

CCS Technical Workshop, Tokyo, Japan, 24th January 2013

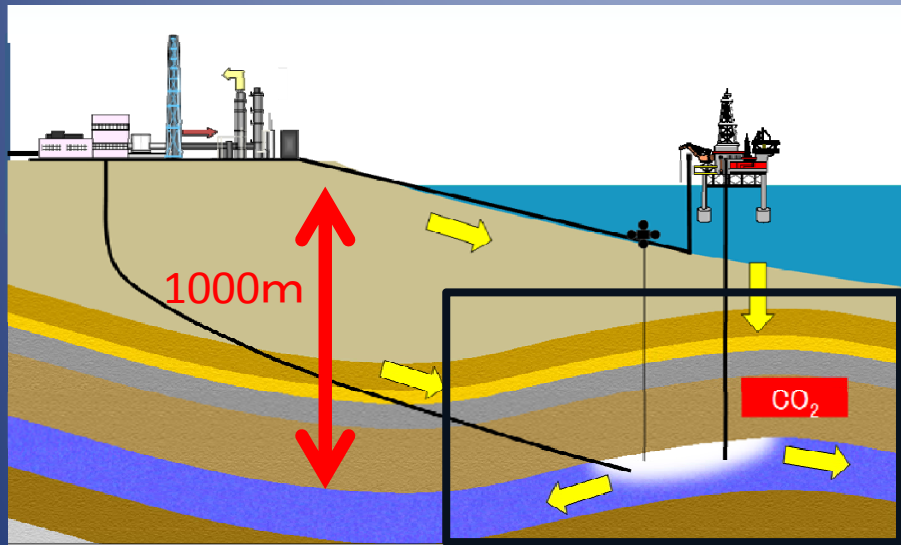
Development of an assessment
methodology for CO₂ leakage from
off-shore reservoir

海底下貯留における海域環境影響評価手法の開発

Keisuke UCHIMOTO (RITE)

内本 圭亮 (地球環境産業技術研究機構)

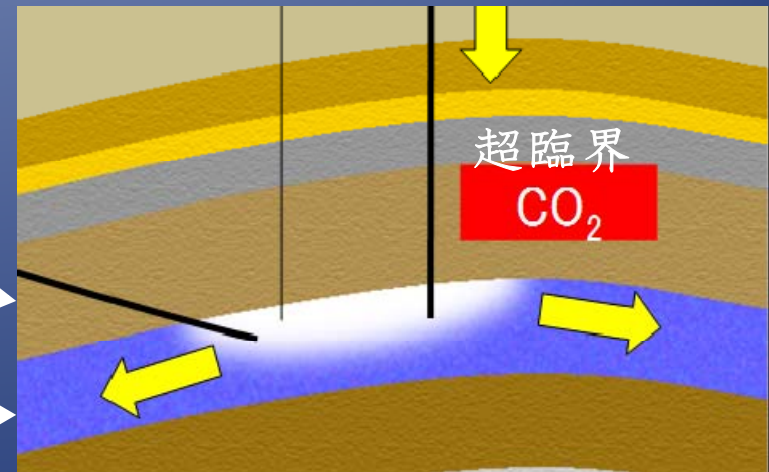
海底下地中貯留



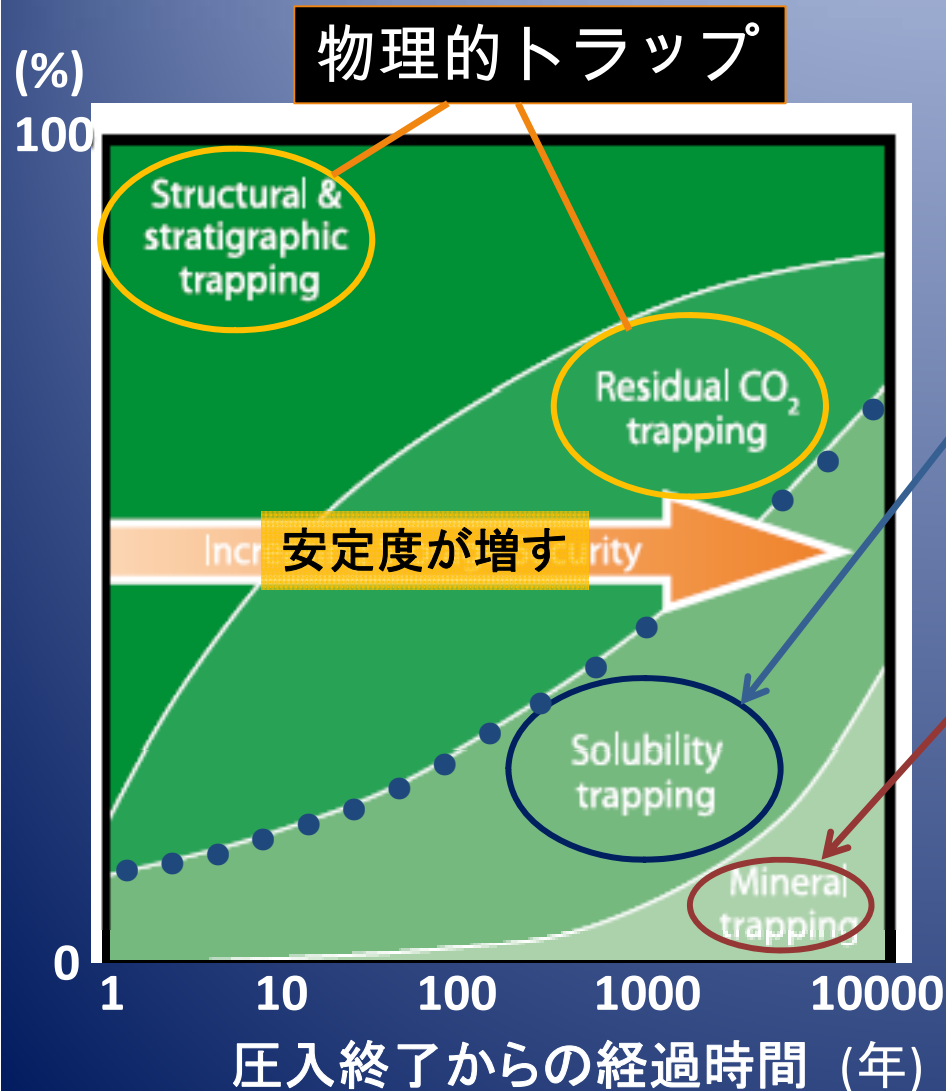
キャップロックが貯留層に「蓋」をしている！

キャップロック

貯留層



様々なトラップ



物理的トラップに加え

- 溶解トラップ: 地層水への溶解
✓ 溶解すると浮力がなくなる→安定
- 鉱物トラップ: 炭酸塩鉱物になり安定

これらのトラップにより、CO₂ 漏出のおそれはほとんどないと考えられる

海域環境影響評価は何故必要？

科学技術は完璧ではない。

漏出のおそれはほとんどないが0ではない。

- 法的な義務→ 喜田主任研究員の講演
- 社会受容性

シミュレーションモデルの開発・構築

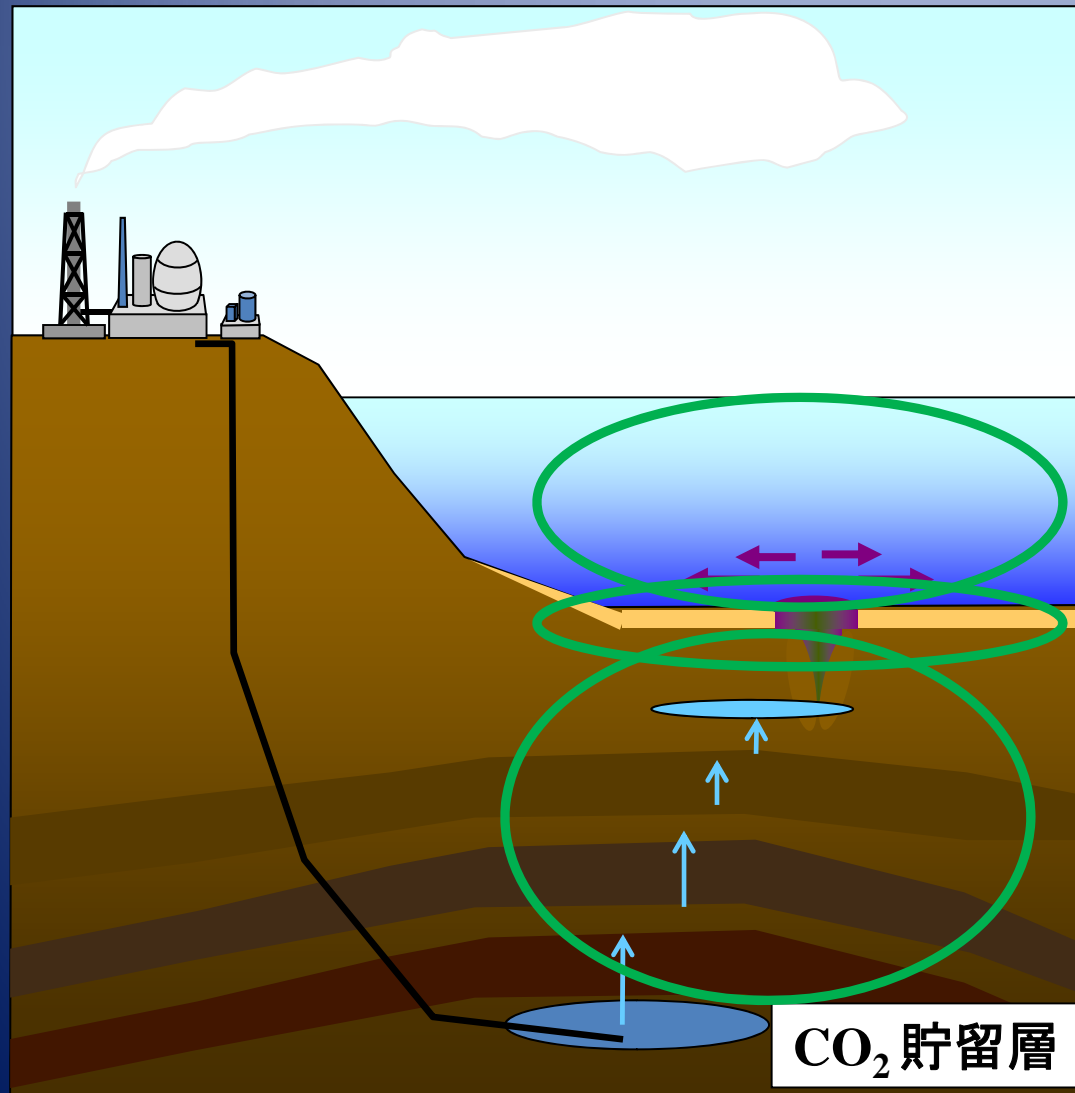
万が一貯留CO₂が海へと漏出したら
どうなるのか？



RITE

CO₂の挙動をシミュレーションできる数
値モデルの開発・構築

CO₂ シミュレーションモデル



海

MEC-CO₂

海底堆積層

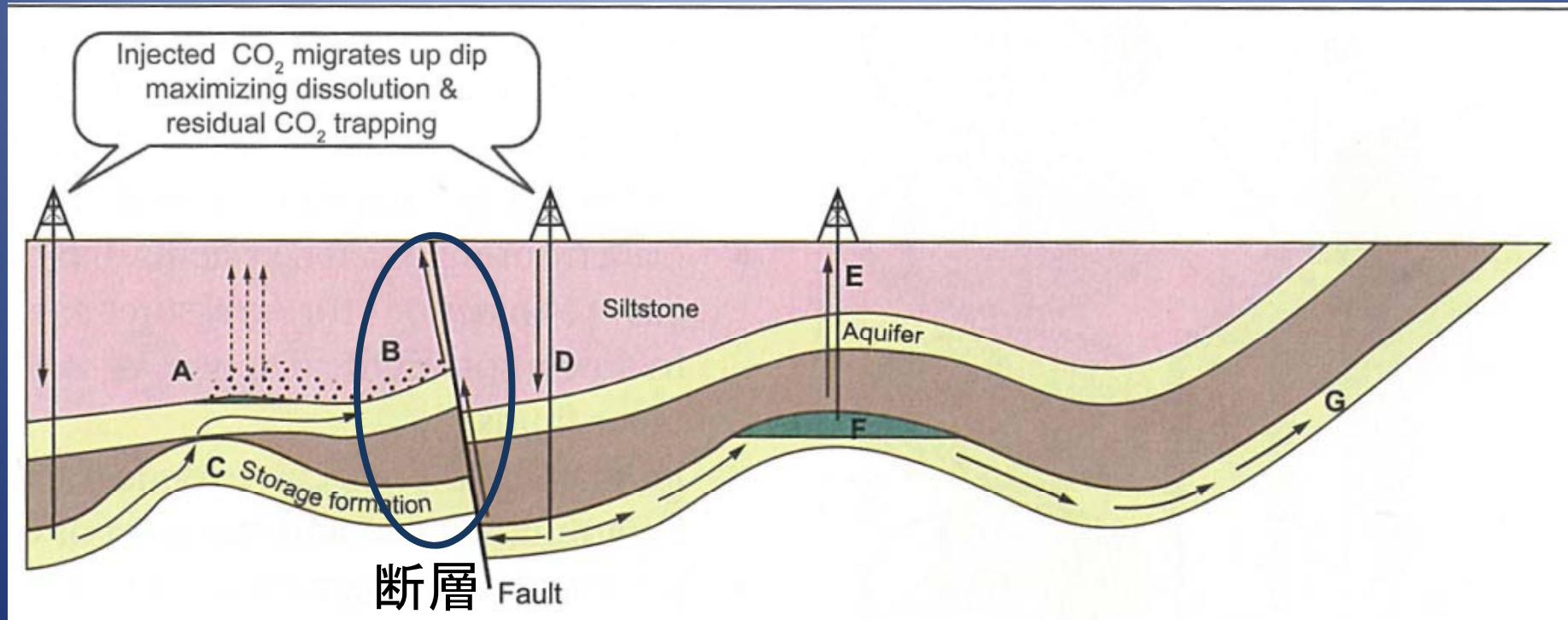
C.CANDI

地中

Tough

CO₂ 貯留層

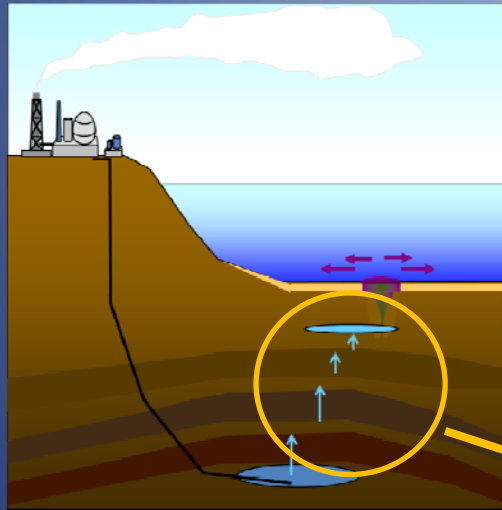
考えられる漏洩経路



IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage

地中のシミュレーション(Tough)

断層など考えられる漏出
ルートモデルを構築



モデルの中のCO₂:

- 超臨界
- 気相
- 液相
- 溶存態

超臨界CO₂
(from reservoir)

- 気泡CO₂
- 溶存CO₂

←海底に到達するCO₂

海底

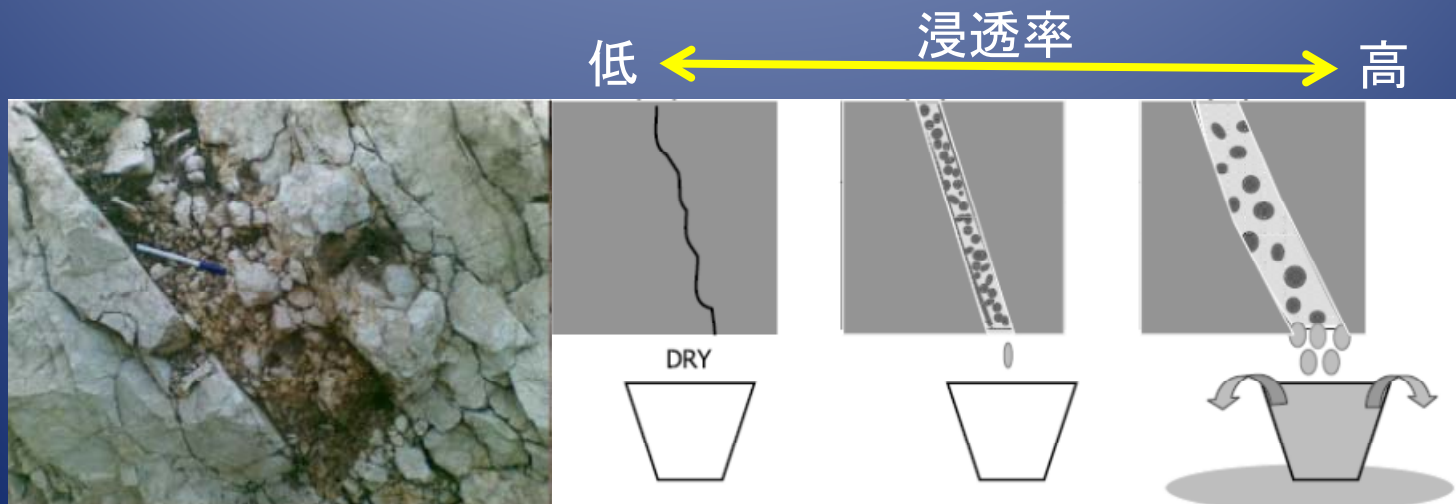
CO₂の移動、広がりを決めるのは

- 浸透率
- 浮力

Model domain

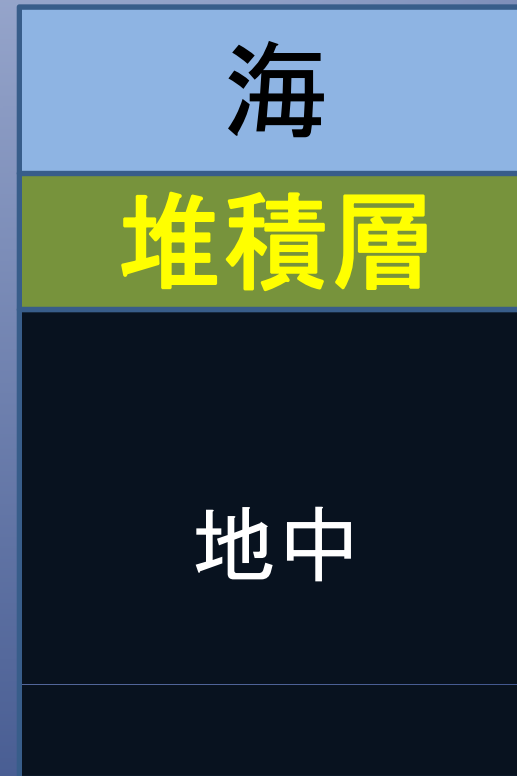
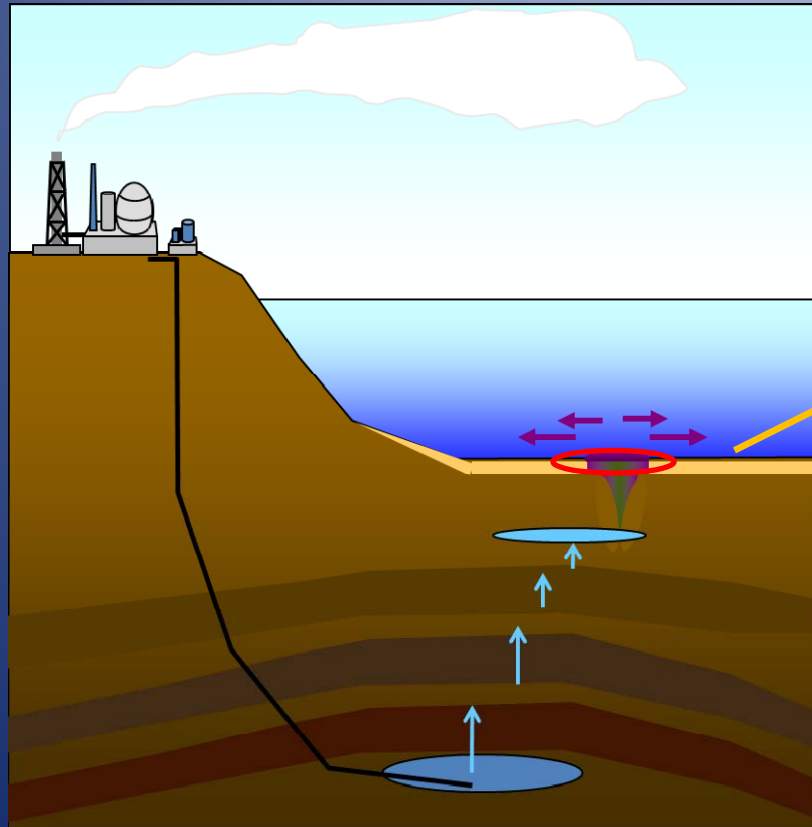
漏出経路の浸透率

- 漏出経路の浸透率はどんな値なのか？
 - 実際には貯留サイト付近に断層など漏出経路になるものは存在しない！
- 断層域のモデリング
 - Geometry (形状) ・ Complexity (複雑性) ・ Damage zone (破砕帯) ・ Type of material (物質)



Talwani et al. (2007)

海底堆積層



数十～
100m強

わずか
数十cm

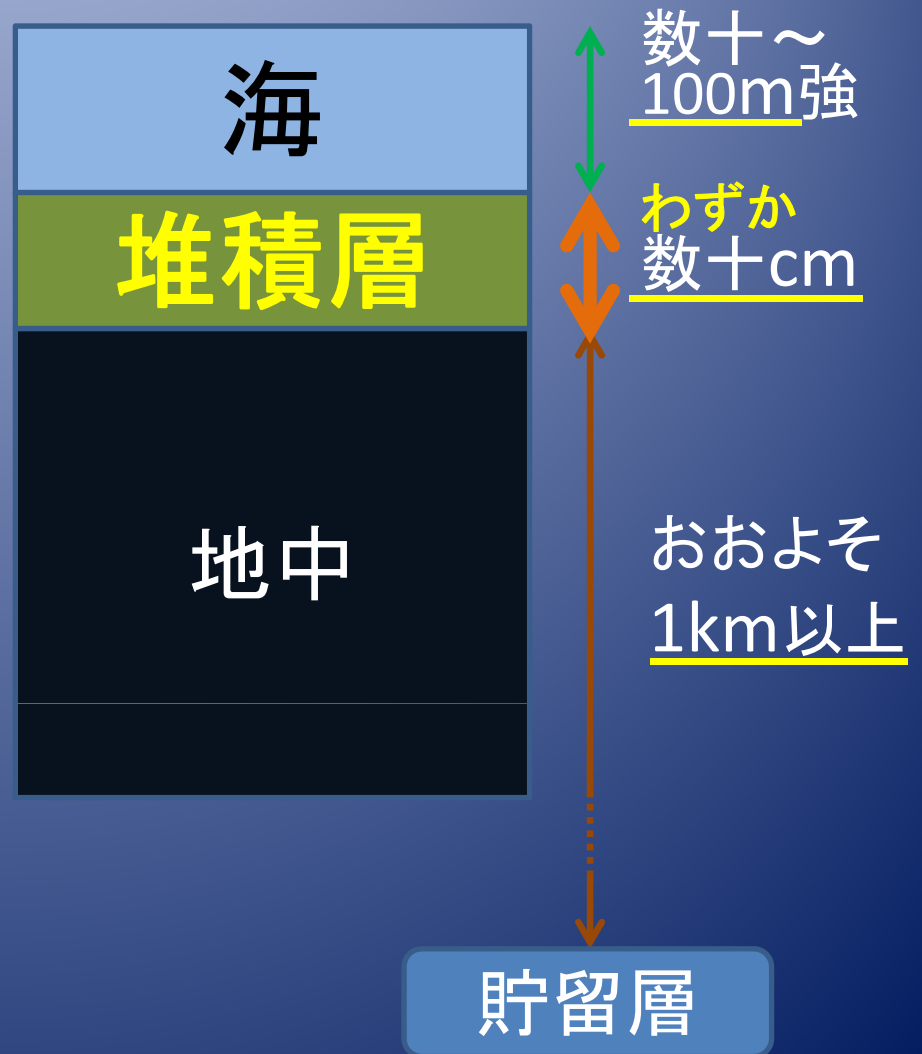
おおよそ
1km以上

貯留層

海底堆積層

こんな薄い堆積層が重要？

堆積層のシミュレーションは必要？



海底堆積層

海

有機物

・糞尿

・死骸

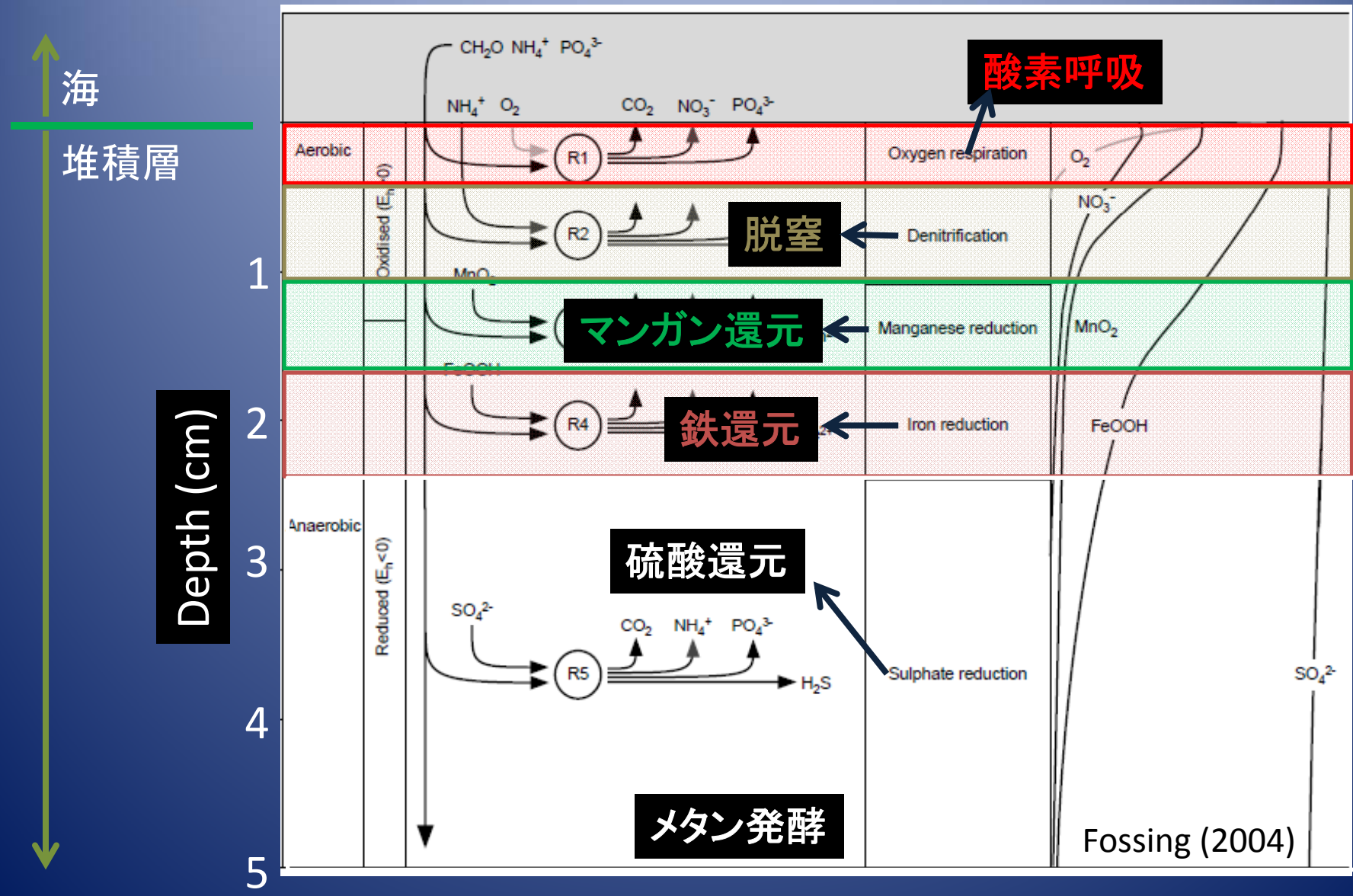
etc.



沈降・堆積

堆積層

海底堆積層 (有機物の分解)



海底堆積層

海

有機物

・糞尿

・死骸

etc.



沈降・堆積

堆積層

C.CANDI:

堆積層内の分解・続
成過程を計算する

海底堆積層のシミュレーション (C.CANDI)

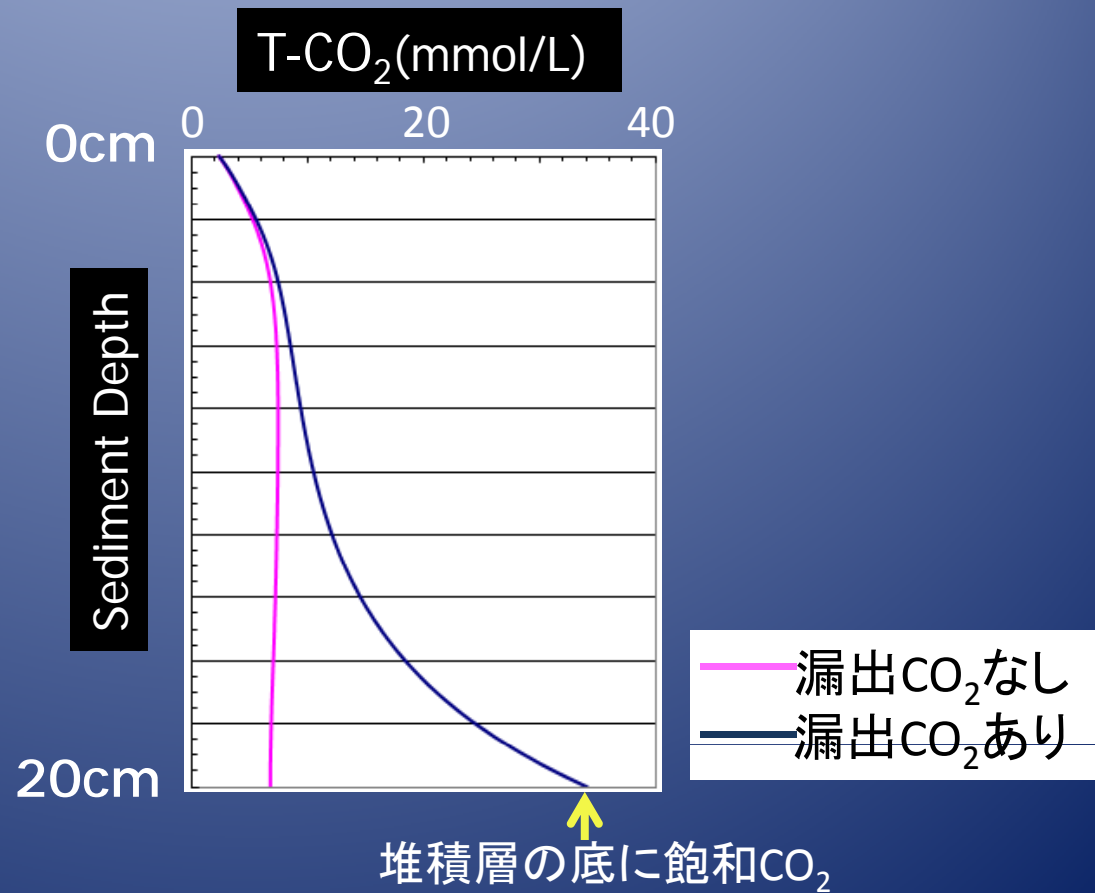
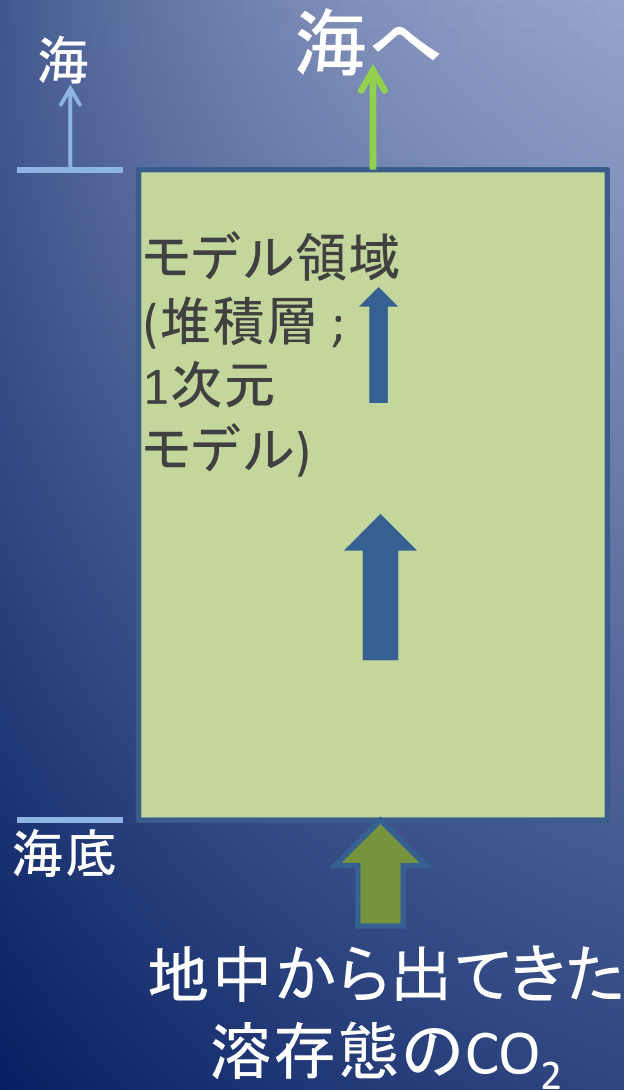
- 有機物・無機物の変化
 - 分解、酸化還元反応
 - 移流(間隙水による輸送)
 - 拡散
 - 生物攪拌(底生生物によるかき混ぜ)

海底堆積層のシミュレーション (C.CANDI)

- 漏出CO₂シミュレーション
 - 海底からのCO₂:
 - 気泡のCO₂ (気相)
 - 海底堆積層では変化を受けないものとする
 - 溶存態 CO₂
 - 海底堆積層内で大きな影響を受ける

海底堆積層のシミュレーション (C.CANDI)

CO₂ は濃度が低くなりながら
上に広がっていく



海のシミュレーション

海中でのCO₂の濃度と分布を計算

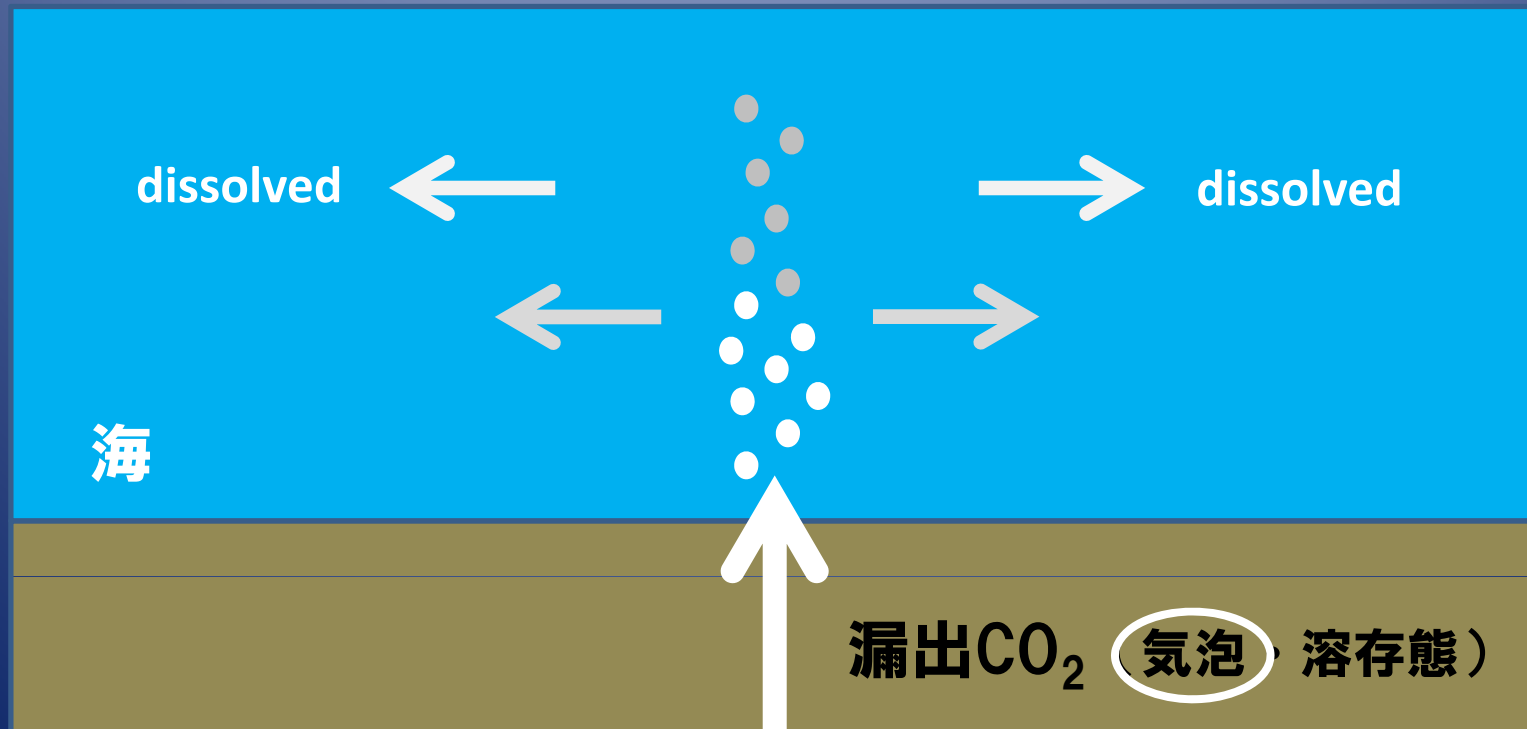
海の中のCO₂

- 気泡 (海水に溶けていない)
- **溶存態** (海水に溶けている)

海洋環境・生態系に影響を及ぼし得る

海のシミュレーション

気泡CO₂ → 溶存態CO₂ → 海の中に広がっていく...

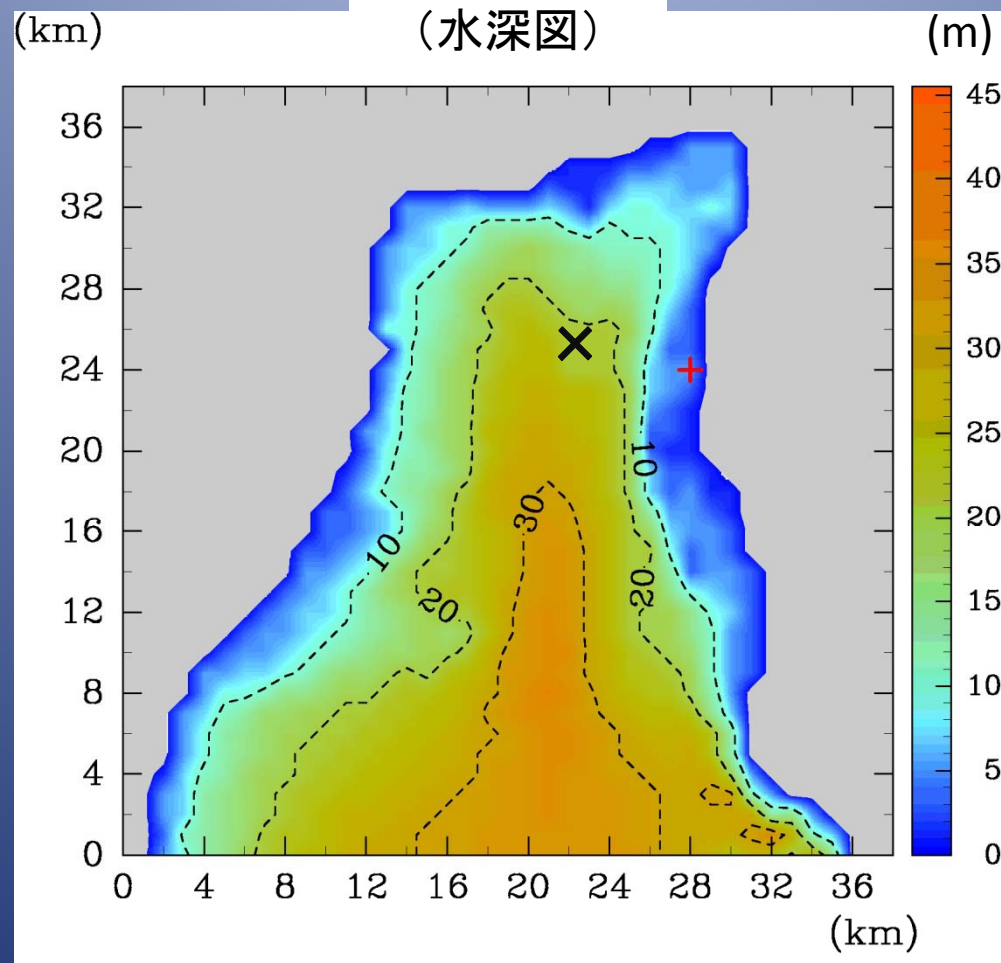


海のシミュレーション (MEC-CO₂)

- MEC-CO₂モデル
 - 海洋モデル (MECモデル)
 - 海の流れ、成層 (水温、塩分) を計算
 - モデルの駆動力: 潮汐、風応力、熱フラックス、淡水フラックス (降水, 蒸発, 河川水)
 - CO₂ 二相流モデル
 - 気泡のCO₂
 - 溶存態のCO₂
 - CO₂ 溶解過程 (気泡 → 溶存態)

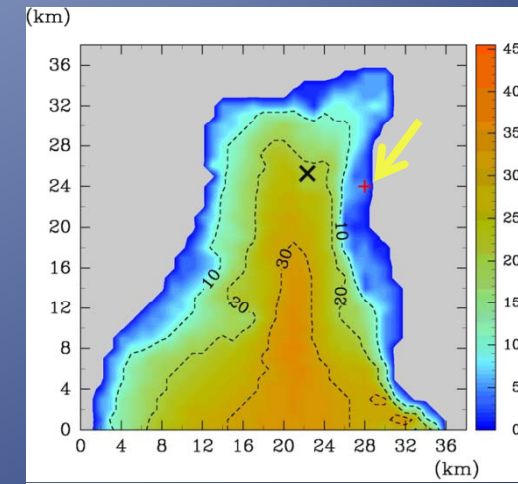
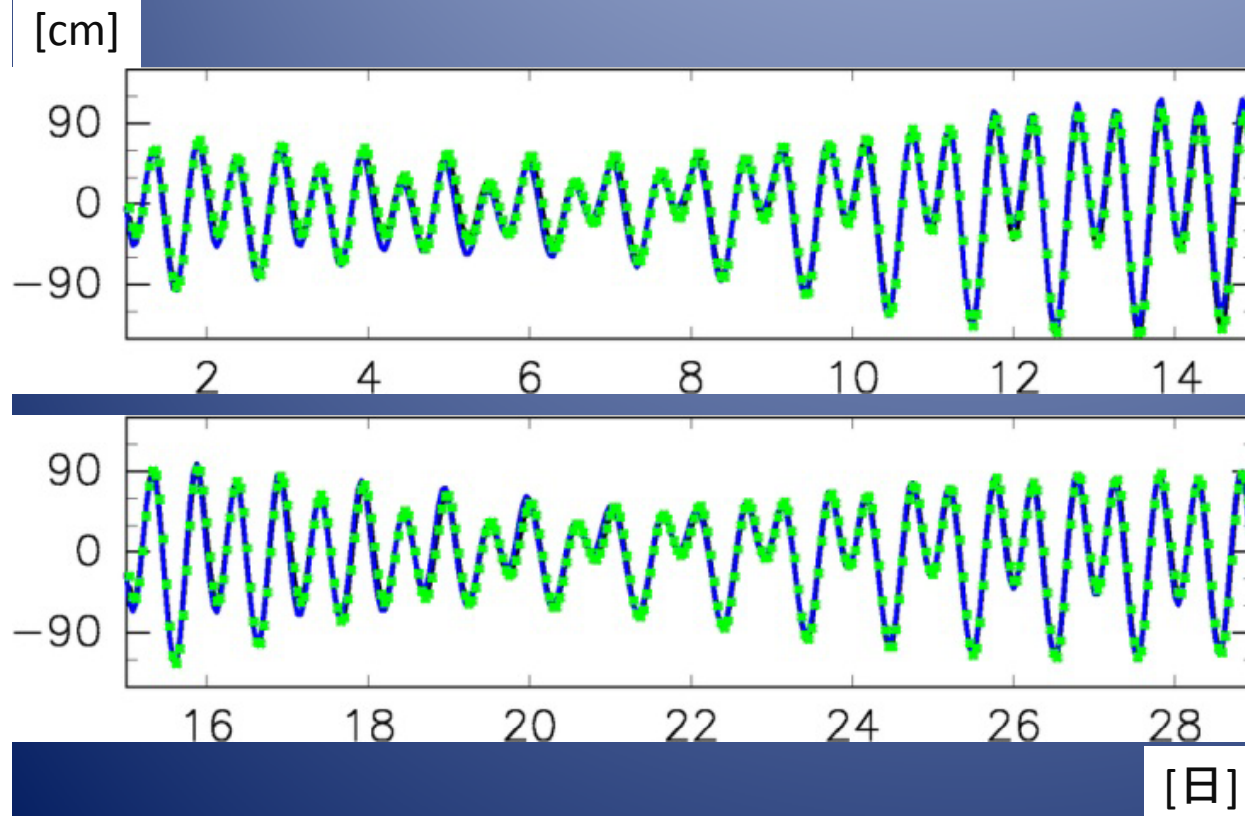
海のシミュレーション (MEC-CO₂)

サンプル地形
(水深図)



海のシミュレーション (MEC-CO₂)

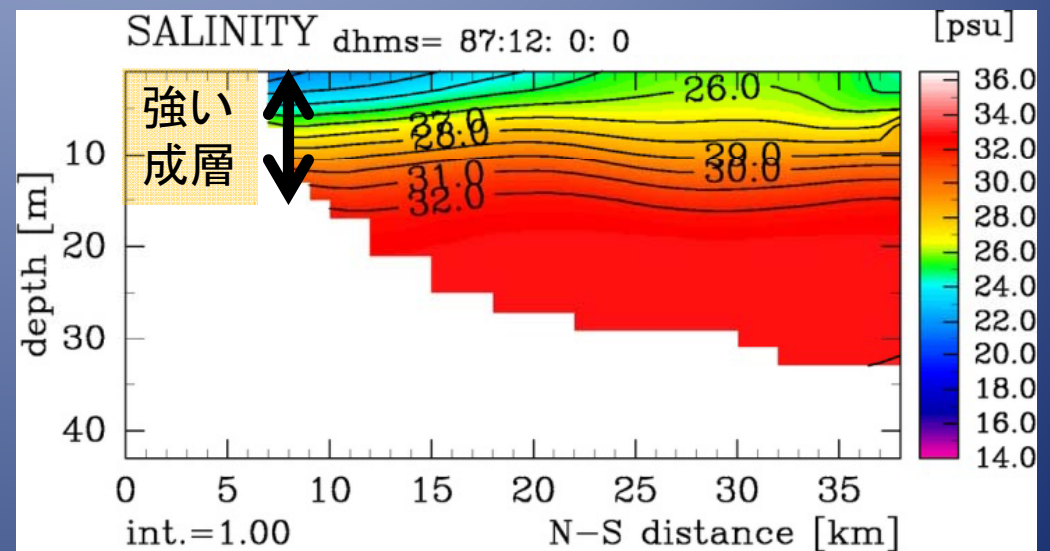
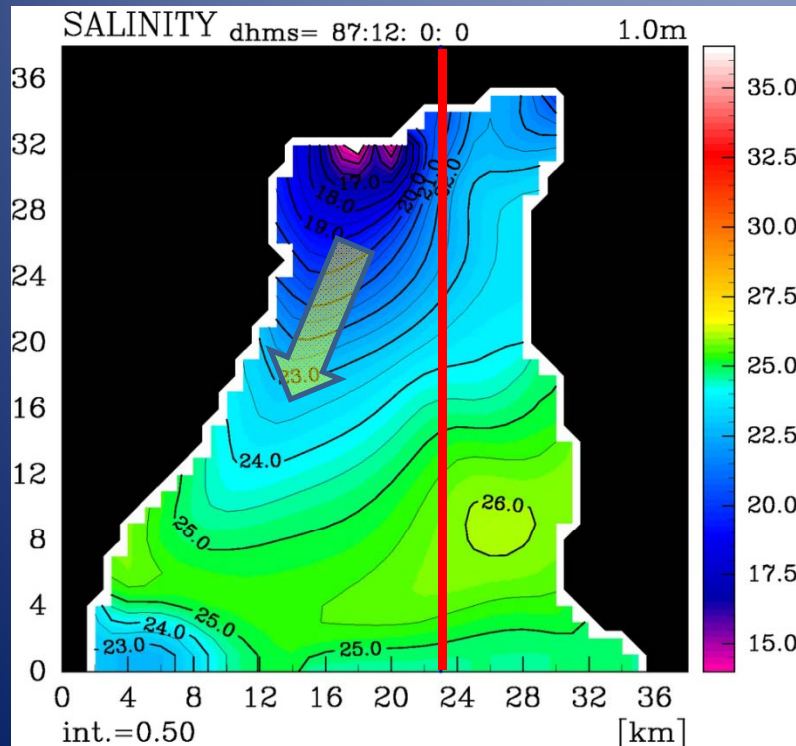
- 水位偏差の時系列



青線: 観測
緑点: シミュレーション

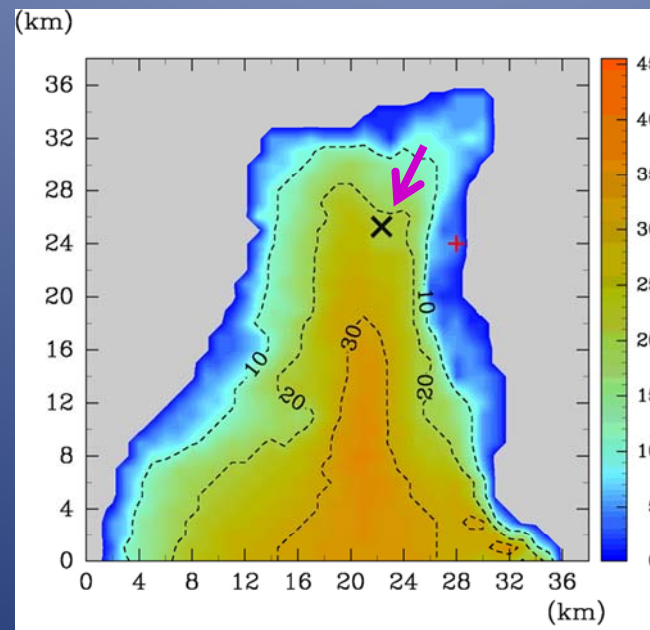
海のシミュレーション (MEC-CO₂)

- 塩分分布 (海面, 鉛直断面)



海のシミュレーション (MEC-CO₂)

- 漏出率 (Kano et al., 2010)
 - 標準ケース: 3,800 t/y
 - 極端ケース: 94,600 t/y



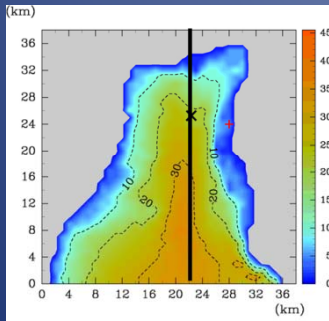
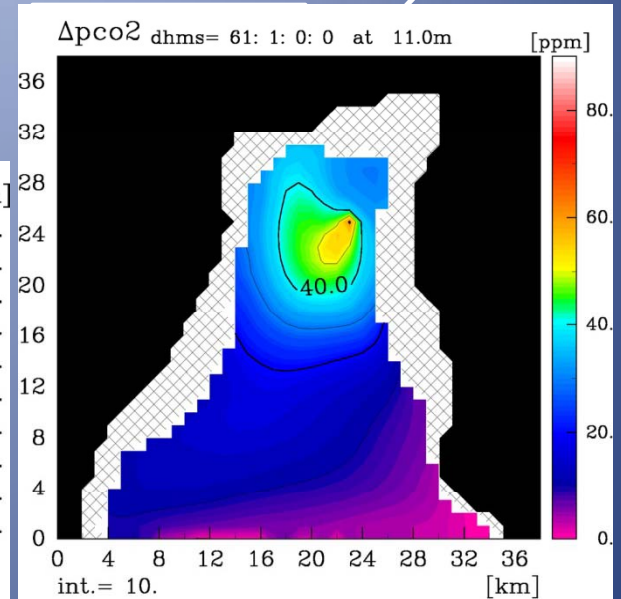
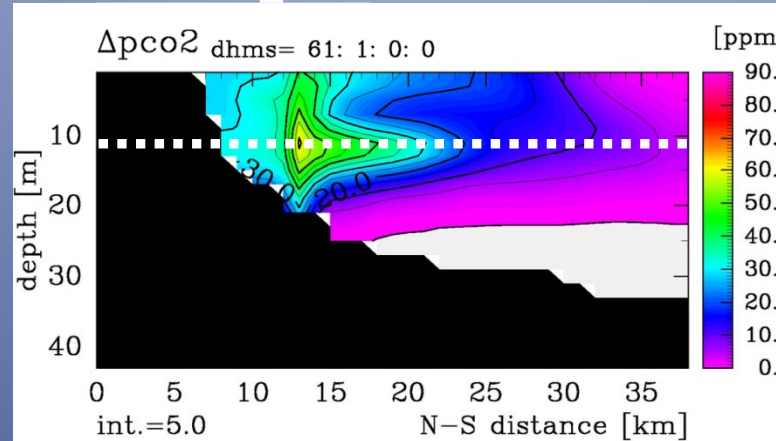
モデル解像度

- $\Delta x = \Delta y = 1$ km
- $\Delta z = 2$ m

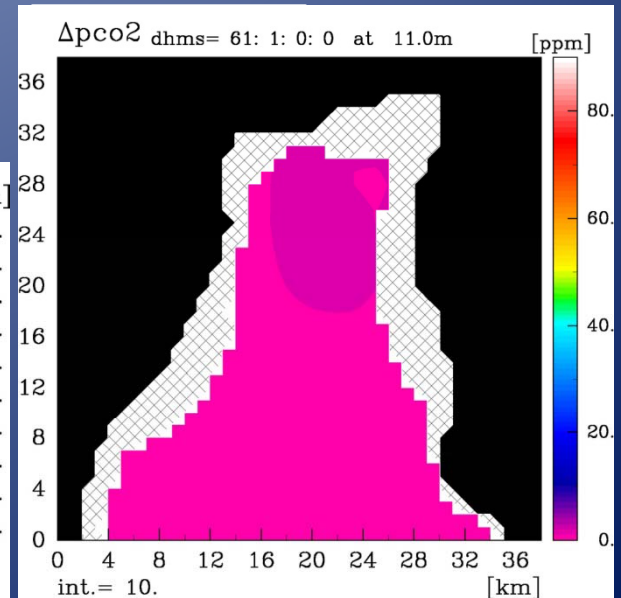
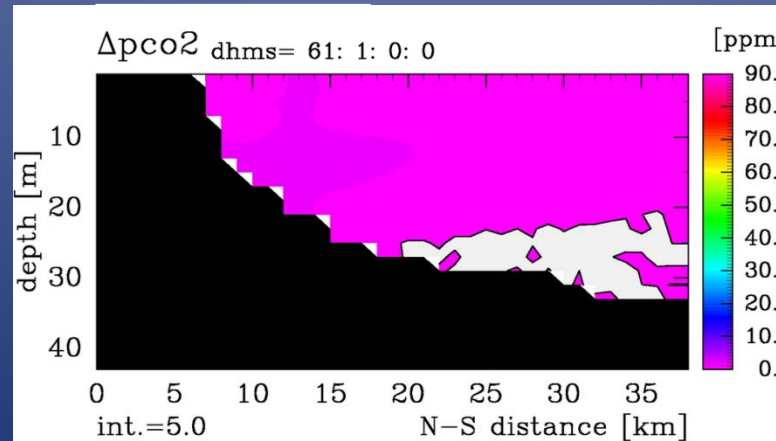
海のシミュレーション (MEC-CO₂)

$\Delta p\text{CO}_2$ 漏出によるCO₂ 濃度の増加

極端ケース



標準ケース



生物影響データベース

- データベースの蓄積
 - CO₂の生物への影響: pCO₂ (CO₂分圧) 増加、CO₂ 増加によるpH変化(酸性化)
 - 種ごとに影響調査
 - 影響の程度: 死亡、成長阻害、etc.

データベースの例

供試生物	対照区pCO ₂ (ppm)	実験区pCO ₂ (ppm)	暴露期間	影響	参考文献
サンゴ 成体 <i>Porolithon onkodes</i>	135-460 (pH 8.00-8.40)	520-705 (pH 7.85-7.95)	8 週間	白化が増加	Anthony et al., 2008
		1,010-1,350 (pH 7.60-7.70)		白化が増加	
サンゴ プラヌラ幼生 <i>Acropora tenuis</i>	400-475 (pH 8.03)	905-1,660 (pH 7.64)	7 日間	なし	Suwa et al., 2010
		2,115-3,585 (pH 7.31)		生残率：低濃度区 より増加	
動物プランクトン 幼生 <i>Acartia erythrae</i>	365	2,365	24 時間	なし	Kurihara et al., 2004
		5,365		生残率減少	
		10,365		生残率減少	
ヨコエビ 成体 <i>Gammarus locusta</i>	pH 8.1	~550 (pH 7.8)	28 日間	なし	Hauton et al., 2009
		~980 (pH 7.6)		なし	
巻貝 卵 <i>Littorina obtusata</i>	—	1,100 (pH 7.6)	約28 日間	生残率減少	Ellis et al., 2009
イカ類 <i>Sepia lycidas</i>	自然海水 (pH 8.12-8.14)	30,000 (pH 6.38)	24 時間	半数生存限界 (TLm) : 84,000ppm	Kikkawa et al., 2008
		50,000 (pH 6.17) 70,000 (pH 6.02) 100,000 (pH 5.87) 150,000 (pH 5.70)			
魚類 <i>Paralichthys olivaceus</i>	自然海水 (pH 8.111)	9,900-79,000 (pH 6.233-7.017)	6 時間	LC ₅₀ : 27,600ppm	Kikkawa et al., 2003

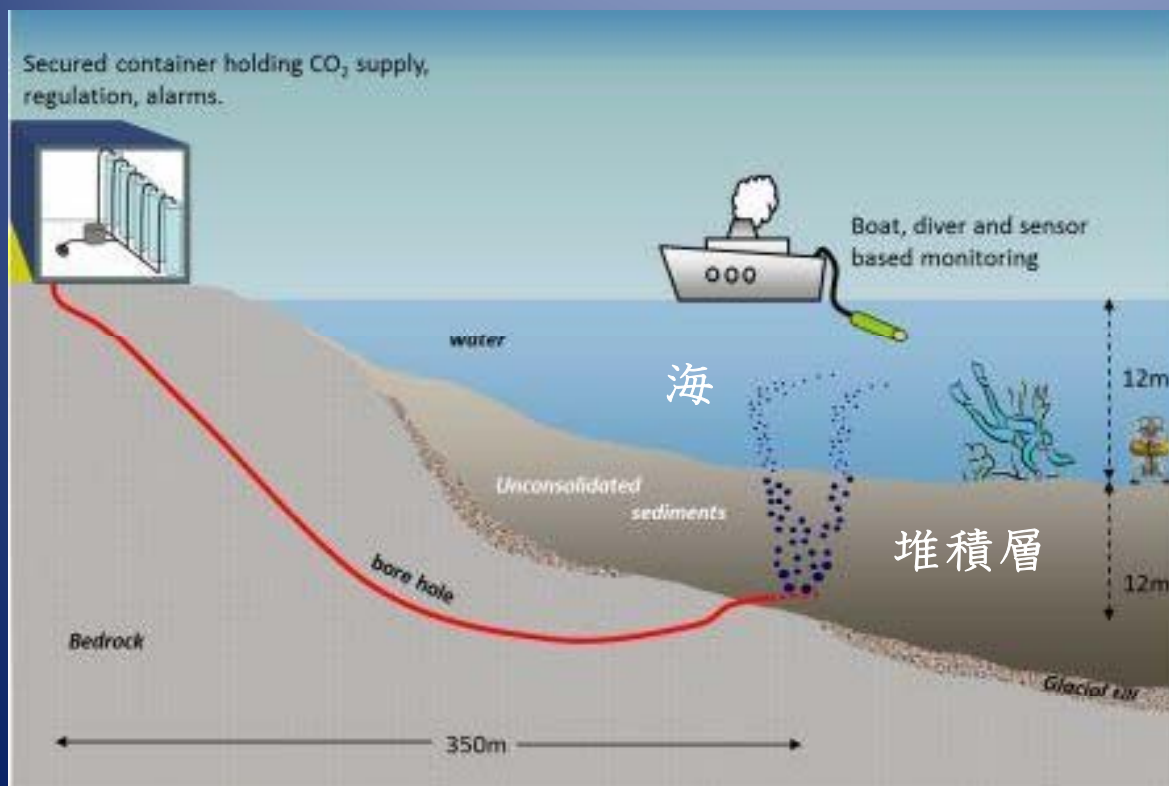
データベース解析結果の例

group	pCO ₂	influence
貝類 ウニ類 サンゴ 円石藻	$\Delta 200\text{ppm} <$	石灰化の減少
魚類 イカ類 動物プランクトン	$\Delta 2,000\text{ppm} <$	生理的阻害

QICS

Quantifying and Monitoring Potential Ecosystem Impacts of Geological Carbon Storage

<http://www.bgs.ac.uk/qics/>



CO₂ 放出:
100-200 kg/day



まとめ

- 海底下CO₂貯留の海域環境影響評価
 - 環境影響評価の必要性
 - 法的な義務
 - 社会受容性向上
 - 方法
 - 漏出CO₂のシミュレーションモデル
 - 地中 → Tough
 - 海底堆積層 → C.CANDI
 - 海 → MEC-CO₂
 - 生物影響データベース

Thank you for your attention.