

箱根町蒸気造成温泉のアルミニウム 沈澱物について

平野富雄, 大木靖衛, 栗屋 徹

神奈川県温泉研究所*

Aluminum Flocks Yield in Mineral Waters Heated with Geothermal Steam

by

Tomio HIRANO, Yasue ŌKI and Tōru AWAYA

Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture

Hakone, Kanagawa

(Abstract)

Acid sulfate water from the swamp Ajiga-ike is heated with geothermal steam and supplied as thermal water to the lake side of Ashino-ko.

Dilution of the hot water with cold water yield aluminum flocks in the bath-tub, which arise serious problems in transparency of thermal water. Here describes chemistry and occurrence of alminum flocks in the mineral water.

* 神奈川県箱根町湯本997 〒 250—03

神奈川県温泉研究所報告 第4巻, 第2号, 65—72, 1973

1. はじめに

箱根町は昭和40年より、同町芦ノ湯字宝蔵岳周辺に掘さくした温泉孔井から揚湯される温泉を芦ノ湯、元箱根地区に供給する町営温泉事業をはじめた。温泉の需要はしだいに増加しているのので、昭和46年に宝蔵岳に隣接する湯ノ花沢に蒸気井を掘さくし、蒸気により多量の温泉を造成することが計画された。幸いにも、昭和46年8月良好な蒸気を噴出する孔井の掘さくに成功したが、造成泉のための水源の確保に苦心している。その主な理由は、噴気地帯の地下水が硫気活動の影響を受けて硫酸酸性になっていて、透明な温泉の造成に適する良好な地下水を蒸気井の近くで得がたいことによる。

箱根町は、芦ノ湯字阿字ヶ池に湧出する地下水を、温泉造成に用いている。この湧水で造成した温泉を水道水でうすめると、pHが上昇し水酸化アルミニウム ($\text{Al}(\text{OH})_3$) のフロックが生ずるので、好まれません問題となっている。本報告は蒸気造成温泉のアルミニウム沈澱物の問題点についてのべたものである。

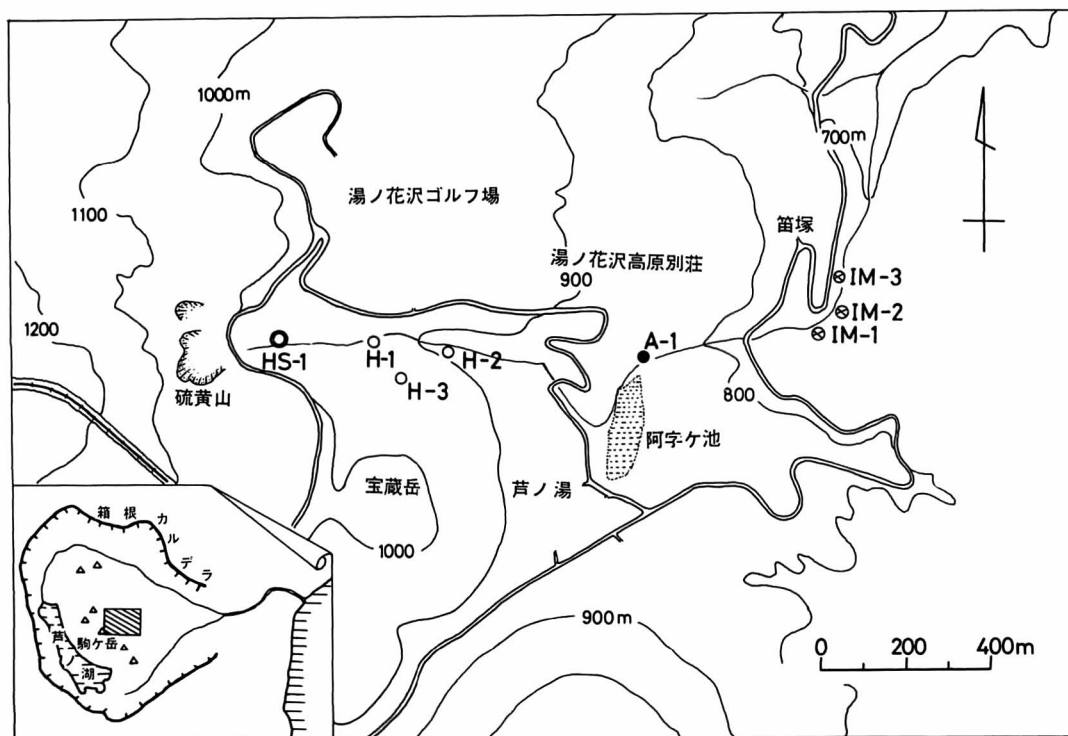


図1 箱根町営温泉の分布と笛塚付近の水井戸

- 温泉孔井 (H-1, H-2, H-3)
- 阿字ヶ池湧水 (A-1)
- ◎ 蒸気井 (HS-1)
- ⊗ 笛塚付近の水井戸 (IM-1, IM-2, IM-3)

2. 町営温泉の沿革

箱根神社、旧東海道の杉並木、湖に映るみごとな逆さ富士、遊覧船の発着場などにめぐまれて芦ノ湖畔元箱根は、観光客の必ず訪れる場所の一つであるが、温泉にはめぐまれていないのが唯一の欠点である。箱根町は同町芦ノ湯字宝蔵岳に温泉孔井を掘さくして、その温泉を元箱根地区に給湯し、その欠点をなくそうとして町営温泉が計画された。

温泉掘さく：箱根町営1号泉が昭和39年芦ノ湯字宝蔵岳に掘さくされた。掘さく深度300m、7.5kW電動機を使用した空気圧縮機により、77℃の温泉が毎分90ℓ揚湯された。同町営2号泉は昭和40年に1号泉から170m東側に、また同町営3号泉は昭和42年に1号泉から110m南側に掘さくされた。これらの温泉はpH7.9～8.1、硫酸イオン、重炭酸イオンの溶存量が多く、箱根温泉の泉質分帯基準により第2帯（重炭酸塩硫酸塩泉）に分帯されているものである（大木，平野，1968，1970 a，1970 b）。

需要の増加と新しい泉源の開発：表1は同町営1号～3号泉の温泉揚湯量の経年変化を示したものである。揚湯量の減少とともに泉温が低下している。一方、温泉の需要はしだいに増加し、また同町元箱根大芝の会社保養所、新たに分譲される湯ノ花高原別荘などからも温泉を期待される状況になっている。そこで、蒸気井を掘さくして噴出する火山蒸気に地下水を混入し、多量の温泉を造成すればこれらの需要をまかなえるので、造成泉の開発が実施にうつされた。

表1 箱根町営温泉の経年変化と給湯量の増加

名 称	深 さ (m)	揚湯装置		昭和 39年	40年	41年*	42年	44年*	45年*	46年	47年
町営1号泉	300.	7.5KW, 2段 6×6, A.C.	泉 温(℃) 揚湯量(ℓ/分)	77.0 90.		74.7 75.		74.0 73.	71.4 64.	72. 76.	73. 75.
町営2号泉	350.	7.5KW, 2段 6×6, A.C.	泉 温(℃) 揚湯量(ℓ/分)		66.1 122.	64.2 94.		64.8 82.	64.7 92.	60.0 86.	65.8 101.
町営3号泉	424.	7.5KW, 3段 6×6, A.C.	泉 温(℃) 揚湯量(ℓ/分)				71.5 57.	70.0 57.	68.0 61.	66. 62.	62.2 68.
給湯量(ℓ/分)					34.2	145.8	149.4	185.4	185.4	185.4	277.2

* 小田原保健所（1971），「箱根地区（湯本、塔ノ沢地区を除く）温泉一斉調査成績表」による

3. 町営蒸気泉

昭和46年6月、箱根町は湯ノ花沢に町営の蒸気泉の掘さくを試み、8月良好な蒸気を噴出する孔井の掘さくに成功した。

蒸気の物理的性質：温泉造成に使用される蒸気の物理的性質は大山ら（1973）により長期間測定が続けられている（表2）。噴出口における温度132.6℃、平均噴出速度134.0m/sec. 放出熱量は2.92×10³kcal/sec.である。蒸気発電を行なえば約2,500kWの発電ができる。また、この蒸気に10℃の冷水を注ぎ80℃に加温するとき熱効率を100%とすれば42ℓ/sec.（2,500ℓ/min）の温泉造成が可能である。

蒸気の化学的性質：噴出蒸気のガス分析は昭和46年9月に行なった（表3）。水を除くと大部分は硫化水素と炭酸ガスである。火山蒸気による温泉造成には、蒸気に水を注ぐ直接法と、熱交換器による間接法とがある。箱根町は直接法で温泉造成を行なっているの、火山蒸気に含まれている硫化水素が造成温泉に溶けこむ。いったん温泉中に硫化水素が溶けこむと、硫化水素はパイプラインを流下中に硫黄に酸化され、また1部は硫化水素ガスとして空气中に放出される。火山蒸気による温泉造成は硫化水素の問題をさけることができない。

表2 箱根町蒸気井の特性

深さ (m)	測定年月日	温 度 (℃)	密 度 (kg/m ³)	平均噴出 速 度 (m/sec)	噴出流量 (m ³ /sec)	蒸気量 (kg/sec)	熱水量 (kg/sec)	噴 出 量 合 計 (kg/sec)	蒸気熱量 (kcal/sec)	乾 き 度
256.	47. 9. 26	132.6	6.12	134.0	1.78	2.86	8.05	10.91	2.92×10 ³	0.3

大山ら（1973）による

表3 箱根町蒸気井のガス分析結果

測定年月日	温 度 (℃)	H ₂ O	H ₂ Oを除いた残りのガス成分		
			H ₂ S	CO ₂	R
46. 9. 17	129.	99.5 %	54.2 %	42.8 %	3. %

4. 温泉造成用地下水の水質

阿字ヶ池の湧水：阿字ヶ池の湧水は駒ヶ岳の東斜面硫黄山硫気地帯の東1.1 kmのところ湧出してい

表4 阿字ヶ池湧水および

名 称	採 水 口	深 さ (m)	水 温 (℃)	湧出量 (ℓ/min)	pH	蒸発残留 物 (ppm)	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
阿字ヶ池湧水	40. 1. 8	自然湧出	26.5		3.9	689.	3.28	23.5	55.0	17.8
大芝水道水 1.	46.12.14	50.	16.1	1500.	7.1	n. d.	1.99	5.27	11.5	3.84
大芝水道水 2.	46.12.14	100.	15.6	300.	7.0	n. d.	1.40	4.62	9.72	3.00

表5 蒸気造成温泉

造成用地下水	採 水 日	泉 温 (℃)	造成量 (ℓ/min)	pH	蒸発残留 物 (ppm)	H ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
阿字ヶ池湧水	47. 5.15	74.8	110.	3.8	734.	0.25	2.72	23.6	54.4	22.6
大芝水道水	47.12. 4	76.8	250.	6.2	103.		1.65	4.72	9.23	3.22

表6 笛塚付近の地

名 称	採 水 日	深 さ (m)	水 温 (℃)	湧出量 (ℓ/min)	pH	蒸発残留 物 (ppm)	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
今井ボーリング1号	47.10.19	85.0	19.0	220.	4.3	401.	2.35	13.0	38.0	13.8
今井ボーリング2号	47.10.19	85.0	18.0	300.	4.3	401.	2.41	13.0	37.0	14.1
今井ボーリング3号	47.10.19	75.0	17.0	600.	4.5	331.	2.00	11.6	35.5	12.4

る。水温 26°C 、硫黄地帯の地下水のため硫酸性で ($\text{pH}3.9$)、アルミニウムイオン (Al^{3+}) が約20 ppm 溶存している (表4)。この湧水で造成した温泉を水道水などでうすめると、 pH が増して水酸化アルミニウムのフロックを生ずる。宝蔵岳の町営温泉と、阿字ヶ池の湧水を用いた造成泉を混合しても、同様に pH が増してアルミニウムのフロックが生じ好ましくない。温泉を送るパイプ内に水酸化アルミニウムが付着して障害をおこす可能性が大きい。しかし、この湧水は夏期は約700 ℓ /分、冬期でも約200 ℓ /分湧出しているので、温泉造成用水源として安定している。湯ノ花沢付近に良好な地下水源がほかにないため、阿字ヶ池の弱酸性の湧水を処理してでも利用せざるを得ない状況である。

箱根町大芝水道水源：阿字ヶ池の湧水が利用に適さないときや不足したときには、元箱根大芝の水道水源の水を温泉造成に利用できるように配管されている。この地下水は水温 $15\sim 16^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{pH}7.0\sim 7.1$ 、溶存物質総量 128~150 ppm、鉄イオン (Fe^{2+} , Fe^{3+})、アルミニウムイオン (Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})_4^{-}$) はほとんど溶存していない (表4)。温泉造成用水としてきわめて良好であるが、飲用水であるので温泉のための使用量には限度がある。良好な水道水源のすくない箱根町の現状から見て、この水道水は補助的に使用すべきであろう。現在は、阿字ヶ池の湧水のアルミニウムの除去が十分に出来るようになるまで、この水道水を利用することになっている。

5. 温泉の試験造成

湯ノ花沢に掘さくした孔井から噴出する蒸気を用いて、試験的な温泉造成を昭和47年9月から行なっている。

造成温泉の化学組成：阿字ヶ池の湧水および元箱根大芝の水道水で造成した温泉の化学組成を表5に

大 芝 水 道 水 の 化 学 組 成

$\text{Fe}^{2+}+\text{Fe}^{3+}$	Al^{3+}	Mn^{2+}	Cl^{-}	HSO_4^{-}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	H_2SiO_3	HBO_2	CO_2	H_2S	総 計
0.22	20.0	0.74	7.06	2.47	365.		143.				
0.	0.		3.48		10.5	51.8	55.5		5.89		150.
0.	0.		2.89		7.59	43.7	49.9		5.50		128.

の 化 学 組 成

$\text{Fe}^{2+}+\text{Fe}^{3+}$	Al^{3+}	Mn^{2+}	Cl^{-}	HSO_4^{-}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	H_2SiO_3	HBO_2	CO_2	H_2S	総 計
0.31	19.5	1.02	5.34	3.49	412.		141.	17.4		34.6	
			6.66		28.8		48.0			28.1	

下 水 の 化 学 組 成

$\text{Fe}^{2+}+\text{Fe}^{3+}$	Al^{3+}	Mn^{2+}	Cl^{-}	HSO_4^{-}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	H_2SiO_3	HBO_2	CO_2	H_2S	総 計
0.	7.10	0.55	4.93		209.		71.5				
0.	7.25	0.55	5.45		212.		70.6				
0.	3.23	0.35	6.33		169.	5.46	56.1		31.4		334.

(分析の単位は ppm)

示した。造成泉の成分は、それぞれの地下水の組成とほとんど同じであるが、硫化水素が28～35ppm 溶けこんでいるところが違っている。大芝の水道水を用いたときは、述べるまでもなくアルミニウムのフロックは生じない。阿字ヶ池の湧水による造成温泉でも、元箱根の浴槽の給湯口ではpH4.0で水酸化アルミニウムのフロックは生じなかった。しかし、温泉が53～60℃で入浴するには高く、水でうすめるとpHが上昇し浴槽中にアルミニウムのフロックが目だつようになる。たとえば、伊勢屋の浴槽には53℃の温泉が毎分4ℓ給湯されていたが、水道水を加えて44℃に加減したらpHは5.2に上昇し、アルミニウムのフロックが生じた。

水酸化アルミニウムのフロックは一見垢のようなので、試験造成中に利用者からの苦情があいついだ。箱根町は阿字ヶ池の湧水を温泉造成に使用することを考えなおす必要にせまれ、その対策を検討中である。

6. アルミニウムの溶解度

アルミニウムの溶解度の測定は GAYER, K.H., et al (1958), 後藤(1960), KRAUSKOPF, K.B., (1967) や鈴木ら (1973) により行なわれている(図2)。これらの資料を用いて阿字ヶ池の湧水のアルミニウム溶存量を考察してみよう。この湧水はpH3.9で、アルミニウムイオン (Al^{3+}) が20.0ppm ($10^{-3.17}mol$) 含まれている。入浴時に水道水でうすめると浴槽中のpHは5.2以上に上昇し水酸化アルミニウムが発生しだす。造成温泉の使用量が毎分4ℓ程度の場合、浴槽の掃除はたまにしか行なわれない。そのために水酸化アルミニウムの沈澱はしだいに蓄積し、放置しておくと浴槽の中ほどに層をなして浮遊する。pHが5に上昇するとアルミニウム (Al^{3+}) の溶解度は $10^{-5.3}mol$ であるから、阿字ヶ池の湧水では溶存しているアルミニウムイオンの大部分が沈澱になる。

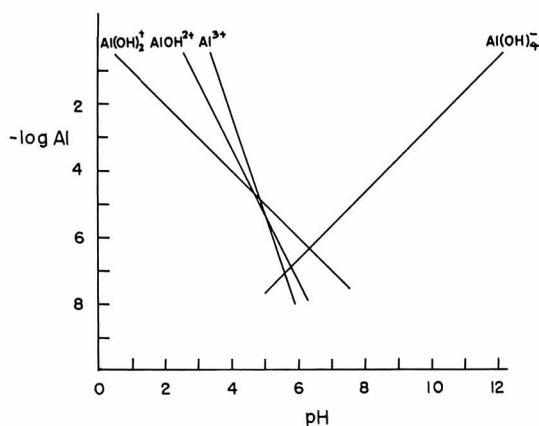


図2 アルミニウムの溶解度

火山蒸気を利用する温泉造成用の水としては、pH5以上の地下水があれば、アルミニウムの溶存量が少ないのでアルミニウムのフロックは生じないはずである。

7. 笹塚付近の地下水

阿字ヶ池の湧水に代る温泉造成用の地下水を探すため、笹塚周辺に掘さくされている深さ75～85m

の3本の井戸水の化学分析を行なった(表6, 図1)。これらの地下水のpHは4.3~4.5であり, アルミニウムイオン(Al^{3+})が3~7 ppm溶存している。阿字ヶ池の湧水と比較して, これらの地下水のpHはわずかに中性側に移っている。しかし, 本質的には硫黄地帯周辺の弱酸性の地下水と同じであり, アルミニウムのフロックを生じない透明な造成温泉を期待することが出来ない。

8. 蒸気造成温泉の硫化水素

蒸気造成温泉には水酸化アルミニウムのフロックの他に硫化水素の問題もある。高濃度の硫化水素を溶存する温泉が浴槽に供給されると入浴中に硫化水素中毒にかかることがある(岩田, 1972)。また給湯パイプ内に硫黄の沈澱が付着し給湯施設の保守, 管理上好ましいことではない(平野ら, 1965)。

一つの対策として, 硫化水素の水に対する溶解度は温度が高いほど減少することを利用する。水道水で造成温度を変えて実験してみたが, 硫化水素は76.8℃では28.1ppm, 88.5℃では20.9ppmであった。造成温度をさらに高くして100℃近くにすれば, 造成温泉中の硫化水素はさらに減少するであろう。

現在, 町営造成温泉中の硫化水素をはじめ, 大涌谷, 早雲地獄などの造成温泉の硫化水素を測定中である。この問題に関してはおって報告する予定である。

9. ま と め

箱根町は現在154口(277.2ℓ/分)の給湯契約をしている。温泉孔井から揚湯される温泉が約244ℓ/分であるから, すくなくとも33ℓ/分の温泉を蒸気を用いて造成する必要がある。湯ノ花沢周辺でpHの高い良好な地下水をさがすのはむずかしいので, 湧出量が安定している阿字ヶ池の湧水の処理を考えなければならない。pH3.9, アルミニウムイオン(Al^{3+})が20.0ppm($10^{-3.17}\text{mol}$)溶存している阿字ヶ池の湧水は, pH5~5.5まで上昇させれば, 大部分は水酸化アルミニウム($\text{Al}(\text{OH})_3$)のフロックとなるので, これを除けば温泉造成に使用できる。弱酸性の水のpHを5~5.5以上に上昇させるのは石灰岩を使用すれば十分に可能である。困難なのはpHを上昇させて生じた水酸化アルミニウムのフロックの除去である。処理水のコストは水道水より安くなければならず, 高価なアルミニウム除去装置は使用できない。阿字ヶ池の湧水の処理法は現在検討中である。

10. 謝 辞

この調査を行なうに当り, 箱根町公営事業課長勝俣菊宜氏, 同係長茂原英市, 同係長勝又一氏, 小林真一氏にいろいろお世話になった。神奈川県温泉研究所の大山正雄氏には蒸気井の物理的測定値を教えていただいた。鈴木孝雄氏にはアルミニウムの溶解度に関し教えをうけた。広田茂氏には図面を書いていただいた。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

なおこの調査は箱根町長の依頼により行なったものであり, 調査に要した費用は神奈川県温泉研究所温泉等研究調査費によった。

参考文献

- GAYER, K.H., L.C. THOMPSON and O.T. ZAJICEK (1958). The solubility of aluminum hydroxide in acidic and basic media at 25°C, *Can. Jour. Chem.*, Vol. 36, 1268—1271.
- 後藤克己 (1960), 水酸化アルミニウムの溶解度について, *日化誌*, Vol. 81, No. 2, 349—350.
- 平野富雄, 大木靖衛, 田嶋鍬子 (1965), 箱根大涌谷の温泉沈積物, *温泉工学会誌*, Vol. 3, 131—138.
- 岩田義徳 (1972), 箱根湯ノ花沢温泉硫化水素中毒死亡事故について, *神奈川温研報告*, Vol. 3, No. 3, 143—150.
- KRAUSKOPF, K.B., (1967), *Introduction to Geochemistry*, McGraw-Hill.
- ŌKI, Y. and T. HIRANO (1970a) Geothermal system of Hakone Volcano., U.N. Geothermal Symposium in Pisa, 1970 (United Nations Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa)
- 大木靖衛, 平野富雄 (1970b), 箱根火山の温泉, 箱根町集団施設地区計画調査報告書, 神奈川県, 140—168.
- 大木靖衛, 平野富雄, 田嶋鍬子 (1968), 箱根温泉の成因, *神奈川温研報告*, Vol. 1, No. 6, 35—50.
- 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, *神奈川温研報告*, Vol. 4, No. 2, 83—90.
- 鈴木孝雄, 平野富雄, 大木靖衛 (1973), アルミニウムの溶解度とその温度変化——温泉水中のアルミニウムの溶存状態, *神奈川温研報告*, Vol 4, No. 2, 73—82.