

大涌沢地すべり対策調査

(昭和58年度)

杉山茂夫, 大山正雄, 小鷹滋郎
平野富雄, 栗屋徹, 大木靖衛

神奈川県温泉地学研究所*

**Geological Study for Prevention of Landslide
in Owaki-dani Solfataric Area, Hakone, 1983**

by

Shigeo SUGIYAMA, Masao OYAMA, Shigeo ODAKA
Tomio HIRANO, Toru AWAYA and Yasue OKI

Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture
Hakone, Kanagawa

はじめに

この調査は神奈川県土木部小田原土木事務所の依頼により、大涌沢地すべり対策事業の一環として温泉地学研究所が実施したものである。温泉地学研究所は小田原土木事務所の依頼により、昭和53年度から大涌沢上流部と旧神山登山道沿いの噴気地帯の地中温度分布等の調査を毎年おこなってきた。

昭和58年度から、大涌沢地すべり防止区域を3分割し、3年間で大涌沢全域の放熱量調査と水質調査をおこなう計画である。図1に昭和58年度の調査区域を示す。調査内容は図2に、白丸で示した15地点の地温勾配、熱伝導率、熱流量を現地で測定して調査地域の放熱量を求め、黒丸で示した地点の湧水、表流水の水質調査をおこなった。

放熱量調査

調査区域からは熱伝導、自然噴気、蒸気井、湧水によって放熱がおこなわれている。これらの各現象からの放熱量を求めると次のようになる。

* 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15巻, 第6号, 1-24, 1984

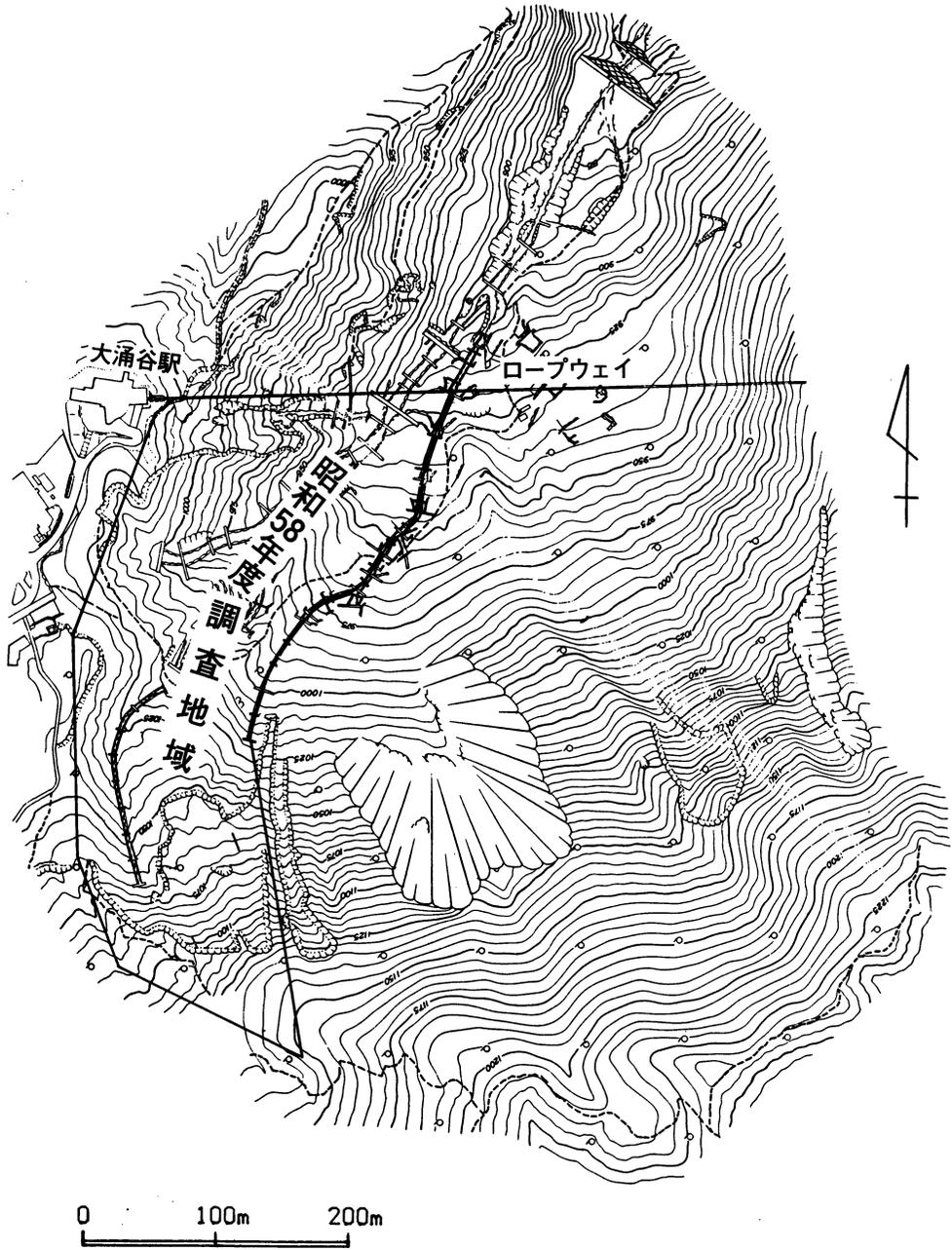


図1 箱根大涌沢の調査地域

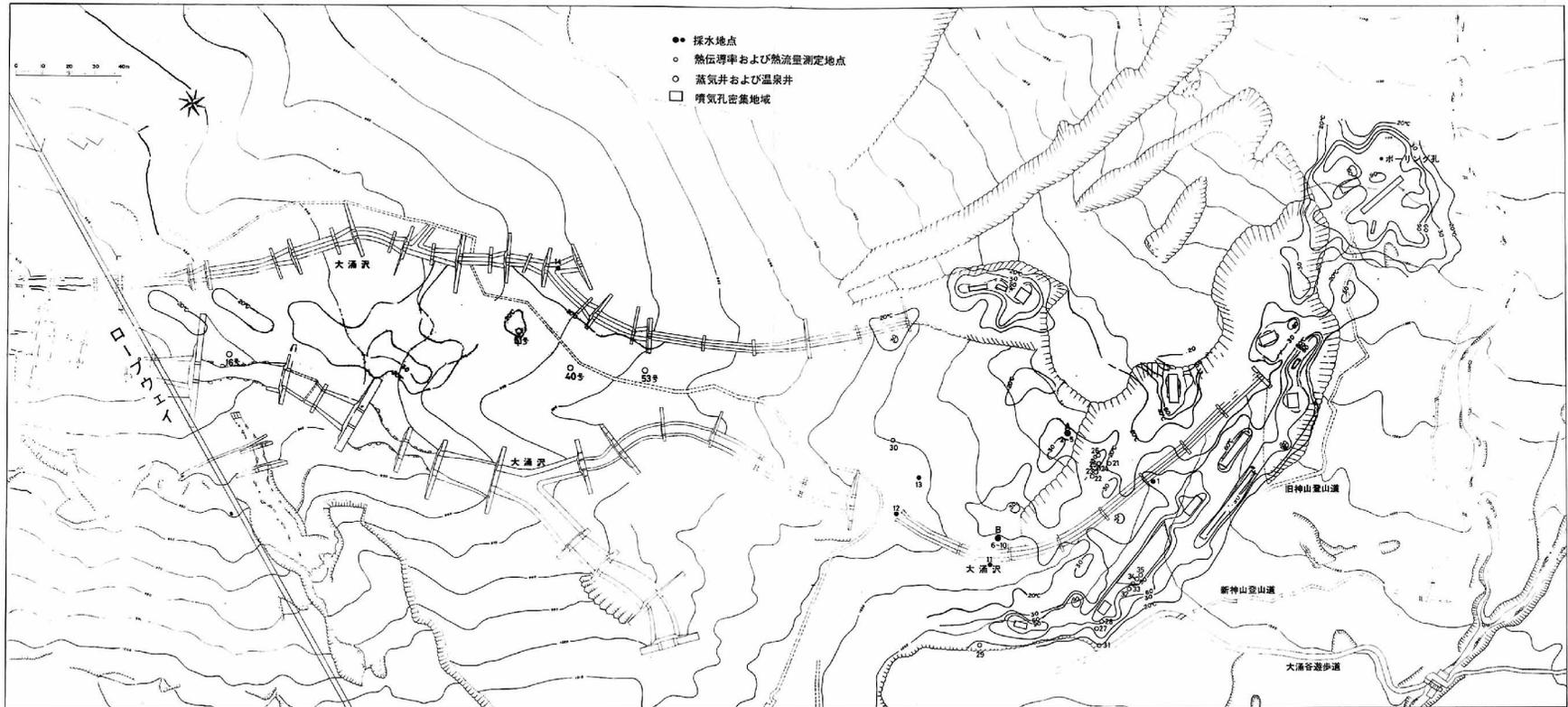


図2 箱根大涌沢調査地域の地中温度分布図（深度50cm）

1. 熱伝導による放熱量

(1) 熱伝導

熱伝導による地表からの放熱量 Q は dZ 間の温度差 dT による地温勾配 dT/dZ と熱伝導率 K から

$$Q = K \frac{dT}{dZ}$$

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3）に改良を加えた装置で測定した。地中に埋めた長さ1mの真鍮管からなる導管に連続的に熱を与え、導管内の温度上昇の時間的変化をサーミスター温度計で読み取った。

無限で均質な固体内における熱伝導の一般式は

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div} (K \text{ grad } T) - Q = 0 \quad (1)$$

で示される。ここで、 t は時間、 T は温度、 ρ は比重、 c は比熱、 K は熱伝導率、 Q は吸発熱量である。

固体内に半径 a なる完全導体からなる円柱があり、単位時間に Q の割合で単位長さに熱が供給されると、時間 t における円柱の温度 T は

$$T = \frac{Q}{4\pi K} \int_u^\infty \frac{\exp(-u)}{u} du = \frac{-Q}{4\pi K} Ei(-u) \quad (2)$$

$$u = \frac{\rho c r^2}{4Kt}$$

となる。ここで、 r は熱源から測温点までの距離、 Ei は指数積分である。

発熱開始後、時間が十分長かつと、 u は小さくなるので、(2)式は近似的に

$$T = \frac{Q}{4\pi K} \left(-0.5772 + \log \frac{1}{u} \right) \quad (3)$$

時間 t_1 と t_2 間の温度差 ΔT は

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

となる

片対数グラフの算術目盛に温度 T ，対数目盛に時間 t をとって、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 サイクル間における温度変化を ΔT
 とすれば、熱伝導率は

$$K = \frac{0.183}{\Delta T} Q \quad (5)$$

となる。

(2) 地温勾配

地表面下 10 cm から 110 cm 間の地温勾配
 (図 4) は地中温度が高いほど大きくなっている。
 地温勾配は深くなるほど小さくなる傾向
 を示している。

図 5 は深度 50 cm と 100 cm の地温に対し、
 各々 35 cm と 75 cm の地点における地温勾配
 である。図 5 に湯原 (1968) による大涌沢で
 の測定値も付記した。湯原の測定値は地中 100
 cm の温度に対する 75 cm 地点の地温勾配で
 ある。

地温勾配は地温が高くなると大きくなるが、
 80 °C を越えると逆に小さくなり、水の沸点温
 度の 96 ~ 97 °C においてはほとんど認められな
 い。沸点付近にある地点の熱輸送は熱伝導よ
 りも、気体や液体などによる流体輸送が大き
 く関与していることを示している。地温が 90
 °C 以上の地点には火山性水蒸気を噴出する噴
 気孔群が分布している。

図 6 は湯ノ花沢硫黄山硫気地帯で行なった季節による地温変化である。地温は噴気地から樹木地までの 10 m 間において、1 m 間隔の 1 m 深を 1 月、5 月、9 月に測定した。

地温変化は 90 - 80 °C 間で小さいが、80 - 40 °C までの 2 m 間で大きく、40 °C 以下で再び小さくなっている。

季節変化は 80 °C 以上の地温にほとんど影響を与えない。しかし、地温が 60 °C 以下になると変化が認められ、地温が低くなるに従い顕著になる。

地温勾配は 1 m 深から地表面に向う垂直方向と同様に、1 m 深の水平方向の場合も、地温が高くなるに従い大きくなり、80 °C 付近から、今度は小さくなる (図 7)

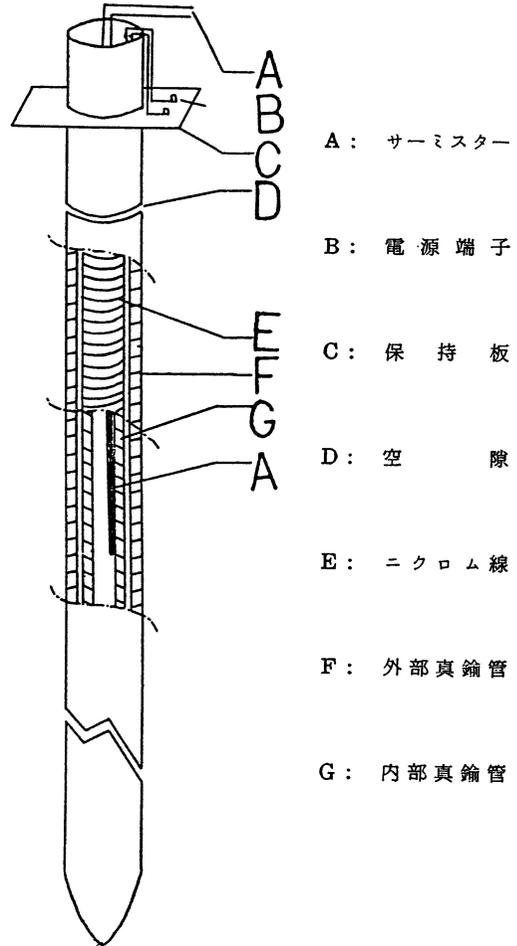


図 3 熱伝導率測定装置 (梶原, 1960)

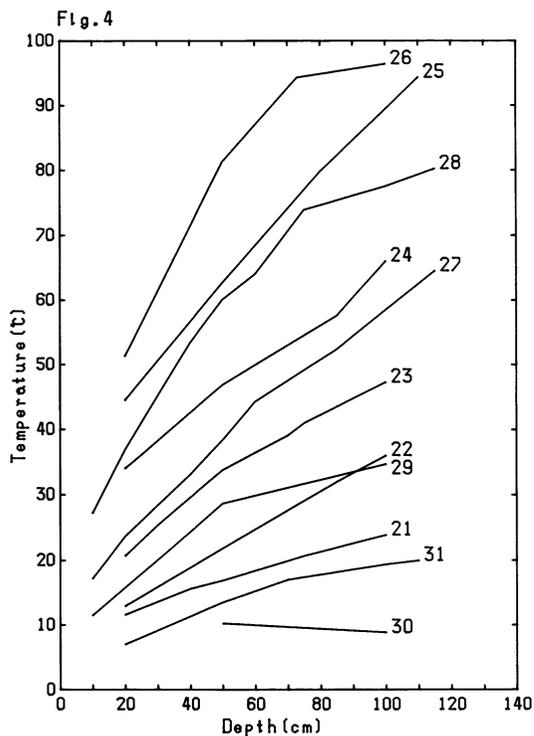


図4 深度による地温変化 (図中の番号は図2の測定地点を示す)

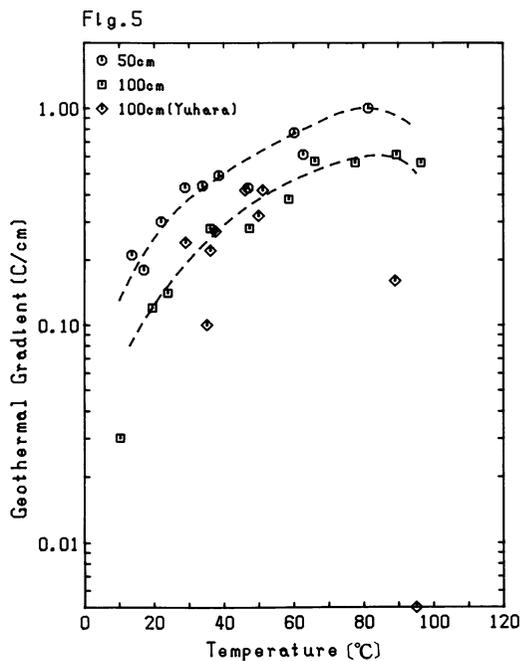


図5 地中温度 (50 cm, 100 cm) に対する温度勾配 (35 cm, 75 cm)

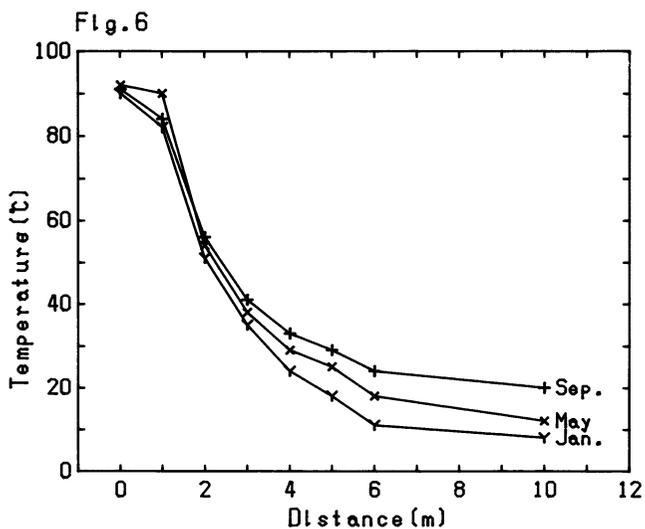


図6 噴気点からの水平距離による温度変化 (深度1m硫黄山, 1月, 5月, 9月)

(3) 熱伝導率の測定結果

図8は地中温度と熱伝導率との関係である。図中の \square は深度 100 cm, \circ は深度 50 cm の地温に対するものである。なお, \diamond 印は湯原による測定値である。熱伝導率は地中温度が高くなるに従い直線的に大きくなっている。

粘土, ガラス, 木材, コンクリートなどの非結晶体は温度が上昇するほど熱伝導率も増大する(表1)。一方, 大部分の金属, 水晶, カーボランダム, コランダムなどの結晶体では温度が上昇するほど熱伝導率の値が小さくなり, 氷もその例にもれない。温度と熱伝導率の関係は結晶体と非結晶体では逆であり, 物性論の対象になっている(橘他, 1969)。

今回得られた温泉余土(粘土)の熱伝導率は $0.35 \sim 0.63 \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}$ である。乾燥土壌の熱伝導率は $0.31 \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}$ とされている。土壌の熱伝導率は含水量が増加するに従い大きくなることが知られている(図9)。今回の測定土壌の含水率は平均31%である。温泉余土の熱伝導率は図9の火山灰土に類似している。

(4) 熱流量

熱流量は熱伝導率と温度勾配の積である。図10は深度50 cmと110 cmの地温に対し, 35 cmと75 cm の地温勾配から求めた熱流量の関係である。地温勾配を75 cmの地点で求めた値は湯原の測定と近似している。

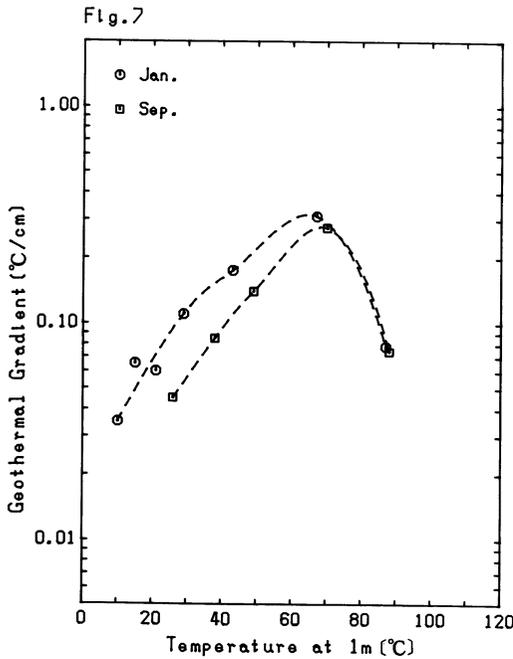


図7 深度 1 m の温度に対する温度勾配の変化(硫黄山, 1月, 9月)

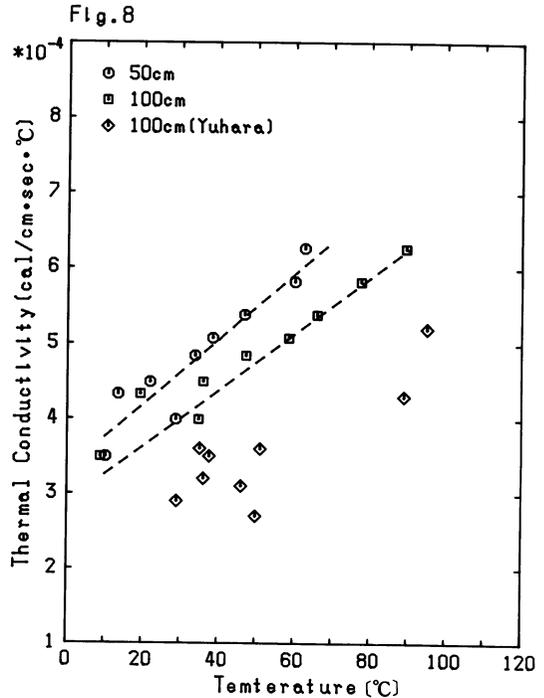


図8 地中温度(50 cm, 100 cm)に対する熱伝導率

表1 絶縁材および構造材料の熱伝導率 (伝熱論, 橋他, 1969)

材 料	平均温度 °C					比重量 w kg / m ³
	-73	-18	38	93	149	
シリカエアロゲル, サントセル	0.04	0.05	0.05	0.06	0.08	85
ガラスウール			0.09	0.13	0.19	34
カボック ゆるくつめたもの (20°C)			0.08			14
綿 密につめたもの	0.09	0.13	0.14	0.16		80
羊毛 純 (30°C)			0.1			40
珪藻土		0.11	0.13	0.15	0.16	200
土 乾燥 (20°C)			0.31			720
雪 (0°C)			0.12-0.44			110-500
アスベストなまこ板			0.13	0.15	0.17	260
コルク板	0.08	0.08	0.09			110
セロテックス, アスファルト被覆	0.09	0.1	0.11			230
ソーダガラス (普通)				2.44	3.06	2,600
木材 (まつ) (30°C)			0.25			377

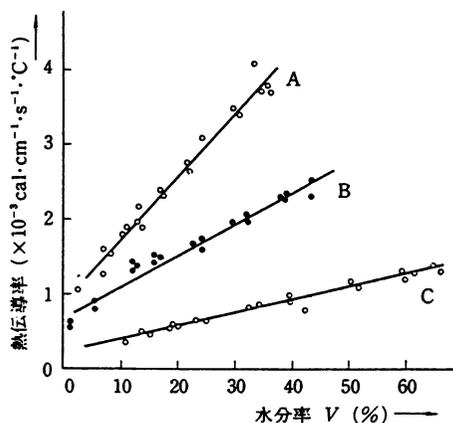
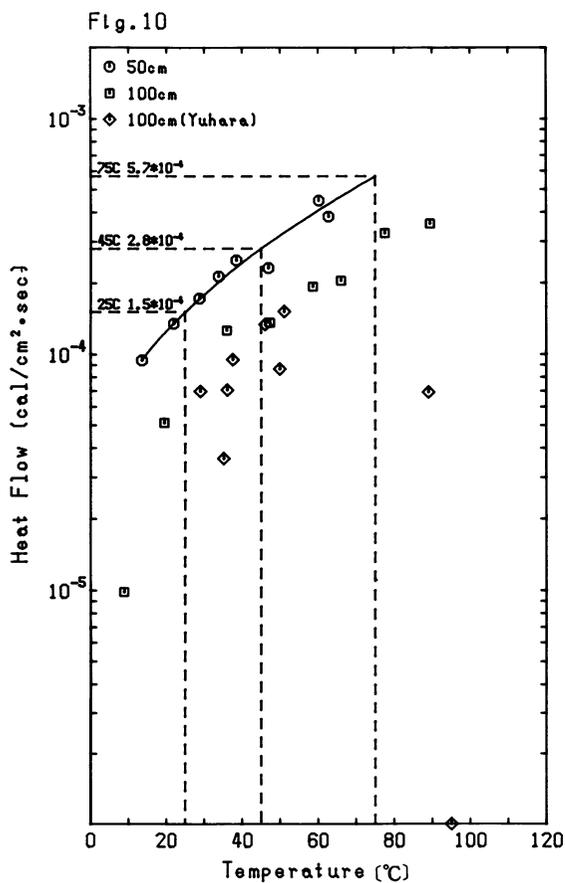
(単位 $\times 10^{-3}$ cal / cm \cdot sec \cdot °C)

図9 熱伝導率に及ぼす水分の影響 (粕
 渕, 1972) A: 洪積土(愛知県),
 B: 沖積土(愛知県), C: 火山灰土
 (千葉県)

図10 地中温度(50 cm, 100 cm) に対する
 熱流量 (図中の数値により放熱量を
 計算した)

地温勾配35 cm による値は75 cm によるものより高い熱流量となっている。これは地温勾配35 cm の方が75 cm より大きいからである。熱伝導率は深度1 m 間の平均値であり、今回の調査が50 cm 深の地温を測定しているので、熱流量は地温勾配35 cm の値から求めた(表2)

(5) 調査地域の熱伝導による放熱量

図2の地温分布図で20℃~90℃の等温線で囲まれる所では熱伝導により放熱がおこなわれているとみなして、図3の熱伝導率測定装置により熱伝導率を測定した(図2のNo.21~No.31)。測定結果より、図10の深度50 cm の地中温度に対応する熱流量を求め、表3に放熱量を示した。

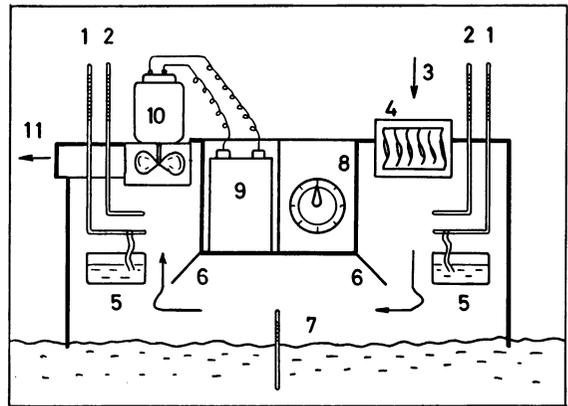


図11 箱型熱流量測定装置

- 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2 熱伝導率測定から求めた熱流量

番号	地温 °C		温度勾配 °C/m		熱伝導率 × 10 ⁻³ cal / (cm ² ·sec·°C)	熱流量 × 10 ⁻⁶ cal/cm ² ·sec	
	深度 50 cm	深度 100 cm	深度 35 cm	深度 75 cm		深度 35 cm	深度 75 cm
21	16.9	23.9	0.18	0.14			
22	21.9	36.0	0.30	0.28	0.449	134.7	125.7
23	33.8	47.3	0.44	0.28	0.484	213.0	135.5
24	46.9	66.0	0.43	0.38	0.538	231.3	204.4
25	62.7	89.4	0.61	0.57	0.626	381.9	356.8
26	81.3	96.4	1.00	0.56			
27	38.4	58.5	0.49	0.38	0.507	248.3	192.6
28	60.1	77.5	0.77	0.56	0.582	448.1	325.9
29	28.7	34.7	0.43		0.399	171.6	
30	10.2	8.8		0.03	0.349		9.8
31	13.5	19.4	0.21	0.12	0.433	93.8	51.1

(番号は図2の測定地点を示す)

表3 熱伝導による放熱量

深度50 cmの地温 °C	等温泉で囲まれる面積 m ²	熱流量 cal/sec·cm ²	放熱量 cal/sec
20 ~ 30	7648	1.50 × 10 ⁻⁴	1.15 × 10 ⁴
30 ~ 60	3276	2.80 × 10 ⁻⁴	9.17 × 10 ³
60 ~ 90	1850	5.70 × 10 ⁻⁴	1.05 × 10 ⁴
合計	12774		3.12 × 10 ⁴

(熱流量は図10による)

2. 自然噴気による放熱量

図2の地温分布図で90℃以上は主として自然噴気（火山性蒸気）により放熱がおこなわれている。この地域では図11に示した箱型熱流量測定装置により放熱量を測定した（表4）（測定地点は図2のNo. 32～No. 35）。表5に自然噴気による放熱量を示す。

3. 蒸気井による放熱量

調査区域内には温泉造成に使用している蒸気井が3本ある（図2の40号, 51号, 53号）。これらの蒸気井の放熱量は造成温泉量から求めることができる。表6に蒸気井による放熱量を示す。

4. 湧水からの放熱量

湧水には自然湧出しているものと試錐孔から湧出しているものがある。図2に湧出位置を、表7に温度と湧出量から求めた放熱量を示す。

5. 大涌谷調査区域の放熱量

表8に種類別放熱量を示す。合計で 1.13×10^6 cal/secの放熱がおこなわれている。

熱伝導による放熱量は面積が自然噴気地域（深さ50cmで90℃以上）の約8倍であるが、放熱量は約10分の1で最も少ない。

表4 箱型熱流量測定装置によって測定された熱流量

番号	地温℃ 10 cm	地温℃ 20 cm	地温℃ 50 cm	熱流量 cal/cm ² .sec	備考
32	43.5	75.2	96.5	8.10×10^{-3}	} 平均値を深度50cm 90℃以上に適用 噴気孔に適用 噴気密集地域に適用
33	85.1	96.5	96.6	1.27×10^{-2}	
34	85.7	96.2	96.4	1.13×10^{-1}	
35	96.5	96.7	96.7	2.88×10^{-2}	

（番号は図2の測定地点を示す）

表5 自然噴気による放熱量

深度50cmの地温等	等温線で囲まれる面積 m ²	熱流量 cal/cm ² .sec	放熱量 cal/sec
90℃以上	1090	1.04×10^{-2}	1.13×10^5
噴気孔密集地域	470	2.88×10^{-2}	1.35×10^5
噴気孔(615ヶ所)	68	1.13×10^{-1}	7.68×10^4
合計	1628		3.25×10^5

（熱流量は表4による）

表6 蒸気井による放熱量（造成温泉より計算）

蒸気井の番号	造成前の温度℃	造成温度℃	造成温泉量 m ³ /day	造成熱量 cal/sec	造成効率70%とした 放熱量 cal/sec
40号	6	63	200	1.32×10^5	1.88×10^5
51号	6	76	220	1.78×10^5	2.55×10^5
53号	6	76	220	1.78×10^5	2.55×10^5
合計			640	4.88×10^5	6.98×10^5

表7 湧水による放熱量 (10°C基準)

湧出位置	温度 (°C)	湧出量 (l/min)	放熱量 (cal/sec)
2	61.7	24	20.68×10^3
3	69.1	5	4.92×10^3
4	60.1	1	0.83×10^3
5	54.3	1	0.73×10^3
6	95.5	3	4.27×10^3
7	85.5	4	5.03×10^3
8	39.6	4	1.97×10^3
9	31.3	8	2.84×10^3
16号	68.0	35	33.83×10^3
計		85	75.10×10^3

(2～8は図2の採水ヶ所, 16号は温泉孔)

表8 調査区域の種類別放熱量

放熱量の種類	放熱量 cal/sec	面積 m ²
熱伝導	3.12×10^4	1.28×10^4
自然噴気	3.25×10^5	1.63×10^3
蒸気井	6.98×10^5	—
湧水	7.51×10^4	—
合計	1.13×10^6	1.44×10^4

自然噴気による放熱量は自然放熱量の9割を占め、全放熱量の約3割に達している。

調査区域では3本の蒸気井による放熱量が最も多く、全放熱量の6割に達している。これらの蒸気井の放熱量は大涌谷全蒸気井の放熱量の約2割である。このことは、大部分の放熱は蒸気井によっておこなわれているといえる。

噴気地帯は地中の地熱(温泉)活動が地表に現われた「吹出物」のようなものである。噴気地帯からの自然放熱量は蒸気井からの放熱量と比較すると大変小さいが、地中の地熱活動のよい「指標」である。噴気地帯の地理的分布、温度分布、放熱量、水質などの経年的変化を把握することによって、砂防対策上重要な知見が得られるであろう。

水質調査

1. 今までの調査結果

昭和53年度大涌谷地すべり対策調査により大涌沢噴気地帯、神山旧登山道の噴気地帯、大涌沢南西の噴気地帯の湧水等の水質調査が実施されている。湧水、地表水などは、それらの産状と陽イオン組成比により次の5種類に分けられた(小鷹ら, 1979)。

- a. (Fe²⁺+Al³⁺)の比率の高い水……………マッドポットや標高の高い地点の湧水。
- b. (H⁺+Na⁺)の比率の高い水……………造成温泉。湧水には見い出せない。
- c. (Fe²⁺+Al³⁺)の比率の低い水……………標高900m以下の地点に掘られた横穴ボーリング孔の湧泉。
pH 4.03～6.45

- d. (Ca²⁺+Mg²⁺)の比率の高い水……………大涌沢右岸の湧水。
 e. aとdの混合型の水……………表流水。

2. 昭和58年度の水質調査の目的

大涌谷の地すべり防止対策のために、昭和29年から実施されてきた地下排気ボーリングに代って、昭和55年度から斜孔ボーリングによる地下水排水工事がなされている。本年度の調査により、この横穴から湧出する地下水の水質の特徴をあきらかにする。

3. 採水

大涌沢左岸の湧水（No.1）および、横穴ボーリング孔の湧水（No.2～No.11）の採取は昭和58年5月24日に行った。表流水（No.12～No.14）の採集は昭和58年8月22日に行った。これらの採取位置を図2に示した。

本年度の調査は、標高950m以上の地域で実施したので、昭和53年度に分析したpH4～6.45の湧泉（c. Fe²⁺+Al³⁺の比率の低い水）は見られなかった。また、造成温泉の採取も行っていない。

4. 横穴ボーリング孔湧水の湧出量

地下水排水のための横穴ボーリング孔が大涌沢右岸の2箇所（A、B地点）で掘られている。A地点は標高1,042mで4本掘られている。B地点は標高1,025mで5本の湧出口がもうけられている。これらの各地点の横穴からの地下水湧出量を表9、10に示した。A地点の湧出量は31ℓ/min（44.6m³/day）である。No.4、5の湧出量が1ℓ/minで著しく少ないが、これは外管から湧水が漏れているためである。B地点の湧出量は19ℓ/min（27.4m³/day）である。

5. 分析結果

本年度の採取試料は産状により、大涌沢左岸の湧水、A、B地点の横穴ボーリング孔湧水、表流水の3種類に分けられる。これら試料の分析結果を表11に示した。これらを昭和53年度の調査試料と比較させると表12のようになる。

表9 A地点の横穴ボーリング孔湧水

No.	温度	湧出量	pH	採水有無	備考
2	61.7℃	24ℓ/min	3.1	○	OH-2 OH-3
3	69.1	5	3.1	○	
4	60.0	1	3.1	×	
5	54.3	1	3.1	×	

表10 B地点の横穴ボーリング孔湧水

No.	温度	湧出量	pH	採水有無	備考
6	95.5℃	3ℓ/min	3.1	○	OH-4
7	85.5	4	2.6	○	OH-5
8	39.6	4	3.1	○	OH-6
9	31.3	8	3.1	○	OH-7
10	N.D.	N.D.	N.D.	×	

表11 分析結果

No.	1	2	3	4	5	6	7
(分析整理No.)	(OH-1)	(OH-2)	(OH-3)	採水できず	採水できず	(OH-4)	(OH-5)
現地調査日	S. 58. 5. 24						
種別	大涌沢左岸湧水	A地点横穴湧水	A地点横穴湧水	A地点横穴湧水	A地点横穴湧水	B地点横穴湧水	B地点横穴湧水
温度(°C)	44.0	61.7	69.1	60.0	54.3	95.5	85.5
湧出量(ℓ/min)	N. D.	24.	5.	1.	1.	3.	4.
pH	2.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	2.6
電導度(15°C, μS/cm)	6283.0	2028.5	3357.2			2655.0	3528.7
蒸発残留物	7376.5	1907.0	3574.0			2807.5	2955.
	ppm	ppm	ppm			ppm	ppm
H ⁺	8.06	0.81	0.81			0.81	2.52
K ⁺	2.44	2.91	7.99			3.29	1.53
Na ⁺	55.4	130.	184.			120.	95.5
Ca ²⁺	149.3	149.3	255.3			267.1	200.4
Mg ²⁺	121.4	83.2	159.6			118.6	130.8
Fe ²⁺	151.	57.5	161.			41.0	75.5
Al ³⁺	581.	28.1	51.1			52.1	51.3
Mn ²⁺	3.60	2.76	6.10			4.44	4.72
Cl ⁻	0.73	3.16	2.41			2.41	2.17
SO ₄ ²⁻	5044.	1171.	2382.			1800.	1986.
H ₂ SiO ₃	391.	357.	436.			295.	406.
H ₂ S	0.09	0.02	0.01			7.19	0.30

表 11 分 析 結 果 (つづき)

No.	8	9	10	11	12	13	14
(分析整理No.)	(OH-6)	(OH-7)	採水できず	採水できず	(OH-8)	(OH-9)	(OH-10)
現地調査日	S. 58. 5. 24	S. 58. 8. 22	S. 58. 8. 22	S. 58. 8. 22			
種 別	B地点横穴湧水	B地点横穴湧水	B地点横穴湧水	大涌沢左岸湧水	表流水	表流水	表流水
温度(°C)	39.6	31.3	N. D.	31.1	17.4	25.5	31.0
湧出量(ℓ/min)	4.	8.	N. D.	N. D.			
pH	3.1	3.1		2.1	3.3	3.0	2.4
電導度(15°C, μS/cm)	2781.2	2600.5			713.2	2003.3	3195.9
蒸発残留物	3350.0	2785.0			644.5	2249.0	3729.5
	ppm	ppm			ppm	ppm	ppm
H ⁺	0.81	0.81			0.50	1.08	4.03
K ⁺	3.03	2.34			1.45	1.74	2.71
Na ⁺	113.	132.			23.2	90.2	97.8
Ca ²⁺	347.5	226.8			74.6	166.4	193.9
Mg ²⁺	132.5	99.6			14.3	4.84	136.
Fe ²⁺	65.0	68.5			3.48	4.84	136.
Al ³⁺	81.8	54.5			12.7	53.7	126.
Mn ²⁺	4.62	3.96			0.88	2.32	3.44
Cl ⁻	2.46	2.93			3.75	2.69	2.02
SO ₄ ²⁻	2151.	1761.			367.8	1421.	2462.
H ₂ SiO ₃	266.	325.			150.	298.	332.
H ₂ S	0.16	11.4					

表12 分析試料の対比

昭和58年度分析試料	昭和53年度分析試料
I 大涌沢左岸の湧水	a ($\text{Fe}^{2+} + \text{Al}^{3+}$)の比率の高い水—マドポット、標高の高い地点の湧水
II A, B地点の横穴ボーリング孔湧水	なし
III なし	d ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$)の比率の高い水—大涌沢右岸の湧水
IV 表流水	e 表流水

温度：左岸湧水の温度は31.1～44.0℃である。A地点の湧水の温度は54.3～69.1℃である。B地点の湧水は31.3～39.6℃の低温のグループと、85.5～95.5℃の高温のグループとに分けられる。表流水は17.4～31.0℃の範囲にあり、低温のものほど溶存成分量が少ない。蒸発残留物と温度との関係を図12に示した。

pH：左岸湧水のpHは2.1で、今回採取した試料の中では最も酸性が強い。横穴ボーリング孔湧水のpHは2.6～3.1の範囲にある。B地点の85.5℃の湧水がpH 2.6で、その他はすべてpH 3.1である。表流水のpHは2.4～3.3の範囲にある。温度が低く、溶存成分量の少ないものほど酸性が弱い(pH 3.3)。温度が高く、溶存成分量の多いものほど酸性が強くなり(pH 2.4)なり、組成は左岸湧水に類似してくる。蒸発残留物とpHとの関係を図13に示した。

アルカリ金属、アルカリ土類金属イオン：蒸発残留物と K^+ (カリウムイオン)、 Na^+ (ナトリウムイオン)

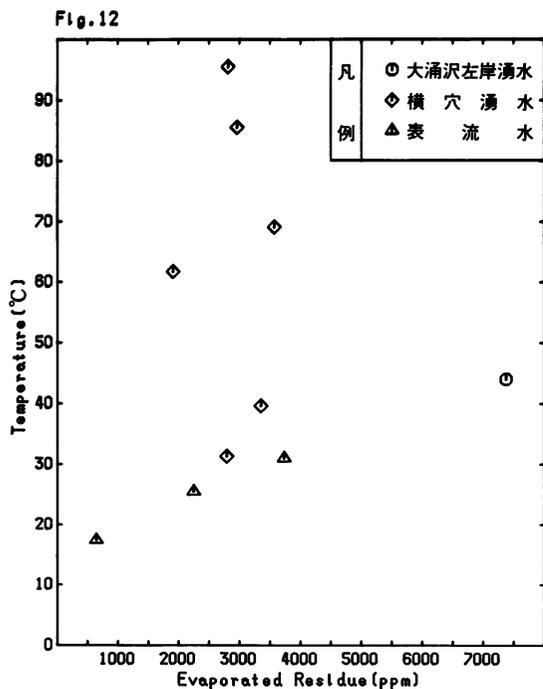


図12 蒸発残留物—温度

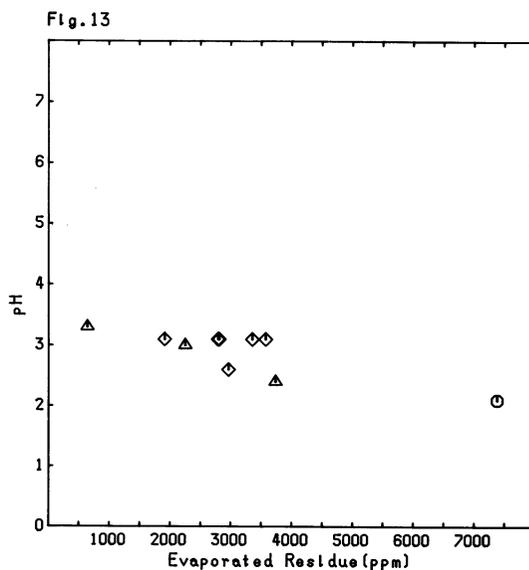


図13 蒸発残留物—pH

(凡例は図12と同じ)

ン), Ca^{2+} (カルシウムイオン), Mg^{2+} (マグネシウムイオン)の関係を図14~18に示した。

大涌沢左岸湧水は蒸発残留物が7376.5 ppmで、採取試料中で最も多いが、 Na^+ は55.4 ppm, Ca^{2+} は149.3 ppmであり、横穴湧水と比べて少ない。

横穴湧水の蒸発残留物は1907.0~3574.0 ppmで左岸湧水の約1/3~1/2であるが、 Na^+ は95.5~184 ppmで左岸湧水の約2~3倍, Ca^{2+} は149.0~347.5 ppmで左岸湧水の約1~2倍となっている。
鉄イオン：左岸湧水の Fe^{2+} (鉄イオン)は151 ppmである。横穴湧水の Fe^{2+} は41.0~161 ppmの範囲にある。A地点No. 3の161 ppmを除けば、その他の湧水の Fe^{2+} は41.0~75.5 ppmである。表流水の Fe^{2+} は大涌沢左岸湧水の流れ込む試料(No. 14)が136 ppmで多いが、その他は3.48~4.84 ppmで少ない(図20)。

アルミニウムイオン：大涌沢左岸湧水の Al^{3+} (アルミニウムイオン)は581 ppmで最も多い。横穴湧

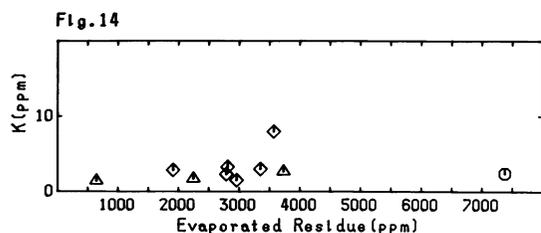


図14 蒸発残留物— K^+ (凡例は図12と同じ)

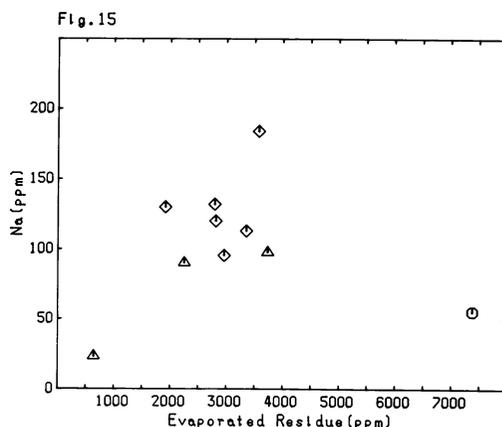


図15 蒸発残留物— Na^+ (凡例は図12と同じ)

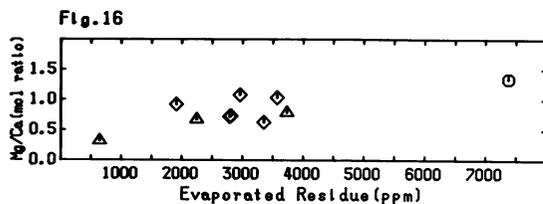


図16 蒸発残留物— $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ (モル比)
(凡例は図12と同じ)

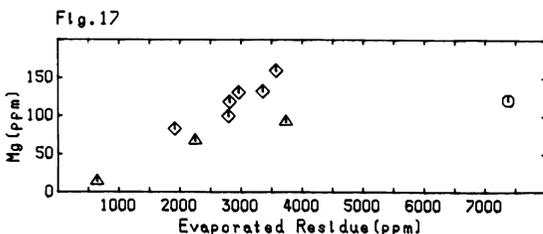


図17 蒸発残留物— Mg^{2+} (凡例は図12と同じ)

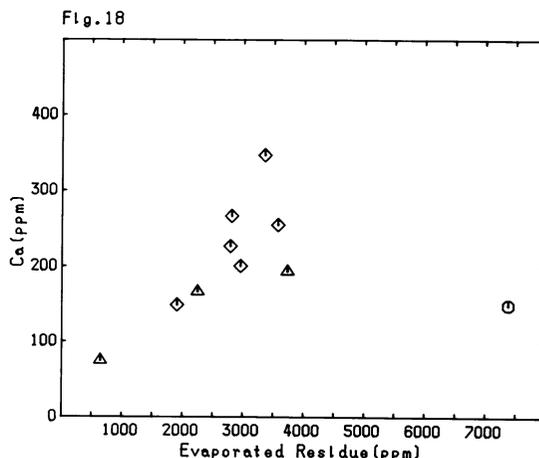


図18 蒸発残留物— Ca^{2+} (凡例は図12と同じ)

水の Al^{3+} は 28.1 ~ 81.8 ppm の範囲にある。

表流水の Al^{3+} は 12.7 ~ 126 ppm の範囲にあり、 Fe^{2+} の場合と同様に大涌沢左岸湧水の流れ込む試料 (No. 14) の Al^{3+} 溶存量が多い (図21)。

塩素イオン： Cl^{-} (塩素イオン) の溶存量は 0.73 ~ 3.75 ppm の範囲にあり大変すくない。蒸発残留物が 644.5 ppm で最も少ない表流水の Cl^{-} が 3.75 ppm で最も多く、 Cl^{-} が 0.73 ppm で最少の試料は蒸発残留物が最も多い大涌沢左岸の湧水である (図22)。

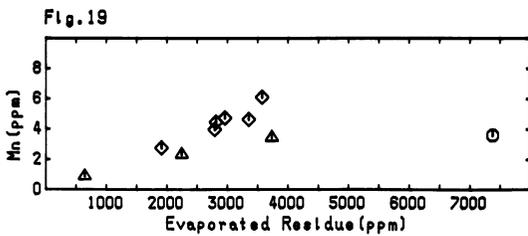


図19 蒸発残留物— Mn^{2+} (凡例は図12と同じ)

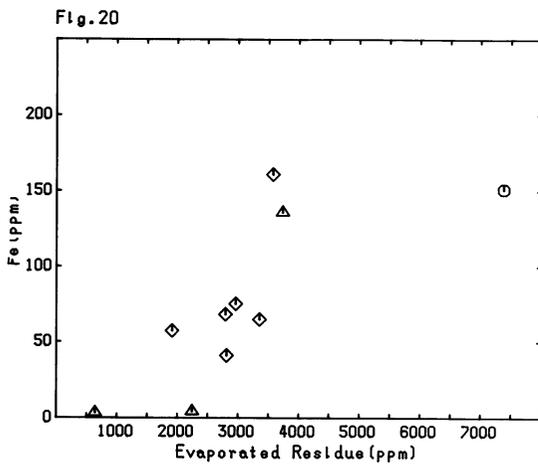


図20 蒸発残留物— Fe^{2+} (凡例は図12と同じ)

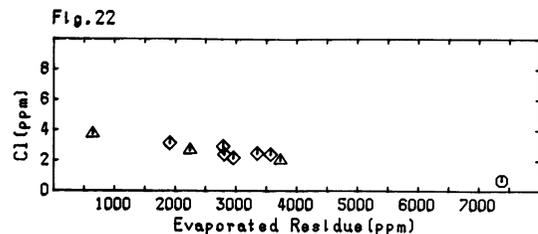


図22 蒸発残留物— Cl^{-} (凡例は図12と同じ)

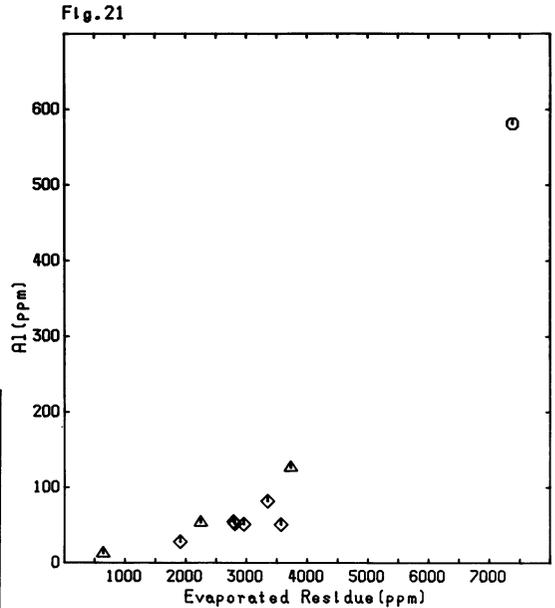


図21 蒸発残留物— Al^{3+} (凡例は図12と同じ)

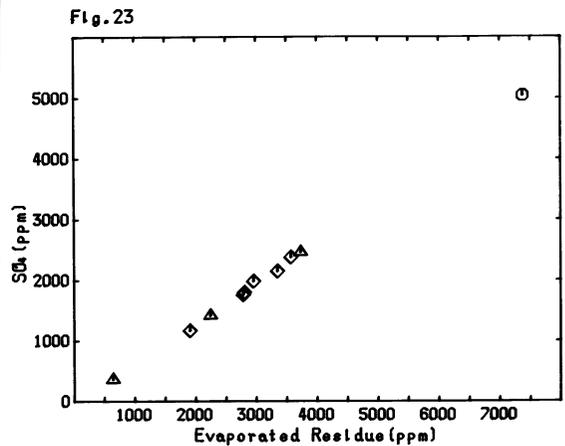


図23 蒸発残留物— SO_4^{2-} (凡例は図12と同じ)

硫酸イオン： SO_4^{2-} （硫酸イオン）の溶存量は367.8～5044 ppmの範囲にある。大涌沢左岸湧水が最も多く、温度が最も低い表流水が367.8 ppmで最少である。横穴湧水の SO_4^{2-} は1171～2382 ppmの範囲にある（図23）。

6. 考 察

本年度、大涌沢で採取した試料はpH 2.1～3.3の酸性で、陰イオンの主要成分は SO_4^{2-} である。これらは、箱根温泉の分帯で第I帯に区分される。

分析結果で見た通り、大涌沢左岸湧水と横穴湧水とでは Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Al^{3+} の溶存量に相違がある。アルカリ金属イオン（ $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ ）、アルカリ土類金属イオン（ $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ）、 $\text{Fe}^{2+} + \text{Al}^{3+} + \text{Mn}^{2+}$ を端成分にとり三成分図を作成した（ミリグラム当量比 meq%，図24）。この図24には、昭和53年度分析試料（表12のa, b, e）の分析値も合わせて投影した。

大涌沢左岸湧水：温度は31.7～54.8℃、pHは2.1～2.3の範囲にあり、最も酸性の強い湧水である。 SO_4^{2-} は2910～5044 ppmで、総溶存成分量が多い。陽イオンは Fe^{2+} 、 Al^{3+} の溶存量が多いのが特徴

Fig. 24

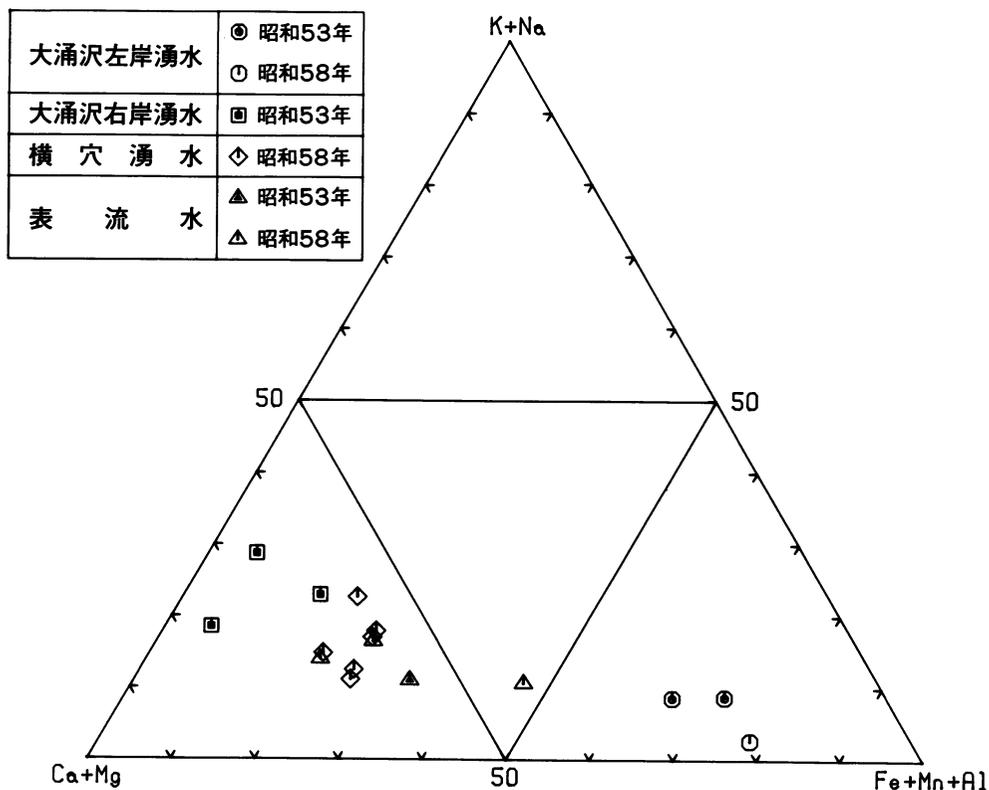


図24 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+} + \text{Mn}^{2+} + \text{Al}^{3+}$ 三成分図 (meq%)

である。特に Al^{3+} の溶存量が多く 294～581 ppm である。 Fe^{2+} 、 Al^{3+} に比較して、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} の溶存量がすくない。大涌沢左岸は地温が高く、岩石の変質は著しく進み地表は乳白色を呈している。このように岩石の変質が著しい所から湧出する地下水は $Fe^{2+} + Al^{3+}$ 成分に富み、 $K^+ + Na^+$ 、 $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ が少ない。

大涌沢右岸湧水：温度は 25.0～57.2 °C である。pH は 2.9～3.4 で、 SO_4^{2-} は 1005～1950 ppm である。 Al^{3+} は 5.89～57.3 ppm、 Ca^{2+} は 202～313 ppm、 Na^+ は 82.4～257 ppm の範囲にある。 $Fe^{2+} + Al^{3+}$ に比して $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ の比率が高く、 $K^+ + Na^+$ も横穴湧水よりは高い。

この湧水の湧出地点は、地温も比較的低温で、岩石の変質は著しく進んでいない。地表は茶褐色～赤褐色で、乳白色化した部分はすくない。大涌沢右岸湧水の湧出地点周辺は、噴気活動はほとんどなく、噴気地帯で生成する硫酸による岩石の溶脱作用は、大涌沢左岸ほど著しくない。

横穴ボーリング孔湧水：温度は 31.3～95.5 °C、pH は 2.6～3.1、 SO_4^{2-} は 1171～2382 ppm である。三成分比図（図24）では、横穴湧水は大涌沢左岸湧水と右岸湧水とを結ぶ線上に位置している。右岸湧水に比して $Fe^{2+} + Al^{3+}$ が多くなり、岩石の変質はより左岸型に近づいていると考えられる。

大涌谷噴気地帯の水質調査試料の Cl^- （塩素イオン）について

箱根火山の温泉では NaCl（食塩、塩化ナトリウム）を主成分とする塩化物泉が、火山活動の示指の一つとしてとらえられている。今回分析した湧水や表流水の Cl^- は 0.73～3.75 ppm であった。

しかるに、昭和53年に調べた造成泉の Cl^- は次の通りである。

No.	温度	pH	Cl^-
3	87.0 °C	2.50	80.8 ppm
6	92.5	2.42	86.8
10	67.8	2.86	88.8

ボーリング孔より噴出する火山性水蒸気を用いて造成される造成泉の Cl^- は 80.8～88.0 ppm である。造成に用いられる冷水は降水やイタリ水源の地下水（ Cl^- 、3～7 ppm）であるので、造成泉の Cl^- の大部分は火山性水蒸気によってもたらされている。

昭和53年の調査ではさらに、次のこともあきらかにされている。標高 850～900m から水平に掘られた横穴湧水の pH は 4.03～6.45 で、温度、 Cl^- は次の通りである。

No.	温度	pH	Cl^-
7	87.3 °C	6.37	230 ppm
9	64.0	6.45	60.7
12	39.4	4.03	46.7

大涌谷噴気地帯は、おおむね標高 1000 m 以上で自然の噴気活動をつづけている。その地下 100～200 m の深所には、ほぼ中性で Cl^- が数 100 ppm の熱水が存在していることがあきらかになっている。

噴気地帯から噴出している火山ガス等の揮発性成分は、この熱水から分離し蒸発してくるものであ

る。今回分析した噴気地帯の湧水の Cl^- は非常に少なかった。これは、地下の熱水から揮発成分としてもたらされる Cl^- (HCl 又は NaCl として) が大変少ないことを示している。地下熱水の組成、温度、圧力条件と Cl^- 成分の揮発は密接に関係している。大涌谷噴気地帯の湧水(温泉)の Cl^- は、この噴気地帯の地熱活動の状況を反映する重要な指標成分である。

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、自然湧水等の貴重な資料を提出して頂いた。

小田原土木事務所の熊切保河川砂防部長、川井一元河川砂防第二課長、森川武進副技幹、清水卓三主任技師には調査が円滑に進むよう御配慮して頂いた。

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。

以上の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 土壌物理研究会編(1979)土の物理学, 森北出版
 平野富雄, 大木靖衛, 田島綾子(1965)箱根大涌谷の温泉沈積物, 温泉工学会誌, Vol. 3, No. 3, 131 - 138
 広田 茂, 平野富雄, 大木靖衛(1974)大涌谷の新噴気, 神奈川県温泉研究所報告, Vol. 5, No. 1, 23-30
 広田 茂, 栗屋 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, 第7号
 小鷹滋郎, 広田 茂, 大山正雄, 栗屋 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
 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
 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)神奈川県温泉地学研究所報告
 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, 小鷹滋郎, 杉山茂夫, 栗屋 徹, 山本千秋, 村山省二(1979), 箱根火山硫黄山硫気地帯の調査, 廃熱の有効利用技術調査・研究
 大山正雄, 小鷹滋郎, 平野富雄, 杉山茂夫, 小沢 清, 伊東 博(1980), 早雲山噴気地帯の調査と金属材料試験, 廃熱の有効利用技術調査・研究
 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)箱根火山硫黄山硫気地帯の調査, 神奈川県温泉研究所報告, Vol. 4, No. 2, 83-90
 杉山茂夫, 小鷹滋郎, 大木靖衛(1982)大涌谷地すべり対策調査(昭和56年度) 神奈川県温泉地学研究所報告
 杉山茂夫, 大木靖衛, 小鷹滋郎(1983)大涌谷地すべり対策調査(昭和57年度) 神奈川県温泉地学研究所報告
 谷下市松編(1970)工業熱力学, 養華房
 橋 藤雄, 秋山 守, 岡本芳三, 森下輝夫(1969)伝熱論, コロナ社
 東京天文台編(1982)理科年表, 丸善
 WARREN H. GIETD(1960)横堀 進, 久我 修訳, 基礎伝熱工学, 丸善
 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, No. 2, 83-100
 湯原浩三, 瀬野錦蔵(1969)温泉学, 地人書院



写真1 大涌沢上流左岸（沢に平行して噴気帯が生じている）（昭和58年11月）

写真2 大涌沢上流部（昭和58年11月）



写真3 熱伝導率測定装置
（写真右上に図3の
装置が埋められてい
る）（昭和58年11月）





写真4 大涌沢上流右岸 写真左右に横穴排水ボーリング孔（図2のA, B地点）がある（昭和59年3月）