

えびの・吉松地域の地震に関する温泉の地球化学的研究

著者	米谷 宏, 阿部 喜久男, 大場 信夫, 村上 篁
雑誌名	防災科学技術総合研究報告
号	26
ページ	81-98
発行年	1971-03-31
URL	http://id.nii.ac.jp/1625/00002636/

えびの・吉松地域の地震に関する温泉の 地球化学的研究

米谷 宏・阿部喜久男・大場信夫・村上 篁

地 質 調 査 所

Relation Between the Geochemical Character of Hot Springs and the Earthquake in the Ebino-Yoshimatsu Earthquake Region

By

Hiroshi Yonetani, Kikuo Abe, Nobuo Oba and Takamura Murakami

Geological Survey of Japan, Tokyo

Abstract

The purpose of this investigation is to point out the characteristics of geochemical property of hot springs and groundwater distributed in the Ebino-Yoshimatsu earthquake region. The samples of groundwater (from 28 stations), hot-spring water (from 9 stations) and natural gas accompanying hot-spring water and groundwater (from 24 stations) were collected at the wells and seepages in the Kirishima volcano region, and were analysed chemically.

The results obtained are summarized as follows:

1. The geochemical property of hot-spring water and groundwater in the Kirishima volcano region is controlled mainly by the volcanic gas and the fossil water in the sedimentary rocks.
2. The majority of hot-springs are distributed in the western foot of Kirishima Volcano. The highest water temperature, 69°C, was observed at the hot-spring well in the border between the Kyomachi and Yoshimatsu areas. Generally, the temperature of hot-spring water tends to decrease gently southward.
3. It is supposed that the heat and water of hot-springs are not derived from the same source. At the deeper part from the surface of ground, it is likely that in the hot-spring water with carbon dioxide there exists the positive relationship among the contents of HCO_3^- , Cl^- and SO_4^{2-} and the water temperature.
4. In and around the Kirishima volcano region, sometimes the hot-spring water and the groundwater are flowing out from the wells with free gas. The chemical types of these gases are CO_2 , N_2 and CH_4 , and besides, it is of course noticeable that they are of the mixed type.
5. It is considered that carbon dioxide and nitrogen in the CO_2 - and N_2 -type gases are of volcanic origin, and that, on the contrary, methane in the gases of the other types may be generated from the sedimentary rocks.
6. The $\text{CH}_4/\text{C}_2\text{H}_6$ and N_2/Ar ratios for natural gases of various types are calculated and examined, and as a result, the existence of the Shimanto Group in the deeper zone of the surveyed area was presumed.
7. The geochemical properties of the gases, hot-spring water and groundwater from the Kakuto region and the Kyomachi-Yoshimatsu region show a wide variety, though these fluids are issued from one group in one sedimentary basin. The reason why they have a wide variety chemically is mainly due to the two facts: the influence of volcanic activity and the reflection from sedimentary rocks lying in deeper parts of this region.

要 旨

地震の発生した京町・吉松地域に分布する、温泉および地下水の地球化学的特異性をあきらかにするため、霧島火山周辺全域に分布する地下水および温泉を調査の対象にした。調査は、地下水・温泉水37種、附随ガス24種について測定して、つぎのような結果を得た。

- 1) 霧島火山周辺に分布する温泉水と地下水の性格は、おもに、火山性ガスおよびたい積層の fossil water によって規定される。
- 2) 温泉は一般に、霧島火山の西側に、集団的に分布している。霧島火山周辺では、吉松と京町地域の境界に分布する温泉がもっとも高い水温（最高69℃）を示す。
温泉の水温は、南に向かって徐々に低くなる一般的傾向を示すようである。
- 3) 熱と温泉水は、必ずしも同源から供給されたとは考えられない。 CO_2 を伴う温泉水は、おそらくより深部で、 HCO_3^- 、 Cl^- および SO_4^{2-} 含量と水温との間に、正相関関係が成立していたものと推定される。
- 4) 霧島火山周辺に分布する温泉水および地下水には、しばしば遊離ガスを伴う。これらのガスの主成分は、 CO_2 、 N_2 、および CH_4 で、もちろん混合型も存在する。
- 5) 温泉水および地下水に伴うガスの中で主成分が CO_2 および N_2 のものは、おそらく同一源の火山性ガス成分であったと考えられる。しかし、 CH_4 成分は、たい積層から由来したものと考えられる。
- 6) 温泉水および地下水に伴う遊離ガスの $\text{CH}_4/\text{C}_2\sim\text{C}_5$ および N_2/Ar 値を測定し、この結果から、深部における四万十層群の存在を推定した。
- 7) 吉松・京町および加久藤地域の温泉水・地下水およびこれに伴う遊離ガスは、同一盆地・同一たい積層から産出しているながら、地球化学的には最も変化に富んでいる。この変化の主因は、火山活動による影響とより深部たい積層の情報反映による。

1. 結 言

地震に関する地質構造と温泉の地球化学的調査をどのように関連づけるかは、現在までのところ、必ずしもその知見が確立されてはいない。しかし少なくとも温泉に関する地球化学的調査の有用性

の1つは、地表で得られる温泉の諸性質から、補助的役割として深部の地質情報が得られる可能性を有することにある。こうした現状から、地震と温泉の地球化学的性格とを関連づけるためには、今後、温泉の定期診断によって、その法則性を明らかにすることが、当面解決しなければならない基本的問題である。

著者らの地球化学班は、えびの・吉松地域総合地震調査の一環として、以上の見地から当地域を含む霧島火山周辺に分布する温泉および地下水の地球化学的調査を行なった。調査期間は、昭和43年8月21日～9月9日で、これは、えびの・吉松地区地震の主震があった2月から、約6ヶ月経過した時点である。えびの・吉松地域に分布する温泉の地球化学的研究については、すでに鎌田（鹿児島温泉研究会、1966、1964）によって、かなり詳細に行なわれている。鎌田は、当地域の温泉の泉質が、主として火山性ガス分化現象で規定されるとしている。

今回行なった著者らの調査は、1) 広く霧島火山地域の基盤をなしていると推定されている、四万十層群の情報を、おもに温泉水あるいは地下水に伴う遊離ガス質面からの追及、2) 霧島火山周辺に分布する、温泉水・地下水およびこれに伴う遊離ガスの地球化学的性格と、地震の発生した、えびの・吉松地域のものとの比較する観点から行なった。

なお、温泉水・地下水に伴う遊離ガスについては、従来の主成分から、さらに微量成分の追及に主眼をおいた。

2. 地球化学調査区域および調査法

図-1は、調査区域および試料採取位置図である。

相互関連をはあくするため、霧島周辺に分布する温泉水・地下水およびこれに伴う遊離ガスを対象とした。すなわち、今回の調査は、噴気地帯をはじめ霧島火山を中心に、東側から、都城・小林附近・加久藤・京町・吉松および西側の牧園・準人・敷根の各地域である。

これらの地域に分布する温泉水・地下水およびこれに伴う遊離ガスの試料は、自然湧出あるいは既存坑井から産出しているものを用いた。

採取試料の選択は、主に、鎌田（鹿児島温泉研究会、1966、1964）・伊田ら（1956）および牧ら（天然ガス鉱業会、1961）のデー

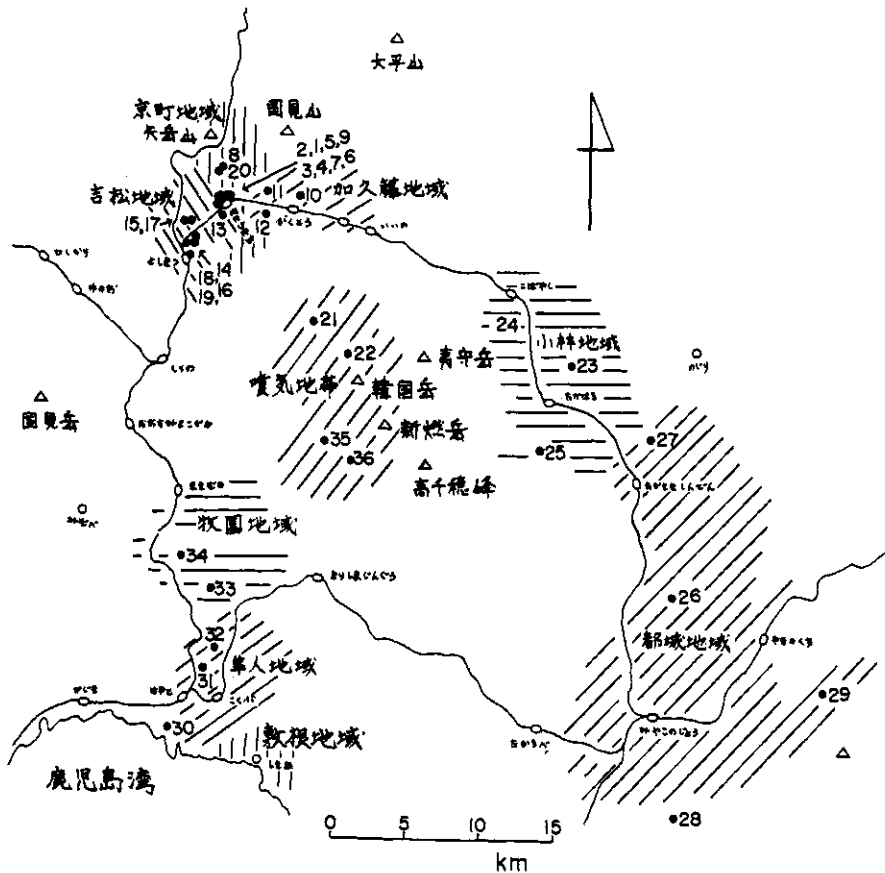


図-1 試料採取位置図

Fig.1. Positions of samplings of hot-spring water, groundwater and accompanying gases.

タに基づき、出来るだけつぎの条件を満足するように行なった。すなわち、1) 自噴井であること、2) その地域の温泉水・地下水の水質を代表するもの、およびより深部の情報を反映していると思われるもの、3) 遊離ガスを伴っているものを試料として選択した。

試料数は、温泉水・地下水 37 例、附随ガス 24 例である。

温泉水および地下水の化学分析は、一般に行なわれている方法を採用した。すなわち、現地では、水温・pH・free CO_2 ・ HCO_3^- および Cl^- の測定と、溶存ガスの追出しを行なった。他の成分の I^- ・ SO_4^{2-} ・全 Fe・Al³⁺・Ca²⁺・Mg²⁺

Na^+ ・ K^+ ・ HBO_2 ・ H_2SiO_3 および T・S・M については、帰所後、当所実験室で行なった。

温泉水および地下水に伴う遊離ガスは、当所設置のガスクロマトグラフで行なった。測定成分は、He・H₂・Ar・O₂・N₂・CH₄・CO₂ および C₂ 以上の脂肪族炭化水素の各成分である。

3. 地質および地質構造の概要

霧島火山群を巨視的にみると、中生代(とくにジュラ紀～白亜紀)を中心として西南日本外帯に広ぐたい積した四万十層群を基底とし、新第三紀以降のはげしい火山活動によって生成された、火

山岩類からなっていると云われている。温泉の分布は、おもに霧島火山帯の西側に集中している。

3.1 都城地域

霧島火山群の南東側に位置し、いわゆるシラスが厚く広範囲に分布している。ここでは、一般に霧島火山系温泉の産出をみない地域である。当

地域で鉱泉と呼ばれているものは、浅層の自由面地下水の性格を示す。

3.2 小林地域

霧島火山群の北東側に位置している。表-1には、伊田(1956)による当地域の層序表を示した。これによると、上から沖積層・日向ローム

表-1. 小林・加久藤盆地の層序表(伊田, 1954)

Table1. Correlation of geologic formations of the Kobayashi and Kakuto basins(after Ida, 1954)

加久藤盆地			小林盆地	
京町	加久藤	飯野	西小林	小林～高原
沖積層	沖積層	沖積層	沖積層	沖積層
日向ローム	日向ローム	日向ローム	日向ローム	日向ローム
大溝原扇状レキ層		飯野扇状レキ層		
	段丘礫層	段丘礫層		段丘礫層
	白鳥層	白鳥層	白鳥層	白鳥層
下浦層	下浦層	下浦層	下浦層	下浦層相当層
溝園層	溝園層	溝園泥層		
昌明寺凝灰岩	昌明寺凝灰岩			
池牟礼層				

-----移化 ————整合 ~~~~~不整合 ===== 段丘接触
 //////////////欠層

層・白鳥層・下浦層・霧島火山岩屑・溶岩類およびこれらの基盤をなしている、時代未詳の中生層からなっている。白鳥層は、スコリア・火山細れきおよびかっ色火山灰を伴う砂れき層からな

ており、おもに下浦層と不整合に接している。

下浦層は、30～40mの層厚であるといわれ、おもに凝灰質砂あるいは浮石から構成された、いわゆるシラスである。下浦層の主体をなす凝灰

質砂の下部に、非常にうすい暗黒色（約2m）の炭質泥がある。溶岩類を広くおおっている本層は、全体的に透水性であり、下位の溶岩類の起伏を反映した伏流による湧水が形成される。

3.3 加久藤地域および京町地域（表-1参照）

当地域には、加久藤層群が模式的に発達している。伊田によると、この加久藤層群は、鮮新世末期から更新世にかけて形成された、湖成層と非湖成層とからなっているといわれている。

加久藤盆地内たい積物の層序は、上から沖積層・ローム・白鳥層・下浦層・溝園層・昌明寺層および池牟礼層からなっている。

当地域と小林地域の白鳥層は、ほぼ水平に分布する。下浦層は、小林地域のそれに比較して細粒の砂質シラスを主体としている。

下浦層の下位の溝園層は、特徴ある青灰色の泥岩を主とする。溝園層の下位に接する昌明寺層は、下浦層に類似した細粒の砂質シラスを主とし、透水層を形成する。

加久藤層群最下部の池牟礼層は、おもに泥質およびけいそう土質の細粒岩からなっているようである。現在産出している可燃性天然ガスは、ほぼこの池牟礼層以下にあるとみられている。

3.4 吉松地域

京町の南西に位置し、層序は、上から沖積砂れき層・ローム層・新期霧島火山岩類・加久藤層群・旧期霧島火山岩類および加久藤安山岩類からなっている。吉松駅前でのボーリング結果では、およそ地下130mまで第四紀たい積岩で、以下安山岩となっている記録がある。

3.5 牧園・準人・数根地域および噴気帯

牧園地域は、霧島火山西南麓にあって、シラスおよび溶結凝灰岩が広く発達する。加久藤地域などでみられたようなたい積岩は、すくなくとも、地上ではみられない。温泉はけい谷に露出する溶結凝灰岩中からゆう出している。

準人地域の地質は、上からおもにローム層、シラス・溶結凝灰岩・国分層および古期安山岩類からなっている。当地域に広く分布するたい積岩としての国分層は厚く、約200mをこえるが、後述する数根では、5m前後になっている。国分層は、新第三紀の終りか洪積世の始めと考えられる淡水たい積層である。国分層と上位溶結凝灰岩およびシラスとは、不整合関係にある。

牧園地域の温泉がおもに、この溶結凝灰岩から

ゆう出しているのに比較して、当地域ではこれ以下の岩層からゆう出している。なお、国分層の有機質含量は、きわめて少ない。沢村（1956）によると、数根地域の基盤地質は四万十層群で、その上に新第三紀安山岩類の噴出物がある。数根ガス田のガス母層と考えられている国分層群は、これら基盤を不整合に覆っている。なお噴気地帯は、各種溶岩および安山岩からなっている。

4. 調査結果

今回の調査で採取した試料の測定結果を、表-2にまとめて示した。

4.1 温泉水および地下水の水質の地域的分布
霧島火山周辺に分布する地下水が、火山活動の影響を多少でもうけたと推定される要素として、坑井深度・水温・ PH ・ Cl^- ・ HCO_3^- および SO_4^{2-} に注目することで充分であると考えられる。以下地域的温泉水および地下水の性格を、これらの要素によって記述する。

4.1.1 坑井深度および水温の地域的分布

霧島火山周辺に分布する坑井の深度を大分けすると、東側は浅く、西側に深いものが多い。水温も西側に高温のものが集団的に分布している。もちろん、噴気地帯の温泉は、もっとも高温である。

霧島火山の南東に位置する都城地域は、大部分が平均数mの坑井深度から産出する、いわゆる自由面地下水の性格を示す。したがって、当地域での地下水では、異状と考えられる高い水温はみられず、いずれも25℃以下の値である。

小林地域の地下水に関する地球化学的調査は、すでに伊田ら（1956）によって、詳細に報告されている。伊田ら、および今回の著者らの結果から、当地域に分布する坑井の深度は、40m以浅である。当地域内の西北部は、自然ゆう水および一般地下水が分布し、いずれも水温の異常はみとめられない25℃以下の値である。これに対し南部では、火山活動の影響をうけたと推定される、水温40℃程度の地下水も存在する。

加久藤地域に分布する坑井の深度は、おもに80～150mで、産出する地下水は一般に、可燃性天然ガスを伴う。当地域の調査については、すでに牧ら（天然ガス鉱業会、1961）および伊田らによって報告されているが、今回著者らの測定からも、一般に水温の異常は（試料番号A12の橋詰を除く）みとめられない。いずれも20～25℃の値を示す。

加久藤の西に隣接する京町地域では、200～500m深度の自噴井が数十坑井ある。坑井から産出する温泉水は、一般に遊離ガスを伴なう。水温は35～60℃で、東側の加久藤地域の地下水温と比較して、地下増温率が著しく高い特徴がみられる。同地域の北側に位置する吉田温泉は、温泉水が深度数10m程度の坑井から、あるいは自然ゆう出の状態で産出し、CO₂を多量に伴っている。

吉松地域では、京町地域と同様、数十坑井みられる。一般に150～260mの坑井深度で、温泉水に遊離ガスを伴なうものが多い。水温は40～70℃で、京町地域のものと比較してやや高い。また、水温の最も高い温泉水が、京町と吉松地域の境界区に分布することは注目される。

牧園地域では、自然ゆう出および自噴坑井を合せ数十存在する。今回の調査では、深度100m以下の2坑井を採取した。著者らおよび鎌田の測定から、当地域の水温は、一般に40～60℃の値である。

牧園地域の南に位置する隼人地域では、一般に坑井深度が100～500mで、数十坑井存在する。動力による揚水の場合が多い。水温は、鎌田（鹿児島温泉研究会、1966）および著者らの測定から、40～58℃の値である。

敷根地域に分布する坑井の深度は、50m前後で、天然ガスを伴なう場合が多い。著者らおよび牧らの測定結果から、一般に20℃以下の水温である。

噴気地帯の泉温は、一般に高温で、今回著者らの観測では50～70℃の値を示す。

4.1.2 PH

霧島火山周辺に分布する温泉水および地下水のPHは、一般に北西側が高く、東側が低い。また噴気地帯では、著しく低い値を示す。なお、CO₂を伴なうものは、7以下の値である。

都城地域では、長田峽鉱泉（試料629）を除くと、一般に5.8～6.6の値である。長田峽鉱泉のPHは、当地域でみられる他の一般地下水とはかなり異なっており、本調査では最高の9.2の値を示した。小林地域における温泉水および地下水のPHは、伊田らによると、一般に7.0以下の値である。今回著者らの測定でも、同様の値をとっている。加久藤地域の地下水のPHは、小林地域のものより高い値で、一般に7.0以上の値を示す。

京町地域では、加久藤地域の地下水とあまり変わらないPHで、CO₂を伴なうものを除くと、いづれも7.0以上の値を示す。吉松地域についても、京町地域のPH値と同じ傾向を示す。

今回著者らは、牧園地域において、2試料のCO₂を伴なう温泉水を観測し、7.0以下のPH値を得た。この値を、鎌田らの測定値と合せると、当地域の地下水のPH値は、一般に7.0以下であるといえる。

隼人地域における温泉水のPHは、牧園地域よりも高い、7.0以上の値を示している。

敷根地域では、すでに牧らによる調査報告がある。これによると、ガスを伴なう地下水は一般に7.0以下の値である。これに対し、ガスを伴わない地下水は、7.0以上の値で、8.0以上の地下水も報告されている。今回著者らは、1試料しか観測しなかったが、5.8のPH値である。

噴気地帯の温泉水のPHは、著しく酸性で、いづれも5.0以下の値である。

4.1.3 HCO₃⁻

霧島火山周辺における、温泉水および地下水のHCO₃⁻濃度は、一般に、北および西側に高いものが集中している。

都城地域における地下水のHCO₃⁻濃度は、長田峽鉱泉を除くと、一般に60mg/l前後と推定される。長田峽鉱泉は、どちらかといえば、いわゆるガス水に近い性格のようである。

小林地域では、今回著者らは多量のCO₂を伴なう試料について観測し、1000mg/l以上の値を得た。しかし、本地域における伊田らの報告によると、一般地下水は、100mg/l以下の値のようである。

加久藤地域では、今回著者らの観測と、伊田らおよび牧らの結果を総合すると、200～440mg/lの値と考えられる。

一般的にいて、京町地域でも、加久藤地域のそれとほぼ同じ値の範囲を示すようである。しかし、CO₂を伴なう温泉水は、著しく高い含量を示す。また、やたけ荘（試料66）の温泉水は、CO₂を伴っていないが、今回の調査では最高の2000mg/l以上の値である。

吉松地域では、京町地域でみられなかった、100mg/l以下の値を示す温泉水も分布する。すなわち、当地域では、CO₂を伴なう温泉水の637mg/lを最高に、60mg/lまでの温泉水

表-2 霧島周辺に分布する温泉水・地下水および付随ガスの分析表

Table2. Analytical data of hot-spring water, groundwater and accompanying gases in the Kirishima volcanic region.

採取場所	深度m	水量ml/D	ガスml/D	Temp℃	pH	free CO ₂	CO ₃	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	温 泉 ・ 地 下 水 の 水 質 mg/l										溶 存 ガ ス ml/l						
										SO ₄ ²⁻	I ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺	HBO ₂	H ₂ SiO ₃	T.S.M.	溶存ガス 全量	O ₂	Ar	N ₂	CH ₄	He
1 舊田 医院	—	69.12	—	57.0	7.0	22.8	—	223.9	13.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2 あけぼの荘	315	80.64	0.03	57.2	7.1	18.4	—	187.9	14.2	9.6	0.30	7.7	74.6	9.5	7.7	0.32	0.51	13.2	106.0	356.0	25.49	0.62	0.26	15.75	8.86	0.002
3 黒松 医院	236	6.01	0.24	43.0	7.4	12.7	—	267.3	5.4	4.5	0.30	7.9	78.5	5.5	3.8	0.37	0.56	16.6	144.3	406.0	17.13	1.71	1.39	8.50	5.53	0.001
4 炭 路 屋	300	31.36	—	46.5	7.4	9.5	—	173.9	7.1	13.8	0.30	3.9	52.3	3.5	2.0	0.12	0.66	13.2	113.1	300.0	16.66	0.74	0.28	15.59	0.05	—
5 観光ホテル	300	—	—	47.8	7.2	9.5	—	150.7	6.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6 やたけ荘	433	—	—	64.3	7.0	31.0	—	2,132.0	715.8	1,448.3	0.57	117.5	1,165.0	293.8	19.0	0.27	0.56	148.9	41.0	5,254.0	1.07	0.27	—	—	—	—
7 真砂旅館	345	11.49	0.084	45.0	7.2	13.9	—	202.6	7.1	6.3	0.30	8.0	60.5	7.7	2.2	0.25	0.56	83.8	112.5	314.0	21.41	0.55	0.32	9.71	10.83	0.001
8 鹿 の 湯	36	—	—	39.0	6.4	592.2	—	1,269.2	360.6	343.6	0.30	60.0	508.0	149.3	80.8	0.11	0.71	22.1	70.2	2,240.0	1.09	0.30	—	—	—	0.000
9 武田為次	228	21.60	0.23	46.3	6.8	57.0	—	334.4	20.4	20.8	0.30	25.0	90.0	19.3	8.6	0.31	0.51	13.2	183.3	512.0	22.73	0.37	0.17	11.25	10.94	0.003
10 前田 幸一	70	—	—	23.2	7.0	41.2	—	274.6	1.2	tr	0.30	9.0	32.8	20.1	10.0	0.63	0.87	13.2	85.8	310.0	11.23	0.18	0.55	4.08	64.2	0.000
11 永蔵松之助	145	39.56	—	22.5	7.0	31.7	—	317.3	3.5	tr	0.30	3.8	50.3	28.3	10.3	0.21	0.61	15.4	74.8	339.0	—	—	—	—	—	0.000
12 橋 詰	480	3.02	0.0014	39.2	8.4	—	12.0	189.2	12.4	0.1	0.30	6.0	77.3	0.2	0.9	0.29	0.56	13.2	109.9	318.0	21.13	0.84	0.22	16.35	3.72	0.002
13 相 馬	260	16.8	0.80	44.8	7.5	19.0	—	384.4	39.9	3.3	0.30	10.8	135.0	4.8	2.7	0.36	1.02	23.6	128.7	513.0	34.15	0.72	0.15	7.39	—	0.001
14 原口温泉	148	43.2	0.43	67.3	7.4	19.0	—	283.7	0.9	tr	0.30	12.0	74.8	10.0	4.3	0.17	0.51	9.9	107.9	374.0	10.78	0.18	0.09	5.20	5.13	0.001
15 般若 寺	29	59.02	2.90	61.4	6.8	159.6	—	637.7	124.1	tr	0.30	17.2	206.0	68.9	9.5	0.25	0.66	38.6	157.3	899.0	6.08	0.55	0.06	5.05	0.42	0.005
16 河 田 湯	198	12.96	0.52	43.6	7.2	36.1	—	396.6	0.9	tr	0.30	11.3	118.0	2.7	1.9	0.68	0.51	18.8	165.1	695.0	31.89	0.09	0.23	9.83	21.48	0.001
17 雪 松	160	1,814.4	—	68.5	7.5	15.8	—	570.5	19.5	2.7	0.32	23.4	184.5	0.5	2.0	0.23	0.36	18.8	241.8	742.0	—	—	—	—	—	0.001
18 菊 の 湯	160	—	—	51.4	7.8	3.2	—	64.1	3.5	0.3	0.27	2.6	20.5	0.4	1.8	0.18	0.41	4.4	83.2	140.0	26.98	0.48	—	—	—	—
19 吉松温泉	500	—	—	41.0	8.4	—	6.6	78.1	3.9	3.1	0.30	1.9	29.0	2.1	1.8	0.24	0.26	1.1	42.3	178.5	—	—	—	—	—	—
20 釜ヶ 迫	ロトウ	95.04	—	35.4	6.5	557.4	—	1,565.2	502.6	912.7	0.30	90.0	575.0	356.4	109.5	0.55	0.36	112.5	32.5	3,555.5	—	—	—	—	—	0.000
21 白鳥国民宿舎	ロトウ	—	—	63.0	4.4	36.1	—	15.3	8.9	29.2	0.30	2.6	3.1	6.7	2.0	0.47	0.51	3.3	35.1	142.0	—	—	—	—	—	0.001
22 露天風呂	—	—	—	40.0	1.9	1,072.8	—	0.0	381.2	1,141.7	0.30	48.8	50.0	64.2	5.5	27.40	164.35	25.4	164.5	1,797.0	12.56	3.44	—	—	—	—
23 蓮 太 郎	43	116.6	1.47	29.5	6.5	426.3	—	1,333.3	174.6	134.2	0.30	66.0	254.0	120.4	144.1	0.07	0.17	27.6	113.1	1,646.0	12.36	0.19	0.10	12.07	0.00	0.008
24 堀 切	—	—	—	—	6.2	22.2	—	36.6	3.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25 辻堂温泉	—	—	—	25.8	6.6	41.2	—	106.8	11.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26 湯 の 元	ロトウ	57.89	25.06	21.2	6.2	861.4	—	1,617.0	18.6	tr	0.30	30.6	186.0	163.7	124.6	1.23	0.97	33.1	117.7	1,404.0	3.32	0.51	0.03	2.78	0.00	0.001
27 杉倉 敏 泉	タンボウガ かの湧水	—	—	24.0	—	25.3	—	30.5	1.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28 安久湯泉	—	—	—	21.5	5.8	28.5	—	58.0	5.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29 長田峽 敏 泉	ロトウ	—	—	16.2	9.2	33.0	—	308.2	1.2	8.2	0.17	4.1	135.0	3.4	1.6	0.05	0.36	2.0	9.1	395.0	20.80	0.18	1.37	14.34	4.91	—
30 浜之市不老泉	367	—	—	50.2	7.1	25.3	—	146.4	16,664.8	2,136.8	0.17	330.0	8,646.0	967.1	936.6	0.09	1.43	24.3	106.7	31,915.0	10.70	0.37	0.13	10.20	0.00	—
31 吉田温泉	—	—	—	54.2	7.6	25.3	—	811.6	96.5	6.0	0.19	47.5	317.5	4.5	3.3	0.08	0.26	16.5	166.4	1,082.0	15.46	—	—	—	—	0.005
32 町有源泉	354	—	—	42.3	7.2	28.5	—	961.1	48.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.003
33 妙見温泉	134	1,296.3	1.64	48.5	6.4	338.8	—	1,104.5	155.1	135.2	0.23	36.0	206.0	170.2	90.5	0.07	0.51	35.3	200.3	1,514.0	6.48	0.74	0.07	5.57	0.10	0.001
34 ラムネ 敏 泉	ロトウ	11.23	0.29	—	6.2	551.0	—	958.0	151.6	70.8	0.17	50.5	115.0	122.0	82.8	0.10	0.77	45.2	199.6	1,291.0	4.90	1.09	0.08	3.73	0.004	0.000
35 林田源泉	ロトウ	—	—	61.5	3.1	97.3	—	0.0	31.9	186.4	0.17	33.0	23.0	19.3	14.1	0.50	3.67	32.0	179.7	529.5	—	—	—	—	—	0.005
36 湯 之 野	ロトウ	—	—	53.0	4.8	—	—	—	7.1	107.0	0.17	4.5	10.0	15.3	24.8	2.60	3.78	14.3	133.3	408.0	—	—	—	—	—	0.001
37 敷 根	—	—	—	20.5	5.8	209.0	—	109.8	5.3	tr	0.30	6.2	11.3	17.0	6.4	0.16	1.02	7.7	75.4	223.0	—	—	—	—	—	0.001

遊 り ガ ス Vol %													N ₂ /Ar	CH ₄ /C ₂ ~C ₅
H ₂	O ₂	Ar	N ₂	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	i-C ₄ H ₁₀	n-C ₄ H ₁₀	i-C ₅ H ₁₂	n-C ₅ H ₁₂		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.000	0.03	0.82	90.76	0.17	8.22	0.00176	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	111	4,653
0.000	0.01	0.45	45.79	0.48	53.87	0.00706	0.00000	0.00021	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	100	7,425
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.000	0.04	0.33	45.19	0.43	54.01	0.00404	0.00000	0.00013	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	136	12,900
0.000	0.05	0.02	1.47	98.48	0.00 ₅	0.00001	0.00001	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	79	250
0.003	0.02	0.49	57.64	0.58	41.27	0.00275	0.00000	0.00021	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	119	1,415
0.000	0.02	0.24	17.63	1.16	80.95	0.00028	0.00000	tr	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	74	201,000
0.000	0.04	0.02	1.70	1.09	97.15	0.00014	0.00000	tr	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	82	668,750
0.002	0.05	0.73	80.27	0.02	18.93	0.00475	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	111	3,979
0.004	0.03	0.31	29.54	0.49	69.62	0.01310	0.00000	0.00162	0.00014	tr	0.00000	0.00000	96	4,690
0.000	0.02	0.40	42.54	1.79	55.24	0.01530	0.00000	0.00393	0.00149	0.00017	0.00048	0.00000	106	2,600
0.000	0.05	0.20	23.00	70.41	6.34	0.00443	0.00000	0.00014	0.00004	0.00000	0.00000	0.00000	116	1,300
0.000	0.07	0.59	41.94	0.33	57.07	0.00911	0.00000	0.00615	0.00046	tr	0.00000	0.00000	72	3,640
tr	0.02	0.42	33.14	0.34	66.06	0.02230	0.00000	0.00645	0.00147	0.00066	0.00078	0.00000	80	2,000
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.000	0.05	0.009	0.84	99.11	0.00 ₃	0.00001	0.00003	0.00000	0.00006	0.00000	0.00000	0.00000	97	75
0.000	0.03	—	86.55	3.06	10.36	0.00460	0.00000	0.00079	0.00006	0.00015	0.00000	0.00000	—	1,850
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.000	0.05	0.22	44.67	55.02	0.04	0.00003	0.00008	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	203	363
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.000	0.03	0.01	0.81	99.14	0.01	0.00001	0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	135	333
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.000	0.15	—	96.75	2.52	0.58	0.00034	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	141	1,710
0.000	0.03	0.66	93.56	4.73	1.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.000	0.05	0.06	8.14	91.73	0.02	0.00001	0.00001	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	123	1,000
0.000	0.09	0.07	5.12	94.70	0.02	0.00000 ₈	tr	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	71	200
0.000	0.08	0.62	92.05	3.19	4.05	0.01550	0.00000	0.00021	0.00005	0.00008	0.00008	0.00000	148	256
0.000	0.05	0.10	15.51	84.19	0.15	0.00020	tr	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	155	750
tr	0.03	0.00 ₄	1.23	30.21	68.53	0.01355	0.00000	0.00825	0.00021	0.00000	0.00000	0.00000	262	3,090

が分布する。

牧園地域に分布する地下水は、一般に CO_2 を伴っている。今回著者らは、2試料を観測して、 1000 mg/l 前後の値を得た。

隼人地域は、牧園地域と比較して、かなり巾広い HCO_3^- 値を示す温泉水が分布する。すなわち、今回著者らは、 $100 \sim 1000\text{ mg/l}$ の値を測定した。一方、牧らによれば当地域には、 70 mg/l の値を示す地下水も分布すると報告されている。一般に、海岸近くの温泉水あるいは地下水に低い値を示す傾向がある。

敷根地域では、1試料観測して、 109 mg/l の値を得た。この値と、すでに行なわれた牧らの結果から、一般に、 CH_4 ガスを伴う地下水も含めて、 100 mg/l の値を示すようである。

噴気地帯では、酸性が著しく強く、 15 mg/l 以下の値を示すようである。

4.1.4 Cl^-

霧島火山周辺に分布する、温泉水および地下水の Cl^- 供給は、1) 火山活動による、2) 海水からの供給、3) 人間の生活活動に起因するなどが考えられる。

霧島火山の東側では、 CO_2 を伴う温泉水および地下水を除いて、西側に比較的 Cl^- 濃度の高いものが集中している。最高含有値は、西南側臨海部にみられる。

都城地域での地下水は、一般に 5 mg/l 以下の値を示すようである。

小林地域における地下水は、伊田らによると、一般に 10 mg/l 以下のものである。しかし、今回著者らが観測した、 CO_2 ガスを伴う温泉水および地下水では、最高 174 mg/l の値を得た。

加久藤地域では、一般に 10 mg/l 以下の値を示す。

京町地域では、火山活動に伴う Cl^- の供給が考えられ、一般に 40 mg/l 以下のものである。一方、 CO_2 を伴う温泉水は、著しく高く、今回 $300 \sim 720\text{ mg/l}$ の値が測定された。

吉松地域でも、京町地域とはほぼ同じ傾向を示す。牧園地域で、 CO_2 を伴う温泉水は、吉松地域と同様の分布傾向を示すと考えられる。今回の測定では、 150 mg/l 前後の値を示した。

隼人地域に分布する温泉水の Cl^- 含量は、かなり巾広い値を示す。今回の観測では、 $40 \sim 17000\text{ mg/l}$ の値で、とくに臨海部で、著しく高い値が

みられる。

敷根地域では、牧らおよび著者らの観測結果から、一般に 10 mg/l 以下のものである。 Cl^- 含量が著しく高いものについては、海水の影響をうけたと考えられよう。

噴気地帯では、 Cl^- 含量が著しく変化に富んでおり、鎌田らおよび今回著者らの結果から、 $1 \sim 1600\text{ mg/l}$ 範囲のものである。

4.1.5 SO_4^{2-}

霧島火山周辺に分布する、温泉水および地下水の SO_4^{2-} 供給は、すでに述べた Cl^- 供給の場合と同様、火山活動・海水・人間活動が考えられる。

霧島火山周辺では、一般に、 CO_2 を伴うか、あるいは臨海部にある温泉水・地下水に、 SO_4^{2-} 含量の高いものがみられる。

都城地域では、長田峽鉱泉の 8.2 mg/l を測定したのみである。しかし、 Cl^- の分布および他の化学成分からみて、とくに異状値を示すものは、存在しないと推定される。

小林地域については、 CO_2 を伴う温泉水に多く、運太郎鉱泉(試料 $\delta 23$)で 134.2 mg/l の値である。伊田らの報告によると、当地域の地下水は、一般に $10 \sim 40\text{ mg/l}$ の値を示すようである。

可燃性天然ガスを産出する加久藤地域では、霧島火山周辺で最も低い含量を示す地下水が、集団的に分布する。著者らおよび伊田らの測定でも、 1 mg/l 以下の値となっている。

京町地域では、やたけ荘(試料 $\delta 6$)の 1448.3 mg/l が著しく多い。ついで、 CO_2 を伴う温泉水が $300 \sim 1000\text{ mg/l}$ の値である。一方、その他の温泉水については、 20 mg/l 以下のものである。

吉松地域に分布する温泉水中の SO_4^{2-} は、京町地域のものよりもやや低い、 5 mg/l 以下のものである。また、 CO_2 を伴う般若寺温泉(試料 $\delta 15$)は、 tr. 程度しか検出されず注目される。このような吉松および京町地域の相違は、おそらく地表水の供給、およびたい積層中での SO_4^{2-} の分解などに支配される結果であると推定される。

牧園地域に分布する温泉水は、今回著者らの測定によれば、 $70.8, 135.2\text{ mg/l}$ の値である。

隼人地域では、臨海部の浜の市(試料 $\delta 30$)が 213.6 mg/l と、著しく高い値を示す。しかし、今回著者らの測定(6.0 mg/l)および鎌田

らの結果から、当地域のものは牧園地域より低い値のようである。

敷根地域では、海水の混入したものを除き、牧らおよび著者らの結果から、数mg/l以下のようである。

噴気地帯における温泉水の SO_4^{2-} 含量は、場所により著しく異なる。今回著者らは、最高1141.7 mg/l含量の値を測定した。

4.2 附随ガスの組成とその地域的分布

霧島火山周辺に分布する天然ガスは、いずれも、温泉水あるいは地下水に伴なって産出する。これらのガスを、主成分系に分けると、 CO_2 系・ N_2 系・ CH_4 系およびこれらの成分の混合系である。 CO_2 系および N_2 系のガスは、霧島周辺に広くみられるが、 CH_4 系ガスは北部および南部に限られる。

都城地域では、地下水に伴なうガスの産出はみとめられなかった。しかし、長田峽鉱泉は、水質から推定して、おそらく CH_4 を多少伴うような地下水であろう。

小林地域に分布する天然ガスは、 CO_2 系かあるいはときおりゆう水に伴なって産出する N_2 系ガス（この N_2 は、地下水に溶存した空気に由来）で、 CH_4 系ガスはみとめられない。

加久藤地域では、一般にいわゆる加久藤層群にはい胎した、 CH_4 系ガスが産出している。牧らおよび今回著者らの測定から、当地域のガスは、一般に CH_4 70 vol.%以上、 N_2 20 vol.%以下、および CO_2 5 vol.%以下で構成されている。なお、橋詰（試料版12）は、当地域における唯一の N_2 系ガスである。

吉田温泉を除く、京町地域の附随ガス組成は、加久藤地域のそれと比較して、 CH_4 濃度が低く、これに対し、 N_2 濃度が相対的に高くなっている。すなわち、当地域に分布する天然ガスの組成は、 CH_4 10～70 vol.%、 N_2 1～90 vol.%の変化に富んだ値を示す。当地域北部の吉田温泉では、いわゆる加久藤層群にはい胎した、 CH_4 系ガスとは別に、 CO_2 98 vol.%以上の、いわゆる火山性と考えられるガスが産出している。

吉松地域に分布するガス組成は、京町地域のものと似て、いわゆる N_2 — CH_4 系の混合型である。一方、当地域に産出する CO_2 系ガスの般若寺についてみると、主成分である CO_2 の濃度は、吉田温泉のものより低く、71 vol.%前後の値を

示す。

今回著者らが観測した、準人地域の天然ガス組成は、 N_2 系である。これら天然ガスの N_2 成分濃度は、いずれも90 vol.%以上の値である。

敷根地域では、 CH_4 および CH_4 — CO_2 系の天然ガスが分布する。 CH_4 系ガスの CH_4 濃度は、65 vol.%以上と推定される。今回著者らの観測および牧らの観測結果から、一般に CO_2 濃度は、40 vol.%以下のようである。

噴気地帯にみられる天然ガスは、 N_2 系および CO_2 系である。 N_2 系ガスで注目されることは、意外にも CH_4 成分が、数%も含有されていることである。

5. 水質およびガス質からみた各地域の地球化学的環境

一般に、火山周辺に分布する地下水の化学的性質は、主として火山発散物、たとえば、より深部に由来すると考えられている HCl ・ SO_2 ・ H_2S ・ CO_2 ・ H_2 および N_2 などの影響をうける。これらの火山性ガスは、上昇移動の過程で地下水と接触し、そのさい物理化学的条件に応じて、対応するガス質および地下水質が形成される。

鎌田らは、上に述べたような考え方で、霧島火山周辺に分布する地下水の化学的性質を、いわゆる火山ガス分化説で規定している。つまり、この説によれば、ある地下水が、こうした火山ガスの影響をうけたかどうかの判断は、地下水に含まれているtracer的成分を追及することによって可能である。

深部における火山ガス分化のある段階で、強くこの影響をうけた地下水が、上昇移動して地表近くで大量の天水でうすめられると、tracer的成分の追及もそれだけ弱くなる。こうした場合、たとえば、地下水に伴なっているガス（遊離ガスあるいは溶存ガス）の性質を追及することによって、深部情報を探知し得る可能性がある。

天然ガスによる深部情報とは、たとえば、地下水に伴なっている遊離ガスあるいは溶存ガス中のHe成分の存在が、より古い岩石類から由来した可能性を暗示する。また火山岩類から産出している天然ガスのなかに、炭化水素成分を含有する場合、この火山岩類の下位に、たい積岩の存在を予想することも可能である。

5.1 都城地域

この地域での試料は、浅層（自由面地下水）あ

るいは例外的な露頭に限られる。浅層の地下水は、一般にいて、当地域に厚く広範に分布する、いわゆるシラスの水質を代表すると思われる。

わが国ガス田の端水によくみられるような性質を示す、長田峽鉱泉を除くと、一般に、当地域の地下水質から、霧島火山活動の影響を特徴づける成分の反映はみられない。すなわち、当地域に分布する地下水中の HCO_3^- および Cl^- 含有値は、background 値として考えられるものである。したがって、 Cl^- 含有値のやや高いものについては、地上からの汚染と考えるのが妥当であろう。

5.2 小林地域

当地域には、ゆう水および40m以浅の地下水坑井が分布している。これらのなかには、水温がやや高く、 CO_2 を伴う地下水がみられる。

当地域のゆう水には、遊離ガスを伴うものがある。伊田らによると、この遊離ガスの組成は、大気地下水に溶け、再び遊離した組成に似ていると指摘している。さらに、ゆう水に含まれる HCO_3^- ・ Cl^- および SO_4^{2-} から、地表水の水質に近いものと推定される。

小林地域内の東南部には、水温が高く、 Cl^- および HCO_3^- の含量が著しく多い地下水が局部的に存在する。またこの地下水は、一般に CO_2 を伴っていることなどからも、火山活動の反映として考えられる。このような水質の特異性は、西北部と東南部との地質構造の差異を反映しているものと推定される。

つぎに、地下水に伴って産出するガスの化学組成をみると、ここでみられるものは CO_2 系のガスである。このような CO_2 rich の天然ガスは、たい積岩中では胎したものでなく、火山活動と関連づけて、その成因等が考えられている。したがって、この種の天然ガスのなかに、 CH_4 成分がかなりの量含まれている場合には、 CH_4 成分自身はたい積岩から由来したと考えてさしつかえないであろう。

ガス中の He/Ar 値および N_2/Ar 値についてみると、わが国の例では、一般に古いガスほど両者の値は大きくなる傾向を示すようである。また、たい積岩中では胎するガスで、 $\text{CH}_4/\text{C}_2\sim\text{C}_5$ ^{注1)}の値は、一般に古いものに低い値をとる傾向にある。

さて、天然ガスに関し以上に述べた著者らの経験的法則性を、運太郎鉱泉（試料No 23）および湯の元鉱泉（試料No 25）に適用し、つぎのよう

な地質環境の推定を行なった。すなわち、運太郎および湯の元の地下水に伴うガスの化学組成から、1) この附近では、深部火山性ガスが、上昇移動しやすいような地質構造である、2) こうした地質構造を反映して、 CO_2 系ガスの産出は、一定の配列（北東方向）をとるようである、3) すくなくとも、この附近の地表下での、加久藤層群（ CH_4 ガスポテンシャルのある）の存在を、直接指示するような試料は得られなかった。

5.3 加久藤地域

当地域には、古くから可燃性天然ガスが産出している。 CH_4 系天然ガスを伴う地下水は、たとえば HCO_3^- 含量の多いことで特徴づけられる。当地域に分布する地下水中の HCO_3^- の成因は、いわゆる火山性 CO_2 の、地下水への溶解で生成されたのではなく、加久藤層（たい積層）のなかで生成されたものである。

当地域は、いわゆる加久藤層群が標式的に、もっとも厚く伏在するところであるが、70~150mの坑井深度をもつものが分布している。これら坑井から産出する地下水の水質および水温などからは、霧島火山活動の直接的影響をよみとることは出来ない。ただ、当地域の南部にある橋詰（試料No 12）は、火山活動の一定の影響をうけたものであるとみなすことが出来る。

地下水に伴うガスは、一般にわが国における、第四紀水溶性天然ガスの組成に似ている。

まずHe成分についてみると、わが国では一般に、たい積盆地の周縁部か、あるいは中心部でも、より深層部から産出するガス中に検出される傾向がある。一般的にいて、 CH_4 系天然ガス中にHeが検出されるかどうかは、ガスをは胎するたい積層と基盤との距離関係をあらわす1つの目安として考えることが出来る。当地域で産出する CH_4 系天然ガスのなかに、いづれもHeの検出はみとめられなかった。しかし、南端の橋詰（試料No 12）は、 N_2 系ガスで、Heの検出がみとめられた。このことはおそらく、この附近における、加久藤層群の厚さと基盤との関係を示しているようである。

一般的にいて、ガス中の N_2/Ar 値は、古い地層から産出するものに高い値がみられるようである。今回著者らが測定した、当地域に産出する天然ガス中の N_2/Ar 値は、いづれも坑口遊離ガスについてのものである。

当地域で産出する天然ガス中の N_2/Ar を、同じ盆地内にある京町・吉松地域のそれと比較すると、低い値をとっている。ガス中の $CH_4/C_2 \sim C_5$ は、 $200.000 \sim 60.000$ で、これは若い第四紀の天然ガスが示す値に似ている。当地域南端の橋詰では、 $CH_4/O_2 \sim C_5$ が 3945 と、著しく小さい値を示す。おそらくこのガスは、加久藤層群とより古いたい積岩から由来したと思われるガスとの混合によって、生じたものであると理解される。

以上当地域の地下水質およびこれに伴うガス質から、つぎのようなことが理解される。すなわち、当地域の周縁部を除き、一般に霧島火山の活動にともなう地球化学的現象の反映を、すくなくとも既存坑井深度から産出する地下水およびこれに伴うガスからは期待出来ない。このことは、当地域が、火山活動や下部地質構造との関連で、京町・吉松地域とは異なっていることを、指示しているものと理解される。

5.4 京町および吉松地域

いわゆるえびの地震で、もっとも被害を受けた地域である。京町および吉松地域に分布する、温

泉水の水温およびこれに伴うガスの組成は、同じ盆地内にある加久藤地域のそれと比較して、明りょうな差異がみとめられる。

図-2は、盆地内に分布する温泉水および地下水の水温と、深度の関係を示したものである。この図からは、加久藤・京町および吉松地域の地下水が、同一盆地・同一の加久藤層群から産出していながら、まったく独立した温度勾配を示す、興味ある現象がみられる。

伊田らによると、加久藤地域では、地表面における起点を $15.8^\circ C$ 前後として、大略地下増温率 $1^\circ C/17.5m$ と推算している。またさらに京町地域では、 $1^\circ C/7.7m$ の値を報告している。

京町と吉松地域の水温を比較してみると、深度が大きい ($200 \sim 433m$) 京町地域の地下水温が、これよりも浅い ($200m$ 以浅) 吉松地域のものより低い、特異な現象がある。つまり、水温の高低が、霧島火山活動の影響の強弱を反映する1つの要素とすれば、それは、京町と吉松行政区の境界域で、もっとも顕著である。つぎに、このような地下水温の特異性が、水質の面では、どのように反映されているかの考察をすすめる。

従来からの考えによれば、ある深部における火山性ガスが、上昇の過程で地下水と接触する。そしてここで一部ガス成分の地下水への溶解によって、特徴ある水質の変化が起る。一般的には、地下水中に、 $Cl^- \cdot HCO_3^-$ および SO_4^{2-} が著しく増大する。

さて、京町および吉松地域は、いわゆる温泉地帯と、ガス用地帯とが重複したところである。したがって、両地域で得られる地下水試料は、加久藤層群にあった固有の地層水と、外部から火山活動の影響を受けた地下水とが混合して生じたものであると解される。

すでに指摘したように霧島火山周辺に分布する地下水が、どの程度火山活動の影響を受けたかは、 $Cl^- \cdot HCO_3^-$ および SO_4^{2-} などの相対的增加が1つのめやすとなることは、すでに述べた通りである。京町および吉松地域に分布する温泉水のなかで、この種の成分が著しく多く含むものは、普通 CO_2 を伴っている。

京町地域の北部にある吉田温泉の、鹿の湯 (試料版8)・釜ヶ迫 (試料版20) およびやたけ荘の温泉水は、 $Cl^- \cdot HCO_3^-$ および SO_4^{2-} 成分が著しく多い。つまり、これらの温泉水および類似

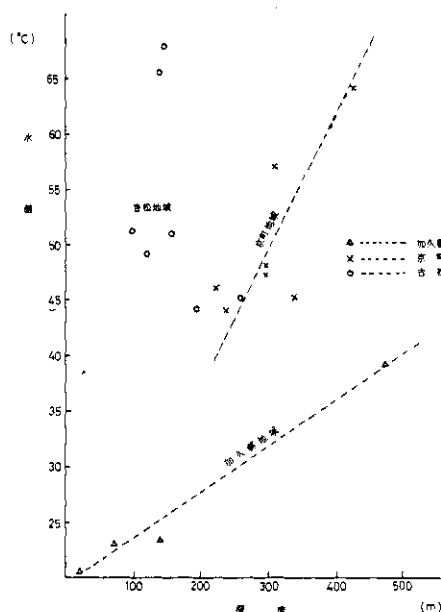


図-2 加久藤盆地に分布する地下水の水温と深度の関係

Fig. 2. Relation between depth and temperature of groundwater in the Kakuto basin.

の地下水は、加久藤層群の下位に分布しており、今回著者が採取した試料のうちでは、代表的なものとして考えられる。

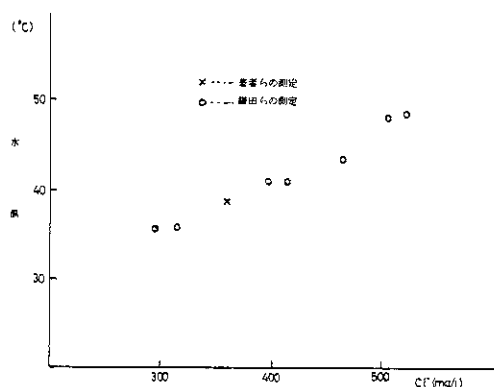


図-3 吉田温泉の水温と Cl^- の関係

Fig.3. Relation between temperature and Cl^- content of hot-spring water in the Yoshida hot springs.

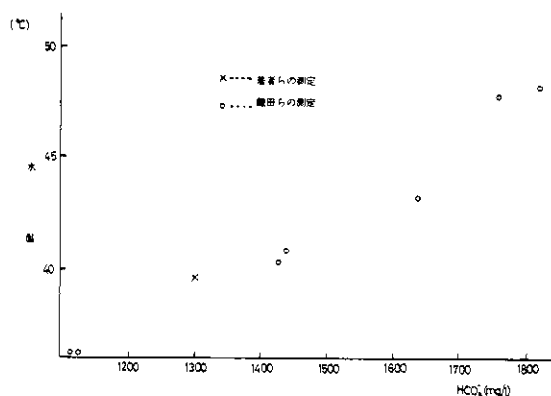


図-4 吉田温泉の水温と HCO_3^- の関係

Fig.4. Relation between temperature and HCO_3^- content of hot-spring water in the Yoshida hot springs.

図-3・図-4は、吉田温泉にある鹿の湯および亀の湯（鎌田らの試料）の温泉水について、水温- Cl^- および水温- HCO_3^- の関係を示したものである。これらの図からよみとれるように、いづれも明りょうな相関関係が成立している。鹿の湯および亀の湯のような温泉水が、どの程度加久藤層群のなかに混入したかを知る方法として、すでに述べたように、tracer的成分（ Cl^- ・ HCO_3^- ・

SO_4^{2-} ）の追及が考えられる。

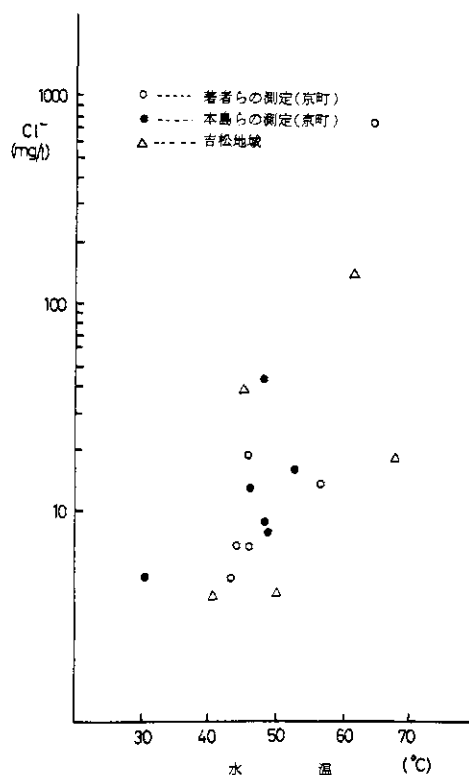


図-5 京町および吉松地域に分布する温泉水と Cl^- の関係

Fig.5. Relation between temperature and Cl^- content of hot-spring water in the Kyomachi and Yoshimatsu districts.

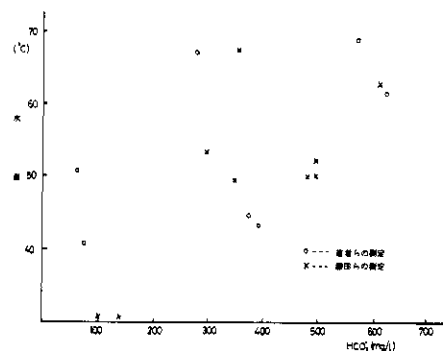


図-6 吉松地域に分布する温泉水の水温と HCO_3^- の関係

Fig.6. Relation between temperature and HCO_3^- content of hot-spring water in the Yoshimatsu district.

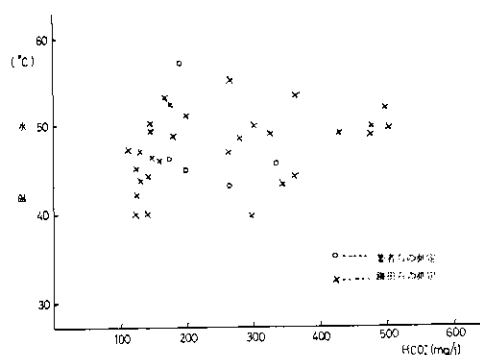


図-7 京町地域に分布する温泉水の水温と HCO_3^- の関係 (吉田温泉を除く)

Fig.7. Relation between temperature and HCO_3^- content of hot-spring water in the Kyomachi district (excluding the Yoshida hot-spring district).

図-5, 図-6および図-7は, 京町および吉松地域に分布する温泉水 ($\text{Cl}^- \cdot \text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-}$ を多量に含み, かつ CO_2 を伴うものは除いた) の, 水温- Cl^- および水温- HCO_3^- の関係を示したものである。まず図-5の水温- Cl^- の関係では, 京町地域のものがやや正相関の関係を示すようである。しかし吉松地域では, 試料数も不足しているが, 京町地域の温泉水にみられたほどの, 相関関係は示されていない。

図-6は, 吉松地域の温泉水の水温- HCO_3^- の関係を示した。この図では, 大略正相関の関係がみられる。一方, 図-7の京町地域では, 明りょうな関係がみられない。

温泉水および地下水中の Cl^- 含量についてみると, あまり明りょうでないが, 加久藤地域と比較して, 京町および吉松地域のものが多少多いようである。また, 温泉水中の HCO_3^- について着目すると, 京町地域と比較して, 吉松地域のものがやや多い含量を示す。これはおそらく, 吉松地域では, CO_2 ガスの直接的地下水への影響が, 京町地域の場合より強調された結果であると推定される。

以上, 水質の面から総合判断すると, 京町および吉松地域では, 吉田温泉ややたけ荘にみられた, いわゆる火山活動の影響を強くうけた温泉水の性格が, 多少とも加久藤層群の地層水に反映してい

るものと考えられる。

つぎに, 温泉水に伴う天然ガスの化学組成から考察をすすめてみる。

京町および吉松地域に分布する天然ガスが, N_2 系・ CO_2 系・ CH_4 系およびこれら成分の混合型であることはすでに述べた。

まず, 加久藤地域で検出されなかった He が, この両地域で検出されていることが注目される。これには普通2つの原因が考えられる。その1つは, ガス産出層がより古期岩である基盤岩類に近づいたこと, 別の1つは, 断層・裂か等が発達して, 深部のガスが上方移動するに都合のよい地質構造をなしていることである。

さて, 両地域では, 上述したいづれの原因が支配的であるかは今ここで結論出来ないが, どちらかといえば, 前者の場合の原因が, 両地域に共通しているようである。

深部の火山活動に伴って, CH_4 やその他の炭化水素が無機的に生成することは, もちろん理論的に可能である。しかし, 両地域に分布する天然ガス中の CH_4 の大部分は, 加久藤層のなかで生成されたものと考えられる。また, CO_2 系あるいは N_2 系に含有されている微量の CH_4 についても, これまでの著者の経験から, その供給源としては, たい積岩類を考えている。

上述した如く, 両地域に分布する天然ガス中の CH_4 の大部分を, 加久藤層群からの供給と考えた。しかし, もっと細詳に検討すると, たとえば $\text{CH}_4/\text{C}_2 \sim \text{C}_5$ の値は, 加久藤地域で 20.000 (N_2 系を除く) 以上, 京町地域で 1.415 ~ 14.000 (CO_2 系を除く), 吉松地域では 2.100 ~ 4.700 (CO_2 系を除く) となっており, これら地域の間でかなり明りょうな差異がみとめられる。

両地域における天然ガス中の $\text{CH}_4/\text{C}_2 \sim \text{C}_5$ 値が低いことについて, 2つの理由が考えられる。1つは, この両地域の地温が, 加久藤地域よりも高く, したがって, たい積層中の有機物の熟成が相対的に早く進む。その結果, C_2 以上の炭化水素がより多く生成すること。他の1つは, 加久藤層群より時代的に古いたい積岩からの供給である。しかし, あとで述べる数根地域 (加久藤層群と地質時代が同じ国分層から天然ガスが産出。しかし, ここでは地温の異状はみとめられない。) の例からして, 両地域における $\text{CH}_4/\text{C}_2 \sim \text{C}_5$ 値

の低い理由は、後者、すなわちより古いたい積岩からの供給に起因すると考えられる。

両地域における天然ガス中の N_2 の供給は、大気が天水に溶解して供給されるもの、より深部から供給されるものに大分けされる。もちろんこのほか、加久藤層自体のなかでの有機物の分解による N_2 の増加もありうる。

加久藤盆地内で、加久藤地域に分布する天然ガ

スの組成は、加久藤層群のなかにはい胎する典型例として考えられる。牧らの加久藤地域における調査では、ガス中の N_2/Ar 値（遊離ガスおよび溶存ガスに含まれる N_2 と Ar 量をそれぞれ合計し、これを ml/l に換算）は、おおよそ50以下の値である。一方、京町および吉松地域における天然ガス中の N_2/Ar 値を表-3に示した。表-3から、京町および吉松地域の N_2/Ar 値は、いずれも60

表-3. 京町・吉松地域に分布する天然ガスの N_2/Ar 値

Table 3. Ratio N_2/Ar of accompanying gases with hot-spring water and groundwater in the Kyomachi and Yoshimatsu districts.

	㊦2 あけぼの荘	㊦7 真砂旅館	㊦9 武田清次	㊦13 相馬	㊦14 原口温泉	㊦15 般若寺	㊦16 河田湯
N_2/Ar	62	75	81	73	73	104	60

（溶存ガスおよび遊離ガス中の $N_2 \cdot Ar$ 量を測定し、これを ml/l に換算した）

以上で、たい積層自体のなかでの有機物分解による N_2 の増加か、深部からの N_2 供給が考えられる。

著者らの経験によれば、わが国の第三紀ガス田でも、たい積層中の有機物分解による N_2 の増加は、それほど顕著なものでない。加久藤層群のものとの比較において、おそらく両地域における N_2/Ar 値の増大は、より深部からの N_2 供給によるものであろう。

以上、天然ガス中に含まれている $He \cdot N_2/Ar$ および $CH_4/C_2 \sim C_5$ について検討した。その結果、京町および吉松地域に分布する天然ガスは、すでに加久藤層群にはい胎していたものに、これに、同層群より古いたい積層（四万十層を推定）のガスが、供給されたものであると推定出来る。

5.5 牧園地域

牧園地域は、京町および吉松地域でみられたような $Cl^- \cdot HCO_3^-$ および SO_4^{2-} 濃度が著しく高く、かつ CO_2 を伴うような温泉水が、集団的に産出している。水温は、統計的にみて、吉松地域のものよりやや低い。

当地域は、シラスおよび溶結凝灰岩地帯で、すくなくとも地表ではたい積層の存在はみとめられない。しかし、当地域でみられる天然ガス中の $CH_4/C_2 \sim C_5$ の値から、ここでは、より深部に

おける古期たい積岩の存在の可能性を指摘しておく。

5.6 隼人地域

当地域では、1000m以深の坑井が多く分布している。当地域を地理的にみると、南端が鹿児島湾に面している。地質学的には、火山岩類およびたい積岩類から構成されている地域である。このような地理的および地質条件のところでは、地下水と、これに伴うガスの地球化学的性格は、かなり複雑性を示すと考えられる。

当地域に分布する温泉水の水温は、牧園地域のものよりやや低い値である。また、臨海部の浜の市（試料㊦30）を除いた、他の温泉水の Cl^- および SO_4^{2-} についてみると、牧園地域のものよりもやや低い値であるが、おそらく一連の温泉水塊と考えられる。

臨海部にある浜の市の温泉水は、 HCO_3^- (14.6.4 mg/l) はきわめて少なく、これに対し Cl^- (16.6.6.4.8 mg/l) および SO_4^{2-} (2.13.6.8 mg/l) は著しく多い。これは、熱供給を除くと、海水の侵入によって形成されたものであろう。

当地域がかなり高い地温をもち、かつ地質学的にはたい積岩および火山岩類から構成されている点において、京町および吉松地域に似ている。京町および吉松地域にみられた温泉水の水質および附随ガスの組成が、おもに加久藤層群にはい胎す

る地下水質とガス質に支配されていたことはすでに述べた。これに対し、当地域に分布する温泉水および附随ガスの性質から、ここでの国分たい積層がもつ地球化学的性格は著しく弱いと推定される。

当地域の温泉水に伴なうガスは、一般に N_2 系であり、牧園地域と比較して、著しいガス質の違いを示す。

霧島火山周辺に分布する天然ガス中の N_2/Ar 値は、一般に CO_2 系と N_2 系に比較的大きい値がみられる。本地域では、1試料の測定値であるが、1.41とかなり大きい値である。また、 $CH_4/C_2 \sim C_5$ の値も著しく小さい。

ガス中の CH_4 含量、 $CH_4/C_2 \sim C_5$ 値および N_2/Ar 値からみても、当地域に分布する天然ガスは、おもに国分層にはい胎していたものとは考えられない。おそらく、より深部の火山性ガスおよび古期たい積岩から由来したと推察されるガスの性格に、大きく支配された結果であろう。

なお、霧島周辺にみられる、 N_2 系あるいは CO_2 系天然ガスについては、その供給源が同じ深部火山性ガスの、1構成成分であったと推定している。つまり、この深部火山性ガスが、種々な分化過程を経て、最終的に、 CO_2 系あるいは N_2 系ガスとなって地表に産出する。

5.7 敷根地域

当地域に分布する地下水で、あきらかに海水の混入と考えられるものを除き、一般に火山活動の影響をうけたと考えられるものはみられない。

地下水に伴なうガスの主成分は CH_4 である。この種のガス成分の母層として、伊田ら(1943, 1950)は、新第三紀の終りか洪積世の最初である国分層(淡水成)であると考えている。

国分層と加久藤層群は、いずれも淡水成で、しかもほぼ接近した時代のものであると考えられている。しかし、加久藤層群にはい胎する地下水の $HCO_3^- \cdot NH_4^+$ (伊田ら1956, の資料による)が著しく多いのに比較して、当地域では HCO_3^- が100mg/l前後、 NH_4^+ 0.5mg/l以下(牧らの資料による)の値である。このことは、当地域における地下水とガスが、同時生成でないことを暗示するようである。

地下水に伴なうガス組成に注目すると、主成分の CH_4 につぎ CO_2 の多いのが目立つ。 $CH_4/C_2 \sim C_5$ についてみると、いずれも3.000以下

の値のようである。また N_2/Ar についても、霧島周辺では、もっとも大きい200以上の値を示す。

沢村(1956)によると、当地域は、下から四万十層群、安山岩類および国分層群の地質構成になっている。当地域における地質構造と、地下水およびこれに伴なうガスの化学組成から、1)ガス中の CH_4 は、国分層および深部の四万十層に供給源をもつと推定される、2)しかし、当地域における深部四万十層の、ガス質面への反映は、加久藤盆地におけるよりも強調されている。

5.8 噴気地帯の温泉

噴気地帯の地質は、一般に溶岩類を主とする火山噴出物から構成されている。噴気地帯の温泉およびこれに伴なうガスを、地球化学的に考察する場合、いわゆるガス分化説が基本となろう。これは、丁度多段式吸収塔の下から、一定の組成をもったガスを上昇させた場合のように、噴気地帯の地化学的現象を単純化して考えても、基本的に間違っていないと思われる。

白鳥山の中腹、800～850mの位置にゆう出する白鳥温泉(試料No.23)の泉質をみると、ここでは、深部火山ガス成分の大部分が、地下水に溶解し去られ、残った難溶のガス成分と、熱だけが供給されている。したがって、附随するガスも N_2 系である。

ガス成分で注目されることは、 CH_4 の含量(10.36 vol.%)が意外に多いことである。著者らは、もちろんこの CH_4 をたい積岩からの供給と考える。この CH_4 供給源として考えられるのは、加久藤層群がこれより古いたい積層からであろう。ガス中の $CH_4/C_2 \sim C_5$ の値が1.850と、京町および吉松地域のものより小さいので、加久藤層群より古いたい積層から(四万十層を推定)の供給も充分考えられる。

霧島火山の西斜面に位置し、白鳥温泉とはほぼ南北の関係にある、林田(試料No.35)および湯之野温泉(試料No.36。標準は、林田温泉より高い)は、地球化学的観点では、ほぼ白鳥温泉に似ているといえる。林田温泉に伴なうガスは、 N_2 系、湯の野温泉は CO_2 系である。これらのガス中には、多少の CH_4 が存在する。また、 $CH_4/C_2 \sim C_5$ の値は、白鳥温泉の場合よりさらに小さく、1.000以下である。これは、おそらく四万十層群の反映が、白鳥温泉の場合よりさらに強調され

ていると考えられる。

6. ま と め

著者らは緒言で述べた見地に立って、この種の問題への足がかりとして、1) 広く調査地域地質の基盤をなしていると考えられる四万十層群の分布、2) えびの・吉松地区地震のもっともはげしかった、京町および吉松地域の温泉に関する地球化学的特徴を、他地域との比較によって明らかにする。以上の2点について、以下にまとめた。

6.1 四万十層群の分布について

著者らの調査地域では、鮮新世末期から更新世にかけて形成されたと考えられる、加久藤盆地内のたい積物および鹿児島湾北岸の国分層群の分布は、かなりはっきりしている。しかし、四万十層群の地下分布については、かならずしも明りょうでなかった。

京町および吉松地域のように、ガス田と温泉が重複するところでは、含有成分の微量の違いを技術的に判定するのに困難な場合が多い。これに代るものとして、著者らは、ガス中の $\text{CH}_4/\text{C}_2\sim\text{C}_5$ および N_2/Ar などを用いて、より深部に存在するたい積岩の推定を試みた。その結果、霧島火山の北部・西部および南部に、おそらく四万十層群と推定される古期たい積層が、潜在しているようである。

6.2 京町および吉松地域に分布する温泉の、地球化学的特性について

加久藤盆地の京町および吉松地域は、霧島火山周辺に分布する温泉（噴気地帯を除く）のなかで

は、比較的高温の地下水が、集団的に分布する。

また、加久藤盆地内で、しかも同一の加久藤層群から産出する、地下水およびこれに伴うガスの地球化学的性質は、盆地内、加久藤・京町および吉松地域の間に、相互にかなり明りょうな相違を示している。京町および吉松地域の境界域に相当するところでは、水温が高く、 $\text{CH}_4/\text{C}_2\sim\text{C}_5$ の値がより低いなどの特徴があげられよう。

注1) $\text{CH}_4/\text{C}_2\sim\text{C}_5$: $\text{C}_2\sim\text{C}_5$ は、炭素数2から5の脂肪族炭化水素の含量。

参 考 文 献

伊田一善(1943) : 南九州の天然ガスについて、石油技術, vol.13, 頁4.

伊田一善・外3名(1950) : 鹿児島県敷根天然ガス地質調査報告, 地質月報, vol.1, 頁2.

伊田一善・外2名(1956) : 官崎県小林市附近天然ガス調査報告, 地質調査所報告第168号.

鹿児島温泉研究会(1964) : 鹿児島県の温泉(その2)。

鹿児島温泉研究会(1966) : 鹿児島県の温泉(その3)。

沢村孝之助(1956) : 5万分の1地質図中「国分」, および同説明書, 地質調査所。

天然ガス鉱業会(1961) : 九州地方天然ガス開発利用調査報告。