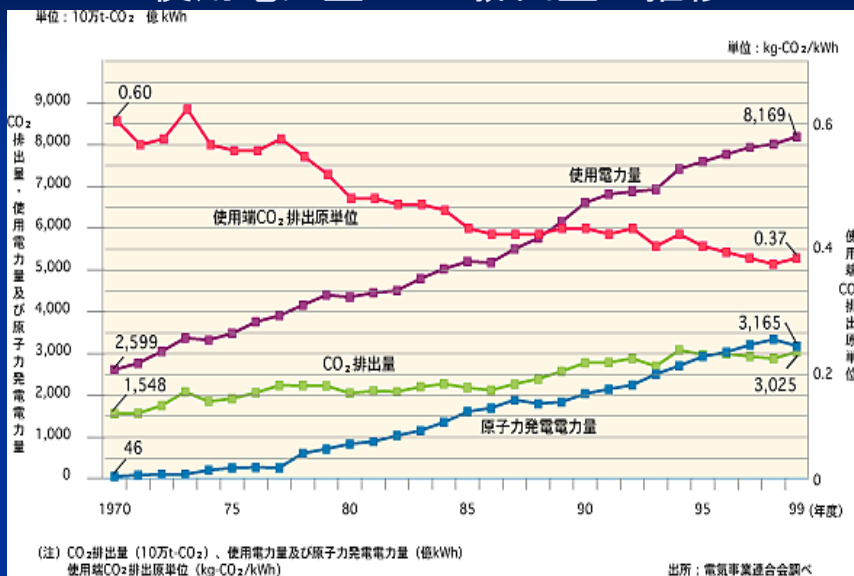


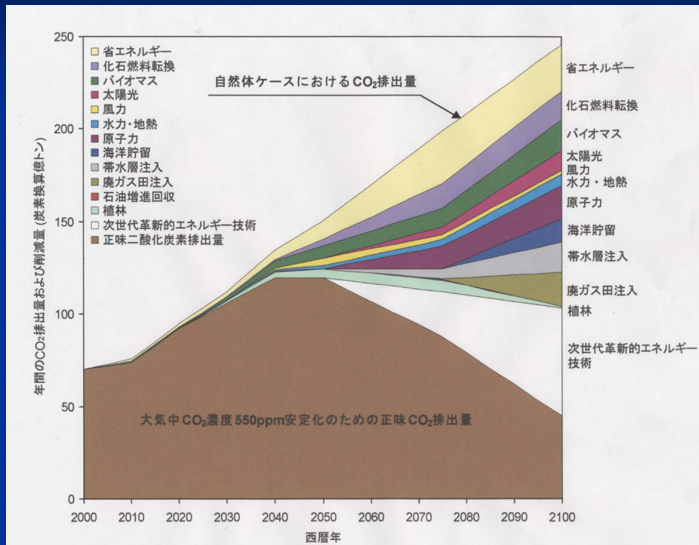
# CO<sub>2</sub>の海洋隔離技術の現状と展望

東京大学 新領域創成科学研究科 海洋技術環境学専攻  
佐藤 徹

## 使用電力量とCO<sub>2</sub>排出量の推移



# エネルギー需要とCO2排出予想 (RITE)



(RITE)

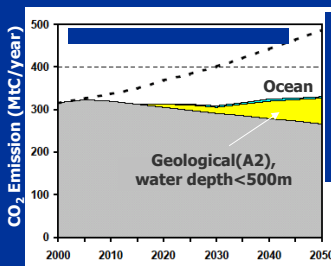
## Why Japan Seeks Ocean Storage

### Potential Storage Amount in Japan

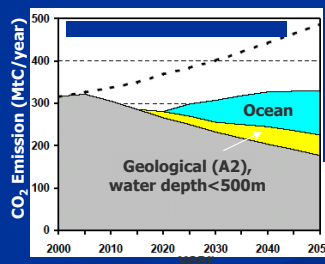
Categories of Geological Storage		Storage Potential
Structured Aquifer	Core & seismic data measured (A2)	5.2Gt CO <sub>2</sub>
	Seismic data measured (A3)	21.4Gt CO <sub>2</sub>
Unstructured Aquifer (water depth < 200m)	Core & seismic data measured (B1)	27.5Gt CO <sub>2</sub>
	Seismic data measured (B2)	88.5Gt CO <sub>2</sub>

(RITE)

Expected CCS Amount : 0.5 - 4.0GtCO<sub>2</sub>/year for 2025-2100 (METI)



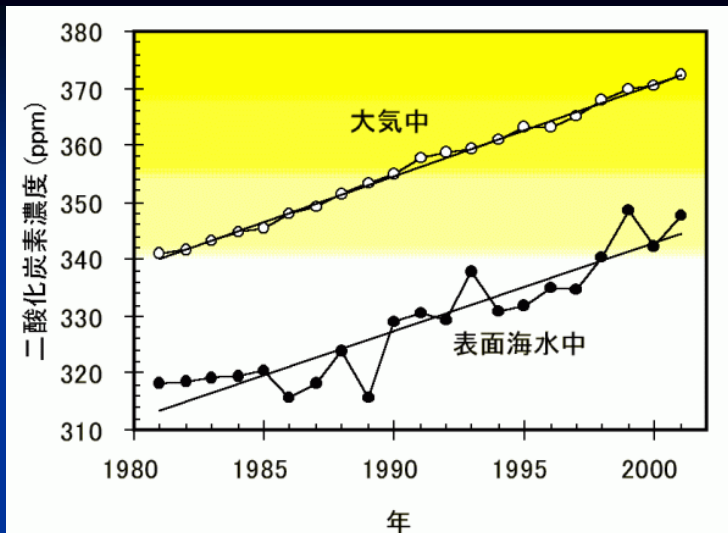
CO<sub>2</sub> Emission per GDP in 2050 is 1/2 of that in 2000



CO<sub>2</sub> Emission per GDP in 2050 is 1/3 of that in 2000

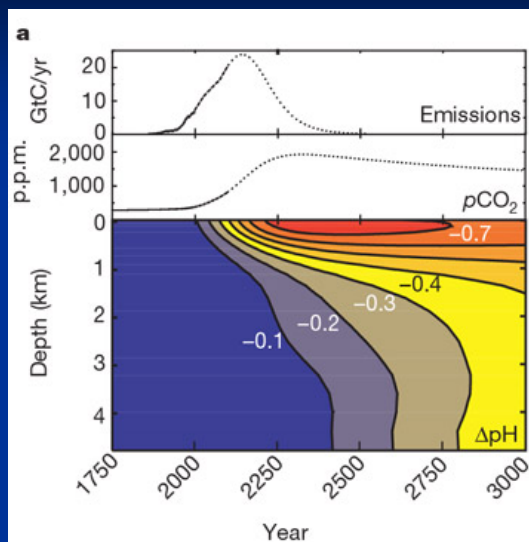
Performance of Injection Well:  
0.5MtCO<sub>2</sub>/yr/well

(Akimoto, 2006)



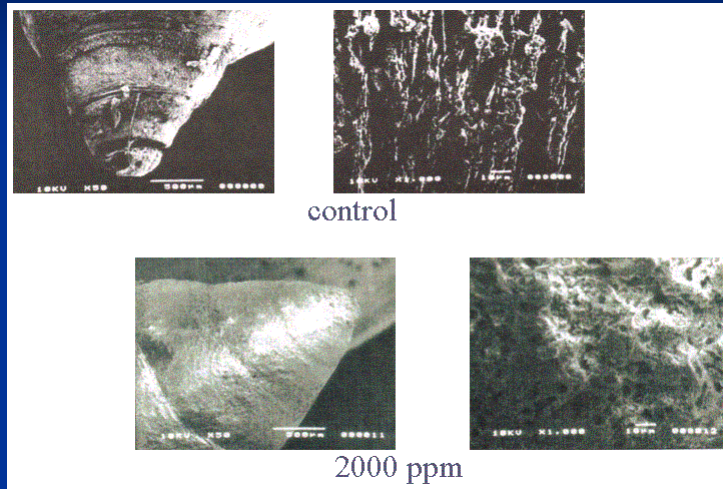
気象庁は冬季の東経137度線に沿った二酸化炭素の観測を、1981年から実施している。図3-12は1~2月の東経137度線に沿った洋上大気及び表面海水中の二酸化炭素濃度(北緯3度~30度の平均値)の経年変化である。この海域では、冬季は表面海水中の二酸化炭素濃度が洋上大気中の濃度より低く、海洋が大気中の二酸化炭素を吸収していることを示している。

## Prediction of CO<sub>2</sub> Concentration in the Ocean



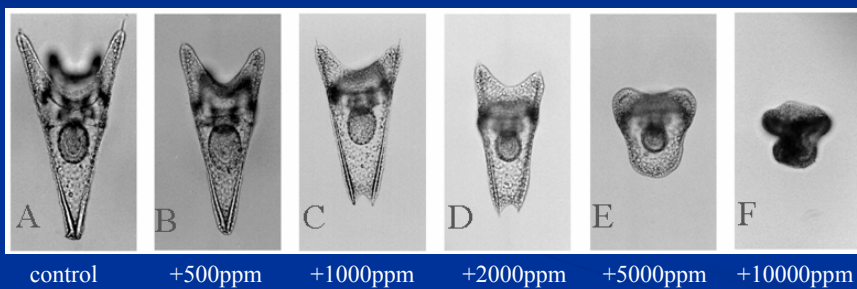
(Caldeira and Wickett, 2003)

## Dissolution of Shell in pCO<sub>2</sub> of 2000 ppm



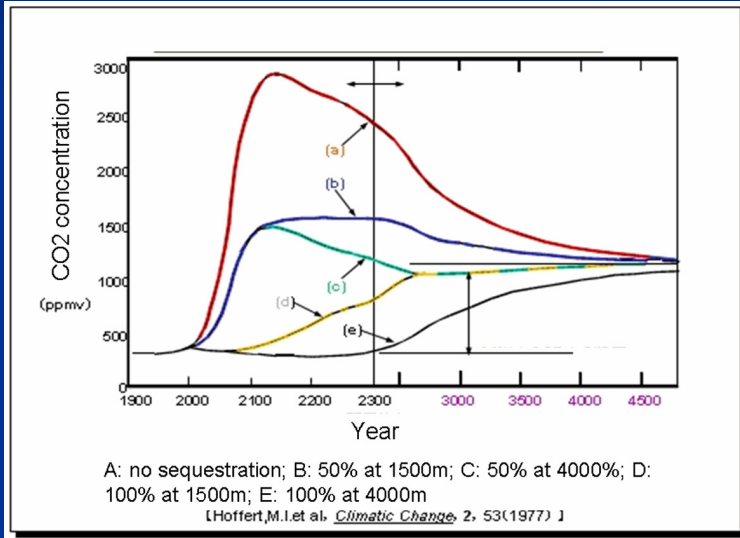
(Shirayama, unpublished)

## Morphology of Sea Urchin Larva

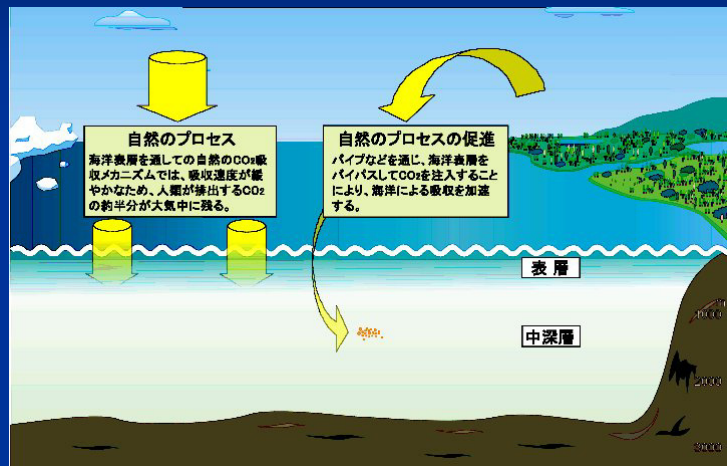


(Kurihara & Shirayama, 2004)

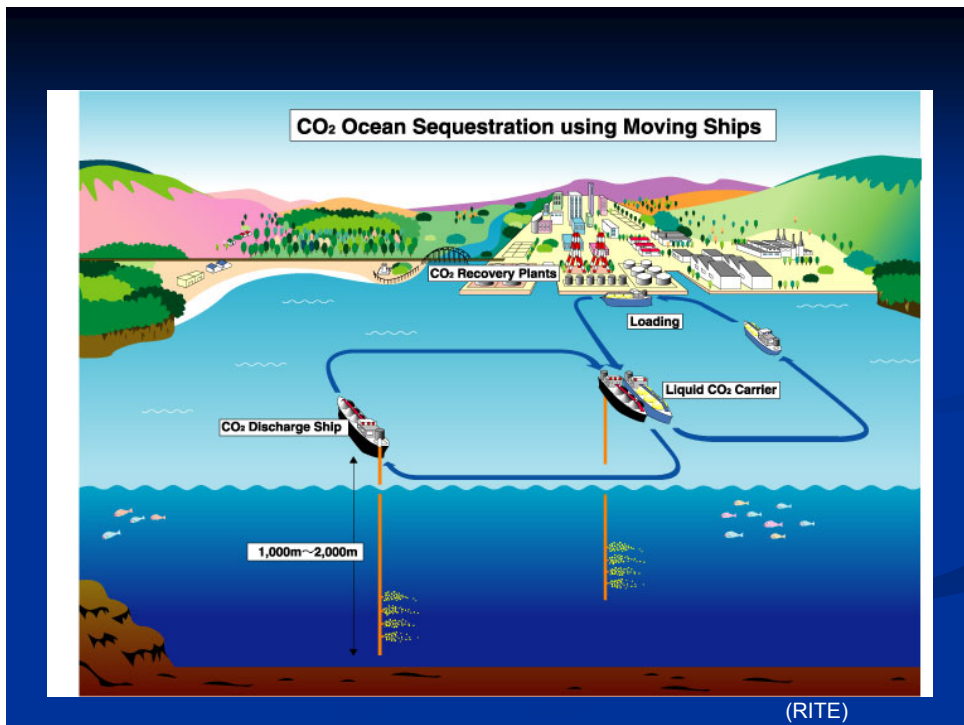
# 海洋隔離のベネフィット ピークシェービング



## 二酸化炭素の海洋隔離の考え方



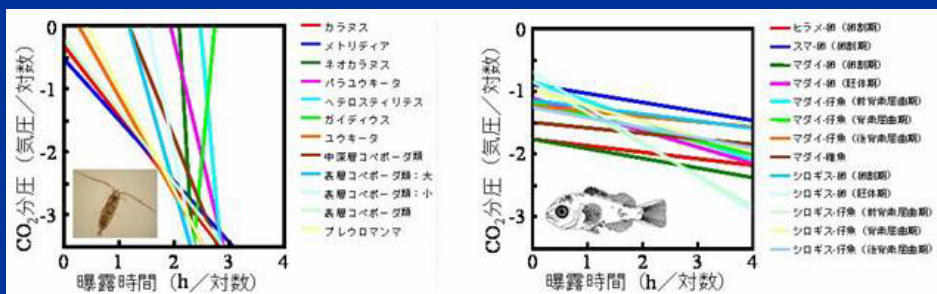
(RITE)



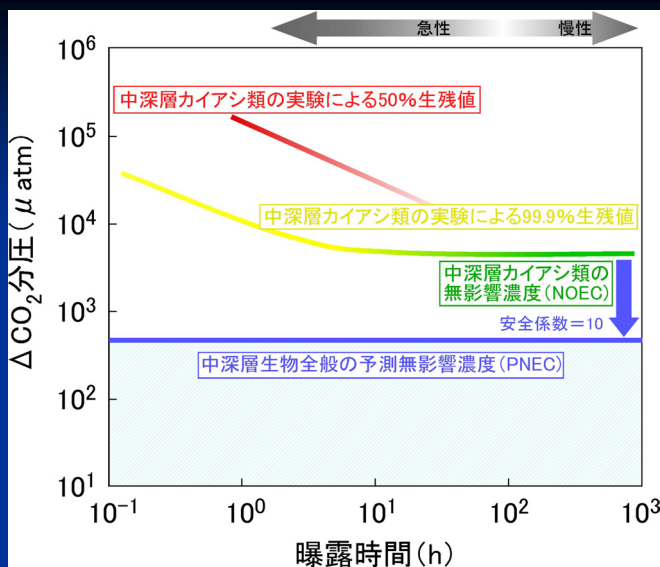
## 海洋隔離のリスク 生物影響

- CO<sub>2</sub>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
- CO<sub>2</sub>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

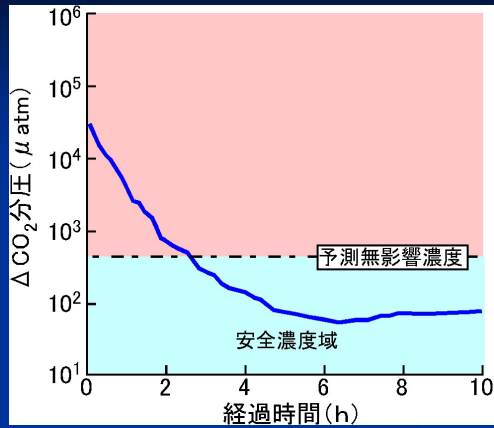


(RITE)



(RITE)

- CO<sub>2</sub>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



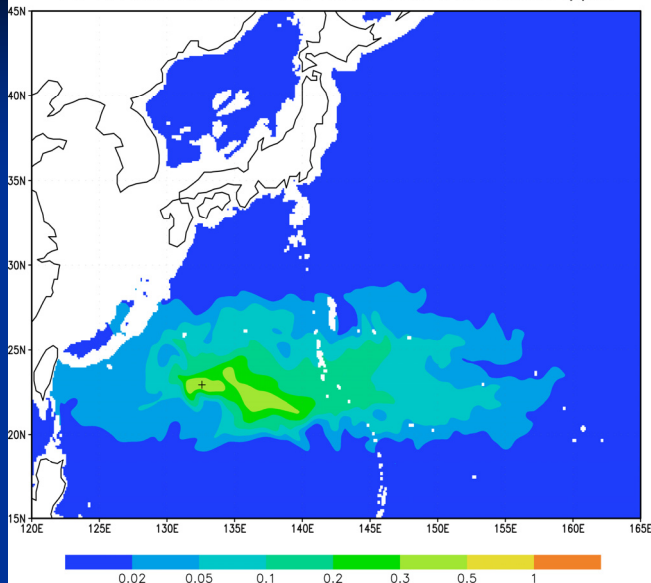
(RITE)

■ CO<sub>2</sub>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、深さ1185mでのCO<sub>2</sub>濃度 (ppm)



(RITE)



## ■ 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定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

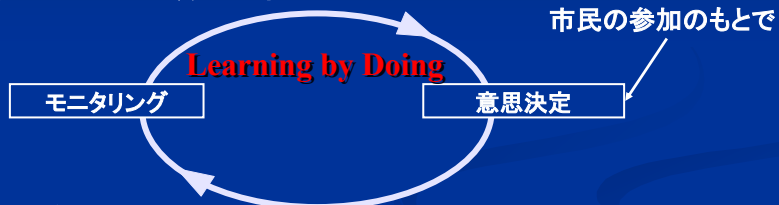
リスクはある。但し、  
マネジメント可能である。

## 社会的受容性

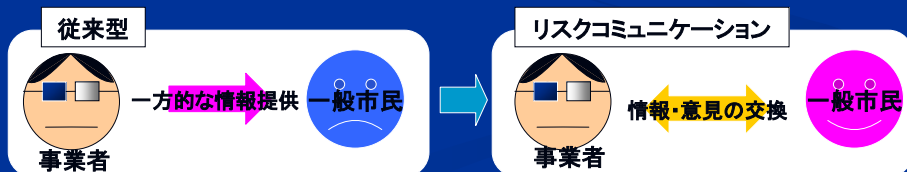
- ・ 生態系に潜む不確実性と非定常性



- ・ やりながら学ぶ順応的管理

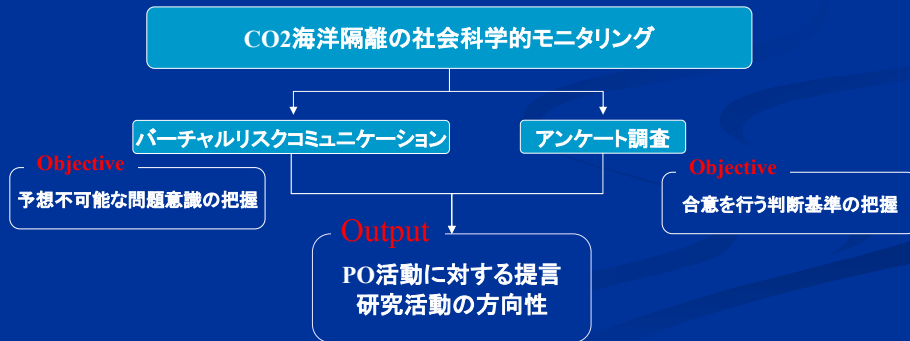


- ・ どのように参加するのか



## 目的

- CO<sub>2</sub>海洋隔離の社会工学的モニタリングを行う
  1. CO<sub>2</sub>海洋隔離の社会的受容性評価
    - アンケート調査
  2. CO<sub>2</sub>海洋隔離に対する一般の人々の問題意識の把握
    - Webによるバーチャルリスクコミュニケーション



## アンケート調査概要

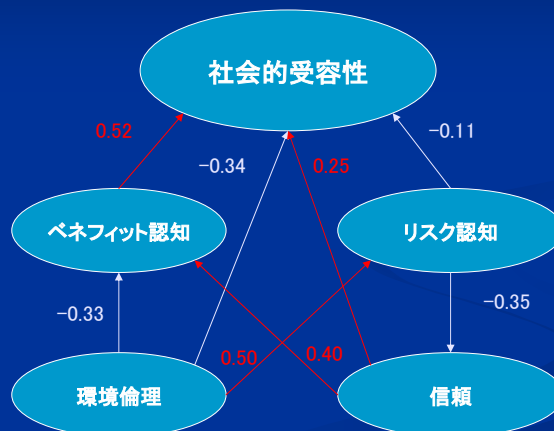
- アンケート調査目的
  1. 情報提供は社会的受容性に有効であるのか
  2. 社会的受容性は何に影響を受けて決定されているのか
  3. どの程度の隔離量・希釈率を望んでいるのか
- 被験者
  - 長崎大学、東海大学、京都大学、東京大学の大学生、大学院生、合わせて174名
  - 対象はCO<sub>2</sub>海洋隔離に関する知識が少ない人

## 因子について

- 社会的受容性因子
  - 人々がCO<sub>2</sub>海洋隔離をどの程度受容しているのかを示す因子
- リスク認知、ベネフィット認知因子
  - 人々のCO<sub>2</sub>海洋隔離に対するリスク、ベネフィットの感じ方や捉え方の状態を示す因子
- 環境倫理因子
  - 人々の環境に対する倫理観を示す因子
- 信頼因子
  - 人々がCO<sub>2</sub>海洋隔離を行う組織に対する信頼の強さを表した因子

## 分析結果

- 社会的受容性の4因子からの寄与は大きい(R<sup>2</sup>=0.84)



# 分析結果

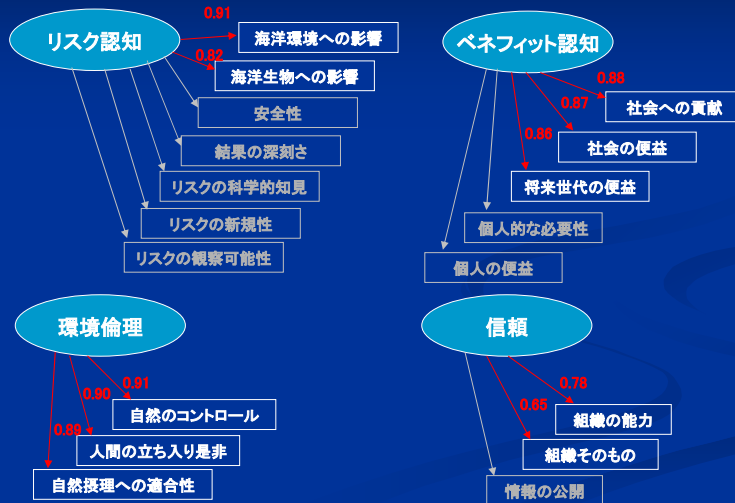
## ■ 考察

### ■ 社会的受容性を高めるには

- ベネフィット認知の向上とリスク認知の低下
- 組織に対する信頼を高める
  - 直接的にも間接的にも社会的受容性にプラス影響を与える
- 倫理的ではないと思われなくようにする
  - 社会的受容性へのマイナス影響は大きい

# 分析結果

## ■ 社会的受容性を高めるための具体的な方法は？



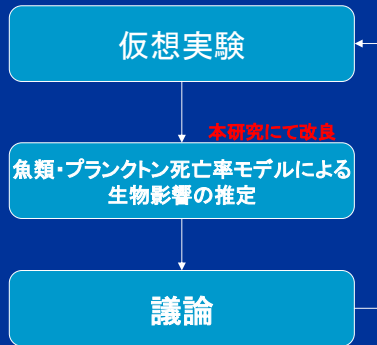
※ □ 内は質問項目を示す

# webを用いたリスクコミュニケーション

- Web上において仮想的な海洋実験を舞台とし、リスクコミュニケーションを行う

## Objective

予想不可能な問題意識の把握



## 議論の分析手法:CRANES(堀田：2000)

### 定義

- ① 証明(Prove)：議論単位Aよると議論単位Bは必然的に真である。(ApBと記す)
- ② 支持(Support)：議論単位Aによると議論単位Bが真であることがあり得る。(AsBと記す)
- ③ 反論(Challenge)：議論単位Aによると議論単位Bが偽であることがあり得る。(AcBと記す)
- ④ 反証(Disprove)：議論単位Aによると議論単位Bは必然的に偽である。(AdBと記す)
- ⑤ その他(Others)：議論単位Aは議論単位Bに対して論理的帰結を持たない。(AoBと記す)

### 議論の関連付け

$$A_1 c c A_0 = A_1 s A_0$$

肯定的根拠率(PGR)

$$PGR_A = \frac{i_p(A) + i_s(A)}{i_p(A) + i_s(A) + i_c(A) + i_d(A)}$$

被議論率(AR)

$$AR_A = \frac{\sum_{j \in \{p,s,c,d,o\}} i_j(A) + 1}{\sum_{a \in \Omega} \sum_{j \in \{p,s,c,d,o\}} i_j(a)}$$

議論単位の個数

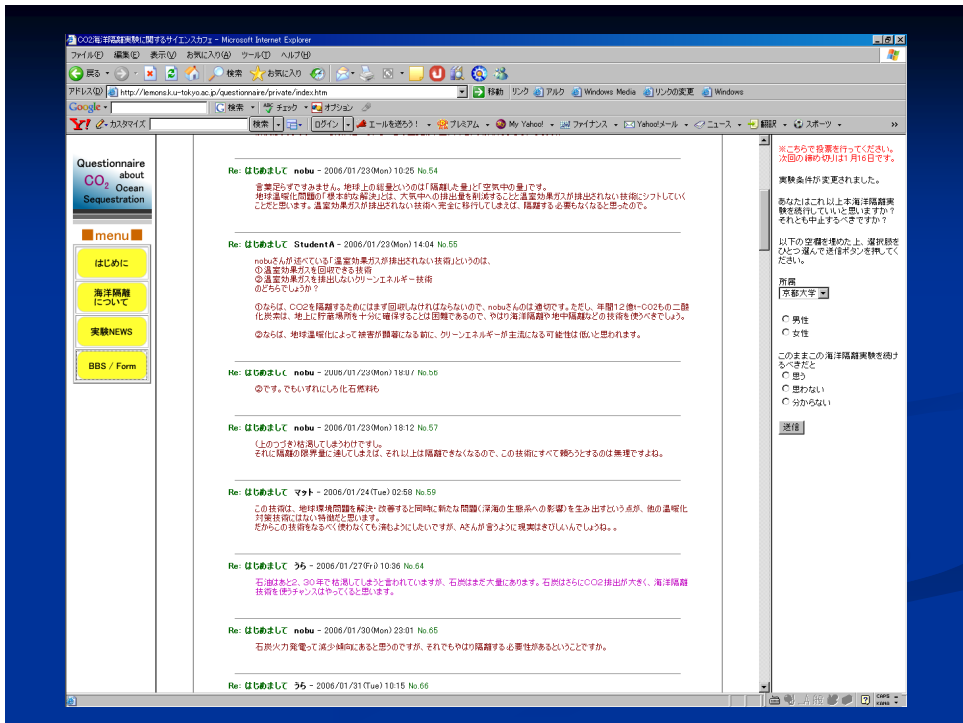
証明:  $i_p(A)$

支持:  $i_s(A)$

反論:  $i_c(A)$

反証:  $i_d(A)$

その他:  $i_o(A)$



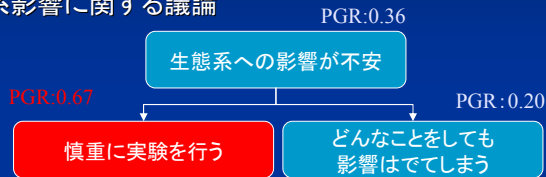
## 議論構造

	PGR	AR	行
海洋隔離についての賛否	0.61	1.00	1
c 生態系への影響が不安	0.36	0.26	
s 不定を取り除けないのか?	1.00	0.02	
c 実験を行えばいい	0.58	0.22	
c 実験を行ってもわからない問題はあ	1.00	0.02	
c 深刻な影響を出す可能性もある	1.00	0.02	
c 慎重に実験を行えばいい	0.67	0.17	
s 繰り返し実験を行えばいい	0.67	0.12	
c 人間のために生物を犠牲にしていいの	0.75	0.09	10
c 地球温暖化を放置しても生物に影響はある	0.00	0.07	
c いつでも実行できるように準備はすべき	1.00	0.02	
c 実験により少しでも多くのことを解明すべき	1.00	0.03	
c 実験がなくても同じくは	1.00	0.02	
c 結果を検討し一般の人々の了解を得るべき	0.00	0.03	
c 環境団体の反対がある	1.00	0.02	
c 多少の損害は目をつむるべき	1.00	0.02	
c 実験は中止すべきでない	1.00	0.05	
c 地球温暖化に対して他に有効な打開策がない	1.00	0.03	
c 削減がテンションが魅力的	1.00	0.02	20
s 濃度を上げて実験を行うべき	0.67	0.22	
s 生物量が少ない海域なら比較的高い濃度でも良いと思う	0.64	0.22	
c 生物調査を長期間行うべき	1.00	0.02	
c 貴重な生物がいる可能性もある	0.33	0.17	
c 生物が多いところより少ないところを選択すべき	0.50	0.05	
c 短期の死亡率だけを考えるならそれでよい	1.00	0.02	
c 生物量の少ない場所ですらに生物を少なくしてしまえば	1.00	0.02	
c その海域の生態系は回復不能になるのでは	0.60	0.10	
c 生物量の多い場所を隔離して回復力に期待する	1.00	0.03	30
c やはり、多い場所で行う方がよいのでは	1.00	0.02	
c 結局規制が甘そうなのでどこでもできるのでは	0.50	0.05	
c 生物量が多すぎて回復力わからないのでは	0.00	0.03	
c 回復力を測る実験を行う必要がある	1.00	0.02	
c 季節、年度により変化するのでは	0.00	0.03	
c 良い実験結果は得られない	1.00	0.02	
c 生物量より希釈技術の開発を重視すべき	1.00	0.02	
c 技術的に優れたものだ	1.00	0.02	
c 隔離量に限界があるのでは	1.00	0.02	
c 地球上の総量は変わらない	0.50	0.12	
c 空気中の濃度を下げれば温暖化が防げる	0.40	0.10	40
c 大気への排出量を削減するべき	0.50	0.09	
c 地球温暖化が深刻化する前でのクリーンエネルギーの台頭は困難	0.33	0.07	
c 海洋隔離に頼りすぎるのは問題	0.50	0.05	
c なるべく使わないようにしたい	1.00	0.02	
c 現実では使わざるを得ない	1.00	0.02	

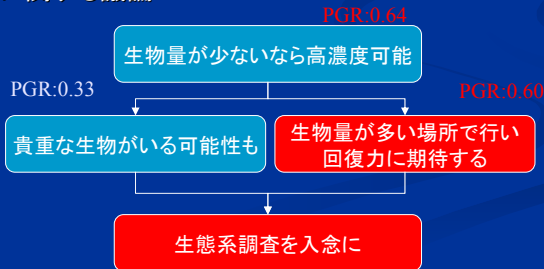
# 議論グラフ

- 中心的に行われた議論

- 生態系影響に関する議論



- 生物量に関する議論



## 考察

- 一般の人々の関心

- 生態系への影響
- CO<sub>2</sub>海洋隔離を行う海域の生態系



調査・実験を行い説明することを求めている

- CO<sub>2</sub>海洋隔離の今後の課題として

- 現状で説明されている海洋生物や生態系に関する情報発信
- 更なる技術開発
  - 環境影響評価技術の発展
  - 生物現存量調査