

箱根火山の温泉の水銀含有量

栗屋 徹, 平野富雄, 大木靖衛

神奈川県温泉研究所*

Mercury Contents in Hot Springs, Hakone Volcano

by

Tōru AWAYA, Tomio HIRANO and Yasue ŌKI

Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture

Hakone, Kanagawa

(Abstract)

We analyzed Hg, Zn and Fe contents in 40 thermal waters from the eastern foot of Mt. Kamiyama, a central cone, Hakone. Hg, Zn and Fe contents in those waters were ranged 0~22.1 $\mu\text{g/l}$, 0.02~5.59 mg/l and 0.03~4.90 mg/l , respectively. Among those waters, three samples (No. On-39, No. On-105 and No. On-114) contained Hg more than 5 $\mu\text{g/l}$. Distribution of thermal waters of high Hg content is closely connected with high temperature subsurface streams of NaCl type waters (Zone III). Although Zn is the same family element as Hg, no zonal distribution of Zn contents in those waters was recognized. Zn and Fe tend to show the same distribution in those waters.

はじめに

温泉水中の水銀含有量についての報告はまだ数少ない。最近、中川（1974）が日本の温泉水55源泉について報告しているが、酸性泉を主体に分析したものである。それによると温泉水の水銀含有量は $<0.01\sim26.0\mu\text{g/l}$ であり、箱根の温泉水5箇所（ $\text{pH}1.4\sim3.0$ ）の水銀含有量は $0.01\sim0.90\mu\text{g/l}$ であった。

*神奈川県箱根町湯本997 〒250-03

神奈川県温泉研究所報告 第7巻, 第1号, 43—52, 1976

WHITE (1967, 1970) は地熱地域を蒸気卓越熱水系と温泉水系に分け、蒸気卓越熱水系の上部に水銀鉱床が形成されやすいことを明らかにした。水銀の分布を調査して地下の金属鉱床を発見したり、断層の存在をうらづける事に成功している報告もある(古賀他1975, MCNERNEY1973, TONANI1970)。

箱根の大涌谷等の地熱地域は蒸気卓越熱水系で、水銀含有量も多いと思われるが、温泉水の利用基準が問題となっており、今回は高温の食塩泉の湧出している地域の水銀含有量を測定し、その分布と挙動を考察した。

採水位置と付近の状況

箱根火山の温泉の温度と溶存物質の関係からみて、温泉水中の水銀含有量は高温ほど多いと思われる。箱根の強羅、底倉地域を中心に中央火口丘の温泉水を40箇所採取した。図1はこの付近の源泉位置を示す。黒丸は採取した源泉である。調査した付近には高温の塩化物型 (Zone III) 熱水の流れが確かめられており (ŌKI 他 1970), 水銀の分布も熱水の流れに関係していると思われる。

測定方法

温泉水は採取後ただちに硝酸酸性 (試料 500ml につき硝酸 5 ml 添加) として水銀、亜鉛、鉄等の測定用とした。分析方法は JIS-K0102 に準拠した。水銀は還元気化循環—原子吸光光度法、亜鉛は直接原子吸光光度法、鉄は o-フェナントロリン法で測定した。

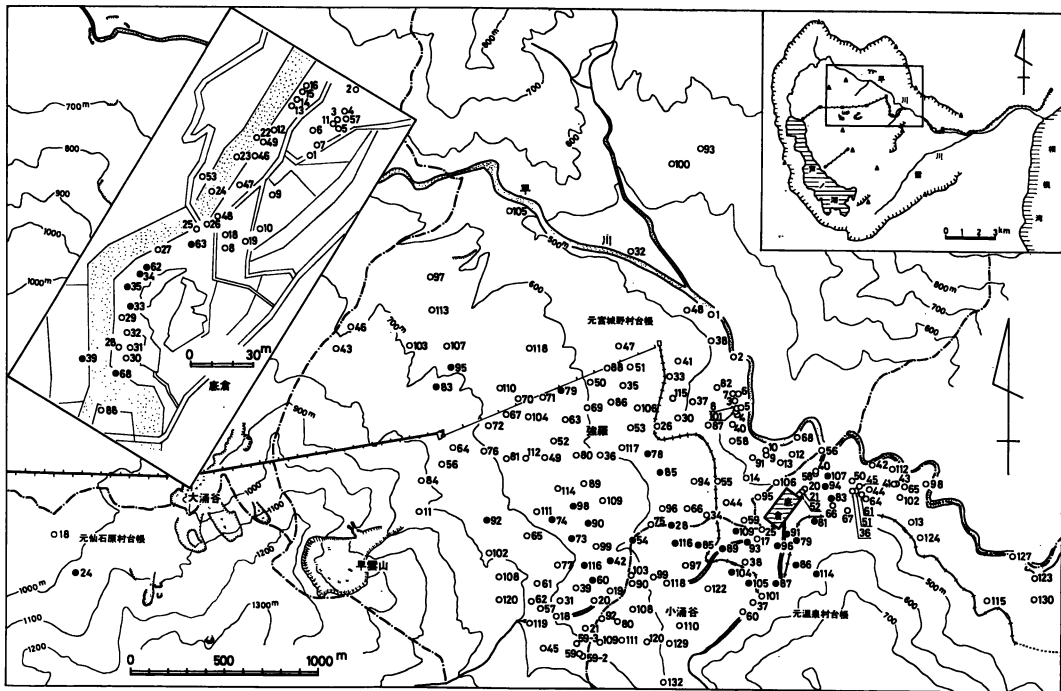


図1 源泉位置

番号は温泉台帳番号、黒丸は採水源泉を示す。

還元気化装置による水銀の原子吸光光度法は開放式と循環式の測定ができる。図2は開放式及び循環式による吸光度の相違を示す。図3はそれをプロットして検量線にしたものであるが、開放式は読み取りにくくばらつきも大きいので以下の操作は循環式で行なった。また、水銀の吸光度は測定時間が長くなるほど低くなる傾向を示した(図4)。この原因は還元気化装置の循環系に水分が増加したり、水銀ホローカソードランプの特性によるのかも知れないが、長時間の連続使用は避けた。

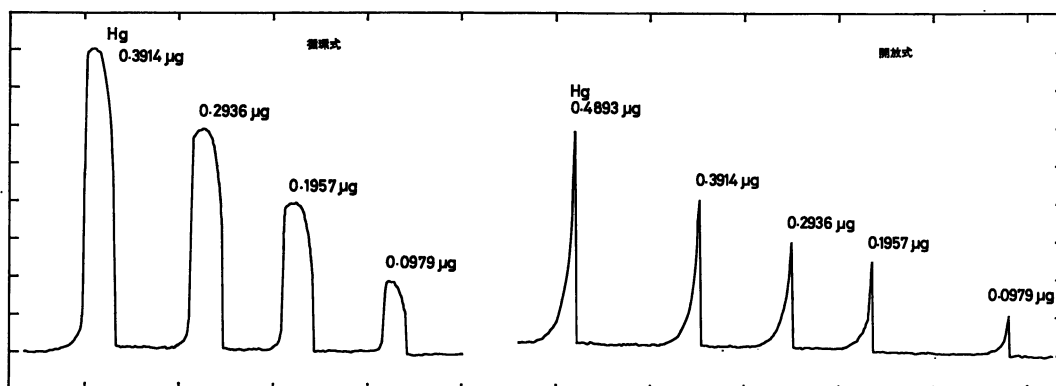


図2 水銀のチャートの一例
Hg 2537Å, ランプ電流 2 mA, ガス流量 5 l/min, (日立207, 207-0290),
チャート電圧 5 mV, チャート速度 60 cm/h

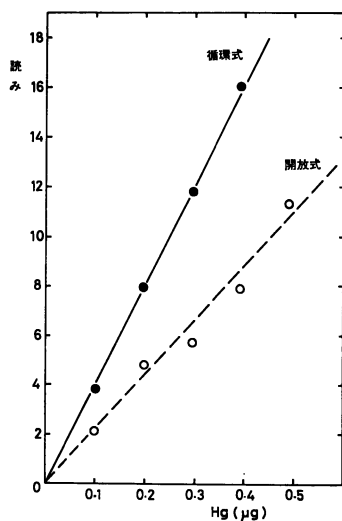


図3 水銀の検量線

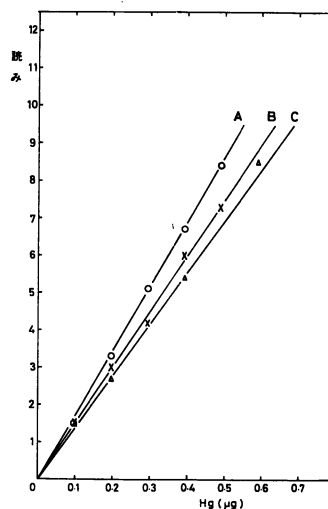


図4 水銀の吸光度の時間変化
A 水銀ホローカソードランプ点灯から30分後に測定, B 点灯から1時間後に測定, C 点灯から2時間30分後に測定。

結 果

測定結果はZoneⅡ（重炭酸塩—硫酸塩泉）、ZoneⅢ（90℃以上の食塩泉）、ZoneⅣ（90℃以下の食塩泉）に分け、表1に示す。この地域の温泉の水銀含有量は0～22.1 $\mu\text{g}/\ell$ の範囲である。図5は水銀含有量の分布を描いた。水銀含有量の多い温泉は、Ōki他（1970）が明らかにした高温食塩泉（ZoneⅢ）の流れに沿って広がっているのが認められる。

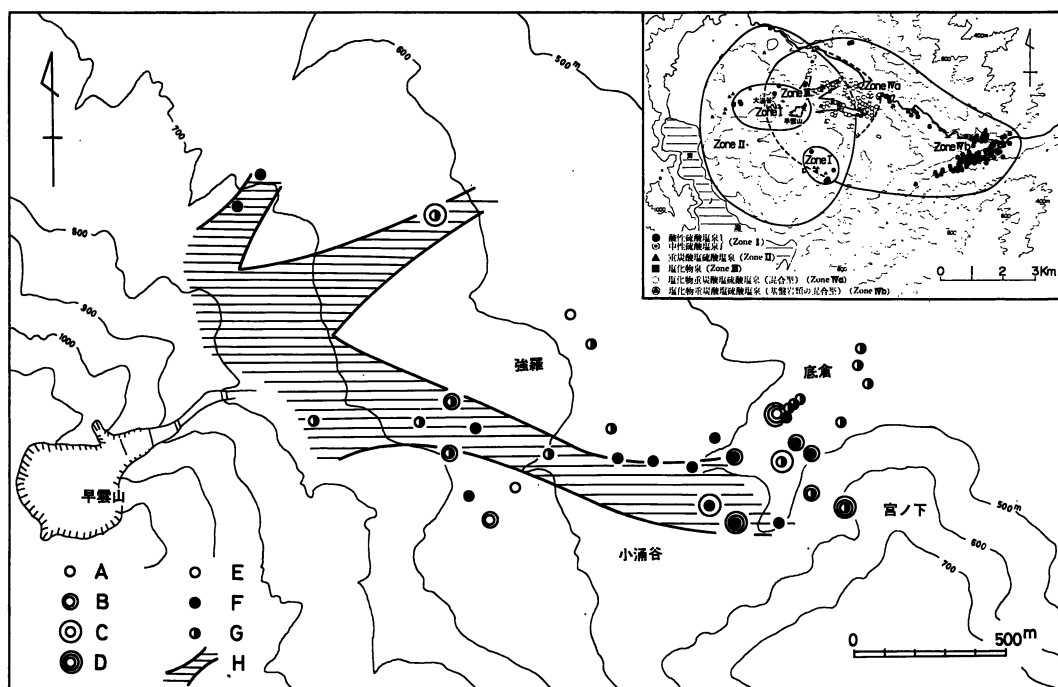


図 5 温泉水中の水銀含有量の分布

A <0.5 $\mu\text{g}/\ell$, B 0.5～1 $\mu\text{g}/\ell$, C 1～5 $\mu\text{g}/\ell$, D >5 $\mu\text{g}/\ell$, E 重炭酸塩—硫酸塩泉 (ZoneⅡ), F 90℃以上の食塩泉 (ZoneⅢ), G 90℃以下の食塩泉 (ZoneⅣ), H 斜線は高温食塩泉の流れを示す (Ōki 他 1970)。

考 察

水銀の排出量について

昭和46年6月に水質汚濁防止法が施行され、それに基づき排水基準を定める総理府令が出された。温泉の排出水については水銀及びアルキル水銀その他の水銀化合物の許容限度は1リットルにつき0.005ミリグラムと規定している。また、温泉水の飲用利用基準として昭和50年7月12日環自企第424号環境庁自然保護局長通知の「温泉の利用基準について」には、湯治のため温泉を飲用に供しようとする場合における飲用量を規定している。水銀を含有する温泉水は大人の場合、1日につき飲用の総量は $\left(\frac{0.002}{A} \times 1000\right) \text{ml}$, 成分の総摂取量は0.002mg (=2 μg) を超えないこととある。Aは当該温

泉の1kg中に含まれる成分の重量(mg単位)の数値である。*

箱根の温泉水40箇所の水銀含有量は0.~22.1 $\mu\text{g}/\ell$ の範囲にあり、水質汚濁防止法の許容限度0.005 mg/ ℓ (=5 $\mu\text{g}/\ell$)を超えるもの3箇所(No.温39—20.4 $\mu\text{g}/\ell$, No.温105—5.65 $\mu\text{g}/\ell$, No.温114—22.1 $\mu\text{g}/\ell$), 1 $\mu\text{g}/\ell$ 以上3箇所, 0.5 $\mu\text{g}/\ell$ 以上7箇所, 0.5 $\mu\text{g}/\ell$ 以下27箇所であった。

水銀含有量と温度との関係

図6は水銀含有量と温度との関係を示す。温度が高いほど水銀含有量が多い傾向が認められる。この地域の温泉は高温ほど蒸発残留物が多いので、この図は水銀含有量と蒸発残留物の関係ともいえる。

図6でZoneⅡに属する温泉は、ZoneⅢ、Ⅳに属する温泉と異なる傾向を持つ。これは水銀の供給源が異なるのかも知れない。蒸気卓越熱水系の上部では水銀は炭酸ガス又は硫化水素とともに液相から気相に移りやすい。水銀を含む蒸気はすぐ近くの浅い低温の温泉水に溶け込む事も考えられる。

水銀種の安定領域と溶解度

地下熱水のpHは4~9であり、普通環境では Hg^0 が広範囲で安定領域にあり、いくらか還元環境では HgS が安定になり、さらに還元環境では Hg^0 が再び安定になる(HEM1970, BARNES他1967)。

椎川(1975)によると河川水の水銀濃度は25 $\mu\text{g}/\ell$ より高くなる事は一般にありえないという。今回の測定では温泉水中の水銀濃度は最高22.1 $\mu\text{g}/\ell$ であった。

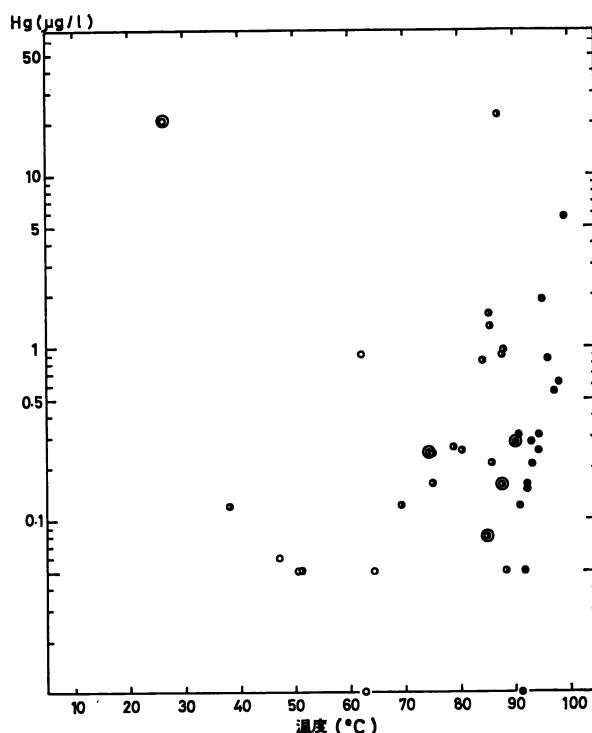


図6 水銀含有量と温度との関係
記号は図7と同じ

*水銀化合物の毒性は体内のタンパク質等に影響を与え、脳、腎等に蓄積し障害を与えるという(滝沢1975)。毒性の強いメチル水銀の無作用レベルは0.1mg/day, 中毒レベルは1mg/day, 致死レベルは10mg/dayとなっており、職業病に多い無機水銀では水銀蒸気10mg/ m^3 の吸入により1~2日以内に口内炎, 下痢等を起こし、慢性中毒では手指にふるえがくるという。

表 1 測 定

A 重炭酸塩硫酸塩泉 (Zone II)

温泉台帳 番 号	採水年月日	深 さ (m)	泉 温 (℃)	温泉量 (ℓ/min)	電動機 (kW)	pH	蒸発残留物 (mg/ℓ)	鉄 (mg/ℓ)	亜 鉛 (mg/ℓ)	水 銀 (μg/ℓ)
温 39	50.11.14	—	26.2	216.	自然湧泉	7.03	290.	0.10	0.02	20.4
宮 42	50.10.17	229.	64.2	48.	7.5	8.38	443.	0.14	0.23	0.05
60	"	273.	62.0	28.	7.5	8.53	362.	4.90	0.49	0.90
78	50.10.15	408.	47.0	96.	7.5	8.25	669.	0.14	1.80	0.06
仙 11	50. 9.19	690.	50.5	77.	11.	7.79	878.	3.70	5.59	0.05
元 24	"	200.	62.5	492.	造成泉	6.78	142.	0.05	0.03	0.

B 塩 化 物 泉 (Zone III)

温泉台帳 番 号	採水年月日	深 さ (m)	泉 温 (℃)	温泉量 (ℓ/min)	電動機 (kW)	pH	蒸発残留物 (mg/ℓ)	鉄 (mg/ℓ)	亜 鉛 (mg/ℓ)	水 銀 (μg/ℓ)
温 68	50.11.14	—	90.0	18.	自然湧泉	6.70	2076.	0.22	0.02	0.28
79	50.11.10	187.	96.0	200.	2.2	8.59	2128.	0.19	0.05	0.85
85	50.11. 5	263.	92.9	102.	7.5	8.55	2445.	0.04	0.06	0.28
87	50.11.10	176.	93.0	111.	5.5	8.84	2093.	0.04	0.02	0.21
89	50.10.15	182.	94.2	80.	7.5	8.55	2472.	0.21	0.15	0.25
91	50.11.10	62.	97.1	293.	0.75	8.44	1958.	0.07	0.04	0.55
93	50.11. 5	199.	98.0	235.	2.2	8.28	2443.	0.06	0.06	0.62
104	50.11.10	217.	95.0	79.	7.5	8.41	2798.	0.60	0.57	1.88
105	"	227.	99.2	282.	7.5	8.51	2864.	0.32	0.06	5.65
109	50.11. 5	290.	92.0	48.	7.5	8.53	2498.	0.09	0.12	0.16
116	"	300.	92.0	87.	7.5	8.68	2078.	0.07	0.06	0.15
宮 83	50.10.15	460.	94.3	111.	7.5	8.27	3497.	0.10	0.12	0.31
90	50.10.20	499.	90.5	108.	11.	8.00	3281.	0.13	0.67	0.31
95	50.10.15	517.	91.0	135.	11.	8.46	3117.	0.08	0.13	0.
116	50.10.17	486.	90.7	83.	11.	8.65	2216.	0.93	0.37	0.12
121	"	428.	91.6	93.	11.	8.59	1688.	0.11	0.03	0.05

C 塩化物重炭酸塩硫酸塩泉 (混合型) (Zone IV)

温泉台帳 番 号	採水年月日	深 さ (m)	泉 温 (℃)	温泉量 (ℓ/min)	電動機 (kW)	pH	蒸発残留物 (mg/ℓ)	鉄 (mg/ℓ)	亜 鉛 (mg/ℓ)	水 銀 (μg/ℓ)
温33, 34, 35	50.11.14	—	74.3	101.	自然湧泉	8.01	1937.	0.22	0.04	0.24
62	"	—	87.6	4.	"	8.01	2087.	0.08	0.02	0.16
63	"	—	84.8	10.	"	8.02	2064.	1.75	0.03	0.08
81	50.11.10	121.	85.6	49.	2.2	8.43	2055.	0.08	0.09	0.21
83	50.11.14	196.	75.0	19.	2.2	8.44	1550.	0.07	0.04	0.24
86	50.11.10	199.	87.7	96.	5.5	8.40	1771.	0.29	0.30	0.91
94	50.11.14	273.	78.8	76.	3.7	8.34	1874.	0.08	0.06	0.26
96	50.11.10	225.	85.2	117.	2.2	8.10	1490.	0.13	0.03	1.55
107	50.11.14	159.	75.0	52.	3.7	8.32	2049.	0.07	0.04	0.16
114	50.11.10	288.	86.8	79.	7.5	8.43	1881.	0.03	0.15	22.1
宮 28	50.11. 5	301.	69.2	62.	7.5	8.62	986.	0.04	0.03	0.12
54	50.10.15	322.	88.1	41.	7.5	8.33	2273.	0.14	0.19	0.05
73	50.10.17	460.	84.0	51.	11.	8.32	3081.	0.55	0.46	0.83
74	"	480.	80.2	32.	11.	8.40	2264.	0.50	3.69	0.25
79	50.10.20	565.	85.5	68.	11.	8.15	3142.	0.06	0.38	1.31
85	50.10.15	453.	51.0	102.	11.	8.36	385.	0.09	0.23	0.05
92	50.10.17	412.	38.0	36.	7.5	7.62	397.	0.63	1.30	0.12
98	50.10.20	499.	88.0	61.	11.	8.48	2162.	3.24	3.55	0.96

結 果

Li ⁺ (mg/ℓ)	K ⁺ (mg/ℓ)	Na ⁺ (mg/ℓ)	Ca ²⁺ (mg/ℓ)	Mg ²⁺ (mg/ℓ)	Cl ⁻ (mg/ℓ)	SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	ΣHCO ₃ ⁻ (mg/ℓ)	ΣH ₂ SiO ₃ (mg/ℓ)	Fe/Zn (モル比)	Hg/Zn (モル比) ×10 ⁻³
0.	10.8		33.3	12.4	31.1	46.3	124.	116.	5.85	332.
0.	13.0	67.4	27.0	17.5	5.3	28.5	298.	210.	0.71	0.07
0.	12.2	49.2	20.9	18.0	5.2	46.0	233.	190.	11.7	0.60
0.55	13.0	84.8	65.9	20.5	38.3	187.	199.	230.	0.09	0.01
	15.6	69.8	110.	39.0	18.4	312.	344.	224.	0.77	0.
	8.40	6.24	16.6	3.80	4.8	36.8	28.5	82.0	1.95	0.

Li ⁺ (mg/ℓ)	K ⁺ (mg/ℓ)	Na ⁺ (mg/ℓ)	Ca ²⁺ (mg/ℓ)	Mg ²⁺ (mg/ℓ)	Cl ⁻ (mg/ℓ)	SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	ΣHCO ₃ ⁻ (mg/ℓ)	ΣH ₂ SiO ₃ (mg/ℓ)	Fe/Zn (モル比)	Hg/Zn (モル比) ×10 ⁻³
0.93	68.3	650.	52.3	3.87	944.	94.5	95.7	319.	12.9	4.56
0.97	63.0	688.	52.8	4.95	971.	101.	102.	322.	4.45	5.54
1.07	65.5	775.	62.6	2.03	1135.	98.3	107.	325.	0.78	1.52
0.97	60.5	688.	46.7	2.69	966.	91.0	80.8	326.	2.34	3.42
1.20	69.8	790.	52.0	1.74	1155.	106.	83.4	328.	1.64	0.54
0.91	60.5	630.	49.3	4.70	887.	86.3	99.6	302.	2.05	4.48
1.18	71.0	843.	55.7	1.71	1137.	108.	86.7	324.	1.17	3.37
1.36	79.6	872.	54.2	0.49	1343.	112.	60.2	366.	1.23	1.07
1.44	76.2	884.	53.8	1.38	1374.	120.	56.9	374.	6.24	30.7
1.13	69.8	790.	59.5	1.49	1168.	108.	88.6	341.	0.88	0.43
0.84	50.0	656.	46.3	0.42	947.	94.5	114.	322.	1.37	0.81
1.30	61.6	1104.	107.	2.55	1574.	258.	77.0	297.	0.98	0.84
1.49	87.0	1022.	66.3	0.04	1580.	120.	44.6	407.	0.23	0.15
0.99	54.2	1034.	67.9	3.00	1407.	186.	95.7	293.	0.72	0.
0.50	29.4	706.	61.7	0.14	855.	387.	58.2	265.	2.94	0.11
0.43	21.3	544.	49.8	2.71	595.	357.	67.3	219.	4.29	0.54

Li ⁺ (mg/ℓ)	K ⁺ (mg/ℓ)	Na ⁺ (mg/ℓ)	Ca ²⁺ (mg/ℓ)	Mg ²⁺ (mg/ℓ)	Cl ⁻ (mg/ℓ)	SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	ΣHCO ₃ ⁻ (mg/ℓ)	ΣH ₂ SiO ₃ (mg/ℓ)	Fe/Zn (モル比)	Hg/Zn (モル比) ×10 ⁻³
0.92	54.6	562.	47.4	3.66	879.	88.5	74.4	278.	6.44	1.96
0.97	61.2	626.	45.4	2.04	988.	76.9	52.4	291.	4.68	2.61
0.93	66.0	612.	50.2	3.94	977.	126.	57.6	299.	68.3	0.87
0.91	65.5	630.	52.6	5.20	940.	89.8	107.	303.	1.04	0.76
0.66	46.8	458.	48.7	7.44	664.	82.6	102.	246.	2.05	1.96
0.80	56.0	610.	42.4	3.59	793.	82.6	92.5	279.	1.13	0.99
0.78	60.5	568.	66.1	10.0	843.	86.3	126.	264.	1.56	1.41
0.64	46.0	438.		6.20	641.	75.5	97.7	258.	5.07	16.8
0.91	61.6	630.	69.9	8.47	945.	91.1	143.	281.	2.05	1.30
0.82	56.6	582.	44.5	3.59	868.	94.3	87.8	285.	0.23	48.0
0.23	26.8	276.	29.7	4.95	213.	144.	296.	265.	1.56	1.30
0.31	28.0	754.	78.7	0.07	1121.	79.6	36.9	219.	0.86	0.09
1.38	84.6	988.	75.1	0.03	1558.	99.9	43.3	275.	1.40	0.59
0.78	56.6	778.	13.7	0.22	1031.	126.	127.	262.	0.16	0.02
0.71	76.2	952.	104.	3.29	1481.	189.	60.8	364.	0.18	1.12
0.02	9.00	55.4	36.9	10.8	36.3	80.5	129.	144.	0.46	0.07
0.08	11.4	69.8	30.1	1.74	6.7	109.	69.2	131.	0.57	0.03
0.35	47.3	706.	32.9	0.06	1015.	97.3	53.7	352.	1.07	0.09

水銀と亜鉛、鉄との関係

亜鉛は水銀と同じ第Ⅱ族b元素（亜鉛族元素）に属し、化学的性質が似ているので水銀と同様な行動ををすると思われる。天然のSphalerite(ZnS)が水銀を固溶体として多く含有している事もこれをうらづけている(McNERNEY 1973)。しかし、今回の調査では温泉水中の水銀、亜鉛両者には比例関係が認められなかった(図7)。亜鉛含有量は鉄含有量の多いものに多い傾向があり、揚湯管等からの溶出も考えられる。

亜鉛及び鉄の排出量について

水質汚濁防止法では、排出水中の亜鉛含有量の許容限度は 5 mg/l ，溶解性鉄含有量の許容限度は 10 mg/l と規定しているが、昭和49年12月1日現在湧出している温泉の排出水については当分の間適用しないとある。また、飲料水の水質基準（昭和41年5月6日）には亜鉛 1.0 ppm 以下、鉄 0.3 ppm 以下であることとある（ $\text{ppm} \div \text{mg/l}$ ）。

今回の調査では亜鉛含有量は $0.02 \sim 5.59 \text{ mg/l}$ であり、 5 mg/l を超えるもの1箇所（No.仙11）、 1 mg/l を超えるもの4箇所であった。溶解性鉄含有量は $0.03 \sim 4.90 \text{ mg/l}$ であり、 1 mg/l を超えるもの4箇所、 0.3 mg/l を超えるもの6箇所であった。

まとめ

箱根の強羅、底倉地域の高温泉を中心に40源泉の水銀、亜鉛、鉄含有量を測定した。水銀含有量は $0. \sim 22.1 \mu\text{g/l}$ ，亜鉛含有量は $0.02 \sim 5.59 \text{ mg/l}$ ，鉄含有量は $0.03 \sim 4.90 \text{ mg/l}$ であった。

水銀含有量の多い温泉は、Ōki他（1970）が明らかにした高温食塩泉（ZoneⅢ）の流れに沿って分布している。

亜鉛は水銀と同様な行動をとると思われたが、今回の測定でははっきりしない。鉄含有量の多い温泉に亜鉛含有量も多い傾向があり、揚湯管等からの溶出も考えられる。水銀の起源については今後さらに検討する必要があるだろう。

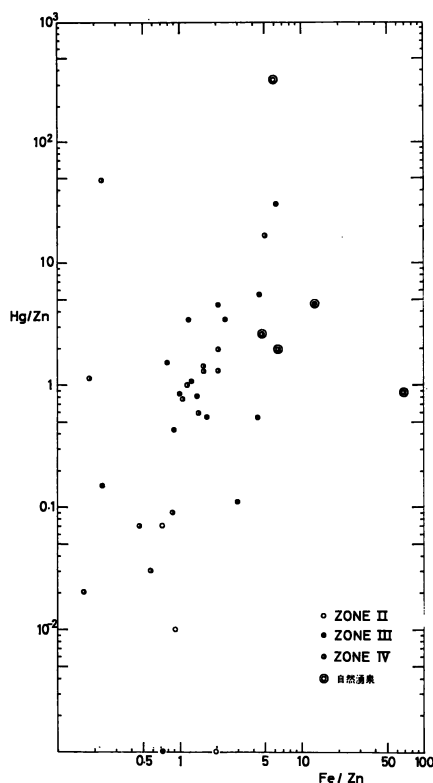


図7 水銀含有量と亜鉛、鉄含有量との関係
Fe/Zn (モル比), Hg/Zn (モル比) $\times 10^{-3}$

謝 辞

小田原保健所久保寺公正氏，杉山茂夫氏，深沢公善氏は採水に便宜を計って下さった。当所平賀士郎科長，小鷹滋郎主任研究員，広田茂氏，伊東博氏，小梶藤幸氏は調査に協力して頂いた。以上の方々に厚く御礼申し上げる。なお，この調査は神奈川県衛生部温泉等研究調査費によった。

参考文献

- BARNES H.L., ROMBERGER S.B. and STEMPROK M. (1967), Ore solution chemistry II. Solubility of HgS in sulfide solutions, *Econ. Geol.*, Vol. 62, 957—982.
- 土器屋由紀子 (1975), 水銀の標準溶液試料, *化学と工業*, Vol. 28, No. 9, 693.
- 藤本昌利 (1973), 希薄標準液の調整, *分析化学*, Vol. 22, 1281—1288.
- 不破敬一郎 (1975), 微量水銀の定量法—どこまで信頼できるか, *化学と工業*, Vol. 28, No. 8, 562—564.
- GREENBERG A.E. THOMAS J. and TAMPLIN B.R. (1973), Mercury in water: an evaluation of laboratories and methodology, *Journal AWWA*, Vol. 65, No. 8, 552—554.
- HEM J.D. (1970), Chemical behaviour of Hg in aqueous media, *U.S. Geol. Survey Prof. Paper*, 713, 19—24.
- HULLINGER D.L. (1975), A study of heavy metals in Illinois impoundments, *Journal AWWA*, Vol. 67, No. 10, 572—576.
- 鎌田俊彦, 林 康久, 熊丸尚宏, 山本勇釐 (1973), 還元気化—気液平衡法による水中の ppb レベル無機および有機水銀の原子吸光分析法, *分析化学*, Vol. 22, 1481—1487.
- 神奈川県公害対策事務局 (1972), 公害関係の分析法と解説.
- 環境庁自然保護局長通知 (昭和50年7月12日), 温泉の利用基準について, 環自企第424号.
- 甘露寺泰雄 (1973), 公害と分析化学に関するパネル討論会—〈第7回〉公定分析法とその問題点一, *分析化学*, Vol. 22, 1402—1411.
- 木羽敏泰 (1974), 金属塩の希薄標準溶液の安定性, *化学*, Vol. 29, No. 11, 888—890.
- 厚生省令11 (昭和41年5月6日), 水質基準に関する省令, 133—145.
- 古賀昭人, 野田徹郎 (1974), 地熱地帯の噴気もたらすもの, *大分県温泉調査研究会報告*, No. 25, 48—52.
- 古賀昭人, 野田徹郎 (1975), 別府地熱地帯の変質粘土中の揮発性成分, *大分県温泉調査研究会報告*, No. 26, 18—21.
- 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.
- LOGSDON G.S. and SYMONS J.M. (1973), Mercury removal by conventional water-treatment techniques, *Journal AWWA*, Vol. 65, No. 8, 554—562.
- McNERNEY J.J. and BUSECK P.R. (1973), Geochemical exploration using mercury vapor, *Econ. Geol.*, Vol. 68, No. 8, 1313—1320.

- 中川良三 (1974), 温泉水中の水銀含量, 日本化学会誌, No. 1, 71—74.
- 西村雅吉, 松永勝孝, 小西繁樹 (1975), 天然水中の水銀の定量法, 分析化学, Vol. 24, 655—658.
- 野口喜三雄, 相川嘉正, 後藤達夫, 中川良三 (1975), イエローストン国立公園の温泉水の水銀含量, 温泉科学, Vol. 26, No. 1, 34—41.
- 大木昭八郎, 馬塚丈司 (1973), 静岡大学浜松キャンパスの排水溝の重金属汚染調査, 静岡大学工学部研究報告, No. 24, 51—56.
- ŌKI Y. and HIRANO T. (1970), The geothermal system of the Hakone volcano, Geothermics-special issue 2, U.N. symposium on the development and utilization of geothermal resources, Pisa 1970, Vol. 2, Part 2, 1157—1166.
- 坂本 勉 (1976), 工業用水試験方法の改正と問題点, 化学と工業, Vol. 29, No. 2, 121—125.
- 椎川 誠 (1975), 自然環境における水銀の分布と挙動—とくに河川について—, 化学と工業, Vol. 28, No. 8, 565—570.
- 杉前昭好 (1973), 発光分光分析法による大気中の水銀の定量, 分析化学, Vol. 22, 1350—1356.
- 滝沢行雄 (1975), 水銀の毒性と解毒, 化学と工業, Vol. 28, No. 8, 571—573.
- TONANI F. (1970), Geochemical methods of exploration for geothermal energy, Geothermics-special issue 2, U.N. symposium on the development and utilization of geothermal resources, Pisa 1970, Vol. 2, Part 1, 492—515.
- UZUMASA Y. (1965), Chemical investigations of hot springs in Japan, Tsukiji Shokan Co., LTD.
- WEBER W. and STEPHENSON J.F. (1973), The content of mercury and gold in some archean rocks of the Rice Lake area, Econ. Geol., Vol. 68, No. 3, 401—407.
- WEISSBERG B.G. (1971), Determination of mercury in soils by flameless atomic absorption spectrometry, Econ. Geol., Vol. 66, No. 7, 1042—1047.
- WHITE D.E. (1967), Mercury and base-metal deposits with associated thermal and mineral waters, Geochemistry of hydrothermal deposits, Ed. L.H. BARNES, 575—631.
- WHITE D.E., MUFFLER L.J.P. and TRUESDELL A.H. (1971), Vapor-dominated hydrothermal systems compared with hot-water systems, Econ. Geol., Vol. 1, 75—97.
- 山泉 登 (1973), 環境の地球化学, 大日本図書.

追 補

その後, 水銀含有量の多い3源泉について51年度にふたたび採水し測定したが, No. 温 39— $0.05\mu\text{g}/\ell$, No. 温 105— $0.16\mu\text{g}/\ell$, No. 温 114— $0.27\mu\text{g}/\ell$ に低下していた。現在この原因を追求している。