

増富温泉地内自然湧泉の ^{222}Rn 濃度の経時的変化について(II)

望月映希 小林浩 早川拓哉

Temporal Trends in ^{222}Rn Concentration of Some Natural Springs at Masutomi Onsen Area(II)

Eiki MOCHIZUKI, Hiroshi KOBAYASHI and Takuya HAYAKAWA

キーワード: ラドン222、丹生沢源泉、増富温泉、山梨県

前報¹⁾では、増富温泉地内の自然湧泉である丹生沢源泉、大六天下左、左岸源泉群の3源泉において定点調査を行い、年間の各成分濃度の変動状況を明らかにした。

その結果、大六天下付近、左岸源泉群においては地下水溜から複数の源泉へ温泉が供給されていることが推定された。また、すべての源泉において、黒田氏の唱える「温泉水中の ^{226}Ra が他の元素と共に地表付近で沈殿岩となり濃縮される。その沈殿岩が ^{222}Rn 源である」とする説^{2, 3)}を間接的に支持する結果が得られた。

しかし、丹生沢源泉において認められた ^{222}Rn 濃度の大幅な変動について、その機構の説明が出来なかった。

今回、その原因を明らかにすることを目的として調査を行ったので報告する。

調査方法

丹生沢源泉(図1)において、平成29年4月11日から平成30年3月14日にかけておよそ28日に1回の頻度でモニタリング調査を行った。

調査項目及び分析法は次のとおり。

気温: 棒状温度計。泉温: 標準温度計。湧水量: 定量容器による測定。pH: ガラス電極法。電気伝導率: 交流二電極法。 ^{222}Rn : ゲルマニウム半導体検出器による温泉水中ラドン濃度測定方法。 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 及び SO_4^{2-} : イオンクロマトグラフ法。 HCO_3^- : 分離滴定法。

なお、これらの項目に国土交通省水文水質データベース増富観測所の雨量のデータ、昨年度の調査結果を加えて解析を行った。ただし、増富観測所は丹生沢源泉から西に2.8kmほど離れ、間に山がそびえるため、丹生沢源泉付近の雨量を正確に示しているとは限らない。

結果と考察

分析結果を表1に示した。

地図出典

山梨県地図: 井上恵介「白地図専門店」

<http://www.freemap.jp/>

拡大地図: 国土地理院電子国土

<http://maps.gsi.go.jp/>

いずれも一部編集



図1 調査地点

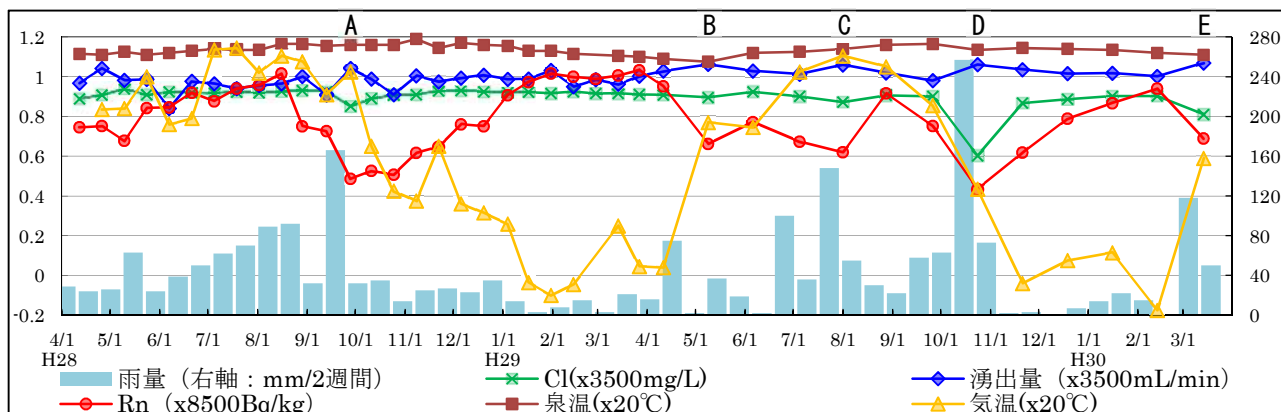


図2 主要項目の推移と降水量

昨年度の結果と合わせた主要な項目の変動、2週間毎の雨量のグラフを、**図2**に示した。

(1) ^{222}Rn 濃度、 Cl^- 等濃度及び降雨量の関係

前報ではほぼ一定の水準を保っており、あまり変動の見られなかった Cl^- 等主要イオン濃度について、**D** (平成29年10月24日)、**E** (平成30年3月14日) では低値を示した。

D、**E**のいずれにおいても ^{222}Rn 濃度は極小値を示しており、 ^{222}Rn 濃度の極小と Cl^- 等濃度の低下には何らかの因果関係が有ると考えられた。

その他の ^{222}Rn 濃度が極小となった**A** (平成28年9月28日)、**B** (平成29年5月9日)、**C** (平成29年8月1日)の Cl^- 等濃度に着目すると、僅かであったものの低下が認められた。

A、**B**、**C**、**D**及び**E**の直前の降雨量を見ると、**A**、**C**、**D**及び**E**では他の期間に比較して強い降雨が認められた。

直前に降水が認められなかった**B**で ^{222}Rn ・ Cl^- 等濃度が低下しており、また、直前の降雨量が**A**より少ない**E**の Cl^- 等濃度低下が**A**より著しいが、これは、雪解け水が降雨に代わり地表に水を供給しているためであると考えられた。平成29年4月11日から**B**にかけては 0.8°C から 15.4°C 、平成30年2月13日から**E**にかけては -3.5°C から 11.8°C と気温が上昇しており、この期間内に雪解けしたと推測されたからである。

これらのことから降雨等により地表に多量の水が供給された後、何らかの機構を経て ^{222}Rn 濃度の極小、 Cl^- 等濃度を低下させていることが明らかになった。

(2) 濃度低下の要因

丹生沢源泉の湧出量は、 ^{222}Rn 濃度と Cl^- 等濃度の極小を迎えた**A**、**B**、**C**、**D**及び**E**においてにわずかな増加が見られる。しかしその増加量は小さく、単に降雨等でもたらされた水に希釈されたことによる濃度低下とすると説明がつかない。そのため濃度低下の要因となる別の機構を想定しなければならない。

また ^{222}Rn 濃度と Cl^- 等濃度の変動には前述の降雨等により低下するという共通点が認められるものの、総合的には変動状況は乖離しており、降雨等から濃度の低下に至る機構はそれぞれ異なるものと考えられる。

^{222}Rn 濃度の変動状況は $3700\text{--}8800\text{Bq/kg}$ の範囲での変動を繰り返しており、その範囲から外れることはない。

また、**A**の極小から平成29年1月31日の極大、**D**の極小から平成30年2月13日の極大を見る限り、最小値から最大値まで濃度が回復するのに4ヶ月程度の期間を要する。それに対して ^{222}Rn 濃度の低下は、地表への給水後遅くとも4週間程度で極小となる。

Cl^- 等濃度の変動状況は、明瞭な低下が見られた**D**と、僅かな低下に留まった**A**、**C**の直前の降雨量、その他の日の降雨量からみて、 $170\text{mm}/2$ 週間を超えるまとまった降雨等が無ければ、大きな影響を受けないことがわかる。

また、平成30年4月10日、6月8日に測定した付近の湧水の水温(気温)はそれぞれ 7.3°C (9.6°C)、 14.4°C (19.0°C)であったことから、浅層地下水はあまり高くなく、地表付近での浅層地下水の混入が Cl^- 等濃度低下の原因であれば、明瞭な泉温の低下が見られるはずである。しかし**D**及び**E**において泉温の低下はほとんど見られなかったため、原因は他に求めなければならない。

これらのことは次の仮説で説明することが出来る。増富温泉は、地表付近で温泉水から ^{226}Ra を含みCaなどを主成分とした沈殿岩が生じることが知られており²³⁾、丹生沢源泉では**図3**のように管状に発達している。

沈殿岩に高濃度に含まれる ^{226}Ra から生じた ^{222}Rn は一部は直接温泉水に吸収され、一部は土中 ^{222}Rn ガスとなる。

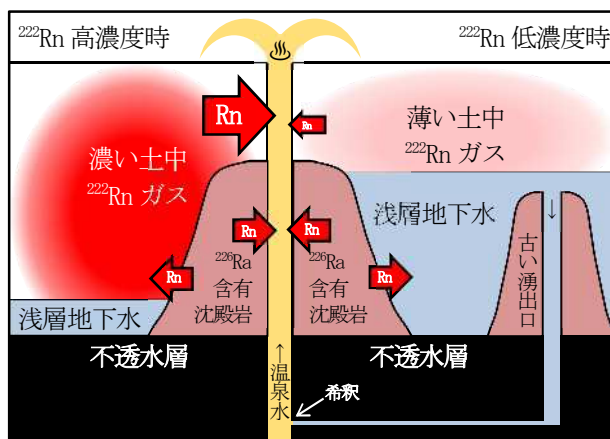


図3 丹生沢源泉地下水流動モデル

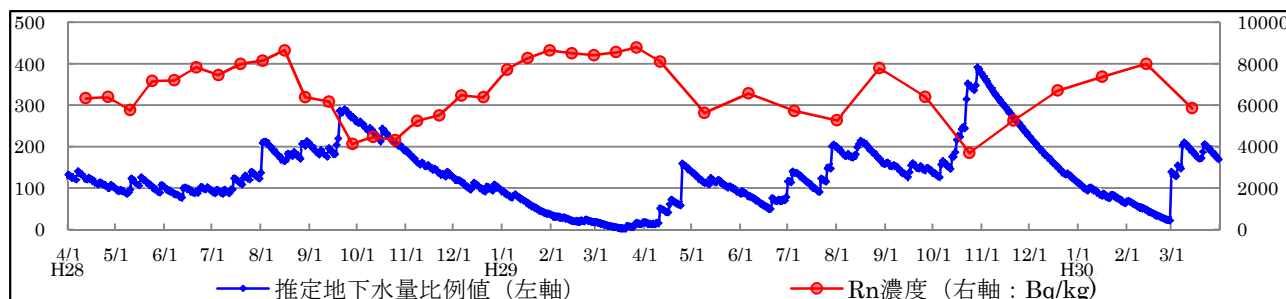


図4 推定地下水量推移

この土中 ^{222}Rn ガスが温泉水に移行することで、高濃度の ^{222}Rn を含有する温泉として湧出する。

しかし、降雨等により浅層地下水が増量すると、管状の沈殿岩の外側に放出された ^{222}Rn は浅層地下水に吸収され、土中 ^{222}Rn ガスの濃度が低下し、温泉水に移行する土中 ^{222}Rn ガスも減少し、温泉の ^{222}Rn 濃度が低下する。

浅層地下水は徐々に地下浸透や湧出口などから流失し、 ^{222}Rn 濃度が最低値となるような水位から平常時の水位まで戻るのに4ヶ月程度要する。

浅層地下水は、管状の沈殿岩に阻まれ温泉水と交わらないため、通常 Cl^- 等濃度や泉温は浅層地下水の影響を受けない。しかし、浅層地下水が一定の水位を超えると現在の湧出経路と地下深くで繋がった別の経路(図3では古い湧出口を想定しているが、不透水層の節理などでもよい)から浅層地下水が混入、地下深い場所で温泉水が希釈され Cl^- 等濃度を低下させる。平常時の温泉水と熱平衡に達している湧出経路を通過してくるため、あるいは混入前後に地熱を受けるため、浅層地下水の混入した温泉は、湧出時には平常時と同等の水温となる。

この仮説を元に、推定地下水量比例値を平成27年1月1日から平成30年3月31日まで次式で求め、平成28年4月1日以降を図4に示した。

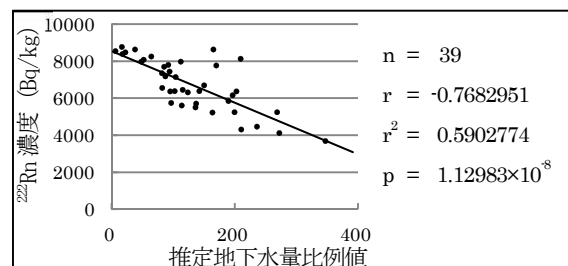
$$V_n = V_{n-1} + V_\delta - \{(V_{n-1} + V_\delta)^{0.5} \times 0.3\}$$

V_n :ある日の推定地下水量比例値、 V_{n-1} :その前日の推定地下水量比例値、 V_δ :ある日の降雨・雪解け水量(mm)。

流失量(中括弧内)は、地下水量 \propto 地下水位 \propto 水圧と仮定し、トリチェリの定理に従い $(V_{n-1} + V_\delta)$ の平方根を採った。係数の0.3は極大となった推定地下水量が4ヶ月程度で最小値付近になるよう恣意的に設定した値である。

なお、平成26年12月31日の推定地下水量は120とした。これは平成27~29年同日の推定地下水量の平均に近くなるよう設定した。また、雪解け日を平成27年3月31日、平成28年3月31日、平成29年4月25日、平成30年3月1日とし、雪解け水の量は平成30年2月13日に確認した積雪量約35cmを例年の積雪量と仮定し、積雪単位重量⁴⁾で換算し、降雨量105mm相当とした。

厳密さに欠ける推定であるが、図5に示したように ^{222}Rn 濃度と、同日の推定地下水量には負の相関が認められ、地下水量が ^{222}Rn 濃度に影響するという仮説を裏付ける結果が得られた。

図5 推定地下水量比例値と ^{222}Rn 濃度の相関

まとめ

前報で原因を明らかにすることができなかった丹生沢源泉の ^{222}Rn 濃度の特異的な変動について、降雨等がその変動に影響を与えていることを明らかにした。また、降雨等が ^{222}Rn 濃度及び Cl^- 等濃度に影響を与える機構について仮説を立てることができた。

丹生沢源泉における ^{222}Rn のように、濃度が安定しない成分を含む温泉について中分析する際、試験を行う時期によって結果が大きく異なることとなる。

丹生沢源泉は未利用泉であり、現状中分析を受ける機会はないが、同様の性質をもった源泉が他にも存在することは十分に考えられる。中分析を行ったところ、 ^{222}Rn 濃度の前回との著しい相違が認められた場合は、丹生沢源泉のような変動を疑い、試験結果の取り扱いに注意を要する。

参考文献

- 1) 望月映希, 小林浩, 早川拓哉: 増富温泉地内自然湧泉の ^{222}Rn 濃度の経時変化について, 山梨衛環研年報, **60**, 31-38 (2016)
- 2) Kazuo KURODA: Strongly Radioactive Springs Discovered in Masutomi., Bulletin of the Chemical Society of Japan, **19**, 33-83, (1944)
- 3) 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應用, 化学の研究, **3**, 29-68 (1948)
- 4) 山梨県: 山梨県区域別垂直最深積雪量一覧表, (1998)

表 1 分析結果

調査日	pH	電気伝導率 S/m	湧水量 mL/min	気温 °C	泉温 °C	²²² Rn Bq/kg	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L
4/11	6.28	1.08	3600	0.8	21.8	8090	2410	306	230	20.6	3180	642	1360
5/09	6.28	1.10	3720	15.4	21.5	5630	2390	309	239	21.5	3140	639	1340
6/06	6.23	1.07	3600	14.9	22.4	6560	2460	313	239	21.6	3230	641	1370
7/05	6.22	1.09	3550	20.5	22.5	5720	2400	307	239	20.0	3160	633	1400
8/01	6.18	1.07	3710	22.1	22.8	5260	2320	320	226	19.8	3050	609	1340
8/28	6.11	1.08	3570	21.0	23.2	7780	2440	311	233	21.9	3170	640	1370
9/26	6.18	1.08	3430	17.1	23.3	6400	2410	303	242	20.7	3160	645	1370
10/24	6.19	0.747	3710	8.7	22.7	3700	1650	219	132	12.0	2110	447	936
11/21	6.20	1.02	3630	-0.8	22.9	5260	2320	306	227	19.0	3040	652	1320
12/19	6.22	1.03	3550	1.5	22.8	6710	2380	306	238	22.4	3100	660	1340
1/16	6.19	1.05	3560	2.3	22.7	7370	2410	313	252	22.3	3160	656	1370
2/13	6.27	1.04	3510	-3.5	22.4	7990	2420	313	233	21.4	3160	656	1370
3/14	6.18	1.01	3750	11.8	22.2	5850	2170	268	205	20.3	2840	663	1260

丹生沢源泉