

海洋における漏出CO₂検知技術の開発

— 自然変動の大きい海洋CO₂濃度からいかに漏出を検知するか？ —

はじめに

海域CCSIにおいては、貯留したCO₂が海底から漏出していないか監視(モニタリング)することが海洋汚染防止法によって求められています。

しかし、海水中のpCO₂(CO₂分圧)やTCO₂(全炭酸)の値は自然変動が大きい(図1)ため、監視中に“高い”CO₂濃度が測定されても自然変動か異常値かの判定が困難です。

海水中pCO₂の自然変動の主たる要因は光合成と有機物の分解です(図2)。したがって海中のCO₂濃度とO₂(酸素)濃度には相関関係があります。この関係を用いて“高い”CO₂濃度が測定された場合に自然変動か異常値かを判定する手法の開発に取り組んでいます。

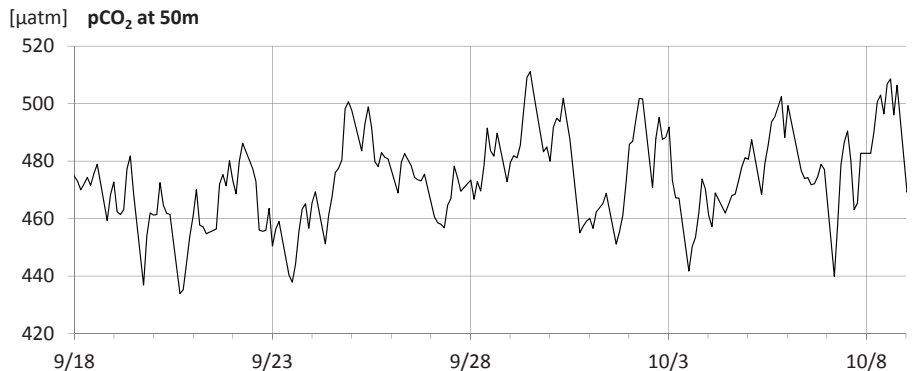


図1 新潟県柏崎沖で測定されたpCO₂の時系列
約3週間の観測期間内に80μatm程度の変動が見られる。



図2 光合成と有機物分解の化学式
光合成はCO₂を減らし酸素を増やす。逆に分解はCO₂を増やし酸素を減らす。

データ・方法

海水中のCO₂濃度(pCO₂、TCO₂)は、pHと全アルカリ度(TA)から計算で求めることができます[1]。TAは塩分から計算することができます[2]。伊勢湾環境データベース[3]で公開されている水温、塩分、溶存酸素(DO)、pHを用いて、TCO₂とDOの関係性を求めました。

結果

TCO₂とDOから線形回帰式を求めました(図3)。TCO₂が同じ値でも自然変動の可能性が高い場合と漏出の可能性が考えられる場合があることがわかります。

例えば、2400μmol/kgという“高い”TCO₂の値が測定された場合でも、DOの値が低ければ自然変動の可能性が高く(図3★)、DOの値が高ければ漏出の可能性があると判定することができます。

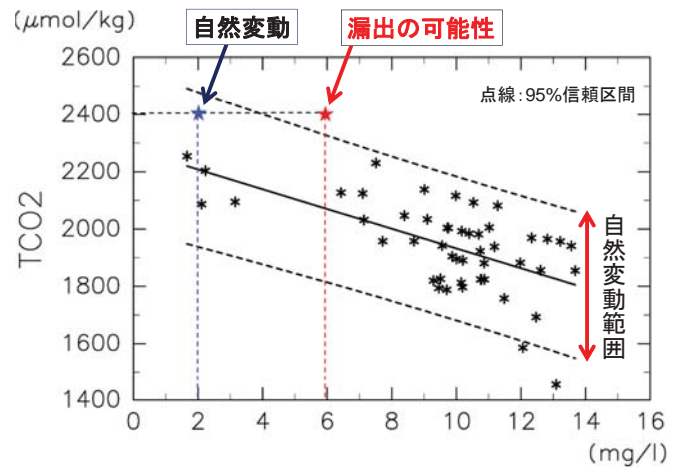


図3 溶存酸素(DO)と全炭酸(TCO₂)の関係
TCO₂値が同じ2400μmol/kgであっても、DO値が低ければ自然変動(★)、高ければ漏出の可能性があると判定できる。

おわりに

実際に様々な海域で海水中のTCO₂、TA、DO、水温、塩分を測定し、この手法の有効性の確認を行うとともに、海域ごとの特性を把握する必要があります(現在、新潟県柏崎沖で観測調査中)。また監視範囲の決定には万が一の漏出の際に漏出CO₂がどの程度の範囲に拡散するのを見積もる必要があります。そのために、季節変動や海流の影響を考慮して漏出CO₂の拡散をシミュレーションできる数値モデルを構築中です(図4)。海の流れの特性は海域ごとに異なるため、他の海域についてもこのようなモデルを構築し、日本全国どの海域でもシミュレーションができるようにする必要があります。

参考文献

- [1] Lewis and Wallace (1998): Carbon Dioxide Information Analysis Center, pp. 1-21
- [2] 田口他 (2009): 沿岸海洋研究, 47(1), 71-75.
- [3] <http://www.isewan-db.go.jp/>

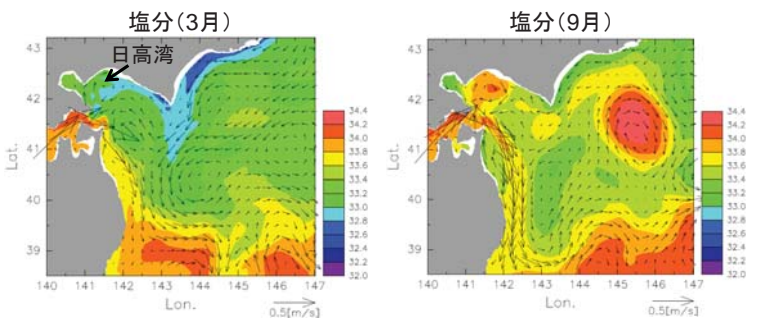


図4 海洋モデルで計算された塩分分布と流速
季節によって塩分の分布や流れ場が大きく異なっている。

光ファイバーを用いた地層変形監視技術の開発 —CO₂圧入時の地層安定性モニタリング—

CO₂圧入サイトにおいて、温度、圧力に加えて地層変形(ひずみ)を深度方向に連続的にモニタリングすることはCO₂地中貯留の安全性を評価する上で重要です。RITEでは光ファイバーセンシングを利用した地層変形の計測手法の研究開発を進めています。これまでに、室内試験で本技術の適用性を検証し基盤技術を確立し、現場試験では光ファイバーを坑井のケーシングセメントに設置し、CO₂圧入に伴う地層変形の計測に成功しました。

背景

- CO₂圧入による貯留層の圧力上昇により地表面が隆起
⇒ In SalahのCCSサイトの例
- 貯留層の変形が大きくなると遮蔽層の安定性に影響を及ぼす
- 深度方向における地層変形を連続的に把握する必要がある
※従来法では計測点が限定されるため、新しい技術開発が必要

室内試験

- 光ファイバーを岩石試料に取付け、注水で間隙圧増加
⇒ 間隙圧増加によって生じた地層変形を計測
⇒ 試料内のCO₂フロントの移動による変形を検知
- 実際の坑井を模擬し、光ファイバーをセメント内に配置
⇒ セメンチング区間での変形を計測

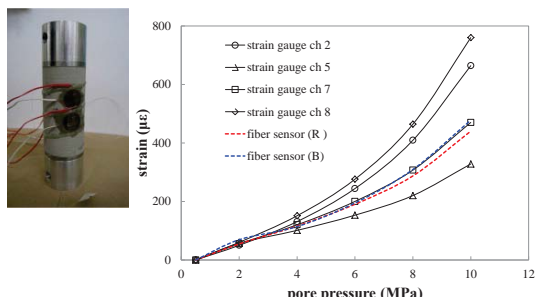


図-1 注水過程でのひずみ計測結果

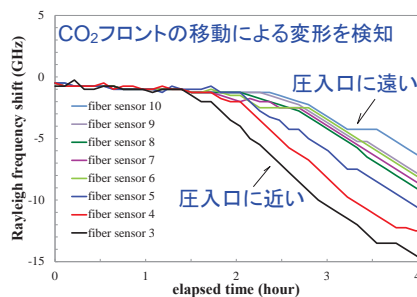


図-2 CO₂圧入に伴うひずみの経時変化

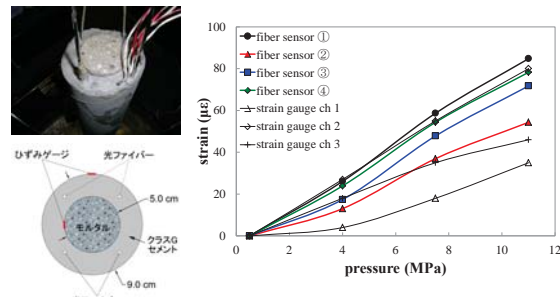


図-3 模擬坑井試料でのひずみ計測結果

現場試験—深度300m坑井のセメント区間に光ファイバーを設置—

①光ファイバー設置における工夫

坑井を利用して地層変形を計測するため、光ファイバーをケーシング内ではなく外側の(数センチ程度の)アニュラス部に損傷なく挿入・設置する必要がある。

- ケーシングプロテクタとクランプの製作と改良(器具の肉薄化、信号伝送損失の軽減を図る)
- ケーシングのセントラライザを通常より多めに利用

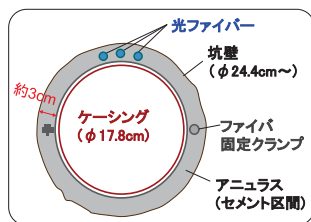


図-4 光ファイバーの設置概念図

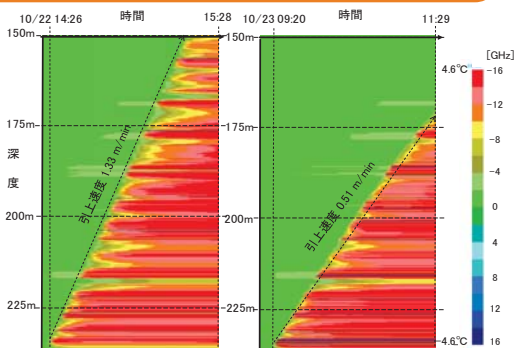
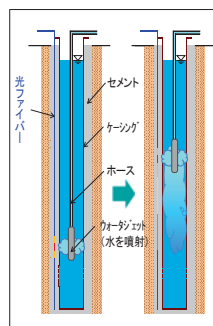


図-5 坑内へ水を噴射した時の温度変化



設置作業の全景

ファイバ固定用クランプ

カップリングプロテクター

②現場試験結果

- 坑内に高圧水を噴射した試験では、光ファイバーが分布式の温度センサーとして有効に機能し、温度変化を計測できた。
- CO₂圧入試験では圧入によって生じた数10με程度の地層変形が計測でき、圧入量増加に伴いひずみの増加傾向が示される。
- 坑井に光ファイバーを設置することで、地下の温度、地層変形等が計測可能であり、CO₂圧入サイトの安全性評価に寄与できる。

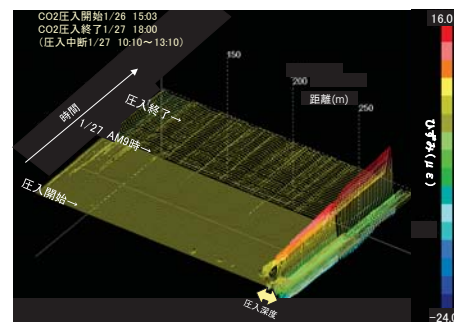
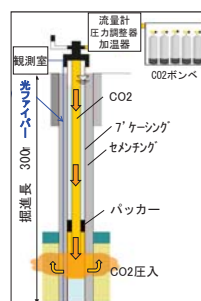


図-6 CO₂圧入時の地層変形

実用化に向けた課題

- 高感度・高強度な地中埋設型光ファイバーケーブルの開発
- 計測値(周波数シフト)からの温度・圧力・ひずみの分離
- データ処理・解析の自動化、計測システムの高速度化 等

含泥率を組み込んだ三次元地質モデル構築： 長岡サイトへの適用

地質モデル構築の目的

これまでの地質モデル構築には、三次元反射法弾性波探査データや坑井データ(物理検層データやコア試料)を使用した地球統計学的手法が用いられてきました。地下へ圧入されたCO₂の挙動をシミュレーションするには、**地層の不均質性を考慮に入れた地質モデル構築**は欠かせません。本研究では、従来の地質モデル構築手法に加え、新たに堆積学的な見地から**含泥率を組み込んだ地質モデル構築手法**を検討しました。

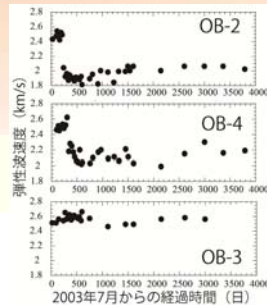


長岡プロジェクトの概要

貯留層: 灰爪層相当層(鮮新世~更新世)
CO₂圧入量: 約1万トン
(2003年7月~2005年1月)

圧入井: 1本(IW-1)
観測性: 3本(OB-2~OB-4)

長岡実証サイトでは、これまでに各種物理検層(音波、比抵抗、中性子)によるCO₂挙動モニタリングが実施されてきました。音波検層の結果は、観測井OB-2およびOB-4にはCO₂が到達しましたが、観測井OB-3にはCO₂は到達していないことを示しています。

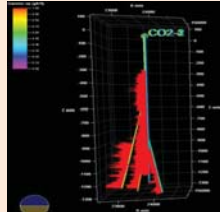


含泥率を組み込んだ地質モデル構築手順

①地質特性解析

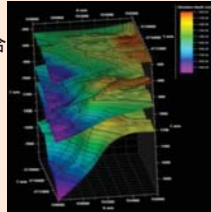


統合化

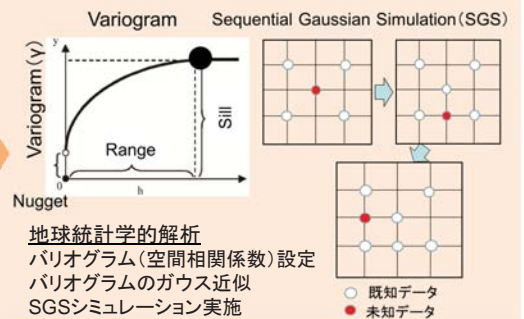


②地層対比と含泥率データの統合

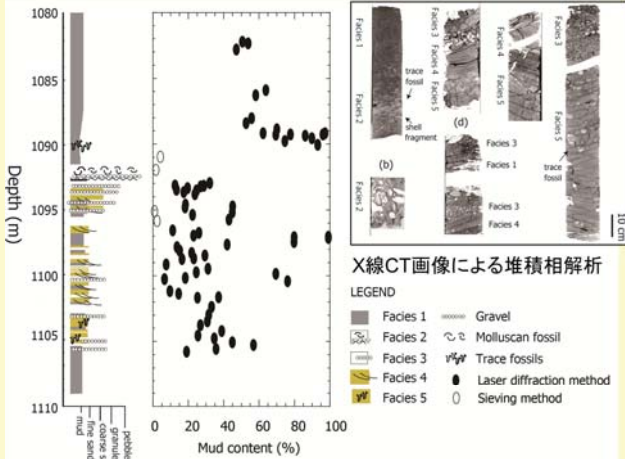
VSP探査
時間と深度統合



③地球統計学的手法を適用した地質モデル構築

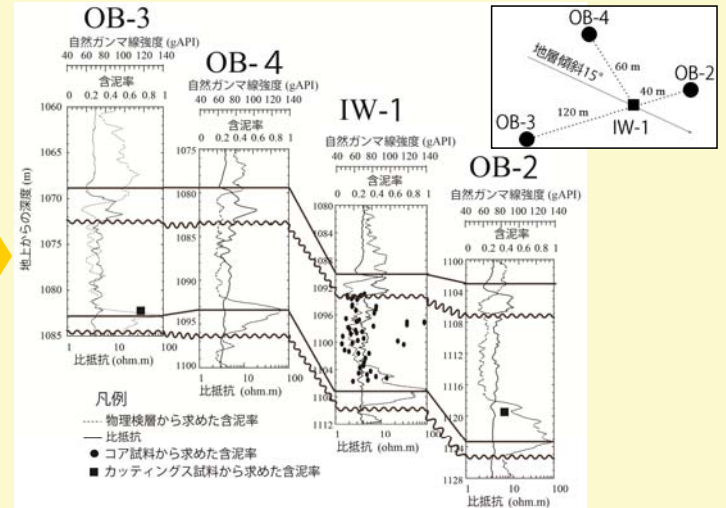


①地質特性解析



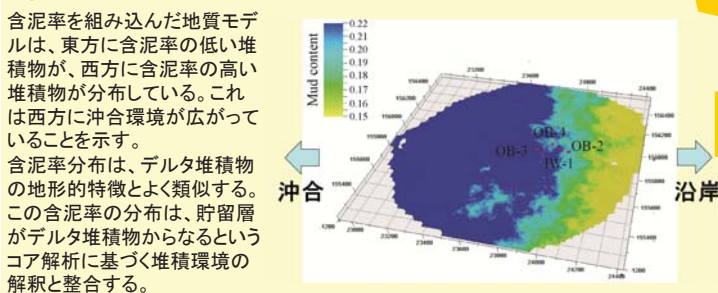
長岡コア試料は、5つの堆積相で特徴づけられる。深度1,093m付近には侵食面が認められる。堆積相解析から、侵食面の下位は外側陸棚~外浜の堆積物、侵食面より上位は外側陸棚の堆積物からなると解釈される。地層はデルタ堆積物と判断される。

②地層対比と含泥率データの統合



物理検層データを用いて坑井間の地層対比を行い、地層境界面を認定する。含泥率の連続データの取得には、コア分析による実測値と自然ガンマ線検層データから評価される値とを統合した。これは地質モデリングのデータセットとして利用される。

③地球統計学的手法を適用した地質モデル構築



まとめ

