

### 二酸化炭素の回収・貯留

化石燃料の燃焼を主因とする二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 排出量の増加は、気候変動や海洋酸性化などの深刻な環境問題を引き起こしている。CO<sub>2</sub>排出量は、国際社会全体の総意として、大幅にかつ迅速に減らさなければならない。CO<sub>2</sub>排出量を削減する戦略は複数あり、たとえば再生可能(風力、波力、太陽光)エネルギーや原子力エネルギー、エネルギーの需要削減や効率化、**二酸化炭素の回収・貯留 (CCS)** などが挙げられる。

CCSとは発電所などの排出源からCO<sub>2</sub>を回収し、大気中に排出するのではなく、回収したCO<sub>2</sub>を地中深くの地層に貯留するプロセスのことである。英国および欧州北西部の大半では、CO<sub>2</sub>を貯留できる地層の大部分は北海の下にある。北海のノルウェー領下では、1996年以降CO<sub>2</sub>の圧入が成功裏に進められていることから、CCSは実証済みの技術であるといえる。CCSに関する現在の課題は、適切な環境・安全基準を満たし、経済的に実行可能な大規模CCSを開発することである。CCSは化石燃料を引き続き使用しながらCO<sub>2</sub>排出を削減する唯一の策であり、CCSを実施しながら他の排出削減策を開発することができる。



画像提供元 : Bellona

「二酸化炭素地中貯留は手堅い策となるだろう」ということを示す証拠は数多くある。しかし、類似の事業実施と同様に、万一の事態を想定したシナリオを検証しておくことも必要である。CCSに関するEUの法規制では、貯留層域、その上の岩石層(覆層)、自然環境に関して十分な特性把握を行うこと、またCO<sub>2</sub>の漏出、環境や人体への影響を検出する枠組みを整備することが求められている。QICSはこれらに対応するため、効果的かつ経済的なモニタリングを可能にすること、また漏出への環境反応の特性を把握することを目指した基盤研究である。

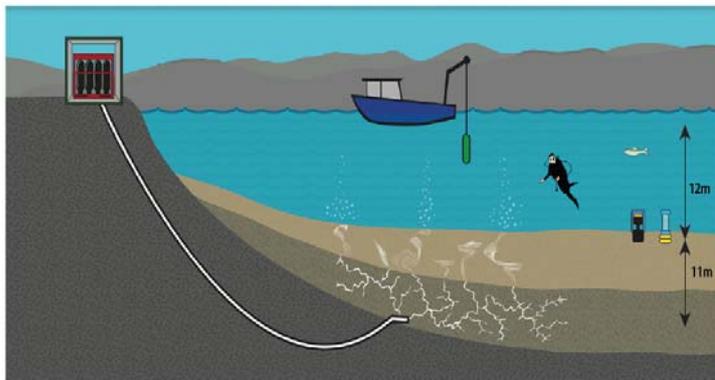


図2. QICS実験の動画

この目的を達成するために、QICSでは少量の漏出現象を自然環境内で再現することを目指した世界初の実験(シート5)を実施した。現実に即したものにするために、この実験では堆積物の上部10mでの化学的・物理的な勾配がガスとどのように相互作用し得るのかを検証できるよう、海底のかなり下方にCO<sub>2</sub>を圧入する必要があった。自然環境中で直接実験したことにより、研究室での実験では決して再現できないような実際の物理システム・生態システムがどのような反応・回復を見せるのかを理解することができた。CO<sub>2</sub>の放出で得られたデータは、一連のモデルの向上および評価に用いられた。これらのシミュレーションについては図3およびシート11に示した。

### QICS : 世界初のプロジェクト

- QICSプロジェクトでは、以下に挙げる4点の解明に集中的に取り組んだ。
- CO<sub>2</sub>は、浅部海底堆積物の中をどのように移動するのか?
- 浅部堆積物および水柱ではどのような生物地球化学的・生態学的な影響があるか?
- 潜在的な漏出を検出/モニタリングするにはどのようなツールや戦略が適切か?
- 漏出によるCO<sub>2</sub>拡散とその影響を予測するモデリングツールを開発することは可能か?

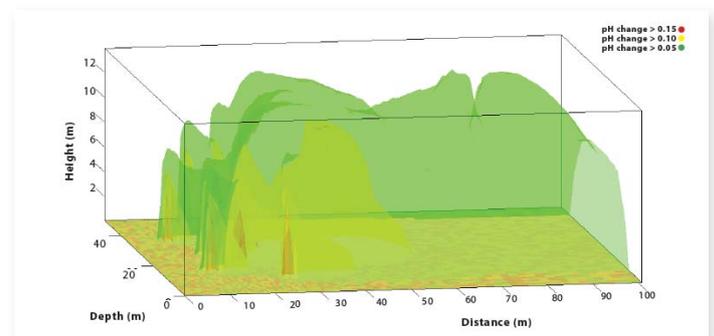
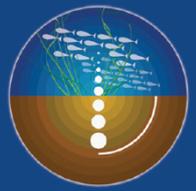


図3. スコットランドのQICS放出サイトにおいて複数のポックマークから放出されたCO<sub>2</sub>ブルームをモデル化したもの



## 過剰なCO<sub>2</sub>がもたらす影響

二酸化炭素は自然環境に普遍的に存在しており、呼吸・光合成・石灰化（貝殻形成）などといった生物学的プロセスにおいて重要な役割を果たしている。少し余分のCO<sub>2</sub>であれば光合成速度は増すが、あまりに過剰な場合には間違いなく危険である。溶解CO<sub>2</sub>の濃いブルームは、窒息や呼吸障害を引き起こし、また酸性度の上昇を招いて炭酸イオン濃度を減少させる。過剰なCO<sub>2</sub>はさまざまな海洋生物種に有害作用を及ぼすと考えられている。

## CO<sub>2</sub>のモニタリングに関する課題

漏出したCO<sub>2</sub>は、当初は浮力のある気泡ブルームとして現れることがある。この気泡ブルームは急速に溶解し、沈降傾向を有する高密度海水を形成する。その後、このようなブルームは海流や複雑なパターンの潮汐混合によって拡散する。CO<sub>2</sub>は、pH（酸性度）の変化、あるいは溶液中のCO<sub>2</sub>分圧（pCO<sub>2</sub>）で測定するのが最も実際的である。しかし、化学的相互作用があるので、CO<sub>2</sub>の合計付加量、pH、pCO<sub>2</sub>の関係は複雑である。

前線系（海水温度や塩分）、呼吸、光合成などといった自然界のプロセスは、通常の海洋CO<sub>2</sub>レベルにかなりの時間的および空間的な異質性をもたらす。漏出の中心部付近では大きなCO<sub>2</sub>の異常が認められるであろうが、そこから離れていくと、おそらく数メートル以内で、漏出シグナルは自然界の変動と見分けられなくなってしまう。

## QICSプロジェクトのチーム

QICSプロジェクトは、英国の自然環境調査局（Natural Environment Research Council）による資金提供、およびスコットランド政府からの追加融資を受けている。プロジェクトパートナーは以下の通りである。

- プリマス海洋研究所（Plymouth Marine Laboratory）（プロジェクトを先導）
- スコットランド海洋科学協会（Scottish Association for Marine Science）
- 国立海洋学センター（National Oceanography Centre）
- 英国地質調査所（British Geological Survey）
- エディンバラ大学（University of Edinburgh）
- ヘリオット・ワット大学（Heriot Watt University）
- サウサンプトン大学（University of Southampton）

また、QICSプロジェクトには日本政府の資金を受けたコンソーシアムも参加した。このコンソーシアムには、京都にある地球環境産業技術研究機構（RITE）、東京大学、九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所（I2CNER）、産業技術総合研究所（AIST）、電力中央研究所（CRIEPI）、日本エヌ・ユー・エス（JANUS）が参加している。



## プロジェクトの特徴

QICSは、物理的拡散、化学的相互作用、影響が予想よりも複雑であることを明らかにした。様々な検出手法やモニタリング手法を試したので、実用CCSに向けて効果的な手法を推奨することができるようになった。QICSプロジェクトから得られた主たる知見は以下のとおりである。

- 浅部堆積物中でのCO<sub>2</sub>の移動は複雑であるものの、地質音響イメージングによって一定の閾値より上であれば検出できることが分かった（シート9）。
- 堆積物の緩衝能が顕著であることを確認し、これはモニタリングと影響の双方に作用するものであった。（シート13）。
- 生物学的な影響はあるが、少なくともこの実験の期間やCO<sub>2</sub>フラックスでは、深刻な影響ではなかった（シート10）。
- モニタリングを効果的なものにするためには「検出」、「特定」、「定量化」、「影響」という段階的なアプローチを経る必要である（シート7と8）。
- 十分説明的なベースラインを確立し、それに照らしてモニタリング行って影響を判断できるようにすることが不可欠である（シート3と4）。