

韓国 の 地 熱

玉 生 志 郎 (地殻熱部)
Shiro TAMANYU

1. はじめに

韓国には約20ヶ所の地熱・温泉地帯がある。地熱調査としては今まで温泉調査の一環としての局部的かつ浅部の水文・地化学調査と全国規模の概査的な地殻熱流量調査が行われているにすぎない。従って今後の深部地熱資源に対する総合的な評価や研究方針の設定が急がれている。

このような状況のもとで韓国動力資源研究所 (Korea Institute of Energy and Resources) は韓国政府を通して日本政府に対して「韓国の地熱探査に対する助言・指導の専門家派遣」の要請を昭和57年度来してきていた。この要請は日本国際協力事業団を通じて通商産業省工業技術院地質調査所にもたらされ、地質調査所は筆者を地熱専門家として人選した。韓国動力資源研究所の要請期間は2ヶ月であったが、地質調査所における本人の業務の都合で今回の訪韓は20日間となった。

韓国側から要請のあった業務内容は、韓国動力資源研究所に勤務して地熱資源の総合評価と開発可能性について検討することであった。

本調査の計画をたてるにあたり有益な助言をして下さった角清愛、山田敬一、長谷紘和、村岡洋文、井上英二、星野一男、安藤直行、松井和典、一色直記、野田浩司の諸氏に深謝の意を表します。また韓国滞在中御世話になった尹祥奎 (YUN SANG KYU)、林正雄



写真1 北方上空からみた済州島 (中央が漢拏山本体で東方向に噴石丘が分布する)

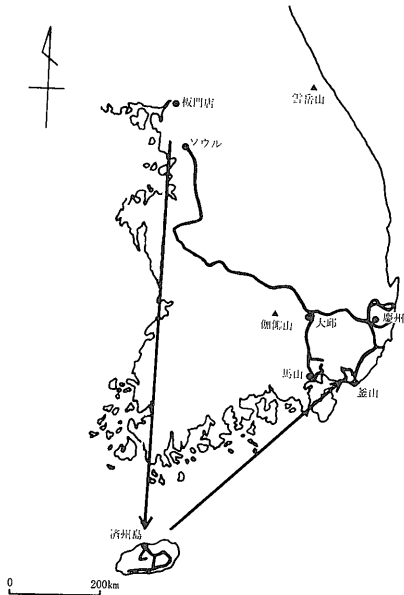
第1表 韓国での日程 (昭和58年)

7月1日 (金)	成田空港 (10:00発)—金浦空港 (12:25着) 韓国動力資源研究所 所長表敬
2日 (土)	アメリカ地質調査所 クリン氏と「済州島の地質」について討論
3日 (日)	休日
4日 (月)	文献調査
5日 (火)	現地調査のスケジュールについて検討
6日 (水)	金浦空港—済州空港 (金源泳氏同行)
7日 (木)	済州島漢拏山踏査 (済州大学 李文遠氏案内)
8日 (金)	済州島南部の地点調査 (")
9日 (土)	済州空港—釜山空港 釜山大学 尹銑氏 李峻東氏訪問
10日 (日)	釜山西部 蔚山東部 地点調査
11日 (月)	慶州—甘浦 地点調査
12日 (火)	浦項周辺の地点調査
13日 (水)	慶州—馬山移動
14日 (木)	馬金山温泉の地質調査
15日 (金)	釜谷温泉の地質調査
16日 (土)	儒城温泉 道高温泉 温陽温泉での地点調査
17日 (日)	休日
18日 (月)	報告書のまとめ
19日 (火)	「韓国の地熱」について討論
20日 (水)	金浦空港 (13:30発)—成田空港 (16:55着)

(LIM JEONG UNG) 金源泳 (KIM WON YOUNG) 金然基 (KIM YOUN KI) 李文遠 (LEE MOON WON) 尹銑 (YOON SUN) 李峻東 (LEE JOON DONG) MICHAEL CLYNNE の諸氏にも深く感謝致します。

2. 現地調査 (第1表 第1図)

筆者は20日間の滞韓のうち11日間は韓国内の野外調査にあて残りの日数を韓国動力資源研究所での文献調査にあてた。韓国での地熱資源賦存地域として期待できる地域は①既存の温泉地域と ②第四紀火山活動地域である。①の地域としては韓国半島部に約20ヶの温泉があり (第2図) いずれも断層と成因上密接にかかわっていると考えられる。一方②の地域として済州島と半島部東海岸の浦項付近があげられる。但し浦項付近で従来第四紀玄武岩とされているものは第三系であるかもしれない。このような予備的文献調査に基づいて筆者は現地概査地点として済州島 (Cheju) 釜山東萊 (Pusan Dongrae) 蔚山 (Ulsan) 慶州 (Kyongju)~甘浦 (Kam-



第1図 現地調査ルート。

po) 浦項 (Pohang) 馬山 (Masan) 北方(馬金山 (Mageumsan)) 釜谷 (Bugok) 靈山 (Yeongsan) 儒城 (Yuseong) 道高 (Dogo) 温陽 (Onyang) を選定した。各調査地点では案内者から説明を聞くとともに自らも時間の許す範囲で地質概況の把握に努めた。筆者は今回主に地質構造(特に胴切断層)に着目して地熱構造の推定を試みた。調査結果はあくまでも短期間の概査に基づく予察的なものなので今後十分な検討が必要であることは言うまでもない。特に地熱構造を明らかにするために検討していただきたい点は以下の2点である。

- ①基本的な地質層序学的 地質構造学的研究を重視して 正確な地質断面図を作成する事。
- ②たえず地熱構造モデルを設定して これを実証するよ

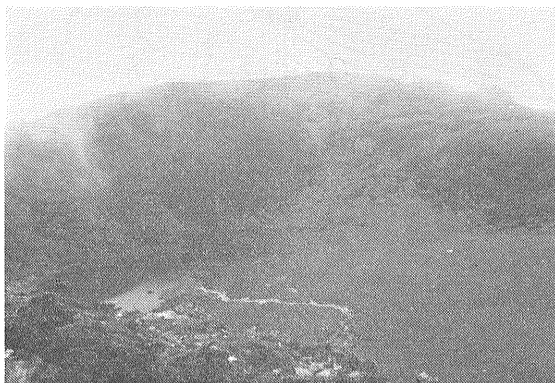
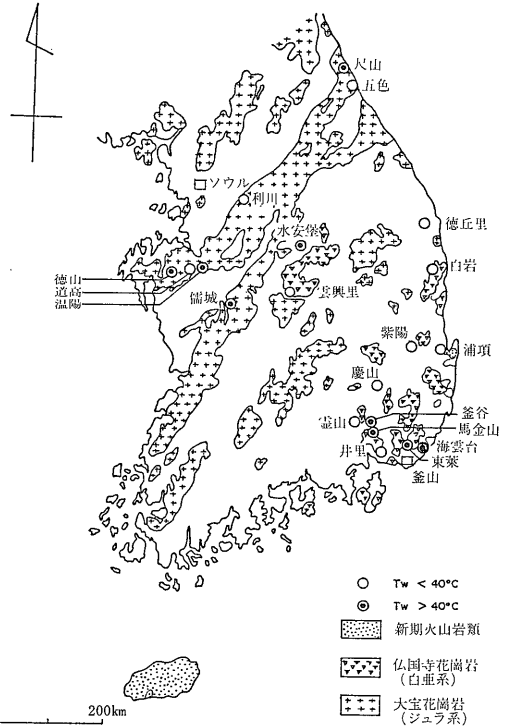


写真2 漢拏山の白鹿潭火口(直径400mで手前は粗面岩 向い側は玄武岩質溶岩とスコリアより構成される)



第2図 韓国の温泉分布図 (KIER 資料)。

うに研究計画をたてる事。

現地調査にあたっては地熱構造の三要素である熱源・貯留層構造・水流動をたえず念頭においた。しかし 調査した結果 韓国のような低温～中温熱水の小～中規模地熱貯留層の場合は深部断裂帯が相対的に重要な役割を果たしていることが明らかとなった。以下各地点での結果について報告する。

[済州島 (Cheju)] (第3図 第4図)

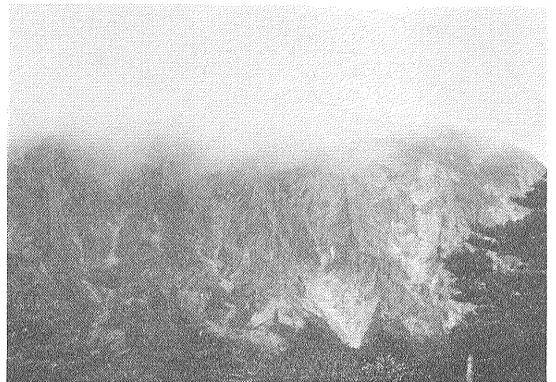
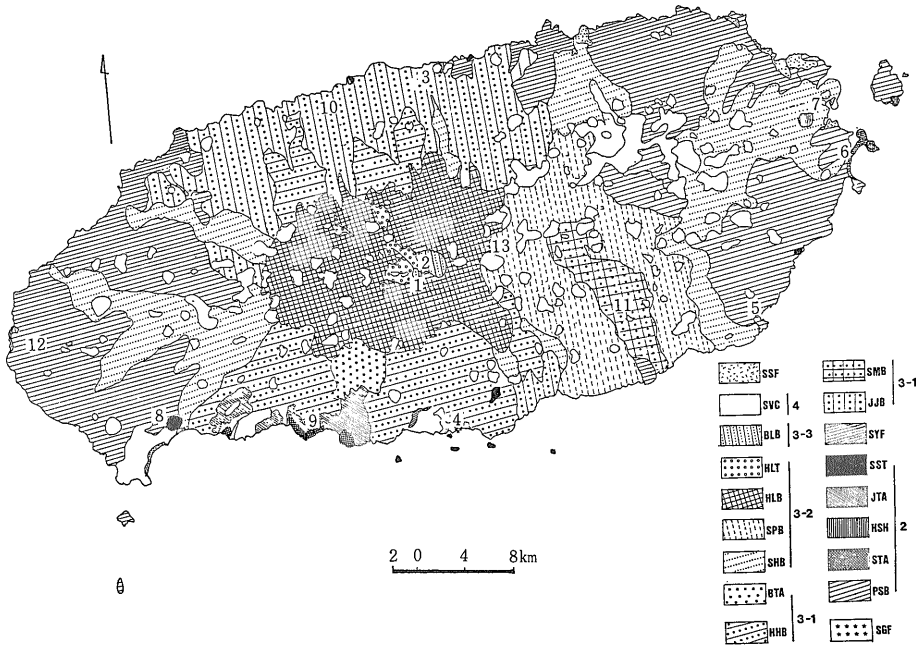


写真3 白鹿潭の西壁(粗面岩より構成される)。



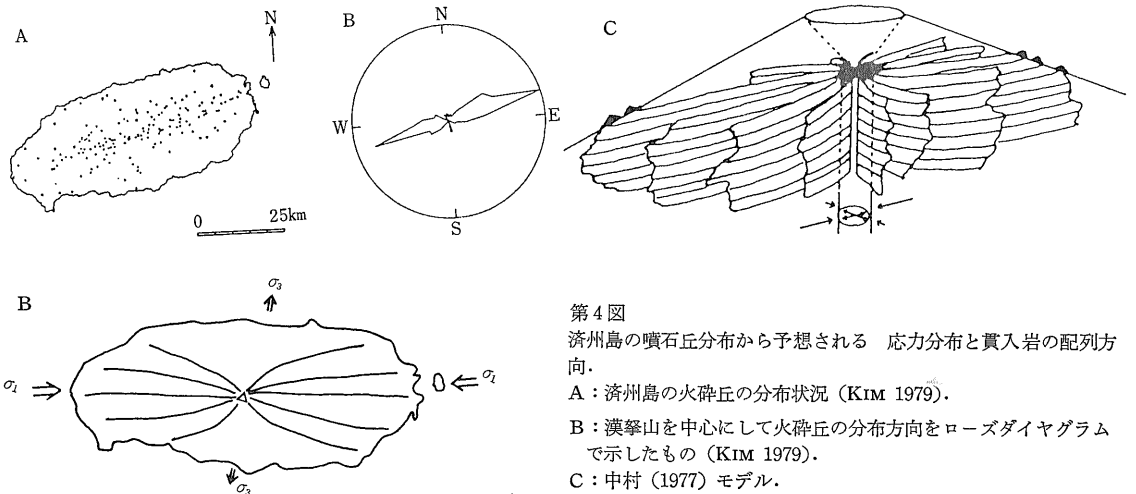
第3図 濟州島の火山地質図(李 文遠 1982).

SGF; 西帰浦層 PSB; 表善里玄武岩 STA; 西帰浦粗面安山岩 HSH; 和順一城山水中破碎岩 JTA; 中文粗面安山岩 SST; 山房山粗面岩 SYF; 新陽里層 JJB; 濟州玄武岩 SMB; 水望里玄武岩 HHB; 下孝里玄武岩 BTA; 法井里粗面安山岩 SHB; 始興里玄武岩 SPB; 城板岳玄武岩 HLB; 漢拏山玄武岩 HLT; 漢拏山粗面岩 BLB; 白鹿潭玄武岩 SVC; スコリア火山丘 SSF; 介砂岩層

1; 漢拏山 2; 白鹿潭 3; 濟州 4; 西帰浦 5; 表善里 6; 城山 7; 始興里 8; 山房山 9; 中文 10; 光令 11; 水望里 12; 慕瑟浦 13; 城板岳

本島の地熱熱源としては東西方向に延びた玄武岩岩脈群(噴石丘の分布状況(写真4・5)から地下に存在が予想されるもの)が深部からの良好な熱伝導体としてやや有望視される。漢拏山(Hallasan)本体(写真1)を形成し

ている玄武岩類を供給したマグマ溜は30~40km深と深いので直接には地熱熱源たり得ない。地熱貯留層構造としては第三系以降の堆積盆地の発達がないので基盤岩(仏國寺(Bulgugsa)花崗岩類など)中の伸張断裂帯に期



第4図

濟州島の噴石丘分布から予想される 応力分布と貫入岩の配列方向.

A: 濟州島の火砕丘の分布状況 (KIM 1979).

B: 漢拏山を中心にして火砕丘の分布方向をローズダイヤグラムで示したもの (KIM 1979).

C: 中村 (1977) モデル.



写真4 漢拏山の東方に分布する噴石丘.



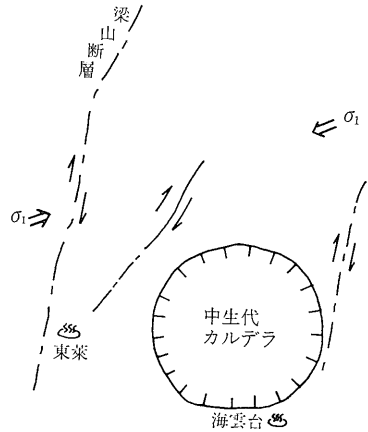
写真5 漢拏山の北東方に分布する噴石丘.

待せざるを得ない。天水の大部分は火山岩表面より容易に浸透し地下水となり 比較的短期間のうちに海域に流出してしまう。そのため天水が地下で十分熱せられる時間がない。相対的に地下水の流動時間の長い島の東・西両端部で若干の温度上昇が期待できるもの。それはわずかなものと考えられる。結論的に言えば濟州島の地熱は現在の応力場（最大水平主応力が ENE-WSW 方向の圧縮応力）で活性化している東西性正断層系に沿って期待できるもの。熱源が微弱なので有望性は低いと言わざるを得ない。

〔東萊 海雲台 (Dongrae Haendae)〕 (第5図)

本地域は温泉地として市街化してしまったため調査を行うことができなかった。しかし情報収集から次のような地熱構造を推定することができた。濟州島で認められた ENE-WSW 性圧縮の広域応力場がこの地域にも及んでいると仮定できれば 東萊及び海雲台で各々 NN E-SSW に走る断層 (梁山断層など) を右ずれさせてこ

れに斜交する NE-SW 方向で二次的伸張裂かが生じている可能性が強い。また東萊では NE-SW 断層も存在しているのでも再活動していると思われる。これ



第5図 東萊温泉 海雲台温泉付近の地質構造.

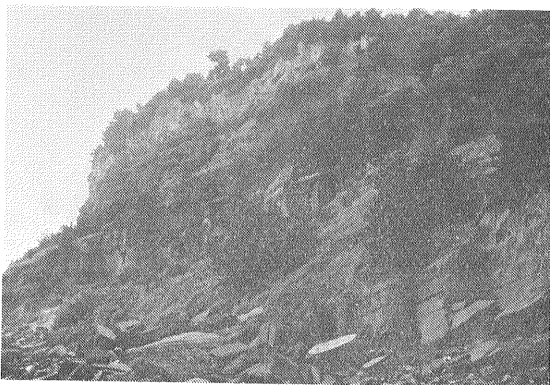


写真6 貝化石を多量に含む西滯浦層と これを被う玄武岩溶岩.

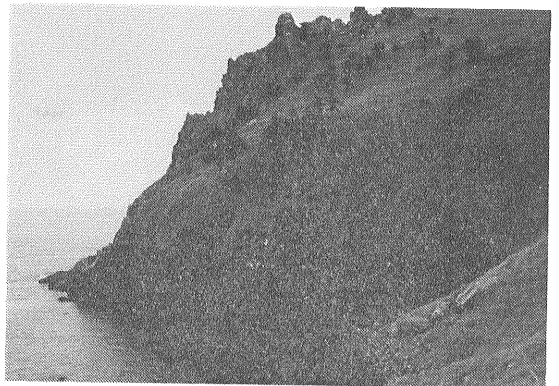
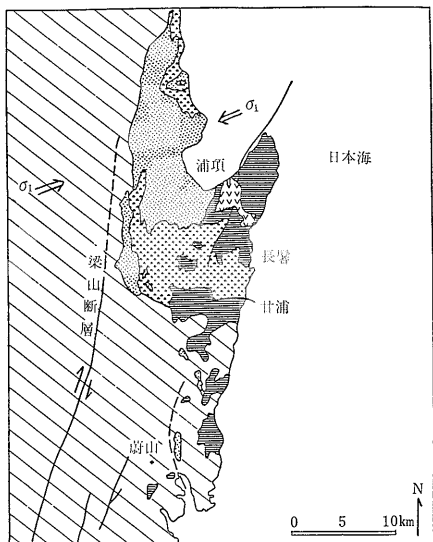


写真7 濟州市東部の別刀峰 (ケルースト閃石を含むミュージェアライトより構成される).



第6図 蔚山—浦項付近の地質構造 (REEDMAN and UM 1975).



写真9 東方から見た済州市の全景.



写真10 慶州—甘浦に分布する第三系 Jeondong 層 (成層火山角礫岩) に認められる火山弾 (急冷したことを示す放射状クラックが発達している).

らの再活動している断裂帯がこの地域の熱水の重要な上昇路となっているものと推定される。

[蔚山・甘浦・浦項 (Ulsan Kampo Pohang)] (第6図)

第三系中部の陽北層群及び第三紀火山岩類 (主に玄武岩類) は韓国東海岸沿いのみ分布する。陽北層群中には溶結凝灰岩 (写真11) 水中火砕流堆積物 (写真10)

玄武岩溶岩流が認められ それらは N-S 方向のステップ状正断層 (写真12) で切られている。これは白亜紀から第三紀初めにおける仏国寺変動によるものと思われる

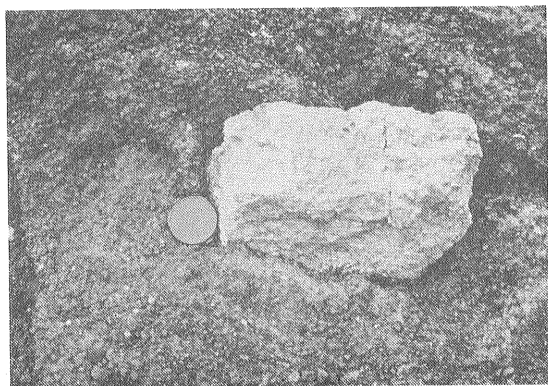


写真8 別刀峰の西側に分布する表善里溶岩の火山碎屑岩中にとり込まれた花崗岩片.

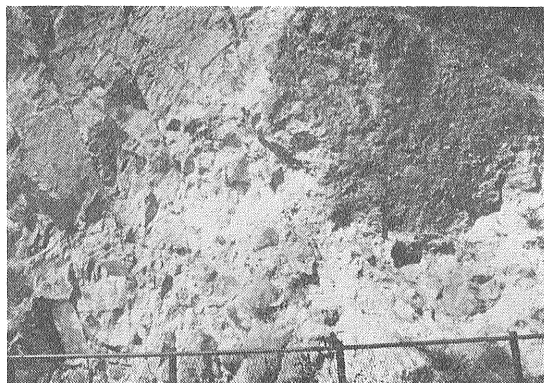


写真11 慶州—甘浦に分布する第三系 Waeupri 凝灰岩 (溶結凝灰岩で最下部に基盤のブロックを含む).

第2表 浦項南東部の第四紀玄武岩（立岩 1924 REEDMAN and UM 1975）の K-Ar 年代測定

T. I. Sample #	Your Sample #	Isotopic Age (m. y.)	^{40}Ar rad scc/gmx 10^{-5}	$\%^{40}\text{Ar}$ rad	$\%K$	analysis
KA83-212	Korea 01	19.3±1.0	.083	55.3	1.12	whole rock
			.086	51.1	1.12	

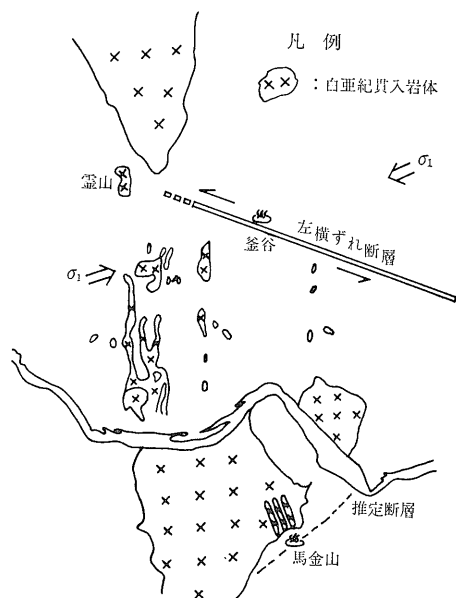
(テレダイン アイントープ社分析)

但し $\lambda_p = 4.96 \times 10^{-19} \text{ yr}^{-1}$, $\lambda_c = 0.581 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$

$^{40}\text{K}/\text{K} = 1.167 \times 10^{-4} \text{ atom/atom}$ として計算した。

(注) 立岩(1924)、Reedman and Um(1975)により第四紀玄武岩とされたものは、今回の測定の結果、新第三系中新統であることが明らかとなった。

る。一方 第三系上部の延日層群は断層に乏しい不透水層よりなり 地下の温水に対して極めて良好な帽岩となっている。これまでに得られているボーリング・データに基づく浦項の地熱貯留層は延日層群下位の白亜系基盤岩の破碎帯に形成されていると考えられる。本地域の南西方に分布する白亜系には ENE-WSW 方向のリニアメントが多いことから もし済州島と同様な ENE-WSW 性圧縮応力が現在働いているとすれば これらは伸張裂かとなっている可能性が高い。事実当地域には第四紀になってから東西性の圧縮応力が働いている証拠がある。それは延日層群の西端を画する断層が第三紀生成当時は正断層として形成されたにも拘らず 現在は断層付近の地層が急傾斜し逆転しているのが観察されることである(写真15)。これは第四紀に E-W 性の圧縮応力が働いて 第三紀の正断層を変化させた結果と考えられる。以上のことから浦項付近は白亜系に発達する ENE-WSW 性の破碎帯に沿って地熱貯留層が期待できる。但し、熱源と天水の供給量が乏しいことから大規模な地熱は期待できないであろう。この地域は韓国で



第7図 馬金山・釜谷・霊山付近の地質構造

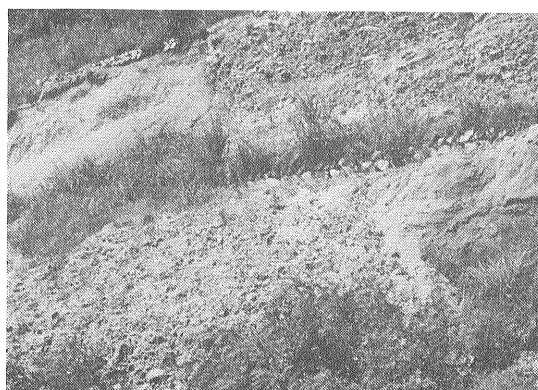


写真12 慶州一甘浦に分布する陽北層群に発達する N-S 性ステップ断層。



写真13 南東方より見た浦項市の全景。重化学工業地帯でスモッグなどの環境汚染が問題となっている。

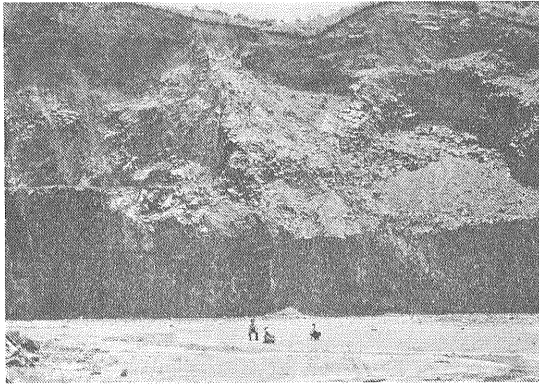


写真14 浦項南東方の石切場（この露頭で採集した玄武岩は K-Ar 法で $19.3 \pm 1.0\text{Ma}$ と測定された）。

は最も熱流量の高い地域であるが 日本の地熱地域と比較した場合それ程高い異常値とは思われない。立岩 (1924) REEDMAN and UM (1975) により第四系玄武岩とされていた浦項南東部の玄武岩は今回 K-Ar 年代測定をした結果 $19.3 \pm 1.0(1\sigma)\text{Ma}$ と測定され 第三系であることが判明した (写真14)。その分析結果を第 2 表に示す。

〔馬金山(Mageumsan)・釜谷(Bugok)・靈山(Yeongsan)〕
(第 7 図)

馬金山温泉の熱源としてはマグマ性のものでなく 深部からの良好な熱伝導体としての貫入岩であると考えられる。いわば NW-SE 方向 垂直の玢岩岩脈群である。一方天水の深部への供給は深くまで風化をうけている花崗岩類によって有効になされていると考えられる。また NE-SW 方向の推定断層は現在の応力場で右



写真15 浦項西方に露出する先第三系基盤岩と第三系日層群を境する断層（延日層群の西縁を画する正断層として発生したにも拘らず 現在は東西圧縮により礫が偏平化されるとともに地層が垂直になっている）。

ずれを起こし 温水の上昇路を形成している可能性が考えられる。

釜谷温泉で最も顕著な地熱構造は東西性左横ずれ断層である。この断層は白亜紀の地層を 2km 以上左横ずれさせ (仏国寺変動) ており 現在も東西性圧縮応力下で再活動し伸張裂かを形成し有効な地熱貯留層となっているものと推定される (写真16)。事実現在の温泉活動に由来する方解石がこの断層に沿って沈澱しているのが見られる (写真17)。この温泉での天水の供給は盆地地形から また熱源は NNW-SSE 方向の白亜系岩脈群から各々なされていると考えられる。

靈山は釜谷温泉の ESE-WNW 断層の西方延長上に位置するが 現在のところ鉱泉はできるものの温泉の湧出を見ていない。これは ESE-WNW 断層が途中で終焉していることに関連あると思われる。

〔儒城 (Yuseong)〕

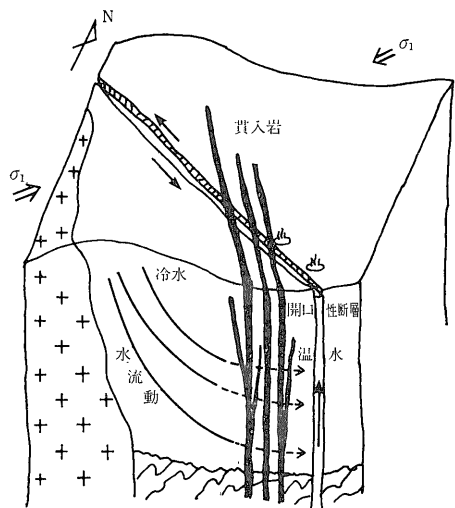
当温泉地域では温水域のひろがりや地形的リニアメントから東西性の地熱貯留構造が推定される。しかし地層の構造などはすべて NNW-SSE 方向が卓越している。今回露頭での E-W 性断層の発見を試みたが認められなかった。しかし今後より詳細に野外調査を行えば胴切断層としての E-W 性断層を確認することができるかもしれない。

〔道高 (Dogo)・温陽 (Onyang)〕

本地域は地質図からみて NE-SW 方向と NNW-SSE 方向の地質構造が支配的である。これに対して他の地域同様 E-W 性断層が潜在している可能性がある。ただし沃川帯の東側と西側で広域応力場の方向が変化している可能性もあるので今後の十分な検討が必要であろう。また当地域は元山-ソウル 構造線 (第四紀玄武岩の



写真16 東方より眺望した釜谷温泉（この方向に左横ずれ断層が存在する）。



第8図 韓国の地熱構造モデル

噴出および高熱流量が認められる地溝帯)の南方延長上に位置しているため、地質構造と熱異常との関連について興味もたれる。

3. 結 論

今回の調査結果として、韓国の地熱は低・中温かつ小規模と言わざるを得ない。その地熱構造の構成要素である熱源・水流動は一般的に弱く、貯留層構造は垂直な断層支配型となっている(第8図)。それ故、韓国では高温かつ大規模な深部地熱貯留層を期待することは困難と思われる。また韓国のような断裂型地熱貯留層の探査においては、現在地殻浅部に働いている広域応力場で生ずる開口性断層帯の発見が重要となる。これらの断層帯は古い地質構造に対して、胴切断層または古い断層の



写真17 写真16の撮影地点で認められる WNW-ESE 性の左横ずれ断層(この断層破砕帯に沿って方解石の温泉沈殿物が認められる)。

再活動という形で存在しているものと思われる。今後韓国の地熱資源を定量的に評価するためには以下のような研究が必要と思われる。

- a) 現在の応力場を定量的に測定するとともに基盤岩中の断層の再活動度の評価を行う。このために定点三角測量・断層地質調査・土壌ガス(Rn, CO₂など)調査などが有効と思われる。
- b) 地熱貯留層の大きさを定量的に評価するため、温泉ボーリングの水量・水位の連続観測を行うとともに、詳細な岩相調査に基づく天水の浸透量の算定を行う必要がある。
- c) 地熱貯留層の温度を推定するため地化学温度計を適用するとともに、熱伝導型熱源に基づく熱水生成の数値実験を行う必要がある。

地熱資源の経済性からみると韓国の地熱資源は低・中温かつ小規模のため、ただちに現在の地熱発電用資源として成立し難いようである。しかし将来掘削コストが低廉化し低エンタルピー熱水の有効利用技術が進んだ段階では韓国の国産エネルギーとしてあらためて注目されるであろう。

4. おわりに

韓国においてエネルギー資源の獲得は重大な課題であるが、地熱に関しては現状では発電用資源にはなり得ないように思われる。従って現状では深部地熱を探査するよりも、むしろ浅部地熱を探査開発して、地域暖房やグリーンハウス等のローカルエネルギーとして活用する方が得策と考えられる。

地熱に限らず地球科学一般において、韓国と日本との共同研究は同じ東アジア地質区という立場から強力に推し進められるべきである。特に日本海の成因と関連した研究は重要である。筆者の滞韓中、京都大学と延世大学は「古地磁気と年代測定」に関して共同研究を実施していた。また今回、筆者が特に注目した「現在の応力場の測定」もまた重要な共同研究のテーマとなるであろう。

筆者の訪韓中、離散家族の肉親探しが大々的に行われていた。第二次世界大戦及びこれに引続く内戦で離散した人々が1000万人いると聞いて戦争の傷あとの大きさを痛感した。日本人として韓国に接する場合、第二次世界大戦中の侵略戦争はもちろんのこと、このような歴史的事実をたえず念頭におかねばならない。