

霧島火山地域および新川溪谷地区の温泉の分布と化学成分の経時変化

著者	藤田 俊一, 坂元 隼雄, 桐山 哲也, 富安 卓滋
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要=Reports of the Faculty of Science, Kagoshima University
巻	32
ページ	55-66
別言語のタイトル	Distribution and Change of Chemical Components of Hot Spring waters of the Kirishima volcanic area and the Shinkawa ravine
URL	http://hdl.handle.net/10232/00006981

霧島火山地域および新川溪谷地区の温泉の分布と化学成分の経時変化

藤田 俊一¹・坂元 隼雄¹・桐山 哲也²・富安 卓滋¹

(1999年9月10日受理)

Distribution and Change of Chemical Components of Hot Spring waters of the Kirishima volcanic area and the Shinkawa ravine

Syunichi FUJITA¹, Hayao SAKAMOTO¹, Tetsuya KIRIYAMA², Takashi TOMIYASU¹

Keywords: Hot spring, Chemical composition, Geochemical temperature

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 in the southwestern periphery of the Kirishima volcanic area.

We investigated change of chemical components of hot spring water during the period from July in 1996 to November in 1997.

1. 緒 言

温泉水中の化学成分は時間的に変化する例が知られている。その原因にはいろいろあるが、湧出量の変化に伴うものがある。湧出量の変化を起こす要素には降雨、気圧、海水位、河川水位、湖沼水位、地下水位、揚水状況などがある。これらの時間的変化が温泉水の地下における流動状況に変化を与え、それによって二種以上の温泉水や地下水または海水との混合割合が変化したり、あるいは地中での流速の変化が化学成分の溶出の機構に影響して、結果的に温泉水中の化学成分の時間的変化になってあらわれる。このように、温泉水中の化学成分の時間的変化を詳細に追及することは、その温泉の生成機構を推論する有力な手段となると考えられる¹⁾。

そこで、霧島火山地域およびその南西部に位置する新川溪谷地区の温泉(含硫化水素単純温泉、酸性硫酸塩泉および塩化物泉、含鉄土類炭酸水素塩泉)において継続的な調査を行った。

本研究は、これらの温泉の pH、泉温および化学成分

の経時変化について調査した。その結果を報告する。

2. 試料の採取と保存

温泉水試料の採取地点は Fig. 1 に示す。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。陽イオン分析には一定量の塩酸または硝酸を加え約 pH 1 の酸性溶液に調整して用いた。

3. 分析法

分析項目および分析方法是次に示す。Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺: 原子吸光分光分析法、ΣFe: 1, 10-フェナントロリンを用いた吸光光度法、Al³⁺: 8-キノリノールを用いた吸光光度法、SiO₂: モリブデン黄吸光光度法(固体試料はアルカリ融解による重量法)、Cl⁻: チオシアン酸水銀(Ⅱ)法、SO₄²⁻: 比濁法、H⁺、

¹⁾ 鹿児島大学理学部

²⁾ 鹿児島大学教育学部

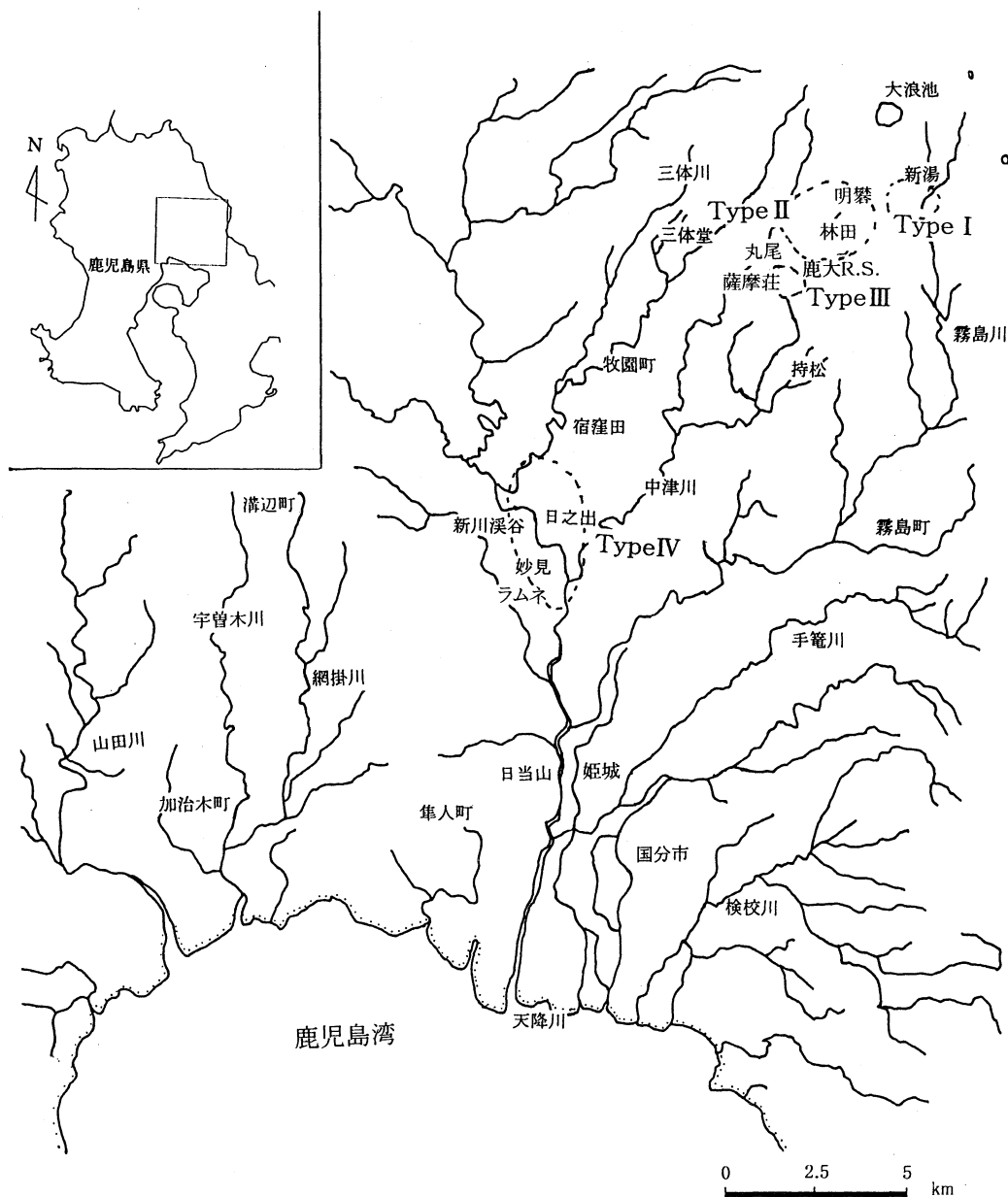


Fig. 1 Map of the Kirishima volcanic area and the Shinkawa ravine, showing the sampling locations of hot spring waters.

HCO_3^- : 塩酸もしくは炭酸ナトリウムを用いた中和滴定法。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と新川溪谷地区の温泉の化学組成は Table 1 に示す。

これらの温泉は代表される化学成分は 4. 1. に示す 4 つの温泉群に分類できる。

4. 1. 各温泉群の特徴

Type I [含硫化水素単純温泉]

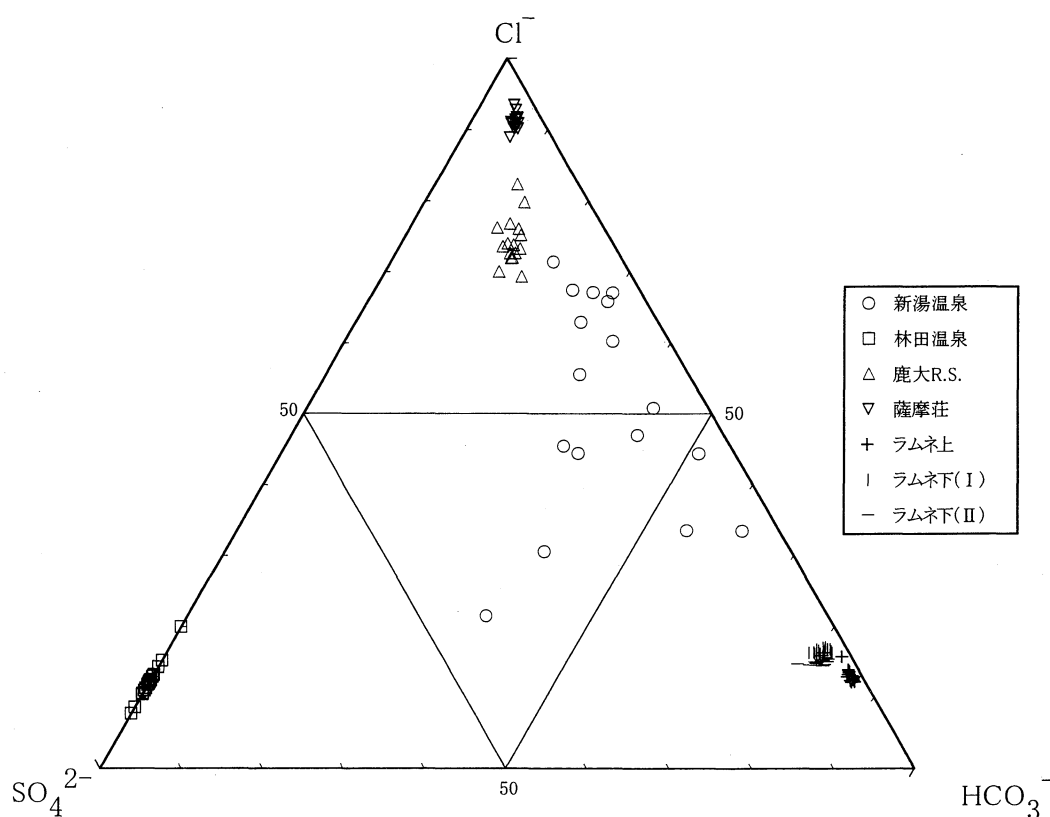
新湯温泉は標高約 820m の場所にある。ボーリング孔から得られた噴気ガスに沢水を注入した人工の温泉であり、周辺には噴気ガスを噴出する硫気孔が多数存在する。溶存物質量は極めて少ないが、硫化水素濃度は 15.2 ~ 19.2 mg/ℓ と比較的高い。

Type II [酸性硫酸塩泉]

明礬温泉および林田温泉は、標高約 710m の所から自

Table 1 Chemical compositions of the waters collected from the hot springs in the Kirishima volcanic area and the Shinkawa ravine. (*The values for the sample collected to September 1995)

温泉名	Type I 新湯温泉	Type II 明礬温泉	林田温泉	Type III 鹿大R.S.	薩摩荘	Type IV ラムネ上	ラムネ下(I)	ラムネ下(II)
pH	4.80	3.08	3.06	7.89	7.60	6.61	6.19	6.21
Temp. [°C]	51.5	63.4	61.8	80.4	72.1	51.5	40.4	32.9
E.C. [mg/m]	7.39	77.1	72.0	229	455	171	220	129
H ⁺ [mg/l]	—	0.68*	0.72	—	—	—	—	—
Na ⁺ [mg/l]	3.31	35.2*	39.2	407	779	277	293	163
K ⁺ [mg/l]	1.15	26.9*	22.7	36.4	171	25.2	15.9	8.74
Mg ²⁺ [mg/l]	1.63	6.97*	8.22	<0.02	<0.02	42.6	71.8	42.0
Ca ²⁺ [mg/l]	5.13	11.1*	16.5	10.1	12.4	58.9	124	70.7
ΣFe [mg/l]	0.04	2.06*	0.43	0.03	0.20	1.20	2.55	2.56
Al ³⁺ [mg/l]	0.04	2.06*	2.27	0.04	<0.02	<0.02	0.02	0.02
Cl ⁻ [mg/l]	36.3	26.5*	24.3	533	1300	97.8	160	84.2
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	10.7	175*	240	117	69.0	14.0	44.6	32.0
SiO ₂ [mg/l]	22.0	152*	122	116	116	143	109	94.7
HCO ₃ ⁻ [mg/l]	38.6	—	—	165	135	1110	1360	783

Fig. 2 Triangular diagram of Cl⁻, SO₄²⁻ and HCO₃⁻ for the hot spring waters in molar basis in the Kirishima volcanic area and the Shinkawa ravine.

然湧出する温泉である。その pH は 3 程度であり、硫酸イオン濃度は 240 mg/ℓ 前後の塩化物イオンの少ない硫酸イオン卓越型の温泉である (Fig. 2)。

Type III [塩化物泉]

丸尾地区の鹿大リハビリテーションセンターおよび薩摩荘の温泉は標高約 600m の場所にある。これらの温泉は、人工的に掘削して得た噴気ガスもしくは熱水を利用

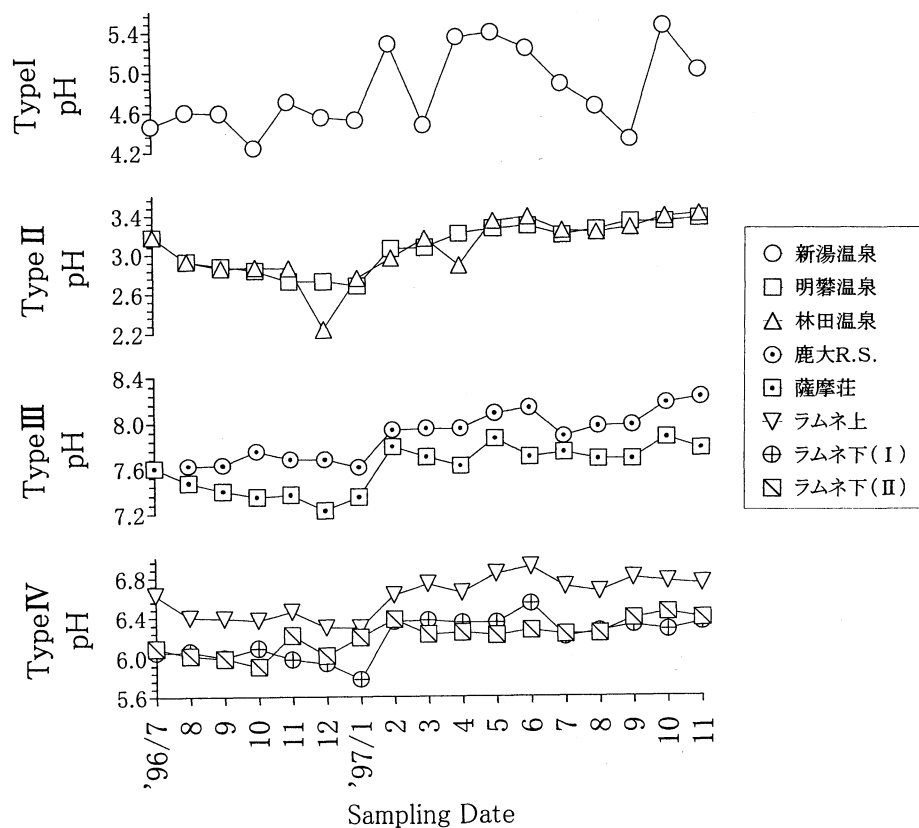


Fig. 3-1 Changes of pH of hot spring waters in the Kirishima volcanic area and the Shinkawa ravine.

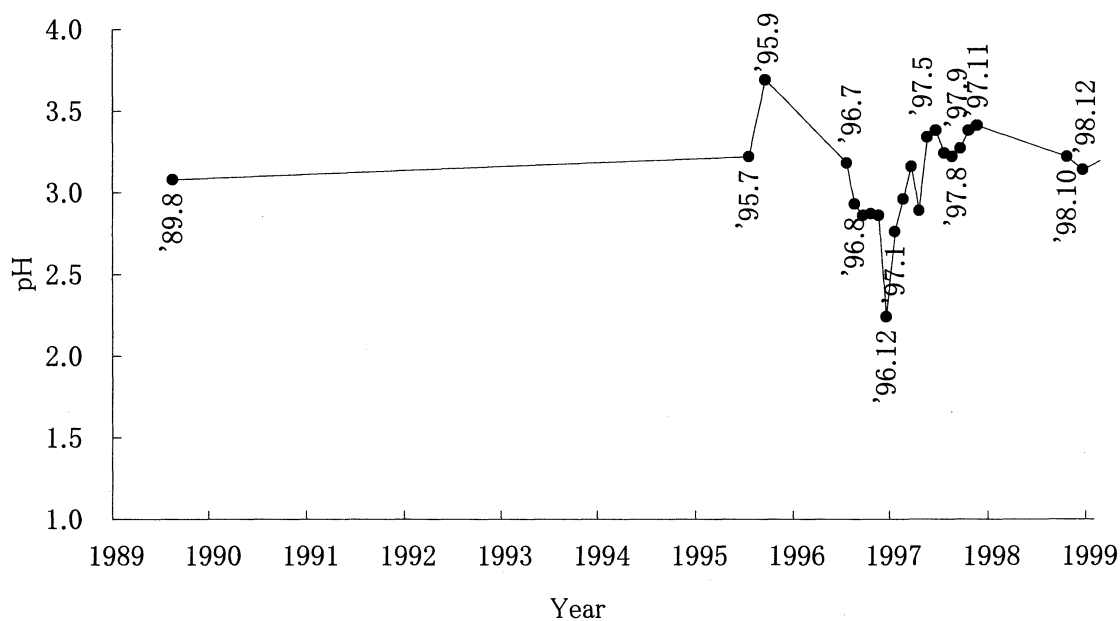


Fig. 3-2 Changes of pH of hot spring waters in the Hayashida Spring. The data in 1989 were measured by Tuyuki et al. (1990)

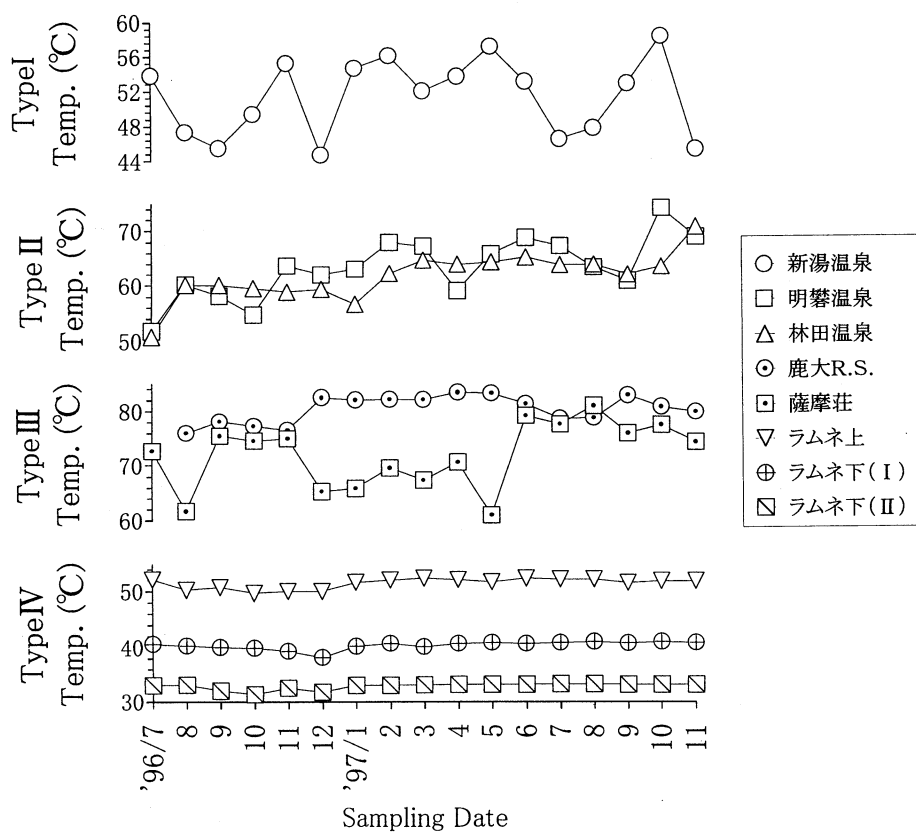


Fig. 4-1 Changes of water temperature of hot spring waters in the Kirishima volcanic area and the Shinkawa ravine.

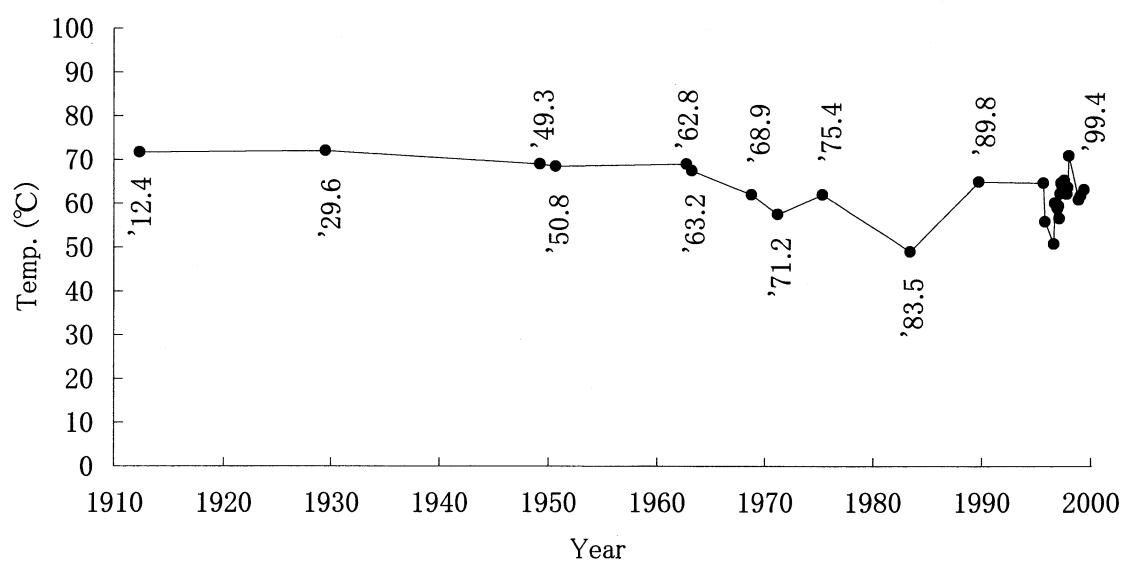


Fig. 4-2 Changes of water temperature of hot spring waters in the Hayashida Spring. The data in 1912-1989 were measured by Tuyuki et al. (1990)

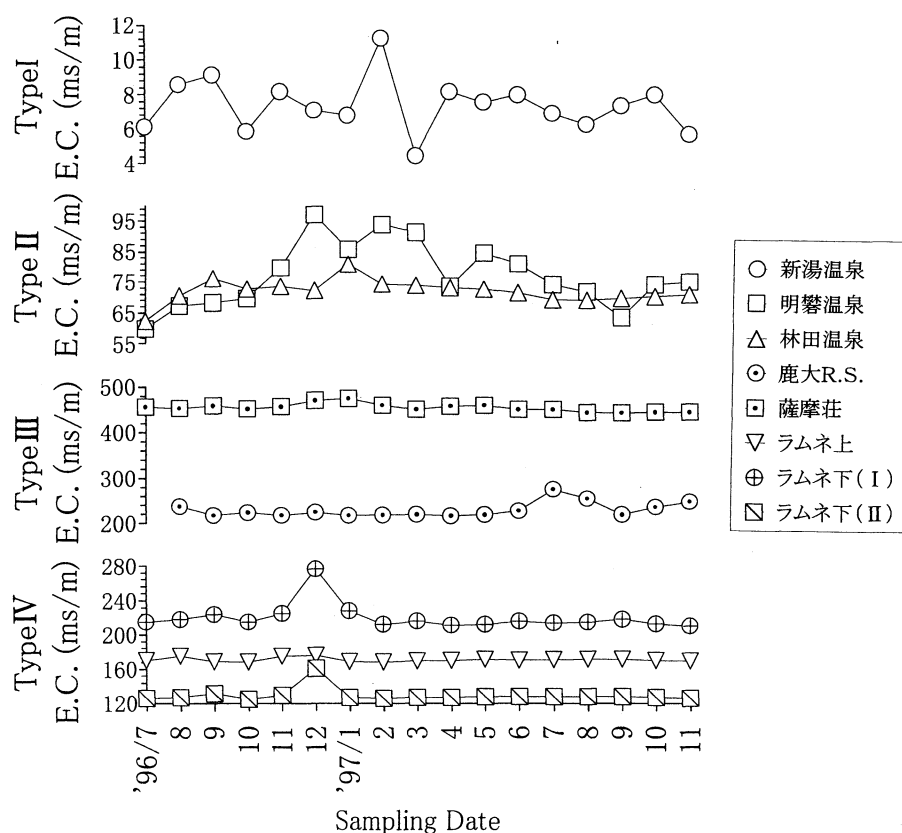


Fig. 5 Changes of electric conductivity of hot spring waters in the Kirishima volcanic area and the Shinkawa ravine.

した温泉である。噴気ガスに伴って深部熱水を伴ってくるため、pHは7.60~7.89の中性から弱アルカリ性で、塩化物イオン濃度は533~1300 mg/ℓの塩化物イオン卓越型の温泉である (Fig. 2)。薩摩荘の温泉の湧出口付近には白い結晶 (純度95%以上のSiO₂) が付着している。

Type IV [含鉄土類炭酸水素塩泉]

新川溪谷地区から湧出しているラムネ温泉は、標高約170mの場所にある。これらの温泉は自然湧出または掘削されたボーリング孔から湧出している。炭酸水素イオン濃度は783~1360 mg/ℓの炭酸水素イオン卓越型の温泉である (Fig. 2)。また、溪谷から湧出する温泉水中からは炭酸ガスの発泡が認められる。

霧島火山地域の温泉は、標高の高い温泉ほど泉温が低くなる傾向にある。(Type I : 51.5℃ < Type II : 61.8 ~ 63.4℃ < Type III : 72.1 ~ 80.4℃)。

また、これらの温泉の主要陰イオンの三角組成 (%)

グラフを Fig. 2 に示す。

4. 2. pH, 泉温及び電気伝導度の経時変化

pHの経時変化は Fig. 3-1 に示す。新湯温泉は噴気ガスに沢水を注入し造成した造成型温泉である。注入する水の量に人工的な要素が加わるため、pHには不規則な変動がみられる。明礬温泉および林田温泉のpHは不規則な変動がみられる。また、Type IIIの温泉とType IVの温泉はpHの経時変化が類似している。例えば、1997年1月から2月にはpHの上昇がみられる。林田温泉のpHの経年変化を Fig. 3-2 に示す。1996年12月にpHは大きく低下するが、すぐに以前の状態に戻っている。

泉温の経時変化は Fig. 4-1 に示す。Type IIの明礬温泉および林田温泉の泉温には不規則な変動がみられる。これらの温泉が湧出する付近一帯は粘土変質帯で透水性が悪く、降水や地表水の地下浸透率が少ない²⁾ため、地表あるいは地下の浅い所で噴気もしくは地熱により加熱された温泉である。よって、降水量の多寡による

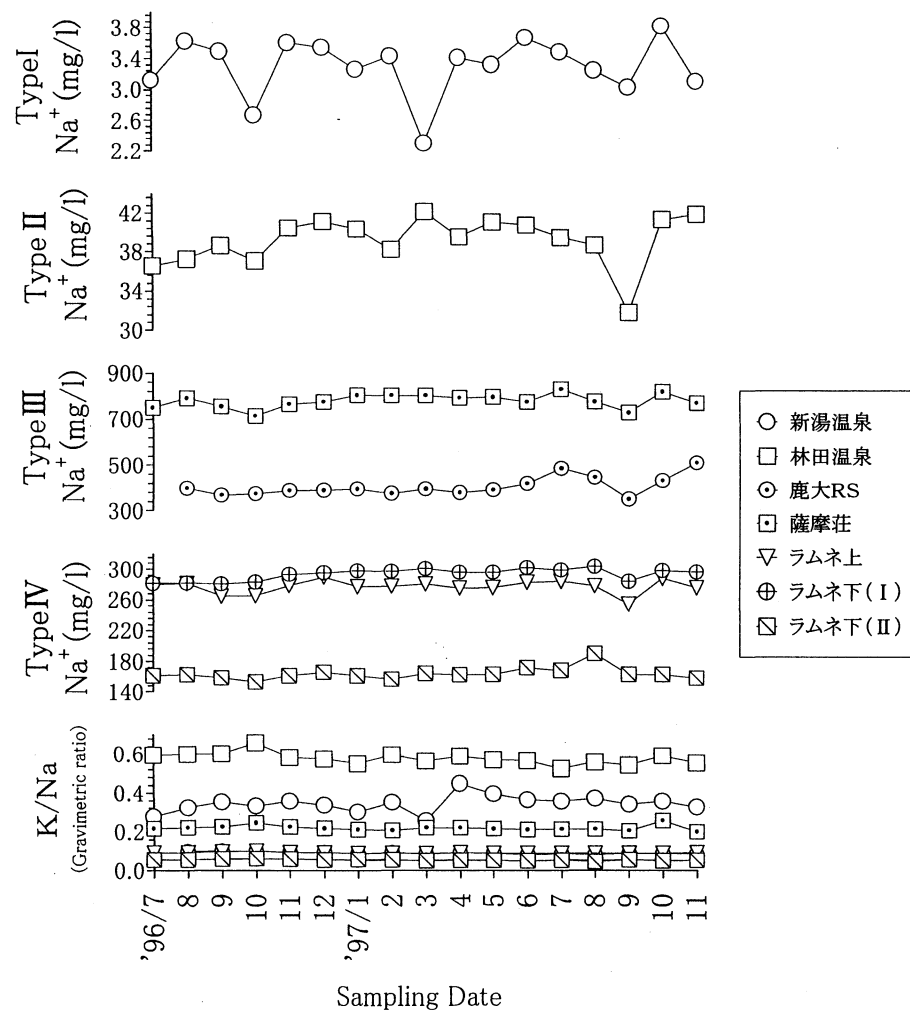


Fig. 6 Changes of Na and K/Na ratios of hot spring waters in the Kirishima volcanic area and the Shinkawa ravine.

泉温の変化が大きい。また、Type II の温泉の泉温は上昇傾向にある。全体的に見ると明礬温泉は1ヶ月あたり0.81℃の温度上昇、林田温泉は1ヶ月あたり0.68℃の温度上昇がみられる。林田温泉の泉温の経年変化はFig. 4-2に示す。これからは、調査時期の1996年7月から1997年の11月に泉温の上昇が局所的にみられただけで、年間を通してみるとそれほど大きな変動はない。また、Type IV の温泉の泉温は、ほとんど変動しない。よって、これらの温泉は降水量の影響を受けないと考えられる。

電気伝導度の経時変化はFig. 5に示す。Type III 及びType IV の温泉の電気伝導度は、ほとんど変動しない。

4. 3 化学成分の経時変化

ナトリウムイオン濃度の経時変化とK/Na (重量比) の経時変化はFig. 6に示す。Type II, III, IV の温泉のK/Na (重量比) はほとんど変動がない。K/Na (重量比) の最大値は0.58程度のType II の林田温泉で、K/Na (重量比) の最小値は0.05程度のType IV のラムネ下 (II) の温泉である。

カルシウムイオン濃度の経時変化とMg/Ca (重量比) の経時変化はFig. 7に示す。Type II の林田温泉とType III の鹿大リハビリテーションセンターの温泉は、1997年9月にカルシウムイオン濃度の低下がみられるが、Fig. 6に示したナトリウムイオン濃度の低下がみられる時期と重なる。また、Type II, IV の温泉のMg/Ca (重量比) はほとんど変動がない。Type III の鹿大リハビリテーションセンターおよび薩摩荘の温泉のMg/Ca (重量比) が非常に低いのは、高温下での熱水-岩石の

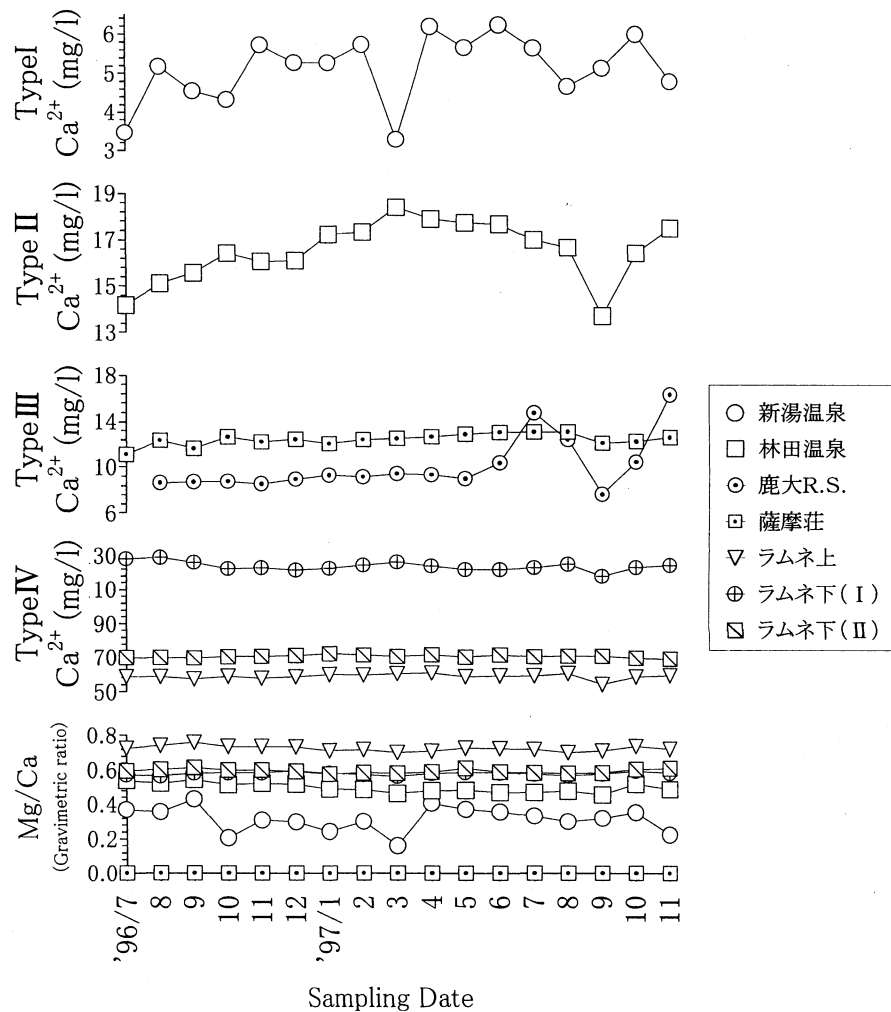


Fig. 7 Changes of Ca and Mg/Ca ratios of hot spring waters in the Kirishima volcanic area and the Shinkawa ravine.

相互作用によって、マグネシウムが岩石中に取り込まれたためと考えられる。

塩化物イオン濃度の経時変化は Fig. 8-1 に、 Cl/SO_4 (重量比) および HCO_3/Cl (重量比) の経時変化は Fig. 8-2 に示す。Type II の林田温泉の塩化物イオン濃度は1996年7月から1997年4月まで変動が大きい、それ以降は変動がない。Type II の林田温泉は硫酸イオン卓越型の温泉なので、 Cl/SO_4 (重量比) の値は0.10程度と非常に小さいが、その値は一定している。Type II, III, IV の温泉でも Cl/SO_4 (重量比) の変化は小さい。よって火山ガスあるいは熱水-岩石相互作用により生じるこれらの化学成分は地下から定常的に供給されているものと考えられる。また、 HCO_3/Cl (重量比) の変化も Type I の新湯温泉で大きい、Type II, IV の温泉の HCO_3/Cl (重量比) の変化は小さい。Type

II の林田温泉は pH が3程度と酸性度が高いため炭酸水素イオンを含まない。一方、ラムネ温泉は炭酸水素イオン卓越型の温泉であるので HCO_3/Cl (重量比) の値は8.5~11.4程度と大きく、その値は一定している。

4. 3 地化学温度の経時変化

温泉水の化学組成をもとに、地化学温度計を用いて推定した地下の熱水温度の経時変化を Fig. 9-1, Fig. 9-2 に示す。林田温泉および鹿大リハビリテーションセンター、薩摩荘ではシリカ (adial) 温度が貯留層温度を示すと考えられ、 HCO_3 型のラムネ温泉ではシリカ (カルセドニー) 温度が貯留層温度を示すと考えられる²⁾。

新湯温泉の Na-K-Ca 温度は17.3~31.5℃であり変動が大きい。林田温泉のシリカ温度は132~157℃であり変動が認められるが、Na-K-Ca 温度は116~129℃

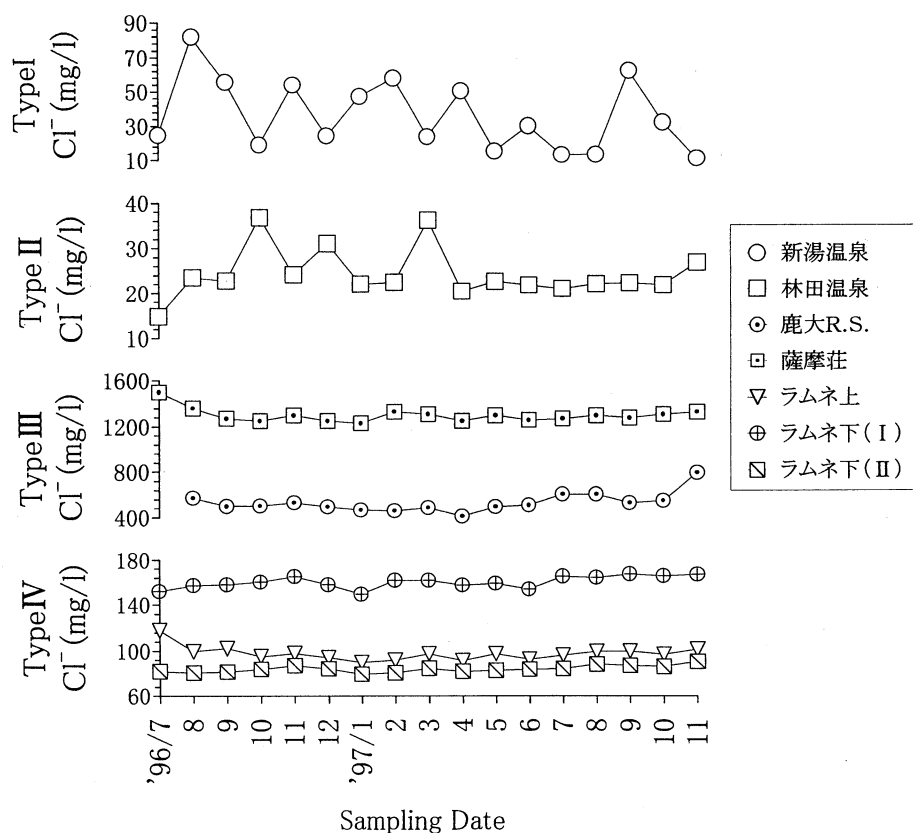


Fig. 8-1 Changes of Cl of hot spring waters in the Kirishima volcanic area and the Shinkawa ravine.

であり変動は小さい。鹿大リハビリテーションセンターの温泉のシリカ温度は125～151℃であり変動が認められ、特に1997年3月に減少傾向がみられる。しかし、Na-K-Ca温度の方は198～213℃であり一定している。薩摩荘の温泉のシリカ温度は124～151℃と鹿大リハビリテーションセンターの温泉と同程度である。しかし、薩摩荘の温泉のNa-K-Ca温度は313～350℃であり、鹿大リハビリセンターの温泉より100℃ほど高い。これらの結果から、薩摩荘および鹿大リハビリテーションセンターの地下深部には、高温の地熱流体が存在すると考えられる。ラムネ上の温泉のシリカ温度は106～144℃、Na-K-Ca温度は117～123℃であり、シリカ温度とNa-K-Ca温度は同じくらいの温度を示す。ラムネ下(I)の温泉のシリカ温度は100～126℃、Na-K-Ca温度は84.4～88.2℃を示す。ラムネ下(II)の温泉のシリカ温度は88.0～115℃、Na-K-Ca温度は69.5～74.0℃を示す。

5. まとめ

Type I の新湯温泉の pH, 泉温及び電気伝導度, 化学成分は大きく変動する。この変動は火山ガスあるいは熱水と岩石との相互作用によって生じる各成分の化学平衡状態, 注入する水の量や湧出経路なども考慮しなければ説明できない。

Type II の温泉の pH, 泉温及び電気伝導度, 化学成分には不規則な変動がみられるが, K/Na, Mg/Ca, Cl/SO₄, HCO₃/Cl (重量比) には変動がみられない。よって, pH, 泉温及び電気伝導度, 化学成分の変動は降水量などの寄与によると考えられる。

Type III の温泉の pH, 泉温, 電気伝導度及び化学成分にはほとんど変動がみられない。よって, 降水による影響がほとんどなく, 地下水などの混入があったとしても, その混入割合は常に一定であると考えられる。

Type I, II, III の温泉は霧島火山を中心とした火山発散物—火山ガスの分化という立場から説明される⁴⁾⁵⁾。Type IV の温泉は Type III の温泉, もしくは,

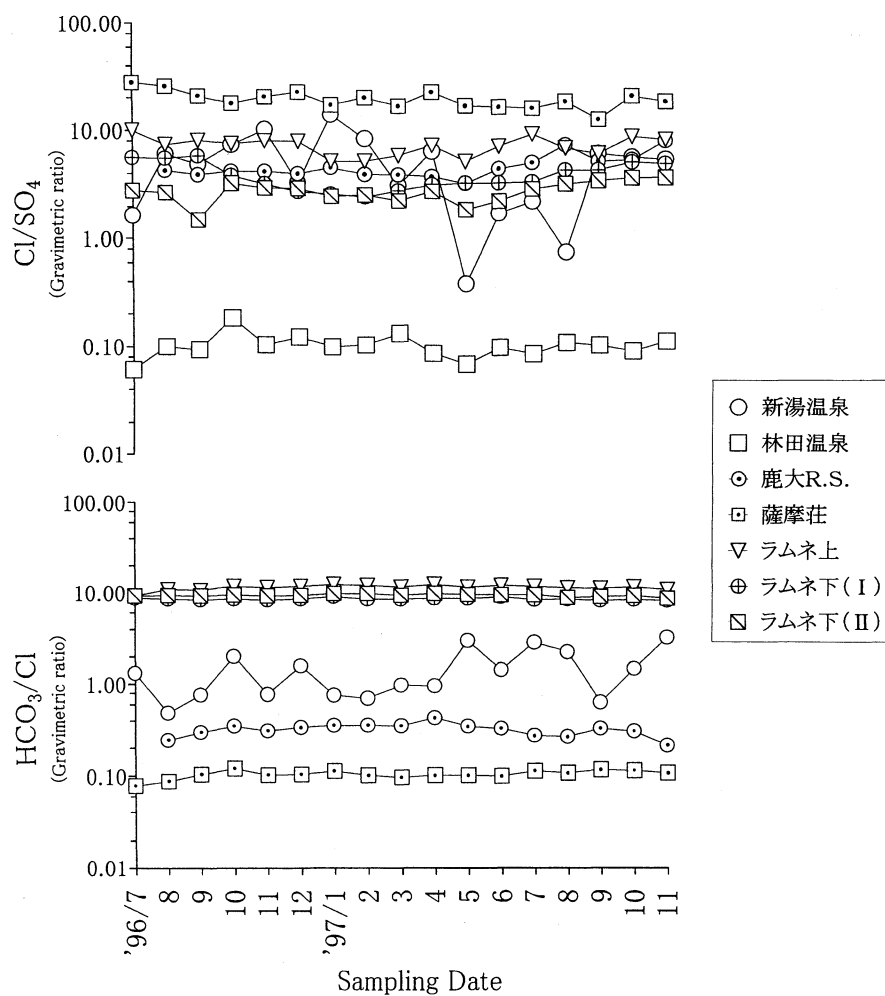


Fig. 8-2 Changes of electric conductivity of hot spring waters in the Kirishima volcanic area and the Shinkawa ravine.

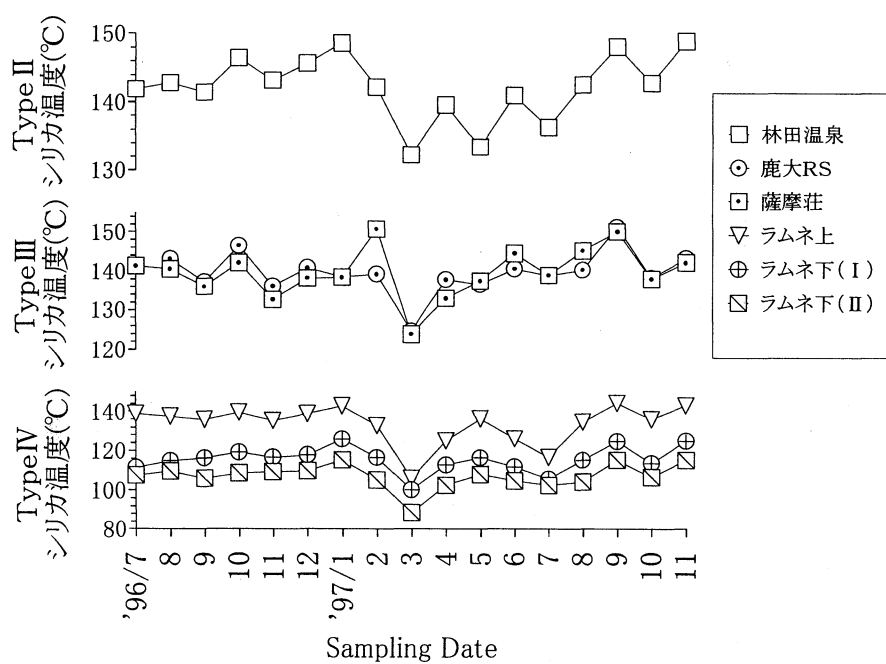


Fig. 9-1 Changes of SiO_2 temperature of hot spring waters in the Kirishima volcanic area and the Shinkawa ravine.

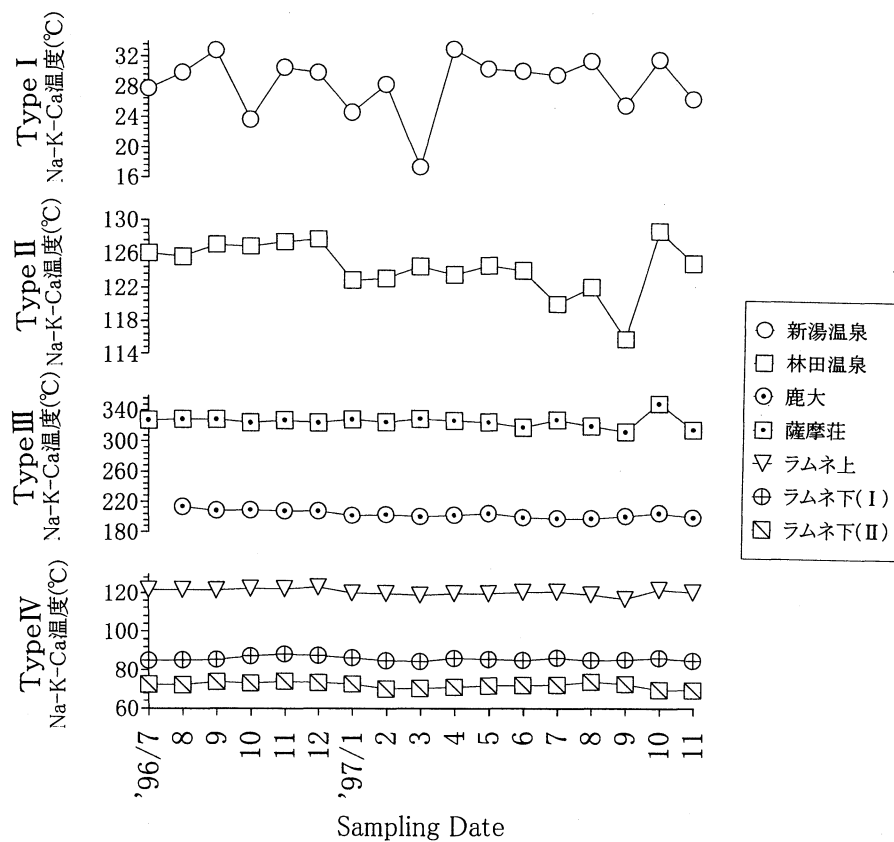


Fig. 9-2 Changes of Na-K-Ca temperature of hot spring waters in the Kirishima volcanic area and the Shinkawa ravine.

その地下に存在する溶存物質の多い、高温・高圧の深部地熱水と関連づけて説明できる⁶⁾。この湧出地点までの流動過程では、熱水変質作用（熱水と岩石との相互作用）によって化学成分に違いがあらわれるが、それぞれの化学成分は温度変化がなければ定常的に供給されるので化学成分比には変動がみられない。

文 献

- 1) 湯原浩三, 瀬野錦蔵 (1969): 温泉学, 地人書館, 177-181.
- 2) 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.

- 3) 新エネルギー総合開発機構 (1987): 地熱調査成果図集, 火山性熱水対流系地域タイプ② (国分地域), 64-65.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 藤田俊一, 坂元隼雄, 桐山哲也 (1998): 鹿児島県霧島地域の温泉の地球化学的研究, 第51回 日本温泉科学会大会講演要旨集, 31.