

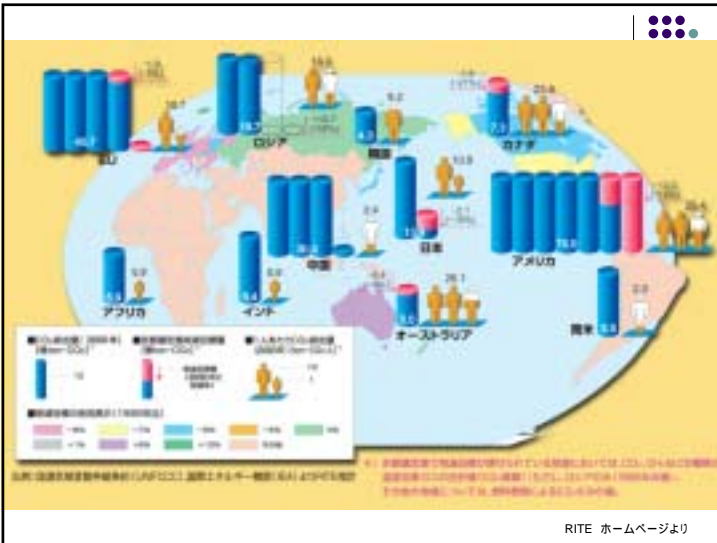
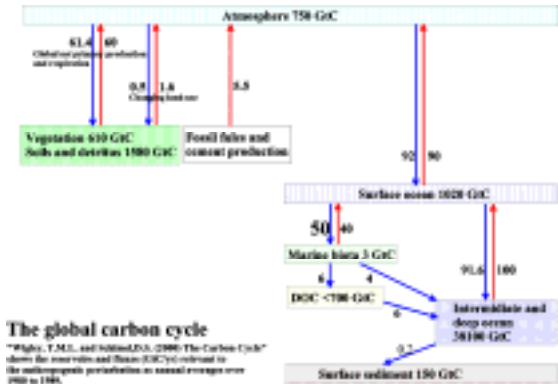
二酸化炭素の隔離・有効利用

東京大学工学部システム創成学科
E&Eコース
佐藤 徹



1 はじめに

地球上の炭素循環 (単位GtC)

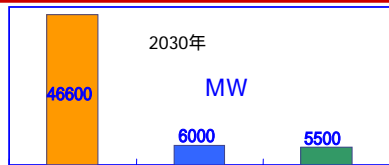


使用電力量とCO₂排出量の推移

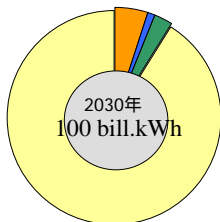


自然エネルギーの可能性

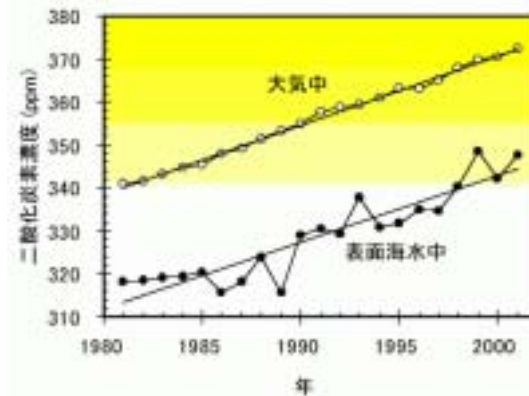
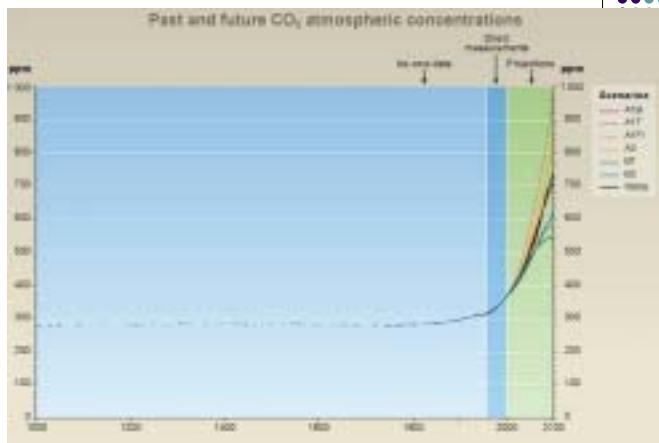
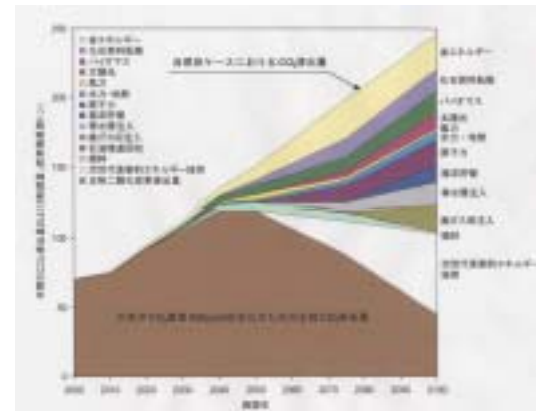
1999 209MW 83MW 900MW



太陽光 風力 ゴミ発電



エネルギー需要とCO2排出予想 (RITE)



気象庁は冬季の東経137度線に沿った二酸化炭素の観測を、1981年から実施している。図3-12は1～2月の東経137度線に沿った洋上大気及び表面海水中の二酸化炭素濃度(北緯3度～30度の平均値)の経年変化である。この海域では、冬季は表面海水中の二酸化炭素濃度が洋上大気中の濃度より低く、海洋が大気中の二酸化炭素を吸収していることを示している。

Estimated pH change of the seawater in AD 2100

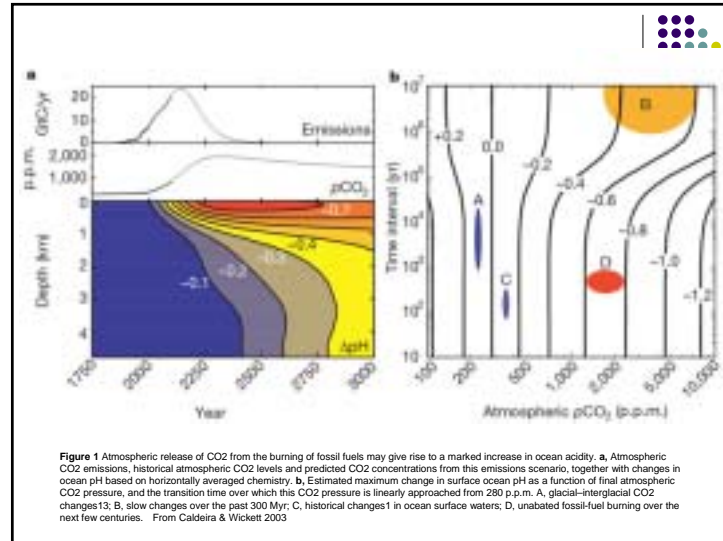
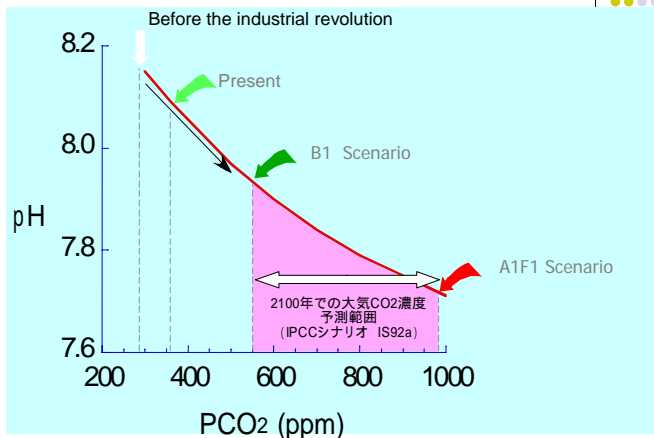


Figure 1 Atmospheric release of CO₂ from the burning of fossil fuels may give rise to a marked increase in ocean acidity. a, Atmospheric CO₂ emissions, historical atmospheric CO₂ levels and predicted CO₂ concentrations from this emissions scenario, together with changes in ocean pH based on horizontally averaged chemistry. b, Estimated maximum change in surface ocean pH as a function of final atmospheric CO₂ pressure, and the transition time over which this CO₂ pressure is linearly approached from 280 p.p.m. A, glacial-interglacial CO₂ changes 13; B, slow changes over the past 300 Myr; C, historical changes 1 in ocean surface waters; D, unabated fossil-fuel burning over the next few centuries. From Caldeira & Wickett 2003

図: 2100年に予測される炭酸カルシウムの溶解度

IPCC IS92a (2100年に740ppm) のシナリオに基づいて計算した結果、2100年に予測される炭酸カルシウムの溶けやすさを、炭酸イオン濃度の予想値と、アラゴナイト飽和状態における炭酸イオン濃度の差 (カラー) で表したもの (『Nature』9月29日号より)。単位は海水1キログラム当りの炭酸カルシウムイオンのマイクロモル。値が負の海域でアラゴナイトは未飽和となり溶解する。南極海全体と北太平洋亜寒帯域で溶ける状態になることが分かる。

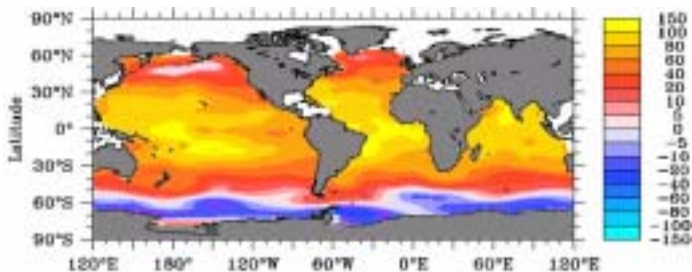
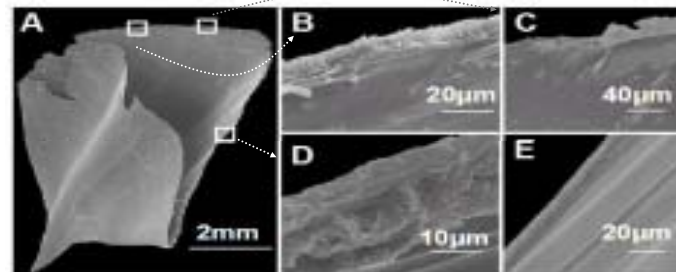


図: ウキビシガイを48時間、酸性化した海水環境下においたときの様子

翼足類カメガイ科の種であるウキビシガイ (*Clio pyramidata*) を48時間、酸性化した海水環境下においたときの様子 (『Nature』9月29日号より一部改)。A: 外殻全体 (3つの白く囲われた箇所はB~Dを示す)。B~D: 殻の溶解を示す拡大図 (それぞれは、B: 表面の結晶がささくれた状態、C: それらがめくりあがった状態、D: 溶解がすすんだ状態を示す)。E: 酸性化しない通常の環境にいるときの殻の結晶構造。



表層生物へのCO2暴露実験



図 2.1.3.4 対照区のアキボイの殻構造

図 2.1.3.5 高CO2区のアキボイの殻構造



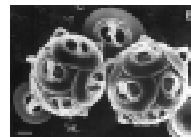
図 2.1.3.6 2,000ppm 区のアキボイの殻構造

図 2.1.3.7 2,000ppm 区のアキボイの殻構造



Today's world

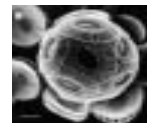
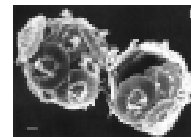
pCO₂: 280-380 ppmV



Gephyrocapsa oceanica

High-CO₂ world

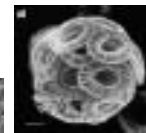
pCO₂: 580-720 ppmV



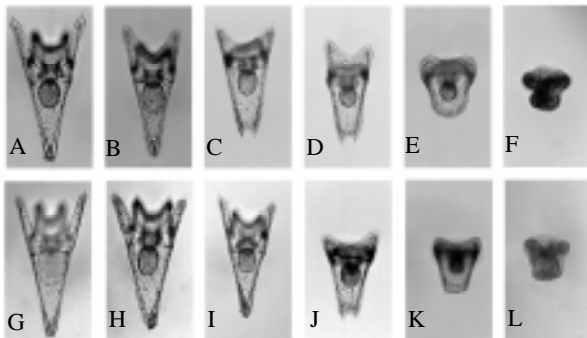
Emiliana huxleyi



Calcidiscus leptoporus

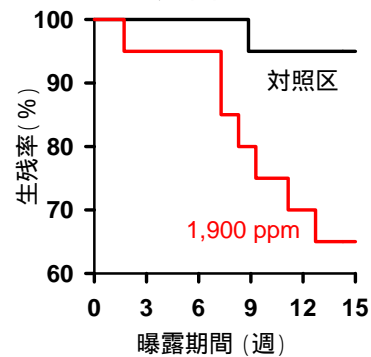


Morphology of sea urchin larvae in high CO₂ sea water



結果

生存曲線



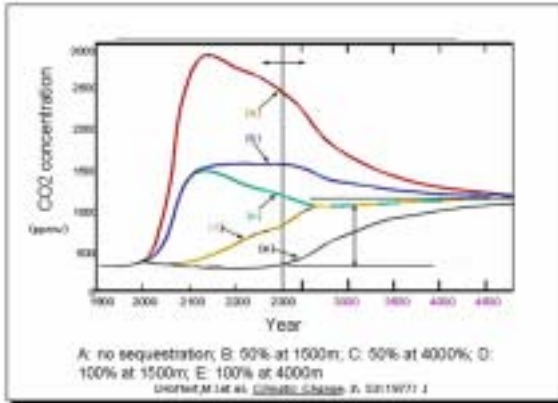
脱皮間隔 (日)

対照区 7.67 ± 1.28

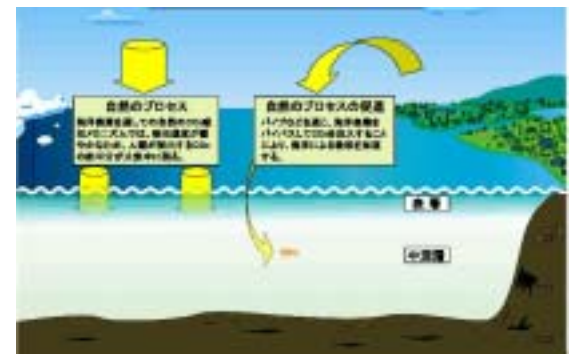
実験区 9.44 ± 2.69



海洋隔離のベネフィット ピークシェービング

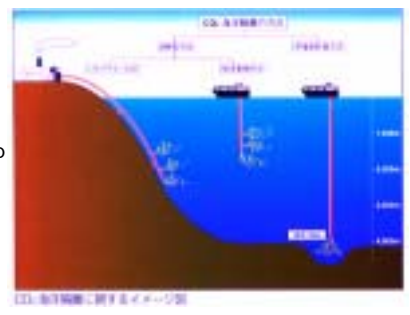


二酸化炭素の海洋隔離の考え方

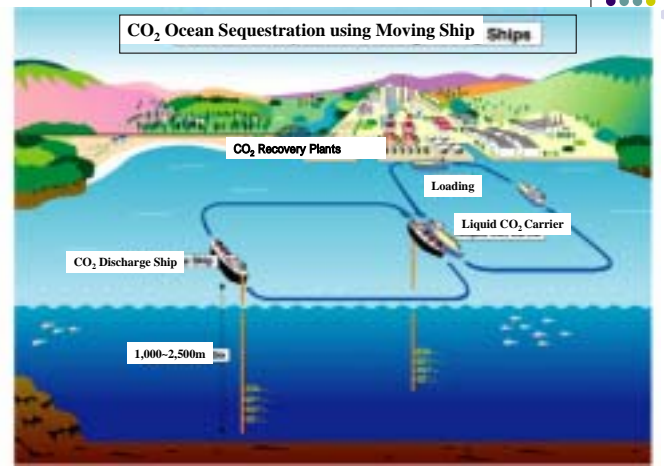


海洋隔離法の種類

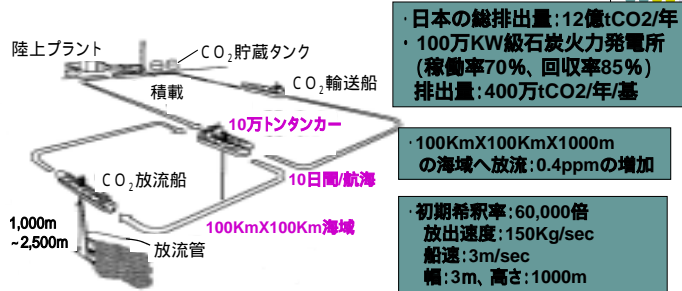
- 深海貯留法
 - LCO2プール
 - ハイドレートを利用
 - 局所生物影響大
- 中層溶解法
 - CO2液滴放出
 - 固定点/Moving Ship
 - 生物影響小



CO2 Ocean Sequestration using Moving Ship Ships



海洋隔離事業のイメージ



・日本の総排出量: 12億tCO₂/年
 ・100万KW級石炭火力発電所 (稼働率70%、回収率85%)
 排出量: 400万tCO₂/年/基

・100KmX100KmX1000m
 の海域へ放流: 0.4ppmの増加

・初期希釈率: 60,000倍
 放出速度: 150Kg/sec
 船速: 3m/sec
 幅: 3m、高さ: 1000m

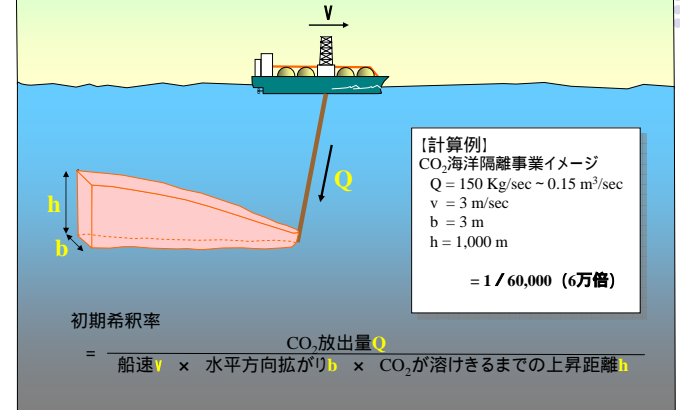
発電所2.5基分のイメージ図

1,000万t-CO₂/年

- 研究開発課題: (1) 有効性への理解獲得
 (2) 環境影響評価技術の開発
 (3) 希釈技術の開発

全海洋の隔離量:
 73,000億t-CO₂

初期希釈率の定義



ノズル高圧実験



パイプ曳航実験



海洋隔離のリスク 生物影響

CO₂放流点近傍域 急性影響

- ・一週間程度の短時間で生残に影響

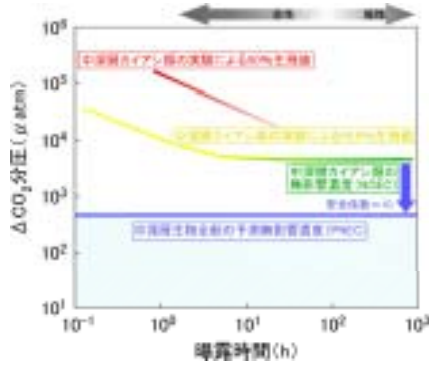
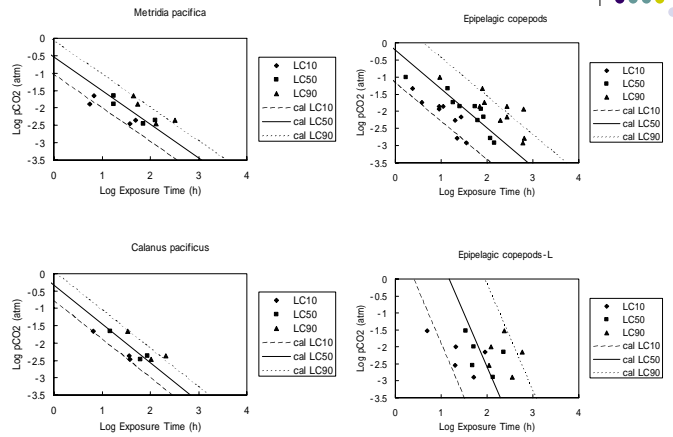
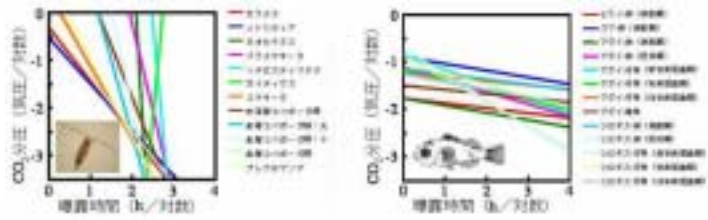
CO₂拡散域 慢性影響

- ・成長等が阻害され、個体群の現存量に影響

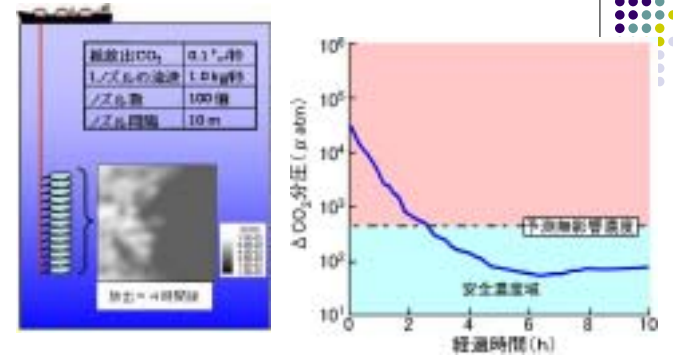
海盆or地球規模 生態系影響

- ・生物同士のつながりを通じて生態系システムの機能に影響

急性生物影響



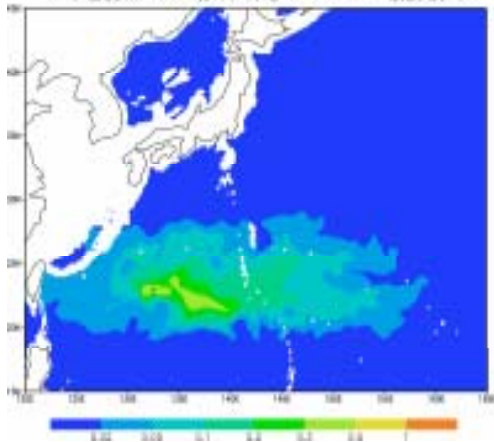
CO₂急性影響実験データ
 深海動物プランクトンの無影響濃度を算出
 深海生物全般の予測無影響濃度を推定



CO₂拡散シミュレーションモデル
 ・ 近傍域～広域
 実現可能な希釈技術により生物影響を軽減できる



25年連続注入した場合、深き1185mでのCO₂濃度 (ppm)

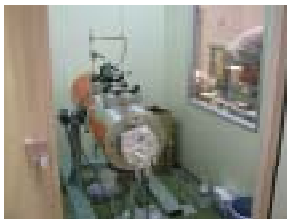


生態系影響予測の基礎となる中深層生態系モデル



中深層の炭素循環・微生物ループに基づいた鉛直一次元の低次生態系モデルは、現況再現計算の目処がつけてきた。さらに、食物連鎖構造に基づいた高次生態系モデルとの融合を目指している。

Experiments on deep-sea fish under high pressures



High Pressure Chamber (Max 50 MPa)



Careproctus trachysoma: Liparididae
Known distribution depth 400-800 m
Water temperature 2 C



中深層生態系モデルの構築

- 海洋観測、さらに実海域実験が必要
- 生態系影響の予測・評価

順応的管理

- 管理対象の深海生態系は非正常で不確定であることを前提
- 海洋隔離実施後のモニタリングと利害関係者の合意に基づく事業へのよりよい働きかけ

リスクはある。但し、
マネージメント可能である。



●今後のプロジェクトの進め方

- 2006年まで(現プロジェクト)
 - 希釈のための要素技術開発
 - 急性生物影響モデル
 - 社会へのアピール活動(シンポジウム、マスコミ)
- 2010年まで(社会的受容のための環境影響評価手法の開発)
 - 生態系長期予測
 - 小規模海洋実験の実施
 - 国際共同研究による科学的理解の促進
- 2015年まで(国際合意を目指した海洋実験の実施)
 - IPCC/CSLFにおける認知
 - モデル海域での長期生物影響モニタリング
 - Moving Ship法の技術開発
- 2020年まで(モデル海域での実証による実用化検討)
 - 環境影響評価指針の作成
 - 低コスト希釈技術の開発
 - London条約の承認



●取り巻く情勢

- アメリカの動向
 - FutureGen(2003発表の高度水素化社会構想)
 - 10年で1200億円の研究費
 - 石炭ガス化発電により水素製造
 - 水素製造時に出たCO2は地中へ隔離
 - CSLF(Carbon Sequestration Leadership Forum)
 - COPに対抗する米主導の温暖化対策国際枠組み
 - 経産省政務次官が海洋に関する論陣
 - 雰囲気「地中はOK、海洋は未成熟」
- UNESCOのHigh-CO2 Worldシンポジウム(May2004)
 - 海洋隔離はScience不足、放出実験が必要
 - 2000ppm、550ppmの時の表層影響の調査が必要
 - 地中でも海底下は要チェック
- IPCC Montreal (Sept 2005)
 - Specialist Reportで「CCS(分離回収・隔離)」
 - 地中はOK、海洋は未成熟



●海洋法関連(ロンドン条約)

- ロンドン条約科学者会議(May 2005)
 - 条約は2015年にリバースリストの作成
 - 英は海底下地中を通すために海洋を切り離しを主張
 - 海洋隔離は議論しない
 - 表層酸性化と経済性のベネフィット
 - 漏洩リスク モニタリングの重要性
- ロンドン条約締約国会議(Oct 2005)
 - 海底下地中隔離を合法化に向け検討
 - リバースリストにCO2(法改正でなく付属書で対応)
 - 注釈としてルール作り(グリーンピースも参加)
- ロンドン条約科学者会議(May 2006)
 - 英・豪・ノルウェーが海域地中隔離を強く主張
 - 漏洩リスクについて議論活発化
 - リバースリストにCO2



●今後のプロジェクトの進め方

- 2006年まで(現プロジェクト)
 - 希釈のための要素技術開発
 - 急性・慢性生物影響
 - 社会へのアピール活動(シンポジウム、マスコミ)
- 2010年まで
 - 生態系長期予測(ベンチックチャンバー、ペラジックチャンバー)
 - 小規模海洋実験の実施(カナダ2006、韓国も)
 - 国際共同研究による科学的理解の促進(IPCC/CSLFにおける認知)
- 2015年まで
 - 実規模実験(CO2濃度、生物影響モニタリング)
 - 社会合意、国際合意
 - ロンドン条約のルール作り、UNFCCC(COP)インベントリー申請
- 2015年から
 - 実用化





レポート課題

現在提案されている2つ以上の温暖化対策技術について、その効果を、削減できる二酸化炭素重量に換算した量（総量、あるいは1年間の量）と、そのコストを二酸化炭素1ton当りいくらという形で計算せよ。レポートは結果だけでなく、計算の仕方の説明（例えばコストなら、どのような費用を考慮したか等）をわかりやすくまとめる。また調べた資料は出典（本ならタイトル、web pageならアドレス）を記すこと。答えがそのまま出ているような資料がある場合は、検算したりして自分で納得してからレポートにまとめること。