

平成 29 年 1 月 24 日

報道機関 各位

東北大学大学院環境科学研究科

## 超臨界地熱資源は従来予想以上に存在する可能性 — 一次世代地熱発電” 超臨界地熱発電 “の実現に期待—

### 【概要】

東北大学大学院環境科学研究科の渡邊則昭准教授，沼倉達矢氏（元修士課程学生），坂口清敏准教授，岡本敦准教授，土屋範芳教授は，国立研究開発法人 産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センターの最首花恵研究員および米国地質調査所の Steven E. Ingebritsen 研究員とともに，高温高压下のき裂性花崗岩（流体流路となるき裂を有する花崗岩）に対する透水実験を通じて，これまで透水性が極めて悪いと予想された超臨界水（温度 374°C 以上，圧力 22 MPa 以上の水）が存在しうるような高温高压の花崗岩質岩石からなる大陸地殻であっても高い透水性をもつ可能性があることを明らかにしました。

大陸地殻の大部分を構成する花崗岩質岩石は，深度約 2 km 以上の高压環境において，約 360°C 以上の温度になると塑性変形<sup>\*1</sup> し、延性破壊<sup>\*2</sup> する岩石に変化（脆性 - 延性遷移<sup>\*3</sup>）するため，そのような比較的軟らかい岩石からなる大陸地殻（延性地殻）は，水の流路となるき裂に乏しく，透水性が極めて悪いという仮説が存在していました。

本研究は，き裂性花崗岩の塑性変形<sup>\*1</sup> が生じる温度・圧力条件と，透水性への影響を明確にし，この仮説が成立しない場合があること，すなわち，地熱発電に利用可能な超臨界水からなる地熱資源（超臨界地熱資源）が従来予想以上に存在しうることを世界で初めて明らかにしました。本成果は，2017 年 1 月 24 日，英国の科学誌 Nature Geoscience（オンライン版）に掲載されました。なお本研究は，日本学術振興会（JSPS）科学研究費助成事業，特別推進研究（25000009）の支援を受けて実施されました。

問い合わせ先

東北大学大学院環境科学研究科

担当 渡邊則昭\*，土屋範芳\*\*

電話 022-795-7384\*，022-795-6335\*\*

E-mail noriaki.watanabe.e6@tohoku.ac.jp\*

tsuchiva@mail.kankvo.tohoku.ac.jp\*\*

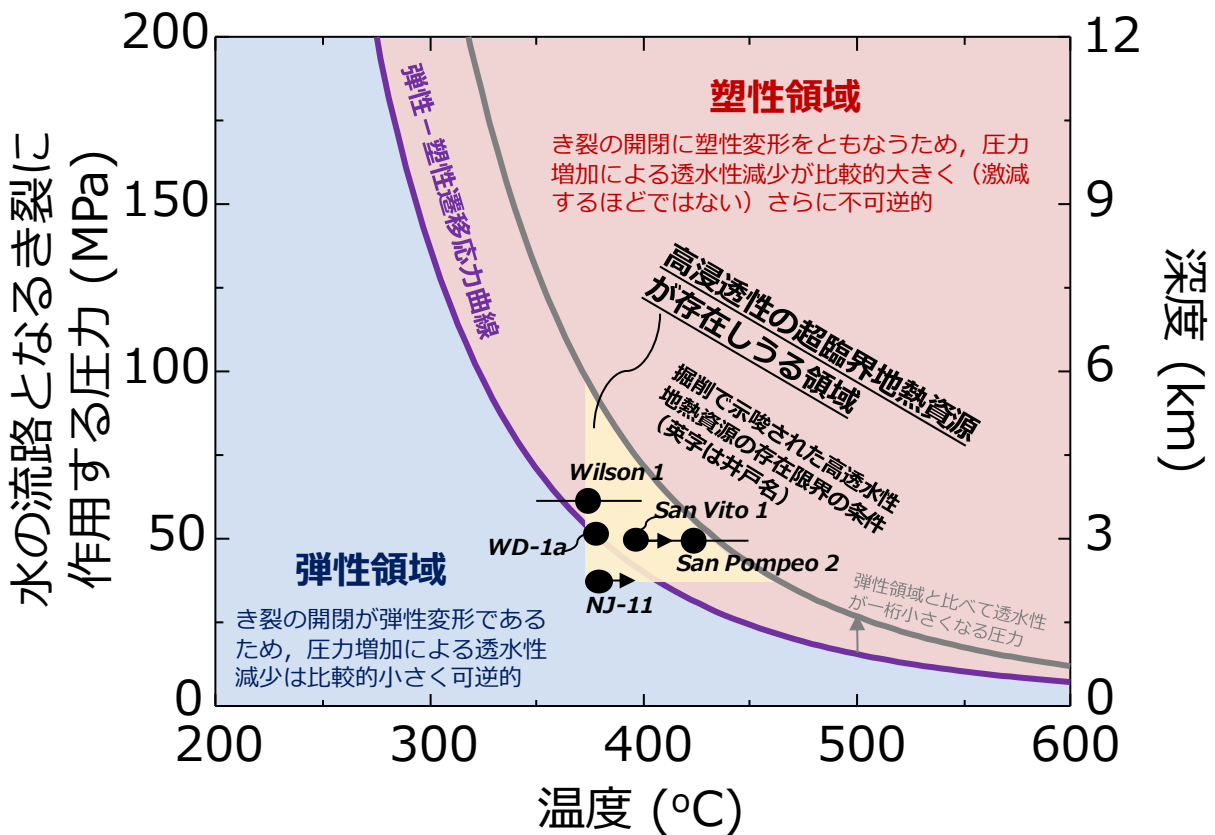
### 【研究の背景】

世界的な低炭素社会への移行の流れから地熱発電の重要性は近年飛躍的に増大しています。日本やアイスランドなどの地熱資源が豊富な国においては、単位質量あたりのエネルギーが大きな超臨界水（温度 374°C 以上、圧力 22 MPa 以上の水）が高温高压の岩石の割れ目（き裂）のなかに存在する新しい地熱資源、いわゆる超臨界地熱資源の存在が注目されています。アイスランドにおいては近年、掘削により 450°C の超臨界地熱資源の存在が確認されており、この新しい地熱資源を用いた場合の生産井一本あたりの発電量は、従来型地熱資源を用いた場合（3~5 MW）よりも約一桁大きい（35 MW）と見積もられています。

ところが、大陸地殻の大部分を構成する花崗岩質岩石は、深度約 2 km 以上の高压環境において、約 360°C 以上の温度になると塑性変形<sup>\*1</sup>し、延性破壊<sup>\*2</sup>する岩石に変化（脆性⇄延性遷移<sup>\*3</sup>）するため、そのような岩石からなる大陸地殻（延性地殻）は、水の流路となるき裂に乏しく、透水性が極めて悪いという仮説が存在していました。この仮説が正しい場合、374°C 以上の超臨界水の生産が可能な高透水性の地熱資源は、アイスランドで遭遇するような高温の玄武岩質岩石からなる脆性地殻には存在しうるものの、日本で遭遇するような高温の花崗岩質岩石からなる延性地殻には存在しないという結論に至ってしまいます。しかし一方で、この仮説が成立しない場合があることを示唆する研究結果も複数存在していました。

### 【研究の成果】

そこで本研究では、(株) 東栄科学産業と共同で開発した樹脂メルト式三軸セルという特殊な実験装置を使用して、最高温度 500°C、最大圧力 100 MPa（深度 6 km 相当）までの高温高压下のき裂性花崗岩の透水性を測定し、その結果に基づいて延性地殻での超臨界地熱資源の存在可能性を明確にしました（下図）。



図：き裂性花崗岩質岩石からなる大陸地殻の温度と深度または水の流路となるき裂に作用する圧力で決まる弾性および塑性領域と超臨界地熱資源が存在しうる領域との関係。

本研究ではまず、透水性測定により、圧力変化によるき裂の開閉挙動が、弾性変形のみによるものから塑性変形<sup>\*1</sup>をともなうものに変化する温度圧力条件（上図中の弾性-塑性遷移応力曲線）を発見しました。また塑性領域では、透水性は減少しやすいものの激減するほどではないことから、高透水性になる場合もあることがわかりました。

さらに日本や米国などの複数の地熱地帯において過去に実施された掘削により示唆されていた、高透水性地熱資源が存在可能な限界温度および圧力（深度）の組合せ条件（上図中の●）が、新たに発見した弾性-塑性遷移応力曲線付近およびその近傍の塑性領域内に存在することを発見しました。つまり、ある温度の高透水性地熱資源は、弾性-塑性遷移が生じる圧力（深度）よりもある程度大きい圧力（深度）まで存在可能であることがわかりました。この発見により、高透水性の超臨界地熱資源は、温度約 375°C~460°C、深度約 2 km~6 km（圧力約 30 MPa~100 MPa）の延性地殻（上図中の黄色の三角形状領域）内にも存在する可能性、つまり従来予想以上に存在する可能性があることが明らかになりました。

### 【今後の展望】

本研究により、地熱発電に利用可能な超臨界地熱資源が従来予想以上に存在しうることがわかり、この資源を利用した地熱発電“超臨界地熱発電”の実現への期待感が高まりました。超臨界地熱発電の実現のためには今後、高温延性地殻内における力学、水理学あるいは化学現象をより良く理解し、資源形成や開発・生産プロセスを明確にしていくことが課題になります。本研究における高温延性地殻の力学および水理学に関する画期的な実験手法および結果は、今後の課題解決にも大きく貢献するものであると期待されます。

### 【掲載論文】

タイトル：Potentially exploitable supercritical geothermal resources in the ductile crust（延性地殻内の潜在的に開発可能な超臨界地熱資源）

著者名：Noriaki Watanabe<sup>1</sup>, Tatsuya Numakura<sup>1</sup>, Kiyotoshi Sakaguchi<sup>1</sup>, Hanae Saishu<sup>2</sup>, Atsushi Okamoto<sup>1</sup>, Steven E. Ingebritsen<sup>3</sup> and Noriyoshi Tsuchiya<sup>1</sup>

著者所属：<sup>1</sup> 東北大学大学院環境科学研究科、<sup>2</sup> 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター、<sup>3</sup> 米国地質調査所

掲載誌名：Nature Geoscience

DOI: doi:10.1038/ngeo2879

### 【語句説明】

<sup>\*1</sup> 塑性変形：岩石が力を受けて変形するとき、力を取り去ると岩石が元の形にもどる場合、その変形を弾性変形と呼び、力を取り去っても岩石が元の形に戻らない場合、その変形を塑性変形と呼ぶ。同じだけ力を増加させた場合の変形量は塑性変形の方が大きい。

<sup>\*2</sup> 延性破壊：岩石が大きな力を受けたとき、塑性変形をほとんど生じずに明瞭な割れ目を形成することを脆性破壊と呼び、明瞭な割れ目を形成せずに塑性変形による大変形を生じることを延性破壊という。

<sup>\*3</sup> 脆性 - 延性遷移：岩石が脆延破壊を生じる状態から延性破壊を生じる状態に変化することを脆性 - 延性遷移という。