

原 著

群馬県草津温泉の湯畑系源泉と万代鉱源泉における 水温, pH および湧出量の経年変化

布施正美¹⁾, 長島秀行²⁾

(平成 20 年 8 月 9 日受付, 平成 20 年 9 月 4 日受理)

Changes in Temperature, pH and Flow of Yubatake-group and Bandaiko Hot Spring Sources in Kusatsu Spa, Gunma Prefecture

Masayoshi FUSE¹⁾ and Hideyuki NAGASHIMA²⁾

Abstract

We studied changes in temperature, pH and flow of Yubatake and Bandaiko sources, and the changes in pH and flow of Yukawa River, Kusatsu Spa, Gunma Prefecture during the past 45 years. The temperature of Yubatake source has decreased from 66.9 to 50.1°C, and the pH has increased from 1.5 to 2.1. On the other hand, the temperature and pH of Bandaiko source have maintained constantly about 95°C and 1.7, respectively. Total amount of flow of these hot spring sources including others were calculated by using the flow and the amount of hydrogen ion of Yukawa River, where most of hot spring waters are flowed in. Flow of the Yubatake sources group including Yubatake, Sainokawara and other sources have changed between 10,000 and 18,000 l/min, and flow of Bandaiko source has changed between 5,300 and 8,100 l/min during 16 years. Total amount of flow of these sources in Kusatsu Spa can be calculated as 18,000 to 26,000 l/min during the past 16 years, and was 25,700 l/min in 2005. Other data of the total amount of flow in Kusatsu Spa reported by using the different method show less than 32,300 l/min in 2005. Therefore, we presume that total amount of flow of sources in Kusatsu Spa is between 26,000 and 32,000 l/min in 2005.

Key words : Kusatsu Spa, Yubatake source, Bandaiko source, Yukawa River, flow of source

¹⁾ 布施医院 〒377-1711 群馬県吾妻郡草津町 462-58. ¹⁾ Fuse Clinic, 462-58, Kusatsu-machi, Gunma Prefecture 377-1711, Japan.

²⁾ 東京理科大学理学部 〒162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3. ²⁾ Faculty of Science, Tokyo University of Science, 1-3 Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8601, Japan.

要 旨

群馬県草津温泉における主な源泉である湯畑と万代鉦の温度, pH, 湧出量および湯川の水温, pH および流量の45年間にわたる経年変化を資料に基づいて検討した。それによると, 湯畑源泉の水温は66.9°Cから50.1°Cに低下し, pHは1.5から2.1に上昇したが, 万代鉦源泉は1970年以来, 水温は95°C前後, pHは約1.7で大きな変化はなかった。その他の源泉も含めた草津温泉の総湧出量は, 大部分の温泉水が流入している湯川の流量と含まれる水素イオン量から算出した。それによると, 最近16年間における湯畑, 西ノ河原など旧来の源泉(湯畑系源泉)の総湧出量は10,000 l/minから18,000 l/minで変動幅が大きい, 万代鉦源泉の湧出量はおよそ5,300 l/minから8,100 l/minでそれ程大きな変動はないが, やや増加傾向を示した。したがって, 最近16年間における草津温泉全体の総湧出量は18,000 l/minから26,000 l/minの範囲で, 旧来の湯畑系源泉の湧出量が草津温泉全体の総湧出量を左右しているといえよう。また, 2005年の総湧出量は平均25,700 l/minであった。一方, (財)中央温泉研究所による2005年における湯川の流量と流入する温泉水の流量の調査では, 草津温泉の総湧出量は32,300 l/minとしている。検出が困難な河川水や水道水, 温泉水などの存在を考慮すると, 2005年における草津温泉の総湧出量は26,000 l/minから32,000 l/minの範囲であると推定される。

キーワード: 草津温泉, 湯畑, 万代鉦, 湯川, 湧出量

1. はじめに

群馬県の北西部, 本白根山(2,176 m)と白根山(2,162 m)東麓の海拔1,200 mに位置する草津温泉は日本を代表する温泉地の一つで, 強い酸性泉であることから療養泉としても1,000年以上の長い歴史がある。草津温泉の主な源泉は, 標高の高い方から万代鉦源泉(1,350 m), 西ノ河原(さいのかわら)源泉(1,200 m), 温泉街にある白旗源泉, 熱の湯(ねつのゆ), 湯畑源泉, 地蔵の湯, 煮川の湯(1,150 m)等がある(図1)。万代鉦源泉は, その名が示すように硫黄採掘のため掘削していた万代坑内から, 1966年, 突然, 温泉が噴出したもので, その後, 硫黄採掘を止め, 草津町が買い取り, 1974年から本格的に温泉として利用を開始したという経緯がある。そこで, 草津温泉は湯畑, 西ノ河原源泉等を中心とする旧来の伝統的な源泉群(湯畑系源泉)と新しい万代鉦源泉に大きく分けることができよう。草津町温泉課の資料(1995年, 2005年)によると, これらの源泉における湧出量, 水溫, pHは表1の通りである(長島, 2008)。それによると, 万代鉦源泉の湧出量6,200 l/minは湯畑系源泉の湧出量に匹敵する程大量で, 両者は泉温とpHにおいても大きな違いがあることがわかった。草津温泉の総湧出量は32,300 l/minで, 2003年時点において自噴泉としては全国一, 動力湧出量を含めた総湧出量においても第4位を誇っている(日本温泉協会, 2005)。

さらに, 両源泉群は温泉成分においても異なっている。綿抜・高野(1974)および小坂(1984)は万代鉦源泉の方が湯畑系源泉に比べて塩化物イオン, 硫酸イオン含量が高いことを報告している。また, 湯畑源泉の長期間の変化から, 硫酸イオン, アルミニウム, 鉄などの濃度の減少が著しいことを報告している。綿抜(1989, 1997, 1999)は, 1958年から1995年にかけて湯畑の化学成分, 特に, 硫酸イオン, 塩化物イオンの変動を調べ, さらにpHの上昇, 泉温の低下傾向から, 温泉活動がみかけ上低下していると述べている。万代鉦温泉の湧出に伴う湯畑系源泉の水質変化については, 少なくとも万代鉦源泉の一部は湯畑系源泉に影響を与えていることが示唆されている(小坂ら, 1998)。

草津温泉においては, これらの源泉を含め大部分の源泉は, 温泉として利用, 未利用にかかわらず, 草津温泉の中心部を流れる湯川に放流されているが, 泉質は強酸性泉であるため, そのまま下流の河川に流入すると家庭の飲料水や農業・工業用水に対する悪影響が心配されてきた。そこで, 万代鉦源泉が湧出する以前の昭和39(1964)年より群馬県企業局により草津中和工場が建設され,

酸性の湯川を炭酸カルシウムにより中和する事業が開始され, 昭和 43 (1968) 年からは建設省, 現在は国土交通省関東地方整備局の品木ダム水質管理所によりこの事業が継続されている. この中和工場における湯川の流量と水素イオン濃度の測定結果から, 布施 (1992, 1993a, 1993b) は草津温泉の湧出量の総量は平成 5 (1993) 年においては約 20,000 l/min であったと推定している. また, 布施 (1997) は湧出量や泉温に関与していると思われる草津地域の気象条件, 特に気温や雨量の詳細な記

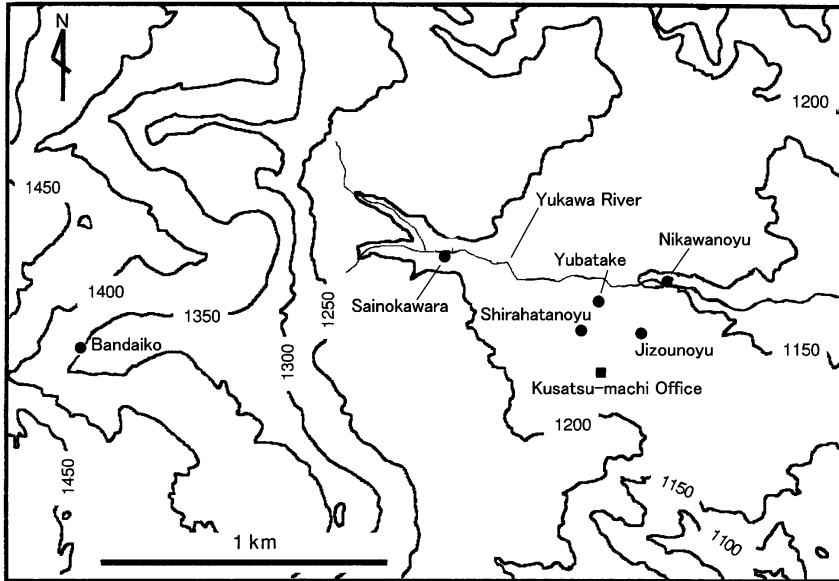


Fig. 1 Map of main hot spring sources in Kusatsu Spa (revised from Kikawada, 2004).

図 1 草津温泉における主な源泉と湯川の位置. 木川田 (2004) より改変

Table 1 Flow and some properties of main sources in Kusatsu Spa*

表 1 草津温泉の主な源泉と湧出量*

Hot Spring Source (Year)	Temperature °C		pH		Flow (l/min)	
	(1995)	(2005)	(1995)	(2005)	(1995)	(2005)
Yubatake	55.7	52.7	2.08	2.1	4,437	4,040
Shirahata	55.5	52.2	2.06	2.1	1,508	659
Netsunoyu	54.3	50.7	2.07	2.1	747	298
Jizo	53.0	49.9	2.05	2.2	386	252
Sainokawara	49.3	44.9	2.08	2.1	1,400	1,073
Nikawa	51.6	48.5	2.10	2.1	689	817
Bandaiko	95.4	94.5	1.70	1.6	6,200	6,200
(Subtotal)					(15,367)	(13,339)
Others					18,872	18,961
Total					34,239	32,300

* Revised from Nagashima (2008)

* 長島 (2008) より改変.

録をまとめている。

草津温泉の各源泉における湧出量については、1957年時点では三浦(1958, 1984)が、1981年時点では後藤(1982)が報告し、近年は草津町役場の依頼により中央温泉研究所が調査し報告しているが(1985, 1986, 1988, 2006)、算出法の相違等により総湧出量の数値にはかなり相違がある。そこで、本研究では、まず、万代鉱源泉および湯畑源泉における水温、pH、湧出量の経年変化をこれまで公表された資料に基づいて解析し、さらに、草津中和工場における湯川の流量とpHの測定データから草津温泉源泉群の総湧出量を推定した。

2. 万代鉱源泉の経年変化

現在の万代鉱源泉(写真1)は白根山の中腹、標高1,350mにあり、その水蒸気は草津町の温泉街からも眺めることができる。1966年に硫黄の採掘坑から噴出した温泉は、はじめはそのまま放流されていたが、その後、草津町が開発し1974年から万代鉱温泉として本格的に利用し始め、現在では、さらに、熱交換器を通して各家庭へ温水の供給や温泉熱を利用した道路の融雪等多目的に利用されている。万代鉱源泉における1970年から2005年まで5年毎の水温、pH、湧出量変化は表2および図2に示す。これらのデータは主として群馬県企業局および草津町温泉課の資料に基づいているが、1980年と1985年の湧出量は中央温泉研究所(1985, 1988)、1975年の温度、pHの値は小坂ら(1998)、1990年の値は山本ら(1997)によった。草津町温泉課では1995年および2005年の湧出量は、表2の値とは異なりそれぞれ6,200 l/minを採用している(表1, 長島, 2008)。また、小坂ら(1998)は、1975年から1995年の水温の平均値は93.7°C、pHの平均値は1.63としている。この結果、万代鉱から温泉が噴出した当初は温度、湧出量ともやや不安定であったが、1980年頃から温度は約95°Cで安定し、湧出量は4,000 l/min以上あり、現在はむしろやや増加傾向にあることがわかる。pHは噴出当初から2005年に至るまで1.7前後で安定している。万代鉱源泉における化学成分の変化も長期間、観察されており、1975年から1995年にかけて、特にナトリウムイオンやカリウムイオン、それに塩化物イオンの増加が著しいが、この現象は白根火山活動の活発化と関連があるのではないかと考えられている(小坂ら, 1998)。

3. 湯畑源泉の経年変化

湯畑源泉(写真2)は草津温泉街の中心部にあるシンボルの存在である。上部(手前)から湧き出ている通称、「將軍お汲み上げの湯」等の源泉は7本の木製の樋を通して流下し、硫黄成分(湯の花)を沈殿させると共に水温を下げ、湯滝となって後方の滝つぼに流れ落ちている。温泉水は湯畑、滝つぼ等より共同浴場や各旅館に配湯されている。1945年から2005年における湯畑源泉の5年毎の温度、pH、湧出量の変化は表3、および図3に示す。データは同じく主として群馬県企業局および草津町役場の資料に基づいているが、さらに、中央温泉研究所(1985, 1986, 1988)の報告を参考にし、1958年の水温、pHはWatanuki(1961)



Photo 1 Bandaiko source on December 22, 2007.

写真1 万代鉱源泉(2007年12月22日撮影)

Table 2 Long term changes in flow, temperature and pH of Bandaiko source*

表 2 万代鉱源泉の水温, pH および湧出量の経年変化*

Year	Flow l/min	Temperature °C	pH	Note
1966		83.6	1.7	Watanuki and Takano (1971)
1970	2,600	96	1.7	87.2°C, pH 1.6 (Ossaka, 1984)
1975		91.2	1.69	Ossaka <i>et al.</i> (1998)
1980	5,000* ¹	94.8	1.6	* ¹ Hot Spring Research Center (1988)
1985	4,100* ²	94.3	1.7	* ² Hot Spring Research Center (1985)
1990	5,800	94.8* ³	1.7* ³	* ³ Yamamoto <i>et al.</i> (1997)
1995	5,300	95.4	1.7	6,200 l/min, (Kusatsu-machi)
2000	8,100			
2005	7,900	94.5	1.6	6,200 l/min, (Kusatsu-machi)

*Data cited from Gunma-ken and Kusatsu-machi offices

*群馬県企業局および草津町温泉課資料より

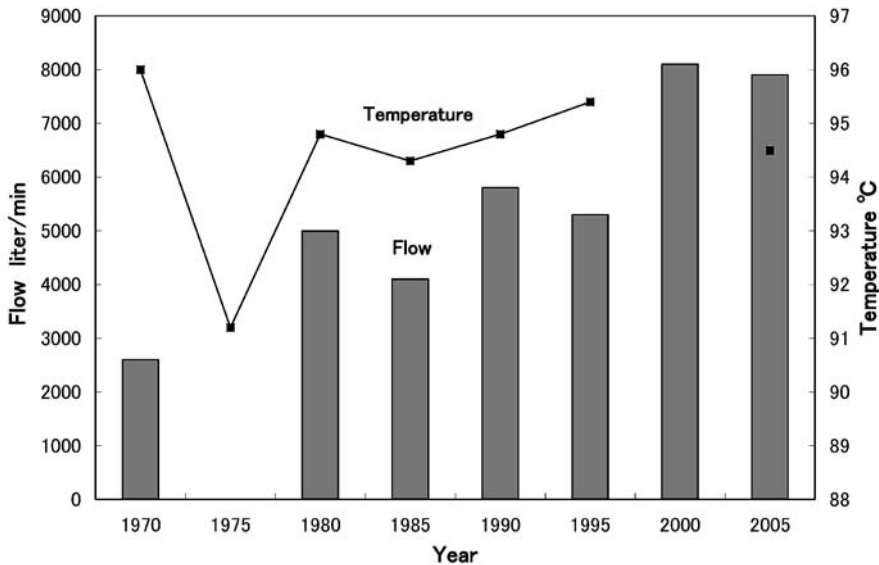


Fig. 2 Long term changes in temperature and flow in Bandaiko source.

図 2 万代鉱源泉の水温および湧出量の経年変化

により, 1965年, 1970年, 1975年の水温, pHは小坂(1998)によった. この結果, 湯畑の水温は1965年の66.9°Cをピークに減少し続け, 2005年は51.6°Cとなっている. その後の2001年から2007年にかけての水温の低下はかなり急速であるといえよう(図4). また, 湧出量も1960年の5,380 l/minをピークに減少し, 2005年には約4,000 l/minとなっている. しかし, 近年の湯畑源泉の湧出量に

関しては変動幅が大きいので、必ずしも減少しているとはいえないかも知れない。湧出量には、年間雨量の変動が関与していると考えられる。

綿抜 (1997, 1999) および小坂ら (1998) は、すでに 1995 年までに水温の低下と pH の上昇 (酸性度の低下), および化学成分, 特に硫酸イオン, 塩化物イオン濃度の減少を指摘している。小坂ら (1998) は 1965 年から 1995 年にかけてはアルミニウムイオンと塩化物イオン, 硫酸イオンの減少とナトリウムイオン, カリウムイオンの増加を観察したが, 1985 年頃からのナトリウムイオン, カリウムイオンの増加は, 湯畑よりも約 200 m 標高の高い万代鉱源泉の影響によるものであろうと解釈している。綿抜 (1989, 1997) は, 1958 年から 1987 年にかけて硫酸イオンと塩化物イオンが濃度に関して高い相関があり, 両イオンが共に同じような傾向で減少していることを明らかにし, この減少は温泉活動の減衰としてとらえることも可能であろうとしている。



Photo 2 Yubatake source on September 11, 2007.
写真 2 湯畑源泉 (2007 年 9 月 11 日)

4. 湯川の経年変化

湯川は, 最上流部は蛇沢 (へびさわ) と合流し, 西ノ河原付近を通って下り, 温泉街では暗渠 (トンネル) となるが, 東部の煮川の湯 (共同浴場) 付近から再びトンネルを抜けて露出し, 大滝の湯付近を通り中和工場 (写真 3) に達し, 中和されてから品木ダムへと向かっている (図 1)。その間, 万代鉱源泉, 西ノ河原源泉, 湯畑源泉等の大部分の温泉水, 温泉利用施設からの温泉排水, 未利用の温泉, および地下水, 雨水や沢水等が湯川に

Table 3 Long term changes in flow, temperature and pH of Yubatake sources *
表 3 湯畑源泉の水温, pH および湧出量の経年変化 *

Year	Flow l/min	Temperature °C	pH	Note
1942		63.5	1.47	Ossaka (1984)
1958	4,298* ¹	66* ²	1.5* ²	* ¹ Miura (1984), * ² Watanuki (1961)
1960	5,380	65.7		
1965	4,793	66.9* ³	1.68* ³	* ³ Ossaka <i>et al.</i> (1998)
1970	4,107	66.5* ⁴	1.8* ⁴	* ⁴ Watanuki <i>et al.</i> (1974), Osaka <i>et al.</i> (1998)
1975		64.8* ⁵	2* ⁵	* ⁵ Ossaka <i>et al.</i> (1998)
1980	4,316	60.4	2	Hot Spring Research Center (1988)
1985	3,416	59.6	2	Hot Spring Research Center (1988)
1990	3,299	56.7* ⁶	2.1* ⁶	* ⁶ Yamamoto <i>et al.</i> (1997)
1995	4,437	54.8	2.1	55.7°C (Kusatsu-machi)
2000	3,400	52.3	2.1	
2005	4,040	51.6	2.1	52.7°C (Kusatsu-machi)

* Data cited from Gunma-ken and Kusatsu-machi Offices

* 群馬県企業局および草津町温泉課資料より

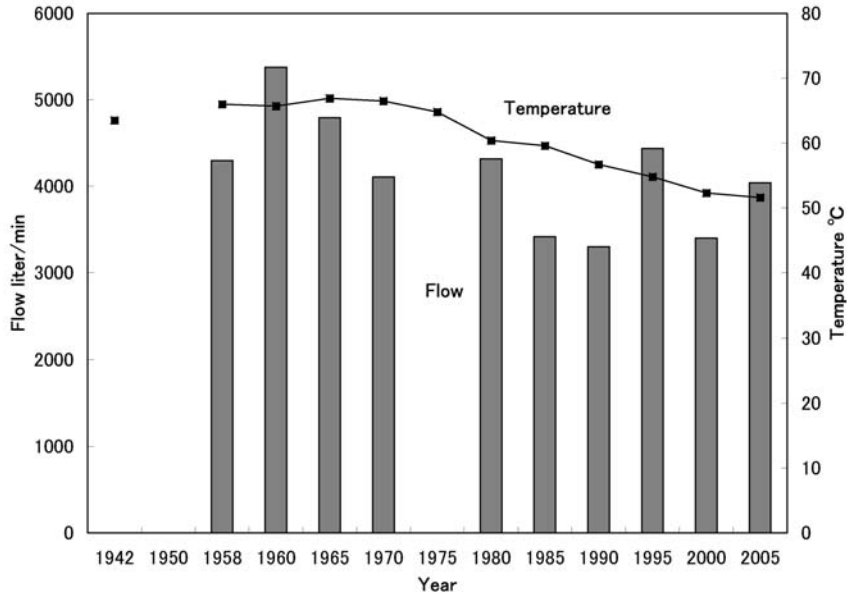


Fig. 3 Long term changes of temperature and flow in Yubatake source.

図 3 湯畑源泉の水温および湧出量の経年変化

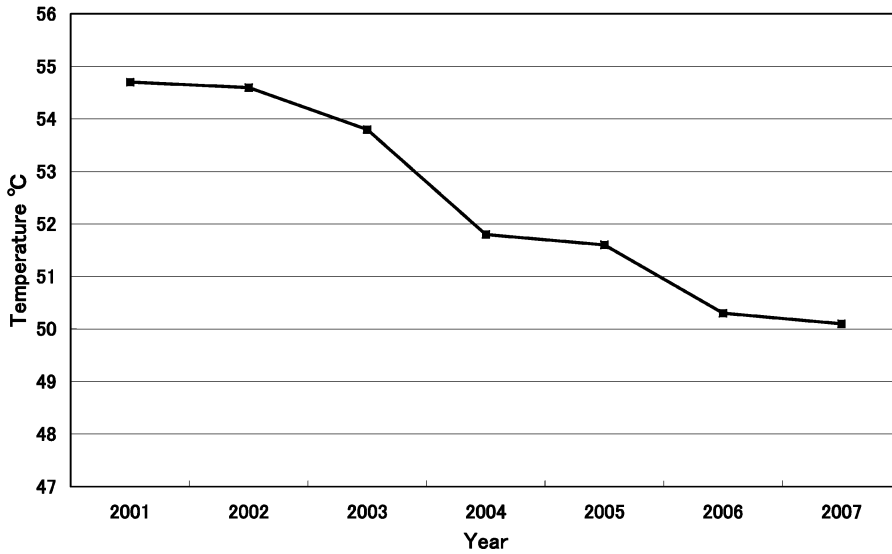


Fig. 4 Recent changes in temperature in Yubatake source*.

* 2001 to 2005 (Kusatsu-machi Office), 2006 to 2007 (Nagashima).

図 4 最近の湯畑源泉の水温変化*

* 2001 年から 2005 年までは毎月のデータの平均値（草津町温泉課），2006 年と 2007 年は 2006 年 9 月，2007 年 7 月の測定（長島）による。

流入している(中央温泉研究所, 2006)。したがって, 湯川が中和工場で中和される直前の流量や水質を調べるにより, 草津温泉の総湧出量を推定することが可能であろう。表4および図5は草津中和工場から得られた毎月のデータから, 1960年から2005年にかけての湯川の流量, 水温, pHの経年変化を年単位でまとめ, 5年毎に示したものである。それによると, pHは2付近で大きな変動はないが, 水温は42℃から30℃へ徐々に低下している。また, 流量についてみると, 初めは変動幅が大きかったが, 1985年頃より33,000 l/min程度で比較的安定していることがわかる。流量には, 当然, 気候の変化, 特に雨量の影響を受けているであろう。

5. 草津温泉の総湧出量

布施(1992)は中和工場地点における湯川の流量(l/min)とpHから, 1分間当たりの水素イオン



Photo 3 Kusatsu Neutralization Plant (Shinaki Dam Water Quality Control Office, December 23, 2007).

写真 3 草津中和工場 (品木ダム水質管理所) (2007年12月23日)

流量 [H⁺] (mol/min) を算出し, 通常の河川 (pH 6.80) における水素イオン流量との比率から推定湧出量を求める方法を考案した。その原理は, 草津温泉はすべて強酸性の源泉であるので, 湯川に含まれる水素イオン量は草津温泉の総湧出量を反映しているという考えに基づいている。それによると, 平成3(1991)年における草津温泉全体の推定総湧出量は約20,000 l/minとなった。

平成2(1990)年から平成18(2006)年における草津温泉の推定総湧出量は草津中和工場の毎月のデータから以下のようにして求めた。ここで, 流量(湧出量) [Y] l/min と水素イオン濃度 [H⁺] mol/l (pHから換算) を

Table 4 Long term changes in flow, temperature and pH of Yukawa River*

表 4 湯川の水溫, pH および流量の経年変化*

Year	Flow l/min	Temperature ℃	pH
1960	48,000	42	2.05
1965	36,000	39	1.85
1970	37,000	38	2
1975	43,000	35	2.1
1980	38,000	35	2.2
1985	32,000	36	2.2
1990	35,000	36	2.15
1995	34,600	34	2.1
2000	31,800	34.5	2.05
2005	34,400	30	2

*Data cited from Kusatsu Neutralization Plant

*草津中和工場資料より

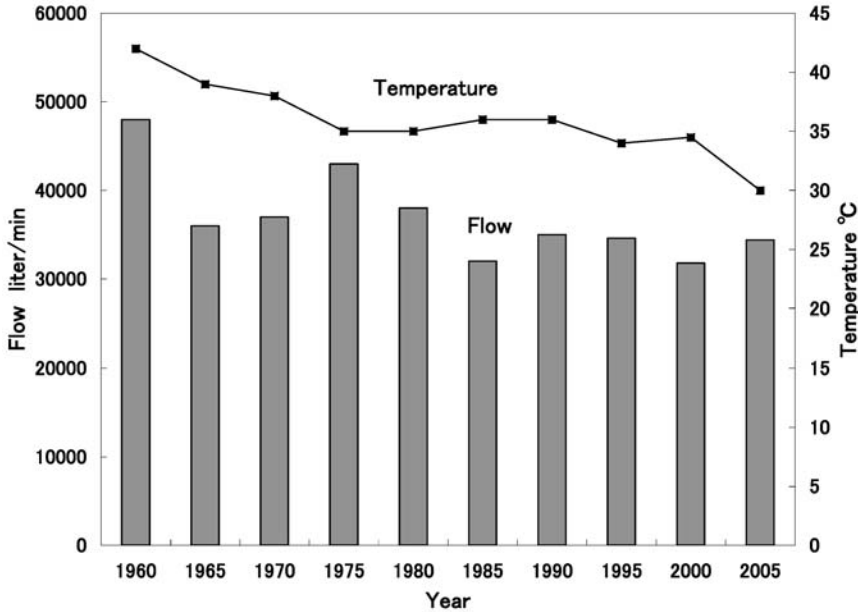


Fig. 5 Long term changes in temperature and flow of Yukawa River.

図 5 湯川の水温および流量の経年変化

掛け合わせたものを水素イオン流量 [HF] mol/min と定義した (1 式). したがって, 湧出量 [Y] は (2 式) により求めることができる.

まず, 測定が困難な湯畑系源泉 (旧来の源泉) の水素イオン流量 [HF] mol/min は, (1 式) より求めた湯川の水素イオン流量 [HF] mol/min から, 定期的に計測されている万代鉈源泉の湧出量と pH により同じく水素イオン流量 [HF] mol/min を求め, それを差し引いて算出した (3 式). 次に, 湯畑系源泉の湧出量 [Y] l/min はこの水素イオン流量 [HF] mol/min と推定水素イオン濃度 $[H^+]$ mol/l から (2 式) により換算した. 最後に, 草津温泉の総湧出量 [Y] は万代鉈源泉と湯畑系源泉の湧出量 [Y] を加えて求めた (4 式).

$$[HF] \text{ mol/min} = [Y] \text{ l/min} \times [H^+] \text{ mol/l} \quad (1)$$

(1 式) より,

$$[Y] \text{ l/min} = [HF] \text{ mol/min} \div [H^+] \text{ mol/l} \quad (2)$$

$$[HF]_{\text{湯畑系}} = [HF]_{\text{湯川}} - [HF]_{\text{万代鉈}} \quad (3)$$

$$[Y]_{\text{草津温泉}} = [Y]_{\text{万代鉈}} + [Y]_{\text{湯畑系}} \quad (4)$$

ただし, [HF]: 水素イオン流量 mol/min, [Y]: 湧出量・流量 l/min, $[H^+]$: 水素イオン濃度 mol/l

その結果は図 6 に示す. 平成 2 (1990) 年から平成 18 (2006) 年における草津温泉の総湧出量は 18,000 l/min から 26,000 l/min (平均, 21,200 l/min) あり, そのうち, 万代鉈源泉はおよそ 5,300 l/min から 8,100 l/min で大きな変動はないが, 湯畑系源泉の総湧出量は 10,000 l/min から 18,000 l/min で変動幅が大きい. したがって, 旧来の湯畑系源泉の湧出量が草津温泉全体の総湧出量を左右しているといえよう. 万代鉈源泉が湧出して以降の草津温泉の総湧出量は, 今回の結果からは必ずしも減少しているとは言えない. 2005 年の総湧出量は平均 25,700 l/min であった.

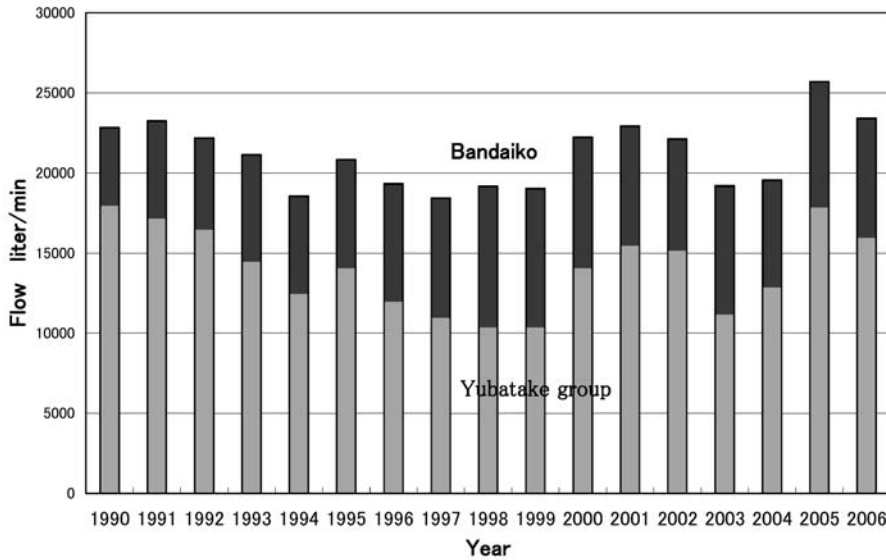


Fig. 6 Total amount of flow in Kusatsu hot spring sources.

図 6 草津温泉の総湧出量

一方、草津温泉全体の総湧出量を、同じく湯川の流量から求めているが、流入する各源泉の湧出量を合計し、河川水等を差し引いて求める方法も用いられている。三浦（1958, 1984）は、1957年における草津温泉の総湧出量を計測し、およそ 34,000 l/min と報告しているが、当時、万代鉦源泉はまだ湧出しておらず、旧来の源泉のみであった。後藤（1982）は、1981年における総湧出量として、湯川の流量 36,000 l/min から流入する上水道水 11,400 l/min を差し引いて、24,600 l/min という値を算出した。

中央温泉研究所の最近の調査においては、草津温泉の湯川に流れ込む温泉総量は、中和工場で観察された湯川流量に湯川以外に排出された温泉量を加え、そこから、湯川最上流部（蛇沢）の流量、それに途中、湯川に放流される河川水や地下水、都市下水路からの水道水排水を差し引いて求めている。その結果、2005年における草津温泉総排出量として、平均、32,300 l/min という値を得ている（中央温泉研究所、2006）。しかし、同研究所は、32,300 l/min の値の中には把握が困難な地表水や地下水の混入、各宿泊施設で浴槽における泉温を下げるために加えられた水道水等も含まれている可能性もあるので、「湯川流量をもって草津温泉の総湧出量とすることにはいささか疑問がある」としている。さらに、万代鉦源泉が湧出した現在においても総量が 32,000 l/min ならば、三浦が計測した 1957年当時の総湧出量、34,000 l/min に比べると、旧来の湯畑系源泉は万代鉦の湧出量分だけ減少していることになろう、と指摘している（中央温泉研究所、2006）。

6. おわりに

草津温泉には旧来の湯畑系源泉と 1974 年から本格的に利用し始めた万代鉦源泉があり、2005年の草津町の公式資料によると、総量として 32,000 l/min ある。今回、湯川の中和工場地点における流量と含まれる水素イオン濃度から草津温泉の総湧出量を求めると、2005年においては 25,700 l/min となり（図 6）、中央温泉研究所の調査に基づく草津町の資料による 32,300 l/min より低い値になっ

ている。しかし, 32,300 l/min という値には温泉水以外の未検出や測定困難な水も含まれている可能性があり, 実際はもう少し低い値となることが推測される。他方, 今回, 水素イオン量から求めた総湧出量 25,700 l/min の数値には, 湯川の中和工場地点で把握できない温泉水は含まれていないので, 2005 年における草津温泉における総湧出量は, 両数値の間, すなわち, およそ 26,000 l/min から 32,000 l/min にあるといえよう。草津温泉における総湧出量の算出方法については, 今後, さらなる検討が望まれる。

湯畑系源泉と万代鉱源泉について詳細に比較すると, 万代鉱源泉は湧出量, 泉温とも比較的安定しているが, 湯畑, 西ノ河原を含む湯畑系源泉は, 湧出量, 温泉成分の濃度とも減少傾向を示し, また泉温も低下しており, 減衰傾向にあるといえよう。この要因としては, 白根火山活動の減衰などの自然的要因や, 源泉に影響を及ぼす可能性のある森林伐採, ビル建設, 河川改修や道路の舗装工事など人為的な要因が考えられる。今後, 少なくともこのような人為的な要因による旧来の湯畑系源泉の減衰や枯渇を未然に防ぐ対策が望まれる。その上で, 万代鉱源泉を有効に活用することが草津温泉地における今後の課題であるといえよう。

謝 辞

本調査に際し, 多大のご協力をいただいた草津町役場の温泉課・観光創造課, および建設省品木ダム水質管理所に深く感謝する。

引用文献

- 後藤達夫 (1982): 酸性温泉水の処理対策, 温泉科学, **32**, 105-123.
- 木川田喜一 (2004): 温泉は地面ののぞき窓—温泉成分から地下の様子を探る—, 温泉科学の最前線 (西村進編), pp. 41-66, ナカニシヤ出版, 京都.
- 布施正美 (1992): 草津温泉の湧出量について, 群馬県医師会報, 526 号, 69-75.
- 布施正美 (1993a): 湯川の流れ, 群馬県医師会報, 537 号, 54-65.
- 布施正美 (1993b): 湯川の流れ—補遺—, 群馬県医師会報, 541 号, 100-104.
- 布施正美 (1997): 草津温泉の気象, 草津温泉—草津白根火山・気象・微生物・歴史・医学— (白倉卓夫編著), pp. 25-64, 上毛新聞社, 前橋.
- 日本温泉協会 (2005): 温泉統計ベスト 10, 温泉, **73** (12), 12-14.
- 三浦彦次郎 (1958): 草津温泉湧出量調査報告, 温泉研究, No. 13
- 三浦彦次郎 (1984): 草津温泉の湧出量, 草津温泉誌, 自然科学編 I (草津町誌編纂委員会編), pp. 353-364. 草津町役場, 草津.
- 長島秀行 (2008): 草津温泉の微生物, 草津温泉—温泉を科学する— (白倉卓夫編著), pp. 72-87. 上毛新聞社, 前橋.
- 小坂丈子 (1984): 温泉 (火山ガス), 草津温泉誌 自然科学編 I (草津町誌編纂委員会編), pp. 97-172, 草津町役場, 草津町.
- 小坂丈子, 小坂知子, 平林順一, 大井隆夫, 大場武, 野上健治, 木川田喜一, 飛田典子 (1998): 万代鉱温泉の湧出に伴う草津温泉源泉群の水質変化について, 温泉科学, **47**, 166-178.
- 中央温泉研究所 (1985): 草津温泉—第 1 次調査報告書, 1-42. 東京.
- 中央温泉研究所 (1986): 草津温泉—第 2 次調査報告書, 1-50. 東京.
- 中央温泉研究所 (1988): 草津温泉—第 3 次調査報告書, 1-105. 東京.
- 中央温泉研究所 (2006): 平成 17 年度草津温泉湧出量実態調査業務報告書, 1-124. 東京.
- Watanuki, K. (1961): Geochemical studies on acid hot springs. Sci. Pap. Coll. Gen. Educ. Univ.

Tokyo, **11**, 205-223.

綿抜邦彦, 高野穆一郎 (1971): 草津温泉と万座温泉 (第1報), 温泉工学会誌, **8**, 9-15.

綿抜邦彦, 高野穆一郎 (1974): 多成分相関マトリックスを用いる温泉水の相互関係の解析, 温泉科学, **25**, 26-31.

綿抜邦彦 (1989): 日本の酸性泉, 温泉科学, **39**, 29-35.

綿抜邦彦 (1997): 草津白根火山と草津温泉, 草津温泉—草津白根火山・気象・微生物・歴史・医学— (白倉卓夫編著), pp. 3-21, 上毛新聞社, 前橋.

綿抜邦彦 (1999): 草津温泉の化学的特徴と温泉の保護, 温泉科学, **49**, 90-98.

山本雅弘, 小池孝治, 榊井文人, 塩田敦士, 釣田英利, 大塚晃弘, 野上健治, 小坂丈予 (1997): 草津白根山東麓の温泉の同位体地球化学, 温泉科学, **47**, 68-75.