

霧島南部地域放熱量調査報告

湯原浩三* 牛島恵輔**

YUHARA, K. and USHIJIMA, K. (1980) Ground temperature surveys and thermal discharge measurements at Southern Kirishima geothermal areas. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 31(8), p. 377-397.

Abstract: Underground temperatures in 1 meter depth were measured at Tearai, Yunoiike, Torijigoku and Yamanajo geothermal areas in Southern Kirishima volcanic district, and several shallow bore holes from 10 meter to 30 meter were also drilled in these areas to measure the ground temperatures and the geothermal gradients. Result of these temperature surveys suggests the underground thermal structure. High temperature spots and geothermal manifestations are in lines which correspond to the geotectonic lines of the district.

In the same geothermal areas, thermal discharges from hot springs, fumaroles, steam wells, steaming grounds, hot pools and heat conduction through ground surface were measured. Total heat discharges from four geothermal areas amounts to 26×10^6 cal/sec, in which 74% is thermal discharge from steaming ground, 9% from steam wells, 8% with hot springs, 5% by thermal conduction through soils, and 4% from hot pools.

要 旨

霧島火山群の南西山麓にある手洗, 湯の池, 鳥地獄, 山の城の地熱地域で, 昭和49年10月27日から昭和50年1月8日までの間, 地温調査と放熱量調査を行った. 地温調査は1m深607地点, 10m深31地点, 30m深7地点, 100m深1地点で行われた. 地温の水平分布からは, 高温部は各噴気地を通り, NW-SE, NE-SW方向に延びた帯状分布をしていることが明らかになった. 放熱量は熱伝導による放熱量, 噴気井及び温泉による放熱量, 噴気地からの放熱量, 湯沼からの放熱量をそれぞれ別個に測定した. その結果, 総放熱量は約 26×10^6 cal/sec に達し, 調査面積に比して放熱量は大きく, 地下に大きな地熱資源の存在が推定される. 特に噴気地からの放熱量が全体の74%にも達し, 比較的浅い地下に有力な蒸気層が存在することを示している. 調査地域を50m×50mの正方形区画に分割し, 各区画の放熱量を求めてその分布を描いてみると, 放熱量の高い区域の配列は, 地温分布と同様, NE-SW及びNW-SEの互いに直交する2方向の数本の配列線上にある. 地表に見られる優勢な地熱徴候はすべてこれらの配列線の交点に位置しており, これらのことから地下熱構造の方向性が明らかにされた.

1. 緒 言

霧島火山群の南西山麓には, 第1図に示すように多くの地熱地域や温泉が分布しており, それらについては地質調査所(1955)や鹿児島県温泉研究会(1964)によって調査が行われている. これらのうち, 手洗地区を中心に山の城, 鳥地獄, 湯の池の各地区では特に噴気活動が盛んであり, 霧島南部地域の地熱活動の中心といわれている.

昭和49年10月27日から昭和50年1月8日までの間, 上述の地熱地域において, 地温分布調査と放熱量調査が実施され, それらの結果をもとに, 地下熱構造についても簡単な推定が行われた. 調査内容と調査位置はそれぞれ第2図, 第1表に示す.

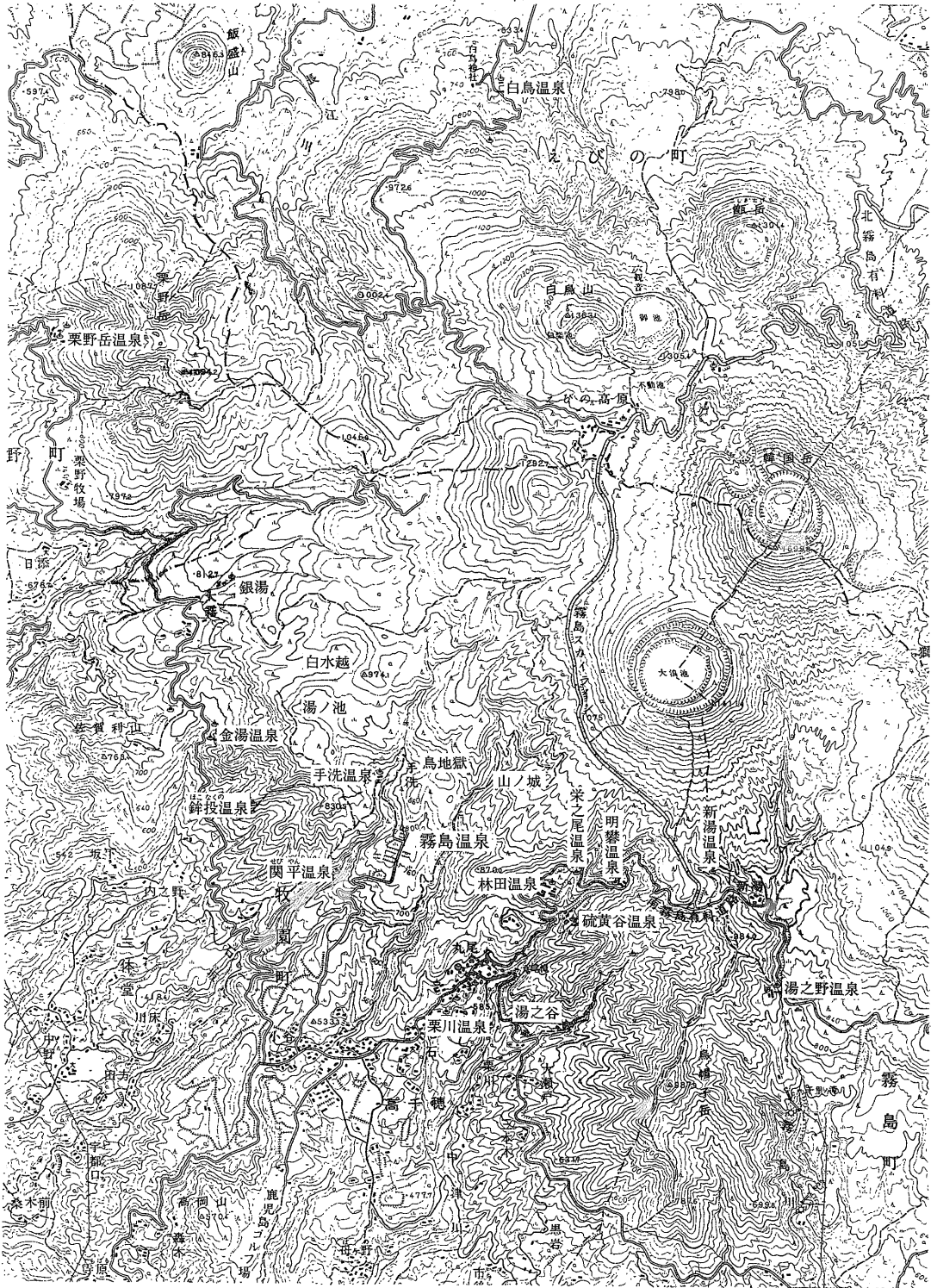
調査地はえびの岳及び大浪池より南西方向にゆるやかに傾斜する山腹にあり, 沢の部分を除けば地形は一般的になだらかである. 調査地には, 手洗や湯の池のように爆裂火口跡と思われる様な凹地が各所にあり, また鳥地獄や山の城などには地滑り地形がある. 調査地の地質は大部分安山岩質溶岩, 凝灰角礫岩で構成され, 局所的にシルト層, 砂層があり, また崖錐が見られ, 火山灰層が地表を広く覆っている.

2. 1m深地温分布

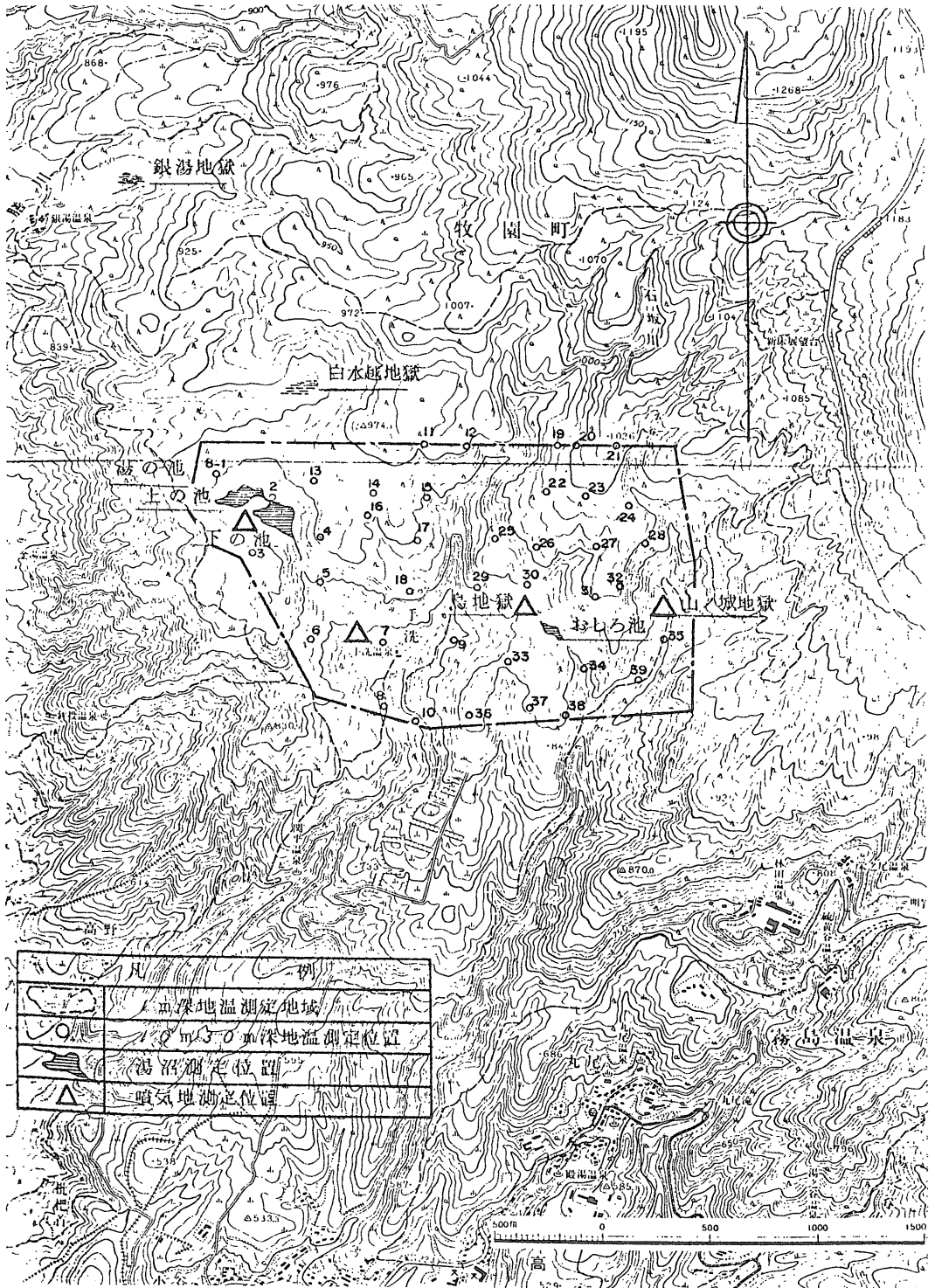
調査地内で, まず100-200m間隔に測点を設け1m深

*九州大学工学部, 地殻熱部併任

**九州大学工学部



第1図 霧島火山南西山麓の地熱地域と温泉



第2図 放熱量調査位置

第1表 調査内容

調査の内容		計画調査量			実行調査量			
(1) 地温分布調査	0.5m, 1.0m深地温	2.5 km ²	500点		2.721 km ²	607点*		
	孔内地温	10m深	31点	310m	10m深	31点	310.5m	
		30m深	9点	270m	30m深	7点	210.2m	
	計	40点	580m	その他	1点	100 m		
				計	39点	620.7m		
(2) 熱伝導による放熱量調査		2.5 km ²	(100点)		2.721 km ²	(106点)		
(3) 噴気井による放熱量調査	手洗地区		8孔		手洗地区	9孔		
	山ノ城地区		3孔		山ノ城地区	2孔		
	計		11孔		計	11孔		
(4) 噴気地による放熱量調査			80点以上		湯の池地区	29点		
					手洗地区	24点		
					鳥地獄地区	8点		
					山ノ城地区	21点		
				計	82点			
(5) 高温沼による放熱量調査	湯の池上の池	}	3カ所		湯の池上の池	}		3カ所
	湯の池下の池				湯の池下の池			
	おしろ池				おしろ池			
(6) 温泉による放熱量調査			約30カ所		湯の池	1カ所		
					手洗	25カ所		
					鳥地獄	4カ所		
					山ノ城	5カ所		
					計	35カ所		

* 608点中1.0m深地温測定ができなかった点が1点あり実質607点である。

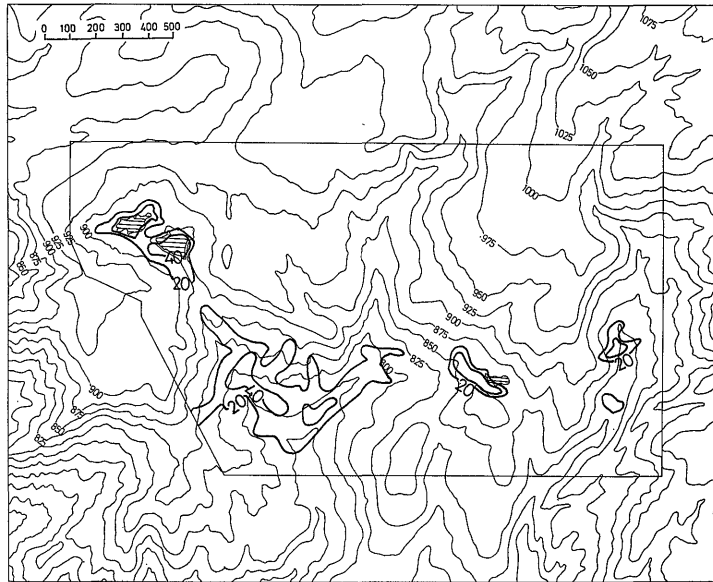
地温を測定した。また、いわゆる地獄及びその周辺の高
温部では、その間を補間して測定した。測定及び補正は
普通の方法(湯原, 1976)で行われたが、年変化補正は特
に次のような方法が採用された。すなわち、(1)調査地域
は手洗、湯の池、山の城の3地区に大別されるので、そ
れぞれの地区に補助基点を設けた。(2)基点における 0.5
m深及び 1.0m深地温の測定値をそれぞれ最小2乗法に
より3次式で平滑化し年変化グラフを画いた。(3)各地区
の補助基点の測定値により年変化曲線を描き、この年変
化曲線を基点の変化曲線の上に全体ができるだけよく合
うように重ねた。(4)基点の曲線の11月1日の地温と、重
ね合わせた補助基点の測定日の地温の差を補正值とし
た。上記の方法が採用された理由は、手洗地区のほぼ全
域が地温異常地であり、年変化の様子が他の地区と異な
る可能性があったためである。補正後の1m深地温分布
を第3図に示す。

また1m深の測定地温 $T(x, y)$ (補正を行ったもの)
を

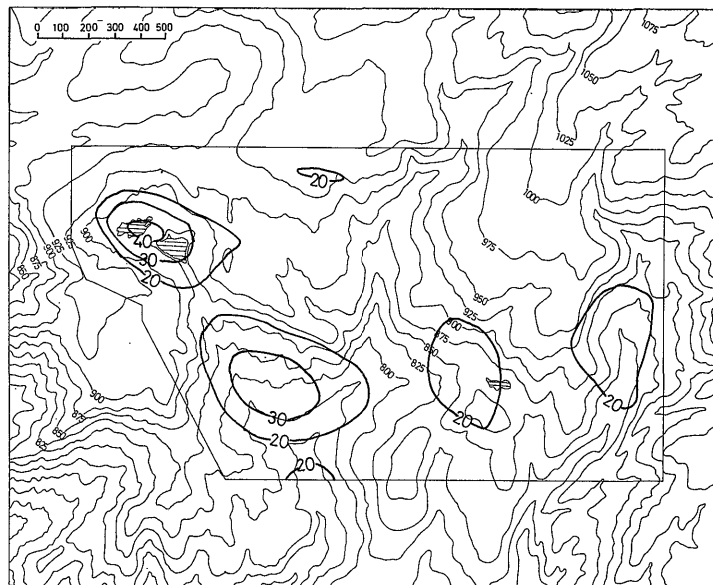
$$T(x, y) = \sum_{i=0}^{10} \sum_{j=0}^i a_{ij} x^i y^j \quad (1)$$

で平滑化することが試みられた。係数 a_{ij} の決定には測
定点の座標と温度測定値をそのまま用い、その係数を用い
て計算した各測点の値から温度分布図を描いたものが第
4図である。第3図、第4図共にそれぞれの噴気地を中
心に独立した高温部が現われており、地温はすべて20℃
以上で最高は100℃以上に達する。このような噴気地以
外の所では14-18℃で、全体的にもやや高い地温を示し
ている。

第4図では、第3図に比較して細かい変化は平均化さ
れ、高温異常部の配列と規模がより明瞭になっている。
ただ、この方法の一般的な欠点として、周辺部が大きく
振動し元の値から大きく離れることがある。したがっ
て、周辺のある範囲を除外して傾向を論ずべきである。
また平滑化に用いる多項式の最適次数を測点の密度と関
連させて検討すべきであって、これらの点は1m深地温
分布に関するデータ処理の今後の問題点であろう。



第3図 1m深地温分布図(°C) (枠内が調査範囲)



第4図 1m深地温10次曲面近似の高温部(°C)

3. 10m深, 30m深地温分布

第2図に示した39地点において深さ10m又は30mの試錐を行い, 24時間以上放置した後, 1m間隔の温度を測定した. これによって得られた垂直温度分布は次の4つの型に大別することができる.

(1) 5m以深では温度が13-14°Cでほとんど変化のない

もの.

(2) 深さと共に一様に温度が上昇するが, 勾配は大きくないもの.

(3) 深さと共に一様に温度が上昇し, 勾配が大きいもの.

(4) 浅所から高温であるが, 深さによってほとんど変わらないもの.

以上の垂直温度分布を熱源の深さとの関係において論ずると、(1)の型は地下熱源がかなり深い、(2)の型は熱源がやや浅い、(3)の型は熱源が非常に浅い、(4)の型は熱源が地表に達して、噴気の露頭にさく孔した場合、に対応している。

10m深の温度分布を描いたものが第5図である。

10m深及び30m深地温は1m深地温に比べれば測点数がはるかに少ないにも拘わらず調査地域の地温分布の特性をよく示している。各噴気地の中あるいはその近くでは地温は非常に高く100°Cを越すものがあり、中には10m以内で弱い噴気を噴出した測定孔があった。噴気地以外の場所でも、10mないし30mの浅い深度で地温がかなり高くなるものがあるが、これらはすべて後に述べるNW-SE、NE-SW方向の配列線上又はその付近にあるものである。これら的高温帯は本調査地域の北側に隣接している白水越地獄の上の池、下の池に連なり、更に北部の銀湯の方へ延びていると考えられる。

第5図では1m深の分布と同様に現在の噴気地を中心に高温部が存在するが、高温部の形状は手洗を要する逆八の字形になっている。また鳥地獄、山の城の南方は10m深の温度としてはあまり高くないが、温度勾配は前述の(2)、(3)の型であって、比較的浅い地下に高温熱源の存在が推定される。

4. 熱伝導による放熱量

熱伝導によって、単位時間に地中ある深さの単位面積

を流れる熱量 q は

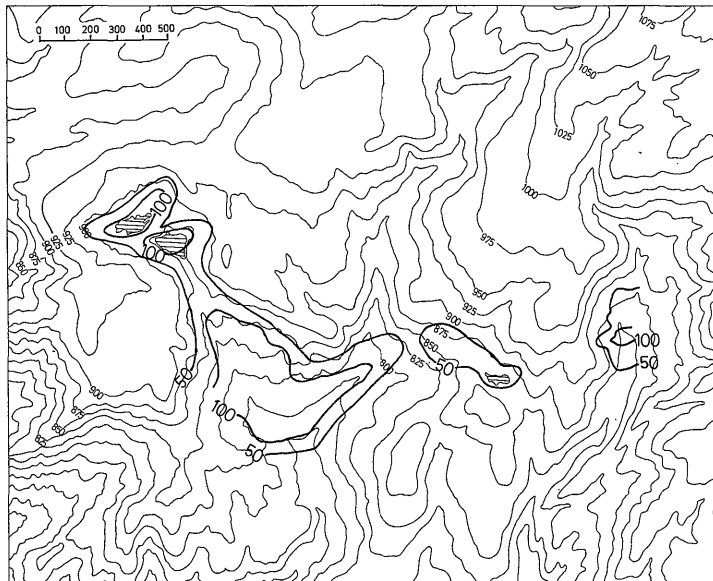
$$q = K \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (2)$$

で与えられる。ここに K はある深さでの熱伝導率、 $(\partial T / \partial x)$ はその場所での垂直温度勾配である。しかし地中温度が年変化する浅所では、 $(\partial T / \partial x)$ が年変化する。したがって q も年変化し、季節的に正になったり負になったりする。したがって地熱熱源から放出される熱量を算出するためには、(2)によって計算された見掛けの放熱量から、測定を行った時点での地熱熱源に無関係な放熱量を差引かなければならない。

地熱熱源に無関係な放熱量を $q_0 = K (\partial T / \partial x)_0$ とかくと $(\partial T / \partial x)_0$ は次のようにして推定することができる。放熱量を求める深さを 0.75 m として、測定された 0.75 m 深の $(\partial T / \partial x)$ と 1 m 深地温 T_1 との間に 1 次関係が成り立つとして整理したとき、地熱熱源のない場合の T_1 (基準温度) に対応する $(\partial T / \partial x)$ を $(\partial T / \partial x)_0$ とみなす。

第6図は実測した 1 m と 0.5 m の地温差と 1 m 深地温の相関図であり、これより回帰直線 $\Delta T = 0.4T - 5.0$ が求まる。基準温度を 12.4°C とすると、 $\Delta T = 0$ となる。

表層熱伝導率は熱伝導棒を用いて測定され、その値は $0.70 - 3.42 \times 10^{-3}$ cal/cm·deg·sec の範囲にあった。106 点の表層熱伝導率測定値により作成した分布図から地域内を 106 個のブロックに分割し、各ブロック毎に次の計算を行った。

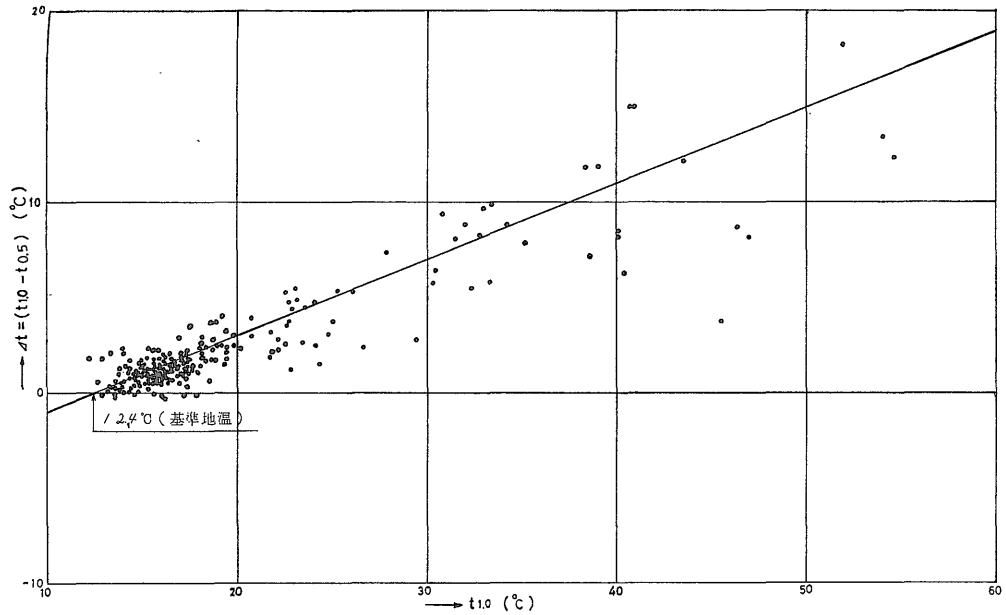


第5図 10m深地温分布図 (°C)

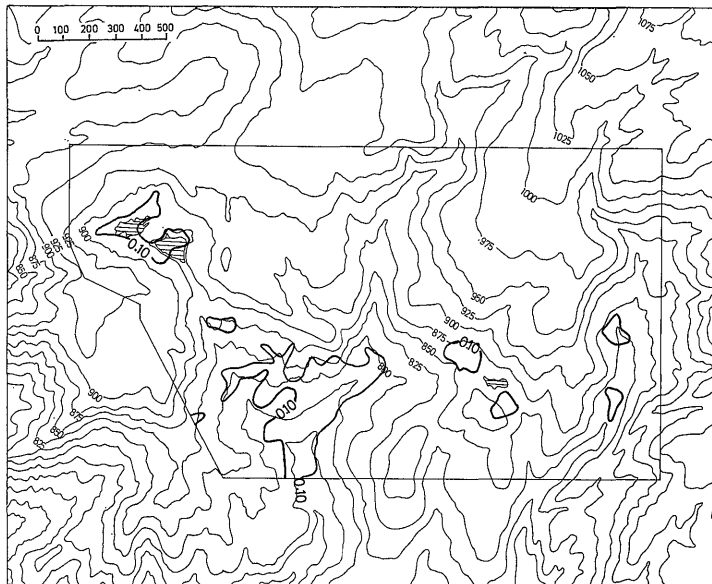
$$q_{ij} = K_i \cdot \left\{ \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_j - \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_0 \right\} \quad (3)$$

ここに q_{ij} は i 番目のブロック内の地温勾配測点 j における q , K_i は i 番目のブロックの表層熱伝導率である。ただし、本調査では前述のように $(\partial T/\partial x)_0 = 0$ であった。

上の計算により得られた 607個の熱流量の値より、その分布図を描いたものが第7図である。この図でも手洗、湯の池、鳥地獄、山の城に高熱流量域があり、そのパターンは1m深地温分布の20°C以上の範囲、あるいは10m深地温の50°C以上の範囲と非常によく似ている。本調査地域の熱流量は10数点の0又は負の値を除くと、最



第6図 1m深地温と1mと0.5mの地温差との相関図



第7図 熱流量分布図 ($10^{-3} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$)

小 3.4×10^{-6} , 最大 1249.8×10^{-6} cal/cm²·secであった。

次に, 第7図の等熱流量線間の面積 a_n を求め, a_n の中に含まれる q_{ij} の平均値 q_n を用いて, 地域内の熱伝導による放熱量の合計を

$$Q = \sum_n a_n q_n \quad (4)$$

より求めた。結果は測定面積 2.721 km² からの放熱量が 1,338.06 kcal/sec で, 平均熱流量は 49.2×10^{-6} cal/cm²·sec である。この値は平均地殻熱流量の約30倍である。

5. 噴気井及び温泉による放熱量

この地域には第8図に示すように, 噴気井, 噴気地, 湯沼, 温泉等の地熱徴候が豊富である。それらのうち噴気井及び温泉の調査結果を第2表, 第3表に示す(調査法は地熱調査ハンドブック, 1974参照)。

今回測定された11本の噴気井は小孔径の浅い井戸としては極めて優勢なものも多く, 過熱蒸気を噴出しているものもあり, 中には音速以上の噴気速度によって蒸気採

取管が曲がる程のものもあった。

噴気井からの噴出量は水蒸気, 熱水あわせて 4,280 g/sec, 放熱量は 2,290 kcal/sec であった。一方温泉では, 湧出量は合計 17.3 kl/min, 湧出熱量は 371.8×10^6 cal/min であった。ここに, 湧出熱量は温泉×湧出量から求めたものであり, これを平均地下水温 13°C を基準にして換算したものを地熱熱源からの放熱量とすると, 放熱量は 123.7×10^6 cal/min 又は 2.06×10^6 cal/sec である。

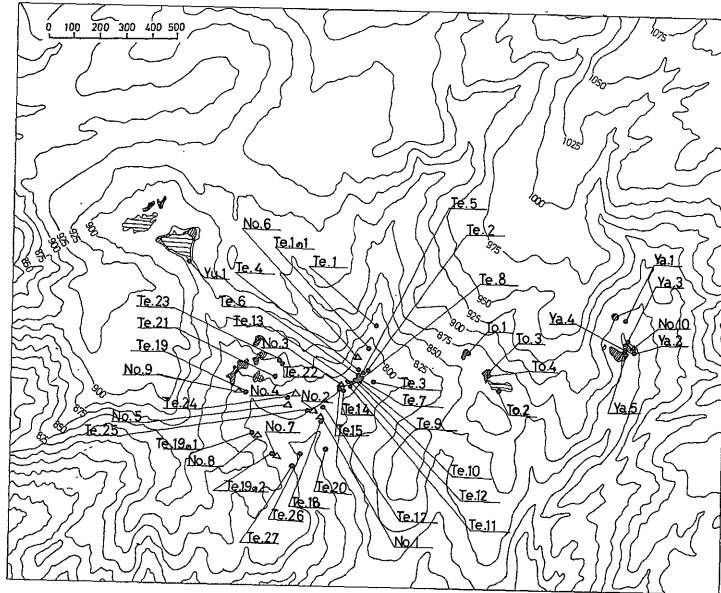
6. 噴気地からの放熱量

噴気地は手洗, 湯の池, 鳥地獄, 山の城の各地区に分布する。各地区ごとにあらかじめ踏査して噴気地を見かけの強弱により A, B, C の3階級に分け, 各階級に 100-400m² ごとに1点づつの測定点を設けて放熱量を測定した(測定法は地熱調査ハンドブック, 1974参照)。また噴気地では簡単な測量によって A, B, C 各階級の分布範囲の面積 A, B, C を求め, 次式より全放熱量を算出

第2表 噴気井調査結果

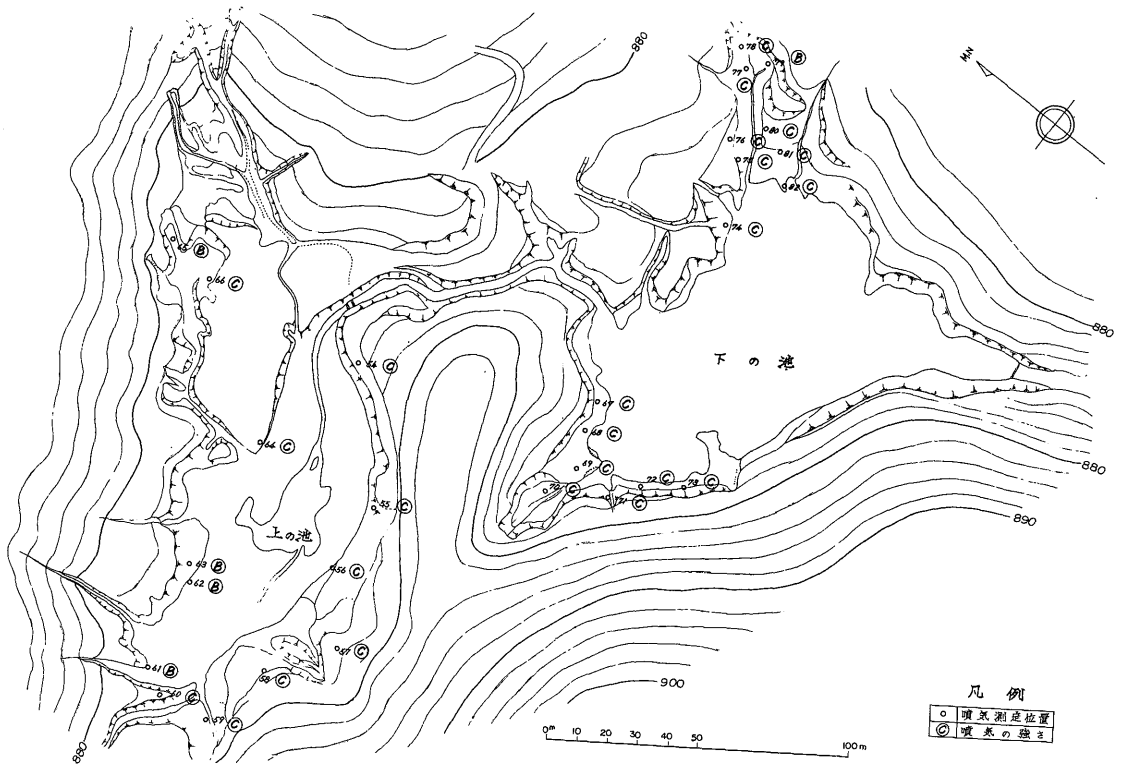
測定 No.	県台帳源 No.	源泉所在地	所有者	利用状況	深さ m	直径 cm	自然試錐の別	温度 °C	放熱量 kcal/sec	調査年月日
1	手洗7号	牧園町三体堂手洗 1828-3	宗教法人創価学会	放出	—	11.0	自然	96.8	7.383	49.11.4
2	手洗6号	手洗 1825-5	"	放出	—	10.0	自然	97.2	24.756	49.11.4
3	手洗13号	牧園町高千穂新床国有林54林班の小班	河川敷(霧島開発)	分譲別荘等へ給湯一部放出	146	10.5	試錐	126.2	269.493	49.11.4
4	手洗12号	牧園町三体堂手洗 1825-1	宗教法人創価学会	造成槽より研修所へ送湯一部放出	150	6.0	試錐	96.2	114.153	49.11.5
5	手洗11号	手洗 1825-3	"	同上設備あり調査時は放出	150	6.0	試錐	96.4	20.416	49.11.5
6		手洗 "	"	未利用	50+	10.0	試錐	122.0	1297.800	49.11.5 11.6
7	手洗10号	手洗 1826-8	三洋工業(株)	ホテル小谷園近くの民家に給湯	276	5.0	試錐	103.0	62.542	49.11.25
8	手洗15号	手洗 1826-1	"	" 10号造成槽へ送湯	187	6.0	試錐	97.5	87.910	49.11.25
9	手洗14号	手洗 1826-1	"	" 15号造成槽へ送湯	163	5.0	試錐	95.0	64.321	49.11.25
10	山ノ城1	牧園町山ノ城	国有地	放出	85(50)	7.5	試錐	130.5	308.266	49.11.7
11	山ノ城2	"	"	放出	不明	6.0	試錐	95.0	32.863	49.11.7
注 1. No. 10の深さは $\phi 65$ m/m で85m, その後 $\phi 100$ m/m で拡大50mで中止したもの。 2. 直径は孔口有効径である。 3. 県台帳源No.と深さは県資料(S. 49. 5. 15現在)による。									2289.903	

霧島南部地域放熱量調査報告 (湯原浩三・牛島恵輔)



第8図 噴気井, 噴気地, 高温湯沼, 温泉測定位置図

(■噴気地, ▨高温湯沼, No.: 噴気地, その他の記号: 温泉)



第9図 湯の池噴気地測定位置図

第3表 温泉調査結果

番号	源泉 No.	源泉名	源泉所在地	所有者	利用状況	湧水 状況	湧出温 ℃
1	Yu-1	湯ノ池 上ノ池下ノ池	牧園町三体堂	十条製紙(株)	未利用	自噴	23.8
2	Te-1	手洗1号 (手洗瀧の上)	牧園町高千穂新床国有林 54林班へ小班	国有林 (植村上)	未利用	自噴	(1)56 (2)40
3	Te-2	手洗2号 (小谷1号)	"ろ小班"	" (ホテル小谷園)	ホテル小谷園 鹿銀保養所 国家公務員宿舎霧島荘 健康保険霧島保養所	掘さく 造成	
4	Te-3	手洗3号 (小谷3号)	"つ小班"	(小谷薫)	未利用	自噴	61
5	Te-4	三体川(手洗川) 左岸 A	"	?	未利用	自噴	44
6	Te-5	左岸" B	"	?	未利用	自噴	32
7	Te-6	手洗4号	牧園町三体堂手洗3925 下地先	河川敷 (測筋I)	自家別荘浴用	自噴	63
8	Te-7	三体川(手洗川) 右岸 C	"	?	未利用	自噴	58
9	Te-8	右岸" D	"	?	未利用	自噴	48
10	Te-9	右岸" D'	"	?	未利用	自噴	63
11	Te-10	右岸" D"	"		未利用	自噴	61
12	Te-11	右岸" E	牧園町高千穂新床国有林 54林班		未利用	自噴	66
13	Te-12	右岸" F	"		未利用	自噴	73
14	Te-13	三体川右岸 天空の湯	"	宗教法人会 創価学会	個人利用	自噴	71
15	Te-14	手洗13号	"る小班地先"	河川敷 (霧島開発(株))	分譲別荘等へ配湯	自噴 造成	
16	Te-15	手洗溪谷橋の下	"	宗教法人会 創価学会	未利用	自噴	66
17	Te-17	手洗17号	牧園町三体堂手洗1825-1	"	創価学会旧研修所 浴槽用現在未利用	自噴	74.5
18	Te-18	手洗7号	"手洗1828-3	"	創価学会庭園熱源とし て未利用	自噴	87
19	Te-19	三洋工業 集湯槽	"手洗1826-1,8	三洋工業(株)	分譲別荘, 民家へ給湯	自噴 造成	
20	Te-20	手洗8号	牧園町高千穂手洗3925-2	宗教法人会 創価学会	未利用	自噴 造成	
21	Te-21	三洋工業	牧園町三体堂手洗1826	三洋工業(株)	配湯	造成	

霧島南部地域放熱量調査報告(湯原浩三・牛島恵輔)

放熱量は()内数値を計上

造成泉温 ℃	湧出量 l/min	湧出熱量 kcal/min	放 熱 量		備 考	調 査 年月日
			kcal/min	kcal/sec		
	972	23,133.6	10,497.6	174.96* (0)	湯ノ池放熱量で計上済み	49.12.14
	10 67	560 2,680	430 1,809	37.3	(1)(2)はごく近くに湧出している。(2)の流出点が図示の位置。源泉の下流230mの別宅でもと利用していた。家屋は荒廃している。	49.12.7
71	250	17,800	14,500	241.7	造成槽内の泉温。中継槽(関平)内の送湯量	49.12.21
	15	915	720	12.0	2×10mの範囲に湧出, 平均温度	49.12.7 21
	25	1,100	775	12.9	温度は平均値	49.12.7
	24	768	456	7.6		49.12.7
	35	2,205	1,750	29.2		49.12.7
	5	290	225	3.8	河岸の岩かけ	49.12.7
	5	240	175	2.9	〃	49.12.7
	2.5	158	125	2.1	〃	49.12.21
	5	305	240	4.0	〃	49.12.7
	5	330	265	4.4	右岸岩かけ	49.12.7
	2.5	182	150	2.5	右岸から小し山手	49.12.7
	10.0	710	580	9.7		49.12.7
(1)66 (2)88	316 29	20,856 2,559	16,748 2,175	** 315.4	(1) 造成槽内の泉温及び送湯量 (2) 分岐した送湯管 噴気井調査第2表No.3に相当	49.12.7
	100	6,600	5,300	88.3		49.12.7
	5.5	409	338	5.6		49.12.7
	7.1	617	525	8.8		49.12.7
(1)51 (2)59	176 350	8,976 20,650	6,688 16,100 (9,900)	*** 379.8 (165.0)	(1) 韓国台配湯槽にて(2) 手洗台配湯槽にて Te-19は A(手洗10号), B(手洗14号), C(手洗15号) Te-21を集湯。噴気井調査第2表 No.7,8,9 相当	48.12.8
48	50	2,400	1,750	29.2		49.12.7
					Te-19 集湯槽に含まれる	49.12.7

地質調査所月報(第31巻第8号)

第3表つづき

番号	源泉 No.	源泉名	源泉所在地	所有者	利用状況	湧水状況	湧出温度 ℃
22	Te-22	手洗19号A	牧園町三体堂手洗1825-3	宗教法人会 創価学会	Te-24へ集湯	自噴	34
23	Te-23	手洗19号B	" "	"	Te-24へ集湯	自噴	43
24	Te-24	手洗12号 造成槽	" 手洗1825-3 1825-1	"	創価学会 研修所利用	自噴 造成	
25	Te-25	手洗6号	" 手洗1828-3	"	"	自噴	48
26	Te-26	河川					29
27	Te-27	河川					22
小計							
28	To-1	鳥地獄	牧園町高千穂新床国有林 54林班	国有地	未利用	自噴	76
29	To-2	おしろ池 (おしろ池)	牧園町高千穂新床国有林 54林班	国有地 (米沢テル)?	未利用	自噴	15.2
30	To-3	鳥地獄-おしろ池 中間B	"	国有地 ?	未利用	自噴	22
31	To-4	鳥地獄-おしろ池 中間C	"	"	未利用	自噴	29
小計							
32	Ya-1	山ノ城 A (県1号のワキ)	牧園町高千穂新床国有林 55林班小班	国有地	未利用	自噴	89
33	Ya-2	山ノ城 B	55林班 "	"	未利用	自噴	63
34	Ya-3	山ノ城 C	" "	"	未利用	自噴	89
35	Ya-4	山ノ城 D	" "	"	未利用	自噴	14.6
36	Ya-5	山ノ城 E	" "	"	未利用	自噴	42.4
小計							
合計							

注 *湯の池の測定値は高温沼調査で計上済み。

**Te-14は噴気井調査で放出噴気のみ測定したので、造成温水量は本表で計上した。

***噴気井手洗10,15,14号の合計熱量214.8kcal/secとの差165.0kcal/secのみ計上。常時全噴気を造成に利用。噴気測定は噴気全量測定。給水はTe-21(廃-4号)の温水、湯の池流出水、その他沢水を利用。逆算平均給水温度は31.8℃になる。

****Te-22, Te-23の放熱量計116.5kcal/secと噴気井測定熱量(噴気全量測定)114.2kcal/secとの合計を差し引き90.0kcal/secのみ温泉放熱量として計上。()内数値

↑ いずれも河川による放熱量として算出、別紙計算書参照。

霧島南部地域放熱量調査報告(湯原浩三・牛島恵輔)

造成泉温 ℃	湧出量 l/min	湧出熱量 kcal/min	放 熱 量		備 考	調 査 年月日
			kcal/min	kcal/sec		
	300	10,200	6,300	**** 105.0	Te-24 造成槽へ給水	49.12.8
	23	989	690	**** 11.5	Te-24 造成槽へ給水	49.12.8
65	370	24,050	19,240 (5,400)	**** 320.7 (90.0)	噴気井調査第2表 No.4 の一部 造成水は Te-22, Te-23 の湧出温水 (35℃) を給水	49.12.8
	15	720	525	8.8		49.12.8
	300	8,700	1,800	30.0		49.12.7
	50	1,100	450	7.5		49.12.7
	2,552.6	137,070	74,101	1,235.2		
	60	4,600	3,780	63	噴気孔周囲の泥土の堆積状況及び季節によりかなり変動あり	50.1.8
	2	30	4 (0)	0.1 (0)	おしろ池へ流入	50.1.8
	120	2,640	1,080	18.0		50.1.8
	120	3,480	1,920	32.0		50.1.8
	302	10,750	6,780	113.1		
	5	445	380	6.3		49.12.8
	148	9,324	7,400	123.2†		49.12.8
	54	4,810	4,104	68.4		49.12.8
	14,224	207,670	29,718	495.3†		49.12.8
	40.3	1,707	1,184	19.7†		49.12.8
	14,471.3	223,956	42,786	712.9		
	17,325.9	371,776	123,667	2,061.1		

した。

$$Q = \Sigma (A\bar{Q}_A + B\bar{Q}_B + C\bar{Q}_C) \quad (5)$$

$\bar{Q}_A, \bar{Q}_B, \bar{Q}_C$ は各階級内での単位面積あたりの放熱量の平均値である。噴気地より湧出する熱水については、別に測定して前節の温泉による放熱量の項に入れた。

第4表は各測定地域ごとの測定結果であり、第9, 10, 11, 12図は各噴気地の形状と放熱量を示したものである。噴気地の全面積は13,400m²で調査地域全面積2.721km²の約0.5%であるが、放熱量は19×10⁹ kcal/secで、後述するように全体に対する割合は大きい。

第4表 噴気地放熱量調査結果

地 域	面積m ²	放熱量 kcal/sec
山ノ城	3,230.0	4,169.7
鳥地獄	1,330.0	1,620.1
手洗	903.1	6,528.3
湯の池 上の池	6,011.8	4,687.8
湯の池 下の池	1,922.3	1,908.8
計	13,397.2	18,914.7

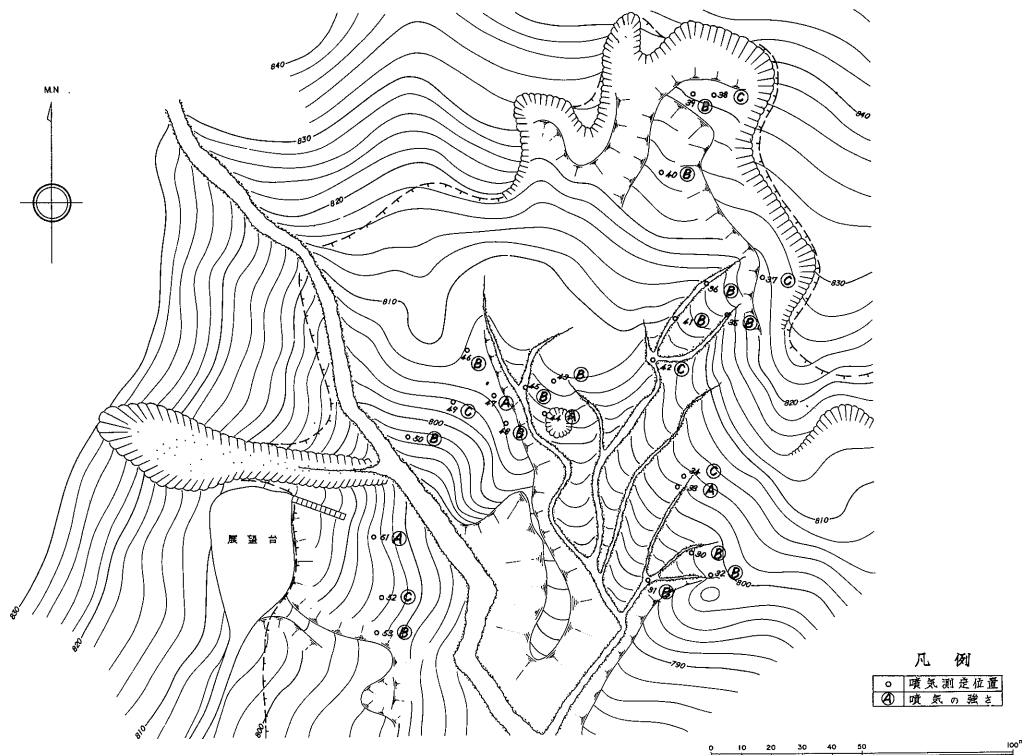
7. 湯沼からの放熱量

調査地域には湯の池(上, 下), おしろ池の3つの湯沼がある。湯の池はカルデラ状の沼であり、沼の長軸はNE-SW方向に延びていて、上の池, 下の池に分れている。下の池は流出口に泥流出防止のための割石投入による堰があり、広く温水を湛えている。上の池は下の池の北側にあり、沼底が下の池より高く、湛水面積は小さいが表面水温は高い。

おしろ池は鳥地獄の南東部にあり、その南端部は小さな爆裂火口跡で、北部は地滑りによる流出土で堰止められたものであり、沼中に多数の立枯れ樹木が残っている。表面水温は湯の池に比して低い。

これらの各池で池面5カ所で蒸発皿により蒸発量を測定し、須川(1960)によって与えられた水温と蒸発量の関係式の係数を定めた。測定結果を第5表、第13図に示す。結局、表面水温T(°C)から蒸発量V(cc/m²・min)を算出する式として次式を用いた。

$$V = 3.634 \times 10^{-4} \times T^{3.042} \quad (6)$$



第10図 手洗噴気地測定位置図

霧島南部地域放熱量調査報告(湯原浩三・牛島恵輔)

第5表 蒸発量測定結果

1) 湯の池一上の池蒸発量測定結果

皿 No.		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	単 位	
項目								
蒸発皿内平均温度		34.5	36.7	44.9	37.7	34.5	℃	
蒸発皿外平均温度		38.6	38.9	47.7	38.8	41.3	℃	
蒸発皿中蒸発高		1.01	1.04	1.87	1.07	0.94	cm	
蒸 発 量		21.7	23.4	40.2	23.7	18.1	cc/m ² ·min	
測定開始及び終了		s. 49. 11. 20 9h 15m-17h 00m (晴)						
時刻	9h 15m	11h 00m	13h 00m	15h 00m	17h 00m		地上高	
气温	9.0, 9.0	10.0, 10.3	12.0, 12.0	10.6, 11.0	9.4, 9.4		1m, 0.5m	
湿度	85, 85	81, 79	80, 80	79, 79	73, 73		1m, 0.5m	
气压	920.0	920.0	919.0	917.7	917.2		mb	
风速	0	0.9	0	0.8	0.7		m/sec	

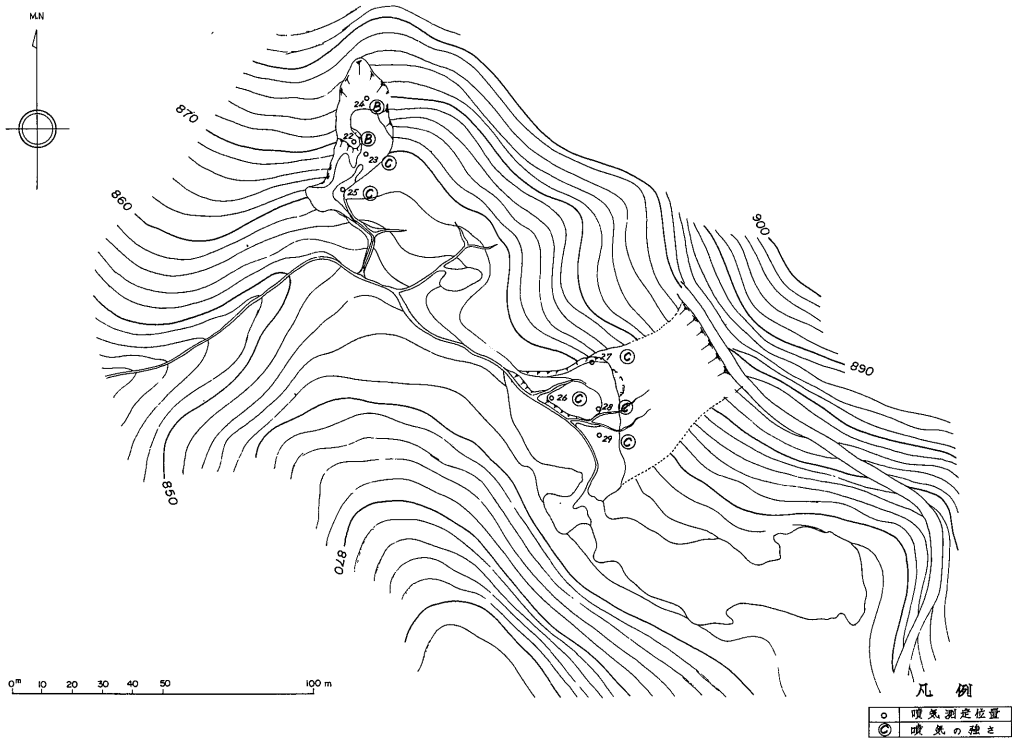
2) 湯の池一下の池蒸発量測定結果

皿 No.		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	単 位	
項目								
蒸発皿内平均温度		38.3	34.9	25.9	41.3	23.1	℃	
蒸発皿外平均温度		43.2	36.3	28.1	50.2	23.9	℃	
蒸発皿中蒸発高		1.20	1.04	0.33	1.50	0.30	cm	
蒸 発 量		23.5	20.4	6.5	29.4	5.9	cc/m ² ·min	
測定開始及び終了		s. 49. 11. 19 8h 30m-17h 00m (晴)						
時刻	8h 30m	10h 00m	12h 00m	14h 00m	16h 00m	17h 00m		
气温	6.0, 5.6	8.0, 7.7	9.6, 9.9	9.3, 9.3	8.7, 8.2	7.8, 7.7		
湿度	91, 85	88, 74	65, 81	86, 82	76, 78	92, 92		
气压	922.2 mb	922.4	922.2	921.5	921.2	921.0		
风速	2.55	0	0.85	2.25	0.8	0.8		

气温, 湿度: 左 地上1.0m, 右 地上0.5mの値

3) おしろ池蒸発量測定結果

皿 No.		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	単 位	
項目								
蒸発皿内平均温度		16.2	17.6	13.9	18.8	55.2	℃	
蒸発皿外平均温度		17.6	18.6	14.6	19.7	60.4	℃	
蒸発皿中蒸発高		0.20	0.23	0.17	0.20	2.60	cm	
蒸 発 量		4.2	4.8	3.5	4.2	54.2	cc/m ² ·min	
測定開始及び終了		s. 49. 11. 21 9h 00m-17h 00m						
時刻	9h 00m	11h 00m	13h 00m	15h 00m	17h 00m		地上高	
气温	8.2, 8.8	9.2, 9.4	8.4, 8.4	7.4, 7.4	5.8, 5.6		1m, 0.5m	
湿度	70, 68	66, 61	61, 63	71, 76	64, 67		1m, 0.5m	
气压	918.0 mb	918.0	917.0	917.0	917.8		mb	
风速	4.0	2.6	3.0	2.5	2.8		m/sec	



第11図 鳥地獄噴気地測定位置図

第6表 湯の池一上の池放熱量計算結果

(a) 蒸発による放熱量

ブロック No.	面積 m ²	平均水温 °C	1 m ² 当りの蒸発量 cm ³ /min	蒸発量 cm ³ /min	気化熱 cal/g	放熱量 kcal/min
A	4.0	54.8	70.8	283	566	160.178
B	4.0	50.1	53.9	216	569	122.904
C	290.0	41.8	31.0	8,990	574	5,160.260
D	110.0	35.5	18.9	2,079	577	1,199.583
E	110.0	39.2	25.5	2,805	575	1,612.875
合計	518.0	8,255.800 kcal/min = 137.597 kcal/sec				

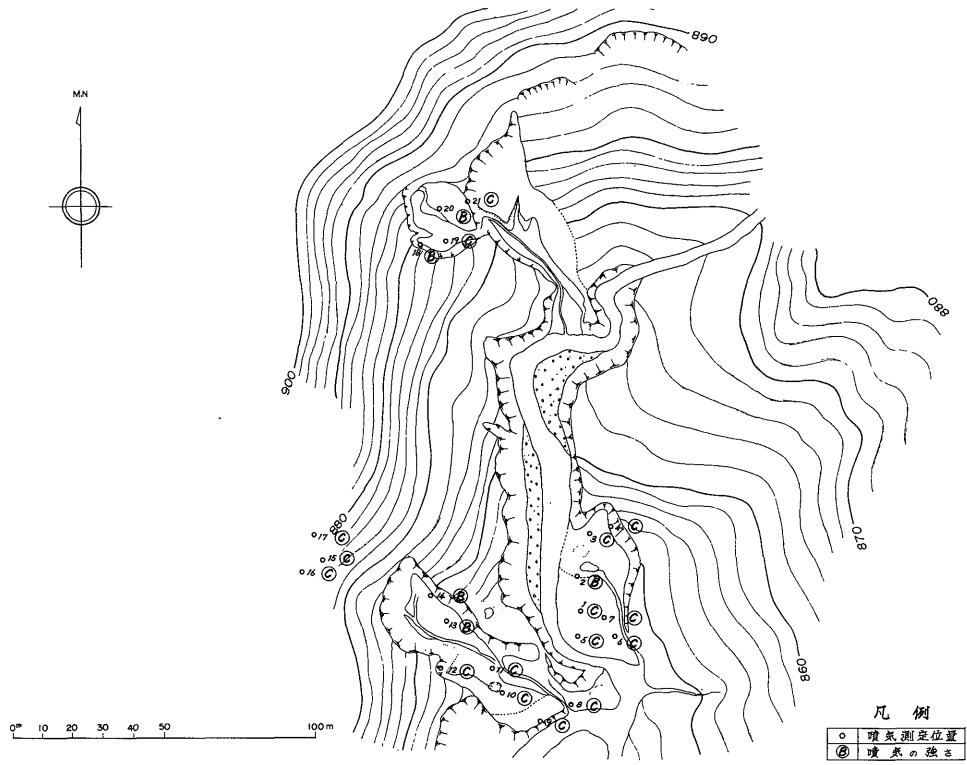
(b) 流出高温水による放熱量

平均幅 cm	平均深さ cm	平均流速 cm/sec	流出量 l/sec	平均温度 °C	流出熱量 kcal/sec	放熱量 kcal/sec
190.0	6.75	4.34	5.566	33.8	188.131	115.773

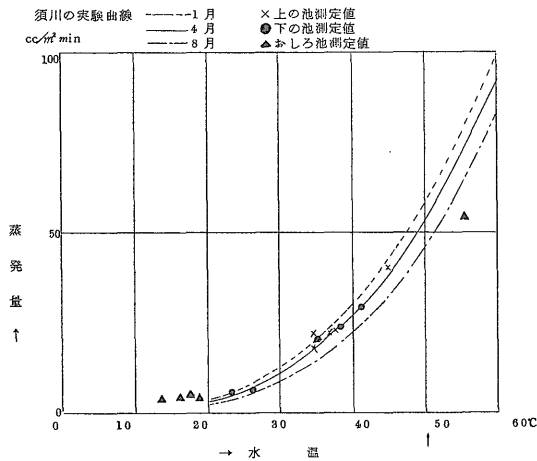
(基準地下水温を13°Cとする)

(c) 全放熱量

蒸発による放熱量 kcal/sec	流出高温水による放熱量 kcal/sec	上の池総放熱量 kcal/sec
137.597	115.773	253.370



第12図 山ノ城噴気地測定位置図



第13図 水温と蒸発量の関係

表面水温は上の池は5m×5m,下の池は5m×10m, おしろ池は5m×5mごとにサーミスタ温度計により測定した。次に温度分布図により温度別の小区分に分け(第14, 15図), 次式から蒸発による放熱量Qを算出した。

$$Q = \sum S_i V_i H_i \quad (7)$$

ここに S_i は小区分の面積 (m^2), V_i は小区分の平均温度から(6)式を用いて算出した蒸発量 ($cc/m^2 \cdot min$), H_i は小区分の平均温度に対する気化熱 (cal/g) である。放熱量の算出結果を第6, 7, 8表に示す。

湯の池の上の池から流出した湯は下の池に入り, 下の池からは手洗地区の方へ流出がある。おしろ池からも北西方向へ流出があるが, 各池共調査地域外からの高温水の流入はない。上の池から流出し下の池へ流入する分については, 上の池の放熱量に加え下の池の放熱量から差引いた。

蒸発と高温水流出による放熱量を合わせたものも全放熱量として第6, 7, 8表に示す。

第7表 湯の池一下の池放熱量計算結果

(a) 蒸発による放熱量

ブロック No.	面積 m ²	平均水温 ℃	1 m ² 当りの 蒸発量 cm ³ /min	蒸発量 cm ³ /min	気化熱 cal/g	放熱量 kcal/min
A	85.0	33.5	15.8	1,343	578	776.254
B	260.0	31.9	13.6	3,536	579	2,047.344
C	25.0	30.3	11.7	293	580	169.940
D	20.0	30.7	12.1	242	580	140.360
E	60.0	56.1	76.0	4,560	566	2,580.960
F	5,910.0	26.8	8.0	47,280	582	27,516.960
G	40.0	24.1	5.8	232	583	135.256
H	10.0	24.9	6.4	64	583	37.312
I	130.0	24.4	6.0	780	583	454.740
J	30.0	34.2	16.9	507	578	293.046
合計	6,570.0	34,152.172 kcal/min = 569.203 kcal/sec				

(b) 流入・流出高温水による熱量

	平均幅 cm	平均深さ cm	平均流速 cm/sec	流量 l/sec	平均温度 ℃	熱量 kcal/sec	放熱量 kcal/sec
流入	190.0	6.75	4.34	5.566	33.8	188.131	-115.773
流出	70.0	4.63	50.0	16.200	23.8	385.560	174.960
				10.634	合計		59.187

(基準地下水温を13℃とする)

(c) 全放熱量

蒸発による放熱量 kcal/sec	高温水による放熱量 kcal/sec	下の池総放熱量 kcal/sec
569.203	59.187	628.390

第8表 おしろ池放熱量計算結果

(a) 蒸発による放熱量

ブロック No.	面積 m ²	平均水温 ℃	1 m ² 当り 蒸発量 cm ³ /min	蒸発量 cm ³ /min	気化熱 cal/g	放熱量 kcal/min
A	2.0	60.2	94.2	188	563	105.844
B	8.0	30.3	11.7	94	580	54.520
C	6.0	26.6	7.9	47	582	27.354
D	10.0	27.1	8.3	83	582	48.306
E	1,663.0	21.6	4.2	6,985	584	4,079.240
F	2.2	19.9	3.2	7	585	4.095
G	16.0	18.8	2.7	43	585	25.155
H	24.0	19.7	3.1	74	585	43.290
I	24.0	32.0	13.8	331	579	191.649
J	50.0	26.1	7.4	370	582	215.340
K	90.0	21.6	4.2	378	584	220.752
L	12.0	26.1	7.4	89	582	51.798
M	252.0	19.3	3.0	756	585	442.260
合計	2,147.2	5,509.603 kcal/min = 91.827 kcal/sec				

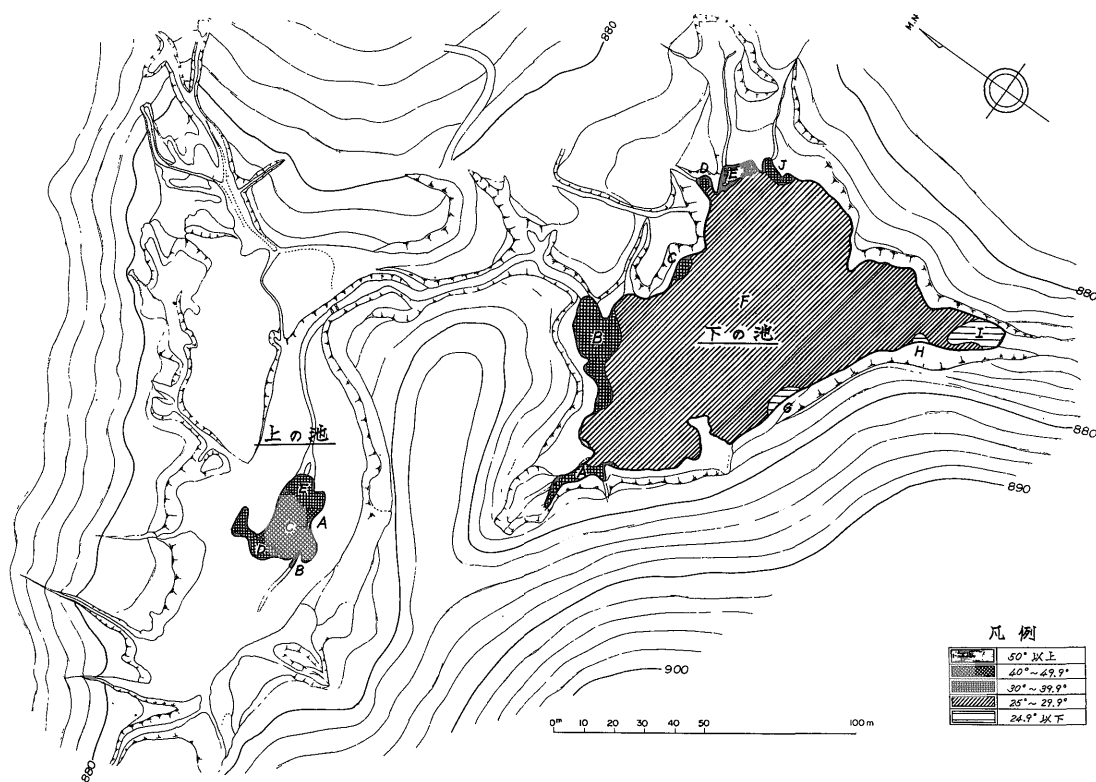
(b) 流出高温水による放熱量

平均幅 cm	平均深さ cm	平均流速 cm/sec _i	流出量 l/sec	平均温度 ℃	流出熱量 kcal/sec	放熱量 kcal/sec
19.3	2.25	23.3	1.012	16.5	16.698	3.542

(基準地下水温を13℃とする)

(c) 全放熱量

蒸発による放熱量 kcal/sec	高温水による放熱量 kcal/sec	おしろ池総放熱量 kcal/sec
91.827	3.542	95.369



第14図 湯の池表面水温分布図

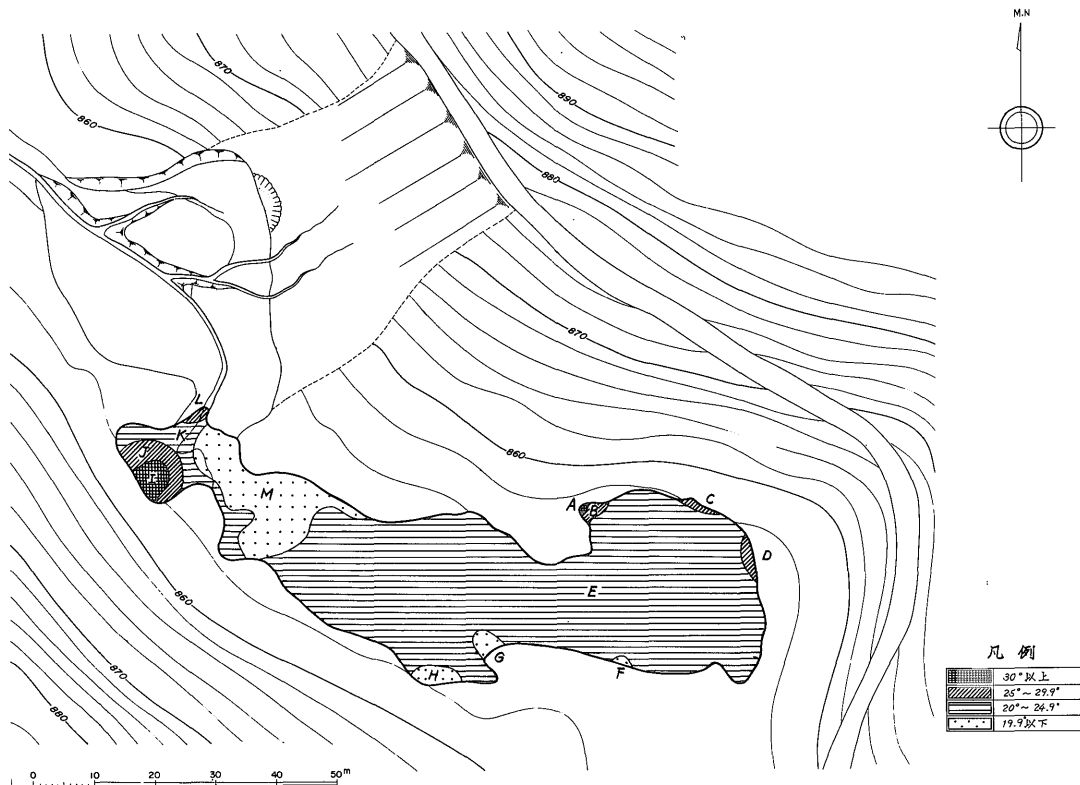
8. 総放熱量と調査地の熱構造

熱伝導, 噴気井, 噴気地, 湯沼, 温泉により放出される熱量をとりまとめたものが第9表である. 調査地からの総放熱量は13℃基準で25,580.9 kcal/secに達し, 温泉の熱階級にしてVIである. 調査面積に比して放熱量は大きく, 地下に大きな地熱資源の存在が推定される.

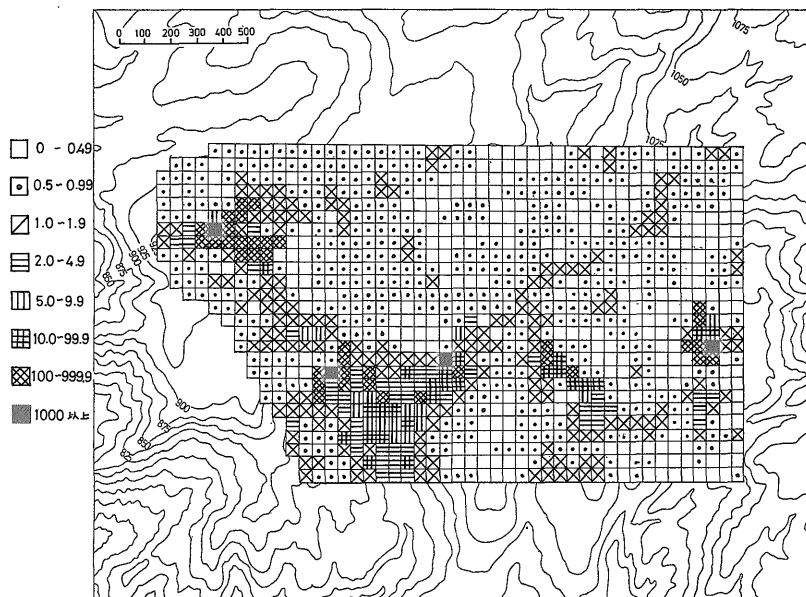
本調査地では噴気地からの放熱量が全体の74%にも達

し, 浅いボーリングによって強勢な噴気井が出現していることと併せて考えると, 比較的浅い地下に有力な蒸気層が存在していることは確実である.

熱伝導, 噴気井, 噴気地, 湯沼, 温泉による放熱量をあわせて全放熱量分布図を作成した. これは, 調査地域を50m×50mの正方形区画に分割し, 各区画の放熱量の合計を次に示すZ及びA-Hの階級に分けて図示したものである. 階級分類は次のとおりである.



第15 図おしろ池表面水温分布図



第16図 全放熱量分布図 (kcal/2,500 m²·sec)

第9表 放熱量一覧 (13°C基準)

放熱の種類	調査量	放熱量 kcal/sec	割合%
熱伝導	2,721 km ²	1,338.1	5.2
噴気井	11孔	2,289.9	9.0
噴気地	13,400 m ²	18,914.7	73.9
湯沼	3	977.1	3.8
温泉	36	2,061.1	8.1
計		25,580.9	100.0

階級	放熱量 kcal/sec · 2500 m ²
Z	-0.5 < Q < 0
A	0 ≤ Q < 0.5
B	0.5 ≤ Q < 1
C	1 ≤ Q < 2
D	2 ≤ Q < 5
E	5 ≤ Q < 10
F	10 ≤ Q < 100
G	100 ≤ Q < 1000
H	1000 ≤ Q

第16図をみれば、全放熱量の高い区域の配列はNE-SW及びNW-SEの互いにはほぼ直交する2方向の何本もの配列線上にある。これらの配列線のうちNW-SE方向の湯の池と手洗を結ぶ線、及びその東側の線を北に延長した線上に白水越、銀湯の地熱地域がある。また、地表に見られる優勢な地熱徴候はすべて互いに直交する2方向の配列線の交点に位置しており、地下熱構造の方向性が明らかにされた。このような地下熱構造の方向性が地形や地質とは全く独立に、放熱量調査から明らかにされたことは興味深い。

霧島火山群の火口の配列もNW-SE方向であり、このNW-SE方向はこの地域の大きな構造を支配する方向と

みることができる。霧島南部地域の地熱現象もこの大きな構造に支配されていることは当然であろう。

今、現在の地熱徴候地以外で、ボーリングによって優勢な地熱流体を噴出させることの出来る場所を予想するとすれば、上述の配列線上、あるいはその近傍にあると思われる。配列線の交点付近は一層有望であるかもしれない。一般的にいて、霧島地域の噴気活動は南西方より北東の霧島火山本体に近づくほど激しいことがすでに沢村ほか(1957)によって指摘されているから、将来の地熱開発地点は霧島火山本体になるべく近く、かつ上述の配列線上に求めるべきであろう。

終りに、本調査を担当された日鉄鉱コンサルタント株式会社の内山久男技術部長はじめ各位に深い感謝の意を表する。
(提出：1977年1月26日)

文 献

- 地熱調査班(1955) 鹿児島県霧島地熱地帯調査報告。地調月報, vol. 6, p. 605-610.
- 鹿児島県温泉研究会(1964) 鹿児島島の温泉(霧島火山地域の温泉—その2)。鹿児島県, 52p.
- 日本地熱調査会(1974) 地熱調査ハンドブック. p. 69-78.
- 沢村孝之助・松井和典(1957) 5万分の1地質図幅(霧島山)および同説明書。地質調査所, 58 p.
- 須川 明(1960) 高温な水面からの蒸発量。北海道大学地球物理学研究報告, 第7号, p. 63-70.
- 湯原浩三(1976) 地温探査法について。物理探鉱, vol. 29, p. 44-54.

(受付：1979年11月20日；受理：1980年5月12日)