

魚礁漁場造成による復興支援構想について

(株)エコニクス 山内繁樹* 峰寛明,
全日本漁港建設協会 長野章

はじめに

震災や津波被害からの回復は被害物の処理、復旧、復興のプロセスで進められる。被害状態の処理と整理は復旧の前提として位置づけられる。一方、魚礁は海域資源あるいは漁獲が従来水準を上回ることを期待して設置され、歴史的には自然石や廃船・沈船を利用し現在ではコンクリート鋼材が使用されている。従って、魚礁を形成する素材は鰯集魚の習性に沿った適切な形状や漁場環境保全上の質は指摘できるものの定型的なものではない。災害で発生する破損コンクリート塊は単位魚礁（魚礁として機能する1群の魚礁）を形成する上で適切な素材となり得る。本報告では魚礁機能の概要と魚礁漁場造成の手法を概説し、破損コンクリートを素材とした魚礁漁場での再利用可能性とその規模による効果を予測する。

1 魚礁機能の概要

1.1 歴史的背景と現況

海底の岩礁や沈船などの構造物に魚が集まることは古くから知られており、漁獲を目的として沿岸の海底に投石や沈船を設置することは数百年前から行われており、1600年代中ごろの土佐藩における浦戸沖合への山石の沈設などが記録に残る所謂魚礁設置事業の古い事例として示されている¹⁾。現在の魚礁設置事業は1954年（昭和29年）にコンクリート魚礁の設置が国の補助事業として認められたところから始まるが前駆的事业はもっと以前から実施されている。1926年（大正15年）に小樽市祝津沖に投石による魚礁が設置されこれが北海道で最初の事業とされている²⁾。この魚礁設置は機船底曳漁業との資源をめぐる軋轢が背景にあったものと思われるが、その後1938年、1944～45年に設置された投石魚礁や北海道水産試験場函館支所が1937年、38年および1939年に沈設した試験礁³⁻⁵⁾は日中戦争以降の食糧不足への対応が意識されている。これは魚礁に対して資源増大や生産増大の機能を認識していた結果と考えている。

現在の魚礁事業では魚礁にはソイやメバルなどの根付魚が鰯集し、一本釣りやはえ縄には有利であるが、沿岸漁船漁業の中心である刺網はカレイ類の漁獲が中心であると同時に魚礁での網がかりがあるため不利である旨の風潮がある。さらに魚礁が遊魚の釣り漁具にとって有利であることは漁場をめぐる競合に魚礁が遊魚を助長する施設として誤解を生じさせている。この風潮は具体的な刺網の網がかりもさることながら魚礁効果の把握が魚礁ブロックを背景とした視認可能な魚礁直近の魚種のための効果に注目してきたところにある。最近の解析調査で魚礁は底生生物やプランクトンを底辺とする食物連鎖系でありカレイ類を含む魚類が魚礁を中心として、3000mを優に超える範囲を持つことが示されている。また、魚礁の規模や鰯集量、鰯集対象資源量との関係が示されており、魚礁の漁業実態への貢献を再認識させる契機となっている。

1.2 魚礁機能の概要

1.2.1 魚礁性

魚種が魚礁に引きつけられる（鰯集する）度合いを魚礁性と表現している。山内ら⁶⁾⁷⁾は北海道で過去に実施された魚礁区と平坦な対照区を比較した延べ181回の漁獲試験結果から次により定義した魚礁性強度を得て魚礁性を定量化している。山内⁸⁾はこれを改良し次により魚礁性を定義している。まず、魚礁性は魚礁での魚種の量的依存（魚礁依存度）と魚礁で魚種が多くなる頻度の合成されたものと魚礁性指数を設定している。魚礁での漁獲量を F_f 、対照区での漁獲量を F_c として $d_{fj}=(F_{fj}-F_{cj})/(F_{fj}+F_{cj})$ 、($j=1,2,3,\dots,n$: 漁獲試験の対回数)とし、これから次

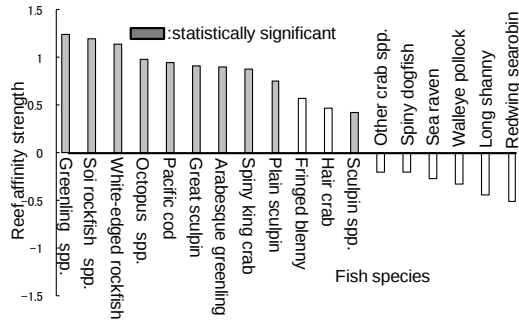


Fig.1 Reef affinity strength of each fish species without flatfishes

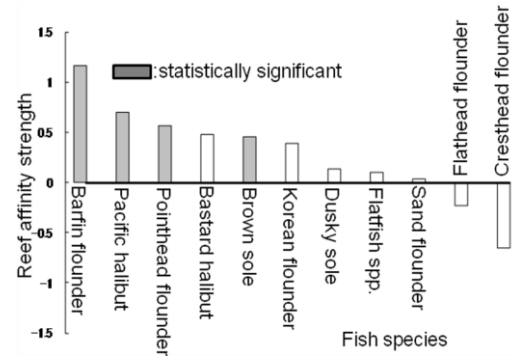


Fig.2 Reef affinity strength of each fish species of flatfishes

に魚礁依存度 Dr を定義している。

$$Dr = \left(\sum_{j=1}^n dr_j \right) \div n \quad \dots \quad (1)$$

さらに、 $Fr > Fc$ となった漁獲回数を n_r 、 $Fc > Fr$ となった回数を n_c として魚礁依存頻度 Qr を次に定義した。

$$Qr = \frac{n_r - n_c}{n_r + n_c} \quad \dots \quad (2)$$

これから、 $Ar = |a_r| \times e^{i\theta_r}$ を定義し Ar を魚礁性指数と称した。ただし、 $|Ar| = \sqrt{Qr^2 + Dr^2}$ 、

θ は偏角である。魚礁性の大きさは $|a_r|$ は表現でき次式によりその方向を併せて表現し魚礁性強度と称する。

$$a_r = |a_r| \times \frac{\theta_r}{|\theta_r|} \quad \dots \quad (3)$$

山内⁸⁾による魚礁性強度を Fig.1 にカレイ類を除く魚種、Fig.2 にカレイ類を示した。これからカレイ類を含めて魚類全体に魚礁性を持つ魚種の存在を知ることができる。

1.2.2 魚礁性の要素

柿元¹⁾は各種の漁獲試験や観察から骨格構造、面構造、大型(組立で高さをもつ魚礁[※])、小型などの構造によって蟄集する魚種、量、発育段階の異なることは明らかとしている。山内ら⁹⁾は北海道古平町沖に設置された4種類6か所の単位魚礁を比較した漁獲試験結果の主成分分析を実施している。この結果から蟄集する魚種の傾向は高さの変化、構成面の増減変化、流れに対する上・下流の変化、魚種間による競合関係の変化により変化することを明らかにしている。

1.2.3 魚礁の魚類分布

魚礁の蟄集魚は、魚礁直近や魚礁に形成された隙間等に分布するだけではなく魚礁から3,000mを超える範囲に食物連鎖を基礎すると考えられる分布が認められる。分布は2タイプが認められ、根付魚を事例とする魚礁直近にピークを持つ逆ロジスティック型、

$$Ad = f_R(L) = a\{1 - [\exp(-\exp(b-L)/c)]\} + Ad_0 \quad \dots \quad (4)$$

※ 組立魚礁

魚礁から離れた個所にピークをもつ次の対数正規分布型

$$Ad = f_L(L) = \frac{a}{\sqrt{2\pi cL}} \exp\left\{-\frac{(\log(L)-b)^2}{2c}\right\} + Ad_0 \cdots (5)$$

にあてはめられる¹⁰⁾¹¹⁾。ただし、 Ad : 距離の蛸集指向指標、 L : 魚礁からの距離、 Ad_0 : 魚礁から無限大距離の蛸集指向指数、 $a \cdot b \cdot c$: 係数である。

1.2.4 蛸集量の推定

蛸集魚の分布式に基づき、山内らは魚種の魚礁からの蛸集範囲を定義している¹⁰⁾。また、平坦域の漁獲試験結果から魚礁設置時の効果範囲内の蛸集量は次により推定

できることが提案されている¹²⁾。すなわち、蛸集範囲は $Ad=f(L)$ として Ad の最大値を Ad_{max} とするとこれから、 $Ad_s=0.05(Ad_{max}-Ad_0)+Ad_0$ を求め $Ad_s \leq f(L)$ を満たす魚礁から遠方側の距離 L_E を効果の範囲と定義している。この範囲の蛸集量は以下により推定している。Fig.4 中の area B (平坦区)の漁獲量を $F_{[\alpha,\beta]}$ とすると、area A の漁獲量 $F_{[0,E]}$ は次式で表せる。

$$F_{[0,E]} = F_{[\alpha,\beta]} \times \frac{\text{areaA}}{\text{areaB}} = F_{[\alpha,\beta]} \times \frac{\int_0^E f(L)dL}{Ad_s \int_\alpha^\beta dL} \quad (6)$$

$F_{[0,E]}$ に対する蛸集量は資源量と漁獲量の関係で示せるので $F_{[0,E]}$ に対する蛸集量 $H_{[0,E]}$ は次式で表すことができる。

$$H_{[0,E]} = \frac{F_{[0,E]}}{1 - \exp(-p \times Z)} \quad \cdots (7)$$

$H_{[0,E]}=F_{[0,E]}/(1-\exp(-p \times Z))$ で表すことができる。ただし、 p は漁具能率、 Z は漁獲努力量であるが漁具の競合はなく $Z=1$ で設定できる。

Fig.5 から魚礁の効果範囲内の蛸集量 H_R は $H_{[0,E]}$ の存在範囲を漁具の両面が持つ漁獲有効幅 $2B$ とすると次により算定できる。

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

1.3 魚礁の影響

魚礁蛸集魚は魚礁が影響する範囲の魚類資源から引きつけられてきます。この資源を蛸集対象資源 N_0 と名付けます。山内ら¹³⁾は魚礁の蛸集量(H)、対象資源量(N_0)、規模(bV)の関係を次のとおり提案し魚礁方程式¹⁴⁾と呼んでいる。

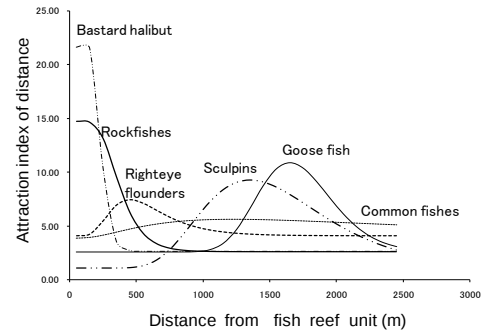


Fig.3 Distrusted structure of attracted fishes around the fish reefs.

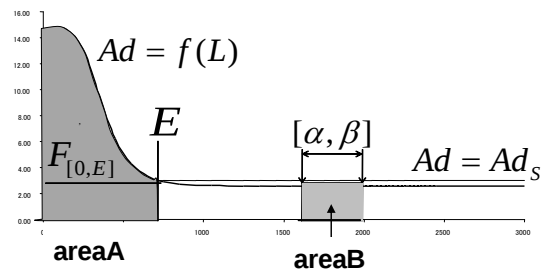


Fig.4 Idea for estimation of the fish catch $F_{[0,E]}$ in the attracting reach of the fish reefs.

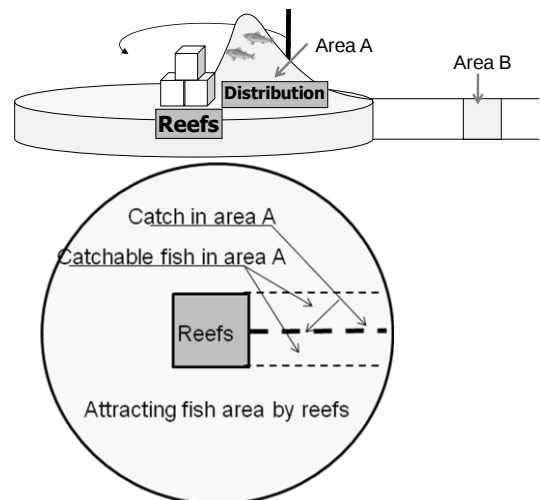


Fig.5 Estimation of catchable fish amount in attracting area by fish reefs

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

ただし、 AC_V 、 AC_S は係数である。これから、ある規模での蛸集量 H_R は式(7)で示された H に代入して N_0 を求めることができる。

2 破損コンクリート塊を再生素材とした魚礁の規模と効果

2.1 規模の設定

魚礁蛸集魚の最大量は魚礁が影響する範囲内にある蛸集対象資源量 N_0 である。山内ら¹³⁾は $N_0/2$ が蛸集する魚礁規模を魚種群に対して求めている。これによれば、根付魚： 0.99×10^3 空 m^3 ，カレイ類： 900×10^3 空 m^3 ，ヒラメ： $3,200$ 空 m^3 ，カジカ類： 0.5×10^3 空 m^3 となっている。また、一方でカレイ類等が砂地で漁獲されることを考えれば新規の砂地に岩礁である大規模にコンクリート塊を設置することはカレイ漁場の縮小させる場合もある。このため、Fig.6 に示すように既存の魚礁配置の内部に大規模な単位魚礁（一塊の魚礁）を設置する。この例では500m 間隔に配置された単位魚礁の中央部にコンクリート塊を素材とする魚礁を設置する。単位魚礁の形状を円錐とすれば、 $500m \times 500m \times 15m \times 1/3 = 1,250 \times 10^3 m^3$ の規模の魚礁を設定することになる。空隙率を50%としてコンクリートの比重を2.4 トン/ m^3 とすれば、この規模で使用する再利用コンクリート塊は150 万トンと概算できる。

2.2 コンクリート塊の形状と単位魚礁の形状

魚礁での魚類行動はメバル群が魚礁を背景（潮上部）として上流に向かって定位する行動が観察され¹⁴⁾餌生への捕獲効率の良さ¹⁵⁾から採餌のための待機行動と見ることができる。

また、キツネメバルは岩陰に潜み餌生物を捕獲することが知られている。これらから魚礁は面とこれにより構成される空隙により構成されるものと考えられる。こうした観点から従来実施されてきた魚礁設置事業では3m 前後の魚礁単体(1 個の魚礁ブロック)を集積して単位魚礁としていることが多く、この程度のサイズが集積により単位魚礁を形成する目安と考えられる。また、3m の魚礁単体を集積することにより得られる空隙は集積状態によって多様であるものと考えられる。これらから、コンクリート塊のサイズは3m 程度までのものを使用することが望ましい。

2.3 想定規模の単位魚礁による効果

資源水準は実施海域によって異なる。ここでは、北海道立中央水産試験場が平成 21 年度単位魚礁に対する蛸集量および漁獲量推定に関する調査¹⁶⁾で実施した漁獲試験の結果を使用し、2.2 に示した $1,250$ 空 m^3 の魚礁を設定した場合の蛸集量や対象資源量を以下により推定した。

2.3.1 漁獲試験資料

漁獲試験結果は北海道島牧村沖で1910年6月19日から9月6日までの間に4回実施された対照区（平坦区）のものを使用した。漁具は刺網で14反（30.3m/反），早朝に投網し翌早朝に揚網しており滞網時間は概ね24時間である。漁獲され魚種群の100m あたりに換算した漁獲の平均を

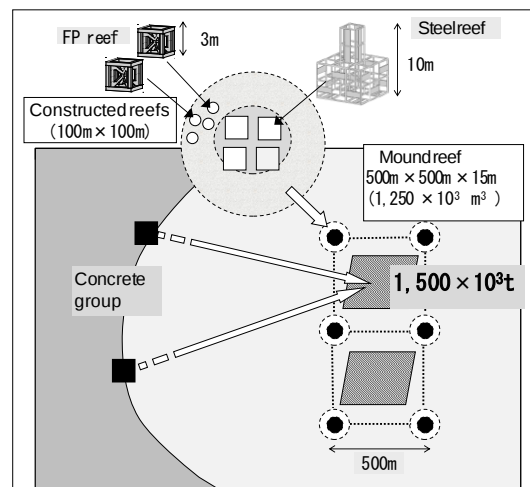


Fig.6 Idea of the fish reefs volume

Fig.7 に示す。

2.3.2 蛸集量および対象資源とその範囲の推定

コンクリート塊による魚礁が 500m×500m の矩形の範囲で設置されその外周に効果範囲が形成されるもとし

1.2.4 蛸集量の推定に基づきこの外周の蛸集量を推定した。得られた蛸集量 H_R を式(9)に代入し対象資源である N_0 を求めた。 $H_{\alpha,\beta}$ として得られた Fig.7 の漁獲量を魚礁効果の範囲である区間 $[0,E]$ の距離 L_E に換算して $FF_{[0,E]}$ とする。 $FF_{[0,E]}$ を式(7)に代入して区間 $[0,E]$ が平坦域であるときの蛸集量(漁獲対象魚類量) $HF_{[0,E]}$ を求める。 $HF_{[0,E]}$ は $FF_{[0,E]}$ を漁獲した漁具の有効範囲に分布するから N_0 の分布範囲は $(2B \times L_E) \times (N_0 / HF_{[0,E]})$ で表すことができ、魚礁を中心とする対象資源の分布半径 LN_0 は次式により得られた。

$$LN_0 = \sqrt{\frac{(2B \times L_E) \times (N_0 / HF_0)}{\pi}} \quad \dots(9)$$

2.3.4 推定の結果

推定の結果について、 $1,250 \times 10^3$ 空 m^3 の魚礁による蛸集量を Fig.8 に、この蛸集量の蛸集対象資源量および蛸集対象資源魚礁からの分布半径を Table 1 に示した。

2.3.5 魚礁による復興支援

大震災による地域社会への障害は震災により発生した瓦礫であり、生産手段の喪失による生産低下である。魚礁は歴史的に岩石の集積や構築物の海底設置することにより漁獲量の増加が期待されてきた。最近では魚礁での魚類の蛸集が食物連鎖による広がりを持つものであることが基礎生産量の増加とこれによる生物量の増加が示唆されている¹¹⁾。本報告では発生したコンクリート瓦礫を魚礁の構成素材として使用し、既存の魚礁配置空間(500m 方格配置)を利用することにより $1,250 \times 10^3$ 空 m^3 の1単位魚礁を想定できることを提案する。これによるコンクリート塊の処理量は約 $1,500 \times 10^3$ トン、魚類蛸集量は153 トン/日である。

2.3.5 魚礁による復興支援

大震災による地域社会への障害は震災により発生した

Table 1 Amount of attracted, attractable fish and radius of circle for attractable stock (1,250 × 10³m³ b.v.)

	Amount of attracted fishes(kg)	Amount of attractable stock(kg)	Radius of circle for attractable stock(m)
Rockfishes	1,060.9	1,060.9	2,201.4
Bastard halibut	101,245.9	422,904.0	22,114.0
Common fishes	30,521.6	784,246.3	42,219.2
Righteye flounder	13,925.5	23,047.2	11,601.9
Sculpin	1,905.4	1,905.4	5,706.2
Octopus	4,917.2	4,917.2	5,428.1
Total	153,576.5	1,238,080.9	—

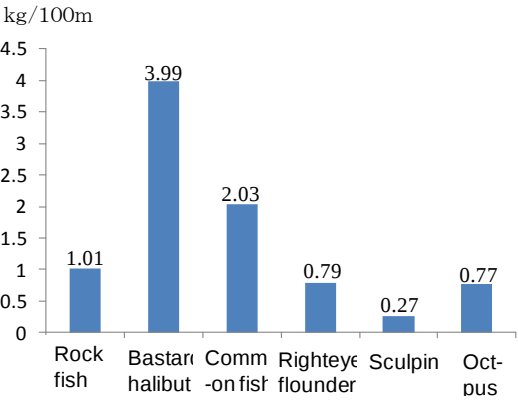


Fig.7 Catch in flat area (kg/100m)

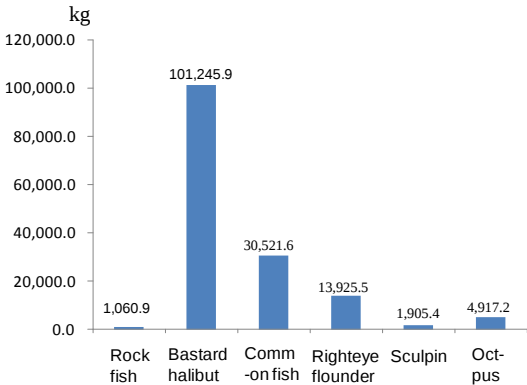


Fig.8 Attracting fishes in fish reefs (kg / 1day · 1,250 × 10³m³bv)

瓦礫であり、生産手段の喪失による生産低下である。魚礁は歴史的に岩石の集積や構築物の海底設置することにより漁獲量の増加が期待されてきた。最近では魚礁での魚類の蛸集が食物連鎖による広がりを持つものであることが基礎生産量の増加とこれによる生物量の増加が示唆されている¹⁴⁾。本報告では発生したコンクリート瓦礫を魚礁の構成素材として使用し、既存の魚礁配置空間(500m 方格配置)を利用することにより $1,250 \times 10^3$ 空 m³ の 1 単位魚礁を想定できることを提案した。これによるコンクリート塊の処理量は約 $1,500 \times 10^3$ トン、魚類蛸集量は 153 トン/日である。魚礁の設置により随意的個所に漁場を配置することが可能となる。また魚礁への蛸集魚類は魚礁直近には根付魚、周辺平坦地にはカレイ類など多様性を持っている。このことは、漁船、漁具等の生産手段を失った漁業者に対して小資本で漁業を再開する機会を提供する。すなわち、漁港近傍への漁場配置は小型漁船からの漁業再開を可能とし、魚礁直近での根付魚を対象とする釣り漁業、周辺でのカレイ類等を対象とする刺網漁業は簡易な漁具を使用しており新規再開する漁業者にとって経済的負担が少ない。魚礁は設備を新規に獲得しながら漁業を再開・発展させる上で重要な支援策となると考えられる。

参考文献

- 1) 柿元皓：人工魚礁，財団法人漁港漁場漁村技術研究所，1-62，2004.
- 2) 北海道水産部：魚礁調査（効果）報告書（小樽祝津地先），北海道水産部，1962.
- 3) 北海道水産試験場(函館支所)：魚礁試験，昭和 12 年業務功程，北海道水産試験場，153-154，1937.
- 4) 北海道水産試験場(函館支所)：魚礁試験，昭和 13 年業務功程，北海道水産試験場，162-164，1938.
- 5) 北海道水産試験場(函館支所)：魚礁試験，昭和 14 年業務功程，北海道水産試験場，172-174，1939.
- 6) 山内繁樹・櫻井泉・金田友紀・横山善勝・川森晃：魚礁性の定量化に関する考察，平成 18 年度 日本水産工学会学術講演会，51-54，2006.
- 7) 北海道における漁獲試験結果に基づく魚礁性の定量化とその考察：山内繁樹・横山善勝・川森晃・櫻井泉，水産工学 Vol.43 No.2，151-159，2006.
- 8) 山内繁樹：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 北海道大学，1-197，2009.
- 9) 山内繁樹・峰寛明・金田友紀・横山善勝・藤森康澄・木村暢夫：主成分分析による構造の異なる単位魚礁に蛸集する魚類の魚礁性，水産工学 Vol.46 No.1，pp.37-50，2009.
- 10) 山内繁樹・峰寛明・櫻井泉・金田友紀・横山善勝：魚類分布の定量的表現による魚礁の効果範囲の推定と考察，水産工学 Vol.44 No.3，PP.175-183，2008.
- 11) 山内繁樹・峰寛明・横山善勝・清水晋・藤森康澄・木村暢夫：魚礁周辺における魚類の水平分布構造について，第 21 回海洋工学シンポジウム，OES21-127 CD，2009.
- 12) 山内繁樹・峰寛明・林田健志・清水晋・藤森康澄・木村暢夫：単位魚礁に対する蛸集量及び漁獲推定に関する試験調査，平成 22 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，9-12，2010.
- 13) 山内繁樹・峰寛明・清水晋・藤森康澄・木村暢夫：魚礁蛸集魚の規模による魚種特性，平成 22 年度 日本水産工学会学術講演会講演論文集，5-8，2010.
- 14) 山内繁樹・横山善勝・川森晃・櫻井泉：魚礁機能の定量化と魚礁性，水産工学 Vol.47 No.2，85-94，2010.
- 15) 木元克則：流水および止水条件下におけるマダイ稚魚のかいあし類捕食量，水産工学研究所研究報告，第 14 号，51-63，1993.
- 16) 中央水産試験場：平成 21 年度 単位魚礁に対する蛸集量および漁獲量推定に関する調査業務報告書，北海道中央水産試験場，1-118，2010.