

原 著

要 約 の 口 出 新 湧 . 5

秋田県後生掛温泉の新湧出口について

香川大学教育学部化学教室

佐々木 信 行

(平成6年11月14日受付, 平成6年12月5日受理)

New Vents in the Goshōgake Hot Springs,
Akita Prefecture

Nobuyuki SASAKI
Department of Chemistry, Faculty of Education, Kagawa University

Abstract

In December, 1989, new vents were formed at Goshōgake Hot Springs, Akita Prefecture, Japan. Much sulfuric acid thermal waters with a large quantity of black mud including iron sulfide were gushed out. The temperatures were 88~96°C and pH were 2.0~2.9. After the formation of new vents, the concentrations of SO_4^{2-} , Fe^{2+} , SiO_2 are gradually increasing, and pH are lowering with the decrease of spurting of black mud and thermal waters. The neighboring Oname vent has been remarkably affected with the formation of the new vents. Namely, decreasing in the concentration of each ion, and rising in pH are observed.

1. はじめに

後生掛温泉は秋田県と岩手県の県境に近い焼山火山(1366m)の東麓に位置し、東に八幡平(1613m)をのぞむ八幡平温泉群に属する噴気型熱水の温泉である^{1~3)}が、焼山火山の西麓に位置し、同温泉群に属する熱水型の玉川温泉^{2~5)}とは遊離塩酸の含有量など化学組成に大きな違いがみられる。筆者は1985年より当温泉のおなめ、もとも、紺屋地獄などの湧出口の活動状況の観測や熱水の化学組成の測定を続けているが、1990年秋におなめ湧出口の北隣に新しい湧出口が生成するのを観測した。ちょうどその2~3年前頃よりその付近の遊歩道が少し変形していたり、遊歩道沿いの噴気孔が活発化している様子がみられており、何らかの異変の予感があったが、それまで何もなかった所に突然湧出口ができるのを実際に目の当たりにすることは、やはり大きな驚きであり、感動であった。後生掛温泉旅館の従業員の方の話では、この新湧出口は前年の1989年(平成元年)の暮れより翌年の2月頃にかけて、雪の中で生成している。筆者はその湧出口の形状、大きさ、湧出熱水の量、色、温度、pH、化学組成などの調査・測定を開始し、その後も3年間にわたり調査を継続し、その推移を見守った。今回3年間の調査・測定を終えた時点で、この後

生掛温泉の新湧出口について得られた結果を整理して報告し、その生成機構について考察する。

著 者

2. 新湧出口の概要

新湧出口が生成したのは後生掛温泉自然研究路に入っておよそ100m程の遊歩道脇であり、その少し先にあるおなめ湧出口の北側約30mの地点である(図1)(写真1a)。新湧出口は1990年の生成当初は直径およそ5m程度ではほぼ円形状をなし、黒色泥を多量に含むどろどろした熱水が湧出口の中央より激しく噴出していた(写真1b, 1c)。また、その横5mのところには直径1m程度の小さい湧出口があり、こちらは灰白色に濁った熱水が気体を伴いながら湧出していた(写真2)。とりあえずこの2つの湧出口の前者を新湧出口1(大)、後者を新湧出口2(小)と呼称することにした。新湧出口の温度は、前者は激しい噴出のため測定は困難を極めたが、中央部は94℃以上あった。後者は88℃程度であった。また、pHはいずれも著しい酸性の値を示した。試料水は持ち帰り後に沈殿をろ過の後、化学分析を行い、沈殿は洗浄、乾燥の後、X線粉末回折により物質の同定を行った。新湧出口は調査の2年目(1991年)にはかなり拡大していたが(写真3)、黒色泥の噴き上げは見られなくなり、熱水中の黒色泥の量も初年度に比べ大きく減少した。

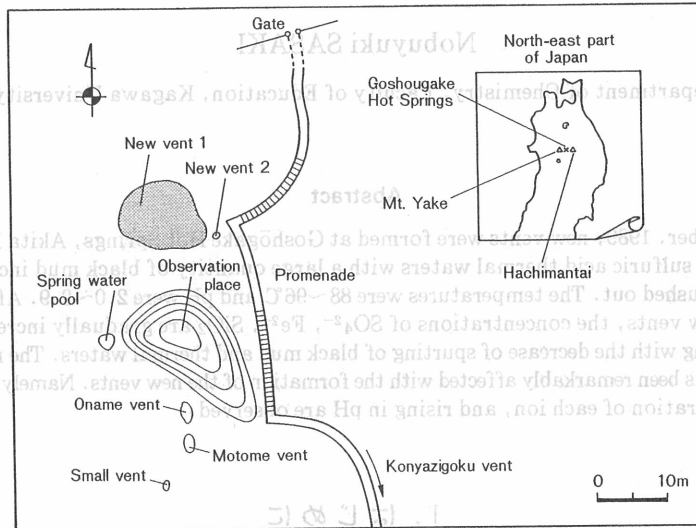


図1 後生掛温泉の新湧出口の生成地点



写真1a 後生掛温泉新湧出口の生成現場
(1990年10月)

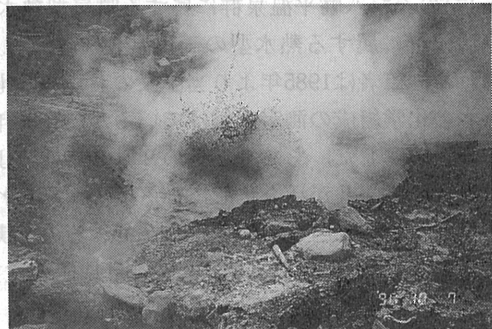


写真1b 後生掛温泉新湧出口1(大)の生成初
年度の外観(1990年10月)



写真1c 後生掛温泉新湧出口1(大)の熱水の採水の様子 (1990年10月)



写真2 後生掛温泉新湧出口2(小)の生成初年度の外観と採水の様子 (1990年10月)

2.1 化学組成

2.1.1 熱水

新湧出口の熱水の温度および化学分析値を表1と表2に示す。測定は1990年から始まり、以後3年間継続して行ったものである。温度は生成の初年度は新湧出口2の方が88℃とやや新湧出口1より低いが、翌年よりいずれも92℃を超える高温となっている。化学組成としては、アルカリ金属イオンの濃度がやや変動が大きいが、これは黒色泥による溶出や吸着作用が効いているためと思われる。現地ですぐにろ過すべきであったのかも



写真3 後生掛温泉新湧出口1(大)の生成後2年目の外観と採水の様子 (1991年8月)

知れない。主要イオンの構成からみて両湧出口とも硫酸イオンに富む噴気型熱水で、化学組成はおおむね従来のおなめ湧出口(表3参照)のそれに近いものであることがわかるが、新湧出口1の熱水の方が新湧出口2のそれに比べて SO_4^{2-} 濃度が高く、 ΣFe 、 Al^{3+} 濃度も高いが、逆に Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 濃度が低いことがわかる。また、pHは試料を持ち帰り後1ヶ月以内に測定した値を示しているが、新湧出口1の熱水の方が新湧出口2に比べてpHは低い。また、経年変化をみると、いずれ

表1 後生掛温泉新湧出口1(大)の熱水の化学組成($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$)とpHおよび温度($^{\circ}\text{C}$)

	1990	1991	1992
Na^+	21.0	60.5	7.8
K^+	2.5	1.7	4.0
Ca^{2+}	8.0	18.5	13.5
Mg^{2+}	29.0	19.0	8.9
ΣFe	106.7	140.0	126.0
Al^{3+}	173.5	45.1	105.7
SiO_2	171	226	277
SO_4^{2-}	971	1116	1316
Cl^-	1.8	25.3	2.49
pH	2.30	2.24	1.97
Temp.	92.5	94.6	91.6

表2 後生掛温泉新湧出口2(小)の熱水の化学組成($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$)とpHおよび温度($^{\circ}\text{C}$)

	1990	1991	1992
Na^+	39.0	81.5	6.3
K^+	9.8	3.4	2.5
Ca^{2+}	30.0	24.0	12.3
Mg^{2+}	62.5	55.1	10.4
ΣFe	36.4	85.1	88.5
Al^{3+}	13.9	7.8	37.9
SiO_2	204	252	226
SO_4^{2-}	553	719	720
Cl^-	2.2	21.2	1.20
pH	2.87	2.61	2.38
Temp.	88.0	96.0	96.4

の湧出口の熱水も1990年の生成当初に比べて SO_4^{2-} 濃度が増加し、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 濃度が(1990年の Ca^{2+} を除いて)減少して、pHがやや低下する傾向が見られる。各湧出口の主要成分の濃度変化を図2、図3に示す。なお、持ち帰った試料水はろ過しないまま保存して置くと、pHが採水からの月日が経つにつれて低下し、 SO_4^{2-} や ΣFe 濃度が増加する傾向が見られる。この点に関しては次節に記す。

表3 後生掛温泉おなめ湧出口の熱水の化学組成($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$)とpHおよび温度($^{\circ}\text{C}$)

	1987	1988	1989*	1990	1991	1992
Na^+	16.0	14.5	23.4	20.0	22.0	4.3
K^+	9.0	5.5	16.6	2.0	0.25	1.3
Ca^{2+}	6.0	13.0	11.3	12.3	0.6	12.5
Mg^{2+}	15.6	3.5	25.0	2.0	1.7	6.0
ΣFe	119.4	27.7	8.8	2.1	1.3	23.5
Al^{3+}	>60.0	23.6	10.3	3.1	1.8	3.8
SiO_2	276.0	222	44	26	44	25
SO_4^{2-}	2033	869	188	282	143	132
Cl^-	6.0	2.3	2.1	3.2	8.3	2.9
pH	2.01	2.63	2.87	3.13	3.16	3.23
Temp.	94.3	90.5	93.7	78.0	94.0	94.3

* 1989年10月採水のものであり、新湧出口はまだ全く現れていない。

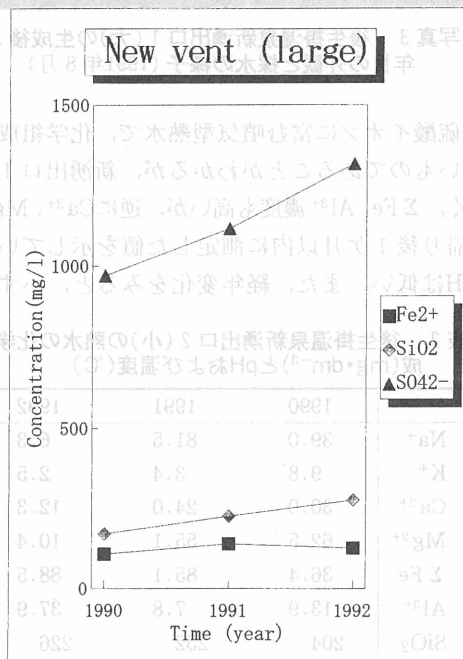


図2 後生掛温泉新湧出口1(大)の熱水中の主要3成分の濃度変化

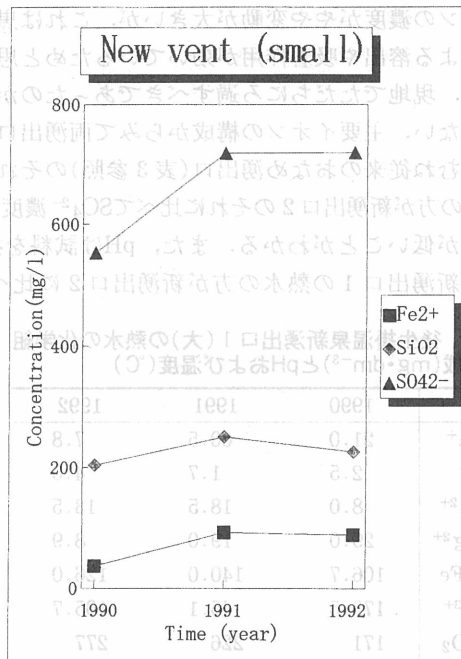


図3 後生掛温泉新湧出口2(小)の熱水中の主要3成分の濃度変化

2.1.2 沈殿物

新湧出口1の熱水に伴う黒色沈殿物(黒色泥), 新湧出口2の熱水に伴う灰白色沈殿物について, その構成物質を知るためにX線粉末回折を行った. 測定には理学電機製RINT 1200を用いた. まず黒色泥の結果を図4a, 4bに示す. 回折図はいずれもシリカ鉱物やイライト, モンモリロナイトなどの粘土鉱物のピークおよび硫化鉱物である黄鉄鉱のピークをもち, 黒色泥は硫化鉄(黄鉄鉱)を多量に含む粘土質土壌であることがわかる. これらの鉱物はこれまですでに後生掛温泉の温泉沈殿物として記載されているものにはほぼ合致するが⁶⁾, 粘土鉱物がカオリンでなくイライトであることが注目され, もう少し検討する必要がある. また, 黒色泥は湧出口生成の初年度に比べ2年目以降は減少しているが, 黄鉄鉱の割合はやや増加しているようである. 次に, 灰白色沈殿物の結果を図5a, 5bに示す. こちらも黒色泥とほぼ同様の粘土質土壌であるが黄鉄鉱はあまり含まれていない.

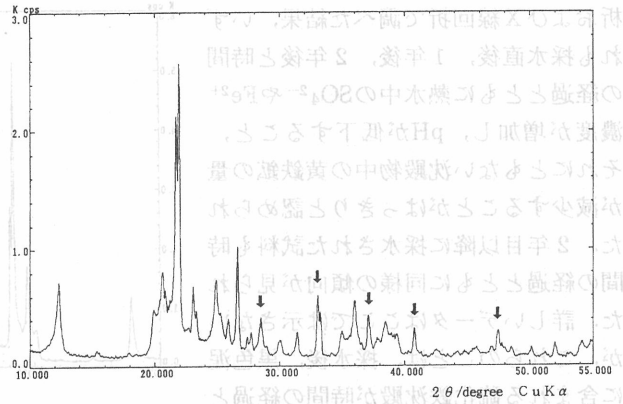


図4a 後生掛温泉新湧出口1(大)の熱水中の黒色泥(1990年)のX線回折図(矢印は黄鉄鉱(pyrite)の回折ピークを示す)

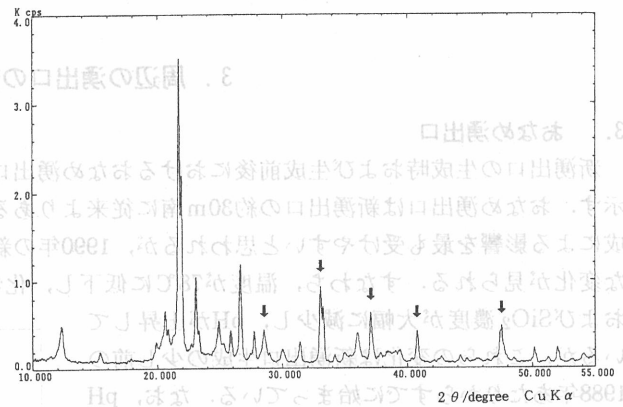


図4b 後生掛温泉新湧出口1(大)の熱水中の黒色泥(1992年)のX線回折図(矢印は黄鉄鉱(pyrite)の回折ピークを示す)

2.2 試料水の採水後の変化

これまでこの地域の熱水について, おなめ, もとめのように濁りの少ないものについては採水後温度低下以外に主要成分に大きな変化はなかったが, 今回, 新湧出口1のように多量の黒色泥を含む熱水を, ろ過しないまま保存したものについては, 採水後年月の経過とともにpHが低下し, それに伴い黒色泥が熱水との境界部から内部に向かって徐々に白みを帯びてくることが観察された. また, 灰白色沈殿を含む新湧出口2についても変化の程度は小さいが, 同様の傾向が見られた. 初年度に採水された熱水試料とその中の黒色泥について, これらの変化を化学分

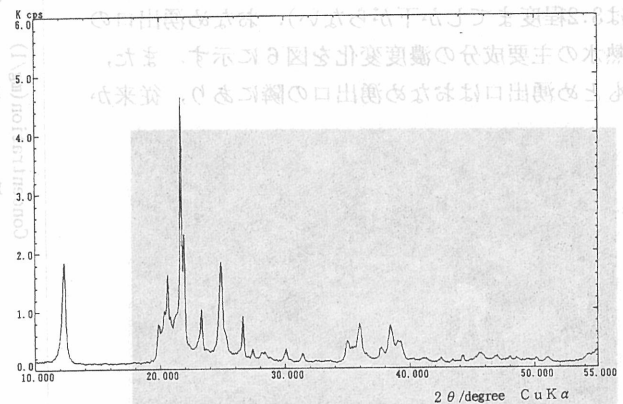


図5a 後生掛温泉新湧出口2(小)の熱水中の灰白色沈殿(1990年)のX線回折図(硫化鉄(pyrite)の回折ピークはほとんど見られない)

析およびX線回折で調べた結果、いずれも採水直後、1年後、2年後と時間の経過とともに熱水中の SO_4^{2-} や Fe^{2+} 濃度が増加し、pHが低下すること、それとともに沈殿物中の黄鉄鉱の量が減少することがはっきりと認められた。2年目以降に採水された試料も時間の経過とともに同様の傾向が見られた。詳しいデータはここでは示さないが、これらのことは、採水後、黒色泥に含まれる硫化鉄沈殿が時間の経過とともに徐々に分解、酸化され、上記のような溶液の組成変化がもたらされたことを意味している。

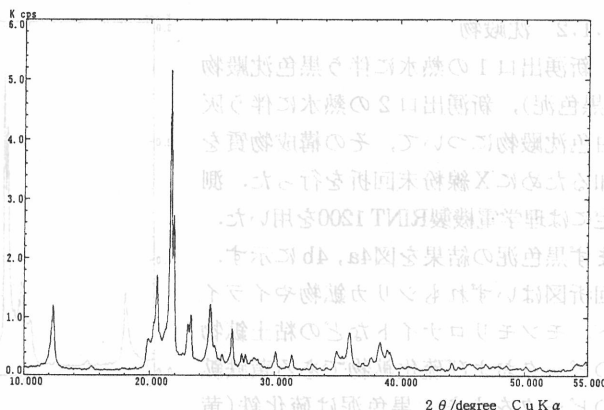


図5b 後生掛温泉新湧出口2(小)の熱水中の灰白色沈殿(1992年)のX線回折図(硫化鉄(pyrite)の回折ピークがわずかに見られる)

3. 周辺の湧出口の変化

3.1 おなめ湧出口

新湧出口の生成時および生成前後におけるおなめ湧出口の熱水の温度および化学組成を表3に示す。おなめ湧出口は新湧出口の約30m南に従来よりある湧出口であり(写真4)、新湧出口の生成による影響を最も受けやすいと思われるが、1990年の新湧出口生成時に温度と化学組成に大きな変化が見られる。すなわち、温度が78℃に低下し、化学組成の方は SO_4^{2-} 、 ΣFe 、 Al^{3+} 濃度、および SiO_2 濃度が大幅に減少し、pHが上昇しているが、これらの変化は新湧出口生成の少し前の1988年あたりからすでに始まっている。なお、pHは従来およそ2.0で強酸性であったが、次第に上がり、1990年以降は採水の時点ではほぼ中性の値を示していた(採水後、徐々に酸性になるが、pHは3.2程度までしか下がらない)。おなめ湧出口の熱水の主要成分の濃度変化を図6に示す。また、もとも湧出口はおなめ湧出口の隣にあり、従来か



写真4 新湧出口生成後のおなめ湧出口の外観と採水の様子(1990年10月)

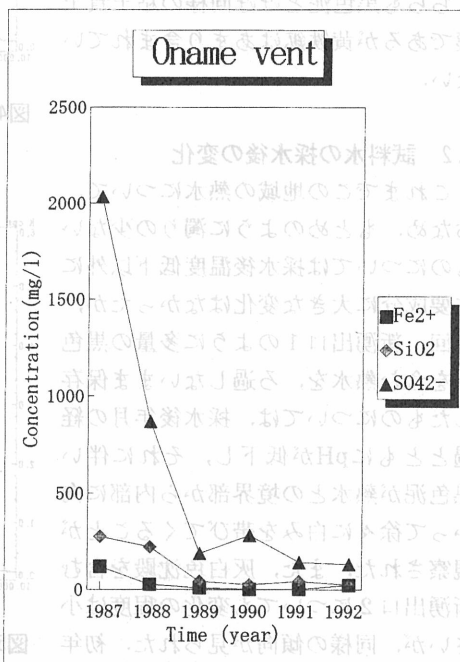


図6 後生掛温泉おなめ湧出口の熱水中の主要3成分の濃度変化

ら湧出状況が一定しておらず、経年変化をみるのにはふさわしくないが、おおむねおなめ湧出口と同様の化学組成変化を示す傾向がある。

3.2 もとめ湧出口近くの小湧出口

もとめ湧出口よりおよそ10m程離れた斜面上に比較的安定した湧出量をもつ小さな湧出口があり(写真5)、従来より時々化学組成の測定を行っている。新湧出口の生成前後におけるこの小湧出口の温度および化学組成を表4に示す。年度により多少変動が見られるものの、化学組成の点ではこの湧出口はおなめやもとめ湧出口の場合とは異なり、新湧出口生成の影響はあまり見られない。むしろ、1990年以降、 SO_4^{2-} や ΣFe , Al^{3+} 濃度、 SiO_2 濃度などがやや増加しているようである。



写真5 もとめ湧出口横の斜面にある小湧出口(1990年10月)(右下のもとめ湧出口に熱水の湧出がほとんどないことがわかる)

4. 新湧出口生成の機構と原因について

以上のような測定データをもとに今回見いだされた新湧出口の生成機構および周辺の他の湧出口との関係を考察すれば以下のようなだろう。

すなわち、それまで活発に湧出していたおなめ湧出口の近くにかなり大きい新しい熱水の流通経路が生じ、大量の硫化鉄や粘土鉱物を含んだ還元性の黒色泥が熱水とともに一気に地表に達し、新しい湧出口を形成した。その後1年余り経過すると、湧出速度が次第に低下し、一定速度に落ちつくようになるとともに、黒色泥も減少し、硫化鉄の分解、酸化反応により熱水中の SO_4^{2-} や ΣFe の濃度が増加して、pHが低下する傾向となった。この反応機構としては筆者らが玉川温泉において推定した。

$FeS_2 + 10H_2O + 15SO_2 \rightarrow Fe^{2+} + 10H^+ + 10HSO_4^- + 6S + S^{2-}$ のような反応が考えられる⁷⁾。今後、時間が経過して、もう少し黒色の濁りが少なくなれば、熱水は以前のおなめ湧出口のそれに近いものになることが考えられる。あるいは、現在のような状

表4 後生掛温泉もとめ湧出口横の斜面にある小湧出口の熱水の化学組成($mg \cdot dm^{-3}$)とpHおよび温度($^{\circ}C$)

	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Na ⁺	—	24.3	—	37.0	22.0	16.0
K ⁺	—	18.0	—	8.4	0.3	9.8
Ca ²⁺	—	73.3	—	59.4	8.5	50.3
Mg ²⁺	—	79.9	—	88.0	7.4	135
ΣFe	—	66.0	—	50.4	128.5	97.0
Al ³⁺	—	22.2	—	96.8	25.4	35.7
SiO ₂	—	299	—	301	316	316
SO ₄ ²⁻	—	1019	—	1322	1348	1257
Cl ⁻	—	2.3	—	2.3	9.3	1.0
pH	—	2.44	—	2.27	2.30	2.18
Temp.	—	92.3	—	94.0	93.1	93.3

態が今後も続くとするれば、このまま紺屋地獄のような姿に落ち着くことも考えられる。

なお、新湧出口は毎年徐々に拡大を続け、1994年(平成6年)10月の時点では、西岸が山際の方まで到達しており、写真6のような外観を呈している。湧出量はほぼ一定に落ちついたようであるが、黒色の濁りは依然減少していない。それとともに、おなめやもとめ湧出口の活動が再び活発になっており(写真7)、特にもとめ湧出口の熱水量が増えるなど新たな変化が認められる(写真7の左)。

このような新湧出口の生成の原因としてはこの八幡平および周辺地域の地熱開発の影響⁸⁾が考えられる。これは焼山の西麓にある玉川温泉の大噴源泉の化学組成が、かつて大きな変化⁹⁾を起こし、後生掛温泉も遊歩道近辺の噴気口や湧出口の活動が著しく低下した時に、一時話題になり、その原因の究明が真剣に検討されたようであるが(後生掛温泉支配人の話)、結局うやむやになったままである。幸い、玉川温泉の組成はほぼ以前の値に戻っているようであり、今回、全般的に活動が停滞気味の後生掛温泉においても、新湧出口が生成したことは、不幸中の幸いというべきかも知れない。生成後5年を経過し、湧出口としてはほぼ安定期に入ったと思われるこの新湧出口であるが、そろそろ独自の名称が必要である。筆者らは、この新湧出口が平成元年にできたことにちなみ平成湧出口、略して平成口(へいせいこう)と呼ぶことにした。



写真6 1994年(平成6年)10月現在の新湧出口の外観



写真7 1994年(平成6年)10月現在のおなめ湧出口(右)、もとめ湧出口(左)の外観(もとめ湧出口の熱水の湧出量が再び増加していることがわかる)

5. ま と め

1989年(平成元年)の暮れ、秋田県後生掛温泉のおなめ湧出口の北隣30mのところへ新しい湧出口が誕生した。熱水は噴気型で、化学組成は従来のおなめ湧出口のそれに近い値を示すが、多量の黒色泥を含む点では紺屋地獄の熱水に似ている。新湧出口生成時より3年後までの変化をみると、湧出口の大きさは初年度(1990年)に比べて2年目、3年目と拡大したが、中央からの湧出量は逆に若干減少し、初年度のような黒色泥の噴き上げは2年目以降は見られない。また、湧出熱水の化学組成の方は、 SO_4^{2-} 、 ΣFe 濃度や SiO_2 濃度が増加し、pHが低下しつつある傾向がみられる。熱水の温度は新湧出口2が初年度が88℃とやや低かったが、2年目以降はいずれの湧出口も92℃以上の高温を維持している。

この新湧出口生成の周囲への影響としては、隣のおなめやもとめ湧出口への影響が大きく、おなめ湧出口では温度は低下し、 SO_4^{2-} 、 ΣFe 、 Al^{3+} 濃度や SiO_2 濃度が減少し、pHが上昇している。これらの変化のうち、78℃という温度低下は新湧出口生成の初年度(1990年)だけに見られた。

筆者らは平成元年にできた後生掛温泉のこの新湧出口を平成口(平成湧出口)と呼ぶことにした。

