

# 大涌沢地すべり対策調査

## (昭和60年度)

### 水質調査

平野 富雄，石坂 信之，栗屋 徹<sup>\*\*</sup>，大木 靖衛<sup>\*</sup>  
 神奈川県温泉地学研究所<sup>\*</sup>

Landslide Prevention in Owakudani  
 Steaming Ground, Hakone, 1985  
 Chemical Composition of Ground Waters  
 and Surface Waters

by

Tomio HIRANO, Nobuyuki ISHIZAKA, Toru AWAYA and Yasue OKI  
 Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture  
 Hakone, Kanagawa

#### はじめに

神奈川県小田原土木事務所より受託した「大涌沢地すべり対策調査」の一環として、大涌沢地すべり防止区域の水質分析を実施した。分析調査は大涌沢をA、B、Cの三区域に分け（杉山他，1986，調査地域図参照），昭和58—60年度の3ケ年でおこなった。

昭和60年度調査のC地域は、大涌沢に架かる箱根ロープウェイの北側部分である。本調査地域で表流水や湧泉など8試料を採取した。なお、三年間の調査結果を締めくくるため、この報告書はA地域等の調査結果も含めてまとめた。

---

\* 神奈川県足柄下郡箱根町湯本997 〒250-03

\*\* 神奈川県環境部水質保全課

神奈川県温泉地学研究所報告 第17巻，第6号，17—28 1986.

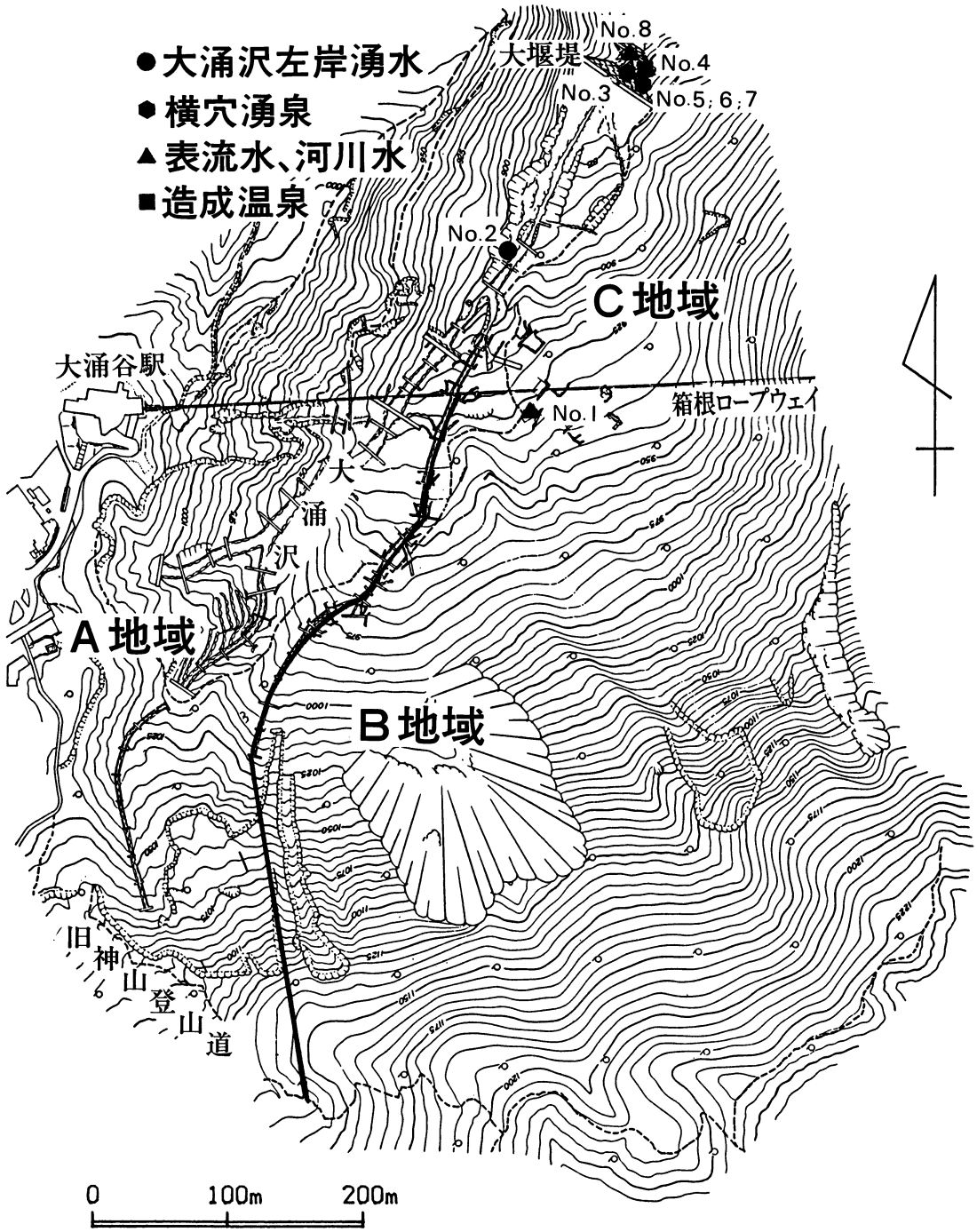


図1 大涌沢C地域の採水場所

## 謝 報

この調査を実施するにあたり次の方々のお世話になった。

小田原土木事務所の岩淵正人砂防部長、小沢 了河川砂防第二課長、森川武進副技幹、加藤裕也主査は調査が円滑に進むよう配慮して下さった。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る。

## 採 水

昭和60年度調査は箱根ロープウェイの北側、標高840—930mのC地域で行った。大涌沢右岸の標高930m付近に箱根温泉供給株式会社の温泉源地がある。ここでは深さ200—300mの蒸気井から噴出する火山性水蒸気を用いて温泉造成がなされている。この温泉源地で採取した表流水(No.1)は温度10.8℃、pH2.97であった。

No.2は大涌沢左岸の標高890m付近に湧き出している湧水でpH4.13である。水温は湧出量が少なく測れなかった。C地域の大涌沢左岸に噴気活動はなく地表の岩石は赤褐色に変色しているが、その変質作用は大涌沢上部のA地域に比べ弱い。

No.3—8の試料は大堰堤の下で採取した。この内No.3, 5, 6, 7は横穴湧泉である。No.3は温泉供給株式会社の第2号湧泉で、堰堤にむけて水平に約100mほど掘られている。この湧泉のpHは6.37で中性に近い。No.5, 6, 7はほぼ同一箇所に湧出口のある横穴湧泉でpH3.64のNo.7を挟み左側がpH6.41のNo.5, 右側がpH4.21のNo.6となっている。

No.4は温泉供給株式会社の造成温泉で、通常2・3号線と呼ばれ、強羅方面などに送湯される起点で採取した。No.8は大涌沢の河川水である。

## 分析結果

C地域の水質分析結果を表1に示した。大涌沢上部のA地域(昭和58年度調査、杉山他, 1984)の試料に比べ、C地域の試料ではpHや $\text{Fe}^{2+}$ (鉄(II)イオン)、 $\text{Al}^{3+}$ (アルミニウムイオン)、 $\text{Cl}^-$ (塩素イオン)、 $\text{HCO}_3^-$ (炭酸水素イオン)の溶存量が著しく異なるものがある(図2—10)。温度:表流水(No.1, 8)の温度は10.2—10.8℃であった。横穴湧泉(No.5, 6, 7)の温度は33.3—59.2℃でpHが高いものほど温度が高くpH3.64のNo.7は33.3℃、pH4.21のNo.6が37.7℃、pH6.41のNo.5が59.2℃である。造成温泉(No.4)の温度は60.2℃であった。

A地域の大涌沢上部右岸横穴湧泉の温度は31.3—95.5℃の範囲にあり、特に60℃以上のものが多かったが、C地域の湧泉では90℃にも達する高温のものは見られなかった。No.2, 3は水量が少ないなどの理由で測定できなかった。

pH:C地域の調査でpHが最も低かったのは造成温泉(No.4)のpH2.50である。No.8の大涌沢河川水がpH2.75でこれにつき、No.1の表流水がpH2.97、No.2の左岸湧水はpH4.13であった。横穴湧泉(No

表1 大涌沢C地域の水質分析結果

試料番号 (No.)	1	2	3	4	5	6	7	8
採水日 昭和	60. 11. 13	60. 11. 13	60. 11. 13	60. 11. 13	60. 11. 13	60. 11. 13	60. 11. 13	60. 11. 13
種 別	表流水	大涌沢左岸 湧 水	横穴湧泉 (2号)	造成温泉 (2.3号線)	横穴湧泉	横穴湧泉	横穴湧泉	大涌沢 河川水
温度 (°C)	10. 8	—	—	60. 2	59. 2	37. 7	33. 3	10. 2
pH	2. 97	4. 13	6. 37	2. 50	6. 41	4. 21	3. 64	2. 75
蒸発残留物 (ppm)	1380.	271.	2050.	1030.	2450.	2590.	2600.	3300.
H <sup>+</sup>	1. 07	0. 08		3. 16		0. 06	0. 23	1. 78
K <sup>+</sup>	2. 05	0. 77	6. 23	3. 28	10. 0	5. 47	4. 46	9. 92
Na <sup>+</sup>	64. 9	7. 91	83. 5	50. 9	146.	118.	127.	192.
Ca <sup>2+</sup>	103.	22. 7	225.	78. 5	259.	268.	217.	205
Mg <sup>2+</sup>	39. 9	5. 42	75. 2	34. 2	101.	97. 7	109.	172.
Fe <sup>2+</sup>	18. 9	0. 16	0. 12	12. 2	0. 11	1. 04	16. 7	96. 9
Al <sup>3+</sup>	15. 7	1. 88	0. 05	6. 27	0. 16	29. 4	55. 4	65. 7
Mn <sup>2+</sup>	2. 00	0. 19	4. 57	1. 54	5. 61	5. 17	6. 53	9. 52
Cl <sup>-</sup>	4. 41	6. 85	44. 3	101.	210.	144.	145.	197.
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	754.	120.	1050.	741.	1095.	1430.	1620.	1950.
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			217.		177.			
H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	309.	113.	305.	159.	308.	256.	278.	420.

(分析値の単位:ppm)

分析者 粟屋 徹, 石坂信之

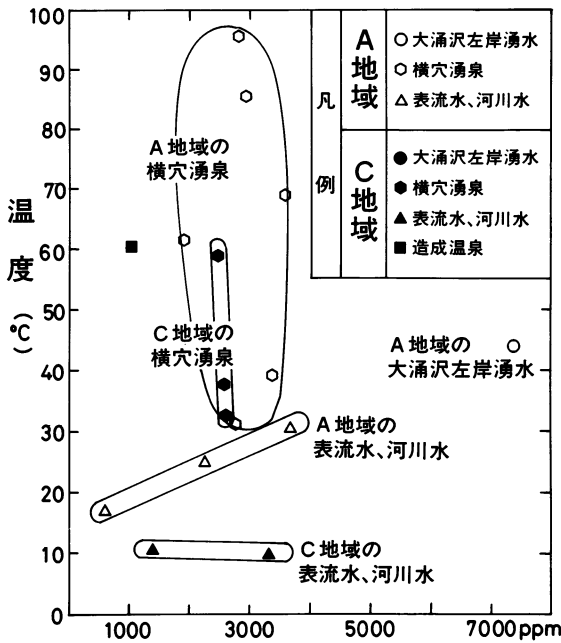


図2 蒸発残留物—温度

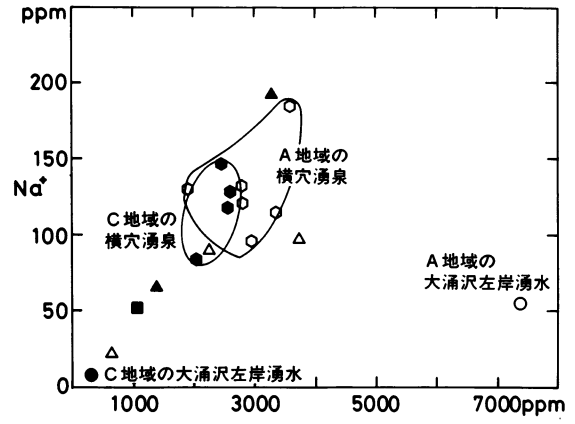


図4 蒸発残留物—Na<sup>+</sup>

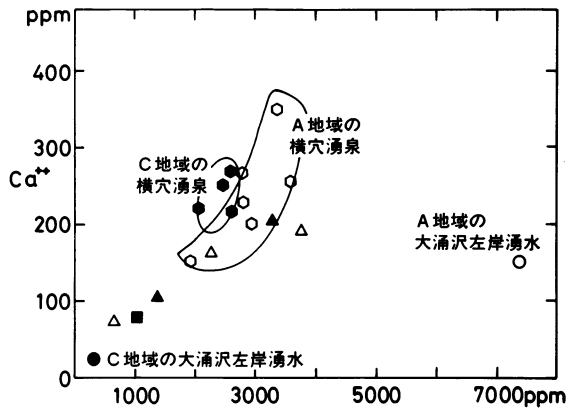


図5 蒸発残留物—Ca<sup>2+</sup>

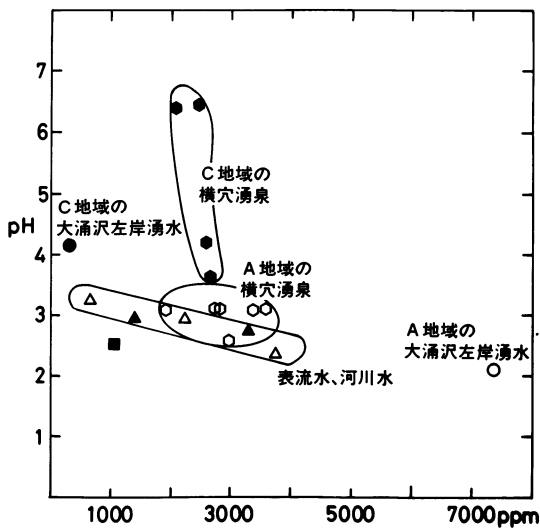


図3 蒸発残留物—pH

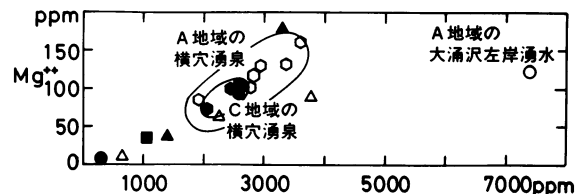


図6 蒸発残留物—Mg<sup>2+</sup>

3, 5, 6, 7) のpHは3.64—6.41の範囲にある。この内、Na 3およびNa 5はpH 6.37—6.41で中性に近くHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>を177—217ppm含む重炭酸塩・硫酸塩型の水質になっている。

蒸発残留物：C地域の8試料の蒸発残留物は271—3300ppmの範囲にあり、最低は大涌沢左岸の湧水（No.2），最高は大涌沢の河川水（No.8）である。大涌沢上部（A地域）の河川水の蒸発残留物は644.5—3729.5ppmの範囲にあり（杉山他，1984），上流から流下するにつれて溶存分量は増加していた。今回採取した地域の河川水とA地域末端の河川水の蒸発残留物はそれぞれ3300ppm，3729.5ppmで大きな違いはないが，陰イオン（ $Cl^-$ ， $SO_4^{2-}$ ）の組成比がことなっている。

横穴湧泉（No.3，5，6，7）の蒸発残留物は2050—2600ppmで A地域の横穴湧泉の1907—3574

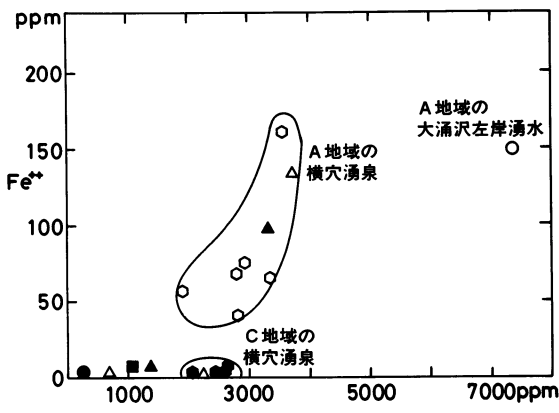


図7 蒸発残留物— $Fe^{2+}$

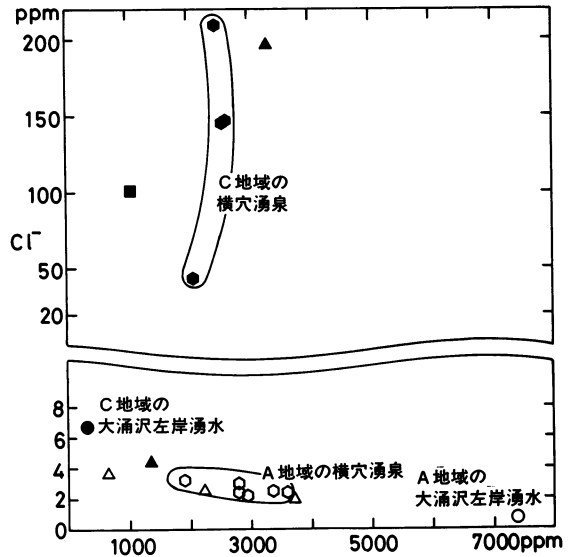


図9 蒸発残留物— $Cl^-$

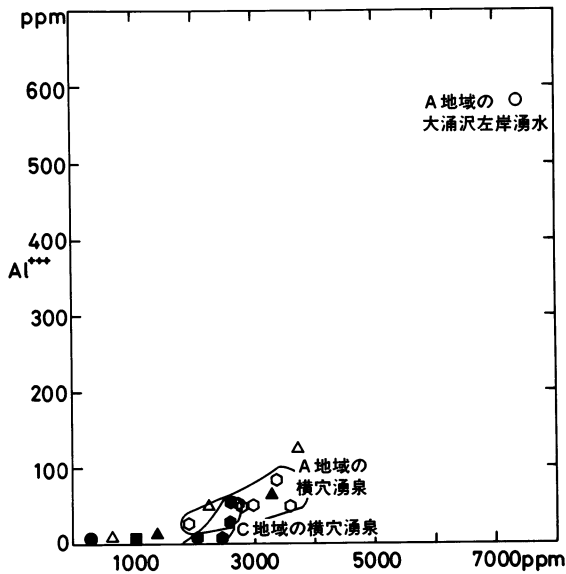


図8 蒸発残留物— $Al^{3+}$

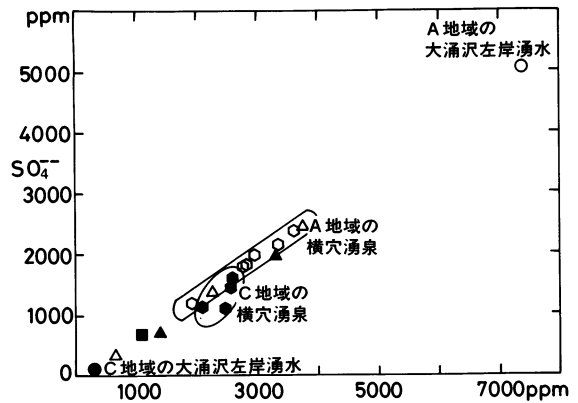


図10 蒸発残留物— $SO_4^{2-}$

ppmに比べて少ない。

**Na<sup>+</sup> (ナトリウムイオン)** : 8 試料の Na<sup>+</sup> は 7.91—192ppm の範囲にある。左岸湧水 (No 2) が 7.91ppm で最も低く、横穴湧泉は 83.5—146ppm である。大涌沢河川水 (No 8) の Na<sup>+</sup> は 192ppm で、A 地域末端の河川水の 97.8ppm の約 2 倍になっている。

**Ca<sup>2+</sup> (カルシウムイオン)・Mg<sup>2+</sup> (マグネシウムイオン)** : 8 試料の Ca<sup>2+</sup> は 22.7—268ppm, Mg<sup>2+</sup> は 5.42—172ppm の範囲にある。蒸発残留物が多いものほど、これら成分の溶存量は多くなる。

**Fe<sup>2+</sup> (鉄 (II) イオン)** : Fe<sup>2+</sup> は 0.11—96.9ppm の範囲にある。No 8 の河川水の 96.9ppm が最高で、pH 2.50—3.64 の試料 (No 1, 4, 7) が 12.2—16.7ppm でこれにつぐ。pH 4.13—6.41 の試料 (No 2, 3, 5, 6) の Fe<sup>2+</sup> は 0.11—1.04ppm で大変少ない。

**Al<sup>3+</sup> (アルミニウムイオン)** : Al<sup>3+</sup> は 0.05—65.7ppm の範囲にある。Fe<sup>2+</sup> と同様に試料の pH と Al<sup>3+</sup> 溶存量は密接に関係している。pH 2.75 の河川水が Al<sup>3+</sup> 65.7ppm で最も多い。同一箇所に出出口のある 3 本の横穴湧泉では pH 6.41 の No 5 が 0.16ppm, pH 4.21 の No 6 が 29.4ppm, pH 3.64 の No 7 が 55.4ppm となっていて、pH が高いものほど Al<sup>3+</sup> 溶存量は少なくなる。

**Cl<sup>-</sup> (塩素イオン)** : 8 試料の Cl<sup>-</sup> は 4.41—210ppm の範囲にある。この内 No 1, 2 の Cl<sup>-</sup> は 4.41—6.85ppm で A 地域の試料の 0.73—3.75ppm とほぼ同じである。

火山性水蒸気による造成温泉 (No 4) の Cl<sup>-</sup> は 101ppm, 横穴湧泉 (No 3, 5, 6, 7) の Cl<sup>-</sup> は 44.3—

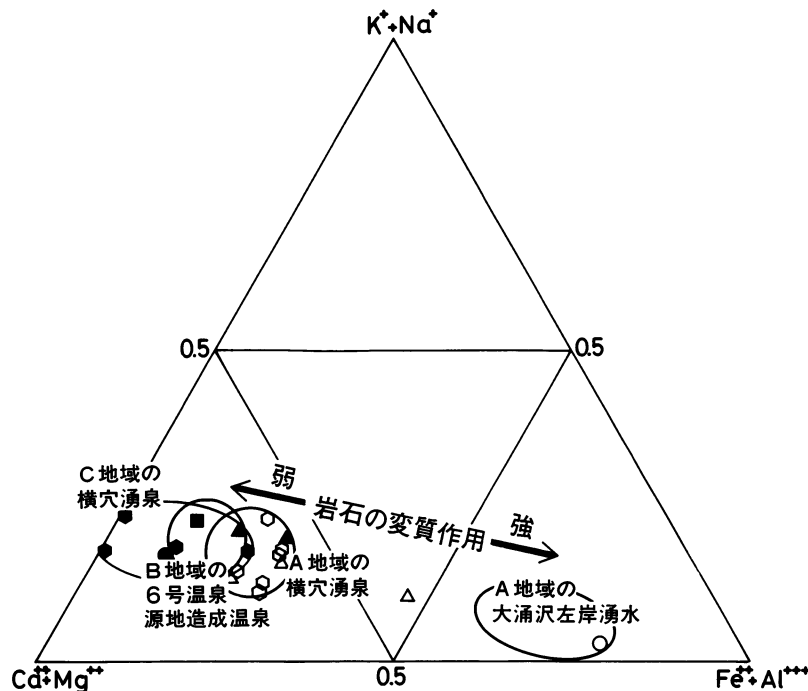


図11 K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>+Al<sup>3+</sup> 三成分図

210ppm, 河川水 (No.8) は197ppmであった。Cl<sup>-</sup>は大涌沢上部のA地域での採取試料では大変少なかったが、造成温泉やC地域の横穴湧泉等で多くなっている。

**SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (硫酸イオン)** : SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は120—1950ppmの範囲にある。噴気活動のない左岸湧水 (No.2) が最も少なく、河川水 (No.8) が最も多い。造成温泉は741ppmである。横穴湧泉は1050—1620ppmで、pH3.64のNo.7が最も多い。

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (炭酸水素イオン)** : 今回採取した8試料の内、No.3はpH6.37, No.5がpH6.41ではほぼ中性に近い。これらはHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>を177—217ppm溶存している。

大涌沢のボーリングコアを調べると、深さ数10m以深で方解石 (calcite, CaCO<sub>3</sub>) が出現する (大涌谷54No.1のボーリングコアでは深さ27m, 杉山他, 1982)。方解石は地下の熱水の液性が中性—塩基性であることを示す熱水変質鉱物であるので、噴気活動の激しい大涌沢の地下数13m深に中性—塩基性の熱水が存在することを示している。No.3, 5は地熱地帯の末端で湧出している中性熱水である。

## 考 察

**陽イオン組成比** : 昭和58, 59年度に調査したA, B両地域の水質組成は岩石の変質作用と密接に関係している事を陽イオン組成図によって示した (平野他, 1985)。C地域の8試料のK<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>

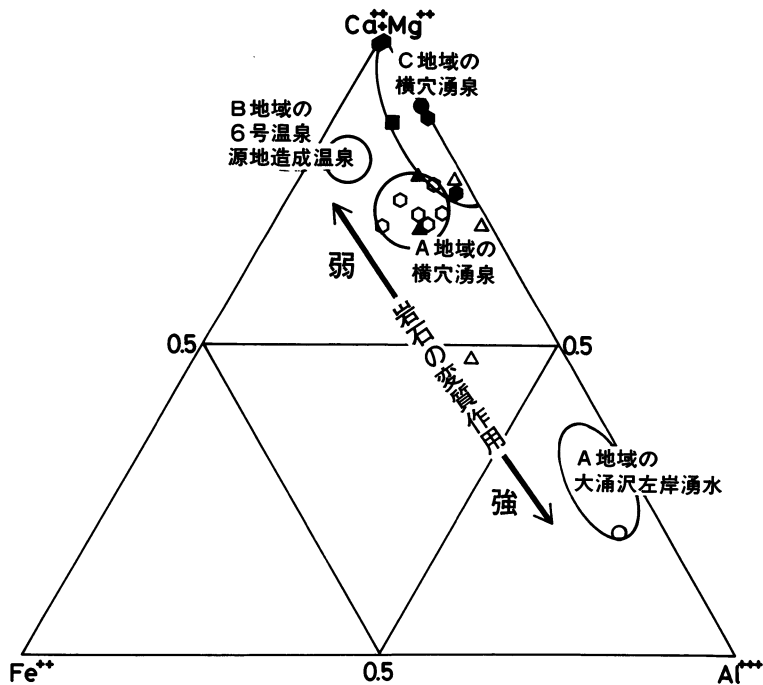


図12 Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> 三成分図



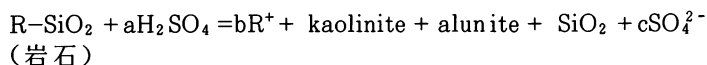
+Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> + Al<sup>3+</sup> 組成比を三成分図に投影すると、No 1, 8の表流水とNo 7の横穴湧泉はA地域の横穴湧泉と同じ位置に投影される。No 2の湧水、No 4の造成温泉、No 6の横穴湧泉はB地域の6号温泉源地の造成温泉とほぼ同じ位置をしめた。pHが中性に近いNo 3, 5の横穴湧泉はFe<sup>2+</sup> + Al<sup>3+</sup>の溶存量が非常に少ないのでK<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>とCa<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>を結ぶ線上に投影される(図11)。

同様にFe<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>を各々端成分に取り三成分図を描いた(図12)。pHが低くAl<sup>3+</sup>の多い表流水(No 1, 8)やNo 7がA地域の横穴湧泉と同じ位置

をしめ、Al<sup>3+</sup>の少ないものほどCa<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>端成分側による。

Al<sup>3+</sup>と変質作用：A地域とC地域の試料のAl<sup>3+</sup>とH<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>(珪酸)の関係を取るとA地域の左岸湧水のAl<sup>3+</sup>が極端に多い(図13)。この左岸湧水はpH2.1で全試料中最も低く、岩石の変質作用が最も激しく進んだ所から湧出している。A, C両地域の試料のAl<sup>3+</sup>/H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>(mol)比をとると、A地域の左岸湧水を除きすべて1または1以下である。

噴気地帯における硫酸酸性の地下水による岩石の変質作用は



のような一般式で示され、変質鉱物としてカオリナイト(kaolinite, Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>)、アルーナイト(alunite, KAl<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>、明ばん石)、オパール(opal, SiO<sub>2</sub>・nH<sub>2</sub>O、蛋白石)などを生ずる。

岩石を構成する珪酸塩鉱物の長石類が変質してカオリナイトを生ずるときは

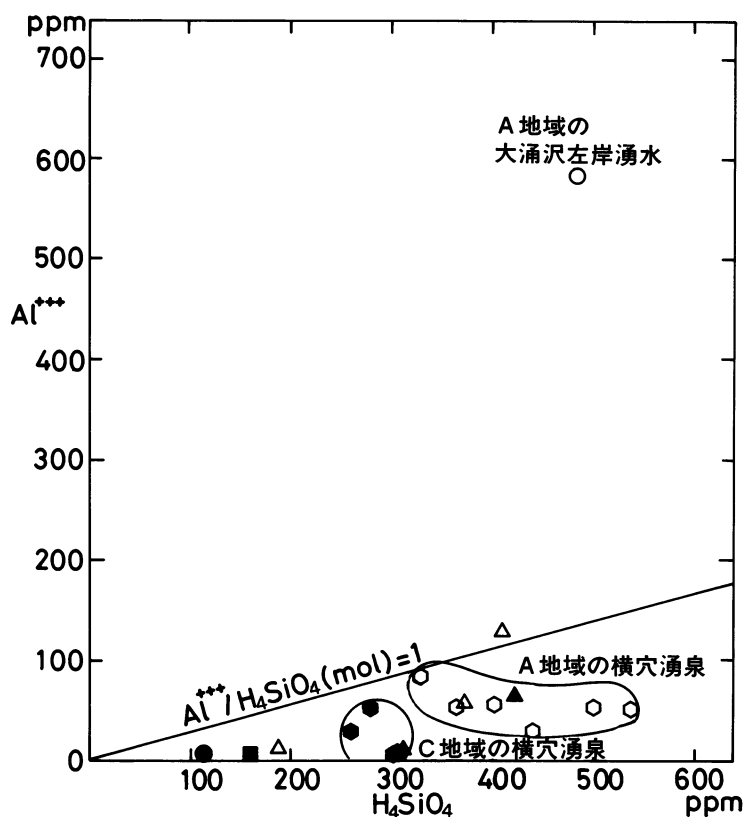
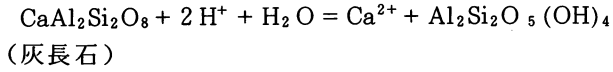
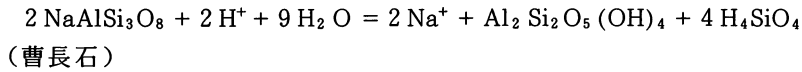


図13 Al<sup>3+</sup>-H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>



のような化学式で示され、大量の  $\text{Al}^{3+}$  は溶出しにくい。カオリナイトがさらに強い酸で侵されると

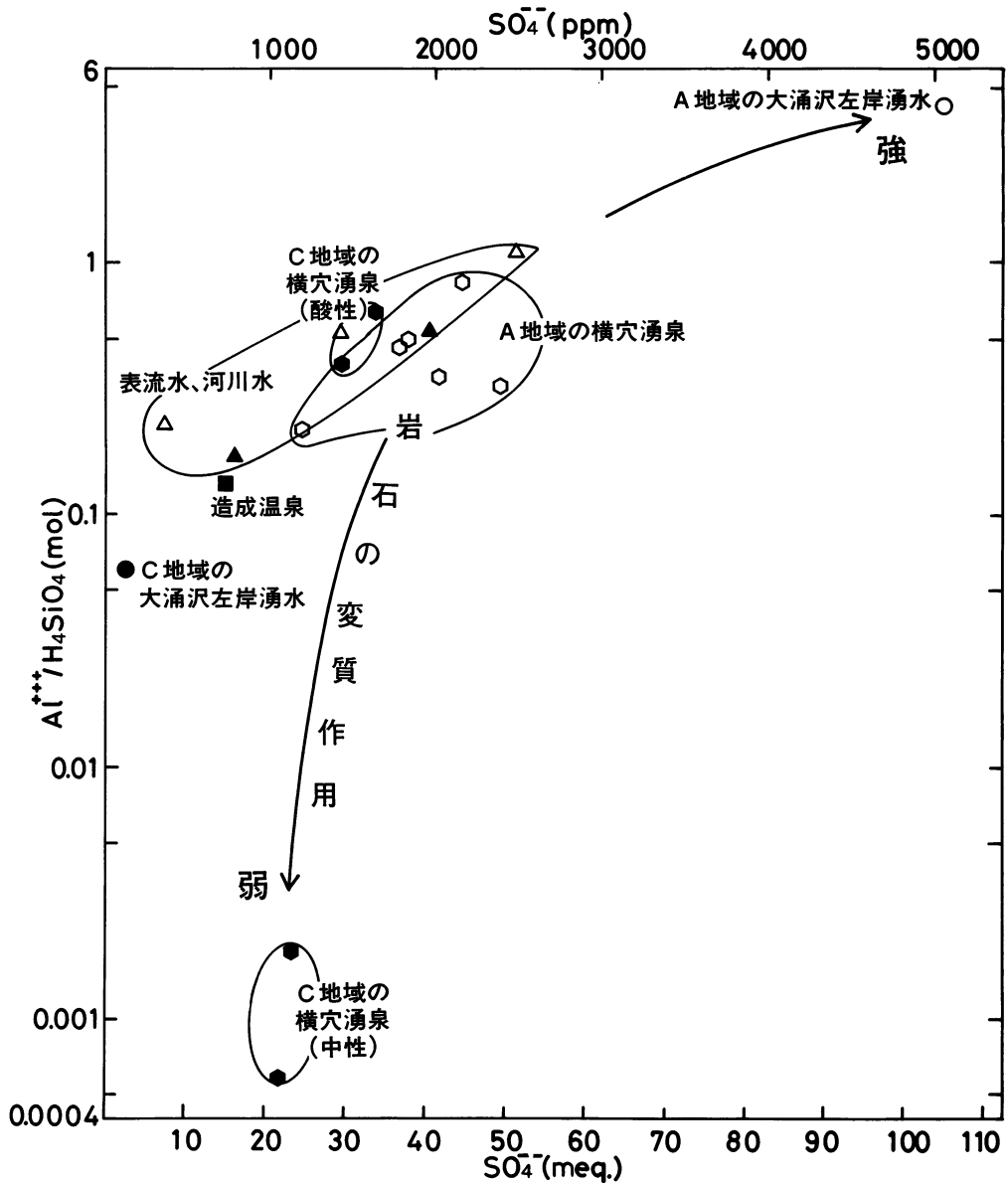
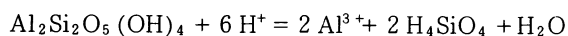
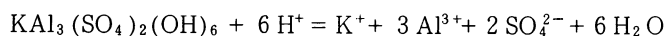


図14  $\text{Al}^{3+}/\text{H}_4\text{SiO}_4 - \text{SO}_4^{2-}$



$\text{Al}^{3+}$  と  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  が  $\text{Al}^{3+}/\text{H}_4\text{SiO}_4$  (mol) 比1で液中に溶出する。A地域の左岸湧水の  $\text{Al}^{3+}/\text{H}_4\text{SiO}_4$  (mol) 比は4.3である。これはカオリナイトの溶解だけでは説明でない。おそらくアルーナイトから次のようにして



$\text{Al}^{3+}$  が放出されていると思われる。

大涌沢上部の黄白色に変質した、いわゆる温泉余土の鉱物組成は大部分が非晶質珪酸 ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) でカオリナイトやアルーナイトは大変少ない。硫酸酸性地下水による変質作用が激しい所ではカオリナイトやアルーナイトも侵され、 $\text{H}_4\text{SiO}_4$  に比べて  $\text{Al}^{3+}$  が大変多く溶出しているのであろう。

大涌沢の水質試料の  $\text{Al}^{3+}/\text{H}_4\text{SiO}_4$  (mol) 比と  $\text{SO}_4^{2-}$  の関係を描くと (図14), 図11, 12で示した変質の強弱が大変明瞭に区分される。 $\text{SO}_4^{2-}$  の多いものほど  $\text{Al}^{3+}/\text{H}_4\text{SiO}_4$  (mol) 比が大きく、大涌沢の酸性変質作用は地表付近で生成される硫酸 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) の濃度に関係していることが明らかである。

## まとめ

大涌沢の上部から下部にわたり湧水や湧泉などを採取し、その水質を調べて次の事が明らかになった。

- (1)大涌沢の湧泉等の水質は湧出場所の岩石の変質作用を反映している。岩石の変質作用が著しい所の湧水ほど  $\text{SO}_4^{2-}$  が多く  $\text{Al}^{3+}$  の溶容量が多い。分析値を陽イオン組成図 (図11, 12) や  $\text{Al}^{3+}/\text{H}_4\text{SiO}_4$  (mol) -  $\text{SO}_4^{2-}$  図 (図14) に投影すると、変質の著しい所の試料ほど  $\text{Al}^{3+}$  成分に富む領域をしめる。
- (2)岩石の変質が著しい所の湧水の  $\text{Al}^{3+}$  はカオリナイトやアルーナイトの溶解によってもたらされていると思われる。
- (3)大涌沢上部 (A地域) の湧泉等の  $\text{Cl}^-$  は大変少ない。下部の湧泉ほど  $\text{Cl}^-$  に富むようになる。大涌沢の末端ではpH6.37-6.41で  $\text{HCO}_3^-$  や  $\text{Cl}^-$  に富む湧泉が湧出し、噴気地帯の比較的浅所な中性の熱水が存在する事を示している。

## 参考文献

- 平野富雄, 栗屋 徹, 石坂信之, 大木靖衛 (1985) 大涌沢地すべり対策調査 (昭和59年度) 水質調査, 神奈川湿地研報告 Vol.16, No.5, 13-24.
- 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), 神奈川湿地研報告, Vol.13, No.6, 1-14.

杉山茂夫, 大山正雄, 小鷹滋郎, 平野富雄, 粟屋 徹, 大木靖衛 (1984) 大涌沢地すべり対策調査 (昭和58年度), 神奈川温地研報告, Vol.15, No.6, 1-24.

杉山茂夫, 小鷹滋郎, 大山正雄, 大木靖衛 (1985) 大涌沢地すべり対策調査 (昭和59年度)放熱量調査, 神奈川温地研報告, Vol.16, No.5, 1-12.

大涌沢C地域の横穴湧泉の採水 (昭和60年11月)

