

HEP 法を用いた養殖真珠の品質評価法の提案

明田 定満* ・岩田 敏彦**・寺澤 知彦***
服部 真由子***・高木 伸雄****

真珠養殖は宝飾品である真珠の生産が目的であるため、真珠養殖漁場の環境評価を行う場合、養殖漁場の流動、水質底質、アコヤガイの成長や生残率等に加えて、真珠の品質が重要な評価項目となる。そこで、良質な真珠の生産には健全な母貝の育成が不可欠であることから、先ず、漁場環境(水温、塩分、流速、栄養塩、餌料密度等)、アコヤガイの成長と真珠品質の関係について検討し、HEP 法を用いた養殖真珠の品質評価法を提案した。次に、アコヤガイ養殖を考慮した低次生態系モデルに、真珠養殖の品質評価法を組み込み、長崎県対馬浅茅湾における真珠養殖漁場の漁場環境評価に適用し、その妥当性を検証した。

1. 緒 言

愛媛県、三重県、長崎県等の主要な真珠養殖漁場では、長年に渡る過密養殖に伴う水質汚濁の発生や有機汚泥の堆積、アコヤガイに悪影響を及ぼす赤潮(ヘテロカプサ)の発生、感染症によるアコヤガイの大量斃死等により真珠生産が激減している。

バブル経済の崩壊以降、需要の減退、輸入真珠との競合等により真珠価格の低迷が続く中、持続的な真珠生産の確保と品質向上を両立させるためには、養殖漁場の環境収容力に応じた適正養殖密度で養殖漁場を利用することが要請されている。ここで、阿保・杜多(2001)は真珠養殖における適正養殖密度として、①餌料供給に見合う生物生産を確保する視点から、養殖漁場内に存在する餌料密度とアコヤガイの餌料要求を釣り合わせる養殖密度、②養殖漁場への有機物負荷を抑制する視点から、養殖に伴う有機物負荷が養殖漁場の浄化能力を超えない養殖密度について言及し、餌料供給に見合う生物生産確保の視点からの養殖密度決定法を提案している。何れの適正養殖密度の視点においても、現状の養殖密度より養殖量を削減した漁場利用とならざるを得ず、適正養殖密度に対する養殖漁業者の合意を得るには、合理的、客観的、定量的な漁場環境評価に基づき適正養殖密度が決定されることが重要となる。

魚類養殖漁場の環境評価を行う場合、養殖漁場の流動、水質、底質等に加えて、養殖魚類の成長や生残率等が評価項目となる。真珠養殖の目的はアコヤガイの成長ではなく、宝飾品である真珠の生産であるため、真珠養殖漁場の環境評価を行う場合、上記項目に加えて、真珠の品質が重要な評価項目となる。これまでに、真珠養殖の漁場利用や養殖管理を反映した漁場環境評価手法として、阿保・杜多(2000, 2001)による餌料生物動態を考慮し

たアコヤガイ成長モデル、上野ら(2001)によるアコヤガイ代謝過程を考慮した低次生態系モデルが提案されている。これらの評価手法は、アコヤガイ養殖密度と漁場環境(流動、水温、塩分、栄養塩、溶存酸素量、動植物プランクトン量等)、アコヤガイの代謝過程(摂餌、同化、成長、呼吸、再生産等)の解析を通じて、アコヤガイの生物生産を定量評価するモデルであり、養殖真珠の品質までは評価できない。そのため、養殖真珠の品質評価を行えるように、評価モデルの拡張が必要とされている。

真珠の品質は、「実体色、てり、まき、かたち、きず」で評価される。かたち(形)、きず(傷)は挿核時や挿核直後の貝の生理状態に依存し、てり(干渉色)は浜揚げ直前における海況と貝の生理状態に依存するため、長期的な漁場環境との関連は小さい。そこで、長期的な漁場環境を反映する項目としては、実体色(黄色度)、てり(輝度)、まき(真珠層の厚さ)が考えられるが、実体色は時代、地域、階層、年齢、性別、利用等によって嗜好が変わる。真珠層が歪み乱れなく整然と積層すると輝度が増し、まきが厚い真珠ほど真珠特有の光沢が現れることから、良質な真珠の生産には養殖期間を通じて、アコヤガイが健全に育成し、真珠層を円滑に分泌し整然とした積層が行われる必要がある。

本論では、漁場環境、アコヤガイ成長と真珠品質の関係を HEP 法を用いて整理し、真珠養殖漁場でその妥当性を検討した「HEP 法を用いた養殖真珠の品質評価法」について報告する。

2. 研究の目的及び内容

本研究は、養殖真珠の品質評価まで含めた真珠養殖漁場の環境評価法の構築、特に養殖真珠の品質評価法を提案することを目的とする。

(1) アコヤガイ養殖を考慮した低次生態系モデル

阿保・杜多(2000, 2001)、上野ら(2001)と同様に、真珠品質に直結するアコヤガイの代謝過程を定式化し、流動モデル、低次生態系モデルから得られる漁場環境(流動、水温、塩分、栄養塩、溶存酸素量、動植物プランク

* 正会員 (独法)水産総合研究センター水産工学研究所
** 長崎県水産部
*** (株)中電 CTI
**** 農博 (株)テトラ 元(独法)水産総合研究センター水産工学研究所

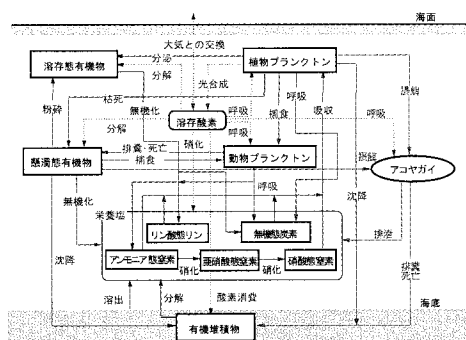


図-1 アコヤガイ養殖を考慮した低次生態系モデル

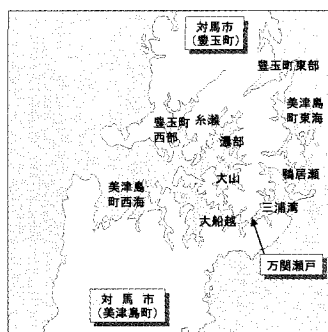


図-2 浅茅湾周辺の主要な真珠養殖漁場

トン量等)を環境変数として、アコヤガイの成長(軟体部乾燥重量等)を評価する数値モデルを構築した。

アコヤガイ養殖を考慮した低次生態系モデルの概要を図-1に示す。数値モデルを浅茅湾(長崎県対馬, 図-2)の真珠養殖漁場に適用するに当たり、浅茅湾を含めた流動水質解析事例(長崎県, 2002)を参照しながら数値解析を行い、観測結果(対馬真珠養殖漁業協同組合, 2001)と比較し、数値モデルの妥当性を検討した。

(2) 養殖真珠の品質評価法

良質な真珠の生産には健全な母貝の育成が不可欠であることから、養殖真珠の品質とアコヤガイの成長、漁場環境との関連付けを行い、HEP法を用いた養殖真珠の品質評価法を提案した。次に、流動環境が相違する浅茅湾内の3漁場(大船越:流速大, 濃部:流速中, 大山:流速小)でアコヤガイ試験養殖を行い、流動と真珠品質(てり, まき)の関係を検討するとともに、提案した養殖真珠の品質評価法と試験養殖結果との比較を行った。さらに、提案した養殖真珠の品質評価法を浅茅湾真珠養殖漁場に適用し、平成13年度漁場別真珠生産実績との比較を行い、養殖真珠の品質評価法の妥当性を検討した。

3. 浅茅湾の真珠養殖漁場の概況

浅茅湾は対馬中央部に位置し、複雑な海岸地形を有す

る静穏な湾である。対馬暖流の影響を受け周年を通じて貧栄養な海域であるため、降雨に伴う陸水流出(栄養塩供給)後に、赤潮の発生が稀に観察されるが、深刻な環境問題となるような水質汚濁の発生や有機汚泥の堆積は見られない。また、養殖漁業者に対する聞き調査から、養殖漁場の環境悪化の要因として、「潮通しの悪さ」「過密養殖」「高水温」等が指摘されている(長崎県, 1996)。

アコヤガイの代謝や生理活性が高くなる夏季に、アコヤガイの餌料となる植物プランクトン量が $1.6\text{--}2.0\text{ }\mu\text{g/L}$ 程度しかなく、養殖管理上問題となる水準である。特に浅茅湾の湾奥部、濃部浅茅湾に位置する濃部、大山等の養殖漁場は停滞性が強く海水交換が小さいため、夏季に水温上昇が生じ易いことから、夏季に高水温と餌料不足により、アコヤガイの身痩せ(成長不良)が発生する。一方、大潮時に 2 m/s を越す急潮流が生じる万閑瀬戸近傍に位置する大船越の養殖漁場は、万閑瀬戸を通じた海水交換が大きく、相対的に餌料密度の高い海域であることから、良質な真珠を生産する養殖漁場と認識されている。以上のことから、浅茅湾の真珠養殖漁場を適正管理する上で、「潮通しの改善」「適正な養殖密度」が重要な課題であることが窺われる。

浅茅湾における真珠養殖の養殖管理は「当年もの」「越年もの」に分かれ、当年ものは3月から仕立て作業を行い、5月上旬に挿核、20日程度養生、6月上旬から養殖漁場に沖出し育成、翌年2月に浜揚げする。当年ものの養殖管理上、夏季(7-9月)におけるアコヤガイの成長の良否が、浜揚げ時の真珠品質を左右する。

4. 浅茅湾における養殖漁場環境の再現

養殖管理上重要な時期である夏季(7-9月)を対象に、アコヤガイ養殖を考慮した低次生態系モデルを用いて、夏季平均気象海象条件における漁場環境の再現を試み、平成13年度漁場定点観測結果(対馬真珠養殖漁業協同組合, 2001)と比較した。解析結果の一例(大山地先の水温、植物プランクトン量)を図-3に示す。また、水温、塩分、植物プランクトン量、溶存酸素量に関する観測結果と解析結果の比較を図-4(A), 図-4(B)に示す。

(1) 水温、塩分

図-4(A)に示すように、水温に関する解析結果は、観測結果を概ね再現していた。また、塩分に関する解析結果は、観測結果より若干高めに計算される傾向にあるが、河川河口域表層を除いて 32 psu 以上となり、観測結果を概ね再現していた。

(2) 植物プランクトン量、溶存酸素量

図-3に示すように、植物プランクトン量に関する解析結果は、アコヤガイ養殖籠の垂下水深である水深 $2\text{--}3\text{ m}$ 層で最小、水深 $8\text{--}10\text{ m}$ 層で最大、海底面に向かって減

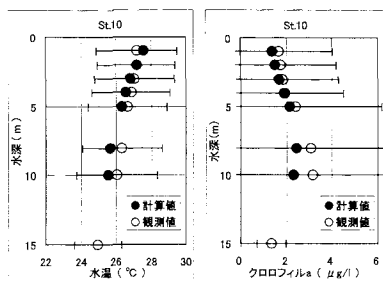


図-3 低次生態系モデルを用いた解析結果の一例

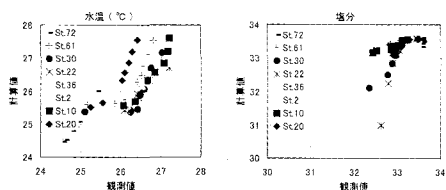


図-4(A) 水温、塩分の観測結果と解析結果の比較

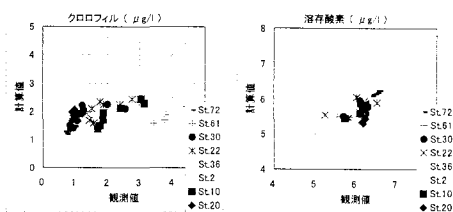


図-4(B) 植物プランクトン量、溶存酸素量に関する観測結果と解析結果の比較

少する観測結果の傾向を再現していた。図-4(B)に示すように、植物プランクトン量に関する解析結果は、観測結果が大きい時小さく計算され、観測結果が小さい時大きく計算される等、解析結果は観測結果より変動幅が小さい。その理由は、夏季平均気象海象条件における解析結果と、日々変動する気象的擾乱の影響を受けた観測結果との相違と思われる。

溶存酸素量に関する解析結果は、観測結果より若干低めに計算される傾向にあるが、表層から底層に向かって微減し、海底面直上層でも5.0 mg/L以上となる観測結果を概ね再現していた。

(3) 養殖真珠の品質評価法に使用する漁場環境

前述の項目以外の流速、栄養塩、動物プランクトン量、有機堆積量、デトリタス、アコヤガイの成長等の解析結果についても、観測結果を合理的に説明し得ることから、養殖真珠の品質評価の検討に際して、養殖漁場環境は解析結果を用いて評価することにした。

5. 養殖真珠の品質評価法の提案

(1) 真珠養殖漁場の好適環境条件

真珠養殖漁場に要請される漁場環境について、既往文献(例えば、和田, 1990, 1999; 植本ら, 1987)から抽出整理した項目を表-1に示す。

表-1 真珠養殖の好適環境条件、制限環境条件

環境項目	好適環境条件, 制限環境条件
流動	正常な代謝や生理活動を維持する流速は籠養殖10-20 cm/s, 開放養殖5-15 cm/s, 代謝活動を最も助長する流速は10-12 cm/s,
水温	適水温13-27°C, 最適水温23-25°C, 冬眠水温7-13°C, 生存限界水温は低温側7°C前後, 高温側30°C前後,
塩分	最適塩分25-30 psu, 塩分17-25 psuでは繁殖は起こらない, 低比重に弱く塩分20 psu以下で生理的な障害が始め8 psuで繁殖が起きる,
餌料	正常な代謝や生理活動の維持には、クロロフィル量3-4 μg/L以上, 窒素量で60-80 μg/L以上の餌料密度が必要である,
溶存酸素量	繁殖に至る溶存酸素量は1 ppm以下, 溶存酸素量が1 ppm以上有れば, 生理活動は正常な状態より低下するが短期間で繁殖に至ることはない,

(2) 漁場環境評価項目の選定

養殖真珠の品質評価に関係する環境項目として流動、水温、塩分、アコヤガイ健康度、餌料濃度、栄養塩濃度、溶存酸素量、底質等が考えられる。ここで、餌料濃度(植物プランクトン量)はアコヤガイの代謝成長を検討する過程で、栄養塩は植物プランクトン増殖の制限因子として低次生態系モデルを使った栄養塩と動植物プランクトンの動態を検討する過程で評価検討が行われる。

浅茅湾では環境問題となるような貧酸素化、底質悪化は発生していない。また、開発した低次生態系モデルにおいて、有機堆積量(アコヤガイ糞量)として評価される底質悪化は漁場環境の長期変動を示す指標と考えられるが、真珠品質との関連が明確でない。以上のことから、養殖真珠の品質評価に用いる漁場環境項目として、水温、塩分、流速、アコヤガイ健康度の4項目とした。

(3) 養殖真珠の品質評価法

養殖漁場環境に関連付けて、養殖真珠の品質評価を行う手法は確立されていない。そこで、米国で開発され、我が国においても、沿岸域の生態系を代表する生物の生息地適正評価法として研究開発が進むHEP法(例えば、新保ら, 2000, 2001)を参考に養殖真珠の品質評価を試みることにした。HEP法では、複数の支配的環境項目毎に、対象生物の生息環境を科学的知見や現地観測に基づき点数化(SIモデルの作成)を行い、それらを総合化してHSIモデルを構築する。HSIモデルは生態系の機能や構造の把握を助け、環境の現状評価、開発行為の予測評価や影響把握等の際に使用される。

HEP法を参考にして、水温、流速、塩分、アコヤガイ健康度に対する環境適正指数SIを養殖漁場の最小区画毎に F_t 、 F_v 、 F_s 、 F_a と表すと、養殖真珠の品質の指標であるアコヤガイの生物環境適正指数HSIは、

$$HSI=(F_t \cdot F_v \cdot F_s \cdot F_a)^{1/4} \dots\dots\dots (1)$$

で表せる。なお、HSIを計算する際は、何れの環境適正指数も最大値で無次元化し0～1で示した。水温、流速に対する環境適正指数を図-5(A)に、塩分に対する環境適正指数を図-5(B)に示す。真珠養殖漁場毎のHSIをTHSIと表すと、

$$THSI=(\sum(HSI \times \text{区画面積}))/\text{漁場面積} \dots\dots (2)$$

で表せる。

a) 水温に対する環境適正指数

水温10-20℃の範囲では、水温上昇に伴う呼吸量の増加に応じて、貝殻の無機炭素沈着量（以下、貝殻形成速度という）は増加し、20-25℃で最大、25℃以上では急激に減少する。真珠層の形成は貝殻形成と同様の代謝過程であることから、水温に対する環境適正指数 F_t は最適値を持つ温度応答を表す(3)式で表した。なお、(3)式で示す代謝の温度応答は、貝類の濾水速度、棘皮動物の摂餌速度、大型海藻の炭素固定速度等、様々な生物現象を表現する際に用いられている。

$$F_t = \alpha \cdot \theta \cdot (1 - \theta) \\ \theta = \left(\frac{T - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \right)^\beta \dots\dots\dots (3)$$

α 、 β は定数、 T は水温、 $T_{\max}$ 、 $T_{\min}$ は適用温度帯の最高値、最小値である。養殖漁業者に対する聞き取り調査に基づき最適水温を25℃とし、水温に対する貝殻形成速度に

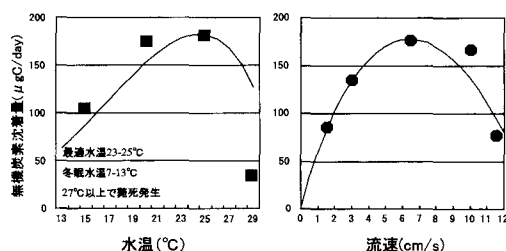


図-5(A) 水温、流速に対する環境適正指数

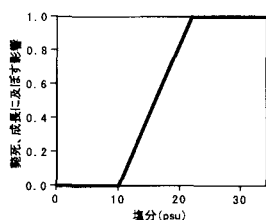


図-5(B) 塩分に対する環境適正指数

関する実験値（和田，1999）との整合性を持たせるように、 $\alpha=730$ 、 $\beta=2.6$ 、 $T_{\max}=32(^{\circ}\text{C})$ 、 $T_{\min}=0(^{\circ}\text{C})$ とした。

b) 流速に対する環境適正指数

流速に対する貝殻形成速度の応答は、呼吸量の応答と同じ傾向を示す。8-10 cm/sまでは流速増加に伴い、呼吸量、貝殻形成速度ともに増加し、10 cm/s以上では両者はともに急激に減少する（和田，1999）。流速に対する貝殻形成の代謝過程を水温応答と同じ形式で表現可能か不明であるが、便宜上同じ表現形式で表すものとし、流速に対する貝殻形成速度に関する実験値（和田，1999）との整合性を持たせるように、 $\alpha=710$ 、 $\beta=0.9$ 、 $V_{\max}=14(\text{cm/s})$ 、 $V_{\min}=0(\text{cm/s})$ とした。なお、流速は流動モデルで得られる最強流時（上げ潮または下げ潮）の潮流速度を与えた。

c) 塩分に対する環境適正指数

河川河口域を除いて、通常の塩分濃度の範囲では、塩分はアコヤガイの代謝や生理に悪影響を及ぼすことは無い。降雨後の淡水出水時、河川河口域付近の養殖漁場では急激な塩分変動、低塩化が起こり得ることから、沼田・田中（1986）に従い、塩分22 psu以上では成育に支障無、塩分10 psu以下では斃死発生等成育に重大な支障有、塩分10-22 psuの範囲では成育に支障有として、塩分に対する環境適正指数を図-5(B)のように表した。

d) アコヤガイ健康度に対する環境適正指数

アコヤガイ健康度の評価指標として、グリコーゲン含有量や身肉の赤変色等が提案されているが、開発した数値モデルでは評価できない上に、アコヤガイ健康度と真珠品質の関係を示す知見は皆無である。

夏季の高水温時には同化量と呼吸量が拮抗しており、成長が停滞または減衰することがある。即ち、環境水中に餌料が少ないと、アコヤガイが餌料を濾水（摂餌）しても呼吸量が同化量を上回り衰弱する。そこで、アコヤガイ生物量が増加（増重）傾向か減少（身痩せ）傾向か、養殖漁場別にアコヤガイの成長速度を求め、アコヤガイ健康度の総合的な指標とした。

(4) 試験養殖により得られた真珠品質との比較

対馬真珠養殖漁業協同組合が行う真珠共同販売（以下、真珠共販という）では、真珠は1級品、2級品の区別しかない。一方、流動環境が相違する浅茅湾内の3漁場で行ったアコヤガイ試験養殖では輝度を4段階（強、中強、中、弱）、まきを6段階（真珠層厚を0.1 mm毎に、0.1-0.2、0.2-0.3、0.3-0.4、0.4-0.5、0.5-0.6、0.6-）に区分した。真珠共販と試験養殖の品質分類が異なるので、便宜上、試験養殖で得た「強・中強」の輝度を持つ真珠と0.3 mm以上の真珠層厚の真珠を1級品と分類した。アコヤガイ試験養殖における1級品出現率と漁場別THSIの関係を図-6に示す。流れ環境の異なる3漁場における

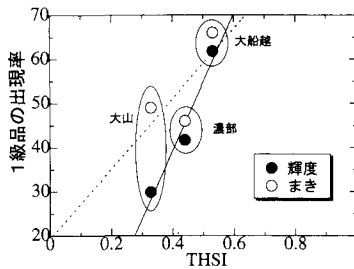


図-6 アコヤガイ試験養殖における1級品出現率と漁場別 THSI の関係

真珠品質の評価は、大船越（流速大）が良く、濃部（流速中）、大山（流速小）の順となった。試験養殖箇所が3箇所と少ないため不確定な要素が大きいが、漁場別 THSI と試験養殖における1級品出現率は概ね対応しており、漁場別 THSI を用いて養殖漁場毎の真珠品質を評価し得ることが示唆された。

(5) 養殖漁場の評価への適用

良質な真珠は仲買業者、真珠加工業者と相対取引される場合もあるが、養殖真珠の大半は真珠共販を通じて売買される。真珠共販に出荷した真珠の品質は、養殖業者の自己申告であることから、養殖漁場別の THSI を用いて推定した1級品出現率と真珠共販時の1級品の出荷割合が異なることが想定される。そこで、THSI を用いて推定した1級品出現率と真珠共販時の1級品出荷割合を比較した結果、大半の養殖漁場では両者の比は±2割程度の範囲に収まっており、養殖漁場別の THSI を用いることで、真珠養殖漁場の相対的な良否を評価し得ることが示唆された。その評価結果は養殖漁業者が認識している養殖漁場の良否と概ね合致した。

(6) 養殖密度半減の効果検討

浅茅湾の真珠養殖漁場の環境改善には、過密養殖の解消が有効であることが指摘されている。そこで、浅茅湾真珠養殖漁場に開発した数値モデルを適用し、養殖密度を現況の1/2にした場合の効果と影響を検討した。

主要な結論は以下の通りである。養殖漁場周辺で、①流速場の改善（流速増大）が図られる。養殖量を減らした結果、1個体当たりの摂餌量は増加する反面、摂餌される餌料総量は減少することから、②餌料不足の解消（植物プランクトン量増大）、③アコヤガイの成長速度の向上、④浅茅湾全体で THSI が1割以上向上し、養殖真珠の品質向上が期待される。但し、⑤養殖密度の削減は養殖漁場の環境改善、養殖真珠の品質改善に寄与する反面、養殖生産額は現状を下回り、養殖経営に多大な影響を及ぼす。以上のことから、持続的な生産と品質向上には養

殖密度の削減は不可欠であるが、養殖密度の削減が真珠養殖に及ぼす効果と影響を事前に十分検討した上で、養殖漁業者の合意形成に努めることが重要となる。

6. 結 語

養殖真珠の品質とアコヤガイ成長速度、漁場環境（水温、塩分、流速）との関連付けを行い、HEP法を用いた養殖真珠の品質評価法を提案した。流動環境が相違する浅茅湾内3漁場で行ったアコヤガイ養殖試験結果との比較から養殖真珠の品質評価法の妥当性を確認するとともに、浅茅湾の真珠養殖漁場の漁場評価に適用し、その実用性を検証した。

謝辞：本研究の実施と成果の取り纏めに際して、浅茅湾養殖漁場環境調査検討委員会（委員長：中田英昭長崎大学教授）の御指導御助言を戴いた。真珠品質の評価法の検討に当たり、伊藤克彦氏（芙蓉海洋開発(株)）から御助言を戴いた。現地調査に当たり、長崎県対馬支庁、長崎県対馬水産業普及指導センター、美津島町役場、対馬真珠養殖漁業協同組合等からデータ提供、便宜供与等の御協力を戴いた。本論の最後に当たり、御指導御助言を戴いた関係機関、関係諸氏に対して記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 阿保勝之・杜多 哲 (2000): アコヤガイ適正養殖量算定のためのモデル開発、適正養殖量算定のためのモデル開発、水産庁中央水産研究所, pp. 31-42.
- 阿保勝之・杜多 哲 (2001): アコヤガイの生理と餌料環境に基づく養殖密度評価モデル、水産海洋研究, VOL. 65, NO. 4, pp. 135-144.
- 上野成三・高山百合子・灘岡和夫・勝井秀博 (2001): アコヤガイ代謝モデルと低次生態系モデルを統合した英虞湾の海域環境シミュレーション、海岸工学論文集, 第48巻, pp. 1241-1245.
- 植本東彦・落合完二・横溝節夫・村松守光・宇野 寛・平塚忠征 (1987): 真珠の養殖, 社団法人日本真珠振興会, 236 p.
- 新保裕美・田中昌宏・池谷 毅・越川義功 (2000): アサリを対象にした生物生息地適正評価モデル、海岸工学論文集, 第47巻, pp. 1111-1115.
- 新保裕美・田中昌宏・池谷 毅・林 文慶 (2001): 干潟における生物生息環境の定量的評価に関する研究、海岸工学論文集, 第48巻, pp. 1321-1325.
- 対馬真珠養殖漁業協同組合 (2001): 平成13年度漁場定点観測結果.
- 長崎県 (1996): 養殖漁場適正配置事業調査「対馬浅茅湾地域適正養殖モデル案」報告書.
- 長崎県 (2002): 美津島漁港修築工事（環境調査）報告書.
- 沼田勝之・田中弥太郎 (1986): アコヤガイ付着初期稚貝の斃死、成長に及ぼす塩分の影響、養殖研究所報告, NO. 9, pp. 41-44.
- 和田浩爾 (1990): 科学する真珠養殖, 真珠新聞社, 213 p.
- 和田浩爾 (1999): 真珠の科学, 真珠新聞社, 336 p.