

大分県北部地域の温泉について

大分大学教育学部教授（九州環境管理協会 理事） 大上 和敏

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 3 井、低温泉が 2 井、狭義の温泉が 13 井、高温泉が 16 井であり、泉質では 15 井が塩類泉、29 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。

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¹⁾。この地域の温泉については、山下、志賀ら、北岡らにより 1950 年から 1989 年にかけて報告がされており^{2)~4)}、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 Na^+ 、陰イオンとして 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^{5)~8)}。

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図 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(図 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、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 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、 SiO_2 はモリブデン酸黄色法による吸光度法でそれぞれ分析を行った。 HCO_3^- は pH4.3 アルカリ度法により値を求めた。

3. 結果

3.1 泉温について

図 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。

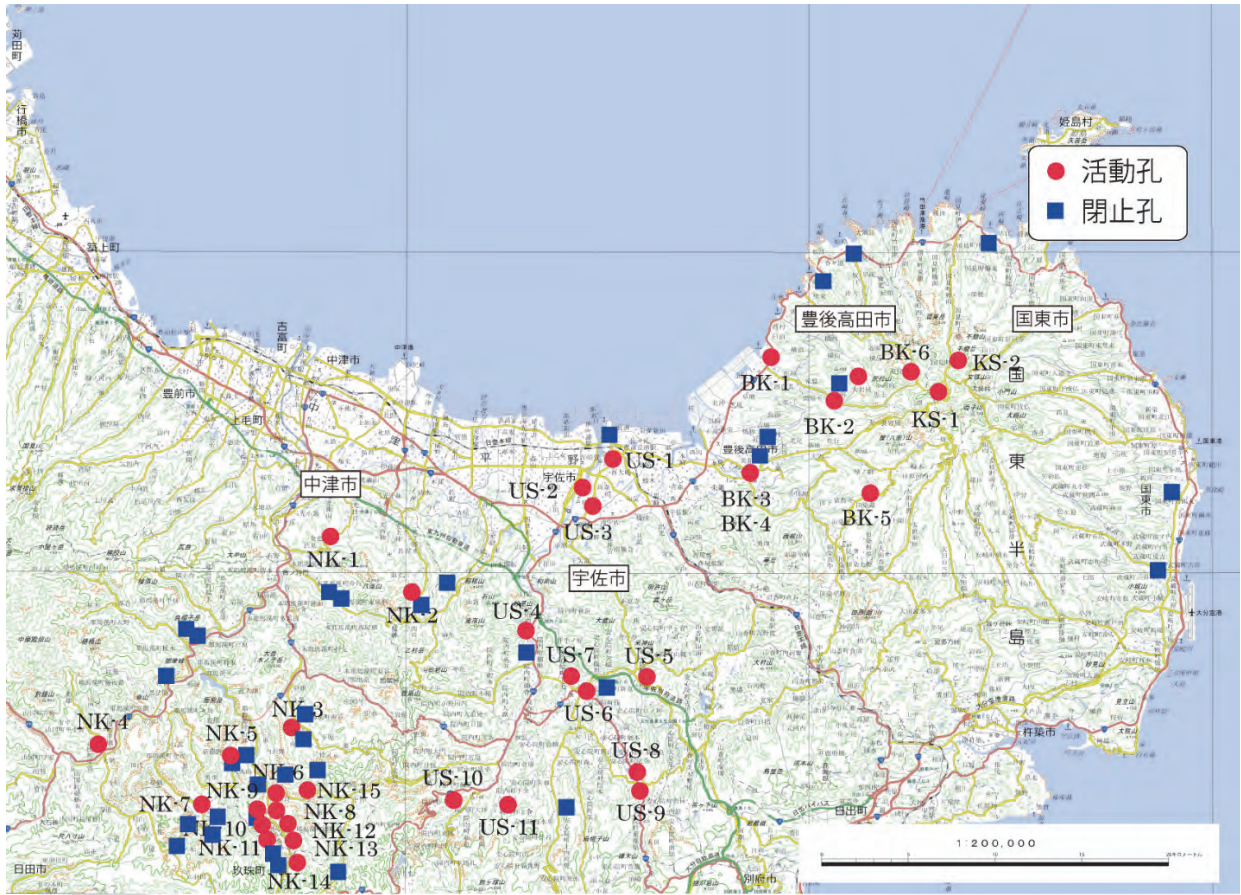


図 1 調査地点の概略図(国土地理院20万分の1地形図を改変)

(1) 中津市の温泉

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⁶⁾。

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-13、NK-14 の 6 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 井が泉温 42℃以上の高温泉である(図 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。



写真 1 NK-5 とろろの湯

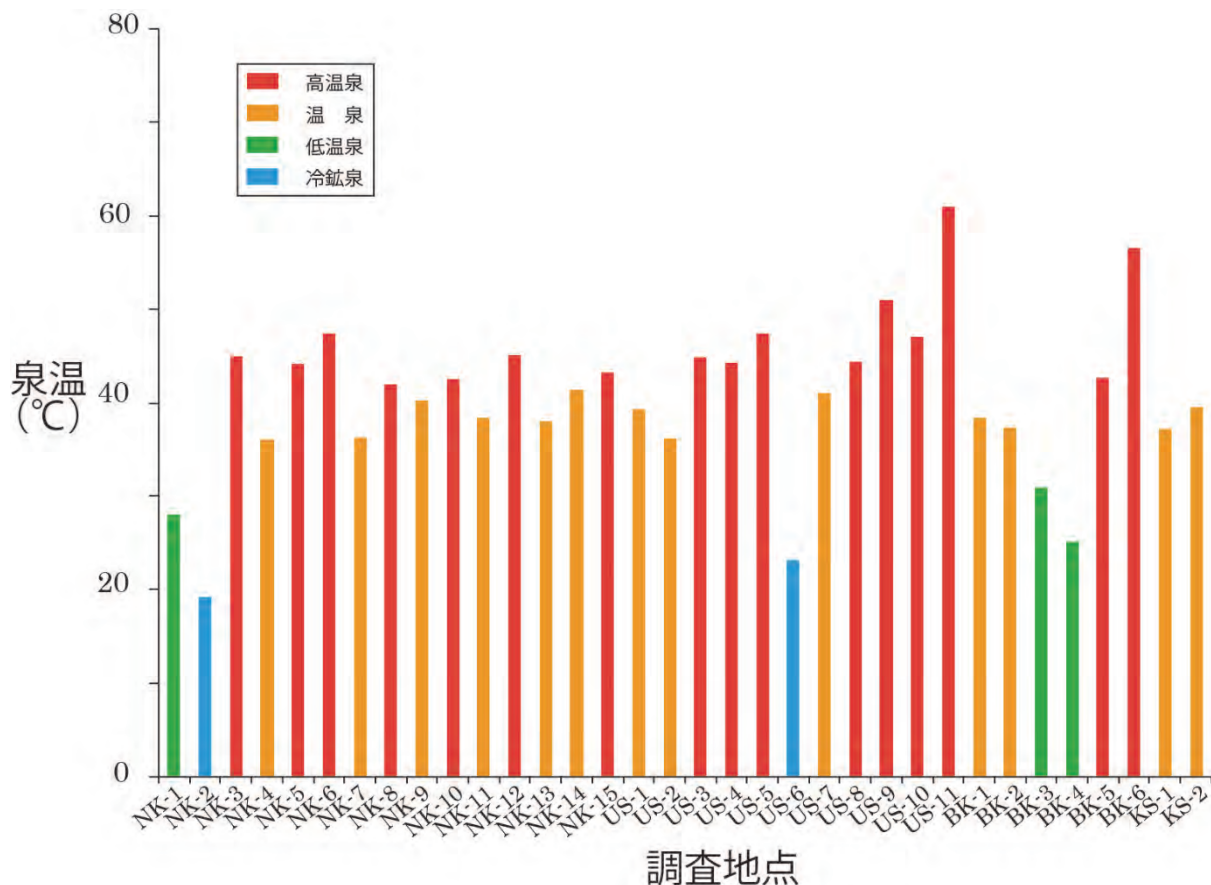


図2 各源泉ごとの泉温

表1 掘削深度と泉温

(中津市の温泉)

No.	掘削深度 [m]	泉温 [°C]
NK-1	1500	28.0
NK-2	—	19.2
NK-3	800	45.0
NK-4	500	36.1
NK-5	735	44.2
NK-6	500	47.4
NK-7	450	36.3
NK-8	—	42.0
NK-9	160	40.2
NK-10	—	42.6
NK-11	—	38.4
NK-12	500	45.1
NK-13	—	38.0
NK-14	400	41.4
NK-15	500	43.2

(宇佐市の温泉)

No.	掘削深度 [m]	泉温 [°C]
US-1	500	39.3
US-2	700	36.2
US-3	—	44.9
US-4	600	44.3
US-5	700	47.4
US-6	600	23.1
US-7	750	41.0
US-8	—	44.4
US-9	600	51.0
US-10	200	47.1
US-11	600	60.9

(豊後高田市・国東市の温泉)

No.	掘削深度 [m]	泉温 [°C]
BK-1	500	38.4
BK-2	350	37.4
BK-3	600	30.9
BK-4	-	25.1
BK-5	700	42.7
BK-6	1200	56.5
KS-1	880	37.2
KS-2	-	39.6

(2) 宇佐市の温泉

宇佐市の温泉は、掘削深度が最も浅いもので 200m、最も深い井戸で 700m であり、多くの源泉が 500～700m 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(図 2)。中津市では掘削深度が 500m 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 500m 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℃であるとされており⁷⁾、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。



写真 2 US-2 はちまんの郷

豊後高田市・国東市の温泉は、掘削深度 350～1200m 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 1200m 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。



写真 3 BK-6 夷谷温泉

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 29 源泉が単純泉であった(図 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(図 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おり⁷⁾、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。

(1) 中津市の温泉

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～弱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 以下の単純泉である(図 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⁷⁾。



写真 4 NK-6 もみじの湯

単純泉において、陽イオンとして卓越する成分はナ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(図 4)。NK-2 の塩類泉のみ他の温泉とは異っており、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(図 4)。

(2) 宇佐市の温泉

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 1000mg/L を越える塩類泉で、中でも US-6 は 10000mg/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 1800mg/L 以上の塩類泉であったが、今回の調査時では、TDS の値が 827mg/L と大きく低下し

て単純泉になっていた⁹⁾。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おり⁷⁾、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てとれる。

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(図 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。



写真 5 US-7 安心院温泉家族旅行村

県北地域の温泉水の全般的な特徴として、陰イオンで HCO_3^- に卓越し、 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 Na^+ 成分に卓越しているとされている⁶⁾。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 Cl^- を含むものや、 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⁶⁾、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。

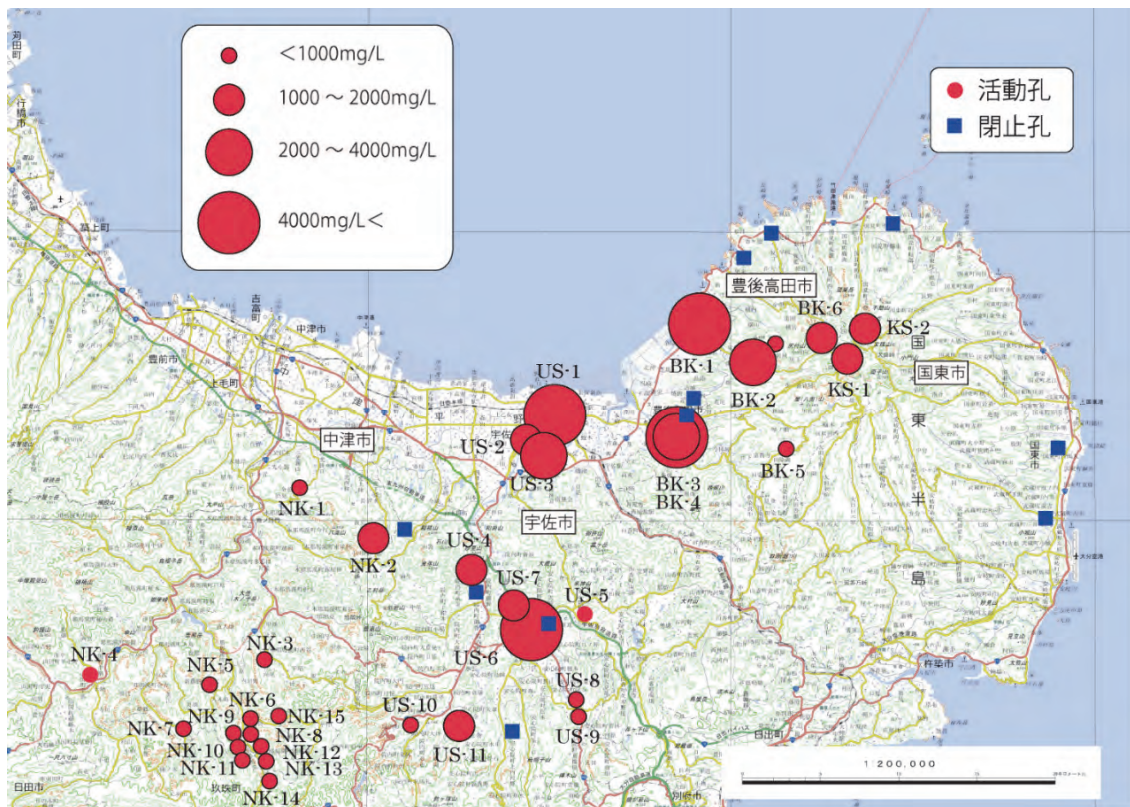


図3 総塩分の総量値(TDS)の分布

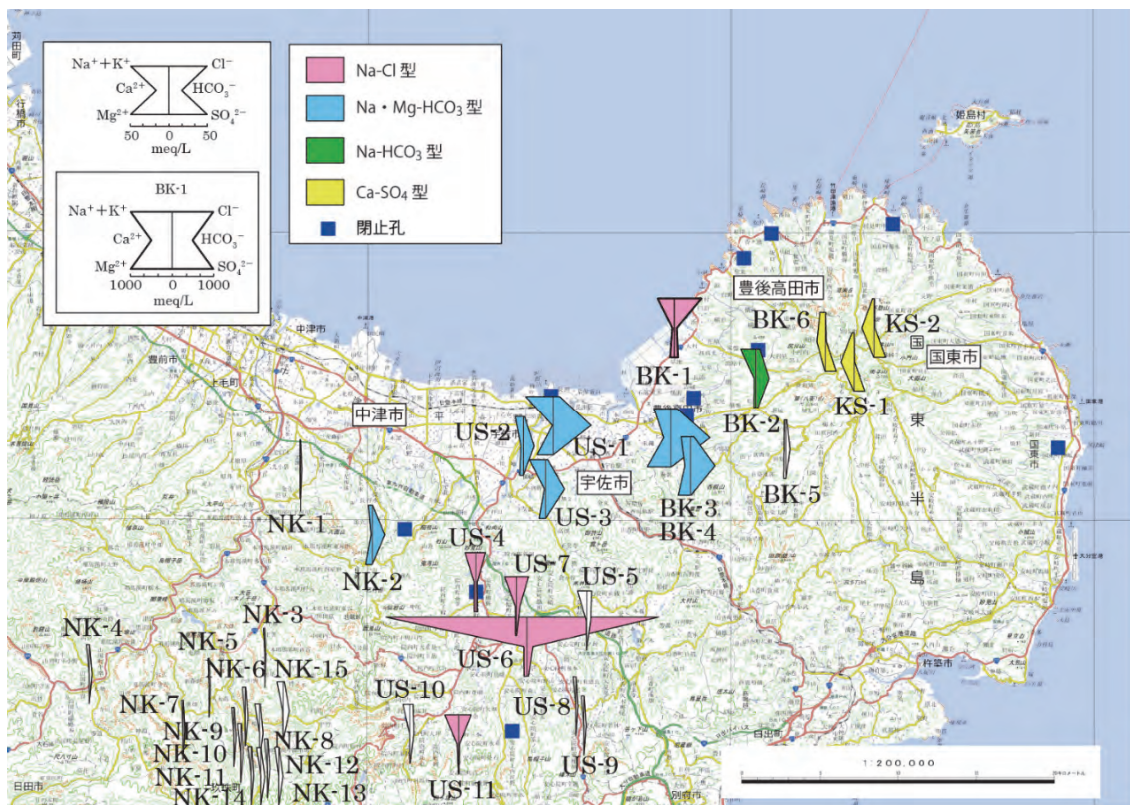


図4 調査地点ごと温泉水の化学組成

(3) 豊後高田市・国東市の温泉

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 1000mg/L 以上の塩類泉であった。中でも BK-1 は TDS40000mg/L と非常に高い値であった(図 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・マグネシウムー塩化物泉、BK-2 はナトリウムー炭酸水素・塩化物泉、BK-3 はマグネシウム・ナトリウムー炭酸水素塩泉、BK-4 はマグネシウム・ナトリウム・カルシウムー炭酸水素塩泉、BK-6 はカルシウム・ナトリウムー硫酸塩泉、KS-1 と KS-2 はカルシウムー硫酸塩泉であった(図 4)。

県北地域の温泉水の全般的な特徴として、陰イオンで HCO_3^- に卓越し、 SO_4^{2-} をほとんど含まない温泉水が多く、陽イオンでは Na^+ 成分に卓越しているとされている⁷⁾。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³⁾、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ー硫酸型の温泉が湧出しているとされており⁸⁾、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。



写真 6 KS-1 あかねの湯

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。
- (2) 県北地域の温泉の平均泉温は 40.4℃であり、その内訳は冷鉱泉が 3 井、低温泉が 2 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、29 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ー炭酸水素型であり、宇佐市南部の塩類泉はナトリウムー塩化物泉、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ー炭酸水素塩泉、豊後高田市および国東市の塩類泉はカルシウムー硫酸塩泉であった。

参考文献

- 1) 大分県温泉調査研究会:大分県鉱泉誌 第 2 集(2006)。
- 2) 大上和敏, 西田翔一: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(2017)。
- 3) 大上和敏, 豊田幸歩: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(2018)。
- 4) 大上和敏, 中島美葵: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(2019)。
- 5) 山下幸三郎:大分県山國村温泉調査報告, 大分県温泉調査研究会報告, 5, 7-15(1954)。
- 6) 志賀史光, 川野田實夫, 江口芳彦: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(1982)。
- 7) 北岡豪一, 川野田實夫, 葛城啓子, 大石郁朗, 由佐悠紀: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(1989).

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

6(1990).

- 9) 大分県自然保護推進室: 大分県温泉調査報告 温泉分析書(2017).