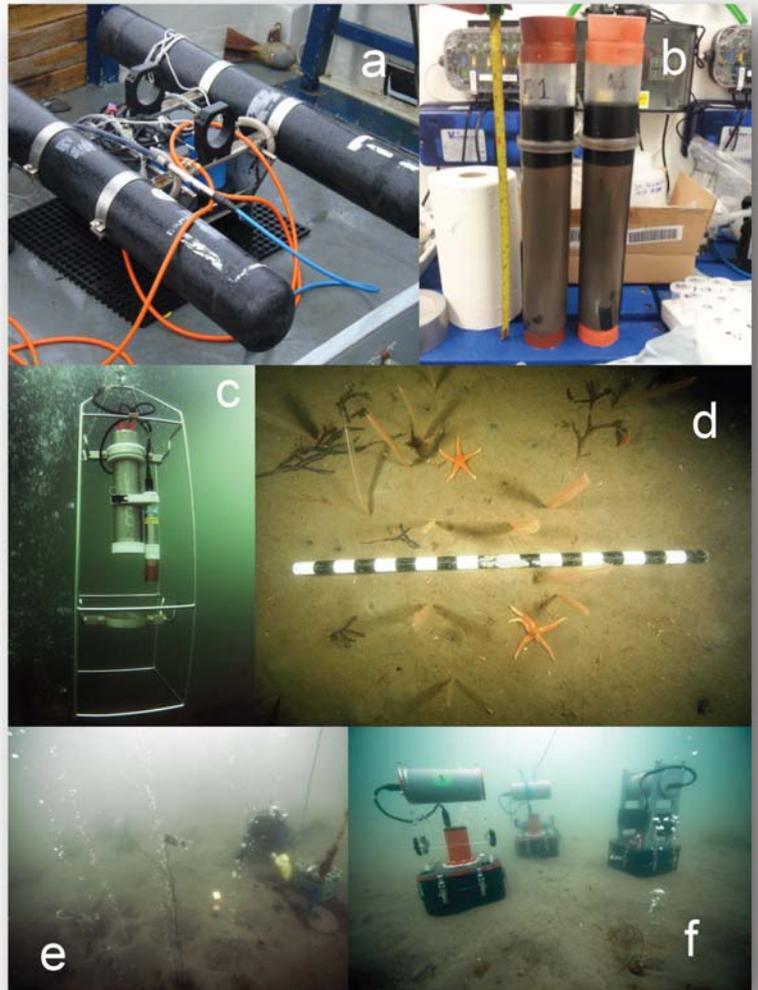


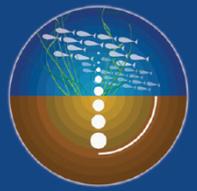
### C02の測定における課題

もしも二酸化炭素が海底下の貯留サイトから漏出すれば、その二酸化炭素は堆積物の水の中に溶解し、海底に向かって上方に移動するだろう。CO<sub>2</sub>は溶液から出てくる可能性がある。またガスとしてのCO<sub>2</sub>は気泡流の形で堆積物から漏れ出るかもしれない。水柱に入り込む気泡流は、即座に溶解し、海底の数メートル上方で消失する傾向にある。もしも気泡流が非常に早く移動し、また非常に大きいのであれば、潜在的可能性として海水表面に到達して大気にCO<sub>2</sub>を直接に放出するかもしれない。しかしながら、水深が20~30メートルより深い水においてはそういった可能性はあまりないかもしれない。海洋環境の様々な部分においては漏出CO<sub>2</sub>は幅広い形態となって存在し、また複雑な化学的相互作用を経ることから、堆積物、海水、大気でのCO<sub>2</sub>をモニタリングするには様々なアプローチを用いる必要がある。

### QICSで試験されたモニタリング技術

- ・ 3D海底地震波反射 (Boomer、Chirp) 技術を利用した、海底下堆積物内のガスの検出。(a)
- ・ 酸性度 (pH)、総アルカリ度 (TA)、溶存無機炭素 (DIC) を含めたCO<sub>2</sub>化学の測定、および積物の間隙水中の金属濃度の測定。(b)
- ・ CO<sub>2</sub>分圧 (pCO<sub>2</sub>)、還元電位 (Eh)、酸素 (O<sub>2</sub>) のpH、電極電位、堆積物比抵抗を含めた、堆積物から水柱へ漏れ出るCO<sub>2</sub>の化学的追跡子の測定。電気化学的センサーや光学センサーを使用。(c)
- ・ 低速度撮影 (コマ撮り) カメラとダイバーを活用した、堆積物表面でのCO<sub>2</sub>の漏出を示す物理学的・生物学的な指標 (ポックマークや気泡の流勢、ウニや海底巻貝の外見) の研究。(d)
- ・ 微生物から大型動物に至るまで、有機生命体の生理学 (主要な代謝関連遺伝子の発現)、健康、分布、数度、挙動の観察。(d)
- ・ ダイバーによる、また地球物理学的技術 (マルチビーム) を用いた、海底からのCO<sub>2</sub>ガスの浸潤のモニタリング。気泡でのCO<sub>2</sub>フラックスの定量化 (水中聴音装置を使用)、および堆積物と海水の境界での溶存無機CO<sub>2</sub> (DIC) フラックスの定量化 (海洋底チャンバを使用)。(f)





## QICSの期間中に試験されたモニタリング技術の有用性・長所・短所

堆積物中のCO<sub>2</sub>の分布を把握するため、漏出の規模と集中度を確定するため、また漏出したCO<sub>2</sub>が環境に及ぼす潜在的影響を推定するために、QICSプロジェクトの期間中にさまざまな範囲にわたるツールの試験が行われた。そういったツールにはガス状CO<sub>2</sub>および溶解CO<sub>2</sub>の直接測定、CO<sub>2</sub>濃度の上昇を間接的に調べる追跡子の利用などが含まれていた。以下の表は、試験された多様な技術の有用性をまとめたものである。

モニタリングツール	適用	利点	限界
<b>堆積物および水柱におけるCO<sub>2</sub>漏出の検出と検証</b>			
上部堆積物層の地球物理学的な地震波および活動音響	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震波反射技術を用いて遊離ガスを検出</li> <li>chirpシステムやboomerシステムを用いた、ガス気泡の画像化（堆積物の上部30m）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地表下の遊離ガスの位置を直接に画像化することができる。</li> <li>経時的にガスの移動を追跡できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>いかなるガスの覆層堆積物についても音響ブランキングで覆う必要がある。</li> <li>ガス含有量を推定する手法は現在開発中の段階である。</li> </ul>
目視観測	ダイバーが操作するカメラと自動静止コマ撮りカメラで以下のものを記録する： <ul style="list-style-type: none"> <li>*ポックマークの外観と気泡の流勢</li> <li>*動物相の挙動応答</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>細かく目標を定め、正確かつ詳細に観測できる。</li> <li>変化を時間的に高い解像度で記録することができる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>データ分析に時間がかかりすぎる。</li> <li>自然な変動について評価するのが難しい。</li> <li>空間的な解像度が限られる。ダイバーが可能な水深が限られる。</li> </ul>
海底と水柱の地球物理学的観測	解像度の高い3Dマルチビーム深淺測量と水柱測定で以下のものを測る： <ul style="list-style-type: none"> <li>*海底でのポックマークおよび水柱での気泡のイメージ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガス放出の位置を正確に記録でき、空間的な網羅範囲も広い。</li> <li>気泡の溶解についての情報を得ることができる。</li> <li>ガスフラックスの定量化に使用することができる。</li> <li>直接的およびコスト効率の良い手法である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>膨大なデータベースが得られるが、そのデータを効果的に扱うのは難しいかもしれない。</li> <li>人為的な音源によって水中聴音装置が干渉される恐れがある。</li> <li>漏出しているガスのタイプについての情報は得られない。</li> </ul>
自動化学センサー	<ul style="list-style-type: none"> <li>センサーを係留索具やケーブルに取り付ける、あるいは曳航させることで空間的な範囲を広げることができるかもしれない</li> <li>* pCO<sub>2</sub>、pH、Eh、O<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>時間的解像度の高い正確かつ直接的な測定をすることができる。</li> <li>「リアルタイム」なデータ収集（ケーブルセンサー）が可能である。</li> <li>空間解像度が高い（自動船）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期にわたる展開では校正と生物付着が問題となる可能性がある。</li> </ul>
分析的化学	<ul style="list-style-type: none"> <li>堆積物の間隙水と海水でのCO<sub>2</sub>の追跡子の分析（pH、TA、DIC、d13CDIC—たとえば源に応じて変化する同位体組成など—）。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>の直接的な追跡子となり、正確で精度の高い測定が可能である。</li> <li>検証に必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>時間がかかりすぎる。空間的に限られた範囲しか測定できない。</li> </ul>
<b>漏出の定量化</b>			
音響ツール	<ul style="list-style-type: none"> <li>音分析に基づき、ガス気泡のCO<sub>2</sub>含有量を定量的に推定</li> <li>総ガスフラックスの推定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長期間にわたって使用する上で堅固かつシンプルな装置である。価格も比較的安く、市販されているベーシックな装置である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人為的な音源によって水中聴音装置が干渉される恐れがある。</li> <li>固定位置が必要。</li> </ul>
流体とガスのサンプリング/ダイバー、チャンバ	<ul style="list-style-type: none"> <li>ダイバーまたは遠隔操作によってガス気泡をサンプリング</li> <li>溶解CO<sub>2</sub>フラックスの海洋底チャンバ測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>堆積物から海水へのCO<sub>2</sub>ガス（ガスサンプリング）と溶解フラックス（チャンバ）を直接的に定量化できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>時間がかかりすぎる。空間的にも時間的にも限られた範囲でしか測定できない。</li> <li>チャンバは短い期間しか展開できないので、エリア範囲が限られる。</li> </ul>
地球化学的ツール	<ul style="list-style-type: none"> <li>間隙水の分析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>海水への溶解CO<sub>2</sub>フラックスを間接的に定量化できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>時間がかかり、また空間的範囲が限られてしまう。</li> </ul>
<b>CO<sub>2</sub>の漏出の到達範囲と影響</b>			
地球物理学的ツール	上記参照。		
自動化学的手法	上記参照。CO <sub>2</sub> ブルームの範囲をはっきりとさせることができる。		
分析的化学	上記の通り。追加事項として、重金属代謝を測定することができる。		
生物学的手法	<ul style="list-style-type: none"> <li>CCS活動が群集構造&amp;群集機能、バイオマス、生物多様性におよぼす影響の調査</li> <li>有機体の生理学と性能についてのアセスメント</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>関連のストレス刺激要因に応答できる。</li> <li>生態系の回復時間について実証的な推定ができる。</li> <li>海洋生物相について一般社会から広く認識を得る。</li> <li>有機生命体の継続的な曝露</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>時間がかかりすぎる。空間的に限られている。大規模に実施するには費用がかさみ、また実際的ではないかもしれない。</li> <li>自然のシステムで生じる可変性について理解が必要である。</li> </ul>