

平成12年6月

原 著

霧島火山地域及びその南西部地域の温泉の生成機構

¹鹿児島大学大学院理工学研究科, ²鹿児島大学大学院教育学研究科藤田俊一¹, 坂元隼雄¹, 桐山哲也²

(平成11年6月11日受付, 平成11年12月1日受理)

Geochemical aspect on the genesis of the hydrothermal system
of the Kirishima volcano and its southwestern area¹Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University,²Graduate School of Education, Kagoshima UniversityShun-ichi FUJITA¹, Hayao SAKAMOTO¹ and Tetsuya KIRIYAMA²

Key words: Hot spring, Kirishima volcano, Volcanic gas, Hydrothermal system

キーワード: 温泉, 霧島火山, 火山ガス, 生成機構

Abstract

The Kirishima volcanic area is located in the northern part of Kagoshima Prefecture. Various thermal waters exist in this and its southwestern areas. Hydrogen sulfide springs, acidic sulfate springs and chloride springs are found in geographically narrow zone of the Kirishima volcanic area. Bicarbonate springs are distributed in the Shinkawa ravine and the Hinatayama-Himegi region, both of which are on the southwestern periphery of the Kirishima volcanic area.

The origin of the Kirishima hydrothermal system is discussed based on the differentiation of the volcanic gases derived from one magma chamber. These volcanic gases cause variation of the hot spring waters. In this study, a geochemical model of the hydrothermal system has been proposed.

1. 緒言

霧島火山地域には、火山性ガスを噴出する噴気や硫気孔が地熱変質帯を伴って存在している。このような地域から湧出している温泉には、新湯の含硫化水素単純温泉、林田、硫黄谷の酸性硫酸塩泉、丸尾の塩化物泉などがある。これらの温泉の熱源は、加久藤カルデラ(有田, 1957)内の火山性熱源と推定される。一方、霧島火山の南西部地域にも多数の温泉が湧出しているが、噴気帯や顕著な変質帯は見られない。この地域から湧出している温泉は、新川溪谷地区の含鉄土類炭酸水素塩泉、日当山・姫城地区の炭酸水素塩泉など炭酸水素塩泉で特徴づけられる温泉である。これらの温泉の熱源は、加

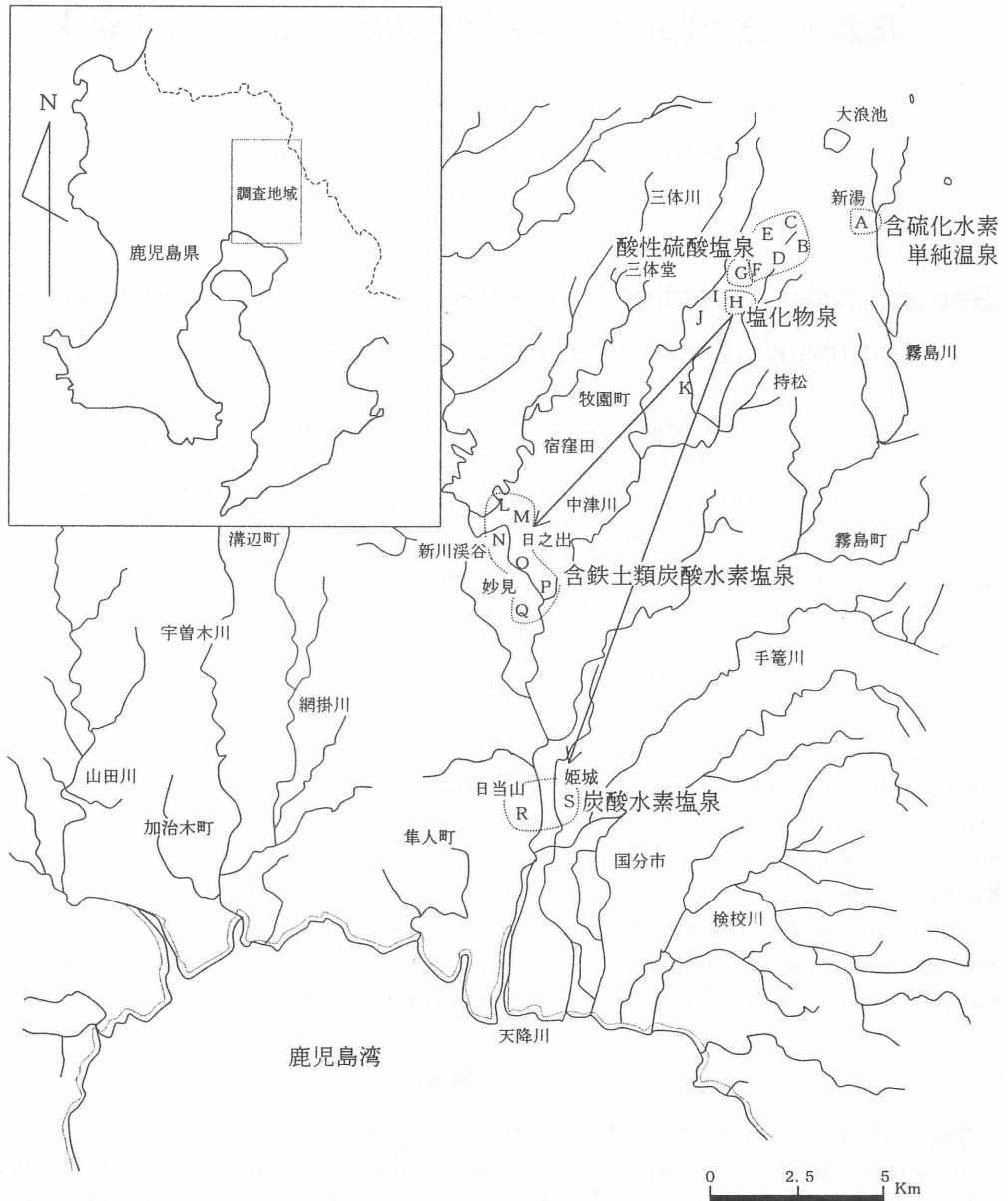


Fig. 1 Map of the Kirishima volcanic area and its southwestern area, showing the locations of sampled hot spring waters. Two arrows represent flow paths of the geothermal waters.

久藤カルデラ及び始良カルデラ(松本, 1943)の深部にあるマグマによるものと推定されている。

霧島火山地域の温泉については、波多江ら(1963, 1964)、露木ら(1966, 1990)、黒川ら(1993)による調査報告がある。これらの調査報告では、霧島火山地域にある温泉全体の成り立ちを地球化学的に考察し、火山発散物—火山ガスの分化という考え方に沿って説明している。また、霧島火山地域及びその周辺地域の温泉の湧出機構として、霧島火山南西部の温泉流動モード概念図(露木, 1992)が提案されている。その中では泉質の異なる温泉に注目して複数のマグマ溜りの存在を仮定しているが、それを支持する地学的根拠はない。Ohba et al.(1997)によって、霧島火山地域の熱水系を温泉水と噴気ガスの化学組成並びに同位体比から推定する調査研究が行われている。しかし、霧島火山の南西部地域の温泉については言及していない。霧島火山地域の地質は沢村ら(1975)、霧島火山の南西部地域の地質は荒巻ら(1969)によって報告されている。

火山地域から湧出する温泉の生成機構は、様々な地域で議論されている(吉田, 1982; 山下, 1984; 湯原ら, 1986; 浦上, 1994, 1995; 由佐, 1996)。その一つとして、一つのマグマ溜りから火山ガスが分化し、泉質の異なる温泉が生成すると考える箱根温泉の成因モデルが報告されている(Oki and Hirano, 1970; 大木・平野, 1972; Oki and Hirano, 1974)。

本研究は、霧島火山地域の温泉及びその南西部地域から湧出する温泉の化学組成と分布を詳細に調べ、これらの温泉の生成機構に箱根温泉の成因モデルを適用し説明できることが分かったので報告するものである。

2. 試料の採取と保存

Fig.1に温泉水試料の採取地点を記号(A~S)で示す。試料は各泉源において可能な限り湧出場所に近い位置、すなわち自然湧出の場合は湧出口から、ボーリングによる泉源の場合にはできるだけボーリング孔に近い場所から採取した。陽イオン分析には試料に塩酸もしくは硝酸を加え約pH1の酸性溶液に調製して用いた。

3. 分析法

分析項目及び分析方法は次に示す。Na⁺: 原子吸光分光分析法又は炎光光度法, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺: 原子吸光分光分析法, ΣFe: 1, 10-フェナントロリン吸光光度法, Cl⁻: イオンクロマトグラフ(IC)法又はチオシアン酸水銀(II)法, SO₄²⁻: イオンクロマトグラフ(IC)法又は比濁法, HCO₃⁻: 中和滴定法(B.C.G pH4.3アルカリ度), H₂S: 現地で硫化カドミウムとして固定, Cu-PANを指示薬としてEDTAで滴定。泉温及びpH, 電気伝導度は現地で測定した。

4. 結果と考察

霧島火山地域の温泉及びその南西部地域に位置する新川渓谷地区、日当山・姫城地区の温泉の化学組成をTable 1, Table 2に示す。

霧島火山地域の温泉のpHと泉温の関係をFig. 2に示す。pHは2~9と、広い範囲にわたっている。また、泉温は50~80℃と比較的高いものが多い。

霧島火山地域の温泉の地球化学的特徴を、高地に位置する新湯温泉(A)から低地に湧出する温泉(K)まで順に記述する。新湯温泉(A)から殿湯温泉(K)までは直線距離で約3kmである。

新湯温泉(A)は、ボーリング孔からの噴気ガスに沢水を注入し、人工的に造成している温泉である。そのpHは4~5で、溶存物質量は極めて少ない。しかし、硫化水素濃度は造成温度によって異なるが15.2mg/lと高い。硫化水素は水に対する溶解度が低いので、地下水にそれほど溶けることなく

Table 1 Chemical compositions of the waters collected from the hot springs in the Kirishima volcanic area.

Group	Location	Date	pH	Temp. [°C]	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Σ Fe [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]
A	Shinyu	Jun.21.98	4.75	55.2	2.41	1.03	4.01	1.29	<0.02	16.6	0.17	11.2
	Myouban 1	Oct.25.98	3.22	67.1	35.1	22.2	10.2	7.23	1.23	23.6	217	-
B	Myouban 2	Oct.25.98	3.22	63.0	29.8	25.1	9.58	6.72	0.91	25.6	208	-
	Myouban 3	Oct.25.98	3.14	57.2	30.2	30.1	12.1	7.77	0.33	18.5	239	-
	Myouban 4	Oct.25.98	3.18	68.7	32.1	27.0	10.0	6.94	0.76	19.9	232	-
	Myouban 5	Oct.25.98	3.40	35.5	19.8	14.0	11.8	4.54	0.32	11.4	152	-
	Myouban 6	Sep.13.95	3.72	56.5	35.2	26.9	11.1	6.97	2.06	26.5	175	-
	Hayashida 1	Oct.25.98	3.22	60.9	31.2	21.8	12.8	6.91	0.05	15.8	216	-
C	Hayashida 2	Oct.25.98	3.21	57.5	30.2	20.6	13.0	6.71	0.05	15.2	211	-
	Hayashida 3	Oct.25.98	3.09	57.6	30.8	22.0	12.1	6.99	0.16	20.9	248	-
	Hayashida 4	Oct.25.98	3.24	65.8	35.1	17.4	13.2	7.53	0.02	15.9	253	-
	Hayashida 5	Oct.25.98	3.21	58.8	40.7	20.6	16.0	8.28	0.04	23.6	291	-
	Hayashida 6	Oct.25.98	3.18	48.8	22.7	17.7	9.64	4.85	0.09	11.0	175	-
	Hayashida 7	Oct.25.98	3.17	48.2	23.8	16.9	10.2	5.04	0.07	11.0	164	-
	Hayashida 8	Oct.25.98	3.32	61.8	39.7	21.1	13.8	7.27	0.04	20.6	234	-
	Hayashida 9	Oct.25.98	3.37	58.8	37.4	20.3	12.3	6.51	0.04	18.2	209	-
	Hayashida 10	Oct.25.98	3.04	53.7	27.6	18.3	10.8	5.94	0.05	12.6	237	-
	Hayashida 11	Oct.25.98	3.08	51.1	25.4	18.1	10.0	5.42	0.22	13.8	220	-
	D	Enoo 1	Oct.25.98	3.27	53.2	25.3	17.1	10.5	5.40	0.07	17.1	180
Enoo 2		Oct.25.98	3.22	50.8	24.4	22.2	9.84	5.04	0.08	16.6	170	-
Enoo 3		Oct.25.98	3.25	47.8	26.1	20.7	10.8	5.65	0.21	17.7	194	-
E	Yukawa	Sept.13.95	3.37	55.5	25.2	12.5	16.4	6.62	5.67	15.1	301	-
	Iwodani Shita 1	Oct.25.98	2.88	46.2	8.75	5.47	6.19	3.79	1.03	4.06	241	-
F	Iwodani Shita 2	Oct.25.98	3.04	58.2	8.17	5.09	7.11	3.67	2.12	3.83	229	-
	Iwodani Shita 3	Oct.25.98	4.99	49.8	12.6	3.18	7.20	2.34	0.05	4.40	78.3	-
	Iwodani Shita 4	Oct.25.98	3.13	78.2	14.0	11.0	8.00	4.56	2.44	2.62	346	-
	Iwodani Shita 5	Oct.25.98	3.18	56.1	14.9	11.7	10.1	5.93	2.90	2.43	325	-
	Iwodani Shita 6	Oct.25.98	2.98	61.2	12.6	7.17	15.8	11.5	0.49	3.75	414	-
	Iwodani Shita 7	Oct.25.98	2.79	85.3	9.01	3.92	2.92	5.02	1.87	2.11	661	-
	Iwodani Shita 8	Oct.25.98	2.70	66.1	12.8	10.2	6.26	7.90	2.23	2.12	561	-
	G	Kirishima Kokusai Hotel 1	Sept.13.95	6.30	61.5	14.9	6.21	12.7	6.33	0.07	8.66	80.2
Kirishima Kokusai Hotel 2		Dec.10.98	6.36	69.2	95.3	15.1	48.1	3.05	<0.02	31.6	61.2	369
Hotel Spa-Hills		Sept.13.95	6.22	66.0	24.2	5.60	11.6	3.13	0.05	29.7	52.7	61.8
H	Satsunomou	Sep.13.95	7.96	75.6	78.3	181	13.4	6.68	0.17	1030	48.4	116
	Kadai Rehabilitation-Center 1	Oct.25.98	8.64	82.2	346	32.0	4.49	0.12	<0.02	443	102	146
	Kadai Rehabilitation-Center 2	Oct.25.98	7.81	80.6	876	155	7.31	0.07	<0.02	2000	29.0	57.2
	Kadai Rehabilitation-Center 3	Oct.25.98	7.85	90.8	874	155	6.76	0.03	<0.02	1970	25.7	62.2
	Kadai Rehabilitation-Center 4	Oct.25.98	7.22	64.6	101	18.1	42.1	0.14	0.09	82.6	53.9	306
J	Fukuyuu	Sept.13.95	7.22	64.6	101	18.1	42.1	0.14	0.09	82.6	53.9	306
	Kurikawa	Sept.13.95	6.54	57.3	22.1	6.87	15.1	3.11	0.09	7.70	91.8	46.2
K	Tonoyu	Sept.13.95	7.12	58.2	118	19.7	23.3	7.61	0.78	112	15.0	274

Table 2 Chemical compositions of the waters collected from the hot springs in the Shinkawa ravine and the Hinatayama-Himegi region.

Group	Location	Date	pH	Temp. [°C]	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	Ca ²⁺ [mg/l]	Mg ²⁺ [mg/l]	Σ Fe [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	HCO ₃ ⁻ [mg/l]
L	Shiohitashi 1	Apr.3.96	6.45	46.3	181	39.8	119	89.3	1.03	150	84.5	1120
	Shiohitashi 2	Apr.3.96	6.34	40.6	173	33.3	114	86.1	3.00	145	86.3	1060
M	Hinode 1	Apr.3.96	6.15	41.5	149	33.3	98.1	68.8	1.92	100	69.4	884
	Hinode 2	Apr.3.96	6.08	45.5	175	40.0	114	81.5	3.77	120	82.8	1090
	Hinode 3	Apr.3.96	6.32	47.8	182	38.2	125	83.6	1.98	140	83.9	1120
N	Shinkawa (Amorigawa) 1	Apr.3.96	5.87	49.3	159	33.7	106	72.4	2.25	130	68.6	953
	Shinkawa (Amorigawa) 2	Apr.3.96	6.16	50.9	174	36.4	113	78.5	2.34	148	72.2	1040
	Shinkawa (Amorigawa) 3	Apr.3.96	5.95	41.6	135	28.2	93.1	63.4	2.05	123	62.1	833
	Shinkawa (Amorigawa) 4	Apr.3.96	5.90	42.4	132	27.0	92.5	62.6	2.11	100	58.9	833
O	Anraku 1	Apr.3.96	5.75	37.6	107	24.4	68.6	48.5	3.15	86.0	45.2	628
	Anraku 2	Apr.3.96	6.39	49.0	176	29.6	107	56.7	1.05	100	65.6	967
	Anraku 3	Apr.3.96	6.15	49.0	190	36.6	129	73.4	2.06	117	75.5	1110
p	Myouken 1	Apr.3.96	6.22	43.8	202	31.1	132	75.6	1.74	123	103	1100
	Myouken 2	Apr.3.96	6.36	37.8	182	12.5	80.9	43.9	1.32	87.0	41.1	833
	Myouken 3	Apr.3.96	6.18	32.2	98.7	17.0	68.6	41.3	1.49	56.5	69.5	563
	Myouken 4	Dec.10.98	6.52	42.5	162	22.5	82.8	42.1	2.59	86.7	59.0	879
Q	Ramune 1	Apr.3.96	6.68	49.3	277	26.0	57.0	44.4	1.13	97.0	15.0	1080
	Ramune 2	Apr.3.96	6.46	38.5	287	15.8	119	75.5	2.14	163	54.8	1300
	Ramune 3	Apr.3.96	6.87	46.9	269	21.2	48.3	52.2	0.67	101	16.4	1050
	Ramune 4	Apr.3.96	6.50	31.6	159	8.09	68.6	43.1	2.26	86.5	28.0	753
R	Hinatayama 1	Apr.3.96	7.38	41.0	231	3.34	4.07	4.30	0.18	31.5	6.60	638
	Hinatayama 2	Apr.3.96	7.38	38.0	193	15.5	2.19	3.63	0.15	46.5	10.8	520
	Hinatayama 3	Jun.29.98	7.27	38.2	258	22.1	6.05	3.98	0.13	53.6	20.1	615
	Hinatayama 4	Jun.29.98	7.56	49.5	280	23.6	7.14	6.19	0.15	140	28.0	518
	Hinatayama 5	Jun.29.98	7.62	42.4	227	21.9	5.74	4.14	0.12	50.3	13.8	545
	Hinatayama 6	Jun.29.98	7.48	50.9	274	30.5	10.4	5.79	0.35	177	37.2	451
S	Himegi 1	Jun.29.98	7.46	50.2	334	35.1	4.83	2.35	0.21	83.2	17.2	724
	Himegi 2	Jun.29.98	8.33	41.2	161	10.4	1.84	0.45	0.12	59.1	20.7	314
	Himegi 3	Jun.29.98	8.19	45.9	263	31.3	4.55	1.80	0.14	98.3	24.8	609
	Himegi 4	Jun.29.98	8.15	46.1	273	24.7	4.74	2.56	0.15	55.6	13.9	609

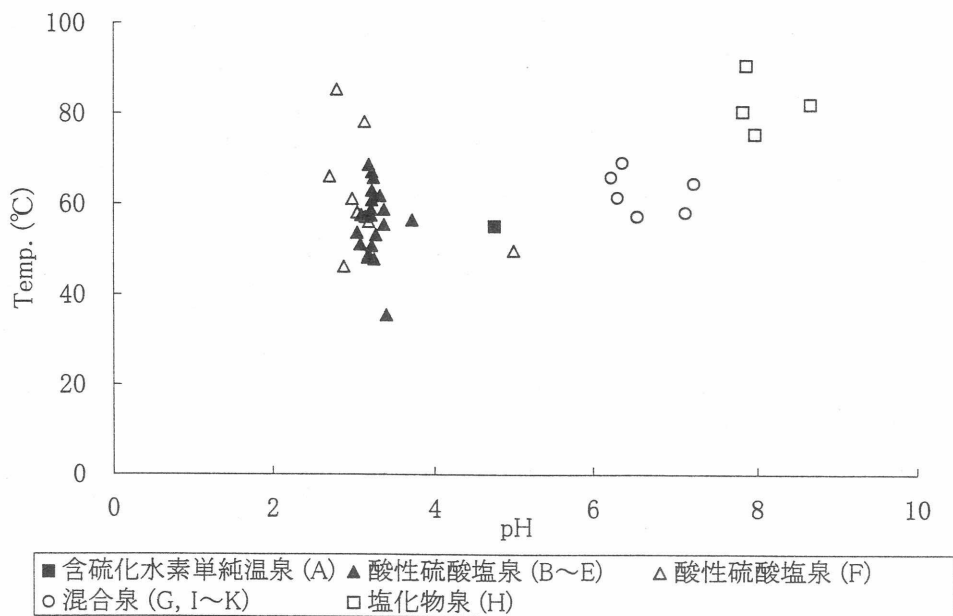


Fig. 2 Relationship between pH and water temperature of hot spring waters in the Kirishima volcanic area.

地表までもたらされているものと考えられる。

次に、新湯温泉(A)より低地に自然湧出している、明礬温泉(B)、林田温泉(C)、栄之尾温泉(D)、湯川温泉(E)、硫黄谷下(F)の温泉は、いずれも酸性硫酸塩泉である。これらの温泉付近一帯は粘土化変質帯で透水性が悪く、地表水が地表あるいは地下の浅い所で噴気ガスによって加熱生成される温泉である。したがって、降水の多寡による泉温及び湧出量の変動が大きい。明礬温泉(B)の温度変化を Fig. 3に示す。泉温は一定せず、季節的に大きく変動している。

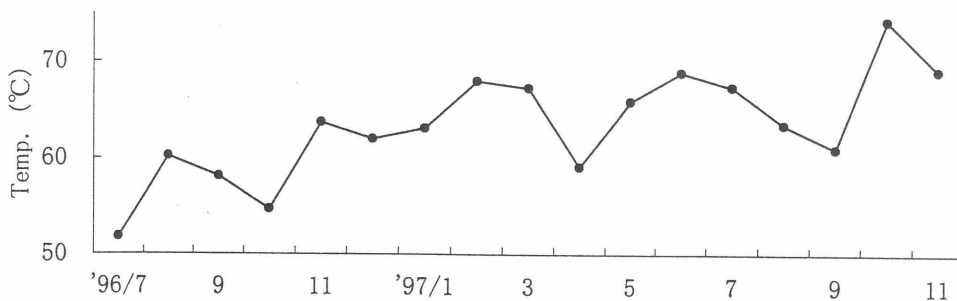


Fig. 3 Changes of water temperature of hot spring waters in the Myouban spring.

明礬温泉(B)、林田温泉(C)、栄之尾温泉(D)、湯川温泉(E)はpHが3.0~3.8で、硫酸イオン濃度は150~300 mg/lの酸性硫酸塩泉である。塩化物イオン濃度は11.0~26.5 mg/lであり、硫酸イオン

濃度に比べて低い。

明礬温泉(B), 林田温泉(C)などの低地寄りに位置する硫黄谷下の温泉(F)はpHが2.7~5.0で, 硫酸イオン濃度は78.3~661 mg/lの酸性硫酸塩泉である。塩化物イオン濃度は2~4 mg/lであり, 硫酸イオン濃度に比べて非常に低い。

鹿大りハビリテーションセンター及び薩摩荘の温泉(H)は, 掘削して得た温泉である。これらの温泉は水蒸気, ガスを伴った深部熱水であり, 弱アルカリ性の塩化物泉である。また, 鹿大りハビリテーションセンター及び薩摩荘の温泉から少し離れた温泉(G, I~K)は, 酸性硫酸塩泉と塩化物泉が地表水と混合することによって生じた混合型の温泉と考えられる。

次に, 鹿大りハビリテーションセンター及び薩摩荘の温泉より, 直線距離で約11.5km下流に湧出している新川溪谷地区の温泉(L~Q), また直線距離で約15km下流に湧出している日当山・姫城地区の温泉(R, S)について記述する。

これら両地区の温泉のpHと泉温の関係をFig.4に示す。これらの温泉は, pHが6~7の新川溪谷地区の温泉(L~Q)とpHが7~8の日当山・姫城地区の温泉(R, S)に大別される。しかし, 泉温に関しては, いずれも30~50℃と比較的低い。また, 両地区の温泉の泉温に関しては大きな差異は見られない。

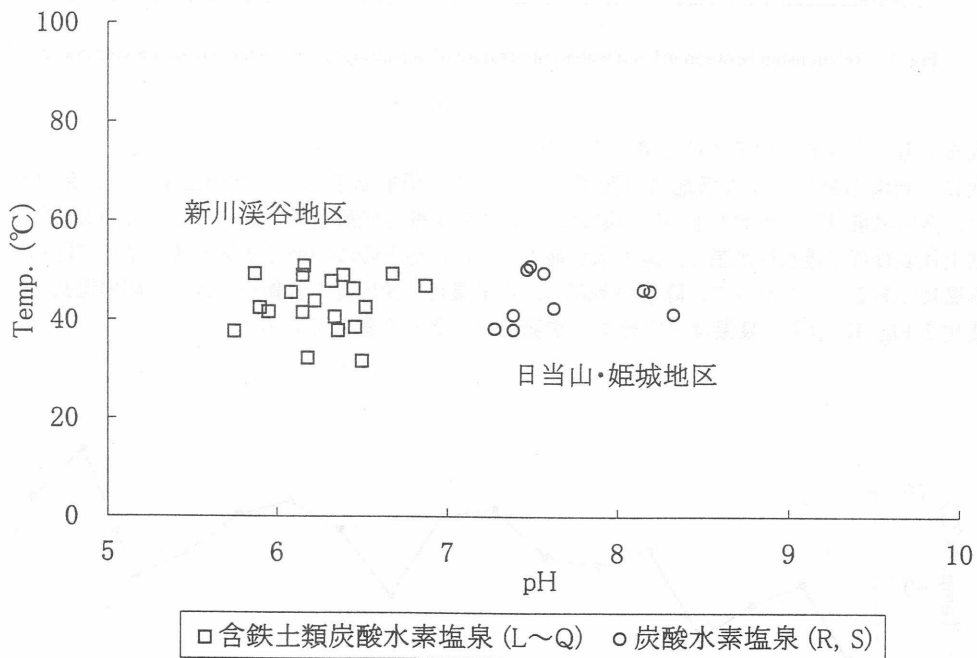


Fig. 4 Relationship between pH and water temperature of hot spring waters in the Shinkawa ravine, Hinatayama-Himegi region.

ラムネ温泉(Q)の泉温と電気伝導度の関係を Fig. 5に示す。泉温は32~34℃, 電気伝導度は125~160 ms/mと, 年間を通してほぼ一定している。したがって, ラムネ温泉(Q)は降水量の影響を受けていないことを示している。

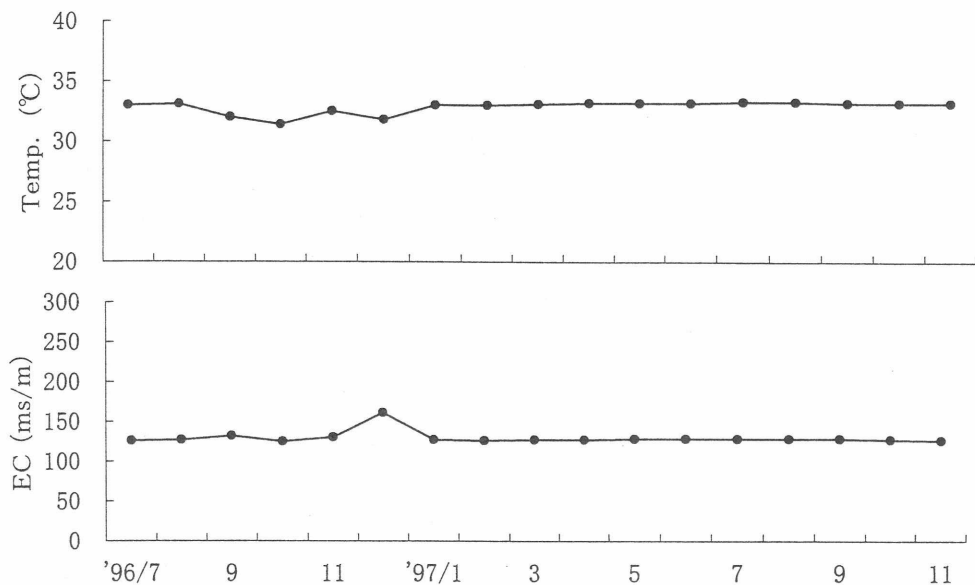


Fig. 5 Changes of water temperature and electric conductivity of hot spring waters in the Ramune spring.

新川渓谷地区(L~Q)及び日当山・姫城地区(R, S)の温泉は、標高の高い場所にある霧島火山地域から湧出する温泉と関連付けて生成機構を説明することができる。すなわち、鹿大リハビリテーションセンター及び薩摩荘の温泉(H)、もしくは、その地下に存在する、溶存物質量の高い、高温・高圧の深部地熱水の一部が流下し、湧出地点までの流動過程で、岩石との相互作用による成分の溶出や成分の沈殿、地下水による希釈などが考えられる。また、炭酸水素イオン濃度の増加は、温泉水が高圧下で二酸化炭素を吸収しながら流下するためと考えられる。自然湧出のラムネ温泉(Q)では、温泉水中からの発泡が認められる。これは、高圧下で溶解していた二酸化炭素が、湧出時には圧力が大気圧まで低下して生じたものと考えられる。これらの温泉は、鹿大リハビリテーションセンター及び薩摩荘の温泉(H)に比べ、一価の陽イオン(ナトリウムイオン、カリウムイオン)濃度は減少し、二価の陽イオン(カルシウムイオン、マグネシウムイオン)濃度及び総鉄イオン濃度は増加している。これらの化学成分変化は、霧島火山地域から流動していく過程での温度低下、岩石との相互作用及び地下水の混入などが複雑にかかわっているものと考えられる。

新川渓谷地区(L~Q)と日当山・姫城地区(R, S)の温泉の泉温は、ほぼ同じである。しかし、pH及び溶存物質量は異なっている。また、二価の陽イオンは、新川渓谷地区の温泉(L~Q)のカルシウムイオン平均濃度が96.8 mg/l、マグネシウムイオン平均濃度が64.2 mg/lであるのに対して、日当山・姫城地区の温泉(R, S)のカルシウムイオン平均濃度は5.15 mg/l、マグネシウムイオン平均濃度は3.52 mg/lと新川渓谷地区の温泉(L~Q)の20分の1程度である。また、新川渓谷地区の温泉(L~Q)の炭酸水素イオン平均濃度は960 mg/lであるのに対して、日当山・姫城地区の温泉(R, S)の炭酸水素イオン平均濃度は554 mg/lと新川渓谷地区の温泉(L~Q)の半分程度である。これらの温泉は、Fig. 1の矢印で示すように、霧島火山地域の温泉の生成系列下にある温泉と考えられる。しかし、地下経路などの条件が異なるため化学成分に違いが現れたと考えられる(Fig. 6)。

以上、霧島火山地域には、Fig. 6に示すように含硫化水素単純温泉(A)、酸性硫酸塩泉(B~F)、塩化物泉(H)と地理的には狭い範囲において様々な温泉が存在し、霧島火山南西部の新川渓谷地区に

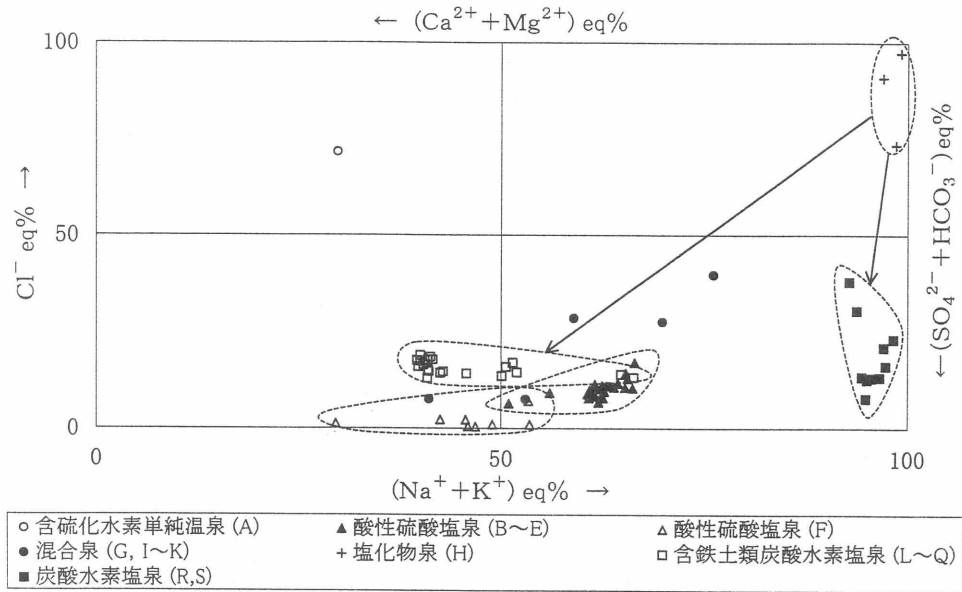


Fig. 6 Chemical element diagram of hot springs in the Kirishima volcanic area and its southwestern area.

は含鉄土類炭酸水素塩泉(L~Q), 日当山・姫城地区には炭酸水素塩泉(R, S)などが分布している。これら一連の温泉生成機構について, Fig. 7に示すように霧島火山南西部地域の温泉流動模式概念図(露木, 1992)が提案されている。しかし, 数km前後の地理的に非常に狭い範囲において, 複数の異なるマグマ溜りがあるとしなければならない地質学及び地球物理学的根拠は無い。

箱根温泉の成因モデル(Oki and Hirano, 1970; 大木・平野, 1972; Oki and Hirano, 1974)をFig. 8に示

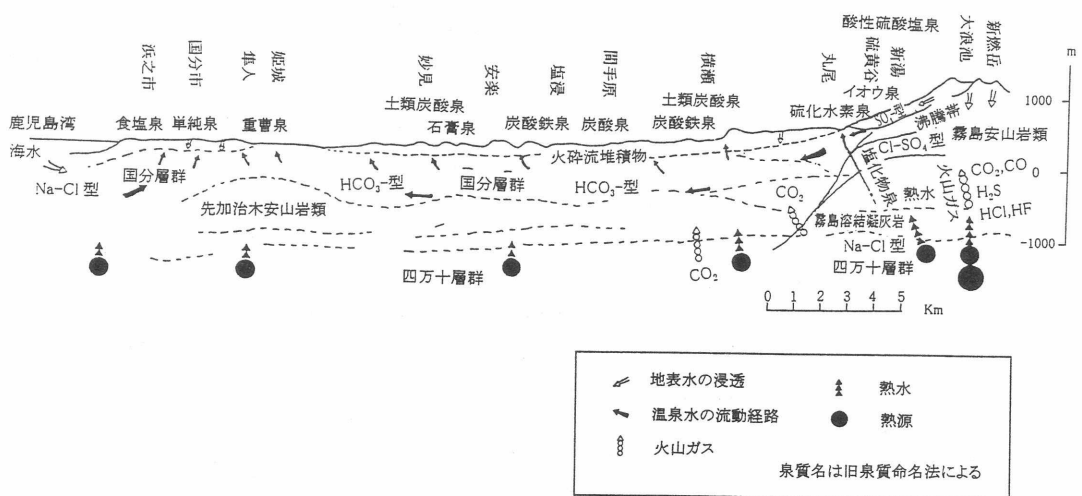


Fig. 7 A flow model chart of hot springs of the southwestern area of the Kirishima volcano (Tsuyuki, 1992).

す。このモデルは、一つのマグマ溜りから供給された成分が順次変化することによって、多種多様な泉質の温泉が生成することを示している。

著者らは、霧島火山地域及びその南西部地域の温泉に箱根温泉の成因モデル (Oki and Hirano, 1970 ; 大木・平野, 1972 ; Oki and Hirano, 1974) を適用し、現存する温泉水の化学組成とその分布状況に基づいて温泉の生成モデルを提案する (Fig. 9)。マグマ溜りから分離して上昇する火山性蒸気の一部は、噴気地帯で大気中に放出され、残りは温泉水中に入って流動する。マグマ溜りからの高温・高圧の蒸気は標高 - 1 km 付近で液化すると考えられている。この付近の深さが水管系の場合、水の臨界圧力 (225.6気圧) 程度になるからである (大木ら, 1972)。液化した深部熱水は塩化物泉 (White, 1957) で、沸騰と液化を繰り返しながら上昇し、深層地下水脈 (帯水層) へ進入する。帯水層へ溶けた塩化物泉は、南西部方面へ少なくとも二つの方向に分かれ、熱水変質作用を及ぼしながら、含鉄土類炭酸水素塩泉や炭酸水素塩泉などが生成すると考えられる。

霧島火山岩類基底部と高温の火山性蒸気が上昇して来る火道とが交わる帯水層上部では、温泉が盛んに沸騰し、ガス相として水蒸気、硫化水素、二酸化炭素などが分離上昇を続ける。また、このように帯水層を離れた蒸気は、局所的な帯水層を貫きながら液化と気化を繰り返す、次第に低圧条件で沸騰が起こる。塩化ナトリウムのような不揮発性成分は温泉水として、系外に流下し、蒸気相中には硫化水素、二酸化炭素のような揮発性成分が濃集するようになると考えられる。

霧島火山地域及びその南西部地域から湧出するまたは掘削した温泉井からの温泉の化学組成とその分布状況から、一つのマグマ溜りからの火山ガスの分化と、高地から低地への温泉水の流動と岩石との反応を考えることによって、これらの地域の異なった泉質の温泉の生成機構を説明できることが分かった。

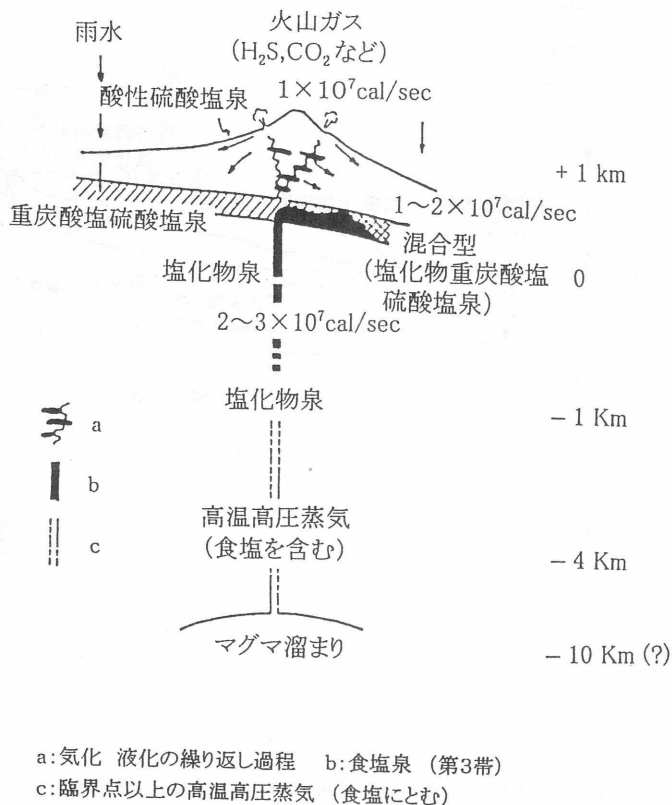


Fig. 8 A schematic presentation of a genetic model for the thermal waters in Hakone geothermal system (Oki and Hirano, 1970, 1972, 1974).

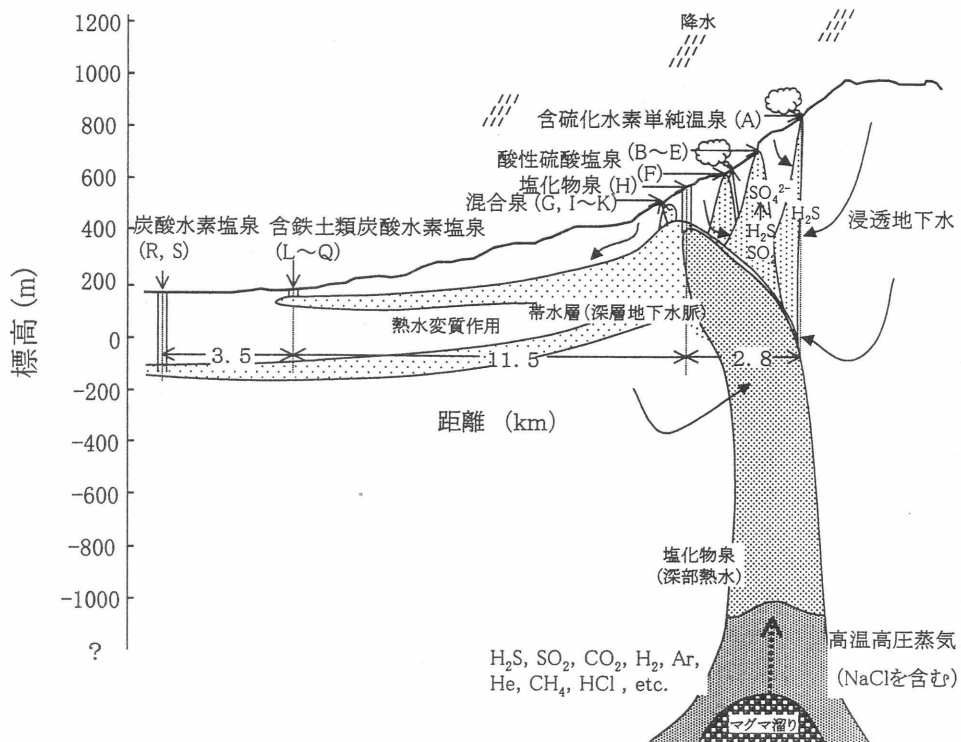


Fig. 9 A schematic generation model of hot springs in the Kirishima volcanic area and its southwestern area.

5. まとめ

霧島火山地域及びその南西部地域の温泉の生成機構は、泉質の異なる温泉の分布状況から、マグマ起源の火山ガスの分化、岩石と熱水の相互作用、高地から低地への温泉水の流動によって、多種多様な温泉の生成を説明できることが分かった。これらの地域の温泉の生成機構は、箱根温泉の生成機構と類似していることが明らかになった。

また、霧島火山の南西部地域の新川渓谷地区及び日当山・姫城地区の温泉は、霧島火山地域の温泉の延長上にあることが分かった。この、新川渓谷地区の温泉と日当山・姫城地区の温泉は溶存化学成分の量と組成が異なることから、少なくとも霧島火山地域の温泉からの二つの流路が考えられる。

(日本温泉科学会第51回大会で発表，平成10年8月22日)

文献

- Iwasaki, I. and Ozawa, T. (1960) : Genesis of Sulfate in Acid Hot spring, Bull.Chem.Soc.Jap., 33, 1018.
 Ohba, T., Nogami, K. and Hirabayashi, J. (1997) : Hydrothermal System of the Kirishima Volcanic Area Inferred from the Chemical and Isotopic Composition of Spring Waters and Fumarolic Gases, Bull.Volcanol.Soc.Japan, 42, 1, 1-15.

- Oki, Y. and Hirano, T. (1970) : Geothermal system of Hakone volcano, *Geothermics, Special Issue 2*, 1157-1166.
- Oki, Y. and Hirano, T. (1974) : Hydrothermal system and seismic activity of Hakone volcano, *The Utilization of Volcanic Energy*, 13-40.
- White, D.E (1957) : Thermal waters of volcanic origin, *Bull.Geol.Soc.Amer.*, 68, 1637-1658.
- 荒卷重雄 (1969) : 鹿児島県国分地域の地質と火砕流堆積物, *地質雑*, 75, 8, 425-442.
- 有田忠雄 (1957) : 加久藤カルデラの提唱, *地質学雑誌*, 53, 433-444.
- 浦上晃一 (1994) : 山形県東根温泉の湧出機構, *温泉科学*, 44, 45-73.
- 浦上晃一 (1995) : 山形県天童温泉の湧出機構, *温泉科学*, 45, 247-267.
- 大木靖衛, 平野富雄 (1972) : 箱根温泉の湧出機構と成因, *地熱*, 9, 1, 15-27.
- 黒川達爾雄, 坂元隼雄, 小林哲夫 (1993) : 鹿児島県の温泉, 霧島火山地域の温泉 (その 2), 鹿児島県保健環境部生活衛生課, 1-89.
- 沢村孝之助, 松井和典 (1975) : 5 万分の 1 地質図幅「霧島山」, 地質調査所.
- 露木利貞 (1992) : 九州における温泉と地質—鹿児島県の温泉を中心として—; 露木利貞教授退官記念会編, 九州における温泉と地質, 35-50.
- 露木利貞, 鎌田政明, 黒川達爾雄, 大迫陽一 (1966) : 鹿児島県の温泉, 霧島火山地域の温泉 (その 3), 鹿児島県, 1-66.
- 露木利貞, 黒川達爾雄, 坂元隼雄 (1990) : 鹿児島県の温泉, 霧島火山地域の温泉 (その 1), 鹿児島県, 1-89.
- 波多江信広, 黒川達爾雄, 鎌田政明, 露木利貞, 大迫陽一 (1963) : 鹿児島県の温泉, 霧島火山地域の温泉 (その 1), 鹿児島県, 1-54.
- 波多江信広, 黒川達爾雄, 鎌田政明, 露木利貞, 大迫陽一 (1964) : 鹿児島県の温泉, 霧島火山地域の温泉 (その 2), 鹿児島県, 1-52.
- 松本唯一 (1943) : The four gigantic caldera volcanoes of Kyushu, *Jap.Jour.Geol.Geogr.*, 19, 1-57.
- 山下幸三郎 (1984) : 温泉水中の溶存物質の起源について, *温泉科学*, 35, 20-33.
- 由佐悠紀 (1996) : 温泉の起源 (塩素の起源に関して), *温泉科学*, 46, 105-108.
- 湯原浩三, 江原幸雄, 二子石正雄, 藤光康宏 (1986) : 長崎県小浜温泉の放熱量と湧出機構, *温泉科学*, 37, 20-31.
- 吉田裕 (1982) : 北海道濁川温泉の湧出機構, *温泉科学*, 33, 24-36.