

大涌沢地すべり対策調査

(昭和59年度)

水質調査

平野富雄，栗屋 徹，石坂信之，大木靖衛，

神奈川県温泉地学研究所*

Geochemical Study for Prevention of Landslide
in Owaki — dani Solfataric Area, Hakone, 1984

by

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

はじめに

大涌沢地すべり対策事業の一環として、大涌沢の水質調査を実施している。この調査は小田原土木事務所の依頼によるもので、大涌沢地すべり防止区域の水質分析を昭和58年度より3年間で実施する計画である。

昭和59年度調査地域(杉山他 1985, 調査地域図参照)では造成温泉等4試料を採取し、その水質について検討した。

謝 辞

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ます。

* 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16巻, 第5号, 13-24, 1985

調査地域

昭和59年度調査地域の採水調査を昭和59年6月8日に実施した。当日、調査地域内では自然湧出している湧水は見られなかった。

本調査地域内に箱根温泉供給会社の4号、5号および6号温泉源地がある。温泉供給会社は大涌谷ロープウェー駅脇の貯水池に貯えた水を、パイプで大涌沢に導き噴出蒸気で温めて、いわゆる造成温泉をつくっている。造成温泉は地熱の利用法により、噴出蒸気注水造成泉、硫気地帯散水造成泉、横穴湧出泉に分けられる（平野他，1965）。現在、造成温泉の大部分は噴出蒸気注水造成泉である。噴気活動のさかんなところに、冷水を散布する硫気地帯散水造成法は、集水効率が悪いことや、地すべり対策上好ましくないなどの理由で昭和50年頃中止された（大木他，1981）。

4～6号温泉源地周辺では、県土木部が地すべり対策のために昭和35年から49年にかけて約20本の排気ボーリング工事を施工した（神奈川県土木部砂防課，1981：図1）。今では排気孔の面影を保っているものが1本残っているだけで、この温泉源地周辺は自然の噴気地帯と変わらない様相を呈している（写真1）。1本残ったその排気孔の上端からは冷水が注入されていた（写真2）。

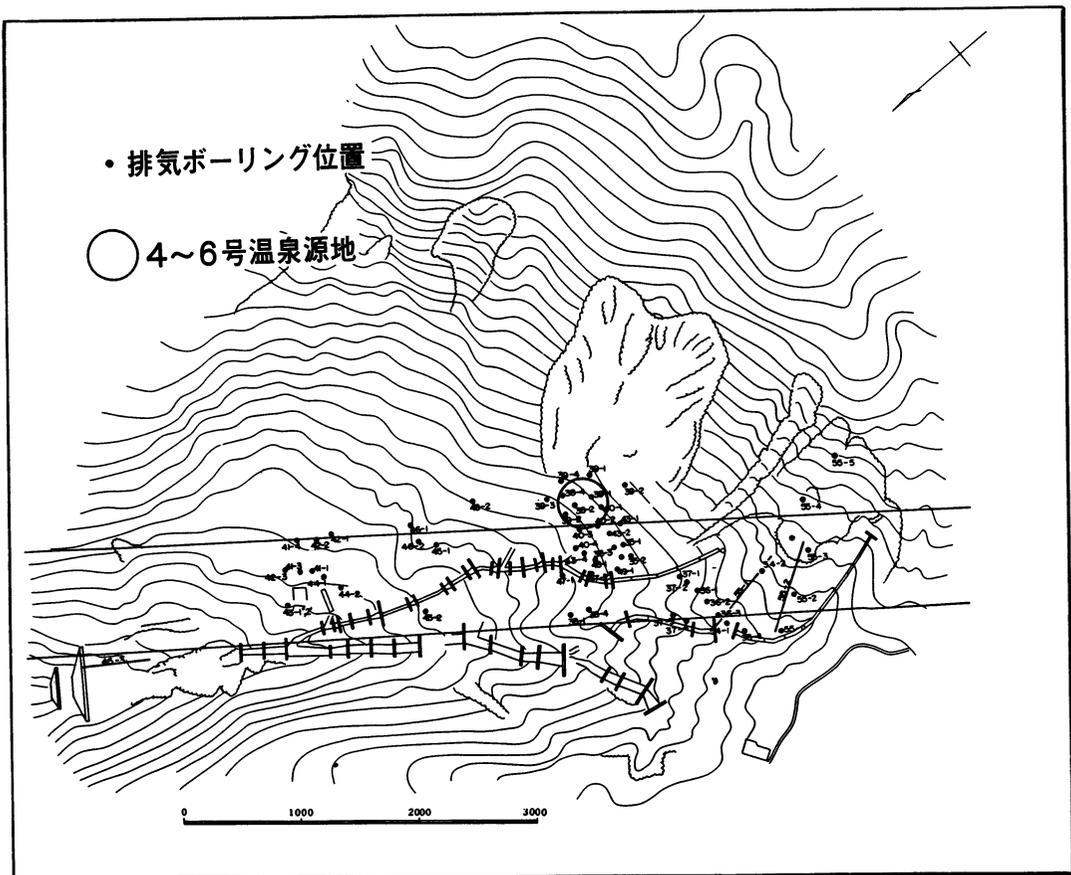


図1 排気ボーリングの位置と4～6号温泉源地

採 水

自然湧水の採取が出来なかったので、6号温泉源地付近の造成温泉を採取することにした。図2は4～6号温泉源地付近の温泉造成法の概念図である。

貯水池から導かれた冷水は、コンクリート製分水槽で一旦木製分水槽に分けられている。木製分水槽から引き出された1本のパイプは、写真2の排水孔に導かれ注水されていた（写真3）。

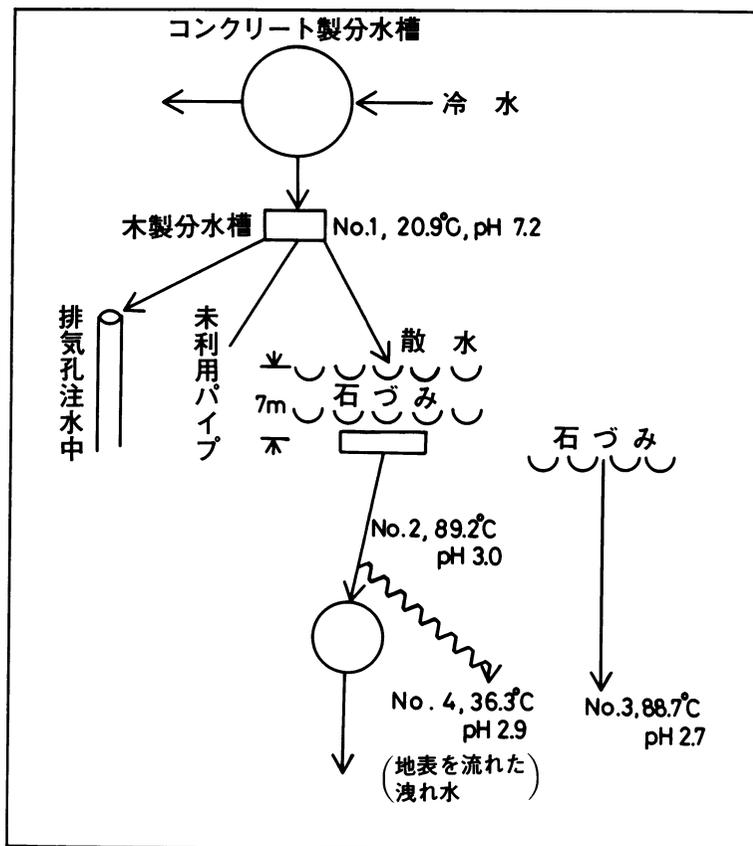


図2 4～6号温泉源地の温泉造成概念図および採取試料の温度とpH
(石づみ散水の造成泉は、昭和59年4月頃からの異常湧水で温泉不足を生じたため臨時に使用された。)

この注入水の湧き出し口は発見できなかった。別のパイプは水蒸気を弱く吹上げている石づみの上部に導かれ、パイプの先端は地中にもぐっていた*。石づみの下方約7mの所に亀張り式の集水せき、(大変いたんでいる)がもうけられ、塩ビのパイプが差しこんであった(写真4)。このパイプで高温の温泉が下方に送られていた。水質調査のために、パイプから洩れている温泉を採取した(試料No. 2)。パイプから洩れ出る温泉は比較的量は少ないが、地表を浸食していた。温泉が流れたあとには赤褐色の鉄の沈積物が付着していた。パイプから洩れ出た温泉が、地表を約20m流れ下った所で再び

* 昭和60年4月19日に現地に行くと、写真5のように改修されていた。

試料を採取した（試料No.4, 写真6）。

試料No.2を採取した石づみの大涌沢側下方に、別の石づみがあり、塩ビのパイプが差しこまれ温泉が下方に導かれていた（試料No.3, 写真7, 8）。

分析結果とその考察

6号温泉源地付近で採水した4試料の分析結果を表1に示した。試料No.2およびNo.3は石づみの中から流れ出す造成温泉である。主として、この2試料の水質について検討することにする。No.1は温泉造成用冷水であり、No.4はNo.2の造成温泉がパイプから洩れ、地表を流れる間に水質変化をおこしているの、ここでは詳しく検討しない。

表1 水質分析表

試料 No	1	2	3	4
採水日	S. 59. 6. 18			
種別	温泉造成用冷水	造成温泉	造成温泉	No.2が地表を約20m流れたもの
温度(°C)	20.9	89.2	88.7	36.3
pH	7.2	3.0	2.7	2.9
蒸発残留物 (ppm)	209. ppm	684. ppm	1194. ppm	760. ppm
H ⁺		1.01	2.01	1.27
K ⁺	1.99	2.23	2.89	2.16
Na ⁺	17.1	22.7	55.2	36.3
Ca ²⁺	23.7	78.0	97.4	88.7
Mg ²⁺	9.32	14.4	26.6	15.7
Fe ²⁺	0.95	27.0	38.8	15.0
Al ³⁺	0.16	2.42	5.06	2.66
Mn ²⁺	0.07	0.37	0.60	0.41
Cl ⁻	4.87	4.19	5.31	4.58
F ⁻	0.05	0.	0.28	0.12
SO ₄ ²⁻	72.7	405.	646.	455.
HCO ₃ ⁻	72.8			
H ₄ SiO ₄	76.9	162.	227.	161.
H ₂ S	0.10	0.88	7.67	0.11
イオン強度	0.0046	0.0159	0.0248	0.0176

(分析者 粟屋 徹)

石づみの造成温泉 (No. 2, No. 3) の水質

No. 2, No. 3 造成温泉は温度 88.7 ~ 89.2 °C, pH 2.7 ~ 3.0, 蒸発残留物 684 ~ 1194 ppm である。

SO_4^{2-} : No. 2, No. 3 造成温泉の SO_4^{2-} は 405 ~ 646 ppm である。昭和58年度調査地域の横穴湧水は、蒸発残留物 1907 ~ 3574 ppm, SO_4^{2-} 1171 ~ 2382 ppm であった (杉山他, 1984)。造成温泉の SO_4^{2-} は横穴湧水の $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{2}$ 程度である。

Cl^- : 造成温泉の Cl^- は 4.19 ~ 5.31 ppm で、No. 1 の冷水 (Cl^- , 4.87 ppm) とほぼ同程度の溶存量である。昭和58年度調査地域の横穴湧水の Cl^- は 2.17 ~ 3.16 ppm であるから、造成温泉の Cl^- の方が 2 ppm 程度多い。

大涌沢で、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温泉 (噴気蒸気注水造成泉) の Cl^- は 80 ~ 88 ppm 程度である。No. 2, No. 3 造成温泉の Cl^- 量からみて、この造成温泉には、地下深所から噴出する火山性水蒸気は直接混入していない。

温泉造成用の石づみはかって掘られた地下排気ボーリング孔を利用して作られたとしても、今では直接地下深所から火山性水蒸気は噴出しておらず、自然の噴気地帯と変わらない状態になっている。

$\text{K}^+ + \text{Na}^+$, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, $\text{Fe}^{2+} + \text{Al}^{3+}$ 組成比 : No. 2, No. 3 造成温泉は $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 2.23 ~ 2.89 ppm, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 22.7 ~ 55.2 ppm, Ca^{2+} 78.0 ~ 97.4 ppm, Mg^{2+} 14.4 ~ 26.6 ppm, $\text{Fe}^{2+} + \text{Al}^{3+}$ 27.0 ~ 38.8 ppm である。アルカリ金属イオン ($\text{K}^+ + \text{Na}^+$), アルカリ土類金属イオン ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) および $\text{Fe}^{2+} + \text{Al}^{3+}$ を端成分にとり三成分図に投影した (図3)。図3には、昭和58年度に

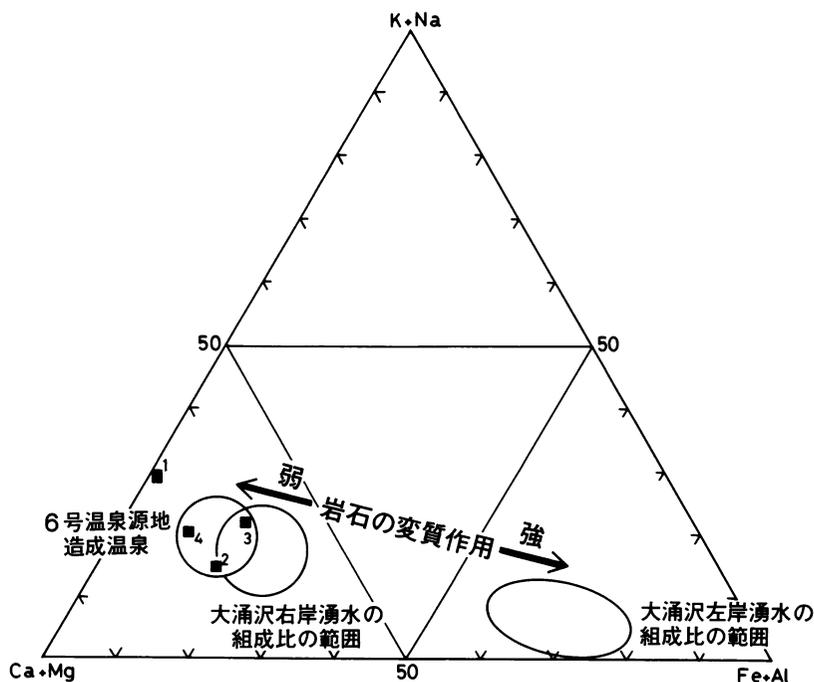


図3 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, $\text{Fe}^{2+} + \text{Al}^{3+}$ 三成分図 (meq 比) (番号は表1と同じ)

調査した大涌沢左岸湧水および大涌沢右岸横穴湧水のしめる範囲も合せて示した。No. 2, No. 3 造成温泉は大涌沢右岸横穴湧水に比べ $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ が 15 meq % 多く、 $\text{Fe}^{2+} + \text{Al}^{3+}$ は 15 meq % 少ない。 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ はほぼ同じ meq % を示している。

昭和58年度の調査で、噴気地帯岩石の変質作用は湧水の陽イオン組成比に大変よく反映していることが明らかにされた（平野，1984，栗屋他，1985）。大涌沢左岸湧水のように岩石の変質作用が非常に進んだ所から湧出するものは $\text{Fe}^{2+} + \text{Al}^{3+}$ が 60～80 meq % で大変多く、 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ は 20～40 meq % である。大涌沢右岸横穴湧水のように岩石の変質作用が比較的弱い所から湧出するものは $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 55～65 meq % で、20～25 meq % の $\text{Fe}^{2+} + \text{Al}^{3+}$ より多い。

陽イオン組成比から見て、No. 2, No. 3 造成温泉の石づみ付近の岩石の変質作用は、大涌沢上部右岸と比べ幾分弱いと思われる。

$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, Fe^{2+} , Al^{3+} 組成比 : 次に Fe^{2+} の挙動を見るために Fe^{2+} , Al^{3+} を各々端成分にとり、残る一つの端成分に $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ を選んで三成分図を描いた（図4）。No. 2, No. 3 造成温泉は $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 78～80 meq % , Fe^{2+} 15 meq % , Al^{3+} 4～6 meq % である。

大涌沢左岸湧水のように岩石の変質作用が著しい所から湧出するものは Al^{3+} が 61～74 meq % をしめ、 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 20～37 meq % がこれに次ぎ、 Fe^{2+} は 0.3～6 meq % で大変少ない。大涌沢右岸横穴湧水は $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 69～76 meq % , Fe^{2+} 5～15 meq % , Al^{3+} 15～23 meq % である。湧水

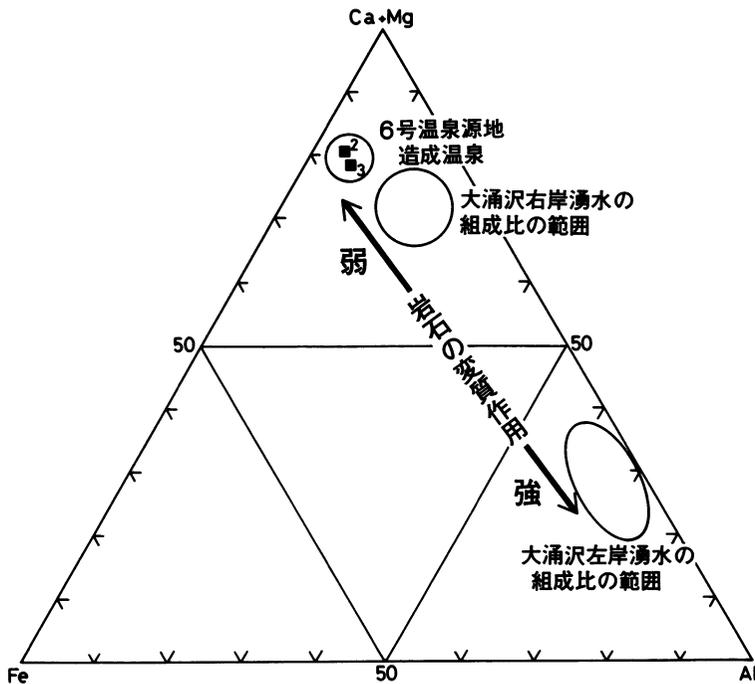


図4 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, Fe^{2+} , Al^{3+} 三成分図 (meq 比) (番号は表1と同じ)

の $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 組成比が大きいほど Fe^{2+} の比も大きく、 Fe^{2+} は $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ と同じ挙動を取る傾向が明らかである。

湧水の Al^{3+} を噴気地帯の粘土鉱物のカオリナイトに、 Fe^{2+} と $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ をスメクタイトに対応させてみると、岩石の変質作用と湧水の組成との関係は理解し易いように思える。大涌沢の変質鉱物と湧水の組成については、昭和60年度の調査結果を含め、あらためて検討することにする。

SO_4^{2-} と $\text{Al}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$ (meq 比) : 噴気地帯岩石の変質作用は湧水の陽イオン組成比に反映していることを示した。噴気地帯の地すべり対策に水質分析結果を活用するためには、溶存成分の組成比とともに総溶存分量を考慮する必要がある。総溶存分量の指標に SO_4^{2-} をとり、陽イオン組成比に $\text{Al}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$ (meq 比) をとって $\text{SO}_4^{2-} - \text{Al}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$ を描いた (図5)。

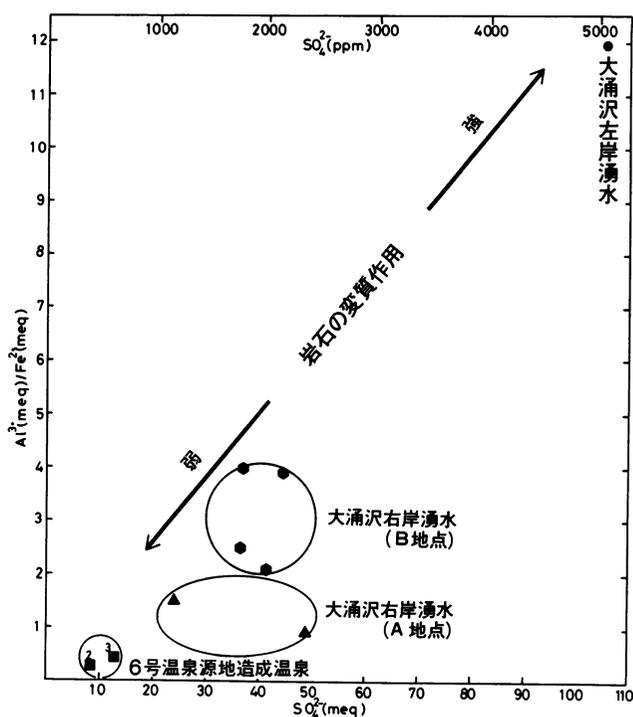


図5 SO_4^{2-} (meq) - $\text{Al}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$ (meq) 図 (番号は表1と同じ)

図3 ($\text{K}^+ + \text{Na}^+$, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, $\text{Fe}^{2+} + \text{Al}^{3+}$ 組成比) および図4 ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, Fe^{2+} , Al^{3+} 組成比) で区分できた湧水の組成比と岩石の変質作用の関係は図5 ($\text{SO}_4^{2-} - \text{Al}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$ (meq 比)) でも明瞭である。岩石の変質作用の進んだ所の湧水ほど SO_4^{2-} が多く $\text{Al}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$ (meq 比) は大きい。この関係を用いて湧水の水質調査により、噴気地帯の変質の程度を階級化できそうである。

ま と め

昭和59年度調査地域の水質調査で次の事があきらかになった。

- (1) 6号温泉源地付近で温泉造成のために冷水の地下注入が続けられていた。大涌沢では地すべり対策事業の方向転換が昭和55年度にはかられ、斜孔ボーリングによる地下水排水工事がおこなわれている。
- (2) 噴気地帯の岩石の変質作用は湧水の溶存成分量と組成比に反映している。 $\text{SO}_4^{2-} - \text{Al}^{3+} / \text{Fe}^{2+}$ (図5) の関係は変質地帯岩石の変質作用の階級化に利用できる。

大涌谷噴気地帯の岩石の変質作用は、火山ガスが放出する H_2S (硫化水素ガス)の酸化で生ずる硫酸々性の地下水によっている。湧水の SO_4^{2-} *が多いほど岩石の変質作用が進んでいるのは当然の事であろう。

H_2S をもたらす火山ガスは噴気孔より噴出している。噴気孔を中心にして岩石の変質が進むはずである。

参 考 文 献

- 栗屋 徹, 平野富雄, 石坂信之, 大木靖衛 (1985) 箱根大涌谷噴気地帯の湧水の化学組成について, 日本火山学会1985年度春季大会講演要旨。
- 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,
- 平野富雄 (1984) 大涌谷地すべり対策調査説明会資料 (昭和59年5月7日)
- 神奈川県土木部砂防課 (1981) 大涌沢地すべり, 1—59,
- 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 (II) 神奈川湿地研報告, Vol. 12, No. 6, 249—344,
- 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), 神奈川湿地研報告, Vol. 15, No. 6, 1—24,
- 杉山茂夫, 小鷹滋郎, 大山正雄, 大木靖衛 (1985) 大涌谷地すべり対策調査 (昭和59年度) 放熱量調査, 神奈川湿地研報告, Vol. 16, No. 5, 1—12,

* 岩石を溶脱するのは H_2SO_4 (硫酸)の H^+ (水素イオン)である。



写真1 6号温泉源地付近（昭和60年4月19日）

写真2 注水中の豎孔（昭和59年6月8日）





写真3 温泉造成用冷水の分水（昭和59年6月8日）

写真4 試料No.2 造成温泉の採水（昭和59年6月8日）





写真5 改修された試料No. 2 造成温泉地
(昭和60年4月19日)



写真6 試料No. 4 の採水
(昭和59年6月8日)



写真7 試料No. 3 造成温泉の採水
(昭和59年6月8日)



写真8 試料No. 3 造成温泉地
(昭和60年4月19日)