

松代群発地震による断層中のCO<sub>2</sub>移動のナチュラルアナログ研究A natural analogue study of CO<sub>2</sub> migration in faults using Matsushiro Earthquake Swarm data

# 山本 晃司 [1]; 青柳 良輔 [2]; 後藤 伸寿 [3]; 小出 仁 [4]; 戸高 法文 [5]; 中西 繁隆 [6]; 當舎 利行 [7]

# Koji Yamamoto[1]; Ryosuke Aoyagi[2]; Nobuhisa Goto[3]; Hitoshi Koide[4]; Norifumi Todaka[5]; Shigetaka Nakanishi[6]; Toshiyuki Toshi[7]

[1] みずほ情報総研; [2] なし; [3] みずほ情報総研・環境部・持続室; [4] 早大理工総研; [5] J-POWER・エンジニアリング事業部; [6] 電発; [7] 産総研

[1] MHIR; [2] none; [3] none; [4] RISE, Waseda U.; [5] Engineering Dept., EPDC; [6] EPDC; [7] AIST

<http://www.mizuho-ir.co.jp/kankyo/energy.html>

ナチュラルアナログは、CO<sub>2</sub> 地中貯留にかかわる長期的流出 (Seepage) のメカニズムの研究に有益である。その中でも、断層と坑井が CO<sub>2</sub> 流出の経路として重要視されている。しかし、CO<sub>2</sub> 地中貯留を行った場合の断層の長期的安定性は室内実験で明らかにすることは難しいであろう。そのため、ナチュラルアナログ研究が有益である。

長野県松代で 1965 年中ごろに始まった松代群発地震は 1967 年頃まで活発な活動が続き、1970 年まで弱い活動が継続した。その機関、大量の CO<sub>2</sub> で飽和した水が震源近くの地表に生まれたき裂から地上に流出した。この群発地震は多くの科学者によって研究され多くの記録が残っている。このことから、松代群発地震は CO<sub>2</sub> を含んだ流体と地殻の相互作用を知るための良いナチュラルアナログであると考えられる。そのため、われわれは地化学調査と数値シミュレーションを組み合わせた研究をローレンスバークレー国立研究所との国際共同研究として開始することとした。

この群発地震では 1965 年から 70 年の間に約 6 万回の有感地震とその十倍の無感地震が発生した (気象庁, 1968)。地震の総エネルギーはマグニチュード 6.4 で、最大地震のマグニチュードは 5.4 であった。地震の間に約 1 千万トンの CO<sub>2</sub> を含んだ水が新たに形成されたき裂から流出した。き裂の方位と地表面変位から、この地域では左横ずれの、走向が北西 - 南東方向の横ずれ断層が生じていることが分っている。また、最大 90cm の地表面隆起が観察されている。これらの事実から、この地震の原因として深部からの水の上昇とそれによるダイラタンシーがき裂システムを刺激したという仮説が立てられた。これを中村 (1971) は「水噴火」と呼んだ。

われわれは、CO<sub>2</sub> を含んだ水の断層への浸透を群発の地震の主な原因と考えて、地層と CO<sub>2</sub> の化学的及び力学的相互作用が重要な役割を果たしていたと仮定した。それを実証するために、地下深部の動的挙動による CO<sub>2</sub> 移動について研究することとした。特に、断層の動的挙動と CO<sub>2</sub> のトラップのメカニズムと、CO<sub>2</sub> によるキャップロックの破壊による CO<sub>2</sub> の上昇について検討することとした。

作業としては、1) 松代地域の力学的条件に関する既存のデータの整理、2) 現在の CO<sub>2</sub> 流出状況を知るための土壌ガス調査及びフラックス調査、3) 地化学及びジオメカニクスシミュレーションの三つを行う。地化学モデリングは化学反応性流体移動シミュレーション TOUGH-REACT(Xu et al., 2004) を利用し炭酸と岩石の化学反応を考慮した流動計算を行う。ジオメカニクスシミュレーションは、流体 - 固体連成解析モデル TOUGH-FLAC(Rutqvist et al., 2002) に断層浸透性の変化を考慮したモデルを用いる。

このように、松代地域をモデルとしたナチュラルアナログ研究によって、断層のある地層における貯留された CO<sub>2</sub> の安定性のメカニズムを解明し、将来の CO<sub>2</sub> 地中隔離の安全性評価に資する知見を得たいと考えている。

## 参考文献:

気象庁, 1968: 昭和 40 年 8 月 ~ 昭和 42 年 12 月 松代群発地震報告書

中村一明., 1971: 松代地震から学んだこと, 科学朝日, 10, pp.127-133.

Rutqvist J., Y.-S. Wu., C.-F. Tsang. and G. Bodvarsson, 2002: A Modeling Approach for Analysis of Coupled Multiphase Fluid Flow, Heat Transfer, and Deformation in Fractured Porous Rock Int. J. Rock mech. & Min. Sci. 39, pp.429-442.

Xu T., E.L. Sonnenthal, N. Spysheer, and K. Pruess, 2004: TOUGHREACT user's guide: A simulation program for non-isothermal multiphase reactive geochemical transport in variable saturated geologic media. Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBNL-55460, Berkeley, California, USA, p. 192.