



原 著

## 有馬温泉における泉源保護のためのモニタリング結果と 温泉・鉱泉の特徴

益子 保<sup>1)\*</sup>, 大塚晃弘<sup>1)</sup>, 高橋孝行<sup>1)</sup>

(平成 23 年 8 月 29 日受付, 平成 24 年 8 月 20 日受理)

### Monitoring for Thermal Water Resource Protection and Characteristics of Hot- and Mineral-Waters in Arima Spa, Hyogo Prefecture

Tamotsu MASHIKO<sup>1)\*</sup>, Akihiro OHTSUKA<sup>1)</sup> and Takayuki TAKAHASHI<sup>1)</sup>

#### Abstract

The influence of planned hotel constructions on the surrounding spring sources in Arima Spa was monitored from August 2007 to September 2009 to protect hot- and mineral-water sources. As a result, the following characteristics of spring water sources in Arima Spa were observed.

- (1) There are not only lower-temperature hot springs containing a large amount of dissolved carbon dioxide, but high-temperature hot springs also containing free carbon dioxide which jet out due to the uplifting force of gas bubbles (gas lift effect).
- (2) To enhance the gas lift effect, trumpet-shaped pipes with an enlarged diameter at one end (called "*rappa-kan*" because of its trumpet shape) are inserted in the spring wells.
- (3) Kinsen springs not only has tendency for calcium carbonate scale to be readily deposited, but also contains substantial amount of iron compounds. Thus the clear water flowing out of the spring immediately changes in reddish brown in color with the oxidation of iron compounds in the oxidative conditions.
- (4) It is likely that iron compounds are deposited in the geological formation for high-temperature with high-salinity natural hot springs. In such places, the electric conductivity of groundwater rises when the groundwater level rises as a result of precipitation.
- (5) There is a trend that the concentration of major dissolved components in the hot spring waters decreases during the passing of the years. This does not necessarily imply that excessive water was used, but rather that the hot springs water was more concentrated at the time that the hot springs were initially drilled right after the end of World War II.

<sup>1)</sup>財団法人中央温泉研究所 〒171-0033 東京都豊島区高田 3-42-10. <sup>1)</sup>Hot Spring Research Center, 3-42-10 Takada, Toshima-ku, Tokyo, 171-0033, Japan. \*Corresponding author : E-mail t-mashiko@onken.or.jp, TEL 03-3987-0751, FAX 03-3987-0755.

By setting up a third-party consultative panel consisting of relevant parties and other experts, it is possible to discuss and adopt construction methods that do not affect the surrounding hot springs while monitoring the effect of the construction project. This we feel, will contribute to the smooth progress of the project without affecting the hot springs.

Key words : Arima Spa, Monitoring of hot- and mineral-water wells, Thermal water resources protection, Third-party consultative panel

## 要 旨

有馬温泉において計画された建設工事に関連して、2007年8月から2009年9月にかけて、工事に伴う源泉の影響監視を主とする調査を行った。その結果、有馬温泉の源泉や温泉の経年変化の特徴は次のようにまとめられる。

- ① 有馬温泉では多量の二酸化炭素を溶存する低温泉の他に、高温泉にも多量の遊離した二酸化炭素が含まれ、ガスが発泡し浮上する力（ガスリフト）で温泉は自噴する。
- ② ガスリフトの効果を高めるために、源泉孔内に挿入する揚湯管に先端の径を太くした通称ラッパ管と呼ばれるものが用いられる。
- ③ 金泉では特に源泉孔内に炭酸カルシウムのスケールが沈殿しやすいことに加え、鉄分も多く含まれるために、湧出直後は透明な温泉であっても、大気中に放置すると鉄分が酸化し、温泉が赤褐色に濁る。
- ④ 高温・高濃度の温泉が自然湧出していた地層中には、鉄質沈殿物が生じているようである。そうした場所で降水に対応して地下水水位が上昇すると、導電率（電気伝導率）は上昇する。
- ⑤ 経年的に主要成分の低濃度化が見られるが、必ずしも過剰採取を示唆する訳ではなく、源泉の掘削が行われた戦後間もない頃の温泉がより濃縮された高濃度の性状を示していた可能性がある。

建設工事による影響監視という点では、当事者同士の他に有識者が加わった第三者協議機関を設けることで、温泉への影響を監視しつつ、影響が生じない工法を検討・採用することが可能であり、温泉への影響がないスムーズな工事の進捗にも寄与するものと考えられる。

キーワード：有馬温泉，源泉監視，源泉保護，第三者協議機関

## 1. はじめに

通常の場合、源泉所有者や温泉地にとって自身の源泉や地域の温泉資源に対する関心はそれほど高い訳ではない。源泉近くで温泉に影響しそうな事象が起こった時に強い関心を示すのであり、そのもっとも身近なことが源泉間の相互干渉である。この他、源泉近くで大規模な土木工事が行われる場合も、自然湧出泉や掘削深度の浅い源泉を主体とする温泉地では、温泉資源にとって脅威になることがある。例えば、そうした温泉地の後背部での地之り対策工事、温泉地よりも低所でのトンネル工事、近傍での河川工事やダム建設などである。これらはいずれも地域の地下水状況を改変させる可能性を持つ工事であり、そのことによる間接的な影響が地下浅部の温泉賦存層に作用することが心配される。

浅い深度を流動する地下水が温泉成分の主体になっているような温泉（例えば火山地帯の自然湧出温泉など）では、建築物の基礎工事によってすら、温泉の湧出量が減少するなどの影響が発生する事が想像される。もちろん、こうした工事によって温泉が湧出し、温泉の流動・湧出状況を直接変化させ、既存温泉に影響することも考えられる。源泉間の相互干渉は、基本的に原因となる源泉の温泉湧出を停止させることで回復可能な一時的な現象であるのに対して、こうした大規模土木工事の場合の地下水改変状況は固定化し、一度発生した温泉源への影響も将来的に固定化してしまう

可能性があり, 問題としてはより深刻である。

新規の温泉掘削の許可・不許可の判定に際して, 影響発生の可能性についての科学的な判断が必要であるのと同様に, 温泉への影響が一般論として懸念されるとの理由だけで, その工事を直ちに中止させることは難しい。そうした工事に対しても, 温泉への影響発生に関する蓋然性についての十分な検討が必要である。具体的には, 当該工事により温泉源に影響が生じる可能性はどの程度あるのか, 温泉源への影響を排除する工法はあるのか, その工法を採用することで工事の目的は達成出来るのか, といったことを検討することが求められる。

西日本を代表する兵庫県有馬温泉 (Fig. 1) は, 高温かつ高塩分濃度の温泉 (溶存鉄の酸化により茶褐色に濁ることから金泉と呼ばれる) が湧出する古い歴史を持った温泉地である。ここには, 二酸化炭素の自然湧出露頭があり, その二酸化炭素が地下水に溶け込むことで炭酸泉も形成されている。また, 後背山地を構成する花崗岩からはラドン泉も湧出している (これら炭酸泉やラドン泉は無色透明であることから銀泉と呼ばれる)。

2006年秋, この炭酸泉および二酸化炭素湧出地が分布する有馬温泉のほぼ中心部 (Fig. 2のA地点) においてリゾートホテル (現在の株式会社東急リゾートサービス “有馬六彩”) の建設が計画された。この地域内には既存泉源として炭酸泉が現に存在し, その流動域は比較的浅層部にあることが推定されたことから, リゾートホテル建設に伴う温泉源への影響を回避もしくは軽減するための方策を検討するため, 建設地域内の温泉や地下水の流動状況を調査 (Fig. 2のA'地点には金泉があるものの, すでにマンション建設が行われていたが, 影響監視は行っていない) するとともに, 工

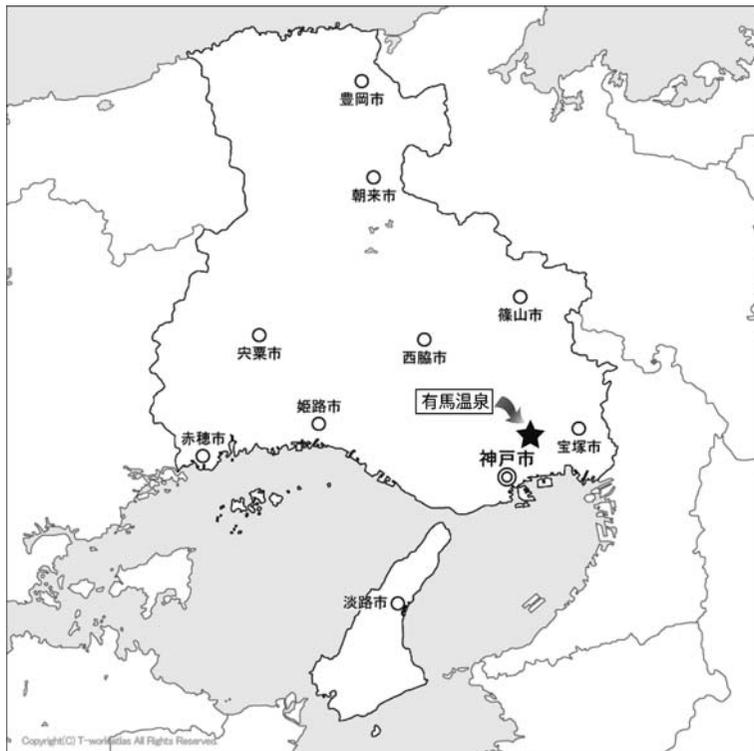


Fig. 1 Location map of Arima Spa, Hyogo Prefecture.

図 1 調査地域案内図。



Fig. 2 Location map of Arima hot- and mineral-springs and the survey area.

図 2 有馬温泉および調査地域詳細図.

事の進行に伴う源泉への影響監視を行う機会を得た。温泉、地下水の流動状況調査の結果については、益子ら (2011) が炭酸泉および二酸化炭素の湧出を規制する射場山断層の性状に着目し、とりまとめた。

その後、他地域 (Fig. 2 の B, C 地点) でも大規模な建設計画が進行したことから、その 3 件の建設工事を対象に、施設発注者および受注者 (建設業者) と地元温泉関係者、第三者の有識者を交えた泉源保護協議会を立ち上げ、建設工事に伴う周辺源泉への影響を監視しつつ、工事の進捗状況や工事内容や方法の見直しに関する工事業者からの報告を受け、さらには温泉への影響を回避したり、温泉の湧出を助けたりするための工法等の提言を行って、円滑な工事進捗をサポートした。これらの工事は温泉源に影響を与えることなく、すべて無事完了した。本報では A 地点での建設工事に伴う周辺既存源泉への影響監視の結果と、その調査を通じて検討した有馬温泉の源泉や温泉の経年変化の特徴に関して報告する。

## 2. 有馬温泉の地質

Figure 3 に藤田・笠間 (1982, 1983) からコンパイルした地質図を示す。有馬温泉の主要源泉

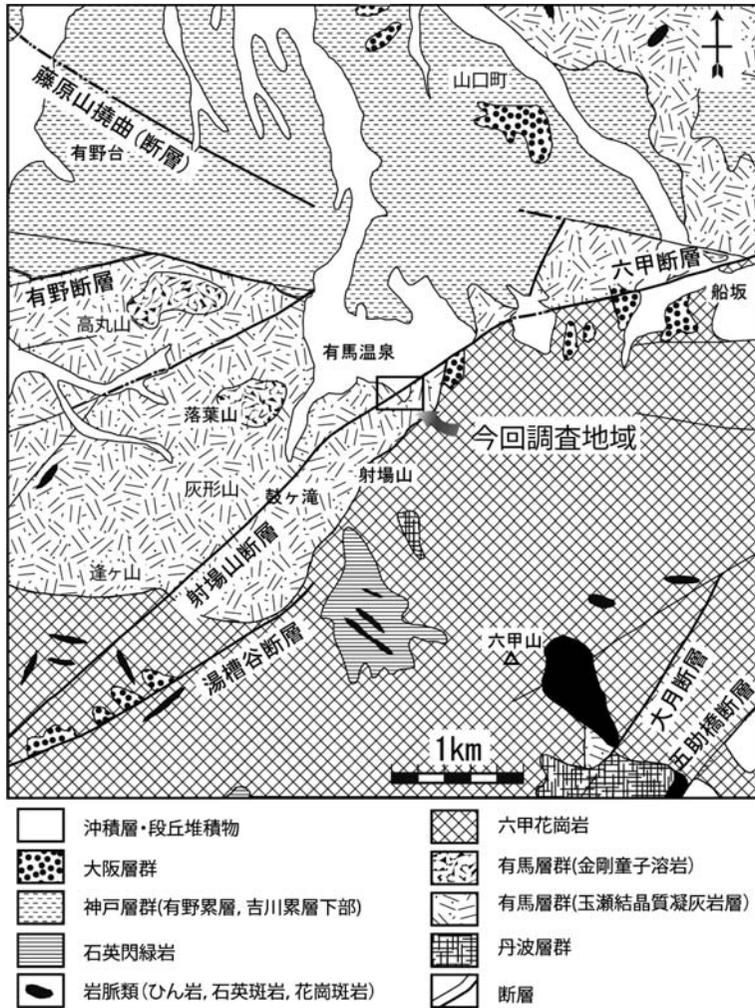


Fig. 3 Geological map of Arima Spa and its surrounding area (Hujita and Kasama, 1982, 1983).

図 3 有馬温泉とその周辺地域の地質図 (藤田・笠間, 1982, 1983).

は中生代白亜紀後期の有馬層群中に分布する。有馬温泉の背後（南側の六甲山地）には有馬層群を貫き、これに熱変成を与えている白亜期末の六甲花崗岩が分布し、有馬温泉の北方には第三紀の神戸層群が有馬層群を不整合に覆って分布する。また、近畿地方の基盤岩をなす中生代三畳紀からジュラ紀にかけての丹波層群が、先の六甲花崗岩分布域にルーフペンダントとして分布する他、断層に沿って大阪平野とその周縁台地を構成する新しい地層の大阪層群が、様々な高度に分布する。有馬温泉地域の地質および地質構造と有馬温泉の源泉との関係については、益子ら（2011）がその特徴をとりまとめた。

### 3. 有馬温泉の源泉

有馬温泉に所在する源泉の一覧表を Table 1 に示す。鶴巻（1964）は有馬温泉の源泉を Table 2

Table 1 List of hot- and mineral-spring wells of Arima Spa.

表 1 有馬温泉の温・鉱泉一覧表.

源泉名 <sup>*1</sup>	温泉区分 <sup>*2</sup>	深度 (m)	泉質 <sup>*3</sup>	温泉採取方法	
				自噴	動力
3. 妬(うわなり)泉	高温泉	185	含鉄・ナトリウム—塩化物強塩高温泉	○	
4. 極楽泉	高温泉	223	含鉄・ナトリウム—塩化物強塩高温泉	○	
9. 銀泉	温泉	67.4	ナトリウム—塩化物高温泉	○	
1. 天神泉	高温泉	206	含鉄・ナトリウム—塩化物強塩高温泉	○	
2. 御所泉	高温泉	18.2	含鉄・ナトリウム—塩化物強塩高温泉	○	
12. 市ラジウム泉	低温泉		単純放射能温泉	○	
5. 有明1号泉	高温泉	277.2	含鉄・ナトリウム—塩化物強塩泉	○	
6. 有明2号泉	高温泉	270	含鉄・ナトリウム—塩化物強塩泉	○	
関電炭酸泉	冷鉱泉		単純炭酸泉	○	
地獄谷2号	冷鉱泉		規定泉	○	
古泉閣源泉場	温泉		含鉄(Ⅱ)—ナトリウム—塩化物強塩温泉		○
神鉄ラジウム泉	冷鉱泉		単純放射能冷鉱泉	○	
熱泉1号	温泉		ナトリウム—塩化物泉	○	
熱泉2号	低温泉		ナトリウム—塩化物低温泉	○	
月光園2号	低温泉	164	含弱放射能—ナトリウム—塩化物低温泉		○
滝畑	低温泉		含弱放射能・二酸化炭素—ナトリウム・カルシウム—塩化物低温泉	○	
7. 愛宕	高温泉	5	含鉄・ナトリウム—塩化物強塩高温泉	○	
当谷	冷鉱泉	300	含鉄・ナトリウム—塩化物強塩冷鉱泉	○	
有馬グランドホテル	低温泉		含鉄・二酸化炭素—ナトリウム—塩化物低温泉		○
山田山1号	温泉		含鉄・二酸化炭素・ナトリウム—塩化物強塩温泉		○
やまと泉	冷鉱泉	200	単純炭酸泉	○	
10. 山内	冷鉱泉		単純鉄温泉	○	
リッチライフ2号	低温泉		含炭酸食塩泉		○
リッチライフ1号	冷鉱泉	15	含炭酸食塩泉	○	
ジャンボクラブ	温泉	400	含土類食塩放射能泉		○
山田山2号	温泉		ナトリウム—塩化物強塩高温泉		○
銀水荘	低温泉		含鉄・二酸化炭素—ナトリウム—塩化物強塩泉	○	
8. 花ノ坊	高温泉	475	ナトリウム—塩化物強塩泉	○	
豊壽源泉	冷鉱泉		含弱放射能—ナトリウム—塩化物泉		○
	冷鉱泉		単純弱放射能泉		○
11. 炭酸泉	冷鉱泉	16~17	単純二酸化炭素冷鉱泉		○
	冷鉱泉		規定泉		○
先山クリニック泉	冷鉱泉		ナトリウム—塩化物強塩冷鉱泉		○
兆楽泉	温泉		含鉄—ナトリウム—塩化物強塩泉		○
タツミ	温泉		含弱放射能・鉄・二酸化炭素—ナトリウム—塩化物泉		○
温泉病院3号	低温泉		単純放射能低温泉		○
	冷鉱泉		単純放射能冷鉱泉		○
豊福の湯	高温泉		含鉄(Ⅱ)—ナトリウム—塩化物強塩温泉		
炭酸源泉	冷鉱泉		単純鉄冷鉱泉(低張性)		

\*1: 源泉名の前に付した番号は Fig. 2 の源泉番号に対応.

\*2: 区分は Table 2 の本稿区分に対応.

\*3: 規定泉は温泉法に適合した温泉(療養泉以外の温泉).

Table 2 Classification of hot- and mineral-springs in and around Arima Spa.

表 2 有馬温泉およびその周辺の温・鉱泉の分類表.

形態	1 掘削したもの <sup>a1</sup> (掘削泉源 <sup>a2</sup> )			2 天然湧出するもの <sup>a2</sup> (自然湧出泉源 <sup>a2</sup> )		
	1-1 <sup>a1</sup>	1-2 <sup>a1</sup>	1-3 <sup>a1</sup>	2-1 <sup>a1</sup>	2-2 <sup>a1</sup>	2-3 <sup>a1</sup>
種別	高温泉 <sup>a1</sup>	低温泉 <sup>a1</sup> (温泉 <sup>a2</sup> )	鉱泉 <sup>a1</sup> (低温泉 <sup>a2</sup> )	鉱泉 <sup>a1</sup> (冷鉱泉 <sup>a2</sup> )		
分布地域	愛宕山北方(200 m) <sup>a1</sup> 愛宕山周辺 <sup>a3</sup>	1-1 を中心とする (400 m) <sup>a1</sup> 高温泉分布域を囲む <sup>a3</sup>	広範囲 <sup>a1</sup>	広範囲 <sup>a1</sup>	射場山北方(射場山 断層) <sup>a1</sup> 射場山断層沿い <sup>a3</sup>	六甲川 <sup>a1</sup> 六甲花崗岩地域 <sup>a3</sup>
主な源泉名	天神, 有明, 御所, 妬, 極楽 <sup>a1</sup> 有明 1, 2 <sup>a2</sup> 愛宕山, 花の坊, 他 <sup>a3</sup>	袂石, 簡易保険, ヘ ルスセンター 1, 2 <sup>a1</sup> 銀泉, 古泉閣, 熱泉 1 号 <sup>a2</sup> 山田山 1, 2 号, 兆楽, 豊原, 他 <sup>a3</sup>	月光園, 蛇谷グランド, 新有馬, 五社, 生瀬 (宝塚) <sup>a1</sup> 銀水, 宝塚 <sup>a2</sup> 月光園 2 号, 熱泉 2 号, 有馬グランド, 銀水荘, 先山, 他 <sup>a3</sup>	撫琴荘, 水無谷, 井 屋谷 <sup>a1</sup> 生瀬, 宝塚 <sup>a2</sup>	地獄谷 1, 2, 炭酸ホ テル <sup>a1</sup> 栄鉱泉, 炭酸広場 <sup>a2</sup> 炭酸泉, 関電炭酸 泉, やまと泉 <sup>a3</sup>	瑞宝寺 <sup>a1</sup> 瑞宝寺など <sup>a2</sup> 市ラジウム泉, 神鉄 ラジウム泉, 温泉病 院 3 号 <sup>a3</sup>
泉温	90~97 <sup>a1</sup> 90~98 <sup>a2</sup>	43~60 <sup>a1</sup> 43~ <sup>a2</sup> 33~43 <sup>a3</sup>	Max. 32.5 (五社) <sup>a1</sup> 30~32 <sup>a2</sup> <32 <sup>a3</sup>	気温に支配される <sup>a1</sup>		
Cl <sup>-</sup> (g/kg)	23~41 <sup>a1</sup> 23~43.8 <sup>a2</sup>	2.3~31 <sup>a1</sup> 31.0~2.3 <sup>a2</sup>	1.7~33 <sup>a1</sup> 31.0~43.5 <sup>a2</sup>	1.1~4.8 <sup>a1</sup>	0.01~0.02 <sup>a1</sup>	0.3 <sup>a1</sup> 43.5~1.10 <sup>a2</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg)	60~170 <sup>a1</sup>	350~500 <sup>a1</sup>	500~2400 <sup>a1</sup> 150~1000 <sup>a2</sup>	150~1000 <sup>a1</sup> 501~2400 <sup>a2</sup>	0~30 <sup>a1</sup>	192 <sup>a1</sup>
遊離炭酸 (mg/kg)	少ない <sup>a1</sup>	多いものあり <sup>a1</sup>	750~1300 <sup>a1</sup>	1300 <sup>a1</sup> ~1300 <sup>a2</sup>	300~1600 <sup>a1</sup>	37 <sup>a1</sup>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/kg)	未検出・痕跡 <sup>a1</sup>	5~35 <sup>a1</sup>	未検出・痕跡 <sup>a1</sup>	0~12 <sup>a1</sup>	0~100 <sup>a1</sup>	0 <sup>a1</sup>
泉質	強食塩泉 <sup>a1</sup>	(強) 食塩泉 <sup>a1</sup>	含炭酸~土類食塩泉 <sup>a1</sup>	単純炭酸泉 <sup>a1</sup>		放射能泉 <sup>a1</sup>

<sup>a1</sup>: 鶴巻 (1964)

<sup>a2</sup>: 西村ら (2006) が加筆

<sup>a3</sup>: 本稿で加筆

に示したように 6 タイプに区分している。本表は、西村ら (2006) により修正された表を元に、筆者らがさらに加筆したものである。現在よく知られている源泉として、高温かつ高塩分濃度の金泉と、低温・低塩分濃度の銀泉とがある。Table 2 の掘削源泉の中の高温泉がその代表であり、温泉、低温泉も広義には金泉に含まれる。銀泉は Table 2 の自然湧出源泉に相当する。

鶴巻 (1964) が高温泉グループに入れていない愛宕山 (簡保) と花の坊は、現在は高温泉グループに含まれるが、それでも高温泉の分布は愛宕山周辺に限られ、とりわけ愛宕山北側に隣接する緩斜面 (温泉街) に集中する。このことから、有馬温泉における高温泉の流動の中心は、愛宕山の形成 (岩脈) に関係していると考えられてきた。しかし、西村ら (2006) および西村 (2009) は有馬温泉で重力探査を行った結果、愛宕山は六甲花崗岩と同じ比重を持つ岩脈であるが、愛宕山の北東にある小さな高まり (天神山) は花崗岩から分化した流紋岩質の岩脈であり、地殻深部につながっている可能性を指摘した。そして、有馬温泉の高温泉は、地下約 60 km よりも浅いマントルに潜り込んだスラブから脱水した超臨界状態の液体を起源とし、その流体はマントルから種々の物質を溶かし込み、岩脈周辺部の緩み帯を通路として急速に上昇する過程で減圧、低温化し、二酸化炭素が分離してガス化し、そのガスの力でさらに上昇を続け、ラジウム、ラドンを高濃度に溶かし込み、地表近くで地下水によって薄められて湧出するとしている。

#### 4. A 地点での建設工事に関連した影響監視結果

A 地点での建設工事は、最初に道路南側 (山側) の A' 地点でマンション建設があり、その後道

路北側(谷側)の A 地点でホテル建設が行われている (Fig. 2). 周辺源泉への影響監視は、道路北側でのホテル建設の際に行われた。その理由は、マンション建設は建て替えであるが、ホテル建設は更地に行われること、ホテル地域内には自然湧出の炭酸泉(建設当時者が所有する山内炭酸泉)が存在する他、隣接地域に他者所有の金泉(愛宕山(簡保)), 極楽など、銀泉(神戸市炭酸泉)が存在することによっている (A' 地点にある花の坊も建設当時者が所有する源泉)。

当初のホテル建設計画は、建設地が斜面であることを活かし、地下駐車場を設けるものであったが、泉源保護のための調査結果(益子ら, 2011)から、地域内にある炭酸泉は地下深部から上昇する二酸化炭素に、浅層を流動する地下水が溶け込んで形成されたものであることが判ってきた。地下駐車場を設けるためには掘削(開削)深度が深くなり、そのことによってこの地域の地下水流動が遮断され、炭酸泉に影響する可能性が少なからず考えられた。このため、当初計画の地下駐車場は取りやめ、基礎工事も地下水流動をなるべく阻害しない杭基礎を採用することとした。

さらに、建設工事には第三者を交えた泉源保護協議会(前述)を設置し、その場で事業者側からは工事の進捗状況や各工事用地内で行っている地下水観測孔の監視状況に関する報告を入手するとともに、以降の工事方法に関しては協議会から地下水や温泉になるべく影響の少ない方法を採用するよう要請し、事業者側にはその多くを採用して頂いた。代表的なことは、建設中の仮設構台の設置位置に関して、地下水流動部を避けるなどの影響回避の手段を取ったこと、施設を建設することで当該地域内への地下水涵養が低減することから、それを補うために建物屋根部に降った降水は極力地下浸透させる工事を行って頂いたことなどである。その結果、敷地内の炭酸泉をはじめ、敷地外の金泉、銀泉にも影響を与えることなく建設工事は終了した。

以下、この建設工事に伴う泉源監視結果について述べ、有馬温泉の湧出状況の特徴や泉質の経年的変化の特徴について記載する。なお、こういった建設工事が温泉源に影響を及ぼす可能性があるのは、特に地下掘削を伴う基礎工事の時なので、以降の議論では特に建築基礎工事との関連について述べる。

#### 4.1 地下水位観測

リゾートホテル建設に伴う周辺温泉源への影響防止のためには、地域内の地下水位になるべく変動を生じさせないことが重要であることから、建設工事中(特に基礎工事期間中)の地下水位監視を目的として、深さ 10 数 m の地下水位観測孔を 6 孔設け、そのうちの 4 箇所に水位と温度の自動観測機器(応用地質(株)製 S & DL, In-Situ Inc. 製 miniTROLL)を設置して、地下水位と地下水温の毎時の自動観測を実施するとともに、後述の温泉観測時(ほぼ毎月 1 回)には水位と観測孔内の二酸化炭素濃度を実測した (Fig. 2)。水位はロープ式水位計、二酸化炭素濃度は北川式検知管により観測した。

二酸化炭素濃度の経時変化図は既報(益子ら, 2011)に示したので、ここでは地下水位および地下水温の自動観測結果を Fig. 4 および Fig. 5 に示す。地下水位は、浅い地下水のため降水に対応した変化を示すが、建築基礎工事に伴う明らかな地下水位変化は出現していない。ただし、No. 1 孔は建築基礎工事終了後、若干の欠測期間を挟んで、工事前のレベルよりもわずかに高水位を示し、No. 2 孔は基礎工事終了後に上昇傾向を示している。また、No. 5 孔では基礎工事終了後に一時的に大きな水位低下を示している。これら変化の原因は不明だが、建設工事による大きな水文環境変化というほどのものではない。建物屋根部への降水の地下浸透による地下水位への影響は、本記録では捕捉できていない。

地下水温は、No. 1 孔を除いて最大 1℃ 程度の変化幅で季節変化を示している (Fig. 5)。気温変化との位相差(最大、最小の出現時期のずれ)はおおむね 6 ヶ月である。No. 1 孔では、建築基礎工事

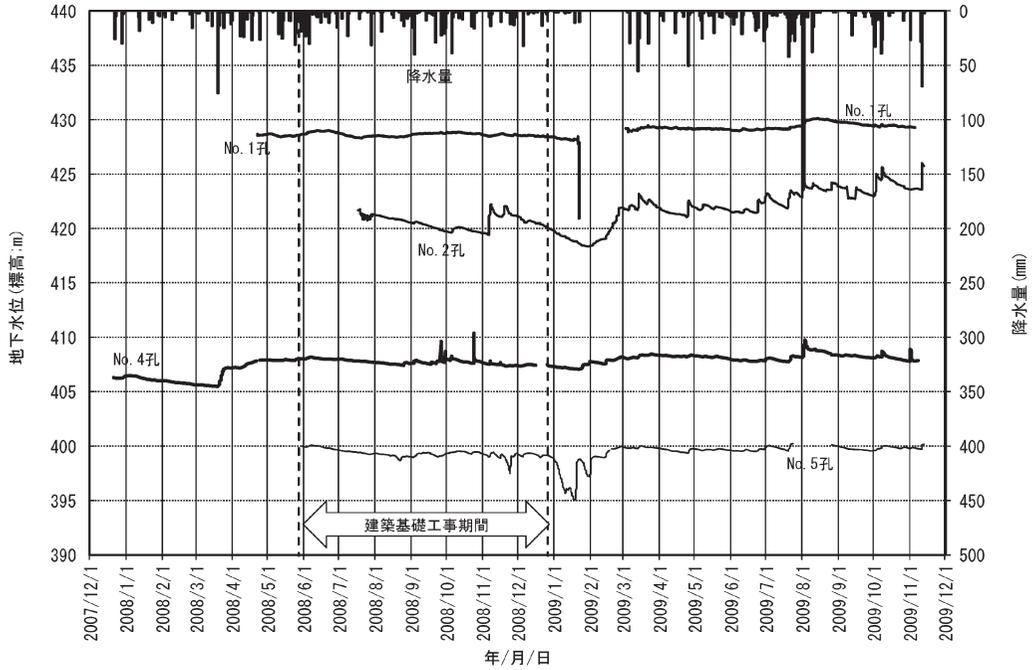


Fig. 4 Groundwater level changes in monitoring wells by automated recording.  
 図 4 自動記録によるモニタリング孔内の地下水位変化.

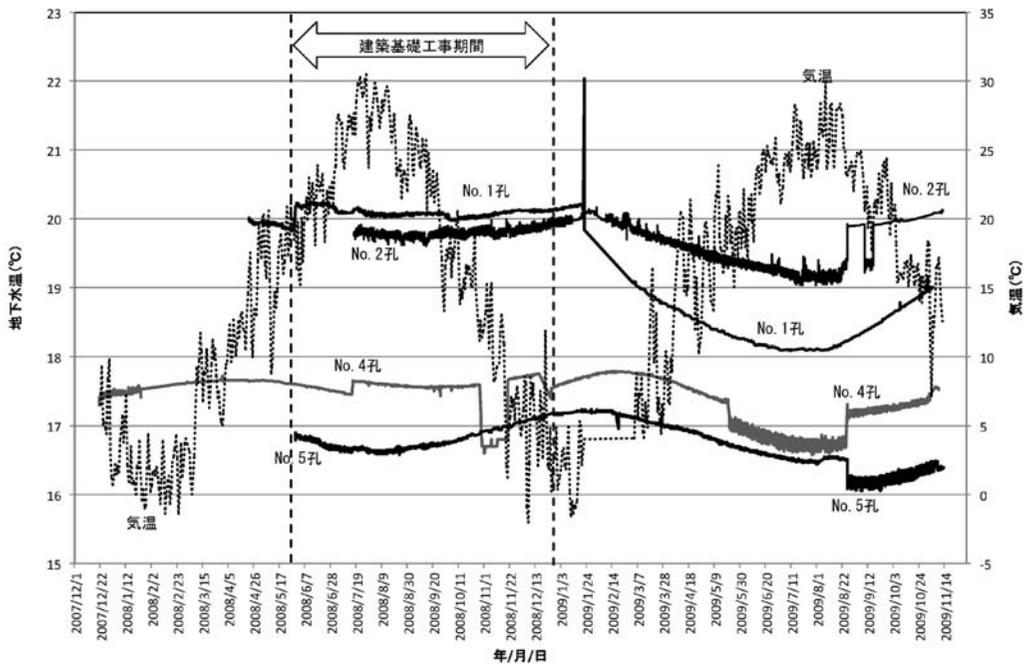


Fig. 5 Groundwater temperature changes in monitoring wells by automated recording and air temperature recorded at the Sanda observation site of AMeDAS.

図 5 自動記録によるモニタリング孔の地下水温と三田の AMeDAS 気温の変化.

終了後、若干の欠測期間を挟んで比較的大きく低温化しているが、地下水温の季節変化が明確化しただけでも受け取れる。地下水温が所々で急激な変化（多くは1℃未満）を示すのは、データ回収やメンテナンスのために水位計を引き上げたり、交換したりしたことによるもので、主に人為的な原因による変化である。

#### 4.2 源泉の定期観測

神戸市が管理する金泉（天神，御所，妬，極楽，有明1，2），銀泉（銀泉，炭酸泉，ラジウム泉）について、ほぼ月1回の観測を行った。源泉は揚湯管へのスケール付着が激しく（特に極楽源泉），定期的に揚湯管の交換を行っているため，温泉湧出量が最も多いタイミングとなる揚湯管交換後に測定するように日程調整した。

その結果を金泉，銀泉それぞれの合計湧出量の変化図として Fig. 6 に示した。金泉の湧出量の変化が大きいのは，上記した揚湯管へのスケール付着が原因している。建築基礎工事期間中に源泉への影響が懸念されるのは銀泉の湧出量であるが，これには建築基礎工事に関連するような変動は認められない。

#### 4.3 源泉での自動観測

自動観測は，建設工事敷地内にある山内炭酸泉とその東に隣接する神戸市炭酸泉，およびその西にある極楽泉でおこなっている。観測間隔は30～60分に1回であり，その監視結果は以下の通りである。

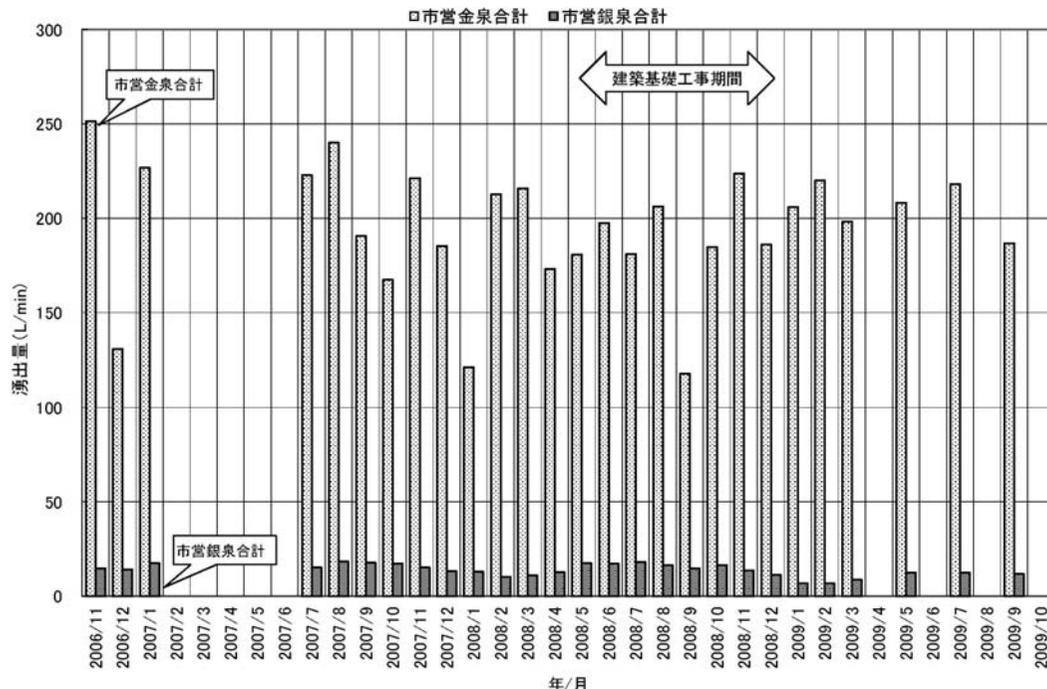


Fig. 6 Changes in water flow volume of wells of Kobe City by periodic observation.

図 6 定期観測による市営源泉の湧出量変化。

#### 4.3.1 山内炭酸泉と神戸市炭酸泉

前述したのと同様のロガー装置により, 山内炭酸泉と神戸市炭酸泉の水位, 導電率(電気伝導率), 温度を観測した. その結果を Fig. 7~Fig. 9 に示す. 山内炭酸泉はオープンな水面を持つ自然湧出泉であるため, 水位は降水の影響を(Fig. 7), 水温は気温の影響を(Fig. 9), それぞれ直接的に受けている. 特徴的な変化を示すのは導電率であり, 降水による水位上昇に伴って, 導電率が上昇することがある(Fig. 8).

神戸市炭酸泉の自動観測結果を Fig. 10 に示す. この源泉は深度 10m 程度の浅い掘削源泉であり, 水中ポンプによる揚湯泉である. このため, この源泉の水位は揚湯量の増減に大きく影響し, 人為的な変化か自然変動か, 建築基礎工事による影響かどうか, といった判断が難しい源泉である. 実際には, この源泉への自動観測機器の設置完了は建築基礎工事が終了した後であり, 建築基礎工事との関連性については検証できない. しかし, この源泉は山内炭酸泉と同様に, 水位が上昇すると導電率が上昇することが特徴である. 降水の導電率が高い訳ではなく, 地下水位が上昇することで, 通常は地下水面上にある地層中に温泉(金泉)の流動の名残である鉄質沈殿物を再溶解するために, 地下水の導電率を高めているものと思われる. ただし, 地下水中の溶存鉄の濃度を確かめている訳ではないので, あくまで類推に止まる.

#### 4.3.2 極楽泉

極楽泉は自噴源泉で, 温泉は常時タンクに入る. 温泉利用はタンクローリーによる温泉配給のみのため, タンクローリーによる温泉利用がしばらくない状態になると, 温泉はタンクからオーバーフローする. この源泉の測定は, タンクからのオーバーフローの途中に 60° 三角堰(ノッチ箱)を設置し, ノッチ箱内の水位と温度とを測定した. 水位は超音波水位計により測定し, 流量換算した.

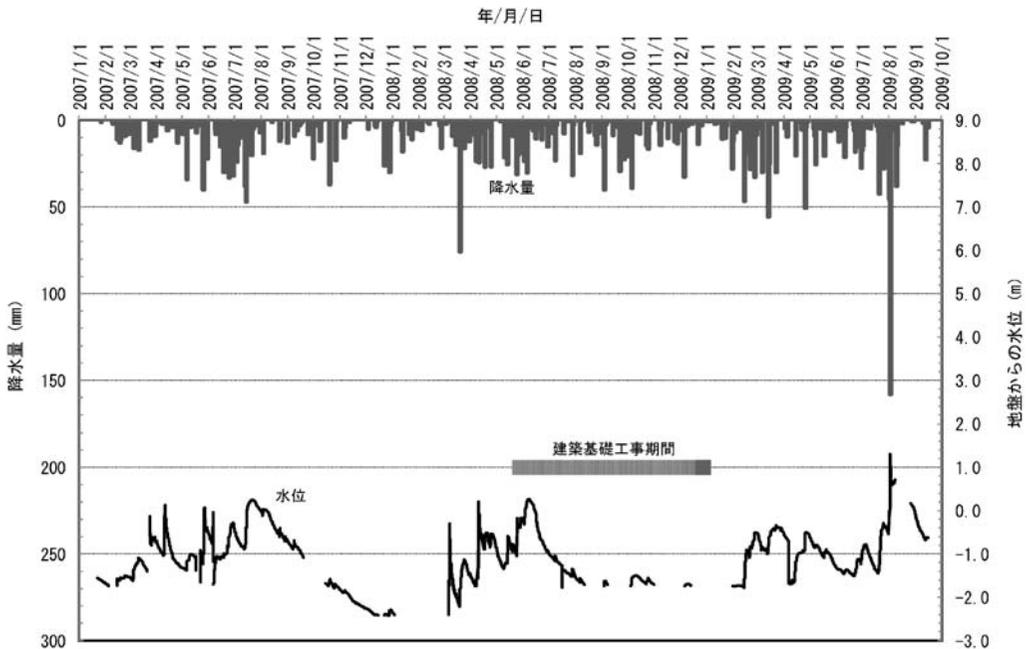


Fig. 7 Changes in water level of Yamauchi carbonated spring by automated recording and rainfall recorded at the Sanda observation site of AMeDAS.

図 7 自動記録による山内炭酸泉の地下水位と三田の AMeDAS 降水量変化.

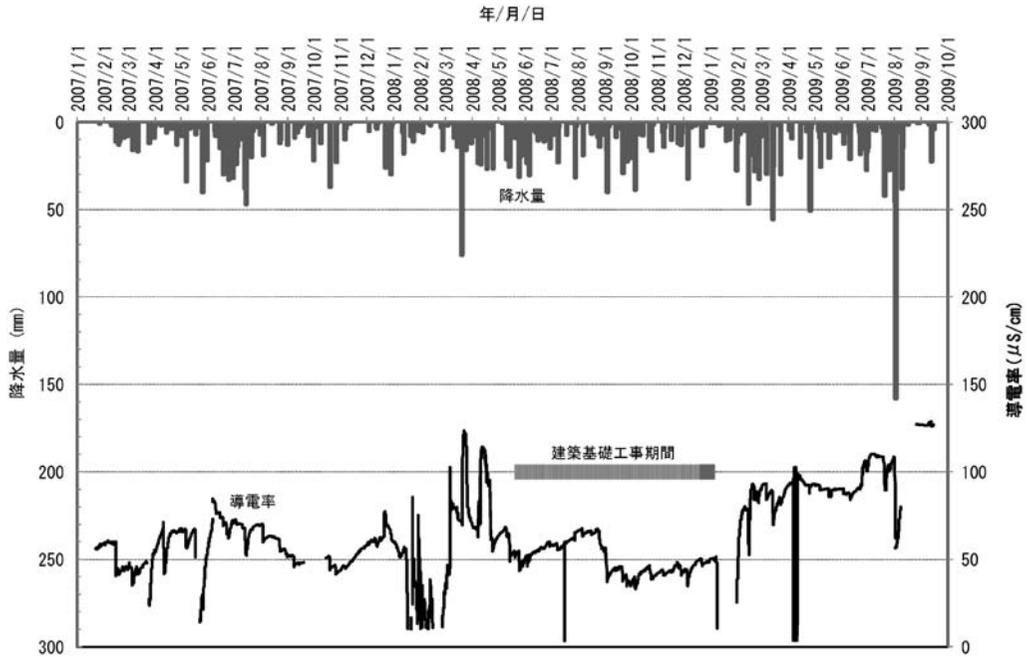


Fig. 8 Changes in electric conductivity of Yamauchi carbonated spring by automated recording and rainfall recorded at the Sanda observation site of AMEDAS.

図 8 自動記録による山内炭酸泉の導電率と三田の AMEDAS 降水量変化。

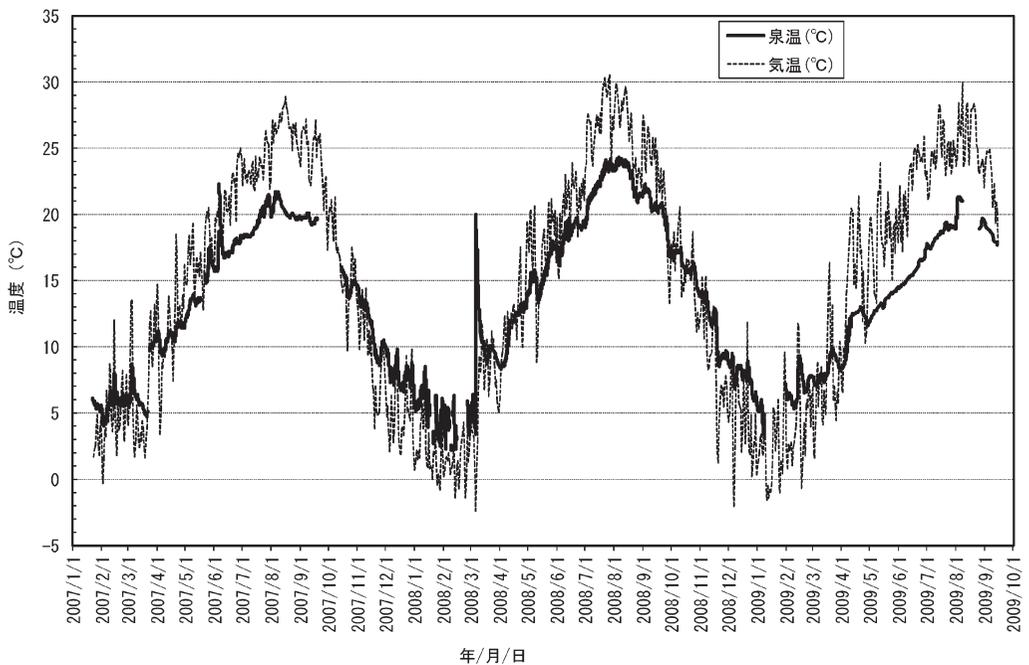


Fig. 9 Changes in water temperature of Yamauchi carbonated spring by automated recording and air temperature recorded at the Sanda observation site of AMEDAS.

図 9 自動記録による山内炭酸泉の水温と三田の AMEDAS 気温変化。

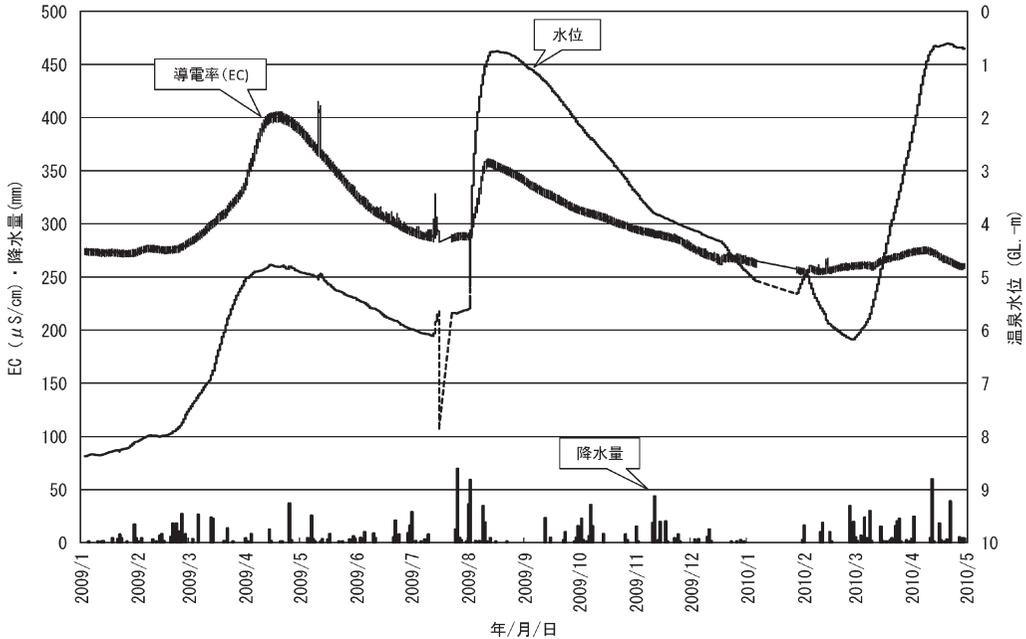


Fig. 10 Changes in water level and electric conductivity of Kobe City Spring (Ginsen), by automated recording.

図 10 自動記録による神戸市炭酸泉源の泉温と導電率変化。

ノッチ箱に流入する温泉が不定期のため、温泉観測記録は細かい変化が激しい。また、極楽泉の揚湯管へのスケール生成も激しく、定期的な管交換も行っているため、自噴量は交換直後に多く、直前は少ない。こうした状況が Fig. 11 の自動観測結果に示されている。この結果から、建築基礎工事による影響を判断するとすれば、温度や湯量の最大値を連ねた線で行うことになるが、工事による影響は読み取れない。

#### 4.4 温泉分析結果

今回の調査では、温度や湯量、地下水位の観測ばかりでなく、温泉の化学成分の変化にも着目し、数回の温泉分析を実施した。その結果に既存文献に記載された分析結果を加えた一覧表を Table 3 に示した（厚生省大臣官房国立公園部編, 1954；三宅ら, 1954；Nakamura and Maeda, 1961；上月, 1962；鶴巻, 1964；松葉谷ら, 1974；神戸市経済局貿易観光課, 1983；福田, 1985；辻ら, 1997；神戸市生活文化観光局, 2004）。これらの結果から、工事期間という限られた期間での成分変化はあまりないものの、より長期にわたっては成分濃度が大きく変化していることが読み取れる。既存文献には有馬温泉の主成分である Cl 濃度の測定結果が多くあることから、Cl 濃度のみに着目してその経時変化記録をまとめたのが Fig. 12 である。Cl 濃度は、経時的には低濃度化を示すものが多いといえる。

そこで、より古い明治～大正時代の分析結果（内務省衛生試験所, 1912, 1929）を Table 4 に示した。当然、この時期の泉源は現在のものと対照できないし、同一のものではない。泉源の掘削が行われたのは昭和期に入ってからであり、有馬温泉の源泉形態が現在の形にほぼ整えられたのは、太平洋戦争後に神戸市が天神、御所などの泉源を掘削・整備してからなので、Table 4 の分析結果は

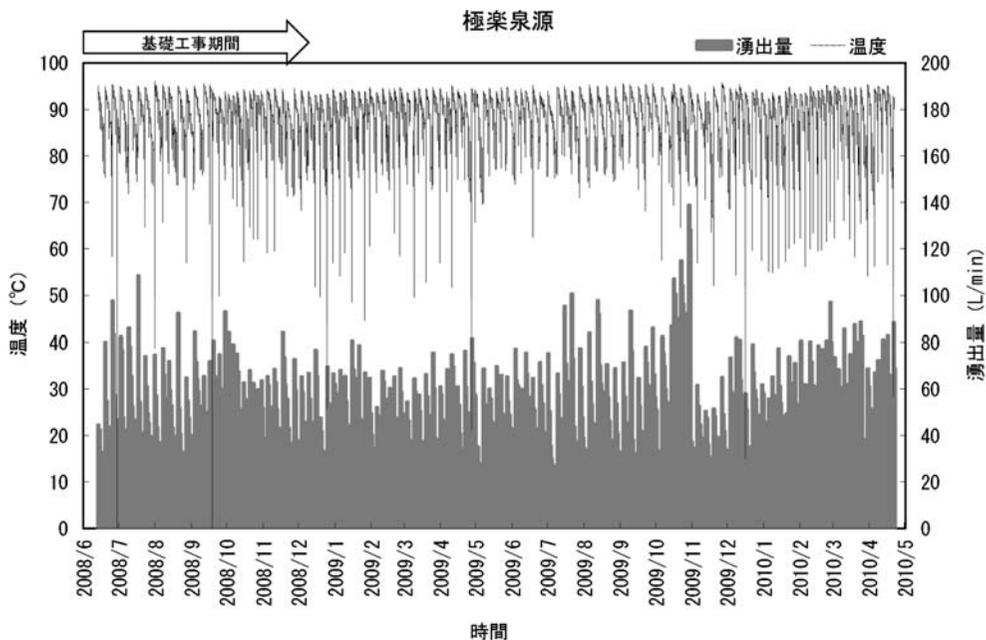


Fig. 11 Changes in water temperature and flow volume of Gokuraku Spring (Kinsen) by automated recording.

図 11 自動記録による極楽泉源の泉温と湧出量変化。

有馬温泉の自然湧出時代の泉源の状態を示していると考えられる。化学成分濃度の高い温泉（現在の金泉）と、化学成分濃度は低いが遊離二酸化炭素を多く含む温泉（現在の銀泉，炭酸泉）の二通りの泉源があり，金泉に該当する化学成分濃度の高い温泉のCl濃度は，平均23g/kgである。この濃度はTable 3に示した最近の分析結果と大きな差異はない。つまり，泉源の形態が自然湧出から掘削に変化したからといって成分濃度が希薄化している訳ではなく，現在の有馬温泉における温泉採取量が必ずしも過剰に陥っているとは限らないことを示している。むしろ，神戸市による泉源整備（掘削）が行われた戦後間もない頃が，温泉貯留層中で地下水の混入があまりなく，成分が濃縮したより高濃度の温泉の性状を示していた可能性がある。

### 5. 有馬温泉の泉源の特徴

建設工事に伴う源泉の影響監視の結果を通して，有馬温泉の泉源の特徴として，以下のことが指摘できる。

- ① 有馬温泉で炭酸泉と言えは，低温のいわゆる銀泉に代表されるものだが，高温泉の金泉にも多量の遊離した二酸化炭素が含まれガスが発泡し，浮上する力（ガスリフト）で温泉は自噴する。今回の調査対象とした金泉のうち，もっとも低所に位置するのは有明1，2号で標高は約369m，もっとも高所に位置するのは花の坊で標高は約438mであり，その標高差は約70mに達する。しかし，そのいずれも自噴するのは二酸化炭素によるガスリフトが大きく関係している。
- ② そのガスリフトの効果を高めるための工夫が，ラップ管と呼ばれるものである。ラップ管に

Table 3 Results of recent chemical analysis

表 3 有馬温泉の温・鉱

No. 温泉名	調査年月日	泉温 (℃)	湧出量 (ℓ/min)	pH	蒸発残留物 (g/kg)	陽イオン		
						Na <sup>+</sup> (mg/kg)	K <sup>+</sup> (mg/kg)	Mg <sup>2+</sup> (mg/kg)
1. 天神	1947/12/21-22	86		6.0				
	1948/9	97	46.3	6.4		18560	4110	51
	1951/9/23	94				19710.5	4583.0	52.4
	1955/7/8	93	57.6	6.0	69.708	16650	4170	52
	1961	77.5		6.2	41.780	11070	2440	17.9
	1964/7/13	97.5		6.4		17547	5835	16
	1965/10	98						
	1973/5							
	1973/5							
	1982/3/26	94.7	17.8	6.1	57.77	15900	3409	42.1
	1982/8/25	98.6	45.36	6.25	56.140	15980	3320	44.9
	1997	94.7		6.10		15900	3170	15.8
	1999/1/26	98.2	28.0	5.9	60.51	18400	4829	22.0
	2006/12/5	95.1	0	6.3	49.91	14020	2698	49.8
	2007/7/27	90.3	24.3	6.6	48.48	13910	2590	144.0
2008/5/30	97.3	55	6.4	46.11	12900	2560	59.7	
2009/7/23	97.0	80	6.5	48.14	13040	2630	20.0	
2. 御所	1951/5/29	94	43.8	6.7		19710	4580	52
	1952/11/1							
	1953/8/5	95	38.9	6.0		17120	4620	51
	1953/9							
	1953/11							
	1954/1							
	1961	96		6.5	56.796	15800	3160	24.5
	1964/7/13	90.7		6.5	49.970	13821	2788	9.5
	1973/5							
	1973/5							
	1982/8/27	87.8		6.17		8740	1520	37.1
	1983/3/26	86.5	25.3	6.4	29.98	9511	1728	34.1
	1997	87.8		6.67		7980	1710	7.47
	1999/1/26	83.5	24	6.3	26.30	7919	2151	8.0
	2006/12/5	82.7	30	6.8	20.31	6090	1196	26.4
2008/5/29	80.7	24.6	6.7	15.28	4400	900	11.1	
2009/7/22	79.3	18	6.3	15.03	4293	862.5	7.0	
3. 妬	1955/6	100	39.3	6.5		20550	3640	17
	1955/7/8	96	72.2	6.0		18040	4710	56
	1961	90.5		6.4	57.376	16200	3160	24.0
	1961	78		6.2	44.018	12640	2260	17.9
	1964/7/13	96		6.6	47.858	12873	2595	8.5
	1965/10	98						
	1973/5							
	1973/5							
	1982/8/26	88.6	56.16	6.30		9010	1530	33
	1983/3/26	86.6	36.9	6.1	30.25	9439	1650	34.1
	1997	88.6		6.54		6790	1270	5.37
	1999/1/26	93.8	28	6.4	38.26	11800	2272	12.0
	2006/12/5	97.6	50.7	6.6	36.25	10670	1482	51.5
	2007/7/27	95.7	36.7	6.7	36.92	10460	1998	36.1
	2008/5/29	97.2	34.3	6.7	33.16	9740	1810	45.4
2009/7/23	97.3	69.0	6.9	31.15	8690	1745	15.0	

of hot- and mineral-waters of Arima Spa.

泉の既往化学分析一覧表.

Ca <sup>2+</sup> (mg/kg)	ΣFe (mg/kg)	陰イオン				溶存ガス		出典もしくは分析機関
		Cl <sup>-</sup> (mg/kg)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/kg)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg)	F <sup>-</sup> (mg/kg)	CO <sub>2</sub> (mg/kg)		
4070.0	60.8	39760.0	7.75	36.3		202.0	岡本(1954)	
3770	308	42100				360	岡本(1954)	
3715.8	201.6	41284.9	55.8	1413.4			厚生省大臣官房国立公園部(1954)	
4150	210	40700	0	26		280	上月(1962)	
2475	50.1	23766	7.0	212.0		133	Nakamura and Maeda(1961)	
3830	226	40980		76.3			鶴巻(1964)	
		38644					松葉谷ら(1974)	
		28469				88	松葉谷ら(1974)	
		37612					神戸市経済局貿易観光課(1983)	
3180	170.1	34900	4.8	30.5	1.9	37.6	神戸市生活文化観光局(2004)	
2910	157.0	33650	6.32	45.06	1.49	4250	神戸市経済局貿易観光課(1983)	
2820	150	35000		39			辻ら(1997)	
2400	121.5	35400		42.7	3.8	86.6	神戸市生活文化観光局(2004)	
2355	77.1	29420	5.7	95.2	0.9	223.1	中央温泉研究所の分析結果	
1980	56	26680	2	83	2.7	186.2	中央温泉研究所の分析結果	
2120	78	26300	6.3	184.9	3.0	242	中央温泉研究所の分析結果	
2114	79	26200	8.1	206.8	2.0	222.7	中央温泉研究所の分析結果	
3720	201	41280	60	1.410			岡本(1954)	
		40000					三宅ら(1954)	
4420	180	41400	0	27		290	上月(1962)	
		23500		220			三宅ら(1954)	
		20700		230			三宅ら(1954)	
		39400		150			三宅ら(1954)	
3345	166.7	32515	微量	195.2		36	Nakamura and Maeda(1961)	
2604	136	29247	微量	169.6			鶴巻(1964)	
		19145				97	松葉谷ら(1974)	
		22475					神戸市経済局貿易観光課(1983)	
866	54	17010	4.06	200.5	1.27	227.4	神戸市経済局貿易観光課(1983)	
780	54	17900	4.8	177		122.6	神戸市生活文化観光局(2004)	
1210	56	15900		331			辻ら(1997)	
1059	40.5	16400		280.7	3.8	213	神戸市生活文化観光局(2004)	
728.7	34.6	11510	17.3	561.4	2.3	224.9	中央温泉研究所の分析結果	
527.9	25.3	8625	34.6	544.3	2.3	94.2	中央温泉研究所の分析結果	
488.5	21.8	7927	38.8	568.7	2.5	164.2	中央温泉研究所の分析結果	
4440	174	43350		180		360	岡本(1954)	
5010	250	42100	0	27		290	上月(1962)	
3533	186.5	33259	1.0	146.4		119	Nakamura and Maeda(1961)	
2638	132.8	25396	1.2	146.4		48	Nakamura and Maeda(1961)	
2474	114	28091	微量	142.7			鶴巻(1964)	
		26377					松葉谷ら(1974)	
		19960				405	松葉谷ら(1974)	
		19143					神戸市経済局貿易観光課(1983)	
916	55.10	17210	4.91	130.6	0.59	109.8	神戸市経済局貿易観光課(1983)	
1120	75.6	18100	4.8	122		97.4	神戸市生活文化観光局(2004)	
1040	44	13100		156			辻ら(1997)	
1460	59.4	23700	0	79.3	9.5	52.2	神戸市生活文化観光局(2004)	
1589	63.4	21220	2.4	339.9	1.5	268.5	中央温泉研究所の分析結果	
1496	20.0	20240	3.3	267.3	1.5	107.4	中央温泉研究所の分析結果	
1430	44.5	19180	3.9	212.3	1.6	105.2	中央温泉研究所の分析結果	
1174	39.5	17130	6.9	387.5	1.8	48	中央温泉研究所の分析結果	

Table 3

表 3

No. 温泉名	調査年月日	泉温 (°C)	湧出量 (ℓ/min)	pH	蒸発残留物 (g/kg)	陽イオン		
						Na <sup>+</sup> (mg/kg)	K <sup>+</sup> (mg/kg)	Mg <sup>2+</sup> (mg/kg)
4. 極楽	1953/5	96.5	23.8	6.7		18970	3760	32
	1953/7/10	96.0	14			18970	3769	32.1
	1955/7/18	94	43.8	6.1		18050	4520	53
	1964/7/13	97		6.4	59.890	16645	3287	10.5
	1965/10/1							
	1971/12/2	88	20.15	6.1		13531	3137	16.65
	1982/8/24	83.4	7.488	6.56	25.620	8710	1520	29.70
	1983/3/26	84.2	4.7	6.9	26.59	8630	1728	36.1
	1997	94.7		7.18		6590	1330	9.04
	1998/3/31	72.9	5.9	6.8	19.39	5980	1290	6.0
	2006/12/5	99.7	0	6.6	46.52	13480	2494	51.5
	2007/7/27	98.5	23.8	6.3	54.58	14750	2850	118.0
	2008/5/28	97.6	66.9	6.7	44.23	12170	2420	66.9
2009/7/22	98.6	51	6.4	46.32	12900	2520	17.0	
5. 有明1号	1942/1	95	56.3			17670	2900	57
	1948/8/31	81				18746	4545	42.7
	1953/9/1							
	1953/11/1							
	1953/12/1							
	1954/1/1							
	1955/7/8	92	40.3	6.1		16750	3220	45
	1960/8/10	93	17.424	6.4		17651	3320	38.9
	1961	87.5		6.5	48.780	13700	2620	23.2
	1960/8/10							
	1965/10	98						
	1985/2/5	90.1	48.5	6.1	40.07	12900	2295	20.0
	1996/12/27	81.0	46.6	6.6	27.20	9851	1889	8.0
	2006/12/5	45.1	14.9	7.6	3.406	1095	172.4	7.7
2008/5/29	92.5	29.4	6.5	31.20	8650	1750	71.7	
2009/7/22	94.1	18	6.2	36.41	9750	1995	40.6	
6. 有明2号	1947/12/21-22	47.8		6.5				
	1955/7/8	96	62.5	6.1		17060	3350	49
	1960/8/11	91	25.5	6.6	53.475	15120	2549	27.1
	1961	83.5		6.3	60.794	16840	3300	28
	1964/7/13	96		6.35	47.840	13362	2629	10
	1973/5							
	1973							
	1985/2/5	96.8	63.0	6.2	38.59	12500	2272	20.0
	1996/12/27	94.8	20.7	5.9	56.47	15300	2960	16.0
	1997	96		6.16		14600	2820	15.8
	2006/12/5	92.2	21.8	6.5	33.25	9366	1690	149.0
	2007/7/27	79.3	22.3	5.9	31.21	8604	1606	33.7
	2009/7/22	78.1	20	7.4	29.15	7930	1553	37.0
7. 愛宕山	1994/1/25	90.5	34	6.1	61.55	20200	4899	26.1
	1997	90.5		6.09		20200	4900	25.9
	2006/12/4	99.4	49.7	6.7	53.01	15180	2753	49.8
	2007/7/27(アソブ)	82.7	13.6	6.8	49.16	13870	2585	106.0
	2007/7/27(自噴)	90.3	6.2	6.3	48.51	13500	2570	118.0
	2009/7/23	99.7	47	6.7	57.69	16160	2890	9.0

(Continued).

(続き).

Ca <sup>2+</sup> (mg/kg)	ΣFe (mg/kg)	陰イオン				溶存ガス		出典もしくは分析機関
		Cl <sup>-</sup> (mg/kg)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/kg)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg)	F <sup>-</sup> (mg/kg)	CO <sub>2</sub> (mg/kg)		
4530	217	40500		1,230		110	岡本(1954)	
4530	216	40510		1,232			神戸市生活文化観光局(2004)	
5220	220	41400	0	25		260	上月(1962)	
3142	136	35200	微量	67.7			鶴巻(1964)	
		31766					松葉谷ら(1974)	
2421	77.46	28153	9.563	67.00	4.647	129.6	神戸市経済局貿易観光課(1983)	
604	16.2	15930	3.19	345.6	1.10	159.7	神戸市経済局貿易観光課(1983)	
720.5	27	16100	4.8	433.2	1.9	100.1	神戸市生活文化観光局(2004)	
856	20	12600		400			辻ら(1997)	
798.3		11700		591.9	3.8	227.0	神戸市生活文化観光局(2004)	
2162	62.5	26990	3.8	377.1	2.5	259.2	中央温泉研究所の分析結果	
2524	92.8	30150	1.3	140.3	3.8	203.3	中央温泉研究所の分析結果	
2068	55	25110	8.8	270.9	1.1	176.9	中央温泉研究所の分析結果	
2049	67	25710	8.4	175.1	1.8	217.4	中央温泉研究所の分析結果	
1050	399	33980		435		660	岡本(1954)	
4445	175	41810	0	22.2		521	池田(1954)	
		21000		350			三宅ら(1954)	
		41000		120			三宅ら(1954)	
		40500		130			三宅ら(1954)	
		40500		120			三宅ら(1954)	
4150	180	40200	0	30		310	上月(1962)	
3812	271.4	37620		19.0		183	神戸市経済局貿易観光課(1983)	
2953	166.7	28300	2.1	244.0		90	Nakamura & Maeda(1961)	
		37620					神戸市経済局貿易観光課(1983)	
		34744					松葉谷ら(1974)	
1420	105.3	24670	19.2	36.6	1.9	47.1	神戸市生活文化観光局(2004)	
884.5	67.5	18800	38.4	201.4	0	81.4	神戸市生活文化観光局(2004)	
107	2.8	1753	48.5	371	2.8	16.7	中央温泉研究所の分析結果	
1296	86.5	17920	17.1	291.1	3.1	165.9	中央温泉研究所の分析結果	
1619	104.5	19700	18.2	259.3	1.4	246	中央温泉研究所の分析結果	
1228	160.8	9860	0.38			458.0	岡本(1954)	
4070	200	41300	0	32		340	上月(1962)	
3252	237.8	31947		348		209	鶴巻(1964)	
3716	206.2	34959	微量	228.8		109	Nakamura and Maeda(1961)	
2531	138	28033	微量	83.0			鶴巻(1964)	
		22477				150	松葉谷ら(1974)	
		28466					神戸市経済局貿易観光課(1983)	
1360	70.2	23900	4.8	36.6	1.9	38.9	神戸市生活文化観光局(2004)	
2770	124.2	31500		30.5		60.8	神戸市生活文化観光局(2004)	
2520	140	29100		52			辻ら(1997)	
1409	133.1	19300	24	258.1	1.3	275.9	中央温泉研究所の分析結果	
1452	78.5	17390	38.8	245.3	3.6	46.2	中央温泉研究所の分析結果	
1101	1.3	15260	39.7	224.5	2.6	24.2	中央温泉研究所の分析結果	
3460	67.5	42200		85.4	5.7		神戸市生活文化観光局(2004)	
3460	84	42200		83.8			辻ら(1997)	
2605	58.9	30750	1.4	324	3.2	291.3	中央温泉研究所の分析結果	
2079	2.6	26810	4.8	144.6	2.9	99	中央温泉研究所の分析結果	
2166	34.5	26430	1.9	437.5	3.1	218.3	中央温泉研究所の分析結果	
2802	55.5	32070	8.8	180	3.5	231.5	中央温泉研究所の分析結果	

Table 3  
表 3

No. 温泉名	調査年月日	泉温 (°C)	湧出量 (ℓ/min)	pH	蒸発残留物 (g/kg)	陽イオン		
						Na <sup>+</sup> (mg/kg)	K <sup>+</sup> (mg/kg)	Mg <sup>2+</sup> (mg/kg)
8. 花の坊	1983/1/24	94.6		6.7		16110	2902	227.0
	1997	94.6		6.70		16100	2900	227
9. 銀泉	1946/7	56		5.6		2690	560	4
	1947/12	54		7.46				
	1948/8/31	54		5.8		10690	2631	19.1
	1953/8/5	58	16.0	6.0		10450	2620	46
	1956/3/28	56.0		5.6		2693	560	4.2
	1964/11	50.8		6.2	4.146	1274	266	3.5
	1989/9/20	45.8	5.2	6.1	1.78	328.9	11.73	4.0
	1999/1/26	42.3	4.4	5.9	1.94	673.9	105.6	2.0
	2006/12/5	18.3	0.5	6.6	2.03	612	137.2	4.5
	2007/7/26	32.5	7.4	6.7	2.14	650.5	136	4.8
	2008/5/29	32.6	0.797	6.8	2.04	607.5	139.3	4.9
2009/7/22	32.1	0.2	7.2	1.964	606	141.8	1.6	
10. 山内炭酸泉	2006/12/4	8.4	0.43	5.2	0.316	17.93	4.3	3.4
	2008/5/28	17.9		5.6	0.352	7.6	4.3	3.7
	2009/7/23	19		5.4	0.8	21.2	9.7	4.1
11. 神戸市炭酸泉	1983/10/17	18.2	27.5	4.9	0.16	34.5	3.9	2.0
	1989/9/20	18.3	25.1	5.0	0.13	18.4	0	2.0
	1998/8/27	18.6		4.7	0.2	16.1	3.9	2.0
	2006/12/5	19.1	11.3	4.6	0.211	14.48	2.4	1.7
	2007/7/26	19.4	15.1	4.6	0.271	18.3	2.5	6.1
	2008/5/28	19.5	14.9	4.8	0.352	19.3	3.7	4.5
	2009/7/22	19.4	9.8	4.7	0.275	17.2	2.7	1.6

Table 4 Summary of chemical analysis of hot- and  
表 4 明治および大正

名称	所在地	分析年	温度 (°C)	Na <sup>+</sup> (mg/kg)	K <sup>+</sup> (mg/kg)	Mg <sup>2+</sup> (mg/kg)	Ca <sup>2+</sup> (mg/kg)	Al <sup>3+</sup> (mg/kg)
有馬温泉	有馬町	1878(M11)年	38.3	5822.0	672.5	61.7	1049.6	5.9
有馬温泉 (一の湯)	有馬町	1881(M14)年	37.8	5798.5	672.5		1045.5	5.9
有馬鑛泉	有馬町字地獄谷	1888(M31)年		11.8	10.2		1.6	
有馬温泉	有馬町字地獄谷	1900(M33)年		48	6.8	2.0	34.3	
有馬池ノ坊 鑛泉	有馬町	1901(M34)年	47	17471.2	3948.5	43.5	3768.8	5.3
有馬温泉	有馬町	1901(M34)年		17350.3	4003.7	54.0	4083.9	10.6
有馬鑛泉	有馬町字乙倉谷山林	1903(M36)年		9283.6	633.7	27.4	1427.1	0.4
有馬温泉	有馬町字射場山麓	1921(T10)年	23.5	41.17	2.510	0.415	16.64	

※現在の源泉との同定は不可。

(Continued).

(続き).

Ca <sup>2+</sup> (mg/kg)	ΣFe (mg/kg)	陰イオン				溶存ガス		出典もしくは分析機関
		Cl <sup>-</sup> (mg/kg)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/kg)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg)	F <sup>-</sup> (mg/kg)	CO <sub>2</sub> (mg/kg)		
336.8	79.65	34600	0.98	84.04	1.90	52.37	神戸市経済局貿易観光課(1983)	
3370	73	34600		39			辻ら(1997)	
	3.3	5080	30	490		180	岡本(1954)	
1948.8	824	19940	0.96			408	岡本(1954)	
2437	105	23550	0	210.2		370.4	池田(1954)	
3740	140	19300	0	180		260	上月(1962)	
376	33.3	5081	32.9	498		179.6	神戸市経済局貿易観光課(1983)	
119	15.5	2312	35	374.0			神戸市経済局貿易観光課(1983)	
35.2	8.1	269	57.6	463.8	1.9	643.0	神戸市生活文化観光局(2004)	
51	10.8	915	110.5	311.2	5.7	659.0	神戸市生活文化観光局(2004)	
47.5	5	892	79.7	374	2.3	121	中央温泉研究所の分析結果	
65.9	0.9	937	84.7	370.4	2.4	41.8	中央温泉研究所の分析結果	
49.3	6.2	894	85.5	358.8	2.7	65.1	中央温泉研究所の分析結果	
47	1.6	870	84.5	321.6	2.4	19.8	中央温泉研究所の分析結果	
55.7	0.5	46	67.7	72	0.4	132.5	中央温泉研究所の分析結果	
88.9	0.1	9	83	185.3	0.2	210.4	中央温泉研究所の分析結果	
183.7	0.6	21	307.7	236.7	0.2	348.6	中央温泉研究所の分析結果	
8.5	2.7	21	38.4	54.9		1,260	神戸市生活文化観光局(2004)	
14.6	8.1	11	33.6	73.2		1,150	神戸市生活文化観光局(2004)	
21.9	2.7	21	52.8	24.4		1,000	神戸市生活文化観光局(2004)	
18.4	16.8	11	74.0	20.7	0.6	441.9	中央温泉研究所の分析結果	
17	16	12	77.1	44.5	0.7	1000	中央温泉研究所の分析結果	
25.1	22.9	13	107.2	42.7	1.1	927	中央温泉研究所の分析結果	
22.9	18.3	14	85.4	29.9	0.7	1,009	中央温泉研究所の分析結果	

mineral-waters of Arima Spa from the Meiji Era to Taisho Era.

期の温泉・鉱泉分析表.

NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/kg)	ΣFe (mg/kg)	Cl <sup>-</sup> (mg/kg)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/kg)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg)	Br <sup>-</sup> (mg/kg)	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (mg/kg)	CO <sub>2</sub> (mg/kg)	分析
5.0		11587.9	9.9	55.0	81.5	74.8		内務省衛生試験所 (1912)
	191.2	11400.6		512.1		75.3		内務省衛生試験所 (1912)
	12.3	18.3		47.4		37.3	1122.9	内務省衛生試験所 (1912)
	3.4	49.7	0.7	177.2		74.0	1198.6	内務省衛生試験所 (1912)
9.8	256.9	36722.9		1822.1	85.4	71.4		内務省衛生試験所 (1912)
11.1	282.0	37421.0		1544.9	85.4	1065.4		内務省衛生試験所 (1912)
10.8	6.8	17328.5		362.2	11.6	84.4	514.4	内務省衛生試験所 (1912)
	0.2	43.91	13.29	73.95		29.34	17.43	内務省衛生試験所 (1929)

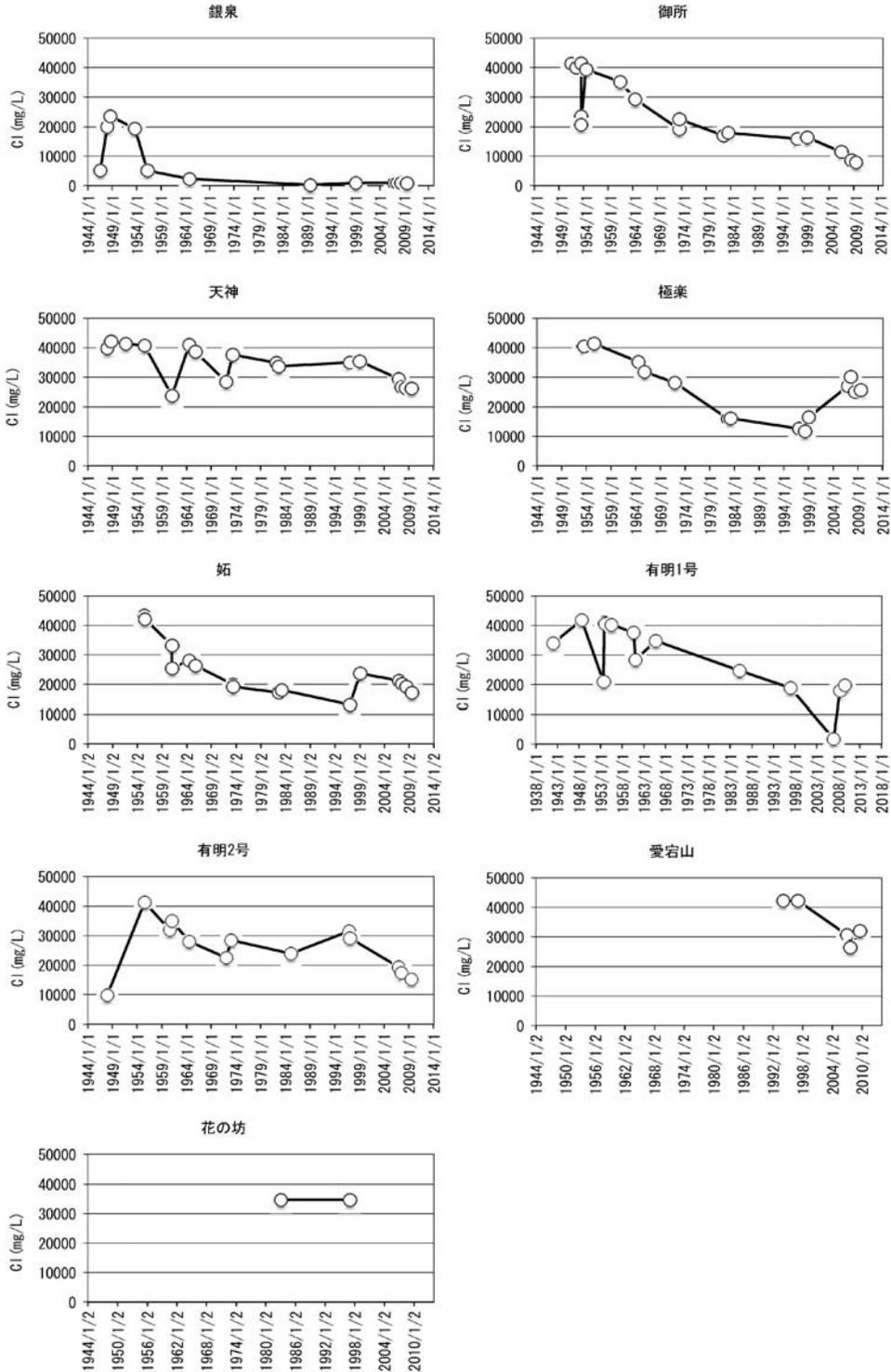


Fig. 12 Changes in chloride ion concentrations of several hot springs (Kinsen) within Arima Spa.

図 12 有馬温泉主要温泉 (金泉) の塩化物イオン濃度の推移.

については藤田ら (1987) および神戸市経済局貿易観光課 (1983) も指摘しているが、ガスリフトの揚湯管は 25 mm 程度と細く、源泉のケーシング管 (75 ~ 100 mm) との間に大きな隙間が空き、ガスを効果的に揚湯管に導くために、揚湯管の先端に揚湯管よりも太く、ケーシング管の内径よりも細めの管をつなぐのである。Photo 1 にその一例を示す。このラップ管の位置を調整することで、ガスリフトをより効果のあるものにしていく。

- ③ 金泉の他の特徴として、高濃度の溶存成分に加えて、二酸化炭素も多く含有することから、特に源泉孔内に炭酸カルシウムのスケールが沈殿しやすいこと、鉄分も多く含まれるために、湧出後には鉄分が酸化して温泉が赤褐色に濁ることがあげられる。前者のことは、ラップ管とケーシング管との間に適度な隙間を設け、ラップ管の拘束を防ぐ必要があることを示す。一方で、ラップ管の位置を調整することで、孔内へのスケール沈積を調整することも可能だという。
- ④ 前述の Fig. 10 において、神戸市炭酸泉の水位がおそらく降水に対応して高水位を示す時に、地下水の導電率が上昇する場合がある。同様の現象は、B 地区における地下水観測孔でも観測されている。通常であれば、降水に対応した水位上昇時には、導電率の低い降水の割合が多くなることで、導電率は低くなるはずであるのに、このように逆に導電率が高くなるのは、多量の鉄分を含む金泉が流動していた場所では鉄質沈殿物が生じていて、通常の地下水面より上位に降水が浸透することで、その地層中に沈積していた鉄質沈殿物が溶解することによると類推される。
- ⑤ 温泉水質に関しては、今回の建設工事に伴う成分変化は認められなかったが、経年的には主要成分の低濃度化が伺われた。しかし、明治期に行われた温泉の分析結果と現在の有馬温泉の分析結果とを比較すると成分濃度に大きな差異はないこと、泉源の掘削が行われた戦後間もない頃の温泉が、より濃縮された高濃度の性状を示していた可能性も考えられることから、ただちに有馬温泉における過剰採取状態を示しているとは断定できないと思われる。



Photo 1 Form of Rappa-kan (which means "trumpet like pipe").

写真 1 ラップ管の形状。

## 6. おわりに

今回のホテル建設工事前後の状況を比較した写真を Photo 2 に示した。写真から読み取れるように、比較的大規模な建設工事であり、そのほぼ中心に近いところに山内炭酸泉があるものの、それへの影響はほぼ皆無であった。むしろ、屋根部に降った降水を積極的に地下浸透させる工事を行ったことが功を奏し、山内炭酸泉の状況は良好な (高水位の) 状態を維持しているようである。また、周辺の金泉、銀泉にも影響は確認されなかった。なお、松田 (2007) がホテル工事による行く末を心配していた「泉を科学す」の石碑は、原状のままに保存された山内炭酸泉の前に、大切に据え付けられている。

建設工事による影響監視という点では、今回のケースは当事者同士の話し合いの場に第三者の有識者が加わった協議機関 (有馬温泉泉源保護協議会) を設けたことで、温泉への影響を監視しつつ、



Photo 2 Comparison of landscape before and after hotel construction.

写真 2 調査地域のホテル建設前後の比較.

影響が生じない工法を検討・採用することが可能となり、温泉への影響がないスムーズな工事の進捗にも寄与できたものと確信している。特に、施設建設事業者と温泉関係者との間での情報交換と、その情報（影響監視のための観測結果を含む）に基づく温泉への影響に関する協議の場が設けられたことの意義が大きい。この泉源保護協議会は、2008年春に第1回を開催して以降、2010年11月まではほぼ月1回開催し、2011年2月に第34回を開催している。今後、他地域において同様の事態が発生した場合には、今回の有馬温泉の事例が参考になるものと思われる。

## 謝 辞

本調査の実施に当たって、計3件のホテル建設と有馬温泉との共生を協議する場となった有馬温泉泉源保護協議会の関係者の皆様、同協議会の会長であり、NPO シンクタンク京都自然史研究所理事長の西村 進先生、ホテル建設発注者および受注者である東急不動産担当者および大成建設(株)現地事務所の方々、今回の調査対象源泉の所有者である神戸市の担当者、神戸市営源泉の管理を行っている(株)有馬温泉企業の皆様には、源泉状況の理解に関して多くのご指導とご助言を賜り、かつ種々のご協力を頂いた。これらの方々には深甚の謝意を申し上げる。

## 引用文献

- 藤田和夫, 笠間太郎 (1982): 地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅「大阪西北部地域の地質」, 地質調査所, 筑波.
- 藤田和夫, 笠間太郎 (1983): 地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅「神戸地域の地質」, 地質調査所, 筑波.
- 藤田和夫, 鶴巻道二, 西村 進, 平野昌繁 (1987): 東六甲周辺と有馬温泉. 日本地質学会 94 年学術大会見学旅行案内書, 197 p.
- 福田 理 (1985): 日本にもあった? リチウム資源～有馬温泉の地質と地球化学～. 地質ニュース, **372**, 29-51.
- 池田長生 (1954): 有馬温泉に関する二, 三の知見—有明湯. 新温泉, 本温泉の化学組成, 特に稀アルカリ金属元素の含有量について—, 有馬温泉の研究, 67-71, 炭酸温泉科学研究所, 神戸.
- 神戸市経済局貿易観光課 (1983): 有馬温泉泉源調査報告書. 株式会社ダイヤコンサルタント, 昭和 58 年 2 月.
- 神戸市生活文化観光局 (2004): 有馬地区の温泉開発に関する資源調査報告書. 株式会社ダイヤコンサルタント, 平成 16 年 3 月.
- 厚生省大臣官房国立公園部 (1954): 日本鉱泉誌. 505-506, 青山書院, 東京.
- 上月順治 (1962): 有馬温泉の研究. 122 p., 日本書院, 東京.
- 益子 保, 大塚晃弘, 高橋孝行, 安藤 大 (2011): 有馬温泉炭酸泉の湧出に関わる射場山断層. 温泉科学, **61**, 33-48.
- 松葉谷治, 酒井 均, 鶴巻道二 (1974): 有馬地域の温泉, 鉱泉の水素と酸素の同位体比について. 岡山大学温研報告, 第 43 号, 15-28.
- 松田准一 (2007): 幻の「地球化学発祥の碑」(実は「泉を科学す」の碑)の顛末記, 日本地球化学会ニュース, No. 190, p.16-20
- 三宅泰雄, 北野 康, 猿橋勝子, 多賀光彦, 坪田博行 (1954), 有馬温泉の化学的研究 (第 3 報) —化学成分相互の関係—, 有馬温泉の研究, 29-36, 炭酸温泉科学研究所, 神戸.
- 内務省衛生試験所 (1912): 衛生試験所彙報, 第 12 号, 185-189.
- 内務省衛生試験所 (1929): 衛生試験所彙報, 第 34 号, 180.
- Nakamura, H. and Maeda, K. (1961): Thermal Waters and hydrothermal activities in Arima hot spring area, Hyogo Prefecture. Bulletin of the Geological Survey of Japan, **12**, 489-497.
- 西村 進 (2009): 有馬温泉の金泉はどんな温泉? KOBECOCO (vol. 570, 特集: 有馬の温泉力, 10-11, 神戸っ子出版, 神戸市).
- 西村 進, 桂 郁雄, 西田潤一 (2006): 有馬温泉の地質構造. 温泉科学, **56**, 3-15.
- 岡本夏男 (1954): 有馬温泉郷の泉質について. 有馬温泉の研究, 72-80, 炭酸温泉科学研究所, 神戸.
- 辻 治雄, 山崎良行, 栗野則男, 茶山健二, 寺西 清, 磯村公郎, 市橋啓子 (1997): 有馬温泉に湧出する有馬型温泉水の水質に関する研究—主溶存成分及び微量溶存成分について—. 温泉科学, **47**, 1-13.
- 鶴巻道二 (1964): 神戸市有馬温泉に関する地質及び泉源調査報告書, 第 2 部, 有馬温泉の泉源について. 神戸市経済局, 47 p.

日本温泉科学会第 64 回大会にて一部口頭発表した.