

平成 17 年 3 月

原 著

佐賀県南部低平地の温泉の化学組成について

¹ 佐賀短期大学, ² 水質化研 ISAGAI
飯盛和代¹, 田中知恵¹, 飯盛喜代春²
(平成 16 年 10 月 4 日受付, 平成 16 年 11 月 20 日受理)

Chemical Composition of Hot Spring Water on Low Land
of South Area in Saga PrefectureKazuyo ISAGAI¹, Tomoe TANAKA¹ and Kiyoharu ISAGAI²¹ Saga Junior College, ² Chemical Research of Water

Abstract

Springs in Saga prefecture, Southwest Japan, are classified into three groups of south (A), west(B) and north(C) areas. A area is lowland made by reclaiming of tidal flat of Ariake sea. The stratum of A area consists of alternation of clay, silt and sand layers. The geology of B area consists of andesite and Tertiary strata. The geology of C area consists of granite. Temperature of springs of A area are 28~58°C with the positive relationship between temperature and depth.

Though A group springs is close of Ariake sea, their concentrations of Cl^- and SO_4^{2-} are low. The order of concentration of chemical composition of A group is $\text{Na}^+ \gg \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ and $\text{HCO}_3^- \gg \text{Cl}^- \gg \text{SO}_4^{2-}$. These springs are $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$ type, and there are no effect of sea water. While Rn is not included for spring in A area, and their concentrations of sulfate are lower than the other groups. The concentrations of HCO_3^- of springs in A group are very higher than those of springs in B and C groups.

Key words : Springs of south area in Saga prefecture, Reclaimed lowland of Ariake sea, Chemical composition.

キーワード : 佐賀県南部温泉群, 有明海干拓低平地, 化学成分

1. 緒 言

佐賀県の温泉は地質、泉質等から南部温泉群、北部温泉群、西部温泉群の三つに分けて考えることができる。これら温泉群の泉源は自噴している個所は少なくほとんどが掘削により、ポンプ揚湯を行っている。南部温泉群は有明海の干拓によって生成した低平地である佐賀市から有明海沿岸に湧出する温泉である。その地質は砂岩、シルト、粘土の互層よりなる洪積層である。北部温泉群は佐賀県の北部背振山系に位置し、花崗岩地帯から湧出する温泉群であり、西部温泉群は佐賀県の南西部から北西部にむかってほぼ一直線上に湧出している。この南西部は安山岩、西部丘陵地域は第三紀層堆積岩を貫く玄武岩、安山岩、流紋岩の諸火山岩より成り立っている。

南部温泉群の温泉は掘削により開発されたものであり、自噴する泉源はなく、他の二群に比べ最近開発された温泉群である。北部温泉群 (Isagai, Ki. and Isagai, Ka. 1988) と西部温泉群 (飯盛, 1983) については既に報告を行った。本報告では南部温泉群についてその化学的性質を明らかにし、他の温泉群と比較することにより、その化学的特質を把握することを目的とする。

2. 地質の概要

佐賀県の地質図 (木下編, 1954) の概略を図1に示した。佐賀県の北部福岡県と県境である背振山系は古生代から中生代にかけて貫入したと考えられる花崗岩からなりたっている。西部温泉群の西部および西南部の地質は第三紀層堆積岩からなり、南西部は多良岳を起源とした安山岩である。これらについての詳細は先に報告した (Isagai, Ki. and Isagai, Ka. 1988 : 飯盛, 1983)。南部温泉群は佐賀平野低平地に湧出する温泉群である。その地層は表層から A 層 (有明粘土層)、B 層 (島原海灣層)、C 層 (軽石火山灰層)、DEF 層 (未区分洪積層) に分けられている。A 層は沖積世、B 層以下は洪積世の堆積物である (佐賀県, 1985)。A 層の有明粘土層は 10~30 m 程度の厚さの沖積粘土層である。佐賀西部の平野には多数の井戸が掘削され飲用水、農業用水等として多量の地下水が揚水されており、その結果圧密され、地盤沈下の原因になっている。佐賀の干拓地に掘削されたこれ

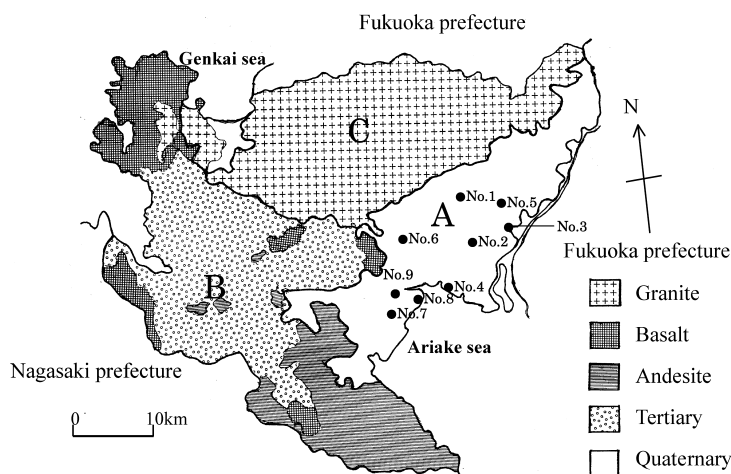


Fig. 1 Geologic map and sampling sites. Springs in Saga prefecture are classified into three groups of south(A), west(B) and north(C) areas. Sampling sites : No. 1~No. 9.

らの深井戸は B 層から揚水していたがそれ以後は良好な被圧帯水層である E 層に達する 50~200 m の深さから揚水された。E 層においては 25℃ 以上の水温がある地下水を揚水しており、この地下水は飲用水以外の生活用水として利用されている。これらの深井戸地下水については温泉として認可されていないが鉱泉の水質に付合する水質の地下水がある。これらについても今回、認可された温泉に加えて検討を行った。南部温泉群の深度はすでに使用されている上記の深井戸よりさらに深く、250~1,500 m である。

3. 試料の採取

南部温泉群における試料の採取地点を図 1 中に示した。試料 No. 8 と No. 9 の 2 箇所は温泉としては認可されていない地下水である。温泉井及び深井戸の深度を表 1 に示した。

4. 分析方法

試料の分析は「水の分析」によって行なった（日本分析化学会北海道支部，1980）。

HCO_3^- はアルカリ度から計算により求めた。アルカリ度の測定は H_2SO_4 標準溶液とメチルレッド、メチルクレゾールグリーン混合指示薬を用いる法によった。 Na^+ 、 K^+ は原子吸光光度法、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} は EDTA によるキレート滴定法によった。

SO_4^{2-} と Cl^- はイオンクロマトグラフ法によった。Rn の測定は IM 泉効計（理研計器株式会社製）によった。

5. 結果および考察

南部温泉群の測定結果を表 1 に示した。

5.1 泉温

南部温泉群の泉温は最も高いところで No. 6 の 58.7℃ であり、低いところで 25.0℃ であった。最

Table 1 Chemical data of hot springs

Well No.	Depth (m)	A.T. (°C)	W.T. (°C)	E.C. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	pH	HCO_3^- (mg/l)	SO_4^{2-} (mg/l)	Cl^- (mg/l)	Ca^{2+} (mg/l)	Mg^{2+} (mg/l)	Na^+ (mg/l)	K^+ (mg/l)
No. 1	350	28.0	31.0	738	8.08	444	0.70	33.3	28.8	3.26	171	2.40
No. 2	200	30.0	25.0	347	7.54	216	0.52	10.7	16.2	5.93	52.0	18.0
No. 3	700	29.7	44.8	844	8.11	498	0.20	39.2	13.0	3.30	195	13.1
No. 4	500	30.0	27.8	762	7.27	431	0.10	49.7	12.4	4.34	164	26.5
No. 5	340	29.8	30.5	314	7.81	198	0.00	7.04	9.35	2.67	70.3	4.58
No. 6	1500	28.5	58.7	1431	7.89	952	0.59	19.0	2.01	0.10	368	4.67
No. 7	280	31.0	31.0	1289	7.95	516	7.34	110	8.35	3.91	251	23.7
No. 8	180	30.5	28.0	1163	7.90	473	5.30	78.5	8.58	4.95	203	19.6
No. 9	120	30.0	25.0	869	7.75	422	5.34	46.1	13.2	10.4	137	15.5

A.T.···Air temperature

W.T.···Water temperature

E.C.···Electric conductivity

も高い No. 6 は全泉源中深度が最も深い 1,500 m のものである。深度と泉温との関係を図 2 に示した。図 2 からわかるように深度が深くなると泉温は高くなる傾向がみられた。同地域内にある農業用水の深井戸の水温は 25~28℃ で一般の地下水に比べ高温である。しかし、熱源として火山を考える必要は無く、通常地殻熱流量影響の範囲内で理解することができる。

5.2 pH

pH は 7.27~8.11 であり、アルカリ性の温泉である。pH と深度との間には、はっきりとした関係はみられなかった。pH は電気伝導率が高いほど高い傾向がみられた。

5.3 電気伝導率

電気伝導率が最も高かったのは試料 No. 6 の 1,431 $\mu\text{s}/\text{cm}$ であり、低かったのは No. 5 の 314 $\mu\text{s}/\text{cm}$ と No. 2 の 347 $\mu\text{s}/\text{cm}$ であった。これらのことから電気伝導率が高い No. 6 には溶存化学成分が多いことが示唆された。電気伝導率が高い試料においては HCO_3^- と Na^+ が多い傾向にあった。

5.4 溶存化学成分

各試料中に含有される化学成分について陽イオンと陰イオンについての組成図をそれぞれ図 3、図 4 に示した。図 3 より陽イオンはどの試料においても他の成分に比べて Na^+ が極めて高い値を示した。陽イオンに占める Na^+ の割合は No. 2 においては 56%、No. 9 においては 76% であるが他の試料では 80% 以上であった。陽イオンに占める Ca^{2+} と Mg^{2+} の割合が高かったのは No. 2 であり Ca^{2+} は 20.2%、 Mg^{2+} は 12.2% であった。これは他に比べて浅いところから揚水しているためと考えられる。

図 4 に示したように含有される陰イオンが最も高い値を示したのは No. 6 であり、No. 2、No. 5 は他の試料に比べ低い値を示した。陰イオン中に占める割合が最も高いのは HCO_3^- であった。No. 6 においては 96.6% を占め、最も低い No. 7 においても 72.2% であった。 Cl^- が陰イオン中に占める割合が高いのは No. 7 の 26.5% と No. 8 の 22.0% であり、最も低い値を示したのは No. 6 の 3.3%

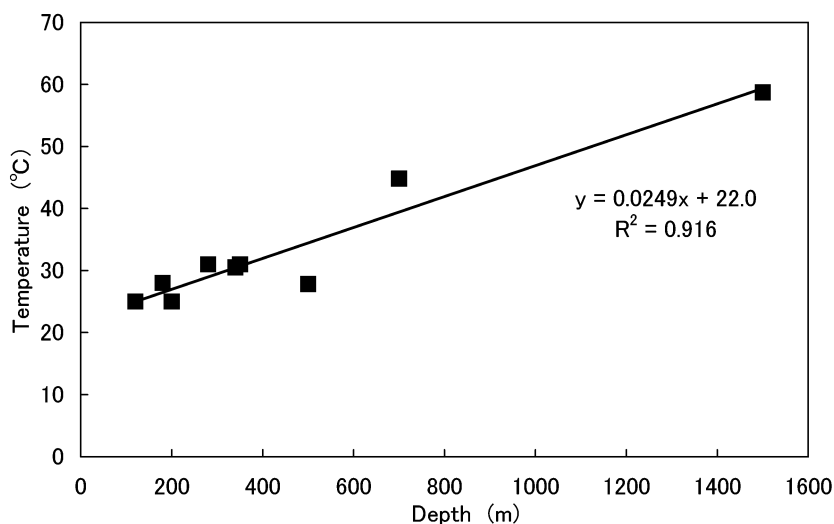


Fig. 2 Relationship between temperature and depth of well.

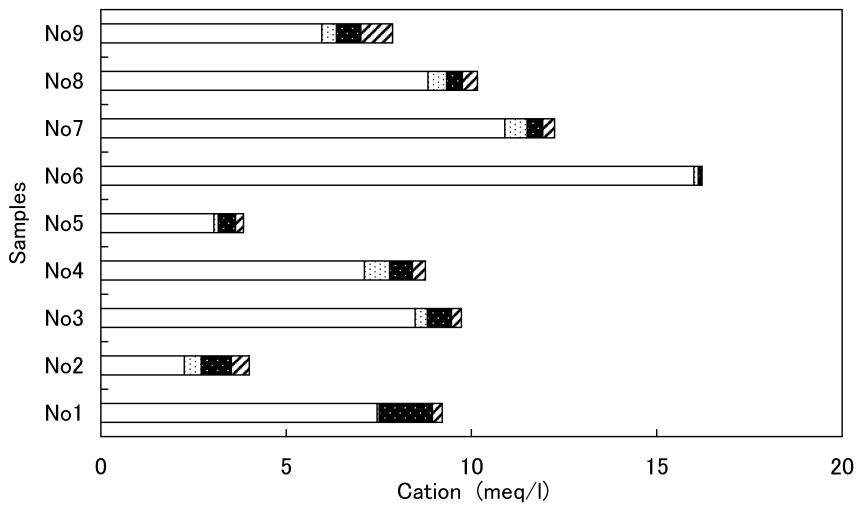


Fig. 3 Cation composition of sample waters.
 □ Na⁺ ▨ K⁺ ■ Ca²⁺ ▩ Mg²⁺

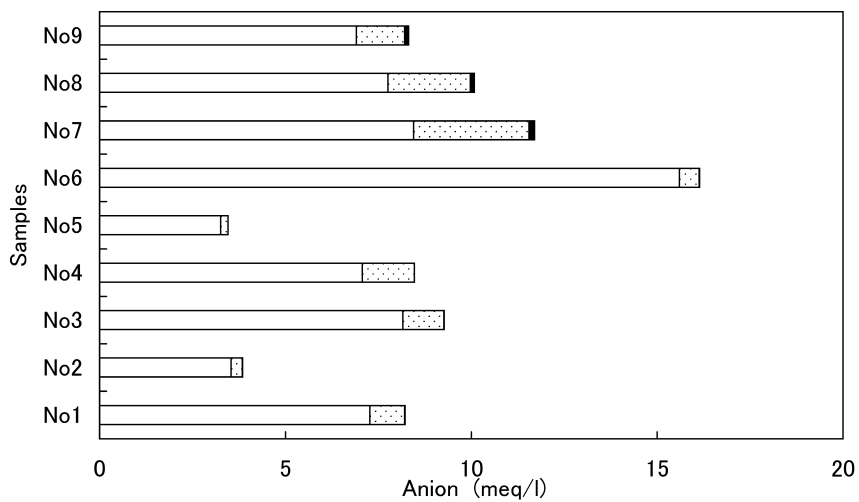


Fig. 4 Anion composition of sample waters.
 □ HCO₃⁻ ▨ Cl⁻ ■ SO₄²⁻

であった。No. 7, No. 8 は有明海沿岸に近い泉源からの試料であり海水の影響がいくらかあるものと考えられる。No. 4 は有明粘土層の温泉であるため、有明海沿岸の近くに存在するが海水の影響を受け難いと考えられる。SO₄²⁻ は No. 7, No. 8, No. 9 以外はほとんど含有されなかった。No. 7, No. 8, No. 9 は深度 250~600 m であり有明粘土層からさらに下層の洪積層の温泉である。この地層は還元状態であり、SO₄²⁻ は H₂S にまで還元され、硫化物となっているものと考えられる。最も化学成分含有量が多い 1,000 m の深度から揚水されている No. 6 にも硫酸イオンはほとんど含有されなかった。

南部温泉群の溶存成分は Na^+ と HCO_3^- がほとんどであることがわかった。このことから南部温泉群はナトリウム炭酸水素塩型の温泉である。図5に Na^+ と HCO_3^- を、図6に Na^+ と $(\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-)$ の関係を示した。図5から Na^+ と HCO_3^- との間には強い正の相関が見られ、 $R^2=0.941$ であった。さらに HCO_3^- に Cl^- を加えると R^2 の値は高くなり、傾きほぼ45度の直線に集約された。これらのことから温泉の主要化学成分は NaHCO_3 の組成比として存在する地下水がほとんどであり、これに NaCl の組成比の地下水が混合していると考えられる。

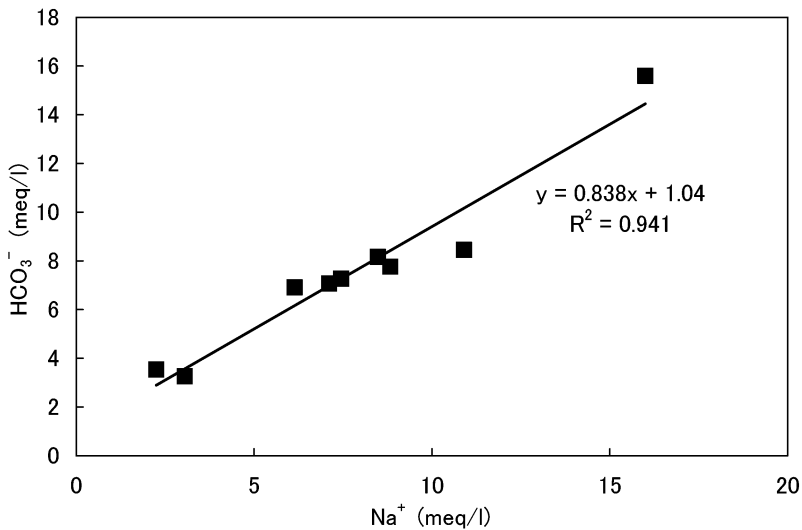


Fig. 5 Relationship between HCO_3^- and Na^+ concentrations.

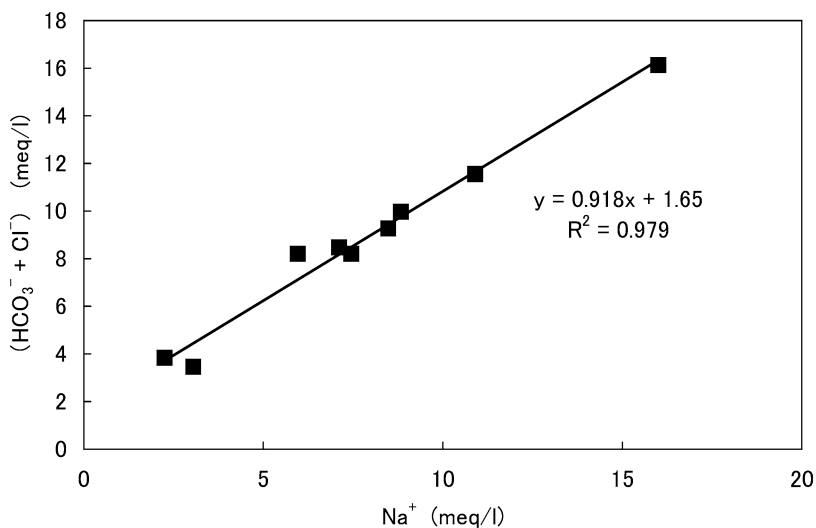


Fig. 6 Relationship between $(\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-)$ and Na^+ concentrations.

5.5 他の温泉群との比較

南部温泉群は西部温泉群と同様にナトリウム炭酸水素塩型の温泉であり、溶存成分は西部温泉群に比べ少なかった。しかし南部温泉群においても深度 1,000 m の試料中の溶存化学成分は西部温泉群に近い値を示した。Ca²⁺ と Mg²⁺ は西部温泉群に比べて南部温泉群に多い傾向にあった。分析結果 (表 1) には示さなかったが南部温泉群からは Rn は検出されなかった。佐賀県の温泉においては花崗岩地域の北部温泉群においては 3.30~20.1 mache の Rn が含有されている (Isagai, Ki. and Isagai, Ka. 1988)。また西部温泉群の安山岩地域の温泉において、北部温泉群に比べると少ないが、0.54~2.99 mache の Rn が含有されている (飯盛, 1983)。

5.6 主要化学成分の関係

図 7 に陽イオン Ca²⁺-Mg²⁺-(Na⁺+K⁺) および陰イオン Cl⁻-HCO₃⁻-SO₄²⁻ の関係をトリニアードイアグラムにまた (Na⁺+K⁺)-(SO₄²⁻+Cl⁻)-(Ca²⁺+Mg²⁺)-HCO₃⁻ の関係をキーダイアグラムに示した。図 7 より陽イオンでは Na⁺≫Ca²⁺>Mg²⁺ の関係がみられ、Na⁺ の近くに集中していることがわかった。陰イオンでは HCO₃⁻≫Cl⁻≫SO₄²⁻ の関係がみられ HCO₃⁻ の近くに集中していることがわかった。A.M. Piper らによるキーダイアグラムから地下水のパターンを判定する法が報告されている (酒井, 1967)。これを用いて南部温泉群の温泉のパターンを判定すると南部温泉群はナトリウム炭酸水素塩型の温泉であることを示した。

6. 結 論

佐賀県南部の低平地である有明海干拓地に最近になって過去に開発された温泉群とは異なる温泉群 (南部温泉群) が開発されるようになった。この温泉群には自噴は無く、全て掘削され、ポンプで揚湯されている。南部温泉群においては陽イオンに占める Na⁺ の割合が高く、また陰イオンに占め

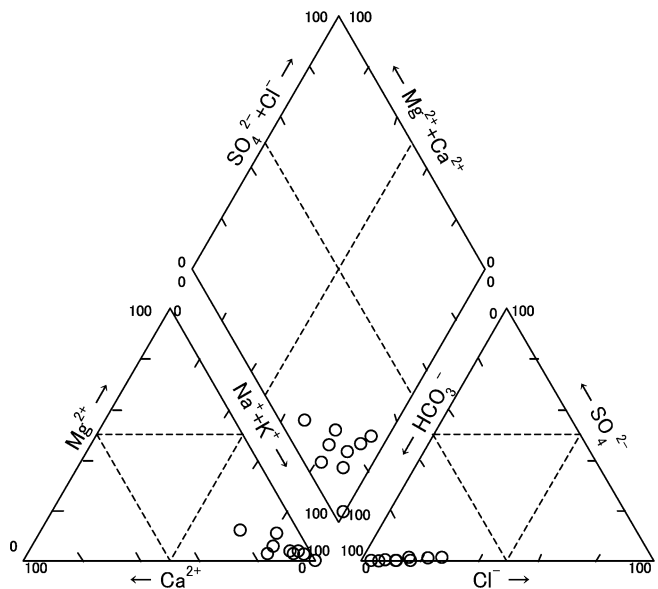


Fig. 7 Tri-linear diagrams and Key-diagram of sample waters.

る HCO_3^- の割合が高いことが特徴であった。この温泉群の水質はナトリウム炭酸水素塩型であることがわかった。溶存化学成分の主成分は NaHCO_3 の組成比を示し、これに NaCl の組成比を示す地下水が混合していると考えられる。有明海沿岸近くであるにも関わらず NaCl の含有量はそれほど多くはなかった。西部温泉群に含有される SO_4^{2-} は南部温泉群にはほとんど含有されなかった。南部温泉群の Ca^{2+} 、 Mg^{2+} の含有量は西部温泉群より多かった。佐賀県においては花崗岩地帯の北部温泉群に多量の Rn が含有されるが南部温泉群においては Rn は含有されなかった。南部温泉群の溶存化学成分量は西部温泉群に比べ少ないが、北部温泉群より多いことがわかった。(日本温泉科学会第 57 回大会において発表 2004 年 9 月 11 日)

文 献

- Isagai, Ki. and Isagai, Ka. (1988): Radon concentration in ground waters in some areas of granite intrusion in various ages. 陸水学会誌, **49**, 269-278.
- 飯盛喜代春 (1983): 佐賀県西部温泉群の地球化学的研究, 温泉工学会誌, **18**, 11-21.
- 木下亀城編 (1954): 佐賀県地質図, 佐賀県.
- 日本分析化学会北海道支部 (1980): 水の分析, 187-236, 化学同仁.
- 佐賀県 (1985): 地盤沈下の概要, 1-68, 佐賀県.
- 酒井軍治郎著 (1967): 地下水学, 368, 朝倉書店.