

兵庫県下の温泉を対象とした 温泉法改正に基づく再分析結果の解析

矢野 美穂* 前田 絵理 山本 研三 山崎 富夫 川元 達彦

Evaluation of Hot Springs Components in Hyogo Prefecture Based on the Hot Spring Law Revision

Miho YANO*, Eri MAEDA, Kenzo YAMAMOTO,
Tomio YAMASAKI and Tatsuhiko KAWAMOTO

*Life Science Division, Public Health Science Research Center, Hyogo Prefectural Institute of
Public Health and Consumer Sciences, 2-1-29, Arata-cho, Hyogo-ku, Kobe 652-0032, Japan*

For the preservative promotion and appropriate usage for the hot springs, the Hot Spring Law was amended and the analysis of components in every ten years was imposed. We have made the database of components in the hot spring water in Hyogo Prefecture. Using this database, the newest analysis data were compared with its of ten years or more ago. As a result, at the 34 hot springs (35%) among the 97 hot springs, the type of spring quality (classification change of a mineral spring was not included) was changed. The primary reason was the concentration change of the main ingredient and an accessory ingredient (changes of mval% of ion). The secondary reason was the change of radon concentration. At the hot springs which water quality changed notably, not only one item but also two or more than the items were changed. The value of characteristic items decreased at the 17 hot springs among the 34 hot springs. From these results, the necessity for short period monitoring was suggested.

I はじめに

兵庫県には歴史ある有名な温泉が複数存在している。また、利用源泉数についても平成23年3月末現在で262源泉あり、平成21年度の温泉利用状況報告では愛知県より西の西日本で九州の大分、鹿児島、熊本に次いで4番目に多く、県内外を問わず多くの方に利用されている状況にある。

このような背景から、当所では県内の源泉を対象に、温泉法に掲げられている温泉の保護と適正利用、メタン

による災害防止を目的として研究に取り組み、温泉対策に関する科学的根拠データを行政機関に提供してきた¹⁻⁴⁾。さらに、平成19年10月に改正された温泉法の施行⁵⁾に伴い、温泉を利用する全ての事業者に対して温泉成分の定期的な分析(10年毎)が義務付けられたことから、県下の多数の源泉の現地調査ならびに成分分析を詳細に実施してきた。本研究では、温泉保護と適正利用の県施策に資するため、これらの分析結果を、当所で既に構築している温泉成分分析結果のデータベースに加え、同一源泉について直近の成分分析結果と10年以上前の成分分析結果を比較・解析した。その結果、泉質名の変化、成分の変化と含有量の増減の傾向とその要因等について有益な知見が得られたので報告する。

II 材料と方法

健康科学部

*別刷請求先：〒652-0032 神戸市兵庫区荒田町2-1-29
兵庫県立健康生活科学研究所 健康科学研究センター
健康科学部 矢野 美穂

1. 解析の対象とした源泉

解析の対象とした源泉は、当所で温泉分析を実施し、かつ温泉法の改正による再分析や自主的な成分分析を2回以上実施している源泉とした。当所では、1965年以降に実施した温泉成分分析結果をデータベース化しており、上記の条件に適合するものを検索した結果、97源泉 (Fig. 1) が該当した。

2. 解析方法

上記1. で選択した97源泉について、最も新しい成分分析結果と、概ね10年以上前の成分分析結果を比較し、泉質名の変化、成分の変化と含有量の増減の傾向について解析した。本報告では、前者の結果を「最新の分析結果」、後者の結果を「前回の分析結果」と記すこととし、解析に用いた試料水の成分分析は、鉱泉分析法指針⁶⁾及び既報¹⁾に基づき実施した。

なお、本解析では、泉質名の変化は鉱泉分析法指針⁶⁾の「療養泉の泉質の分類」に基づき評価したため、低温泉・高温泉等の泉温の分類、中性・アルカリ性等の液性の分類、低張性・高張性等の浸透圧の分類等の「鉱泉の分類」に基づく変化は含めていない。

Ⅲ 結果および考察

1. 泉質名の変化

前回の成分分析結果と最新の成分分析結果を比較し、泉質名の変化について検討した。その結果、Fig. 2 に示すように34源泉 (35.1%) で泉質名の変化が認められた。一方、同様の解析方法で、深山らの石川県の報告⁷⁾では11源泉中4源泉 (36.4%) に、村上らの青森県の報告⁸⁾では260源泉中50源泉 (19.2%) に泉質名の変化が認められている。本県の解析結果と比較して、石川県の報告は対象源泉数が少ないものの泉質名の変化の割合が同程度、青森県の報告は若干低い傾向にあったが、本県を含む3県を平均すると概ね30%程度の源泉で泉質名に変化が認められていることが分かった。

2. 泉質名の変化に関する要因

泉質名が変化した34源泉について、その分析年月日と泉質名、変化理由とその概要をTable 1に示した。泉質名の命名法では20%以上のミリバル% (mval%) を含む成分を多い順に列記することと定義⁶⁾されている。解析の結果、変化が最も多い項目として、泉質名中に示される陽イオンあるいは陰イオンが複数ある場合のイオンの記載順序の変更 (例えば、ナトリウム・カルシウム塩化物泉からカルシウム・ナトリウム塩化物泉)、すな

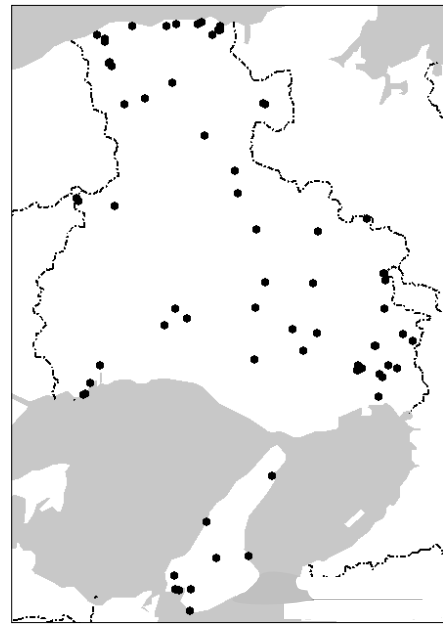


Fig. 1 Sampling location of 97 hot springs in Hyogo prefecture

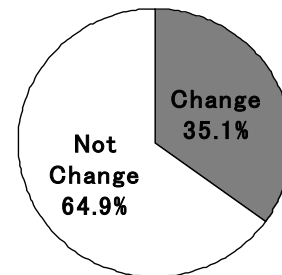


Fig. 2 Ratio of change of hot spring quality types

わち主成分と副成分の割合の変化が11源泉 (32.4%) であった。この割合は、青森県の報告⁸⁾ [50源泉中19源泉 (32.2%)] と同程度の割合であった。次いでラドン (Rn) 量の増減によるものが10源泉 (29.4%)、溶存物質質量の増減によるものが5源泉 (14.7%)、泉温の低下によるものが4源泉 (11.8%)、二酸化炭素、総鉄イオンの増減によるものがそれぞれ3源泉 (8.8%)、鉱泉の該当項目の濃度減少によるものが1源泉 (2.9%) であった。

以下に、泉質名の変化が多く認められた項目について考察を行った。

2.1 主成分と副成分の割合

泉質名中の主成分と副成分が変化した11源泉のうち、陽イオンの変化は7源泉、陰イオンの変化が4源泉であった。

陽イオンの変化を、Fig. 3に示した。上図に最新の分析結果を、下図に前回の分析結果を示した。いずれも主成分のナトリウムイオン (Na⁺) とカルシウムイオン

Table 1 Comparisons of the last time data and the latest data of hot springs which the type of spring quality changed

No.	Last time data			Latest data			
	Type of spring quality	Sampling Date	Type of spring quality	Sampling Date	Change items	Increase (+) and decrease (-)	Concrete contents of change
1	Ca·Na·SO ₄	1992/6/9	Na·Ca·SO ₄	2009/6/5			Na (43.8%→48.1%), Ca (48.8%→44.5%)
2	Ca·SO ₄	1966/11/15	Na·Ca·SO ₄	2009/6/5			Na (7.29%→58.4%), Ca (75.2%→31.8%)
3	Ca·Na·Cl	1988/4/7	Ca·Cl	2005/10/11			Na (22.8%→17.8%), Ca (65.6%→72.2%)
4	Na·Ca·Cl	1988/5/20	Ca·Na·Cl	2004/8/26	Cation		Na (51.4%→40.4%), Ca (47.9%→58.6%)
5	Ca·Na·Cl strong	1997/6/12	Na·Ca·Cl strong	2009/10/27	mval%		Na (39.7%→47.0%), Ca (57.6%→46.1%)
6	Na·Cl strong	2000/5/29	Na·Ca·Cl strong	2008/11/18			Na (75.6%→72.2%), Ca (18.5%→20.5%)
7	weakly Rn·Na·Ca·Cl	2001/8/22	weakly Rn·Ca·Na·Cl	2011/8/16			Na (49.6%→44.9%), Ca (41.8%→54.6%)
8	Na·Ca·Cl·SO ₄	1991/6/10	Na·Ca·Cl	2004/9/9			Cl (76.9%→90.9%), SO ₄ (22.8%→8.4%)
9	weakly Rn·Na·HCO ₃ ·SO ₄ ·Cl	2002/3/14	weakly Rn·Na·HCO ₃ ·Cl·SO ₄	2011/9/22	Anion		HCO ₃ (39.0%→44.4%), Cl (28.1%→29.4%), SO ₄ (29.3%→25.0%)
10	Na·Cl·SO ₄	1992/4/3	weakly Rn·Na·Cl	2004/11/4	mval%		Cl (76.4%→79.8%), SO ₄ (22.2%→17.8%)
11	CO ₂ ·Na·Cl strong	1999/1/26	CO ₂ ·Na·Cl·HCO ₃ strong	2009/8/24			Cl (89.4%→73.5%), HCO ₃ (10.5%→26.3%)
10*	Na·Cl·SO ₄	1992/4/3	weakly Rn·Na·Cl	2004/11/4		+	68.6 Bq/kg→163 Bq/kg
12	simple spring	1992/10/12	simple weakly radioactive spring	2005/6/17		+	60.5 Bq/kg→115 Bq/kg
13	mineral spring	1971/9/21	simple weakly radioactive spring	2004/9/13		+	78.0 Bq/kg→183 Bq/kg
14	Ca·Na·Cl	1995/10/17	weakly Rn·Ca·Na·Cl	2008/7/24		+	92.8 Bq/kg→157 Bq/kg
15	simple weakly radioactive spring	1987/5/6	simple radioactive spring	1998/12/16	Rn	+	640 Bq/kg→1480 Bq/kg
16	Fe·CO ₂ ·Na·Cl strong	1994/10/31	weakly Rn·Fe·CO ₂ ·Na·Cl	2005/4/22		+	5.4 Bq/kg→375 Bq/kg
17	weakly Rn·Na·Ca·Cl strong	1993/6/15	Na·Ca·Cl strong	2007/11/27		-	127 Bq/kg→98.2 Bq/kg
18	alkaline simple weakly radioactive spring	1980/4/9	mineral spring	2007/6/12		-	112 Bq/kg→33.6 Bq/kg
19	simple weakly radioactive spring	1986/7/8	mineral spring	2009/10/15		-	156 Bq/kg→96.9 Bq/kg
20	weakly Rn·Ca·Na·Cl	2000/3/24	Ca·Na·Cl	2010/2/8		-	256 Bq/kg→79.4 Bq/kg
21	simple spring	1997/5/7	Ca·Na·Cl	2009/10/6		+	0.258g/kg→15.07g/kg
16*	Fe·CO ₂ ·Na·Cl strong	1994/10/31	weakly Rn·Fe·CO ₂ ·Na·Cl	2005/4/22	Total dissolved chemical components	-	66.4g/kg→9.74g/kg
22	Na·HCO ₃ ·Cl·SO ₄	1988/5/12	simple spring	2009/11/24		-	1.043g/kg→0.986g/kg
23	weakly Rn·Na·Ca·Cl	1999/9/7	alkaline simple weakly radioactive spring	2011/3/7		-	2.42g/kg→0.76g/kg
24	Na·HCO ₃	2000/6/29	simple spring	2010/6/11		-	1.12g/kg→0.85g/kg
18*	alkaline simple weakly radioactive spring	1980/4/9	mineral spring	2007/6/12		-	26.2°C→19.2°C
25	simple spring	1998/4/21	mineral spring	2009/4/20	Temperature	-	25.5°C→21.6°C
26	simple spring	1971/9/20	mineral spring	2008/7/17		-	25.3°C→21.8°C
27	simple spring	1991/8/13	mineral spring	2009/8/20		-	25.1°C→20.6°C
28	Na·Cl strong	1992/1/20	CO ₂ ·Na·Cl strong	2008/6/19		+	429mg/kg→1270mg/kg
29	CO ₂ ·Na·Cl·HCO ₃	2001/7/26	Na·Cl·HCO ₃	2011/8/3	CO ₂	-	1260mg/kg→810mg/kg
30	simple CO ₂ spring	1998/7/14	mineral spring	2009/12/1		-	1060mg/kg→128mg/kg
31	Na·Cl strong	1992/9/4	Fe·Na·Cl strong	2004/3/12		+	0.2mg/kg→53.1mg/kg
32	Fe·Na·Cl	1971/10/6	Na·Cl	1992/10/26	Total Fe	-	23.9mg/kg→4.7mg/kg
33	Fe·Na·Cl strong	1983/1/24	Na·Cl strong	2007/9/12		-	79.7mg/kg→13.4mg/kg
34	mineral spring	1992/1/20	-	2008/10/2	HBO ₂ , F	-	HBO ₂ (11.4mg/kg→0.16mg/kg), F (2.05mg/kg→0.74mg/kg)

* The hot springs which two or more than the items changed

(Ca²⁺) の変化であった。Na⁺ (mval%) が増加し, Ca²⁺ (mval%) が減少したものが 3 源泉, 反対に Na⁺ (mval%) が減少し, Ca²⁺ (mval%) が増加したものが 4 源泉であった。特に, No.2 については, Na⁺ と Ca²⁺ の割合がそれぞれ 7.29%から 75.2%, 58.4%から 31.8% と大きく変化していた。このようなカチオンが大きく変化した原因を調べるために, 温泉水の成因に起因する泉温, pH, 溶存物質質量について前回と最新の結果を比較したが, 大きな変化は認められなかった。また, 周辺の同一地層から湧出する源泉として No.1 が位置するが, No.2 のような顕著な変化は認められなかった (Fig. 3)。従って, 周辺一帯の変化とは捉え難く, 今後も本源泉及び周辺源泉の水質のモニタリングをしていくことが原因の究明に繋がるものと考えている。No.2 以外の源泉の組成については顕著な変化は認められないものの, 大別すると 2 つの傾向が認められた。一つ目は, Na⁺ と Ca²⁺ の存在比 (mval%) が 1 : 1 に近いために, 個々のイオンの含有量の僅かな増減が泉質名の変化に繋がる場合 (No.1, No.4, No.5, No.7)。二つ目は, mval% が 20% 近傍の値であるために, イオンの含有量が 20% を境に僅かに変動することで, 泉質名においてイオン名の表記の有無が生じ, 泉質名の変化に繋がる場合 (No.3, No.6) であった。

次に, 陰イオンの変化を, Fig. 4 に示した。上図には最新の分析結果を, 下図には前回の分析結果を示した。陽イオンと同様に, 陰イオン類の組成が大きく変わる現象は認められず, 変化の傾向として, 上記の一つ目に該当するものが No.9, 上記の二つ目に該当するものが, その他の 3 源泉 (No.9~11) であった。また, No.11 については, 特に液性が中性であり二酸化炭素 (CO₂) を多量に含有する泉質であることから, 僅かな pH の変動が CO₂ の平衡状態に影響を与えたものと考えている。Fig. 5 に, No.11 の最新の CO₂ 及び炭酸水素イオン (HCO₃⁻) 濃度の結果を用いて, pH を変化させた時の HCO₃⁻ と CO₂ の濃度の算出結果を示した。すなわち, 最新の分析結果での pH が, 前回の 6.25 から 6.80 とアルカリ側にシフトしたために CO₂ の溶存状態が HCO₃⁻ に変化し, その結果として HCO₃⁻ (mval%) が 20 mval% 以上に増加したことから, 泉質名中に HCO₃⁻ が列記されることとなり, 泉質名が変更されたと考えられる。また, No.29 は, Table1 に示す変化した項目が CO₂ であり No.11 とは異なるが, No.11 と同様の理由を想定し, pH を変化させた時の HCO₃⁻ と CO₂ 濃度を算出した結果を, グラフ化した (Fig. 5)。No.29 では, pH が 6.24 から 6.58 とアルカリ側にシフトした結果, CO₂ 量が減少し, 療養泉の定義 (1000 mg/kg 以上) を満たさなくなった結果, 二酸化炭素泉に該当しなくなった。これらの 2 例

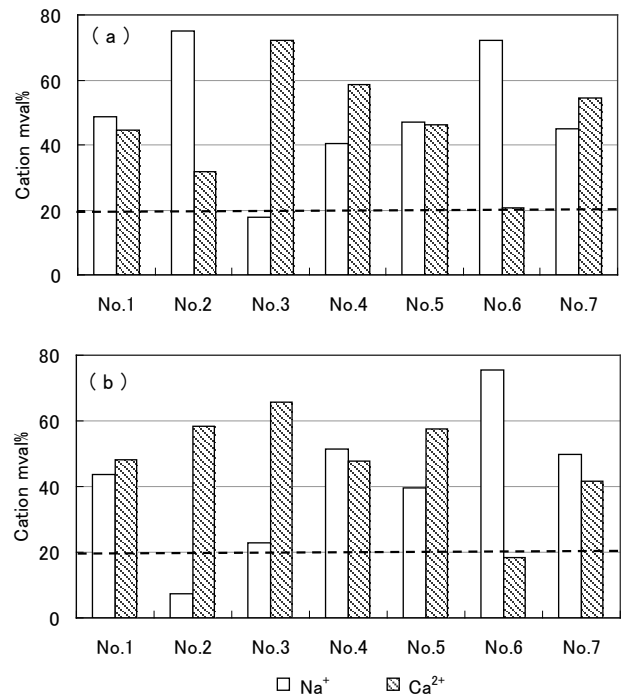


Fig. 3 Comparisons of latest data and last time data of cations millival percentage of each hot spring (a) : Latest data, (b) : Last time data Broken line shows 20 mval%

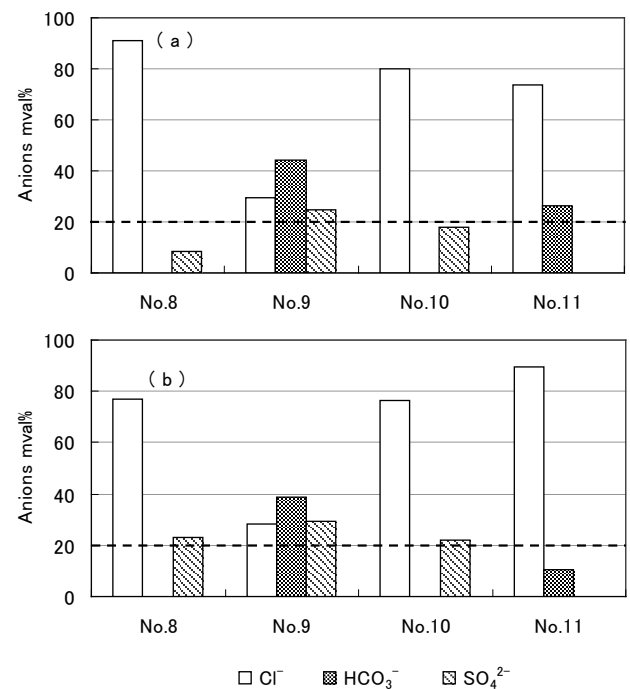


Fig. 4 Comparisons of latest data and last time data of anions millival percentage of each hot spring (a) : Latest data, (b) : Last time data Broken line shows 20 mval%

(No.11, No.29) については, CO₂ と HCO₃⁻ の総量としては顕著な変化は認められないが, 僅かな pH の変動が泉質名の変化に繋がった例と考えている。

2.2 ラドン量

ラドン量の増減により泉質名が変化した 10 源泉を Fig. 6 に示した. 図中にはラドンを含む鉱泉の定義濃度 (74Bq/kg 以上) と療養泉の定義濃度 (111Bq/kg 以上) をそれぞれ点線と破線で示した. また, 療養泉はラドンの濃度により弱放射能泉 (111Bq/kg 以上 673Bq/kg 未満) と放射能泉 (673 Bq/kg 以上) に区分されている⁹⁾.

ラドン量が増加したものは 6 源泉 (Fig. 6 中左側の 6 源泉) で, そのうちラドンの項目において鉱泉の定義未満から弱放射能泉のレベルへの増加が 3 源泉 (No.12, No.10, No.16), 鉱泉から弱放射能泉のレベルへの増加が 2 源泉 (No.13, No.14), 弱放射能泉から放射能泉のレベルへの増加が 1 源泉 (No.15) であった. 一方, 減少したものは 4 源泉 (Fig. 6 中右側の 4 源泉) で弱放射能泉から鉱泉のレベルへの減少が 3 源泉 (No.17, No.19, No.20), 弱放射能泉から鉱泉の定義未満への減少が 1 源泉 (No.18) であった. 特に, No.18 と No.16 については, それぞれ顕著なラドン量の減少と増加の変化が認められたことから, それぞれの理由について解析した. その結果, No.18 については, pH, 溶存物質質量には大きな変化は認められなかったが, 泉温の低下 (26.2℃→19.2℃) と約 11 倍もの湧出量の増加 (30.2L/分→340L/分) が認められ, ラドンを含まない低温の地下水の流入が考えられた. No.16 については, 泉温, pH には変化が認められなかったが, Fig. 7 のヘキサダイアグラムに示されるように, 成分組成に大きな変化がない (ヘキサダイアグラムの形が類似) ものの溶存物質質量の顕著な減少 (66.4g/kg→9.74 g/kg : ヘキサダイアグラムの縮小) が認められた. これらの原因として, ラドンを多量に含み, 溶存物質質量が少ない地下水の流入等が考えられた.

また, 竹中ら⁹⁾はラドンを含む深井戸 (134m) の 2 年間の 23 回のラドン調査で, 約 300Bq/L~約 1200Bq/L の濃度変動を報告しており, このことから気体であるラドンは上記 2.1 の陽イオンや陰イオン等の溶存成分と異なり, 比較的变化しやすい成分であると考えられた. 従って, No.18 と No.16 を除くその他の源泉については, 鉱泉の定義濃度 (74Bq/kg) のレベルと療養泉の定義濃度 (111Bq/kg) のレベルの間での変動と評価でき, ラドンの増減量は大きな変化とは考え難いものと捉えている.

2.3 溶存物質質量

溶存物質質量の増減により泉質名が変更された 5 源泉の結果を Fig. 8 (図中の破線は療養泉の定義濃度である 1g/kg を示す) に示した. 増加したものが 1 源泉 (No.21), 減少したものが 4 源泉 (No.22, No.23, No.24, No.16) であった. 特に No.21 と No.16 については, 顕著な溶存

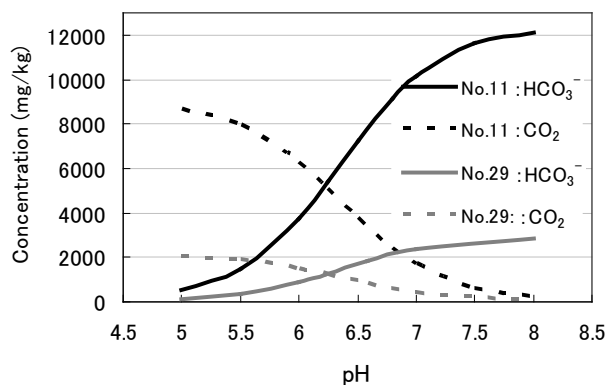


Fig. 5 The relationship between pH value and concentrations of HCO_3^- and CO_2

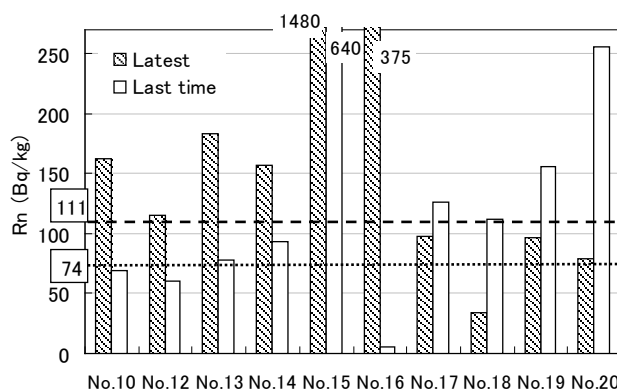


Fig. 6 Comparison of latest data and last time data of Rn concentration in the each hot spring water
Dotted line shows standard value of Mineral Spring
Broken line shows standard value of Therapeutic Hot Spring

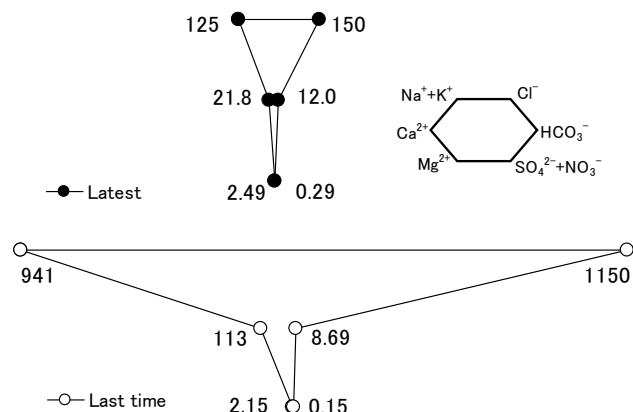


Fig. 7 Hexa diagrams of latest and last time data of No.91
The values in figure are milliequivalents (meq/L) of the each ion

物質質量の変化が認められたことから, それぞれの変化の理由について考察した. No.21 は, 溶存物質質量の顕著な増加 (0.258 g/kg→15.07 g/kg) とともに, pH のアルカリ性から中性への変化 (9.33→7.29), 成分組成 (mval%) の変化が認められ, 前回の新規掘削時の分析結果と比べ

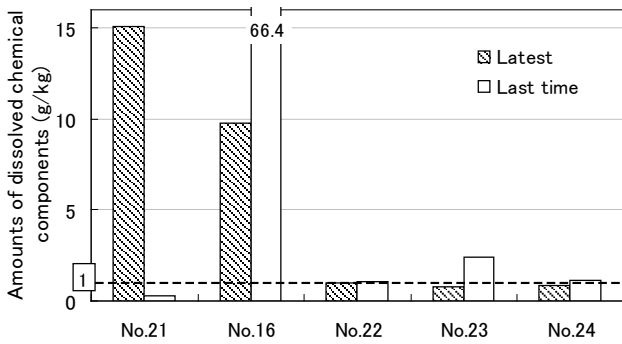


Fig. 8 Comparison of latest data and last time data of the total dissolved chemical components of each hot spring
Broken line shows standard value of Therapeutic Hot Spring

て全く性質の異なる水質に変化していた。また、No.16についても、顕著な溶存物質量の減少 ($66.4\text{g/kg} \rightarrow 9.74\text{g/kg}$) とともに、上記 2.2 で示したラドン量の顕著な増加も認められた。両源泉共に複数の項目に変化が認められており、原因として、本源泉の揚水や地震等による水脈の変化等が考えられたが、成分量の増減（水質変化）をもたらした時期、詳細等については不明であった。これらの原因を追及するためには、掘削から1年後などの比較的短い期間と中長期的な源泉水のモニタリングを行うことの必要性が示唆された。また、泉質の変化のうち、成分の減少は源泉の衰退に結びつくことから監視強化すべきことと考えているが、成分の顕著な増加についても、飲用利用において飲用量の規制対象となっているヒ素、フッ素等の飲用利用基準項目の濃度増加による健康影響や、適応症、禁忌症の変更等が想定されることから、定期的なモニタリングが必要と考えられた。

その他の3源泉について、No.23は成分組成に変化は認められなかったことから、比較的深度が浅い地下水による希釈³⁾が考えられた。また、No.22とNo.24は、溶存物質量が療養泉の定義 (1g/kg 以上) 近傍であるために、溶存物質量が 1g/kg を境に僅かに変動することで生じた泉質名の変化であり、水質変動の範囲内の変化と評価され、大きな変化とは考え難いものと捉えている。

温泉法の改正により10年毎の再分析が義務付けられたが、温泉保護と適正利用のためには、定期的かつ高頻度のモニタリングの実施とともに泉質の変化を迅速に捉える、既報³⁾で報告した電気伝導度のようなパラメータの発見等が極めて重要と考えている。

IV 要 旨

温泉保護と適正利用を目的として、温泉法改正に伴い実施した温泉成分の再分析の97源泉の成分分析結果等

を用いて、最新の成分分析結果と10年以上前の成分分析結果を比較・解析した結果、以下の知見が得られた。

1. 97源泉のうち、34源泉 (35.1%) に泉質名の変化（鉱泉の区分変化を含まない）が認められた。
2. 泉質名の変更理由として、主成分と副成分の割合の変化が最も多く、次いでラドン量の増減、溶存物質量の増減、泉温の低下、二酸化炭素量の増減、総鉄イオン濃度の増減の順であった。
3. 水質が顕著に変化した源泉では、多くの場合、単一の項目のみでなく複数の項目で変化が認められた。これらの事案への対応として、温泉の保護と適正利用の観点から、10年毎の分析のみではなく、掘削から比較的短い期間と中長期的な期間の両方の水質のモニタリングが重要と考えられた。
4. 泉質名が変化した34源泉のうち、測定値が鉱泉・療養泉の定義あるいは命名の境界近傍であるために、検出値の僅かな変動により泉質名が変更されたものが25源泉 (73.5%) と多く認められた。これらの水質の変化は小さいものと評価しているが、今後とも監視を継続すべき源泉と考えられた。

謝 辞

本研究を実施するに当たり、源泉の状況について資料提供頂いた兵庫県薬務課ならびに現地調査にご協力頂いた県下の健康福祉事務所関係各位に深謝致します。また、温泉成分分析結果のデータベースの作成に御尽力頂いた松田恭子氏に深く感謝致します。

文 献

- 1) 矢野美穂, 磯村公郎, 寺西 清: 城崎, 浜坂, 洲本温泉における自噴泉の湧出状況の推移, 兵庫県立衛生研究所年報, **36**, 119-126 (2001)
- 2) 矢野美穂, 川元達彦, 巻幡希子, 英保次郎: 兵庫県北部の温泉の飲用利用基準からみた泉質特性, 兵庫県健康環境科学研究センター紀要, **2**, 81-85 (2005)
- 3) 矢野美穂, 川元達彦: 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—, 兵庫県健康環境科学研究センター紀要, **4**, 74-79 (2007)
- 4) 矢野美穂, 川元達彦: 兵庫県下の温泉付随メタンガスの濃度分布とガス分離設備によるメタンの除去, 温泉科学, **36**, 119-126 (2011)
- 5) 環境省: 温泉法の一部を改正する法律 (平成19年法律第31号)

- 6) 環境省自然環境局：鉱泉分析法指針（改訂）（2002）
- 7) 深山敏明，井上和幸，岡田真規子，中山哲彦：石川県における温泉の泉質について—近年の動向や法改正に伴う温泉分析結果など—，石川県保健環境研究所報，**47**，65-69（2010）
- 8) 村上淳子，工藤幾代，野村真美，秋山由美子，小林繁樹，石塚伸一，高橋ひとみ，阪崎俊璽，安田徳彦：青森県の温泉の経年変化の特徴，青森県環境保健センター研究報告，**18**，50-56（2007）
- 9) 竹中光大，高取宏至，小島康明，静間 清： γ 線スペクトロメトリによる西条酒仕込み水のラドン濃度の測定，RADIOISOTOPES，**57**，419-427（2008）