

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K20499

研究課題名（和文）革新的地熱資源探査法「ストリームpHマッピング法」の実用化研究

研究課題名（英文）Research on the practical application of the innovative geothermal resource exploration method "pH Mapping"

研究代表者

鈴木 陽大（Suzuki, Yota）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・研究員

研究者番号：70829499

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：pHマッピングの概念を検証するため、中性型熱水貯留層位置が既知となっている地域で現地調査を実施した。その結果、pHマップに基づいた中性型熱水貯留層位置の推定には、適切なデータの選定が必要であることを見出し、データスクリーニング法を導出した。全国主要地熱地域における地表水データを2,000件以上収集・デジタル化し、pHマッピングの適用可能性を検証した。pHマッピングおよびデータスクリーニング法は、国内の主要地熱地域で適用可能な、汎用性の高い手法であることを示唆する結果を得た。さらに、調査地域を選定する際は、谷密度等の地形量を考慮することの有効性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地熱発電は、再生可能エネルギーの中で唯一、安定電源という利点を持つが、国内の地熱発電設備容量は、1996年以降ほぼ横ばいとなっている。地熱開発停滞の要因として、高い開発リスクが知られており、地熱開発促進には、開発リスクを低減させる新しい技術が不可欠である。「pHマッピング」は、従来のものより迅速性・経済性の面で優れた地熱探査法として提案され、地熱開発リスク低減に効果的と考えられるが、未だ実用化には至っていない。本研究では、pHマッピングの概念を検証するとともに、性能評価・課題抽出等を実施し、pHマッピングの実用化に向けて重要な知見を獲得した。

研究成果の概要（英文）：To validate the concept of pH mapping, a field survey was conducted in an area with known neutral hydrothermal reservoir locations. As a result, we found that appropriate data selection is necessary to estimate the location of neutral hydrothermal reservoirs based on pH maps, and we developed a data screening method. More than 2,000 surface water samples were collected and digitized from major geothermal areas in Japan, and the applicability of pH mapping was verified. Furthermore, it was shown that considering topographic variables, such as drainage density, is effective when selecting the study area.

研究分野：地熱エネルギー

キーワード：地熱資源探査 地熱貯留層 pH Shadow効果

### 1. 研究開始当初の背景

東日本大震災以降、再生可能エネルギー増大の機運が高まっている。特に、天候に左右されない地熱発電は、再生可能エネルギーの中で唯一、安定電源という利点を持つ。しかし、国内の地熱発電設備容量は、1996年以降ほぼ横ばい状態が続いている（一般社団法人火力原子力発電技術協会、2016）。地熱開発停滞の要因として、高い開発リスクが知られており、地熱開発促進には、開発リスクを低減させる、新しい技術が必要不可欠である。そのため研究代表者らは、新しい地熱資源探査法として「pH マッピング」を提唱した（Suzuki et al., 2017）。

pH マッピングは、地熱開発地域における地表水（温泉水、湧水、沢水等）の pH を測定し、その分布傾向から地熱貯留層位置を推定する、新しい地熱資源探査法である（図1）。従来の地熱資源探査法より時間的にも経済的にも優れるため、地熱開発リスク低減に効果的と考えられる。pH マッピングは、火山地域における一般的傾向を利用している。一般的に、地熱開発に適した火山地域では、山頂付近に酸性の地表水が、山麓に中性の地表水が分布する。これは、山頂付近が最も火山性ガスの影響を強く受けるためである（Henley and Ellis, 1983）。また、火山性ガスの上昇が確認された地点の地下には、地熱貯留層が存在しないことも知られている（島田, 2000）。これは、地熱貯留層が火山性ガスの上昇を妨げるためと考えられている（Shadow 効果）。すなわち、地熱貯留層位置の推定には、火山性ガスの上昇地点を把握する事が重要であり、それには地表水の pH 測定が有効であると考えられる。これが pH マッピングの基本的概念である。

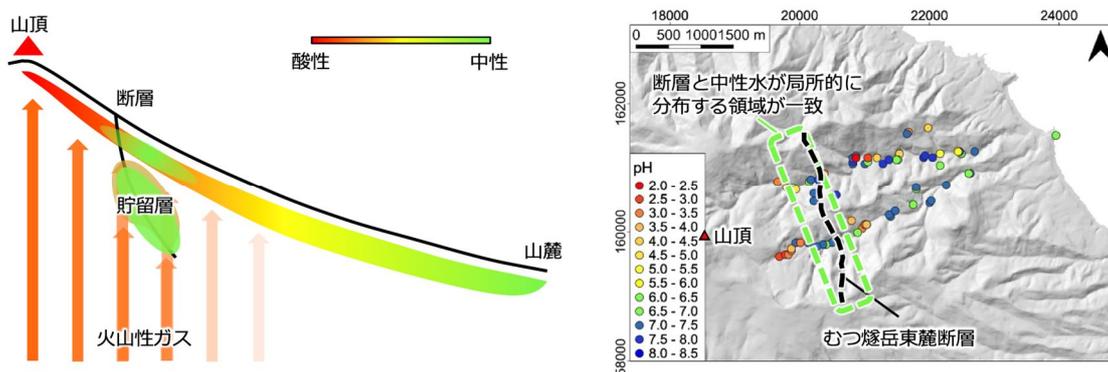


図1 pH マッピングの概念図 (左), むつ地熱地域における地表水の pH マップ (右)

### 2. 研究の目的

pH マッピングは簡易的に実施することが可能だが、未だ概念の検証が不十分なため実用化に至っていない。故に、研究課題の核心をなす学術的「問い」は、「地表水の pH 分布から、地熱貯留層位置の推定は可能か？」である。Shadow 効果の概念が正しければ、地熱貯留層直上には局所的に中性の地表水が分布するはずである。本研究では、地熱貯留層位置が明確な地域において pH マッピングによる探査を実施し、その概念を検証した。

pH マッピングは、pH という基本的なパラメータの測定のみで完結するため、従来の地熱資源探査法に比べて、迅速かつ低予算で実施可能である。従来の地熱資源探査は、地質、化学、物理それぞれの専門家による高度な解析結果を統合解釈することで、地熱構造を把握し、地熱貯留層位置を推定していた。一方、pH マッピングは、高度な解析を必要とせず結果を得られるため、実施者の専門性を問わない。以上の点において、pH マッピングは従来手法に比べて優位であり、地熱開発リスク低減に効果的と考えられる。本研究では、Shadow 効果の概念を実証するとともに、地熱資源探査法としての実用化を目指し、性能評価・課題抽出等を実施した。

### 3. 研究の方法

#### (1) Shadow 効果の検証 (データスクリーニング法の導出)

pH マップに基づいた中性型熱水貯留層位置の推定には、Shadow 効果の検証に適したデータの選定が必要である。本研究では、長期滞留や広範囲の流動等によって、Shadow 効果の検証に適さないデータを選別するためのスクリーニング法を2種類導出した(図2)。

#### (2) 主要地熱地域における pH マッピング法の適用可能性

pH マッピングの実用化には、多数地域での検証を通じた信頼性向上が不可欠である。これには、貯留層位置が明確な既設発電所周辺における検証が効果的だが、検証地域の選定には pH マップ作成に必要なデータの数・密度を確保することも重要である。地表水の湧出・流動等は地形量に影響を受けるため、適切なデータの数・密度は地域毎に異なるが、調査地域選定のための具体的

な指標は存在しない。本研究では、既調査地域の地形量（谷密度）を用いて、既設発電所周辺地域における pH マッピング検証調査の適否について検討した。

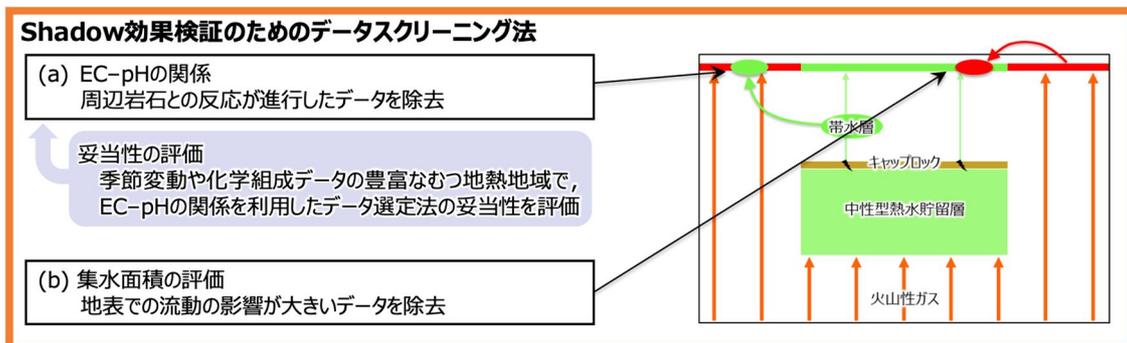


図2 Shadow効果検証のためのデータスクリーニング法

#### 4. 研究成果

##### (1) Shadow効果の検証（データスクリーニング法の導出）

EC-pHの関係に基づいたデータスクリーニングは、長期滞留等によって地下で周辺岩石との反応が進行し水質変化が生じたデータを、ECとpHの関係性を用いて取り除くことが目的である。図3に概念図と、むつ地熱地域における地表水のEC-pHグラフを示す。熱源からの距離が近く火山性ガスの影響が最も大きいと思われるデータ(A<sub>1</sub>)と、熱源からの距離が遠く火山性ガスの影響が最も小さいと思われるデータ(A<sub>2</sub>)からMixing Lineを決定し、そこから大きく外れてプロットされたデータを、火山性ガス以外の要因で電気伝導率が大きく変化しているものと判断して取り除く。EC-pHグラフによるデータスクリーニングの妥当性を検証するため、アニオンインデックス（野田，1987）とpHの関係性を検討したところ、両者には負の相関関係が見られたことから、火山性ガス以外の影響で水質変化が生じたデータを適切に取り除くことができたものと判断した（Suzuki et al., 2021）。また、主要地熱地域において、収集・デジタル化された2,000件以上の地表水データを使用して検討した結果、EC-pHの関係に基づいたデータスクリーニング法は、国内の主要地熱地域で適用可能な汎用性の高い手法である可能性が示された（鈴木・浅沼，2021）。

A<sub>1</sub>：熱源からの距離が近いデータ（pH<sub>1</sub>, EC<sub>1</sub>），A<sub>2</sub>：熱源からの距離が遠いデータ（pH<sub>2</sub>, EC<sub>2</sub>）

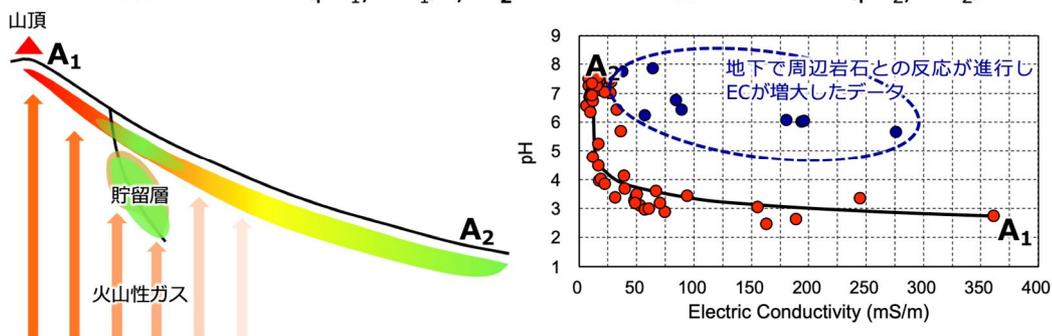


図3 EC-pHの関係に基づいたデータスクリーニングの概念図

pH マップを作成する際、中性型熱水貯留層直上で測定されたデータであっても、貯留層直上から離れた地点で火山性ガスの影響を受けて酸性化した水が混入する可能性がある。集水面積に基づくデータスクリーニングは、このような流動範囲が広く、他の水の混入等によって水質変化が生じた可能性のあるデータを取り除くことが目的である。中性型熱水貯留層範囲が明確な既設地熱発電所周辺で検討したところ、集水域が貯留層範囲外まで及ぶデータが取り除かれた結果、貯留層直上には中性水のみが分布することを見出し、Shadow効果の概念と整合する結果が得られた（Suzuki et al., 2021）。

##### (2) 主要地熱地域における pH マッピング法の適用可能性

pH マッピングの既調査地域および主要既設発電所周辺地域の谷密度は同程度の値を示した。谷密度が同程度であれば、pH マッピングのデータ密度も同程度が見込まれるため、いずれの既設発電所周辺地域も pH マッピング検証調査に適していることが示唆された。また、調査範囲を 10km<sup>2</sup>程度とした場合、データ数は最大で 100 点程度となることから、調査実施期間は 10 日前後が想定される（鈴木ほか，2017）。さらに、既設発電所周辺地域では、認可出力が大きい地域ほど谷

密度が小さい傾向を示したことから，地形量の検討は，pH マッピングの調査地域選定時において有益な知見をもたらす可能性が示された。

<引用文献>

Henley, R.W. and Ellis, A.J. (1983) Geothermal systems, ancient and modern: a geochemical review. *Earth-Science Reviews*, 19(1), 1-50.

一般社団法人火力原子力発電技術協会 (2016) 地熱発電の現状と動向 2015年, 119p.

野田徹郎 (1987) 地熱活動の指標としてのアニオンインデックス. *日本地熱学会誌*, 9(2), 133-141.

島田寛一 (2000) 流体地化学モデリング (地熱地化学講座). *地熱*, 37(4), 36-56.

鈴木陽大・井岡聖一郎・村岡洋文 (2017) 鬼首荒湯地区におけるストリーム pH マッピング法の適用事例. *日本地熱学会平成 29 年学術講演要旨集*, P09.

Suzuki, Y., Ioka, S. and Muraoka, H. (2017) Geothermal resource exploration by stream pH mapping in Mutsu Hiushi Dake volcano, Japan. *Energies*, 10, 1009-1019.

鈴木陽大・浅沼 宏 (2021) EC-pH グラフによる地表水データスクリーニング法の汎用性の検討. *日本地熱学会令和 3 年学術講演要旨集*, P38.

Suzuki, Y., Ioka, S., Muraoka, H. and Asanuma, H. (2021) S Shadow effect of the pH distribution of surface waters around the Kakkonda geothermal field, Japan. *Geothermics*, 95, 102111.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Suzuki Yota, Ioka Seiichiro, Muraoka Hirofumi, Asanuma Hiroshi	4. 巻 95
2. 論文標題 Shadow effect of the pH distribution of surface waters around the Kakkonda geothermal field, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geothermics	6. 最初と最後の頁 102111 ~ 102111
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.geothermics.2021.102111	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 鈴木陽大, 山谷祐介
2. 発表標題 谷密度を用いたpHマッピング法調査地域の選定
3. 学会等名 日本地熱学会令和5年学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木陽大, 浅沼宏
2. 発表標題 我が国の地熱発電量増大に向けた技術課題について
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木陽大, 相馬宣和, 浅沼宏
2. 発表標題 TRIAL OF DX UTILIZATION IN GEOTHERMAL SYSTEM ASSESSMENT
3. 学会等名 グランド再生可能エネルギー2022国際会議（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木陽大, 浅沼 宏
2. 発表標題 EC-pH グラフによる地表水データスクリーニング法の汎用性の検討
3. 学会等名 日本地熱学会令和3年学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木陽大, 浅沼 宏
2. 発表標題 八甲田地熱地域における地表水のpH分布特性
3. 学会等名 日本地熱学会令和2年学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木陽大, 井岡聖一郎, 村岡洋文, 浅沼宏
2. 発表標題 八甲田地熱地域におけるストリームpHマッピング法の適用事例
3. 学会等名 日本地熱学会令和元年学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------