁾。その濃度から濃度変動を考慮しない被曝線量を求めると実効線量は0.49 mSvになり²⁾、今回の被曝線量の方が50%ほど高いが、これは職場のラドン濃度が高いことが影響している。

島根県内でも2002年の文部科学省委託調査（水準調査）で、津和野高校のラドン濃度の年平均値が172 Bq/m³であったが、ICRPの勧告するアクションレベル（200 Bq/m³）³⁾には達していなかったものの、屋内ラドンの濃度の日周期変動を考えると、夜間に被曝線量が大きくなっている可能性も高く、ラドン高濃度地域については、時刻による濃度変動を測定し、正確な被曝線量を把握しておくことは、肺疾患との関連で医学上も重要なことと考える。

屋内ラドン濃度はラドンの発生量や換気量が、室内外の温度湿度などの物理的要因、室内の居住者の行動の影響を受け、同じ構造の建物でも大きく異なる可能性があるため、代表的な値が定まらず、数多くの場所での測定が必要となろう。

文献

- 1) 放射線医学総合研究所監訳，放射線の線源と影響（国連科学委員会2000年報告書），（2002）
- 2) 森本隆夫 他，第47回環境放射能調査研究成果論文抄録集，99-103，（2005）
- 3) Radiological Protection Bulletin, No.204, (1998)