

群馬の温泉をよび集めてみる

## 群馬県の温泉のラドン濃度

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)

## On the Thermal Springs and Radon Concentration in Gunma Prefecture

Kimiko 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<sup>1)</sup>により次のように定められている。

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

ラドン(Rn)  $30 \times 10^{-10}$  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 1l 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, パッカードインストルメント: トライカーブ3320液体シンチレーションアナライザーで測定した<sup>2,3)</sup>。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。

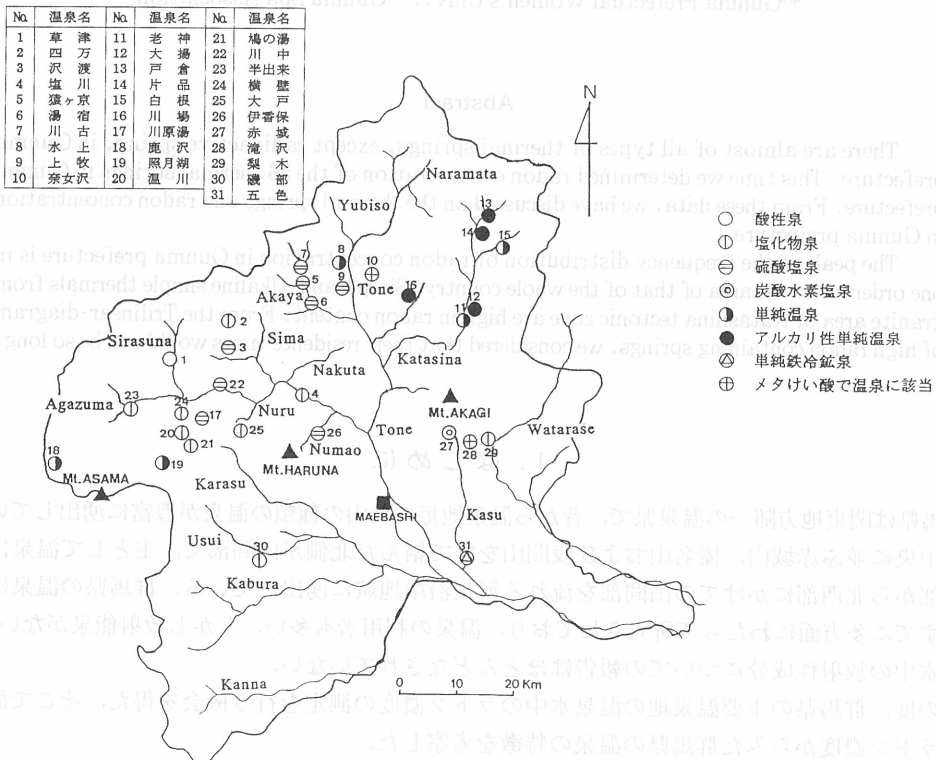


図1 調査温泉の位置と泉質

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<sup>4)</sup>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

Table with 15 columns: 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), SO4 (mg), HCO3 (mg), CO2 (mg), 泉質. Rows list various hot springs like 草津, 四万, 沢渡, etc.

\*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: メタけい酸で温泉に該当

## 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<sup>5,6)</sup>

ラドン濃度は温泉水中に存在する他の化学成分と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： $15.1(\text{Bq/l}) \leq$ 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 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ の占める比率が大きく、陰イオンでは $\text{Cl}^-$ が20~30%辺りではほぼ一定している傾向がみられた。ただし、 $\text{Cl}^-$ の含有量はいずれも $0.1\text{g/l}$ 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： $1.1(\text{Bq/l}) \sim 15.0(\text{Bq/l})$ 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 $\text{Mg}^{2+}$ 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 $\text{Ca}^{2+}$  ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ )は大幅に変動するが、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 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。

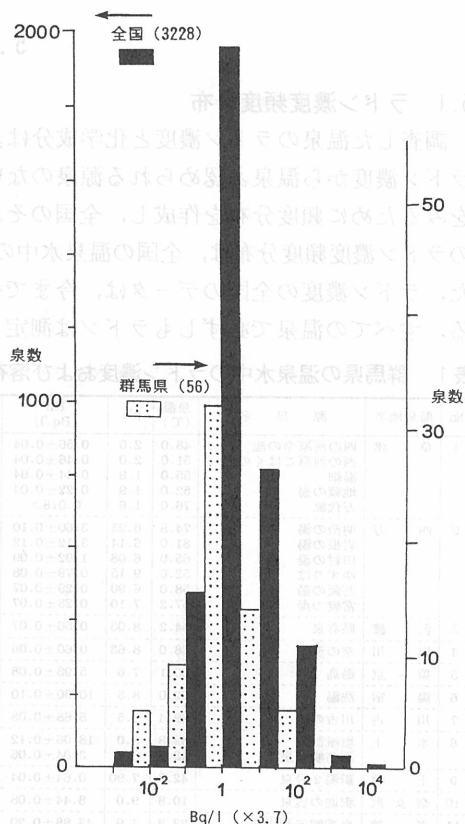


図2 温泉水中のラドン濃度の頻度分布

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	$0.018 \geq \sim 1.56$	$0.35 \pm 0.22$	$56.40 \pm 11.24$
13	塩化物泉	$0.20 \sim 3.60$	$1.26 \pm 1.22$	$46.10 \pm 21.76$
14	硫酸塩泉	$0.018 \geq \sim 10.3$	$2.19 \pm 3.03$	$50.69 \pm 11.06$
5	炭酸水素塩素	$0.06 \sim 2.09$	$0.82 \pm 0.88$	$32.76 \pm 12.15$
8	単純温泉	$0.42 \geq \sim 45.44$	$19.57 \pm 19.94$	$33.98 \pm 12.43$
8	アルカリ性単純温泉	$0.73 \sim 67.60$	$18.40 \pm 24.93$	$38.64 \pm 13.29$
1	単純鉄冷鉱泉	11.32	11.32	15.6
2	メタけい酸で温泉に該当	$0.94 \sim 8.44$	$4.69 \pm 5.30$	$12.15 \pm 1.91$

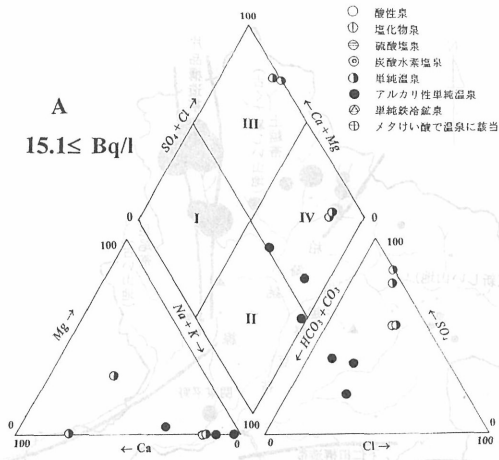


図3-1 ラドン濃度によりグループ分けした源泉の溶存化学成分のTrilinear-diagram

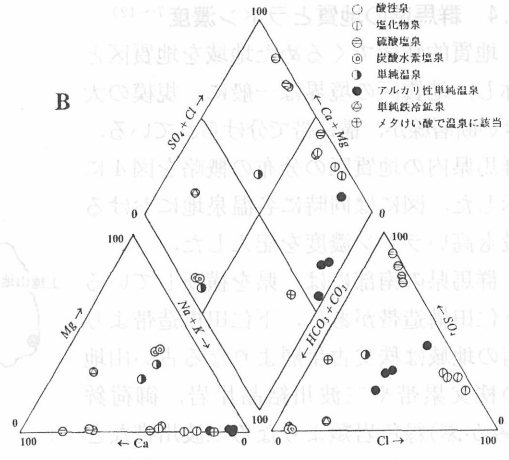


図3-2 B 1.1~15.0 Bq/l

Cグループ(ラドン濃度： $\leq 1.0$ (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 $Mg^{2+}$ 含有量のほとんどないものと $Ca^{2+}$ と $Mg^{2+}$ の含有成分比がほぼ等しいものと二分して分布した。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、 $SO_4^{2-}$ 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<sup>1)</sup>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℃：狭義)」ということになる。

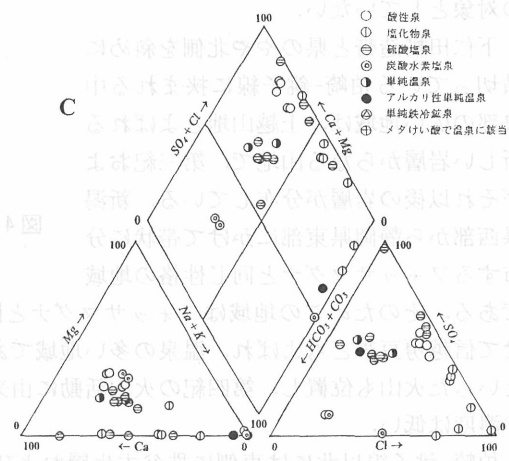


図3-3 C  $\leq 1.0$  Bq/l

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 <sub>w</sub> (°C)	pH
A	15.1 $\leq$	7	0.410 $\pm$ 0.285 (0.115~0.817)	38.91 $\pm$ 13.59 (23.8~58.0)	8.09 $\pm$ 1.57 (4.9~9.2)
B	1.1~15.0	19	1.250 $\pm$ 1.041 (0.25~23.68)	44.01 $\pm$ 16.52 (10.8~74.8)	7.46 $\pm$ 1.13 (6.08~9.1)
C	$\leq 1.0$	28	3.921 $\pm$ 7.204 (0.428~29.15)	43.54 $\pm$ 16.15 (11.8~71.0)	6.28 $\pm$ 2.38 (1.6~10.2)

( )内はデータの範囲を示す

#### 5.4 群馬県の地質とラドン濃度<sup>7~12)</sup>

地質の特徴でくめられ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帯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。

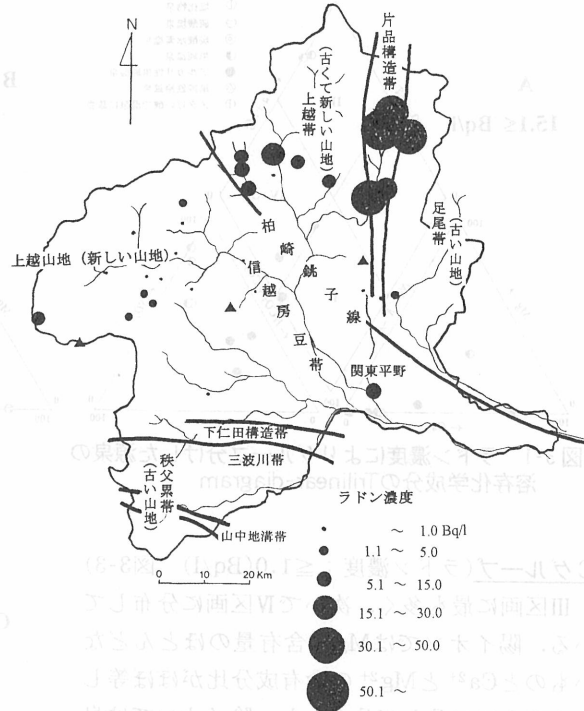


図4 群馬県の各温泉地におけるラドン濃度最大値と地質区の概略図

#### 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<sup>13, 14)</sup>。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。地下水中の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<sup>15)</sup>。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。

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しはじめ、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<sup>16, 17)</sup>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<sup>18, 19)</sup>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<sup>20)</sup>。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<sup>21)</sup>が、その値を用いて、新井の湯の滞留時間を求めるとほぼ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、母岩との接触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



