

海域生物環境改善技術の開発

末永慶寛¹・河原能久²・山本直樹³・田中陽二⁴

¹正会員 工博 香川大学助教授 工学部安全システム建設工学科
(〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20) E-mail:suenaga@eng.kagawa-u.ac.jp

²フェロー会員 工博 香川大学教授 工学部安全システム建設工学科 (同上)

³学生会員 香川大学大学院 工学研究科安全システム建設工学専攻 (同上)

⁴学生会員 香川大学大学院 工学研究科安全システム建設工学専攻 (同上)

自国管理水域内での水産資源生産力向上のための技術として、様々な人工魚礁が開発され沿岸から沖合に渡る漁場造成施策の中心を成している。特に魚礁設置による漁場造成場所選定において、自然条件や魚種と漁場造成の規模との関係、流動環境と餌料となる小型生物の着生との関係等については、より定量的評価が必要となっている。筆者らは、海域生物環境改善のための数値モデルによる漁場造成適地選定法および流動制御機能を有する水産資源増殖構造物を開発し、特性の異なる複数の海域での実証実験を経て、海域生物環境創造システムの有効性を検証した。

Key Words: artificial reef, numerical model, spawning ground, nursery ground, marine resources

1. 緒言

現在、我が国では国際海洋法の制定により、自国管理水域の有効利用を推進しなければならない状況下にある。これまで各海域で水産資源生産力増強に関する漁場造成事業が実施されてきた。しかし従来の漁場造成計画では、造成適地選定に関する検討や決定については、広範囲に亘る海域特性の把握が困難を極める現地調査や漁業者の経験に基づくヒアリングによる情報収集が中心であった。従って、事業内で設置される人工魚礁に代表される構造物は、物質の滞留を促進するための流動制御機能に極めて乏しく、構造物による影響範囲は、いわば点の効果でしかなく、投資金額に対して経済的とはいえないのが現状である^{1),2)}。

特に、浅海域に設置する場合は海水流の影響が強いことから、事業対象となる魚類の保護・育成を図るためには、人工魚礁が有する既存の餌料培養機能の他に流動制御機能についても定量的な評価が必要である。

本研究では、まず漁場造成計画で対象とする海域の地形も考慮した広範囲な流況について、数値シミュレーションモデルや現地観測によって把握する。次に、計算された流動場に魚介類の仔稚魚に見立てた粒子を配置し、その移動状況を追跡することにより、構造物設置適地を

選定する。その後、観測より得られた流速や海底勾配をもとに、モデルを用いた水理実験を行い、構造物が有する流動制御機能の影響範囲を測定し配置計画に反映させる。

構造物に装着する着生基質としては、石材、コンクリート、鋼材等が利用されているが、生物にとって良好な生息環境を産み出す基質として、多孔質な微小空間を有する基質の有効性が注目されている^{3),4)}。筆者らは、生物増殖機能を有する餌料培養プレートについて、プレート自体が有する多孔質な空間を人工魚礁部材として有効利用する事に着目した。

本研究では、同一構造物内にコンクリート、鋼材、石材に加え餌料培養プレートからなる複数の基質を装着させ、流動環境制御による餌料生物着生を促進する増殖機能を有する水産資源増殖構造物を実海域設置し、生物効果も検証した。それらの手法や結果を基に、今回開発するシステムによって導き出されたデータを、今後の水産資源生産力増強に関する事業に反映させることで、より海域環境に即した適地選定や配置計画を可能にし、異なる海域特性に適応する海域生物環境創造システムを構築する。

2. 数値モデルによる流動解析

流動解析については、連続の方程式、運動方程式、自由表面の式、熱エネルギーの輸送方程式、塩分の輸送方程式、海水の状態方程式を基本とした静水圧近似を仮定したマルチレベルモデル⁵⁰⁾を採用した(式(1)~(7))。また、粒子追跡モデルとしては、オイラー・ラグランジュ法による計算を行った(式(8)~(12))。

ここで、 u は水平2次元流速ベクトル、 ∇_h は水平微分演算子、 $(u\nabla_h)u$ は水平方向の移流、 w は鉛直流速、 T は水温、 Cl は塩素量、 ρ は海水の密度、 g は重力加速度、 η は平均水面を基準とした自由表面位置(鉛直方向を正)、 H は水深、 v_h 、 v_v はそれぞれ水平・鉛直渦動粘性係数、 K_{th} 、 K_{tv} はそれぞれ水温に関する水平・鉛直拡散係数、 K_{ch} 、 K_{cv} はそれぞれ塩分に関する水平・鉛直拡散係数、 k は鉛直単位ベクトル(上向きを正)である。また、粒子の輸送方程式における X は3次元位置ベクトル、 V は粒子位置での流速ベクトル、 ∇ は微分演算子、 Δt は計算時間間隔、上付き添字の*はその時間レベルでの仮の値を表す。式(8)および(9)をルング・クッタ法により式(10)~(12)で近似して解く。

潮流の基礎方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u\nabla_h)u + \frac{\partial(uw)}{\partial z} + fk \times u \quad (1)$$

$$= -\frac{1}{\rho}\nabla p + \nabla_h \cdot (v_h \nabla_h u) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_v \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

$$\nabla_h \cdot u + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

$$p = \int_z \rho g dz \quad (3)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla_h \cdot \int_H^{\eta} u dz = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \nabla_h \cdot (uT) + \frac{\partial(wT)}{\partial z} \quad (5)$$

$$= \nabla_h \cdot (K_{th} \nabla_h T) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{tv} \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial Cl}{\partial t} + \nabla_h \cdot (uCl) + \frac{\partial(wCl)}{\partial z} \quad (6)$$

$$= \nabla_h \cdot (K_{ch} \nabla_h Cl) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{cv} \frac{\partial Cl}{\partial z} \right)$$

$$\rho = \rho(T, Cl) \quad (7)$$

粒子輸送の基礎方程式

$$\frac{\partial X}{\partial t} = V \quad (8)$$

$$X(0) = X_0 \quad (9)$$

$$X^{(n+1)*} = X^{(n)} + F^{(n)} \Delta t \quad (10)$$

$$X^{(n+1)} = X^{(n)} + \frac{F^{(n)} + F^{(n+1)*}}{2} \Delta t \quad (11)$$

$$F^{(n)} = V^{(n)} + \{ (V^{(n)} \cdot \nabla) V^{(n)} \} \quad (12)$$

図-1に示す瀬戸内海の備讃瀬戸西部海域を水平方向500×500mに、鉛直方向には対象生物の成長に応じた行動特性を考慮するため36層に分割して数値モデルを作成した。潮流は、観測されているM₂分潮の潮汐調和定数から振幅および遅角を設定し、各開境界に潮汐波の波動として与えた⁵⁶⁾。その他の開境界については自由流出の条件とした。陸地境界については流動場の計算過程ではno-slip条件、粒子輸送の計算過程では、no-slip条件を採用すると粒子が陸地境界に当たった際に移動しないという現状とは異なる状態となるため、free-slip条件とし、粒子が陸地境界に張り付くことを避けた⁷⁾。

水産資源増殖のための漁場造成適地を推定するため、マダコ仔稚魚に関するデータを香川県水産試験場より提供していただき、マダコ仔稚魚の移動を計算した⁸⁹⁾。

粒子の発生源(主産卵場)については、産卵後5日目の状態で採取されたマダコ仔稚魚の漁獲場所から、流動場の計算結果からバックトレースを5日間行い、粒子の発生地を推定した。

その結果、備讃瀬戸西部海域ではマダコは主に広島沿岸部(水深10m以浅)で産卵している可能性が高いことが判った。また、対象海域で漁業を行っている漁業者の意見からも計算によって推定された場所を産卵場として選択していると判断した。仔稚魚の移動については、予め流動場を計算し、産卵場となっている領域にマダコ仔稚魚に見立てた粒子を5000個投入して成長に伴う鉛直移動を各粒子に与えた。これらの条件下で、粒子の流れによる移動を計算により求め、成育場(創造適地)を推定した。

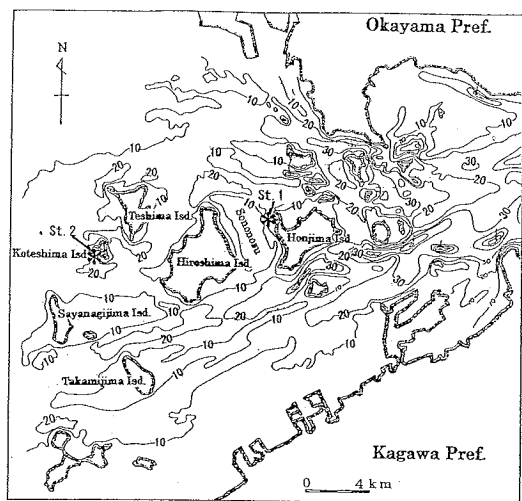
3. 数値モデルによる漁場造成適地の検討

産卵期に卓越する風として、北西風3.0m/sの条件下で計算を行った。潮流の計算結果は、流速が40~150cm/sとなり流向、流速共に観測された流況⁸⁾と良い一致を示すことが確認された。図-2に備讃瀬戸西部海域における恒流図を、図-3に上層(2~4m)および図-4に下層(14~15m)における残差流の計算結果を示す。

上層で広島、本島の南側では、15cm/s程度の東向きの流れと西向きの流れに分かれていることが判る。また、佐柳島南側では20cm/s西に向う流れ、東側では渦の発生も確認され、観測結果と同様な傾向を示した。下層では

広島および本島の南側で東向きの流れが卓越していることが判った。

以上の結果から、流動場の再現性は高いと判断した。



備讃瀬戸西部海域

図-1 対象海域の海底地形図 (図中の数字は水深: mを表す)

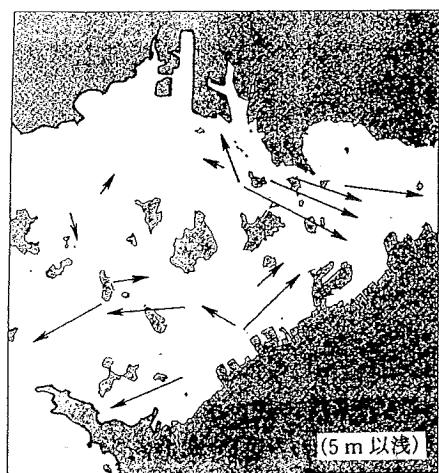


図-2 備讃瀬戸西部海域の恒流図³⁾

図-5に推定した産卵場の位置、図-6に産卵後鉛直移動を与えた30日目のマダコ仔稚魚の分布結果を示す。マダコ仔稚魚は、産卵後5日目より12時間周期で鉛直移動を繰り返す、30日後に底生活動に入ると仮定した。粒子の移動計算結果から、粒子の約60%は東西の開境界から流出してしまうものの、約15%は広島南部海域に輸送され、4つの島(手島、広島、佐柳島、高見島)に囲まれた水深10m以浅(図-1参照)の領域に集積する粒子も

あった。この付近は、上層で比較的流速が遅く島に囲まれていることに加え、底層での南下する流れと北上する流れがぶつかる場所となっているため、地形性の渦が発生し易く粒子の集積が促進されたものと考えられる。また、漁業者によると成ダコの主漁場になっているとのことなので、推定した成育場がマダコの生息環境としても適しており、産卵後に輸送され成育場として選択している可能性が高い。これにより、広島南西部から手島南部海域にマダコの成育場が形成される可能性が高いことが判った。この結果に基づき、推定された成育場に流動制御機能を有する水産資源増殖構造物を設置し、構造物の持つ餌料生物増殖機能および生物蛭集効果を調査した。

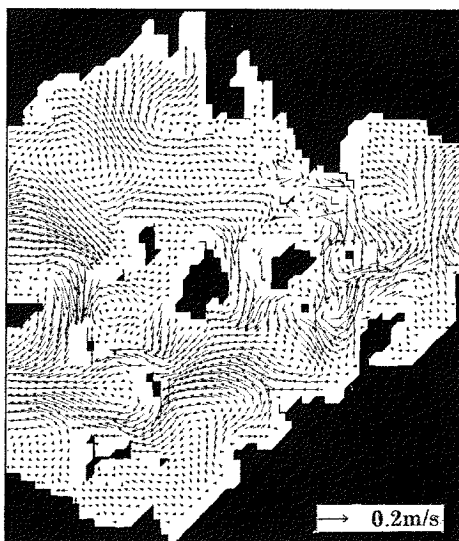


図-3 残差流計算結果 第3層

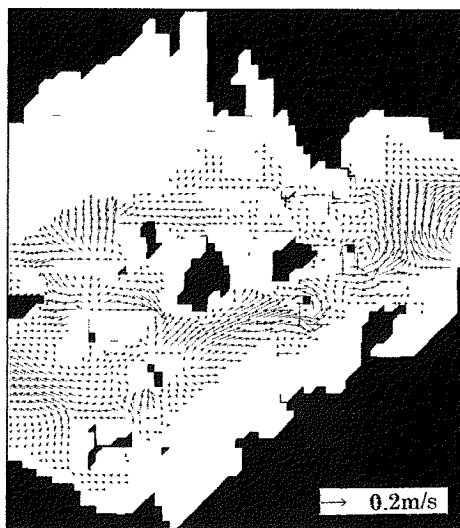


図-4 残差流計算結果 第8層

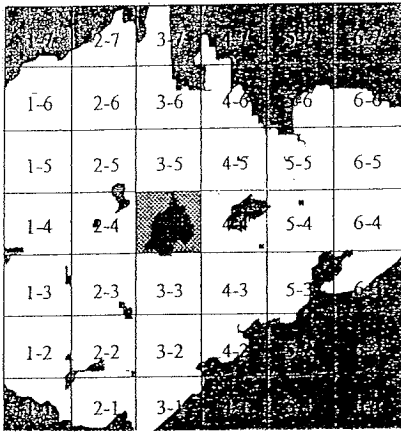


図-5 粒子投入地点

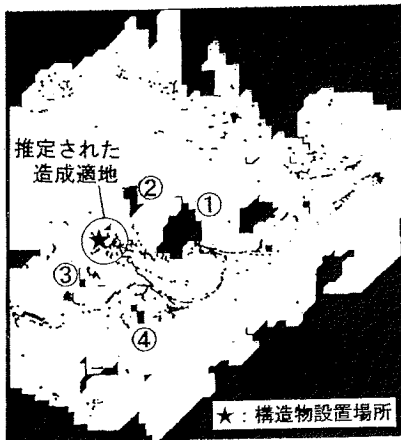


図-6 粒子追跡計算結果

①広島 ②手島 ③佐柳島 ④高見島

4. 流動制御機能を有する水産資源増殖構造物の開発

多孔質な微小空間を持つ餌料培養プレート(骨材径13~20mm, 連続空隙率25%, 比重1.80, 圧縮強度12.8N/mm²)を装着する構造物の形状は図-7に示すような8角形を基本としている^{10,11}。構成部材は、コンクリート、鋼材、石材で、コンクリート製台型ブロックを4個連結し、中央に流動制御用のクロス鋼製パネルを装着する。これは多方向からの流動制御を可能とする。パネルにより制御された流動場は、海藻胞子や魚類卵・仔稚魚の滞留に有利な渦が発生する。それらが構造物後方にまで広がることにより、好適な漁場環境を創り出す。ブロック間は鋼製傾斜フレームで連結され、海域で作業する際に問題となる網掛かりを抑制する形状となっている。構造物高さは、対象水深に応じて調節が可能である。また、石材やプレートに覆われた天井部は海底面への陰影面積を増加させ、魚介類の生息環境を整える。

基質別の小型生物の着生に関しては、既存の石積み角型構造物の調査結果⁹より、設置後53ヶ月で石材部に環形動物、軟体動物、節足動物の合計7748.33g/m³の着生が確認され、コンクリート部には、表面部への着生量218g/m²、鋼材部では60.50g/m²であった。これらのデータを基に構造物内に各基質を装着できる空間を設けた。

5. 水理実験による流動制御機能の検証

流動制御機能を有する構造物設置に伴う渦流域および後流域の形成を視覚的に捉え、構造物高さに対する物質の滞留、着生へ及ぼす影響範囲を水理実験により検証した¹²。構造物により制御された流動場は、湧昇流も発生させ底層の高濃度の栄養塩を上層に巻き上げ植物プランクトンから小型魚類に渡る食物連鎖を活性化させる。また、鉛直混合も促進され、底層での貧酸素化も抑制する。

実験は、香川大学工学部可変型開水路で行った。水槽内に構造物模型(実機スケール1/25)を設置し、対象海域における任意の流速に対する湧昇域および後流域(滞留域、混合域)形成範囲について油膜法および染料を流し込むことにより把握した。染料の移流・拡散状況について画像処理を行った後、構造物高さとの関係を定量的に評価した¹²。図-8の縦軸は水深 d の無次元量 (z/d) 、内部の色分け部は、水平方向の流速 u を断面平均流速 u_m で無次元化 (u/u_m) したもの、横軸は構造物中心から下流側の距離 x を構造物高さ D で除した無次元量 (x/D) である。

実験結果より、流速22cm/s(実海域換算流速1.1m/s)で構造物高さの最大2~3倍まで上昇し、より速い流速では今回想定した水深帯(実海域換算水深7.5m)では自由表面の影響が強く、それ以上の上昇は認められなかった。また、構造物背後に形成される後流域は、構造物中央部の流動制御パネルより上昇した流れは、多方面に渦流を形成しながら拡散し、構造物天端部への下降する流れと後方に渦を形成しながら流れる流れに分かれる傾向が強かった。渦は構造物高さの約20倍程度後方まで確認された。これは図-9に示したレイノルズ応力の分布からも判るように、本構造物の形状特性により、下流側へ形成される渦の軸方向と流れの主流方向が平行な位置関係になっていることが推察され、後流域の範囲を広げているものと考えられる。水理実験により、構造物による後流域形成範囲について、流速10cm/s以上の流域においては、従来の魚礁構造物では流動制御が困難で、また捨石マウンドや直立壁では、影響範囲が再付着点で構造物高さの約7~10倍程度後方とされている¹²。本構造物の場合は、混合域の範囲で見ると、構造物高さの20倍程度後方まで影響を与えるものと考えられる。

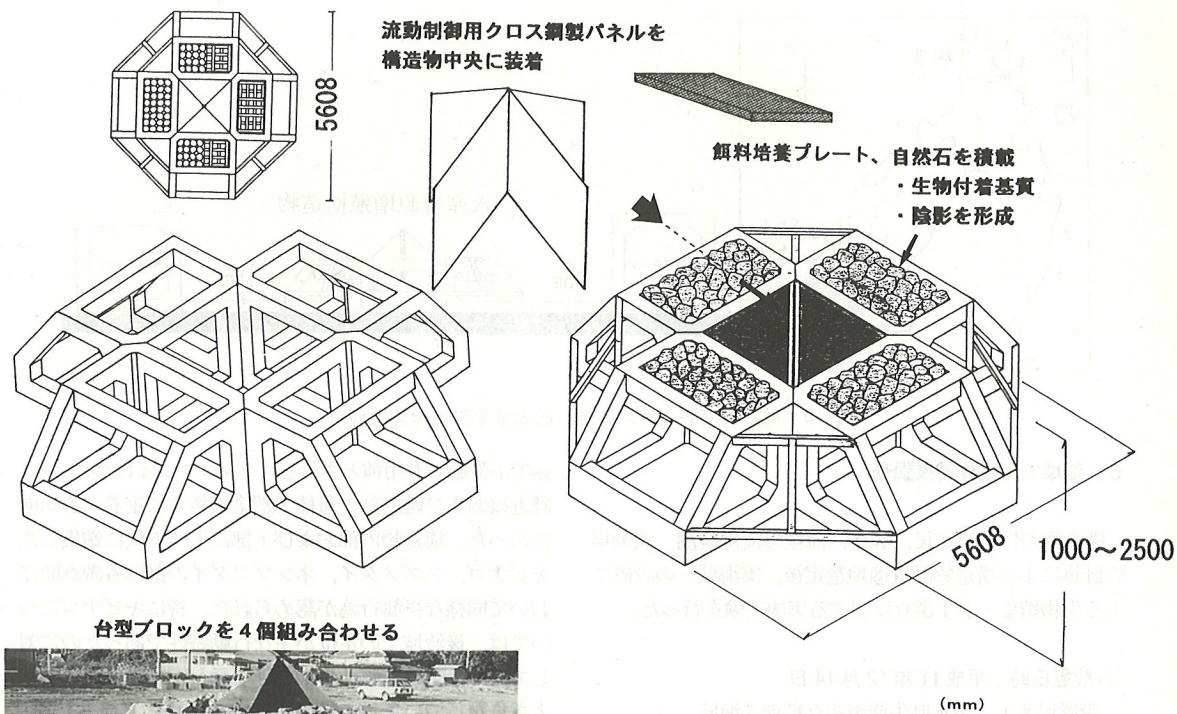
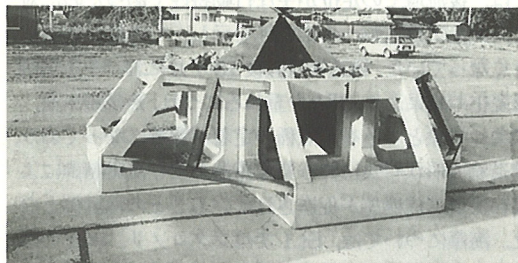


図-7 水産資源増殖構造物外形



写真は2.25m型(熊本県牛深市)

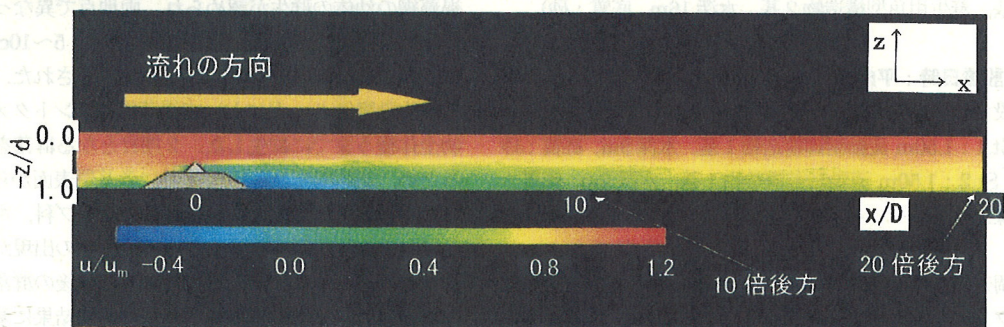


図-8 水理実験による構造物周りの流況変化

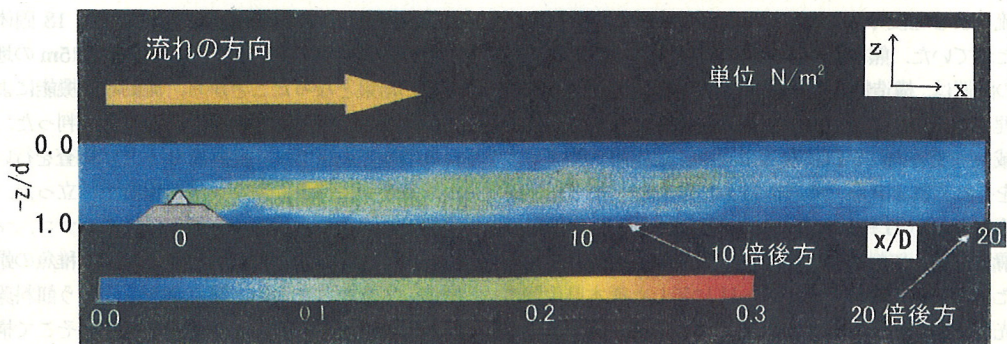


図-9 レイノルズ応力の分布

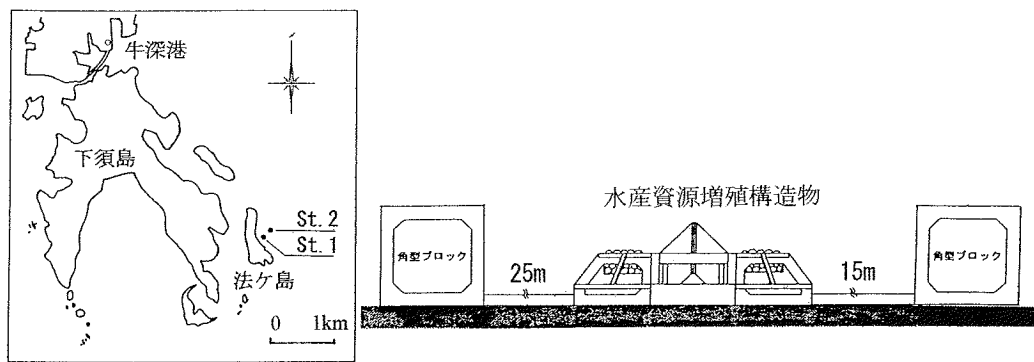


図-10 構造物配置状況の一例 (熊本県牛深市地先海域)

6. 海域での生物効果調査

構造物の様式決定後、製作、海域の流況観測、流動場の計算による構造物設置適地選定後、実海域への設置による生物増集・着生調査に関する実機実験を行った。

(1) 設置日時：平成 11 年 12 月 14 日

設置場所 1：熊本県牛深市法ヶ島地先海域

場所の選定は、今回の漁場造成適地選定手法に基づき、法ヶ島沿岸に卓越する南北流を計算で再現し、近接の天然礁を発生源とする海藻胞子の着生を促進させることを目的として行った。(St.1: 2.25m 流動制御構造物 1 基, 水深 6m, 底質：転石と砂, St.2: 2.25m 流動制御構造物 1 基, 着生用角型構造物 2 基, 水深 16m, 底質：砂)

(2) 設置日時：平成 12 年 8 月 28 日

設置場所 2：香川県丸亀市小手島, 本島地先海域

(St.1: 1.50m 流動制御構造物 1 基, 水深 9m, 底質：砂礫, St.2: 1.50m 流動制御構造物 1 基, 水深 6m, 底質：砂礫)

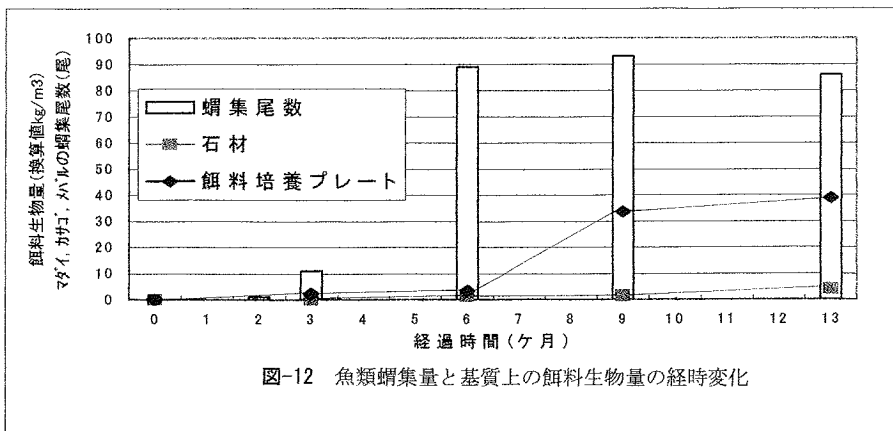
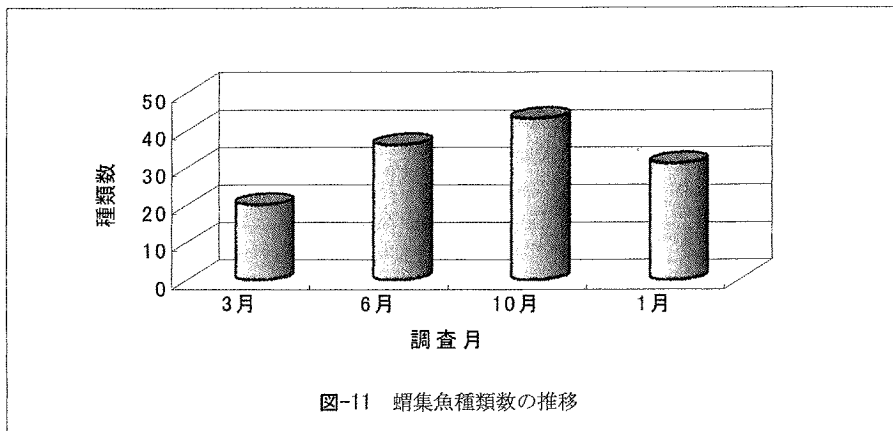
調査方法は、水中ロボットカメラによる目視、ダイビングによる水中撮影および坪刈りを採用し、増集魚数、付着生物量を計数した。各調査日において、構造物は底層流による埋没や洗掘は認められず、良好な設置状態が保たれていた。熊本県牛深市地先海域 St.2 における構造物の配置は、構造物高さと同後流域の関係を把握するため、水理実験の結果に基づき流動制御構造物を中心として、海域の主流方向に平行になるように、着生用角型ブロックをそれぞれ 1.5m (構造物高さの約 7 倍)、2.5m (構造物高さの約 11 倍) の位置に設置した (図-10 参照)。

増集魚類、餌料生物量の変化について、これまでに行った生物調査の一例を示す。図-11 に示した熊本県牛深市地先海域における魚類増集効果については、調査機会、地点を問わず確認されたベラ類に加え、季節による出現

頻度が変動し有用種とされるカサゴ、マダイについても、礁近接および礁内部で魚種・蛸集尾数共に定着する傾向にあった。構造物内部および上部にドーム状に蛸集したキビナゴ、スズメダイ、ネンブツダイの群は各調査時において同様な摂餌行為が認められた。特にキビナゴについては、後流域での定位が主な行動特性であったのに対して、次第に構造物への走触性を示し、その群の規模も大きくなっていった。構造物設置後 13 ヶ月における魚類増集量変化の結果より、調査を重ねるにつれ、魚類増集量、種類共に対象とする有用魚種の定着が顕著になっており、本構造物の形状特性に伴う集魚機能および流動制御による餌料環境形成機能が促進されていることの検証例となった。海藻については、St.1 ではフクロノリ、St.2 では褐藻綱の幼体の群生が認められ、両地点で異なる種類の海藻が繁茂していた。St.2 の幼体長は 5~10cm で、25cm×25cm の枠内では 63 個体が確認された。特に、構造物設置後 6 ヶ月において褐藻綱のアントクメが構造物全体覆うまでに群生した。2 期目となる群落を調査するため、幼体期とみられる 1 月に各基質表面から採取し分析を行った。その結果、褐藻類のコンブ科、ホンダワラ属および紅藻類マクサを含む 39 種類の出現が確認され、その多く幼体であったことから今後の群落形成が期待される。熊本県で実施した水理実験結果に基づいて設置した流動制御構造物前後の角型構造物には、同種の海藻が着生し、15m の地点の構造物では 18 個体、25m の地点の構造物では 8 個体と約 2 倍程度 15m の地点の方が多く結果となったことから、流動制御機能による海藻胞子の着生効果が発揮されていることが判った。香川県丸亀市地先海域では、設置後 9 ヶ月に調査を行い、メバル、カサゴ、ベラ、マダコ等の増集が目立った。潜水目視調査結果より、構造物上層部にはキビナゴ、マアジの群、内部および周辺にはメバル、マダイ稚魚の増集量が増加してきたことから、構造物設置に伴う餌料環境の形成が促進されていることが確認された。そこで構造物設置後、付着した生物の中で、魚類の餌料となりうる環形

動物、軟体動物、節足動物、棘皮動物について、プレート内(20cm×20cm×5cm)の出現個体数の湿重量を計数した。図-12 に示した計数の結果、設置後 3 ヶ月経過した場合と 9 ヶ月経過した場合とでは、餌料生物量で約 14 倍、出現種類数で約 1.5 倍の増加が確認された。特に節足動物の甲殻綱サンカクフジツボ (*Balanus trigonus*)、マルハサミヨコエビ科 (*Leucothoe sp.*)、モクズヨコエビ科 (*Hyale sp.*)、サラサエビ (*Rhynchocinetes uritai*)、トウヨウコシオリエビ (*Galathea orientalis*)、ワレカラ科 (*Caprella sp.*) 等の着生量が増加していた。これらは代表的な選好性餌料動物として区分される。設置後 9 ヶ月の結果から、構造物 1 基当たりの持つ餌料培養能力 (餌料培養プレート 40 枚使用) に換算すると、餌料培養プレートを魚礁構造物へ餌料培養基質として 1 層構造で利用した場合 10.06kg/基、2 層構造の場合は 20.12kg/基となる。石材、鋼材を加えた構造物全体で換算すると、設置後 13 ヶ月では、St.1 で 50.61kg/基、St.2 で 41.24kg/基の餌料培養能力になる。この結果は、従来の単一材料を利用した基質で得られる餌料生物量と比較して、

約 1/2 の期間で所定の生物量が確保可能となる。選好性餌料生物の出現数については、38 種類となる設置後 3 ヶ月から 120 種類となる設置後 9 ヶ月まで増加した後、設置後 13 ヶ月では 76 種類となった。魚類の季節変化についても同様の増減を示したことから餌料生物の種類が多いほど、より多くの魚類に対して影響を与え、当該海域においては秋季が最も動物類の多様化が促進されていると考えられる。数値モデルを用いて対象としたマダコについて、調査を重ねるにつれ、成ダコの生息および産卵行動が認められ、今回開発した構造物を産卵場かつ生息場として利用していることも確認された。以上の結果から、構造物設置後 13 ヶ月経過した時点で、構造物の生物増集機能およびプレートの持つ餌料培養機能としての効果が着実に現れている検証例となった。また、複数の特性の違う海域で生物生息場創造システムを用いて漁場造成適地を選定し、構造物を設置したことによる餌料生物培養機能および生物増集効果は種類、量共に安定した結果となっており、本システムの有効性が確認された。



7. 結言

流動解析に伴う生物環境改善技術開発として、数値モデルによる漁場造成適地選定を行った。さらに、流動制御機能を有し従来の構造物では実現困難だった高い餌料培養機能を持つ新型水産資源増殖構造物の開発を含む海域生物生息場創造システムの有効性を検討した。開発した新型水産資源増殖構造物について、基本形状の提案と実海域での良好な生物集積効果を把握した。また、生物増殖基質として、多孔質な微小空間を有する餌料培養プレートに構造物に装着させた場合の生物着生効果も検証し、プレートの餌料培養機能の優位性を確認した。今後のプレートの生物環境創造への有効性について、海藻の初期着生促進のための鉄分混入や各地で適正処理が検討されている副産物（貝殻、スラグ等）の再利用を考慮した資源再利用型基質として、混入する鉄分量、貝殻と骨材、コンクリートの配合、最適空間形成のための粒径および他材料利用等を検討する予定である。

謝辞: 本研究の遂行に多人なご協力、ご理解頂いた熊本県水産振興課、牛深市水産課、牛深市漁業協同組合の関係諸氏、貴重なご意見を頂いた四国経済産業局、環境資源部長、萩尾憲三氏、香川大学農学部、多田邦尚教授、香川県水産試験場、山田達夫氏、山賀賢一氏、藤原宗弘氏、愛媛県松山市農林水産課、福島建夫氏に深く感謝いたします。構造物製作、調査にご協力を頂いた㈱日本環境リサーチ、日本興業㈱、㈱クロシオの関係者の皆様に謝意を表します。

引用文献

1) 水産庁：生態系における構造と機能の評価方法に関するレビュー、pp.140-205, 2000.

- 2) 杜田哲：浮遊幼生の分散におよぼす流動環境の影響とその制御、養殖研究所研究報告、No.16, pp1-82, 1989.
- 3) 末永慶寛、畔柳昭雄：海域制御システムのための数値モデルによる流動環境と生物環境との相互作用に関する調査・研究、日本建築学会技術報告集、第1号、pp.305-308, 1995.
- 4) 日本大学理工学部：海域制御システムに関する基礎的研究調査報告書、pp.4-12, 1995.
- 5) 香川県：海底地形予測シミュレーション調査報告書、pp.II-1-II-61, 1997.
- 6) 末永慶寛、畔柳昭雄、高木儀昌：海域制御構造物による海域環境変化の定量的研究、香川大学農学部学術報告、第49巻、第1号、pp.55-62, 1997.
- 7) 藤原正幸、末永慶寛、中田英昭、永澤亨、山田東也：オイル・ラグランジュ法によるマガレイ卵・仔魚輸送の数値実験、水産工学、Vol.34, No.2, pp.147-154, 1997.
- 8) 野添学、大橋行三、藤原正幸：鉛直2次元定常流場に設置された衝突型構造物による植物プランクトンと栄養塩の変化予測に関する数値実験、水産工学、第36巻、第3号、pp.253-260, 2000.
- 9) 中田英昭：沿岸域の流れと仔稚魚の輸送：アクアネット1999.2, pp.22-25, 1999.
- 10) 末永慶寛、佐々木孝、濱垣孝志：流動制御および増殖機能を有するハイブリッド型人工魚礁の開発、香川大学農学部学術報告第53巻、第106号、pp.79-85, 2000.
- 11) SUENAGA, Y., et al, Numerical Experiment of the Method for Creating Fishery Ground in and Around the Bisan-Seto. *Advances in Hydraulics and Water Enginireeng, Volume II*, pp.961-966, 2002.
- 12) 鶴谷広一、松延嘉國、惟住智昭、柳嶋慎一：湧昇流を発生させるための水中設置構造物背後の流れと乱れ特性、港湾技術研究所報告、Vol.26, No.2, pp.127-169, 1987.

(2003. 1. 10 受付)

DEVELOPMENT OF A NEW TECHNOLOGY FOR THE RESTORATION OF MARINE BIOLOGICAL ENVIRONMENT

Yoshihiro SUENAGA, Yoshihisa KAWAHARA, Naoki YAMAMOTO
and Yoji TANAKA

Many types of artificial reefs have been developed and settled to create fishery ground for the production enhancement in marine areas. There are many issues to be clarified about the suitable installation of artificial reefs, such as the relation between flow conditions and the biological effect of them. In this paper, a set of technologies newly developed to restore marine biological environment is introduced. It consists of a numerical simulation to select out the most appropriate area for marine habitat restoration and a new artificial reef that embodies multiple functions. The set of technologies was applied to two coastal areas of different characteristics and was verified to improve biological environment.