

平成17年度 科学技術振興調整費 重要課題解決型研究等の推進

(1) - 3 - 4 環境保全・再生に関する研究開発・技術実証実験

有明海生物生息環境の俯瞰型再生と 実証試験

九州大学大学院工学研究院
北九州市立大学大学院

楠田哲也

研究の最終目的

有明海を、豊饒で人々に安らぎを与えることのできる海として再生する。

研究の基本的進め方

・問題解決を目指す

研究費が「重要問題解決型」のため

研究を俯瞰型で進める

・ただし、未知の事象の解明にむけて

従前の「分析的」研究スタイルも採用

科学的ブラックボックスをそのままにして

仮説により研究を進めることも是認

研究内容と手順

- 1) 有明海を生物生産や生物多様性を維持できる海域として再生するために、**ビジョン**を示し、**俯瞰型再生方法論**を構築する。
- 2) 再生のための技術と適用方法を具体的に提示し、**有明海方式**として体系化し、有明海の再生を図る。
- 3) 指標生物を用いた生物生息モデル(**有明海モデル**)を開発し、再生技術と適用方法を評価できるようにする。
- 4) 再生のための**応急処置型技術**と**持続型技術**を開発し、実証する。
- 5) 問題の解決に必要な**未知の事象の解明**を図る。
- 6) 得られた**知識を構造化**し、他所に**応用**できるようにする。

研究推進体制と研究の進め方

達成目標: 有明海生物生息環境の俯瞰型再生と技術実証

参加研究機関

九州大学大学院
佐賀大学
熊本大学
長崎大学
熊本県立大学
佐賀県有明海水産振興センター
(独) 農業工学研究所
(NPO) みらい有明・不知火
日本建設技術(株)
(株) 国土環境

ビジョン

(1) 生物生息環境再生の目標像の設定
九州大、全機関

俯瞰型方法

(2) 環境再生目標を達成するための方法論の検討
九州大、全機関

モデル

(2) 生物生息モデルの開発
九州大、熊本大、国土環境

未解明事象の検討

(3) 有明海の問題解決に必要な未解明事象の検討
九州大、佐賀大、熊本大、長崎大、熊本県立大、
農工研、佐賀県有明海水産振興センター

有明海方式

(4) 生物生息環境の再生施策の検討
九州大、全機関

(5) 生物生息環境再生のための個別技術の開発と実証
応急処置型技術・持続型技術

九州大

佐賀大

熊本大

有明水振センタ、日本建設技術

NPO みらい有明・不知火

(6) 生物生息環境再生に関わる環境評価
九州大、佐賀大、熊本大、長崎大、熊本県立大、
農工研、佐賀県有明海水産振興センター、国土環境

NO

判断

YES

知識の構造化

(7) 生物生息環境再生システムの取りまとめ
九州大、全機関

有明海に関わる現在の問題の認識

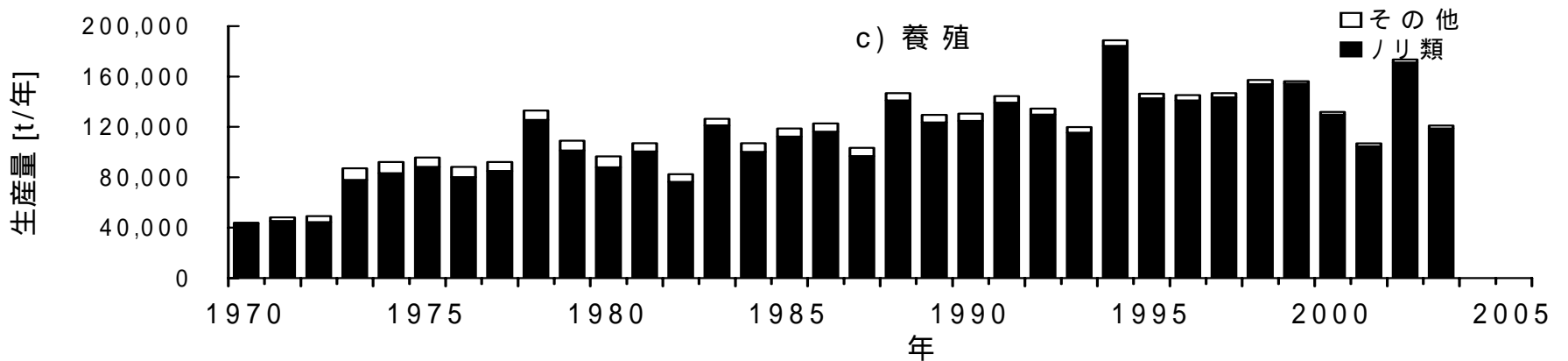
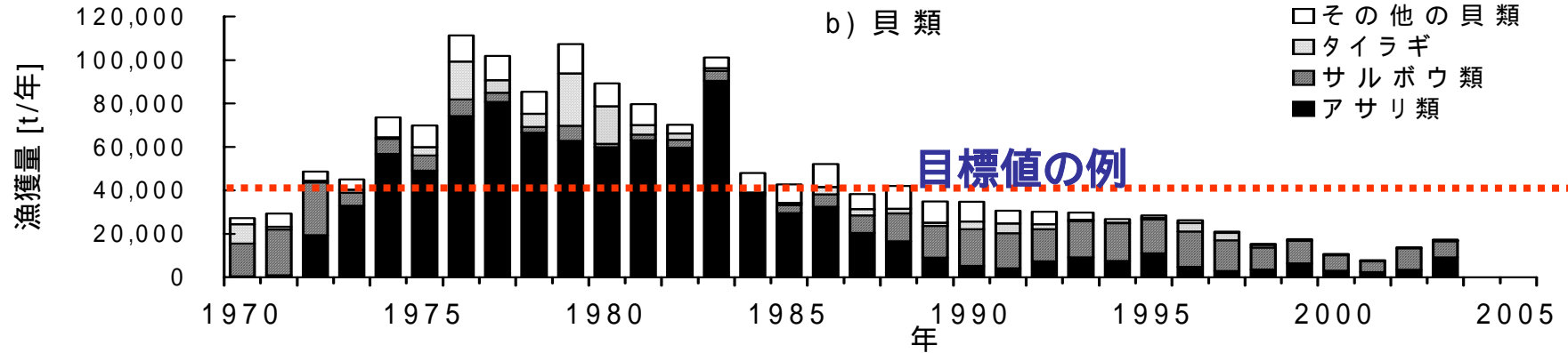
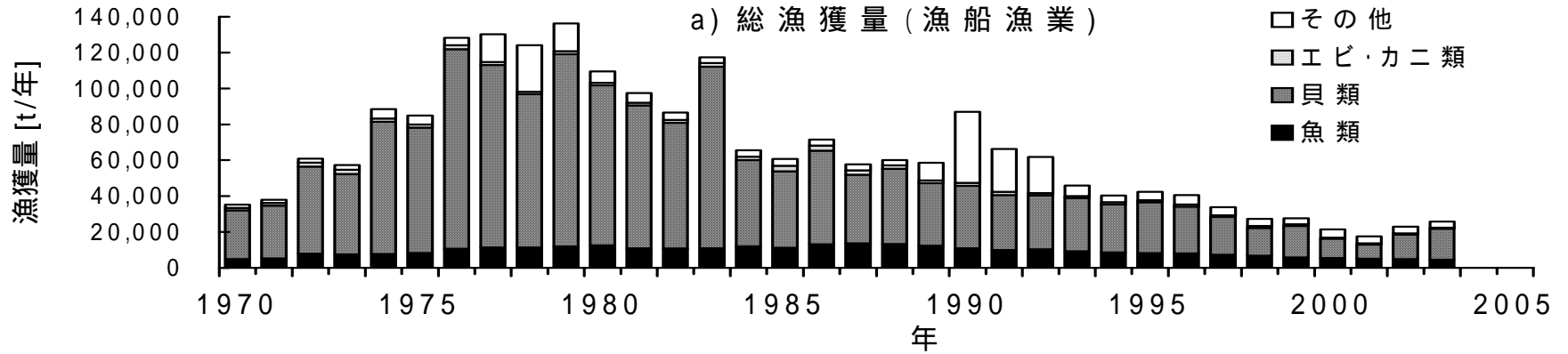
- ★ 漁獲高・生産高の減少
 - ★ 生産物の品質の不安定化
 - ★ 生物多様性の減少
-
- ★ 透明度の増加
 - ★ 貧酸素水塊の拡大
 - ★ 底質の有機物含有率の増加
 - ★ 微量汚染化学物質の蓄積
-
- ★ 平均水温の上昇
 - ★ 海水位の上昇
 - ★ 海域の静穏化
 - ★ 干潟の減少

有明海再生に関わる検討課題

- ★ 再生ビジョンを明確にする。
- ★ 再生ビジョン達成のための方法論を作る。
- ★ 再生のための方策を体系化する。
- ★ 指標生物の生物生息モデルを作る。
- ★ 研究者の専門性をつなぐ仕掛けを作る。
- ★ 機関の役割分担による成果を統合的に解析する。
- ★ 応急措置型技術と持続型技術を開発し、評価する。
- ★ 非水産生物に関わるデータを収集する。
- ★ 有明海に関わる情報を統合化し解釈する。
- ★ 環境劣化を裏付けるデータを集積する。
- ★ 水産業への貿易の影響を検討する。
- ★ 社会に正確な情報を伝える。

(1) 再生目標像の設定

有明海の漁業生産量



(2) 環境再生目標を達成するための方法論の検討と生物生息モデルの開発

1) 指標生物の選定

検討基礎事項: 生物保全、人による利用(生物資源)、生物学的知見集積

アサリ: 底生、砂質干潟

サルボウ: 底生、泥質干潟

スズキ: 魚類、河口も利用

2) 生物生息モデルの構築

流動モデル + 水質(低次生産)モデル + 底質モデル

高次生産モデル(生活史、種間関係)

干潟生態系サブモデル

浮泥流動モデル

化学物質挙動サブモデル

貧酸素サブモデル

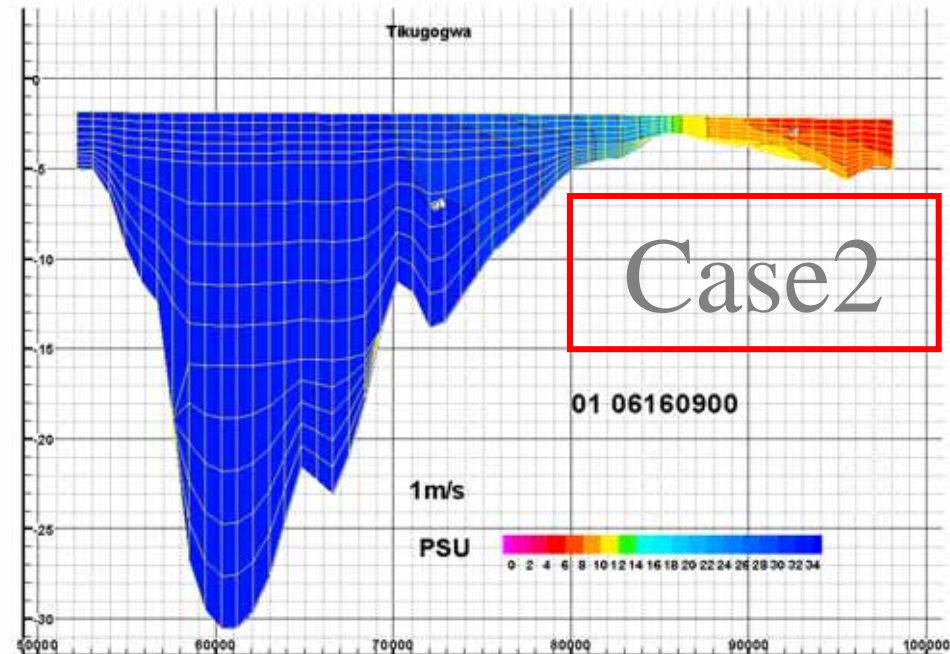
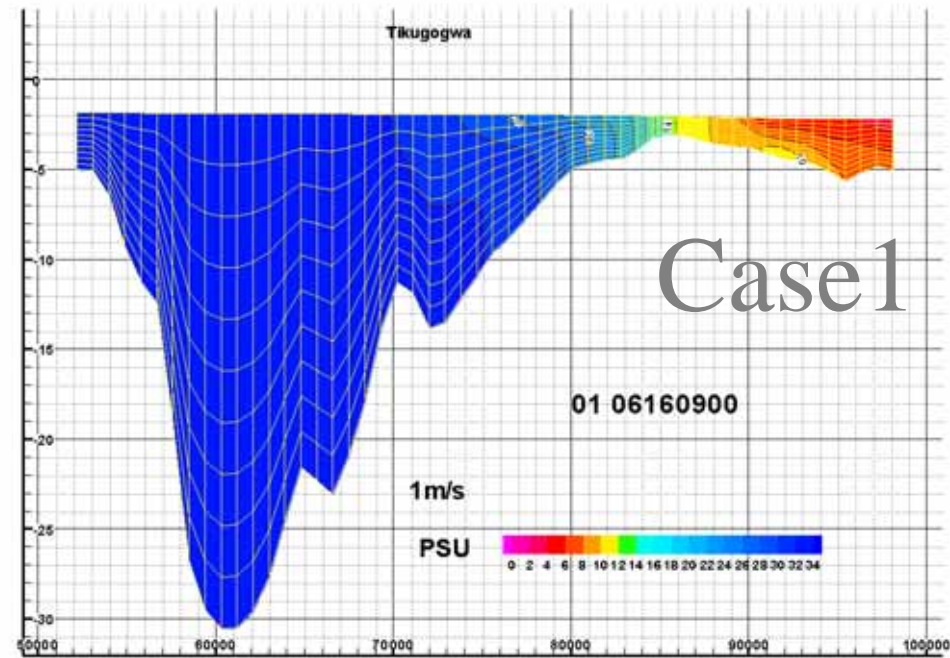
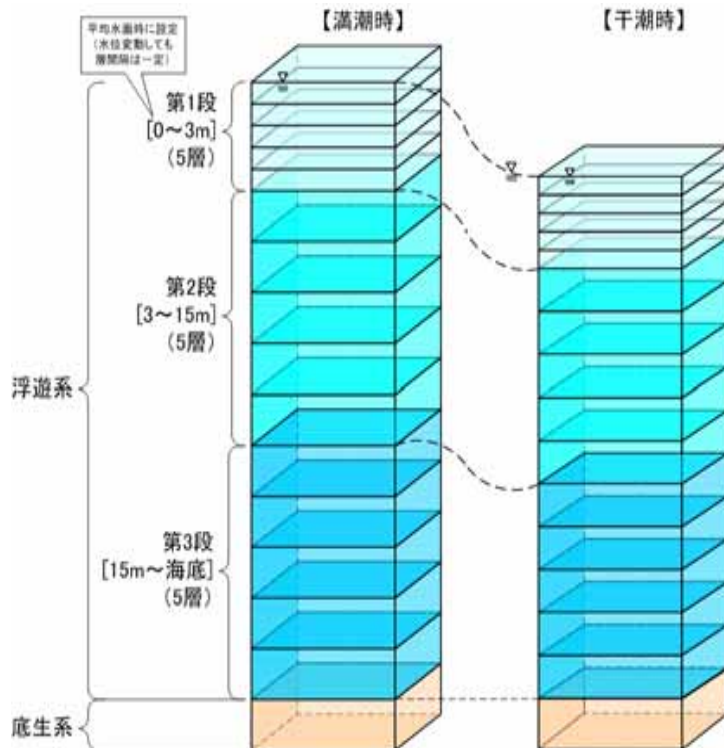
流域水文モデル

(2) 流動モデルの開発

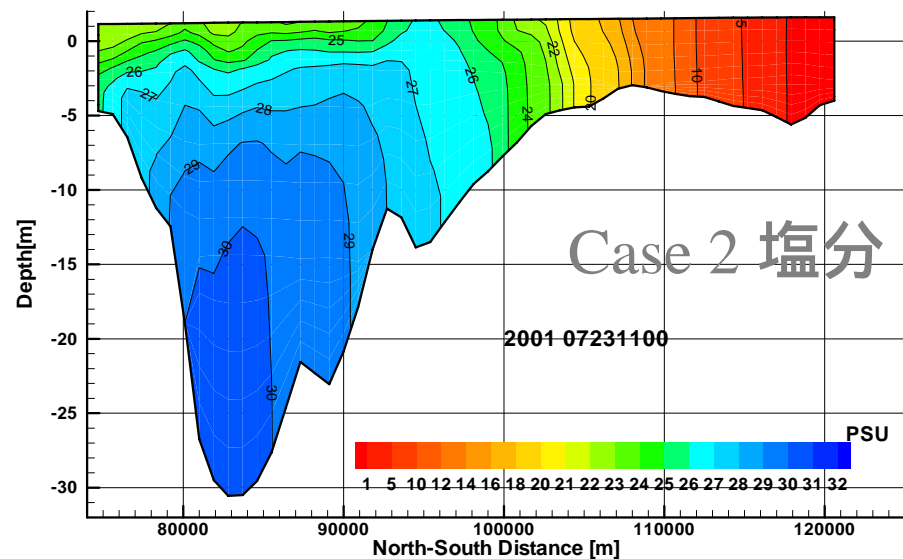
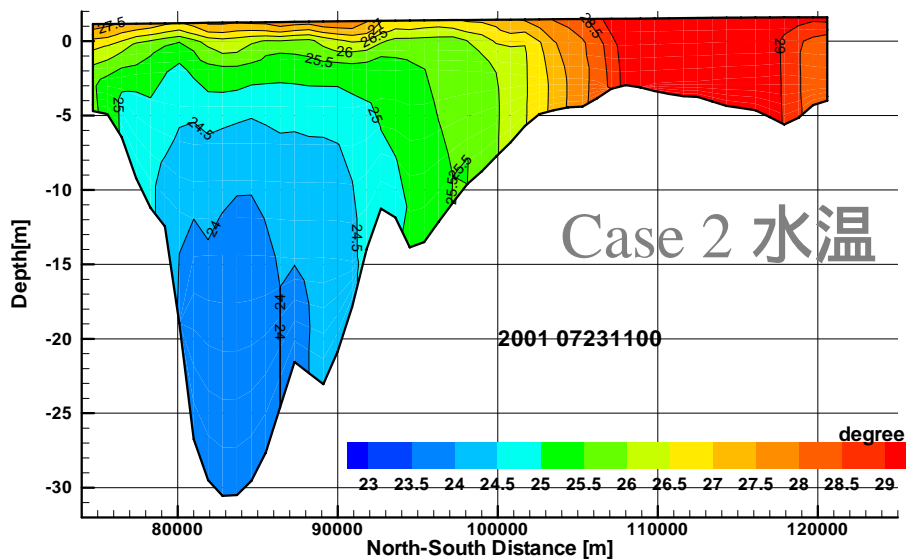
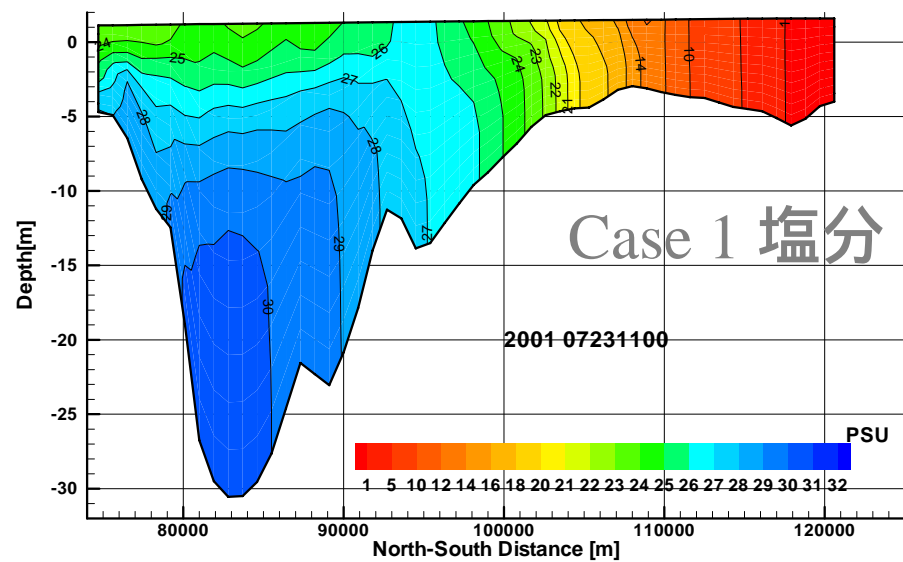
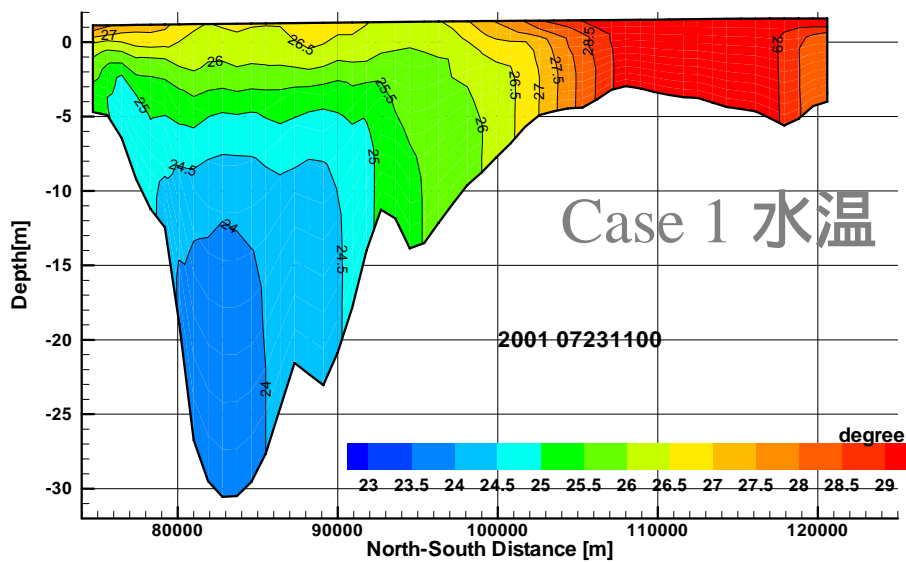
鉛直層分割

(筑後川河口沖断面)

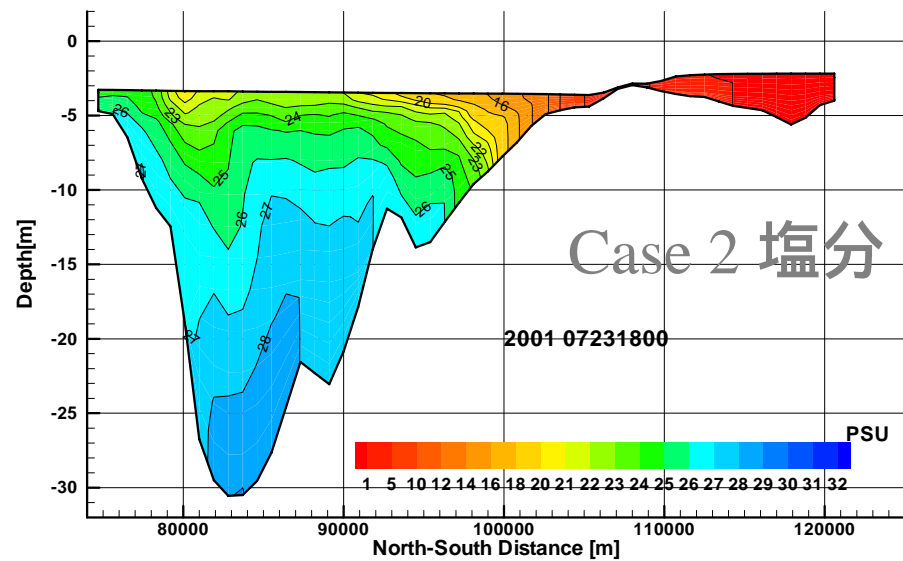
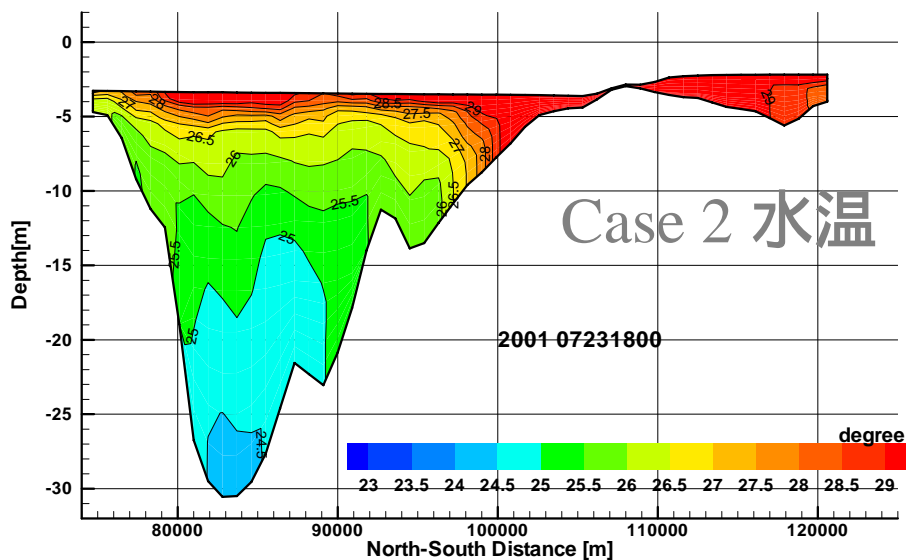
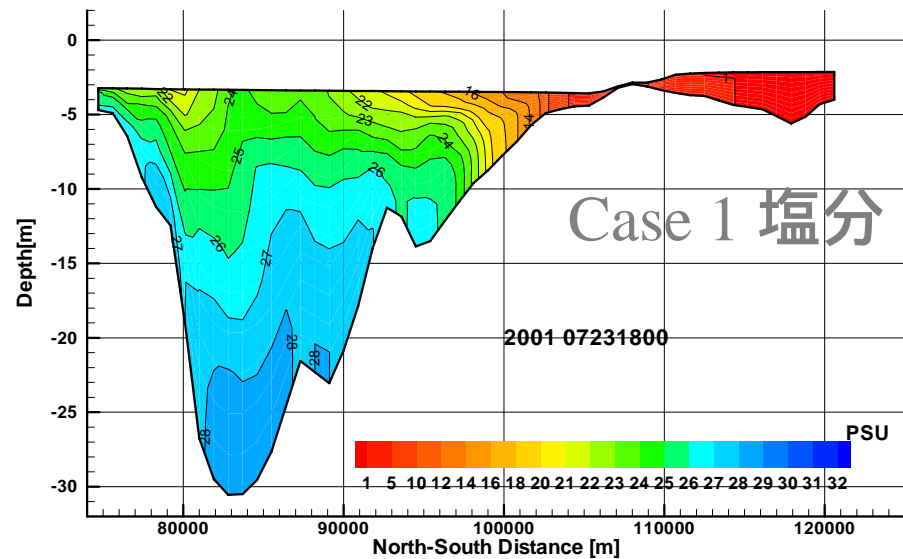
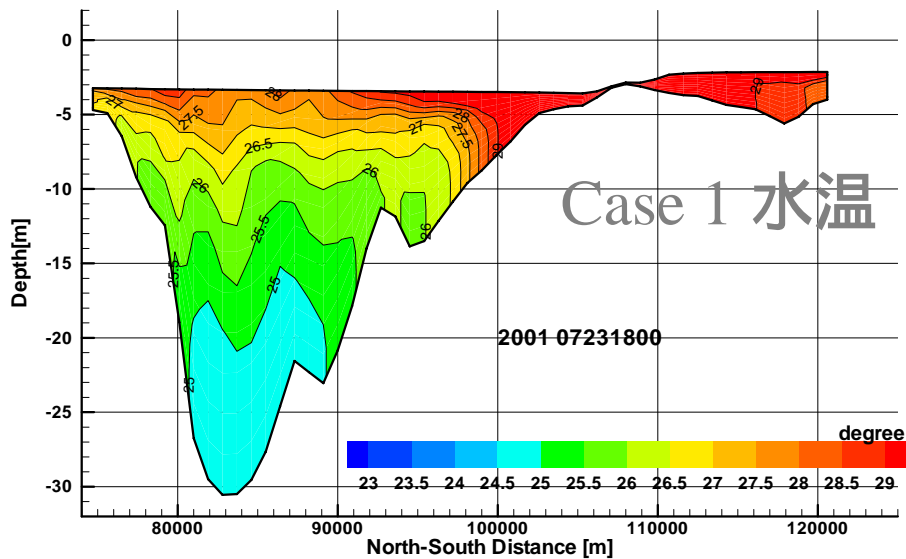
1. 従来の 座標系 (10層)
2. 座標を多段に設定
3. GCS (3段×5層)



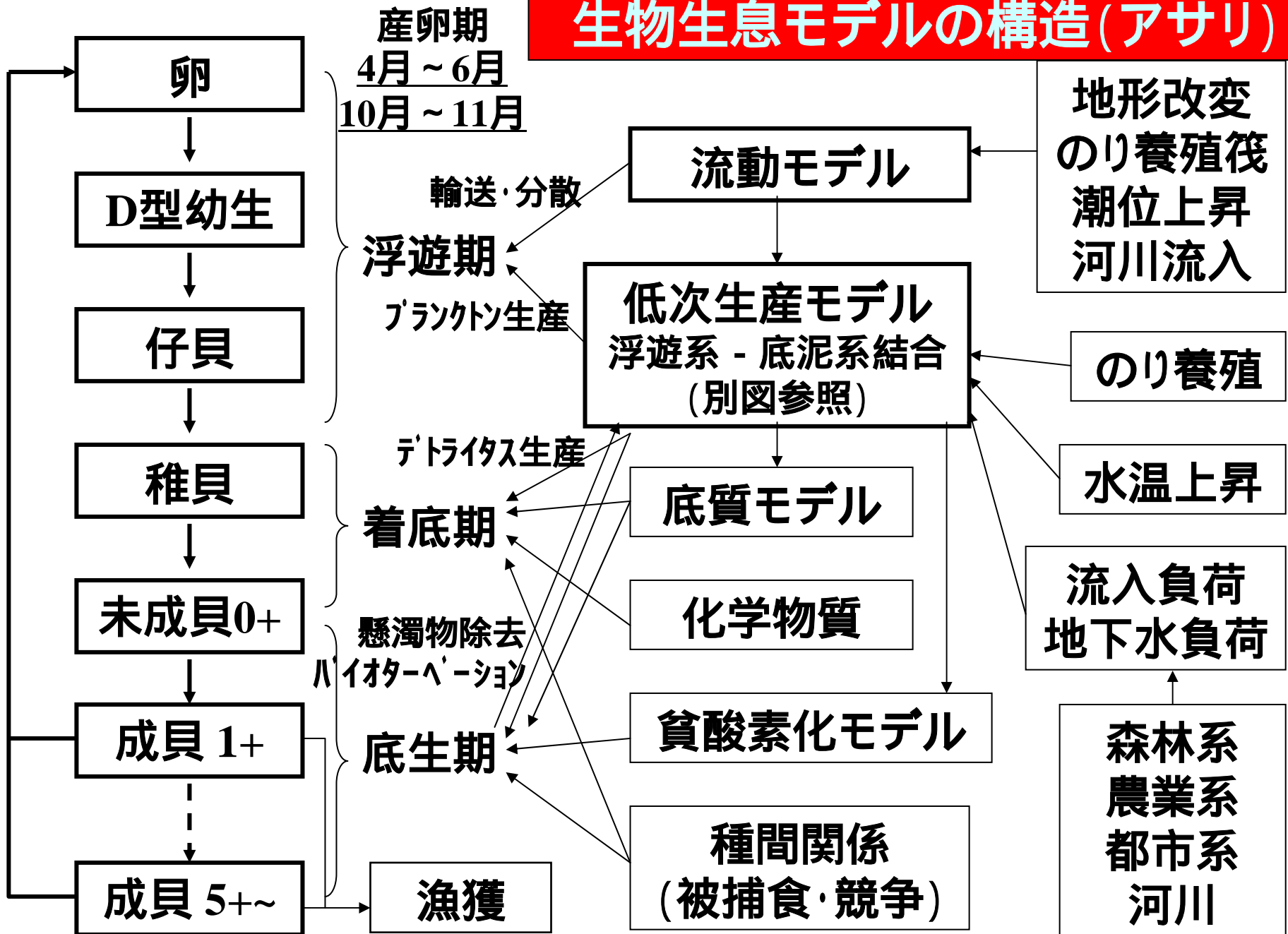
Jul.23,2001 11:00 平水時,大潮期,滿潮



Jul. 23, 2001 18:00 平水時, 大潮期, 干潮

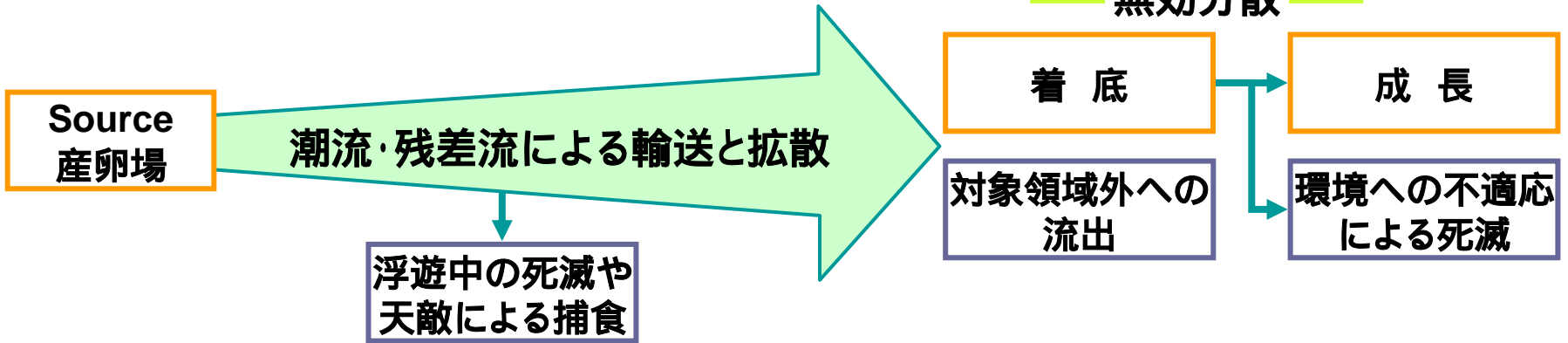
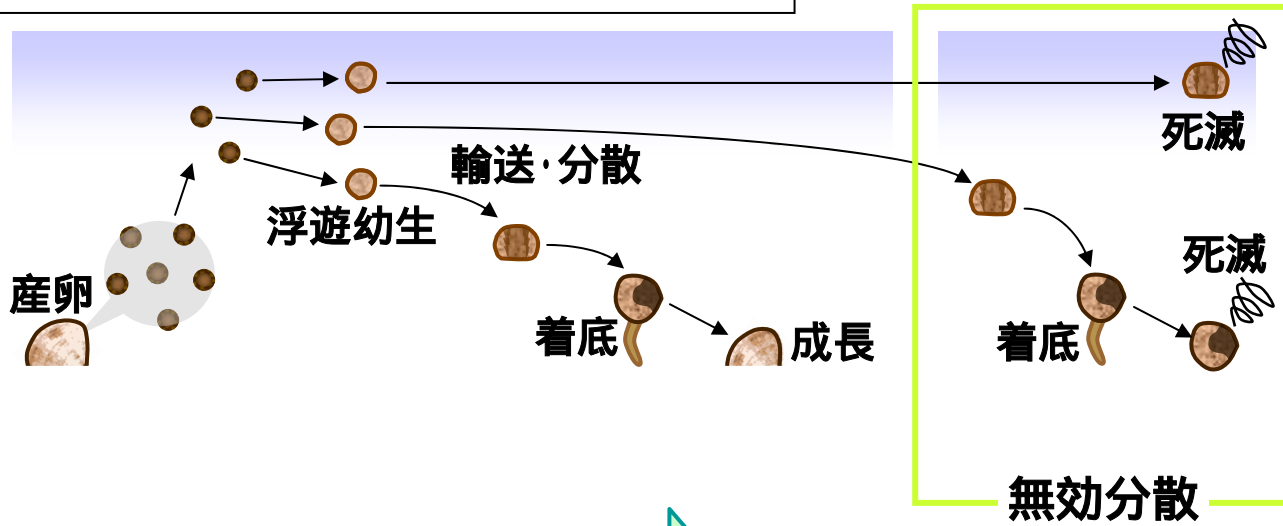


生物生息モデルの構造(アサリ)



貝類の浮遊幼生の輸送・分散

海域の流動と浮遊幼生の輸送・分散



流動サブモデルとLagrange粒子追跡サブモデルの
カップリングによる浮遊幼生の輸送モデル

低次生産モデルとの
カップリングによる
生物生息モデルの高度化

個別研究の生物生息モデルへの適用性の検討

現況再現性の向上

感度解析により、効果の
予測・適用範囲の検討

感度解析により、環境劣化の
要因分析・再生への指針

| 生物生息モデルのサブモデル | 領域、過程、パラメータ等 | 有明海の問題解決に必要な未解明事象の検討 | | | | | | | | | | 生物生息環境再生のための個別技術の開発と実証 | | | | | | | | | | 林仮説 ²⁵⁾ 他 | | | | | | | | | | |
|---------------|--------------|---------------------------|--|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---|---|--|---------------------------------------|---|---|----------------------------------|---------------------------|--|--|----------------------|------------|---------------------|-------------------------|---------------|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|------|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | A1 | A2 | B1 | B2 | B3 | C1 | D1 | D2 | | | |
| | | 1 野域地下水によるスケールアップ推定(九大・神) | 2 低次生産過程を支配する栄養塩や微量物質の農地からの供給過程(農工研・中) | 3 底質機能の微生物学的評価と改善技術の検討(熊大・沿岸・滝川) | 4 底生生物の生息に関わる底質化学環境の検討と改善手法(熊本県立大・堤) | 5 赤潮プランクトンの成育・競合特性の解明と対策手法(九大・農・本城) | 6 底質環境に及ぼす陸由来のフミン質影響(九大・農・大槻) | 7 有明海底質からの腐食物質抽出とそのコロイド機能研究(佐大・理工・宮島・滝澤) | 8 非水産対象生物を主とする生物生息状況(九大・理・森) | 9 海水温上昇による魚類影響調査(長大・水・山口) | 10 干潟の物質収支の高精度把握(熊大・工・田中) | 11 放射性年代測定や物理分析等による堆積物の特性把握(熊大・沿岸域・秋元・松田) | 12 海底堆積物、海底・海中環境の硫化酸素等の音響的観測(NPOみらい・青山) | 13 困餵提と覆砂・耕耘混合による底質改善技術の実証実験(佐大・低平地・林) | 14 干潟海域の生物特性調査並びに再生実証実験(佐大・低平地・荒木・日野) | 15 底質改善材料の開発並びに改善効果の持続性調査(日本建設技術(株)・原・松尾) | 16 底質環境の変動要因分析に基づく改善技術の開発と実証(熊大・沿岸域・滝川) | 17 水圧利用型自然循環方式の底質改善技術(熊大・沿岸域・秋元) | 18 中の有害物質除去技術(熊大・自然科学・中田) | 19 水圧利用型自然循環方式の底質改善および水産生物利用栄養塩系外取り出し技術(九大・楠田) | 20 ファイトレメデイエーションによる堆積物中の有害物質除去技術(熊大・自然科学・中田) | A1 海苔の過剰採取並びに酸処理剤の使用 | A2 貝類の過剰漁獲 | B1 諫早干拓潮止め堤、海岸線の単純化 | B2 流入負荷の形態変化(河口堰・ダムの影響) | B3 分水嶺を越えた水利用 | C1 地盤改良の石灰・セメント、凍結防止剤、農薬等の多量使用 | D1 ナルトビエイの増加 | D2 湾海域塩濃度の上昇 | 潮位の上昇、潮位差の減少 | 水温上昇 | |
| 流域モデル | 森林 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 農地 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 河川 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 都市 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 地形 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 潮汐 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 低次生産モデル | 流動モデル | 河川流量 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 海水密度(T,S) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 流入負荷 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 二枚貝生産(漁獲) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 海苔養殖(漁獲) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 水質モデル | 植物pl.の生産 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 植物pl.の呼吸 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 植物pl.の枯死 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 有機物の分解 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 有機物の沈降 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 動物pl.の捕食 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 動物pl.の排糞・排洩 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 動物pl.の死亡 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 底質モデル | 分解 | | () | | | | | () | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 吸脱着・溶存化 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 拡散・巻き上げ | | | | | | | | () | | | | () | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 生活史モデル | アサリ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ムツゴロウ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ... | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

注)林仮説 A.栄養塩の循環メカニズムの崩壊、B.土砂の分級堆積メカニズムの減退(底質の均質細粒化については、底質モデルのパラメータで考慮)、C.珪酸塩類・カルシウム塩類等の異常増加、D.地球温暖化と海面上昇

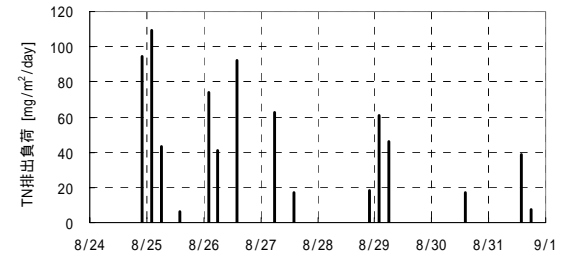
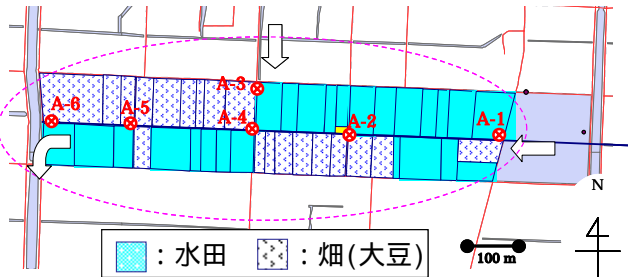
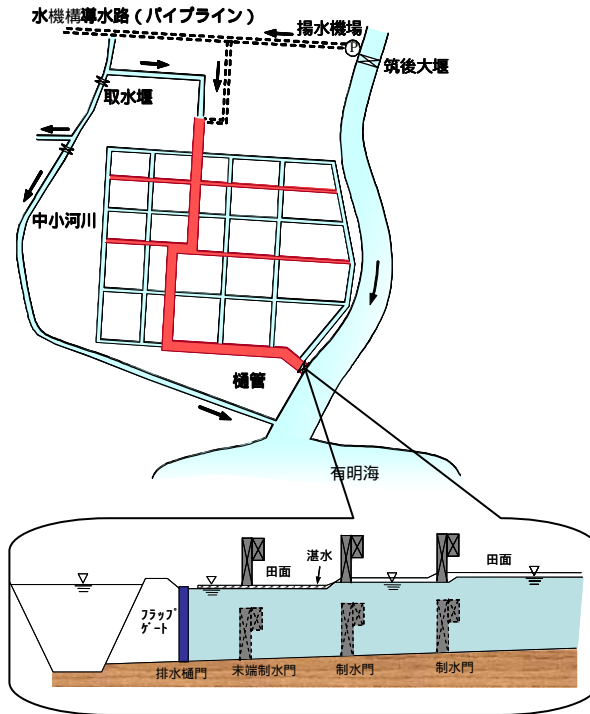
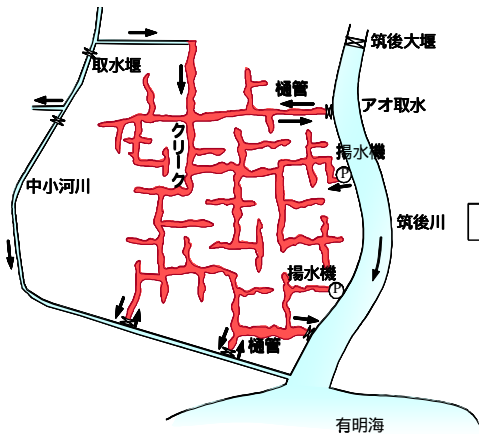
未知事象の解明

クリークに位置する農地からの栄養塩類の供給と移動過程

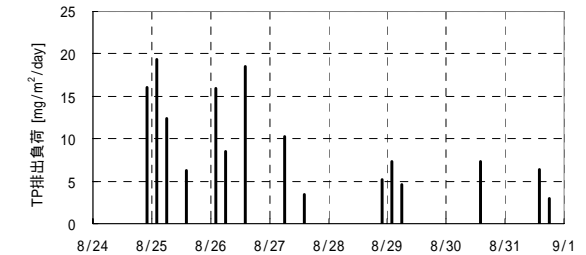
対象農地ブロック
 福岡県柳川市西部に位置
 11.2haの農地ブロック
 観測期間
 2005年8月下旬
 (2006年6月中旬)

クリーク整備前

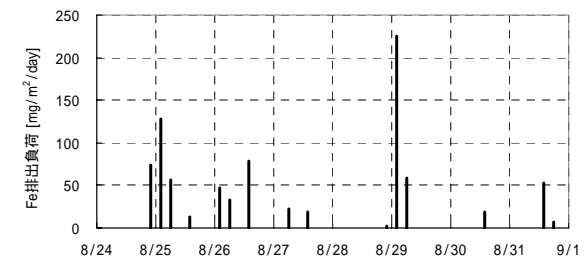
クリーク整備後



全窒素(TN)排出負荷量



全リン(TP)排出負荷量



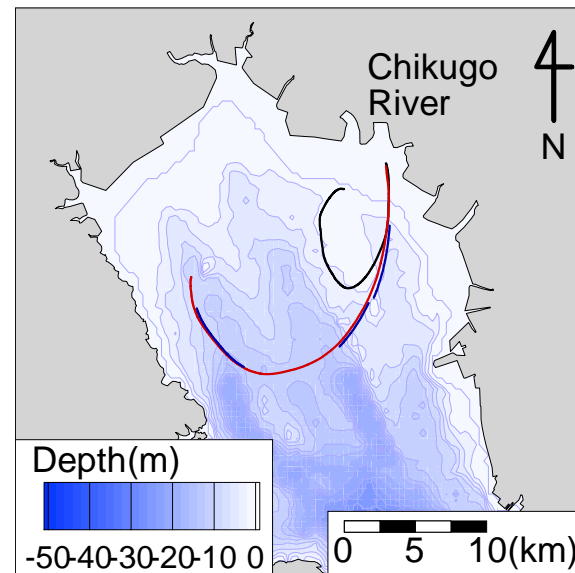
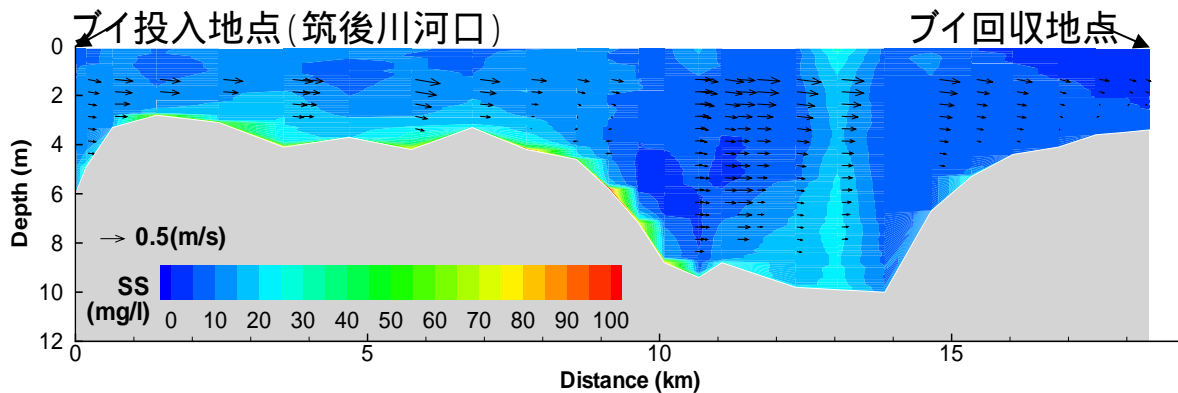
鉄(Fe)排出負荷量

TN : 2.0、TP : 4.2、Fe : 14.9
 単位 : $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$
 調査期間 : 2005.8.21 ~ 9.5

漂流ブイが通過した断面の流動・水質(SS濃度)構造

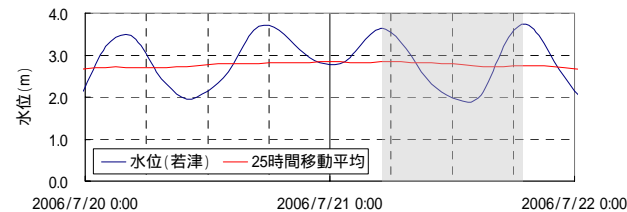
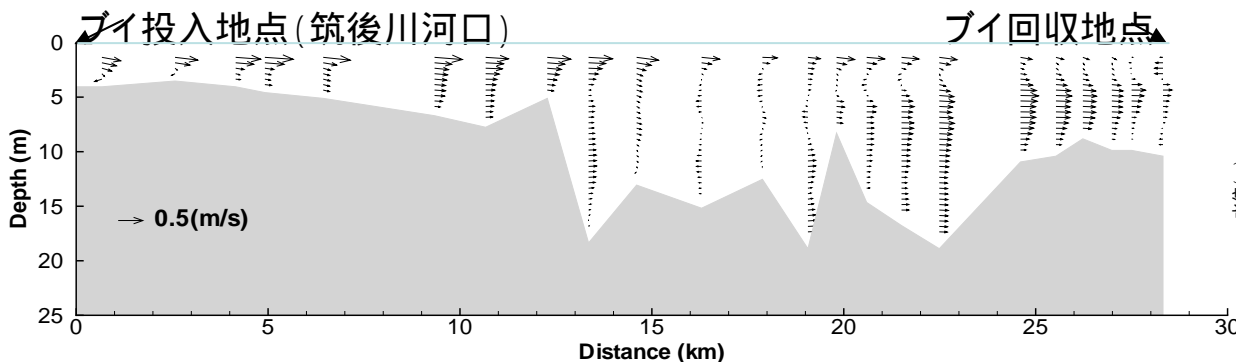
現地観測結果に基づき、表層の懸濁物質の挙動（沈降・密度流現象）を評価し、微細懸濁物質輸送サブモデルのチューニングを行なう。

観測結果の一例



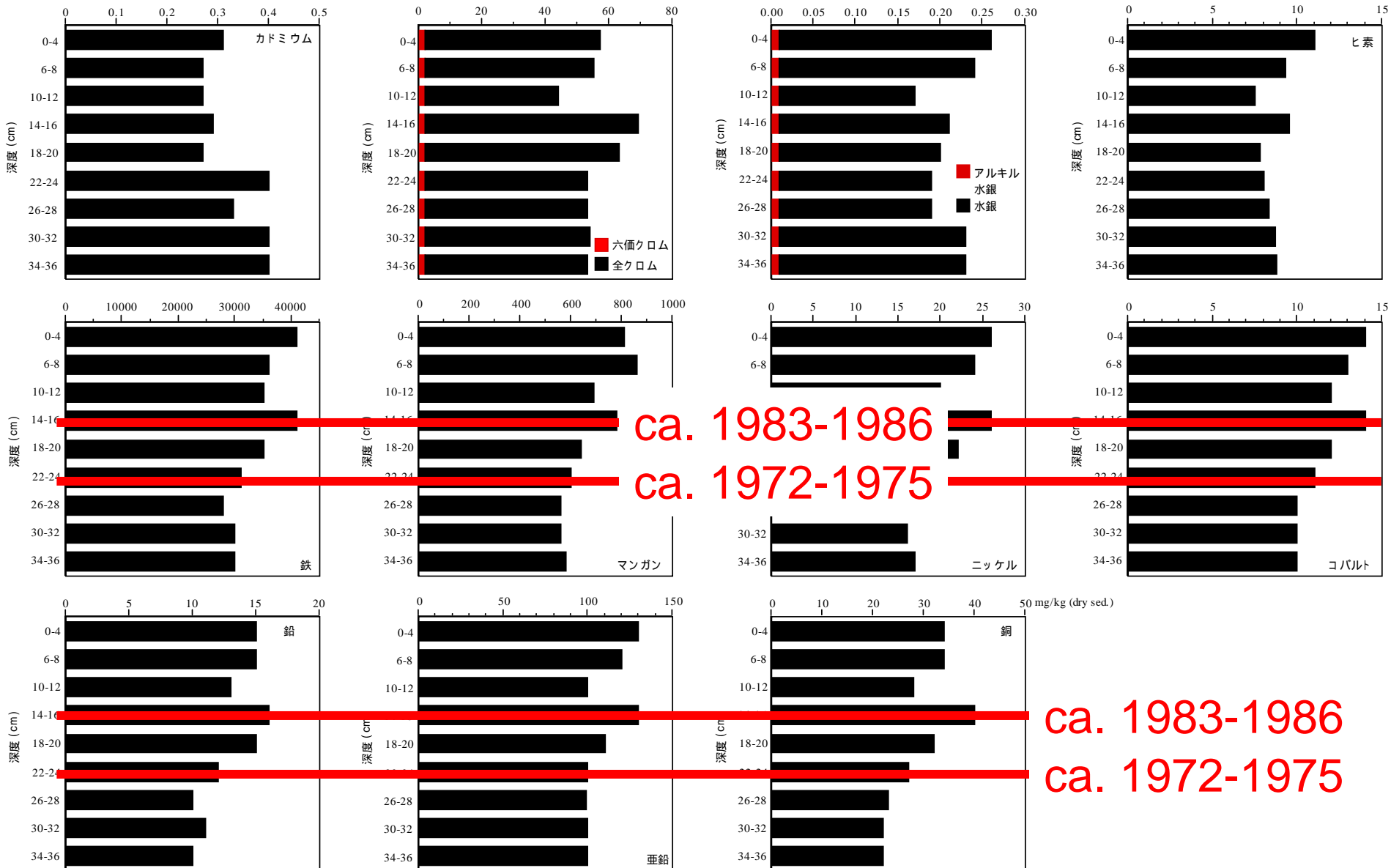
: 2006/ 6/ 7
: 2006/ 7/21

2006/ 6/ 7 (平常時)の観測における流速(ブイの進行方向成分)と濁度から推定したSS濃度



2006/ 7/21 (出水時)の観測における流速(ブイの進行方向成分)

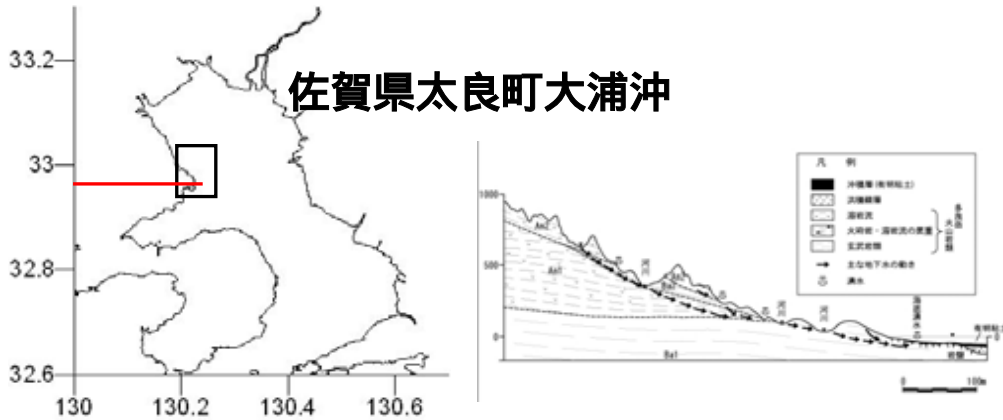
コア分析結果 (重金属の層位変化)



熊本県白川沖の60年間の環境変遷

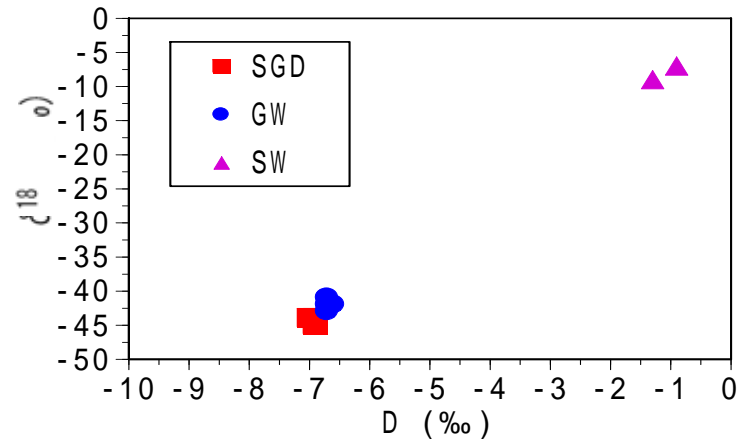
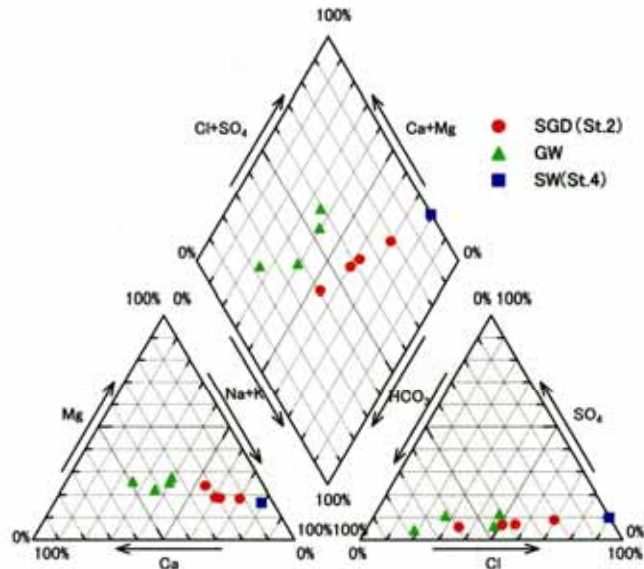
1. 堆積物に大きな変化は認められない。
底質環境は水質の変化に起因している。
2. 1960年代前半に赤潮原因種 (*S. costatum*) が出現し、海底への有機物負荷が発生
1960年までの堆積物には *S. costatum* は無産出 (林, 1964)
3. 1975年頃から窒素が増加した (第1期変化)。
白川および緑川における窒素の増加は1979年 (記録の欠損を補う)。
富栄養化の発生は1980年 (赤潮の記録より8年早い)
4. 1972年頃から始まる有機物の供給の増加は、1980年代中頃に極大に達する (第2期変化)。
BODが、白川および緑川では無変化、坪井川では極大。

海底湧水現地調査結果



St.2における各栄養塩の負荷量

| 項目 | 溶存濃度 (mg/L) | SGD流速 ($\mu\text{m/s}$) | 負荷量 (g/day) |
|------------------|-------------|---------------------------|-------------|
| TN | 0.79 | 20.5 | 1.40 |
| TP | 0.04 | 20.5 | 0.07 |
| SiO ₂ | 29.8 | 20.5 | 52.78 |



酸素同位体比と水素同位体比の関係

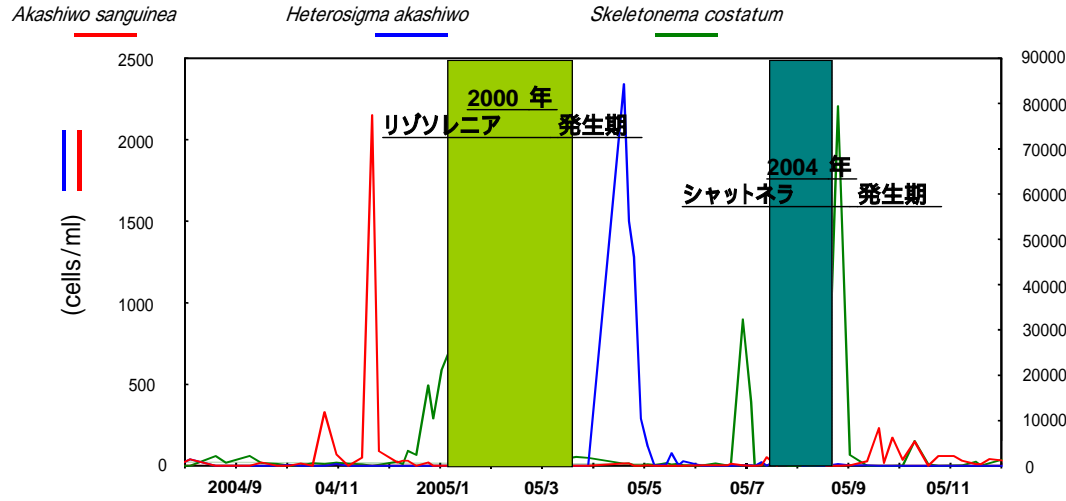
トリニニアードイアグラムによる水質分類
SGD:海底湧水、GW:地下水、SW、海水

本地域における海底湧水は滞留時間の短い浅部帯水層や透水性の高い層を流下してきたもの。酸素・水素同位体比の関係も同様の結果。

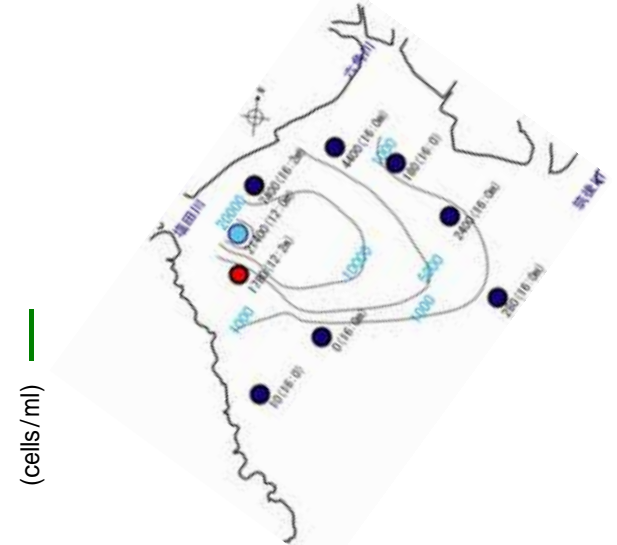
赤潮プランクトンの生育と環境要因の解明

H.akashiwo (05年5月12 or 16日)

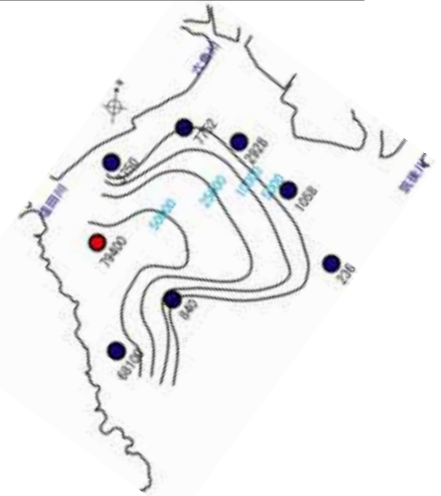
(1) 有明海におけるプランクトンの動態調査



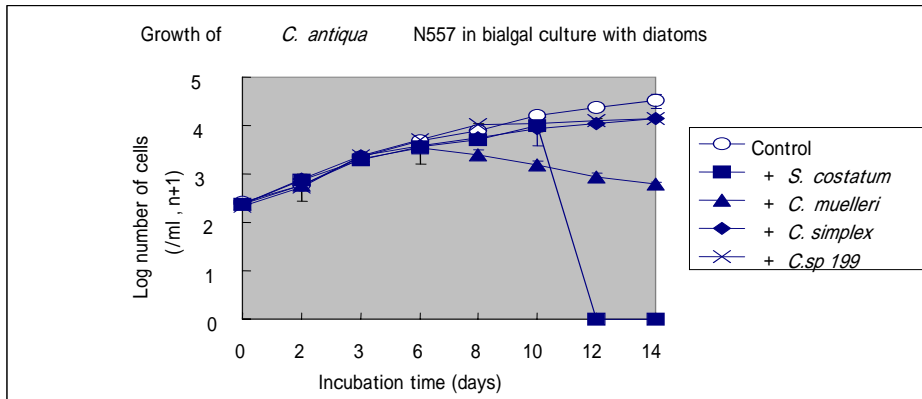
有明海北西部における植物プランクトンの変遷



S.costatum (05年9月9日)

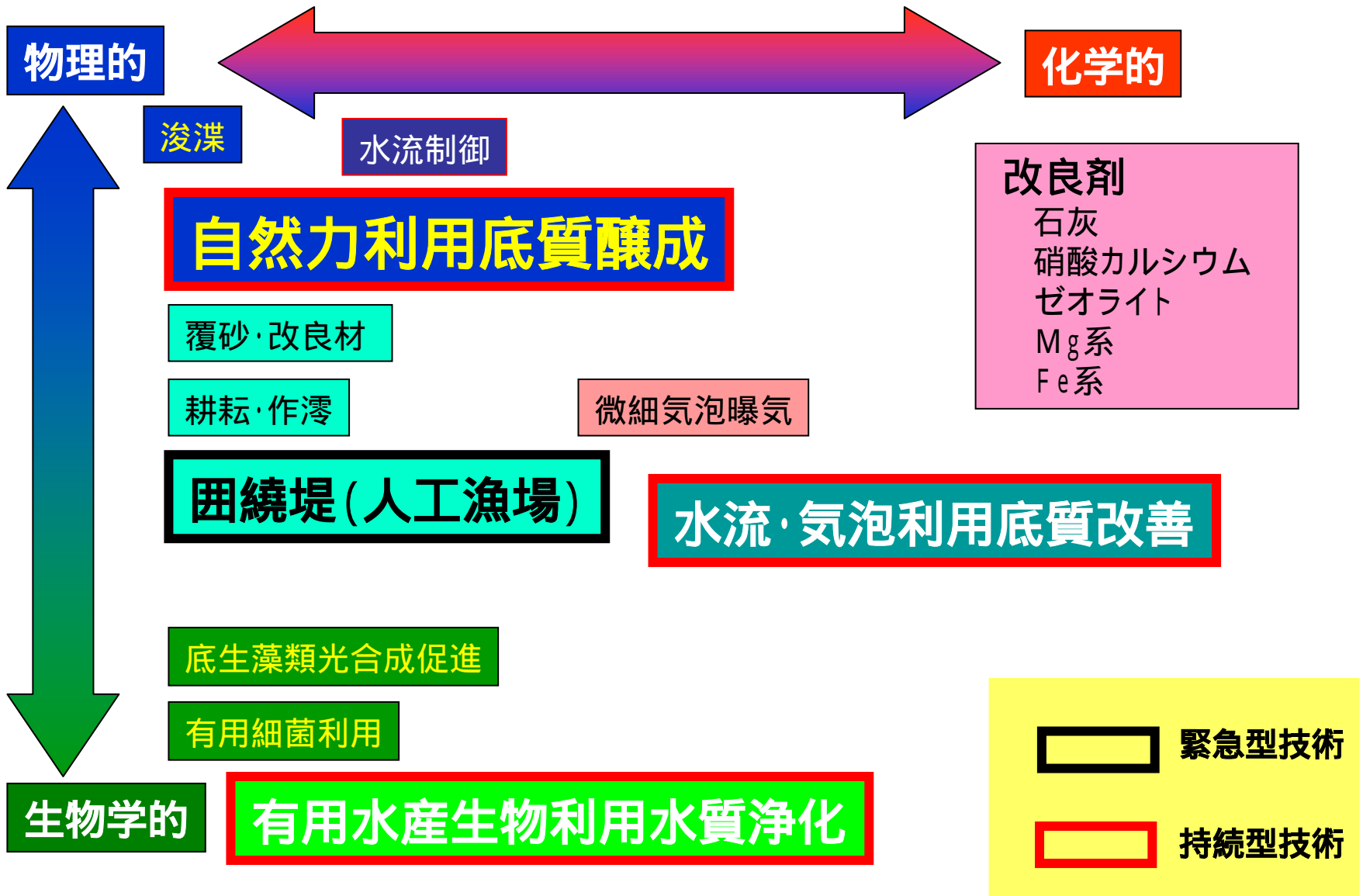


(2) 植物プランクトン種間の競合特性の解明



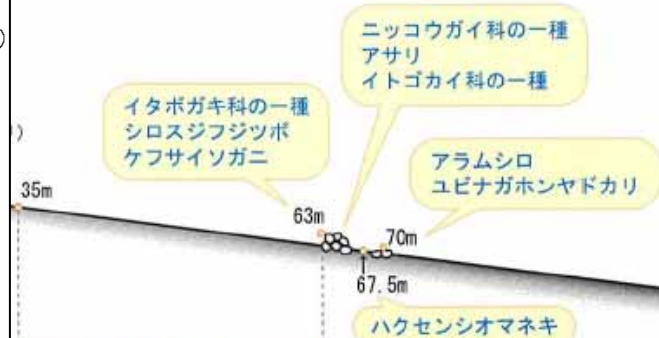
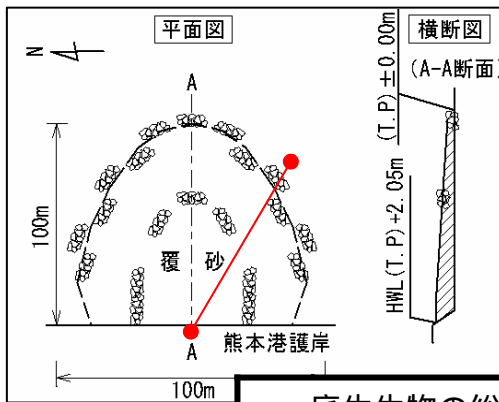
シャットネラと数種珪藻類との混合培養試験

生物生息環境再生に関わる個別技術



干潟なぎさ線の回復技術現地実証試験

生態系回復追跡調査 (熊本港東干潟なぎさ線の生物生息状況)



| 底生生物の総出現種類数 | |
|-------------|-----|
| 2006年4月 | 13種 |
| 2006年6月 | 20種 |
| 2006年8月 | 24種 |



熊本港東干潟なぎさ線
 面積：100m × 100m
 底質：砂質～砂泥質
 特徴：自然干潟と連続した地形や生態系を創造するため、覆砂の流出を防ぐための潜堤をカデナリー曲線形に設定し、ちどり状に配置してある前浜干潟。



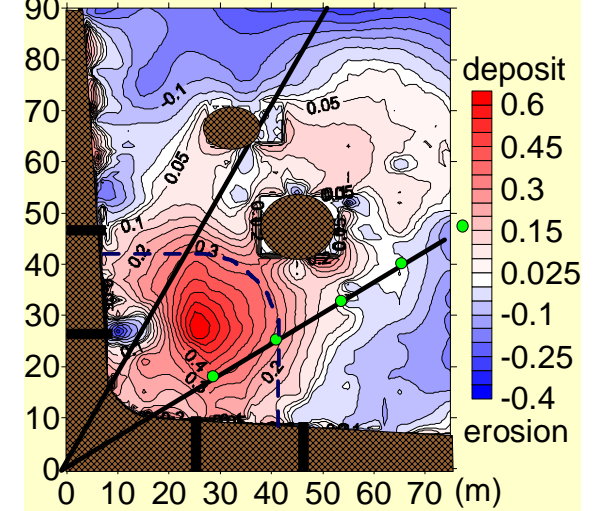
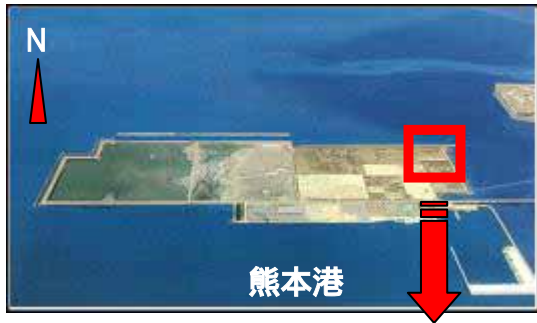
熊本港北干潟なぎさ線
 面積：40m × 60m
 底質：砂質～砂泥質
 特徴：熊本港近傍の航路浚渫土砂を有効活用して造成した前浜干潟。波当たりが強く、干潮時の汀線付近に造成する等、東干潟なぎさ線とは異なる条件となっている。



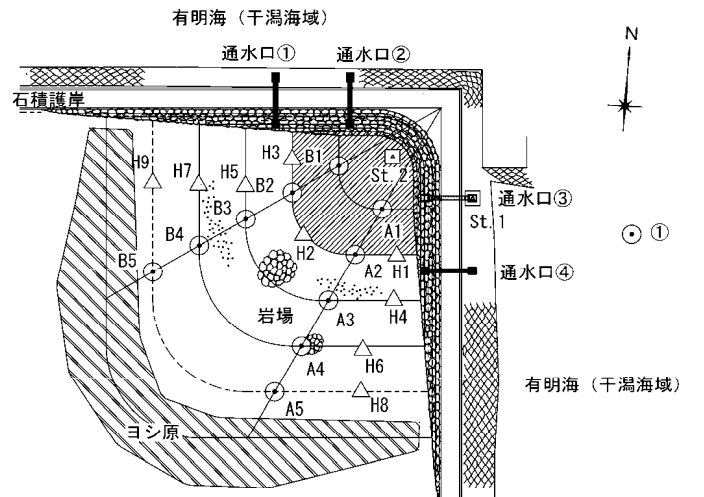
熊本港野鳥の池
 面積：100m × 100m
 底質：泥質
 特徴：浚渫土砂を用いて建設された熊本港の一角を掘削して造成された潟湖干潟。4本の通水管が設置されており、潮汐の干満によって自由に海水が出入りしている。



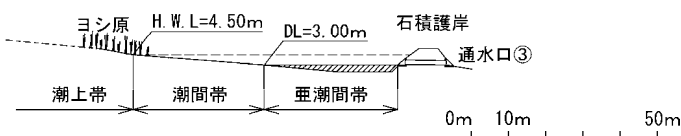
人工潟湖干潟における物質収支機構



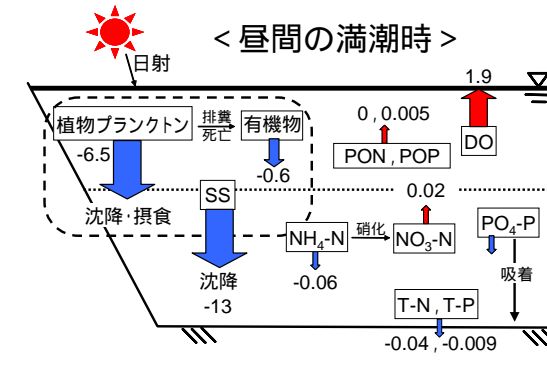
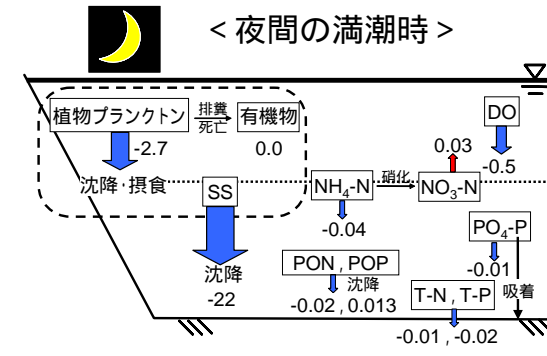
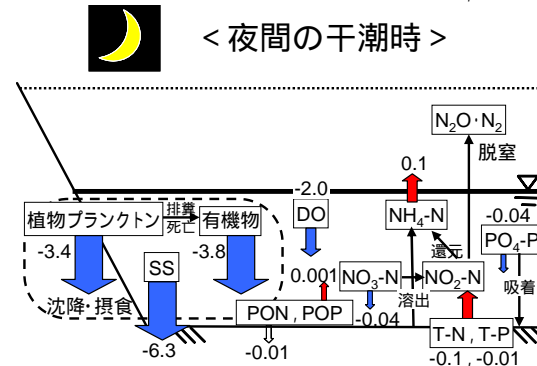
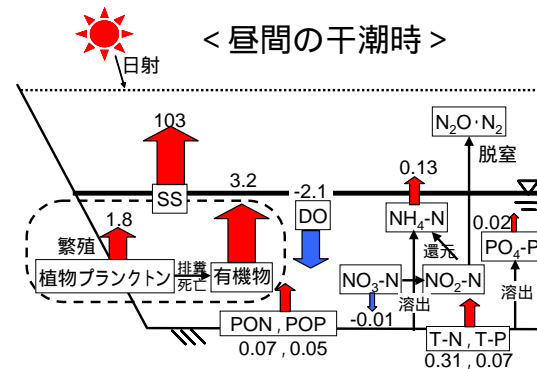
地盤高変動量 (2002 ~ 2005年)



○ 底質調査地点 □ 水質調査地点 △ 巣穴観測地点

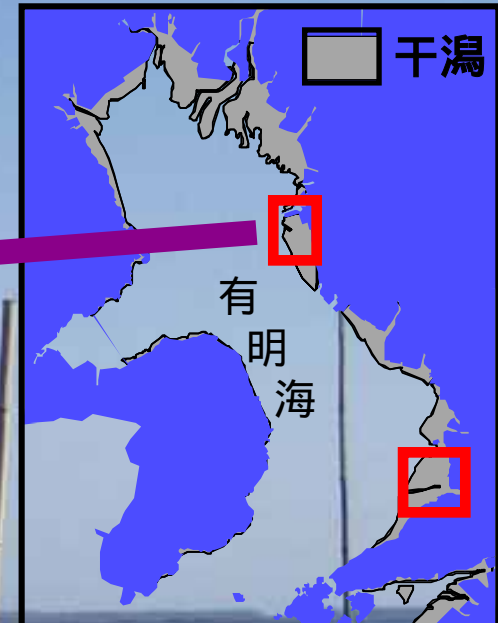
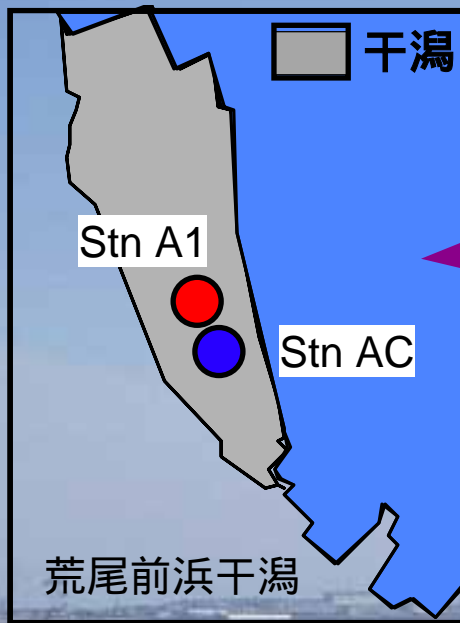
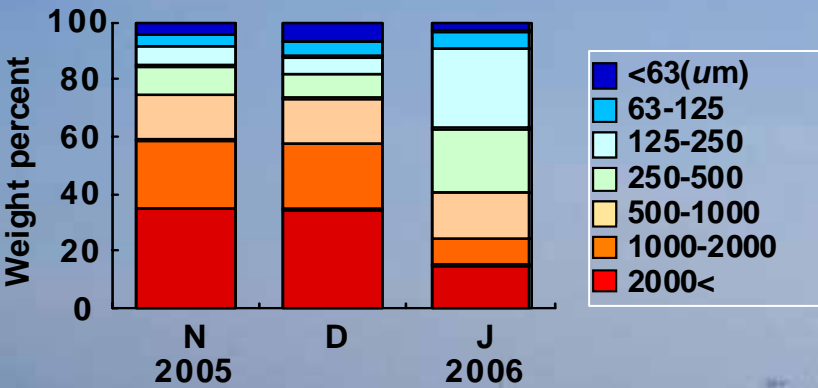


人工潟湖干潟「野鳥の池」の概略

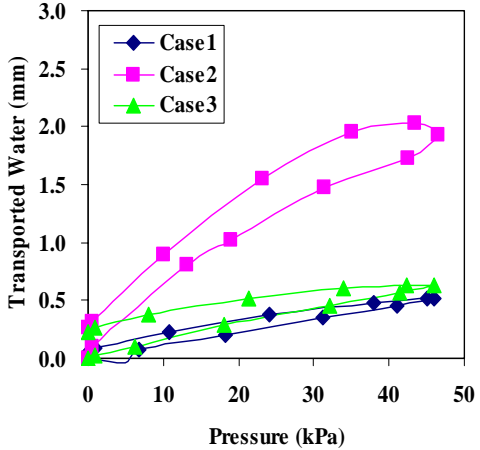
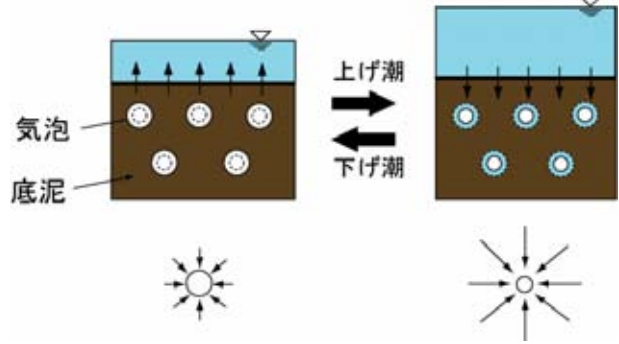


干満, 昼夜による物質収支量

クリンカアッシュによる覆砂

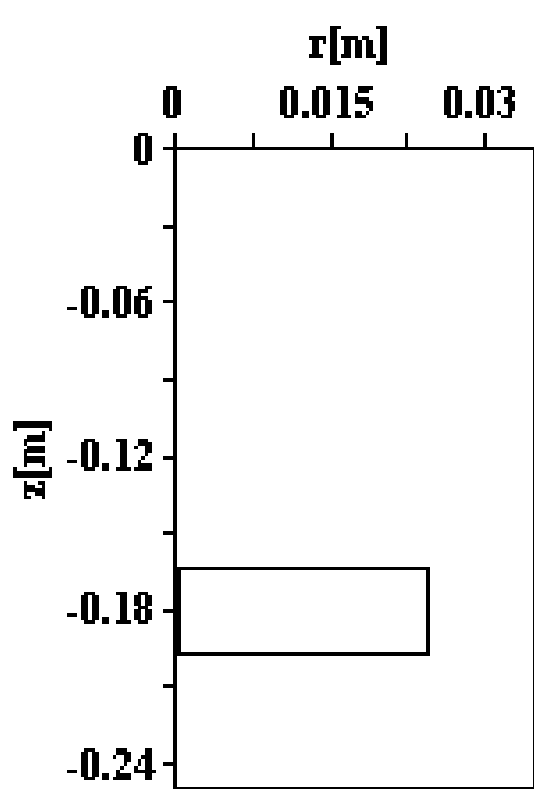
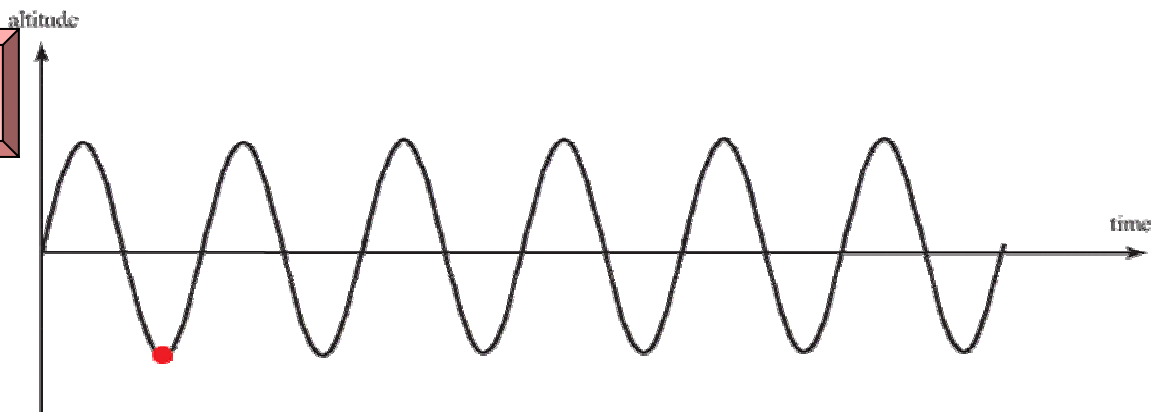


気体保持装置による底質改善

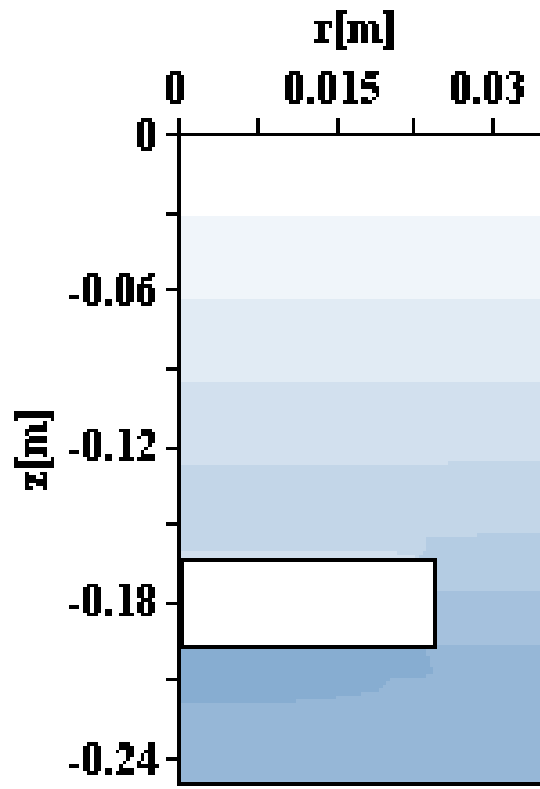


移動水量測定結果(実験値)

間隙水圧変動



$k=1.0 \times 10^{-4} \text{cm/s}$



$k=1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$

pressure(kPa)

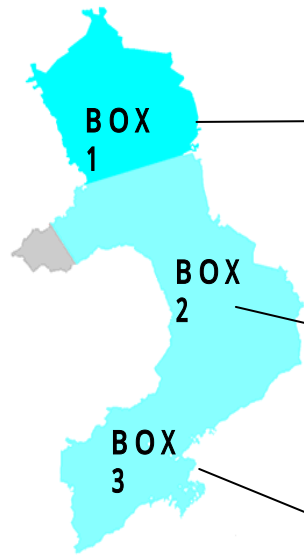
パラメータ
 $Z_o=0.25\text{m}$
 $R_o=0.035\text{m}$
 $h_1=0.20\text{m}$
 $h_c=0.058\text{m}$
 $R_i=0.025\text{m}$
 $V_o=30\text{cm}^3$

牡蛎による水質浄化



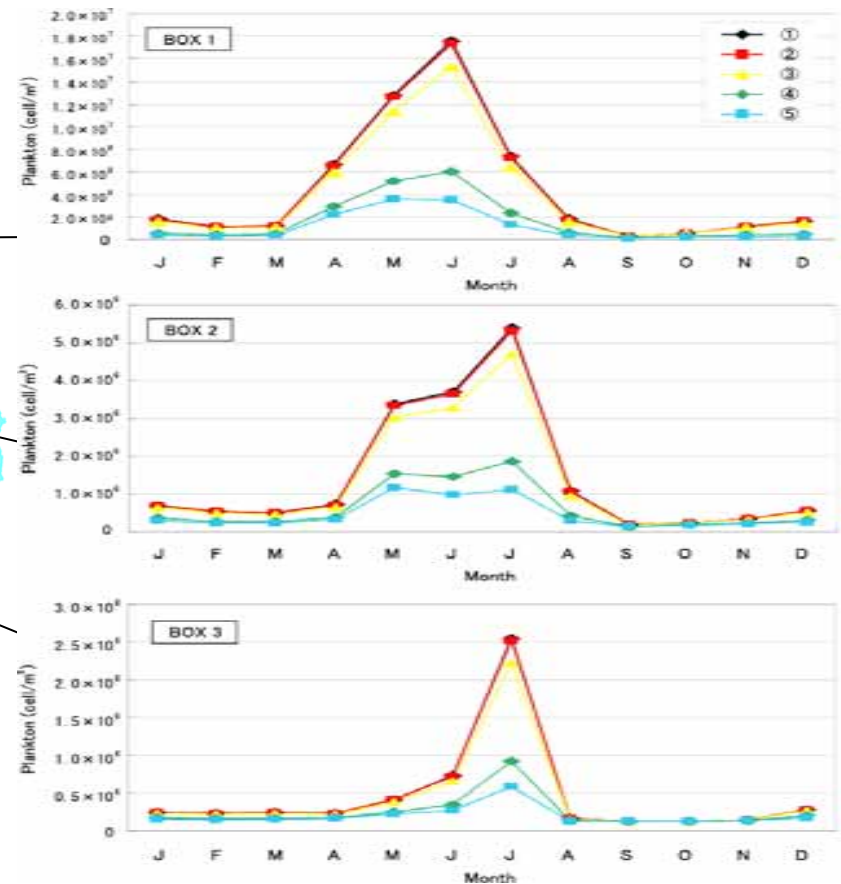
生育試験結果

- (a) カキの成長速度は0.02 ~ 0.15g/day
- (b) カキ軟体部は, C : 23 ~ 45% , N : 4.0 ~ 8.5% , CN比は5.1 ~ 6.4
- (c) 各個体の濾水速度は, 0.15 ~ 1.28L/h/ind
- (d) 各個体のカキ呼吸速度は0.14 から1.88mg-O₂/h/ind

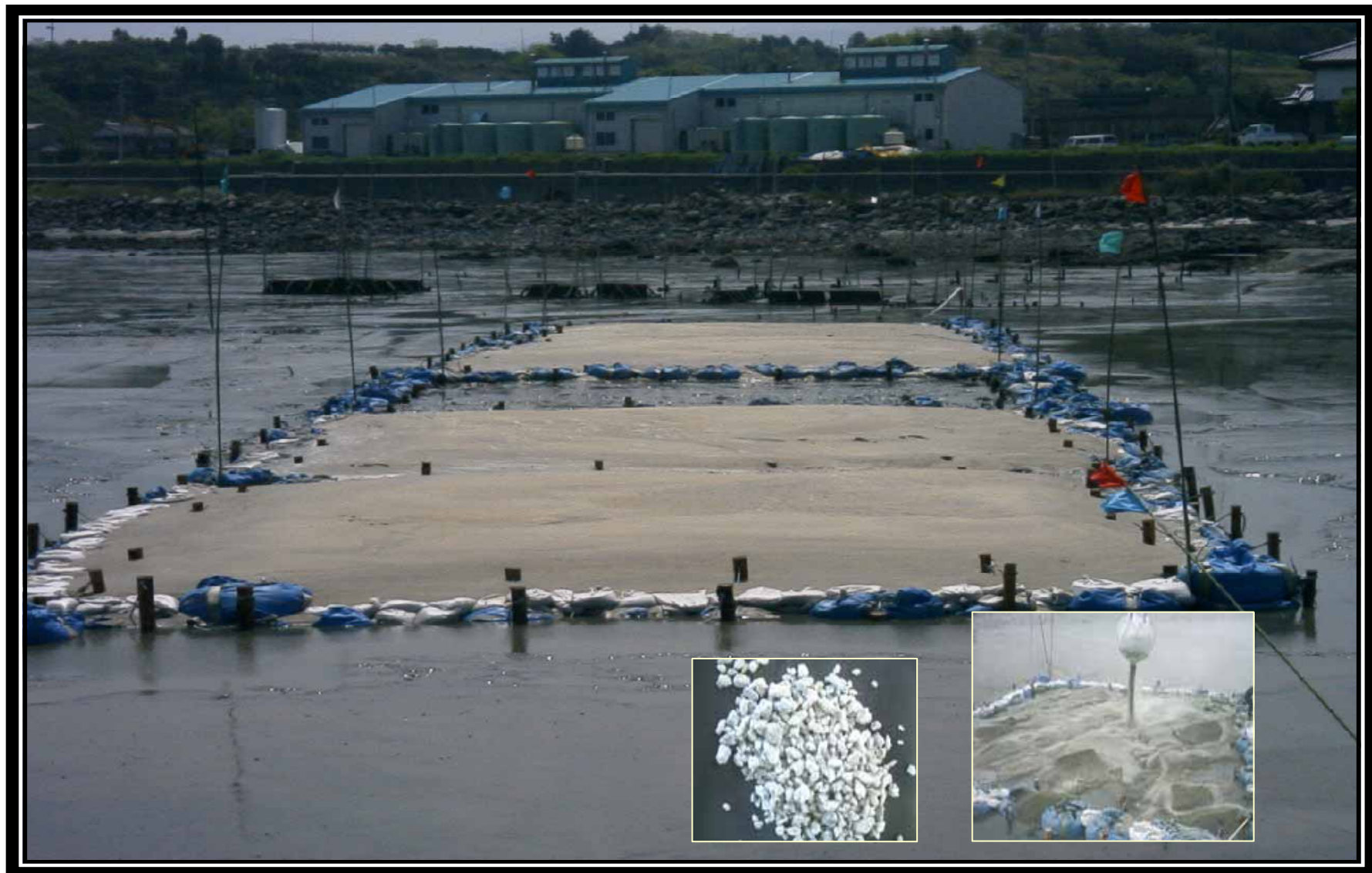


現状

- 増加量 : 1,000,000個体
- 増加量 : 10,000,000個体
- 増加量 : 100,000,000個体
- 増加量 : 200,000,000個体

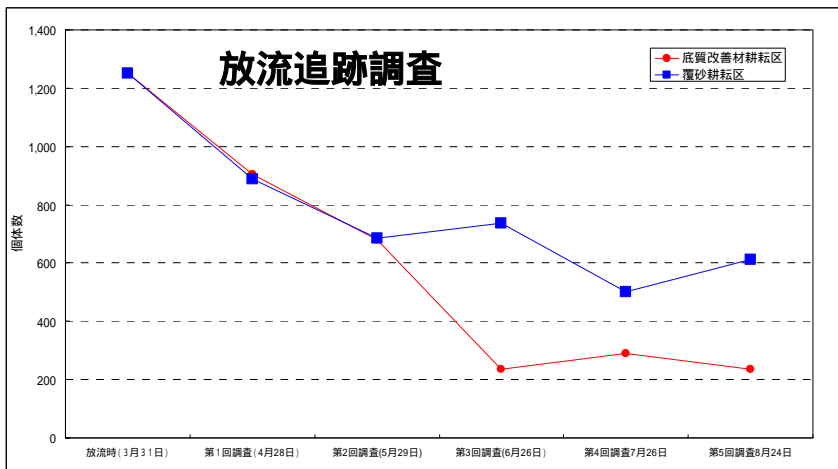


干潟域における囲繞堤・底質改善(比較試験フィールド)



放流稚貝追跡調査

囲繞堤を構築し、堤内を覆砂・耕耘混合する底質改善技術の効果を実証

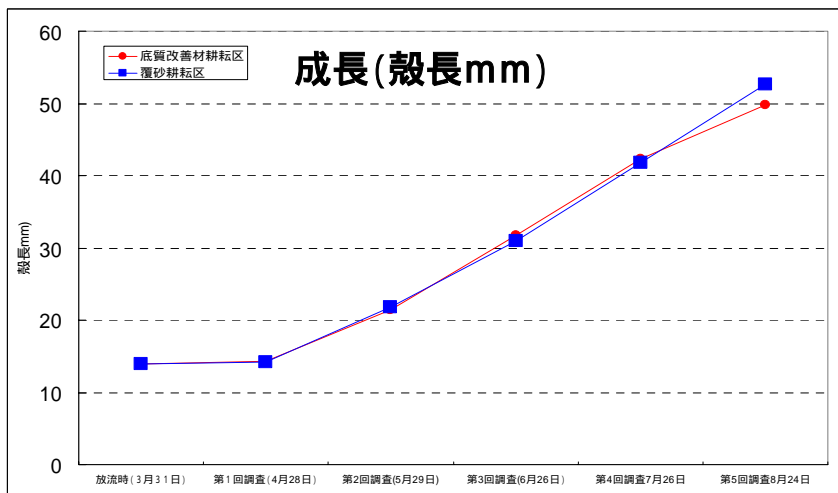


・底質改善区と対照区とでORP, AVS, ILに顕著な差は見られない

・生物攪乱効果に、底質改善区内のアゲマキ放流場所と放流していない場所とで、差は生じていない。

・平成18年3月に底質改善区内にアゲマキ稚貝を放流して追跡調査した。

8月までの検出率は覆砂耕耘区は49.1%であったのに対し、底質改善材を加えて耕耘した区では18.8%であった。成長はともに殻長50mmと差がなかった。



今後の計画

- ★ 有明海の全容をできるだけ把握できるように、干潟の観測線を設置
- ★ 非水産対象生物の全域調査
- ★ 地下水による負荷の全域算定技術の開発
- ★ 堆積物含有化学物質の調査
- ★ モデルによる個別技術の機能評価とシミュレーションによる感度解析
- ★ 点観測値の面平均値化手法・技術の開発
- ★ 再生に向けた社会事象の考慮
- ★ 俯瞰型再生手法の確立

「今の学者、ただ箇々のこの心この物について論究するばかりなり。小生は何とぞ心と物が交わりて生じる事(人界の現象と見て可なり)によりて究め、心界と物界とはいかにして相異に、いかにいて相同じきところあるかを知りたきなり」(南方熊楠)

御清聴有難うございました

