

## ピコラド (PICO-RAD) 検出器による 放射能泉地域の空气中ラドン濃度測定

堀内 公子\*・坂口 真智子\*・後藤 千春\*\*  
滝沢 英夫\*\*\*・鈴木 絢香\*\*\*・甘露寺 泰雄\*\*\*

### 要 約

ラドンが活性炭によく吸着することを利用して開発されたパッシブ型ラドン検出器PICO-RADは積算型測定器で測定場所における空气中のラドン濃度平均値を知る事ができる。PICO-RAD 検出器を用いて玉川、村杉、増富、湯乃島、三朝、池田等の放射能泉地域で空气中のラドン濃度を測定した。また、村杉、増富、湯乃島温泉地域に一泊二日(24時間)滞在する利用客の被曝線量を試算したところそれぞれ3.2、7.3、5.0 $\mu$ Svであった。

### 1. はじめに

宇宙に漂う水素を主体とした物質が収縮して星を作り始め、収縮の重力エネルギーが熱に変わって高温になり、水素燃焼、ヘリウム燃焼等の核融合反応が起こり次第に重い元素がつくり出された。これらの反応が60億年以上も続いたあと固まって地球を含む太陽系宇宙が誕生した。地球が誕生して、既に46億年経過したと推定されているが、地球は多種類の核反応によって生成した塵から成り立っている。そのため今でも地球には多種類の放射性元素が存在している。

1993年国連科学委員会(UNSCEAR)は、世界の一般人が自然放射線から受ける平均的な年線量は2.4mSv/yであり、その半分の1.26mSv/yはラドンからの寄与であると報告した<sup>1)</sup>。ラドン(<sup>222</sup>Rn)は地殻に含まれているウラン(<sup>238</sup>U)の崩壊生成物であり、半減期3.825日の $\alpha$ 線を放出する放射性希ガスである。よってその起源は地球の創世期まで遡ることが出来る。

我が国でも家屋内ラドン濃度の全国調査や職場環境等生活環境における調査<sup>2)</sup>が行われ、温泉地域においても放射能泉の周辺や浴室内で調査が試みられている<sup>3)4)</sup>があまり多くはない。

本稿はPICO-RAD 検出器の簡便さに着目し、放射能泉地域の空气中ラドン濃度を測定し、一部の温泉地では一泊二日(24時間)滞在する利用客の温泉地における被曝線量を試算し、結果をまとめた。

### 2. 調査地域のプロフィール

空气中ラドン濃度の測定は玉川、村杉、増富、湯乃島、三朝、池田等の放射能泉地域で行った。

日本の放射能泉はほとんどが白亜紀の花崗岩地帯にある。日本列島は地質上フォッサ・マグナ(ナウマン命名;中部地方東部にあり、南北に走る「断裂帯」)によって東北日本と西南日本に分けられ、糸魚川—静岡構造線はフォッサ・マグナの西縁を限る断層である。放射能泉は風化花崗岩

\*大妻女子大学社会情報学部、\*\*G ネイチャーコミュニケーション、\*\*\*(財)中央温泉研究所

地帯の多い西南日本に圧倒的に多く湧出しており、東北日本にはあまり多くないが、増富、村杉、栃尾又温泉等が水中のラドン濃度の高い温泉として知られている。

【玉川温泉】秋田県所在。約300年前延宝8年(1680)6月硫黄山探検者によって発見され、当初は硫黄採掘場として開発された。明治15年(1882)に温泉湯治場として許可され発展して来た。山間僻地、人跡未踏の地のため、源泉はただ毒水として恐れられ、温泉としては有要視されなかった。酸性が強い(スッパイ)ことから「スカ湯」または「鹿湯」等と呼ばれていたが、昭和12年(1937)8月朝日新聞社の杉村蘇人冠により「玉川温泉」と命名された(下流に玉川集落がある)。十和田八幡平国立公園内、海拔740mの焼山山麓に位置する玉川温泉は1ヶ所(おおぶき)からの温泉湧出量が9,000L/m、温泉水のpHが1.2と日本一の湯量と強酸性を誇っている。明治39年(1906)台湾北投温泉で発見された放射性銻物北投石と同じものが玉川温泉でも生成されることが、現在ではよく知られており、玉川産北投石は国の天然記念物に指定されている。

温泉の利用は癌の治療目的が多く、湯浴利用の他地熱を利用した岩盤浴が行われている。旅館は玉川温泉の一軒宿であったが、近年新玉川温泉と湯治館そよ風が開業した。

【村杉温泉】新潟県所在。建武2年(1335)、足利家の武将名護屋尾張守の家臣荒木正高が薬師如来のお告げにより発見したと伝えられ、約680年の伝統を持ち、薬師堂の下の薬師乃湯は共同浴場として栄えている。白亜紀(9000万年前)に花崗岩層が貫入した五頭山系の西麓の巨杉、老杉に囲まれた静かな温泉地で、五頭山系の伏流水が放射能を含んで湧出している。薬師堂へ続く道に、仏の恩に報いるために杉や松が植えられたことから「村杉温泉」と名付けられた。温泉は婦人病に効果があり、古くから「子宝の湯」としても知られ、戊辰戦争で傷ついた勤皇の志士たちも、ここを利用したとされている。泉温は25~6℃、単純Rn泉である。

昭和37年(1962)にボーリング自噴した3号井

は湧出量 $6.95 \times 10^3$  L/mで、現在は8軒の旅館に配湯されているが、充分需要を満たしているうえ、余剰の湯は日常人々が野菜を洗うのに利用している。

温泉地域には昔からの共同浴場の他に、近年共同露天風呂および足湯が設置され、村杉温泉利用客全員への便宜が図られている。温泉の利用客の目的は観光と健康志向が半々と見られ、一泊二日の利用客が多い。

調査および被曝線量の試算は「長生館」で行った。長生館は3号泉の内湯への配湯とは別に広い敷地内に数か所ある湧水から内湯露天風呂とロビー飲泉への配湯が行われている。長生館利用客は明るいうちに地域の共同浴場や足湯を体験し、夜間あるいは早朝に館内の露天風呂、内湯等を利用することが多いようである。

【増富温泉】山梨県所在。金峰・瑞牆山の山麓を流れる本谷川のほとりの鄙びた山の湯で昔から放射能泉として名高い。黒森の奥にある信州峠を通過して増富から川上村へ抜けるルートは古くから山梨と長野を結ぶ交通の重要地点で、戦国時代の武将、武田信玄所縁の地でもある。信玄が増富で金を掘らせていた時に発見された温泉で、傷病兵を治療するのに利用されたことから信玄の隠湯として知られている。また、増富には、武田氏が甲州金を鑄るために数千人の人夫を送り込み採掘させたといわれる金山跡がある。当時この地は金山千軒やませんげんと呼ばれるほどにぎやかな村であり、今でも金山平という地名が残っている。

調査および被曝線量試算は「不老閣」で行った。不老閣は湯橋上流の沢沿いにあり、本館横の山道を5分ほど登った山裾に岩風呂の湯小屋がある。岩風呂の湯は花崗岩の割れ目より気泡と共に自然湧出しており、岩の窪みそのまま風呂となっている。風呂のすぐ背後には花崗岩を覆う凝灰角礫岩が露出している。自然岩の窪みの底から湧出する湯は約3.1~3.6 L/m、泉質は含CO<sub>2</sub>・Rn-Na-Cl泉、pH6.4、泉温21.1℃の冷鉱泉である。

岩風呂の入浴時間は日中だけで、女性タイム、男性タイムに分かれ、浸かることが目的で、各自5分~20分位を目途とし、洗い場はない。岩風呂

を出た後、隣接する浴室に設えられた加温風呂に浸かりその際に浴室内の飲泉が利用出来る。夜間の入浴は本館内の内湯が使われる。温泉の利用客は観光目的より健康志向、病の癒しが中心で、数日間滞在する利用客も多い。

【湯乃島温泉】岐阜県所在。通称「ローソク温泉」。大正13年(1924)名大医学部教授林直助博士がこの地域で、放射能に関する研究をはじめ、日本有数の放射能泉を有意義に活用するよう昭和20年(1945)に開業した。俗化させないために昭和58年(1983)秋までローソクの灯りをともしていたのが「ローソク温泉」の由来である。

鉱泉の歴史は古く、武田信玄に追われた落ち武者が近くのほら穴に隠れ住みこの泉を見つけ傷を癒したのが最初と言われている。「湯之島ラジウム鉱泉保養所」が一軒宿で、泉温は13~15℃、泉質は、単純Rn泉、湧出量は3L/mである。

温泉利用客は病の癒しを目的とする人が多く、数日間滞在し、飲泉は薬として1日に複数杯服用される傾向がある。

調査および被曝線量の試算は「湯之島ラジウム鉱泉保養所」で行った。旅館の内湯には二つの浴槽があり、それぞれ1号泉、2号泉から配湯されている。

【三朝温泉】鳥取県所在。三朝温泉は、鳥取県のほぼ中央部、中国山地の北麓に位置し天神川の支流三徳川の兩岸の三朝区、山田区で温泉が湧出する。三朝温泉は長寛2年(1164)の開湯で、以来800年以上を経過し、親子代々人々が住み続けている。三朝温泉は、泉温：36~85℃、ラドン濃度：17.4~9,361 Bq/L、平均ラドン濃度：436.6 Bq/Lの含Rn-Na-Cl泉、または含Rn-Na-Cl-HCO<sub>3</sub>泉地域である。この地の温泉水の湧出量は2.1×10<sup>3</sup> L/mで、温泉に起因するラドンの大気への放出量は1.3×10<sup>9</sup> Bq/日と推定されている。

三朝温泉地域における1952~1988年までの癌死が、生活環境の類似した近隣地区と比較して調査された。この地域の屋外放射能は周辺地区の約2.4倍で温泉施設の浴室の放射能は200~8,000Bq/m<sup>3</sup>であるにもかかわらず癌死は有為に低く、環境中のラドンが健康に有害だという考えを否定す

るものであった。この地域の住民は多年この地で入浴、吸入、飲用をしているがまったく白血病、癌、先天性奇形などの発生率に他地域との差は見られていないと報告されている<sup>5)</sup>。

三朝温泉には健康目的や観光も含め沢山の利用客が訪れ、今も残る長期滞在客向けの宿を含め、30軒余りの大小の旅館を擁する温泉地である。他の放射能泉地域が旅館数1~数軒の冷鉱泉であるのに対し泉温の高い規模の大きな放射能泉地として我が国では特異的な存在である。公衆浴場が2ヶ所、三朝橋のたもとに露天の「河原風呂」があり、近年足湯も設置された。現在、観光客数は年間170万人に及んでいる。

【池田鉱泉】鳥根県所在。三瓶山(1126.4m)西北方約6kmの花崗岩地帯に湧出している。泉質は含CO<sub>2</sub>・Rn-Na・Ca(・Mg)-Cl泉で、源泉は5本あり、pH5.5~7.2、水温12~20.5℃、蒸発残留物4,663~7,977mg/Lである。古くからラドン含有量の多いことで知られ、地質の研究や放射能調査が繰り返されている。「池田ラジウム鉱泉」は一軒宿であり、ラドン含有量の多い8号泉は隣接する特別養護老人ホーム「さわりび苑」でリハビリなどのために利用されている。また8号泉の残り湯は宿の裏庭にある横手市の「かまくら」に似た約3.3m<sup>2</sup>程度の広さのドーム状のコンクリートの小屋で使用されている。小屋の中には8号泉を張った浴槽と残りの空間に椅子が置いてあり、入口のドアは常に閉じられているので、締め切った小さな小屋の中のラドン濃度は非常に高く、そうした雰囲気の中に一定時間滞在することで高濃度ラドンの吸引が容易に出来るよう工夫されている。浴槽の湯は入浴のためでなく、小屋内のラドン濃度を高めるために使用されている。「8号泉の小屋」に滞在した時の被曝線量を試算した。

### 3. ラドン濃度の測定

#### 3.1 空气中ラドン濃度<sup>4)6)7)</sup>

空气中ラドン濃度の測定はPICO-RAD検出器<sup>8)</sup>を使用した。PICO-RAD検出器はラドンが活性炭によく吸着することに着目してアメリカで

開発され。市販され始めた簡易型のラドン採取器で、空気中のラドン濃度をルーチンで計測することが出来る。測定下限は10分間の計測時間、統計誤差10%で $11.1 \text{ Bq/m}^3$ である。先ごろ報告<sup>2)</sup>された日本の全国調査による屋内ラドン濃度の平均値

$15.5 \pm 13.5 \text{ Bq/m}^3$ からみるとやや高いが、屋内ラドン濃度の比較的高い欧米では簡便で有効な検出器である。ちなみにアメリカの環境保護局 (USEPA) によるアクションレベル (屋内ラドン濃度が高いとき注意を喚起せしめる値) は150

表1-1 玉川温泉の空気中のラドン濃度測定結果 (2005/11/24~25測定)

No.	試料名 (玉川温泉内と温泉地域)	設置位置 (床上・cm)	Bq/m <sup>3</sup>
1	西館506号室 TV上・建屋内	65	<15
2	西館506号室洗面台上・建屋内	88	<15
3	西館506号室机上・建屋内	70	<15
4	岩盤浴テント柱 (中央)・テント内	150	<15
5	岩盤浴テント柱 (中央)・テント内	150	<15
6	岩盤浴テント柱 (中央)・テント内	150	<15
7	大沸そば掲示板裏・屋外	160	<15
8	薬師神社そば掲示板裏・屋外	164	<15
9	大浴場男湯脱衣所風呂入口側ロッカー上・建屋内	160	<15
10	大浴場男湯脱衣所出入口側ロッカー上・建屋内	160	<15
11	大浴場男湯脱衣所風呂入口側ロッカー上・建屋内	195	<15
12	大浴場男湯浴室・洗い場上・建屋内	180	<15
13	大浴場男湯浴室・打たせ湯上・建屋内	200	<15
14	大浴場男湯浴室・かけ湯脇・建屋内	210	<15
15	薬師神社そば茂みの中・屋外	0 (地上)	<15
16	玉川温泉樋最終湯口・屋外 (4時間設置)	10 (地上)	<15

表1-2 村杉温泉の空気中のラドン濃度の測定結果 (2005/10/21~22測定)

No	試料名 (村杉温泉地域および長生館内)	設置位置 (床上・地上・水面 cm)	Bq/m <sup>3</sup>
1	露天風呂 (男) 流入口脇・屋外	60	22
2	露天風呂 (男) 入り口方向・屋外	125	<15
3	露天風呂 (男) 反対側・屋外	76	<15
4	村杉1号泉湧出口上壁際・屋内	71	970
5	村杉1号泉二槽の間壁際・屋内	71	450
6	村杉1号泉入り口近く壁際・屋内	71	420
7	村杉1、2号泉排水口上・屋外	123	210
8	村杉1、2号泉脇広場・屋外	145	17
9	共同浴場浴室 (男) 流入口・屋内	145	390
10	共同浴場浴室 (男) 奥・屋内	145	100
11	共同浴場浴室 (男) 出入口脇・屋内	145	110
12	共同浴場脱衣場 (男) ロッカー上・屋内	183	<15
13	共同浴場脱衣場 (男) 水道カラン上・屋内	180	<15
14	共同浴場脱衣場 (男) 浴室出入口脇・屋内	168	<15
15	村杉3号泉湧出口上・屋外	水面150・湧出口より50	40
16	村杉3号泉脇・屋外	地上140・湧出口より200	<15
17	村杉3号泉脇・屋外	地上110・湧出口より600	<15
18	長生館内湯浴室内	20	60
19	長生館内湯露天風呂	30	17
20	長生館脱衣所	80	<15
21	食堂・ロビー	40	<15
22	足湯座席	45	18



Bq/m<sup>3</sup>とされている。

ドン濃度測定結果は表1-1～1-6に示した。

PICO-RAD 検出器による調査地域の空気中ラ

表1-3 増富温泉の空気中のラドン濃度測定結果 (2005/11/3～4測定)

No.	試料名 (不老閣本館内・岩風呂湯小屋および温泉地域)	設置位置 (床上・cm)	Bq/m <sup>3</sup>
1	長寿の湯・内湯(男)浴槽上	110(水面上)	42
2	長寿の湯・内湯(男)上がり湯上	81	<15
3	長寿の湯・内湯(男)洗い場時計	163	35
4	内湯休憩室(マッサージ器)	162	120
5	内湯休憩室(マッサージ器)時計	216	160
6	内湯・洗面所(ロッカー上)	175	120
7	内湯・洗面所・風呂への出入口脇	182	130
8	客室・216	60	33
9	食堂	55	<15
10	ロビー	65	<15
11	岩風呂棟脱衣所出入口脇(湯小屋屋内)	158	220
12	岩風呂棟出入口ホール(湯小屋屋内)	155	450
13	岩風呂棟上がり湯上(湯小屋屋内)	204	590
14	岩風呂棟飲泉上(湯小屋屋内)	128	980
15	岩風呂棟上がり湯出入口脇(湯小屋屋内)	162	630
16	岩風呂荒神様上(湯小屋屋内)	120	360
17	岩風呂弁天様上(湯小屋屋内)	140	390
18	岩風呂排水ポンプ脇(湯小屋屋内)	160	360
19	岩風呂棟脱衣所ベランダ脇(屋外)	140(地上)	61
20	岩風呂への道(屋外)	135(地上)	<15

表1-4 湯之島温泉の空気中のラドン濃度測定結果 (2005/11/29～30測定)

No.	試料名 (湯之島ラジウム鉱泉保養所内と温泉地域)	設置位置 (床上・cm)	Bq/m <sup>3</sup>
1	女性宿泊室内ハンガー下	65	28
2	女性宿泊室内出窓奥	45	26
3	女性宿泊室欄間上	194	24
4	女性浴室1号泉上	110(水面上)	250
5	女性浴室2号泉上	114(水面上)	220
6	女性浴室水神様上	90	260
7	女性浴室棟洗面室洗面台上	162	100
8	女性浴室棟脱衣所扇風機脇	151	49
9	女性浴室棟脱衣所更衣棚上	154	43
10	無料休憩所出入口柱(屋外)	93	21
11	無料休憩所縁の下(屋外)	0	37
12	湯之島1号泉蛇口上(屋外)	35	73
13	あづまや(大)柱(屋外)	110	26
14	あづまや(小)柱(屋外)	190	27
15	食堂(本館)椅子席脇棚上	83	38
16	喫茶室(本館)窓枠上	55	39
17	食堂(本館)入れ込み脇棚上	80	50
18	林宅旧自家井戸(屋外)	118	18
19	林宅地下室水タンク上	76	73
20	林宅地下室上出入口脇棚上	119	79

表 1-5 三朝温泉の空気中のラドン濃度測定結果 (2006/1/19~20測定)

No.	試料名 (三朝温泉地域の屋内)	設置位置 (床上・cm)	Bq/m <sup>3</sup>
1	大橋旅館・岩窟の湯・看板の裏	0	180
2	大橋旅館岩窟の湯・ラジウム泉・上之湯脇	0	510
3	大橋旅館岩窟の湯・出入口脇・カラン上	120	530
4	大丸家 (民家) 山田区共同湯そば・玄関	150	29
5	大丸家 (民家) 山田区共同湯そば・居間	不明	20
6	梶川理髪店・待合所窓辺	140	82
7	梶川理髪店	176	71
8	木屋旅館・オンドル・川側隅	0	15>
9	木屋旅館・楽泉の湯・枕の湯脇	75	180
10	木屋旅館・オンドル中央壁	50	15>
11	木屋旅館・フロント	180	15>
12	御船宅浴室・湯舟脇	140	38
13	御船宅浴室・源泉脇	160	100

表 1-6 池田鉱泉の空気中ラドン濃度測定結果 (2007/3/17測定)

No	試料名 (池田鉱泉地域屋外および屋内)	設置位置 (床上・cm)	Bq/m <sup>3</sup>
1	2号泉脇、側溝	0	<15
2	3号泉近く、階段の上：2段目	60	<15
3	3号泉脇	0	400
4	門柱下	0	<15
5	2号泉	20	480
6	玄関前	20	<15
7	3号泉	20	<15
8	1号泉近く	30	<15
9	放泉閣玄関前	20	85
10	4号泉と6号泉の間	20	44
11	8号泉室内 (小屋内)	45	8,100
12	放泉閣・梅の間・室外機上 (屋内)	60	<15
13	5号泉と8号泉の間	100	<15
14	2号泉脇	0	160
15	建屋脇	0	<15
16	建屋脇	0	<15
17	5号泉入口	30	1,500
18	玄関横・置物横	20	<15
19	7号泉斜面	30	<15
20	4号泉脇	0	<15
21	玄関内 (屋内)	45	<15
22	内湯脱衣所 (屋内)	75	<15
23	浴室内 (屋内)	45	<15
24	内湯脱衣所前・廊下 (屋内)	60	820
25	放泉閣裏・土手	0	<15
26	放泉閣裏縁側	50	<15
27	8号泉浴槽上 (小屋内)	45	62,000
28	9号泉脇	0	<15
29	玄関横・エアコン室外機上	60	27
30	5号泉と7号泉の間	100	<15

### 3.2 源泉中のラドン濃度測定

トルエン抽出-液体シンチレーションカウンター (LSC) 法<sup>9)</sup>により測定した。本法はラドンが有機溶媒によく溶けることを利用して開発され

た測定法である。試料水 1 L に含まれるラドンをトルエンベースの液体シンチレーターで抽出し、LSC でラドン濃度を測定する。被曝線量試算に用いた温泉水中のラドン濃度は表 2 に示した。

表 2 温泉水中のラドン濃度 (Bq/L)

温泉地	内湯 <sup>a)</sup> 内湯 1 号泉 <sup>b)</sup>	飲泉	内湯露天風呂 <sup>c)</sup> 内湯 2 号泉 <sup>d)</sup>	共同浴場 <sup>e)</sup> 岩風呂 <sup>f)</sup>	足湯 <sup>g)</sup> 上がり湯 <sup>h)</sup>
村杉	94.8 <sup>a)</sup>	559.2	102.1 <sup>c)</sup>	385.8 <sup>e)</sup>	503.8 <sup>g)</sup>
増富	14.5 <sup>a)</sup>	4427		92.1 <sup>f)</sup>	3.5 <sup>h)</sup>
湯乃島	538.7 <sup>b)</sup>	3126	293.5 <sup>d)</sup>		

## 4. 被曝線量の算出

村杉、増富、湯乃島の三ヶ所の放射能泉地域に一泊二日滞在した利用客の被曝線量を試算した。便宜上各温泉地域には24時間滞在すると仮定して、利用客が客室、浴室、食堂等にいると予測される平均的な時間を見積り、その時間に従って①空气中ラドン吸入、②浴槽から空气中へ拡散したラドンの吸入、③飲泉利用の際の経口摂取による被曝等を下記に示した各計算式に従って算出した。

### 4.1 空气中ラドン吸入による被曝線量：実行線量算定式

空气中ラドン吸入による被曝線量 D の算出には、国連科学委員会 (UNSCEAR) 報告<sup>10)</sup>で採用されている次式に従った。

$$D[\text{mSv}] = K \cdot T \cdot F \cdot Q \quad \dots\dots\dots(1)$$

K: 線量換算係数  
[ $9 \times 10^{-6} \text{mSv}/(\text{Bqh}/\text{m}^3)$ ]

T: 所在時間 [h]  
所在係数×年間時間 (8,760h)

F: 平衡ファクター\*  
[屋内: 0.4、屋外: 0.5]

Q: 空气中ラドン濃度 [Bq/m<sup>3</sup>]

\*ラドン崩壊生成核種のラドンに対するポテンシャル α エネルギーの比 (UNSCEAR 2001)

各温泉地の空气中ラドン吸入による被曝線量算出結果は表 3 に示した。

### 4.2 浴槽から空气中へ拡散したラドンの吸入による被曝

ラドン濃度の高い湯に浸る場合、浴槽から空气中へ拡散したラドンの吸入による被曝も考慮する必要がある。浴槽から空气中へ拡散したラドンが寄与する割合を P とすると、それによるある期間の被曝線量 Da[mSv] は次式で計算される<sup>11)</sup>。

$$Da[\text{mSv}] = P \cdot D \quad \dots\dots\dots(2)$$

D: (1)式に準じて下記 T を用いて求められる

P:  $10^{-4}$  (ラドンが水中から空气中に出て来て寄与する割合)

T: 浴槽内滞在時間 [h]

P は水道水使用の際に、水道水から屋内空气中に出て来る場合のラドンを対象としているが、他にこうした場合のデータがないため、その値をここで温泉の場合にも流用した。

通常水中のラドンの多くは湧出時、あるいは加温の際等に空气中へ拡散してしまううえ、入浴の際浴槽から空气中へ拡散するラドンの、吸入による寄与の割合が小さいため、被曝線量は 2 桁低い値を示し、殆ど関与がないと言える。

各温泉地の浴槽から空气中へ拡散したラドン吸入による被曝線量算出結果は表 4 に示した。

表3 空气中ラドン吸入による被曝線量の計算

村杉温泉		K	T	F	Q	D
		mSv/(Bqh/m <sup>3</sup> )	h		Bq/m <sup>3</sup>	μSv
共同浴場	浴室内	9 × 10 <sup>-6</sup>	0.5	0.4	200	0.36
	脱衣場	9 × 10 <sup>-6</sup>	0.5	0.4	15	0.03
本館	内湯浴室内	9 × 10 <sup>-6</sup>	0.25	0.4	60	0.05
	内湯露天風呂	9 × 10 <sup>-6</sup>	0.25	0.4	17	0.02
	脱衣・休憩所	9 × 10 <sup>-6</sup>	0.5	0.4	15	0.02
	食堂・ロビー	9 × 10 <sup>-6</sup>	2.5	0.4	15	0.14
	客室	9 × 10 <sup>-6</sup>	15.5	0.4	34	1.90
屋外	足湯座席	9 × 10 <sup>-6</sup>	0.5	0.5	18	0.04
	散策・森林浴等	9 × 10 <sup>-6</sup>	4.5	0.5	15	0.30
計		9 × 10 <sup>-6</sup>	24	—	—	2.86

増富温泉		K	T	F	Q	D
		mSv/(Bqh/m <sup>3</sup> )	h		Bq/m <sup>3</sup>	μSv
湯小屋	岩風呂浴室内	9 × 10 <sup>-6</sup>	0.25	0.4	370	0.33
	上がり湯浴室内	9 × 10 <sup>-6</sup>	0.5	0.4	733	1.32
	脱衣場	9 × 10 <sup>-6</sup>	0.25	0.4	335	0.30
本館	内湯浴室内	9 × 10 <sup>-6</sup>	0.5	0.4	38.5	0.07
	脱衣・休憩所	9 × 10 <sup>-6</sup>	0.5	0.4	133	0.24
	食堂・ロビー	9 × 10 <sup>-6</sup>	2.5	0.4	15	0.14
	客室	9 × 10 <sup>-6</sup>	15.5	0.4	33	1.84
屋外	散策・森林浴等	9 × 10 <sup>-6</sup>	4	0.5	15	0.27
計		9 × 10 <sup>-6</sup>	24	—	—	4.51

湯乃島温泉		K	T	F	Q	D
		mSv/(Bqh/m <sup>3</sup> )	h		Bq/m <sup>3</sup>	μSv
本館	内湯浴室内	9 × 10 <sup>-6</sup>	0.5	0.4	243	0.44
	脱衣・休憩所	9 × 10 <sup>-6</sup>	0.5	0.4	64	0.12
	食堂・ロビー	9 × 10 <sup>-6</sup>	2.5	0.4	42	0.38
	客室	9 × 10 <sup>-6</sup>	15.5	0.4	26	1.45
屋外	散策・森林浴等	9 × 10 <sup>-6</sup>	5	0.5	28	0.63
計		9 × 10 <sup>-6</sup>	24	—	—	3.02

池田鉱泉		K	T	F	Q	D
		mSv/(Bqh/m <sup>3</sup> )	h		Bq/m <sup>3</sup>	μSv
8号泉小屋		9 × 10 <sup>-6</sup>	1	0.4	8,100	29.1



表4 浴槽から空气中へ拡散したラドンの吸入による被曝線量の計算

村杉温泉	浴槽中のラドン濃度	T	P	K	F	Da
	Bq/L	h		mSv/(Bqh/m <sup>3</sup> )		10 <sup>-4</sup> ×μSv
共同浴場	385.8	0.5	10 <sup>-4</sup>	9×10 <sup>-6</sup>	0.4	0.694
足湯(屋外)	503.8	0.5	10 <sup>-4</sup>	9×10 <sup>-6</sup>	0.5	1.134
内湯	94.8	0.25	10 <sup>-4</sup>	9×10 <sup>-6</sup>	0.4	0.085
内湯露天風呂	102.1	0.25	10 <sup>-4</sup>	9×10 <sup>-6</sup>	0.4	0.092
計	—	—	—	—	—	2.005

  

増富温泉	浴槽中のラドン濃度	T	P	K	F	Da
	Bq/L	h		mSv/(Bqh/m <sup>3</sup> )		10 <sup>-4</sup> ×μSv
岩風呂	92.1	0.25	10 <sup>-4</sup>	9×10 <sup>-6</sup>	0.4	0.083
上がり湯	3.5	0.5	10 <sup>-4</sup>	9×10 <sup>-6</sup>	0.4	0.004
内湯	14.5	0.5	10 <sup>-4</sup>	9×10 <sup>-6</sup>	0.4	0.017
計	—	—	—	—	—	0.104

  

湯乃島温泉	浴槽中のラドン濃度	T	P	K	F	Da
	Bq/L	h		mSv/(Bqh/m <sup>3</sup> )		10 <sup>-4</sup> ×μSv
内湯1号泉	583.7	0.25	10 <sup>-4</sup>	9×10 <sup>-6</sup>	0.4	0.525
内湯2号泉	293.5	0.25	10 <sup>-4</sup>	9×10 <sup>-6</sup>	0.4	0.264
計	—	—	—	—	—	0.789

## 4.3 ラドン水飲用による経口摂取被曝

湯治客は1日コップ一杯を目処に飲む傾向にある。

飲泉利用の際の経口摂取による被曝線量の算出にはある期間(通常は一年間)ラドン水を飲用した時の被曝線量Dw[mSv]を評価する式として次式が提唱されている<sup>11)</sup>。

$$Dw[\text{mSv}] = Kw \cdot W \cdot Qw \dots\dots\dots(3)$$

Kw：飲用の場合の線量換算係数  
[3.5×10<sup>-6</sup>mSv/Bq]

W：ある期間(1年間など)の水摂取量  
[m<sup>3</sup>/y]

Qw：飲用水中のラドン濃度  
[Bq/m<sup>3</sup>]

滞在した1日に飲んだ180mlの飲泉がある期間(たとえば1年間の他の日は飲まないとした場合の1年)のWとなる。

利用客が1日コップ1杯を飲んだ時の飲泉飲用による経口摂取被曝線量の算出結果は表5に示した。

表5 コップ一杯の飲泉飲用による経口摂取被曝線量の計算

飲泉所	Kw	W	Qw	Dw
	mSv/Bq	m <sup>3</sup> /y	Bq/m <sup>3</sup>	μSv
村杉温泉	3.5×10 <sup>-6</sup>	180ml	559.2	0.35
増富温泉	3.5×10 <sup>-6</sup>	180ml	4427	2.8
湯乃島温泉	3.5×10 <sup>-6</sup>	180ml	3126	2.0

表6 温泉地1日滞在の被曝線量と医療被曝における実行線量<sup>13)</sup>との比較 (μSv)

放射能泉1日滞在*			X線診断の種類 (1件当たりの線量)		
村杉温泉	増富温泉	湯乃島温泉	胸部 (集団)	胃部 (集団)	CT
3.2	7.3	5.0	50	600	8,250

\*放射能泉に1日滞在し、温泉水をコップ1杯飲む

## 5. 結果及び考察

放射能泉に1日滞在し、飲泉をコップ1杯飲んだ場合の被曝線量を算出すると村杉 3.2μSv、増富 7.3μSv、湯乃島 5.0μSvであった(表6)。これは日本のラドンによる年間被曝線量の平均的な値(0.43mSv)<sup>12)</sup>より算出した1日の被曝線量値(1.2μSv)の2.7~6.2倍になる。しかし通常放射能泉滞在日以外は日常生活の場に戻るので全世界の平均値(1.26mSv)<sup>1)</sup>には至らない。

次に放射能泉に1日滞在した場合の被曝線量と私たちが日常生活の中で受けることの多い医療被曝における実行線量との比較を行った<sup>13)</sup>(表6)。胸部X線撮影は学校や職場での年に1回の集団検診であり、胃部X線撮影も40歳以上の人が受けることが多い集団検診時の値である。

以上のように放射能泉に1日滞在し、飲泉をコップ1杯飲用した場合も、通常義務として気軽に受けている胸部X線撮影の1/16~1/7に過ぎないという結果が得られた。池田鉱泉に於いても8号泉小屋内に1時間滞在した時の被曝線量の試算も胸部X線撮影の約6割であった。また玉川温泉では屋内・外ともに測定した場所の空气中ラドン濃度は人々の日常生活の場と変わらない濃度であり、人々の関心が主として地熱を利用した岩盤浴であることも理解できる。

温泉医学の立場から「放射能泉は人体に強い影響をもたらすので注意して利用せよ」<sup>14)</sup>とされている。温泉の医学的効果は適切な利用があって初めて得られるので注意深く利用する必要がある。しかしながら放射能泉と言う言葉が人々にあまり良い印象を与えないため放射能泉利用時の被曝線量を懸念する利用客もいる。しかし、本調査でも分かるとおり日本の一般的な温泉利用におい

ては放射線による影響を云々するような結果はいずれの場合も起こらないと考えられる。

ラドンは地球上何処にでも存在するが、その濃度は常に変化して居り、測定する時間により、季節により、場所により、流動的である。従ってここで使用した測定値も単に調査時の値を示しているに過ぎず、この値を一般化することは出来ない。又被曝線量算出に示された式や考え方は年間の平均した線量について論じたものであり、したがってここで示した値もあくまで参考値である。しかし、湯治などで放射能泉に何日か滞在するとき、どの位の被曝線量になるのか、普段の生活とどの程度違うのかを考えたときの一つの目安にはなるであろう。

## 参考文献

- 1) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Ionizing Radiation: Sources and Effects of Ionizing Radiation, 1993 Report to the General Assembly with Annexes, New York, (1993)
- 2) ラドン濃度測定・線量評価委員会: (1997) NIRS-R-32 ラドン濃度全国調査最終報告書, 平成4年度~平成8年度屋内ラドン濃度全国調査, 放射線医学総合研究所
- 3) 下 道国, 小柳津東, 床次真司, 北村香織, 江尻和隆, 南 一幸: 岐阜県の一温泉施設のラドン濃度と被曝線量試算, 温泉科学, 55, No. 4, 177-187 (2006)
- 4) 堀内公子, 滝沢英夫, 鈴木絢香, 甘露寺泰雄: 放射線地域のラドン濃度と利用客の被曝線量, 放射線教育, 11, No. 1, 33-41 (2007)

- 5) Mifune M., Sobue T., Arimoto H., et al. : J. Cancer Res, 83, 1-6 (1992)
  - 6) 坂口真智子 大妻女子大学卒業論文
  - 7) 堀内公子, 後藤千春: 放射線利用振興協会報告書, 1-6 (2005)
  - 8) Kessler MJ. : Analysis of Radon in Air and Water, "The 2nd Int. Seminar for LS Analysis Proc." (June 8-9, 1988, Tokyo), p43-67 (1988)
  - 9) 堀内公子, 村上悠紀雄: 温泉工学会誌, 13, No. 2, 95-103 (1978)
  - 10) UNSCEAR 1982 Report, United Nations, New York (1982)
  - 11) Board on Radiation Effects Research (BRER; 1999) : Risk Assessment of Radon in Drinking Water, CLS/NRC Report, National Academy Press.
  - 12) Sanada T., Fujimoto K., Miyano K., Doi M., Tokonami S., Uesugi M. and Takata Y. : Measurement of Nationwide Indoor Radon Concentration in Japan, J. Env. Radioact., 45, 129-137 (1999)
  - 13) 日本アイソトープ協会: アイソトープ手帳, (2001)
  - 14) 大島良雄: 世界の温泉, 日本温泉科学研究所, 8-36 (1981)
-

## Determination of Radon Concentration in the Air of Radioactive Spring's Area Using the PICO-RAD Detector

KIMIKO HORIUCHI\*, MACHIKO SAKAGUCHI\*, CHIHARU GOTOH\*\*

HIDEO TAKIZAWA\*\*\*, AYAKA SUZUKI\*\*\*, YASUO KANROJI\*\*\*

*\*School of Social Information Studies, Otsuma Women's University*

*\*\*G Nature Communication*

*\*\*\*Hot Spring Research Center*

### Abstract

The PICO-RAD detectors are passive devices requiring no power. They are integrating detectors used to determine the average radon concentration in the air where they are placed. The detectors consist of a plastic liquid scintillation vial which has a porous canister held securely near the top of the vial. The porous canister contains a bed of a controlled weight of charcoal covered by a layer of desiccant. The securely capped canister has an indefinite shelf life. The  $\alpha$  radioactivity of radon gas adsorbed in fine active charcoal exposed in the air is measured with a liquid scintillation counter. Using of those simple detectors, we have measured distribution of radon concentration in the radioactive springs such as Tamagawa, Murasugi, Masutomi, Yunoshima, Misasa and Ikeda area. Then about tentative one day dose (24hrs) of the guest of Murasugi (3.2 $\mu$ Sv), Masutomi (7.3 $\mu$ Sv) and Yunoshima (5.0 $\mu$ Sv) was estimated from the radon concentration of these area.

### Key Words (キーワード)

$^{222}\text{Rn}$  (ラドン), PICO-RAD Detector (ピコラド検出器), active charcoal (活性炭), passive method (パッシブ法), liquid scintillation counter (液体シンチレーションカウンター), indoor air (屋内空気), radioactive spring's area (放射能泉地域), tentative dose estimation (線量試算), guest (利用客)