

# アメリカの温泉

東 邦 大 学 野 口 喜 三 雄

(昭和47年9月6日受理)

## Hot Springs in the United States of America

Kimio NOGUCHI

Department of Chemistry, Toho University

### ABSTRACT

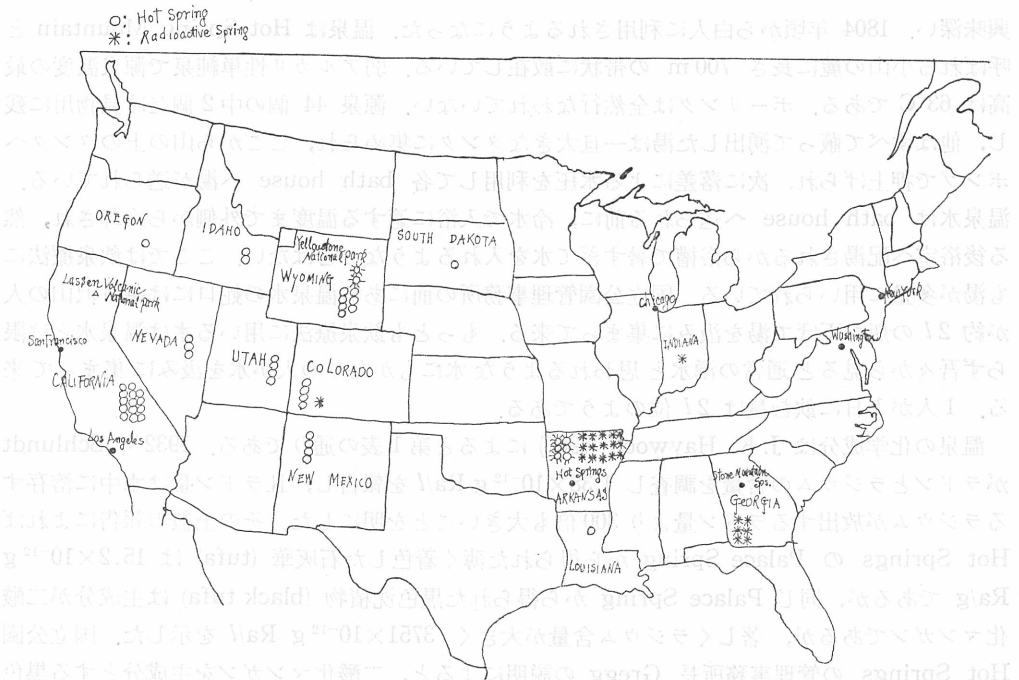
The author visited the United States to study hot springs in 1961-1962, 1965 and 1971, and made an investigation of the hot springs mainly in Yellowstone National Park, Lassen Volcanic National Park and Hot Springs National Park.

- I) Hot springs in Arkansas were weak alkaline springs and poor in mineral matter, but high in radioactivity. The highest temperature 63.9°C (by Haywood); the highest radon content  $30.5 \times 10^{-9}$  curie *Rn/l* (by Kuroda); radium content  $1.38 \times 10^{-12}$  g *Ra/l*; radium content of black manganese oxide sediments (black tufa)  $3751 \times 10^{-12}$  g *Ra/g*; radium content of calcium carbonate sediments (tufa)  $15.2 \times 10^{-12}$  g *Ra/g* (by Schlundt).
- II) As for the hot springs in Lassen Volcanic National Park, all the springs of Bumpass Hell, Little Hot Springs Valley, Sulphur Works and Devils Kitchen were poor in chloride and high in sulphuric acid. The lowest pH-value was found to be 2.0 and the highest sulphuric acid content 1616 mg/l. Morgan and Growler Springs were weak alkaline springs and rich in Na, Cl, Li, As and  $\text{HBO}_2$ .
- III) As for the hot springs in Yellowstone National Park, the springs in Upper, Midway, Lower and West Thumb Geyser Basins were mainly alkaline springs and rich in chloride and other mineral components. In Norris Geyser Basin, the springs were mainly acid, but neutral springs also were found. The springs in Crater Hills were the richest in chloride and other mineral components. The strongest acid spring in Yellowstone was Sulphur Caldron Spring with 1.6 pH-value. All of the strong acid water in Yellowstone was very poor in chloride and rich in sulphuric acid. Moreover, the rate of flow of those strong acid waters were very small. The strong acid water in Japan, such as Tamagawa Hot Springs with 1.2 pH-value, were richer in hydrochloric acid than sulphuric acid and very rich in the rate of flow. This is the distinct difference between strong acid springs in Yellowstone and Tamagawa Hot Springs in Japan.

In Yellowstone National Park, no radioactive springs have been found. But according to the results of our study in the summer of 1971, two black radioactive manganese oxide sediment depositing springs were found on the plain in the west part of Lower Geyser Basin. The activity of the springs measured at the orifices, by using a Survey Meter made by Rikenkeiki Co. was found to be 600-700 cpm. While, the reading of the Survey Meter at the orifices of the other springs were found to be 70-80 cpm in Yellowstone.

アメリカには非常に多数の温泉があるが、これらはおよそ3つの型に分類されるようである。

(1) Wyoming 州の Yellowstone National Park の温泉のように国が管理し、観光を目的として入浴には全く利用せず、莫大な量の温泉水をそのまま放流しているもの、California



第1図 アメリカ合衆国の温泉

州の Lassen Volcanic National Park の温泉は規模は Yellowstone の温泉より劣るが、この型に属する。

(2) Arkansas 州の Hot Springs のように専ら湯治を目的として利用しているもので温泉はすべて蔽ってしまい、且湧出する湯を統合して水を入れずに、外側から水で冷すことによって適当な温度まで下げて入浴並に飲泉療法に利用しているもの。この場合、源泉は 44 個の中 2 個だけ見物用に残されている。源泉は国有であるが bath house は民営である。

(3) 温泉が山間部などにあり且規模も小さく、観光にも、入湯にも利用されず、温泉水はそのまま放流されているもの。California 州の水銀鉱床地域の温泉はこの型に属する。

Data of Geochemistry 及び Radioactive Tables of Some Natural Waters に記載されている温泉及び放射能泉について各州ごとの数を 0 の数で第 1 図に示した。実在する温泉の数はこの数より著しく多いことが予想されるが、アメリカ全体における温泉分布のおよその傾向はわかるであろう。即ち温泉は Wyoming, California, New Mexico, Utah, Colorado, Oregon, Arkansas などの州に多い。筆者は 1961 年～1962 年, 1965 年, 1971 年の 3 回渡米し、主として Wyoming 州の Yellowstone National Park, California 州の Lassen Volcanic National Park, Arkansas 州の Hot Springs National Park の温泉を調査したので、これらの温泉について報告する。

### I. Hot Springs National Park の温泉

この温泉は古くはアメリカインディアンが入浴に利用していたことが書物に記載されている。当時の浴槽は川端にあって日本の温泉場の古い共同浴場とよく似た構造になっていた点が

興味深い。1804年頃から白人に利用されるようになった。温泉は Hot Spring Mountain と呼ばれる小山の麓に長さ 700 m の帯状に散在している。弱アルカリ性単純泉で源泉温度の最高は 63°C である。ポーリングは全然行なわれていない。源泉 44 個の中 2 個だけ見物用に残り、他はすべて蔽って湧出した湯は一旦大きなタンクに集められ、ここから山の上のタンクへポンプで押し上げられ、次に落差による水圧を利用して各 bath house へ湯が送られている。温泉水は bath house へ送られる前に、冷水で入浴に適する温度まで外側から冷却され、然る後浴室へ配湯されるから浴槽で暑すぎて水を入れるようなことはない。ここでは飲泉療法にも湯が多量に用いられている。国立公園管理事務所の前にある温泉の蛇口には毎日沢山の人が約 2 l の瓶を下げ湯を汲みに集まって来る。もっとも飲泉療法に用いる水は温泉水とは限らず吾々から見ると通常の湧水と思われるような水にもかなりの人が水を汲みに集まって来る。1人が1日に飲む量は 2 l 位のようなのである。

温泉の化学成分は J. K. Haywood (1905) によると第 1 表の通りである。1932 年 Schlundt がラドンとラジウムの含量を調査し  $1.38 \times 10^{-12}$  g Ra/l を報告し、且ラドン量は水中に溶存するラジウムが放出するラドン量より 300 倍も大きいことを明にした。その上彼の報告によれば Hot Springs の Palace Spring から得られた薄く着色した石灰華 (tufa) は  $15.2 \times 10^{-12}$  g Ra/g であるが、同じ Palace Spring から得られた黒色沈積物 (black tufa) は主成分が二酸化マンガンであるが、著しくラジウム含量が大きく  $3751 \times 10^{-12}$  g Ra/l を示した。国立公園 Hot Springs の管理事務局長 Gregg の説明によると、二酸化マンガンの主成分とする黒色の沈積物は源泉から湯を集積タンクへ導くパイプ中に析出し、白色の石灰華は集湯タンクから湯を小山のタンクへ上げ更に bath house へ送るパイプ並に bath house から湯をクリーク

第 1 表 アーカンソーの温泉の化学組成 (ppm)

(分析者 J. K. Haywood)

Sp. No.	Total	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub>	AsO <sub>4</sub>	Cl	Br
1)	280.8	45.1	7.8	166.5	0.88	trace	trace	none	2.5	trace
25)	282.9	47.3	7.8	166.5	trace	0.0007	trace	none	2.5	trace
43)	310.0	43.2	28.7	160.5	0.22	0.0013	0.53	none	5.8	

	I	Fe+AL	Mn	Ca	Mg	K	Na	Li	NH <sub>4</sub>
1)	trace	0.24	0.36	46.1	4.8	1.65	4.52	trace	0.30
25)	trace	0.19	0.29	46.8	5.0	1.69	4.73	trace	0.028
43)	trace	0.44	none	49.2	4.2	8.84	8.33	trace	0.008

第 2 表 アーカンソーの温泉のラドン含量

分析者 野口喜三雄 1961

	Temperature °C	Rn $\times 10^{-9}$ curie/l	CO <sub>2</sub> mg/l
Display Spring No. 1	57.1~57.3	0.24~0.41	24.4~29.0
Display Spring No. 2	52.2~52.9	6.10~9.00	12.4~17.2
Reservoir*	—	1.76~2.09	21.0~24.5

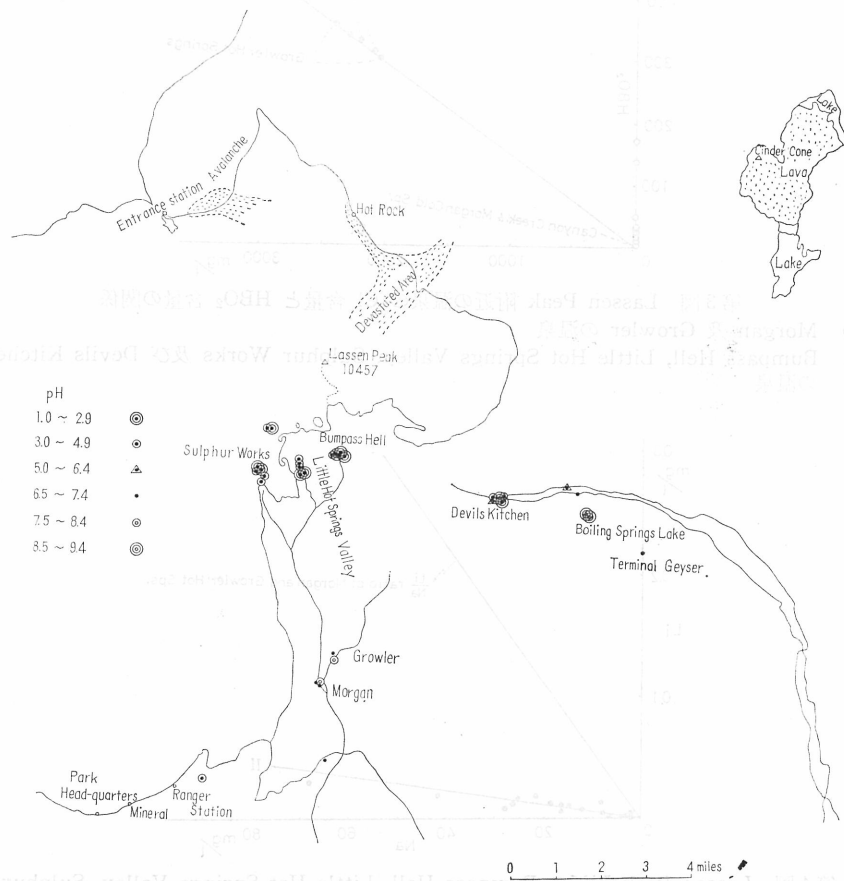
\* Reservoir は現在入湯並に飲泉療法に利用している湯のタンクである。

へ放流するパイプなどに附着するとのことである。恐らくマンガンは重炭酸塩として温泉水中に溶存し、湯が空気に触れるとマンガンは酸化されて二酸化マンガンとして沈積し、これにラジウムが共沈するのであろう。後から析出する炭酸カルシウムはラジウム含量が比較的少ない。黒田らはこの温泉のラドン及びトロン含量を測定し  $0.90 \times 10^{-9}$  curie thoron per liter を報告した。

温泉とこの附近の冷泉とを比較すると最高値は温泉水では  $13.8 \times 10^{-9}$  curie Rn/l, 冷泉では  $27.5 \times 10^{-9}$  curie Rn/l で冷泉の方が大きい値を示した。第2表には筆者が1961年約1ヶ月滞在して Display Spring No. 1, No. 2 及び温泉水を入浴や飲泉療法に用ひている Reservoir についてラドン含量を I. M. 泉動計で測定した値を示した。温度の高い源泉の方がラドン含量が少ない点が注目される、ラドンの根源については比較的浅い処に横たわる放射性積物から由来するようである。

## II. Lassen Volcanic National Park の温泉

標高 10457 feet の活火山 Lassen Peak の周辺には第2図に示すように Bumpass Hell,

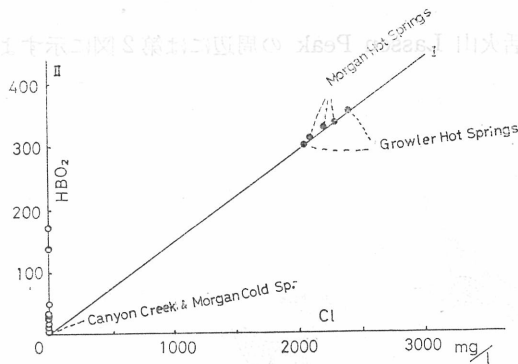


第2図 Lassen Peak 附近における温泉の pH 分布

第3表 Lassen Peak 附近における各温泉群の最高温度と化学成分の最高含量

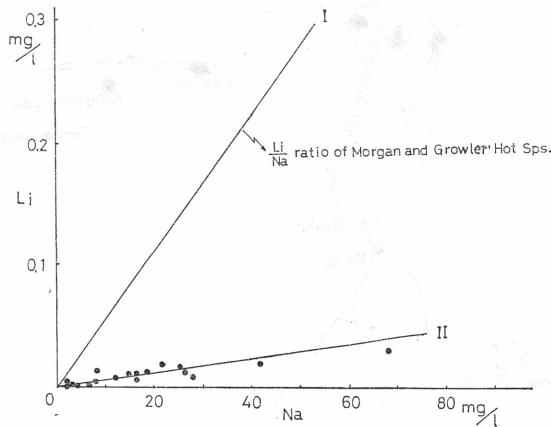
Name of hot spring group	Temperature	pH	Cl	Na	K	Li	As	SO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>	Ca	Mg	HBO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
Bumpass Hell	92.5	2.2	2	16.6	10.0	0.013	0.18	965	26	25	17	33.6	2.5
Little Hot Springs Valley	93.3	2.0	2	68.0	18.2	0.029	0.38	1502	30	48	21.6	138	2.7
Sulphur Works	98.2	2.1	1	42.0	18.0	0.019	0.35	1616	410	190	75.6	171	0.6
Devils Kitchen	94	2.4	4	25.4	9.8	0.020	0.13	711	100	49	14.0	27.4	1.7
Boiling Spring Lake	49.8	2.3	0	8.6	3.9	0.015	0.23	388	1.6	20	11.2	1.6	0
Morgan	94.6	7.5	2306	1340	167	7.28	10.3	110	0.8	116	3.1	338	3.4
Growler	95.2	7.9	2411	1410	205	8.10	9.7	87	1.3	92	9.2	354	2.2

(分析者 野口喜三雄, 上野精一, 野口暁)



第3図 Lassen Peak 附近の温泉の Cl 含量と HBO<sub>2</sub> 含量の関係

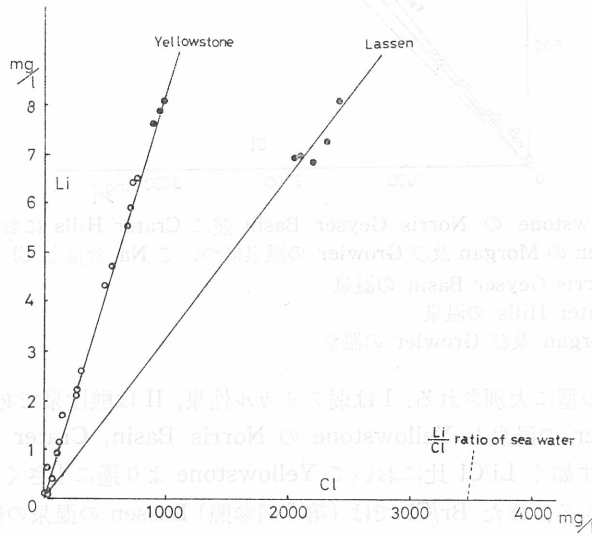
- Morgan 及 Growler の温泉
- Bumpass Hell, Little Hot Springs Valley, Sulphur Works 及び Devils Kitchen の温泉



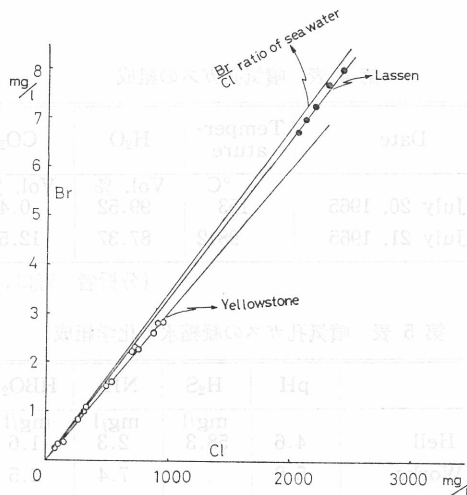
第4図 Lassen Peak 附近の Bumpass Hell, Little Hot Springs Valley, Sulphur Works 及び Devils Kitchen における温泉の Li 含量と Na 含量との関係

Little Hot Springs Valley, Sulphur Works, Devils Kitchen 等の酸性の温泉群があり、もつと低い山麓には Morgan, Growler の弱アルカリ性泉が存在する。山頂には約 30°C の無臭の水蒸気孔が存在するに過ぎない。

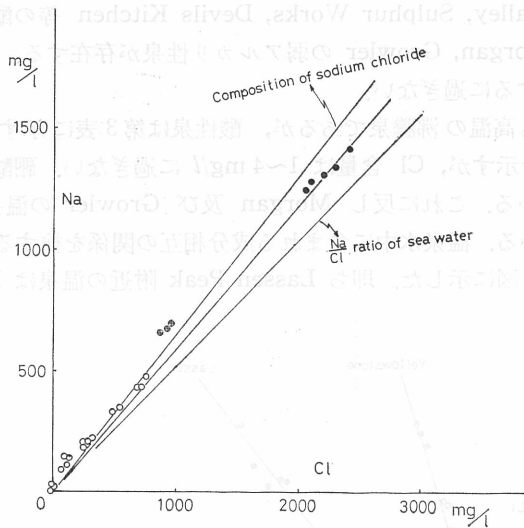
これらの温泉は何れも高温の沸騰泉であるが、酸性泉は第3表に示す通り pH 2.0~2.4、 $\text{SO}_4$  711~1616 mg/l を示すが、Cl 含量は 1~4 mg/l に過ぎない。硼酸及びアンモニアがかなり多量に含有されている。これに反し Morgan 及び Growler の温泉は Na, K, Li, Cl, As,  $\text{HBO}_2$  等に富んでいる。温泉水中に含まれる成分相互の関係を検すると Cl と  $\text{HBO}_2$ 、Na と Li の関係を第 3, 4 図に示した。即ち Lassen Peak 附近の温泉は I, II で表される直線



第5図 Lassen Peak 附近の温泉と Yellowstone の温泉並に海水についての Li/Cl 比の比較



第6図 Lassen Peak 附近の温泉と Yellowstone の温泉の Br/Cl 比の比較



第7図 Yellowstone の Norris Geyser Basin 並に Crater Hills における温泉と Lassen の Morgan 及び Growler の温泉について Na 含量と Cl 含量の関係

- Norris Geyser Basin の温泉
- ⊗ Crater Hills の温泉
- Morgan 及び Growler の温泉

関係が成立し、2つの型に大別される。Iは弱アルカリ性泉、IIは酸性泉である。また Lassen の Morgan, Growler の温泉を Yellowstone の Norris Basin, Crater Hills の温泉と比較すると第5図に示す如く Li/Cl 比において Yellowstone より遙に小さく、海水の値より著しく大きいことがわかる。また Br/Cl では(第6図参照) Lassen の温泉の値は Yellowstone の温泉の値に近いが幾分大きく、海水の Br/Cl 比より稍小さい。尚又 Na/Cl 比では(第7図参照) Yellowstone の Norris Basin, Crater Hills の温泉の値は NaCl の組成にほぼ一致しており、Lassen の温泉は Na/Cl の比がこの値より幾分小さく、海水の Na/Cl 比より大きいことがわかる。

第4表 噴気孔ガスの組成

Place	Date	Temperature °C	H <sub>2</sub> O Vol. %	CO <sub>2</sub> Vol. %	H <sub>2</sub> S Vol. %	Residual gas Vol. %
Bumpass Hell	July 20, 1965	153	99.52	0.46	0.015	0.004
Sulphur Works	July 21, 1965	98.2	87.37	12.5	0.040	0.11

(分析者 野口, 上野, 野口(眈))

第5表 噴気孔ガスの凝縮水の化学組成

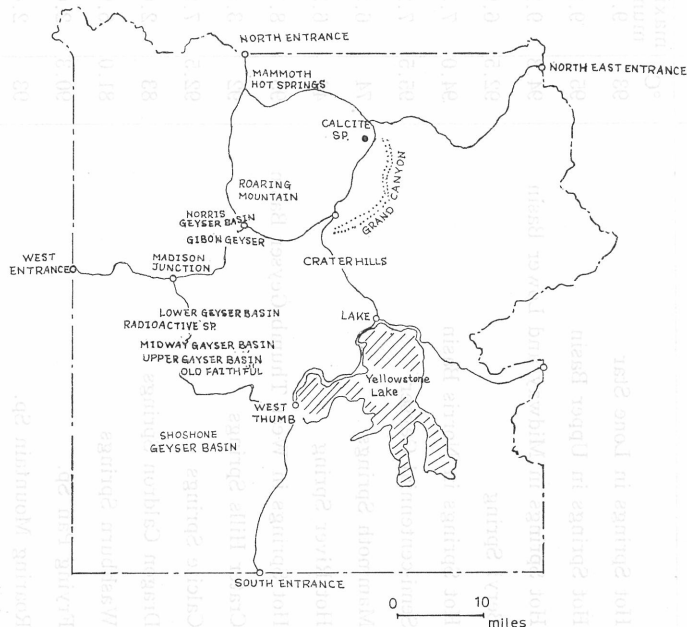
	pH	H <sub>2</sub> S mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	HBO <sub>2</sub> mg/l	Cl mg/l
Bumpass Hell	4.6	58.3	2.3	1.6	0
Sulphur Works	5.8		7.4	2.5	0

(分析者 野口喜三雄, 上野精一, 野口眈)

一方 Lassen Peak の附近における噴気孔の最高温度は Bumpass Hell の 153°C であるが、この噴気の組成は第4表に示す通り水蒸気が大部分を占め、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S は少量含有されるが、HCl は含有されていない。またこの噴気から水冷却によって得られた凝縮水には H<sub>2</sub>S が多量に含有されているが、NH<sub>4</sub>、HBO<sub>2</sub> の量は少なく、塩酸は含有されていない(第5表)。従って Lassen Peak 附近の酸状泉の成因については水蒸気、H<sub>2</sub>S、CO<sub>2</sub>、HBO<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub> などを含み HCl を含まない高温のガス体が地下深部から上昇し、これが地表附近に達した際空気によって酸化されて多量の硫酸を生じ、この硫酸が岩石と反応して種々の金属成分をとかし、これに地下水あるいは地表水が混入して酸性の温泉水が形成されたものと想像される。Morgan, Growler の温泉水については種々の塩類に富む中性に近い弱アルカリ性の高温の熱水が地下深部から上昇し、上昇途中地下水が混入し、うすめられて遂に湧出したものと想像される。

### III. Yellowstone National Park の温泉

この公園は合衆国最大の National Park で総面積 3458 mile<sup>2</sup>、吾が国の四国の半分に当ると云われている。(第8図参照)。標高は 7000~8000 feet である。Yellowstone には 143 個の Geyser が存在する。この Geyser を地域別にしてみると Upper Geyser Basin 64 個、Midway Geyser Basin 5 個、Lower Geyser Basin 25 個、Norris Geyser Basin 27 個、West Thumb Geyser Basin 4 個、Shoshone Geyser Basin 11 個、Heart Lake Geyser Basin 3、Gibbon Geyser Basin 4 個である。その中でも Old Faithful Geyser が最も規則正しく噴騰すること、噴騰の高さも高いのでよく知られており見物人の数は最も多い。噴騰継続時間4分、噴騰休止時間 66 分、噴騰の高さ 116~171 feet である。



第8図 イエローストン国立公園



第6表 イエローストロン公園における各温泉群についての最高温度と各化学成分の最大含量

Name of hot springs	Temperature °C	pH		Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg/l	Alka- linity meq/l	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Li <sup>+</sup> mg/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	Free CO <sub>2</sub> mg/l	H <sub>2</sub> S mg/l	Br <sup>-</sup> mg/l	HBO <sub>2</sub> mg/l
		maxi- mum 9.3	mini- mum 8.0											
Hot Springs in Lone Star	93	9.3	8.0	478	45	3.60	448	18.6	3.25	0.3	0	1.5	—	23.1
Hot Springs in Upper Basin	95	9.3	3.2	446	173	9.95	468	30.2	5.96	3.5	220	1.9	1.17	19.8
Hot Springs in Midway and Lower Basin	94.8	9.2	3.2	358	168	9.05	401	21.6	4.49	2.4	750	3.4	1.07	17.0
Beryl Spring	92.5	6.9	5.37	537	71	2.45	430	20.7	6.25	0.4	35	0.9	1.47	29.1
Hot Springs in Norris Basin	94.0	7.3	2.0	759	790	0.68	472	91.5	6.51	86	55	2.5	2.27	48.2
Semi-centennial Geyser	95.5	7.2	3.44	344	101	0.89	222	58.9	3.07	0.7	10	0	—	23.2
Mammoth Springs	74	6.5	6.6	172	800	13.78	133	58.1	1.66	0.8	550	3.3	0.49	13.8
Hot River Spring	46	6.5	1.19	119	438	7.85	95.5	47.9	1.14	0	262	0	—	9.6
Hot Springs in West Thumb Geyser Basin	95	8.7	7.9	298	60	10.35	438	20.6	4.79	0	5.5	0.5	—	13.5
Crater Hills Springs	92	3.5	2.3	978	2500	0	690	180	8.08	26	165	1.2	2.73	128
Calcite Springs	92.5	7.9	3.5	252	1303	2.72	358	99.5	2.46	41	40	8.1	0.73	133
Dragon Caldron Springs	83	2.0	1.9	12	1807	0	52.4	30.1	0.12	31	639	0.1	—	2
Washburn Springs	81.0	6.9	2.2	6	4166	2.64	15.5	8.4	0.03	1030	77	2.1	—	105
Frying Pan Sp.	90.3	2.6	1	1	425	0	31.4	11.0	0.18	3.0	22	0.4	—	0.6
Roaring Mountain Sp.	93	2.4	10	10	1000	0	24.1	34.1	0.25	3.1	—	—	—	3.7
River	15	7.6	6.6	6.8	18	1.15	43.1	6.2	0.19	0.1	1	0	—	0.8

(分析者 野口喜三雄, 上野精一, 野口敏)

Yellowstone National Park へ入るには通常入場料を払うことになっている。その上この公園の中で鉱物や水を採取するには予め申し出て許可証をもらわねばならない。1971年の夏には West Yellowstone で cabin を借りて滞在したので毎日自動車でも自由に何回でも公園に入れるよう車の窓ガラスに入場許可のマークを貰いはりつけた。また見物人が多く集まる源泉の調査の際は多くの場合公園管理の役人すなわち ranger が交代で立会い、親切に案内してくれた。

Yellowstone 公園の温泉は第6表に示す如く一般に非常に高温で沸騰泉が多い。ことに源泉の表面温度がその場所の沸点より 1~2°C 高いものが相当あり、これらは過熱された状態に



写真 1. Midway Geyser Basin において温泉水が放流され析出した珪華

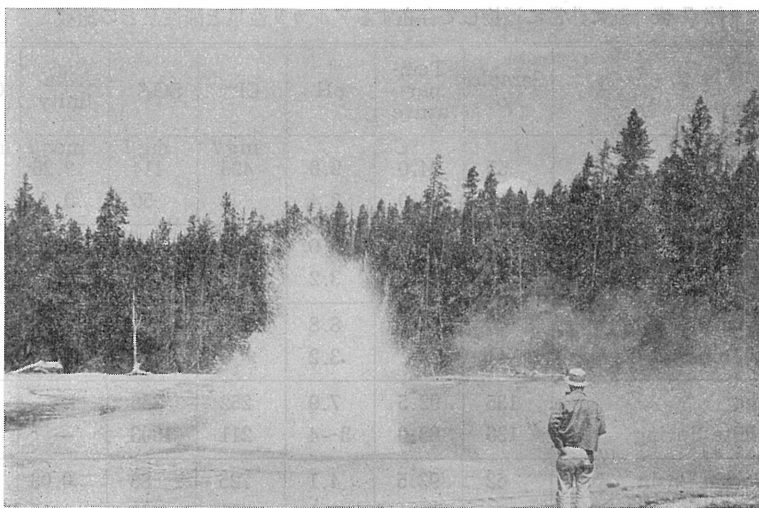
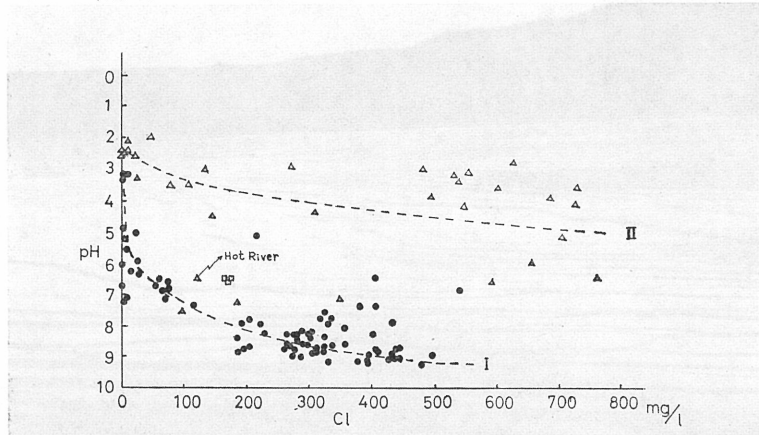


写真 2. Solitary Geyser の噴騰

(注) この間歇泉は噴騰の高さ 8m, 噴騰継続時間 2分, 休止時間 2~6分

あるため木製の棒などを噴孔に挿入すると直ちに沸騰が盛んに誘発されるのが目撃される。Lone Star, Upper Geysers Basin, Midway Geysers Basin, Lower Geysers Basin の温泉は概してアルカリ性であるが、稀には酸性のものもある。Norris Geysers Basin には酸性泉が多いが、中性の温泉もかなりある。これらの温泉中塩化物に富む温泉は何れも多量の珪酸を含んであり、湧出孔の付近には莫大なる量の珪華が見られる。(写真1参照)。また Upper Geysers Basin の東部に位する Solitary Geysers の噴騰を写真2に示した。噴孔周辺の析出物は何れも珪華である。

Yellowstone 公園の温泉について pH と Cl 含量の関係を第9図に示した。この場合 Cl が減少すると pH が減少する。即ち酸性が高まること又 Norris Basin の温泉は Upper Basin



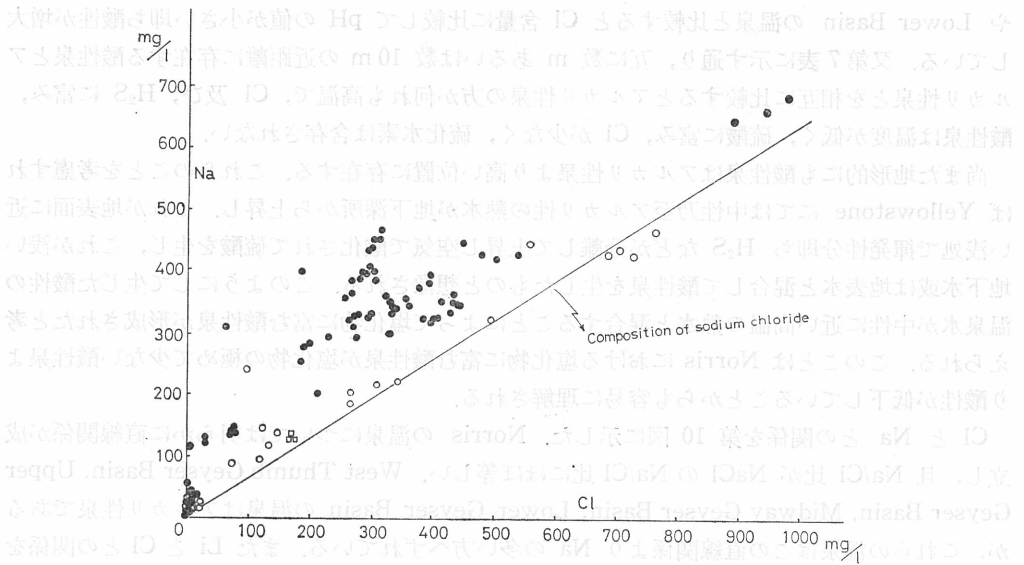
第9図 pH と Cl 含量との関係

- Upper Geysers Basin, Midway Geysers Basin, Lower Geysers Basin の温泉
- △ Norris Geysers Basin の温泉
- Mammoth Hot Springs

第7表 互に非常に近接して存在するアルカリ性泉と酸性泉との比較

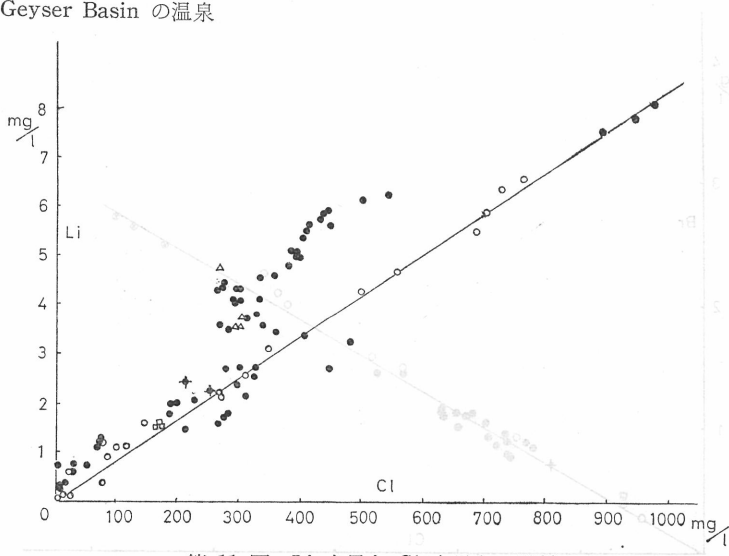
	Sample No.	Temperature °C	pH	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	Alkalinity meq/l	CO <sub>2</sub> mg/l	H <sub>2</sub> S mg/l
Paint Pot Sps.	57	94.0	9.0	496	114	2.26	0	0.8
	50	85.0	3.4	0	50	0	4	0
Giant Geysers	16	93	8.6	291	16	9.40	0	0.4
Sp. near the Giant Geysers	22	68	3.2	9	117	0	22	0
Imperial Geysers	43	94	8.8	196	21	6.48	0	0.5
	44	94	3.2	0	168	0	—	0
Calcite Spring	135	92.5	7.9	252	356	—	—	6.8
Sp. near Calcite Spring	136	88.0	3~4	211	1303	—	—	4.3
Spring in Norris Basin	62	93.5	4.1	725	88	0.03	8	0.7
	61	56	2.1	11	790	0	50	0

(分析者 野口喜三雄, 上野精一, 野口暁)



第 10 図 Na 含量と Cl 含量との関係

- Norris Geyser Basin の温泉
- Mammoth Hot Springs
- ⊗ Crater Hills の温泉
- Lone Star, West Thumb, Upper Geyser Basin, Midway Geyser Basin Lower Geyser Basin の温泉



第 11 図 Li 含量と Cl 含量との関係

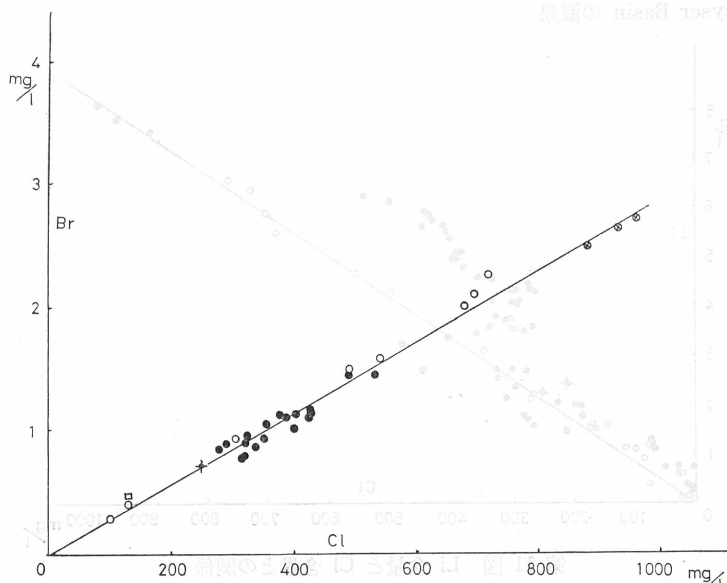
- Lone Star, Upper Geyser Basin, Midway Geyser Basin, Lower Geyser Basin の温泉
- Norris Geyser Basin の温泉
- Mammoth Hot Springs
- Calcite Springs
- ⊗ Crater Hills の温泉
- △ West Thumb Geyser Basin の温泉

や Lower Basin の温泉と比較すると Cl 含量に比較して pH の値が小さい即ち酸性が増大している。又第7表に示す通り、互に数 m あるいは数 10 m の近距離に存在する酸性泉とアルカリ性泉とを相互に比較するとアルカリ性泉の方が何れも高温で、Cl 及び、 $H_2S$  に富み、酸性泉は温度が低く、硫酸に富み、Cl が少なく、硫化水素は含存されない。

尚また地形的にも酸性泉はアルカリ性泉より高い位置に存在する。これらのことを考慮すれば Yellowstone には中性乃至アルカリ性の熱水が地下深所から上昇し、これが地表面に近い浅処で揮発性分即ち  $H_2S$  などが分離して上昇し空気で酸化されて硫酸を生じ、これが浅い地下水或は地表水と混合して酸性泉を生じたものと想像される。このようにして生じた酸性の温泉水が中性に近い高温の熱水と混合することによって塩化物に富む酸性泉が形成されたと考えられる。このことは Norris における塩化物に富む酸性泉が塩化物の極めて少ない酸性泉より酸性が低下していることから容易に理解される。

Cl と Na との関係を示した。Norris の温泉については明らかに直線関係が成立し、且 Na/Cl 比が NaCl の Na/Cl 比にほぼ等しい。West Thumb Geyser Basin, Upper Geyser Basin, Midway Geyser Basin, Lower Geyser Basin の温泉はアルカリ性泉であるが、これらの温泉はこの直線関係より Na の多い方へずれている。また Li と Cl との関係を示した。この場合も Norris の温泉については明らかに正の直線関係が成立する。

West Thumb Geyser Basin, Midway Geyser Basin, Lower Geyser Basin, Upper Geyser Basin の温泉についてはあるものはこの直線関係から Li の多い方へずれている。一方



第 12 図 Cl 含量と Br 含量との関係

- Upper Geyser Basin, Midway Geyser Basin 及び Lower Geyser Basin の温泉
- Norris Geyser Basin の温泉
- Mammoth Hot Springs
- Calcite Springs
- ⊗ Crater Hills の温泉

第 8 表 噴気孔ガスの化学組成

Place	Date	Temperature	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	Residual gas
		°C	Vol. %	Vol. %	Vol. %	Vol. %
Black Growler	June 23, 1965	94°	99.86	0.136	0.0027	0.0006
Porcelain Terrace	June 24, 1965		99.64	0.345	0.0063	0.0004
Roaring Mountain	July 2, 1965	94°	99.50	0.491	0.0051	0.0003

(分析者 野口喜三雄, 上野精一, 野口暁)

第 9 表 噴気孔ガスの凝縮水の化学組成

Place	pH	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	NH <sub>4</sub>	Cl <sup>-</sup>
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Black Growler	—	—	16.0	2.9	0
Porcelain Terrace	4.2	297	11.3	0	0
Roaring Mountain	4.1	246	7.2	0	0

(分析者 野口喜三雄, 上野精一, 野口暁)

Br/Cl 比では (第 12 図参照) Yellowstone の温泉は何れも明に同一直線上に配列されている。

尚又 Roaring Mountain, Black Growler, Porcelain Terrace の噴気の温度並に組成を検したるに (第 8, 9 表参照) 温度は 94°C を示し, 組成は水蒸気が大部分を占め, これに少量の CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S が含まれ, HCl は含有されなかった. この噴気から水冷却により捕集した凝縮水には CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S が多く含まれ, HCl は検出されなかった.

以上の結果から

Yellowstone の温泉の成因を考察すると Cl, H<sub>2</sub>S, Br, Na, Li などを含有する中性に近い熱水が地下深部から上昇し, これが上昇途中通路の岩石と反応してアルカリ性に移行したものが Upper Geyser Basin や Lower Geyser Basin のアルカリ性泉であると想像される. 実際にこれらのアルカリ性泉のあるものは岩石から由来したと思はれる Li, Na の混入により Li/Cl 比並に Na/Cl 比が増大したと見ることが出来よう. Roaring Mountain や Black Growler 等で見られる噴気はこれらの高温の熱水から揮発性成分, すなわち水蒸気, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S などが分離して上昇したものと想像される. かく考察すればこれらの噴気は二次的生成物とみなされる. 故 Dr. Day は Yellowstone Park における水蒸気の最高温度 138°C の噴気に 5°C の地下水が混合して 93°C の温泉水が形成されるとして Yellowstone の温泉水の岩漿水含量を計算したが, この計算の仕方は妥当でないであろう. Mammoth Hot Springs では莫大な量の石灰華が見られる. この温泉は水温 74°C, Cl 172 mg/l を示すが, 炭酸ガスに富み, 多量の重炭酸カルシウムが含有されている. この温泉水の成因については Yellowstone の熱水の本流から分離して上昇し, 上昇途中石灰岩中を通過したものと想像される. 水中に含まれる多量の炭酸カルシウムは石灰岩に由来するであろう.

### 放射能泉

Yellowstone にはこれまで放射能泉はないとせられていたが, 著者らの 1971 年夏の調査

によれば Lower Geyser Basin の西方山寄りの平地に始めて放射性の二酸化マンガン（黒色）が沈殿する泉が2個発見された。いずれも水温 86°C, pH 7.4 を示した。源泉にて理研計器株式会社製サーベーターで放射能を測定したるに 600~700 cpm を示した。（この地域のこの泉以外の場所では何れも 70~80 cpm であった。）この黒色沈殿物を日本へ持帰り、試料 109 番では黒色沈殿物 5.5 g（放射能 300 cpm, back ground 50~60 cpm）を蒸留水 305 cc につけ密封して 78 日間放置し、水中に存在するラドンを測定したるに 1 l に換算して 6.74 mache を示した。試料 110 番では同様に処理したところ 5.95 mache のラドンが検出された。尚この温泉水には硫化水素は検出されなかった。

表9 表9 表9

Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	pH	Place
0	2.9	18.0	—	—	Black Geyser
0	0	11.3	297	4.2	Porcelain Terrace
0	0	7.2	248	4.1	Roaring Mountain

（単位省略、単位は表9参照、単位省略）

BrCl 比では（表12 同参照）Yellowstone の温泉は同一時期に同一程度に減少して来た。尚又 Roaring Mountain, Black Geyser, Porcelain Terrace の温泉は相対的に減少したるに（表8, 9 表参照）温泉は 94°C を示し、組成は水蒸気が大割合を占め、これに少量の CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S が含まれ、HCl は含まれていない。この温泉から水蒸気中に少量の硫酸水蒸気（H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>）は検出された。HCl は検出されなかった。

以上の結果から

Yellowstone の温泉の成因を考察すると Cl, H<sub>2</sub>S, Br, Na, Li などを含む中時に、蒸気が水蒸気から上昇し、これが上昇途中蒸気の岩石と反応してアモニア性になったものが Upper Geyser Basin や Lower Geyser Basin のアモニア性温泉であると想像される。実際にこれらアモニア性温泉のあるものは岩石から出来たとはいえない。Li, Na の混入により LiCl 比が NaCl 比が増大したと見ることが出来る。Roaring Mountain や Black Geyser 等で見られる噴気はこれらの高温の熱水から揮発性成分、すなわち水蒸気、CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S などが出ていると想像される。かく考察すればこれらの噴気は二酸化炭素と水とからなる。表 Dr. Day は Yellowstone Park における水蒸気の最高温度 138°C の噴気 5°C の地下水が混合して 93°C の熱水が形成されるとして Yellowstone の温泉の岩蒸水含量を計算したが、この計算の仕方は及ばずである。Mammoth Hot Springs では莫大な量の石灰華が見られる。この温泉は水温 74°C, Cl 123 mg/l, Ca 123 mg/l に富み、少量の重炭酸カルシウムを含むとされている。この温泉の成因については Yellowstone の熱水の本来から分離して上昇し、上昇途中蒸気中に硫酸水蒸気を含むと想像される。水中に含まれる少量の硫酸水蒸気は岩石から出来るとも考えられる。

泉 諸 説 意

Yellowstone にはこれまで詳細調査は行われておらず、1971 年夏の調査