

島根県木部谷間欠泉における噴騰中の 化学組成の変化

東邦大学化学教室 相川 嘉正
東京都立大学名誉教授 野口 喜三雄
(昭和54年11月9日受理)

Variation of the Chemical Composition of Water Emitted from the Kibedani Geyser During its Eruption

Kasho AIKAWA * and Kimio NOGUCHI **

* Department of Chemistry, Toho University

** Professor Emeritus of Tokyo Metropolitan University

Abstract

In Kibedani there is a bored well, 10 cm in diameter and 80 m in depth, from which mineral water showing 21°C in temperature were emitted as high as 1.5 m periodically by natural gas composed mainly of carbon dioxide. The composition of gas is : CO₂ 97.6, H₂S 0.0, N₂ and others 2.4 in vol. %.

An iron pipe with many holes in its entire surface was inserted into the well for collecting water. The duration of eruption is about 4 minutes and the time between eruptions is about 19 minutes.

During an eruption, the water emitted from the orifice was collected in 12 or 13 polyethylene bottles at different time intervals and analyzed for Cl, boric acid, Ca and evaporated residues.

The contents of chloride, boric acid, calcium and evaporated residues in water were found to be low at the beginning of the eruption, and increased distinctly at 0.28 minutes after the eruption started, and then decreased gradually with time.

It can be explained as follows : At the beginning and ending stages of the eruption of the Kibedani Geyser the water rich in shallow ground water was emitted from the orifice of the geyser.

I 緒 言

間欠泉は通常水蒸気の圧力で熱湯を周期的に吹き上げる温泉であるが、この種の間欠泉の化学組成の変化については既に多数報告した。¹⁾ 天然にはこのほかに新潟県松之山温泉の如くメタンガスの圧力で84°Cの湯を周期的に吹き上げるものもあるが²⁾ 炭酸ガスの圧力で湯を周期的に吹き上げるものがあり、後者の例として島根県木部谷間欠泉を調査したのでその結果をここに報告する。

木部谷鉱泉は図1に示す通り島根県西南部柿木村に存在するが、ここは国鉄山口線の日原駅から車で約50分の距離に位置する。松浦らの報告³⁾ によればラドン含量68.0マツヘを示す放射能泉である。また下方の報告⁴⁾ によれば木部鉱泉の鉱泉水1l中から生じるトロン量は $3.6 \times 10^{-5} \text{g Tbu/l}$

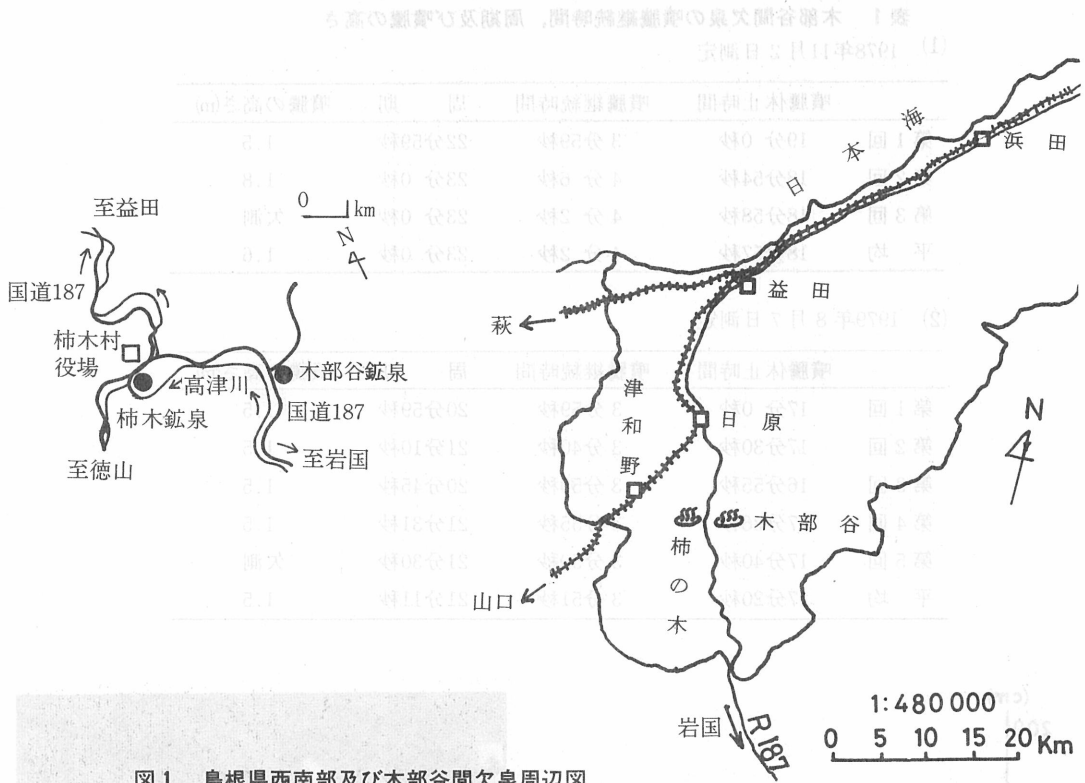


図1. 島根県西南部及び木部谷間欠泉周辺図

を示した。尚またその化学組成は野口らの詳細な報告⁵⁾があり、それによればこの鉱泉は水温20℃、pH6.2を示し著しく遊離炭酸に富むほか Na, Cl, Ca, Mg, Fe, H₂CO₃等に富んでいる。

II 調査及び結果

著者らは1978年11月1～2日及び1979年8月7～8日木部谷鉱泉を調査した。この鉱泉は堀サク井で直径10cm、深さ80mであるが、この堀サク井には集水のための孔を上端から下端まで多数設けた鉄管が挿入されている。湧出孔の周りには約2 m平方、深さ12cmの浅い井戸枠が設けてあり、この枠内に溜った水を浴槽へ導くようになっている。湧出孔における水温は21℃であった。

1. 周 期

1978年11月2日及び1979年8月7日に噴騰休止時間、噴騰継続時間及び周期を測定し表Iの結果を得た。表Iの結果をみると1978年11月2日と1979年8月7日とを比較すると噴騰の高さはほぼ同じく約1.5mである。噴騰継続時間は前者は約4分2秒、後者は約3分51秒で、後者の方がやや短い。噴騰休止時間は前者は約18分57秒、後者は、17分20秒で後者の方が約1分30秒ほど短いことがわかる。尚又噴騰の高さの時間変化はおよそ図2に示す通りである。

2. 噴孔中の水位測定

著者らは図3に示す装置を組立てて1979年8月8日水位を測定した。この装置の水位検知部は巾3.5cm、長さ15mの帯状をなし、50cmごとに目盛を施し且それぞれの深さに水位が達するとそれぞれに対応するランプが点灯するようになっている。最初この検知部の先端に鉛製の錘をつけ

表1 木部谷間欠泉の噴騰継続時間、周期及び噴騰の高さ

(1) 1978年11月2日測定

	噴騰休止時間	噴騰継続時間	周期	噴騰の高さ(m)
第1回	19分 0秒	3分59秒	22分59秒	1.5
第2回	18分54秒	4分 6秒	23分 0秒	1.8
第3回	18分58秒	4分 2秒	23分 0秒	欠測
平均	18分57秒	4分 2秒	23分 0秒	1.6

(2) 1979年 8月 7日測定

	噴騰休止時間	噴騰継続時間	周期	噴騰の高さ(m)
第1回	17分 0秒	3分59秒	20分59秒	1.5
第2回	17分30秒	3分40秒	21分10秒	1.5
第3回	16分55秒	3分50秒	20分45秒	1.5
第4回	17分36秒	3分55秒	21分31秒	1.5
第5回	17分40秒	3分50秒	21分30秒	欠測
平均	17分20秒	3分51秒	21分11秒	1.5

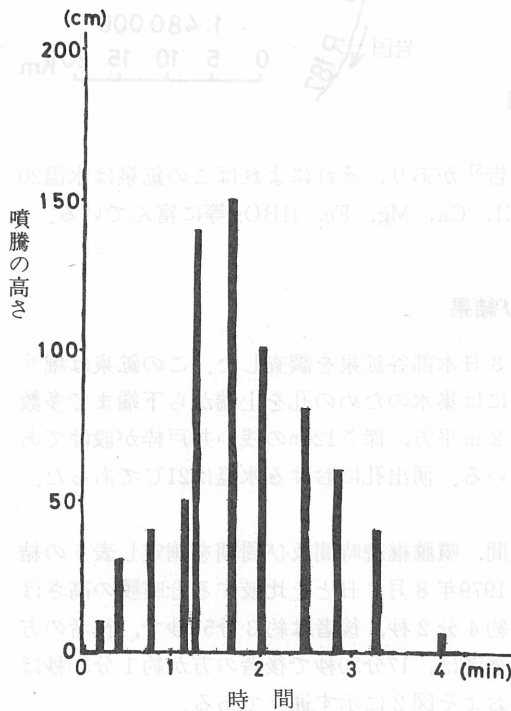


図2 木部谷間欠泉における噴騰の高さの時間変化



写真1 木部谷間欠泉の噴騰

て井戸内に降ろしたところ炭酸ガスの水位を押し上げる圧力はそれ程強くないため噴騰現象の妨害となり、噴騰が停止してしまった。そこで錘を取り除き、3時間ほど待って井戸内部のガス圧が回復し噴騰が開始されて再び前と同じ間欠泉となって後、水位の測定を再開した。

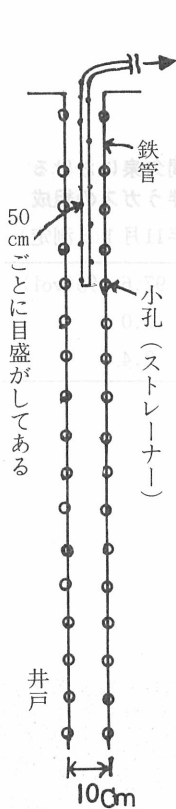
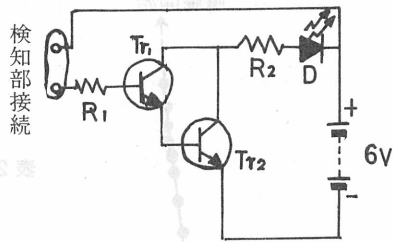


図3. 掘サク井中に水位検知部を挿入



- R₁ 100kΩ 抵抗器
- R₂ 100Ω 抵抗器
- Tr₁, Tr₂ 2SC372 トランジスター
- D 発光ダイオード (赤)

図3₁ 水位検知装置の内部構造

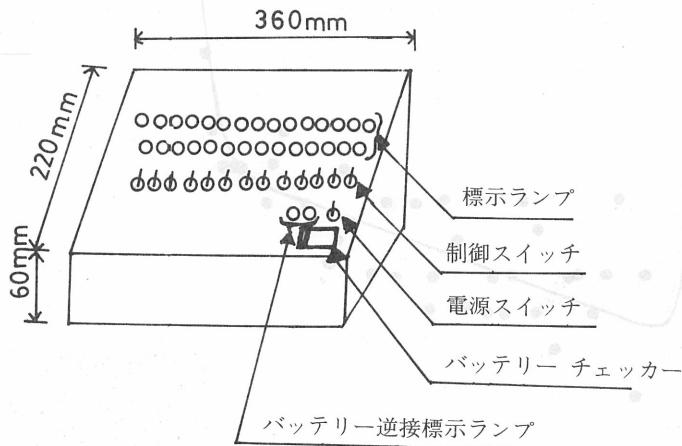


図3₂ 水位検知装置の外観

図3 水位の測定装置

第2回の測定では検知部の先端が井中の水面に接触したとき点灯したランプの番号、検知部先端の深さ、時間等を読み取り、次に先端を下げ、あるいは引き上げ再び同じランプが点灯したときの時間と深さを記録した。然し実際には水位はガス圧の変化で1mほどの幅で頻々と上昇、下降したから水位の測定にはかなりの注意が必要であった。2回目の測定では検知部を水面まで下げて測定し、水中深く挿入することを避けたので噴騰現象を少しも妨げることなく、良結果を得た。尚又噴騰直前における水位の浅い部分は1mの折尺を用いて測定した。測定結果は図4に示す通りである。噴騰休止直後は水面は極めて急速に下がり、僅45秒で深さ4mまで低下した。その後は約1mの幅で水位の上昇、下降が起りつつ時間の経過と共に徐々に上昇し、且また時間と共に上昇、下降の幅も減少し、噴騰休止後16分30秒では深さ2.5mとなった。そしてそれ以後は迅速に上昇し、僅1分間で深さ0cm即ち地表面に達し直に噴騰が開始された。

3. ガスの組成

木部谷間欠泉は水温21℃の水を炭酸ガスの圧力で周期的に1.5m 噴き上げる鉱泉であるが、この炭酸ガスは本来地下深部から上昇する鉱水に伴って上昇したものと推定される。これが地中の空隙に蓄積され、その圧力で空隙中の水が周期的に地上に放出されるものと考えられる。このガスの組成については1978年11月1日ハルデン型ガス分析装置を用いて調査したところ、表2に示す結果が得られた。即ち97.6%(Vol)がCO₂であった。また硫化水素は含有されていない。

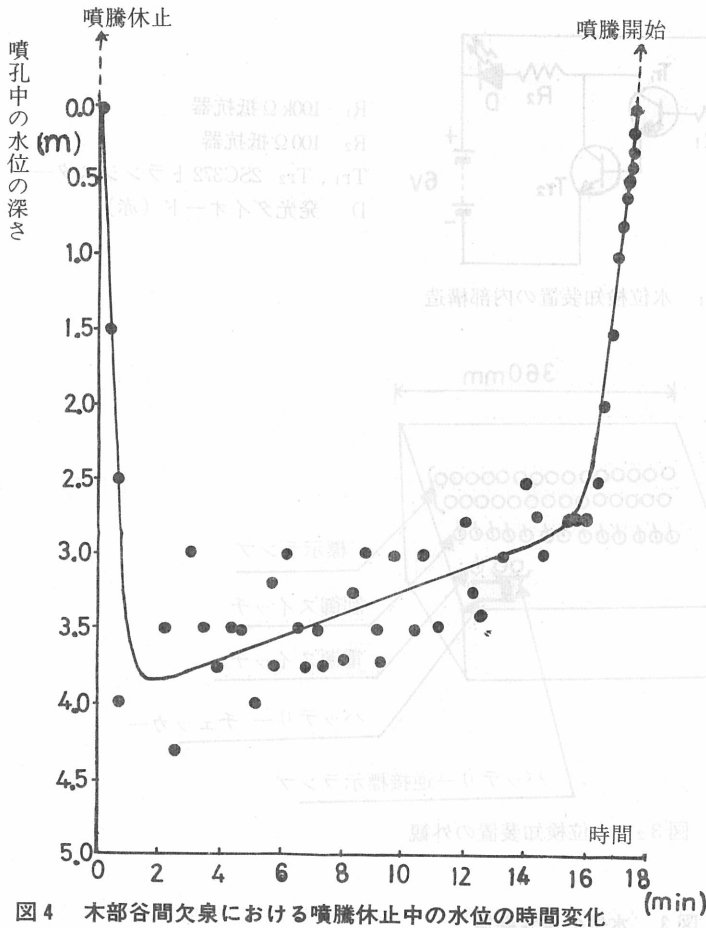


表2 木部谷間欠泉における
鉱水に伴うガスの組成
(1978年11月1日測定)

CO ₂	97.6	% (vol)
H ₂ S	0.0	
N ₂ その他	2.4	

図4 木部谷間欠泉における噴騰休止中の水位の時間変化

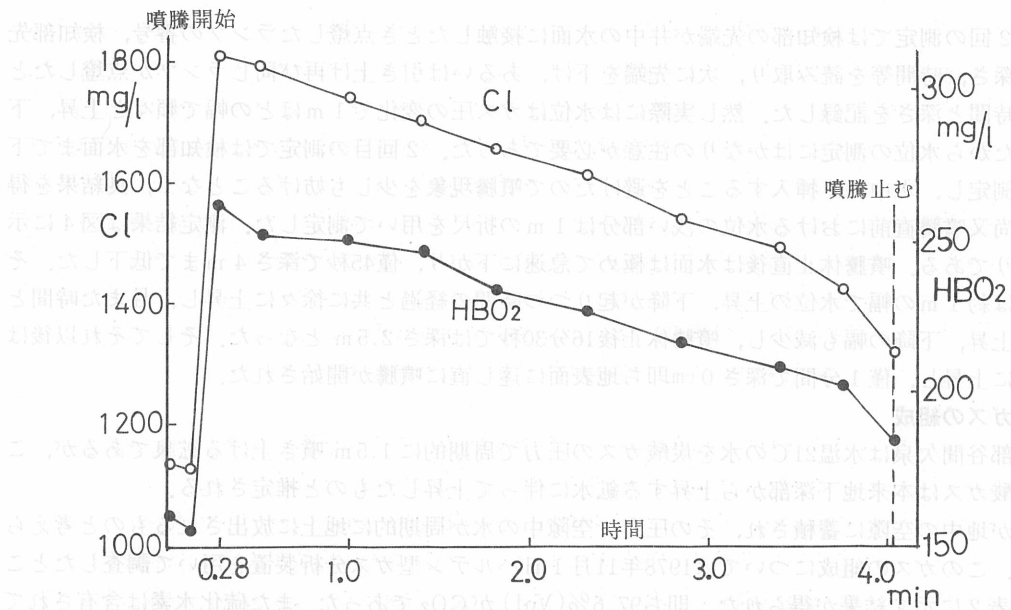


図5 木部谷間欠泉における噴騰中のCl及びHBO₂含量の時間変化
(1978. 11. 1測定)

4. 木部谷間欠泉における噴騰中の化学組成の変化

1978年11月1日木部谷間欠泉について噴騰の最初から終りまで噴出する水を時間の経過に従って12本のピンに分別採水しCl及びHBO₂含量を分析したるに図5の結果を得た。図5を見るとCl含量をHBO₂含量とは平行して変化していることがわかる。

噴騰の最初に噴出した水はCl1135mg/l, HBO₂160mg/lを示したが、次に0.12分で湧出した水はこれより含量少なくCl1125mg/l, HBO₂155mg/lを示した。そして0.28分では急激に増大して最大値Cl1810mg/l, HBO₂263mg/lを示し、その後は噴騰の継続と共にCl及びHBO₂含量が徐々に減少し、4.03分にて噴騰が休止したが、最後に噴出した水はCl1315mg/l, HBO₂184mg/lを示した。

今Cl含量を横軸に、HBO₂含量を縦軸にとって図示すると図6に示す通り明らかに正の直線関係が成立する。

次に1979年8月7日再び木部谷間欠泉へ出張し、噴出する水を時間の経過に従って13本のピンに分別採水し、Cl, 蒸発残渣, Ca等の含量を分析したるに、図7に示す結果が得られた。図7を見ると蒸発残渣, Cl, Ca等は何れも互に平行して変化していることが明らかになった。噴騰の最初に噴出した水はCl1080mg/l, Ca268mg/l, 蒸発残渣3375mg/lであるが、0.13分ではこれより含量少なくCl1004mg/l, Ca240mg/l, 蒸発残渣3194mg/lを示した。そして0.28分では著しく含量が増大し、最高値Cl1800mg/l, Ca426mg/l, 蒸発残渣5103mg/lを示した。その後は噴騰の継続と共にCl, Ca, 蒸発残渣の含量が徐々に減少し3.91分にて噴騰が休止したが、最後に噴出した水はCl1330mg/l, Ca295mg/l, 蒸発残渣4020mg/lを示した。

今Cl含量を横軸に、Ca含量を縦軸にとって図示すれば図8に示す如く正の直線関係が成立する。またCl含量を横軸に、蒸発残渣を縦軸にとって図示しても図9に示す如く明らかに正の直線関係が成立する。

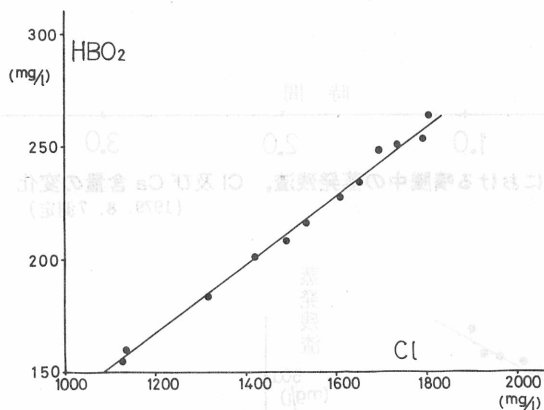


図6 木部谷間欠泉におけるCl含量とHBO₂含量の関係

III 総 括

以上の結果を総括すると木部谷間欠泉の地下では深部から多量の炭酸ガスを伴い、塩化物、硼酸、カルシウム、蒸発残渣等に富む鉱水が上昇し、これに浅所で、これらの含量の少ない通常の地下水が混合することによって間欠泉が形成されていることが明である。即ち噴騰の初期に噴出する水は第1回目の測定ではCl1125mg/l, HBO₂155mg/l, 第2回目の測定ではCl1004mg/l, Ca240mg/l, 蒸発残渣3194mg/lを示し比較的塩類含量少く、従って比較的浅い地下水に富む水が先に噴出

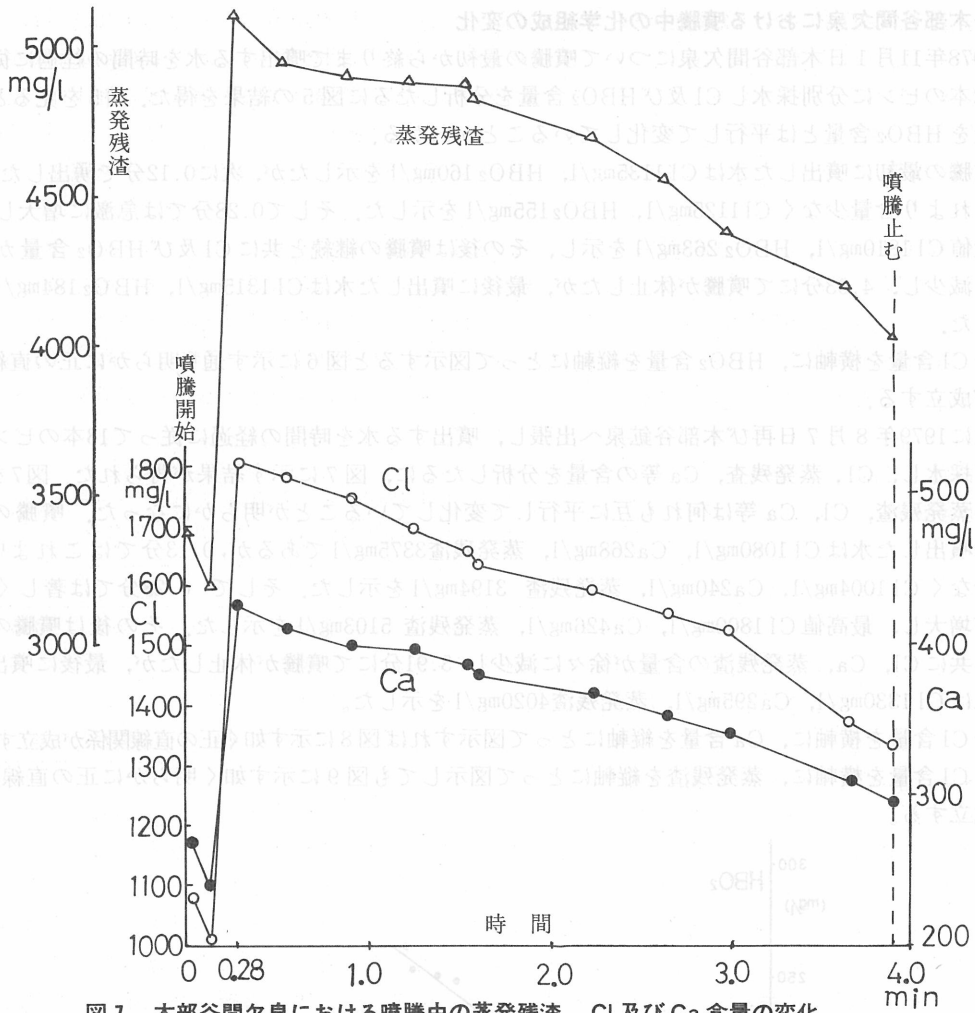


図7 木部谷間欠泉における噴騰中の蒸発残渣、Cl及びCa含量の変化 (1979. 8. 7測定)

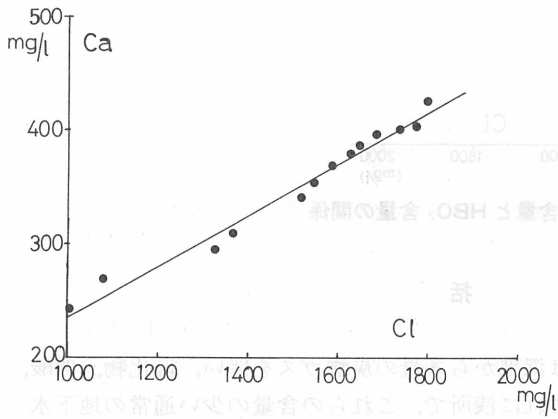


図8 木部谷間欠泉におけるCl含量とCa含量の関係

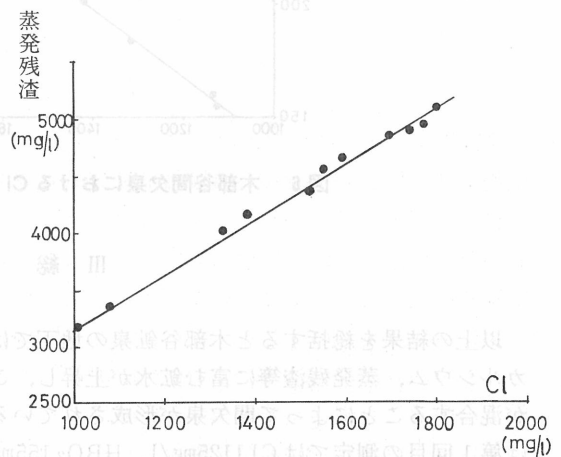


図9 木部谷間欠泉におけるCl含量と蒸発残渣含量との関係

し、噴騰開始後0.28分にては深部から上昇する鉱水に最も富む水が噴出するため塩類含量最も多く、第1回目の測定ではCl 1810mg/l, H₂O₂ 263mg/l, 第2回目の測定ではCl 1800mg/l, Ca 426 mg/l, 蒸発残渣5103mg/lを示した。そしてそれ以後は時間の経過と共に次第に浅い地下水の混入量が増大するため塩類含量は徐々に減少した。そして噴騰の最後に噴出した水は第1回目の測定ではCl 1315mg/l, H₂O₂ 184mg/l, 第2回の測定ではCl 1330mg/l, Ca 295mg/l, 蒸発残渣4020mg/lを示した。

尚又噴騰最初に噴出する水の塩類含量が0.12~0.13分にて噴出する水より塩類含量が稍多いのは前回の噴騰の際の最後の水が若干噴孔中に残溜するためと推定される。更にまた塩類含量の最高値を示した時刻は噴騰開始後0.28分であるが、噴騰の高さの最高値を示した時刻は1.2分であるから明らかに一致しない。このことに関しては地下深部から鉱水に伴って上昇した炭酸ガスが地中の空隙中に蓄積され然る後噴出するためであろう。今回調査した木部谷間欠泉の蒸発残渣、Cl, H₂O₂, Ca等の含量の最大値、最小値及び変化率を表3に示す。

尚又これまで調査した間欠泉について熱水の代表的成分であるClについてその含量の最大値、最小値及び変化率を一括して表示すると表4となる。表4を見るとメタンガスの圧力による松之山間欠泉のClの変化率は0.4~0.7%で、水蒸気又は炭酸ガスの圧力による間欠泉のClの変化率と比較して明らかに小さい点が注目される。間欠泉の噴騰の原因となるガスが水蒸気の場合は高温の熱水が深部から上昇し、地表面近くで圧力の低下により水の一部が気化して生じた水蒸気であり、炭酸ガスの場合はマグマの揮発性成分の一つで本来熱水に伴っていたものであるから、水蒸気或は炭酸ガスが地中の空隙に蓄積される場合は空隙中の水は時間と共に熱水に富むようになる。木部谷鉱泉の場合は水温20~21℃であるが、この地域の地下水より明らかに高温であり、熱水の温度がやや低下したものと推定される。一方松之山温泉におけるメタンガスの場合は地中に埋没した有機物の分解により生成されたメタンと推定されるもので熱水とは本質的には関係がないであろう。従ってメタンガスが地下の空隙に蓄積されても、空隙中の水は熱水に富むようにはならないであろう。

表3 木部谷間欠泉の蒸発残渣、Cl, H₂O₂及びCa含量の最大値、最小値及び変化率

	蒸発残渣	Cl	H ₂ O ₂	Ca
最大値(mg/l)	5103	1800	263	426
最小値(mg/l)	3194	1004	155	240
差(mg/l)	1909	796	108	186
変化率(%)	37.4	44.2	41.1	43.6

IV 結 語

木部谷間欠泉は炭酸ガスの圧力で21℃の水を1.5mの高さに周期的に吹き上げる間欠泉である。噴騰休止時間約18分57秒、噴騰継続時間約4分2秒、周期約23分0秒。噴出する水を時間の経過に従って12又は13本のピンに分別採水し分析したるにCl, H₂O₂, Ca, 蒸発残渣等の含量は何れも平行して変化した。噴出初期にでる水はこれらの含量が少なく、浅い地下水に富む水が噴出し、噴騰開始後0.28分にて最も塩類に富む水即ち鉱水に富む水が噴出し、その後は時間の経過と共に次第に塩類含量が減少した。従って地下水に富む水が噴出した。尚 化学成分の含量は 蒸発残渣 5103~3194mg/l, Cl 1810~1004mg/l, H₂O₂ 263~155mg/l, Ca 426~240mg/lである。尚また噴騰休止中における噴孔中の水位の時間的変化を明らかにした。

最後に本研究を行うに当り御協力いただいた木部谷鉱泉所有者田原治栄氏に厚く感謝する次第である。

表4 間欠泉における噴騰中のCl含量の最大値、最小値及び変化率の比較

間欠泉名	間欠泉の噴騰の原因となるガスの種類	温度(°C)	Cl		差(mg/l)	変化率(%)
			最大値(mg/l)	最小値(mg/l)		
木部谷間欠泉 第1回(1978.11.1測定)	炭酸ガス	20	1810	1125	685	37.8
第2回(1979.8.7測定)	"	21	1800	1004	796	44.2
松之山間欠泉 ²⁾ 第1回	メタンガス	84	9080	9015	65	0.7
第2回	"		9075	9035	40	0.4
宮沢間欠泉 ¹⁴⁾ 鳴子温泉湯泉楼間欠泉 小噴孔 ¹⁴⁾	水蒸気	沸騰	458	38.3	419.7	92
鳴子温泉金忠間欠泉 ¹⁴⁾	"	"	686.7	500.2	186.5	27.2
土湯間欠泉 ¹⁴⁾	"	"	437.6	372.6	65.0	14.8
鹿部間欠泉 ¹⁴⁾	"	"	194.1	179.2	14.9	7.7
鹿部間欠泉 ¹⁴⁾	"	"	1714	1659	55	3.2
(アイスランド) Strokkur Geyser ⁶⁾	水蒸気	沸騰	135	131	4	3.0
(ニュージーランド) Prince of Wales Feathers Geyser ⁷⁾	水蒸気	沸騰	606	585	21	3.5
Waikorohihi Geyser ⁷⁾	"	"	615	568	47	7.6
(米国) Old Faithful Geyser ⁸⁾	水蒸気	沸騰	466	451	15	3.2

文 献

- 1) 野口, 福島: 日化, 61, 677(1940)
- 2) 野口: 日化, 62, 718(1941)
- 3) 野口: 日化, 62, 723(1941)
- 4) 野口: 温泉科学, 1, 1(1941)
- 5) 野口: 温泉科学, 3, 13(1943)
- 6) 野口, 田多: 日化誌, 64, 1411(1943)
- 7) 下方: 日化, 77, 848(1956)
- 8) 野口, 相川, 中川: 日本温泉科学会, 第32回大会(昭和54年)講演
- 9) 野口, 相川, 神谷: 温泉科学, 25, 121(1975)
- 10) Kasho Aikawa, Kimio Noguchi and E. F. Lloyd: Variation of the chemical composition of water emitted from the Prince of Wales Feathers and Waikorohihi geysers during an eruption of each. ACS/CSJ Chemical Congress Geoc. 36, Honolulu, Hawaii, 1979. 4.
- 11) Kimio Noguchi and Joe Nix: Proceedings of the Japan Academy, 39, 370(1963)