

アサリ干潟の成立要件とその順応的管理手法の構築について —大島地区干潟を例に—

HABITATION CONDITIONS TO RESTORE A TIDAL FLAT FOR CULTURING SHORT-NECKED CLAMS AND THEIR APPLICATION TO ADAPTIVE MANAGEMENT IN CASE STUDY AT TOKUYAMA-KUDAMATSU PORT

浅井 正¹・米原吉彦²・吉川茂樹³・相原昌志⁴・大島 巖⁵・岡田光正⁶
 Tadashi ASAI, Yoshihiko YONEHARA, Shigeki YOSHIKAWA, Masashi AIHARA,
 Iwao OSHIMA, Mitsumasa OKADA

- 1 正会員 (財)港湾空港建設技術サービスセンター (〒100-0013 東京都千代田区霞ヶ関3-3-1)
 2 国土交通省 中国地方整備局 宇部港湾事務所 (〒755-0001 宇部市大字沖宇部字沖の山5254-16)
 3 正会員 (〒104-0042 千葉県習志野市秋津3-2-18-4)
 4.5 (財)港湾空間高度化環境研究センター (〒108-0022 東京都港区海岸3-26-1)
 6 正会員 広島大学教授 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)

Ministry of Land, Infrastructure and Transport and Shunan City plan a pilot project to restore a tidal flat for culturing short-necked clams at Oshima area in Tokuyama-Kudamatsu Port, Japan. Developing the plan for this pilot project, we introduce the concept of adaptive management into it. This report reviews the process to break habitation conditions of this tidal flat down into the success criteria for adaptive management and to develop a monitoring & evaluating system.

Key Words : *short-necked clam, tidal flat, habitation condition, beach deformation model, current model, monitoring plan, adaptive management*

1. アサリ干潟の計画概要

(1) はじめに

国土交通省中国地方整備局宇部港湾事務所は、周南市と協力して、徳山下松港大島地区(山口県周南市)にアサリの生息場として継続的に活用することを目的とした干潟(以後「アサリ干潟」と称する)の整備を計画した。整備計画の策定にあたり、瀬戸内海環境修復計画¹⁾のパイロット事業として、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ることとなった。

本論文では、順応的管理の導入にあたり、必要な技術であるモニタリング・評価手法の構築について事例を通して報告する。モニタリング・評価手法の構築のためには、定量的に計測可能な管理目標値の設定が必要である。今回の事例では、アサリ干潟の成立のための基本条件を科学的知見にもとづいて整理し、モニタリング・評価のための指標を抽出するとともに管理目標値を設定した。

(2) 計画位置と概況

計画対象の干潟は、笠戸湾の南西側に位置し(図-1右側の○部)、湾外からの波浪の影響を殆ど受けない、きわめて静穏な水域内にある。この水域に、徳山下松港新南陽地区(図-1左側の○部)の浚渫事業で発生する土砂を有効活用し、アサリ干潟を整備することとした。

計画するアサリ干潟の総面積は30ha、干潟造成に要す

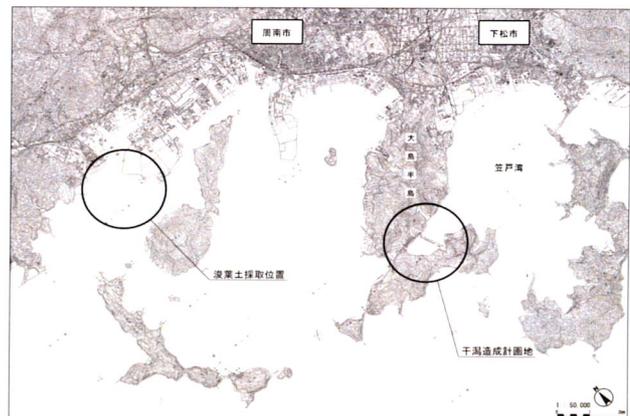


図-1 干潟整備計画の概要

る土量は概ね120万³である。造成材料の調達等を考え、人工干潟の造成は第1期18ha、第2期12haの2期に分け、平成17年度より工事が開始されている。

2. アサリ干潟の成立のための基本条件

(1) 基本条件の整理

対象とする干潟では「アサリの生育場としての機能が継続的に維持されること」を整備の目標としている。このため、アサリの生育場を形成・維持するための基本条件を、維持管理の際に想定される対応策の違いから2つに分類して整理した(図-2)。このうち、定量的に計測可能な基本条件について、干潟整備により変化すると考えられるものを抽出し、モニタリング・評価のための指標として整理することとした。

a) アサリの生息基盤形成のための基本条件

水深(地盤高)や底質の粒径分布など、アサリが生息できる物理的な場所(棲み場所)を形成するための条件とする。主に干潟の整備及びそのメンテナンスなど、ハードウェア的な対応が想定される。

b) アサリの生育環境を支配する基本条件

適正な水温、水質、餌量、競合・食害生物、周辺生態系との関連など、干潟完成後のアサリの生育・繁殖などにおける生育環境を継続させるための条件とする。環境改善の工夫などのソフトウェア的な対応が想定される。

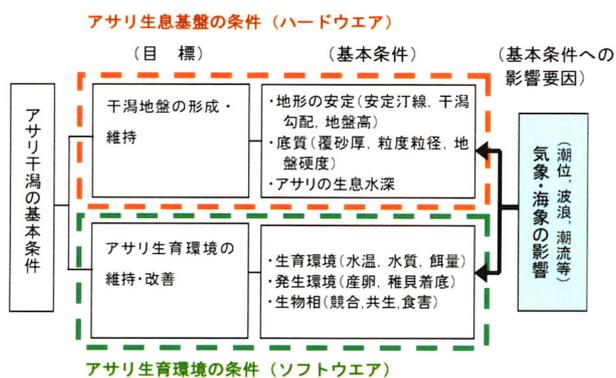


図-2 基本条件の分類

(2) 生息基盤形成のための基本条件

生息基盤形成のための基本条件は、干潟の初期形状に依存するところが多い。このため、計画時に、整備後の変形を見込んで、アサリの生息に適した条件になるように設定する必要がある。今回の事例では、地形、水深、底質および粒径分布を対象として検討を行った。

a) 地形の安定

干潟に作用する波浪は、干潟表面のかく乱による底質の更新や微地形の発達を生じさせ、生物相の多様化を促すこともあるが、短期間での大きな変化は生物相に大きなダメージを与える。細かい粒径材料で造成された干潟

は波浪によって変化しやすく、このような干潟にとっては適正な範囲に安定する地形の維持が不可欠である。

そこで、干潟の汀線形状は、湾口からの入射波や湾内発生波に対しポケットビーチ状の安定汀線となるよう、入射波向きに正対する方向に設定し、1ライン汀線変化モデルを用いてその安定性を検証した。

干潟面の勾配については、耐波浪安定性、施工時の安定性に配慮し決定する必要がある。また、利用を考えれば、干出面積の大きいことが望まれる。そこで、干潟断面の斜面上部は干出面積が広く確保でき、波浪に対しても十分安定な1/100とした。また、下部斜面は施工時の安定性に配慮して3/100とした。

ここで、斜面上部の勾配は、b)地盤高の検討から得られたアサリの生息範囲も考慮して設定した。

b) 地盤高(水深)

湾奥にある干潟計画地は狭い海浜であり、アサリの生息場となっている。現地のアサリの生息分布を調査した結果、図-3に示すように生息範囲は概ねD.L.-2.0m以浅であり、このうち生息密度の比較的大きい水深帯はD.L.-0.5m以浅であった。他海域の例²⁾³⁾においても、殻長2mm以下の稚貝ならびに成貝ともに、概ね平均海面以下から最低潮位までの潮間帯に多く分布しており、現地のアサリの分布とよく一致している。これらを踏まえ、アサリの主な生息範囲をD.L.+1.5m～-0.5mと設定した。

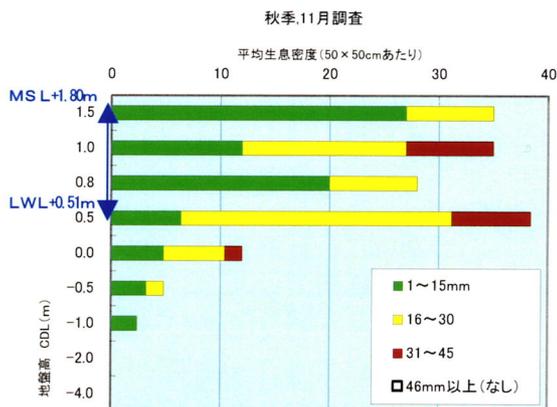


図-3 地盤高とアサリの殻長別生息密度

なお、アサリ干潟としての機能の継続を考えた場合、稚貝の着底条件を考えておく必要がある。井上の報告²⁾によると、着底水深は大潮時平均干出時間5.0～5.5hrの水面以下であり、また俵の報告³⁾では、稚貝と成貝の分布が概ね重なることから、稚貝の着底水深は平均海面以下の潮間帯に位置するとしている。現地の調査結果においても成貝の分布に幼貝(ここでは殻長1～5mm)の分布が重なっており、成貝の生息範囲と同様にD.L.+1.5m～-0.5mを着底水深と設定した。

c) 底質(粒径)

一般にアサリ成貝は餌となる着砂泥性珪藻類の多い細かい粒径を好み、稚貝はやや粗い粒径を好む傾向にある。しかし、現地におけるアサリ成貝の生息域の粒径分布を見ると中央粒径 $d_{50}=0.2\sim 10\text{mm}$ であり、比較的粒径の粗い場所にも多く生息している(図-4参照)。このことは、10mm以上の礫の存在がナルトビエイ等の外敵の食害を抑えることで、アサリの生息が確保されている可能性を示唆している。

なお、現地の粒径が粗い理由として、流入河川等の細かな土粒子の供給源がないため海浜の粗粒化が進んでいることと、底質に混在する10mm以上の礫の存在があげられる。また、現地底質のシルト粘土含有率 F_c は10%以下の範囲にあった。

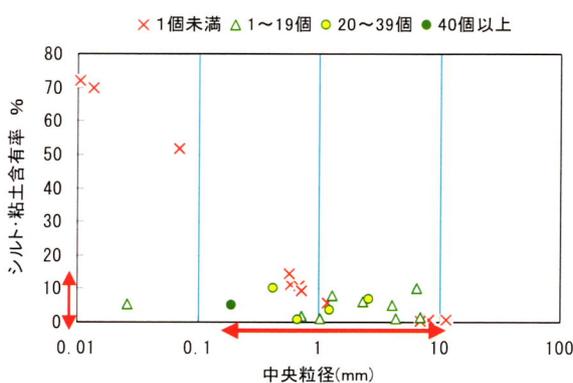


図-4 底質とアサリの四季平均生息密度(個/0.25m²)

干潟造成に使用する材料はシルト以下の粒径が多いものを想定している。このため、材料の流出・移動を抑制し、アサリの生息基盤を形成するために覆砂を行うこととした。

図-5 は現地の底質の粒径分布をアサリの生息密度で分類して示すとともに、現地周辺で調達可能な覆砂材の粒径範囲をあわせて示している。想定する覆砂材の主な粒径範囲($d_{50}=0.1\sim 1.0\text{mm}$)は、現地アサリの生息する粒径分布の範囲内にあるため、粒度調整の必要はないと考え

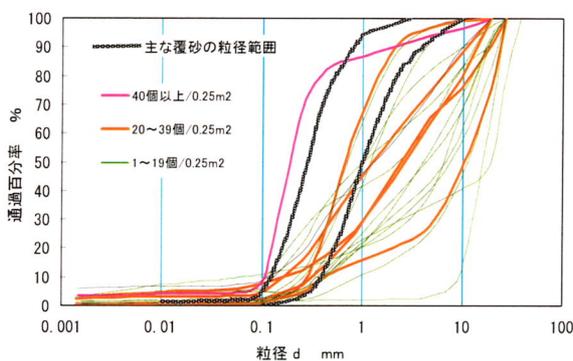


図-5 底質の粒径分布とアサリの生息密度

た。また、波浪かく拌による細粒分の流失に伴い底質の粗粒化が予想されるが、現地では $d_{50}=10\text{mm}$ の地点にも分布していることから、その時にもアサリの生息は可能と考える。

(3) 生育環境を支配する基本条件

生育環境を計測する指標として、水温、塩分、溶存酸素、流速、酸化還元電位などの物理的・化学的な諸量や、餌量、生物相などが挙げられる。ここでは、整備後に成育環境が変化し、アサリの生息に影響する可能性がある餌量と生物相を対象として検討を行った。

ただし、これらの基本条件については、事前に予測することが困難であり、干潟整備後にモニタリングを実施して対策の必要性について検討することとした。

a) 餌量

アサリの主な餌は、水中に浮遊する植物プランクトンやデトリタスに加えて、着砂泥性珪藻類であると考えられる^{4,5,6,7}。水中のクロロフィル-a濃度は春季に13 $\mu\text{g/L}$ というやや高い値が見られたが、底質表面の全色素量(クロロフィル-aとフェオ色素量を合計したもの)は高くても14 mg/m^2 であり、瀬戸内海の他の海域に比べて低い値であった。このため、モニタリング項目として餌量を代表する上記の各指標を選定した。

b) 生物相(他の生物との競合・食害)

他の生物との競合や食害によるアサリへの影響については、十分な知見が得られていない。現地の生物調査では、アサリの競合種としてホトトギスガイ・アナジャコ、外敵種としてヒトデ類が見られた。前述のように、ナルトビエイによる食害が懸念されたことから、現地で簡易な実験を行ったところ、その可能性が示唆された。このため、モニタリング項目として生物相(競合種・食害種調査)を選定した。

3. 基本条件への気象・海象等の影響について

アサリの生息基盤を形成する基本条件は、気象・海象条件によって影響を受けると考える。そこで、干潟完成時の地形を対象に、波浪、潮流、地盤の圧密沈下について、シミュレーションによりそれぞれの影響を検討した。

(1) 波浪

現地での入射波高は大きくないが、汀線付近の碎波帯では粒径の小さい底質の移動が想定される。波浪による地形変化の傾向を見るため、潮位変動を考慮した非定常の準3次元海浜変形計算を行った。図-6は対象波浪作用時に移動限界摩擦速度($d=0.2\text{mm}$)以上となる範囲を示したものである。潮位変動によって汀線付近の碎波帯が移動することで、造成干潟の岸側の広い範囲で底質の移

動・攪拌が生じることになり、これは同時にアサリの餌となる砂泥に付着した珪藻類を再懸濁させることにもつながる。

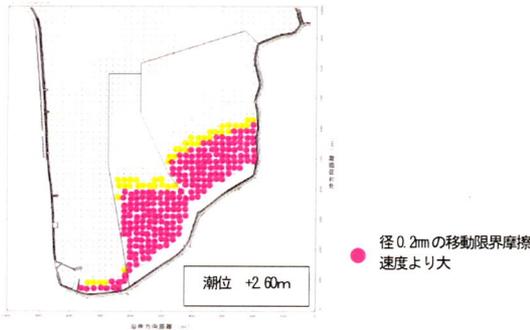


図-6 干潟面の移動限界摩擦速度

干潟完成時の波による流れの平均流速は概ね2~5cm/sで、地形変化量は概ね±5cm/年の範囲にあり僅かである(図-7 参照)。地形の変動パターンは、現況では汀線に沿って岸側が侵食され沖側が堆積される傾向を示す。これと比べて、干潟完成時では、外周施設である突堤状の護岸の右側(平均流の上流側)で沖側の部分が侵食され、外周護岸の周辺に堆積を生じる傾向がある。これは波浪によって生ずる流れが干潟の外周護岸の沖側に取れんことに起因すると推測する。

このことは、流れの方向を遮る工作物の設置等により、干潟の微地形の形成や、有機懸濁物やアサリ稚貝の集積箇所の制御に対する可能性を示唆している。

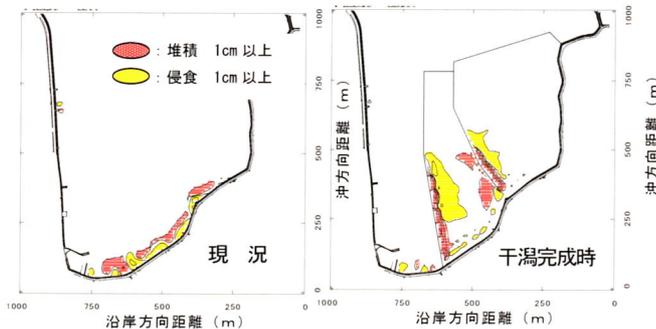


図-7 波浪による地形の変動パターン

(2) 潮流

潮汐による干潟完成時の流況変化を多層モデル計算した。境界条件を与える際には、柳ら⁸⁾の研究結果なども参考にした。完成干潟時の潮流の表層流速は概ね5cm/s以下であり局所的な最大流速でも9cm/s程度であった(現況計算の最大流速は6cm/s程度)。干潟での潮流による底面摩擦速度は1cm/s以下であった。

アサリの生息には、流れのある方が餌の供給量が増えるため好ましいが、速すぎると砂地盤の移動やアサリの散逸などを生じる。どの程度が適当であるかは含まれる

餌量など他の要素が関連するため明確に判断できない。

東京湾盤州干潟の事例では、潮流の流速が6cm/s以上のアサリの肥満度が平均値を上回っている傾向が見られ⁹⁾、また底面摩擦速度が4cm/s以上ではアサリが流され定位率(その位置に残る割合)が下がる¹⁰⁾としている。

環境条件が違うためその適否を論ずることはできないが、計算結果からは、アサリが流されるほどの潮流は生じていない。また、現況よりは流速が早くなるため、アサリにとっては、より好ましい流況になると推測される。

(3) 地盤の圧密沈下

完成後の干潟地盤は、圧密沈下の進行に伴い徐々に沈下するため、干潟完成時の地盤高は計画値より高めに設定する。最終沈下量は2m程度と算定されるが、事前の上げ越し量の設定にあたり、アサリの生息範囲を考慮する必要がある。そして、完成後は、地盤の沈下速度に応じて維持管理を行うのが合理的と考える。

ただし、沈下速度は投入土の練り返しによる物性変化や現地盤の排水性能によって予測値が異なる。そこで、沈下速度の予測誤差を見るため、現地盤れき層の排水条件を変えて計算を行った。その結果、供用開始から5年後相当の沈下量は、排水条件により概ね0.2~0.7mの範囲にあると予測された(図-8)。このため、沈下量として0.5mを想定して、その分を上げ越すこととした。

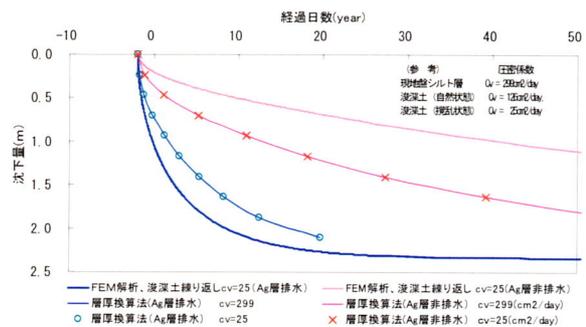


図-8 整備後の圧密沈下量

4. アサリ干潟の順応的管理手法の構築について

(1) 干潟管理におけるPDCAサイクルの形成

アサリ干潟を順応的に管理するためには、継続的なモニタリングとそのフィードバックにより、現況分析→対策立案→実施評価のPDCAサイクルを形成し、適宜その内容を見直しながら、管理を行うことが必要である。

このため、アサリ干潟の成立条件をもとに管理指標を選定し、目標達成基準を設定することとした。干潟の状態を管理指標のモニタリングにより把握し、目標達成基準との比較により対策等の必要性を判断するよう、モニタリング及び評価のシステムを構築することとした。

これらの手続きは文書化し、関係する主体間の行動指

針として「干潟整備マニュアル」¹⁰⁾に取りまとめた。マニュアルを関係者の間で常にチェックしていくことが、即ちPDCAサイクルの履行になるものとする。

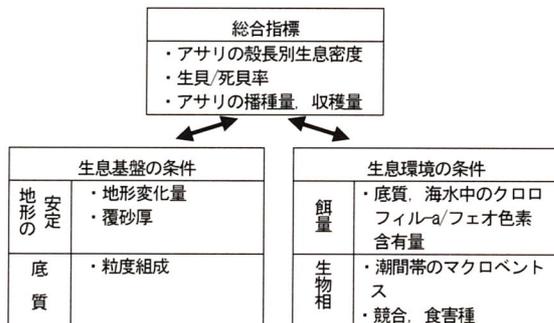
(2) 管理指標と目標達成基準

モニタリング項目は、まず干潟全体の機能を判断する総合指標としてアサリの資源量(生息密度、生貝/死貝率、播種量・収穫量)を選定した。目標基準値は、暫定的に整備前の現地観測値として、整備前後でのアサリの定着について評価することとした。

総合指標は対策の必要性の判断に使用するものであり、これをもとに対策方法を検討することは難しい。そこで前述のアサリ干潟の成立のための基本条件を、対策方法の検討のための管理指標として選定した。このうち、生息基盤の基本条件はそれぞれ生息範囲を確保することを目標達成基準とした。生息環境の基本条件は、餌量に過不足がないこと及び食害・競合生物による被害がないことを目標達成基準とした(表-1)。

なお、目標達成基準は、干潟整備後のモニタリングデータの蓄積によって随時見直していく必要がある。

表-1 モニタリングにおける管理指標



(3) 初期モニタリングとその後のモニタリング

整備後初期のアサリ干潟は、地形及び地盤がまだ安定していないこと、新たな生息基盤であるため生物相の変化が大きいことから、不安定な状態にある。このため、ある程度の安定が得られるまでの間を「初期モニタリング」の期間として、「その後のモニタリング」の期間と分けて考えることとした。初期モニタリングにおける管理指標と計測計画の例を表-2に示す。

当初、初期モニタリングの期間は整備後5年間を目安とし、5年後にモニタリング内容を見直すこととした。「その後のモニタリング」の期間は、総合指標のモニタリングを基本とし、対策の必要性が認められた場合には必要に応じてそれぞれの基本条件のモニタリングを行うこととした。

なお、台風災害等の際には、早急に対策の検討が必要なので、緊急時モニタリングとして別途内容を関係者

で協議して行うこととしている。

表-2 初期モニタリングの管理指標と計測計画

分類	管理指標	最小頻度	実施時期				
総合指標	①資源量 ・アサリの殻長別生息密度調査 ・生貝/死貝率調査	年2回以上	1年目 ●●●●●	2年目 ●●●●●	3年目 ●●●●●	4年目 ●●●●●	5年目 ●●●●●
	・アサリ播種量、収穫量調査	年各1回	適時				
生息基盤管理	②地形 ・地形変化測量 ・覆砂厚調査	年1回以上	1年目 ●●●●●	2年目 ●●●●●	3年目 ●●●●●	4年目 ●●●●●	5年目 ●●●●●
	③底質 ・粒度組成調査	年1回	1年目 ●●●●●	2年目 ●●●●●	3年目 ●●●●●	4年目 ●●●●●	5年目 ●●●●●
生育環境管理	④餌量 ・底質、海水中のクロロフィル-a/フェオ色素含有量調査	年2回以上	1年目 ●●●●●	2年目 ●●●●●	3年目 ●●●●●	4年目 ●●●●●	5年目 ●●●●●
	⑤生物相 ・潮間帯のマクロベントス調査 ・競合・食害種調査	年2回以上	1年目 ●●●●●	2年目 ●●●●●	3年目 ●●●●●	4年目 ●●●●●	5年目 ●●●●●

(4) 維持管理手法

a) 生息基盤の管理

干潟の地形や底質(特に粒径)など、生息基盤の基本条件は、いずれも直接的にその変化を計測できる。そして、変化に対して対策が必要と判断された場合には、物理的な対応策により修復が可能である。

今回の事例では、地形の安定等について、できる限り自然のセルフデザインに任せるとしている。時間の経過にともない、主に波浪が原因である地形の侵食と堆積、底質の粗粒化と細粒化が進行し、干潟環境の多様性が増大するものと期待する。粗粒域は稚貝の着底場として、細粒域は成貝の生息域としてそれぞれ活用するなど、干潟の環境の変化に合わせた適切な対応策を選定し、順应的に維持管理を実施することが重要である。

また、今後の地形変化に対して、覆砂材の追加投入も想定される。この際は、区画を分けて徐々に実施したり、粒度調整には流況の上流側に置き砂を行い、自然の力で拡散・補填される方法をとるなど、対策工自体のインパクトを軽減する配慮も重要である(表-3参照)。

b) 生育環境の管理

生育環境の基本条件も直接計測することが可能である。しかし、維持管理手法としては、定期的なアオサやゴミ等の漂着物の回収、アサリの競合種・食害種対策等の事後対策が主となる。このうち、後者はその対策の実施が難しいが、潮干狩り活用時などに啓蒙的に駆除するなど工夫が必要である。とくにナルトビエイなどに対しては食害防止ネットなどの検討も重要である。

また、生息基盤の変化により、生育環境を変化させることも考えられる。図-7に見られるように、突堤状の護岸周辺は侵食・堆積により起伏が大きくなっている。こ

の結果、成貝や餌量の局部集中などの偏りなども予想される。このような偏りが著しい場合は置き柵や作濘などの流況制御によって、人為的に干潟面の機能分散を図り、アサリの生息機能を全体として向上させる工夫が必要となる。

その他にも、稚貝放流のほか、アサリ再生産の促進のため、過剰採取の禁止、成貝の保護や稚貝育成のための保護区域の設定など、アサリ生息への保全策等により生育環境を保全することも可能である(表-4参照)。

表-3 生息基盤管理の対応策

	管理項目	対 策 例
地形の安定	①波による地形変化	①覆砂の追加投入、整地、均し、置き柵、杭の配置など
	②圧密沈下	②覆砂の追加投入、整地、均し
底 質	③覆砂厚の減少、底質の粗粒化	③調整砂の追加投入（汀線静置による自然拡散方式）、整地、均し
	④底質の悪化（地盤硬度、過度の還元化）	④耕耘による底質改善、作濘による海水交換の促進
災 害	⑤地震・台風等の災害による干潟機能の極端な低下	⑤干潟斜面の整地回復

表-4 生育環境管理の対応策

	管理項目	対 策 例
日常管理	①アオサ・ごみ等の漂着物	①堆積物、ごみ等の回収処理
生物相	②生物相の単純化	②微地形形成により環境条件の多様化を図る
資源量の維持	③アサリの減少	③過剰採取の禁止
	④アサリの生育への介助	④生物サイクルに応じた維持管理作業の実施
	⑤アサリ資源の保全努力	⑤資源保全区の設置、稚貝放流や成貝移植
再生産	⑥アサリの食害、競合種の大量発生	⑥食害防止対策、駆除対策の実施
	⑦アサリ再生産の促進	⑦砂礫撒き（最大10cm厚）、置き柵等の設置

5. まとめ

本論文で明らかにされた主な結論は、以下のとおりである。

- (1) 順応的管理には、計測可能で維持管理に反映可能な指標を選定する必要がある。干潟整備の場合、総合的な指標である生物量自体を直接コントロールすることはかなり困難である。このため、階層的なモニタリング・評価システムを構築することとした。具体的には、科学的な知見にもとづいてアサリ干潟の成立のための基本条件を整理し、個々の基本条件についてモニタリングと評価のための目標達成基準を設定した。

- (2) 基本条件は、評価後の対応策の性質の差により、生息基盤の基本条件と生息環境の基本条件の2つに分類して整理した。前者は地形の安定、地盤高、底質を管理指標とし、その成立条件を目標達成基準とした。後者は餌量、生物相を管理指標とし、望ましくない状態にならないことを目標達成基準とした。
- (3) 完成直後の干潟は、地盤及び生物相の変動が大きいことが想定される。このため、初期モニタリングをその後のモニタリングと分けて計画することを提案した。初期モニタリングは5年間を目安に内容の見直しを行い、その後も常に更新することとした。
- (4) 維持管理を順応的な考え方を導入して進める上で、モニタリング計画、評価手法などを含めた管理体制とそのシステムを文書化して、常に更新することが必要である。このため、今回の事例では干潟整備マニュアルとして取りまとめを行った。

謝辞：整備マニュアルの取りまとめにあたり、委員として参加いただいた広島大学教授 土田孝、徳島大学助教授 中野晋、瀬戸内海区水産研究所室長 浜口昌巳、山口県漁業協同組合櫛ヶ浜支店長 福田隆文、国土技術政策総合研究所室長 古川恵太（敬称略）をはじめ、徳山下松港干潟整備検討委員会の関係者各位より貴重なご意見、ご指導をいただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 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。
- 井上 泰；山口・大海湾におけるアサリの生態と環境について、水産土木 Vol16, No2, pp29-35, 1980
- 俵 佑方人：愛知県におけるアサリ増殖場造成事例、水産工学 Vol29, No2, pp113-118, 1992
- 黒倉寿ら；芦田川河口域におけるアサリの生き残り条件に関する研究、水産増殖, 35(4), pp223-228, 1988
- 小池裕子ら；東京湾小櫃川河口干潟におけるアサリの食性と貝殻成長、水産工学, 29(2), pp105-112, 1992
- 沼口勝之；浅海域における高生産性と栄養構造の多様性の解明、農林水産生態秩序の解明と最適制御に関する総合研究、平成4年度報告、農林水産技術会議事務局, pp238-239, 1993
- 沼口勝之；アサリ漁場における底層水、セジメントおよび底泥のクロロフィル a とフェオ色素量、養殖研報 18 号, pp39-50, 1990。
- 柳 哲雄、安田秀一；笠戸湾の潮汐残差流に関する水理模型実験、中国工業技術試験所報告 No2, p31-39, 1997
- 柿野 純；東京湾盤洲干潟におけるアサリの成長と流れとの関係、千葉水試研報 54, p7-10, 1996
- 柿野 純ら；東京湾盤洲干潟におけるアサリの生息と波浪との関係、水産工学 Vol28, No1, pp51-55, 1991
- 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、2005