

第1回二酸化炭素深海貯留国際共同実験報告

大阪支所 ぎ装研究グループ *山根 健次、綾 威雄(客員研究員)、小島 隆志
 海上安全研究領域 危険物輸送・防災研究グループ 中島 康晴、城田 英之
 環境・エネルギー研究領域 波江 貞弘

1. まえがき

日、米、ノルウェー三国による国際共同研究 (NEDO支援)「二酸化炭素深海貯留実海域実験」¹⁾が始まった。これは、小規模実海域実験を実施することによって、「CO₂深海貯留法」を総合的に評価するとともに、その実用化に不可欠な大規模実証試験への道筋を付けることを目的としている。当所の二酸化炭素深海貯留研究グループは、米国モンテレー湾内の深度700～800mで行われた二酸化炭素貯留予備実験(2003年2月19～24日)に参加し、本海域の流れ場に置かれた容器に溜められた二酸化炭素からの溶解速度や溶解に伴う海水の酸性度(pH)の変化を計測した。本報告では、液体二酸化炭素貯留実験の内容の他、深海調査艇(ROV)の役割と要員配置を含む実験手法、CO₂ハイドレート(海水とCO₂の包接化合物)の生成の様子、発色がpH変化に敏感な染料による海水酸性度分布の可視化などを紹介する。

表 - 1 OACEチームメンバーの分担表

メンバー名	分担内容
P. G. Brewer (MBARI)	ROVや深海実験装置を提供し、チーム活動をアレンジして、深海貯留実験全体を主導する。
綾威雄 (NMRI)	陸上高圧施設を使い実海域実験より広いパラメータのシミュレーション実験を行って、海洋隔離評価のために様々な未知の現象を解明する
P. M. Haugan (UoB)	コンピュータによって深海におけるCO ₂ 溶解拡散過程をシミュレーションし隔離期間を見積もる。
T. Johannessen (UoB)	耐高圧・高精度pHセンサを開発して、CO ₂ 溶解海水雰囲気測定する。

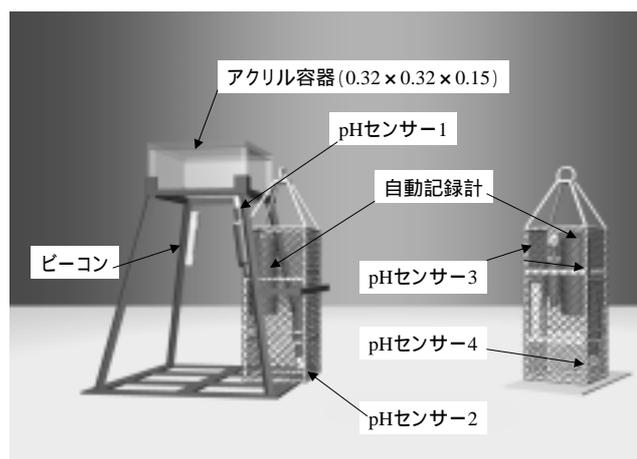


図 - 1 深海実験装置

2. 研究経緯と実験の位置づけ

地球温暖化対策としての二酸化炭素海洋隔離の実用化研究には、下記に掲げるステップが不可欠と考えられる。まず、陸上実験によって深海を模擬した高圧条件下の二酸化炭素物性等を網羅的に調べる基礎研究、次に小規模な実海域実験によって陸上実験で得られなかった実深海での二酸化炭素の挙動を調べる応用研究、更に中規模な実海域実験によって物理的規模の影響を調べる開発研究、最後に大規模な実海域実験によって実用レベルにおける問題点を調べる実証試験である。

海技研ではこれまで小型高圧装置による12年あまりの基礎研究²⁾³⁾を経て、無人潜水調査艇(ROV)を使い、安定貯留が可能と考えられる3500m以深の深海底へCO₂を送り込む技術開発を進めるとともに、数リットルのCO₂放出実験を数多く行い、基礎的な現象観察と物性データの取得(NEDO支援国際共同研究COSMOS)⁴⁾を行った。

今後、国際共同研究OACEチーム(表-1)では数10リットルのCO₂を使った小規模実海域実験を行い、CO₂貯留期間、海底沈殿物との相互作用や溶解

CO₂の拡散過程など、貯留サイト近傍での海洋環境影響を明らかにする予定である。今回の実験はOACEで予定されている本格的な小規模実海域実験のための予備的な性格を持つ。

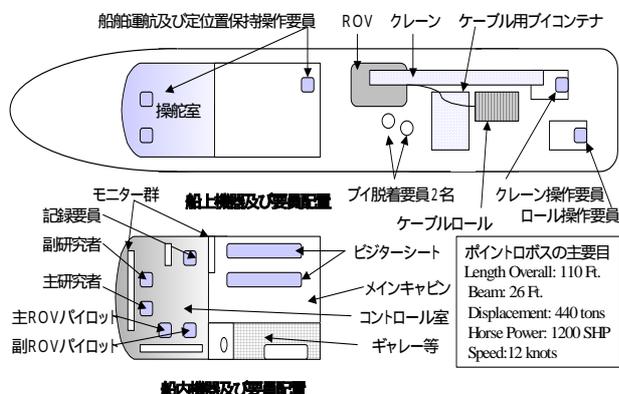


図 - 2 ポイントロボス要員配置

3 . 実験準備

3 . 1 実験装置

今回の小規模実海域実験では深海底で貯留模擬実験装置を操るためのROVにVentana号(潜水可能深度1500m)を使う。このROV潜水による圧力・温度下では液体CO₂の密度が海水より小さく、実際の深海貯留とは上下逆さま (upside-down experiment) の貯留形態をとらざるを得ない。従って、図 - 1 に示す様に、深海窪地を模擬した液体CO₂を溜める矩形アクリル容器も底部開放・上部蓋付構造となっている。各所に設けられたpHセンサーや温度センサーのデータは自動記録装置によって潜水開始から引き上げまでの間、連続記録される。

3 . 2 実験装置の深海への設置

地図で見ると、サンフランシスコのおよそ150km南に耳の形をしたモンテレー湾がある。実験で用いたROVとその母船RV (Point Lobos号) を所有するMBARI(Monterey Bay Aquarium Research Institute)は、耳の中央に位置するモスランディング (Moss Landing) にある。Moss Landingは太平洋へと続く海洋峡谷 (Monterey Canyon) の出発点にあたり、深海実験が日帰りの巡航でできる好立地な場所である。

実験初日、実験装置の深海への設置のためにRV巡航とROV潜水の繰り返しがほぼ1日かけて行われた。図 - 2 にRV上での要員配置と写真 - 1 にROVプラットフォームへの実験装置・機材の積み付けの様子を示す。

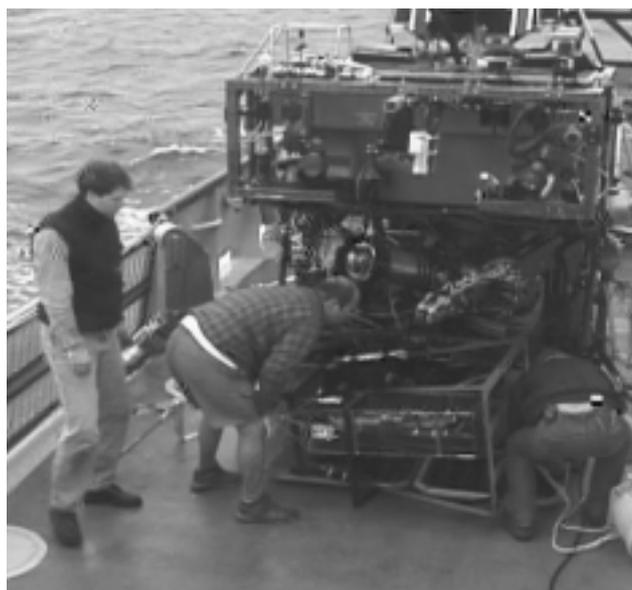


写真 - 1 実験装置の積み付け



写真 - 2 深海への装置設置

ROVが潜水を開始し、海底に到着するまでの間、ROVつり上げ用クレーン操作、リモートケーブル (光ファイバー通信3系統、三相3000V動力線を束ねた索) の浮力調節ブイの装着、船舶の定位置保持操作、ビーコンレーダーを使いROVとRVの相対位置を確かめながらのパイロット操縦等、緊張した雰囲気での業務が続く。

深海底到着後、ROVのプラットフォームに搭載されていた実験装置はロボットアームによって引き出され、深海底の所定の位置 (2台のpH計測記録装置の水平距離は2m) に設置した。写真 - 2 にロボットアームによってpH計測記録装置を設置する様子を示すが、舞い上がった深海底泥 (sediments) によって視界を遮られることから、これらの操縦には熟練を要する。



写真 - 3 深海底設置後の実験装置

深海流れによって泥煙が流れ去り、視界が良好になった後の実験装置の設置状況を写真 - 3 に示す。

4 . 二酸化炭素貯留実験

4 . 1 液体二酸化炭素の注入

深海への放出許可を受けた20リットルの液体CO₂は図 - 3 に示す注入装置によって深海に運ばれ、アクリル容器に注入される。

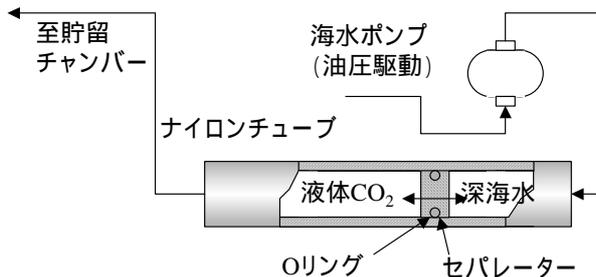


図 - 3 液体二酸化炭素送り込み装置

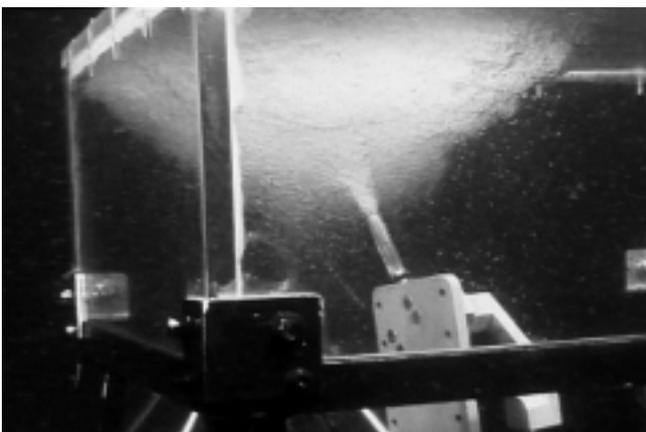


写真 - 4 液体二酸化炭素の注入

前日に設置した深海装置に付属する音響発信器信号 (beacon) を頼りに、実験装置直前の位置に到達したROVは、程なく、主研究者の指示により、ナイ

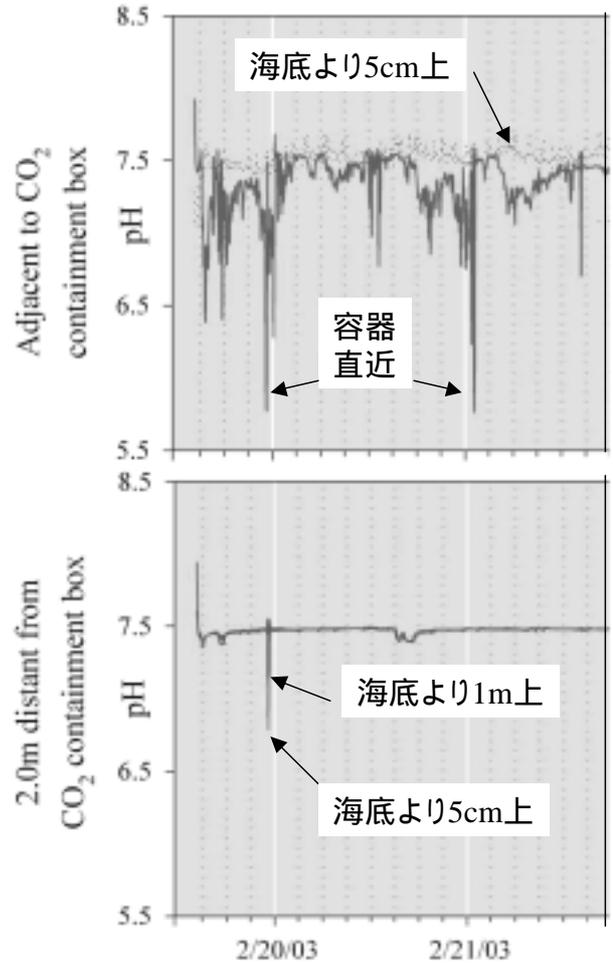


図 - 4 pH計測の時系列変化

ロン製CO₂注入端をアクリル容器内の中程に挿入し、CO₂注入を開始した。写真 - 4 にCO₂注入中の様子を示すが、液体CO₂の小滴表面は瞬時にハイドレートに覆われ、アクリル容器の底面に積もるように溜まり始めた。事前に想定した貯留形態はアクリル容器内に液体CO₂が一様に溜まり、その表面のみがハイドレートで覆われる形である。このまま注入を継続させた場合、想定した貯留形態と著しく異なることから、積み始めたハイドレート被覆CO₂小滴群の中にCO₂注入端を差し入れる注入方法に切り替えた。この注入方法により、注入CO₂が海水に直接接触することなく、新たに注入された分は一つの大きな塊となって想定した貯留形態に近い形でアクリル容器内に納まった。

4 . 2 pHの計測

図 - 4 にこの実験で得られたpHの時系列変化を示す。この海域では潮汐変化に伴う大きな潮流 (最

大水平流速0.5m/sec)が深海にも及び、pHセンサーが潮流の下流側に位置した時に、pHに大きな変化が見られる。上側のグラフで一番大きな変化を記録しているのは図 - 1のpHセンサー1(容器直近)である。pHセンサー2は海底より5cm上に位置するが、pHセンサー1程は大きな変化が記録されていない。アクリル容器から2mの水平距離を置いて設置した二台のpHセンサー3と4にも、潮流方向がアクリル容器と重なったときのみ変化が記録されている。最大変化量で比較するとpHセンサー3(海底より1m上に設置したセンサー)には0.4、pHセンサー4(海底より5cm上に設置したセンサー)には0.7の変化がそれぞれ記録されている。これはCO₂溶解海水が周囲の海水よりも密度が大きいため、アクリル容器から溶け出して流れに乗ったCO₂溶解海水が海底を這うように広がっていったものと推測される。また固定設置したpHセンサーとは別に、ロボットアームでpHセンサーを自由に移動させて、アクリル容器内やその周辺各位置でのpH変化量を記録した。その結果、アクリル容器内外のほとんどの位置でpH変化が見られず、深海流れの下流でアクリル容器縁の一部にのみ0.5程度のpH変化が見られた。この傾向は、固定設置したpHデータの結果と一致している。詳しい解析・検討が各国の分担に沿って進められている。

4.3 海水酸性度分布の可視化

写真 - 5 に pH 変化に発色が敏感な染料 (pH sensitive dyes) を CO₂ 溶解途中のアクリル容器内に注入する様子を示す。画面中央に見える白いナイロンチューブからジェット状に噴出させ、周囲海水と混合して海水酸性化分布を三次元的に観察しようと試みたもので、得られた結果についてはノルウェーチームによって分析中である。



写真 - 5 海水酸性度分布の可視化実験

4.4 その他の実験(メモリー効果実験)

今回の機会を利用し、貯留CO₂と海底沈殿物との相互作用に大きく影響すると考えられる、ハイドレートのメモリー効果を確認する実験を実施した。その結果、深海水と表層海水とにメモリー効果に差が現れなかった。そこで、Monterey 湾の表層海水を採取し、陸上実験を通して、表層海水にメモリー効果が発現しない条件を明らかにする手はずを整えた。

5. あとがき

日、米、ノルウェー三国による第1回二酸化炭素深海貯留国際共同実験は成功した。この成功は早い段階での入念な打ち合わせ(写真 - 6)と、RVやROV等を使った深海実験に精通したMBARI技術スタッフに依るところが大きい。

今回得られた実験データは、第2回以降の実海域実験のノウハウ、溶解過程のシミュレーション解析、大型高压タンクによる模擬実験(CO₂-sediments相互作用実験)のパラメータ選定等に生かされる。

今後、更に深度の深い3500m級海域で同規模の実験が予定されており、大規模実証試験への道筋作りという目的に一定の役割を果たせたものとする。



写真 - 6 国際共同研究代表者会議(2002.10)

参考文献

- 1) Peter G. Brewer、綾威雄、Peter M. Haugan、Truls Johannessen、二酸化炭素深海実験、2003年国際共同研究助成事業(NEDO International Joint Research Grant 2003) 02GP4、新エナジー・産業技術開発機構。
- 2) 綾威雄、他、CO₂海洋処理法の基礎研究、船研報告 33 巻2号。
- 3) 綾威雄、他、回収二酸化炭素の深海底貯留法の評価に関する研究、海技研報告 第1巻第6号、pp.417-440。
- 4) 山根健次、他、「スラリー化二酸化炭素深海投入法、新COSMOS、の提案、2001年6月、第1回海技研研究発表会。