

アサリの成長からみた大規模増殖場周辺域の 環境評価

養殖研究所環境管理部

杜多 哲・阿保勝之・藤井武人

調査実施年度：平成3～5年度

緒言

アサリの増殖場を造成する上で、砂層の厚さや粒度組成さらには地盤高などの環境を、どう改善すれば有効であるかを知る必要がある。また既存の漁場や造成漁場が、アサリにとって好適な環境になっているか評価することも重要である。本研究では成長面からこれらの問題を検討することとし、以下の目標を掲げた。①漁場造成に必要な客土の厚さを実験的に求める。②好適な粒度組成を実験的に求める。③近年発展してきた貝殻成長線を読み取る手法を用いて、アサリの成長にとっての好適環境を明らかにする手法を開発する。④増殖場造成が行われている、三重県宮川の河口に位置する豊浜地区を対象とし環境評価を行う。

調査方法

1) . 必要客土厚を求める実験

アサリにとって必要最小限の砂層の厚さの基準としては、潜砂したとき斧足が砂層の下の地盤に接触しないという条件が適当であると考えられる。そこで実験室内でアサリを潜砂させ、アサリの殻長と潜砂深度との関係を求める実験を行った。潜砂深度はアサリの殻に糸をつけ、その長さを測定することによって求めた。

2) . 好適な粒度組成を求める実験

養殖研究所に面する五ヶ所湾において、粒径の異なる砂をバットに入れ一定期間垂下して、その中のアサリの成長（殻長の増加量）を測定した。平成3年度（1991年10月9日から12月18日）は、中央粒径が1.3, 2.5, 4mm以上の3つの実験区を設け群生長を測定した。またこの年度には水深による成長の違いを調べるために、中央粒径1.3mmの場合について垂下深度を3通りに変化させて群成長を測定した。平成4～5年度はふるいによって粒径1mm以下, 1～2, 2～3, 3～4mmの砂を選別し、アサリに標識をつけることにより個体識別を行って平成3年度と同様の実験を行った。実験は1992年11月9日から1993年6月14日まで行い、この期間中6回の測定を行った。

3) . 貝殻成長線解析手法の有効性に関する実験

3)-1. 成長線形成の周期性の検討

貝殻成長線解析の特徴は、周期的に形成される成長線を利用し、採捕日からさかのぼって時間軸が決定でき、かつその時々々の成長量がわかるという2つの情報が同時に得られることにある。この手法によってアサリの成長を求めるためには、成長線が形成される時間間隔を確認する必要がある。そのためには飼育実験を行って、飼育日数と輪紋数との対応を調べる手法が有効であると考えられる。そこで2).の実験に用いたアサリを用い、貝殻成長線を読み取って両者の関係を検討した。貝殻成長線の読み取りは小池¹⁾の方法に従った。すなわち貝殻をアクリル系樹

脂に包埋した後、ダイヤモンドカッターで正中線に沿って切断し、貝殻断面を研磨した。次に0.1Nの塩酸を用い3～5分間エッチングし、アセテートセルロースフィルムを用いてレプリカを作製した。このレプリカを100倍から200倍の生物顕微鏡下で観察し成長線を読み取った。

3)-2. 環境との対応

貝殻成長は環境条件と対応することが想定されたので、2).の実験期間中、水温・塩分（毎日）およびクロロフィル・溶存酸素（週に一度）を測定し、貝殻成長との対応を検討した。

4). 三重県豊浜地区大規模増殖場の周辺漁場の評価

4)-1. 対象漁場の特徴把握

三重県宮川の河口域に位置する豊浜地区（図1）に定点を設け、1991年6月から1992年5月の1年間にわたり、月に1回アサリの採集を行った。またこの時、水温・塩分の測定を行った。アサリは漁業者を雇ってジョレンによって採集した。さらに1992年1月、2月および4月に潜水により採泥して粒度組成を調べた。得られた粒度組成、水温・塩分と採取したアサリの殻長組成、肥満度および丸形指数から対象漁場の類型分けを行った。

4)-2. 大規模増殖場のアサリの成長評価実験

この地区では沿整事業によって「東豊浜地区地先型増殖場造成事業」が平成元年度から4年度にかけて行われた。事業の中心は図1に示す漁場造成区域に覆砂を行い、砂の流出を防ぐために沖側（北側）および側面（東、西側）に消波堤、岸側（南側）に土留を設置するものである。この造成漁場におけるアサリの成長を他の漁場と比較するために、ステンレス性の籠(50×100×50cm, 目合1cm)を設置し、その中に標識をつけたアサリを収容して成長と生残率を求めた。籠は1992年7月20日に造成漁場内(ST.S1)および図1に示す測線A, B, C, Eからそれぞれ1点を選んで、各地点2個ずつ計8個設置したが、その後時化のために多くが流失し、ST.C1および造成漁場内に設置したもののみが残った。そこでこの2地点で収容したアサリの成長と生残の比較を行った。両地点の2個の籠のうち、1個は成長測定用として調査時に約10個体ずつ回収した。もう1個は生残率の測定用とし、潜水して個体数のみを計測した。造成漁場では9月22日には生残率測定用の籠が消失していた。

この時用いたアサリを取り上げた後、3)と同じく貝殻成長線を読み取り、輪紋数と実験日数との対応を見ることによって成長線形成の時間について検討した。

4)-3. 貝殻成長からみた対象漁場の特性の把握

図1に示す各調査定点で得られたアサリを用い、4-1)で類型化された各漁場の貝殻成長を求めた。そして貝殻成長に各漁場間で差がみられるか、また各漁場での成長の時間的变化にどのような特徴があるかを検討した。

調査結果

1). 必要客土厚を求める実験

実験によって求めたアサリの潜砂深度を図2に示す。横軸は殻長(mm)であり、縦軸は貝殻上端の潜砂深度(D)と殻長(L)の比である。この図よりD/Lは一定ではなく、殻長が大きくなるほど大きくなる傾向を示しており、大型個体ほど相対的な潜砂能力が高いことを示して

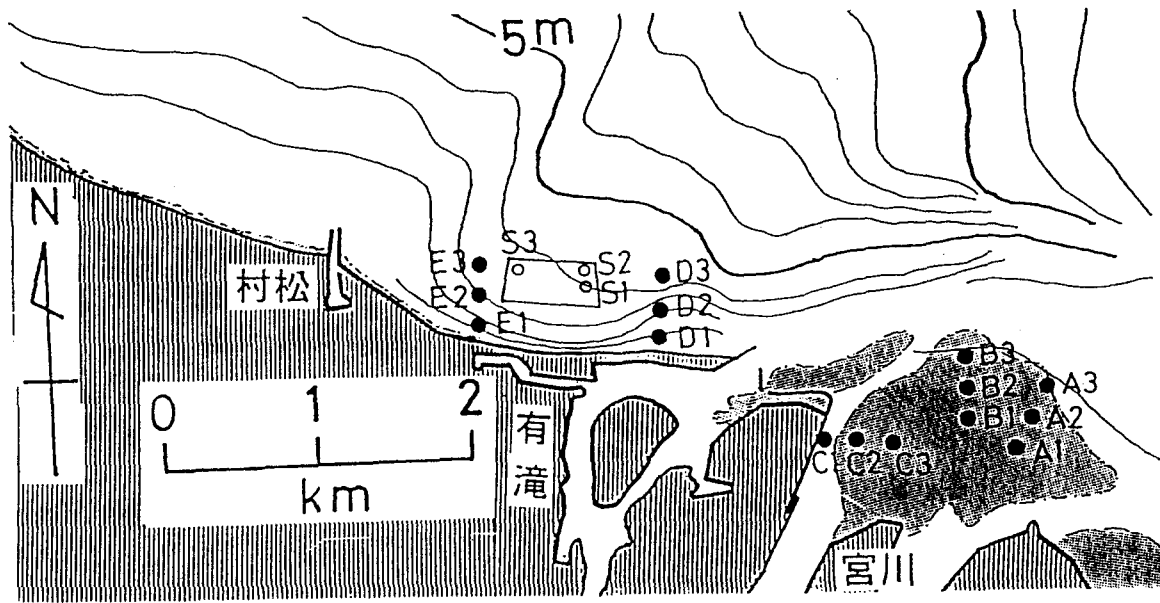


図1 宮川河口域の地形と調査定点。S1～S3は漁場造成区域内の定点。

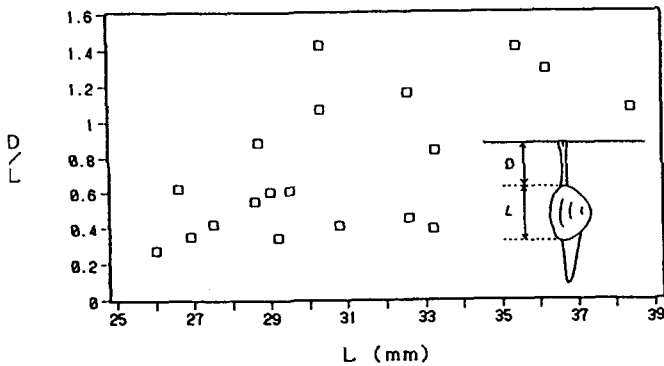


図2 アサリの殻長(L)と潜砂深度の関係。潜砂深度の最大値は殻長の1.5倍程度である。斧足の長さを殻長の1～1.5倍とすると客土厚は殻長の3.5～4倍必要となる。

	SD-1	SD-2	SD-3
中央粒径 (mm)	1.32	2.46	> 4.00
殻長 (mm)	1.073	0.975	1.341
全重 (g)	0.5477	0.6837	0.903

垂下深度 5m

	DP-1	DP-2	DP-3
深度 (m)	2.0	5.0	7.0
殻長 (mm)	0.867	1.612	0.920
全重 (g)	0.6468	1.0362	0.7212

中央粒径 1.3mm

表1 粒径(SDシリーズ),垂下水深(DPシリーズ)を変えて飼育した場合の成長の比較。表中の数字は1991年10月9日から12月18日の間の群成長を示す。

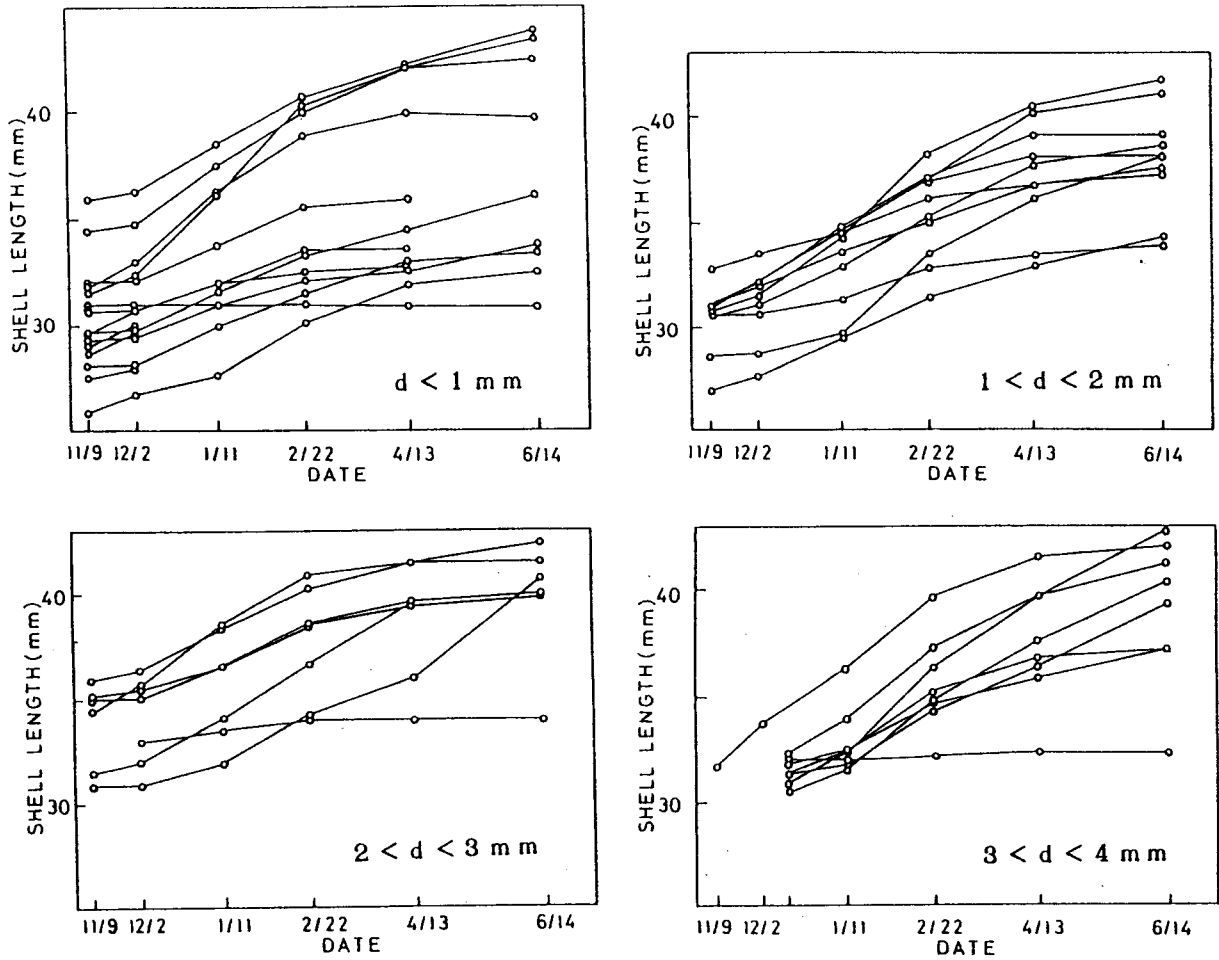


図3 粒径の違いによる成長の差。五ヶ所湾にて水深5mに垂下。実験期間は1992年11月9日（一部は12月14日）から1993年6月14日。

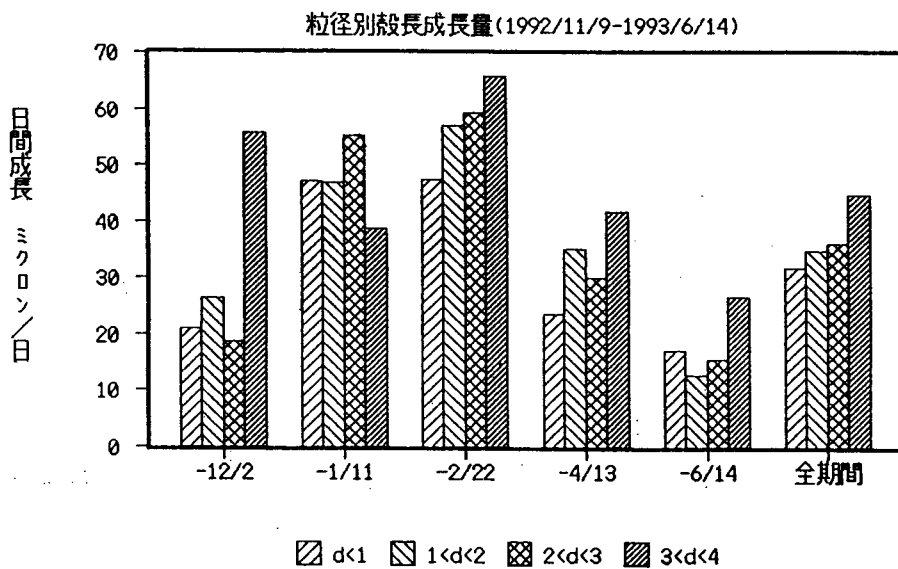


図4 粒径の違いによる成長量の差（各実験期間内における成長量の平均値で表す）。実験期間については図3と同じ。全体的には粒径の粗い(3<d<4mm)区で成長がよい。

いる。得られたD/Lの最大値は1.5程度であった。斧足の長さは殻長の1~1.5倍と考えられるから、砂層の厚さが殻長の3.5~4倍程度あれば斧足の先端が砂層の下に延びることはない。当海域では殻長6cmを超えるアサリはほとんど見られないことから、これを最大殻長と考えると必要な砂層の厚さは21~24cmとなる。

2) . 好適な粒度組成を求める実験

1991年10月9日から12月18日の間に五ヶ所湾における垂下実験によって得られたアサリの群生長を表1に示す。また1992年11月9日から1993年6月にかけての実験の結果を図3に示す。この図より同じ実験条件下においても、個体による成長の差がかなり大きいことがわかる。そこで各実験期間内における成長の平均値を求めて図4に示す。測定期間によって若干のばらつきはあるが全体的には粒径の粗い(3<d<4mm)実験区でよい成長が得られている。また表1でも同様に粒径が粗い実験区でよい成長がみられる。なお深度と成長に関する実験結果も表1に示してあり、5m深に垂下したものの成長が良かった。

3) . 貝殻成長線解析手法の有効性に関する実験

3)-1. 成長線形成の周期性の検討

アサリの成長に及ぼす粒度組成の影響に関する実験2). で用いたアサリのうち、1993年6月14日に取り上げたアサリの貝殻を用いてレプリカを作製した。レプリカには実験開始前の標識装着時や、実験中の殻長計測時に生じたと考えられる阻害輪が認められた(図5)。図6は横軸に実験開始前と実験終了後に測定した各標識個体の殻長の差をとり、縦軸にレプリカから読み取った阻害輪から貝殻縁辺部までの長さをとって示したものである。図より各点はほぼ1本の直線上に乗っており、両者が比例関係にあること、また図5に示されるような阻害輪が、標識装着時や殻長計測時にできたと考えたことが妥当であったことを示している。

図3に示したように各個体の成長はかなり変異が大きかったこと、予備的な実験より成長の少ない個体では貝殻成長線の読み取りが難しかったことから、各実験区で成長の良かった4個体についてレプリカの輪紋を読み取った(表2)。また輪紋数と日数の比を対応する期間中の殻長の増加速度に対して示したのが図7である。これらより殻長の伸びが大きい期間では輪紋数/日数は100%近い値を示しているが、殻長の伸びが悪くなるにつれ小さい値となることが分かる。このことは成長の大きい時期や個体では、輪紋をほぼ日輪とみなして良いことを示している。しかし成長が悪くなるにつれ輪紋を日輪とみなすことによる誤差は増大する。特に1日当りの殻長の伸びが30μm/日より小さくなると日輪とみなせなくなると考えられる。

3)-2. 環境との対応

実験期間を通じて輪紋数/日数が100%に近い値を示し、日輪であると考えられた2個体について輪紋間の間隔を読み取り日間貝殻成長を求めた(図8)。この図よりこの2個体の成長は絶対値の違いはあるがほぼ似た時間変動を示していると考えて、環境要因との対応をみた。測定した環境要因の中ではクロフィル量との対応がみられる様であったが(図9)、気象要素の影響などさらに検討を行う必要がある。

4) . 三重県豊浜地区大規模増殖場の周辺漁場の評価

4)-1. 対象漁場の特徴把握

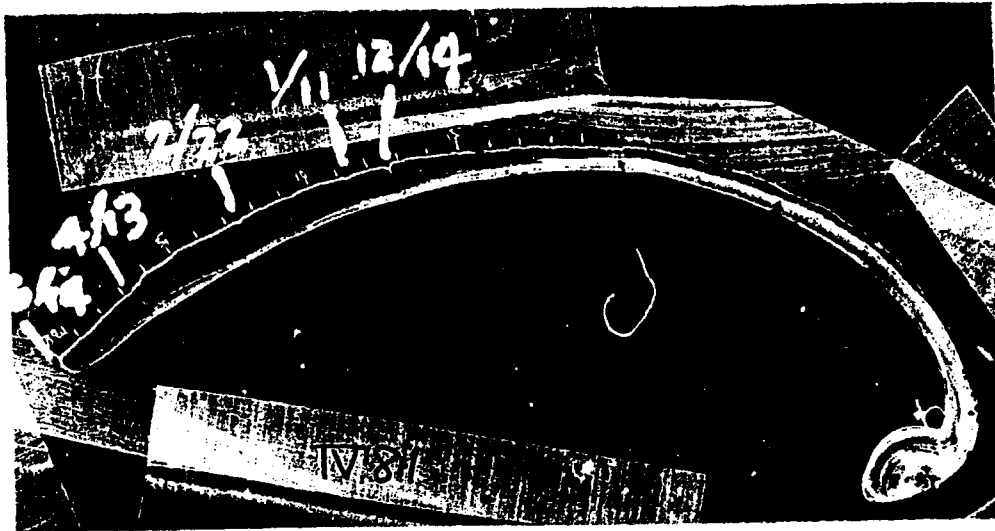


図5 五ヶ所湾における垂下実験に用いた貝の貝殻切片（レプリカ）の一例。
 実験開始時（1992年12月14日）や殻長計測時（1月11日、2月22日、4月13日）には
 阻害輪が認められる。レプリカには1mm間隔の目盛りがうってある。

表2 貝殻日間成長の読み取り結果

個体番号	測定日 間隔（日）	93/6/14	93/4/13	93/2/22	93/1/11	92/12/14
I-14	輪紋/間隔(%)	61	62	71		
	殻長成長(ミクロン/日)	27	28	52		
II-27	輪紋/間隔(%)	47	78	100	105	
	殻長成長(ミクロン/日)	19	44	95	70	
IV-81	輪紋/間隔(%)	98	100	100	96	
	殻長成長(ミクロン/日)	52	64	95	54	
IV-89	輪紋/間隔(%)	92	98	100	93	
	殻長成長(ミクロン/日)	44	56	79	36	

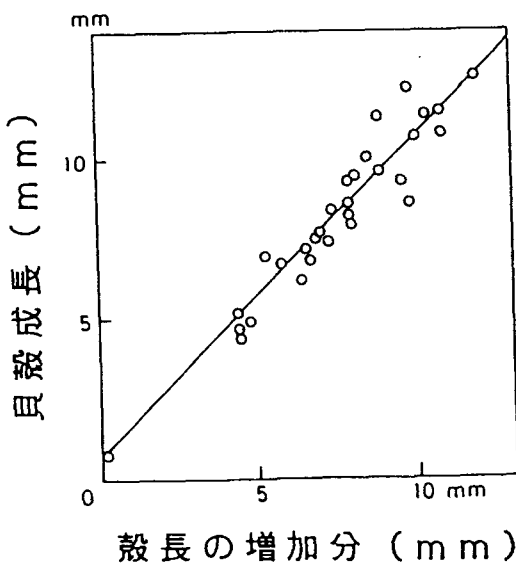


図6 測定した殻長増加分とレプリカ
 から読み取った貝殻成長の関係

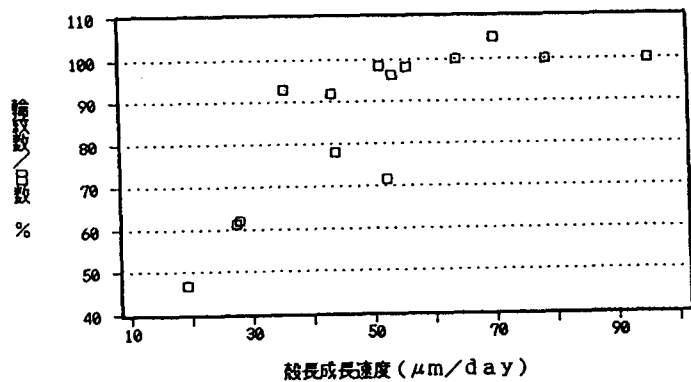


図7 殻長成長速度と輪紋数/日数の関係

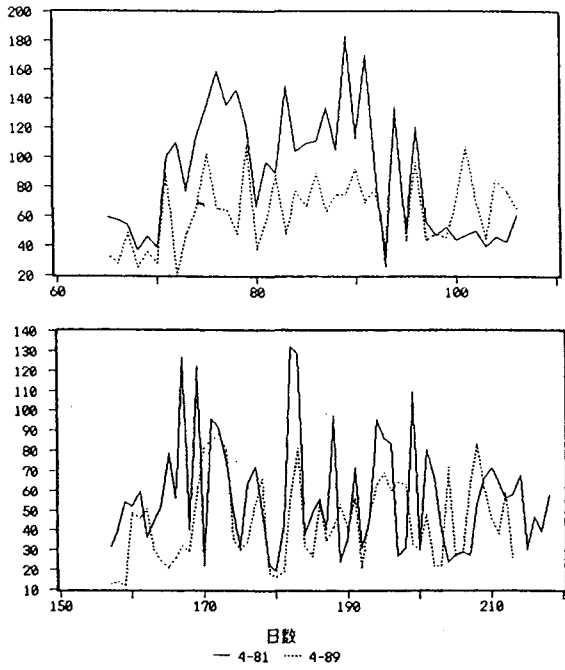


図8 五ヶ所湾における垂下実験で成長の良かった貝の日間貝殻成長(ミクロン/日)。1993年1月11日~2月22日(上図)および4月13日~6月14日(下図)。

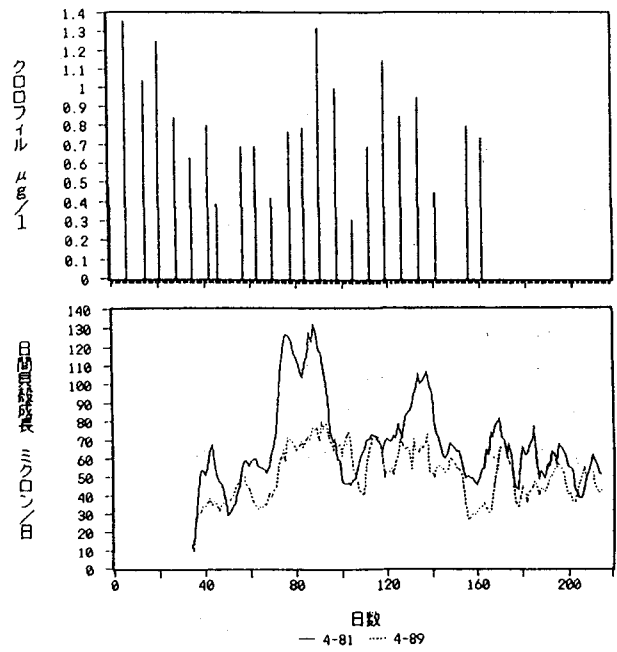


図9 (1)上図: 実験海域でのクロロフィルの変動。(2)下図: 日間貝殻成長(1992年12月14日から1993年6月14日まで)を7日間移動平均したもの。

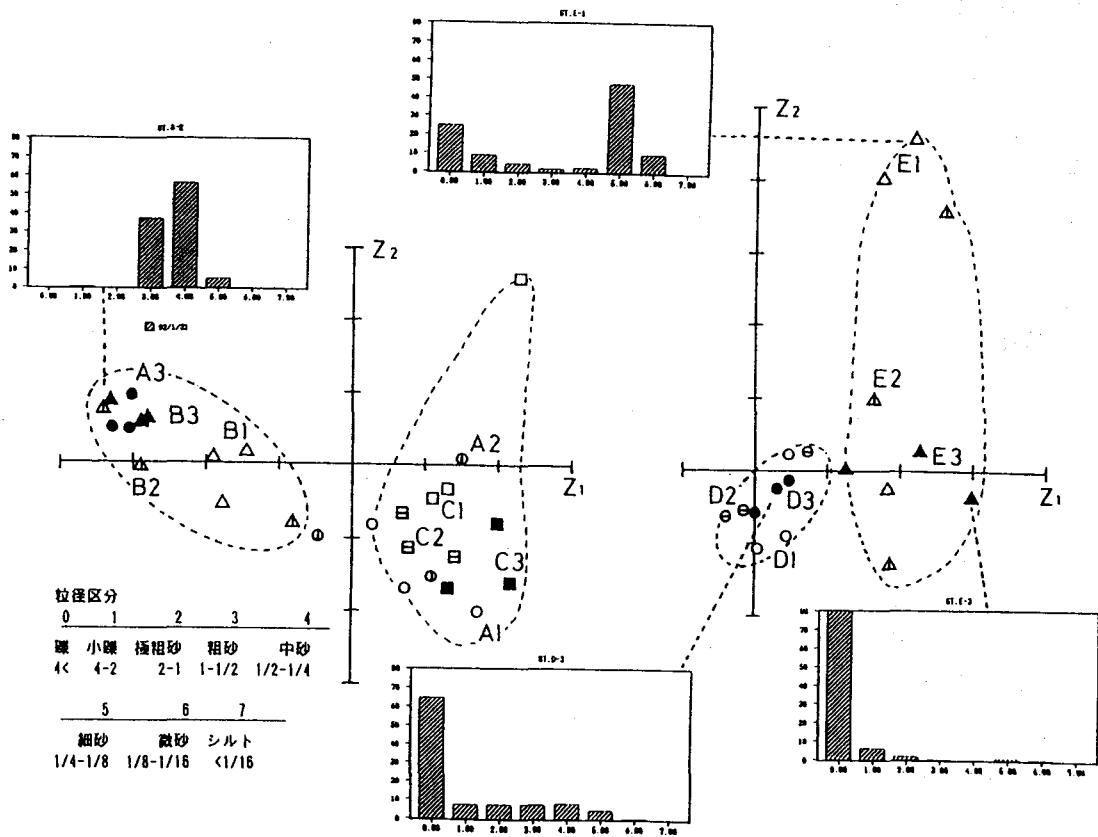


図10 主成分分析法による宮川河口域アサリ漁場の分類。図中の記号は図1の測点を表わす。各グループの代表的な点の粒土組成を同時に示す。

対象とする漁場はその地形から大きく以下の3つに分類できる。

①干潟域(測線A,B,アサリ漁場は潮下帯で行われており、本研究でも潮間帯での調査は行っていない。この海域の潮下帯を以下では便宜的に干潟域とよぶ。)

②滞筋域(測線C)

③外海域(測線D,E,伊勢湾に面した海域を以下このようによぶ。)

これらの海域の環境面、およびアサリの生息状況からみた特徴について以下に述べる。

(1). 環境面からみたアサリ漁場の特徴

a. 粒径分布による分類

海域による粒度の違いと採泥時期による変動を明らかにするために粒径区分(8段階)の重量百分率を変数として主成分分析を行った(図10)。第1主成分 Z_1 および第2主成分 Z_2 は次式で表される。

$$Z_1 = 0.34x_0 + 0.41x_1 + 0.28x_2 - 0.45x_3 - 0.48x_4 + 0.19x_5 + 0.34x_6 + 0.22x_7$$

$$Z_2 = -0.18x_0 - 0.33x_1 - 0.45x_2 - 0.13x_3 + 0.10x_4 + 0.61x_5 + 0.49x_6 + 0.14x_7$$

ここに $x_0 \sim x_7$ は図10に示した粒径区分の重量百分率である。第1主成分は x_3 (粗砂)と x_4 (中砂)の割合が多いほど負の値となる。第2主成分は第1主成分が同じ様な値を示すもののうちで、粗砂より粗い粒径の割合が多いほど負となり逆の場合に正となる。なお図10の中の添え字は測定点を示す。例えば○印は測点A1を表し、1992年1月、2月および4月の測定結果から得られた主成分スコア Z_1 を横軸に、 Z_2 を縦軸にとって表したものである。この図より、この海域の底質は礫($\phi > 2\text{mm}$)と微砂・シルト($\phi < 1/8\text{mm}$)が卓越する海域(測線C,E)と、粗砂・中砂($1/4 < \phi < 1\text{mm}$)が卓越する海域(測線B,測点A3)およびその中間的な海域に分類できることがわかる。また滞筋にあたる測点C1と干潟の浅海部A1および外海の浅海部にあたる測点E1,E2では、採泥時による変動が大きく、底質の移動が頻繁であると考えられた。

b. 水温・塩分の変動

各測線の沖側の測点(A3~E3)で測定した底層での水温と塩分の季節変化を図11に示す。滞筋にあたる測点C3では、7月から9月にかけて塩分が低く9月には完全に淡水で覆われていた。

(2). アサリの生息状況・成長からみた漁場の特徴

a. 各測点における肥満度と丸形指数

各測点で採集したアサリのうち10個体を選び殻長、殻幅、殻高および肉重を測定した。これらから肥満度および丸形指数を求めた。図12に1年間の平均値を示す。この図より測線Dでは肥満度が高く丸形指数が低いこと、逆に測線Eでは肥満度が低く丸形指数が高いことがわかる。

b. 殻長分布からみた漁場の特徴

ジョレンにより採集したアサリの殻長分布の時間的な推移を、測線Cと測線Eについて図13に示す。また泥の試料中に混入していたアサリの殻長分布を各時間軸の左側に示した。これらの図からアサリの成長を追うことは困難であった。これは採取方法の問題とともに漁獲の影響により、同一のコホートを追跡することができなかったことによると考えられる。外海域の測線D,Eにおいては殻長40mm以上の大型個体の割合が高かった。一方殻長5mm以下の小型個体については滞筋域にあたる測線Cで出現することが多かった。

(3). 各測定点の特徴のまとめ

宮川河口域アサリ漁場の特徴は以下のように整理できる。

①干潟域(測線A,B):粗砂・中砂が卓越するが、A1とA2では礫の割合が高い。肥満度や丸形指数

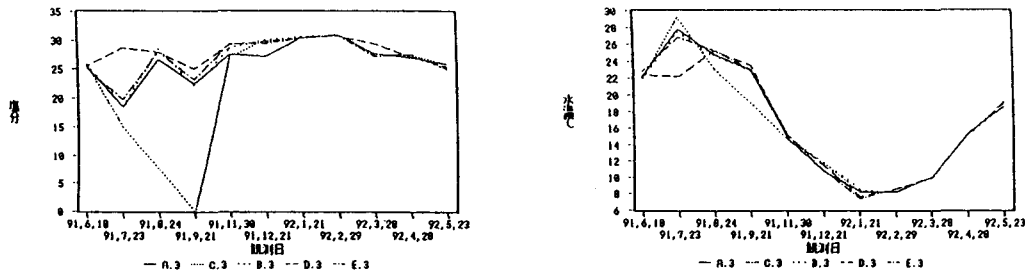


図11 各定線における底層の塩分（左図）および水温（右図）の年変動

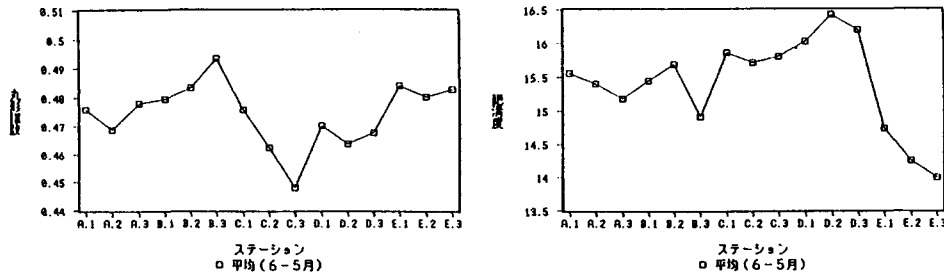


図12 各定点における丸形指数（左図）と肥満度（右図）。1991年5月から1992年6月の平均値。

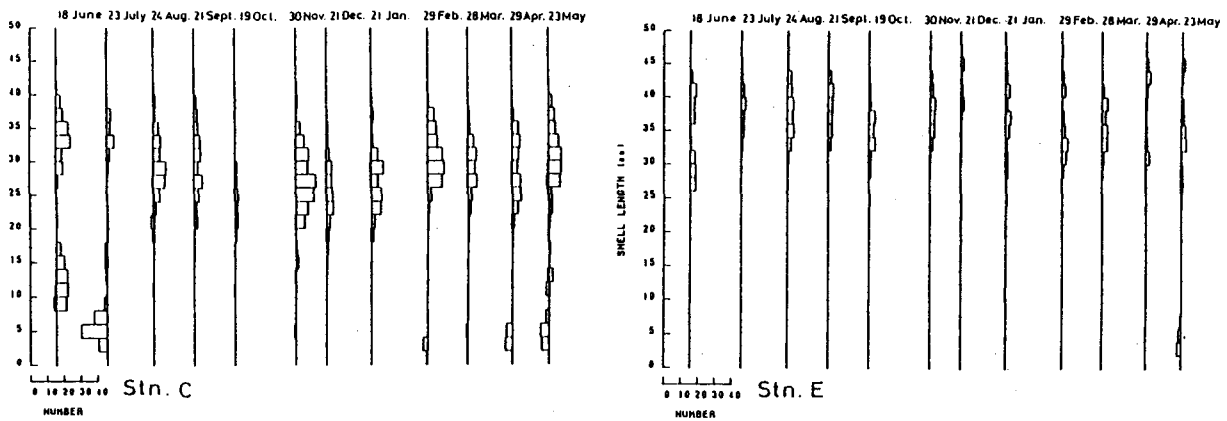


図13 濑筋域(C) および外海域(E)におけるアサリの殻長組成の季節変動。

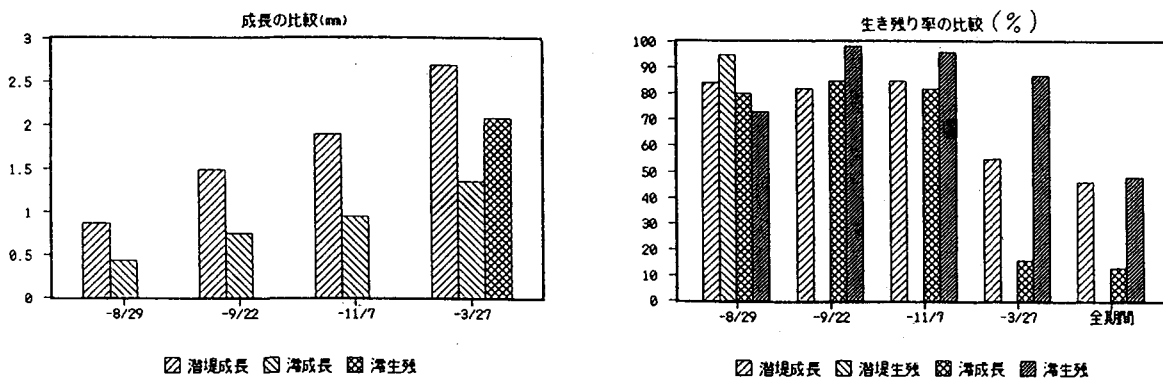


図14 籠を用いた実験による造成漁場と濑筋域との成長（左図、成長は各測定時における殻長と実験開始時の1992年7月20日の殻長との差で表した）。右図は各期間内における生き残り率。

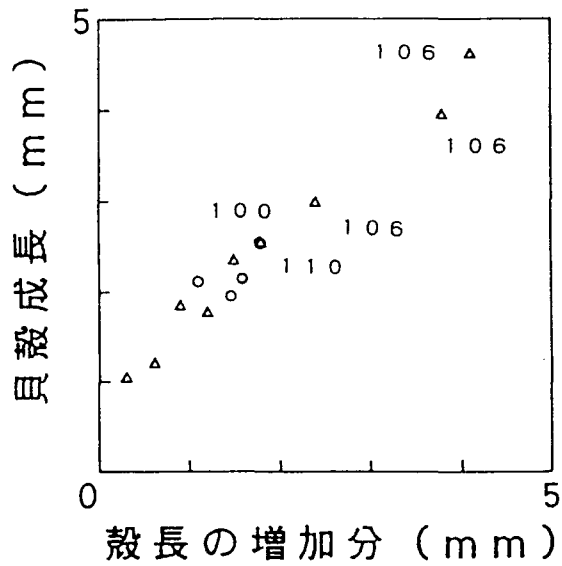


図15 殻長の増加分と貝殻切片から読み取った貝殻成長との関係。1992年7月20日実験開始で11月7日(110日後)に取り上げたサンプル。図中の数字は読み取った日輪数を示す。

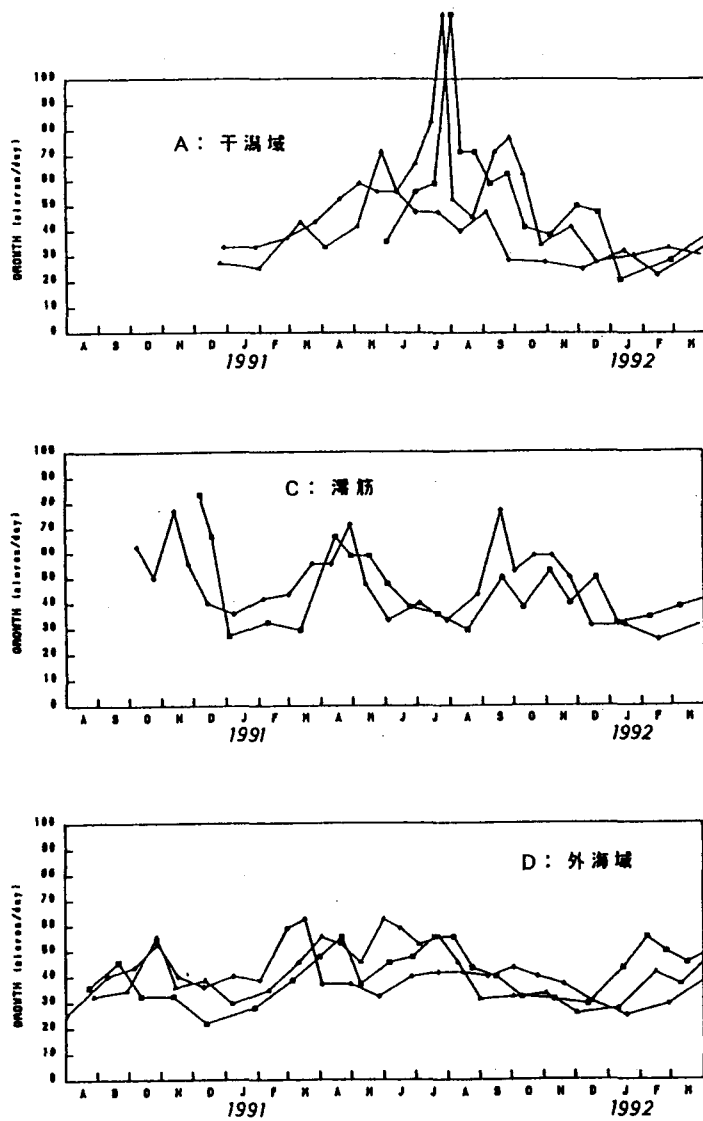


図16 干潟域(A,上図), 澤筋域(C,中図)および外海域(D,下図)における貝殻成長の比較

は外海域の測線Dと測線Eの中間的な値を示す。

②濁筋域(測線C):淡水の影響が強く底質は細砂・シルト分と礫が多い。殻長5mm以下のアサリの出現頻度が高い。

③外海域(測線D,E):この海域では殻長40mm以上の大型個体が多いことは共通しているが、底質、生物学的特性とも差がみられる。

- ・測線D:礫が多い。粗砂～細砂の割合はほぼ同じである。肥満度が高く丸形指数は低い。
- ・測線E:礫が多いのは測線Dと同じであるが細砂～シルト分の割合が高い。肥満度は低く丸形指数は高い。

4)-2. 大規模増殖場のアサリの成長評価実験

(1). 成長および生残率の評価

造成漁場内(ST.S1)と濁筋漁場(ST.C1)における籠を用いた実験から得られた成長および生残率を図14に示す。図より造成漁場内では、生残は濁筋域とあまり変わらないが成長はまさっていることがわかる。

(2). 貝殻成長線の日周性の検討

この実験に用いた貝の貝殻成長線を読み取り、3)-1で行ったと同様の解析を行った。図15に実験期間中の殻長の増加分と、レプリカから読み取った貝殻成長(標識装着時の阻害輪から貝殻の先端までの距離)の関係を示した。両者は直線関係にあり、この阻害輪が実験開始時に生じたことの傍証となっている。作製したレプリカのうち最も成長の良かった4個体について、輪紋数の計数を行った結果も同図に示してある。成長のよい個体の輪紋数は実験日数(110日)に近い値となっており、3)-1の実験結果と同様に成長のよい個体に関してはほぼ日輪と見なせると考えられる。

4)-3. 貝殻成長からみた対象漁場の特性の把握

対象漁場は干潟域、濁筋域、外海域に分類でき、環境条件もそれぞれ特徴があることを4)-1で示した。またアサリの貝殻にみられる成長線は、成長のよい貝については日周輪とみなせる可能性が高いことを3)-1および4)-2で示した。そこで代表的な海域で採取されたアサリの貝殻成長線解析を行い日間成長を求めた(図16)。この時、貝殻成長線が明瞭に読み取れる個体を選んだ。その結果、干潟域、濁筋域および外海域では日間成長の季節変動に以下のような特徴がみられた。

- ①干潟域では冬季に貝殻成長が小さい。また個体間のバラツキが大きい。
- ②濁筋域では冬季と夏季に貝殻成長の鈍化がみられる。
- ③外海域においては貝殻成長は冬季に低い、変動は少なく安定した成長の季節変動を示す。

考察

1) 漁場造成に際しての客土厚および粒径について

従来砂層の厚さは、工事の施工性や漂砂に対する工学的側面から考えて、30cm程度の厚さで客土が行われることが多かった。今回、必要な客土厚に関してアサリの側から1つの基準となる考えを提示した。ただ、この結果はあくまで実験条件の範囲内でのものである。例えば有明海の干潟などできわめて温度が低いときに、アサリが30cm以上も潜砂するという漁業者の話な

どもあるが、こういった極端な条件下にまでこの結果を引き延ばすことはできない。

水深に関しては、本実験では2m層や7m層より5m層に垂下したアサリの方が好成長を示す結果となった。しかし成長には水深そのものよりそこでの餌の量や流れ条件が関係すると考えられること、また垂下実験では上層ほど筏の動揺や波によって砂の動きが激しいと考えられることから、本実験の結果をそのまま他の海域にあてはめることはできない。漁場造成に際してどの水深帯に重点をおくかは、対象とする各海域で改めて調査する必要がある。

客土する砂の粒径に関しては、実験条件の範囲内 ($\phi < 4\text{mm}$) で粗い方が成長が良いという結果を得た。杉山²⁾は粒径の異なる (0.2mm以下, 0.2~2mm, 2mm~5mmの3段階) 底質を敷いた水槽中にアサリを収容し、3週間にわたってアサリの行動と死亡数を測定した。そしてアサリは底質の粒径が小さいほど、住み場所をかえるために頻りに移動し再潜砂を行うこと、死亡はほとんどが移動途中あるいは再潜砂行動時に生じるため、死亡個体も粒径が小さいほど多いことを示している。今回の実験は、粒径が粗い方が成長面からみてもアサリにとって良いことを示しており、杉山が明らかにしたアサリの行動とよく一致する結果となっている。

2) 漁場評価に際しての貝殻成長線解析の有効性と限界

五ヶ所湾における垂下実験および宮川河口域漁場における籠を用いた実験によって、成長の良いアサリに関しては貝殻にみられる輪紋を日輪とみなして良いという結果を得た。また輪紋を日輪とみなした場合、三重県宮川河口域の各区分漁場における日間成長は異なったパターンを示した。このことは貝殻成長線解析を漁場評価に用いることが、有効である可能性が高いことを示している。特に時間的な変動を詳しく追えることは、気象や海象などの環境条件の変動がアサリの成長に及ぼす影響に関して、従来より進んだ解析が行える可能性を示したといえる。

問題点としては、成長輪が本当に日周輪であるかという問題が解決されていないことが挙げられる。大野³⁾は二枚貝の成長線解析の現状に関してのレビューのなかで、潮間帯では成長線は潮汐に圧倒的な影響を受け、二枚貝が干出すると必ず一本の成長線が形成されるが、潮線下では、成長線の形成の時間間隔が日周期であるもの、ほぼ半日の形成頻度を持つもの、また非周期的なものがあり、これらは内的な生理活動と外的環境要因とが複雑に絡み合っていることによると述べている。今回の実験では輪紋が比較的明瞭に読み取れる個体を選んで読み取りを行ったが、成長の悪い時期には輪紋数/実験日数は50~60%という値を示した。また同じ条件下での実験にもかかわらず、輪紋が読み取れない個体もあり、読み取った場合でも、貝殻成長にはかなりの個体差がみられた。これらのことから輪紋を日輪とみなして機械的に読み取りを行った場合、その時間間隔には大きな誤差が生じる可能性が大きいことを示している。従ってアサリの貝殻成長線にあたっては次のことに留意する必要がある。

①標識実験を並行して行うなどして、時間間隔が確認できるようにする。

②冬輪などを目安として成長の良い個体を選んで解析を行う。また冬輪によっておおよその時間間隔の検討がつけられる。このことはアサリの成長に関しての平均的な評価を放棄し、時間的な変動パターンの評価に重点をおくことを意味する。

③長期にわたって採取日からさかのぼって読み取りを行う場合、読み取り誤差が累積して季節変動が正しく把握できない可能性がある。この場合には採取を季節別に行うことにより、数年にもおよぶ読み取りを行わなくても成長の季節変動が把握できるようにするといった工夫をする必要がある。

3) 宮川河口域大規模増殖場の評価

造成漁場は澤筋域に比べ、生残率は差がなく成長は良かった。しかし干潟域などの他の漁場

との比較ができなかったことから、当増殖場の評価にはさらに調査の必要がある。造成漁場は外海域に属しているが、貝殻成長線解析により求めたアサリの成長は、夏季に成長の停滞がなく、また変動が少ないパターンを示した。これは他の漁場に比べて宮川河口からの距離が大きく河川水の影響が緩和されること、水深が深いために気象変動の影響が少ないことによるものと推察される。この特徴を生かした造成漁場の行使を行う必要がある。

最後に、現地調査や実験用アサリの入手に関しては、有滝漁業協同組合の御協力を得た。またアサリの貝殻成長線解析に際しては、埼玉大学（当時）の小池裕子博士にご指導いただいた。これらの方々に厚く感謝いたします。

参考文献

- 1)小池祐子,1986:貝殻成長線解析.沿岸環境調査7:171(底質・生物編),日本海洋学会編,厚生社恒星閣,東京,241-247.
- 2)杉山元彦,1993:アサリ分布域制限要因に関する2,3の知見.平成5年度日本水産工学会学術講演会講演論文集,41-42.
- 3)大野照文,1993:二枚貝の成長線解析の現状.月刊海洋,25,10,613-621