

シミュレーションベースのハビタット評価による戸田御浜環境再生案の検討  
 Deliberation on environmental restorations in Heda-Mihama by simulation based  
 habitat assessment

学籍番号 47-086813 久松 力人  
 指導教員 多部田 茂 准教授

(平成 22 年 3 月 24 日修了予定)

Keywords: 流動シミュレーション、戸田御浜、環境再生、アサリ、HEP、土砂輸送

Keywords: tide simulation, Heda-Mihama, environmental restorations, clam, HEP, sediment transportation

1. 序論

大阪湾や有明海など日本の代表的な沿岸域の地形は後背地における社会経済活動の発展に伴い大きく改変され、広く存在した浅海域や自然海岸は大幅に減少し、市民が海と触れ合うことのできる親水空間や生物多様性を確保する上で重要な干潟や藻場が失われてきた。大阪湾や有明海のように集水域に人口・産業集積を有する閉鎖性海域は、陸域からの汚濁負荷の流入が大きい上に汚濁物質が蓄積しやすい状況にあることから、水質汚濁が特に湾奥部において慢性化している。その他の要因には、優れた水質浄化機能が有する砂浜や干潟と言った自然海岸の喪失が、すでに我が国海岸線の 45%にも及んでいること、加えて海岸生態系の機能そのものが著しく劣化していることが挙げられる。このような状況に対し近年は海岸の環境再生が注目されてきたが、多くの場合、対象海域が広大であること、環境再生の目安となる「生態系が疲弊する以前の状況」が不明であることなどが障害となっている。

戸田御浜再生プロジェクト[1]は、駿河湾東部に位置する戸田湾御浜(Fig. 1)海域の環境再生を目指すために立ち上げられたものであるが、対象とする場の大きさ、過去の生物相に関する情報の確かさ、地域住民との協働が期待されることなどからみて、環境再生のモデルとして適当である。

以上より本論文では、合意形成を円滑に行うために、戸田御浜海域でシミュレーションベースのハビタット評価を行い、工事後のハビタットの将来予測をすることを目的とする。そのための環境評価として、貝類を代表してアサリを対象とした HEP(Habitat Evaluation Procedures)を適用し、生息場評価に必要な流況・土砂粒径分布・地形を算出するために観測を行い、土砂移動モデルを構築した。それらによるシミュレーションの結果と観測結果をベースに、HEPによる工事後の評価を行い、環境再生のための代替案を検討する。

2. 現地観測

観測を行った項目とその目的について Table. 1 に、戸田湾と御浜海域を Fig. 1 に示す。

3. 数値モデル

3.1 流動モデル

流動計算は MEC モデル (Marine Environmental

Committee model) を用いた。以下に基礎方程式を示す[2]。

ここで  $u, v, w$  はそれぞれ  $x, y, z$  方向流速、 $p$  は圧力である。また、 $\rho$  は海水密度水密度、 $\rho_0$  はその代表値、 $A_M, K_M$  はそれぞれ水平及び鉛直渦動粘性係数である。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} + fv - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + A_M \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - w \frac{\partial v}{\partial z} - fv - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + A_M \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (3)$$

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

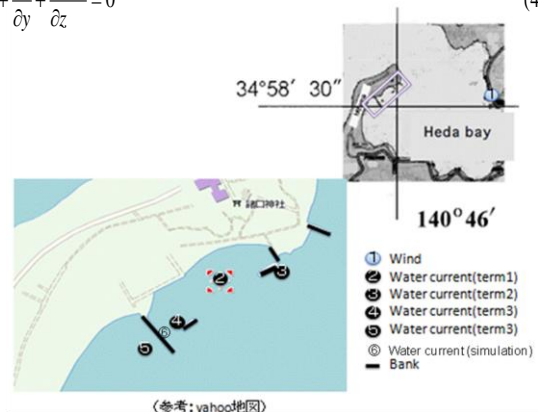


Fig.1 Heda bay and Heda-Mihama

Table.1 observation articles and objects

観測項目	
流況	現況の確認、シミュレーションの検証
底生生物	現況の確認、シミュレーションの検証
潮間帯付着生物	現況の確認
中央粒径	現況の確認、シミュレーションの検証
地形	現況の確認、シミュレーションの検証
風	現況の確認
温度	現況の確認
塩分	現況の確認
クロロフィルα	現況の確認
栄養塩	現況の確認

### 3.2 土砂輸送モデル

以下に土砂輸送モデルの基礎方程式を示す[3]。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = e_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + e_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + e_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + \frac{\partial E}{\partial z} - \frac{\partial D}{\partial z} \quad (5)$$

ここで、C：浮遊物質濃度、E：侵食による移動量、D：堆積による移動量、 $e_x, e_y, e_z$ ：x, y, z 方向の渦動拡散係数、 $w_s$ ：土砂沈殿速度である。

### 3.3 数値モデルの検証

数値モデルの検証として、流動モデルは Fig. 1 の st. 4, 5 にて実測値の半日潮流楕円と計算値のそれらと比較した。また、土砂粒径分布の検証は(5)式を各粒径のパラメータ[4]を用いて計算し平均中央粒径を求めたものと、実測値[5]と比較した。それぞれの検証結果を Fig. 2, 3 に示す。

結果から潮流楕円に関しては二点においておおよそ傾向をとらせることができた。また中央粒径に関しても同様に良好なモデルであることが検証できた。

## 4. HEP による環境評価の方法

### 4.1 HEP について[6]

HEP とは Habitat Evaluation Procedures (ハビタット評価手続き) の略で、生態系をそこに生育・生息する野生生物のハビタット (生育・生息環境) としての適否から評価する手続きのことである。HEP はもともと、米国の環境アセスメントにおける生態系評価のためのツールとして生まれた手法である。すなわち開発などにより影響を受ける前の生態系の状態、影響を受けた後の生態系の状態、代償ミチゲーションにより復元された生態系の状態などを定量的に示し、生態系の消

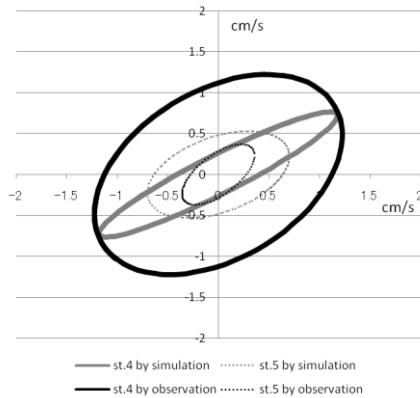


Fig. 2 Validation of current ellipses

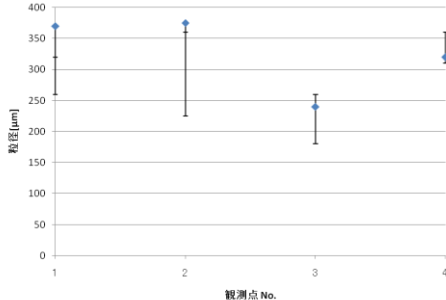


Fig. 3 Validation of sediment diameter

失分と代償される分を比較考量することを目的としている。従って、この HEP のもつ統合的かつ定量的な生態系評価の考え方は、環境アセスメントのみではなく、環境再生事業の評価にも有用であるといえる。HEP における評価は最終的に、同一期間における異なる調査地での相対的な比較評価や、同一調査地における異なる期間での相対的な比較評価を可能とし、生態学的な視点から定量的な目標達成の判断基準 (目標達成基準) を提供するものである。

野生生物のハビタットの適否を適切に評価するには、その野生生物の必要とするハビタットの「質」、「空間」及び「時間」という視点はどれも必要である。HEP での評価は、ハビタットを「質」「空間」「時間」という 3 つの視点から捉え、これらの積でハビタットの状況の評価する手法である。

$$\text{HEP での評価} = \text{「質」} \times \text{「空間」} \times \text{「時間」} \quad (6)$$

HEP での評価はまずはハビタットの「質」を算出することからスタートする。ハビタットの「質」は、ある野生生物にとってのハビタットの適性を示す HSI (Habitat Suitability Index) という指標としてあらわされる。この HSI の算出には、複数の SI (Suitability Index) モデルより構成される HSI モデルを用いる。SI モデルとは対象とする野生生物種と、その種のハビタットの適性を規定する個々の環境要因との因果関係を示したモデルである。ハビタットの「質」を示す HSI は、SI モデルによって示された複数の SI を統合したもので、対象の野生生物種のハビタットとしてどの程度の適性があるかを、0 (生息に不適) から 1 (最適) までの標準化した数値で表現する。次に、算出した「質」を示す HSI にハビタットの「空間」を掛け合わせる。「空間」は評価対象の生態系の土地面積のことである。「質」×「空間」つまり、HSI にその土地面積を乗じることで HU (Habitat Unit) という指標が算出される。「質」と「空間」が掛け合わされた指標である HU に、さらにハビタットの「時間」を掛け合わせることで HEP の最終的なアウトプットである「累積的 HU (CHU (Cumulative Habitat Unit))」が算出される。ハビタットの「時間」とは、評価対象の生態系がハビタットとして確保される時間のことである。「質」や「空間」は経年的に変化しうるものであるため、それらに乗じた HU もまた経年的に変化しうる指標である。

調査地の生態系はこのようにして算出された CHU を指標にして相対的に評価される。このようにして異なる調査地の同一期間での CHU や、同一調査地の異なる期間での CHU の相対的な比較評価を行うことにより、環境再生事業前後と、時系列の生息場評価が可能となる。本研究では長期間の計算時間は取れないため、大きな地形変化は対象としておらず、CHU の傾きはおよそ 10 日で一定となる。そのためここでは二週間後の HU をすべて足し合わせた THU (Total Habitat Unit) で工事などの評価を行う。

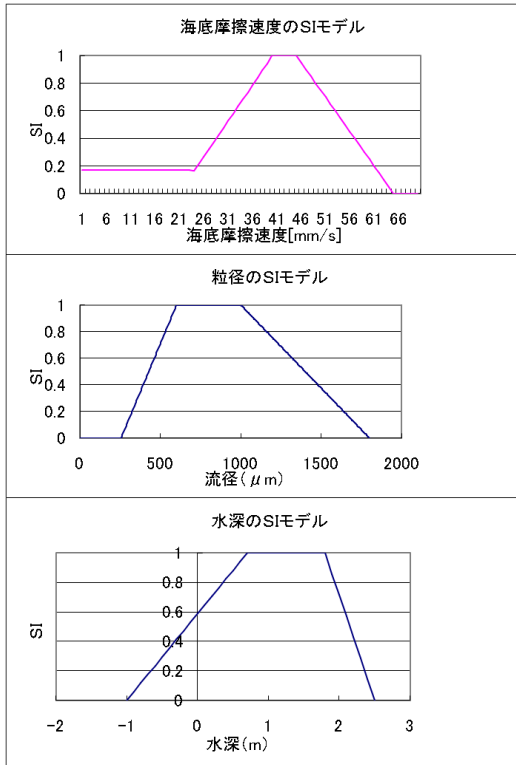


Fig.4 SI model

#### 4.2 SIモデルの選定

選定したSIモデルはFig.4に示す海底摩擦速度・粒径・水深とした。これらのモデルは既往研究を参照した[7, 8]。

#### 4.3 HSIモデルの構築

本研究のHSIモデル作成にあたり、底質、地形および水理の相乗効果でアサリの生息環境は定まると考え、HSIモデルを作成した。本研究のHEPの対象種はアサリであり、SIのいずれかの要素がゼロであればアサリの生息環境には不適であると考え以下の式に設定した。

$$\text{海底摩擦速度SI} \times \text{粒径SI} \times \text{水深SI} \quad (7)$$

#### 4.4 HSIモデルの検証

本研究で用いたHSIモデルが適当なものか判断するため、横浜市海の公園のデータを参考に他の海域での適応性を評価した[9]。Fig.5に検証結果を示す。縦軸に海の公園の計算結果から予測されるアサリ量から作成したHSI値、横軸には本研究で構築したHSI値を示す。この結果から縦軸と横軸の値は近くなっており、本研究で構築したHSIモデルによってアサリの生息場評価が可能であることが検証できた。

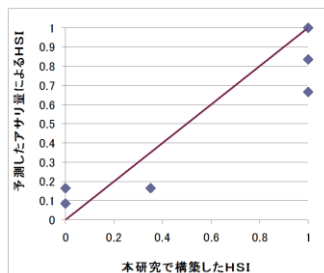


Fig.5 Validation result of HSI model

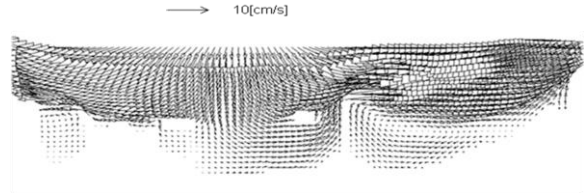


Fig.6 Tidal residual current in Mihama

## 5. 数値モデルとHEPによる御浜の環境評価

### 5.1 流況の把握

流れについて地元民に話を伺うとその流れの特性については北向きと南向きの流れの両方の意見があり、御浜内部の流れについては長年住んでいる地元民でも把握しきれていない。そこで、流れを解明するために行った計算結果をFig.6に示す。

Fig.6に示したのは戸田湾全域と御浜内部の残差流ベクトルを240°時計方向に回転させて計算した結果である。戸田湾全域の流れは残差流により、時計方向の循環が起きていて、御浜内部の残差流については、御浜へ流れが沖から入る途中に流れが分岐するという結果になった。潜堤より岸側になると急激に流れが弱くなっているが、これは潜堤や栈橋などの人工構造物によるものと考えられる。

### 5.2 各SI、HSIの算出

御浜の現在のアサリの生息場を評価するため、地形・海底摩擦速度・粒径分布をHEPを用いて評価する。御浜の海底を二次元的に評価し、どの環境因子が御浜の貝類現象に寄与しているか、またどうすれば貝類生息場が改善するかを検討する。Fig.7にHEPによる現在のアサリ生息場を評価するHSI値分布を示す。

適した粒径は御浜にはほとんど存在せず、アサリの生息環境として粒径は適していないことが分かった。海底摩擦速度に関しては良好であるといえる。しかし、潜堤の岸側近辺は不適な状態であることがわかった。ゆえに、波の条件はよく、浅い海域の岸側の生息条件が整っているが、一方で潮流は小さいために少し水深が深くなるとSIは小さくなると思われる。Fig.7を見てみると、中央栈橋右側の一部の値が大きい以外は、生息場としてほぼ「不適」という計算結果が出た。HSIと各SIを比較してみると、HSIは粒径のSIに依存していることが分かった。そこで、御浜再生工事では粒径の改善を目標とすることが望ましいと考えられる。

## 6. 工事後の評価と代替工事の提案

### 6.1 工事後の評価

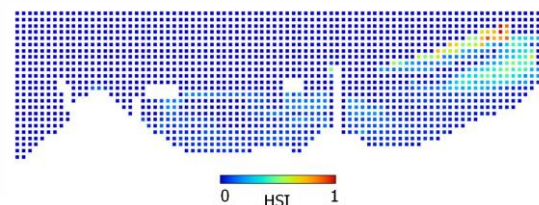


Fig.7 Present distribution of HSI





Fig. 8 Construction plan



Fig. 9 Proposed construction Plan

工事は Fig. 8 に示すものが予定されている。中央栈橋を流動改善のために杭式化し、北側の栈橋も撤去する。工事二週間後の THU を Fig. 10 に示す。

計算結果から、貝類生息環境は大幅に改善することが見込まれる。

### 6.2 代替案の検討

より流動を改善するために、Fig. 9 に示すように中央栈橋の根本まですべて杭式化し、北側栈橋、北側離岸堤を撤去する。工事二週間後の THU の計算結果を Fig. 10 に示す。

この結果予想される貝類生息場はすでに行われた工事よりさらに環境を改善することができ、この工事を今後さらなる改良を加える場合の工事案とする。

### 6.3 地形変化の計算と課題

構築した土砂輸送モデルから式(8)により地形変化を求められるよう改良した[3]。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = (D - E) \div \rho_{FM} \quad (8)$$

h は水深、 $\rho_{FM}$  は土砂密度を示す(8)式により、一年間の地形変化の計算を行った。これは工事後の地形変化を第一の関心事とする地元住民のニーズに対応するために行ったものである。このことにより、土砂は南側に移動し御浜の南端付近の水深が増加することを予測した。しかし、水深変化は大きいところで 10~20 cm で、グリッドを変化させるほど大きな変化ではなかった。そのため、水深変化に合わせてシミュレーションの地形が変化するモデルに改良する必要はなかったが、今後さらなる長期間の計算を行う際はそれらを考慮したモデルに改良することが望ましい。しかし本モデルでは流況計算に時間がかかるため長期間の計算は時間的に難しい。さらに地形変化を考慮するとさらなる長時間化が見込まれる。故に流

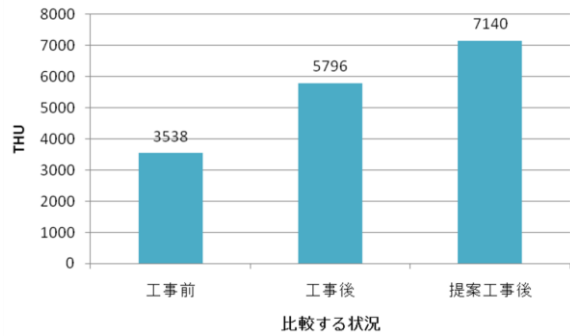


Fig. 10 Comparison of simulated HSI

況モデルにかかる時間の改良が課題である。

## 7. 結論

本研究では、アサリを対象として HSI モデルを構築し、またそのモデルのために土砂輸送モデルも作成した。その結果、観測結果の特徴と合致する、妥当性のあるモデルを構築することができた。そのことからシミュレーションベースの HEP による評価を行うことが可能となり、従来の現況のみの評価に加え、環境改善後の未来の定量的な評価が可能となった。結果、行われた工事による将来のアサリ生息場評価を行うことができ、大幅に改善することが予測できた。さらに各 SI 分布から、粒径分布の改善が最も御浜の環境にインパクトを与えることが明らかになり、より良いと思われる工事を提案することができた。

## 参考文献

- [1]<http://ketch.iis.u-tokyo.ac.jp/home/heda/heda.htm>
- [2]日本造船学会 海洋環境研究委員会: MEC オペレーションマニュアル ver1.1, 2003 年
- [3]加藤佑介: 東京湾における底泥輸送に関する研究, 修士学位論文, 東京大学, pp. 82-85, 2006 年
- [4]Richard Soulsby: Dynamics of marine sands, Thomas Telford, 1997
- [5]日野明徳, 他: 戸田御浜再生プロジェクトにおける現地環境調査, 第 20 回海洋工学シンポジウム, 2008 年
- [6]田中章: HEP 入門, 朝倉書店(2006 年), pp. 1-86
- [7]田中章: 順応的管理による人工干潟造成のための HEP 適用に関する研究, 武蔵工業大学環境情報学部紀要, 9 号, pp. 50-62, 2008 年
- [8]新保裕美, 他: アサリを対象とした生物生息地適正評価モデル, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 1111-1115, 2000 年
- [9]栗山陽太郎: 潮干狩りによるアサリ採捕量分布の予測モデルの開発, 修士学位論文, 横浜国立大学, 2006 年