

二酸化炭素の地中挙動解析における格子形状効果について ーボロノイ格子と矩形格子の比較ー

大成建設（株）技術センター 正会員 ○山本 肇

1. はじめに

差分法による多相流の数値解析では、格子形状によって異なる解析結果が得られること（格子形状効果; grid orientation effect）が良く知られている。本稿では、二酸化炭素の地下貯留のシミュレーションを対象に、高次多角形のボロノイ格子により形状効果の低減を試みた結果を報告する。

2. 二酸化炭素の地中挙動解析

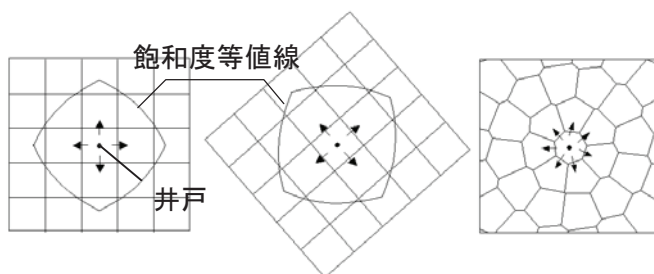
二酸化炭素地下貯留は、火力発電所や製鉄所などの排出ガスから CO_2 を回収し、地下深部の地層中に圧入する地中温暖化対策である。その実用化にあたり、圧入後の CO_2 の地中挙動を正確に予測・把握する技術の確立が重要な課題となる。 CO_2 は温度・圧力条件から超臨界状態となる地下約 1km 以深に貯留される。そこで、 CO_2 の地中挙動解析では、温度・圧力に対して敏感に変化する超臨界 CO_2 の流体物性（密度や粘性など）や、水と CO_2 の相互作用（二相流特性、溶解など）をモデル化した多成分・多相系の流体解析コードを使用する必要がある。これまでに開発されたコードの多くは差分法であり、本研究では、積分差分法による解析コード TOUGH2 ECO2N^{1), 2), 3)}を用いている。積分差分法は、非構造格子を用いることができるが、隣接する格子点間を結ぶ直線が格子面と直交するボロノイ格子を使用することが計算精度上望ましい。なお、最も単純なボロノイ格子といえる矩形格子を採用した場合には、通常の 5 点差分スキームの有限差分法と同等となる。

3. 格子形状効果

例えば、地下水で満たされた地層中に、井戸から別の流体（ガスなど）を圧入する二相流問題を有限差分法で解析する場合を考える。このとき、図-1 の二つの矩形格子（平行格子と対角格子）では、計算結果（例えば図中の飽和度等値線）が異なることが良く知られている。これは格子形状効果と呼ばれ、石油開発工学の分野で 1970 年代から指摘されており、二相流体の易動度比（mobility ratio）が大きいほど著しい⁴⁾。明らかな流れの主方向があれば、その方向に合わせて格子を回転すれば良いが、井戸周りや水理的な異方性や不均一性がある場合には、主方向を設定することは難しい。この形状効果は、9 点差分スキームや 2 点風上法などにより低減できるが、計算の負荷も大きくなる。本研究では、非構造格子を使用可能な積分差分法コードである TOUGH2 の特徴を生かし、高次多角形のボロノイ格子による形状効果の低減について検討した。

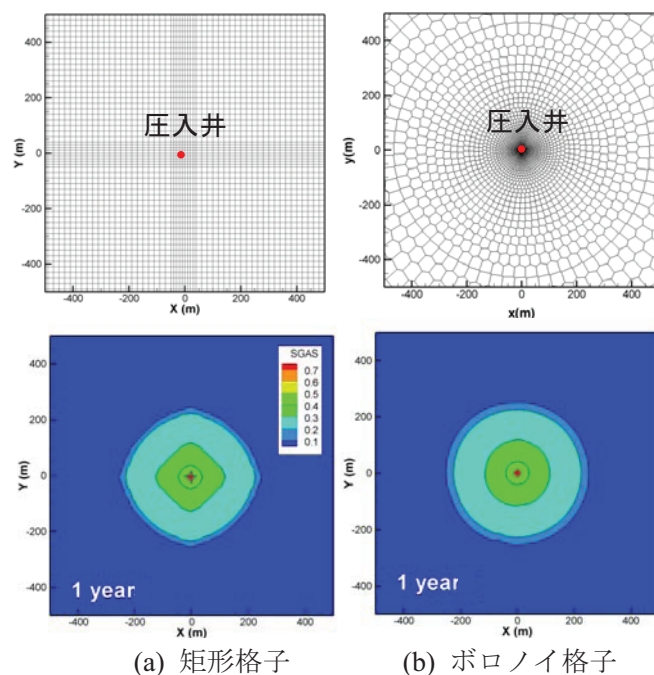
3. ボロノイ格子と矩形格子の比較

簡単な条件で二酸化炭素の地下圧入解析を行い、矩形格子（四角形）とボロノイ格子（高次多角形）の格子形状効果を比較する。解析では、深度 1km 相当（温度 45℃、圧力 10MPa）の水平な帯水層（広さ 10km×10km、厚さ 1m）の中央に圧入井を設定し、超臨界 CO_2 を 0.52 (kg/s) の速度で圧入した。境界条件は、上下面



(a) 平行格子 (b) 対角格子 (c) ボロノイ格子

図-1 矩形格子での形状効果とボロノイ格子



(a) 矩形格子 (b) ボロノイ格子

図-2 格子による CO_2 飽和度の分布形状の違い

キーワード CO_2 地下貯留, 多相流, ボロノイ格子, 格子形状, 地下水

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター TEL 045-814-7237

