

夾炭層における二酸化炭素地中貯留の流体挙動解析と安全性評価

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境システム学専攻 47106669 佐向潔哉

2012年3月修了 指導教員 島田莊平准教授

(Keywords: 夾炭層、地中貯留、シミュレーション、ヒストリーマッチング、安全性評価)

1. 序章

現在の国際社会は温室効果ガスの削減が不可欠な一方、今後のエネルギー消費の増加は避けられないという難しい局面をむかえている。この問題の有力な解決策としては CO_2 の回収・貯留 (CCS) があり、その貯留方法では特に地中貯留 (CGS) が中心となる。日本における CGS 可能地域は北海道、常磐、日本海沿岸、北九州に集中しており、貯留ポテンシャルが一番高いのが深部帯水層を中心としている。(Figure 1)

この貯留可能地域はガス吸着能力を持つ石炭層の分布とよく一致しており、帯水層を含む岩石層と石炭層を合わせて夾炭層として、コールベッドメタン (CBM) の生産も同時に行える有力な貯留サイトとなる。

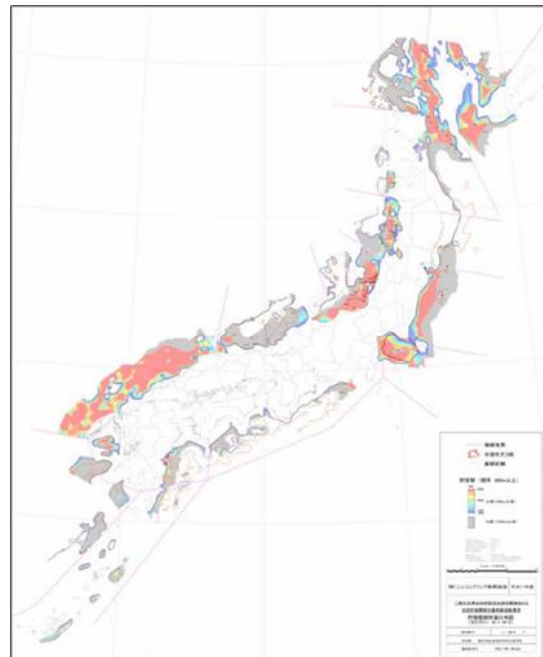


Figure 1 CO_2 storage capacity in Japan

夾炭層について対称性を用いた大規模 CGS 向けの研究はいくつか存在するが、日本に適切な小、中規模の CGS を仮定し、詳細モデルを用いた検証や評価は少ない。そこで本研究では夾炭層向けのシミュレーター、ECOMERS(CBF)-UT を実際の地層に合う非対称なモデルを使用できるように改善し、CGS における流体挙動の把握と、ガスの漏洩に対しての安全性評価を行い、夾炭層への CGS の有効性の検証を目的とした。

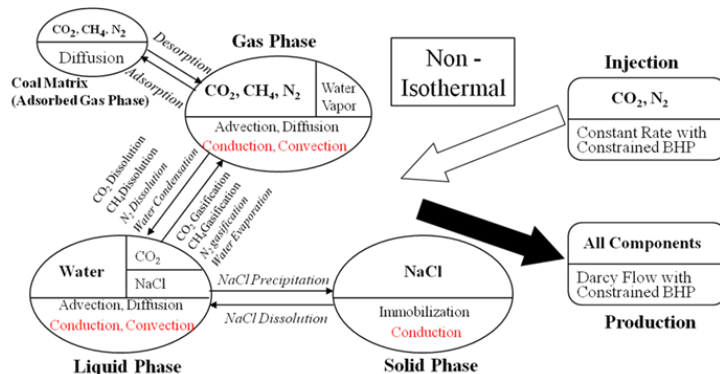


Figure 2 Concept of coal-bearing formation simulator

2. 夾炭層における CGS シミュレーション計算について

ECOMERS-UT は、CO₂、CH₄、N₂、NaCl、水の 5 成分について各々の状態変化や、流体の移動に伴う温度変化を考慮されている。(Figure 2) 計算は移流、溶解、拡散、吸脱着に関する支配方程式を解くことによって行われる。

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t}(M_g^c + M_l^c)}_{\text{集積項}} - \underbrace{F_{l,adv}^c - F_{l,dif}^c}_{\text{液相の移流、拡散項}} - \underbrace{F_{g,adv}^c - F_{g,dif}^c}_{\text{気相の移流、拡散項}} - \underbrace{q_l^c}_{\text{液相の吸脱着項}} - \underbrace{q_g^c}_{\text{固相の吸脱着項}} = 0$$

このシミュレーターは元々水平層において対称性を用いて開発され、基本的な検証とケーススタディがなされてきた。今回は傾斜を加えたことによって、水平層とは異なる流体挙動の観察とこれまで行えなかった実際の CO₂ 地中貯留試験に対する検証が可能に、そして必要となった。それぞれの場合によって異なる詳細モデルを作成して計算を行った。

3. 傾斜夾炭層モデルと感度分析

初めに石炭層が帯水層を挟んだ形の傾斜夾炭層モデルを作成し、圧入なしの Primary 生産と ECBMR の比較を行った。(Figure 3) この時帯水層は浸透率 50mD の砂岩と 0.5mD の泥岩の二つの場合を考慮した。その結果帯水層の浸透率が水の流動を中心とする流体の挙動に変化を及ぼし、ガス生産量と増進効果に大きな影響を与えることがわかった。(Figure 4、5)

また圧入速度、傾斜角等を変化させて感度分析を行ったが、傾斜角が大きい時は傾斜方向への CO₂ 流動の拡大等から帯水層の影響がより強くなった。圧入速度は増進効果を一時的に強めるが、生産井までの CO₂ 到達を早めるデメリットも見られた。

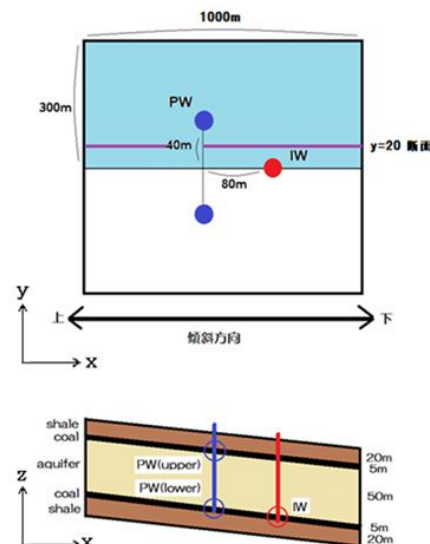


Figure 3 coal-bearing formation model

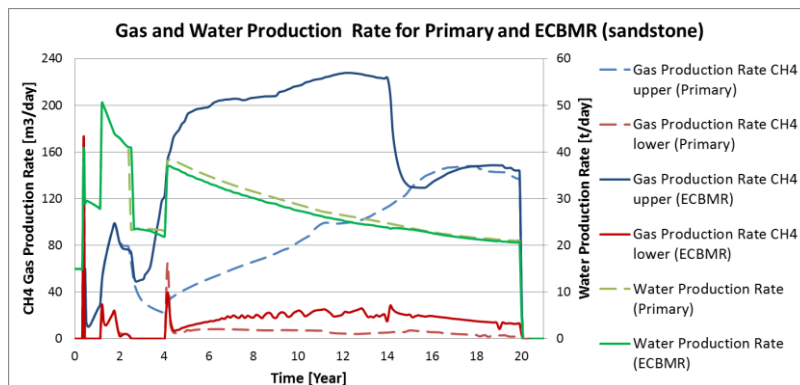


Figure 4 Gas and Water Production rate for Primary and ECBMR (Sandstone)

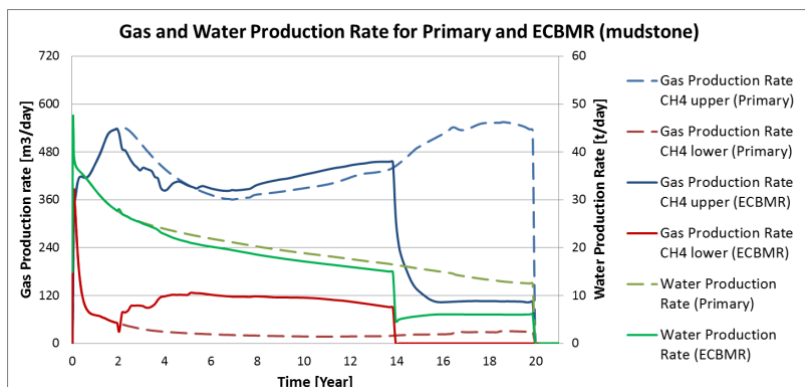


Figure 5 Gas and Water Production rate for Primary and ECBMR (Mudstone)

4. タ張 ECBMR 試験へのマッチング

次にこれまで本シミュレーターでできなかったプロジェクトレベルでの検証、タ張 ECBMR 試験(Figure 6)へのマッチングを行った。その際にほとんど流体の移入がないとされてきた炭層上下盤を低浸透率(0.05mD)の岩石層として設定した場合、妥当な範囲のパラメータ値において、ガス生産速度と浸透率減少の試験結果と良い合致を示した。(Figure 7)

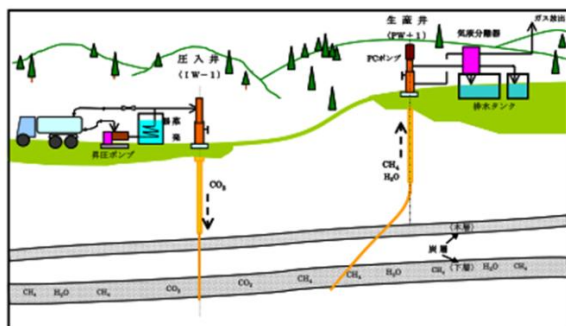


Figure 6 Abstract of Yubari ECBMR project

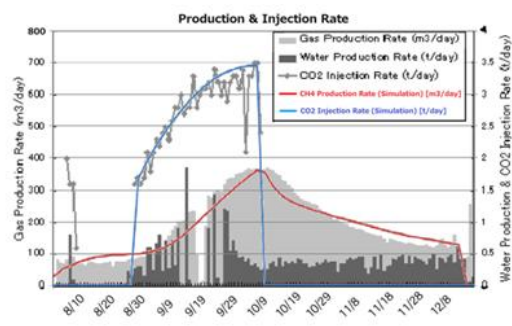


Figure 7 Matching of test and calculation result

またその際に断面においてかなりの量の流体が炭層外に出て、低浸透率の上下盤内を流動していく様子が観察された。(Figure 8) このことから低浸透率層の炭層以外の層も合わせて夾炭層として考慮する必要性が改めて示唆された。

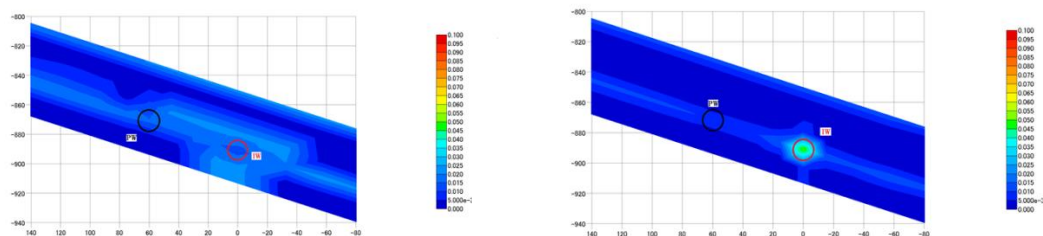


Figure 8 Dissolved CH₄ (left) and CO₂ (right) after injection in 2005

5. 有明層におけるCGSの安全性評価

最後に九州の有明海海底下の夾炭層(傾斜6度)において20本の垂直井による10万t/yearの中規模CGSプロジェクトを想定して300年にわたる安全性評価を行った。(Figure 9)

このモデルにおいて貯留のターゲットは700~800m に存在する帯水層と石炭層であった。しかし計算の結果炭層上位の岩石層の浸透率の条件によっては目標となる夾炭層から、注入した CO_2 の3,4 割が上部に出てしまった。更に注入された CO_2 に押し出される形で炭層から脱着した CH_4 を含め、 CO_2 、 CH_4 の流体が深度 200~300m 付近まで漏洩してしまうリスクがあることがわかった。(Figure 10) 特に CH_4 は沈降しにくく、温室効果も高いため注意が必要である。

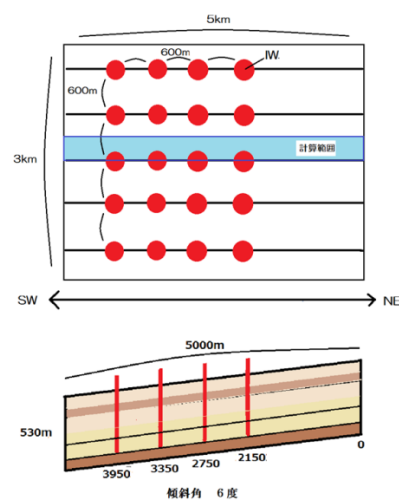


Figure 9 Injection Wells in Ariake model

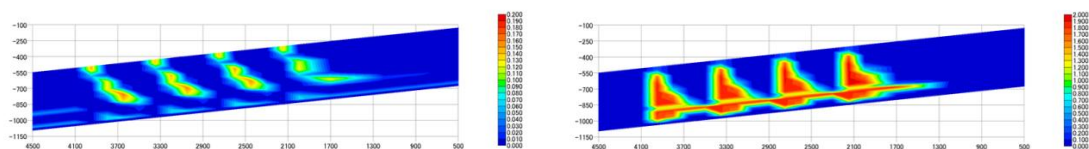


Figure 10 Dissolved CH_4 (left) and CO_2 (right) after 16 year

6. 結論

これらの結果より夾炭層を対象とする CGS の流体挙動には、炭層以外の岩石層(帯水層)の浸透率が大きな影響を及ぼしていると言える。生産を行う ECBMR については炭層の上下層の浸透率が鍵となり、流体挙動そしてガス生産速度に変化をもたらす。また CGS の安全性を確保するためには、炭層のみではシール層としての役割を果たしにくいいため、夾炭層上位に別に不透層となる低浸透率層が必要である。このように石炭層だけでなく、浸透率を中心とする岩石層の条件によって夾炭層における CO_2 地中貯留の有効性は決まってくると言える。今後は計算の精度を上げることと、現状では炭層以外の層の浸透率等のデータが少ないため、現場試験等からの更なるデータの取得が望ましい。

参考文献

- RITE, 2006, 平成 17 年度 二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業 二酸化炭素地中貯留技術研究開発 成果報告書
- J.-Q. Shi, and S. Durucan, 2005, A Model for Changes in Coalbed Permeability During Primary and Enhanced Methane Recovery
- 大賀光太郎, 本位田篤生, 2008, 夕張における CO_2 炭層固定化試験 (ECBM)
- 三井鉱山エンジニアリング, 2001, 二酸化炭素地中貯留技術研究開発のうち塩水帯水層における CO_2 溶解能力推定のための予備調査
- Z. Chai, 2010, Assessment on the CO_2 geological sequestration into deep coal-bearing formation using numerical fluid dynamics simulation
- 田中啓, 2011, 夾炭層を対象とした CO_2 地下貯留シミュレーターの開発 -石炭層が CO_2 地下貯留に及ぼす影響