

## シンチセル・ラドンモニタによる空气中ラドン濃度の測定

古賀 妙子\*<sup>1</sup>, 森嶋 彌重\*<sup>2</sup>, 荒井 直紀\*<sup>2</sup>  
白石 雅敏\*<sup>2</sup>, 茂原 牧子\*<sup>2</sup>, 御船 政明\*<sup>3</sup>

### Determination of Radon Concentration in Air Using Scinti-Cell Radon Monitor

Taeko KOGA\*<sup>1</sup>, Hiroshige MORISHIMA\*<sup>2</sup>, Naoki ARAI\*<sup>2</sup>  
Masatoshi SHIRAI\*<sup>2</sup>, Makiko SHIGEHARA\*<sup>2</sup> and Masaaki MIFUNE\*<sup>3</sup>

(Received:30 November, 1999)

#### KEYWORDS

<sup>222</sup>Rn (Radon), Scinti-Cell, Misasa, in Air, Lucas cell

#### ABSTRACT

This study is carried out the methodology characteristics of <sup>222</sup>Rn (Radon) concentration in air using the scinti-cell radon monitor (Trace environmental level detector (PMT-TEL) and Lucas cell (300A), Pylon Co. and the determination of Radon concentrations in air on Misasa spa area in Tottori pref. and Ikeda spa in Shimane pref. on November 1995 and 1996.

We have reached to the following results;

1. Minimum detectable Radon concentrations in air using the scinti-cell monitor are 7.6Bq/m<sup>3</sup> with 23% of accuracy (relative standard deviation) on the grab sampling of Lucas cell and 0.58Bq/m<sup>3</sup> with that of 17% on the continuous measuring of PMT-TEL, when it measured after 3.5 hours on the air sampling to determine the mean radon concentrations. The radon concentrations by the PMT-TEL method is about ten times more detectable than those by Lucas cell, that the former is the most sensitive among the detectors used on this research and is able to detect low level environmental concentrations, particularly outdoor and the later is valuable to use conveniently and portably on grab spot sampling of high level radon concentrations indoor air.
2. On the comparison of characteristics on spot monitoring of radon in air, a pico-rad method is suitable for the

---

\*1 近畿大学原子力研究所

\*2 近畿大学工学部原子炉工学科

\*3 元・岡山大学

\*1 Atomic Energy Research Institute, Kinki University

\*2 Department of Nuclear Engineering, School of Science and Engineering, Kinki University

\*3 Former Okayama University

determination of the mean concentration for continuous sampling period by PMT-TEL and Lucas cell 300A, and the variation of radon concentration can be observed on elapse of time course.

## 1. はじめに

ラドンは、生活環境中に広く分布する自然放射性気体核種で、その崩壊生成核種とともに $\alpha$ 線および $\beta$ 線を放出し、その吸入による被ばく線量は、自然環境中で受ける年間被ばく線量の世界平均のほぼ半分を占めることが国連科学委員会 UNSCEAR に報告されている<sup>1)</sup>。その被ばくが世界的に注目され、わが国においても生活環境中、特に住宅屋内外におけるラドン核種の測定法、濃度レベルおよびその挙動に関する研究が多く行われている<sup>2-10)</sup>。ラドンには3種の放射性同位元素、 $^{222}\text{Rn}$ 、 $^{220}\text{Rn}$ 、 $^{219}\text{Rn}$ があるが、一般的には $^{222}\text{Rn}$ を指すことが多い。崩壊系列図を Fig. 1 に示したように1600年という長い半減期をもつ $^{226}\text{Ra}$ が $\alpha$ 崩壊することで生成される $^{222}\text{Rn}$ は、さらに $\alpha$ および $\beta$ 崩壊をくり返して、半減期の長い $^{210}\text{Pb}$  (RaD)を経た後、最終的に非放射性核種 $^{206}\text{Pb}$ となり安定する。

寿命の長い $^{222}\text{Rn}$ が広範囲かつ高い濃度で測定され、 $^{220}\text{Rn}$ は発生源近くの狭い範囲では高濃度であるが、拡散と短半減期のため減衰により一般には低濃度となる。ラドン等は環境の広い範囲に存在し、長時間にわたってさらされるため、長時間に測定した平均的な濃度が被ばく線量の評価上重要である。 $^{222}\text{Rn}$ および $^{220}\text{Rn}$ は不活性気体であるため、呼吸気道に吸入されても殆ど吸収されず大部分は排出されてしまう。しかし、崩壊生成核種は粒子

性であるため、呼吸気道に吸入されるとその一部は気道の内壁に沈着し、内部被ばくの原因となる。

これらの測定法として、気体である $^{222}\text{Rn}$ 等を対象とし、採取にエネルギーを消費しないパッシブ法、採取に際しポンプのような装置を使用するアクティブ法がある。 $^{222}\text{Rn}$ 等の濃度は気象条件、換気条件などに依存し時間とともに変動しているため、その状況を知るためには、連続して採取しながら測定し続けることが望ましい。

自然大気中の $^{222}\text{Rn}$ 濃度を連続的かつ感度良く測定出来る装置として、PYLON 社製のラドンモニタを用いてラドン濃度の測定を実施した。この測定原理は、アクティブ法により捕集し、 $\alpha$ 線計測を行う原理で制作されている。PYLON 社製ラドンモニタを用いた $^{222}\text{Rn}$ 濃度の測定法に関する特性を調べ、日本でも有数の放射能温泉である三朝温泉周辺地域の高自然バックグラウンドにおける屋内外のラドン濃度の測定を行ったのでその結果を報告する。

## 2. 材料および方法

### 2.1 パイロンラドンモニタ

パイロンラドンモニタは、いわゆるシンチレーションセル法（シンチセル法、ルーカス法）で ZnS (Ag) シンチレータを内面に塗布した円筒形容器と透明な窓を通して連結された光電子増倍管により構成される測定器で、 $\alpha$ 線を計数する。静電捕集型ラドンガス検出器、それぞれチェンバー

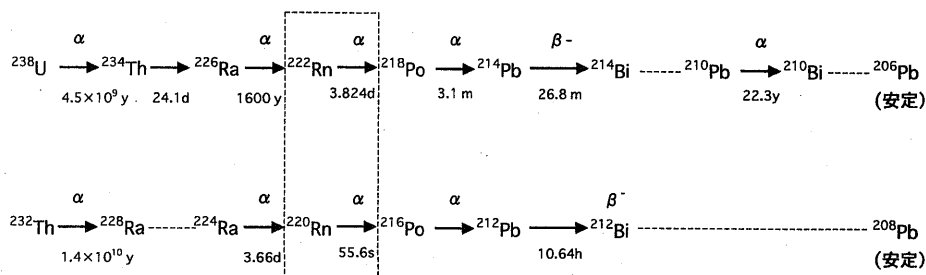


Fig. 1 ウラン及びトリウムの壊変系列 ( $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$ の生成および壊変)

(PMT-TEL) およびルーカスセル (300A) を Fig. 2, 3 に示したが、前者は18.5 ℓ 容器、後者は0.27 ℓ 容器で、放射能計数装置 (AB-5) 内蔵のポンプでそれぞれ流量 1 ℓ /min および 0.1 ℓ /min で空気を吸引し、ラドンを捕集し崩壊生成物の α 放射能を ZnS (Ag) シンチレータで計数する。空気吸引しラドン捕集に連続サンプリング法とグラブサンプリング法があり、前者は連続的に測定し、時間的変化を、後者は短い時間内に試料を採取しその時点での濃度の測定をくり返すものである。

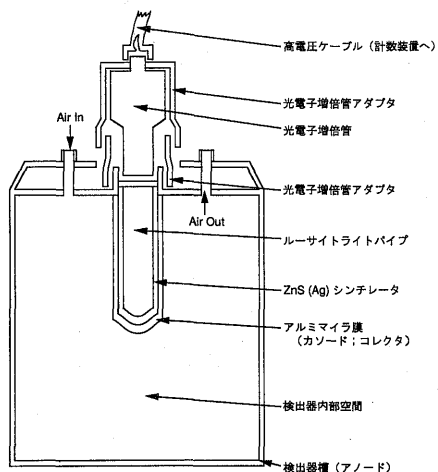


Fig. 2 静電捕集型ラドンガス検出器 (Pylon製, PMT-TEL)

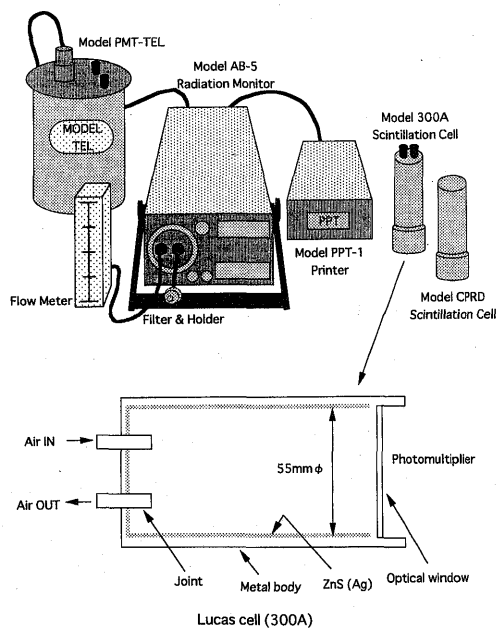


Fig. 3 パイロン製シンチセルラドンモニタ

## 2.2 ラドン検出器のバックグラウンドの測定

1. PMT-TEL は前回のラドン濃度測定 (低ラドン濃度の測定) から約 2 週間放置、ラドンの減

衰を待った後、測定間隔時間10あるいは30分で計数する。

2. ルーカスセルは前回のラドン濃度測定 (低ラドン濃度の測定) から数日、後真空にし測定間隔時間10あるいは30分で計数する。

## 2.3 空气中ラドン濃度の測定

1. PMT-TEL・ラドンガス検出器による連続測定  
ラドン濃度は床面から約 50cm~1 mの位置で流量 1 ℓ /minで連続してPMT-TEL 内に吸引する。吸引後、3時間後の計数値を平均ラドン濃度とする。

2. ルーカスセル・ラドンガス検出器による連続測定  
流量 0.1 ℓ /min で連続してルーカスセル内に吸引し連続的に測定する。吸引後、3時間後の計数値を平均ラドン濃度とする。

3. ルーカスセル・ラドンガス検出器によるグラブサンプリング測定

ルーカスセルは、バキューム・ポンプで真空近くまで負圧にしておき、サンプル採取地で、真空状態にあるセルの栓を開けることにより、約10秒ほどかけて空気をルーカスセル内に封入し、同様に測定する。

## 3. 結果と考察

### 3.1 ラドン検出器の検出特性

#### 3.1.1 PMT-TEL ラドンチェンバー検出器

PMT-TEL ラドン検出器のバックグラウンドの測定を30分間隔に行い、その結果をFig. 4 に示した。3.5時間経過後のバックグラウンドの測定中の平均値  $1.21 \pm 0.20$  cpm、検出限界をバックグラウンドの計数誤差の2倍とすると、30分測定で  $0.58 \text{Bq}/\text{m}^3$ 、精度は10回の相対標準偏差で示し、17%であった。

#### 3.1.2 300Aルーカスセル・ラドン検出器

300Aルーカスセル・ラドン検出器のバックグラウンドの測定結果を Fig. 5 に示した。3.5時間経過後のバックグラウンドの測定中の平均値は  $0.62 \pm 0.14$  cpm、検出限界  $7.6 \text{Bq}/\text{m}^3$ 、精度23%であった。検出特性を Table 1 にまとめ示した。

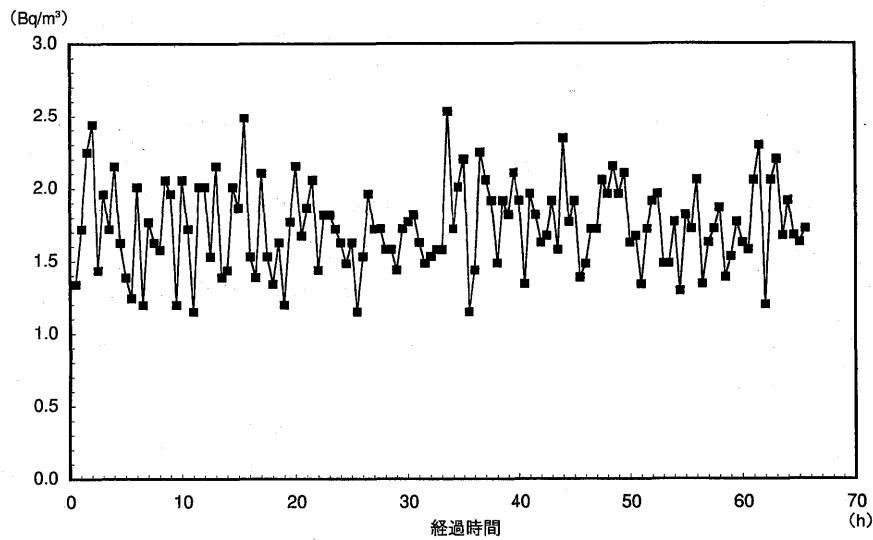


Fig. 4 ラドン検出器PMT-TELによるバックグラウンドの経時測定

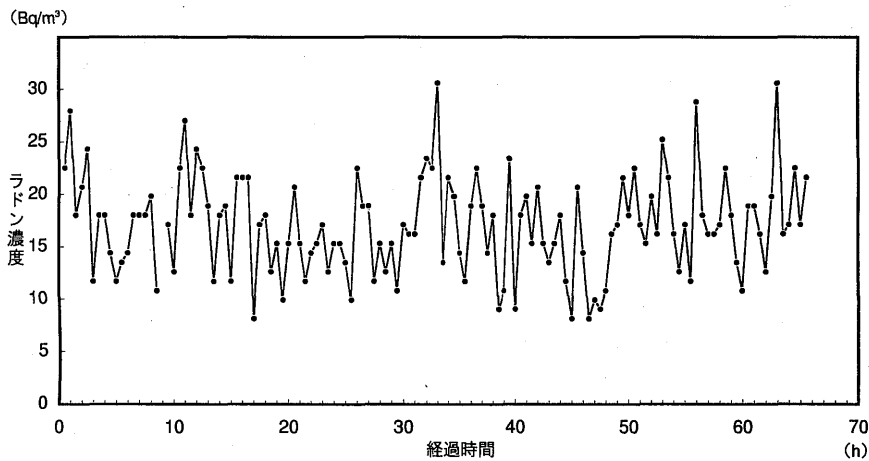


Fig. 5 ルーカスセル (300A) によるバックグラウンド経時測定

Table 1 ラドン検出器の検出特性

検出器	ラドンチェンバー (PMT-TEL)	ルーカスセル (300A)
容量	18.5 ℓ	0.27 ℓ
計測時間	30分	30分
検出限界 ( $2\sigma$ )	0.58Bq/m <sup>3</sup>	7.6Bq/m <sup>3</sup>
精度	17%	23%
換算係数	—	0.75

### 3.2 シンチセル・ラドン検出器によるラドン濃度測定

#### 3.2.1 PMT-TEL による連続測定

PMT-TELラドン検出器を用いて、閉めきった倉

庫内で連続測定による空气中ラドン濃度を Fig. 6 に示した。これによると、ラドン濃度は飽和に達するのに20時間かかっている。これは扉の開放のためラドン濃度が著しく減少し、飽和するまでに時間がかかったものと思われる。別の日に同室で測定した経過状況を示したものは、サンプリング開始より約 3.5時間でラドン濃度は、ほぼ 310Bq/m<sup>3</sup>と飽和になり、15時間後より若干低下しているものもあり、次項のルーカスセルでの測定でも3.5時間で飽和に達する。これは環境条件の変動によるラドン濃度の変動と思われるが、通常の状態での空气中のラドンの測定には、チェンバー内が飽和になる 3.5時間後のラドン濃度を平均濃度とする。

3.2.2 ルーカスセルによる連続測定

ルーカスセル・ラドン検出器の連続測定を Fig. 7 に示したが、サンプリング開始後約3.5時間で 150Bq/m<sup>3</sup> となり、これは採取後ラドンがルーカス

セル内で崩壊生成核種の増加により飽和に達する時間に相当するため、3.5時間後の測定値の平均値をラドン濃度とする。

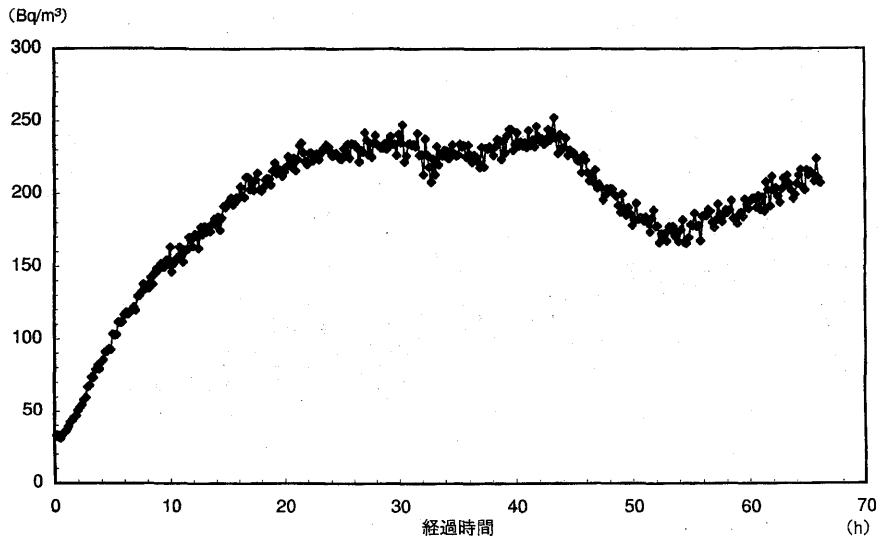


Fig. 6 ラドンチェンバー (PMT-TEL) によるラドン連続測定

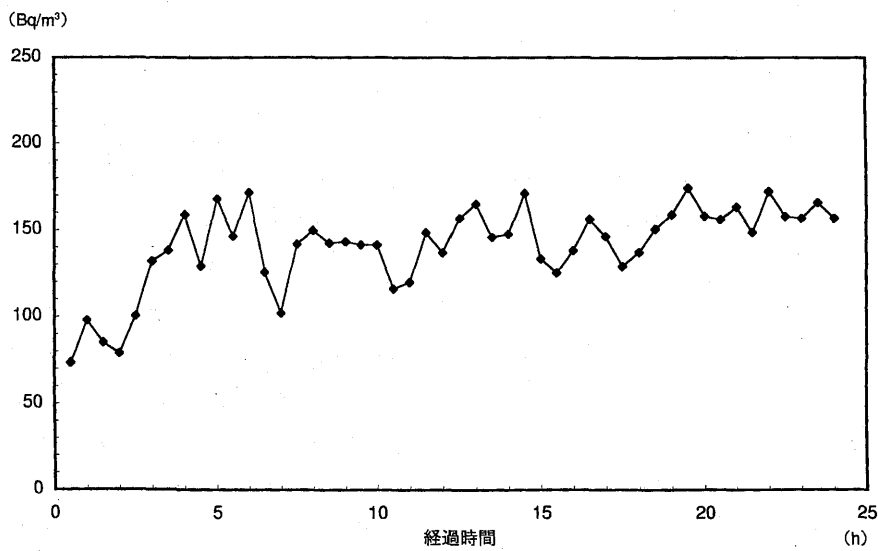


Fig. 7 ルーカスセルによるラドン濃度連続測定

### 3.2.3 ルーカスセルによるグラフサンプリング

倉庫内で空気をグラフサンプリングし、空气中ラドン濃度を測定した結果をFig. 8に示した。これによると、測定開始後 3.5時間で濃度は  $200\text{Bq}/\text{m}^3$  で飽和に達し、濃度はかなり大きなばらつきを示した。これはラドン濃度の経時変化を調べることを目的としたため、計測時間が短かったためであ

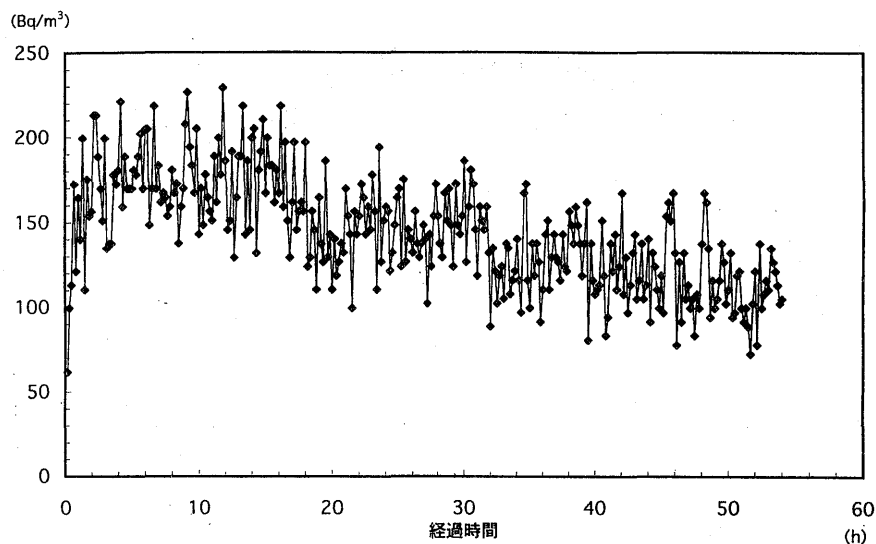


Fig. 8 ルーカスセルによるグラフサンプリングによるラドン濃度の経時変化 (倉庫)

### 3.3 三朝温泉および池田鉱泉周辺地域のラドン濃度

三朝温泉および池田鉱泉周辺地域 (Fig. 9) の空气中ラドン濃度の捕集は、携帯に便利、短時間でかつ簡単に行うことのできるルーカスセルを用いたグラフサンプリング法で計測した。宿泊した旅館の2階部屋での連続モニタリングを行った場合の結果をFig. 10に示したが、これによると測定開始より8時間の測定で、ラドン濃度は徐々に増加し、3.5時間でも飽和に到達していない。ラドン濃度は扉を開放したときは  $52\text{Bq}/\text{m}^3$ 、戸を閉め切った時は  $90\text{Bq}/\text{m}^3$  と、換気によりラドン濃度はかなり変動し、扉の開閉により大きく影響されることがわかる。またラドン濃度は徐々に飽和になりかかっているが、まだ上昇を続けていることから、室内のラドン濃度が飽和になったときの値は  $90\text{Bq}/\text{m}^3$  よりもまだ若干高いと思われる。また三朝温泉および池田鉱泉地域における空气中ラドン濃度を測定した結果を Table 2 にまとめたが、グラフサンプリング法による1995、1996年の11月の2回の三朝温

る。ルーカスセル内のラドン濃度が平衡に達した3.5時間経過後の値からサンプリング直後の平均ラドン濃度を計算する。サンプリングからラドン濃度が飽和状態になった3.5時間以後のラドン濃度は徐々に減少しており、その傾斜はラドンの半減期91.8時間とほぼ一致している。

泉周辺地域の空气中屋内ラドン濃度は  $9 \sim 186\text{Bq}/\text{m}^3$  であった。

ルーカスセル・グラフサンプリングにより、屋内、屋外において空气中ラドン濃度を測定した結果、ルーカス法による空气中ラドン濃度の最小検出限界が  $7.6\text{Bq}/\text{m}^3$  と高いため、特に屋外のラドン濃度はこれ以下であることが多いので、測定は困難である。このため、容量の大きいチェンバーPMT-TELによる吸引により時間をかけて測定をする必要がある。1995年、1996年と同じ場所で測定を行った結果によると、三朝・上西谷においては  $52\text{Bq}/\text{m}^3$  から  $186\text{Bq}/\text{m}^3$  と3倍近く変動していること、またピコラド検出器による測定においても  $77 \sim 141\text{Bq}/\text{m}^3$  と比較的濃度レベルの変動は大きい。しかし、比較的よく似た傾向を他の場所においても示している。これらの結果により測定場所の状況、測定時期、気象条件、換気条件と様々な要因により空气中のラドン濃度は時間的にも空間的にもその変動巾は大きいと思われる<sup>2,7)</sup>。ラドンチェ

ンバー (PMT-TEL) の連続測定を行うことにより、経時的に変動の状態が観察出来ると思われる。

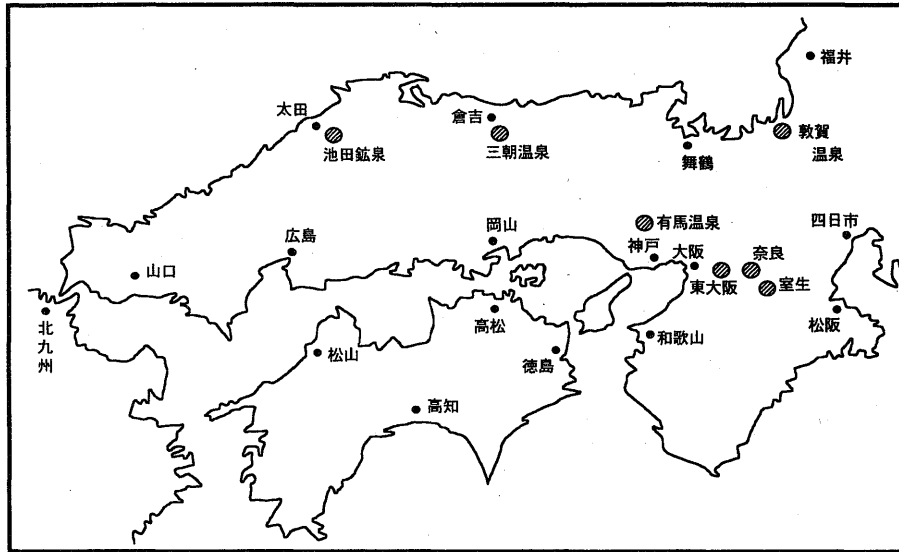


Fig. 9 高自然放射線地域など環境放射能測定地域

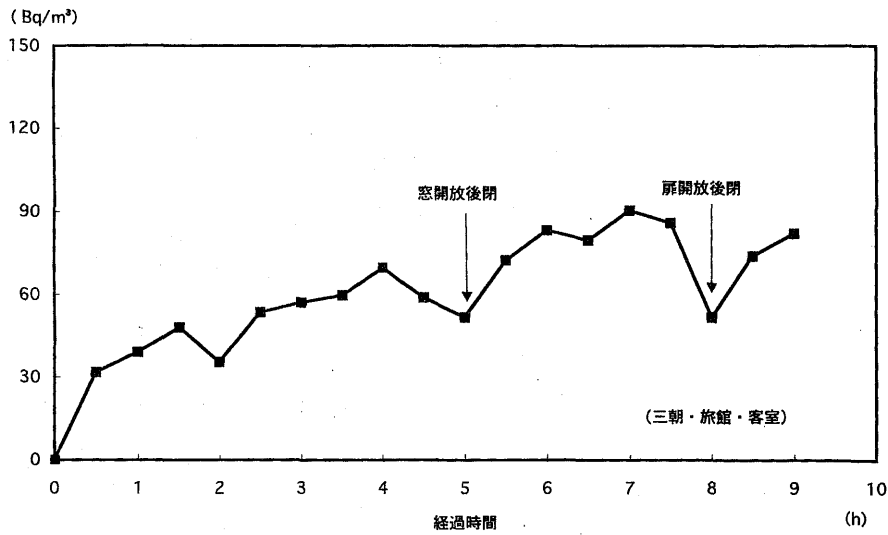


Fig. 10 ルーカスセルによるグラフサンプリングによるラドン濃度の経時変化

Table 2 三朝温泉地域および池田鉱泉地域におけるラドン濃度

測定箇所				ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )		
				パイロンルーカスセル法	ピコラド検出法	
三朝	1995年 11月14日	福本(Y)	屋内	72.1 ± 5.7	34~49	
		福本(K)	"	64.4 ± 5.4	—	
		上西谷(J)	"	51.8 ± 4.8	77~141	
		11月15日	久原(A)	"	32.9 ± 3.8	29~63
			久原(S)	"	30.0 ± 3.0	—
			曹源寺(H)	"	32.7 ± 1.9	59~70
			穴鴨(Y)	"	39.6 ± 3.8	47~90
		三朝(N)	"	60.5 ± 1.4	33~120(連続測定)	
	1996年 11月9日	片柴(S)	屋内	8.8 ± 6.4	17.1 ± 2.1	
			屋外	ND	19.3 ± 2.3	
		上西谷(T)	屋内	120.1 ± 12.0	58.9 ± 2.9	
			屋外	185.7 ± 14.0	24.3 ± 2.5	
		大柿(Y)	屋内	29.5 ± 7.2	63.9 ± 3.0	
			屋外	21.4 ± 6.6	33.7 ± 2.7	
池田鉱泉	1996年 11月10日	旅館1F	屋内	192.6 ± 14.4	232 ± 4.5	
		1F	"	178.1 ± 13.6	—	
		2F	"	78.0 ± 10.3	—	
		食堂	"	60.7 ± 9.6	141 ± 3.6	
		浴室	"	140.5 ± 36.0	1135 ± 9.0	
		庭	屋外	16.0 ± 6.3	48.0 ± 2.8	
	1996年 11月11日	3号鉱泉	"	65.5 ± 9.6	101.3 ± 3.6	
		入口	"	53.7 ± 9.1	—	
		鉱泉扉前	"	280.8 ± 16.7	—	
		玄関	"	36.4 ± 8.3	—	
		川辺	"	37.6 ± 7.7	42.4 ± 2.9	
		老人ホーム	事務室	屋内	65.5 ± 9.6	388 ± 5.6
			ホール	"	41.8 ± 8.6	81.0 ± 3.2
			客室	"	51.0 ± 9.0	57.2 ± 2.8
			ヘルパ-部屋	"	78.1 ± 9.8	93.7 ± 3.3

## 4. まとめ

パイロンの静電捕集検出チェンバー PMT-TEL、ルーカスセル300Aにより連続測定およびグラフサンプリング法によって空气中のラドン濃度の検出特性を検討し、三朝地域における空气中ラドン濃度を測定し次にまとめる。

1. 捕集用チェンバー PET-TELにより、1ℓ/min吸引、連続測定吸引後30分間隔の測定で、3.5時間

以後における測定値の平均値を平均ラドン濃度とすると、その最小検出限界は 0.58Bq/m<sup>3</sup>、精度17%、ルーカスセル300Aによるグラフサンプリングによる最小検出限界は 7.6Bq/m<sup>3</sup>、精度23%で、ルーカスセルはチェンバー PMT-TELの感度の約10倍と高く、感度は悪い。ばらつきも大きく精度も若干劣るが、サンプリングなど携帯用としては簡便で屋内での比較的高濃度のラドン濃度の測定には重宝する。



2. ピコラド検出法により、1日間サンプリングし、空气中ラドン濃度のある期間の平均の測定には適しているが、その時点における濃度を測定するに

は、セルチェンバー PMT-TEL およびルーカスセル 300A による連続測定により、その変動の状況を経時的に観察することが可能である。

## 5. 参考文献

- 1) United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (UNSCEAR) 1988, 1993 Reports, "Sources, effect and risks of ionizing radiation", United Nations, New York (1997, 1988, 1993)
- 2) 山崎 直, 飯田孝夫, 下 道国, 池辺幸正; 屋外ラドンおよびラドン娘核種濃度の連続測定, 保健物理, 30, 149-154 (1995)
- 3) 山崎 直, 飯田孝夫, 下 道国, 池辺幸正; 昼間と夜間のラドン, トロン娘核種濃度差, Radioisotopes, 44, 251-255 (1995)
- 4) 藤波直人, 江坂 忍; 舞鶴市大気中ラドン濃度変動, 保健物理, 26, 127-128(1991)
- 5) 下 道国, 飯田孝夫; ラドン・トロンとその娘核種—測定法の現状と課題—, JCAC, No.18, 12-29 (1990)
- 6) 松本 譲, 石橋健夫 他; 標準 $\gamma$ 線を用いた室内ラドン濃度測定用電離箱の較正法, 続大気中のラドン族と環境放射能, 53-63 (1990)
- 7) 下 道国, 飯田孝夫; ラドンとその娘核種の総合比較, 続大気中のラドン族と環境放射能, 113-118 (1990)
- 8) 森嶋彌重, 古賀妙子, 河合廣, 近藤宗平, 御船政明他; 液体シンチレーションスペクトロメータによるラドンの測定, 環境ラドン, 429-437 (1991)
- 9) T. Koga, H. Morishima, et al.; Radon measurement using a liquid scintillation spectrometer, Annual Report of Kinki University Atomic Energy Research Institute, 29, 17-24 (1992)
- 10) 古賀妙子, 稲垣昌代, 森嶋彌重他4名; ピコラド検出器を用いた液体シンチレーション計数法による鳥取・三朝地域におけるラドン濃度の測定(3), 近畿大学原子力研究所年報, 33, 11-23 (1996)

古賀他：シンチセル・ラドンモニタによる空气中ラドン濃度の測定