

第4章 養殖イワガキの成長と成熟生態に関する研究

イワガキ *Crassostrea nippona* は日本を含む西部太平洋に分布する種であり、東南アジアでは近似種が食用とされている⁹⁵⁾。しかし、本種の養殖は、1970年代に秋田県で試みられたのみで²¹⁾、島根県で事業化されるまでは世界的にも例がなかった⁹⁵⁾。

本種の養殖は天然の種苗が入手できないため、人工種苗生産により稚貝を供給する必要があったことから、勢村⁹⁶⁾は人工種苗生産と幼生の外部形態の観察を行ない、中上ら²²⁾は人工種苗生産した種苗の養殖試験を行い、事業化が可能であることを報告した。また、本種と同様な外洋性二枚貝のイタヤガイについて、人工種苗生産の安定のためには、幼生飼育水中の微生物相の変動を制御することが必要とされたが⁹⁷⁾、佐藤ら⁸⁷⁾は、微細藻類の真正眼点藻類の1種である *Nannochloropsis* sp. の培養液をイワガキ幼生の飼育水中に添加することで制御が可能であることを見いだした。その後、*Nannochloropsis* sp. の培養液を培養細胞ごと飼育水に添加し、種苗生産を安定させることが可能となった⁹⁸⁾ことで、種苗生産数は安定している。

本章では、まず養殖イワガキの成長と形態変化を観察することにより、養殖イワガキと天然イワガキの成長パターンの差を検討するとともに、イワガキの成長を解析するための実用的な測定部位の抽出を検討した。また、天然採苗を可能とするための母貝集団の造成や養殖に不向きな地域での天然資源の維持・増大のためには、資源管理が必要であるため、その基礎的知見を得ることを目的に、イワガキの最初の成熟過程を観察した。

1 垂下養殖イワガキの成長

カキ類の外部形態は付着場所、潮流、濁り、水温などの生息環境により相違することが知られている⁹⁹⁾。そこで、カキ類の成長の指標となる形質の把握が試みられ、Loosanoff & Nomejko¹⁰⁰⁾はバージニアガキ *Crassostrea virginica* の殻高、殻長、殻幅、全容積の増加率と水温の変動との関係を観察することにより、全容積の変化が水温変化と最も相関が高いと報告した。また、Bulter¹⁰¹⁾も、バージニアガキの成長の観察には、殻高より容積の測定がより適切であると報告した。従って、カキ類の成長を表す

には、容積が最も適切な指標であると考えられている。しかし、それらの報告以降、容積がカキ類の成長の指標として積極的に採用されることはなく、依然として殻高が用いられている^{102, 103)}。イワガキも他のカキ類と同様、生息場所や密度などにより外部形態が変異するため、生息環境が成長に与える影響を観察、比較しようとした場合、成長を良く反映し、かつ測定が容易な形質を把握する必要がある。このような場合、できるだけ均一な条件下で生育する個体の成長を追跡することが望ましいが、自然状態では非常に困難である。

そこで、本節では、養殖という人工管理下で育成されたイワガキを用いて、その成長を明らかにした。また、得られた知見を基にして、イワガキの成長を解析するための実用的な測定部位の抽出を検討した。

1.1 材料および方法

イワガキの標本は、島根県隠岐島、島前湾に養殖場をもつ中上養殖場 (Fig. IV-1-1) で、1994年8月に生殖巣を切開法により採卵し、*Pavlova lutheri*、*Chaetoceros gracilis* を投餌しながら約50日間室内飼育した後、殻高約2mmでネットをかぶせて1.5cmまで海中垂下後、ネットを外し間隔を広げて垂下養成されている個体を用いた。

これらの個体が垂下されている水深は5~7mであり、このうちヒオウギガイ *Chlamys nobilis* の殻に20個体前後付着した群を用い、殻が極端に曲がっていない個体の中から無作為に30個体を抽出した。測定は1995年5月(付着後8ヶ月)から1996年7月(付着後1年10ヶ月)まで、原則として月1回行なった。測定項目として全高(左殻高)、殻高(右殻高)、殻長、殻幅、全重量、左および右殻重量、軟体部重量、閉殻筋重量、全容積、殻容積、内容積を選んだ。それらのうち、1995年9月(付着後12ヶ月目)から1996年7月(付着後22ヶ月目)まで、性判定できる個体について殻高、全重量、全容積を雌雄間で比較した。Fig. IV-1-2に示すように全高は、左殻の殻頂から一番遠い周縁部までの直線距離、殻高は右殻の蝶番先端部より一番遠い周縁部までの直線距離、殻長は殻の前後周縁部の接線を取り、その最も長い部分の直線距離、殻幅は咬線に直角に一番

広い幅の直線距離とし、ノギスを用いて0.1mm単位まで測定した。

全重量、左及び右殻重量、軟体部重量、閉殻筋重量は、殻上の付着物をできるだけ取り除いた後、電子天秤をいて0.1gまで測定した。全容積、殻容積は、上皿式電子天秤上に、淡水を入れた2Lビーカーを置き、貝や殻を容器に触れないように水中に沈下させ、重量の増加分を容積とした。内容積は全容積から殻容積を引いた値とした。なお、これらの測定値は同一の母集団から得られた値であるので、これらの季節変化は成長と見なすことができる。成長を細胞数の増加およびその容積の増大と見なした場合¹⁰⁴⁾、全容積は成長の最も良い指標とみなすことができる。またShumway¹⁰⁵⁾は、バージニアガキの成長を表すには、殻高を用いるより全容積を用いた方がより適切に評価できるとしている。しかし、この全容積といえども成長の一面を示すに過ぎず、測定するためには極めて時間がかかり不便である。特に現場などでは時には測定不可能な場合もある。そこで、より実用的で簡便な測定部位をみるために、一般的に良い成長の指標とされる全容積と各測定部位との回帰関係を調べ、全容積に代わる測定部位を推定した。なお、回帰分析は、全測定期間に得られた標本個体のうち、全項目が測定できた244個体の資料をもちいて単回帰分析した。

現場の水温測定は、自記水時計(New-RMT5221:離合社製)を養殖場の水深5mの定点に設置して10分間隔で測定した。

1.2 結果

1.2.1 水温の変動

養殖場所の水温の変動をFig. IV-1-3に示す。イワガキが垂下養殖されている水深5mの午前10時の水温は、1995年8月中旬から下旬にかけて25℃を超え、最高で27.5℃に達した後下降し始めた。11月上旬には20℃以下、12月下旬には15℃以下となり、1996年2月上旬から3月下旬には最低水温期となった。この期間は、ほとんど11℃台であったが、まれにそれ以下となり、最低値は、2月下旬の10.9℃であった。4月に入ると再び水温の上昇が始まり、5月中旬には15℃以上、6月下旬には20℃以上となった。

1.2.2 雌雄による成長差

イワガキの雌雄による成長差を見るために、1995

年9月から1996年7月にかけて測定した殻高、全重量、全容積の3項目の月別変化を雌雄別に、9～11月、12～4月、5～7月の3期に区分し、各々の平均値または中央値が等しいかどうかの検定を行った。Fig. IV-1-4に示すように、いずれの測定項目においても月ごとの雌雄に有意な差は認められなかった(t検定： $p > 0.05$)。したがって、以後に行なった全ての測定項目についての解析では、雌雄の区別を行わなかった。

1.2.3 各部の長さの変化

各部の長さの変化をFig. IV-1-5に示す。各部の長さは、全高が最も長く、次いで殻高、殻長、殻幅の順で短くなった。全高と殻高は、付着後10ヶ月まではほとんど同様な長さであったが、それ以降全高が殻高を上回った。各部の伸長度合いは、1995年11月、12月と1996年4月、6月、7月に停滞する傾向があるものの、ほぼ直線的に伸び、季節による明確な差異は見いだせなかった。殻高は、観察を開始した1995年5月(付着後8ヶ月目)では平均34.5mmであったが、8月(付着後11ヶ月目)では52.2mm、11月(付着後14ヶ月目)では75.2mmとなった。その後12月まで1ヶ月程度成長が停滞したが、翌年2月(付着後17ヶ月目)には94.8mmに伸長した。それ以降3月、4月の2ヶ月間は伸長せず、5月(付着後20ヶ月目)に106.2mmまで伸長した後停滞した。すなわち殻高は、ふ化後約1年目の1995年8月では平均52.2mmであったが、約2年目の1996年7月では106.2mmとほぼ2倍に伸長した。全高、殻長、殻幅とも、殻高とほぼ同様な変化が観察されたが、変動の幅が殻高と異なる点、2月から4月にかけての増加が観察された点で異なった。また、ふ化後約1年目と2年目では、全高は、それぞれ55mm、112.4mm、殻長はそれぞれ44.2mm、87.3mm、殻幅はそれぞれ19.7mm、39.3mmであり、殻高と同様、2倍前後の成長を示した。

1.2.4 各部の重量の変化

各部の重量の変化をFig. IV-1-6に示す。各部の重量は、全重量が最も大きく、次いで左殻重量、右殻重量、軟体部重量の順で小さくなった。軟体部重量と右殻重量は1995年11月(付着後14ヶ月目)までは右殻重量がわずかに軟体部重量を上回る程度であった。左殻重量は全重量の38～52%を占め、ほとんどの月で40%以上であった。全重量は1995

年6月(付着後9ヶ月目)には平均9.7gであったが、その後急速に増加し、7月には23.6g、8月(付着後11ヶ月目)には25.6gとなった。それ以降は増重割合が低くなり、11月から12月にかけては若干減少した。しかし、全重量は12月から翌年2月(付着後17ヶ月目)にかけて再び急速に増加し、118.5gになった。その後も全重量は増加を続け、4月から5月にかけても再び急速な増重がみられた。5月以降は平均183.9gから197.9gとなり増重は停滞した。軟体部重量は全重量ほど変動が著しくなかったものの、変化の様子はほぼ同様であった。しかし、軟体部重量が全重量に占める割合は約20%以上であり大きくは変動しなかったが、1995年7月と翌年2、3月にはそれ以下となった。特に2、3月の場合には、前々月の12月から軟体部重量の割合が減少し始め、2月に15%と最低になった後再び値が上昇した。一方、左、右殻重量は、11月から12月にかけての重量の減少が観察されなかった点で、全重量および軟体部重量とは傾向は異なっていたが、全重量および軟体部重量が増加する3月から4月にかけて殻重量は一次停滞ないし減少した。

1.2.5 各部の容積の変化

各部の容積の変化をFig. IV-1-7に示す。各部の容積のうち、全容積が最も値が大きく殻容積がそれに次いだ。全容積は、1995年5月(付着後8ヶ月目)には平均5.4cm³であったが、7、8月までに急速に増加し、8月(付着後11ヶ月目)に19cm³となった後12月までやや停滞した。しかし、翌年2月までに約2倍に増え、その後4月まで緩やかに増加した後5月にかけて再び大きく増加し、7月(付着後22ヶ月目)には平均126.9cm³となった。内容積も全容積と同様な傾向を示し、5月の平均2.1cm³から翌年7月には平均53.1cm³となった。一方、殻容積は、全容積や内容積のように11月から12月にかけて平均値が下がることはなかった。しかし、翌年2月から4月にかけて殻容積は若干ではあるが減少した。その他は全容積や内容積と同様の傾向であり、5月の平均3.3cm³から翌年7月には平均73.8cm³となった。

1.2.6 全容積と各形質間との回帰関係

全容積と各形質間の回帰分析結果をTable IV-1-1に示した。なお、表の回帰係数および回帰定数は、それぞれ危険率1%となり有意であった。全容積と

各形質間の決定係数は、全容積と閉殻筋重量を除く各部重量、および全容積と各部容積の間で高く、全容積と各部の長さの間では低かった。最も決定係数が高かった形質は全重量であり、殻容積と左殻重量がそれに次いだ。また、長さのうち最も決定係数が高かった部位は、殻高であった。

1.3 考察

山田¹⁰⁶⁾は天然におけるイワガキの成長を鳥取県沿岸水深15mから20mのブロック上の群で観察し、それらの成長は、見かけ上水温と相関し、8月から11月の高水温時には大きく、11月から7月の低水温時には停滞すると報告している。隠岐島の養殖イワガキの場合、おおまかにみれば、1995年11月(付着後14ヶ月目)までは各部の伸長、増加の度合いが一定であるが、その後12月の測定結果では停滞するか、または若干減少していた。さらにその後、急激に伸長、増加する時期(1995年12月から1996年2月、および1996年4月から5月)と、停滞ないし緩やかに増加する時期(1996年2月から4月および5月から7月)が交互に観察された。この停滞ないし緩やかに増加する時期のうち、11月から12月の間と、翌年4月から5月にかけての時期は、貝の生殖物質の放出後および生殖巣が急激に発達する時期に当たる(勢村他、未発表)。また、2月~4月の間は養殖場付近の水温が最低となる期間であることから、これらの成長の停滞は、貝の生殖物質の放出、栄養細胞の貯蔵ならびに低水温によるものと考えられる。一方、調査年は異なるが、良い成長を示す時期では2月に湾内でクロロフィルの増加¹⁰⁷⁾や、5月に透明度の低下¹⁰⁸⁾が観察されていることから、養殖場付近の餌料が増加した時期と推定される。各部位の成長を細かく見ると、成長の様子が少しずつ異なる時期がみられた。1996年2月から4月にかけて、各部位の長さの測定では、殻高は停滞するものの他の部位は伸長していたことから総体的に殻は伸長していることを示している。また、全重量、全容積および内容積も同様に漸増したが、殻重量および殻容積は同時期に停滞ないし減少した。さらに軟体部重量が全重量に占める割合は、2月に最低となった。これらのことよりこの時期は、軟体部の増加に先立ち内容積が増加する時期であったと考えられる。

近縁種のマガキの場合、殻の成長は水温に大きく影響を受け、一般に春から夏の水温の高い時期に顕

著な成長を示し、冬季には停滞する¹⁰⁹⁾。しかし、富栄養の養殖域では成熟、放卵、放精期を通じて肉重量を増しながら、放卵、放精に引き続いて急激な身入りと重量の増加が認められ、周年成長が持続することが観察されている¹⁰³⁾。これより、養殖イワガキの成長も、基本的にはマガキと同様な要因に影響されていると考えられる。今後再生産に伴う生理状態、生息水温、および餌料の質と量といった要因と成長との詳細な関係把握が望まれる。

イワガキの年齢と成長は山形県¹¹⁰⁾および鳥取県¹⁰⁶⁾で、いずれも人為的に沈設されたブロック上のイワガキについて調査されており、山形県では10月から11月時点で0+：殻高5mm, 1+：15～25 mm, 2+：45mm, 3+：65～75mm, 鳥取県では3+：108 mm-200g, 4+：135mm-375g, 5+：142 mm-517gと推定している。養殖イワガキでは、ほぼ満1歳（付着後11ヶ月目）では平均殻高52.2mm, 全重量25.6g, ほぼ満2歳（付着後22ヶ月）で平均殻高106.2mm, 全重量183.9gとなり、山形県の約2倍、鳥取県の約1.5倍の成長を示した。一方、全重量に占める軟体部重量の比率も養殖イワガキでは天然イワガキより倍近く大きいことが知られている²²⁾。その一因として海底に近い場所に付着し、飛砂など餌料の取り込みを阻害する要因が多い天然イワガキに比べて、養殖イワガキは、時化の影響を受け難く、餌料の取り込みが持続するなど餌料の取り込み環境の相違が考えられる。

以上の養殖イワガキの成長に対して、近緑な養殖マガキの成長は、三重県の矢湾で、付着後4ヶ月から5ヶ月目（12月）には平均殻高1cm前後であるが、翌年春から成長が良くなり、付着後8ヶ月目（3月）には4cm, 11ヶ月目（6月）には6.5cm, 20ヶ月目（翌年3月）には10cmに達するとされている¹⁰²⁾。また、本研究に用いたイワガキ養殖場に近い、隠岐島海士町北部湾に昭和31年から32年にかけて宮城県産マガキ種苗を試験養殖したところ、付着後15ヶ月目には平均殻高8.6cm, 20ヶ月目には11.3cmに成長しており^{111, 112)}、的矢湾での成長とほぼ同様であることを示している。したがって、イワガキの成長は、付着後満1年まではマガキに劣るが、それ以降はほぼ同様な成長を示すと考えられる。

本種の成長を良く反映し、かつ測定が容易な形質を抽出するために、養殖イワガキの全容積を基準とし、各測定部位との回帰関係を検討した結果、全容積に次ぐ測定部位として容積測定より簡便な全重量

や左殻重量を測定する方法が適していると考えられる。重量は、漁獲量を漁獲個体数に換算する際に重要な資料であるため、標本の剥離や解剖が可能であればこれらの重量の測定が必須である。しかしながら、限られた時間内で大量の標本処理が要求された場合や、現場の調査などで標本を剥離できない場合などを考えると、重量や容積などに比べて長さを測定するメリットは極めて大きい。各部位の長さのうち殻高は最も決定係数の値が高く、他の容積や重量に比べても決定係数の値が大きく異なることはなかった。したがって、上記のような場合には測定部位として殻高を測定することがイワガキの成長を定量化するために最も実用的である。

2 養殖イワガキにおける最初の成熟過程

イワガキは、近年になり広く認知されてきたことから、全国で漁獲や養殖が盛んになり地域ブランド化も進んでいる^{20, 22, 113, 114)}。しかし、その生物学的知見や研究は養殖の歴史が古いマガキに比べると著しく少ない。特に成熟・産卵については、秋田県¹¹⁵⁾、鳥取県¹¹⁶⁾、京都府¹¹⁷⁾の公設試験研究機関の調査報告等に報告されているが、漁獲サイズに達した個体についての記載があるのみである。一方、漁獲サイズに達していない個体についての報告は、産卵開始年齢や大きさに関する情報が水産学上や海洋資源を管理する上で極めて重要であり、イワガキ生産においても規模拡大や安定で持続的な生産を行う上で不可欠な情報である。しかしながら、漁獲サイズに達していない個体についての知見は松浦・森²⁰⁾による、殻高50mm程度で産卵するとの報告があるのみである。

そこで本節では、養殖イワガキの成熟過程を明らかにするために、島根県隠岐島で養殖されているイワガキを用いて、ふ化後から最初に成熟するまでの5月から12月の8ヶ月間における生殖巣の発達過程を検討し、その結果、生殖巣の発達開始時期、性成熟に達するサイズ、また放卵・放精時期について得られた知見を述べる。

2.1 材料および方法

イワガキは、島根県隠岐島浦郷湾の中上養殖場で1994年8月に切開法により採卵し、人工的に浮遊幼生を飼育してヒオウギガイ殻の基盤に付着した稚貝を、Fig. IV-2-1に示す海域の水深5～7mに垂下

養成したものである。このうち1枚あたり20個体前後の稚貝が付着している基盤を1995年5月から12月の8ヶ月の間、毎月2枚を抽出して付着しているイワガキ0歳貝のうち殻の曲がりなどの異常の少ない19～28個体を選択して測定に用いた。

水温は、1995年5月1日から7月31日までは、イワガキの養成場所から北に約2.5km離れた島根県水産技術センター栽培漁業部の取水口（水深10m）から汲み上げられた午前10時の海水温度を測定した。次に、8月1日から12月31日までの水温は、養殖場所の水深5mに自記水温計（New-RMT5221：離合社製）を設置して10分間隔で測定した水温のうち、午前10時の水温を用いた。なお、5月1日から7月31日までの水温は実際に養殖していた場所での水温とは異なるが、1996年¹⁰⁸⁾および1997年¹¹⁸⁾に行った浦郷湾の水温鉛直分布観測結果によれば4月から8月にかけての当該2点間の水温差は1℃未満であったことから、1995年についても同様な傾向であったと推定し、本研究の結果の説明や考察に用いても問題がないと判定した。

イワガキの標本は、生鮮状態で殻高、軟体部中央部横断面の短径と同一断面の消化盲嚢の短径をノギスで0.1mm単位まで測定した。生殖巣指数は、次式を用いて算出した。

$$(A-B) \div A \times 100$$

A：軟体部中央横断面の短径

B：消化盲嚢の短径

測定した軟体部は、余分な水分を除き、重量は電子天秤を用いて0.1g単位まで測定した後、生殖巣の一部を10%中性ホルマリン液で固定した。固定した生殖巣の一部を組織学的観察のために常法どおりパラフィン包埋したのち、厚さ5～8μmの切片を作製し、デラフィールドのヘマトキシリン・エオシン二重染色を施して検鏡した。

生殖巣の発達過程は道家ら¹¹⁷⁾に従い、(1) 発達期、(2) 成熟期、(3) 放出期、(4) 再吸収期、(5) 休止期の5段階に区分した。すなわち、(1) 発達期は生殖巣間質結合組織中の二次濾胞内で卵および精子の形成が盛んに行われており、濾胞そのものも増大する時期、(2) 成熟期は雌の卵巣内には十分成長した第一次卵母細胞が、雄の精巣内にはすでに変態を終了した精子が充満している時期、(3) 放出期は卵あるいは精子の放出により生殖巣間質結合組織中

に空隙が生じる時期、(4) 再吸収期は放卵放精後に濾胞の収縮と残存する生殖細胞の再吸収が行われる時期、(5) 休止期は生殖細胞が活動を休止し、濾胞は退縮し、組織学的にも雌雄を判別することは困難な時期として区別した。

2.2 結果

2.2.1 水温の変動

水温の変化はFig. IV-2-2に示す。水温は5月中旬まで15℃台であったが、6月下旬に19℃、7月下旬に23℃をそれぞれ超え、8月上旬から9月上旬には25℃を超えて最高27.6℃を示した。その後9月中旬に23℃台まで急速に下降し、一時停滞したが、10月下旬には21℃前後に下降し、12月末には14℃以下となった。なお、1995年の海水変動の状況について、気象庁ホームページに示されている、1995年5月から12月にかけての日本海月平均海面水温の年差の水平分布によれば、隠岐島周辺では8月は0から0.5℃と年並みかやや高い水温であったが、そのほかの月はいずれも0からマイナスの値であり、年をやや下回っていた。

2.2.2 イワガキの成長

イワガキの平均殻高の変化をFig. IV-2-3に、平均軟体部重量の変化をFig. IV-2-4に示す。まず、平均殻高は5月の34.5mmから増加し、7月から8月にかけてやや停滞がみられた。しかし、平均殻高は8月に52.2mmに達し、11月以降では70mmを越えた。その後12月までは成長が見られなかった。次にイワガキの平均軟体部重量は、5月に1.1gであったものが8月には6.2gとなり、10月以降には10gを越えた。

2.2.3 生殖巣の成熟段階の推移

成熟段階の変化をFig. IV-2-5に示す。5月には雌雄の判別が困難な休止期の個体が24%、発達期の個体が76%を占めた。6月には発達期の個体は80%に増加し、休止期の個体は10%に減少した。また、成熟期の個体が10%出現した。7月には発達期の個体は68%に減少し始め、成熟期の個体が32%に増加した。8月には発達期の個体は7%となり、成熟期の個体が93%に急増した。9月には成熟期の個体が11%に急減し、放出期の個体が83%に急増し、再吸収期の個体も6%観察された。10月から11月にかけて放出期の個体の割合は減少し、再

吸収期の個体の割合が増加した。12月には再吸収期の個体は11月より減少し、代わって休止期の個体が33%出現した。

また、雌雄の判別が困難な休止期の個体が多かった5月と12月を除いた雌雄別の成熟段階の変化をFig. IV-2-6に示した。成熟の進行は雌より雄の方が早い傾向が見られる。すなわち、6月に雌では発達期の個体のみ出現し、雄では成熟期の個体が出現した。また、9月には雌では成熟期と放出期の個体が出現し、雄では再吸収期の個体の出現が観察された。

2.2.4 生殖巣指数の推移

平均生殖巣指数の変化と休止期で雌雄の判別が困難な個体を除いた雌雄別の平均生殖巣指数の変化をFig. IV-2-7に示す。平均生殖巣指数は、5月に2.8であったが、6月に14.9に上昇し、7月に40.0、8月に51.9と急激に上昇した。その後、9月には40.9まで下降し、10月から11月に29.8～28.8と横ばいとなった後12月に19.4まで再度下降した。また、雄の平均生殖巣指数は、生殖巣が発達を始める時期には雌より上昇度合いが大きく、また放出後再吸収が始まる10月以降の下降度合いは小さい傾向を示した。

2.2.5 雌雄の比率の推移

Fig. IV-2-8に雌雄の割合の推移を示す。5月には雌雄の判別が困難な個体が24%を占めたが、6月にはほとんどの個体で、7月以降はすべての個体で雌雄の判別が可能となった。しかし、12月には再び雌雄の判別が困難な個体が33%出現した。

5月、6月および12月の雌雄判別が困難な個体が出現した時期を除くと、観察期間を通じて雌の個体が全標本に占める割合は28%から55%と雄の個体より少ない傾向が見られたが、検定の結果10月を除いて有意な差は認められなかった。また、6月には組織学的に雌雄同体と考えられる個体が1個体出現した。

2.3 考察

2.3.1 成熟サイズ

松浦・森²⁰⁾は、「殻高5cm程度の小さな1年貝でも性成熟する。」としているが、具体的なデータは示されていない。本研究によれば、組織学的に成熟期の個体の割合が最も高かったふ化後、満1歳となる8月のイワガキの平均殻高は52.2mmと松浦・森

²⁰⁾らの報告と一致した。成熟期に達していると判定される最も小さい個体は雄で殻高35.8mm、雌で43mmであった。一方、天然ではイワガキの成長はその場の環境により異なるため、成熟、産卵が開始される年齢は、本研究の結果と異なるものと考えられる。例えば、山形県沿岸のコンクリートブロック上に付着したイワガキでは、2歳で殻高45mm、3歳で殻高65～75mmに成長するとの報告があり¹¹⁰⁾、本試験の結果と相関させると成熟、産卵の開始は2歳以降となると考えられる。

2.3.2 生殖巣の発達開始時期

漁獲サイズのイワガキの生殖巣の発達について、秋田県男鹿半島では水温9℃前後になると生殖細胞の増殖、発達が始まり、5月中旬にはすべて発達期となるとの報告がある¹¹⁵⁾。また、鳥取県沿岸では水深12mのイワガキ個体群の生殖巣の発達を観察した結果、4月には雌雄とも発達期となり、5月には成熟期に近くなるとの報告もある¹¹⁶⁾。京都府は若狭湾西部海域のイワガキ個体群の生殖周期の観察結果から、水温10℃から25℃に上昇する時期が発達期、25℃から28℃が成熟期を示し、3月から5月には発達期の個体のみ見られ、6月には成熟期の個体も見られたと報告している¹¹⁷⁾。

一方、本研究の結果から、発達期と考えられる水温15℃の5月にふ化後1年未満のイワガキ0歳貝では、休止期の個体と発達期の個体が併存したことから、漁獲サイズの個体に比べて生殖巣の発達が開始される時期が遅れると考えられる。この原因として、個体の成長度合いが生殖巣の発達度合いに影響するのではないかと考え、5月の休止期の個体と発達期の個体の殻高、軟体部重量を比較した。しかし、休止期および発達期の個体とも平均殻高は34.5mm、平均軟体部重量は1.1gであり、検定したところ危険率5%で平均の差がなく、個体の成長度合いが生殖巣の発達度合いに影響を及ぼしているとは考えられなかった。また、発達期の個体の生殖巣の状態は、組織学的にみて初期および中期と考えられる個体の割合がほぼ同程度であったことから、殻高35mm程度で生殖巣の発達が始まり、休止期と発達期が混在するのは個体差により発達時期が若干異なるためと考えられる。

2.3.3 雌雄の出現比率

本研究の結果、雌雄同体の個体が確認され、10

月には雌雄の比率の偏りが認められた。マガキでは性転換や、時期や場所による雌雄の比率に偏りがあることが古くから確認されており^{119,120)}、その原因として遺伝的要因と環境的要因の相互作用によると考えられているが、詳細は解明されていない¹²¹⁾。イワガキでもマガキと同様な現象が起こっていると考えられるが、本研究からは原因を特定することはできなかった。

2.3.4 放卵・放精時期

イワガキの放卵・放精時期は、秋田県男鹿半島では海水温が最高の26°Cになる7月下旬から8月上旬に始まり、水温が20°C以下となる10月中旬に終了する¹¹⁵⁾。一方、鳥取沿岸では水温が25°C前後になる7月上旬頃から放卵・放精が始まり、水温が下がり始める9月上旬までの間に起こると推測されている¹¹⁶⁾。さらに、京都府は海水温が最高になった時期から25°Cまで下がる8月から10月までが放卵・放精期であるとしている¹¹⁷⁾。本研究では、生殖巣指数が8月に最高値を示した後9月に低下した。組織学的な成熟段階は、8月に成熟期の個体が90%を超えた後、9月には放出期の個体が大部分を占めたことから、群としての産卵は8月から9月にかけて行われたと考えられた。この間、水温は8月上旬に25°Cを超え、下旬に水温の最高値である27.6°Cを示した後、9月上旬に25°C以下に下った。この結果は、海水温が最高に達したあとに水温の下がる時期に放卵・放精が起こるという上記の報告と一致した。しかし、7月には雌雄とも外部刺激により放卵・放精が起こるとされる成熟期の個体が出現しているため、7月以降には水温変動や波浪などの外部刺激により散発的に放卵・放精が起こっている可能性があると考えられる。

3 まとめ

人工種苗生産イワガキのふ化後の平均殻高、平均全重量、平均全容積は、12ヶ月後にそれぞれ52.2mm、25.6g、19cm³に、23ヶ月後には106.2mm、183.9g、126.9cm³に達した。この成長は鳥取県の天

然イワガキの約1.5倍の早さである。イワガキの成長は、放卵・放精や生殖巣の発達、低温や植物プランクトン量から推定された利用可能な餌料の影響を受けたと考えられた。

イワガキの成長を良く反映し、かつ測定が容易な形質を抽出するために、養殖イワガキの全容積を基準とし、各測定部位との回帰関係を検討した結果、全容積に次ぐ測定部位として容積測定より簡便な全重量や左殻重量を測定する方法が適していると考えられる。重量は、漁獲量を漁獲個体数に換算する際に重要な資料であるため、標本の剥離や解剖が可能であればこれらの重量の測定が必須である。しかしながら、限られた時間内で大量の標本処理が要求された場合や、現場の調査などで標本を剥離できない場合などを考えると、重量や容積などに比べて長さを測定するメリットは極めて大きい。各部位の長さのうち殻高は最も決定係数の値が高く、他の容積や重量に比べても決定係数の値が大きく異なることはなかった。したがって、上記のような場合には測定部位として殻高を測定することがイワガキの成長を定量化するために最も実用的である。

また、隠岐島浦郷湾で垂下養殖されたイワガキを対象とし、最初の成熟過程を、1995年5月から12月にかけて、0歳貝の殻高、生殖巣指数および組織学的成熟段階の推移を観察した。その結果、生殖巣の発達開始時期は、従来報告されている漁獲サイズのイワガキの発達開始時期より遅れるものの殻高50mm程度で性成熟に達し、放卵・放精時期は漁獲サイズのイワガキと同様に最高水温期からの下降期であることが分かった。

結論として、人工種苗生産したイワガキは23ヶ月後には平均全重量が183.9gに達し、一部は商品として出荷可能となることが確認された。また、養殖場所による成長の差違を連続的に観察するなど、標本を剥離できない場合の測定部位として殻高が優れていることが分かり、その後の養殖場所の選定に役だった。さらにイワガキは殻高50mm程度で性成熟に達することが分かり、今後本種の資源管理を考える時の基礎的資料が得られた。

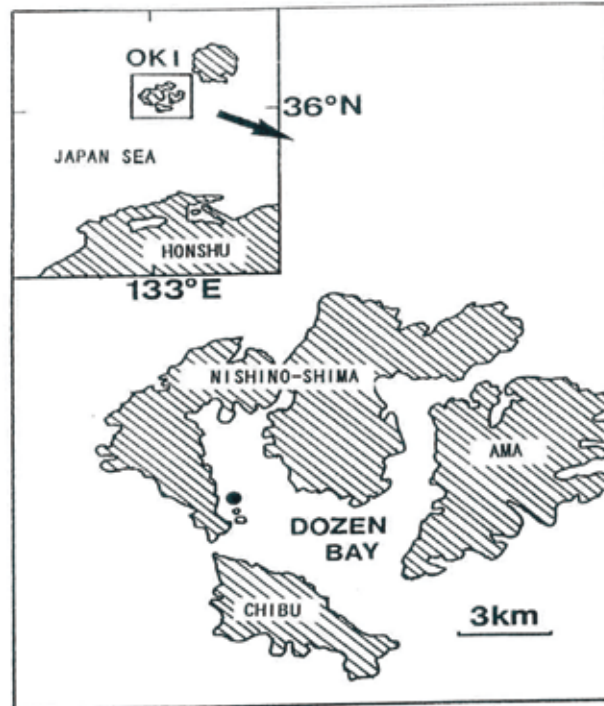


Fig. IV-1-1 Location of the study site in Dozen Bay, the Oki Islands, where the hanging-cultured Iwagaki oyster, *Crassostrea nippona* was sampled (solid circle).

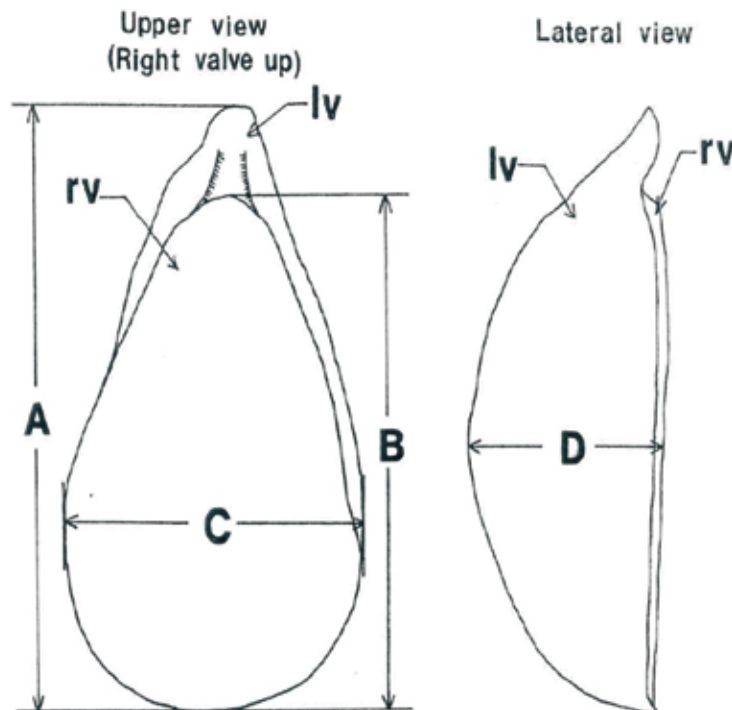


Fig. IV-1-2 Illustration of measured parts of Iwagaki oyster *Crassostrea nippona* shell.
 A: total shell height, B: shell height, C: shell length, D: shell width, lv: left valve, rv: right valve.

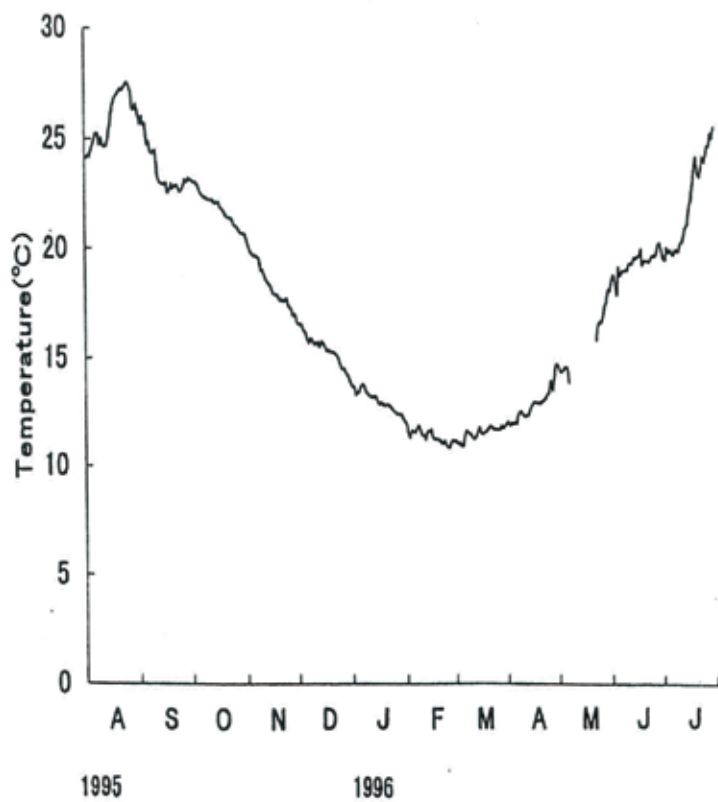


Fig. IV-1-3 Seasonal changes in water temperature measured on 5 m depth at the study site in Dozen Bay.

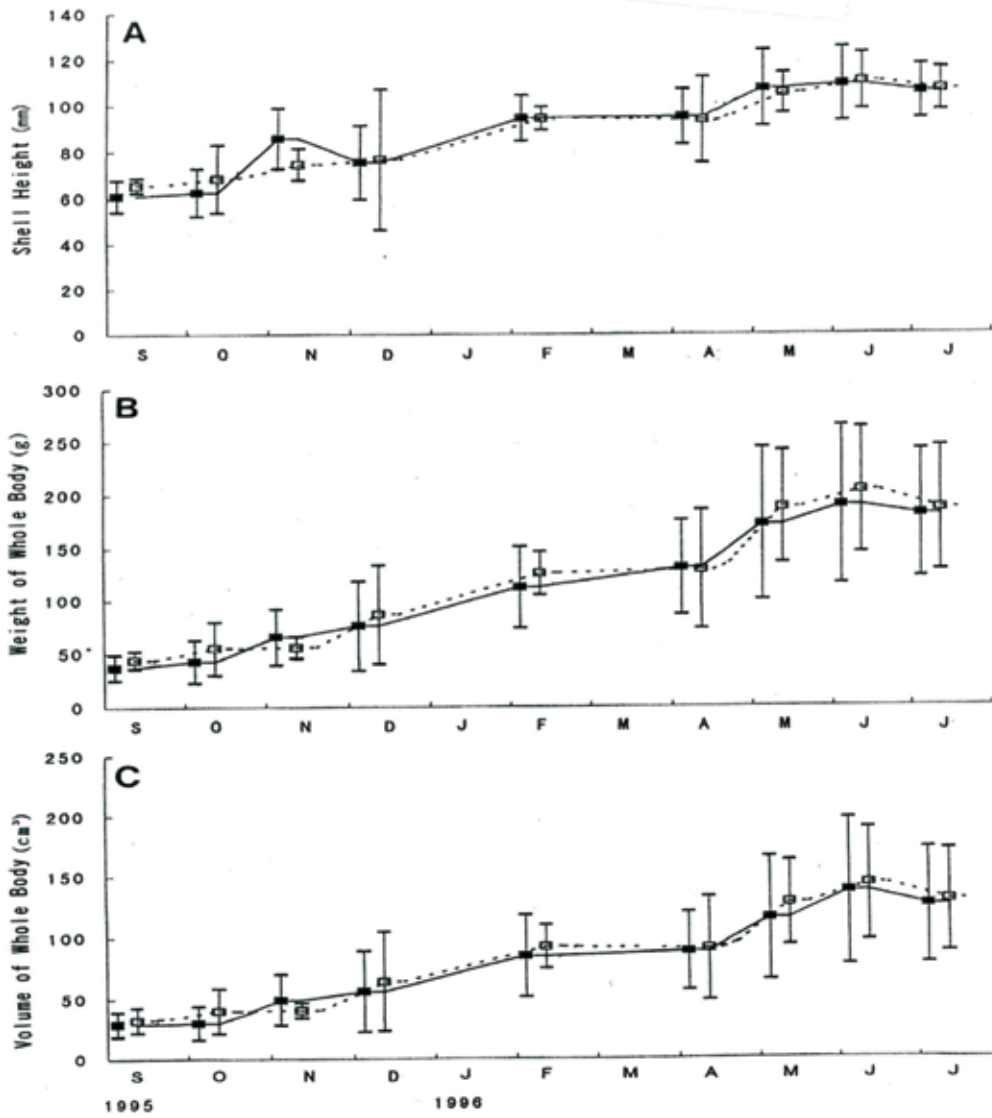


Fig. IV-1-4 Seasonal changes in shell height(A), weight of whole body(B), and volume of whole body(C) for hanging cultured Iwagaki oyster *Crassostrea nippona* in Dozen Bay. Vertical bars indicate ± 1 S. D.

■: male, □: female

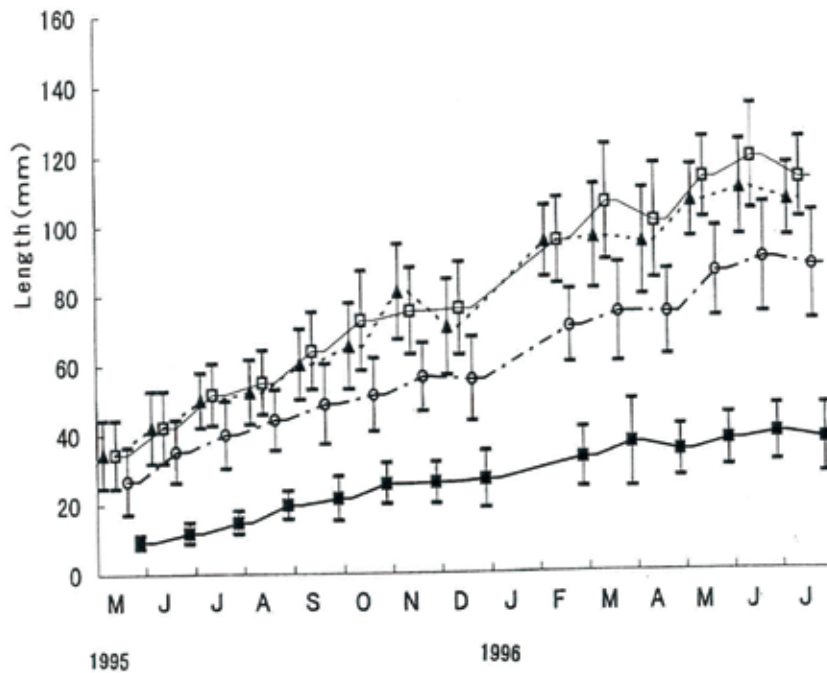


Fig. IV-1-5 Seasonal changes in lengths of four parts for hanging cultured Iwagaki oyster *Crassostrea nippona* in Dozen Bay. Vertical bars indicate ± 1 S. D..
 ▲: shell height, □: total shell height, ○: shell length, ■: shell width.

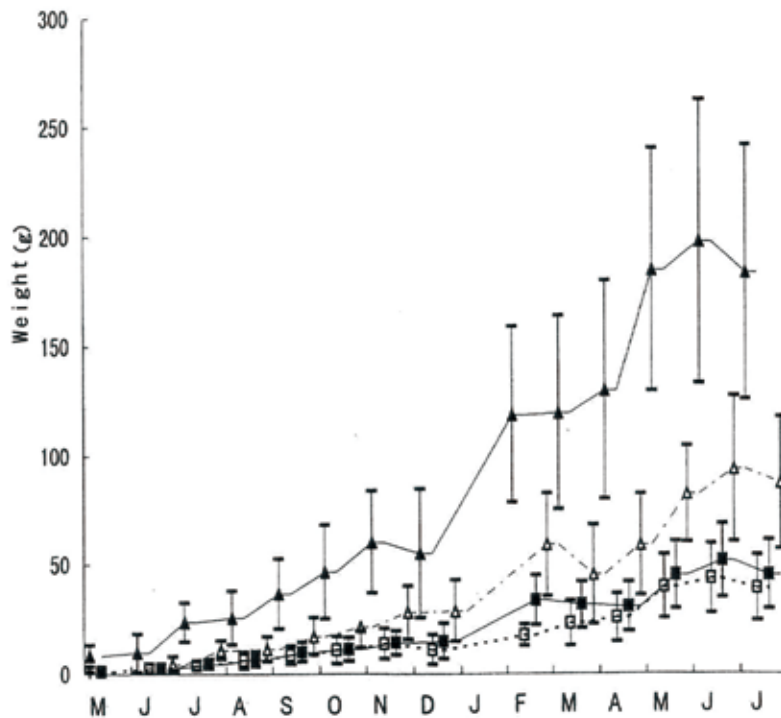


Fig. IV-1-6 Seasonal changes in weights of four parts for hanging cultured Iwagaki oyster *Crassostrea nippona* in Dozen Bay. Vertical bars indicate ± 1 S. D..
 ▲: weight of whole body, ■: weight of right valve, △: weight of left valve, □: soft body weight.

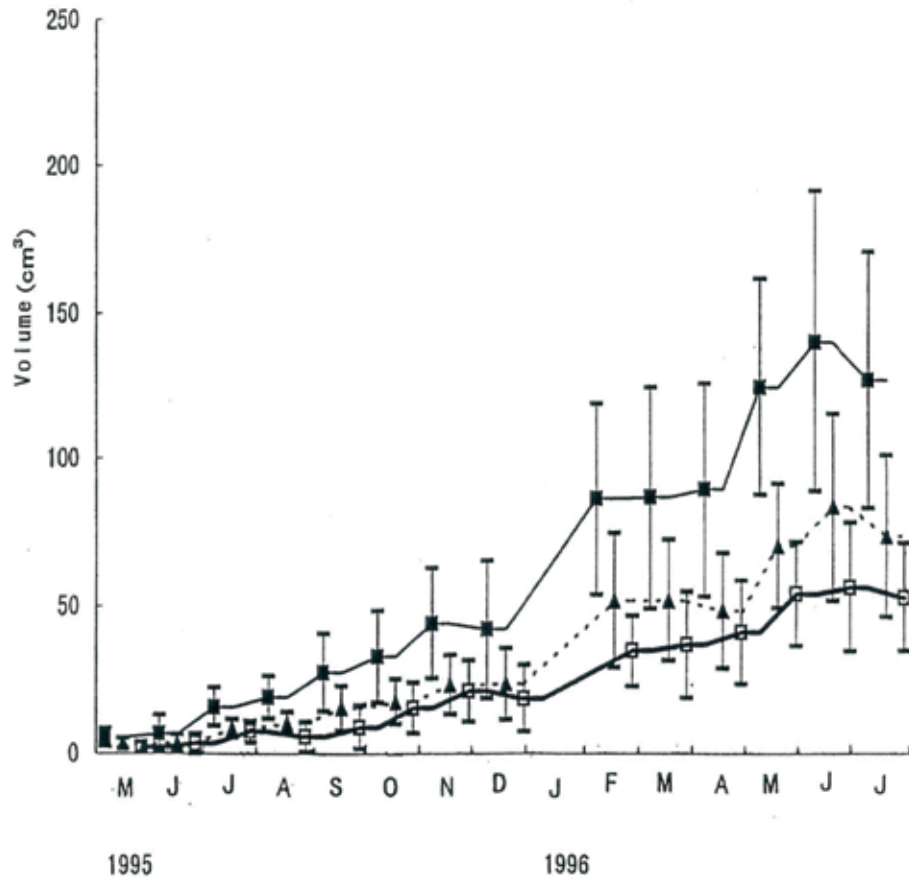


Fig. IV-1-7 Seasonal changes in volumes of three parts for hanging cultured Iwagaki oyster *Crassostrea nippona* in Dozen Bay. Vertical bars indicate ± 1 S. D..
 ■: volume of whole body, ▲: volume of valves, □: volume of inner space.

Table IV-1-1 Regression analysis of various body parts(x) against volume of whole body(y).

Variables	Regression equations	Coefficient of determination
Weight of whole body(g)	$y=2.3979+0.7205x$	0.9804
Volume of valves(cm^3)	$y=2.1818+1.7018x$	0.9699
Weight of left valve(g)	$y=2.4394+1.5347x$	0.9557
Volume of inner space(cm^3)	$y=3.1086+2.4248x$	0.9408
Weight of right valve(g)	$y=3.9708+2.9542x$	0.9048
Soft tissue weight(g)	$y=1.5965+3.3568x$	0.9007
Shell height(mm)	$\log(y)=3.4196+2.7003\text{Log}(x)$	0.8972
Total shell height(mm)	$\log(y)=3.3631+2.6351\text{Log}(x)$	0.8666
Shell length(mm)	$\log(y)=2.6602+2.4407\text{Log}(x)$	0.8496
Shell width(mm)	$\log(y)=1.2126+2.0298\text{Log}(x)$	0.7358
Weight of adductor muscle(g)	$y=26.8787+41.841x$	0.6729

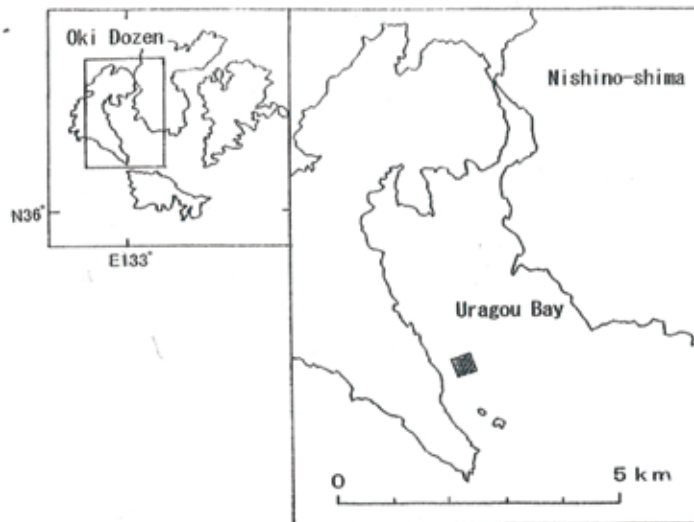


Fig. IV-2-1 Sampling station in Urugou Bay.
 ■: site of hanging culture

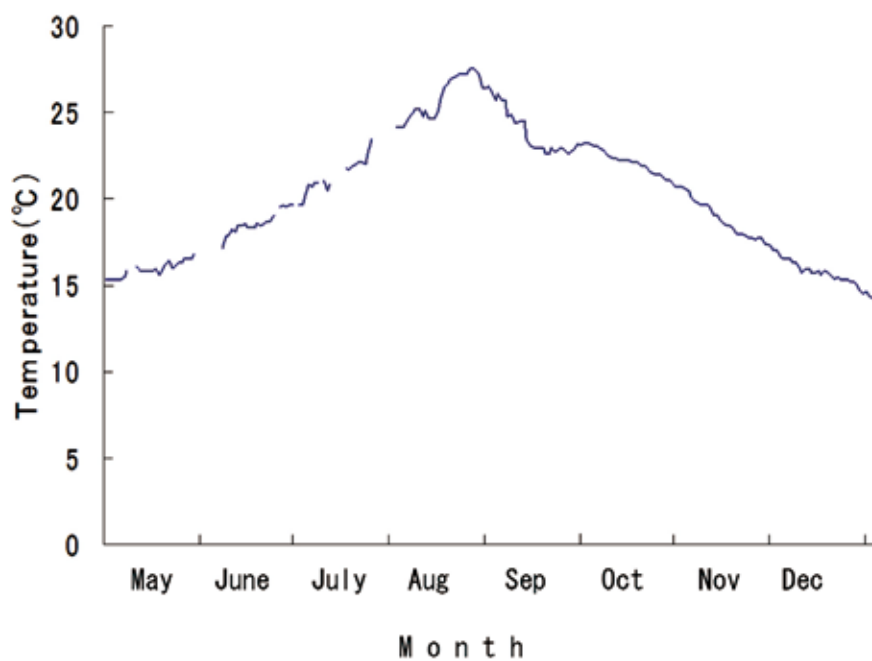


Fig. IV-2-2 Seasonal changes in water temperature on 10 m depth at the site of Sea Farming Division, Shimane Prefectural Fisheries Technology Center, 2.5 km distant from the site of hanging culture (from May 1995 to July 1995) and on 5 m depth at the site of hanging culture (from August 1995 to December 1995).

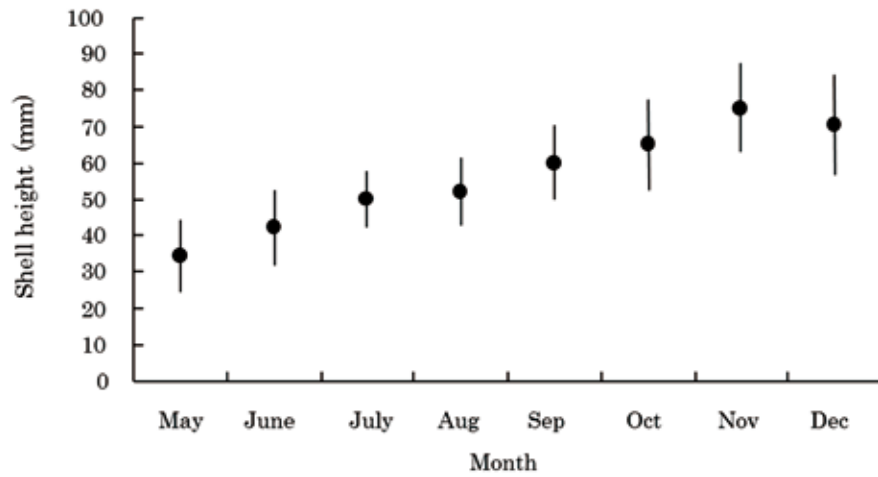


Fig. IV-2-3 Seasonal changes in mean shell height of Iwagaki oysters *Crassostrea nippona* at the site of hanging culture from May to December 1995. Vertical bars indicate ± 1 S. D..

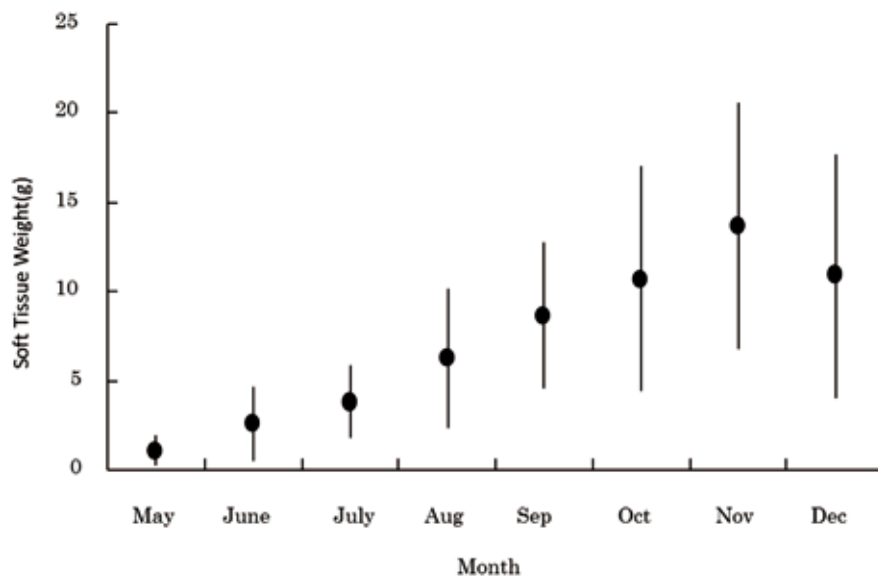


Fig. IV-2-4 Seasonal changes in mean soft tissue weight of Iwagaki oysters *Crassostrea nippona* at the site of hanging culture from May to December 1995. Vertical bars indicate ± 1 S. D..

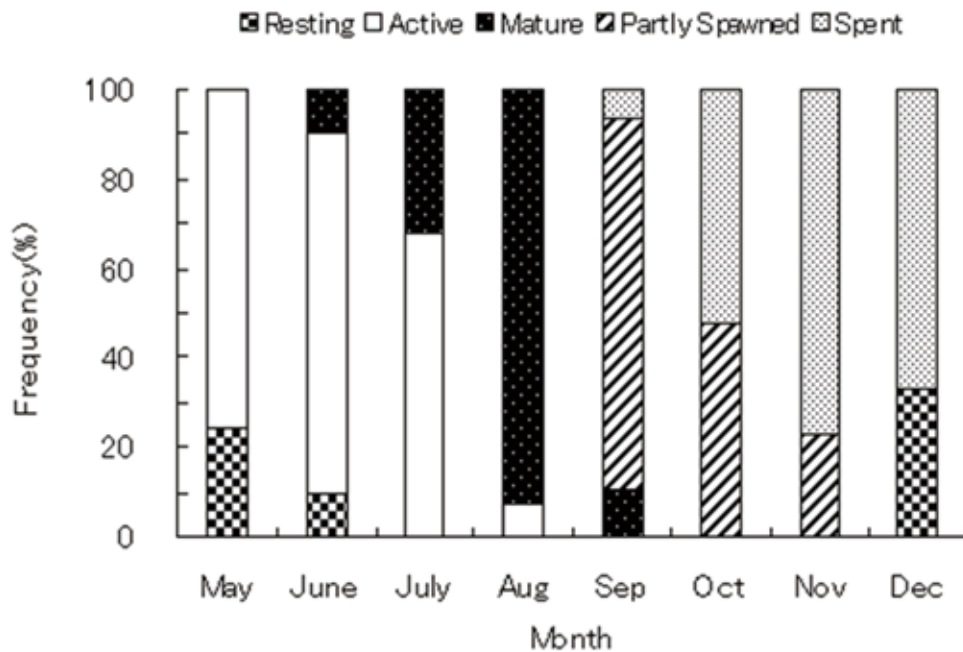


Fig. IV-2-5 Frequency distribution of gonadal development stages of Iwagaki oysters *Crassostrea nippona* at the site of hanging culture from May to December 1995.

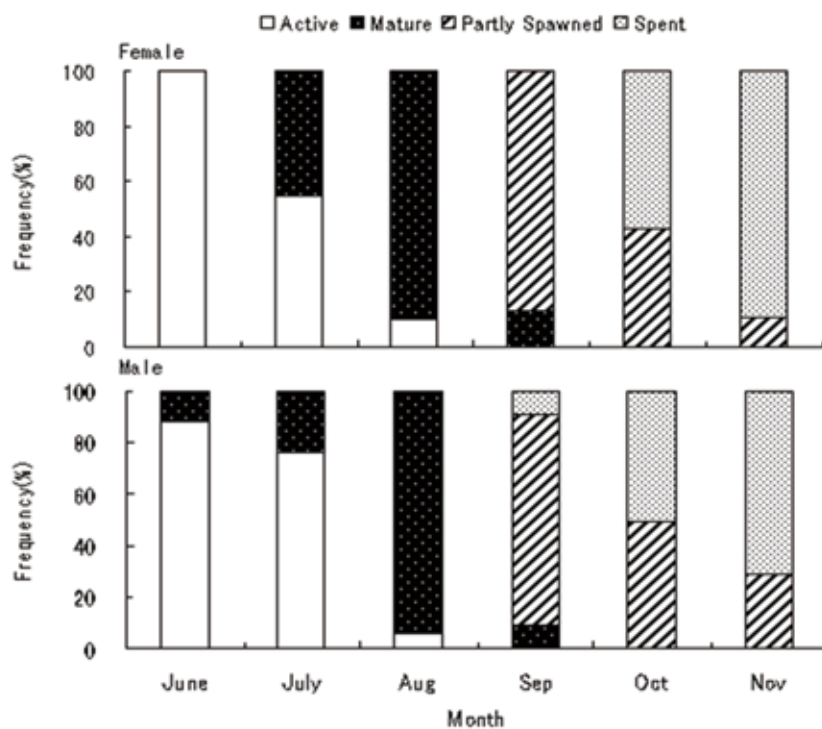


Fig. IV-2-6 Frequency distribution of gonadal development stages of female and male Iwagaki oysters *Crassostrea nippona* at the site of hanging culture from May to December 1995.

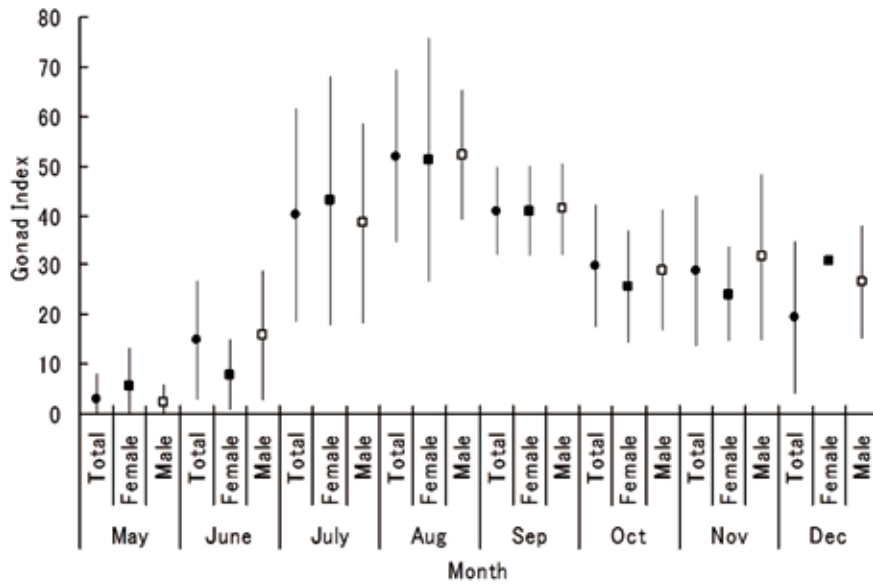


Fig. IV-2-7 Seasonal changes in gonad index of Iwagaki oysters *Crassostrea nippona* at the site of hanging culture from May to December 1995. Vertical bars indicate ± 1 S. D..

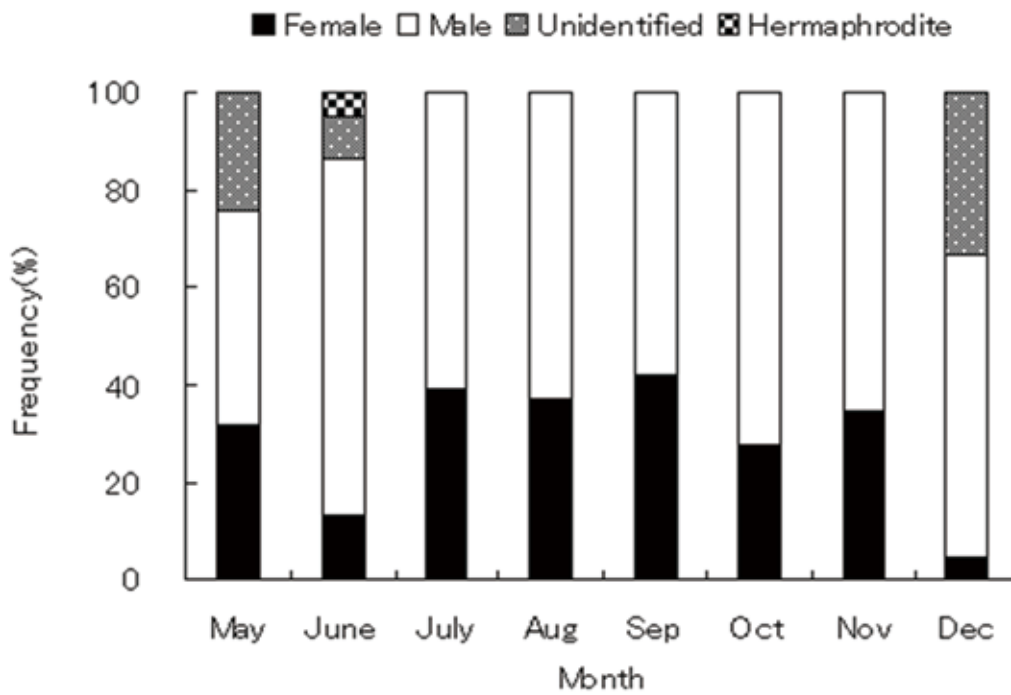


Fig. IV-2-8 Frequency distribution of sex ratios in Iwagaki oysters *Crassostrea nippona* at the site of hanging culture from May to December 1995.