

平成 19 年 3 月

解 説

韓国，济州島南部の温泉¹日本地科研究所, ²日本地下探査佐藤 幸二¹, 高屋 正²

(平成 18 年 9 月 29 日受付, 平成 18 年 11 月 9 日受理)

Thermal Springs of southern Cheju Island, Korea

Koji SATO¹ and Tadashi TAKAYA²¹Nihon Chika Kenkyuusho, ²Nihon Chika Tansa**Abstract**

A thermal spring (37.2°C, pH 6.15) was found by the drilling of 2000m deep at the southern part of Cheju Island, Korea. This spring was a simple thermal spring (Na · Mg · Ca-HCO₃ type) with CO₂.

The basement rock at the drilling point was gneiss, probably from the Precambrian age. The gneiss was covered with unidentified tuff, late Tertiary sedimentary rocks, and the uppermost layers were Tertiary~Quaternary basalt from the Hallasan Volcano.

The 6 springs on Cheju Island described in this paper, had temperatures ranging from 25.4°C to 42°C. The characteristics are 2 simple thermal spring, a Na-Cl·HCO₃ spring, a Na-Cl spring, a CO₂ spring and a Na · Ca · Mg-HCO₃ spring. No SO₄ type thermal spring was present.

Although Cheju Island is a young volcanic island, the thermal springs of this island are deep ground water springs.

Key word : Cheju Island, thermal spring, basement rock, deeper ground water type
キーワード : 济州島, 温泉, 基盤岩, 深層地下水型

1. はじめに

著者らの 1 人, 佐藤は 1987 年に韓国を初めて訪れたのを機に, 韓国の温泉の状況を紹介した (佐藤, 1988). ちょうど韓国内の温泉開発が活発になり始めた頃であったが, 温泉の状況が判明しているのは 22 温泉に過ぎなかった. これは, 鄭ほか (1999) の 23 温泉や Lim (1997) のいう 25 の “natural hot spring” に相当するものである. それが金 (2000) によれば 1999 年には 100 を越える

ように増加し、近年では約 100℃ の泉温をしめす温泉（江華郡席毛島）まで出現した。また以前は温泉の無かった韓国西南部（全羅北道，全羅南道，済州道）にも温泉が出現した（佐藤，2003）。

2002年に済州島の南部の西帰浦市三梅峯付近で深度 2,000 m の温泉掘削が行われた。地質は地表から続く漢拏火山の玄武岩類の下位に第三紀後期の西帰浦層，時代未詳の凝灰岩が続き，最下位に基盤の片麻岩（恐らく先カンブリア紀）が存在することが明らかになった。地温上昇率は 1,000 m 以浅の 2.5℃±/100 m から深度と共に小さくなる。揚湯量は水位降下が 75.09 m の時に 215.3 l/分 = 310 m³/日であって，泉温は 37.2℃，泉質は Na・Mg・Ca-HCO₃ 泉型の単純温泉である。

2. 済州島の位置と地形

済州島は韓半島の南西約 90 km にある島で，緯度はほぼ北緯 33°30′である。Fig. 1 に示すように日本では福岡市といった緯度である。

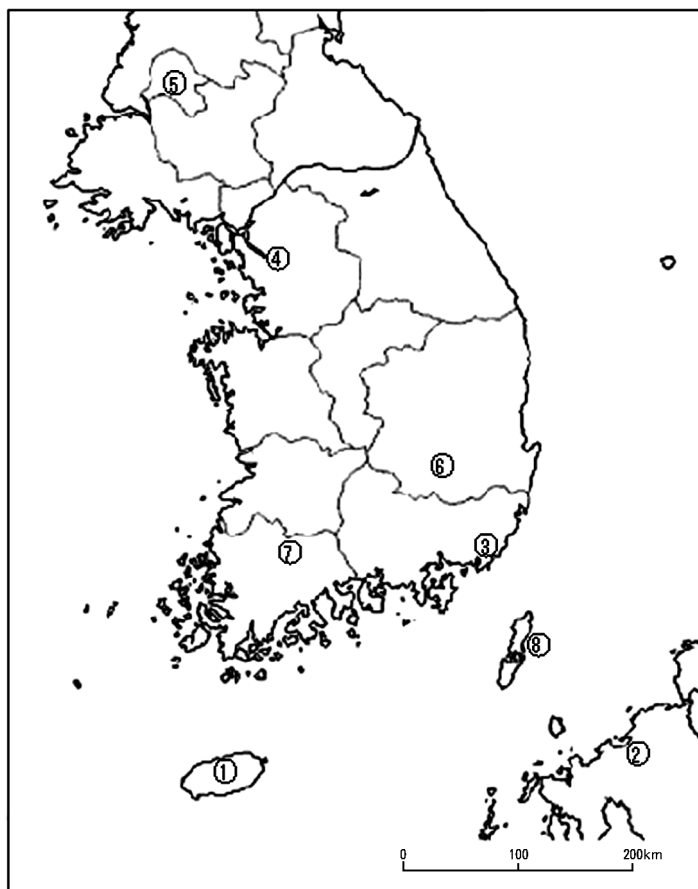


Fig. 1 Location of Cheju Island.

図 1 済州島の位置

- | | | |
|--------------------|-----------------|------------|
| ① Cheju Island 济州島 | ② Fukuoka 福岡 | ③ Pusan 釜山 |
| ④ Seoul ソウル | ⑤ Pyeongyang 平壤 | ⑥ Tegu 大邱 |
| ⑦ Gwangju 光州 | ⑧ Tsushima 対馬 | |

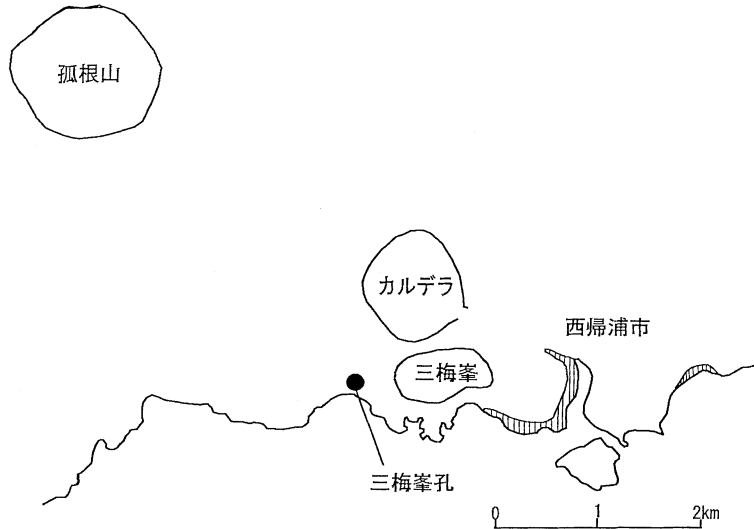


Fig. 2 Sketch map of Sammebong spring.

図 2 三梅峯温泉付近略図

hatched part : Seogwipo formation.

ハッチ部 : 西帰浦層露出域

濟州島は東北東-西南西方向が 74 km, 北北西-南南東方向が 32 km の楕円形の島で, 面積は 1,825 km²である。島の中央には韓国の最高峰, 漢拏山(海拔 1,950 m)が位置する。漢拏山は新生代新第三紀後期から第四紀にかけての火山で, 頂上付近に径 580×400 m, 深さ 100 m の噴火口(白鹿潭)がある。山体は主として玄武岩溶岩から構成され, 傾斜の緩い楕状火山の形状を呈するが, 山頂部には粗面岩の溶岩ドームがある。現在は火山活動は見られない。濟州島全体としては 360 を越える寄生火山(主として噴石丘)が分布し, その他に小カルデラ, 溶岩ドーム(山房山など)や万丈窟のような溶岩トンネルなども見られる(李, 1982, Lee, 1982)。Fig. 2 に示すように, 今回の温泉掘削地に近い三梅峯(海拔 193.6 m)や孤根山(海拔 396 m)も噴石丘であって, 三梅峯のすぐ北にはカルデラ状の小凹地がある。

温泉掘削地は三梅峯のすぐ西に位置する。なお, Fig. 2 には西帰浦層の露出地も示してある。北は漢拏山を含む高地帯であり, 南は海に向かいやや急な谷地形を有する。谷とはいっても潤れ谷であって, 下流の傾斜変換点に至って湧水し海岸で滝となって海に注ぐ。このような谷の状況は島野ほか(1996)が紹介しているように付近の河川によく見られるものである。

3. 地 質

濟州島の地質については, 近年韓国資源研究所の調査・編集による縮尺 5 万分 1 の地質図幅(例えば濟州道から 2000 年に発行された西帰浦・下孝里図幅)も刊行されているが, 本報文では李(1982), Lee (1982) によることとした。その地質層序と地質図は Table 1 および Fig. 3 に示す。濟州島はほとんど火山噴出物よりなり, その間に 3 層の堆積岩層(西帰浦層, 和順・城山層および新陽里層)が見られるに過ぎず, その和順・城山層は水中破碎岩である。基盤岩としては花崗岩(中生代ジュラ紀および白亜紀), 片麻岩(恐らく先カンブリア紀)が考えられている。

Table 1 Stratigraphy of Cheju Island (Shimano *et al.*, 1996. partly revised).

表 1 濟州島の地質層序 (島野ほか, 1996. 一部加筆)

(Holocene	完新世)	Shell-sand formation	介砂層
Stage 4	第 4 活動期	Scoria volcanic cones	噴石丘
Stage 3-3	第 3 活動期の 3	Backlockdam basalt	白鹿潭玄武岩
Stage 3-2	第 3 活動期の 2	Hallasan trachyte Hallasan basalt Seongpanak basalt Shiungri basalt	漢拏山粗面岩 漢拏山玄武岩 城板岳玄武岩 始興里玄武岩
Stage 3-1	第 3 活動期の 1	Beobjeongri trachyandesite Hahyogri basalt Sumangri basalt Cheju basalt	法井里粗面安山岩 下孝里玄武岩 水望里玄武岩 濟州玄武岩
		Sinyangri formation	新陽里層
Stage 2	第 2 活動期	Sanbansan trachyte Jungmun trachyandesite Hwasun-Seongsan hyaloclastite Seoguipo trachyandesite Pyosunri basalt	山房山粗面岩 中文粗面安山岩 和順-城山ハイアロクラスタイト 西帰浦粗面安山岩 表善里玄武岩
(late tertiary	第三紀末)	Seoguipo formation	西帰浦層
Stage 1	第 1 活動期	basal basalt	基底玄武岩
(Mesozoic	中生代)	granite	花崗岩
(Precambrian?	先カンブリア紀?)	gneiss	片麻岩

火山活動は新生代新第三紀後期から第四紀まで認められ、4つの活動期に大別される。第1活動期は新第三紀後期であって、最初に玄武岩溶岩が噴出した。なお、濟州島での火山活動の中心は全活動期を通じて島の中心部にあるいわゆる中心噴火の様相を示し、割れ目噴火の様相は認められていない。

上記の玄武岩溶岩をおおう形で、砂質泥岩や凝灰質砂岩よりなり、貝化石を伴う西帰浦層が堆積している。地表での分布は Fig. 2 に示すように狭いが、天地淵瀑布付近など西帰浦市街地周辺に露出する。この後の第2活動期の活動は規模が大きく、多量の玄武岩溶岩を流出して広大な溶岩台地を形成した。万丈窟、挾才窟などの溶岩トンネルがこの時期に形成された。粗面安山岩の噴出、山房山などの溶岩ドームもこの時期の形成である。その後、海岸低地には島の東端付近に狭い分布が認められる新陽里層が堆積した。第3活動期には漢拏山頂付近を火口として玄武岩溶岩を噴出し、漢拏山体が形成された。最後に粗面岩溶岩の噴出で山頂部に溶岩ドームが出来た。第4活動期は全島にわたって広く分布する大小の噴石丘が形成された時期であって、噴石丘は360個を越えるといわれている。それらの大部分は多量のスコリアと火山弾、火山餅などよりなる。Fig. 2の三梅峯や孤根山はその噴石丘である。三梅峯北のカルデラ状の小凹地も同時期の形成と考えられる。そして河口付近や海岸の低平地には薄くて狭い沖積層が分布する。

第1活動期以前の岩層は現在は地表に露出せず、詳しくは明らかでないが近年の深い掘削によって、次第に明らかにされている。

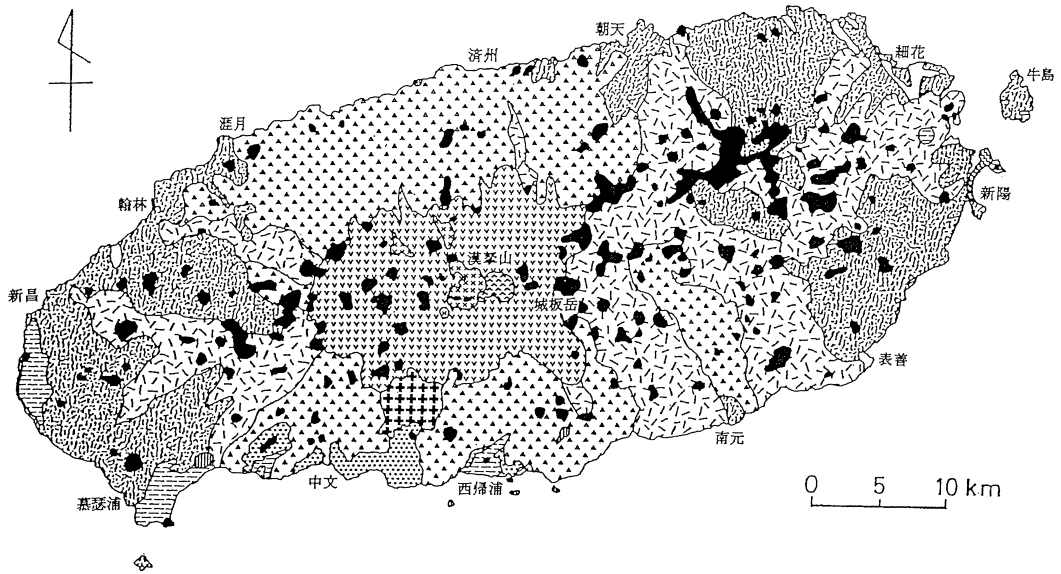


Fig. 3 Geological map of Cheju Island (Shimano *et al.*, 1996).

図 3 濟州島の地質図 (島野ほか, 1996)

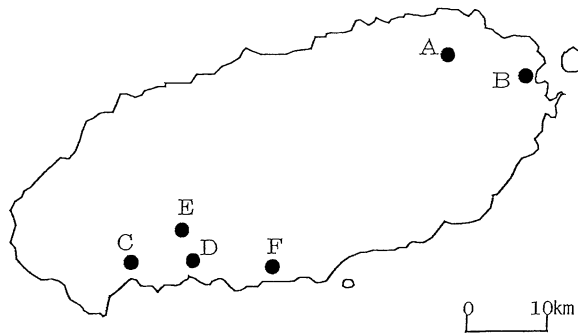
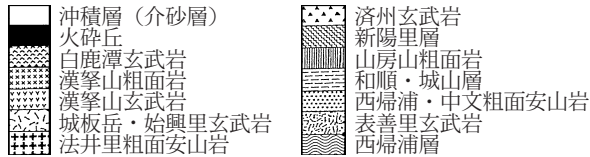


Fig. 4 Site of some thermal springs in Cheju Island.

図 4 濟州島の温泉の位置

- A: Sehwari セワリ B: Jongdalli 終達 C: Sanbansan 山房山
- D: Jungmun Sektal 中文セクトル E: Silver Town シルバータウン
- F: Sammebong 三梅峯

4. 温 泉

濟州島は第四紀まで活動した火山島なので、温泉に対する関心は以前から高かったが、これまでの濟州島での地下水開発は主として深度 200 m 程度までの玄武岩溶岩層からの取水がほとんどで

Table 2 Some thermal Springs of Cheju Island.

表 2 濟州島の温泉の状況

Mark 記号	Thermal spring 温泉	Location 所在	Temp(°C) 泉温(°C)	Depth(m) 深度(m)	Flow(m ³ /日) 湧出量(m ³ /日)	EC(μS/cm) 電導度(μS/cm)	Characteristic 泉質
A	Sehwari セワリ	north Cheju 北濟州	26.8~29.8	670~903	650	2,400	Na·Cl·HCO ₃
B	Jongdalli 終達	"/ "	25.6~30.9	700~720	350	30,400	Na-Cl
C	Sanbongsan 山房山	south Cheju 南濟州	29.6~31.0	590~600	1,700	15,000	CO ₂ Spring
D	Jungmun Sektal 中文セクトル	Seoguipo 西帰浦	25.4~27.5	644~854	400	6,100	Simple Spring
E	Silver Town シルバータウン	south Cheju 南濟州	42	2,001.3	300	—	Na·Ca·Mg- HCO ₃
F	Sammebong 三梅峯	Seoguipo 西帰浦	37.2	2,003.8	322	718	Simple Spring

あり、深部は難透水性の堆積岩と岩盤とであって、温泉を含めて地下水開発は困難とされてきた。しかし 1989 年に深度 680 m の掘削によって 25°C 以上の温度を有する温泉が発見されて以来、温泉掘削が行われていくつかの温泉が開発された。

温泉のうち、ある程度の状況が判明している 6 温泉を採り上げて、その位置を Fig. 4 に、その状況を Table 2 に示す。6 温泉は島の北東部の 2 温泉、南西部の 4 温泉となった。この他にも温泉が存在するが詳しい状況は明らかでない。

C の山房山の掘削深度が 590~600 m と最も浅く、E のシルバータウンと F の三梅峯が 2,000 m を越えて深い。泉温は E が 42°C、F が 37.2°C であるが、他は 25.4°C~31.0°C の間に止まる。泉質は B の終達が 30,400 μS/cm の電導度を示す極めて濃い Na-Cl 泉であり、他の温泉も蒸発残留物が 1,000 mg/kg を越えるようで、泉質名が与えられているが、F の三梅峯は電導度が 718 μS/cm と低く、蒸発残留物 650 mg/kg の単純温泉である。ただし D の中文セクトルは単純温泉となっているのに 6,100 μS/cm の電導度が記載されている。

E のシルバータウンと F の三梅峯の成分組成を Table 3 に示す。前者は中央温泉研究所（日本）の、後者は韓国中央温泉研究所と韓国地質資源研究所の分析である。E は蒸発残留物が 2,456.2 mg/kg の Na·Ca·Mg-HCO₃ 泉で 546 mg/kg の CO₂ を伴う。F は蒸発残留物が 493.16 mg/kg と薄く、Na·Mg·Ca-HCO₃ 泉型の単純温泉で 387.3 mg/kg の CO₂ を伴う。両者は大きくは似た組成であるが E の方が濃い。

温泉の湧出量については韓国温泉法施行規則の規定（佐藤，2004）によって、3 日間（3,420 分）の長期揚水を行って、その最後の 24 時間（1,440 分）の湧出量を測定し、その量が 100 m 以内の水位降下で 300 m³/日以上でなければならない。そのような試験の結果で得られた揚水量が Table 2 の湧出量である。F の三梅峯温泉の場合、静止水位は -47.35 m であり、揚水量を 310 m³/日 = 215.3 l/分として揚水試験を行った。最終的な揚水水位は -122.44 m、したがって水位降下は 75.09 m であり、比湧出量は 2.867 l/分/m となる。揚水温度は揚水開始後 25 分で 42.3°C となった後に徐々に低下し、揚水開始後 1 日（1,440 分）で 37.2°C となり、以後試験終了時の 3 日（4,320 分）まで変わら

Table 3 Chemical compositions of Silver Town spring and Sammebong spring.

表 3 シルバータウン温泉と三梅峯温泉の化学組成

spring	Silver Town シルバータウン		Sammebong 三梅峯	
	mg/kg	mval%	mg/kg	mval%
Na ⁺	303	35.93	73.4	42.51
K ⁺	31.9	2.23	10.0	3.41
Mg ²⁺	136	30.53	27.4	30.04
Ca ²⁺	229	31.15	33.3	22.13
Sr ²⁺	1.24	0.08	0.09	0.03
Ba ²⁺	0.51	0.02	—	—
Mn ²⁺	0.17	0.02	0.07	0.03
Fe ²⁺	0.34	0.03	1.35	0.64
Cu ²⁺	0.02	0.00	0.00	0.00
Zn ²⁺	0.25	0.00	5.70	1.21
Total	702.43	100.00	151.31	100.00
	mg/kg	mval%	mg/kg	mval%
F ⁻	0.15	0.02	0.55	0.36
Cl ⁻	46.8	3.48	37.8	13.18
Br ⁻	0.0	0.00	0.08	0.12
I ⁻	0.2	0.01	—	—
SO ₄ ²⁻	28	1.54	8.79	2.26
HCO ₃ ⁻	2,197	94.96	414.94	84.08
Total	2,272.18	100.01	462.16	100.00
	mg/kg	mval/kg	mg/kg	mval/kg
H ₂ SiO ₃	142	1.818	31	0.397
HBO ₂	42	0.959	—	—
HAsO ₂	0.001	0	—	—
Total	184.001	2.777	31	0.397
	mg/kg	mval/kg	mg/kg	mval/kg
CO ₂	546	12.41	387.3	8.802
H ₂ S	0.01	0.0003	0	0
Total	546.01	12.409	387.3	8.802
	mg/kg		mg/kg	
T.S.M.	3,705		1,031.8	
Characteristic	Na・Ca・Mg-HCO ₃		(Na・Mg・Ca-HCO ₃)	

T.S.M. : Total Soluble Matter () : Simple Spring
 全溶存成分量 単純温泉

なかった。pHは揚水開始後4時間あたりから6.13~6.15の間であって安定している。電導度は徐々に低下しているが、揚水を開始して32時間(1,920分)経過後は718 μ S/cm~720 μ S/cm間に安定している。

5. 三梅峯温泉の地下状況

三梅峯温泉孔付近は、Fig. 3の地質図では西帰浦粗面安山岩、和順・城山ハイアロクラスタイト、済州玄武岩といった漢拏火山の第2活動期ないし第3活動期の1の火山噴出物よりなる。温泉孔の掘削によるスライムの判定や各種孔内検層で判明した地下地質は次のようである。

地表から深度約 100 m まで	沖積層および風化玄武岩
深度約 100 m から 170 m 付近まで	玄武岩類（漢拏火山）
深度 170 m 付近から 400 m 付近まで	礫混じり粘土質砂岩（西帰浦層）
深度 400 m 付近から 740 m 付近まで	凝灰岩（時代未詳）
740 m 付近以深孔底（2,003.8 m）まで	片麻岩（基盤岩）

沖積層下の玄武岩は、溶岩や火山角礫岩、凝灰角礫岩よりなり、三梅峯付近の地表でも多くの場所で露頭が認められる。その下位の礫混じり粘土質砂岩は、新生代新第三紀後期の堆積岩で、貝化石を含む西帰浦層である。この層は Fig. 2 に示したように、西帰浦市の海岸部、たとえば天地淵瀑布付近などに小範囲にみられ、漢拏火山活動の第1活動期と第2活動期との間に堆積した。この西帰浦層は上位の玄武岩中の亀裂や火山角礫岩などに比べると透水性が小さく、浅部地下水流動の底盤をなしているといっている。深度 400 m 付近から 740 m 付近までの凝灰岩層は地表ではその露出が認められず堆積時期も明らかでない。この地層も透水性は小さいが、下位の片麻岩との境界付近の不整合面は透水性が大きいことが考えられる。最下部の片麻岩は恐らく先カンブリア紀のものであり、一般に緻密で堅硬であり、透水性は極めて小さい。この片麻岩も済州島の地表には認められず、韓半島の片麻岩からの類推によっている。

700 m 以深で行われた電気検層によれば、740 m 以深の片麻岩部分の比抵抗は、局部的に 80 Ω-m ~ 300 Ω-m といった低い値を示すが、大部分は 500 Ω-m ~ 3,500 Ω-m の間にあり、また時に 9,000 Ω-m とか 10,000 Ω-m を越える部分もある。そして全体として変動がはげしく、花崗岩体によくみられるように高比抵抗が続く様相はみられない。

自然放射能検層によって、400 m 以浅の沖積層と玄武岩および西帰浦層、400 m ~ 700 m 深度の凝灰岩、700 m 以深の片麻岩をそれぞれ区別するような結果が得られている。片麻岩の部分ではさらにいくつかの区間に分けられるようであるが、詳しくは明らかでない。

シルバータウン温泉孔の地質については、最深部のスライムを検討してチャートを伴う片麻岩と判断された。570 m 以深の基盤岩中で行われた電気検層によれば、比抵抗は 250 Ω-m から 2,500 Ω-m 間をはげしく変動していて、花崗岩体の場合によくみられるような高比抵抗が続く様相はみられない。したがってシルバータウン、三梅峯の2温泉とも済州島の南西部にあって、片麻岩を基盤としている。

ケーシング管が挿入されている状態での孔内温度検層が三梅峯孔の 1,468 m 以浅部分で行われた。その状況は Fig. 5 に示す。孔内温度は細かく変動しながら深度と共に上昇しているが、その上昇率は 1,000 m 以浅で 2.5°C/100 m 程度、1,000 m 以深で 2.3°C/100 m 程度である。さらに 2,003 m 深の地温は 62.3°C と測定されているので、深度 1,468 m ~ 2,003 m 間では 1.42°C/100 m という低い上昇率ということになる。Fig. 5 にはシルバータウン孔での検層温度も併せて示すが、深部での上昇率低下は認められない。

済州島南部の地温について、鄭ほか（1999）は、深度 1,400 m で 44°C、3,000 m で 76°C としている。それは 2°C/100 m の地温上昇率となる。

済州島の基盤岩として Kim *et al.* (2002) は中生代ジュラ紀~白亜紀の花崗岩を主とする他に、先カンブリア紀の片麻岩を挙げている。そして済州島北部の済州市東方の別刀峯での捕獲岩である花

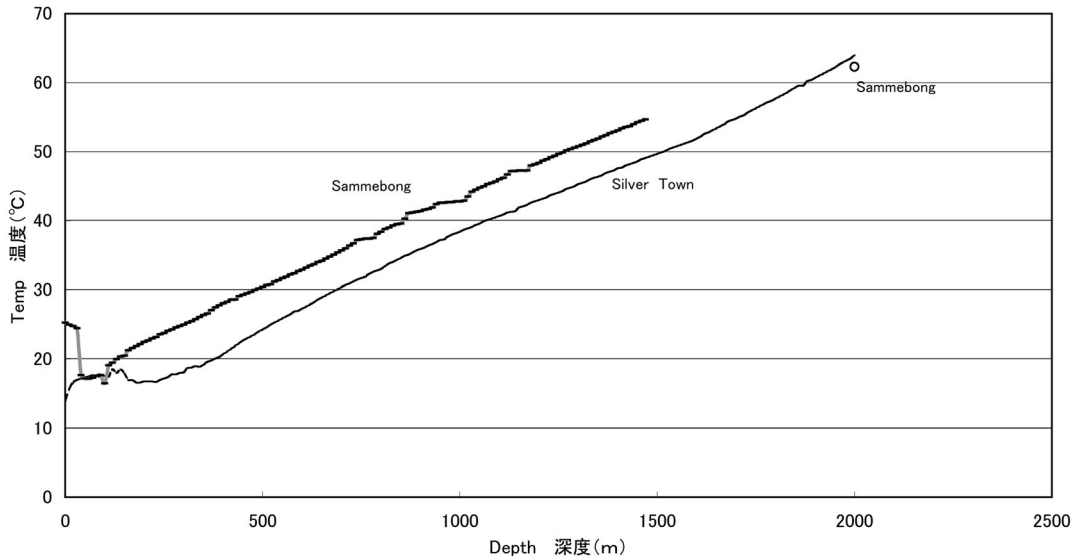


Fig. 5 Temperature log of Sammebong and Silver Town springs.

図 5 三梅峯孔とシルバータウン孔の検層温度

崗岩は、年代測定および Nd-Sr 同位体の分析から中生代ジュラ紀の大宝運動の深成火成活動による花崗岩とみられ、ハドクチョン地域と万丈窟地域の花崗岩は、中生代白亜紀の佛国寺花崗岩とみられるとしている。また濟州市南部の K (蓮洞)、ハドクチョン地域の ROS、東濟州の D (終達)、西帰浦市の J (中文)、濟州市南方の JS (チョンシル)、濟州市東方の HD (咸徳)、西帰浦市の Ch (天地淵)、東濟州の S (城邑)、濟州市南西の SJ (新濟州) の 9 孔の位置と簡単な柱状図とを图示している。その図では 9 孔全てで最下位に花崗岩があり、その最も浅い深度は -38 m 以深 (JS)、深いのは -999 m 以深 (HD) となっている。その下位に他の岩層は認められていない。しかし、これらの花崗岩については、年代測定や同位体の分析などは行われていないようであり、またすでに述べたようにシルバータウン (J の北西方約 7 km) および三梅峯 (Ch の西方約 3 km) では花崗岩ではなくて、チャートを含む片麻岩に逢着している。濟州島の基盤岩はすべて花崗岩ではなくて、少なくとも濟州島西南部では、基盤岩として片麻岩が存在することとなる。

6. ま と め

韓国濟州島において、深い掘削によって次のことが明らかになった。

- ① 濟州島にも温泉が存在する。泉温は 25.4°C~42°C とあまり高温ではなく、地温の上昇率などからみて火山性の温泉ではなくて深層地下水型の温泉といえる。
- ② 濟州島の温泉の泉質は単純温泉 (Na・Mg・Ca-HCO₃型)、Na-Cl・HCO₃泉、CO₂泉、Na-Cl 泉などで CO₂を伴う温泉もある。硫酸塩泉は見出されていない。
- ③ 濟州島は新生代新第三紀後期以降の玄武岩質火山岩、火山碎屑岩および堆積岩よりなるが、基盤岩としては花崗岩の他に片麻岩 (先カンブリア紀?) がある。

最後に、査読者の適切なお助言によって本稿は大いに改善された。記して謝意を表するものである。

文 献

- Kim, K.H., Tanaka, T., Suzuki, K., Nagao, K. and Park, E.J. (2002) : Evidences of the presence of old continental basement in Cheju volcanic Island, South Korea, revealed by radiometric ages and Nd-Sr isotopes of granitic rocks. *Geochem. J.*, **36**, 421-441.
- 金 賢志 (2000) : 温泉法の制度的側面からみた韓国温泉開発の特性, 千葉大学教育学部地理学研究報告, **11**, 59-68.
- Lee, M.W. (1982) : Petrology and geochemistry of Jeju volcanic island, Korea. *Sci. Rep., Tohoku Univ., Ser. 3-15*, 177-256.
- 李 文遠 (1982) : 韓国, 濟州火山島の地質, 岩石鉱物鉱床学会誌, **77**, 55-64.
- Lim, J.U. (1997) : Characteristics of hot springs in Korea. *Proc. of the 33rd Confer. of SITH*, 71-74.
- 濟州道 (2000) : 西帰浦・下孝里図幅 (5 万分 1 地質図幅), 濟州道・韓国資源研究所.
- 佐藤幸二 (1988) : 韓国の温泉 温泉工学会誌, **22**, 162-165.
- 佐藤幸二 (2003) : 韓国の温泉法 (2001) について, 温泉科学, **52**, 162-171.
- 佐藤幸二 (2004) : 韓国の温泉法, 2001, 温泉工学会誌, **29**, 92-100.
- 島野安雄, 河野 忠, 高村弘毅 (1996) : 名水を訪ねて (34) 韓国・濟州島の名水, 地下水学会誌, **38**, 211-221.
- 鄭 承桓, 朴 榮秀 (1999) : 韓国の地熱, 地熱, **36**, 194-202.
- (日本温泉科学会第 59 回大会にて 2006 年 9 月 7 日講演)