

PNC #J1630 97-001

分置

社内資料

本資料は 年 月 日付けで登録区分、

変更する。 01.10.-4

[技術情報室]

# ラドン及び崩壊生成核種の環境中 挙動に関する研究（Ⅲ）

（ 動力炉・核燃料開発事業団  
委託研究成果報告書 ）

1997年3月

近畿大学原子力研究所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

この資料は、動燃事業団社内における検討を目的とする社内資料です。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

安全部

## ラドン及び崩壊生成核種の環境中挙動に関する研究 (Ⅲ)

森嶋彌重\*\*、古賀妙子\*\*

### 要 旨

土壌中にはウランやラジウム等を含む鉱物が広く分布しており、これらがラドンの発生源として種々の形態で人の生活環境に関与し、ラドン濃度は様々な要因によって時間的にも空間的にも大きく変動している。そこで、環境大気中のラドン濃度の経時変動および場所による濃度レベルの分布を簡便にしかも、正確に評価するために特にピコラドシステムおよび液体シンチレーションスペクトロメータ (Tri-carb 2250CA) を用いて空气中ラドン濃度の測定に関する基礎的研究を行うとともに、日本でも有数のラドン温泉である鳥取県三朝温泉と、その周辺地域のラドン濃度の測定を行い、ラドンおよび崩壊生成核種の環境中挙動に関する検討を行ったので、その結果を報告する。

- (1) 三朝周辺地域における1996年11月までに実施した空气中ラドン濃度は、屋外ラドン濃度は5.3～150 Bq/m<sup>3</sup>、屋内ラドン濃度は7.0～381 Bq/m<sup>3</sup>の範囲で大きく変動した。測定した地域の内、三朝地区、旭地区 (竹田川沿) および竹田地区天神川沿い (竹田川上流の一部) が高く、三朝温泉地区の東南部小鹿地区および三徳地区は低く、人形峠付近についての屋外濃度は、5.7～59 Bq/m<sup>3</sup>と低い濃度レベルであった。屋内ラドン濃度について、もっとも低い小鹿地区 (7.0～22 Bq/m<sup>3</sup>) と比較すると今回高かった竹田地区 (37～109 Bq/m<sup>3</sup>) は平均で約4倍、三朝地区 (38～381 Bq/m<sup>3</sup>) は約6倍であった。東大阪市の空气中ラドン濃度は小鹿地区と同レベルであった。屋内ラドン濃度は屋外ラドン濃度と比べると高く、その比は試料数は少ないが三朝地区、竹田地区、旭 (竹田川沿) 地区の上流は平均で1.7～2.0と高く、他は1.1～1.2と低い傾向を示し、地区により差が見られた。
- (2) 三朝温泉地区における1995年5月より1996年12月迄の空气中ラドン濃度の経時変動を見ると、屋内濃度の1階においては53～170 Bq/m<sup>3</sup>、2階は24～110 Bq/m<sup>3</sup>と1階の方が高く、屋外濃度は9.6～50 Bq/m<sup>3</sup>の範囲に変動し、浴室内ラドン濃度は48～274 Bq/m<sup>3</sup>であった。
- (3) 1989年11月～1996年12月における三朝温泉地区一般家庭の温泉水、河川水、井戸水などの水中濃度はそれぞれ58～216 Bq/l、1.7～11 Bq/l、15～39 Bq/lの範囲で変動した。三朝温泉旅館を含む地域における温泉水は最高1700 Bq/l、井戸水は最高400 Bq/l、山水、湧水は1～41 Bq/lと巾広く変動している。温泉街の空气中ラドン濃度はこれらに影響を受け、場所、時間などにより変動する。河川水は1.7～15 Bq/lでほぼ同レベルで経時変動は少ない。旭地区の大柿では2～400 Bq/lと同じ大柿地区でも所によって大きく変動している。

\* 本報告書は、近畿大学が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：080D0180

事業団担当部課室および担当者：安全部長 谷山 洋

\*\* 近畿大学原子力研究所

# Study on the environmental movements of Radon and its decay nuclides (III)

Hiroshige Morishima\*\* and Taeko Koga\*\*

## Abstract

The minerals containing uranium, radium etc. are widely distributed in the ground. The radon concentrations make wide fluctuation seasonally and spatially by various factors on the life environment. These have various influences various forms as the origin of radon on the human living (life) environment. Basic study on the measurement of the radon in the air by means of a radon detecting Pico-Rad system and a liquid scintillation spectrometer (Tri-carb 2250CA) to assess conveniently and accurately, and studies on environmental movements of the radon and its decay nuclides on Misasa spa districts where is famous for radon spa and its environ in Tottori prefecture were done. The results are reported following ;

(1) Radon concentrations in the air at Misasa environs area on measured until November, 1996 were fluctuated largely ranged  $5.3 \sim 150 \text{ Bq/m}^3$  in outdoor and  $7.0 \sim 381 \text{ Bq/m}^3$  in indoor. On the results measured on Misasa area,  $^{222}\text{Rn}$  concentrations on Misasa district, Asahi district along Takeda stream located southward from Misasa spa district and Takeda district along Tenjin stream are high, on Kojika district located east-southward from Misasa spa district and Mitoku district are low and outdoor  $^{222}\text{Rn}$  concentrations on Ningyo toge neighboring are low level with ranged  $5.7 \sim 59 \text{ Bq/m}^3$ .

Indoor  $^{222}\text{Rn}$  concentrations ( $37 \sim 109 \text{ Bq/m}^3$ ) on Takeda district are about 4 times higher than those on Kojika district showed the lowest concentration and those ( $38 \sim 381 \text{ Bq/m}^3$ ) on Misasa district are about 6 times higher than on Kojika district. Indoor  $^{222}\text{Rn}$  concentration Kojika district are almost similar to those on Higashi Osaka.

Indoor  $^{222}\text{Rn}$  concentration are higher than outdoor, the mean ratio of indoor to outdoor  $^{222}\text{Rn}$  concentration on a few sample of Takeda and Asahi districts (upper stream) are about 2 and those on the other district are shown in low tendency ranged  $1 \sim 1.3$ . There are a few difference among some districts.

(2)  $^{222}\text{Rn}$  concentration variations in a dwelling at Misasa spa district were observed from May 1995 to December 1996 in the time course. They are fluctuated in range of  $53 \sim 170 \text{ Bq/m}^3$  on the first floor and  $24 \sim 110 \text{ Bq/m}^3$  on the second floor (indoor),  $9.6 \sim 50 \text{ Bq/m}^3$  outdoor and  $48 \sim 274 \text{ Bq/m}^3$  in bathroom.

(3)  $^{222}\text{Rn}$  concentration variations in water samples at Misasa spa district are  $58 \sim 216 \text{ Bq/l}$  in hot spring,  $1.7 \sim 11 \text{ Bq/l}$  in river water and  $15 \sim 39 \text{ Bq/l}$  in well water from November 1989 to December 1996. The maximum  $^{222}\text{Rn}$  concentration in water samples at Misasa spa district is  $1700 \text{ Bq/l}$  in hot spring,  $400 \text{ Bq/l}$  in well water and varied in range of  $1 \sim 41 \text{ Bq/m}^3$  in spring water.  $^{222}\text{Rn}$  concentrations in river water are a little varied  $1.7 \sim 15 \text{ Bq/l}$ . Those in well water are fluctuated widely  $2 \sim 400 \text{ Bq/l}$  at Ogaki on Asahi district.

---

\* Work performed by Kinki University under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

PNC Liaison : Safety Division Hiroshi Taniyama

\*\* Kinki University Atomic Energy Research Institute

## 目 次

1. はじめに	・・・ 1
2. 材料および方法	・・・ 2
2.1 ピコラド検出器	・・・ 2
2.2 試料採取	・・・ 2
2.3 ラドン濃度測定法	・・・ 2
2.4 土壌中の $\gamma$ 線核種分析	・・・ 2
3. 結果と考察	・・・ 5
3.1 $^{222}\text{Rn}$ 測定における特性	・・・ 5
3.1.1 ピコラド検出器のラドン基準校正など特性およびラドン溶出特性	・・・ 5
3.1.2 PICO-RAD システムによる水中ラドン濃度の検出感度	・・・ 5
3.1.3 水中ラドン濃度測定法の比較	・・・ 11
3.2 鳥取・三朝周辺地域における空气中ラドン濃度	・・・ 11
3.3 鳥取・三朝周辺地域における水中ラドン濃度	・・・ 18
3.4 三朝温泉街における空气中ラドン濃度の経時変化	・・・ 18
3.5 三朝地区における水中ラドン濃度の経時変化	・・・ 23
3.6 東大阪における空气中ラドン濃度	・・・ 23
3.7 土壌中 $\gamma$ 線放射性核種分析	・・・ 31
4. まとめ	・・・ 31
5. 参考文献	・・・ 37

## 1. はじめに

UNSCEAR 1988, 1993年国連科学委員会報告書によると、自然に存在する放射線源の一つであるラドン (Rn-222) とその短寿命崩壊生成核種の吸入による内部被ばく線量は、世界の平均的な値として、自然放射線源から受ける年間被ばく線量当量、2.4 mSv の約半分を占める。生活環境中における自然放射線による被ばく線量の最も大きな要因であると世界的に注目されている<sup>1)</sup>。

土壌中にはウランやラジウム等を含む鉱物が広く分布しており、これらがラドンの発生源として種々の形態で人の生活環境に関与している。これら天然放射性核種濃度は一般的にあまり高くないとされているが、近年の住宅構造の機密化などによって家屋内でのラドンの蓄積が見られ、高ラドン濃度がスウェーデンに始まり、アメリカ、イギリスなど世界中で報告され問題となっている。このため、わが国でも全国的に生活環境におけるラドン濃度の実態を把握し、それによる線量の評価が急がれるとともに、屋内のラドンとその崩壊生成核種の吸収によって引き起こされる恐れのある人体への影響に関する研究へと発展している。そこでラドン、トロンなど気体状の放射性核種による被ばく評価を目的に、生活環境中、特に高自然放射線地域における<sup>222</sup>Rnの濃度レベルの分布の研究を行う。

生活環境中では様々な要因によってラドン濃度は時間的にも空間的にも変動し、変動巾も大きい<sup>2~7)</sup>。そこで、環境大気中のラドン濃度の経時変動および場所による濃度レベルの分布を簡便にしかも、正確に評価するためにピコラドシステムを採用し、基礎的な特性を検討する。水中のラドン濃度については、ラドンがトルエンによく溶出されることを利用して大量の水試料よりラドンを分離し (抽出法)、液体シンチレーションスペクトルメータで測定する方法が古くから実施されている<sup>8~10)</sup>。ラドン濃度レベルの分布などを調べるため、一挙に多くの試料数を処理、測定するには、乳化シンチレータと試料水を直接混合して測定する直接方法も行われている<sup>11,12)</sup>。そこで、ラドン濃度の測定は、ラドンが容易に活性炭に吸着しやすいという性質を利用したパッシブ法 (活性炭法) を採用した。Packard 社製ピコラド検出器を24時間開放してラドンを捕集した後、液体シンチレーションスペクトロメータ (Tri-carb 2250CA) を用いて測定した。日本でも有数のラドン温泉である鳥取県三朝温泉と、その周辺地域の空気中および水中ラドン濃度の測定を行い、環境中挙動に関する研究を行い検討したので報告する。

## 2. 材料および方法

### 2.1 ピコラド検出器

ピコラド検出器はラドンが活性炭によく吸着し、有機溶媒に抽出されやすい、等の性質を利用し、実用化したもので、小型、軽量等の利点を持つ空気中ラドン濃度測定器である。

### 2.2 試料採取

三朝温泉は、鳥取市の西南西約 30 km の、鳥取県東伯郡三朝町にあり、鳥取県の中央部を北流する天神川の支流の三徳川の両岸の三朝、山田地域で温泉水が湧出する。三徳川両岸沿いの三朝温泉地区および天神川および加茂川にはさまれた旭地区、加谷川流域の竹田地区、小鹿川流域の小鹿地区および人形峠などの、ラドン濃度測定を行った場所を Fig. 1 に示した。対照地区としては、東大阪市において近畿大学原子力研究所構内、研究室、倉庫等で空気中ラドン濃度の測定を行った。

### 2.3 ラドン濃度測定法

ラドン濃度の測定法は Fig. 2 に示したように、パッカー社製の PICO-RAD システムを用いて、水中および空気中について、ラドン濃度の測定を行った。

(1) 空気中ラドン濃度の測定は、現地で PICO-RAD 検出器のフタを開放、地表面から 1 m のところに、開口部を下にして設置し、24 時間ラドンを捕集し、その後、この検出器にシンチレータ溶液 (INSTA-FLUOR) を 10ml 添加した後、フタを閉めて約 15 秒間振とうあるいは 2 分間逆さにし、シンチレータ中に抽出した後持ちかえり、パッカー社製液体シンチレーションスペクトロメータ (TRI-CARB 2250 CA/LL 型) により測定を行った。

(2) 水中ラドン濃度測定は、現地にて 20ml ガラスバイアル瓶にシンチレータ溶液 (OPTI-FLUOR) を 10ml 入れ、次に試料水を 10ml 採取して添加し、約 15 秒間振とうし、液体シンチレーションスペクトロメータで測定を行った。

### 2.4 土壌中の $\gamma$ 線核種分析

ラドン濃度を測定した地域の土壌中の  $\gamma$  線核種分析を実施した。ラドン濃度を測定した地点の土壌を採取し、乾燥細土にした後、U-8 容器に秤量し、 $\gamma$  線核種分析は、Ge (INT) 半導体検出器を用いた  $\gamma$  線スペクトロメータで測定し、NAIG 社製 NLAB-MCA2/Gamma で、データ処理を行った。

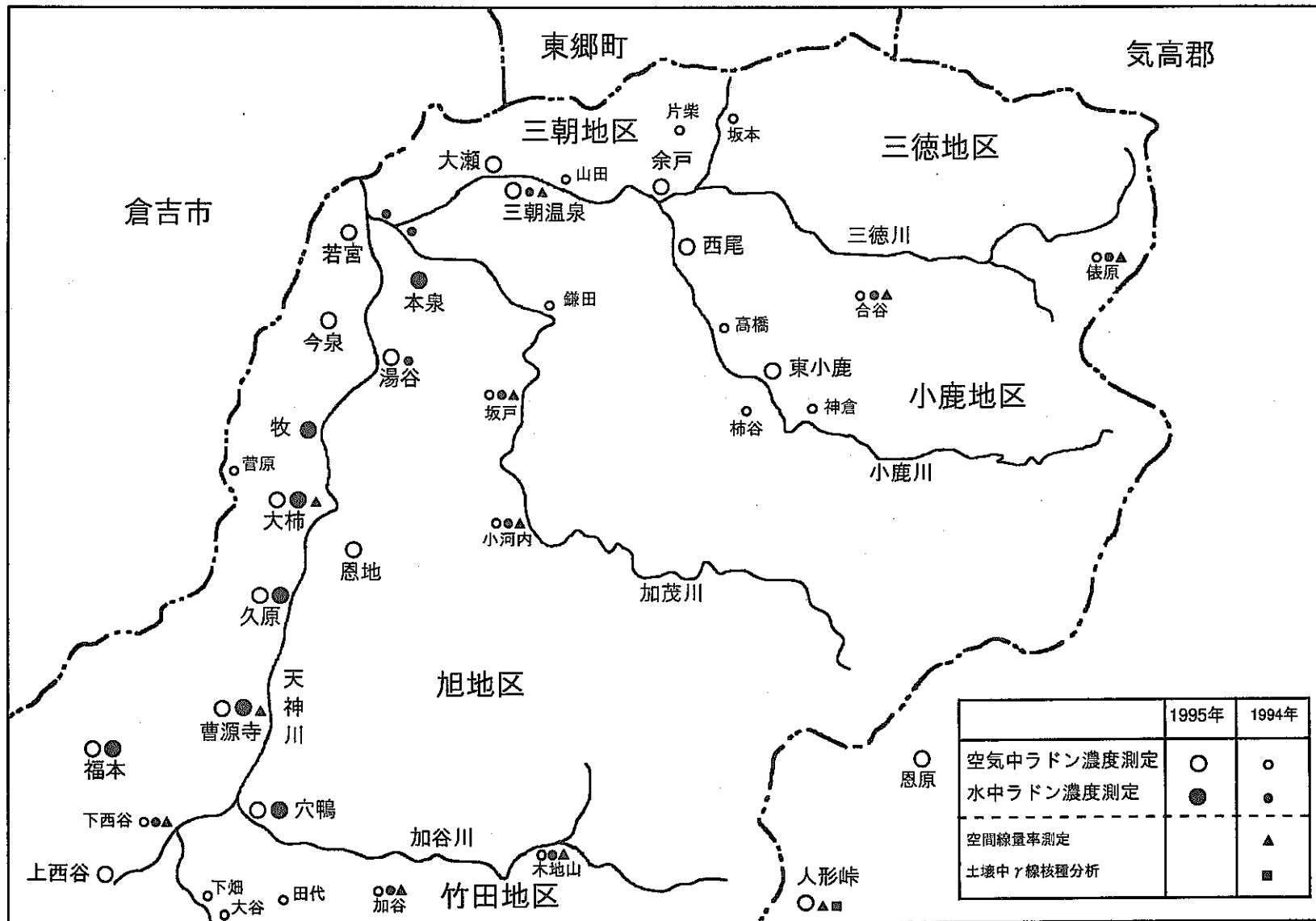


Fig. 1 三朝周辺地域における測定場所



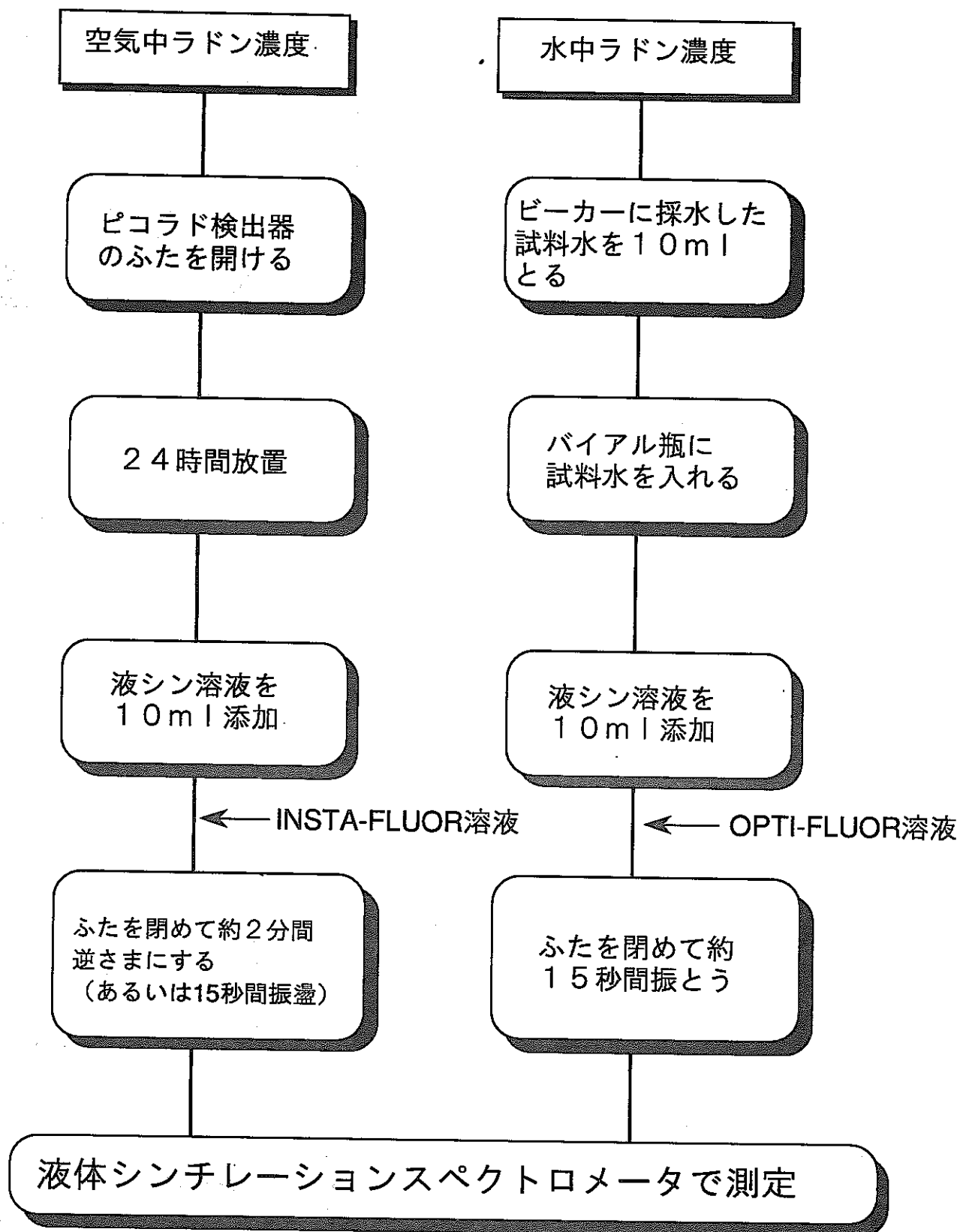


Fig. 2 ラドン濃度測定法

### 3. 結果と考察

#### 3.1 $^{222}\text{Rn}$ 測定における特性

##### 3.1.1 ピコラド検出器のラドン基準校正など特性およびラドン溶出特性

動力炉・核燃料開発事業団人形峠事業所内の、ラドン標準校正チェンバーを用い、ピコラド検出器の基準校正を行った。

校正係数は、ラドン標準校正チェンバー内のラドン濃度を測定値で割ることで求める。チェンバー内にピコラド検出器10本を設置し、標準ラドンガスを封入し、24時間放置した。ピコラド検出器10本については回収後、直ちに液体シンチレータを添加し、測定は液体シンチレーションスペクトロメータで行い、その結果を Table 1 に示した。

これによると、チェンバー内に封入された標準ラドン濃度値 33, 69, 104, 152, 300  $\text{Bq/m}^3$  より換算係数を標準ラドン濃度/ピコラドによる濃度で求め、示した。10本の測定したラドン濃度の相対標準偏差を精度あるいは変動係数とした。最小検出限界をバックグラウンド計数の標準偏差の3倍とし、最小検出限界として示した。空気中のラドン濃度の最小検出限界は200分測定で  $1.7 \text{ Bq/m}^3$  であった。

検出器中に捕集吸着した $^{222}\text{Rn}$ をシンチレータにより溶出および $^{222}\text{Rn}$ 崩壊生成核種の生成・崩壊の時間経過状況については既報<sup>19)</sup>で示しているように、シンチレータ添加より20時間後に計数率が最高値に達し、以後 $^{222}\text{Rn}$ の半減期(3.824日)で徐々に減少する。これを液体シンチレーションスペクトロメータにおいてエネルギー設定範囲を3段階にした場合の計数率の経時変化を Fig. 3 に示したが、同様の傾向を示している。水中 $^{222}\text{Rn}$ の場合の計数率の変化を Fig. 4 に示したが最高値に達する時間が5時間程度と早い、半減期はほぼ $^{222}\text{Rn}$ に従っている。直接法では試料を直接採取、注入するため Rn 濃度のみでなくトリウム、ウラン系列中の $\alpha$ 、 $\beta$ 線放出核種を若干計測しているおそれがある。放射能濃度 ( $\text{Bq/m}^3$ ) に換算すると20時間後より約8日までは平衡を保ち、計数誤差などの点より、測定時間を増加させるなど考慮すれば採取8日後までは測定可能である。

##### 3.1.2 PICO-RADシステムによる水中ラドン濃度の検出感度

液シン法によるラドン濃度の測定は放射平衡成立後測定する。ラドン濃度を測定する場合、ラドン崩壊生成物の最高エネルギー7.69 MeVまでの $\alpha$ 線を放出するので、液体シンチレーションスペクトロメータのエネルギー領域として分解能を考慮して、設定範囲を25 keV~900 keVとする。下限は水中の $^3\text{H}$  ( $\beta$ 最大エネルギー

Table 1 ピコラド検出器の特性

標準ラドン濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )	換算係数	精 度 (%)	最小検出限界 (Bq/m <sup>3</sup> )
33	0.76	7.8	1.7 (200分測定)  3.5 (50分測定)
69	0.72	7.7	
104	0.78	7.4	
152	0.70	7.2	
300	0.75	10.2	

換 算 係 数 : 標準ラドン濃度 / ピコラド法による濃度 (平均0.742)

最 小 検 出 限 界 : B.G.の3 $\sigma$

精 度 : 相対標準偏差

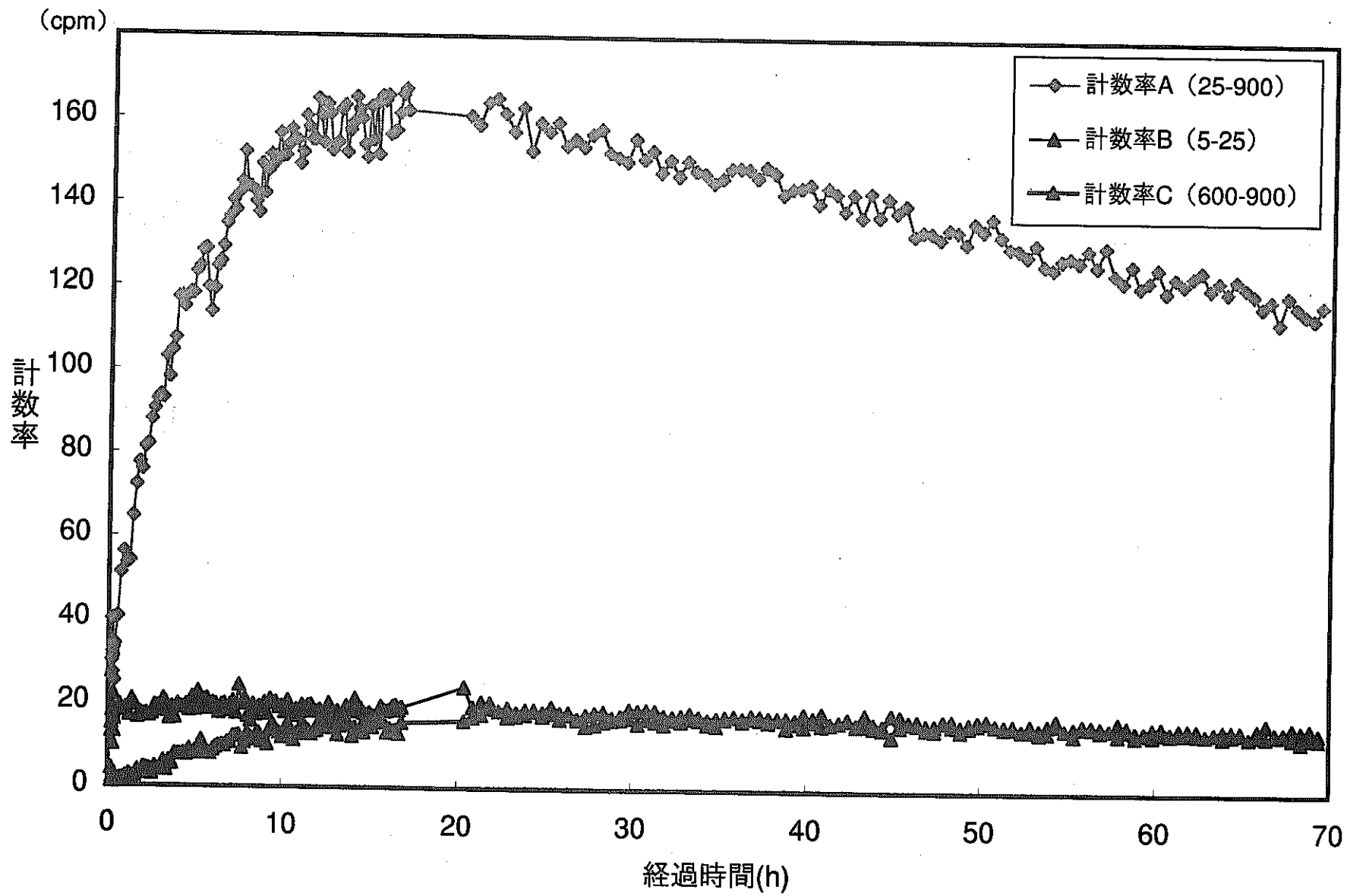


Fig. 3 空气中ラドン計数率の経時変化 (シンチレータ注入後)

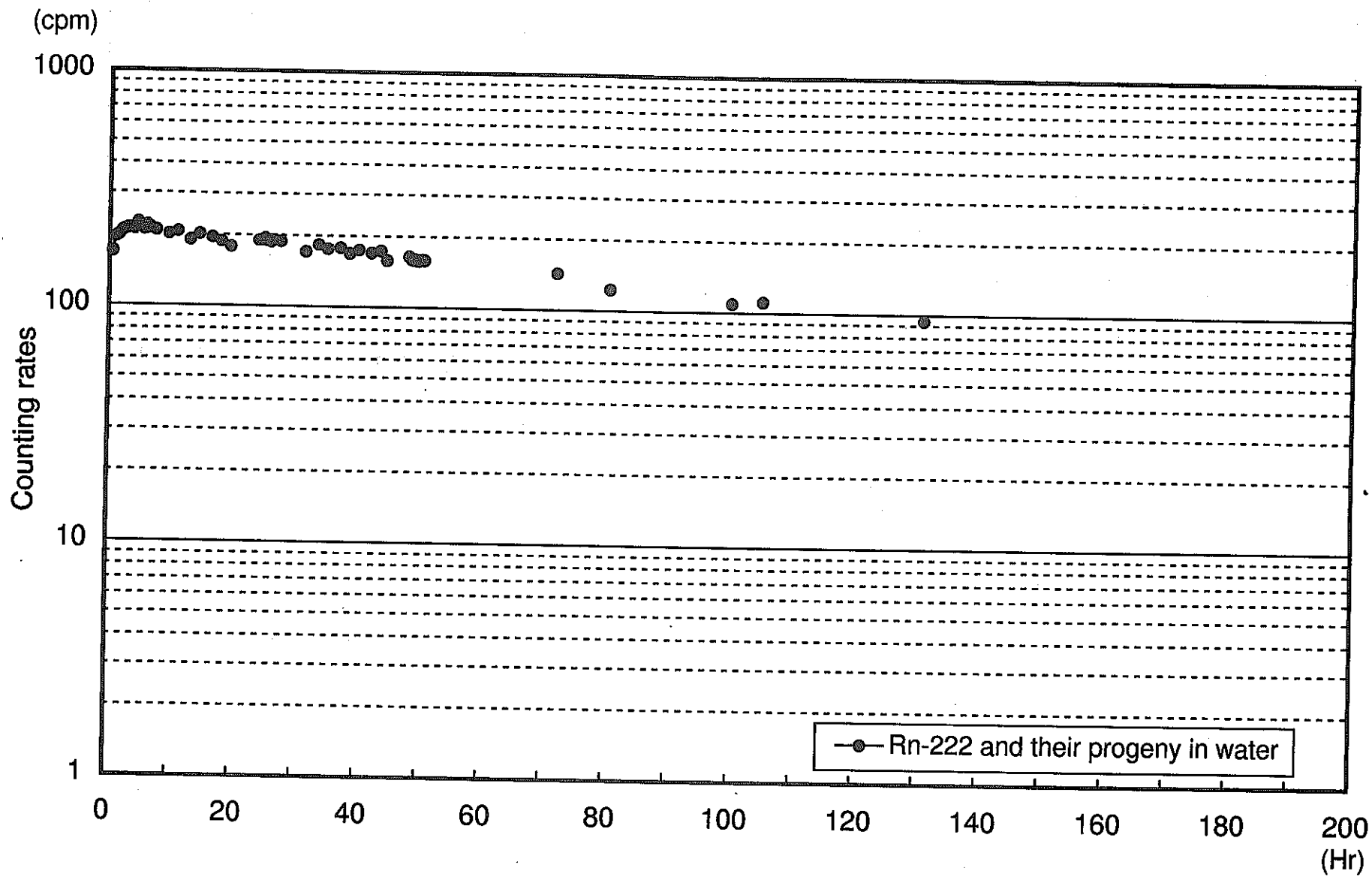
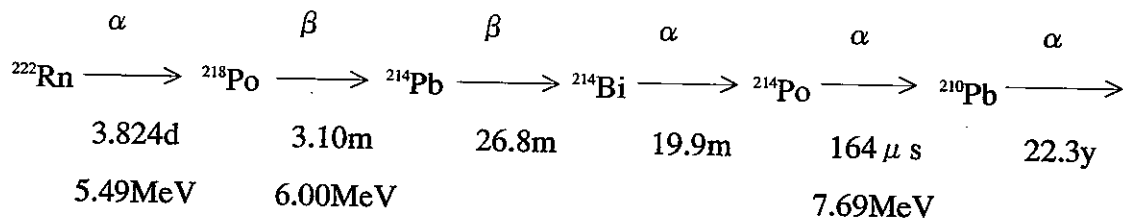


Fig. 4 水中のRn-222 計数率の経時変化 (シンチレータ注入後)

18keV) を除外出来る。



その計数は  $^{222}\text{Rn}$  より  $^{210}\text{Pb}$  (RaD) に至る  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{218}\text{Po}$  及び  $^{214}\text{Po}$  の  $\alpha$  放射能と  $^{214}\text{Pb}$  及び  $^{214}\text{Bi}$  の  $\beta$  放射能の積分計数を行い、試料水 1  $\ell$  中の  $^{222}\text{Rn}$  濃度を求める。

ラドン濃度 C は次式で求められる。

$$C = (N - N_b) / 60 \times 1000 / M \times 1/5 \times 1/G$$

C : 水中のラドン濃度 (Bq/ $\ell$ )

N : 25keV~900keV の計数率 (cpm)

$N_b$  : 25keV~900keV のバックグラウンドの計数率 (cpm)

M : 試料水量 (ml)

G : 検出効率 ( $\approx 100\%$ )

$^{222}\text{Rn}$  が  $^{210}\text{Pb}$  (RaD) に崩壊する間にエネルギー 5.49, 6.00, 7.69 MeV の  $\alpha$  線を放出する。倉庫で採取した空気試料の  $^{222}\text{Rn}$  および崩壊生成物の  $\alpha$  および  $\beta$  線スペクトルの溶出後の経時変化を Fig. 5 に示した。シンチレータをピコラド検出器に添加した直後 (1.5分後) から、250 時間までの時間経過によるエネルギースペクトルである。 $\alpha$  線の液体シンチレータによる発光効率は  $\beta$  線の発光効率の約 1/10 で、液体シンチレーションスペクトロメータは  $\beta$  線で校正され、目盛られているので、見かけ上、 $\alpha$  線エネルギーの 1/10 のところにピークが見られる。シンチレータを添加した後、徐々にシンチレータ溶出され約 20 時間で平衡に達し、以後徐々に  $^{222}\text{Rn}$  は半減期 (3.824d) に従って減衰する。27 時間後のスペクトルでは、 $\alpha$  線 ( $^{222}\text{Rn} + ^{210}\text{Po}$ ) のピークおよび  $^{214}\text{Po}$  の  $\alpha$  線ピークが観察され、放射能が低レベルであるため分解能が悪く  $^{222}\text{Rn}$  と  $^{210}\text{Po}$  が見かけ上一つのピークとなり、 $^{214}\text{Pb}$  と  $^{214}\text{Bi}$  による  $\beta$  線の連続スペクトル上に検出されている。

液体シンチレーションスペクトロメータによる  $\alpha$ ,  $\beta$  線に対する検出効率 (G) はほぼ 100% である。そこでこの方法の検出限界としては、バックグラウンドの標準偏差の 3 倍に相当する濃度で示し、直接法で 20 分測定で 1.5 Bq/ $\ell$ 、200 分測定で 0.43 Bq/ $\ell$ 、さらに、同一試料を多数回測定した時の相対標準偏差を精度として計算し、約 10% となった。

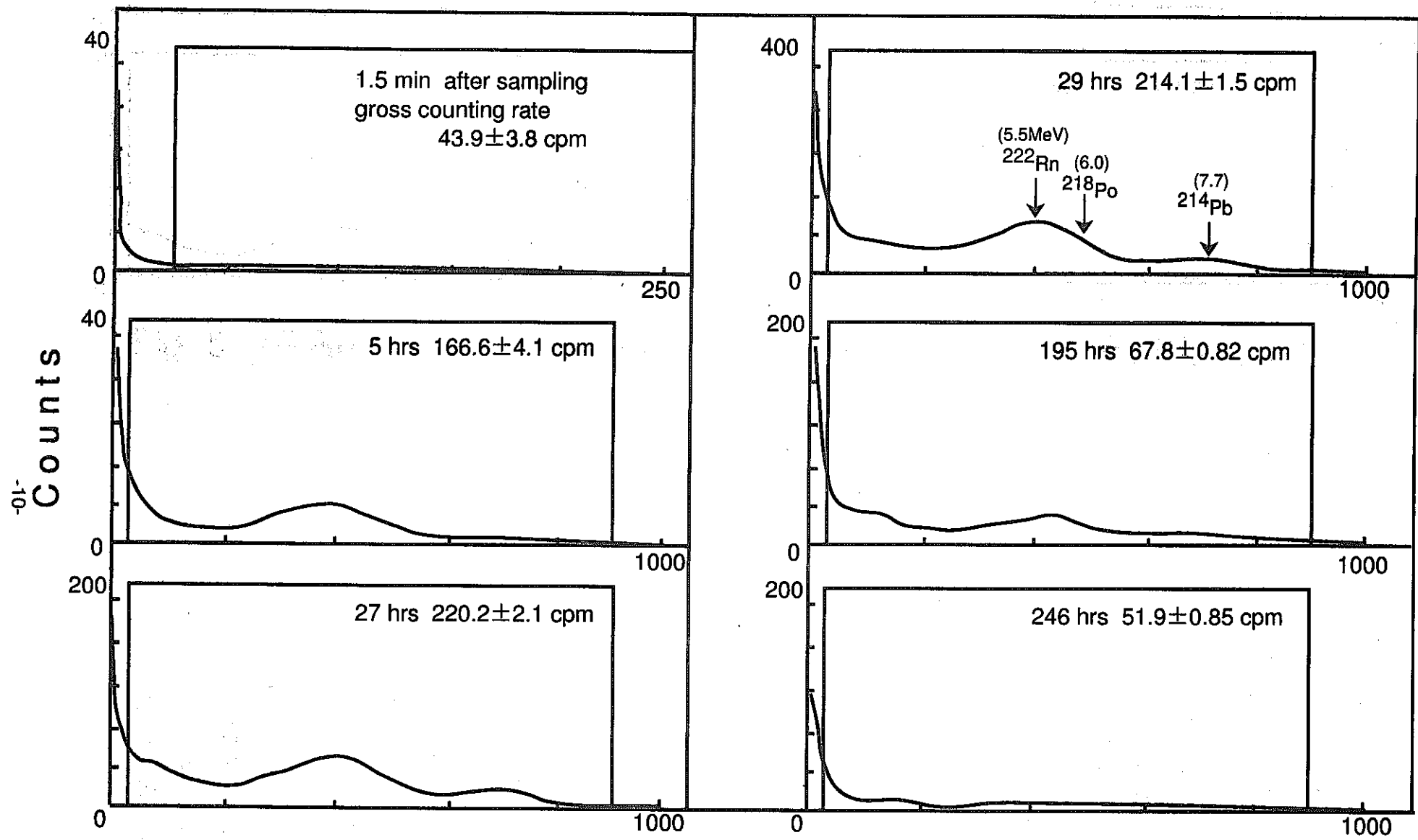


Fig. 5  $^{222}\text{Rn}$  および崩壊生成物の  $\alpha$  線スペクトルの溶出後の経時変化

### 3.1.3 水中ラドン濃度測定法の比較

Packard社製 PICO-RAD システム、OPTI-FLUOR 直接法および従来のトルエン抽出法で得られた水中ラドン濃度の比較を行い、結果をFig. 6に、測定法の特性の比較をTable 2に示した。直接法は試料水 10mℓ をガラス製バイアル瓶に入れ、OPTI-FLUOR 溶液 10mℓ を加え、30秒間激しく振とうし、抽出後液体シンチレーション計数装置で測定する。トルエン抽出法は試料水を 1ℓ 容三角フラスコに 500mℓ 入れ、Rn がトルエンによく溶解することを利用して抽出するもので、トルエンシンチレータ 25mℓ を加え、5分間激しく振とうして10分間静止し、トルエンシンチレータ層をバイアル瓶に移し、液体シンチレーション計数装置で測定した。BGの補正、採水時への減衰補正、抽出条件（水温など）の補正、採水量などの補正などを計算し、Rn 濃度を算出する。これによると、直接法では PICO-RAD システムによる水中ラドン濃度の最小検出限界は 0.5Bq/ℓ、トルエン抽出法の 0.09Bq/ℓ には劣るものの、水中ラドン濃度測定においては感度、精度の面で計測出来、ガラスバイアル瓶の使用が可能なことなどの利点がある。精度は同一試料10回測定による相対標準偏差とすると、三方法とも10%でほぼ同じであった。

三朝地区の水中ラドン濃度をトルエン法、OPTI-FLUOR 法、PICO-RAD システムで測定し比較した結果、計測時間20分で行ったので三方法について1試料を除いて30%の変動範囲であることから、試料数の多い水中ラドン濃度分布などを観察する場合の簡便法としての有用性が検討出来た。但し、低レベルのラドン濃度の試料については計測時間を増やすことが必要である。

### 3.2 鳥取・三朝周辺地域における空气中ラドン濃度

1996年11月に三朝周辺地域において、測定場所9カ所の屋内外における空气中ラドン濃度の測定を行った。その結果をTable 3, Fig. 7に示した。これによると、屋内ラドン濃度は 7.8~63.8 Bq/m<sup>3</sup>、屋外ラドン濃度は 6.5~33.7 Bq/m<sup>3</sup> の範囲で変動した。地区ごとにみると、旭地区の上西谷、大柿において、ラドン濃度が高く三朝温泉地区の東南部小鹿地区は低く、屋内ラドン濃度を比較すると、旭地区（天神川沿）の濃度はもっとも低い小鹿地区の数倍であった。東大阪のラドン濃度は小鹿地区とほぼ同レベルであった。1992年に測定を開始してから現在までに測定した三朝地域のラドン濃度の地区ごとの屋内および屋外の平均濃度を地図上に棒グラフで分布を示し、それぞれTable 4 およびFig. 8に示した。屋内および屋外ラドン濃度は三朝地区、竹田地区（天神川沿い）および旭地区が高く、三朝、旭、竹田地



Table 2 水中ラドン測定法の特性

方 法	トルエン法	ピコラド法	OPTI-FLUOR 直接法
検出限界 Bq/ℓ (20分測定)	0.09	0.5	1.5
精 度 (%)	10	11	10
試料容量 (ml)	500	10	10

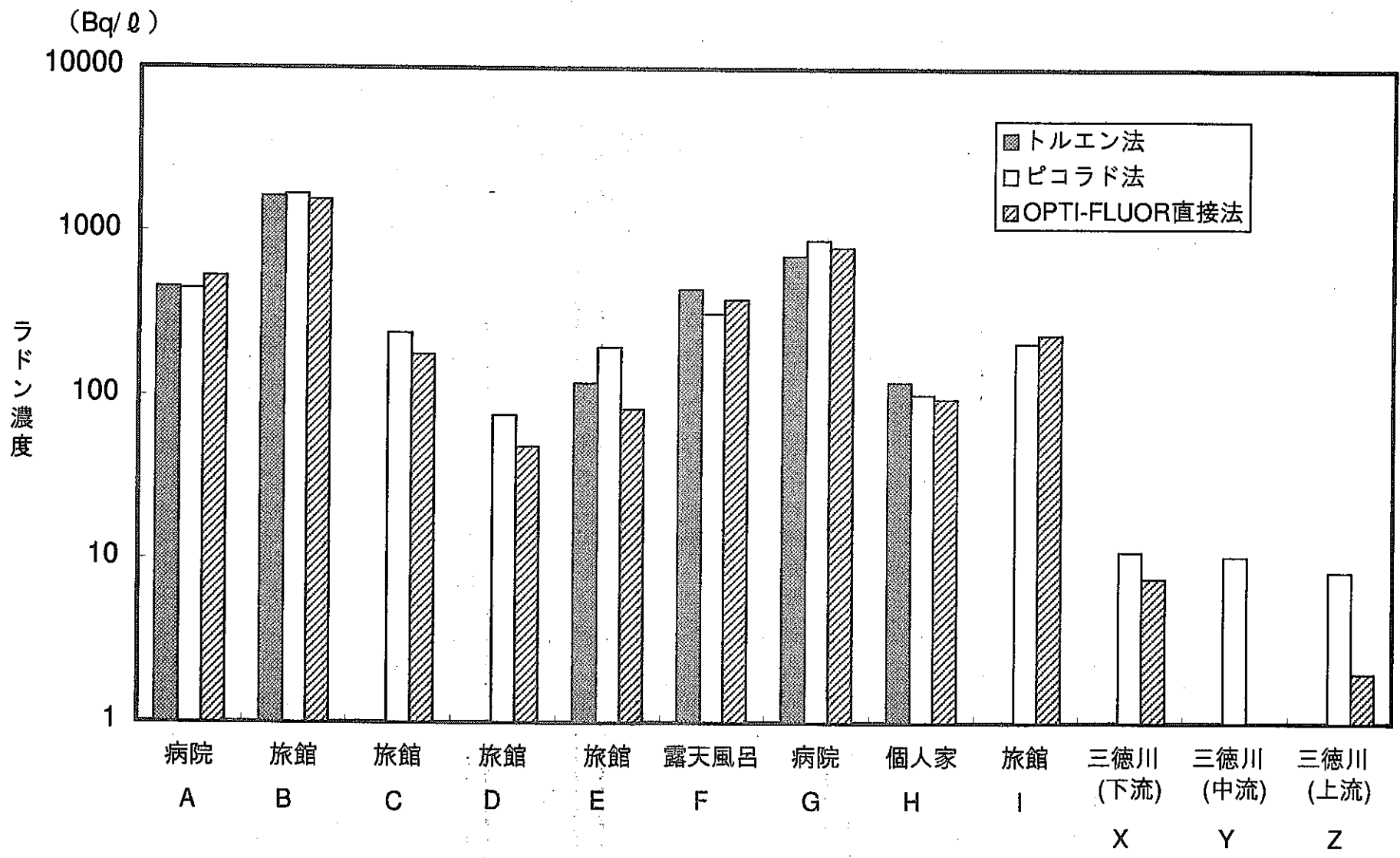


Fig. 6 水中ラドン濃度測定法の比較

Table 3 三朝周辺地域における空气中ラドン濃度

(1996.11) (Bq/m<sup>3</sup>)

測定場所		ラドン濃度			屋内/屋外 比	
		屋内		屋外		
旭地区	上西谷	58.9	± 2.1	24.3	± 1.8	2.42
	大柿	63.8	± 2.1	33.7	± 1.9	1.90
	小河内	28.7	± 1.7	10.0	± 1.5	2.86
	吉尾	13.3	± 1.6	10.6	± 1.5	1.25
三朝地区	砂原	17.1	± 1.6	10.9	± 1.5	1.57
	片柴	19.3	± 1.6	17.1	± 1.5	1.13
	三朝	83.8	± 2.4	18.9	± 1.6	4.43
三徳地区	阪本(2)	17.2	± 1.4	9.28	± 1.4	1.85
小鹿地区	高橋(2)	7.79	± 1.2	6.45	± 1.2	1.21
岡山県人形峠		—		21.3	± 1.5	—
東大阪		10.4	± 0.9	7.46	± 0.9	1.39

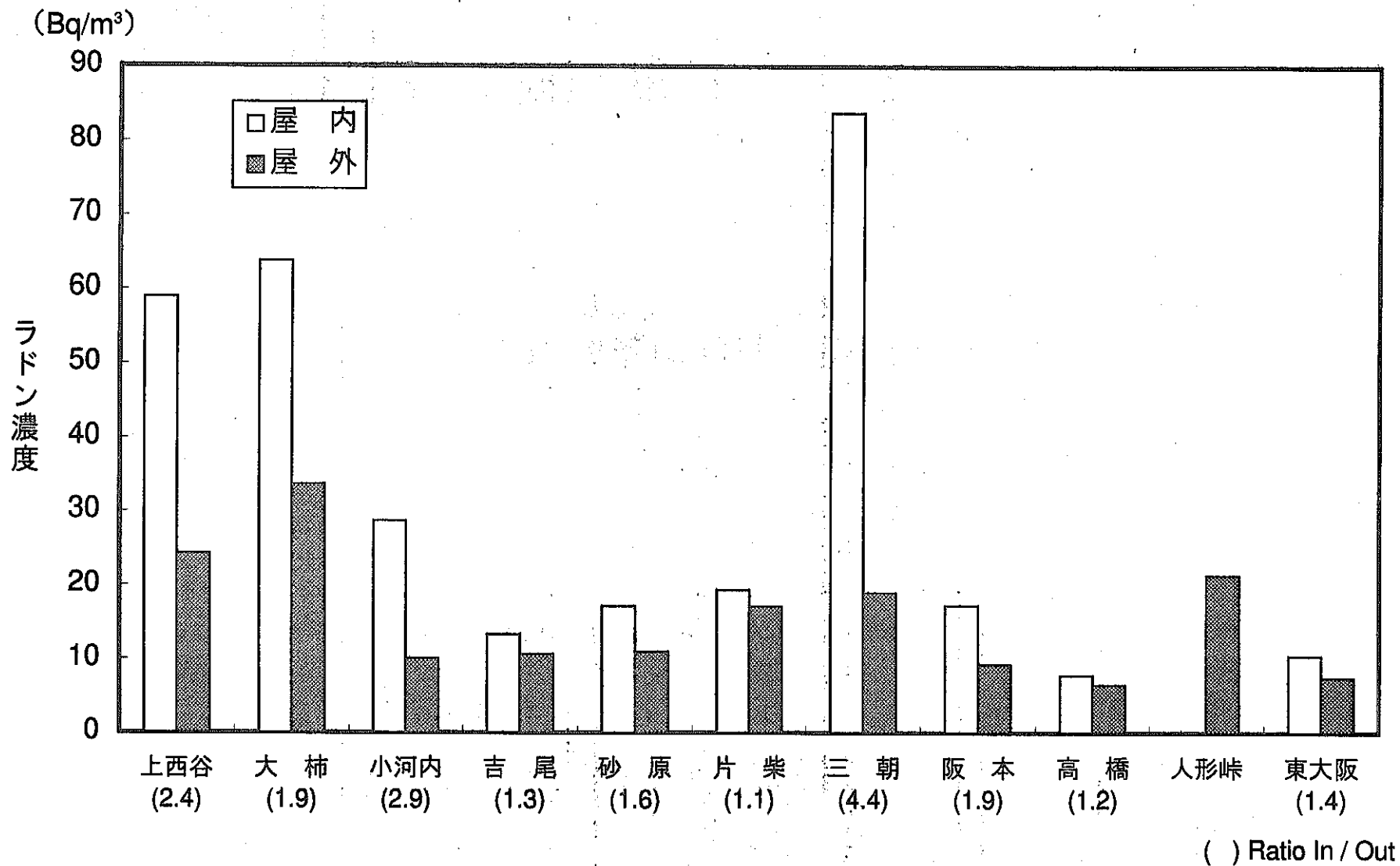


Fig. 7 三朝周辺地域における空气中ラドン濃度

Table 4 鳥取・三朝地域における空气中ラドン濃度

(Bq/m<sup>3</sup>)

地 区	屋 内			屋 外			屋 内 / 屋 外
	変 動	n	平 均	変 動	n	平 均	
三徳地区	9~63	19	23.4 ± 12.3	5~37	17	19.6 ± 9.4	1.2
小鹿地区	7~22	12	14.4 ± 5.0	6~19	9	13.0 ± 4.3	1.1
三朝地区 (温泉街)	23~381	50	88.6 ± 66.6	10~120	36	40.1 ± 21.0	2.2
〃 (温泉街以外)	34~85	7	49.1 ± 17.6	21~53	7	40.9 ± 10.5	1.2
旭地区 (高勢川沿)	11~78	16	39.7 ± 23.4	7~73	15	33.4 ± 21.8	1.2
〃 (竹田川沿)	15~194	25	54.1 ± 35.7	11~150	20	35.4 ± 28.9	1.5
竹田地区 (加谷川沿)	17~90	7	39.1 ± 25.4	11~37	8	23.4 ± 8.8	1.7
〃 (天神川沿)	37~109	12	60.6 ± 21.5	0~65	12	34.4 ± 19.5	1.8
岡山県人形峠	12~31	2	21.6 ± 13.9	6~59	31	24.3 ± 13.6	0.9
東 大 阪	5~33	37	13.5 ± 7.4	0~25	35	7.3 ± 5.2	1.8

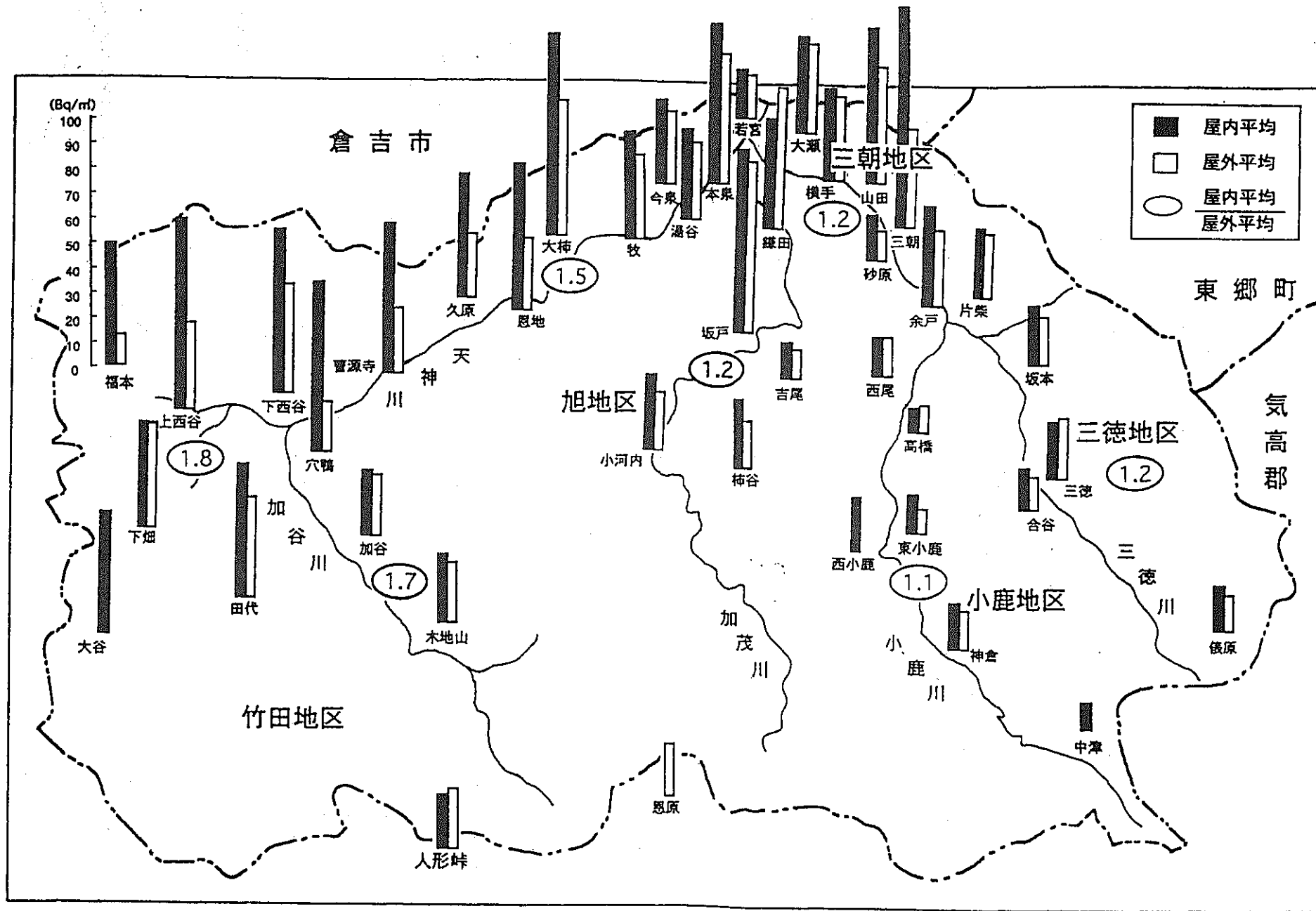


Fig. 8 三朝周辺地域における空气中ラドン濃度

区と天神川、三徳川下流に高いラインが観察される。旭地区の曹源寺、恩地、本泉、大柿が高く、竹田地区では上西谷、穴鴨、福本が高く、三朝温泉街の濃度とほぼ同じレベルかそれ以上のラドン濃度を示した。三徳地区の余戸は三朝地区との境界付近であり、この地区としてはもっとも高い方であった。屋外ラドン濃度は、濃度の低い小鹿地区も東大阪市とほぼ同じであったが、屋内濃度は高く、逆に濃度の高い竹田地区の福本の屋外濃度は小鹿地域とほぼ同じ低レベルを示した。次に、人形峠付近の道路際の屋外ラドン濃度の平均値はほぼ $24 \text{ Bq/m}^3$ であった。平均屋内ラドン濃度の屋外ラドン濃度に対する比は三朝、竹田地区がほぼ2と他地区に比べると若干高いように思われる。

### 3.3 鳥取・三朝周辺地域における水中ラドン濃度

一方、1996年11月に測定した三朝周辺地域の水中ラドン濃度は、Table 5, Fig. 9に示した。1995, 96年11月に実施した三朝周辺地域の水中ラドン濃度の結果によると、三朝温泉水は $23 \sim 513 \text{ Bq/l}$ に変動し、最高値は露天風呂で採取したものであった。三朝周辺地域の飲料水として使用している井戸水について、屋内空気中ラドン濃度が高い傾向を示している大柿においてやはり高く、最高 $74.4 \text{ Bq/l}$ と温泉水と同レベルの濃度を示すところもあったが、同じ町内でも大幅に変動していることが分る。山水、湧水についても最高約 $2000 \text{ Bq/l}$ と大きく変動し、屋内ラドン濃度が高い上西谷で高く、井戸水についても最高であった大柿も $935 \text{ Bq/l}$ と高い値を示した。三徳川上流および中流での河川水は $5.3 \sim 14.6 \text{ Bq/l}$ であった。1994年度に測定した河川水は最高 $14 \text{ Bq/l}$ であったので、河川水についてはほぼ同レベルで変動が少なかった。飲料水となる井戸水および湧水（山水）について特に、前回屋内ラドン濃度が高かった大柿、上西谷などについて調査したが、井戸水については福本、片柴、小河内、吉尾、三朝では最高 $61 \text{ Bq/l}$ で、大柿でも最高 $744 \text{ Bq/l}$ と場所によって大きく変動していることが分った。

### 3.4 三朝温泉街における空气中ラドン濃度の経時変化

三朝温泉街の一民家における屋内外及び浴室などのラドン濃度の経時変化を人形峠、屋外とともに、1995年5月より1996年12月について測定した結果をTable 6, Fig. 10に示した。三朝温泉街の浴室内のラドン濃度は $48 \sim 274 \text{ Bq/m}^3$ 、屋内では1階居間では $53 \sim 170 \text{ Bq/m}^3$ 、2階で $24 \sim 110 \text{ Bq/m}^3$ 、屋外では $9.6 \sim 50 \text{ Bq/m}^3$ の範囲に変動し、今回の測定では浴室内の最高値 $274 \text{ Bq/m}^3$ は、前年度の旅館における $2233$

Table 5 三朝周辺地域における水中ラドン濃度

(1996年11月)

試料	測定場所	水中ラドン濃度 (Bq/l)
温泉水	三朝町(中屋旅館)	265.3 ± 2.5
山水	高橋	ND
	坂本	ND
	吉尾	ND
	上西谷	1956 ± 9.7
	大柿	935.4 ± 4.7
井戸水	坂本	ND
	大柿(1)	743.8 ± 4.1
	大柿(2)	ND
	片柴	12.2 ± 0.6
	吉尾	6.6 ± 0.54
	小河内	37.5 ± 0.87
	上西谷	2.3 ± 0.62
	三朝	35.6 ± 1.1
	砂原	14.7 ± 0.54
下水	高橋	ND
	片柴	ND
	上西谷	ND



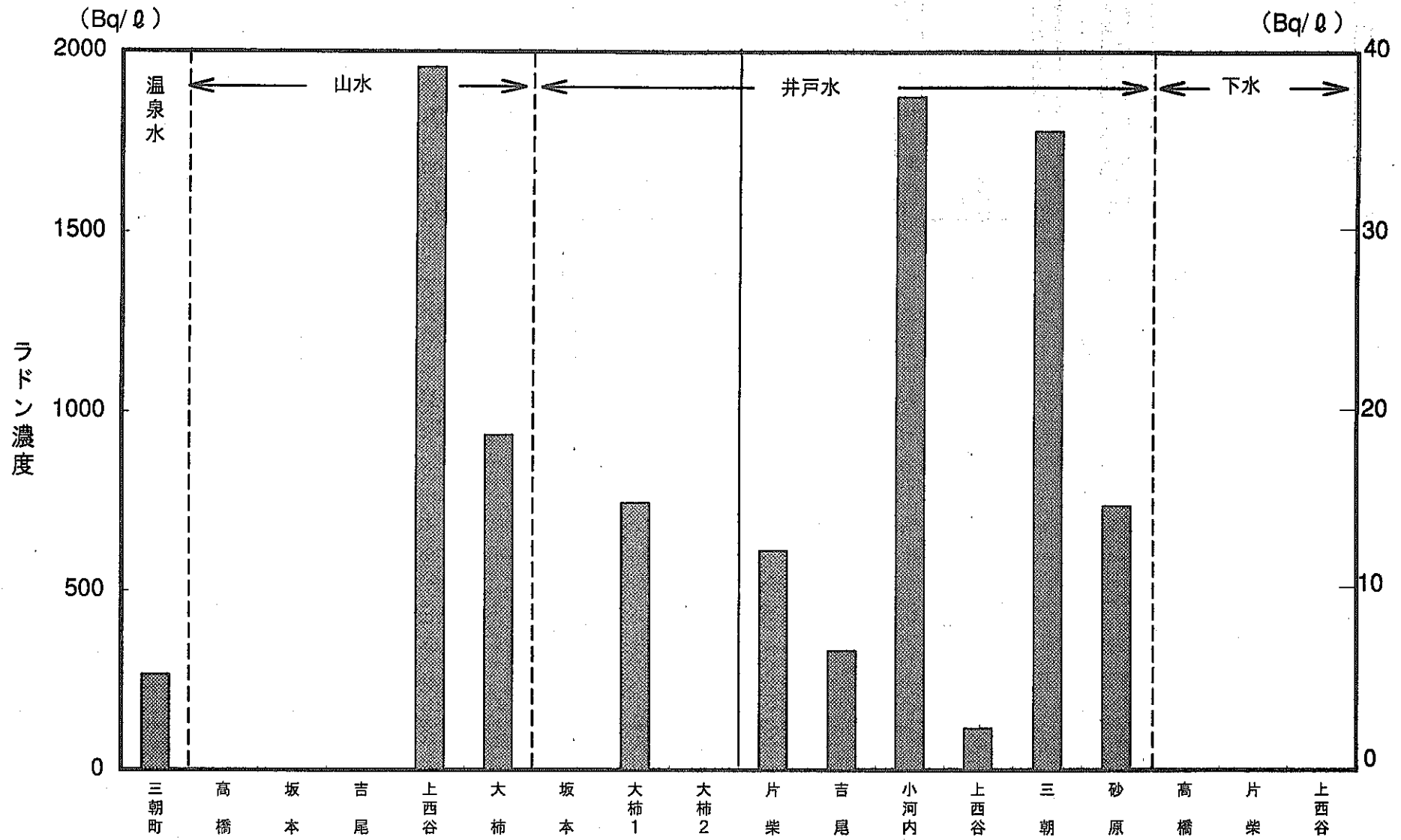


Fig. 9 三朝温泉地域における水中ラドン濃度

Table 6 三朝地域における空气中ラドン濃度の経時変化

測定年月	測定場所									
	屋外		浴室		居間				人形峠 屋外 (動燃事業所脇)	
					1 階		2 階			
1995年 6月	9.58	± 1.37	60.7	± 1.8	53.8	± 1.7	42.6	± 1.7	5.64	± 1.37
7月	17.4	± 1.2	57.0	± 1.5	71.1	± 1.6	—		20.2	± 1.3
8月	17.0	± 0.4	57.2	± 1.2	60.4	± 1.2	25.6	± 0.6	18.4	± 0.4
9月	29.2	± 1.7	48.3	± 1.7	53.4	± 1.8	43.3	± 1.8	35.6	± 1.8
10月	18.1	± 3.0	51.7	± 3.3	59.3	± 3.3	37.8	± 3.2	18.3	± 3.0
11月	21.8	± 1.0	106.7	± 1.6	119.9	± 1.7	105.9	± 1.6	58.9	± 1.3
1996年 1月	49.8	± 2.7	188.4	± 4.3	120.7	± 3.7	110.4	± 3.5	35.1	± 2.5
2月	39.2	± 0.9	126.5	± 1.2	76.8	± 1.1	55.8	± 1.0	29.2	± 0.9
3月	14.3	± 1.1	168.2	± 2.0	103.7	± 1.7	85.3	± 1.6	12.6	± 1.2
4月	34.4	± 1.1	206.6	± 1.8	170.0	± 1.7	109.8	± 1.5	34.4	± 1.1
5月	21.3	± 1.8	121.6	± 2.8	69.2	± 2.3	52.5	± 2.2	20.7	± 1.8
6月	39.6	± 4.5	273.9	± 4.8	99.4	± 2.9	73.9	± 2.4	20.9	± 1.7
7月	12.3	± 1.0	67.8	± 1.3	52.8	± 1.2	24.2	± 1.1	21.9	± 1.1
8月	39.6	± 1.8	93.2	± 2.3	87.5	± 2.2	58.8	± 2.0	57.8	± 2.0
9月	31.7	± 1.5	86.0	± 1.9	71.7	± 1.8	56.6	± 1.7	31.3	± 1.6
10月	25.5	± 1.6	110.2	± 2.3	80.8	± 2.1	63.5	± 2.0	19.4	± 1.6
11月	24.3	± 1.5	102.7	± 2.2	91.9	± 2.1	73.3	± 2.0	21.3	± 1.5
12月	46.1	± 1.1	183.5	± 1.7	140.6	± 1.6	89.3	± 1.4	41.6	± 1.2
平均	28.0	± 12.1	127.2	± 66.0	93.4	± 34.8	65.2	± 27.6	26.8	± 13.9
変動	9.6 ~ 50		48 ~ 274		53 ~ 170		24 ~ 110		5.6 ~ 59	

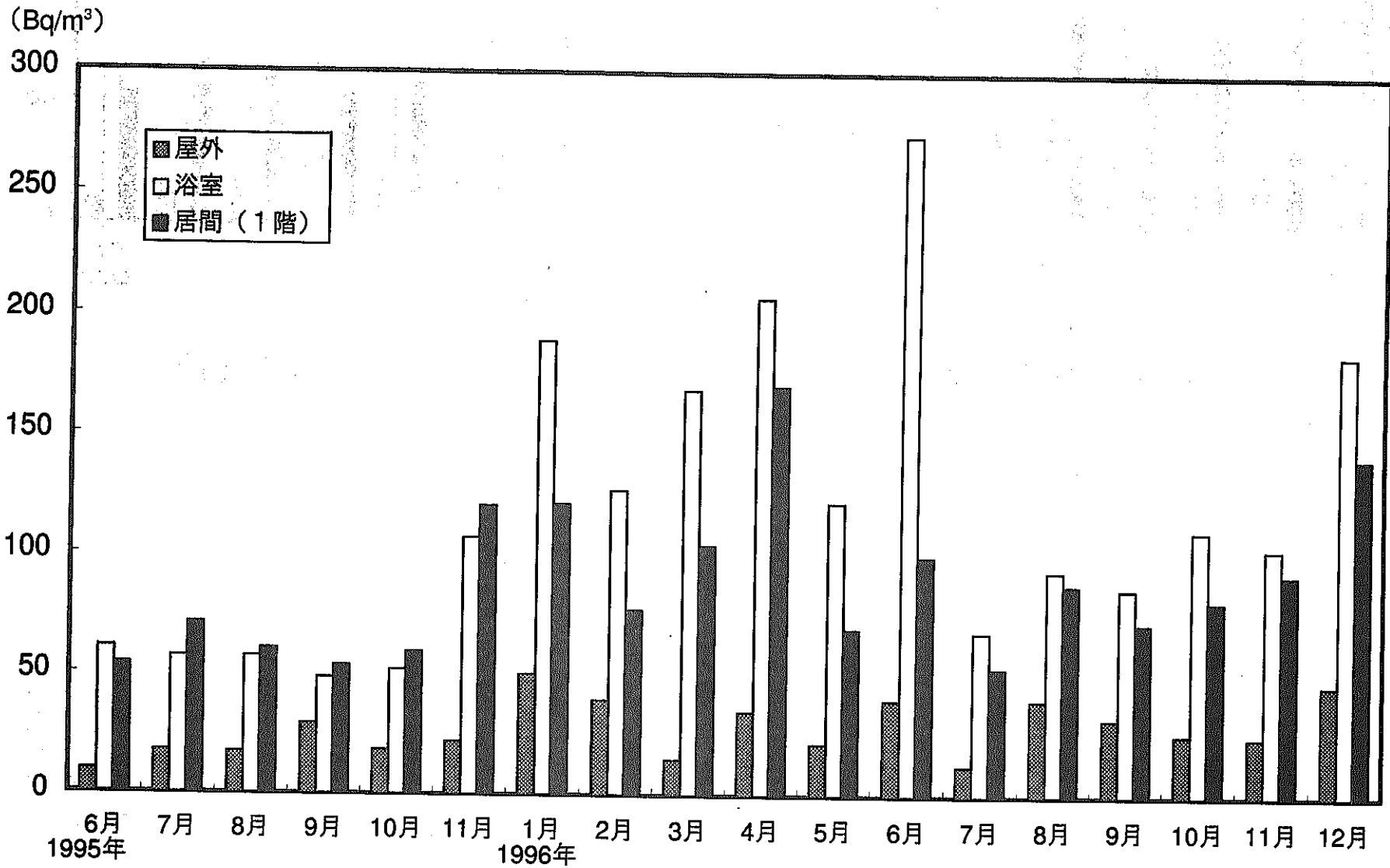


Fig. 10 三朝地域における空气中ラドン濃度の経時変化

Bq/m<sup>3</sup>と比べると1/8以下で、場所によっても大きく変動するが、同一場所でも換気および温泉の涌出状況によっても非常に大きい変動分布をしているものと思われる。この期間中においては屋内・居間における<sup>222</sup>Rn濃度は浴室の濃度と良く似た傾向を示しているが、屋外における濃度は12～2月が高く、屋内については7～10月は比較的安くほぼ一定の濃度を示しているが、11月～、1～6月と屋内が高くなっているのは、寒くなり戸を閉め切った状況で濃度が上昇しているものと思われる。この住宅は地下に浴室、1階および2階が住居となっているので、熱気が上昇し、屋内ラドン濃度は高く、屋内/屋外濃度比は3.3と非常に高くなっている。また1階および2階のラドン濃度については、2階は1階の0.8と低くなっている。1992年より1996年までに測定した結果を場所毎にTable 7, 8, Fig. 11, 12に、屋内屋外における濃度の変動を示した。これによると、同じ場所においても年によって大きく変動していることが分かり、屋内屋外の濃度とも比較的良く似た傾向を示している。

### 3.5 三朝地区における水中ラドン濃度の経時変化

三朝地区における水中のラドン濃度の経時変化をTable 9, Fig. 13に示した。三朝温泉水は前述した民家に涌出している温泉水で、もともと高く58～217 Bq/lに変動し、井戸水は15～39 Bq/lで、三徳川の河川水は2.3～21 Bq/lで、井戸水と温泉水の濃度は、飲料水として使用している井戸水の濃度は温泉水のほぼ1/5であるが、変動はよく似た傾向を示した。兵庫県川西市の井戸水は1.6～19 Bq/lと変動し、三朝地区の井戸水の平均値のほぼ1/2であった。川西市は六甲山系の平野鉾泉の近くで影響を受けてラドン濃度は高いかもしれない。

三朝温泉地区の旅館および病院等における温泉水および三徳川の河川水中のラドン濃度をFig. 14に示した。温泉水中ラドン濃度は最高値1700 Bq/lまで、井戸水では744 Bq/lと巾広く変動し、源泉から直接温泉水を引いている旅館は水中ラドン濃度が高く、場所、時間など環境条件に依存してかなりの範囲に変動、ばらつきがあり、温泉の使用状況、温泉水の水道水による希釈などによっても変動するものと思われる。

### 3.6 東大阪における空气中ラドン濃度

自然放射線地域の対照地域として東大阪市近畿大学原子力研究所構内において1995年5月より1996年12月における屋内外の空气中ラドン濃度測定を行った結果を

Table 7 三朝周辺地域屋内ラドン濃度

		(Bq/m <sup>3</sup> )						
測定地区	測定場所	1992	1993	1994	1995.10-11	1996.1	1996.11	
小 鹿	高 橋	11.1	10.6	—	—	—	7.8 ± 1.2	
	神 倉	15.9	22.2	—	—	—	—	
	西 尾	—	—	—	12.8 ± 1.2	21.5 ± 2.3	—	
	東小鹿	—	—	—	15.7 ± 1.4	—	—	
竹 田	木地山	44.4 ± 1.6	17.3	21.5	—	—	—	
	田 代	37.0 ± 1.4	—	—	—	—	—	
	加 谷	33.3 ± 1.3	31.5	19.7	—	41.4 ± 2.9	—	
	穴 鴨	—	—	—	—	—	82.2 ± 3.5	—
		—	—	—	47.3 ± 1.7	—	—	—
		—	—	—	90.0 ± 3.0	—	—	—
	福 本	—	—	—	69.6 ± 4.0	—	—	—
		—	—	—	49.3 ± 2.7	—	—	—
		—	—	—	34.0 ± 3.4	—	—	—
	上西谷	—	—	—	141.2 ± 4.4	—	—	58.9 ± 2.1
		—	—	—	109.0 ± 1.0	—	—	—
—		—	—	76.5 ± 3.4	—	—	—	
—		—	—	—	—	—	—	
大 谷	下 畑	—	—	—	—	49.0 ± 2.5	—	
	—	—	—	—	—	42.5 ± 2.6	—	
三 徳	片 柴	62.9 ± 2.0	—	—	—	—	—	
	俵 原	—	8.6	27.7	—	—	—	
	坂 本	29.6 ± 1.4	—	—	—	31.7 ± 2.3	17.2 ± 1.4	
	合 谷	15.5	16.3	19.4	—	—	—	
	余 戸	—	—	—	40.5 ± 1.6	—	—	
旭	砂 原	—	—	—	—	—	17.1 ± 1.6	
	下西谷	曹源寺	85.1 ± 2.8	63.6	48.1	—	—	—
		—	88.4	22.0	64.7	69.6 ± 3.7	—	—
	鎌 田	坂 戸	14.8 ± 0.7	—	—	58.7 ± 1.8	—	—
		—	—	77.9	70.5	—	74.2 ± 3.0	—
	小河内	柿 谷	37.0	25.9	30.4	—	—	28.7 ± 1.7
		大 柿	10.7	29.5	44.3	—	—	—
	久 原	—	25.2	193.5	75.3 *1	60.7 ± 2.5	—	63.8 ± 2.1
		—	—	—	—	63.0 ± 3.5	79.0 ± 3.0	—
	本 泉	吉 尾	—	—	—	29.1 ± 1.4	—	—
		今 泉	—	—	—	69.6 ± 4.0	59.7 ± 2.9	—
	若 宮	恩 地	16.7	—	—	—	—	13.3 ± 1.6
		—	—	—	—	36.5 ± 1.4	—	—
	牧 湯	—	—	—	—	31.6 ± 0.9	—	—
		—	—	—	—	27.0 ± 1.4	—	—
	湯 谷	—	—	—	—	58.6 ± 1.8	—	—
		—	—	—	—	43.3 ± 1.8	—	—
—	—	—	—	—	38.6 ± 1.8	—	—	
	—	—	—	—	34.4 ± 1.8	—	—	
三 朝	大 瀬	—	—	—	33.7 ± 1.4	43.3 ± 2.6	—	
		—	—	—	— *2	40.7 ± 2.5	— *3	
	三 朝	山 田	—	—	—	55.4 ± 3.5	—	97.1 ± 33.0
		—	—	—	—	—	84.7 ± 3.1	—
	横 手	—	—	—	—	44.2 ± 2.6	—	
—	—	—	—	—	37.8 ± 2.4	—		
岡 山	人形峠	—	—	—	31.4 ± 2.9	—	—	
対照地区	東大阪	25.8	10.5	14.4	11.5	—	9.6 ± 2.9	

\*1 (48~158) \*2 n=11 \*3 n=12

Table 8 三朝周辺地域屋外ラドン濃度

		(Bq/m)					
測定地区	測定場所	1992	1993	1994	1995.10~11	1996.1	1996.11
小 鹿	高 橋	18.5	10.4	—	—	—	6.5 ± 1.2
	神 倉	15.5	15.5	—	—	—	—
	西 尾	—	—	—	14.0 ± 1.3	18.2 ± 2.2	—
	東 小 鹿	—	—	—	9.9 ± 1.4	—	—
竹 田	木地山	33.3 ± 1.3	18.1	21.3	—	—	—
	田 代	33.3 ± 1.4	—	—	—	—	—
	加 谷	37.0 ± 1.5	18.1	18.9	—	22.7 ± 2.5	—
	—	—	—	—	—	65.1 ± 3.2	—
	穴 鴨	—	—	—	11.4 ± 1.5	—	—
	—	—	—	21.3 ± 2.6	—	—	—
	—	—	—	37.4 ± 3.1	—	—	—
	福 本	—	—	—	7.7 ± 2.5	—	—
	—	—	—	12.7 ± 2.8	—	—	—
	—	—	—	9.9 ± 2.7	—	—	—
	上西谷	—	—	—	20.0 ± 3.0	—	—
—	—	—	59.4 ± 3.1	—	—	24.3 ± 1.8	
—	—	—	48.7 ± 3.0	—	—	—	
大 谷	—	—	—	—	0.0 ± 1.7	—	
下 畑	—	—	—	—	42.3 ± 2.6	—	
三 徳	片 柴	37.0 ± 1.4	—	—	—	—	—
	俵 原	—	5.3	23.8	—	—	—
	坂 本	29.6 ± 1.4	—	—	—	29.0 ± 2.2	9.3 ± 1.4
	合 谷	10.0	9.5	21.1	—	—	—
	余 戸	—	—	—	30.7 ± 1.6	—	—
砂 原	—	—	—	—	—	10.9 ± 1.5	
旭	下西谷	62.9 ± 2.3	30.3	37.8	—	—	—
	曹源寺	11.5	18.1	28.0	48.7 ± 3.3	—	—
	—	—	—	—	27.0 ± 1.7	—	—
	録 田	14.8 ± 0.6	—	—	—	57.7 ± 2.8	—
	坂 戸	15.9	73.3	65.1	—	—	—
	小河内	32.2	25.9	38.0	—	—	10.0 ± 1.5
	柿 谷	18.5	13.3	25.6	—	—	—
	大 柿	17.4	149.6	49.8 *1	39.1 ± 2.2	—	33.7 ± 1.9
	久 原	—	—	—	27.1 ± 1.4	10.7 ± 1.9	—
	—	—	—	—	48.7 ± 3.3	—	—
	—	—	—	—	29.1 ± 2.8	—	—
	本 泉	—	—	—	49.1 ± 3.6	56.2 ± 2.8	—
	吉 尾	—	—	—	—	—	10.6 ± 1.5
	今 泉	—	—	—	29.3 ± 1.4	—	—
若 宮	12.2	—	—	17.6 ± 1.4	—	—	
恩 地	—	—	—	29.0 ± 1.7	—	—	
牧 谷	—	—	—	34.1 ± 1.8	—	—	
湯 谷	—	—	—	33.9 ± 1.8	—	—	
—	—	—	—	28.5 ± 1.8	—	—	
三 朝	大 瀬	—	—	—	21.0 ± 1.3	44.3 ± 2.6	—
	—	—	—	—	—	43.8 ± 2.6	—
	三 朝	—	—	—	35.6 ± 2.9 *2	—	31.5 ± 12.1
	山 田	—	—	—	—	53.4 ± 2.8	—
—	—	—	—	—	41.2 ± 2.5	—	
横 手	—	—	—	—	34.5 ± 2.4	—	
岡 山	人形峠	—	—	—	11.8 ± 2.6	—	28.9 ± 12.3
	恩 原	—	—	—	11.7 ± 2.3	—	—
—	—	—	—	20.8 ± 2.7	—	—	
对照地区	東大阪	17.2	4.6	10.1	11.3	—	4.3 ± 2.0

\*1 (30~69) \*2 n=11 \*3 n=12

(Bq/m<sup>3</sup>)

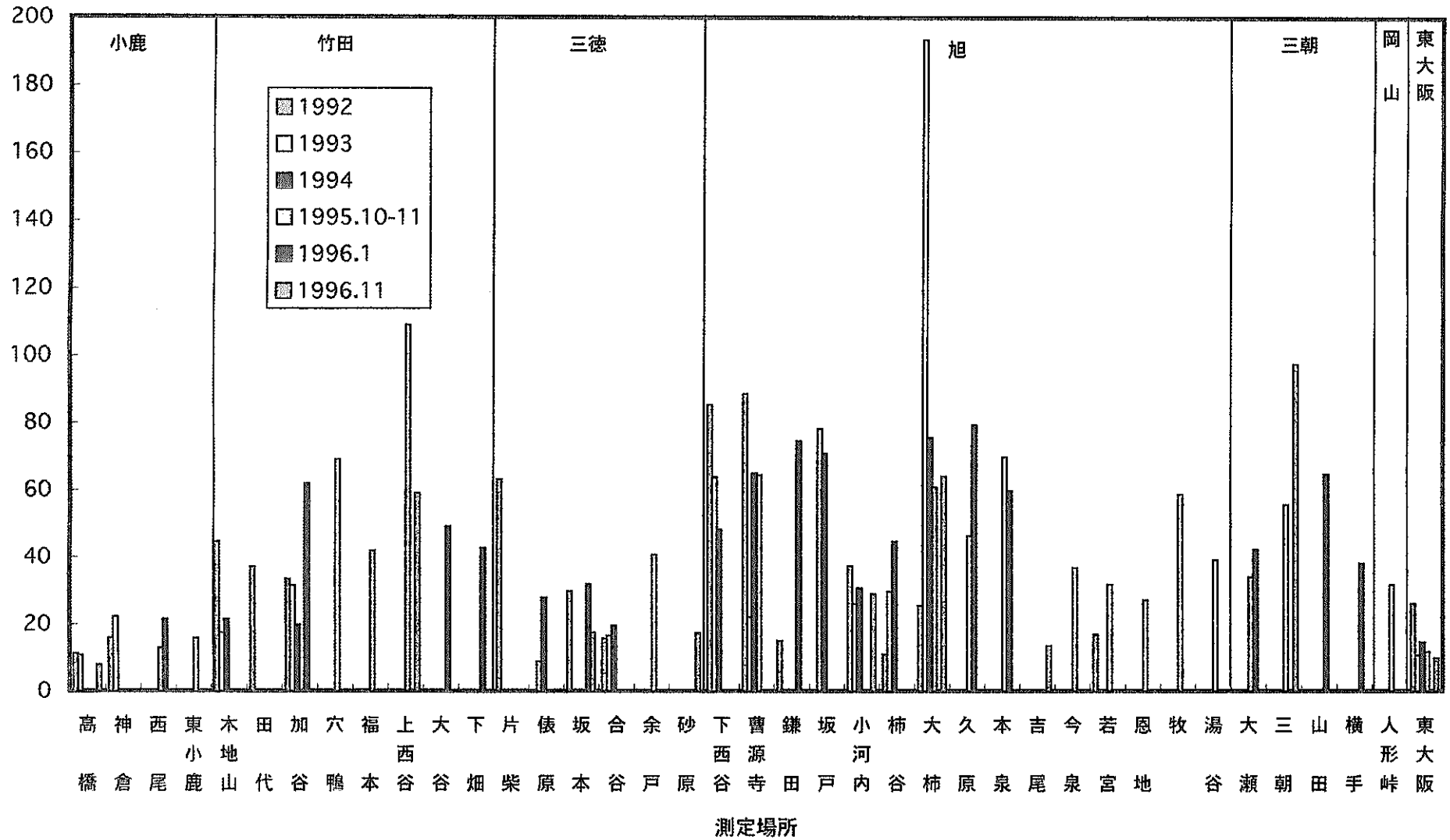


Fig.11 三朝周辺地域屋内ラドン濃度

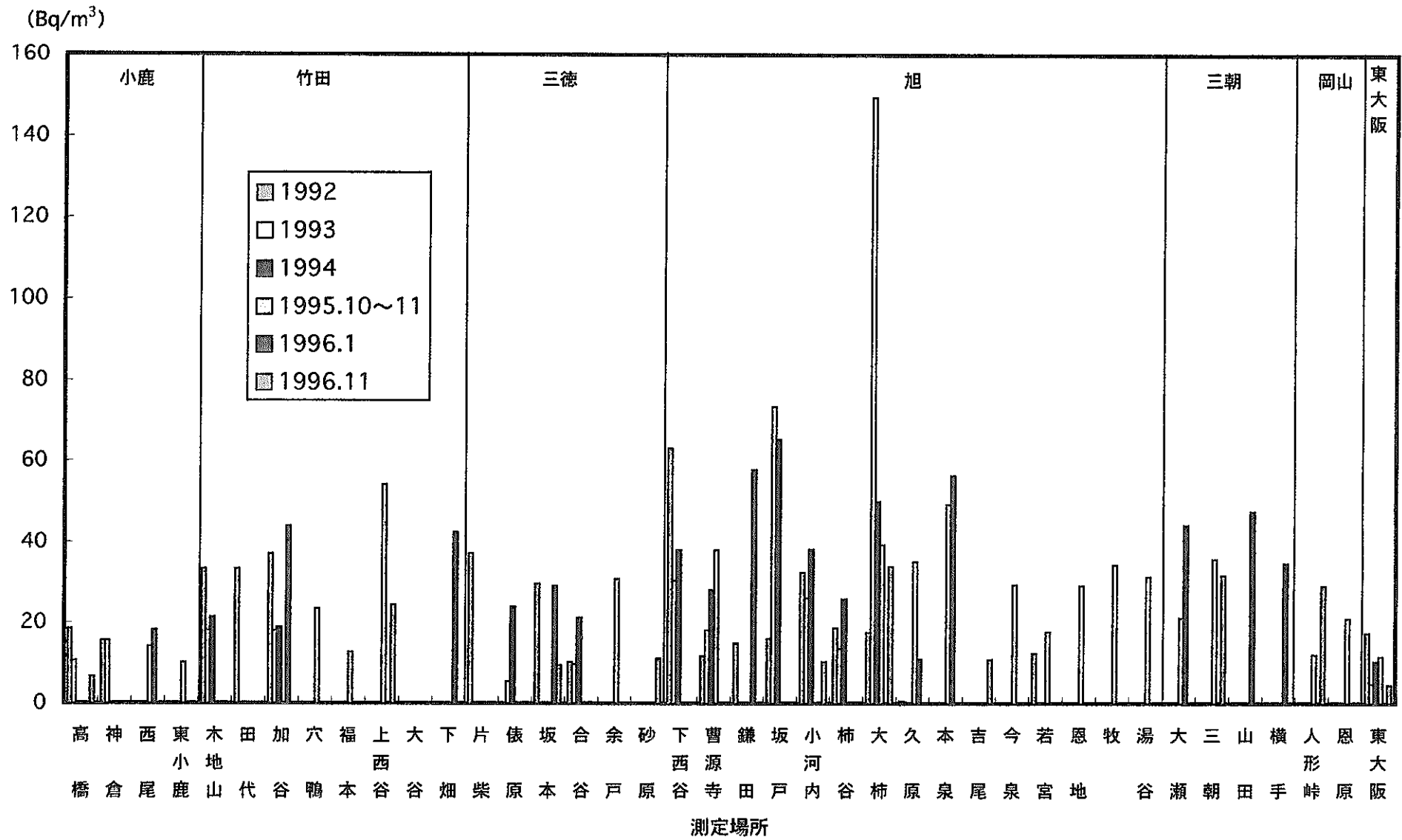


Fig. 12 三朝周辺地域屋外ラドン濃度



Table 9 三朝地区における水中ラドン濃度の経時変化

(Bq/l)

測定年月	測定場所							
	川西 井戸水		三朝 水道水		三朝 河川水		三朝 温泉水	
1989年11月	—	—	—	—	7.60 ± 0.50	—	95.9 ± 1.0	—
1990年 1月	—	—	—	—	11.1 ± 0.5	—	101.8 ± 1.0	—
1994年 9月	—	—	—	—	7.54 ± 0.48	—	57.7 ± 1.9	—
1995年 2月	—	—	—	—	3.90 ± 0.25	—	—	—
4月	12.7 ± 0.2	—	—	—	—	—	—	—
5月	15.1 ± 0.3	—	—	—	—	—	—	—
6月	12.8 ± 0.3	—	14.8 ± 0.6	—	7.81 ± 0.51	—	100.3 ± 1.0	—
7月	13.8 ± 0.4	—	31.7 ± 0.7	—	2.31 ± 0.46	—	161.1 ± 1.0	—
8月	11.7 ± 0.2	—	29.8 ± 0.4	—	10.9 ± 0.3	—	104.9 ± 0.6	—
9月	—	—	18.8 ± 0.5	—	10.0 ± 0.5	—	91.5 ± 0.8	—
10月	12.0 ± 0.5	—	33.2 ± 1.0	—	4.01 ± 0.82	—	130.5 ± 1.2	—
11月	10.7 ± 0.6	—	33.6 ± 0.5	—	7.60 ± 0.30	—	122.7 ± 0.8	—
1996年 1月	18.1 ± 0.7	—	23.8 ± 1.0	—	4.35 ± 0.75	—	126.7 ± 1.9	—
2月	19.2 ± 0.3	—	24.2 ± 0.4	—	5.39 ± 0.33	—	150.6 ± 0.8	—
3月	—	—	24.2 ± 0.5	—	2.99 ± 0.34	—	181.4 ± 1.1	—
4月	—	—	20.9 ± 0.4	—	4.00 ± 0.31	—	148.4 ± 0.9	—
5月	11.5 ± 0.6	—	38.6 ± 1.1	—	21.2 ± 1.2	—	133.9 ± 1.5	—
6月	14.1 ± 0.6	—	21.5 ± 0.7	—	5.30 ± 0.49	—	164.0 ± 1.5	—
7月	4.12 ± 0.46	—	31.1 ± 0.5	—	7.12 ± 0.41	—	145.7 ± 1.3	—
8月	5.10 ± 0.41	—	34.2 ± 0.7	—	7.09 ± 0.48	—	162.4 ± 1.4	—
9月	—	—	22.5 ± 0.5	—	5.17 ± 0.41	—	141.4 ± 1.1	—
10月	1.59 ± 0.39	—	34.7 ± 0.8	—	1.73 ± 0.45	—	216.5 ± 1.7	—
11月	9.73 ± 0.42	—	33.4 ± 0.7	—	2.59 ± 0.20	—	132.4 ± 1.2	—
12月	6.69 ± 0.35	—	36.8 ± 0.5	—	5.04 ± 0.38	—	151.2 ± 0.9	—
平均	13.36 ± 4.71	—	26.52 ± 7.5	—	6.71 ± 3.23	—	119.67 ± 23.4	—

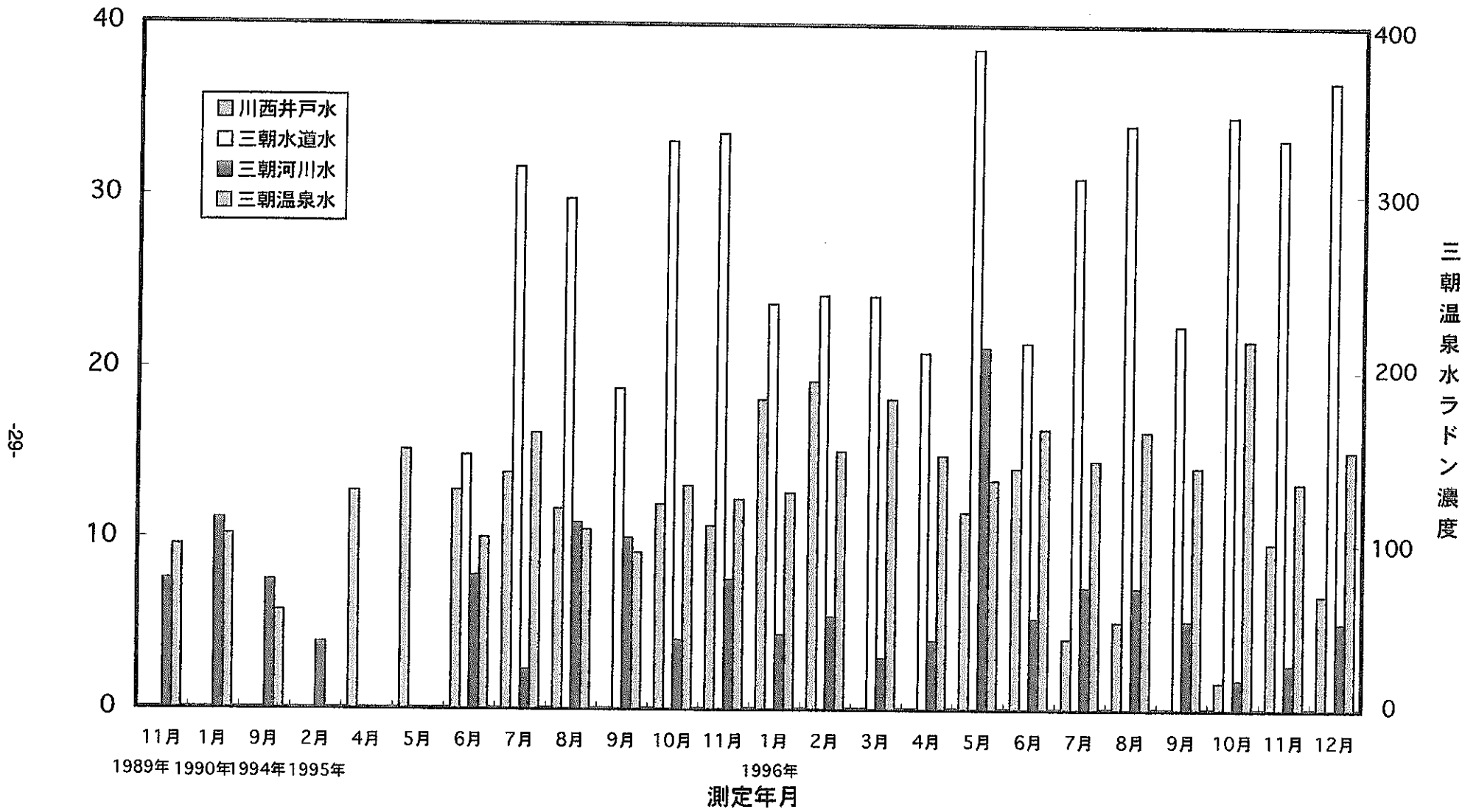


Fig. 13 三朝地区における水中ラドン濃度の経時変化

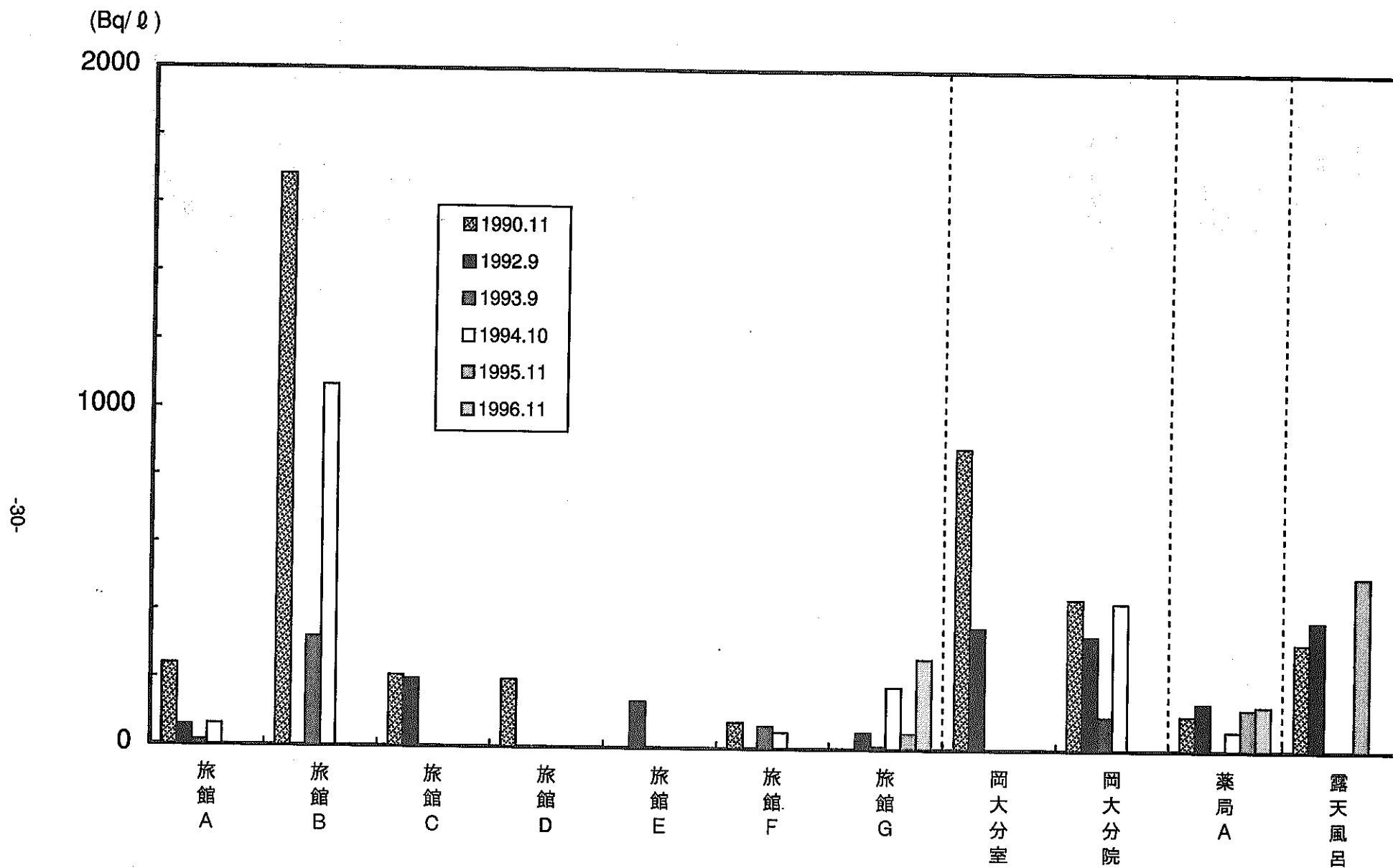


Fig. 14 温泉水中のラドン濃度

Table 10, Fig. 15 に示した。5階の研究室および閉めきった倉庫などの屋内ラドン濃度、および地表面より0.05, 0.5, 1および13mの屋外ラドン濃度などについて測定した。倉庫内では167~325 Bq/m<sup>3</sup>の範囲で大きく変動している。これは倉庫内への人の出入りによる扉の開放のため空气中ラドン濃度は大きく変動していると思われる。屋外ラドン濃度の最高値と比較すると、地上13mでは約6 Bq/m<sup>3</sup>、1mで12 Bq/m<sup>3</sup>、0.5mで14 Bq/m<sup>3</sup> および0.05mで14 Bq/m<sup>3</sup>と測定点が地表面より高くなるにつれて、変動巾は大きいがラドン濃度は低くなる傾向を示している。なお、γ線核種分析は次年度に併せて報告する。

### 3.7 土壌中γ線放射性核種分析

空气中ラドン濃度を測定した場所の土壌についてγ線放射性核種分析を一部実施し、Table 11, Fig. 16 に結果を示した。これによると、Th系列の放射性核種である<sup>212</sup>Pbは0.038~0.12Bq/gに変動し、U系列の放射性核種である<sup>214</sup>Pbは0.025~0.098Bq/gと東大阪の土壌中の核種と比較するとほぼ同じレベルであった。試料数がまだ少ないので、今後もう少し研究を進めたい。

## 4. まとめ

土壌中にはウランやラジウム等を含む鉱物が広く分布しており、これらがラドンの発生源として種々の形態で人の生活環境に関与し、ラドン濃度は様々な要因によって時間的にも空間的にも大きく変動している。そこで、環境大気中のラドン濃度の経時変動および場所による濃度レベルの分布を簡便にしかも、正確に評価するために特にピコラドシステムおよび液体シンチレーションスペクトロメータ (Tri-carb 2250CA) を用いて空气中ラドン濃度の測定に関する基礎的研究を行うとともに、日本でも有数のラドン温泉である鳥取県三朝温泉と、その周辺地域のラドン濃度の測定を行い、ラドンおよび崩壊生成核種の環境中挙動に関する検討を行ったので、その結果を報告する。

(1) 三朝周辺地域における1996年11月までに実施した空气中ラドン濃度は、屋外ラドン濃度は5.3~150 Bq/m<sup>3</sup>、屋内ラドン濃度は7.0~381 Bq/m<sup>3</sup>の範囲で大きく変動した。測定した地域の内、三朝地区、旭地区(竹田川沿) および竹田地区天神川沿い(竹田川上流の一部)が高く、三朝温泉地区の東南部小鹿地区および三徳地区は低く、人形峠付近についての屋外濃度は、5.7~59 Bq/m<sup>3</sup>と低い濃度レベルであった。屋内ラドン濃度について、もっとも低い小鹿地区(7.0~22 Bq/m<sup>3</sup>)

Table 10 東大阪市近辺における空气中ラドン濃度の経時変化

	東 大 阪						川 西	
	地上 13m	地上 1m	地上 0.5m	地上 0.05m	倉 庫	5 F 実験室	屋 内	屋 外
1995/5	4.31 ± 0.30	6.15 ± 0.30	—	6.34 ± 0.30	250.4 ± 1.0	8.84 ± 0.31	22.4 ± 0.4	13.5 ± 0.4
1995/6	4.87 ± 0.31	0.33 ± 0.64	2.63 ± 0.67	2.79 ± 0.68	268.5 ± 0.45	15.0 ± 0.7	15.9 ± 0.7	9.33 ± 0.64
1995/7	3.41 ± 0.55	10.3 ± 0.6	2.54 ± 0.59	3.23 ± 0.61	223.0 ± 1.36	15.9 ± 0.7	8.76 ± 0.78	6.55 ± 0.79
1995/8	0.18 ± 0.60	1.61 ± 0.47	5.08 ± 0.38	3.45 ± 0.51	141.0 ± 0.88	9.21 ± 0.33	16.4 ± 0.7	12.1 ± 0.6
1995/9	1.94 ± 0.41	3.47 ± 0.36	—	10.7 ± 0.5	222.2 ± 1.17	6.05 ± 0.44	13.1 ± 0.6	12.3 ± 0.5
1995/10	3.91 ± 0.38	4.61 ± 0.35	5.87 ± 0.36	9.32 ± 0.54	137.9 ± 0.94	7.29 ± 0.54	21.1 ± 0.9	14.5 ± 0.8
1995/11	5.24 ± 0.49	9.33 ± 0.59	11.3 ± 0.6	11.38 ± 0.6	149.6 ± 1.12	—	—	—
1996/1	5.30 ± 0.67	7.65 ± 0.81	7.39 ± 0.71	9.99 ± 0.76	310.0 ± 1.1	—	31.8 ± 1.3	20.5 ± 1.2
1996/2	1.55 ± 0.77	6.91 ± 0.59	7.65 ± 0.58	7.72 ± 0.50	153.4 ± 1.2	4.93 ± 0.77	20.3 ± 0.5	13.2 ± 0.5
1996/3	2.04 ± 0.55	4.77 ± 0.61	4.31 ± 0.52	3.27 ± 0.61	195.9 ± 1.3	6.43 ± 0.58	20.5 ± 0.7	9.51 ± 0.64
1996/4	3.89 ± 0.48	4.72 ± 0.48	5.84 ± 0.47	9.19 ± 0.49	185.9 ± 1.2	12.8 ± 0.6	—	—
1996/5	2.66 ± 0.57	4.34 ± 0.58	4.20 ± 0.58	6.69 ± 0.59	309.1 ± 2.1	7.96 ± 0.64	18.4 ± 0.8	9.86 ± 0.67
1996/6	1.31 ± 0.78	0.67 ± 0.77	0.925 ± 0.764	2.12 ± 0.77	273.3 ± 2.1	10.0 ± 0.9	18.0 ± 1.4	12.4 ± 1.4
1996/7	7.69 ± 1.03	2.89 ± 0.96	1.05 ± 0.93	3.00 ± 0.94	148.0 ± 2.0	10.9 ± 1.1	22.1 ± 1.1	16.0 ± 1.0
1996/8	4.83 ± 0.67	4.14 ± 0.65	4.69 ± 0.64	4.61 ± 0.64	240.7 ± 1.8	12.7 ± 0.7	20.1 ± 0.8	15.9 ± 0.8
1996/9	7.03 ± 0.76	2.90 ± 0.68	3.00 ± 0.67	2.68 ± 0.65	334.3 ± 2.3	8.82 ± 0.76	28.2 ± 0.6	8.63 ± 0.50
1996/10	4.79 ± 0.74	4.28 ± 0.73	5.44 ± 0.73	6.37 ± 0.73	160.6 ± 1.6	13.7 ± 0.8	22.0 ± 0.9	16.5 ± 0.8
1996/11	7.46 ± 0.88	6.18 ± 0.81	6.69 ± 0.80	5.78 ± 0.82	231.1 ± 2.1	10.4 ± 0.9	20.1 ± 0.8	14.1 ± 0.7
1996/12	2.36 ± 0.59	2.03 ± 0.58	1.00 ± 0.56	0.465 ± 0.541	107.5 ± 1.1	6.85 ± 0.61	18.1 ± 0.6	9.66 ± 0.58
平均	3.74 ± 2.24	4.36 ± 2.82	4.42 ± 2.89	5.46 ± 3.42	202.1 ± 81	9.86 ± 3.23	18.7 ± 6.9	11.9 ± 4.51

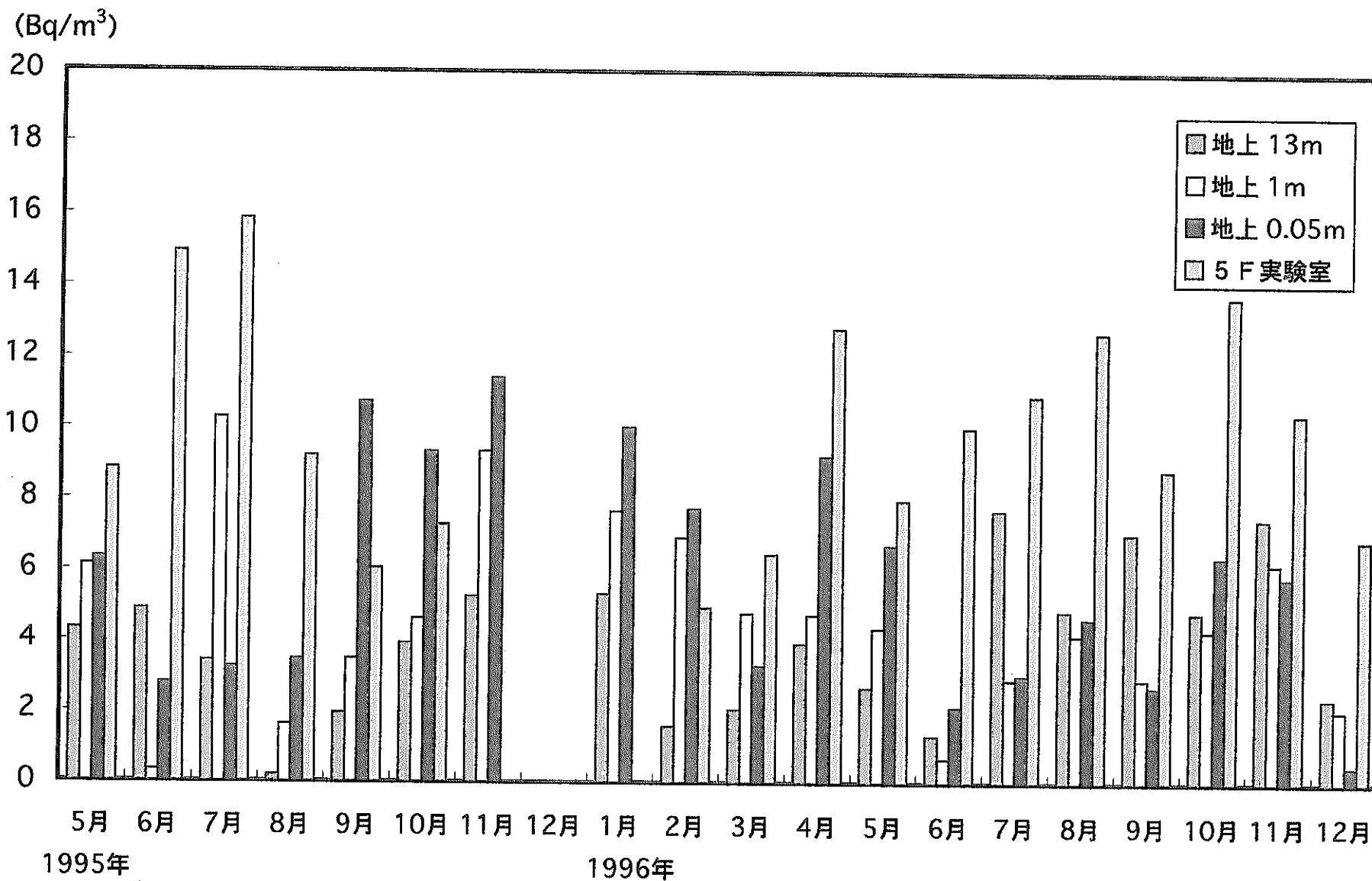


Fig. 15 東大阪における空气中ラドン濃度の経時変化

Table 11 三朝土壤試料のγ線核種分析結果

試料		採取日	(Bq/g)						
			K-40 1460.7keV	Pb-212 (Th) 238.6keV	Tl-208 (Th) 583.2keV	Pb-214 (U) 351.9keV	Bi-214 (U) 609.3keV	Ra-226 (U) 186.0keV	Cs-137 661.6keV
福本	公民館	95.11.14	0.64 ± 0.0217	0.058 ± 0.002	0.017 ± 0.001	0.032 ± 0.0025	0.023 ± 0.0022	ND	0.045 ± 0.0009
本泉	三朝中学	95.11.16	0.72 ± 0.0289	0.066 ± 0.002	0.018 ± 0.001	0.029 ± 0.0024	0.023 ± 0.0025	ND	0.072 ± 0.0014
久原	石垣	95.11.15	1.01 ± 0.012	0.087 ± 0.001	0.026 ± 0.001	0.034 ± 0.0015	0.029 ± 0.0013	ND	ND
久原	水月堂	95.11.15	0.73 ± 0.0226	0.063 ± 0.002	0.019 ± 0.001	0.038 ± 0.0024	0.028 ± 0.0024	ND	0.043 ± 0.0019
	たたら製鉄跡	95.11.15	0.22 ± 0.0283	0.044 ± 0.004	0.012 ± 0.003	0.098 ± 0.0045	0.075 ± 0.0051	ND	ND
穴鴨	山崎宅	95.11.15	0.59 ± 0.0233	0.038 ± 0.002	0.010 ± 0.001	0.025 ± 0.0029	0.018 ± 0.0023	0.075 ± 0.027	0.024 ± 0.0015
福本	温泉跡(杉)	95.11.15	1.44 ± 0.030	0.097 ± 0.003	0.029 ± 0.002	0.040 ± 0.0042	0.030 ± 0.0032	ND	ND
曹源寺	曹源寺	95.11.15	0.80 ± 0.0282	0.073 ± 0.002	0.020 ± 0.002	0.039 ± 0.0032	0.036 ± 0.0032	ND	ND
福本	温泉跡(梅)	95.11.14	0.83 ± 0.030	0.090 ± 0.003	0.024 ± 0.003	0.042 ± 0.0031	0.036 ± 0.0043	ND	0.036 ± 0.0020
福本	温泉跡(梅)	95.11.14	0.89 ± 0.0172	0.111 ± 0.002	0.080 ± 0.003	0.044 ± 0.0017	0.035 ± 0.0016	ND	0.039 ± 0.0011
福本	山根宅	95.11.14	0.63 ± 0.0521	ND	0.022 ± 0.004	ND	ND	ND	0.013 ± 0.0055
久原	安藤宅	95.11.15	0.72 ± 0.0324	0.069 ± 0.004	0.018 ± 0.002	ND	0.029 ± 0.0033	ND	0.012 ± 0.0017
恩原	料理屋	95.11.15	0.39 ± 0.0406	0.068 ± 0.003	0.019 ± 0.003	0.037 ± 0.0036	ND	ND	0.010 ± 0.0024
片柴		96.11	1.010 ± 0.011	0.119 ± 0.001	0.033 ± 0.001	0.042 ± 0.002	0.035 ± 0.001	ND	ND
吉尾		96.11	0.964 ± 0.024	0.055 ± 0.003	0.015 ± 0.002	0.030 ± 0.002	ND	ND	0.013 ± 0.002
ウラン鉱床	露頭発見の地	95.11.15	0.66 ± 0.0573	0.024 ± 0.005	0.012 ± 0.003	0.827 ± 0.0013	0.6777 ± 0.0116	ND	0.0034 ± 0.0034
人形峠		94.11	0.413 ± 0.026	0.027 ± 0.003	0.013 ± 0.003	1.410 ± 0.011	1.210 ± 0.009	3.293 ± 0.051	—
近大	本館	91.11.12	0.337 ± 11	ND	0.0042 ± 0.0005	0.015 ± 0.0008	0.010 ± 1.0	ND	0.0008 ± 0.4
近大	原研	95. 8.22	0.846 ± 11	ND	0.0013 ± 0.0006	ND	0.017 ± 1.2	ND	0.0015 ± 0.5
近大	会館	91. 9.20	0.716 ± 42	ND	0.0061 ± 0.0011	ND	0.010 ± 1.9	ND	ND
近大		94.11	0.719 ± 3.9	0.075 ± 0.0004	0.0573 ± 0.0006	0.0307 ± 0.0003	0.0273 ± 0.4	0.071 ± 23	0.0042 ± 0.2
最小検出限界			0.69	0.12	0.083	0.18	0.20	7.8	

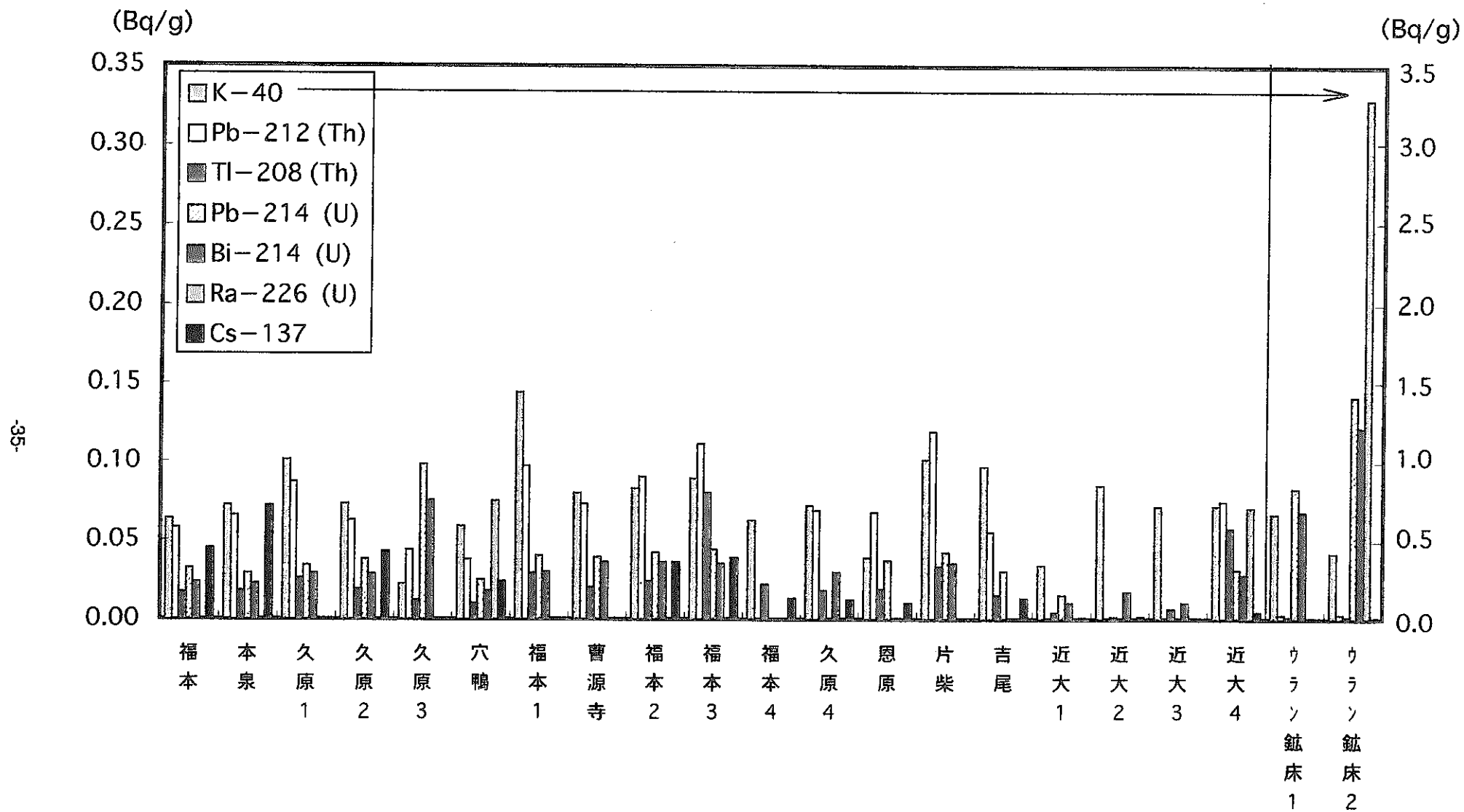


Fig. 16 三朝周辺地域における核種分析の結果



と比較すると今回高かった竹田地区 ( $37\sim 109\text{ Bq/m}^3$ ) は平均で約4倍、三朝地区 ( $38\sim 381\text{ Bq/m}^3$ ) は約6倍であった。東大阪市の空気中ラドン濃度は小鹿地区と同レベルであった。屋内ラドン濃度は屋外ラドン濃度と比べると高く、その比は試料数は少ないが三朝地区、竹田地区、旭(竹田川沿)地区の上流は平均で1.7~2.0と高く、他は1.1~1.2と低い傾向を示し、地区により差が見られた。

(2) 三朝温泉地区における1995年5月より1996年12月迄の空気中ラドン濃度の経時変動を見ると、屋内濃度の1階においては  $53\sim 170\text{ Bq/m}^3$ 、2階は  $24\sim 110\text{ Bq/m}^3$  と1階の方が高く、屋外濃度は  $9.6\sim 50\text{ Bq/m}^3$  の範囲に変動し、浴室内ラドン濃度は  $48\sim 274\text{ Bq/m}^3$  であった。

(3) 1989年11月 ~ 1996年12月における三朝温泉地区一般家庭の温泉水、河川水、井戸水などの水中濃度はそれぞれ  $58\sim 216\text{ Bq/l}$ 、 $1.7\sim 11\text{ Bq/l}$ 、 $15\sim 39\text{ Bq/l}$  の範囲に変動した。三朝温泉旅館を含む地域における温泉水は最高  $1700\text{ Bq/l}$ 、井戸水は最高  $400\text{ Bq/l}$ 、山水、湧水は  $1\sim 41\text{ Bq/l}$  と巾広く変動している。温泉街の空気中ラドン濃度はこれらに影響を受け、場所、時間などにより変動する。河川水は  $1.7\sim 15\text{ Bq/l}$  でほぼ同レベルで経時変動は少ない。旭地区の大柿では  $2\sim 400\text{ Bq/l}$  と同じ大柿地区でも所によって大きく変動している。

## 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 (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) 堀内公子; 鉱泉中ラドンの抽出—液体シンチレーションカウンターによる新定量法について, 温泉工学会誌, 13 (2), 95 - 103 (1978)
- 9) 堀内公子; 温泉科学, 28 (2), 39 (1977)
- 10) 堀内公子, 石井 忠, 村上悠紀雄; 日本化学会誌, (1), 116 (1981)
- 11) 仲川隆夫他; Radioisotopes, 38, 20 (1989)
- 12) 五十嵐修一他; 福井県衛生研究所報, 28, 88 (1989)
- 13) 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)
- 14) 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)
- 15) 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)