

平成8年3月

原 著

兵庫県北西部浜坂周辺温泉の成因

熊本大学自然科学研究科*¹, 地熱エンジニアリング(株)*²

大石 朗*¹, 吉田 裕*²

(平成8年3月6日受付, 平成8年3月29日受理)

Genesis of Hot Springs around Hamasaka, Northwest Hyogo Prefecture

Akira OISHI*¹, Yutaka YOSHIDA*²

*¹Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

*²JMC Geothermal Engineering Co., Ltd.

Abstract

Chemical and isotopic compositions of waters from seven hot springs around Hamasaka, northwest region of Hyogo Prefecture were studied. Hot spring waters are classified into two groups based on their SO_4/Cl and B/Cl ratios. One group is formed by mixing of meteoric water with some seawater, exemplified by Hamasaka Hot Springs (Nos. 1 and 2 wells), while the other is hardly affected by seawater. A large part of SO_4 and B of the latter group are derived from surrounding formations. Br/Cl ratios in hot spring waters are rather constant. High concentrations of F and Li in Arayu Hot Spring water suggest the water-granite interaction in its ascending process. Hydrogen and oxygen isotopic composition of hot spring water showed that almost all water are meteoric in origin, possibly originating from Kishida River. The reservoir temperatures were estimated by geothermometric methods, taking into consideration dilution of hot water with meteoric water. This suggests that the heat sources exist in comparatively shallow horizon around Arayu, Hamasaka and Kasumi-Mitani Hot Springs.

1. ま え が き

近畿地方では、高温泉に分類される42℃以上の温泉が、紀伊半島中西部(白浜温泉, 本宮温泉等), 兵庫県南部(有馬温泉)および兵庫県北部(湯村温泉, 城崎温泉等)に分布している。日本では一般的に、高温泉は第四紀の火山活動に関連しているとされており、北海道, 東北, 関東, 九

州等の著名な高温泉は、温泉湧出地近傍に火山活動が知られている。一方、上述の近畿地方の高温泉では、湧出地近傍に新しい火山活動の形跡がなく、温泉の分布も狭い範囲に限られていることから、Cl濃度が極めて高い有馬温泉等一部の特異な温泉を除いては温泉の湧出機構についての検討例は多くない。

本調査では、兵庫県北西部の海岸に近い浜坂温泉周辺の高温泉について、その化学組成から成因を検討する。

2. 試料採取と分析

試料採取は、1995年11月16日および17日に行った。温泉水はポリ瓶に採取し、微量金属イオンやSiO₂等については採取後ただちに塩酸を加える処理をして保存した。また、CO₂とH₂Sのガス成分については、それぞれアルカリ固定と硫化カドミウム固定を行った。

化学分析は、JIS K0102や鉱泉試験法に示される方法によって行い、同位体分析については、通常の質量分析法による。

3. 温泉の分布とその化学的特徴

本調査では、兵庫県美方郡浜坂町、温泉町および香住町から7か所の温泉水を採取した。各源泉の位置と分析結果を図1および表1に示す。なお、図1には解析にデータを用いた既存資料の源泉位置も示す。

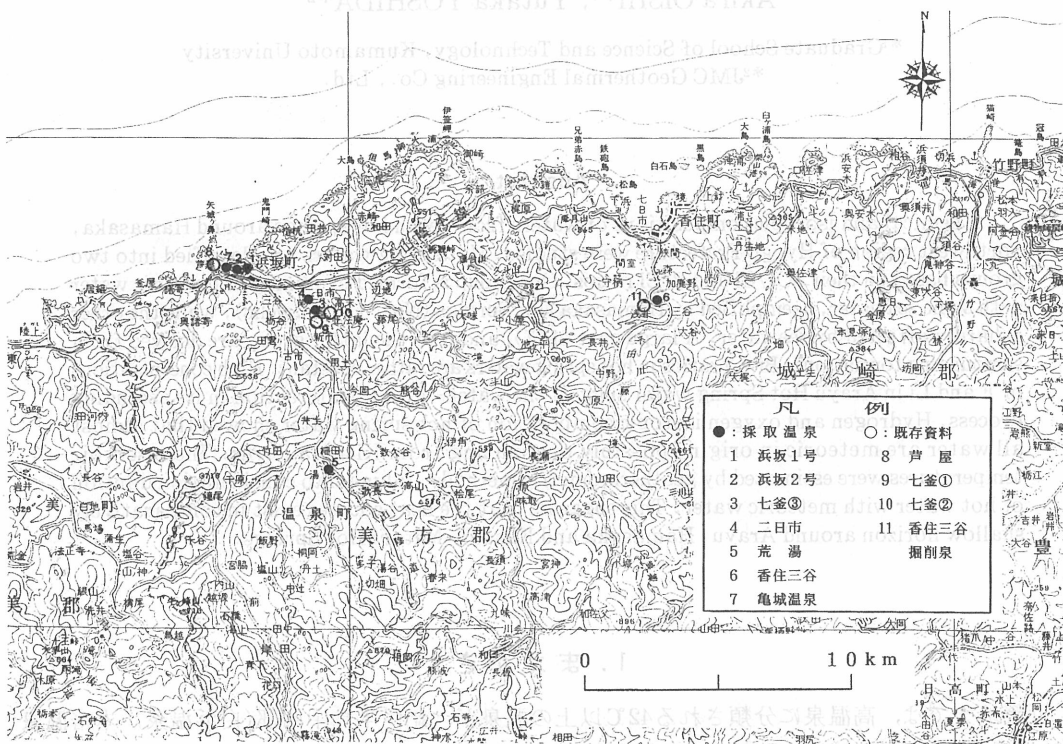


図1 調査位置図

表1 温泉水の分析結果

源泉名		浜坂1号	浜坂2号	七釜③	二日市	荒湯	香住三谷	亀城温泉
項目								
採取年月日		95.11.17	95.11.17	95.11.17	95.11.17	95.11.16	95.11.17	95.11.16
pH	…	6.9	7.0	7.4	7.2	7.1	7.4	8.0
電気伝導率	μS/cm	6510	6470	2130	3340	1440	2860	864
SiO ₂	mg/l	70.2	74.1	43.7	34.8	138	57.0	43.0
Cl	mg/l	1720	1770	84.4	109	127	612	168
SO ₄	mg/l	377	397	841	1460	194	343	62.3
T-CO ₂	mg/l	<10	<10	<10	17.2	204	10.8	27.9
Na	mg/l	860	886	295	393	265	346	128
K	mg/l	30.0	28.0	8.30	8.20	17.5	8.00	5.35
Ca	mg/l	377	389	132	315	16.9	197	22.5
Mg	mg/l	19.4	19.3	1.43	29.6	0.38	1.00	1.92
Fe	mg/l	0.18	0.15	0.71	1.65	<0.01	0.05	0.02
Al	mg/l	0.03	0.04	0.04	0.06	0.04	0.04	0.02
Mn	mg/l	0.91	0.81	0.12	0.17	0.14	0.07	<0.01
Li	mg/l	0.50	0.53	0.37	0.40	0.85	0.24	0.08
B	mg/l	0.67	0.66	1.00	1.48	1.48	0.87	0.09
Br	mg/l	5.63	5.92	0.14	0.23	0.28	1.98	0.48
I	mg/l	0.12	0.08	0.05	0.11	0.05	0.05	0.01
As	mg/l	0.009	0.075	0.059	0.089	0.054	0.082	0.038
H ₂ S	mg/l	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
F	mg/l	2.40	2.74	3.34	3.06	10.6	4.11	2.38
δD	‰(SMOW)	-47.4	-48.6	-53.4	-57.1	-55.8	-49.3	-43.9
δ ¹⁸ O	‰(SMOW)	-8.5	-8.4	-9.2	-9.6	-9.3	-9.1	-8.3
δ ³⁴ S(SO ₄)	‰(CDT)	+23.5	+22.0	+23.5	+23.6	+20.5	+21.7	+20.3

多くの源泉は、中新世北但層群の火山岩、堆積岩および第四紀沖積層が分布する場所に位置するが、湯村温泉周辺には中生代白亜紀～古第三紀の花崗岩類が分布している。源泉分布地域周辺の第四紀火山活動としては、扇ノ山、鉢伏山、水ノ山等を形成したものがある。ただし、これらの火山体の近くには高温の温泉は湧出せず、村岡温泉等いくつかの泉温が35℃未満の低温の温泉が存在するのみである。

分析結果から明らかのように、いずれの温泉も中性～弱アルカリ性であり、亀城温泉を除いて46℃以上の高温泉である。Cl濃度は、①100mg/l前後のもの、②600mg/l程度のものおよび、③1,700mg/lを超える高塩濃度のものの3つに分けられる。高塩濃度のものは、海岸に近い浜坂1号(深度122m)および2号(深度200m)の掘削泉であるが、これらの温泉に近い亀城温泉(深度61m)は、Cl=168mg/lと低濃度であり、泉温も低い。浜坂温泉の南東2.5～3kmに位置する二日市温泉と七釜温泉は、浜坂温泉と比較してCl濃度が1/10以下であるのに対してSO₄濃度が2～4倍と高いのが特徴的である。調査した温泉の中で最も泉温が高い(90℃)湯村温泉の荒湯は、高温の割に比較的溶存成分濃度が低い。香住三谷温泉は、泉温(63℃)、成分濃度ともに今回の調査対象温泉の中では中程度の温泉である。

各温泉のキーダイアグラムを図2に示す。陰イオンによって泉質を区分すると、調査した温泉は、大きく、①SO₄型の七釜温泉と二日市温泉、②中間型に近い湯村温泉荒湯、③Cl+SO₄型の浜坂温泉、香住三谷温泉および亀城温泉、の3つに区分できる。香住三谷温泉を除いて、泉質に

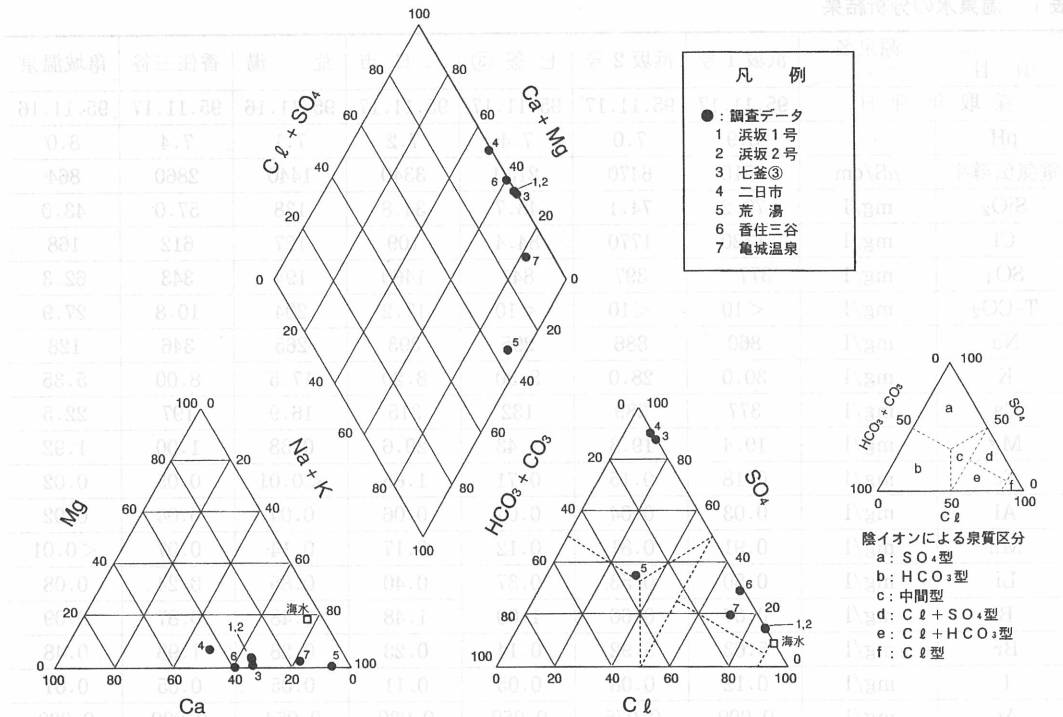


図2 キーダイアグラム

よって同じ型に区分される温泉は、位置的に近い所に湧出しており、同じ型の温泉の湧出機構は同一であることが推定される。

4. 化学組成

4-1. Clと SO_4 の関係

図3にClと SO_4 の関係を示す。この図には、海水の SO_4 とClの比率を示す直線および既存資料のデータ(芦屋、七釜1号、七釜2号、香住三谷掘削泉)も記入した。

この図から、調査した温泉は次のように大きく2つのグループに分けることができる。

①Clに対して SO_4 が高濃度の温泉：二日市、七釜1号、七釜2号、七釜3号

② SO_4/Cl 比が海水の値に近い温泉：浜坂1号、浜坂2号、亀城、芦屋

なお、荒湯と香住三谷はこれらの中間的な性格であり、香住三谷掘削泉は極めて低濃度であるため、いずれかのグループに含めることは困難である。

Clに対して SO_4 が高濃度の温泉水の SO_4 の起源として、火山性ガスの SO_2 の寄与を受けているものや、蒸気中の H_2S ガスが地表付近で SO_4 に酸化されて生じる酸性泉が、火山地帯に良く見られる(清棲、倉橋¹⁾; 吉池²⁾)。また、伊豆半島や渡島半島の温泉では、地層中の硫酸塩鉱物が溶出して SO_4 が高濃度になっているものも存在する(水谷他³⁾; 吉田⁴⁾)。

SO_4/Cl 比が海水の値に近い浜坂1号等の温泉は、その湧出位置が海岸に近いこともあり、溶存する SO_4 およびClの起源が海水そのものであり、その濃度は海水が地下水によって希釈された割合によって決められていると考えられる。

一方、二日市等のClに対して SO_4 が高濃度の温泉の成因については、本調査地域周辺に活発

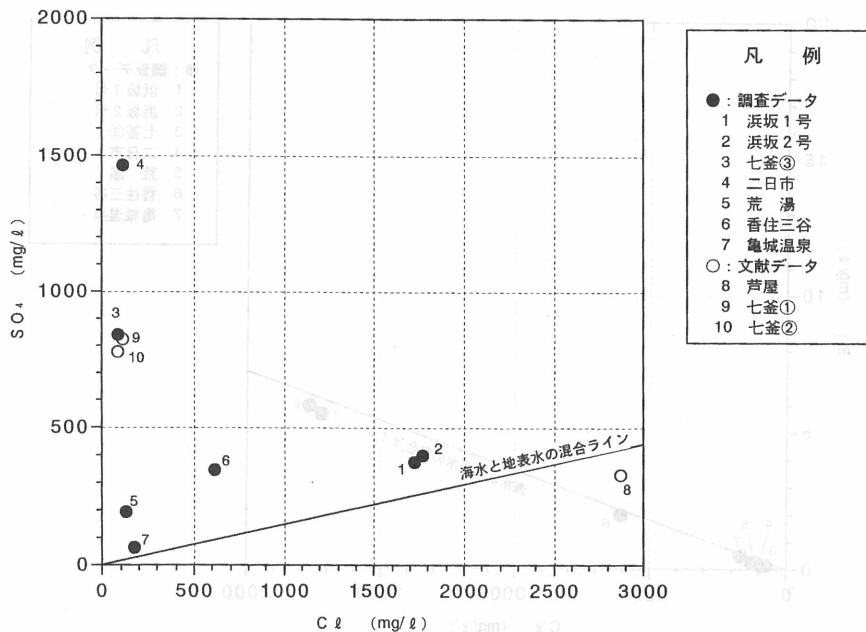


図3 ClとSO₄の関係

な火山活動が認められないことから、伊豆半島の温泉のようにSO₄が地層中の硫酸塩鉱物の溶解によって供給されている可能性がある。また、このグループは、図3の中で原点を通る直線関係を示している。これは、このグループに属する温泉水が、共通の高濃度の起源水が希釈されて生成したものであることを示している。

これらの温泉生成機構に関連するSO₄の起源については、硫黄同位体組成からも検討した(後述)。

4-2. BrとClの関係

Brは、海水中に比較的高濃度(65ppm)で存在する成分であり、低濃度では溶液中から鉱物として沈殿する可能性がなく、海水の影響の検討を行うためには有用な成分である。Br/Cl比は、油田・ガス田に存在する食塩泉で海水の値より高く、火山性温泉では低い。さらに海水と高温岩体が反応した熱水では、海水のBr/Cl比を保持していることが示されており、これらの特性を利用して温泉水の起源が検討されている(上村他⁵⁾；酒井，松葉谷⁶⁾。

図4にBrとClの関係を示す。全ての温泉水は、海水と地表水の混合ラインの近くにプロットされている。このことは、低濃度温泉水のBrとClの起源を推定することは精度的に困難であるものの、少なくともClを1,700mg/l以上含む浜坂1号および浜坂2号のBrとClは海水起源であることを示している。その濃度から海水の寄与を推定すると、浜坂1号および浜坂2号は、いずれも10%程度の海水の寄与があると考えられる。

4-3. BとClの関係

図5にBとClの関係を示す。なお、既存資料のデータ(芦屋，七釜2号，香住三谷掘削泉)も記入した。BとClは、岩石-水反応においていずれも可溶性成分であることから、熱水中のB/Cl比は岩石のB/Cl比を反映する。このため、温泉水のBとClの関係は、その温泉水の貯留母岩を推定するのに有効であるとされている。さらに、揮発性の違いや、海水のB/Cl比が極めて小さ

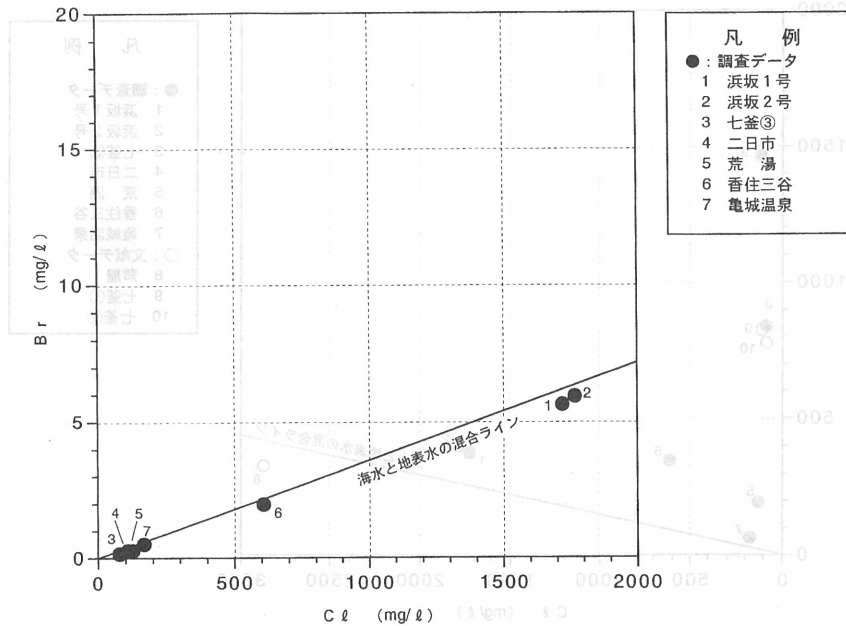


図4 BrとClの関係

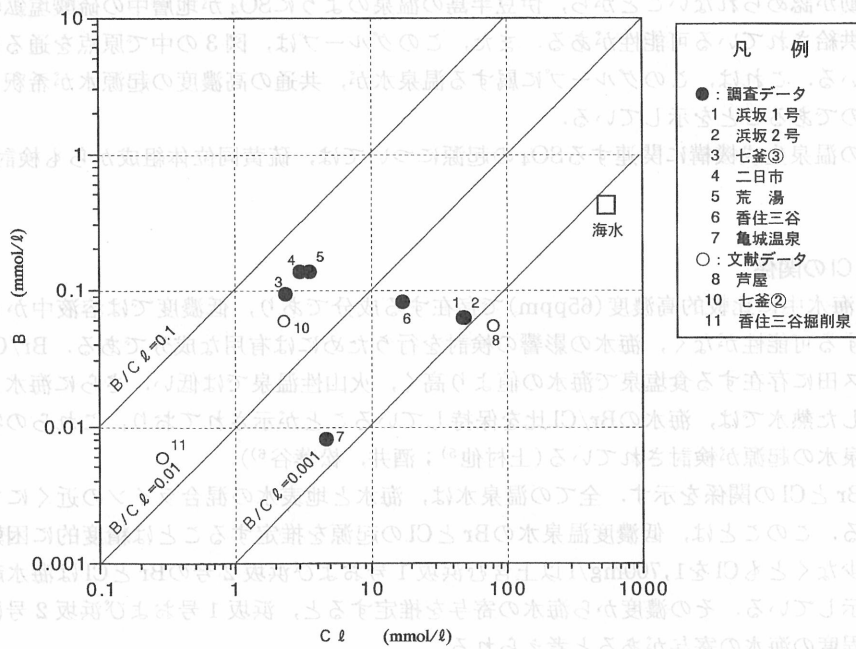


図5 BとClの関係

いことを利用して、蒸気卓越型貯留層の存在の可能性や温泉水に対する海水の寄与の検討にも利用されている (Ellis and Mahon⁷⁾; 茂野, 阿部⁸⁾).

図5によれば、温泉水はB/Cl比が海水の値に近いグループ(浜坂1号, 浜坂2号, 亀城, 芦屋)とB/Cl比が0.04(モル比)程度のグループ(二日市, 七釜2号, 七釜3号, 荒湯, 香住三谷掘削泉)が存在することが分かる。前者は、海水が地下水によって希釈されたもので、これらの温

泉のうち、亀城温泉が最も地下水の影響が大きいと考えられる。また、浜坂1号(63℃)、浜坂2号(68℃)が高温であるにもかかわらず、海水のB/Cl比を保持していることは岩石からのBの溶出が少ないことを示しており、地層内に浸透した海水の滞留時間が短いことを示している。後者は、そのB/Cl比が火山砕屑岩類を貯留母岩としている日本の多くの温泉水が示す0.03~0.1の範囲にあり、海水の直接的な影響はなく岩石の溶出の影響が大きいと考えられる。なお、香住三谷と香住三谷掘削泉は、位置的に近いにもかかわらず、B/Cl比がそれぞれ0.004と0.01と差が認められる。しかし、香住三谷掘削泉の成分濃度は極めて低いことから、掘削泉の値は地表付近の岩石の溶出の影響を受けた地下水を反映しており、温泉水の貯留母岩の影響をとどめていないと考えられる。すなわち、掘削泉でなく香住三谷の方がこの地区の温泉貯留母岩を反映しており、その値が他の2つのグループと異なることは、貯留母岩の岩質の違いを示唆していると考えられる。

4-4. 温泉水の化学組成の変化

地表水や海水が岩石と反応すると、イオン交換反応、沈殿生成あるいは溶出等によって水の化学組成が変化する。すでに温泉水中に含まれる成分のうちClとの比が海水の値より大きい温泉水のSO₄やBについては、岩石からの溶出である可能性を述べたが、温泉水の陽イオン組成も海水の組成と異なっている。

キーマイアグラム(図2)のうち、陽イオン組成をみると荒湯と亀城を除いて、Na+KおよびMgが減少してCaが増加していることが分かる。Caの増加は、地層中の石膏が溶出したと考えられるとSO₄の増加と調和するが、当量的にSO₄の方が過剰であるので石膏以外のSO₄の供給源があると考えられる。また、海水の寄与がある浜坂1号および浜坂2号については、Caの増加にはほぼ対応してNa+KおよびMgが減少している。これは、Na濃度の低下を除いて青函トンネルの掘削時に得られた層間水で認められた海水とグリーンタフ相当層である訓縫層の岩石との低温反応で推定された陽イオン交換反応(Mizukami *et al.*⁹⁾)と調和的である。また、甘露寺、益子¹⁰⁾は、伊豆半島西部の土肥温泉でNa, K, Mgが減少しCaが増大している現象を検討し、その原因を海水侵入過程における低温での海水と岩石の反応(Na, K, Mgの固定とCaの溶出)としている。浜坂温泉におけるNa濃度の低下原因は不明であるものの、他の海水の影響がある温泉で推定されているのと同様に、温泉水中のNaが低温で岩石中のCaとイオン交換したと考えられる。

荒湯は全体に溶存成分濃度が低いにもかかわらず、そのF濃度は10.6 mg/lと7つの温泉水の中で最も高い。これは、花崗岩や流紋岩等の酸性岩はF含有量が多いことから(Ando *et al.*¹¹⁾)、湯村温泉周辺に分布する中世代白亜紀~古第三紀の花崗岩類と熱水が反応した結果、温泉水中のF濃度が高くなったためと考えられる。また、酸性岩に多く含まれるLiも荒湯が0.85 mg/lと最高濃度を示しており、Fについて推定した湯村温泉周辺の花崗岩類と熱水の反応を支持している。

5. 同位体組成

5-1. 水の δD と $\delta^{18}O$ (組成はSMOW表示)

温泉水の δD と $\delta^{18}O$ の関係を図6に示す。全ての点は、日本の天水の組成を表す $\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 17.5$ (Sakai and Matsubaya¹²⁾)の直線付近にプロットされており、温泉の位置によってその同位体組成にいくらかの違いはあるものの、全ての温泉水に対して天水の影響が大きいことを示している。これらの中では、浜坂1号、浜坂2号および亀城温泉が同位体的に重いことを示している。しかし、浜坂1号と浜坂2号は、化学成分から海水の影響があることが考えられ、起源泉となっている天水の同位体組成は実測値より軽い可能性があるため、次にその組成を推定した。

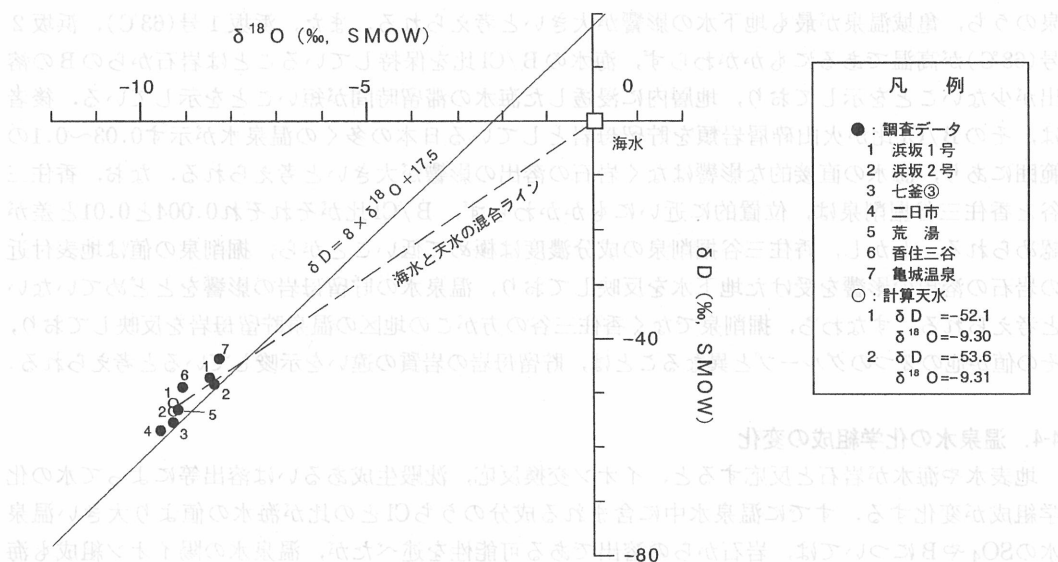


図6 水の δD と $\delta^{18}O$ の関係

図6中の破線は、海水の値と浜坂1号および浜坂2号の値を結んだものである。浜坂1号および浜坂2号は、海水と地下水(天水の同位体組成と同じで $Cl = 0 \text{ mg/l}$ と仮定する)が混合したものであるとすれば、その起源天水の同位体組成は、破線の左下延長上に求めることができる。海水の値($Cl = 19,000 \text{ mg/l}$, $\delta D = 0 \text{ ‰}$, $\delta^{18}O = 0 \text{ ‰}$)と温泉水の Cl 濃度から求めた海水と地下水の混合率からそれぞれの起源天水の同位体組成を算術的に求めることができる。この様にして得られた天水の同位体組成は、浜坂1号について $\delta D = 52.1 \text{ ‰}$, $\delta^{18}O = -9.30 \text{ ‰}$; 浜坂2号について $\delta D = -53.6 \text{ ‰}$, $\delta^{18}O = -9.31 \text{ ‰}$ である。これらの値を図6中に○印で記入した。

浜坂1号および浜坂2号以外の温泉には海水の寄与がないと仮定して同位体組成をみると、亀城が同位体的に重く、次いで香住三谷が重く、その他の温泉の同位体組成はほぼ同一であるといえる。この差は、温泉水の起源水である天水の同位体組成の違いを表しており、次のように解釈することができる。

亀城は、海岸に最も近い温泉であり成分濃度も最も低いことから、海に近い重い同位体組成の天水の影響を直接反映している。これに対して、浜坂、二日市、七釜等の温泉は海岸から遠い荒湯と同様に岸田川に沿って湧出しており、比較的同位体的に軽いほぼ同一の天水が河川に沿って広がり、温泉水はこれを起源としている。香住三谷は、地域的に若干離れた矢田川水系(岸田川から東へ10~15km)に湧出しているために違いが生じたと考えられる。

5-2. 硫酸塩の $\delta^{34}S$ (組成はCDT表示)

温泉水に溶存する SO_4 濃度は、 $62.3 \sim 1,460 \text{ mg/l}$ と大きな幅を示すが、その硫黄同位体組成は、 $+20.3 \sim +23.6 \text{ ‰}$ と変動幅は小さい。この値は、火山性の硫黄同位体組成よりも重く海水中の硫酸イオンおよびグリーンタフ分布地域に湧出する温泉水中の硫酸イオンの硫黄同位体組成の値($+20 \sim +25 \text{ ‰}$, Matsubaya *et al.*¹³⁾; Sakai and Matsubaya¹²⁾)や黒鉱に含まれる硫酸塩の値($+21 \sim +24 \text{ ‰}$, Sakai and Matsubaya¹⁴⁾)に近い。したがって、硫黄同位体組成からは、温泉水中の SO_4 が火山性のものでないと判断できるものの、海水起源か岩石中の硫酸塩起源かを明瞭に区別することはできない。しかし、 Cl と SO_4 の関係から、ほとんどの温泉が海水と地表水の混

合によるSO₄より過剰のSO₄を含むことを考えると、少なくとも浜坂では海水起源のSO₄が多く、他の温泉では、岩石中の硫酸塩起源のSO₄が多いと考えられる。硫酸塩を溶出する岩石としては、当地域に分布する中新世北但層群(時代的に東北地方のグリーンタフに相当する)の海成堆積岩が考えられる。

6. 地化学温度の検討

温泉水が地下で化学平衡に達しており、その状態を保存して湧出していると仮定すれば、成分濃度や化学組成に基づいて温泉水が化学平衡状態にあったときの温度を推定することができる。これが地化学温度計の考え方の基本であり、ここでは次の4種類の地化学温度を検討した。

- ①SiO₂ 温度(石英; 伝導冷却) : 湧出時に希釈されると平衡温度より低くなる
- ②SiO₂ 温度(玉髄) : 湧出時に希釈されると平衡温度より低くなる
- ③Na-K-Ca 温度 : 湧出時の希釈の影響は少ない
- ④石膏温度 : 湧出時に希釈されると平衡温度より高くなる

地化学温度を湧出温度とともに表2に示す。

Arnorsson¹⁵⁾は、110℃より低温の熱水は玉髄の溶解平衡にあることを示しており、SiO₂ 温度(玉髄)と湧出時の希釈の影響が少ないNa-K-Ca 温度が比較的良い一致を示していることから、荒湯を除いては50~100℃の地下温度を持つと考えられる。一方、荒湯はSiO₂ 温度(玉髄)が110℃を超えることおよびSiO₂ 温度(石英; 伝導冷却)とNa-K-Ca 温度が一致することから、160~170℃の地下温度が推定される。

このような地下の状態を保存しているという前提での温度推定とは別に、次に湧出過程で地下水によって温泉水が希釈されたと仮定して地下温泉を推定してみる。

図7は石膏温度を求める図であり、海水の場合を例にして希釈によって見掛けの温度が高くなる関係を示す曲線も記入した。化学成分の検討から、浜坂1号、2号および亀城のグループと七釜3号および二日市のグループにそれぞれ希釈関係が認められているが、それぞれのグループの温泉の値を結ぶと海水と地表水の混合曲線にはほぼ平行な破線が得られる。このことは、それぞれのグループの温泉が、より低温・高濃度の原温泉水が地表水によって希釈された可能性を示唆するものである。すなわち、浜坂1号、2号および亀城のグループの原温泉水の温度は125℃以下、七釜3号および二日市のグループの原温泉水の温度は70℃以下と推定される。これに対し、SiO₂ 温度(玉髄)は希釈によってみかけ上低い地化学温度が推定されるので、浜坂1号、2号および亀城のグループの原温泉水の温度は91℃以上、七釜3号および二日市のグループの原温泉水の温度は64℃以上と推定される。これらの2つの地化学温度から得られる温度幅が、希釈を考慮した推

表2 地化学温度一覧表 (単位: °C)

源泉名	湧出温度	T-SiO ₂ (石英, 伝導冷却)	T-SiO ₂ (玉髄)	T-Na-K-Ca	硬石膏
浜坂1号	63	119	88	95	125
浜坂2号	68	121	91	92	125
七釜③	49	96	64	64	110
二日市	46	86	53	50	70
荒湯	90	156	131	168	205
香住三谷	63	108	77	57	140
亀城温泉	32	95	63	78	210

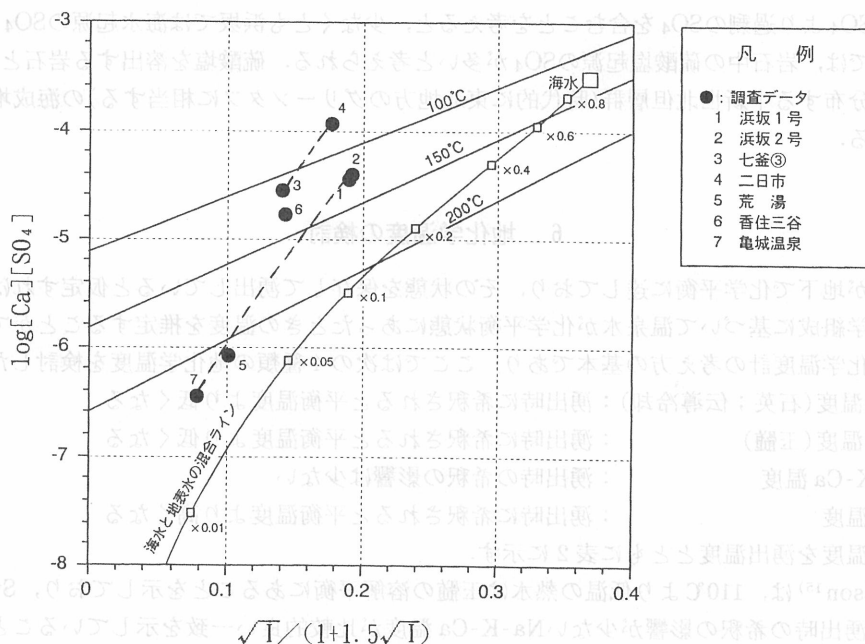


図7 硬石膏の溶解度とイオン強度(I)

定地下温度となる。

一方、荒湯は今回の調査では希釈関係が明らかでないが、坂巻他¹⁶⁾によれば地表水による希釈が推定されており、上述と同様な手法によりその地下温度は156～205℃であると推定できる。また、香住三谷については77～130℃と推定できる。

以上、①地下状態保存および、②平衡後の希釈、の二つの場合について地下温度を推定したが、多くの場合、①による推定温度(Na-K-Ca温度)は、②によって推定される温度幅の中に含まれており、まとめると以下ようになる。

- 1) 浜坂1号、2号周辺の温度水貯留層の推定温度は、91～125℃である。
- 2) 七釜、二日市周辺の温泉水貯留層の推定温度は、64～70℃である。
- 3) 荒湯の温泉水貯留層の推定温度は、156～205℃である。
- 4) 香住三谷の温泉水貯留層の推定温度は、77～130℃である。

このように温泉貯留層の温度を推定したが、浜坂1号、2号が122～200mと浅い温泉井であり、荒湯や香住三谷も地表湧出にもかかわらず高温を示すことが特徴的である。このことは、この地域には局所的に浅部に熱源が存在していることを示している。

7. 浜坂周辺の温泉の湧出機構

温泉水の化学組成と同位体組成の検討結果から、当地域の温泉水の起源水は海水と天水であり浜坂1号および浜坂2号では、海水の寄与率は約10%である。香住三谷は、矢田川流域の天水を起源とし、浜坂周辺では主に岸田川を流下する天水を起源としており、亀城温泉は海の影響が大きい天水(同位体的に重い)を起源としている。

浜坂1号および浜坂2号周辺では、地下に浸透した海水と天水が約1:9の割合で混合し、浅

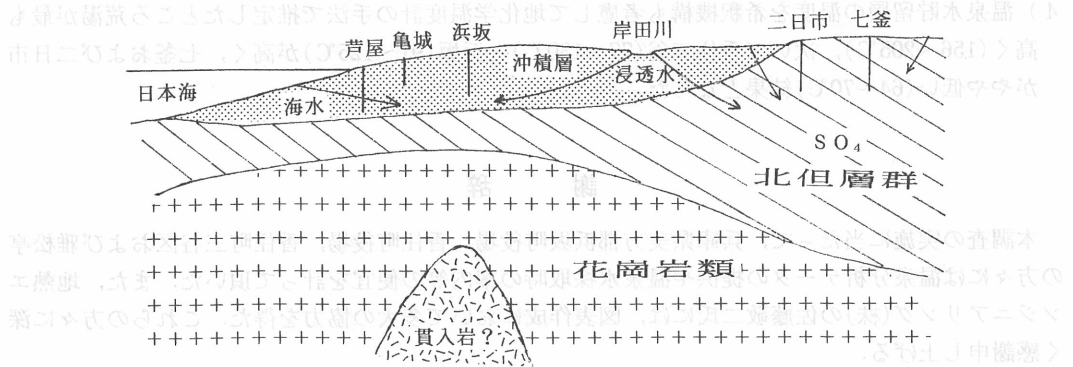


図8 浜坂周辺の温泉湧出機構概念モデル

部に存在する熱源によって加熱されて91~125℃で存在している。亀城は、天水の影響が大きい
ため、低温となっている。

七釜および二日市は、熱的には浜坂周辺に劣るものの、岸田川流域から北但層群の地層に浸透
した天水が岩石-水反応によってSO₄に富むように変質して温泉貯留層内に滞留している。

以上の浜坂周辺の温泉に関して、湧出機構概念モデルを図8に示す。局所的熱源としては、
現状ではその分布や形状が正確には確認できないが、花崗岩中の比較的若い貫入岩体を想定した。
温泉の起源水は、浜坂温泉では主に岸田川からの浸透水と海水であり、七釜および二日市では、
岸田川および周辺からの浸透水である。また、七釜および二日市周辺では北但層群が厚く、地層
からのSO₄の供給が顕著である。

荒湯は、調査地域内で最も高温を示し、その推定貯留層温度は156~205℃である。この高温熱
水は、周辺に分布する中生代白亜紀~古第三紀の花崗岩類と反応し、限られた割目を通して地
表に湧出している。

香住三谷は、他の6温泉と地域的に離れて湧出しており、その起源水である天水の同位体組成
も他の6温泉と異なっている。また、化学組成からも他の温泉との共通性は少ない。したがって、
水の起源や熱源も独立的なものであると考えられるが、77~130℃の比較的高温の温泉貯留層を
形成する熱源が浅部に存在しており、熱的には浜坂周辺と同じように局部的に高温泉が湧出する
状況にある。

8. ま と め

兵庫県北西部の浜坂周辺に湧出する7か所の温泉について、化学組成および同位体組成からそ
の成因を検討した。その結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 浜坂周辺に湧出する温泉には、浜坂1号および2号で最大約10%の海水の寄与があるがほと
んどは岸田川流域の天水を起源としている。
- 2) 温泉水のSO₄とClの関係から、調査地域の温泉はSO₄に富む七釜および二日市のグループ
とSO₄/Cl比が海水に近い浜坂1号および浜坂2号のグループの二つに大別でき、前者のSO₄
はBも含めて北但層群の海成堆積岩から供給されていると考えられ、これは硫黄同位体の検討
結果からも支持できる。
- 3) 調査地域内には、局部的に浅部まで熱源が広がり、比較的高温の温泉が浅い温泉井あるいは
自然湧出によって得られている。

- 4) 温泉水貯留層の温度を希釈機構も考慮して地化学温度計の手法で推定したところ荒湯が最も高く(156~205℃), 次いで香住三谷(77~130℃)と浜坂(91~125℃)が高く, 七釜および二日市がやや低い(64~70℃)結果となった.

謝 辞

本調査の実施に当たって, 兵庫県美方郡浜坂町役場, 香住町役場, 香住町三谷区および雅松亭の方々には温泉分析データの提供や温泉水採取時の案内等の便宜を計って頂いた. また, 地熱エンジニアリング(株)の佐藤敬二氏には, 図表作成において多大の協力を得た. これらの方々へ深く感謝申し上げる.

参考文献

- 1) 清棲保弘, 倉橋 誠: 地球化学, **16**, 17-24, 1982
- 2) 吉池雄蔵: 温泉科学, **43**, 56-67, 1993
- 3) 水谷義彦, 浅井 寛, 浜砂武聖: 火山, **19**, 139-150, 1975
- 4) 吉田 裕: 地球化学, **24**, 65-77, 1990
- 5) 上村京子, 高松信樹, 今橋正征: 温泉科学, **38**, 111-119, 1988
- 6) 酒井幸子, 松葉谷治: 地球化学, **23**, 45-52, 1989
- 7) Ellis, A.J., Mahon, W.A.J.: Chemistry and Geothermal Systems, Academic Press, 334-338, 1977
- 8) 茂野 博, 阿部喜久男: 日本地球化学会年会講演要旨集, 195-196, 1981
- 9) Mizukami, M., Sakai, H., Matsubaya, O.: Geochim. Cosmochim. Acta, **41**, 1201-1212, 1977
- 10) 甘露寺泰雄, 益子 安: 温泉科学, **27**, 134-142, 1977
- 11) Ando, A., Kamioka, H., Terashima, S., Itoh, S.: Geochem. J., **23**, 143-148, 1989
- 12) Sakai, H., Matsubaya, O.: Geothermics, **5**, 97-124, 1977
- 13) Matsubaya, O., Sakai, H., Kusachi, I., Satake, H.: Geochem. J., **7**, 123-151, 1973
- 14) Sakai, H., Matsubaya, O.: Econ. Geol., **69**, 974-991, 1974
- 15) Arnorsson, S.: Am. J. Sci., **275**, 763-784, 1975
- 16) 坂巻幸雄, 黒田和男, 望月常一: 地球化学検討会講演要旨集, **81**, 1975