

別府血の池地獄とかまど地獄の希土類元素と同位体比に関する研究

◎*島田雄樹 *前野真実子 *徳淵久人 *能登征美 **角野浩史 *福島通夫
*九電産業(株)環境部分析センター **東京大学大学院総合文化研究科

血の池地獄とかまど地獄



目的

- ・これまでにREEパターンと硫黄同位体比から、血の池地獄の新たな地下流動モデルを考えたが、さらなる検証のため追加の分析を行った。
- ・かまど地獄6丁目と血の池地獄は、外観や沈殿物の鉱物組成などが似ていることから、両者の地下流動モデルは非常に興味深い。
- ・かまど地獄は、数十メートルの範囲内に6種類の地獄が存在することで知られているが、地下流動モデルについての研究例はない。



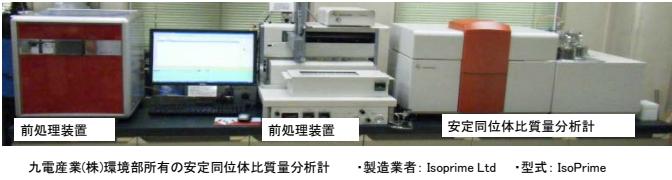
・かまど地獄と血の池地獄の温泉水(比較のためCI型として知られる平和園を含む)について、硫黄同位体比分析、He同位体比分析、希土類元素分析(沈殿物も含む)、水素酸素同位体比分析、XRD分析等を行い、地下流動モデルについて検討した。

調査温泉の位置



硫黄同位体比分析

1.0 μmのメンブランフィルターで温泉水を濾過し、陰イオン交換カラムを用いてSO₄を遊離させた後、塩化バリウム溶液(BaCl₂)を加え、硫酸バリウム(BaSO₄)を沈殿させた。24時間ほど放置した後、硫酸バリウムの沈殿を0.45 μmのメンブランフィルターで濾過し乾燥させた。乾燥させた硫酸バリウムと五酸化バナジウム(V₂O₅)を混合スズカプセルに包み、加熱分解することにより二酸化硫黄ガス(SO₂)を発生させて分析を行った。硫黄同位体比は安定同位体比質量分析計(EuroVector社製、及びIsoprime社製 IsoPrime)を用いて測定した。(本研究では、岡山大学に測定を依頼した)



温泉水のHe同位体比分析



地獄の池の水深2m程度まで、専用の採水チューブを投げ込み、クーラーとペリスタポンプを用いて、空気が入らないように両口ガラス容器に温泉水を採取した。測定は東京大学にてVG5400(MS-III)を用いて行った。

希土類元素(REE)の分析



結果1 分析結果まとめ

	pH	δD ‰	δ ¹⁸ O ‰	δ ³⁴ S ‰	Cl ⁻ ppm	SO ₄ ²⁻ ppm	特長	沈殿物のXRD分析結果
かまど1丁目	2.7	-43	+1.7	0.0	14	190	茶褐色の熱泥を伴う池	カオリナイト・クリストバライト
かまど3丁目	6.6	-46	-3.9	21.4	1780	300	コバルトブルーの湯	沈殿物なし
かまど4丁目	4.4	-52	-1.8	-0.9	<10	210	茶褐色の熱泥	カオリナイト・クリストバライト
かまど5丁目	6.8	-45	-3.6	21.3	1750	290	シリカ微粒子を含む湯	非晶質シリカ
かまど6丁目	2.1	-43	+1.2	0.1	<10	1320	赤褐色の熱泥を伴う池	カオリナイト・クリストバライト・ヘマタイト
血の池地獄	2.0	-51	-5.6	20.0	700*	750*	赤褐色の熱泥を伴う池	カオリナイト・クリストバライト・ヘマタイト
平和園	7.7	-49	-4.8	21.7	1630	110	透明なCI型温泉	沈殿物なし

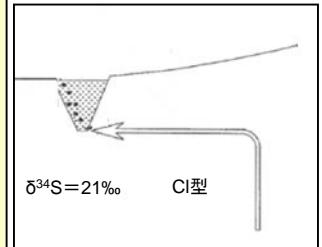
考察 熱水流動モデルについて

・種々の分析結果から、今回の調査対象温泉の地下流動モデルは3つに分類できると考えられる。

① CI型 : かまど3丁目、5丁目、(平和園)

<分析値の特徴>

- ・pHが中性
- ・Cl濃度が1700ppmで高濃度
- ・δ³⁴Sの値が21‰付近で、火山ガスのSO₂由来と考えられる
- ・δD、δ¹⁸Oは別府の地表水の蒸発の効果とも考えられるが、酸素シフトしているとも考えられる
- ・REE濃度が低い値を示すのは、中性のため周辺の岩石から溶解してこないためと考えられる
- ・水のHe同位体の値は大気を示したが、これは池の水を採取したためと考えられる

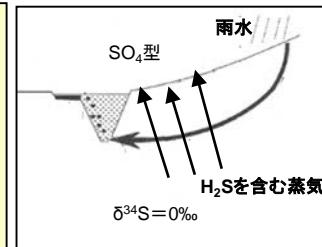


・地下深くの岩石により中和された、中性のCI型熱水と考えられる。

② SO₄型 : かまど1丁目、4丁目、6丁目

<分析値の特徴>

- ・pHが酸性
- ・Cl濃度が10ppm未満程度
- ・δ³⁴Sの値が0‰付近で、H₂Sが酸化された硫酸の値と考えられる
- ・REEパターン形状は水と沈殿物とで類似している。地表近くで酸性になったため、地表近くの岩石と反応したことが考えられる
- ・δD、δ¹⁸Oは蒸発の効果とは考えにくく、酸素シフトしていると考えられる
- ・He同位体比は地下由来のガスの影響を示唆している

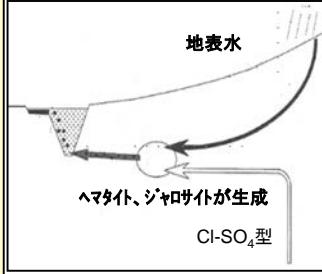


・地表近くの水が蒸気で温められ、H₂Sが酸化されたSO₄を含む、蒸気加熱型のSO₄型熱水と考えられる。

③ CI-SO₄型 : 血の池地獄

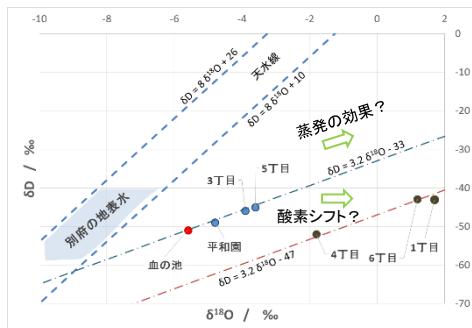
<分析値の特徴>

- ・pHが酸性
- ・Cl濃度が800程度
- ・δ³⁴Sの値が20‰付近で、硫酸の起源は火山ガス由来のSO₂と考えられる
- ・REEパターン形状は水と沈殿物とで異なっていた。これは地表近くで酸性になったのではなく、地下深くで酸性になったことを示していると考えられる
- ・δD、δ¹⁸Oは別府の地表水の蒸発の効果とも考えられるが、酸素シフトしているとも考えられる
- ・He同位体比は地下由来のガスの影響を示唆している

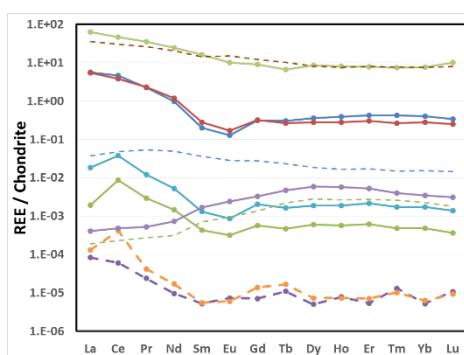


・地下深くからの酸性のCI-SO₄型熱水と、地表水が、地下で混合したと考えられる。

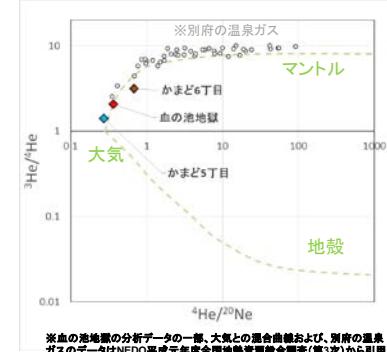
結果2 δD・δ¹⁸Oダイアグラム



結果4 REEパターン



結果3 水のHe同位体比



・δD・δ¹⁸Oダイアグラムについて、血の池地獄、平和園、かまど3、5丁目は一直線上に分布していた。これは別府の地表水が開放系で蒸発した可能性もあるが、岩石との酸素交換により酸素シフトした深部熱水とも考えられる。また、かまど1、4、6丁目は別の一直線上に分布していた。別府の地表水と一致しないため、深部熱水起源や、周囲の岩石と酸素を交換(酸素シフト)している可能性がある。

・He同位体比分析の結果、いずれも開放系であるため大気の影響が顕著であるが、かまど6丁目と血の池地獄の温泉水にはマンツルの影響がみられた。かまど5丁目の水は完全に大気と平衡な組成になっていた。

・REEパターンについて、かまど1、6丁目の水は沈殿物や鶴見岳岩石と類似のREEパターンを示した。しかし血の池地獄は沈殿物と水のREEパターンは全くことになっており対照的である。かまど5丁目と平和園はREE濃度が非常に低く定量下限と同レベルだった。