

昭和56年 7 月

原 著

温泉の地球化学的研究(第17報)

竜 神 温 泉

(財)中央温泉研究所

高 橋 保, 佐藤 幸二

(昭和56年 5 月19日受理)

Geochemical Studies on Mineral Springs, XVII  
Ryujin Spa

Tamotsu TAKAHASHI and Koji SATO

Hot Spring Research Center

Abstract

There are many hot springs in Kii peninsula, southwest of Japan. On some of them, present authors reported on geological and geochemical characters, previously. In this paper, origin and discharge process of thermal water in Ryujin geothermal area are discussed.

This geothermal area situates in the distribution area of Ryujin formation consisting mainly of shaly flysch accompanied with acidic tuff and greenstones, the Hidakagawa group of the Shimanto terrain. Igneous rocks does not expose in this area, but hydrothermal altered rocks which seems associated with their intrusion are recognized. Chemical composition of the thermal water is rich in Na and  $\text{HCO}_3$  as same as the other thermal waters in Kii peninsula.

Thermal waters in most of the other springs discharge from igneous rocks such as Omine acidic rocks or hydrothermal altered rocks which seems genetically related to their activity. It is inferred that the thermal water of Ryujin geothermal area has close relation to subterranean acidic rocks and rises along similar altered rocks.

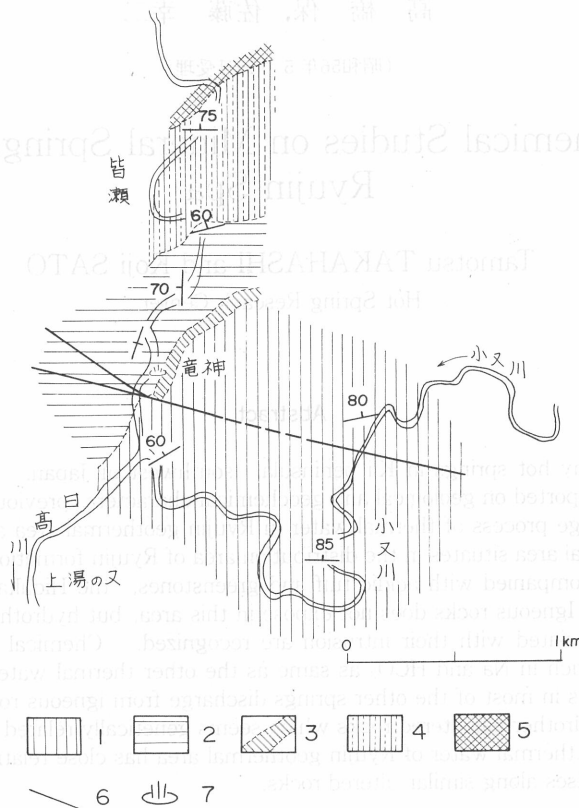
1. ま え が き

紀伊半島は西南日本外帯に属しており、第四紀火山が存在していないにもかかわらず、高温泉が数多く分布していることで知られている。著者らは、それらのうちのいくつかの温泉は地表に分布する酸性火成岩や、その活動に起因すると考えられる変質帯、鉍化帯の部分に優勢な温泉が存在していることを指摘した(佐藤1964, 高橋・田中・佐藤1977, 高橋・佐藤1979)。しかし、四万十帯北部に位置する竜神温泉は、その付近に酸性火成岩の露出は認められず、温泉の湧出機構などについては判然としない部分が多い。本報は、この竜神温泉の湧出機構や成因について、地質および化学調査や他温泉との化学的性質の比較などから検討、考察したものである。

### 2. 地 質

紀伊半島の四万十帯は北から南に、日高川帯、音無川帯、牟婁帯の3帯に区分される東西性の帯状構造をなしている(紀州四万十帯団体研究グループ1975)。竜神温泉はこのうち日高川帯のほぼ中央部に位置しており、同帯にはこの他に湯泉地、十津川(上湯・下湯)の各温泉が存在している(高橋・佐藤1979)。紀州四万十帯団体研究グループ(1977)によると、竜神温泉付近は主として頁岩に富むフリッシュ型互層に、酸性凝灰岩や緑色岩類を伴う竜神累帯より構成され、それらはさらにR1~R5の部層に細分されている。

第1図には上記の地層区分にしたがった竜神温泉付近の地質図を示す。この付近にはR3~R5層の3層が分布している。R3層は珪質岩や緑色岩類を数層存在する黒色頁岩であり、R4層は砂



第1図 竜神温泉付近の地質図

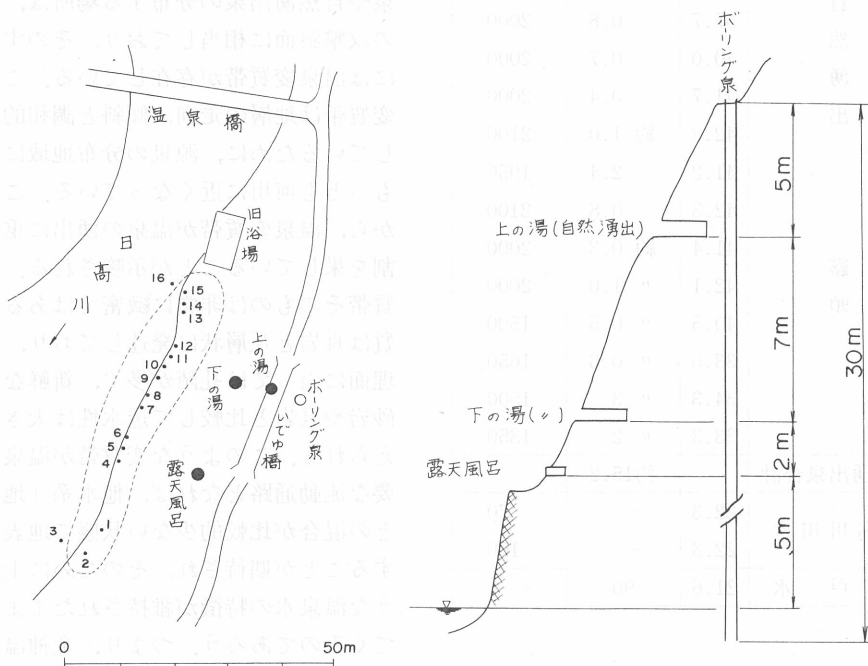
- 1 : 黒色頁岩(R3層),
- 2 : 砂岩頁岩互層(R4層)
- 3 : 温泉変質帯(R4層),
- 4 : 黒色頁岩(R5層)
- 5 : 緑色岩類(R5層),
- 6 : 断層,
- 7 : 竜神温泉

岩優勢の砂岩頁岩互層よりなっている。また、R5層はうすい砂岩を挟む黒色頁岩(緑色岩類を伴う)である。日高川左岸のR4層中には温泉変質帯があり、温泉の湧出機構と密接に関連していると考えられる。和歌山県衛生部(1965)によれば、この変質は主に明バン石化作用によるものであるという。R3~R5層の関係は整合であるが、温泉街のすぐ下流には東西性の断

層が存在しており、これによってR3層とR5層とが接している部分がある。また、この断層は温泉変質帯の南方への連続を断ち切っている。R3層は北東—南西走向、 $65^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 北西傾斜が一般的であるが、R4層は走向がS字状に緩やかに屈曲しており、温泉街付近では北々東—南々西方向を示すが、上流に向かっては次第に東西性の走向を示すようになる。

### 3. 温 泉

竜神温泉には4つの源泉が存在しているが、この他にも河床に近い岩石の割れ目から多数の温泉湧出が認められる。第2図にそれらの平面分布と源泉の位置(高低)関係を、第1表にそれら



第2図 源泉および自然湧出泉の分布図と模式断面図

の温度、湧出量等を示した。源泉および自然湧出泉の分布で特徴的なことは、平面的には日高川左岸の小部分に限定されていることであり、垂直的にはボーリング泉を除く3源泉が河床よりかなり高所に横坑を掘ることによって温泉が湧出していることである。ボーリング泉の場合は掘さく深度が約30mであり、エアリフトによって揚湯されている。第2表には温泉の主要化学組成を示してある。溶存物質総量は1000~1500mg/lとそれほど高濃度ではないが、その化学組成は陽イオンではNaを、陰イオンでは $\text{HCO}_3$ をそれぞれ90m val%以上含有しており、純重曹泉に近い性質を示しているが、露天風呂はやや溶存物質総量が少なく、また低温であって、地下水の混入が多いようである。なお、表中の井戸水は日高川右岸に位置しているが、深度などの詳細は不明である。

第1表 源泉および自然湧出泉の状況

(昭和52年6月測定)

	名称	泉温 ℃	湧出量 ℓ/min	比電導度 μS/cm
源泉	ボーリング泉	49.4	49.9	2400
	露天風呂	42.1	136	2000
	上の湯	49.8	29	2500
	下の湯	48.5	22	2600
	源泉合計		236.9	
自然湧出泉	自然湧出 露頭	1	約 1.5	1600
		2	" 0.5	660
		4	0.8	2000
		5	0.7	2000
		6	0.4	2000
		7	約 1.0	2100
		8	2.4	1950
		9	0.8	2100
		10	約 0.3	2000
		11	" 1.0	2000
		12	" 0.5	1500
		13	" 0.3	1650
		14	" 3	1500
		15	" 2	1350
		自然湧出泉合計		
3	日高川水	22.3	—	70
16		22.3	—	100
	井戸水	21.6	90	—

## 4. 温泉の湧出機構

竜神温泉の特徴は、源泉および自然湧出泉の分布が日高川左岸のごく小部分に限られ、かつ河床面よりもかなり高所にまで及んでいること、温泉水の化学組成が純重曹泉に近い性質のものであることがあげられる。自然湧出泉はR4層の砂岩頁岩互層の割れ目や層理面に沿って湧出しているが、それら個々の湧出量は極く微量である。源泉や自然湧出泉の分布する場所は、日高川の攻撃斜面に相当しており、そのすぐ山側には温泉変質帯が存在している。この温泉変質帯は地層の走向、傾斜と調和的に発達しているために、源泉の分布地域においてもっとも河川に近くなっている。このことから、温泉変質帯が温泉の湧出に重要な役割を果たしていることが示唆される。この変質帯そのものは非常に緻密ではあるが、変質は頁岩と互層状に発達しており、その層理面に沿っては孔隙が多く、新鮮な岩質の砂岩や頁岩と比較して透水性は大きいと考えられる。このような変質帯が温泉水の主要な流動通路となれば、他水系（地下水）との混合が比較的少ない状態で地表部に達することが期待され、そのために上述のような温泉水の特徴が維持されたまま湧出してくるのであろう。つまり、竜神温泉では

温泉変質帯を主要な流動通路として温泉水が上昇し、それに接する砂岩頁岩互層はむしろ冷地下水の混入を妨げていると考えられる。河岸に湧出する自然湧出泉は、この温泉変質帯から漏れ出した温泉水であり、そのために量が少ないのであろう。

## 5. 竜神温泉の成因

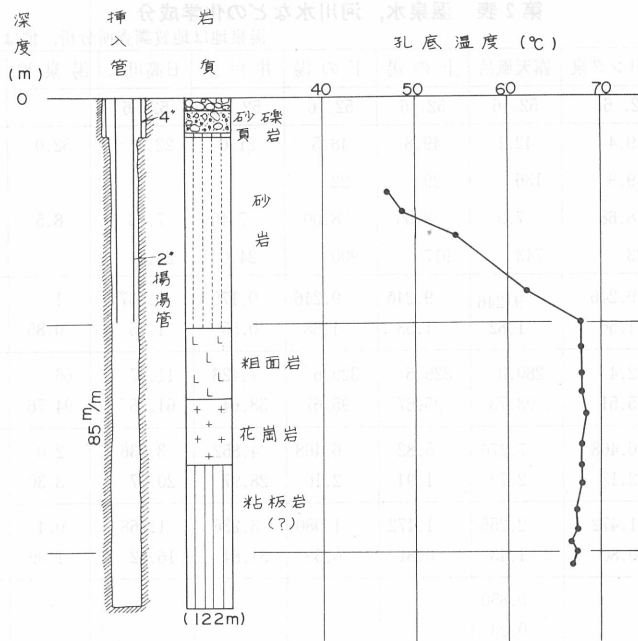
著者らがこれまでに調査を行ってきた白浜、勝浦、湯川、湯の峯、渡瀬および川湯の各温泉は、紀伊半島の温泉群の中でも比較的高温であり、熊野酸性火成岩類や大峯酸性火成岩類あるいはそれらに伴われる鉍化帯において優勢な温泉が得られている（佐藤1964、高橋・田中・佐藤1977、高橋・佐藤1979）。また、竜神温泉と同じ日高川帯に位置する十津川温泉下湯では、第3図に示したように掘さくによって花崗岩に遭遇している（十津川村役場資料）。これらの温泉水の化学組成は、陽イオンではほとんどすべての温泉がNaを主要成分としている点で共通性が認められるが、陰イオンについては第4図に示してあるとおり、SO<sub>4</sub>が乏しく、ClとHCO<sub>3</sub>との間で連続的な広い組成変化を示している。Clに富む温泉水は、白浜温泉や勝浦温泉などの海岸部に位

第2表 温泉水, 河川水などの化学成分

(湯泉地は地質調査所分析, 他は中央温泉研究所分析)

種 別	ボーリング泉	露天風呂	上の湯	下の湯	井戸水	日高川水	湯泉地	下湯	上湯	
分析年月(昭和)	52.6	52.6	52.6	52.6	52.6	52.6		41	41	
泉温 °C	49.4	42.1	49.8	48.5	21.6	22.3	52.0	68.0	63.0	
湧出量 ℓ/min	49.9	136	29	22						
pH	8.68	7.9	8.05	8.00	7.40	7.88	8.5	8.2		
蒸発残留物 mg/ℓ	923	743	917	900	24.0	21.0		1798		
K <sup>+</sup>	mg/ℓ	9.246	9.246	9.246	9.246	0.179	0.537	1	11.90	9.500
	m. val %	1.56	1.82	1.58	1.58	0.55	1.75	0.85	1.33	1.31
Na <sup>+</sup>	mg/ℓ	332.4	280.0	329.6	329.6	7.428	11.07	66	505.0	415.0
	m. val %	95.51	93.73	95.67	95.67	38.64	61.26	94.76	96.54	97.49
Ca <sup>2+</sup>	mg/ℓ	6.468	7.276	5.82	6.468	4.852	3.236	2.0	5.890	4.430
	m. val %	2.13	2.79	1.94	2.16	28.97	20.57	3.30	1.29	1.20
Mg <sup>2+</sup>	mg/ℓ	1.472	2.256	1.472	1.080	3.236	1.568	0.4	2.260	微量
	m. val %	0.80	1.43	0.81	0.59	31.84	16.42	1.09	0.84	
Fe <sup>2+</sup>	mg/ℓ		0.850							
	m. val %		0.23							
Cl <sup>-</sup>	mg/ℓ	32.46	26.98	31.55	30.18	5.029	4.115	17.6	169.8	49.50
	m. val %	5.79	5.77	5.60	5.44	16.58	12.25	13.49	18.74	7.43
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/ℓ	2.058	4.115	微量	3.292	11.93	9.876	23.5	0.410	3.000
	m. val %	0.27	0.65		0.44	29.05	21.69	13.60	0.03	0.33
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/ℓ	905.3	753.6	914.5	898.3	28.36	38.20	104.9	1262	1055.9
	m. val %	93.94	93.58	94.40	94.12	54.37	66.06	46.79	81.23	92.24
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/ℓ							28.8		
	m. val %							26.12		
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	mg/ℓ	33.80	31.20	55.90	29.90					
	mg/ℓ	12.84	10.49	14.33	11.59			26.12		
H <sub>2</sub> S	mg/ℓ						8.2	微量	微量	
総計	mg/ℓ	1336	1126	1362	1320	61.01	77.7	252.4		
泉質	Na-HCO <sub>3</sub>	同左	同左	同左			単純温泉	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	

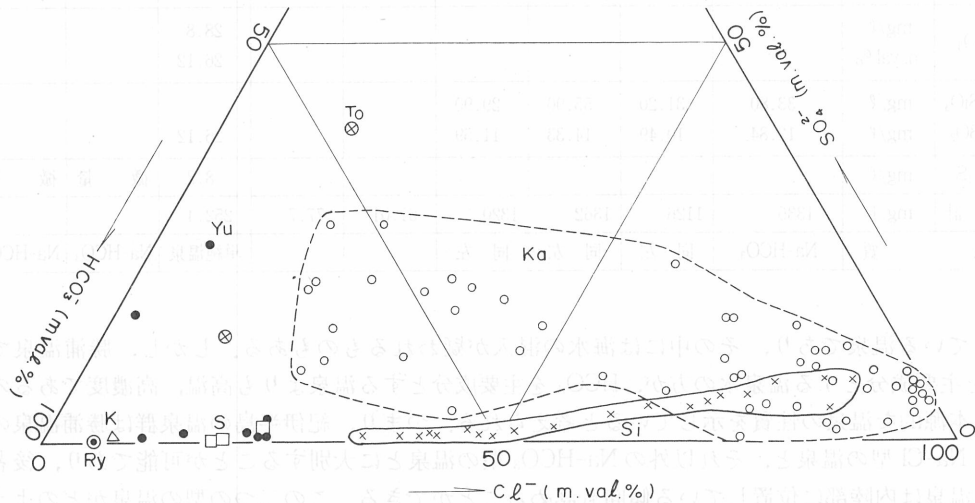
置している温泉であり、その中には海水の混入が疑われるものもある。しかし、勝浦温泉ではClを主要成分とする温泉水の方が、HCO<sub>3</sub>を主要成分とする温泉よりも高温、高濃度であるのでより本源的な温泉の性質を示していると考えられる。つまり、紀伊半島の温泉群は勝浦温泉のようなNa-Cl型の温泉と、それ以外のNa-HCO<sub>3</sub>型の温泉とに大別することが可能であり、後者の型の温泉は内陸部に位置している傾向も認めることができる。この二つの型の温泉がどのような生成環境の相違を反映しているのか結論することは困難であるが、中村・前田・鈴木(1958)は著者らと同様に温泉水中のClとHCO<sub>3</sub>の成分濃度に着目し、その多少によって紀伊半島の温泉水を3つの型に区分している。そして、それらは熱源の存在する場所の違いによって、温泉系統の間に多様性が生じたと解釈している。また、中村(1962)はCl、HCO<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>Sの3成分から温泉水を3つに区分し、すべて同一熱源から導かれたと考えている。いずれにしても、竜神温泉の水



S. 43. 4. 竣工 自噴 67°C 31.3 l/min

揚湯 (エアリフト, 3HP, 2"エア-管 44m)  
68°C 107.5 l/min

第3図 十津川温泉下湯の掘さく柱状図



第4図 紀伊半島の温泉水の陰イオン組成図

Ry: 竜神, To: 湯泉地, K: 十津川上湯, S: 十津川下湯

Yu: 湯の峯・渡瀬・川湯 (高橋・佐藤 1979)

Ka: 勝浦・湯川 (高橋, 田中, 佐藤 1977)

Si: 白浜 (佐藤 1964)

質は典型的な  $\text{Na-HCO}_3$  型の温泉であり、十津川温泉や湯の峯、川湯温泉などの水質と類似していることは間違いない。これらの温泉は大峯酸性火成岩類などの酸性火成岩体と密接に関係していることは上述したとおりであり、竜神温泉の場合も酸性火成岩体が地下に潜在し、これが温泉と深く関連していると推定される。温泉変質帯の存在は、その下部に火成岩体が潜在していることを示す1つのあらわれとみることもできよう。

## 6. ま と め

竜神温泉は主に頁岩に富むフレッシュ型互層よりなっており、温泉周辺には火成岩体の露出は認められないが、その潜在を暗示する熱水変質帯が日高川左岸にあって、温泉の流動、湧出に重要な役割をはたしていると考えられる。紀伊半島の温泉は大きくみて、 $\text{Na-Cl}$  型の温泉と  $\text{Na-HCO}_3$  型の温泉とがあり、紀伊半島中部の湯の峯、川湯温泉や十津川温泉などの酸性火成岩類と関連性の深い温泉と同様の化学的性質を示していることから、竜神温泉もやはり酸性火成岩体と密接に関連していると考えられる。

最後に、本研究をすすめるにあたり、中央温泉研究所益子安所長を始めとし、所員の方々の多大な御協力をいただいた。記して謝意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) 紀州四万十帯団体研究グループ (1975) 四万十地向斜の発展史, 地団研専報, 第19号
- 2) ————— (1977) 和歌山県竜神村南部の日高川層群—紀伊半島四万十帯の研究(その8)—, 地球科学, vol. 31, No. 6
- 3) 中村久由, 前田憲一郎, 鈴木 孝 (1958) 紀伊半島中南部地方の温泉群について, 地調月報, vol. 9, No. 5
- 4) 中村久由 (1962) 本邦諸温泉の地質学的研究, 地調報告, No.192
- 5) 佐藤幸二 (1964) 紀伊半島白浜温泉の地質と温泉, 地質雑, vol. 70, No.812
- 6) 高橋 保, 田中 昭, 佐藤幸二 (1977) 温泉の地球化学的研究第15報—勝浦・湯川温泉—, 温泉科学, vol. 28, No. 4
- 7) 高橋 保, 佐藤幸二 (1979) 温泉の地球化学的研究第16報—湯の峯, 渡瀬, 川湯温泉—, 温泉科学, vol. 30, No. 1
- 8) 和歌山県衛生部 (1965) 和歌山県温泉調査報告書, 竜神村