

# 放射能泉と三朝温泉

岡山大学医学部附属病院三朝分院中央検査部 御船政明

目次

I 緒言

II 三朝温泉の放射能

1. 世界の強放射能泉
2. 三朝温泉地区内の強放射能泉の分布
3. 三朝温泉のトリウム系元素
4. 岩石中の<sup>226</sup>Ra濃度
5. 放射能泉の分類
6. 三朝温泉水中の<sup>226</sup>Raおよび<sup>222</sup>Rn濃度
7. 放射性温泉沈殿物
  - (1). 三朝温泉OTR泉の温泉沈殿物
  - (2). 鹿児島県垂水市猿ヶ城温泉の温泉沈殿物
  - (3). 岡大温研泉の温泉沈殿物
8. 三朝温泉の強放射能泉生成機構の説明

III 三朝温泉の放射能と保健物理学的考察

1. 空気中の<sup>222</sup>Rn濃度
  - (1). 鳥取県中部地区温泉地外気中の<sup>222</sup>Rn濃度
  - (2). 三朝温泉地の外気中の<sup>222</sup>Rn濃度
  - (3). 三朝温泉地の室内空気中の<sup>222</sup>Rn濃度
2. <sup>222</sup>Rnによる気管支の推定年間被曝線量
  - (1). 三朝温泉地住民の<sup>222</sup>Rnによる気管支の推定年間被曝線量
  - (2). 岡大三朝分院構内居住一般職員の<sup>222</sup>Rnによる気管支の推定年間被曝線量
  - (3). 岡大三朝分院入院患者の<sup>222</sup>Rnによる気管支の推定年間被曝線量
  - (4). 岡大三朝分院医療従事者、殊にリハビリ関係職員の<sup>222</sup>Rnによる気管支の推定年間被曝線量

IV 低線量長期被曝についての疫学的検討

V 結語

## I 緒言

三朝温泉は長寛2年(1164年)、源義朝の臣大久保左馬之助によって発見されたとしている。元文2年(1737年)の湯村の戸数は35戸、内湯多く湯坪18とある<sup>1)</sup>。従って三朝温泉はかなり古くから温泉が豊富に湧出しており、手掘で温泉を掘さくし湧出箇所に浴槽を設け、浴用に供していたと推察される。湯坪の数に比べて戸数の少いことは、昔日の山陰道は湯村(三朝の旧名)を通っていたとは言え、宿泊客も少く、農業を主体とした兼業的な少数の温泉宿(今日の民宿の如きもの)が営まれていたと思われる。

大正3年(1914年)石津利作博士らの調査によってラジウムエマナチオン(以下 $^{222}\text{Rn}$ と略す)濃度日本一の温泉が三朝の源泉(現岡山大温研分室源泉, $^{222}\text{Rn}$ 濃度142.14マッへ)で発見された。この放射能泉が発見されるまでの経過が三朝温泉誌の資料を収集中に判明した。即ち石津利作博士らが温泉の $^{222}\text{Rn}$ 濃度を測定するため、東郷温泉に出張滞在中との情報をえた当時の三朝区長岡崎真蔵は、現岡大温研分室附近の温泉水を竹筒に入れ、わらじ履きで11kmの山路を歩いて東郷温泉に至り、持参の温泉水を石津利作博士に手渡し、 $^{222}\text{Rn}$ の測定法を依頼した。このことが切っ掛けになって三朝温泉の $^{222}\text{Rn}$ の調査が始まり、翌大正4年(1915年)6月5日、三朝温泉の $^{222}\text{Rn}$ 濃度が日本一との内報に接した。この6月5日を境として、草深い山間の湯治場より日本の代表的な温泉地へと飛躍する第一歩を踏み出した訳である。

## II 三朝温泉の放射能

### 1. 世界の強放射能泉

世界の強放射能泉を列举すると表1<sup>2)</sup>の通りで、Oberschlema(独)、増富、池田(日)、Lurisia

表1 世界の放射能泉<sup>2), 3)\*</sup>

国名	温泉名	源泉名	泉温(℃)	Rn マッへ
ドイツ	Oberschlema	Hindenburg		13500
日本	増富	A 9号	14.5	12000
"	"	A 49号	22.0	9230
"	池田	第8号	15.0	4330
イタリア	Lurisia		10.0	3153
ドイツ	Oberschlema	Bismark		3000
イタリア	Lacco Ameno	Santa Restituta	75.0	2850
日本	池田	第9号	16.0	2750
ドイツ	Brambach	Witten		2269
チェコスロバキア	Joachimsthal	Gruben		2050
日本	増富	A 8号		1960
"	池田	第2号		1479
"	増富	上河原, 下の湯	19.0	1343
イタリア	Lacco Ameno	Fonte Greca		1242
ギリシャ	Ikaria		19.4~59.8	10~792*
日本	三朝	ひすいの湯	42.6	702
"	増富	上の湯	12.6	663
"	"	栗平1号	19.0	638
スペイン	Volde-Marillo			600
日本	増富	大柴	23.2	362
"	"	栗平3号	19.4	355
イタリア	Merano		5.0	343
日本	増富	丹生沢	23.5	330
ブルガリア	Saleno-Iswortsobe			310
日本	増富	栗平1号	20.0	304
イタリア	Lacco Ameno	Romana		271
オーストリア	Gastein			267
日本	柿ノ木	2号B	22.3	244
"	増富	津金湯		240
"	三朝	さぎの湯		234
"	恵那		10.0	222
"	柿ノ木	2号A		204

(伊), Lacco Ameno (伊), Ikaria (希)<sup>3)</sup>, 三朝 (日) などとなる。しかしこれらの温泉は冷泉が大部分を占める。水温37℃以上の温泉を挙げると, Lacco Amaeno (伊), Ikaria (希), 三朝, 関金, 浜村 (日) などとなる (表 2)。

2. 三朝温泉地区内の強放射能泉の分布

三朝温泉の<sup>222</sup>Rn濃度と源泉数との関係は図1<sup>4)</sup>に示す如く, 50マッヘ以下の弱放射能泉が圧倒的に多い。

表 2 世界の放射能泉 (水温37℃以上の<sup>222</sup>Rn泉)

地名	国名	温度(℃)	<sup>222</sup> Rnマッヘ
ラコアメノイスキア島	イタリア	59.7	2802
イカリア島	ギリシャ	19.4~59.8	10~792
三朝(ひすいの湯)	日本	42.6	702
三朝(鷲の湯)	"	42.0	252
三朝(山田区共同湯)	"	65.0	177
関金(露天風呂)	"	52.3	69.6
浜村(あしの湯)	"	41.0	48.1

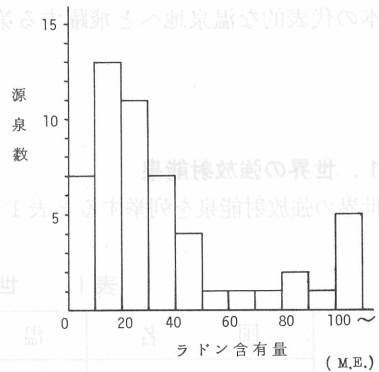


図1 三朝温泉<sup>222</sup>Rn濃度と源泉数<sup>4)</sup>

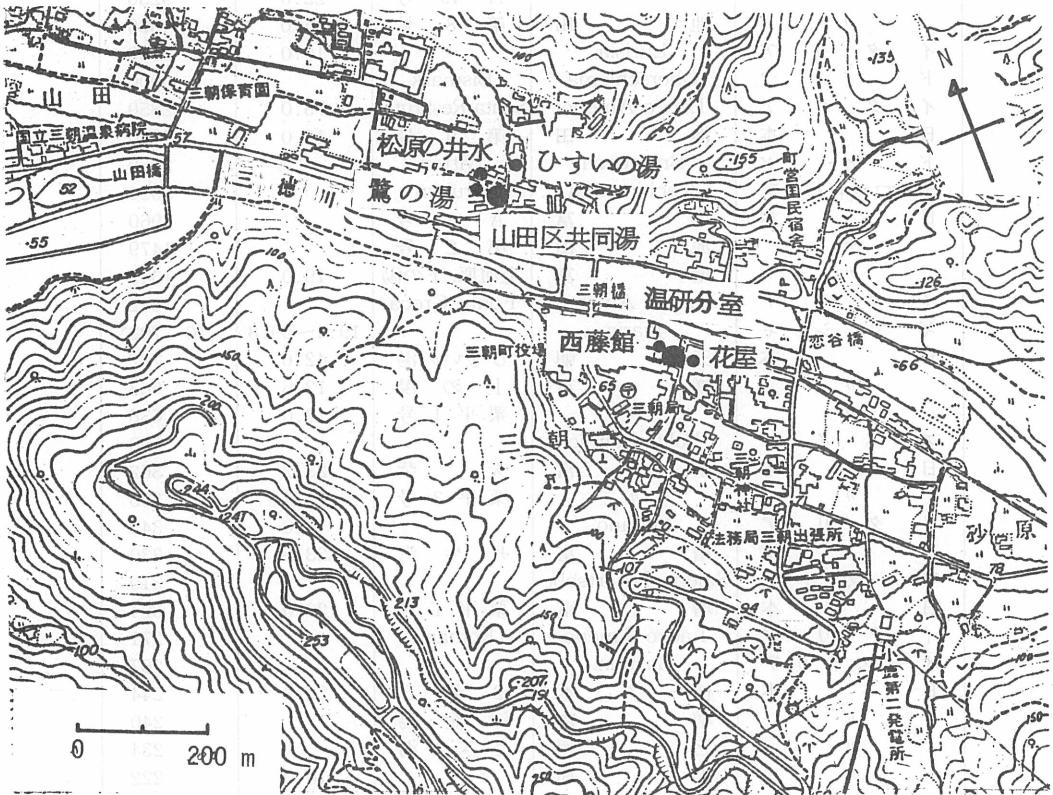


図 2 強放射能泉分布図

倒的に多く、少数の強放射能泉が図2の三徳川左岸の岡大温研分室附近と三徳川右岸の山田茶屋の山田区共同湯附近に偏在する。1952年に三徳川右岸のヒスイの湯で702マッへの $^{222}\text{Rn}$ が測定された<sup>5)</sup>。この測定値は当時水温 $37^{\circ}\text{C}$ 以上の温泉の $^{222}\text{Rn}$ 濃度としては、世界第一位であった。1953年このヒスイの湯から程遠くない松原茂正氏の井水で741マッへの $^{222}\text{Rn}$ が測定された<sup>6)</sup>。この井水の $^{222}\text{Rn}$ 濃度は降水、地下水位の変動などの影響によって1088マッへに達することもある。なおこの附近には郡是神泉寮さぎの湯( $42.0^{\circ}\text{C}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ 252マッへ)、山田区共同湯( $65.0^{\circ}\text{C}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ 177マッへ)などの源泉が存在する<sup>4)</sup>。松原氏の井水はその後、鳥取県の温泉行政上の都合により埋没されて現存しないし、ひすい湯は昭和43年源泉しゅんせつ後浴槽底よりの湧泉は埋没し所謂ひすいの湯(強放射能泉)は姿を消した<sup>7)</sup>。なおしゅんせつ後の湧出口より流出する温泉水中の $^{222}\text{Rn}$ 濃度は18.0マッへ<sup>8)</sup>であった。

### 3. 三朝温泉のトリウム系元素

三朝温泉のトリウム系元素に関する調査も行われ、就中月見の湯でTn(以下 $^{220}\text{Rn}$ と略す)の最高濃度 $7.8 \times 10^{-5}$ トリウム単位/ $\ell$ <sup>9)</sup>が報告され、またMsTh( $^{228}\text{Ra}$ ), RdTh( $^{228}\text{Th}$ )も測定された。さらに黒田和夫博士により源泉中の $^{220}\text{Rn}$ について調査が行われ、その最高濃度はOTR泉の550マッへ(表3)<sup>10)</sup>であった。

表3 三朝温泉のトリウム含量<sup>10)</sup> (1948年2月より1949年2月までに測定すみの分)

泉名	測定日	泉温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	ラドン含量 (マッへ単位)	トリウム含量 (マッへ単位)
鳥取県東伯郡三朝村三朝温泉				
(1)大橋外湯	1949. 1. 15	74	24	~ 20
(2)松原の湯	1949. 1. 13	67	48	~ 50
(3)山田区共同湯	1949. 1. 15	60	140	検出し得ず
(4)山田区共同湯飲湯	1949. 1. 15		200	同上
(5)郡是の湯(鷺の湯)	1949. 1. 14	42	230	同上
(6)中屋の湯	1949. 1. 13	61	36	~ 30
(7)赤崎屋	1949. 1. 13	61	90	~ 90
(8)元油屋No. 1	1949. 1. 12	49	18	~ 20
(9)元油屋No. 2	1949. 1. 12	50	48	~ 50
(10)分油屋	1949. 1. 12	60.5	48	~ 50
(11)花屋	1949. 1. 12	71	180	~ 200
(12)永楽庵	1949. 1. 13	61	24	~ 20
(13)橋津屋	1949. 1. 13	60	24	~ 20
(14)お茶屋No. 1	1949. 1. 13	56	60	~ 60
(15)お茶屋No. 2	1949. 1. 13	53	40	検出し得ず
(16)桶屋の湯	1949. 1. 14	70	70	~ 70
(17)役場の湯	1949. 1. 14	58	130	検出し得ず
(18)煙草屋の湯	1949. 1. 14	56	200	同上
(19)岩崎の湯	1948. 11. 24	...	...	~ 200
(20)大橋の湯(O-T-R)	1949. 1. 14	32	78	~ 550
(21)岡山医大の湯	1949. 1. 12	~	15	検出し得ず
(22)岩湯	1949. 1. 25	...	...	~ 100
(23)西藤館	1948. 11. 25	...	...	~ 100
(24)大橋上の湯	1948. 11. 23	63	...	~ 100
(25)大橋中の湯	1948. 11. 23	...	...	検出し得ず
(26)大橋下の湯	1948. 11. 23	77	...	同上

表 4 岩石中のラジウム濃度<sup>2)</sup>

岩石名	試料数	Ra 含有量, $10^{-12} \text{g Ra} \cdot \text{g}^{-1}$	
		平均値	含有範囲
花こう岩	31	1.35	0.12 ~ 8.0
流紋岩	4	1.30	0.88 ~ 1.80
花こうせん緑岩	2	0.41	0.24 ~ 0.57
せん緑岩	4	0.35	0.00 ~ 0.87
粗面岩	1	0.90	0.90
石英安山岩	6	0.81	0.58 ~ 1.14
安山岩	6	0.42	0.20 ~ 0.70
斑れい岩	5	0.36	0.096 ~ 0.76
輝緑岩	5	0.27	0.18 ~ 0.46
玄武岩	19	0.28	0.13 ~ 0.82
片麻岩	2	0.74	0.71 ~ 0.77
けつ岩	2	1.09	1.08 ~ 1.09
砂岩	6	0.66	0.21 ~ 1.13
石灰岩	10	0.61	0.11 ~ 2.3
ケイ岩	2	0.14	0.07 ~ 0.20
砂れき	6	0.41	0.25 ~ 0.52
土壌	2	0.73	0.68 ~ 0.78

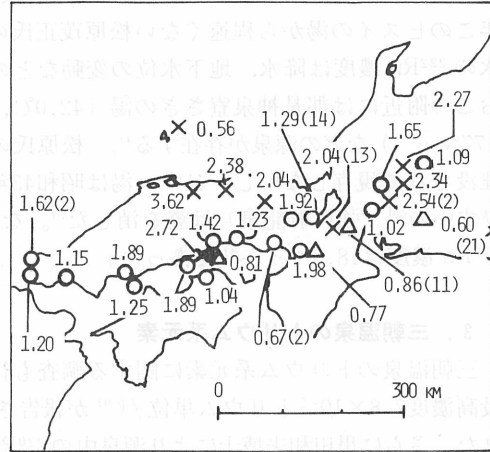


図 3 花崗岩のラジウム含量<sup>11)</sup>

×  $2 \times 10^{-12} \text{gRa/g}$  以上, ○  $1 \sim 2 \times 10^{-12} \text{gRa/g}$ ,  
 △  $1 \times 10^{-12} \text{gRa/g}$  以下, ( ) 内は測定数,  
 ( ) のないものは測定数 1

4. 岩石中の <sup>226</sup>Ra 濃度

<sup>222</sup>Rn の親元素である <sup>226</sup>Ra の岩石中の濃度は表 4<sup>2)</sup> に示す如く、花崗岩や流紋岩に多く、塩基性火出岩や超塩基性火山岩に少い。また頁岩以外の堆積岩にも少い。中国地方の花崗岩中の <sup>226</sup>Ra 濃度は図 3<sup>11)</sup> の如くであり、一般に山陰の黒雲母花崗岩中の <sup>226</sup>Ra 濃度は高いと言われているが、三朝温泉附近の黒雲母花崗岩中の <sup>226</sup>Ra 濃度は  $2.38 \times 10^{-12} \text{g/g}$ <sup>11)</sup>、そして三朝温泉と同じく黒雲母花崗岩を基盤とする関金温泉附近の半花崗岩中の <sup>226</sup>Ra の濃度は、 $3.62 \times 10^{-12}$  と報告されている。

5. 放射能泉の分類

温泉水中の <sup>226</sup>Ra と <sup>222</sup>Rn の濃度から放射能泉は Genser によれば、三つのタイプに分類される<sup>13)</sup>。

1) <sup>222</sup>Rn を <sup>226</sup>Ra の平衡量含むラジウム塩泉型, 2) <sup>222</sup>Rn を <sup>226</sup>Ra の平衡量以上に含むラドン泉型, 3) <sup>226</sup>Ra を含まないラドン泉型。ラドン泉型に属する温泉として恵那鉱泉があげられ、本邦他の全ての温泉はラジウム塩泉型かラドン泉型に属する<sup>13)</sup>。さて三朝温泉はこの三つのタイプの何れに分類されるであろうか。

6. 三朝温泉水中の <sup>226</sup>Ra および <sup>222</sup>Rn 濃度

三朝温泉水中の <sup>226</sup>Ra の濃度は、 $0.14 \sim 17.67 \times 10^{-12} \text{g/l}$  であった<sup>14)</sup>。また長期間ひすいの湯の <sup>222</sup>Rn と <sup>226</sup>Ra について同時定量が行われた結果、つねに <sup>226</sup>Ra と平衡量以上の <sup>222</sup>Rn が測定された<sup>15)</sup>。また液体シンチレーションカウンターを用い三朝温泉水中の <sup>222</sup>Rn および <sup>226</sup>Ra の同時定量が行われた結果 (表 5<sup>8)</sup> 参照), <sup>226</sup>Ra 最高濃度はひすいの湯の  $15.78 \times 10^{-12} \text{Ci/l}$  (<sup>222</sup>Rn 濃度:

表5 三朝温泉の Rn, Ra の同時定量値<sup>8)</sup>

泉名	略記泉質名	温度(°C)	pH	Rn ×10 <sup>-12</sup> Ci	Ra ×10 <sup>-12</sup> Ci	Rn/Ra	備考
三朝 大橋中の湯(川の中湧出)	Na-Cl 泉	48.2	6.75	1,623±19	8.02±0.04	202.37	"
" 大橋下の湯(ラジウム泉)	"	48.8	6.65	1,528±18	5.63±0.50	271.40	"
" 大橋上の湯(トリウム泉)	"	46.0	7.40	228±6	2.44±0.37	93.44	"
" 一陽荘 A	"	46.0	6.70	6,446±30	5.96±0.5	1,081.54	"
" 一陽荘 B	"	48.0	6.42	876±20	1.50±0.33	584.00	"
" 岡山大温研男子浴室(不老庵)	"	42.5	7.55	2,009±15	1.14±0.41	1,762.28	"
" 温研分室, 女子浴室	"	34.1	7.45	670±9	3.02±0.38	221.85	"
" 熱気浴室	"	48.0	7.38	4,154±21	2.71±0.46	1,532.84	"
" 温研分室, 熱気室 I	"	46.2	7.4	1,743±12	2.98±0.41	584.90	"
" 温研分室, 熱気室 II	"	46.2	7.4	5,482±21	2.81±0.46	1,950.89	"
" 西藤館鳳凰の湯	"	43.3	7.15	4,011±21	3.87±0.35	1,036.43	"
" 西藤館飲泉	"	52.4	6.98	13,755±63	5.42±0.50	2,537.82	"
" 御船氏宅	Na-Cl 泉	47.5	7.00	1,456±13	2.82±0.44	516.31	49.8採水
" 中湯(共同湯)	"	48.0	7.70	710±9	4.34±0.36	163.59	"
" 川原の湯	単純温泉	62.5	6.98	520±9	29.04±0.75	17.91	"
" 木屋旅館(楽泉の湯)	Na-Cl 泉	63.5	7.00	1,504±14	6.34±0.47	237.22	"
" 花屋	Na-HCO <sub>3</sub> 泉	46.0	6.86	13,834±40	3.51±0.41	3,941.31	"

1520×10<sup>-12</sup>Ci/l) であった。なお <sup>222</sup>Rn の最高濃度は山田区共同湯の 147×10<sup>-10</sup>Ci/l (<sup>222</sup>Ra 濃度: 3.45×10<sup>-12</sup>Ci/l) であった。これらの結果より明かな如く、三朝温泉では温泉水中の <sup>226</sup>Ra と平衡量以上の <sup>222</sup>Rn が含まれており、三朝温泉は Genser の分類によるラドン泉型に属することになる。

7. 放射性温泉沈殿物

(1). 三朝温泉 OTR 泉の温泉沈殿物

GM カウンターを用いて三朝温泉の温泉沈殿物を調査中に、OTR 泉の水中の小石に附着した放射性沈殿物が発見された。その化学組成は表6に示す如く、マンガンを主成分とするものであり、<sup>226</sup>Ra の濃度は表7に示す如く 1.18×10<sup>-8</sup>Ci/g で、当時(1950年)は世界第一の高濃度の <sup>226</sup>Ra 含有温泉沈殿物であった<sup>16)</sup>。

(2). 鹿児島県垂水市猿ヶ城温泉の温泉沈殿物

猿ヶ城温泉で 64.2×10<sup>-8</sup>Ci/g の <sup>226</sup>Ra を含有する温泉沈殿物が発見された。この温泉沈殿物はマンガンを主成分とするもので、表8に示す如く世界第一の高濃度の <sup>226</sup>Ra 含有温泉沈殿物である<sup>17)</sup>。

(3). 岡大温研泉の温泉沈殿物

(A) 鉄を主成分とする温泉沈殿物

この温泉沈殿物の化学組成は表9に示す如く鉄を主成分とするもので、<sup>226</sup>Ra の濃度は 3.13×10<sup>-10</sup>Ci/g<sup>18)</sup> で、後述の温泉沈殿物中の <sup>226</sup>Ra 濃度に比べて低いが、極めて大量に源泉のすぐ近くで生成していることに特徴がある。

(B) マンガンを主成分とする温泉沈殿物

表6 OTR 泉沈殿物化学分析<sup>16)</sup>

MnO <sub>2</sub>	41.80	%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.12	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.23	
SiO <sub>2</sub>	13.05	
CaO	0.18	
MgO	0.27	
Na <sub>2</sub> O	0.32	
K <sub>2</sub> O	0.44	
H <sub>2</sub> O (+)	24.30	
CuO	0.01	
ZnO	0.12	
NiO	0.001	
CoO	0.001	
Total	100.84	

表7 OTR 泉沈殿物中の放射性元素<sup>16)</sup>

U-238	2.09×10 <sup>-10</sup> (Ci/g)
Ra-226	1.18×10 <sup>-8</sup>
Po-210	7.43×10 <sup>-9</sup>
Th-232	5×10 <sup>-12</sup>
Ra-224 (ThX)	2.87×10 <sup>-8</sup>

表8 本邦強放射性温泉沈殿物とラジウム濃度<sup>17), 19)</sup>

沈 殿 物	Ra 濃度 (Ci/g)	U 濃度 (Ci/g)
垂 水 A	(11.0±3.0)×10 <sup>-8</sup>	(1.7±0.3)×10 <sup>-10</sup>
B	( 5.6±0.6)×10 <sup>-8</sup>	(3.8±0.3)×10 <sup>-10</sup>
B	( 8.0±0.7)×10 <sup>-8</sup>	
B	(49.3±2.6)×10 <sup>-8</sup>	4.0 ×10 <sup>-10</sup>
C	(64.2±3.4)×10 <sup>-8</sup>	1.5 ×10 <sup>-10</sup>
三 朝 温 研	3.4 ×10 <sup>-8</sup>	
三 朝	1.18×10 <sup>-10</sup>	2.09×10 <sup>-10</sup>
玉 川	1.22×10 <sup>-9</sup>	
池 田 No.1	9.50×10 <sup>-10</sup>	
池 田 No.2	8.72×10 <sup>-10</sup>	
玉 川	6.08×10 <sup>-10</sup>	
増 富	5.11×10 <sup>-10</sup>	
(Bad Gastein	5.66×10 <sup>-8</sup> )	

表9 温泉沈殿物中の金属元素の定量分析<sup>18)</sup>

No.	元素	測 定 法	測定値 (mg/g)
1	Fe	AAS	508.70
2	As	SPES	26.40
3	Ca	AAS	7.85
4	Mn	AAS	2.00
5	Al	SPES	1.80
6	Na	SPES	1.60
7	Zn	AAS	1.33
8	K	SPES	0.80
9	Cu	AAS	0.67
10	Sr	SPES	0.47
11	Mg	AAS	0.35
12	Ba	SPES	0.33
13	B	SPES	0.30

AAS : 原子吸光分光分析法

SPES : スペクトラスパンプラズマ発光分光分析法

三朝分院病棟建築の基礎工事に破損した配湯管内よりマンガンを主成分とする温泉沈殿物が得られた。スペクトラスパン・プラズマ発光分光光度計を用いて発光分光分析を行った結果は表10の如くで、Na, Ca, Ba, Fe, Mnが多く含まれている。原子吸光分析法, 発光分光分析法などを用いて定量分析を行い、判明したものの化学組成は表11の如くで、マンガン、鉄を多量に、またバリウムをかなり含有しており、<sup>226</sup>Ra濃度は3.4×10<sup>-8</sup>Ci/g<sup>19)</sup>(表8)で垂水市猿ヶ城温泉、Bad Gastein温泉の温泉沈殿物に次いで高濃度の<sup>226</sup>Ra含有温泉沈殿物である。この温泉沈殿物はOTR泉の温泉沈殿物の如く、マンガンを主成分とし、<sup>226</sup>Raを高濃度に含有し、かつ源泉より

表10 温泉沈殿物の定性分析 (スペクトラスパン発光分析法)<sup>19)</sup>

元素名	波長 (Å)	スペクトル強度	元素名	波長 (Å)	スペクトル強度
Li	3233 4603	—	P	2553	—
K	4044	—	Ni	3493 3415	—
Au	2676	—	As	2288	—
Cu	3274 5218	+ +	Al	3962 3944	± ±
Ca	3934 4227	+ +	Cr	4254	—
Ba	4554 5536	+ +	Mo	3798	—
Mg	2852 2796	+ +	Mn	2576 2594	+ +
Cd	3261 2288	—	Co	3454	—
B	2498 2497	—	Fe	3720 3746	+ +
Pb	3683	—	Na	5890 5896	+ + +
Si	2507	—	Sr	4607 4216	+ +
Sn	2840 3262	—	Zn	3345 3303	—

相当離れた配湯管中にかなりの量を生成している。

8. 三朝温泉における強放射能泉生成機構の説明

三朝温泉ひすいの湯について長期観測の結果、Cl/SO<sub>4</sub>比は変化しないのに、<sup>222</sup>Rn濃度は天候により著しく変動するので、<sup>222</sup>Rn源はSO<sub>4</sub>やClの源とは異なり地表に近い所にあると報告されている<sup>5)</sup>。RaA (<sup>218</sup>Po), RaB (<sup>214</sup>Pb), RaC (<sup>214</sup>Bi)を測定することにより、<sup>222</sup>Rn供給源より湧出口に達するまでの時間(三朝温泉では13~110分)が推定され、<sup>222</sup>Rn含有量の多い源泉では<sup>222</sup>Rn供給源が湧出口に比較的近い所にあると言われている<sup>20)</sup>。

増富温泉では温泉水中の<sup>222</sup>Rn濃度とThB/ThX(<sup>212</sup>Pb/<sup>224</sup>Ra), <sup>222</sup>Rn濃度とRaB/<sup>222</sup>Rn(<sup>214</sup>Pb/<sup>222</sup>Rn)との関係、<sup>222</sup>Rn濃度の気象条件による著しい変化などより、<sup>222</sup>Rn供給源は地表に極めて近い所に沈積した沈殿岩に由来すると考えられている<sup>21)</sup>。また強放射能泉の生成機構についての詳細な研究が行われ、池田鉱泉(島根県)の<sup>222</sup>Rnの供給源は<sup>226</sup>Raを濃縮した放射性温泉沈殿物に由来するとされている<sup>22)</sup>。従って、三朝温泉の<sup>222</sup>Rn供給源も温泉水の上昇通路でしかも地表に近い所で生成した前述のような高濃度の<sup>226</sup>Raを含有する温泉沈殿物と通過する地下水や温泉水が接触反応して、<sup>226</sup>Raおよび<sup>222</sup>Rnを溶出して、温泉水に放射能を賦与していると考えられる。

表11 温泉沈殿物中の金属元素の測定<sup>19)</sup>

No.	元素	測定法	測定値 (mg/g)
1	Mn	AAS	411.55
2	Fe	AAS	65.71
3	Ba	SPES	20.00
4	Ca	AAS	11.93
5	Na	ES	5.70
6	Cu	AAS	4.50
7	Mg	AAS	1.39
酸(王水)不溶物			28.00

SPES: スペクトラスパン発光分析法

AAS: 原子吸光分析法

ES: 発光分析法



### III 三朝温泉の放射能と保健物理学的考察

昭和53年度に調査された三朝温泉の総湧出量は、 $3.02 \times 10^6$  l/日であり<sup>23)</sup>、三朝温泉水中の<sup>222</sup>Rn平均濃度は、約 $163.1 \times 10^{-10}$  Ci/lと考えられる<sup>25)</sup>。従って三朝温泉では1日に $4.93 \times 10^{-2}$  Ciの温泉由来の<sup>222</sup>Rnが地上に拡散しており、三朝温泉地域の大气中の放射能に温泉由来の<sup>222</sup>Rn、土壌中の<sup>226</sup>Ra おもびその壊変物、さらに Th 系元素、宇宙線による  $\gamma$  線などが関与していると考えられる。

さて近年保健物理学的な立場より<sup>222</sup>Rnの吸入による呼吸器の悪性腫瘍発生を危惧している。放射能泉に入浴する際に皮膚より吸収された<sup>222</sup>Rnは、血液循環に入り、全身に拡がって3~4時間後生体内では、ほとんど0になる。しかし空气中に<sup>222</sup>Rnが高濃度に含有される際には、この空気呼吸し<sup>222</sup>Rnを体内に取り込まざるをえまい。そこで<sup>222</sup>Rnによる障害を防止し、あるいは予防するためには、三朝温泉地域の外気の、室内の、あるいは浴室内の<sup>222</sup>Rn濃度を測定し呼吸器の年間被曝線量を予測する必要がある。

#### 1. 空气中の<sup>222</sup>Rnの濃度

##### (1). 鳥取県中部地区温泉地外気中の<sup>222</sup>Rnの濃度

振動容量型電位計を用いて測定された鳥取県中部地区の外気中の<sup>222</sup>Rnの濃度は、図4に示す如くで<sup>24)</sup>、即ち三朝温泉(含Rn-Na-Cl泉)で0.2~1.7 pCi/l、関金温泉(単純Rn泉)で0.3~1.4 pCi/l、東郷温泉で0.2~0.8 pCi/l (Na-Cl泉)、温泉の湧出していない倉吉市街地で0.1~0.6 pCi/lであった。上述の如く三朝・関金の両温泉は黒雲母花崗岩を基盤として放射能泉が湧出

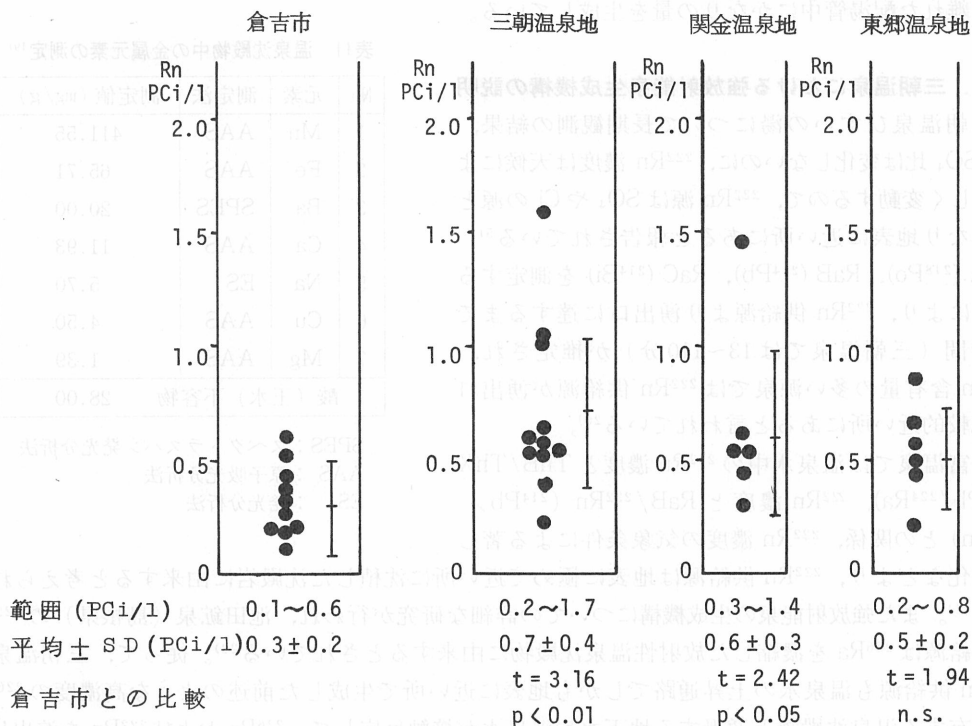


図4 温泉地の外気中のRn量の測定成績<sup>24)</sup>

しており、また東郷温泉の一部の掘さく深度の深い源泉では、温泉水が黒雲母花崗岩の割目より湧出し、観測する日によっては、8.25マッヘ以上の<sup>222</sup>Rnが測定された<sup>25)</sup>。従ってこれら温泉地の外気中の<sup>222</sup>Rn濃度は倉吉市市街地より高いと考えられる。

(2). 三朝温泉地の外気中の<sup>222</sup>Rn濃度

三朝温泉地の外気中の<sup>222</sup>Rnの濃度は表12に示す如く、0.2~1.7pCi/l、平均 $0.7 \pm 0.4$ pCi/lである<sup>24)</sup>。この表に示された測定場所のうち、三朝川に設けられたえん堤附近(例えば山田橋北側、

表12 三朝温泉地の外気中のRn量<sup>24)</sup>

No.	測定地点	年月日	天候	気温(°C)	Rn量(pCi/l)
1	三朝分院玄関前	1979. 2. 7	晴	10.9	0.7
2	"    中庭	"    "	"    "	"    "	0.6
3	"    屋外訓練施設前	"    "	"    "	"    "	0.5
4	横手橋上	1979. 2. 8	曇	5.2	1.2
5	山田橋北	"    "	"    "	"    "	1.7
6	斉木別館前	1979. 2. 20	晴	16.5	0.4
7	三朝橋北側	1979. 2. 9	"    "	10.7	0.2
8	"    南側	1979. 2. 10	曇	10.8	1.1
9	研究所分室前	1979. 2. 9	晴	10.7	0.7
10	恋谷橋南側	1979. 2. 20	"    "	16.5	0.5
11	温泉会館前	1979. 2. 20	"    "	"    "	0.6
範囲					0.2~1.7
平均 ± S.D.					0.7 ± 0.4

三朝橋南側)、あるいは三朝川に架設された横手橋の上では予想外の高値が測定された。この様な場所の外気中の<sup>222</sup>Rn濃度は、地形、河川水の流下状況、河床の状況、風向などによって局部的に著しく変動すると考えられるので、今後の検討を要する。なお三朝温泉地の戸外2ヶ所で測定された空気中の<sup>222</sup>Rn濃度の平均値が6 pCi/lという報告<sup>26)</sup>もある。

(3). 三朝温泉地の室内空気中の<sup>222</sup>Rn濃度

三朝温泉地区内の室内空気中の<sup>222</sup>Rn濃度は表13に示す如くで、三朝地区の強放射能泉の密集する場所で0.69~1.46pCi/l、山田地区の強放射能泉の密集する地区で、1.07~1.26pCi/lであり、三朝温泉地の周辺部の岡大三朝分院宿舎、三朝高原入口などでは、0.50~0.66pCi/lであった。

2. <sup>222</sup>Rnによる気管支の推定年間被曝線量

(1). 三朝温泉地住民の<sup>222</sup>Rnによる気管支の推定年間被曝線量

柿下教授ら<sup>27)</sup>により奥飛騨温泉郷における<sup>222</sup>Rnによる気管支の年間被曝線量の計算に使用されたDesrosiers<sup>28)</sup>の式を用いて、表13の測定地点の住民の<sup>222</sup>Rnによる気管支の推定年間被曝線量を計算すると、表の右欄に示す如く0.75~2.19レム/年となる。この値に1日1回入浴による推定被曝線量681ミリレム/年を加えると、1.43~2.87ミリレム/年となり、この最高値は気管支の年間最大許容被曝線量の約1/5に相当する。

(2). 岡大三朝分院構内居住一般職員の<sup>222</sup>Rnによる気管支の推定年間被曝線量

表13 三朝温泉街屋内空気中の<sup>222</sup>Rn量と気管支への推定年間被曝線量

測定場所	年 月 日	<sup>222</sup> Rn 量 (pCi/l)	被曝線量 (レム/年)	
御 船(1)	55. 7. 29	0.95	1.43	
木 屋	8. 1	0.96	1.44	
中 屋	8. 1	0.82	1.23	三朝地区
橋 津 屋	8. 1	0.71	1.07	温研分室
赤 崎 屋	8. 1	0.82	1.23	附 近
岩湯本館	8. 2	0.69	1.04	
中国屋	8. 2	1.84	2.19	
〃	8. 7	1.07		
清 美 堂	8. 7	0.88	1.32	
煙 草 屋	8. 8	1.17	1.76	山田地区
郡 是 寮	8. 8	1.26	1.89	共同浴場
松原茂正	8. 8	1.07	1.61	附 近
有 楽	8. 7	0.57	0.86	
御 船(2)	8. 8	0.64	0.96	周 辺 部
岩湯別館	8. 7	0.66	0.99	
温泉会館	8. 7	0.62	0.93	
分院宿舎	8. 12	0.50	0.75	

(古野, 御船による)

岡大三朝分院構内宿舎に居住する一般職員の<sup>222</sup>Rnによる気管支の推定年間被曝線量は、宿舎内空気中の<sup>222</sup>Rnによる750ミリレムに、1日1回入浴による681ミリレムを加えると、合計1431ミリレム/年となり、気管支の年間最大許容被曝線量の約1/10に相当する。

### (3). 岡大三朝分院入院患者の<sup>222</sup>Rnによる推定年間被曝線量

三朝分院の入院患者について、ハーバード浴、運動浴、分室の熱気浴室などを使用する実状に応じて計算すると、表14に示す如く、合計2925ミリレム/年となる。しかし温泉療養を目的として入院する場合、通常の入院期間2ヶ月の被曝線量は上述の数値の1/6即ち約488ミリレムで、気管支についての年間の最大許容被曝線量の約1/31に相当する。

### (4). 岡大三朝分院医療従事者、殊にリハビリ関係職員の<sup>222</sup>Rnによる気管支の年間推定被曝線量

温泉を利用する作業時間、1週間の温泉利用回数などより計算すると、リハビリ関係職員の気管支の年間被曝線量は、表14に示す如く、2376ミリレム/年となり、気管支についての年間最大許容被曝線量の約1/6と考えられる。

## IV <sup>222</sup>Rnによる低線量長期被曝についての疫学的検討

三朝温泉は約800年前に発見されたと伝えられているが、三朝地区にはその頃より或は徳川初期頃より居住している家系の住民も少なくない。これらの人々は前述の<sup>222</sup>Rnによる放射能を浴びながら、代々三朝で生活している低放射能被曝者として貴重な実験材料である。

三朝温泉地の長年月在住者の末梢血液像は正常日本人の血液像と比べて格別な異常が認められ

表14 三朝分院室内空気中の<sup>222</sup>Rn量と気管支への年間被曝線量

測定場所	<sup>222</sup> Rn量 (pCi/l)	被曝線量 (ミリレム/年)		
		医療者	入院患者	一般職員
分院宿舎	0.5	750	750	750
ハーバード浴室				
パイプラー使用前	6.7			
"    使用中	143.4	320	320	
浴室				
使用前	6.3			
使用直後	21.8	681	1362*	681
攪拌後	84.2			
運動浴室				
使用前	4.3			
使用中	7.4	198	66	
飲泉治療室	30.0			
分室熱気浴室	71.7	427	427	
合計		2376	2925	1431

\* 1日2回入浴による。

(古野, 御船による)

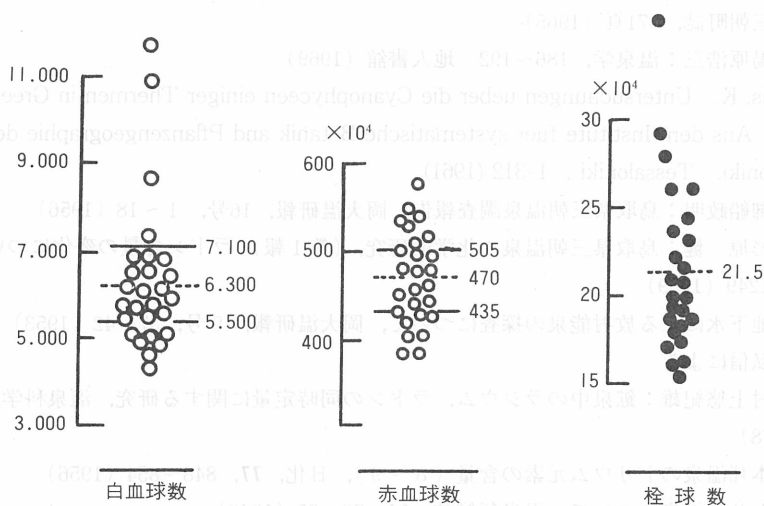


図5 三朝温泉地長年月在住者血液像<sup>29)</sup>

ないし(図5),白血病や先天性奇形が多いということもない。また癌による死亡の全死亡に対する比率が全国平均に比べて有意に少ないなどの報告がある<sup>29) 30)</sup>。Bad Gasteinの住民および医療従事者の低線量 $\gamma$ および $\alpha$ 放射線被曝による末梢血液の染色体に及ぼす影響についてPohl-Ruelingらの報告がある<sup>31)</sup>。三朝温泉地住民の<sup>222</sup>Rnによる被曝線量と末梢血液の染色体異常との関係について、目下調査中である。

## V 結 語

わが国第一の放射性温泉である三朝温泉は、含 Rn-Na-Cl 泉で、約 800 年前に発見せられたと伝えられている。

その総湧出量は  $3 \times 10^6$  l/日、温泉水中の  $^{222}\text{Rn}$  の最高濃度は  $2697 \times 10^{-10}$  Ci/l (741 マッヘ)、平均  $163.1 \times 10^{-10}$  Ci/l と推定せられる。

温泉水中の  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  は地表近くに所在する  $^{226}\text{Ra}$  含有温泉沈殿物から温泉水に賦与せられているものと考えられる。

三朝温泉地の外気、一般家居空気中の  $^{222}\text{Rn}$  量から気管支粘膜の年間被曝線量は、 $1.43 \sim 2.67$  レム/年と推定され、年間最大許容被曝線量の約 1/5 に相当する。三朝温泉地に多年生活し、温泉入浴、温泉水飲用を行ってきた住民についての疫学的検討から  $^{222}\text{Rn}$  による障害は認められていない。

なお本講演の機会をお与えいただいた森永 寛会長、空気中の  $^{222}\text{Rn}$  の測定を担当して頂いた古野勝志助手に深謝致します。

## 追 記

堀内公子、村上悠紀雄：地球化学，**12**，59～70 (1978) は、三朝温泉水中の  $^{222}\text{Rn}$  供給の機構として、地表面近くにある温度沈殿物層を通った地下水のほかに、さらに深い所にある高濃度の  $^{222}\text{Rn}$  を含む地下水の混入を推定している。

## 文 献

- 1) 山崎 勉：三朝町誌，571頁 (1965)
- 2) 瀬尾錦藏，湯原浩三：温泉学，186～192 地人書館 (1969)
- 3) Anagnostidis, K. : Untersuchungen ueber die Cyanophyceen einiger Thermen in Greechenland (in Greek). Aus dem Institute fuer systematische Botanik and Pflanzengeographie der Universitate Tessaloniki. Tessaloniki ; 1-312 (1961)
- 4) 大島良雄，朝船政明：鳥取県三朝温泉調査報告，岡大温研報，16号，1～18 (1956)
- 5) 梅本春次，杉原 健：鳥取県三朝温泉の化学的研究，(第1報) ラドン含量の変化について，日化，**80**，1246～1249 (1959)
- 6) 杉原 健：地下水による放射能泉の探査について，岡大温研報，9号，37～42 (1953)
- 7) 宮田年彦：私信による
- 8) 堀内公子，村上悠紀雄：鉱泉中のラジウム，ラドンの同時定量に関する研究，温泉科学，**29**，68～75 (1978)
- 9) 下方鉱藏：本邦温泉のトリウム元素の含量 (8～9)，日化，**77**，848～854 (1956)
- 10) 黒田和夫：トリウム泉について，温泉気候誌，**14**，20～25 (1948)
- 11) 早瀬 一：岩石放射能一特に日本の花崗岩の放射能について，地学雑誌，**66**，146～158 (1957)
- 12) 中井敏夫：放射元素の地球化学，化学実験学，**12**，92～93，河出書房 (1943)
- 13) Yasumitsu Uzumasa : Chemical Investigation of hot springs in Japan, 115～116 (1943)
- 14) 中井敏夫：ラジウム測定成績，日本鉱泉誌，677～678 (1954)
- 15) 梅本春次：鳥取県三朝温泉の地球化学的研究 (第3報)，日化，**73**，799～802 (1952)，(第4報)，同誌，**73**，859～861 (1952)
- 16) 齊藤信房：本邦の温泉沈殿物，特に放射性沈殿物について，岡大温研報，**18**，27～31 (1957)

- 17) 佐藤 純, 横沢沖彦, 斉藤信房: 鹿児島県垂水市猿ヶ城温泉およびその放射性沈殿物, 温泉工学会誌, **10**, 47~60 (1975)
- 18) 古野勝志, 鉄本潤子, 青木宏子, 御船政明, 森永 寛, 福島 覚, 和田洋明: 温泉水配湯管内の温泉沈殿物について, 岡大温研報, 48号, 25~33 (1979)
- 19) 古野勝志, 妹尾敏信, 西村佳子, 御船政明, 森永 寛: 三朝温泉水の配湯管内温泉沈殿物について第33回日本温泉科学会大会講演要旨集, 38頁 (1980)
- 20) 横山祐之: 強放射能泉におけるラドンとその壊変生物との平衡関係 (第2報) 日化, **70**, 399~402 (1949)
- 21) 黒田和夫, 横山祐之: K. Y. 式ローリツェン, ラドン計及びその地球化学における応用, 化学の研究, 第3集, 29~68 (1948)
- 22) 岩崎岩次: 温泉中のラジウム ( $^{226}\text{Ra}$ ) の分布と強放射能泉の生成機構, 温泉工学会誌, **6**, 18~28 (1968)。同誌, **6**, 52~54 (1968)。同誌, **6**, 41~44 (1969)。同誌, **7**, 16~24 (1969)。同誌, **7**, 45~50 (1969)。
- 23) 塚本忠之: 全国温泉利用状況一覽, 温泉工学, **14**, 66頁 (1979)
- 24) 古野勝志: 放射能泉環境における空気中のRadon量について, 岡大温研報, **50**, 33~40 (1980)
- 25) 大島良雄, 御船政明: 鳥取県下の温泉のラドン含有量について, 岡大温研報, **14**, 1~14 (1954)
- 26) 池瀬秀治, 亀谷勝昭: 放射能泉の衛生化学的研究 (第5報), 空気中の $^{222}\text{Rn}$ 測定法の検討および三朝, 増富温泉地域における測定結果, 衛生化学, **16**, 138~143 (1970)
- 27) 柿下正雄, 羽田陸朗, 横井清美, 本田 昂, 天野良平, 真田 茂: 奥飛騨温泉郷でのラドンの測定と保健物理学的考察, 温泉科学, **30**, 57~64 (1979)
- 28) Desrosiers A.E.: Comments on "Decay products of  $^{222}\text{Rn}$  in the living environment". Health Physics, **34**, 397~398 (1978)
- 29) 森永 寛: 温泉の効用, 岡医誌, **79**, 9~22 (1967)
- 30) 大島良雄: ラジウム泉の功罪, 信州医学雑誌, **3**, 294~302 (1954)
- 31) J. Pohl-Rueling, Fischer P. and Pohl E.: The low level shape of dose response for chromosome aberration, IAEA-SM, 315~326 (1978)