

数値計算による漁場造成適地選定に関する研究

山本直樹¹・末永慶寛¹・河原能久¹・久村勝彦²

(¹香川大学工学部・²(株)クロシオ)

概要：自国管理水域内での水産資源の増加のための技術として、様々な人工魚礁が開発され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、より定量的な評価が必要とされている。本研究では、効率的な漁場造成を目的として、数値モデルによる漁場造成適地選定法及び流動制御機能を有する水産資源増殖構造物の開発し、実海域における実証実験を経て、漁場造成適地選定法の有効性を検証した。

キーワード：人工魚礁、数値モデル、流動制御、漁場適地選定

1. はじめに

現在、我が国では国際海洋法の制定により、自国管理水域内の有効利用を推進しなければならない。特に未開利用海域を含む管理水域内での生産力増強のために水産資源の増加を主目的としたさまざまな人工魚礁が開発されている。それらの多くは、対象とする魚種に応じた大きさ・形状のものが選定され、沿岸から沖合に渡る漁場造成施策の中心を成している。魚礁設置場所選定における魚礁設置場所における自然条件や魚種と漁場造成と規模との関係、流動環境と餌料となる小型生物の着生との関係等において様々な研究成果が蓄積されているが、漁場造成による環境制御とそれに伴う生物環境への影響に代表されるようにより定量的な評価が必要

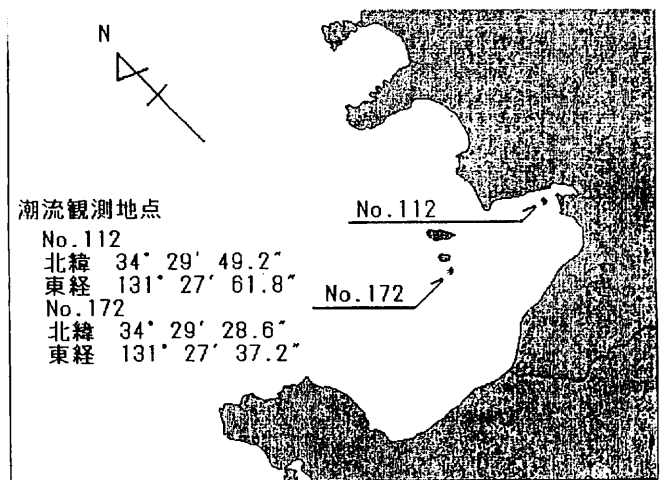


図 1. 山口県阿武町女鹿島地先海域

とされている。また、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、多孔質な微空間を有する基質の有効性が注目されている¹⁾²⁾。そこで、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ことに着目し、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による流動環境制御に伴う餌料環境形成を促進する増殖機能を有する水産資源増殖構造物を開発した。

本研究では開発した人工魚礁を設置する海域に対して、流動解析結果を漁場造成適地選定技術として活用し、流動制御機能を有する水産資源増殖構造物の開発を含めた、より効率的な漁場造成への適用を検討することを目的とした。

2. 研究内容

対象海域は、図 1 に示す山口県阿武郡阿武町女鹿島地先海域とした。そして、その海域において潮流観測を行い潮流計算の結果と照らし合わせることでより潮流場を再現した。次に対象海域での卵・仔魚等の集積域を推定し、その結果を基に水産資源増殖構造物を設置し、定期的に生物効果に関する観測を行い、粒子追跡

モデルの再現性の検証を行った。

3. 基礎方程式

数値計算については、連続の式、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を採用した。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。ここで u は水平 2 次元流速ベクトル、 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、 ∇_h は水平微分演算子、 ν_h, ν_v はそれぞれ水平・鉛直乱流拡散係数、 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。(8) および

(9) 式をルンゲ・クッタ法により (10) ~ (12) 式で近似して解く。

4. 流動解析結果

本研究では、対象海域を東西方向に約 3.4 km、南北方向に約 6.2 km、面積にして約 21 km² の領域を 100m×100m の正方メッシュで区切り、最大水深 35m の単層モデルにより計算を行った。今回は、海水の駆動力は潮汐のみとし、風の影響等は考慮していない。そして、潮流は観測されている M₂ 分潮の潮汐調和定数から振幅及び遅角を設定し、各開境界に潮汐波の波動として与えた。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 free-slip 条件とした。また対称海域が比較的開放的なため、上部開境界を壁として一種の水路と見立てている。計算結果(図 3)としては、図 1 の No.172 周辺の天然岩礁を回りこむ流れが発生しており、北東(南西)方向の流れが卓越していることがわかった。そして、図 2 に示す潮流楕円も観測地、計算値を比較するとよい一致を示しており再現性が確認できる。また、粒子追跡 7 日後(図 4)の結果として、粒子のほとんどが天然岩礁を回り込み、北方向への流れに乗り日本海へ流れ込んでいる様子がわかる。そのため、その方向(南西方向)に卵・仔魚等の着生を促進する構造物を設置することができれば効率的な漁場造成ができることが考えられる。そこで本研究では、卵・仔魚の着生に高める上で重要な機能である流動制御機能

潮流の基礎方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \nabla_h(uu) + \frac{\partial(uw)}{\partial z} + fk \times u = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nabla_h \cdot (\nu_h \nabla_h u) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \dots (1)$$

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

$$-p = \int_z^{\eta} \rho g dz = 0 \dots (3)$$

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

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla_h \cdot (uT) + \frac{\partial(wT)}{\partial z} \\ = \nabla_h \cdot (K_{Th} \nabla_h T) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{Tv} \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right) \dots (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Cl}{\partial t} + \nabla_h \cdot (uCl) + \frac{\partial(wCl)}{\partial z} \\ = \nabla_h \cdot (K_{Ch} \nabla_h Cl) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{Cv} \cdot \frac{\partial Cl}{\partial z} \right) \dots (6) \end{aligned}$$

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

粒子輸送の基礎方程式

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

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

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

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

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

を持つ水産資源増殖構造物を山口県阿武町女鹿島地先海域に沈設し、定期的に生物調査を行うことで粒子追跡モデルの検証を行った。

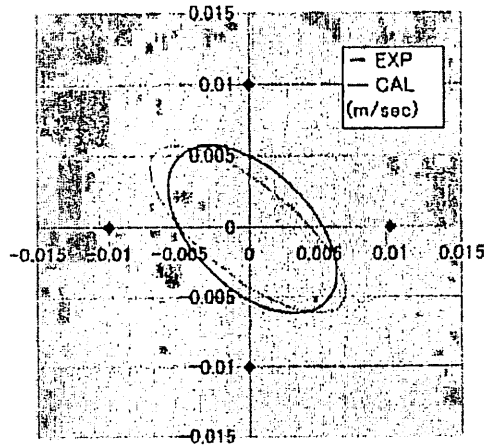


図 3. 潮流楕円

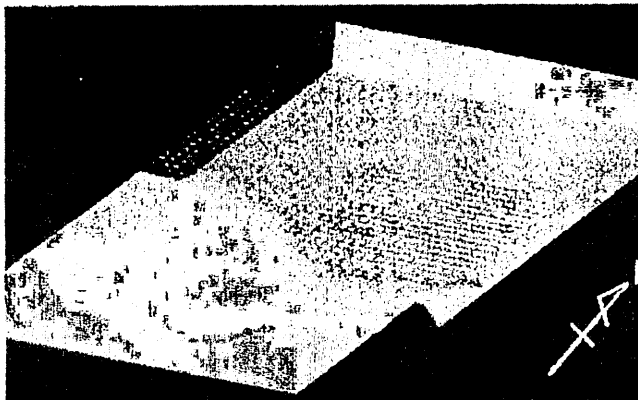


図 3. 潮流計算結果(残差流)

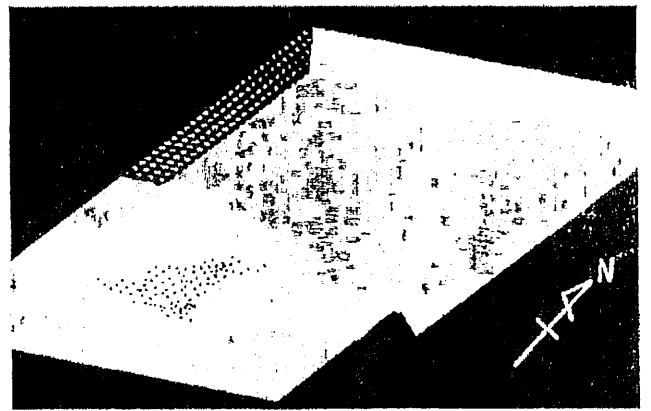


図 4. 粒子追跡結果(7日後)

4. 生物調査結果

構造物は、図 1 の No.172 地点から図で真下の方向に設置した。また、対象海域に設置する構造物とその配置図は図 5 に示すとおりである。この配置は、構造物の持つ流動制御機能の形成範囲が構造物高さの 15 倍～20 倍後方までであるという研究結果³⁾が基になっている。調査は約一ヵ月後(26 日後)と約二ヵ月後(64 日後)の 2 回、構造物周辺の魚類数と付着生物について行った。その結果、2 回の調査(図 6、図 7)とも水産資源増殖構造物周辺の魚類数・付着生物数が極端に多く、構造物から離れるほど減少していく傾向があることがわかった。また、流動制御機能の形成範囲である構造物高さ 20 倍後方地点(構造物後方 45m)においては、魚類数、付着生物数が構造物周辺と比べ少なく、構造物の持つ流動制御機能の効果が微小であると思われる。しかし、構造物高さ 20 倍後方地点(構造物後方 60m 地点)の構造物の影響のほとんどない地点(構造物後方 60 m 地点)と比較してみると、2～3 倍の魚類数・付着生物数が確認されており、構造物の持つ流動制御機能の効果が発揮されていることがわかる。

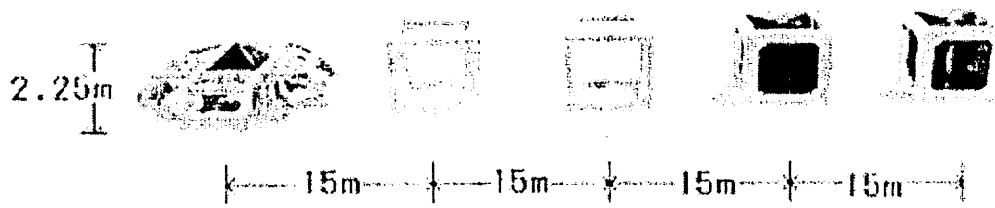


図 5. 設置形態

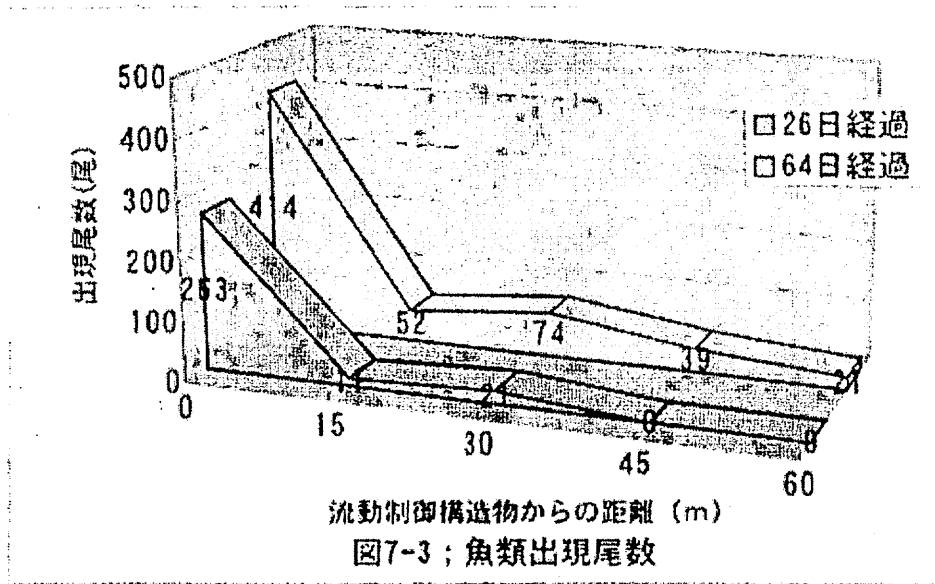
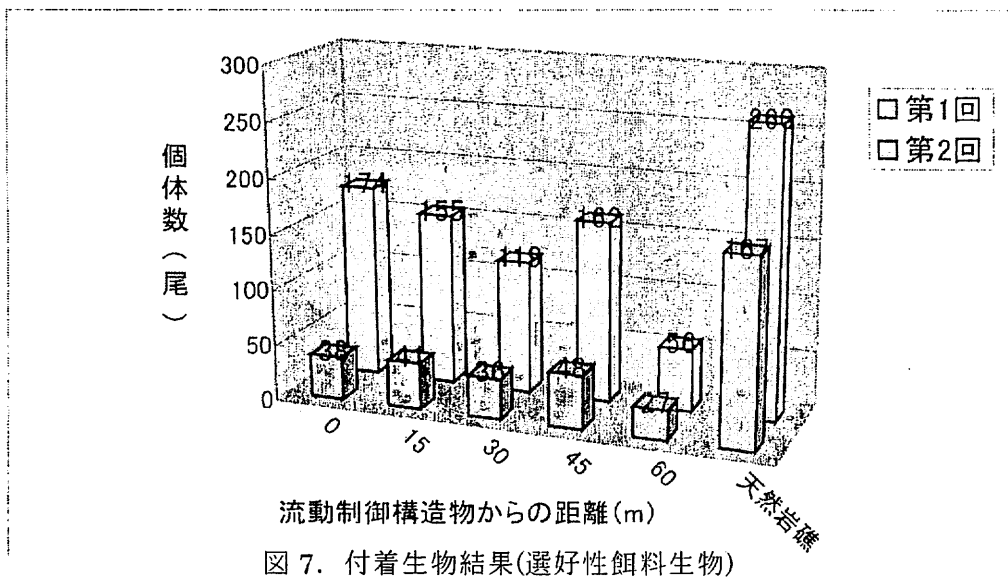


図 6. 魚類出現尾数



5. おわりに

今回設置した構造物は、餌料培養効果が着実に向上しているとともに、生物環境にも大きな影響を与えており、周囲の天然礁に近づきつつあるという結果になった。しかし、この結果は非常に短期間の検証結果であるため流動制御機能の効果を明確にするまでにいたっていない。よって、今後も調査を継続し、より長期的なスパンでの検証を行い、今後の漁場造成地選定に役立てるものとしたい。

引用文献

- 1)末永慶寛、他：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
- 2)日本大学工学部：海域制御システムに関する基礎的研究、調査報告書、pp4-12、1995
- 3)末永慶寛、他：流動制御機能および増殖機能を有するハイブリット型人工魚礁の開発、香川大学農学部学術報告、第53巻、第106号、pp79-85、2001
- 4)平野敏行、他：沿岸の環境圏、pp1185-1192
- 5)人工魚礁研究会：人工魚礁技術研究、第1巻、第1号、pp27-28,1999
- 6)人工魚礁研究会：人工魚礁技術研究、第2巻、第1号、pp27-28,2000