青森県水産増殖センター研究報告　第８号　平成９年
Sci, Rep. Aomori Pref. Aquacult. Res. Cen. 8 : 1—47.1997.

陸奥湾におけるホタテガイ養殖に関する遺伝学的研究

小坂　善信

Genetic Studies on Scallop Culture in Mutsu Bay

Yoshinobu KOSAKA

For sustainable yield of high quality scallop population, it will be needed to introduce a concept of breeding management on scallop culture. Therefore, genetic population structure and genetic relationships between quantitative and qualitative traits are due to analysis. In the present study, genetic analyses of population structure, component of genotypes, and relationships between quantitative traits and genotypes in adult and seed populations of scallops in Mutsu Bay are performed by using isozyme gene markers.

In order to clarify the genetic population structure of scallops in Mutsu Bay, allele frequencies at the 4 polymorphic isozyme loci were compared among 8 lots of hanging culture scallops from 7 different areas and 5 lots of bottom culture scallops from 5 different areas. Notable differences of allele frequencies were not observed among the lots surveyed, revealing that a genetically single population has existed in Mutsu Bay. On the other side, higher level of homozygote excess in bottom culture than in hanging culture was observed at the adult stage, nevertheless, the same seed population was used, suggesting the different survivalabilities in culturing methods.

Genotype components at the *Pgm-1* locus were analyzed for the genetic characteristics of scallop seed populations. High level of homozygote excess was observed in seed population, suggesting lower viability of homozygote than heterozygote during hanging culture.

To characterize the quantitative traits of scallop, shell length, height, width, total weight, soft part weight, adductor muscle weight and shell weight were measured for 0-year and 1-year old hanging culture scallops and significant correlation was observed between these traits and shell length. Coefficients of variance of these traits decrease during growth at 0-year old but stationary at the 1-year old. The ratios of shell length, shell height, shell width were relatively constant with small variance regardless of growth, but total density, soft part density, adductor muscle density, and shell density showed a large variance. Shell width was correlated with adductor muscle density, indicating that shell width is available as a index commercially.

Significant negative correlation between the mean value and its coefficient of variance in soft part density and adductor muscle density was observed, suggesting the existence of recessive deleterious genes. On the other side, significant negative correlation between the heterozygosity at the *Aat-1* locus and the coefficient of variance of soft part density and adductor muscle density was observed, suggesting the existence of advantage of heterozygote in these traits.

From the above results, genetic management should be carried out for the scallop population in all of Mutsu Bay. It is important to conserve hanging and bottom culture scallops as parental population and genetic monitoring is needed for the management. Also, development of effective methods for the selection of heterozygotes will improve the efficiency of scallop culture in Mutsu Bay.

序　　論

ホタテガイ（*Patinopecten yessoensis*)は軟体動物門、二枚貝綱、翼形目、イタヤガイ科に属している。本種は千島列島、樺太、北海道、本州北部、北部朝鮮日本海側に生息し、太平洋側では東京湾以北、日本海では富山以北に分布する。産業的には北海道オホーツク沿岸、噴火湾（内浦)、陸奥湾が代表的である。

ホタテガイの生産が増大したのは極く最近である。昭和40年以前は天然資源に依存していたことからその漁獲量（生産量）は大きく変動し、安定かつ計画的な生産は望めなかった。ホタテガイは水温が6～8℃に上昇する3～4月に産卵し、約40日間の浮遊幼生としてプランクトン生活をし、その後足糸を分泌して付着物に付着するが、夏には付着物から離れて底生生活に移行する生態が判明し（Yamamoto 1950)、その知見を利用して、昭和30年代後半に、付着基質に玉ねぎ袋をかぶせて海中に設置する天然採苗が考案された。採苗器は昭和40年以前は付着基質にワラ縄、杉の葉などのを利用していたが、ホタテガイ稚貝の脱落が多く、実用化されなかった。しかし、昭和40年代には杉の葉（後に合成繊維でできた刺網となる）を玉ねぎ袋に入れた採苗器が開発され、杉の葉または刺網に付着したホタテガイの稚貝が採苗器内で成長し、付着物から離れる時期には玉ねぎ袋の目合いよりも大きくなって玉ねぎ袋から抜け出せなくなる状態になり、天然種苗が大量に確保されるようになった。また、延縄式の垂下養殖が考案されて、餌料、水温などの環境変化をホタテガイの生態に合わせて人為的にある程度コントロールできるとともに、ヒトデなどの外敵生物からも保護できるようになった。

ホタテガイ養殖の実用的研究はこれまで主に天然種苗を安定的に得るための産卵生態（Yamamoto 1950, 1951,1964, Osanai *et al.* 1975,1980, 丸 1978,川真田ら 1981,1983, 1984)、幼生生態（菅野 1970)、採苗予報技術に関する研究（Ito *et al.* 1975, 丸 1985a)、中間育成および養殖技術に関する研究（赤星ら 1970a,1970b, 菅野ら 1970, 伊藤ら 1970)または環境耐性などの生理、生態に関する研究（Yamamoto 1953,1975, 佐藤ら 1977, 丸 1985b）が行われ、天然採苗技術及び養殖技術が進歩した。その結果、近年著しくその生産量を増大させ、日本国内での年間生産量は40万トンを超えるようになった。陸奥湾でもホタテガイの年間生産量は7万トンから8万トンに達している（図1)。

陸奥湾は、東北北部に位置し、津軽半島と下北半島

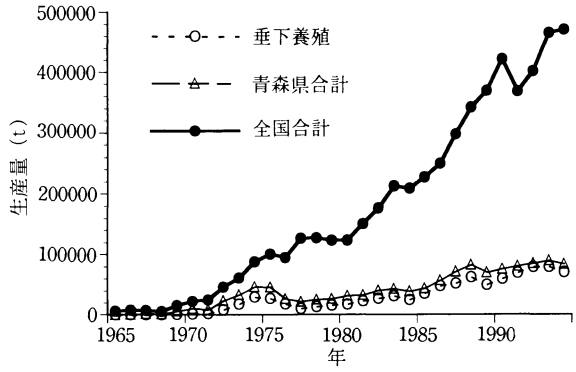


図1　ホタテガイの年間生産量の推移

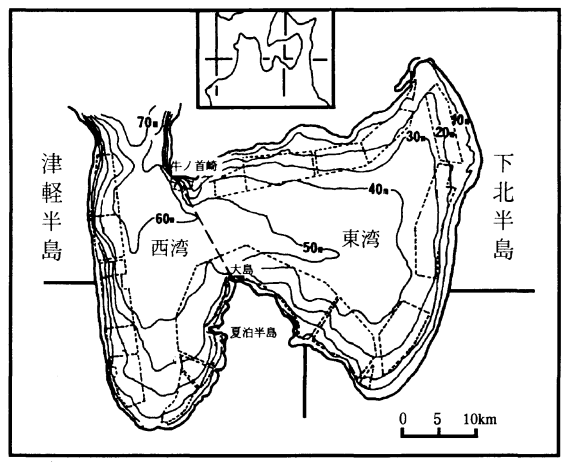


図2　陸奥湾の地形図
点線は垂下養殖区域

に抱かれて、津軽海峡に開口している。また、西湾、東湾に分けられているが、面積は西湾で約640㎢、東湾で約1020㎢で、全湾の総面積は約1660㎢、海岸線の総延長は約246kmにおよぶが、この内500㎢が垂下養殖場として利用されている（図2)。また、陸奥湾でのホタテガイの生産には2種類の方法が採られている。一つは7月から8月にかけて天然採苗した種苗を篭で中間育成した後に同年の12月、または翌年の4月に海底に放流して、2年から3年後に採捕する地まき養殖と、もう一方は7月から8月にかけて天然採苗した種苗を篭に入れて延縄に垂下して半年から2年後に水揚げする垂下養殖である。現在では垂下養殖ホタテガイの生産が90％を占めていて、残りの10％は地まきホタテガイである。昭和40年以前は野生集団としてのホタテガイしかみられなかったが、現在では野生としてのホタテガイは漁業生産には寄与していないし、その生息も無視できる程度となっているものと考えられる。

ホタテガイの大量生産技術は発達をとげたものの、そのために生じる問題、すなわち、過密養殖、頻繁に起こるへい死、身入りの低下、価格の下落など多くの不安定要素が内在している。このため、生産者からは画一的な大量生産だけではなく、ホタテガイの質的向上のための技術が望まれるようになってきた。

陸奥湾においては、これら養殖ホタテガイの種苗は全て天然種苗に依存していて、さらにはこの天然種苗は全て垂下養殖ホタテガイまたは地まきホタテガイから生まれたものと考えられている。また、これまで陸奥湾以外への移出はあったが、麻痺性の貝毒プランクトンの移入を防止するため他地域からの種苗は移入された記録はなく、これからも他地域からの移入はないものと考えられる。したがって、陸奥湾内のホタテガイは天然採苗、中間育成といった人為的操作が加わっているので、野生状態に近い陸奥湾独自の半野生集団であると言える。

また、湾内では、平舘海峡西側から津軽暖流水が流入しているが、この暖流水は津軽半島沿いに西湾奥に向い、反転して夏泊半島西岸を北上する。西湾奥ではこれに対向する時計回りの小環流が時として生じるが、夏泊半島西岸沿いに北上する流れの一部は大島沖を経て東湾に入り、南東に流れ反時計回りに循環する。しかし、北上する流れの大部分は大島と牛ノ首崎の間の海峡を北上し、東湾北岸を経て西の流れとともに、平舘海峡から津軽海峡に流出する。上述のような流れは平舘海峡部を除くと、恒常的に存在するものではなく、東湾の野辺地湾や大湊沖の小環流なども時により存在するものである（図３）。また、海水交換の頻度は、西湾では１～３ヶ月、東湾では２～４ヶ月程度である（日本海洋学会沿岸海洋研究部 1985)。このように陸奥湾には津軽暖流水だけが流入しているが、津軽暖流が陸奥湾に流入する以前の地域すなわち津軽半島の日本海側では天然のホタテガイはほとんど生息しないし、養殖も行われていなかつたので、陸奥湾には陸奥湾以外の地域からのホタテガイの浮遊幼生の流入もないものと考えられている。しかし、２月から４月に産卵されたホタテガイの浮遊幼生は生まれてから30日から40日間浮遊しているので、この緩慢な循環流と冬期間の北西の風による吹送流によって、陸奥湾各地区で生まれたホタテガイの浮遊幼生は同所に留まらず、分散、移動、集積を繰り返して東湾奥に集積される傾向がある（図４）。

このようなことから、陸奥湾には、陸奥湾固有の集団が維持されていると考えられる。さらに、陸奥湾においては種苗となる稚貝の必要個体数は10億個体から20億個体とされているので、現段階では人工採苗による優良な種苗で全て補うことは不可能である。天然種苗に依存している陸奥湾のホタテガイ養殖において生産性と質を向上させるためには陸奥湾全体としてのホタテガイ集団の育種管理が重要と考えられる。集団の育種管理とは集団の遺伝的組成を制御することで、そのためには集団遺伝学的見地から「集団構造」を捉え、集団内の遺伝子の動きを追求し、集団としての生産性と質の向上を目的として、種苗段階での人為的制御をすることである（藤尾 1984a,藤尾・木島 1987)。

本論文では、陸奥湾での養殖ホタテガイの集団構造をアイソザイム遺伝子を用いて遺伝学的に把握し、種苗と養殖貝の遺伝的組成の特徴を明らかにする。さらに、ホタテガイの量的形質の基準値とその特性を明らかにし、質的形質（アイソザイム遺伝子）と量的形質との関連性を解析して、ホタテガイ集団の育種管理の方策について考察することを目的とした。

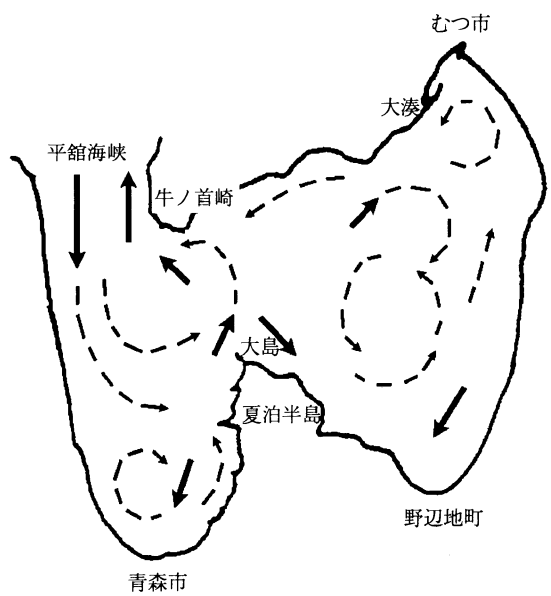


図３　陸奥湾内の循環流

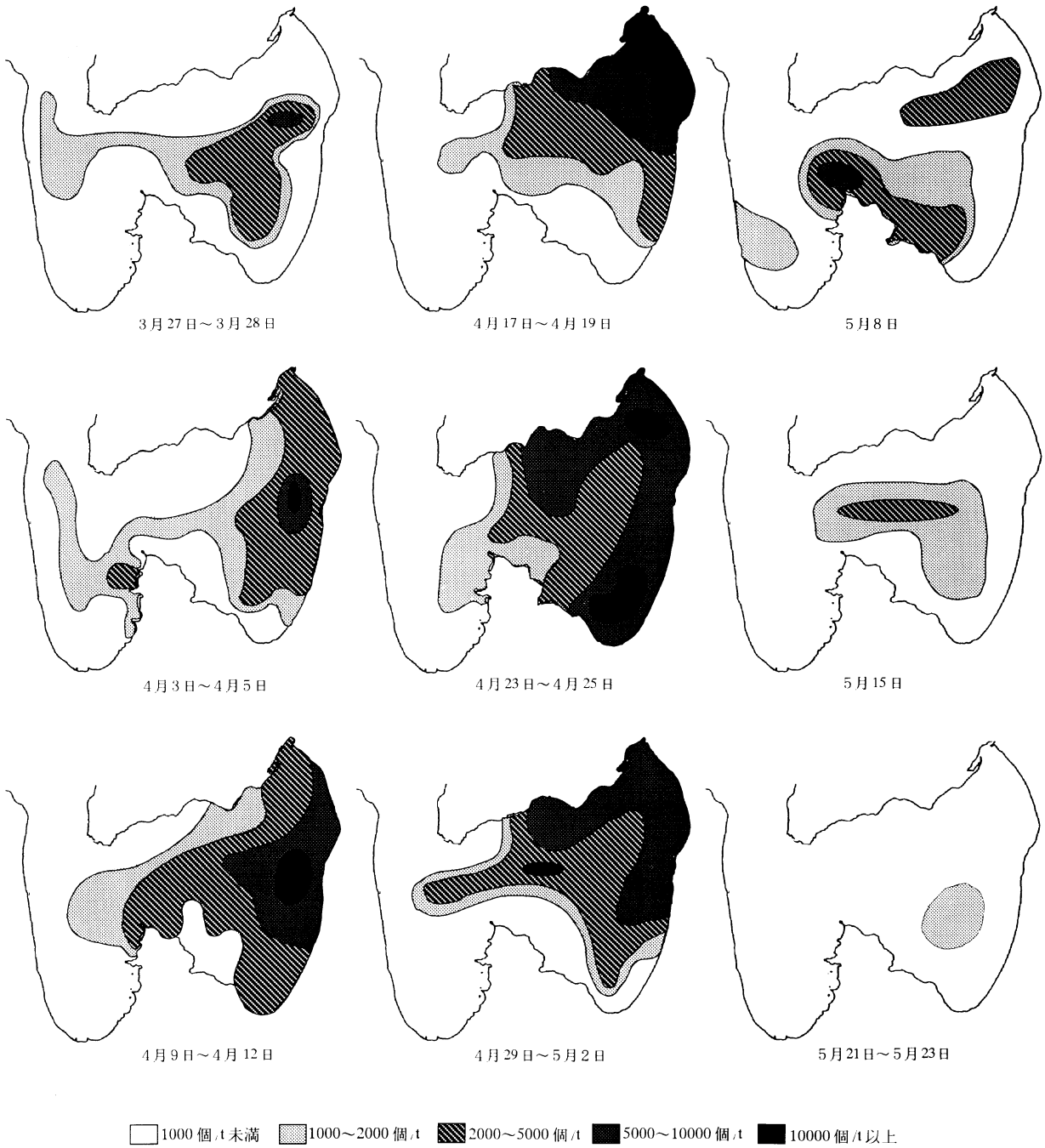


図4　陸奥湾におけるホタテガイ幼生の出現数

第 1 章
陸奥湾におけるホタテガイの遺伝的集団構造

陸奥湾のホタテガイ集団の育種管理を行うためには、集団遺伝学的見地からその集団構造を捉えることが重要である。集団構造を遺伝学的に捉える方法として、質的形質であるアイソザイム遺伝子を標識として遺伝的組成を明らかにすることがなされている。ホタテガイのアイソザイム分析についてはすでにいくつかの報告がある。

藤野・松谷（1980）は北海道サロマ湖と岩手県野田村産ホタテガイで α-glycerophosphate dehydrogenase 遺伝子座の遺伝子頻度が有意に異なっていることを報告している。山中・藤尾（1983）は北海道、青森県、岩手県、宮城県、福島県の６箇所から採取したホタテガイについて14酵素を支配する22アイソザイム遺伝子座について調べ、この内の13遺伝子座で変異がみられ、各地域ごとに遺伝子頻度に差異がみられ、それぞれ異なった繁殖集団を形成していることを報告している。さらに青森県陸奥湾、岩手県野田、宮城県歌津、宮城県雄勝のホタテガイは遺伝的に類似していることを明らかにしている。Kijima *et al.*（1984）はオホーツク海のホタテガイの10サンプルについてアイソザイム分析をおこない、数例を除いて遺伝子頻度がこれらサンプル間で異なり、これらの繁殖構造はそれぞれ独立していることを報告している。

本章はアイソザイム遺伝子を標識として、陸奥湾のホタテガイの集団構造を明らかにすることを目的とした。

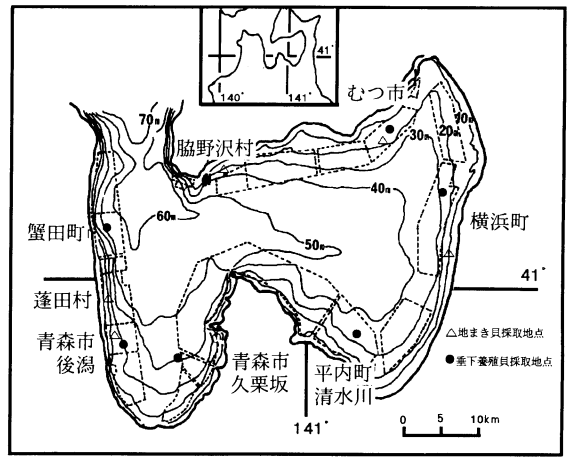


図１―１　ホタテガイの採取地点図

表1―１　実験に用いたホタテガイ

採集地点	ロット番号	採集年月日	個体数	年齢	殻長(mm) 平均±標準偏差
地まき貝					
蓬田村	蓬田-B	1995.8.21	130	1+	79.75 ± 5.22
青森市後潟	後潟-B	1995.10.26	118	1+	85.71 ± 5.54
横浜町	横浜-B	1995.10.31	110	1+	78.42 ± 5.22
むつ市	むつ-B	1995.11.1	110	1+	70.52 ± 5.20
脇野沢村	脇野沢-B	1995.10.31	110	1+	71.32 ± 5.37
垂下養殖貝					
蟹田町	蟹田-H	1995.10.18	110	1+	84.23 ± 5.73
青森市後潟	後潟-H	1995.10.20	111	1+	94.87 ± 6.32
青森市久栗坂	久栗坂-H1	1995.4.28	100	1+	72.06 ± 5.54
青森市久栗坂	久栗坂-H2	1995.4.28	100	1+	74.44 ± 4.60
平内町清水川	清水川-H	1995.10.17	104	1+	85.65 ± 6.26
横浜町	横浜-H	1995.10.20	120	1+	88.57 ± 6.07
むつ市	むつ-H	1995.10.19	120	1+	86.22 ± 5.27
脇野沢村	脇野沢-H	1995.10.24	120	1+	83.10 ± 4.08

材料と方法

実験に用いた養殖ホタテガイは図1-1に示す陸奥湾内の蓬田村、青森市後潟、横浜町、むつ市、脇野沢村の５地点に放流された地まき貝と、蟹田町、青森市後潟、青森市久栗坂、平内町清水川、横浜町、むつ市、脇野沢村の７地点の養殖区域で垂下養殖されていたものである。採取地と採取ロット、採取年月日を表1-1に示した。採取したホタテガイは全て１年貝で、地まき貝が５地点、５ロット、578個体、垂下養殖貝が７地点、８ロット、885個体である。

アイソザイムの検出は、閉殻筋（貝柱）を用いて、藤尾（1984b）の方法に従い、デンプンゲル電気泳動法で行った。すでにホタテガイで多型を示すことが明らかにされているaspartate aminotransferase(AAT)、glucosephosphate isomerase(GPI)、α-glycerophosphate dehydrogenase(α-GPD)、phosphoglucomutase(PGM)の４酵素を支配する４アイソザイム遺伝子座を標識とした。

採取ロット間の遺伝子頻度のばらつきの程度は、Wright（1951）によって提唱された固定指数（Fst）によった。固定指数はロット間の遺伝子頻度の分散（σ^2）と全体の平均遺伝子頻度Pを用いて、$Fst = \sigma^2 / P(1-P)$ によって求めた。

各ロット間の遺伝的差異の程度は４遺伝子座の各対立遺伝子頻度から求めたNei（1978）の遺伝的距離で

表わした。

ホモ接合体過剰の程度を知るためにd値（Selander 1970）を求めた。d＝（Ho-He）／Heで、Hoはヘテロ接合体の観察値から求めたヘテロ接合体率である。Heはハーディ・ワインベルグ平衡を仮定して遺伝子頻度から求めたヘテロ接合体率である。負の値はホモ過剰を示し、正の値はヘテロ過剰を示す。

結　果

1．集団内の遺伝的変異

表1-2に採取ロット別に4アイソザイム遺伝子頻度を示した。*Aat-1*遺伝子座での対立遺伝子は*A*、*B*、*C*の3対立遺伝子、*Gpi*遺伝子座では*A*、*B*、*C*、*D*の4対立遺伝子、α-*Gpd*遺伝子座では*A*、*B*、*C*、*D*の4対立遺伝子、*Pgm-1*遺伝子座では*A*、*B*、*C*、*D*、*E*、*F*の6対立遺伝子が少なくとも1つ以上の採取ロットで観察された。すべての採取ロットで普通にみられたのは*Aat-1*遺伝子座の*B*、*C*対立遺伝子、*Gpi*遺伝子座の*B*、*C*対立遺伝子、α-*Gpd*遺伝子座の*B*、*C*対立遺伝子、*Pgm-1*遺伝子座の*B*、*C*、*D*対立遺伝子である。その他は遺伝子頻度も低く、ロットによってみられたり、みられなかったりした。このような対立遺伝子は稀な対立遺伝子と考えられる。*Aat-1*遺伝子座で最も遺伝子頻度が高い*B*遺伝子は0.600から0.727の範囲にあり、その平均値は0.674で、ロット間のふれを表わすFstをみると0.0075となった。*Gpi*遺伝子座で最も遺伝子頻度が高い*C*遺伝子は0.717から0.869の範囲にあり、平均値は0.822で、Fstは0.0114となった。α-*Gpd*遺伝子座で遺伝子頻度が最も高い*C*遺伝子は0.501から0.671の範囲にあり、その平均値は0.602で、Fstは0.0084となった。*Pgm-1*遺伝子座で最も遺伝子頻度が高い*D*遺伝子は0.493から0.637の範囲にあり、その平均値は0.564で、Fstは0.0060となった。

各ロット間の遺伝的変異の程度を遺伝子座当りの対立遺伝子数および平均ヘテロ接合体率（He）で求めた（表1-3）。その結果、遺伝子座当りの平均対立遺伝子数はロットによって2.8から3.8に分布し、平均3.0であった。4遺伝子座の平均ヘテロ接合体率は0.429から0.481の範囲にあり、平均は0.443であった。

表1—2　各地点における地まき貝、垂下養殖貝の遺伝子頻度

ロット	*Aat-1*			*Gpi*				α-*Gpd*				*Pgm-1*					
	A	*B*	*C*	*A*	*B*	*C*	*D*	*A*	*B*	*C*	*D*	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*
地まき貝																	
蓬田-B	0.000	0698	0.302	0.000	0.124	0.868	0.008	0.000	0.434	0.566	0.000	0.000	0.093	0.360	0.535	0.008	0.004
後潟-B	0.004	0.712	0.284	0.000	0.165	0.831	0.004	0.013	0.398	0.576	0.013	0.000	0.097	0.394	0.493	0.008	0.008
横浜-B	0.000	0.727	0.273	0.000	0.191	0.804	0.005	0.000	0.405	0.563	0.032	0.000	0.123	0.323	0.540	0.005	0.009
むつ-B	0.000	0.668	0.332	0.005	0.150	0.845	0.000	0.018	0.463	0.501	0.018	0.005	0.105	0.305	0.580	0.005	0.000
脇野沢-B	0.005	0.663	0.332	0.000	0.168	0.832	0.000	0.000	0.377	0.618	0.005	0.000	0.100	0.332	0.559	0.009	0.000
地まき貝平均	0.002	0.694	0.305	0.001	0.160	0.836	0.003	0.006	0.415	0.565	0.014	0.001	0.104	0.343	0.541	0.007	0.004
垂下養殖貝																	
蟹田-H	0.005	0.700	0.295	0.000	0.186	0.814	0.000	0.009	0.391	0.595	0.005	0.000	0.068	0.286	0.637	0.000	0.009
後潟-H	0.000	0.608	0.392	0.000	0.153	0.847	0.000	0.005	0.351	0.631	0.013	0.000	0.072	0.333	0.581	0.009	0.005
久栗坂-H1	0.005	0.690	0.305	0.000	0.145	0.855	0.000	0.035	0.330	0.610	0.025	0.000	0.066	0.328	0.601	0.005	0.000
久栗坂-H2	0.000	0.650	0.350	0.000	0.131	0.869	0.000	0.021	0.340	0.634	0.005	0.000	0.065	0.355	0.565	0.005	0.010
清水川-H	0.000	0.716	0.284	0.000	0.226	0.774	0.000	0.005	0.318	0.654	0.024	0.000	0.072	0.356	0.553	0.014	0.005
横浜-H	0.000	0.679	0.321	0.000	0.200	0.800	0.000	0.000	0.363	0.600	0.037	0.000	0.121	0.250	0.621	0.008	0.000
むつ-H	0.008	0.600	0.392	0.000	0.283	0.717	0.000	0.004	0.342	0.646	0.008	0.000	0.088	0.346	0.554	0.004	0.008
脇野沢-H	0.000	0.633	0.367	0.000	0.183	0.817	0.000	0.000	0.300	0.671	0.029	0.000	0.092	0.341	0.542	0.025	0.000
垂下養殖貝平均	0.002	0.660	0.338	0.000	0.188	0.812	0.000	0.010	0.342	0.630	0.018	0.000	0.081	0.324	0.582	0.009	0.005
全体平均	0.002	0.674	0.324	0.000	0.176	0.822	0.001	0.008	0.373	0.602	0.016	0.000	0.090	0.332	0.564	0.008	0.004
Fst	0.0075			0.0114				0.0084				0.0060					

表1—3　各ホタテガイの採取ロットにおける遺伝子座当りの対立遺伝子数とヘテロ接合体率（He）

ロット	*Aat-1*		*Gpi*		*α-Gpd*		*Pgm-1*		平均	
	対立遺伝子数/遺伝子座	He	対立遺伝子数/遺伝子座	He	対立遺伝子数/遺伝子座	He	対立遺伝子数/遺伝子座	He	対立遺伝子数/遺伝子座	He
地まき貝										
蓬田-B	3	0.422	3	0.231	2	0.491	5	0.575	3.3	0.430
後潟-B	3	0.412	3	0.282	4	0.509	5	0.592	3.8	0.449
横浜-B	2	0.397	3	0.317	3	0.518	5	0.589	3.3	0.455
むつ-B	2	0.444	3	0.263	4	0.534	5	0.560	3.5	0.450
脇野沢-B	3	0.450	2	0.280	3	0.476	4	0.567	3.0	0.433
垂下養殖貝										
蟹田-H	3	0.423	2	0.303	4	0.493	4	0.508	3.3	0.432
後潟-H	2	0.477	2	0.259	4	0.478	5	0.546	3.3	0.440
久栗坂-H1	3	0.431	2	0.248	4	0.517	4	0.527	3.3	0.431
久栗坂-H2	2	0.455	2	0.228	4	0.482	5	0.550	3.3	0.429
清水川-H	2	0.407	2	0.350	4	0.471	4	0.562	3.0	0.448
横浜-H	2	0.436	2	0.320	3	0.507	4	0.537	2.8	0.450
むつ-H	3	0.486	2	0.406	4	0.466	5	0.566	3.5	0.481
脇野沢-H	2	0.464	2	0.300	3	0.459	4	0.503	2.8	0.432
全体平均	2.4	0.438	2.3	0.290	2.8	0.493	4.5	0.554	3.0	0.443

2．採取ロット間の遺伝的差異

表1-4、表1-5には地まき貝、垂下養殖貝ごとに各ロット間の遺伝子頻度の有意差検定を行った結果を示した。数値は遺伝子頻度に有意差がみられた遺伝子座数である。採取ロットを地まき貝、垂下養殖貝に分けて、それぞれの中のロット間の差をみたところ、地まき貝では5ロット10組み合わせ中、4組み合わせ（40％）で有意差が認められた。また、任意にとった2ロット間で有意差がみられる遺伝子座の数は平均0.40個であった。一方、垂下養殖貝では8ロット、28組み合わせ中20組み合わせ（71.4％）で有意差がみられ、任意にとった2ロット間で有意差がみられる遺伝子座の数は平均1.14個であった。すなわち、垂下養殖貝では地まき貝よりもロット間の遺伝的差異が多く認められたことを示した。

地まき貝および垂下養殖貝の採取ロット間の遺伝的差異の程度を知るために、Neiの遺伝的距離を求めた。

表1－4　地まき貝の採取ロット間における遺伝子頻度のt検定

ロット	地まき貝				
	蓬田-B	後潟-B	横浜-B	むつ-B	脇野沢-B
蓬田-B				4/10 (0.40)	
後潟-B	0				
横浜-B	1	0			
むつ-B	0	1	0		
脇野沢-B	0	0	1	1	

数値は有意な差が見られた遺伝子座数

表1－5　垂下養殖貝の採取ロット間における遺伝子頻度のt検定

ロット	垂下養殖貝							
	蟹田-H	後潟-H	久栗坂-H1	久栗坂-H2	清水川-H	横浜-H	むつ-H	脇野沢-H
蟹田-H								
後潟-H	1					20/28 (1.14)		
久栗坂-H1	0	1						
久栗坂-H2	0	0	0					
清水川-H	0	1	2	1				
横浜-H	2	0	2	2	1			
むつ-H	2	1	3	1	1	3		
脇野沢-H	2	0	1	1	0	1	1	

数値は有意な差が見られた遺伝子座数

その結果、表1-6、表1-7に示したように、地まき貝のロット間の遺伝的距離は0.0017から0.0069に分布し、平均は0.0037（±0.0016）であった。一方、垂下養殖貝のロット間の遺伝的距離は0.0012から0.0127、平均0.0059（±0.0030）となり、地まき貝のロット間よりも大きな違いを示した。

地まき貝および垂下養殖貝の採取ロット間の遺伝的類縁関係をみるためにNeiの遺伝的距離から枝分かれ図を作成した。その結果を図1-2に示すように、地まき貝のロット間ではむつ－Bと脇野沢－Bでは順位が逆となったが、湾口西部の蓬田村－Bから湾岸に沿って地理的に近いロット間が遺伝的に近い関係を示した。それに対して垂下養殖貝は同じ地点の久栗坂で他よりも大きく隔る関係を示すなどから地理的関係とは無関係に枝分かれ図が描かれた。

表１－６　地まき貝の遺伝的距離

ロット	地まき貝				
	蓬田-B	後潟-B	横浜-B	むつ-B	脇野沢-B
蓬田-B					
後潟-B	0.0017			0.0037 ± 0.0016 (0.0017-0.0069)	
横浜-B	0.0030	0.0024			
むつ-B	0.0030	0.0069	0.0047		
脇野沢-B	0.0028	0.0035	0.0032	0.0053	

数値は有意な差が見られた遺伝子座数

表１－７　垂下養殖貝の遺伝的距離

ロット	垂下養殖貝							
	蟹田-H	後潟-H	久栗坂-H1	久栗坂-H2	清水川-H	横浜-H	むつ-H	脇野沢-H
蟹田-H								
後潟-H	0.0063							
久栗坂-H1	0.0026	0.0037				0.0059 ± 0.0030 (0.0012-0.0127)		
久栗坂-H2	0.0057	0.0012	0.0016					
清水川-H	0.0055	0.0083	0.0045	0.0062				
横浜-H	0.0016	0.0061	0.0040	0.0069	0.0063			
むつ-H	0.0115	0.0075	0.0127	0.0108	0.0072	0.0098		
脇野沢-H	0.0083	0.0022	0.0045	0.0025	0.0043	0.0067	0.0055	

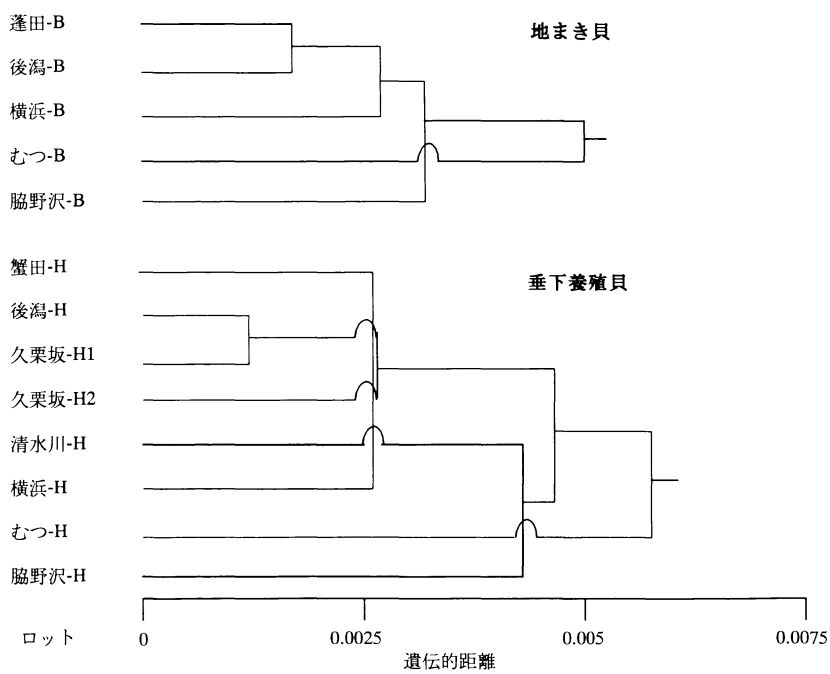


図１—２　陸奥湾内でのホタテガイの遺伝的距離

3．地まき貝と垂下養殖貝の遺伝子型分布の差異

地まき貝と垂下養殖貝の遺伝子型組成の特徴を比較するために、ホモ過剰、ヘテロ過剰の程度を示すd値を求めた（表1-8）。

調べた４遺伝子座のうち、ハーディ・ワインベルグ平衡を仮定したときの観察値と期待値のずれが有意であったのは地まき貝のα-*Gpd*遺伝子座で、５ロット中３ロットがホモ過剰であり、有意ではなかったが、その他の２ロットではホモ過剰傾向を示した。垂下養殖貝では８ロット中、*Gpi*遺伝子座で１ロット、α-*Gpd*遺伝子座で１ロットがホモ過剰を示した。しかし、どちらの遺伝子座も他のロットはホモ過剰傾向を示す地点、ヘテロ過剰傾向を示す地点が同じではなかった。これらを総合的にみるために平均値を求めたところ、地まき貝はすべてのロットでホモ過剰を示したが、垂下養殖貝はヘテロ過剰を示すロットもみられた。また、その程度は地まき貝で－0.102、垂下養殖貝で－0.015となり、地まき貝のロットでよりホモ過剰の程度が大きいことが示された。

表1—8　各採取ロットにおける地まき貝、垂下養殖貝のd値

ロット	*Aat-1*	*Gpi*	α-*Gpd*	*Pgm-1*	平　均
地まき貝					
蓬田-B	0.028	0.009	-0.305*	-0.002	-0.079
後潟-B	-0.117	-0.188	-0.134	0.002	-0.094
横浜-B	0.008	-0.227	-0.315*	-0.058	-0.145
むつ-B	0.167	0.038	-0.449*	0.039	-0.073
脇野沢-B	0.091	-0.057	-0.275	-0.182	-0.117
地まき貝平均	0.035	-0.085	-0.296	-0.040	-0.102
垂下養殖貝					
蟹田-H	-0.033	-0.310*	-0.004	0.037	-0.053
後潟-H	-0.113	-0.236	0.151	-0.026	-0.032
久栗坂-H1	-0.002	-0.234	-0.188*	-0.042	-0.104
久栗坂-H2	-0.165	-0.202	0.048	0.055	0.030
清水川-H	-0.125	-0.094	0.083	0.025	-0.033
横浜-H	0.050	0.031	0.002	0.102	0.049
むつ-H	0.097	0.108	-0.178	-0.072	-0.017
脇野沢-H	0.185	-0.057	-0.200	0.193	0.042
垂下養殖貝平均	-0.013	-0.065	-0.036	0.034	-0.015
全体平均	0.008	-0.074	-0.147	0.002	-0.052

*はハーディ・ワインベルグの平衡と有意に異なっているもの

考　察

遺伝的変異性は海産軟体動物は一般に海産脊椎動物よりも高いことが知られている（Fujio *et al.* 1983）。ホタテガイでも高い変異性を示すことが報告されている（Kijima *et al.* 1984, Oniwa *et al.* 1994, Yotsutani *et al.* 1995）。Yotsutani *et al.*（1995）が北海道、本州のホタテガイ37ロットについて、同じ４アイソザイム遺伝子座で算出した期待値のヘテロ接合体率（He）は0.420であり、今回の結果とほぼ同レベルの値であった。このことから、陸奥湾内でも高い遺伝的変異性は保有されているものと考えられた。

しかし、遺伝子座当りの遺伝子数は平均3.0であったが、ロット間の遺伝子頻度のふれを表わすFstは0.0060から0.0114の範囲にあり、その平均0.0083であった。Kijima *et al.*（1984）が分析したオホーツク海における10サンプルで同じ４アイソザイム遺伝座の遺伝子頻度から算出した遺伝子座当りの遺伝子数は平均3.5で、遺伝子座当りの遺伝子数には大差はないが、Fstの平均は0.0202であり、今回の調査の２倍以上の値であった。また、Yotsutani *et al.*（1995）が北海道、本州のホタテガイ37ロットで求めた同じ４アイソザイム遺伝座のFstは0.016から0.027の範囲にあり、その平均は0.022で、同様に２倍以上の値であった。このことは、陸奥湾内でのホタテガイの分化の程度は低く、陸奥湾のホタテガイは１つの遺伝子給源（遺伝子プール）として存在することが考えられる。

今回の１年貝のホタテガイが全般的にホモ過剰を示

した。若し近交が進んだ状態では全ての遺伝子座でホモ過剰がみられ、遺伝的変異性の低下がみられるはずであるが、遺伝子頻度、ヘテロ接合体率からみて陸奥湾内でも高い変異性を示したことや、地まき貝の*Aat-1*遺伝子座ではホモ過剰を示さなかったことから考えて、陸奥湾内のホタテガイ集団の近交が高まっているとは考えにくい。一般に海産二枚貝等はホモ過剰を示すことが知られている（Zouros 1984, Beamount 1991, Beamount and Zouros 1991)。これはパッチ状の遺伝的に異なる繁殖集団から生まれた浮遊幼生が混合するために起る“Wahlund効果”(Wahlund 1928)によるものと考えられている。陸奥湾内でもこのホモ過剰を示す要因として、異なる遺伝的組成を持つホタテガイの母貝から生まれた幼生は比較的長い間浮遊生活(40日間)をし、その間に潮流等で陸奥湾内で拡散、混合を繰り返しているためと考えられる。

また、地まき貝より垂下養殖貝で各採取地点間で遺伝子頻度に有意な差が多く認められ、遺伝的距離から作成した枝分かれ図からみても垂下養殖貝で地理的関係と遺伝的関係が見られなかったこと、さらに地まき貝ではすべてのロットでホモ過剰を示したが、垂下養殖貝ではホモ過剰傾向を示すロットとヘテロ過剰を示すロットがみられたことは、地まき貝と養殖貝では生存性が遺伝子型によって異なる可能性が考えられる。Fujio *et al.*（1979）はオホーツク海におけるホタテガイの種苗と放流貝を比較し、種苗でホモ過剰が高く、放流再捕貝では低くなっていることを明らかにし、その原因の１つとして天然の生息地ではヘテロ性が高い個体の生存性が良いことによると報告している。Yotsutani *et al.*（1995）はホタテガイにおいて成長を支配する遺伝子群とともにホモ接合体が減少するのは、アイソザイム遺伝子座でのホモ接合体が成長を支配する遺伝子群とは連鎖していないが、活力、生残と相関があり、劣性有害遺伝子とアイソザイム遺伝子座が連鎖しているためと仮定している。同様のことがマガキでも報告されている（Fujio *et al.* 1979、Fujio 1982)。これらのことから、アイソザイム遺伝子座におけるヘテロ個体は生存性に関して有利な方に働くと考えられるが、０年貝までは地まき貝、垂下養殖貝とも同じ方法で中間育成されているので、その後の育成方法、飼育環境によってホモ接合体個体の生存性に影響を与えていることが考えられる。地まき貝は比較的水温の低い海底に生息するが、垂下養殖貝は比較的水温の高い中層以浅で飼育されるので、陸奥湾においては夏期になると水温がホタテガイの臨界水温と言われる23℃を超え、へい死に至ることがしばしばある（平野ら1986)。さらに、垂下養殖貝は貝同士のぶつかり合いにより外套膜などに損傷を与えてへい死に至ることもある（小坂ら 1996)。このように垂下養殖は地まき貝よりもへい死に至るような飼育環境要因が多くあることがあげられる。

要　約

陸奥湾におけるホタテガイの遺伝的集団構造を明らかにするために多型を示す４アイソザイム遺伝子座を標識として、地まき貝５地点５ロット、垂下養殖貝７地点８ロットの遺伝的組成を調べた。その結果、

１）遺伝的変異性は陸奥湾における地まき貝も垂下養殖貝も高かった。

２）採取ロット間の遺伝子頻度の差と遺伝的距離を調べたところ、採取ロット間で遺伝的組成のばらつきが認められたが、分化の程度は小さく、陸奥湾のホタテガイが１つの遺伝子給源として存在すると考えられた。

３）地まき貝のロット間と垂下養殖貝のロット間に分けてみたところ、両者間の遺伝子頻度の差異の程度は小さかった。

４）採取ロット間の遺伝的類縁関係を調べたところ、地まき貝では地理的関係とよく合う傾向を示したが、垂下養殖貝では地理的関係とは無関係であった。

５）遺伝子型の分布を調べたところ、地まき貝のロットが垂下養殖貝のロットよりも大きなホモ過剰を示すことがわかった。

第　2　章

ホタテガイの種苗の遺伝的特徴

陸奥湾ではすべての種苗を天然採苗に依存しており、その選別も採苗器に付着した稚貝をフルイにかけて大きいものだけを選び出して、地まき用種苗および垂下養殖用種苗として用いており、意識的な選別はまったく行われていない。それにも拘わらず、前章においては地まき貝のロットが垂下養殖貝のロットよりも大きなホモ過剰を示し、養殖方法によって養殖された個体の生存性の異なる可能性が示唆された。従って、ホタテガイの育種管理を行うためには、種苗の段階での遺伝的特徴を明らかにするとともに、選別という作業によりホタテガイの遺伝的組成に与える影響および遺伝子型と生存性等の経済形質についても捉えること

が必要である。

Fujio and Brand（1991）はホーツク海におけるホタテガイの種苗と放流貝を比較し、種苗の観察値のヘテロ接合体率が期待値のヘテロ接合体率よりも有意に低いホモ過剰を示した。さらに、成長とともにホモ接合体率の減少がみられたことから劣性有害遺伝子とアイソザイム遺伝子座が連鎖しているためにホモ接合体とヘテロ接合体とで生存率が異なることが考えられると報告している。また、Yotsutani *et al.*（1995）もホタテガイにおいて成長とともにホモ接合体が減少していくことを報告している。

本章ではアイソザイム遺伝子を標識として、種苗の遺伝的特徴を明かにし、さらにアイソザイム遺伝子と生存性との関係について調べることを目的とした。

材料と方法

実験に用いたホタテガイの種苗は陸奥湾内の青森市久栗坂沖において1994年と1995年に玉ねぎ袋に刺網を入れた採苗器により天然採苗したものである。種苗は数個の採苗器のものを混合したものから採苗器内の刺網に付着していたものと、刺網に付着していたものをフルイで選別して、フルイに残ったもの、フルイから落ちたもの、さらに刺網から落下してタマネギ袋の底に溜まっていたものをそれぞれ別々に任意に採取した。各ロットの名称をそれぞれ種苗付着、種苗大、種苗小、種苗落下とした（表2-1）。選別には1994年は1辺の目合いが6.6mmのフルイを用いて選別し、そのまま検体として用いた。1995年は7月18日に1辺の目合いが5mmのフルイで選別し、それぞれ別々に8月3日まで採苗器内で蓄養してから検体として用いた。

アイソザイムの検出は、藤尾（1984b）の方法に従い、デンプンゲル電気泳動法で行った。採取ロット間の遺伝子頻度のばらつきの程度は、Wright（1951）によって提唱された固定指数（Fst）によった。ホモ接合体過剰の程度を知るためにd値（Selander 1970）を求めた。d＝（Ho-He）／Heで、Hoは観察値から求めたヘテロ接合体率である。Heはハーディ・ワインベルグ平衡を仮定して遺伝子頻度から求めたヘテロ接合体率である。

表2—1　実験に用いたホタテガイの種苗

種　類	ロット	採集年月日	個体数	年齢	殻長(mm) 平均±標準偏差
1994年産種苗	94-種苗付着	1994.7.27	104	0+	7.05 ± 1.27
	94-種苗大	1994.7.27	94	0+	7.82 ± 1.09
	94-種苗小	1994.7.27	87	0+	6.00 ± 1.13
	94-種苗落下	1994.7.27	111	0+	7.62 ± 1.41
1995年産種苗	95-種苗付着	1995.8.3	103	0+	10.40 ± 2.04
	95-種苗大	1995.8.3	104	0+	11.35 ± 1.16
	95-種苗小	1995.8.3	101	0+	6.68 ± 1.30
	95-種苗落下	1995.8.3	104	0+	9.17 ± 2.37

結　果

1．種苗の遺伝的変異

ホタテガイの種苗（3.53mm～16.13mm）の閉殻筋を用いて4酵素についてアイソザイムの検出を行ったところ、常に安定した活性を示し、出現バンドの判定と遺伝子型の推定ができたのは、phospho-glucomutase(PGM)の*Pgm-1*アイソザイム遺伝子座だけであった。この酵素を用いて、ホタテガイ種苗のアイソザイム分析を行った。

採取ロット別の遺伝子頻度を表2-2に示した。1994

表2—2　ホタテガイ種苗の*Pgm-1*遺伝子座における遺伝子頻度

種　類	ロット	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*
1994年産種苗	94-種苗付着	0.005	0.130	0.356	0.480	0.005	0.024
	94-種苗大	0.005	0.069	0.351	0.527	0.037	0.011
	94-種苗小	0.000	0.075	0.379	0.524	0.011	0.011
	94-種苗落下	0.000	0.144	0.351	0.428	0.036	0.041
	Fst				0.0086		
1995年産種苗	95-種苗付着	0.010	0.087	0.311	0.567	0.015	0.010
	95-種苗大	0.000	0.149	0.351	0.486	0.014	0.000
	95-種苗小	0.000	0.104	0.302	0.579	0.010	0.005
	95-種苗落下	0.000	0.120	0.385	0.476	0.005	0.014
	Fst				0.0115		

年、1995年の種苗ともにA、B、C、D、E、Fの6対立遺伝子が観察されたが、2カ年ともにすべての採取ロットでみられたのはB、C、D、Eの4対立遺伝子である。そのうちD対立遺伝子は常に遺伝子頻度が最も高い値を示し、1994年の種苗で0.428から0.527、1995年の種苗では0.476から0.579の範囲にあった。C対立遺伝子はどの種苗も2番目に高い遺伝子頻度を示した。D、C遺伝子で約80～90％を占めていた。ロット間の遺伝子頻度のふれを表わすFstは1994年の種苗で0.0086で、1995年の種苗では0.0115となり、1995年のほうが高かった。

表2－3　ホタテガイ種苗のヘテロ接合体率とd値

種　類	ロット	Ho	He	d
1994年産種苗	94-種苗付着	0.654	0.625	0.046
	94-種苗大	0.532	0.593	－0.103*
	94-種苗小	0.522	0.576	－0.094
	94-種苗落下	0.495	0.670	－0.261*
	平　均	0.551	0.616	－0.106
1995年産種苗	95-種苗付着	0.485	0.574	－0.155*
	95-種苗大	0.558	0.618	－0.097
	95-種苗小	0.416	0.563	－0.261
	95-種苗落下	0.588	0.611	－0.038
	平　均	0.512	0.592	－0.135
種苗全体	平　均	0.535	0.606	－0.117

＊ハーディ・ワインベルグの平衡と有意に異なっているもの.

2．種苗のホモ接合体、ヘテロ接合体過剰

表2-3には観察値のヘテロ接合体率、期待値のヘテロ接合体率、ホモ接合体とヘテロ接合体の過剰の程度を表わすd値を各ロットごとに示した。1994年の種苗と1995年の種苗における観察値のヘテロ接合体率(Ho)、期待値のヘテロ接合体率（He)を比較すると、1994年の種苗における観察値の平均ヘテロ接合体率は0.551、期待値の平均ヘテロ接合体率は0.616であったが、1995年の種苗はそれぞれ0.512、0.592となり、観察値、期待値ともに1994年の種苗のほうがやや高かったが、極端な変化はなかった。また、ハーディ・ワインベルグ平衡下での期待値からはずれてホモ過剰を示すロットは1994年の種苗では種苗大と種苗落下の2ロットであったが、1995年の種苗では種苗付着の1ロットであった。しかし、種苗の各ロットの遺伝子型組成を調べるために、それぞれのd値を求めたところ1994年、1995年の種苗ともに平均ではホモ過剰傾向を示した。その内訳をみると1994年の種苗では種苗付着がヘテロ過剰を示したが、他の3ロットはホモ過剰を示し、1995年の種苗はすべてのロットでホモ過剰傾向を示した。

表2—4　種苗のサイズ別ヘテロ接合体率とd値

種　類	ロット	サイズ	個体数	殻長（mm）	Ho	He	d
1994年産種苗	94-種苗付着	大	30	8.52 ± 0.60	0.467	0.513	－0.090
		小	30	5.49 ± 0.49	0.567	0.651	－0.130
		全　体	104	7.05 ± 1.27	0.654	0.625	0.046
	94-種苗大	大	30	9.09 ± 0.63	0.500	0.558	－0.104
		小	30	6.66 ± 0.47	0.533	0.573	－0.070
		全　体	94	7.82 ± 1.09	0.532	0.593	－0.103
	94-種苗小	大	30	7.02 ± 1.45	0.533	0.588	－0.093
		小	30	5.05 ± 0.48	0.667	0.576	0.157
		全　体	87	6.00 ± 1.13	0.522	0.576	－0.042
	94-種苗落下	大	30	9.41 ± 0.70	0.600	0.659	－0.090
		小	30	5.95 ± 0.67	0.467	0.640	－0.271
		全　体	111	7.62 ± 1.41	0.495	0.670	－0.261
1995年産種苗	95-種苗付着	大	30	12.82 ± 0.81	0.700	0.589	0.188
		小	30	8.17 ± 0.73	0.500	0.596	－0.160
		全　体	103	10.40 ± 2.04	0.485	0.574	－0.155
	95-種苗大	大	30	13.31 ± 0.59	0.533	0.653	－0.183
		小	30	9.54 ± 0.62	0.433	0.579	－0.252
		全　体	104	11.35 ± 1.16	0.558	0.618	－0.097
	95-種苗小	大	30	8.33 ± 1.24	0.500	0.571	－0.125
		小	30	5.62 ± 0.38	0.367	0.579	－0.367
		全　体	101	6.68 ± 1.30	0.416	0.563	－0.261
	95-種苗落下	大	30	12.58 ± 0.82	0.733	0.619	0.184
		小	30	6.95 ± 0.77	0.500	0.619	－0.193
		全　体	104	9.17 ± 2.37	0.588	0.611	－0.087

表２－５　ホタテガイの種苗におけるホモ接合体とヘテロ接合体の平均殻長(mm)

種類	ロット	ホモ接合体			ヘテロ接合体	
種苗	94-種苗付着	7.31 ± 1.43	(36)	>	6.91 ± 1.17	(68)
	94-種苗大	7.79 ± 1.14	(44)	<	7.82 ± 1.07	(50)
	94-種苗小	6.38 ± 1.09*	(39)	>	5.93 ± 0.97	(48)
	94-種苗落下	7.39 ± 1.36	(52)	<	7.90 ± 1.42	(59)
	95-種苗付着	10.12 ± 1.16	(53)	<	10.73 ± 2.25	(50)
	95-種苗大	11.26 ± 1.58	(45)	<	11.40 ± 1.65	(59)
	95-種苗小	6.81 ± 1.16	(59)	<	7.14 ± 1.47	(42)
	95-種苗落下	9.21 ± 2.26	(46)	<	10.26 ± 2.44*	(58)

*はP < 0.05で有意に大きかったもの. 括弧内は個体数.

3．ホモ過剰、ヘテロ過剰とサイズの関係

同一ロット内での大きいサイズのグループと小さいサイズのグループ間でホモ過剰の程度に傾向性があるかどうか調べるために、それぞれのロットを大きいほうから30個体、小さいほうから30個体選び、ホモ過剰の程度を調べた。その結果を表2-4に示す。1994年の種苗の各ロットのHoをみると、落下種苗では大きいサイズのほうが高いHoを示したが、その他の３ロットは小さいサイズで高いHoを示した。次にホモ接合体過剰の程度をサイズの大、小で比較すると、種苗大、種苗小ではサイズが大きいほうがホモ過剰の程度が大きかったが、その他はサイズの小さいほうがホモ過剰の程度が大きかった。

一方、1995年の種苗の各ロットのHoをみると、すべてのロットでサイズが大きいほうが小さいサイズよりも大きな値を示した。d値についてみると、すべてのロットにおいてサイズが小さいほうが大きいサイズよりも低い値を示し、小さいサイズがそろってより大きなホモ過剰傾向を示した。

さらに、各ロットについてホモ接合体とヘテロ接合体に分けて平均殻長を比較した。その結果、表2-5に示したように、1994年の種苗では種苗付着、種苗小のロットでホモ接合体が大きく、種苗大、種苗落下のロットではヘテロ接合体が大きく、一定傾向はみられなかった。一方、1995年の種苗はすべてのロットがヘテロ接合体が大きい傾向を示した。

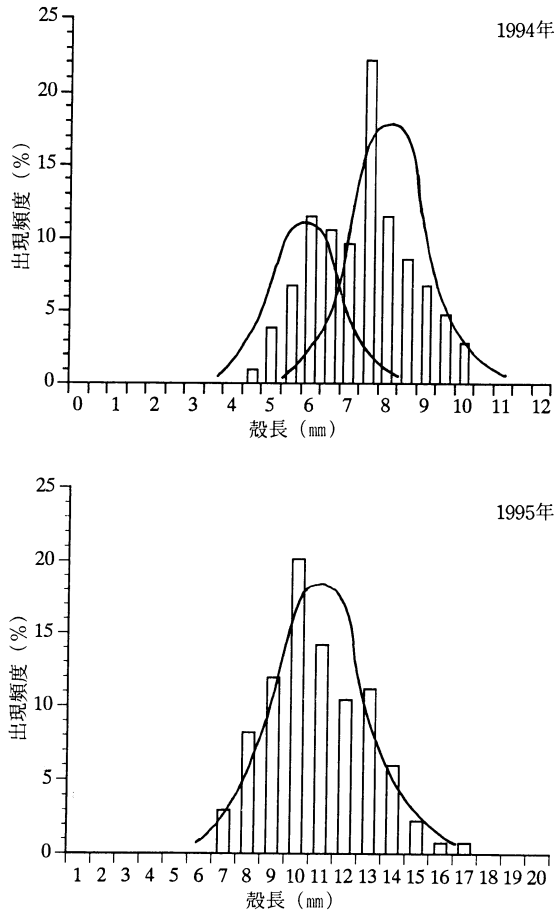


図２—１　種苗（付着稚貝）の殻長組成

考　察

Fujio *et al.*(1983)は天然において幼生が浮遊性である斧足類はホモ接合体の頻度がハーディ・ワインベルグ平衡下の期待値より有意に高いことを報告している。また、一般に海産二枚貝等はホモ過剰を示すことが知られている（Zouros 1984, Beamount 1991a, 1991b)。この原因の１つとしてパッチ状の遺伝的に異なる繁殖集団から生まれた浮遊幼生が混合するために起る“Wahlund効果”(Wahlund 1928)が提起されている。

本章において、ホタテガイの種苗は年によりホモ過剰の程度が異なるものの、全体的にはホモ過剰が高い傾向が見られた。すなわち、1995年の種苗の各ロットはすべてのサイズで小さい個体のHoが低く、ホモ過

剰の程度が高いことを示したのに対して、1994年の種苗ではその傾向が認められなかった。このような年による違いの要因を確かめるために、1994年と1995年の付着稚貝の殻長の正規分布をCassei(1954)の方法により分離すると、1994年は2群に分けられたが、1995年は1群から構成されていた（図2-1)。1955年の種苗は大きな一群の中から中央値を境としてフルイに残ったロット（95-種苗大）とフルイから落ちたロット（95-種苗小）に分けられたが、1994年の種苗は稚貝採取のときにフルイに残ったロット（94-種苗大）の中で大きいサイズのものは第1群（殻長が大きい群）だけで形成されているが、小さいサイズのものは第1群の小さいサイズの個体と第2群の大きいサイズの個体が混在していた。逆にフルイから落ちたロット（94-種苗小）の中で小さいサイズのものは第2群だけで形成されているが、大きいサイズのものは第1群と第2群のものが混在していた（図2-2)。従って、1995年では同じ時期に異なる組成のパッチが混合したと考えられる

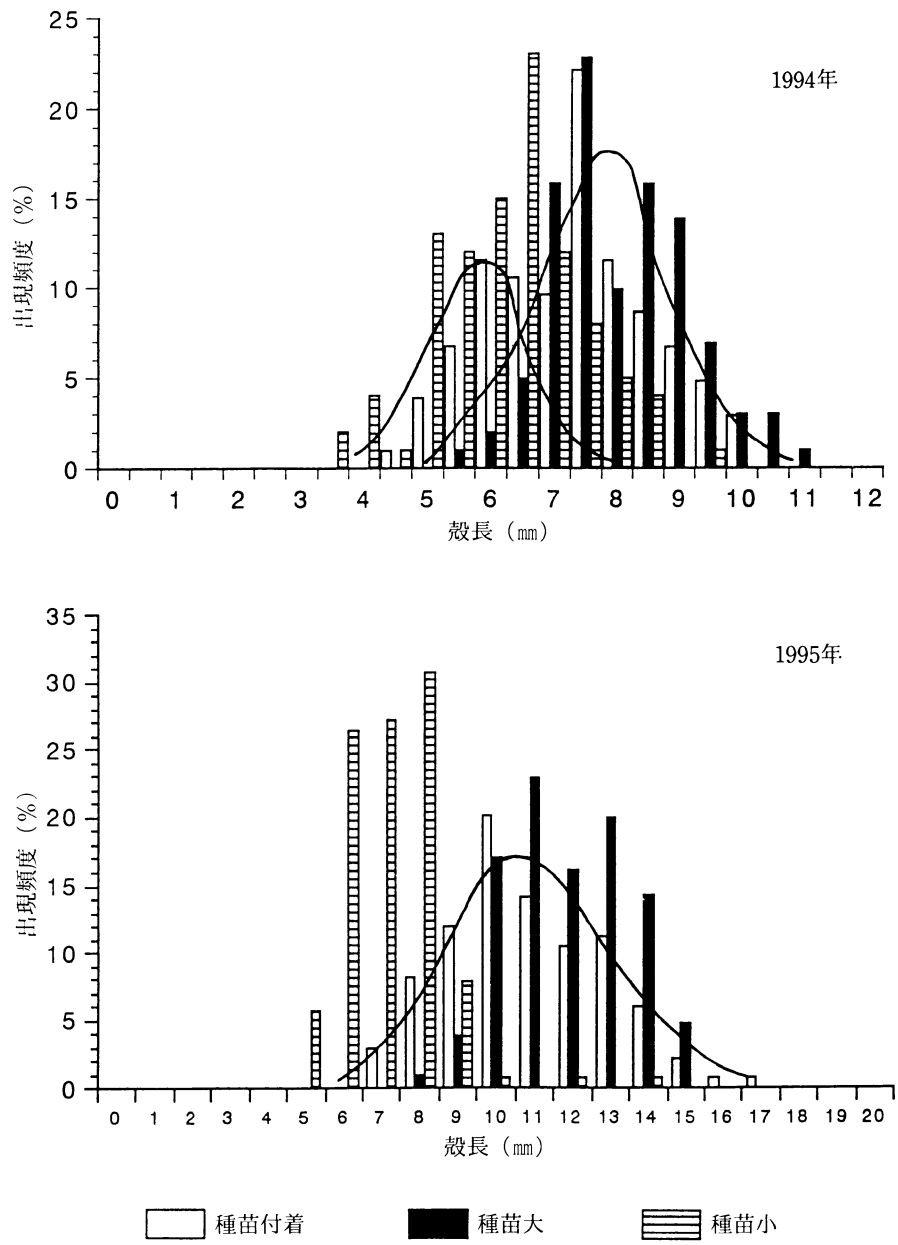


図2—2　選別別の殻長組成

が、1994年の種苗の場合は同じ時期の混合したものが異なる時期に複数加わった結果を表わしているものと推測できた。

第1章で垂下養殖貝においてはホモ過剰の程度が小さかった。しかし、本章において垂下養殖貝の種苗ではホモ過剰の程度が高いことが示された。この違いの原因として、垂下養殖後の生残率、特にホモ接合体の生残率がヘテロ接合体よりも低いために生じたと考えられる。Tracey *et al.*(1975)はムラサキイガイ(*Mytilus californianus*)において成貝よりも稚貝でホモ過剰が大きいことを観察している。Fujio and Brand (1991) はオホーツク海におけるホタテガイの種苗と放流貝を比較し、種苗でホモ過剰が高く、放流再捕貝では低くなっていることを明らかにし、その原因の1つとして天然の生息地ではヘテロ性が高い個体の生存性が良いことによると報告している。

以上のことから陸奥湾のホタテガイにおいてもヘテロ接合体の生存性がホモ接合体よりも高いことを示唆した。実際に垂下養殖では比較的水温の高い中層以浅で飼育されるので、陸奥湾においては夏期になると水温がホタテガイの臨界水温と言われる23℃を超え、へい死に至ることがしばしばある（平野ら 1986)。さらに、垂下養殖貝は貝同士のぶつかり合いにより外套膜などに損傷を与えてへい死に至ることもある（小坂ら 1996)。このように垂下養殖は地まき貝よりもへい死に至るような飼育環境要因が多くあることがあげられる。

要　約

ホタテガイ種苗の遺伝的特徴を明らかにするために、1994年と1995年の種苗をそれぞれ4ロットに選別してアイソザイム分析を行った。その結果、

1）ホタテガイの種苗（3.53mm～16.13mm）では成貝で標識とした4アイソザイム遺伝子のうち*Pgm-1*遺伝子座のみが検出できた。

2）検出できた*Pgm-1*遺伝子座を標識として種苗の遺伝的組成を調べたところ、高いホモ過剰傾向が認められた。

3）垂下養殖1年貝ではみられない高いホモ過剰傾向が種苗でみられたことは、ヘテロ接合体がホモ接合体よりも生存に関しては有利であることが考えられた。

第3章
ホタテガイの成長に伴う量的形質の解析と把握

前章においてアイソザイムの遺伝子型とホタテガイの生存性との間に何らかの関係があるものと予測された。生存性などの形質は連続的変異を示す量的形質であり、産業的に重要な形質である。生残率、成長、身入り、貝柱の大きさなどの量的形質の表現型は遺伝要因と環境要因の相互作用による。量的形質は遺伝様式が解明しやすい質的形質とは異なって、遺伝分散と環境分散の和である表現型分散として捉えられている(和田 1975, 大羽 1977, 藤尾・木島 1987)。従って、ホタテガイの量的形質の遺伝的特徴を明らかにするためには、表現型分散のうち、環境分散を最小限にするか、環境要因の小さな形質を捉えて遺伝分散を明らかにしなくてはならない。また、各形質の成長に伴う変化の仕方や分散の大きさなどの特性を明らかにしなければならない。

本章では陸奥湾の垂下養殖ホタテガイを用いて、諸形質の捉え方を検討し、その基準値と特徴を明らかにし、さらには諸形質間の関連性および諸形質の年令と地域による違いの有無を検討することを目的とした。

材料と方法

実験に用いた垂下養殖ホタテガイの採取場所は図3-1に示す陸奥湾内の垂下養殖地区での蟹田町、青森市

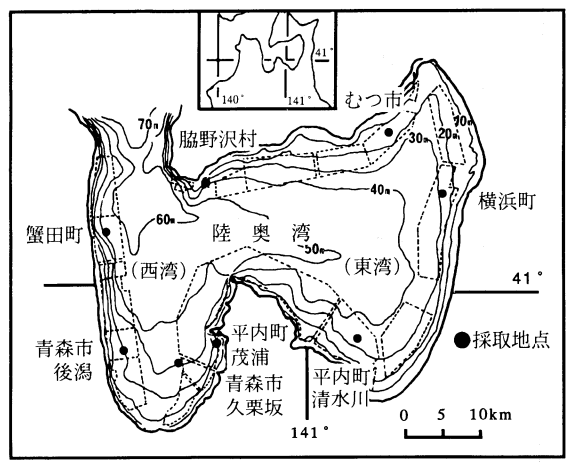


図3－1　垂下養殖ホタテガイの採取地点図
点線内はホタテガイの垂下養殖区域

後潟、青森市久栗坂、平内町茂浦、平内町清水川、横浜町、むつ市、脇野沢村の８地点である。採取年月日順に８地点の37ロットの年令、個体数、平均殻長を表3-1に示した。青森市久栗坂と平内町茂浦の垂下養殖ホタテガイは青森市久栗坂で同時に天然採苗したものを、青森市久栗坂では水深15～30mで、平内町茂浦では水深１mで垂下養殖したものである。他の地点の垂下養殖ホタテガイは同一地点で天然採苗された種苗を用いて水深10～20mで垂下養殖されたものである。

検討した形質は殻長、殻高、殻幅、全重量、軟体部重量（生肉重量）、貝柱重量、殻重量、殻長比、殻高比、殻幅比、軟体部指数（身入り）、貝柱指数、殻指数、全密度、軟体部密度（生肉密度）、貝柱密度、殻密度の17項目である。

表３－１　実験に用いた垂下養殖ホタテガイ

採集地点	ロット番号	採集年月日	個体数	年　齢	殻長(mm) 平均	（最小～最大）
青森市久栗坂	久栗坂-１	1994.10.5	100	0＋	21.65	(13.83～27.46)
平内町茂浦	茂浦-１	1995.2.14	100	1＋	58.68	(49.60～68.70)
青森市久栗坂	久栗坂-２	1995.4.28	99	1＋	74.44	(63.06～83.59)
平内町茂浦	茂浦-２	1995.5.29	100	1＋	74.90	(63.60～92.00)
平内町茂浦	茂浦-３	1995.7.7	100	1＋	84.49	(67.20～96.70)
平内町茂浦	茂浦-４	1995.7.31	95	1＋	86.01	(70.50～99.30)
平内町茂浦	茂浦-５	1995.8.14	100	0＋	14.95	(10.60～19.39)
平内町茂浦	茂浦-６	1995.8.23	103	1＋	87.61	(75.29～100.03)
平内町茂浦	茂浦-７	1995.8.28	109	0＋	18.76	(13.62～25.50)
平内町茂浦	茂浦-８	1995.9.11	100	0＋	22.61	(17.59～29.06)
平内町茂浦	茂浦-９	1995.9.11	100	1＋	86.48	(75.50～101.66)
青森市久栗坂	久栗坂-３	1995.9.22	100	0＋	20.92	(15.39～26.21)
平内町茂浦	茂浦-10	1995.9.25	100	0＋	26.62	(20.08～32.52)
平内町茂浦	茂浦-11	1995.9.25	100	0＋	26.97	(18.06～33.10)
平内町茂浦	茂浦-12	1995.9.25	100	0＋	25.24	(17.14～32.22)
青森市久栗坂	久栗坂-４	1995.10.2	100	1＋	91.71	(78.82～102.22)
平内町茂浦	茂浦-13	1995.10.13	100	0＋	30.10	(21.61～38.07)
青森市久栗坂	久栗坂-５	1995.10.13	91	0＋	29.55	(22.10～36.13)
平内町茂浦	茂浦-14	1995.11.6	108	0＋	38.03	(25.48～46.31)
青森市久栗坂	久栗坂-６	1995.11.7	98	1＋	95.62	(81.70～109.45)
平内町茂浦	茂浦-15	1995.11.27	101	0＋	44.97	(32.35～52.20)
青森市久栗坂	久栗坂-７	1995.12.4	100	0＋	46.56	(40.35～55.96)
青森市久栗坂	久栗坂-８	1995.12.4	103	1＋	93.85	(81.18～110.72)
平内町茂浦	茂浦-16	1995.12.26	98	0＋	49.97	(40.85～59.40)
青森市久栗坂	久栗坂-９	1995.12.26	91	1＋	103.24	(90.23～119.37)
蟹田町	蟹田町-１	1995.10.18	97	0＋	29.13	(20.22～36.70)
青森市後潟	後潟-１	1995.10.20	111	0＋	27.45	(20.40～34.41)
平内町清水川	清水川-１	1995.10.17	111	0＋	29.88	(13.10～41.12)
横浜町	横浜町-１	1995.10.20	114	0＋	26.60	(19.65～34.81)
むつ市	むつ市-１	1995.10.19	115	0＋	20.59	(13.45～29.20)
脇野沢村	脇野沢村-１	1995.10.24	113	0＋	22.82	(20.32～29.60)
蟹田町	蟹田町-２	1995.10.18	110	1＋	84.23	(72.88～95.20)
青森市後潟	後潟-２	1995.10.20	111	1＋	94.87	(75.90～112.05)
平内町清水川	清水川-２	1995.10.17	104	1＋	85.65	(70.99～97.80)
横浜町	横浜町-２	1995.10.20	120	1＋	88.57	(73.42～105.5)
むつ市	むつ市-２	1995.10.19	120	1＋	86.22	(74.22～102.16)
脇野沢村	脇野沢村-２	1995.10.24	120	1＋	83.10	(72.02～91.77)

測定した形質は殻長、殻高、殻幅、軟体部重量、貝柱重量、殻重量であり、殻長、殻高、殻幅は図3-2に示した箇所を測定した。軟体部は殻から取りはずした部分の重量を測定し、殻はできる限り付着物を除去して重量を測定した。全重量は軟体部重量と殻重量の和とした。

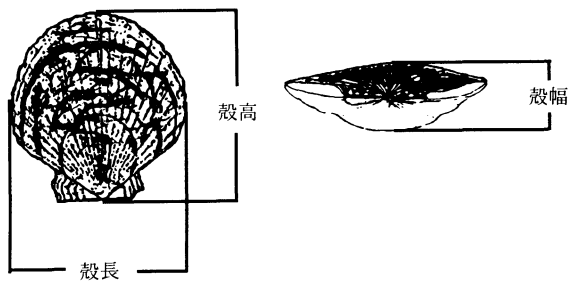


図３—２　ホタテガイにおける殻の測定方法

殻長比、殻高比、殻幅比、軟体部指数、貝柱指数、殻指数、全密度、軟体部密度、貝柱密度、殻密度の10項目の形質は各個体ごとに以下の式によって算出した。

1）殻の形

$$\text{殻長比} = \frac{\text{殻長}}{\text{殻長} + \text{殻高} + \text{殻幅}}$$

$$\text{殻高比} = \frac{\text{殻高}}{\text{殻長} + \text{殻高} + \text{殻幅}}$$

$$\text{殻幅比} = \frac{\text{殻幅}}{\text{殻長} + \text{殻高} + \text{殻幅}}$$

2）重さに対する割合（指数）

$$\text{軟体部指数} = \frac{\text{軟体部重量}}{\text{全重量}} \times 100$$

$$\text{貝柱指数} = \frac{\text{貝柱重量}}{\text{全重量}} \times 100$$

$$\text{殻指数} = \frac{\text{殻重量}}{\text{全重量}} \times 100$$

3）大きさに対する割合（密度）

$$\text{全密度} = \frac{\text{全重量}}{\text{殻長} \times \text{殻高} \times \text{殻幅}} \times 1000$$

$$\text{軟体部密度} = \frac{\text{軟体部重量}}{\text{殻長} \times \text{殻高} \times \text{殻幅}} \times 1000$$

$$\text{貝柱密度} = \frac{\text{貝柱重量}}{\text{殻長} \times \text{殻高} \times \text{殻幅}} \times 1000$$

$$\text{殻密度} = \frac{\text{殻重量}}{\text{殻長} \times \text{殻高} \times \text{殻幅}} \times 1000$$

ここで、殻長比、殻高比、殻幅比は殻全体に対する殻長、殻高、殻幅の割合を示し、殻の形（プロポーション）を表わす一指標である。殻長比、殻高比、殻幅比の総和は１となる。軟体部指数、貝柱指数、殻指数は全重量に対する割合を表わし、全密度、軟体部密度、貝柱密度、殻密度は殻長、殻高、殻幅をそれぞれ１辺とする直方体の体積に対する全重量、軟体部重量、貝柱重量、殻重量のそれぞれの割合を示している。

結　果

１．垂下養殖ホタテガイの標準的形態の評価

陸奥湾における垂下養殖ホタテガイの諸形質の基準値を定めるために、表3-1に示した陸奥湾８地点で採取された37ロット、3842個体を用いて各測定項目の特徴を調べた。各量的形質におけるロットごとの平均値及び標準偏差は表3-2に示したとおりである。各個体の形質は殻長に対してプロットした。

1）成長に伴う測定値の変化

殻長に対する殻高の分布はばらつきが小さく、相関係数r = 0.998と相関が高い直線関係（Y = 0.933X + 2.502）が認められた。殻長に対する殻幅の分布は殻高に比べてばらつきが大きいものの相関係数r = 0.990と相関が高い直線関係（Y = 0.250X − 0.402）が認められた。

殻長に対する全重量、軟体部重量、貝柱重量、殻重量の関係は、全重量で$Y = 1.714 \times 10^{-4}X^{2.891}$、軟体部重量で$Y = 8.249 \times 10^{-5}X^{2.832}$、貝重量で$Y = 1.032 \times 10^{-5}X^{3.079}$、殻重量で$Y = 9.257 \times 10^{-5}X^{2.923}$といずれも累乗回帰を示し、殻長が大きくなるにつれてばらつきが大きくなる傾向が認められた。相関係数は全重量でr = 0.998、軟体部重量でr = 0.995、貝柱重量でr = 0.991、殻重量でr = 0.998といずれも高い相関が認められた（図3-3、表3-3）。殻長、殻高、殻幅、全重量、軟体部重量、貝柱重量、殻重量は殻長の増加とともに増加し、ばらつきが小さく、高い相関が見られたことから、これらの形質は成長に関連した個体差の小さい形質と言える。これらの形質は、殻長との間に高い相関がありばらつきも小さいので、基準

表３－２　陸奥湾の垂下養殖ホタテガイの各量的形質における平均値と標準偏差（１）

ロット番号	殻長 (mm)	殻高 (mm)	殻幅 (mm)	全重量 (g)	軟体部重量 (g)	貝柱重量 (g)	殻重量 (g)
久栗坂-1	21.65 ± 2.50	22.73 ± 2.51	4.80 ± 0.55	1.088 ± 0.319	0.395 ± 0.113	–	0.692 ± 0.214
茂浦-1	58.68 ± 3.41	57.50 ± 3.26	13.69 ± 1.11	21.599 ± 3.265	7.250 ± 1.131	1.994 ± 0.315	14.349 ± 2.295
久栗坂-2	74.44 ± 4.60	72.02 ± 4.13	17.48 ± 1.25	40.020 ± 6.494	18.982 ± 3.664	–	21.038 ± 3.384
茂浦-2	74.90 ± 4.89	71.14 ± 4.96	18.46 ± 1.32	51.988 ± 9.038	20.668 ± 4.336	8.520 ± 1.705	31.320 ± 5.193
茂浦-3	84.49 ± 5.03	79.68 ± 5.01	20.81 ± 1.48	71.297 ± 11.247	27.470 ± 4.515	11.157 ± 2.010	43.826 ± 7.393
茂浦-4	86.01 ± 5.50	82.21 ± 5.79	21.74 ± 1.63	74.364 ± 12.596	25.597 ± 5.631	10.434 ± 2.198	48.768 ± 7.744
茂浦-5	14.95 ± 1.92	15.56 ± 1.96	3.51 ± 0.47	0.475 ± 0.182	0.185 ± 0.078	–	0.290 ± 0.107
茂浦-6	87.61 ± 5.20	83.86 ± 5.11	21.78 ± 1.34	79.805 ± 11.778	25.979 ± 4.650	11.232 ± 2.375	53.826 ± 8.177
茂浦-7	18.76 ± 2.39	19.56 ± 2.29	4.48 ± 0.58	0.948 ± 0.346	0.344 ± 0.130	0.095 ± 0.037	0.604 ± 0.219
茂浦-8	22.61 ± 2.60	23.42 ± 2.56	5.46 ± 0.73	1.652 ± 0.589	0.625 ± 0.227	0.179 ± 0.071	1.027 ± 0.370
茂浦-9	86.48 ± 5.11	82.46 ± 5.28	22.12 ± 1.43	77.053 ± 12.865	23.041 ± 5.139	9.792 ± 2.510	54.012 ± 8.739
久栗坂-3	20.92 ± 2.42	21.86 ± 2.35	4.74 ± 0.52	1.207 ± 0.370	0.457 ± 0.156	0.099 ± 0.038	0.750 ± 0.221
茂浦-10	26.62 ± 2.89	27.27 ± 2.76	6.63 ± 0.78	2.574 ± 0.763	0.995 ± 0.312	0.292 ± 0.099	1.579 ± 0.462
茂浦-11	26.97 ± 2.94	27.62 ± 2.75	6.80 ± 0.84	2.650 ± 0.747	0.995 ± 0.313	0.281 ± 0.100	1.655 ± 0.449
茂浦-12	25.24 ± 3.10	26.06 ± 3.11	6.18 ± 0.79	2.150 ± 0.719	0.786 ± 0.273	0.210 ± 0.076	1.365 ± 0.456
久栗坂-4	91.71 ± 5.61	87.10 ± 5.25	22.48 ± 1.60	80.436 ± 12.659	28.037 ± 5.526	12.069 ± 2.743	52.400 ± 7.940
茂浦-13	30.10 ± 2.95	30.35 ± 2.76	7.48 ± 0.82	3.592 ± 0.986	1.504 ± 0.449	0.450 ± 0.137	2.087 ± 0.548
久栗坂-5	29.55 ± 2.84	30.12 ± 2.86	6.75 ± 0.69	3.178 ± 0.822	1.329 ± 0.385	0.370 ± 0.109	1.849 ± 0.454
茂浦-14	38.03 ± 3.46	38.24 ± 3.30	9.08 ± 0.82	6.737 ± 1.542	2.940 ± 0.709	0.838 ± 0.198	3.798 ± 0.858
久栗坂-6	95.62 ± 5.28	91.07 ± 4.91	23.56 ± 1.63	96.101 ± 13.444	34.992 ± 4.871	14.893 ± 2.351	61.109 ± 9.477
茂浦-15	44.97 ± 3.74	44.51 ± 3.43	10.63 ± 0.90	10.183 ± 2.105	4.565 ± 0.970	1.150 ± 0.243	5.617 ± 1.179
久栗坂-7	46.56 ± 3.35	46.05 ± 3.29	10.34 ± 0.85	9.942 ± 1.980	4.588 ± 0.981	1.011 ± 0.231	5.354 ± 1.069
久栗坂-8	93.85 ± 5.87	90.60 ± 5.05	23.58 ± 1.57	98.879 ± 15.251	35.741 ± 5.972	14.071 ± 2.645	63.139 ± 10.722
茂浦-16	49.97 ± 3.96	49.53 ± 3.78	11.70 ± 0.94	13.408 ± 2.826	6.298 ± 1.286	1.458 ± 0.310	7.110 ± 1.606
久栗坂-9	103.24 ± 6.23	98.79 ± 6.18	25.65 ± 1.71	124.131 ± 18.469	48.374 ± 7.854	17.091 ± 3.084	75.757 ± 12.370
蟹田町-1	29.13 ± 3.24	30.04 ± 3.13	6.85 ± 0.88	2.794 ± 0.829	1.123 ± 0.344	0.357 ± 0.115	1.671 ± 0.500
後潟-1	27.45 ± 2.77	28.34 ± 2.66	6.11 ± 0.66	2.129 ± 0.585	0.867 ± 0.247	0.250 ± 0.079	1.262 ± 0.349
清水川-1	29.88 ± 4.20	30.64 ± 4.04	6.93 ± 0.97	3.275 ± 1.118	1.450 ± 0.480	0.479 ± 0.173	1.825 ± 0.825
横浜町-1	26.51 ± 3.48	27.45 ± 3.35	5.86 ± 0.79	2.060 ± 0.725	0.827 ± 0.283	0.260 ± 0.090	1.233 ± 0.455
むつ市-1	20.59 ± 3.08	21.42 ± 3.05	4.69 ± 0.69	1.074 ± 0.417	0.469 ± 0.184	0.130 ± 0.057	0.606 ± 0.238
脇野沢村-1	22.82 ± 1.36	24.03 ± 1.41	5.27 ± 0.39	1.366 ± 0.233	0.578 ± 0.106	0.154 ± 0.032	0.788 ± 0.143
蟹田町-2	84.23 ± 4.82	80.85 ± 4.70	19.19 ± 1.22	53.889 ± 8.403	16.872 ± 3.822	6.083 ± 1.889	37.016 ± 5.699
後潟-2	94.87 ± 6.00	90.09 ± 5.93	22.74 ± 1.44	83.95 ± 13.894	28.982 ± 5.631	11.813 ± 2.943	54.967 ± 8.616
清水川-2	85.65 ± 6.26	85.22 ± 5.50	20.42 ± 1.58	65.006 ± 12.074	19.227 ± 5.181	6.707 ± 2.561	45.779 ± 8.170
横浜町-2	88.57 ± 6.07	86.32 ± 6.70	22.06 ± 1.79	70.546 ± 12.910	29.798 ± 5.840	11.950 ± 2.554	40.748 ± 7.961
むつ市-2	86.22 ± 5.27	83.28 ± 5.20	21.66 ± 1.31	64.051 ± 10.881	26.655 ± 5.453	10.926 ± 2.340	37.396 ± 5.965
脇野沢村-2	83.10 ± 4.08	81.40 ± 4.07	21.51 ± 1.49	59.186 ± 8.900	23.455 ± 4.502	9.409 ± 1.959	35.732 ± 4.971

表３－２　陸奥湾の垂下養殖ホタテガイの各量的形質における平均値と標準偏差（２）

ロット番号	殻長比	殻高比	殻幅比	軟体部指数	貝柱指数	殻指数
久栗坂-1	0.440 ± 0.006	0.462 ± 0.006	0.098 ± 0.006	36.60 ± 3.24	-	63.40 ± 3.24
茂浦-1	0.452 ± 0.006	0.443 ± 0.006	0.105 ± 0.006	33.63 ± 2.31	9.27 ± 0.86	66.37 ± 2.31
久栗坂-2	0.454 ± 0.007	0.439 ± 0.008	0.107 ± 0.006	47.31 ± 3.64	-	52.69 ± 3.64
茂浦-2	0.455 ± 0.006	0.432 ± 0.007	0.112 ± 0.006	39.60 ± 3.13	16.29 ± 1.55	60.40 ± 3.13
茂浦-3	0.457 ± 0.006	0.431 ± 0.008	0.113 ± 0.007	38.60 ± 2.86	15.68 ± 1.69	61.40 ± 2.86
茂浦-4	0.453 ± 0.006	0.433 ± 0.008	0.115 ± 0.007	34.22 ± 3.24	13.99 ± 1.50	65.78 ± 3.24
茂浦-5	0.439 ± 0.006	0.457 ± 0.007	0.103 ± 0.005	38.43 ± 3.59	-	61.57 ± 3.59
茂浦-6	0.453 ± 0.006	0.434 ± 0.006	0.113 ± 0.006	32.53 ± 3.03	14.04 ± 2.05	67.47 ± 3.03
茂浦-7	0.438 ± 0.006	0.457 ± 0.006	0.105 ± 0.006	36.18 ± 2.40	10.07 ± 1.33	63.82 ± 2.40
茂浦-8	0.439 ± 0.007	0.455 ± 0.008	0.106 ± 0.006	37.82 ± 2.95	10.78 ± 1.50	62.17 ± 2.95
茂浦-9	0.453 ± 0.006	0.431 ± 0.007	0.116 ± 0.006	29.76 ± 3.34	12.61 ± 2.01	70.23 ± 3.34
久栗坂-3	0.440 ± 0.006	0.460 ± 0.006	0.100 ± 0.005	37.55 ± 2.89	8.17 ± 1.55	62.45 ± 2.89
茂浦-10	0.440 ± 0.007	0.451 ± 0.007	0.110 ± 0.006	38.50 ± 2.33	11.24 ± 1.25	61.50 ± 2.33
茂浦-11	0.439 ± 0.007	0.450 ± 0.007	0.111 ± 0.006	37.30 ± 2.75	10.47 ± 1.56	62.70 ± 2.75
茂浦-12	0.439 ± 0.006	0.453 ± 0.006	0.108 ± 0.006	36.39 ± 2.66	9.74 ± 1.28	63.61 ± 2.66
久栗坂-4	0.456 ± 0.007	0.433 ± 0.008	0.112 ± 0.006	34.71 ± 3.07	14.88 ± 1.92	65.29 ± 3.07
茂浦-13	0.443 ± 0.006	0.447 ± 0.006	0.110 ± 0.006	41.67 ± 2.13	12.51 ± 1.38	58.33 ± 2.13
久栗坂-5	0.445 ± 0.005	0.454 ± 0.005	0.102 ± 0.005	41.59 ± 2.85	11.61 ± 1.27	58.41 ± 2.85
茂浦-14	0.445 ± 0.007	0.448 ± 0.006	0.107 ± 0.006	43.55 ± 2.08	12.46 ± 1.02	56.45 ± 2.08
久栗坂-6	0.455 ± 0.006	0.433 ± 0.008	0.112 ± 0.006	36.50 ± 2.66	15.53 ± 1.41	63.50 ± 2.66
茂浦-15	0.449 ± 0.007	0.445 ± 0.007	0.106 ± 0.006	44.81 ± 2.10	11.34 ± 1.01	55.19 ± 2.10
久栗坂-7	0.452 ± 0.006	0.447 ± 0.006	0.100 ± 0.005	46.08 ± 2.46	10.16 ± 0.97	53.92 ± 2.46
久栗坂-8	0.451 ± 0.006	0.436 ± 0.006	0.113 ± 0.006	36.21 ± 3.20	14.24 ± 1.61	63.79 ± 3.20
茂浦-16	0.449 ± 0.006	0.445 ± 0.006	0.105 ± 0.005	47.13 ± 3.13	10.92 ± 1.10	52.87 ± 3.01
久栗坂-9	0.453 ± 0.008	0.434 ± 0.009	0.113 ± 0.006	39.04 ± 3.20	13.78 ± 1.51	60.96 ± 3.20
蟹田町-1	0.441 ± 0.005	0.455 ± 0.006	0.104 ± 0.006	40.20 ± 2.78	12.78 ± 1.80	59.80 ± 2.78
後潟-1	0.443 ± 0.005	0.458 ± 0.005	0.099 ± 0.005	40.66 ± 2.65	11.70 ± 1.47	59.34 ± 2.65
清水川-1	0.443 ± 0.006	0.454 ± 0.006	0.103 ± 0.005	44.46 ± 3.39	14.59 ± 1.89	55.54 ± 3.39
横浜町-1	0.443 ± 0.006	0.459 ± 0.006	0.098 ± 0.005	40.37 ± 3.24	12.75 ± 1.80	59.63 ± 3.24
むつ市-1	0.441 ± 0.006	0.459 ± 0.006	0.101 ± 0.006	43.49 ± 2.95	11.84 ± 1.78	56.51 ± 2.95
脇野沢村-1	0.438 ± 0.006	0.461 ± 0.006	0.101 ± 0.005	42.29 ± 2.95	11.26 ± 1.41	57.71 ± 2.95
蟹田町-2	0.457 ± 0.006	0.439 ± 0.006	0.104 ± 0.005	31.15 ± 4.19	11.17 ± 2.57	68.85 ± 4.19
後潟-2	0.457 ± 0.006	0.434 ± 0.007	0.110 ± 0.006	34.34 ± 3.35	13.97 ± 2.11	65.66 ± 3.35
清水川-2	0.448 ± 0.006	0.446 ± 0.006	0.107 ± 0.006	29.30 ± 4.40	10.14 ± 2.91	70.70 ± 4.40
横浜町-2	0.450 ± 0.008	0.438 ± 0.008	0.112 ± 0.007	42.25 ± 3.44	16.91 ± 1.75	57.75 ± 3.44
むつ市-2	0.451 ± 0.006	0.436 ± 0.006	0.113 ± 0.006	41.45 ± 2.98	16.99 ± 1.64	58.55 ± 2.98
脇野沢村-2	0.447 ± 0.005	0.438 ± 0.006	0.116 ± 0.006	39.45 ± 3.07	15.83 ± 1.98	60.55 ± 3.07

表３－２　陸奥湾の垂下養殖ホタテガイの各量的形質における平均値と標準偏差（３）

ロット番号	全　密　度	軟体部密度	貝　柱　密　度	殻　密　度
久栗坂-1	0.450 ± 0.040	0.165 ± 0.025	-	0.285 ± 0.024
茂浦-1	0.466 ± 0.021	0.157 ± 0.013	0.043 ± 0.005	0.309 ± 0.018
久栗坂-2	0.425 ± 0.032	0.201 ± 0.025	-	0.224 ± 0.019
茂浦-2	0.525 ± 0.029	0.208 ± 0.018	0.085 ± 0.009	0.317 ± 0.027
茂浦-3	0.506 ± 0.027	0.195 ± 0.015	0.079 ± 0.008	0.311 ± 0.024
茂浦-4	0.481 ± 0.021	0.164 ± 0.016	0.067 ± 0.008	0.316 ± 0.023
茂浦-5	0.557 ± 0.032	0.214 ± 0.020	-	0.343 ± 0.032
茂浦-6	0.497 ± 0.027	0.162 ± 0.017	0.070 ± 0.009	0.336 ± 0.025
茂浦-7	0.555 ± 0.026	0.200 ± 0.013	0.056 ± 0.007	0.354 ± 0.025
茂浦-8	0.551 ± 0.026	0.208 ± 0.017	0.059 ± 0.008	0.343 ± 0.026
茂浦-9	0.485 ± 0.030	0.145 ± 0.021	0.061 ± 0.012	0.341 ± 0.023
久栗坂-3	0.542 ± 0.037	0.203 ± 0.017	0.044 ± 0.009	0.339 ± 0.032
茂浦-10	0.520 ± 0.021	0.200 ± 0.012	0.058 ± 0.007	0.320 ± 0.021
茂浦-11	0.512 ± 0.035	0.190 ± 0.015	0.053 ± 0.007	0.321 ± 0.031
茂浦-12	0.511 ± 0.030	0.186 ± 0.016	0.050 ± 0.007	0.325 ± 0.025
久栗坂-4	0.446 ± 0.023	0.155 ± 0.016	0.066 ± 0.009	0.291 ± 0.019
茂浦-13	0.515 ± 0.025	0.214 ± 0.012	0.064 ± 0.007	0.301 ± 0.021
久栗坂-5	0.519 ± 0.031	0.216 ± 0.016	0.060 ± 0.006	0.304 ± 0.027
茂浦-14	0.503 ± 0.031	0.219 ± 0.015	0.063 ± 0.006	0.284 ± 0.022
久栗坂-6	0.467 ± 0.022	0.170 ± 0.012	0.072 ± 0.006	0.297 ± 0.021
茂浦-15	0.473 ± 0.019	0.212 ± 0.011	0.053 ± 0.005	0.261 ± 0.016
久栗坂-7	0.444 ± 0.022	0.204 ± 0.011	0.045 ± 0.004	0.240 ± 0.018
久栗坂-8	0.491 ± 0.028	0.178 ± 0.016	0.070 ± 0.008	0.314 ± 0.028
茂浦-16	0.458 ± 0.023	0.216 ± 0.018	0.050 ± 0.006	0.242 ± 0.019
久栗坂-9	0.473 ± 0.034	0.184 ± 0.017	0.065 ± 0.007	0.289 ± 0.031
蟹田町-1	0.456 ± 0.031	0.183 ± 0.016	0.058 ± 0.008	0.273 ± 0.025
後潟-1	0.438 ± 0.025	0.178 ± 0.016	0.051 ± 0.006	0.260 ± 0.018
清水川-1	0.497 ± 0.031	0.221 ± 0.022	0.072 ± 0.010	0.276 ± 0.024
横浜町-1	0.467 ± 0.036	0.189 ± 0.022	0.059 ± 0.009	0.279 ± 0.027
むつ市-1	0.496 ± 0.029	0.216 ± 0.022	0.059 ± 0.009	0.280 ± 0.019
脇野沢村-1	0.470 ± 0.030	0.199 ± 0.020	0.053 ± 0.007	0.271 ± 0.020
蟹田町-2	0.410 ± 0.025	0.128 ± 0.019	0.046 ± 0.011	0.282 ± 0.024
後潟-2	0.429 ± 0.022	0.147 ± 0.015	0.060 ± 0.009	0.282 ± 0.023
清水川-2	0.432 ± 0.023	0.127 ± 0.022	0.044 ± 0.014	0.305 ± 0.021
横浜町-2	0.416 ± 0.036	0.176 ± 0.023	0.070 ± 0.009	0.240 ± 0.023
むつ市-2	0.409 ± 0.025	0.170 ± 0.018	0.070 ± 0.008	0.239 ± 0.015
脇野沢村-2	0.405 ± 0.023	0.160 ± 0.015	0.064 ± 0.009	0.245 ± 0.019

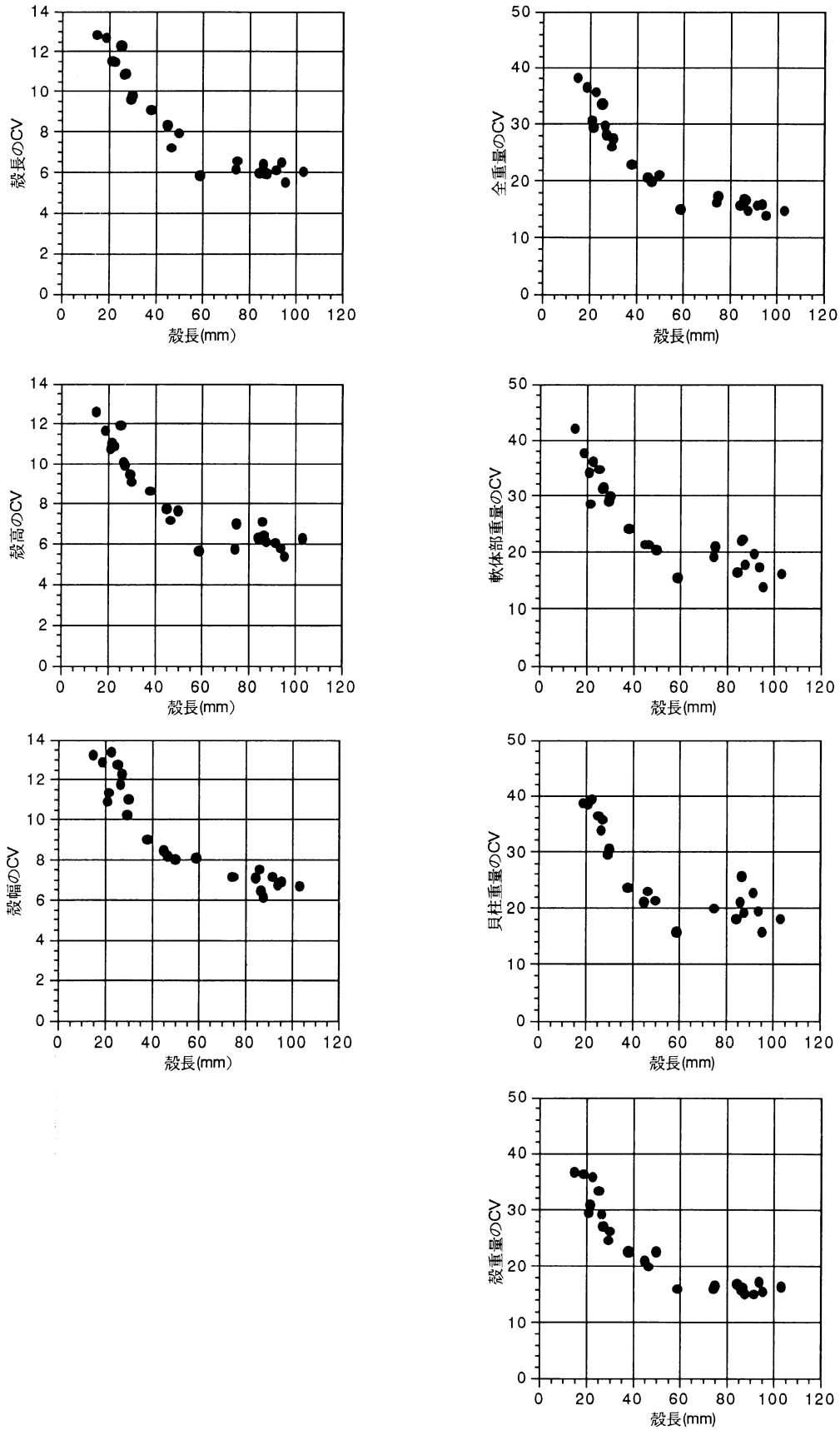


図３—４　殻長と計測値の変異係数（ＣＶ）の関係

2）成長に伴う殻形態の変化

殻長に対する殻長比、殻高比、殻幅比の関係は殻長比で$Y = 1.939 \times 10^{-4}X + 0.436$となる正の直線関係を示し、殻高比で$Y = -3.173 \times 10^{-4}X + 0.463$となる負の直線関係を示し、殻幅比で$Y = 1.235 \times 10^{-4}X + 0.100$となる正の直線関係を示し、いずれもばらつきが小さかった（図3-5）。このことはホタテガイは成長するにしたがって殻長の比率が大きくなり、殻高の比率が小さくなる。殻長と殻高が同じ長さになるのは殻長が53mmになったときであり、それより小さいホタテガイ（0年貝）は殻長が殻高より長く、それより大きいホタテガイ（1年貝）は殻長よりも殻高が短くなることを示している。また、殻幅は成長するにしたがって大きくなるので、厚みが増す形になっていくことを示している。殻長と殻長比、殻高比、殻幅比の関係はばらつきが小さく傾きが小さいことから、成長との関連が小さく個体差の小さい形質と言える。

また、0年貝と1年貝をそれぞれ別々にプロットしたものを図3-6に示した。0年貝では殻長に対する殻長比で$Y = 4.292 \times 10^{-4}X + 0.430$（r=0.564）、殻高比で$Y = -4.779 \times 10^{-4}X + 0.468$（r=−0.562）、殻幅比で$Y = 4.875 \times 10^{-5}X + 0.102$（r=0.069）の直線関係を示し、1年貝では殻長に対する殻長比で$Y = 1.209 \times 10^{-4}X + 0.442$（r=0.185）、殻高比で$Y = -1.547 \times 10^{-4}X + 0.449$（r=−0.204）、殻幅比で$Y = 3.383 \times 10^{-5}X + 0.108$（r=0.052）の直線関係を示し、殻長比、殻高比は1年貝よりも0年貝のほうが関係式の傾きが大きい傾向があり、1年貝よりも0年貝での殻の形態が変化していることを示している。しかし、0年貝の殻幅、1年貝の殻長、殻高、殻幅は殻長との相関が低く、ほぼ一定値を示すので、同じ年令または同じ大きさであれば実測値または平均値をそのまま比較できることがわかった。

さらに、これらの形質のばらつきが成長とともに変化するかどうかを調べるため、殻長に対する殻長比、殻高比、殻幅比の変異係数を図3-7に示した。殻長比、殻幅比の変異係数は殻長に関係なく一定の値を示し、それぞれの平均値は1.4、5.4となったが、殻高比の変異係数は殻長が大きくなるに従って直線的に増大する傾向が見られ、殻長とその変異係数との関係は$Y = 5.810 \times 10^{-3}X + 1.249$（r = 0.711）となり、殻長との間に有意な相関が認められた。しかし、これらを0年貝、1年貝に分けてプロットすると、1年貝の殻長と殻高比の変異係数との関係だけに有意な相関（r=0.684）が見られたが、0年貝の殻長比、

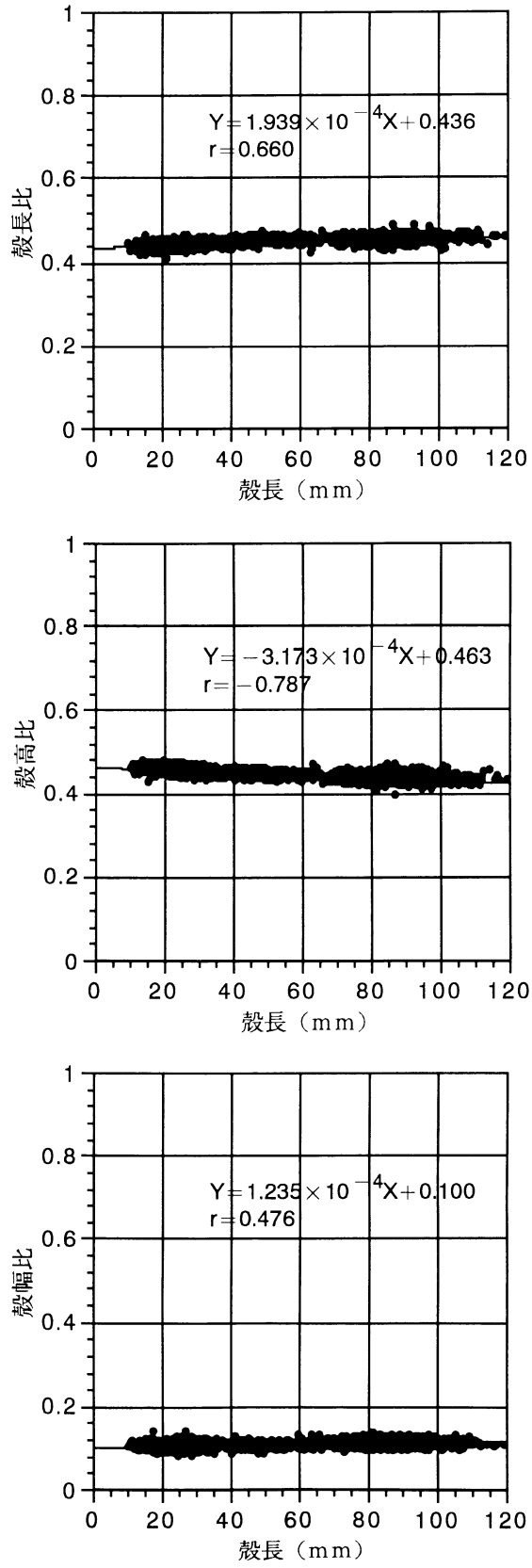


図3—5　陸奥湾において垂下養殖されているホタテガイの殻長と殻形態の関係

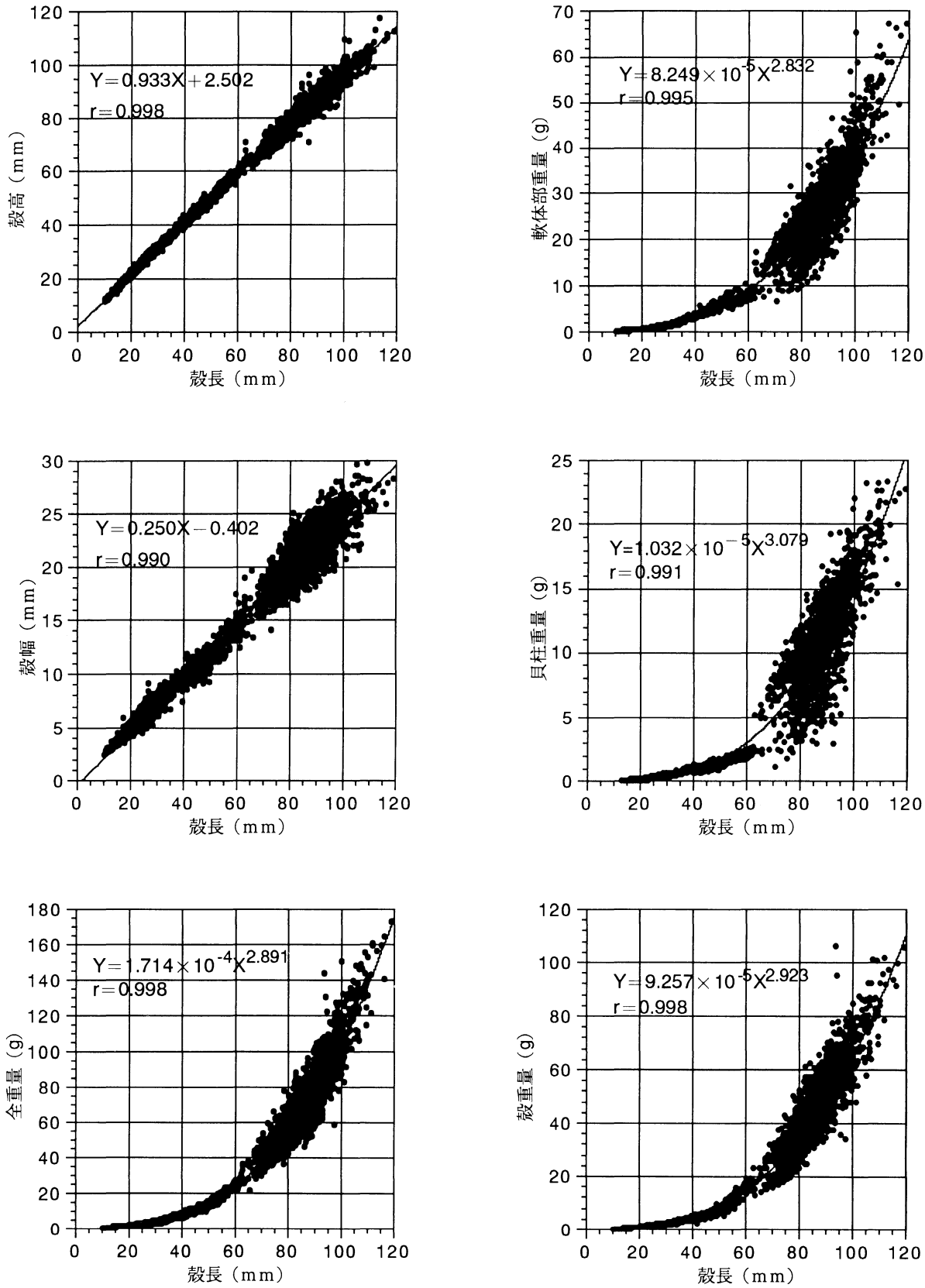


図3—3　陸奥湾において垂下養殖されているホタテガイの殻長と測定値の関係

表３－３　垂下養殖ホタテガイの殻長と測定値との関係

形　質（Y）	殻長（X）との関係	相関係数（r）
殻　高	$Y = 0.933X + 2.502$	0.998
殻　幅	$Y = 0.250X - 0.402$	0.990
全重量	$Y = 1.714 \times 10^{-4}X^{2.891}$	0.998
軟体部重量	$Y = 8.249 \times 10^{-5}X^{2.832}$	0.995
貝柱重量	$Y = 1.032 \times 10^{-5}X^{3.079}$	0.991
殻重量	$Y = 9.257 \times 10^{-5}X^{2.923}$	0.998

線からのはずれ方での符号検定を用いて比較できることがわかった

ホタテガイの量的形質のばらつきが成長に伴って変化するかどうかを明らかにするために、同一種苗を用いた青森市久栗坂と平内町茂浦における垂下養殖ホタテガイの０年貝14ロット、１年貝11ロット、計25ロットについての変異係数を調べた。その結果、殻長、殻高、殻幅、全重量、軟体部重量、貝柱重量、殻重量の変異係数はある一定の殻長までは直線的に減少していくが、その後は殻長に関係なく一定になる傾向が見られた（図3-4)。50mm以下の殻長では殻長（X）と殻長の変異係数（Y）の関係は $Y = -0.158X + 15.133$（$r = -0.956$）となり、殻長に関係なく一定になる50mm以上の殻長での殻長の変異係数の平均値は6.1となり、この変曲点の殻長は57.4mmとなった。同様に殻長と殻高の変異係数との関係は殻長50mm以下では $Y = -0.147X + 14.298$（$r = -0.946$）となり、50mm以上の殻長での殻高の変異係数の平均値は6.2となり、この変曲点の殻長は55.3mmとなった。殻長と殻幅の変異係数との関係は殻長50mm以下では $Y = -0.159X + 15.730$（$r = -0.914$）となり、50mm以上の殻長での殻幅の変異係数の平均値は7.0となり、この変曲点の殻長は54.7mmとなった。殻長と全重量の変異係数との関係は殻長50mm以下では $Y = -0.508X + 43.657$（$r = -0.925$）となり、50 mm以上の殻長での全重量の変異係数の平均値は15.8となり、この変曲点の殻長は54.9mmとなった。殻長と軟体部重量の変異係数との関係は殻長50mm以下では $Y = -0.566X + 47.016$（$r = -0.937$）となり、50mm以上の殻長での軟体部重量の変異係数の平均値は18.3となり、この変曲点の殻長は50.7mmとなった。殻長と貝柱重量の変異係数との関係は殻長50mm以下では $Y = -0.649X + 51.509$（$r = -0.962$）となり、50mm以上の殻長での貝柱重量の変異係数の平均値は19.6となり、この変曲点の殻長は49.3mmとなった。殻長と殻重量の変異係数との関係は殻長50mm以下では $Y = -0.471X + 42.318$（$r = -0.890$）となり、50 mm以上の殻長では殻重量の変異係数の平均値は16.1となり、この変曲点の殻長は55.7mmとなった。変曲点はこれら全ての形質で殻長が50mm付近にあり、この７形質の変曲点の平均殻長は54.0mmとなり、養殖ホタテガイは殻長50mm以下までは急激にそのばらつきが減少していくが、殻長50mm以上すなわち１年貝ではばらつきが一定になることを示している。また、１年貝では殻長に関係なく変異係数が一定値を示すので、１年貝では殻長に関係なく変異係数の比較ができることがわかった（表3-4)。

表３－４　殻長と測定値の変異係数との関係

形　質	０年貝		１年貝	変曲点の殻長
	殻長（X）と変異形数（Y）との関係	相関係数	殻長（X）と変異係質（Y）との関係	（mm）
殻　長	$Y = -0.158X + 15.133$	−0.956	$Y \fallingdotseq 6.081$	57.43
殻　高	$Y = -0.147X + 14.298$	−0.946	$Y \fallingdotseq 6.151$	55.27
殻　幅	$Y = -0.159X + 15.730$	−0.914	$Y \fallingdotseq 7.004$	54.74
全重量	$Y = -0.508X + 43.657$	−0.925	$Y \fallingdotseq 15.764$	54.94
軟体部重量	$Y = -0.566X + 47.016$	−0.937	$Y \fallingdotseq 18.342$	50.70
貝柱重量	$Y = -0.649X + 51.509$	−0.962	$Y \fallingdotseq 19.573$	49.25
殻重量	$Y = -0.471X + 42.318$	−0.890	$Y \fallingdotseq 16.097$	55.68

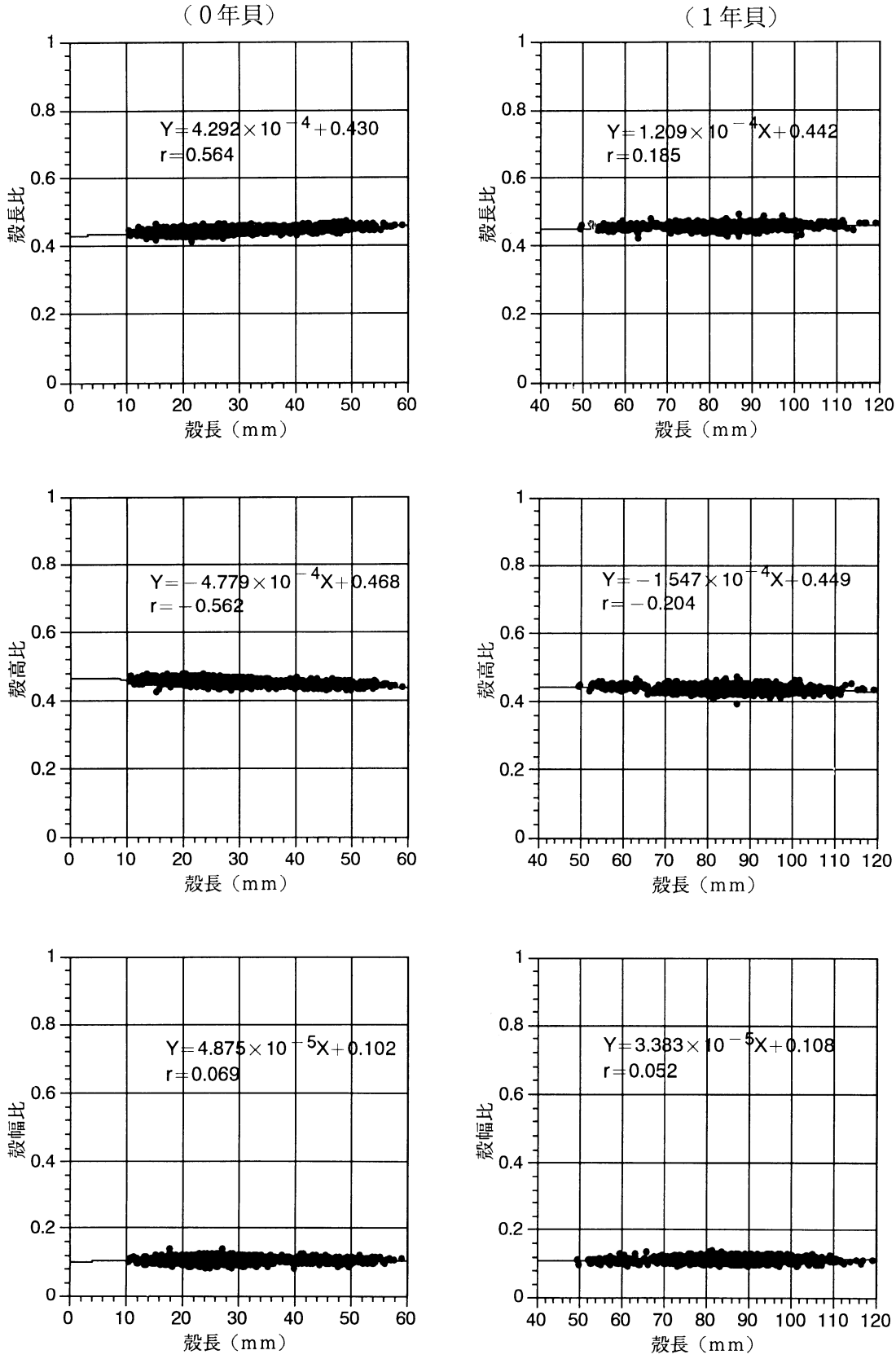


図3—6　年令別の殻長と殻形態の関係

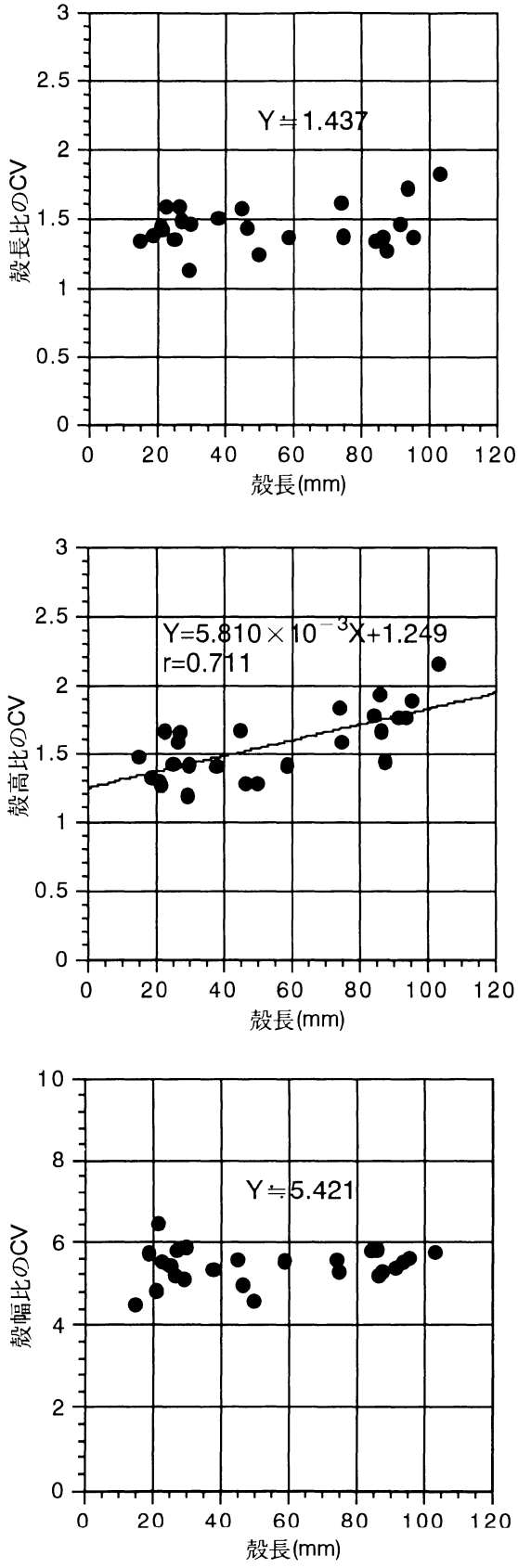


図３－７　殻長と殻形態の変異係数（ＣＶ）の関係

殻高比、殻幅比、１年貝の殻長比、殻幅比は殻長に関係なく一定値を示した（図3-8）。このことは、１年貝になると殻高にばらつきが大きくなることを示している。また、これらの殻長と関係のない０年貝の殻長比、殻高比、殻幅比、１年貝の殻長比、殻幅比では殻長に関係なく変異係数の比較ができることがわかった。

３）各形質の全重に対する割合（指数）と大きさに対する割合（密度）

全重量に対する割合を示す軟体部指数､貝柱指数、殻指数と大きさに対する割合を示す全密度、軟体部密度、貝柱密度、殻密度を殻長に対してプロットしたものを図3-9に示した。回帰直線を中心にばらつきが大きな分布を示した。また、これらを０年貝、１年貝に別々にプロットしたものを図3-10、図3-11に示した。０年貝の軟体部指数、殻指数、全密度、殻密度で比較的ばらつきが小さく相関も高い傾向が見られたが、他の形質ではばらつきが大きく殻長との間の相関は小さかった。０年貝の軟体部指数、殻指数、全密度、殻密度を除き、他の指数、密度については個体差が大きく、殻長との相関が小さく傾きも小さいので、同じ年令または同じ大きさであれば実測値の平均値とその分散を用いて比較できることがわかった。

殻密度が殻長との間に負の相関を示したのは、０年貝では成長とともに殻が薄くなっていくことを示している。また、０年貝の軟体部指数が殻長との間に比較的高い正の相関を示したが、軟体部密度が殻長に関係なく一定値を示したことから考えて、軟体部指数=1－殻指数であるために殻指数の影響を受けたものと考えられる。軟体部重量が同じでも殻重量が重いと、軟体部指数は低くなる。このように指数は軟体部、殻の重さにそれぞれ影響されやすいものと考えられる。

また、調べた各ロットの平均値を用いて、軟体部指数と軟体部密度の関係、貝柱指数と貝柱密度の関係、殻指数と殻密度の関係を図3-12に示した。軟体部指数と軟体部密度では$Y = 4.462 \times 10^{-3}X + 0.012$ ($r = 0.782$)、貝柱指数と貝柱密度では$Y = 3.930 \times 10^{-3}X + 0.010$ ($r = 0.882$)、殻指数と殻密度では$Y = 4.855 \times 10^{-3}X + 0.005$ ($r = 0.643$) の直線関係を示し、それぞれ有意な正の相関が認められた。しかし、前述したように、指数についてはそれぞれ影響し合うので密度を使用したほうがよいものと考えられる。

さらに、殻長とそれぞれの指数、密度の変異係数

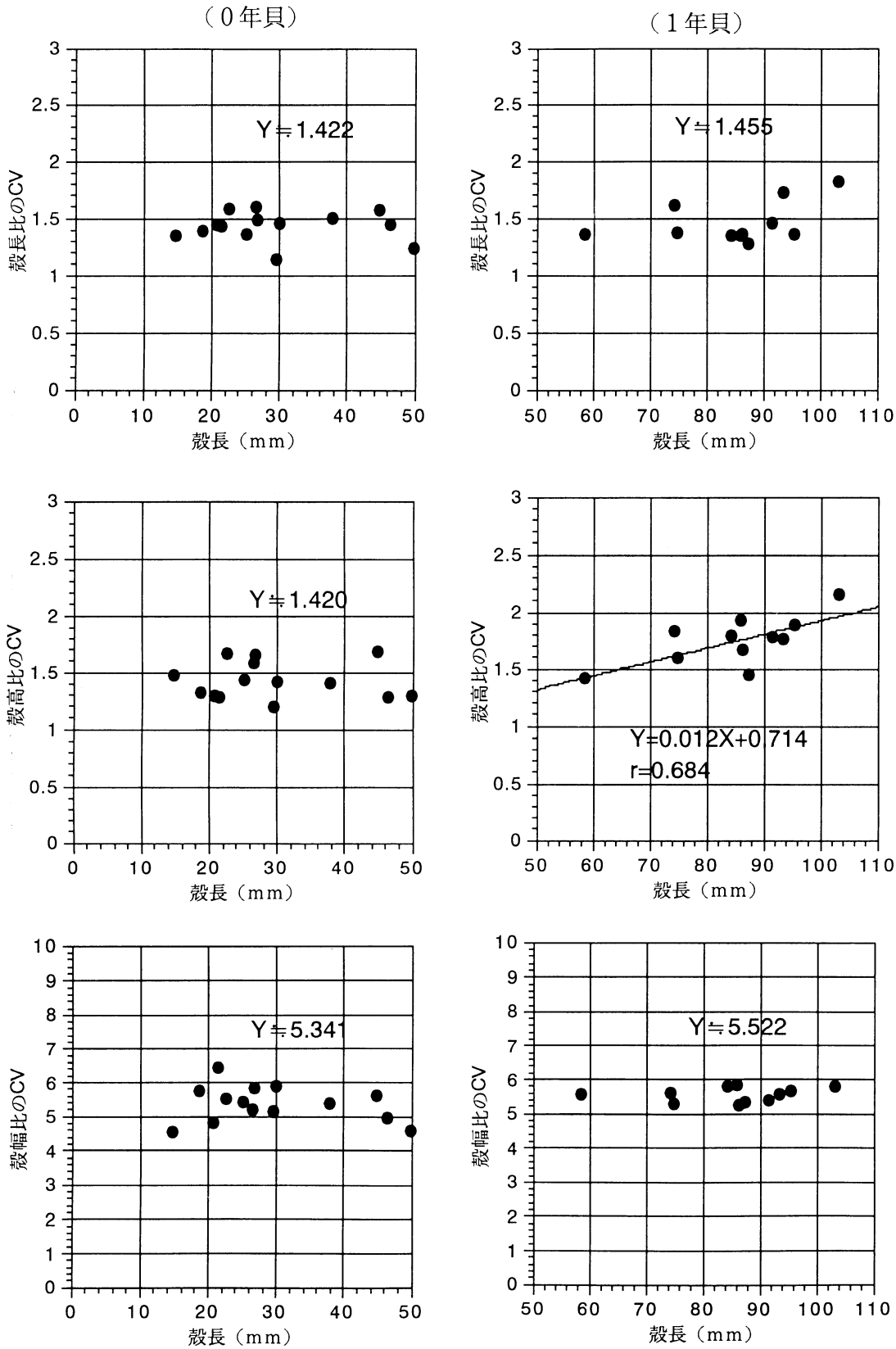


図3—8　年令別の殻長と殻形態の変異係数（CV）の関係

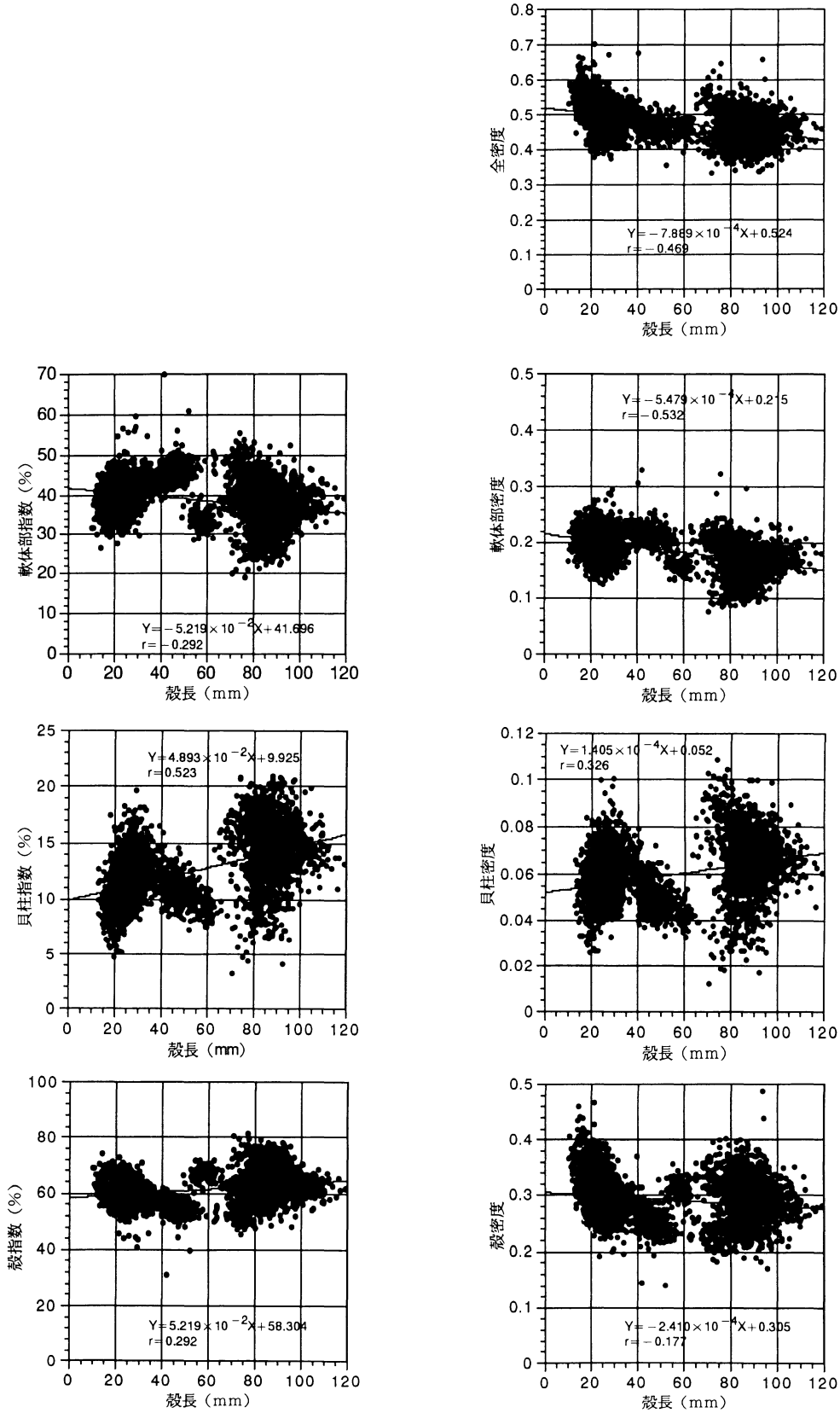


図3—9　陸奥湾において垂下養殖されているホタテガイの殻長と指数、密度の関係

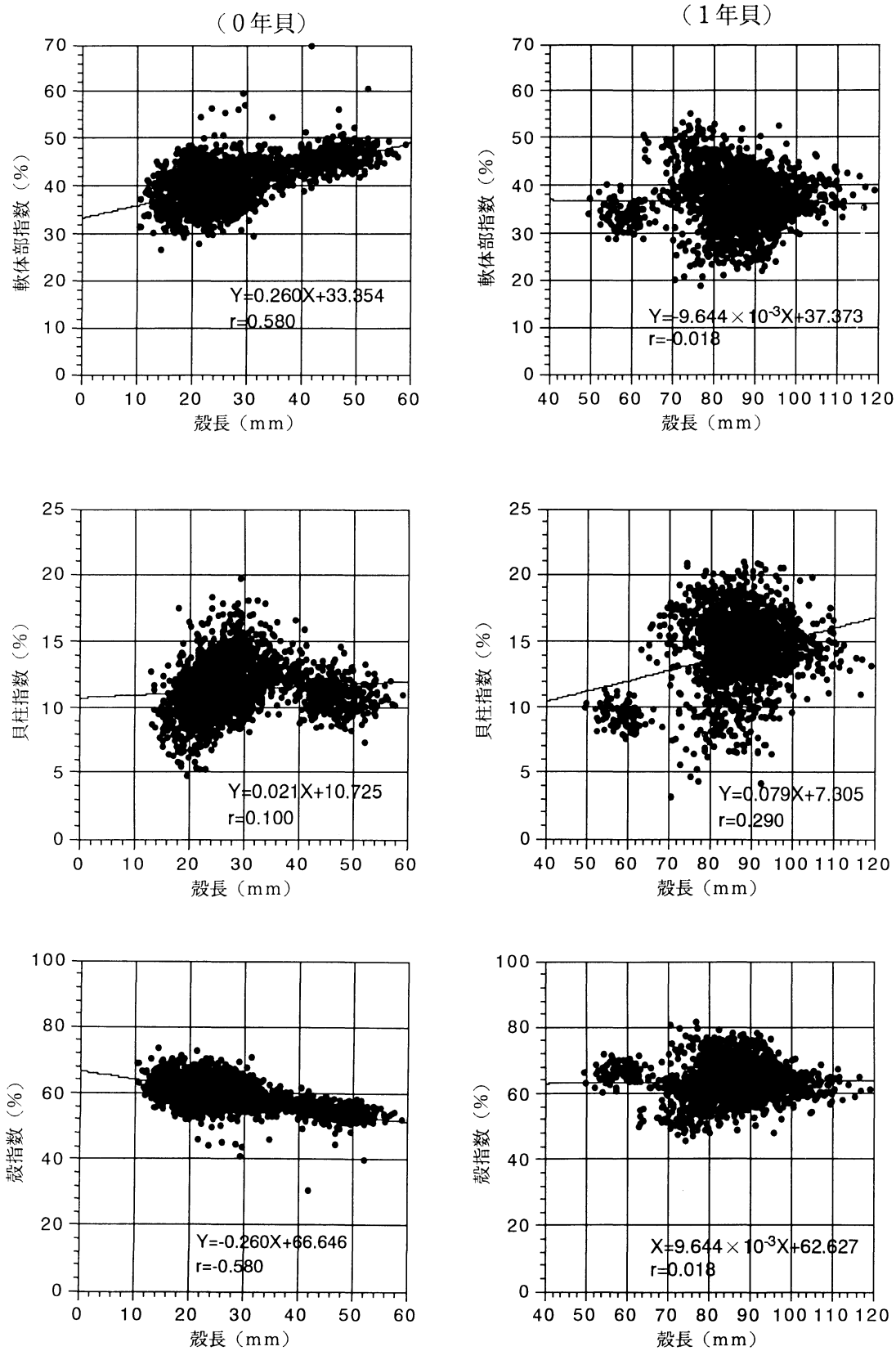


図3—10　年令別の殻長と指数の関係

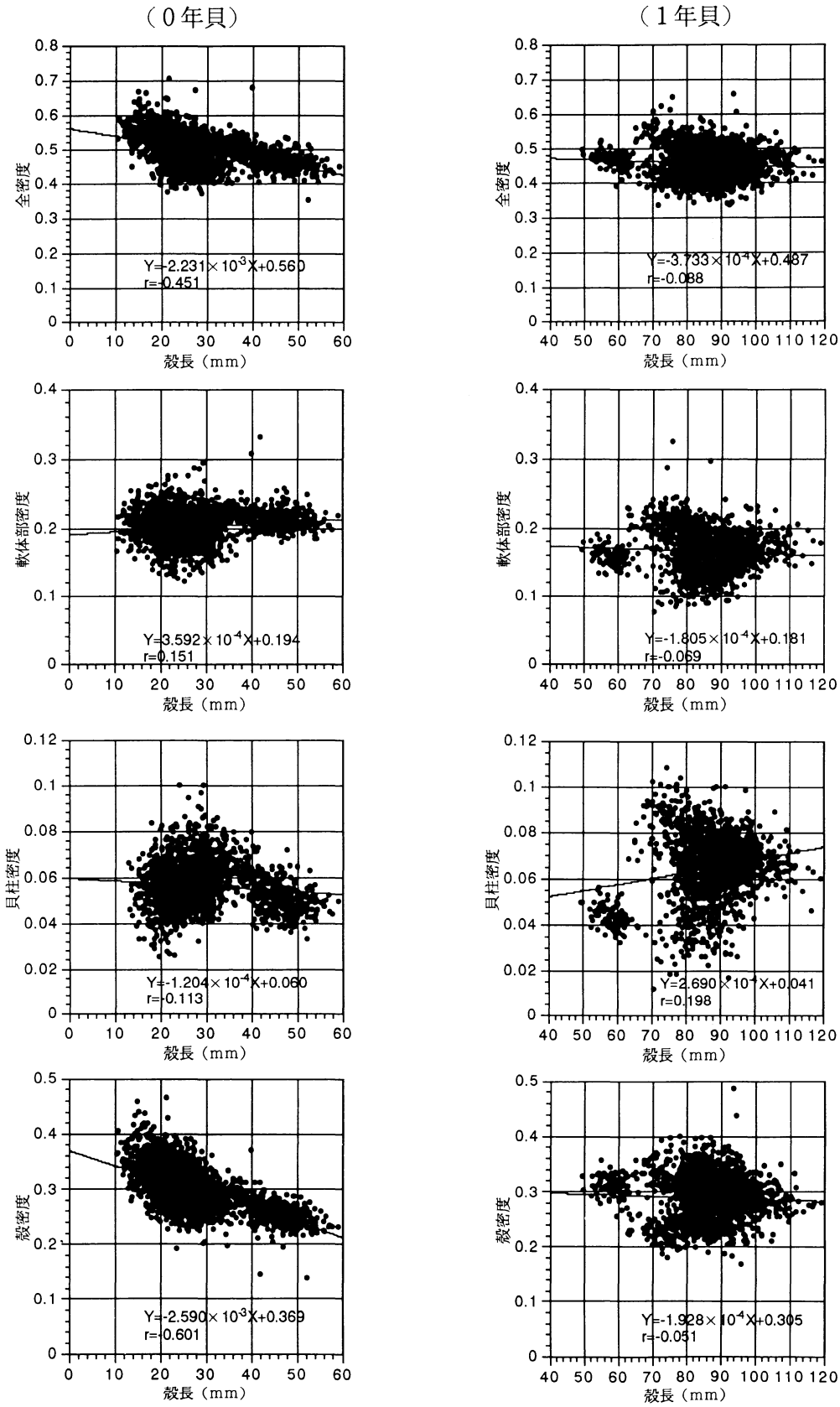


図3—11 年令別の殻長と密度の関係

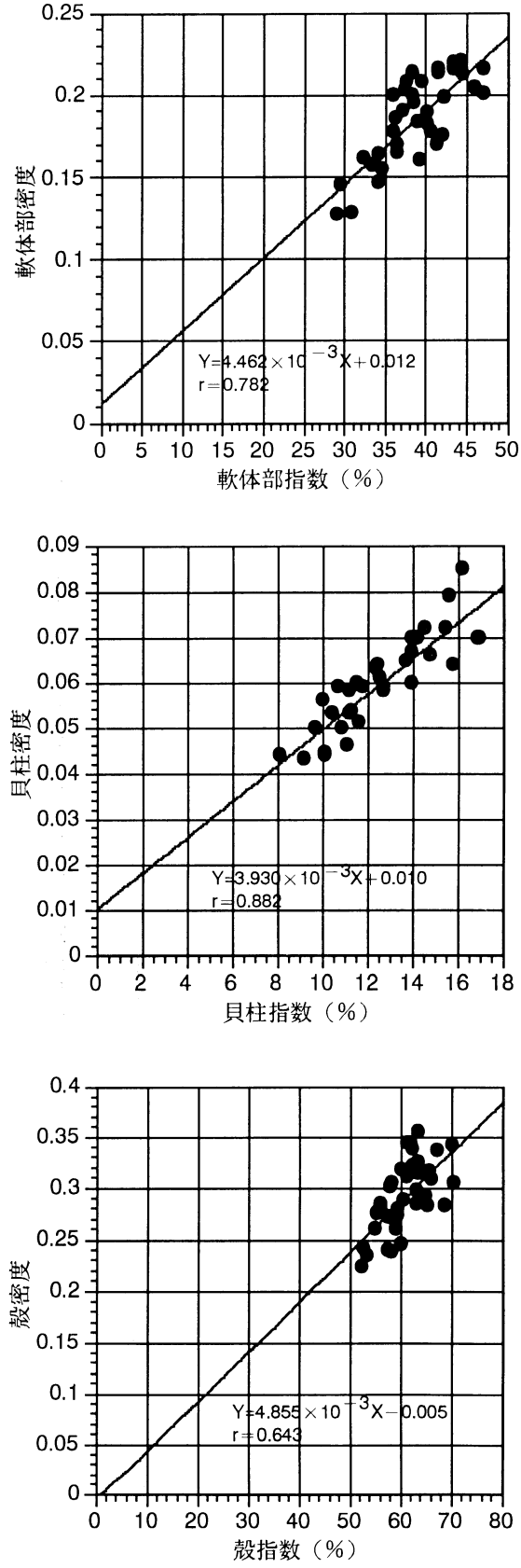


図３—12　指数と密度の関係

の関係を図3-13に示したが、一定の傾向は見られなかった。これを０年貝、１年貝に分けてプロットしたのが図3-14、図3-15である。０年貝の軟体部指数、貝柱指数、貝柱密度の変異係数と殻長との間の相関係数はそれぞれr＝－0.736、r＝－0.717、r＝－0.602で、有意な負の相関が認められた。他の形質の変異係数は殻長との間に一定の傾向が見られなかった。これは０年貝の軟体部指数、貝柱指数、貝柱密度は成長とともにばらつきが減少していくことを示している。

２．形質間の関連性について

各形質間の関連性を調べるため、各ロットの平均値を用いて形質間の相関係数を求めた（表3-5）。

殻の形態を示す殻長比、殻高比、殻幅比の間には高い相関を示した。すなわち殻長比と殻幅比との間には正の相関（r=0.535）が認められ、殻長比と殻高比、殻高比と殻幅比との間には負の相関（それぞれr=－0.903、r=－0.843）が認められた。

殻の形態を示す殻の比率と密度の関係と調べると、殻長比と全密度、軟体部密度との間には負の相関（それぞれr=－0.494、r=－0.482）がみられ、貝柱密度とは正の相関（r=0.366）が認められたが、殻密度とは相関

表３－５　垂下養殖ホタテガイの形質間の相関

形　質		ロット数	相関係数
殻長比	－殻高比	37	－0.903**
殻長比	－殻幅比	37	＋0.535**
殻高比	－殻幅比	37	－0.843**
全密度	－殻長比	37	－0.494**
全密度	－殻高比	37	＋0.351*
全密度	－殻幅比	37	－0.094
軟体部密度	－殻長比	37	－0.482**
軟体部密度	－殻高比	37	＋0.464**
軟体部密度	－殻幅比	37	－0.347*
貝柱密度	－殻長比	34	＋0.366*
貝柱密度	－殻高比	34	－0.541**
貝柱密度	－殻幅比	34	＋0.599**
殻密度	－殻長比	37	－0.246
殻密度	－殻高比	37	＋0.080
殻密度	－殻幅比	37	＋0.152
全密度	－軟体部密度	37	＋0.595**
全密度	－貝柱密度	34	＋0.115
全密度	－殻密度	37	＋0.788**
軟体部密度	－貝柱密度	34	＋0.126
軟体部密度	－殻密度	37	＋0.025
貝柱密度	－殻密度	34	＋0.052

＊：P＜0.05　　＊＊：P＜0.01

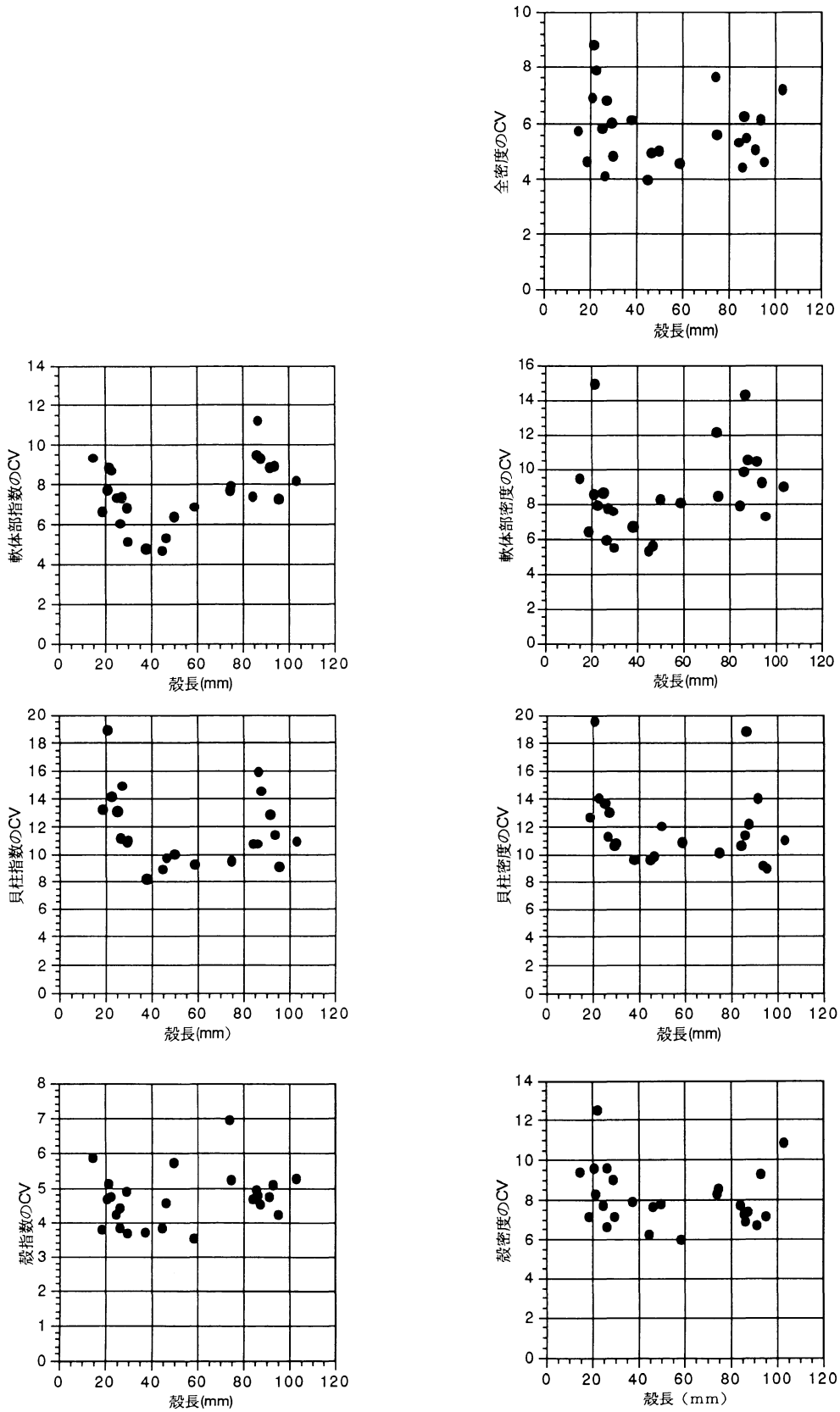


図３－13　殻長と指数、密度の変異係数（ＣＶ）の関係

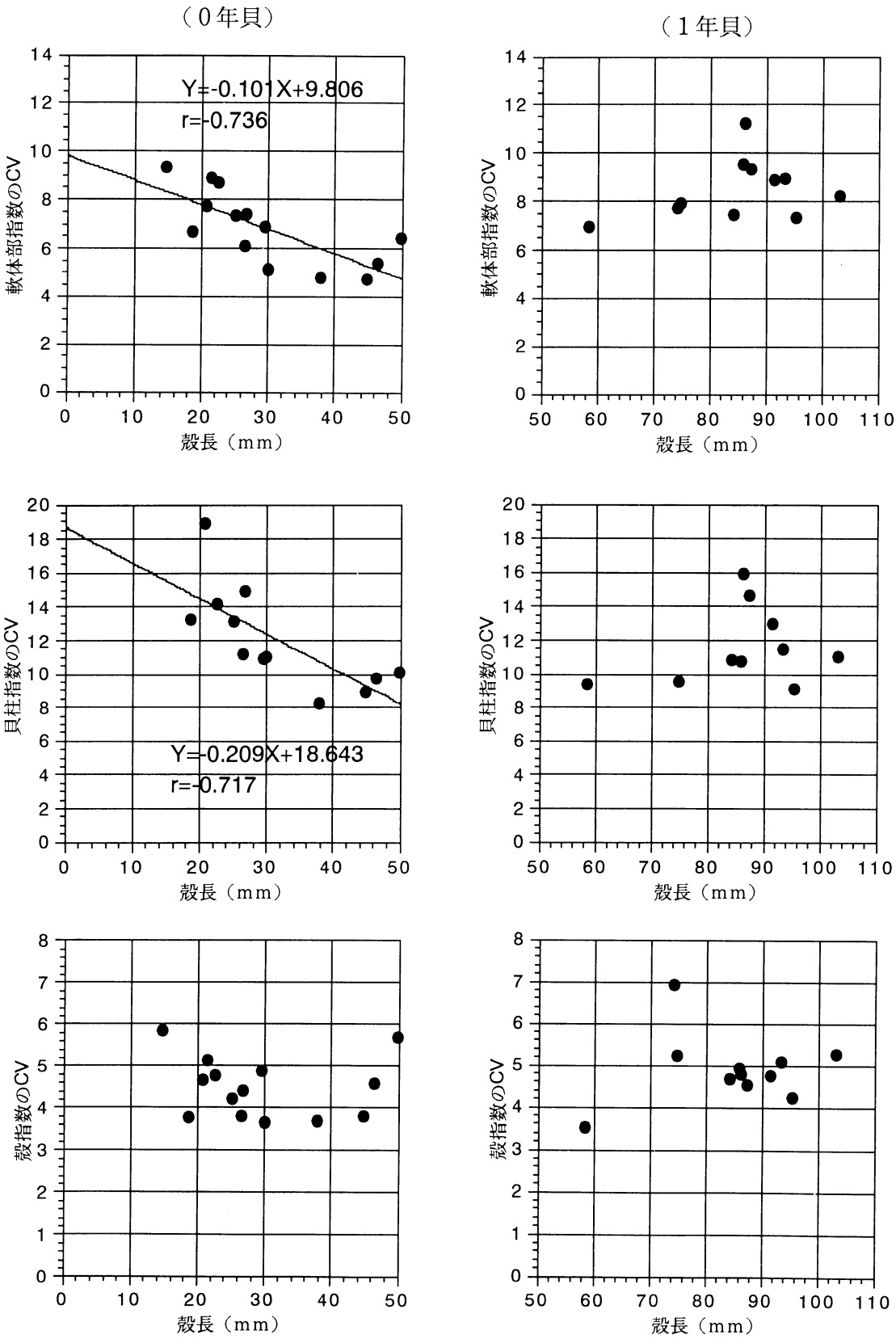


図３－14　年令別の殻長と指数の変異係数（ＣＶ）の関係

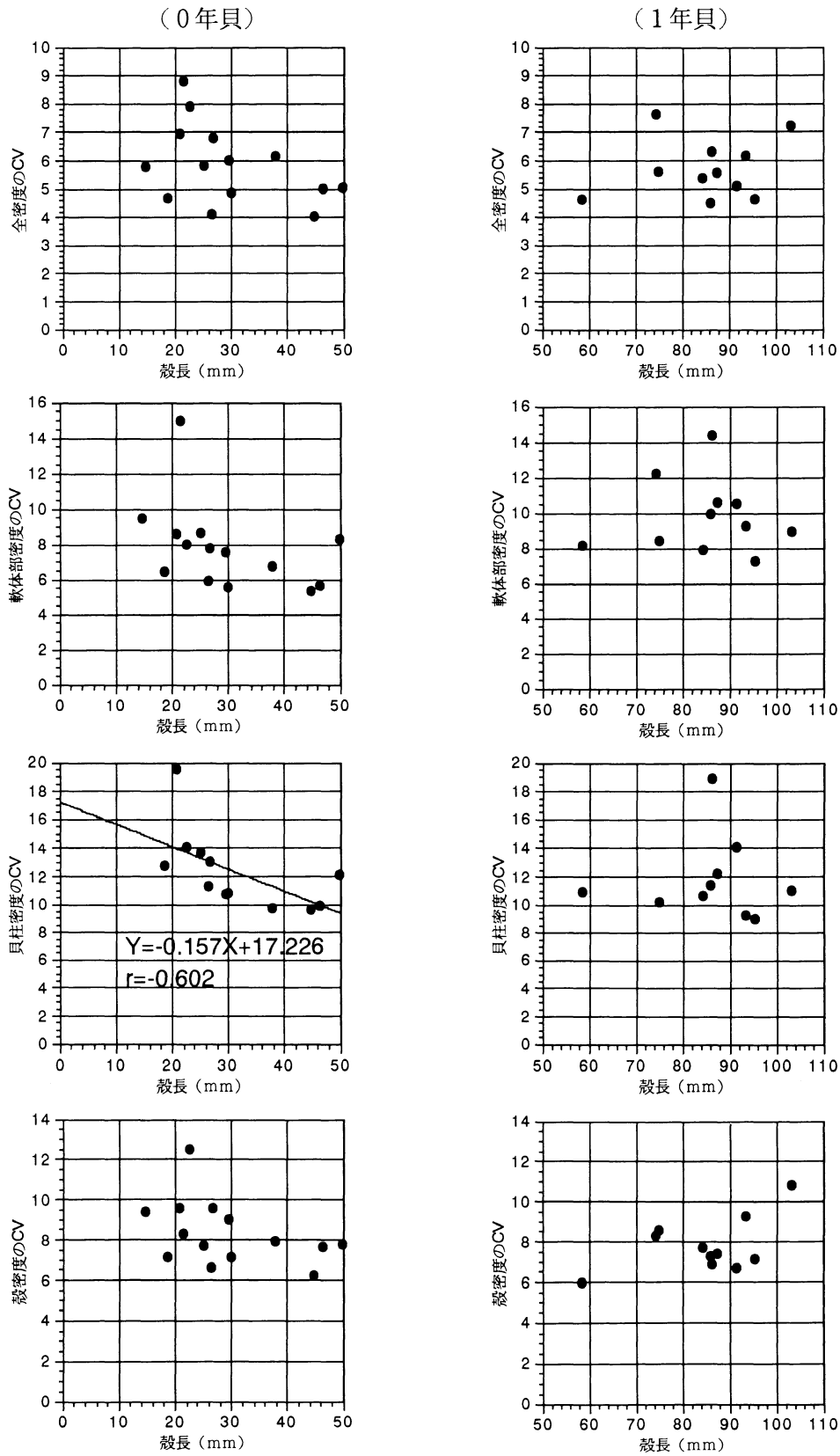


図3－15　年令別の殻長と密度の変異係数（ＣＶ）の関係

が認められなかった。殻高比と全密度、軟体部密度との間には正の相関（それぞれr = 0.351、r=0.464）、貝柱密度とは負の相関（r= − 0.541）が認められたが、殻密度とは相関が認められなかった。殻幅比と貝柱密度との間には最も高い正の相関（r=0.599）がみられ（図3-16）、軟体部密度とは負の相関（r= − 0.347）が認められたが、全密度、殻密度との間には相関が認められなかった。

各密度間の関係を調べると、全密度と軟体部密度、殻密度との間には正の相関（それぞれr=0.595、r=0.788）が認められたが、貝柱密度とは相関が認められなかった。その他の密度間にも相関が認められなかった。

3．形質の年令、地域による差異

各形質の年令、地域による差異を調べるため、陸奥湾を北緯41°線を境として北側を外湾、南側を内湾とし、東経141°を境として東側を東湾、西側を西湾として分け、外湾を蟹田町、横浜町、むつ市、脇野沢村のロット、内湾を青森市後潟、青森市久栗坂、平内町茂浦、平内町清水川のロット、東湾を平内町清水川、横浜町、むつ市のロット、西湾を蟹田町、青森市後潟、青森市久栗坂、平内町茂浦、脇野沢村のロットとして、それぞれ地域別に０年貝、１年貝のロットに分けて、その総加平均で比較を行った。その平均値を表3-6に、その検定結果を表3-7に示した。

０年貝と１年貝ともに殻長比、殻高比、殻幅比には地域による差異は認められず、全ての地域で０年貝と１年貝の間に有意な差が認められた。殻長比では０年貝のほうが大きく、殻長比、殻幅比では１年貝のほうが大きかった。このことは年令により殻の形が異なり、成長によって丸みを帯びることを示している。

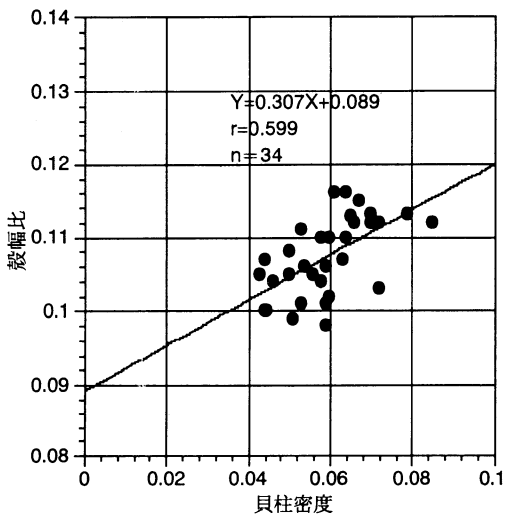


図３－16　貝柱密度と殻幅比の関係

全密度、軟体部密度でも１年貝に比べて０年貝が有意に高かったが、地域による差異は認められなかった。貝柱密度は年令、地域による差異は認められなかった。殻密度は０年貝、１年貝ともに内湾のホタテガイが外湾よりも有意に高かったが、年令による差は認められなかった。

表３－６　陸奥湾産垂下養殖ホタテガイの各量的形質における年令別、地域別の平均値と標準偏差

	０年貝	１年貝
殻長比		
外湾	0.441 ± 0.002(4)	0.451 ± 0.004(4)
内湾	0.443 ± 0.004(16)	0.454 ± 0.003(13)
西湾	0.442 ± 0.004(17)	0.454 ± 0.002(14)
東湾	0.442 ± 0.001(3)	0.450 ± 0.002(3)
殻高比		
外湾	0.459 ± 0.003(4)	0.438 ± 0.001(4)
内湾	0.453 ± 0.005(16)	0.435 ± 0.005(13)
西湾	0.453 ± 0.006(17)	0.435 ± 0.004(14)
東湾	0.457 ± 0.003(3)	0.440 ± 0.005(3)
殻幅比		
外湾	0.101 ± 0.002(4)	0.111 ± 0.005(4)
内湾	0.104 ± 0.004(16)	0.111 ± 0.003(13)
西湾	0.104 ± 0.004(17)	0.111 ± 0.003(14)
東湾	0.101 ± 0.003(3)	0.111 ± 0.003(3)
全密度		
外湾	0.472 ± 0.017(4)	0.410 ± 0.005(4)
内湾	0.503 ± 0.040(16)	0.471 ± 0.031(13)
西湾	0.498 ± 0.041(17)	0.465 ± 0.037(14)
東湾	0.487 ± 0.017(3)	0.419 ± 0.012(3)
軟体部密度		
外湾	0.197 ± 0.014(4)	0.159 ± 0.021(4)
内湾	0.203 ± 0.016(16)	0.169 ± 0.024(13)
西湾	0.200 ± 0.015(17)	0.168 ± 0.023(14)
東湾	0.209 ± 0.017(3)	0.158 ± 0.027(3)
貝柱密度		
外湾	0.057 ± 0.003(4)	0.063 ± 0.011(4)
内湾	0.056 ± 0.008(14)	0.065 ± 0.012(12)
西湾	0.054 ± 0.006(15)	0.065 ± 0.011(13)
東湾	0.063 ± 0.008(3)	0.061 ± 0.015(3)
殻密度		
外湾	0.276 ± 0.004(4)	0.252 ± 0.021(4)
内湾	0.300 ± 0.038(16)	0.302 ± 0.029(13)
西湾	0.298 ± 0.037(17)	0.297 ± 0.032(14)
東湾	0.278 ± 0.002(3)	0.261 ± 0.038(3)

（ ）内はロット数
外湾：蟹田町、横浜町、むつ市、脇野沢村
内湾：後潟、久栗坂、茂浦、清水川
東湾：清水川、横浜町、むつ市
西湾：蟹田町、後潟、久栗坂、茂浦、脇野沢村

表3－7　陸奥湾産垂下養殖ホタテガイの年令間、地域間のt検定

	殻長比	殻高比	殻幅比	全密度	軟体部密度	貝柱密度	殻密度
0外－1外	4.494**	14.749**	3.610*	4.062**	2.965*	0.896	2.312
0外－0内	0.866	2.083	1.652	1.478	0.698	0.415	2.442*
0内－1内	8.562**	9.233**	4.882**	2.355*	4.625**	2.413*	0.232
1外－1内	1.417	1.709	0.056	8.117**	0.765	0.381	3.288**
0西－1西	8.618**	10.599**	5.015**	2.394*	4.689**	3.032**	0.074
0西－0東	0.015	1.225	1.536	0.484	0.845	2.249*	2.109*
0東－1東	6.633**	4.981**	4.243*	5.656**	2.779*	0.206	1.316
1西－1東	2.470*	2.062	0.349	2.082	0.705	0.504	1.688

＊：$P < 0.05$　　＊＊：$P < 0.01$
外湾：蟹田町、横浜町、むつ市、脇野沢村
内湾：後潟、久栗坂、茂浦、清水川
東湾：清水川、横浜町、むつ市
西湾：蟹田町、後潟、久栗坂、茂浦、脇野沢村

考　察

諸形質の捉え方を検討するためには、その基準値を定める必要があるが、さらに基準値が成長に伴って変化するか、年令に関係なく一定であるか、ばらつきが大きいか小さいかによって、その比較方法が異なってくる。アワビでは殻長が50mm以上では殻の形が変わらないと報告されているが（小林ら　1991）、ホタテガイにおいては0年貝（50mm以下）と1年貝（50mm以上）では殻の形が異なることが示された。従って、殻の形態に関しては0年貝と1年貝を分けて比較する必要がある。

軟体部指数、貝柱指数、殻指数、全密度、軟体部密度、貝柱密度、殻密度においても1年貝はばらつきが大きく殻長との間の相関が低いが、0年貝においては軟体部指数、殻指数、全密度、殻密度で比較的ばらつきが小さく殻長との間の相関も高く、成長に伴って変化していることが示された。これら基準値を基にして各地域のホタテガイの形質の特徴の比較や種苗または商品としての質の評価もできるが、年令や大きさによっても基準値やばらつきの度合が異なるので、特定の形質では年令や大きさによって別々に扱わなければならないものと考えられる。

量的形質を捉えるためには、表現型分散を最小限にするか、環境分散の小さい形質を捉えて遺伝分散を明らかにしていかなければならない。本章では、同一種苗を用いて久栗坂および茂浦の地理的にも養殖水深において全く異なる環境で養殖しても殻長、殻高、殻幅、全重量、軟体部重量、貝柱重量、殻重量、殻長比、殻高比、殻幅比などの変異係数が一定の傾向を示したことから、これら形質における個体間のばらつきは、遺伝的要因が大きいと考えられる。軟体部指数、貝柱指数、殻指数、全密度、軟体部密度、貝柱密度、殻密度などのばらつきが大きく、一定の傾向を示さない形質は環境に影響されやすい形質と考えられる。

Oniwa *et al.*（1994）はホタテガイにおいてアイソザイムをマーカーとして、ヘテロ接合体率と全重量、軟体部重量または軟体部指数の変異係数との間には有意な相関があり、量的形質の変異性は遺伝的変異性に対応することを示唆している。同様なことが養殖サクラマスでも報告されている（中嶋ら 1988）。また、藤尾ら（1991）はリンゴガイにおいて、異なった容器または異なった密度で飼育しても同一卵塊では体重の変異係数はほぼ同じになり、これらは遺伝的差異によるものであると示唆している。

このことから同じ形質において変異係数が高くなると遺伝的変異性も高くなると考えられるので、久栗坂および茂浦における垂下養殖ホタテガイにおいて、一定の傾向が見られた各形質の変異係数を基準として各地域の変異係数を比較することで、各地区の量的形質及び遺伝的変異性も比較できるものと考えられる。

さらに、産業的に重要な貝柱密度が軟体部密度とは相関がなく、殻幅比と正の相関がみられたことは、貝柱密度が殻の形態に依存していて、殻の形が選択の重要な形質とみることができる。すなわち、貝柱密度を外部の殻の形態から判定する指標ができたことになる。なお、殻の形が高い遺伝率を示すことがアコヤガイで報告されている（和田 1985）。

要　約

垂下養殖ホタテガイの量的形質の特性を把握するために、陸奥湾で垂下養殖されているホタテガイの０年貝、１年貝を用いて、殻長、殻高、殻幅、全重量、軟体部重量、貝柱重量、殻重量を測定した。その結果、

１）各測定値は殻長との間に高い正の相関を示し、回帰線を基準にして比較できることがわかった。

２）各測定値の変異係数は、１年貝（50mm以上）では殻長に関係なく一定値を示したので、１年貝では殻長に関係なく変異係数の比較ができることがわかった。

３）殻の形を示す殻長比、殻高比、殻幅比は０年貝と１年貝では差異が認められ、殻の形が成長に伴って丸みを帯びることがわかった。

４）大きさに対する割合を示す全密度、軟体部密度、貝柱密度、殻密度は、傾きの小さい回帰直線を中心にばらつきの大きな分布となり、また、０年貝と１年貝で異なる傾きを示した。全重量に対する割合を示す軟体部指数、貝柱指数、殻指数も同じ傾向が見られた。

５）形質間の相関を調べたところ産業的に重要な貝柱密度は、殻幅比と有意な正の相関が認められ、殻幅比が貝柱の指標となることがわかった。

第４章
アイソザイム遺伝子型と量的形質との関連性

個体の形質は個体間の差異が不連続でクラス分けの形で区別される質的形質と連続的な差異として把握される量的形質に分けられる。前者は一般に主働遺伝子と呼ばれる大きな効果をもつ１つの遺伝子によって支配され、後者は微小な効果をもつ多くの微働遺伝子によって支配されている。また、量的形質は産業的に重要とされる経済形質でもあり、その表現型は遺伝要因と環境要因によって支配されている。いずれにしても、両形質とも集団中の遺伝的変異は表現型から推定することができ、アイソザイムから求めた遺伝的変異性（平均ヘテロ接合体率）が高い集団は量的形質に関与する遺伝的変異性（量的形質の測定値の変異係数（CV））も高いことが予想される。この点に関して、ホタテガイの全重量、軟体部重量、身入りのばらつきがアイソザイム遺伝子から求めた平均ヘテロ接合体率との間で正の相関がみられることが報告されている（藤尾1986, Oniwa *et al.* 1994）。

アイソザイムの遺伝子型と成長率などの経済形質との関係については、アメリカガキ *Crassostrea virginica*（Singh *et al.* 1978, Zouros *et al.* 1980, Koehn *et al.* 1982）、マガキ *Crassostrea gigas*（Fujio 1982, 藤尾・杉田 1982, Sugita and Fujio 1982, Fujio 1986）、ムラサキイガイ *Mytilus edulis*（Koehn and Gaffney 1984）などで調べられている。

本章ではアイソザイム遺伝子から求めた変異性と経済形質である量的形質の変異性との関係を明らかにするとともにアイソザイム遺伝子型と経済形質との関連性の有無について検討することを目的とした。

材料と方法

実験に用いたホタテガイは陸奥湾内の蟹田町、青森市後潟、青森市久栗坂、平内町清水川、横浜町、むつ市、川内町、脇野沢村の８地点の養殖区域で垂下養殖されていたものである。採取地と採取ロット、採取年月日、平均殻長を表4-1に示した。採取したホタテガイはすべて１年貝で、８地点、10ロット、1050個体である。

アイソザイム遺伝子型と量的形質との関連については、経済形質として重要な軟体部密度、貝柱密度、殻密度の３形質について調べた。軟体部密度は（軟体部重量）／（殻長×殻高×殻幅）×1000、貝柱密度は（貝柱重量）／（殻長×殻高×殻幅）×1000、殻密度は（殻重量）／（殻長×殻高×殻幅）×1000で求めた。アイソザイムの検出は、閉殻筋（貝柱）を用いて、藤尾（1984b）の方法に従い、デンプンゲル電気泳動法で行った。すでにホタテガイで多型を示すことが明らかにされているaspartate aminotransferase(AAT)、glucosephosphate isomerase(GPI)、α-glycerophosphate dehydrogenase(α-GPD)、phosphoglucomutase (PGM)の４酵素を支配する４アイソザイム遺伝子座を標識とした。

結　果

１．各形質の変異

陸奥湾におけるホタテガイの各形質の平均値と変異係数（CV）を表4-2に示した。軟体部密度、貝柱密度、殻密度は成長に対して独立した形質であることが解っているので、各形質の変異係数とその平均値との関係を調べた。その結果を図4-1に示したように、殻密度

表4—1　実験に用いたホタテガイ

採集地点	ロット番号	採集年月日	個体数	年齢	殻長(mm) 平均値±標準偏差
蟹田町	蟹田-H	1995.10.18	110	1+	84.23±4.82
青森市後潟	後潟-H	1995.10.20	111	1+	94.87±6.00
青森市久栗坂	久栗坂-H1	1994.6.10	104	1+	81.67±5.66
青森市久栗坂	久栗坂-H2	1995.4.28	100	1+	74.66±7.42
青森市久栗坂	久栗坂-H3	1995.4.28	100	1+	74.44±5.54
平内町清水川	清水川-H	1995.10.17	104	1+	85.65±6.26
横浜町	横浜-H	1995.10.20	120	1+	88.57±6.07
むつ市	むつ-H	1995.10.19	120	1+	86.22±5.27
川内町	川内-H	1994.6.10	61	1+	78.44±4.49
脇野沢村	脇野沢-H	1995.10.24	120	1+	83.10±4.08

表4－2　実験に用いたホタテガイの各量的形質の平均値と変異係数（CV）

ロット番号	軟体部密度		貝柱密度		殻密度	
	平均値±標準偏差	CV	平均値±標準偏差	CV	平均値±標準偏差	CV
蟹田-H	0.128±0.019	14.97	0.046±0.011	23.78	0.282±0.024	8.33
後潟-H	0.147±0.015	9.89	0.060±0.009	14.80	0.282±0.023	8.05
久栗坂-H1	0.202±0.019	9.25	-	-	0.208±0.017	8.16
久栗坂-H2	0.249±0.026	10.35	-	-	0.230±0.017	7.27
久栗坂-H3	0.248±0.026	10.66	-	-	0.222±0.018	8.06
清水川-H	0.127±0.022	17.31	0.044±0.014	30.95	0.305±0.021	6.76
横浜-H	0.176±0.023	13.20	0.070±0.009	13.05	0.240±0.023	9.53
むつ-H	0.170±0.018	10.63	0.070±0.008	12.19	0.239±0.015	6.39
川内-H	0.213±0.021	9.63	-	-	0.217±0.016	7.25
脇野沢-H	0.160±0.015	9.52	0.064±0.009	13.67	0.245±0.019	7.62

の変異係数とその平均値の間には有意な相関がみられなかったが、軟体部密度、貝柱密度の変異係数と平均値との間にはそれぞれ$Y = -9.653 \times 10^{-3} + 0.293$ ($r = -0.586$)、$Y = -1.431 \times 10^{-3}X + 0.085$ ($r = -0.944$) という有意な負の相関が認められた。このことはばらつきが大きい集団ほど平均の軟体部密度、貝柱密度が減少することを示している。また、軟体部密度、貝柱密度の高い集団（後潟-H）と低い集団（清水川-H）のヒストグラムを図4-2、4-3に示したが、高い集団は分布範囲が狭く、ピークがかすかに高い方にシフトしていた。低い集団は逆に広範囲に分布し、そのピークも低い方にシフトしていた。このことは、軟体部密度、貝柱密度が高い集団はばらつきが小さく、平均的に密度が高い個体が多くを占めるが、低い集団は密度の低い個体と高い個体が混在することを示している。

2．アイソザイム遺伝子による遺伝的変異と各形質の変異

遺伝的変異の程度を比較するための指標として4アイソザイム遺伝子から求めた平均ヘテロ接合体率（He）と各アイソザイム遺伝子ごとのヘテロ接合体率（he）を表4-3に示した。

さらに、ホタテガイの質的形質の変異性と量的形質の変異性の関係を調べるためにアイソザイム遺伝子と

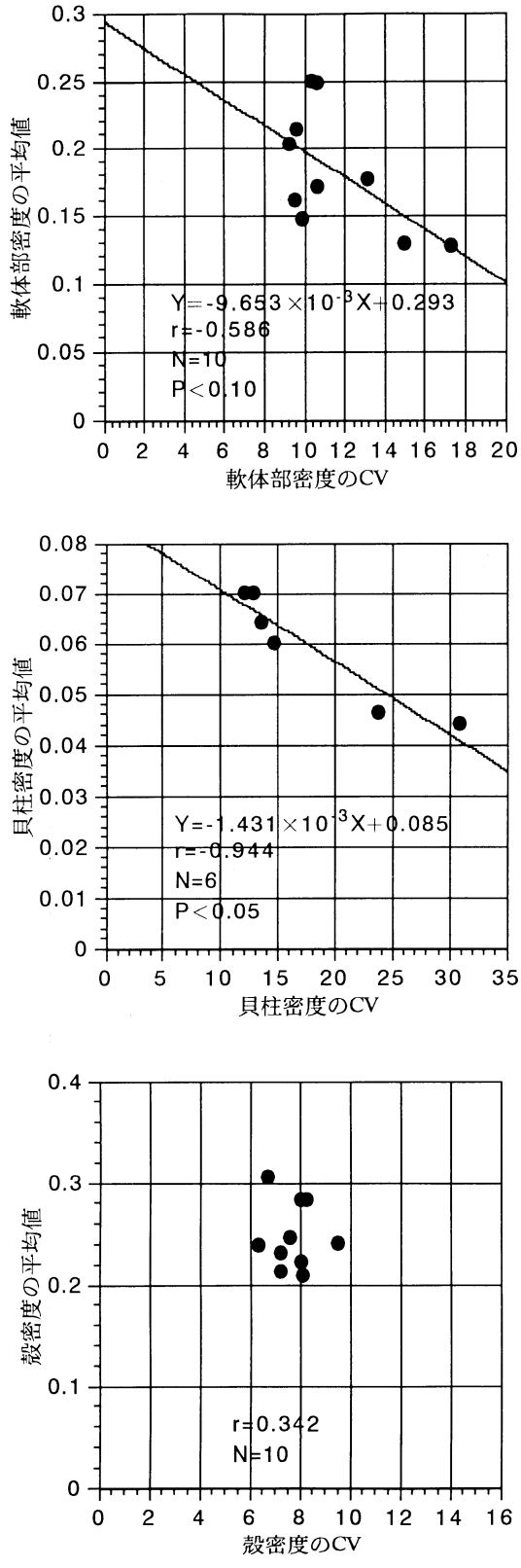


図４－１　密度の変異係数（ＣＶ）と平均値の関係

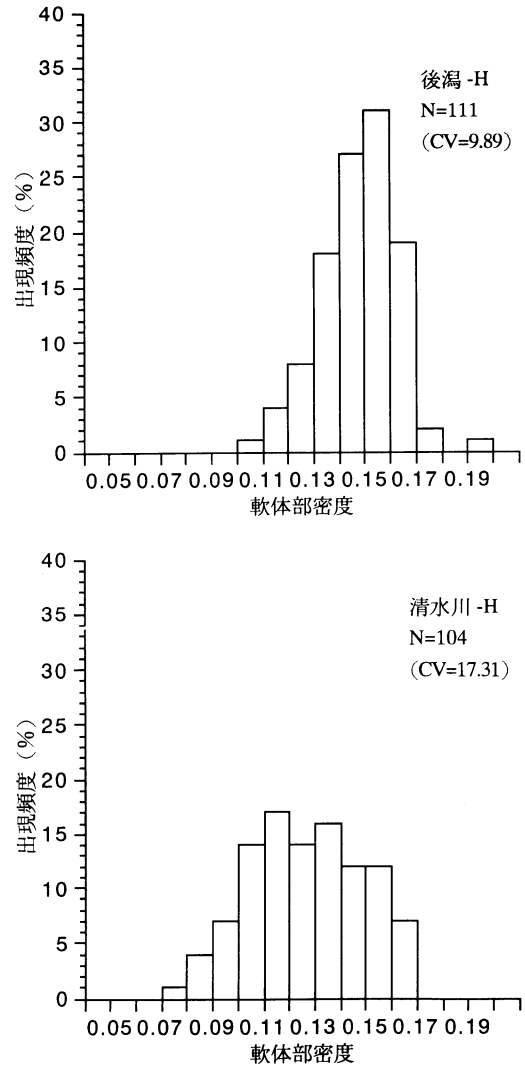


図４－２　軟体部密度の変異係数の違いによる個体分布

表４－３　各遺伝子座における期待値のヘテロ接合体率

ロット番号	*Aat-1* he	*Pgm-1* he	*Gpi* he	*α-Gpd* he	平均He
蟹田-H	0.423	0.508	0.303	0.493	0.432
後潟-H	0.477	0.546	0.259	0.478	0.440
久栗坂-H1	0.415	0.541	0.276	0.513	0.436
久栗坂-H2	0.431	0.527	0.248	0.517	0.431
久栗坂-H3	0.455	0.550	0.228	0.482	0.429
清水川-H	0.407	0.562	0.350	0.471	0.448
横浜-H	0.436	0.537	0.320	0.507	0.450
むつ-H	0.486	0.566	0.406	0.466	0.481
川内-H	0.462	0.609	0.180	0.493	0.436
脇野沢-H	0.464	0.503	0.300	0.459*	0.432
平　均	0.446	0.545	0.287	0.488	0.442

＊はハーディ・ワインベルグの平衡と有意に異なっているもの.

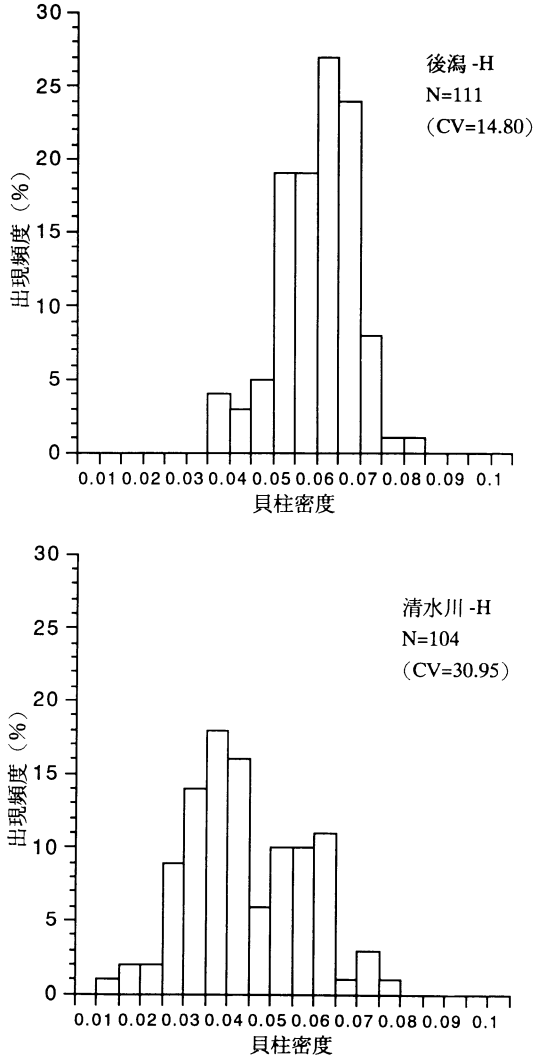


図４－３　貝柱密度の変異係数の違いによる個体分布

３形質の変異係数（CV）との相関係数を求めた。その結果、４アイソザイムの平均ヘテロ接合体率と変異係数（CV）との関係はみられなかった（図4-4）。各アイソザイム遺伝子座ごとのヘテロ接合体率と変異係数（CV）との関係をみると*Pgm-1*、*Gpi*、α*-Gpd*遺伝子座のヘテロ接合体率と３形質の変異係数との間には有意な相関はみられなかったが、*Aat-1*遺伝子座ではヘテロ接合体率と軟体部密度および貝柱密度の変異係数との間には有意な負の相関がみられた（表4-4、図4-5）。このことは*Aat-1*遺伝子座のヘテロ接合体率が高くなると軟体部密度と貝柱密度のばらつきが小さくなることを示している。さらに、軟体部密度と貝柱密度の平均値が大きいほどばらつきが小さいこととを合わせてみると、*Aat-1*遺伝子座のヘテロ接合体がホモ接合体よりも軟体部密度と貝柱密度が高いことを意味している。

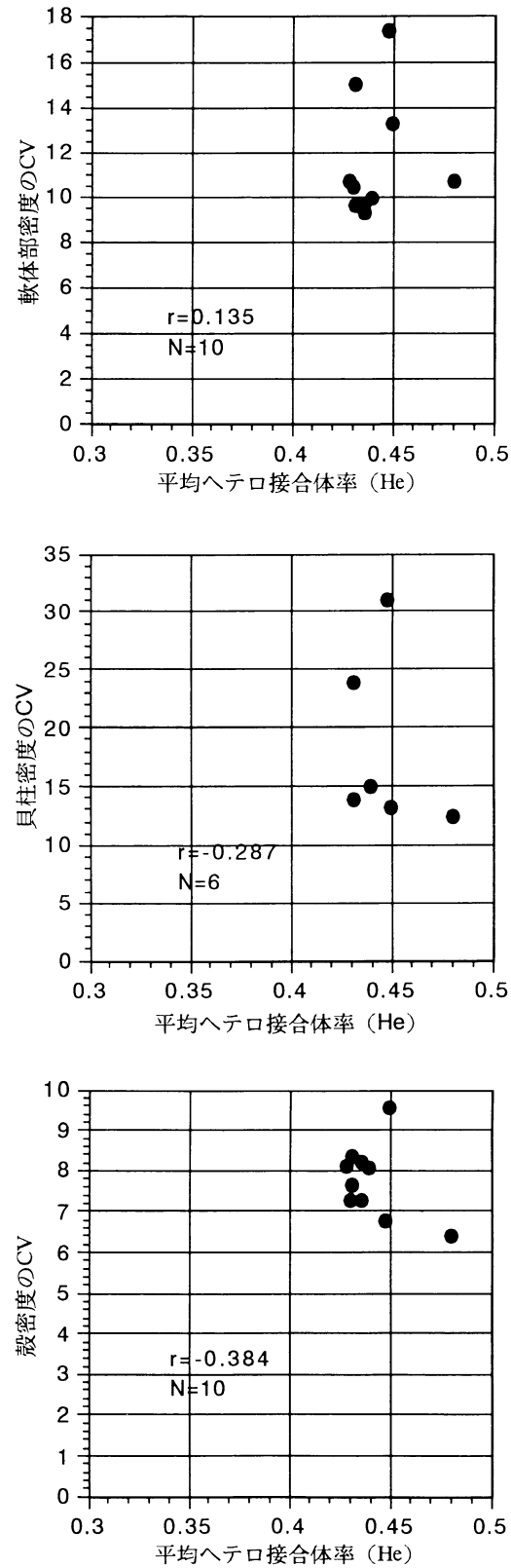


図４－４　平均ヘテロ接合体率（He）と変異係数（ＣＶ）の関係

表4—4　垂下養殖貝のヘテロ接合体率（he）と各形質の変異係数（CV）との相関係数

形　　質	ロット数	*Aat-1* (he)	*Pgm-1* (he)	*Gpi* (he)	*α* − *Gpd* (he)
軟体部密度（CV）	10	− 0.597*	− 0.099	0.454	− 0.102
貝柱密度（CV）	6	− 0.833**	0.105	0.037	0.006
殻　密　度（CV）	10	− 0.199	− 0.403	− 0.227	− 0.227

＊＊：P < 0.05, ＊：P < 0.10

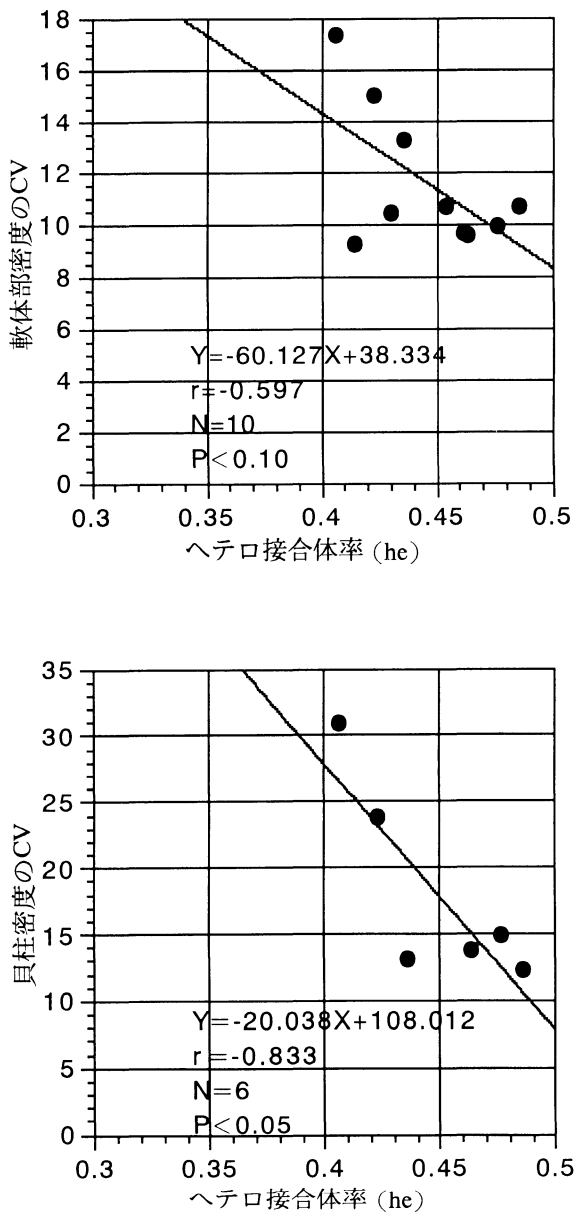


図４－５　*Aat-1*遺伝子座におけるヘテロ接合体率(he)と変異係数（ＣＶ）の関係

3．ホモ接合体、ヘテロ接合体と量的形質との関係

アイソザイム遺伝子におけるホモ接合体、ヘテロ接合体と量的形質との関係を調べるために、ヘテロ接合体率と変異係数との間に相関が認められた*Aat-1*遺伝子座の軟体部密度、貝柱密度で、各ロットごとにホモ接合体、ヘテロ接合体の２グループにわけて、その平均値と標準偏差を求めた（表4-5）。軟体部密度では、10ロット中２ロットではホモ接合体とヘテロ接合体が同じで２ロットでホモ接合体が高かったが、６ロットでヘテロ接合体が高かった。貝柱密度では、６ロット中１ロットでホモ接合体が高かったが、５ロットでヘテロ接合体が高く、１ロットは有意に高かった。このことはアイソザイム遺伝子型とこれら密度に関しては、ヘテロ接合体が有利であることを示唆している。

表４－５　*Aat-1*遺伝子座におけるホモ接合体とヘテロ接合体の各形質の平均値

形　質	ロット番号	ホモ接合体		ヘテロ接合体
軟体部密度	蟹田-H	0.128 ± 0.020(64)	=	0.128 ± 0.018(46)
	後潟-H	0.146 ± 0.016(64)	<	0.149 ± 0.013(47)
	久栗坂-H1	0.200 ± 0.017(56)	<	0.204 ± 0.020(48)
	久栗坂-H2	0.246 ± 0.028(61)	<	0.252 ± 0.023(38)
	久栗坂-H3	0.248 ± 0.026(57)	<	0.252 ± 0.025(43)
	清水川-H	0.126 ± 0.023(67)	<	0.129 ± 0.021(37)
	横浜-H	0.177 ± 0.025(65)	>	0.175 ± 0.021(55)
	むつ-H	0.166 ± 0.019(56)	<	0.173 ± 0.017(64)
	川内-H	0.213 ± 0.021(36)	=	0.213 ± 0.020(25)
	脇野沢-H	0.163 ± 0.013(54)*	>	0.157 ± 0.017(66)
貝柱密度	蟹田-H	0.045 ± 0.011(64)	<	0.046 ± 0.011(46)
	後潟-H	0.059 ± 0.010(64)	<	0.061 ± 0.007(47)
	清水川-H	0.043 ± 0.013(67)	<	0.046 ± 0.014(37)
	横浜-H	0.070 ± 0.009(65)	<	0.071 ± 0.009(55)
	むつ-H	0.068 ± 0.010(56)	<	0.071 ± 0.007(64)*
	脇野沢-H	0.066 ± 0.008(54)	>	0.063 ± 0.009(66)

（　）内は個体数.　*はホモ接合体とヘテロ接合体間で有意な差（P < 0.05）があつたもの.

考　察

一般にはアイソザイム遺伝子によるヘテロ接合体率が増加すると量的形質のばらつきも大きくなる傾向を示すことが報告されている。身入り（軟体部指数）の平均値とその変異係数の関係についてはエゾアワビについても調べられていて、身入りの平均値とばらつき（変異係数）との間には負の相関があり、身入りのよい集団は身入りのよい個体が多くを占めるが、身入りの悪い集団は身入りの悪い個体が集団内に出現していることが報告されている（Kobayashi and Fujio 1994, 木島ら 1995）。木島ら（1995）は身入りの多様な個体が出現するのは、身入りを支配する遺伝子または遺伝子群の多様性が高いことが考えられると報告している。また、身入りの変異係数はアイソザイム遺伝子による平均ヘテロ接合体率と正の相関があり、身入りを支配する遺伝子または遺伝子群の変異性がアイソザイムなどの質的形質と対応することを示唆している。さらに、ホタテガイにおいてもアイソザイム遺伝子の平均ヘテロ接合体率と殻重量、生肉重量（軟体部重量）、全重量の変異係数との間には正の相関が認められることが報告されている（藤尾 1985, Oniwa *et al.* 1994）。

本研究では、4アイソザイム遺伝子の平均ヘテロ接合体率と変異係数（CV）との間に相関が認められなかったことは、藤尾（1986）およびOniwa *et al.*（1994）が報告したホタテガイの現象と一致しなかった。この原因として用いたアイソザイム遺伝子がすべてのロットで多型を示した4遺伝子座のみであったので、全体のHeを反映していないことが考えられた。このことは、質的形質の変異性に関しても稀な低頻度対立遺伝子の存在が重要となる場合がある。この点は今後の課題として残された。また、平均ヘテロ接合体率と密度との間には有意な相関がみられず、軟体部密度、貝柱密度の変異係数が*Aat-1*遺伝子座のヘテロ接合体率と有意な相関が認められたことは、軟体部密度および貝柱密度を支配する遺伝子群が存在する染色体に*Aat-1*遺伝子座が連鎖していることが考えられる。しかし、軟体部密度、貝柱密度の変異係数が低い集団は、その集団の平均密度も高くなることがわかっているので、*Aat-1*遺伝子座でヘテロ接合体率が高い集団はその平均軟体部密度、貝柱密度も高くなることが示唆され、*Aat-1*遺伝子座でのヘテロ接合体率が軟体部密度、貝柱密度の指標となることが考えられる。

アイソザイム遺伝子と成長率などの経済形質との関係については、アメリカガキ *Crassostrea virginica*（Singh *et al.* 1978, Zouros *et al.* 1980, Koehn *et al.* 1982）、マガキ *Crassostrea gigas*（Fujio 1982, 藤尾・杉田 1982, Sugita and Fujio 1982, Fujio 1986）、ムラサキイガイ *Mytilus edulis*（Koehn and Gaffney 1984）などで報告されている。Fujio *et al.*（1982）はマガキのカタラーゼ遺伝子型と生存、成長との関係を調べ、ヘテロ型がホモ型に比べて生残および成長に関して有利であると示唆している。また、野生集団のマガキではヘテロ型の遺伝子座数が多い個体は生肉重量が重い傾向を示すことが報告されている（Fujio *et al.* 1982, 1985）。しかし、イタヤガイ科のマゼランツキヒガイ（*Placopecten magellanicus*）、ヨーロッパホタテガイ（*Pecten maximus*）においても成長とアイソザイム遺伝子座におけるヘテロ接合体との関係について調べられているが、成長率との間には有意な関係は見られていない（Foltz and Zouros 1984, Beaumont *et al.* 1985）。しかし、Volckaet and Zouros (1989)はホタテガイのような泳ぐ種類にとって、捕食者から逃げる目的の活発な遊泳は自然選択によって好まれる過剰なATPの消費者であり、この場合、ヘテロ接合体は成長と関係するのではなく、ヘテロ接合体がホモ接合体よりも効果的に捕食者から逃れるための活発に泳ぐための強化能力をとおして、ヘテロ接合体と生存との関係が見られるのではないかと考察している。

ホタテガイにとって泳ぐ能力はその貝柱の能力によるものであり、本研究で*Aat-1*遺伝子座のヘテロ接合体がホモ接合体よりも軟体部密度、特に貝柱密度で高かったのは、ヘテロ接合体が経済的にも有利であるが、泳ぐ能力も強いことが示唆される。

要　約

ホタテガイにおける質的形質（アイソザイム）の変異性と量的形質の変異性、およびアイソザイム遺伝子型と経済形質との関連性を検討した。その結果、

1）量的形質としての軟体部密度と貝柱密度とその変異係数の間には負の相関がみられ、軟体部密度と貝柱密度が高い集団ほどばらつきが小さくなることが認められた。

2）平均ヘテロ接合体率と密度に関する量的形質の変異係数との間には有意な相関がみられなかったが、*Aat-1*遺伝子座におけるヘテロ接合体率と軟体部密度および貝柱密度の変異係数に有意な負の相関がみられた。

3）これらの結果から*Aat-1*アイソザイム遺伝子座が産業的に重要な軟体部密度と貝柱密度の指標となることが示唆された。

総合考察

昭和40年以前の陸奥湾のホタテガイ生産は自然集団から発生する種苗にしか依存していなかつたが、現在では自然集団のホタテガイは漁業生産には寄与していないし、その生息も無視される程のものとなっている。また、現在の陸奥湾における養殖ホタテガイの種苗は全て天然種苗に依存しているが、その種苗は全て垂下養殖貝または地まき貝から生まれたものであると考えられている。しかも現在の陸奥湾におけるホタテガイ生産に必要な稚貝数は10億個体から20億個体である。このため、これら種苗を人工採苗で全て補うことは技術的および経済的に困難であるので、現段階においては天然採苗による種苗に頼らざるをえないのが現状である。しかし、ホタテガイの大量生産の裏には頻繁に起こるへい死、身入りの低下など多くの不安定要素が内在している。これらの問題を解決するためには、天然採苗の中から健苗を選び、生存性の向上、身入りの向上などを図ることが必要不可欠である。

天然採苗の中から健苗を選び出すためには、まず陸奥湾のホタテガイを良好な状態で保持するための集団維持を遺伝学的見地から検討する必要がある。すなわち、陸奥湾のホタテガイの育種管理方策の構築が必要であると考えられる。そこで、陸奥湾でのホタテガイ養殖の現状を踏まえながら、これまで得られた本研究の結果をもとに、これからの陸奥湾における育種管理の方策について考察した。

まず、第1章で述べたように陸奥湾は一つの遺伝子給源として陸奥湾固有のホタテガイ集団が維持されていることが考えられた。このことは、育種管理の単位は陸奥湾全体が一つの管理主体となることである。次に、陸奥湾のホタテガイ集団は高い遺伝的変異性が保有されていることがわかつた。このことは、陸奥湾では麻痺性貝毒の移入を防止するために他地域からの種苗を移入することが禁止されていることからも、今後も陸奥湾独自で遺伝的変異性の高いホタテガイ集団を維持していかなければならないことを意味している。もしも現在の高い遺伝的変異性を維持しなければ、これからの漁場環境の変化、養殖法の変化、病気への抵抗性、さらに食味に対する消費者のニーズの変化などに対応することができなくなる。本研究では同じ種苗を用いても地まき貝と垂下養殖貝とでは成貝になったときに遺伝子型組成が異なってきており、特に垂下養殖という方法ではホモ接合体がヘテロ接合体よりも生存性が低いために、養殖段階で遺伝子型組成が変化していることが示唆された。

近年、陸奥湾においては垂下養殖貝の生産が総生産量の90％を占めるようになつたが、こらからも陸奥湾全体を一つの遺伝子給源として高い遺伝的変異性を維持するためには、垂下養殖貝だけでなく、地まき貝も母貝として確保し、地まき貝、垂下養殖貝ともにバランスのとれた母集団として保全していくことが必要となってくる。また、養殖法によって個体の生残率が異なることから、陸奥湾集団内に劣性有害遺伝子が存在することが判明し、さらにアイソザイム遺伝子と劣性有害遺伝子が連鎖していることが示唆された。このことは、陸奥湾のホタテガイ集団の遺伝的組成をアイソザイム遺伝子を用いて、世代を超えてその変化をモニタリングして、危険な状態を一早く察知する必要があると考えられる。

しかし、このように遺伝子給源として陸奥湾のホタテガイ集団を保全しつつ、しかもその中で育種目標を達成しなければならないが、当面の陸奥湾における育種目標は生存性の向上と身入りの向上である。産業的にはへい死を抑えることが生産性を向上させるために最も重要な課題である。本研究ではアイソザイム遺伝子におけるヘテロ接合体がホモ接合体よりも生存に関して有利であることが示唆され、さらに種苗段階でヘテロ接合体の殻長が大きいことが示唆された。これらのことは、今までの種苗の大きさによる選別の意義を裏付けるものである。近年、陸奥湾においては採苗器1袋当りの稚貝の付着数が10万個以上に増加し、陸奥湾全体での採苗器への稚貝の付着数が養殖に必要な稚貝数の200倍から300倍に達するようになった。このため、漁業者は自分達の養殖に必要な稚貝を確保すると、大多数の稚貝を採苗器ごと投棄しているのが現状である。このような中で、これからは生存性の高いヘテロ接合体個体が多く含まれる種苗を効率的に選び出すために、これまでのように種苗を必要量確保すると不要な採苗器を投棄するのではなく、かなり大きめの目合のフルイを使用してすべての採苗器から万遍なく必要量を確保するなどして、現在の選別方法をさらに改良することが必要であると考えられる。また、養殖段階でのへい死を少なくするために、種苗に対してストレスを与えて種苗段階ですでに弱い個体を除去するようなストレス選別法の開発も必要となってくると考えられる。このような方法によって、現在のホタテガイ養殖に対して生存性の向上をもたらすとともに、緩やかではあるが将来的に陸奥湾全体の劣性有害遺伝子の除去にもつながると考えられる。

陸奥湾においては近年身入りの低下が問題になっている。本研究で*Aat-1*遺伝子座においてヘテロ接合体

が産業的に重要な軟体部密度、貝柱密度で有利であることが示唆された。さらに、貝柱密度と殻幅比との間に相関が見られたことは、貝柱密度の指標として生きたまま測定できる殻幅比が使えることがわかった。このことは、稚貝の段階において殻幅比によって選別できるものと考えられる。これらの選別法の開発によって、今後より効率的な生産の展開が期待されるものと考えられる。この方法はヘテロ接合体の選択に基づいていることから、陸奥湾におけるホタテガイ集団の高い遺伝的変異性を保持しつつ、遺伝子給源として保全する方策と矛盾することなく展開できるものと考えられる。

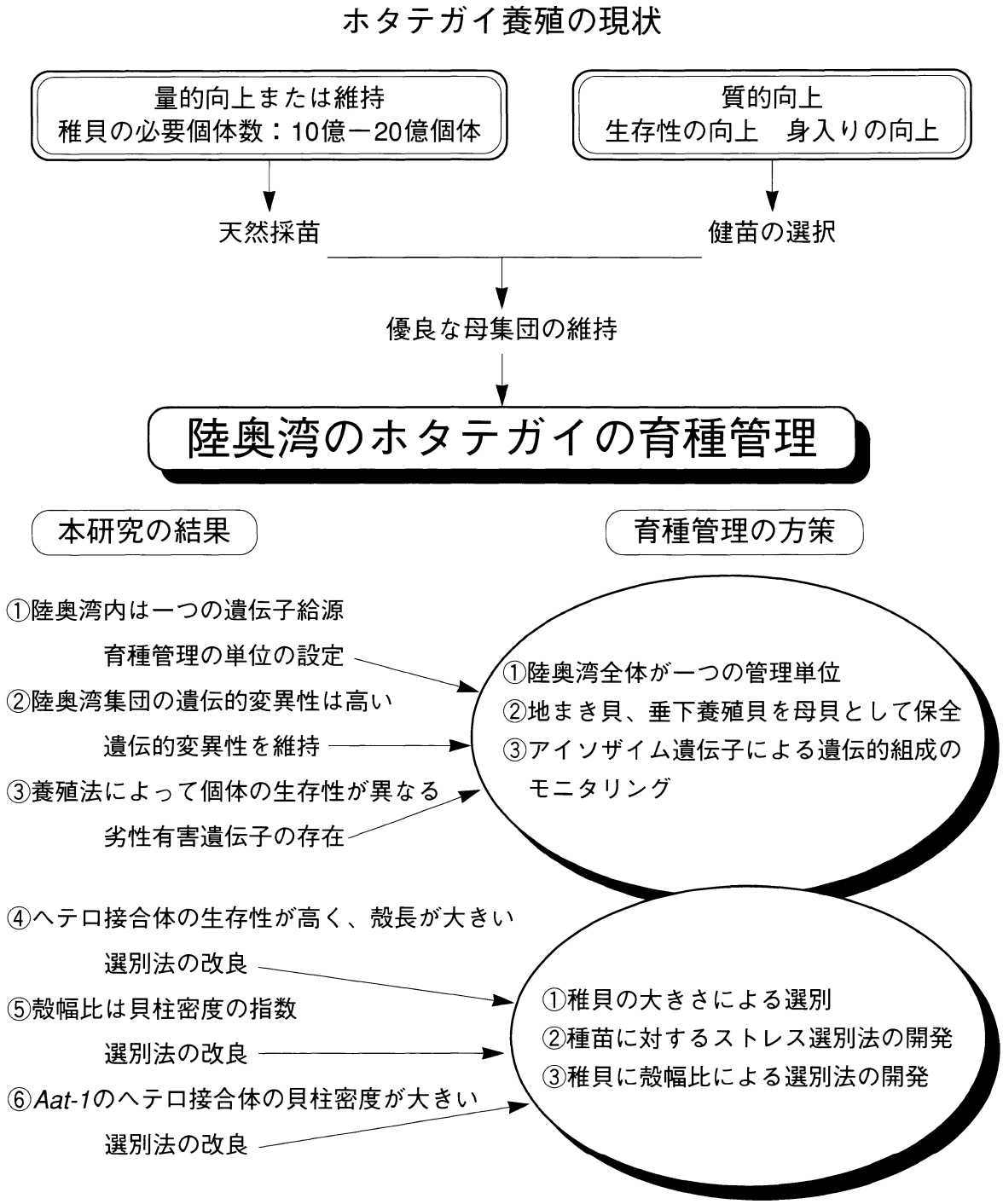


図　陸奥湾のホタテガイ養殖に対する育種管理の方策

謝　辞

本論文の作成にあたり、御指導、御校閲を賜わった東北大学農学部水産遺伝育種学講座　藤尾芳久教授に謝辞を表します。また、本稿の御校閲を賜わった東北大学農学部増殖生理学講座　森勝義教授、ならびに付属海洋生物資源教育研究センター　木島明博教授に感謝します。

本研究において、サンプルを提供していただくとともに調査に協力いただいた蟹田町、蓬田村、後潟、平内町、横浜町、むつ市、脇野沢村漁業協同組合と、調査に協力いただいた青森地方水産業改良普及所およびむつ地方水産業改良普及所に感謝します。さらに、本研究の遂行にあたり、研究の計画立案、サンプルの収集並びに飼育等において、終始御指導、御協力いただいた青森県水産増殖センター職員の方々に感謝いたします。

参考文献

赤星静雄・佐々木鉄郎・伊藤　進・菅野溥記・佐藤敦・横山幸雄（1970a）ホタテガイの増殖に関する研究. 垂下養殖試験. 青森県陸奥湾水増研業務報告, **11**, 24-38.

赤星静雄・佐々木鉄郎・菅野溥記・武田雷介（1970b）ホタテガイの増殖に関する研究. 垂下養殖試験. 青森県陸奥湾水増研業務報告, **11**, 275-290.

Beaumont, A. R., E.M.Gosling, C.M.Beveridge, M.D.Budd and C.M. Burnell (1985) Studies on the heterozygosity and growth rate in the scallop, *Pecten maximus*(L).Proc. 19th Eur. Mar. Bio. Symp., Plymouth. Ed. P.E. Gibbs, Cambridge Univ., 443-445.

Beaumont, A. R.(1991)Genetic studies of laboratory reared mussels,*Mytilus edulis:* heterozygote deficiencies,heterozygosity and growth. Biol. Linn. Soc., **44**, 273-285.

Beaumont, A. R. and E. Zouros (1991)Genetics of scallops. Scallop Biol. Ecol. and Aqua., Elsevier, Netherlands, p585-623.

Cassei, R. M. (1954) Some uses of probability paper in the analysis of size frequency distributions. Aust. J. Mar. Freshwater Res., **5**, 513-522.

Fujio, Y., Y. Yamanaka and M. Sugita (1979) Selective advantage of heterozygotes at Catalase locus in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, Japan J. Genet., **54**, 359-366.

Fujio, Y. (1982) A correlation of heterozygosity with growth rate in the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. Tohoku J. Agri. Res., **33**(2), 66-75.

藤尾芳久・杉田真一（1982）養殖マガキのカタラーゼ遺伝子と生存性および成長との関連性. 水産育種, **7**, 34-38.

Fujio, Y., Y. Yamanaka and P. J. A. Smoth (1983) Genetic variation in marine molluscs. Bull. Japan Soc., Sci. Fish, **49**, 1909-1917.

藤尾芳久（1984a）水産生物集団の育種管理. 第５回基礎育種シンポジウム,27-37.

藤尾芳久(1984b)アイソザイム分析手法による魚介類の遺伝的特性の解明に関する研究. 昭和58年度農林水産業特別試験研究費補助金による研究報告書. 農林水産省, 東京, pp.65.

藤尾芳久(1985)アイソザイム分析手法による魚介類の遺伝的特性の解明に関する研究. 昭和59年度農林水産業特別試験研究費補助金による研究報告書. 農林水産省, 東京, pp.58.

藤尾芳久(1986)アイソザイム分析手法による魚介類の遺伝的特性の解明に関する研究. 昭和60年度農林水産業特別試験研究費補助金による研究報告書. 農林水産省, 東京, pp.30.

藤尾芳久・木島明博（1987）水産育種の基礎. 水産増養殖叢書,**36**,日本水産資源保護協会,東京,pp.97.

Fujio, Y. and E. von Brand (1991) Differences in degree of homozygosity between seed and sown population of the Japanese scallop *Patinopecten yessoensis*. Nippon Suisan Gakkaishi, **57**(1), 45-50.

藤尾芳久・松岡栄一・小林正裕(1991) 貝類の成長に及ぼす遺伝的要因. 水産育種, **16**,29-32.

藤野和夫・松谷　誠（1980）ホタテガイの酵素２種類の遺伝多型. 水産育種, **5**,13-17.

Foltz, D. W. and E. Zouros (1984) Emzyme heterozygosity in the *Placopecten magellanicus* (Gmelin) in relation to age and size. Mar. Bio. Letts., **5**, 255-236.

平野　忠・青山貞夫・対馬廉介・仲村俊毅・田中俊輔（1986）昭和59年夏期にみられたホタテガイ稚貝へい死について. 青水増事業報告, **15**, 160-165.

伊藤　進・佐々木鉄郎・赤星静雄・佐藤敦・横山勝幸・武田恵二・小川弘毅・青山宝蔵・津幡文隆・長谷義夫・五十嵐照明（1970）昭和42年度浅海漁場開発事業委託調査,土屋地先における潮流,水質とホタテガイの成長. 青森県陸奥湾水増研業務

報,**11**, 451-462.

Ito, S., H. Kanno and K. Takahashi (1975) Some problems on culture of the scallop in Mutsu Bay. Bull. Mar. St. Asamushi, Tohoku Univ., Ser.**15**,89-100.

川真田憲治・玉置靖・富士 昭 (1981) 噴火湾における養殖ホタテガイの成熟過程. 北水試月報,**38**,132-146.

川真田憲治 (1983) 噴火湾における放流ホタテガイの生殖周期. 北水試報,**25**,15-20.

川真田憲治 (1994) サロマ湖.養殖ホタテガイの生殖巣発達過程程. 北水試報,**45**,37-44.

菅野溥記 (1970) 奥内地先における,ホタテガイ浮遊幼生出現状況と付着稚貝の関係について. 水産増殖,**17**(3),121-134.

菅野溥記・佐藤敦・横山幸雄 (1970) ホタテガイの中間育成試験. 青水増事業概要, **2**, 7-17.

Kijima, A., K. Mori and Y. Fujio (1984) Population differeces in gene frequency of the Japanese scallop *Patinopecten yessoensis* on the Okhotsk Sea coast of Hokkaido. Bull. Japan Soc. Sci. Fish., **50**(1), 241-248.

木島明博・古殿太郎・藤尾芳久 (1995) エゾアワビ天然集団における身入の変異性と遺伝的変異性. 水産育種, **22**,39-44.

Koehn, R. K.and S. E. Shamway (1982) A genetic/physiological explanation for differential growth rate among individuals of the American oyster (*Crassostrea virginica*). Evolution., **32**, 342-353.

Koehn, R. K.and P. M. Gaffney(1984)Genetic differentiation of *Mytilus edulis*. Mar. Biol., **82**, 1-7.

小林正裕・木島明博・藤尾芳久(1991) エゾアワビの量的形質の把握とその特徴. 水産育種,**16**,33-41.

Kobayashi, M. and Y. Fujio (1994) Genetic study on metric traits of the Pacific abalone, *Haliotis discus hannai*. Tohoku J. Agri. Res., **44**(1-4), 59-66.

小坂善信・相坂幸二・宝多森夫 (1996) 耳づりホタテガイの春季へい死原因について. 青水増事業報告, **25**, 140-149.

丸 邦義 (1978) ホタテガイの生殖に関する研究 第2報 1年貝の生殖巣の発達.北水試報,**20**,13-26.

丸 邦義 (1985a) ホタテガイの種苗生産に関する生態学的研究, 北水研報,**27**,1-53.

丸 邦義 (1985b) ホタテガイの発育初期における温度と比重耐性. 北水試報,**27**,55-64.

中嶋正道・笠原恵介・吉田文一・藤尾芳久(1988) サクラマス・ヤマメの養殖集団における遺伝子型と計量形質との関連性. 水産育種,**13**,45-49.

日本海洋学会沿岸海洋研究部 (1985) 日本全国沿岸海洋誌. 東海大学出版会, 東京, pp.1106.

Nei, M.(1973) Analysis of gene diversity in subdivided populations. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, **70**, 3321-3323.

大羽 滋(1977) 集団の遺伝. UP BIOLOGY,東京大学出版会,東京,pp.164.

Oniwa, K., A. Kijima and Y. Fujio (1994) Relationsip between genetic variability and quantitative traits in Japanese scallop, *Patinopecten yessoensis*, Tohoku J. Agri. Res., **45**, 1-10.

Osanai, K. (1975) Seasonal gonad development and sex alternation in the scallop, *Patinopecten yessoensis*. Bull. Mar. St. Asamushi, Tohoku Univ., Ser.,**15**,81-88.

Osanai, K., S.Hirai, M.Odashima and K.Kyozuka (1980) Sexual differantiation in the juveniles of the scallop, *Patinopecten yessoensis*. Bull. Mar. St. Asamushi, Tohoku Univ., Ser., **16**,221-230.

佐藤 敦・尾坂 康・永峰文洋・川村 要 (1977) ホタテガイの環境条件に対する忍耐試験. 青水増事業概要, **6**,47-50.

Sehander, R. K. (1970) Behaviour and genetic variation in natural populations. Amer. Zool., **10**, 53-66.

Singh, S. M. and E. Zouros (1978) Genetic variation associated with growth rate in the American oyster, *Crassostrea virginica*(Gmelin). Mar. Biol. Letts., **3**, 35-42.

Sugita, M. and Y. Fujio (1982) Effects of genotypes at the *Aat-1* locus on the survival and growth rates in the cultured oyster.Tohoku J. Agri. Res.,**33**(1), 42-49.

Tracey, N. L., N. F. Ballet and C. B. Grave(1975) Excess allozyme homozygosity and breeding population structure in the mussel *Mutilus californinus*. Mra. Biol., **32**,303 -311.

Volkaert, F. and E. Zouros(1989) Allozyme and physiological variation in the scallop *Placopecten magellanicus* and a general model for the effects of heterozygosity on fitness in marine molluscs. Mar. Biol., **103**, 51-61.

和田克彦(1975) アコヤガイ貝殻形質の遺伝率推定の試み. 国立真珠研報, **19**,2157-2168.

和田克彦(1985) アコヤガイ *Pinctada fucata*の改良に関する研究. 養殖研報, **8**,79-157.

Wahlund, S.(1928) Zusammensetzung von population und korreltionsersheinung vom standpunkt der vererbungslehreaus betrachtet. Hereditas, **14**,56-63.

Wright, S.(1943) Isolation by distance. Genetics, **28**, 114-138.

Wright, S.(1951)The genetical structure of populations. Ann. Eugen., **15**, 323-354.

Yamamoto, G.(1950) Ecological note of the spawning cycle of the scallop, *Patinopecten yessoensis* JAY,in Mutsu bay. Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser.4(Biol.),**18**,477-481.

Yamamoto, G.(1951) Induction of spawning in the scallop, *Patinopecten yessoensis* JAY. Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser.4(Biol), **19**,11-16.

Yamamoto, G.(1953) Ecology of the scallop, *Patinopecten yessoensis*. JAY. Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser.4(Biol), **20**,11-32.

Yamamoto, G.(1957) Tolerance scallop spats to suspended silt, low oxygen tension,high and sudden temperture change,*Patinopecten yessoensis* JAY. Sci .Rep. Tohoku Univ., Ser.4(Biol) ,**23**,73-82.

山本護太郎（1964）ホタテガイPecten（*Patinopecten yessoensis* JAY）の生殖細胞形成ならびに生殖時期. 日水誌, **12**（1）,21-26.

山中良一・藤尾芳久（1983）ホタテガイの遺伝的分化. 水産育種, **8**,38-41.

Yotsutani, M, Y. Kosaka and Y. Fujio (1995) Change of homozygote excess during growth in the Japanese scallop, *Patinopecten yessoensis*. Tohoku J. Agri. Res., **46**, 35-45.

Zours, E. S. M. Singh and H. E. Miles (1980) Growth rate in oysters an overdominant phenotype and possible explanation.Evolution, **34**, 856-867.

Zours, E. and D. W. Foltz(1984) Possible explanations for heterozygote deficiency in bivalve molluscs. Malacologia, **25**, 583-591.