

氏名（生年月日）	オインセツグ ドルゴリャフ Oyuntsetseg Dolgorjav
学 位 の 種 類	博 士（理学）
学 位 記 番 号	富理工博乙第 27 号
学位授与年月日	平成 27 年 3 月 24 日
専 攻 名	地球生命環境科学専攻
学位授与の要件	富山大学学位規則第 3 条第 4 項該当
学位論文題目	Isotopic and geochemical study of geothermal fluids in Mongolia for geothermal exploration (モンゴル国内の地熱流体の同位体地球化学的研究)
論文審査委員 (主査)	丸茂 克美 清水 正明 日下部 実 上田 晃

Isotopic and geochemical study of geothermal fluids in Mongolia for geothermal exploration

Dolgorjav OYUNTSETSEG

ABSTRACT

There are 42 hot springs in Mongolia and from them 32 hot springs are located in the Khangai area. In the Khangai mountain region, geothermal fields occur in five provinces (Zavkhan, Bayankhongor, Uvurkhangai, Arkhangai and Bulgan). In this study were determined chemical and isotopic compositions in 46 hot and cold spring waters (24 hot springs, 5 cold springs and 17 river waters) of Khangai area. To identify changes of main chemical composition of hot spring waters within different times we were compared present studies results with the previous studies 25 hot spring waters results. The hot waters were of $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ and $\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}$ type whereas cold springs and river waters were characterized as a $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ type water. The $\text{Ca}^{2+}\text{+Mg}^{2+}$ concentrations in the cold spring and river waters are greatest in waters with elevated HCO_3^- . This shows that cold spring and river waters are enriched in Ca^{2+} , Mg^{2+} and HCO_3^- due to dissolution of carbonate rocks such as dolomite commonly observed in the study area. In contrast, the hot waters are enriched in Na^+ and K^+ and depleted in Ca^{2+} by ion exchange with underlying clay minerals. The δD and $\delta^{18}\text{O}$ values of hot water samples in the Khangai Mountain region vary from -87 to -126‰ and -12 to -17‰, respectively and are in good agreement with those of cold springs and river water in the regions studied. The hot and cold spring waters in the Zavkhan region and at high altitude have more negative δD and $\delta^{18}\text{O}$ values than those of other regions. There is no evidence of $\delta^{18}\text{O}$ shift. This means that all water samples come from meteoric water minimal isotope exchange by interaction with surrounding rocks. The ^{13}C isotopic ratios in the study area thermal and cold waters range from -13 to -17‰. This means the carbon species (HCO_3^-) in hot springs is derived from organic sources. The $\delta^{34}\text{S}$ values vary from +4 to +19‰. The $\delta^{34}\text{S}$ values vary within a wide range independent of their sulfate contents. Based on the He/Ne and ^{13}C ratios, sulfur

in hot springs may be of sedimentary origin. We have calculated of underground temperature were obtained using 3 different methods suggested by geothermometers, mineral saturation state and mixing model. The underground temperature in each reservoir are estimated to be $120\pm 40^{\circ}\text{C}$ and indicating a low temperature geothermal resource in the study area. These resources can be used for room heating and production of electricity by a binary system.

博士学位論文審査結果の要旨

Dolgorjav Oyuntsetseg 氏は、日本学術振興会の論博研究者として、富山大学大学院に在籍している。本研究では、モンゴル内の地熱資源をどのように利用するかを最終目的とし、モンゴル国内に存在する温泉水の現地調査、試料採取、分析・解析を行った。採取した温泉水などの水試料の化学組成や様々な同位体組成を、富山大学において分析し、水の起源や岩石—水反応による水質変化、地下温度、地熱資源規模などについての解析を行った。その結果、モンゴル国内では、大型の地熱発電を行うことは難しいが、中温の温泉発電や熱利用が可能であることを示した。これらの地熱資源の詳細な解析結果は、国際誌へ発表した。また、申請者は、地球化学、地質学などの広い分野での豊富な知識を有しており、博士としての資格を有すると判断した。

学位論文は、4 章からなり、第 1 章では、モンゴル国内での温泉分布や地質分布の状況、地熱に関する先導研究のまとめを行った。第 2 章では、Khangai 山岳地域に分布する温泉や冷泉、河川水を 46 試料採取しておいた試料について、その化学組成及び水素・酸素同位体組成を分析し、その特徴から温泉水や冷泉の起源や水質変化を議論した。その結果、冷泉中の Ca^{2+} や Mg^{2+} 濃度は、 HCO_3^- 濃度と正の相関が確認され、 Ca-Mg-HCO_3 型であった。また、 δD 値と $\delta^{18}\text{O}$ 値は、 $-87\sim-126\text{ ‰}$ と $-12\sim-17\text{ ‰}$ の範囲の値を示し、同じ地域の河川水と似た組成を示した。この水素・酸素同位体組成から、冷泉は雨水や河川水が地下へ浸透したものであり、この地域に広く分布するドロマイトを溶解していることが示された。これに対し、温泉では、岩石との反応により Na-HCO_3 型に変化しており、粘土とのイオン交換が示唆された。第 3 章では、Khangai 地域より北部に分布する温泉水などについて、平成 26 年度に新規に現地調査を行い、その地球化学的特徴と起源について議論を行った。また、温泉にともなうガスも採取し、その $^3\text{He}/^4\text{He}$ 及び $^{20}\text{Ne}/^3\text{He}$ 比や、温泉水中の溶存炭酸の炭素同位体組成 ($\delta^{13}\text{C}$)、硫酸イオンの硫黄同位体組成 ($\delta^{34}\text{S}$) を分析した。これらの結果から、モンゴル国の温泉の熱源は、マグマ性ではなく、地下に存在する花崗岩中の U や Th などの放射性元素の壊変による熱に由来することが判明した。第 4 章は、温泉水の化学成分を用いて、地化学温度計により、地下の温泉貯留層の温度を推測し、 $73\sim 171^\circ\text{C}$ の地熱流体が地下に存在することを示した。この温度の検証のため、鉱物—水間の化学平衡論により、鉱物が溶解・沈殿する条件を検討し、数種の鉱物の飽和指数から、地下の温度を再検討した。その結果、地化学温度計から求められた地下温度と大きな違いがないことを示した。これらの温泉水を今後熱利用する際に、問題となる化学沈殿物（スケール）が沈殿するかどうか、沈殿する際にはどのようなスケールが沈殿するかを、熱力学的データベースを用いて飽和指数の検討を行った。その結果、温泉水は炭酸カルシウムに飽和しており、熱利用する際には、熱交換器や地上配管内にスケールが沈殿することが予想された。本研究は、我が国のモンゴルへの国際協力を推進することにもつながり、モンゴル国内での教育や研究、地熱資源の有効活用について、大きく貢献できる。