

長崎県の真珠養殖業における生産性向上に関する研究

Studies on the improvement of the production efficiency of
pearl culture industry in Nagasaki Prefecture

岩 永 俊 介

2009年

目次

緒言	23
第1章 病気に強く生残率が高い優良アコヤガイの作出試験	
第1節 アコヤガイ血清タンパク質含量を指標とした優良親貝の選抜	25
材料および方法	25
結果	27
考察	32
第2節 血清タンパク質含量を指標に生産したアコヤガイの真珠生産試験	33
材料および方法	33
結果	34
考察	36
第2章 アコヤガイの生残率に及ぼす冬季水温の影響	
第1節 冬季に長崎県内7地区で飼育したアコヤガイの赤変病発症 と生残率の差異	39
材料および方法	39
結果	39
考察	40
第2節 冬季低水温飼育の適正な飼育期間(13℃以下の積算水温)の検討	41
材料および方法	41
結果	42
考察	43

第3節 抑制貝の生残率に及ぼす冬季水温の影響	45
材料および方法	45
結果	46
考察	47
第4節 施術貝の生残率に及ぼす冬季水温の影響	49
材料および方法	49
結果	50
考察	51
第5節 低水温飼育後に移動した漁場によるアコヤガイの生残率に及ぼす冬季水温の影響	51
材料および方法	53
結果	54
考察	56
第3章 1 オアコヤガイを施術貝に用いた真珠養殖方法の開発試験	
第1節 1 オアコヤガイを用いた施術貝の生残率および真珠品質の向上	58
材料および方法	59
結果	60
考察	62
第4章 高品質真珠を生産する優良ピース貝の作出試験	
第1節 アコヤガイ殻体真珠層のa値を指標としたピース貝生産用親貝の選抜	63
材料および方法	64
結果	66
考察	67

第5章 総括	69
謝 辞	73
文 献	73
要 約	76
Summary	78

緒言

アコヤガイ *Pinctada fucata martensii* は日本では房総・男鹿半島から沖縄までに生息している。在来系のアコヤガイを用いた真珠養殖業は、1907年に御木本幸吉らが真円真珠（以下、真珠と略す）の生産方法を発明して以来、三重県、愛媛県、長崎県等の西日本各地で行われてきた。漁業・養殖業生産統計年報（農林水産省統計情報部 1996, 2006）によると、真珠の生産額は年々増加して1986年から1995年（最盛期）に514億円～885億円の範囲まで達し、国内の海面養殖生産額の10.4%～14.5%を占めている。

しかし、1994年に愛媛県宇和海の一部地域で確認された閉殻筋の赤変化を特徴とするアコヤガイ赤変病（Fig.1）は1996年以降、西日本各地の真珠養殖場でもみられ、養殖貝の斃死率が

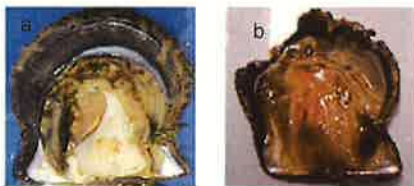


Fig.1. Oysters: normal (a) and with reddening adductor disease (b).

著しく増加している。そのため、関係機関を中心に原因の究明が進められ、原因は0.45 μ m以下の病原体による感染症と認められたが（黒川ら1999）、病原体について統一した見解はない（Suzuki et al. 1998；Miyazaki et al. 1999）。その対策では生残率が高い耐性貝の作出方法が検討されている（内村ら2001, 2005；内村2002；西川・滝本2001；松本ら2002；釜石2005；岡本ら2006a, 2006b）。その結果、現在では中国、ベトナム等から移入した南方系アコヤガイと在来系アコヤガイとを交配した貝（以下、交雑貝と略す）が導入され、養殖貝の斃死軽減に一定の効果が認められている（和田ら2002；和田2005）。しかし、従来の在来系アコヤガイから生産した真珠は「和珠」と呼ばれる独特の色彩、光沢等をもつ日本産真珠として国際的に評価が

高いのに対して、交雑貝から生産した真珠には高品質真珠の出現率が著しく低く大きな問題となっている。さらに、中国産淡水真珠とシロチヨウガイ真珠の輸入量が2000年より顕著に増加し、2006年には輸入額が450億円にまで達した（東京税関2007）。このような状況から、日本産真珠の単価は低下し（真珠新聞社2004）、2004年の真珠生産額は最盛期の平均生産額に対して26.9%（182億円）まで著しく減少した（農林水産省統計情報部2006）。

一方、長崎県の真珠生産額は1986年から1995年に109億～182億円の範囲まで増加し、県内の海面養殖生産額の26.4%～37.1%を占めている（長崎農林水産統計協会1993, 1997）。長崎農林水産統計年報（長崎農林水産統計協会2008）によると、2006年における県内の真珠養殖業は130経営体ある。そのうちの約7割の経営体が対馬、壱岐等の離島にあり、1経営体は5～50人程度（閑散期除く）を雇用している。そのため、真珠養殖業は離島地域の雇用の面からも重要な水産業の一つである。

長崎県には対馬真珠養殖漁業協同組合（以下、対馬真珠組合と略す）および長崎県真珠養殖漁業協同組合（以下、長崎県真珠組合と略す）があり、県内のほとんどの経営体が組合に加入している。両組合は赤変病における病原体の進入や感染地域の拡大を危惧して南方系アコヤガイや交雑貝等の移入や使用を禁じてきた。しかし、赤変病による在来系アコヤガイの斃死率が著しく増加したため、その取り扱いは2003年に解消された。その結果、交雑貝の導入が広まり、赤変病による養殖貝の斃死は低下傾向にある。しかし、現在の真珠養殖の技術は在来系アコヤガイに合わせて確立されたものである。そのため、交雑貝を用いて養殖を行うには、抑制（施術前に貝の活力を調整すること）の期間や方法を改良する必要がある。また、2007年には独立行政法人水産総合研究センター養殖研究所と三重県、愛媛県、大分県、熊本県、福岡県および長崎県の試験機関からなるアコヤガイ赤変病研究会で、現在の赤変病の発生状況を把握する

ため、在来系アコヤガイの無病貝（石川県産）を用いた一斉モニタリング調査（2007年6月から10月まで）を実施した。その中で、長崎県では県内の主要な真珠生産地域である対馬市（同市嵯峨地先）と佐世保市（同市浅子地先）で飼育試験を行った（以下、それぞれを対馬および佐世保と略す）。その結果、対馬と佐世保では、それぞれ2007年10月および9月に赤変病の指標とされる閉殻筋のa値（森実ら 2001）が上昇して赤変化した個体がみられるとともに、斃死数が著しく増加した（Fig.2）。試験終了時の生残率では対馬と佐世保はそれぞれ58%および10%となり（Fig.2）、現在も県内に赤変病が存在することがわかった。

このような状況のため、2006年の長崎県における真珠の生産量および生産額（長崎農林水産統計協会 2008）は、赤変病がみられる以前10年間（1986年から1995年まで）の平均値に対して、それぞれ59.1%および33.2%まで減少した（Fig.3）。

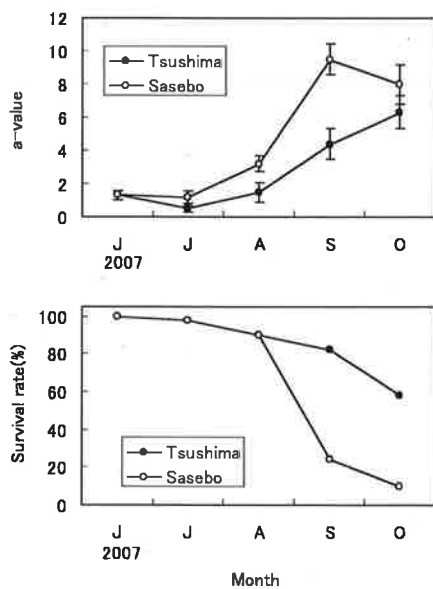


Fig.2. Changes in the a-value and survival rate of oysters cultured in Tsushima and Sasebo from June to October 2007.

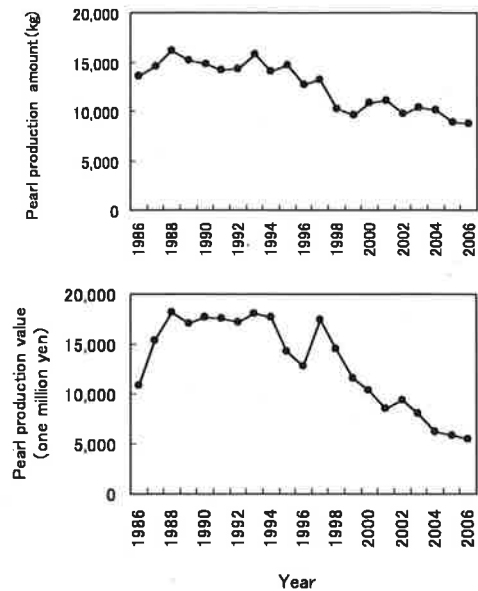


Fig.3. Changes in the production amount and value of pearl cultured in Nagasaki Prefecture.

現在、長崎県の真珠養殖経営は年々緊迫して、養殖規模の縮小や廃業が行われ、真珠養殖業は危機的な状態にある。そのため、真珠養殖業者の中には、従来の在来系アコヤガイを用いた養殖を強く望む声がある。しかし、在来系アコヤガイを用いて真珠養殖業を安定的に行うためには、耐病性があり生残率が高い貝の作出方法や斃死を軽減する養殖方法等を開発する必要がある。

そこで、長崎県総合水産試験場では在来系アコヤガイを用いた真珠養殖業の安定化を図ることを目的に、対馬および長崎県真珠組合と連携して、「真珠母貝養殖技術開発事業（1998年～2002年）」および「持続的真珠養殖生産確保緊急対策事業（2003年～2007年）」に着手し、在来系アコヤガイを用いた優良アコヤガイの作出、真珠養殖方法の改良および開発等に取り組んでいる。本研究ではこれまでに事業で行った試験を取りまとめた。第1章では病気に強く生残率が高い優良アコヤガイの作出試験を、第2章ではアコヤガイの生残率に及ぼす冬季水温の影響を、第3章では1オアコヤガイを施術貝に用い

た真珠養殖方法の開発試験を、第4章では高品質真珠を生産する優良ピース貝の作出試験を報告するとともに、第5章では本研究の結果から、在来系アコヤガイによる真珠養殖業の生産性を向上する方法について総括した。

なお、第1章の「病気に強く生残率が高い優良アコヤガイの作出試験(第1節)」は「アコヤガイの血清タンパク質含量を指標とした優良親貝の選抜(岩永ら 2008d)」として、第2章の「アコヤガイの生残率に及ぼす冬季水温の影響(第1節と第2節)」は「長崎県におけるアコヤガイ母貝養殖場の冬季水温による感染症軽減効果(岩永ら 2008c)」として、第3章の「1 オアコヤガイを施術貝に用いた真珠養殖方法の開発試験」は「1 オアコヤガイを用いた施術貝の生残率および真珠品質の向上(岩永ら 2008a)」として、第4章の「高品質真珠を生産する優良ピース貝の作出試験」は「アコヤガイ殻体真珠層のa値を指標としたピース貝生産用親貝の選抜(岩永ら 2008b)」として、日本水産増殖学会に発表した。

第1章 病気に強く生残率が高い優良アコヤガイの作出試験

第1節 アコヤガイ血清タンパク質含量を指標とした優良親貝の選抜

西日本各地のアコヤガイ *Pinctada fucata martensii* による真珠養殖業では、1996年以降、閉殻筋の赤変化を特徴とするアコヤガイ赤変病により養殖貝の斃死数が著しく増加し、生産量の減少が深刻な問題となっている(農林水産省統計情報部 1997, 2004)。現在、赤変病は感染および同居試験の結果から感染症と認められているが(黒川ら 1999)、統一した病原体の特定には至っていない(Suzuki et al. 1998, Miyazaki et al. 1999)。また、真珠養殖では1970年代から種苗生産に関する技術開発が進み(村主ら 1976, 1978; 西村ら 1977; 西村 1982)、近年、人工受精による種苗が養殖貝の大部分を占めているが(須賀 2001)、赤変病の発生以降種苗生産を行

うための良質な親貝の確保が難しくなった。そのため、真珠業界から耐病性があり生残率が高いなどの耐性アコヤガイの作出方法の開発が強く望まれ、作出方法(内村ら 2001, 2005; 内村 2002; 西川・滝本 2001; 松本ら 2002; 岡本ら 2006a, 2006b)に関する多くの研究が進められている。その中で、松本ら(2002)は生残率の高いアコヤガイを作出することを目的に高水温選抜を行い、生残個体は斃死個体に比べて血清タンパク質含量が高く、その個体を親貝とする種苗は高水温耐性ととも成長が良く、血清タンパク質含量と生残率が高いことを報告した。また、アコヤガイでは血清タンパク質含量が年齢や飼育環境などにより変化するとともに、衰弱時に低下することも報告されている(船越 1985, 1986, 1987a, 1987b)。アコヤガイの血清タンパク質含量は比較的簡単に短時間で測定できるため、アコヤガイの生理状態を把握するうえでも有効な手段である。しかし、アコヤガイの親貝選抜で血清タンパク質含量に注目した報告や、成熟期における血清タンパク質含量と赤変病の指標の1つである閉殻筋のa値(森実ら 2001)、エネルギー源である閉殻筋グリコーゲン含量(内村ら 1995, Numaguchi 1995, 岩永ら 1997)などとの関係についての報告はみあたらない。

本節では、耐病性や生残率が高いアコヤガイ種苗の作出方法を開発することを目的に、2002年および2003年に血清タンパク質含量を親貝の個体選抜の指標に測定し、その度数分布の高位10%を高含量群に、また、低位17~35%を低含量群として種苗を生産し、成長や生残率などを調査した。

材料および方法

種苗生産用親貝 親貝には長崎県内の民間種苗生産施設で生産し、赤変の度が比較的低く、生残率が比較的高い同系統を用いた。すなわち、2002年5月には長崎県南松浦郡新上五島町の漁場で飼育していた平均重量66gの3才貝

の3,000個体から、2003年3月には長崎県西海市の漁場で飼育していた平均重量45gの2才貝の5,000個体から、開口器を用いて生殖巣の発達状態が比較的良好である201と291個体を選抜するとともに、血清タンパク質含量を測定した。

測定方法 閉殻筋からシリンジで血液を約0.1 ml採取し、5,000×gで10分間遠心分離した後、得られた上清についてブラッドフォード法（Bio-Rad社製 Protein Assay Kit）により総タンパク質含量を測定した。また、別のシリンジを用いて生殖巣から未受精卵と精子を採取して、雌雄判別を行った。

2002年には親貝選抜に血清タンパク質含量を測定してから、0.1 mg/ml毎に区分し、各区から8個体を無作為に抽出し、軟体部、閉殻筋と内臓部の重量、閉殻筋のグリコーゲン含量とa値を測定した。なお、内臓部は軟体部より鰓、外套膜、閉殻筋、斧足および足糸を除いた部分とした（四宮ら1997）。

閉殻筋は色彩色差計（コニカミノルタ製 カラーリーダー CR-13）を用いてa値を測定した後、液体窒素で凍結して分析まで-80℃で保存した。生殖腺の性成熟度は、四宮ら（1997）に従って、生殖腺を含む内臓部重量が軟体部重量に占める割合で示した。なお、軟体部の身入度（岡本ら2006b）は、殻重量を含む全湿重量に対する軟体部重量比とした。

閉殻筋のグリコーゲン含量は酸加水分解後アントロン法（Carroll et al 1956）で測定した。

親貝の選抜および種苗生産成績 通常、アコヤガイの種苗生産では殻の外形や性成熟により選抜した後、さらに性成熟を進行させるために採卵まで養成飼育を行う。本報では森ら（2000）に準じて25～35日間養成飼育を行った。採卵時には親貝の血清タンパク質含量、閉殻筋グリコーゲン含量、内臓部重量および性成熟度を測定し、次いで採取した未受精卵に媒精した。受精卵は受精率と卵数を計数した後水槽に收容した。稚貝の成長はベリジャー幼生を1 ml当たり10個体になるように500 l容ポリエチレン水槽に

收容し、殻長が約2 mmに成長するまで飼育し、終了時には全稚貝の重量を測定した。なお、その間の稚貝の殻長は各水槽から無作為に採取した30個体について測定した。

貝の育成および施術貝の飼育試験 貝（1才貝）の育成試験は長崎県内で赤変化した個体が見られる夏季から冬季の間に行った。すなわち、2002年に高および低含量群から生産した貝（平均重量：26 g）をそれぞれ高および低含量区とし、長崎県総合水産試験場の棧橋筏で2003年8月～2004年3月まで8ヵ月間実施した。各試験区にはそれぞれ1,000個体（成長調査用：600個体、生残調査用：400個体）を收容し、毎月下旬に血清タンパク質含量、殻長、全重量および閉殻筋a値を30～35個体を用いて測定した。また、同時に斃死数を確認して生残率を求めた。

さらに、2003年に生産した貝については長崎県佐世保市（平均重量：25 g）と上五島町（平均重量：29 g）の各漁場で、2004年5月～2005年1月までの9ヵ月間先の試験と同様に実施した。各試験区には900個体（成長調査用：500個体、生残調査用：400個体）を收容した。

一方、施術後の飼育試験には2003年に生産して佐世保と上五島で飼育し、2004年6月下旬に無作為に抽出した貝（平均重量：約29 g）を、抑制飼育（施術するため貝の活力を調整すること）後に施術した貝を用いた。なお、施術には直径6.66 mmの核を挿入した。核挿入後の養生（貝の活力を回復させるため、波の穏やかな場所での飼育すること）は約1ヵ月間とし、養生終了の8月上旬にX線撮影で核を確認した。飼育試験は2004年8月～2005年1月までの6ヵ月間とし、各育成試験と同漁場で実施した。高および低含量区にはそれぞれ1,480個体（成長調査用：1,000個体、生残調査用：480個体）を收容し、毎月下旬に血清タンパク質含量、殻長、全重量、閉殻筋a値および真珠径を測定するとともに、斃死数を確認して生残率を求めた。なお、真珠径はマイクロメータで測定し、シミや突起などがあるものは測定から除いた。

各測定項目の検定 各測定項目の区間差は等

分散を仮定しない Welch の t 検定，生残率や，受精率には χ^2 検定，そして測定項目と個体間との相関関係は r の検定を用いた（内田 1999）。また，有意水準は $p \leq 0.05$ とした。

結果

血清タンパク質含量と雌雄 2002 年と 2003 年の親貝選抜に用いた供試貝の血清タンパク質含量と，雌雄の割合を Fig.1-1-1 に示した。血清タンパク質含量の範囲と平均値は，2002 年でそれぞれ 0.53~1.62 mg/ml と 0.80 mg/ml，2003 年でそれぞれ 0.13~0.86 mg/ml と 0.47 mg/ml であった。一方，雌個体の割合は，2002 年では 32.8% と低く，2003 年では 46.4% であった。また，血清タンパク質含量と雌個体の割合との間には正の相関がみられた ($r=0.851 \sim 0.975$, $p < 0.01$)。

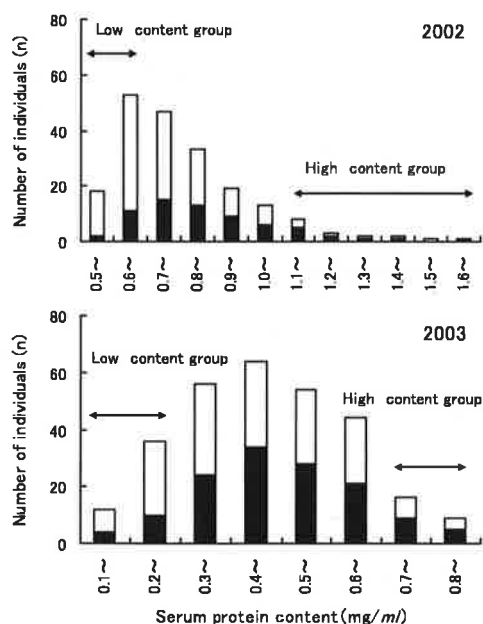


Fig.1-1-1. The frequency distribution of serum protein contents and sex ratio per class interval in the pearl oyster *Pinctada fucata martensii* in May, 2002 and March, 2003. High and low content groups were used for seed production experiments.
High content group in 2002: contents greater than or equal to 1.1 mg/ml.
Low content group in 2002: contents less than 0.7 mg/ml.
High content group in 2003: contents greater than or equal to 0.7 mg/ml.
Low content group in 2003: contents less than 0.3 mg/ml.
■: female, □: male.

血清タンパク質含量と軟体部・閉殻筋・内臓部重量，身入度および性成熟度 血清タンパク質含量と各測定項目との関係を Fig.1-1-2 に示した。なお，供試貝数の不足から 1.1 mg/ml 以上をまとめた。軟体部，閉殻筋および内臓部重量と血清タンパク質含量との間に有意な正の相関がみられた ($r=0.329 \sim 0.573$, $p < 0.01$)。また，身入度と性成熟度でも有意な正の相関がみられた ($r=0.334 \sim 0.413$, $p < 0.05$)。

血清タンパク質含量と閉殻筋のグリコーゲン含量および a 値 血清タンパク質含量と閉殻筋のグリコーゲン含量および a 値との関係を Fig.1-1-3 に示した。閉殻筋グリコーゲン含量も血清タンパク質含量と有意な正の相関がみられた ($r=0.673$, $p < 0.01$)。一方，閉殻筋 a 値と血清タンパク質含量では負の相関がみられた ($r=-0.371$, $p < 0.01$)。

親貝と種苗生産成績 高および低含量群を 2002 年にはそれぞれ 1.1 mg/ml 以上および 0.7 mg/ml 未満に，2003 年にはそれぞれ 0.7 mg/ml 以上および 0.3 mg/ml 未満とし選抜した (Fig.1-1-1)。Table 1-1-1 に示すように，血清タンパク質含量は，2002 年の高含量群で養成飼育後に若干減少したが，低含量群では養成飼育開始時とほぼ等しかった。閉殻筋グリコーゲン含量，内臓部重量と性成熟度は，2002 年と 2003 年の各群で雌雄間に差はなかったが，高含量群が低含量群より，高い傾向にあった。特に，グリコーゲン含量では高含量群の雌個体が低含量群のそれと比較して有意に高かった ($p < 0.01$)。

種苗生産成績を Table 1-1-2 および Fig.1-1-4 に示した。2002 年および 2003 年も高含量群が低含量群より，受精率は高く ($p < 0.01$)，浮遊幼生の日間成長率 (Fig.1-1-4) も優れていた ($p < 0.05$)。終了時の高含量群の殻長は低含量群より 0.2~0.6 mm 大きく ($p < 0.05$)，生産数も 3~15 倍多かった ($p < 0.01$)。

2002 年産貝の育成 育成期間における血清タンパク質含量，殻長，全重量，閉殻筋 a 値および生残率の変化を Fig.1-1-5 に示した。血清タンパク質含量(a)は高および低含量区で 8 月~

終了時まで低下する傾向にあったが、高含量区が低含量区より高い傾向にあった。一方、殻長と全重量(b,c)は8~10月に著しく増加したが、11月から変化はみられなかった。閉殻筋のa値(d)は全区で8~11月まで差がみられなかったが、低含量区では12月から上昇し2月に最高値に達した。また、高含量区でも11月以降に徐々に上昇し、12~2月までの間は、低含量区より有意に低かった ($p < 0.05$)。生残率は(e)両区で期間中に低下する傾向にあった。終了時では高含量区が低含量区より有意に高かった ($p < 0.05$)。

2003年産貝の育成と施術後の飼育試験 高および低含量群から生産した貝の育成期間における血清タンパク質含量、殻長、全重量、閉殻筋a値および生残率の変化をFig.1-1-6に示した。血清タンパク質含量(a)は、佐世保と上五島いずれも5~7月まで増加して、その後は、終了時まで減少する傾向にあった。しかし、高含量区では低含量区に比べて終始高く、8月~終了時まで有意差が認められた ($p < 0.05$)。殻長と全重量(b,c)はいずれの漁場でも開始~7月まで一定値を維持したが、その後は、増加成長し、日間

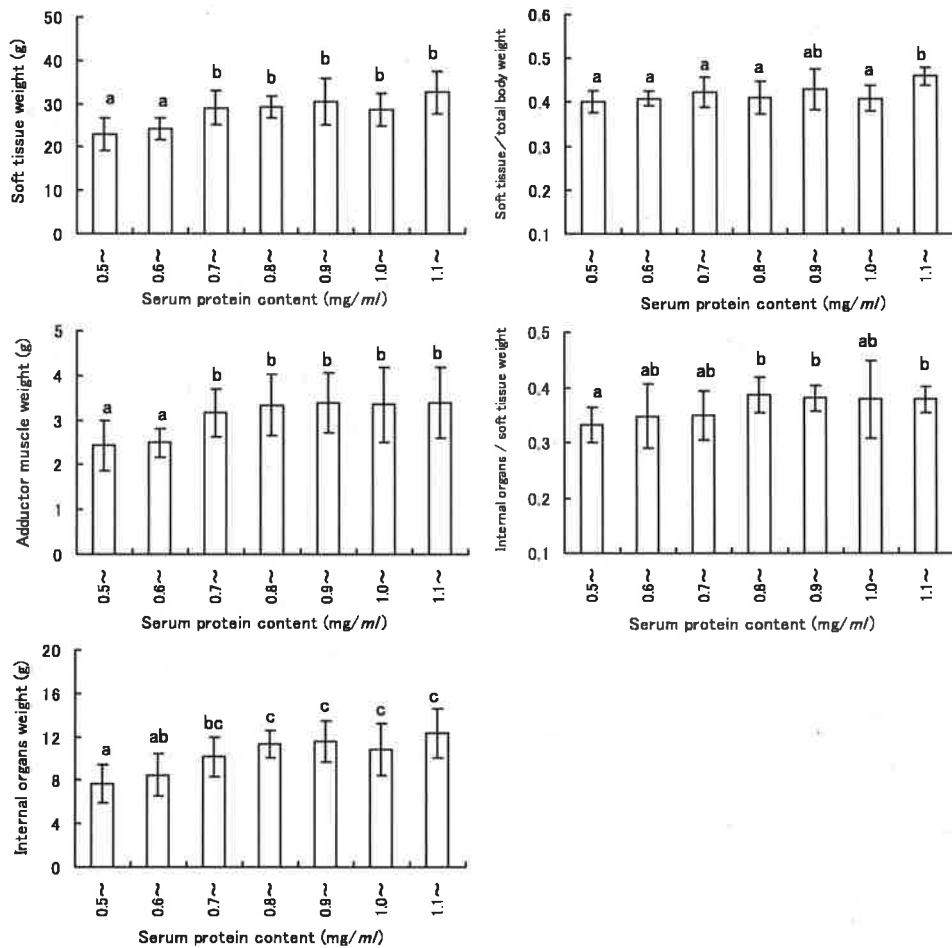


Fig.1-1-2. Serum protein contents in relation to weights of soft tissues, adductor muscles, internal organs, soft tissue / total body weight and internal organs / soft tissue weight, measured in 2002. Values are means \pm standard deviations of 8 pearl oysters per class interval. Superscript letters attached to columns show significant differences at $p \leq 0.05$. Values in the 1.1~mg/ml class interval included 1.1 ~ 1.7 mg/ml serum protein contents. The soft tissue / total body weight is presented as a condition index. The internal organs / soft tissue weight is presented as an index of sexual maturity.

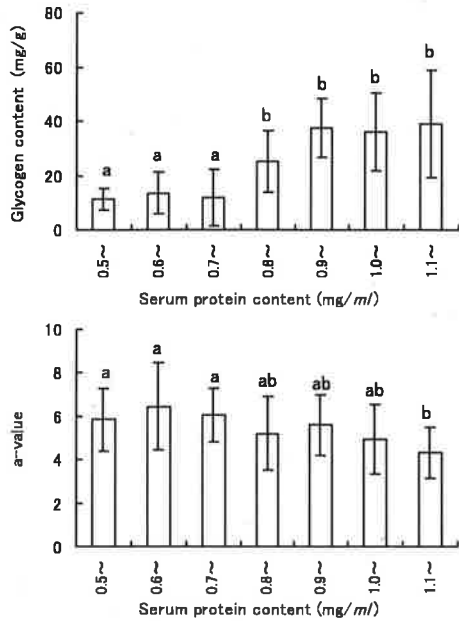


Fig.1-1-3. Serum protein contents in relation to glycogen contents in adductor muscles and a-values, measured in 2002. Symbols are the same as shown in Fig. 1-1-2.

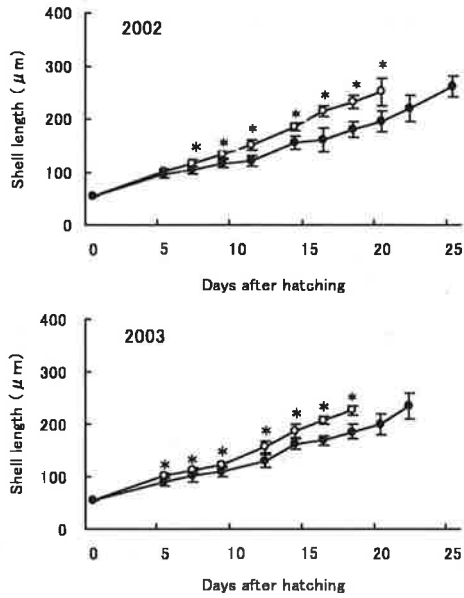


Fig.1-1-4. Growths in larval shell length during seed production experiments in 2002 and 2003. Open (○) and closed (●) circles in 2002 and 2003 indicate larvae from parent-shells with high and low serum protein contents, respectively. Values are means \pm standard deviations of duplicate tanks each containing 30 larvae. Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

Table 1-1-1. Physiological conditions of females and males in 2002 and 2003

	Females and males	Serum protein content (mg/ml)	Glycogen content (mg/g)	Weight of internal organs (g)	Internal organs / soft tissue weight ^{*3}
2002	High content group ^{*1}				
	♀ (n=4)	0.83 \pm 0.33	27.6 \pm 3.7 ^{**}	14.1 \pm 1.8	0.44 \pm 0.06
	♂ (n=5)	0.81 \pm 0.30	27.3 \pm 10.5	13.3 \pm 2.5	0.40 \pm 0.04
	Low content group ^{*1}				
♀ (n=4)	0.51 \pm 0.24	13.4 \pm 2.7	9.8 \pm 0.6	0.41 \pm 0.03	
♂ (n=5)	0.59 \pm 0.18	14.4 \pm 3.5	10.1 \pm 0.6	0.39 \pm 0.07	
2003	High content group ^{*1}				
	♀ (n=5)	0.72 \pm 0.16 ^{**}	25.4 \pm 4.9 ^{**}	7.9 \pm 0.6	0.35 \pm 0.10 ^{**}
	♂ (n=4)	0.71 \pm 0.12 ^{**}	24.6 \pm 7.0	7.8 \pm 0.8	0.36 \pm 0.03
	Low content group ^{*1}				
♀ (n=5)	0.26 \pm 0.08	12.7 \pm 3.2	5.8 \pm 2.1	0.31 \pm 0.01	
♂ (n=4)	0.25 \pm 0.06	11.0 \pm 4.4	5.9 \pm 0.3	0.32 \pm 0.03	

*1 Females and males were cultured for 25 days (2002) and 35 days (2003) until artificial insemination.

*2 Values are serum protein contents of parent-shells before farming.

*3 Internal organs / soft tissue weight is presented as an index of sexual maturity.

Values are means \pm standard deviations and asterisks (**) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

成長率は高含量区が低含量区より高く、終了時には有意な区間差がみられた ($p < 0.05$)。閉殻筋 a 値 (d) は佐世保では開始～8 月まで、上五島では開始～7 月まで一定であったが、その後、佐世保では 9～10 月まで、上五島では 8～10 月まで上昇して終了時まで高値を維持し、漁場間

に有意差はなかった。生残率 (e) は、佐世保では 9 月～終了時まで斃死が増加したが、高含量区は低含量区より高く終了時に有意差がみられた ($p < 0.01$)。上五島でも佐世保に類似した変化がみられ、終了時には高含量区が低含量区より有意に高かった ($p < 0.05$)。

Table 1-1-2. Results of seed productions in 2002 and 2003

	Fertilization rate ^{*3} (%)	Number of fertilized eggs (million individuals)	Number of full-grown stage larvae ^{*4} (individuals)	Mean size of full-grown stage larvae ^{*4,5} (mm)
2002				
High content group ^{*1} (1.12~1.62mg/ml) ^{*2}	95.9**	21.1	120,000**	2.15±0.45**
Low content group ^{*1} (0.53~0.69mg/ml) ^{*2}	67.5	13.5	8,000	1.95±0.32
2003				
High content group ^{*1} (0.73~0.86mg/ml) ^{*2}	98.0**	20.6	180,000**	2.00±0.34**
Low content group ^{*1} (0.13~0.29mg/ml) ^{*2}	87.0	17.4	60,000	1.40±0.39

*1 Females and males were cultured for 25 days (2002) and 35 days (2003) until artificial insemination.

*2 Values are serum protein contents of parent-shells before farming.

*3 Fertilization rate is indicated as two or four-celled embryos / (unfertilized eggs + two or four-celled embryos) after an hour from insemination.

*4 Numbers and sizes of larvae in full-grown stage are indicated at the end of the seed production that started from 10 million fertilized eggs.

*5 Values are means ± standard deviations of duplicate tanks each containing 30 larvae.

Asterisks (**) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

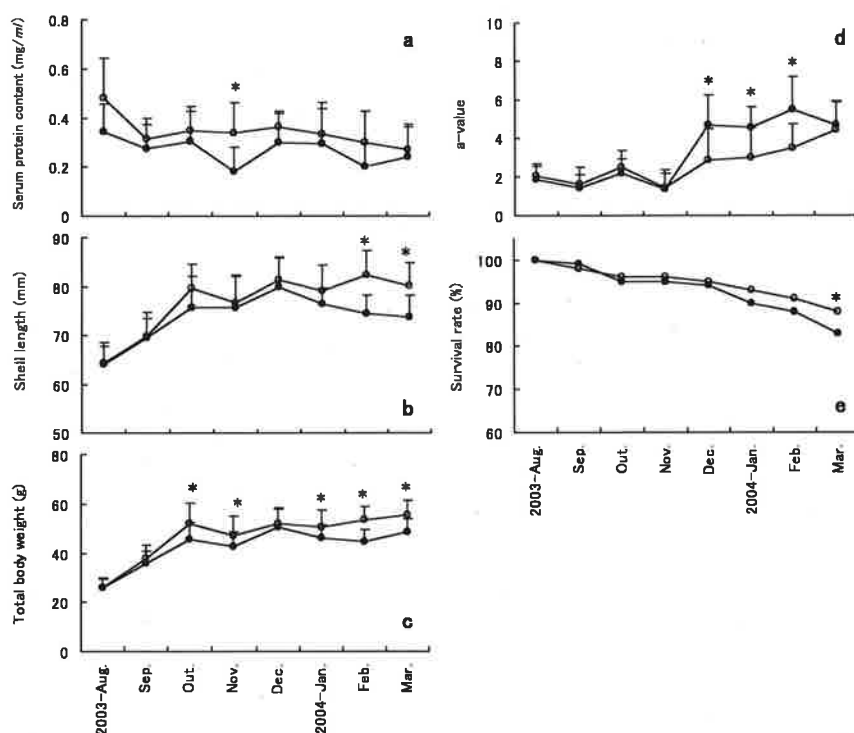


Fig.1-1-5. Changes in serum protein content (a), shell length (b), total body weight (c), a-value in adductor muscle (d) and survival rate (e) of 1-year-old oysters produced from both high (○) and low (●) content groups in 2002. Each symbol and bar represents mean ± standard deviation of 30-35 individuals. Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

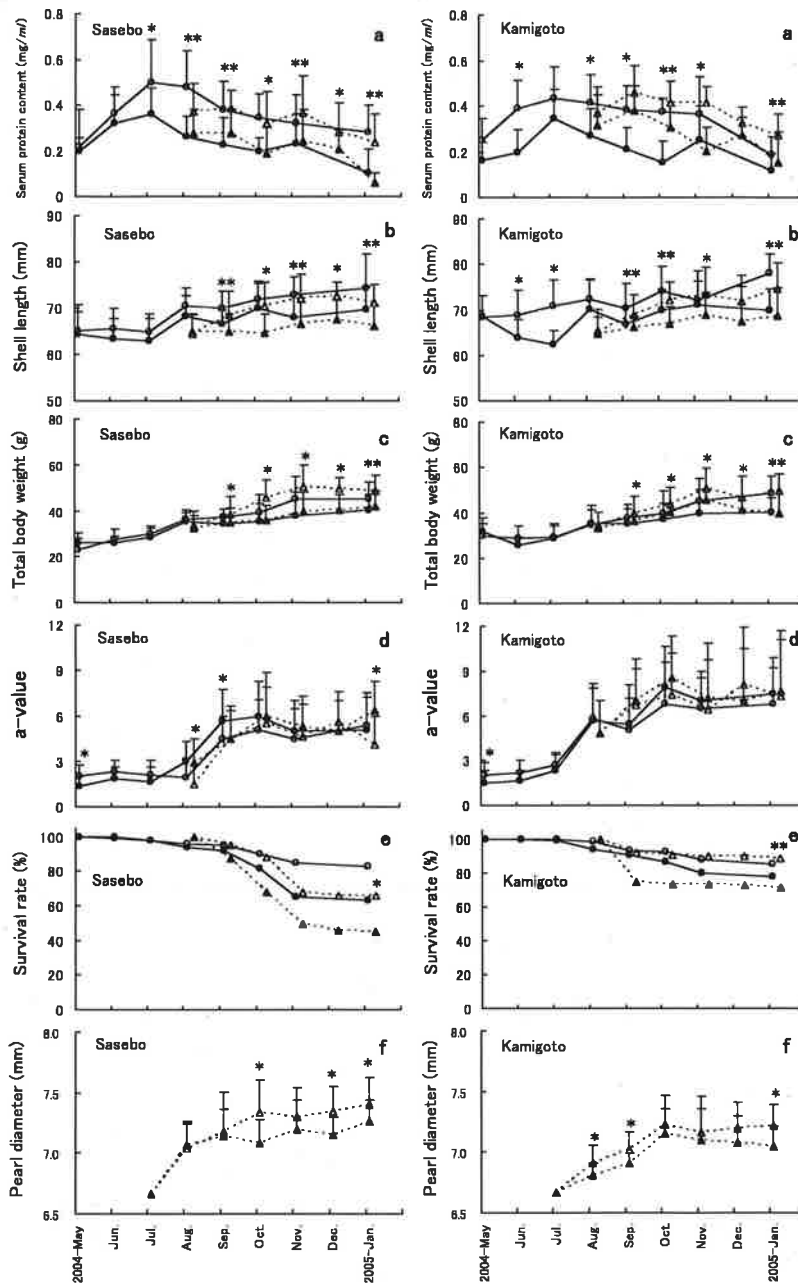


Fig.1-1-6. Changes in serum protein content (a), shell length (b), total body weight (c), a-value in adductor muscle (d), survival rate (e) and pearl diameter (f) of 1-year-old oysters (circle) and operated oysters (triangle) produced from both high (open symbol) and low (closed symbol) content groups in 2003. Each symbol and bar represents the mean \pm standard deviation of 30-37 individuals. Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$. Operated oysters are 1-year-old oysters with a nucleus and a piece of mantle tissue inserted in each of them in July 2004.

Table 1-1-3. Results of the high and low content groups during restriction, nucleus inserting operation and recuperation at Sasebo and Sinkamigoto

	Restriction ^a			Nucleus inserting operation month	Total body weight (g)	Nucleus sizes (mm)	Recuperation ^b	
	Oyster (N)	Period (month)	Dead rate (%)				Period (month)	Dead rate (%)
High content group at Sasebo	2,000	0.5	9	Jul.2004	29	6.66	1	8
Low content group at Sasebo	2,000	0.5	10	Jul.2004	29	6.66	1	11
High content group at Kamigoto	2,000	0.5	21	Jul.2004	29	6.66	1	15*
Low content group at Kamigoto	2,000	0.5	23	Jul.2004	29	6.66	1	30

a: In order to make nucleus inserting operation easier, physical strength and maturation of oysters were controlled.

b: In order to let operated-shells recuperate, oysters were cultured in calm sea.

Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

2004年7月に施術し2004年8月～2005年1月まで飼育した施術員の血清タンパク質含量、殻長、全重量、閉殻筋a値、生残率および真珠径の変化をFig.1-1-6に示した。漁場にかかわらず、高および低含量区の血清タンパク質含量(a)、殻長(b)および全重量(c)は先の育成試験に類似した変化を示し、高含量区が終始有意に高かった($p < 0.05$)。閉殻筋a値(d)は上五島では育成試験に類似する変化を示し区間差はなかった。一方、佐世保でも育成試験に類似する経時変化がみられたが、終了時には高含量区が低含量区より有意に低下した($p < 0.05$)。生残率(e)は上五島の低含量区で開始～9月まで斃死が多かったが、いずれの漁場でも育成試験と同じ変化がみられ、終了時には高含量区が低含量区より有意に高かった($p < 0.01$)。真珠径(f)はいずれの漁場でも全区で開始～10月まで順調に増加したが、11月以降にはほぼ一定値を維持した。しかし、いずれも高含量区が低含量区より高く、終了時には有意差がみられた($p < 0.05$)。なお、抑制と養生の各飼育期間(Table 1-1-3)の斃死率については、高含量区が低含量区より低かった。

考 察

魚類の血清タンパク質含量は餌料組成や飼育条件により変動することが知られている(Shimeno et al 1990; Shikata et al 1994)。アコヤガイの血清タンパク質含量は季節変化をするとともに、衰弱時に低下し、個体差が大きいことが報告されている(船越 1985,1986,1987a,1987b)。本研究で、2002年5月と2003年3月の血清タ

ンパク質含量は、それぞれ0.53～1.62 mg/mlと0.13～0.86 mg/mlで、個体差が3.1～6.6倍であった。そして、血清タンパク質含量が高いと閉殻筋グリコーゲン含量、身入度、性成熟度と雌個体の出現率などが高くなり、閉殻筋a値は逆に低下した。さらに、血清タンパク質含量の高位10%の高含量群と低位17～35%の低含量群を親貝として種苗生産を行ったところ、高含量群では低含量群より、雌個体の閉殻筋グリコーゲン含量が有意に高く($p < 0.01$)、卵の受精率と殻長より求めた成長率が有意に高かった($p < 0.01$)。したがって、血清タンパク質含量を指標に親貝を選抜することは、赤変病の発症率を低減し、望ましい栄養状態や生殖巣の発達を介して優れた形質を持つ種苗の生産に繋がるものと考えられた。

松本ら(2002)は生残率の高いアコヤガイ作出試験において、33.8～35.0℃の水温帯で18～40日間の飽食給餌による高水温選抜を2回行い、生残個体の血清タンパク質含量は斃死個体より高く、その個体を親貝として生産した貝も高水温耐性と高血清タンパク質含量とともに、成長が早く、生残率が高かったことを報告した。また、岡本ら(2006a, 2006b)は高生残系統貝を作出するため、アコヤガイの閉殻力に注目し、家系間による閉殻力の差違や斃死との関連を調査し、家系間での閉殻力の差異は栄養状態を反映し(正の相関)、その力が強い貝ほど斃死率が低く、遺伝的な要因が関与している可能性の高いことを報告した。本研究では、親貝選抜は血清タンパク質含量(1回測定)によって行い、採血から個体選抜まで数時間で終了した。その結果、高含量群から生産した貝の耐病性に一定の傾向

はみられなかったが、高血清タンパク質含量が成長率および生残率を高く維持することが示された。今後は、血清タンパク質含量が高い個体を継代的に選抜育種することにより、形質の固定化が図られるか否か検討しなければならない。

第2節 血清タンパク質含量を指標に生産したアコヤガイの真珠生産試験

真珠養殖業はアコヤガイ赤変病(黒川ら 1999)の発生以来、真珠品質の低下が問題となる一方で、中国産淡水真珠やシロチョウガイ真珠の生産量の増加等による市場の競合が激化し、真珠単価が著しく低下している。そのため、現在、養殖規模の縮小や廃業などに追い込まれる業者が多く認められ、業界は危機的な状態にある(真珠新聞社 2004, 和田 2005)。このような状況に技術的に対処するためには過去にも増してより生残率が高く高品質な真珠を産出するアコヤガイを導入し、真珠養殖の生産効率を向上させることが経営の改善を図る上で課題となっている。

そこで、真珠養殖の関係機関では在来系アコヤガイの生残率を高めるため、親貝の選抜方法の開発に取り組んでいる(西川・滝本 2001; 松本ら 2002; 内村ら 2005; 岡本ら 2006a, 2006b)。筆者らは、選抜指標に生かしたままで比較的簡単に測定でき、アコヤガイの生理状態の良否を示す血清タンパク質含量(船越 1987a)に注目し検討している。前節(岩永ら 2008d)では選抜した高含量群(度数分布の高位10%)と低含量群(低位17~35%)の親貝からそれぞれ種苗を生産し、1才貝や施術貝(核と外套膜小片を挿入した貝)について、それらの性状を比較した。その結果、高含量群から生産した貝は低含量群のそれより、高い血清タンパク質含量を示し、成長・生残に優れ、生産された真珠は径が大きかった。このことから、血清タンパク質含量は親貝の選抜指標として有効であることを報告した。しかし、本選抜法を業界に普及させるには真珠養殖の現場において、本選抜法の導

入による養殖の生産性を確かめる必要がある。

一方、長崎県内の民間種苗生産施設では、県内外の海域から親貝を採集して高い生残率を示す系統を継代的に選抜育成している。また、大部分の種苗生産施設では、親貝は一般的に2才貝を用いる。しかし、種苗生産期の春季には、従来の真珠養殖では2才貝は抑制飼育を行っている。そのため、親貝は抑制飼育を開始する秋季に1才貝の中から外形で選抜した後、採卵直前の性成熟の良否により経験的に個体選抜され、生残率の高さも含めて飼育環境など偶発性に負うところが大きく、その偶発性を補うために多数の親貝を確保し飼育する非効率性を含んでいる。

本節では、民間の種苗生産施設の系統を用いて、本選抜法を実用レベルで真珠生産に導入し、民間で行われている選抜法(外部形態や性成熟の良否による選抜)により生産した貝と生残や真珠の品質について比較した。

材料および方法

親貝選抜 選抜の供試貝には長崎県内の種苗生産業者が長崎県対馬市で採集して継代的に選抜した系統(F3)で、同市の地先で飼育していた1才貝の中から、業者が殻の外形により選抜した2,000個体を用いた。それを2003年10月に血清タンパク質含量の測定用(以下、試験群と略す)と未測定用(以下、対照群と略す)として各1,000個体ずつ無作為に分けた。その後、試験群の親貝については選抜の精度を高めるため、2004年4月までの7ヶ月間に供試貝の血清タンパク質含量を3回測定して、順次高い含量の個体を選び最終的には雌雄各15個体を選抜した(Fig.1-2-1)。

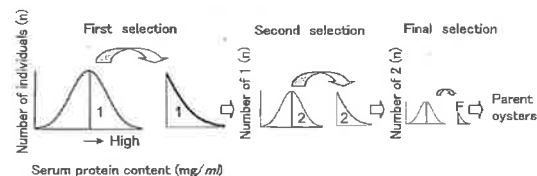


Fig.1-2-1. A pattern diagram showing parent selection by serum protein content.

一方、対照群の親貝は2004年4月に雌雄判別した個体から無作為に各15個体を選抜した。その後、対照群は試験群と選抜終了時の血清タンパク質含量を比較するため含量を測定した。なお、雌雄判別は生殖巣が発達して種苗生産時に親貝として用いることが可能な個体について行い、それ以外は未発達個体とした。また、2群の選抜時の飼育は同市地先で行い、種苗生産は県内民間種苗生産施設で2004年5月から6月の間に行った。

測定方法 シリンジで閉殻筋から血液を約0.1 ml採取し、5,000×gで10分間の遠心分離した後、その上清についてブラッドフォード法 (Bio-Rad社製 Protein Assay Kit) で総タンパク質含量を測定した。

供試貝はナイフで開殻し、殻と軟体部重量を測定した。全重量は殻と軟体部の和とした。閉殻筋については軟体部よりハサミで切り離れたのち、色彩色差計 (コニカミノルタ製 カラーリーダー CR-13) を用いて赤変化の指標となるa値 (森実ら 2001) を測定した。身入度は殻重量と軟体部重量の和とした全湿重量に対する軟体部重量比で示した (岡本ら 2006b)。真珠径はマイクロメータを用いて測定し、稜柱層、有機質等を含んだ真珠は測定から除いた。

生産した貝の育成試験と施術員の飼育試験 試験群と対照群から生産した貝 (以下、それぞれを試験区と対照区と略す) は、貝の育成 (人工受精後5ヶ月から15ヶ月の間) と施術員 (施術後から真珠を採集するまでの間) の間、対馬市地先で飼育試験を行った。

まず、貝の育成試験では、2区の貝1,000個体 (成長調査用: 500個体, 生残調査用: 500個体) を2004年10月から2005年8月まで生残率、閉殻筋a値、全重量、血清タンパク質含量および身入度の変化を調査した。

次いで、施術員の飼育試験では、2区 (育成試験と同一群) の各3,000個体を2005年8月に2週間、抑制飼育 (施術するために貝の活力を調整すること) した後、ピース貝から採取した外套膜小片 (ピース) とともに6.66 mmの核を

施術した。その後、約1ヶ月間養生飼育 (波の穏やかな場所で貝の体力を回復させること) した後、X線撮影により核を確認した貝 (成長調査用: 500個体, 生残調査用: 1,000個体) を2005年10月から2006年12月の間飼育した。その間、育成試験と同様の測定項目とともに真珠径の変化を調査した。

生産した真珠の品質 試験終了時には各区の斃死個体を確認し、生存個体から真珠を採取した。その後、商品として販売が可能な真珠 (以下、商品真珠と略す)、稜柱層真珠および有機質真珠の品質毎に選別した。さらに、商品真珠は傷、突起、シミ等により無傷および傷真珠に分けた。商品真珠の実体色は真珠商社の専門家等の意見を参考に、沢田 (1962) が報告した分類 (ゴールド、ブルー、ホワイト、グリーンおよびクリーム) に基づき選別した。単価の算出は真珠商社に依頼した。

各測定項目の検定 各測定項目の区間における有意差はWelchのt検定、 χ^2 検定および $m \times n$ 検定を用い、各検定の有意水準は $p \leq 0.05$ とした (内田 1999)。

結果

親貝選抜 血清タンパク質含量による選抜 (Fig.1-2-2,3) は、まず、2003年10月に1,000個体の含量 [0.50 ± 0.15 (SD) mg/ml, $n=1,000$] を測定して、上位50%の497個体 [0.61 ± 0.09 (SD) mg/ml, $n=497$] を選抜した (以下、第1回選抜群と略す)。次いで、2004年2月に第1回選抜群の含量 [0.46 ± 0.13 (SD) mg/ml, $n=497$] を測定して、上位40%の202個体 [0.58 ± 0.07 (SD) mg/ml, $n=202$] を選抜した (以下、第2回選抜群と略す)。最後に2004年4月に第2回選抜群の雌雄判別 (♀:76個体, ♂:52個体, 未発達:74個体) を行った後、雌雄個体の含量 [0.51 ± 0.19 (SD) mg/ml, $n=128$] を測定した。その後、含量の上位から雌雄各15個体 [0.69 ± 0.05 (SD) mg/ml, $n=30$] を選抜し、試験群とした。なお、血清タンパク質含量 (2004年4月) と雌個体の割合との間には正の相関がみられた ($r=0.758$,

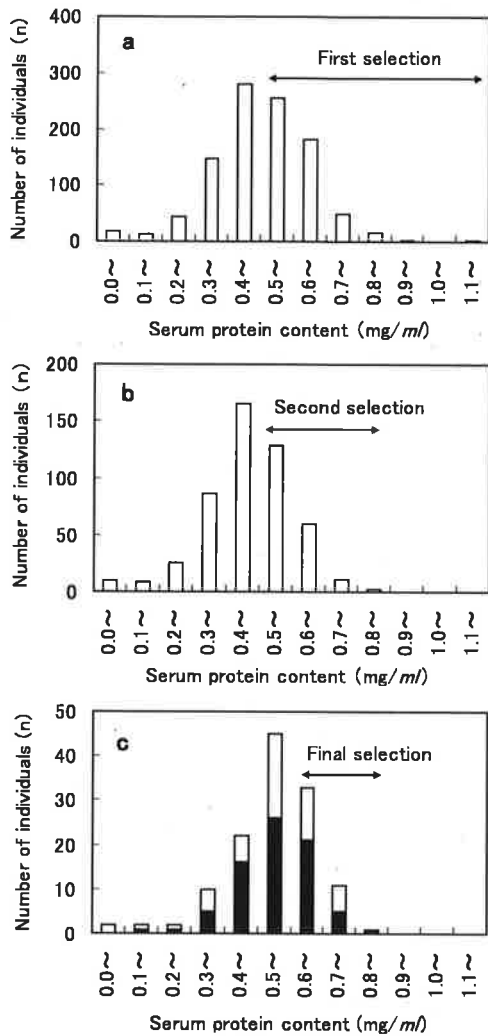


Fig.1-2-2. Frequency distributions of serum protein contents and sex ratio per class interval of the pearl oyster *Pinctada fucata martensii* in Oct, 2003 (a), Feb, 2004 (b) and Apr, 2004 (c). Oysters of final selection were used for seed production.
 a: At the onset of selection.
 b: Oysters in first selection (contents were higher than or equal to 0.5mg/ml in Oct, 2003).
 c: Oysters in second selection (contents were higher than or equal to 0.5mg/ml in Feb, 2004)
 ■: female, □: male.

$p < 0.05$).

一方、対照群の選抜は 2004 年 4 月に雌雄判別 (♀:256 個体, ♂:288 個体, 未発達: 456 個体) した個体から無作為に雌雄各 15 個体 [0.40±0.13

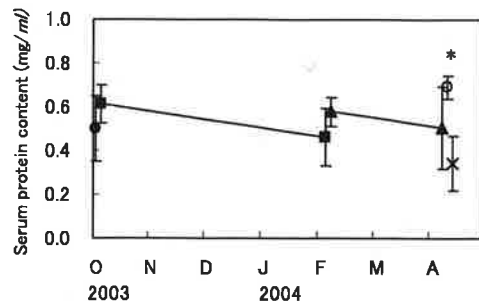


Fig.1-2-3. Changes in serum protein content by parent selection. Each symbol and bar represent the mean ± standard deviation of 30-1,000 individuals. Asterisks (*) show significant differences between parent oysters of the examination and control groups at $p \leq 0.05$.

●: At the onset of selection of examination group.
 ■: first selection (n=499) of examination group.
 ▲: second selection (n=202) of examination group.
 ○: Parent oysters (n=30) of examination group.
 ×: Parent oysters (n=30) of control group.

(AV±SD) mg/ml, n=30] を選抜した (Fig.1-2-3)。また、選抜終了時の 2 群の血清タンパク質含量は試験群が対照群より高く有意差がみられた ($p < 0.05$)。

生産した貝の育成試験と施術員の飼育試験

試験区と対照区の生残率、閉殻筋 a 値、全重量、真珠径、血清タンパク質含量および身入度の変化 (2004 年 10 月から 2006 年 12 月の間) を Fig.1-2-4 に示した。生残率 (a) では、貝の育成 (1) と施術員 (4) の各期間で、試験区が対照区と比較して斃死率がそれぞれ 4.6% と 6.2% 低く、有意差が認められた ($p < 0.05$)。なお、抑制 (2) と養生 (3) の各飼育期間 (Table 1-2-1) の斃死率についても、試験区が対照区より有意に低かった ($p < 0.05$)。両区の閉殻筋 a 値 (b) はいずれも毎年秋季から冬季の発症期に最高値を示し、a 値が 5 以上の赤変化した個体 (森実ら 2001) がみられた。しかし、試験区の a 値が対照区より、有意差はなかったものの終始低い傾向を示した。両区的全重量 (c) と真珠径 (d) は順調に増加し、終了時には試験区のそれらが対照区より大きく、有意差が認められた ($p < 0.05$)。血清タンパク質含量 (e) と身入度 (f) では両区で

夏季に最高値を示したのち低下して春季に最低値を示したが、その間、試験区が対照区に比べて終始高い傾向を示した。

真珠の品質評価 終了時に採取した真珠の品質毎の個体数を Table 1-2-2 に示した。生産した真珠（以下、浜揚真珠と略す）の個数は試験区が対照区より有意に多かった ($p < 0.05$)。しかし、浜揚真珠に対する商品真珠の割合（以下、商品率と略す）および商品真珠における無傷真珠の割合には差が認められなかった ($p > 0.05$)。

商品真珠のサイズ別の実体色を Table 1-2-3 に示した。いずれの区でも黄色系真珠はみられず、すべて白色系真珠であった。白色系の中では、商品価値が高いホワイト色とやや劣るクリーム色の2色のみがみられた。7~9 mm 真珠では、いずれの区もクリーム色の径が有意な差はなかったもののホワイト色より大きく、その出現率はサイズが大きくなるに従い高くなる傾向がみられた。両区を比較すると、試験区のクリーム色の出現率が対照区より高く、特に 8 mm 真珠では有意差がみられた ($p < 0.05$)。

商品真珠のサイズ別の平均真珠径、単価および生産数を Table 1-2-4 に示した。試験区は対照区より 7 mm および 8 mm 真珠の径が大きかった ($p < 0.05$)。また、試験区が対照区に比べて、7 mm および 8 mm 真珠の単価ではやや低かったが、8 mm および 9 mm 真珠の生産数 ($p < 0.05$)が多かったことから、生産額は 1.12 倍高かった。

考 察

本試験では親貝の外部形態選抜から性成熟選抜までの7ヶ月間（赤変病発症期）に、血清タンパク質含量を3回測定し、その間に含量が高い個体を親貝に用いて種苗（試験区）を生産した。その結果、人工授精後5ヶ月から真珠を採取するまでの飼育期間で、試験区は対照区（親貝選抜は外部形態と性成熟のみ）と比較して、a 値には有意な差はなかったものの発症期に低く、成長率、血清タンパク質含量および身入度が終始高く、生残率と真珠径は終了時に有意に

高かった。さらに、同様の結果が県内の他種苗生産施設の2系統でも認められた（岩永ら 2005, 2006）。前節では、親貝の血清タンパク質含量を高および低含量群に分けて種苗の性状を比較したが、今回は従来の選抜法と比較し、生産した貝は前節とほぼ同様の差異が認められた。したがって、血清タンパク質による親貝選抜は、含量の測定回数を増やして選抜精度を高めることにより、従来の選抜に加えて採血や測定等の技術の習得を必要とするものの、高血清タンパク質含量で生残率が高い貝を作出できる可能性が高いことがわかった。

本選抜の貝から生産した真珠は対照区より、クリーム色の出現率が影響して単価はやや低かったものの、8 mm および 9 mm 真珠（大珠真珠）の出現率が高かったことから生産額は 1.12 倍高かった。一方、生産した真珠の色彩（実体色）は真珠径が大きくなるほどクリーム色の出現率が高くなる傾向がみられた。真珠層は施術時に挿入した外套膜小片（以下、ピースと略す）が真珠袋を形成し、それから分泌されるアラレ石の板状結晶とタンパク質（黄色色素）が積み重なって形成されている（赤松 2003）。そのため、真珠の実体色は、施術時に用いるピース貝の黄色色素含量の多寡に大きく影響を受けることが報告されている（和田 1969）。また、真珠袋の真珠形成力は移植したピースによりその上限が決定されるが、真珠袋の真珠形成に必要な栄養素は、施術貝の物質代謝を通して供給されることから、真珠袋の真珠形成力は施術貝の生理状態に大きく影響を受けるとされている（和田 1972）。本試験の2区を比較すると、ピース貝や飼育漁場は同一で、挿核技術により差がみられる可能性が高い真珠の商品率にも差がなかった。そのため、試験区においてクリーム色の真珠の出現率が高かったことは、施術貝の栄養状態が優れていたことから真珠層が厚くなり、ピース由来の黄色色素量が強く影響したものと考えられた。また、真珠袋の真珠形成力と黄色色素分泌機能は遺伝的に独立し、仮に真珠形成力が高くても色素分泌能が低い貝

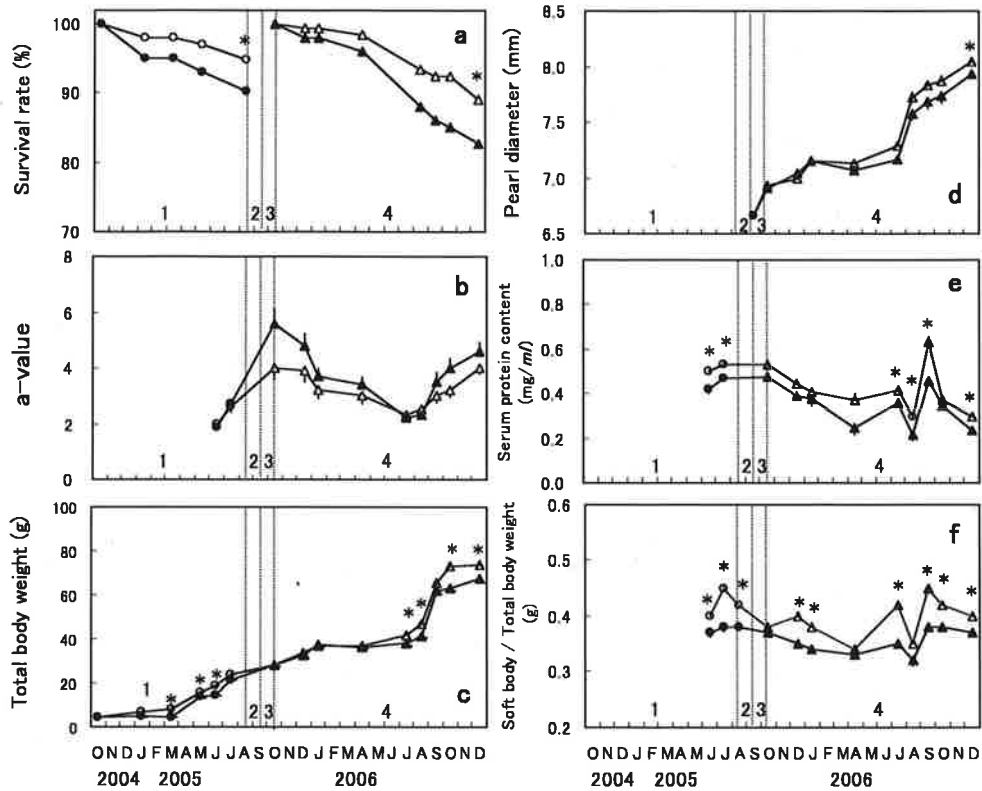


Fig.1-2-4. Changes in survival rate (a), a-value of adductor muscle (b), total body weight (c), pearl Diameter (d), serum protein content (e) and soft body / total body weight (f) of oysters produced from both examination (open symbol) and control (closed symbol) groups in May 2004. Each symbol and bar represent the mean \pm standard deviation of 30-36 individuals. Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.
1: mother oyster period (circle), 2: restriction period, 3: recuperation period, 4: operated oyster period (triangle).

Table 1-2-1. Results of the examination and control groups during restriction, nucleus inserting operation and recuperation

	Restriction ^a			Nucleus inserting operation month	Total body weight (g)	Nucleus sizes (mm)	Recuperation ^b	
	Oyster (N)	Period (month)	Dead rate (%)				Period (month)	Dead rate (%)
Examination Group	3,000	0.5	10.4*	Sep.2005	29	6.66	1	13.8*
Control Group	3,000	0.5	12.2	Sep.2005	29	6.66	1	26.1

a: In order to make nucleus inserting operation easier, physical strength and maturation of oysters were controlled.

b: In order to let operated-shells recuperate, oysters were cultured in calm sea.

Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

は存在すると考えられている (和田 1991)。したがって、本選抜により生産した貝に施術する場合、径が大きい真珠の出現率が高くなり生産額が増加することが考えられた。また、黄色色素の分泌量が少ないピースを使用することでホワイト色真珠の出現率が向上し、生産額がより増加すると考えられた。

以上の結果から、血清タンパク質を親貝選抜

の指標とすることは、未測定の親貝から生産した種苗と比較して、生残率が高い種苗を作出するうえで有効であることがわかった。また、今回の試験では、試験区の生残率および大珠真珠の出現率の向上による生産額は対照区のそれを上回り、さらに施術までの各段階の累積死亡率は対照区より 17.7%低かったことから、本選抜法は真珠養殖の生産性の向上に繋がると考

Table 1-2-2. Qualities of pearls obtained from the examination and control groups

Class	Examination Group	Control group
Pearls produced (in number)	890 ^a	828
Commercial pearls produced (in number)	466 (52.4%) ^a	439 (53.0%)
Faultlessness pearl (in number)	396 (85.0%) ^b	370 (84.3%)
Blem pearl (in number)	70 (15.0%) ^b	69 (15.7%)
Prismatic pearl (in number)	417 (46.9%) ^a	384 (46.4%)
Organic pearl (in number)	7 (0.7%) ^a	5 (0.6%)

a: Pearls produced (in number).

b: Commercial pearls produced (in number).

Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

Table 1-2-3. Object colors of pearls obtained from the examination and control groups

Group	Pearl size (mm)	Yellow color system		White color system		
		Gold	Blue	White	Green	Cream
Examination	7.00~7.99	-	-	199 ^a (85.0%)	-	35 (15.0%)
	AV±SE			7.71±0.01		7.72±0.03
	8.00~8.99	-	-	159 ^a (71.0%)*	-	65 (29.0%)*
	AV±SE			8.29±0.02		8.32±0.03
	9.00~9.99	-	-	4 ^a (50.0%)	-	4 (50.0%)
	AV±SE			9.26±0.10		9.33±0.16
	Control	7.00~7.99	-	-	217 ^a (87.9%)	-
AV±SE				7.66±0.01		7.67±0.01
8.00~8.99		-	-	161 ^a (83.9%)	-	31 (16.1%)
	AV±SE			8.28±0.02		8.31±0.04

a: Number of pearls in each object color.

Values in () are percentages of pearls in each object color and asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

Table 1-2-4. Pearl diameters and prices of commercial pearls obtained from the examination and control groups

Class		Examination Group	Control group
7.00~7.99mm pearl	weight (g)	154.9 (44.3%) ^a , n=234*	162.8 (50.8%), n=247
	AV±SE	7.71±0.01*	7.67±0.01
	price (yen/3.75g)	3,450	3,520
8.00~8.99mm pearl	weight (g)	185.1 (53.0%) ^a , n=224*	157.7 (49.2%), n=192
	AV±SE	8.33±0.02*	8.28±0.02
	price (yen/3.75g)	5,400	5,700
9.00~9.99mm pearl	weight (g)	9.5 (2.7%) ^a , n=8*	
	AV±SE	9.29±0.09	
	price (yen/3.75g)	12,800	
	Total amount (yen)	441,479	392,519

a: Commercial pearls produced (in g weight).

Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

えられた。さらに色素分泌能が低いピースを施術時に使用することで生産額がより増加すると考えられた。

第2章 アコヤガイの生残率に及ぼす冬季水温の影響

第1節 冬季に長崎県内7地区で飼育したアコヤガイの赤変病発症と生残率の差異

在来系アコヤガイにおける赤変病に対する発症遅延や斃死軽減の対策では、冬季に13℃以下の水温で約2ヶ月間（愛媛水試1999；林ら2000；深浦ら2002；アコヤ貝へい死要因に関する研究会2004）や16℃以下の積算水温で250℃・日（永井ら2004）の低水温飼育が報告されている。しかし、長崎県内では冬季低水温飼育について検証されていない。

そこで、冬季に県内の7地区で在来系アコヤガイを飼育し、生残率、赤変病の指標である閉殻筋のa値（森実ら2001）を調査した。それらの結果に基づき、県内における冬季低水温飼育の効果について検討したので報告する。

材料および方法

供試貝および飼育 試験に用いた貝（長崎県対馬市で収集した雌雄複数個体を親として交配し継代したF2）は、長崎県総合水産試験場で1999年4月に種苗生産され、長崎県総合水産試験場前の約1km沖合の筏で約7ヶ月間飼育されたもので、試験開始時の平均全重量は17.2gであった。それをFig.2-1-1に示した県内7地区の地先〔新上五島町青木；S1、佐世保市浅子；S2、西海町瀬川；S3、崎戸町大島；S4、西彼町宮浦；S5、琴海町形上；S6、長崎県総合水産試験場の栈橋筏；S7（以後、それぞれ上五島、佐世保、西海、崎戸、西彼、琴海、長崎水試と略す）〕で各230個体（成長調査用：130個体、生残調査用：100個体）を2000年1月13日から4月10日まで飼育した。冬季低水温飼育の効果を検証するた

め、低水温負荷の数値指標として13℃以下の積算水温($LTI_{13} = \sum(13 - T_n)$, $T_n < 13$)を用いた。なお、 T_n が13℃以上の場合はゼロとした。その間の飼育は通常のパールネットによる方法で行い、ネット交換は行わなかった。その後、長崎水試(Fig.2-1-1；S7)で各試験区を区別して2001年3月まで飼育し、原則として毎月10個体の閉殻筋a値と生残率を調査した。なお、試験はアコヤガイを飼育していない赤変病の感染が考えられないような漁場で行った。

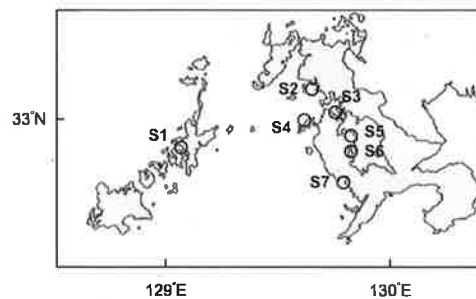


Fig.2-1-1. Locations of the study sites (S1,Kamigoto; S2, Sasebo; S3,Saikai; S4,Sakito;S5, Seih; S6,Kinkai; S7, Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries).

飼育水温の測定 水温は飼育水深（2m）に設置したメモリー式水温記録計（株式会社 ティアンドデイ製 Thermo Recorder おんどとり ©Jr. TR-51A）で毎日午前10時に測定した。

閉殻筋a値の測定 閉殻筋は取り出した後、色彩色差計（コニカミノルタ製 カラーリーダー CR-13）によりa値を測定した。なお、a値が5以上を示した場合を森実ら（2001）の報告から、閉殻筋が赤変化したと判断した。

測定値の検定 測定項目の区間差および相関関係は χ^2 検定および r の検定を用い（内田1999）、各検定の有意水準は $p \leq 0.05$ とした。

結果

飼育水温 冬季に飼育した7地区の水温変化（2000年1月13日～4月10日）をFig.2-1-2(a,b)に示した。水温の変動は類似した傾向を示した。

すなわち、水温は開始から下降し、2月中旬と下旬に最低値に達した後、4月まで上昇した。その期間における各地区の最高と最低の水温は、それぞれ上五島で16.5℃と13.8℃、佐世保で15.2℃と11.4℃、西海で14.1℃と9.7℃、崎戸で16.7℃と11.7℃、西彼で13.9℃と8.9℃、琴海で13.9℃と8.5℃および長崎水試で16.3℃と12.6℃であった。その間、佐世保、西海、西彼と琴海では13℃以下の水温が2ヶ月以上継続した(13℃以下の積算水温が54.8~233.3℃・日;以後、継続群と略す)。特に琴海では10℃以下の水温が1ヶ月以上継続した。他の上五島、崎戸と長崎水試では継続しなかった(13℃以下の積算水温が0~8.3℃・日;以後、非継続群と略す)。冬季飼育後に飼育した長崎水試の水温変化(2000年4月~2001年3月)をFig.2-1-2(c)に示した。水温は8月下旬に29.6℃と最高になり、2月上旬には13.4℃と最低になった。

閉殻筋 a 値および生残率 試験期間中(2000年1月~2001年3月)の閉殻筋 a 値と生残率の変化をFig.2-1-3に示した。全地区の a 値は類似した傾向を示した。すなわち、a 値は開始時の8.3から、7月に最低値の4.0~4.9となり、10~12月には最高値の11.3~13.7に達し(赤変化)、終了時には7.9~10.1までやや低下した。2群を比較すると、継続群が非継続群に比べて9~11月の発症期に低い傾向を示した。冬季飼育中の斃死率では、非継続群が1%以下であったが、継続群は琴海で73%と異常に高く、他3地区で2~7%とやや高かった。一方、長崎水試に移してから斃死数は13℃以下の積算水温が大きい地区ほど少なく、両者の関係には負の相関が認められた(Fig.2-1-4, $r = -0.873$, $p < 0.05$)。そのため、終了時の生残率では非継続群が48~68%であったのに対して、継続群は琴海の16%を除き、72~78%と高い傾向を示した。なお、琴海は冬季飼育期間中の斃死数が多かったことから供試員が不足し、閉殻筋 a 値は測定することができなかった。

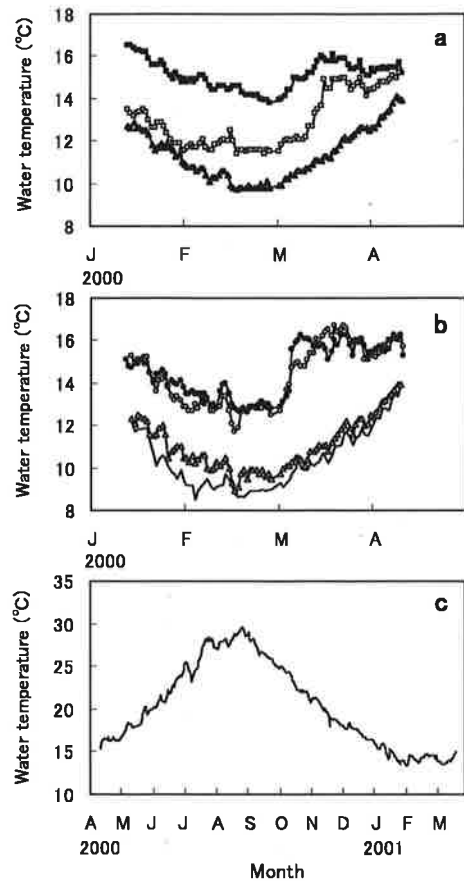


Fig.2-1-2.Changes in water temperatures in Kamigoto (■), Sasebo (□), Saikai (▲), Sakito (○), Seihi(△), Kinkai (—) and the Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries (●) from January 13 to April 10, 2000 (a,b), and water temperature during experimentation at the Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries from April 2000 to March 2001 (c).

考 察

本節では、既報(愛媛水試1999; 林ら2000; 深浦ら2002; 永井ら2004; Nagai et al. 2007)の冬季低水温飼育によるアコヤガイ赤変病の被害軽減効果を長崎県で検討するため、冬季に県内7地区でアコヤガイを飼育し、生残率と閉殻筋 a 値等を調査した。その結果、13℃以下の水温が約2ヶ月以上継続した地区(継続群)は非継続の地区(非継続群)と比較して、冬季飼育中に斃死数が多くてその影響がみられた。しかし、その後の秋季の発症期には継続群が非継

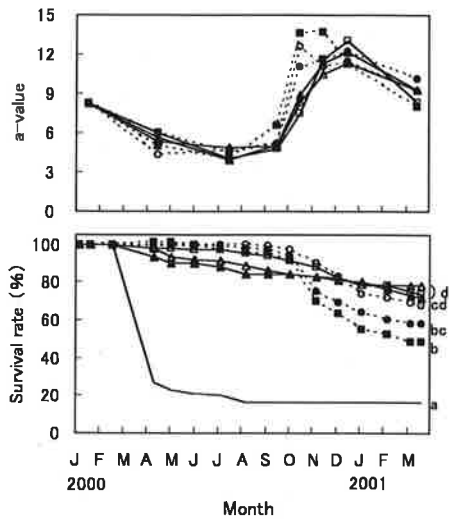


Fig.2-1-3. Monthly changes a-values of the adductor muscle of six groups and survival rates of seven groups of oysters raised at the various farm shown in Fig.2-1-1. The a-values are means of 10 oysters per group. Symbols are the same as those in Fig. 2-1-2. Survival rates with the same alphabetical letters mean significant differences were not detected at the end of experiment ($p \leq 0.05$).

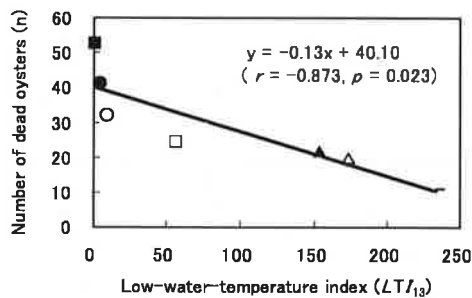


Fig.2-1-4. Relationship between the low-water-temperature index in winter calculated from the date in Fig.2-1-2a and b and the number of dead oysters during the period from the end of low water temperature treatment (April 2000) to the end of the study (March 2001). Symbols are the same as those in Fig.2-1-2.

続群に比べ、a 値が低くて斃死数が有意に少なく、終了時の生残率は高い傾向にあった。したがって、長崎県でも冬季に 13℃以下の水温でアコヤガイを約 2 ヶ月以上飼育することは、8℃以下の水温 (太田 1965) に注意することにより、赤変病に対する斃死軽減の効果があることがわかった。

第2節 冬季低水温飼育の適正な飼育期間 (13℃以下の積算水温) の検討

前節で、長崎県の真珠養殖における冬季低水温飼育による秋季以降の赤変化および斃死の軽減効果を報告した。しかし、低水温飼育では 13℃以下の飼育期間が長くなるほど、飼育期間中の斃死が多いことがわかった。また、愛媛県や熊本県の低水温飼育期間は 13℃以下で約 2 ヶ月間と報告されている。そのため、長崎県における効率的な低水温飼育期間を検討する必要がある。

一方、アコヤガイは閉殻筋にグリコーゲンを多く蓄積し、性成熟や絶食時に主エネルギーとして利用するが、その量は季節、成長および摂餌量等により変化することが知られている (内村ら 1995; 岩永ら 1997; 四宮ら 1999; 沼口 2001)。そのため、冬季低水温飼育による効果では閉殻筋グリコーゲン含量の変化が重要であると考えられるが、低水温飼育したアコヤガイの赤変発症や斃死との関連性についての報告は少ない (愛媛水試 1999, 永井ら 2002)。

そこで、アコヤガイを冬季に 13℃以下で飼育して、その期間の差異による低水温飼育の効果を検討するとともに、閉殻筋の a 値、グリコーゲン含量、性成熟、摂餌量等を併せて調査した。それらの結果に基づき、生残率と冬季水温との関連について検討したので報告する。

材料および方法

供試貝および飼育 試験に用いた貝 (愛媛県愛南町で収集した雌雄複数個体を親として交配し継代した F3) は、県内の種苗生産施設で、1999 年 3 月に種苗生産され、同年 6 月から新上五島町青木 (Fig.2-2-1; S1, 以後、上五島と略す) で飼育されたもので平均全重量は 10.7 g であった。試験は 2001 年 1 月に開始し、各群 700 個体 (成長調査用: 400 個体, 生残調査用: 300 個体) として 3 群設けた。そのうち 2 群を冬季に水温が 13℃以下になる西海町瀬川

(Fig.2-2-1; S2, 以後, 西海と略す)で飼育し, 残り1群は上五島でそのまま飼育し, 対照群とした。西海の2群は LTI_{13} の値により飼育期間を調整した。すなわち, 水温が 13°C 以下になった2000年1月18日から飼育を開始し, 13°C 以下の積算水温が約 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ になった3月2日 ($LTI_{13}=101.4$) に1群 (以後, $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 群と略す) を, 水温が 13°C を超えて約 $140^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ になった4月7日 ($LTI_{13}=141.6$) に残る1群 (以後, $140^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 群と略す) を, それぞれ上五島へ輸送して, その後は対照群と同一漁場で飼育した。その間の飼育方法は通常のパールネットによる方法で行い, ネット交換は行わなかった。その後, 2001年6月まで生残率および後述べる諸形質を, 毎月30~35個体について調査した。なお, 試験はアコヤガイを飼育していない赤変病の感染が考えられないような漁場で行った。

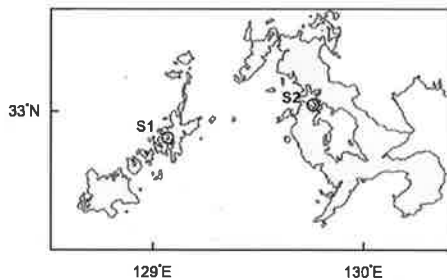


Fig.2-2-1. Locations of the study sites (S1, Kamigoto; S2, Saikai).

飼育水温の測定 水温は飼育水深 (2 m) に設置したメモリー式水温記録計 (株式会社 ティアンドデイ製 Thermo Recorder おんどとり® Jr. TR-51A) で毎日午前10時に測定した。ただし, 積算水温を計算した西海の水温は, 毎日午前10時に飼育水深 (2 m) から採取した海水を棒状水銀温度計により測定した。

全重量, 閉殻筋 a 値等の測定 供試貝は開殻して殻, 軟体部および内臓部の重量を測定した。全重量は殻と軟体部重量の和とした。内臓部は軟体部から鰓, 外套膜, 閉殻筋, 斧足および足糸を取り除いた部分として重量を測定後, 分析まで -80°C で保存した。閉殻筋は取り出した後,

色彩色差計 (コニカミノルタ製 カラーリーダー CR-13) により a 値を測定した後, 分析まで -80°C で保存した。なお, a 値が5以上を示した場合を森実ら (2001) の報告より, 閉殻筋が赤変化したと判断した。また, 全重量の日間成長率は, 各群の同期間の増加量から算出した。

内臓部植物色素量, 閉殻筋グリコーゲン含量等の測定 内臓部の植物色素量は沼口 (2001) の方法に従って測定した。閉殻筋のグリコーゲン含量は酸加水分解後, アントロン硫酸法 (Carroll et al 1956) で測定した。性成熟の指標 (性成熟度) には四宮ら (1997) の方法に従い, 軟体部重量に対する生殖腺を含む内臓部重量が占める割合を用いた。

測定値の検定 測定項目の区間差は等分散を仮定しない Welch の *t* 検定および χ^2 検定を用い (内田 1999), 各検定の有意水準は $p \leq 0.05$ とした。

結果

飼育水温 試験期間中 (2000年1月~2001年6月) の水温変化を Fig.2-2-2 に示した。冬季飼育では西海の水温 (a) は1月上旬の 12.6°C から低下し, 2月中旬には 9.7°C と最低になり, 4月上旬に 13.0°C まで上昇した。その間, 上五島の水温 (b) は 16.2°C から低下し, 2月下旬に 13.8°C と最低になり, 4月上旬に 15.2°C まで上昇した。 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 群と $140^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ 群 (以後, 低水温群と略す) を搬入後の上五島の水温は, 8月下旬に 28.1°C と最高となり, 2月上旬には 14.8°C と最低になった後, 終了時の6月下旬には 23.0°C まで上昇した。

閉殻筋 a 値, 生残率および全重量等 試験期間中 (2000年1月~2001年6月) の閉殻筋 a 値, 生残率, 全重量, 性成熟度, 内臓部の植物色素量および閉殻筋のグリコーゲン含量の変化を Fig.2-2-3 に示した。a 値 (a) は全群で開始時の約4から2000年6月に約1まで低下した後, 9月から上昇して2月には最高値の $7.7\sim 9.4$ に達し (赤変化), 終了時には約5まで低下した。

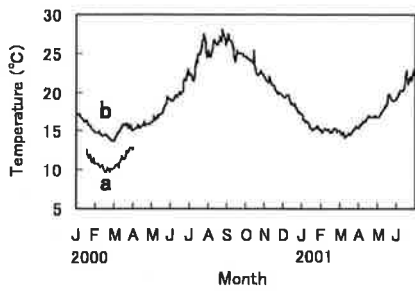


Fig.2-2-2. Changes in water temperatures in Saikai (a) where experimental groups were transferred in winter and Kamigoto (b) where the control group was kept and experimental groups were cultured after wintering.

また、低水温群の a 値は対照群に比べて、9～2月の発症期に有意に低かった ($p < 0.05$)。生残率(b)では低水温飼育中に 140°C・日群の斃死率が 8%あったが、他群では 2%以下と低かった。その後、対照群では 11 月から斃死数が多く、終了時の生残率は 81%であった。一方、低水温群では斃死がほとんどなく、終了時の生残率では 100°C・日群と 140°C・日群でそれぞれ 90%、94%と対照群に対して高く有意差が認められた ($p < 0.05$)。低水温群の全重量(c)は開始から 7 月まで対照群に比べて小さかったが、その後の日間成長率が高く (100°C・日群:110 $\mu\text{g}/\text{日}$ 、140°C・日群:103 $\mu\text{g}/\text{日}$ 、対照群:74 $\mu\text{g}/\text{日}$)、終了時には低水温群の全重量は対照群と比較して有意に大きかった ($p < 0.05$)。性成熟度(d)は低水温飼育後の 5～6 月に対照群で 0.47、100°C・日群で 0.43 と 140°C・日群では 0.38 の各最高値から 9 月の約 0.2 まで低下した後、終了時の約 0.4 まで徐々に上昇した。また、低水温群の性成熟度は対照群に比べて 5～8 月の性成熟期に低い数値を示し、特に低水温飼育後の 5～6 月には有意差が認められた ($p < 0.05$)。植物色素量(e)は全群で 2000 年 6 月から徐々に増加して 8～9 月に最高値に達した後、12 月に最低値となり終了時までやや増加した。2 群で比較すると、低水温群の植物色素量 (9.0～62.8 $\mu\text{g}/\text{g}$)は対照群(4.1～34.4 $\mu\text{g}/\text{g}$)に比べて 8～11 月に有意に高かった ($p < 0.05$)。グリコーゲン含量(f)は全群

で 5 月の約 30 mg/g から 10 月の約 65 mg/g まで増加した後、徐々に低下し、終了時には約 20 mg/g になった。その期間では、低水温群のグリコーゲン含量は対照群に対して 6～2 月に高い傾向を示し、特に 9～11 月と 2 月には有意差が認められた ($p < 0.05$)。また、各個体間では a 値が高い個体ほどグリコーゲン含量が逆に低く、対照群では 9～12 月に、低水温群では 12 月に負の相関が認められた ($r = -0.518 \sim -0.366$, $p < 0.05$)。

考 察

冬季の低水温飼育による赤変病軽減効果のメカニズムを明らかにするうえで必要な基礎的な知見を得るために、試験期間中の閉殻筋 a 値と併せてグリコーゲン含量、内臓部の植物色素量および性成熟度等の変化を調べた。アコヤガイの生殖巣は 13°C 以上の水温帯で発達し (和田 1976; 和田ら 1990, 1992)、性成熟期には閉殻筋のグリコーゲン含量を消費するため、その量が減少することが知られている (内村ら 1995)。本試験においても低水温群では性成熟の遅れが認められ、そのグリコーゲン含量は性成熟期に対照群と比べて、高い値を示した。一方、赤変病では、外套膜血管内皮の損傷は閉殻筋の赤変の症状が顕在化する以前に認められ (森実ら 2002)、赤変貝は健全貝に比べてろ水量が 1/7 程度に低下することが知られている (黒川ら 1999)。さらに、冬季の低水温飼育には外套膜血管内皮組織の治癒効果があるとされ、病貝を 13°C の水温で 60 日間飼育した試験区は、その後 25°C で 60 日間飼育した結果、無処理 (対照) 区に比べ、a 値と外套膜血管内皮組織の異常率が低下し、病状の回復が認められている (林ら 2000)。本試験では外套膜、閉殻筋等の組織標本の観察は行わなかったが、摂餌量の指標となる内臓部の植物色素量 (沼口 2001) では、低水温群は対照群に比べて終始高い値を示した。そのため、組織が治癒した可能性が考えられた。また、閉殻筋グリコーゲン含量は、内臓部の植

物色素量が増加するほど増加するとされている(沼口 2001)。したがって、低水温群は対照群と比較して、性成熟度が低いとともに、組織病状の回復が進み摂餌量が高く維持されたことから、グリコーゲン含量が高くなったと考えられた。さらに、低水温群はグリコーゲン含量の増加から、赤変化(グリコーゲン含量と a 値は負の相関)が軽減し、生残率と成長率が向上したと考えられた。

100°C・日群と 140°C・日群の冬季飼育中の斃死率では、100°C・日群は対照群とほぼ同等であったが、約1ヶ月間長く飼育した140°C・日群は100°C・日群に比べて6%高かった ($p < 0.05$)。したがって、13°C以下での飼育期間では、100°C・日群は140°C・日群に比べて、冬季飼育中の斃死率が低くて、試験終了時の生残率が高かったことから、現時点では140°C・日群のような長期間の低水温飼育は必要ないと考えられた。

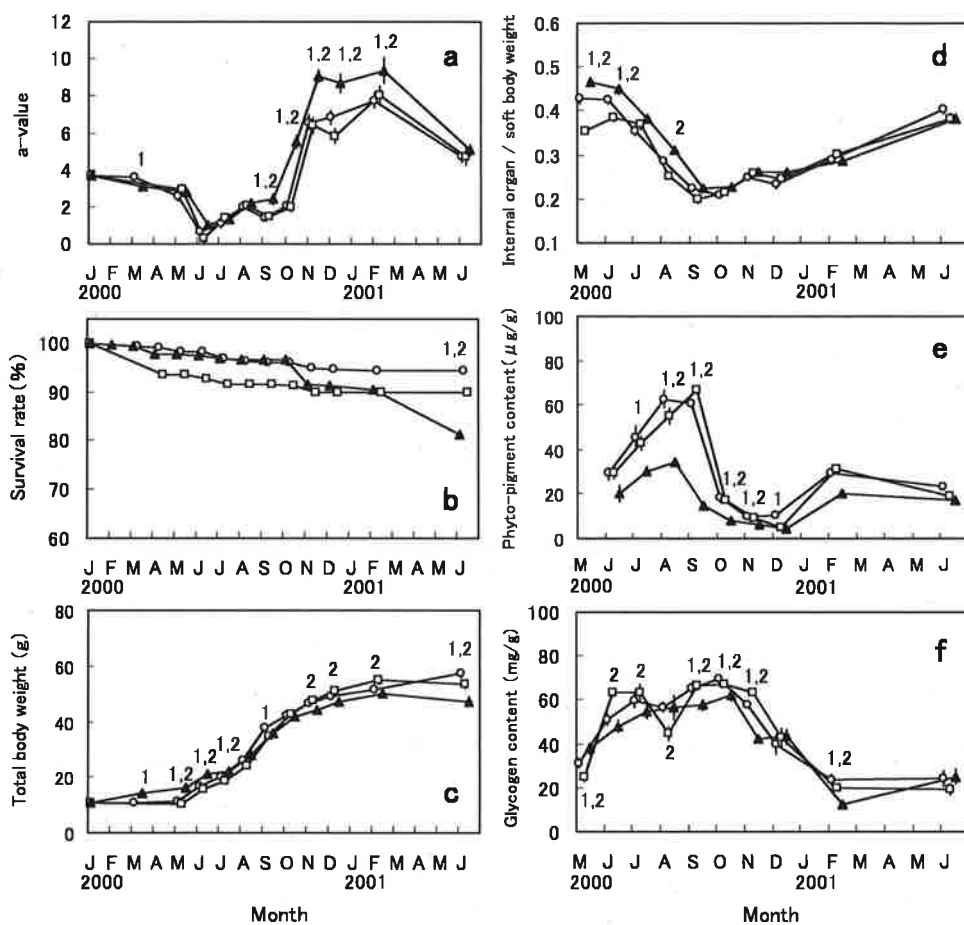


Fig.2-2-3. Monthly a-values (a), survival rates (b), total body weights (c), internal organs / soft body weights (d), phyto-pigment contents in the digestive diverticula (e) and glycogen contents in the adductor muscle (f) in groups of oysters with the LTI_{13} values of 100 degree-day (O) and 140 degree-day (□) and control group (▲) during the study period. Internal organs / soft body weight values represent an index of sexual maturity (Shinomiya et al. 1997). The a-values, total body weights, internal organs / soft body weights, phyto-pigments and glycogen contents are means \pm standard errors of 30-35 oysters per group. Differences of the 100 degree-day (1) and the 140 degree-day (2) to the control group were assessed by the Welch's t -test ($p \leq 0.05$).

第3節 抑制貝の生残率に及ぼす冬季水温の影響

前節までに、真珠養殖の母貝（抑制飼育を開始するまでの貝のこと）の期間における冬季低水温飼育の効果を検討した。その結果、13℃以下の積算水温で約 100℃・日飼育することにより、低水温期間中の斃死が少なく、その後、対照群に比べて、摂餌量が多くて性成熟の進行が遅れたために閉殻筋グリコーゲンの蓄積が高まり、秋季以降の赤変化や斃死が軽減されることを報告した。しかし、真珠養殖では種苗生産した稚貝の飼育から、真珠の巻きの面で品質が高い「越もの真珠」を生産するまで約4年間かかり、その間、母貝、抑制貝（施術するために活力を調整した貝）および施術貝（核と外套膜片を施術した貝）の各期間（和田 1999b）で冬季を経験する。そのため、生産した真珠の品質を含む全期間において冬季低水温飼育の効果を検討する必要がある。

そこで、本節では、種苗生産後に2回目の冬季を経験する抑制飼育中（春季に施術する貝を、通常の約2倍の飼育密度で潮通りが悪い籠に収容し、貝の生理活動を抑えて生殖巣が性成熟しないようにする方法）のアコヤガイを供試貝に用いて、低水温飼育を行った後、施術して、当年物真珠（飼育1年目の施術貝から採取する真珠）を生産するため飼育試験を行った。その間、生残率、グリコーゲン含量、a 値等を調査して低水温飼育の効果を検討したので報告する。

材料および方法

供試貝および飼育 試験に用いた貝（愛媛県愛南町で収集した雌雄複数個体を親として交配し継代した F3）は、県内の種苗生産施設で、1999年3月に種苗生産され、同年6月から新上五島町青木 (Fig.2-3-1 ; S1, 以後、上五島と略す) で飼育し、2000年11月から抑制飼育中の平均全重量が36gの抑制貝を用いた。低水温飼育は2001年1月に開始し、試験群（以後、100℃・日群と称す）と対照群はそれぞれ1,380個体とした。100℃・日群は冬季に水温が13℃以下になる西海町瀬川

(Fig.2-3-1 ; S2, 以後、西海と略す) に輸送して飼育し、対照群は上五島でそのまま飼育した。西海の100℃・日群は LTI_{13} の値により飼育期間を調整した。すなわち、水温が13℃以下になった2001年1月4日から飼育を開始し、13℃以下の積算水温が約100℃・日になった2月23日 ($LTI_{13}=99.9$) に上五島へ戻して、その後は対照群と同一漁場で飼育した。その間の飼育方法は通常の抑制籠による方法で行い、籠交換は行わなかった。その後、2001年5月にはいずれの群の貝に6.82mmの真珠核を施術して、約1ヶ月間、活力を回復するため波の穏やかな場所で養生飼育して、X線撮影で核を確認した。施術貝の飼育は各群700個体（成長調査用：400個体、生残調査用：300個体）とした。飼育試験は2001年6月から2002年1月まで行い、生残率および後述する諸形質を、毎月30個体について調査した。なお、試験はアコヤガイを飼育していない赤変病の感染が考えられないような漁場で行った。

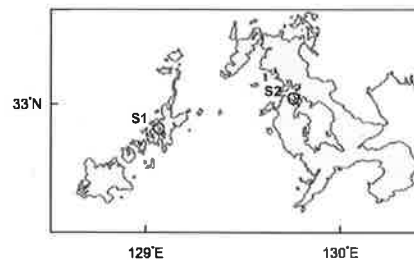


Fig.2-3-1. Locations of the study sites (S1, Kamigoto; S2, Saikai).

飼育水温の測定 水温は飼育水深（2m）に設置したメモリー式水温記録計（株式会社 ティアンドデイ製 Thermo Recorder おんどとり® Jr. TR-51A）で毎日午前10時に測定した。ただし、積算水温を計算した西海の水温は、毎日午前10時に飼育水深（2m）から採取した海水を棒状水銀温度計で測定した。

全重量、閉殻筋 a 値等の測定 供試貝は開殻して真珠を採取するとともに、殻、軟体部および内臓部の重量を測定した。全重量は殻と軟体部重量

の和とした。内臓部は軟体部から鰓、外套膜、閉殻筋、斧足および足糸を取り除いた部分として重量を測定後、分析まで -80°C で保存した。閉殻筋は取り出した後、色彩色差計（コニカミノルタ製カラーリーダー CR-13）で a 値を測定した後、分析まで -80°C で保存した。なお、a 値が 5 以上を示した場合を森実ら（2001）の報告から、閉殻筋が赤変化したと判断した。また、全重量の日間成長率は、各群の同期間の増加量から算出した。採取した真珠は、マイクロメータで真珠径を測定し、シミや突起などがあるものは測定から除いた。

内臓部植物色素量、閉殻筋グリコーゲン含量等の測定 内臓部の植物色素量は沼口（2001）の方法に従って測定した。閉殻筋のグリコーゲン含量は酸加水分解後、アントロン硫酸法（Carroll et al 1956）で測定した。性成熟の指標（性成熟度）には四宮ら（1997）の方法に従い、軟体部重量に対する生殖腺を含む内臓部重量が占める割合を用いた。

生産した真珠の評価 生産した真珠については、日本真珠輸出組合の検定専門員および長崎県真珠養殖漁業協同組合理事に、販売することができる商品真珠のサイズ別（以後、7.00~7.99 mm, 8.00~8.99 mm および 9.00~9.99 mm の真珠を、それぞれ 7 mm, 8 mm および 9 mm 真珠と略す）の出現数と単価の算出を依頼した。

測定値の検定 測定項目の区間差は等分散を仮定しない Welch の t 検定、 χ^2 検定、 $m \times n$ 分割表の検定を用い（内田 1999）、各検定の有意水準は $p \leq 0.05$ とした。

結果

飼育水温 試験期間中（2001年1月~2002年1月）の水温変化を Fig.2-3-2 に示した。冬季飼育の西海の水温(a)は開始時の1月4日には 12.7°C を示し、その後低下して、1月下旬には 10.1°C と最低になり、2月下旬にかけて 11.2°C まで上昇した。その間、上五島の水温(b)は 16.5°C から低下し、2月下旬に 14.8°C と最低となった。 $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{日群}$ を戻した2月23日以降の上五島の水温は、8月上旬

に 28.4°C と最高となり、1月下旬には 14.4°C と最低になった。

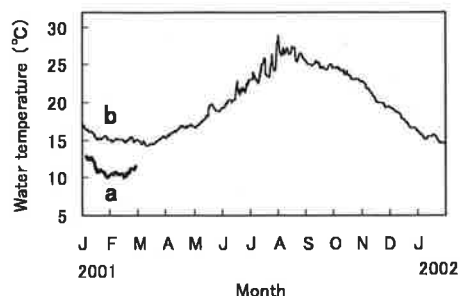


Fig.2-3-2. Changes in water temperatures in Saikai (a) where the 100 degree-day group was transferred in winter and Kamigoto (b) where the control group was kept and the two groups cultured after wintering.

低水温飼育から養生までの各期間の斃死率等抑制、施術および養生の結果を Table 2-3-1 に示した。 $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{日群}$ は抑制飼育中の斃死率が 16.6%と対照群の 9.1%に比べて、有意に高かったが ($p < 0.05$)、施術後の養生期間中の脱核率と斃死率は対照群と比較して有意に低かった ($p < 0.05$)。そのため、養生後の施術貝数では、 $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{日群}$ と対照群で差はみられなかった。なお、施術時の性成熟度は、 $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{日群}$ と対照群で、それぞれ 0.20 と 0.22 を示し、 $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{日群}$ が低かった。

施術貝の生残率、各部重量および閉殻筋 a 値等の変化 施術貝の閉殻筋 a 値、生残率、全重量、性成熟度、内臓部の植物色素量、閉殻筋のグリコーゲン含量および真珠径の変化を Fig.2-3-3 に示した。a 値の変化(a)では両群で試験開始時の約 4 から 8 月に約 2 まで低下した後、上昇傾向を示し、11 月から終了時の 1 月には最高値の 5.4~8.1（赤変化）に達した。2 群で比較すると、 $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{日群}$ は対照群に比べて、9 月から 1 月までの間、低い傾向を示し、特に赤変病発症期の 9 月から 10 月までは有意差がみられた ($p < 0.05$)。生残率(b)では、 $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{日群}$ は対照群に比べて試験期間中に斃死が少なく、終了時の生残率は対照群が 75%であったのに対して、 $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{日群}$ は 88%と有意に高かった ($p < 0.05$)。全重量(c)では試験区による差は 7 月までみられなかったが、その後、

Table 2-3-1. Results obtained for the 100 degree-day and control groups during restriction, nucleus inserting operation and recuperation

Group	Restriction ^a			Nucleus inserting operation month	Total body weight (g)	Nucleus sizes (mm)	Recuperation ^b		
	Oyster (n)	Period (month)	Dead rate(%)				Period (month)	Dead rate (%) ^c	Denuded rate (%) ^c
100 degree-day	1,380	6	16.6*	May, 2001	36	6.82	1	4.0*	4.3*
control	1,380	6	9.1	May, 2001	36	6.82	1	10.5	7.8

a: In order to make nucleus inserting operation easier, physical strength and maturation of oysters were controlled.

b: In order to let operated-shells recuperate, oysters were cultured in calm sea.

c: Frequencies of dead and denuded oysters.

Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

100°C・日群は対照群に比べて成長率が高く(100°C・日群: 159 µg/日, 対照群: 110 µg/日), 終了時には100°C・日群の全重量が有意に大きかった($p < 0.05$)。性成熟度(d)は施術を行ったため, 6月に約0.2と低く, 7月にやや上昇したものの6月から9月まで0.20~0.25の範囲にあった。その後, 1月には約0.30まで増加した。2群を比較すると, 試験開始の6月に100°C・日群が対照群に比べて若干低かった。内臓部植物色素量(e)では両群で6月から徐々に増加して9月に最高値に達した後, 低下して終了時の1月に最低値に達した。2群を比較すると100°C・日群が対照群に比べて, 8月から1月まで有意に高かった($p < 0.05$)。グリコーゲン含量(f)では両群で6月の約30 mg/gから9月の93~111 mg/gまで増加した後, 徐々に低下し終了時には約30 mg/gになった。2群を比較すると, 100°C・日群が対照群に比べて, 9月から12月まで高く, 10月を除き有意差がみられた($p < 0.05$)。100°C・日群と対照群の真珠径(g)は試験期間中, 順調に推移し, 終了時にはそれぞれ7.52 mmと7.37 mmになった。2群の間には有意差は認められなかったものの, 100°C・日群が対照群に比べて10月以降大きい傾向を示した。また, 終了時には両群の100個体から採取した真珠の品質を調査した結果(Table 2-3-2), 商品真珠の生産数や7 mmおよび8 mm真珠の単価には差がみられなかったが, 8および9 mm真珠(大珠真珠)の出現率は100°C・日群で高かった($p < 0.05$)。

考 察

本節では, 抑制貝に対する冬季低水温飼育の効果を検討した。冬季低水温飼育から施術と養生までの斃死率等では, 100°C・日群は対照群と比較して, 抑制飼育中の斃死率が有意に高く, 低水温

飼育の影響がみられた。しかし, その後の養生中の斃死率や脱核率では, 100°C・日群が対照群に比べて, 有意に低かった。そのため, 養生後の2群の施術貝数には差がなかった。前節までの母貝の冬季低水温飼育中の斃死率では, 100°C・日群と対照群には差がみられなかったが, 抑制貝では差があった。ことについては, 施術前に活力を調整する抑制飼育を低水温下で行ったことが影響したものと考えられた。また, 養生中の斃死率や脱核率が低かったことについては, 生殖巣が発達した貝への核入れは, 施術後の斃死や脱核が多くなることが知られており(和田 1999b), 低水温飼育で貝の活動や性成熟の進行を抑えたことが影響したと考えられた。

本試験では, 100°C・日群は対照群に比べて, 性成熟度では抑制飼育を行ったため, 有意な差はみられなかったものの, 施術から試験開始までの5~6月に低く, 植物色素量とグリコーゲン含量では赤変化以前から多くて, 秋季の発症期にはa値が低かった。また, 終了時には100°C・日群の生残率, 全重量および大珠真珠の出現率は, 対照群に対して有意に高かった。したがって, 抑制貝でも母貝と同様に, 100°C・日群は対照群と比較して, 性成熟度が低いとともに, 摂餌量が多く維持されたことから, グリコーゲン含量が多くなったと考えられた。さらに, 100°C・日群はグリコーゲン含量の増加から, 赤変化が軽減し, 生残率, 全重量および真珠形成率が向上したと考えられた。

以上のことから, 在来系アコヤガイを冬季に13°C以下の積算水温で約100°C・日間抑制飼育することは13°Cを下回らない水温環境で飼育した対照群と比べて, 冬季低水温飼育期間中の斃死率が高いものの, その後の養生期間中の斃死率と脱核率が低く, 施術貝数では差がなかった。また, 施術貝の飼育試

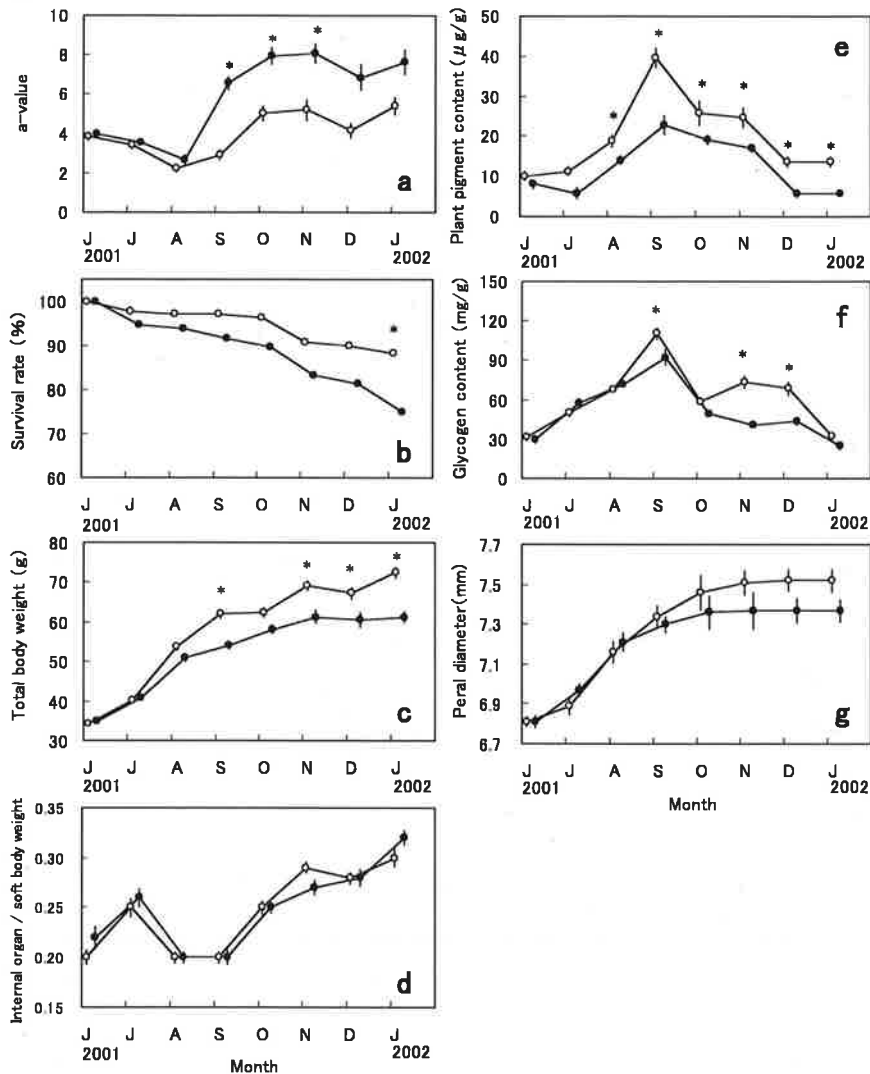


Fig.2-3-3. Monthly a-values (a), survival rates (b), total body weights (c), internal organs / soft body weights (d), phyto-pigment contents in the digestive diverticula (e) and glycogen contents of the adductor muscle (f), pearl diameters (g) of the oyster group with the LTI_{13} values of 100 degree-day (○) and the control group (●) during the study period. Internal organs / soft body weight values represent an index of sexual maturity (Shinomiya et al. 1997). The a-values, total body weights, internal organs / soft body weights, phyto-pigments and glycogen contents are means \pm standard errors of 25-30 oysters per group. Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

Table 2-3-2. Diameters and prices of pearls obtained from 100 oysters in the 100 degree-day and control groups

Group	Number of commercial pearl:	Diameter (mm)		
		6.82~6.99	7.00~7.99	8.00~8.99
100 degree-day	79 ^a	800 ^b (n=32) ^c	3,564 (n=43 [*])	5,000 (n=4 [*])
Control	68	800 (n=36)	3,553 (n=32)	-

a: Commercial pearls: first and second grade pearls

b: yen/3.75g

c: Number in each commercial pearl.

Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

験では、約 100°C・日群は摂餌が活発でグリコーゲンの蓄積が多くなり、赤変病の発症と斃死が軽減され、抑制貝でも母貝と同様に、冬季低水温飼育が有効と考えられた。

第4節 施術員の生残率に及ぼす冬季水温の影響

前節までに、真珠養殖の母貝と抑制貝の期間における冬季低水温飼育の効果を検討した。その結果、13°C以下の積算水温で約 100°C・日飼育することにより、抑制期間中の斃死は多かったものの、その後、対照群に比べて、摂餌が活発で性成熟が遅れることで閉殻筋グリコーゲンの蓄積量が多くなり、秋季以降の赤変化や斃死が軽減され、全重量、真珠等の成長率が増加することを報告した。しかし、前節でも述べたが、真珠養殖では種苗生産した稚貝の飼育から、真珠の巻きの面で品質が高い「越物真珠（飼育 2 年目の施術員から採取する真珠）」を生産するまで約 4 年間かかり、その間、母貝、抑制貝および施術員（核と外套膜片を施術した貝）の各期間（和田 1999b）で冬季を経験するため、生産した真珠の品質を含む全期間において冬季低水温飼育の効果を検討する必要がある。

そこで、本節では、越物真珠を生産する期間における低水温飼育を検討した。すなわち、前節と同様に、抑制中のアコヤガイを供試員に用いて低水温飼育後に施術し、さらに 1 年後に施術員で低水温飼育して越物真珠を生産するための飼育試験を行った。その間、生残率、グリコーゲン含量、a 値等を調査したので報告する。

材料および方法

供試員および飼育 試験に用いた貝（愛媛県愛南町で収集した雌雄複数個体を親として交配し継代した F4）は、県内の種苗生産施設で、2000 年 3 月に種苗生産され、同年 6 月から新上五島町青木 (Fig.2-4-1 ; S1, 以後、上五島と略す) で飼育し、2001 年 11 月から抑制飼育中の平均全重量が

34 g の抑制貝を用いた。低水温飼育は 2001 年 1 月に開始し、試験群と対照群それぞれ 1,600 個体とした。試験群（以後、100°C・日群と称す）は冬季に水温が 13°C 以下になる西海町瀬川 (Fig.2-4-1 ; S2, 以後、西海と略す) で飼育し、対照群は上五島でそのまま飼育した。西海の 1 群は LTI_{13} の値により飼育期間を調整した。すなわち、水温が 13°C 以下になった 2002 年 1 月 4 日から飼育を開始し、13°C 以下の積算水温が約 100°C・日になった 2 月 25 日 ($LTI_{13}=101.4$) に上五島へ戻して、その後は対照群と同一漁場で飼育した。その間の飼育方法は通常の抑制籠による方法で行い、籠交換は行わなかった。その後、2002 年 4 月にはいずれの群の貝に 6.36 mm の真珠核を施術して、約 1 ヶ月間、活力を回復するため波の穏やかな場所で養生飼育して、X 線撮影で核を確認した。施術員の飼育は各群 948 個体（成長調査用：804 個体、生残調査用：144 個体）とした。飼育試験は 2002 年 5 月から 2003 年 12 月まで行い、生残率および後で述べる諸形質を、毎月 20~30 個体について調査した。なお、100°C・日群の施術員は 2003 年 1 月 5 日に西海に再度輸送し、13°C 以下の積算水温値が 100°C 時点となった 2 月 26 日時点 ($LTI_{13}=100.8$) まで飼育した後、上五島に戻して飼育した。なお、試験はアコヤガイを飼育していない赤変病の感染が考えられないような漁場で行った。

飼育水温の測定 水温は飼育水深 (2 m) に設置したメモリー式水温記録計 (株式会社 ティアンドデイ製 Thermo Recorder おんどとり@Jr. TR-51A) で毎日午前 10 時に測定した。ただし、積算水温を計算した西海の水温は、毎日午前 10 時に飼育水深 (2 m) から採取した海水を棒状水銀温度計で測定した。

全重量、閉殻筋 a 値等の測定 供試員は開殻して真珠を採取するとともに、殻、軟体部および内臓部の重量を測定した。全重量は殻と軟体部重量の和とした。内臓部は軟体部から鰓、外套膜、閉殻筋、斧足および足糸を取り除いた部分として重量を測定後、分析まで -80°C で保存した。閉殻筋は取り出した後、色彩色差計 (コニカミノルタ製

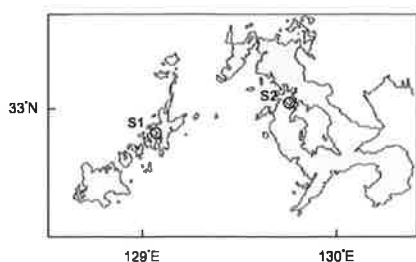


Fig.2-4-1. Locations of the study sites (S1, Kamigoto; S2, Saikai).

カラーリーダー CR-13) で a 値を測定した後、分析まで -80°C で保存した。なお、a 値が5以上を示した場合を森実ら(2001)の報告から、閉殻筋が赤変化したと判断した。また、全重量の日間成長率は、各群の同期間の増加量から算出した。採取した真珠は、マイクロメータで真珠径を測定し、シミや突起などのあるものは測定から除いた。

内臓部植物色素量、閉殻筋グリコーゲン含量等の測定 内臓部の植物色素量は沼口(2001)の方法に従って測定した。閉殻筋のグリコーゲン含量は酸加水分解後、アントロン硫酸法(Carroll et al 1956)で測定した。性成熟の指標(性成熟度)には四宮ら(1997)の方法に従い、軟体部重量に対する生殖腺を含む内臓部重量が占める割合を用いた。

生産した真珠の評価 生産した真珠については、日本真珠輸出組合の検定専門員および長崎県真珠養殖漁業協同組合理事に、販売することができる商品真珠のサイズ別(以後、7.00~7.99 mm および 8.00~8.99 mm の真珠を、それぞれ 7 mm および 8 mm 真珠と略す)の出現数と単価の算出を依頼した。

測定値の検定 測定項目の区間差は等分散を仮定しない Welch の t 検定、 χ^2 検定、 $m \times n$ 分割表の検定を用い(内田 1999)、各検定の有意水準は $p \leq 0.05$ とした。

結果

飼育水温 試験期間(2002年1月から2003年12月まで)の水温変化を Fig.2-4-2 に示した。冬

季飼育(1月上旬から2月下旬まで)では西海(a)および上五島(b)の水温範囲は、それぞれ2002年では $10.2^{\circ}\text{C} \sim 12.0^{\circ}\text{C}$ と $14.4^{\circ}\text{C} \sim 15.8^{\circ}\text{C}$ 、2003年では $10.2^{\circ}\text{C} \sim 12.0^{\circ}\text{C}$ と $13.9^{\circ}\text{C} \sim 16.2^{\circ}\text{C}$ であった。冬季飼育以外の上五島における最高水温は、2002年では8月上旬の 27.2°C 、2003年では9月上旬の 28.2°C であった。

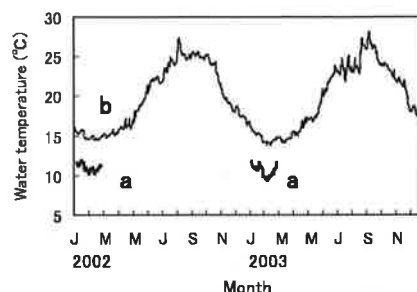


Fig.2-4-2. Changes in water temperatures in Saikai (a) where the 100 degree-day group was transferred in winter and Kamigoto (b) where the control group was kept and the two groups cultured after wintering.

低水温飼育から養生までの各期間の斃死率、脱核率等 抑制、施術および養生の結果を Table 2-4-1 に示した。 $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{日群}$ では抑制飼育中の斃死率が9.1%と対照群の4.4%に比べて、有意に高かった($p < 0.05$)。その後、施術後の養生期間中の脱核率には差がみられなかったが、 $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{日群}$ の斃死率が対照群と比較して有意に低かった($p < 0.05$)。そのため、養生後の施術貝数では、 $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{日群}$ と対照群で差はみられなかった。なお、施術時の性成熟度は、 $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{日群}$ と対照群で、それぞれ0.20と0.22を示し、 $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{日群}$ が低かった。

生残率、各部重量および閉殻筋 a 値等 試験期間(2002年1月から2003年12月まで)における生残率、全重量、性成熟度、内臓部の植物色素量、閉殻筋の a 値とグリコーゲン含量、および真珠径の変化を Fig.2-4-3 に示した。今回の試験結果は、前節とほぼ同様な傾向がみられた。a 値(a)の変化では2群で試験開始時の約8から毎年春季から夏季に約3まで低下した後、秋季から冬季にかけて $5.4 \sim 10.6$ (赤変化)の範囲まで上昇傾向を示した。2群で比較すると $100^{\circ}\text{C} \cdot \text{日群}$ は対照群に比べて、

Table 2-4-1. Results obtained for the 100 degree-day and control groups during restriction, nucleus inserting operation and recuperation

Group	Restriction ^a		Nucleus inserting operation month	Total body weight (g)	Nucleus sizes (mm)	Recuperation ^b			
	Oyster (n)	Period (month)				Dead rate(%)	Period (month)	Dead rate (%) ^c	Denucleated rate (%) ^c
100 degree-day	1,600	6	9.1*	Apr. 2001	34	6.36	1	5.9*	9.2*
control	1,600	6	3.8	Apr. 2001	34	6.36	1	10.4	11.0

a: In order to make nucleus inserting operation easier, physical strength and maturation of oysters were controlled.

b: In order to let operated-shells recuperate, oysters were cultured in calm sea.

c: Frequencies of dead and denucleated oysters.

Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

2002年8月から終了時まで低い傾向を示した。生残率(b)では100℃・日群が対照群に比べて試験期間中に斃死が少なく、終了時の生残率は52%であったのに対して、対照群は27%であった($p < 0.05$)。なお、100℃・日群の施術員における低水温飼育(2003年1月から2月まで)では、斃死はみられなかった。全重量(c)では2002年8月以降、100℃・日群は対照群に比べて成長率(100℃・日群: 74.3 $\mu\text{g}/\text{日}$, 対照群: 50.8 $\mu\text{g}/\text{日}$)が高く、終了時には100℃・日群が大きかった($p < 0.05$)。性成熟度(d)の変化では、開始時の約0.2から2002年9月の0.27まで上昇後、10月に0.22まで低下した。その後、2003年6月に0.29~0.35まで増加した後、終了時の約0.22まで低下した。2群で比較すると、100℃・日群は対照群に比べて、2002年5月から7月までと2003年2月から6月まで低く、特に2003年2月、4月および6月に有意差がみられた($p < 0.05$)。内臓部植物色素量(e)では両群で6月から徐々に増加して9月に最高値に達した後、低下する傾向が毎年みられた。2群では100℃・日群が対照群に比べて終始高い傾向がみられた。グリコーゲン含量(f)では試験開始時の2002年5月の約10 mg/gから2002年9月に78.2~98.7 mg/gまで増加した後、徐々に低下傾向を示し、2002年11月から終了時まで9.9~45.5 mg/gの範囲であった。2群では100℃・日群が対照群に比べて、2002年8月から2003年10月まで高い傾向を示し、2003年4月と5月を除き有意差がみられた($p < 0.05$)。100℃・日群と対照群の真珠径(g)は試験期間時から順調に増加し、終了時にはそれぞれ7.68 mmと7.44 mmになった。2群では終了時に有意差は認められなかったが、100℃・日群が対照群に比べて2003年4月から11月まで有意に大きかった($p < 0.05$)。また、終了時には各群の100個体から採取した真珠の品質を調査した(Table 2-4-2)。2群

を比較すると、商品真珠の出現数では差がみられなかった。しかし、100℃・日群はサイズ別の単価がやや高く、8 mm真珠(大珠真珠)の出現率が有意に高かった($p < 0.05$)。

考 察

本節では、越物真珠を生産するまでの冬季低水温飼育の影響を検討するため、試験開始時に抑制員を、次いで2年目に施術員を低水温飼育した。その結果、前節とほぼ同様な傾向がみられた。すなわち、100℃・日群は対照群と比較して、斃死率が抑制中に高く、養生中には逆に低く、施術員数に差はみられなかった。さらに、100℃・日群は対照群より、性成熟度では施術から2002年6月までと2003年2月から6月までの成熟期に低く、内臓部の植物色素量と閉殻筋のグリコーゲン含量では赤変病以前から多かった。また、100℃・日群は秋季の赤変病の発症期にはa値が低く、終了時には生残率、全重量および大珠真珠の出現率が有意に高かった。したがって、越物真珠を生産するため抑制員と施術員を冬季に13℃以下の積算水温が約100℃・日に達するまで飼育することは対照群より、抑制中に斃死率が高くなるもの、その後の飼育では摂餌が活発で性成熟が遅れることからグリコーゲンの蓄積が多くなり、赤変発症と斃死が軽減すると考えられた。

第5節 低水温飼育後に移動した漁場によるアコヤガイの生残率に及ぼす冬季水温の影響

前節までの赤変病に対する冬季低水温飼育の試験で、冬季に13℃以下の積算水温が100℃・日に達するまで飼育することで、母貝、抑制員および施術員のいずれにおいても赤変病による斃死

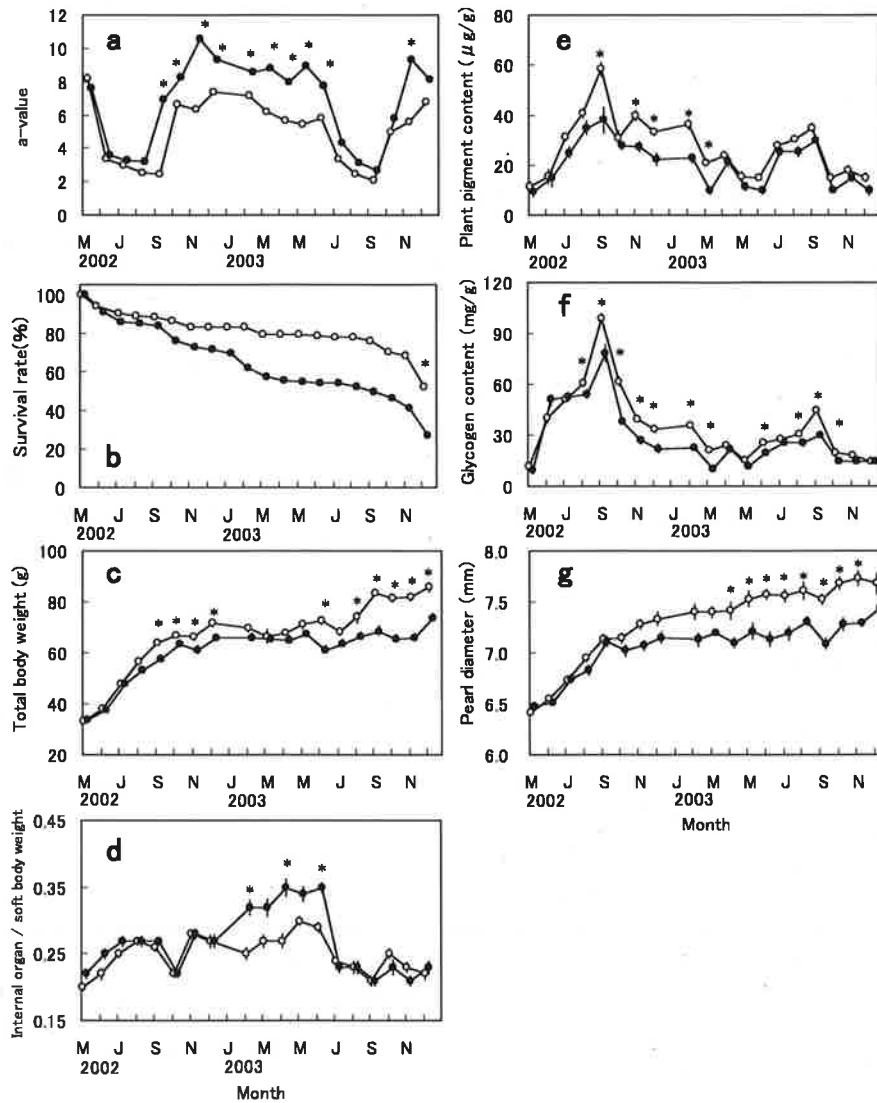


Fig.2-4-3. Monthly a-values (a), survival rates (b), total body weights (c), internal organs / soft body weights (d), phyto-pigment contents in the digestive diverticula (e) and glycogen contents of the adductor muscle (f), pearl diameters (g) of the oyster group with the LT_{13} values of 100 degree-day (○) and the control group (●) during the study period. Internal organs / soft body weight values represent an index of sexual maturity (Shinomiya et al. 1997). The a-values, total body weights, internal organs / soft body weights, phyto-pigments and glycogen contents are means \pm standard errors of 20-30 oysters per group. Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

Table 2-4-2. Diameters and prices of pearls obtained from 100 oysters in the 100 degree-day and control groups

Group	Number of commercial pearl	Diameter (mm)	
		7.00~7.99	8.00~8.99
100 degree-day	64 ^a	3,600 ^b (n=34) ^c	6,000 (n=30 [*])
Control	52	3,500 (n=43)	5,500 (n=9)

a: Commercial pearls: first and second grade pearls

b: yen/3.75g

c: Number in each commercial pearl.

Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

が軽減されることがわかった。一方、長崎県の真珠養殖では大部分の業者が離島を含む県内数ヶ所の漁場で養殖を行っている。そのため、冬季の低水温飼育後に移動した漁場により、その効果の程度が異なることが考えられた。

そこで、本節では低水温飼育後に貝（母貝）を移した漁場による冬季低水温飼育の効果の差異について検討したので報告する。

材料および方法

供試貝および飼育 試験に用いた貝（愛媛県愛南町で収集した雌雄複数個体を親として交配し継代した F4）は、長崎県総合水産試験場（以後、長崎水試と略す）で 2000 年 4 月に種苗生産した後、同水試の沖筏 (Fig.2-5-1 ; S3) で約 7 ヶ月間飼育したもので平均全重量が約 13 g であった。試験は 2001 年 1 月に開始し、各群 500 個体（成長調査用：350 個体、生残調査用：150 個体）として 2 群設けた。そのうち 1 群を冬季に水温が 13℃ 以下になる西海町瀬川 (Fig.2-5-1 ; S2, 以後、西海と略す) で飼育し、残り 1 群は長崎水試でそのまま飼育し、対照群とした。西海の 1 群は LT_{13} の値により飼育期間を調整した。すなわち、水温が 13℃ 以下になった 2001 年 1 月 6 日から飼育を開始し、13℃ 以下の積算水温が約 100℃・日になった 2 月 28 日 ($LT_{13}=100.4$, 以下 100℃・日群と略す) に長崎水試へ輸送して、その後は対照群と同一漁場で飼育した。その間の飼育方法は通常のパールネットによる方法で行い、ネット交換は行わなかつ

た。その後、2001 年 5 月下旬に新上五島町青木 (Fig.1-5-1 ; S1, 以後、上五島と略す) と玉之浦町玉之浦 (Fig.2-5-1 ; S4, 以後、玉之浦と略す) に各 2 区を輸送し、2002 年 4 月まで生残率および後で述べる諸形質を、毎月 30 個体について調査した。なお、試験はアコヤガイを飼育していない赤変病の感染が考えられないような漁場で行った。

飼育水温およびクロロフィル a 量の測定 水温は飼育水深 (2 m) に設置したメモリー式水温記録計 (株式会社 ティアンドデイ製 Thermo Recorder おんどとり® Jr. TR-51A) で毎日午前 10 時に測定した。ただし、積算水温を計算した西海の水温は、毎日午前 10 時に飼育水深 (2 m) から採取した海水を棒状水銀温度計により測定した。クロロフィル a 量は、飼育水深 (2 m) の海水を濾過後、米田 (1990) の方法に従って測定した。なお、測定は原則として週 2 回行った。

全重量、閉殻筋 a 値等の測定 供試貝は開殻して殻、軟体部および内臓部の重量を測定した。全重量は殻と軟体部重量の和とした。内臓部は軟体部から鰓、外套膜、閉殻筋、斧足および足糸を取り除いた部分として重量を測定後、分析まで -80℃ で保存した。閉殻筋は取り出した後、色彩色差計 (コニカミノルタ製 カラーリーダー CR-13) により a 値を測定した後、分析まで -80℃ で保存した。発症率は測定した個体数に対する a 値 5 以上の個体数の割合で示した (森実ら 2001)。また、全重量の日間成長率は、各群の同期間の増加量から算出した。

内臓部植物色素量、閉殻筋グリコーゲン含量等の測定 内臓部の植物色素量は沼口 (2001) の方法に従って測定した。閉殻筋のグリコーゲン含量は酸加水分解後、アントロン硫酸法 (Carroll et al 1956) により測定した。性成熟の指標 (性成熟度) には四宮ら (1997) の方法に従い、軟体部重量に対する生殖腺を含む内臓部重量が占める割合を用いた。

測定値の検定 測定項目の区間差は等分散を仮定しない Welch の t 検定および x^2 検定 (内田 1999) を、回帰式間の差は共分散分析 (石村 2002) を用い、各検定の有意水準は $p \leq 0.05$ とした。

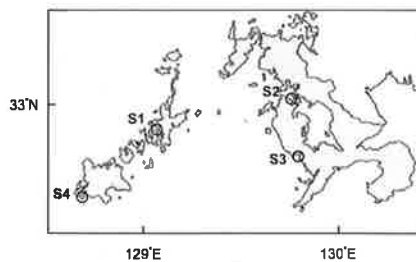


Fig.2-5-1. Locations of the study sites (S1, Kamigoto; S2, Saikai; S3, Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries; S4, Tamanoura).

結果

飼育水温 試験期間（2001年1月から2002年4月まで）の月別（平均）における水温およびクロロフィルa量の変化をFig.2-5-2に示した。冬季飼育期間では西海の水温は2001年1月中旬の11.1℃から低下し、1月下旬には10.1℃になり、2月下旬には11.2℃まで上昇した後、供試員（100℃・日群）を長崎水試へ輸送した。その間、対照群を飼育した長崎水試の水温は15.8℃から低下し、2月下旬に最低の13.0℃になった。長崎水試から上五島および玉之浦に供試員を搬入した2001年5月下旬からの各漁場における月別平均水温の範囲は上五島で14.8℃～26.6℃、玉之浦で15.0℃～28.5℃および長崎水試で13.5℃～28.3℃でとなり、玉之浦が他漁場に比べて終始高かった。クロロフィルa量では長崎水試と上五島が、それぞれ6月から9月（3.8～5.1 μg/l）および8月から10月（2.0～3.9 μg/l；高餌料期）に高く、その後、低位で大きな変化はなかった（0.5～1.9 μg/l；低餌料期）。玉之浦のクロロフィルa量は8月に著しく減少した以外（0.4 μg/l）、大きな変化はなくほぼ一定で（0.8～2.0 μg/l）、他漁場に比べて終始低かった。

生残率、各部重量および閉殻筋a値等 試験期間（2001年5月から2002年4月まで）における生残率および全重量の変化をFig.2-5-3に示した。生残率では上五島、長崎水試と玉之浦で、それぞれ2月、11月および10月から斃死個体がみられた。しかし、100℃・日群が対照群に比べて、長崎水試で11月以降、上五島と玉之浦で2月以降に斃死が少なく、終了時に4.0～17.3%高く、特に長崎水試と上五島では有意差が認められた（ $p < 0.05$ ）。全重量では3漁場で5月から11月まで著しく増加したが、その以降、終了時まで大きな変化はなかった。その区間差では開始時に100℃・日群が対照群に比べてやや小さめであったが、3漁場とも終了時には有意差はなかったものの、大きい傾向を示した。

試験期間（2001年5月から2002年4月まで）における性成熟度および内臓部の植物色素量の

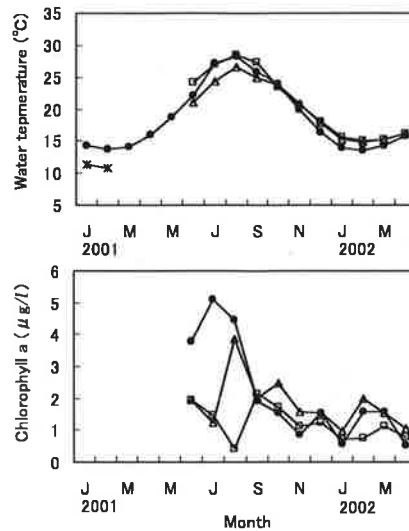


Fig.2-5-2. Changes in water temperatures in Saikai (×) where the 100 degree-day group was transferred in winter and Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries (●) where the control group was kept. Changes in water temperatures and Chlorophyll a in Kamigoto (Δ), Tamanoura (□) and Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries (●) where the two groups were cultured after wintering.

変化をFig.2-5-4に示した。性成熟度では3漁場で6月から7月の0.29～0.37から8月から9月の0.21～0.23まで低下した後、終了時の0.25～0.27まで徐々に上昇する傾向を示した。各漁場の2群で比較すると、上五島と長崎水試の100℃・日群が6月および7月に対照群に比べて有意に低かったが（ $p < 0.05$ ）、玉之浦では差がなかった。長崎水試および上五島の内臓部植物色素量は高餌料期に高く、低餌料期に低い傾向を示した。その2群では100℃・日群が対照群に比べて終始高い傾向を示した。一方、玉之浦の2群は2002年2月に25 μg/gと最高値を示した以外、1.5～18.0 μg/gの範囲で変化し、差はなかった。

試験期間（2001年5月から2002年4月まで）における閉殻筋のa値およびグリコーゲン含量の変化をFig.2-5-5に示した。秋季（9月と10月）の発症率では上五島の100℃・日群と対照群は、9月にそれぞれ26.7%と23.3%、10月にそれぞれ33.7%と86.7%であった。長崎水試の100℃・日

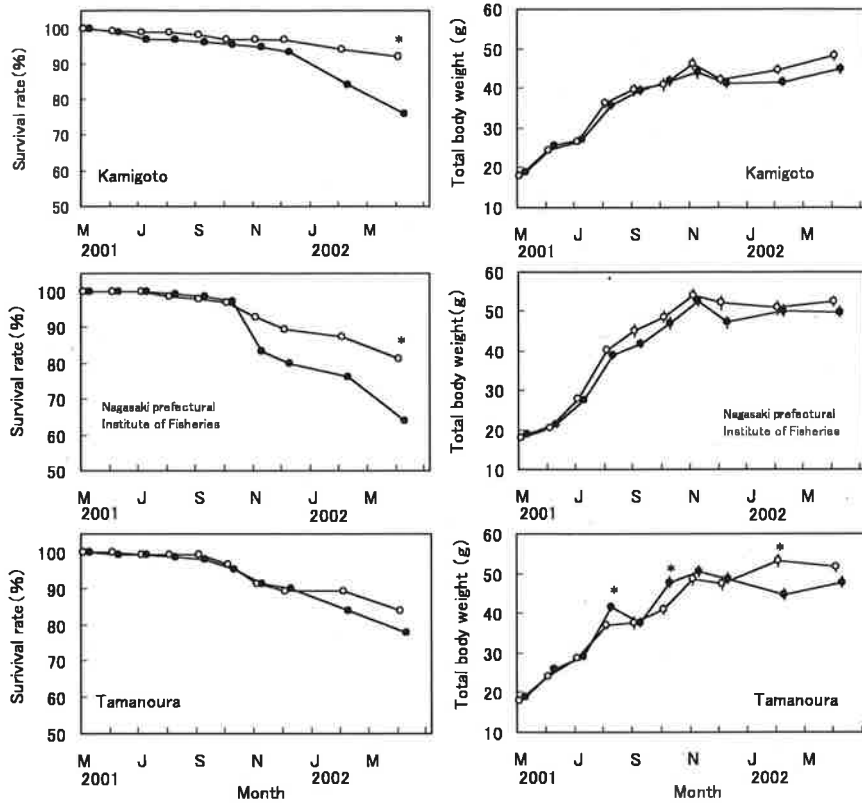


Fig.2-5-3. Monthly survival rates and total body weights of the oyster group with the LT_{13} values of 100 degree-day (○) and control group (●) during the study period in Kamigoto, Tamanoura and Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries. The a-values and total body weights are means \pm standard errors of 30oysters per group. Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

群と対照群では、9月にそれぞれ23.3%と26.7%、10月にそれぞれ56.7%と63.6%であった。玉之浦の100℃・日群と対照群は、9月にそれぞれ70.0%と97.0%、10月にそれぞれ90.0%と100%であった。3漁場で100℃・区群は対照群に比べて低い傾向にあったが、玉之浦の2群が他漁場のすべての群に比べて高い傾向がみられた。さらに、a値の経時変化では6～8月まで3漁場とも試験区による差はなくてほぼ一定であったが、9月以降上昇し始め、漁場による差がみられるようになった。すなわち、上五島では12月に対照群が9.3となったが、100℃・日群は7.1と有意に低かった ($p < 0.05$)。その後、各区は低下して終了時には2.6～3.1まで達した。長崎水試では対照群が12月に9.5までなり、4月時点には5.6まで達した。一方、100℃・日群は10月に5.8まで上昇後、ほぼ一定

で11月から4月まで対照群に比べて低い傾向を示し、特に11月から2月まで有意差がみられた ($p < 0.05$)。玉之浦では9月に対照群が9.9、100℃・日群が7.1まで上昇し2月まで大きな変化を示さず、4月に低下した。2群で比較すると、100℃・日群が対照群に比べて9月以降、低い傾向を示したが、有意差は9月に認められただけであった。グリコーゲン含量では3漁場で6月から7月まで増加し、8月から10月に低下した後は、大きな変化はみられなかった。2群では100℃・日群が対照群に比べて、上五島および長崎水試では7月から11月まで、玉之浦では9月に高く有意差がみられた ($p < 0.05$)。

3漁場における水温(20℃以上)とa値との関係をFig.2-5-6に示した。3漁場の水温と各2群の閉殻筋a値との間では、上五島の100℃・日群で

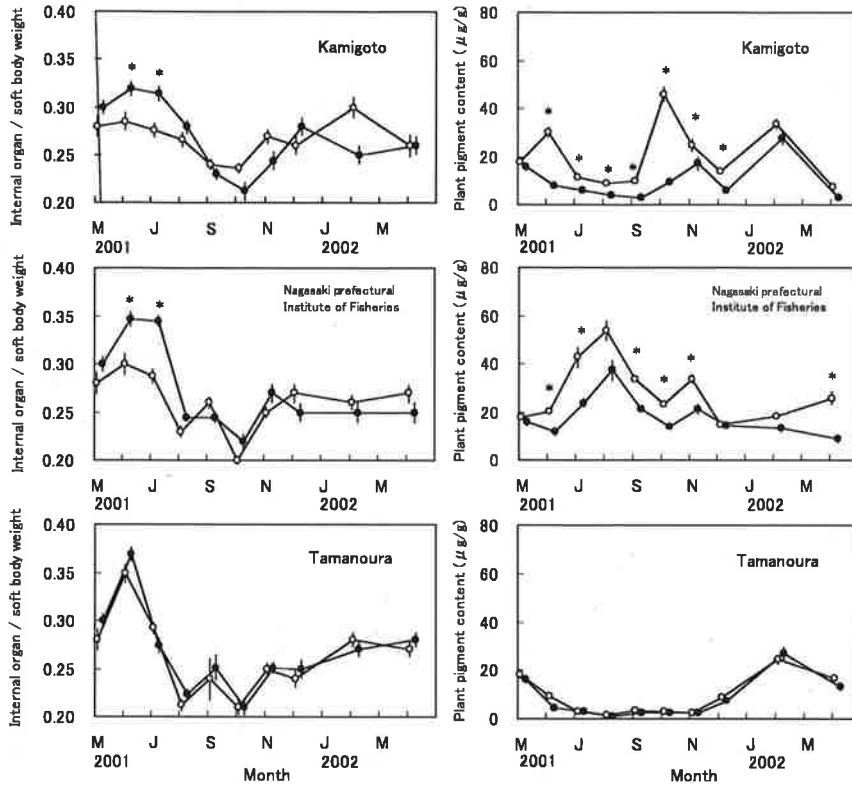


Fig.2-5-4. Monthly internal organ / soft body weight and plant pigment contents of the oyster group with the LTI_3 values of 100 degree-day (○) and control group (●) during the study period in Kamigoto, Tamanoura and Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries. Internal organs / soft body weight values represent an index of sexual maturity (Shinomiya et al. 1997). The \bar{x} -values and total body weights are means \pm standard errors of 30 oysters per group. Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

危険率が7%とやや高かったものの、正の相関関係がみられた ($r=0.77\sim 0.89$, $p=0.01\sim 0.07$)。さらに、各漁場の2群で比較すると、上五島および長崎水試では、100℃・日群と対照群の回帰式間で差がみられたが、玉之浦では差はみられなかった。

考 察

冬季低水温飼育後の移動漁場による生残率では、上五島と長崎水試の100℃・日群は各対照群に比べて、それぞれ16.0%および17.3%と有意に高かった。一方、玉之浦の100℃・日群は対照群

より4.0%高かったが有意差はなかった。赤変病は水温に大きく依存し、20℃以上の積算水温約2,300℃で発症し、約3,000℃から斃死個体がみられることが報告されている(和田ら1999a)。本試験の3漁場は、試験開始時から20℃以上を示した。8月の積算水温、100℃・日群および対照群の発症率は、上五島で2,209℃・日、0%と0%、長崎水試で2,379℃・日、3.3%と0%、玉之浦で2,443℃・日、3.3%と3.3%であった。また、9月の積算水温、100℃・日群および対照群の発症率は、上五島で2,957℃、26.7%と23.3%、長崎水試で3,158℃・日、23.3%と26.7%、玉之浦で3,262℃・日、70.0%と97.0%であった。さらに、上五島、

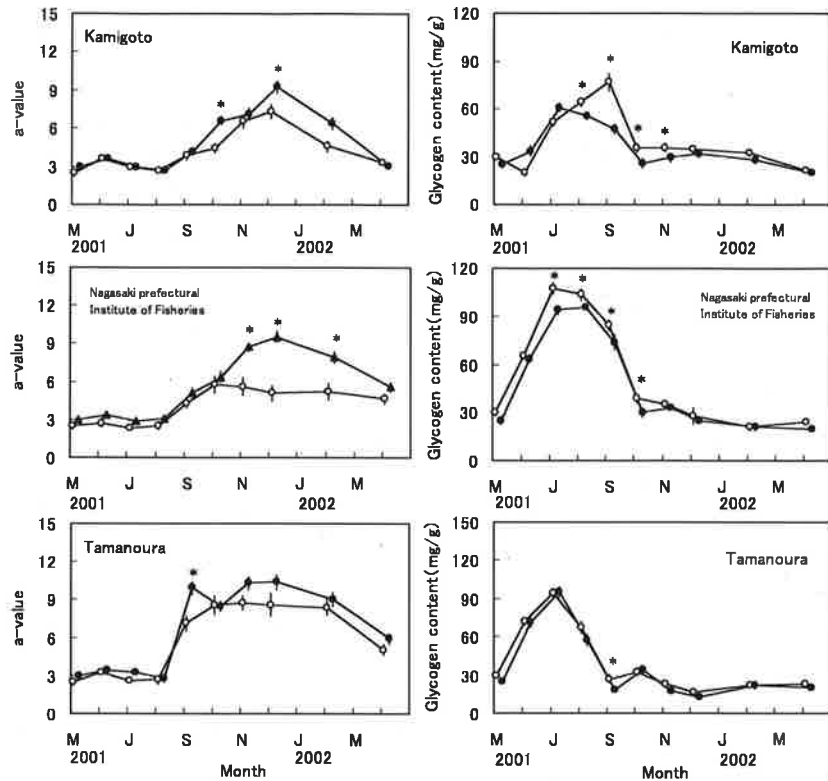


Fig.2-5-5. Monthly survival rates and total body weights of the oyster group with the LTI_{13} values of 100 degree-day (○) and control group (●) during the study period in Kamigoto, Tamanoura and Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries. Internal organs / soft body weight values represent an index of sexual maturity (Shinomiya et al. 1997). The a-values and total body weights are means \pm standard errors of 30 oysters per group. Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

長崎水試と玉之浦の斃死が見られ始めた時期とその時の20℃以上の積算水温は、それぞれ2月と4,174℃・日、11月と4,179℃・日、10月と3,989℃・日であった。これらの結果を和田ら(1999a)の報告と比較すると、発症時期はほぼ一致したが、斃死時期では本試験の積算温度が高かった。3漁場間では、玉之浦の9月の発症率は他漁場に比べて著しく高く($p < 0.05$)、斃死がみられ始めた時期が早かった。また、上五島と長崎水試の100℃・日群は対照群に比べて、性成熟度が低くて摂餌量や閉殻筋グリコーゲン含量が高かったが、玉之浦の2群では差がなかった。さらに、a値と20℃以上の積算水温との回帰式でも、上五島と長崎水試では2群に差がみられたが、玉之浦ではみられな

かった。したがって、玉之浦では前節までにみられた低性成熟と高摂餌量によるグリコーゲン含量に差がみられなかったため、生残率に有意な差がみられなかったものと考えられた。このことについては、玉之浦が他の漁場に比べて、移動直後から水温が高くて餌量プランクトン量が少ないことや再感染源を含めた漁場環境の影響が考えられ、今後、詳細に検討する必要がある。したがって、冬季低水温飼育を100℃・日間行っても、その後に移動した漁場の環境により、斃死軽減の効果の程度が異なることがわかった。

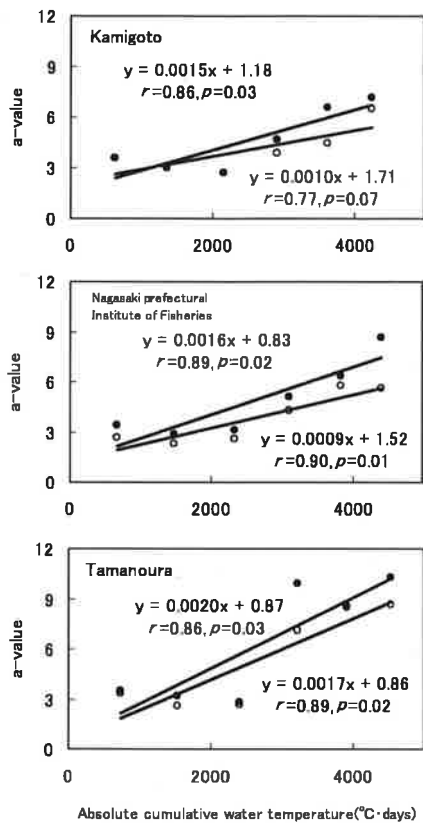


Fig.2-5-6. The relationship between the absolute cumulative water-temperature calculated from measurements in Fig.2-5-2 and the a-value during the period from May 2001 to April 2002 in Kamigoto, Tamanoura and Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries.

第3章 1 オアコヤガイを施術貝に用いた真珠養殖方法の開発試験

第1節 1 オアコヤガイを用いた施術貝の生残率および真珠品質の向上

1994年に愛媛県宇和海の一部地域で確認された閉殻筋の赤変化を特徴とするアコヤガイ赤変病(黒川ら 1999)は、1996年以降、西日本各地の真珠養殖場でもみられ、養殖中の在来系のアコヤガイ、特に核入れした施術貝の斃死率が増加している。そのため、関係機関では病原体の究明を進めるとともに、耐病性があり生残率が高いなどの耐性貝の作出方法を開発している(Suzuki et al.

1998; Miyazaki et al. 1999; 内村ら 2001,2005; 内村 2002; 西川・滝本 2001; 松本ら 2002; 釜石 2005; 岡本ら 2006a,2006b)。その結果、現在では南方系アコヤガイと在来系アコヤガイとを交配した貝(以下、交雑貝と略す)が普及し、養殖貝の斃死率は低下傾向にある(和田ら 2002; 和田 2005)。しかし、在来系アコヤガイから生産した真珠は「和珠」と呼ばれる独特の色彩、光沢等をもつ日本産真珠として国際的に評価が高いのに対して、交雑貝から生産した真珠には高品質真珠の出現率が著しく低く、大きな問題となっている。さらに、中国産淡水真珠、シロチョウガイ真珠等の生産量の増加も影響して日本産真珠の単価が下落している(真珠新聞社 2004)。このような状況から、真珠養殖業の経営は年々緊迫し、現在では養殖規模の縮小や廃業などの危機的状態にある。そのため、真珠養殖業者の中には、従来の在来系アコヤガイを用いて真珠層の巻きが厚く品質が高い越物真珠(飼育2年目の施術貝から採取する真珠)の生産を強く望む声がある。しかし、2才貝に施術する従来の越物真珠の生産方法では、施術した後の養殖期間が長くなるほど斃死率が著しく増加し(和田 1999a)、採算性の面から養殖することが難しいのが現状である。一方、従来の真珠養殖では生産量を効率的に増加するため、大部分の真珠養殖業者は母貝飼育を行わず、毎年秋季以降に母貝養殖業者から1才貝を購入してきた。しかし、現在の長崎県における真珠養殖では、経営および防疫上の問題から母貝飼育も行っている。

そこで、本試験では真珠品質の向上による経営の改善を図ることを目的に、6月施術時の母貝では1年早い1才貝と従来の2才貝を用いて、越物真珠の生産試験を実施した。同時に現在広く行われている2才貝による当年物真珠(飼育1年目の施術貝から採取する真珠)の生産とも比較した。その結果、1才貝を用いて越物真珠を生産することにより、1年分の母貝管理を軽減するとともに、生残率、真珠の品質等に効果がみられたので報告する。

材料および方法

供試貝 試験では、長崎県対馬市の民間種苗生産施設で2002年5月と2003年3月に生産し、同市地先の漁場で飼育した在来系アコヤガイ（対馬市で収集した天然貝を親として雌雄複数個体を交配して継代したF3）を用いた。越物真珠の生産試験では、1才貝（以後、1才区と略す）と2才貝（以後、2才区1と略す）の各6,000個体を施術前の活力を調整するため2～6ヶ月間の抑制飼育（この間の斃死率は1才区:0.1%, 2才区1:12.0%）を行った。1才区（平均全重量:22.5g）と2才区1（平均全重量:33.4g）は、2004年6月にそれぞれ6.66mmおよび7.27mmの核を施術した。その後、活力回復と脱核を防ぐため波の穏やかな漁場で1ヶ月間養生飼育して（この間の斃死率は1才区:1.7%, 2才区1:1.4%）、X線撮影により核を確認した施術貝4,000個体（成長調査用:1,000個体、生残調査用:3,000個体）を試験に用いた（Table 3-1）。当年物真珠の生産試験では、1才区と同じ母貝（以後、2才区2と略す）の6,000個体（成長調査用:1,000個体、生残調査用:3,000個体、予備:2,000個体）を用い、まず、2004年6月から6ヶ月間の抑制飼育（この間の斃死率:14.8%）を含む1年間飼育を行った。次いで、2005年6月に従来の2才貝（平均全重量43.4g）で7.42mmの核を施術し、1ヶ月間の養生後（この間の斃死率:4.6%）、X線撮影で核を確認した施術貝を継続して飼育した（Table 3-1）。飼育試験は2004年6月から2006年1月まで行い、その間1～2ヶ月に1回、各区の成長用から36～45個体の供試貝を採取して各種の調査を行うと

もに、生残率測定用の貝の斃死数を確認した。なお、各試験区で使用した核の大きさは貝の「ふくろ」（腸管迂曲部付近の嚢状生殖腺）に無理なく挿核できる最大の核を使用し、施術時に用いる外套膜小片は市販のピース貝（1才貝）から採取した。なお、2才区2は2005年6月に施術したため、養生後の斃死と脱核個体により、他区と飼育条件に相違を生じた。そこで、予備的に施術した貝を足して飼育条件を他区と同一にした。

重量、a値と真珠径等の測定 供試貝は殻長を測定後、ナイフで開殻し、真珠を採取して殻と軟体部重量を測定した。全重量は殻および軟体部重量の和とした。閉殻筋は、軟体部よりハサミで切り離したのち、色彩色差計（コニカミノルタ製 カラーリーダー CR-13）を用いて赤変化の指標となるa値（森実ら2001）を測定した。発症率は測定した個体数に対するa値5以上の個体数の割合で示した。殻長と全重量の成長率は、各区の同期間のそれらの増加量から算出した。真珠径はマイクロメータを用いて測定し、稜柱層、有機質等を含んだ真珠は測定から除いた。真珠形成率は、同期間に推移した真珠径より求めた真珠体積から、核体積または推移前の真珠体積を差し引き算出した。

血清タンパク質含量の測定 血清タンパク質含量は、閉殻筋から注射筒で血液を約0.1ml採取し、5,000×gで10分間遠心分離した後、その上清についてブラッドフォード法（Bio-Rad製 Protein Assay Kit）で測定した。

生産した真珠の品質評価 終了時には、各区の生残率用から真珠を取り出し、商品真珠（無傷真珠と傷真珠）、稜柱層真珠等の品質毎に選

Table 3-1. Results of the 1-year-old and the 2-years-old groups 1 and 2 during restriction, nucleus inserting operation and recuperation

	Restriction ^b			Nucleus inserting operation month	Total body weight (g)	Nucleus sizes (mm)	Recuperation ^c	
	Oyster (n)	Period (month)	Dead rate(%)				Period (month)	Dead rate(%)
1-year-old group	6,000	2	0.1	Jun.2004	22.5	6.66	1	1.7
2-years-old group 1	6,000	6	12.0	Jun.2004	33.4	7.27	1	1.4
2-years-old group 2 ^a	5,650 ^d	6	14.8	Jun.2005	43.4	7.42	1	4.6

a: Oysters in the 2-years-old groups 2 were those from same group as the 1-year-group but operated at age 2.

b: In order to make nucleus inserting operation easier, physical strength and maturation of oysters were controlled.

c: In order to let operated-shells recuperate, oysters were cultured in calm sea.

d: Oysters in restriction cultured from Nov. 2004.

別した。さらに、商品真珠は真珠の加工と販売を取り扱う真珠商社の専門家に単価の鑑定を依頼した。

飼育期間中の水温測定 水温は飼育水深（3 m）にメモリー式水温記録計（株式会社 ティアンドデイ製 Thermo Recorder おんどとり@Jr. TR-51A）を垂下し、毎日午前10時に測定した。

各測定項目の検定 各測定項目の区間における有意差は等分散を仮定しない Welch の *t* 検定、生残率と選別した真珠の産出割合の比較には χ^2 検定、各測定項目における個体間の相関関係は *r* の検定を用いて行い（内田 1999）、各検定の有意水準は $p \leq 0.05$ とした。

結果

飼育水温 水温の変化を Fig.3-1 に示した。水温は、開始時(2004年6月)の20.4℃から8月上旬に最高値の30.3℃まで達し、2005年2月上旬に最低値の12.3℃を示した。その後、8月中旬に29.9℃まで上昇し、終了時の2006年1月下旬には12.8℃まで低下した。

生残率 生残率の推移を Fig.3-2 に示した。1才区の斃死率は2004年と2005年の秋季にそれぞれ7.7%と6.1%みられ、終了時の生残率は84.5%であった。一方、2才区1も1才区と同時期に20%以上の斃死率がみられた。そのため、2005年9月に病変の進行に伴う真珠の品質低下を危惧して試験を終了した。試験開始から2005年9月までの2才区1の生残率は52.5%であった。2才区2の斃死率は2004年の母貝と抑制飼育の期間で、それぞれ5.2%と14.8%であった。施術貝の期間では2005年の秋季に7.8%の斃死率がみられ、終了時の生残率は71.8%であった。

貝の成長 殻長および全重量の推移を Fig.3-3 に示した。殻長では開始時に1才区と2才区2が2才区1に比べて有意に小さかったが、それらの成長率(91.1および77.8 $\mu\text{m}/\text{日}$)が2才区1(40.6 $\mu\text{m}/\text{日}$)に比べて大きかったため、2004年11月以降には差がなくなった。全重量では開始時に1才区が2才区1に比べて有意に

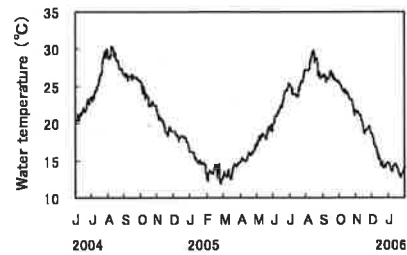


Fig.3-1. Seasonal variation in water temperature measured at 3m depth from June 2004 to January 2006.

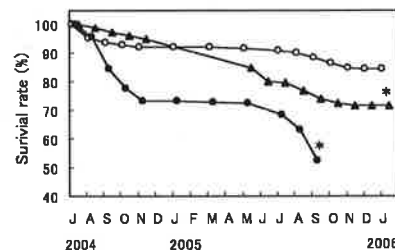


Fig.3-2. Monthly survival rates of the 1-year-old (O) and the 2-years-old groups 1 (●) and 2 (▲) from July 2004 to January 2006. Oysters in the 1-year-old group were those operated at age 1. Oysters in the 2-years-old group 1 were those operated at age 2. Oysters in the 2-years-old group 2 were those from the same group as the 1-year-old group but operated at age 2. Asterisks (*) show significant differences between the experimental group and the other groups at $p \leq 0.05$

小さかった。その後、1才区の成長率(69.4 $\mu\text{g}/\text{日}$)が2才区1のそれ(49.8 $\mu\text{g}/\text{日}$)に比べて大きかったため、2004年11月以降、1才区と2才区1では差がなくなった。また、2才区2は2004年12月から2005年5月まで抑制飼育を行ったため、2005年7月以降、1才区に比べて有意に小さかったが、抑制飼育の期間を除いた成長率(72.5 $\mu\text{g}/\text{日}$)では1才区(72.0 $\mu\text{g}/\text{日}$)と差がなかった。

閉殻筋 a 値および血清タンパク質含量 a 値と血清タンパク質含量の変化を Fig.3-4,5 に示した。a 値は全区で2004年と2005年の秋季から冬季に6.1~7.3の範囲まで上昇した後、夏季に1.9~2.1の範囲まで低下する傾向がみられた。a 値上昇期(8月と9月)の発症率では1才区、2才区1と2は、それぞれ2004年では8月に14%、3%と0%、9月には42%、61%と33%、2005年では8月に23%、56%と22%、9月には29%、

68%と51%となり、2才区1が他区に比べて高い傾向にあった。さらに、a値の経時変化では2才区1は2004年9月以降、他区に比べて高く、特に2005年8月と9月には有意差が認められた。血清タンパク質含量は全区で2004年と2005年の春季から夏季に0.30~0.63 mg/mlの範囲まで上昇した後、冬季に0.19~0.25 mg/mlの範囲まで低下する傾向を示した。試験区の比較では1才区が2才区1に対して2004年6月と2005年5月を除き、有意に高かった。また、2才区2は2004年6月から9月まで、他区に比べて有意に高かったが、2005年7月以降は1才区と大きな差はなかった。

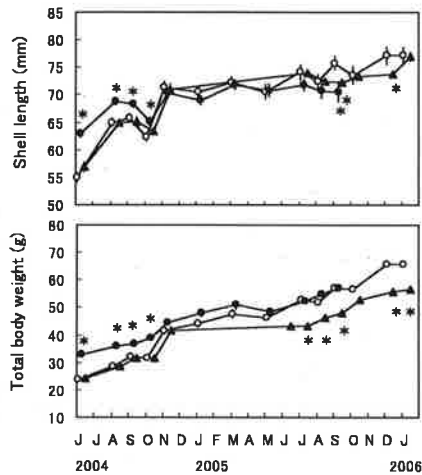


Fig.3-3. Total body weights and shell lengths of the 1-year-old (○) and the 2-years-old groups 1 (●) and 2 (▲) and their change with lapse of time from June 2004 to January 2006. Values are means and standard errors of 30-40 individuals. Symbols are the same as shown in Fig.3-2.

真珠の成長 真珠径の推移を Fig.3-6 に示した。1才区と2才区1の間では、1才区の真珠形成率(0.070 $\pi\text{mm}^3/\text{日}$)が2才区1のそれ(0.050 $\pi\text{mm}^3/\text{日}$)に比べて1.4倍高かったため、2005年9月には両区の真珠径に有意差が認められなかった。2才区2の真珠径は2005年7月に1才区より小さかったが、その後の真珠形成率(0.064 $\pi\text{mm}^3/\text{日}$)が1才区のそれ(0.031 $\pi\text{mm}^3/\text{日}$)に比べて2.1倍高かったため、2006年1月

には逆に有意に大きくなった。終了時の1才区、2才区1と2の真珠径は、それぞれ7.77、7.96および7.93 mmであった。そのため、真珠層の巻き(真珠の直径値から核の直径値を引いた値)では1才区、2才区1と2が、それぞれ1.11、0.69と0.51 mmを示し、1才区は最も薄かった2才区2の2.2倍厚かった。

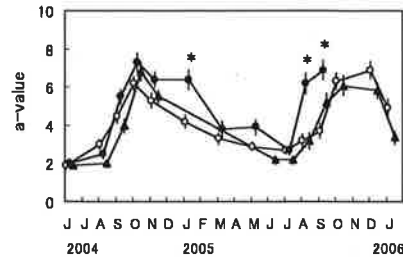


Fig.3-4. The a-values in the adductor muscles of the 1-year-old (○) and the 2-years-old groups 1 (●) and 2 (▲) and their change with lapse of time from July 2004 to January 2006. Values are means and standard errors of 30-40 individuals. Symbols are the same as shown in Fig.3-2.

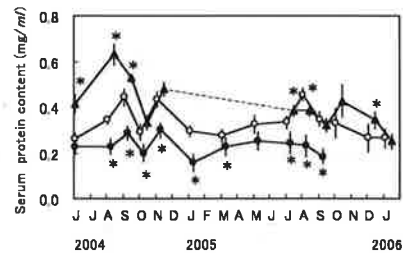


Fig.3-5. Serum protein contents of the 1-year-old (○) and the 2-years-old groups 1 (●) and 2 (▲) and their change with lapse of time from July 2004 to January 2006. Values are means and standard errors of 30-40 individuals. Symbols are the same as shown in Fig.3-2.

真珠の品質 終了時に採取した真珠の品質を Table 3-2 に示した。1才区、2才区1と2から生産した真珠(浜揚真珠)の個数は、それぞれ2,523個、1,524個と2,134個であった。浜揚真珠では1才区が他区に比べ、商品真珠の割合(1才区:75.2%, 2才区1:57.3%, 2才区2:59.2%)が高く、稜柱層真珠の割合(1才区:19.3%, 2才区1:28.8%, 2才区2:32.0%)が逆に低く、有意差が認められた。さらに、商品真珠における

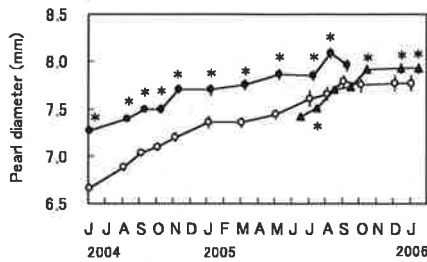


Fig.3-6. Pearl diameters of the 1-year-old (○) and the 2-years-old groups 1 (●) and 2 (▲) and their change with lapse of time from July 2004 to January 2006. Values are means and standard errors of 30-40 individuals. Symbols are the same as shown in Fig.3-2.

無傷真珠（傷，突起，シミ等がない真珠）の割合では1才区，2才区1と2は，それぞれ55.6%，43.3%および41.9%と，1才区が他区に対して有意に高かった。なお，2才区1では無光沢真珠が5.5%みられた。

商品真珠の7.00～7.99 mm および8.00～8.99 mm 真珠（以後，それぞれ7 mm および8 mm 真珠と略す）の重量，単価等を Table 3-3 に示した。7 mm 真珠では1才区，2才区1と2の重量と商品真珠に対する割合は，それぞれ848.6 g と72.0%，333.1 g と47.0%，および561.4 g と50.0%であった。単価では1才区は2,702円であったのに対して2才区1と2がそれぞれ834円，800円と，1才区が他区に対して3.2倍および3.4倍高かった。次に，8 mm 真珠の重量では1才区，2才区1と2は，それぞれ330.4 g，357.7 g および561.4 gであった。単価では2才区1と2がそれぞれ2,926円，2,500円であったのに対して1才区は3,900円と1.3倍および1.6倍高かった。その結果，1才区，2才区1と2の生産額は，それぞれ948,641円，367,182円および494,020円となり，1才区が2才区1と2に比べて2.6倍および1.9倍高い値を示した。

考 察

本試験では，全区で2004年と2005年の秋季にa値の上昇に伴い斃死数が増加し，供試貝は赤変病の影響を受けたと考えられたが，1才区

の生残率が他2区に比べて有意に高かった。1才区と2才区1の間では，1才区が秋季（a値上昇期）の発症率が低く，血清タンパク質含量が高かった。赤変病は20℃以上の積算水温約2,300℃で発症して約3,000℃から斃死個体のみられ，発症と斃死に要する積算水温は加齢に伴い減少することが知られている（和田ら1999a）。本試験では，2004年と2005年の発症と斃死は，全区で20℃以上の積算水温でそれぞれ2,351℃と3,138℃，2,311℃と3,097℃でみられたが，2才区1の発症率と斃死率は1才区より高く，和田らの報告（1999a）とほぼ一致した。また，血清タンパク質含量はアコヤガイで衰弱（身入度）の指標となることから（船越1987a），1才区が2才区1に比べて赤変病が比較的軽度で身入度が高かったため，生残率に差がみられた可能性が高いと考えられた。2才区2の生残率が1才区に比べて低かったことについては，a値の経時変化に差がなかったことから，試験期間中の抑制飼育が影響したものと推察された。

真珠の品質では，1才区が他区に対して，商品真珠の出現率（商品率）が高いうえ，商品真珠の中では無傷真珠の出現率が高く有意差が認められた。また，2才区1では斃死数が増加し，真珠の品質低下を危惧して，2005年9月に飼育を終了した。しかし，衰弱個体から採取される光沢不良真珠（和田1959,1961,1962）が5.5%みられた。さらに，2才区1は1才区に比べ，真珠形成率が劣るうえ，核サイズが大きいため，真珠層の巻きが薄かった。そのため，2才区1の7と8 mm 真珠の単価は，1才区のそれぞれ30.9%および75.0%と低く，生産額は38.7%であった。したがって，2才貝に核入れ手術して約2年間飼育する従来の養殖方法では，赤変病による斃死が真珠の品質に大きく影響することが考えられた。2才区2では赤変病による影響は1才区と同様に軽度で，飼育した7ヶ月間の真珠形成率は1才区に比べて多かった。しかし，飼育期間が短くて核サイズも大きかったことから，真珠層の巻きが3区の中で最も薄く，傷真珠の出現率も1才区に比べて高かった。そのため，生産した7および8 mm 真珠の単価

Table 3-2. Qualities of pearl obtained from the 1-year-old and the 2-years-old groups 1 and 2

Class	1-year-old group	2-years-old group 1	2-years-old group 2
Pearls produced (in number)	2,523	1,524	2,134
Commercial pearls produced (in number)	1,897 (75.2%) ^{a,*}	873 (57.3%)	1,264 (59.2%)
Faultlessness pearl (in number)	1,055 (55.6%) ^{b,*}	378 (43.3%)	530 (41.9%)
Blem pearl (in number)	842 (44.4%) ^{b,*}	495 (56.7%)	734 (58.1%)
Prismatic pearl (in number)	487 (19.3%) ^{a,*}	439 (28.8%)	682 (32.0%)
Organic pearl (in number)	46 (1.8%) ^a	69 (4.5%)	77 (3.6%)
Opaque pearl (in number)	-	84 (5.5%) ^a	-
Nucleus (in number)	93 (3.7%) ^a	59 (3.9%)	111 (5.2%)

a: Pearls produced (in number).

b: Commercial pearls produced (in number).

Asterisks (*) show significant differences between the experimental group and the other groups at $p \leq 0.05$.

Table 3-3. Commercial pearl diameter and price obtained from the 1-year-old and the 2-years-old groups 1 and 2

Class		1-year-old group	2-years-old group 1	2-years-old group 2
7.00~7.99mm pearl	weight (g)	848.6 (72.0%) ^a , n=1,489 [*]	333.1 (47.0%), n=456	561.4 (50.0%), n=702
	price (yen/3.75g)	2,702	834	800
8.00~8.99mm pearl	weight (g)	330.4 (28.0%) ^a , n=408 [*]	375.7 (53.0%), n=417	561.4 (50.0%), n=562
	price (yen/3.75g)	3,900	2,926	2,500
Total amount (yen)		948,641	367,182	494,020

a: Commercial pearls produced (in g weight).

Asterisks (*) show significant differences between the experimental group and the other groups at $p \leq 0.05$.

は3区中で最も低く、生産額では1才区の52.1%であった。また、同年に対馬真珠養殖漁業協同組合(2006)が取り扱った7と8mm真珠の平均単価はそれぞれ2,265円および3,615円であり、1才区の7および8mm真珠の単価がそれぞれ1.5倍、1.2倍高かった。したがって、アコヤガイを稚貝から3年間飼育する場合、現在広く用いられている2才貝に施術するよりも、1年早く施術した方が真珠養殖の生産効率が高いと考えられた。

以上のことから、在来系アコヤガイによる越物真珠を生産するため、6月の施術時期に1才貝を用いることは、同時期では小さい核を使用するものの、従来の2才貝に比べて、生残率が高く、傷、突起、シミ等が少なく厚巻き真珠が増えて、商品率が高くなることが推察された。また、今回の試験では、1才貝養殖の生残率と真珠品質の向上による生産額は、現在の2才貝養殖で行われている大きい核を用いて、短期間で単価が高い大珠真珠を生産する方法のそれを上回り、母貝管理を軽減することから、真珠

養殖の経営改善に繋がると考えられた。

第4章 高品質真珠を生産する優良ピース貝の作出試験

第1節 アコヤガイ殻体真珠層のa値を指標としたピース貝生産用親貝の選抜

アコヤガイ真珠の品質を決定する要素には、形状、大きさ、真珠層の厚さ(巻き)、色彩、キズの有無等がある。そのうち、色彩は実体色と干渉色が複合的に現れるのが特徴である。実体色は真珠に唯一含まれる黄色色素の含量により、黄色系と白色系の真珠に大きく分けられている(沢田1962)。一般的に、白色系は黄色系の真珠に比べて商品価値が高い。そのため、白色系真珠を高確率に生産することを目的に、実体色に関する研究が多く行われてきた。和田(1969)は殻体真珠層と真珠の黄色色素が同一成分であり、実体色は施術時に移植する外套膜小片の黄色色素の分泌能に依存するため、小片

を採取する外套膜片給与体アコヤガイ（以後、ピース貝と略す）の黄色色素含量が少ない貝を選抜することで、白色系真珠の出現率を増加させた。さらに、林(1999)は色彩色差計を用いて殻体真珠層外面の黄色度が低い個体を選抜して、それをピース貝に用い白色系真珠の出現率を著しく増加させた。一方、干渉色はピンク系とグリーン系に分けられ（小松 2006）、白色系真珠ではピンク系がグリーン系よりも商品価値が高い。特に、極めて希にみられる濃ピンク系の真珠は、真珠業界では「花珠」と称され、最も高価に取引されている。これらの干渉色の違いは真珠層表面から 30 μm ~40 μm までの真珠層一枚の厚さ（約 0.35 μm : ピンク系, 約 0.40 μm : グリーン系）に関係することが報告されている（和田 1962, 小松 2006）。これらのことから、色彩はピース貝の色素分泌能や真珠層形成能などの形質に大きく依存することが分かっている（和田 1962, 1972）。

養殖アコヤガイの中には、殻体真珠層が干渉作用により赤色を呈している個体もみられ、その個体をピース貝に用いた場合、生産した真珠の品質に興味を持たれる。しかし、ピース貝生産用親貝の選抜方法では、黄色色素含量の実体色に関する報告は多くみられるが、干渉色に関する報告はない。

一方、真珠養殖ではアコヤガイ赤変病（黒川ら 1999）の発生以来、真珠品質の低下や中国産淡水真珠、シロチョウガイ真珠等の生産量の増加により、日本産真珠の単価が著しく下落している（真珠新聞社 2004, 和田 2005）。現在、真珠養殖は養殖規模の縮小や廃業などの危機的な状態にある。そのため、真珠品質を向上させ、経営の改善を図る必要がある。

そこで、本試験では、高品質真珠を生産するピース貝を開発することを目的に、親貝選抜の方法として殻体真珠層の赤色に注目し、色彩色差計の赤色度（a 値のプラス域およびマイナス域）を指標として選抜を行い、2 群の種苗を生産した。種苗は真珠層の a 値を経時的に調査するとともに、ピース貝に用い真珠を生産して品質を比較した。

材料および方法

供試貝（種苗生産用親貝） 親貝の供試貝には、長崎県真珠養殖漁業協同組合のあこや貝種苗センター（以後、種苗センターと略す）で 2003 年 3 月に和田（1969）および林（1999）の方法に基づき生産した後、種苗センター前の漁場（西海市西海町地先）で 1 年 3 ヶ月間飼育した貝 [大村湾で収集した天然貝を親として雌雄複数個体を交配した F1, 殻長 61.4 \pm 0.3 mm (SE), 全重量 23.4 \pm 0.3 g (SE)] 300 個体を用いた。

親貝選抜および種苗生産 まず、貝を開殻し、和田（1969）の方法に基づき、殻体真珠層の b 値が青色を示すマイナス域の個体を選抜した。次いで、その中から、殻体真珠層の a 値が赤色を示すプラス域と緑色を示すマイナス域の個体を選抜した。最後に、プラス域とマイナス域の中から、性成熟が進行している個体を選抜し、それぞれ a(+)群と a(-)群の親貝 [a(+)群: ♀ 15, ♂ 8, a(-)群: ♀ 13, ♂ 6] とした (Table 4-1)。その後、親貝から未受精卵 [a(+)群: 約 2,500 万粒, a(-)群: 約 2,300 万粒] と精子（各群の全雄個体の生殖巣を海水 5l の中で磨り潰して得た）を採取した。各群の媒精は全未受精卵に精子を 200 ml 加えて行った。人工受精によりふ化した幼生は、2004 年 6 月上旬から殻長が 2 mm サイズに達した 7 月中旬まで種苗センターの陸上水槽で飼育した。

種苗の殻体真珠層調査 生産した a(+)群と a(-)群の種苗は、種苗センター前の漁場で約 2 ヶ月間飼育後、長崎県総合水産試験場前の漁場に輸送して飼育した。その後、殻体真珠層の a 値と b 値を、2004 年 11 月から 2006 年 12 月まで、原則として 2 ヶ月に 1 回、20~30 個体を無作為に抽出し測定した。

種苗をピース貝に用いた真珠の生産試験 生産した a(+)群と a(-)群の外套膜小片を用いた真珠の生産試験は、対馬市と鹿町町地先の漁場で、それぞれ 2005 年 7 月から 2006 年 1 月までの間（以後、試験 1 と略す）と、2005 年 10 月から 2006 年 12 月までの間（以後、試験 2 と略す）を行った。

Table 4-1. The a- and b- values in the pearl layer measured by colorimeter method and number of parents used for seed production in June, 2004

Group	a-value	b-value	♀	♂
a(+)	4.2±0.7*	-4.5±0.7	15	8
a(-)	-6.8±1.3	-4.0±0.6	13	6

Values are means ± standard errors, and asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

試験1では、民間の種苗生産施設で2004年3月に生産し、対馬市地先の漁場で2ヶ月間の抑制（施術前の活力を調整すること）を含む1年3ヶ月間飼育した貝（浅茅湾で収集した天然貝を親として雌雄複数個体を交配して継代したF4、平均全重量：約30g）に、2005年6月、2群の小片と6.66mmの核を施術した。その後、1ヶ月間養生して（活力回復と脱核を防ぐため波の穏やかな漁場で飼育すること）、X線撮影により核を確認した施術貝（各1,000個体）を真珠の生産試験に用いた（Table 4-2）。

試験2では、種苗センターで2004年3月に生産し、鹿町地先漁場で0.5ヶ月間の抑制を含む1年6ヶ月間飼育した貝（大村湾で収集した天然貝を親として雌雄複数個体を交配したF1、平均全重量：約40g）に、2005年9月、2群の小片と6.36mmの核を施術した。その後、1ヶ月間養生し、X線撮影で核を確認した施術貝（各500個体）を真珠生産試験に用いた（Table 4-2）。なお、試験1,2のa(+)群とa(-)群で抑制と養生期間の斃死率に差はなかった($p > 0.05$)。

殻体真珠層の色彩測定 色彩の測定は、貝を開殻して殻体真珠層内面の先端部3ヶ所について色彩色差計（コニカミノルタ製 カラーリーダー CR-13）を用いて行い、それらの平均を個体の値とした。なお、測定には左殻と右殻から

採取した外套膜小片では白色系真珠の出現率に差がない結果（林ら2006）から、林(1999)の選抜方法と同様に左殻を用いた。

色彩の評価 殻体真珠層の色彩は、色彩色差計の表色システムを用いて評価した。表色システムにはL値、a値およびb値があり、L値は明暗を示し、高い値ほど明るいことを示す。a値は赤色と緑色の強さを示し、プラス域では赤色が強く、マイナス域では緑色が強い。また、b値は黄色と青色の強さを示し、プラス域では黄色が強く、マイナス域では青色が強い。

生産した真珠の品質 試験1と2の終了時には各群の斃死個体を確認し、生存個体から真珠を採取した。その後、商品として販売が可能な真珠（商品真珠）は割合を調査するとともに、マイクロメータで真珠径を測定した。さらに、商品真珠の7.00~7.99mm真珠（以後、7mm真珠と略す）は、色彩と単価を調査した。実体色は、2真珠商社の専門家等の意見を参考に、沢田(1962)が報告した分類（ゴールド、ブルー、ホワイト、グリーンおよびクリーム）に基づき選別した。干渉色は小松(2006)の方法に基づき、下半球発現干渉色観察装置（真珠科学研究所製 オーロラビューアー）を用いて選別した。単価の算出は2真珠商社に依頼した。なお、商品真珠の6.00~6.99mm真珠（以後、6mm真珠と略す）と8.00~8.99mm真珠（以後、8mm真珠と略す）の色彩と単価の調査は、各試験のa(+)群とa(-)群で産出した個数が少なく行わなかった。

各測定項目の検定 各測定項目の群間における有意差はStudentのt検定と χ^2 検定を用い、各検定の有意水準は $p \leq 0.05$ とした（内田1999）。

Table 4-2. Results for a(+) and a(-) groups from experiments 1 and 2 during restriction, nucleus inserting operation and recuperation

Experiment	Group	Restriction ^c			Nucleus inserting operation month	Total body weight (g)	Nucleus sizes (mm)	Recuperation ^d	
		Oyster (n)	Period (month)	Dead rate(%)				Period (month)	Dead rate(%)
1 ^a	a(+)	1,500	2.0	2.3	Jun.2005	30	6.66	1	3.7
	a(-)	1,500	2.0	1.9	Jun.2005	30	6.66	1	3.2
2 ^b	a(+)	800	0.5	1.5	Sep.2005	40	6.36	1	3.8
	a(-)	800	0.5	1.9	Sep.2005	40	6.36	1	3.5

a: Pearl production experiment conducted from July 2005 to January 2006 at Tsushima, Nagasaki prefecture.

b: Pearl production experiment conducted from October 2005 to December 2006 at Shikamachi, Nagasaki prefecture.

c: In order to make nucleus inserting operation easier, physical strength and maturation of oysters were controlled.

d: In order to let operated-shells recuperate, oysters were cultured in calm sea.

飼育期間中の水温測定 水温は飼育水深 (3 m)にメモリー式水温記録計 (株式会社 ティアランドデイ製 Thermo Recorder おんどとり®Jr. TR-51A) を垂下し, 毎日午前 10 時に測定した (Fig.4-1)。なお, 試験期間中の各漁場の水温は平年並みであった。

結果

親貝の選抜 親貝真珠層の L 値の範囲と平均値は, 49.6~56.9 および 53.1 で, 大きな差はみられなかった。a 値と b 値ではばらつきがみられ, その範囲および平均値は, それぞれ -44.2~31.9, -5.4, および -22.9~17.1, -1.0 であった。そこで, 親貝は b 値をマイナス域でほぼ同値 (範囲: -7.7~-1.3) にしたうえで, a 値 (範囲: 0.2~10.1) が 4.2 ± 0.7 (SE) の個体を a(+) 群, a 値 (範囲: -15.3~-0.2) が -6.8 ± 1.3 (SE) の個体を a(-) 群として選抜し, 種苗生産を行った (Table 4-1, Fig. 4-2)。

ピース貝の殻体真珠層の a 値と b 値 生産した種苗の a 値と b 値の変化を Fig. 4-3 に示した。b 値は 2 群で差がなく, 類似した経時変化を示した。すなわち, 2004 年 11 月から 2005 年 5 月まで 6.8~10.7 の範囲でほぼ一定であったが, 2005 年 6 月に低下した後, -5.5~1.0 の範囲で推移し, 終了時の 2006 年 12 月には約 -2 を示した。a 値の変化は 2004 年 11 月から 2005 年 5 月まで 2.7~5.2 の範囲で推移した。その後, a(+) 群と a(-) 群は 2005 年 6 月に低下し, a(+) 群は -1.1~3.0 の範囲で, a(-) 群は -5.8~-1.2 の範囲で推移した。そのため, a(+) 群は a(-) 群に比べ, 2005 年 6 月から 2006 年 12 月までの間, 2005 年 9 月を除き有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。

真珠の品質評価 試験 1, 2 の生残率と生産した真珠に対する商品真珠の個数と割合 (商品率) を Table 4-3 に示した。a(+) 群と a(-) 群で生残率と商品率に差はなかった ($p > 0.05$)。

6, 7 および 8 mm 真珠の個数と割合を Table 4-4 に示した。各試験の a(+) と a(-) 群で真珠を比較すると, 平均直径 [試験 1 ; a(+) 群: 7.39 ±

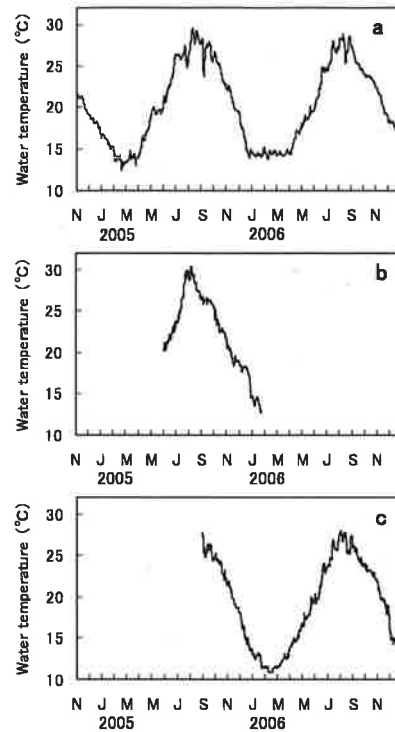


Fig.4-1. Daily water temperatures (3m depth) in Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries (a), Tsushima (b) and Shikamachi (c), from November 2004 to December 2006, from June 2005 to January 2006 and from September 2005 to December 2006, respectively.

0.02 mm(SE), a(-) 群: 7.41 ± 0.03 mm(SE), 試験 2 ; a(+) 群: 7.31 ± 0.02 mm(SE), a(-) 群: 7.29 ± 0.02 mm(SE)], サイズ別の個数と産出割合に差異はなかった ($p > 0.05$)。

真珠の実体色を Table 4-5 に示した。全群で黄色系真珠はみられず, すべて白色系真珠であった。白色系の中では, ホワイト色とクリーム色の 2 色しかみられず, a(+) 群のホワイト色の出現率が a(-) 群に比べて, 試験 1 と 2 でそれぞれ 23.7%, 13.6% 高かった ($p < 0.05$)。

真珠の干渉色を Table 4-6 と Fig. 4-4 に示した。a(+) 群のピンク系の出現率が a(-) 群と比較して, 試験 1 および 2 でそれぞれ 30.3%, 44.6% 高かった ($p < 0.05$)。

真珠の単価を Table 4-7 に示した。真珠の単価は, 2 社の専門家で 1 級品真珠としての選別

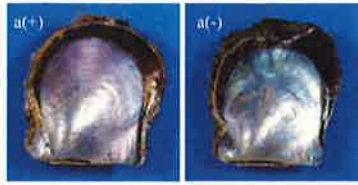


Fig.4-2. The pearl layers of parent-shells from a(+) and a(-) groups that were used during seed production in June, 2004.

割合により 1,2 級品の単価が異なったが、平均単価ではほぼ同額となり、a(+)群が a(-)群に対して 1.38 倍～1.52 倍と高い値を示した。

考 察

本試験では、殻体真珠層の b 値(黄色度)をマイナス域に設定し、a 値(赤色度)をプラス域とマイナス域に選抜した親貝から、生産した種苗の a 値と b 値を 2004 年 11 月から 2006 年 12 月まで(人工受精後 6～30 ヶ月間)調査した。その結果、2 群の b 値は開始時のプラス域から 2005 年 6 月に著しく低下してマイナス域に達した後、終了時までほぼマイナス域で推移した。a 値も 2005 年 6 月に低下したが、a(+)群は a(-)群と比較して、終始高い値を示した。和田(1969)はアコヤガイの黄色色素の合成および分泌には年齢差がないものの、2 才貝までの若年貝では殻体の真珠層が薄いため、稜柱層から反射する光や真珠層が示す虹色(赤、青、緑、黄)の強い表面色の影響を受け、真珠層の黄色系個体の出現率は年齢と比例して増加すると報告している。したがって、b 値が低い親貝は白色系真珠層の出現率を増加させ、和田(1969)および林(1999)の結果と一致した。a 値は飼育日数の経過とともに低下したが、a 値が高い親貝を選抜することで、低い親貝と比較して、生産した貝の真珠層の a 値が高くなると考えられた。

生産した a(+)群と a(-)群の種苗の外套膜小片を用いた真珠の生産試験では、生残率、真珠の巻きと商品率は、a(+)群と a(-)群で差がなく、真珠の実体色はすべて白色系であった。しかし、a(+)群の真珠は、実体色のホワイト色と干渉色

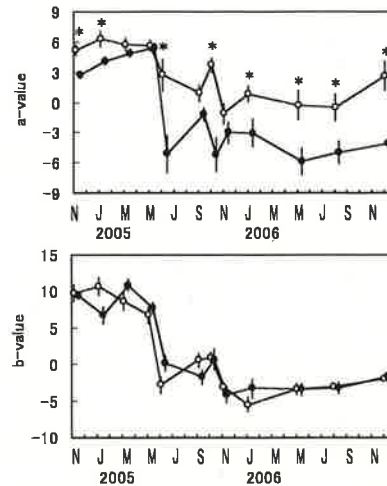


Fig.4-3. Changes in a- and b-values of the pearl layers of seeds cultured at Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries. Open (O) and closed (●) circles indicate seeds from parent oysters of a(+) and a(-) groups, respectively. Each symbol and bar represents mean \pm standard error of 20-30 individuals. Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

のピンク系の出現率が a(-)群に比べて有意に高かった。そのため、a(+)群の色彩は品質が高く、単価が a(-)群に対して 1.38 倍～1.52 倍高かった。移植した小片の外面上皮細胞の分泌特性は真珠袋になっても維持されることや、真珠の干渉色は施術貝の生理状態や真珠袋の分泌能が影響することが分かっている(和田 1991)。さらに、干渉色は漁場の飼育水温に影響を受け、水温が 20℃から 12℃に低下する時期にピンク系の干渉色が出現するとされている(和田 1991)。今回の試験では、a(+)群と a(-)群で生残率、真珠の平均直径と商品率に差がなかったため、施術貝の生理状態と挿核技術に差がなかったと考えられた。また、真珠生産試験を行った漁場の水温は、真珠を採取する約 2 ヶ月前から 20℃以下となり、採取時には約 13℃まで低下した。したがって、a(+)群をピース貝として用いたことで、a(-)群と比べて、白色系で干渉色がピンク系の真珠の出現率が高まったと考

Table 4-3. Survival rates and amount in numbers of commercial pearls obtained from a(+) and a(-) groups in experiments 1,2

Experiment	Group	Survival rate	Commercial pearls
		(%)	produced (in number)
1 ^a	a(+)	90.0	742 (82.6%) ^c
	a(-)	90.8	751 (83.0%)
2 ^b	a(+)	84.8	306 (72.9%)
	a(-)	87.4	324 (75.0%)

a: Pearl production experiment conducted from July 2005 to January 2006 at Tsushima, Nagasaki prefecture.

b: Pearl production experiment conducted from October 2005 to December 2006 at Shikamachi, Nagasaki prefecture.

c: Percentage of commercial pearls from total pearls produced.

Table 4-4. Diameter ratios of commercial pearls obtained from a(+) and a(-) groups in experiments 1,2

Experiment	Group	Diameter (mm)		
		6.66~6.99	7.00~7.99	8.00~8.99
1 ^a	a(+)	24 ^c (3.2%) ^d	658 (88.7%)	60 (8.1%)
	a(-)	8 (1.1%)	697 (92.8%)	46 (6.1%)
2 ^b	a(+)	19 (6.2%)	281 (91.8%)	6 (2.0%)
	a(-)	29 (9.0%)	291 (89.8%)	4 (1.2%)

a: Pearl production experiment conducted from July 2005 to January 2006 at Tsushima, Nagasaki prefecture.

b: Pearl production experiment conducted from October 2005 to December 2006 at Shikamachi, Nagasaki prefecture.

c: Number of pearls in each diameter class.

d: Percentage of pearls in each diameter.

Table 4-5. Object color in 7.00~7.99mm pearls obtained from a(+) and a(-) groups in experiments 1, 2

Experiment	Group	Yellow color system		White color system		
		Gold	Blue	White	Green	Cream
1 ^a	a(+)	-	-	593 ^c (90.1%)*	-	65 (9.9%)*
	a(-)	-	-	463 (66.4%)	-	234 (33.6%)
2 ^b	a(+)	-	-	269 (95.7%)*	-	12 (4.3%)*
	a(-)	-	-	239 (82.1%)	-	52 (17.9%)

a: Pearl production experiment conducted from July 2005 to January 2006 at Tsushima, Nagasaki prefecture.

b: Pearl production experiment conducted from October 2005 to December 2006 at Shikamachi, Nagasaki prefecture.

c: Number of pearls in each object color.

Values in () are percentages of pearls in each object color and asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

Table 4-6. Percentages of 7.00~7.99mm pearls in each interference color obtained from a(+) and a(-) groups in experiments 1, 2

Experiment	Group		Pink color	Green color
			system	system
1 ^a	a(+)	(n=115)	81.7%*	18.3%*
	a(-)	(n=107)	51.4%	48.6%
2 ^b	a(+)	(n=281)	90.0%*	10.0%*
	a(-)	(n=291)	45.4%	54.6%

a: Pearl production experiment conducted from July 2005 to January 2006 at Tsushima, Nagasaki prefecture.

b: Pearl production experiment conducted from October 2005 to December 2006 at Shikamachi, Nagasaki prefecture.

Asterisks (*) show significant differences between groups at $p \leq 0.05$.

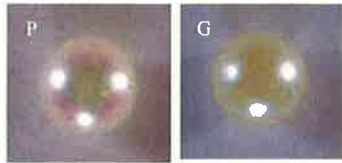


Fig.4-4. Pink (P) and Green (G) color systems of pearl interference color.

えられた。

以上のことから、ピース貝を生産するための親貝選抜方法として、既存の知見(和田1969)と併せて、殻体真珠層のa値がプラス域の個体を選抜することにより、a値が高い種苗を生産でき、高品質真珠の出現率が増加すると考えられた。

第5章 総括

本研究はアコヤガイ赤変病の発生以来低迷が続く長崎県真珠養殖業の経営の安定化を図ることを目的とした。そこで、生残率が高い在来系アコヤガイの作出、真珠品質を向上するピース貝の作出および真珠養殖方法の改良等に関する試験を行い、真珠養殖業の生産性を高める親貝選抜および養殖方法の技術開発に取り組んだ。その結果、在来系アコヤガイを用いた種苗生産および真珠養殖を行ううえで、以下のように整理された。

病気に強く生残率が高いアコヤガイの作出方法 赤変病に対して耐病性があり生残率が高い在来系アコヤガイの作出試験では、血球の

性状(内村2002)、高水温飼育(松本ら2002)および閉殻力(岡本ら2006a,2006b)により親貝選抜が行われている。本研究では、松本ら(2002)および船越(1985,1986,1987a,1987b)の報告から、アコヤガイの生理状態を示し、生きてままで比較的簡単に短時間で測定できる血清タンパク質含量で親貝を選抜した。親貝の供試貝では血清タンパク質含量が高いほど、閉殻筋グリコーゲン含量や身入度が高まるとともに閉殻筋a値が低下する傾向がみられた。次いで、血清タンパク質含量の度数分布(201~291個体)における上位10%(高含量群)と下位17~35%(低含量群)を親貝に用いて種苗を2002年と2003年に生産した。高含量群の種苗は低含量群より、種苗生産期では受精率、成長率および生産数が有意に高く、1才貝の育成飼育および施術貝の飼育試験では成長率、真珠形成率および生残率が高く有意差が認められた。

さらに、本選抜法を業界に普及するには真珠養殖の現場において生産性を確かめる必要がある。一方、長崎県の大部分の種苗生産施設では親貝は一般的に2才貝を用いるが、種苗生産期の春季には従来の真珠養殖では2才貝は抑制飼育を行っている。そのため、親貝は抑制飼育を開始する秋季に1才貝の中から外形で選抜した後、採卵前に性成熟の良否により個体選抜が行われている。そこで、民間の種苗生産施設で生産した1才貝の中から、秋季に外形で2,000個体を選抜して無作為に2群に分けた。一方は

Table 4-7. Prices of first and second grade in 7.00~7.99mm pearls (n=200) and their respective percentages obtained from a(+) and a(-) groups in experiments 1,2

Experiment	company ^c	Group	First grade	Second grade	Average
1 ^a	A	a(+)	3,000 ^d (60%) ^e	800 (40%)	2,120
		a(-)	2,800 (40%)	700 (60%)	1,540
	B	a(+)	4,000 (30%)	1,115 (70%)	1,980
		a(-)	2,900 (30%)	800 (70%)	1,430
2 ^b	B	a(+)	5,000 (65%)	1,600 (35%)	3,810
		a(-)	3,500 (50%)	1,500 (50%)	2,500

a: Pearl production experiment conducted from July 2005 to January 2006 at Tsushima, Nagasaki prefecture.

b: Pearl production experiment conducted from October 2005 to December 2006 at Shikamachi, Nagasaki prefecture.

c: Trading companies that handle sales and manufacturing of pearls.

d: yen/3.75g

e: Percentage in each grade.

本選抜用の試験区として秋季から春季までの7ヶ月間に亘って血清タンパク質含量を3回測定し、含量が終始高くして性成熟が良好な雌雄各15個体を選抜した。他方は対照区として性成熟が良好な同数の雌雄個体を選抜した。その後、各選抜区の個体は親貝として種苗を2004年に生産し、種苗の生残率や真珠の品質等について対馬市地先で比較試験を行った。なお、選抜終了時における試験区の血清タンパク質含量は、対照区のそれより有意に高かった。その結果、試験区から生産した種苗は対照区より、生残率が有意に高くして生産した真珠については大珠真珠の出現率が高かった。その結果、試験区の生産額は対照区のそれより12%上回ったうえ、育成期間から施術時までの累積斃死率は対照区より17.7%有意に低かった。なお、同様の親貝選抜を県内の他民間種苗生産施設2社のアコヤガイを用いて行い、ほぼ同様な結果が認められた(岩永ら2005, 2006)。

したがって、血清タンパク質含量を親貝選抜の指標に用いることは、供試貝の中から赤変病の症状が軽度で高栄養状態の雌雄個体を比較的簡単に選抜して生残率が高い種苗を作出し、真珠養殖の生産性の向上に繋がると考えられた。また、本選抜法の貝から生産した真珠は、単価がやや低いクリーム色の出現率が高かった。そのため、施術時に黄色色素分泌量が少ない優良なピース貝を用いて高品質なホワイト色の真珠の出現率を高めることで生産額がさらに増加すると考えられた。

アコヤガイの血清タンパク質含量は年齢、飼育環境(餌料プランクトン数や水温等)で異なるため(船越1985, 1986, 1987a, 1987b)、本試験の親貝選抜基準は、親貝の供試貝の中から種苗生産に必要な最低限の個体数とし、血清タンパク質含量の度数分布の上位3~10%となった。そのため、供試貝数を増やし高含量の個体を多く選抜すれば、より精度を高めることが可能と考えられる。今後は血清タンパク質含量が高い個体を継代的に選抜育種することで、形質の固定化が図られるか否か検討しなければならない。

斃死を軽減するとともに高品質真珠の生産性を高める養殖方法

(a) 冬季低水温飼育法 冬季に13℃以下になる低水温漁場でアコヤガイを2ヶ月間飼育することにより、その後の赤変病による斃死を軽減する効果があるとする知見(愛媛水試1999; 林ら2000; 深浦ら2002)から、長崎県における冬季水温と赤変病の発症、斃死等との関連性を2000年から2003年まで検討した。試験では冬季に水温の大きく異なる県内7地区でアコヤガイを飼育し、その後、赤変病の指標である閉殻筋a値、生残率等を調査した。その結果、13℃以下の積算水温 $[LTI_{13} = \sum (13 - T_n), T_n < 13]$ が大きい地区($LTI_{13} = 54.8 \sim 233.3$ °C・日)では、冬季飼育中の斃死率が2~73%と高くして低水温の影響がみられた。しかし、積算水温が大きい地区は他区に比べ、秋季の発症期にa値が低くて低水温飼育後の斃死数が有意に少なく、終了時の生残率が高い傾向を示した。対照群と比較し、13℃以下の積算水温が100℃・日群(母貝、抑制貝および施術貝)で冬季飼育中の斃死率に差がなく、その後の移動した漁場により程度は異なるものの、性成熟度やa値が低くて摂餌量の指標である内臓部植物色素量や閉殻筋グリコーゲン含量が多く、終了時の全重量、真珠径および生残率が有意に高かった。

永井ら(2004)およびNagai et al.(2007)は感染貝の経験した16℃以下の積算水温と19℃以上の積算水温を用いて発症時期を調査し、特に16℃以下の積算水温で250 °C・日以上飼育した群は隔離漁場を併用することにより、再発症が認められなかったことを報告している。本試験では、100℃・日群は16℃以下の積算水温では227.4~259.4 °C・日を示し、再発症をほぼ抑止することが可能な積算水温に達していたと考えられるが、全試験で発症が認められた。今回の試験では外部からの再感染は防いでいたが、対照群と同じ漁場で試験を行ったことから、低水温飼育の効果が軽減したことが考えられ、効果をより発揮するには永井ら(2004)やNagai et al.(2007)が報告した適正な漁場管理が必要と思われた。

以上より、アコヤガイを冬季に 13℃以下の積算水温で約 100℃・日飼育することは対照群より、その後に貝を移動した漁場により程度は異なるものの、摂餌が活発で性成熟が遅れることでグリコーゲンの蓄積が多くなり、赤変発症と斃死が軽減される可能性が高いと考えられた。さらに、適正な漁場管理を併せて行うことでより効果が高まると考えられた。

本県では冬季に 13℃以下の積算水温で 100℃・日飼育できる漁場は、県北と県央の一部地域（佐世保市と西海市の一部地域）に限られている（長崎県真珠養殖漁業協同組合 2001）。現在、これらの地域に漁場をもつ真珠養殖業は 20 経営体（県内経営体数の約 15%）ある（長崎農林水産統計協会 2008）。2007 年における長崎県の施術貝数は約 2,400 万個体（長崎県水産部 未発表）で、その大部分は交雑貝である。交雑貝は在来系アコヤガイより冬季の水温に影響を強く受け、飼育水温が 13℃以下になると斃死率が著しく増加することから（渥美ら 2007）、本飼育法を用いることは難しいと考える。一方、県内で施術時に使用されているピース貝は在来系アコヤガイで真珠の色彩を改善する目的で生産されているため、赤変病による斃死率が著しく高い。さらに、感染および発症した個体をピース貝として使用することは感染実験の結果から（黒川ら 1999）、施術貝が赤変病に感染する可能性が高いと考えられる。そのため、2007 年の施術数から換算した約 120 万個体のピース貝（全養殖貝数の約 1.3%）であれば、養殖業者間で委託飼育等を行うことで、県内の全養殖業者が低水温飼育したピース貝を利用でき、ピース貝や施術貝の生残率が高まると考えられた。

(b) 1 才貝に施術する養殖方法 2 才貝に施術する従来の越物真珠（巻きが厚く品質が高い飼育 2 年目の施術貝から採取する真珠）の生産方法では、施術した後の養殖期間が長くなるほど斃死率が増加し（和田 1999）、採算性の面から養殖することが難しい。そこで、母貝の施術年齢の違いが真珠養殖の生産効率に及ぼす影響

を、2004 年 6 月から 2006 年 1 月まで対馬市地先で飼育試験を行うことにより検討した。試験には母貝として 1 才貝（1 才区）、同系統の 2 才貝（2 才区 1）、および 1 才区と同種苗をさらに 1 年間飼育した 2 才貝（2 才区 2）を用いた。各試験区にそれぞれ 6.66、7.27 と 7.42 mm の核を施術して生残率、真珠の品質等を調査した。全区で毎年秋季に赤変病の発症とともに斃死がみられた。生残率は 1 才区が 2 才区 1 と 2 に比べて有意に高い値を示した。真珠の品質では 1 才区の真珠層の巻きが厚くて、商品率や無傷真珠の出現率が 2 才区 1 と 2 に比べ有意に高く、7 と 8 mm 真珠の単価は 1.3～3.4 倍高かった。そのため、1 才区の生産額は 2 才区 1 と 2 と比較して、それぞれ 2.6 倍と 1.9 倍高かった。以上の結果から、1 才貝を施術貝に用いることは、施術時に小さい核を使用するものの、生残率や真珠品質を向上させ、真珠養殖の生産性を高めると考えられた。また、今回の試験では、1 才貝養殖の生産額は、現在の 2 才貝養殖で行われている大きい核を用いて、短期間で単価が高い大珠真珠を生産する方法のそれを上回り、母貝管理を軽減することから、真珠養殖の経営改善に繋がると考えられた。

(c) 高品質な真珠を生産するピース貝の作出方法 優良ピース貝を生産する親貝選抜の指標として殻体真珠層 a 値の違いが、真珠の品質に及ぼす影響を検討した。そこで、親貝は和田（1969）および林（1999）に基づき、黄色系色素含量を少なくするために b 値を青色のマイナス域に設定し、a 値を赤色のプラス域 [a(+)] 群と緑色のマイナス域 [a(-)] 群の 2 群に選抜して、種苗を 2004 年 6 月に生産した。種苗は長崎水試前の漁場で飼育し、真珠層の a 値と b 値を 2004 年 11 月から 2006 年 12 月まで調査した。さらに、各種苗（1 才貝）の外套膜小片を用いた真珠生産試験を対馬市と鹿町町地先で行った。生産した種苗の a 値と b 値は、飼育日数の経過とともに低下した。b 値では差がなかったが、a 値では a(+)] 群が a(-)] 群に比べ終始高かった。2 群の真珠は商品率や巻きに差がなかった

が、a(+)群の色彩がa(-)群に比べて、品質が高い実体色のホワイト色と干渉色のピンク系の出現率が高まり、単価が高くなった。以上の結果から、既報(和田 1969, 林 1999)併せて、殻体真珠層のa値がプラス域の親貝を選抜することで、a値が高い種苗を生産し、白色系真珠で干渉色がピンク系の高品質真珠の出現率が増加すると考えられた。

本研究による高生残貝および優良ピース貝の親貝選抜法、1才貝に施術する方法および冬季低水温飼育法は、長崎県持続的眞珠養殖生産確保緊急対策協議会(2003年~2007年)を通して、県内の眞珠養殖業者や種苗生産施設に紹介した。同時に、親貝選抜法は長崎県眞珠組合あこや貝種苗センター(以後、種苗センターと略す)に2004年から技術移転を進めている。その結果、種苗センターでは種苗生産時に受精率や採苗率の向上、飼育期間の短縮がみられるなど、種苗生産の安定および効率化が図られている。さらに、生産した種苗は眞珠養殖業者に協力を依頼して、以下に示す実用レベルの眞珠生産試験を行った(試験1,2)。

試験 1. 本研究で開発した技術を使い生産した母貝とピース貝を併用した眞珠生産試験
試験では、種苗センターが高生残貝作出の技術を用いて生産した母貝(試験区)と、対照として同系統で同時期に生産した母貝(対照区)の各2万個体(2才貝)に、種苗センターが優良ピース貝作出の技術で生産したピース貝(1才貝)を7.27mmの核とともに施術し、2006年5月から2007年1月まで鹿町町地先で飼育した。その結果、試験区の生残率は、対照区より5%高く有意差が認められた。生産した眞珠では両区で商品率(25%)には差がみられなかったものの、試験区の眞珠は対照区より個数や眞珠径が大きかった。さらに、両区の8mm眞珠を2007年の九州合同入札会(第1回)に出品したところ、対照区の単価は平均単価の114%であったのに対して、試験区の眞珠は眞珠径が大きく干渉色やてり(小松 2006)が優れていたために単価が180%と著しく高く、その値は出品80点

中2番目に高かった。また、本ピース貝を用いて生産した両区の眞珠は、入札会関係者から白色系で赤みがあると高い評価を受けた。

試験 2. 本研究で開発した技術を使い生産したピース貝を1および2才貝に施術する眞珠生産試験
試験では、種苗センターが優良ピース貝作出の技術を用いて、生産したピース貝(1才貝)を同系統の1および2才貝(以下、それぞれ1才区および2才区と略す)に、それぞれ6.66mmおよび7.27mmの核を用いて各12.4万個体に施術し、2006年7月から2007年1月まで鹿町町地先で飼育した。その結果、1才区の生残率および眞珠の商品率は、2才区に比べて、それぞれ8%と10%高く有意差が認められた。また、1および2才区から生産した7および8mm眞珠の単価は、2006年長崎県眞珠組合入札会(第1回)の平均単価に対して、それぞれ101%、127%および102%、109%と高く、前回の入札会と同様に評価を受けた。特に、1才貝の8mm眞珠は巻が厚くて白色系で赤みがあり、単価は出品80点中2番目に高い評価を受けた。

その他に、種苗センターが本技術開発で生産したアコヤガイを1才貝で施術して生産した眞珠は、全国眞珠養殖漁業協同組合連合会が主催する2005年から2007年までの眞珠品評会に計9点が入賞し、特に2006年には最高位の農林水産大臣賞を2部門で受賞した。

最後に、1才貝に施術することは従来の2才貝(施術期間:4~8月の5ヶ月間)では斃死率の増加と養殖期間が短いために難しかった9月以降の施術が可能となる。すなわち、1才貝が小さいために施術できない5月までは従来の2才貝に施術し(4~5月)、6月以降は1才貝に施術することで(6~12月)、養殖貝の飼育数を増やすことなく眞珠生産量の増加が図られることが考えられる(Table 5-1)。現在、県内の眞珠業者の中には、1才貝と2才貝を併用して従来の施術期間より長い期間(4月から12月までの9ヶ月間)施術することで販売額が併用前の2倍以上に2年連続なり、経営の改善が認められている。

これらの結果から、冬季低水温飼育法および本研究で開発したアコヤガイとピース貝を1才貝で施術することは、生残率や高品質真珠の出現率が高まるとともに施術数が増大して真珠養殖の生産性が高まり、経営が改善すると考えられた。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、御指導および御校閲を行って頂いた愛媛大学南予水産研究センター教授 三浦 猛博士、同センター准教授 小林 亨博士、香川大学農学部准教授 大久保武博士、高知大学農学部名誉教授 細川秀毅博士、同農学部准教授 枝重圭祐博士に深謝する。また、本研究をまとめるにあたり、英文校閲を行って頂いた長崎大学大学院生産科学研究科准教授 Cyril Glenn Satuito 博士に心より厚くお礼申し上げます。

本研究を行うにあたり、多大なる御支援および有益な助言を頂いた対馬真珠養殖漁業協同組合代表理事組合長 平井善正氏、ならびに長崎県真珠養殖漁業協同組合代表理事組合長 藤田哲也氏、前組合長 平賀忠義氏に厚く感謝の意を表す。

生産した種苗の飼育試験や真珠生産試験等を行うにあたり、御支援を頂いた対馬および長崎県真珠養殖漁業協同組合の理事と組合員、ならびに対馬真珠養殖漁業協同組合青年部 平井正史氏に深謝申し上げます。

生産した真珠の品質を評価して頂いた匿名の2 真珠商社の方々、ならびに日本真珠輸出組合検定専門員 前川 薫氏に厚く感謝申し上げます。

調査を進めるにあたり労を惜しまず御協力を

頂いた対馬真珠養殖漁業協同組合参事 川上史子氏、同主任 中山茂人氏、同主任 小島拓郎氏と長崎県真珠養殖漁業協同組合参事 中村 修氏、同あこや貝種苗センター場長 山田英二氏、同係長 川口 健氏、ならびに対馬、五島および上五島の水産業普及指導センターの職員の皆様にお礼申し上げます。

本研究の機会を与えて頂くとともに終始御指導を下された長崎県総合水産試験場長 池田修二氏、前場長 濱口博彦氏、元場長 小坂安廣氏、種苗量産技術開発センター所長 藤井明彦博士、同センター介藻類科長 塚原淳一郎氏、研究を進めるにあたり御協力を頂いた介藻類科専門研究員 大橋智志博士、同科研究員 吉川壮太氏、ならびに壱岐支庁水産課係長 桐山隆哉博士に心からお礼申し上げます。

文 献

- アコヤ貝へい死要因に関する研究会：低水温飼育によるアコヤ貝感染症対策に関する研究. 全真連技術研報, 18, 1-25 (2004) .
- 赤松 蔚: 真珠の品質. カルチャー・パール, 真珠新聞社, 東京, pp.105-125 (2003) .
- 渥美貴史・増田 健: 閉鎖性海域の環境創生プロジェクト研究 適正養殖量把握のためのアコヤガイ成長モデルの開発—VI 平成 18 年冬季の低水温におけるアコヤガイのへい死聞き取り調査. 平成 18 年度三重県科学技術振興センター 水産技術センター事報, 89-91 (2007) .
- Carroll N.V., Longley R.W., and Roe J.H. : The determination of glycogen in liver and muscle by anthrone reagent. J.Biol.Chem., 220, 583-593 (1956) .
- 愛媛県水産試験場：赤変アコヤガイの低水温処

Table 5-1. The age of oysters used and month of the nucleus inserting operation of pearl culture industry in Nagasaki Prefecture

Month	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Age	1												2											
Usual method													→											
New method	→												→											

- 理実験. 平成10年度 真珠養殖業全国推進検討会報告書(平成11年3月), pp17-20 (1999).
 深浦雄一・糸山力男・北野 健・倉田清典・中野平二: 冬季低水温漁場を用いた赤変を伴うアコヤガイ大量へい死対策について. 熊本県水産研究センター研究報告, **5**, 35-38 (2002).
 船越将二: 血液によるアコヤガイ健康診断の試み 1. 研究のねらいと採血方法の検討. 全真連技術研究会報, **1**, 23-27 (1985).
 船越将二: アコヤガイ血清蛋白質量の季節変化. 全真連技術研究会報, **2**, 47-51 (1986).
 船越将二: アコヤガイの身入度低下に対する血清蛋白質量の診断指標の価値. 全真連技術研究会報, **3**, 37-44 (1987a).
 船越将二: アコヤガイ血清蛋白質量の年齢差および血清蛋白質量におよぼす低比重海水の影響. 全真連技術研究会報, **3**, 49-51 (1987b).
 林 政博: アコヤガイの殻体真珠層色の改良について. 全真連技術研究会報, **14**, 1-14 (1999).
 林 政博・青木秀夫: 真珠関係漁場等緊急調査-I 低水温処理による感染症の治癒効果に関する調査. 平成11年度三重県科学技術振興センター 水産技術センター事報, 15-17 (2000).
 林 政博・古賀史哉・岩城 豊・伊藤孝男・山本満彦・野村清孝・西川一生・竹内章浩・佐藤珠樹・平賀楠光・太田啓照: 外套膜の部位および左右の外套膜による巻きの差異. 全真連技術研究会報, **20**, 1-4 (2006).
 石村貞夫: 分散分析のはなし. 東京図書株式会社, 東京, 373 pp (2002).
 岩永俊介・四宮陽一・山口知也・河野啓介: アコヤガイの糖代謝酵素活性に及ぼす絶食の影響. 水産増殖, **45**, 339-344 (1997).
 岩永俊介・大橋智志・桐山隆哉・藤井明彦・池田義弘: 持続的真珠養殖生産確保緊急対策事業. 平成16年度 長崎水試事報, 109-111 (2005).
 岩永俊介・大橋智志・桐山隆哉・藤井明彦・池田義弘: 持続的真珠養殖生産確保緊急対策事業. 平成17年度 長崎水試事報, 97-98 (2006).
 岩永俊介・平井正史・細川秀毅: 1オアコヤガイを用いた施術員の生残率および真珠品質の向上. 水産増殖, **56**, 73-79 (2008a).
 岩永俊介・山田英二・川口 健・細川秀毅: アコヤガイ殻体真珠層のa値を指標としたピース生産用親貝の選抜. 水産増殖, **56**, 167-173 (2008b).
 岩永俊介・鈴木正昭・森 洋治・塚原淳一郎・細川秀毅: 長崎県におけるアコヤガイ母貝養殖場の冬季水温による感染症軽減効果. 水産増殖, **56**, 351-357 (2008c).
 岩永俊介・桑原浩一・細川秀毅: アコヤガイの血清タンパク質含量を指標とした優良親貝の選抜. 水産増殖, **56**, 453-461 (2008d).
 釜石 隆: アコヤガイ感染症の病原体の究明. 独立行政法人 水産総合研究センター 養殖研究所, pp1-126 (2005).
 小松 博: 真珠に現れる光の干渉現象(「てり」)の研究. (有)真珠科学研究所, 東京, pp1-43 (2006).
 黒川忠英・鈴木 徹・岡内正典・三輪 理・永井清仁・中村 弘二・本城凡夫・中島員洋・芦田勝朗・船越将二: 外套膜片移植および同居飼育によるアコヤガイ *Pinctada fucata martensii* の閉殻筋の赤変化を伴う疾病の人為的感染. 日本水誌, **65**, 241-251 (1999).
 松本聖治・木村武志・倉田清典: 高水温を用いたアコヤガイの選抜育種に関する研究. 熊本水研センター研報, **5**, 25-30 (2002).
 Miyazaki, T, K. Goto, T. Kobayashi, T. Kageyama and M. Miyata: Mass mortalities associated with a virus disease in Japanese pearl oysters *Pinctada fucata martensii*. Dis. Aquat. Org., **37**, 1-12(1999).
 森 洋治・松田正彦・桐山隆哉・藤井明彦: 真珠母貝養殖技術開発事業. 平成11年度長崎水試事業報告, 65-70 (2000).
 森実康男・滝本真一・西川 智・松山紀彦・蝶野一徳・植村作治郎・藤田慶之・山下浩史・川上秀昌・小泉喜嗣・内村祐之・市川 衛: 愛媛県宇和海における軟体部の赤変化を伴うアコヤガイの大量斃死. 魚病研究, **36**, 207-216 (2001).
 森実康男・山下浩史・藤田慶之・川上秀昌・越

- 智 脩・前野幸男・釜石 隆・伊東尚史・栗田潤・中島員洋・芦田勝朗：血リンパ接種による軟体部の赤変化を伴うアコヤガイ疾病の再現。魚病研究, **37**, 149-151 (2002)。
- 村主昭也・西村昭史・西村守央・関 政夫・柴原敬生・林 政博：アコヤガイ種苗生産技術研究。昭和 49 年度三重浜島水試年報, 54-64 (1976)。
- 村主昭也・柴原敬生・西村守央・林 政博・西村昭史：アコヤガイ種苗生産技術研究。昭和 51 年度三重浜島水試年報, 29-38 (1978)。
- 長崎県真珠養殖漁業協同組合：長崎県真珠養殖漁業協同組合史 第二巻。長崎, pp374-391 (2001)。
- 永井清仁・岡田昌樹・郷 譲治・瀬川 進・本城凡夫：感染症によるアコヤガイ大量へい死への対処Ⅱ 低水温漁場を用いた越冬効果の検証と再感染の影響について。真珠の雑誌, **55**, 1-61 (2002)。
- 永井清仁・岡田昌樹・郷 譲治：低水温漁場を用いたアコヤガイの病害被害軽減方策。日水誌, **70**, 674-677 (2004)。
- Nagai, K., J. Go, S. Segawa and T. Honjo : A measure to prevent relapse of reddening adductor disease in pearl oysters (*Pinctada fucata martensii*) by low-water-temperature culture management in wintering fisheries. *Aquaculture* , **262** , 192-201(2007)。
- 長崎農林水産統計協会：第 39 次 長崎農林水産統計年報, pp255 (1993)。
- 長崎農林水産統計協会：第 43 次 長崎農林水産統計年報, pp267 (1997)。
- 長崎農林水産統計協会：第 54 次 長崎農林水産統計年報, pp263 (2008)。
- 西川 智・滝本真一：アコヤガイの炭酸脱水酵素の貝体形成への関与。愛媛水試研報, **9**, 1-6 (2001)。
- 西村昭史・西村守央・関 政夫・柴原敬生・林政博・西村昭史：アコヤガイ種苗生産技術研究。昭和 50 年度三重浜島水試年報, 39-56 (1977)。
- 西村守央：アコヤガイ種苗生産における卵質評価について。水産増殖, **30**, 33-38 (1982)。
- 農林水産省統計情報部：平成 6 年 漁業・養殖業生産統計年報, pp226 (1996)。
- 農林水産省統計情報部：平成 7 年 漁業・養殖業生産統計年報, pp162-243 (1997)。
- 農林水産省統計情報部：平成 14 年 漁業・養殖業生産統計年報, pp210-287 (2004)。
- 農林水産省統計情報部：平成 16 年 漁業・養殖業生産統計年報, pp289 (2006)。
- Numaguchi, K. : Influences of Unfed Condition on the Mortality of Pearl Oyster *Pinctada fucata martensii*. *Fish Sci.*, **61**, 739-742 (1995)。
- 沼口勝之：植物性餌料の摂餌指標としてのアコヤガイ稚貝の消化盲嚢色素量。水産増殖, **49**, 317-322 (2001)。
- 岡本ちひろ・古丸 明・林 政博・磯和 潔：アコヤガイ *Pinctada fucata martensii* の閉殻力とへい死率および各部重量との関連。水産増殖, **54**, 293-299 (2006a)。
- 岡本ちひろ・古丸 明・林 政博・青木秀夫・磯和 潔：家系間におけるアコヤガイ *Pinctada fucata martensii* の閉殻力の差違。水産増殖, **54**, 525-529 (2006b)。
- 太田 繁・木村三郎・阪口清次・関 政夫・丹下 孚・山口 登：漁場。真珠養殖全書, 全国真珠養殖漁業協同組合連合会, 東京, pp.326-328 (1965)。
- 沢田保夫：真珠の色調に関する研究。国立真珠研究所報告, **8**, 913-919 (1962)。
- Shikata, T., S. Iwanaga and S. Shimeno : Effects of Dietary Glucose, Fructose, and Galactose on Hepatopancreatic Enzyme Activities and Body Composition in Carp. *Fisheries Sci.*, **60** , 613-617(1994)。
- Shimeno, S., D. Kheyyali, and M. Takeda : Metabolic Adaptation to Prolonged Starvation in Carp. *Nippon Suisan Gakkaishi* , **56**, 35-41 (1990)。
- 四宮陽一・岩永俊介・山口知也・河野啓介・内村祐之：アコヤガイの秋期のへい死とグリコーゲン含量および糖代謝酵素活性との関連性。水

- 産増殖, **45**, 47-53 (1997) .
- 四宮陽一・岩永俊介・山口知也・河野啓介: 養殖アコヤガイの糖代謝酵素活性および体成分の季節変化. 日水誌, **65**, 294-299 (1999) .
- 真珠新聞社: 巻頭特集 アコヤ真珠の販売不振, なぜ引き起こされたのか. 真珠年鑑 2004, 東京, 24-58 (2004) .
- 須賀壽雄: 第2節 人工採苗事業. 長崎県真珠養殖漁業協同組合史 第二巻, 長崎県真珠養殖漁業協同組合, 長崎, pp316-327 (2001) .
- Suzuki, S., M.Kamakura and R.Kusuda: Isolation of birnavirus from Japanese pearl oyster *Pinctada fucata martensii*. Fishries Sci., **64**, 342-343 (1998) .
- 東京税関: 特集 真珠の輸入. 東京税関, 東京, pp1-3 (2007) .
- 対馬真珠養殖漁業協同組合: 第45事業年度(平成17年度)業務報告書, pp20 (2006) .
- 内田 治: すぐわかる EXCEL による統計解析. 東京図書株式会社, 東京, pp1-209 (1999) .
- 内村祐之・阿部俊之助: 三倍体アコヤガイにおける真珠の真珠層の成長. 水産増殖, **43**, 483-489 (1995) .
- 内村祐之・兵藤勝也・森実庸男・藤田慶之・平田智法: 軟体部に赤変を伴う感染症におけるアコヤガイ, *Pinctada fucata martensii*, 血球の応答. 愛媛水試研報, **9**, 7-15 (2001) .
- 内村祐之: 耐病性アコヤガイの作出. 農林水産技術研究ジャーナル, **25**, 16-19 (2002) .
- 内村祐之・西川 智・浜田耕示・兵藤勝也・広瀬琢磨・石原浩二・杉本 学・中島伸佳: 感染症の症状を軽減した耐病性日本産アコヤガイ系統の開発. 水産育種, **34**, 91-97 (2005) .
- 和田克彦: 採卵成績の年変動などからみたアコヤガイの成熟と積算水温の関係. 国立真珠研報, **20**, 2244-2253 (1976) .
- 和田克彦: 水産無脊椎動物の育種研究の現状と展望. 動物遺伝育種研究 **33**, 27-38 (2005) .
- 和田浩爾: 真珠養殖過程におけるアコヤガイの生活活動の変化が真珠形成に及ぼす影響 I - 衰弱した貝での真珠形成. 国立真珠研究所報告, **5**, 381-394 (1959) .
- 和田浩爾: 真珠養殖過程におけるアコヤガイの生活活動の変化が真珠形成に及ぼす影響 II. 表面構造と光沢の季節的变化. 国立真珠研究所報告, **6**, 586-606 (1961) .
- 和田浩爾: 真珠形成機構の生鋷物学的研究. 国立真珠研究所報告, **8**, 948-1059 (1962) .
- 和田浩爾: 黄色真珠の生成に関する実験生物学的研究. 国立真珠研究所報告, **14**, 1765-1820 (1969) .
- 和田浩爾: 真珠袋の Ca 代謝機構と真珠の品質形成. 国立真珠研究所報告, **16**, 1949-2027 (1972) .
- 和田浩爾・船越將二・山際 優: しみ珠・黒珠・有機質真珠の生因と挿核月別出現率の変動要因. 全真連技術研究会報, **6**, 7-20 (1990) .
- 和田浩爾: 科学する真珠養殖-真珠養殖 Q&A. 真珠新聞社, 東京, 213 pp (1991) .
- 和田浩爾・船越將二・新谷啓代・山際 優: アコヤガイ生殖細胞の発達におよぼす冬期の漁場水温の影響について. 全真連技術研究会報, **8**, 1-12 (1992) .
- 和田浩爾・永井清仁・田口美香: アコヤウイラス(仮称)の垂直感染および水平感染に関する試験 - I. 全真連技術研究会報, **14**, 37-49 (1999a) .
- 和田浩爾: 真珠の科学, 真珠新聞社, 東京, pp1-292 (1999b) .
- 和田浩爾・山下吉宏・植村作治郎・蝶野一徳・田口美香: 日本種アコヤガイと中国種アコヤガイ×日本種アコヤガイ第1代交雑貝の生理生態に関する比較. 全真連技術研究会報, **16**, 1-18 (2002) .
- 米田義昭: 富栄養化関連物質の分析. 沿岸環境調査マニュアル II (水質・微生物篇), 恒星社厚生閣, 東京, 170 pp (1990) .

要 約

長崎県の真珠養殖は, 1986年~1995年には生産額が109億円~182億円となる重要な産業である。しかし, 1996年以降, 閉殻筋の赤変化

を特徴とする赤変病により、在来系アコヤガイの斃死率が増加している。その対策では南方系と在来系のアコヤガイとを交配した交雑貝が導入され、斃死軽減に一定の効果が認められている。しかし、交雑貝から生産された真珠は、在来系アコヤガイより高品質真珠の出現率が著しく低い。そのため、2006年の生産額は、赤変病以前10年間の平均値と比較し33.2%に低下した。このような状況より、養殖業者からは赤変病に対して耐性があり生残率が高い在来系アコヤガイによる養殖を強く望む声がある。そこで、真珠養殖経営の安定化を図ることを目的に、在来系アコヤガイの生残率の向上と真珠品質を高める技術開発を行った。

第1章では、赤変病に対して耐性を持ち生残率が高いアコヤガイを作出するため、親貝の選抜指標にアコヤガイで生理状態の指標とされる血清タンパク質含量を用いた。親貝は血清タンパク質含量の度数分布の高位10%（高含量群）と低位17～35%（低含量群）を選抜し、各種苗を生産した。高含量群の種苗は低含量群より、種苗生産で受精率や成長率が高く生産数が多かった。飼育試験では秋に両群で赤変個体が見られたが、高含量群で閉殻筋a値（赤変病の指標）は低くて生残率は有意に高く、成長率、血清タンパク質含量と真珠径は大きかった。さらに、実用レベルで本選抜法を検討するため、民間種苗生産施設の貝を用いて試験を行った。試験では血清タンパク質含量が7ヶ月間（3回測定）に亘って高い個体を選抜し、それを親貝として生産した種苗（試験区）と、従来の選抜法より生産した種苗（対照区）を比較した。試験区は対照区より、飼育試験で閉殻筋a値は低くて生残率が有意に高く、成長率、血清タンパク質含量と身入度が高かった。生産した真珠は対照区より、大珠真珠の出現率が高く生産額が1.12倍高かった。従って、血清タンパク質含量による親貝選抜は、種苗生産を効率化すると共に、成長や生残率の優れた種苗を生産するうえで有効であることがわかった。

第2章では、アコヤガイを冬季に13℃以下の

水温で2ヶ月間飼育することにより、その後の赤変病による斃死を軽減する効果があるとする知見から、冬季水温と赤変病の発症および斃死との関連性を検討した。試験では県内の水温帯が異なる7地区でアコヤガイを飼育し、赤変病が発症する秋に閉殻筋a値、生残率等を調査した。7地区の冬季水温は13℃以下の積算水温 $[LTI_{13} = \sum (13 - T_n), T_n < 13]$ で0～233.3℃・日となり、積算水温が高い地区ほど冬季飼育中の斃死率が高かったが、発症期には閉殻筋a値が低く、終了時の生残率が高かった。そこで、13℃以下の適正な飼育期間を検討した。その結果、13℃以下の積算水温で100℃・日群が対照群より、冬季飼育中の斃死率に差がなく、性成熟度やa値は低く、内臓部植物色素量（摂餌量の指標）や閉殻筋グリコーゲン含量が多くなり、終了時の生残率と全重量が有意に高かった。従って、長崎県でも冬季低水温飼育は赤変病を抑制する効果があることがわかった。低水温飼育期間では、13℃以下の積算水温で100℃・日飼育が生残率からみて効率的と考えられた。

第3章では、施術年齢の違いによる真珠養殖の生産性を比較した。試験には1才貝（1才区）、同系統で従来の施術年齢である2才貝（2才区1）、および1才区と同種苗をさらに1年間飼育した2才貝（2才区2）を用い、それぞれ6.66、7.27と7.42mmの核を施術して生残率、真珠の品質等を調査した。全区で毎年秋に赤変病の発症とともに斃死がみられた。生残率は1才区が2才区1と2より有意に高い値を示した。真珠品質では、1才区の真珠層の巻きが厚くて、商品率や無傷真珠の出現率が2才区1と2に比べ有意に高く、7と8mm真珠の単価は1.3～3.4倍高かった。そのため、1才区が生産額は2才区1と2と比較し、それぞれ2.6倍と1.9倍高かった。従って、通常より1年早い1才貝を施術貝に用いることは、施術時には小さい核を使用するものの、貝の育成期間を短縮し、生残率や真珠品質を向上させることから、真珠養殖の生産性を高めると考えられた。

第4章では、高品質真珠を生産するピース貝

を作出するため、親貝選抜の指標に殻体真珠層の a 値を用い、その差異が真珠の品質に及ぼす影響を検討した。親貝は色彩色差計を用いて、b 値を既存の知見に基づき青色のマイナス域で選抜した後、a 値で赤色のプラス域 [a(+)] 群と緑色のマイナス域 [a(-)] 群の 2 群に分け、各種苗を生産した。2 種苗の a 値と b 値は、飼育日数の経過とともに低下した。b 値では差がなく、a 値では a(+)] 群が a(-)] 群より終始高かった。生産したピース貝 (1 才貝) を用いた真珠生産試験では、a(+)] 群の色彩が a(-)] 群より、品質が高い実体色のホワイト色と干渉色のピンク系の出現率が有意に高く、単価が 1.38~1.52 倍高かった。従って、殻体真珠層の a 値がプラス域の親貝を選抜することで、高品質真珠の出現率が増加すると考えられた。

第 5 章では、本研究の結果から、日本系アコヤガイによる真珠養殖の生産性を向上する方法について総括した。生残率が高い在来系アコヤガイの作出では、血清タンパク質含量を親貝選抜の指標とすることで種苗生産の効率化が図られ、生産した種苗は生残率が高くなると考えられた。養殖方法では冬季低水温飼育法は本県でも赤変病に対し斃死軽減の効果が認められた。本県では 13℃以下の積算水温で 100℃・日飼育できる漁場は限られている。また、県内で使用されるピース貝は在来系アコヤガイで赤変病による斃死率が高い。そのため、ピース貝 (全養殖貝数の 1.3%) は養殖業者間で低水温飼育が可能な漁場に委託飼育することで、生残率が高まると考えられた。さらに、本親貝選抜により生産したアコヤガイとピース貝を 1 才貝で用いることは、生残率や高品質真珠の出現率が高まると伴いに貝の育成管理費が軽減され、真珠養殖の生産性が向上すると考えられた。現在、これらの方法は一部の種苗生産施設や養殖業者が導入し、生産した真珠は入札会や全国品評会で高い評価を受け、経営の改善が認められている。

Summary

In order to stabilize the management of pearl culture industry in Nagasaki Prefecture, methods to improve production efficiency were investigated in this study.

Firstly, the serum protein content of the Japanese pearl oyster *Pinctada fucata martensii*, an indicator of the selection of male and female parent oysters, was measured in 2002 and 2003, in order to develop a method of producing disease-resistant pearl oysters with high survival rates against the reddening adductor disease. The survival rate of 1-year-old oysters produced from parent oysters of the high content group was compared with those obtained from the low content group counterparts. The serum protein contents of parent oysters ranged from 0.53 to 1.62 mg/ml in 2002 and from 0.13 to 0.86 mg/ml in 2003. The high and low content groups were established from the higher 10% and the lower 17-35% oysters of the frequency histogram, respectively. The oysters obtained from the high content group showed high serum protein content and total body weight from autumn thereafter as compared to those of the low content group. At the end of the experiment, oysters obtained from the high content group were 5.0-20.4% higher in survival rates than those from the low content group. In addition, the survival rate of oysters produced from the high serum protein content group parents was compared with those obtained from the usual method group. Oysters obtained from the high serum protein content group showed 4.6-6.2% higher survival rates than those from the usual method group. Above results suggest that selection of parent oysters with high serum protein content can be effective in improving survival rate during seed production.

Secondly, in order to find out the effect of low water temperature treatment in reducing the reddening adductor disease caused mortality of the

Japanese pearl oyster in Nagasaki Prefecture, mortality and physiological traits were compared each month for one year between the different groups of oysters kept in various pearl farms where temperatures were below 13 °C during winter, whereas control animals were kept in a warmer area. As an indicator of low temperature burden, the low-water-temperature index [$LT_{13} = \Sigma(13 - T_n)$, $T_n < 13$] was calculated from the water temperature measured each day at 10 o'clock (am) for each group of oyster. As compared to control, the 100 degree-day group showed lower mortality, lower a-value (value obtained from the spectrophotometer and used as a color indicator for the reddening adductor), slower gonad maturation, higher glycogen content in the adductor muscle and higher phyto-pigment content in the digestive diverticula after wintering particularly from spring to autumn when the reddening adductor disease progressed. The high survival rate in the 100 degree-day group at the end of experiment may be attributed to the delayed onset of the reddening adductor disease which was a result of higher glycogen content, delayed maturation and increased food intake of the oysters.

Thirdly, to improve the management of pearl culture, the production efficiency of mother-shells of difference ages was examined in Tsushima Island, Nagasaki Prefecture from June 2004 to January 2006. The survival rate, quality, value of production and price of pearls produced from 1-year-old oysters inserted 6.66 mm nuclei (1-year-old group) were compared with those from 2-years-old oysters inserted 7.27 mm nuclei (2-years-old group 1) and 2-years-old oysters inserted 7.42 mm nuclei (2-years-old group 2). Oysters in the 2-years-old group 2 were from the same group as the 1-year-old group, but nuclei were inserted in June 2005. The survival rate of the 1-year-old group was 32.0 % and 12.7% higher than those of the 2-years-old groups 1 and 2, respectively. The nacre thickness

and ratios of faultlessness and commercially valuable pearls produced from the 1-year-old group were 1.6 times and 2.2 times, 12.3% and 13.7%, 21.9% and 20.0% higher than those from the 2-years-old groups 1 and 2, respectively. The prices of 7 and 8 mm commercial pearls from the 1-year-old group were 1.3-3.4 times higher than those from the 2-years-old groups 1 and 2. The value of commercial pearl produced from the 1-year-old group was 2.6 times and 1.9 times higher than those from the 2-years-old groups 1 and 2, respectively. Above results suggest that using 1-year-old oysters for operation in June can be effective in improving the production efficiency of pearl culture.

Finally, the a-value in the pearl layer of the pearl oyster, which is used as an indicator for selecting parent-shells, was measured by colorimetry method in June, 2004, and selected parent-shells were used in seed production. Seeds were then used in culture experiments at Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries from Nov. 2004 to Dec. 2006. The purpose was to establish a method of producing sacrificed pearl oysters for graft (piece oyster) that produce high-quality pearl. The a-values in pearl layers and pearl qualities produced from piece oysters with parents from the plus field a-value [a(+)] group were compared with those from the minus field a-value [a(-)] counterpart. The a-values in pearl layers of seeds produced from the a(+) group were higher than values obtained from those of the a(-) group. Rates of production of pearls with white object color and pink interference color were significantly higher in the a(+) groups than those in the a(-) groups. Commercial values of pearls produced from the a(+) groups were 1.38-1.52 times higher than those of pearls obtained from the a(-) groups. Above results suggest that the a-value in the pearl layer is an effective indicator and selecting parent oysters with plus field during seed production can result in improved pearl

quality.

From above results, selection of parent-shells for use as mother and piece oysters, and culturing oysters for 100 degree-day in a culture farm, where the temperature drops below 13 °C during winter,

can result in improved survival rate and pearl quality. Using 1-year-old oysters for the operation can be effective in improving the production efficiency of pearl culture.