

水産基盤整備事業における人工魚礁の機能に関する研究

－ 魚礁技術の展開と展望 －

学位論文内容の要旨

北海道の沿岸域には、水産基盤整備事業、あるいは沿岸漁場整備開発事業による漁場造成事業として製作された構造物や施設が多く設置されている。漁場整備事業の中心となるものが魚礁である。魚礁の設置は、従来、水産生物が礁、沈船などに蟄集する性質を利用して、漁獲の増大、操業の効率化、および保護培養を図るためとされてきた。しかし、最近では餌場、産卵場、棲み場等の環境を整備することへ設置目的が変化している。この背景には、水産資源が環境に依存する生態系の構成要素であることや水産業・漁村の環境との関わりによる多面的機能に対する社会的理解の深まりがある。漁場整備事業における魚礁設置が水産生物の増大や生息環境改善の手法として期待を高める一方で、その機能や効果に関して、水産資源との関係や魚類の蟄集要因を説明する論理の体系は構築されていない。この要因は、魚礁の機能や作用の定量的評価が確立されていないことにある。

本研究では、過去の魚礁調査結果の質を検討の上、これを試料として、魚礁性、魚礁の形状変化に対する魚種の指向性、魚礁からの距離と漁獲分布、魚礁に蟄集する魚類量の推定、魚礁の規模と蟄集量の各魚礁機能に基づく効果を定義、定量化する手法を提案し、魚礁の機能の評価した。さらに、蟄集対象資源量、魚礁規模、蟄集量の関係を示す魚礁方程式を提案し、魚礁の資源や生態環境に対する効果の定量的予測を試みた。

1) 魚礁性

魚種の魚礁に蟄集する度合いである魚礁性を次のとおり定量化した。魚礁性を魚礁区の漁獲尾数が平坦区と比較して、多くなることとして、その度合いを示す指標を魚礁性指数 Ar とし、

$$Ar = |a_r| e^{i\theta_r} \quad (1)$$

ここで、 $|a_r| = \sqrt{Qr^2 + Dr^2}$ 、 Dr は蟄集の量的指標、 Qr は蟄集の頻度の指標と、定義した。

また、 $a_r = |a_r| \times \frac{\theta_r}{|\theta_r|}$ を魚礁性強度と称し、 $\theta_r < 0$ のときをマイナスとして魚礁性の方向と強さを示す指標とし、 θ_r は魚礁性偏角と称して魚礁性の性格を表す指標とした。

魚礁性指数を適用した結果は、ヒラメ・カレイ類以外の魚種では魚礁性強度が大きく均等なグループ 1, 魚礁性が比較的中位で均等なグループ 2, 魚礁性の大きさが順次漸減するグループ 3 と, その一連として続く魚礁性がマイナスのグループ 4 に分かれ, ヒラメ・カレイ類は順次序列化した。ヒラメ・カレイ類の序列化は魚食性大型魚種の a_r が大きく, 魚礁性が摂餌等の要因に関して競争的に形成されているためと考えられた。

また, 複数の魚種についての平均魚礁性指数 $\overline{Ar}$ は次式により算定可能である。

$$\overline{Ar} = \frac{\sqrt{\left(\sum_{j=1}^{\delta} Qr_j\right)^2 + \left(\sum_{j=1}^{\delta} Dr_j\right)^2}}{\delta} \times e^{i\theta} \quad (2)$$

2) 魚礁形状と魚礁性

魚礁の形状に対する蛸集の変化は, 形状指向指数 As により定義した。魚種の魚礁に対する As の分散分析および主成分分析を行った。分散分析の結果, 魚礁に対する魚種の指向性が認められた。主成分分析からは, 高さ, 遮蔽, 流れに対する位置, 棲み分と解釈される 4 主成分が抽出された。主成分分析と各魚種の主成分得点から, 魚礁は魚類の餌が供給される場であると同時に, 餌獲得の手段に応じた適切な形状・地形を提供する場であると推定された。

3) 魚礁からの距離と魚礁性

魚礁からの距離に対する蛸集の変化は, 距離の蛸集指向指数 Ad として定義した。 Ad を次の逆ロジスティック型あるいは対数正規分布型の近似式にあてはめ, 定量化した。

$$Ad = a\{1 - [\exp(-\exp(b-L)/c)]\} + Ad_0 \quad (3)$$

$$Ad = \frac{a}{\sqrt{2\pi}cL} \exp\left\{-\frac{(\log(L) - b)^2}{2c}\right\} + Ad_0 \quad (4)$$

ここで, a , b , c は係数, L は魚礁からの距離である。さらに, 近似式を $Ad = f(L)$ として, 平坦域の標準となる距離の蛸集指向指数 Ad_s を定義し, $Ad_s \leq f(L)$ の範囲と魚礁中心までを魚礁の効果範囲とした。この結果, 魚礁を中心として, 根付魚, ヒラメが魚礁上あるいは直近に内円として分布し, その外周をカレイ類, さらに外周をカジカ類, 最外縁をアンコウがとりまく分布構造が得られた。この分布構造は, 食物連鎖と棲み分けにより形成されるものと示唆された。また, 効果範囲は根付魚 680m, ヒラメ 350m, カレイ類 1,350m, カジカ類 3,060m と推定できた。一般魚はなだらかな分布を示し, 9,350m となった。

4) 魚礁の規模変化と蛸集魚の分布

規模の異なる魚礁について距離の蛸集指向指数 Ad を求め, それぞれ 2,512 空 m^3 規模の魚礁の蛸集魚分布を $Ad = f_{b2.5}(L)$, 5,024 空 m^3 規模の魚礁の蛸集魚分布は $Ad = f_{b5.0}(L)$ としてこれを比較した。この結果, アイナメ, エゾメバル, ヒラメの逆ロジスティック型分布を示す魚種は, いずれも魚礁の規模が大きくなるとともに分布の範囲が広がることが明らかになり, 対数正規分布型を示すクロガシラガレイ, ソウハチは分布のピークを外縁に移動させると

ともにその範囲を拡げていることが明らかにした。

5) 単位魚礁における漁獲期待量と蛸集量

平坦域の漁具延長区間 $[\alpha, \beta]$ の漁獲量 $F_{[\alpha, \beta]}$ と $Ad = f(L)$ により、魚礁効果範囲での蛸集量と漁獲量を推定する手法を提案した。魚礁から効果範囲 L_E までの漁具延長区間 $[0, E]$ の漁獲量を $F_{[0, E]}$ で表わすと、漁獲量 $F_{[0, E]}$ は次式により求められる。

$$F_{[0, E]} = F_{[\alpha, \beta]} \times \frac{\int_0^E f(L) dL}{Ad_s \int_{\alpha}^{\beta} dL} \quad (5)$$

漁獲量 $F_{[0, E]}$ に対する蛸集量 $H_{[0, E]}$ は次式により求められる。

$$H_{[0, E]} = \frac{F_{[0, E]}}{1 - \exp(-p \cdot Z)} \quad (6)$$

魚礁の効果範囲全体の蛸集量を H_R 、漁具の有効幅を B とし、魚礁の蛸集量 H_R は次式により求める。

$$H_R = H_{[0, E]} \times \frac{2\pi \int_0^E Lf(L) dL}{2B \int_0^E f(L) dL} \quad (7)$$

さらに、魚礁の効果範囲全体の漁獲量を F_R とし、次式により求める。

$$F_R = F_{[0, E]} \times \frac{2\pi \int_0^E Lf(L) dL}{2B \int_0^E f(L) dL} \quad (8)$$

また、苫小牧沖の平坦域での漁獲量を $Ad = f_{b2.5}(L)$ にあてはめ、規模 2,512 空 m^3 、1 日あたりの魚礁における蛸集量、漁獲量を推定した。この結果、根付魚の蛸集量増加は魚礁から半径 680m の効果範囲に 20.8kg、カレイ類 1,340m, 407.1kg、カジカ類 3,060m, 12,340.4kg であった。一般魚については、効果範囲をカジカ類と同様の 3,060m とすると 678.2kg となった。魚礁から最外縁の分布をカジカ類までとすると、この範囲までの蛸集量は、魚礁がない場合の 10,525.5kg から 23,972.0kg と 2.28 倍に増加することを示した。

6) 魚礁の規模と蛸集量

魚礁の規模 bV に対する蛸集の変化は、規模の指向指数 Ab により定義した。さらに、資源量、蛸集量、魚礁規模の関係を示す理論式を以下のように表わした。

$$Ab = N_0 - N_0 \cdot e^{-AC_V \times bV} + N_0 \cdot AC_S \cdot e^{-AC_V \times bV} \quad (9)$$

ここに、 N_0 は蛸集対象資源量(指標)、 AC_V は魚礁蛸集による資源(指標)の減少率、 AC_S は $bV=0$ のときの魚礁効果範囲の資源(指標)蛸集率である。これにより、随意規模の単位魚礁に対する蛸集量の推定が可能となった。さらに、この結果から蛸集対象資源量の 1/2 を蛸集させる魚礁規模 $bV_{1/2}$ を求め、根付魚 $bV_{1/2}=0.99 \times 10^3$ (空 m^3)、一般魚 $bV_{1/2}=27,000 \times 10^3$ 、カジカ類 $bV_{1/2}=0.5 \times 10^3$ 、ヒラメ $bV_{1/2}=3,200 \times 10^3$ 、カレイ類 $bV_{1/2}=900 \times 10^3$ が得られた。一般に礁と呼ばれる巨大な天然礁は、魚種を共通した集魚による漁場として利用され、規模の小さな人工魚礁や根と呼ばれる沿岸の礁は、根魚と呼ばれる特定魚種の集魚による漁場としてのみ利用されている。 $bV_{1/2}$ の結果から、礁の規模による漁場としての差は、魚種の魚礁規模に対する蛸集特性の差によるものであることが判った。

7) 魚礁方程式

(8)式と(9)式により、随意の魚礁規模 bV に対する推定蛸集量 H_R が求められることから、資源量、蛸集量、魚礁規模の関係を示す理論式を魚礁方程式として以下のように表わした。

$$H = N_0 - N_0 \cdot e^{-AC_V \times bV} + N_0 \cdot AC_S \cdot e^{-AC_V \times bV} \quad (10)$$

(10)式において、 H は推定蛸集量、 N_0 、 AC_V 、 AC_S は推定蛸集量 H に対する蛸集対象資源量、資源の減少率、 $bV=0$ のときの魚礁効果範囲の資源蛸集率である。この方程式より、魚礁が対象とする資源量、対象資源が分布する範囲の推定が可能となった。これを苫小牧沖漁獲試験の結果に適用して、魚礁への蛸集対象となる資源の範囲 L_R は、根付魚が約 1,100m、一般魚 38,000m、カレイ類 9,500m、カジカ類 5,200m と推定され、資源量 N_0 は根付魚 48kg、一般魚 349,600kg、カレイ類 85,608kg、カジカ類 19,043kg と推定された。

本研究により、単位魚礁の形状要素に対する魚種の蛸集特性が明らかになり、魚礁規模に対する魚種の蛸集量とその範囲、蛸集対象となる資源量とその範囲の推定が可能となった。これらから、必要な水産資源に対して魚礁への蛸集量を制御し、保護することによる増殖機能や資源管理機能を目的とする魚礁設置の可能性を提案できた。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	木 村 暢 夫
副 査	教 授	桜 井 泰 憲
副 査	准教授	清 水 晋
副 査	准教授	藤 森 康 澄

学 位 論 文 題 名

水産基盤整備事業における人工魚礁の機能に関する研究

－魚礁技術の展開と展望－

北海道の沿岸域には、水産基盤整備事業や沿岸漁場整備開発事業による漁場造成事業として作られた構造物や施設等が数多く設置されている。漁場整備事業の中心となる魚礁の設置目的は、従来水産生物が礁、沈船等に蛸集する性質を利用して、漁獲の増大、操業の効率化、および保護培養を図るためとされてきたが、最近では餌場、産卵場、棲み場等の環境を整備することへと変化している。この背景には、水産資源が環境に依存する生態系の構成要素であることや水産業・漁村の環境との関わりによる多面的機能に対する社会的理解の深まりがある。漁場整備事業における魚礁設置が水産生物の増大や生息環境改善の手法として期待を高める一方で、その機能や効果に関して、水産資源との関係や魚類の蛸集要因を説明する論理体系は構築されていない。この要因は、魚礁の機能や作用の定量的評価法が確立されていないことにある。

本研究では、1962 年から水産試験場等が北海道各地区で実施した 181 回の人工魚礁区と対象区の比較漁獲試験結果を資料として、これまで不明瞭であった人工魚礁単体を複数個組み合わせた単位魚礁の機能、効果を明らかにするため、魚類の魚礁性、魚礁の形状等の特徴に対する魚類の指向性、魚礁を中心とする魚類分布、魚礁の規模と蛸集量の各魚礁機能に基づく効果を定義、定量化する手法を示し、魚礁の機能を明らかにした。さらに、蛸集対象資源量、魚礁規模、蛸集量の関係を示す魚礁方程式を提案し、魚礁の資源や生態環境に対する効果の定量的予測を行った。

得られた成果は以下の通りである。

- 1) 魚類の単位魚礁に蛸集する特性を表す魚礁性を、魚礁性強度と魚礁性偏角に基づく魚礁性指数で定義・定量化した。これを用い、魚礁に蛸集する魚種をグループ化し、魚礁性が摂餌等の要因に関して競争的に形成されていることを示唆した。

- 2) 単位魚礁の形状等が蛸集効果に与える影響を、形状指向指数として定量化した。これの分散・主成分分析により、魚礁に対する魚種それぞれの指向性が、高さ、遮蔽、流れに対する位置、棲み分けに大別されることを明らかにした。この結果、魚礁は魚類の餌が供給される場であると同時に、餌獲得の手段に応じた適切な形状・地形を提供する場であると推定された。
- 3) 単位魚礁からの距離の蛸集特性を距離に対する蛸集指向指数によって表し、魚種別の蛸集特性を逆ロジスティック型あるいは対数正規分布型の関数によって近似できることを示した。この結果から、魚礁を中心として、根付魚、ヒラメが魚礁上あるいは直近に内円として分布し、その外周をカレイ類、さらに外周をカジカ類、最外縁をアンコウが取り巻くといった蛸集構造を明らかにした。
- 4) 魚礁の規模に対する蛸集特性を、規模の指向指数によって表し、資源量、蛸集による資源の減少率、魚礁効果範囲の資源蛸集率、および魚礁規模の関係を理論式（魚礁方程式）で示した。同式により任意の魚礁規模に対する魚類の蛸集量の算定が可能となり、さらに魚礁が対象とする資源量とその分布範囲の推定も可能であることを示した。

本研究により、単位魚礁の形状要素に対する魚種別の蛸集特性が明らかになり、魚礁規模に対する魚類の蛸集量とその分布範囲、蛸集対象となる資源量とその分布範囲の推定が可能となった。これらは、必要な水産資源に対して単位魚礁への蛸集量を制御することで増殖機能や資源管理機能を目的とした魚礁設置の可能性を示したもので、人工魚礁の多面的機能を実証するものである。よって、審査員一同は申請者が博士（水産科学）の学位を授与される資格のあるものと判定した。