

大涌谷地すべり対策調査 (昭和55年度)

小鷹滋郎, 杉山茂夫, 大山正雄, 大木靖衛

神奈川県温泉地学研究所*

Geological Study for Prevention of Landslide in

Ōwaki-dani Solfataric Area, Hakone, 1980

by

Shigeo ODAKA, Shigeo SUGIYAMA, Masao ŌYAMA and Yasue ŌKI

Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

Hakone, Kanagawa

I はじめに

昭和48年秋、大涌谷―神山を結ぶ登山道沿いに、噴気地帯が出現した(広田ら 1977)。噴気地帯から噴出する火山ガスには硫化水素ガスが含まれている。従って、気象条件(曇天無風)によっては非常に危険な状態になるので、登山道を管理する箱根町では昭和50年3月に登山道を一部変更し、噴気地帯を迂回するコースをとった。

噴気活動はその後ますます活発となり、植物は枯死し、地層の温泉余土化された範囲は拡大された。あらたに出現した噴気地帯は大涌沢上流の急斜面の冠頭部に位置し(図1)、噴気活動の活発化は地すべり発生の原因になる。

神奈川県温泉地学研究所は、硫化水素ガスや地すべりによる災害を未然に防止するための基礎資料を得るため、昭和50年から大涌谷―旧神山登山道(以後、旧登山道と呼ぶことにする)沿いの噴気活動調査(地中温度分布調査)を実施した。

神奈川県土木部小田原土木事務所は、大涌谷地すべり防止対策の一環として、旧登山道沿いの噴気活動の継続調査を神奈川県温泉地学研究所に依頼した。調査は昭和53年に開始され昭和53年、54年の結果はすでに報告されている(小鷹ら 1979, 小鷹ら 1980)。昭和55年の調査は旧登山道沿いおよび大涌沢上流部の噴気地帯の活動

状況と経年変化に焦点をあわせておこなった。又、地質調査用ボーリング(昭和54年度、小田原土木事務所実施)コアの粘土鉱物(スメクタイト)をX回折装置により定量し、岩石の変質と粘土鉱物量との関係をは握することを試みた。

II 地中温度分布

調査地域を図1に示す。調査地域は昭和53年、54年と同様に大涌沢上流部から旧登山道沿いに存在する噴気地帯である。

噴気活動の状況を調査するため、深度50cmの地中温度を測定し、等温線を描いて地中温度分布状況を示した。図2は昭和55年7月22日、23日、28日の調査で得られた地中温度分布図である。等温線は90℃、60℃、30℃、20℃の4段階に区分した。

図2によると、旧登山道噴気地帯の等温線は大涌沢冠頭部に、ほぼ同心円状に分布している。90℃の等温線の直径は20~30m、30℃の直径は50~60mである。大涌沢上流部における噴気活動は左岸の山腹で活発である。左岸の等温線は、大涌沢に平行に南北方向に細長く分布している。90℃の等温線は幅5m、長さ110mである。30℃は幅30~40m、長さ140mとなっている。

90℃以上の地中温度を示す所は、熱が主として水蒸気

* 神奈川県箱根町湯本997 〒250-03

神奈川県温泉地学研究所報告 第12巻, 第7号, 1-13, 1981

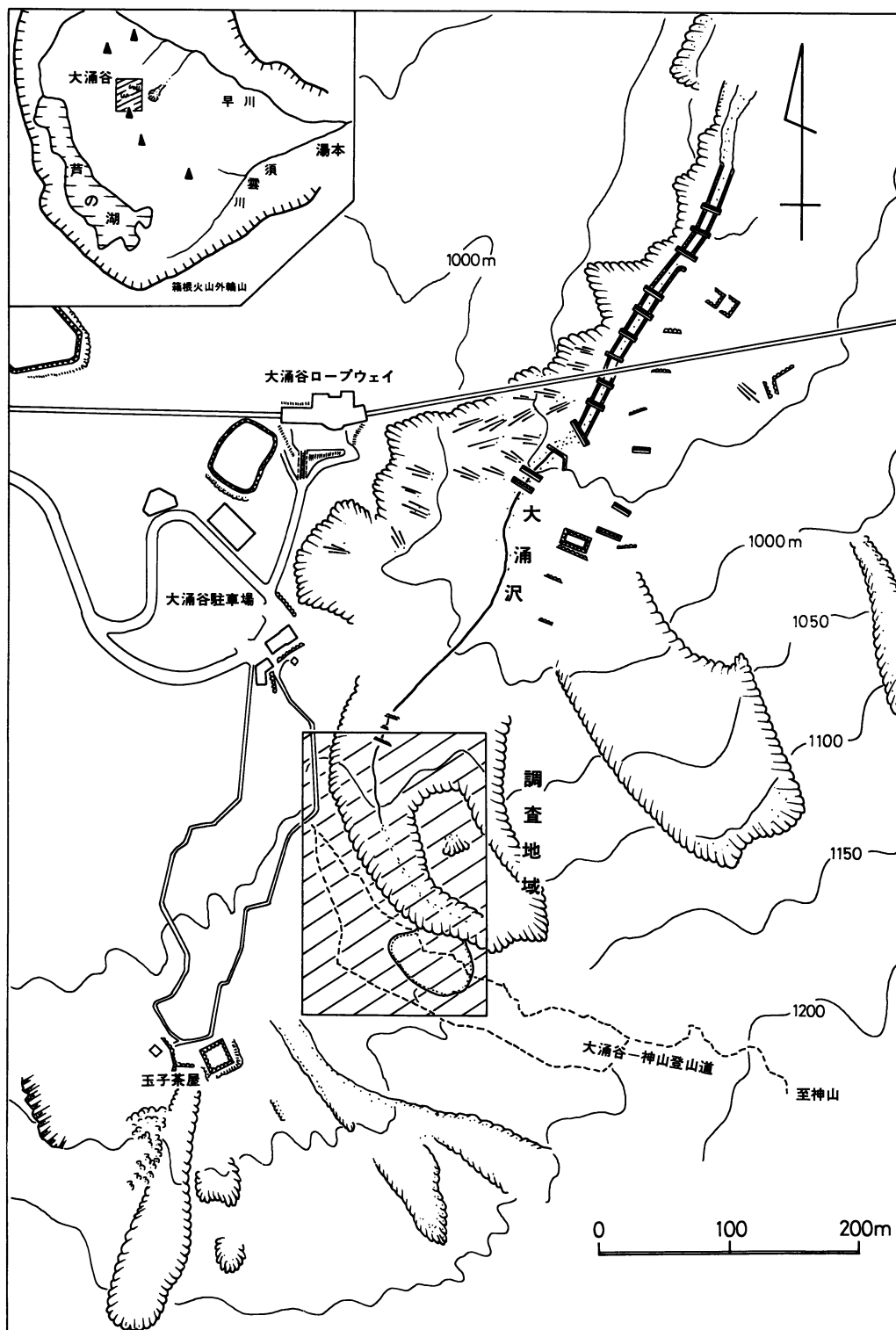


図1 箱根大涌谷噴気地帯の調査地域

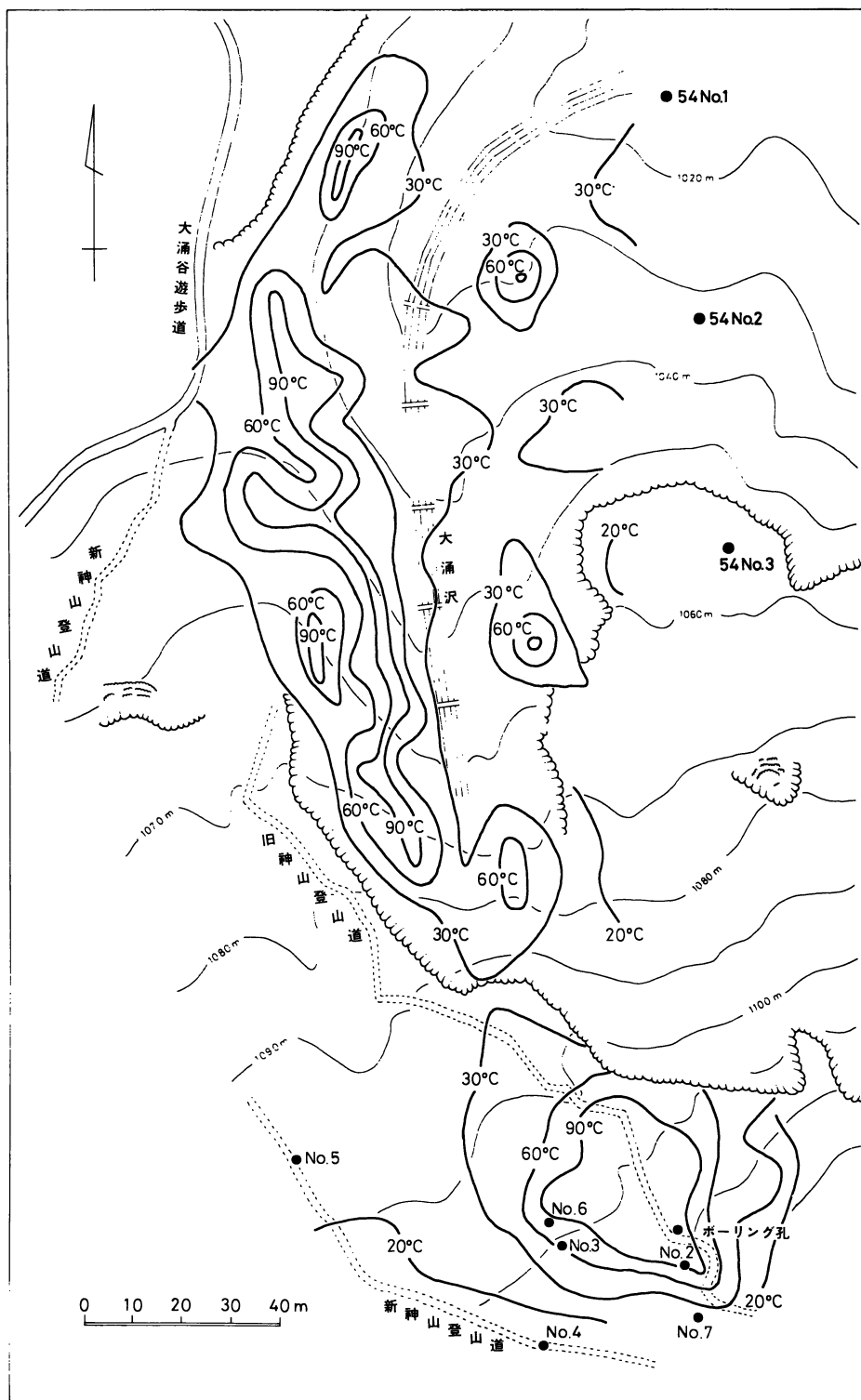


図2 調査地域の地中温度分布図(深度50cm) (昭和55年7月22, 23, 28日測定)

によって運ばれている。60℃以下の所は熱伝導によるものである。

1 旧登山道噴気地帯の経年変化

等温線によって囲まれる面積の経年変化を表1に示す。面積の増減を調べるにより噴気活動の盛衰がわかる。表1は広田ら(1977)の資料に昭和53、54、55年度の調査結果を付け加えたものである。表1によると90℃以上の占める面積は昭和52年を最大とし、その後は減小して

いる。60～90℃の面積は昭和54年(474㎡)より昭和55年(636㎡)の方が大きい。しかし60℃以上とすると昭和54年(1,568㎡)より昭和55年(1,368㎡)の方が小さい。

30℃以上については昭和54年(2,569㎡)と昭和55年(2,594㎡)はほぼ等しい。しかし、昭和54年の測定が5月初旬(気温10～15℃)、昭和55年が7月下旬(気温25～30℃)であることを考慮すると、昭和55年の方が噴気活動は衰退しているといえる。

表1 旧登山道噴気地帯における等温線に囲まれる面積の経年変化

地中温度(℃) (深度50cm)	面 積 (㎡)						
	昭和50年4月	昭和50年10月	昭和51年5月	昭和52年8月	昭和53年6月	昭和54年5月	昭和55年7月
90以上	970	1170	1660	1970	1402	1094	732
60～90					1258	474	636
30～60					1938	1001	1226
20～30					1106	1016	
30以上				4608	4598	2569	2594
20以上	2240	2600	3240		5704	3585	

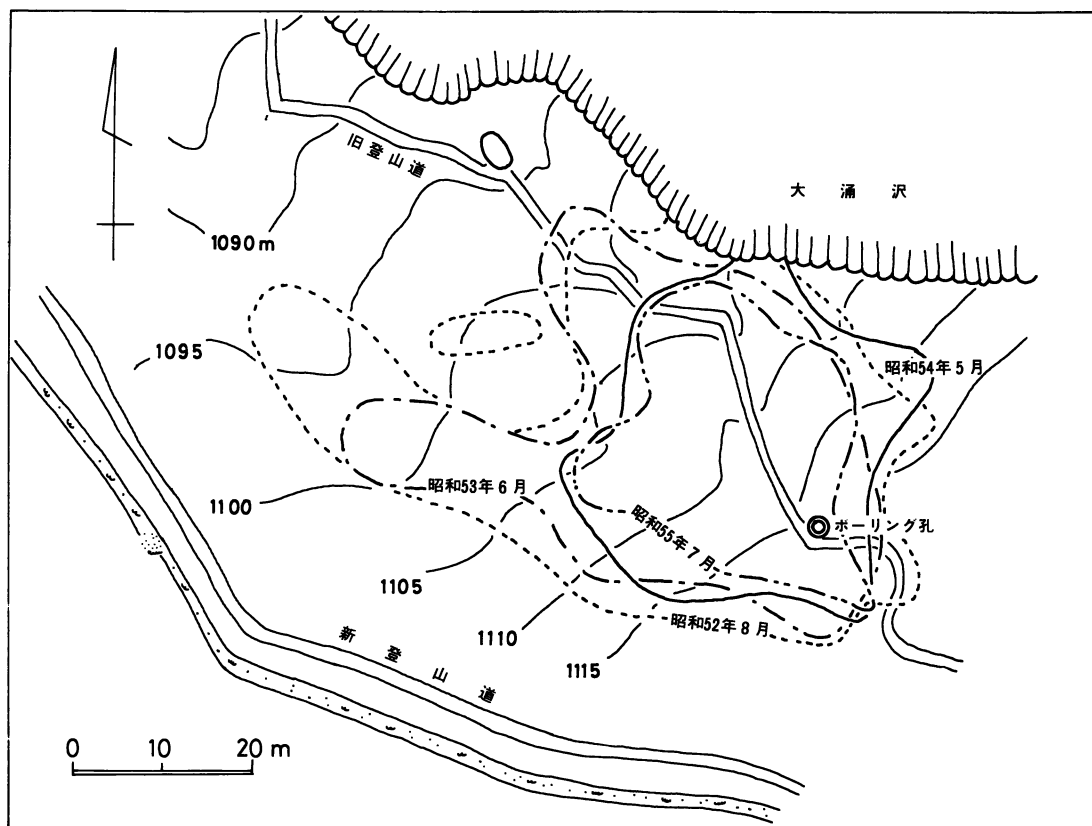


図3 旧登山道噴気地帯における90℃等温線(深度50cm)の経年変化

表2 大涌沢上流部噴気地帯における等温線に囲まれる面積の経年変化

地中温度 (℃) (深度50cm)	面 積 (㎡)						
	昭和50年 4 月	昭和50年10月	昭和51年 5 月	昭和52年 8 月	昭和53年 6 月	昭和54年 5 月	昭和55年 7 月
90以上					5 6 9	9 2 4	6 0 6
60~90					1 6 6 0	1 0 0 0	1 8 7 4
30~60						2 5 2 1	
20~30						2 9 3 5	
30以上						4 4 4 5	
20以上						7 3 8 0	

90℃の等温線の経年変化を図3に示す。等温線は噴気活動が最も活発であった昭和52年から昭和55年までのものである。図3によると90℃の等温線によって囲まれる範囲は年ごとに縮小している。西側の縮小が特に顕著である。

以上のことから、当地域の噴気活動は昭和52年を頂点とし、それ以後は衰退化しているといえる。その結果、この地域の西部では地熱によって枯死した植物が再び繁茂し始めている。

2 大涌沢上流部噴気地帯の経年変化

等温線によって囲まれる面積の経年変化を表2に示す。昭和55年の調査に昭和53、54年の調査結果を付け加えた。表2によると、90℃以上の面積は昭和53年569㎡、昭和54年924㎡、昭和55年606㎡で昭和54年が最も大きい。60℃以上の面積は昭和53年2,229㎡、昭和54年1,924㎡、昭和55年2,480㎡で昭和54年が最小、昭和55年が最大となっている。以上の関係からこの地域の噴気活動はほぼこの程度の規模で続いているものと考えられる。

Ⅲ 地中温度観測

旧登山道噴気地帯の拡大、縮小、移動等の経過を調査するため、噴気地帯とその周辺に定点を設け、深度50cmの地中温度観測をおこなった。観測位置は図2に示されている。表3は昭和55年度の観測結果である。図4は昭和53年、54年、55年の調査結果をまとめて図示したものである。No.2、No.3、No.4、No.5およびボーリング孔は昭和53年度から引続き観測を実施した。No.6は昭和54年から、No.7は昭和55年から観測を開始した。ボーリング孔は井戸天端における噴気の温度である。

新登山道沿いに設置されたNo.4、No.5および昭和55年に設置されたNo.7の地中温度は、夏期に最高温度を示し冬期に最低温度を示している。これらの温度は気温に平行して変化している。

No.2は昭和53年から54年10月まで95~98℃の間にあったが、54年11月から90℃前後に低下し、55年3月から再

び95℃前後になっている。

No.3は昭和53年から54年4月まで95℃以上あったが、その後低下し続け、昭和55年4月からは60~70℃の間にある。

昭和54年7月から観測を開始したNo.6は、開始当時は97.3℃あったが、変化の振幅が大きく昭和55年4月には61℃まで低下した。しかし昭和56年1月には88.4℃に上昇している。

ボーリング孔の噴気温度は、昭和54年7月に90℃以下に低下した以外は95℃以上あり、ほとんど変化していない。これら60℃以上を示すNo.2、No.3、No.6、ボーリング孔の温度は気温の影響を受けていない。

No.3、No.6は観測開始時は90℃以上あった地点である。現在は両地点とも90℃以下になっている。このことは旧登山道噴気地帯の経年変化の項で述べたように、この地域の噴気活動の範囲が縮小していることのあらわれである。

Ⅳ ボーリングコアの検討

昭和54年度中に小田原土木事務所は大涌谷で4本（3本が深度50m、1本が深度30m）のボーリングを実施した（図2の54No.1、54No.2、54No.3で54No.4は図から外れる）。ここでは、主としてこれらのボーリングコア中の粘土鉱物（スメクタイト）をX線回折装置により定量し、岩石の変質と粘土鉱物量との関係を把握することを試みた。使用したX線回折装置は理学電機製ガイガーフレックスRAD-IAである。

定量の方法は、まづコアを破砕し、水ひして粘土鉱物（直径0.002mm以下）の多い試料を作成した。次に粘土鉱物の多い試料と石英の粉末との重量比を変化させて（ここでは10%刻み）混合し、さらに一定量の方解石（沈降性炭酸カルシウム）を加えて混合し、その30mgをX線回折装置にかける。粘土鉱物は回折角（ 2θ ）の小さい方位にでる底面（001）反射が強い場合が多いのでその積分強度（反射ピークの面積）を測定する（須藤俊雄著、

表3 旧登山道噴気地帯の地中温度観測

(深度: 50cm, 単位: °C)

測定年月日 測定点	昭和55年 2月6日	3月13日	4月8日	5月6日	6月5日	7月23日	10月21日	12月22日	昭和56年 1月14日
No. 2	86.2	97.1	90.6	94.8	96.8			93.5	
No. 3	83.0	80.1	63.5	61.5	55.8	70.0	58.8	66.8	68.0
No. 4	3.0	4.4	9.4	11.1	15.4	18.8	15.8	5.9	4.2
No. 5	8.6	9.7	13.2	16.2	20.0	24.3	19.8	11.3	10.8
No. 6	80.8	69.1	61.0	93.0	71.6		74.6	78.8	88.4
No. 7						20.6		12.0	12.8
ボーリング孔 気温	97.2 -1.3	96.5	97.0	97.0	96.6	96.8	97.6	97.2	97.4 -0.4

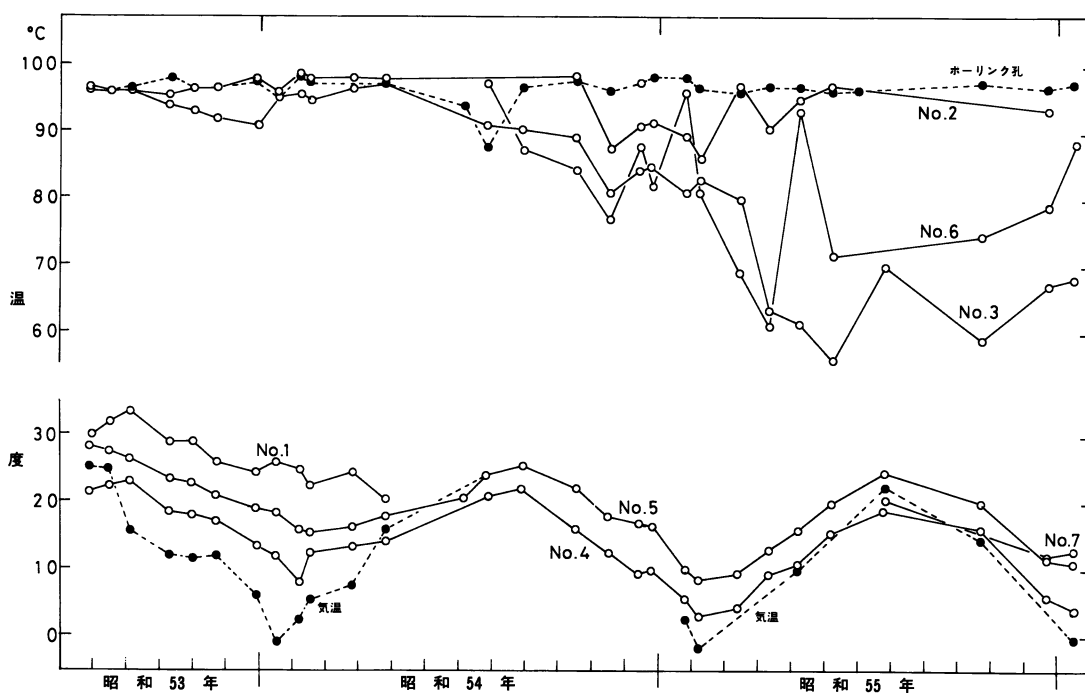


図4 旧登山道噴気地帯における地中温度(深度50cm)の経年変化

粘土鉱物学)。ここではスメタイトの(001)の反射 5.8° (2θ)を使用し、積分強度は 4° (2θ) $\sim$ 8° (2θ)をスキャンさせて測定した。この積分強度と粘土鉱物の多い試料の重量%がほぼ比例したので、全コアから水ひいて分離した粘土鉱物の多い試料のうち最大の積分強度を示した試料を100%スメタイトと仮定した。この最大の積分強度で各コアの積分強度を割ることによりスメタイトの相対的な定量を行なった。

図5は54No. 1 $\sim$ 54No. 3の地質断面図にスメタイトの重量%、地温、水位を記入したものである。地質、地温、水位は「昭和54年度地すべり工事対策報告書」によった。

地質状況は全体として深度が増すに伴ない、地温は上昇するが変質の程度は減少している。54No. 1、54No. 2 (54No. 3は水位が存在しない)とも工事中の水位より工事後の水位が低下している。これは浅層の地下水(この場合は雨水かもしれない)がより深い所に流入していることを示している。特に54No. 2では地温勾配からみて浅層の地下水が深度35m $\sim$ 40mに流入していることが判る。大涌谷におけるボーリング孔ではケーシングパイプがないので、浅層の酸性地下水が孔内を通してより深部に自然流下し、下部の割れ目に流入するため深所の岩石の変質を促進させることになる。

次に粘土鉱物（スメクタイト）の含有量（重量％）を深度別にみると、54No.1～3とも多少の例外はあるが、ほぼ同様で次のような傾向を示している。地表から深度10m 付近まではスメクタイトが少ない。深度10m より深くなるとスメクタイトが急に増加し、深度30m 付近で最も多くなる。さらに深度が増すと徐々にスメクタイトは減少している。この変化を変質の程度と比較して考えると、地表付近では酸性地下水による岩石の溶脱が非常に進んでいるためスメクタイトは消失していると考えられる。深度が増すと溶脱の程度は減少するが、地温が上昇し、ある程度の地下水があるのでスメクタイトの晶出が増加すると考えられる。深度30m を越すと岩石は緻密となり、地温は上昇するが、地下水の滲透が少なくなるため変質は進まず、スメクタイトの晶出は減少していると考えられる。深度50m までのコアではスメクタイト以外の粘土鉱物は認められないが、一般に地熱地帯では浅い所にスメクタイト又はアルカリモンモリロナイトを生じ、さらに深くなるとそれらと緑泥石の混合層鉱物を生じることが知られている（関、大木、平野、1980）。

その他に54No.1の27m、30m、50mと54No.3の25mに方解石が認められる。このことは深度25m～30mより深い中性の地下水が存在していることを示す。54No.2には方解石が認められないが、これは酸性地下水が割目に沿ってさらに深い所まで浸入している可能性がある。

今後の問題点として、X線回折の積分強度から粘土鉱物の定量を行なう場合、純粋な粘土鉱物を分離することは不可能であることと結晶度、鉄含有量により強度が変ることなどかなり困難な問題がある。そのため今後はコア中の自由水・結晶水の有無や粘土鉱物以外の鉱物の組合せからも変質の程度を検討していく必要があると思われる。又平野ら（1965）は硫黄作用で変質した神山熔岩からカオリナイトを見い出しているので今後はボーリングで得られるコア中の粘土鉱物の種類についても調査・検討を続ける必要がある。

V 大涌谷の降水量

昭和55年1月から12月までの大涌谷（箱根ロープウェイ大涌谷駅）の降水量を表4に示す。表4によると昭和55年の年間降水量は3,689mmである。昭和43年～昭和55年の過去13年間の年平均降水量は3,508mmである。昭和55年の年降水量は過去13年間の年平均降水量よりも181mm多い。これは平年にくらべて3月、4月、5月の降水量が多かったためである。

VI まとめ

1 噴気活動について

旧登山道の噴気活動は昭和52年を頂点とし、それ以後は衰退化している。一方、大涌沢上流部の噴気活動は、地中温度の測定結果からは活動の盛衰を論じるまでに至っていない。

2 粘度鉱物（スメクタイト）の含有量と岩石の変質程度との関係

粘度鉱物（スメクタイト）の含有量は深度別に次のような傾向を示している。

地表から深度10m 付近まではスメクタイトが少ない。深度10m より深くなるとスメクタイトは急に増加し、深度30m 付近で最も多くなる。さらに深度が増すと、スメクタイトは徐々に減少している。

スメクタイトの含有量と岩石の変質程度を比較すると、地表付近では酸性地下水による岩石の溶脱が非常に進んでいるため、スメクタイトは消失していると考えられる。深度が増すと溶脱の程度は減少するが、地温が上昇し、ある程度の地下水があるので岩石は熱水変質作用を受けてスメクタイトの晶出が増加している。深度30m 以上になると、岩石は緻密となり、地温は上昇するが、地下水の滲透が少なくなるため岩石の変質は進まず、スメクタイトの晶出は減少していると考えられる。

54No.1の27m、30m、50m、54No.3の25mに方解石が認められる。このことは深度25～30m以深は中性の地下水が存在することを示す。

3 ボーリング孔について

大涌谷におけるボーリング工事の記録をみると、工事中の水位より工事後の水位が低下している（54No.1、54No.2）。これは浅層の地下水がより深い所に流入していることを示している。浅層の地下水は酸性なので、孔内を流下して下部の割れ目に流入することにより、深所の温泉余土化を促進すると考えられる。今後大涌谷、早雲山、湯之花沢等の噴気地帯で、下向きのボーリング孔を掘さくする場合は、完全なケーシング工事を施工し、孔内への酸性地下水の流入をシャ断する必要がある。

VII 今後の課題

箱根には大涌谷、早雲山、湯之花沢に噴気地帯がある。これらの地域はいずれも、噴気活動と浅所にある酸性地下水の作用により、地層の温泉余土化がおこなわれている。

これら噴気地帯の地すべり防止対策としては、地すべりの予知と地すべり対策工事がある。

1 地すべり予知

地すべり予知には、地すべりが発生しそうな箇所を探る長期的な予知と、地すべりが発生しそうな箇所を監視する短期的な予知がある。

(1) 長期的予知

地すべりの原因として地層の割れ目発生が考えられる。噴気地帯の地層に割れ目ができると、割れ目を伝わって噴気が上昇してくる。噴気をいろいろな方法で調査し、直接地表では見えない割れ目の位置を推定する。

噴気地帯の割れ目探査として次の方法が考えられる。

割れ目探査	地温探査	赤外線リモート・センシング
		地中温度分布調査
	化学探査	水銀
		炭酸ガス

地温探査は、高温部分の連続性から割れ目位置を推定する。赤外線リモート・センシングは広い範囲の表面温度分布を短時間に測定できる。又近接するのが不可能であったり、危険である箇所温度測定ができる。地中温度分布調査は、適当な間隔で地中温度を測定し、等温線を描いて温度分布を求める。この調査は地中温度を温度計で直接測定するので、せまい範囲の調査に適しているが、広範囲の調査には多大な労力と日時を必要とする。

化学探査は、火山ガスの化学成分や噴気孔周辺の土壌に濃集された微量成分を測定して割れ目の位置を推定す

表4 昭和55年大涌谷降水量

箱根ロープウェイ大涌谷駅資料

月 日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			67	4		15	2					
2						17	38	9				16
3	6							10				
4	5							3				
5			5		10							
6			10	148			52	1	151	33		
7			45			15	32		3	22		
8					55	47	12					
9	3		41	3	39	152			26			
10									58	2		
11							16		60			16
12				13	77				2	1		
13	24			132	88							
14			10	190	25					62		
15				4	70	1	11			3		
16				19	35		2	1		27		
17				4	24	4		3				
18					6		10	19		7		
19		11		4		1	1			50		
20		3		110		28		29	1	38		
21		1	11	14	39	6		23	8		96	
22		5	60					31			5	
23			2			1		24				27
24				5			88		9	43	3	
25				10	25		41	5	15	34	2	
26					115		8	84	38			
27	2			29			1	2	25			
28	5	7					2	1			46	
29	16	8	64									
30	16			24			95	5				
31			52		7		5					
計	77	35	367	713	615	287	416	250	396	322	152	59

(単位: mm)

(年間合計 3,689mm)

る。火山ガス中には炭酸ガスや微量の水銀が含まれている。炭酸ガスは大気中に放出されてしまうが、水銀はある程度土壤中に濃集する。

(2) 短期的予知

地すべりを予知するためにいろいろな観測機器が開発されている。しかし噴気地帯では噴気中に硫化水素ガスが含有されていて金属を腐蝕するため、長期にわたって観測を続けることは困難である。現場に適した観測機器の開発が課題となる。

2 地すべり対策工事

地すべり対策工事として、一般的には堰堤、表流水の排水路等の工事がある。これらの工事は土木部によって大涌谷ではすでに施工されていて効力を発揮している。

噴気地帯においては、深部から上昇してくる火山ガスと浅層地下水が作用し合い、高温酸性泉となって浅所の地層を温泉余土化する。従って地すべり防止工事としては浅い所にある地下水の排出が重要な点になる。地下水の排出は温泉余土の速度を緩和するだけでなく、地すべり防止対策として一般に認められている。小田原土木事務所では、昭和55年度に酸性地下水の排出工事（ボーリング孔による）を実験的に開始した。

Ⅶ 謝辞

箱根ロープウェイ大涌谷駅には貴重な降水量の資料を提供していただいた。

神奈川県土木部竹腰正保砂防課長ならびに小田原土木事務所小松克正前河川砂防課長、村田康雄河川砂防第二課長、遠藤利仁主査には調査が円滑に進むように御配慮していただいた。

温泉地学研究所の職員の方々には野外調査に協力していただいた。

以上関係者の方々に厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 安藤 武, 大久保太治 (1966), 試錐結果からみた大涌谷変質帯の内部構造と変質機構について, 火山性地すべりの発生機構および予知に関する研究 (第2報 その1), 防災科学技術総合研究報告, No. 7, 19-39.
- 栗屋 徹, 平野富雄, 大木靖衛 (1976), 箱根火山の温泉の水銀含有量, 神奈川県温泉研究所報告, Vol. 7, No. 1, 43-52.
- 藤井紀之, 大八木規夫, 武司秀夫, 小泉久直, 大久保太治 (1966), 箱根大涌谷変質帯の産状および性質, 火山性地すべりの発生機構および予知に関する研究 (第2報 その1), 防災科学技術総合研究報告, No. 7, 7-18.

平野富雄, 大木靖衛, 田嶋綾子 (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), 箱根大涌谷の新噴気, 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.

神奈川県小田原土木事務所, 神奈川基礎調査株式会社 (1980), 昭和54年度地すべり対策工事 (公共) (当初5号分割5) 大涌沢足柄下郡箱根町仙石原地先報告書, 古賀昭人, 野田徹郎 (1975), 地熱地帯の蒸気系における地球化学的探査法, 地熱, Vol. 12, No. 4, 21-28.

Matlick, J. S., and Buseck, P. R., (1976), Exploration for geothermal areas using mercury - A new geochemical technique, U.N. Geotherm. Symposium, 2nd, San Francisco, California, 1975, Proc., Vol. 1, 785-792.

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.

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.

大木靖衛, 平野富雄 (1972), 箱根温泉の湧出機構と成因, 地熱, Vol. 9, No. 1, 15-29.

Phelps, D. W., and Buseck, P. R., (1980), Distribution of soil Mercury and the development of soil mercury anomalies in the Yellowstone geothermal area, Wyoming, Economic Geology, Vol. 75, 730-741.

関陽太郎, 大木靖衛, 平野富雄 (1980), 地熱地帯下部で形成されたChlorite-Montmorillonite系鉱物のタイプ分け試案, 岩石鉱物鉱床学会誌, Vol. 75, No. 2, 55-61.

須藤俊男 (1974), 粘土鉱物学, 岩波書店.

渡 正亮, 酒井淳行, 中島 彬, 富田利保 (1966), 箱根地区火山性地すべりの運動機構に関する研究, 火山性地すべりの発生機構および予知に関する研究 (第2報 その3), 防災科学技術総合研究報告, No. 9, 45-74.

山口真一, 高田雄次, 竹内篤雄, 中村三郎 (1966), 大涌谷地表変動および地温調査, 火山性地すべりの発生機構および予知に関する研究 (第2報 その3), 防災科学技術総合研究報告, No. 9, 3-16.

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.



写真1 調査地域全景。写真中央の下部が大涌沢上流部。大涌沢冠頭部で噴煙のみえる所が旧登山道噴気地帯（昭和56年2月27日撮影）。

写真2 旧登山道噴気地帯。写真中央にボーリング孔がみえる。（昭和56年2月27日撮影）。





写真3 旧登山道噴気地帯。写真左側は噴気地域の後退により再び繁茂し始めた植物（昭和56年2月27日撮影）。

写真4 旧登山道噴気地帯の温泉湧出孔。直径は約50cmある（昭和56年2月27日撮影）。





写真5 大涌沢上流部の噴気地帯。
(昭和56年2月撮影)

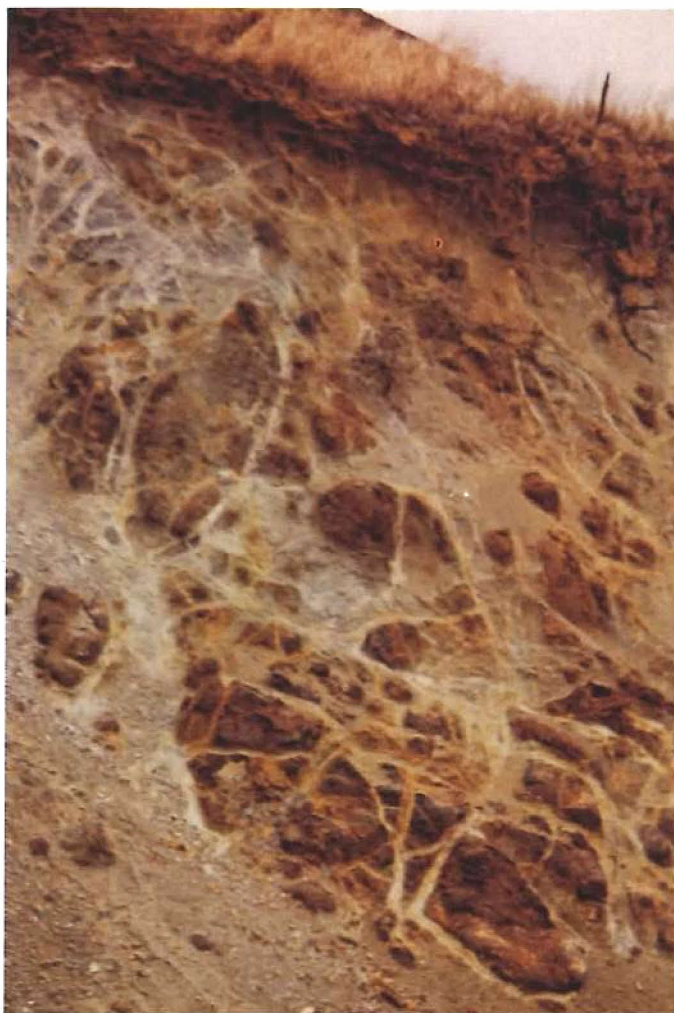


写真6 岩石の割れ目を通して酸性泉が流下し、
温泉変質作用が進む。
(昭和56年2月撮影)