

## 鹿児島縣霧島地熱地帯調査報告

### 地熱調査班

Résumé

#### On the Subterranean Heat in Kirishima District, Kagoshima Prefecture

The writers have investigated in 1953 the Yunono hot spring district, one of Kirishima volcanic heat sources in Kagoshima pref., from several attitudes of geology, geophysics and chemistry with boring in its test.

Yunono occupies a small area of about 100 × 50 m containing many exposures of strong fumaroles in very high temperature.

The most important spot, 85 m in depth, is selected. And natural flow of hot spring, 125°C at an exit has come out though the quantity and pressure are not yet measured which will be measured in near future.

The writers have recognized, on the occasion, that they could obtain the natural flow of hot springs wherever they wish in subterranean heat area by the studies of geo-thermal distribution.

### 1. 緒言

九州には地熱地帯が多数ある。これらを順次調査する目的で、昭和28年度は鹿児島県霧島地熱地帯を選んだ。本地帯は広大な面積にわたつて、大なり小なり無数の噴気地帯からなつていたので、これを詳細に調査しつくすことは到底困難であると思われた。むろん許された範囲でできる限りのことをしたつもりである。こゝでは全域にわたる総合的調査ということを取り纏め記載することとし、個々の地熱地帯については概査の後に特に2カ所を取り上げて精査を行うことにした。

今回のように多数の人員をもつて調査を行つた例は、大分県の野矢地熱地帯に次いでこれが2回目である。野矢の場合は初めてであつたため、各専門相互の間に連絡が取れなかつた点もあつたが、霧島の場合では調査員が一同揃つて関連のある共同調査をなすことができたのは、きわめて好都合であつた。そしてその成果が予想とほぼ違わなかつたのは、わが国の地熱地帯の構成をわれわれが段々理解しうらうようになったことを示すものと思つてゐる。

本報告の内容については、各調査員から調査の成果を提出して貰つて編集したようなことになつた。そのため報告内容が不揃いの嫌いが多々見受けられ遺憾ではあるが、なるべく各個の内容には触れないようにして取り纏めたのであらかじめ御了承願ひたい。

本調査に関係した所員は次の通りである。

地質調査： 近藤信興・中村久由・沢村孝之助・安藤

武・松井和典・鈴木孝

物理探査： 陶山淳治・二日市宏・小林創

地形測量： 加々美時寛・石原二郎・須藤良雄・井上正文・小張孝

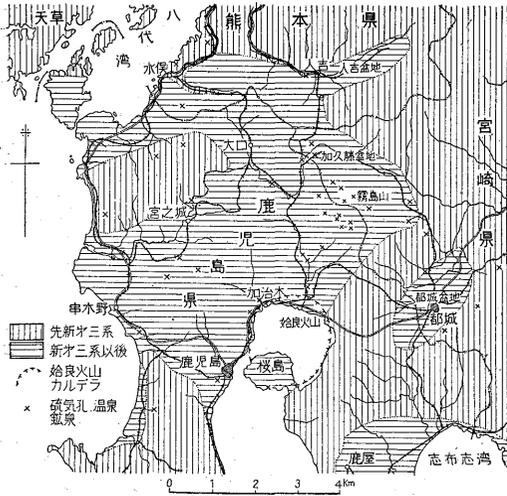
化学調査： 前田憲二郎・池田喜代治

試錐調査： 渡辺武夫・柳原親孝・井田太治・高橋稠  
なお霧島やまたわが国国立公園の1つであつて、試錐には温泉法による認可を得なければならなかつたにもかゝらず、県当局の好意によりこれらの手数は全部省略することができ、また牧園町長および地元からも協力・援助があつたことに対し、各位に厚く謝意を表する次第である。

### 2. 調査計画

多数の噴気帯地のうち、どれを精査するのが最も適当であるかということは、研究の結果から地熱地帯としての優劣を判定する標準ができていない限り、むずかしい問題であろう。そこで霧島の場合どの地点を精査するかについては種々議論が行われたが、結局調査員がそれぞれ現地をみて、種々の条件に最も適する所を決めることにした。

地熱地域の広大なものは漠然とした結果だけしか得られず、その成果を取り纏めるのに困難かも知れない。また小さいものでボーリングの途中掘鑿用水のために、地熱が冷却してしまうようなものでは不適當であるし、また地熱地の範囲が複雑なものは試験の効果が挙がらないおそれもあるであろう。このような意味から、霧島地熱地のうちから特に手洗地区と湯之野地区とを選んだ。手



第1図 霧島地熱地帯位置図

洗地区は地熱範囲もなかなか広く、蒸気量を調査するには好都合であり、一方湯之野地区は面積は非常に小さいが、蒸気が強力であるようにみえるので、穿孔によつて噴気させ、蒸気に関する資料を是非取りたいところである。そのうえ小さいだけに、地熱地帯を縦横に調査して理論に対する実験資料をうるには好都合であるとの見直しをもつに至つた。

手洗と湯之野の一応の資料が集まつたところで、昨年度地温分布を調査した栗野岳の結果とを併せて、3カ所を比較検討し、この3者のなかで最も優良な地域に対し、深いボーリングを降下して、蒸気の採取を試みるつもりであつた。たゞ栗野岳と手洗とは、ボーリング用機械の運搬に適する道路が未だにできておらず、運搬には相当手間どるであろうという理由から、湯之野をさらに精査するのが適当であるとの結論に達し、これが推奨されるに至つた。

霧島神宮駅から湯之野までは車道もあり、滞在中の調査員の私生活も容易で、あまり費用もかゝらない便もあつて好都合ではあつたが、実施してみた結果では、霧島川にかけられた橋が弱かつたため、機械を渡すには相当骨折りであつた。

今回の調査で深いボーリングの結果、予想通り穿孔は爆発噴気した。後章に述べる通りの結果とはなつたが、遺憾なことに、われわれは蒸気圧、量の測定用試験装置を未だに持つていない。この測定を行うのでなければ結論とならないのであるが、その準備を目下準備中であるので、いずれこの報告発表に間にあえばその結果を末尾に入れるつもりである。

### 3. 調査方法

霧島地熱地帯で行つた調査測定は次の通りである。

地質図の作成： 噴気地帯の1万分の1および穿孔地の2千分の1 各1部

表層地温分布測定： 1.5m の表層地温

浅層地温分布測定： 20~30m の浅層地温

物理探鉱調査： 電気および磁気探鉱

化学成分分析

試 錐

以上のそれぞれの方法については、こゝに述べるまでもないが、そのうち浅層地温分布調査というものは、今回初めて試みた方法であつて、機械はカナダ製の小型試錐機をもつて、できうる限り多数の穿孔を行う方法である。これは携帯に便利なのと早く掘れる特徴があるから、地熱調査の場合のように地温勾配を特に必要とするものでは、非常に有効であつて、これが地域に対し完全に行きわたつて行えば、地下の高温な所は大体把握しうるほどである。大型の機械で長期間にわたる調査よりも、小型機で急速に資料が得られるから、われわれの行つている現象研究にはきわめて都合が良い。今後はこの種機械の台数を増加し、総合調査することが望ましい。

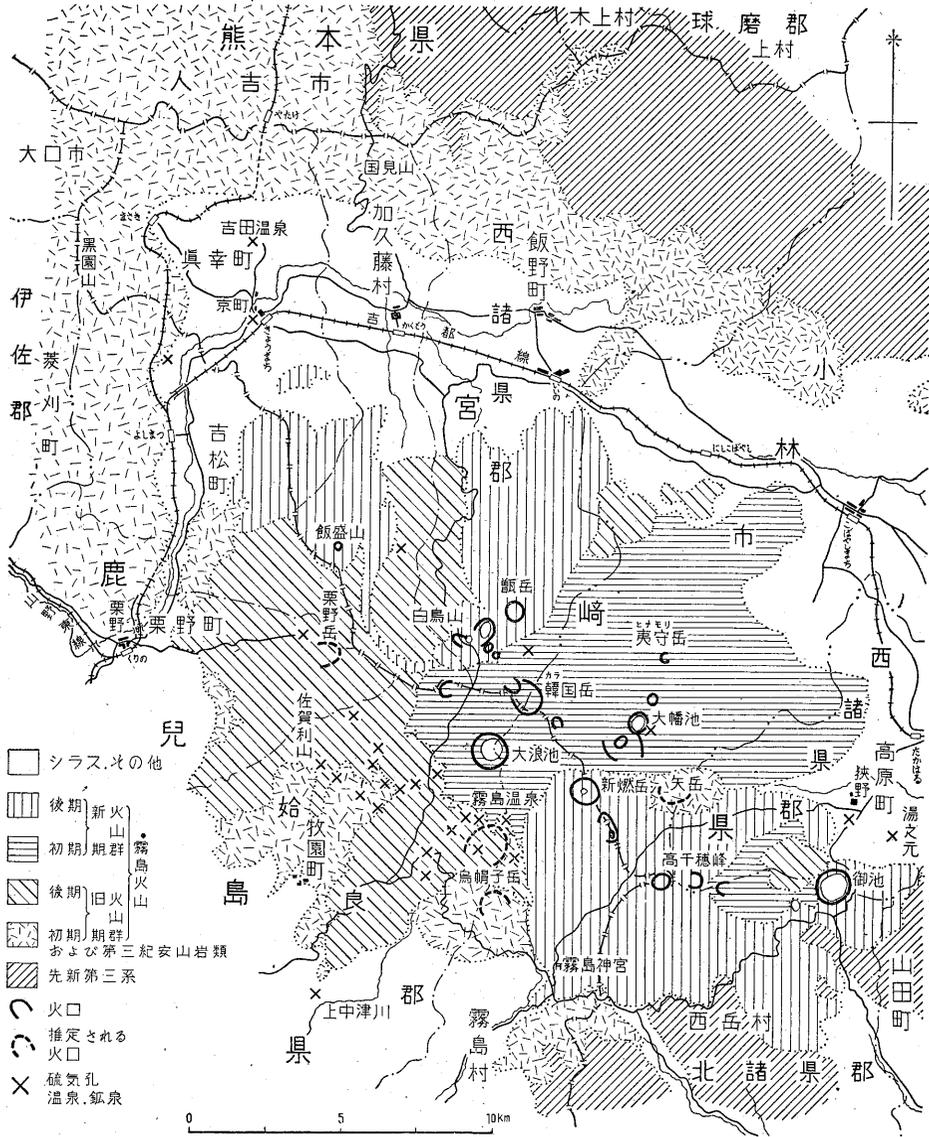
物理探査が地熱の捕捉に直接には役立たないことは、すでに専門家によつていわれているが、これは研究が足りないことによるのかも知れない。後章記載のように、現在では間接調査に過ぎないが、将来の研究によつて直接的調査方法となるまで盛り立てて行かなければならない問題で、その意味で大いに推進している次第である。

ボーリングはなるほど穿孔であるから、1つの調査方法には違いないけれども、これとても穿孔に冷却水を用いるため、真の地温を知ることは困難である。われわれは水を使用しないでボーリングできるような方法が今後得られるならば、地熱調査もまたその研究も一段と進歩することを疑わない。

### 4. 霧島火山地質註1) (沢村)

総合地質図(第2~4図)より明らかなように霧島火山は鹿児島県と宮崎県との境に、北西—南東に延び(約30km)、北東—南西に短い(約20km)楕円形の地域を占め、<sup>からくに</sup>韓国岳(海拔1,699.9m)を最高峯として、20余の火山をもつ一大集合火山であつて、その一部は現在もなお活動を続けている。阿蘇火山帯に属する他の火山は、いずれも巨大なカルデラを有するにもかゝらず、霧島にはこのようなカルデラはない。これは鹿児島県北部に広く、かつ激しく起つた第三紀火山活動が霧島地域におい

註1) 詳細は霧島山図幅として発表される。



第2図 鹿児島縣北部の地質概略

ては、現在まで引続いているためと考えられる。この活動には、もちろん阿蘇火山帯の活動力の影響も考えられる。すなわち霧島の典型的なホマーテである大浪池と韓国岳(ともに直径1kmの大火口をもつ)とが、桜島周辺(始良火山)のカルデラ生成とほぼ同時期に生じており、しかもその熔岩は軟弱な集塊岩状を呈し、始良火山のカルデラ生成に伴って噴出した、いわゆる泥熔岩にその性質が似ていることは、それを示す1例である。

鹿児島県北部は先新第三系の地域に生じた陥没地帯であつて、現在は新第三紀安山岩類・泥熔岩・シラス(軽石質泥流)などによつて埋められているが、温泉はこの

陥没地とその周辺に集中している。その分布をみると、霧島から鹿児島へ、北東—南西に配列する1群の存在が注目される。この陥没地帯の東縁には、さらに後に沈降したと考えられる人吉・加久藤および都城盆地がみられる。このうち、加久藤盆地は霧島火山の北東側にあつて、第三紀安山岩地域に生じたカルデラであるといわれる。霧島火山の北西半はその区域内に包含されている。霧島火山の南東半もまた、先新第三系の示す地形からみると、北西のものとは別の盆地内に噴出したもののようにみえる。

霧島火山はこのように複雑な地質構造をもつ地域に存



ているが、西側では地表に露われていない。また新期火山群の火口の配列にも、西半では北西—南東にみごとに並んでいるが、東半では“く”の変形に折れ曲つて並んでいる。硫気孔もまた西半部には存在するが、東半部にはなく、僅かに大幡池の東側、狭野・湯之元に低温の温泉が存在するだけである。

霧島火山においてはその構成から、北西—南東方向の主要構造線と、それに直交する2次的な北東—南西方向の構造線とが考えられる。北西—南東方向のものは大きな意味をもつものと考えられ、霧島の北西麓では、小規模であるが、新期火山群の熔岩が北西への衝上構造をつくつている。火口の配列がこの方向をとることはすでに述べたが、硫気孔・変質帯および温泉の分布もまたこの線にのつている。すなわち、白鳥温泉—大幡池の温泉—湯之元温泉の列、近年活動を始めた海老野の硫気孔群の約800mにわたる列、霧島南西山腹の多数の変質帯の北東、南西両側を限る線、などがそれである。北東—南西方向は、鹿兒島から霧島に至る温泉の列として認められることはすでに述べたが、火口の配列においても、白鳥山附近および夷守岳附近で同一方向性が現われており、また霧島南西山腹の変質帯群中でも、手洗変質帯を中心とする1群、林田変質帯附近の1群等は、この方向をとつて現われている。第4図の精査図にみられるように、霧島火山の南西腹にあたる地熱地域には、旧期火山群後期の熔岩が主として分布し、その南に旧期火山群初期の熔岩が、その北には新期火山群がみられる。

旧期火山群初期の熔岩は佐賀利山、その東側の地域および鳥帽子岳などを構成し、それぞれ孤立した火山体をつくつたものと思われるが、岩質は角閃石安山岩と複輝石安山岩とで、著しく風化している。

旧期火山群後期の熔岩は前者を覆つて広く分布している。この熔岩はある程度の期間をおいて流れた4期の熔岩に区分され、下位から栗川熔岩・関平熔岩・林田熔岩・山城熔岩の順に重なつている。いずれも数枚の複輝石安山岩からなつている。その風化の程度は弱い。これらの熔岩の間には、薄い凝灰角礫岩および砂礫層が挟まれ、変質帯の近くでは、硫気作用によつて生じた白色粘土が侵蝕され再堆積したものが、美しい層理を示して挟まれることがある。この粘土層は丸尾温泉の裏手、林田温泉の南および新湯の西の自動車道路に露われている。

新期火山群の熔岩のうち、この地域には丸尾熔岩・大浪池熔岩・東韓国熔岩と新燃熔岩とが分布している。前3者は初期のもので、新燃熔岩は後期に生じたものである。いずれもほとんど風化していない。丸尾熔岩は大浪池熔岩の下にあつて、林田・丸尾温泉の谷底に狭く、長

く分布している。岩質的には橄欖石斑晶に富む輝石安山岩の1枚の熔岩であるが、時には岩滓状を、時には崖錐状を呈する泥流層(?)を伴なつている。この熔岩は丸尾の硫気孔に接する部分のみ、局部的に白色粘土化している。大浪池熔岩は数10枚の輝石安山岩質の薄い熔岩流からなつている。いずれも軟弱で、集塊岩状を呈し、新湯附近では熱雲堆積物に近い黒色粗雑の性状を示している。硫気作用の影響は全然受けていない。東韓国熔岩は、多孔質の、時には軽石に近い性状の岩石で構成されているが、この地域には、その下部の堅硬な、一見新燃熔岩と区別しがたい橄欖石複輝石安山岩が、霧島川の川底に細長く分布している。新燃熔岩は黒色、新鮮な橄欖石複輝石安山岩で構成され、その下部には岩滓層が伴われ、新湯附近に広く分布している。この岩滓層の一部は、湯之野変質帯の南端で白色粘土化している。

この地域には硫気作用による多数の変質帯があり、いずれも白色粘土が広範囲に生成されており、白水沢・湯の池、鳥地獄では硫化鉄を多量に沈積し、内の野では美しい層理を呈する珪華が生じている。これらの変質帯の大部分においては、現在もなお硫気孔の活動が盛んであつて、新しい丸尾熔岩・新燃熔岩に伴なう岩滓を、白色粘土化しつつあるのも局部的にみられるが、しかし、全般的には変質帯を覆う熔岩は、全く硫気作用の影響を蒙つていないものが多い。例えば、丸尾変質帯では栗川熔岩が白色粘土化しているが、関平熔岩は全く変質せずに北側から白色粘土(あるいは変質安山岩)を覆い、両熔岩の間には成層した白色粘土層を挟んでいる。これは関平熔岩の流出以前には、丸尾変質帯の活動が広範囲に及んでおり、一部が侵蝕され再堆積した後に関平熔岩が流れ出し、それ以後、この変質帯の活動は活潑でなかつたと考えられる。

ところで、北東—南西に並ぶ丸尾・林田・栄の尾の変質帯をみると、それぞれ栗川・関平・林田の各熔岩は変質を受けているが、丸尾変質帯では関平、林田変質帯では林田、栄の尾変質帯では山城の各熔岩が変質を受けていない。すなわち、変質帯の活動は南から北に向かつて時代がおくれているといえる。この地域の変質帯すべてについて、このような熔岩との関係を示すと第1表のようになる。

また、これらの変質帯の分布をみると、北西—南東の線にのる数群に分けられる。すなわち、北東側から山城・新湯の1群、銀湯・白水沢・鳥地獄・栄の尾・明馨・湯の野の1群、湯の池・手洗・林田・湯の谷の1群、大良湯・金湯・銚投・丸尾の1群と内の野変質帯とがそれである。最も南西にある内の野変質帯には、活動の余勢も全く認められず、その北東隣の線上にのるもののうち

第1表

新期火山群	熔岩	(新湯)
旧期火山群後期熔岩	山城熔岩	(湯の野)
	林田熔岩	(明礬)
	関平熔岩	(丸尾)
	栗川熔岩	(内の野)
	旧期火山群初期熔岩	

註 ( ) は推定

大良湯・金湯には強力な硫気孔は存在しない。したがって、概括的には、より北東側の線にのる変質帯が南西側の線上のものより遅れて活動しており、その活動力は現在もなお強いといえるであろう。

5. 霧島地熱地帯 (中村)

5.1 変質帯および噴気・温泉の分布

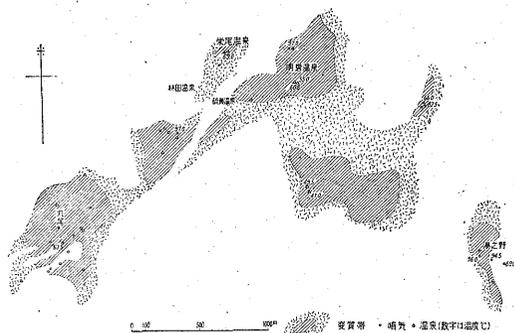
霧島地熱地帯<sup>註2)</sup>には現在10数カ所に變質帯がみられる。變質帯の規模、分布状況および未變質熔岩との関係等については前項に記述されているので、こゝでは省略するが、たゞ分布上の特徴として北西および北東の2方向に變質帯が配列する事実は注目し値する。この傾向は特に變質帯と噴気・温泉との関連においても、大きな意味をもつと思われる。

變質帯は噴気作用を受けた熔岩地帯に発達するが、その變成産物<sup>註3)</sup>は主としてカオリン質粘土からなり變質地域の大部分を占める。珪質部分の発達は比較的少なく、白水越(牧園鉱山北側)入口附近と新湯入口附近にやゝ特徴的な露出がみられるにすぎない。前者は硫化鉄を含む硬質の珪化帯で、噴気作用に関連のある熱水液の影響によるものと思われる。後者は淡黄色粗鬆の珪質物でその側面ではカオリン質粘土に漸移する。なお、この種の珪質物は噴気地帯の表面にもみられるが、全般的にその発達はきわめて貧弱である。

霧島地熱地帯にみられる多数の噴気・温泉は、ほとんど變質帯に伴なつて分布する。例外として湯之野附近の

註2) 霧島火山周辺の地熱地帯は栗野岳・霧島・海老野・白鳥の4地域に大別される。このうち、牧園町銀湯より霧島村湯之野までの地域を霧島地熱地帯と呼ぶことにする。

註3) 變成産物の性状については他の報告で発表の予定である。

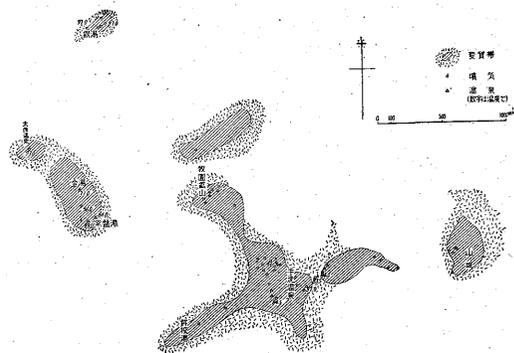


第5図 霧島地熱地帯における變質帯および噴気・温泉の分布図 (第3図A区域)

變質帯には噴気も温泉もみられず、また関平温泉は非變質安山岩の地域から湧出している。

變質帯と噴気・温泉の分布状況は第5・6図に示す通りであるが、この図をみてもわかるように、噴気および温泉の分布には特に著しい規則性がみられないけれども、温泉は噴気地帯の周辺に分布するのが一般的な傾向のようである。

噴気ガスの成分については別項で説明されているので、こゝでは主として温泉の化学性について簡単な説明を加えておく。



第6図 霧島地熱地帯における變質帯および噴気・温泉の温度分布図 (第3図B区域)

前述のように霧島地熱地帯の温泉は、ほとんど變質帯に伴なつており、また變質帯は2, 3の例外を除くと、いずれも現在の噴気地帯に相当している。そしてまた、上で述べたように温泉の分布が、主として噴気地帯の周辺に位置する事実を思い併せると、噴気と温泉の間にも密接な関係のあることを容易に察することができる。

まず霧島地熱地帯のなかから選んだ代表的な温泉について、その化学主成分を示すと第2表の通りである。

これらの温泉のあるものは、地表水が噴気によつて加熱されたものであり、またあるものは噴気地帯の周辺にあつて、自然湧出するものである。こゝでは温泉の存在

第2表 霧島地熱地帯における温泉の化学成分

場所	温度 (°C)	遊離無機酸	pH	Cl'	SO <sub>4</sub> '	HCO <sub>3</sub> '	HBO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> '	Na'	K'	Total Fe	Ca	Mg	CO <sub>2</sub>
銀湯	97.0	1.0	3.0	6.7	80.7		4.4	0.5			1.9	10.7	6.0	
太良湯	97.0	0.4	3.6	5.7	60.9		4.4	1.0	2.3	5.1	0.6	6.3	5.5	
金湯	71.0		6.5	4.7	42.8	261.1	8.8	0.2			tr.	64.1	12.0	33.0
常磐湯	69.0		7.5	5.1	22.2	253.8	8.8	0.1	25.1	12.2	tr.	41.0	16.5	tr.
関平	49.0		7.0	12.5	65.9	262.3	17.5	0.4				65.8	17.4	8.8
鉢投	79.0		4.8	3.3	37.9	2.4	tr.	0.4				19.5	4.1	6.6
手洗噴気地	92.0	13.0	2.2	2.3	888.2		43.8	3.7						
〃岩風呂	93.0		7.0	13.5	149.8	61.0	8.8	0.4				44.7	11.0	tr.
〃共同湯	47.0		7.2	3.3	102.9	85.4	11.4	0.7				35.8	15.8	tr.
〃手洗川右岸	84.0		6.9	32.0										
榮尾温泉	69.0	2.3	3.1	51.4	231.3		30.7	0.4	46.4	21.2	0.2	23.5	11.9	
硫黄谷温泉	52.0	2.0	3.0	39.8	193.4		23.7	0.4	14.1	21.8	0.9	19.9	9.0	
明攀温泉	56.0	1.7	3.0	52.5	181.1		17.5	0.7	25.9	23.1	0.7	13.0	12.2	
丸尾風景館	53.0		6.3	6.3	70.0	148.9	8.8	1.1	1.5	21.2	4.5	43.8	13.1	17.6
風景館飲料水				6.0										
丸尾旅館	77.0		7.9	118.3	48.6	212.3	35.1	1.2	93.6	12.8		50.6	9.4	
〃塩湯	62.5		6.5	35.4	42.8	170.8	13.2	0.9	19.6	17.3	0.3	40.7	16.2	13.2
丸尾殿湯	69.0		6.7	511.2	37.9	19.5	122.7	0.4	229.7	25.7	tr.	49.8	5.5	17.6
〃清流荘	67.0		6.8	368.5	59.3	73.2	83.3	1.0	175.4	26.3	tr.	60.9	18.4	13.2
湯之谷源泉	49.5		5.8	7.0										
〃	41.0		5.4											
新湯	43.0	3.1	3.3	13.8	158.8		4.4	0.2	7.0	3.2	1.0	16.9	9.3	
湯之野(宝泉館)	96.0		6.1	1.1	79.0	41.5	13.2	7.1	5.5	5.4	1.5	15.9	6.1	6.6

(遊離無機酸：単位 10<sup>-3</sup> 当量/l, その他 pH 以外の単位 mg/l 分析：前田・池田)

する場所と、湧出状況とを考慮にいれて、温泉の化学性を検討してみたいと思う。

これまでの報告でも述べたように註4), 温泉成分のなかでは、塩素イオン (Cl') のもつ役割が最も特徴的である。したがってここでも、まず Cl' に着目して第2表を一覧すると、次のような傾向が認められる。すなわち、Cl' 含量は地域的に段階的な増加を示すということである。

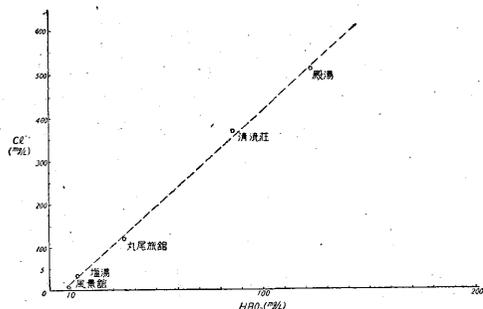
まず Cl' 6mg/l 程度までの温泉であるが、これらはほとんど噴気地帯中に存在する。Cl' 含量 6mg/l 程度といえば、この地域の地下水の Cl' 含量にほぼ等しいが、このような Cl' 含量の低い温泉は、その存在地点と湧出状況とにより、噴蒸型温泉と地下水型温泉とに分けることができる註4)。

一方、Cl' 含量 6mg/l 以上の温泉は、多少とも温泉成分としての Cl' の混入しているとみられるので、一応熱水型温泉と呼ぶことができる註4)。

註4) 中村久由・安藤武：大分県大岳地熱地帯調査報告 一特に変質帯と噴気・温泉との関係について一、地質調査所月報, Vol. 5, No. 8, 1954

さて Cl' 含量 6mg/l 以上の温泉であるが、これらの温泉は、地域的に Cl' 含量を異にする。すなわち、手洗附近では 13~32mg/l であるが、榮の尾~明攀温泉では 39~52mg/l, さらに南に下つて丸尾周辺では風景館源泉の 6mg/l を除くと、35~511.2mg/l と増大する。すなわち、噴気地帯周辺に伴なう温泉の Cl' 含量は、地域的に南に下るほど増大するという傾向がみられるのである。

噴気地帯に伴なう温泉のうち、地下水型温泉および熱水型温泉と噴気との関係については、すでに前報告註4)のなかでふれているので、ここでは説明を省略するが、熱水型温泉を特徴づける Cl' の増加が、地下水の滲透深度と関連があるという見方からすれば、上記の事実にはなほ興味深い現象である。特に変質帯生成の時期が、南から北に向かつて、より新しくなっている傾向を思い併せると、噴気地帯に伴なう温泉の Cl' 含量が、南から北に向かつて段階的に減少する事実は、地下水の滲透深度と密接な関連に生じた現象であると思われるのである。なお、丸尾周辺の温泉は第7図に示したように、



第7図 丸尾周辺の温泉群の Cl<sup>-</sup>-HBO<sub>3</sub> 相関図

Cl<sup>-</sup> と HBO<sub>3</sub> との間に正の相関関係がみられ、明らかに熱水性の特徴を示している。

以上、霧島地熱地帯における温泉の化学性について、簡単な説明を加えたが、地熱開発の条件を考えた場合、熱水型温泉および地下水型温泉の湧出地域から、純粹の蒸気だけを期待することには疑問がある。この意味からいつて、現在、噴蒸型温泉だけを伴う次の地域、すなわち銀湯・大良湯・湯の池・手洗・鳥地獄・山之城・新湯・湯之野等が蒸気存在推定地域と考えられるのである。

## 6. 手洗地熱地帯

### 6.1 表層地温分布 (中村・鈴木)

地温測定を実施した範囲は、東西 600 m、南北 400 m にわたる区域である。方法は従来と同様に、20 m 間隔に測点を設け、深度 1.5 m の地温を測定した。なお测温

には棒状アルコール寒暖計 (1/1) を用い、約 20 分間放置した後、温度を読みとつた。

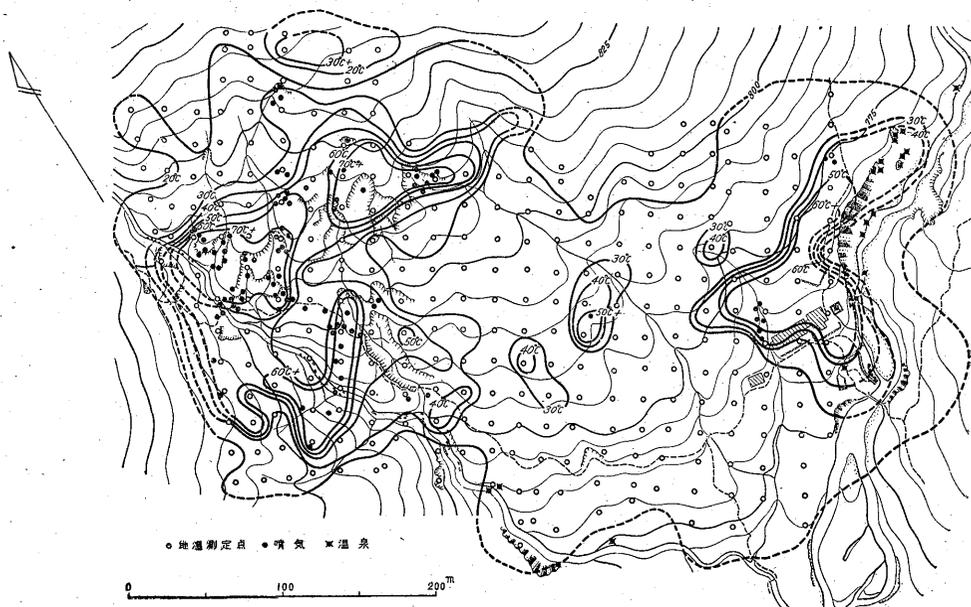
手洗地区における地温分布状況は、第 8 図に示す通りである。この図をみると 20°C 以上の異常温度範囲のうち、高温帯は東側と西側に卓越し、その中間に小範囲の高温帯がある。特に西側の高温地帯では、変質粘土が広く露出し、また多数の蒸気露頭もみられる。東側は西側に比べて高温範囲もよほど狭く、各温度線の間隔が著しく狭くなっているのが特徴的である。

### 6.2 変質粘土の浸出液 pH (中村・鈴木)

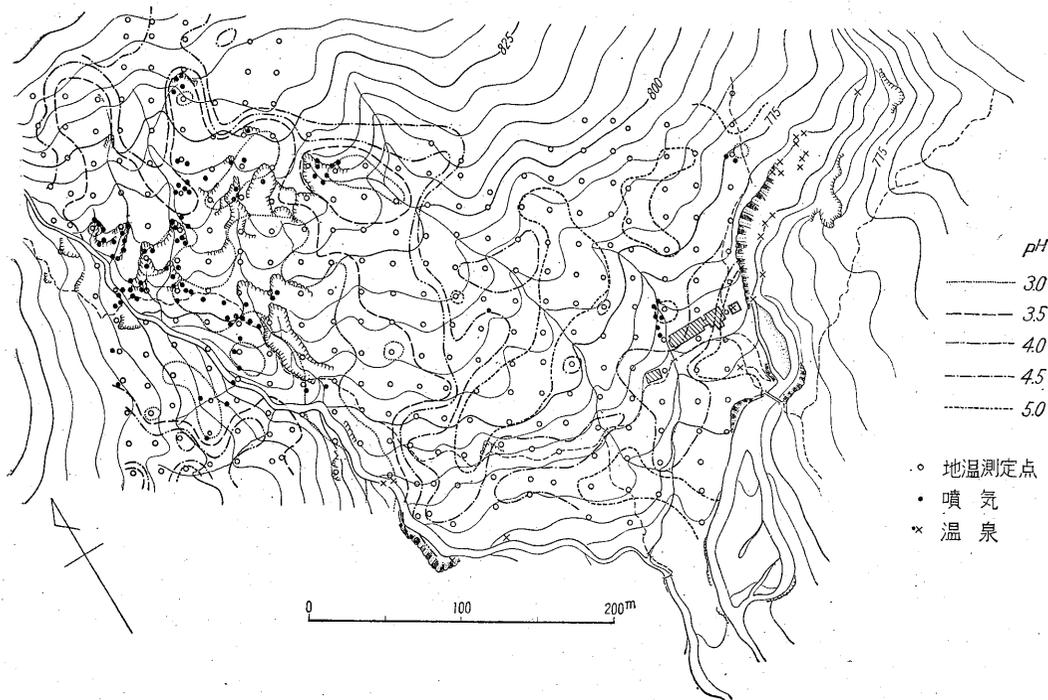
この地域は湯の池を含む広範な変質帯の一部にあつている。前述のように、西側の高温地帯は著しく粘土化しているが、この高温地帯を含む湯の川左岸の傾斜地は、特徴的な地入り地形を呈し、実際、現在も地入りを生じている箇所がある。なおこのほか、調査地域北側の山裾、湯の川下流、地域東側を流れる手洗川沿岸にも変質部分の露出がみられる。

噴気ガスによる地表浅部の変質作用は、硫化水素 (H<sub>2</sub>S) の酸化に関係があるが、同じ変質粘土であつても、現在噴気の影響を受けているものと、直接影響を受けていないものとは、遊離硫酸の附着量にある程度の差があるものと予想される。いゝ換えると、粘土の浸出液 pH は、現在硫化水素の影響を受けている程度の差を、ある程度反映するものと考えられる。

第 9 図は地温分布調査の際、スパイラルの先端から得た粘土を試料とし、浸出液 pH の値から求めた等 pH



第8図 手洗地区地温分布図



第9図 手洗地区における娑質粘土浸出液の等 pH 線図

線である。測定方法は、砂煎上で乾燥した試料を乳鉢ですりつぶし、その 2gr を蒸留水 40 cc に混じて 5 分間振盪器で振盪した後、1 昼夜放置してその上澄液の pH を測定した。

測定結果をみると東側高温地帯と西側高温地帯とでは、粘土の浸出液 pH に相当明瞭な差がみられる。すなわち、西側では高温地帯をとりまいて pH 3.5 以下のものが卓越するのに対して、東側地帯では pH 4.0 以下のものがきわめて稀である。すなわち、東側地帯は西側地帯に比べて、硫化水素の影響を現在受けている程度がはなはだ微弱であると考えられる。

手洗地区の東部および湯の川下流には、第 8 図で示したように、点々と地下水型温泉および熱水型温泉が存在する。また東側高温地帯の形態をみると、60°C 以下の各等温線の間隔が非常に接近するという特徴を示している。以上の事実に加えて等 pH 線の分布状況を考慮に入れると、手洗地区の噴気地帯はすでに地下水の影響を受け、湯の川下より東側高温地帯にわたって温泉地帯を形成していることは、ほぼ確実のようである。

以上の見地からすれば、手洗地区においては、高温地帯のどこからでも純粹の蒸気をうることができるかどうかは疑問である。しかしある地熱地帯からどの程度の蒸気量が得られるかという問題の解決には、噴気地帯外縁部の温泉地帯までを含めた地熱地帯全般の性状を知る必

要がある。この意味からいって、まず第 1 段階として西側の高温地帯、すなわち噴気地帯に掘鑿地点を選ぶことに異存はないが、逐次、南側および西側にまで掘鑿地点を拡め、噴気地帯外縁の温泉地帯の性状をも検討する必要があると結論される。

### 6.3 酸性ガスの分布 (前田・池田)

火山活動に伴って噴出する天然蒸気は、硫化水素・炭酸ガス・亜硫酸ガス等の酸性ガスを含有することが、従来の分析によつて明らかにされている。

霧島火山地帯の天然蒸気は、手洗・湯之野・鳥地獄・山城・牧園鉦山・鈴投・丸尾・林田・新湯の各地区から噴出しているが、これらの天然蒸気の成分は、いずれも 0.2% 程度の酸性ガスを含有しており、新湯のみは例外的に 3.8% 含有することが今回の調査で判明した。またこれらのガス成分は炭酸ガス 63~85%, 硫化水素 13~34%, 亜硫酸ガス tr., 窒素その他 0.7~6.4% の組成をもつことも明らかにされた。

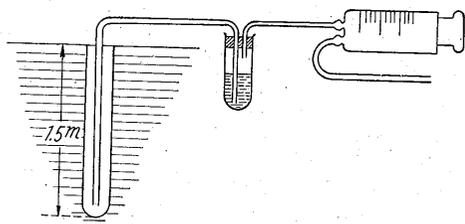
以上の結果は天然蒸気が含有するガス成分が、ほとんど硫化水素と炭酸ガスであることを示しているから、天然蒸気を包蔵する地域は、他地域に比して、その表面土壌中に、あるいは地表に散逸する酸性ガスが多いと考えられる。また酸性ガスの最も濃度の大きい所は、天然蒸気地帯の中心地を示すと考えられる。

今回の調査では手洗・湯之野の両地域の酸性ガスの分

布を対象とし、地温分布測定と同時に測定した。

6.3.1 調査器具・試薬および調査方法

Lunge-Zenckendorf 装置の滴定ガス分析法を応用した。器具は第10図に示すように、100 cc 2口注射筒と目盛付大型試験管を用い、試薬は N/1,000 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液およびフェノールフタレン指示薬を用いた。まず試



第10図

験管に、N/1,000 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液を 10 cc 取り(フェノールフタレン指示薬はあらかじめ規定液に加えて置く)、2口注射筒で土壌中の空気を指示薬の赤色が消えるまで吸い込み、空気量を注射筒の目盛で読んでその空気の酸度を決定した。測定には地温測定の深度 1.5m のボーリング孔を利用し、その孔中に試験器具に接続する管を底まで入れ、孔口に蓋をして測定を行った。

6.3.2 手洗地区における酸性ガスの分布

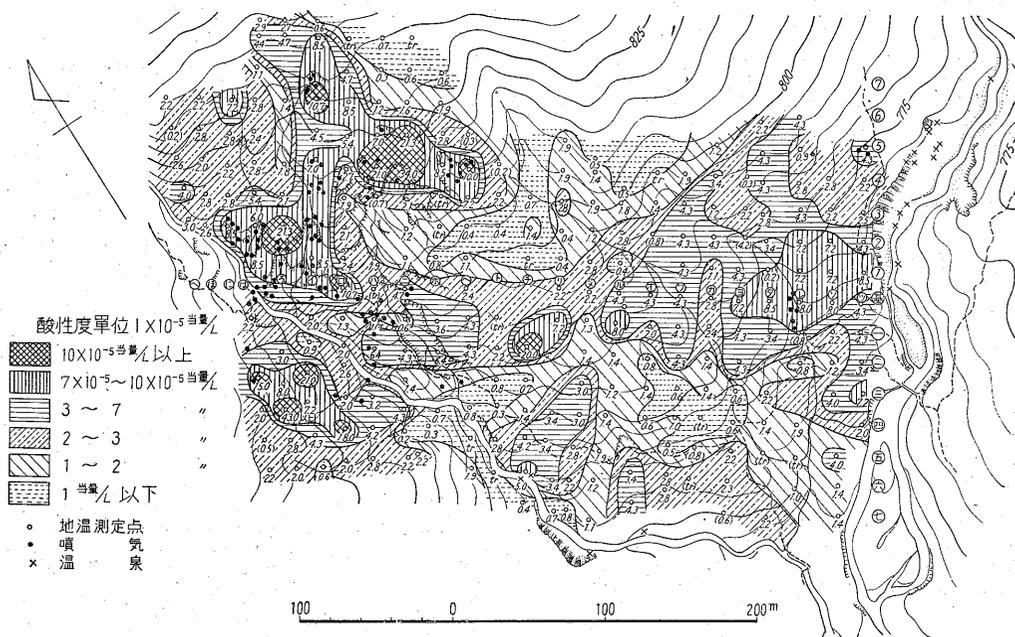
各測点における酸性度は第11図に示した通りである。この図からわかるように、当地区の中央より西の部分に酸性度  $7.0 \times 10^{-5}$  当量/l 以上の分布を示す区域がみら

れるが、この区域が手洗地区において、現在最も強い硫黄作用の活動している場所と思われる。手洗地区における現在の噴気孔は、この部分に最も多く認められる。また西部の「口四」測定点を中心とした強酸度を示す部分の地表面は、一見何の異状も認められないようであったが、硫化水素臭が認められ、地下 1.5m の地温は 95°C の高温を示しており、またこの地点から採取した酸性ガスは、試みにガス分析装置によつて分析したところ、天然蒸気から分離したガス成分とは同じ化学組成をもつた酸性ガスに空気が混入した形の、CO<sub>2</sub> 41.6%、H<sub>2</sub>S 6.0%、O<sub>2</sub> 7.1%の分析値を示し、手洗地区においては最も異状を示した測点であった。

測線「ト」および「チ」の中央区域は湿地帯が多く、ボーリング孔に水が滲出してきたために、かなりの低酸度を示している。また測定不可能な測点も多かつた。

地区の東部は手洗温泉場として知られ、温泉浴客の宿泊設備として建てられた建物があるが、この裏側一帯は比較的高い酸性度  $7 \times 10^{-5}$  当量/l 程度を示している。この一帯の中心部にかなり強く蒸気を噴出する噴気孔が1カ所あるが、これはむしろ温泉地帯中の異状部と考えられる。

さらに当地区全体が酸性ガスの影響を受けていると推定しうるので、区域の東南方へ測点 26 個、道路に沿つて約 500m 測線を延ばし酸性度を測定してみた。その結果は第9図に示した通りで、測点記号AからKまでは、Cの  $0.3 \times 10^{-5}$  当量/l を除いて  $2.2 \sim 3.4 \times 10^{-5}$



第11図 手洗地区における酸性ガス分布図

当量/l の値を示し、LからSまでは  $2 \times 10^{-5}$  当量/l 附近の値、さらにTからZまでは W, T を除いて  $2 \times 10^{-5}$  当量/l 以下の値を示した。すなわち、地熱地帯を離れるにしたがつて、酸性度が僅かながら低くなる傾向がある。そして全く地熱の影響がないと思われる地点でも、 $1 \sim 2 \times 10^{-5}$  当量/l 程度の酸性度が認められる。したがって  $4 \times 10^{-5}$  当量/l 以上の酸性度を示す地点ならば、なんらかの形で  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  等の酸性ガスの供給があるものとみてさしつかえないと思われる。なお湯之野地区との比較は湯之野の項で後述し、ガス分析表は一括して第2・

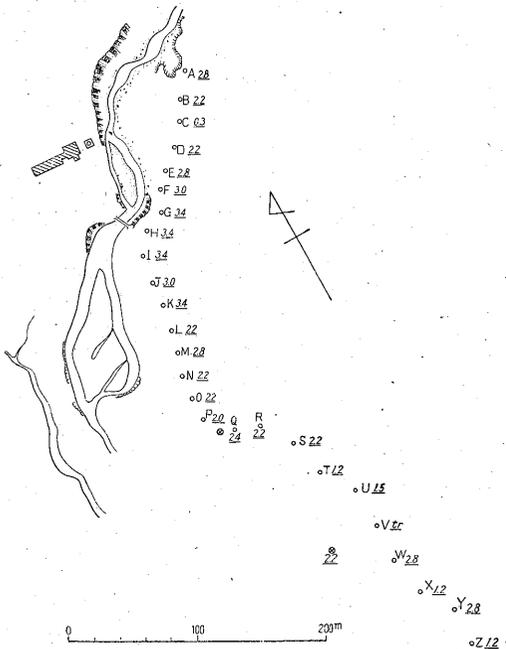
3表として掲載してある。

### 7. 湯之野地熱地帯

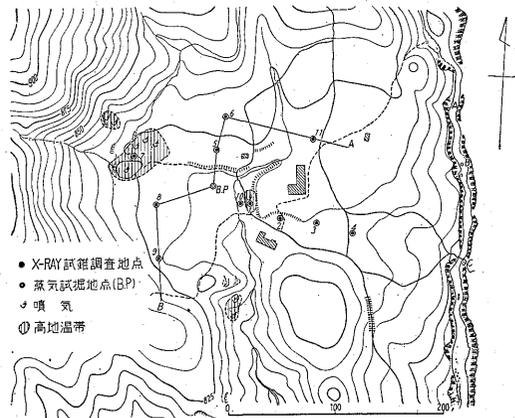
#### 7.1 湯之野附近の地質(安藤)

湯之野地区は、栗川熔岩すなわちガラス質輝石安山岩とその凝灰岩とからなり、それを被覆して新しい含角礫粘土層が堆積している。

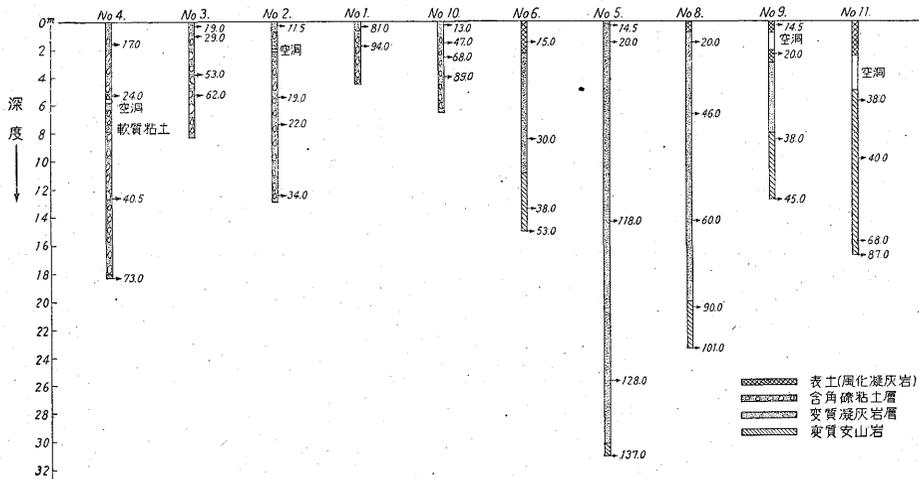
含角礫粘土層 熔岩角礫を含んだ粘土質(地熱地帯特有の灰白色粘土、時として硫化鉄を含み黒色を帯びる)の地層であり、第13・14図に示した試錐 No. 1~4 地点の方向に比較的厚く堆積している傾向が認められ、No. 4 地点ではほぼ 18m の厚さを有している。分布範囲は狭小であるが、この地層には地温および変質による地熱現象の跡が、試錐調査によつて認められる。この地層は湯之野地熱地区内の土壌崩壊によつて低地に堆積した地層と考えられ、含まれる礫の変質度が種々である点からみて、一度に堆積したものでなく、噴気現象過程における



第12図 試錐調査位置図 単位  $1 \times 10^{-5}$  当量/l



第13図 湯之野地区浅層試錐調査位置図

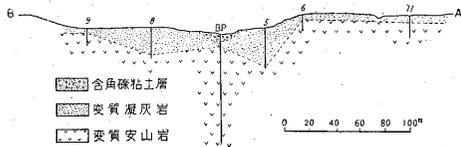


第14図 地質および地温図(X-Ray 試錐)

数度の堆積が推定される。なお地表面下で 2~6m 附近の間には空洞の存在が試錐によつて確認され、試錐注入水が無限に逸水したことなどから、この空洞は地下水の流動によつて生じたものと考えられる。

**凝灰岩層** 主として細粒質の火山灰からなる緻密、均質な地層であり、木の葉の化石を含む。地熱地帯では原岩構造を留めたまま変質され、硫化鉄が比較的均質に鉱染されている。調査範囲内でこの層の厚さは 30m 以下であつたが、調査地区の南ないし西南部では、山地の全体を覆うのみならず、河底にも露出し、厚く発達しているものようである。

**安山岩** 熔岩の分布を示す地質断面図は第15図の通りである。蒸気井の試錐地点(第13図 B.P.)では、深度 8m から 84m (最終深度)までは両輝石安山岩を原岩とした変質安山岩からなる。この岩層は天然蒸気の熱化学的作用を受けて、種々な変質過程を示している。変質度を大別すると次のようである。



第15図 湯之野地区地質断面図

**変質度 A:** 多少漂白化作用を受けているが斜長石斑晶を残存し、なお明瞭に原岩構造を留める。

**変質度 B:** 造岩鉱物は鉱化作用を受け、顕著な漂白化作用もを受けているが、なお硬さを保有し概略の原岩構造を留める。

**変質度 C:** 著しい鉱化作用および漂白化作用を受け斜長石斑晶のみならず石英も粘土化している。したがつて試錐岩芯はぼろぼろに崩壊し易い。

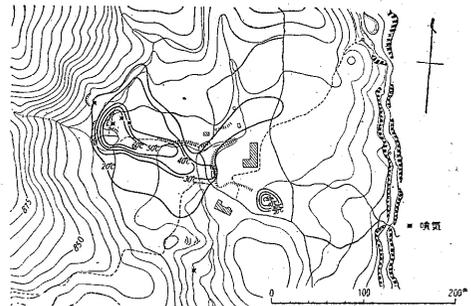
変質原因となる鉱化作用は主として粘土化作用・硫化作用および炭酸化作用である。粘土化作用は斑晶および石英の斜長石が、主としてカオリン等の粘土鉱物に変移したものであり、硫化作用は含鉄鉱物中の鉄が硫化鉄として分結したものである。これらはどこの地熱地帯の表層でも一般に認められる変質であるが、深部では多量の方解石晶出による炭酸化作用を著しく受けていることが、この地域の特徴である。方解石の存在は深度 30m 附近から認められる。珪化作用はほとんど認められず、石英脈は存在しない。なお沸石の晶出も認められない(大分県玖珠郡飯田村大岳の地熱試錐岩芯には多量の沸石が含まれていた)。なお湯之野地区の東方には、北から南に霧島川が流下しており、この川床で温泉を目的とした数本の浅い試錐が個人的に実施されていた。この

附近の霧島川川床は、厚さ約 12m の硬い未変質熔岩からなり、その下に変質凝灰岩層が分布している。変質凝灰岩層の厚さは 40~60m であり、上部の未変質熔岩層との間には処々に空洞が存在する。さらに変質凝灰岩層の下には変質安山岩が分布する。深度 43m の温泉試錐孔(泉温 34°C の小規模間歇泉)については、T.M 溜点温度計により孔底温度を測定したところ 114°C であつた。その他の例からも、川床にある未変質熔岩の下に分布する変質凝灰岩層の下部では、高い地温を有していることが認められる。

変質凝灰岩層(粘土化した緻密な岩層)は、天然蒸気の漏出に対して「帽子岩」としての性質を保有するものと考えられる。すなわち蒸気および地下滲透水に対して不透性を持ち、天然蒸気の熱化学的変質作用は凝灰岩層内で止まる傾向が認められる。

## 7.2 表層地温分布(中村・鈴木)

調査範囲は約 300m 四方の区域である。方法は手洗地区の場合と全く同じであつて、その結果は第16図に示した。図をみると、20°C 以上の異常地温範囲が比較的狭く、蘆泉館源泉の噴気と屋外共同浴場とを結ぶ線を



第16図 湯之野地区地温分布図

中心として、高温部がこれを取り囲んでいるような形態を示している。たゞ 20°C の線がキャンプ場まで延び、東北方向に突出していることが注目を引く。20°C 線の北側・南側は幾分地下水の影響を受けているように思われるので、実際の異常地温の範囲は、高温地帯を軸とする楕円状の形態をとり、東側では押出し土石の堆積のため温度分布状況の実態が覆われているように思われる。

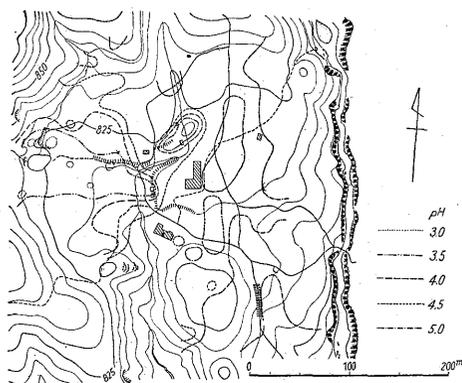
## 7.3 変質粘土の浸出液 pH(中村・鈴木)

まずこの地域の変質状況について簡単な説明を加えておく。

この地域では変質部分の露出がきわめて少なく、湯之野から新湯に至る山道登り口附近、調査地域ほぼ中央部を通る霧島川支流沿岸、および低地内の一部等にみられる程度である。しかしこの地域は未変質の新燃熔岩およ

び押し出し土石に覆われているので、実際の変質範囲はさらに広く、上記の露出地点を外縁とする地域、すなわちほぼ前記異常地温推定範囲以上を占めるが、現在未変質層の下に一部覆われているものと推定される。

地温分布調査の際に採取した粘土の浸出液 pH から得た等 pH 線の分布状況は、第 17 図に示す通りである。手洗地区に比べ、pH 3.0 以下のものが少なく、pH 4.5



第 17 図 湯之野地区における変質粘土浸出液の等 pH 線図

の線が異常地温範囲とほぼ一致する。両地区における浸出液の pH がこのような相違を示すのは、噴気ガス中の硫化水素ガスの濃度に関係があると思われる。

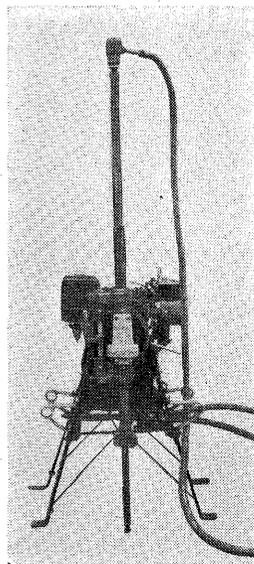
最後に蓬泉館の源泉について簡単な説明を加えておく。これは噴気孔に地表水を導いて作ったもので、いわば噴蒸型温泉に相当するが、その分析結果をみると(第 2 表)他の温泉に比べて  $\text{NH}_4$  含量が高く、7.1 mg/l を示している。また手洗噴気地帯に伴う噴蒸型温泉では 3.7 mg/l という値を示し、湯之野に次いでいる。従来の調査結果によると、一般に噴気地帯に伴う噴蒸型温泉では  $\text{NH}_4$  含量が比較的高い傾向がみられ、別府で行った鑿井噴気ガスの凝縮水も高い  $\text{NH}_4$  で特徴づけられている註 5)。すなわち蒸気地帯に伴う噴蒸型温泉は、 $\text{NH}_4$  含量で特徴づけられるとも考えられるのである。

現在、湯之野では蓬泉館の源泉にあたる噴気孔を除き、優勢な噴気群がみられない。したがって蒸気地帯であるかどうかについて、直接明瞭な手掛りを掴むことが困難である。噴気地帯に伴う温泉の例から帰納すると、 $\text{NH}_4$  の高い湯之野においても蒸気存在の可能性は考えられるが、さらに鑿井によつて、実際、蒸気存在が確認されたなら、噴蒸型温泉における  $\text{NH}_4$  の存在が、地熱地帯における有力な指示成分としての役割を果たすという推定も、ある程度立証されると考えられる。

註 5) 工業技術庁：地熱発電試験研究報告書、第 1 集、1952

#### 7.4 浅層地温分布 (安藤・柳原)

湯之野深層試錐を施工中、浅層地温分布測定のために X-Ray 試錐機(図版 1)による調査を行ったので、その概要を報告する。



図版 1 X-Ray 試錐機全貌

本調査のような目的には、軽量で取扱簡便な機械が要望されるわけで、X-Ray を輸入した目的もここにある。本機について概略を紹介すると、

製作会社	Boyles Bros. Drilling Co. Ltd.
	(Vancouver, Canada)
掘鑿可能深度	50 m
重 量	200 lbs (約 90 kg)
ロッド径	27.8 m/m
ビット回転数	400~1,100 r.p.m.
送 り	75, 200, 300, 500, 900 Feed
コーア径	3/8"~3/4" (15.8~19 m/m)
エンジン	Briggs & Stratton Gasolin Engine
機械寸法	75cm×59cm×72cm(高×長×幅)

送りはギアフィードで、200, 300, 500 と 3 つのギアを使用した。この時の大体の掘進速度は、エンジンの回転が 2,200 r.p.m. 位の時に、5 bt のロッド 1 本掘進に要する時間は

200 度	約 30 分
300 度	〃 45 分
500 度	〃 75 分 である。

ポンプはギアポンプで、送水量は正確にはわからないが、大体 15 l/分 以内で、エンジンに直結されているので、回転数と水量とは比例している。これの欠点は、運転開始時に少し圧力がかよっていると水がでないことと、

ポンプを止めるにはエンジンを止めなければならない点であるが、小型機であるためこの位はやむを得ない。

エンジンは、単気筒空冷式4サイクルで、シリンダー径 3", ニトローク 3 1/4" で、出力は

2,200 r.p.m. で	6.5 HP
2,700 " "	7.7 HP
3,200 " "	8.3 HP

である。

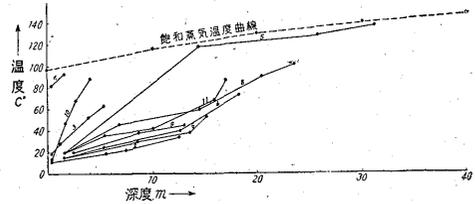
エンジンの調子は非常に良好で、1回も故障をおこさなかつた。

小型機の特性を失わせないために、機械土台を簡単にしたので、土台を取付けたまま4人で簡単に移動できて非常に便利であつたが、礫層なども掘進の際はどうしても機械に振動がおきた。

X-Ray を使用した際、調査に2つの目的を置いた。その1つは地質調査を兼ねて大体の地熱範囲をおさえるために、所々ある間隔をおいて穿孔し、岩質をみるとともに地温勾配をみることである。地温勾配がわかれば、経験によつてこの先蒸気を噴出させるかどうか、およそ見当付けることができる。他の1つの目的は一番熱いと思われる所から、段々熱くない外側に向かつて測線をとる、ある一定間隔で、しかも一定深度で、穿孔を試みることである。そしてその各孔の途中の温度を正しく測定して柱状図を描いた時に、その上に地温勾配を入れると、地下における等温図が描け地温構造が得られる。第1目的のための調査に安藤武が、第2目的のために柳原親孝がそれぞれあたり、次のような結果を得た。

穿孔中の測温はロットを揚げた直後に、挿入管を使用して T.M 型溜点温度計を孔底に圧入し、1夜放置した。すなわち 鑿孔直後から 15 時間後におけるその地点の最高温度を測定した。

測定温度は試錐過程に冷水の注入を行うため、穿孔前におけるその地点の真の地温を現わしているか否かは疑問であるが、1夜放置したこれらの測定温度は、ほぼ真の地温に近い相対的温度を示しているものと解することができるようである。地温の測定は実際問題としてなかなか面倒であり、20分前後放置して測定したものと1夜放置したものとは、同一深度で同じ方法で 10°C から 30°C に及ぶ差異が認められた。また1時間放置したものですら充分な温度を示さず、10°C 以上の差が認められた例もある。試錐過程に逸水がなくても、注入冷水が地温に及ぼす影響は大きく、地温の回復には少なからざる時間を要するものであつた。したがつて多数の測点を取ることができず、1つの試錐孔についての測点は4~5点である。地温勾配は曲線を持って表わされるものであるが、測点が少ないため直線で各測点を結んで地温上昇を図示した(第18図参照)。



第18図 X-Ray 試錐孔の地温図(湯之野地区)

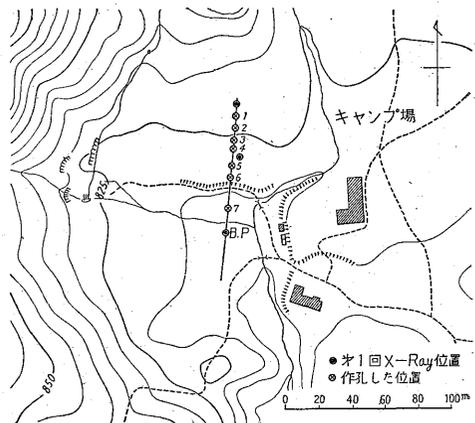
地熱地帯が蒸気帯であるか否かを知るには、地温の上昇がこれを最もよく現わし、蒸気帯を推定する1つの大きな手掛りとしてとすることができるものと考えられる。これを地熱地帯の地温特性曲線と呼ぶことにする。

湯之野地帯で浅い穿孔調査によつて探知した地温特性は、第18図のようなものである。試錐 No. 5 では地下 1.5 m の地温は 20°C であるが、第1測点までは急激な温度上昇を示し、第1測点において、すでにその地点の飽和蒸気温度に近い温度を示し、その後は飽和蒸気温度曲線にほぼ近い緩慢な平行な上昇を示している。

地温特性を探知した穿孔調査地点は、粘土化あるいは珪酸質白土化された著しい変質帯の上ではなく、水田として使用されている地帯で、黒色表土の下は多少変質された凝灰岩層であつた。なお鑿孔後に蒸気の噴出または湯の噴出もなく、水位は 1.5 m に静止し、その表面水温はほぼその地点の地温と等しい 20°C を持続した。しかし地温特性を示すような地点では、より深い試錐によつて適当な蒸気脈、例えば熔岩中の大きな割れ目のようなものにあたれば、爆発噴気する可能性が考えられる。

No. 5 以外の調査孔もさらに多少深ければ、地温特性が探知できる可能性があるかと推定される。したがつて湯之野地区は、これらの穿孔調査によつて見掛以上に大きな蒸気帯の存在が認定された。

地温構造をみるために第19図に示したような測線を設けた。測温は深度 5 m, 10 m, 15 m, 20 m と、1孔

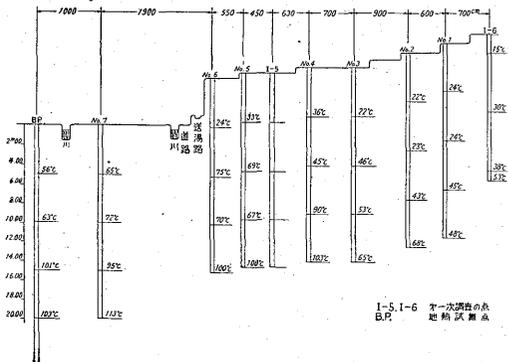


第19図 湯之野地区試錐位置図

について4点行つた。循環水による影響がなくなるまで地温が回復するには、おそらく数時間を要するであろうが、これを待つては能率が極端に低下するので、全孔についてほぼ同一条件で、掘進中止後10分位して約10分間測温の方法をとり、所々参考的に1夜温度計を挿入して測温してみた。この結果は第20図に示した通りである。

スライムのために20m掘進して温度計を20m挿入することはできないので、20mで測温の時は21m位掘らなければならない。したがつて50cm前後の誤差がでることがあつたが、これは許容誤差とした。

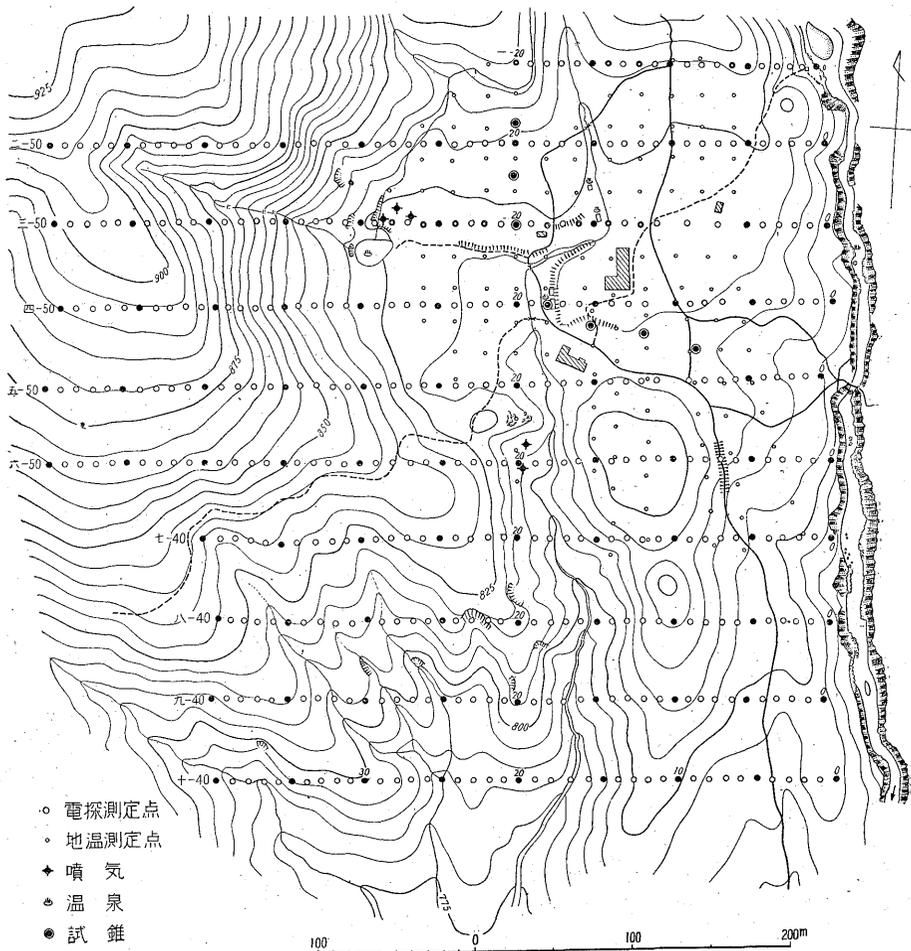
鑿孔については、孔径が細いために、一寸した石でも非常に掘進し難いこともあるので、その時はすぐ場所を少しずらして掘進した。こうしてボルククラウンの消耗度を低くするように注意したが、クラウンが地質に適合しなかつたか、その消耗度は高いもので約30m強掘進に1箇の割合であつた。



第20図 X-Rayにたる地温測定図

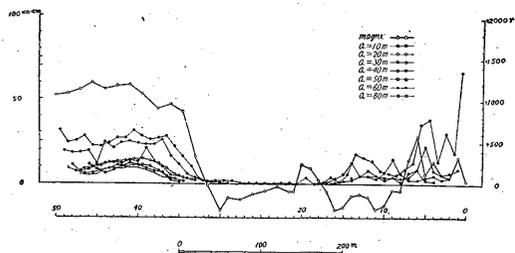
粘土化している所は、軟らかいだけにポンプ圧が上昇して非常に掘り難いこともたびたびであつた。最初の計画通りに調査が行えなかつたのは、立地条件と礫とのためである。

以上のような調査には、1台の機械でなく、少なくと



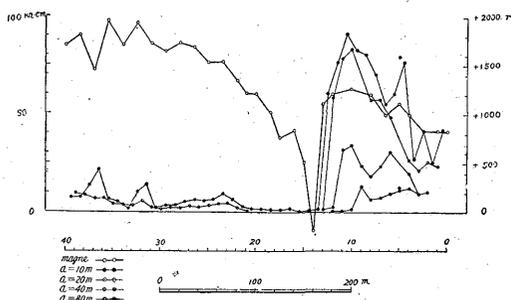
第21図 湯之野地区地形ならびに物理探鉱測線配置図





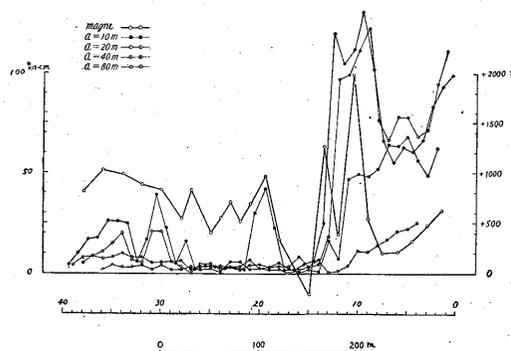
第25図 湯之野地区五線比抵抗ならびに鉛直磁力曲線図

次に第26図に示したように、七線 No. 0~13 附近では  $a=10\text{m}$ ,  $20\text{m}$ , とともに  $50\text{ k}\Omega\text{-cm}$  以上の高比抵抗を示し、 $a=40\text{m}$  では約  $30\text{ k}\Omega\text{-cm}$ ,  $a=80\text{m}$  ではほぼ



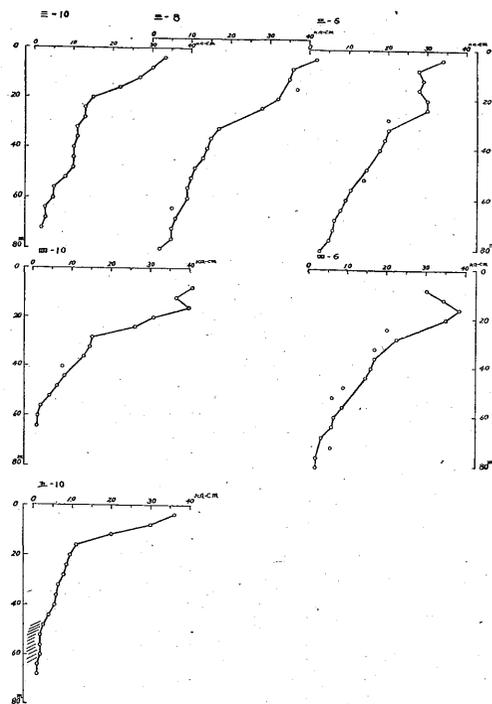
第26図 湯之野地区七線比抵抗ならびに鉛直磁力曲線図

$10\text{ k}\Omega\text{-cm}$  の比抵抗が認められるが、第27図九線 No. 0~13 附近では  $a=10\text{m}$ ,  $20\text{m}$ ,  $40\text{m}$ , とともに  $50\text{ k}\Omega\text{-cm}$  以上の高比抵抗を示しており、この部分の浅所に分布する  $50\text{ k}\Omega\text{-cm}$  以上の高比抵抗を示す岩石は七線に比べ九線附近では厚く覆うものと思われる。なお、この部分には正の磁気異常が分布するので、この岩石は変質を蒙っているとは考えられない。



第27図 湯之野地区九線比抵抗ならびに鉛直磁力曲線図

北東部には  $30\sim 40\text{ k}\Omega\text{-cm}$  の比抵抗が浅所に分布するが、垂直探査の結果(第28図)を解析すると、 $10\sim 15\text{m}$  までは  $30\sim 40\text{ k}\Omega\text{-cm}$ , その下部  $25\sim 30\text{m}$  までは  $10\sim 15\text{ k}\Omega\text{-cm}$ , その下部には  $2\sim 3\text{ k}\Omega\text{-cm}$  の比抵抗が分布す



第28図 湯之野地区垂直比抵抗分布図

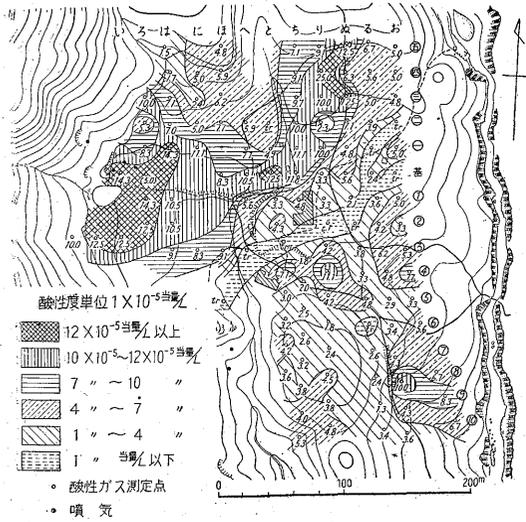
る模様である。地質および試錐調査結果からは、上記  $30\sim 40\text{ k}\Omega\text{-cm}$  の比抵抗の分布する部分には、磁性を有する比較的変質を蒙っていない安山岩角礫層、ないし節理に富む安山岩熔岩が認められ、 $2\sim 3\text{ k}\Omega\text{-cm}$  の低比抵抗部には変質帯の分布が推察されている。

以上の結果から、地域の中央部には粘土化に富む変質帯が、その周辺西部には比較的変質を蒙っていない旧期火山群後期熔岩が分布し、南東部は西部にみられる旧期火山群後期熔岩を被覆して、高千穂火山群に属する最も新しい熔岩が分布している。この熔岩はほとんど変質を蒙っておらず、かつ南へ向かい、次第に厚く被覆する傾向がみられる。北東部は浅所には比較的変質を蒙っていない角礫層ないし節理に富む安山岩熔岩が、 $25\sim 30\text{m}$  以上の深部には変質帯が分布するものようである。

### 7.6 噴気成分 (前田・池田)

調査範囲は噴気が強く、噴出する地獄を中心とした扇形の地域である。その調査結果は第29図に示した。

地獄を中心とした約  $40\text{m}$  以内の測点は、強酸性度  $12\times 10^{-5}$  当量/l 以上を示し、比較的高い酸性度を示す区域は、強酸性度地域に続いて約  $20\text{m}$  の幅をもつて北東方に延び、測点「り四」、「ぬ三」、「ぬ五」に至つてふたたび強酸性度を示している。これらの測点附近は平らな広場になつていて、硫気作用の痕は認められない。しかし X-Ray によるポーリング結果では、広場の地表面から



第29図 湯之野地区酸性ガス分布図

約 3m 下には空洞があつて、その下に温度の高い硬質な岩盤があることが知られている。この場合、その空洞によつて酸性ガスの供給がより一層され易い状態となつてゐることが、強酸性度地域を形成する1つの条件となつてゐると推察される。この  $10 \times 10^{-5}$  当量/l 以上の帯状地帯は、地下に相当量の地熱地帯を形成し、したがつて天然蒸気を包蔵していると想像される。

この地帯に平行して南下するにしたがい、徐々に低酸性度地域に移行し、調査区域のほぼ中央部に至つて北東から南西に延びる帯状の痕跡地域となる。この地域は地下にガスの不透層の存在が予想される。

痕跡地域から南はふたたび弱酸性度地域となり、 $11.1 \times 10^{-5}$  当量/l を示す「り4」を中心とする弱酸性度地域と、 $10 \times 10^{-5}$  当量/l を示す「る8」附近は、地下に高い地熱の存在が予想されるが、その他の地域には異状地域が認められない。

#### 手洗地区と湯之野地区との比較

湯之野地区は酸性ガス分布と、温度分布とが比較的によく一致している。それに対し手洗地区は湯之野地区ほどよく一致していない。この理由はさらに土壤浸出液 pH の結果を加えて比較してみると、次のように考えられる。

まず土壤浸出液 pH と酸性ガス分布においては、浸出液 pH の異状分布地帯が過去に行われた硫黄作用によつて、土壤が酸性となつてゐる場合（この場合これらの土壤に含まれる酸性成分が、流水・雨水のために溶出し低地に流れて、そこに吸着される可能性も考えられる）も含まれるのに対し、酸性ガス分布においては過去に硫黄作用を受けた地域、特に手洗地区のように水の供給のよい地域は、土壤の粘土化作用が行われ易いので、むしろ

酸性ガスの不透性によつて酸性ガスの濃度は低値を示すことが予想される。

また温度分布と酸性ガス分布についても同様なことがいえる。すなわち不透層を形成している地点では温度分布に異状が認められても、酸性ガス分布は異常を示さない場合も考えられる。このような条件は手洗地区には多くみられ、上述のような意味での粘土化地帯が湯之野地区にないのか、あるいは少ないために、酸性ガス分布と温度分布とが比較的に一致するものと思われる。

さらに上述の事柄に関し、硫黄作用による不透層化が、硫黄作用自体の移動する原因と考へ得られるならば、浸出液 pH と酸性ガス分布との比較によつて移動した方向を指示するものと考えられる。

#### 噴気ガスの採取と分析

各地の粘土化帯において、数個の噴気孔があるなかで、溪谷の流水または温泉水の作用を受けていない噴気量の最も多いものを選んで、分析試料を採取した。噴気孔には  $\approx 1$  m 位ガラス管を挿入し、100 cc 2口注射筒で噴気を吸引し、水蒸気の凝縮を待ち、注射筒内圧ならびに温度が大気と同一になつてから目盛を読み、凝縮水とガスとの比を求めた。

凝縮水中の溶解成分を検定するためには、多量の凝縮水を必要とするので、2口注射筒と挿入ガラス管との間に冷却器を連結して操作した。

2口注射筒によつて、ガス：水 の比を求めた残ガスを特殊形ガスビューレットに導き、逐次下記吸収試薬によりガスの検定を行つた。その結果は第3表の通りである。

凝縮水の分析に際しては、変化し易い成分は現地において検定し、その他は本所に持帰り操作した。その結果は第4表の通りである。なお各成分の試験法は次の通りである。

次に分析結果に対する考察について一言する。

第3表の分析結果においてガス温度と水蒸気：ガスの比とは、新湯温泉を除いては、ほぼ同一値を示している。新湯温泉のものはガス温度が  $2^\circ\text{C}$  低下していることによつて、ガス百分率の値が大きくなつてゐるのは、地表近くにおいて他の噴気群に比較し、冷却作用の影響を大きく受けているためと考へられるので、平均値も新湯を除いたものを参考に表わした。第3表のガス温度とガス成分、第4表の凝縮水成分等を地域別に比較してみると、あまり大きい差異は認められないが、林田温泉と新湯温泉との  $\text{H}_2\text{S}$  含有率のみが非常に多い結果となつた。山城温泉凝縮水の  $\text{SO}_4$  の特に大きい値を示しているのは、温泉水が影響した関係と思われる。凝縮水中溶解各元素がきわめて少ない値を表わしているのは、温泉

成分 吸収試薬

H<sub>2</sub>S……CdSO<sub>4</sub> の飽和水溶液

CO<sub>2</sub>……30% NaOH 水溶液

O<sub>2</sub>……Pyrogallol NaOH 溶液

残……噴気ガス全容から H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> の量を引去つた残量を残とし主として N<sub>2</sub> ガスである。

SO<sub>2</sub>……SO<sub>2</sub> 検知管にて検定

第3表 霧島温泉群噴気ガス分析表

噴気場所	大気温度 °C	ガス温度 °C	水蒸気:ガス		ガス百分率 Vol. % (Dry state)										
			H <sub>2</sub> O	Gas	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	残	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	残
牧園鉱山	17	97	99.7	0.3	16.0	80.0	0	tr.	4.0	99.7	0.0480	0.2400	0	tr.	0.0120
鉢投温泉	17	97	99.9	0.1	16.9	81.5	0	tr.	1.6	99.9	0.0169	0.0815	0	tr.	0.0016
手洗基点	21	98	99.9	0.1	19.2	77.7	0	tr.	3.1	99.9	0.0192	0.0777	0	tr.	0.0031
手洗温泉	24	97	99.9	0.1	14.9	78.8	0	tr.	6.3	99.9	0.0149	0.0788	0	tr.	0.0063
山城温泉	24	97	99.7	0.3	16.0	80.0	0	tr.	4.0	99.7	0.0480	0.2400	0	tr.	0.0120
鳥地獄	21	97	99.9	0.1	16.7	79.0	0	tr.	4.3	99.9	0.0167	0.0790	0	tr.	0.0043
丸尾温泉	15	97	99.7	0.3	20.2	77.3	0	tr.	2.5	99.7	0.0606	0.2319	0	tr.	0.0075
林田温泉	18	97	99.5	0.5	34.1	63.4	0	tr.	2.5	99.5	0.1705	0.3170	0	tr.	0.0125
新湯温泉	6	95	96.2	3.8	32.9	64.6	0	tr.	2.5	96.2	1.2502	2.4548	0	tr.	0.0950
平均値		97	99.4	0.6	20.8	75.8	0	tr.	3.4	99.4	0.1828	0.4223	0	tr.	0.0171
新湯温泉を除く平均値		97	99.8	0.2	19.3	77.2	0	tr.	3.5	99.8	0.0494	0.1682	0	tr.	0.0074

pH……SZK 水素イオン比色計

NH<sub>4</sub>……Nessler 比色法

Total CO<sub>2</sub>……菅原健式測定装置による容量法

F……ヘマトキシンレーキ法

Free CO<sub>2</sub>……Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 規定液による容量法

SO<sub>4</sub>……BaSO<sub>4</sub> としての重量法

H<sub>2</sub>S……I<sub>2</sub> 規定液による容量法

Cl……Mohr 法

BO<sub>2</sub>……Jorgensen 式法

第4表 霧島温泉群噴気ガス凝縮水分析表

噴気場所	pH	Total CO <sub>2</sub> mg/l	Free CO <sub>2</sub> mg/l	H <sub>2</sub> S mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	F mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Cl mg/l	BO <sub>2</sub> mg/l
牧園鉱山	5.2	209.0	39.6	23.9	0.3	tr.	4.1	7.1	11.0
鉢投温泉	5.6	33.0	23.6	10.2	0.1	〃	8.2	7.1	11.0
手洗基点	5.2	44.0	40.6	27.3	1.3	〃	8.2	3.5	5.5
手洗温泉	5.8	121.0	50.6	23.9	5.2	〃	28.8	3.5	13.8
鳥地獄	3.7	55.0	31.4	17.1	1.0	〃	28.8	3.5	13.8
山城温泉	4.8	121.0	77.0	40.9	0.1	〃	156.4	3.5	16.5
丸尾温泉	6.2	253.0	94.6	20.5	5.2	〃	8.2	7.1	5.5
林田温泉	4.3	242.0	94.6	35.8	0.1	〃	4.1	3.5	5.5
新湯温泉	4.7	231.0	88.0	40.9	0.1	〃	4.1	7.1	11.0

水となる地下深部の流水に、噴気ガスが接触作用を与えていることに基づくものと思われる。

7.7 試錐 (柳原・井田・高橋)

作業概要 当該地点は日豊線霧島神宮駅から北方3里の山間地で、霧島川渡河地点まではトラックを通ずる。

渡河地点には橋梁はあるがきわめて貧弱で、重量物を渡すに足る強度がないため、この補強作業を構じなければならなかつた。さらにトラックから機材を降してから現場まで約 200 m は、道路が急なため、人力と木馬による運搬を余儀なくされ、機械の搬出入に多少の時間を要

第5表

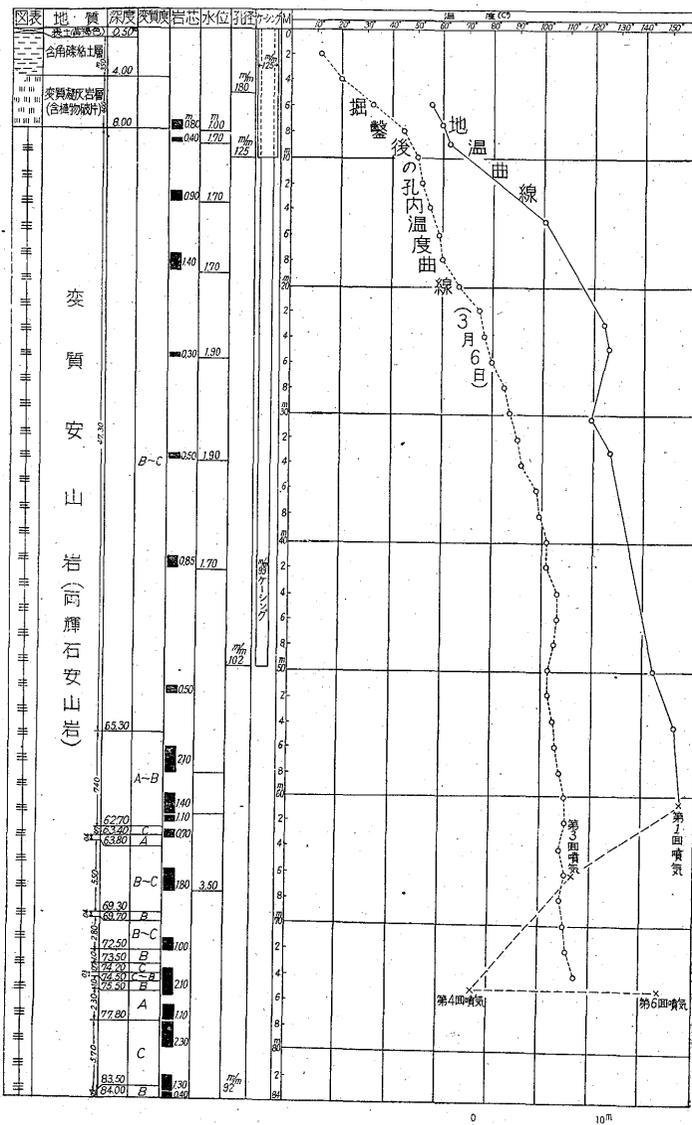
項目	日数	備考
旅行期間	9	鹿児島滞在を含む
掘進準備	16	機械搬入、架橋を含む
掘進作業	18	
ケーシング挿入	2	
セメンテーション	2	
蒸気観測	7	爆発した日を含む
雨天掃孔	3	
事故作業	2	
公休	4	雨天休業2日、旧正月
引揚	13	霧島神宮大祭

した。

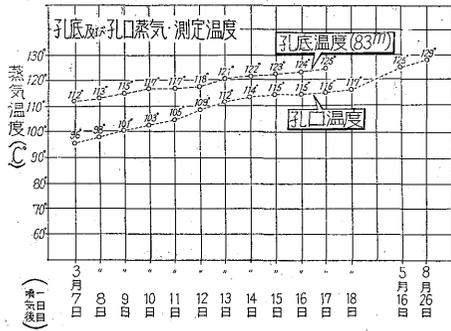
掘進は孔径 6" より始め、5" ドライブを 20m 位予定していたが、比較的硬くなつたので深度 9m で挿入し、以後 105mm ウイングクラウンおよび 100mm クラウンで掘進し、深度 50m で 99mm ケーシングを挿入、以下深度 84m まで 92mm ウイングまたは 75mm クラウンで掘進し、75mm 掘進の所は掘進後 92mm に拡孔した。

今回の試錐工事を作業別に表示すると第5表の通りである。

試錐地質 第30・31図に示した通り、表土(田土)の厚さは 50cm あり、4m まで灰白色粘土、8m まで植



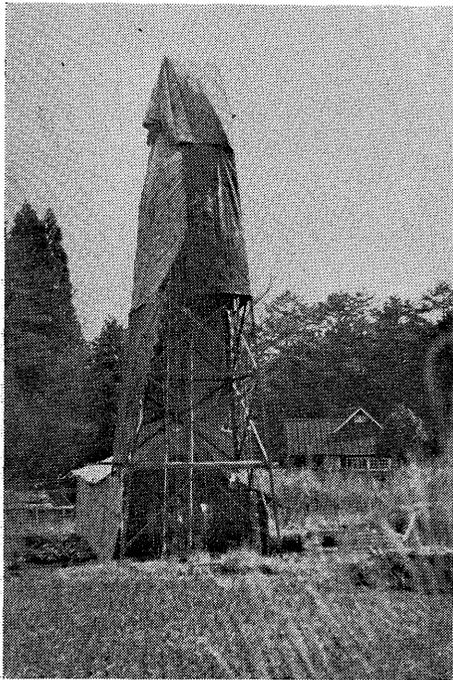
第30図 湯之野地区試錐孔井地質および測温図



第31図 孔底および孔口蒸気測定温度

物破片を含む凝灰岩となり、以下 84 m まで変質安山岩である。安山岩は変質度が深度によつて異なり、柱状図において A とした所は硬度が高くウイングクラウンでは掘進不能であつた。C とした所は粘土化している所で、コア詰りを起し易く、軟質であるにもかかわらず掘進が比較的遅い所で、1.5 m/時間位であつた。A はキャップロックを形成しているようで、蒸気噴出地帯としてはケーシング尻 (50 m) 以下 56 m 辺りまでの第 1 蒸気帯 (この内の蒸気量は比較的少ない) と、63 m 辺りから 75 m 辺りに至る第 2 蒸気帯 (この層の蒸気量が最大と考えられる) と、78 m 辺りから 83 m に至る第 3 蒸気帯とがあるように思われる。

掘進中特に蒸気脈に遭遇していると感じられた所が、62~70 m 間に数カ所あり、厚さは 20~40 cm 位であ



図版 2 試錐現場全景 (25 年 1 月下旬撮影)

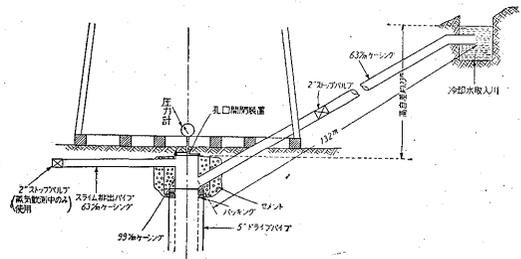
つた。

なお基盤 (安山岩) にはいつてからは、湧水・漏水はなく、地下水の影響をほとんど受けずに蒸気帯にはいつている。

**地熱試錐における特記事項 ケーシング挿入:** ドライブの挿入は別として、ケーシングは地表水および地下水を遮断して有望な蒸気のみを採取するため是非挿入しなければならない。蒸気帯に何 m からはいつているかは確認し難いが、地下に存在する蒸気は必ずそれに相当する圧力を持つているので、ある深度の孔内温度を測定し、この温度の飽和蒸気圧とこの深度の水圧とを比較して、大体バランスがとれている所があれば、それ以下は蒸気帯であると推定したが、毎朝測定している温度は真の地温でなく、加圧されているボーリング孔内の水温であるので真の地温よりは低い温度を示しているはずである。

作業結果から考えると、25 m ですでに蒸気帯にはいつており、この辺りにケーシングを挿入すべきであつたが、挿入に不適当な粘土化帯の地質なので、ケーシング尻が硬い岩石にのりような箇所を求めたが、結局適当な箇所に逢着せず、所有ケーシングの全部 50 m を挿入せざるを得なかつた。ケーシング尻が軟質なため、セメント注入を行い、注入セメントを切つたコアからみて、硬化は充分であると認めたが、第 1 回爆発の際セメンテーションの部分が破られ、ケーシング外側から蒸気が噴出し、圧力測定が不能であつた。

**冷却水について:** 櫓下に冷却水用バックを掘らなかつたが、これは冷却水を注入すると、地温測定の場合、真に近い地温が得られず、また大量な冷却水を早期から注入することは、蒸気帯を人為的に変化させるおそれがある



第32図 冷却水注入パイプ説明図

あるので、ケーシング挿入までは、冷却水の用意は全然行わず、ケーシング挿入後に用意した (第 32 図)。

必要の際できる限り高い水頭を持った水を注入する方法をとり、第 3 回噴気後は作業終了後 50~70 l/min の冷却水を注入した。

この方法の最大の欠点は、スライム 排出パイプに 63

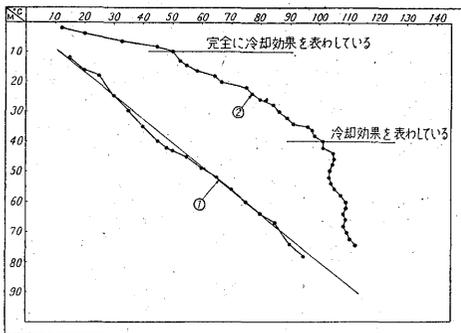
mm ケーシングを使つたが、平時に 2' バルブをつけておくとスライムの排出が充分でないので、蒸気圧測定時のみ使用したため、平時はこゝが開放状態になり、冷却水がこゝから流出して水圧がかけられなかつたことである。この点を改めれば、冷却と水圧が加算されて爆発防止には効果的である。

冷却水の取入口は最初蓬泉館の湯源地に流れ込む川を利用した。この時の落差は約 23 m, 斜距離にして 132m で水量も充分であつたが、種々な事情のため落差約 8m の田の流水を使用するように変更せざるを得なかつた。

この約 15 m の水頭の違いは、噴氣中に注入した際はつきり認められた。

調査中自然爆発を起したが、この原因は冷却水とスライムとに重大な関係がある。

この方法の冷却効果を測定するため、3月6日冷却水注入のままで抵抗温度計を降下して、2m おきに測定してみた。使用した温度計は当所で試作したもので、測定結果は第 33 図の通りである。冷却水を止めて一定時間後に行う測温は、翌日坑井が爆発したため測定できなかつた。



第 33 図 冷却水注入中の孔内温度変化図 29-3-6 測定  
(1) の線はメーターの讀みを温度にするためのテストのカーブ  
(2) (1) のカーブから換算した孔内温度測定カーブ

この図からみて、深度 10 m 位までは完全に冷却効果が現われ、以下 40 m 附近まで及んでいるものとみてよいであろう。

スライムについて：掘進した地質は母岩が変質を受けて粘土化の進んでいるもの多かつたこと、硬い安山岩の粒子がやゝ粗粒であつたこと、全体的に硫化鉄を含んでいることなどが目立つた。

粘土化の進んでいる所はコア詰りを起し易く、硫化鉄と安山岩の粗粒子とは浮遊し難いので、試験用水としての清水使用はほとんど不可能に近く、スライムのためにチャージングされたことも数回あつたが、この際泥水使用によつてのみスライムを浮揚させることができた。用意したベントナイトは 1 t で、冷却水を使用して掘進

してからは泥水濃度が薄くなりがちで、附近で良質な粘土が得られなかつたのは、最後の掘進に大きな障碍となつた。

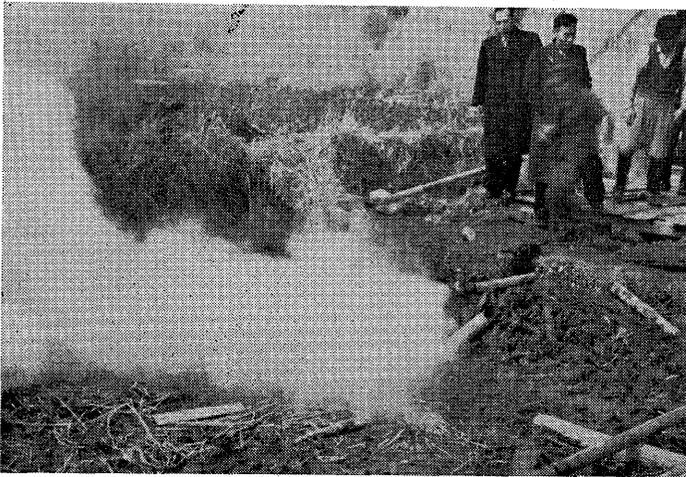
粘土水の循環は水温の上昇をきたし、冷却効果を減ずることになるので、応急的に循環水路を長くして温度の上昇を防ぐようにしたが、粘土水使用は一般ボーリングと同様地熱にも有効な手段と思はれる。

爆発する時には、孔内温度が一般的に上昇してくるが、3月6日を例にとると、孔底深度 84 m, 温度計挿入可能深度 61 m で、温度は 97°C, 101°C, 99°C (3回測温), 孔口水温 13°C であつて、この温度では理論的に爆発することはないはずであり、かつ冷却水注入中にもかかわらず爆発を起したことを考えると、スライムが爆発になんらかの役割を果しているようである。このことは必然的に冷却水注入方法にも関連してくることであり、今後の研究問題として注意したい。

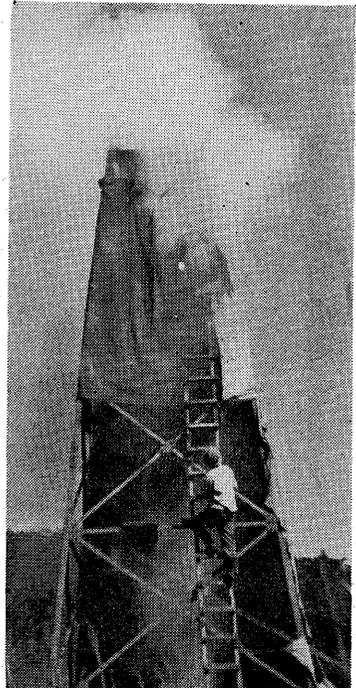
セメンテーション：地熱試験におけるセメンテーションは、ドライブ戻は別として、ケーシング戻を硬めに施工した。その時の測温深度は 35 m で、温度は 117°C であつた。注入方法は圧力注入をせず、置換式にセメントがはいつた分だけロッドを引抜いて行つた。孔内温度が高いためセメントの硬化速度が早いと推定したので、セメント乳はやゝ薄目にした。粘土水を使用しているのので事前に充分清水掃孔はしてあるが、セメントの不硬化部分があることが推定されるので、注入量は非常に多く、2袋半を注入した。注入後約 2 昼夜硬化待ちしてセメント切を行つた。セメントは非常に上昇して、32 m 以下は硬化状態であつた。たゞしケーシング内硬化は不良で、コアになるほどには硬くなつていなかつた。ケーシング以下の硬化は良好で、コアとして 50% 位とれた。この結果地熱試験においても循環水程度で蒸気制圧が可能なる場合は、セメンテーションの硬化は期待できるが、冷却水注入を必要とする場合における効果は今後の研究課題である。

噴気状況：第 1 回爆発は 2 月 18 日に起つた。ロッド降下中コアチューブの先端が約 55 m に達し(総深度 61 m 80), 最後のロッド 1 本 (9 m) を継ごうとした際、ロッドのなかから水が 2 分位噴出し、続いて地鳴を伴ない 3 回爆発を起し、拇指位の礫を混えた真黒い泥土を噴出し、硫化水素臭を漂わしつつ 3~4 分位続いた。続いて蒸気の噴出に変わり、現場に近寄れるようになったので、直ちに冷却水を注入して噴気を止めた。ロッド引揚にとりかゝつたが、チャージングされて引揚不能なので、事故回復作業にはいり、ロッドの引揚を完了した。

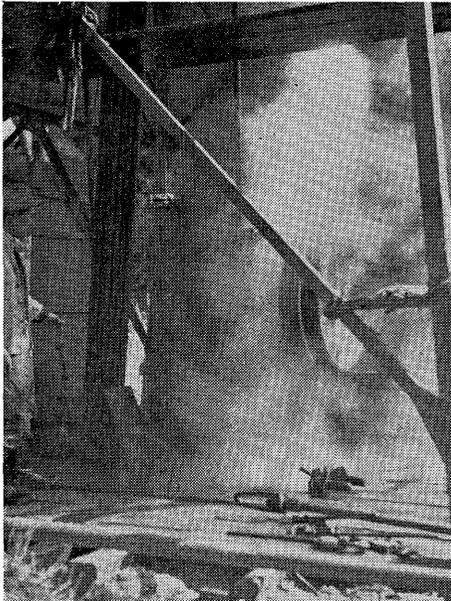
この朝のボーリング孔内の水温は 60 m 50 で 153°C, 孔口水温は 63°C で、この時の蒸気圧と水圧とは



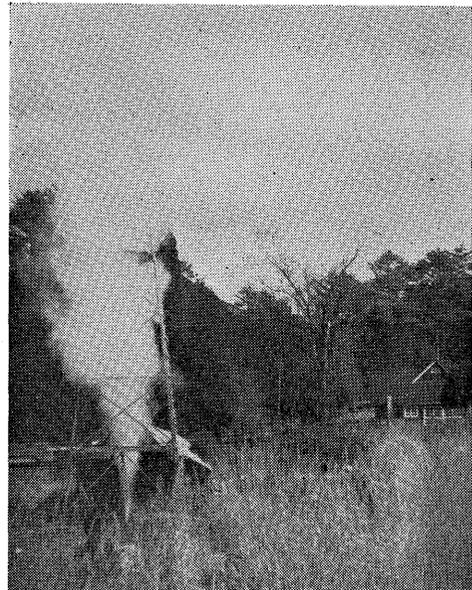
図版 3 第2回爆発噴気 (29年2月20日, 鹿児島県聴職員撮影)



図版 4 第4回噴気 (29年2月28日撮影)



図版 5 第4回噴気



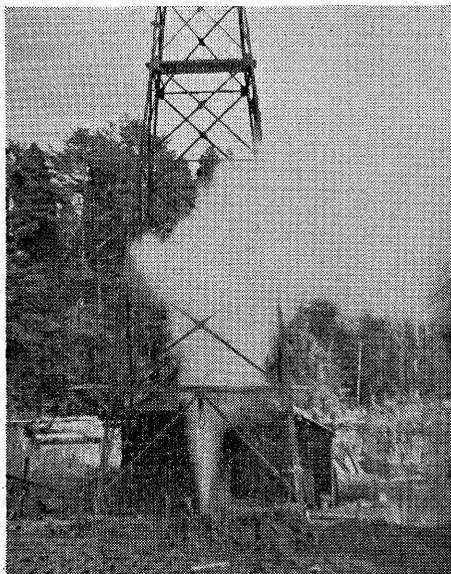
図版 6 第6回噴気 (29年3月11日撮影)

0.5 kg/cm<sup>2</sup> 位の僅少差で、蒸気圧の方が少ないため、噴出が制圧されていたのが、ロッド降下による水位の降下、すなわち水圧降下により爆発したものである。

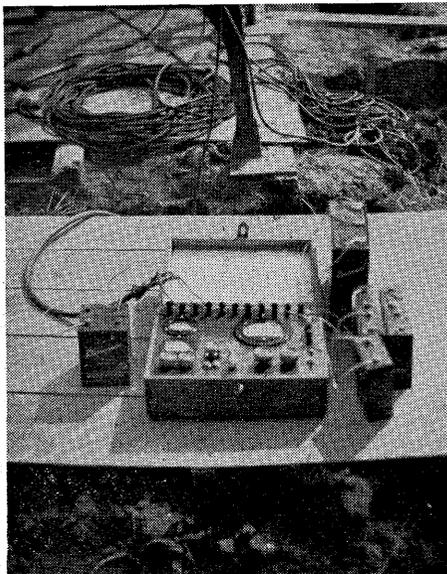
第2回爆発は2月19日、孔底温度測定後人為的に行つたものである。水位を僅かに下げることによつて、噴出させることが可能とわかつていたので、試錐孔中の水を

スワンプして爆発させた。20日と21日朝まで蒸気観測し、21日昼前冷却水およびポンプ送水により蒸気を止めた。

第3回爆発は2月24日19時半頃、自然爆発した。噴煙は高さ30m以上に達し、手首位の石が20m以上も吹き飛ばされていた。



図版7 第6回噴気



図版9 試作抵抗温度計



図版8 第6回噴気

第4回爆発は2月26日夜、第5回目は3月3日夜自然爆発した。

第6回目は3月6日夜起つた。当日は抵抗温度計による孔内温度を測定したが、予想外に温度が低かつたため、孔内掃孔を中止して、温度回復をさせることにしたところ、翌日待たず冷却水注入中にもかかわらず爆発した。

上述のように第4・5・6回目の自然爆発は、掘進の進むにしたがい、蒸気の温度および圧力が増大してきて、掘進作業中は循環水によつて冷却されるので、噴気が制

圧されているのが、作業終了後数時間経つた夜中に起り、いずれも蒸気圧が高くなつて爆発したものであり、泥水・砂礫を噴出した後は蒸気のみとなり、外観的には静穏であるが、それでも噴出音のため孔口付近では各人の会話は聞きとれぬ程度であつた。

**温度と圧力測定** 地熱試験作業中の温度測定は、今後の調査研究に大切なデータである。測定には  $250^{\circ}\text{C}$  と、 $150^{\circ}\text{C}$  の溜定温度計を併用した。両者の示す温度差が  $2^{\circ}\text{C}$  以内の時は、高い方を記録し、それ以上の時は再測した。記録温度は毎朝作業開始前に測定し、参考のため随時測温もした。

第1回爆発までの温度曲線は、常時注水せずに測温した結果で、真に近い温度を示していると思われ、この温度上昇は順調にいつている。

第1回爆発後冷却水を注入してからの測温は、掘進作業上噴気を予知するために参考的に行つたもので、温度変化は大きい動きを示している。たゞ温度の回復(上昇)率の大きさが、次の爆発に関係があることが想像される。この場合循環水の温度から、下部蒸気温度を推測できないかと考えたが、種々の因子があるので結論はだし得なかつた。

蒸気温度測定は、噴気中に直接温度計を挿入して測定した。この結果は第6表の通りである。

温度測定のために、温度計を降下する時に用いるケーシングは、径  $40\text{mm}$ 、長さ約  $80\text{cm}$ 、重量約  $6\text{kg}$  のもので、径  $3\text{mm}$  ワイヤロープで深度計に連結して降下した。

第 6 表

測定月日	蒸気の区別	測定深度 m	温 度 °C
2月19日	第2回 噴 気	2.00	100
		47.00	156
		0.00	97
2月20日	第2回	0.00	105
		51.00	120
2月21日	"	0.00	102
		51.00	119
2月25日	第3回	0.00	100
2月28日	第4回	0.00	97
		72.50	126
3月7日	第6回	0.00	96
		84.00	112
9日	"	0.00	101
		83.00	115
10日	"	0.00	103
		83.00	117
11日	"	0.00	105
		83.00	117
12日	"	0.00	109
		83.00	118
13日	"	0.00	112
		83.00	121
14日	"	0.00	114
		83.00	122
15日	"	0.00	115
		83.00	123
16日	"	0.00	115
		83.00	124
17日	"	0.00	116
		83.00	125
18日	"	0.00	117
5月16日	"	0.00	125
8月26日	"	0.00	129

第2回噴気の時、横に噴出させて圧力測定を試みたが、地表を横に走るため、蒸気温度が降下するので圧力が上昇せず、全密閉測定はケーシング外側からの噴出で不可能であった。

作業終了後、ドライブとケーシングとの間およびドライブ外周を、割石とセメントで固め、外側からの蒸気漏洩を止めた後、圧力測定を行った。この時の指示圧は  $2.3 \text{ kg/cm}^2$  で、当日(3月17日)の蒸気は孔底  $125^\circ\text{C}$  であり、この蒸気の飽和圧は  $2.3666 \text{ kg/cm}^2$  であるので、大体等しい圧力を示している。

以上を要約すれば、当該テストボーリングの結果、8m 付近までは地表からの水の影響を受けるが、それ以

深はいわゆる岩盤であつて、掘進中湧水・逸水もほとんどなく、地下水の影響を受けていないため、地温の上昇勾配も大であり、深度 60m 余で噴気をみるに至つた。

今回は時期・場所・冷却水等の種々な条件に制約されて掘進日数が少なく、深度 84m に終つたが、さらに深度を増すことにより高温、高圧の蒸気をうることは可能であろう。

地熱試験は、わが国では火山噴気地帯に近く、深山避地で行う場合が多く、機械運搬に多大な日数を要するのが常であるので、機械はできるだけ軽量で、性能がよいものが望ましい。

なお将来は、噴気の性状、すなわち孔内噴気箇所およびその強さ、地質の変質度による岩粉の性状、蒸気の化学的成分および流量等についての調査研究が、地熱発電の基礎資料として是非必要である。

## 8. 結 語

今回の調査で第1に挙げられる成果は、蒸気取りだしに成功したということである。このためにはいろいろな方法が試みられ、各方面から地熱が検討された。そのうちで調査方法として最も必要、かつ重要視され、今後もつと進めて行きたいのは、浅層地温分布の調査である。

この浅層地温分布をみることは、すなわち地熱地帯の地下における地温構造を知ることになる。いゝかえると地下における蒸気帯の形状を知ることである。もちろん深い穿孔を多数行うことは、経費・日数の都合等でなかなかできるものでないから、制限された範囲で、いち早く地下浅層の地温を知つて、しかる後深層の地温を推定することである。これがわかれば、掘つて蒸気がでる所と、でない所がはつきりするから、地熱地帯の規模を決定することができる。

湯之野はその面積  $100 \times 50 \text{ m}$  の狭い地熱地にすぎず、霧島地熱地帯のなかでは一番小さいものかも知れない。したがつて蒸気を取りだせるような地熱地帯は、ほかに未だ多数あると推定される。しかしこれら全部深く穿孔することは困難であるから、もしならぬ機会に他の機関の手によつて穿孔することがあるならば、この報告は参考となるであろう。たゞそのうち宮崎県側の海老野地熱地帯は、本所において昭和29年度に精査する予定になつてゐるから、その詳細な報告はあらためて発表されるであろう。

最後に、蒸気を取りだしても、その蒸気の物理性は、噴気後刻々に変化して、やがて安定する。湯之野の蒸気もまた3月3日の孔口温度  $117^\circ\text{C}$  から、6月16日の

125°Cに上昇している。今後も日時の経過とともに変化するであろう。その資料もとつてをくべきものであるから、これはなんらかの機会を利用して、是非試みるつもりである。また既述のように蒸気量と圧力の試験とが未

だに行われていないから、これも近いうちに調査し、資料として加えるつもりである。

(昭和28年6月~12月調査)