

大涌沢地すべり対策調査

(昭和60年度)

放熱量調査

杉山茂夫，小鷹滋郎，大山正雄，大木靖衛
神奈川県温泉地学研究所*

Landslide Prevention in Owakudani
Steaming Area, Hakone, 1985
Investigation of Thermal Discharge

by

Shigeo SUGIYAMA , Shigeo ODAKA , Masao OYAMA and Yasue OKI
Hot Springs Reserch Institute of Kanagawa Prefecture
Hakone, Kanagawa

1. はじめに

温泉地学研究所は昭和48年頃から発生した旧神山登山道沿いの噴気地帯(図1の左下の部分)の地中温度分布などの調査を独自に昭和50年から52年まで実施してきた。昭和53年からは小田原土木事務所の依頼により大涌沢上流部と旧神山道沿いの噴気地帯の調査を昭和57年まで実施した。その結果、図2に示すように旧神山登山道の噴気活動は昭和52年をピークに衰退傾向が認められた。そのため、一応、旧神山登山道の噴気活動は鎮静化しているとして昭和58年からは大涌谷全域を調査地域とすることとした。図1のとおり大涌沢を3分割し(A地域 B地域, C地域), 昭和58年度～昭和60年度に調査した。本報告書は昭和58年度～昭和60年度までの調査結果をまとめたものである。

*神奈川県足柄下郡箱根町湯本997 〒250-03

神奈川県温泉地学研究所報告 第17巻, 第6号, 1—16, 1986

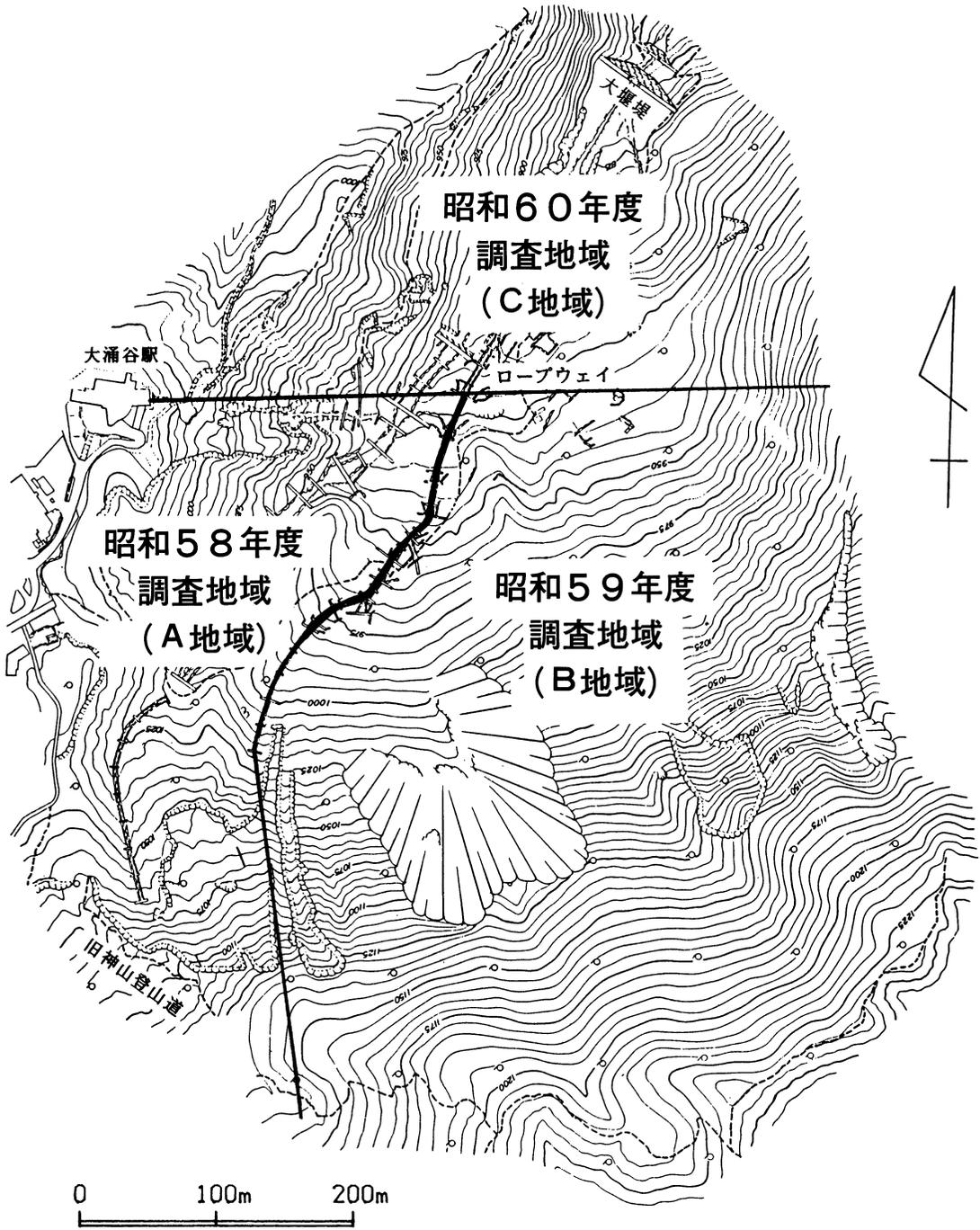


図1 大滝沢年度別調査地域

2. 地温分布

図3に大涌沢全調査地域の深度50cmの地温分布図を示す。表1に大涌沢全調査地域の等温線で囲まれる面積を示す。現地では水蒸気がよく噴出しているところと高温部分とがよく一致している。これは高温部分の放熱が主に流体によっておこなわれていることを示す。

昭和58年度の調査地域（A地域）は高温部分（90℃の等温線で囲まれる所）が最も広く、噴気活動の盛んな地域である。A地域内の大涌沢上流部左岸の高温部分は沢に平行な形状を示す。これはV形の谷地形であるため谷の斜面は重力により沢側に引張られる。そのため沢に平行な割目が生じる。大涌沢上流部左岸の噴気地帯はその割目に規制されている。

昭和59年度の調査地域（B地域）は温泉造成用のボーリングが数多く掘削された所である。現在は8本の蒸気井が温泉造成に利用されている。B地域の噴気地帯を含む高温部分の一部は蒸気井の崩壊や埋没により人工的に生じたものである。

昭和60年度の調査地域（C地域）は高温部分は非常に少なく、最も噴気活動が弱い地域である。

大涌沢では3年毎に同一地域の地温分布図を作成するので、今後の等温線の形状や等温線で囲まれる面積変化により噴気活動の盛衰を判断することが出来る。

水質については平野ら（1986）によって詳しく述べられている。それによると、湧水の SO_4^{2-} が多く、 $\text{Al}^{3+}/\text{H}_4\text{SiO}_4$ 比が大きいほど岩石の変質が進んでいることになる。A地域の噴気活動が盛んであ

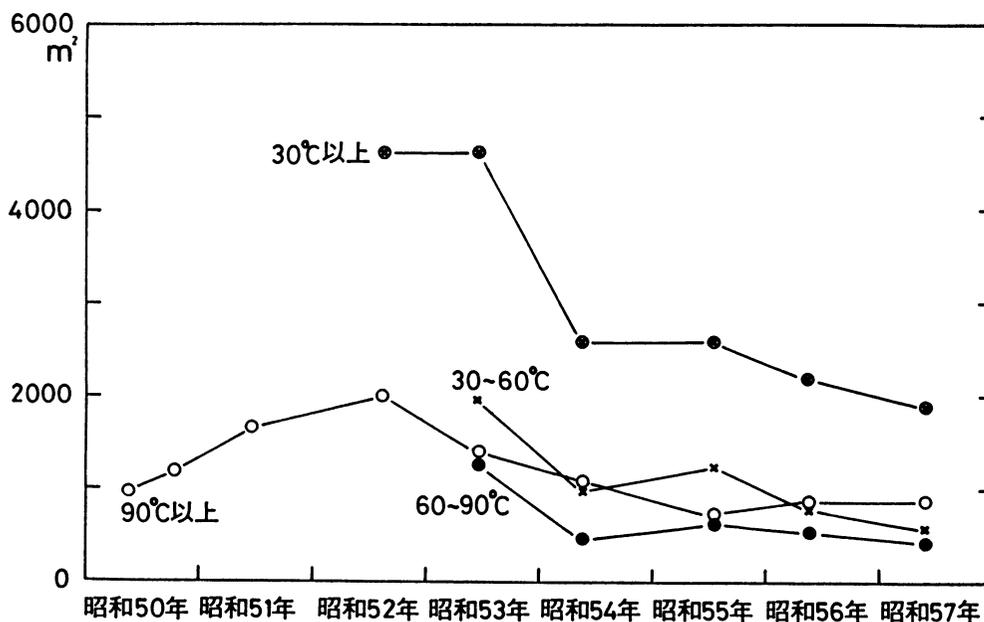
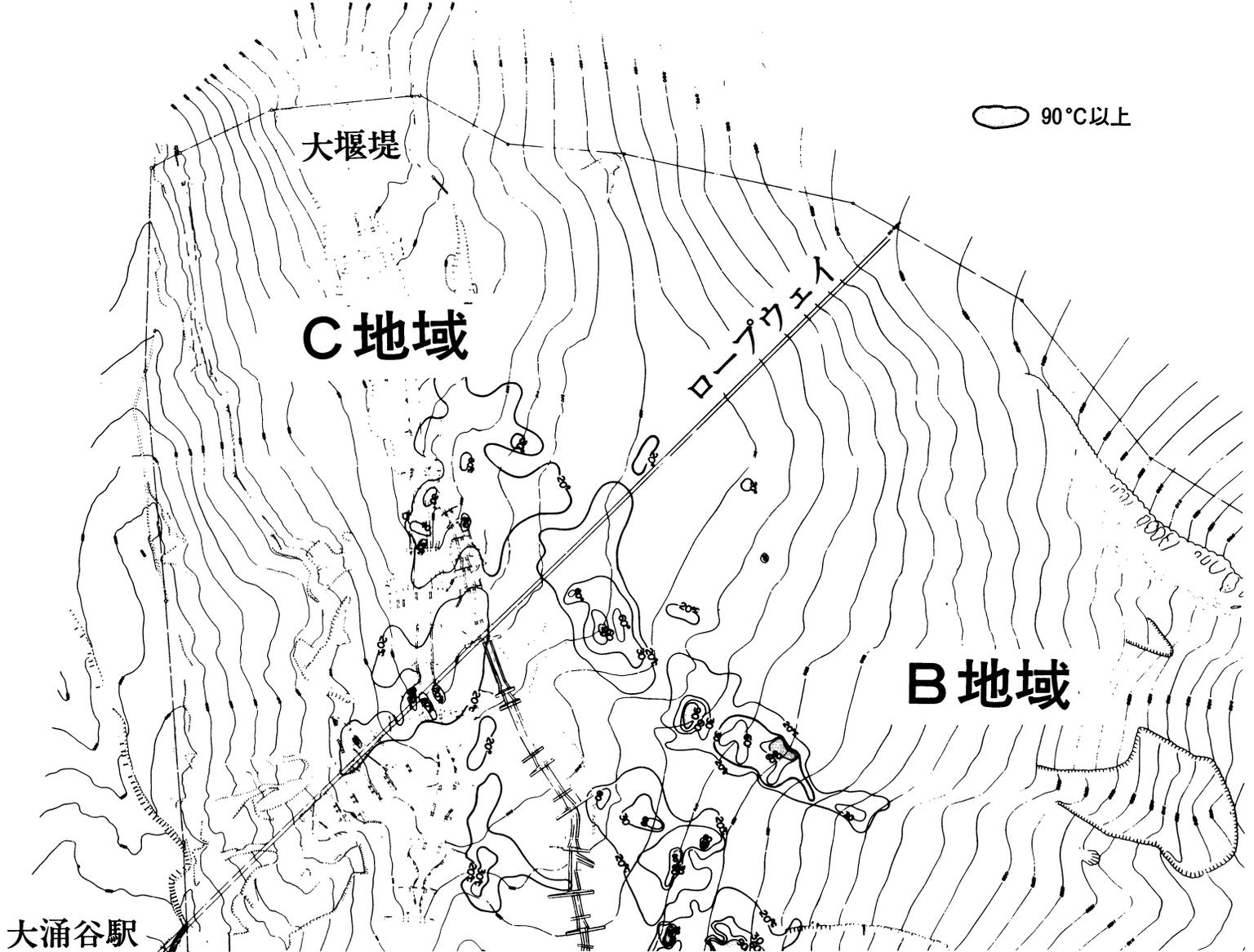


図2 旧神山登山道噴気地帯における等温線で囲まれる面積の経年変化（杉山ら，1983）



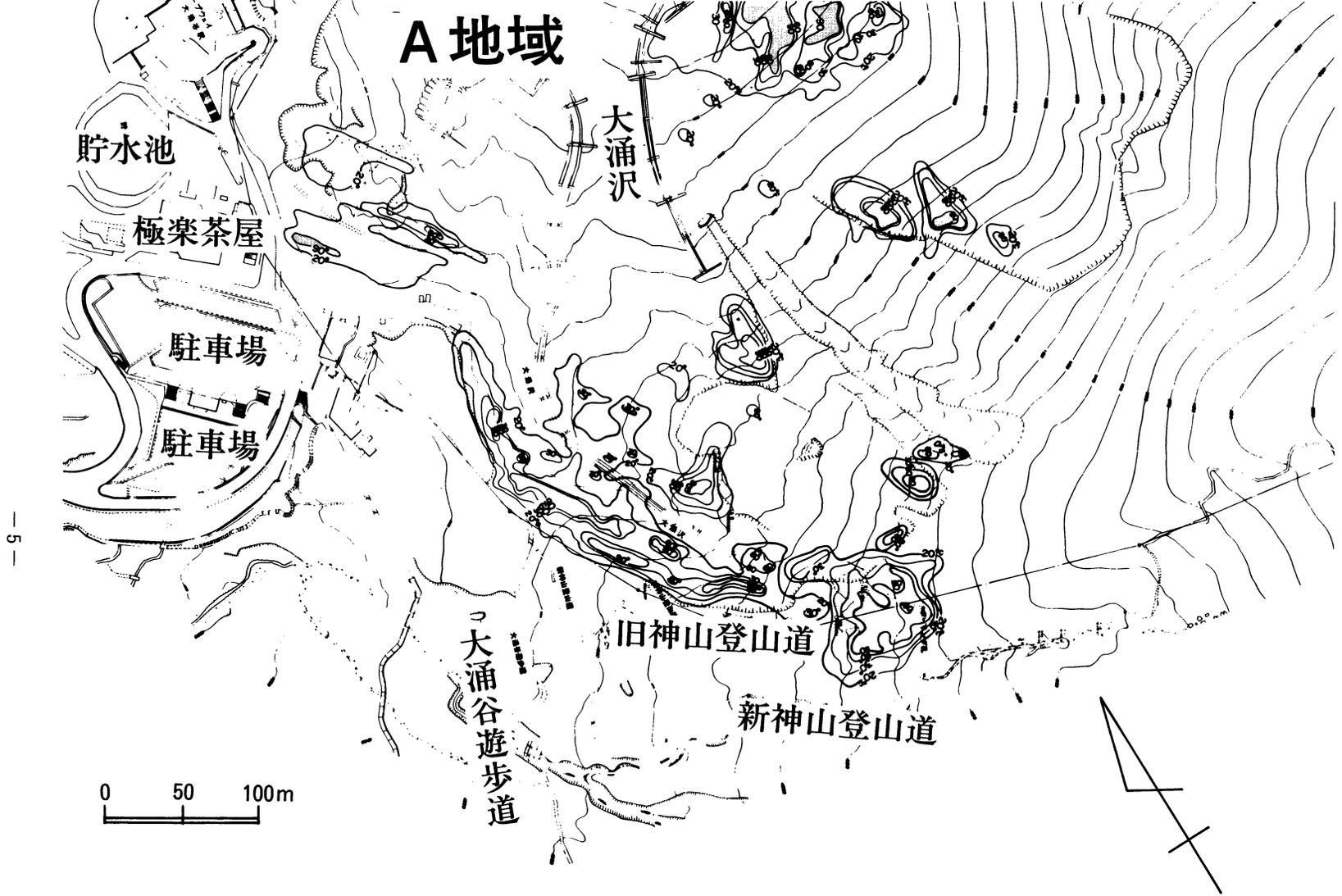


図3 大涌沢全調査地域の地中温度分布図（深度50cm）

表 1 大涌沢全調査地域の等温線で囲まれる面積

| 地域と年度 温 度 | A地域 m^2 (昭和58年) | B地域 m^2 (昭和59年) | C地域 m^2 (昭和60年) | 合 計 m^2 A + B + C |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| 20 ~ 30 °C | 7 6 4 8 | 8 9 2 6 | 8 2 0 1 | 2 4 7 7 5 |
| 30 ~ 60 °C | 3 2 7 6 | 4 4 5 2 | 3 8 0 | 8 1 0 8 |
| 60 ~ 90 °C | 1 8 5 0 | 1 7 3 4 | 1 9 1 | 3 7 7 5 |
| 90 °C 以上 | 1 0 9 0 | 6 4 6 | 4 8 | 1 7 8 4 |
| 噴気孔密集地域 | 4 7 0 | 4 7 9 | — | 9 4 9 |
| 噴 気 孔 | 6 8 | 2 9 | — | 9 7 |
| 合 計 | 1 4 4 0 2 | 1 6 2 6 6 | 8 8 2 0 | 3 9 4 8 8 |

る左岸の湧水は硫酸酸性で Al^{3+}/H_4SiO_4 比が大きい。C地域の湧水（大堰堤下部）はpHが高く、 Al^{3+}/H_4SiO_4 比が小さい。これは噴気活動が盛んである所の岩石の変質が進んでいることを示している。

3. 放 熱 量

大涌沢噴気地帯からの放熱は熱伝導・自然噴気・蒸気井・湧水によっておこなわれている。昭和58年度から昭和60年度まで各々の放熱量を調査した。

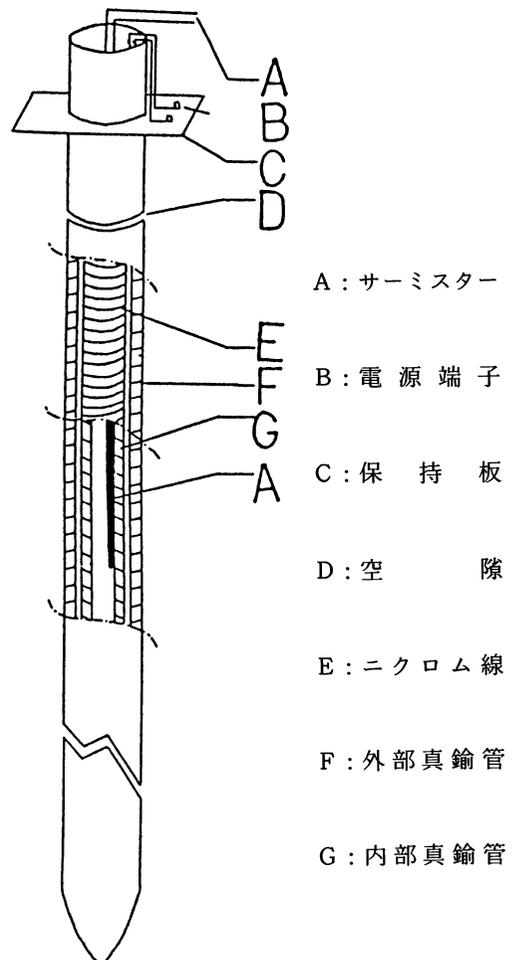
(1) 熱伝導による放熱量

熱伝導による熱流量 Q' は dZ 間の温度差 dT による温度勾配 dT/dZ と熱伝導率 K から

$$Q' = k \frac{dT}{dZ} \quad (1)$$

となるので、地表の面積 S からの放熱量 Q は

$$Q = SQ' \quad (2)$$



A : サーミスター

B : 電 源 端 子

C : 保 持 板

D : 空 隙

E : ニクロム線

F : 外部真鍮管

G : 内部真鍮管

図 4 熱伝導率測定装置（梶原，1960）

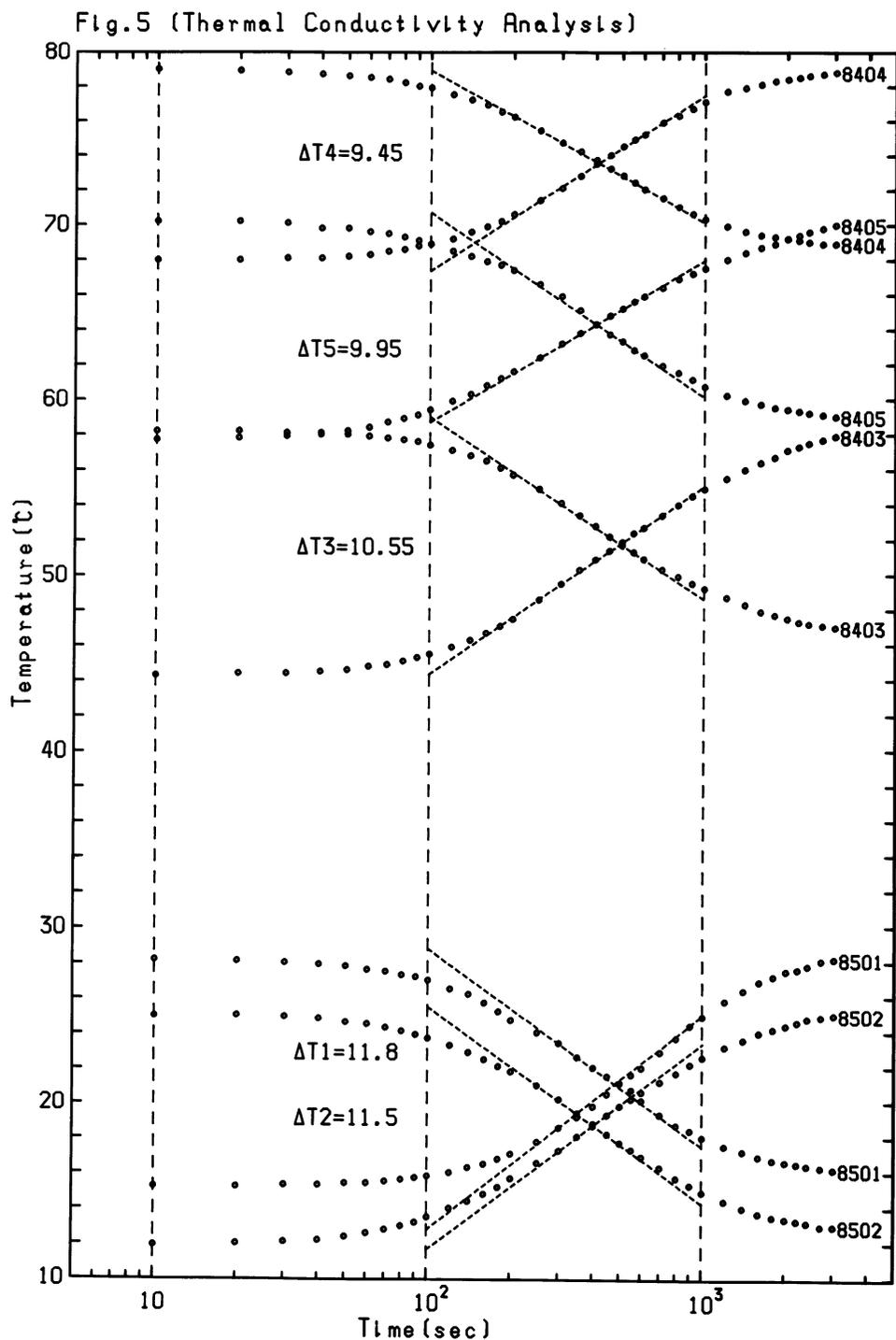


図5 加熱熱伝導率測定法及び回復熱伝導率測定法による時間に対する温度変化

(ΔT は1サイクルの温度変化を示す。8403~8405はB地域、8501~8502はC地域で測定した)

として求められる。

土壌粒子や岩石などの混合物である噴気地帯の土の平均熱伝導率は梶原(1960)の装置(図4)とほぼ同様の装置で測定した。地中に埋めた1mの真鍮管に連続的に熱を与え、管内の温度上昇の時間的変化をサーミスタ温度計で計測し(加熱法)、その直後熱の供給を停止し、管内の温度低下を同様に計測した(回復法)。

qを吸発熱量、Kを熱伝導率とすれば時間 t_1 と t_2 の温度差 ΔT は近似的に

$$\Delta T = \frac{q}{4\pi K} \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \quad (3)$$

として求められる。

片対数グラフの算術目盛りに温度T、対数目盛りに時間tをとって、計測した各数値をプロットする。このT-t曲線に近似する直線を作図し、 $\log t$ の1サイクルにおける温度変化 ΔT を求めた。

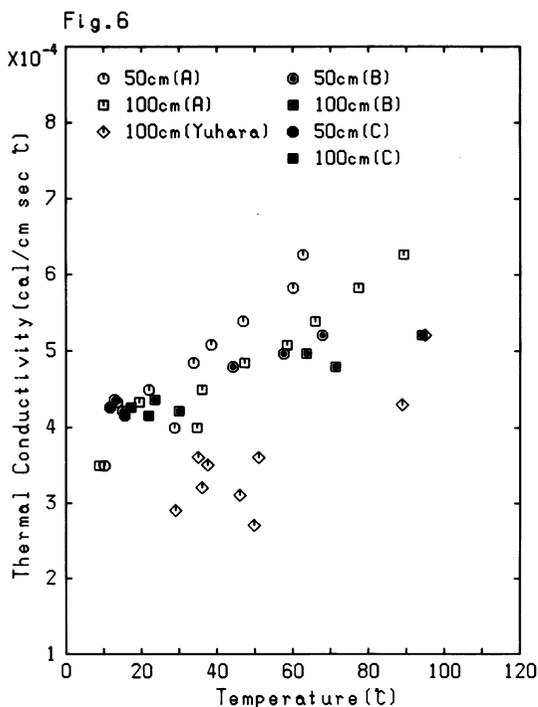


図6 地中温度(深度50cm, 100cm)に対する熱伝導率(AはA地域, BはB地域, CはC地域を示す)

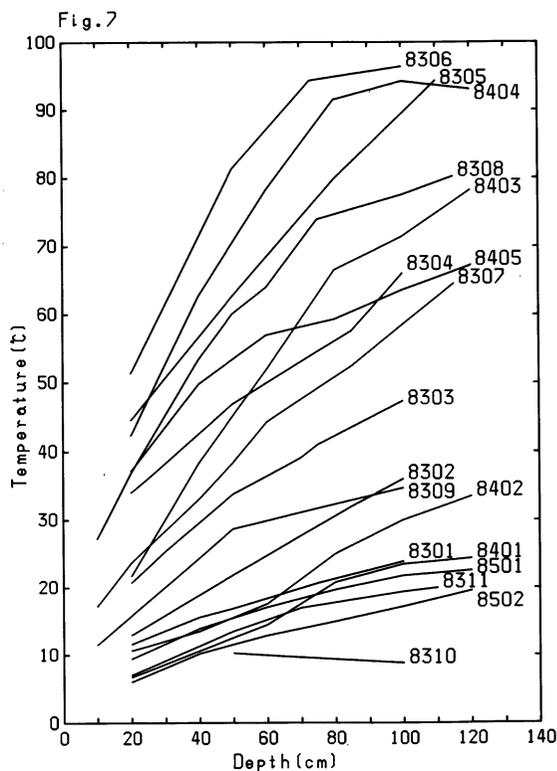


図7 深度による温度変化(8301~8311はA地域, 8401~8405はB地域, 8501~8502はB地域)

図5に昭和60年度と昭和59年度の測定結果を示す。図5の ΔT はlog t の1サイクルの温度変化なので(3)式は

$$K = \frac{0.183}{\Delta T} q \quad (4)$$

となる。

(4)式により求めた各年度の熱伝導率 K を図6に示す。測定値のほとんどは $4 \times 10^{-2} \sim 6 \times 10^{-2}$ cal/cm \cdot sec \cdot °Cであった。高温になると数値が大きくなり、ばらつく傾向がある。なお、図中の湯原の測定値は昭和44年に大涌谷で測定されたものである(湯原外, 1969)。

図7及び図8は各年度で測定した地温変化及び地温勾配である。地温が高いほど地温勾配が大きく

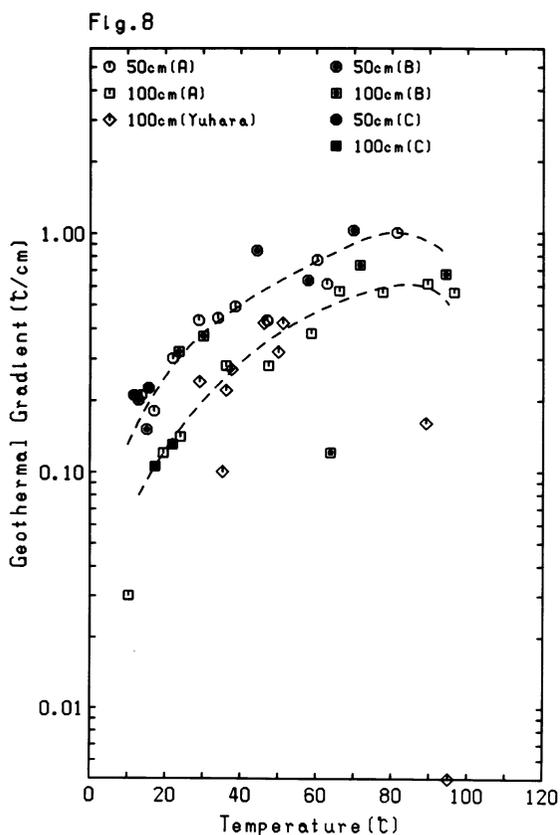


図8 地中温度(深度50cm, 100cm)に対する
温度勾配(深度35cm, 75cm)

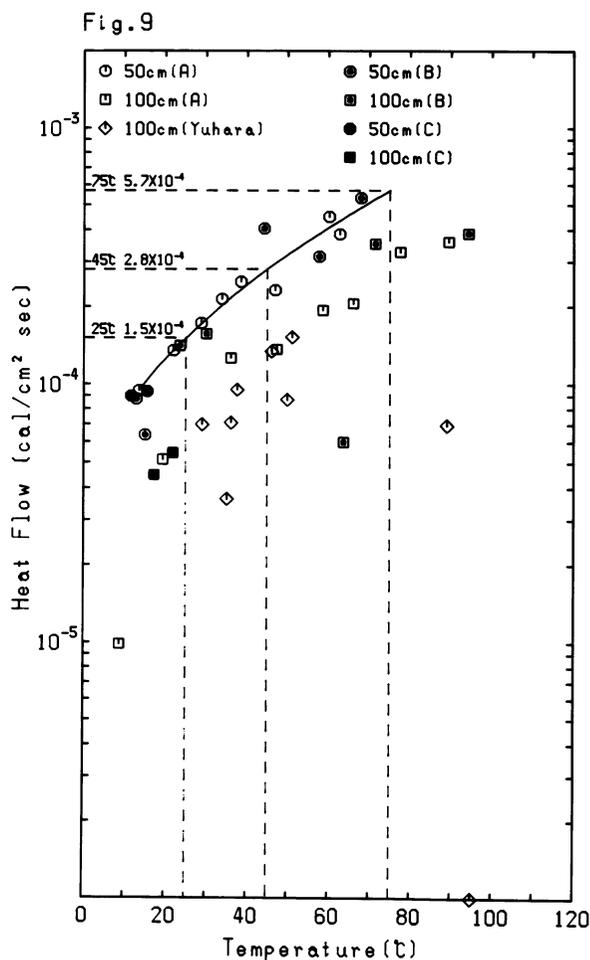


図9 地中温度(50cm, 100cm)に対する熱流量
(図中の数値により放熱量を計算した)

表2 熱伝導による放熱量 (昭和58年～昭和60年)

| 深度50cmの地温 ℃ | 等温線で囲まれる面積 ㎡ | 熱流量 cal/sec・㎡ | 放熱量 cal/sec |
|----------------|-----------------|----------------------|--------------------|
| 20 ~ 30 | 2 4 7 7 5 | 1.5×10^{-4} | 3.72×10^4 |
| 30 ~ 60 | 8 1 0 8 | 2.8×10^{-4} | 2.27×10^4 |
| 60 ~ 90 | 3 7 7 5 | 5.7×10^{-4} | 2.15×10^4 |
| 合計 | 3 6 6 5 8 | | 8.14×10^4 |

なるが、90℃以上になると地温勾配は小さくなる。

(1)式より熱流量は熱伝導率と地温勾配の積として求められる。図9に深度35cmの地温勾配から求めた各年度の熱流量を示す。図3の深度50cmの地中温度20℃～90℃の所は熱伝導により放熱していると仮定すると、(2)式より放熱量を面積と熱流量の積として求めることができる。深度50cmの地中温度20～30℃、30～60℃、60～90℃の面積は表1、熱流量は図9の25℃、45℃、70℃に対応する数値を使用した。計算の結果、大涌沢における熱伝導による放熱量は 8.14×10^4 cal/secであった。表2に大涌沢全調査地域の熱伝導による温度別の放熱量を示す。

(2) 自然噴気による放熱量

図3及び表1の90℃以上の所は自然噴気(火山性蒸気)により放熱していると仮定する。それらの所の熱流量の測定は図10の箱型熱流量測定装置でおこなった。表1と測定された熱流量から大涌沢全調査地域の自然噴気による放熱量は 5.66×10^5 cal/secであった。熱伝導による放熱量より1オーダー大きい数値である。表3に自然噴気による放熱量の詳細を示す。

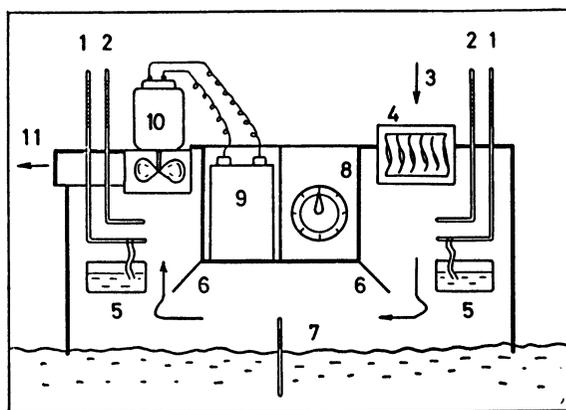


図10 箱型熱流量測定装置

- 1 : 乾球温度計, 2 : 湿球温度計, 3 : 入口,
4 : 風速計, 5 : 水入れ, 6 : そらせ板,
7 : 地中温度測定孔, 8 : 送風量調整,
9 : バッテリー, 10 : モーター, 11 : 出口

表3 自然噴気による放熱量 (昭和58年～昭和60年)

| 深度50cmの地温等 ℃ | 等温線で囲まれる面積 ㎡ | 熱流量 cal/sec・㎡ | 放熱量 cal/sec |
|-----------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 90℃以上 | 1 7 8 4 | 1.02×10^{-2} | 1.82×10^5 |
| 噴気孔密集地域 | 9 4 9 | 2.88×10^{-2} | 2.73×10^5 |
| 噴気孔 | 9 7 | 1.13×10^{-1} | 1.10×10^5 |
| 合計 | 2 8 3 0 | | 5.66×10^5 |

(3) 蒸気井による放熱量

大涌谷では仙石原で汲み上げた地下水などをポンプアップし、その水に蒸気を吹き込み温泉を造成している。そのため蒸気井の放熱量は造成温泉量から求めることができる。造成前の水の温度を6℃、造成温泉の温度を70℃として放熱量を求めると 3.93×10^6 cal/secとなる。これは自然噴気による放熱量より1オーダー大きい数値である。表4に大涌沢に掘削されている蒸気井による放熱量の詳細を示す。

表4 蒸気井による放熱量

| 地域と年度 | 蒸気井の本数 | 造成温泉量 m^3/day | 放熱量 cal/sec |
|------------|--------|-----------------|--------------------|
| A地域(昭和58年) | 3 | 640 | 6.98×10^5 |
| B地域(昭和59年) | 8 | 3050 | 3.23×10^6 |
| C地域(昭和60年) | — | — | — |
| 合計 | 11 | 3690 | 3.93×10^6 |

(4) 湧水による放熱量

湧水には自然湧出しているものと水平ボーリング孔から湧出しているものがある。大涌沢の湧水は温度が高い(60℃前後が多い)ので放熱量は 1.34×10^5 cal/secと熱伝導による放熱量よりすこし大きい(表5)。

表5 湧水による放熱量(10℃基準)

| 地域と年度 | 湧水ヶ所 | 湧出量 l/min | 放熱量 cal/sec |
|------------|------|-----------|--------------------|
| A地域(昭和58年) | 9 | 85 | 7.51×10^4 |
| B地域(昭和59年) | — | — | — |
| C地域(昭和60年) | 3 | 80 | 5.87×10^4 |
| 合計 | 12 | 165 | 1.34×10^5 |

(5) 大涌沢全調査地域の放熱量

表6に大涌沢全調査地域の種類別放熱量を示す。合計で 4.71×10^6 cal/secの放熱がおこなわれている。そのうちの83%が蒸気井の放熱量で占められている。自然噴気の放熱量は12%を占め、湧水の放熱量と熱伝導の放熱量はわずかに3%と2%である(図11)。

表6 大涌沢の種類別放熱量(昭和58年~昭和60年)

| 放熱量の種類 | 面積 m^2 | 放熱量 cal/sec |
|--------|----------|--------------------|
| 熱伝導 | 36658 | 8.14×10^4 |
| 自然噴気 | 2830 | 5.66×10^5 |
| 蒸気井 | — | 3.93×10^6 |
| 湧水 | — | 1.34×10^5 |
| 合計 | 39488 | 4.71×10^6 |

4. ま と め

大涌沢における大部分の放熱は蒸気井によっておこなわれている。蒸気井以外の自然放熱量は少ないが、地すべり対策上、自然噴気地帯の地温分布、放熱量、水質などの経年変化を把握する必要がある。特に地温分布の経年変化は噴気活動の盛衰や噴気地帯の移動を反映するので重要である。

5. 謝 辞

箱根温泉供給株式会社の辻内和七郎氏、田口勝稔氏には蒸気井による温泉造成量の貴重な資料を提出して頂いた。

小田原土木事務所の岩淵正人河川砂防部長、小沢 了河川砂防第二課長、森川武進副技幹、加藤裕也主査には調査が円滑に進むよう配慮して頂いた。

温泉地学研究所の平賀士郎研究部長には有益な助言と指導をして頂いた。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 平野富雄, 粟屋 徹, 大木靖衛 (1985) 大涌沢地すべり対策調査 (昭和59年度) 一水質調査, 神奈川県温泉地学研究所報告, Vol.16, No.5, 13-24
- 平野富雄, 粟屋 徹, 石坂信之, 大木靖衛 (1986) 大涌沢地すべり対策調査 (昭和60年度) 一水質調査, 神奈川県温泉地学研究所報告, Vol.17, No.5
- 広田 茂, 粟屋 徹, 大山正雄, 大木靖衛 (1977) 大涌谷一神山登山道に出現した噴気地帯の調査, 神奈川県温泉地学研究所報告, Vol.8, No.1, 27-38
- 梶原昌弘 (1960) 表土1mの平均熱伝導率測定, 北海道大学地球物理学研究報告, No.7
- 小鷹滋郎, 広田 茂, 大山正雄, 粟屋 徹, 平野富雄, 大木靖衛 (1979) 大涌谷地すべり対策調査 (昭和53年度), 神奈川県温泉地学研究所報告, Vol.11, No.2, 1-16
- 小鷹滋郎, 大山正雄 (1980) 大涌谷地すべり対策調査 (昭和54年度), 神奈川県温泉地学研究所報告, Vol.11, No.6, 1-10
- 小鷹滋郎, 杉山茂夫, 大山正雄, 大木靖衛 (1981) 大涌谷地すべり対策調査 (昭和55年度), 神奈川

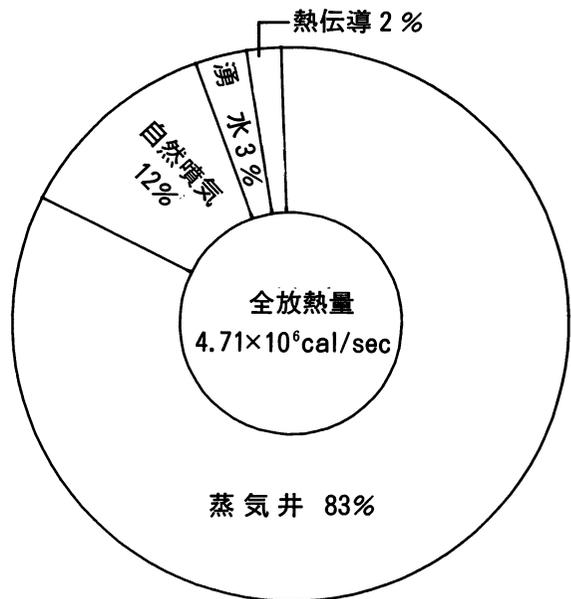


図11 大涌沢の種類別放熱量の割合

- 県温泉地学研究所報告, Vol.12, No.7, 1-13
- 大木靖衛, 平野富雄, 小鷹滋郎, 栗屋 徹, 大山正雄, 杉山茂夫 (1981) 箱根温泉誌 (I)・(II)
神奈川県温泉地学研究所報告, Vol.12, No.5・6
- 大山正雄, 平野富雄, 栗屋 徹, 鈴木孝雄 (1971) 箱根火山の蒸気, 神奈川県温泉研究所報告, Vol.2, No.3, 133-142
- 大山正雄, 栗屋 徹, 伊東 博 (1973) 箱根火山硫黄山噴気地帯の調査, 神奈川県温泉研究所報告, Vol.4, No.2, 83-90
- 杉山茂夫, 大木靖衛 (1982) 箱根大涌谷の岩石の変質, 神奈川県温泉地学研究所報告, Vol.13, No.5, 47-54
- 杉山茂夫, 小鷹滋郎, 大木靖衛 (1982) 大涌沢地すべり対策調査 (昭和56年度), 神奈川県温泉地学研究所報告, Vol.13, No.6, 1-14
- 杉山茂夫, 大木靖衛, 小鷹滋郎 (1983) 大涌沢地すべり対策調査 (昭和57年度), 神奈川県温泉地学研究所報告, Vol.14, No.6, 1-16
- 杉山茂夫, 大山正雄, 小鷹滋郎, 平野富雄, 栗屋 徹, 大木靖衛 (1984) 大涌沢地すべり対策調査 (昭和58年度), 神奈川県温泉地学研究所報告, Vol.15, No.6, 1-24
- 杉山茂夫, 大山正雄, 小鷹滋郎, 大木靖衛 (1985) 大涌沢地すべり対策調査 (昭和59年度) 一放熱量調査, 神奈川県温泉地学研究所報告, Vol.16, No.5, 1-12
- 湯原浩三, 大久保太治, 竹内三郎 (1969) 箱根大涌谷・早雲山地熱地域からの放熱量, 地質調査所月報, Vol.20



写真1 大涌沢上流部左岸（A地域） 沢に平行な噴気地帯が認められる（昭和60年11月）

写真2 大涌沢右岸（B地域） 主にこの地域で温泉が造成されている（昭和60年11月）





写真3

大涌沢下流部（C地域）
噴気地帯がほとんど見
られない（昭和60年11月）

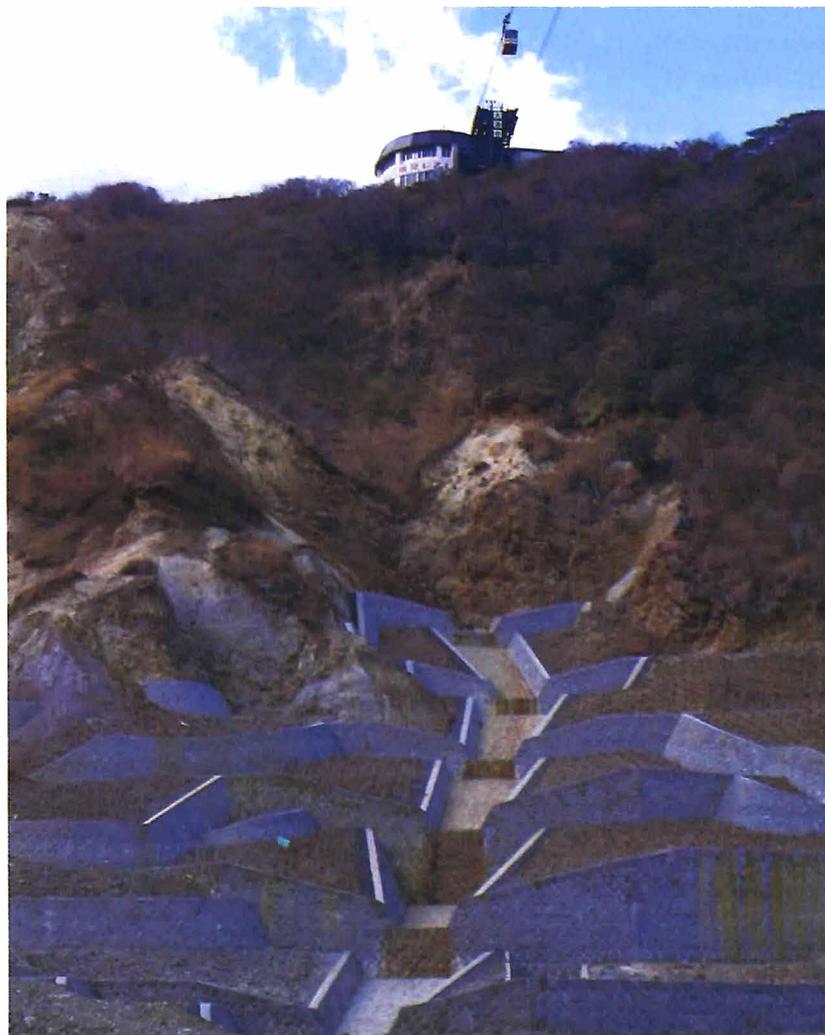


写真4

ロープウェイ大涌谷駅
下の山腹土止め工事
（昭和60年11月）



写真 5

温泉造成塔

(昭和60年11月)

写真 6

熱伝導率測定風景

(昭和60年11月)

