

## 阿蘇垂玉・湯の谷地域放熱量調査報告

湯原 浩三\* 牛島 恵輔\*

YUHARA, K. and USHIJIMA, K. (1980) Underground temperature surveys and thermal discharge measurements at Tarutama and Yunotani Geothermal Areas near Aso Volcano. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 31(11), p. 553-566.

**Abstract:** Underground temperatures in 1 meter and 10 meter depths were measured at Tarutama and Yunotani Geothermal Areas. Temperature distributions showed a fairly good correspondence with that of geothermal manifestations, and a directional pattern which may be referred to the geological structures of these areas. Total heat discharges by many kinds of heat transfer processes are  $0.7 \times 10^6$  cal/sec at Tarutama and  $1.0 \times 10^6$  cal/sec at Yunotani. These are rather small, considering that they are located near the large active volcano, Aso.

### 要 旨

阿蘇火山中央火口丘の西麓にある垂玉, 地獄, 湯の谷の地熱地域で昭和49年10月23日から昭和50年1月30日までの間, 地温調査と放熱量調査が行われた。地温調査は1m深317地点, 10m深20地点で行われた。地温の水平分布は地表での地熱徴候の分布とほぼ一致しているが, 北西-南東の方向性も認められた。放熱量は熱伝導, 噴気地, 噴気井, 湯沼からのものを併せると垂玉地区で  $0.7 \times 10^6$  cal/sec, 湯の谷で  $1.0 \times 10^6$  cal/secであった。これらの値は温泉の熱階級であらわすといずれもⅢに相当し, 阿蘇火山という巨大な活火山の近傍にあるわりにはそれほど大きなものではない。また, 放熱量の大部分は温泉と噴気井からのものでしめられている。

### 1. 緒 言

阿蘇カルデラ内には内牧, 戸下, 栃木等の火口原やそこを流れる川に沿って湧出する温泉と湯の谷, 垂玉, 地獄等のように中央火口丘の山麓に湧出する温泉がある。後者は前者に比して高温で噴気をとめない地熱活動が盛んであると思われる。

垂玉地区と湯の谷地区では昭和49年10月23日から昭和50年1月30日にかけて地温調査と放熱量調査が行われた。調査内容と調査位置はそれぞれ第1表, 第1図に示す。

垂玉地区は地獄地区も含めて標高700-900mの高さにあり, 第2図にみられるように地区中央部より東側は標高800-840m程度の起伏の少ない高原状の地形であって

\*九州大学工学部, 地殻熱部併任

第1表 熊本県阿蘇地域放熱量調査実施内容  
(数字は調査数)

調査項目	地 区		湯 の 谷	
	垂 玉	地 獄	吉 岡	湯 の 谷
1m深地温分布	208		109	
10m深地温分布	20			
表層熱伝導率測定	36		16	
噴気地放熱量	3	20		3
噴気井放熱量				1
温泉放熱量	8	8	1	5
湯沼蒸発量				6
湯沼表面温度				178

牧草地として利用されている。西側半分は東側に比べて傾斜が急であるが, その中の比較的ゆるやかな部分に垂玉の温泉旅館がある。地表は黒色又は黒褐色の火山灰質表土におおわれているが, 所々に安山岩が露出し急崖を形成している。この地区内には直径約150mの小爆裂火口があり底部に水がたまって牛の水飲み場となっている。また, 変質帯も数多く散在している。

湯の谷地区は第3図にみられるように720-880mの高度の高原であって, 北部には直径約250mの爆裂火口がある。地表は黒色又は黒褐色の火山灰質におおわれ, 樹木や灌木が密生している。火口の中には雀地獄などの湯沼があり, 火口から北西に流れる小流に沿って諸所に小規模な変質帯がある。また, 湯の谷の南方約600mのところには通称吉岡温泉といわれる地域があつて横穴より温泉が湧出している。



第1図 調査地域位置図

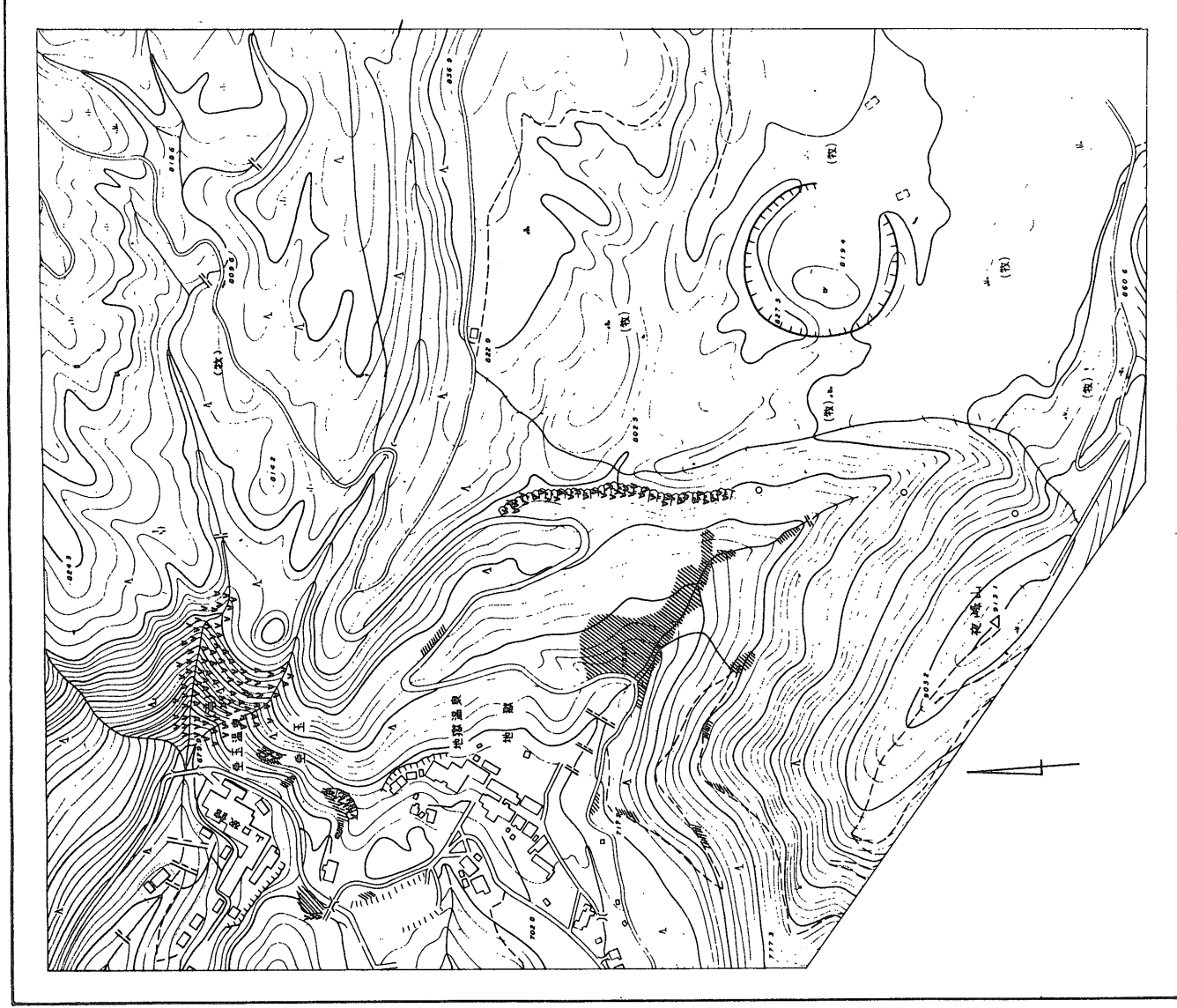
2. 1m 深地温分布

垂玉地区で208地点、湯の谷地区で109地点計317地点で0.5m深と1m深地温を測定した。年変化補正は垂玉では10月25日、湯の谷では11月2日の地温を基準として行われた。第4図、第5図にそれぞれの地域の1m深地温分布を示す。

第4図を見れば17℃以上の高温部が垂玉温泉から南東方に地獄温泉を経てその背後の変質帯の方へ延びていることが明瞭に認められる。地獄温泉背後の変質帯では20℃以上の所が7点、そのうち50℃以上の所が3点もあり最高は94℃あった。垂玉温泉の周辺でも20℃以上の所が

数点あった。これらの高温地点は噴気・温泉等の地表微候のある場所とほぼ一致している。

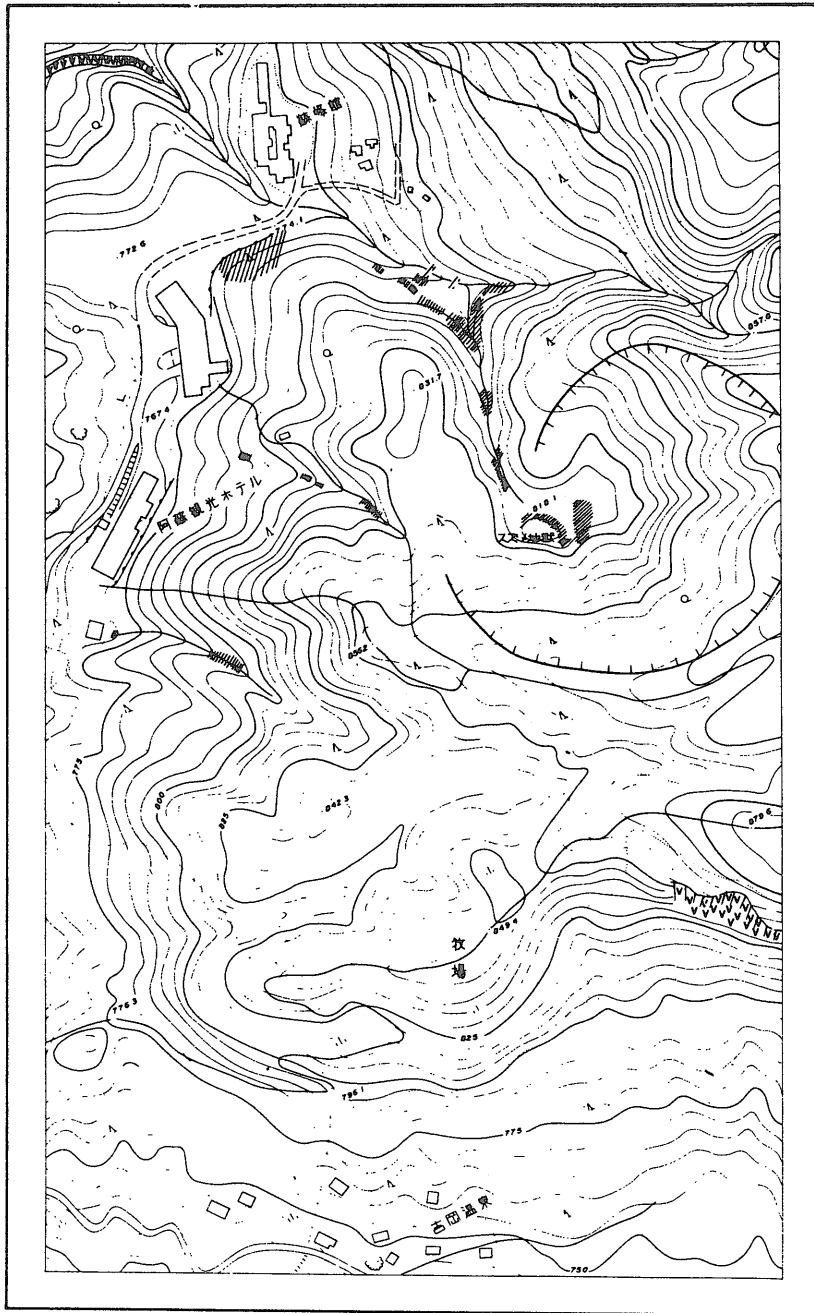
湯の谷地区の1m深地温分布も地表の地熱微候の分布とほぼ一致するが、それ以外に吉岡温泉の北東約300mの地点で26.4℃を観測した。この地点は地表微候は何も認められないが、湯の谷より北西流する谷の延長線上にあって、湯の谷地区の熱構造をあらわす一つの示徴であるかもしれない。



阿蘇地域放射熱量調査  
垂玉地区

- 火山岩
- ⊙--- 旧火口
- 遊歩帯

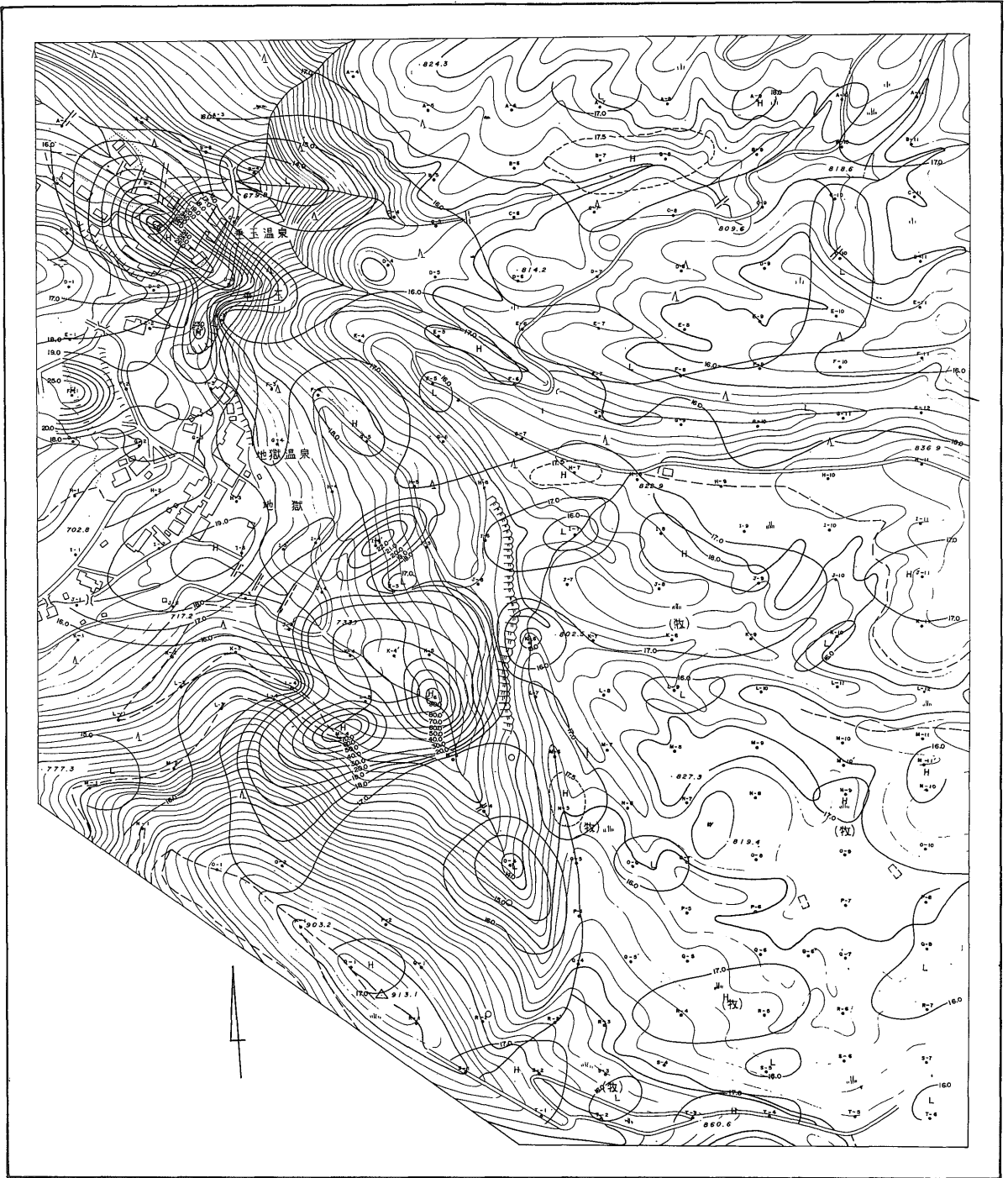
第2図 垂玉地区の地形と地質



阿蘇地域放熱量調査  
湯の谷地区

- 守山岩
- ⊙--- 内火口
- ///--- 荻藪帯

第3図 湯の谷地区の地形と地質

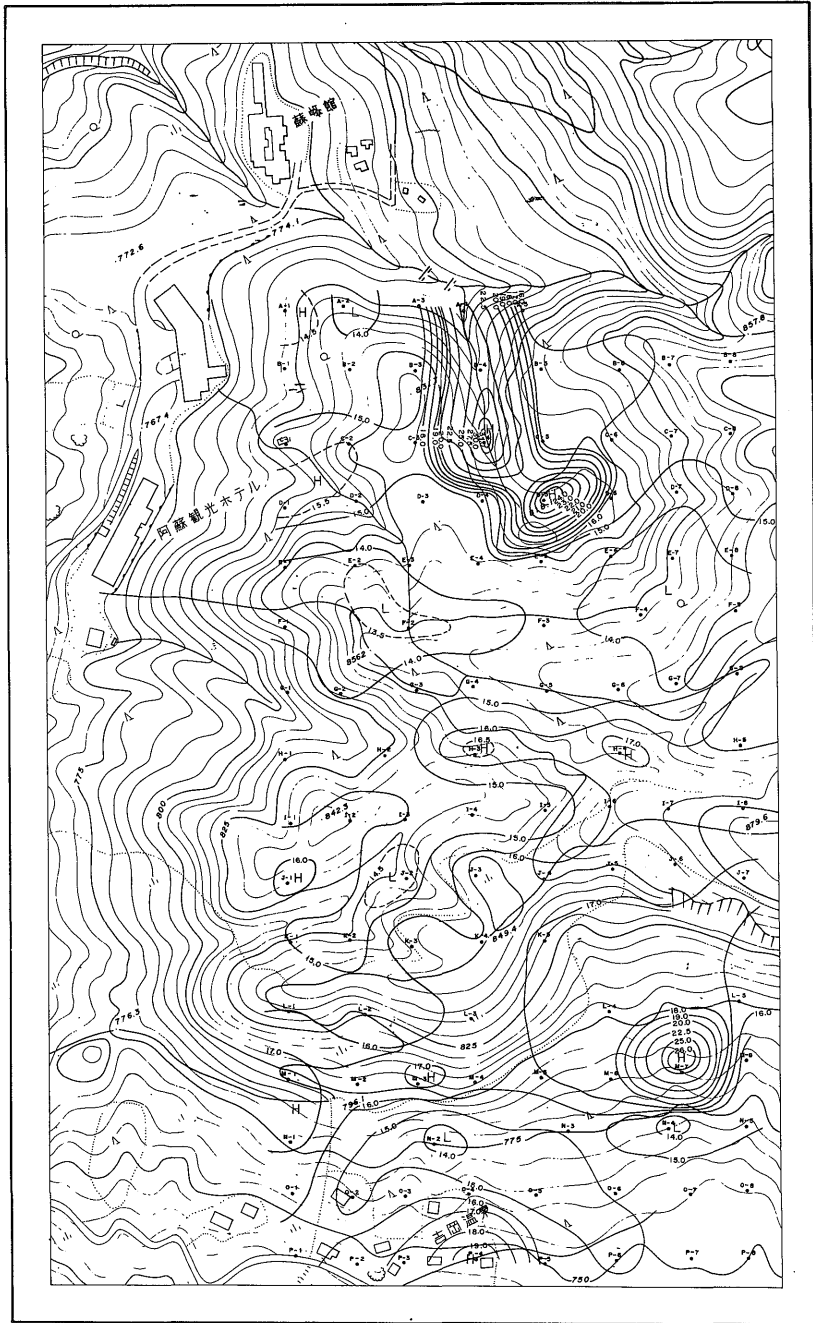


阿蘇地域放熱量調査

垂玉地区



第4図 垂玉地区の1m深地温分布図(単位℃)



阿蘇地域放熱量調査  
湯の谷地区

0 50 100 150m

第5図 湯の谷地区の1m深地温分布図(単位 °C)

### 3. 10 m 深地温分布

垂玉地区で第6図に示した20地点で10mの孔を掘り、24時間以上放置した後、サーミスタ温度計によって各孔内で1mおきに10点づつ温度を測定した。

季節変化の影響を除去するため、最初の孔井において、温度分布測定後、5m深と1m深にサーミスタ温度計を埋設し、固定観測点として連続観測を行った。1月14日に固定観測点で測定した1m深、5m深地温、及びそれらから内挿した2, 3, 4m深地温を基準地温と定め、他の日に測定した固定観測点の地温との差をとって、各測定日の各深度での補正項を求めた。5m深での最大補正量は0.2°Cであり、6m深の補正量はほぼ0と見なすことができる。

第6図に示された10m深地温分布を見れば、地獄温泉東方の噴気地域を中心に高温帯が存在するが、特に顕著な方向性は認められない。ただし垂玉温泉では10m深の測温は行われなかったので、1m深地温分布で見られた垂玉温泉から地獄温泉を経て東南方に延びる高温帯が見掛上かくされているのかもしれない。

### 4. 熱伝導による放熱量測定

1m深地温測定孔を利用し、熱伝導率測定棒を用いて表層熱伝導率を測定した。熱伝導率の算出にあたっては温度-時間曲線の直線部分のみを用いた。測定数は垂玉地区36点、湯の谷地区16点、計52点で、得られた結果は $0.45 \sim 2.01 \times 10^{-3} \text{ cal/sec} \cdot \text{ deg} \cdot \text{ cm}$ の範囲にあった。

次に、熱伝導による熱流量の算出には次式を用いた。

$$q_i = K_i \left\{ \left( \frac{\partial T}{\partial Z} \right)_i - \left( \frac{\partial T_0}{\partial Z} \right)_0 \right\} \quad (1)$$

ここに、 $K_i$ は測定点の熱伝導率、 $(\partial T/\partial Z)_i$ は測定点の温度勾配、 $(\partial T_0/\partial Z)_0$ は標準点の温度勾配である。温度勾配は1m深地温と0.5m深地温の差から求め、標準点の温度勾配はその温度差と1m深地温の相関図より求めた。その結果、垂玉地区では

$$q_i = K_i \left\{ \left( \frac{\partial T}{\partial Z} \right)_i - 1.6 \times 10^{-3} \right\} \quad (2)$$

湯の谷地区では

$$q_i = K_i \left\{ \left( \frac{\partial T}{\partial Z} \right)_i - 1.4 \times 10^{-3} \right\} \quad (3)$$

より $q_i$ を計算した。かくして、得られた $q_i$ の分布を第7図、第8図に示す。分布の傾向は1m深地温分布の傾向とよく似ている。

調査地域全体からの熱伝導による放熱量 $Q$ は

$$Q = \sum_i S_i \bar{q}_i \quad (4)$$

より求めた。ここに $S_i$ は熱流量分布図において、2本のコンターによって囲まれた面積であり、 $\bar{q}_i$ はこの2本のコンター間の平均の熱流量を表わす。この結果、垂玉地区では、面積0.71 km<sup>2</sup>から169.3 kcal/secが、湯の谷地区では、面積0.30 km<sup>2</sup>から41.2 kcal/secが放出されていることになる。

### 5. 噴気地における放熱量調査

垂玉地区では地獄温泉の東方に面積約5000 m<sup>2</sup>程度の噴気地があり、垂玉温泉のすぐ東にも2, 3の噴気露頭がある(第9図)。

垂玉地区の噴気地において23カ所、ベンゼマン式地熱熱量計で測定を行った。これらの実測値から、噴気孔を3つのクラスに分類し、Aクラス; 平均放熱量3.8 kcal/sec, Bクラス; 平均放熱量1.4 kcal/sec, Cクラス; 平均放熱量0.4 kcal/secとした。

垂玉地区のうち地獄地区では噴気孔はAクラスが10孔、Bクラスが24孔、Cクラスが92孔あったので、それらからの放熱量は合計108.4 kcal/secと推算された。垂玉温泉のすぐ東の噴気地では、放熱量の合計は1.2 kcal/secであったので結局、垂玉地区全体の噴気地からの放熱量として110 kcal/secが得られた。

湯の谷地区の噴気地からの放熱量は実測により、1.9 kcal/secであった。

### 6. 噴気井からの放熱量

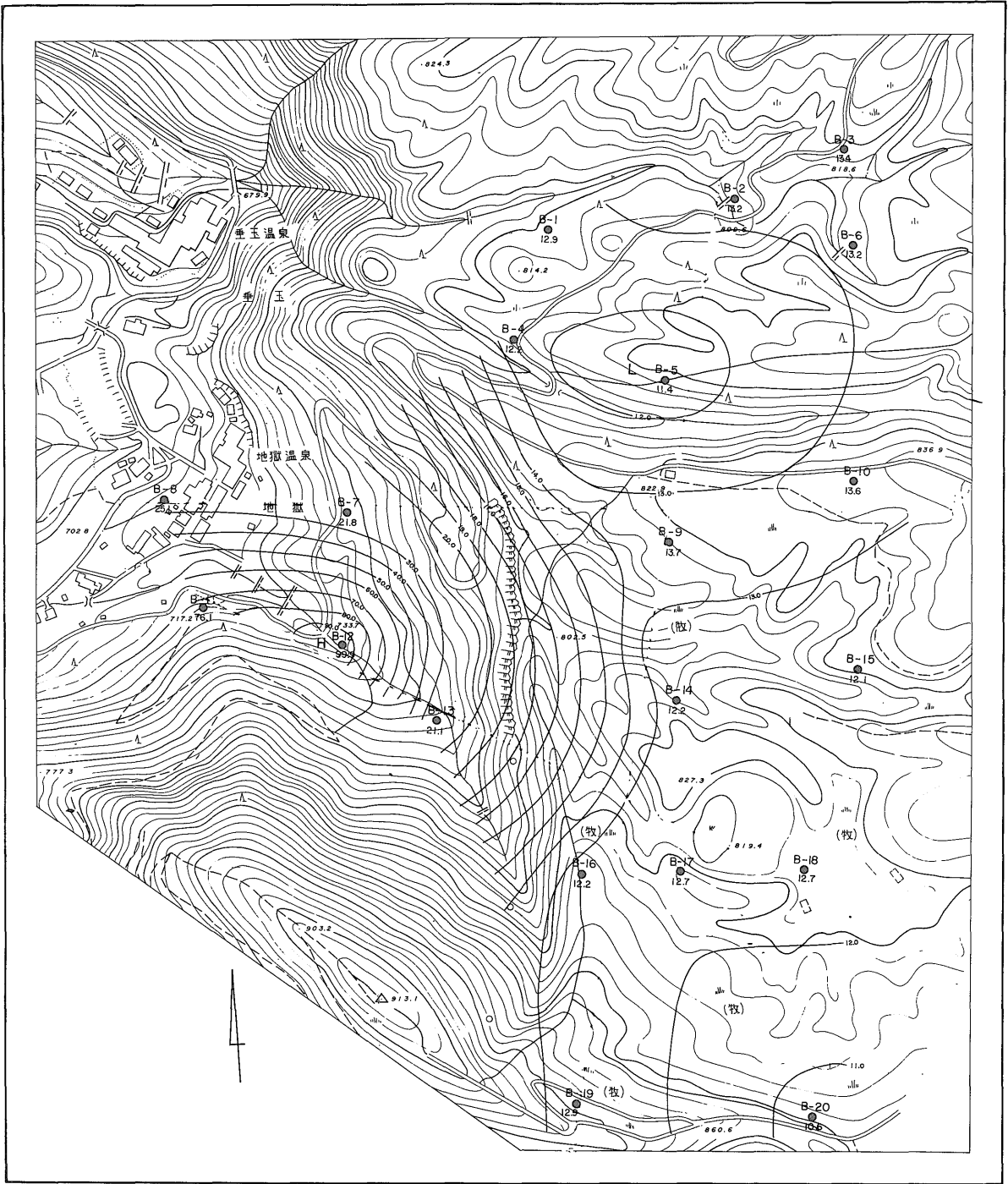
今回の調査地域内では、湯の谷にある噴気井が唯一の噴気井であった。これの放熱量は実測によると750.3 kcal/secであった。

### 7. 湯沼からの放熱量

湯の谷地区の爆裂火口内には4つの湯沼があるが、そのうち雀地獄と称するものが直径30-40 mある他、他は直径数mから10数m程度のものである。これらの湯沼において、赤外線放射温度計を用いて、水面の温度分布を測定した。結果を第10図に示す。一方、直径13.5 cmのビーカー(ガラス製)を第10図に⊗印で示した6地点に置き、ビーカー内にその地点の沼水を入れ、ビーカー内外の水面を同一水位にして2-3時間放置し、その間に蒸発した量を測った。測定結果を第2表に示す。また測定の開始直後と終了直前に気温、温度、風速などの気象観測を実施した。

水面からの蒸発量 $V$ と水温 $T$ との間には、1年間を通じて

$$V = 4 \times 10^{-4} T^3 \quad (5)$$



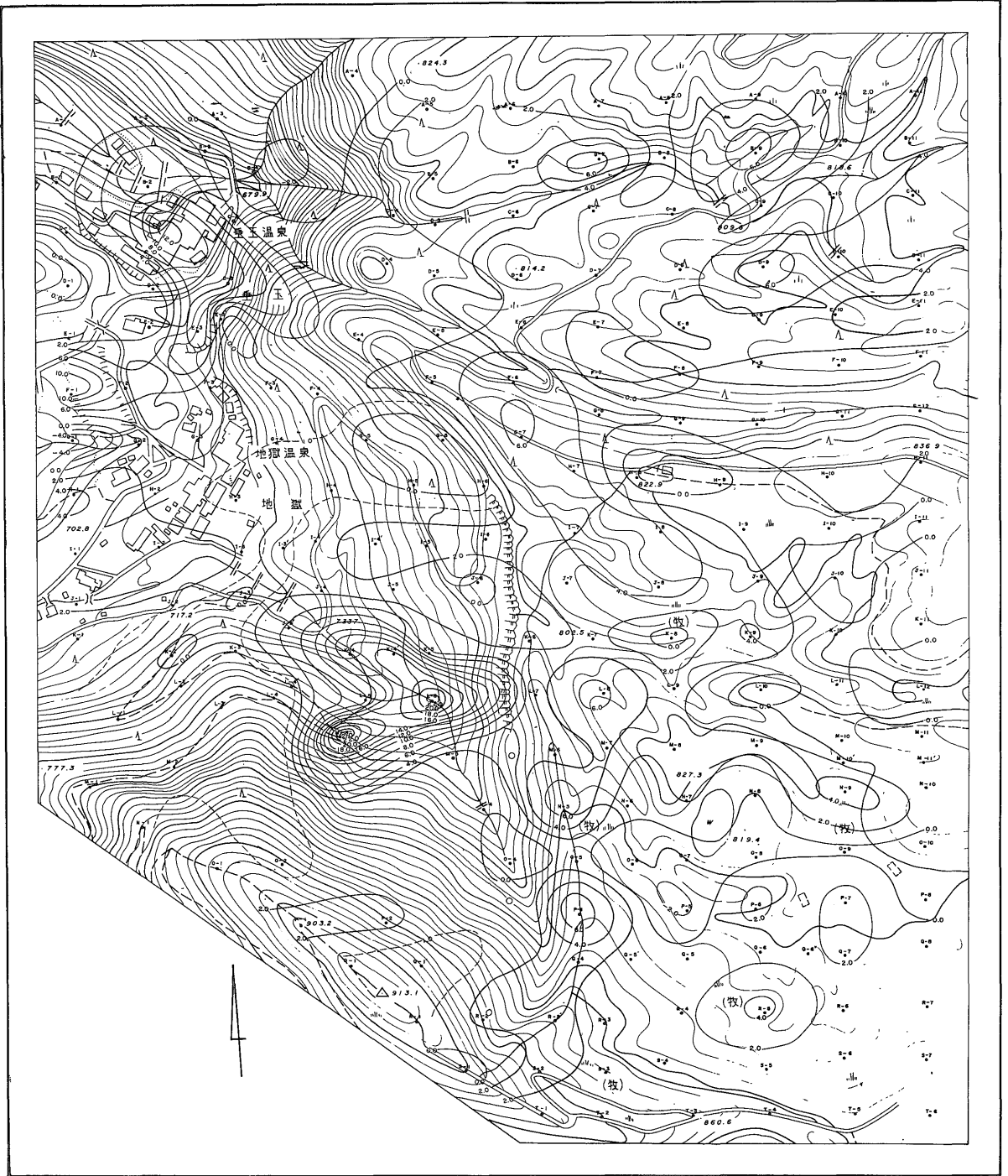
阿蘇地域放熱量調査

垂玉地区



第6図 垂玉地区 10 m 深地温分布图(单位 °C)



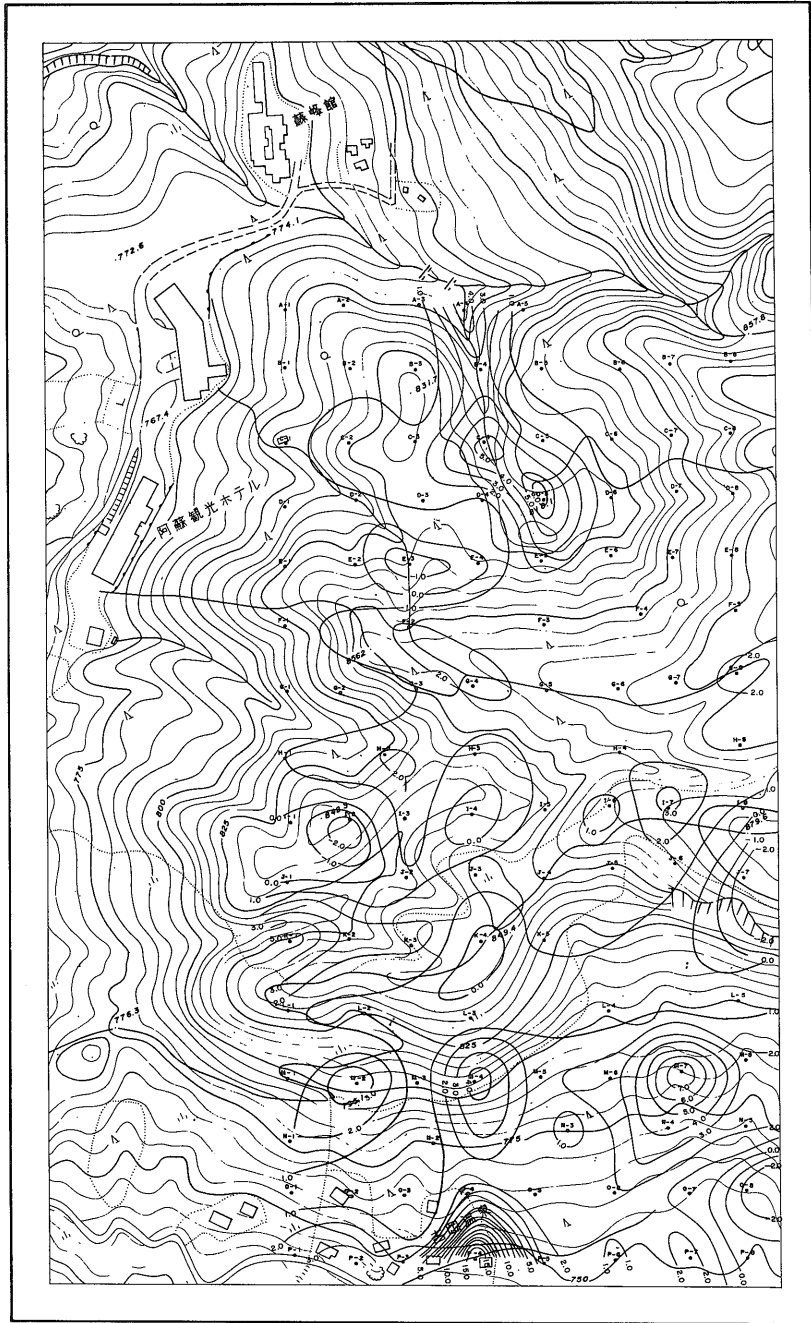


阿蘇地域放熱量調査

垂玉地区

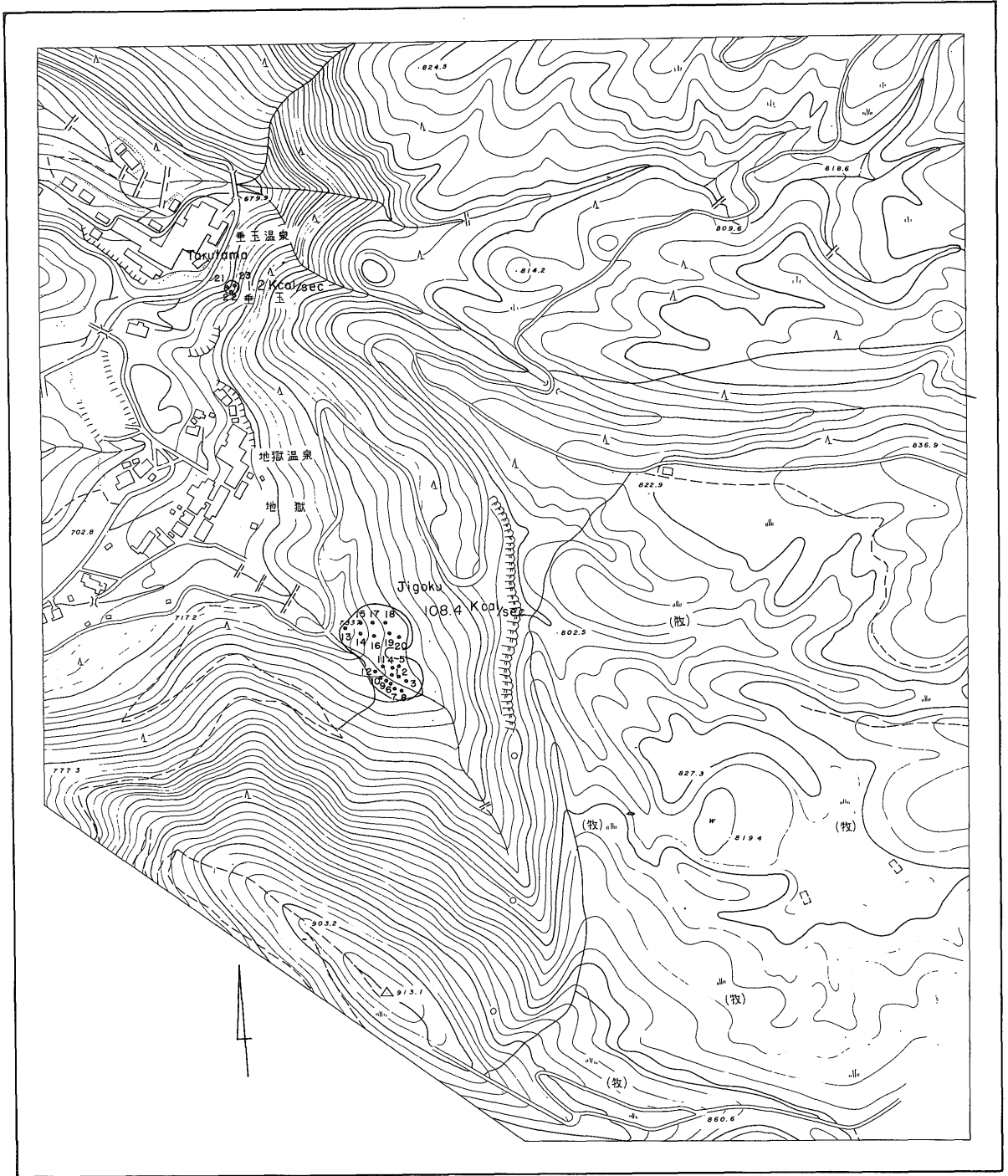


第7図 垂玉地区熱流量分布図（単位×10<sup>-8</sup> kcal/cm<sup>2</sup>・sec）



阿蘇地域放熱量調査  
湯の谷地区

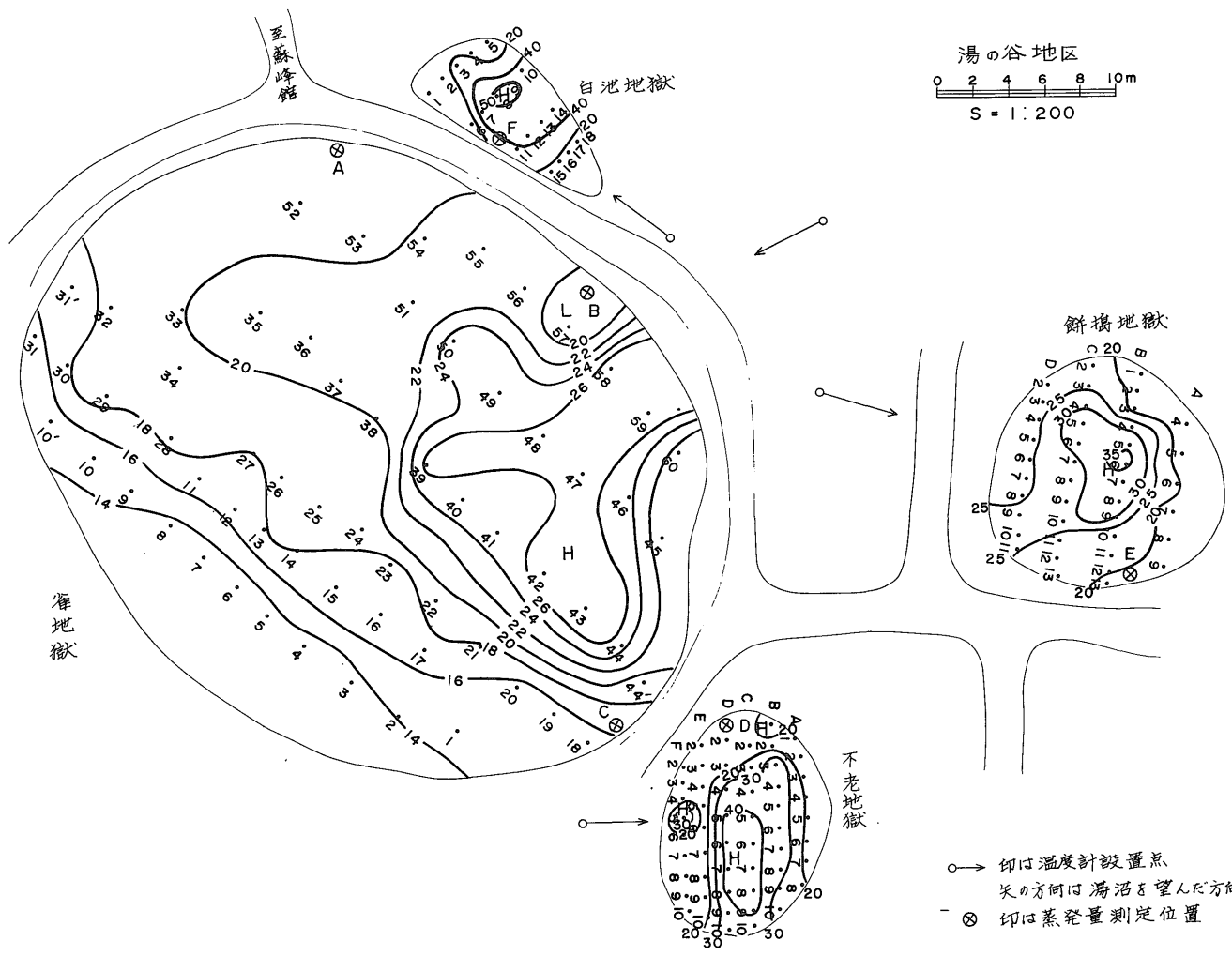
第8図 湯の谷地区熱流量分布図(単位 $\times 10^{-8}$  kcal/cm<sup>2</sup>·sec)



阿蘇地域放熱量調査  
垂玉地区

0 50 100 150m

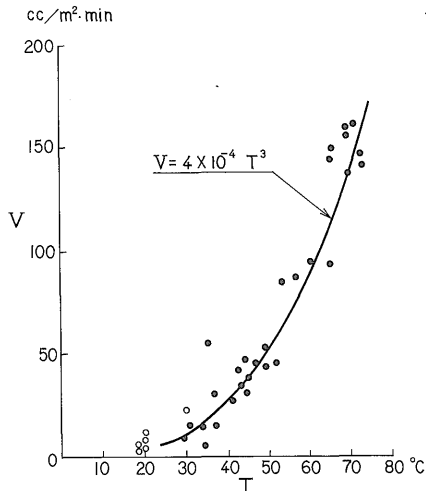
第9図 垂玉地区噴気孔測定位置図



第10図 湯の谷地区湯沼水面温度分布図 (°C)

第2表 湯沼蒸発量測定結果一覧表

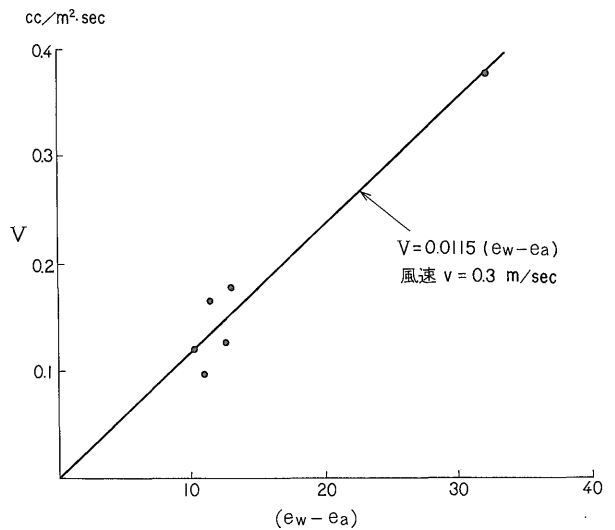
測点	水温	測定時間	蒸発量	容器断面積	単位面積・単位時間当り蒸発量
A	$T = 19.8^{\circ}\text{C}$	3時間=10,800秒	19.0cc	0.0141 m <sup>2</sup>	$V = 0.125 \text{ cc/m}^2 \cdot \text{sec}$
B	18.5	"	18.0	0.0141	0.120
C	19.4	2時間38分=9,480秒	22.0	0.0141	0.165
D	20.3	2時間40分=9,600秒	24.0	0.0141	0.177
E	19.0	2時間50分=10,200秒	14.0	0.0141	0.097
F	30.3	2時間22分=8,520秒	45.0	0.0141	0.375



1年を通じての蒸発量と水温との関係

- 丸 須川の測定
- 丸 今回の測定

第11図 湯沼の蒸発量と水温の関係



V と (e<sub>w</sub> - e<sub>a</sub>) の関係図

第12図 湯沼の蒸発量と水蒸気圧差の関係

の関係がある。また、DALTONの法則によるとVは次式で表わされる。

$$V = \alpha (e_w - e_a) \quad (6)$$

ただし、 $\alpha$ は定数、 $e_w$ は表面水温  $t_w$  に対する飽和水蒸気圧、 $e_a = (e_s \times H) \div 100$ 、 $e_s$ は気温  $t_a$  に対する飽和水蒸気圧、 $H$ は気温  $t_a$  のときの相対湿度である。また、蒸発による放熱量  $Q$  は次式で計算される。

$$Q = l_v \rho V \quad (7)$$

ただし、 $l_v$ は蒸発の気化熱 (cal/gr) で  $0 < T < 180^{\circ}\text{C}$  の範囲では  $l_v = 539.1 - 0.6428(T - 100) - 0.000834(T - 100)^2$ 、 $\rho$ は水の密度である。

第11図は須川の測定結果 (須川, 1960) に今回の測定結果を重ねて表示したものであるが、今回の測定結果も(5)式をほぼ満足している。また第12図よりVと  $(e_w - e_a)$  の関係は、風速  $V = 0.3 \text{ m/sec}$  に対して

$$V = 0.0115(e_w - e_a) \quad (8)$$

なる関係があり、DALTONの法則を満足している。

放熱量の計算は湯沼水面温度分布図の2本のコンター又は、コンターと池のふちによって囲まれた面積をプランイメーターで測定し、この面積内の平均温度(T)に対する蒸発量V(cc/m<sup>2</sup>·sec)を(5)式より求め、(7)式に代入してこれに面積を乗じて放熱量を算出した。

各湯沼の面積と放熱量をまとめたものを第3表に示す。白池地獄の水面温度が最も大きいので、単位面積・単位時間当りの放熱量が、他のものより著しく大きい。

### 8. 温泉による放熱量

垂玉地区には16カ所、湯の谷地区には6カ所の温泉がある。それらの湧出量、泉温を測定し、放熱量を算出した、その結果、基準温度を10°Cとしたときの放熱量は、垂玉地区450.4 kcal/sec、湯の谷地区189.5 kcal/secであった。

第3表 湯沼の放熱量

	面積 (m <sup>2</sup> )	放熱量 (kcal/sec)	単位面積・単位 時間当り (cal/cm <sup>2</sup> ・sec)
雀地獄	1,028.0	33.6	3,268.5×10 <sup>-6</sup>
不老 "	90.9	5.6	6,160.6×10 <sup>-6</sup>
餅搗 "	130.4	8.1	6,211.7×10 <sup>-6</sup>
白池 "	48.6	6.9	14,197.5×10 <sup>-6</sup>
全湯沼	1,297.9	54.2	4,176.0×10 <sup>-6</sup>

第4表 調査地からの総放熱量 (kcal/sec)

	垂玉地区	湯の谷地区
熱伝導	169.3	41.2
噴気孔	109.6	1.9
噴気井	—	750.3
温泉	450.4	189.5
湯沼	—	54.2
合計	729.3	1,037.1

9. 調査地全体からの総放熱量

前項までの各調査結果を総括すると第4表のようになり、放熱量合計は垂玉地区で $0.7 \times 10^6$  cal/sec、湯の谷で $1.0 \times 10^6$  cal/secであった。このうち、垂玉地区では温泉による放熱量が全体の60%以上をしめ、湯の谷地区では温泉と噴気井で全体の90%をしめている。

両地区の放熱量を温泉の熱階級にあてはめると、垂玉地区も湯の谷地区もⅢに相当する。

本調査を行うにあたって御協力を戴いた態本県企業局、長陽村の関係各位に対し厚く御礼申上げる。

なお本調査の野外測定作業とその整理については住鉱コンサルタント㈱が当所外注作業として受注しこれを行ったものである。

(提出：1977年7月5日)

文 献

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, no. 7, p. 63-70.

(受付：1979年11月20日；受理：1980年7月5日)