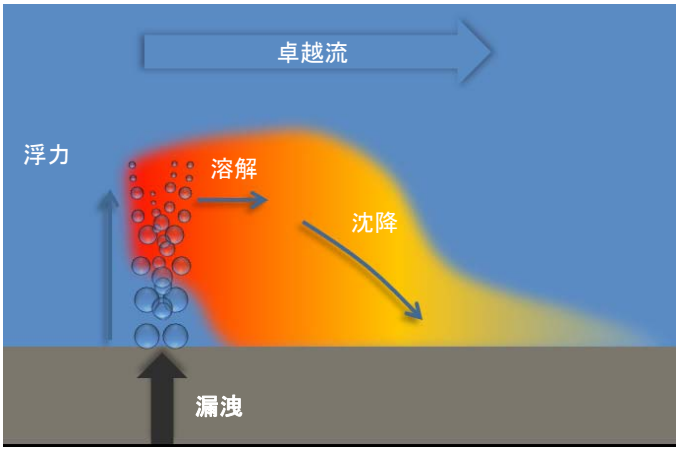
漏洩が起きたら—どうなるのか？

漏洩シナリオのモデリング

何が起こるのか？

引用できる類似例がほとんどないため、貯留層または輸送網からCO_2が漏洩した場合に何が起こるのかを予測することは単に推論にすぎない。リスクの定量化はさらに推論となるのでここでは扱わないが、あえて言うなら適切に操業され監視されている貯留サイトは、重大な漏洩のリスクを最小限に抑えるべきである。



現在の考え方では、貯留層漏洩には 3 つのカテゴリ（地質学的チムニーの再活性化、断層および割れ目を通じた伝播、廃坑井を通じた流動）がある。流量の推定はばらつきが大きく、おそらくチムニーから約 150 トン／日、割れ目／断層から 15 トン／日、坑井から 15 トン／年である。しかし、各方向で 1 桁分が議論となっている。直接的な証拠は、石油増進回収プログラムでの漏出の推定（180 トン／年）や、石油およびガス掘削に伴うメタン湧出および噴出の推定に限られており、それらは上記の地質学的漏洩の推定値と一致している。パイプライン容量を用いて、パイプライン破損から漏洩を定量化する方が容易である。この場合、我々は合計約 5000 トンの短期漏洩を示すことができた。

海洋環境で CO_2 分散に影響を与える要因

CO_2 がガスとして海水中に漏れ出ると、浮力によってプルームが上昇する。しかし、CO_2 は水に高溶解性であり、気泡が大型でない限り、CO_2 は海底から離れて数 m 以内に溶解する。その結果生じた CO_2 に富む水プルームは、通常の海水よりわずかに密度が高いため、沈む傾向にある。プルームの分散と消失は、自然海流よび潮汐混合によって促進されるが、海底沈下と温度成層（水柱での温かい低密度表層の形成）が分散を減速するよう働く可能性がある。

モデルは何をするのか？

一般的に、我々は 3 つの異なるモデル系の組み合わせを使用する。

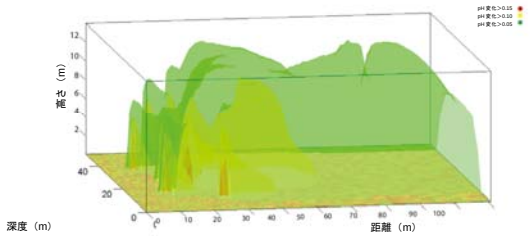
- 3 次元流体力学モデル。海洋の物理的移動および温度／塩分構造を再現し、プルームがどのように分散するのかを説明する。
- 海水中での CO_2 化学のモデル。CO_2 の化学的特徴がどのようなものかを説明する。
- 生物地球化学的過程のモデル。自然の CO_2 レベルおよびベースラインについて説明し、影響の推定にも用いられる。

これらのモデル系は複雑で計算コストが高く、数百から数千のプロセッサから成る「スーパーコンピュータ」で実行される。

漏洩モデリングは何を説明できるのか？

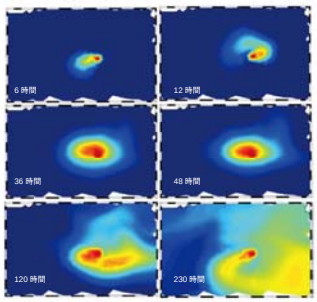
モデルから得られる主要な情報は、漏洩シナリオの化学フットプリントである。これは、モニタリング（測定可能な化学変化の空間規模）および影響（有害な化学変化の空間規模）の両方の情報を提供できる。また、モデルを用いて自然ベースラインの CO_2 変動を定量化し、漏洩の検出を支援するためのアルゴリズムを開発することもできる。モデルの影響規模はさまざまなので、あらゆるシナリオを検討するには一連のモデルアプローチが必要なのは明らかである。

微細規模モデルは、小規模な漏洩事象（坑井シナリオ）、ガス気泡プルームの動力学、大規模漏洩の中心点を説明することができる。これらのモデルの欠点は、短期的規模（数時間～数日）に限定されること、および（これらの過程を明確にモデル化するのではなく）海流と混合をパラメータ化しなければならないことである。

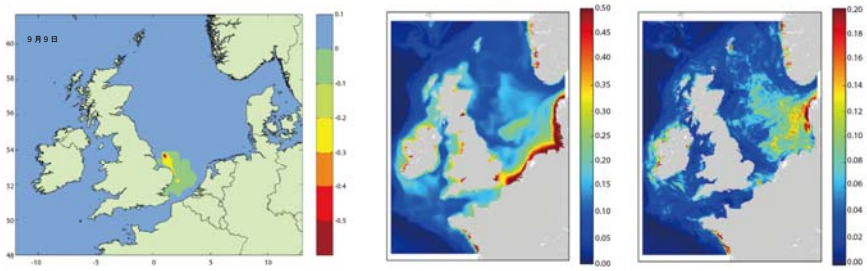


FVCOM システムなどの**中規模モデル**は、中位シナリオや、年周期にわたる溶解プルームの分散に有用である。それらはドメイン全体の分解能を変化させることができるが（5m～5km）、漏洩の中心点での過程はまだ十分に解明していない。

ただし、CO_2 プルームの位置は日内周期および大潮－小潮サイクルと共に変化するため、潮汐混合が高 CO_2 プルームの位置にどのように影響し得るかは説明している。



ERSEM-NEMO システムなどの**地域規模モデル**は、品質保証および評価の点で最も先進的なモデルである。これらは北西ヨーロッパ大陸棚などの広い地域を、最小 1km の分解能で網羅するため、最大漏洩シナリオの検討やベースラインの構築に最も有用である。



モデルから得られる主な成果

- 北海のような地域での分散は強力であり、CO_2 漏洩の最悪の影響を徐々に緩和するよう作用する。
- 漏洩が止まると、系の通常化学への回復は急速である（シナリオにより数時間から数ヶ月）。
- 北海のような地域での CO_2 化学の自然ベースライン変動は複雑であり、モニタリングで説明される必要がある。
- 潮汐に誘発される混合は、高 CO_2 プルームを非常に動きやすくする可能性があり、モニタリング戦略に意味合いを持つ。
- 一般的に、小規模な漏洩（＜1t／日）の影響は最大でも半径数十メートルの範囲であるが、大規模な漏洩（＞200t／日）は半径数キロメートルに影響する。
- 海流、潮汐、地形などは時空間的に変動性が高いため、異なる貯留サイト間で一般化するのは賢明ではない。費用効果的なモニタリング戦略の策定では、特注のモデリングが価値ある投資となる。

QICS Project Office
Plymouth Marine Laboratory, UK
Project Leader: Jerry Blackford
Contact: qics@pml.ac.uk