

B-11 希土類元素に着目した基盤岩中の 地下水水脈の推測

○齊藤 由倫^{1*}・飯島 明宏¹・木村 真也¹・野原 精一²・小澤 邦寿¹

¹群馬県衛生環境研究所（〒371-0052 群馬県前橋市上沖町378）

²国立環境研究所（〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2）

*E-mail: sai-yosi@pref.gunma.jp

1. はじめに

地下水資源の有効利用と保全において、地下水流動の把握は重要な役割を果たす。現在のところ、平野部の帯水層を流れる比較的単純な地下水流動に関しては、数値解析モデルなどを用いた流動予測が行われている。しかしながら、山岳地域に多く分布する温泉などの地下水は、基盤岩中に錯綜する断層を介して流動している場合が多く、その流動が非常に複雑であるため数値解析モデルの適用が困難な場合が多い。

これまでの先行研究によれば、地下水中に含まれている微量な希土類元素（REEs）は、地下水が流れる地層の詳細な地質組成の情報を保持している可能性が示されている。そのため、地下水中のREEsの動態を解明することで、数値解析モデルなどで出力されるデータを補完することが期待される。そこで本研究では温泉水脈の推測を目的として、群馬県の山岳部に位置し、断層を通じて温泉水が湧出すると言われる谷川・水上温泉地域において、温泉水をサンプリングし、REEs濃度を定量した。また、クラスター分析によって源泉間のREEs組成パターン（REEsパターン）の類似性を評価し、地下水脈の識別について考察した。

2. 方法

谷川・水上温泉地域は、谷川および利根川の2つの河川に沿って約20個の源泉が分布する（図1（a））。図1（a）の#1～12は研究対象とした12源泉であり、それぞれの井戸の掘削深度を源泉ラベルの隣に示した。図1（b）は、図1（a）のa-a'における断面図を示した。採取した温泉水は孔径0.45 μmのフィルターでろ過し、REEsをろ液と残渣とに分離してそれぞれICP-MS分析に供した。

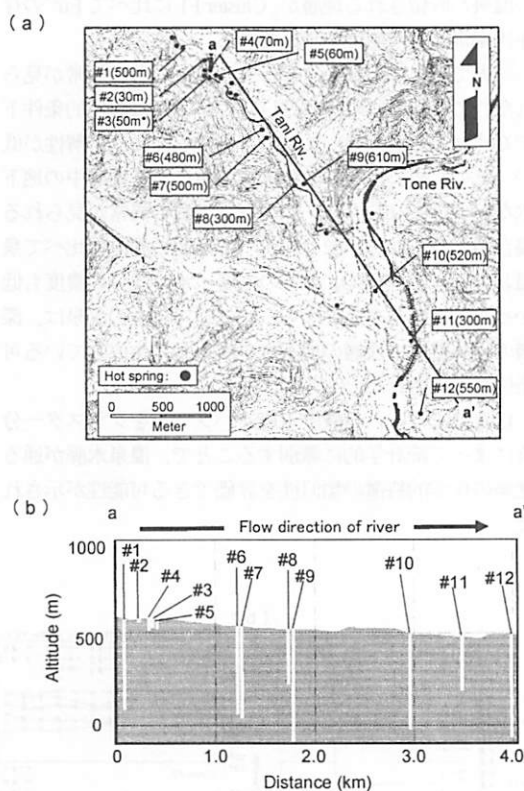


図1 調査源泉の位置および掘削深度

3. 結果及び考察

(1) ろ液中REEsのキャラクタリゼーション

ろ液中のREEs濃度を標準岩石（Chondrite 1）のREEs濃度で規格化し、REEsパターンとした。このREEsパターンに対してクラスター分析を行ったところ、12源泉は

3 グループに分類された(図2の Cluster F1, F2 および #11 (Other))。図2にはデンドログラム(a)およびクラスター分析の結果に基づいてグループ分けした REEs パターン(b)を示した。

Cluster F1 のグループには共通して Eu の正の異常が確認された(図2(b))。REEs は環境中において3価の陽イオンで存在するが、還元条件下で Eu は Eu^{2+} の形態をとり、これは3価のものより溶解性が高い。したがって、ろ液中 REEs パターンで Eu の正の異常が見られているのは、Cluster F1 の温泉水脈が存在する地層が還元であった可能性を示唆している。Eu の正の異常が見られた源泉のうち、半数以上は深度 500 m 程度の深い源泉であった(#1, 6, 7, 9 および 10)。

Cluster F2 では、#5 で僅かな Eu の正の異常が見られたが、#8 および 12 には見られなかった。これは Cluster F2 の温泉水が貯留される地層が、Cluster F1 に比べて Eu^{2+} の存在比率が低い可能性を示している。

一方で、#11 の REEs パターンは Ce の負の異常が見られた。この特徴は#2 にも見られた。Ce は酸化的条件下で Ce^{4+} の形態をとり、これは3価のものより溶解性が低い。そのため、浅層の酸化的雰囲気にある地層中の地下水などでは、REEs パターンに Ce の負の異常が見られる場合がある。なお、#2 および 11 は他の源泉に比べて泉温および Ca^{2+} や SO_4^{2-} などの主要イオン成分の濃度も低かった。これらのことから、#2 および 11 の温泉は、深層の起源熱水に浅層の地下水が混入して生成している可能性が示唆された。

以上のように、ろ液中 REEs パターンをクラスター分析によって統計学的に識別することで、温泉水脈が通る地層の化学的特徴の類似性を評価できる可能性が示された。

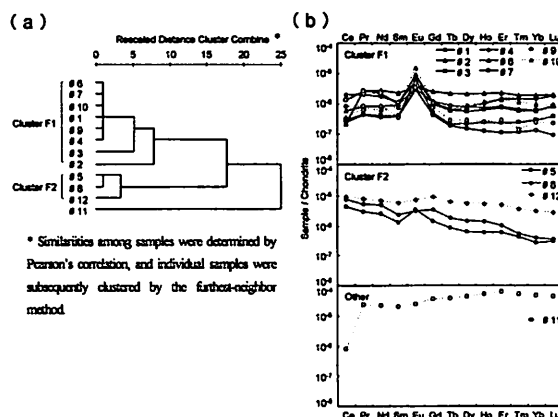


図2 ろ液中 REEs パターンの識別

(2) 残渣中 REEs のキャラクタリゼーション

ろ液中 REEs と同様に、残渣中 REEs 濃度に対して REEs パターンを求め、クラスター分析を行った。その結果、12 源泉は3 グループに分類された(図3の Cluster R1, R2 および #11 (Other))。

Cluster R1 のグループには弱い Eu の負の異常が確認された(図2(b))。Cluster R1 の源泉の特徴としては、共通して河川の上流域に位置することであった。

Cluster R2 のグループには特に目立った異常は見られなかったが、図3(a)において特に統計的距離が近いと識別された#6, 7, 8, 9 は河川の中流域に分布していた。一方で、これらとは統計的距離が若干離れた#10 および 12 は、中流域から約 2 km 程離れた下流域に位置していた。中流域に分布する源泉と下流域に分布する源泉の REEs パターンの違いについては、#6, 7, 8, 9 では Eu の負の異常がないのに対して、#10 および 12 では弱い Eu の負の異常がある点であり、この違いが統計的距離に反映されたと考えられた。

#11 は Ce と Eu に負の異常が見られ、図2(a)のろ液の結果と同様に他の源泉からは独立した源泉として識別された。このことから#11 は他の源泉とは独立した温泉水脈に由来した源泉であることが示唆された。

以上のように、残渣中 REEs パターンに基づき源泉を統計学的に識別した結果、これは源泉の地理的な近接性と良く一致した。このことから、残渣中 REEs パターンは局地的な地質組成の類似性を反映する可能性が考えられた。

(3) REEs パターンに基づく地下水水脈の推測

局地的な地質組成の類似性を反映する可能性が示された残渣中 REEs パターンに基づいて、調査地域の地下の

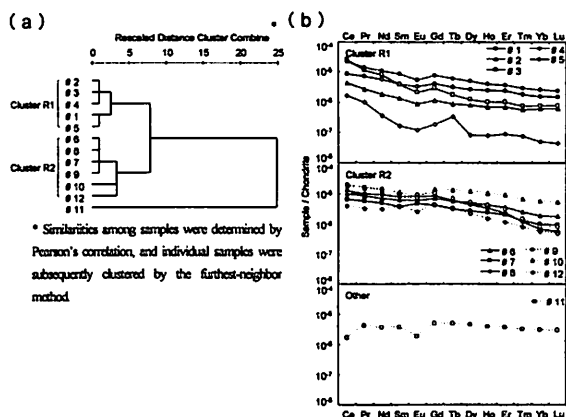


図3 残渣中 REEs パターンの識別

地質構成を推測した。すなわち、A; 1, 2, 3, 4, 5 (Cluster R1), B; 6, 7, 8, 9 (Cluster R2 の統計的距離が特に近かった源泉), C; 10, 12 (Cluster R2 の統計的距離が若干離れた源泉), D; 11 (Other) である (図 4)。過去の地質調査によって #7 および #10 付近の地点 X および Y において地質柱状図が得られている。それによれば、地点 X では地表面から地下 600m までは一様の花崗岩であった。図 4 に示すとおり深度 300 m の #8 と深度 610 m の #9 は深度に差があるが、同一の地質区分 B に属すると推測された。したがって、この推測結果は地質柱状図の結果と矛盾しない。

一方、地点 Y の地質柱状図によれば、地表面から地下 200 m までが安山岩であり、それ以深では地質組成の異なる流紋岩となっていた。図 4 に示すとおり、#10 の地下では区分 C と D の 2 層の地質構成であると推測された。したがって、この推測結果も地質柱状図の結果と矛盾しない。

残渣中 REEs パターンに基づき同一の地質組成と識別され、且つろ液中 REEs パターンに基づき地層の化学的特徴も類似した源泉どうしは、水脈が地下で繋がっている可能性がある。例えば、水脈 A : #1, 3, 4 および水脈 B : #6, 7, 9 の存在が示唆される (図 4)。特に水脈 A に関しては、これを介して掘削深度 60 m 程度の浅い #3, 4, 5 に、地下 500 m 程度から起源熱水が流入している可能性が考えられた。

4. まとめ

温泉中の REEs は、地下水が流動する地層の地質組成や化学的特徴の情報を保持し、源泉どうしを詳細に識別する指標になり得ることが示唆された。このような指標は、地下における水脈のネットワークを把握する上で重要な情報となり、地下水資源の有効利用と保全に関する様々なアセスメントにおいて、新たなアプローチとなる。

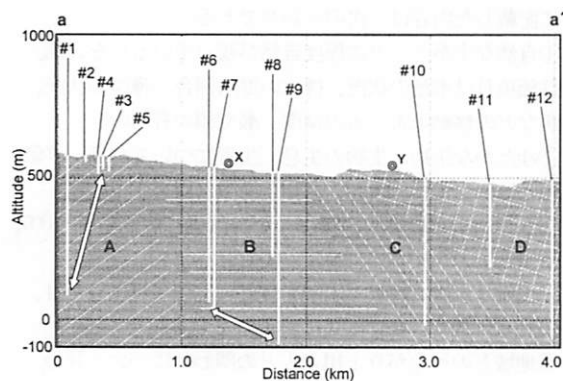


図 4 温泉中 REEs パターンに基づく温泉水脈の推測