

群馬の温泉とラドン濃度

群馬県の温泉のラドン濃度

(群馬県藤岡保健所)・(群馬県立女子大学)・(群馬県温泉協会)

大妻女子大学社会情報学部*1, 群馬県藤岡保健所*2, 群馬県立女子大学*3, 群馬県温泉協会*4

堀内公子*1, 酒井幸子*2, 関茂雄*3
木暮金太夫*4(平成8年4月16日受付, 平成8年6月26日受理)
群馬県の温泉地は、主に北東部から北西部にかけての山間部に多く分布する。温泉の種類は、硫酸塩泉、塩化物泉、アルカリ泉など多岐にわたり、その中でもラドン含有量の高い温泉が数多く存在する。On the Thermal Springs and Radon Concentration
in Gunma PrefectureKimiko HORIUCHI*1, Yukiko SAKAI*2, Sigeo SEKI*3
and Kindayu KOGURE*4
*1Otsuma Women's Univ., *2Fujioka Health Center
*3Gunma Prefectural Women's Univ., *4Gunma Spa Association

Abstract

There are almost of all types of thermal springs, except radioactive spring, in Gunma prefecture. This time we determined radon concentration of the 56 thermal springs in Gunma prefecture. From these data, we have discussed on the thermal springs and radon concentration in Gunma prefecture.

The peak of the frequency distribution of radon concentration in Gunma prefecture is in one order lower the area of that of the whole country. Simple and Alkaline simple thermals from granite area of Katashina tectonic zone are high in radon content. From the Trilinear-diagram of high radon containing springs, we considered that their residence times would not be so long.

1. はじめに

群馬県は関東地方随一の温泉県で、昔から温泉地毎に沢山の種類の温泉が豊富に湧出している。県の中央に並ぶ赤城山、榛名山および浅間山を線で結んだ北側が山間部で、主として温泉はこの北東部から北西部にかけての山間部を流れる河川沿岸地域に湧出している。群馬県の温泉に関してはすでに多方面にわたって研究されており、温泉の利用者も多い。しかし放射能泉がないため、温泉水中の放射性成分についての報告はほとんどなされていない。

この度、群馬県の主要温泉地の温泉水中のラドン濃度の測定を行う機会を得た。そこで温泉水中のラドン濃度からみた群馬県の温泉の特徴を考察した。

2. ラドン濃度による温泉の定義

温・鉱泉水中のラドン濃度については鉱泉分析法指針¹⁾により次のように定められている。

ラドン(Rn) 20×10^{-10} Ci/l以上 常水との区別、鉱泉と認める濃度

ラドン(Rn) 30×10^{-10} Ci/l以上 特殊成分を含む療養泉(放射能泉)

この値をBq表示で示すと、それぞれ74 Bq/l, 111 Bq/lとなる。

3. ラドン分析法

ラドン濃度の測定は出来る限り源泉近くから、試料水11lを中栓付きポリエチレン瓶に静かに採取し、トルエンベースのシンチレーターにより直接ラドンを抽出し、パッカードインスツルメント：トライカーブ3320液体シンチレーションアナライザで測定した^{2, 3)}。その他の化学成分については鉱泉分析法指針の中分析法に従って行った。

4. 調査地点

調査した温泉の位置と泉質を図1にまとめた。31の温泉地の56源泉である。温泉地毎にはば泉質を異にして湧出している。そのため採水は県全体の主要な温泉を網羅するよう心掛けた。各温泉地は調査した温泉の泉質で示したが、一つの温泉地で泉質の異なる複数の試料を採取した場合は数の多い方、また同数の場合はラドン濃度の高い方の泉質をもって示した。

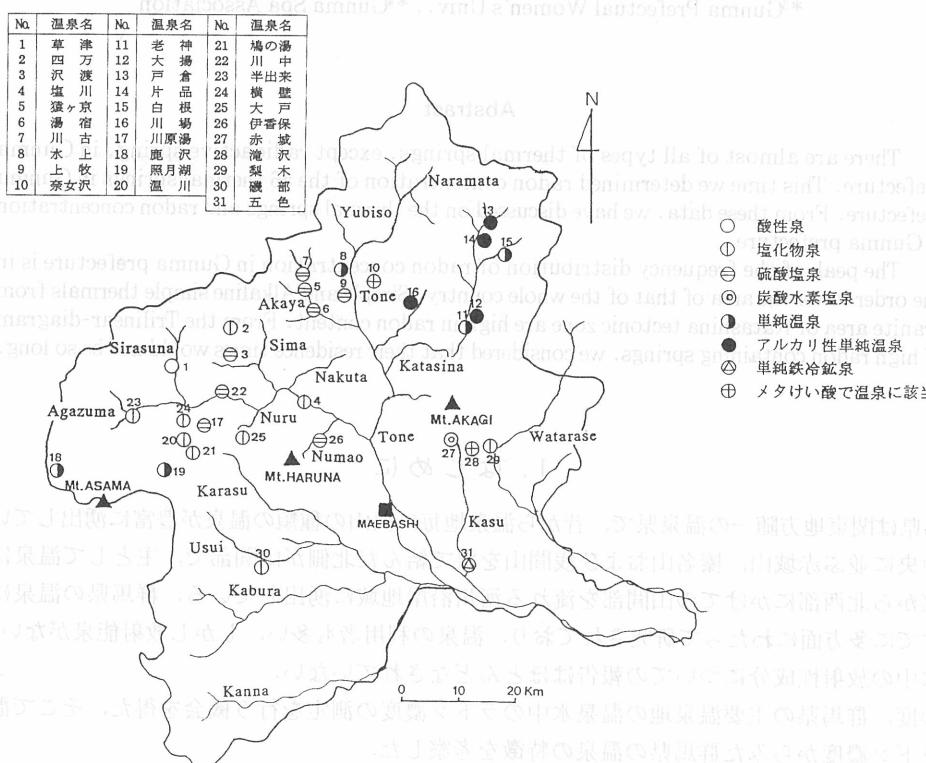


図1 調査温泉の位置と泉質

5. 結 果

5.1 ラドン濃度頻度分布

調査した温泉のラドン濃度と化学成分は表1に示した。ラドン濃度測定結果より、群馬県にはラドン濃度から温泉と認められる源泉のないことが確認された。群馬県全体のラドン濃度の傾向をみるために頻度分布を作成し、全国のそれ⁴⁾と比較した(図2)。その結果、群馬県の温泉水中のラドン濃度頻度分布は、全国の温泉水中のそれより一桁低いところにピークをもつことがわかった。ラドン濃度の全国のデータは、今まで報告されている測定値を出来るだけ収集したものである。すべての温泉で必ずしもラドンは測定されていないが、傾向はとらえることが出来る。

表1 群馬県の温泉水中のラドン濃度および溶存化学成分

No.	温泉地名	源 泉 名	泉温 (°C)	pH	Rn (Bq/l)	ER (g/kg)	Na (mg)	K (mg)	Mg (mg)	Ca (mg)	Cl (mg)	SO ₄ (mg)	HCO ₃ (mg)	CO ₃ (mg)	*H
1	草 津	西の河原幸の池	48.0	2.0	0.56±0.04	1.437	64.5	17.0	31.0	81.2	394	617	**56.2	173*	1
		西の河原こはくの池	51.0	2.0	0.46±0.04	1.464	54.3	15.9	26.1	74.4	371	591	**53.0	177*	1
		湯畠	55.0	1.9	0.44±0.04	1.696	40.5	12.8	36.5	88.3	388.1	549.6	**46.6	115.7*	1
		地蔵の湯	52.0	1.9	0.22±0.04	1.706	37.5	12.8	34.3	81.5	367.2	685.4	**49.6	161.8*	1
		万代鉱	76.0	1.6	0.018>	2.289	44.8	16.5	40.4	82.3	655.6	765.2	**47.0	336.7*	1
2	四 方	明治の湯	74.8	6.23	3.60±0.10	2.113	480	68.0	1.20	1.2	754.9	385	76.3	-	2
		岩根の湯	81.0	6.14	3.12±0.12	2.359	563	81.5	1.80	160.6	933.6	333	80.8	-	2
		田村の湯	65.0	6.08	1.92±0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
		ゆずりは	52.0	9.15	0.79±0.08	1.100	125.2	152.8	35.45	171.8	57.85	620.1	759.9	**58.08	3
		苔蘚の湯	58.0	6.90	0.29±0.07	1.503	295	23.0	2.10	171.0	499.3	322	90.0	-	2
		常盤の湯	57.2	7.10	0.28±0.07	1.506	305	24.6	2.40	174.0	513.2	307	100.7	-	2
3	沢 渡	県有泉	54.2	8.03	0.56±0.07	1.145	128	5.85	0.07	185	181.8	435	16.5	2.4	3
4	塙 川	幸の湯	48.0	8.63	0.60±0.06	1.116	362	16.5	1.9	3.8	499.0	34.6	126.4	15.5	2
5	猿 京	湯島	60.1	7.6	5.98±0.08	1.781	153	13.4	4.23	321.0	181.8	915	61.0	**16.19	3
6	湯 宿	洗湯	62.0	8.5	10.30±0.10	1.459	230	4.45	0.10	152	132.9	734	18.3	6.0	3
7	川 古	川古の湯	39.4	7.5	5.68±0.08	1.571	135	10.1	0.68	274	102	800	25.6	0.00	3
8	水 上	塙屋源泉	32.8	8.0	18.06±0.12	0.817	56.5	3.90	0.50	165	72.6	410	24.4	-	5
		訪談峡源泉	43.5	8.4	3.04±0.06	2.13	116	3.1	0.21	464	84.9	1209	3.7	6.6	3
9	上 牧	新潟2号泉	42.0	7.90	0.64±0.04	1.33	270	7.1	0.34	145	284	485	42.7	-	3
10	奈 元	秋迦の靈泉	10.8	9.0	8.44±0.08	0.160	20.3	0.4	0.0	3.3	4.4	30.0	61.0	-	8
11	老 神	東秀館未利用泉	23.8	4.9	43.88±0.20	0.187	7.2	2.4	5.0	10.7	11.4	80.4	0.0	-	5
		(東秀館源泉)1号泉	56.4	8.4	6.20±0.08	0.524	131	3.95	0.68	24.4	123	151	18.3	10.5	6
12	大 揚	長寿の湯	32.9	9.6	16.56±0.12	0.167	41.8	0.25	0.03	4.1	15.7	35.7	9.1	21.0	6
13	戸 倉	小梅の湯	25.2	9.1	44.98±0.20	0.115	19.0	1.2	0.62	8.4	6.9	32.7	24.4	13.5	6
		(玉城屋浴室)尾瀬の湯	18.0	10.2	0.72±0.04	0.24	62.3	0.9	0.03	3.2	18.6	65.0	8.5*	18.0	6
14	片 品	萩の湯1号	52.5	9.2	67.60±0.24	0.292	67.5	3.0	0.00	1.7	31.1	33.3	36.6	36.0	6
		新井の湯	48.0	9.0	1.98±0.06	0.337	81.0	3.30	0.02	2.1	44.2	34.8	36.6	28.5	6
15	白 樹	上の湯1号	58.0	7.9	45.44±0.20	0.644	174	6.6	0.09	29.2	94.7	238	80.5	-	5
		加羅食1号	47.2	7.9	38.48±0.18	0.651	168	6.6	0.17	30.6	98.1	251	68.9	-	5
16	川 務	弘法の湯1号泉	38.7	9.1	3.54±0.06	0.252	63.8	2.05	0.18	5.2	40.6	47.1	70.2	-	6
		弘法の湯2号泉	37.4	9.1	5.60±0.08	0.26	71.2	1.5	0.06	4.8	44.9	50.6	23.2	20.4	6
17	川 原 湯	県有泉	71.0	7.7	0.018>	2.871	228	6.7	0.30	218	306	584	42.7	-	3
18	鹿 沢	東雲の湯	25.0	6.85	6.06±0.10	0.40	59.6	2.6	26.0	26.5	13.7	0.0	354	0.00	5
		雲井の湯	45.5	6.83	2.09±0.08	0.847	122	3.85	70.0	54.8	35.9	1.0	769	-	4
		龍宮の湯	35.0	6.58	1.33±0.07	0.72	105	3.1	60.0	41.5	31.8	0.0	638	0.0	4
19	北 鮎 井	湯沢	23.0	7.55	3.78±0.10	0.575	78.0	12.5	31.5	62.1	69.2	165	215	-	5
20	溫 川	目の湯	33.5	6.35	2.90±0.08	3.68	728	28.4	14.0	408	1268	730	265	-	2
21	鳩 の 湯	鳩の湯	43.2	6.62	1.13±0.07	2.936	655	26.75	11.0	376	1070	693	268	-	2
22	川 中	美人の湯	34.0	8.3	0.74±0.06	1.515	98.0	1.70	0.31	400	12.6	1135	19.5	-	3
23	半 出 来	恵の湯	42.0	7.00	0.49±0.07	5.522	1055	80.0	145	464	2360	625	149	-	2
24	横 壁	白岩の湯	49.8	7.8	0.36±0.04	2.68	762	4.2	1.6	184	924	674	42.7	-	2
25	大 戸	しじの湯	11.8	8.20	0.36±0.06	29.15	3340	45.0	30.0	5260	13980	701	0.0	12.0	2
26	伊 香 保	1号泉	47.0	5.80	0.54±0.06	1.090	106	12.7	31.6	135	129	272	299	-	3
		2号泉	44.2	5.80	0.63±0.06	0.963	91.0	10.4	28.0	124	101	256	268	-	3
		4号泉	47.0	6.25	0.73±0.06	1.147	123	12.6	32.4	142	304	284	-	3	
		5号泉	50.8	6.45	0.54±0.05	1.692	150	14.0	66.0	234	148	570	439	-	3
		6号泉	66.0	6.58	0.54±0.05	1.617	203	16.9	47.0	198	236	442	395	-	3
		横穴上六	29.3	6.18	0.42±0.05	0.719	53.4	6.0	23.0	106	46.5	231	220	-	5
		おはぐろ	32.7	6.40	0.42±0.05	0.428	43.0	5.1	12.0	48.0	44.6	112	110	-	5
27	赤 城	島の湯	42.5	6.28	0.07±0.06	1.946	210	35.0	134	275	237	185	1448	-	4
28	滝 泽	旧源泉	13.5	6.75	0.94±0.06	1.110	170	22.5	85.0	179	168	130	1030	-	8
		未利用源泉(北爪の湯)	23.8	5.87	0.53±0.06	3.516	520	82.5	180	290	1270	13.1	1072	0.0	4
29	梨 木	梨木の湯	16.5	6.07	1.17±0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	鐵 部	R4号井	18.5	7.42	0.20±0.07	25.935	9920	257	38.5	73.0	11670	27.2	7420	-	2
		舌切街源泉	17.0	6.12	0.06±0.04	14.870	5650	34.7	9.95	73.4	4600	7.7	8070	-	4
31	五 色	宏泉の湯	15.6	6.42	11.32±0.12	0.447	20.2	4.4	20.5	60.2	51.5	25.0	317	-	7

*1: 酸性泉 2: 塩化物泉 3: 硫酸塩泉 4: 炭酸水素塩泉 5: 単純温泉 6: アルカリ性単純温泉 7: 単純鉄冷鉱泉 8: メタケイ酸で温泉に該当

5.2 泉質とラドン濃度

群馬県は本州のほぼ中央に位置し、その形成過程の複雑さから地質地層が入り組んでいる。多種類の温泉が存在するのはこうした地質地層、湧出機構の複雑さにも起因する。調査した温泉を各泉質毎にまとめ、ラドンの濃度範囲、濃度の平均値および泉温の平均値をまとめた(表2)。その結果、他の泉質に比べ単純温泉、アルカリ性単純温泉のラドン濃度が最も高い値を示す傾向が認められた。

5.3 ラドン濃度と溶存化学成分のTrilinear-diagram^{5,6)}

ラドン濃度は温泉水中に存在する他の化学成分とはほとんど相関をもたない。全温泉をラドンの濃度別にA, B, Cの三つのグループにわけ、各グループ毎の検討も試みたが、いずれもほとんど他の化学成分との相関はみられなかった。

次に各グループの主要溶存化学成分のTrilinear-diagramを作成し水質組成を検討した(図3)。

Aグループ(ラドン濃度: 15.1(Bq/l) ≤ 図3-1)

このグループに分類されたのは溶存化学成分量の少ない、単純温泉、およびアルカリ性単純温泉のみであったが、主としてIV区画に分布し、主要溶存化学成分のバランスは海水型を示した。陽イオンのなかではNa⁺+K⁺の占める比率が大きく、陰イオンではCl⁻が20~30%辺りでほぼ一定している傾向がみられた。ただし、Cl⁻の含有量はいずれも0.1g/l以下で、Aグループはすべて淡水である。

Bグループ(ラドン濃度: 1.1(Bq/l) ~ 15.0(Bq/l) 図3-2)

I, III, IVの三つの区画に幅広く分布したが、IV区画に分布するものが最も多かった。陽イオンではMg²⁺をほとんど含まないものと、35%前後含むものとに二分されCa²⁺(Na⁺+K⁺)は大幅に変動するが、Na⁺+K⁺の比率の方が高い傾向にあった。陰イオンでは泉質毎にまとまりをみせながら全体に広がって分布している。

表2 泉質とラドン濃度

泉数	泉 質 名	ラドン濃度範囲 (Bq/l)	ラドン濃度平均値 (Bq/l)	泉温平均値 (°C)
5	酸性泉	0.018 ≥ ~ 1.56	0.35 ± 0.22	56.40 ± 11.24
13	塩化物泉	0.20 ~ 3.60	1.26 ± 1.22	46.10 ± 21.76
14	硫酸塩泉	0.018 ≥ ~ 10.3	2.19 ± 3.03	50.69 ± 11.06
5	炭酸水素塩素	0.06 ~ 2.09	0.82 ± 0.88	32.76 ± 12.15
8	単純温泉	0.42 ≥ ~ 45.44	19.57 ± 19.94	33.98 ± 12.43
8	アルカリ性単純温泉	0.73 ~ 67.60	18.40 ± 24.93	38.64 ± 13.29
1	単純鉄冷鉱泉	11.32	11.32	15.6
2	メタケイ酸で温泉に該当	0.94 ~ 8.44	4.69 ± 5.30	12.15 ± 1.91

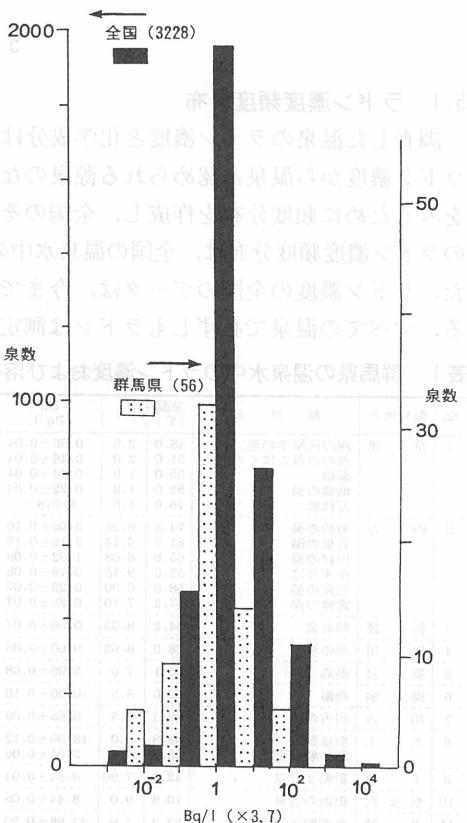


図2 温泉水中のラドン濃度の頻度分布

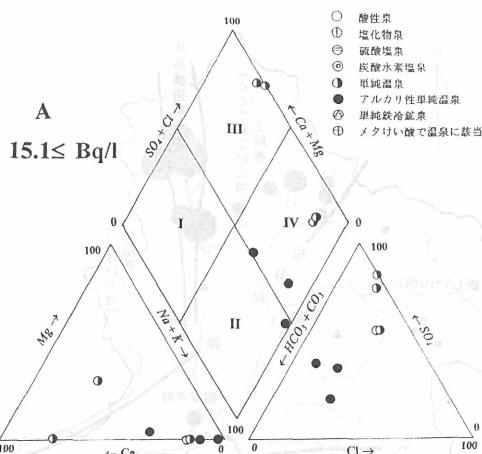


図3-1 ラドン濃度によりグループ分けした源泉の溶存化学成分のTrilinear-diagram

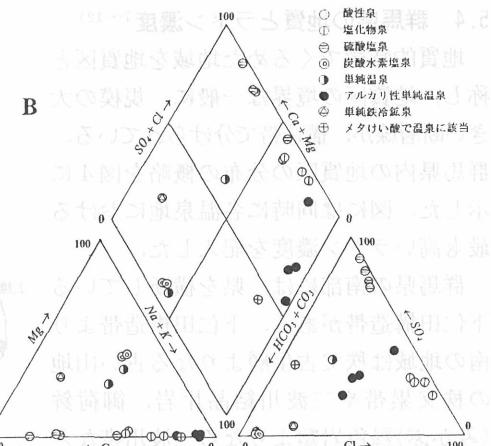


図3-2 B $1.1 \sim 15.0 \text{ Bq/l}$

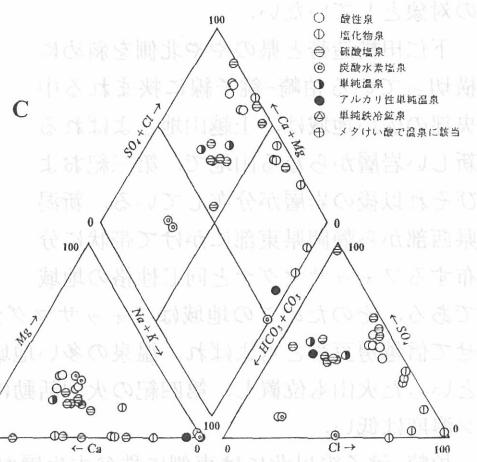


図3-3 C $\leq 1.0 \text{ Bq/l}$

Cグループ(ラドン濃度: $\leq 1.0 \text{ Bq/l}$) 図3-3)

III区画に最も多く、次いでIV区画に分布している。陽イオンではMg²⁺含有量のほとんどないものとCa²⁺とMg²⁺の含有成分比がほぼ等しいものとに二分して分布した。陰イオンでは泉質毎にかなりまとまって分布しているが、SO₄²⁻が50%前後で一定しているのが特徴的であった。

今回の調査試料のなかにII区画の停滞地下水型に分布するものがほとんどなかったことが特筆される。特徴の概略をつかむために各グループ毎に蒸発残留物、泉温、pHの平均値を求め、その濃度範囲とともに表3にまとめた。得られたラドン濃度の高い温泉(Aグループ)の値を鉱泉分析法指針¹⁾の鉱泉分類の定義に当てはめてみると、「含有化学成分の少ない弱アルカリ性の温泉(34~42°C: 狹義)」と言うことになる。

表3 ラドン濃度グループ別泉温、pH等の平均値

グループ	ラドン濃度(Bq/l)	泉数	ER(g/kg)	T _W (°C)	pH
A	$15.1 \leq$	7	0.410 ± 0.285 (0.115~0.817)	38.91 ± 13.59 (23.8~58.0)	8.09 ± 1.57 (4.9~9.2)
B	$1.1 \sim 15.0$	19	1.250 ± 1.041 (0.25~23.68)	44.01 ± 16.52 (10.8~74.8)	7.46 ± 1.13 (6.08~9.1)
C	≤ 1.0	28	3.921 ± 7.204 (0.428~29.15)	43.54 ± 16.15 (11.8~71.0)	6.28 ± 2.38 (1.6~10.2)

()内はデータの範囲を示す

参考文献
1) 日本鉱泉研究会編「日本温泉研究会誌」(1993年)、日本温泉研究会、東京、pp.1~10。

5.4 群馬県の地質とラドン濃度^{7~12)}

地質的特徴でくらめた地域を地質区と称し、地質区の境界は一般に、規模の大きい断層線か、構造帯で分けられている。群馬県内の地質区の分布の概略を図4に示した。図には同時に各温泉地における最も高いラドン濃度を記入した。

群馬県の南部には、県を横断している下仁田構造帯がある。下仁田構造帯より南の地域は秩父古生層よりなる古い山地の秩父累帯や三波川結晶片岩、御荷鉢(みかぶ)緑色岩類よりなる三波川帯など中・古生代等の古い地層の地域で、温泉の湧出数も少なく、今回はサンプリングの対象としていない。

下仁田構造帯と県のやや北側を斜めに横切っている柏崎-銚子線に挟まれる中央部の広い地域は、上越山地とよばれる新しい岩層からなる山地で、第三紀およびそれ以後の岩層が分布している。新潟県西部から静岡県東部にかけて帶状に分布するフォッサマグナと同じ性格の地域である。そのためこの地域はフォッサマグナと関東地方の南西部(柏崎-銚子線の南西側)を合わせて信越房豆帯ともよばれ、温泉の多い地域である。この地域には草津白根、浅間、榛名、赤城といった火山も位置し、第四紀の火山活動に由来すると考えられる温泉が多く、温泉水中のラドン濃度は低い。

柏崎-銚子線以北には東側に秩父古生層および中生末代の花崗岩、あるいは中生末代ないし古第三紀の溶結凝灰岩が広く分布した古い山地-足尾山地がある。西側の地域には、新第三紀のグリーンタフが広く分布しており、変成岩や蛇紋岩等の古い岩石が点々と露出し、中生代末の花崗岩も貫入している上越帯(上越変成帯)がある。両者の境は片品川の東岸を南北に走る細長い帯状の片品構造帯とよばれる地域で、この地域には塩基性火成岩が点々と露出している。片品構造帯は大清水付近から戸倉東方、東小川、大立沢中流を経て小田倉沢に至る地域で奥日光流紋岩に貫入し白亜紀最末期-古第三紀時代の形成とみられる主として中～粗粒の黒雲母花崗岩が存在している。この地域には、N0°~30°W方向とN50°~80°E方向の断層群がみられ、温泉はこの断層群にそって湧出している。この柏崎-銚子線以北にある温泉のラドン濃度が高く、なかでも温泉の湧出母岩が花崗岩と見なされている片品構造帯の温泉において最も高い値を示した。

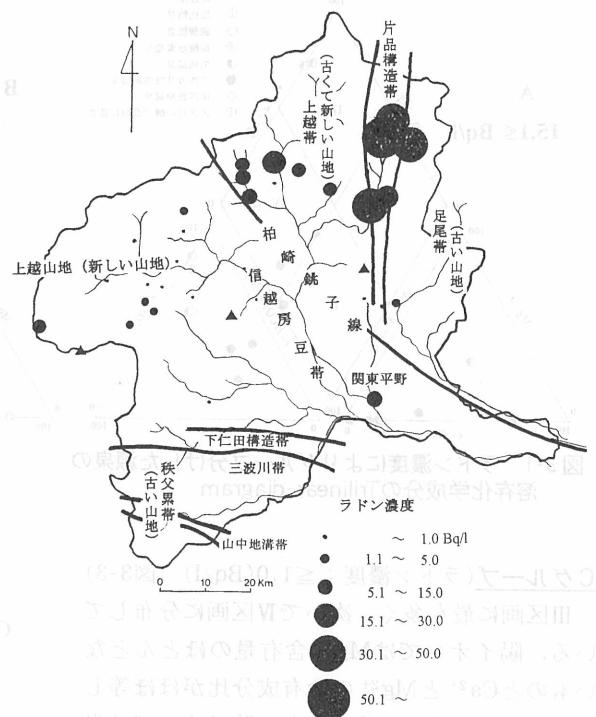


図4 群馬県の各温泉地におけるラドン濃度最大値と地質区の概略図

6. 花崗岩地域の温泉とラドン濃度

我が国の放射能泉は花崗岩地帯の広く分布する西日本に多く湧出する^{13, 14)}。花崗岩のなかにはラドンの起源となる放射性元素ラジウムが含まれており、花崗岩の生成年代や種類の違いによって、それらの含有量には違いがある。地下水中的ラドン濃度は水の湧出母岩との接触時間(湧出

機構)と、母岩の風化の度合いに関係してくる¹⁵⁾。片品川沿岸地域の温泉が花崗岩地帯から湧出しながら放射能泉にまで到らないのは、西日本の放射能泉湧出地域とは花崗岩の種類が異なること、風化の度合いも進んでいないこと、水の滞留時間が短いこと等に起因すると考えられる。¹⁶⁾

湧出母岩との接触時間(湧出機構)が長くなるにつれ水のpHは高くなり、温泉はアルカリ性を呈はじめ、ラドン濃度も高くなる。ラドン濃度の高い温泉水(放射能泉)、地下水は岩石と長期の接触を経た水温の低い停滞水・深層水(II区画に分布するもの)に多いと言われている^{16, 17)}が、群馬県の場合にはラドン濃度の高いAグループのものでもその区画にはいるものはほとんどなかった。群馬県の温泉の多くは天水起源による循環水であることは、安定同位体の研究により報告^{18, 19)}されており、片品川の花崗岩地帯から湧出するアルカリ性泉の泉温が高いことからも水の滞留時間(岩石との接触時間)の短いことが予想される。

滞留時間の一例をあげる。片品温泉新井の湯のトリチウム濃度は3.3~4.5TRと報告されている²⁰⁾。地表に到達する水中のトリチウムの平均濃度は10TRと試算されている²¹⁾が、その値を用いて、新井の湯の滞留時間を求めるところ15~20年になる。

溶存化学成分にほとんど差がない同一温泉でラドン濃度に大きく差がでている戸倉温泉の小梅の湯と尾瀬の湯の場合、前者は源泉から直接採水出来たのに引き替え、後者は旅館の浴室で採取しているため、送湯の間にガス成分のラドンが逸散した可能性も考えられる。片品温泉において、片品川の右岸に湧出する萩の湯1号と片品川の中央部から動力揚湯している新井の湯の場合は、両者は恐らく同一湧出線上にあって、むしろ干渉し合っているとさえみられている。ラドン濃度における差異は後者が動力揚湯していること、かなりの距離を送湯した地点から採取したこと等が原因と予想される。

7. ま と め

群馬県の温泉水中のラドン濃度を測定し、その結果から群馬県の温泉水の特徴を考察した。

- 1) 群馬県の温泉のラドン濃度頻度分布のピークは全国のそれより1桁低い所にある。
- 2) 群馬県の花崗岩地帯から湧出しているラドン濃度の高いアルカリ性単純温泉は、母岩との接觸時間の短い循環水である。

参考文献

- 1) 環境庁自然保護局：鉱泉分析法指針(改定)，1-75, 1978
- 2) 堀内公子，村上悠紀雄：温泉科学，28, 39-52, 1977
- 3) 堀内公子：温泉工学会誌，13, 95-103, 1978
- 4) 堀内公子：環境ラドン，下道国，辻本忠編，電子科学研究所，160-166, 1992
- 5) 村下敏夫：地下水学要論，昭晃堂，129-137, 1962
- 6) 鶴巻道二，長沢幹雄：水処理技術，12, 21-30, 1971
- 7) 木崎喜雄：群馬県動物誌 1-9 群馬県林務部，1985
- 8) 飯島静男：群馬県植物誌 1-15 群馬県林務部，1987
- 9) 佐藤幸二：温泉科学，39, 14-22, 1989
- 10) 須藤定久，木崎喜雄：群馬県温泉協会学術調査研究報告，1-7 群馬県，1976
- 11) 木崎喜雄，飯島静男：群馬県温泉協会学術調査研究報告，1-11 群馬県，1976
- 12) 飯島南海夫，宮島征子：温泉工学会誌，6, 61-84, 1968

- 13) 金原啓司：日本温泉・鉱泉分布図及び一覧、地質調査所、1992
14) 堀内公子：日本分析センター広報、No.28、23-30、1996
15) J. Sato and T. Nakamura : RADIOISOTOPES, 42, 667-675, 1993
16) 調枝勝幸：広島県衛研・公害研・研究報告、No.21、1-9、1974
17) 金井豊、坂巻幸雄、瀬尾俊弘：地球化学、24, 123-132, 1990
18) 松葉谷治、酒井幸子、越中浩：温泉科学、36, 1-11, 1985
19) 松葉谷治：温泉科学、39, 23-28, 1989
20) 綿抜邦彦：群馬県温泉協会学術調査研究報告、2-5, 1992
21) 木村重彦：農業土木試験所報告、泉No.9, 1-46, 1971