

九州地方における温泉の地質学的研究(第5報) 鹿児島地溝内の温泉-特に温泉貯留体について

著者	露木 利貞
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	2
ページ	85-101
別言語のタイトル	Geological Study of hot Springs in Kyushu, Japan(5) Some Hot Springs in the Kagoshima Graben, with Special Reference to Thermal Water Reservoir
URL	http://hdl.handle.net/10232/00006914

九州地方における温泉の地質学的研究（第5報）

鹿児島地溝内の温泉——特に温泉貯留体について

露 木 利 貞

Geological Study of Hot Springs in Kyushu, Japan (5)

Some Hot Springs in the Kagoshima Graben, with Special Reference to Thermal Water Reservoir.

Toshisada TSUYUKI

The writer has been investigated geologically many of the hot spring localities in Kyushu for the purpose to find relations between geologic structures and hot spring phenomena.

In this paper, the following four hot spring localities in the Kagoshima Graben as shown in Fig. 1 and 2, are treated.

1. Hitoyoshi Hot Springs in the Hitoyoshi Basin
2. Kakuto Hot Springs in the Kakuto Basin
3. Hayato Hot Springs in the Kokubu Plain
4. Kagoshima Hot Springs in the Kagoshima Plain

Kagoshima Bay, situated at the central part of South Kyushu, enters northwards with rather monotonous coast lines. Matsumoto (1943) recognized two gigantic caldera volcanoes, Ata and Aira, and described that steep cliff-sides of the Bay correspond to caldera walls and fault lines. So, it can be expressed that Kagoshima Bay is one of the grabens formed by tectonic faults stretching in nearly N-S direction.

As shown in Fig. 1 and 2, the extending direction of the Kagoshima Graben intersects obliquely the general structural trend of the basement complex in Palaeozoic, Mesozoic or Palaeogene Age. The northern extent of the Graben is not clear morphologically, but it is assumed by several evidences, that the Graben extends northward at least to the Hitoyoshi Basin passing through the Kokubu Plain and the Kakuto Basin. In this Graben, there erupt many active volcanoes, namely Kirishima Volcano group, Sakurajima, and Kaimondake. It is an interesting fact that the distribution of hot springs in the central part of South Kyushu, are restricted to the Kagoshima Graben.

Remarks on the four hot spring localities treated in the present paper are listed in Table 1. As shown in the table, these hot springs have several common characteristics as follows.

(1) Hot springs are issuing in the basins and plains in Kagoshima Graben. Each hot spring locality has forty to a hundred drilling wells scattering very wide extent.

(2) Each hot spring locality has two thermal water reservoirs, the lower primary reservoir in older rocks and the upper secondary one in younger sedimentary rocks. Especially the latter one is more permeable in its character and can reserve large volume of thermal water.

(3) The sedimentary groups in the basins and plains are formed in late Pliocene to middle Pleistocene, and have their unconformable base at about 300 m to 700m below the ground water level.

(4) Being adjacent to these areas, younger volcanic rocks ranging from Pleistocene to Recent are recognized covering the lower sedimentary groups.

(5) Temperatures of the hot springs are almost 40° to 60°C and classified into sodium bicarbonate spring except some brine ones near the sea coat.

(6) Thermal waters in these hot spring regions have a character which can be referred to as local under-ground water distributed widely in the aquifers of the sedimentary formation.

(8) On the geological point of view, structures of the Kagoshima Graben as well as those of basins and plains, have some favorable conditions to occur and reserve the hot spring water. Faults, cracks and fissures accompanied by the formation of Graben and calderas probably make it easy to migrate upwards the thermal waters. Geothermal gradient of these regions are perhaps greater owing to an effect of younger volcanic activities which can be recognized in these vicinities. Secondary thermal water reservoir in permeable rocks also has several favorable features to keep thermal waters' heat from cooling.

(9) A hot spring has been defined not only its unusual temperature and quality, but also its structure and force bringing the water to the ground surface. But recent improvement of technology for drilling, pumping or heat conservation made it possible to drill man-made spring well over than a thousand meters depth, to bring the bottom water to the ground surface through drilling hole by using compressor or under-water pump. The bottom water thus obtained by artificial ways may be treated as hot spring in Japan, if its temperature is more than 25°C at the ground surface.

Following this definition of hot spring, it may safely be said that there exist another basins and plains with similar geologic conditions which reserve unexploited hot springs.

I ま え が き

温泉は、単に異常な温度や成分をもった天然水ということではなく、その定義のなかには、さらに自然に地表にまで湧出してくるということ、すなわち湧泉機構 (spring structure) をもっていることが一つの条件であった。

それ故に、昔は珍奇なもの、あるいは神聖なものとして重宝がられ、また地下の情報の提供者として、地質学者、地球化学者の興味をよんだのである。

しかるに、近年になって、掘さく、揚水および保温などに関する技術的進歩発達は著しく、boringによって人工的に湧出通路をつくり、圧搾空気・水中モーターポンプなどを用いて、数100 m ないし 1000 数 100 m の地下にある水でも採取することが容易になった。このようにして採取した地下の水でも、地表で25°C以上あれば、本邦では温泉としてとり扱っている。したがって、油田・ガス田における試錐孔からは「温泉」が多数得られる結果になっている。

つまり、元来は油田・ガス田の随伴水は排除し、湧泉 (spring) としての意味を重視してきた温泉であったが、次第にさく井 (drilling well) によって人為的につくられた温泉へと変化してきた。したがって、従来は火山地域や山間の溪谷・海岸などに自然露頭をもって湧きでていた温泉であったが、より良い温泉をより多く採取しようとする要求により、人工井によるものに移行し、本来の湧泉 (spring) の性質をもった温泉は一部の火山・溪谷に僅かに残っているにすぎない。

一方、温泉に対する需要の激増は、掘さく技術の発達と合い俟って、従来温泉のなかった地域にも新しく温泉を湧出させ、掘さく井による温泉数はますます増加する傾向にある。この傾

向は今後ともなおつづくことが予測され、必然的に温泉地数の増加をきたすとともに、一温泉地についていえば、湧出範囲の拡大と掘さく深度の増大という現象をきたしている。

しかし、そのために一方では、既存の温泉地については、多くの掘さくによって、その場所の地質構造、温泉水の地下での賦存状態、温泉水体の形状などが次第に解明されてきた。

今回研究の対象とした南九州地方は、霧島山・桜島・開聞岳など、霧島火山帯に属する新しい火山がみられ、本邦においても温泉密度の大きい地域である。

筆者は、この地域に分布する個々の温泉について、地質学的見地から湧出構造や賦存状況などについて調査研究をすすめてきたが、その過程において、類似した温泉貯留形態をもった温泉群が、類似した地質条件の下に存在していることが明らかとなった。

本報では、特に南九州中部、すなわち鹿児島湾およびその北方延長のいわゆる鹿児島地溝の温泉のなかで、人吉・加久藤・隼人・鹿児島の諸温泉群を例にとり、その賦存形態と地質構造との関係を論じた。

II 鹿児島地溝内に湧出する諸温泉

九州南端の鹿児島湾は比較的単調な海岸線をもって、およそ 80 km 南部から北に湾入している。

松本 (1943) は、湾口に阿多、湾奥に始良と 2 つの巨大なカルデラを認め、湾の両岸の急崖

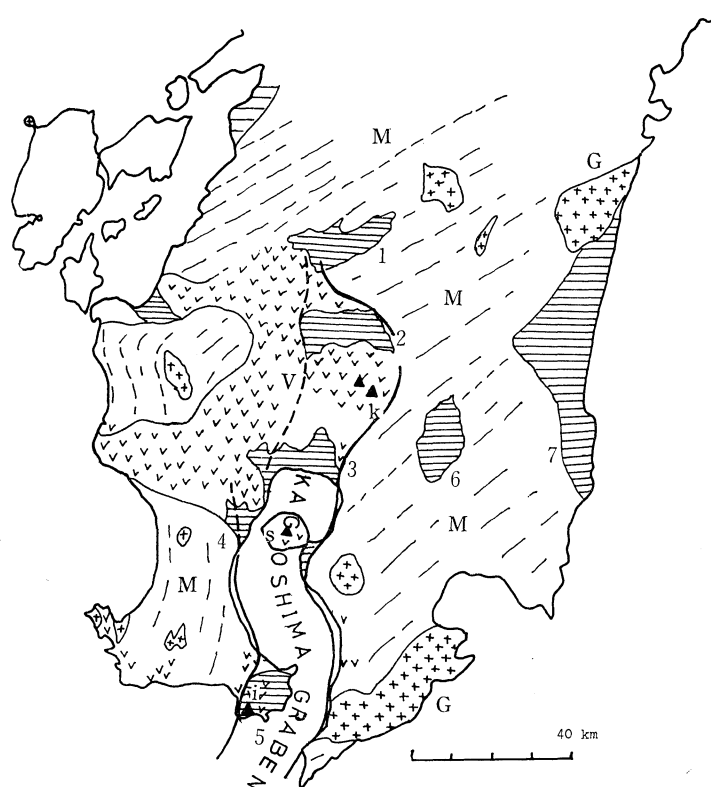


Fig. 1. Geologic sketch map of South Kyushu.

- 1: The Hitoyoshi Basin 2: The Kakuto Basin 3: The Kokubu Plain
 4: The Kagoshima Plain 5: The Ibusuki Plain
 6: The Miyakonojo Basin 7: The Miyazaki Plain
 k: Kirishima Volcano s: Sakurajima Volcano i: Kaimondake Volcano
 M: Basement sedimentary complex of Palaeozoic, Mesozoic and Palaeogene Ages G: Granitic rocks V: Volcanic rocks

は海底地形の特徴からカルデラ壁を含む断層崖であるとした。すなわち、鹿児島湾は、ほぼ南北に平行に延びる正断層によって形成された地溝 (Graben) である。

第1図に示すように、この地溝の延びの方向は、南九州の基底岩類すなわち秩父古生層および四万十層群のもつ NE ないし NEE の主構造方向とは斜交する。またこの地溝の北方延長は地形的には必ずしも明確ではないが、中・古生層の分布、新期火山の分布および平野・盆地の存在などから、図に示す如く、加久藤盆地を経て人吉盆地にまで達するものと考えられる。また加久藤盆地の北縁は加久藤カルデラのカルデラ壁に相当するところであるという。(有田 1957, 荒牧 1969) いわゆる霧島火山帯は鹿児島地溝に沿って走り、霧島火山群・桜島・開聞岳などの活火山を伴っている。

南九州地域は本邦においても、温泉分布密度の大きいところの一つである。第2図は当地域における温泉地の分布を示したものである。この図で明らかのように、その分布は必ずしも均一ではなく、西部および中部に多く、東部には一部にみられるにすぎない。

このうち、東部にある温泉は中新世中期の宮崎層群より湧出するもので宮崎天然ガス田の随伴水というべきものである。本報で論じた中部地区の温泉は図示する如く、地質構造上から認められる鹿児島地溝内に限定された範囲に湧出していることが著しい特徴である。ただし、この範囲内の温泉のなかでも、霧島火山群・桜島・開聞岳およびその周辺のもの、極めて新しい時代の火山活動に由来した地熱変質帯に伴った温泉が含まれ、筆者のいう活火山性温泉の分類に入るべきものがある。したがって、これらの要素の強い霧島温泉群・指宿温泉群などについては次報以後にゆずることとし、今回は、鹿児島地溝内に連なる人吉盆地、加久藤盆地、隼人・国分平野、鹿児島平野にみられる次の諸温泉についてのみ論じた。

おのおのの盆地・平野にある温泉を挙げると次の如くである。

人吉盆地……………人吉温泉

加久藤盆地……………加久藤温泉・京町温泉・吉田温泉・吉松温泉ほか

隼人・国分・加治木平野……………隼人温泉・浜之市温泉・加治木温泉・帖佐温泉など

鹿児島平野……………鹿児島市内温泉

人吉温泉群 (Hitoyoshi Hot Springs)

熊本県南部人吉市を中心とする人吉盆地に湧出する温泉群である。(Fig. 1, 2—1)

当地域の地質は、田村ほか (1962) によれば、古生層および中生層よりなるほぼ東西にのびた盆地状の基底岩類上に人吉層群が分布する。人吉層群は鮮新世～更新世の湖成堆積層で、上下2層に区分される。下部層は安山岩・砂岩・粘板岩などの巨礫を伴う礫岩、砂岩などを主とし、また泥炭の薄層を数枚はさむ比較的粗粒物質よりなる。一方、上部層は凝灰質頁岩を主とし、凝灰岩・凝灰質砂岩を伴い一般には下部層に対し不透水層となっている。全体として数度～10数度の傾斜をもって盆地中央部に傾く盆地構造を呈した小褶曲および小断層がみられる。人吉盆地西南部では人吉層群を被う若い安山岩がみられるほか、溶結凝灰岩および軽石流も本層群を被っている。

温泉は基底をなす中生層の露出する人吉盆地西部地域で湯徴が発見されたのが開発のはじめで、その後 1925 年頃より球磨川沿いに上流部にボーリングが行なわれ深度も 550 m に達し、湧出孔も広範囲に分布するようになった。

現在は 35°C 以上の湧出温度をもつもの 30 数孔にのぼり、湧出可能範囲は少なくとも 15 km² に及ぶと推定され、さらに低温 (25°C) のものまでをいれると極めて広範囲に分布する。

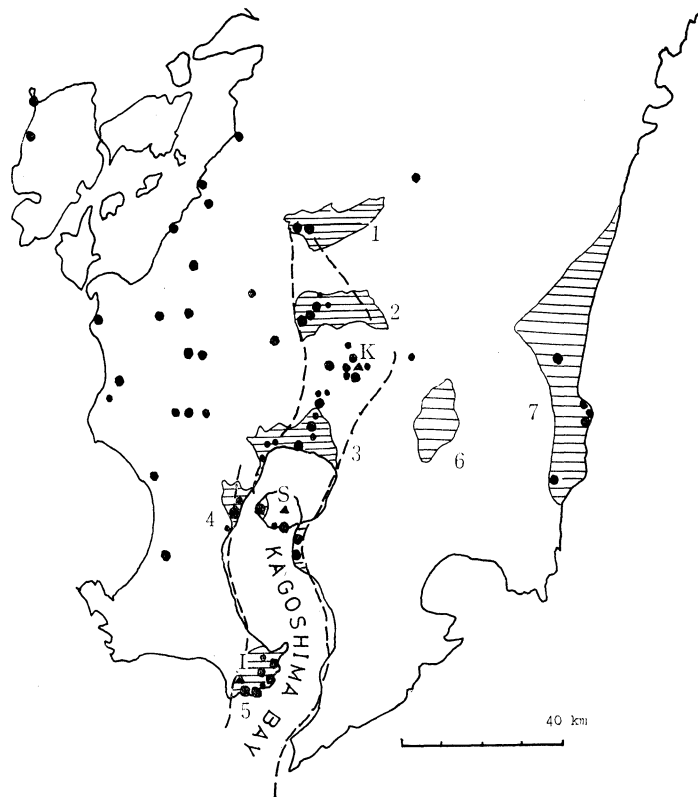


Fig. 2. Distribution map of the hot springs of South Kyushu, showing relation to the Kagoshima Graben.

- 1: Hitoyoshi Hot Springs and the Hitoyoshi Basin
- 2: Kakuto Hot Springs and the Kakuto Basin
- 3: Hayato Hot Springs and the Kokubu Plain
- 4: Kagoshima Hot Springs and the Kagoshima Plain
- 5: Ibusuki Hot Springs
- 6: The Miyakonojo Basin
- 7: Miyazaki Hot Springs and the Miyazaki Plain
- K: Kirishima Volcano group S: Sakurajima Volcano
- I: Ibusuki Volcano group

温泉掘さくの深度は湧出地域の東部では 550 m に及ぶが人吉層群の下位の基底岩には到達していない。しかし、掘さく孔底の岩相からみてこれに近いことは確かである。したがって、人吉温泉群は人吉層群の下位にある中生層の基底岩類を第1次貯留体とし、これと比べてより貯留能の高い人吉層群下部層を第2次貯留体とするものである。

人吉温泉群に関する摘要を第1表に示す。

加久藤温泉群 (Kakuto Hot Springs)

加久藤盆地内に湧出する温泉で、鹿児島県吉松温泉、宮崎県京町温泉および吉田温泉などを含めた温泉群である。(Fig. 1, 2—2)

加久藤盆地およびその周辺の地質及び構造については、伊田 (1950)、有田 (1956)、荒牧 (1969)、宮地 (1967) などにより研究がなされた。

温泉の湧出する盆地西部においては、北縁に分布する中新世末期～鮮新世の安山岩および変朽安山岩を基盤とし、盆地内には鮮新世後期～更新世の加久藤層群が分布する。加久藤層群は 500 m 以上に達する湖成層で砂岩・泥岩・凝灰岩などからなり、下位より池牟礼層、昌明寺層、

第 1 表 人吉温泉群に関する摘要

人吉温泉群 (Hitoyoshi Hot Springs)

位 置	熊本県人吉市を中心とする
温 泉 地 名	人吉温泉
湧 出 地 域	人吉盆地
温泉貯留体	{ 第2次 人吉層群下部層 (鮮新世~更新世) { 第1次 四万十層群 (?) (中生代~古第三紀)
新 期 安 山 岩 類	人吉層群を被う安山岩類あり
~~~~~	
泉 質	含食塩重曹泉~単純温泉 (重曹泉型)
泉 温	37~51°C (単純平均温度 43°C)
源 泉 数	45
湧 出 量 (推定汲上量)	3300 KI/日
掘 さ く 深 度	最大 530 m 多くは 450~500 m
温泉水より放出熱量	$\div 0.9 \times 10^8$ KCal/日 (18°C を基準とする)
湧 出 範 囲	6.0 km $\times$ 1 km
湧出可能推定面積	約 15 km ²
比 湧 出 量	5.5 ton/日/ha
~~~~~	
備 考	源泉密集部では 60~70 m の距離に源泉があるが、全体として十分開発可能。 90%以上動力使用

人吉温泉群分析表 2 例

	A	B
泉 温 (°C)	52.2	49.3
蒸発残渣 (mg/kg)	729.2	1293.8
pH	7.5	7.3
K ⁺ (mg/kg)	110.1	32.7
Na ⁺ (")	371.9	310.5
Ca ²⁺ (")	14.2	4.8
Mg ²⁺ (")	0.7	1.8
Fe ²⁺ (")	1.2	0.2
Cl ⁻ (")	215.7	138.7
SO ₄ ²⁻ (")	22.6	128.2
HCO ₃ ⁻ (")	808.4	500.8
H ₂ SiO ₃ (")	179.5	175.5
CO ₂ (")	10.8	15.8

※ A: 青柳旅館源泉 B: 鮎里旅館源泉
(分析: 熊本県衛生研究所)

第2表 加久藤温泉群に関する摘要

加久藤温泉群 (Kakuto Hot Springs)

位 置	宮崎県えびの町・鹿児島県吉松町
温 泉 地 名	京町温泉 (えびの温泉)・吉田温泉・吉松温泉
湧 出 地 域	加久藤盆地
温泉貯留体	{ 第2次 加久藤層群下部層 (鮮新世~更新世) 第1次 変朽安山岩 (中新世~鮮新世)
新 期 安 山 岩 類	加久藤層群を被う安山岩類 (霧島火山溶岩類を含む) あり
泉 質	単純温泉 (重曹泉型), 重碳酸泉, 重曹泉
泉 温	36~76°C (単純平均温度 51°C)
源 泉 数	75
湧出量(推定汲上量)	2500 K1/日
掘 さ く 深 度	最大 550 m (えびの) 多くは 250~350 m
温泉水より放出熱量	$\div 0.9 \times 10^8$ KCal/日 (18°C を基準とする)
湧 出 範 囲	7.0 km \times 1.3 km
湧出可能推定面積	約 15 km ²
比 湧 出 量	2.8 ton/日/ha
備 考	京町温泉の源泉密集部では 60~70 m の距離に源泉があるが, 吉松温泉と連続するもので全体として未開発。相互干渉あり, 40%以上動力使用

加久藤温泉群分析表 2 例

	A (吉 松)	B (京 町)
泉 温 (°C)	60.0	50.0
蒸発残渣 (mg/kg)	880.0	426.0
pH	6.8	7.2
K ⁺ (mg/kg)	28.0	1.0
Na ⁺ (")	155.1	36.5
Ca ²⁺ (")	78.8	18.1
Mg ²⁺ (")	28.4	6.9
Fe ²⁺ (")	7.4	0.2
Cl ⁻ (")	123.6	10.0
SO ₄ ²⁻ (")	4.2	13.0
HCO ₃ ⁻ (")	715.1	197.8
H ₂ SiO ₃ (")	234.3	98.0
CO ₂ (")	29.3	225.2

※ A: 原口湯源泉 B: 学校温泉源泉
(分析: 鹿児島県衛生研究所, 宮崎県衛生研究所)

第 3 表 隼人温泉群に関する摘要

隼人温泉群 (Hayato Hot Springs)

位 置	鹿児島県隼人町を中心とし、加治木町・始良町および国分市に及ぶ
温 泉 地 名	隼人温泉・浜之市温泉・鍋倉温泉ほか
湧 出 地 域	国分平野・加治木平野など
温泉貯留体	{ 第2次 国分層群下部 (更新世初期) 第1次 旧期安山岩類 (中新世～鮮新世)
新 期 安 山 岩 類	国分層群を被う安山岩類あり
泉 質	重曹泉 (隼人温泉) 弱食塩泉 (浜之市・加治木温泉)
泉 温	37~55°C (単純平均温度 45°C)
源 泉 数	115
湧 出 量 (推定汲上量)	4500 KI/日
掘 さ く 深 度	最大 600 m (加治木) 460 m (隼人) 多くはおよそ 200 m (隼人)
温泉水より放出熱量	1.3×10 ⁸ KCal/日 (18°C を基準とする)
湧 出 範 囲	2.5 km×1 km (隼人温泉)
湧 出 可 能 推 定 面 積	約 20 km ² (国分市・加治木町・始良町を含む)
比 湧 出 量	18 ton/日/ha (隼人温泉)
備 考	隼人温泉は源泉距離 60 m~120 m で 100 孔に達するが、その他の温泉地域はほとんど未開発である。隼人温泉では 80 % が動力使用

隼人温泉群分析表 2 例

	A (隼人)	B (始良)
泉 温 (°C)	52.7	37.0
蒸発残渣 (mg/kg)	1004	2328
pH	7.8	8.4
K ⁺ (mg/kg)	112.9	31.8
Na ⁺ (")	247.3	778.1
Ca ²⁺ (")	7.7	72.7
Mg ²⁺ (")	4.4	14.8
Fe ²⁺ (")	0.1	0.01
Cl ⁻ (")	83.3	1120.0
SO ₄ ²⁻ (")	12.0	277.1
HCO ₃ ⁻ (")	691.9	122.2
H ₂ SiO ₃ (")	178.7	31.7
CO ₂ (")	24.9	21.8

※ A: 星華苑源泉 B: 鍋倉温泉源泉
(分析: 鹿児島県衛生研究所)

第4表 鹿児島温泉群に関する摘要

4. 鹿児島温泉群 (Kagoshima Hot Springs)

位 置	鹿児島市を中心とし, 垂水市を含む
温 泉 地 名	鹿児島市内温泉・海潟温泉ほか
湧 出 地 域	鹿児島市平野・垂水平野など
温泉貯留体	{ 第2次 花倉層ほか (更新世初期)
	{ 第1次 四万十層群 (中生代~古第三紀)
新 期 安 山 岩 類	花倉層を被う安山岩類 (桜島溶岩を含む) あり
~~~~~	
泉 質	単純温泉 (重曹泉型), 弱食塩泉, 単純硫黄泉 (海潟温泉)
泉 温	40~53°C (単純平均温度 45°C)
源 泉 数	50 (鹿児島市温泉)
湧出量(推定汲上量)	3000 K1/日 (鹿児島市内温泉)
掘 さ く 深 度	最大 800 m (鹿児島市) 多くは 500~600 m
温泉水より放出熱量	0.8×10 ⁸ KCal/日 (鹿児島市) (18°C を基準とする)
湧 出 範 囲	8 km×1 km
湧出可能推定面積	約 15 km ²
比 湧 出 量	3.8 ton/日/ha (鹿児島市内温泉)
~~~~~	
備 考	広範囲にわたり源泉は散点するが, 一部では 150 m で隣接する。今後開発が進むであろう。90%以上動力使用。垂水平野は未開発。
~~~~~	

鹿児島温泉群分析表 2 例

	A	B
泉 温 (°C)	46.5	50.0
蒸発残渣 (mg/kg)	898.0	5822
pH	8.1	7.6
K ⁺ (mg/kg)	75.9	58.6
Na ⁺ ( " )	310.8	1852.0
Ca ²⁺ ( " )	5.8	148.0
Mg ²⁺ ( " )	5.8	126.0
Fe ²⁺ ( " )	0.4	0.3
Cl ⁻ ( " )	147.7	3116.0
SO ₄ ²⁻ ( " )	146.7	373.3
HCO ₃ ⁻ ( " )	569.7	2040.7
H ₂ SiO ₃ ( " )	41.3	101.9
CO ₂ ( " )	10.9	16.1

※ A : 紅梅旅館源泉 (第1次貯留体)      B : さつま温泉源泉 (第2次貯留体)  
(分析: 鹿児島県衛生研究所)

溝園層，下浦層に区分される。（伊田，1950）

最下位の池牟礼層は盆地縁辺にわずかに露出するにすぎないが京町温泉の掘さくにより 400 m に達することが知られ，凝灰質の泥岩および砂岩からなる互層で，下部には礫層があり，また植物片を多くもった泥層をはさむ。昌明寺層も凝灰質砂岩を主とし軽石の細片を多くはさむことがある。

溝園層はおよそ 40 m で比較的層理の明瞭な泥岩を主とし，加久藤層群中では不透水層として作動している。最上部の下浦層は粗～中粒の成層砂層を主とし，ほとんど水平に分布する。加久藤層群は南部において褶曲および小断層がみられる。加久藤盆地南縁には加久藤層群を被って霧島火山の新しい溶岩が分布する。

温泉は盆地の北縁および西縁に自然露頭があったが，現在は盆地中央部にボーリングが行なわれ 520 m に達するものもあり，湧出孔は広く散点する。

現在 35°C 以上の泉温のものは 70 孔に達し，湧出範囲は 10 km² 以上に及び，東部にみられる可燃性天然ガスに随伴する 25°C 以上の水まで含めるとさらに広範囲になる。

加久藤温泉群（天然ガス随伴水を除く）は加久藤層群の下部層，池牟礼・昌明寺層を第 2 次貯留体とし，加久藤層群の下位の変朽安山岩を第 1 次貯留体として大規模な温泉水体を形成している。

加久藤温泉群に関する摘要を第 2 表に示す。

#### 隼人温泉群 (Hayato Hot Springs)

鹿児島湾北部～北西部に当る隼人町を中心として国分市，加治木町，始良町に及ぶ温泉を一括して隼人温泉群とよぶ。(Fig. 1, 2-3)

当地域は始良カルデラの北～北西部に相当し，沢村 (1957)，太田 (1967)，荒牧 (1969) などにより調査されている。

下位より旧期安山岩類，（国分層群より噴出時代の古い安山岩類），国分層群，新期安山岩類および軽石流（始良火山噴出物）に大別される。

国分層群は隼人および加治木地域に広く分布する。厚さ 350 m 以上の海成層で，その地質時代は更新世初期とされている。国分層群は岩相により上・中・下の 3 部層に区分される。

下部層はよく円磨された礫よりなる礫岩・凝灰質砂岩を主とするが，中・上部層は凝灰岩・軽石層・凝灰質頁岩などからなる。したがって中・上部層に比べて，下部層はより透水性のもので，旧期安山岩類を不整合に覆って分布する。

旧期安山岩類は，国分層群分布地域の周縁部に露出し，国分層群に被われている。輝石安山岩，角閃石安山岩及びその集塊岩を主とし，一部では凝灰角礫岩もみられる。

温泉は国分層群の分布する範囲内に極めて広範囲に湧出することが考えられるが，現在最も開発がすすんでいるのは天降川沿いの隼人温泉地区である。隼人温泉では昔は河床に温泉徴候をみ，元湯を中心とした堆積砂礫層中から数 m の深度で得ていたのであるが，掘さく孔の増加とともに深度も増大し，現在 100 に及ぶ温泉湧出孔が散在，深度も最大 400 m に達している。

隼人温泉では国分層群下部層およびその下位の安山岩・集塊岩中に貯留された 50°C 内外の重曹泉を，自噴ないし動力揚湯で採取している。

また南方国分市域においても地下 450 m，旧期安山岩中より 40°C の食塩泉が，さらに浜之市にも 45°C 前後の食塩泉が，加治木町においても 37°C の弱食塩泉，始良町域にも 40°C 以上の温泉がいずれも国分層群および旧期安山岩中より湧出する。

このように当地域には始良カルデラ周辺の新第三系を、あるいはその下位の旧期安山岩を第1次あるいは第2次貯留体とする異常地下水（＝温泉）が極めて広範囲に存在することが知られている。

隼人温泉群に関する摘要を第3表に示す。

#### 鹿児島温泉群（Kagoshima Hot Springs）

鹿児島市街地の海岸平野部を中心として広く分布する温泉であるが、桜島および垂水市などにも温泉の湧出が知られているので、一応鹿児島温泉群に含めることにする。（Fig. 1, 2—4）

当地区は始良カルデラの南西および南東外縁部に当る部分で、その地質については太田ほか（1967）により調査研究されている。

これによると、本地域は下位より四万十層群、旧期安山岩類（中新世～鮮新世）、花倉層（国分層群相当層？）、新时期安山岩類および軽石流に大別される。

最下位の四万十層群は平野部南方にみられ、砂岩、頁岩およびその互層よりなる。旧期安山岩類はカルデラ壁を構成する輝石安山岩類を主とし本地域の北部に分布する。花倉層も市街地平野北部に露出し、凝灰質礫岩・凝灰質砂岩・泥岩・角礫凝灰岩などからなる。更新世初期の海成層で、数度～10数度の傾斜をもって南方平野部に没する。掘さく資料によると少なくとも300 m以上に達することが知られている。花倉層の上位には3枚以上の軽石流の噴出がみられ、その溶結部は堅硬な溶結凝灰岩となって市街地平野周縁に広く分布する。

温泉は鹿児島湾西岸の市街地平野および縁辺の軽石流台地の一部にみられ15 km²以上の広範囲にわたり50孔以上の源泉が散点する。花倉層の凝灰質砂岩・角礫凝灰岩などの中に存在するものを採取していたが、現在は400～700 mの下底に伏在する四万十層群中の割れ目に賦存する50数度のアルカリ性単純泉を採取している。

すなわち、本地域の温泉は更新世堆積岩を第2次貯留体とし、さらに下位の四万十層群を第1次貯留体とする。第1次貯留体からはアルカリ性単純泉が得られるが、第2次貯留体中のものはNaCl多く、かつ比較的低温である。

桜島小池地区では700 mの掘さくにより鹿児島市街地平野と類似した凝灰角礫岩・凝灰質砂岩中から40数度の食塩泉がえられているが、基底岩類には到達していない。

さらに垂水市においては、旧くから10数孔の源泉が掘さくされ、深度50 m～350 mで多くは凝灰角礫岩・砂岩層より、また一部は下位の四万十層群より40数度の弱食塩泉および重曹泉を採取されている。また垂水市街地においても400 m以上に達する掘さくにより、厚い透水性堆積層の基底部に同種の温泉が存在することが知られている。

これら地区の温泉も、湧出する地域の地質構造および温泉のありかた、その性質などは鹿児島市内のものと極めて類似している。鹿児島温泉群に関する摘要を第4表に示す。

### III 考 察

以上、鹿児島地溝に沿った人吉、加久藤、隼人、鹿児島の諸温泉群について述べた。これらの温泉群を通じて、この種の温泉のもついくつかの共通的な特徴を見出すことができる。

いまその主な点を挙げると次のようである。

- (1) いずれも地溝に沿った盆地ないし平野にあり、極めて広範囲に湧出する温泉である。
- (2) 温泉貯留体は下位の第1次のものとその上の第2次貯留体よりなり、より透水性の大きい第2次貯留体は大量の温泉水を滞留している。

- (3) 盆地・平野を構成する堆積層の生成時代は鮮新世末期ないし更新世のもので、現在その基底は地下水面下 300~700 m とかなり深いところに存在する。
- (4) 盆地・平野を構成する厚い堆積層の堆積後に隣接地域に新しい火山活動が認められる。
- (5) 温泉はほとんど 40°~60°C の泉温のもので、被圧され、海岸温泉を除いては重曹泉である。

以上の特性を更に普遍化することによって、この種の温泉の特質をより明らかにすることにする。

#### (A) 地域地下水としての温泉

温泉水が特殊な水であることは、その成分・温度および occurrence による。

しかし、地表下にある水をすべて地下水とよぶことにすると、温泉水も当然地下水である。

従来までは、温泉の特殊性が強調されすぎた嫌いがあり、逆に温泉のもつ一般地下水としての性格が忘れられている面も少なくない。

筆者はさきに、活火山性（噴気性）温泉を除いては、ある温泉地域の温泉水がその地域の地域地下水を代表するものと見做すべきであるという意見を述べた。（露木 1960）本報で対象とする温泉は、この意味で明らかに地域地下水的性格を具備しているといえる。

すなわち、これら温泉は、温泉水体として盆地または平野を構成する新生代地層中の透水層または空隙のなかに広範囲に存在する。換言すれば、温泉水が特定の地層のなかで一種の地下水（温泉水体）として広範囲の空間を占めて存在し、これをとりまく周辺の地下水（冷地下水）を排除し、これらは相互にほぼ圧力平衡を保って接している。この温泉水体は偶然的に、また一時的に短時日その場所を占めているというのではなく、その地域においては温泉水体が唯一の地域地下水であるという独占的、永続的な安定水体であるといえる。

したがって、ある温泉地域におけるある深度においての地温はその地点の地域地下水温、すなわち、その深度・場所における温泉水温に相当する。これは水質についても同じで、ある温泉の湧出地点のある深度の地下水の水質は、その場所にある温泉の泉質のことをいうのである。

以上の如く、本報で論じている温泉は活火山に伴う表成温泉や岩脈・小断層に沿う局地的な小規模の温泉と異り、広域に拡がった地域地下水としての性格をもつものとして把握できる。

#### (B) 温泉貯留体 (thermal-water reservoir)

地下において温泉水体を包蔵している透水性の地層または岩体を温泉貯留体 (thermal-water reservoir) とよぶことにする。ここでは、magma reservoir や oil reservoir などという語と同じく、温泉水が現地生成のものか migration などによって他の場所から由来したものは一応問わず、採取可能な状態で存在している地下の貯留岩体という意味に用いる。

温泉の規模について論ずる場合、従来から放出総熱量、総湧出量、湧出範囲などを規準にして比較されてきた。したがって、いずれも地表に露頭があり、地上にまで湧出してきた比較的浅層の湧出孔の多いものについて、あるいはほとんど開発しつくされて構造の明かになった温泉地について適用されてきた。しかし、自然湧出していない未開発の温泉、比較的深部に貯留されているものについては直接用いられない。

ここでも、一応温泉の湧出範囲という平面的なものを基準にとって、温泉の規模を表現することにする。勿論これととも、現在のところ「ある一定温度以上の温泉が一定の深度以内で湧出すると推定される範囲」が必ずしも明確に限定できる段階ではない。

本報で論ずる温泉では、温泉水の第2次貯留体が盆地、平野を構成する透水性新第三紀堆積岩であるため垂直方向よりもむしろ水平方向に対して均一性をもち、そのため温泉水は面的により自由に横に拡がっている。

すなわち、温泉は堆積岩の堆積構造にしたがい下部の透水性砂岩、礫岩あるいは層面に沿った空隙やこれを切った大小の割れ目などの中に賦存する。このことは新期堆積層の下位に当然予想される下位の第1次貯留体との関聯性は原則としてはもたないことを意味する。仮りに第1次温泉貯留体の範囲がせまい場合（断層、破碎帯を上昇してくるものなど）でも、または相互貯留体間の温泉水通路が限られている場合（風化粘土その他不透水層の存在などによる）においても、第2次貯留体内においては十分に温泉貯留範囲が拡大され大規模温泉が形成される可能性がある。

ことに人吉盆地、加久藤盆地のような盆地構造と、この中に推積した基底部及び下部に透水性層をもつ堆積層は恰好の大規模温泉水の2次貯留体を形成する条件を備えている。この点で網状裂こ中に温泉水が胚胎する先第三紀堆積岩や深成岩・変成岩、あるいは火山岩地域にみられる温泉などとはその賦存状態を異にする。

すなわち、元来、第2次貯留体はその地質構造上からして貯留に好都合な条件を備え、下位から上昇してきた温泉水は、その湧出圧力でもって、既存の層内地下水を排除し、これと置換しつつ拡散的に分布し、固有の湧出圧力と周辺をとりまく冷地下水圧が準平衡状態に達するまで拡散する。この場合、貯留体の形状および構造、大きさそのほかの地理的・物理的、さらに地質学的諸要素が貯留に好条件であり、一度貯留された温泉水が容易に流出せず、また冷地下水の混入や冷却によって消去されない条件などが一致しあっていることが必要である。

したがって、人吉・加久藤盆地などにみられる盆地構造は温泉水の貯留条件に適し、また第2次貯留体内の温泉水の流出を防ぎ、さらに人吉層群・加久藤層群上部層の不透水性は浅層冷地下水の混入をさまたげるとともに温泉水の横への拡散を大いに助長することになる。

隼人、鹿児島市などの海岸平野においても、平野部を構成する透水性堆積層にまで温泉が湧出してくるとすれば、温泉水が十分に拡散され貯留されうる条件は既に備わっているといえる。

いずれも、第2次貯留体の最下底部が、その地域の地下水面・海面よりも300~600mの深部にあるということは、冷地下水・海水と温泉水との間に比重差による湧出力（福富1968）を考慮すれば深度が大きいほど地下への湧出には好都合となるはずである。

本報の諸温泉は、九州地区全体のなかでも規模の大きい温泉群に属するが、これは以上のように、直接的には第2次貯留体の大きさ、厚さおよび深さに大いに関係している。

第2次貯留体の下位には、より古期の岩類が分布し多くの場合基底岩類を構成している。勿論この岩類の種々の割れ目を通して温泉水が上位の貯留体にまで上昇するわけで、準圧力平衡を保って上位貯留体中に温泉が存在する状況下では、基底岩類の割れ目・空隙にも温泉水が充填されている部分が当然あるわけである。これを第2次貯留体の下位にあり、温泉水は先づここに貯留されるという意味から、第1次貯留体と呼ぶことにする。

勿論この第1次貯留体も当然透水性岩体の組織・構造をもつ部分で、これからも直接温泉水を採取することができる。人吉温泉、鹿児島市温泉における中生層、加久藤温泉における変朽安山岩類、隼人温泉における旧期安山岩類などの温泉水貯留部がこれに相当する。

第1次貯留体を構成する岩体と、第2次貯留体を構成するものとは、貯留体の成因、岩質お

よび生成時代などが著しく異なるのが普通である。そのため両者は、その規模において相異し、また同じ割れ目系でも 1:1 の対応をもって互に連絡しているものではない。

鹿児島市温泉群においては、第 1 次貯留体からの温泉は第 4 表 B の如く強食塩泉であるが第 2 次貯留体をなす中生層中のものは同表 A に示す如く明らかに異なる。また加久藤温泉群のものについても、下位の変朽安山岩中のものは  $\text{CO}_2$  に著しく富みガスとともに温泉水を噴出する噴騰泉となっている。

従来、温泉あるいは地下水の温度・水質などについてはむしろ平面的な拡がりについての研究が主であった。温泉地において、その立体的構造が次第に明らかとなりつつある現在、地下水・温泉を含めた地域地下水として、深さ及び貯留体による性質の差異を知ることが温泉の成因・流動を考える上にも今後の重要な研究課題となるであろう。

### (C) 異常温度水としての温泉

温泉という語が現在では、泉としての性格を失い、単に地下に存在する温度の異常な水でさえあればよいというように次第にその定義も変ってきた。もっとも、元来、温泉そのものの本質は自然湧出というような表面的現象にあるのではなく、温泉の生成そのものにあるといわなければならない。ここでは温泉のもつ基本的な特徴はその異常な温度にあるという立場にたって考察することにする。いま地下のある深度 ( $z$ ) における地温 ( $Q$ ) を深さの函数とすると

$$Q = f(z)$$

一般に地下水面下の場合には、ある地点のある深さの地温は、その点における水温によって近似的に代表される。したがって、異常な温度をもつ水体の存在する貯留体があれば、その地点の地温は高く、逆に地温が異常に高いところに水があれば、その水が即ち異常温度水 (温泉) であるということになる。

一般には地下増温率のため  $\frac{dQ}{dz} \geq 0$  が成立している。しかし、活火山性温泉や一部の層状温泉、岩脈に沿って湧出する温泉などでは局地点には  $\frac{dQ}{dz} < 0$  のこともあるが、この場合も、 $z$  を十分大きくとればやはり  $\frac{dQ}{dz} > 0$  が成立すると考えてよい。

正常の地下増温率のみによって温泉が成立するかという問題については既に瀬野 (1941) などによって論ぜられ、福富 (1964, 1968) も地下水性温泉の上昇機構などについて考察を行った。その結果、条件さえ整えば温泉が成立すること、すなわち完全には冷却されないで地表にまで到達しうるということが明らかにされた。

本邦で採用されている温泉限界温度  $25^\circ\text{C}$  をとると  $\frac{dQ}{dz} = 0.03$  と見做した場合に、平均地温  $16^\circ\text{C}$  として地下 300 m の地点における地温に相当する。温泉が、湧泉として地表にまで自然に湧出するためには湧出機構上の条件が必要である。しかし、仮りに限界温度を  $25^\circ\text{C}$  に設定し、これ以上の温度をもった水が単に地下に存在するという状態のみを考えると  $dQ/dz > 0$  の下では何ら異常なことではなく普遍的な現象である。勿論、この地下に存在する水を、その状態のまま、直ちに温泉と称すると混乱を招くであろう。少なくとも、温泉とよべるためには、ある期間中経済的に地表で採取できる種々の条件が備わっている必要がある。しかし、採取方法は別として、以上の条件を備えた地下のある場所から、確実に温度を保持したままでその地下水がとれたとすると、地表では温度異常水 (温泉水) がえられたことになる。この種のものを定義通りの温泉と称するか否かは別として、今後この種の「温泉」が増加する傾向にあることは否定できない。

以上のように考察すると、地下数 100 m の帯水層中に「温泉水」が地域地下水として伏在す

ることはむしろ一般的で、ことに本邦の如く、第四紀火山活動による熱の付加が容易に想定される地域では  $40^{\circ}\text{C}$  前後の「温泉水」が、かなり広い範囲に拡がった水体として潜在することが十分考えられる。

本報で述べた各温泉群は、その構造上から第1次および第2次貯留体をもち、後者は特に良好な貯留条件を備え、地下に伏在した温泉水体を保有し、一部は掘さく井によって採取利用されている。

Fig. 3 は模式的に示した盆地内に湧出する温泉地の断面図である。図において、第1次貯留体の深さ  $D (>1000\text{ m})$ 、 $C$  および第2次貯留体最下部  $B (500\text{ m})$  と仮定する) における温度をそれぞれ  $d, c, b$  とすると Fig. 4 に示すような深度—地温相関図がえられるであろう。Fig. 4 には正常な地温勾配を示す直線  $S-Z$  も示したが、前述の如くこの直線上の  $X$  点 (深度  $300\text{ m}$ ) 以下より完全に保温されたままで地下水が採取できれば異常温度水 ( $\geq 25^{\circ}\text{C}$ ) がえられるはずである。本報の温泉群についていえば、 $D$  点における地温  $d$  が同深度  $Z$  における地温よりも大きく、第1次貯留体内においては長年にわたって均等化された温度勾配のゆえに  $D \rightarrow C \rightarrow B$  にと地温 (= 水温) は変化するが、 $B$  における温度  $b$  は  $Y$  における温度 ( $y$ ) と比べるとまだ高い、という状態にあるといえる。帯水層となっている第2次貯留体内  $B$  点にまで達した温度  $b$  の「温泉水」は天然の条件下では横に拡散するが温泉としては地表に湧出することはない。しかし貯留されている「温泉水」は技術的には極めて少ない温度低下で異常温度をもった地域地下水として確実に地表で採取することは可能である。この場合深度  $B$  までの平均地下増温率は直線  $S-B$  で示されるが、実際の地温曲線は  $S-t-B-C-D$  の如くなる。

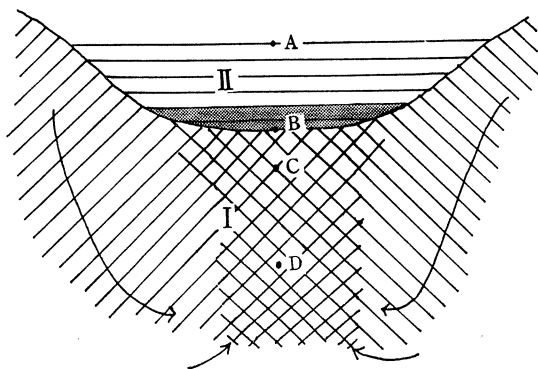


Fig. 3. Diagrammatic section of the thermal water reservoir.

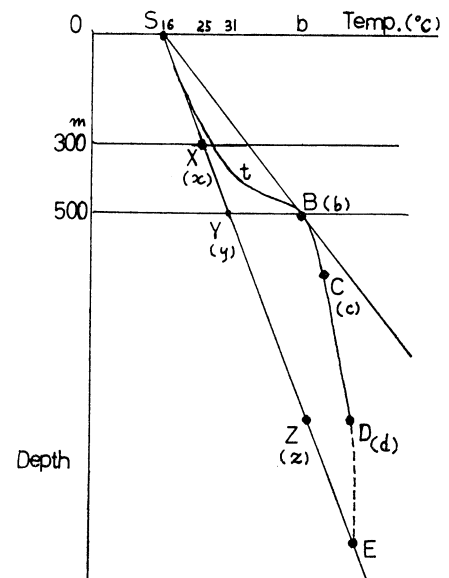


Fig. 4. Figure illustrating relation between temperature and depth.

いま仮りに  $d$  と  $z$  の差が小さくないとするとさらに  $E$  の深さまでとれば  $S-Z$  の地温勾配でも地温  $d$  以上に達することができる。この場合深度  $E$  以下の水が  $D$  までほとんど冷却することなく流動が行なわれたとすると、 $E$  の地温がほとんど  $D$  の地温 ( $d$ ) となる筈で、 $E \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow B$  ( $\rightarrow$  は migration の方向を示す) の順序で潜在「温泉水」が生成され、 $B$  より採取



されれば温泉が成立することになる。

本報で挙げた各温泉群では、上述の温泉成立に適した諸条件が次のような諸点でかなり充たされているといえる。

(1) 鹿児島地溝を形成する断層およびこれに伴う破碎帯、また始良・加久藤などのカルデラ内およびその外縁部は割れ目が多く、 $E \rightarrow D$  さらに  $D \rightarrow C \rightarrow B$  が容易である。

(2) 地溝内および盆地内においては地形的に周辺地域より低いための圧力傾動、さらにまた「温泉水」と盆地内地下水との比重差も原因して  $E \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow B$  が一層容易である。

(3) 活火山を含む新しい火山岩も分布し、始良カルデラからの大量の軽石流の噴出時期も 20,000年以下の新しいものが知られている（たとえば入戸軽石流 16,350年～荒牧 1965）ことなどからも  $D$  での地温  $d$  が  $z$  よりも高いことが十分予想される地域が多い。

(4)  $B$  までの深さ（堆積層の厚さ）が大で、さらに前に述べた如く、第2次貯留体が「温泉水」を集積し、かつ周囲への流失や冷地下水の混入を防ぐなど、貯留と保温に好都合な構造を備えている。

本報で論じた諸温泉のもつ以上の諸条件は必ずしも極めて特異なものばかりではない。むしろ、これらの地質構造上の諸条件のうちの幾つかをもつ地域は、本邦の盆地・平野部においては決して稀ではないと考えてよい。また Fig. 4 で  $B-C-D$  が低温側すなわち  $S-Z$  線に漸近しても温泉の成立には差支えないことを併せ考慮すると、第1次または第2次貯留体内に「温泉水」があり、これを採取して異常温度水（温泉）とすることが可能な以上、比較的低温なものまで含めた「温泉水」が地下の貯留体中に存在することはかなり普遍的な現象であるといえることができる。

#### IV ま と め

南九州地方にも多くの温泉が分布している。このなかで、その中央部分すなわち鹿児島湾およびその北部延長を含む鹿児島地溝に沿う温泉群はその地質構造を反映して共通した特徴をもっている。

ここでは、この温泉群のうち霧島・指宿地区の噴気・変質帯に伴う活火山性のもものは除外し人吉温泉群・加久藤温泉群・隼人温泉群および鹿児島温泉群について考察を行ない次のような結論をえた。

(1) いずれも盆地・平野に湧出している温泉で、その湧出範囲・賦存範囲は広く、地域地下水としての性格をもつものである。

(2) 温泉構造は第1次温泉貯留体と第2次温泉貯留体とからなり、いずれからも温泉がえられる。

盆地・平野を構成する鮮新世末～更新世中期の厚い堆積層の下部は透水性のもので、優秀な第2次温泉貯留体となっている。またその下位には古期岩類からなる第1次温泉貯留体が存在する。

(3) 温泉は特に高温なものはないが、その存在範囲は広く、いずれも  $Na^+$  と  $HCO_3^-$  で特徴づけられる重曹泉ないし単純泉であるが、一部海岸に近いものは食塩泉となっている。

(4) 地質構造上からは、地溝の生成およびこれに伴う断層、カルデラの生成とこれに伴う割れ目、さらに盆地・平野を構成する新第三系堆積後の新しい火山活動など、地下における温度異常をきたし、温泉水の migration を容易にするような条件が備わっている地域である。

- (5) 第2次温泉貯留体もまた「温泉水」の貯留・保持に適した条件をもっている。
- (6) 当温泉地域と類似した地質条件を備えた盆地・平野が他の地方にも十分考えられる。もし、地下の第2次温泉貯留体にまで migrate してきた「温泉水」を考えるならば、これを地表で人工的に採取した比較的低温度の温泉は、このような地域ではかなり普遍的に存在するものといえる。

## 参 考 文 献

- 荒牧重雄 (1968) 加久藤盆地の地質 震研彙報, **46**, 1325-1343
- 荒牧重雄 (1969) 鹿児島県国分地域の地質と火砕流堆積物 地質雑, **75**, 425-442
- 有田忠雄 (1957) 加久藤カルデラの提唱 (演旨) 地質雑, **63**, 443-444
- 伊田一善・篠山昌市 (1951) 宮崎県加久藤天然ガス地質調査報告 地調月報, **2**, 178-184
- 伊田一善・本島公司・安国 昇 (1956) 宮崎県小林市附近天然ガス調査報告 地調報告, **168**
- 福田 理 (1966, 7) 超深層地下水 (I)(II) 地下水と井戸とポンプ, **8-12**, 9-2
- 福富孝治 (1952) 微温泉と冷泉との境界温度 北大地物研究報告, **2**, 17
- FUKUOMI, T. (1961) Rates of Discharge of Heat Energy from the Principal Hot Spring Localities in Hokkaido, Japan. Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. VII, **1** 315-330
- 福富孝治 (1964) 地下水起源の温泉の温度 北大地物研究報告 **13**, 53-70
- 福富孝治 (1968) 温泉特に地下水起源温泉の自噴機構ならびにその湧出量と温度・化学成分濃度との関係について 北大地物研究報告, **17**, 15-35
- 鹿児島地学調査研究会 (1967) 鹿児島県の地質 鹿児島県
- 松本唯一 (1943) The four gigantic caldera volcanoes of Kyushu. Jap. Jour. Geol. Geogr., **19**
- 宮地六美 (1967) シラスの岩石学的研究 (総括) 九大教養地学研究報告, **14**, 15-55
- 太田良平・郡山 栄・脇元康夫 (1967) シラスの地質学的分類 鹿児島県
- 太田良平 (1967) 5万分の1地質図幅「加治木」地調
- 沢村孝之助 (1956) 5万分の1地質図幅「国分」地調
- 沢村孝之助・松井和典 (1957) 5万分の1地質図幅「霧島山」地調
- 瀬野錦蔵 (1941) 地温のみによる温泉の可能性 地球物理, **5**, 216-225
- 田村 実・徳山康浩・田上公輔 (1962) 人吉盆地西部の地質 熊本大教育学部紀要, **10**, 49-56
- 露木利貞 (1962) 九州地方における温泉の地質学的研究 (第3報)(第4報) 鹿児島大理科報告, **11**, 51-58, 59-72
- 露木利貞・鎌田政明・黒川達爾雄 (1967) 鹿児島県の温泉—霧島火山地域の温泉 (その3) 鹿児島県
- 露木利貞・鎌田政明・黒川達爾雄 (1967) 宮崎県の温泉—霧島火山北部地域の温泉 宮崎県
- WHITE, D. E. (1968) Hydrology, Activity and Heat Flow of the Steamboat Springs Thermal System, U. S. Geol. Surv. Prof. Pap., **458-C** 1-105