

温泉の保護対策及び適正利用に関する研究
—モニタリング調査に基づく自噴泉の枯渇防止に関する一考察—

矢野美穂* 川元達彦 英保次郎

Studies on Preservative Promotion and Appropriate Usage for Hot Springs
—Consideration for Prevention of Depletion of Self Flowing Springs
by the Mid/Long-term Monitoring—

Miho YANO*, Tatsuhiko KAWAMOTO and Jiro EIHO

*Water Environment Division, Hyogo Prefectural Institute of Public Health
and Environmental Sciences, 2-1-29, Arata-cho,
Hyogo-ku, Kobe 652-0032, Japan*

From the viewpoint of preservative promotion and appropriate usage for the hot springs, the mid/long-term monitoring at 3 self flowing springs have been examined to understand the factors and its characteristics as symptoms of depletion and changes of states of gushing out. As the results, the correlations were admitted among temperature, self flowing volume, and amount of usage of spring. Interferences were admitted at two springs drawing up from the same aquifer. These results suggested that is useful for the prevention of depletion of self flowing springs.

I はじめに

温泉法の中核をなす温泉の保護及び利用の適正化を推進するためには、温泉の衰退等の兆候や湧出状況の変化を把握する因子とその特徴を明らかにすることが重要である。このために、兵庫県では1999年から県内の数ヶ所の自噴泉を対象とした中長期的なモニタリング調査を実施¹⁾してきた。その間には、温泉への入浴剤の添加事例を初めとして、全国各地で温泉の虚偽表示（温泉法上「温泉」でないものを「温泉」と表示）が発覚し、利用者の誤解を招く温泉表示の実態も明らかとなり、揭示内容の在り方について社会的にも大きな問題となった。こ

の背景には意図的なケースも認められたが、一方では源泉の衰退等による泉質の変化を原因とするケースがあり、温泉の保護や適正利用に関する深刻な課題が顕在化した。

そこで、環境省は、このような実態に対して適正な指導を行うために、2007年4月に温泉法の改正²⁾を行った。改正点は、温泉の成分等についての情報提供の充実を図るための10年ごとの定期的な成分分析及び揭示の義務付けと、限りある温泉資源の持続可能な利用の推進を図るための温泉の掘削・利用等の許可に係る条件付与の規定の新設等である。本研究では、これらの法改正も考慮しながら、モニタリング調査結果をもとに温泉保護と適正利用の観点から自噴泉の中長期的な泉質把握のための考察を試みた。

水質環境部

* 別刷請求先：〒652-0032 神戸市兵庫区荒田町2-1-29

兵庫県立健康環境科学研究センター

水質環境部 矢野美穂

II 試料及び方法

1. 調査対象源泉

調査対象源泉は、県北部に位置する自噴泉K泉及びH3号泉（いずれもナトリウム・カルシウム-塩化物泉）と県南部に位置するS泉（ナトリウム-塩化物強塩泉）の3源泉である。ただし、K泉及びH3号泉は、利用時にはポンプを稼働させ自噴量以上の湧出量で動力揚湯されている。またS泉は、海岸近くに位置する岩石を穿った楕円形の井戸（1.3m×1.1m×深さ3m）であり、井戸底部の岩盤の亀裂から温泉水が自然湧出している。このため、湧出口から直接サンプリングすることは容易でないため、井戸内に貯留している温泉水を調査の対象試料とした。その他の概要（掘削深度、柱状図等）については既報¹⁾に示した。

モニタリングの期間は源泉により若干異なるが、K泉の泉温及び自噴量は1997年9月～2005年2月までの7年5ヶ月間、泉質は1998年～2007年5月までの9年間の値を用いた。H3号泉については、現場調査の継続が困難であったことから他の源泉よりも短く、泉温は2001年12月～2004年2月までの2年3ヶ月間、自噴量は2001年12月～2002年12月までの1年1ヶ月間、泉質は1999年9月～2004年2月までの4年5ヶ月間のものを利用した。また、S泉の泉温及び自噴量は1997年9月～2005年2月までの7年5ヶ月間、泉質は1999年9月～2007年10月までの8年2ヶ月間のものである。さらに、H3号泉は100m西南西にH2号泉（掘削深度200m、動力揚湯、所有者は同一）が存在することから、枯渇防止対策の一環としてH3号泉についてのみ2源泉間の湧出に伴う干渉（影響）調査を実施した。

2. 方法

上記3源泉の調査（泉温、自噴量、泉質、電気伝導率）及びサンプリング方法等については既報¹⁾と同様である。H3号泉とH2号泉の間の干渉調査は、実験①～③を経時的に順に実施した。それぞれの実験方法は、実験①：H3号泉のポンプを稼働状態（400L/分）から停止させる、実験②：続いてH2号泉のポンプを稼働（360L/分）させる、実験③：続いてH2号泉のポンプを停止させH3号泉のポンプを稼働（400L/分）させる、それぞれの状態を開始時としてH3号泉の自噴量及びH2号泉の水位（構造上の理由から湧出量の測定が不可能なため）について60分後もしくは90分後までの経時変化を測定した。

III 結果および考察

1. K泉

1.1 泉温及び自噴量

K泉の泉温及び自噴量について毎月のデータを経年変化としてFig. 1に示す。両者の変化の傾向は泉温と自噴量が同じ挙動を示す併行型であり、夏季に高く冬季に低いという1年間のサイクルを持つ変動を示した。この変動については、本源泉（掘削深度：500m）の場合は気温等の季節変動の影響ではなく、温泉水の利用量の変動（夏季に少なく、冬季（観光シーズン）に多い）によるものである¹⁾。モニタリング期間中の泉温の最高値は84.5℃、最低値は67.1℃、年間の変動幅は8～14℃であった。自噴量の最高値は172L/分、最低値は124L/分で、年間の変動幅は17～25L/分であった。また、一時的に泉温及び自噴量の変動的な変動が認められた（Fig. 1中に破線で図示）が、中長期的には回復可能な範囲内で推移していることが分かった。

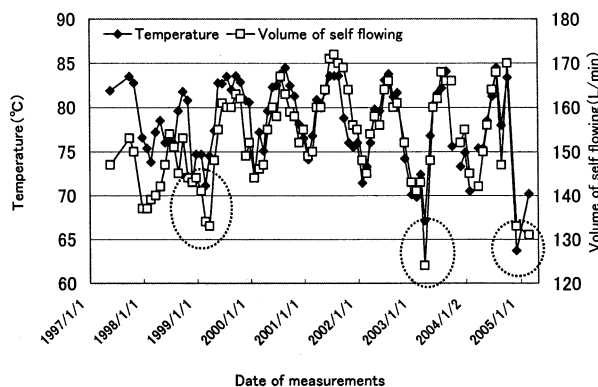


Fig. 1 Annual variation in temperature and volume of self flowing of the hot spring K

次に、自噴量と泉温の関係を明らかにするためにFig. 1の全データから両者の相関関係を求めた。その結果、両者の間には高い相関関係（相関係数 r : 0.779 ($p < 0.001$)) が認められた。このことから、自噴量の増減と泉温の上下変動が密接に関係していることが明らかとなった。すなわち、泉温や自噴量をマーカーとして、これらが変化しない範囲内で維持・使用することが、枯渇防止対策として重要であることが考えられる。さらに、前述したように自噴量と泉温の変動は共に1年間のサイクルを持つことから、両者の相関性を詳細に解析するためにFig. 1の毎月のデータを年毎にまとめてプロットを行った（Fig. 2）。その結果、全データを用いた場合よりも高い相関関係が認められた（相関係数 r : 0.804～1.000 ($p < 0.002$)). 一方、これらの相関関係を維持しつつ2001年頃まで近似曲線（直線）が右側へシフトする

傾向も認められ、このシフトには泉質が関与する可能性が考えられた。

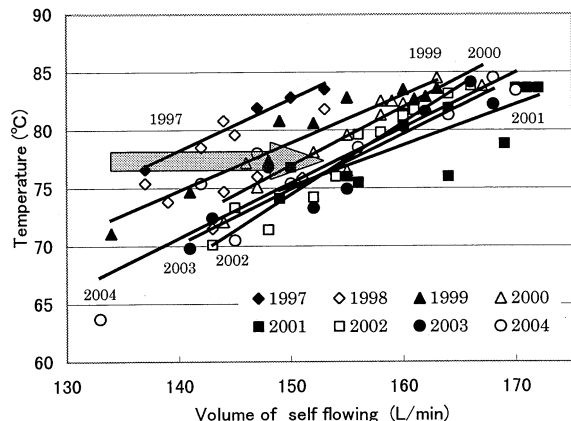


Fig. 2 Relationship between volume of self flowing and temperature of the hot spring K (Results of 1998 is excluded from the analysis, because of the form of use was different from other years.)

1.2 自噴量に影響を及ぼす要因

本源泉の自噴量に影響を及ぼす要因は平均揚湯量であることを既報¹⁾で明らかにしたが、その後の調査結果(2002年~2004年)においても、Fig. 3に示すように月毎の平均揚湯量と自噴量との間には高い負の相関関係($p < 0.02$)が認められた。

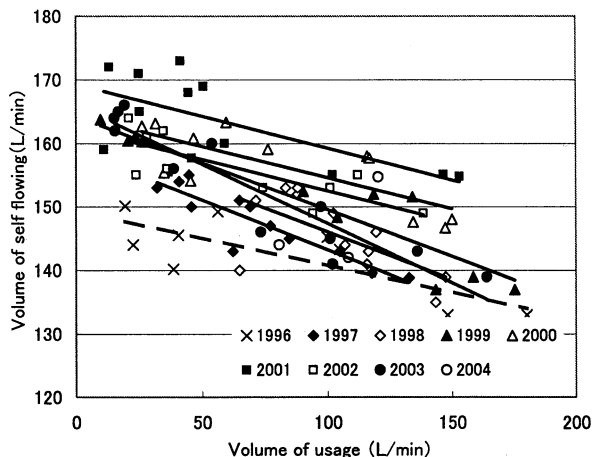


Fig. 3 Relationship between volume of usage and self flowing of the hot spring K

また、各年度の回帰式から求められる切片の値は平均揚湯量が0、すなわち動力揚湯しない場合の自然な状態での自噴量を示すが、この値は1996年(図中の破線)を除くと159L/分~169L/分の間でほとんど変動が認められなかったことから、自噴量に大きな変動はないことも明らかとなった。

1.3 泉質

主成分である陽イオン(Na^+ , K^+ 及び Ca^{2+})と陰イオン(Cl^- , SO_4^{2-} 及び HCO_3^-)濃度の経年変化をFig. 4に示した。

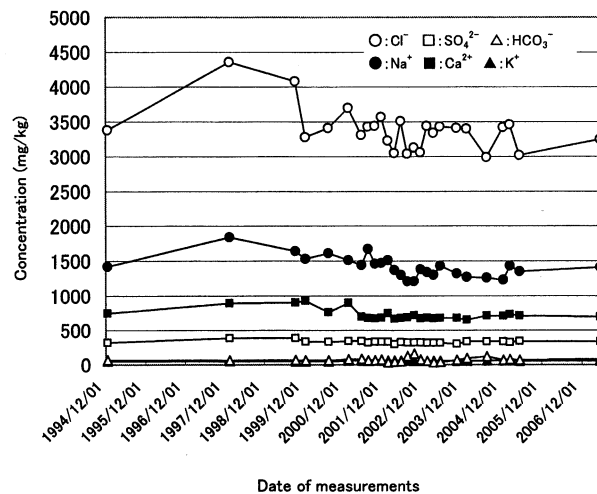


Fig. 4 Annual variation in the concentration of main components of the hot spring K

調査開始から2000年にかけて Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} の濃度に若干(20~30%)の減少傾向が認められたが、その後は一定の値を示した。この減少傾向の理由については明確でないが、Fig. 2で示す年毎の近似曲線が右側にシフトしている時期と概ね一致していた。一方、K泉を含む同一温泉地内にある掘削深度が異なる6源泉(どれもナトリウム・カルシウム-塩化物泉)についての我々の調査結果から、掘削深度の増加に伴い泉温及び溶存物質質量が増大する傾向が認められること(Fig. 5), 溶存物質質量は異なるがヘキサダイアグラム(Fig. 6)が相似していることから、主成分の組成が類似していることが分かっている。これら2つの結果から、主成分濃度が減少傾向を示した時期の湧出状況として、深度の浅い地下水が混

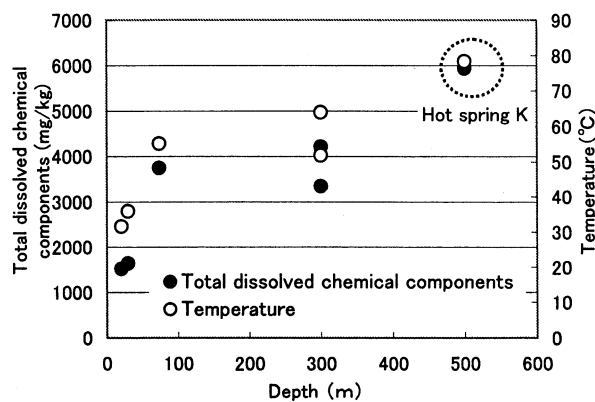


Fig. 5 Relationships between depth of well and total dissolved chemical components or temperature (for 4 hot springs of different depth in area of hot spring K)

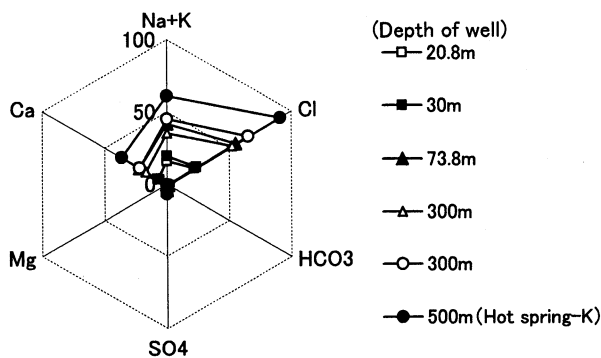


Fig. 6 Hexa diagram of main components of 6 hot springs of different depth in area of hot spring K

入した結果、溶存物質量が僅かに減少し、自噴量は増加し、泉温は低下したことが推測された。しかしながら、2001年以降は大きな濃度変動は認められず（15%以下）、泉質の変動がない状況であることが認められた。また、泉温及び自噴量が安定して推移していることも判明した。

2 H3号泉

2.1 泉温及び自噴量

泉温及び自噴量の経年変化についてFig. 7に示した。

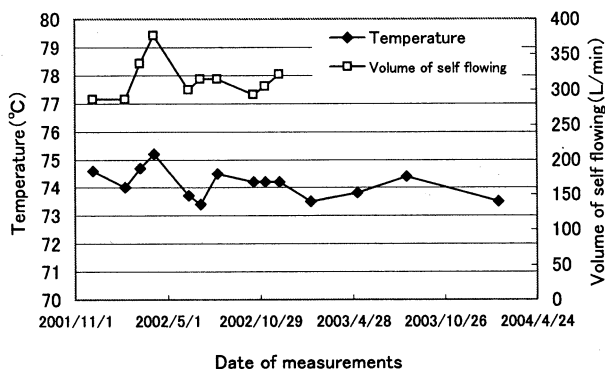


Fig. 7 Annual variation in the temperature and volume of self flowing of the hot spring H3

泉温については最高値75.2℃、最低値73.4℃であり、年間を通して変動は認められず一定していた。また、自噴量については、2002年4月に一過性に高い値（377L/分）を示したが、現時点ではその理由について明らかでなく、その他の結果として変化は殆ど認められず一定して推移していた。また、本源泉の利用形態は、町事業の一環として全戸に配湯するものであり、利用量が1年間を通して一定していることから、K泉で認められたような泉温や自噴量の年間の上下変動は認められなかったものと考えられた。

2.2 泉質

主成分（陽、陰イオン）濃度の経年変化をFig. 8に示す。4年5ヶ月間にわたり、いずれの成分もほとんど変動はなく、泉質としての変化は全く認められなかった。

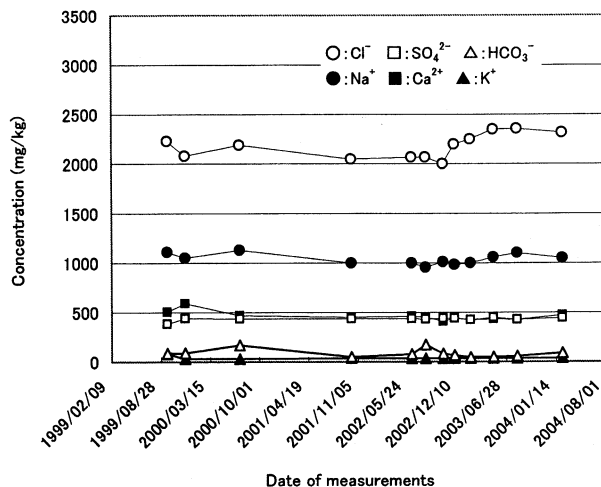


Fig. 8 Annual variation in the concentration of main components of the hot spring H3

2.3 泉源間の干渉

H3号泉とH2号泉について、柱状図が類似していること（所々に流紋岩を挟む石英粗面岩）、両源泉の泉質（Table 1）が一致することから、両源泉は同一帯水層を起源とする泉源であることが推測された。これについて

Table 1 Chemical composition of hot spring H2 and H3

Hot spring	H2	H3
Date of measurement	1987/5/20	1999/4/21
Temperature (°C)	70.8	72.5
pH(in laboratory)	6.73	6.90
Evaporated residue (g/kg)	4.432	4.826
Cation (mg/kg)	Na ⁺	1010
	K ⁺	33.4
	Ca ²⁺	521
	Mg ²⁺	22.2
	F ⁻	2.64
Anion (mg/kg)	Cl ⁻	2237
	SO ₄ ²⁻	475
	HCO ₃ ⁻	71.4
Non-dissociative chemical components (mg/kg)	H ₂ SiO ₃	97.4
	HBO ₂	3.22
Total dissolved chemical components (g/kg)	4.49	4.59
Type of characteristic	Na・Ca-Cl	Na・Ca-Cl

て明らかにするために、これら2源泉間の干渉実験を行った。干渉実験①～③におけるH2号泉の水位及びH3号泉の自噴量の経時変化をFig. 9に示した。実験①では、H2号泉が稼動していない状態でH3号泉の動力揚湯（400L/分）を停止したが、停止直後からH3号泉の自噴量は安定し、60分後まで同じ値を示した。実験②では、

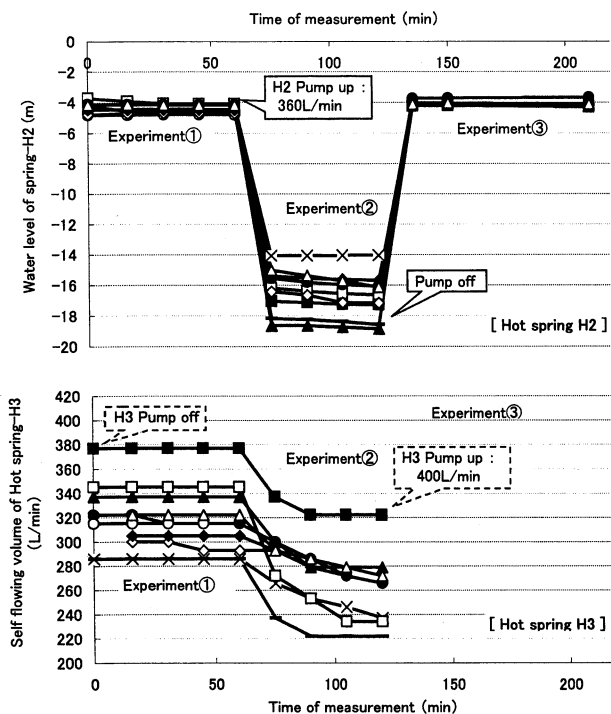


Fig. 9 Influence of discharge volume of the hot spring H2 on volume of self flowing of the hot spring H3

Experiment①: The pump of the hot spring H2 has stopped, the pump of the hot spring H3 is stopped (0-60min.). Experiment②: Next, the pump of the hot spring H2 is operated(60-120min.). Experiment ③: Next, the pump of the hot spring H2 is stopped, and the pump of the hot spring H3 is operated (120-210min.).

×:2001/12/06, ▲:2002/03/08, -:2002/02/07,
 ■:2002/04/04, □:2002/06/11, ●:2002/07/04,
 ○:2002/08/06, ◇:2002/10/16, ◆:2002/11/07,
 △:2002/12/05

H2号泉の動力揚湯（60～120分）によりH2号泉では水位の低下が、H3号泉では自噴量の減少が認められ、源泉間の干渉を示す結果が得られた。一方、実験③ではH2号泉のポンプを停止しH3号泉のポンプを稼働（120～210分）させたが、H2号泉の水位は両源泉のポンプを停止させている実験①（0～60分）の水位とほとんど同じであった。すなわち、(1)H2号泉の動力揚湯はH3号泉の自噴量に影響を与えている一方で、(2)H3号泉の動力揚湯に対してH2号泉は影響を受けていないことを示す結果が得られた。これらの結果から、両源泉は同一帯水層を起源とする源泉であることが推定された。また、(2)の影響を受けなかった理由については、H3号泉の自噴量（約300L/分）から考えて、動力揚湯時の揚湯量（400L/分）は大きな負荷をもたらさないこと、H3号泉の湧出口はH2号泉の湧出口よりも数m低い位置にあること等が考えられた。

これらの結果から、同一帯水層に由来する源泉から揚

湯する場合には、干渉の有無について十分な調査をすることが、枯渇防止対策として重要であることを示すことができた。

3. S泉

3.1 泉温及び自噴量

泉温は、最低値15.5℃、最高値22.0℃の温度範囲にあった。また、本源泉の湧出形態は、井戸底部の岩盤の亀裂から温泉水が自然湧出するものであり、正確な自噴量の測定を行うためには井戸内の全温泉水を排出することが必要となるが、本作業の実施は容易でないため、自噴量に代わるパラメーターとして水位を採用してきた。しかしながら、温泉水の利用状況等の人為的な要因による変動幅が大きく、これらの影響を除いた測定の実施が困難であったことから、今回は解析に至らなかった。本泉のような湧出形態（井戸底からの自噴）の源泉に対しては、井戸内の全温泉水を排水し、湧出直後の温泉水を調査することにより、より正確な測定結果が得られることが明確になったことから、今後は、この手法の導入を計り調査していくことを考えている。

3.2 泉質

泉質の主成分（陽、陰イオン）濃度の経年変化をFig. 10に示した。既報¹⁾では経年的（1997年9月～2001年7月）に成分量の増加傾向が認められたことを示したが、2001年7月以降2004年1月までは、大きな成分量の変化は認められず一定の値を示していた。しかしながら、その後、各成分の濃度の増減が認められ、これについては、所有者の変更に伴う利用状況の変化による影響が考えられ、今回の調査結果のみでは詳細な解析はできなかった。

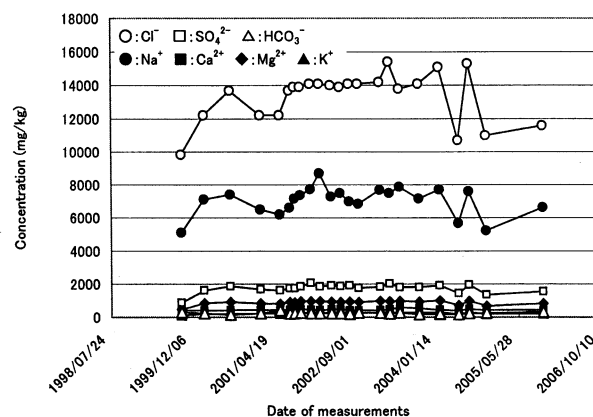


Fig. 10 Annual variation in the concentration of main components of the spring S

4. 電気伝導率と溶存物質質量（泉質）の関係

電気伝導率は、温泉分析表中に記載される測定項目で

はないが、水中の溶存イオン成分（陽イオン及び陰イオン）の種類や総濃度に関する値であり、溶存物質質量に近似的に比例することが報告されている^{5, 6)}。一方、鉱泉の定義の一項目である溶存物質質量（ガス性のものを除く）は、ガス成分以外の成分の総量を示す値であり、概ね温泉の泉質を反映するパラメーターと言える。そこで、泉質を総合的に把握することが可能と考えられる電気伝導率と溶存物質質量との関連性を知る目的で、3源泉についてモニタリング調査を実施した。その結果について、モニタリング期間中の全57試料（K泉23, H3号泉11, S泉23）の電気伝導率と溶存物質質量との関係をFig.11に示した。2.2で示したように泉質の変動が認められなかったH3号泉ではプロットは1点に、また1.3で示したように泉質の変動が僅かであったK泉についても概ね1点にプロットは局在化し、泉質の変動が認められない場合には電気伝導率の変動も認められなかった。一方、H3号泉やK泉と比べて比較的大きな泉質の変動が認められたS泉では、プロットにばらつきが認められると共に電気伝導率と溶存物質質量との間に有意な正の相関関係 ($y=0.699x + 0.154$, $r=0.966$, $p<0.01$) が得られた。試料水として温泉水を用いた今回の結果から、電気伝導率と溶存物質質量の間には相関性が認められ、電気伝導率の測定は、溶存物質質量を介して泉質の変化を早期に把握できる簡便な手法として有効であることが考えられた。今後は現場での温泉監視業務への実用化に繋げるために、より詳細なデータの蓄積が必要であると考えている。

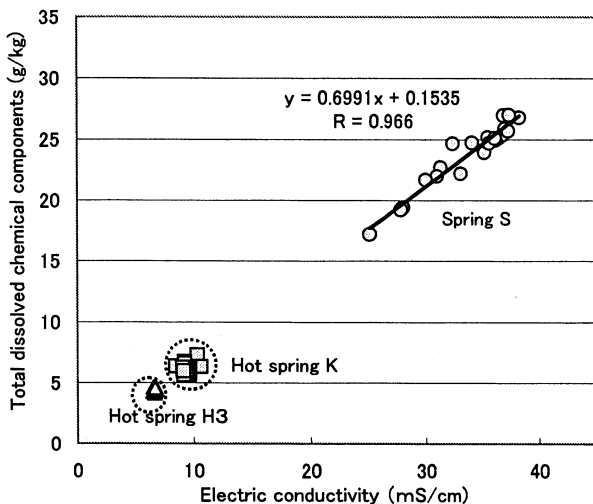


Fig. 11 Relationship between electric conductivity and total dissolved chemical components

IV まとめ

本研究では、温泉保護及び適正利用の観点から、自噴泉について中長期的なモニタリング調査を実施し、温泉の衰退等の兆候や湧出状況の変化を把握する因子とその

特徴について検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

1. K泉の調査結果から、泉温と自噴量間の有意な正の相関関係、自噴量と揚湯量（利用量）間の有意な負の相関関係、泉温及び自噴量の変動と泉質変化の相関性が認められた。一方、H3号泉では揚湯量（利用量）が一定しており、泉温、自噴量、泉質には殆ど変化が認められなかった。これらのことから、温泉の保護と適正利用を目的とする監視において、泉温、自噴量、泉質の3要素のモニタリングを実施することにより、それらの結果が温泉の枯渇防止対策に活用できることが考えられた。
2. H3号泉とH2号泉の干渉調査の結果から、同一帯水層を起源として揚湯する2源泉が存在する場合には、相互に自噴量（湧出量）に影響を及ぼし合うことが認められた。他の源泉においても、必ず源泉間の干渉調査を実施して影響の程度を把握し、適性に利用することが重要と考えられた。
3. 電気伝導率は溶存物質質量に近似的に比例することから、泉質変化を早期に把握する方法として、現場で簡便に測定できる電気伝導率をモニタリングに適用し、その結果について示した。

謝 辞

長期間にわたるモニタリングの実施に際して、現地での調査及びサンプリング等にご協力頂きました兵庫県健康生活部業務課、豊岡健康福祉事務所業務・生活衛生課（旧浜坂保健所生活衛生課）、洲本健康福祉事務所業務・生活衛生課及び関係市町の多くの方々に深謝致します。また、本調査の計画及び遂行に際し、これまでご協力頂きました旧生活環境部及び水質環境部の皆様に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 矢野美穂, 磯村公郎, 寺西 清; 兵庫県立衛生研究所年報, 36, 119-126 (2001)
- 2) 官報第4571号 (2007.4.25)
- 3) 環境省自然環境局, 鉱泉分析法指針 (改訂) (2002)
- 4) 日本水道協会: 上水試験方法2001年版, 東京 (2001)
- 5) 地下水ハンドブック編集委員会編集: 地下水ハンドブック, 135-136, 丸善, 東京 (1985)
- 6) 半谷高久, 小倉紀雄: 改訂2版 水質調査法, 198-207, 地人書館, 東京 (1969)