



## 国東半島の温泉

大 上 和 敏<sup>1)</sup>

(令和 4 年 11 月 15 日受付, 令和 4 年 11 月 29 日受理)

### Hot Spring on the Kunisaki Peninsula

Kazutoshi OUE<sup>1)</sup>

#### Abstract

Ninety-four hot spring wells have been drilled in the northern region of Oita Prefecture (the cities of Nakatsu, Usa, Bungotakada, and Kunisaki). Water from 34 of these hot spring wells was sampled and chemically analyzed. Of these 34 wells that were studied, 2 were cold springs, 3 were warm springs, 13 were hot springs in the narrow sense, and 16 were extra hot springs. Fifteen were saline springs and 19 were simple springs. In terms of chemical composition, all but one of the simple springs in the City of Nakatsu were sodium bicarbonate springs, the saline springs in the southern part of the City of Usa were sodium chloride springs, the saline springs in the northern part of the City of Usa and the western part of the City of Bungotakada were sodium bicarbonate springs, and the saline springs in the cities of Bungotakada and Kunisaki were calcium-sulfate springs.

Key words : Nakatsu City · Usa City · Bungotakada City, Oita prefecture, Na-Cl type thermal water, Na-HCO<sub>3</sub> type thermal water

#### 要 旨

大分県北部地域(中津市, 宇佐市, 豊後高田市および国東市)に掘削されている 94 井の温泉井のうち, 34 井について温泉水を採取し, 化学分析を行った。調査を行った温泉は, 冷鉱泉が 2 井, 低温泉が 3 井, 温泉が 13 井, 高温泉が 16 井であり, 泉質では 15 井が塩類泉, 19 井が単純泉であった。化学組成でみると, 中津市に湧出する単純泉は 1 井を除き全てナトリウム-炭酸水素型, 宇佐市南部の塩類泉はナトリウム-塩化物泉, 宇佐市北部および豊後高田市西部の塩類泉はナトリウム-炭酸水素塩泉, 豊後高田市および国東市の塩類泉はカルシウム-硫酸塩泉であった。

キーワード : 大分県中津市 · 宇佐市 · 豊後高田市 · 国東市, Na-Cl 型熱水, Na-HCO<sub>3</sub> 型熱水

<sup>1)</sup>大分大学教育学部 〒870-1192 大分市大字旦野原 700 番地. <sup>1)</sup>Faculty of Education, Oita University. E-mail kazuoue@oita-u.ac.jp, TEL & FAX 097-554-7302.

## 1. はじめに

県北地域には、中津市に54井、宇佐市に23井、豊後高田市に12井、国東市に5井の温泉の合計94井の源泉が存在している（大分県鉱泉誌，2006）。この地域の温泉については、山下、北岡らにより1950年から1989年にかけて報告がされており、近年は大上ほかにより、[1] 中津市の温泉は、平均泉温が39.1℃と比較的低く、冷鉱泉の1か所を除けば全て総塩分量1000mg/L以下の単純泉で、陽イオンとして $\text{Na}^+$ 、陰イオンとして $\text{HCO}_3^-$ に卓越した温泉が湧出していること、[2] 宇佐市の温泉は、平均泉温が43.6℃と比較的高く、この地域の塩類泉は、ナトリウム・マグネシウム—炭酸水素塩泉、ナトリウム—塩化物泉、ナトリウム—塩化物・炭酸水素塩泉の3種類が存在すること、[3] 豊後高田市・国東市の温泉は、平均泉温が38.5℃で、塩類泉の化学組成はナトリウム・マグネシウム—炭酸水素塩泉、カルシウム—硫酸塩泉等6種類の泉質がみられることが報告されている（山下，1954；志賀ほか，1982；北岡ほか，1989；北岡ほか，1990；大上ほか，2017；大上ほか，2018；大上ほか，2019）。

本研究では、平成28年度から平成30年度に行った、中津市、宇佐市、豊後高田市、国東市の温泉調査を総括し、県北地域の温泉の現況について報告を行う。

## 2. 試料採取および測定方法

本研究において検討を行った温泉の位置をFig. 1に示す。中津市、宇佐市、豊後高田市および国東市には94井の源泉が存在しており、現地調査を行ったところ、泉温の低下や温泉の枯渇等の理由で現在使用されていない源泉（閉止孔）が34井であった（Fig. 1）。本研究では、閉止孔等を除く60井について源泉からの温泉水試料を採取することができた34源泉について検討を行った。

現地で気温、水温（AS ONE, ASF-250T）、pH（HORIBA COMPACT, B-212）、電気伝導度（東亜DKK, CM-31P）を測定した後、500mLポリエチレン製ボトルおよび、ガスバリア性に優れたニッコー製テクノボトルに温泉水試料を採取した。

温泉水の分析では、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ についてはイオンクロマトグラフィー（DIONEX社製ICS-1500）で、 $\text{SiO}_2$ はモリブデン酸黄色法による吸光光度法でそれぞれ分析を行った。 $\text{HCO}_3^-$ はpH4.3アルカリ度法により値を求めた。

## 3. 結果および考察

### 3.1 泉温について

Fig. 2に本調査地域の温泉の泉温を、表1に各温泉の掘削深度と泉温を示す。全体的な傾向として、県北地域の温泉は半数以上が冷鉱泉から温泉（狭義）であり、高温泉も多くが45℃以下の比較的低温度の低い温泉であった。温泉の掘削深度は、最も浅いもので宇佐市のUS-10の200m、最も深い井戸で中津市のNK-1の1500mであり、多くの源泉が掘削深度500~700mであった。以下、それぞれの地域ごとに泉温の状況を記載する。

中津市の温泉の掘削深度は、最も浅いもので160m、最も深い井戸で1500mであり、多くの源泉が500~800mである。1990年頃まで、耶馬溪町の温泉は掘削深度が500mを越える源泉は少ないとされているが、近年の掘りかえ等により深度が500mを越える源泉もみられる（北岡ほか，1989）。

平均泉温は39.1℃で、NK-2のみ19.2℃の冷鉱泉、NK-1が低温泉、NK-4、NK-7、NK-9、NK-11、NK-136井が42~25℃の温泉（狭義）、NK-3、NK-5、NK-6、NK-8、NK-10、NK-12、NK-15の7井が

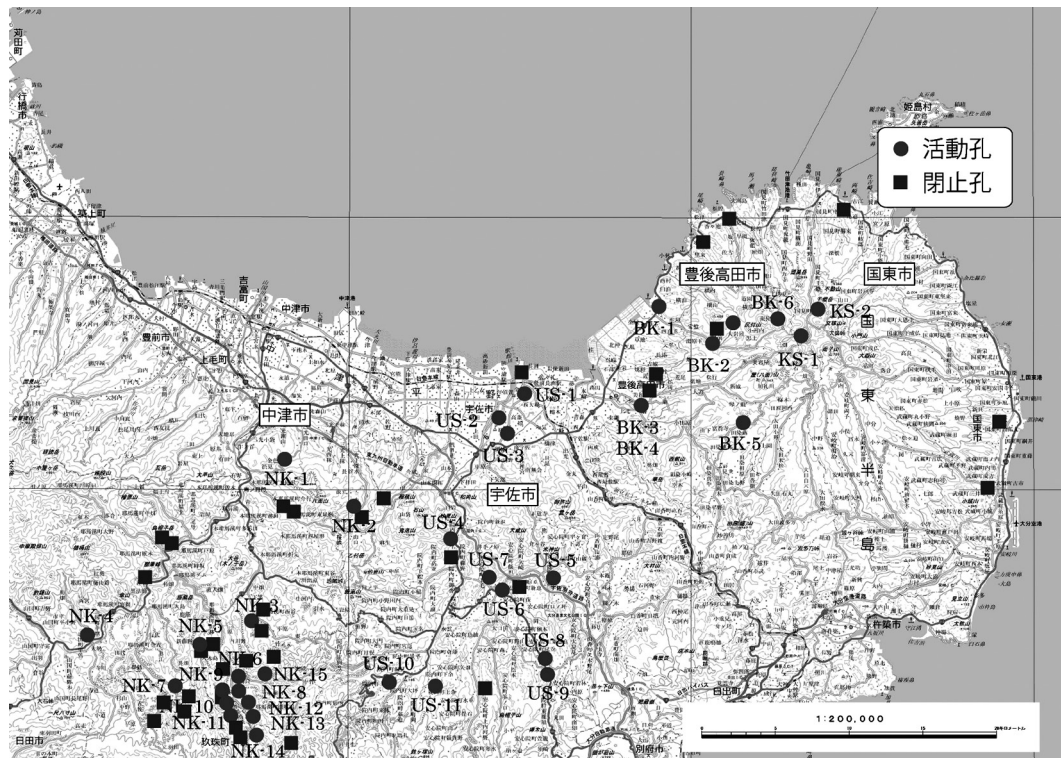


Fig. 1 Localities of springs investigated in this study.

図 1 調査地点の概略図 (国土地理院 20 万分の 1 地形図を改変)

泉温 42℃ 以上の高温泉である (Fig. 2)。深層熱水型温泉は、掘削深度が深くなるに伴い泉温が高くなるのが一般的であるが、中津市の温泉については、両者の間に明瞭な正の相関関係はみられない。

宇佐市の温泉は、掘削深度が最も浅いもので 200 m、最も深い井戸で 700 m であり、多くの源泉が 500~700 m である。泉温については、US-6 のみ 23.1℃ の冷鉱泉、US-1、US-2 および US-7 が温泉 (狭義) で他の源泉は全て泉温 42℃ 以上の高温泉であった (Fig. 2)。中津市では掘削深度が 500 m を越える井戸が少なかったが、宇佐市の温泉は掘削深度が 500 m を越える井戸が比較的多く、平均泉温も 43.6℃ と中津市の温泉より 4℃ 程度高めであった。また、宇佐市の地温勾配は大分市よりやや低い 5.1℃/100m であるとされており (北岡ほか, 1989)、この地温勾配の値と掘削深度からみると、US-6 はかなり低く、US-11 は高めの泉温となっていた。

豊後高田市・国東市の温泉は、掘削深度 350~1200 m とかなり広範囲にわたる。泉温については、8 井中、2 井が高温泉、4 井が温泉、2 井が低温泉に分類される。この地域において最も泉温が高かったのは BK-6 の源泉で 56.5℃、一方最も低いものは BK-4 の源泉で 25.1℃ であった。豊後高田市・国東市の温泉の平均泉温は 38.5℃ であり、宇佐市よりも 4℃ 程度低く、中津市とほぼ同じであった。一般的に非火山性温泉では、地温勾配により、掘削深度が大きくなるごとに泉温が上昇していくといった比例関係がみられる。本調査域の温泉については、最も掘削深度の大きい BK-6 が掘削深度 1200 m で 56.5℃ であり、掘削深度と泉温との相関係数を計算したところ  $r^2=0.752$  であることより、両者の若干の比例関係を伺うことができる。

Table 1 Well depths and temperatures of spring waters investigated in this study.

表 1 掘削深度と泉温

(中津市の温泉)			(宇佐市の温泉)			(豊後高田市・国東市の温泉)		
No.	掘削深度 [m]	泉温 [°C]	No.	掘削深度 [m]	泉温 [°C]	No.	掘削深度 [m]	泉温 [°C]
NK-1	1500	28.0	US-1	500	39.3	BK-1	500	38.4
NK-2	—	19.2	US-2	700	36.2	BK-2	350	37.4
NK-3	800	45.0	US-3	—	44.9	BK-3	600	30.9
NK-4	500	36.1	US-4	600	44.3	BK-4	-	25.1
NK-5	735	44.2	US-5	700	47.4	BK-5	700	42.7
NK-6	500	47.4	US-6	600	23.1	BK-6	1200	56.5
NK-7	450	36.3	US-7	750	41.0	KS-1	880	37.2
NK-8	—	42.0	US-8	—	44.4	KS-2	-	39.6
NK-9	160	40.2	US-9	600	51.0			
NK-10	—	42.6	US-10	200	47.1			
NK-11	—	38.4	US-11	600	60.9			
NK-12	500	45.1						
NK-13	—	38.0						
NK-14	400	41.4						
NK-15	500	43.2						

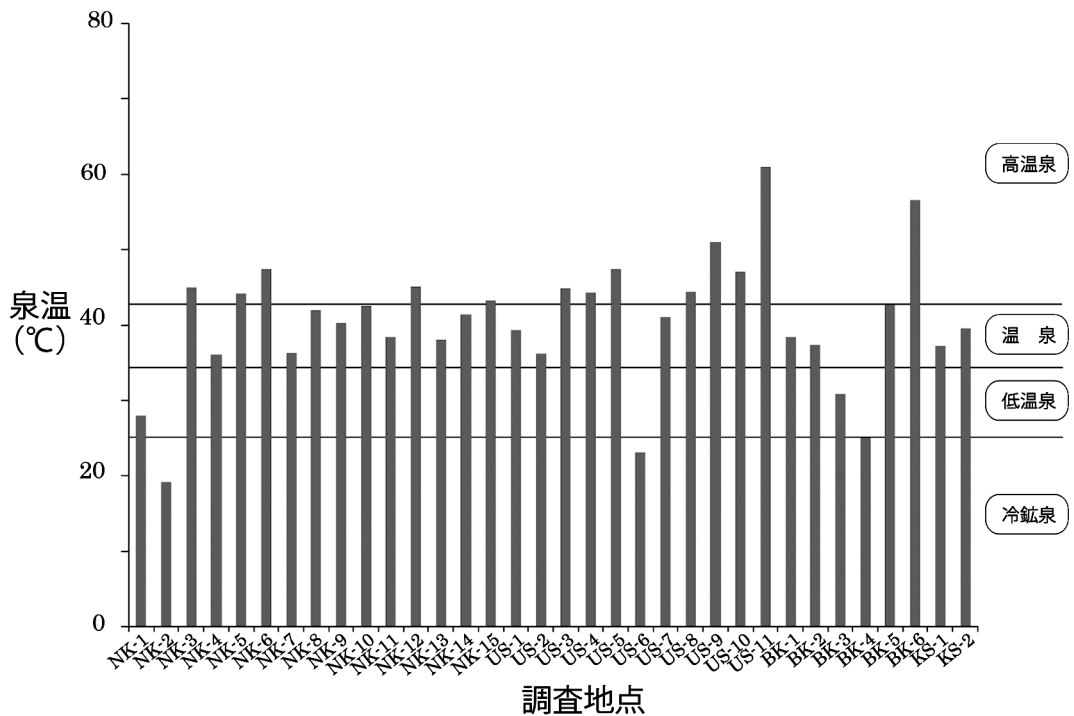


Fig. 2 Temperatures of spring waters investigated in this study.

図 2 各源泉の泉温

### 3.2 温泉水の化学組成について

今回調査を行った温泉は、弱アルカリ性泉が 20 井、中性泉が 13 井、弱酸性泉は NK-1 の 1 井のみであった。全体的な傾向として中津市には中性泉が多く、宇佐市の温泉は中性泉と弱酸性泉の両方があり、豊後高田市・国東市は中性泉が多く湧出していた。温泉水の主要溶存化学成分量の総量値 (TDS) については、中津市の 1 源泉、宇佐市の 7 源泉、豊後高田市・国東市の 7 源泉の合計 15 源泉が TDS1000mg/L 以上の塩類泉で、それ以外の 19 源泉が単純泉であった (Fig. 3)。地域的には、中津市には単純泉が多く、宇佐市と豊後高田市の西部に高塩濃度の温泉が湧出する傾向がみられた (Fig. 3)。大分県北部地域の温泉は、範囲が広域かつ離散的で、水質に大きな違いがあるとされている (北岡ほか, 1989)。今回検討を行った 34 源泉についても、TDS の値にこの傾向がみてとれる。以下、それぞれの地域ごとに温泉水の泉質の特徴について記載する。

中津市の温泉の液性は、NK-2 の冷鉱泉のみ弱酸性で、その他は全て pH7.3~8.6 と中性~アルカリ性温泉である。また、深層熱水型温泉の特徴を示す黄褐色を呈している温泉もみられる。温泉水の TDS についてみると、この地域の温泉水は TDS が 1000mg/L 以上の塩類泉は NK-2 の冷鉱泉 1 井のみであり、他はすべて 1000mg/L 未満の単純泉である (Fig. 3)。北岡らの調査でも、この地域の温泉は全体的に低濃度の温泉が多く、犬丸川と伊呂波川の上流域付近のみ高濃度の温泉の湧出していることが報告されており、その結果とも整合的である。

温泉水の化学成分では、NK-2 以外の全ての単純泉において、陽イオンとして卓越する成分はナ

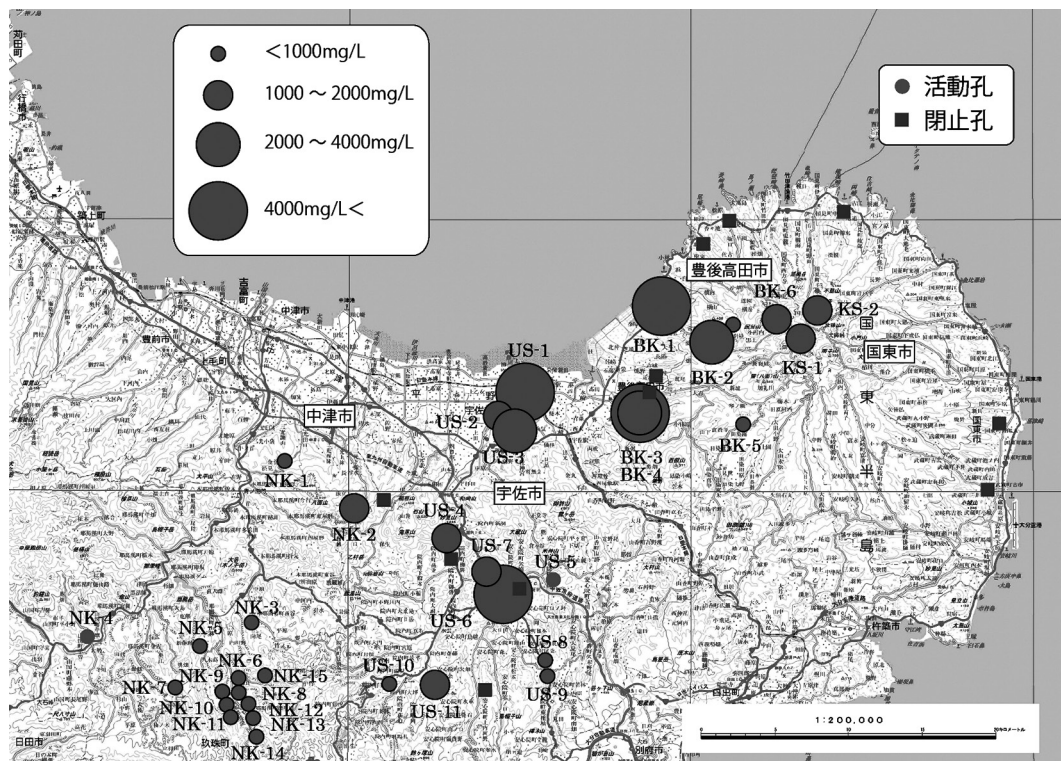


Fig. 3 TDS (Total Dissolved Solids) of spring waters investigated in this study.

図 3 総塩分の総量値 (TDS) の分布

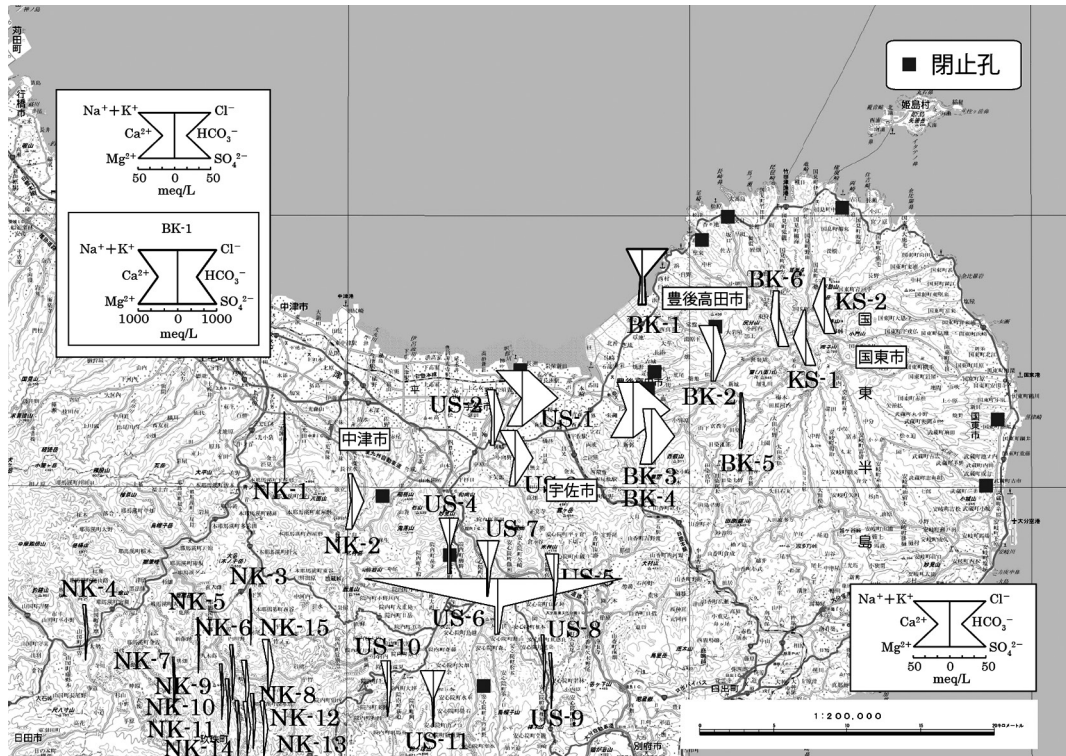


Fig. 4 Chemical compositions of spring waters investigated in this study.

図 4 調査地点ごとの温泉水の化学組成

トリウムイオンであり、陰イオンとしては炭酸水素イオンである (Fig. 4). NK-2 の塩類泉のみ他の温泉とは異なっており、ナトリウムイオンとマグネシウムイオンがともに高く、炭酸水素イオンも今回調査を行った温泉の中で最も高い濃度値を示している (Fig. 4).

宇佐市の温泉の液性は、US-5, US-6, US-8, US-9, US-10 が pH7.9~9.1 の弱アルカリ性~アルカリ性温泉で、その他は全て pH6.3~7.1 の中性温泉であった。温泉水の TDS についてみると、US-5, US-8, US-9, US-10 の 4 源泉以外は、すべて TDS 値が 1000 mg/L を越える塩類泉で、中でも US-6 は 10000 mg/L 以上と溶存化学成分の濃度が非常に高い温泉水であった。US-5 については、2003 年は TDS の値が 1800 mg/L 以上の塩類泉であったが、今回の調査時では、TDS の値が 827 mg/L と大きく低下して単純泉になっていた (大分県, 2006)。大分県北部地域の温泉は、範囲が広域かつ離散的で、水質に大きな違いがあるとされている (北岡ほか, 1989)、今回調査を行った 11 井についても、TDS の値にこの傾向がみとれる。

温泉水の化学成分では、US-1~US-3 は、ナトリウム・マグネシウム-炭酸水素塩泉、US-4, US-6 および US-11 は、ナトリウム-塩化物泉 (US-6 は、ナトリウム-塩化物強塩泉)、US-7 は、ナトリウム-塩化物・炭酸水素塩泉といったように、塩類泉の化学組成は様々な種類がみられた (Fig. 3)。一方で単純泉については、US-5, US-8 および US-9 が、ナトリウム-塩化物・炭酸水素塩型、US-10 がナトリウム・マグネシウム-炭酸水素塩型であった。

県北地域の温泉水の全般的な特徴として、陰イオンで  $\text{HCO}_3^-$  に卓越し、 $\text{SO}_4^{2-}$  をほとんど含まな

い温泉水が多いこと、陽イオンでは $\text{Na}^+$ 成分に卓越しているとされている(北岡ほか, 1989)。中津市の温泉は、全体的に $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型の単純泉が多かったが、宇佐市の温泉水は、この傾向とは異なり、高濃度の $\text{Cl}^-$ を含むものや、 $\text{Mg}^{2+}$ に富むものなど様々な水質がみられた。北部地域には、 $\text{Na}-\text{HCO}_3$ 型、 $\text{Na}-\text{Cl}$ 型、そして、陽イオンとしてアルカリ土類金属に富む3種類の水質の温泉水が存在するとされており(北岡ほか, 1989)、今回採取した温泉水はこれら3種類の水質のタイプに全て当てはまる。

豊後高田市・国東市の温泉水の液性は、BK-6とKS-2のみ弱アルカリ性温泉で、そのほかの温泉はすべて中性泉であった。温泉水のTDSでは、BK-5以外はすべて1000 mg/L以上の塩類泉であった。中でもBK-1はTDS 40,000 mg/Lと非常に高い値であった(Fig. 3)。

この地域の温泉水の化学組成は、多種類に及んでおり、BK-1はナトリウム・マグネシウム—塩化物泉、BK-2はナトリウム—炭酸水素・塩化物泉、BK-3はマグネシウム・ナトリウム—炭酸水素塩泉、BK-4はマグネシウム・ナトリウム・カルシウム—炭酸水素塩泉、BK-6はカルシウム・ナトリウム—硫酸塩泉、KS-1とKS-2はカルシウム—硫酸塩泉であった(Fig. 4)。

県北地域の温泉水の全般的な特徴として、陰イオンで $\text{HCO}_3^-$ に卓越し、 $\text{SO}_4^{2-}$ をほとんど含まない温泉水が多いこと、陽イオンでは $\text{Na}^+$ 成分に卓越しているとされている(北岡ほか, 1989)。2018年に調査を行った宇佐市の温泉水についても、高濃度の塩化物イオンを含むものや、マグネシウムイオンに富むものなど様々な水質がみられ、今回調査を行った豊後高田市の温泉水は宇佐市以上に様々な化学組成の温泉水が湧出していた。国東市の温泉の特徴としては、国東半島に湧出する温泉水の中で、特異的にカルシウム—硫酸型の温泉が湧出しているとされており(北岡ほか, 1990)、今回調査を行ったKS-1およびKS-2にもその特徴がみられた。

#### 4. ま と め

大分県北部地域の温泉について大分県鉱泉誌の既存データおよび平成28年～30年に行った調査結果に基づいて検討を行った結果、次の事が明らかとなった。

- (1) 大分県鉱泉誌に掲載されている中津市、宇佐市、豊後高田市および国東市の泉源94井のうち34井が枯渇もしくは現在使用されていない状況であった(大分県鉱泉誌, 2006)。
- (2) 県北地域の温泉の平均泉温は40.4℃であり、その内わけは冷鉱泉が2井、低温泉が3井、温泉(狭義)が13井、高温泉が16井であった。
- (3) 県北地域の温泉は、15井が塩類泉で、19井が単純泉であり、中津市には単純泉が多く、宇佐市、豊後高田市および国東市に塩類泉が多い傾向であった。
- (4) 中津市に湧出する単純泉は全てナトリウム—炭酸水素型であり、宇佐市南部の塩類泉はナトリウム—塩化物泉、宇佐市北部および豊後高田市西部の塩類泉はナトリウム—炭酸水素塩泉、豊後高田市および国東市の塩類泉はカルシウム—硫酸塩泉であった。

#### 引用文献

- 大分県温泉調査研究会編(2006), 大分県鉱泉誌 第2集。  
 大分県温泉調査報告 温泉分析書(2017), 大分県自然保護推進室。  
 大上和敏, 西田翔一(2017), 中津市の温泉の現況調査, 大分県温泉調査研究会報告, 68, 9-16。  
 大上和敏, 豊田幸歩(2018), 宇佐市の温泉の現況調査, 大分県温泉調査研究会報告, 69, 3-10。  
 大上和敏, 中島美葵(2019), 豊後高田市, 国東市の温泉の現況調査, 大分県温泉調査研究会報告, 70, 3-9。

北岡豪一, 川野田實夫, 葛城啓子, 大石郁朗, 由佐悠紀 (1989), 県北地域 (下毛郡, 宇佐郡, 宇佐市) の温泉調査, 大分県温泉調査研究会報告, 40, 1-14.

北岡豪一, 由佐悠紀, 川野田實夫 (1990), 国東半島の温泉調査, 大分県温泉調査研究会報告, 41, 1-6.

山下幸三郎 (1954) 大分縣山國村温泉調査報告. 大分県温泉調査研究会報告, 5, 7-15.

志賀史光, 川野田實夫, 江口芳彦 (1982) 国東半島の温鉱泉の化学組成. 大分県温泉調査研究会報告, 33, 77-80.