

平成 28 年度廣川研究助成事業報告 (3)

持続的な地熱エネルギー利用のための地球化学的 地熱資源評価手法と住民参加型地熱調査活動の検討

最首花恵¹⁾

1. はじめに

筆者は 2014 年に開所した福島再生可能エネルギー研究所 (FREA) において、地球化学をベースに、地熱エネルギーの研究 (以下、地熱研究) に取り組んでいる。平成 28 年度廣川助成金事業により、2016 年 8 月 2 日から 17 日まで、アメリカ合衆国における研究活動の機会をいただいた。本稿は、その研究活動の報告である。

2. 渡米の目的と背景

今回の渡米期間には、地熱研究における社会科学と地球化学の新しい可能性を模索した。持続的な地熱エネルギー利用のためには、科学技術から社会経済まであらゆる観点から、地熱資源量や地熱開発事業を評価することが重要である。本研究活動は、その手法やシステム構成を検討する手掛かりを得ることを目的とした。

近年、再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、各事業の社会受容性に関する議論が広がっている。特に日本では、以前から新規の地熱資源開発による国立公園や既存温泉への影響を懸念する声が少なくない。地熱利用に関し、社会の理解と受容性を得ることは非常に重要である。Soma *et al.* (2015) は、地熱開発事業の社会受容性獲得を目指し、総合設計 (Overall System Design, OSD) モデルを提案した。OSD では、科学技術から社会経済まであらゆる要素を用い、地熱資源利用法を段階的・総合的に評価検討することで、ステークホルダーの理解促進を図る。現状の OSD は概念モデルであるため、次の段階として、OSD に組み込むデータベースの作成、評価手法の確立、評価システムの設計、などが必要である。特に地熱資源開発に対する社会の理解度・期待度・満足度などに関し、段階的な把握と評価のためのデータや手法は欠かせない。本研究において、地熱資源利用が活発なアメリカの社会状況を学ぶこ

とにより、日本の社会状況や OSD の構成をより客観的に捉え検討することができると考えた。

地球化学は、地熱研究の中でも熱水起源の解明や地熱スケール対策の技術開発などを得意としてきた。しかし筆者は、地熱研究における地球化学的アプローチは、より幅広く汎用的であり得ると考えている。地熱資源とは地殻内部の「熱」と「水」であり、地熱資源量は地下の温度(熱がどれだけ存在するか)と岩石透水性(水がどれだけ流れるか)に大きく依存する。地殻内部の普遍的な化学反応に、鉱物の溶解析出反応がある。析出した鉱物は、地殻流体の流路である岩石き裂に沈殿し、その空間を埋め、最終的には鉱物脈を形成する。つまり、鉱物析出反応は岩石透水性、ひいては地熱資源量の時空間変化を支配している可能性がある。筆者はこれまでの研究で、地熱地域の透水域—不透水域境界の形成に顕著なシリカ鉱物析出反応が影響している可能性を示唆した (Saishu *et al.*, 2014)。今回、アメリカの地熱研究に関わる地球化学者と直接議論することにより、研究協力体制を整え、研究方針をより深く幅広く検討できると考えた。

3. Rico & Pagosa Springs (コロラド州)

Rico はコロラド州南西部の標高約 3,200 m にある、基本人口約 200 人の町である。夏でも涼しく、朝晩には厚手の長袖が必要なほどだった。1879 年より鉱山事業で栄えたが、公害など資源開発の負の面も経験し、現在はその古い町並みを残す観光地となっている。夏季には避暑・アウトドア・創作活動の拠点として、一時的に人口が増える (Rico, 2017)。町内の川沿いには温泉が湧出しており (写真 1)、地元ではその地熱資源の利用が検討されているが、実用化には至っていない。

コロラド鉱山大学の中川昌美准教授の研究グループでは、Rico の地熱資源利用の可能性について、現地調査と

1) 産総研 エネルギー・環境領域 再生可能エネルギー研究センター

キーワード：廣川研究助成事業、地熱エネルギー、シリカ鉱物、社会受容性

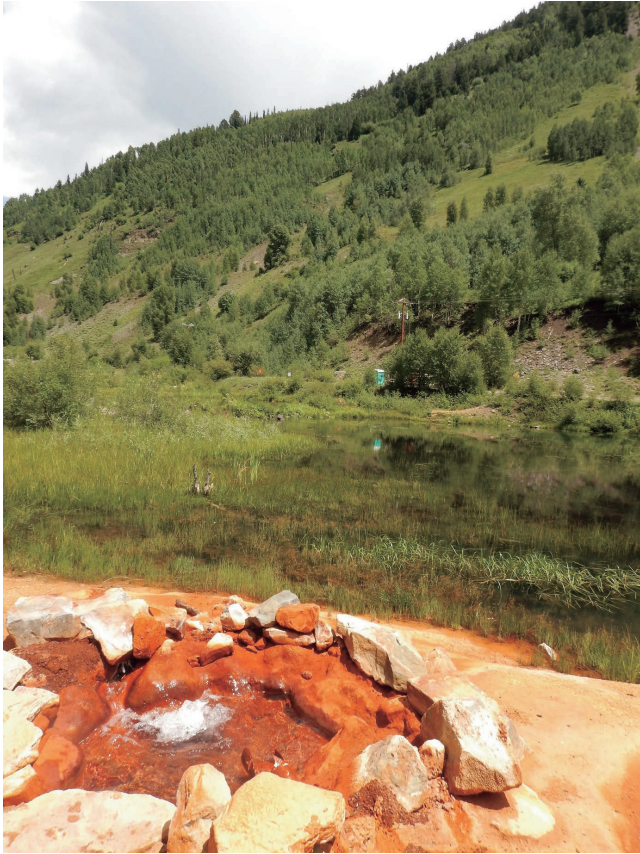


写真1 Ricoの自然湧出の温泉の風景

地元交流に関する研究活動を行っている。筆者は中川グループを中心とした地熱調査活動に同行し、Ricoを訪れた。現地では主に、地熱利用に関するヒアリング調査において、東北大学のKyle Bahr助教と土屋範芳教授の研究グループの学生、電中研の窪田ひろみ氏、と活動を共にした。筆者と学生はBahr助教と窪田氏から事前に社会調査の基本を学んだうえで、Bahr助教主体の実調査に同行した。Ricoでは10人以上のヒアリングに同席したが、内容は予想以上に千差万別で、毎回、調査のノウハウや住民の地熱に対する意識について何かしら新しく学ぶことがあった。

8月8日にはコロラド鉱山大学主体の報告会に参加した。中川グループではRico調査の見学会や報告会といった住民参加型地熱調査活動も行っている。今回の報告会では、まずコロラド鉱山大学及び東北大学のメンバーからRicoの地熱資源調査と社会科学調査の結果についてそれぞれ報告があり(写真2)、その後は交流のための自由時間が設けられた。参加住民は研究者と終始意見交換を行っており、興味関心の高さがうかがえた。東北大学の学生を主体とし、折り紙など日本文化の紹介も行った。特に、学生が参加住民の名前を漢字の当て字で書いた名札は大好評だった。綺麗でわかりやすい意味の漢字を選ぶのには少々苦労



写真2 Rico町内における研究報告会

していたようだ。

8月10日には日帰りでPagosa Springsに行った。目的はRico同様のヒアリング調査と地熱資源利用システムの見学であった。Pagosa SpringsはRicoの約100km南東に位置する人口約1,800人の町で、名前のとおり温泉の湧出するスパリゾート地である。Ricoからは車で片道約2.5時間、標高が低くなるにつれ、夏らしい暑さになった。町では一括して地熱資源を管理しており、生産井から利用施設への熱水供給システムが整備されている。到着して最初に目に入ったのは、川沿いの温泉スパ施設であった(写真3)。遠くからでも目立つ大きな半透明のドームは、農業用の温室だった(写真4)。個人経営のビール店では、地下工場で地熱を利用して作ったビールを地上の飲食店で提供していた。冬季には店舗周辺の融雪にも利用しているらしい。ヒアリング調査でも地熱について様々な意見を聞くことができた。町が一体となり地熱資源を利用している姿勢が印象的だった。

ちなみに、旅の途中ではコロラド鉱山大学に立ち寄る機会もあった。デンバー国際空港から車で約1時間、Goldenの街中に緑の綺麗なキャンパスがある。特に構内の地質博物館はすばらしかった。あらゆる鉱石の他、アポロ計画の月の石、隕石、蛍光鉱物、鉱山事業で使われていた道具などが展示されていた。個人的には大きな石英の結晶に惹かれ、その展示ケースの前で長い時間を費やした。

4. Eugene (オレゴン州)

Eugeneはオレゴン州の西部に位置する人口約16万人の街である(Eugene, 2017)。路面電車や自転車専用道路が整備され、車以外の交通手段も利用しやすい。オレゴン大学はEugene空港から車で30分ほどの街の中心部に位置する総合大学で、文理に加え芸術系の学部もあり、キャンパス内には研究施設と一緒に美術館や劇場など文化施設も立ち並ぶ。



写真3 Pagosa Springsの温泉スパ



写真4 Pagosa Springsの温泉水を利用した温室施設

オレゴン大学の Mark H Reed 教授は、岩石-水相互作用と地熱の研究に多大な貢献をされてきた研究者の一人だ。Reed 教授が開発した熱力学平衡計算プログラム、SOLVEQ-XPT と QHIM-XPT は、地上で採取した熱水と気体の成分分析値から地下の鉱物平衡や沸点の条件を求めることができ、特に地熱分野では広く利用されている (Reed *et al.*, 2010; Reed *et al.*, 2011)。筆者は学生時代に一度、Reed 教授の研究室に短期滞在し、シリカ鉱物析出反応に関する分析や計算手法を学んだ。特にシリカ鉱物のゾーニングと微量元素の関係に関しては、オレゴン大学で得られたデータを用いて、研究成果を発表することができた (Saishu *et al.*, 2012)。

今回、研究者としてオレゴン大学の再訪が叶ったことはとても嬉しく思った。以前と変わらない Reed 教授の研究室は懐かしく、学生の頃の気持ちも蘇った。Reed 教授とは、筆者の博士論文から産総研入所後の成果と、Reed 教授の現在の研究内容をふまえ、シリカ鉱物析出反応に関わる微量元素の役割、シリカ鉱物析出反応が地熱地域の岩石透水性に及ぼす影響、地熱資源の地化学的地熱資源評価手法、などに関して十分な意見交換を行った。また、今後の研究展開についてもお話し、継続した研究協力体制につい

て確認することができた。

文献

5. おわりに

コロラド州では、ヒアリング調査や住民参加型調査活動を通して、様々な地域住民の考え方や地熱利用システムの状態を知ることができた。オレゴン大学では、地球化学と地熱研究について有意義な意見交換をすることができた。今回得られた知識経験と協力体制を生かし、関係者と継続的に議論しながら、新しい地熱研究に挑戦していく所存である。

最後に、本研究活動が現地で出会った方々との研究の枠を超えた交流に支えられたことを述べておきたい。特に Rico の女性陶芸家には、ホームステイで素敵な部屋をお借りし、彼女の話や創作活動からもよい刺激をいただいた。Eugene で再会した Reed 教授の奥様は、久々に帰省した家族のように温かく迎えてくださり、共に楽しい時間を過ごさせていただいた。このような多くの素晴らしい出会いもまた、自分の研究活動の原動力になっている。

謝辞: 本研究の現地活動における、Rico 地熱調査活動及びコロラド州ヒアリング調査の関係各位のご協力、オレゴン大学 Reed 教授と奥様の多大なお力添えに、心より感謝申し上げます。本研究活動は、地質調査総合センター廣川研究助成事業のご支援により実現しました。厚く御礼申し上げます。

- Eugene (2017) Eugene's Population Growth, Eugene official website, <https://www.eugene-or.gov/768/Eugenes-Population-Growth> (2017年7月14日確認)
- Reed, M.H., Spycher, N.F. and Palandri, J. (2010) *SOLVEQ-XPT: A Computer Program for Computing Aqueous-Mineral-Gas Equilibria*. Department of geological sciences, University of Oregon, 43p.
- Reed, M.H., Spycher, N.F. and Palandri, J. (2011) *QHIM-XPT: A Program for Computing Reaction Processes in Aqueous-Mineral-Gas Systems and MINTAB Guide (Ver 2.42)*. Department of geological sciences, University of Oregon, 73p.
- Rico (2017) Rico Colorado, <http://ricocolorado.org/> (2017年7月14日確認)
- Saishu, H., Okamoto, A. and Tsuchiya, N. (2012) Mineralogical variation of silica induced by Al and Na in hydrothermal solutions. *Am. Mineral.*, 97, 2060–2063.
- Saishu, H., Okamoto, A. and Tsuchiya, N. (2014) The significance of silica precipitation on the formation of the permeable-impermeable boundary within Earth's crust. *Terra Nova*, 26, 253–259.
- Soma, N., Asanuma, H. and Oikawa, Y. (2015) Conceptual Study of Overall System Design of Geothermal Energy Systems for Achieving Universal Use in Japanese Social Condition. *Proceedings World Geothermal Congress 2015*, Melbourne, Australia, 7p.

SAISHU Hanae (2017) Report of the Hirokawa Research Fund in the 2016 fiscal year: the geochemical evaluation of geothermal energy potential and the geothermal observation with stakeholders for sustainable geothermal energy use.

(受付: 2017年7月19日)