

令和7年度 糸魚川ジオパーク学術研究奨励事業 研究概要

No.4 小田健登（福島大学）

【研究の名称】

糸魚川での蛇紋岩地帯における天然水素の探索

【背景と目的】

次世代のエネルギーとして注目されている水素は現在、水の電気分解やメタンガスなどの改質によって製造されている。しかし自然界でも水素は生成されており、その水素を天然水素と呼ぶ。天然水素は人工による生成と比べて生成コストや、生成時の温室効果ガス削減を見込めるというメリットがある。

この天然水素は水の放射性分解、蛇紋岩化作用、地球深部からの排出、火山活動、岩石のフランチャーリングなどによって発生する。その中でも本研究では生成スピードの速い蛇紋岩化作用に注目し調査を行った。

野坂（2012）では蛇紋岩化作用とは、かんらん石が熱と圧力によって水と反応することで、蛇紋石、ブルーサイト、磁鉄鉱、水素が発生することが示されている（式1）。

蛇紋岩化作用による天然水素について、海外ではオマーン、トルコ、フィリピンなどで確認されている。また国内でも、長野県白馬村の白馬八方温泉で温泉水に水素が溶存しており、蛇紋岩化作用による天然水素発生が確認されている（森本ほか 2014）。

新潟県糸魚川市では蛇紋岩地帯が広く分布し、天然水素の実例のある白馬八方温泉の蛇紋岩地帯とも近く、天然水素発生の可能性があると考え、糸魚川市を研究対象地域とした。

【研究内容】

以下のスケジュールにて、本研究を実施した。

日程	主な調査・研究等の概要
令和 7 年 5月 28 日～ 29 日	予備調査。 調査場所の選定、移動手段の確認。
6月 6 日～9 日	糸魚川市内の青海地域、小滝地域で調査。 土壌ガス調査、露頭での岩石サンプル採取、湧水の調査。
7月 26 日～	糸魚川市内の小滝地域、蓮華地域で調査。長野県白馬村の白馬八方

28日	温泉の源泉付近で調査。 土壤ガス調査、温泉水水素濃度調査、露頭の調査。
9月26日～ 28日	糸魚川市内の青海地域、小滝地域、蓮華地域で調査。 温泉水水素濃度調査。露頭で磁束密度の測定、湧水の調査。
10月14～ 15日	糸魚川市内の蓮華地域、青海地域で調査。 露頭で磁束密度の測定、湧水の調査。
11月15日	糸魚川市内の青海地域、小滝地域で調査。 露頭で磁束密度の測定。
11月29日	糸魚川市内の青海地域、小滝地域で調査。長野県白馬村で調査。 露頭で磁束密度の測定、岩石サンプル採取。
11月-令和 8年1月	室内解析。 FEFLOWによる熱輸送解析、岩石サンプルの磁化率測定。

本研究では新潟県糸魚川市の蛇紋岩地帯を青海、小滝、蓮華の3つに区分し、天然水素発生の事例がある長野県白馬村の蛇紋岩地帯と比較をしながら調査を行った(図1)。

天然水素の兆候をつかむために、土壤ガス調査、温泉水・湧水水素濃度調査、磁束密度・磁化率調査の3つの調査を行った。

土壤ガス調査では、防災科研の地すべり地形分布図と、地球情報・技術研究所のリニアメント図を参考にして調査地点を決め、ハンドオーガーで50 cm掘り、蓋をして10分間放置した。その後、はじめに室内分析用のガスサンプルを容量12 mLの注射器を用いてバイアル瓶にとった。次に携帯用ガス検知器(XP-3360Ⅱ)で水素濃度を測定した。そして、福島大学でガスクロマトグラフ(GC-4000)により詳細な分析を行った。

温泉水水素濃度調査では、はじめに携帯用ガス検知器を用いて、温泉水付近での水素濃度を測った。次に、温泉水のpH、EC(MM-42DP)、ORP(HM-40P)の測定を行った。そして、ガスクロ分析用の温泉水のサンプルを12 mL採取した。後日福島大学でガスクロマトグラフによる分析を行った。また、青海地域の外波川沿いにトンネル湧水を見つけたため、そこでの水質調査、水素濃度調査を行った。

森尻・中川(2015)より、マグнетタイトの量は磁化率と比例するので、磁化率が分かれば蛇紋岩化度がわかると示されている。つまり磁化率の値が小さいほど蛇紋

岩化作用が進行しておらず、天然水素発生の可能性があると解釈される。そこで、現地では露頭で20 cmおきに磁束密度の測定を行った。磁束密度の測定では磁化率を推定することは難しいため、現地で採取した蛇紋岩のサンプルを用いて福島大学の振動試料型磁力計（VSM）で磁化率の測定を行った

また、水素は約300°Cで最も効率的に生成されることがThomas et al. (2009) によって示されている。そのため、地下水流动、物質輸送、熱輸送を有限要素法で解析するシミュレーションコードであるFEFLOW (Diersch 2013) を用いて地下の温度分布を解析した。

【研究のまとめ】

土壤ガス調査の調査地点を図2、結果を表1に示す。携帯用ガス検知器による測定ではどの地点でも検知されなかった。ガスクロによる測定では、5~8 ppm程度で測定された。天然水素の実例のある白馬八方温泉の源泉付近で土壤ガス調査を行ったが、結果は5.62 ppmであった。蛇紋岩地帯での調査だけで水素の発生があるかどうかの評価が難しいため、福島大学の構内で表層は1がローム層、2が強風化花崗岩となっている2地点でガスクロによる土壤ガス測定を行った（図3）。結果は1が定量限界未満で、2が1.76 ppmとなった。この結果より、蛇紋岩地帯では比較的高い濃度で水素が検出されるが、糸魚川と白馬で大きな差はみられなかった。

温泉水・湧水の調査地点を図4、結果を表2に示す。蓮華温泉では姫川温泉と比べて比較的高濃度で水素が検出されたが、天然水素発生の実例のある白馬八方温泉と比較すると、pHは酸性を示し、ORPもプラスの値を示した。また、携帯用ガス検知器での測定では、硫化水素に反応して値が出ている可能性があったため、蓮華温泉では火山ガス検知器を用いて測定を行った。結果は硫化水素がOVER RENGE (5000 ppm以上) で検出されたため、蓮華温泉で測定した水素は硫化水素の可能性がある。また、青海地域のトンネル湧水では水素を直接検知することはできなかったが、蛇紋岩地帯から湧出しているため、測定を続けることで天然水素の兆候をつかむことが出来る可能性があると考えられる。

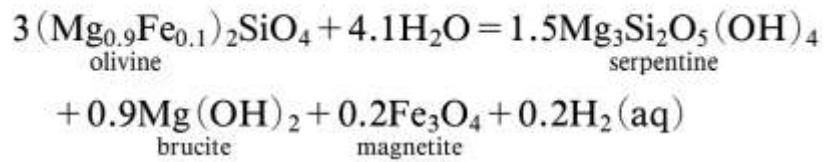
磁束密度調査では、青海、小滝、白馬では0.30 mT程度で大きな差はみられなかった。一方、蓮華地域で測定した転石では0.32~0.53 mTで測定され、比較的高い値であった。磁化率調査では、青海地域、小滝地域、白馬地域で採取した蛇紋岩のサンプルで測定を行った。蓮華地域は中部山岳国立公園内でサンプル採取をすることが出来なかつたため測定を行っていない。青海地域のサンプルでは約0.31 m3/kg、小

滝地域のサンプルでは約0.88 m³/kg、白馬地域のサンプルでは約3.62 m³/kgであった。以上の結果より、糸魚川市の蛇紋岩は白馬地域と比較して蛇紋岩化が進行していないなく、水素発生のポテンシャルは高いことが分かった。

FEFLOWによる熱輸送解析では、新潟県糸魚川市から長野県白馬村にかけての範囲でモデルを作成し、地下の熱の分布を解析した。解析の結果、蛇紋岩化作用によって最も効率的に水素が生成される300°Cに到達するのは、標高-2000m程度であることが分かった（図5）。

新潟県糸魚川市の蛇紋岩地帯では、白馬八方温泉のように直接的に水素発生を確認することは出来なかった。しかし、土壤ガス調査では微量であるが検知することはでき、磁化率の値も小さかったため、天然水素発生の可能性は十分にあると考えられる。

まだ調査地点も少なく、調査方法についても見直す余地があると考える。また、蛇紋岩化作用における天然水素の探索方法は世界的にみても確立されておらず、様々なアプローチで調査を行うことでより確実な結果を出すことが出来るかもしれない。そのため今後も、新潟県糸魚川市の蛇紋岩地帯での天然水素の探索を行いたいと考えている。



式1 単純な蛇紋岩化作用の化学式（野坂 2012より引用）

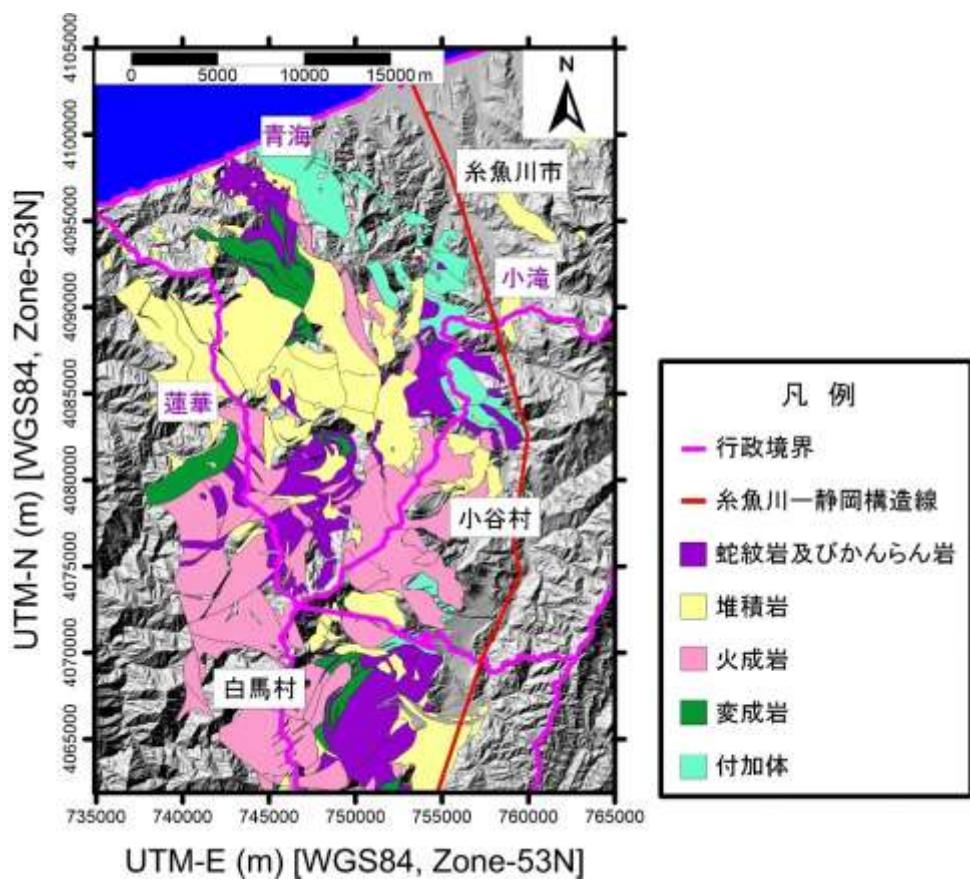


図1 研究対象地域の蛇紋岩と周辺の岩石の分布

（長森ほか 2010、中野ほか 2002より引用）

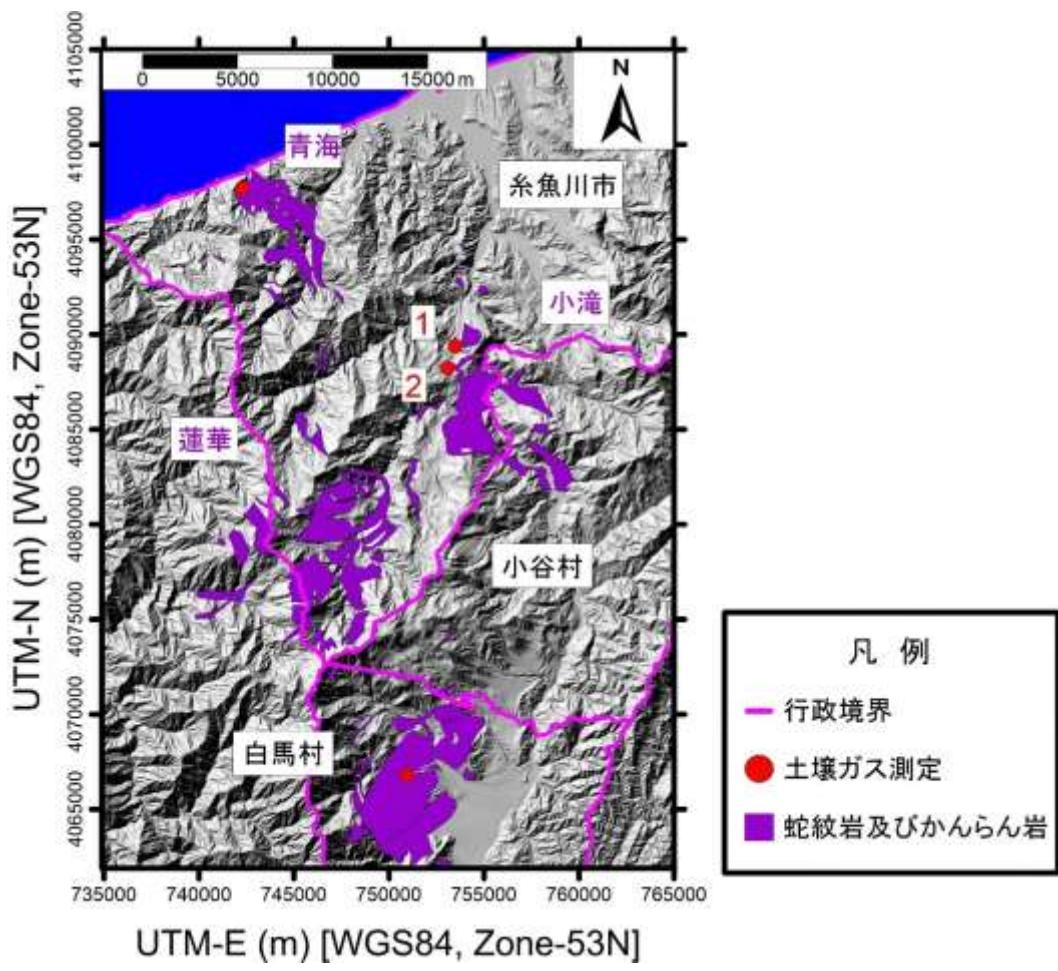


図2 土壤ガス調査地点

(長森ほか 2010、中野ほか 2002より引用)

表1 土壤ガスの水素濃度測定結果

	青海	小滝-1	小滝-2	白馬	福島大学-1	福島大学-2
携帯用ガス検知器 ¹	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	—	—
ガスクロ ²	7.81 ppm	7.02 ppm	5.54 ppm	5.62 ppm	定量限界未満	1.76 ppm

¹表示分解能：1 ppm、²定量下限値：1 ppm、「—」は未測定

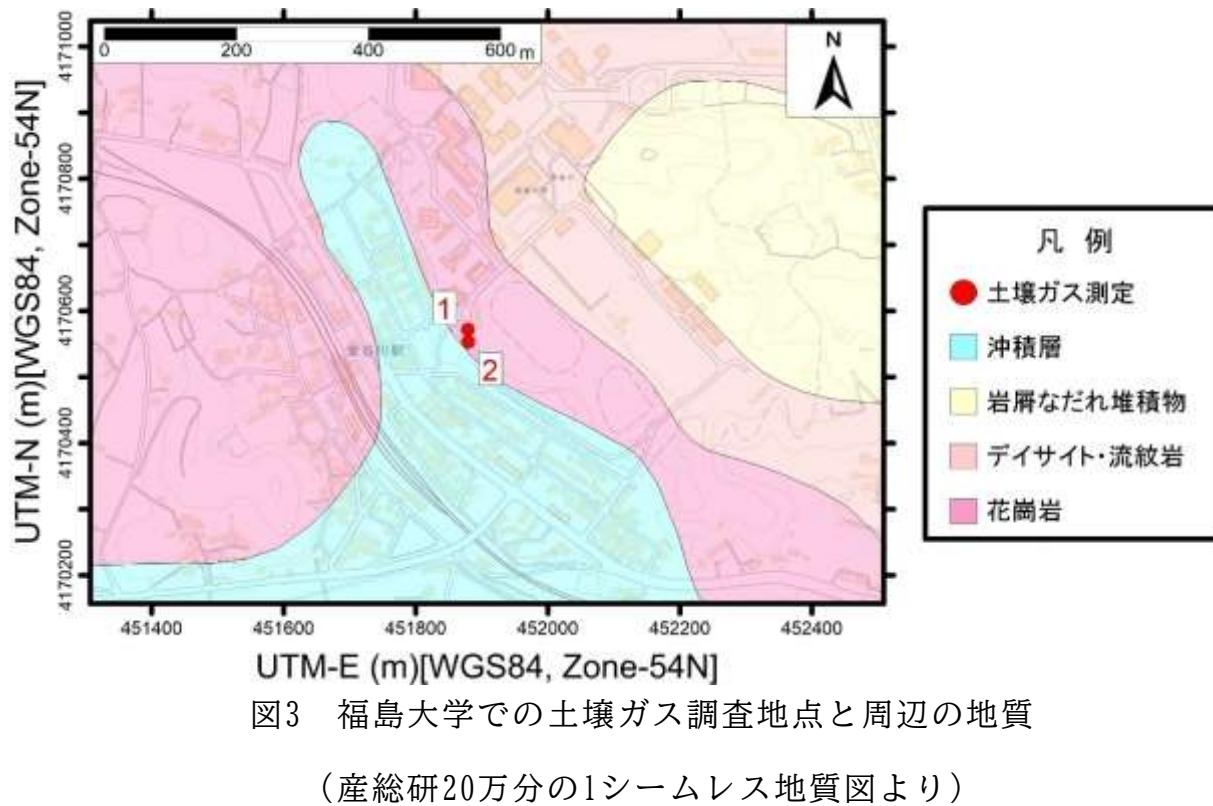


図3 福島大学での土壤ガス調査地点と周辺の地質

(産総研20万分の1シームレス地質図より)

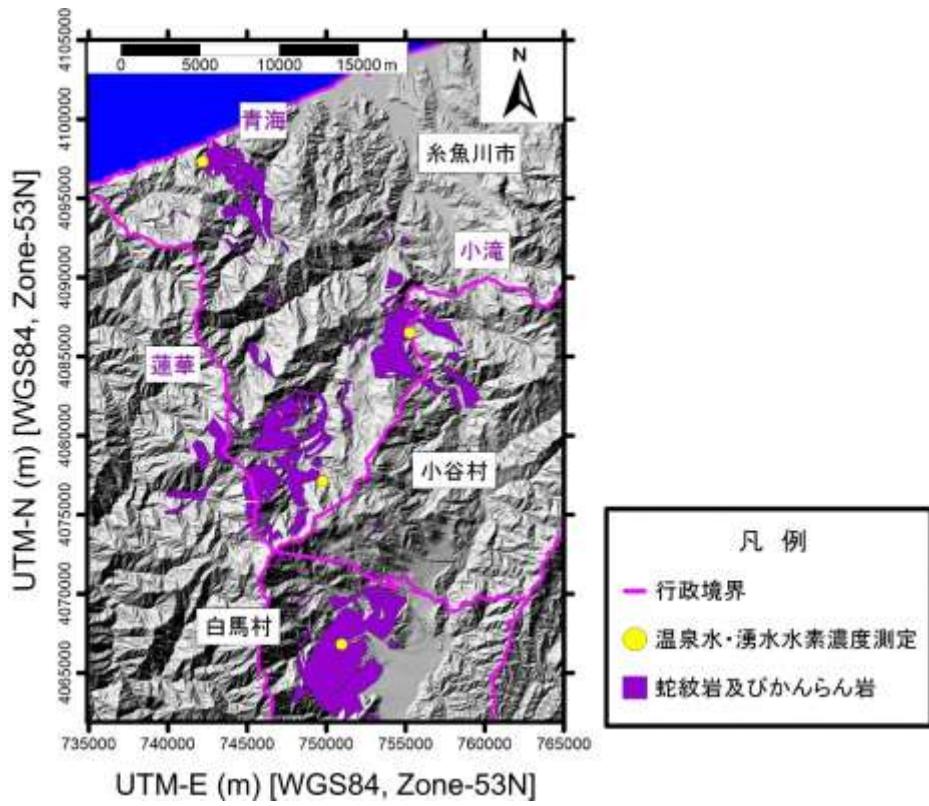


図4 温泉水・湧水水素濃度調査地点と白馬八方温泉源泉の位置図

(長森ほか 2010、中野ほか 2002より引用)

表2 溫泉水、湧水の水素濃度と水質測定結果

	姫川温泉 ²	蓮華温泉	白馬八方温泉 ³	青海トンネル湧水
水素濃度 ¹	66 ppm	5000 ppm以上	5740 ppm以上	0 ppm
水温	46.1°C	49.6°C	51.0°C	12.0°C
pH	7.54	3.66	10.75	9.17
ORP	250 mV	232 mV	-808 mV	181 mV
EC	10.55 mS/m	33.7 mS/m	33.7 mS/m	12.76 mS/m

¹携帯用ガス検知器での測定、²温泉水貯留施設での測定、³佐藤（2025）より引用

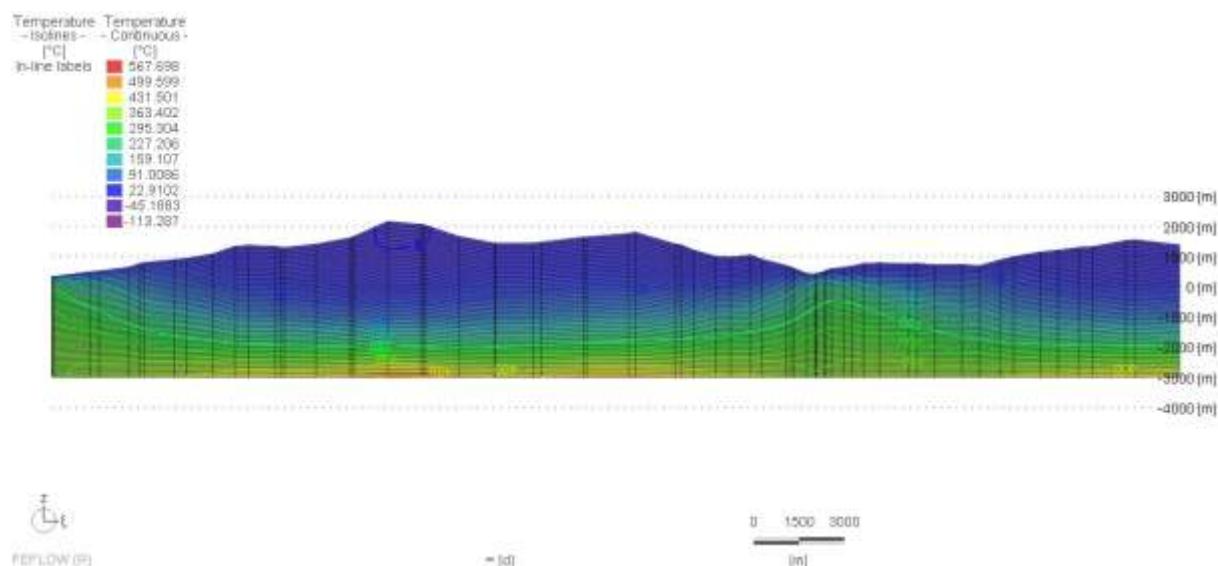


図5 FEFLOWで解析した温度分布の断面図

【参考資料】

野坂俊夫 (2012) 「蛇紋岩化作用における水素の発生に対する岩石学的制約条件」
岩石鉱物科学、41、174-184

森本卓也・小島英和・大河内正一 (2014) 「天然温泉における溶存水素 (H_2)」
温泉科学、64、296-309

長森英明・竹内誠・古川竜太・中澤努・中野俊 (2010) 「小滝地域の地質」
地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅)、産総研地質調査総合センター、130p
中野俊・竹内誠・吉川敏之・長森英明・苅谷愛彦・奥村晃史・田口雄作 (2002)
「白馬岳地域の地質」 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅)、産総研地質調査
総合センター、105p

防災科研、地すべり地形分布図

<https://www.j-shis.bosai.go.jp/map/> (2025年6月4日アクセス)

地球情報・技術研究所、地質地盤情報データベース

<https://sv3.gspace.jp/g-space3/map.php> (2025年6月4日アクセス)

森尻理恵・中川充 (2015) 「磁化率 (magnetic susceptibility) を巡る雑感」
GSJ 地質ニュース Vol. 4、12、337-345

佐藤史隆 (2025) 「福島県における天然水素探索のための地下水水質解析」
福島大学共生システム理工学類2024年度卒業論文、50p

Thomas M. McCollom and Wolfgang Bach (2009) 「Thermodynamic constraints on
hydrogen generation during serpentization of ultramafic rocks」
Geochimica et Cosmochimica Acta、73、856-875

産総研、20万分の1日本シームレス地質図

<https://gbank.gsj.jp/seamless/> (2025年8月25日アクセス)