

2023年  
6月号NEWS  
LETTERIEVG ニュースレター  
Vol.10 No.2

[研究現場紹介]

香川県における新たな地下水・ひずみ観測点(綾川千疋観測点)の完成報告  
ー南海トラフ地震モニタリングのための地下水等総合観測施設整備工事ー

木口 努・板場智史・松本則夫 (地震地下水研究グループ)

南海トラフ沿いでは今後 30 年以内に M8~9 クラスの地震が 70~80% の確率で発生するとされ (地震調査研究推進本部・地震調査委員会, 2023), 最悪の場合には被災地で 171 兆円を超える資産などの被害が推計されています (内閣府・南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ, 2019)。

産総研では, 南海トラフ沿いで発生する地震の予測精度向上を目的として, 20 観測点で構成される南海トラフ地震モニタリングのための地下水等総合観測ネットワークの構築を計画し, 2006 年から 2013 年までに地下水・ひずみ観測点を 16 カ所整備し, 2021 年度には 17 カ所目として, 日高川和佐観測点 (和歌山県日高郡日高川町) を整備しました (北川ほか, 2022)。これらのデータは気象庁等とリアルタイムで共有されており, 2020 年 6 月から, 12

観測点のひずみ計データが気象庁の常時監視の対象となり, 南海トラフ地震臨時情報の発表に利用されています (気象庁・産総研, 2020)。さらに, 令和 3 年度補正予算にて香川県と大分県に 2 つの新規観測点の整備を行うこととなり, そのうちの 18 ヶ所目となる香川県綾歌郡綾川町の綾川千疋観測点の整備について報告いたします。

産総研の地下水等総合観測ネットワークと綾川千疋観測点の位置を図 1 に示します。綾川千疋観測点はさぬき空港公園 (高松市・綾川町) の敷地内で整備しました。同観測点は, 四国東部の深部低周波微動および深部ゆっくりすべり (深部 SSE) の発生領域のほぼ東端に位置しているため, 深部 SSE の発生域をより高精度に把握するために重要な観測点となります。

## Contents

- 01 研究現場紹介 香川県における新たな地下水・ひずみ観測点 (綾川千疋観測点) の完成報告ー南海トラフ地震モニタリングのための地下水等総合観測施設整備工事ー …… 木口 努・板場智史・松本則夫
- 04 研究紹介 低塩分濃度水攻法における化学浸透に起因する原油増進回収の実験的証拠: 原油で飽和した砂岩を介した浸透圧の発生 …… 竹田幹郎・間中光雄・伊藤大輔
- 09 受賞報告 大規模噴火研究グループの宝田晋治上級主任研究員らが令和 5 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞 開発部門を受賞
- 10 新人紹介
- 11 外部委員会活動報告 2023 年 4 月~5 月

2022年8月に観測点の工事を開始しましたが、観測点整備に関する地元における関心も高く、テレビ局や新聞社による現地取材が行われました。現地作業開始時（8月22日）、孔井掘削開始時（9月30日）、およびひずみ計埋設時（2023年3月3日）にNHK高松放送局のニュースで放映されました。

綾川千疋観測点では深さ334m（孔1）、200m（孔2）、30m（孔3）の3本のボーリング孔を掘削して、ひずみ計・地震計・水位計などを設置し、地上には

観測建屋を建設しました（図2）。孔1（写真1）と孔2では掘削した後に物理検層を実施し（写真2）、その結果を用いて水位観測のためのストレナ（スリットの入った孔井保護管）やひずみ計、地震計などを設置する深度を決定しました。実施した検層は、温度、電気（比抵抗）、孔径、速度（音波）、ポアホールテレビュア、比抵抗式孔壁画像、方位傾斜、自然ガンマ線、セメントボンドの9種類です。

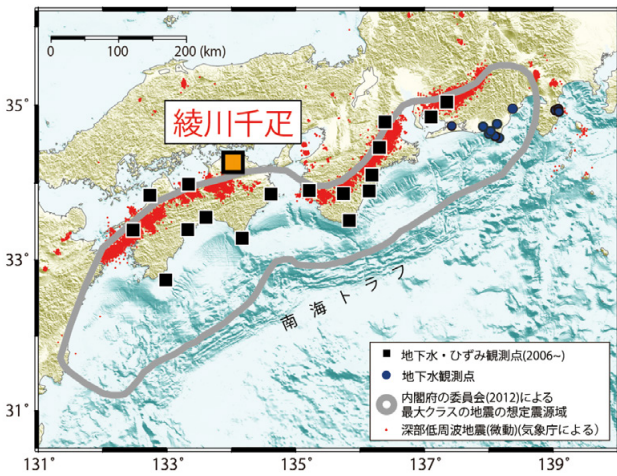


図1 産総研の地下水等総合観測ネットワークおよび綾川千疋観測点の位置。



写真1 綾川千疋観測点の孔1の掘削作業。

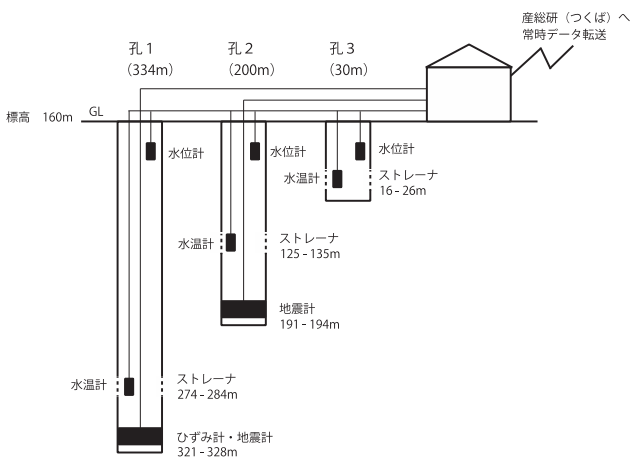


図2 綾川千疋観測点の概要。



写真2 孔1のセメントボンド検層の実施状況。



2023年2月15日に孔2の孔底付近に地震計を設置し(写真3)、同年3月3日に孔1の孔底付近にひずみ計を含むデジタル式地殻活動総合観測装置を埋設しました(写真4)。回収したコアや物理検層から、埋設深度は割れ目が少なく十分な強度を持つ堅固な岩盤と推定しています。また、同月28日



写真3 孔2の地震計の設置作業(矢部優研究員提供)。

に孔1, 2, 3に水位計と水温計を設置し(写真5)、同月末にすべての工事が完了しました(写真6)。観測点の完成後、地殻ひずみ・地震・地下水位などの観測データは観測建屋内の通信サーバを経由してLTE回線で茨城県つくば市の産総研に送られています。



写真5 孔3の水位計の設置作業(北川有一グループ長提供)。



写真4 孔1のデジタル式地殻活動総合観測装置の埋設作業。



写真6 綾川千疋観測点の外観(北川有一グループ長提供)。

## 謝辞

香川県と綾川町のご理解とご協力を得て、綾川千疋観測点の整備を実施することができました。現地作業におきましては、さぬき空港公園と近隣住民のご理解を得て、また住鉱資源開発株式会社を始めとする関係者の皆様のご尽力により観測点が完成しました。ここに記して感謝申し上げます。

## 参考文献

気象庁・産業技術総合研究所，2020，南海トラフ沿いにおける地殻変動監視の強化について，気象庁・産総研プレスリリース，[https://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2020/pr20200623/pr20200623.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2020/pr20200623/pr20200623.html)，2023年6月14日閲覧

北川有一・木口 努・板場智史・松本則夫，2022，和歌山県における新規観測点（日高川和佐観測点）の完成報告—南海トラフ地震モニタリングのための地下水等総合観測施設整備工事—，活断層・火山研究部門ニュースレター，9，No.4, 7-8.

地震調査研究推進本部・地震調査委員会，2023，長期評価による地震発生確率値の更新について，地震調査研究推進本部・地震調査委員会報道発表資料，[https://www.static.jishin.go.jp/resource/evaluation/long\\_term\\_evaluation/updates/prob2023.pdf](https://www.static.jishin.go.jp/resource/evaluation/long_term_evaluation/updates/prob2023.pdf)，2023年6月14日閲覧。

内閣府・南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ，2019，南海トラフ巨大地震の被害想定について（再計算）～経済的な被害～，[https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku\\_wg/pdf/3\\_sanko.pdf](https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/3_sanko.pdf)，2023年6月14日閲覧。

## 研究紹介

# 低塩分濃度水攻法における化学浸透に起因する原油増進回収の実験的証拠：原油で飽和した砂岩を介した浸透圧の発生

竹田幹郎（水文地質研究グループ）・間中光雄（地質情報研究部門地球化学研究グループ）・伊藤大輔（石油資源開発株式会社）

## はじめに

再生可能エネルギーの利用と脱プラスチック化が進められる中，世界的な人口増加に伴うエネルギー需要や石油化学製品の消費を背景に，原油生産量は今日まで増加し続けています。原油開発技術は現在まで進歩を遂げてきましたが，依然として様々な課題に直面しており，その課題の一つとして，原油を増進回収する低塩分濃度水攻法（Low-salinity water flooding: LSWF）のメカニズムの不確実性があります。

LSWFは，一次回収において貯留層に取り残された原油を，貯留層内部に低塩分濃度の水（Low-

salinity water: LSW）を注入することで回収する方法です（図1（a））。環境負荷が少なく，低コストであることから，LSWFはこれまでに様々な貯留層で実施されてきました。しかし，期待する効果が得られない場合も多く，LSWFの増進回収メカニズムを特定することが，現在においても資源開発分野における重要な研究課題の一つとされています（例えば，Mwikipunda *et al.*, 2023）。また，関連する論文公表は，主要国際誌において年間でおおよそ100件にも上ります（Bartels *et al.*, 2019）。

従来から提唱されているLSWFのメカニズムでは，主に，貯留層内部でLSWが流れる空隙の壁面



に付着する原油を対象としており、LSW が空隙内に流入することで濡れ性の変化等が生じ、壁面から離れ回収されると考えられています。しかし、近年の研究から、LSW が流入できない低透過性の空隙（例えば、堆積岩互層の低透過性層、図 1 (b)) に高塩分濃度の遺留水（High-salinity water: HSW）とともにトラップされている原油が、化学浸透によって、LSW が流れる透過性の高い空隙に押し出され、回収されることが分かってきました（例えば、Fakcharoenphol *et al.*, 2014）。

### 貯留層における化学浸透と近年の研究

化学浸透とは、半透膜を介した水の化学ポテンシャルの差によって引き起こされる水分子の移動

であり、化学ポテンシャルの高いところ（LSW）から低いところ（HSW）へと発生します。従って、貯留層内部で化学浸透が発生するための条件は、間隙水の塩分濃度が一律ではなく、岩石内に半透膜が存在すること、となります。LSWF では、貯留層の間隙水よりも塩分濃度の低い水（LSW）を注入することになるので、低透過性の空隙に原油とともにトラップされている塩分濃度の高い遺留水（HSW）との間で必然的に塩分濃度差が生じ、一つ目の条件は満たされます。二つ目の条件である、半透膜の存在については、貯留層岩石に粘土鉱物が含まれる場合には、粘土鉱物（及び粘土シート）間のイオン排除効果によって満たされます（例えば、Revil and Leroy, 2004）。また、最近の研究では、親水性

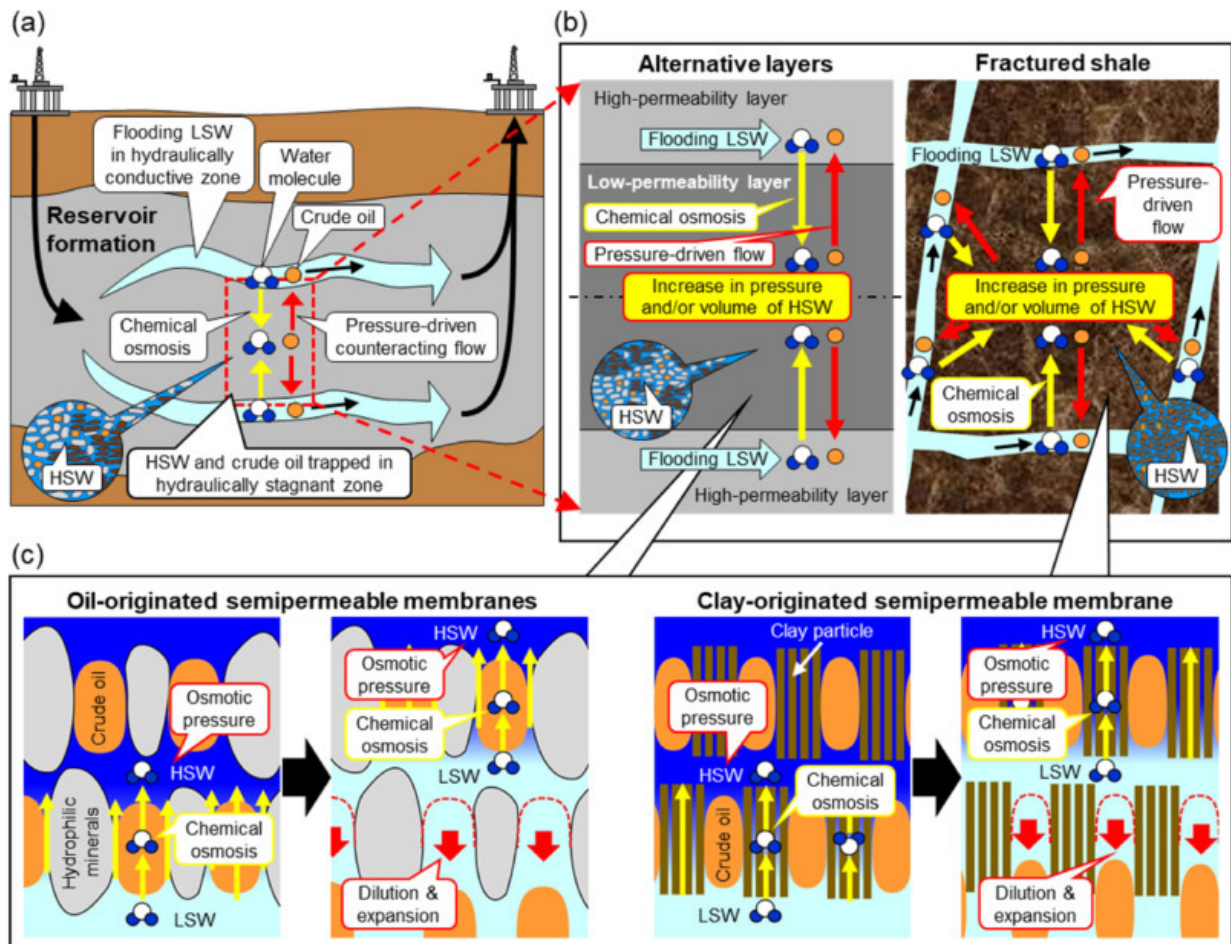


図 1 低塩分濃度水攻法における化学浸透に起因する原油増進回収メカニズムの概念図。(a) 貯留層スケールでの効果。化学浸透と浸透圧勾配による原油の移動は低塩分濃度水（LSW）の流動とは交差するように低透過性領域で発生する。(b) 化学浸透に起因する原油移動が発生し得る水理的に停滞した領域。例えば、堆積岩互層や亀裂を有する泥質岩層。化学浸透は高透過性領域の低塩分濃度水（LSW）と低透過性領域の高塩分濃度水（HSW）の間で発生し、低透過性領域の間隙水の圧力 / 体積を増加させ、原油を高透過性領域へと排出する。(c) 原油及び粘土の半透膜的挙動と化学浸透に起因する原油移動の進展。Takeda *et al.* (2022) の Fig. 1 を転載

鉱物と原油の間に存在する界面水も半透膜的に機能し、原油自身も水が拡散によって通過することで半透膜として挙動することが示唆されています（図1 (c), 例えば, Fredriksen *et al.*, 2017). このように、LSWFを実施することで、様々な岩種の貯留層で化学浸透が発生する可能性は高く、仮に、化学浸透がLSWからHSWに向かって発生すると、HSWが圧力/体積を増加させることによって、HSWと原油がLSWの流れる空隙に向かって移動することになります（図1）。

近年、化学浸透による原油の移動現象を確かめる研究が行われるようになりましたが、岩石空隙を模した樹脂製の剥片などを用いた観察実験や、分子動力学による単一の空隙中での水・油の動態シミュレーションなどであり、X線CTによる岩石の内部観察でも空隙スケールでの水・原油の移動が興味の対象となっています（例えば, Sandengen *et al.*, 2016; Fredriksen *et al.*, 2018; Fang *et al.*, 2020). これらの研究は、化学浸透に起因する原油の移動を支持するものですが、観察対象が空隙スケールの水と油の移動であることから、単なる拡散によるHSWの

希釈・膨張や岩石表面の濡れ性の変化など化学浸透以外のメカニズムによる効果と明確に区別できておりません。

### 岩石スケールでの実証実験

本研究では、化学浸透の発生にともなう原油の移動を、熱力学的観点から再考し、HSWで発生する化学浸透による実効浸透圧 $\Delta P$ を測定することで、貯留層岩石内部で化学浸透が発生することを実証することを着想しました（Takeda *et al.*, 2021). 実験には、著者らが以前に泥岩層中での浸透圧の発生を研究するために開発した実験方法を用いて（Takeda *et al.*, 2014）、堆積岩である白浜砂岩を対象に原油を飽和した場合としない場合のそれぞれで浸透圧が発生するかを確かめました（図2）。この実験方法は資源開発分野で従来から実施されている岩石コアの掃攻実験に似ていますが、岩石コア全体に圧力勾配ではなく、塩分勾配を課すものであり、貯留層内に注入されたLSWが直接流入できない水理学的に停滞した低透過層を模擬しています。

実証実験では、原油を含まない岩石では浸透圧

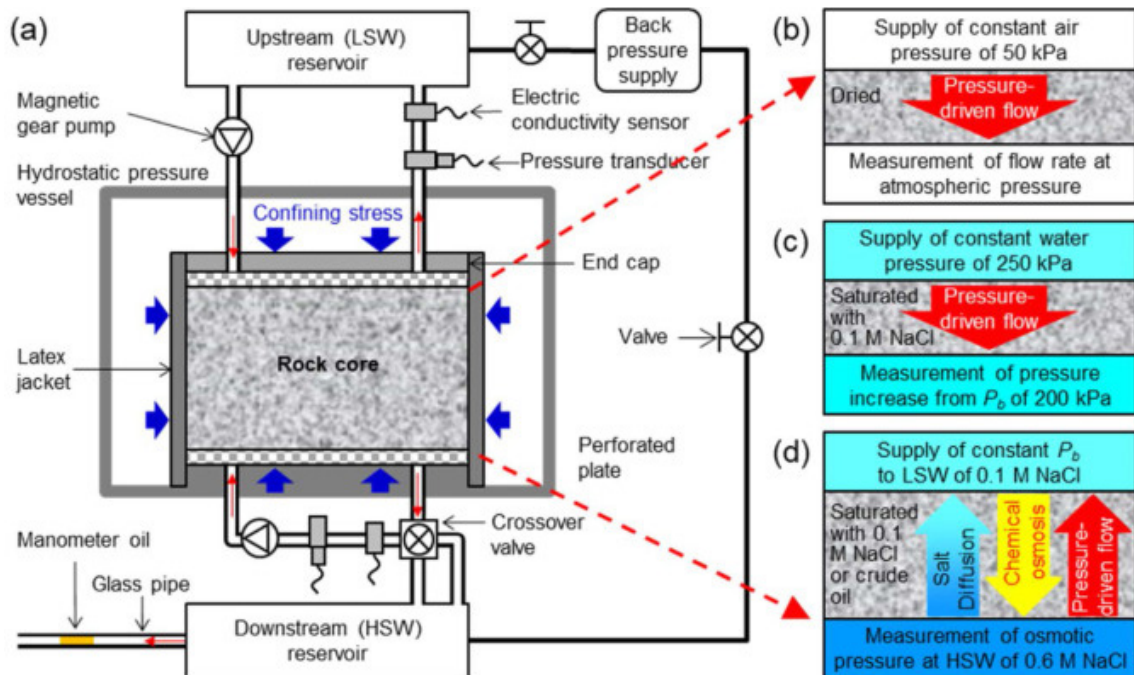


図2 (a) 化学浸透、透気、透水実験の試験システムの概念図、原油を含まない岩石コアには (b) 透気 (c) 透水 (d) 化学浸透実験を実施し、原油飽和した岩石コアには (d) 化学浸透実験のみ実施。Takeda *et al.* (2022) の Fig. 3 を転載



の発生が見られず、原油を含んだ岩石では、岩石端面に接する HSW で浸透圧が発生し、LSW に向かう原油移動を促しました (図 3)。原油の排出は、HSW に面する岩石表面よりも LSW に面する表面でより顕著でした (図 4)。原油で飽和した砂岩は、0.6 ~ 0.1 M NaCl の塩分濃度差と 17 wt.% の粘土含

有量で最大 37 kPa の浸透圧を示しました。浸透圧発生に数日を要しましたが、これは、実験開始時に岩石が原油で飽和されており、岩石全長にわたる水分の分布と、その水分中の塩分濃度勾配の発達に時間を要したためと考えられます。また、浸透圧は、実験を実施した 50 日の間発生しました。これは、

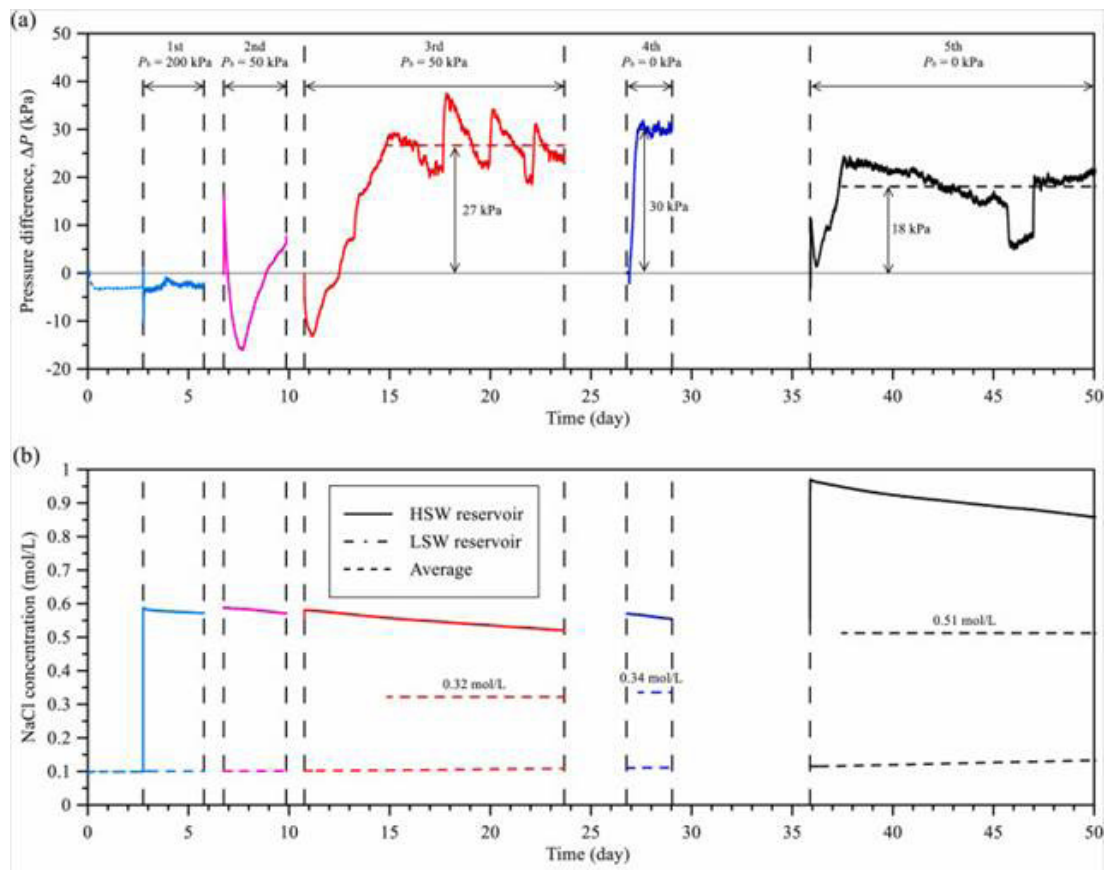


図 3 (a) 原油飽和した岩石コアを対象に実施した一連の浸透圧実験において計測された高塩分濃度水 (HSW) と低塩分濃度水 (LSW) の間に発生した浸透圧. (b) 高塩分濃度水 (HSW) と低塩分濃度水 (LSW) の濃度. Takeda *et al.* (2022) の Fig. 6 を転載

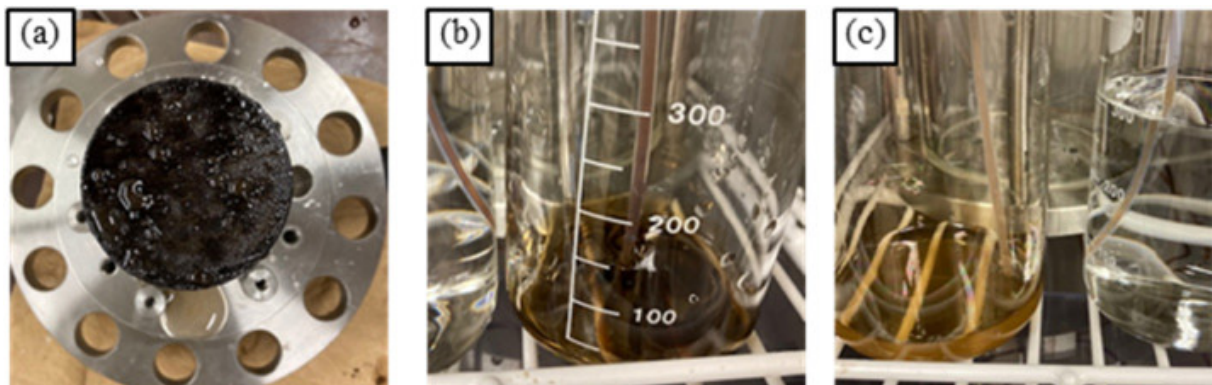


図 4 原油飽和した岩石コアの化学浸透実験後の (a) 高塩分濃度水 (HSW) に面した岩石コア表面, (b) 高塩分濃度水の貯留槽. 岩石端面から排出された原油は試験システムのチューブを介して貯留槽に到達し水面に浮いている. (c) 実験後の低塩分濃度水の貯留槽. 原油は認められない. Takeda *et al.* (2022) の Fig. 7 を転載

岩石内部の原油が全ては排出されずに、残存することと、原油が残存することによって岩石内部の半透膜性が持続することを示しています。実験では、有限な長さ (1 cm) の岩石コアを使用していますが、観測された半透膜機能の持続は、原位置の貯留層においては、化学浸透と原油移動の連成現象が、透過性の低い空隙ネットワークの中で LSW から離れたより遠くにまで侵攻していく可能性を示唆しています。

### 終わりに

本研究は、「化学浸透に起因する原油増進回収の実証とモデル化」を目的に、石油資源開発株式会社との共同研究として実施してきています。今回、浸透圧を計測することによって、岩石コアスケールでの化学浸透に起因する原油移動が実証されたことは、本研究が社会実装に向かうための大きな一歩になります。今後は、化学浸透による原油移動を定量化・定式化し、原油増進回収メカニズムの貯留層シミュレーターへの実装を進めていくこととなります。この目標を達成するまでには、多くの研究課題がありますが、共同研究の枠組みと GSJ 内での連携を最大限活用して、着実に進めていきます。

### 参考文献

- Bartels, W-B., Mahani, H., Berg, S., Hassanizadeh, S.M. (2019). Literature review of low salinity waterflooding from a length and time scale perspective, *Fuel*, 236, 338-353.
- Fang, C., Yang, Y., Sun, S., Qiao, R. (2020). Low salinity effect on the recovery of oil trapped by nanopores: a molecular dynamics study, *Fuel*, 261, 116443.
- Fakcharoenphol, P., Kurtoglu, B., Kazemi, H., Charoenwongsa, S., Wu, Y.S. (2014). The effect of osmotic pressure on improve oil recovery from fractured shale formations, *SPE Unconventional Resources Conference*, Woodlands, Texas, USA, 1-3 April 2014, <https://doi:10.2118/168998-MS>
- Fredriksen, S.B., Rognmo, A.U., Sandengen, K., Fernø, M.A. (2017). Wettability effects on osmosis as an oil-mobilization mechanism during low-salinity waterflooding, *Petrophysics*, 58, 28-35.
- Fredriksen, S.B., Rognmo, A.U., Fernø, M.A. (2018). Pore-scale mechanisms during low salinity waterflooding: oil mobilization by diffusion and osmosis, *J. Petrol. Sci. Eng.*, 163, 650-660.
- Mwakipunda, G.C., Jia, R., Msimba, M.M., Ngata, M.R., Mmbuji, A.O., Said, A.A., Yu, L. (2023). A critical review on low salinity waterflooding for enhanced oil recovery: Experimental studies, simulations, and field applications, *Geoenergy Sci. Eng.*, 227, 211936.
- Revil, A., Leroy P. (2004). Constitutive equations for ionic transport in porous shales, *J. Geophys. Res.*, 109 (2004), B03208.
- Sandengen, K., Kristoffersen, A., Melhuus, K., Jøsang, L.O.J. (2016). Osmosis as mechanism for low-salinity enhanced oil recovery, *SPE J.*, 21, 1227-1235.
- Takeda, M., Hiratsuka, T., Manaka, M., Finsterle, S., Ito, K. (2014). Experimental examination of the relationships among chemico-osmotic, hydraulic, and diffusion parameters of Wakkanai mudstones, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 119, 4178-4201.
- Takeda, M., Manaka, M., Tuji, T. (2021). Chemical osmosis as a cause for the improved oil recovery by low-salinity water flooding: experimental and numerical approaches for detection. *J. Petrol. Sci. Eng.* 207, 109090.
- 本研究の詳細は、Takeda, M., Manaka, M., Ito, D. (2022). Experimental evidence of chemical osmosis-driven improved oil recovery in low-salinity water flooding: Generation of osmotic pressure via oil-saturated sandstone, *J. Petrol. Sci. Eng.*, 215, 110731. に掲載されています。



## 受賞報告

## 大規模噴火研究グループの宝田晋治上級主任研究員らが 令和5年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞 開発部門を受賞

令和5年度科学技術分野の文部科学大臣表彰が4月7日に決定され、産総研から科学技術表彰開発部門1件と、若手科学者賞2件の受賞がありました。開発部門には、「デジタル社会の基礎となった全国地質図の開発」が選ばれました。受賞者は、脇田浩二氏（地質情報研究部門）、斎藤 眞氏（地質調査総合センター連携推進室）、西岡芳晴氏（地質情報研究部門）、宮崎一博氏（地質調査総合センター連携推進室）、宝田晋治氏（活断層・火山研究部門）の5名です。今回の受賞は、2000年から取り組んでいる20万分の1日本シームレス地質図のデジタル地質図作成、高速な閲覧システムの開発により、地質図が、資源、防災、土木に加え、不動産取引、観光、登山、有機農業など、日本の標準地質図として広く使われ、ベース・レジストリと言うべき地質図として、防災だけでなく国の基盤情報として安全で豊かな社会に寄与している点が評価されました。

開発部門は、「我が国の社会経済、国民生活の発展向上等に寄与する画期的な研究開発もしくは発明であって、現に利活用されているものを行った個人もしくはグループ又はこれらの者を育成した個人」が対象となっており、今年度は18件64名が受賞しました。その中には、現在広く使われている鉄道ICカード乗車券システムの開発を行ったチームも含まれています ([https://www.mext.go.jp/b\\_menu/](https://www.mext.go.jp/b_menu/)

[houdou/mext\\_01224.html](https://houdou/mext_01224.html)). 4月19日に文部科学省にて永岡文部科学大臣から表彰式が行われましたが、コロナの影響もあり、受賞者には5月23日に産総研理事長から表彰状が手渡されました。

### 受賞者のコメント

今回の受賞を励みに、今後とも地質情報のデジタル化、DX化等を通じて、広く社会に利用される社会基盤となるような知的基盤情報の整備発信に努めていきたいと思っております。



## 新人紹介

### 地震テクトニクス研究グループ

佐脇 泰典 Sawaki Yasunori

地震テクトニクス研究グループの佐脇泰典と申します。専門は地震学で、文部科学省「情報科学を活用した地震調査研究プロジェクト



(STAR-Eプロジェクト)」に参画する特別研究員として2023年4月に採用されました。私は東北大学理学部地球惑星物質科学科を卒業したのち、修士課程から京都大学理学研究科地球惑星科学専攻に進学し、京都大学防災研究所・伊藤喜宏准教授の元で博士の学位を取得しました。

一般的には、「地震」は社会経済活動に甚大な損害を与える災害と捉えられますが、地震学という観点では、地球内部に蓄積されたひずみを断層破壊によって解放する現象です。その過程で弾性波などとして放出された地震波を地表付近で観測することで、地震活動の特徴や地下の構造を知ることができます。私は遠くで発生したマグニチュードの大きな地震の地震波を解析することで、地球内部がどのような不均質で構成されているかを調べてきました。特に、南海トラフ沈み込み帯の巨大地震想定震源域の深部・浅部延長で発生する「ゆっくり地震」の発生域では、沈み込むフィリピン海プレートや上盤物質に顕著な地震波速度境界面が存在し、ゆっくり地震が高間隙流体圧のもとで発生している可能性を示しました。

これからは、地震学的手法や機械学習技術を用いることで、地震活動の解析や地下構造の推定を行い、地球内部の断層検出や断層形状の高精度推定に資する研究を進めていきたいと考えています。

### 地震災害予測研究グループ

太田 耕輔 Ota Kosuke

地震災害予測研究グループの太田耕輔です。この春に東京大学大学院理学系研究科で学位を取得し、東京大学大気海洋研究所特任研究員を経て、6月1日付で産総研特別研究員に着任しました。



陸域・海域の堆積物は、過去の環境情報や地震に代表されるイベントを記録しています。私はこれまで、堆積物コア試料等を対象とした地球化学的分析を通して、古環境変動を高精度で復元するための研究に取り組んで来ました。大学院では、富士山北麓に位置する本栖湖を対象として、過去1万年間の古環境変動、流域の地形変化に関する研究を行いました。また、古環境変動やイベントを記録している地層に年代目盛りを入れる手法を高度化するため、花粉化石を用いた放射性炭素年代測定手法の開発に取り組みました。花粉化石は、地層中に普遍的に分布していて、地層ができた年代を正確に記録していることが知られていますが、年代測定のために非常に多く(10万個以上)の花粉化石を収集する必要があります。そのため、地層中から花粉化石を自動的に大量に集める手法を開発することによって、花粉化石を用いた高精度な放射性炭素年代測定を実現しました。

産総研では、断層近傍の地層を対象とした調査研究に参加することにより、過去の地震に伴う地表変形による堆積環境の変化や、その時期を精度良く明らかにしたいと考えています。また、所内外の研究者と積極的に交流し、花粉化石を用いた高精度な放射性炭素年代測定手法や地球化学的分析手法を様々なフィールドに展開していきたいです。どうぞよろしくお願い致します。



## 外部委員会等 活動報告 (2023年4月～5月)

2023年4月11日

第384回地震調査研究推進本部地震調査委員会(宮下・岡村出席/web会議)

2023年4月18日

科学技術・学術審議会 測地学分科会 地震火山観測研究計画部会(第52回)(田中出席/web会議)

2023年4月21日

令和5年度第1回 地震・火山噴火予知研究協議会(田中出席/web会議)

2023年5月6日

第385回地震調査研究推進本部地震調査委員会(宮下・岡村出席/web会議)

2023年5月12日

第386回地震調査研究推進本部地震調査委員会(岡村・松本出席/web会議)

2023年5月24日

科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 宇宙開発利用部会(第75回)(田中出席/web会議)

2023年5月30日

科学技術・学術審議会 測地学分科会 地震火山観測研究計画部会(第53回)(田中出席/web会議)

2023年5月31日

第239回地震予知連絡会(今西・松本出席/国土地理院関東地方測量部&amp;web会議)

## IEVG ニュースレター Vol.10 No.2 (通巻56号)

2023年6月発行

発行・編集 国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
活断層・火山研究部門  
編集担当 黒坂朗子

問い合わせ 〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

Tel: 029-861-3691 Fax: 029-861-3803

URL <https://unit.aist.go.jp/ievg/index.html>