

連携排砂に関する調査・検討計画（案）について

排砂土砂凝集沈降シミュレーションの概要

1. 目的

これまでの海域濁り拡散シミュレーションは、物理現象に基づくものが主であり、微細粒子や微生物による化学的な影響は、計算に考慮されていないものであった。そこで今回、新たな3次元モデルを構築し、精度の向上を図った。

2. 予測手法について

予測の目的と手法について下記にまとめる。

- (1) **沈降・拡散予測** (河川から排出された土砂が、どの地点に、どの程度の量が沈積するか)
海流によって流されると同時に、海域の乱れにより濃度を薄めながら沈降する現象を解析する。
- (2) **漂流予測** (海底に堆積している土砂が、どこから流れてきたのか)
土砂が海域の乱れによって散らばって沈降していく過程(漂流経路)を辿ることにより解析する。
また逆自跡によって何処から流れてきたかを推定する。

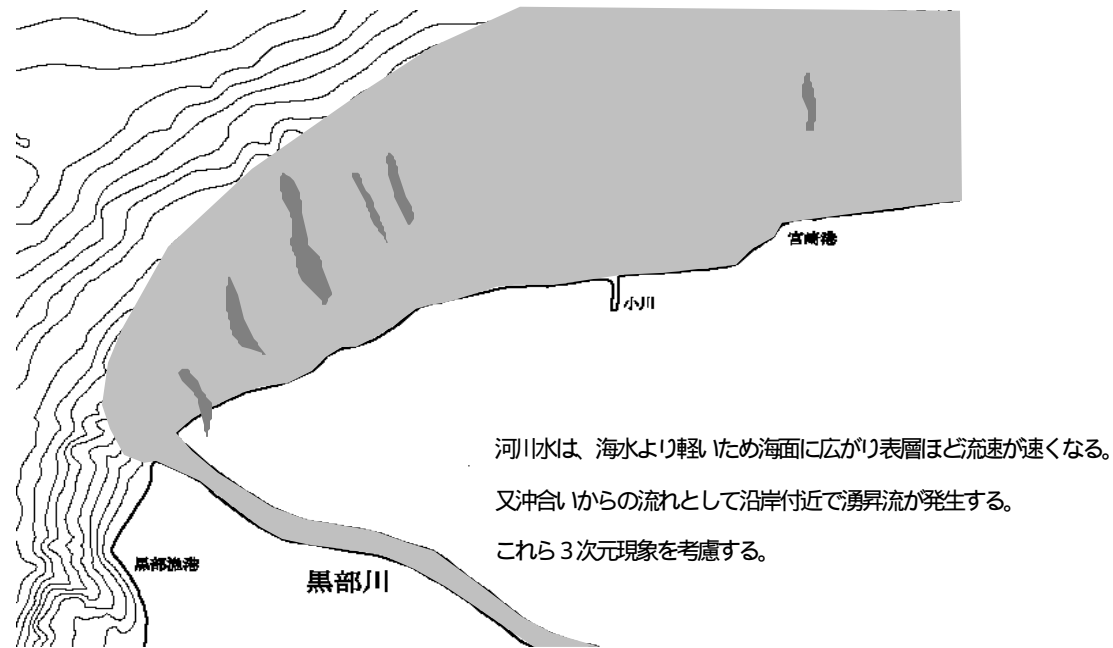
3. 予測モデルの検討

(1) 沈降・拡散予測 (凝集沈降シミュレーション)

濁りの移動は、海流によって支配されているためできるだけ正確な流れを推定することが重要である。特に沈降を検討する際には、鉛直流の推定が重要となり、海の濁度によって、海水の密度が変化することも考慮する必要がある。

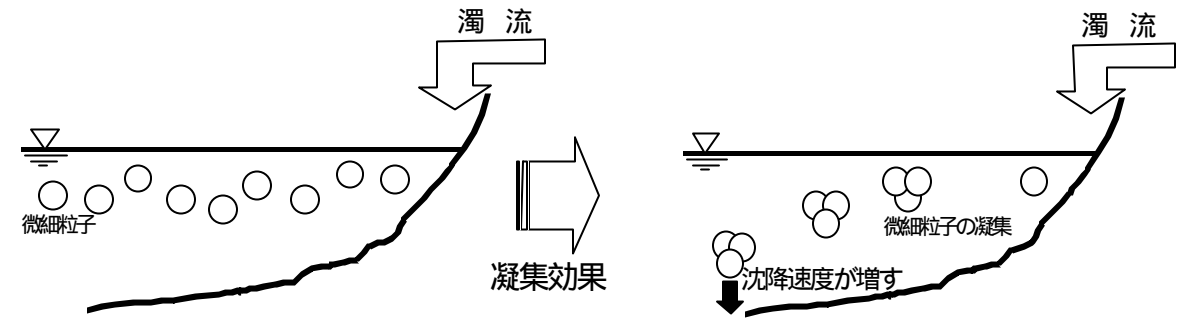
従来手法との主な相違点は、以下の通りである。

A. 運動方程式は、鉛直流速を精度良く求めるため正3次元モデルとする。

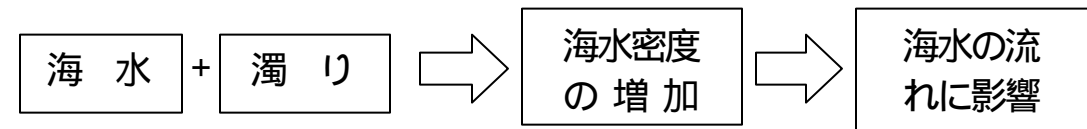


(海底の地形情報もシミュレーションに取り入れモデル化を行う)

B. 河川から海域に排出された際の土粒子間にイオン凝集効果が働くことを考慮する。



C. 海水の密度を水温・塩分・濁度で定義し、濁水は密度効果を通じて運動に影響する。



基礎式は以下の通り。

運動方程式: 海水にある力が働くと海水はある加速度で動くという運動量保存の法則に基づき流速を計算する。

(水平方向)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} + A_x \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + A_y \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + A_z \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial y} + A_x \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + A_y \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + A_z \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \quad (2)$$

(鉛直方向)

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} + A_x \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + A_y \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + A_z \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + g \frac{\rho - \rho_f}{\rho} \quad (3)$$

連続式: 海のある一部分を考えた場合の出入りする水の量は等しいという質量保存の法則を表す。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

熱拡散方程式: より求めた流速から水温を計算する。

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (K_x \cdot \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \cdot \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \cdot \frac{\partial T}{\partial z}) + \frac{1}{C_p} \frac{\partial}{\partial z} (Q_1 - Q_0) \quad (5)$$

塩分拡散方程式： より求めた流速から塩分濃度を計算する。

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial S}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial S}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (K_x \cdot \frac{\partial S}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \cdot \frac{\partial S}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \cdot \frac{\partial S}{\partial z}) \quad (6)$$

濁質の拡散方程式： より求めた流速から濁質濃度を計算する。粒子の沈降と凝集効果を考慮

$$\frac{\partial D_f}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial D_f}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial D_f}{\partial y} + w \cdot \frac{\partial D_f}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (K_x \cdot \frac{\partial D_f}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \cdot \frac{\partial D_f}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \cdot \frac{\partial D_f}{\partial z}) + \frac{\partial w_{of} D_f}{\partial z} - \alpha D_f + \beta D_f \quad (7)$$

状態方程式

海水密度：海水密度は、水温と塩分の関数で、国際海水状態方程式として定められている。

$$\rho = \rho(T, S) \quad (8)$$

濁水密度：濁水密度は、海水の密度と土粒子の密度および濁水の濁度関数として表す。

$$\rho = \rho_f \left\{ 1 + \frac{T_u}{1000} \left(\frac{1}{\rho_f} - \frac{1}{\rho_s} \right) \right\} \quad (9)$$

ここで、

t：時間

x, y, z：座標軸

u, v, w：x, y, z方向の流速成分

g：重力加速度

A_x, A_y, A_z：渦動粘性係数

d：粒径

T：水温

K_x, K_y, K_z：渦動拡散係数

Q₁：大気との熱交換量

D_f：濁質粒度 f の濁質濃度

f：対象とする濁質粒度

：濁質粒度 f の凝集逸脱による粒度 f の濃度低下係数

：濁質粒度 f₀ の凝集加入による粒度 f の濃度増加係数

W_{of}：濁質粒度 f の沈降速度

P：圧力

f：水の密度

s：土砂粒子の密度

T_u：濁水の濁度 $T_u = \frac{1}{K \cdot d^m} \int_0^\infty D_f \cdot dd$

K, m：濁質の種類で決まる定数

dd：粒径方向の積分記号

S：塩分

C：比熱

Q₀：初期水温における大気との熱交換量

但し、海表面以外の格子では Q₁ = Q₀ = 0

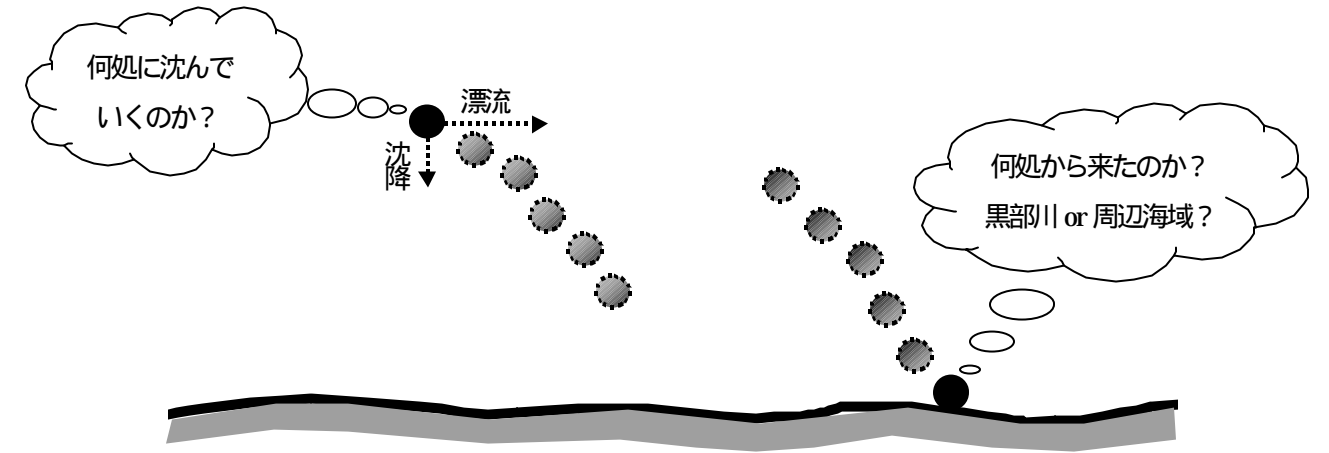
D_{f0}：濁質粒度 f₀ の濁質濃度

f₀：凝集により濁質粒度 f に移る濁質粒度

(2) 漂流予測 (粒子追跡シミュレーション)

海底に堆積している土砂について粒子レベルで解析する手法であり、下記の2通りの追跡方法がある。

- ・順自跡：河川から流出した土砂がどこに堆積するのかを推定
- ・逆自跡：堆積している土砂が何処から流れてきたのかを推定



今、3次元の流速ベクトル $u=(u,v,w)$ があらゆる点で求められているとする。粒子が時刻 $T = n \quad t$ に X^n にあったとすると、時刻 $T = (n+1) \quad t$ における位置 X^{n+1} は、次式で表現することができる。

$$X^{n+1} = X^n + u \cdot t + R \quad (10)$$

ここで、

X^{n+1} ：時刻 $(n+1) \quad t$ における粒子の位置

X^n ：時刻 $n \quad t$ における粒子の位置

u ：凝集沈降シミュレーションによって得られた流速

t ：計算時間間隔

R ：海域の乱れや沈降による移動量

4. 予測に必要なデータの整理

シミュレーションにあたっては、下記のデータが必要であり整理・解析を実施していく。

- ・排砂時の出水量、濁度、粒度組成等のデータ
- ・水温、塩分、海域の流れ等の海域データ
- ・気温、風向・風速、湿度、日照等の気象データ
- ・微細粒子の凝集と沈降に関する知見データ etc.

出し平ダム底質実験（海水培養試験）の概要

1. 目的

出し平ダム貯水池内の土砂が排砂によって富山湾沿岸海底に堆積し、その結果として沿岸域の底質に変化を及ぼす可能性を室内実験によって検討する。底質の変化については底質の有機汚染指標(水産資源保護協会)を用いて評価する。

2. 実施時期

今春に採泥を行い、約1年間かけて実施する。

3. 試験方法

出し平ダム貯水池の底泥と黒部河口付近の海底直上水を混合し、一定期間定温培養し、土砂組成および性状の変化を追跡する。(右図参照)

4. 試験条件

試験条件を下表に示す。

表2 試験条件の概要

試験区名称	各試験の目的	水温	酸素	光	繰り返しサンプル	測定頻度	測定項目
湖底泥 + 湖水培養試験	海水実験系のコントロール 湖底における変質検討	下記2条件 常温性微生物増殖最適増殖温度 25	下記2条件 開放(空気供給条件) 密封条件(空気未供給条件)	暗条件のみ (底泥中の変化を再現するため)	1サンプル	測定頻度: 1回/2-4ヶ月	底泥の悪化は含有成分と溶出成分に分かれるため、底泥含有成分と間隙・直上水成分に分けて分析する。測定成分の区分は表3に示す。
湖底泥 + 海水培養試験	湖底泥が沿岸に排出された場合の底質の変質の可能性を検討	富山湾海底年平均水温 15 (検討)					
湖底泥 + 落葉 + 海水培養試験	湖底泥に落葉が混在した場合の底質の変質の可能性を検討						
海底泥 + 海水培養試験	湖底泥系試験のコントロール 海底泥の変質の可能性						

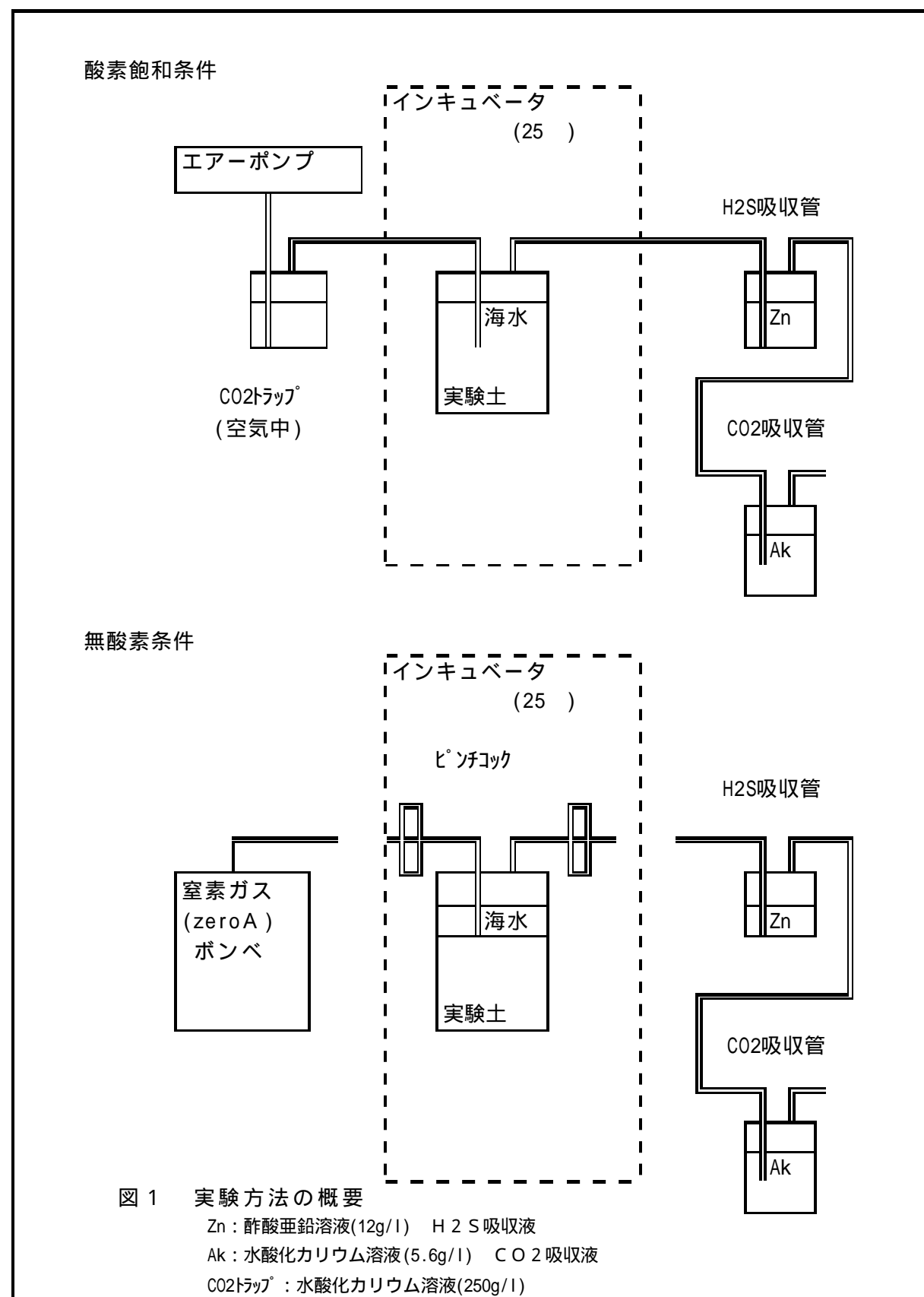
(参考) 有機汚染指標(合成指標) : 「底質改良事業実施指針」S60.3(社)水産資源保護協会

$$\begin{aligned} \text{有機汚染指標} = & 0.310 \frac{\text{COD} - 23.5}{23.5} + 0.170 \frac{\text{IL} - 11.7}{11.7} \\ & + 0.868 \frac{\text{T-S} - 0.504}{0.504} + 0.273 \frac{\text{T-N} - 1.82}{1.82} \\ & + 0.141 \frac{\text{T-P} - 0.618}{0.618} + 0.166 \frac{\text{Mud} - 68.3}{68.3} \end{aligned}$$

但し、COD: 化学的酸素消費量 (mg/g)

IL: 強熱減量 (%)
T-S: 全硫化合物 (mg/g)
T-N: 全窒素 (mg/g)
T-P: 全燐 (mg/g)
Mud: 泥分 (%)

	有機汚染指標
汚染の始まりかかった泥	0以上
汚染泥	1以上



生物調査に関する知見の整理ならびに既往調査の実績について

1. 海底底生生物（ベントス）のモニタリング調査について

連携排砂による海域環境（特に生態系）への長期的影響を監視・把握するために、海底ベントスについて種類組成や現存量の調査を継続して行うこととする。

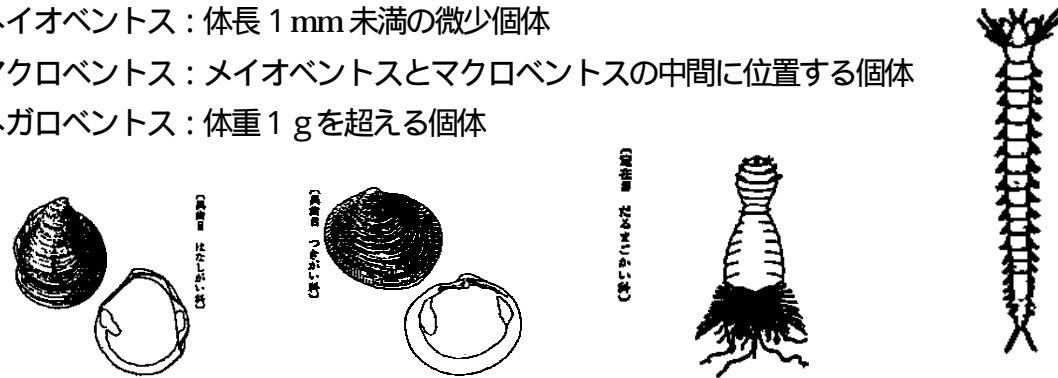
ベントスについて

ベントス(Benthos)とは、水域の底面付近を主たる生活場所とする「底生生物」の総称である。大きさや重さにより下記の分類に区分することができる。

メイオベントス：体長 1 mm 未満の微小個体

マクロベントス：メイオベントスとマクロベントスの中間に位置する個体

メガロベントス：体重 1 g を超える個体



マクロベントスについては、研究事例が多く、当該地点においてもこれまでの調査実績が豊富に蓄積されているため、今後継続して調査していくこととする。

2. 目的と必要性

水中生物のうち、魚類は移動能力が大きく不適な環境を回避することができるが長期的には生息不適な環境にも一時的に来遊することもある。またプランクトンは、水塊と共に流動するため、特定地区の環境を示す指標としては不確定な要素がある。

一方、ベントス（以下マクロベントスを示す）は、移動性に乏しく、群集組成あるいは特定な指標種の全生物個体数に対する相対比率の分布パターンにより、**限定された海域の環境条件の特性を表現しやすいという利点**がある。また海底に堆積した物質等により溶存酸素濃度の低下を通じて海産生物の生息に悪影響をもたらす場合には、ベントスはもっともその影響を受けやすく、**底層環境の生物指標として有効**である。

具体的には、特定地点の底質試料中に含まれるベントスを構成している種類や量を計測すれば、その地点が調査前数ヶ月に亘りどのような環境にあったかを推定できる。即ち、ある期間の中で一時的にも環境の悪化があれば、それに耐えられない種類は死滅するか逃避しており、その時点の生物群は、その期間の環境の累積結果を反映していると見なされる。従ってその環境の変動と生物に与えた影響を知ることができる。

3. 調査方法（海洋観測指針に定める方法にて実施）

試料の採取は、スミスマッキンタイヤー型採泥器（採泥面積 0.1 m²）で 3 回採取する。採取した土砂を 1 mm 目合いのふるいでふるい分けし砂粒子を除去したうえで、10%ホルマリン溶液で固定し、試験室に持ち帰る。

肉眼や実体顕微鏡で種類別に同定し、個体数の計測、湿重量の測定を行う。

4. 評価の方法

指標種による評価

出現した種類の中に「指標種」と呼ばれる特定の種がいるかをチェックし、その占有率が高い場合には、海域の特性を絶対的評価として特定できる。

相対比較による評価

各調査地点における主な出現種類、個体数等の特性を、調査海域内での比較と必要に応じて他海域での比較の 2 段階で整理し、特異的な調査地点の有無を評価する。

（他海域による調査については、現在未定）

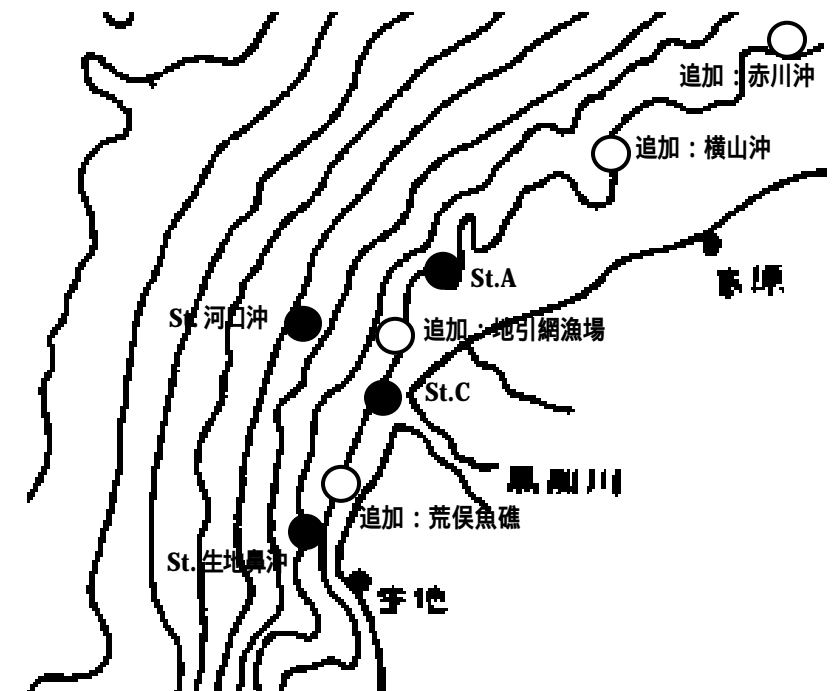
また、分布状況と底質項目（強熱減量、硫化物および T - P 等）との関連・特性についても評価を行うことができるものと推察する。

5. 定期調査実績と今後の検討について

平成 7 年から現在まで、下図に示す代表 4 地点にてマクロベントスの調査を行っており、今後、上記の方法にて、評価を行い海域の特性や特異点の評価を行う。

また、その結果により今後の調査方針について詳細検討を行っていく。

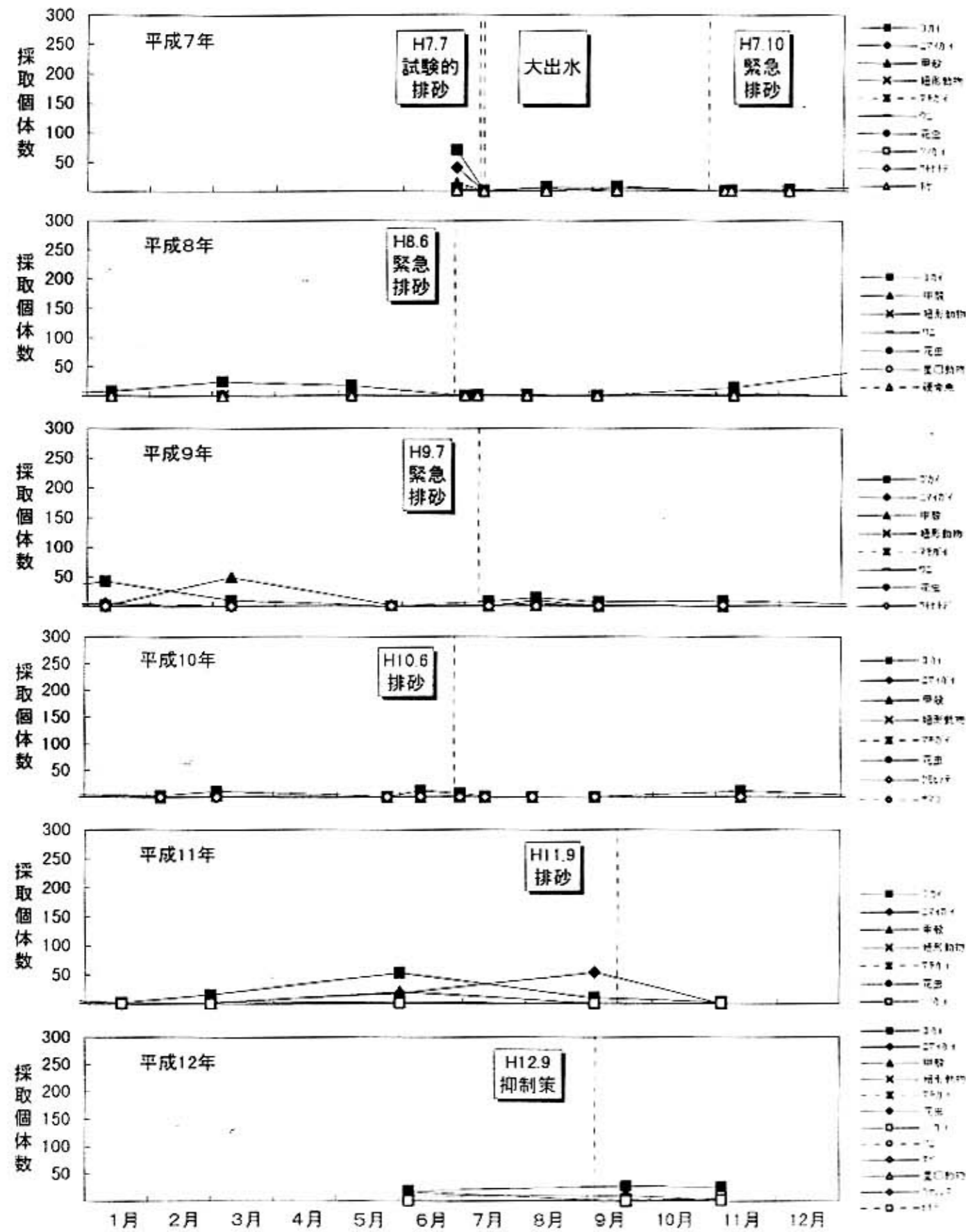
（参考資料として過去のデータを添付する）



定期調査における調査位置と今後の追加地点

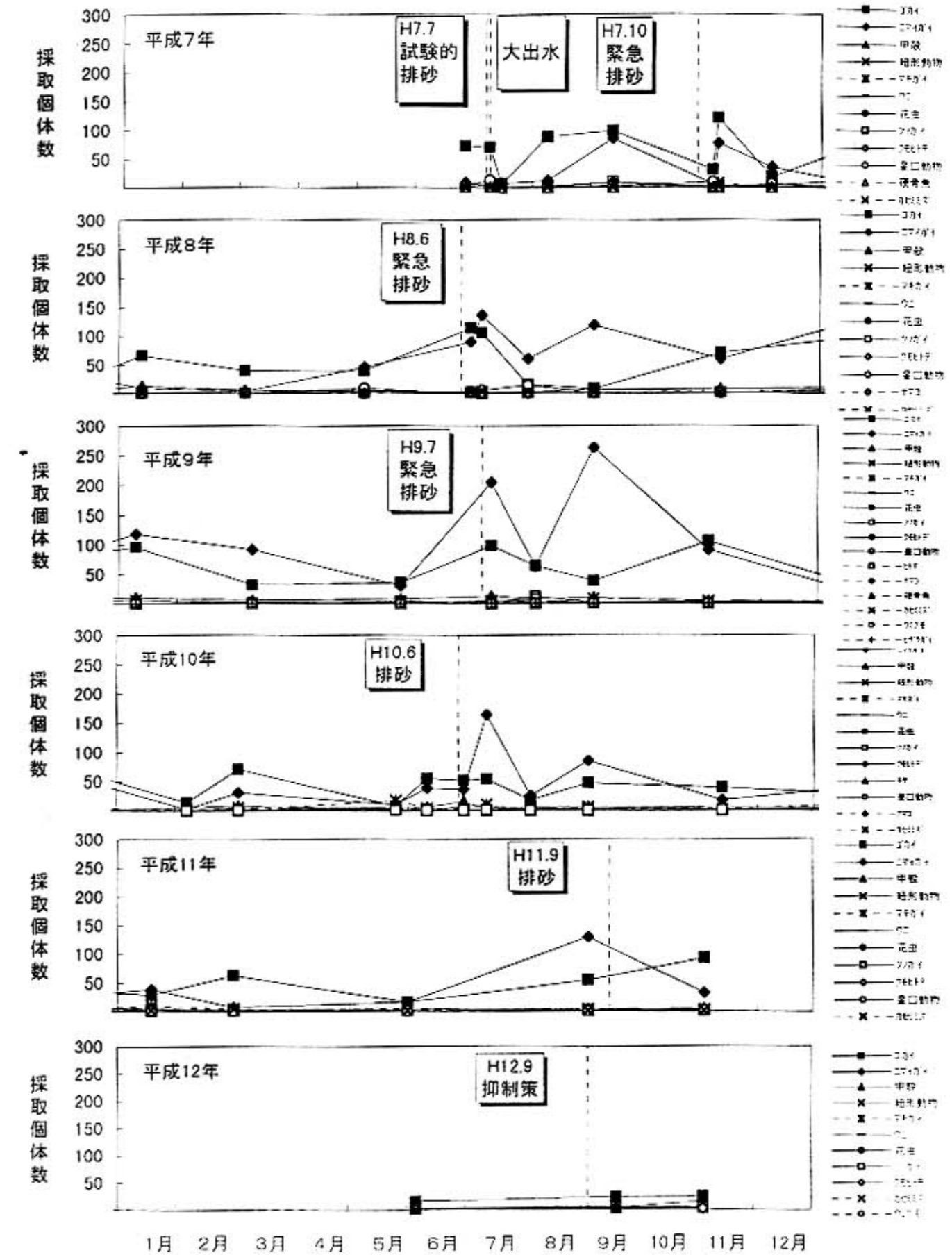
海域底生生物 種別採取個体数の推移 (C点)

単位: 個/0.1m²



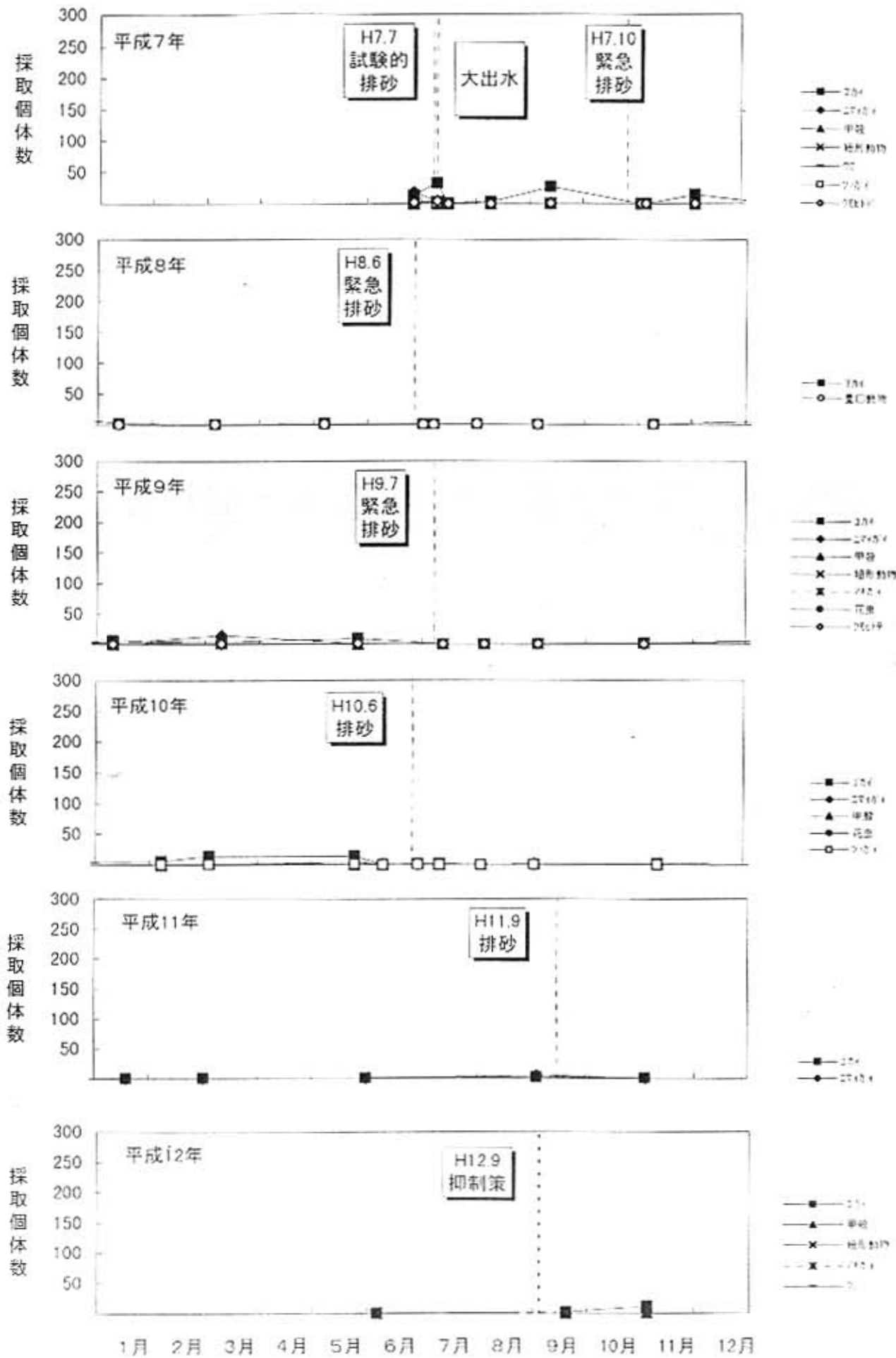
海域底生生物 種別採取個体数の推移 (A点)

単位: 個/0.1m²



海域底生生物 種別採取個体数の推移 (河口沖)

単位: 個/0.1m²



海域底生生物 種別採取個体数の推移 (生地鼻沖)

単位: 個/0.1m²

