

# 徳山下松港の干潟整備における目標設定

## OBJECTIVES FOR ADAPTIVE MANAGEMENT OF TIDAL FLAT RESTORATION PROJECT - CASE STUDY AT TOKUYAMA-KUDAMATSU PORT -

浅井 正<sup>1</sup>・西田 芳浩<sup>2</sup>・島崎 正寛<sup>3</sup>

Tadashi ASAI, Yoshihiro NISHIDA and Masahiro SHIMAZAKI

<sup>1</sup>正会員 工修 (財)港湾空港建設技術サービスセンター (〒100-0013 東京都千代田区霞が関3-3-1)

(前 国土交通省中国地方整備局宇部港湾事務所長(〒755-0001 宇部市大字沖宇部字沖の山5254-16))

<sup>2</sup>国土交通省中国地方整備局宇部港湾事務所長 (〒755-0001 宇部市大字沖宇部字沖の山5254-16)

<sup>3</sup>国土交通省中国地方整備局港湾空港部海洋環境・技術課長 (〒730-0004 広島市中区東白島町14-15)

Objective setting for an environmental restoration project and its processes are reviewed to apply adaptive management to the tidal flat at Tokuyama-Kudamatsu Port in the Seto Inland Sea. This project is carried out as one of the leading projects for The Restoration Plan on Marine Environment in the Seto Inland Sea, established by Ministry of Land, Infrastructure and Transport and Fisheries Agency in 2005.

In this case study, monitoring and feedback program during and after the project has been proposed. In the program implementation, various stakeholders interested in the project shall share its goal and participate in the program. Since the goal that cannot be evaluated quantitatively is often set conceptually, it is broken down to several clear targets with quantitative success criteria, which are easy to measure and to manage.

**Key Words :** adaptive management, objective setting, tidal flat restoration, Seto Inland Sea, Tokuyama-Kudamatsu Port, case study

### 1. はじめに

順応的管理<sup>1)</sup>は、継続的なモニタリングとその結果の適切なフィードバックにより実行される(図-1参照)。順応的管理が機能するためには、管理目標を適切に設定し、PDCAサイクルによる評価システムを構築することが必要である。

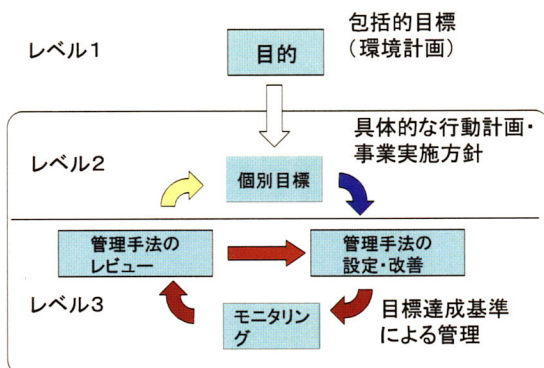


図-1 順応的管理のイメージ<sup>1)</sup>

しかしながら、実際のプロジェクトでは、その各段階（計画～調査設計～整備～維持管理）で多様な主体が関係する。関係する主体間でPDCAサイクルを構築するためには、目標の共有化が必要である。共通の認識を文書化し、継続的に更新することにより、PDCAサイクルの構築が可能になる。

このため、徳山下松港の干潟整備の事例では、計画段階において、多様な主体間で目標を共有化することを目的とした検討を行った。本事例は、瀬戸内海環境修復計画のパイロット事業として位置付けられ、順応的管理の考え方を導入した整備手法を試験的に取り入れている。

本論文では、この検討のプロセスを報告するとともに、目標設定にあたり必要とされた情報とその評価技術について報告する。

### 2. 瀬戸内海環境修復計画<sup>2), 3), 4)</sup>について

#### (1) 計画の目的と位置付け

国土交通省港湾局<sup>5)</sup>では、従前よりエコポート政策



しかしながら、これまでに策定された「瀬戸内海環境保全基本計画」、「瀬戸内海における港湾及び海域の保全・創造の基本的考え方」等の政策や瀬戸内海府県計画等の一般計画では、過去に失われた良好な環境の修復の必要性はうたわれているものの、いずれも具体的な実施レベルまでの検討には至っていなかった。

とくに、多様な水産生物の生息の場であるとともに、水質浄化等、自然と共生する豊かな沿岸域環境において重要な役割を担う浅場（干潟・藻場等）の修復を中心に検討を行っている（図-2参照）。

本計画では、基本理念として、瀬戸内海が我が国のみならず世界においても比類のない美しさを誇る景勝の地として、また国民にとって貴重な漁業資源の宝庫として、その恵沢を国民が等しく享受し、後代の国民に継承すべきものであるという認識に立って、それにふさわしい環境を確保し維持すること及びこれまでの開発等に伴い失われた良好な環境を回復することとしている。

### (3) 順応的管理の導入

本計画にもとづき環境修復を実施するにあたっての基本方針は以下のとおりである。

- ① 広域的な視点、地域間の連携の推進
- ② 省庁間の連携の推進
- ③ 順応的管理（アダプティブ・マネジメント）の導入
- ④ 住民の参加・協働、多様な主体との連携の推進

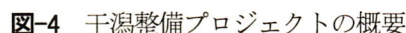
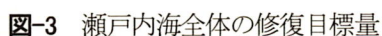
本計画にもとづいて個別の環境修復を進めるにあたり、現時点では将来の環境を十分な精度で予測できる手法は確立していない。また、環境修復後も変化し続ける現地の環境に対して、柔軟に対応できるシステムを構築しておく必要がある。

このため、継続的なモニタリングとその結果のフィードバックを基礎とした順応的管理の考えを、個別の事業計画を提案する際の標準的な手法として取り入れている。

### (1) 干潟整備プロジェクトの概要

今回ケーススタディを行った干潟整備プロジェクトの概要を図-4に示す。整備計画地の周南市大島地区本庄浦地先では、アサリの生息する干潟の規模の拡大について地域で検討していた。また、国土交通省では、徳山下松港新南陽地区の浚渫工事で発生する土砂の有効活用方法を模索していた。

このため、アサリの生育場として継続的に活用できる干潟を近隣の浚渫事業で発生する土砂の有効活用により整備することとして、事業計画の検討を行った。





なお、本プロジェクトは、瀬戸内海環境修復計画のパイロット事業として位置付けられている。このため本プロジェクトでは、極力自然のセルフデザイン機能を活用することとし、干潟機能を継続的に保持するための管理目標とモニタリング計画の設定を念頭におき、基本計画、設計、施工、維持管理計画を提案試行することとした。

## (2) 干潟整備マニュアル<sup>®</sup>の策定（文書化による主体間での目標の共有化）

本プロジェクトの実施にあたり、その各段階で多くの主体が関係する。関係する主体間でPDCAサイクルを構築するためには、共通する目標を抽出し、文書化して共有することが必要である。

このため、関係する主体間の行動指針として、干潟整備マニュアルを整理した。マニュアルの検討は、関係する下記の主体と学識経験者からなる検討委員会を設置して行った。

整備主体：国土交通省、市

維持管理主体：市、漁業関係者

利用主体：漁業関係者、地域住民をはじめとする住民

## (3) プロジェクトの目標設定（主体間で共通する価値概念の抽出）

プロジェクトの検討を始めるにあたり、関係する主体間で目標の共有化を行った。それぞれの主体の希望・要望を自然条件・社会条件などから精査し、整備後の干潟に求められる機能を抽出し、その機能を確保することを目標と設定した。

この結果、プロジェクトの目標を「アサリの生育場として継続的に活用できる干潟を造成すること」とし、具体の行動計画として資源管理、環境管理を設定した。

## (4) 概念的な目標から目標達成基準へのブレークダウン（順応的管理が可能なシステムに）

設定された目標は抽象的な概念であり、直接的に計測できない。これに対して、順応的管理を行うためには、定量的に計測可能な量を目標達成基準として設定する必要がある。

また、整備中及び整備後のモニタリング結果を現場での管理にフィードバックさせる必要がある。このためには、関係する主体によるコントロールが可能な項目を計測し管理する必要がある。

はじめに、アサリの生息量を直接的に評価する方法とそのモニタリング計画について検討した。ところが、現在の知見では、シミュレーション等により生息量を定量的に精度よく予測することは非常に困難である。

これに対して、アサリの生息のための物理的環境条件は、近隣における増養殖の実績をもとにした知見の蓄積がある。このため、これらの物理的環境条件をコントロールしながら、指標であるアサリの生息量の最適化を図ることとした。

この結果として、アサリが継続的に生息できる基盤の維持が可能となると考える。干潟のアサリ生息場としてのポテンシャルを総合的に評価するように、モニタリングとフィードバックのシステムを構築することとした。

具体的には、現場の管理のためにモニタリングする項目を、水深や土質など、アサリの生息可能性を判定できる物理的環境条件から抽出することとした。これらの物理的環境条件は、干潟のアサリ生息場としてのポテンシャルを表す指標と考える。

これとあわせて、アサリ等の生息量や周辺海域の餌料など、周辺環境の変化を判定できる項目を計測し、フィードバックの必要性の判断や対策方法の検討に反映させることとした。

## (5) 目標達成基準の設定（モニタリング項目の抽出）

### 1) アサリ生息場の物理的環境条件

アサリの増養殖に関する既往資料<sup>7)</sup>によると、アサリの環境変化の適応と限界は表-1のとおりである。

表-1 アサリの環境変化への適応と限界

| 項 目       | データ                                                                                                       |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 水 温       | 致死限界 殻長0.2～2.3mm：35～36℃で2～8時間、40℃で1時間<br>殻長15～45mm：35℃で2日間<br>成貝：-5℃で8時間<br>絨毛限界 運動範囲：0～36℃、<br>適水温：23℃前後 |
| 塩 分       | 致死限界 殻長3.0～4.5mm：1.014以下で3日間<br>成貝：1.005以下で3日間、<br>1.033で4日間<br>成貝過比重範囲 1.015～1.023<br>受精・発生不適比重 1.018以下  |
| 溶存酸素      | 致死限界 0.5cc/L以下で10日間                                                                                       |
| 濁 り       | 致死限界 2%で16日後に20%死亡、<br>3%で同じく40%                                                                          |
| 干 出       | 致死限界 15℃で7日以上、20℃で3.5日、<br>25℃で2.8日、30℃で1.3日、<br>40℃で5・6時間、44℃で30分、<br>-5℃で9時間                            |
| 土 砂 の 堆 積 | 致死限界 厚さ15cmで37～50%が死亡、<br>20cmで63～90%（幼・成貝）、<br>70～100%（老貝）                                               |
| 底 質       | 粒度組成 沈着稚貝：泥率30%以下、<br>成貝：泥率20～50%<br>灼熱減量 6～12%<br>COD 12～45mg/l                                          |

### 2) モニタリング項目となる基本条件の抽出・整理

表-1をもとに、整備後の維持管理等の際に目標として使用するアサリ生息場の基本条件を抽出した。

抽出にあたっての基本的な考え方は以下のとおりである。現地観測結果からアサリ生息に支配的な条件になら



ない項目は除外し、干潟整備の前後で条件の変化の有無を確認することとした。また、土砂の堆積、干出などの直接的なモニタリングが難しい項目は、海底地形の変化（水深および勾配）から推測することとした。

- ・水 温：水温の年間変動は、平成16年度の現地観測結果で8～29℃であり、アサリの生息に問題のない範囲である。シミュレーション結果より、現地の流況は干潟整備の前後で大きく変化しないと考えられるので、整備後の水温に大きな変化はないと推測される。
- ・塩 分：比較的大きな降水の後でも、塩分が20以上であることが現地観測により確認されている。現地は大きな河川水の流入が想定されないため、整備後も塩分が大きく低下することはないと推測される。
- ・濁 り・溶存酸素：大きな河川からの流入がないため、整備前にはとくに問題はない。シミュレーション結果より、整備後に、大きな渦が発生する場所や流れが停滞する水域は見られなかった。ただし、工事中の濁りの発生は監視の必要があると考えたので、この間のモニタリングを行うこととした。
- ・干 出：現地観測結果から、D.L.+1.5m～-0.5mの水深帯でアサリの生息密度が高いことが確認された。この水深帯は平均水位(D.L.+1.80m)から大潮平均低潮面(D.L.-0.51m)の間にあり、高水温期の干出時間はアサリの生息に問題のない範囲である。このため、干潟の整備において、この水深帯の面積を十分に確保することを目標とし、現地の水深をモニタリングして管理することとした。
- ・土砂の堆積：現地の干潟は小湾の奥部に位置し、大きな河川からの流入がないため、陸域からの土砂供給はほとんどない。このため、水深をモニタリングして、整備後の地形の安定を確認することとした。

表-2 アサリ生息場の基本条件

|    | 基本条件                                                            | 現況                                                                                       |
|----|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 水深 | (アサリの生息範囲)<br>D.L. +1.5m～-0.5m<br>(稚貝の着底水深)<br>D.L. +1.5m～-0.5m | (アサリの生息範囲)<br>D.L. +1.5m～-0.5m<br>(稚貝の着底水深)<br>D.L. +1.5m～-0.5m                          |
| 勾配 | ゆるい方がよい<br>1/100程度                                              | 前浜<br>1/10～1/20<br>汀線付近<br>漁港側 1/10～1/20<br>磯浜側 1/10～1/20<br>海底部分(-4m以深)<br>1/50～1/100程度 |
| 底質 | (中央粒径)<br>0.1mm ～ 1.0mm<br>(細粒分含有率)<br>10%以下<br>※ シルト粘土率        | (中央粒径)<br>0.2mm ～ 1.0mm<br>(細粒分含有率)<br>10%以下<br>※ シルト粘土率                                 |

- ・底 質：粒度については、覆砂材料についての条件として考慮することとした。また、土砂の堆積がなければ、底質の条件は変化しないと考えられる。
- ・その他：整備後の地形が物理的に安定していることの確認のため、土砂の堆積の他、地盤沈下についてもモニタリングする必要がある。

### 3) アサリ生息場の基本条件

最終的に整理されたアサリ生息場の基本条件は、表-2のとおりである。また、議論が進むにつれて、周辺海域の利用主体が、整備中、整備後に受ける影響についても問題として意識されたため、これらの影響も目標として設定した。

### (5) モニタリング計画（計測可能な管理目標値の設定）

アサリ生息場の基本条件をもとに、モニタリング項目を抽出し、管理目標値を設定した。そして、アサリの資源量を指標として、対策の必要性を判断することとした。

干潟の維持管理のサイクルは図-5に示すとおりである。表-2に示す基本条件を管理目標値に設定し、モニタリング結果を干潟整備及びその後の維持管理にフィードバックさせるよう評価システムを構築した。

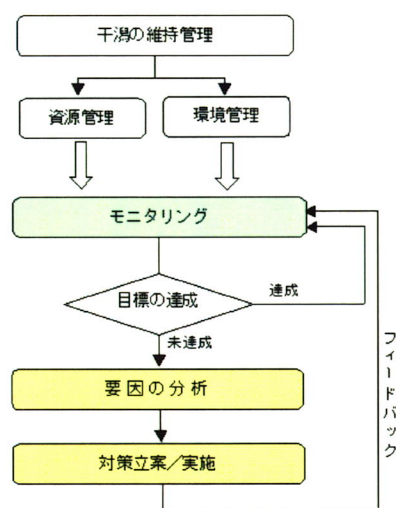


図-5 干潟の維持管理のPDCAサイクル

#### 1) 初期のモニタリング期間

整備中から整備後の干潟地形や生物相にある程度安定が得られるまでの間を、初期のモニタリング期間と位置付けた。この期間のモニタリングは、表-2に示す基本条件を管理目標値として現場を管理するとともに、その後の維持管理のために必要なアサリの資源量及び餌料等の基礎データを蓄積することを目的とする。

この期間は、アサリの生息場として安定するまでの期間であり、様々な問題の発生が懸念される。このため、環境管理項目を中心に干潟の整備主体によるモニタリングを基本とし、資源管理項目など、整備後もモニタリングが必要な項目は維持管理主体と協力して実施すること



とした。

初期のモニタリング期間の調査内容と評価方法を表-3に示す。問題発生時の早期発見を主眼として、モニタリング項目の抽出を行っている。管理目標値とアサリの生息について定性的な関係しかわからないため、原因の把握及び対策立案のために必要な詳細調査の内容は事前に特定できない。このため、問題の発見後速やかに追加調査を行って、対策方法の検討を行うこととした。

初期のモニタリング期間の調査内容は、5年程度経過した時点でのアサリ生息場の状態を判断して見直すこととした。その後のモニタリングについても、随時結果を評価しながら調査内容を見直すこととした。

表-3 初期のモニタリング期間の調査内容

| 分類   | モニタリングの内容<br>(項目及び調査・評価の方法)                                                                                                                                                                    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 資源管理 | <b>【アサリの殻長別生息密度】</b><br><b>【生貝死貝率】</b><br>① 資源量 水深別に測線計測し、経年データを比較検討する。現地に母貝涵養区、稚貝保全区などを設けることが望ましい。<br><b>【アサリ播種量・収穫量】</b><br>播種期・収穫期に検量や関係者にヒアリングを行い、経年データを比較検討する。                            |
|      | <b>【Chl-a/Feo色素含有量】</b><br>② 餌量 底土・海水中の含有量を水深別に測線計測し、経年データを比較検討する。                                                                                                                             |
| 環境管理 | <b>【地形変化】</b><br>水深別に測線計測し、経年データを比較検討する。評価項目は、アサリが主に生息する水深帯の面積や海底勾配である。<br>地形が大きく変化する場合、沿岸流等による漂砂や地盤沈下の可能性について評価する。<br><b>【覆砂厚】</b><br>水深別に測線計測（コーン貫入試験等）し、アサリ生息に十分な覆砂厚が確保されているか、経年データを比較検討する。 |
|      | <b>【粒度組成】</b><br>④ 底質 水深別に測線計測（表面～GL-0.10m）し、経年データを比較検討する。アサリの生息帯の底質の粒径および細粒分含有率を評価する。                                                                                                         |
|      | <b>【マクロベントス】</b><br>⑤ 生物相 水深別に測線計測し、経年データを比較検討する。<br><b>【競合・食害種】</b><br>水深別に測線計測し、経年データを比較検討する。潮間帯及び潮下帯で調査する。                                                                                  |
|      | <b>【有害物質等】</b><br>その他 任意点で含有量測定し、基準値に照らして安全を評価する。                                                                                                                                              |

あわせて、整備中の期間に、周辺海域の利用への影響についてもモニタリングすることとした。具体的な管理項目としては、航路の確保等の通行船舶に対する安全確保、土砂投入時の濁り等の発生の抑制、浮泥の堆積の監視等があげられる。

## 2) その後のモニタリング期間

初期のモニタリング期間の後には、干潟の維持管理主体である市及び漁業関係者がモニタリングを実施すると想定される。このため、調査内容は、資源量調査を基本として、簡便に実施できるように心がける必要がある。

あわせて、アサリの生育場を適切に管理するためには、日常的な維持管理作業の中で実施できるよう調査内容や時期を工夫する必要がある。図-6に、一例として年間の日常的な維持管理作業について、広島湾西部のアサリ漁場の維持管理計画を現地干潟用に加筆修正したものを示す。このようなイメージをもとに、モニタリングの内容や時期について、適宜見直していく必要がある。

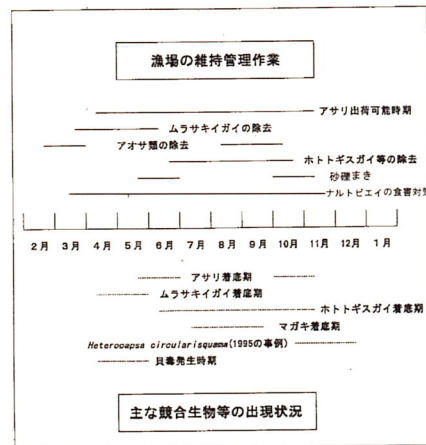


図-6 アサリ漁場の維持管理スケジュールの例

## (6) 維持管理計画（持続的な維持管理の実施）

維持管理主体が、実際の維持管理を行う際の参考として、アサリ資源量及び生息場の環境管理のための対策方法の事例を収集し、表-4、表-5に示すように整理した。

アサリの資源管理に関する項目は、漁場の維持管理作業の中で実施できるように整理している。

生息場の環境の管理に関する項目は、周辺住民等の参加による実施も想定される。順応的管理を持続的に実施するためには、周辺住民やNPO等、多くの主体が関与することが望ましい。ただし、資源管理の面からは、現地の人の出入りを制限した方がよい場合もあるので、導入にあたっては事前に十分な検討が必要である。

住民参加型の取り組みの具体例として、市民参加型の海浜清掃活動の一環として漂着物調査や対策を実施したり、干潟の環境教育や耕耘等の体験学習の場として、陸域や沖側の周辺の調査などとあわせて、継続的に調査・対策を行うことが考えられる。

このような住民参加型の取り組みを通じて、干潟を含



む瀬戸内海の自然に対する住民の意識が向上し、結果として環境の保全に資することとなれば望ましい。

表-4 アサリの資源管理と対策の例

| 対 象 項 目 | 対 策 の 例                                                                                     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 資源量の維持  | ①アサリの減少<br>②アサリの生育への介助<br>③アサリ資源の保全努力<br>④アサリの食害、競合種の大量発生                                   |
| 再生産     | ⑤アサリ再生産の促進                                                                                  |
|         | ①過剰採取の禁止<br>②生物サイクルに応じた維持管理作業の実施<br>③資源保全区の設置、稚貝放流や成貝移殖<br>④食害防止対策、駆除対策の実施<br>⑥砂礫撒き、置き柵等の設置 |

表-5 アサリの環境管理と対策の例

| 対 象 項 目 | 対 策 の 例                                                                                                                                  |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 日常管理    | ①アオサ・ごみ等の漂着物                                                                                                                             |
| 生物相     | ①生物相の単純化                                                                                                                                 |
| 底質      | ①覆砂厚の減少、底質の粗粒化<br>②底質の悪化(地盤硬度、過度の還元化)                                                                                                    |
| 地形      | ①波による地形変化<br>②圧密沈下                                                                                                                       |
| 災害      | ①災害による干潟機能の極端な低下(地震、台風等)                                                                                                                 |
|         | ①堆積物・ごみ等の回収処理<br>①微地形形成による環境条件の多様化<br>①覆砂の追加投入、整地、均し<br>②耕耘による底質改善、作濡による海水交換の促進<br>①覆砂の追加投入、整地、均し、置き柵、杭の配置<br>②覆砂の追加投入、整地、均し<br>①干潟斜面の回復 |

#### 4. 結論

今回、順応的管理を導入するための目標設定にあたり、徳山下松港干潟整備でのケーススタディを通して明らかになった点をまとめると、以下のとおりである。

- ① 順応的管理を導入する上で、定量的に評価できるように目標達成基準を設定することが、PDCAサイクルによる評価システムの構築するために重要である。
- ② 実際の現場では、計画～調査設計～整備～維持管理の各段階で多様な主体が関与する。持続的に順応

的管理を行う上で、多くの主体が計画段階から関与することが望ましい。

- ③ 順応的管理の目標は、関係する多様な主体の間で共有する必要がある。今回は、関係する主体と学識経験者で検討委員会を設置し、共通の意識をプロジェクト全体の目標として取りまとめた。順応的管理に用いる目標達成基準は、個別目標を実現するための具体的な管理目標値と位置付けた。
- ④ 目標達成基準の値は、将来の維持管理へのフィードバックが容易にできる項目が望ましい。今回は、指標生物が安定して生息できる場を形成することを目標とし、地形等の条件を基準値に設定した。
- ⑤ 長期的なモニタリングの実施や将来の維持管理作業は、日常の維持管理作業にとけ込ませることが望ましい。住民参加型のモニタリングや維持管理の導入も考えられる。

今回設定した目標達成基準と指標生物の生息量の間の関係は、現時点で定量的に評価することはできない。今後、環境修復の効果を定量的に予測・評価する上でも、目標の定量的な予測手法の開発が必要である。この一環として、中国地方整備局ではHEPを利用して場の定量的な評価を行う手法の開発を行っている。

また、干潟整備による環境修復の社会・経済的効果を定量的に分析する手法の開発も必要である。このため、中国地方整備局では、コンジョイント分析による定量化手法の取りまとめを行っている。

**謝辞：** マニュアルのとりまとめにあたり、学識経験者等からなる徳山下松港干潟整備検討委員会を設置し、検討を行いました。2ヶ年にわたる検討の間、熱心にご議論いただきました委員長の岡田光正教授（広島大学副学長）をはじめとする委員の皆様に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) たとえば、海の自然再生ワーキンググループ：海の自然再生ハンドブック 第1巻 総論編、ぎょうせい、107 p., 2003.
- 2) 国土交通省中国地方整備局・水産庁漁港漁場整備部：瀬戸内海環境修復計画の概要～自然と共生する恵み豊かな瀬戸内海の修復を目指して～、2005.
- 3) 浅井 正：瀬戸内海の環境修復に向けて：徳山下松港での干潟づくり、応用生態工学会第2回現地WS in 山口、応用生態工学会、2005.
- 4) 国土交通省中国地方整備局：瀬戸内海環境シンポジウム in 広島、2005.
- 5) たとえば、国土交通省港湾局：港湾行政のグリーン化 今後の港湾環境政策の基本的な方向（交通政策審議会答申）、国立印刷局、125p., 2005.
- 6) 徳山下松港干潟整備検討委員会編：徳山下松港大島地区干潟整備マニュアル、46p., 2005.
- 7) 広島県農政部水産課：アサリ増養殖の手引き、28p., 1982.