

## 宮崎縣海老野地熱地帯調査報告

## 地熱調査班

## Résumé

## Studies on Natural Steam at Ebino Hot Spring in Miyazaki Prefecture

Ebino hot spring is situated at the northwestern part of Kirishima active volcano in famous by its scenery and so-called hells. The hell has become more active since a few years, and the outcrops of natural steam are scattered here and there. The members in the Geological Survey have studied this region by geological, geophysical, chemical and boring methods in 1954.

The result are as follows: metamorphosed depth of volcanic agglomerate could be determined by geothermal and geophysical methods. A small quantity of  $H_2S$ ,  $CO_2$ , especially  $SO_2$  gas, are contained in the steam. The steam are outgushing from one vent, and the hot water from another known by the boring.

## 1. 緒言

地熱に関する調査地として、昭和29年度は宮崎県西諸郡飯野町海老野温泉地を選んだ。九州にある多数の地熱地帯を順を追って調査し、その規模に対する実証、すなわち穿孔による蒸気の噴出を立証しつつ、天然蒸気を研究していくのも1つの行き方と考えた。調査方法は、昭和28年度に鹿児島県湯之野温泉で行ったのと同じ方法であるが、今回は物理探査法として、特に磁力法を加えて検討した。ここに調査結果を取り纏めて報告する。なお29年度の本所調査員は次の通りである。

測量 堀本健次・小張孝

物探 陶山淳治・小林創・高木慎一郎

地質 近藤信興・安藤武・鈴木孝

試錐 井田太治・丹治耕吉・高橋稠

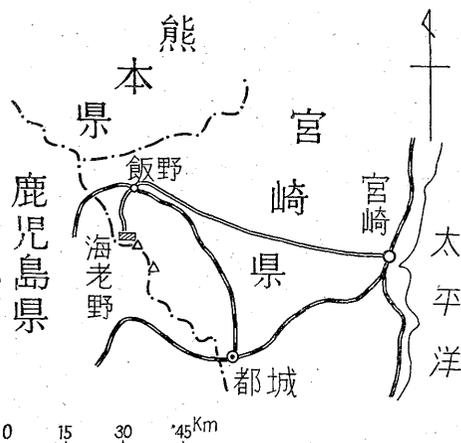
この調査にあたって宮崎県商工課ならびに観光課の協力を得、また飯野町町役場員の方々に種々お世話になった。記して謝意を表する次第である。

## 2. 位置 (安藤)

えびの海老野地熱地帯は、霧島火山群の最高峰<sup>からくに</sup>韓国嶽の北西に位置し、宮崎県西諸郡海老野高原にある噴気帯および変質帯を含むほぼ東西に拡がった地帯の名称である。

吉都線飯野駅から海老野高原までは、直接バスが通じ交通は便利である。

なおこの調査は霧島地熱調査の一環として行われ、すでに霧島火山南西部(鹿児島県内)の地熱地帯については、昭和23年度に調査されている。



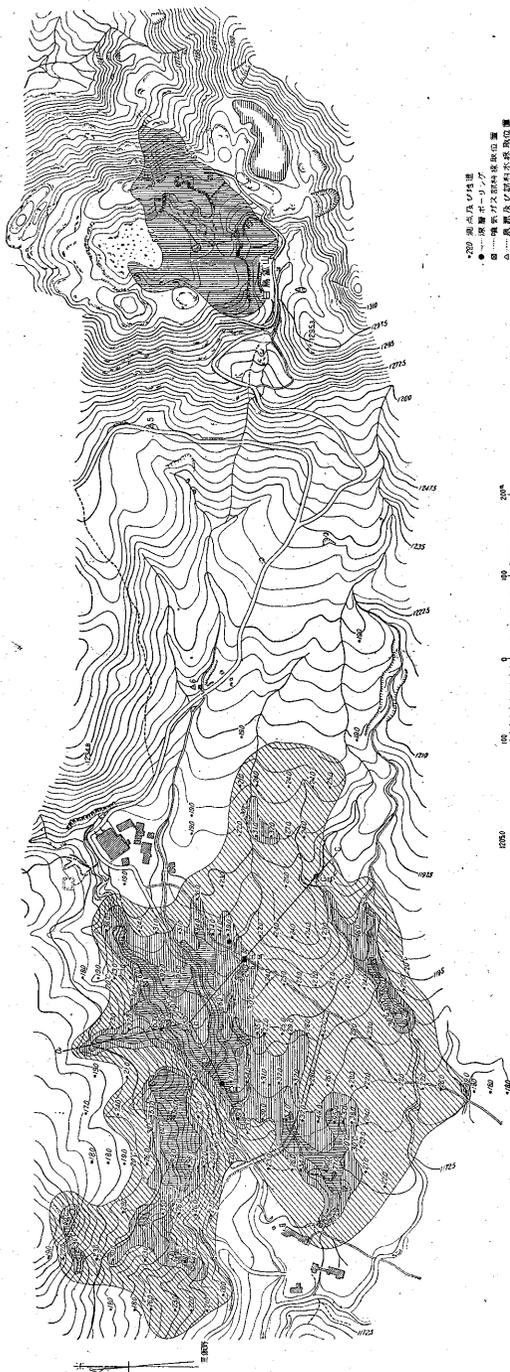
第1図 宮崎縣海老野地熱地帯位置図

## 3. 地質および地化学調査 (安藤)

## 3.1 地質概説

この地域は、霧島火山の一部であり、附近の地質は熔岩および火山砕屑物からなっている。霧島火山群の地質および火山構造については、沢村孝之助・松井和典両技官により5万分の1地質図霧島図幅として調査されているので、詳細はその報告書によることとし、ここでは海老野地熱地帯の地質についてのみ簡単に記述する。

この地熱地帯は、硫黄山<sup>からくに</sup>火口丘から海老野高原の一部にかけて東西に分布する。海老野高原は外輪山(海老野岳)・韓国中央火口丘群(韓国岳・大浪地)ならびに寄生火山群(白鳥山・御池・不動池)に取り囲まれた一大高原で、その大部分は火山噴出物に覆われている。この地



第2図 宮崎縣西諸郡海老野地形および地温分布図 基準点 不動池四等三角点に連結、等高線間隔 2.5 m

の岩石は複輝石安山岩——橄欖石含有複輝石安山岩質の熔岩およびその集塊岩からなる。海老野噴気帯においては、試錐結果によると、上位より、10~20 m の厚さを有する集塊岩層（岩礫を含む火山性の灰・砂からなる堆積層）が分布し、その下位には約 30 m 内外の複輝石安山岩熔岩が分布し、さらにその下位には上部のものとは

とんど同じような集塊岩層がふたたび分布することが明らかにされている。

### 3.2 地温分布

ハンドオーガーにより 1.5 m 深度の地温分布状況を調査した結果の概要は第2図の通りで、20°C・30°C および 60°C の地温点を結んで等温線を描き、なおその間におけるおもな地温を記入したものである。20°C 線はこの地域において認定された異状地温帯を示すものであり、60°C 線は噴気群を包含する高温帯である。なお 30°C 線は地温の分布状況を明確にするため補足したものである。

### 3.3 噴気帯の分布および性質

この地域の硫黄作用による変質帯は比較的広汎な地域を占め、東西延長約 1,500 m, 南北 300~500 m の幅を持った東西にやゝ長い帯状分布を示している。現在の噴気帯は、この変質帯の東端と西端との2帯に大別される。すなわち、白鳥硫黄鉱山を中心とした硫黄山一帯と、海老野高原の北端白鳥山麓に分布する一帯とである。便宜上、前者を硫黄山噴気帯（あるいは旧噴気帯）、後者を海老野噴気帯（あるいは新噴気帯）と名づける。

この2帯の関係をみると、それぞれ独立した噴気帯を構成しているが、両者の中間地帯においても（現在では 1.5 m の深度で地温の異状は認められない）、きわめて最近までは硫黄を昇華し、あるいは地獄をなしたことが明らかにされており、また変質の状況から、両噴気帯は初生的に独立した噴気帯ではなく、一大変質帯の生成過程において存在する噴気群と考えることができるようである。そして海老野噴気帯は東から西に向かつて発達してきた様相を呈し、最近ではさらに北ないし北西方向へ発展しつつある。特に海老野噴気帯の北西方向への発展は、地温分布調査の結果とともに、植生に及ぼしている影響、噴気帯における変質の程度等に明瞭に現われている。なお海老野噴気帯における地表の噴気現象は漸次強まりつつあり、これと対称的に硫黄山噴気帯は漸次衰退しつつあることは注目し値する。

### 3.4 変質帯の性質

天然蒸気の熱化学的作用により、岩石あるいは表土に及ぼされる変質については、すでに別報<sup>1)</sup>に述べたように、噴気帯の性質に関する重要な手掛りが含まれている。炭酸ガスと共通して含まれる硫化水素が、表層変質の主動的な要素で、酸性変質帯<sup>註1)</sup>を生成することも、しばしば報ぜられている通りであるが、この地域においてはさらに亜硫酸ガスの存在が、変質の一因として加わっている。

註1) 深部においては漸移的にアルカリ性変質帯に変わり、方解石・沸石等の晶出をもって特徴づけられる。

第1表 海老野地域の温泉水質

単位, ppm.

成分 試料	源泉 温度 (°C)	pH	Cl'	SO <sub>4</sub> ''	HCO <sub>3</sub> '	Ca''	Mg''	Fe''	Al''	Na'	K'	CO <sub>2</sub>	泉	質
1	70.5	6.6	72	432	497	125	70	tr.	tr.	119	68	2	土	類 泉
2	66.0	6.4	125	179	146	31	22	tr.	tr.	168		9	〃	〃
3	51.0	6.6	33	497	832	218	117	tr.	tr.	91	59	20	〃	〃
4	91.0	6.2	187	413	76	72	23	8	5	273		5	〃	〃
5	50.0	1.6	729	2030	none	94	47	75	289	51	16	none	酸性明礬緑礬泉	
6	28.0	2.0	456	1138	〃	87	39	56	224	36		〃	〃	
7	72.5	2.0	400	1061	〃	81	38	45	205	57		〃	〃	
8	32.5	2.2	286	551	〃	56	24	33	125	69		〃	〃	
9	21.2	3.8	2	5	n.d	1	tr.	tr.	tr.	n.d	n.d	〃	〃	

## 試料

- 温泉沢湧泉(エビノホテル源泉, 別館浴場用)
- 同上 (同上)
- 同上
- エビノホテル野外風呂源泉
- 硫黄山西麓湧泉
- 不動池西南山麓湧泉
- エビノホテル源泉, 本館浴場用
- 韓国岳北麓湧泉, 露天風呂
- 不動池

## 備考

- 試料採取, 昭和29年8月23日。
- 試料採取位置, 第2図参照。
- 1 ppm 以下は痕跡とする。
- No. 7 は No. 5, 6 等の温泉を混じた沢水を噴気に導水して加温したもの, したがって著量の遊離硫黄を含み酸性硫黄泉といえるようなものである。

硫黄山噴気帯では強度の変質が行われ, 硫黄山を構成する複輝石安山岩はほとんど粗珪石<sup>2)</sup>となっており, 現在もなお変質は著しく進行しつつあり, このことは硫黄山西麓湧泉(第1表 No. 5)等の成分にも現われ, 珪酸以外の岩石成分が逸脱しつつあることを示している。さらに両噴気帯の中間地帯においても, 部分的に粗珪石ないし珪質白土の分布が認められ, またきわめて最近まで, 噴気現象の行われたことを暗示する白色を呈する変質帯も分布する。海老野噴気帯には, 未だ大きな粗珪石帯は生成されず, 僅かな範囲に白色粘土が分布するに過ぎない。特に北西部山地の最も新しい噴気群の地帯においては, 噴気孔周辺の表土(山手における含礫表土層は割合に厚い)が, 局部的に漂白されているに過ぎない。

噴気帯と変質との関係は, 地熱地帯の性質をある程度現わしているものであり, 噴気現象の発達にしたがって変質作用も活潑な進行を示し, 一般に地温帯, すなわち珪質変質帯, すなわち蒸気帯といえるような状態にあることが多く, 噴気現象の消長をある程度暗示し, 同時に噴気帯生成以来の時間的経過を考察する際に, 1つの手掛りとなるものである。海老野噴気帯は, 上記のように噴気現象の著しい割合に変質の度はきわめて低く, このことは地質構造にもよるであろうが, 主として噴気帯生成以来の時間の経過が短いことを暗示するものであり, 活潑な噴気現象の現存することから, 未発達の変質帯における蒸気帯存在の例であろうと考えられる。

## 3.5 温泉の分布と性質

一般に, 地熱地域に伴う温泉は, 噴気・変質帯・地質構造および地形等と関連して, それぞれ特徴的な性質が認められる。そうして, これらの関連性は他の事柄とともに地熱現象を考察する1つの手掛りとなつている。この地域においても, 地熱と地下水との関係が温泉の水質にある程度認められる。温泉水質は第1表の通りである(試水採取位置は第2図参照)。

海老野噴気帯には多数(約60地点)の噴気孔が分布し, またこの噴気帯を流れる沢水は温度は著しくは上昇していないが, 噴蒸型<sup>註2)</sup>特有の硫酸酸性(pH 2.6~3.3)を呈している。この噴気帯の南側には, 浅熱水型温泉を湧出する地帯が分布する。地下水型温泉は, 主として両噴気帯の中間の変質帯に湧出している。

ここに地下水型温泉と呼んだものは, 第1表にも示されているように, 他の地熱地帯においても普通にみられ, 噴蒸型温泉に類似した強い酸性の明礬緑礬泉と呼ばれる性質を持つたものである。この型の温泉は降雨による源泉温度の変化が大きく, 豪雨の後には比較的長期間にわたり温度の低下がみられる。

例えば硫黄山西麓湧泉は, 地形・地質等からみて, 主として硫黄山一帯の滲透天水が噴気と地化学反応を行い, 熱および成分の供給を受けて湧出するものと考え

註2) いわゆる地獄といわれるもののように, 地表が噴気により加温されて生じたもの。

ことができ、石灰・苦土・アルカリ・緩および礬土のような陽イオンは岩石に供給源があり、硫酸根および塩素のような陰イオンは、噴気に供給源があるものと解される。硫酸根は硫化水素および亜硫酸の酸化に基因するが、塩素の比較的著量の溶存は、噴蒸型温泉ないし地下水型温泉ではむしろ一般的でなく、この地帯の温泉を著しく特徴づけている成分である。

このことは、岩漿から発散された揮発性成分としての塩化水素が、比較的地下浅い所において塩化物として固定されたものと解され、同時に比較的浅い所に熱源あるいは天然蒸気が賦存することを裏書きする事実の1つであらう。

浅熱水型温泉と呼んだものは、ほとんど中性に近く、著量の重炭酸イオンの溶存をもつて特徴づけられ、この種の温泉の生成には炭酸ガスが重要な要素をなしている。すなわちこの型の温泉は、地下水型温泉よりは比較的深所において生成されたものと考えることができる。なおこのような温泉分布帯においては、浅い試錐では完全な蒸気は噴出しにくく、湯混り蒸気かあるいは温泉が噴出する傾向が多いものと考えられる。

### 3.6 噴気ガスの性質

噴気ガスの試験は主として海老野噴気帯について実施し、硫黄山噴気帯については2, 3カ所で定性的に実施

の凝縮水は直ちに白濁し、著量の遊離硫黄を沈澱する。なお凝縮水の pH は 2.2 以下である。これは噴気ガスの性質の相違によるもので、硫黄山噴気帯では著しく H<sub>2</sub>S と SO<sub>2</sub> との量が多い。またこのことは、H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> の反応に水滴の存在が大きな役割をなすことを示唆し、過熱状態の蒸気中では比較的共存し易いことを現わしている。

このように噴気ガス中に、H<sub>2</sub>S と SO<sub>2</sub> の両ガスが共存することはきわめて稀であり、僅かに北海道跡佐登等の噴気孔で知られているのみである。噴気ガス中における SO<sub>2</sub> の存在は、岩漿からの初生的揮発成分と考えるよりは、H<sub>2</sub>S の2次的酸化によるものとするのが妥当のようである。この酸化が無水帯における空気によるか、あるいは下降天水中の溶存酸素によるか等のことは明らかでないが、いずれにせよ酸素の作用によるものであり、120°C 以上の高温状態においては、H<sub>2</sub>S の一部が SO<sub>2</sub> に酸化する事実が知られている。したがってこのような地化学的な現象があるとすれば、浅い地帯で酸化作用が行われ、かつ酸素の影響する浅い地帯に高温の蒸気が存在しているものと考えられる。なおこれらの事実から、帰納的に海老野地域では他の地域と比較して、割合に浅い試錐によつて高温の蒸気が得られるものと考察することができる。

第2表 海老野噴気帯(新噴気孔群)の噴気ガス

試料	噴気孔の温度 (°C)	ガス百分率 Vol. %			
		H <sub>2</sub> S	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	残ガス (N <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> 等)
1	96	2.47	0.65	—	—
2	81	2.22	0.81	—	—
3	96	1.96	—	—	5.5
4	96	1.04	2.80	—	—
5	96	1.55	1.88	91.5	5.0
6	96	2.60	0.87	85.0	11.6
7	96	3.92	1.59	89.0	5.0

したのみである。噴気ガスの分析結果は第2表の通りである。噴気孔におけるガスと水蒸気の比は、これらの噴気露頭の温度がほぼ沸点に止まり、かつ湿潤状態にあるため測定しなかつた。しかしいずれもガス含有率はほぼ1.0%内外である。

噴気孔の温度については、海老野噴気帯においては、この地帯の標高は 1,200m 内外の気圧に相当する沸点 96°C 以上の露頭は存在しない。硫黄山噴気帯の方は、96~120°C である。噴気の凝縮水は海老野噴気帯ではほとんど透明であり、pH は 3.6 以上(多くは 6.0~6.4 程度)である。これに対し硫黄山噴気帯では、噴気

## 4. 物理探査 (陶山)

### 4.1 調査目的および調査区域

海老野噴気地帯および硫黄山噴気地帯附近の地質構造推定の資料をうる目的で、これらを含む東西約 1,380m 南北約 350~500m の区域において調査を実施した。

### 4.2 調査方法

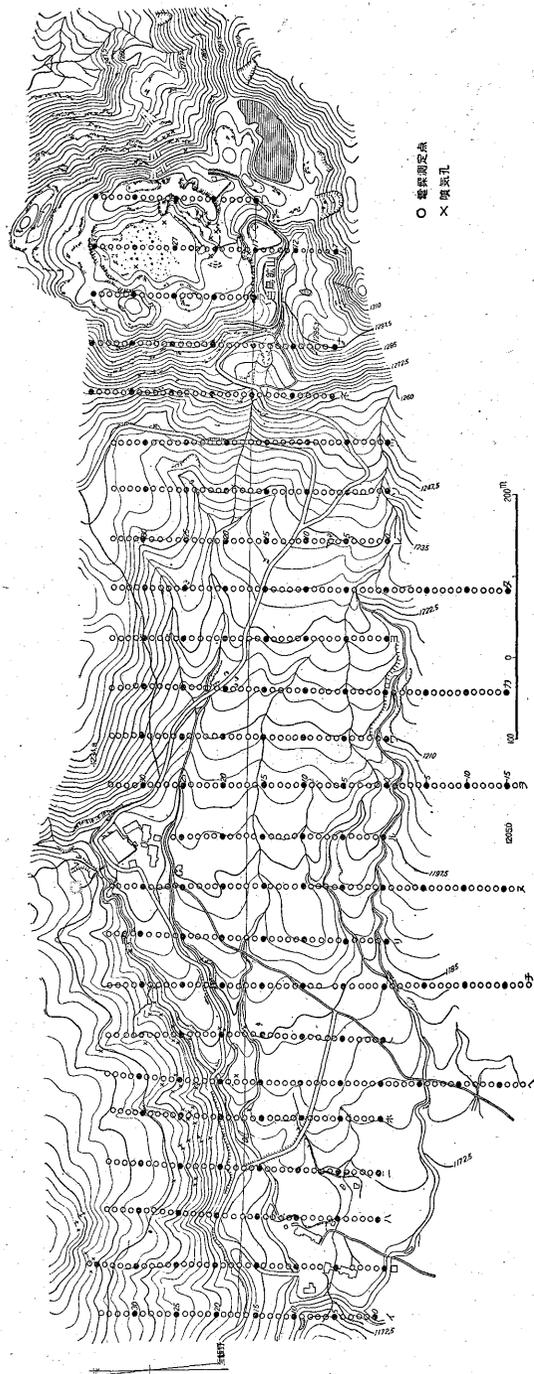
調査は第3図に示すように、南北方向に長さ 350~500m、間隔 60m ごとに「イ」~「ウ」の24測線を設け、各測線上に 10m 間隔で測点を配置して行つた。実施した方法は電気探鉱法(比抵抗法)・磁気探鉱法(鉛直磁力測定法)であり、比抵抗法においては電極間隔(a)を 10, 20, 40m の3種類とし、2極法による水平探査を各測線ごとに行つた。磁気探鉱は「ハ-19」に基準点を設け、こゝでの測定値を(+)100γとし、基準点と各測点との鉛直磁力偏差を測定した。

### 4.3 調査結果およびそれに対する考察

比抵抗測定結果は分布図として第4~6図に、磁気探鉱測定結果は第7図に示した。

#### 4.3.1 「イ」~「ツ」線間区域

まず「イ」~「ツ」線の区域から考察を進めていくと、「イ」~「ト」線の西部A、北西部Bおよび「チ」~「タ」線の北部Cは、{電極間隔(a)=10, 20, 40m のいずれにお



第3図 宮崎県西諸郡海老野地形および物理探査図  
 基準点 不動池四等三角点に連結, 等高線間隔 2.5m, 測点間隔 60m, 測点間 10m

いても  $5 \text{ k}\Omega\text{-cm}$  以上の高比抵抗が (なかでも電極間隔  $(a) = 10\text{m}$  においては  $10 \sim 70 \text{ k}\Omega\text{-cm}$  の高比抵抗が) 分布し, かつ  $(+)300 \sim (+)700 \text{ r}$  の正の磁気異常が認められる。このような性状は, 磁性を有し, かつ比較的高比抵抗な岩石が分布するために生じたものと思われる。

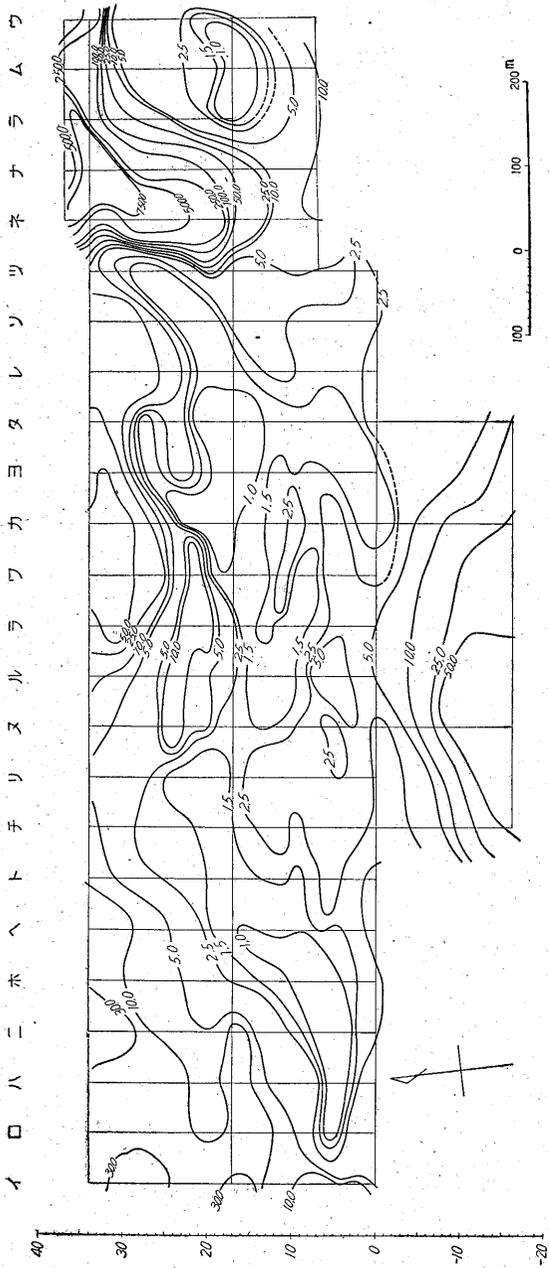
地質調査の結果によると, 本調査地域の地質はすべて集塊岩質岩石からなり, 地域内に分布する噴気露頭周辺およびその他数カ所には, 硫気活動に伴う変質帯が発達している。上記C部分はほとんど変質を被っていない区域とされているので, この区域に分布するほとんど変質を被っていない集塊岩質岩石は磁性を有し, かつ比較的高比抵抗を示すものと考えて, さしつかえないものと思う。したがって上記の A, B, C の3区域は, 変質をほとんど被っていないか, あるいは変質を被つたとしても, 本調査地域中では最も変質の程度が低い地域と考えられる。なおまたこれらの区域内には部分的に変質を被っている箇所がみられるが, その変質帯の規模および変質の程度は, 以下に述べる場合に比べ遙かに小さく, かつ低いものと思われる。

「チ」～「タ」線南部Dは, 電極間隔  $(a) = 10, 20, 40\text{m}$  のいずれにおいても,  $10 \text{ k}\Omega\text{-cm}$  以上の高比抵抗が分布し, かつ  $0 \sim (+) 300 \text{ r}$  の正の磁気異常が認められる。このような性状は前記 A, B, C 3区域に認められるものと同様な性状と考へるので, この区域Dもまた同様にあまり変質を被っていない区域に属するものと考えられる。

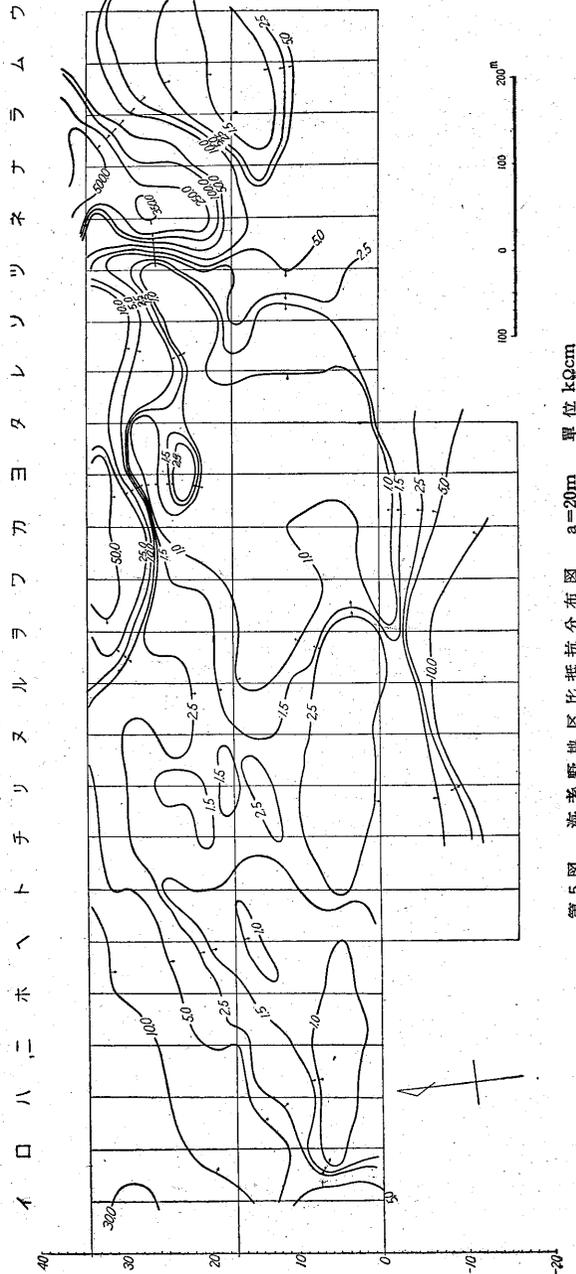
これら A, B, C, D 4区域に囲まれる地域中央部は全般的に  $5 \text{ k}\Omega\text{-cm}$  以下の低比抵抗を示すが, なかでも「ロ-6」～「ホ-6」附近および「カ-20」～「タ-17」附近には,  $1 \text{ k}\Omega\text{-cm}$  以下の著しい低比抵抗が分布し, かつこれらを含みその周辺には,  $1.5 \text{ k}\Omega\text{-cm}$  以下のかなり低い比抵抗の区域が発達している (第4～6図参照)。一方磁気探査の結果によると, 上記低比抵抗部の周辺「ハ-ト-0」～「ト-15」附近に  $0 \sim (-) 150 \text{ r}$ ,  $1.0 \text{ k}\Omega\text{-cm}$  以下の低比抵抗部, 「カ-20」～「タ-20」附近に  $(-)200 \sim (-)300 \text{ r}$ ,  $1.5 \text{ k}\Omega\text{-cm}$  以下の低比抵抗の分布する「ワ-0」～「ヨ-0」附近に  $(-)300 \sim (-)500 \text{ r}$  の負の磁気異常が認められ, なお「ル」～「レ」線にみられる  $(a) = 20\text{m}$  における  $1.0 \text{ k}\Omega\text{-cm}$  以下の低比抵抗部には,  $0 \sim (-)200 \text{ r}$  の負の磁気異常が分布する。すなわち,  $(a) = 10 \sim 20\text{m}$  で  $1.0 \sim 1.5 \text{ k}\Omega\text{-cm}$  以下の低比抵抗を示す区域, またはその近傍には負の磁気異常が分布している。

さて既述の調査地域一帯に分布する磁性を有し, かつ比較的高比抵抗を示す集塊岩質岩石が, 硫気活動に伴う変質を被ると, 酸化鉄の欠損を生じて磁性が弱まり, その変質が粘土化を主とする場合, 著しく低抵抗を示すようになるものと思われる。

負の磁気異常には, 磁性の弱まった変質帯に広汎に分布するものと, 正の磁気異常に伴なつて現われるものがある。後者のなかには, ①比較的高磁性の強い岩石の分布する区域, およびその周辺にいわゆる地形の影響によ



第4図 海老野地区比抵抗分布図 a=10m 単位 kΩ-cm

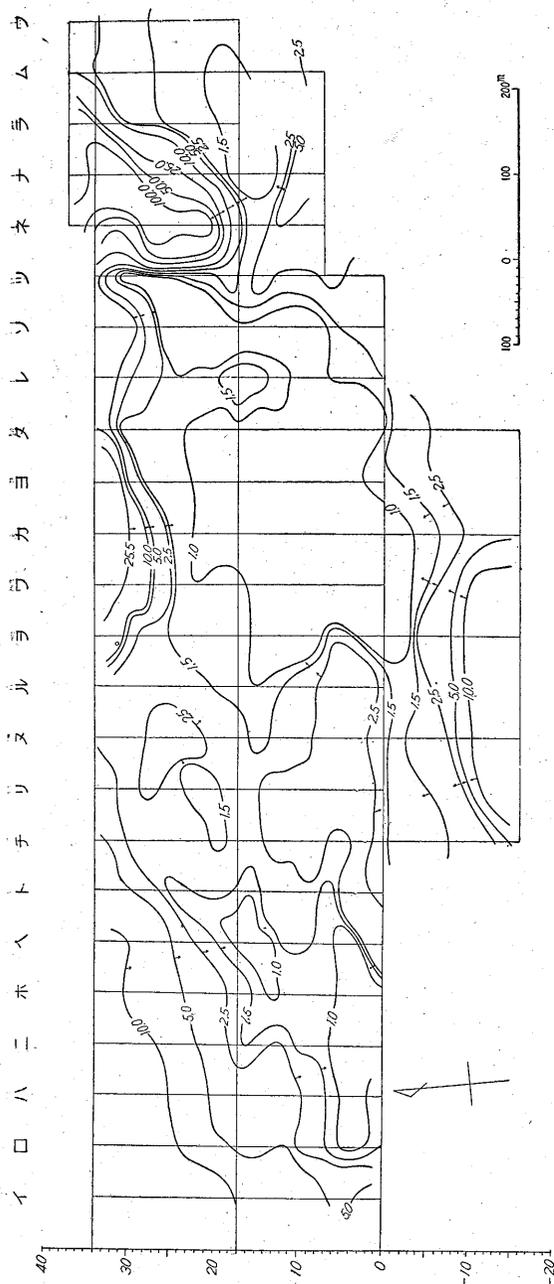


第5図 海老野地区比抵抗分布図 a=20m 単位 kΩ-cm

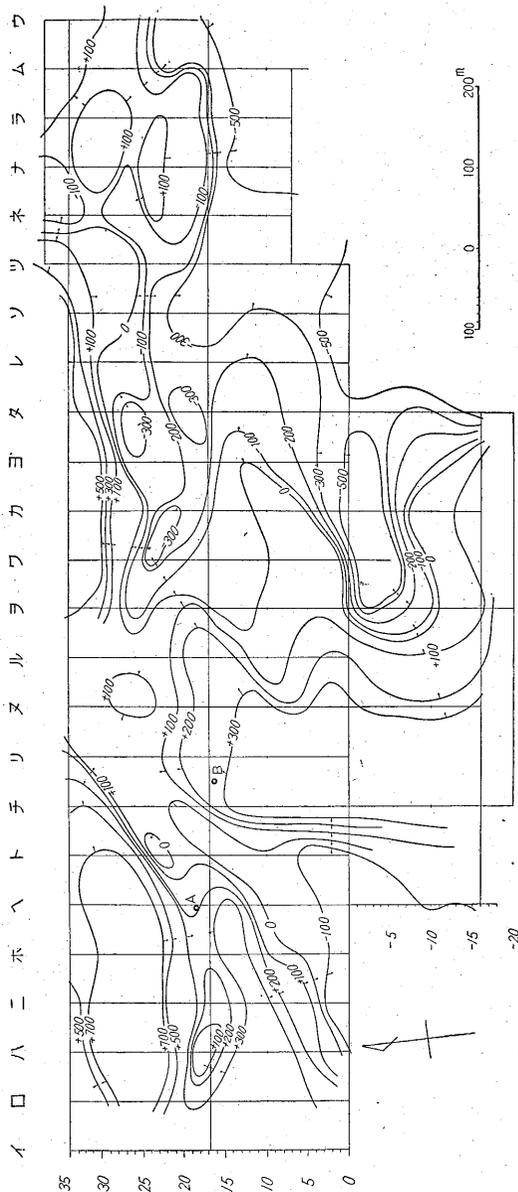
つて生ずるもの (例えば、「レ〜ツ-0」附近からその南東にかけて分布する (-)500 r 以上の負の磁気異常は、磁性の強い熔岩からなる韓国嶽の影響によつて生じたものと思う)、②磁性の強い岩石 (例えば変質をほとんど被っていない集塊岩・熔岩類) の分布する部分と、磁性の弱い岩石 (例えば変質帯) の分布する部分との境に生ずる正の異常に随伴するもの (例えば、「タ-27」附近の (-)300 r の負の異常、「ワ〜ヨ-0」附近の (-)500 r の負の異常

は、この種の要素が強いものと思う)の2つがある。

このように考えると、低比抵抗部と負の磁気異常とがほぼ一致して分布する区域、および周辺に負の磁気異常が分布する低比抵抗を示す区域は、ともに変質を著しく被つた区域と考えてさしつかえないものと思う。すなわち、「ロ-6」〜「ホ-6」附近・「カ-20」〜「タ-17」附近に分布する 1 kΩ-cm 以下の著しい低比抵抗部、および「ワ〜ヨ-0」附近に分布する低比抵抗部を始めて、(a)=



第6図 海老野地区比抵抗分布図 a=40m 単位 kΩ·cm



第7図 海老野地区鉛直磁力分布図 単位 γ

10m で 1.5 kΩ·cm 以下を示す区域ないし (a)=20m で 1.0 kΩ·cm 以下を示す区域は、上述のような性状を示しているの、これら低比抵抗区域はいずれも変質を著しく被つた区域と考えてよいものと思う。ちなみに、「カ-20」~「タ-17」附近および「ワ~ヨ-0」附近は、数年前まで盛んな硫気活動のみられた所であり、「ハ-5」~「ホ-10」~「ト-20」附近に分布する (a)=10m で 1.5 kΩ·cm 以下を示す低比抵抗区域内には、現に盛んな硫気活動が

みられる所が数多くある。

上記の地域中央部低比抵抗区域に挟まれる「チ」~「ル」線附近には、(a)=10~20m で 2.5~5.0 kΩ·cm 程度の (部分的に 5.0~9.0 kΩ·cm を示す) 比抵抗が分布し、かつこの部分には (+)100~(+ )350 γ の正の磁気異常が認められる。既述の考察と同様に考えるならば、この部分はいくらか変質は被つているが、その程度および規模はこの部分の両側にある上記の地域中央部低比抵抗異常

区域に比べて、弱くかつ小さいものと思われる。

「ヌ-26」附近の正の磁気異常(「ヌ-26」で+) 300 r を示す)は調査当時近くにあつた試験用ケーシングパイプの影響と思われる。

「ヌ-25」~「ワ-22」附近にみられる (a)=10m での 10 kΩ-cm 内外の高比抵抗は正の磁気異常を伴なわぬので、無変質の集塊岩質岩石が分布するために生じたものとは考え難いが、その原因は判然としない。

#### 4.3.2 「ツ」~「ウ」線間・白鳥鉱山区域

この区域にはあまり顕著な正の磁気異常は認められないが、区域南部には韓国嶽の影響と思われる顕著な(一) 500 r 以上の)負の磁気異常が分布する。比抵抗の測定結果には (a)=10, 20, 40m とともに「ネ-27」~「ナ-34」附近を中心とする 100~500 kΩ-cm (部分的には (a)=10m で 750 kΩ-cm に達する)の高比抵抗異常と、「ラ-17」~「ウ-19」附近に分布する 1.5 kΩ-cm 以下の低比抵抗異常とが認められる。後者の低比抵抗異常部は白鳥鉱山の硫気孔の分布する部分であり、かつ前項(4.3.1)に述べた地域中央部低比抵抗異常区域と同様な性状を示すので、硫気孔附近に発達する変質帯に起因する現象と思われる。前者の高比抵抗異常部では (a)=10m の比抵抗値は著しく大きく、かつ比抵抗分布は電極間隔(a)が 10, 20, 40m と増大するにつれて急激にその比抵抗値が減少している。このような性状は、この異常部がその地表でみられるような角礫からなつており、空隙に富むために生じたものと思われる。なお、この異常部にはあまり顕著な正の磁気異常が認められないが、これは変質に伴ない角礫の磁性が弱くなつたと考えるよりは、むしろ調査地域一帯に分布する集塊岩質岩石の場合と異なり、角礫が帯磁後移動したために、各角礫のもつ残留磁気方位が一様な方向をとっていないために生じた現象のように考えられ、興味深い。

#### 4.4 結語

本調査の結果、次のように推定される。

##### 4.4.1 「イ」~「ツ」線区域

1. 区域北部・北西部および南部の一部には、調査区域中で最も変質を被つていないと思われる磁性的比較的強く、かつかなり高い比抵抗を示す集塊岩質岩石が分布する。

2. 上記(1)の区域内の「ニ-23」~「ヘ-25」附近には噴気露頭があり、その露頭近くは変質を受けているが、本調査の結果によると、その変質帯の分布は判然としていない。その原因はこの部分の硫気活動が比較的新期に属するために、変質の程度が低く、かつ規模も小さいことにあると思われる。

3. 上記(1)の区域に囲まれた中央低比抵抗部は全般

的に変質を被っているが、(a)=10m で 1.5 kΩ-cm 以下、ないし (a)=20m で 1.0 kΩ-cm 以下を示す部分は、特に著しい変質を被っている部分であると考えられる。

4. (1)の区域と(3)に述べた区域との境近くの「カ-20」~「タ-17」附近、および「ワ-ヨ-0」附近にある低比抵抗部には、特に顕著な負の磁気異常が分布している。この部分は数年前まで盛んな硫気活動がみられたが、現在は地表に硫気活動をみることにできない場所である。

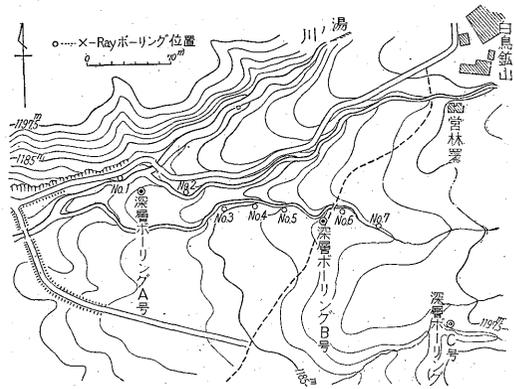
##### 4.4.2 白鳥鉱山区域(「ツ」~「ム」線区域)

白鳥鉱山硫気孔附近は著しく変質を被っているが、この東北および北隣には高比抵抗を示す角礫が分布している。

### 5. 試験調査

#### 5.1 X-Ray 試験機による穿孔選点および深度(高橋)

深層ボーリングA号・B号井の穿孔と別に平行して、この両地点を結んだ直線上およびその延長上に、平均 35m 間隔で X-Ray 試験機穿孔地点 7カ所を東西約 200m にわたつて選定した(第8図参照)。



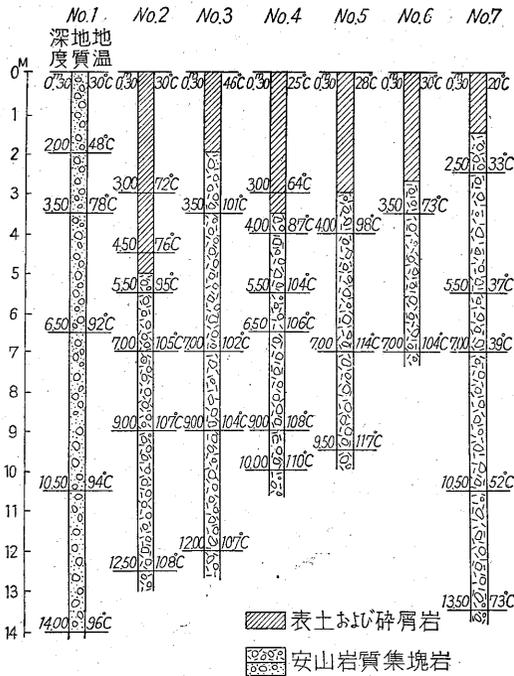
第8図 海老野における試験位置図

掘鑿深度は平均 20m を予定したが、試験機の性能、ことにポンプ排水能力に限度があり、かつ穿孔の途中は、いわゆる崩壊性地質であつたので、掘鑿には困難をきたした。地下測温は掘進を行いながら、深度別に数点においてできるだけ多く実施した。

各地点における地質柱状図は第9図に示す通りである。

#### 5.2 穿孔作業

柱状地質は碎屑岩および安山岩質集塊岩からなり、あたかも砂礫層を掘進するような悪条件であるから、ロッドおよび機械の振動は常に激しく、ダイヤモンドビットの消耗も非常に早かつた。またポンプの容量(最大吐出量 10 l/min)が小さく、穿孔深度が延びるにしたがつて循環水量が逸水のため減少するので、エンジンの回転を



第9図 X-Ray 試錐機による 地質柱状図

上昇させ、送水を増量しながら掘進を続けねばならなかつた。

掘進中に孔底が蒸気帯に突入した場合、循環水は高温となつて真黒な泥水に変わり、これに混じて蒸気の気泡が吹きだし、常にポンプ送水が止まるため作業に困難した。この場合ポンプ送水を全回転にすると、X-Ray 試錐機の回転はポンプ・エンジンが直結しているの、ポンプを全開にすることは、試錐機が全回転掘進することになる。しかし地質は集塊岩で砂礫層のような状態であるから、全回転の掘進ではロッドの振動が激しく、この場合機械振動を抑えるためエンジン回転を落とすと、たちまち循環水は減量しスライムの沈澱が多くなり、ロッド回転が休止して掘進不能に落入ることがしばしばあつた。

次に穿孔内において温度を測定する場合、温度が上昇するにつれて X-Ray 試錐機のポンプ送水量では制圧しきれなくなり、次第に吹き上げられて孔内の崩壊が起り始め、温度計挿入深度もますます浅くなつて測温に障碍をきたした。しかしさらに掘進を続けて深度を延ばした時には、地下の温度はさらに上昇し、その沸騰も強さを加え、孔内から吹き上げる水柱が最も激しくなつた場合には、泥水を吹き上げたため、やむなく試錐機を移転しなくてはならないこともあつた。将来この対策として、X-Ray 型のような簡易試錐機でも、噴気制圧のために冷却水用の送水管を用意すべきことを痛感した。

各地点における掘進過程は第3表に示す通りである。

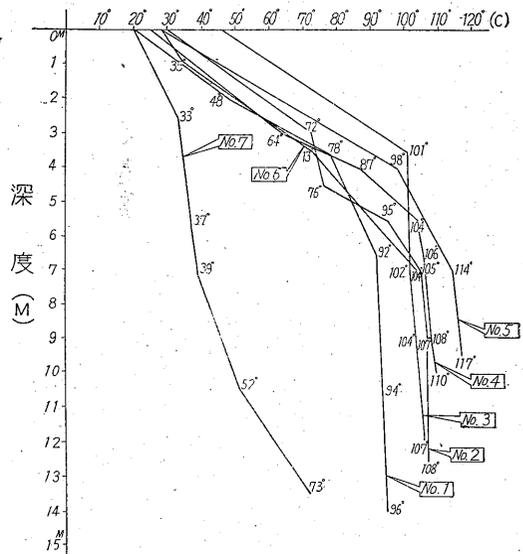
第3表

X-Ray 試錐地点	実掘進深度 m	測温深度 m	掘進中の測温回数	作業日数(機械据付け・掘進・移動を含む)日間
No. 1	15.00	14.00	5	3
No. 2	13.50	12.50	6	3
No. 3	16.00	12.00	4	4
No. 4	14.50	10.00	6	4
No. 5	12.00	9.50	3	4
No. 6	10.00	7.00	3	2
No. 7	16.50	13.50	5	6(台風通過を含む)
総計	97.50	78.50	22	26(自8月22日 至9月18日)

穿孔にはロッドの振動を少なくするために、ダイヤモンドを使用し、一部はメタルクラウンをこれに代えた。当地域のような地質においてはビットの消耗がはなはだしく、ダイヤモンド1個の bit-life は平均 24m となり、掘進コストは硬岩地質の場合に比較して、むしろ割高である。

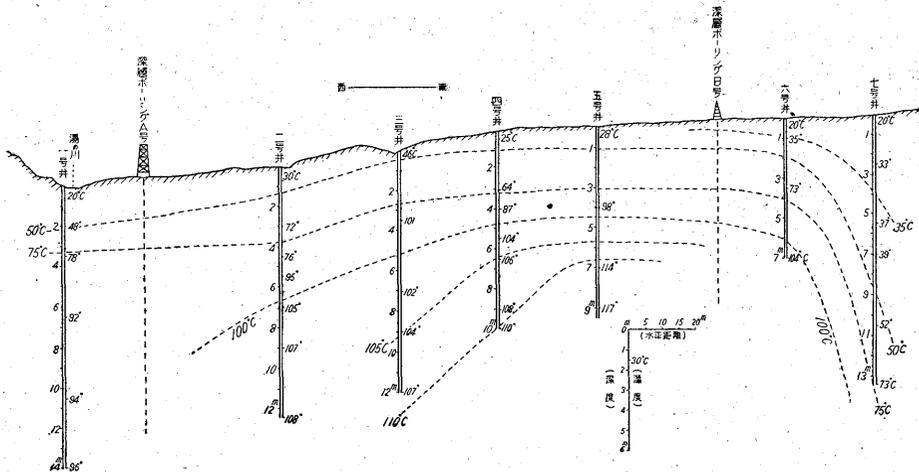
### 5.3 測温および地温状況

X-Ray 試錐地点ごとに穿孔中地下温度を測定した(第10図)。掘進深度の進まない割合に、温度を比較的多くの地点で測定しているのは、地質が崩壊性の集塊岩であ



第10図 孔内測定温度(°C)

つたため、沸騰の開始とともに孔内崩壊が多く、同じ所を繰返して数回穿孔し深度を延ばした結果である。測温結果を図示すると第11図のような地温曲線として表現され、地下の地温状態ならびに蒸気帯深度がほぼ推定さ



第11図 X-Ray 試錐, 地温曲線図

れる。特に沸騰が激しく温度が急激に上昇した地点は、中央部の3号井・4号井・5号井および深層ボーリングB号井の範囲である。このうち最も活動の強いのは4号井であつて、5号井ではこれに準ずる活動がみられた。最高地温は4号井で110°C、5号井で117°Cを示した。特に4号井は掘進終了直後には高さ約30cmまで熱湯を噴き上げ、やむなくX-Ray 試錐機を移転したほどである。一方東端の7号井は掘進中の測定地温は低く、深度13.50mで73°Cに過ぎず、掘進中沸騰はもちろんガス気泡すらみられず、地温曲線は東側に急に降つている。反対に西側においては温度は次第に緩やかに下降の傾向を示し、2号井では温度が昇らず沸騰するまでには至らなかつた。また1号井では掘進途中裂隙が非常に多く逸水多量で、掘進終了後急激に水位降下を起し、水混じりの噴気を開始したが、まもなく川水の影響を受けて、いわゆる地獄の状態に変わつた。

以上のように、地温曲線は西側から次第に上昇しつつ、中央部から深層ボーリングB号井附近にかけて高くなり、これより以東は急激に低下し、蒸気帯外に移るものと考えられる。なお中央部の温度は予想に反して高く、かつ蒸気帯も意外に浅く、その深度は5~6m内外と推定される。以上は穿孔当時における地温についてであるが、全穿孔作業終了後に測定した孔口温度、ならびに各地点のその後の経過は、第4表に示す通りである(9月19日現在の温度測定)。

沸騰活動中の大部分のものは孔内が崩壊し、温度計を孔内へ降下することができなかつた。しかしNo. 7のみは沸騰が起らなかつたので、孔内崩壊がやゝ少なく、温度計は約3mまで降下した。

5.4 X-Ray 試錐機による穿孔についての結語

X-Ray 簡易試錐機による穿孔と地温測定とは、予定

第4表

試錐地点	孔口測定温度 °C	掘鑿後の経過日数	活動状況
X-Ray No. 1	96	2	活動中
No. 2	73	17	沸騰せず
No. 3	96	18	活動中
No. 4	96	22	活動が強い
No. 5	96	25	活動中
No. 6	95.5	5	活動中
No. 7	39	7	沸騰せず

註 当地域(海拔1,200m)の沸騰点は96°Cである。

活動中としたものは、掘鑿終了後蒸気を伴なう熱湯が孔口から噴出している状態にあるもの。

の平均深度20mまでには達しなかつたが、これによつて深層ボーリング2地点を結ぶ直線上200m間にわたる地温状態を、だいたい把握することができた。

当地域の蒸気帯は一般に浅く、4~6mの深度で到達しており、中央部で温度勾配が最も高く、西側の2地点では温度上昇が緩やかである。東側の7号井では温度が急に低下し、これより東は蒸気帯外へ移つて行くものと推定される。

X-Ray 型試錐機のようなダイヤモンドボーリングを使つて、当地域のような火山砕屑岩層中を掘鑿するのは、ロッド振動が激しく、また崩壊もはなはだしくて掘進が延びず、あまり有効ではなかつた。また地熱地帯のボーリングに絶対必要な冷却循環水を、十分に送り得ない不便もあり、この点地温測定用にX-Ray型ボーリングを使用する場合、特に蒸気帯の深度が浅い所には、別に対策を考える必要があらう。

5.5 150型および300型による試錐

5.5.1 深層試錐の概要

当試錐地点は吉都線飯野駅南方約12km、霧島山塊中の韓国岳の北西麓、甌岳・白鳥山・蝦野岳等に囲まれた海拔1,200mの高所で、トラック・バスの通ずる道路はあるが、試錐地点に通ずる橋梁がなく、機械および不属品はできる限り小さく分解し、すべて人力をもつて数100mの間運搬しなければならなかつた。

A号試錐は利根式R300型試錐機、B号・C号各試錐はRL150型試錐機をもつて、動力源として10HPディーゼル・エンジンおよび6HP石油エンジンを使用して、井田・丹治両技官が施工にあつた。

作業は次のような自然的悪条件のため円滑を欠いた憾があつた。すなわち、当地域は火山地帯の山頂に近く、試錐用水殊に地熱調査試錐に不可欠の地熱を制圧するための冷却水が充分取得できず、掘進上致命的な隘路となつた。

試錐地点はいずれも予想に反して角礫混じりの崩壊性集塊岩層が厚く発達し、掘進に困難した(第8図)。

調査期間は丁度台風の季節にあたり、当地域を作業中に4回にわたつてその中心が通過し、作業上に大支障を

きたした。

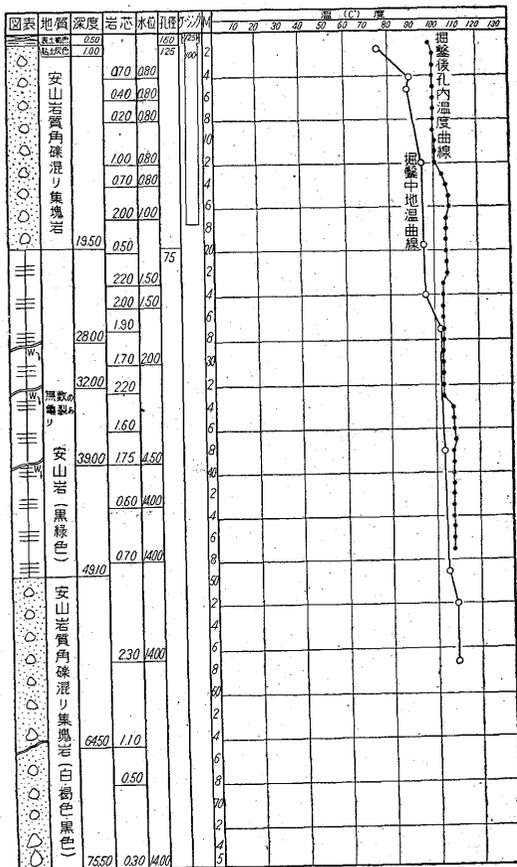
各試錐について記せば次の通りである。

5.5.2 A号試錐(第12図、図版1・2参照)

A号は300型試錐機を使用し、原動機はヤンマーディーゼル10HPで、回転は600回(毎分)、カウンタープーリーによりロッド回転を90回(毎分)に下し、ポンプはプランジャー式で送水量は40l(毎分)で掘進したが、この試錐用水および冷却水は、現場に沿つて流れる高さ約4mの川の水を、径40mmの鉄管100mにより導水した。地質は地表からの深度0.5mまで褐色表土、1mまで暗灰色粘土、19.50mまで安山岩質角礫混じり集塊岩層、49.10mまで黒緑色安山岩、75.50mまでは上部のものと同質と思われる集塊岩層であつた。



図版1 A号試錐噴湯状況、猛烈な噴湯の瞬間



第12図 海老野地熱試錐柱状図 A号試錐

掘進は孔径6吋より始め、5吋鉄管を1mまで孔口崩壊止として挿入し、セメンテーションを行つた。掘進に際しては粘土水を使用し、深度1mまでは160mm魚尾型ビットにより、19.10mまでは100mmメタルクラウンおよび100mm×125mm耳附ビットにより、以下75mmメタルクラウンで掘進した。

なお19.00mまで掘孔を行い、径4吋のケーシングを17.50m挿入したが、上層部は蒸気のため粘土水に

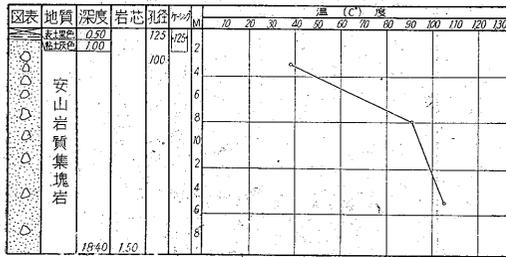


図版2 A号試錐噴湯状況、猛烈な噴湯の瞬間

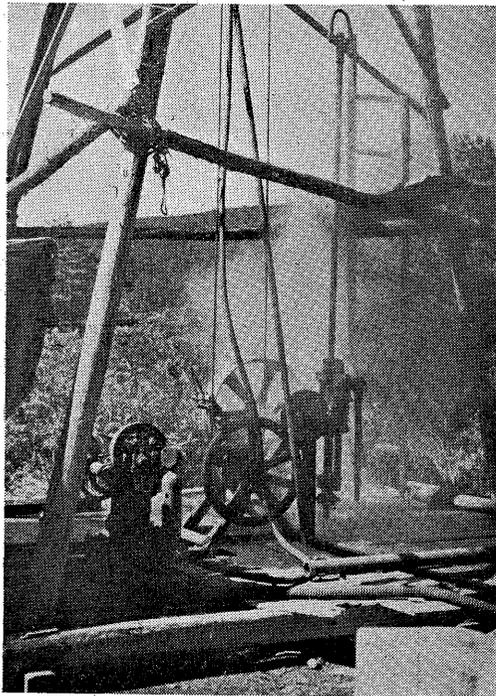
よる孔壁の形成が悪く、錐粉・礫の落下が激しく、ケーシング挿入までに多日数を要した。19.10mより49.10mまでは黒緑色安山岩で、その間に無数の亀裂があり、循環泥水の水位は14mまで下り、逸水防止のためセメンテーションを行つたが効果なく、全漏水のまま掘進を続行した。深度49.10m以下は上部と同様な集塊岩層で、ロッド降下は回転しつつ行い、その作業時間は2~3時間を超えることもあつた。その後予定深度75mに達したので掘進を終了したが、終了時には蒸気の噴出をみながつた。

5.5.3 B号試錐(第13図, 図版3・4参照)

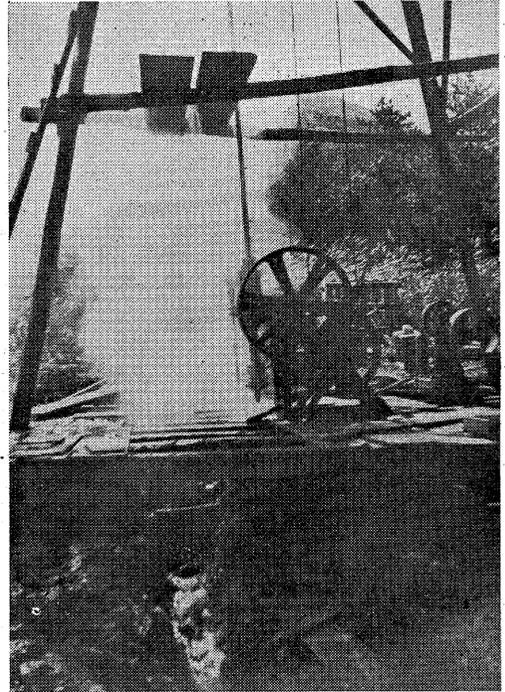
地質は深度0.5mまで黒色粘土, 1.2mまで暗灰色粘土, 以下18.40mまでは安山岩質集塊岩層であつた。孔径は100mmより始め、掘進に際してはA号と同様粘土水を使用した。深度18.40mまで掘進後、夜間



第13図 海老野地熱試錐柱状図 B号試錐



図版3 B号試錐の噴湯状況(冷却水注入後)

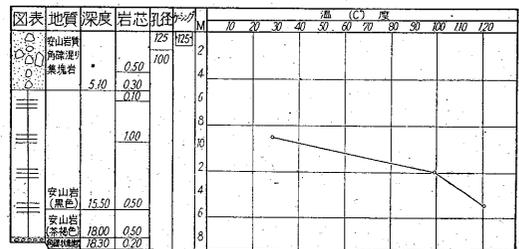


図版4 地獄と化したB号試錐

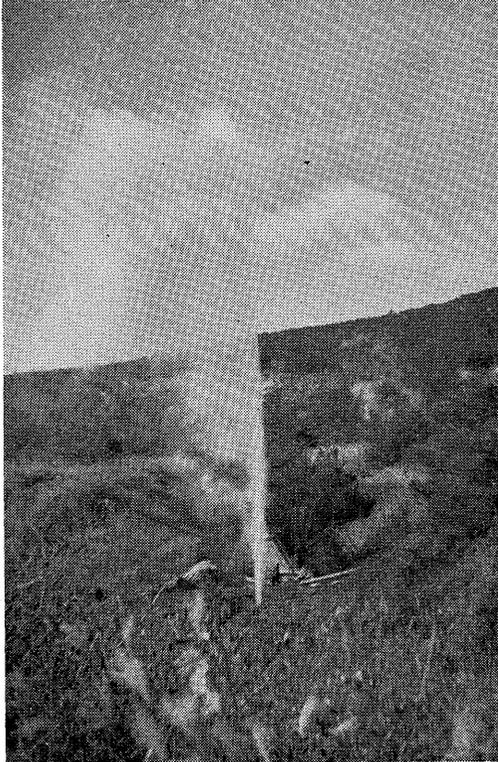
に突然爆発噴気(孔口温度95°C), 噴気制圧に努力したが、冷却水不足のため不可能で、結局櫓・機械を移動して掘換えることにした。櫓は組立てたまま1 1/2t チェーンブロックで曳き、機械その他は人力によつて運搬、建設を終え、土台下に1.5m×1.5m×1mの安全バックを掘り、孔径6吋より始め、5吋×2mの口止鉄管を打込み孔口の崩壊を防いだ。以下85mm×125mm耳附ビットを使用して掘進を行つたが、循環水が前孔井に引かれて掘進が困難となり、一方蒸気は日とともに強力となり、冷却水を2線に引き、2倍以上の送水により噴気制圧に努力したが、100l(毎分)位の冷却水では噴気の制圧は不可能であることがわかつたので、B号の作業も中止した。

5.5.4 C号試錐(第14図, 図版5・6参照)

地質は5.10mまでは安山岩質角礫混じり集塊岩層、



第14図 海老野地熱試錐柱状図 C号試錐



図版5 C号試錐の噴湯状況

以下18.00mまで黒緑色あるいは茶褐色の安山岩で、それ以下は角礫状集塊岩層であつた。孔径は6吋より始め5吋×1.20m鉄管を挿入し、セメンテーションを行つた。掘進はA・B両号と同様粘土水を使用した。C号はA・B両号と比較して、試錐地質は崩壊性が少なく順調に掘進した。18.30mにおいて急に温度が上昇し湧水多量となり、突然爆発噴湯し(水温95°C)、既存の機械および設備では掘進不可能となつたので作業を中止した。概略ではあるが噴湯高15mに及び、湯量は200l(毎分)位であつた。

5.6 地温について

掘進作業中の孔底温度測定は、毎朝掘進開始前にTA温度計をもつて行つた。径40mm、長さ80cm、重量6kgのケース中に寒暖計を収め、これをワイヤロープで吊し降下して測定した。その結果は第5表の通りである。

第5表

A号		B号		C号	
深度 m	温度 °C	深度 m	温度 °C	深度 m	温度 °C
1.50	75	3.00	38	5.00	24
4.00	90	8.00	91	9.00	28
5.00	89	15.00	115	12.00	98.5
12.00	95			15.00	120
17.00	95				
19.50	95.5				
25.00	96				
28.00	103				
39.00	104				
49.00	105				
57.00	108.5				

第6表

深度 m	温度 °C	深度 m	温度 °C	深度 m	温度 °C
0	39.5	17	107	34	108
1	99	18	106	35	109
2	100	19	106	36	109
3	100	20	106	37	109
4	100	21	106	38	108
5	100	22	106	39	108
6	100	23	104	40	108
7	100	24	104	41	108
8	100	25	104	42	108
9	100	26	104	43	108
10	101	27	104	44	108
11	101	28	104	45	108
12	101	29	104	46	108
13	104	30	104	47	108
14	106	31	104		
15	107	32	104		
16	107	33	104		



図版6 C号試錐の噴湯状況, 10月10日噴湯  
(孔口温度105°C)

掘鑿終了直後A号について抵抗温度計により測定した結果、第6表の通りである。

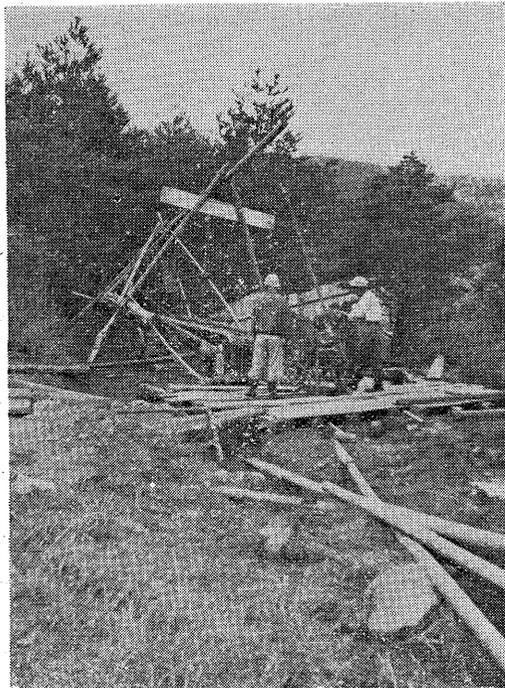
以上はいずれも地下水の存在において測温したものであり、蒸気温度記録としてはB号の孔口温度 105°Cのみである。

次に掘鑿中採取したコアについての測温は行わなかったが、A号において深度 30 m までのコアは採取直後においては素手で取扱えぬ程度(70~80°C 前後)に熱せられており、空気中に取り出した場合は直ちに乾燥したが、深度 30 m 以深のコアはいずれも揚管直後においては水にぬれて冷却していた。

この事実は深度 30 m 以深には著しい地熱はないことを物語っている。

### 5.7 特記事項

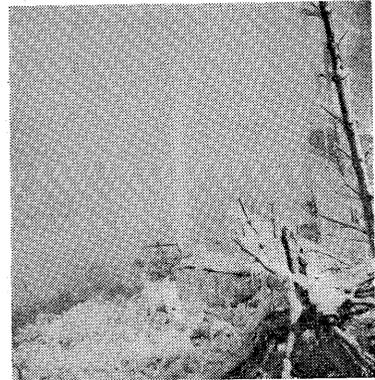
調査期間中には前述のように台風が4回も通過し、海老野観測所発表によれば風速は25~30 m, 雨量 700~800 mm にも達し、A号は鉄鋼製4本槽のため傾斜約30°位になったので、ジャッキを利用して槽を垂直に直し掘進を続行したが、B号は木製3本切槽が小屋ともに倒壊し(図版7)、再建設して作業を行ったが、台風通過



図版7 台風第13号による被害、B号試錐倒壊の状況

の際掘進を休止したため日増に蒸気は強力となり、地表水の流入によつていわゆる地獄の様相を呈し(図版4)、蒸気井としての復旧作業は困難となつた。

なお地熱試錐において、安全バックキャップをいろいろ



図版8 A号試錐現場附近の樹木

と考案して特殊な処置を行つたが、当地域の蒸気帯が非常に浅い所にあつたため、安全バックも効果がなく、また蒸気をおさえる冷却水のヘッドがなかつたので、蒸気の制圧にはきわめて困難であつた。循環水のヘッドを作るためには、始め大孔径で掘進して幾重にもケーシングを入れ、保孔して冷却水柱を延ばして行くことが、当地域のような浅い蒸気帯の掘鑿対策として考えられる。

### 5.8 結語

以上が試錐による調査結果の概略であるが、A号試錐の循環水の水位は深度 14.00m までは 80 cm で、以下漸減し 39.00m の大亀裂を過ぎて後は 14.00 m に急降下し、掘進作業中循環水の減量が著しかつたが、これは亀裂などによる逸水の影響が大きかつたものと考えられる。B号試錐では蒸気帯が浅く分布し、これを制圧することができず優勢な噴気を得られなかつたが、地下水の影響は少なかつた。C号試錐においても 18.30 m で噴湯したが、これは3者のうち地下水の最も優勢なもので、蒸気の噴出は望みえないであろう。当地域のように蒸気帯の浅い地区における掘鑿では、崩壊防止および冷却水柱を延ばすために、ケーシングを何段にも挿入して孔井を完成することによつて、蒸気をうるることが可能となるであろう。

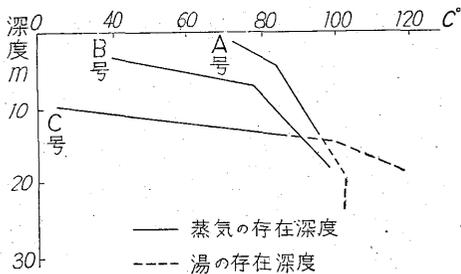
しかし優勢な噴気は地下の地質状態のいかんによることはもちろんであるが、地熱地帯の中心部を掘りあてることが絶対必要で、今回掘鑿された各試錐は、中心部をはずれた末端に位置するようで、地熱は試錐孔の上部層を横這いしているように考えられる。しかるに掘鑿終了後約1カ月半を経過した11月15日に至り、突然爆発噴湯し、噴湯温度は不明であるがその高さは 25.00 m に及び、C号試錐よりも強力である旨の報告があつた。

### 6. 海老野地熱地の構造(近藤)

地表における地質学的、地化学的、地球物理学的の諸

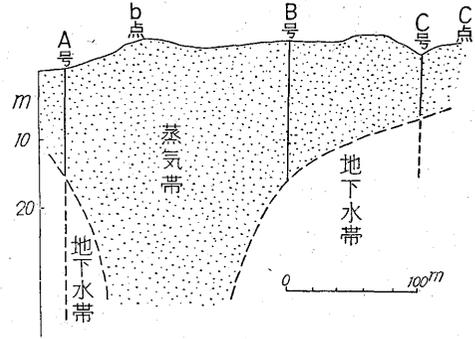
調査方法も、地下の熱を捕捉するには残念ながらまだきわめて不完全である。ボーリングが一番確実な方法ではあるが、これとてもなかなか掘り切れないこと、水を使用するため真の温度がわからないこと、経費の都合上深く、かつ多数のボーリングを行うことができないこと、などの欠点があつて、構造を知るうえに障碍となつている。海老野地熱地帯は東西 700 m、南北 500 m にわたる非常に大きな地熱地帯であるから、少人員と短期間の調査とで、資料を挙げつくすことは到底できないことである。したがつて少ない資料からその構造を論議することは、無理なことかも知れないが、取り纏めるうえから次のような結果をだして、海老野地熱地帯の地下における構造を推定してみる。

海老野におけるボーリング調査は、当初の計画では地熱地の中心部に1本、外側に1本、その中間部に1本、各 75 m の深度で合計3本を完成する計画であつた。しかるに中心部の1本は噴気ガス、すなわち亜硫酸ガスが強かつたため、調査員の健康を損なうことから、やむをえず中心から西南へ、約 100 m 移さざるをえなかつた。また地熱地帯の外側と、中間部とのボーリングは予想外に高温度を有し、蒸気と高温湯が僅か 20 m の深度で爆発、噴出して、穿孔に支障をきたした。でき上つたボーリングは予定延深度の  $\frac{1}{3}$  に過ぎなかつたけれども、確実な資料として、第15図に示したような図解が得られた。すなわち蒸気と熱湯の存在する位置を記入してみ

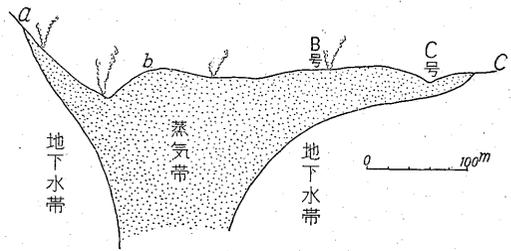


第15図 試錐孔深度と温度との関係図

ると、海老野では蒸気帯が地下浅い所に存在し、深い所には湯が存在することである (B号の深部は未だわからない)。これは普通ならば深い所には全面的に湯が存在し、その湯から蒸気が生成されるのだと説明されることである。しかし筆者はそうは解釈せずに、第16図に示したように、蒸気帯の形状が扇形であるために、下に熱湯があるように見えるのだと考えている。すなわち第16図および第17図の両断面に示したように、蒸気帯の形状は丁度開いた葎を立てかけたような形をなすものように推定される。これは少ない資料に基づいての推定であるから、今後もつと多数の穿孔が必要であつ



第16図 断面における蒸気と湯との関係図(第2図参照)



第17図 断面における蒸気と湯との関係図

て、徹底的に究めることが望ましい。

わが国における地熱地帯の構造については、数年前から研究を始め、漸くその端緒を掴み始めたところである。これについては筆者の天然蒸気の研究<sup>2)</sup><sup>3)</sup>に詳述されている。長崎県雲仙に次いで海老野が2回目の蒸気帯形状の説明である。将来他地域の地熱地帯を調査する機会があるならば、蒸気帯の状態は段々に判明することであろう。

### 7. 海老野地熱調査の総括

海老野温泉地を調査の対象と決めたのは、霧島火山には附随した天然蒸気の露頭が多数あつて、そのうちでもこの地域が著名の1つであつたからである。そして著名ということは地下の埋蔵蒸気が非常に大規模なものと推定され、これを調査すれば期待にそむかぬ結果が得られ、地熱開発の一助となると考えられたからである。

この地域を調査するにあたり、適当な地形図がなかつたので、わざわざ2,000分の1測板3枚を作つた。電気探査と磁力探査とは、地下40~50 mの範囲を地質学的にさぐつてみて、蒸気の影響による岩盤の変質程度から、地熱地帯を解明する試みとして行つた。両者から得られた結果は、変質作用と地熱地帯とを結びつけることに充分役立つことは確かであるが、熱を捕えるには至らない。将来は地熱を捕捉することにまでもつていくことが望ましい。地質調査のうちでも、地熱に対しては特に

地温分布調査が重要であつて、これと併せてボーリングを行えば、地下の構造は段々に解かれていくはずである。

調査の結果は蒸気帯が広く、しかも浅い所に分布していることが判明した。中心下部から上昇する蒸気は、勢力の旺盛な間は地下浅層において葎形に開いて分布するようである。少なくともボーリングによる資料からいえば、そう説明ができる。たゞ遺憾なことはもつと多数のボーリングができるならば、もう少し確かな資料となつたことであろう。今後の調査を期待してやまない。

これまでに調査した鹿児島県湯之野・長崎県雲仙などと比較すれば、海老野の蒸気帯はきわめて若く、いわゆる発展過程にあるもので、これから最盛期にはいる蒸気帯と判定できる。将来噴気する範囲はさらに拡大していくであろう。蒸気帯の面積は  $300 \times 200\text{m}$  もあり、この範囲ならば自由に蒸気を噴出させることができると考へている。蒸気の温度・圧力・量については調査が不備

なためいえないけれども、地熱開発の対象とすること、特に動力化にも充分役立てうると信ずる。宮崎県当局においては今回行つた穿孔を利用し、自己発電をするとともに、一方では湯を利用して浴場を經營し、観光地にする聞き及んでいる。筆者の調査結果が研究資料ともなり、なおかつ直ちに開発の一助となるならば非常な幸である。  
(昭和29年7月~11月調査)

#### 文 献

- 1) 中村久由・安藤武：秋田県後生掛地熱地帯調査報告，地質調査所月報，Vol. 5, No. 9, 1954
- 2) 近藤信興・安藤武：天然蒸気の研究（その1），地学雑誌，Vol. 62, No. 2, 1953
- 3) 近藤信興：蒸気帯の形状について天然蒸気の研究，そのⅡ，地学雑誌，Vol. 63, No. 4, 1954