

帯水層 CO₂ 貯留に伴う地球物理学的モニタリングのシミュレーション

Simulation of Geophysical Monitoring for Carbon Sequestration into Saline Aquifers

西 祐司 [1]; 石戸 経士 [2]; 當舎 利行 [3]

Yuji Nishi[1]; Tsuneo Ishido[2]; Toshiyuki Tosha[3]

[1] 産総研; [2] 産総研; [3] 産総研

[1] AIST, GSJ, GREEN; [2] GSJ/AIST; [3] AIST

適切なモニタリングの実施は、圧入した CO₂ の挙動の探知、漏洩等の潜在的なリスクの検知、そして地下モデルの改良のために、CCS 事業にとって不可欠である。特に、坑井データを補うためには 2 次元もしくは 3 次元に物性分布を探知する物理探査手法は非常に有効である。地熱・火山等の分野で利用されてきた流動シミュレーションのポストプロセッサ (Ishido and Pritchett, 2003 など) は、数値シミュレーションによって求められた地下の温度・圧力・流体組成・飽和度・流速等の分布・変化から、地表における重力、自然電位、電気探査、電磁法探査、反射法等の調査によって得られるデータを計算することによって、流体流動のシミュレーション結果と物理探査結果を定量的に結びつける。このポストプロセッサは、適切な地球物理学的モニタリング・システムの選択・配置の検討、地下状態の迅速な把握、そして貯留モデルの高精度化と将来予測精度の向上等に利用できる。

油田等の分布域の狭い我が国では、深部地層中の塩水帯水層 (以下「一般帯水層」) に CO₂ を貯留することが検討されており、産総研においては、このような CO₂ 貯留を念頭に置き、帯水層中の CO₂ の挙動をテーマに研究を進めてきた (當舎ほか, 2008)。一般帯水層に対する CO₂ 地中貯留に伴う物理探査モニタリングのケーススタディを、このポストプロセッサを用いて実施した。モデルとして使用したのは、當舎ほか (2008) の東京湾岸モデルである。

當舎ほか (2007) は、東京湾岸に発達している砂泥互層の上総層群の砂層を CO₂ 地中貯留の対象層と想定、CO₂ 超臨界条件を満たし比較的砂層が厚く分布する上総層群中部の梅ヶ瀬層を帯水層、その上位の国本層最下部泥岩層を遮蔽層と設定し、盆状構造を示す梅ヶ瀬層の最深部に圧入した場合の地下における CO₂ の流動を 2 次元数値モデルによって計算した。ここでは同じ解析範囲について作成した 3 次元数値モデルに対し、中央部の深さ 1400 ~ 1500 m に年間 1000 万トンの割合で CO₂ を 50 年間圧入した場合を想定し、地下の流体流動を計算した。流動シミュレーションとしては STAR (Pritchett, 2005) を、気相・液相の CO₂ 及び H₂O 液相の 3 相を扱える CO₂SQS 状態方程式パッケージとともに使用した。この計算により得られた温度・圧力・流体組成・飽和度・流速等とポストプロセッサを用いて、CO₂ を圧入してから 50 年間について、地表で実施した反射法、自然電位、MT 法等の手法による測定結果を計算した。

広域流動による地下水の流れはないものとした場合 (當舎ほか (2007) は対象地域を停滞域と推定)、圧入された超臨界 CO₂ の一部は塩水中に溶解するが大部分は超臨界状態を保ち、圧入の経過とともに圧入点を中心に帯水層内に広がるものの水平方向には大きく移動しない。圧入停止後、一部の上方に移動した超臨界 CO₂ が液相に相転移するが、水平方向にはほとんど動かず、超臨界 CO₂ は残留ガスとして貯留されることとなる。ポストプロセッサで計算した反射法、自然電位、MT 法のいずれの手法でも CO₂ 圧入により生じる変化が認められたが、変化の大きさとその時間経過は手法毎に異なる特徴を示す。反射法探査では、超臨界 CO₂ 領域境界面が明瞭な圧入後早い時期に反射波の振幅が大きく、時間が経過するにつれて超臨界 CO₂ 領域の上下両面からの反射波が区別できるようになる。流動電位カップリング係数が大きく変化する深度 1000m 付近の塩水・淡水境界域の圧力変化に応じて、圧入域上部には大きな自然電位異常が発生する。MT 法探査では、CO₂ 圧入開始初期にはほとんど変化が認められず、50 年後で最大約 10% 程度の変化が認められた。同じモデルについて計算した重力変化 (杉原・石戸, 2009) は、時間経過に伴い圧入域を中心とした重力低下を示す。このケースでは、圧入初期の変化が大きい反射法・自然電位は短期間変動のモニタリングに、時間経過とともに変化が大きくなる MT 法・重力は長期間変動のモニタリングに向けた手法という結果が得られた。

これらシミュレートした地球物理モニタリングにより得られる変化の範囲、大小、時間経過は、与えた計算条件によって大きく変わる。CO₂ の貯留対象地域特性、想定される潜在的リスク等を考慮して、適切な手法の組み合わせやモニタリング網の配置をこのようなシミュレーションを用いて検討することで、効率的なモニタリング計画の作成が可能となる。