

殻長組成から推定した東郷池のヤマトシジミの成長と自然死亡率

松本 勉

Growth and natural mortality rate of fresh-water clam *Corbicula japonica* in Lake TOGO estimated from frequency distribution of shell length.

Tsutomu Matsumoto

Shell lengths of 821 clams caught in 1983 and those of 2426 clams caught in 1986, and weights of 390 clams caught in 1985 were measured. Histograms were made from these data and the author analyzed the polymodal frequency distribution into normal distributions using the BASIC program of AKAMINE (1985).⁹⁾

A yeargroup is thought to be represented by a normal distribution. Functions of linear regression were obtained from the mean values of the normal distributions. The functions are $L_{n+1}=0.922L_n+0.62$, $L_{n+1}=0.926L_n+0.57$ and $L_{n+1}=0.932L_n+0.64$ (L_{n+1} =shell length in cm of $n+1$ years old clam and L_n =shell length in cm of n years old clam) for the clams caught in 1983, 1985 and 1986 respectively. The shell lengths of the clams caught in 1985 was estimated from a function ($w=0.310L^3+0.78$) which was derived from shell lengths and weights of 100 clams.

Natural mortality was estimated from the number and shell lengths of dead clams obtained together with the clams caught in 1986. Under some hypothesis, natural mortality rate of the clam of 1.77cm in shell length is about 37% or more in three years and about 58% or more in four years.

鳥取県水産要覧¹⁾によれば、昭和54年から平成元年の間の東郷池での貝類の漁獲量は、3トンから300トンである(表1)。この貝類は全てヤマトシジミ(以下シジミとする)と考えられる。貝類の漁獲は昭和57年の300トンが最大で、それ以外は50トン以下の漁獲量に留まっている。昭和56年頃に、従来の人力によって漁獲する方法から、船外機の力を利用する漁法への転換が始まり、57年にはこの方法が一般化したために高い漁獲量を示したと考えられている。58年以後は57年と同じ漁法であるにも関わらず、57年に比べれば低い漁獲量が続いている。このことは資源が減少したことを示していると考えられる。

東郷池漁業協同組合は、57年以前から宍道湖産のシジミを放流しており、資源保護のため禁漁期を設定している。鳥取県水産試験場はシジミの種苗生産を試み、平成3年には東郷池でのシジミの天然採苗を実施した。今後シジミの増殖を図っていくには、シジミの成長と自然死亡率等を明らかにする必要がある。このため昭和58年と61年に漁獲されたシジミの殻長組成及び昭和60年に漁獲されたシジミの個体重量を使って、東郷池のシジミの成長と自然死亡率等に関

する二、三の考察を行った。

表 1 東郷池での貝類の漁獲量

年 度	S54	S55	S56	S57	S58	S59	S60	S61	S62	S63	H1
漁獲量 (トン)	3	9	30	300	30	20	7	7	7	50	50

材 料 と 方 法

昭和58年5月から11月の間に漁獲されたシジミを、生きていると思われるものを選別して、10%ホルマリン液に浸漬した821個体（以下58Lとする）、及び61年11月11日に漁獲された生きていると思われるシジミ2426個体（以下61Lとする）、並びに61Lの漁獲時に採取されたシジミの殻の内、左右両殻が分離していないもの260対（以下61Dとする）両殻が分離したもの811個（以下61Sとする）の殻長をノギスで0.01cmの単位で測定した。得られた殻長を0.04cm幅で集計し、ヒストグラムを作成した。61Lは、58年6月から61年10月末まで禁漁区とされていた水域で漁獲された（図14）。東郷池漁業組合によるとこの水域には、宍道湖産のシジミが、58年6月に約1,500kg、59年6月に約2,000kg放流され、59年に放流されたシジミの大きさは、58年に放流されたシジミとほぼ同じ大きさであった。58年に放流されたシジミからサンプルリングした87個体の平均殻長は1.77cm（最小1.45cm、最大2.09cm）であった。

58Lの内漁獲した日毎に10個体ずつ合計100個体の殻、及び61Dの内30個体の殻を、3日間10%水酸化ナトリウム液に浸漬した後殻皮を取り除いて、年齢形質として使用できるとされている³⁾、段差状の輪紋の殻長に相当する部分を測定した（以下輪紋長とする）。同一個体で輪紋が二つ以上確認でき、その二つの輪紋間に確認できない輪紋は無いと判定した輪紋長について定差図を作成し、直線回帰式を求めた。

また昭和60年3月13日に東郷池の22地点でシジミを漁獲し、生きていると思われる390個体（以下60Lとする）の殻表の水分を除去して重量を0.1gの単位で測定した（以下体重とする）。この際各地点での漁獲努力はほぼ一定にした。得られたデータを0.3g幅で集計し、ヒストグラムを作成した。

昭和62年に採捕された生きていると思われるシジミ100個体（以下62Lとする）の体重及び殻長を測定し、体重に対する殻長を三乗した値の直線回帰式を求めた。

58L、61Lの殻長及び60Lの体重のヒストグラムの一部を Polymodal な度数分布を正規分布へ分解する“BASIC プログラム”⁴⁾を使って正規分布に分解した。この際初期値は以下に述べる方法で決定した。まず一つの正規分布の平均値を、両側の階級を加えた連続した三つの階級の度数を足した値が、最大となる階級の階級値とした。この平均値を、58Lと60Lは58Lの輪紋長の定差図から求めた回帰式、61Lは61Lの輪紋長の定差図から求めた回帰式の L_n または

L_{n+1} に代入し、得られた L_{n+1} または L_n を隣に位置する正規分布の仮の平均値とした。仮の平均値を階級値とする階級とその両側の階級を含めた三つの階級のなかで、それぞれ両側の階級の度数を足した値が最大となる階級の階級値を、正規分布の平均値の初期値とした。60Lの場合、62Lの体重に対する殻長の三乗した値の回帰式を使って、体重を殻長に変換して（以下体重と殻長の変換にはこの回帰式を使った）、平均値の初期値を求めた。面積（以下所属個体数とする）の初期値は、平均値の初期値を階級値とする階級の間にある階級の数が、偶数の場合は同数ずつの階級の度数を、奇数の場合は二つの平均値の中央の階級の度数を、それを除いた所属個体数が多い方の正規分布に含めて、それぞれ平均値に近い階級の度数を集計して求めた。この際平均値が最大及び最小の正規分布に含まれる階級で、度数が0の階級が連続した場合、それらの階級を含まない部分を正規分布に分解した。分散の初期値は58L及び61Lでは0.16cmに、60Lでは0.4gに統一した。

得られた正規分布の平均値について定差図を作成し、58L及び61Lの殻長について直線回帰式を求めた。また60Lの体重の正規分布の平均値を殻長に変換し、得られた殻長について定差図を作成し、直線回帰式を求めた。

58Lの内、漁獲した日毎に36個体ずつの軟体部の重量と殻の重量を測定し、殻の重量に対する軟体部重量の比（以下軟体部重量比とする）を求めた。

結 果 と 考 察

58Lのヒストグラムを図1に、61Lのヒストグラムを図2に、61Dのヒストグラムを図3に、61Sのヒストグラムを図4に、60Lのヒストグラムを図5に示した。58Lと61Lの殻長の平均がそれぞれ2.74cmと2.38cmであることにも示されるように、58Lのヒストグラムは61Lのヒストグラムにくらべて殻長が大きい方に片寄っていた。61D及び61Sのヒストグラムはよく似た全体像を示し、61Dのヒストグラムを61Dと61Sの殻長の平均の差の0.23cm分平行移動させると両者はよく重なりあった。このことは表2に示したように、61Dの殻長から0.23cm差し引いて、61Sの最小の殻長である1.16cmを最小値にする階級（階級値1.36cm）を最小の階級として、0.4cm幅で作成したヒストグラムと、61Sの殻長を同様にヒストグラムにした度数の比が、ほぼ一定になることによって確認された。なお61Dから0.23cmを差し引かずにはヒストグラムを作成した場合、度数の比は大きく変化した。従ってへい死しなければ、61Lに属するはずの61Dが、61Sがへい死した後、0.23cm程度生長した時点でへい死した可能性が考えられた。61Dと61Sのヒストグラムがなだらかな山形を示すのに対し、61Lのヒストグラムは急峻な山形であった。これは61D及び61Sは61Lを形成していた一部の個体がへい死したものと仮定すれば、殻長の大きい個体の死亡率が、殻長の小さい個体の死亡率より高かったことによると考えられた。

60Lのヒストグラムは体重の小さい方で急峻な山形を示しているが、これは漁具の選択性的の影響であると考えられる。つまりこのヒストグラムに示された個体より小さな個体は、存在していても採捕されなかったと考えられる。

58Lの輪紋長の定差図を図6に、61Lの輪紋長の定差図を図7に、62Lの体重と殻長の三乗

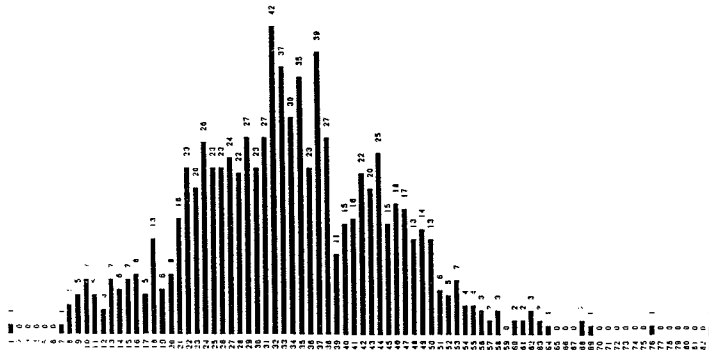


図1 58Lのヒストグラム

注：最小の階級値は1.44cm

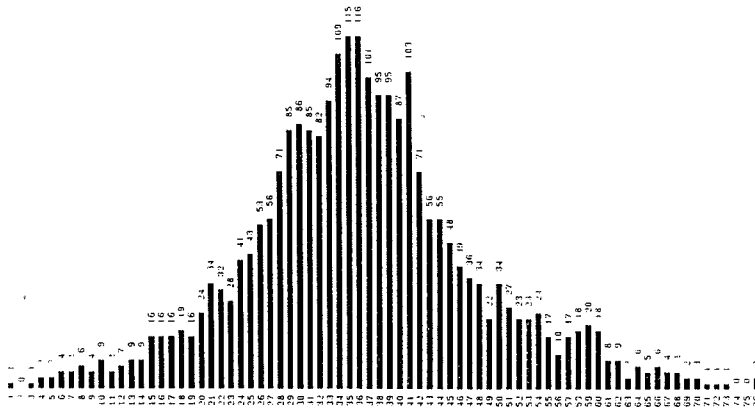


図2 61Lのヒストグラム

注：最小の階級値は0.96cm

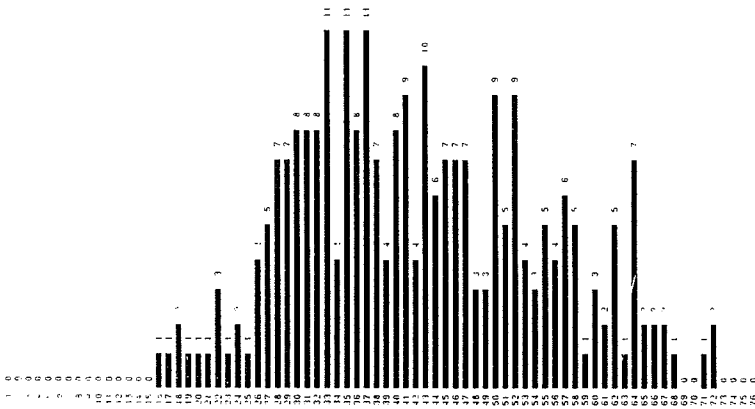


図3 61Dのヒストグラム

注：最小の階級値は0.96cm

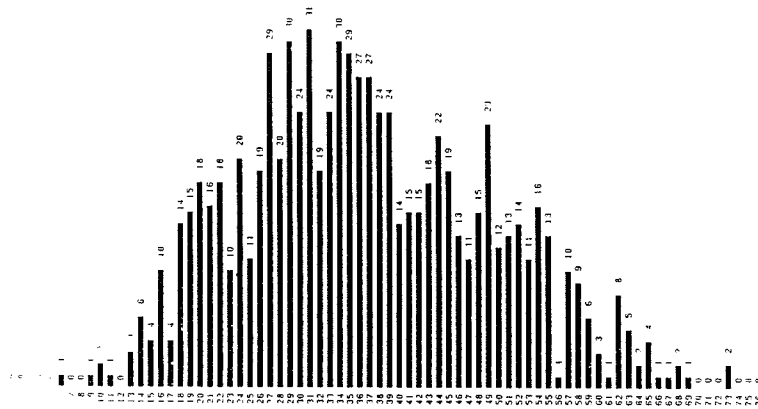


図4 61Sのヒストグラム

注：最小の階級値は0.96cm

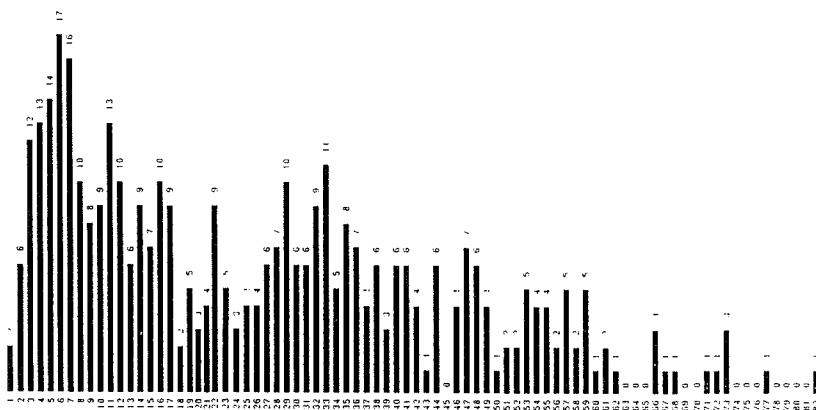


図5 60Lのヒストグラム

注：最小の階級値は0.7g

の関係を図8に示した。これらはどれも直線的な関係を示しており、その直線回帰式はそれぞれ、 $L_{n+1}=0.913L_n+0.63$, $L_{n+1}=0.865L_n+0.83$, $W=0.310L^3+0.78$ (Lの単位はcm, Wの単位はg)であった。

表2 61Dの度数に対する61Sの度数の比

階級値 (cm)	1.36	1.76	2.16	2.56	2.96	3.36	3.76
61D-0.23cm	3.0	3.0	3.1	3.3	3.4	2.3	2.3
61D		9.7	3.5	2.8	2.6	1.4	1.3

58L, 61Lの殻長及び60Lの体重のヒストグラムを正規分布へ分解した結果をそれぞれ表3, 4, 5に示した。

58L, 61及び60Lを正規分布に分解した結果得られた平均値 (60Lの場合体重を殻長に変換した) からそれぞれ定差図を作成した (図9, 図10, 図11)。正規分布の平均値の定差図から、直線回帰式を求めた結果、58L, 61L, 60Lそれぞれの回帰式は、 $L_{n+1}=0.922L_n+0.62$,

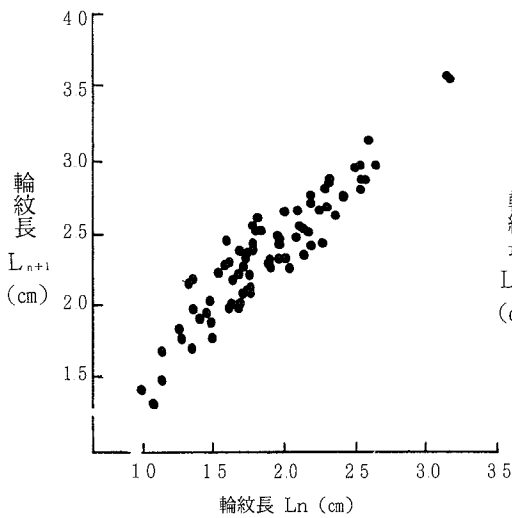


図6 58Lの輪紋長の定差図

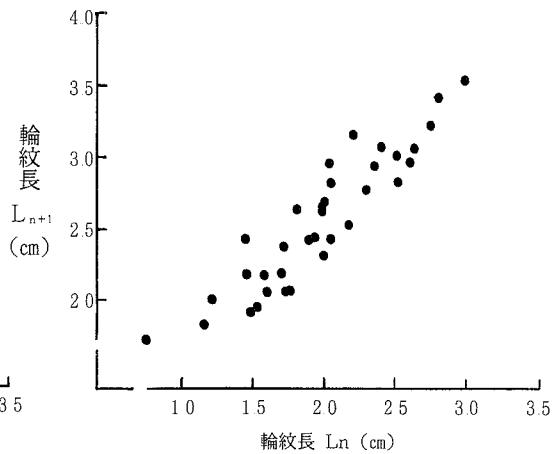


図7 61Lの輪紋長の定差図

$L_{n+1} = 0.932 L_n + 0.64$, $L_{n+1} = 0.926 L_n + 0.57$ であった。これらの定差図に58L及び60Lは58Lの輪紋長の回帰式に、61Lは61Dの輪紋長の回帰式に、それぞれ最小の平均値を代入して得られる値から順次1令分高い値を求め、それぞれの定差図にプロットした。58Lと60Lの場合、輪紋長の回帰式によって求められた値の図は、正規分布の平均値の図に近似し、正規分布は年級群を示すと考えられた。61Lの場合、輪紋長の回帰式によって求められた値は、正規分布の平均値より全て高い値を示した。これは61Dの輪紋長の回帰式に、61Lの正規分布の最小の平均を L_n として代入した場合、 L_{n+1} の値が、58Lの輪紋長の回帰式及び58L、60L、61Lの平

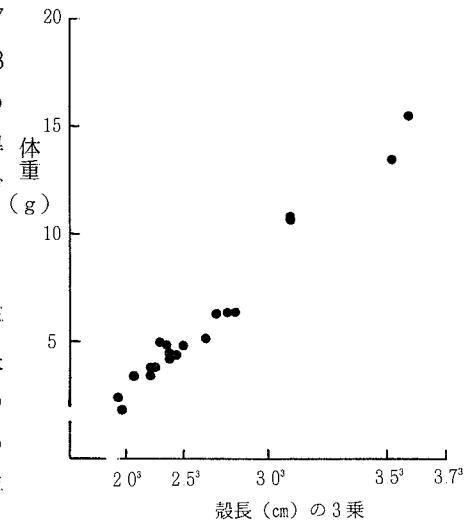


図8 殻長の三乗と体重の関係

表3 58Lの正規分布への分解結果

正規分布の記号	A	B	C	D	E
所属個対数	46	271	255	216	13
平均 (cm)	1.89	2.40	2.77	3.19	3.58
分散	0.12	0.19	0.13	0.17	0.06

表4 61Lの正規分布への分解結果

正規分布の記号	A	B	C	D	E	F
所属個体数	22	189	1,939	23	234	17
平均 (cm)	1.24	1.70	2.36	2.87	3.15	3.66
分散	0.11	0.22	0.29	0.28	0.22	0.10

均値の回帰式に代入した場合より高い値になっているためであると考えられた。したがって、58Lの輪紋長の回帰式や58L、60Lおよび61Lの平均値の回帰式の方が、61Dの輪紋長の回帰式より実際の成長に近いと仮定すれば、61Lの

表5 60Lの正規分布への分解結果

正規分布の記号	A	B	C	D	E	F	G
所属固体数	44	37	96	9	143	15	35
平均 (g)	1.7	2.7	4.4	7.2	10.5	14.9	17.4
平均 (cm)	1.44	1.84	2.27	2.75	3.15	3.57	3.77
分散	0.4	0.3	1.2	0.3	2.2	0.3	1.0

場合も正規分布は年級群を示すと考えられる。61Dの場合、輪紋の定差図を作成するデータが35とやや少なかったため実際の生長との誤差を生じ易かったと考えられた。

表4の所属個体数をn、正規分布の確立密度関数をf(x)とし、殻長を代入して各正規分布について $n \times f(x)$ 求め、個々のシジミはその値が最も大きくなる正規分布に属すると仮定して、各正規分布に所属する殻長範囲及び個数を求めた。得られた殻長範囲毎の個体数を61D及び61S(61Sは一つの測定値を1/2個体とした)について求め、 $100 \times (61Dの個体数) / (61Lの個体数 + 61Dの個体数)$ を61Dのへい死亡率、

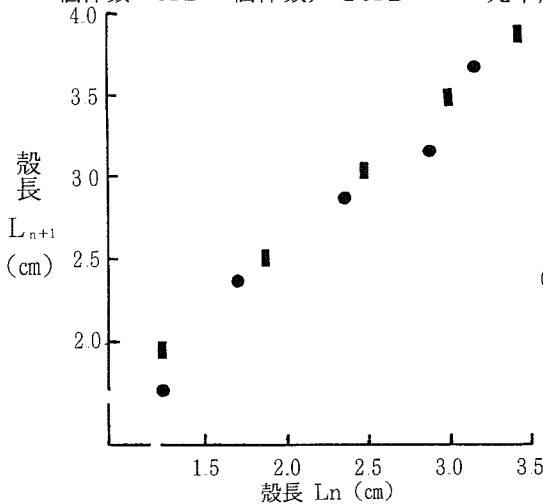


図10 61Lの正規分布の平均値の定差図

注：■ は輪紋長の回帰式の計算値

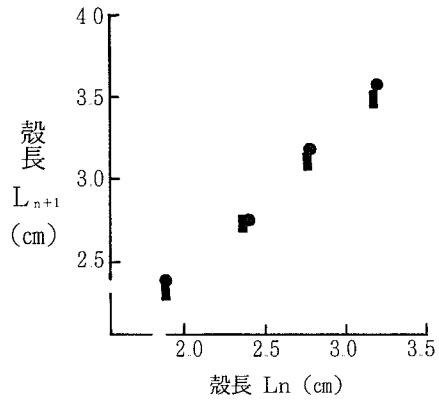


図9 58Lの正規分布の平均値の定差図

注：■ は輪紋長の回帰式の計算値

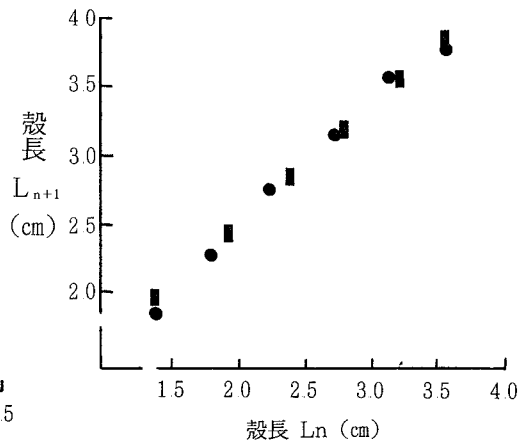


図11 60Lの正規分布の平均値の定差図

注：■ は輪紋長の回帰式の計算値

$100 \times (61Sの個体数) / (61Lの個体数 + 61Dの個体数 + 61Sの個体数)$ を61Sの死亡率として、表6に示した。また同様に、表4の正規分布の平均が一年分の成長の1/2だけ小さい時の値を $L_{n+1} = 0.932L_n + 0.64$ を使って求め、得られた平均値を使って各正規分布に属する殻長範囲を

求めた。得られた殻長範囲毎の個体数を61D及び61Sについて求め、それぞれ61Dの補正個体数及び61Sの補正個体数とした。 $100 \times (61D \text{の補正個体数}) / (61L \text{の個体数} + 61D \text{の補正個体数})$ を61Dの補正死亡率、 $100 \times (61S \text{の補正個体数}) / (61L \text{の個体数} + 61D \text{の補正個体数} + 61S \text{の補正個体数})$ を61Sの補正死亡率として、表7に示した。表6に示した死亡率は、61D及び61Sはへい死後の経過時間がほぼ0で、61Dと61Sはほぼ同時にへい死し、61Lはこれらがへい死した後生長していないと仮定した場合の値である。表7に示した補正死亡率は、61Dは61Sがへい死した後生長する間もなくへい死し、61Lはこれらがへい死した後、1/2年分生長したと仮定した死亡率である。61Lの1/2年分の生長は61Dと61Sの平均値の差に近い値であった。

61Sの死亡率を除いて、61Dの死亡率及び補正死亡率、61Sの補正死亡率ともに殻長が大きくなるにしたがって大きくなった。シジミのへい死した殻が分離するには相当の時間が経過すると考えられるので（筆者の観察では、1klポリエチレン水槽で飼育していたシジミ3個体が

表6 61D及び61Sの死亡率

	A	B	C	D	E	F
最小殻長	0.96	1.43	2.00	2.65	3.00	3.47
最大殻長	1.42	1.99	2.64	2.99	3.46	3.85
61L個体数	43	357	1470	332	188	34
61D個体数	0	18	124	53	48	17
61S個体数	3	84	192	72	48	7
61D死亡率	0	5	8	14	20	33
61S死亡率	7	18	11	16	17	12

表7 61D及び61Sの補正死亡率

	A	B	C	D	E	F
最小殻長	6.6	1.14	1.73	2.40	2.77	3.25
最大殻長	1.13	1.72	2.39	2.76	3.24	3.64
61L個体数	43	357	1470	332	188	34
61D補正個体数	0	6	89	66	65	30
61S補正個体数	0	33	186	90	76	20
61D補正死亡率	0	2	6	17	26	47
61S補正死亡率	0	8	11	18	23	24

平成3年11月にへい死したが、そのままにしておいた殻は平成4年2月1日現在分離していない)、61Dと61Sがほぼ同時にへい死したとする仮定、及び61Sがへい死した後61Lが成長していないとする仮定には無理がある。したがって、61Sの死亡率は信頼性が無いものと考えられる。61Sの補正死亡率も61Dと61Sがほぼ同時にへい死したとして算出しているが、61Dの個体数及び補正個体数共に、61Lの個体数に比べかなり小さいので、影響は少ないと考えられる。シジミがへい死してから両殻が分離するまでの時間が1年以内であると仮定すれば、61Dの実際の死亡率は61D死亡率と61D補正死亡率の間の値であると考えられる。61D死亡率及び61D補正死亡率のCの値は、諏訪湖に移植されたシジミが5月から11月にかけて、平均殻長19.1mmから22.2mmに成長した際の死亡率4.5%⁹⁾よりやや大きかった。

昭和58年6月と昭和59年6月に放流されたシジミは、シジミが4月から11月の間成長する⁹⁾と仮定すれば、61年の11月までにそれぞれほぼ3、4年分の成長が見込まれ、放流時に殻長1.77cm程度の大きさの58年放流群は表4の分布Fを、59年放流群は分布Eを形成するであろう。分布Eの所属個体数は61L全体の9.6%で、分布Fの所属個体数は61L全体の0.7%であり、分布Eは分布Fの約13倍になる。殻長1.77cmを体重に換算すると2.5gになり、1,500kgは60万個

体、2,000kgは80万個体に相当する。58年放流群は表6に示したC, D, E, F, 59年放流群はC, D, Eの61D死亡率でへい死したと仮定すれば、生残率はそれぞれ42% (25万個体)、63% (50万個体)になる。この場合59年放流群の生残率は58年放流群の生残個体数の2倍であり、分布Eの個体数が分布Fの個体数の約13倍であったのと大きな差がみられた。この差は、61Sの死亡率または補正死亡率を考慮していないことによって生じたと考えられるが、59年に放流群とほぼ同じ大きさのシジミが、放流地点に放流群より多数生息していた場合にも生じるものと考えられる。

表6及び表7に示した死亡率または補正死亡率が実際の死亡率に近いのであれば、殻長1.77cm程度のシジミを6月に放流して、3年後の10月末まで禁漁にするのは合理的でない。つまり2年後の10月末までを禁漁にした場合に比べ、体重は約42%増加するが ($L_{n+1}=0.932L_n+0.64$, $W=0.310L^3+0.78$ の式を使って計算)、個体数が61D死亡率のFの値(33%)以上(61S補正死亡率のFの値に近い値を加算することになる)減少するので、生残個体の総重量は減少することになる。

軟体部重量比は図12に示すように5月20日から7月20日の間に比較的高い値を示し、8月4日以後低い値を示した。シジミの軟体部重量比は、生殖巣の発達、成熟と密接な関係があり、産卵後は小さな値を示す⁹⁾ので、産卵の盛期は8月4日以前であったと考えられる。

輪紋は殻皮を取り除かなくても確認できるものがあるが、若令期の輪紋の確認は困難であった。このため殻皮を除いて殻皮下の模様や殻の光線の透過度を参考にしたが、全ての輪紋を確認することはできなかった。しかし、輪紋部を光線がよく透過したり、輪紋部で殻の色調が変

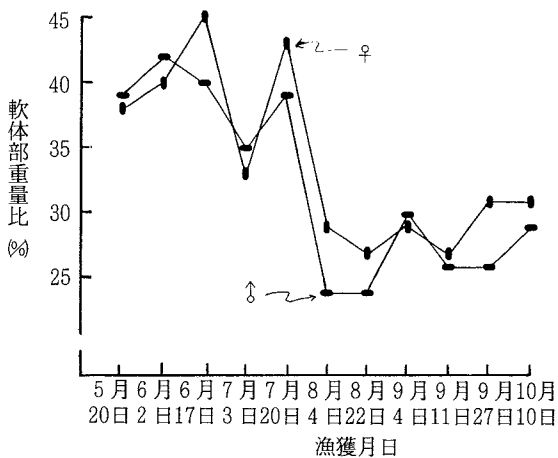


図12 軟体部重量比の変化

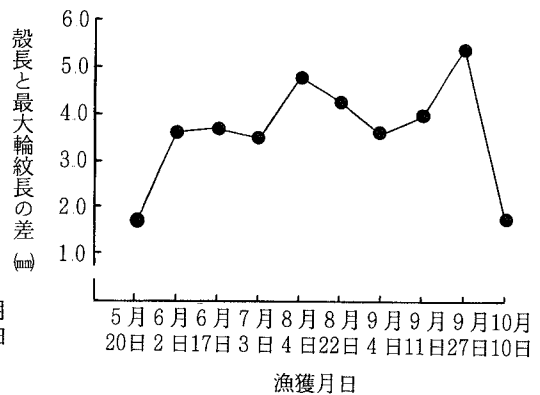


図13 殻長と最大輪紋長の差

化するなど、輪紋を確認する際の誤りが少なくなると考えられた。また殻長41.3mmの個体で2つの輪紋（輪紋長35.7mm, 31.7mm）しか確認できなかったが、殻長31.3mmの個体で5つの輪紋（輪紋長29.7mm, 26.4mm, 20.0mm, 16.9mm, 13.6mm）が確認できた例があり、輪紋の確認の難易に個体差があった。

個体毎の最大の輪紋長と殻長の差の平均を図13に示した。輪紋は1年に1度、冬から春にかけて形成されるものと考えられている⁹⁾。しかし図13は、10月から11月の間に輪紋が形成される可能性を示しており、測定数を増やして確認する必要がある。

60Lを漁獲した地点を図14に示した。シジミが比較的多く漁獲された水域は、P 6, 13, 16, 21であり、P 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11では全く漁獲されなかった。またP 5で14個体、P 14で13個体、P 17で10個体漁獲されたが、その他の水域では4個体以下の漁獲であった。またP 6, P 13, P 16, P 21での漁獲の際に採取されたシジミの殻を、両殻が分離したものは0.5として集計し、生きていたと思われるシジミの個体数に対する比を求めたところ、それぞれ26%, 44%, 23%, 14%で地点毎にかなりの差がみられた。表5の所属個体数をn, 正規分布の確立密度関数をf(x)とし、体重を代入して各正規分布について、 $n \times f(x)$ を求め、個々のシジミはその値が最も大きくなる正規分布に属すると仮定して、各正規分布に所属する体重範囲を求めた。P 6, 13, 16, 21で漁獲された個体を、この体重範囲毎に集計し表8に示した。なお、

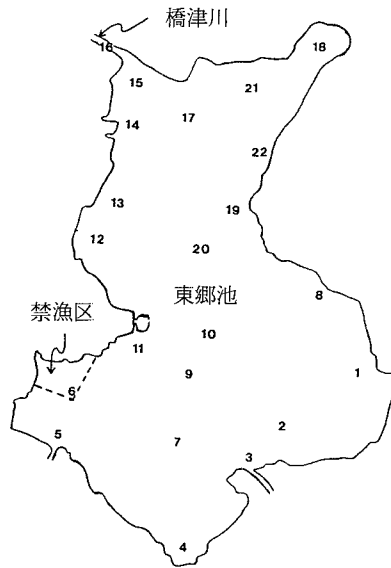


図14 60Lの漁獲地点

表8に示したGより大きい個体（体重20.4g~25.2g）がP16で1個体、P21で10個体漁獲された。表8から、東郷池では年によってシジミの再生産が行われる水域が異なることが窺われ、またP16では毎年再生産されているものと考えられる。これはシジミの発生には塩分が必要であるが⁹⁾、P16は東郷池から日本海へ注ぐ橋津川の起点で、海水の影響を受け易いためと考えられる。P6はP61Lを漁獲した禁漁区であった水域内の地点である。58年に放流されたシジミはほぼ2年分生長してDに、59年に放流されたシジミはほぼ1年分生長してCに属していると考えられる。P6のDの個体数が比較的小さいことから、58年に放流されたシジミの放流効果は大きくないと考えられた。しかし、水域内の一地点だけでの漁獲で

表8 P 6, 13, 16, 21の体重範囲毎の個体数

	A	B	C	D	E	F	G
最小体重	1.2	2.2	3.2	6.7	7.6	14.0	15.8
最大体重	2.1	3.1	6.6	7.5	13.9	15.7	20.3
P 6	5	1	46	9	21	0	0
P 13	24	32	10	0	0	0	0
P 16	3	7	18	2	33	7	7
P 21	0	0	0	3	58	16	27

あり、漁獲個体数も小さい事を考慮する必要がある。

謝 辞

Polymodal な度数分布を正規分布へ分解するプログラムを作成していただき、使用法を指導いただいた日本海区水産研究所の赤嶺達郎氏及びシジミを提供していただいた東郷池漁業協同組合に深謝致します。

文 献

- 1) 鳥取県 (1986) : 鳥取県水産要覧. P 61.
- 2) 鳥取県 (1990) : 鳥取県水産要覧. P 69.
- 3) 宇藤 均 (1981) : 北水試報告第23号 P P. 65-81
- 4) 赤嶺達郎 (1985) : Polymodal な度数分布を正規分布へ分解する BASIC プログラムの検討.
日水研報告第35号別刷.
- 5) 薄井孝彦・山本 長 (1984) : 長野県水産試験場報告. 第 1 号.
- 6) 島根県 (1984) : 昭和58年度赤潮対策技術開発試験報告書. P P. 66-76.
- 7) 田中彌太郎 (1984) : 養殖研報 6 号 P P. 23-27