

オーストラリアの二酸化炭素対策研究開発ー CO2CRCのOtway実証試験とAPP/CDC技術フォーラムより

奥山 康子¹⁾・當舎 利行¹⁾・相馬 宣和¹⁾・徂徠 正夫¹⁾・石戸 恒雄¹⁾

1. 嵐の船出

すさまじい風だった。牧場の区画を境する木々が幹からしなり、いたるところで大枝が付け根からへし折れ、また木一本丸ごと根元から引き倒されている。牛や羊の群れるのどかな牧野の風景は、どこかへ消し飛んでしまった。私たち5人を乗せたミニバンは風にあおられるように西へ向かっていた。メルボルンを離れること200km以上、オーストラリア国内では天然ガス生産地として知られるOtway地域では、この日、二酸化炭素(CO₂)地中貯留実証試験でのCO₂圧入が始まろうとしていた。私たちは、CO₂地中貯留研究についてオーストラリア連邦科学産業研究機構(Commonwealth Science and Industrial Research Center: CSIRO)と共同研究に向けた協議を行い、また、「クリーン開発に関するアジア-太平洋パートナーシップ(Asia-Pacific Partnership on Clean Development and Climate, APP/CDC)」の技術フォーラムに出席して情報収集を行う目的で、3月30日からメルボルン

に滞在していた。日程最後の4月2日は、圧入開始式に出席し、実証試験について情報を収集することになっていた。

Otwayは耳慣れない地名だが、観光スポットとして知られるグレート・オーシャンロードの中ほどにある国立公園と言えば御存知の方がおられるかもしれない。オーストラリア南東部、メルボルン西方の海岸は切り立った崖がちなり、美しい景色とマリン・レジャーの場としてオーストラリア国内では有名だ(第1図)。この崖をなす中生代白亜紀から前期新生代の地層が、Otway堆積盆を構成する地層群である。その内陸への延長が天然ガス生産の場となっていることは、日本ではあまり知られていない。地球温暖化ガス対策についての共同研究組織CO2CRC(The Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies)は、ヴィクトリア州やCSIROなどと共同して、Otway地域でCO₂地中貯留の実証試験を計画してきた。2005年からのベースライン調査を経て、いよいよ地下にCO₂を送り込む試験が始まるのだ。



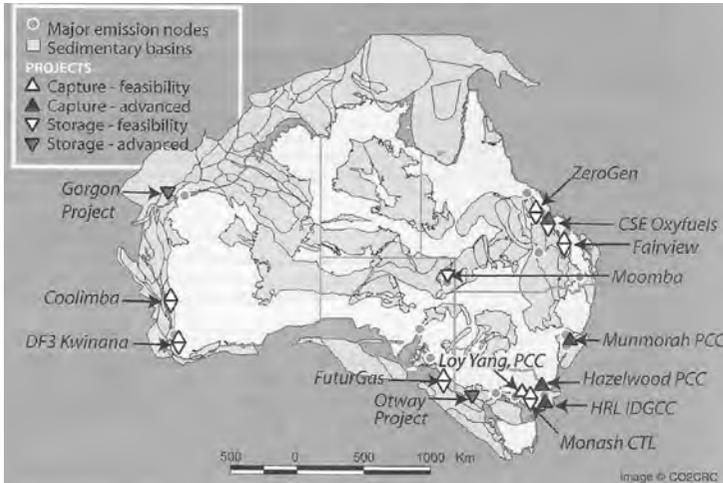
第1図 グレート・オーシャンロードの海岸美(當舎利行撮影)。



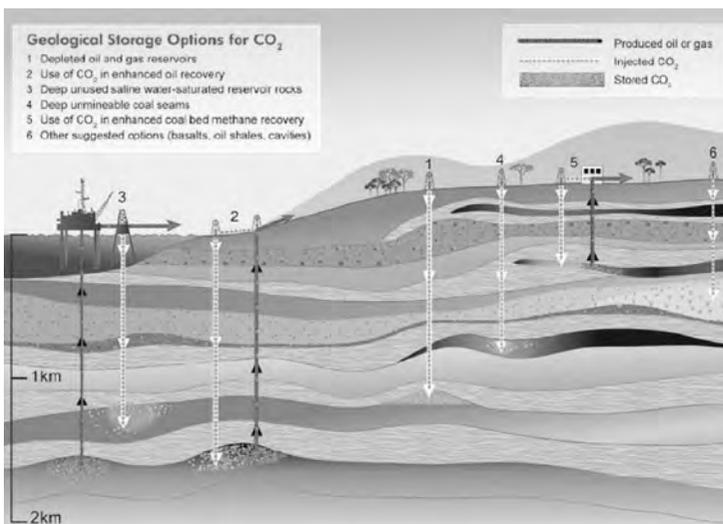
第2図 嵐の実証試験場(相馬宣和撮影)。

1) 産総研 地圏資源環境研究部門

キーワード: オーストラリア, CO₂地中貯留, 深部塩水帯水層貯留, CSIRO, CO2CRC, Otway, APP/CDC, 地球温暖化対策



第3図
オーストラリア国内で進行中のCCSプロジェクト、APP/CDC配布資料。



第4図
CO₂地中貯留の5つの主要な方策。
1. 枯渇油・ガス田への貯留。
2. CO₂-EOR。
3. 深部塩水帯水層貯留。
4, 5. 炭層固定。
6. 苦鉄質岩による鉱物固定。
詳しい説明は本文参照。(Benson and Cook, 2005より)。

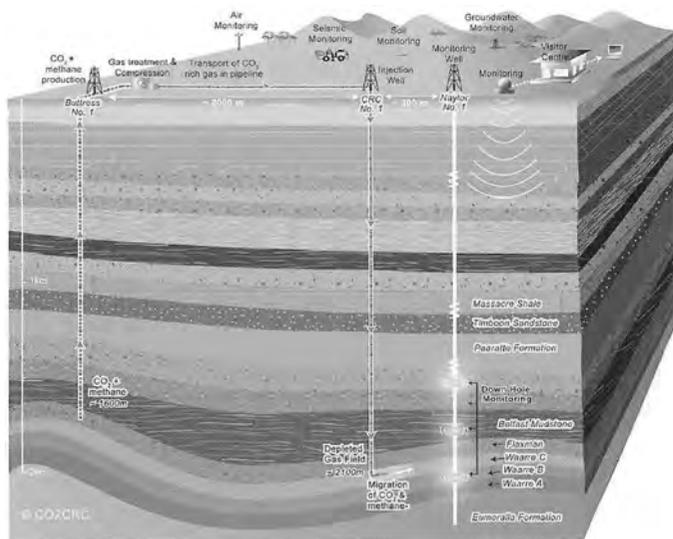
現地に着くころには、風に加えて横殴りの雨が降り出した(第2図)。式典はテントの中で行われたが、その間も一向におさまらない強風に、オーストラリア連邦政府やヴィクトリア州政府からの挨拶もよく聞き取れないほどであった。実証試験はまさに嵐の船出となったが、CO₂の分離・回収と貯留(Carbon dioxide Capture and Storage: CCS)が世界的に重要な課題となる中で、将来の実用化を目指して様々な経験が積み重ねられていくに違いない。

2. オーストラリアにとってのOtway実証試験

地球温暖化対策をめぐるオーストラリアの姿勢は、昨年11月の総選挙と政権交代で大きく変わったとき

れる(11月26日付朝日新聞)。しかし、政治的姿勢がどうあれCO₂対策は、潤沢な石炭をエネルギー源とするオーストラリアにとって重要な課題であり続けてきた。現在オーストラリアでは、13件のCCSプロジェクトが進行中で(第3図)、石炭火力発電所や褐炭ガス化プラントでのCO₂分離・回収プロジェクトがその過半を占めている。このような中でOtway実証試験では、天然ガスから分離したCO₂を地下に圧入するのが特色である。

一口にCO₂地中貯留というが、現在、対象別に5タイプが考えられている(第4図)。すでに実用段階に達しているのが、稼行中の石油・天然ガス田で生産性を上げる増進回収(enhanced oil recovery)のためにCO₂を地下に注入する方法(CO₂-EOR)である。これ



第5図 Otway実証試験の概念図。CO2CRCホームページのOtway実証試験案内より (<http://www.co2crc.com.au/otway/>)

は、石油・天然ガス採掘に伴って出てくる天然CO₂を地下に戻すことが端緒であり、温暖化対策としてのCO₂地中貯留の着想の元になった技術である。石油・天然ガスを閉じ込める地質構造が存在する点で共通する方法が、枯渇した油・ガス田でのCO₂貯留である。枯渇油・ガス田への炭化水素主体の天然ガス貯留は、需給調整を目的としたいわば天然ガスタンクとして各地で行われており、Otway地域でも実証試験場から離れたIona地区で稼働中である。このように、地中に加圧したガスを貯留することは決して特殊な実験的事業ではない。

CO₂-EORと枯渇油・ガス田への貯留が流体の閉じ込めに実績のある地質構造を対象とするのに対して、そのような構造が必ずしも自明ではない深い地層にCO₂を貯留するのが、深部塩水帯水層貯留（一般帯水層貯留）である。このような地層であっても、「水溶性天然ガス」と呼ばれるタイプの天然ガス鉱床が存在することは、南関東ガス田や宮崎ガス田などの事例でよく知られている（楡井ほか, 1986；遠藤・鈴木, 1986）。水溶性天然ガス鉱床が成り立つことが、深部塩水帯水層貯留の着想の元になっている（小出, 1992）。

以上3タイプが通常の堆積岩層を貯留の場とするのに対して、「炭層固定」では採掘不可能な深部炭層

にCO₂を注入・貯留する。並行して炭層で生成したメタンを回収する、CO₂による炭層メタンの増進回収（enhanced coalbed methane recovery, ECBM）を兼ねる場合が多い。この方法は、深部石炭の利用という意義からも世界各地で実験や実証試験が進められており、日本でも夕張で小規模な試験が行われた（當舎, 2008；杉原, 2008；鈴木ほか, 2007）。苦鉄質ないしは超苦鉄質岩体にCO₂を注入して反応させて鉱物をつくり固定する方法は、実用を目指す5種類のCO₂地中貯留法の最後の方法だが、まだ実験段階にある。

Otway実証試験では、天然ガスを採掘したあとの枯渇ガス田を、CO₂貯留試験の場とする（第5図）。ここに至るには、Otwayならではの地質学的特殊事情があった。それは、燃料資源である炭化水素ガス（主としてメタン）だけではなく、大量

のCO₂が集積する場合があるということだ。CO₂がくみ上げたガスの0～20%程度である井戸ではメタンを中心とする炭化水素ガス生産を行うが、反対にCO₂が80%以上に達する井戸も珍しくなく、そういったところはCO₂自体を目的に生産がなされている。CO₂は同位体的に重いことから（ $\delta^{13}\text{C} = -1.5 \sim -15.83\%$ ）、マグマ起源と考えられている（Mehin and Link, 1994）。この地域では第四紀更新世に玄武岩質火山活動があって、これに伴って大量に供給されたCO₂が炭化水素を主体とする初生的な天然ガス集積の場に流入して現在に至ったと考えられている（Mehin and Link, 1994; Stalker, 2008）。

実証試験では地域内の坑井（Buttress-1；第6図）からCO₂に富む天然ガスを採取して、圧縮し超臨界状態にして、約2km離れた注入井（CRC-1）から地下に圧入し、地表からの観測と注入井から約300m離れた観測井（Naylor-1；第7図）を使った坑井観測によって、地下での挙動をモニタリングすることになっている（第5図）。モニタリングは、CO2CRCが実施する。観測井Naylor-1はかつてガス採掘を行った坑井を転用し、一方、注入井CRC-1は新規に掘削された。注入量は10万トン規模を予定している。圧入ガスは当初は採掘されたままのCO₂とメタンの混じったものであるが、分離・回収プラント完成後はCO₂の純度を上



第6図 圧入するCO₂を採取する井戸Buttress-1とガス・プラント(相馬宣和撮影)。



第7図 Naylor-1観測井. 様々な観測機材からのラインが延びる(相馬宣和撮影)。

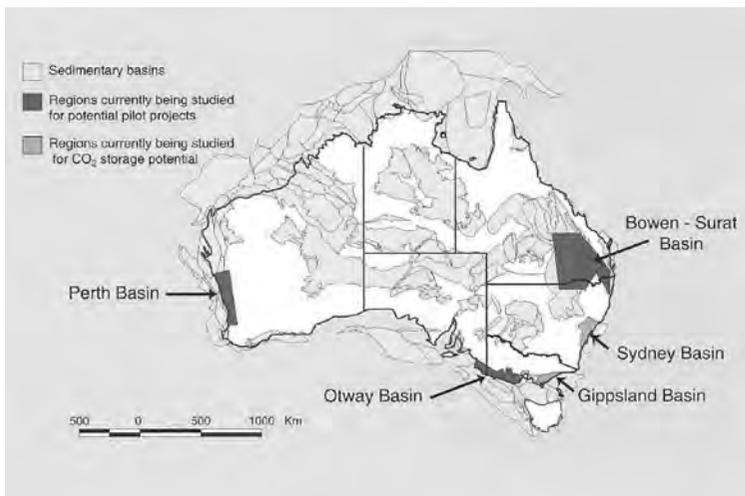
げて圧入することになっている。したがってOtwayでは、ガス田としての当初からの地域特性もあって、CO₂-CH₄混合流体の挙動と深部地下水や貯留層岩石との相互作用を解析することが、試験を行う上で重要な要素になってくる。

3. Waarre帯水層

Otway実証試験でCO₂を圧入するのが、「Waarre層」と呼ばれる白亜紀後期の砂岩層である。圧入開始式の前日(4月1日)にメルボルン市内で開かれたワークショップの発表や、CO2CRCの公開文書から、CO₂が実際に貯留される帯水層の一例として特性を拾い上げてみたい。

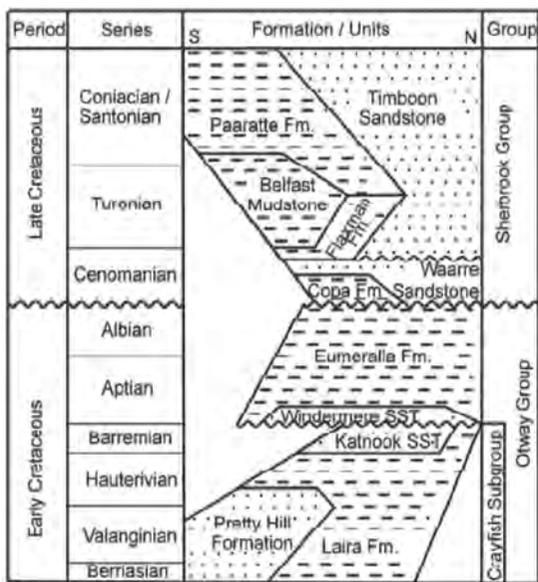
Otway堆積盆はオーストラリア大陸が南極大陸から

分離するのに伴ってできた堆積盆で、オーストラリア南東部陸上から沖合の海域に広がっている(第8図)。石油・天然ガスに関連するのは、ジュラ紀後期から白亜紀にかけての河川成ないし沿岸成の堆積物である(Perinsek and Cockshell, 1995)。この堆積盆は、南極大陸からの分離時に活動した北西-南東方向の断層系に外形が規制され、内部も同じ方向の断層系によってブロック化されている。緩やかな褶曲が存在するが、構造は比較的単純である。断層は流体のシールとして機能する傾向が強く、天然ガスも断層でせき止められて集積している。天然ガスは、白亜紀前期のPretty Hill層および白亜紀後期のWaarre層に胚胎している(第9図)。浅い側のガス貯留層であるWaarre層は、堆積サイクルによって3部層に分けられ、うち「Waarre C部層」と呼ばれる砂岩層が実証試験でCO₂



第8図

オーストラリアのCO₂地中貯留研究開発にて検討対象となっている堆積盆。Otway堆積盆は大陸南東部に位置する。APP/CDC配布資料。



第9図 Otway堆積盆での白亜系の層序 (Watson *et al.*, 2003より).

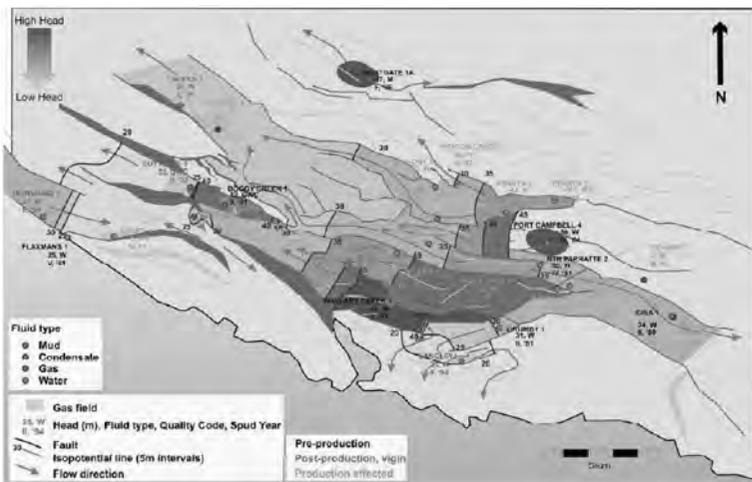
貯留層とされる。この砂岩層は、主に淡色の淘汰の良い砂岩から構成される。坑井試料での空隙率は12~25%で、浸透率も高い(Watson *et al.*, 2003)。

地中貯留試験に当たっては、「入れ物」である貯留層の性質、すなわち岩型・岩相・空隙率・浸透率の空間分布、それらに基づく貯留キャパシティー、貯留層を満たす深部地下水の流動と地化学的性質などがあらかじめ詳しく分かっている必要がある。これらは入れ物の性質を理解するというだけでなく、注入流体の挙動を予測するためにあらかじめ行うシミュレーション

に向け、数理的地質モデルを作るために欠くことのできない要素である。Otway地域はもともと石油・天然ガス生産地であることと、実証試験に向けた詳細な調査が行われたことから、地下データは大変に豊富である。Waarre C層の地下での3次元分布は、反射法探査とボーリングのデータから求められた。多数のコア試料で砂岩の岩石学的特徴を把握し、シーケンス層序学の知識から堆積相の3次元分布モデルが構築された。モデルはさらに、浸透率など流動に関わるパラメータの空間変化として、シミュレーションのモデルに組み上げられている (Spencer *et al.*, 2006)。

貯留層を満たす深部地下水の流動は、貯留流体が安定してとどまるかどうかという点から大事な要素である。Waarre帯水層全体を通じた地下水流動は比較的盛んで、卓越する流向は北西-南東方向であり、これはこの地域に発達する断層系に沿った方向である (第10図: Henning, 2007)。現在観測される地下水流動状況や流動ポテンシャルには、この地域での天然ガス生産の影響がはっきり認められている。

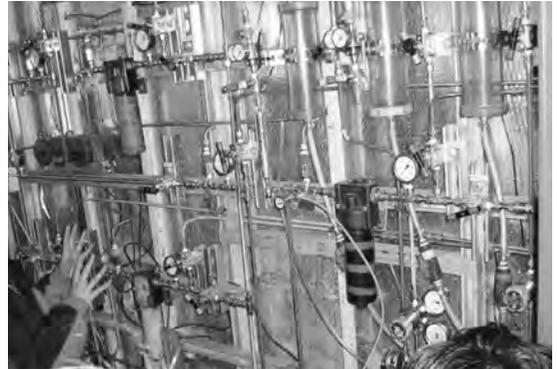
Waarre層深部地下水の塩分濃度はそれほど高くなく、最大でも海水の約半分程度である (Watson *et al.*, 2003; Henning, 2007)。希薄な深部地下水は河川成など淡水成の地層の特徴であり、日本国内でも同じような傾向を見出すことができる (奥山ほか, 2008)。Otway地域では、断層で隣接するブロック同士で塩分濃度に差があることは珍しくない (第10図)。実証試験場のある地域西部には、この地域としては比較的濃度の高い地下水がまとまって存在している。



第10図 生産の影響を取り除き復元したWaarre層内での初生的深部地下水流動。流動方向は矢印の向きで、流速はその長さで示されている。濃淡は、深部地下水の塩分濃度。Henning (2007)より。



第11図 貯留流体モニタリングなど各種観測の拠点となる施設。外には流体採取用の窒素ガス・ポンペなどが並ぶ(相馬宣和撮影)。



第12図 観測施設の内部。流体採取と分析用の配管が張り巡らされ、ガスクロマトグラフ質量分析計が連続稼働している(相馬宣和撮影)。

この濃度差がWaarre帯水層全体での、特に第10図の範囲の東側から流入し断層に沿って北西に向かう流れの、駆動力になっていると考えられている(Henning, 2007)。

砂岩は淘汰がよく、石英に富み岩片に乏しい岩石学的特徴を持つ(石英アレナイト)。第四紀に入ってからCO₂が流入したために、砂岩の鉱物はその時点までの地層の埋没に起因する変化に加えて、CO₂流入によって最大200万年間に起きた変化を重ね焼きされている。その変化としては、碎屑性斜長石の溶解、それによる二次的な空隙の生成、そして空隙への二次的炭酸塩とカオリナイトの沈殿があげられている(Watson *et al.*, 2003)。

4. 観測井による地化学モニタリング

Otwayに限らずCO₂地中貯留の実証試験に当たっては、多様な手法を用いたモニタリングが実施される。地下でのCO₂の動きを探る反射法調査や、土壌ガスおよび大気中のCO₂濃度観測は一般に広く行われており、Otway実証試験でも採用されている。土壌ガスや大気の観測は、試験での方が一の漏洩をキャッチすると同時に、目に見える変化が無いことをデータで示して貯留の安全性を示す目的もある。観測井を使った観測も一般的である。弾性波調査を例にとると、有名な北海、Sleipner海域の反射法調査(Arts *et al.*, 2004)に対する長岡での坑井間調査(Xue *et al.*, 2006)が良い比較になるであろう。

Otway実証試験で特に注目されるのは、観測井を

使った地化学モニタリングとトレーサー試験である。ここでは、アメリカ合衆国、Frio実証試験でローレンス・バークレー研究所が開発した「改良型U-チューブ法」を導入し、貯留層流体のモニタリングを行う計画である(第11図)。これは観測井の中に流体サンプリング機材を設置して、地表から送り込む窒素ガスの圧力で貯留層から流体を採取する方法である(Freifeild, 2008)。この方法では、地下の高圧を維持したまま、脱ガスによるpH変化をきたさず流体を採取することができ、また1度に52リットルという大量の流体を得ることができる。サンプリングは、2週間間隔で行うということである。こうして得られた貯留層内流体の地化学から地下の流体挙動、特に、1) CO₂-CH₄-H₂O系混合流体と貯留層岩石の地化学的相互作用、2) 注入した超臨界CO₂の流動や溶解、3) 地域でのガス生産や試験でのガス圧入による貯留層内の変化について、実データに基づく知識を得ることができると期待されている(第12図)。

CO₂の地下での流動を確認するためのトレーサー試験も、トレーサーとしてメタンの重水素置換体であるCD₄を採用して、実施予定とのことだった。CD₄は地化学的にはメタンと同じような挙動をとると考えられるが、それより重いためにガスクロマトグラフ質量分析計で容易に存在を感知できる(Stalker, 2008)。トレーサー試験とサンプリングした貯留層流体の分析から、地下でCO₂がどこまで到達しているか、またその存在状態、つまり超臨界状態とどまっているのか水に溶解しているのかなどを定量的に把握し、これによって貯留層内流体のモデリングを行うことができ

る。こうした作業から、CO₂に対する動的な貯留キャパシティーを見積もることができるであろう。

このような研究は、CO₂地中貯留の地化学の観点から大変興味深い。理由のひとつは、10万トンという大量のCO₂貯留試験でほぼ連続的な地化学的貯留層流体観測がなされた例はごく少ないということである。CO₂と深部地下水を含めた貯留層の地化学的相互作用は、地化学シミュレーションでかなり定量的な予測ができるようになったが、信頼性を上げるためにはもっと多くの実データが必要になっている。単発的な貯留層流体観測には、RITE長岡実証試験の例(Mito *et al.*, 2006)などが知られているが、期間を通じて頻繁に観測した例は非常に少なく(たとえば、Perkins *et al.*, 2005)、それだけでも大きな意義があると考えられる。

もうひとつは、地化学を実地のモニタリングに生かす道を開く可能性である。これまで世界各地で行われているCO₂地中貯留試験では、地下の流体の挙動は主として反射法に代表される地表からの物理的観測で把握されてきた。化学的手法にとってこの位置取りは微妙である。それは、観測にかかることが、すなわち対象物がその場に存在することを意味するからであり、CO₂地中貯留場で地表に設置したセンサーが変化を捉えたということは、すでに安全の上からあってほしくない事態、つまり漏洩が起きているということになりかねないからだ。地表で観測されたCO₂が貯留に起因するものかどうか(実際、生物活動による地表付近でのCO₂は、季節によってきわめてレベルが高くなる)判別するためにも、地下での貯留CO₂の広がりを化学的に観測する手法が必要であろう。Otwayで採用される手法は、試験での貯留層流体の把握というだけではなく、坑井を使った地化学モニタリングに発展する可能性があるものだ。観測のために坑井を掘ることは貯留コストの増加につながり、また、貯留するものが高圧の流体であることから岩盤に余分な「傷」をつけたくないという考え方もある。しかし既存の坑井を観測井に転用したOtwayでの方法は、他の場所でも十分採用可能かもしれない。

5. 実証試験と社会との対話

CO₂地中貯留の実証試験は、技術的には、CO₂を地中に蓄えることが可能である事を実地で示すとも

に、あらゆる技術的項目について取れるだけのデータを取って、地下のCO₂についての地球物理学的、地球化学的、水文学的なモデルを構築し、更新していくことに他ならない。こうして信頼性の高いモデルを構築することは、貯留技術の基盤というだけではなく、貯留の安全性を説明するために必要なことでもある。

CO₂地中貯留は、地球温暖化対策として注目されているが、それは直ちに社会が受け入れを決めた技術であることを意味しない。地中貯留での技術的な不確かさはそのまま、安全性への疑問につながりうる。それだけではなく、地球環境対策としてのCO₂地中貯留には、環境問題全般に共通する価値観上の問題・社会的課題がついて回っているのが現実である。「CO₂地中貯留は気がついて見たら実用化されていたという技術であってほしかった」という声を聞かないでもないが、今やこのような道をたどることができないのは明らかであろう。CO₂地中貯留は、エネルギーの大量消費と地球全体の環境保全を、当面の間何とか妥協させる窮余の策のひとつである。この「現実」を社会に直視してもらうとともに、実施するのであればどのようなスケールであれ、その意義を説き技術上の疑問に可能な限り答える態勢を作っていく、すなわち「社会との対話」を進めていく必要がある。

Otway実証試験では、地域社会を含む広範な関係者(stakeholders)と密な意思疎通を行うことを、プロジェクトの主要な課題として位置づけている(Berly, 2008)。試験の意義を、経済や技術、果ては国益など多様な観点から説明し、試験の具体的実施に当たっては事前にまた期間中常に地域やその内外の関係者との対話を行い、いかなる質問に対してもそれを受けられることのできる態勢を組んでいるということである。

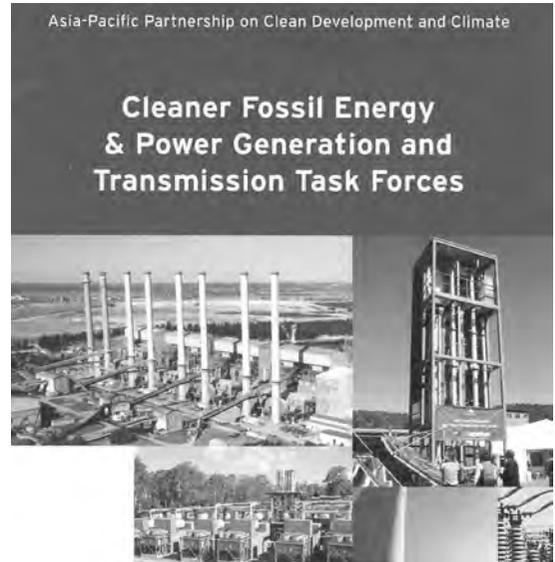
Otwayは地域特性として天然ガスやCO₂になじみの深い土地柄である上、現地も一帯が牧場になっていて、日本的な感覚ではこの種の試験について大きなリスクを心配しなくてもよいのではないかと考えてしまうような場所である。それでも社会との対話を課題に掲げ、実施に当たって万全とも思える態勢を整えていることは、特筆しておきたい。Otwayでのこのような試みは、将来実用的なCO₂地中貯留に臨んだ際に事業を社会的に受け入れてもらうための方策として、どのようにしてブラッシュアップされていくのだろうか。社会的な受容を得る有効な方法がまだ知られていない現在、今後の展開が大いに注目される。

6. APP/CDC技術フォーラムより

Otway実証試験場訪問の前日(4月1日)には、「クリーン開発に関するアジア太平洋パートナーシップ(APP/CDC)」の技術フォーラムに出席した(第13図)。今回のフォーラムは化石燃料(特に石炭)のより「クリーンな」発電利用を題材とし、主要テーマの1つに環太平洋地域でのCCS研究開発の現状報告が取り上げられていた。

フォーラムでの前半の発表はオーストラリア国内でのCCS事情の報告で、これまで記してきたOtway実証試験のほか、国内中央部、Cooper Basin地域のMoomba地区(第3図)を商業ベース地中貯留の拠点とする構想について、概要が紹介された。また、オーストラリア北西部、バロー島にて進行中のCO₂地中貯留プロジェクト(Gorgonプロジェクト;第3図)の現状も紹介された。これはオーストラリア最大とされるGreater Gorgon海底ガス田を開発するにあたり、天然ガスに伴って発生するCO₂をガス・プラントを置くバロー島の地下帯水層に貯留しようというものである(<http://www.gorgon.com.au/>)。CO₂注入量も1日あたり1万トンを目標にする、こちらでも世界最大規模のプロジェクトである。天然ガス採掘は主要なCO₂源のひとつであり、現在は生産や精油の現場で放出されるままであるが、近い将来に対策を迫られるとみられている。フォーラムでの発表では、安全性評価に向けた貯留流体の地下挙動についてシミュレーションの結果が披露された。貯留の場は背斜構造東翼のほぼ水平な砂岩泥岩互層で、貯留深度は2,500m内外である。シミュレーションの結果として、注入したCO₂の上昇・移動がシール層で抑えられる様子や、地層水への溶解が時間とともに進み長時間経過後には残留ガス量が目に見えて減少することが示された。これは、私たちが東京湾岸の地質モデル上で行った仮想的CO₂地中貯留シミュレーションとも調和的である(石戸ほか, 2008; 奥山・佐々木, 2008)。地層水への溶解すなわち「溶解トラップ」が主要な閉じ込めメカニズムとなる状況が明示されたことは、地質構造による閉じ込めがあまり期待できない深部塩水帯水層CO₂貯留を支持する成果として注目される。

フォーラムの後半では、カナダ、Weyburn油田でのCO₂-EORの現状が紹介された。この油田は1954年に発見、1960年代から操業という稼行期間の長い油田



第13図 クリーン開発に関するアジア太平洋パートナーシップ。この地域での化石燃料(主に石炭)の、より温暖化を促進しない利用法について、協議する場である。APP/CDC配布資料。

で、CO₂の注入は2000年10月から始まった。ここでは石油に伴う天然CO₂ではなく、アメリカ、ノースダコタ州の石炭ガス化プラントで発生したCO₂を、国境を越えてパイプラインでカナダまで輸送し、地中貯留する点が大きな特色である。廃棄物とみなされる可能性のあるCO₂の国家間移送と、パイプラインでの長距離輸送という2点が注目点である。WeyburnのCO₂-EORは、IEA温室効果ガス対策研究開発プログラム(IEA GHG R&D Programme)の下でモニタリング・プロジェクトが実施されたことでも知られている。この油田の貯留層は炭酸塩岩であり、注入したCO₂が地下の岩層と著しい相互作用を起こす状況が、油層水の炭素同位体データなどから克明に追跡されている(Perkins *et al.*, 2005)。

7. ゼロ・エミッションを目指す?

APP/CDC技術フォーラムでよく聞かれ話題となった言葉が、「ゼロ・エミッション」である。火力発電所などで不可避免的にCO₂が発生するのを、ただちに回収し貯留することで、そのポイントでの大気へのCO₂放出をゼロとするという意味である。ゼロ・エミッションという概念は、APP/CDCの活動目的の上では重要

なものである。言うまでもなく、化石燃料使用に当たってゼロ・エミッションを達成するにはCO₂の回収と貯留が欠かせず、現在の国際的合意の下では各種の地中貯留が唯一実行可能な選択肢である。日本でこの言葉があまり聞かれない理由がこの点にあるのも、まず間違いがないだろう。

経済産業省は今年3月28日に、平成18年度のCO₂年間排出量の国内集計を公表した(<http://www.meti.go.jp/press/20080328014/20080328014.html>)。同日付の新聞(朝日新聞)による企業別ランキングの上位には、火力発電所を抱える電力会社が顔をそろえている。数千万トン単位の排出量を前にすると、家庭の省エネではとても追いつかないとため息をつきたくなり、大規模排出源対策が必要なのが実感される。人為的CO₂は温暖化の可能性だけではなく、海洋の酸性化という観点からも問題視されるようになり、どうしても削減が必要な物質であるという認識が広まってきている。もちろん、CO₂発生を伴わない(あるいは発生量が非常に低い)ほかのエネルギー獲得手段も存在するわけであり、何を選択していくかは国民的議論が決定するのであろう。CO₂地中貯留は、ある程度多量の化石燃料を今後も使い続けるという選択を行った場合に、大気中のCO₂を増やさない現実的な方法である。いかなる選択にも耐えるようにエネルギー・バックエンドに関する研究・開発を進めることは、日本の未来のために必要なことであろう。

参 考 文 献

- Arts, R., Eiken, O., Chadwick, A., Zweigen, P., van der Meer, B. and Kirby, G. (2004) : Seismic monitoring at the Sleipner underground CO₂ storage site (North Sea). In Baines, S.J. and Worden, R. (eds), "Geological storage of carbon dioxide". Geol. Soc. Spec. Publ., 233, 181-192.
- Benson, S. and Cook, P. (2005) : Underground geological storage. In Metz, B., Davidson, O., de Coninck, H., Loos, M. and Meyer, L. (eds), "IPCC Special report on carbon capture and storage", Camb. Univ. Press, Cambridge, 195-276.
- Berly, T. (2008) : How is the Otway Project regulated? Presentation at CO2CRC Otway Project technical workshop. April 1, 2008, Melbourne, Australia.
- 遠藤秀典・鈴木祐一郎(1986) : 天然ガスおよび付随資源。地域地質研究報告「妻及び高鍋地域の地質」, 地質調査所, 85-88.
- Freifield, B. (2008) : US regional partnership: an overview/Frio brine pilot project. Presentation at APP/CDC Technical Forum. April 1, 2008, Melbourne, Australia.
- Henning, A. (2007) : Hydrodynamic interpretation of the Waarre Formation Aquifer in the onshore Otway Basin: Implications for the CO2CRC Otway Basin Underground Storage of CO₂ Project. CO2CRC, Canberra, Australia, Publ. No. PRT07-0634.
- 石戸恒雄・杉原光彦・當舎利行(2008) : 一般帯水層でのCO₂貯留。高精度地中拳動予測手法の研究平成19年度研究報告書, 地球環境産業技術研究機構, 42-58.
- 小出 仁(1992) : CO₂地中貯留のための地質工学的課題。日本応用地質学会研究発表会講演論文集, 157-160.
- Mehin, K. and Link, A.G. (1994) : Source, migration and entrapment of hydrocarbons and carbon dioxide in the Otway Basin, Victoria. APPEA Journal, 34, 439-459.
- Mito, S., Xue, Z. and Ohsumi, T. (2006) : Mineral trapping of CO₂ at Nagaoka test site. Proc. GHGT-8, 1, 100-101.
- 楢井 久・近藤精造・品田芳二郎(1986) : 燃料資源-南関東天然ガス。大森昌衛・端山好和・堀口万吉編「日本の地質-関東地方」, 246-247.
- 奥山康子・佐々木宗建・村岡洋文・金子信行・徂徠正夫(2008) : CO₂地中貯留での「地層水」の役割と地化学的閉じ込めにおける重要性。地学雑誌, 117 (印刷中)。
- 奥山康子・佐々木宗建(2008) : 東京湾モデルにおける反応論的地化学シミュレーション。高精度地中拳動予測手法の研究平成19年度研究報告書, 地球環境産業技術研究機構, 160-173.
- Perinsek, D. and Cockshell, C.D. (1995) : The Otway Basin: early Cretaceous rifting to Neogene inversion. APPEA Journal, 35, 451-466.
- Perkins, E., Czernichowski-Lauriol, I., Azaroual, M. and Durst, P. (2005) : Long term predictions of CO₂ storage by mineral and solubility trapping in the Weyburn Midale Reservoir. Proc. GHGT-7, 2, 2093-2096.
- Spencer, L., Xu, J.-Q., LaPedalina, F. and Weir, G. (2006) : Site characterization of the Otway Basin carbon dioxide geo-sequestration pilot project in Victoria, Australia. GHGT-6.
- Stalker, L. (2008) : Tracking the CO₂ using tracers and samples. Presentation at CO2CRC Otway Project Technical Workshop, 2008.4.1, Melbourne.
- 杉原光彦(2008) : 第7章モニタリング技術-GPS・重力観測。二酸化炭素地中貯留に関する研究報告書, 地質調査総合センター速報, 44, 150-153.
- 鈴木祐一郎・猪狩俊一郎・前川竜男・小林博信・藤田眞仁(2007) : CO₂炭層地中貯留における地化学モニタリングについて(続報)。Green Report 2007, 67-68.
- 當舎利行(2008) : 第7章モニタリング技術-自然電位観測。二酸化炭素地中貯留に関する研究報告書, 地質調査総合センター速報, 44, 145-150.
- Watson, M.N., Zwimgmann, N., Lemon, N.M. and Tingata, R.P. (2003) : Onshore otway Basin carbon dioxide accumulations: CO₂-induced diagenesis in natural analogues for underground storage of greenhouse gas. APPEA Journal, 43, 637-653.
- Xue, Z., Watanabe, J., Inoue, N. and Tanase, D. (2006) : Time lapse well logging to monitoring the injected CO₂ in an onshore aquifer, Nagaoka, Japan. Proc. GHGT-8, 1, 133-134.
- OKUYAMA Yasuko, TOSHA Toshiyuki, SOMA Nobukazu, SORAI Masao and ISHIDO Tsuneo (2008) : Greenhouse Gas R&D projects in Australia - a report on Otway pilot project and on APP/CDC technical forum.

< 受付 : 2008年5月12日 >