

別府血の池地獄およびかまど地獄の同位体比に関する研究

九電産業(株)環境部 分析センター

島田 雄 樹・前野 真実子

1. 背景・目的

大分県別府市野田の血の池地獄は赤色の泥（熱泥）をともなう湯によって、その名の通り血の池を連想させる赤色の池が特徴であり、別府でも有数の観光名所である。これまでに筆者らのグループは、大分県温泉調査会にて血の池地獄の希土類元素の測定や、同位体の測定を行って、血の池地獄の生成モデルについての研究を行ってきた[1],[2]。また、昨年度の大分県温泉調査研究会では、大分県別府市鉄輪のかまど地獄について、血の池地獄との比較研究を行った[3]。かまど地獄には数十メートル四方の範囲内に、かまど 1 丁目～6 丁目と名付けられた地獄が分布しており、それぞれに特徴の異なる 6 種類の池を一度に見物できることから、血の池地獄同様、別府を代表する観光名所となっている。このうち、かまど 6 丁目は赤褐色の泥をともなう池で血の池地獄とよく似ている。昨年度の研究から、かまど 6 丁目の熱泥と、血の池地獄の熱泥は含まれる鉱物の種類が類似していることが確認された。すなわち、石英、ヘマタイト、クリストバライト、カオリナイトが主成分であった。また、血の池地獄とかまど地獄の硫黄同位体比測定の結果、血の池地獄の硫黄同位体比は、地表付近での硫化水素の酸化由来ではなく地下深部由来である可能性などが示唆された。今年度は、昨年度に引き続き、血の池地獄とかまど地獄（特に 6 丁目）について、昨年度のデータを補完する分析を行ったほか、温泉水の希ガス同位体比分析を行い、血の池地獄および、かまど地獄の生成モデルについて検討した。

2. 実験および試料

2.1 希ガス同位体測定のための温泉水試料採取

試料は、血の池地獄、かまど地獄 5 丁目、かまど地獄 6 丁目 から採取し、その位置は図 1 に示す。希ガス試料の採取には、自作の採取器具を用いた。ポリエチレン製のチューブの先に、長さ 80cm、内径 3cm のステンレス製のパイプを重りとして取り付け、茶こし用の金網をフィルターとして取り付けられた採取ホースを投げ入れた。血の池地獄では岸から 5m、深さ 3m ほど、かまど 5 丁目では岸から 2m、深さ 1m ほど、かまど 6 丁目は岸から 1m、深さ数 10cm の地点から採取した。その状態で、ペリスタポンプを用いて湯をくみ上げて、専用のガラス製採取容器に気泡が入らないように湯を満たした。チューブの長さは 30m ほどで、ガラス容器に入る直前に、氷水でチューブを冷やし、採取時点で 45℃程度まで冷ました状態で採取した。これは採取容器のガラス製コックのグリスが高温で劣化するのを避けるためである（図 2）。

血の池地獄、かまど 5 丁目、6 丁目では希ガス同位体測定($^3\text{He}/^4\text{He}$, $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$)用試料のほか温泉水の化学成分分析用の試料も同じ採取装置を用いて、1L のポリ容器に採取した。これ以外の地点の温泉水（かまど地獄 1, 3, 4 丁目および平和園）については化学成分分析

用の試料を、柄杓を用いて 1L のポリ容器に採取した。

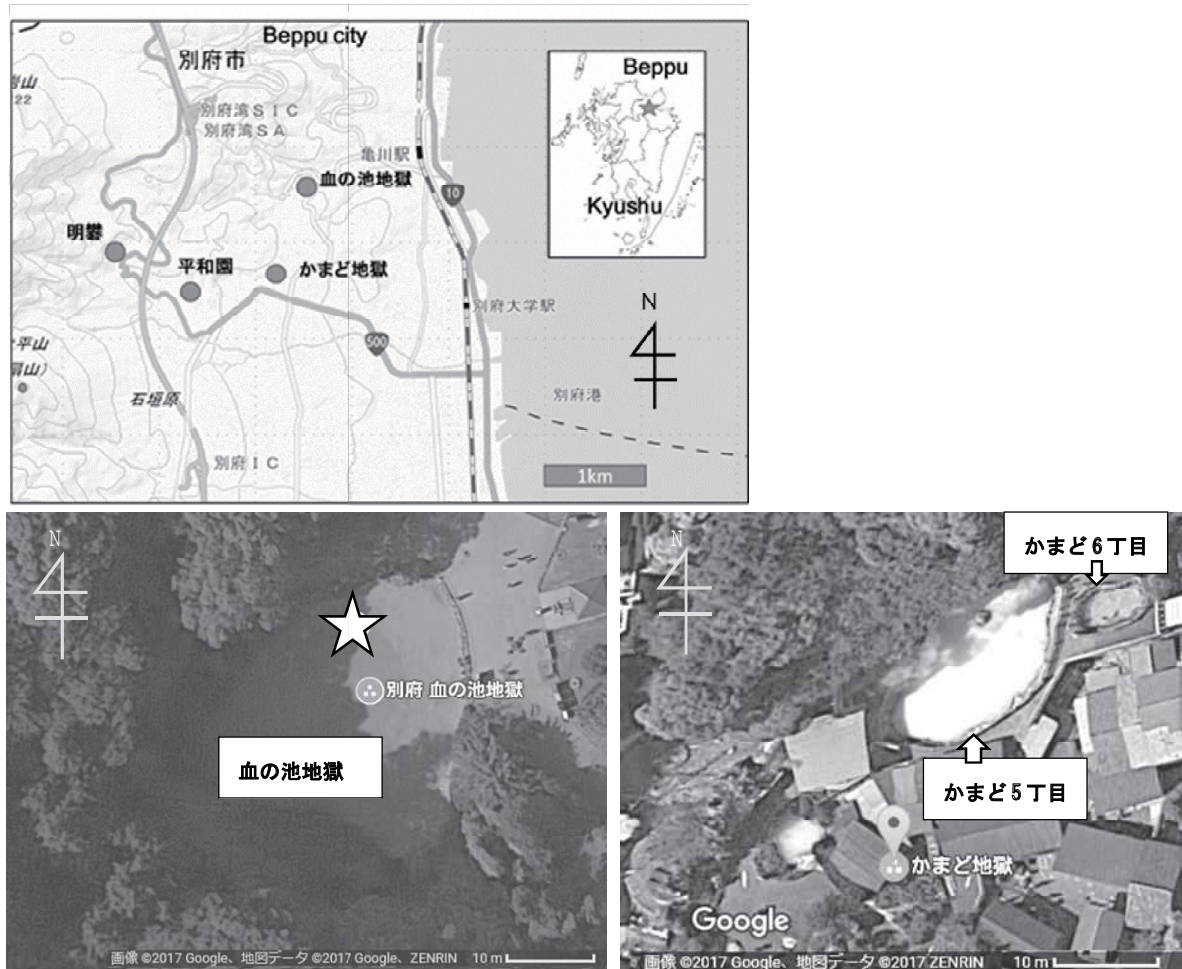


図 1. 上：別府市および試料を採取した温泉の位置。下左：血の池地獄の航空写真。星印は試料採取地点を示す。下右：かまど地獄の航空写真。かまど 5 丁目は青色、かまど 6 丁目は赤褐色の池である。(google map の画像を編集して用いた。)



図2. かまど5丁目の希ガス分析用温泉水試料採取の様子. 長さ約30mのチューブの先端を池に投げ入れて、ペリスタポンプで温泉水をくみ上げた。採取容器の直前でチューブを冷水中にくぐらせて、およそ45°C程度まで冷却した。

2.2 温泉水の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比、 $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比測定

温泉水試料から、専用の希ガス分離・精製ラインを用いて溶存のヘリウムとネオンを抽出し、VG Isotope社製の希ガス質量分析器VG5400を改良した、MS-IVを用いて測定した[4]。測定は、東京大学の角野浩史先生のご協力のもと行われた。

2.3 温泉水の $\delta^{34}\text{S}$ 測定

温泉水試料を陰イオン交換樹脂カラムに通して硫酸イオンを樹脂に吸着させた後に、4mol/Lの塩酸で溶離して硫酸イオンを回収し、塩化バリウムを加えて沈殿を作った。沈殿を硫酸バリウムと見なして、乾燥した後、重量を測定して硫酸濃度を算出した。硫酸バリウム粉末について、ISOPRIME社製EUROVECTORを用いて $\delta^{34}\text{S}$ を測定した。

2.4 温泉水の δD 、 $\delta^{18}\text{O}$ 測定

温泉水の δD はElementar社製VarioCUBEで水素分子に還元した後、ISOPRIME社製ISOPRIMEで測定した。温泉水の $\delta^{18}\text{O}$ は、水-二酸化炭素平衡法を用いてISOPRIME社製ISOPRIMEで測定した。

2.5 温泉水のCl濃度測定

温泉水のCl濃度の測定は、鉱泉分析法指針にしたがい、硝酸銀を用いた滴定法で行った。

3. 結果と考察

3.1 分析結果

分析結果を表1に示す。

表1. 分析結果一覧 分析値に()がついている物は、文献[5]からの引用値.

	pH	Cl (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	δ D (‰)	δ ¹⁸ O (‰)	δ ³⁴ S (‰)	³ He/ ⁴ He (×10 ⁻⁶)	⁴ He/ ²⁰ Ne	沈殿物の XRD 結果
かまど1丁目	2.7	14	190	-43	+1.7	0.0	-	-	カオライト・クリストバライト
かまど3丁目	6.6	1780	300	-46	-8.9	21.4	-	-	沈殿物無し
かまど4丁目	4.4	10未満	210	-52	-1.8	-0.9	-	-	カオライト・クリストバライト
かまど5丁目	6.8	1750	290	-45	-8.6	21.2	1.41	0.27	非晶質シリカ
かまど6丁目	2.1	10未満	1320	-43	+1.2	0.1	3.15	0.68	カオライト・クリストバライト ・ヘマタイト・石英
血の池地獄	2.0	700	750	-51	-5.6	20.0	2.06	0.36	カオライト・クリストバライト ・ヘマタイト
平和園	7.7	1630	110	-49	-4.8	21.7	-	-	沈殿物無し
別府北部 山田湯 (NEDO No.248)	(1.9)	(4.9)	(2650)	(-48)	(-6.4)	(21.0)	-	-	-
塚原 由原屋旅館 (NEDO No.84)	(1.6)	(11.4)	(5140)	(-59)	(-8.9)	(-0.2)	-	-	-