

備讃瀬戸の環境修復技術に関する研究

STUDY FOR ENVIRONMENT RESTORATION TECHNOLOGY AT BISAN-SETO

益留徳郎¹・明瀬一行²・内田哲理³・栗木秀治⁴・篠崎孝⁵・上田親祐⁶
Tokurou MASUDOME, Kazuyuki MYOUSE, Norimasa UTIDA, Hideharu KURIKI,
Takashi SHINOZAKI and Shinsuke UEDA

- ¹国土交通省中国地方整備局宇野港湾事務所 (〒706-0002 岡山県玉野市築港一丁目1-3)
²正会員 国土交通省中国地方整備局宇野港湾事務所 (〒706-0002 岡山県玉野市築港一丁目1-3)
³国土交通省中国地方整備局宇野港湾事務所 (〒706-0002 岡山県玉野市築港一丁目1-3)
⁴正会員 (財) 港湾空間高度化環境研究センター (〒108-0022 東京都港区海岸三丁目26-1)
⁵復建調査設計株式会社 (〒732-0052 広島市東区光町二丁目10-11)
⁶工修 復建調査設計株式会社 (〒732-0052 広島市東区光町二丁目10-11)

In order to establish the technology for restoration of seabed sand at the area of sea around Bisan-Seto, this study analyzed the existing environmental condition there, proposed the direction of technology development based on above analysis, and implemented the proving experimentation to confirm the appropriateness of proposed technology.

In this study, the problems at Bisan-Seto were made clear by using the "Impact Response Flow Analysis", and taking the lifestyle of fish and shellfish into account the comprehensive method to simultaneously restore the shallow area along coast line and offshore seabed sand was adopted.

Since there have been few studies on the restoration technology of seabed sand, the proving experimentation to establish this technology has been commenced and monitoring works been carried out.

Key Words : Bisan-Seto, Environment restoration, Quarry (for exploitation of sea sand and gravel), Restoration of seabed sand, Restoration of shallow area, Proving experimentation

1. はじめに

国土交通省中国地方整備局は水産庁漁港漁場整備部と連携し、沿岸域の開発等によって失われた藻場及び干潟等の修復を総合的かつ計画的に進めるため、瀬戸内海全域を対象とした「瀬戸内海環境修復計画」(平成17年2月)を策定した。本計画を推進するため備讃瀬戸(湾・灘レベル)を対象海域として、平成18年度から備讃瀬戸の課題・特性に基づき目標及び修復技術の検討を進めている。

備讃瀬戸の環境修復の基本的方針は、沿岸域の浅場(藻場・干潟)と沖合の砂場(海砂利採取跡)の両方を一体的に修復することである。しかし、浅場の修復技術は様々な機関で研究が進められているが、砂場の修復技術は、ほとんど研究が進んでいないのが現状である。

本研究では、備讃瀬戸海域の現状分析を行い、それに基づき備讃瀬戸における環境修復の方向性を示し、砂場修復技術の確立を目指した実証実験について報告する。

2. 備讃瀬戸の現状と環境変化の要因の分析

(1) 備讃瀬戸の現状分析

a) 地形・海象

備讃瀬戸は、図-1に示すように岡山県と香川県に挟まれた瀬戸内海のほぼ中央部に位置する海域である。瀬戸内海の中でも平均水深は16.3mと最も浅く、瀬戸内海に占める水域面積及び容積についても4.6%及び2.0%程度と最も小さい。また、潮流が非常に速く、鉛直混合が大きく成層が発達しにくい一方、瀬戸内海のほぼ中央に位置するため外海との海水交換性が低い海域である^{1), 2), 3)}。



図-1 備讃瀬戸の位置

備讃瀬戸の水質は、透明度が瀬戸内海の平均値より約3m程度低く、CODがやや増加傾向にあるものの、T-N、T-Pは瀬戸内海の平均値と同程度であり、赤潮の発生も少なく、底層D0の低下による貧酸素水塊や青潮の発生もみられない。また、底質も概ね良好な状態である^{4), 5)}。

しかし、備讃瀬戸では、これまでに7,000ha以上の埋立・干拓が実施されている。これは瀬戸内海の中で水域面積が4.6%程度の備讃瀬戸で、瀬戸内海全体の埋立・干拓の約24%が実施されたこととなる³⁾。

b) 海砂利採取

備讃瀬戸では、これまでに約3.2億m³の海砂利採取^{6), 7)}が行われ、砂州・砂堆の3割程度で水深の増大(侵食)がみられる。海砂利採取跡地の特徴(未調査による不明を除く)についてみると、形状別では平滑型が約8割、窪地型が約2割である。また、平滑型の約4割で底質の礫質化、泥化及び洪積粘土層の露程がみられ、窪地型の約6割でも同様の現象がみられる。

c) 生物資源

備讃瀬戸は魚類の産卵場、幼稚魚生育場として、瀬戸内海の中でも重要な再生産機構の場(ナースリー)となっている⁸⁾。また、他の海域からの入り込み魚類が少なく、定住魚類が多いことが特徴として挙げられる⁹⁾。

しかし、漁獲量は図-2に示すように1980年頃をピークとして1/3程度に減少している。特にイカナゴの資源量については1980年から、1998年の20年間程度の間に資源量は約1/6に減少している⁶⁾。

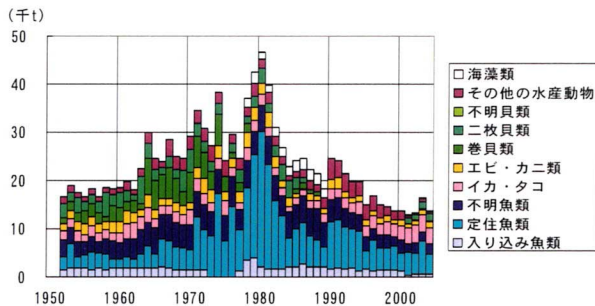


図-2 備讃瀬戸の漁獲量の経年変化^{10), 11)}

d) 浅場(藻場・干潟)の消滅・減少

図-3に示すように備讃瀬戸の藻場は、1960年代から1990年頃までの約30年間で9,000ha近くの藻場が消滅し、1/8以下に減少した。また、干潟は、1890年代後半から1990年頃までの約100年間で7,000ha以上が消滅している。

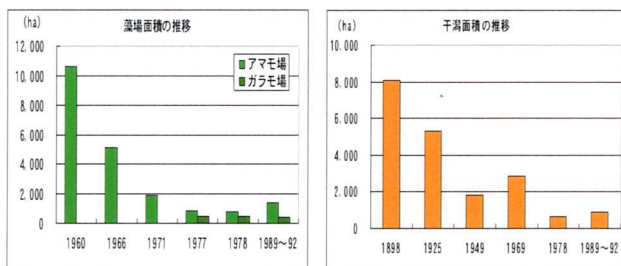


図-3 備讃瀬戸の藻場・干潟面積の経年変化^{12), 13), 14), 15)}

(2) 備讃瀬戸の環境変化の要因分析

備讃瀬戸の海域環境の現状を踏まえ、図-4に示すように現在の環境に至るまでのインパクトレスポンスフローについて既存の調査報告書等に基づき分析を行った。

備讃瀬戸の海域環境への主なインパクトは、「埋立・干拓」及び「海砂利採取」の大きく2つが考えられる。

埋立・干拓は、直接的かつ物理的に浅場を消滅させるとともに、一部で波高・波向きの変化による海岸侵食、海岸形状の改変(水際構造の単純化)による生物生息空間の減少及び流況変化等を引き起こしていると考えられる。更に浅場の減少及び海岸形状の改変にともない、海中へのD0供給量も減少していると考えられる。

また、海砂利採取は、行為そのものによる資源の枯渇をはじめ、海砂利採取による濁りの発生は、透明度の低下、有光層の減少及びアマモ葉上への濁り粒子の付着により、アマモ場減少の一要因になったと考えられる。

また、その原因となる濁り成分は、海砂利採取跡及び周辺に部分的に堆積し、海底の泥化を招き、海砂利採取が禁止されて以降も再浮上により長期的な透明度の低下等を引き起こしていると考えられる。

同時に、海砂利採取による砂分の選択的採取は、海砂利採取跡の礫化を招き、これら海底の底質変化は、魚介類の産卵・生育場の減少・消滅及び変化を引き起こしたものと考えられる。

海砂利採取等による砂州・砂堆の減少・消滅及び底質の変化は、瀬戸内海の世界連鎖上で一次生産と高次生産を結びつける重要種であるイカナゴの産卵・生育場を減少させるとともに、成長ステージに応じて浅場から砂場に移動する魚種についても、生息環境の連続性を分断したと考えられる。

次に、海砂利採取による水深の増大及び砂州・砂堆の消滅は、流速の低下、波高・波向きの変化を引き起こすとともに、従来は存在しなかった凸凹地形や窪地を出現させ、部分的な有機物の堆積や底質の泥化を助長していると考えられる。

以上、浅場の埋立・干拓及び砂場の海砂利採取による直接的かつ物理的な魚介類の産卵・生育場の消滅・減少、海砂利採取時の濁りによる藻場の減少及び砂場の底質の変化は、備讃瀬戸海域が従来持っていた生物の産卵・生息場を減少及び変化させたと考えられる。

また、浅場の減少及び海岸形状の改変にともない親水機能が低下するとともに、浅場に生息する懸濁物食者による濾過作用、有機物の無機化及び有機懸濁物の生物への置き換え等、円滑な物質循環が阻害され、浄化機能が低下していると考えられる。

更に、海砂利採取跡地は、海底の性状変化及び凸凹地形の出現に加え、大きな粘土塊等が点在しているため小型機船底引き網漁業の操業に支障を与えており、漁場としての価値の低下等、海域利用の面でも悪影響を与えている。

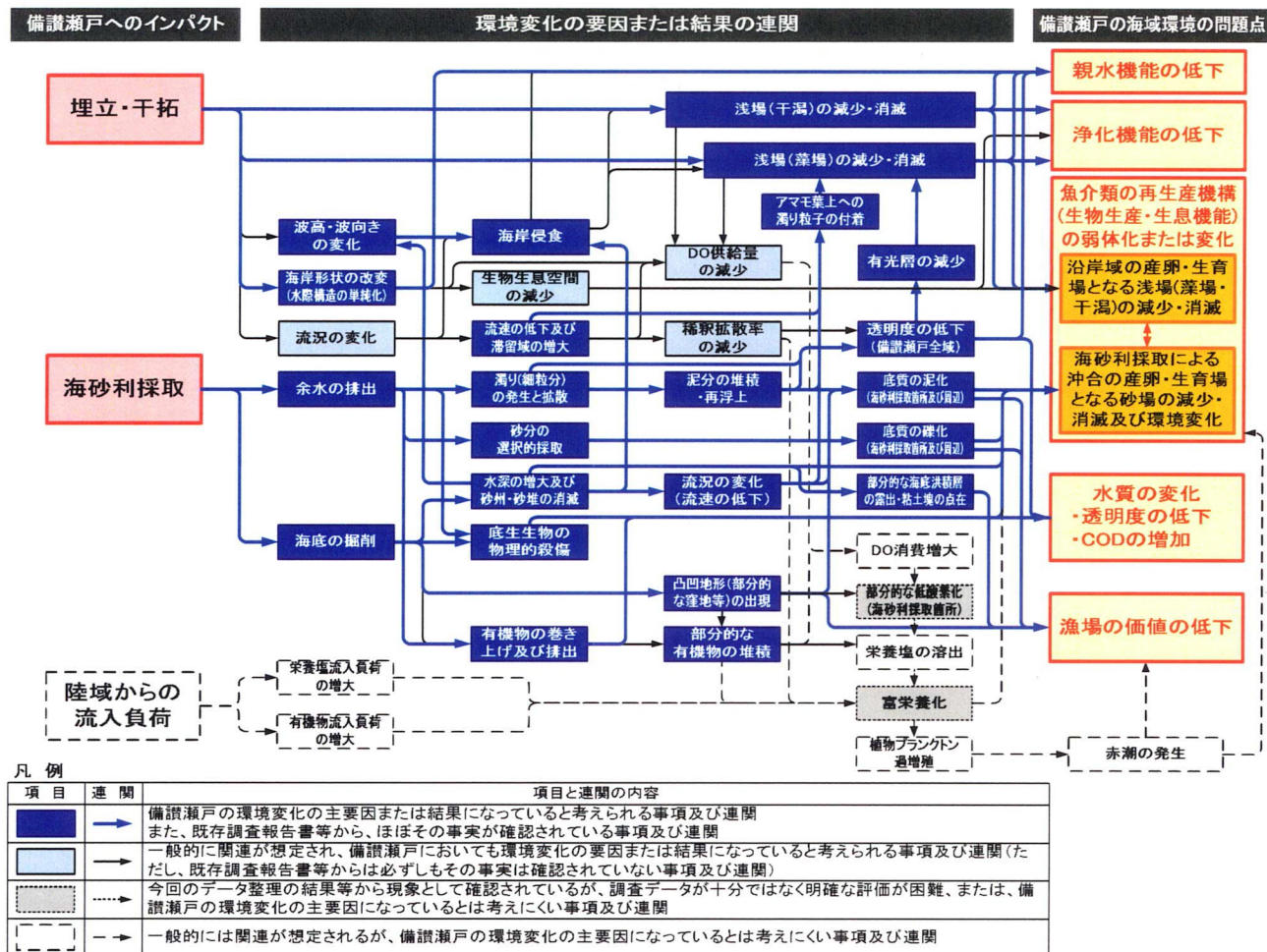


図-4 備讃瀬戸のインパクトレスポンスフローの分析結果^{(6), (7), (16), (17)}

3. 備讃瀬戸環境修復の取り組みの基本方針等の検討

(1) 備讃瀬戸環境修復の取り組みの基本方針の検討

インパクトレスポンスフローによる分析の結果、備讃瀬戸の問題点として、親水機能及び浄化機能の低下、魚介類の再生産機構の弱体化及び変化、水質の変化及び漁場価値の低下が抽出された。その中でも、従来、備讃瀬戸は瀬戸内海において魚介類の重要な再生産の場であったにもかかわらず漁獲量が経年的に減少していることから「魚介類の再生産機構の弱体化及び変化」が特に重要な問題と考えられる。また、その主な要因は埋立・干拓及び海砂利採取による浅場及び砂場の減少・消滅であり、「魚介類の再生産機構の主たる場となる浅場(藻場・干潟)及び砂場(海砂利採取跡)の修復」が備讃瀬戸において対応の必要性が最も高い課題と判断した。

浅場は、多様な生物の重要な生息・生育空間として魚介類の産卵場・幼稚魚の保育場として機能している。また、沖合の砂場についても同様に一部魚介類の産卵場・幼稚魚の保育場として機能するとともに、多くの成魚の生育場になっている。さらに浅場及び砂場は、水質浄化の場、健全な物質循環の場として、浅場は海水浴、潮干狩り等、自然とのふれあいの場としても重要である。

つまり、“沿岸域の浅場の修復”により、魚介類等をはじめとする生物生産・生息機能、水質浄化機能及び親水機能の向上が期待されるとともに、“沖合の砂場の修復”によっても魚介類等をはじめとする生物生産・生息機能の回復、地形修復及び底質改善による漁場価値の回復が可能となる。

また、水質の変化については、主要因の1つと考えられる海砂利採取が既に禁止されており、今後緩やかな改善が期待されることに加えて、浅場及び砂場修復による水質浄化機能向上にともなう改善も期待され、水質の改善により親水機能も一層改善されると考えられる。

また、一般市民に対しても魚介類の再生産機構の回復による水産資源の増加、親水機能の向上及び水質の改善により、地産・地消による食文化の継承及びふれあいの場の提供が行われ、人と海の繋がりの再生が図られ、備讃瀬戸の海域環境に対する市民の関心を高揚し、次の浅場・砂場の修復が円滑に進められる一連の流れが醸成されていくこととなる。

したがって、図-5に示すように「魚介類の再生産機構の主たる場となる浅場及び砂場の修復」により、親水機能の低下等その他の問題点も直接的あるいは間接的に改善され、備讃瀬戸の海域環境及び環境修復の取り組みがポジティブスパイラルに向かうことが期待される。

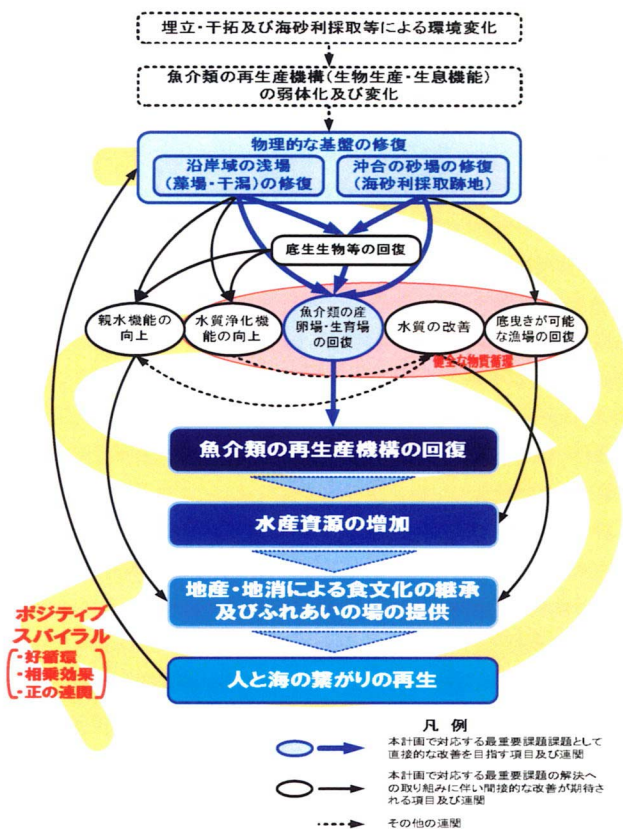


図-5 備讃瀬戸の環境修復の取り組みの基本方針

表-1 備讃瀬戸の主要な魚介類の成長段階毎の生息環境^{18)~23)}

種 名	生活場所※		
	藻場	干潟	砂場
ヒラメ	③	③	①
カレイ類	②③	②③④	①
クロダイ	①②③④	①②	
イカナゴ			①②③④
トラフグ	②	②③	①④
タコ類 (マダコ)		③④	①③④
ガザミ類 (ガザミ)	①③	③	③④

※成長段階における利用状況：①産卵、②稚仔魚、③未成魚、④成魚

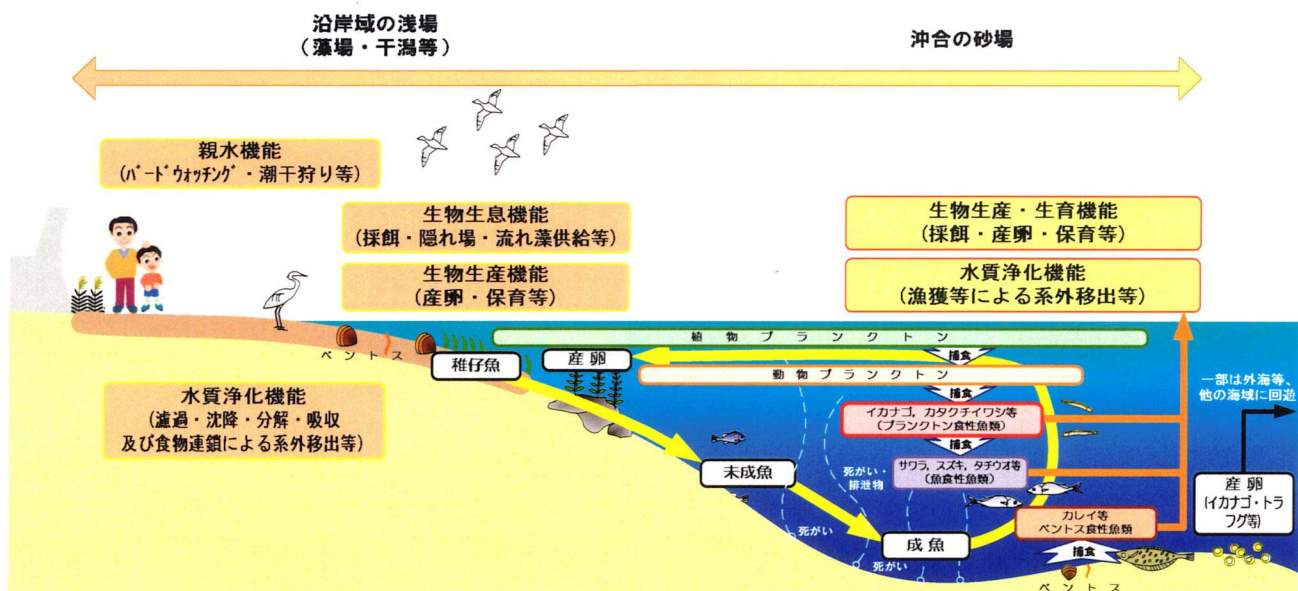


図-6 備讃瀬戸の浅場及び砂場の海域生態系をととした連続性

(2) 備讃瀬戸における浅場及び砂場修復の方向性の検討

表-1に示すように備讃瀬戸に生息する主な魚介類について、成長段階毎の生息環境を整理した結果、単一の場でライフサイクルを完結する種は少なく、多くの魚介類が産卵期～成魚期のいずれかの段階で浅場及び砂場を生息場とし、浅場から砂場まで一体的に利用していることが明かとなった。つまり、浅場及び砂場は、それぞれが単一の場として機能を発揮するのではなく、図-6に示すように魚介類等海域生態系の中で連続性(エコロジカルネットワーク)を持った一連の場として機能していると考えられる。かつての備讃瀬戸は、そのような一連の場が多く存在したことが、瀬戸内海でも重要な再生産機構の場となっていた要因と考えられる。

これまで、海域環境の修復においては、沿岸域の藻場・干潟の修復等、単一の場の修復が主であったが、備讃瀬戸の環境修復においては、魚介類のライフサイクル及びエコロジカルネットワークに着目し、沿岸域の浅場と沖合の砂場の両方を一体的に修復することとした。そのことにより、より効果的・効率的な魚介類の再生産機構の回復が実現されることが考えられる。

4. 環境修復技術の実証実験

(1) 実証実験の対象技術の選定及び目的

浅場の修復技術は、これまで及び現在も様々な機関で研究・技術開発が進められており、幾つかの技術指針類も作成され、ある程度の要素技術は整理されつつある。一方、砂場の修復技術は、これまで修復事例もなく研究はほとんど進んでいない。

したがって、本研究では砂場修復技術を対象とし、修復した砂場の物理的な基盤(地形及び底質)の安定性、持続性及び生物生息機能の回復効果等を検証することを目的として、実海域での実証実験を行うこととした。

(2) 実証実験地(海砂利採取跡)の現状調査

図-7に示す岡山県味野湾の海砂利採取跡にある実証実験地の現状について、海砂利採取跡(A, B(実証実験区), C, D)及び対照区(本来の砂場の姿に近いと考えられるなだらかな地形)の概要を以下に示す。

a) 海砂利採取跡の海底地形

海砂利採取跡の地形的特徴としては、全体的には水深約20～25m程度の大規模な平滑型の海砂利採取跡であり、部分的に平滑型から更に掘削し、水深40m近くに達する窪地型地形も存在している。また、測量範囲東側の広範囲で高低差1m未満の微少な凸凹地形が存在しており、海砂利採取区域北側境界部付近は地形変化が非常に激しく高低差5m前後の不自然な凸凹地形が存在している(図-8)。

一方、測量範囲北西側では、海砂利採取が行われていない本来の砂場の姿に近いと考えられるなだらかな地形が確認された(図-8)。

b) 底質

粒度組成は、海砂利採取跡では砂分が約20%程度しかなく礫分が約70%以上を占める箇所、逆に砂分が約70%近く残存する箇所等、隣接する調査地点でも粒度構成のバラツキが非常に大きく、モザイク状に底質が分布している。一方、対照区は、礫分をほとんど含まず、細砂～中砂の均等な砂分が80%程度を占めている(図-7)。

c) 底生生物・魚介類

底生生物は、潜水土によるコドラート採取を行ったが、種類数は海砂利採取跡地が概ね30種前後であるのに対し、対照区は平均約70種であった。また、個体数は、海砂利採取跡地が概ね50～100個体前後であるのに対し、対照区は平均約240個体であり、種類数・個体数ともに海砂利採取跡地は対照区に比較して明らかに少ない傾向がみられた(図-9)。

また、魚介類は、底曳網(エビケタ漕ぎ)による調査を行ったが、海砂利採取跡では海底の礫化により、底曳調査が困難であり、底曳き漁場としての価値が低下していることが明らかとなった。

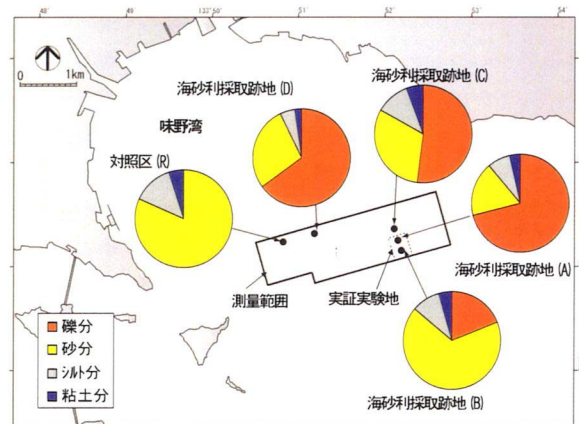


図-7 実証実験地の位置図及び粒度組成

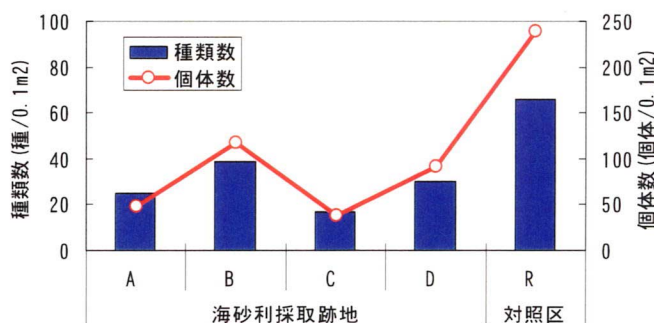


図-9 底生生物の地点別出現種類数

(3) 実証実験の概要

実証実験区の造成は、現状調査を実施した海砂利採取跡において、形状による修復効果の違いについて把握するため図-10に示すように覆砂型と山型の2つのパターンで実施した。

覆砂型は、礫化・泥化した海底面の底質改善を主体とした覆砂に類似した修復手法で、修復材料の有効活用の観点から効果的な修復パターンである。

一方、山型は、平坦に砂を投入するのではなく、ある程度の高さがある形状とした修復手法で、潮流の速い備讃瀬戸の特徴を活かし、自然営力の土砂移動(セルフデ

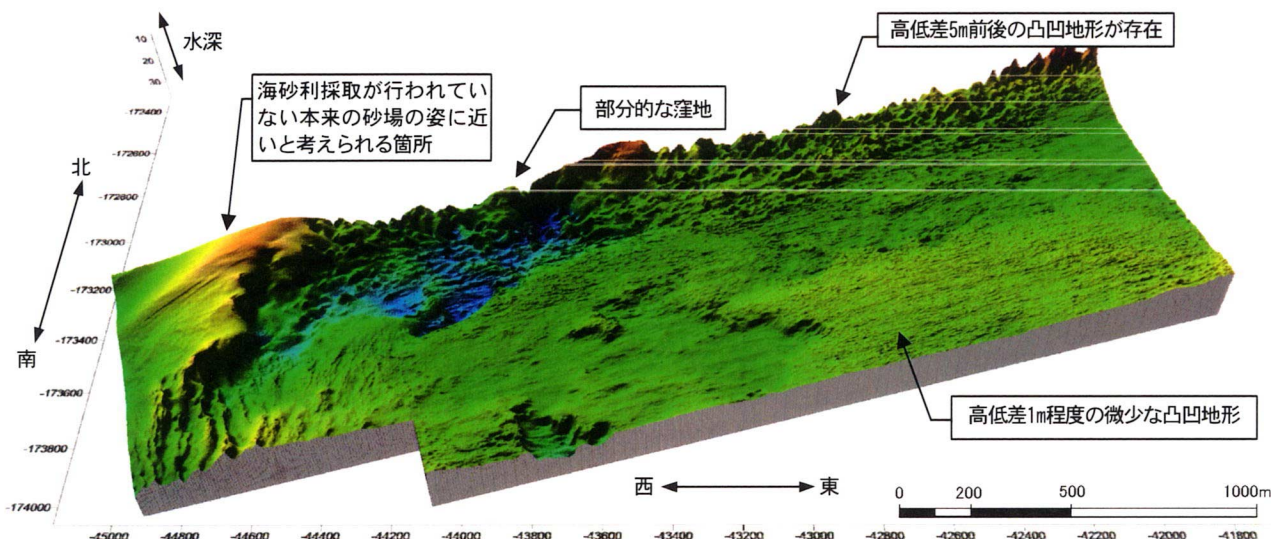


図-8 実証実験地(海砂利採取跡)の海底地形測量結果

ザイン)による修復箇所周辺への修復促進効果の期待と砂場でライフサイクルを完結し、斜面部を好んで夏眠するイカナゴに配慮した修復パターンである。

実証実験には、近隣の航路浚渫で発生した約50,000m³の良質な水底土砂(砂質土)を有効活用し、造成は平成19年10月に完了した。造成後約4ヶ月を経過した平成20年1月に実施した実証実験区の調査によると、地形は覆砂型及び山型とも概ね土砂投入直後の形状を維持しており、底質は、一部地点で礫分の増加がみられたが概ね土砂投入直後の性状(砂分約85%)が維持されている。また、底生生物は約20種程度が確認されている。ただし、季節的な変動も含まれていると考えられ、短期的な調査しか行われていない現時点での明確な評価は困難である。今後、モニタリング調査を概ね5年程度実施し、海砂利採取跡地の現状調査結果との比較及び経年変化等について解析し、修復した砂場の物理的基盤としての安定性と持続性及び基盤上に成立する生物生息機能の回復状況、形状による修復効果の違い等について検証し、砂場の修復技術の確立を目指すこととしている。

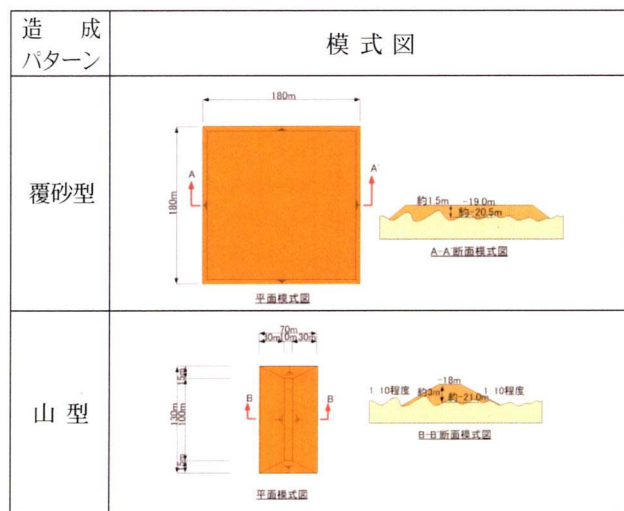


図-10 実証実験の造成パターン

5. 結論

本研究では、備讃瀬戸の環境修復に関するこれまでの取り組み状況について報告した。主な結論を以下に示す。

(1) インパクトレスポンスフロー分析により、現在の備讃瀬戸の海域環境変化の主要な問題点として、親水機能及び浄化機能の低下、魚介類の再生産機構の弱体化及び変化、水質の変化及び漁場価値の低下を抽出した。その中で特に重要な問題と考えられる魚介類の再生産機構の弱体化及び変化について、主要要因が埋立・干拓及び海砂利採取による浅場(藻場・干潟)及び砂場の減少・消滅であることが推定された。

(2) 備讃瀬戸の主要な魚介類のライフサイクルを整理し、浅場及び砂場について海域生態系をとおして連続性(エ

コロジカルネットワーク)のある一連の場であることを明らかにし、備讃瀬戸では浅場と砂場の両方を一体的に修復することが重要であることを示した。

(3) 備讃瀬戸の環境修復に必要な技術であるが、全国的にもほとんど修復事例がなく研究が進んでいない砂場(海砂利採取跡)修復技術の確立と今後の備讃瀬戸の環境修復の計画への反映を目指し、実証実験を平成19年10月より開始した。造成から約4ヶ月後の調査では、修復された砂場の基盤(地形、底質)は概ね維持されており、底生生物も約20種程度が確認されている。

参考文献

- 1) 小阪敦夫：瀬戸内海の環境，恒星社厚生閣，pp. 62，1985.
- 2) CMES：瀬戸内海の魚介類を育む海の仕組み：http://www.ehime-u.ac.jp/~cmes/seika-takeoka/seika-takeoka.htm
- 3) セトウチネット：http://www.seto.or.jp/seto/index.htm
- 4) (独) 国立環境研究所：http://www.nies.go.jp/index-j.html.
- 5) 国土交通省 瀬戸内海総合水質調査：http://www.pa.cgr.mlit.go.jp/gicyo/suishitu/.
- 6) 香川県：海砂利採取影響総合検討業務，pp. 2-14，1999年9月.
- 7) 岡山県：岡山県海砂利採取環境影響調査，pp. 28，2000年12月.
- 8) (社) 日本水産資源保護協会：漁業環境のあり方-瀬戸内海(方法論)，pp. 105，2001年3月.
- 9) 農林水産省水産庁：瀬戸内海における環境修復計画調査 報告書，pp. 3-64，2004年3月.
- 10) (社) 日本水産資源保護協会：瀬戸内海漁業離別漁獲統計類年表(1952～1984) .
- 11) 中国四国農政局：瀬戸内海地域の漁業(1985～1991)，瀬戸内海地域の漁業動向(1992～1997)，瀬戸内海区及び南太平洋区における漁業動向(1998～2004) .
- 12) 瀬戸内海水産開発協議会：瀬戸内海域における藻場の現状(1960，1966) .
- 13) 南西海区水産研究所：瀬戸内海関係海域藻場分布調査報告，(1971，1977) .
- 14) 環境省：第2，4回自然環境保全基礎調査(1978，1989～92) .
- 15) 建設省中国地方整備局：瀬戸内海要覧，pp. 56.
- 16) 環境省：瀬戸内海における海砂利採取とその環境への影響，環境省水環境部閉鎖性海域対策室，pp. 9，2002年3月.
- 17) (独) 産業技術総合研究所 海洋資源環境研究部門：瀬戸内海の水砂利資源採取による広域的環境影響評価と管理に関する研究，pp. 6，2004.
- 18) (社) 日本水産資源保護協会：水生生物生態資料，pp. 190，1981年3月.
- 19) (社) 日本水産資源保護協会：本州四国連絡架橋漁業影響調査 第1編 児島・坂出ルート総括報告書，pp. III-126，1998年3月.
- 20) (財) 海洋生物環境研究所：沿岸至近域における海生生物の生態知見 魚類・イカタコ類編，pp. 477，1991年3月.
- 21) 水産資源保護協会：水産生物の生活史と生態，1985年3月
- 22) 柴田玲奈・青野英明・町田雅春：トラフグの産卵生態，水産総合研究センター研究報告 別冊第4号，pp. 131，2006年1月.
- 23) 三宅貞祥著保育社：原色日本大型甲殻類図鑑(Ⅱ)，pp. 83，1998年11月.