

潜砂性二枚貝の初期発育段階に
おける環境要求に関する研究

伊藤 絹子

目次

序文	研究の目的	1
第一章	二枚貝の飼育試験法の検討	
	まえがき	
第1節	飼育方法の検討	3
	1.材料および方法	3
	2.結果	7
	2-1. 稚貝の潜砂行動	7
	2-2. 稚貝の生長	12
	2-3. 通気および換水の有無と砂上率の関係	12
第2節	餌料の検討	16
	1.材料および方法	16
	2.結果	17
	2-1. 餌料の超音波処理	17
	2-2. 二枚貝に対する餌料効果	19
	2-3. 給餌回数の検討	27
第3節	潜砂試験・耐性試験・生長試験の比較	27
	1. 材料および方法	27
	2. 結果	30
	論議	35
第二章	ウバガイの環境要求について	
	まえがき	40
第1節	ウバガイの飼育試験による解析	
	1. 材料および方法	42
	2. 結果	44

2-1. 水温の影響	44
2-2. 塩分の影響	50
2-3. 底質の影響	55
2-4. 溶存酸素飽和度の影響	61
第2節 磯部ウバガイ漁場の環境特性	
1. 材料および方法	61
2. 結果	64
2-1. 水質環境の特性	64
2-2. 底質環境の特性	72
論議	80
第三章 アサリの環境要求について	
まえがき	87
第1節 アサリの飼育試験による解析	87
1. 材料および方法	87
2. 結果	90
2-1. 水温の影響	90
2-2. 塩分の影響	94
2-3. 底質の影響	100
2-4. 溶存酸素飽和度の影響	104
2-5. 露出の影響	104
第2節 砂押川河口アサリ漁場の環境特性	
1. 材料および方法	107
2. 結果	109
2-1. 水質環境の特性	109
2-2. 底質環境の特性	117
論議	117

第四章 総合論議	121
写真	128
謝辞	132
引用文献	133

序文

二枚貝の中で、カキ、ホタテガイなどについては古くから研究が行われ、養殖技術も確立され、高い生産があげられている。しかしながら、これら以外の二枚貝に関する研究は驚くほど少ない。日常の食生活に密着しているところの、アサリ、シジミ、ハマグリなどをとりあげても、体系的に研究した例は少なく、これら潜砂性二枚貝の生態と環境との関りあいについては未解明の部分が多い。

これまでの二枚貝の研究は、大きく分けると二つの方向で行われてきたと考えられる。すなわち、生態学的研究と生理学的研究である。前者は、主にフィールド調査や生物学的調査をもとに、二枚貝の生態を明らかにしようとするものである。朝比奈（1941）の北海道におけるシジミの生態学的研究や池末（1956）のアサリの生態学的研究などがその例として挙げられる。

後者は、二枚貝の体の一部（組織や器官など）をある条件下において、その反応から、様々な環境条件に対する生物の抵抗力などの判断材料を得たり、また濾水率などの生理的応答などから、環境との関りあいを見出そうとしたものである。例えば、田中（1984）のヤマトシジミの塩分耐性についての研究では、鰓片のせん毛運動や鰓を用いた”ほふく速度”から塩分耐性を考察している。

しかし、生物と環境の関りあいは単純に解き明かすことのできる問題ではない。環境が生物にはたらきかけ、また生物も環境にはたらきかけ、両者は常に流動的な関係にあるものと考えられる。現場の環境は刻々と変化しており、各環境因子の複合的影響の結果として、現場での生態が捉えられるのであり、個々の影響について考察することは、困難である。一方、室内での生理的な実験は、特殊条件下での生物の応答をみているのであって、直接現場に適用するこ

とは難しい。このような問題を解決していくためには、まず、現場での状況をなるべく正確に、かつ、詳しく捉えることと、次に様々な環境のもとでの二枚貝の応答を詳細に観察することの、両側面からの探究が大切であると考え。

二枚貝のそれぞれの種には、特有の環境要求があるであろうし、また、潜砂性二枚貝に共通の環境要求もあると考えられる。

そこで、本研究では、現場における調査と、室内での生物の詳細な観察とを並行して行い、両者の接点を見出そうとした。現場では、二枚貝の生態的な調査と環境調査を実施し、室内においては生理的な試験よりもむしろ二枚貝の行動や、生長を観察し、それらの解析に重点をおくことにした。

室内飼育試験では、これまでに確立された手法がないので、試験法の検討を第一の目的として、研究を進めた（第Ⅰ章）。特に二枚貝の餌料の問題の解決に重点をおいた。また、簡単な設備で多くの情報を得るために、潜砂試験耐性試験、生長試験の3つの方法を柱として、二枚貝と環境との関りあいを具体的数値で表現できるようにした。

次に、これらの手法を水産上重要な種類であるウバガイ（第Ⅱ章）とアサリ（第Ⅲ章）に適用し、これらの環境要求を明らかにすることを第二の目的とした。

現場の調査からは、できる限りの情報を得ることに留意し、現場で得られた結果と室内での飼育試験により得られた結果を照合し、総合的に考察し、二枚貝の適環境条件を明らかにしたいと考えた（第Ⅳ章）。

以上のような目的にしたがって研究を進め、将来的には潜砂性二枚貝の資源変動の機構の解明や漁場の保全技術、資源管理技術などに応用でき得る基本的考え方を提示したいと考えている。

第 I 章 二枚貝の飼育試験法の検討

まえがき

環境の様々な変化に対する二枚貝の応答を観察するためには、まず飼育技術の確立が必要である。ここではなるべく単純な実験系、簡単な設備を用いて克明に観察ができる飼育試験方法の確立を目的とした。第1節において基本的な飼育方法ならびに潜砂試験・耐性試験・生長試験法について検討した。

特にこれまで着目されていなかった潜砂行動の観察に重点をおき、潜砂行動について定量的に表現することを試みた。第2節では二枚貝に対する有効餌料について検討した。培養藻類の他に流水式鯉池の底泥や自然水域の底泥などについても、給餌方法に超音波処理をとり入れるなどの工夫を試み有効餌料の探索に努めた。第3節では潜砂試験・耐性試験・生長試験の実例を示し結果の評価について考察した。

ここで用いた二枚貝は汽水産のヤマトシジミ (*Corbicula japonica*)、海産(河口域)のアサリ (*Ruditapes philippinarum*)、イソシジミ (*Nuttallia olivacea*)、海産(沿岸域)のウバガイ (*Spisula sachalinensis*)、ヒメバカガイ (*Telemactra crosseii*)である。

第1節 飼育方法の検討

1. 材料および方法

[供試材料]

材料として宮城県砂押川河口(1984~1989年)および、松川浦(1988年)において採集されたアサリ、イソシジミ、宮城県貞山堀(1984年~1989年)にお

いて採集されたヤマトシジミ、福島県磯部漁場（1988年）で採集されたヒメバカガイ、福島県水産種苗研究所（1986～1989年）において人工採苗されウバガイを用いた。これら二枚貝についてはいずれも殻長が1～10mm（殻付湿重量0.006～0.2g）の稚貝を用いた。

[方法]

（1）砂の分別

砂押川河口および磯部漁場において採取した底泥をふるいを用いて、粒径63 μ m以下のシルト、粒径63～250 μ mの微細砂～細砂、250～500 μ mの中砂、500～1000 μ mの粗砂、1000～2000 μ mの極粗砂に分別した。乾燥後160℃で6時間の乾熱滅菌処理後実験に供した。人工砂として粒径200～290 μ m、490～700 μ m、900～1100 μ mのガラスビーズ（日本理化学製）を用いた。

（2）飼育水の調製

アサリ、ウバガイ、イソシジミ、ヒメバカガイの飼育においては女川湾濾過海水（Sal.32.3%）を用いた。ヤマトシジミの飼育においては女川湾濾過海水を東北大学農学部構内の井戸水によって稀釈し、塩分1%の汽水を用いた。飼育水量は魚類の飼育試験法（工場排水試験方法1986）にしたがい、重量（殻付湿重量）1gにつき飼育水1 ℓ 以上とした。

（3）予備飼育

3 ℓ ガラス水槽（水量；2 ℓ ）に海砂（粒径250～500 μ mの中砂）を深さ2cmに敷き詰め、稚貝を20個体ずつ収容し、水温18℃で通気条件下において試験開始時まで飼育した。飼育水は毎日取り換え餌料として農学部構内にある鯉池の底泥懸濁液（COD50ppm）を10mlずつ1日6回ずつ与えた。

(4) 潜砂試験

(4) - 1 稚貝の潜砂行動の観察

予備飼育中の稚貝のなかで水管の伸長は認められるものの、砂上に出ている個体（非潜砂個体）を取り出し、別に準備された飼育水槽（水温18℃）に移入し、潜砂行動を観察した。 ヤマトシジミは3個体、アサリは5個体、ウバガイは3個体、ヒメバカガイは6個体、イソシジミは2個体が移入実験に用いられた。 対照として砂中にあった個体（潜砂個体）を10個体取り出し、同様の操作、観察を行った。

(4) - 2 稚貝の生死の判定

水管の伸長が認められず閉殻状態の稚貝については、取り出して新しい飼育水のなかに収容し24時間後までに水管の伸長が認められない場合には死亡したものと判断した。

(4) - 3 潜砂率の測定

潜砂率とは試験開始時に収容された稚貝の個数に対する完全潜砂個数の割合を示し、次式によって計算された。 ここでは稚貝が潜砂行動を終了し殻の80%以上が砂中に埋没しているものを完全潜砂個体と定義した。

$$\text{潜砂率 (\%)} = \frac{\text{完全潜砂個数}}{\text{実験開始時の収容個数}} \times 100 \quad \dots [1]$$

[異なる底質条件下における潜砂率の測定例（ウバガイ）]

5種類の海砂（シルト、微細砂～細砂、中砂、粗砂、極粗砂）および人工砂

(粒径200 ~290 μm 、490 ~700 μm 、900~1100 μm) を500ml ビーカー (水量400ml) に深さ2cm に敷き詰め、ウバガイを20個体ずつ收容した。

水温18℃において完全に潜砂した稚貝の個数を経時的に測定して潜砂率を求めた。

(4) - 4 潜砂所要時間の測定

潜砂所要時間とは收容された稚貝が潜砂行動を開始してから終了するまでに要した時間である。

[異なる底質条件下における潜砂所要時間の測定例 (ウバガイ)]

4種類の海砂 (シルト、微細砂~細砂、中砂、粗砂) を500ml ビーカーに深さ2cm に敷き詰め、水温18℃において潜砂所要時間を測定した。測定は1個体ずつ行い、始めの個体について測定終了後次の個体を收容した。同一の底質において20個体について潜砂所要時間を測定した。

(5) 耐性試験・生長試験

耐性試験は3ℓ円型水槽 (水量; 2ℓ、砂; 深さ2cm) に稚貝20個体ずつ收容して行った。

生長試験は500ml ビーカー (水量;400ml、砂; 深さ 2cm) に稚貝1個体ずつ收容し、5~10ビーカーを1ブロック (同一環境条件で試験される群) として行った。

(5) - 1 稚貝の生長の観察

アサリ稚貝を500ml ビーカー (水量;400ml、砂; 深さ2cm) に收容し、水温20~23℃ (室温条件) で餌料として *Skeletonema costatum* を与えて試験を行った。アサリの殻長をノギス (MITUTOYO製、精度±0.01mm) を用いて原則とし

て毎日測定した。同一個体について殻長の測定は3回ずつ行い平均値を用いた。

(5) - 2 通気および換水の有無と水質の関係

ウバガイ稚貝を用いて水温18℃のもとで耐性試験および生長試験を行い、通気および換水の有無と飼育水の変化ならびに稚貝の潜砂状態（砂上率）の関係について調べた。試験開始時、1日、2日、3日後に飼育水中層（水面下約5cm）からサイホンを用いて採水し溶存酸素濃度、pHについて測定した。溶存酸素濃度はウインクラ法により測定し、pHはpHメーター（HORIBA H-7VP）を用いて測定した。並行して稚貝の砂上率を次式により求めた。

$$\text{砂上率 (\%)} = \frac{\text{完全に砂上に出ている稚貝数}}{\text{収容稚貝数}} \times 100 \dots\dots [2]$$

2. 結果

2-1. 潜砂行動

表1にはヤマトシジミ、アサリ、ウバガイ、ヒメバカガイ、イソシジミについて移入後の潜砂率が示されている。予備飼育において砂中にあった個体（潜砂個体）は移入後60分以内に殆どの個体が潜砂行動を終了したのに対し、砂上に出ていた個体（非潜砂個体）には潜砂行動が全く認められなかった。この砂上個体は水管を伸長した状態で3～7日間生存した後全て死亡した。このことは稚貝は活力が低下した場合には砂上に出てくることを示しており、潜砂性二枚貝の活力は潜砂行動から判定できる。

表1. 潜砂性二枚貝の稚貝の移入後の潜砂率（単位：％）

[水温：18℃]

種類		ヤマトシジミ	アサリ	ウバガイ	ヒメバカガイ	イソシジミ
潜砂個体 ¹	1時間後	100	90	100	90	100
	24時間後	100	100	100	90	100
非潜砂個体 ²	1時間後	0	0	0	0	0
	24時間後	0	0	0	0	0

註：¹潜砂個体；予備飼育において潜砂状態にあった個体を10個体ずつ移入した。

²非潜砂個体；予備飼育において砂上に出ている個体（ヤマトシジミ：3個体、アサリ：5個体、

ウバガイ：3個体、ヒメバカガイ：6個体、イソシジミ：3個体）を移入した。

図1には異なる底質におけるウバガイの潜砂率が示されている。海砂を用いた場合微細砂～細砂（粒径63～250 μm）における潜砂率が5分後に30%、10分後に50%、20分後には85%であった。粒径250～500 μmの中砂の場合には微細砂～細砂を用いた場合と大きな違いは認められず、ほぼ同様の傾向が認められた。粒径500～1000 μmの粗砂の場合は潜砂率が、5分後に5%、20分後に20%、40分後に45%、2時間後に50%であり微細砂～細砂を用いた場合と比べて潜砂行動の開始時期が遅れることが示された。粒径1000～2000 μmの極粗砂を用いた場合には30分後も潜砂を完了個体は認められず、ウバガイは潜砂場所の探索行動と考えられる跳躍を繰り返していた。その後潜砂行動を開始したものの砂上に倒れた個体が多く、潜砂率は2時間を経過しても30%に過ぎなかった。粒径63 μm以下のシルトを用いた場合の潜砂率は40分後に5%、60分後に10%であり、半数以上の個体が潜砂を完了したのは3時間経過後（潜砂率55%）であった。

粒径200～290 μmの人工ガラスビーズを用いた場合にも半数以上の個体が潜砂完了したのは2時間後である。粒径490～700 μmのビーズの場合は30分を経過しても潜砂個体は認められず、潜砂率が40分後に10%、3時間後に55%であった。粒径900～1100 μmのビーズの場合には3時間経過しても潜砂率は10%に過ぎず、極粗砂を用いた場合と同様に跳躍行動が認められた。

図2には異なる底質条件下におけるウバガイの潜砂所要時間が示されている。粒径63～250 μmの微細砂～細砂の場合の平均潜砂所要時間は19.2秒であったが、粒径250～500 μmの中砂においては39.3秒と2倍の時間を要している。粒径500～1000 μmの粗砂の場合には、およそ4倍の77.9秒であった。63 μm以下のシルトの場合の潜砂所要時間は88.3秒で粗砂の場合とほぼ同じであった。

以上のことからウバガイが底質の変化に対して敏感であり、潜砂率や潜砂所

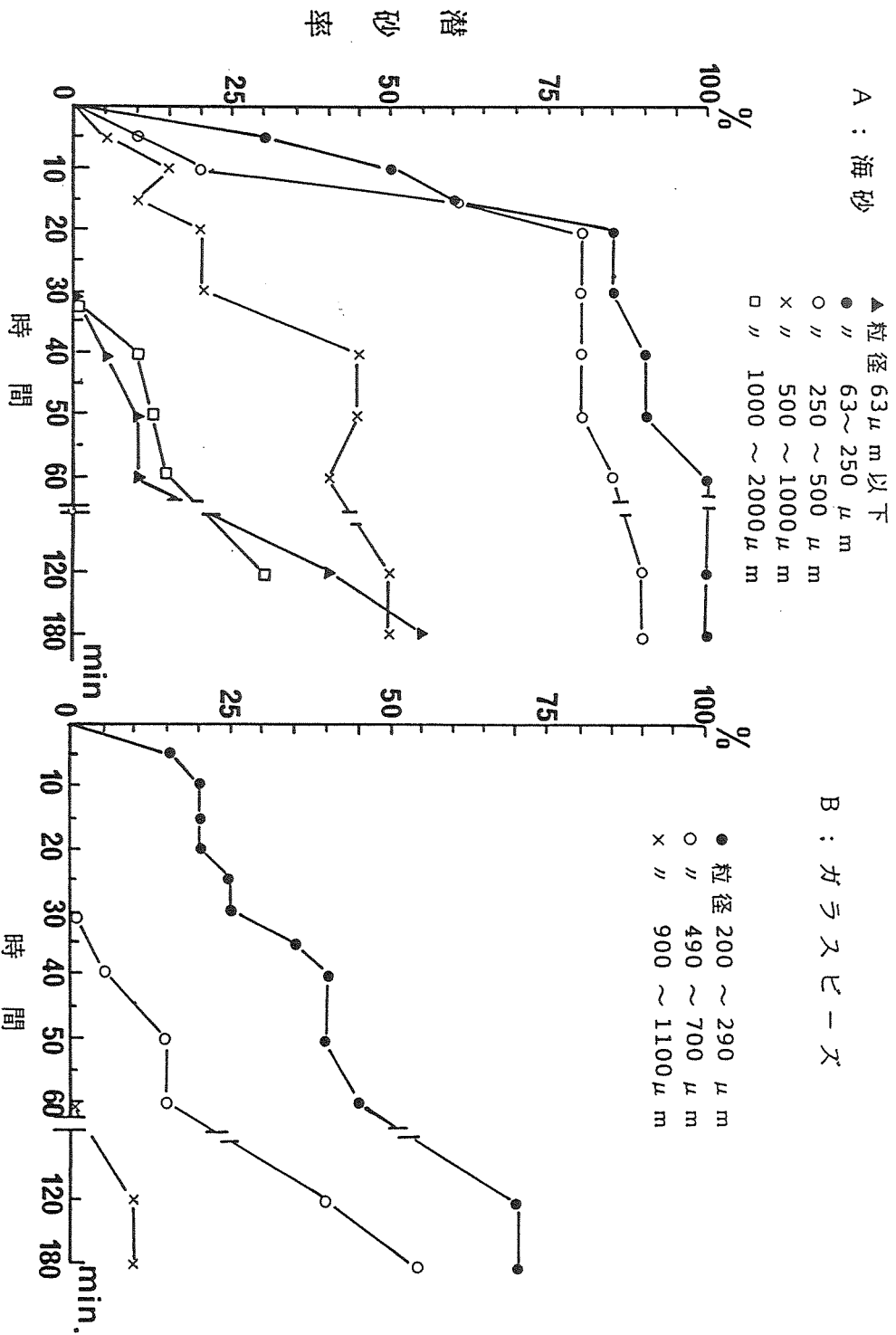


図 1 異なる底質条件下におけるウバガイ (殻長 4 ~ 7mm) の潜砂率の変化 (水温 18°C)

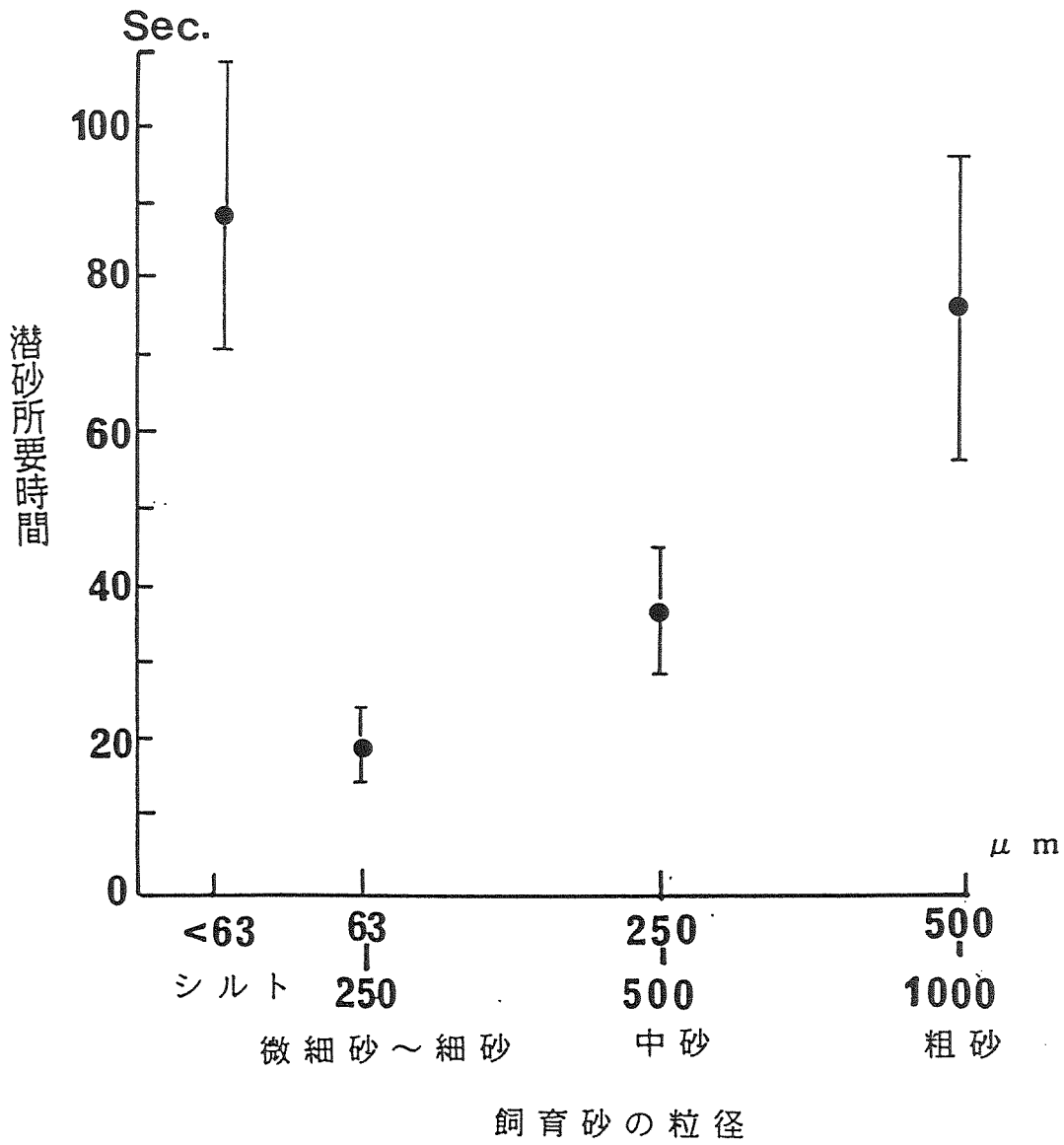


図2 飼育砂の粒径に対するウバガイ（殻長4～7mm）の
 潜砂所要時間の関係
 （水温18℃）

要時間の測定によって、ウバガイの潜砂行動の変化について定量的に表現が可能であることが分かった。換言すれば、二枚貝類の底質に対する環境要求について潜砂行動の観察によって明らかにできると考えられ、潜砂率、潜砂所要時間その尺度として用いることができる。

2-2. 稚貝の生長

図3には餌料として Skeletonema costatum を用いた場合のアサリの生長が示されている。砂押川河口産アサリも松川浦産アサリもその生長速度はほぼ一定の値で推移した。すなわち、飼育環境が適当であるならば、殻長6mm前後のアサリが殻長10mmに到達するまで1日あたり約200 μm のほぼ直線的な生長を示すことが分かった。したがって稚貝の生長試験における生長速度は飼育期間中の殻長の伸びを飼育日数で除して計算することができる。

2-3 通気および換水の有無と砂上率の関係

表2にはウバガイの耐性試験における通気の有無と飼育水の溶存酸素飽和度pH、稚貝の砂上率の関係が示されている。通気の有無にかかわらずpHの変化は小さいが、溶存酸素飽和度は通気が無い場合は1日後に92.3%、2日後に71.3%、3日後に37.3%まで低下し、このときの稚貝の砂上率はそれぞれ10、25、40%と増加傾向を示し、酸素欠乏による影響が1日後には現われている。これに対し、通気があれば酸素は飽和状態に近く、稚貝は全て潜砂していた。したがって、耐性試験は通気条件下で実施されることが必要である。

表3にはウバガイの生長試験における通気の有無と飼育水の溶存酸素飽和度pH、稚貝の砂上率の関係が示されている。通気、換水ともに行われていれば溶存酸素飽和度は100%に近い。これに対し通気、換水ともに行れない場合は溶存酸素飽和度が1日後に90%、2日後には70%に低下し、これに伴い稚貝の

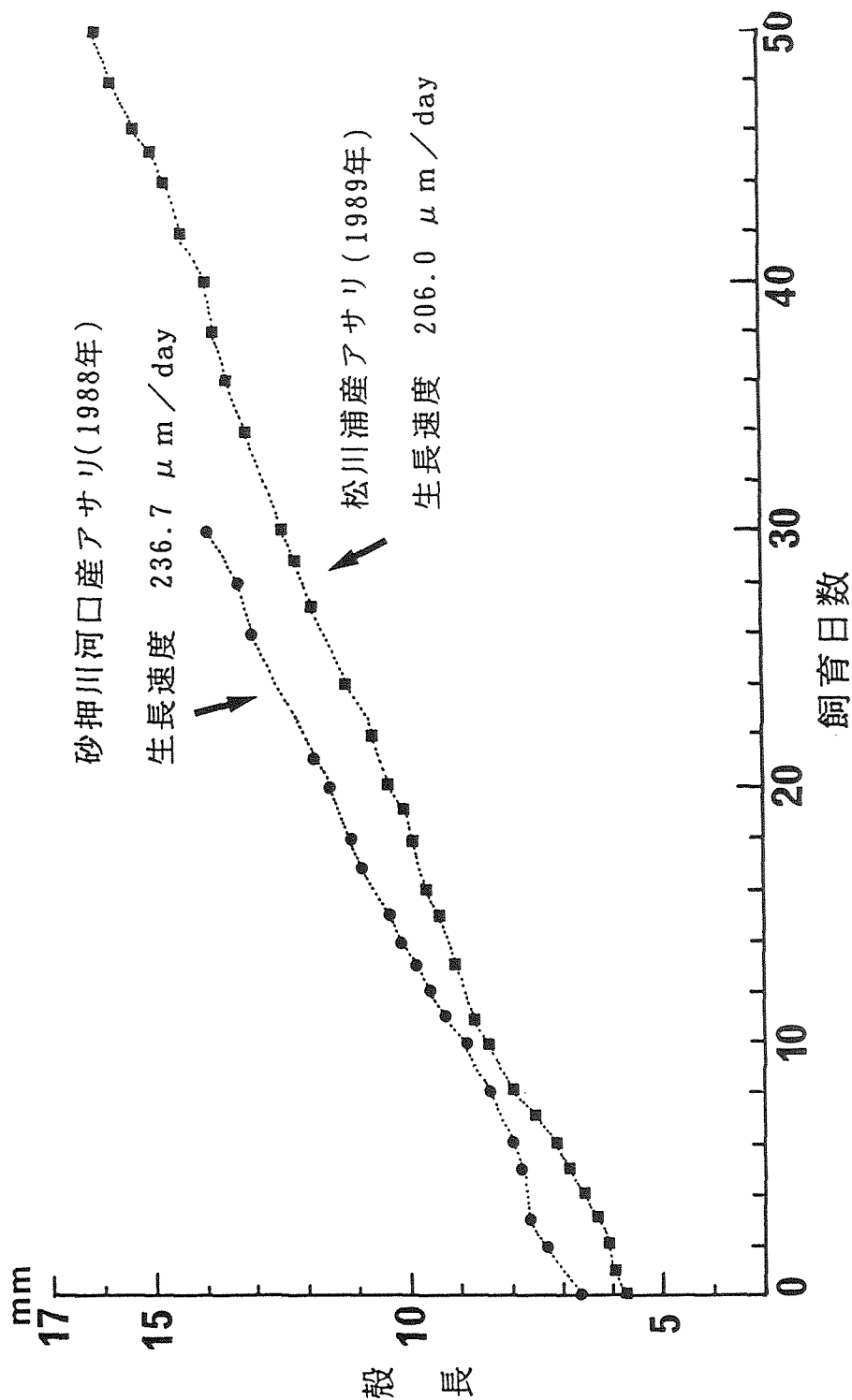


図 3 Skeletonema costatumを餌料としたアサリの生長
 (水温: 20~23°C)

表 2. 耐性試験における飼育水の水質（溶存酸素飽和度，pH）
およびウバガイの砂上率の変化

条件	項目	時間	1日後	2日後	3日後
通気あり	D. O (%)		101.4	98.6	104.3
	pH		8.31	8.29	8.41
	砂上率 (%)		0	0	0
通気なし	D. O (%)		92.3	71.3	37.3
	pH		8.32	8.31	8.40
	砂上率 (%)		10	25	40

註：3 ℓ 水槽（水量：2 ℓ、砂；深さ 2cm）にウバガイ稚貝を 20 個体ずつ
収容した（水温：18℃、餌料：Skeletonema costatum）

表 3 . 生長試験における飼育水の溶存酸素飽和度 (D . O) 、
pH およびウバガイの砂上率の変化

条件		時間 項目	1 日後	2 日後	5 日後
通気あり	換水あり	D . O (%)	101.2	104.7	100.5
		pH	8.32	8 .27	8.30
		砂上率 (%)	0	0	0
通気なし	換水あり	D . O (%)	104.5	105.2	101.3
		pH	8.31	8.29	8.30
		砂上率 (%)	0	0	0
	換水なし	D . O (%)	91.6	70.3	46.7
		pH	8.31	8.27	8.26
		砂上率 (%)	0	0	20

註 ; 500ml ビーカー (飼育水 ; 400ml 、 砂 ; 深さ 2cm) にウバガイの稚貝を
1 個体ずつ収容し、10ビーカーを1ブロック (同一条件) とした。
D . O、pHの値はそれぞれのブロックの平均値である。
(水温 ; 18 °C、 餌料 ; Skeletonema costatum)

砂上率がそれぞれ 0、0、20% と増加した。しかし換水を毎日行えば溶存酸素飽和度は100%に近く、稚貝は全て潜砂していた。したがって生長試験の場合には換水を毎日行うならば、通気は必要ない。

第2節 餌料の検討

1. 材料および方法

供試材料： 材料としてヤマトシジミ、アサリ、ウバガイ、ヒメバカガイの稚貝（殻長1～10mm）を用いた。採集地点は前述（第1節）と同様である。

1-1 餌料の超音波処理

農学部構内の流水式鯉池の底泥（湿重量1.5g）を1%の食塩水200ml に注入し、発振周波数30KHZ、出力20W で1分間の超音波処理を行なった。対照としてガラス棒による攪拌を1分間行なった。処理後10、15、30分、1、2、3、4時間後の懸濁液の濁度を積分球式濁度計（日本精密光学（株）製）を用いて測定した。

松平培地（藻類実験法 1982）で純培養した Skeletonema costatum（COD 50ppm、クロロフィル a 濃度850 $\mu\text{g}/\ell$ 、細胞数 1.0×10^5 cells/ml）を超音波処理を行い、顕微鏡下において細胞の形状について観察した。

超音波処理およびガラス棒による攪拌によってできた鯉池底泥の懸濁液を用いて、水温20℃でヤマトシジミの生長試験を行った。給餌量はCOD 50ppmの溶液を5ml ずつ6回ずつ与えた。

(2) - 2. 二枚貝に対する餌料効果

餌料として次に挙げる8種類を用いて、ヤマトシジミ、アサリ、ウバガイ、

ヒメバカガイに対する餌料効果を調べた。農学部構内鯉池の底泥、宮城県蒲生養鯉場のアオコ Microcystis aeruginosa（藍藻）、酵母、養魚用の固形飼料、培養したクラミドモナス Chlamydomonas spp.（緑藻）、スケルトネマ Skeletonema costatum（珪藻）、パヴロヴァ：Pavlova lutheli（ハプト藻）自然水域の底泥（蒲生干潟底泥）である。これらは給餌前に食塩水あるいは濾過海水で稀釈し、超音波処理を施し懸濁状態にして（これを今後、“餌料溶液”と呼ぶ）CODで約50ppmになるように調製した。給餌量は、餌料溶液5ml ずつ1日6回とした。稚貝は500mlビーカー（水量400ml）に1個体ずつ収容し、水温20℃で30日間試験を行った。ヤマトシジミ、アサリについてはこれらの餌料のほかに、井戸浦底泥、砂押川河口底泥、貞山堀底泥、仙台新港底泥についても試験を行った。

（2）給餌回数の検討

餌料が鯉池底泥および Skeletonema costatum の場合について1日あたりの給餌回数を変えてアサリ、ウバガイの生長試験を行なった。殻長5mm前後のアサリ、ウバガイ稚貝を500mlビーカー（水量400ml）に1個体ずつ収容し、水温20℃で30日間試験を行った。餌料溶液（COD50ppm）を5ml ずつ1日あたり1、3、5、8、10回ずつ与え、給餌回数に対する生長速度の関係を求めた。

2. 結果

2-1 餌料の超音波処理

図4には大学構内の流水式鯉池の概略図が示されている。底泥が堆積していたのは主に図中のB、C、Dであり、顕微鏡下での観察によればBには魚類の排泄物を主体とする底泥が、C、Dには珪藻を主体とする底泥であったこと

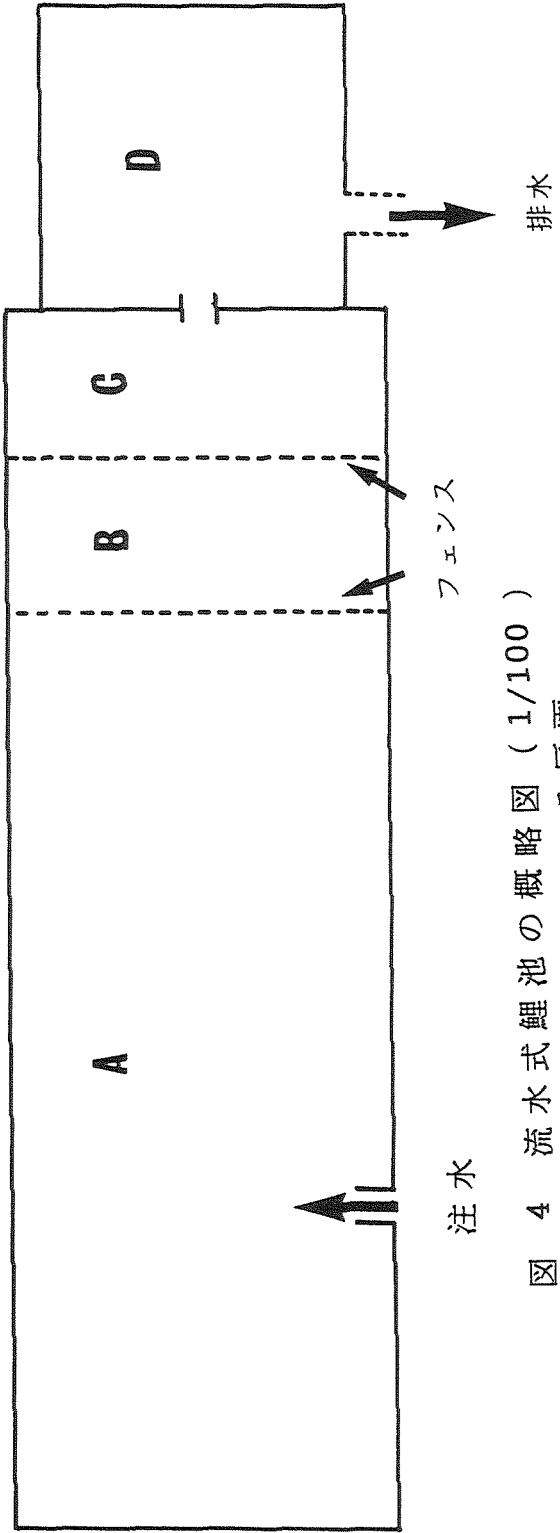


図 4 流水式鯉池の概略図 (1/100)
 A : 魚が入っている区画
 B、C、D : 底泥の主な堆積場所

が認められた（写真1）。ここで用いた鯉池底泥はCより採取したものである。図5には鯉池底泥を用いて超音波振動処理の有無による懸濁状態の違いが示されている。処理後10分の値でみると、超音波処理懸濁液の濁度は著しく増大して290ppmに到達している。これに対し、攪拌のみを行った場合には79ppmで1/4の濁度に留まった。超音波処理後1時間までに濁度は急激に減少し、67ppmを示したが、その後数時間は安定した値を保ちおおよそ40ppmで横這となった。超音波処理を施さない場合には、濁度は時間とともに減少し続け、1時間後に20ppm、3時間後に9ppmにまで低下した。超音波処理液の方が高濁度状態で長時間保持されるのは、底泥中の粒子が超音波処理によって均一に分散し、微細粒子となって浮遊しているからであろう。

培養したSkeletonema costatumを顕微鏡下で観察し写真2、3に示した。Skeletonema costatumは通常はchainを形成していて、6~20cells/chainであることが多い（写真3）。これに超音波処理を施して観察し写真4に示した。1~2 cells /chain のものが増え、超音波処理によってchainが切れたことを示している。

図6には超音波処理の有無とヤマトシジミに対する餌料効果の関係について示されている。ガラス棒による攪拌のみ行なわれた鯉池底泥を餌料にした場合は餌料効果が認められなかったが、超音波処理餌料を与えた場合は生長が認められ、生長速度は平均50 μ m/dayであった。この違いは鯉池底泥の中の餌料として有効な成分が超音波処理によって、より長く、懸濁するためと推測され、ガラス棒による攪拌では得られない状況が作り出されたわけである。

2-2. 二枚貝に対する餌料効果

この超音波処理のもっている特性を給餌方法に応用し、自然水域から採集した底泥のヤマトシジミ、アサリに対する餌料効果について表4に示した。図7には底泥の採集場所が示されている。ヤマトシジミの場合は蒲生干潟、井戸浦、砂押川河口の底泥に餌料効果が認められ、生長速度はそれぞれ、54.3

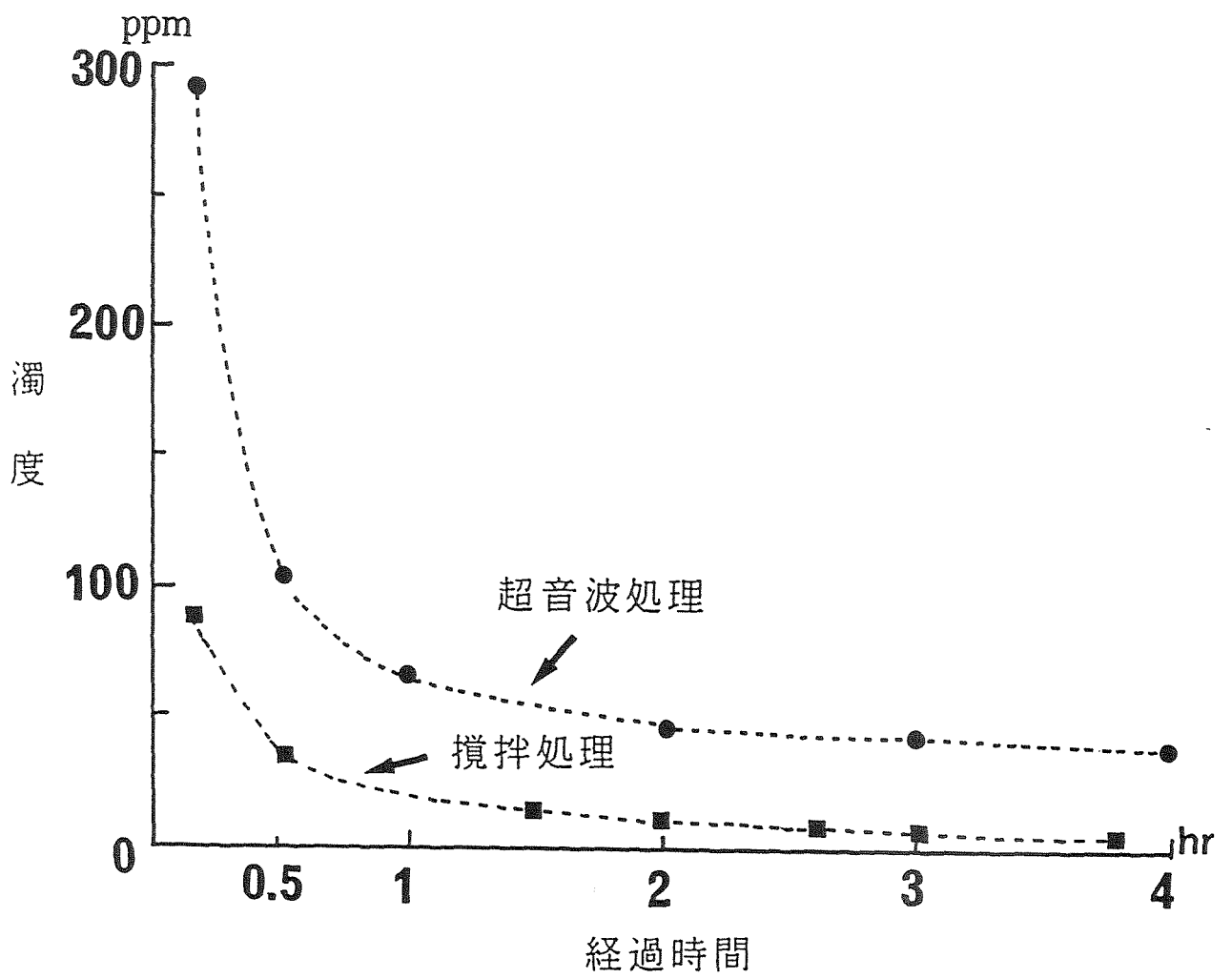


図 5 懸濁液の濁度の変化

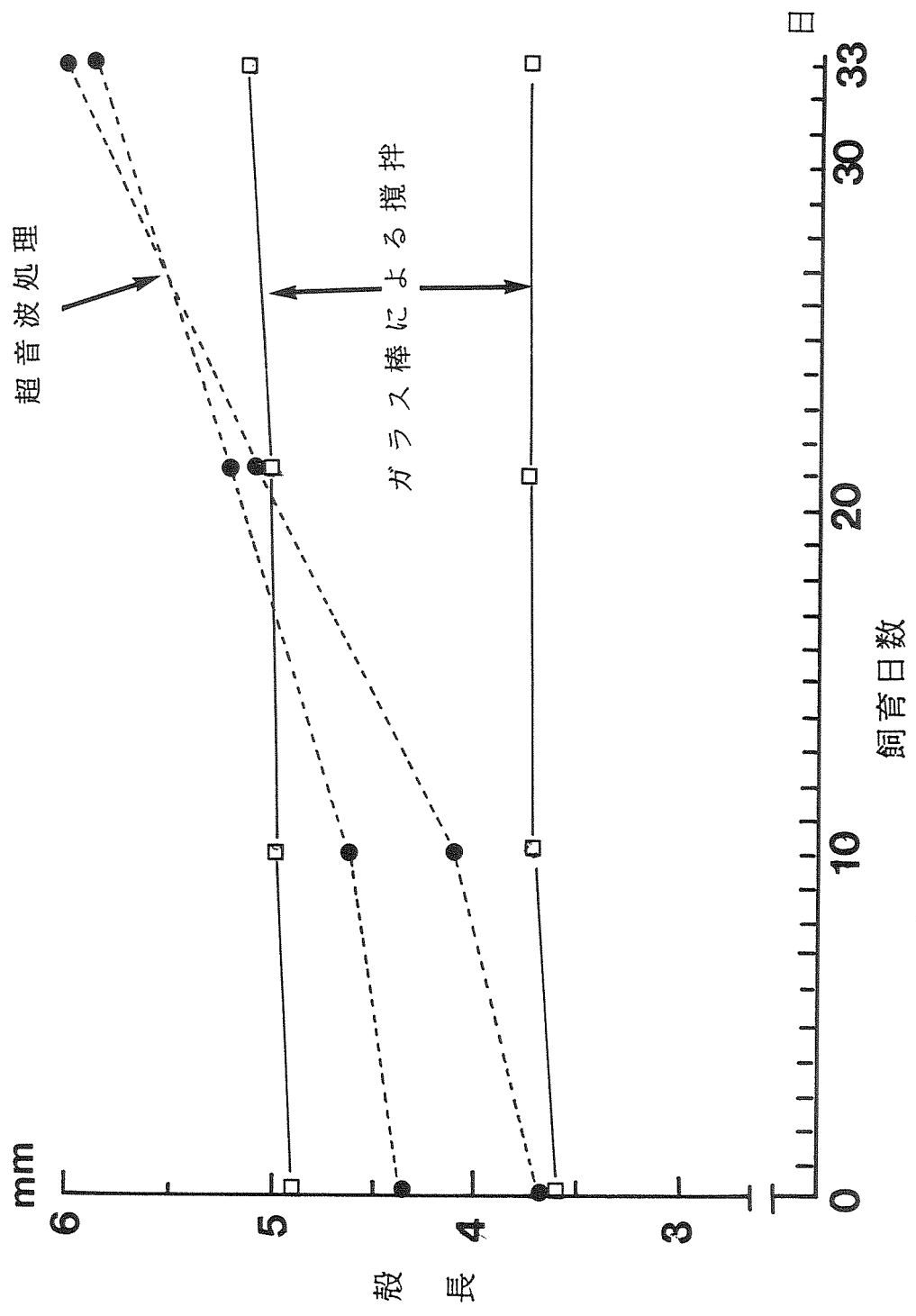


図6 鯉池底泥を餌料としたヤマトシジミの生長 (水温 20°C)
 (超音波処理の有無と生長の関係)

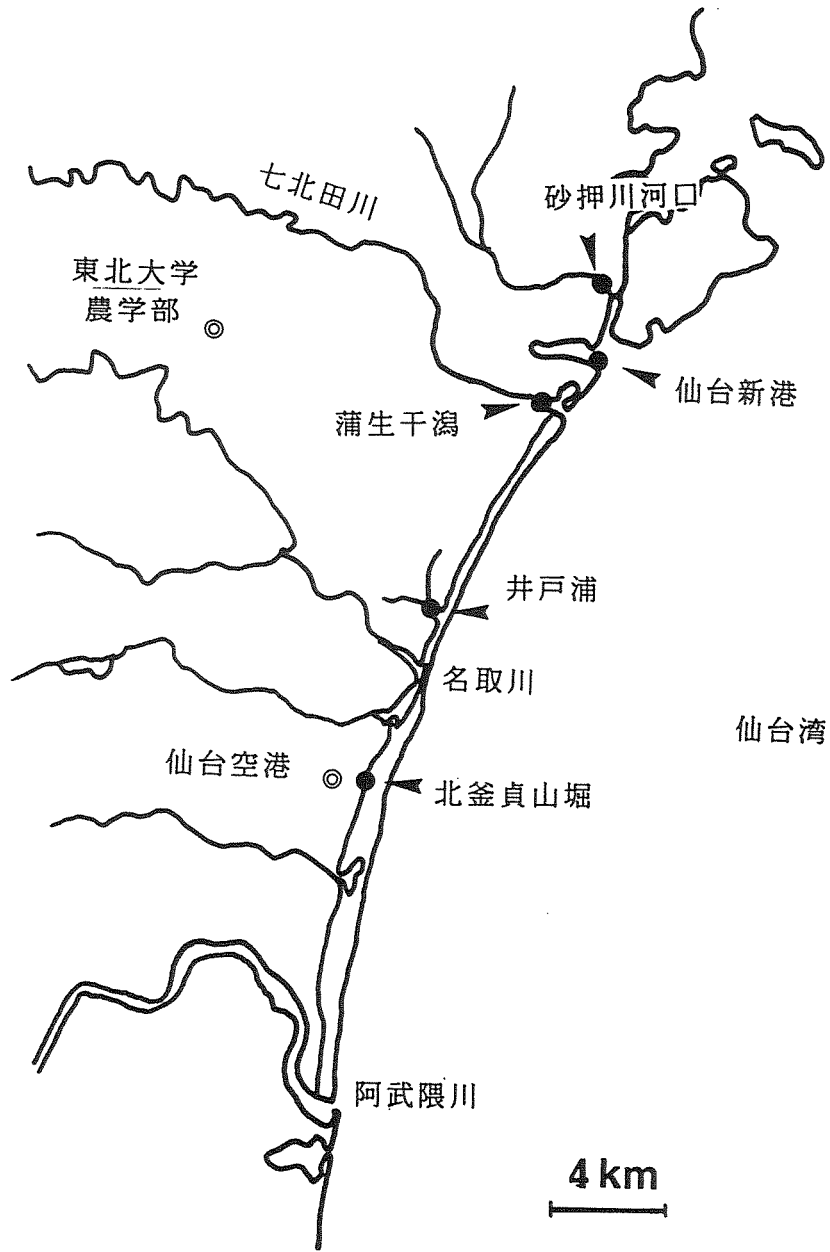


図 7 底泥の採集地点

表 4 . 餌料として自然水域の底泥を与えたヤマトシジミおよび
アサリの水温 20℃ における生長速度 (単位 : $\mu\text{m} / \text{day}$)

餌料	ヤマトシジミ	アサリ
蒲生干潟底泥	54.3	99.4
井戸浦底泥	50.9	76.3
砂押川河口底泥	39.2	35.1
貞山堀底泥	0	0
仙台新港底泥	14.0	10.2

50.9、 39.2 $\mu\text{m}/\text{day}$ であった。 一方、貞山堀、および仙台新港底泥には餌料効果は殆ど認められなかった。 このときのヤマトシジミには多くの擬糞の排出が認められ、これらの餌料を消化していないことが窺えた。

アサリの場合にも同様の傾向が認められ、蒲生干潟、井戸浦、砂押川河口、の底泥を餌料として与えた場合の生長速度はそれぞれ、96.1、 76.3 、 35.1 $\mu\text{m}/\text{day}$ であった。

写真5、 6、 7には、鯉池底泥、蒲生干潟底泥、砂押川河口底泥が示されている。 共通点として珪藻やべん毛藻が認められる（矢印）ことが挙げられる。

なかでも鯉池底泥には多数のフナガタ珪藻（Naviculla spp.）が認められた。

したがってヤマトシジミ、アサリの餌料として珪藻が最も有効である。

図8には餌料として珪藻のSkeletonema costatumを用いたヤマトシジミおよびアサリの生長試験結果が示されている。 ヤマトシジミおよびアサリに用いたSkeletonema costatumは、それぞれ稀釈濾過海水（海水濃度 30%（Sal. 9.5 %））および海水で培養したものである。 ヤマトシジミの生長速度は平均 110.7 $\mu\text{m}/\text{day}$ 、アサリの場合には平均 108.9 $\mu\text{m}/\text{day}$ であり、鯉池底泥や自然水域の底泥を用いた場合の約2倍の生長速度であった。

以上の結果はヤマトシジミやアサリなど二枚貝の餌料としては珪藻が有効であり、なかでもSkeletonema costatumが餌料価値が高いことを示している。

表5には各餌料のヤマトシジミ、アサリ、ウバガイ、ヒメバカガイに対する餌料効果について示されている。 いずれの種類においてもSkeletonema

costatumを与えた場合に最大の生長速度が示され、次いでPavlova lutheri、

蒲生干潟底泥、鯉池底泥の順であった。 Chlamydomonas TK株、は餌料効果は

低く、鯉池底泥の場合の約1/2であった。 Microcystis aeruginosa、酵母、

固形飼料には餌料効果は全く認められなかった。 これらの実験においては一定

の有機物含量（COD 50ppm）の餌料溶液を同一条件で与えている。 しか

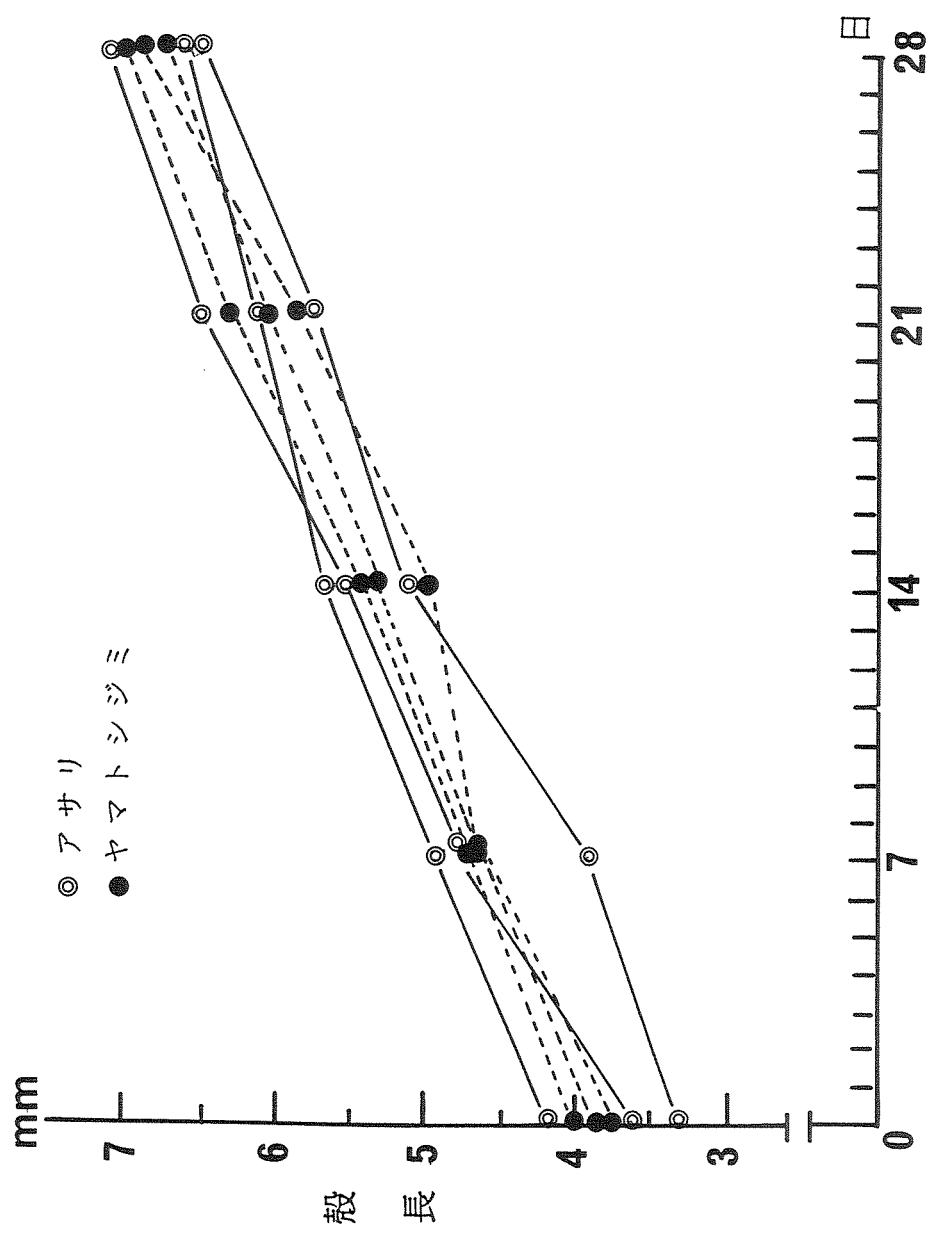


図8 *Skeletonema costatum* を餌料としたヤマトシジミ およびアサリの生長 (水温 20°C)

しこのような餌料価値の差は有機物量によるものではなく餌料の物性または成分、あるいはその両者が餌料効果を支配しているものと考えられる。

2-3. 給餌回数の検討

図9には給餌回数に対するアサリの生長の回帰が示されている。鯉池底泥を餌料として用いた場合の生長速度が1回給餌では18.2、3回給餌では35.2、5回以上の給餌では54.8 $\mu\text{m}/\text{day}$ であった。餌料として Skeletonema costatum を与えた場合の生長速度は1回給餌では37.5、3回給餌の場合には112.2、5回給餌では160.0、8回以上の給餌では200.5 $\mu\text{m}/\text{day}$ であった。

図10には給餌回数に対するウバガイの生長の回帰が示されている。鯉池底泥および Skeletonema costatum が餌料として与えられた場合、ともに5回以上の給餌があれば最大の生長速度が示され、前者では48.2 $\mu\text{m}/\text{day}$ 、後者では90.1 $\mu\text{m}/\text{day}$ であった。

これらの結果から鯉池底泥を用いた場合は、1日5回以上、Skeletonema costatum を用いた場合はウバガイでは5回、アサリでは8回以上の給餌を行えばこの餌料条件の下での最大の生長速度が得られることが分った。

したがって生長試験においては8回以上の給餌があれば、最大の生長速度が得られるが、これから先の生長試験においては、生長の良否を判断するのに十分な回数（最大生長速度の70%以上に達する給餌回数）として6回給餌を行うことにした。

第3節 潜砂試験・耐性試験・生長試験の比較

第1節・第2節において検討された方法をヒメバカガイに適用し、潜砂試験・耐性試験・生長試験を行い比較した。

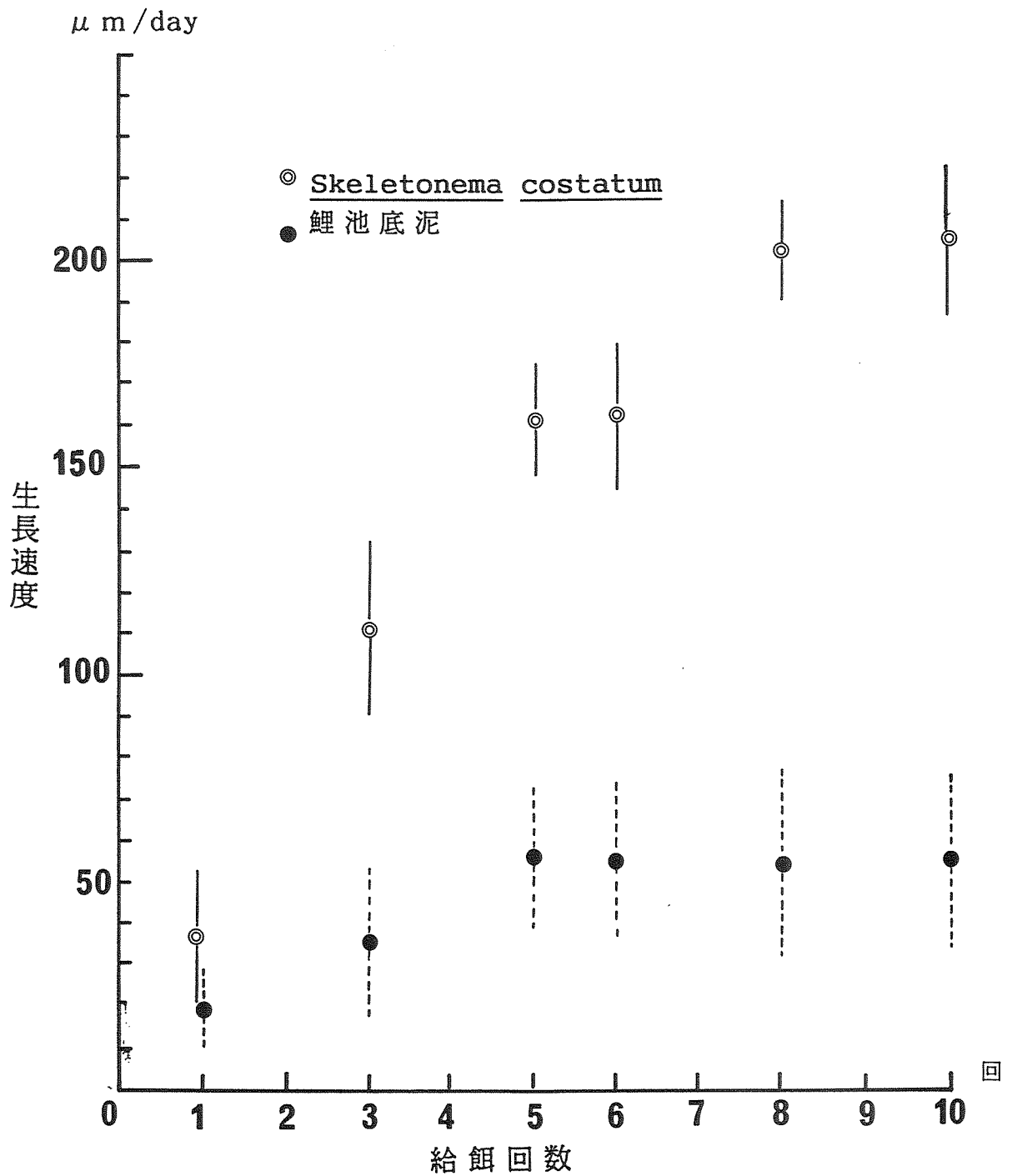


図9 給餌回数に対するアサリの生長速度の回帰
 (水温; 20°C、餌料; *Skeletonema costatum*、鯉池底泥)

○ Skeletonema costatum
● 鯉池底泥

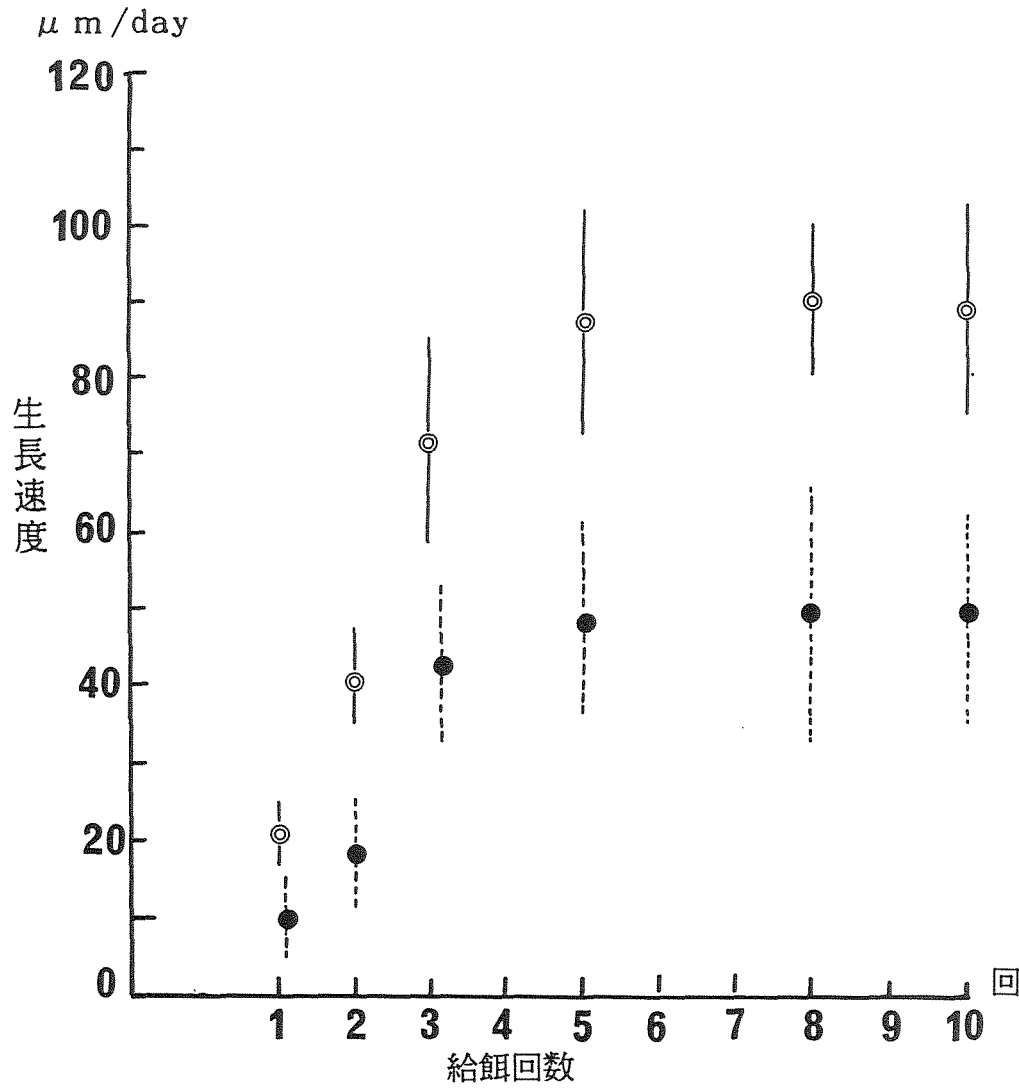


図10 給餌回数に対するウバガイの生長速度の関係
(水温：20℃、餌料：Skeletonema costatum)

1. 材料および方法

供試材料： 1988年、磯部ウバガイ漁場において採集されたヒメバカガイの稚貝を用いた。

方法：異なる塩分、海水濃度100% (Sal.32.3%)、海水濃度 70% (Sal.22.6%)、海水濃度 50% (Sal.15.5%)、海水濃度 40% (Sal.12.8%)、海水濃度 30% (Sal. 9.5%) になるように飼育水を調製し、水温20℃で潜砂試験耐性試験・生長試験を行った。

①潜砂試験

500ml ビーカー（水量400ml）に稚貝を20個体ずつ収容し10、60分後、24時間後の潜砂率を測定した。

②耐性試験

3ℓ水槽（水量2ℓ）に稚貝を20個体ずつ収容し30日間飼育し生残率を求めた。餌料はSkeletonema costatumを用いた。

③生長試験

500ml ビーカー（水量400ml）に稚貝を1個体ずつ収容し、30日間飼育しした。餌料はSkeletonema costatum を5mlずつ1日6回与え、同一塩分条件における稚貝の供試個数は5個体であった。ノギス（精度±0.01mm）を用いて7日間隔で殻長を測定し、生長速度を求めた。

2. 結果

図11には異なる塩分の飼育水に収容されたヒメバカガイの潜砂率について示されている。10分後の潜砂率は海水濃度100% (Sal.32.3%) の場合には80%、海水濃度 70% (Sal.22.6%) の場合には10% であり、海水濃度 50% (Sal.15.5%)、海水濃度 40% (Sal.12.8%)、海水濃度 30% (Sal. 9.5%) の場合には潜砂個体は全く認められなかった。60分後には海水濃度100% (Sal.32.3%)

に収容された全ての稚貝が潜砂を完了し、海水濃度 70% (Sal.22.6%)、海水濃度 50% (Sal.15.5%) の場合には潜砂率が90% に到達していた。 24時間後には海水濃度 50% (Sal.15.5%)、海水濃度 70% (Sal.22.6%)、海水濃度 100% (Sal.32.3%) に収容された稚貝は全て潜砂を完了したが、海水濃度 40% (Sal.12.8%) の場合には潜砂率は30% に過ぎなかった。海水濃度 30% (Sal.9.5%) の場合には潜砂行動も水管の伸長も全く認められなかった。

図12は異なる塩分条件において飼育されたヒメバカガイの生残率を示している。生残率が海水濃度100% (Sal.32.3%)、海水濃度 70% (Sal.22.6%) の場合には100%であり、海水濃度 50% (Sal.15.5%) の場合には95% であった。

海水濃度 40% (Sal.12.8%) の場合には4日目に2個体が死亡し、生残率は徐々に低下し23日目には30% と半数以上の稚貝が死亡した。 海水濃度 30% (Sal.9.5%) の場合には3日目までに全ての稚貝が死亡した。 すなわちヒメバカガイの生存限界点は 15.5 ~12.8%の範囲にある。

図13には異なる塩分条件において飼育されたヒメバカガイの生長速度が示されている。 海水濃度 40% (Sal.12.8%) の場合にはヒメバカガイの生長は全く認められなかった。 生長速度は海水濃度 70% (Sal.22.6%)、海水濃度100% (Sal.32.3%) の場合において大きな差は認められず、平均31.8、

32.3 $\mu\text{m}/\text{day}$ であった。 海水濃度 50% (Sal.15.5%) の場合には生長は若干緩慢になり平均20.7 $\mu\text{m}/\text{day}$ であった。 以上のヒメバカガイの試験結果を総合すると潜砂試験結果と耐性試験結果はよく一致した。

潜砂試験において60分以内に潜砂を完了した海水濃度 50% (Sal.15.5%)、海水濃度 70% (Sal.22.6%)、海水濃度100% (Sal.32.3%) は耐性試験においても生残率が95% 以上であった。 海水濃度 40% (Sal.12.8%) においては24時間後の潜砂率が30% であり、耐性試験における生残率も30% であった。 すなわちヒメバカガイの低塩分に対する耐性限界は潜砂試験結果から判断するこ

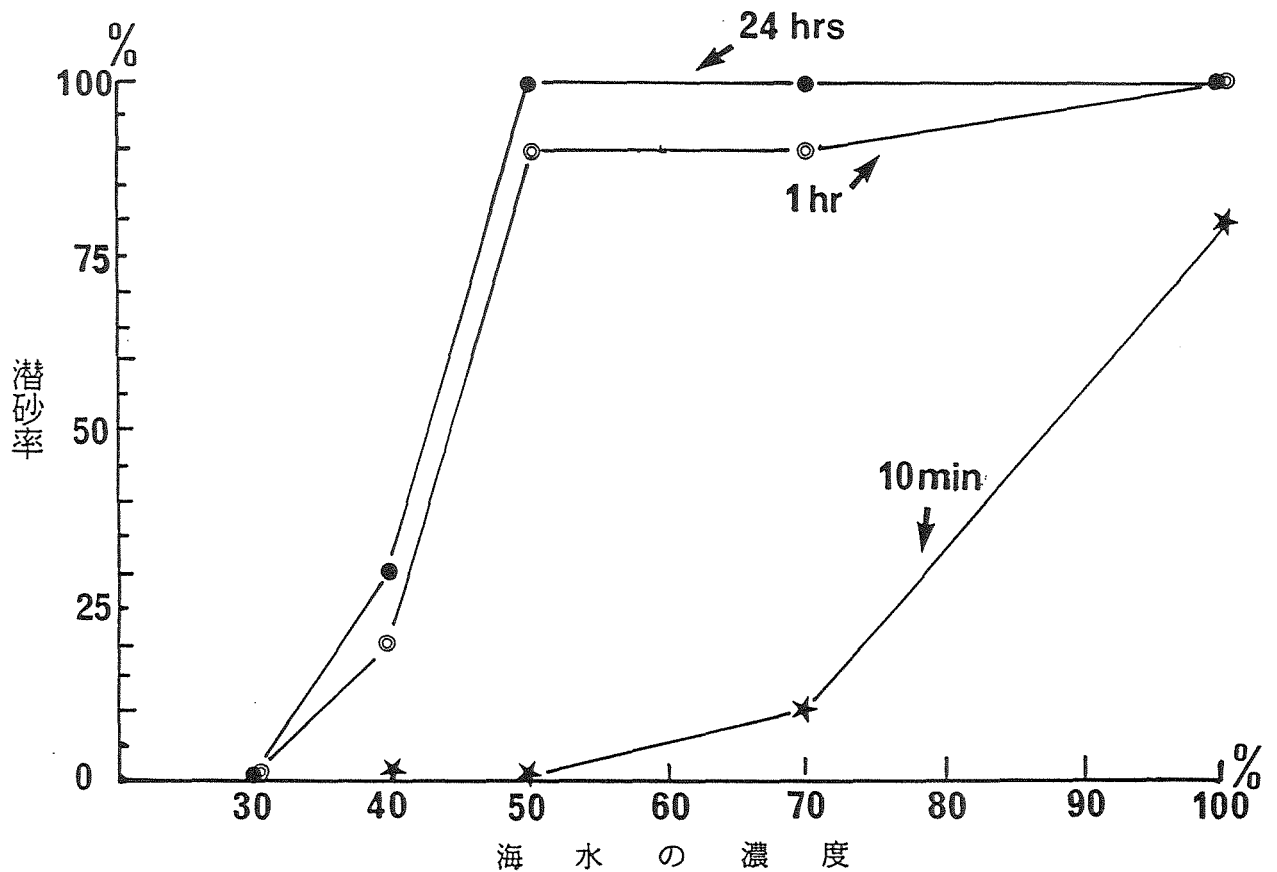


図11 ヒメバカガイの潜砂率に及ぼす塩分の影響
(水温: 20°C)

海水濃度 100% (Sal. 32.3 ‰)	海水濃度 40% (Sal. 12.8 ‰)
海水濃度 70% (Sal. 22.6 ‰)	海水濃度 30% (Sal. 9.5 ‰)
海水濃度 50% (Sal. 15.5 ‰)	

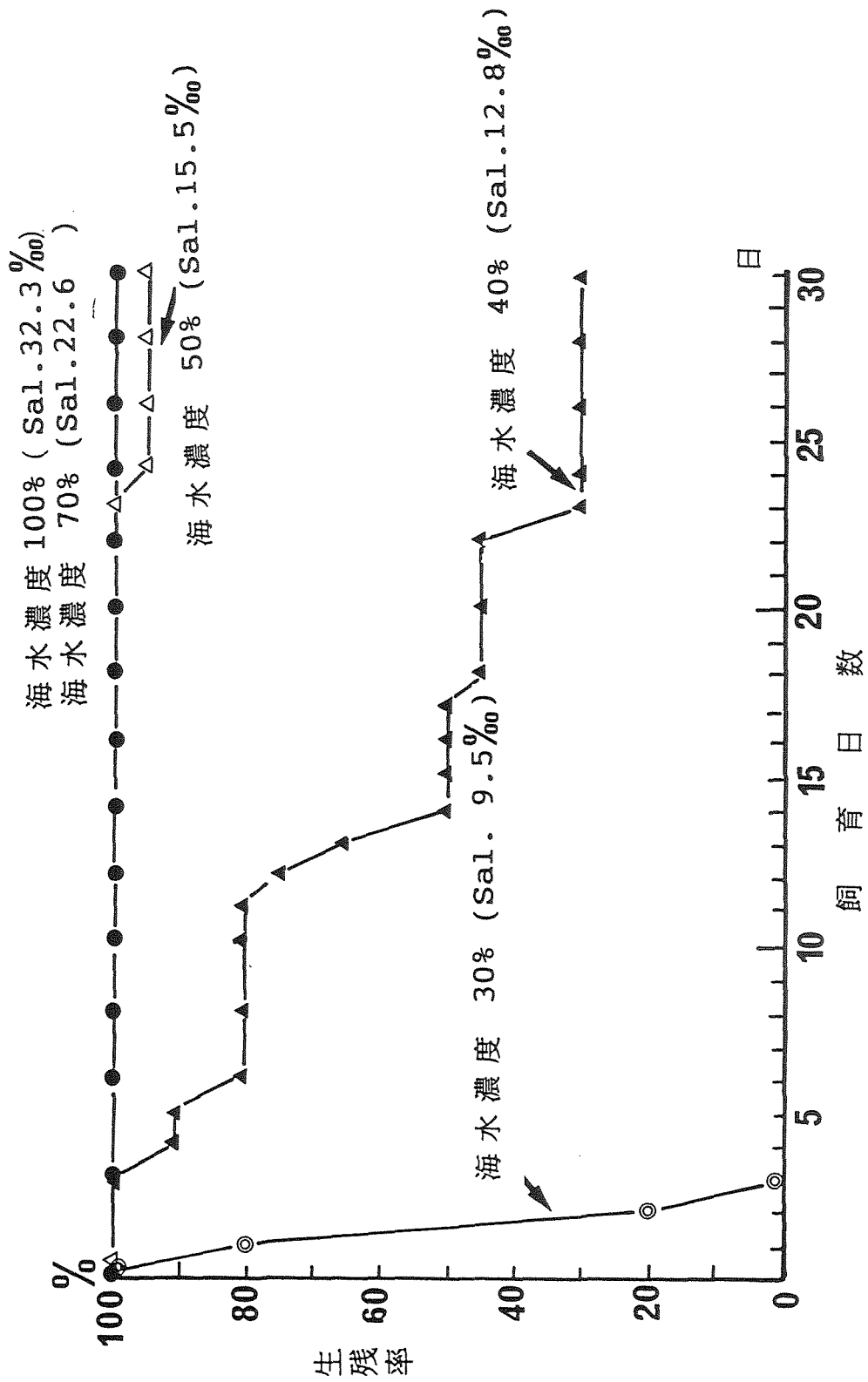


図12 ヒメバカガイの生存率に及ぼす塩分の影響
 (飼料: Skeletonema costatum, 水温 20°C)

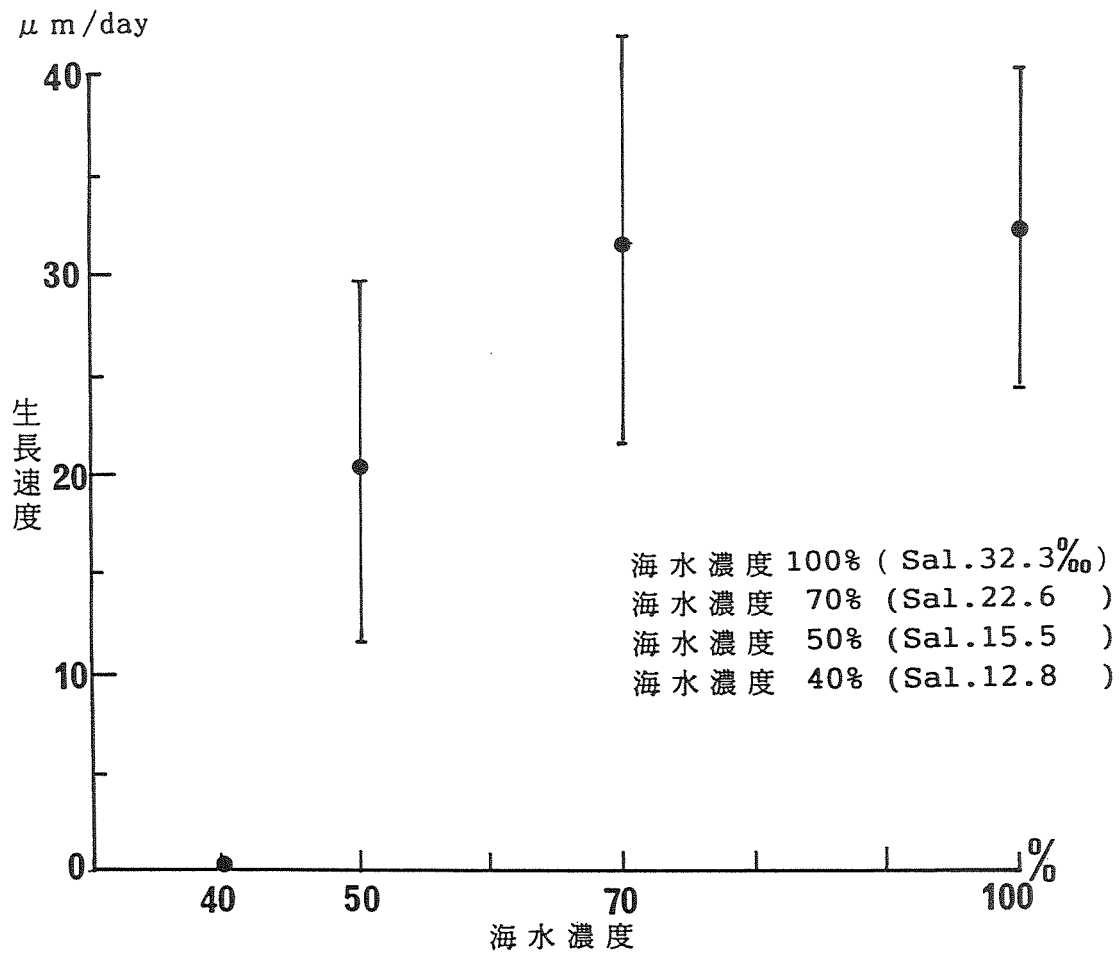


図13 ヒメバカガイの生長に及ぼす塩分の影響
 (餌料: Skeletonema costatum, 水温: 20°C)

とができる。一方海水濃度 50% (Sal.15.5%) と海水濃度 70% (Sal.22.6%) を用いた潜砂試験結果においては大きな違いが認められないにもかかわらず生長試験結果においては海水濃度 50% (Sal.15.5%) の場合に影響が認められた。

したがって生長に対する影響については潜砂試験結果から推測することは困難であると考えられ、生長試験結果から判断されなければならない。

論 議

これまでの二枚貝の飼育に関する研究における問題は主に次の二点にあったと考えられる。第一に対象とする生物の行動を詳細に観察していなかったこと、第二に長期飼育において重要である餌料の検討が十分になされていなかったことである。第一の問題を解決するためにアサリ、ヤマトシジミ、ウバガイ、ヒメバカガイを用いて予備実験を行い、潜砂性二枚貝の行動特性を観察した結果次のことが明らかになった。二枚貝は活力がある場合には直ちに潜砂行動を開始すること、環境条件が悪化した場合には砂上に出ることである。そこでこれらの現象を定量的に表現するために、潜砂率・潜砂所要時間の測定を試み、耐性試験や生長試験の結果と比較・検討した。

石田他(1972)はヤマトシジミの塩分に対する抵抗性を示す指標として、開殻率を用いている。開殻率とは実験に供したヤマトシジミのうち水管の伸長が認められたものの割合である。しかしヒメバカガイを用いた本実験の結果では、水管の伸長(開殻率)と長期生存の可否とは一致しないことが示された(図11,12)。海水濃度 40% (Sal.12.8%) において水管の伸長が認められたが、24時間の潜砂率は30%であった。この塩分において30日間後の生残率

は30%で長期生存は不可能な条件であった。したがって水管の伸長と長期生存の可否は一致しない場合がある。むしろ潜砂率と生残率の対応がよく、たとえば、ヒメバカガイの例では海水濃度50% (Sal. 15.5%) の場合には潜砂率が100% (24時間経過後) であり、生残率 (30日間経過後) も100%であった。

第二の問題である餌料の検討を行った結果、これまで広く用いられてきた培養藻類のほかに自然水域の底泥などにも餌料価値を見出した。既往の報告にある餌料は緑藻の Dunaliella euchlora (Winter 1973)、プラシノ藻の Tetraselmis suecica (Thompson et al., 1961、Schulte, 1975)、珪藻の Nitzschia closterium (Kuenzeler, 1961)、Phaeodactylum tricornutum など培養藻類が多い。しかしこれらの報告のなかで論議されているのは餌料と濾水率との関係に関するもので、餌料としての有効性については言及されていない。本実験中の観察によれば培養藻 Skeletonema costatum および Chlamydomonas TK株をウバガイやアサリの餌料として用いた場合、糞として排出された量は同程度であったにもかかわらず、前者の餌料効果は高く、後者のそれは低いことが認められた。すなわち濾水率だけでは真の餌料価値を評価することはできないことを示しており、生長試験は餌料価値の良否を判定するのに不可欠であると考えられる。

Skeletonema costatum はここで用いた二枚貝全てに対して優れた餌料効果を示したが、他に鯉池底泥や自然水域の底泥も超音波処理を行うことにより有効餌料として利用できる。鯉池底泥中に大量に含まれている塊状の付着珪藻 (Naviculla spp.) を分離するため、また自然水域の底泥中の珪藻やべん毛藻などを懸濁状態にするために利用した。福庭 (1988) は二枚貝の摂餌行動を観察し、アサリ、ウバガイ、ヒメバカガイ、ビノスガイなどは水管を水中に伸ばし、水中の懸濁物を摂食していること、シラトリガイ、イソシジミは水管を

用いて砂上の物質を能動的に摂食しており、懸濁物者と堆積物食者とでは摂餌行動に大きな差異が認められることを指摘している。したがって懸濁物食者であるヤマトシジミやアサリの餌料として、鯉池底泥の付着藻類や自然水域底泥を用いるためには超音波処理が不可欠であると考えられる。

自然水域の底泥を培養餌料に添加することにより濾水率が高くなり適当な量（5mg/l）以上では擬糞が多くなるという報告（Kiorboe *et al.*, 1981、Bricelj *et al.*, 1984）がある。しかしヤマトシジミ、アサリについてみると餌料効果が高い自然水域の底泥（蒲生干潟、井戸浦）を餌料として用いた場合には擬糞は少ないのに対し、餌料効果が低い貞山堀底泥、仙台新港底泥の場合には擬糞が殆どを占めていた。給餌量は同一条件であるから擬糞の排出は餌料の量的な問題ではなくむしろ摂食後に質的な分別をヤマトシジミやアサリが行っているのではないかと考えられる。

次に本研究で検討した飼育試験法を適用して得られた生長速度と自然水域における生長速度とを比較し考察する。

朝比奈（1941）によれば藻琴湖のヤマトシジミは夏に産卵し、沈着稚貝は年内に殻長7～11mmに生長する。仮に7月始めに産卵されて12月の始めに殻長7～11mmに生長したとすると、単純に計算された生長速度は46.3～73.3 $\mu\text{m}/\text{day}$ である。本実験で得られたヤマトシジミの生長速度（Skeletonema costatumを餌料として水温20℃で飼育）は110.7 $\mu\text{m}/\text{day}$ であり藻琴湖のそれらの2.4～1.5倍に相当する。

池末（1956）は有明海（佐賀県地先）のアサリは沈着後1ヶ月で0.33mm、4ヶ月後1mm、6ヶ月後10mm、1年後23mmに達することを報告している。4～6ヶ月までの生長速度は150 $\mu\text{m}/\text{day}$ となり、この値は本実験で得られた生長速度206 $\mu\text{m}/\text{day}$ （Skeletonema costatumを餌料として水温20℃で飼育）の約75%相当する。

表6. 飼育試験方法（まとめ）

飼育容器	ガラス水槽（3ℓ）* ビーカー（500ml）**
通気	有り（耐性試験）
換水	毎日（耐性試験・生長試験）
餌料	珪藻（ <u>Skeletonema costatum</u> ） 鯉池底泥 蒲生干潟底泥、井戸浦底泥
給餌回数	6回（COD 50ppm 餌料溶液） 1回 5ml）
稚貝サイズ	殻長 1～10mm
測定項目	生長速度（生長試験） 生残率（耐性試験） 潜砂率（潜砂試験） 潜砂所要時間（〃）

註：* 稚貝を20個体ずつ収容

** 稚貝を1個体ずつ収容、5～10ビーカーを1ブロックとする。

高丸（1981）によれば北海道別海町床丹地先のウバガイの稚貝は夏季～秋季の生長が最も速い時期の生長速度は約 $60\mu\text{m/day}$ である。本実験で得られた生長速度 $99\mu\text{m/day}$ （Skeletonema costatumを餌料として水温 20°C で飼育）は自然水域における生長速度の約1.5倍に相当する。

以上のことから本実験で確立した手法（表6に整理）は二枚貝類の環境要求を明らかにするための飼育試験法として、簡易な設備を用いながらも自然水域の生長より高い生長速度で示されるように、有効な手法であると考えられる。

第 II 章 ウバガイの環境要求について

まえがき

ウバガイ (Spisula sachalinensis) は別名ホッキガイともよばれ、北海道沿岸を主産地とする冷水性の大型二枚貝である。最近、試験的に種苗生産なども行われるようになり、その増産技術の確立が望まれている。

図 1 3 は、1957～1988年の農林統計を用いて作成したウバガイの生産量の経年変化を示している。生産量は年による変動が大きく、全国で3000～9000トンの中で変動を繰り返しているが、平均すると約7000トンの生産があげられている。かつてはこれらの殆どは北海道で生産されていたが、最近は北海道での生産が減少傾向にあり、福島県での生産の割合が増えてきている。

1988年でみると北海道で4272トンであり、福島県では 978トンで北海道の約23%にあたる。しかし福島県の場合をみると、過去(1957～1976年)と比べて近年の漁獲水準は高いものの1978年の1400トンのピークの後1982年に400 トンに落ち込み、その後1986年に再び1500トンのピークがみられるなど、数年周期の大きな資源変動を示している。なぜこのような資源変動がおきるのか、現在のところ明らかになっていない。漁場で起きている様々な現象について解明するためには現場における生態および環境特性を明らかにすることはもちろんのこと、様々な環境条件におかれた場合のウバガイの応答について詳細に観察してゆくことが重要であると考えられる。

そこでウバガイの好漁場といわれている福島県磯部、通称”磯部漁場”の環境特性を明らかにするとともに、第一章で確立した手法を適用し、ウバガイの環境要求を明らかにし、ウバガイ漁場の形成要因や望ましい漁場環境について考察することを目的として研究を進めた。

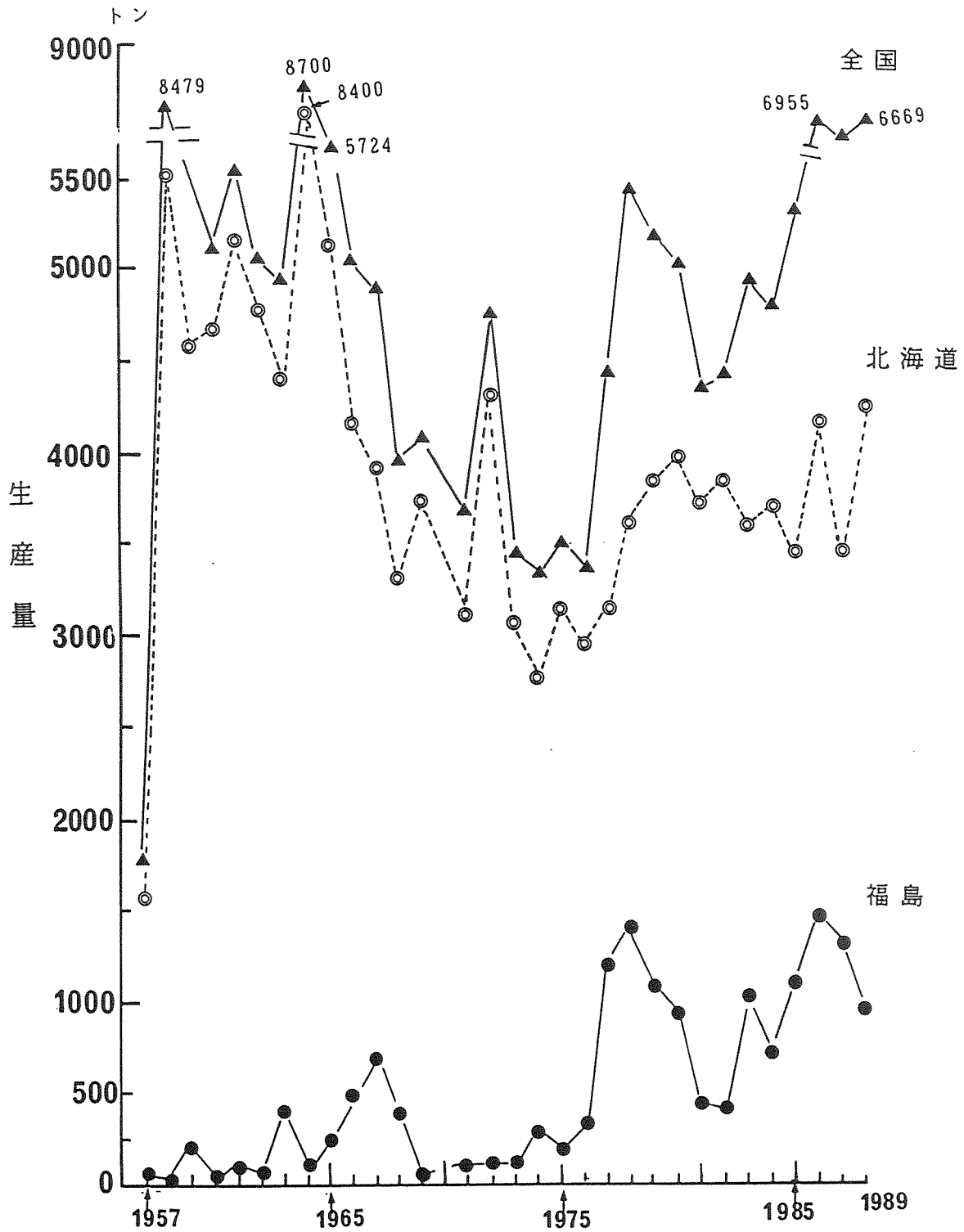


図 14 ウバガイの生産量の経年変動
(漁業養殖業生産統計年報より)

第1節 ウバガイの飼育試験による解析

1. 材料および方法

1-1 供試材料

材料として福島県水産種苗研究所（1986～1989年）、および宮城県栽培漁業センター（1989年）において人工採苗されたウバガイ、磯部漁場で採集（1988年）されたヒメバカガイの稚貝（殻長1～10mm）を用いた。

1-2 飼育試験方法

耐性試験・潜砂試験・生長試験は原則として第一章の方法にしたがって行われた。

A. 耐性試験

A-1. 水温

3ℓの円型ガラス水槽（水量；2ℓ、砂；深さ2cm）にウバガイ稚貝を20個体ずつ収容した。水温は5、15、20、25、28、および30℃の恒温条件になるように設定した。餌料溶液はコイ池底泥を10mlずつ、1日に6回与えた。換水は毎日行い通気を行いながら2ヶ月間試験を行った。この間、稚貝の潜砂状態、死亡に至るまでの行動を観察しながら、それぞれの条件下の生残率を求めた。

A-2. 塩分

飼育ならびに観察方法は温度耐性試験法と同様である。飼育水の塩分は、女川湾濾過海水と東北大学農学部構内の井戸水を用いて調製した。それぞれ海水濃度100%（Sal.32.3%）、海水濃度70%（Sal.22.6%）、海水濃度50%（Sal.15.5%）、海水濃度40%（Sal.12.8%）、海水濃度30%（Sal.9.5%）

になるように調製し、水温は18℃において試験した。

A-3 溶存酸素

1ℓ円型水槽（直径16cm）に、殻長5mm前後のウバガイを1057個体（5.26個/cm²）収容し、飼育水の溶存酸素量を経時的に測定し、また、その時に砂上に出ていたウバガイの個体数を記録し、砂上率を求めた。水温は18℃とした。溶存酸素量はウインクラー法により測定し、溶存酸素飽和度を求めた。

B. 潜砂試験

B-1 潜砂率の測定

分別した海砂を500mlビーカー（水量：400ml、砂：深さ2cm）に入れ、ウバガイ稚貝を20個体ずつ収容した。粒径63μm以下（シルト）、粒径63～250μm（微細砂～細砂）、粒径250～500μm（中砂）、粒径500～1000μm（粗砂）を用いて潜砂率を求めた。

B-2 潜砂所要時間の測定

B-1と同様の底質条件下でウバガイ稚貝の潜砂所要時間を測定した。

C. 生長試験

500mlビーカー（水量：400ml、砂：深さ2cm）にウバガイ稚貝を1個体ずつ収容し、餌料は鯉池底泥、または、珪藻のSkeletonema costatumを用いて飼育試験を行った。給餌量はCODが約50ppmになるよう調製した餌料溶液を1回5mlずつとして、回数は1日6回とした。同一環境条件における供試個体数は5～10個体とした。飼育期間は1～2ヶ月としこの間潜砂状態、摂餌状況などに留意しながら観察を行った。7～10日間隔で殻長を測定し、生長速度を求めた。この飼育方法を用いて後述するそれぞれの環境条件の下で生長試験を実施した。

C-1. 水温

水温はそれぞれ、5、10、15、18、20、23、25、28、および30℃に設定した。

C-2. 塩分

海水濃度100% (Sal.32.3%)、海水濃度70% (Sal.22.6%)、海水濃度50% (Sal.15.5%)、海水濃度40% (Sal.12.8%)、海水濃度30% (Sal.9.5%) になるように調製した飼育水を用いて、水温は20℃で試験を行った。

C-3. 底質

底質をシルト（粒径63 μ m以下）、微細砂～細砂粒径（63～250 μ m）、中砂（粒径250～500 μ m）、粗砂（粒径500～1000 μ m）の4段階に分けた。

水温20℃で試験を行った。

2. 結果および考察

2-1 水温の影響

図15には飼育水温とウバガイ稚貝の生残率の関係が示されている。15、および20℃の条件では、56日後の生残率は100%であったのに対し、5、および25℃の場合には、35日目に20個体中の1個体が死亡し、生残率は95%であった。28℃では14日目に1個体が死亡し、生残率が21日目には60%になり、32日目には全て死亡した。

30℃の場合はさらに、生残率は低く28日で全数死亡した。すなわち、ウバガイの高温に対する生存限界点は25～28℃の範囲にある。

図16には、餌料として鯉池底泥を与え、水温10、15、20、25℃において飼育したウバガイの生長が示されている。10℃ではウバガイの生長は非常に

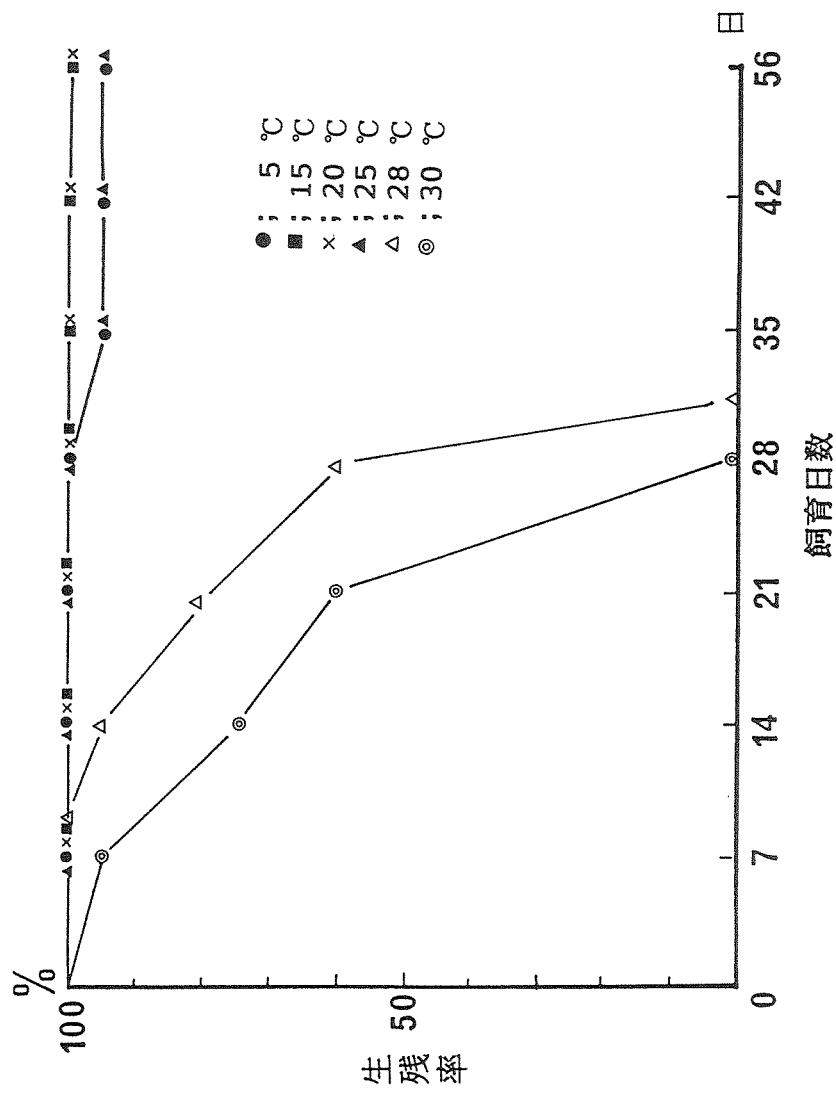


図 15 飼育水温とウバガイの生残率の関係
(餌料：鯉池底泥)

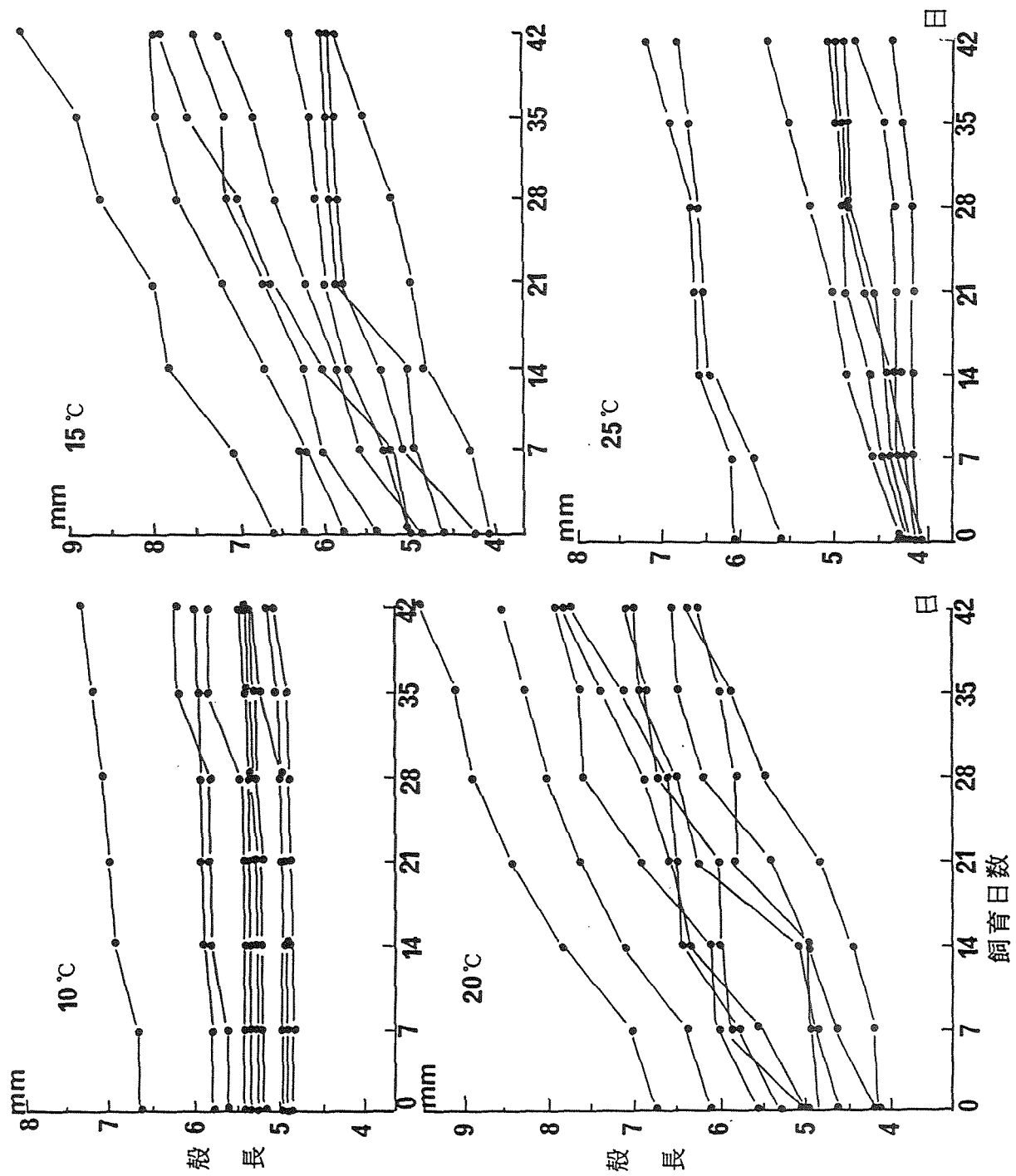


図 16 異なる温度条件下におけるウバガイの生長
(餌料：鯉池底泥)

緩やかであるが、15℃および20℃になると生長速度は増大し、42日間で約 2.5 mmの生長が認められた。25℃では、生長速度は緩慢になり、42日間で約1mmの生長が認められたに過ぎなかった。10℃条件下ではウバガイは活発に摂餌活動を行い、糞の排出量も多かったことから、この場合の生長量の低下は低温による吸収率の低下によるものと推測される。一方、25℃の高温条件下では摂餌行動も不活発で糞の量も少量であり、これは高温障害が現れているものと考えられた。

図17には飼育水温とウバガイの生長速度の関係が示されている。

Skeletonema costatumを餌料として与えた場合、20℃において最大の生長速度89.5 $\mu\text{m}/\text{day}$ が示され、次いで18℃における80.9 $\mu\text{m}/\text{day}$ で、20℃の場合の約90%に相当する。23℃の場合には51.2 $\mu\text{m}/\text{day}$ と生長速度が低下し25℃においてはさらに低下して35.3 $\mu\text{m}/\text{day}$ で20℃のときの1/2以下であった。すなわち23℃以上の高温条件はウバガイの生長にとって好ましくない条件である。前述の耐性試験の結果とあわせて考えてみると、ウバガイの生長にとって適当な条件は15～20℃の範囲にあり、23℃以上になると高温による障害がはじめ、28℃以上の高温条件のもとでは長期間の生存は不可能であると推測された。一方、15℃以下の低温域ではウバガイは積極的に摂餌を行っているが吸収率が低下したために生長速度が低下したのであろう。

図18には、飼育水温に対するヒメバカガイの生長速度の関係が示されている。ヒメバカガイは磯部漁場においてはウバガイとほぼ分布を同じくしていることが知られている(福島水試 1988)。ヒメバカガイの場合にも20℃条件が最大の生長速度を示し、ウバガイの場合と同様の傾向がみられた。

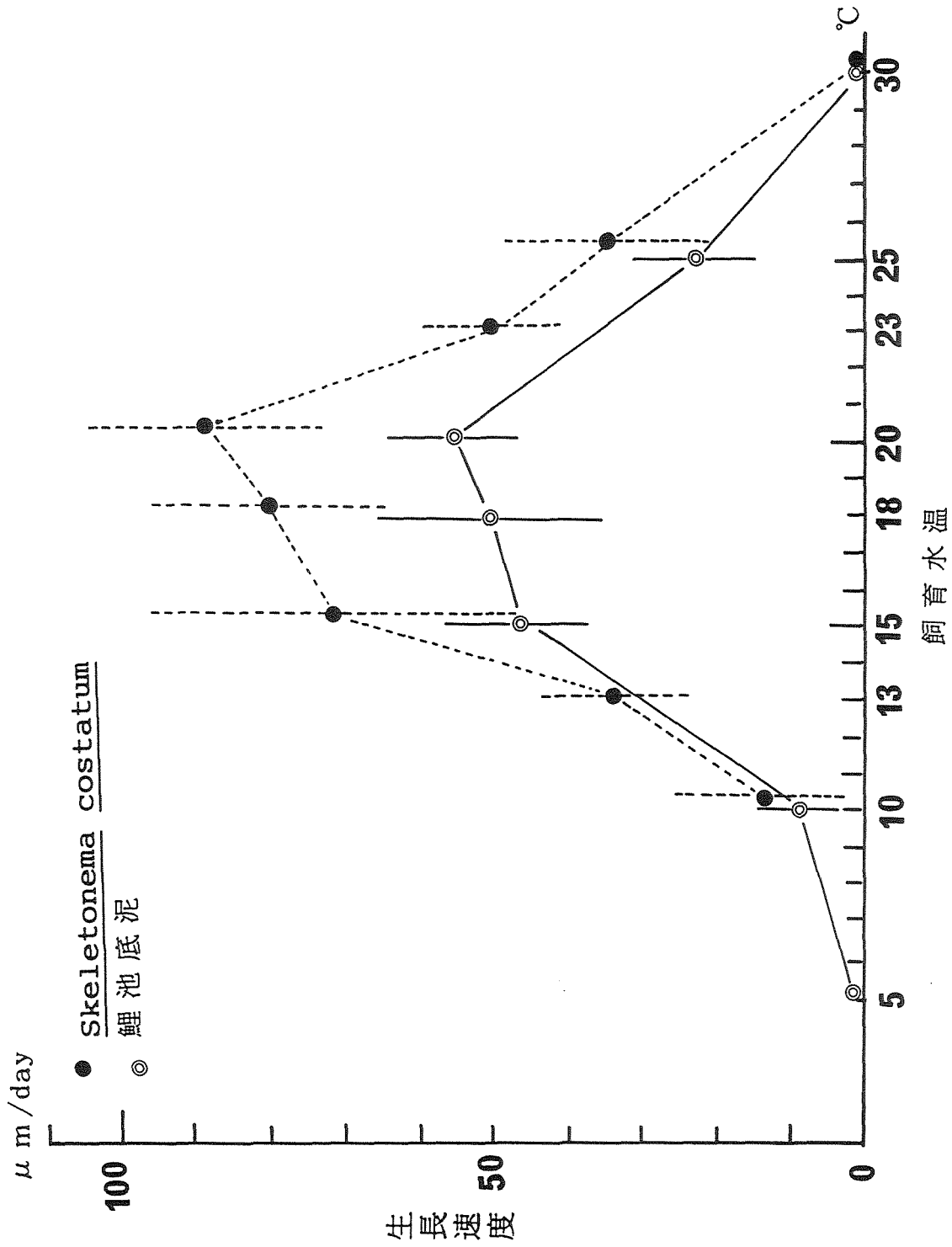


図 17 飼育水温に対するウバガイの生長速度の関係
(餌料 : *Skeletonema costatum*, 鯉池底泥)

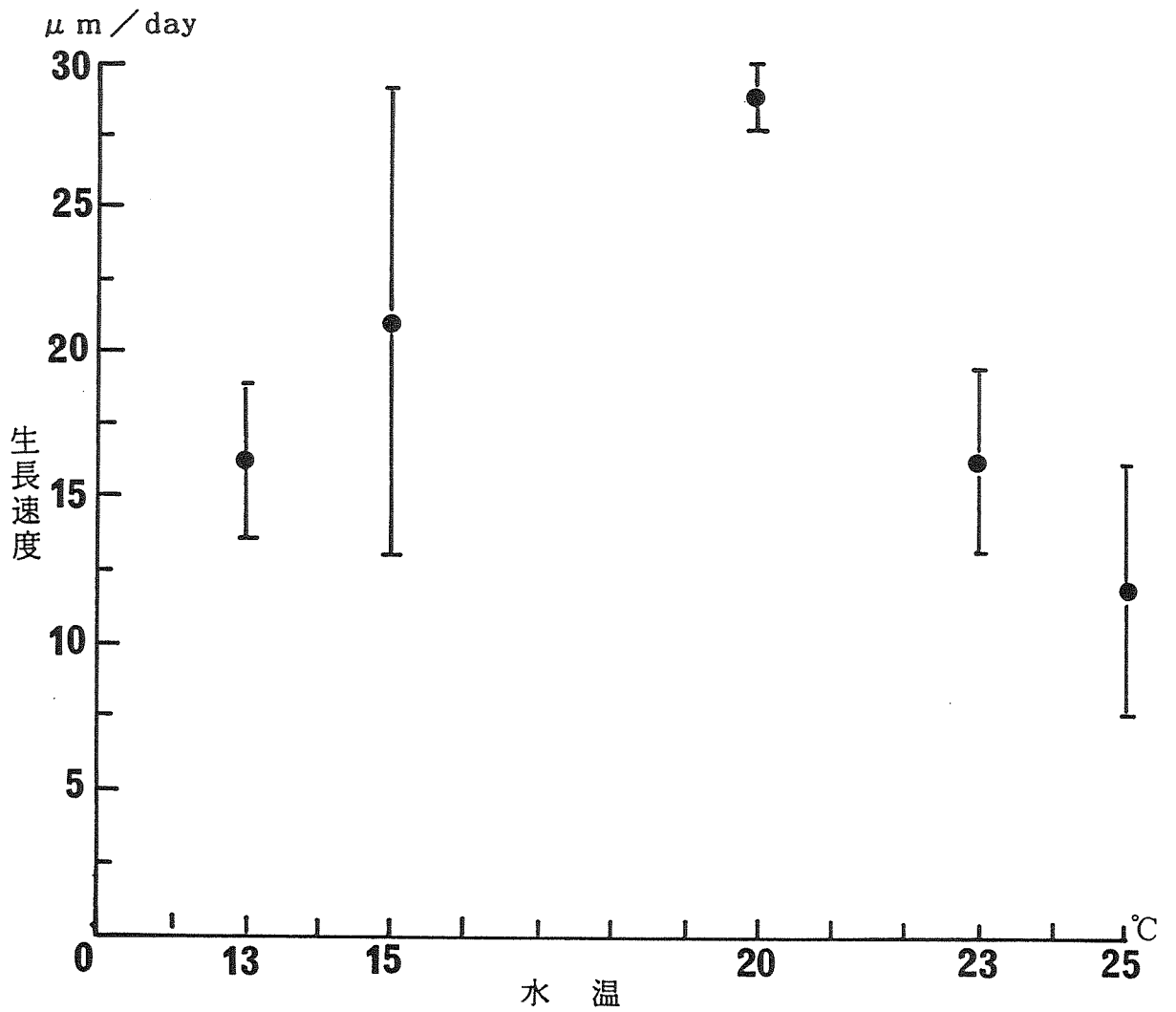


図 18 飼育水温に対するヒメバカガイの生長速度の関係
(餌料 ; Skeletonema costatum)

2-2. 塩分の影響

図19にはウバガイの潜砂行動におよぼす塩分の影響が示されている。試験開始10分後の潜砂率が海水濃度100% (Sal.32.3%) では60%、海水濃度70% (Sal.22.6%) では80% で、半数分以上の個体が潜砂を完了していた。海水濃度40% (Sal.12.8%) および海水濃度50% (Sal.15.5%) の潜砂率はそれぞれ、10、20%と低く、海水濃度30% (Sal.9.5%) においては潜砂個体は認められなかった。60分後になると海水濃度50% (Sal.15.5%) ~海水濃度100% (Sal.32.3%) においては潜砂率は100%に到達したが、海水濃度40% (Sal.12.8%) においては潜砂率が20%であった。24時間後には海水濃度40% (Sal.12.8%) において潜砂率が80%に達したが、海水濃度30% (Sal.9.5%) では、潜砂行動は全く認められず、この塩分が低塩分に対する限界濃度であろうと判断された。

図20には各々の塩分におけるウバガイの生残率が示されている。海水濃度50% (Sal.15.5%) ~海水濃度100% (Sal.32.3%) の塩分であれば1カ月間の生残率は100%であった。海水濃度40% (Sal.12.8%) の場合の生残率が6日目に80%、10日目に70%、20日目に60%に低下し、その後30日目まで60%であった。海水濃度30% (Sal.9.5%) の場合には3日後に全数死亡し先にのべた潜砂試験からの予測と一致した。

図21には、海水濃度50% (Sal.15.5%)、海水濃度70% (Sal.22.6%)、海水濃度100% (Sal.32.3%) の塩分条件下での、ウバガイの生長が示されている。海水濃度100% (Sal.32.3%) および海水濃度70% (Sal.22.6%) の場合には試験開始時に殻長が1~2mmであったウバガイは30日後3~6mmに生長したが、海水濃度50% (Sal.15.5%) の場合には生長は若干緩慢になった。

図22に異なる塩分に対するウバガイの生長速度の関係について示した。

初期殻長が1~2mmの場合では海水濃度40% (Sal.12.8%) においてウバガ

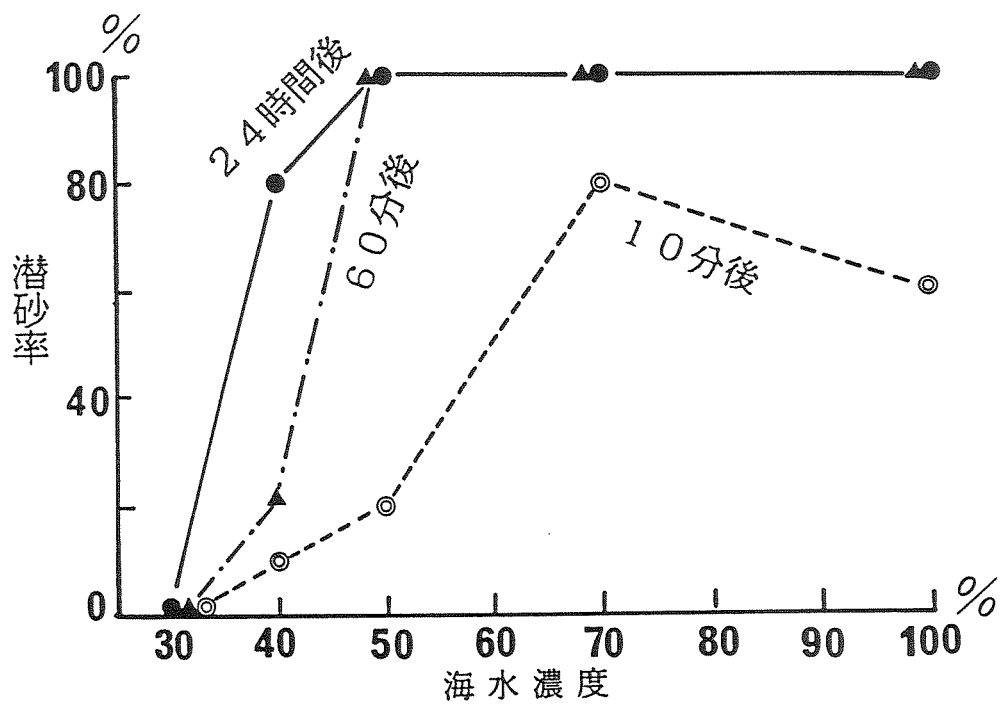


図 19 ウバガイの潜砂行動におよぼす塩分の影響

- 海水濃度 100% (Sal. 32.3%)
- 海水濃度 70% (Sal. 22.6%)
- 海水濃度 50% (Sal. 15.5%)
- 海水濃度 40% (Sal. 12.8%)
- 海水濃度 30% (Sal. 9.5%)

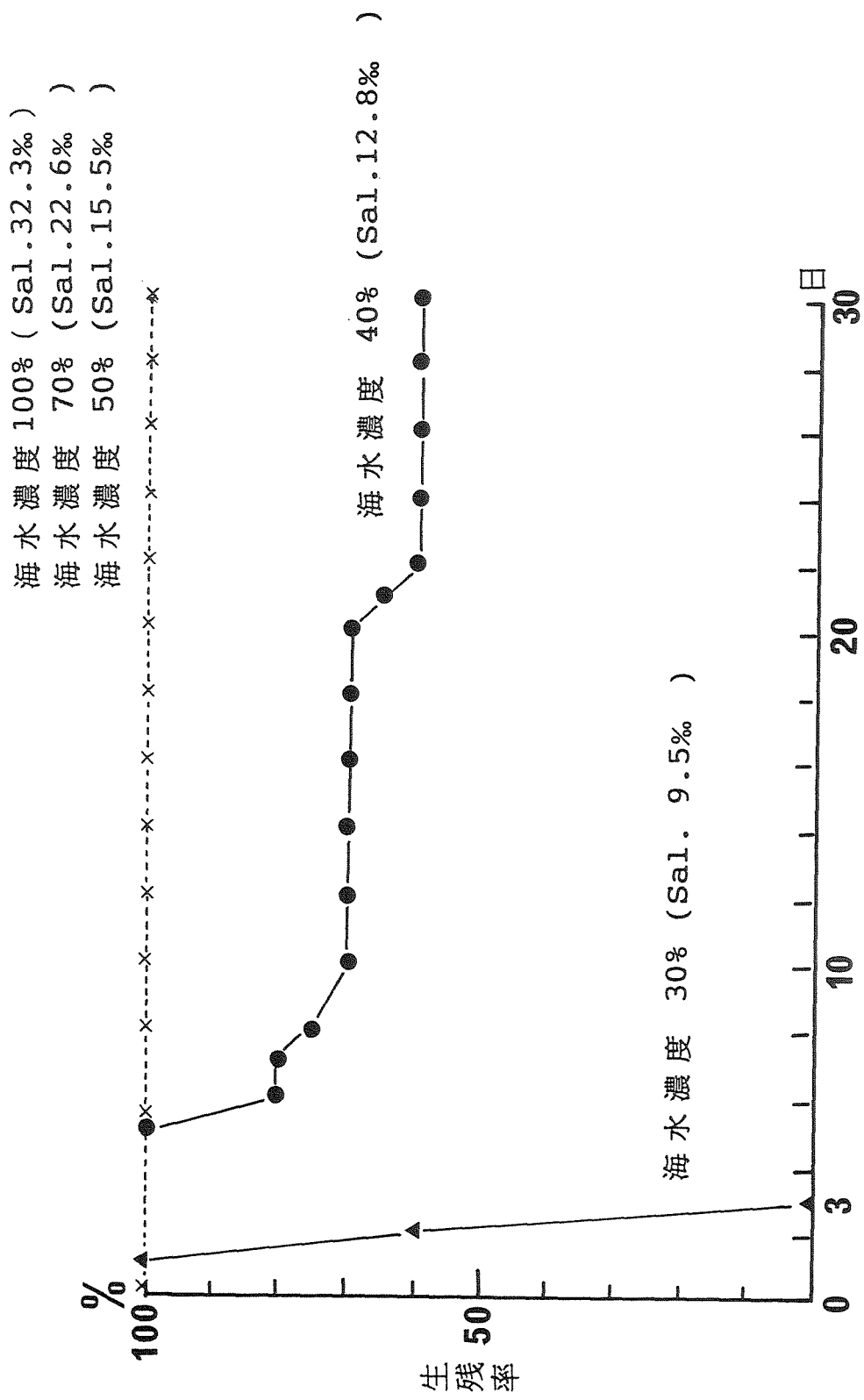


図 20 ウバガイの生存率におよぼす塩分の影響
(水温; 18°C、餌料; 鯉池底泥)

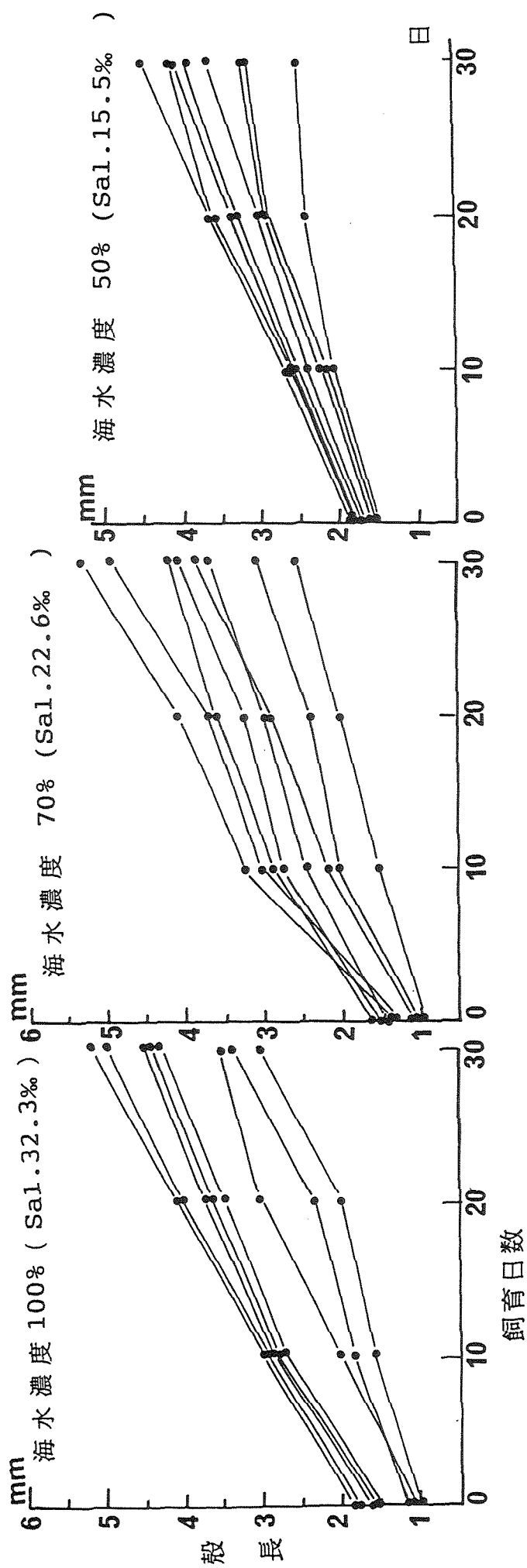


図 21 異なる塩分条件下におけるウバガイの生長
(水温 ; 20°C、餌料 ; Skeletonema costatum)

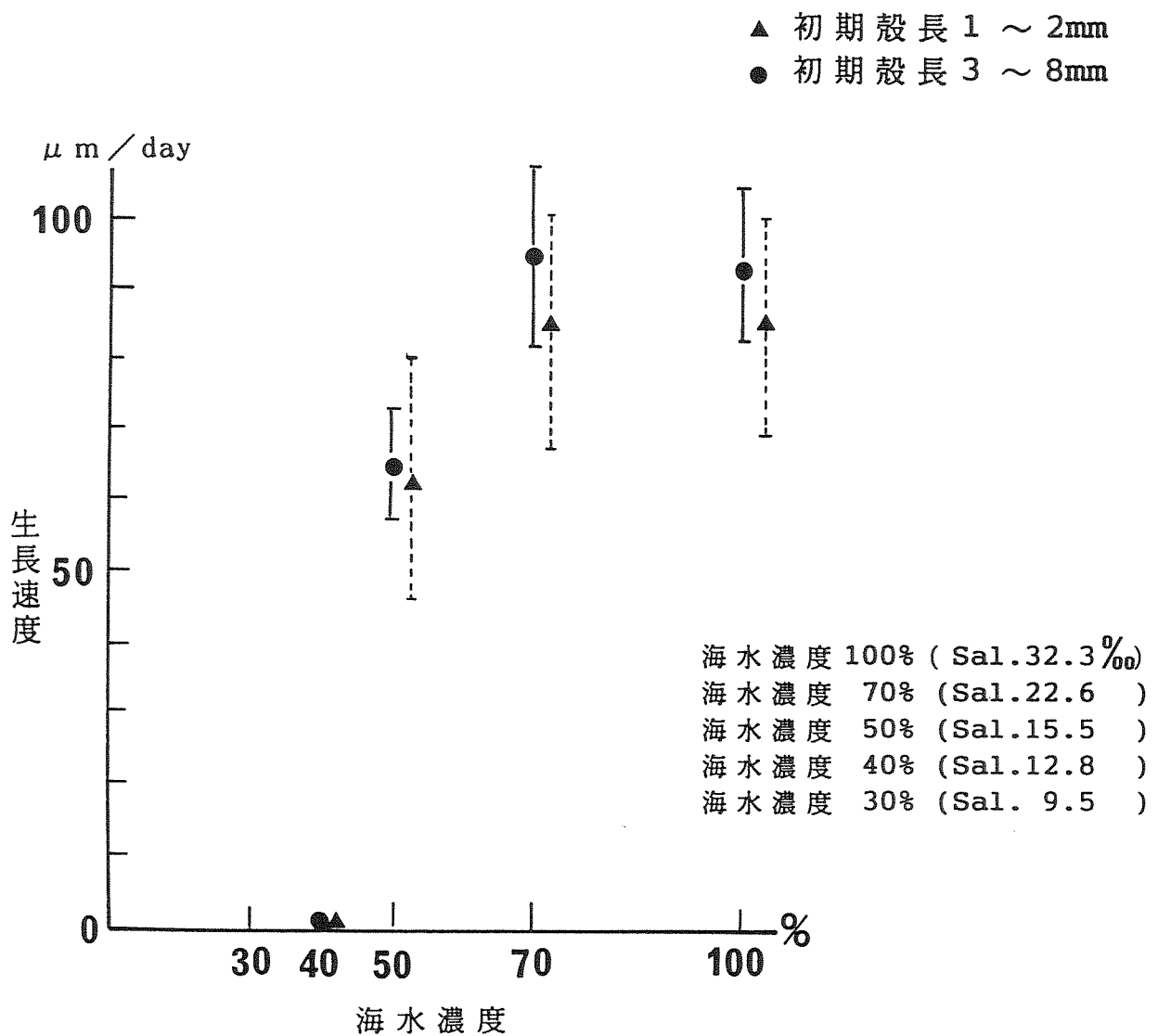


図 22

ウバガイの生長におよぼす塩分の影響
(水温 ; 20 °C、餌料 ; Skeletonema costatum)

イの生長は認められず、生長が認められるのは海水濃度 50% (Sal.15.5%) ~ 海水濃度100% (Sal.32.3%) の場合であった。海水濃度 50% (Sal.15.5%) における生長速度は、 $62.5 \mu\text{m}/\text{day}$ であり、海水濃度100% (Sal.32.3%) における生長速度は $85.0 \mu\text{m}/\text{day}$ の $3/4$ に相当する。海水濃度 70% (Sal.22.6%) の場合は $84.1 \mu\text{m}/\text{day}$ で、100%海水の場合とほぼ同じであった。初期殻長が3~8mm 場合にも同様の傾向がみられ、それぞれの条件下での生長速度も同程度であった。

以上のことから、ウバガイに及ぼす塩分の影響は次のようにまとめられる。ウバガイの低塩分に対する生存限界は海水濃度 40% (Sal.12.8%) であり、生長可能な塩分条件は海水濃度 50% (Sal.15.5%) 以上であり、生長にとって影響が全くない塩分は海水濃度 70% (Sal.22.6%) 以上である。

2-3. 底質の影響

図23には、異なる底質条件下におけるウバガイの潜砂率の経時的变化が示されている。微細砂~細砂(粒径 $63\sim 250 \mu\text{m}$)の場合の潜砂率は5分後に65%で半数分以上の個体が潜砂を完了していたのに対し、粗砂(粒径 $500\sim 1000 \mu\text{m}$)の場合には15%が潜砂していたに過ぎなかった。20分後には、微細砂~細砂での潜砂率は90%、中砂(粒径 $250\sim 500 \mu\text{m}$)で65%、粗砂の場合は20%であった。一時間後、粗砂での潜砂率が60%となり、半数以上の個体が潜砂を完了した。すなわちウバガイ稚貝は微細砂~細砂の場合にもっとも速く潜砂行動を開始し、砂の粒径が大きくなると、その開始時期が遅れてくる。稚貝のサイズを変えて繰り返し実験を行なったが、同様の結果が得られた。

人工のガラスビーズを用いた場合の潜砂率の変化をみると、粒径 $200\sim 290 \mu\text{m}$ の細かいビーズを用いた場合にも、半数以上の個体が潜砂完了したのは2

時間後である。900～1100 μ mのビーズでは、60分経過しても潜砂個体は認められなかった。3時間後の潜砂率が200～290 μ m、および490～700 μ mのビーズを用いた場合に、それぞれ、70および55%となり、半数以上の個体が潜砂したことになる。900～1100 μ mのビーズでは潜砂率は5%で、殆どの個体が潜砂せず、なかには跳躍している個体もみられた。これはウバガイが好ましい底質条件を積極的に求めている行動ではないかと考えられた。

図24には異なる底質に対する潜砂所要時間の関係が示されている。粒径63～250 μ mの微細砂～細砂の場合には平均所要時間17.8秒であったが、粒径250～500 μ mの中砂では37.6秒と2倍の時間を要している。粒径500～1000 μ mの粗砂の場合には、おおよそ4倍の75.8秒である。63 μ m以下のシルトでは78.4秒で、粗砂の場合とほぼ同じ値であった。

ヒメバカガイの潜砂所要時間についても同様の傾向が認められた。共通していえることは、細砂条件の方が短時間のうちに潜砂を完了するということである。

先の潜砂率との関係も考え合せると、シルトを含まない細砂は、ウバガイにとって最適な底質条件であることが示された。

図25には底質条件とウバガイの生残率の関係が示されている。シルト100%の条件では、3日目に20個体中2個体が死亡し、生残率は6日目には70%に、12日目には60%に低下し、その後30日目まで変化が認められなかった。砂が無い条件つまりガラスの底面におかれた状態で飼育された場合には、14日目に1個体が死亡し、生残率は5日目に85%に、18日目に70%に低下した。砂を用いた場合の生残率は100%であった。すなわち、ウバガイにとっては砂に潜っている状態が安定しているのであって、シルトや砂が無い条件においては生存出来なくなる。

図26には生長におよぼす底質の影響が示されている。微細砂～細砂、中

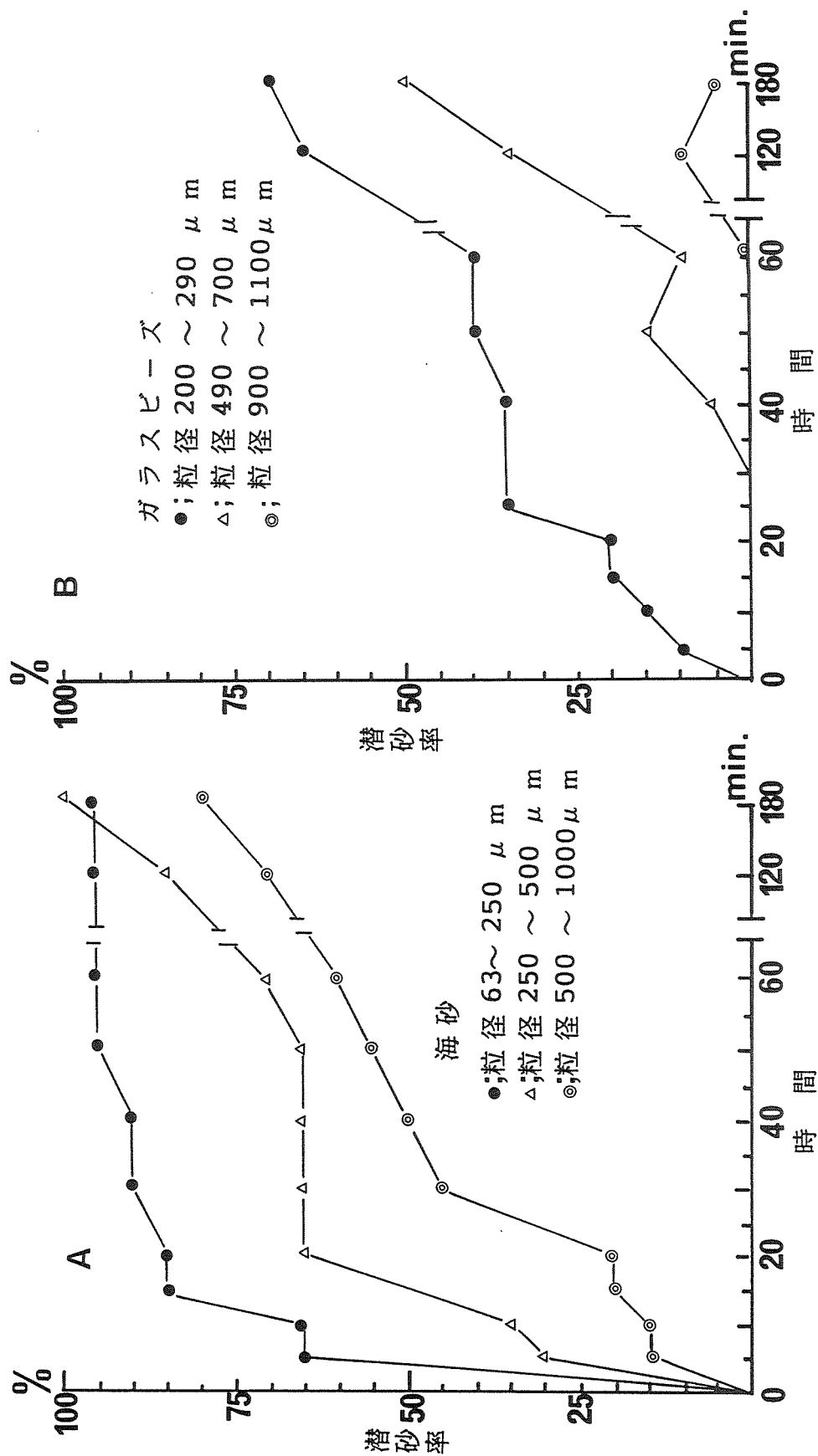


図 23. 異なる底質条件 (海砂; A、ガラスビーズ; B) におけるウバガイの潜砂率の変化

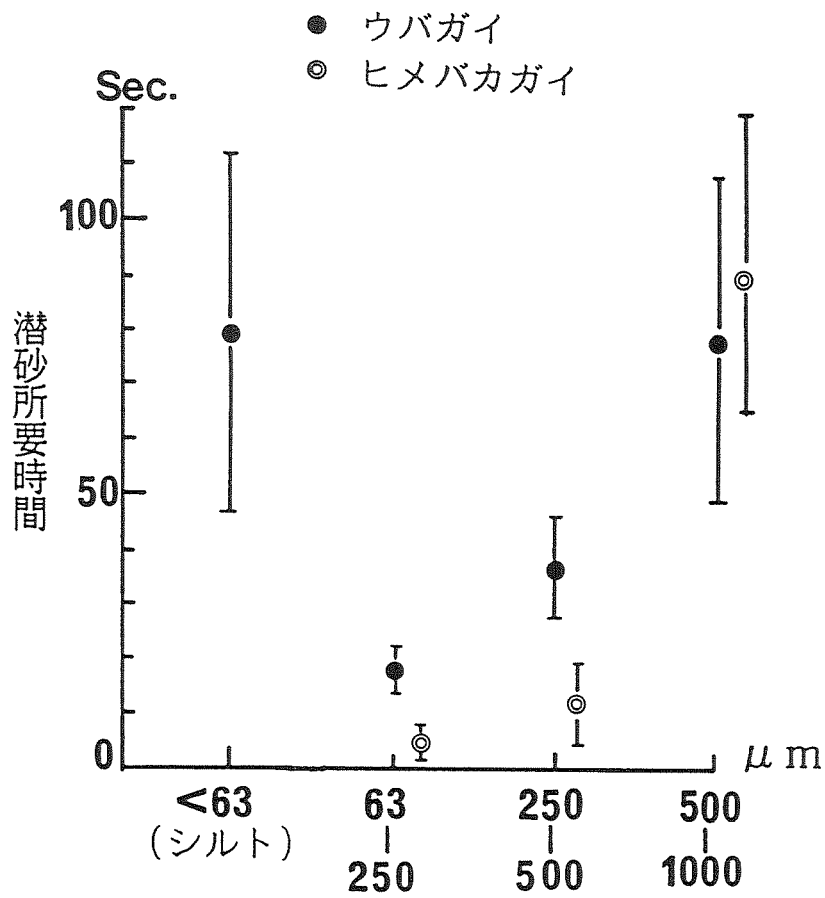


図 24 砂 の 粒 径
砂の粒径に対する潜砂所要時間の関係

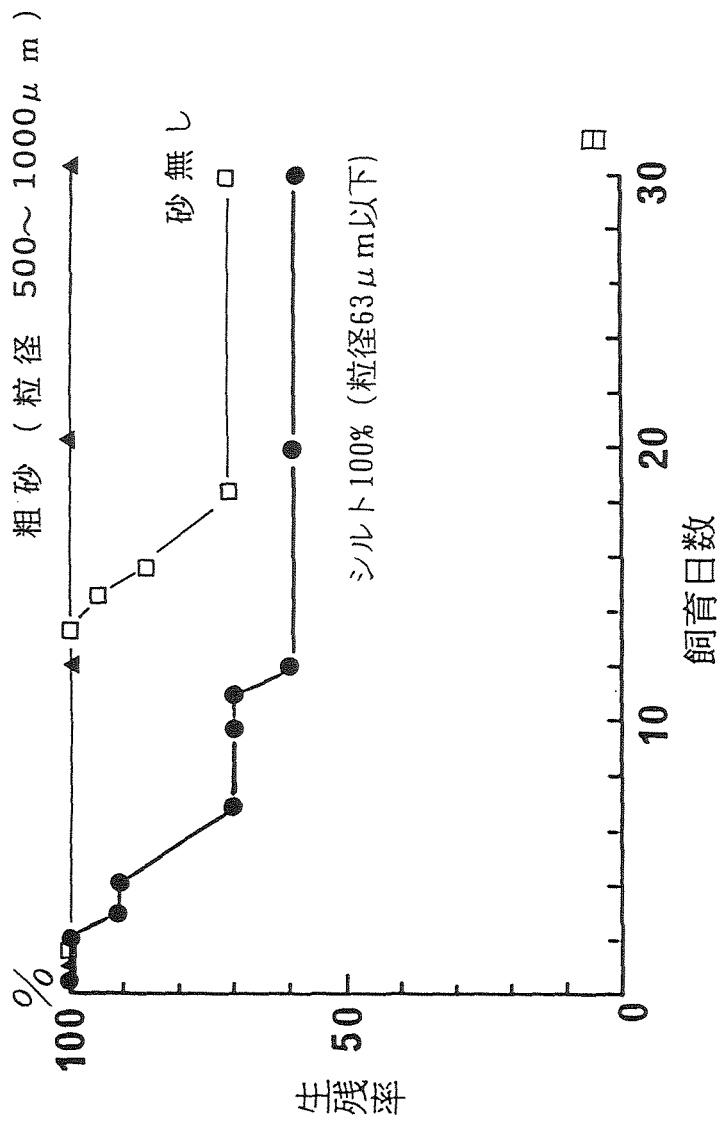


図 25 ウバガイの生存率におよぼす底質の影響
(水温: 18°C、餌料: Skeletonema costatum)

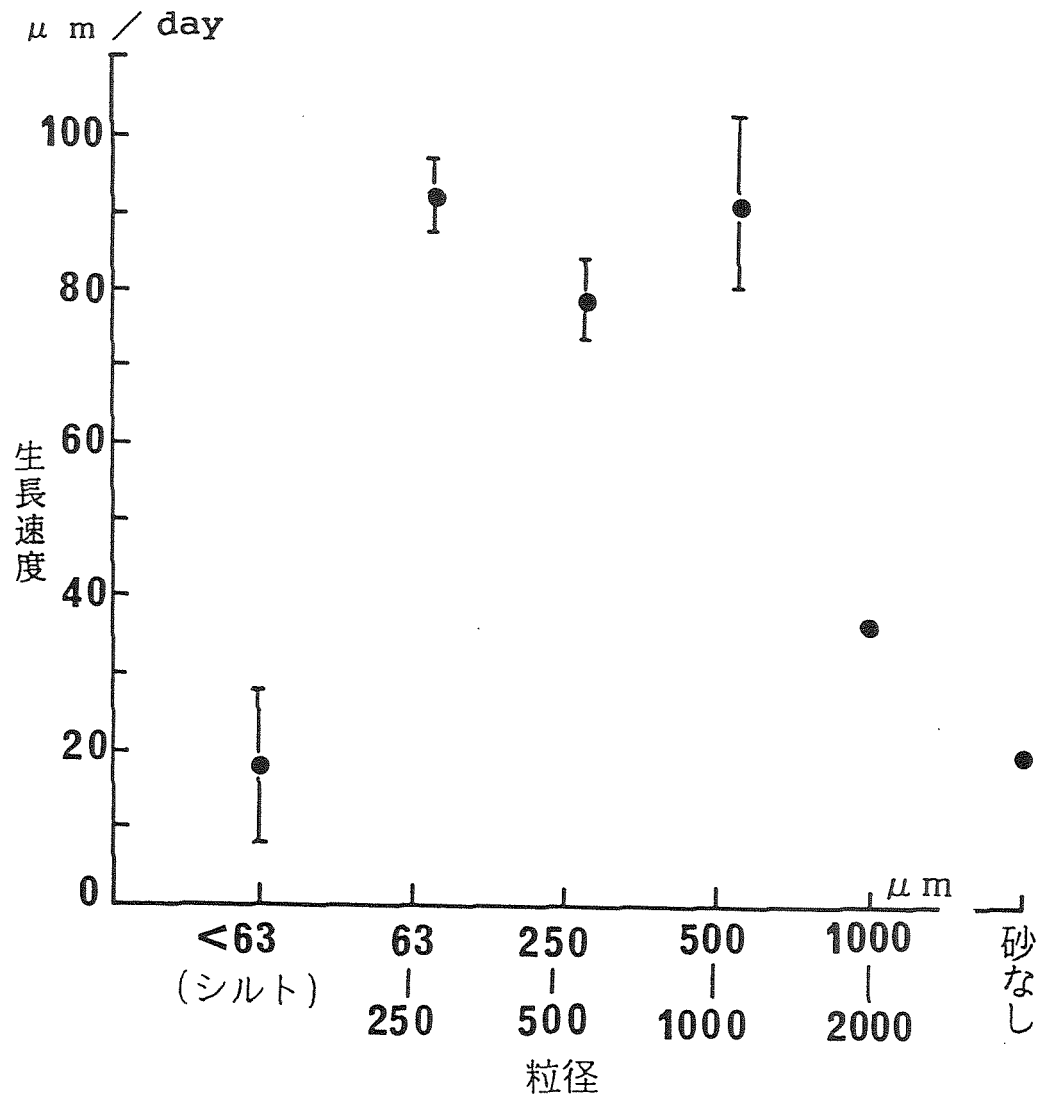


図 26 ウバガイの生長におよぼす底質の影響
 (水温 ; 20°C、餌料 ; Skeletonema costatum)

砂、粗砂における生長速度は $80\sim 90\mu\text{m}/\text{day}$ の範囲にあつた。一方、シルトの場合には、 $17.5\mu\text{m}/\text{day}$ と生長速度は著しく低下した。極粗砂（粒径 $1000\sim 2000\mu\text{m}$ ）の場合および砂無しの条件における生長速度は微細砂～細砂の場合の $1/3$ に低下した。

これまでの結果をまとめるとウバガイにとって底質の条件は大変重要な環境因子であることが示され、安定した状態で生存できるためには、細砂質が好ましく、シルトや極粗砂のような極端な底質生長速度が著しく低下し、なかには死亡する個体があることが分つた。

2-4. 溶存酸素飽和度の影響

図27には溶存酸素飽和度とウバガイの砂上率の関係が示されている。

ここではウバガイを高密度（ $5.26\text{個}/\text{cm}^2$ ）に飼育して、酸素飽和度の変化と砂上に出てきた個体数との関係を求めた。酸素飽和度76%では、砂上率（砂上にある個体の割合）は5%であるが、酸素飽和度40%では砂上率は15%に、酸素飽和度30%の場合には砂上率は70%を示した。このことから、酸素飽和度が40%以上であることが、ウバガイの正常な生活にとっての必要条件であると推察された。

第2節 磯部ウバガイ漁場の環境特性

1. 材料および方法

1-1 調査海域および調査期間

ウバガイの漁場として福島県相馬市磯部地区地先の磯部漁場をえらび環境調査を行なった。調査海域の概要を図28に示した。磯部漁場は、鶴ノ尾岬および茶屋ヶ岬からそれぞれ沖合に向かって張り出す岩礁帯（根）によって挟

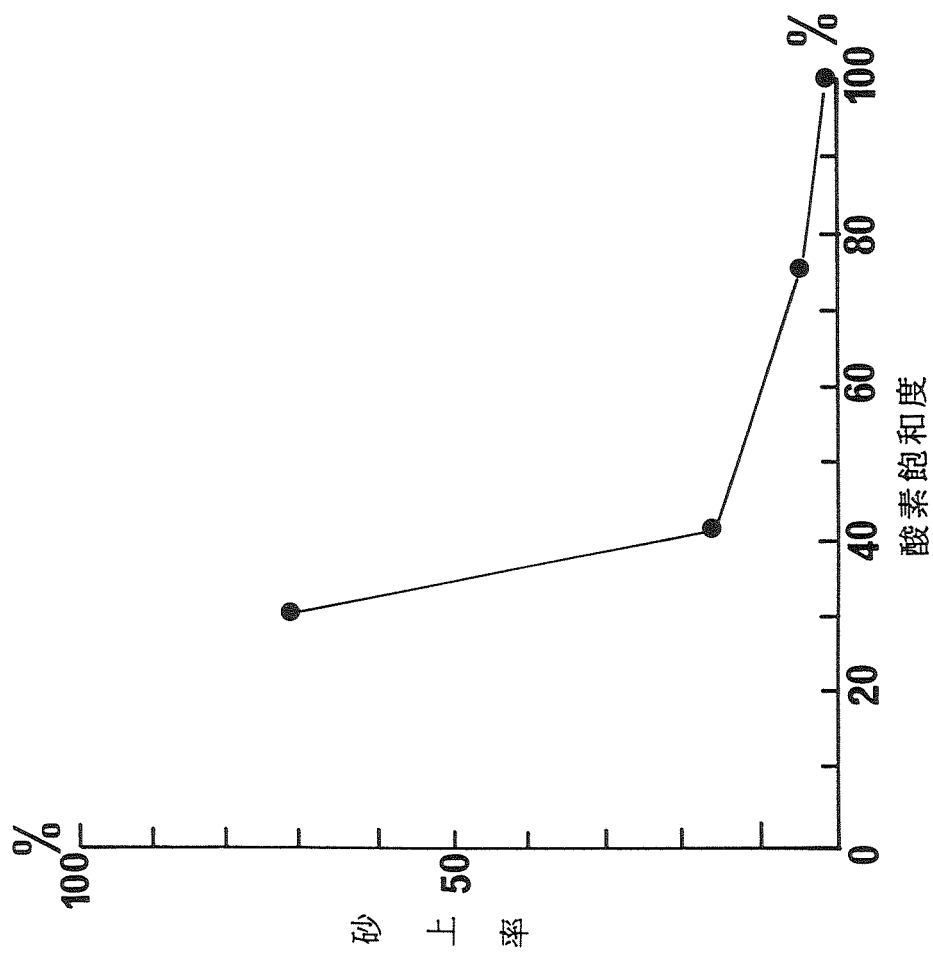


図 27 ウバガイの飼育水の溶存酸素飽和度に対する砂上率の関係 (水温 ; 18°C)

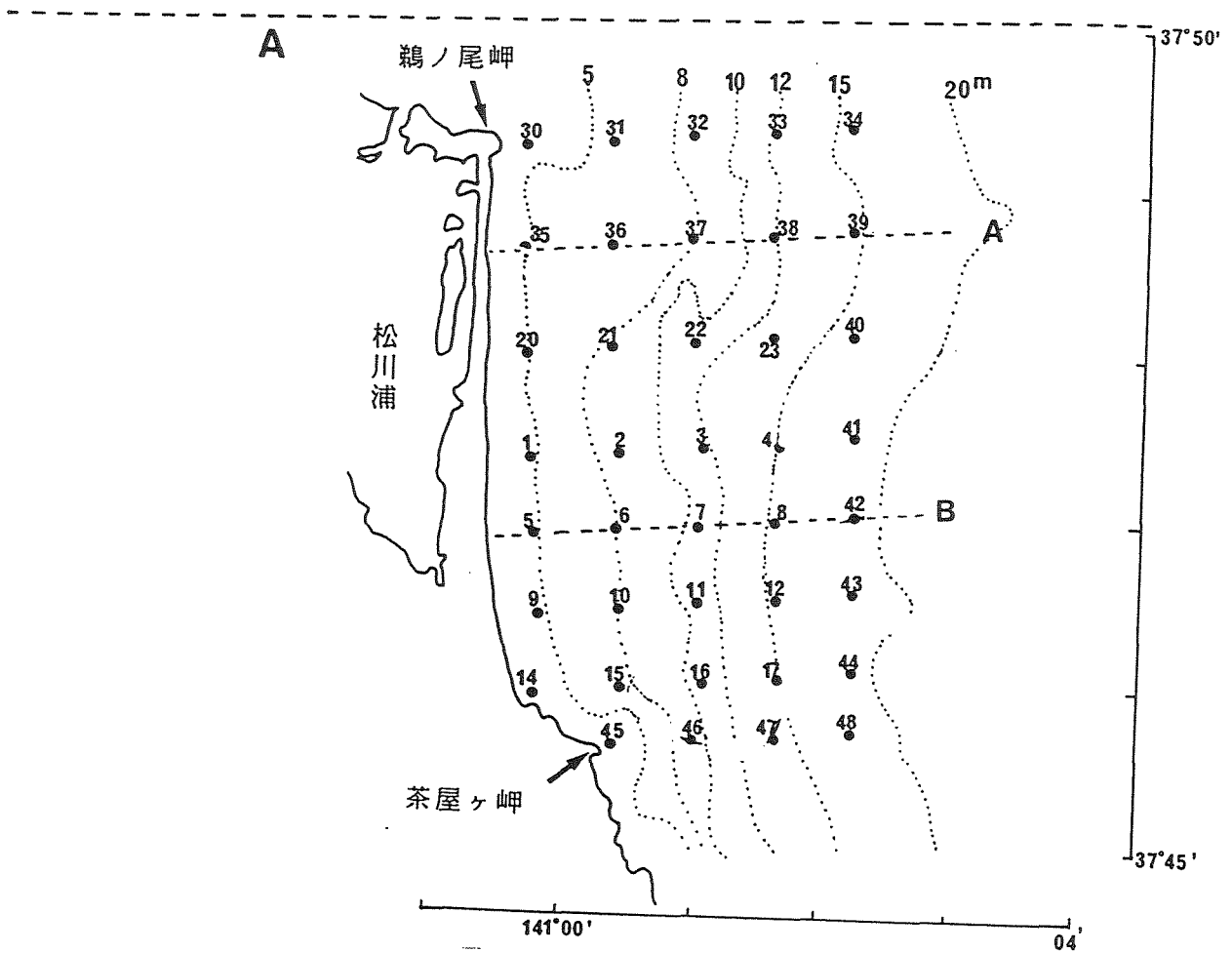
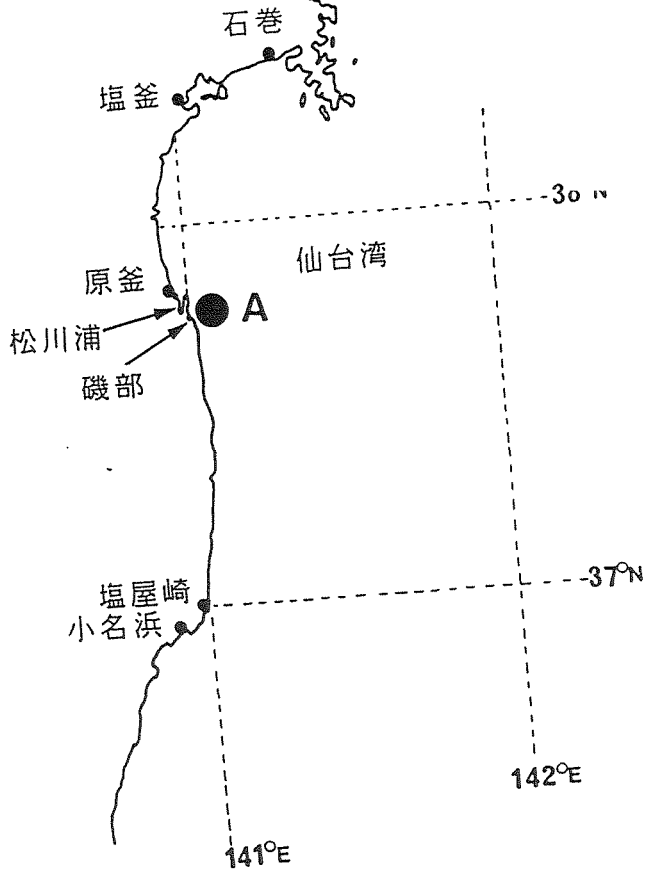


図 28 磯部ウバガイ漁場における調査地点

(図中の番号は1986年の調査地点番号 (St.No) を、

図中の破線 A、B は、1988年の調査における定線を示す。)

まれた南北約 6Kmの海岸線に沿って形成されている。漁場は水深 4～5mの碎波帯から水深12～15m（距岸 約 2.5km）までの範囲である。調査は、1986年～1989年の4年間行われた。

1-2 調査項目および分析方法

採水はバンドン採水器を用いて表面から原則として5m間隔で行った。水温の測定はサーミスターを用いて表面から、3～5m間隔で行った。調査項目は水質環境としてpH、塩分、クロロフィル a 濃度、底質環境として底泥の粒度組成、pH、酸化還元電位、COD、クロロフィル a 濃度の8項目とした。

塩分はサリノメーター、pHは pHメーター、底泥の酸化還元電位は酸化還元電位計を用いて測定した。クロロフィル a は吸光法で分析した。底泥のCODは次のようにして測定した。底泥（湿重量50g）を濾過海水1000mlの中に入れ、超音波処理5分後の懸濁液のCODを測定した。測定は100℃、過マンガン酸カリ法（酸性法）で行なった。底泥のクロロフィル a は前述の方法で得た懸濁液を吸光法で分析した。

2. 結果

2-1. 水質環境の特性

図29には、1986年4月29日の表面水温（A）と表面水の塩分（B）の水平分布が示されている。水温の変化は小さく、10.5～11.0℃であった。塩分の分布をみると30%以下の低塩分水の流入が漁場全体に及んでいたことが分かる。漁場の中心域から見て北東の方向が低く、南のほうが、ややそれよりは、高い値を示していた。鉛直分布（図30）をみると、水深10m付近は塩分30～32%であり、低塩分水は表層を流れているものと考えられた。

このような低塩分水の流入現象は常時存在しているものではなく、図31-Aにみられるように、同年5月11日の場合は32%以上の塩分で、淡水が多量

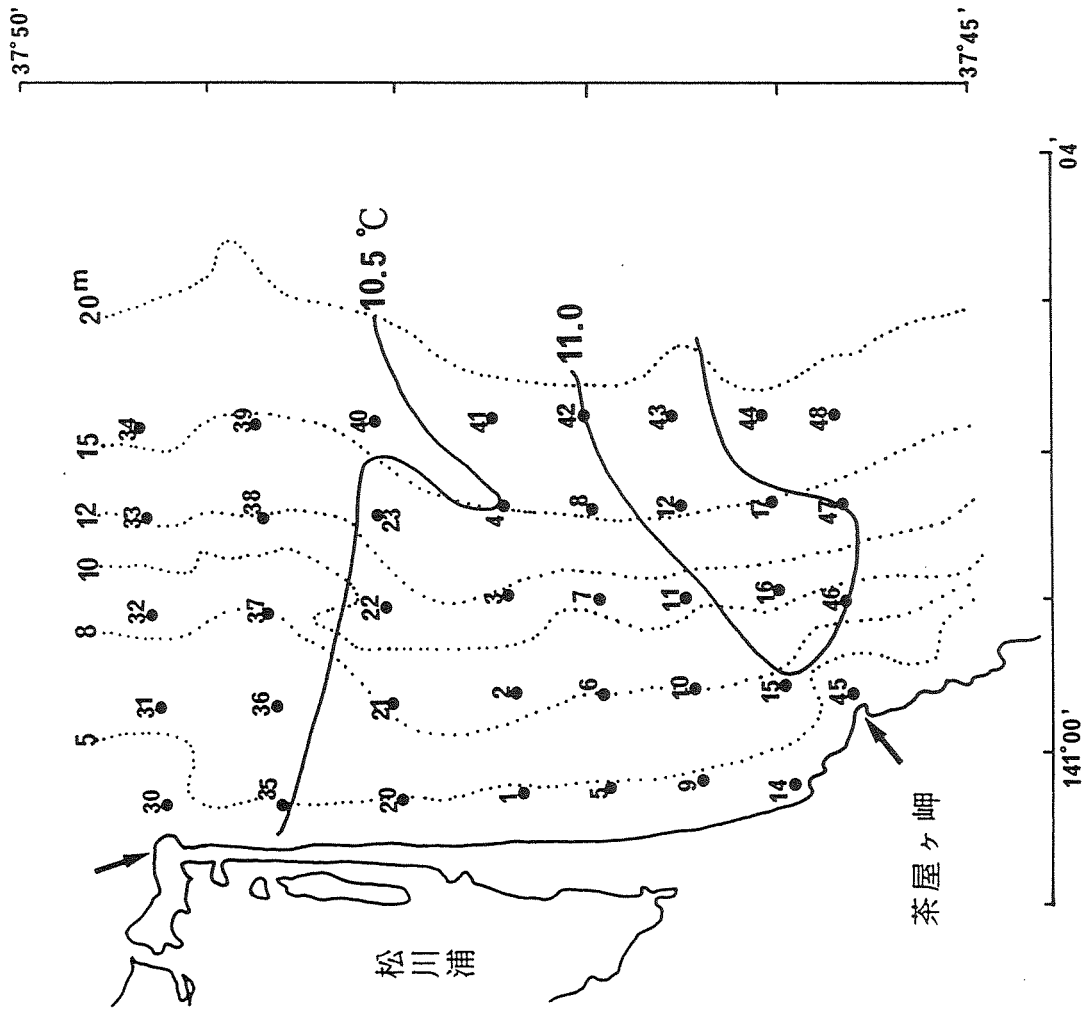


図 29-A 磯部ウバガイ漁場における表面水温の水平分布
 (図中の番号は調査地点 (St.No) を示す)

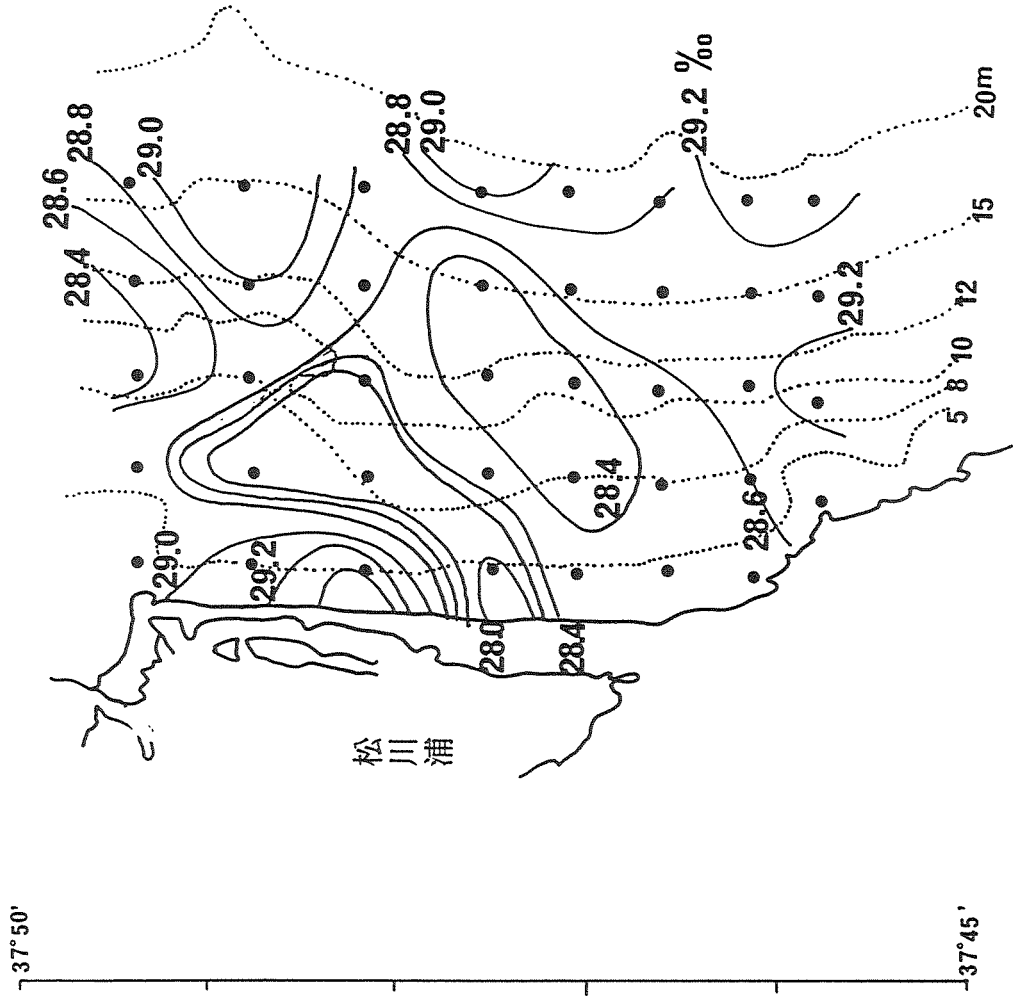


図 29-B
 磯部ウバガイ漁場における塩分の水平分布 (1986年 4月 29日)

に流入していたとは、考えられない。

翌々月の7月5日には、再び低塩分水の流入が認められた（図31-B）。4月と同様に塩分は漁場の中心の北東域で低く、南西域で高かった。このような低塩分水がどこから来るのかは分かってはいないが、多量の河川水の流入によるものであろうと予測される。相馬沿岸に注ぐ大きな河川としては阿武隈川があり、現在ではそれが起源である可能性が高いと考えている。

磯部ウバガイ漁場には低塩分水の流入がみられるということが分かったが、季節的な変化をみるために1988年7月～12月の原則として毎月、図28に示した2本の定線において環境調査を行った。

図32は、水温の変化を示している。表面では7月9日に19℃の水温が9月3日には25℃に上昇し、海底近くで23～25℃の高温域が認められたが、10月8日には20℃、12月13日には10℃に低下した。

先に述べたウバガイの飼育試験結果によれば、9月の高水温は生長にとっては好ましくない条件であった。

図33には漁場における塩分の鉛直分布の変化が示されている。30%以下の低塩分水が9月3日に認められた。漁場の中心域であるSt.36、St.37やSt.6、St.7では海底近くまで24%の低塩分水が入り込んでいた。この濃度は約海水濃度70%（Sal.22.6%）に相当する。飼育試験の結果によれば海水濃度70%（Sal.22.6%）における潜砂行動、ならびに生長は海水濃度100%（Sal.32.3%）の場合と大差はないことが分っている。したがって、磯部漁場に流入している低塩分水がウバガイに悪影響を及ぼしていることはない。

図34にはクロロフィルa濃度の変化が示されている。

7月には表層水のクロロフィルaが多く10μg/ℓ以上の高濃度で、海底近くは3～5μg/ℓであった。9月には漁場中心域の底面近くのクロロフィルa濃度が高く、定線Aでは10～15μg/ℓであった。10、11、12月になる

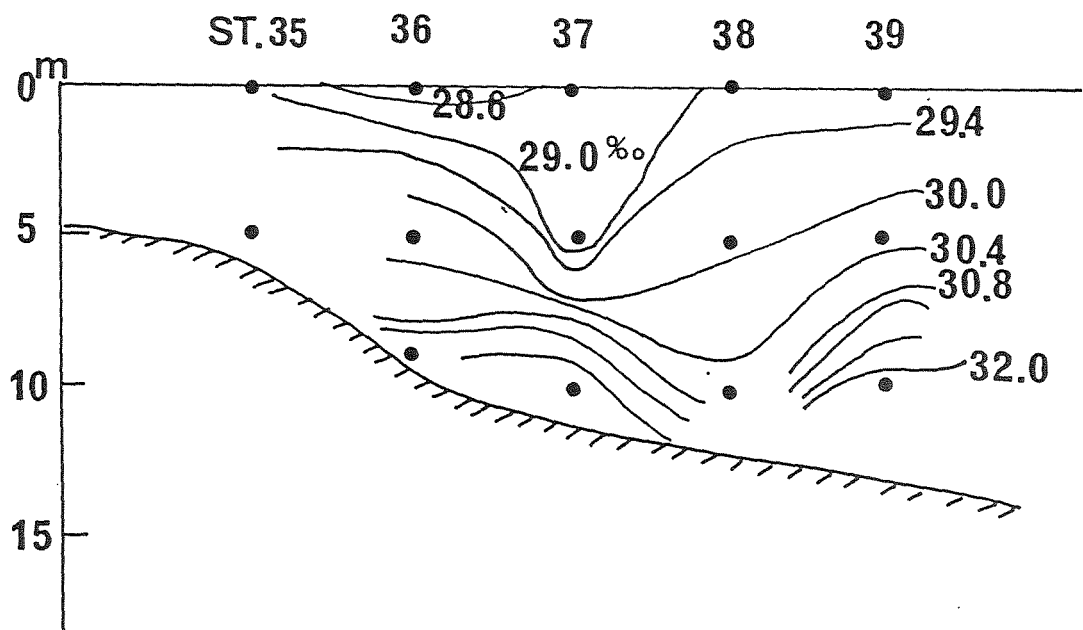
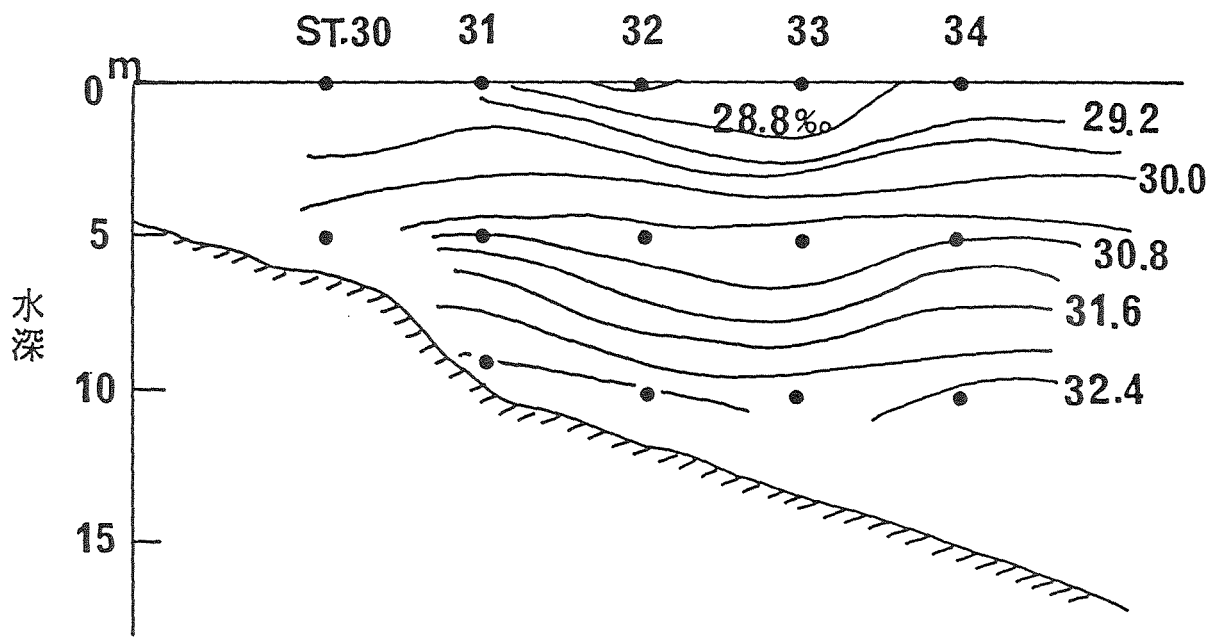


図 30 磯部ウバガイ漁場における塩分の鉛直分布 (1986年4月29日)

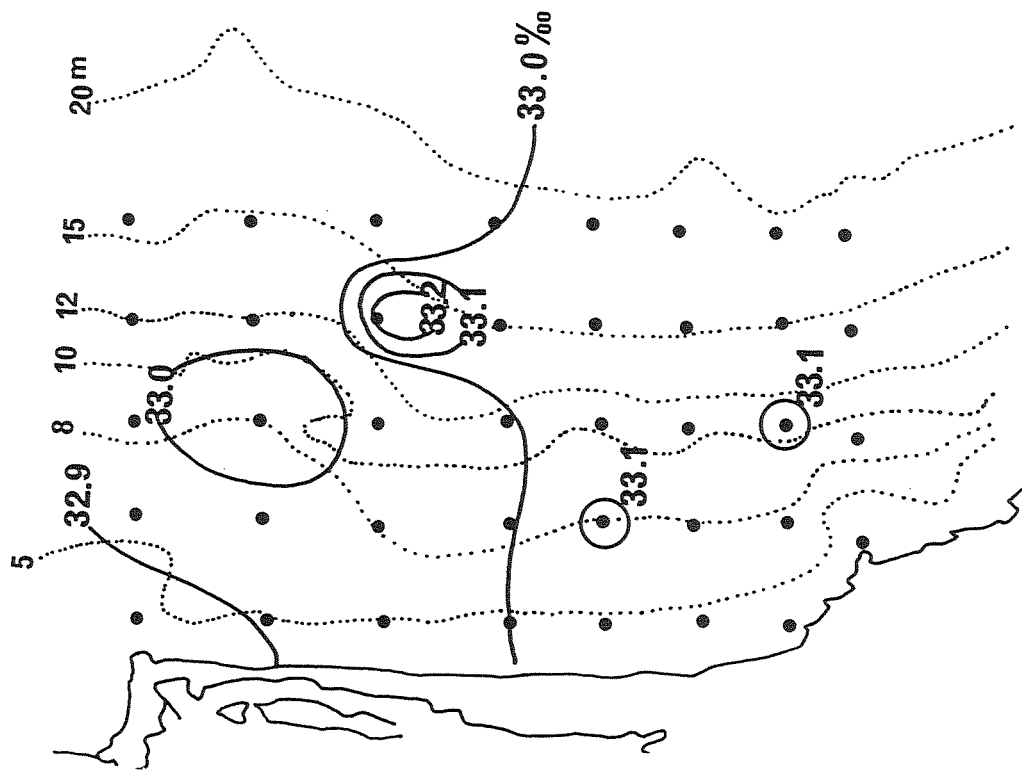


図 31-A

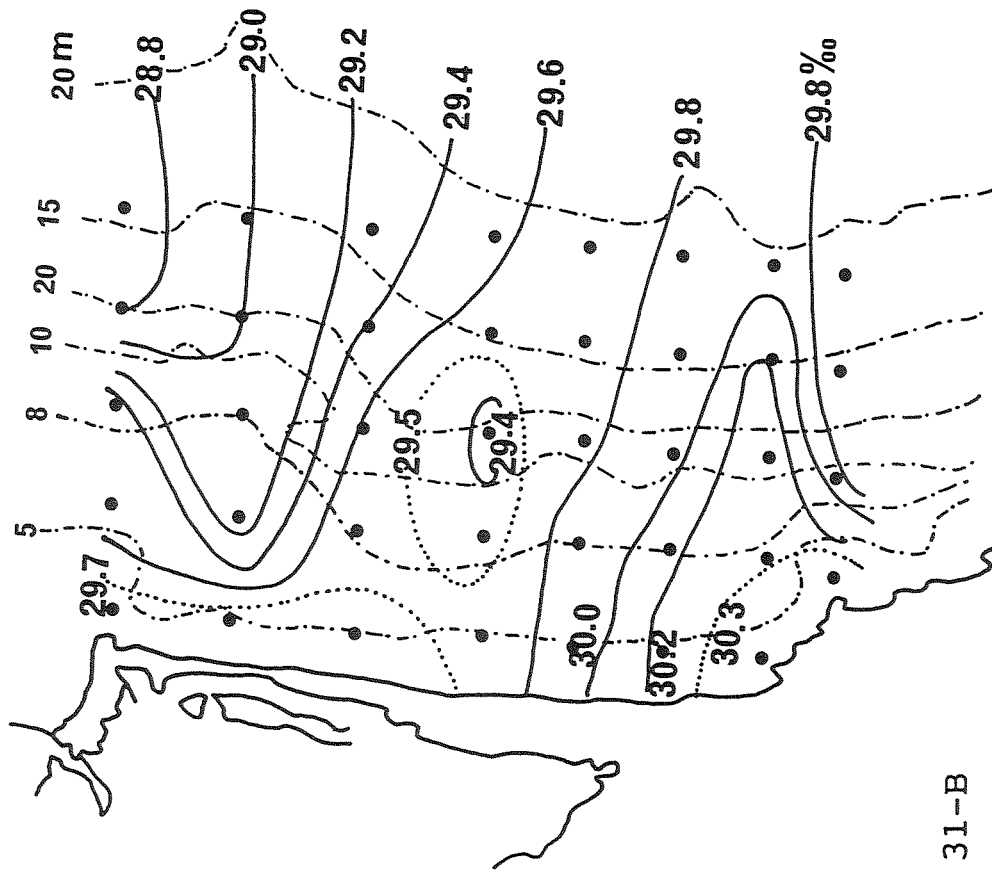


図 31-B

磯部ウバガイ漁場における塩分の水平分布 (1986年5月11日) 磯部ウバガイ漁場における塩分の水平分布 (1986年7月5日)

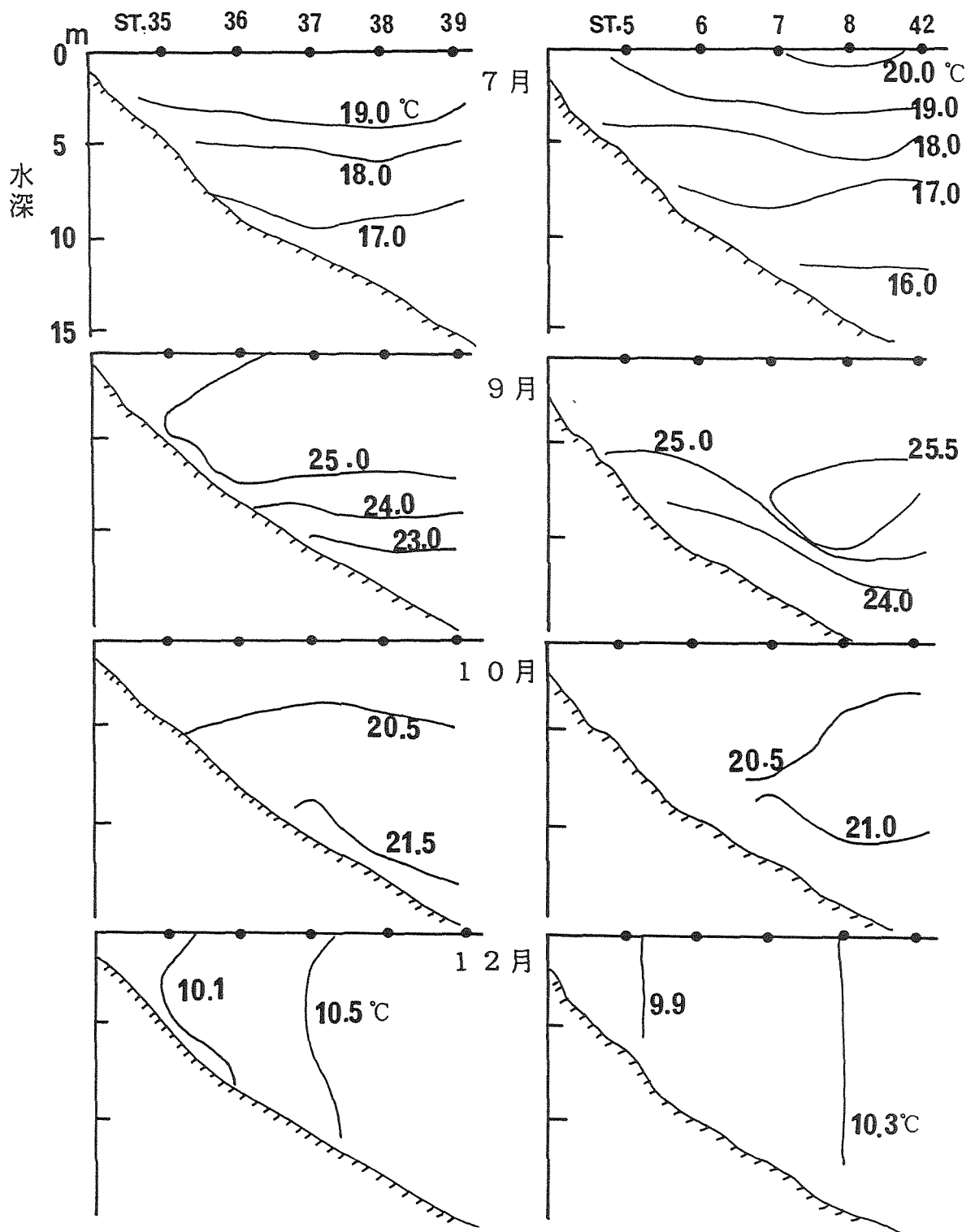


図 32 磯部ウバガイ漁場における水温の鉛直分布
 (1988年 7月 9日、 9月 3日、 10月 8日、 12月 13日 調査)

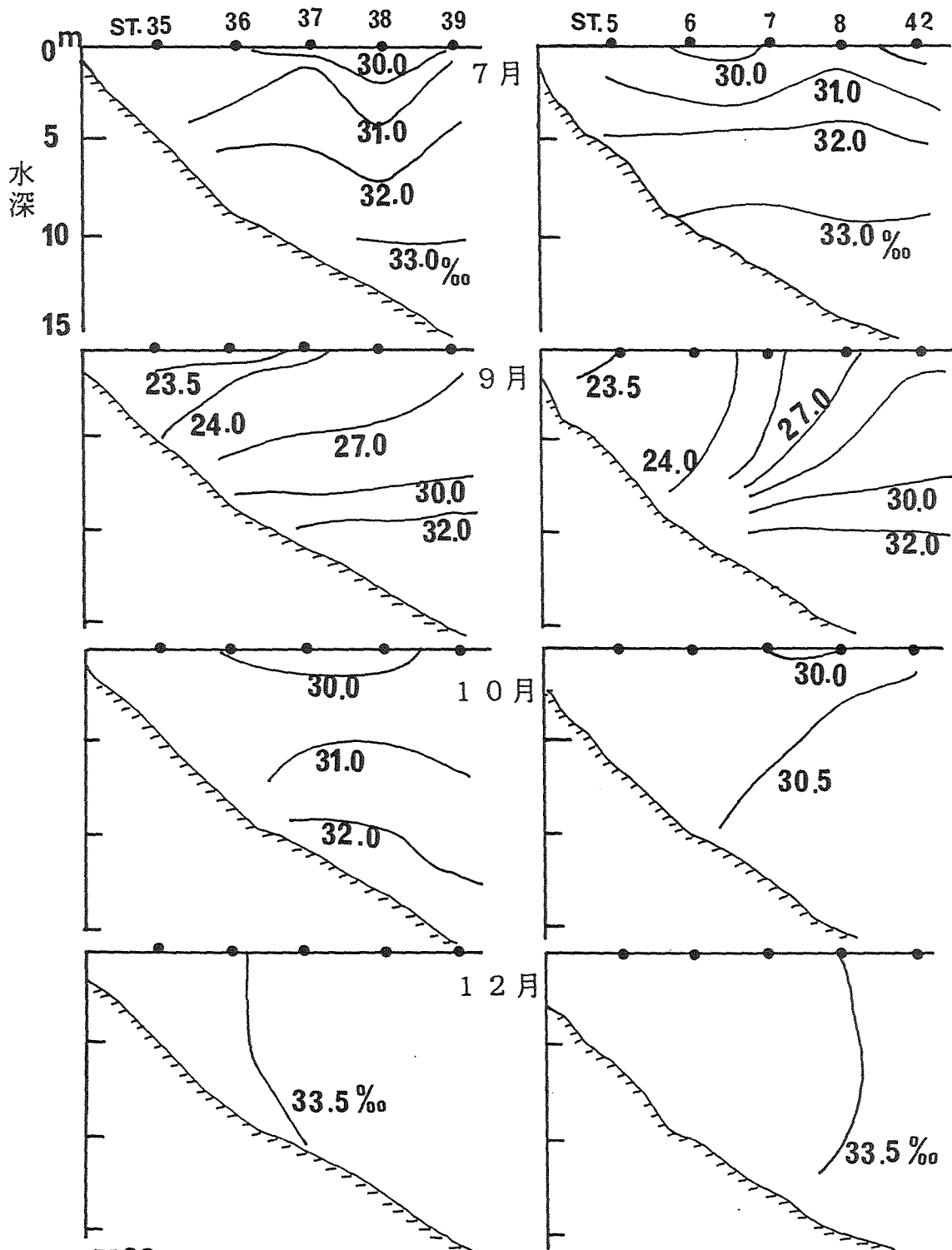


図33 磯部ウバガイ漁場における塩分の鉛直分布 (1988年)
 (7月9日、9月3日、10月8日、12月13日調査)

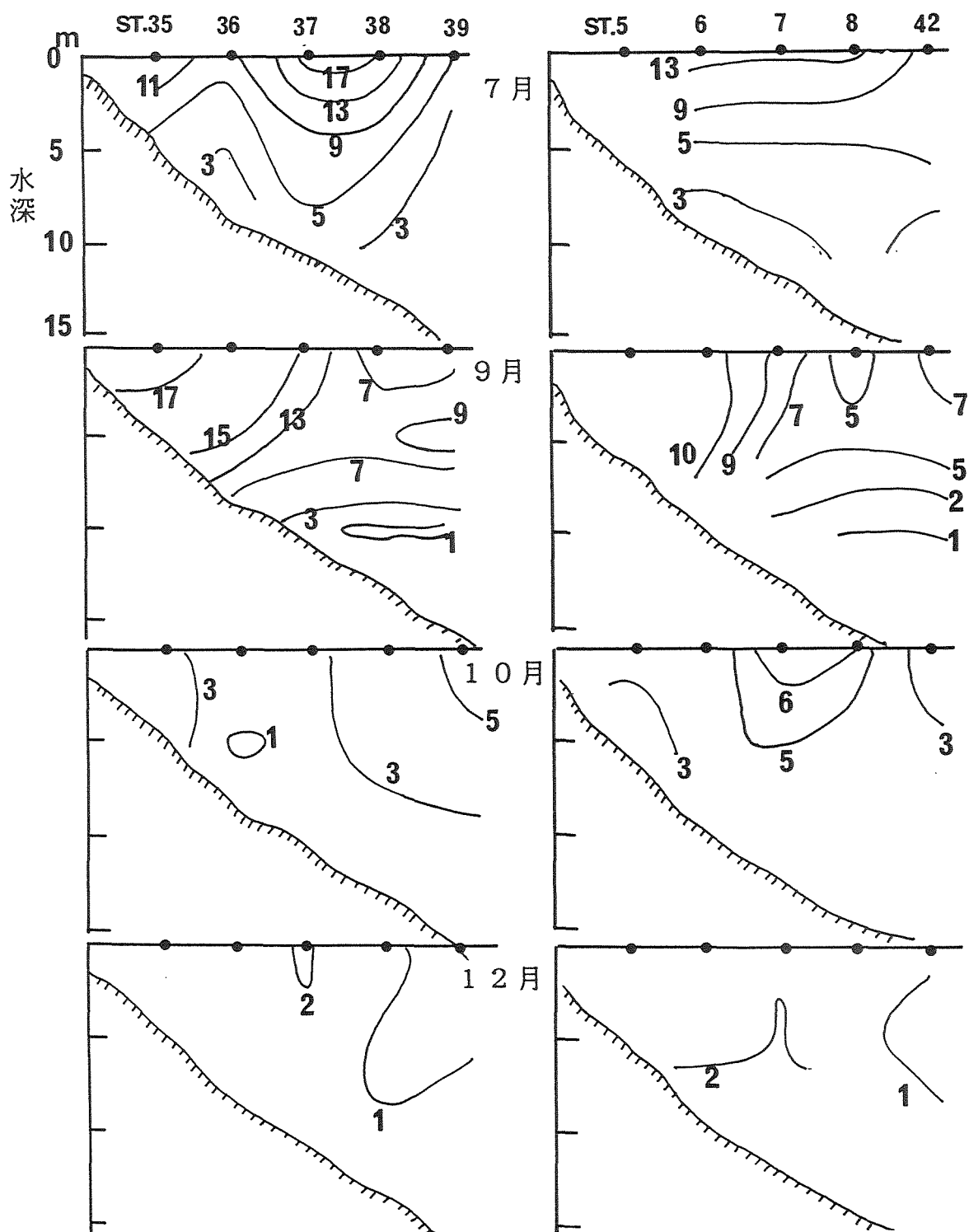


図34 磯部ウバガイ漁場におけるクロロフィル a の鉛直分布 (1988年)
 ($\mu\text{g}/\text{l}$)

(7月9日、9月3日、10月8日、12月13日調査)

と、水温の低下と並行してクロロフィル a 濃度も低くなり、12月には $1 \sim 2 \mu\text{g} / \ell$ と夏期の $1/10$ である。図 33 の塩分の鉛直分布と対比してみると、低塩分水が流入していた 9 月にクロロフィル a 濃度が高いということは、おそらく低塩分水の栄養塩濃度が高く、このことが植物プランクトンの増殖を促したのではないかと考えられる。

2-2. 底質環境の特性

次にウバガイの分布状況即ち磯部漁場における同心円状分布の形成要因を底質環境の特性をみながら考察する。

図 35 には、Sasaki (1988) が 1983 ~ 1986 年の 4 年間調査した稚貝の 7 月下旬における密度分布が描かれている。いずれの年級群も水深 8 ~ 10m 域に中心をもつ同心円状の分布を示すことが分る。このことは、漁場のほぼ中心域に稚貝が集積していることを示している。

図 36 には、1987 年 7 月 30 日に採集された底泥の中央粒径の等値線が示されている。漁場の北および南には岩礁域があり、それらに挟まれたかたちで砂質域が存在している。岸近くの砕波帯は粒径 $125 \sim 250 \mu\text{m}$ の細砂域で、漁場の中心域は $63 \sim 125 \mu\text{m}$ の微細砂域である。それより沖側になると再び細砂域になり、徐々に砂の粒径は大きくなり、中砂、粗砂域が広がっている。図 37-A は底泥の pH、図 37-B は酸化還元電位を示している。pH は 8 前後で水平方向の変化は小さかった。酸化還元電位は $+110 \sim 170\text{mV}$ で、漁場の沖側でやや低い値がみられたが、全体的には小さな変化であった。

図 38-A と、図 38-B には、底泥の懸濁液の COD およびクロロフィル a 濃度の等値線が示されている。COD は砕波帯で低く、 $12 \sim 15\text{ppm}$ である。漁場の中心域は 30ppm 前後、沖側では $40 \sim 80\text{ppm}$ という高いところがみられた。クロロフィル a 濃度にもこれと同様の傾向が認められ、漁場中心域のク

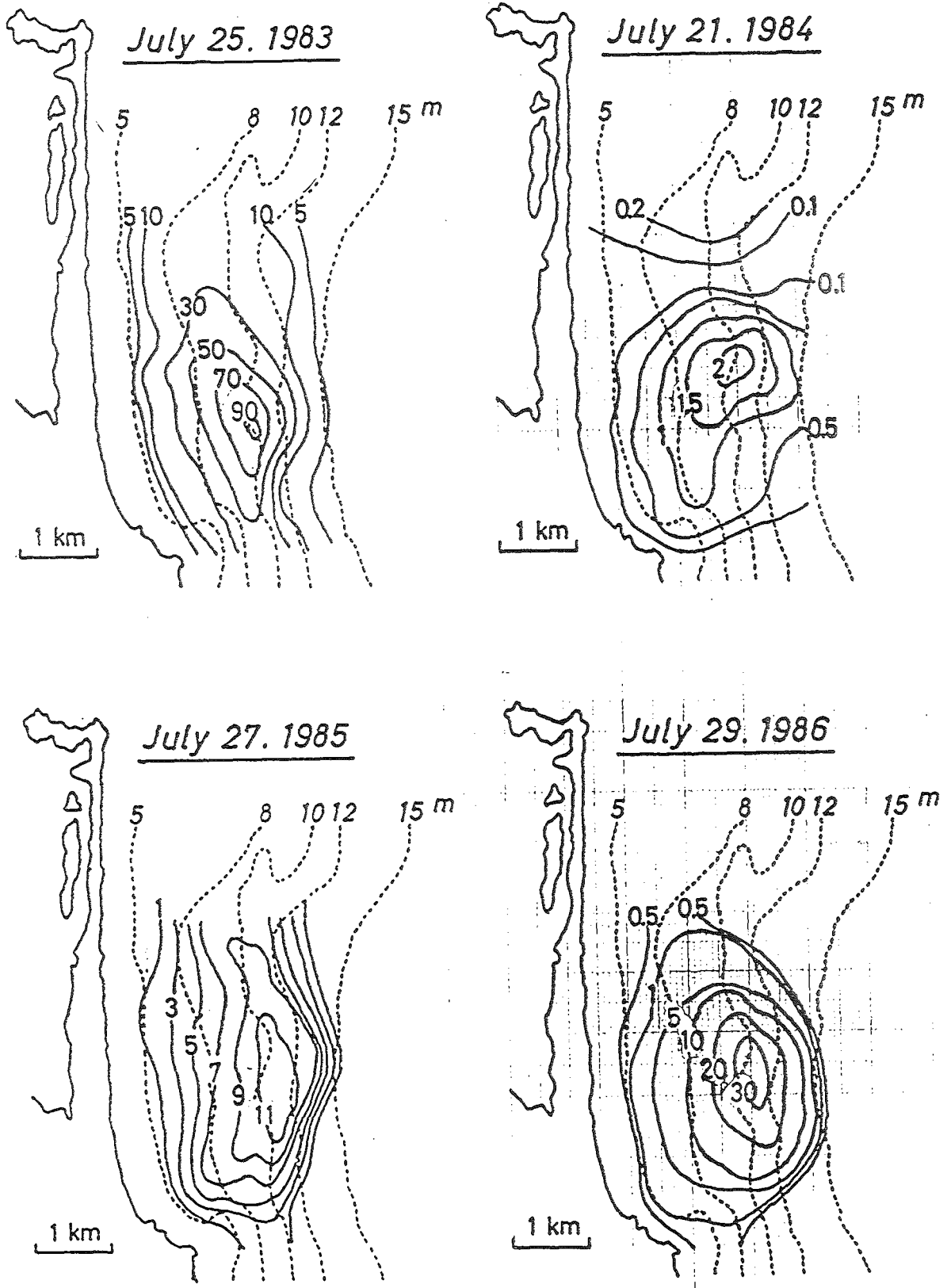


図 35 1983-1986年級ウバガイ稚貝の7月下旬における密度分布 [Sasaki, 1988]

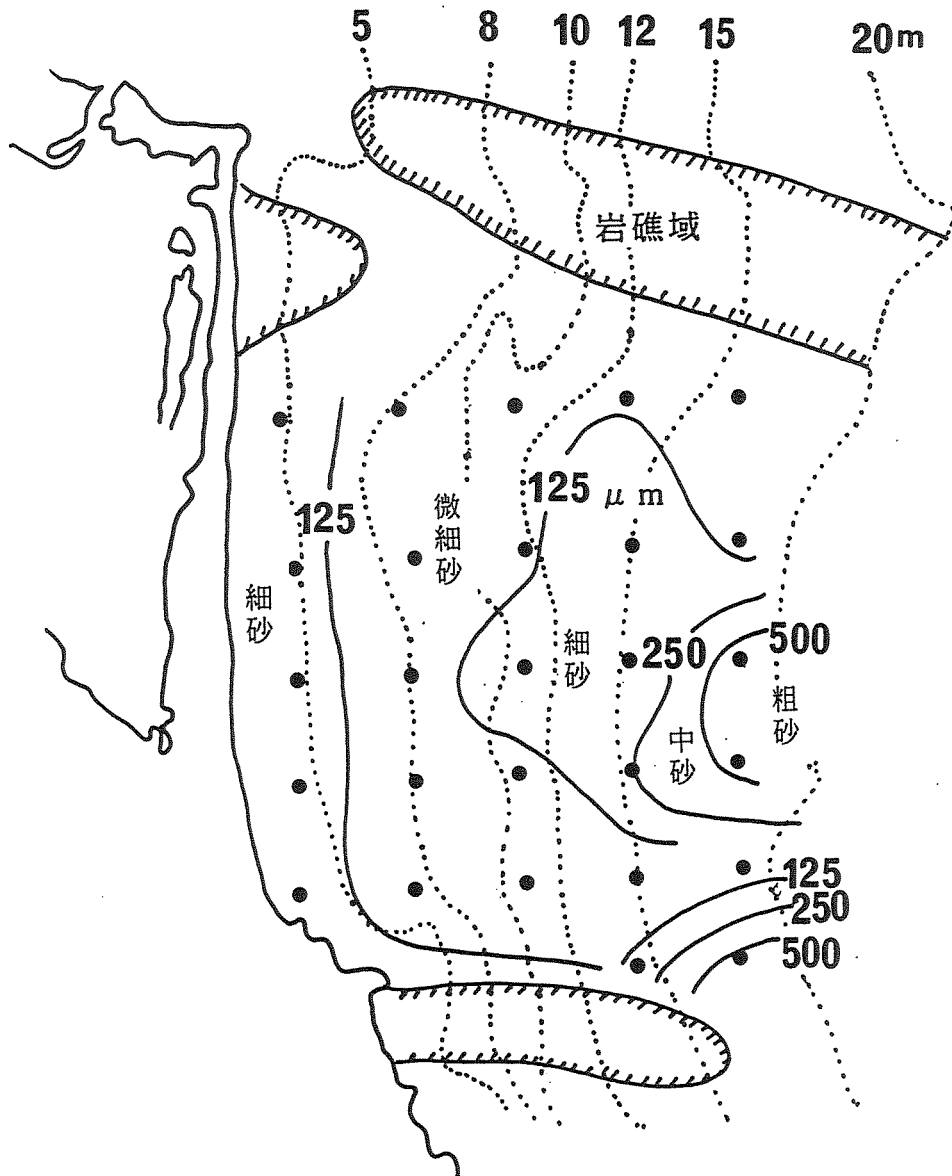


図 36 磯部ウバガイ漁場における底泥の中央粒径の分布
(μm)

(1987年7月30日)

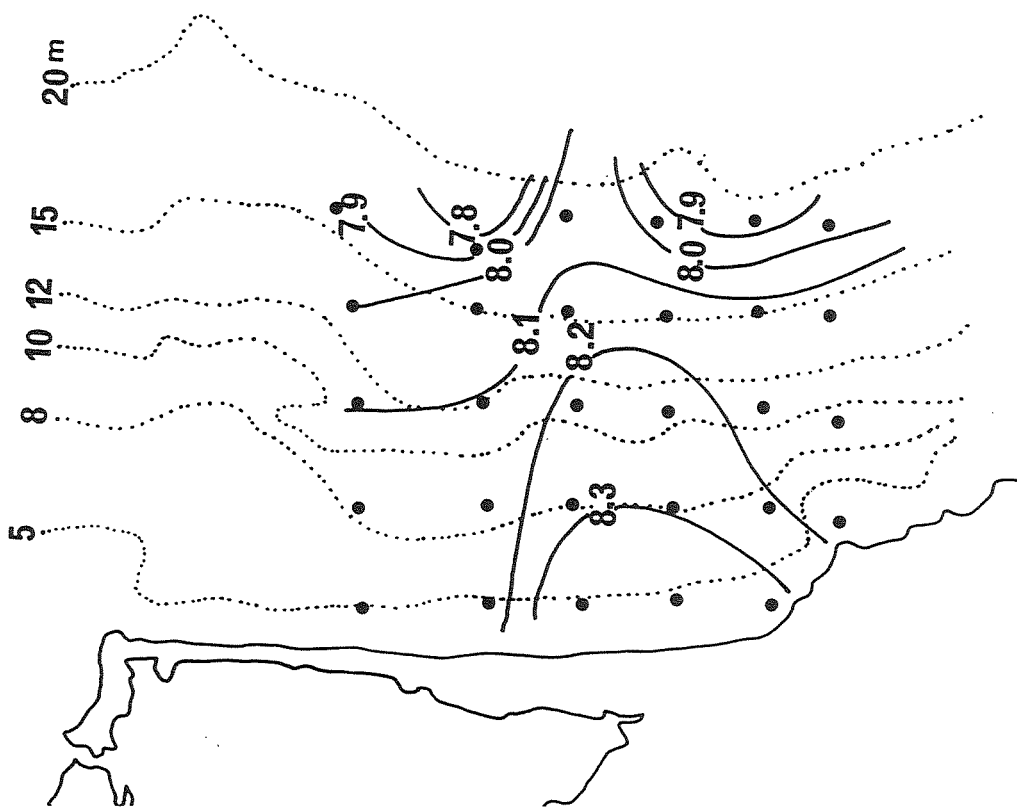


図 37- A 磯部ウバガイ漁場における底泥の pH の分布

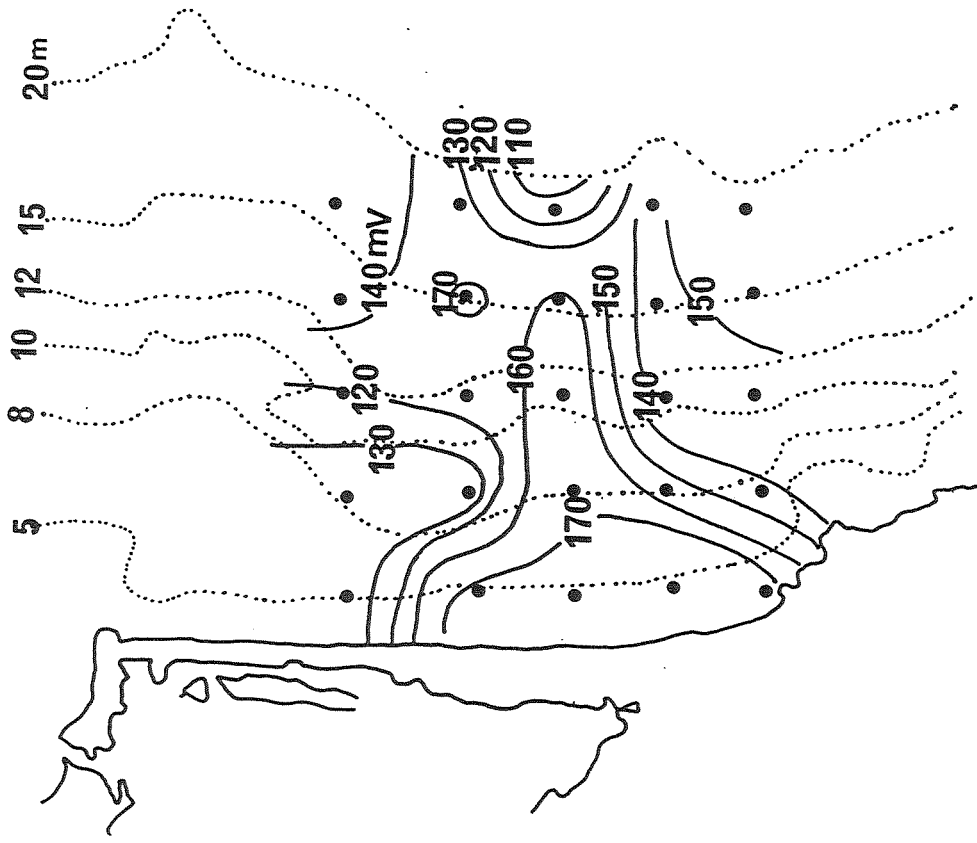


図 37- B 磯部ウバガイ漁場における底泥の酸化還元電位の分布 (mV)

(1987 年 7 月 30 日)

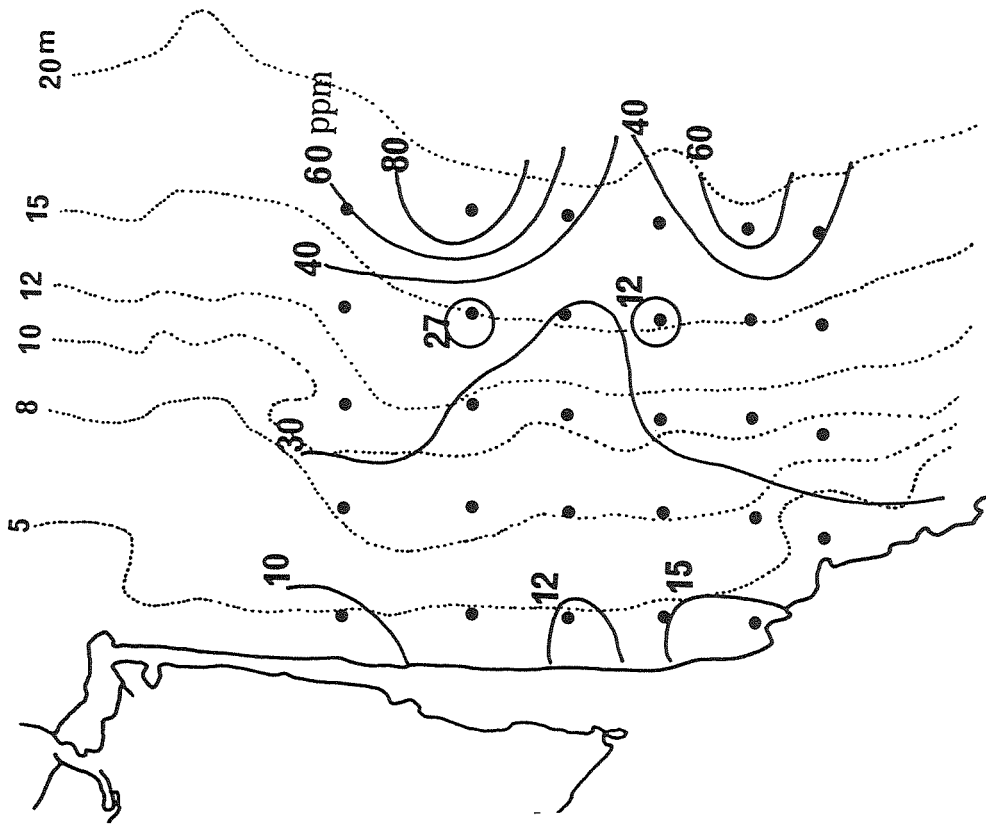


図 38-A 磯部ウバガイ漁場における底泥の
CODの分布 (ppm)

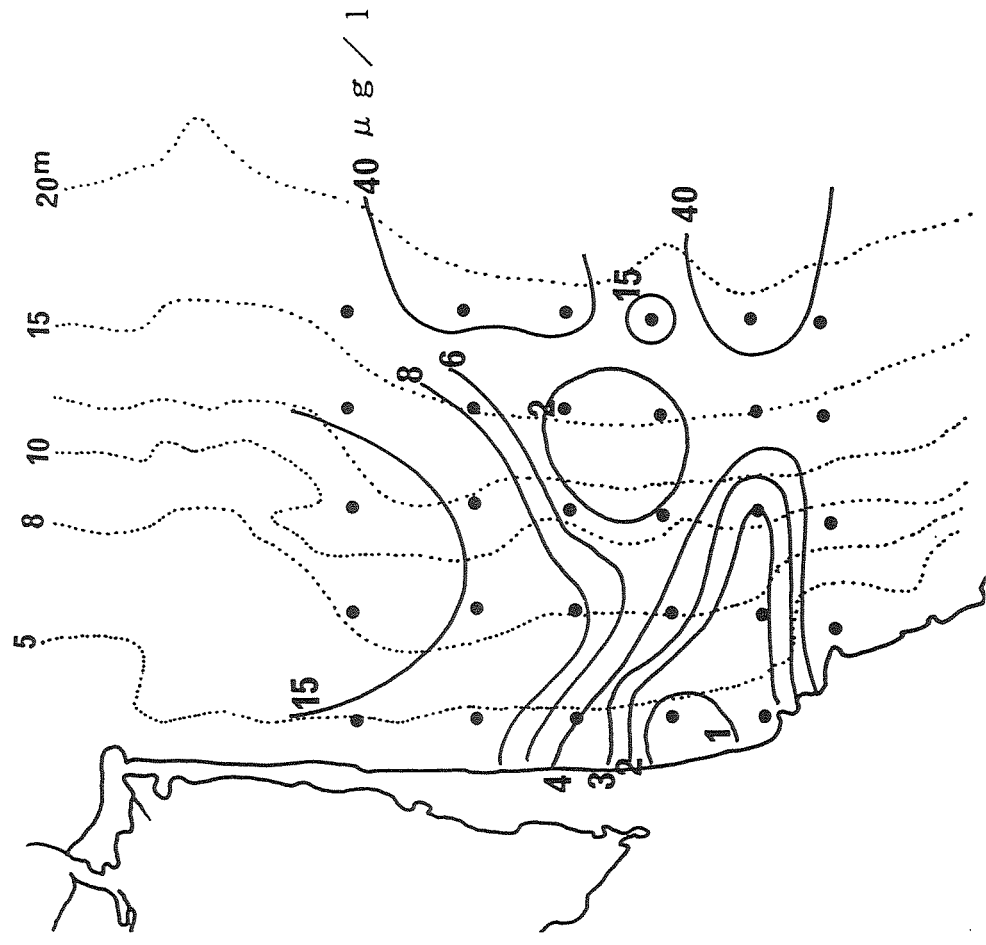


図 38-B 磯部ウバガイ漁場における底泥の
クロロフィルaの分布 (μg/l)

(1987年7月30日)

クロロフィル a は 2 ~ 8ppm であった。 沖側で COD とクロロフィル a 濃度が高い地点がみられるのは含泥率が高いことと関係があると考えられ、このようなところでは流れが緩やかで、水が停滞しているのではないかと思われる。

図 39 には底泥懸濁液および植物プランクトン (Skeletonema costatum、珪藻 ; Pavlova lutheri、ハプト藻) について測定したクロロフィル a 濃度の COD に対する回帰が示されている。植物プランクトンについては両種とも同一の直線 ($Y = 6.59 + 16.89 X$ 、 $r=0.99$) で表すことができるので (図 40) これを基準として底泥懸濁液中の有機物の起源について考えてみたい。底泥には植物プランクトン以外の有機物も含まれているので、回帰直線の傾斜は植物プランクトンについての傾斜よりも一般に小さくなり、その傾斜の大小によって底泥中の有機物の起源について定量的な評価を行うことができる。 底泥について調査海域を大きく三つ (碎波帯、漁場内、漁場外) に分けて図示してみた。 碎波帯では COD もクロロフィル a 濃度も低い (回帰直線 A) のに対し、漁場内では COD 20~30ppm、クロロフィル a 濃度 10~30 $\mu\text{g}/\ell$ 範囲にある (回帰直線 B)。 漁場外では回帰直線 C からの分散が大きい。 漁場におけるウバガイの餌料は海底近くで懸濁している植物プランクトンやデトライタスであると考えられている。 水中で生産された植物プランクトンの一部は、沈降し海底に堆積していくであろうから、底泥は食物環境の反映の場としてみることもできる。 したがって、COD に対するクロロフィル a 濃度の回帰の傾斜が大きいほど、食物環境としてはよりよい条件にあると考えられる。 このことから、漁場の中心域は食物環境としてほぼ良好な条件であるを備えていると判断される。

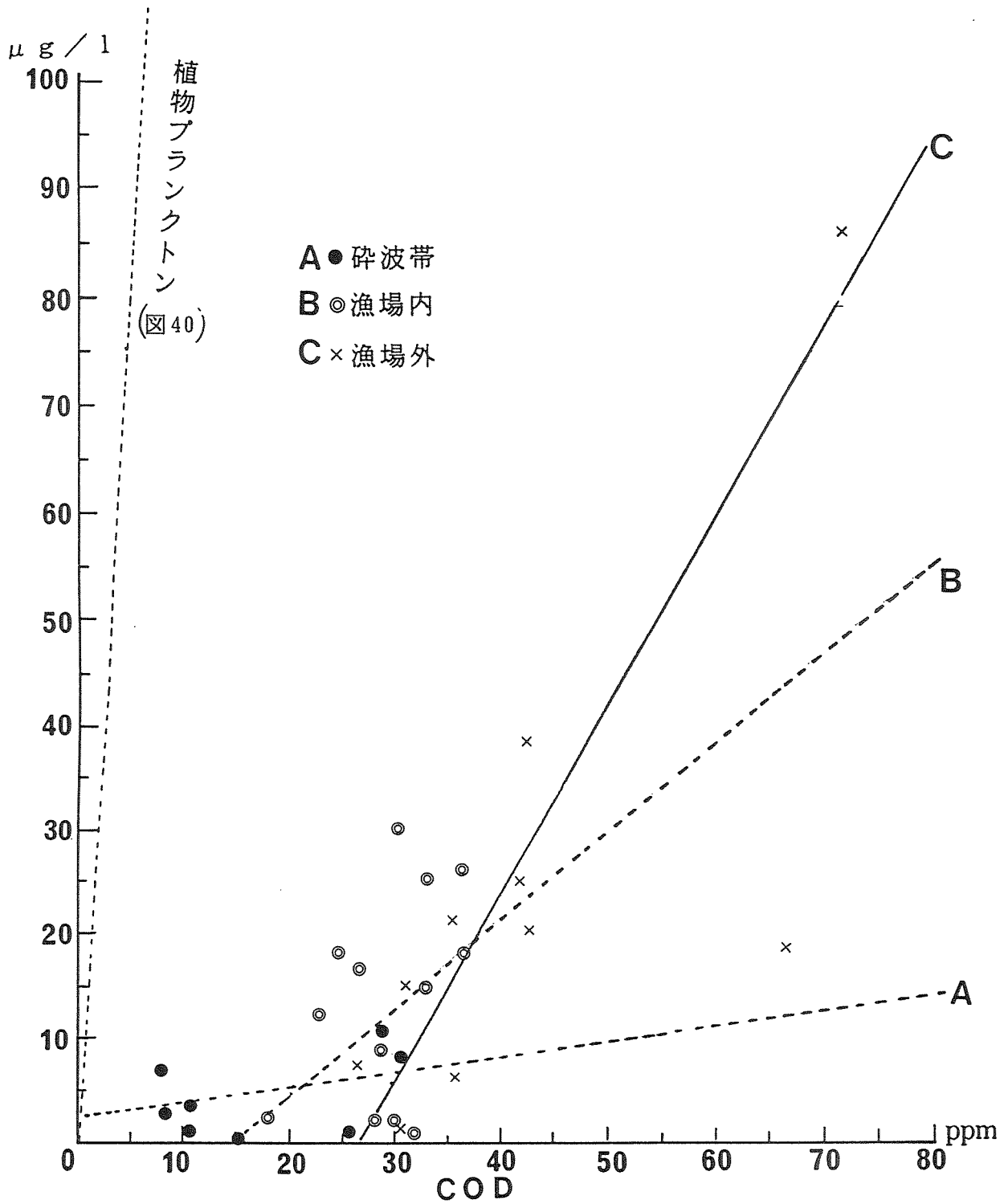


図39 磯部漁場底泥および植物プランクトン (*Skeletonema costatum* *Pavlova lutheri*) のクロロフィル a 濃度の COD に対する回

A : $y = 2.47 + 0.15 x$ ($r=0.47$)

B : $y = -13.09 + 0.94 x$ ($r=0.57$)

C : $y = -44.4 + 1.65 x$ ($r=0.94$)

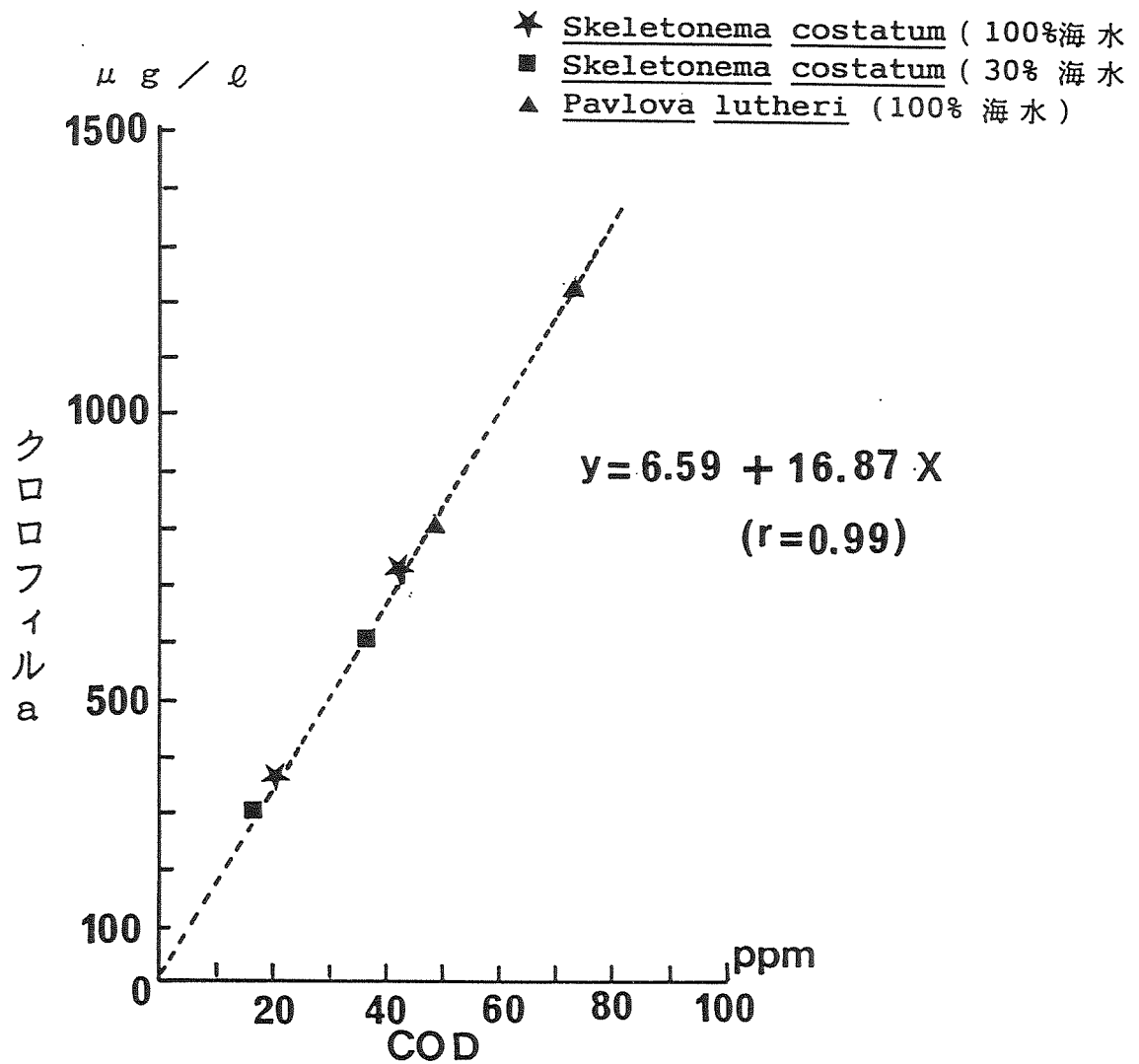


図 40 Skeletonema costatum、Pavlova lutheri の純培養植物プランクトン (Skeletonema costatum、Pavlova lutheri) のクロロフィル a 濃度の COD に対する回帰 (水温 20°C、照度 3000lux、松平培地)

論議

ウバガイ稚貝を用いた飼育試験結果から、ウバガイの最適環境条件は水温15～20℃、塩分23%以上、底質は粒径63～250 μm の微細砂～中砂であることが分った。

田中（1980）のウバガイ稚貝の耐高温性についての報告によれば、30～31℃の場合には稚貝は全く砂に潜らず、1週間以内にへい死し、29℃においても潜砂した個体はごく僅かで3週間以内に全て死亡している。本研究の結果によれば、30℃であっても潜砂し、1週間以内に死亡した個体は20個体中、1個体のみで、高温に対する耐性は予想以上に強いという結果が得られた。他方徐々にへい死する個体がみられ、4週間以内に全て死亡し、28℃においても32日目までに全数死亡し、ウバガイの高水温に対する耐性限界点は28℃であると思われる。安永（1980）はウバガイの成貝について、29℃の場合3日目までの生残率が50%、5日目までに全数死亡したと報告している。成貝は稚貝とくらべると、高温に対する耐性が若干、強いものと考えられるが、29℃以上では生存が不可能であるという点では一致する。

生長におよぼす水温の影響についてみると、23℃以上になると20℃の場合に比べて生長はやや緩慢になることが示されたが、磯部のウバガイ漁場においては24℃前後の高水温が夏期に認められた。Sasaki(1987)によれば、磯部漁場で漁獲されたウバガイの消化管重量および消化盲嚢重量は夏～秋期にかけて著しく減少しており、これは漁場の水温が20℃以上になったためにウバガイの摂餌活動が低下したことによるものと考えられており、本研究におけるウバガイの飼育試験の結果とも一致している。

漁業者からの聞き取り調査で、ウバガイ（成貝）は夏期には冬期よりも深く

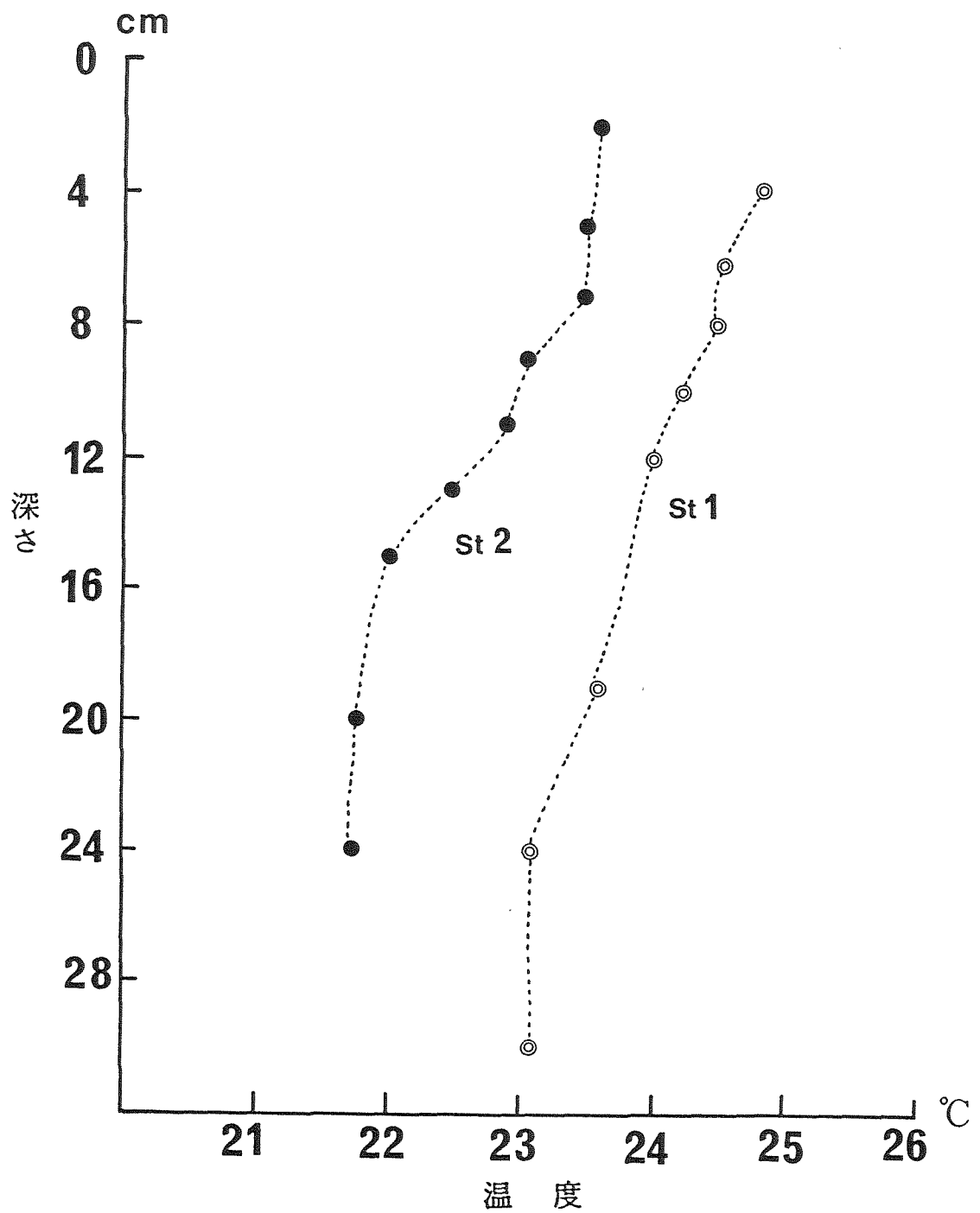


図41 底泥のコアサンプルの温度構造 (福島県大熊沿岸、1984年7月)
[福島水試、1985]

潜っているとの知見を得た。 図 4 1 には福島県大熊沿岸の調査で得られた底泥のコアサンプルの温度変化を示している（福島水試 1985）。深さ 8～20において温度が表層より 1.5～2℃低い。ウバガイは夏の高水温期はおそらく温度の低い層に移動しているのではないかと思われるが、明らかではない。

磯部ウバガイ漁場の特性をほかのウバガイ漁場と比較してみよう。

図 4 2 に、磯部、北海道の上磯、石狩、浜中湾におけるウバガイの生長を示した（Sasaki 1981, Kato&Hamai 1975, 山本1947）。ウバガイが商品サイズ（殻長75mm）に達するのに、磯部では 2.5年かかるのに対し、石狩、浜中湾では 5 年もかかっている。この違いは最適水温の期間の長さによって生ずるのではないかと思われる。図 4 3 に1988年における磯部ウバガイ漁場の中心域である St.6 の水温の鉛直分布のイソプレットを示す。ウバガイ漁場は 10 m 以浅のため、表面水温と底層水温の差が小さく、ウバガイが接しているところの底層水温の変化を表面水温の変化から推し測ることができる。そこで、気象庁海況旬報を基に、各地地先の表面水温（昭和63年1月～12月）の変化を図 4 4 にプロットし、比較した。飼育試験の結果からはウバガイの生長には 15～20℃が最適であると推測された（2-1 節）。磯部では約 5 カ月間、石狩上磯では、2.5 月間、浜中湾では約 2 カ月間の生長の最適期間が認められた。

すなわち、磯部では最適水温の期間が他の水域の約 2 倍であり、そのため生長がよくなるのであろう。磯部では 23℃以上の高温期が約 1.5 カ月間続くものの最適水温の期間が長く、北海道の漁場と比べて有利であると思われる。

ところで磯部ウバガイ漁場環境の特性として底質が微細砂であることが挙げられる。潜砂試験の結果から、ウバガイは微細砂～細砂の場合には直ちに潜砂行動を開始すること、潜砂所要時間も短いこと、完全に潜っている（写真 9）のに対し、粗砂の場合にはウバガイは不完全潜砂の状態であった（写真 8）。

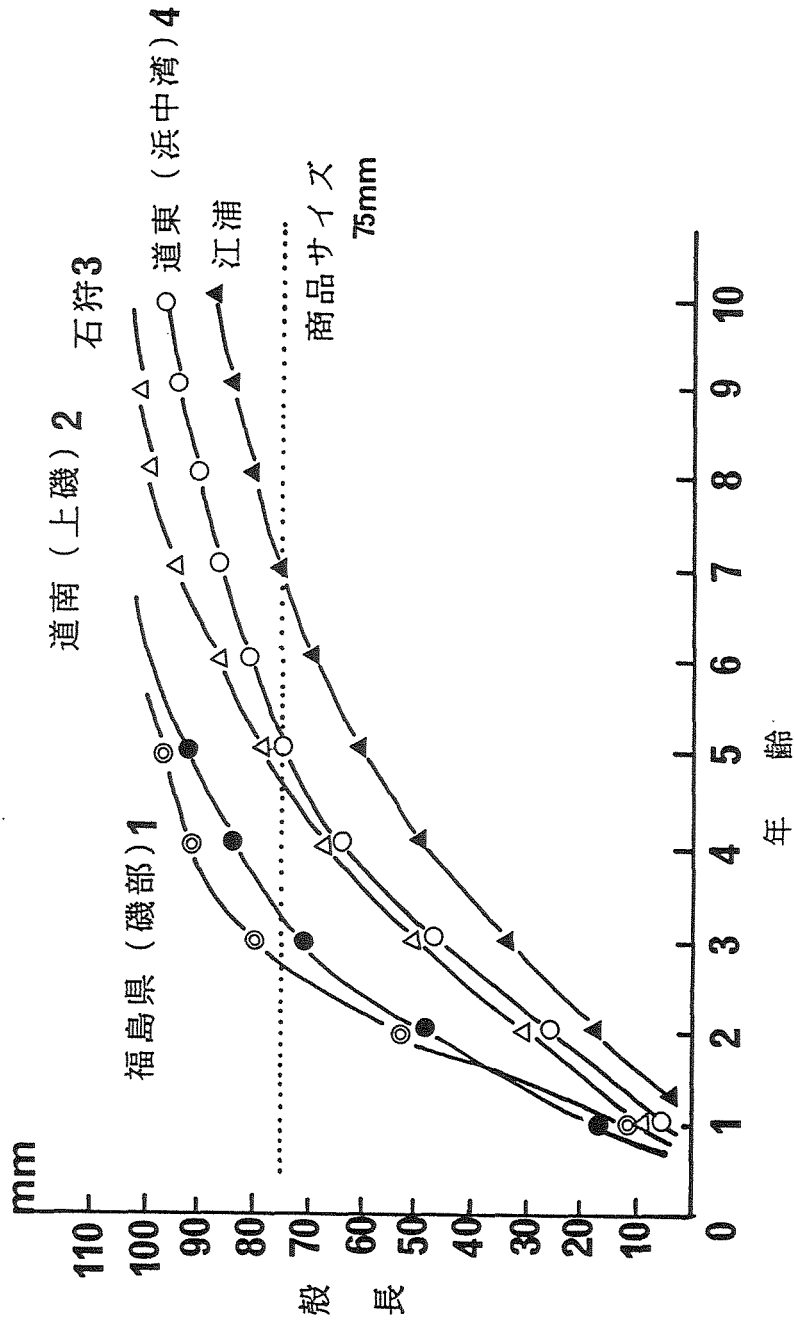


図42 いくつかの水域におけるウバガイの生長
 (Sasaki, 1981, Kato and Hamai, 1975, 山本, 1947)

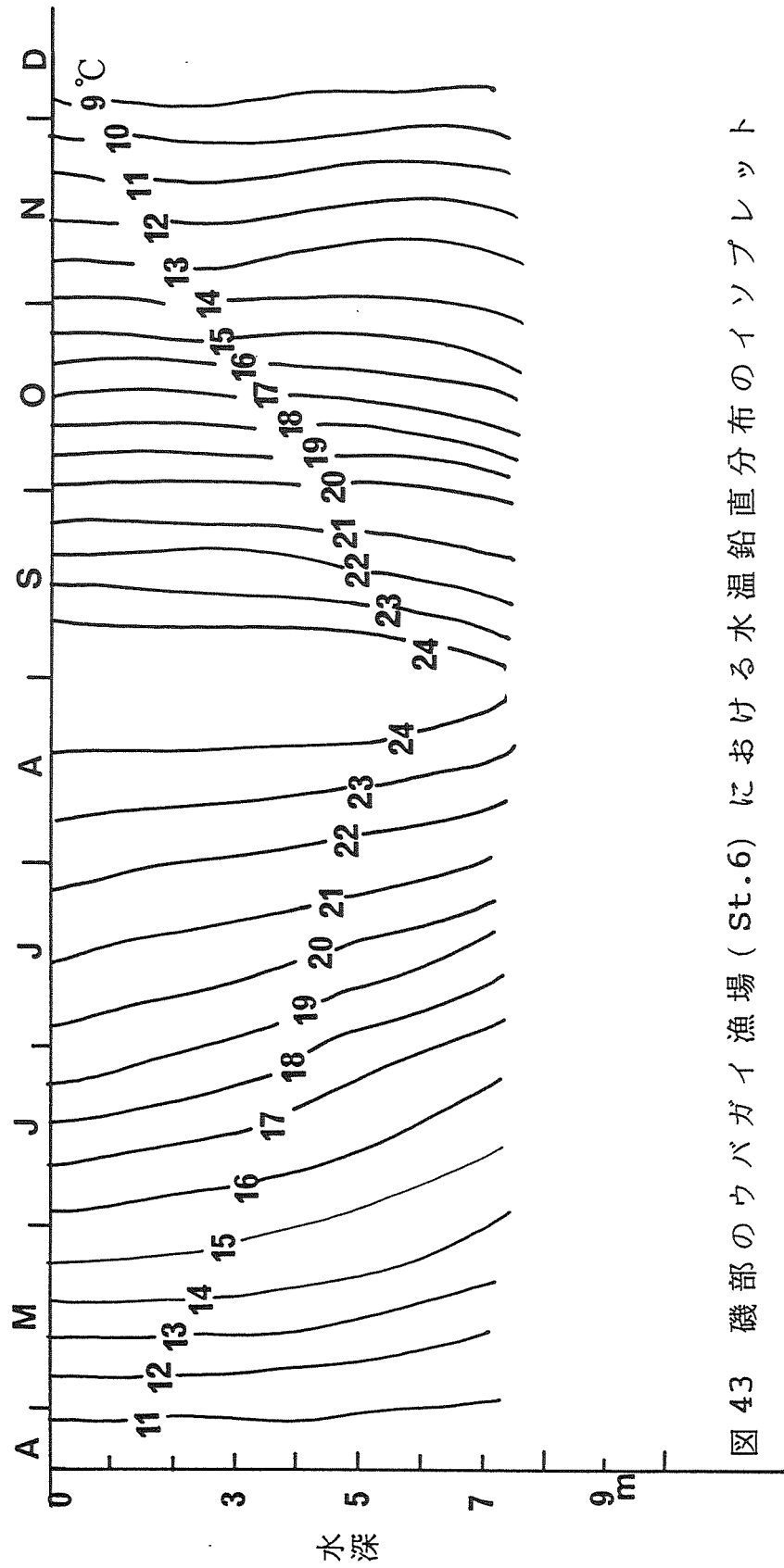


図 43 磯部のウバガイ漁場 (St.6) における水温鉛直分布のイソソプレット

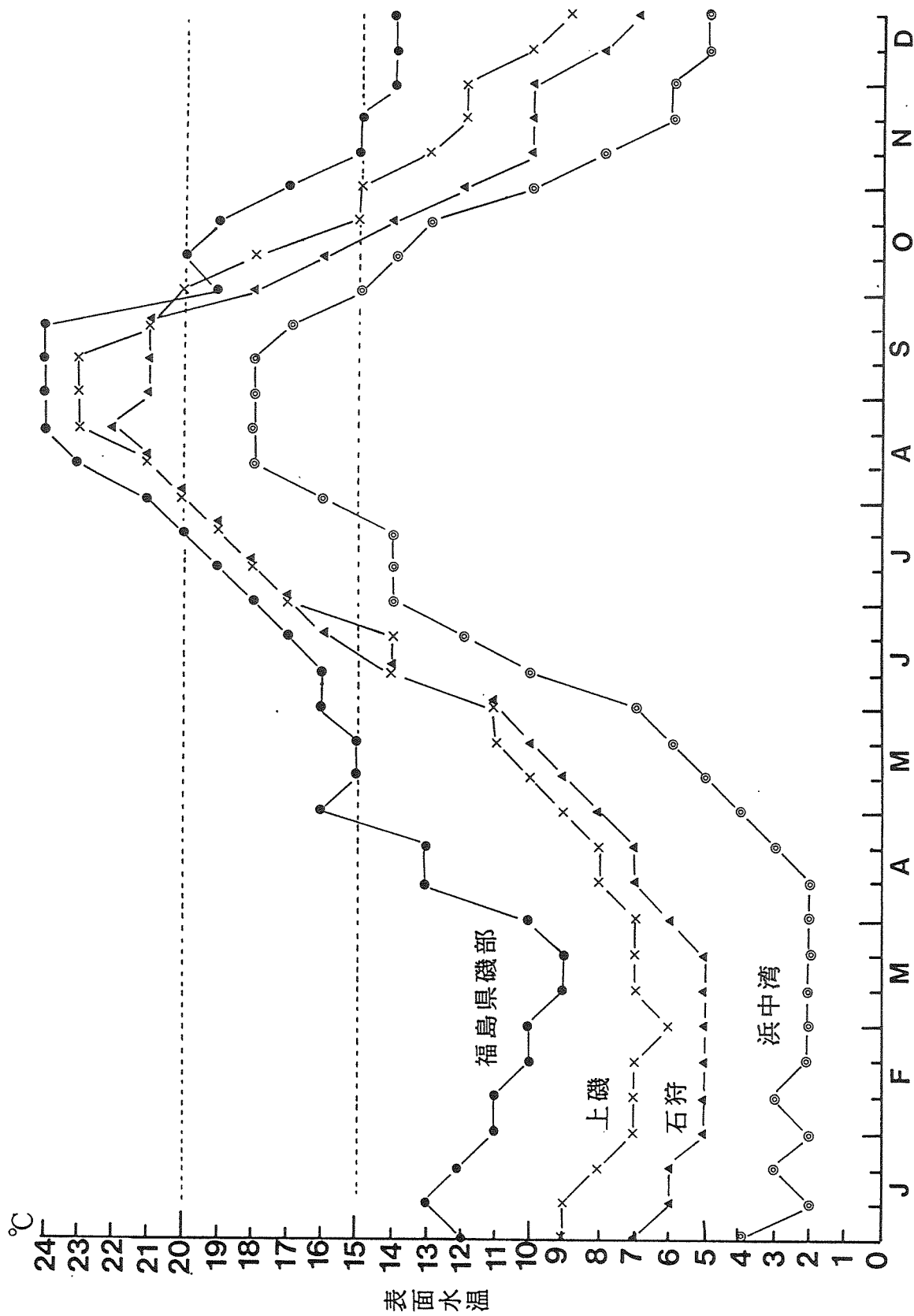


図 44 各地地先における表面水温の変化 (気象庁・海況旬報 1988 年)

ウバガイと分布水域をほぼ同じくするヒメバカガイの場合にも同様の結果が得られた。すなわちウバガイ、ヒメバカガイはともに底質の変化に対する感受性が高いことが示された。このことは稚貝の分布規定要因として底質の果たす役割が大きいことを示している。

第 III 章 アサリの環境要求について

まえがき

アサリ (Ruditapes philippinarum) は水産業上、重要な二枚貝類のひとつである。1988年の漁業養殖業生産統計年報によれば、貝類のなかで、アサリの生産高はホタテガイに次いで多く、88,151トンの生産があげられている。1978年には二枚貝類のなかでは最も高い生産(153,767トン)があげられていた。しかしながら、かつて好漁場といわれていたところでも繁殖力が低下し種苗放流にその生産の殆どを依存しているところも多くなってきた。環境の変化による漁場の縮小や、乱獲による資源の減少などが懸念されて久しいが、いまのところそれらの原因も未解明のまま、安定したアサリ生産のため技術も確立されてはいない。そこで、アサリが生息している漁場環境の特性を解明することと、アサリ自身が要求するところの環境条件を把握することを目的として研究を進めることにした。フィールドとしては、自然繁殖によって資源が維持されている砂押川河口をえらび、水質と底質環境の両側面から解析を試み、また、アサリを様々な環境条件の下で飼育、観察し、アサリの適環境について考察した。

第 1 節 アサリの飼育試験による解析

1. 材料および方法

1-1 供試材料

材料として福島県松川浦(1989年)、宮城県砂押川河口(1988年)、および宮城県東名浜(1990年)において採集された殻長3~20mmの稚貝を用いた。

1 - 2 飼育試験方法

耐性試験・潜砂試験・生長試験は原則として第一章の方法を用いた。

A. 耐性試験

3 ℓ円型ガラス水槽（水量；2 ℓ、飼育砂；深さ2cm）にアサリ稚貝を20個体ずつ収容した。水温は20℃、餌料は鯉池底泥を1回10mlずつとして1日に6回与えた。この飼育条件を基本として以下に示す条件、水温、塩分溶存酸素露出に対する耐性試験を行った。

A - 1. 水温

水温は5、10、15、20、25、30 および 35 ℃恒温条件になるように設定した。

A - 2. 塩分

塩分は女川湾の濾過海水と井戸水を用いて海水濃度100%（Sal.32.3%）、海水濃度70%（Sal.22.6%）、海水濃度50%（Sal.15.5%）、海水濃度40%（Sal.12.8%）、海水濃度30%（Sal.9.5%）になるように調製した。

A - 3. 溶存酸素飽和度

2 ℓビーカーに殻長5mm前後のアサリ稚貝を100個体収容し、飼育水の溶存酸素量を経時的に測定した。並行して砂上に出ていたアサリの個体数を測定し砂上率を求めた。

A - 4. 露出時間

アサリ稚貝を10個体ずつ収容したシャーレ（直径10cm、深さ2cm）30枚を1単位（1ブロック）として、ブロック毎に5、15、23℃の条件下においた。シャーレは湿タオルで覆った。実験開始翌日から毎日、1シャーレずつ取り出し、実験条件と同じ温度の海水（200ml）を注入した。24時間以内に水管の伸長が認められない個体は死亡したものと判断した。

B. 潜砂試験

B-1. 潜砂所要時間

* 異なる底質条件下における潜砂所要時間の測定

粒径の異なる4種類の海砂（シルト、微細砂～細砂、中砂、粗砂）を各々500ml ビーカーに敷き詰めて、水温20℃でアサリ稚貝の潜砂所要時間を測定した。測定は1個体ずつ行い始めの個体が潜砂行動を完了してから、次の個体を収容した。各々の底質条件下で20個体について潜砂所要時間を測定した。

B-2. 潜砂率

* 異なる塩分条件下における潜砂率の測定

海水濃度100% (Sal.32.3%)、海水濃度70% (Sal.22.6%)、海水濃度50% (Sal.15.5%)、海水濃度40% (Sal.12.8%)、海水濃度30% (Sal.9.5%) に調製した飼育水のなかにアサリ稚貝を20個体ずつ収容し、10分後、60分後、24時間後の潜砂率を求めた。

C. 生長試験

500ml ビーカー（水量；400ml、飼育砂；深さ2cm）にアサリ稚貝を1個体ずつ収容し、餌料として鯉池底泥、または、Skeletonema costatumを与えた。

給餌量はCODが約50ppmになるよう調製した餌料溶液を1回5mlずつ1日6回とした。同一の環境条件下における供試個体数は5～10個体とした。飼育期間は1ヶ月とし、この間潜砂状態や摂餌状況などに留意しながら観察を行った。7～10日毎に殻長を測定し生長速度を求めた。この飼育方法に基づいて以下に示す環境条件（水温、塩分、底質条件）の下で生長試験を行った。

C-1. 水温

水温は5、10、15、20、23、25、 および 30 °C に設定した。

C-2 塩分

海水濃度100% (Sal.32.3%)、海水濃度 70% (Sal.22.6%)、海水濃度 50% (Sal.15.5%)、海水濃度 40% (Sal.12.8%)、海水濃度 30% (Sal. 9.5%) になるように調製した。このときの飼育水温は20°Cとした。

C-3 底質

底質の粒径をシルト、微細砂～細砂、中砂、粗砂の4段階に分けた。飼育水温は20°Cとした。

2. 結果

2-1 水温の影響

図45に飼育水温とアサリ稚貝の生残率の関係を示した。10、15、25 °C の場合は、40日間全数生存していたが、5 °C条件下での生残率は28日目に90%に、30日目には80%に低下し、その後は40日目まで変化はなかった。30 °Cでは27、および30日目にそれぞれ、1個体が死亡したものの、その後は死亡個体がみられず、40日目まで生残率は90%であった。35°Cの場合には3日目までに4個体が死亡し、4日目までに全て死亡した。

図46に、餌料として鯉池底泥を用いた場合について、水温10、15、20および25 °C条件下におけるアサリの生長が示した。10°Cでは生長は緩やかで、30日間で5mm程度の伸びが認められたに過ぎなかった。30日間の平均殻長伸長は10°Cでは0.5mm、15 °Cでは1.5mm、20°Cでは、2.5mm、25°Cで、2.0mmで20°Cの場合に最大値を示した。

図47に、水温とアサリの生長速度の関係を示した。餌料として *Skeletonema costatum*を与えた場合には水温23°Cで最も高い生長速度 (141.3 $\mu\text{m}/\text{day}$) を示したのに対し、鯉池底泥を与えた場合には20°Cの場合に最大

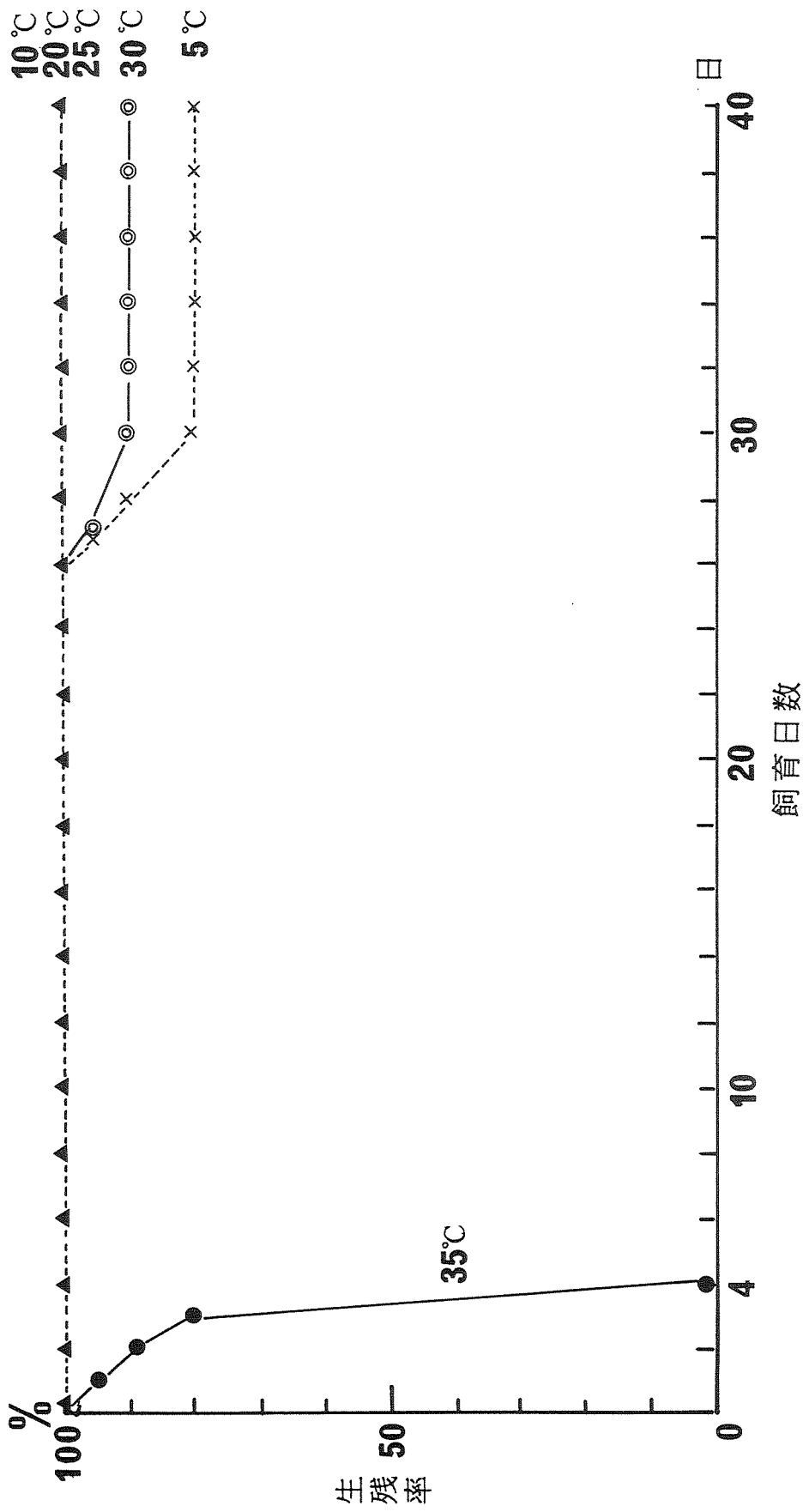


図 45 アサリの生残率におよぼす水温の影響
(水温; 20°C、餌料: 鯉池底泥)

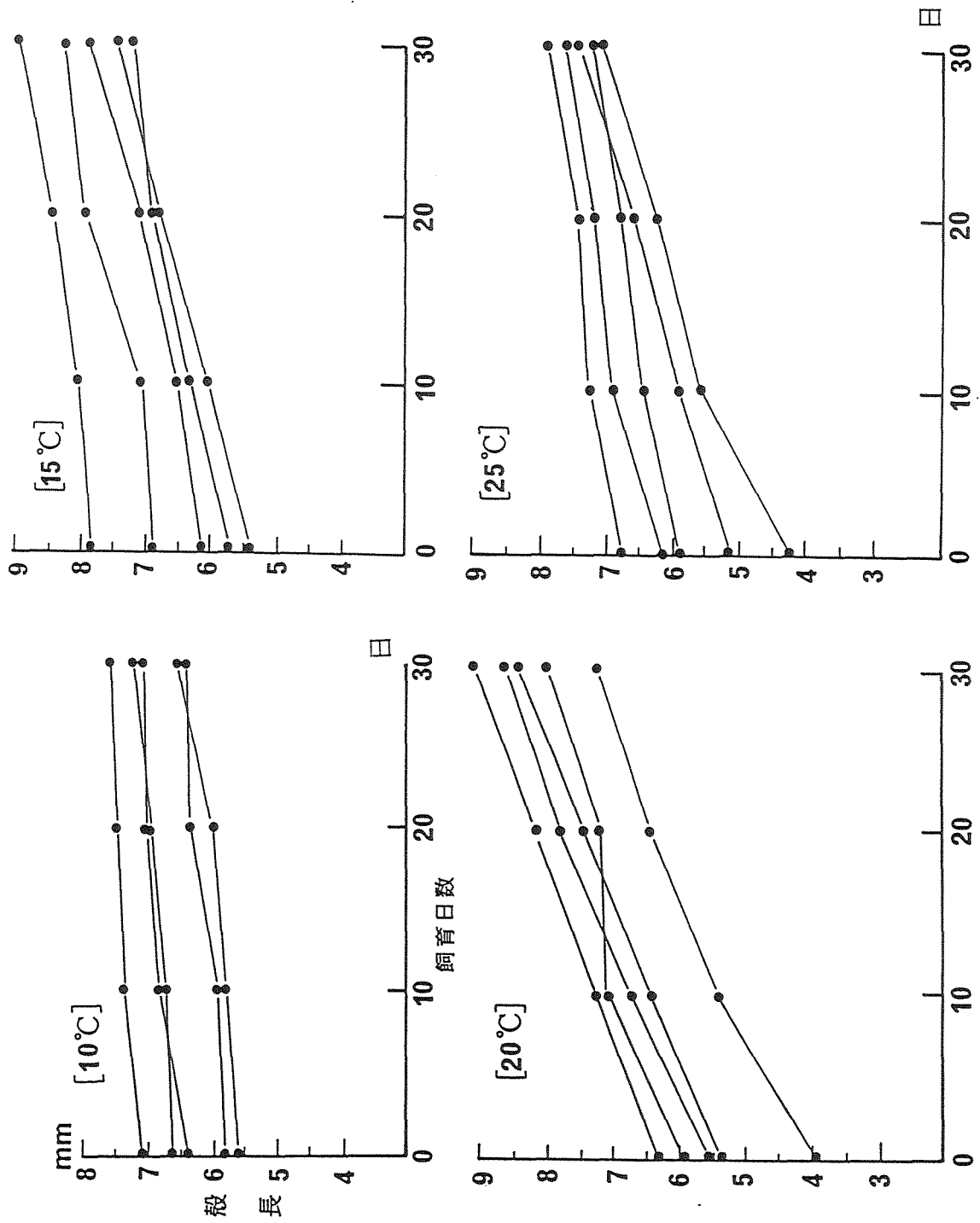


図 46 異なる温度条件下でのアサリの生長
(餌料：鯉池底泥)

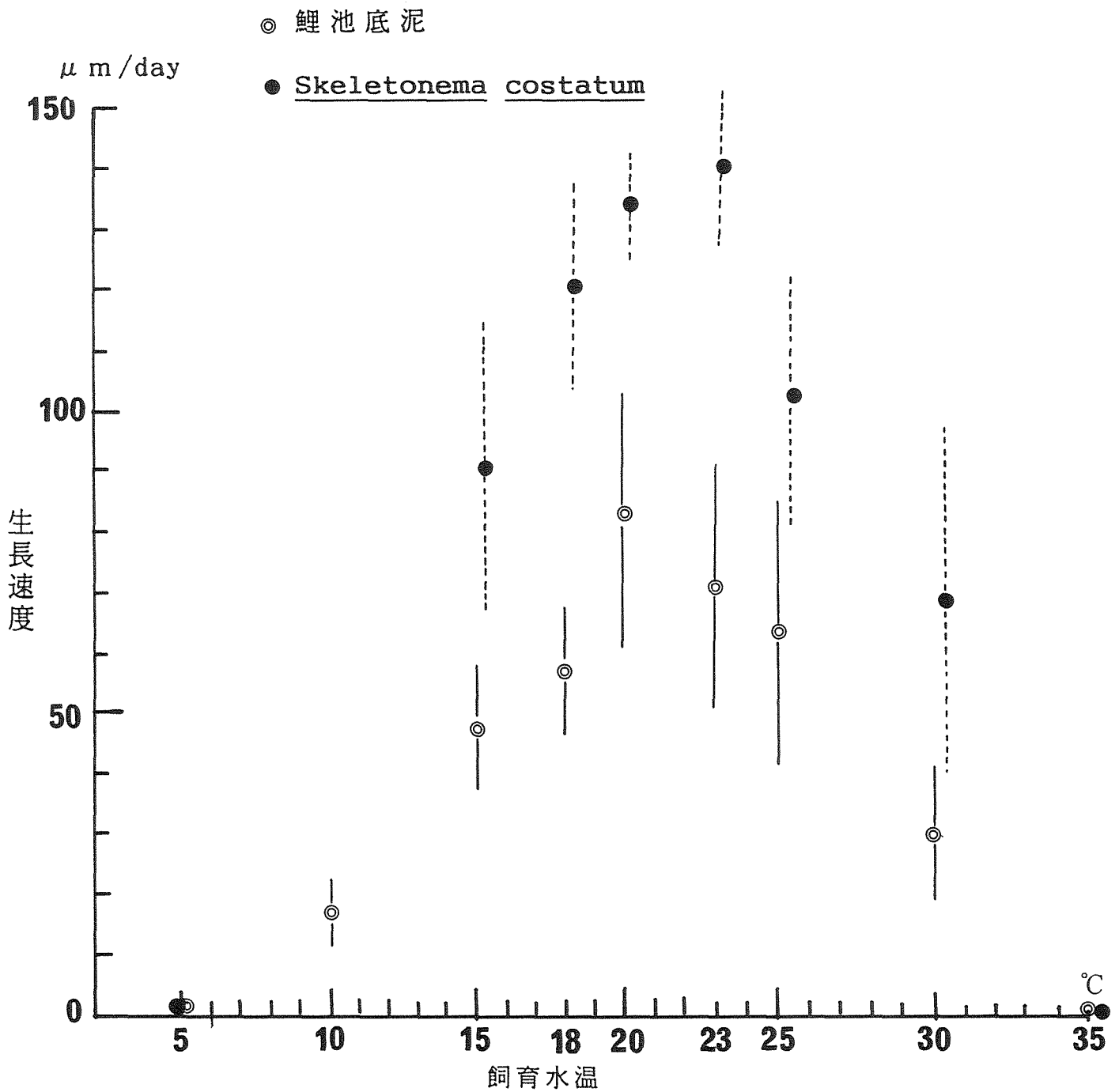


図 47 飼育水温に対するアサリの生長速度の関係
 (餌料 : Skeletonema costatum, 鯉池底泥)

の生長速度を示した ($84.1 \mu\text{m}/\text{day}$)。このように若干の違いが認められたものの、アサリの生長に対する適水温は $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ の範囲にあると考えられた。

C-2 塩分の影響

図48には、アサリの潜砂行動におよぼす塩分の影響が示されている。

試験開始後10分では海水濃度 70% (Sal.22.6%) ~海水濃度100% (Sal.32.3%) の場合には全ての個体が潜砂を完了していたが、海水濃度 50% (Sal.15.5%) の場合の潜砂率は90%、海水濃度 40% (Sal.12.8%) の場合の潜砂率は70%であった。海水濃度 30% (Sal. 9.5%) の場合には潜砂完了個体はゼロで水管の伸長も認められなかった。

60分後では海水濃度 50% (Sal.15.5%) ~海水濃度100% (Sal.32.3%) において潜砂率は100%を示した。24時間後には海水濃度 40% (Sal.12.8%) の場合にも潜砂率は100%を示したが、海水濃度 30% (Sal. 9.5%) では半数の個体が潜砂したに止まった。

図49には塩分条件とアサリの生残率の関係が示されている。淡水で飼育した場合のアサリは水管を出さずに、閉殻状態を保ち続けた。しかし、3日目に4個体が死亡し生残率80%、6日目には生残率60%になり、10日目までに全ての個体が死亡した。海水濃度 30% (Sal. 9.5%) の場合は、10日目までは死亡はなく、14日目に生残率70%になった後、徐々に死亡がみられ、18日目に生残率30%まで低下し、その後安定し、30日目までの生残率は30%であった。海水濃度 40% (Sal.12.8%) ~海水濃度100% (Sal.32.3%) の場合には、30日間の生残率は100%であった。すなわち、海水濃度 40% (Sal.12.8%) までではアサリは十分生存できるが、海水濃度 30% (Sal. 9.5%) では生存は不可能であることが分かった。

図50には、各塩分条件下でのアサリの生長が示されている。餌料として

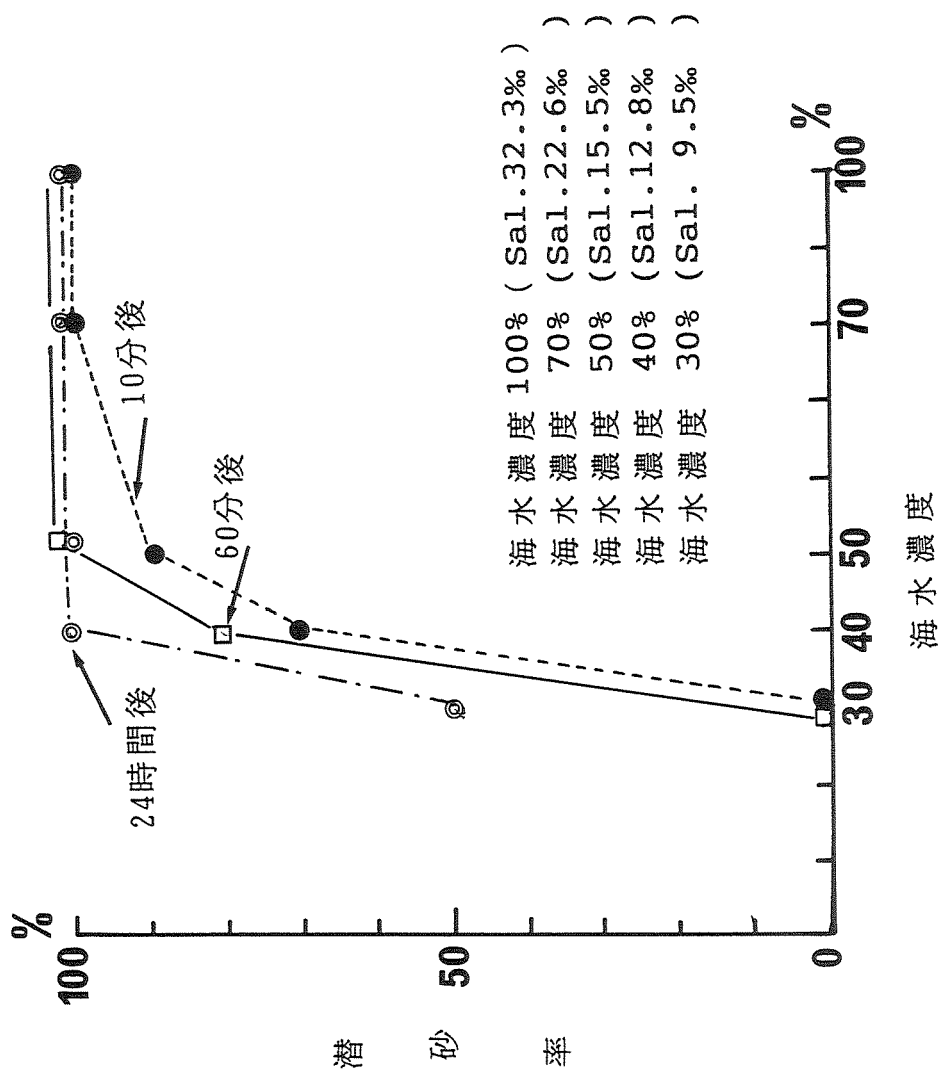


図 48 アサリの潜砂率におよぼす塩分の影響

水温 20°C

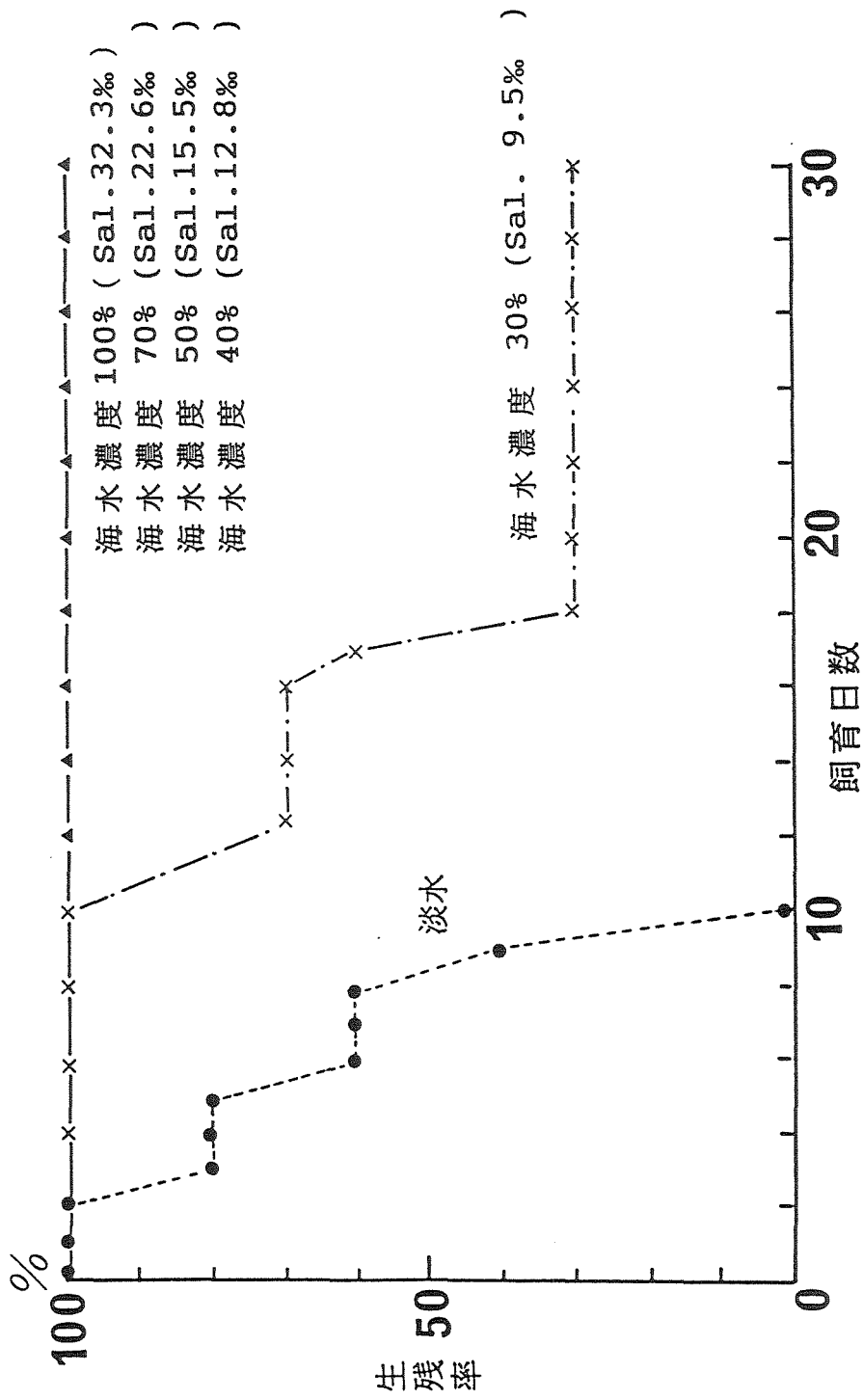


図 49 アサリの生残率におよぼす塩分の影響。
 (水温; 20 °C、餌料; *Skeletonema costatum*)

は鯉池底泥を用い、水温20℃で試験を行った。海水濃度100% (Sal.32.3%)、海水濃度 70% (Sal.22.6%) および海水濃度 50% (Sal.15.5%) 水では生長速度に大きな差は認められず、30日間でおおよそ2mm の平均殻長伸長が認められた。これに対し海水濃度 40% (Sal.12.8%) では試験開始後20日間は生長が認められなかったが、その後伸び始めた。これは低塩分に対する適応期間が、20日間程度必要であることを示している。

図51には、塩分とアサリの生長速度の関係について示されている。餌料として鯉池底泥を与えた場合には海水濃度 50% (Sal.15.5%) ~海水濃度100% (Sal.32.3%) における生長速度は平均70 $\mu\text{m}/\text{day}$ であったのに対し、海水濃度 40% (Sal.12.8%) では42 $\mu\text{m}/\text{day}$ で、海水濃度100% (Sal.32.3%) の場合の生長速度の6割に相当する。 Skeletonema costatumを餌料として与えた場合には海水濃度 50% (Sal.15.5%) ~海水濃度100% (Sal.32.3%) では、平均140 $\mu\text{m}/\text{day}$ の生長速度が得られ、海水濃度 40% (Sal.12.8%) ではこの8割程度の112 $\mu\text{m}/\text{day}$ で、海水濃度100% (Sal.32.3%) の場合の4/5である。この場合には鯉池底泥を餌料として与えた場合よりも低塩分による影響が小さいが、これは海水で培養されたSkeletonema costatumの給餌によって飼育水の塩分が上昇したためと考えられる。一日あたりの塩分の変化を計算すると(飼育水400ml に対し塩分33%の海水で培養されたSkeletonema costatumを1日5ml \times 6回=30ml 与えた場合には次のようになる。

海水濃度 70% (Sal.22.6%) ; 22.6 \rightarrow 23.3 %

海水濃度 50% (Sal.15.5%) ; 15.5 \rightarrow 17.0 %

海水濃度 40% (Sal.12.8%) ; 12.7 \rightarrow 14.6 %

このように設定した塩分条件よりもいくらか高濃度の飼育水中におかれるために、鯉池底泥が餌料の場合に比べて、低塩分の影響が小さくでるのではないかと考えられる。

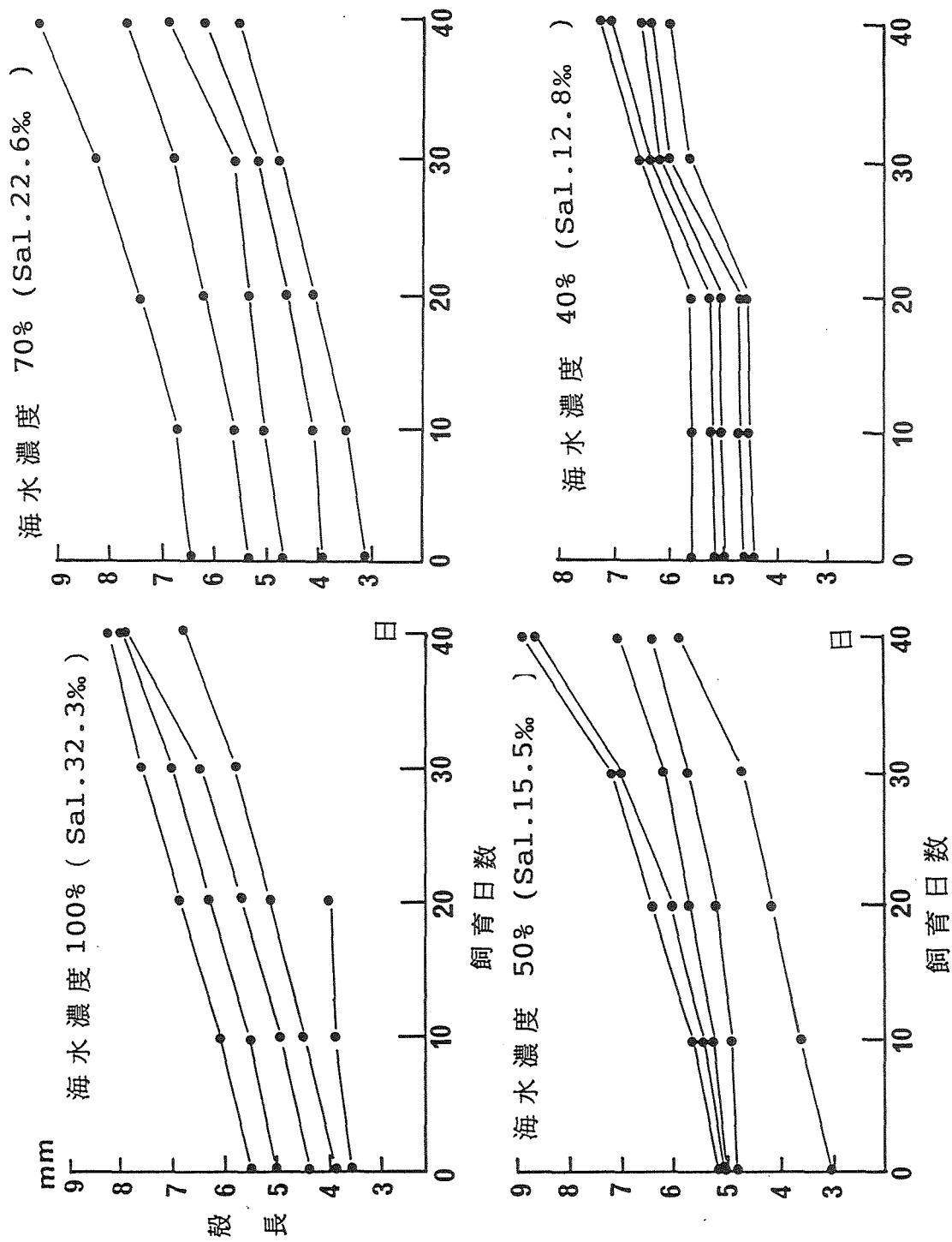


図 50 異なる塩分条件下におけるアサリの生長
(水温：20℃、餌料：鯉池底泥)

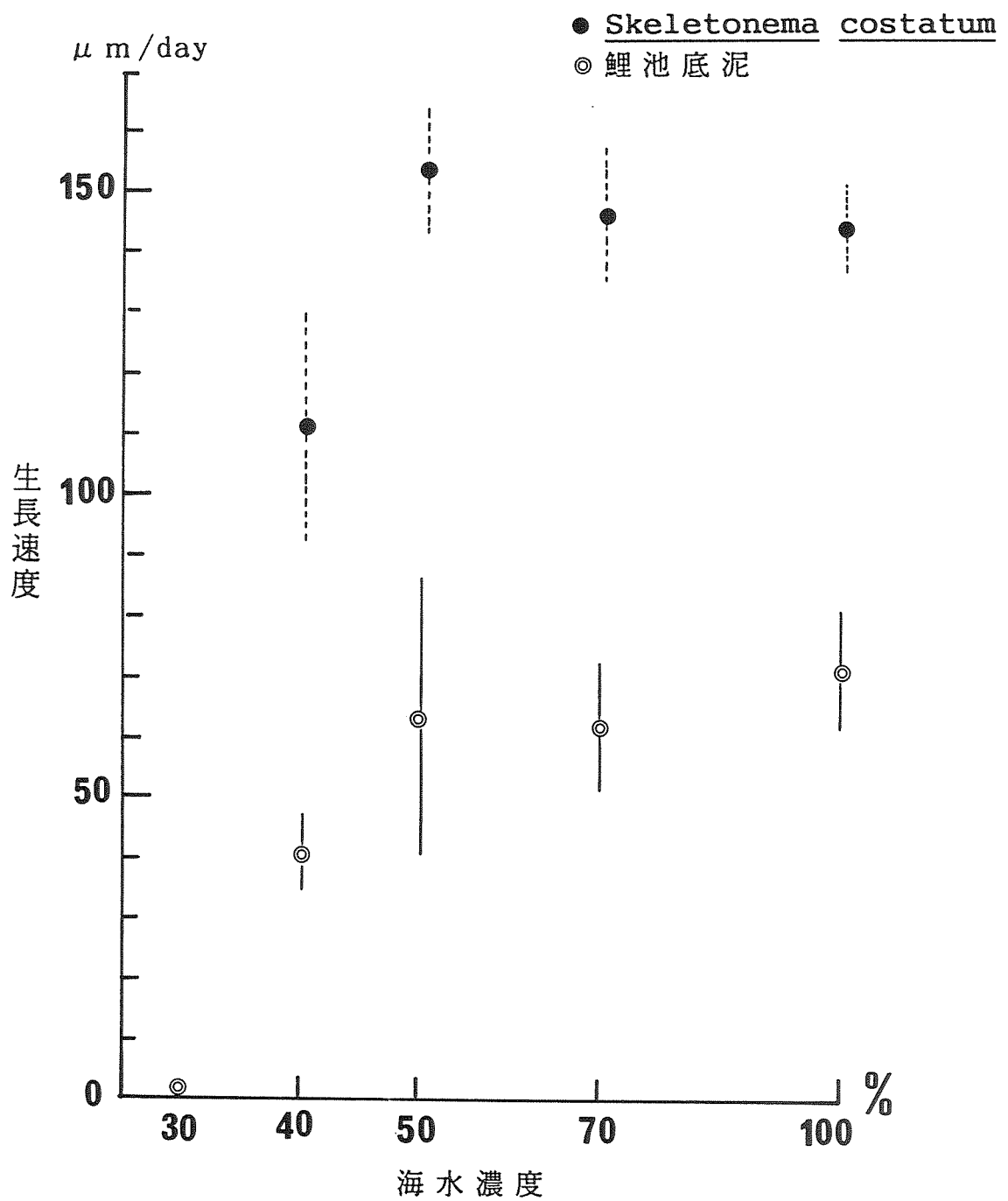


図 51 飼育水の塩分に対するアサリの生長速度の関係
 (餌料 : Skeletonema costatum、鯉池底泥)

海水濃度 100% (Sal. 32.3 ‰)
 海水濃度 70% (Sal. 22.6 ‰)
 海水濃度 50% (Sal. 15.5 ‰)
 海水濃度 40% (Sal. 12.8 ‰)
 海水濃度 30% (Sal. 9.5 ‰)

以上のことから、アサリ稚貝におよぼす塩分の影響をまとめると次のようになる。アサリ稚貝の低塩分に対する生存限界は海水濃度 30‰ (Sal. 9.5%) であり、生長が可能な塩分は海水濃度 40‰ (Sal. 12.8) 以上であることが分かった。生長に対して全く影響が現われない塩分は海水濃度 50‰ (Sal. 15.5%) 以上である。これらの結果は既往の報告(網尾1967)による塩分耐性より、耐性が強い結果となった。

2-3 底質の影響

図52に、砂の粒径に対するアサリの潜砂所要時間の関係を示した。底質がシルト(粒径63 μ m以下)の場合にのみ潜砂所要時間が長く、平均98.5秒である。これに対し微細砂から粗砂における潜砂所要時間は、短く、シルトの場合の1/4(平均20~30秒)である。砂質であれば粒径による差は認められない。これはウバガイの場合とは異なる現象で、アサリは底質条件に対して、ウバガイほど敏感ではない。

図53には、異なる底質条件でのアサリの生長が示されている。微細砂~細砂、粗砂のあいだには生長速度の差は認められず、平均55 μ m/dayであった。これに対しシルトの場合は飼育開始後20日間は生長しないが、その後生長速度は粗砂、微細砂~細砂の場合と同程度であった。すなわちシルトという特殊条件に対する適応期間として20日間を要したことになる。砂が無い条件では粗砂、微細砂で飼育した場合と比較して生長は緩やかで、40日間で約1.5mm伸び、40 μ m/dayの生長速度を示した。

図54には各底質条件でのアサリの生長速度が示されている。餌料として鯉池底泥を与えた場合も *Skeletonema costatum* を与えた場合も、ともに同様の傾向が認められ、粗砂および微細砂における平均の生長速度は140 μ m/day

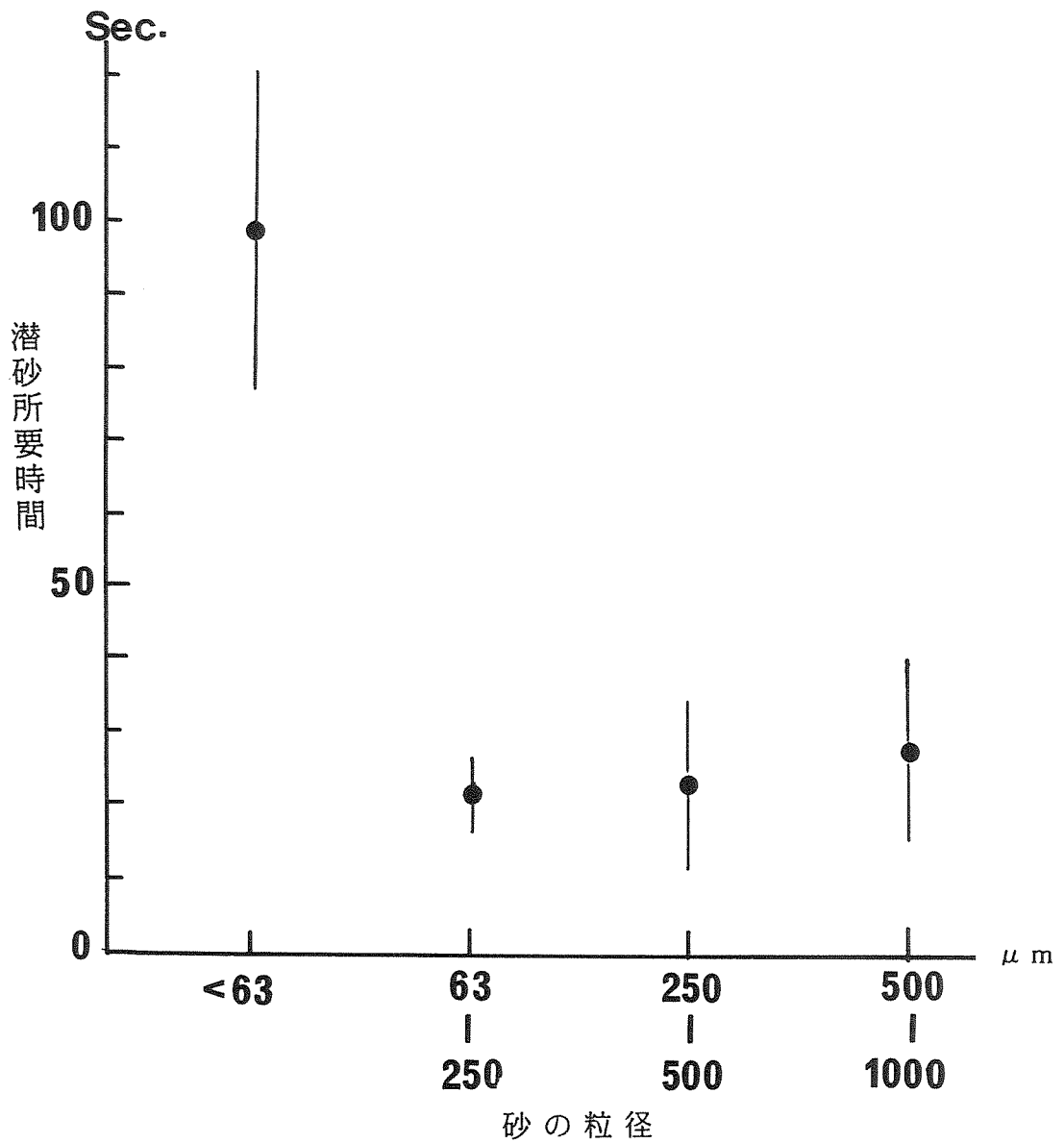


図 52 砂の粒径に対するアサリ稚貝の潜砂所要時間の関係
(水温：20℃)

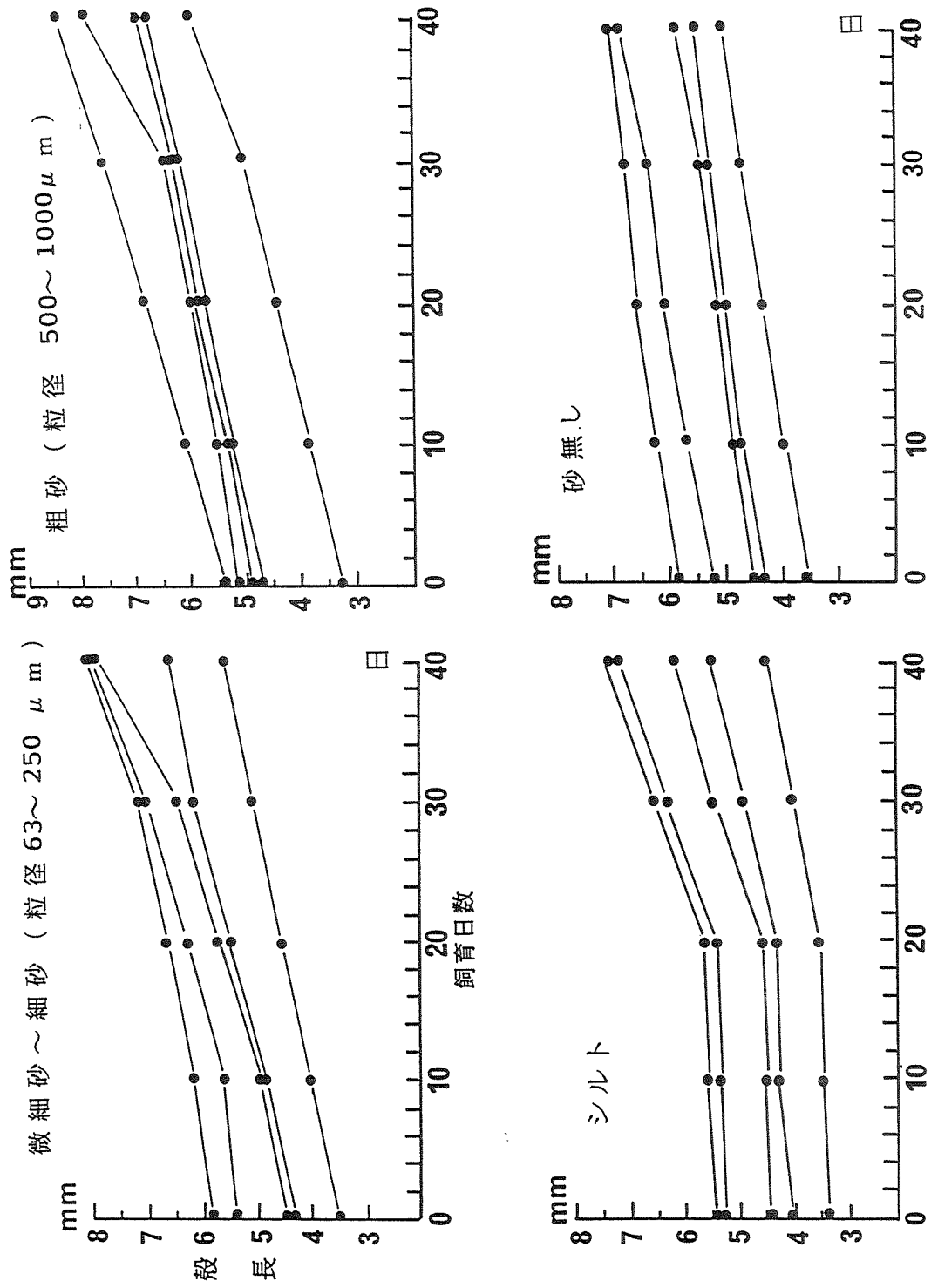


図 53 異なる底質条件下におけるアサリの生長
(水温：20℃、餌料：鯉池底泥)

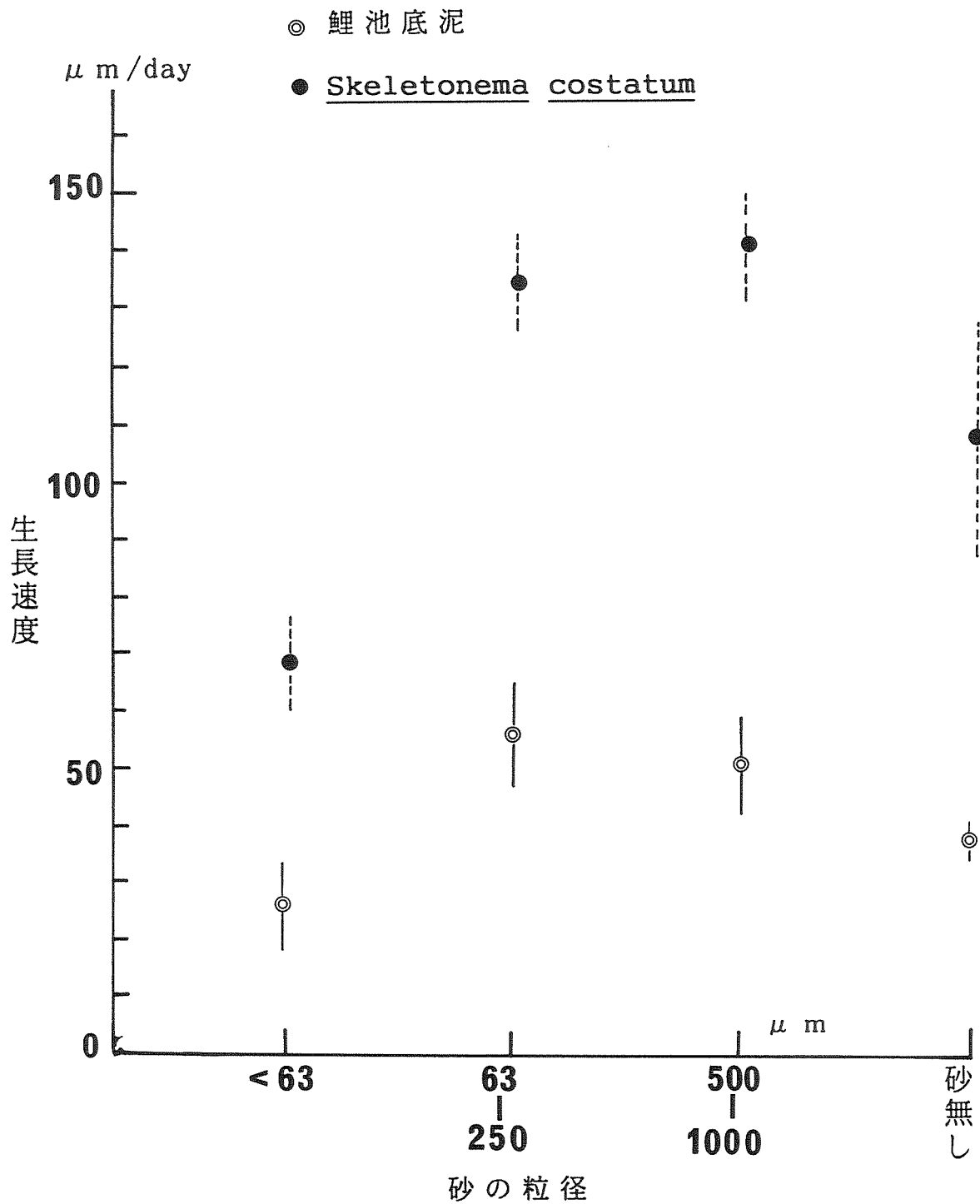


図 54 異なる底質条件下におけるアサリの生長
 (水温: 20°C、餌料: 鯉池底泥)

を示した。一方、シルトの場合の生長速度は $69 \mu\text{m}/\text{day}$ で生長速度の低下が認められた。砂なしの場合の生長速度は $108 \mu\text{m}/\text{day}$ であり生長は若干緩慢であった。

以上のことから、アサリにおよぼす底質条件の影響は次のようにまとめることができる。アサリは底質条件の変化に対して、ウバガイやヒメバカガイほどに敏感ではないが、シルトは好ましい条件とは言い難く、潜砂行動においても生長においても影響が現われた。しかし、一定の期間の後に適応し得ることが示された。砂がない条件におかれても生長の停滞は認められず、アサリは底質条件の変化に対して適応力が大きいと考えられる。

2-4 溶存酸素飽和度の影響

図55には溶存酸素飽和度に対する砂上率の関係が示されている。溶存酸素飽和度が100%の場合には全て潜砂状態にあったが、溶存酸素飽和度が80%に低下した場合の砂上率は10%に、飽和度55%では30%に増加した。溶存酸素飽和度が30%に低下すると、砂上率は60%と半数以上のアサリが砂上に出た。このことより、アサリは溶存酸素飽和度50%以下では潜砂状態を保てないことが示された。

2-5 露出の影響

図56には水や砂のない条件(-5、5、15、23℃)で放置した場合のアサリの生残率が示されている。23℃では2日間の生残率は100%であったが、その後生残率は、3日目に90%、4日目に70%に低下し、5日目には全個体が死亡した。15℃の場合には5日間の生残率は100%であったが、その後生残率は徐々に低下して、10日目には全個体が死亡していた。5℃では13~15日目まで

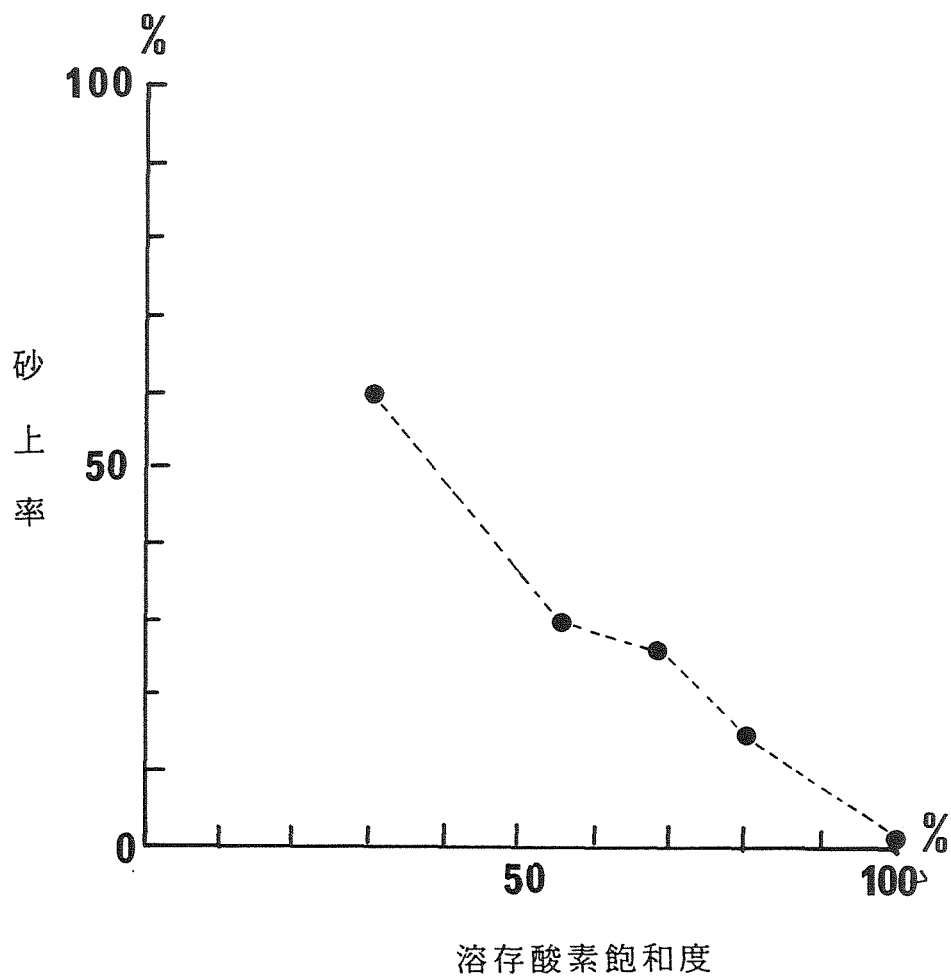


図 55 溶存酸素飽和度に対するアサリの砂上率の関係

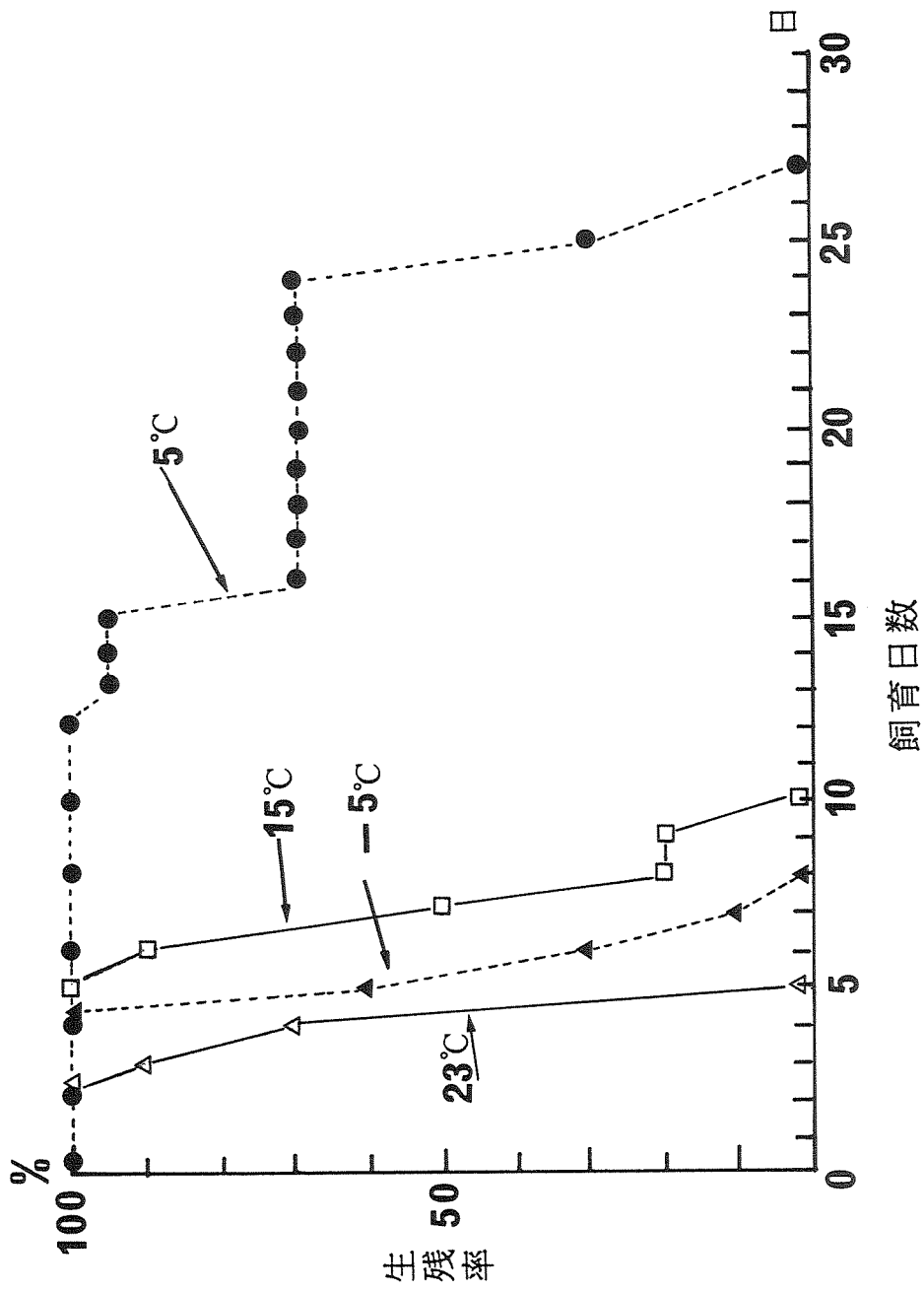


図 56 アサリの生残率に対する露出の影響

は生残率は90%であったが、16日目に70%、25日目に30%に低下し27日目には全数死亡した。アサリは低温におかれた場合水のない条件であっても12日間は生存し、露出に対する耐性が強い。これはこのような条件下ではアサリは活性を抑えて生活しているものと考えられる。

第2節 砂押川河口アサリ漁場の環境特性

1. 材料および方法

調査水域および調査期間

図5-7に砂押川河口の調査地点を示した。砂押川は宮城県利府町に水源をもち、多賀城市内を流れ、仙台新港に注いでいる河川である。調査地点は、河口の先端部に近いところをSt.1として、そこから上流に向かって、St.2~8までとした。St.8は、St.1から約3kmにある。

調査期間は1988年4月から1989年9月にかけて行った。

調査項目

干潮時に、1m²の鉄製の枠を用いて、その枠内に生息しているアサリの個数を数え、分布密度を求めた。

水質環境として、水温、pH、塩素量、クロロフィルa濃度、CODの5項目
底質環境として、底泥の酸化還元電位、底泥懸濁液のCODとクロロフィルa濃度、底泥の粒度組成の4項目である。分析方法は第II章の磯部ウバガイ漁場の環境調査の場合と同じである。塩素量は、硝酸銀による滴定法によった。

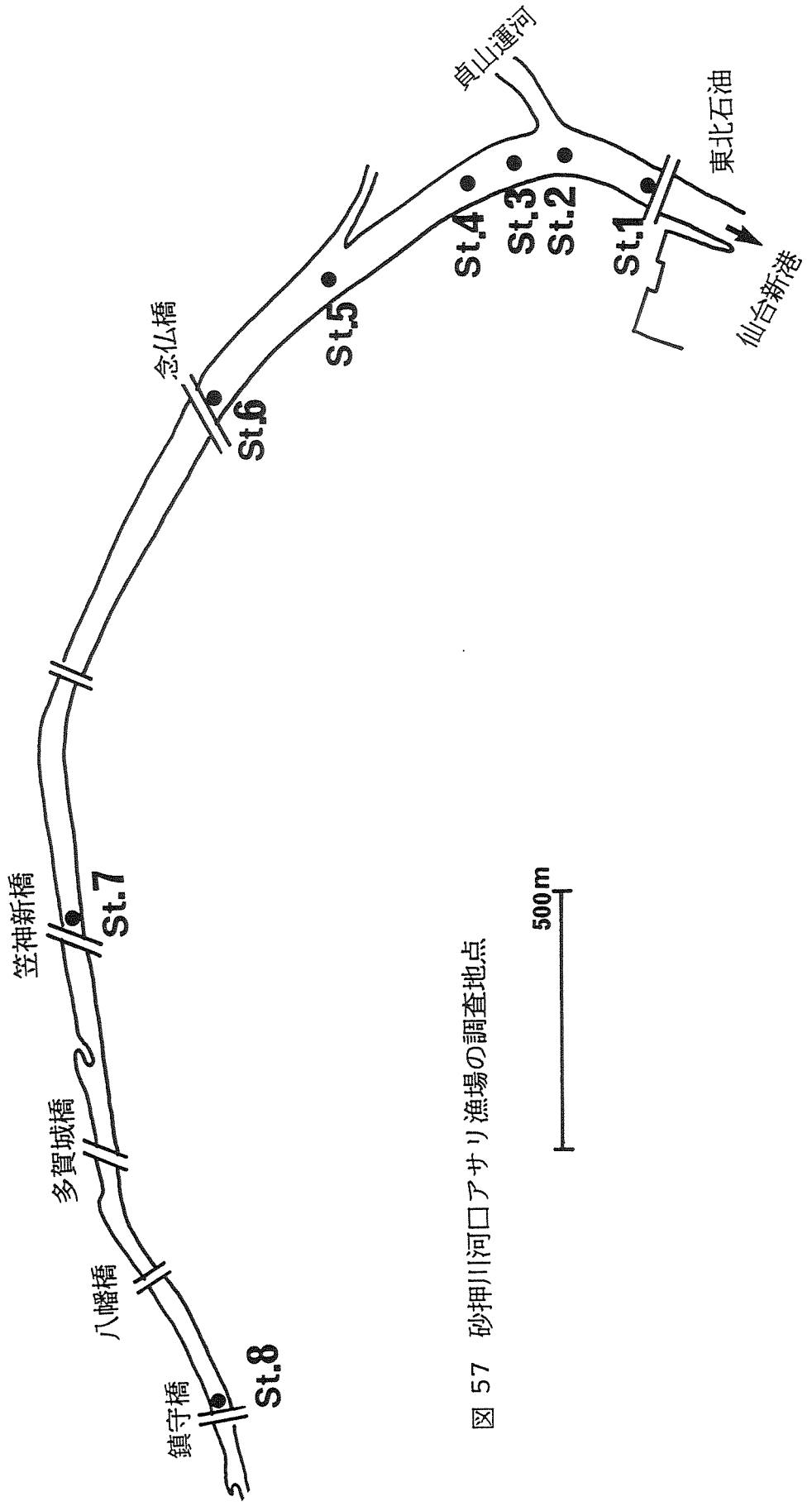


図 57 砂押川河口アサリ漁場の調査地点

2. 結果および考察

2-2 アサリの分布密度

図58に、1988～1989年のアサリの分布密度を示した。1988年4月18日は、St.1における密度が高く、1m²あたり155個体の生息が確認された。St.2、3においてはそれぞれ、61、52個体で、St.4では36個体と上流域ほど密度は低下した。1988年12月8日、1989年5月20日および1989年8月21日にも同じような傾向がみられ、このことよりアサリの生息域は河口先端部から約500m上流までである。

2-2 水質環境

図59には、砂押川における干潮時の河口域であるSt.2とその上流約1kmのSt.6の表面水温の変化が示されている。水温はこの2地点で同じような傾向をたどり、最高水温は7月の25.8℃であり、最低水温は2月の4.9℃であった。

図60には、砂押川における干潮時の表面水の塩素量の変化が示されている。塩素量は著しく変動しておりSt.2では、最高2.7～最低12.6%である。St.6においてはSt.2と比較して全体的に塩素量は低いものの、最高0.1～最低10.2%であった。

1日間の塩素量の変動幅をみるために、1989年9月14日、大潮の干潮時（8時50分～9時30分）満潮時（午後4時30分～5時15分）に、St.1～St.8において採水し塩素量を測定した。

図61にはその鉛直分布が示されている。干潮時には0.6%の低塩分水がSt.6にまでおよんでおり、河口の先端に近いSt.1でも、表面水は塩素量4%、底層水のそれが10%で、低塩分はここにおいても認められた。満潮時には表面において低塩分が認められるものの、底層の塩素量はSt.6までは14%で

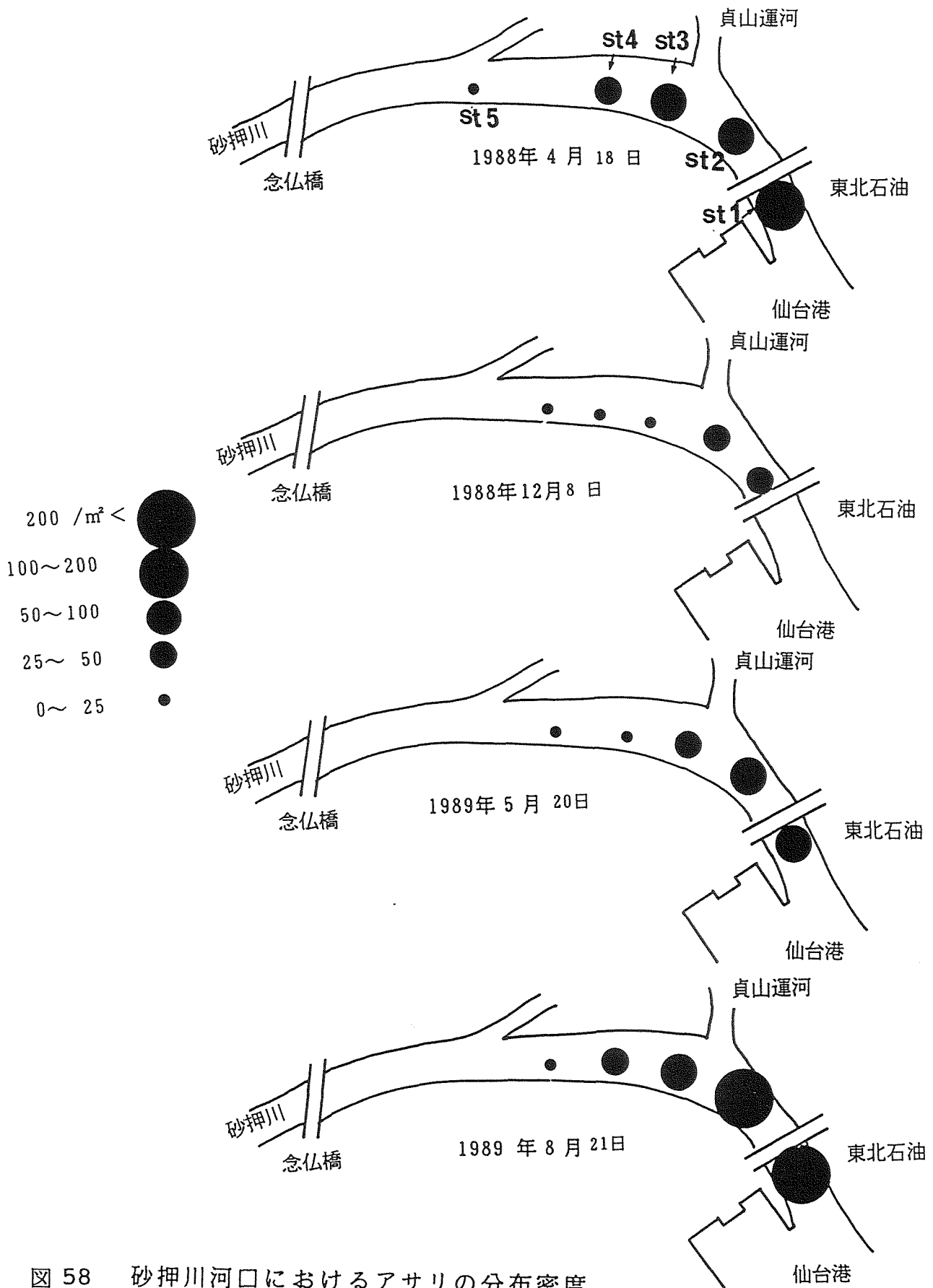


図 58 砂押川河口におけるアサリの分布密度

● — 河口域 (S t . 2)
 x - - - 念仏橋 (S t . 6)

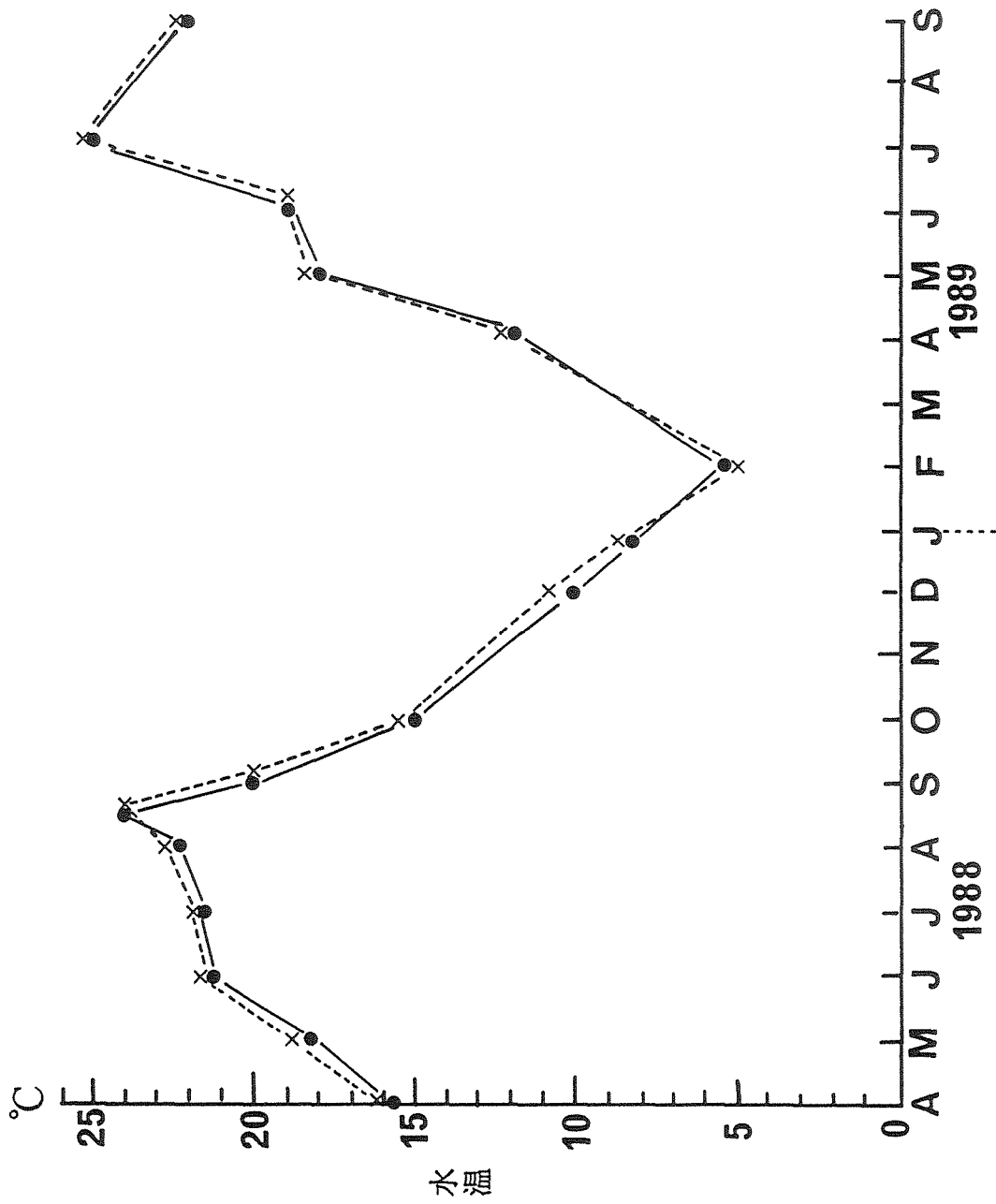


図 59 砂押川における表面水温の変化 (干潮時)

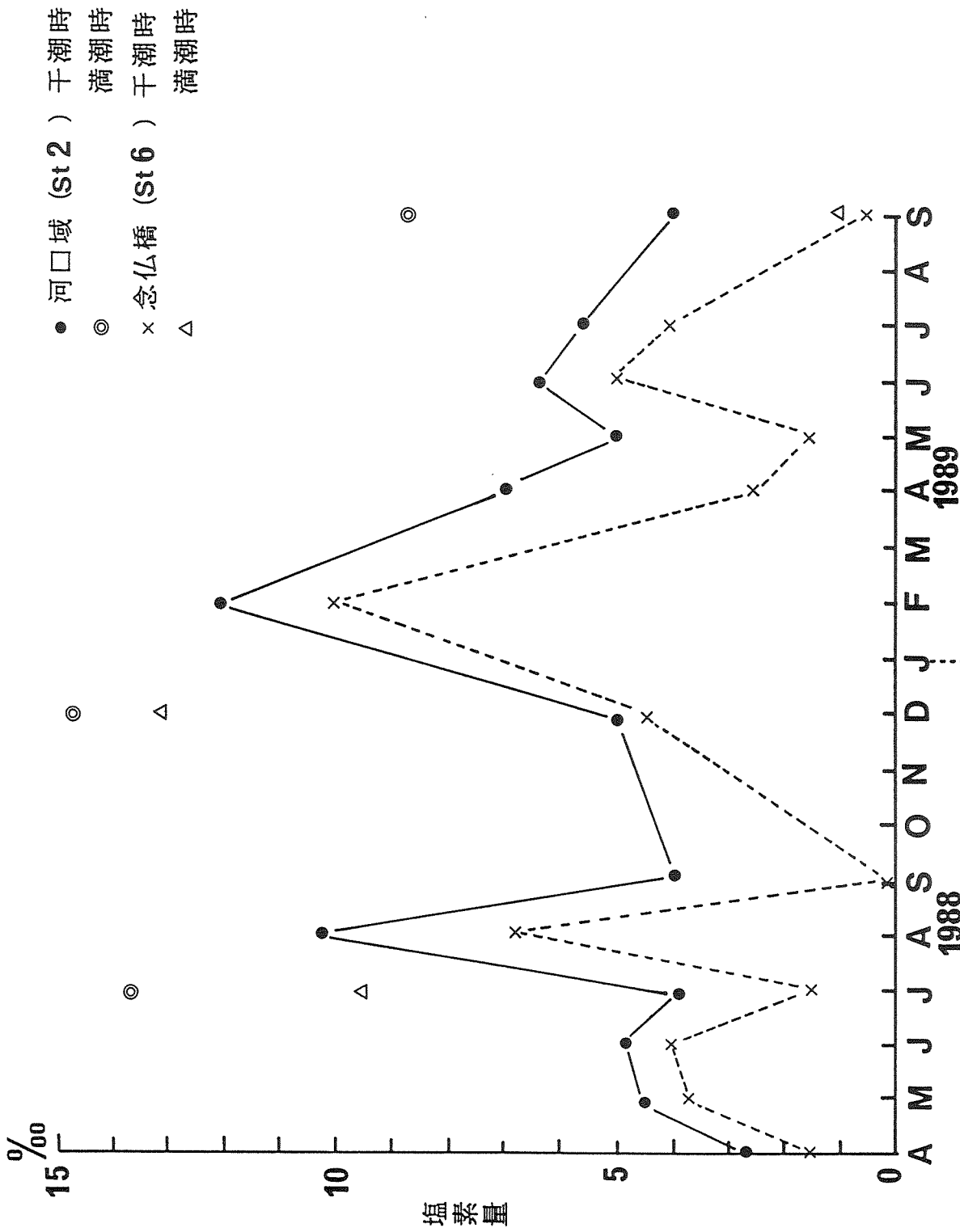
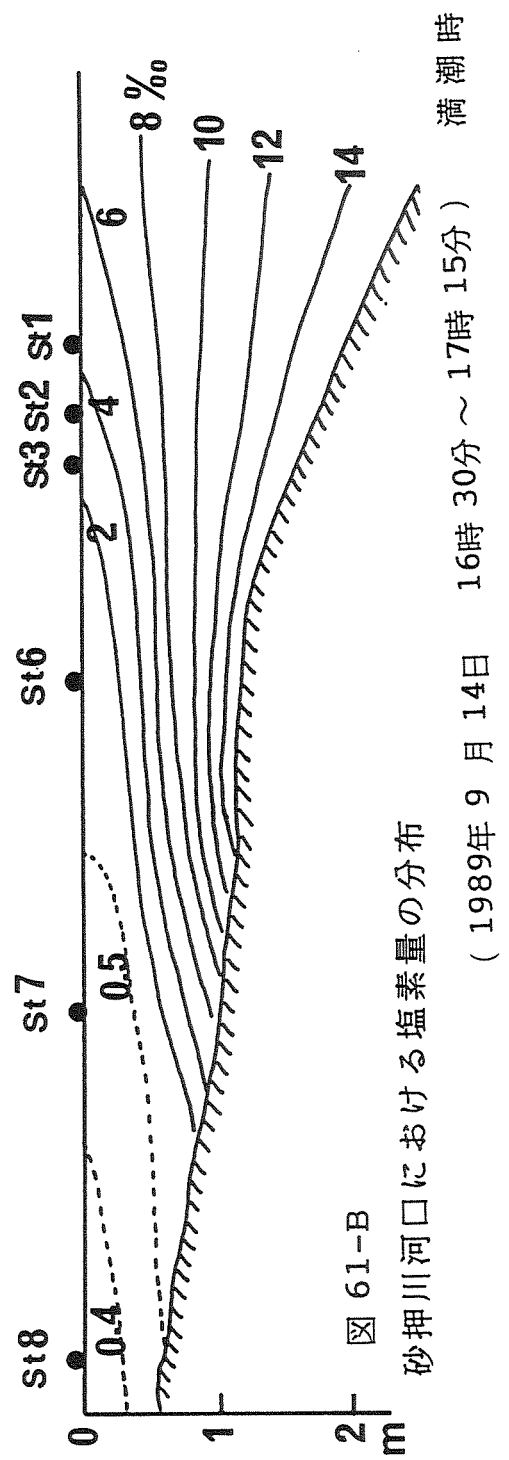
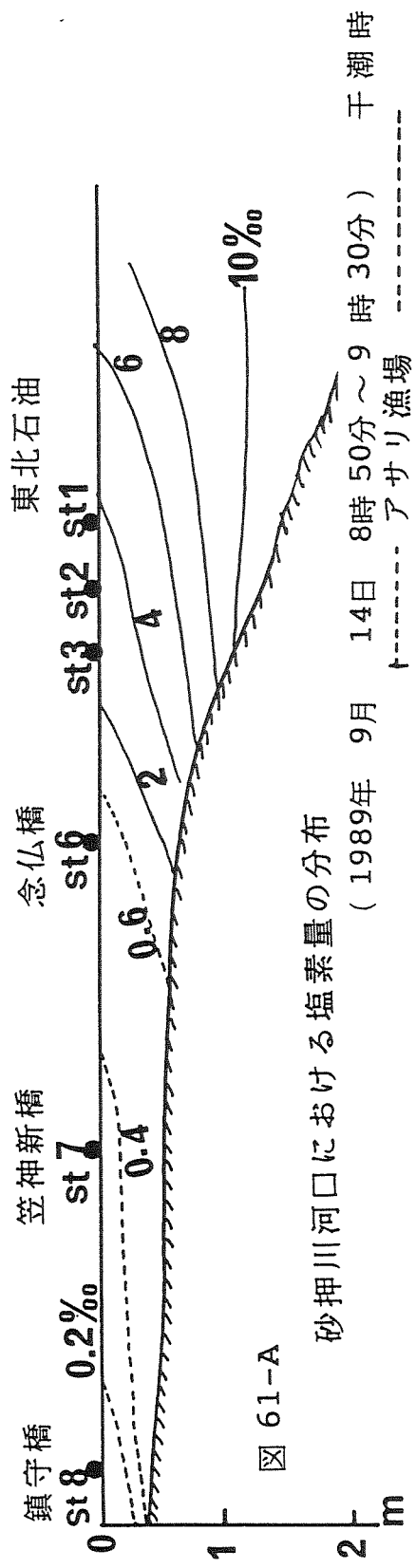


図 60 砂押川における塩素量の変化



あり、“塩水くさび”となって入り込んでいることが分った。この濃度は約海水濃度77%に相当する。

このときアサリの生息がSt.3まで確認されており、干潮時の塩素量は10%のところであった。10%の塩素量は海水濃度約56%に相当する。この塩分はアサリの生長には全く影響がないことが前節で明らかされた。

St.6における干潮時の塩素量は0.6%（海水濃度約30%）であり、先の飼育試験からは生存が不可能な条件であるものの、満潮時の底層水の塩素量は14%（海水濃度約78%に相当）生息条件を満たしている。23℃における露出に対する耐性試験結果から3日間の露出に対して殆ど影響を受けていないことが示された。アサリは環境が悪化すると殻を閉じて、良好な環境条件になった時再び殻を開き摂餌するということで対応しているものと考えられる。したがってアサリの生息がSt.6において認められないのは、塩分条件によるものではないと考えられ、それ以外に制限因子があるものと推察される。

図62に、砂押川におけるクロロフィルa濃度の変化が示した。全体的にSt.6のほうがSt.2よりも高く、最大で1.5倍の差がみられた。St.6におけるクロロフィルa濃度の最大値は6月の $13.5\mu\text{g}/\ell$ 、最小値は2月の $4.5\mu\text{g}/\ell$ で、St.2では最大値は $9.6\mu\text{g}/\ell$ （5月）、最小値は $3\mu\text{g}/\ell$ （9月）で、年間の変動幅は約3倍程度である。

図63-Aと図63-Bには1989年9月14日 16時30分～17時15分の満潮時におけるクロロフィルa濃度、およびCODが示されている。河口域はクロロフィルa濃度は $2\mu\text{g}/\ell$ と低くなり、上流のSt.7付近ではその2倍の $4\mu\text{g}/\ell$ であった。CODも同様の傾向でSt.1が6ppm、St.7では約10ppm、St.8では、12ppmと上流に行くにつれてCODは高い。多賀城市内の生活排水や農業排水の大部分が流入しており、市街地の中心であるSt.6、7、8で

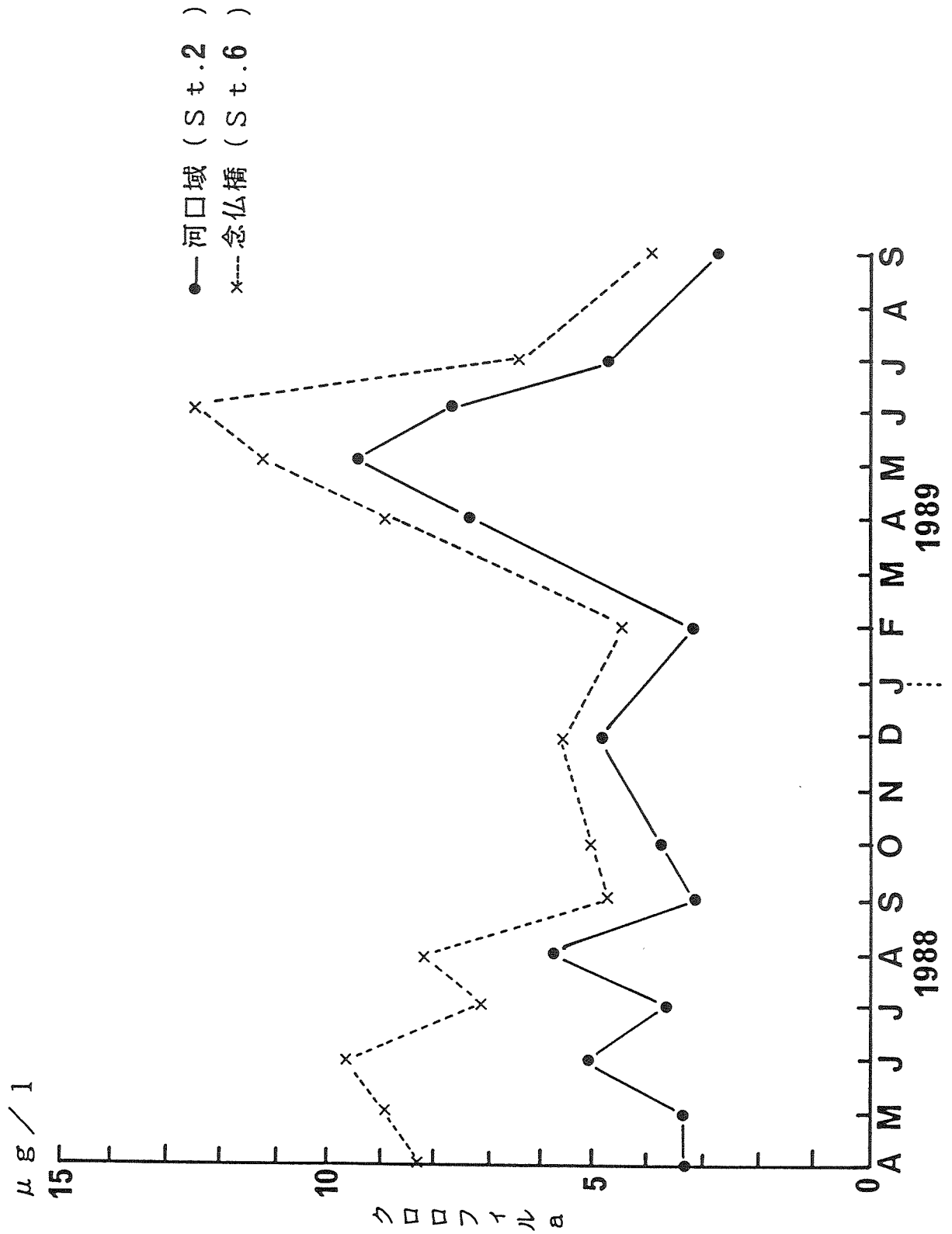
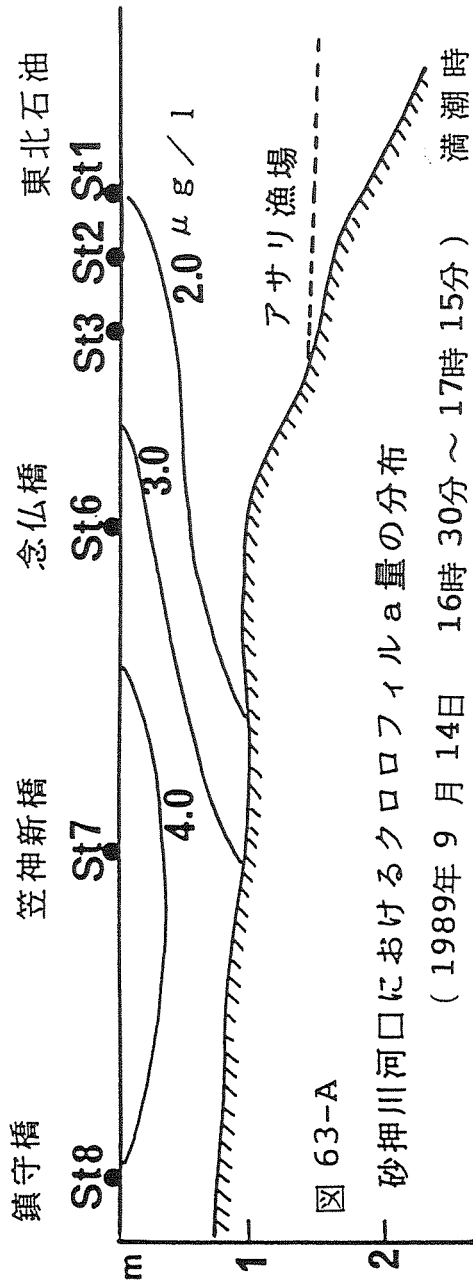
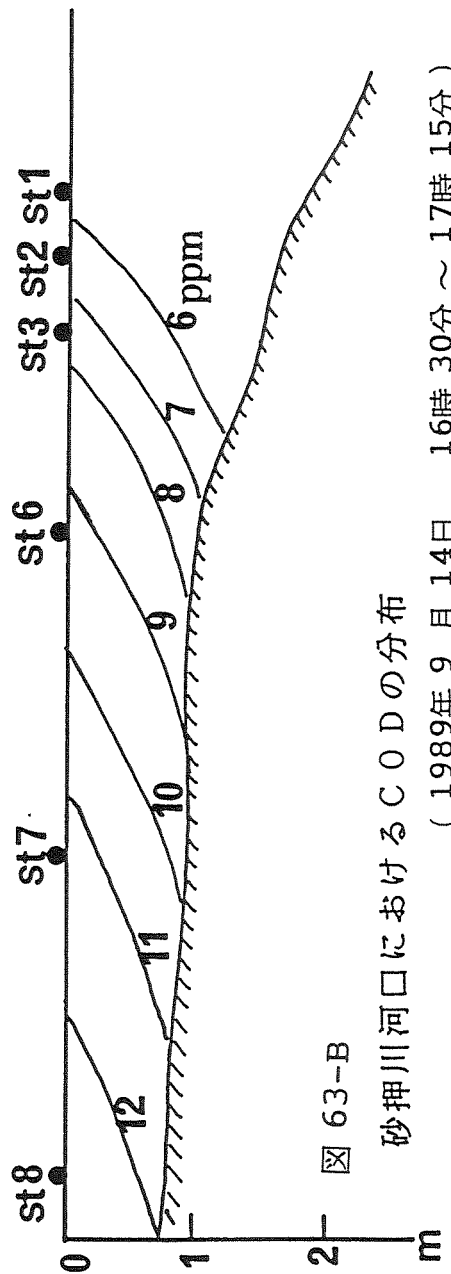


図 62 砂押川におけるクロロフィル a 量の変化



200m



CODが高く、富栄養化現象が現われているのであろう。

2-2. 底質環境

図64は、St.1を除く7地点での底泥の粒径組成を示している。

St.2、3は粒径250～500 μm にモードをもつ中砂域であるが、St.4になると125～250 μm の細砂が多くなり、この上流のSt.5、6においては、シルトが占める割合が90%以上を超え、特異的な底質条件であった。さらに上流のSt.7では粒径250～500 μm の中砂が50～60%であった。St.8では、125～250 μm の細砂が40%を占めるものの、2000 μm 以上の極粗砂もみられ、その粒度分布はSt.4に似ており、分布幅も広い。

図65には底泥の酸化還元電位が示されている。St.2～St.4では50～160mVと酸化状態を示していたが、St.5～St.7では還元状態の-300～-100mVを示した。St.8では再び、酸化状態の90mVに回復している。St.5～7の還元状態では硫化水素の発生も認められ、アサリの生息環境としては不適な条件であると判断された。ここでは多数のミズゴカイが認められた。

以上のことから、砂押川の底質環境をまとめると河口域の先端から約1km上流のSt.6、7は、シルトが90%以上を占め、酸化還元電位もマイナスを示し還元状態でアサリの生息には不適な条件であることが示された。

論議

飼育試験結果から、アサリの最適環境条件は、水温20～25 $^{\circ}\text{C}$ 、塩分15%以上、底質は微細砂～粗砂の範囲にあることが示された。

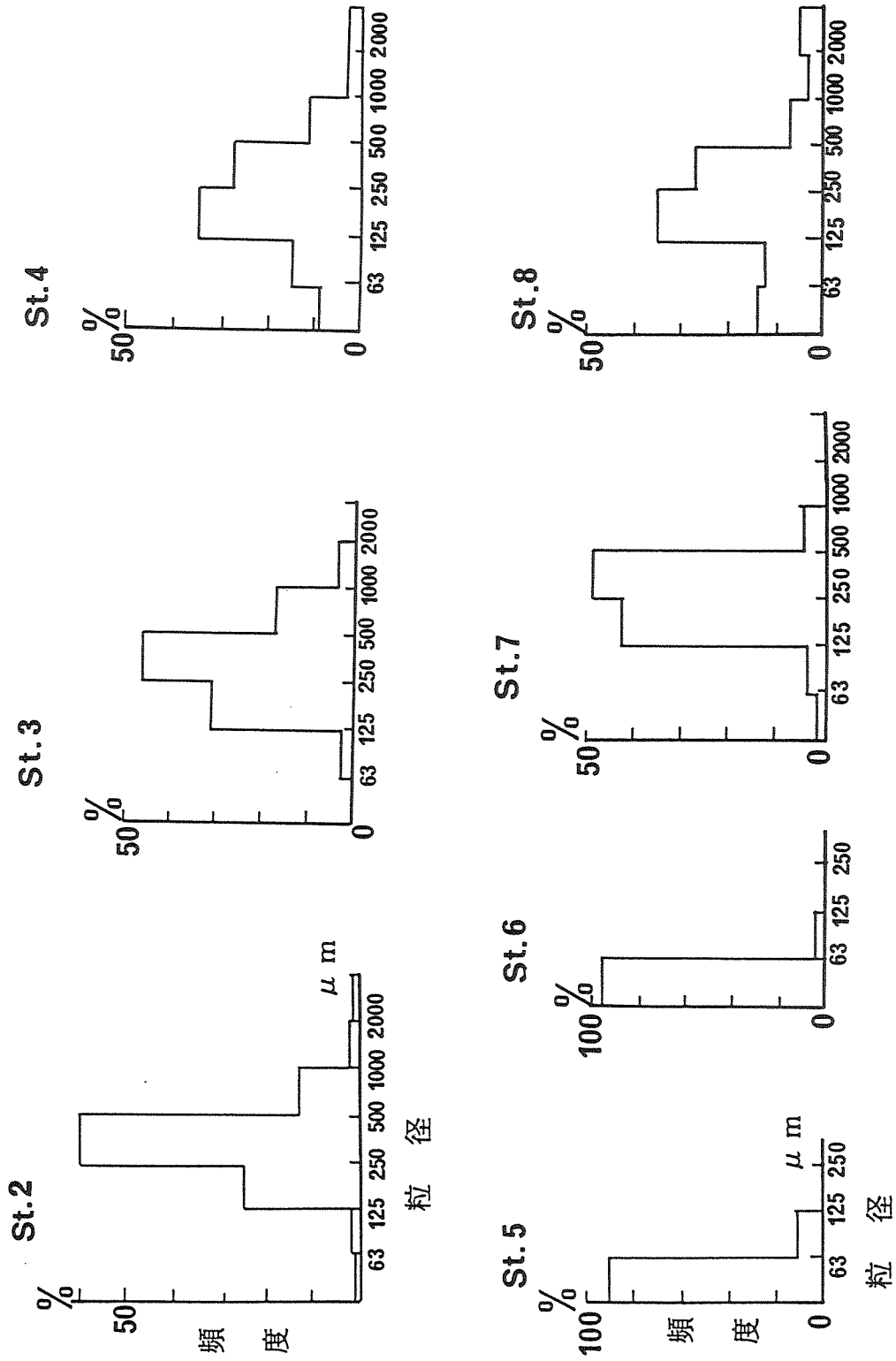


図 64 砂押川河口における底泥の粒度組成 (1989 年 9 月 14 日)

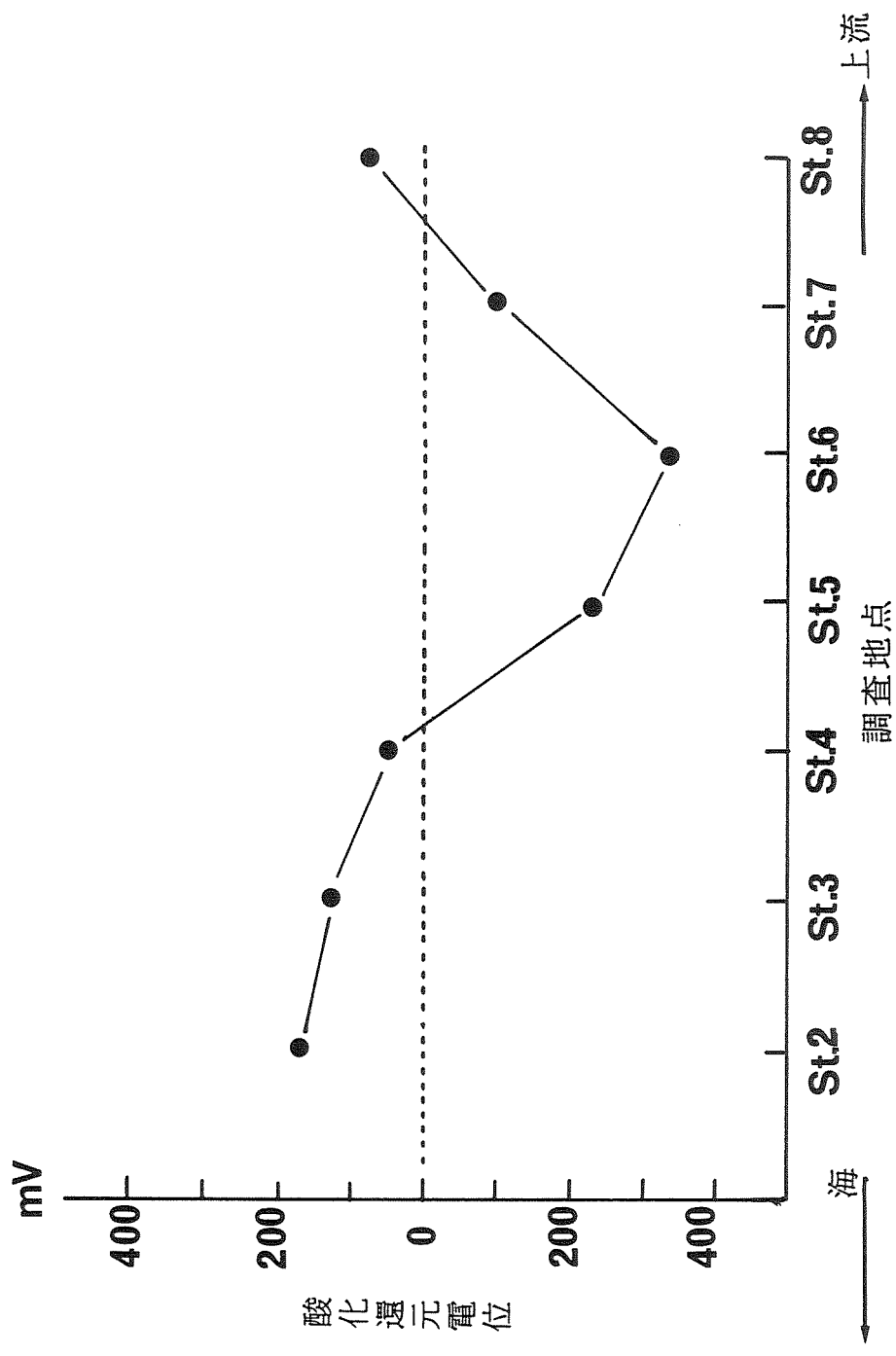


図 65 砂押川底泥の酸化還元電位

(1989 年 9 月 14 日)

この条件をウバガイに関して本実験で得られた結果と比較すると、水温に関してはより高温域に（ウバガイの最適水温は15～20℃）にあり、塩分耐性はウバガイの場合よりも低塩分域（ウバガイの場合は23%以上）にある。

底質に対しては粒径のより粗い水域（ウバガイの場合は微細砂～中砂）である。シルトにおいてはウバガイの場合と同様に生長の低下が認められたが、アサリの場合には約20日間で適応することが分り底質の変化に対して適応力が大きい種であると考えられた。

倉茂他（1957）によれば、アサリは比重1.018～1.027で長期間生存することができる。この比重を塩分に換算すると24.6～36.3%となる。今回得られた結果では12.8%の低塩分まで生存可能であり、網尾（1967）の報告と比較しても低塩分に対して抵抗性があることが示された。

溶存酸素飽和度に関しては、アサリは飽和度50%以下になると潜砂状態を保てなくなり砂上に出てくることが分ったが、ヤマトシジミの場合にも溶存酸素飽和度50%以下では嫌氣的代謝をすることが示されており（位田他1976）、本実験で得られたウバガイの場合にも溶存酸素飽和度は50%以上あることが必要であることが示された。したがって二枚貝類にとって正常な状態で生息するための溶存酸素量はどの種類においてもほぼ同じレベルであると推測される。

次に砂押川河口漁場においてアサリが高密に認められた環境の特徴は、次のようなものである。著しい塩分の変動がみられるが、塩素量は14%以上（海水濃度77%に相当）、富栄養化現象が認められることおよび底泥の含泥率が低く細砂～中砂域である。

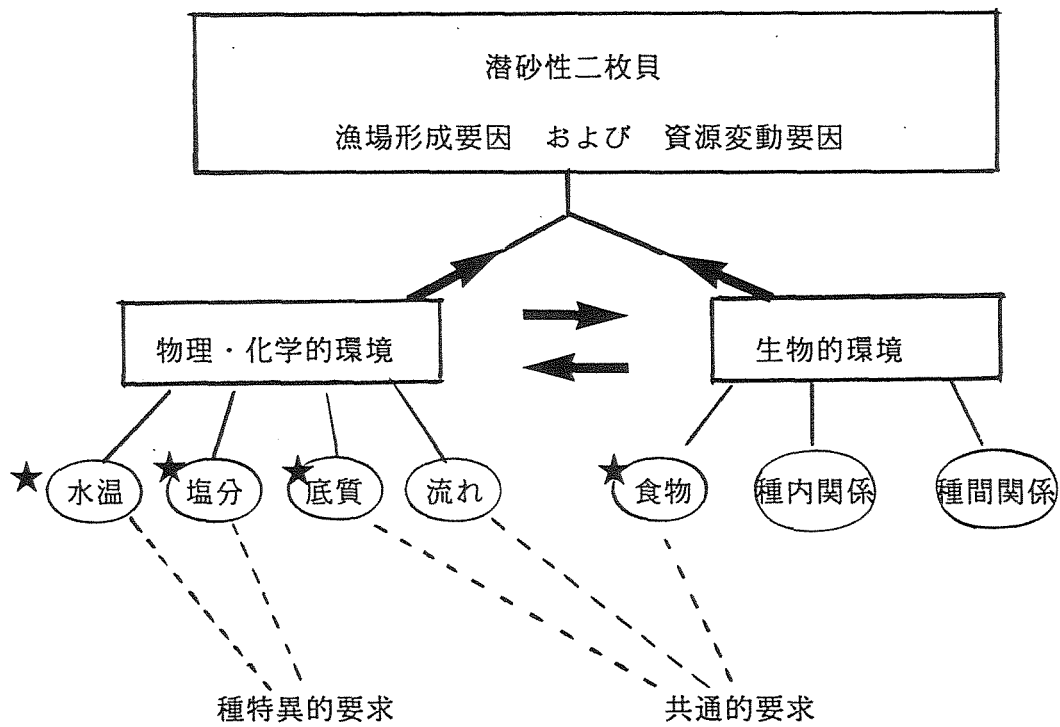
以上のことを総合すると砂押川河口におけるアサリの分布を規定している要因は、第一に底質、次に塩分条件である。

第IV章 総合論議

二枚貝の漁場形成および資源変動は環境の水温や塩分などの物理化学的特性と捕食者や餌生物などの生物的特性の両者によって支配されていると考えられる(図66)。両者は互いに影響をおよぼしあいながら、様々な形で二枚貝の生態を規定している。この点について明らかにするためには、現場における調査だけでは困難であり、様々な環境の下での二枚貝の応答を克明に観察してゆくことが重要であると考えられる。

これまでの二枚貝と環境との関りあいに関する研究では発生初期の卵、浮遊幼生期に関するもの(道津他 1988、His E., et al 1989、Hrs-Brenko et al 1969、木下 1985、木下 1989)は多いが、着底後の稚貝および成貝期を扱った報告は少なかった。これは容易に入手できる有効餌料がなかったということがその理由のひとつであろう。二枚貝の摂餌に関する研究は主に消化管内容物調査(木下1949、高槻1949)および濾水率に関する実験(Winter1973、Tenore1973)の二つである。たとえばアコヤガイの胃内容物調査(小串1949)では Chaetoceros sp.、Prorocentrum sp.、Cosinodiscus merginatusなどのほかにデトライタスが観察されていることから、アコヤガイの餌としては藻類ならびにデトライタスが有効であると考えられた。一方、摂餌実験では与えた餌料がどれだけ濾過されたかということをも尺度として餌料価値が判断されている。しかし二枚貝に対する有効な餌料については現在も不明な点が残されている。

本研究によって、これらの疑問点をおおよそ解明できた。デトライタスを多量に含んでいる自然水域の底泥や鯉池底泥を超音波処理によって懸濁状態に



★: アサリ・ウバガイに関して本研究において明らかにされた

図66 潜砂性二枚貝の漁場形成要因および資源変動要因についての

フローチャート

(潜砂性二枚貝の初期発育段階期における環境要求に関する研究)

し、アサリ・ヤマトシジミを用いて餌料の評価試験を行った結果、餌料効果が高い底泥（鯉池底泥、蒲生干潟底泥、井戸浦底泥、砂押川河口底泥）と餌料効果が低い底泥（貞山堀底泥、仙台新港底泥）が認められた。前者には珪藻やべん毛藻が多量に含まれていたのに対し、後者には藻類は認められず、殆どデトライタスであった。また、培養藻類を用いたヤマトシジミ、アサリウバガイ、ヒメバカガイに対する餌料評試験結果から珪藻の Skeletonema costatum が最も高い餌料効果を示したのに対し、緑藻の Chlamydomonas TK株、藍藻の Microcystis aeruginosa の餌料効果は著しく低いことが分った。これは緑藻や藍藻の細胞壁はセルロース様の物質でできており二枚貝にとっては消化しにくいためであると考えられる。上下の殻に包まれた珪藻の細胞は比較的二部分に割れやすいので、消化吸収されやすいのであろう。これらの結果から二枚貝は水中の懸濁物を無差別に摂餌してはいるが消化吸収されて二枚貝の生長に寄与しているのは珪藻のように殻が壊れやすいものであると考えられる。

すなわち、水中には藻類やデトライタスなど様々なものが懸濁していると考えられ、ウバガイ、アサリなど懸濁物食者は無差別にこれらを摂取していると考えられる（福庭1989）。しかし生長試験において用いられた餌料の生長に対する効果には著しい差異が認められたこと（先述）は、次のことを意味している。すなわち水中懸濁物全てに餌料効果があるのではなく、その中の一部によって二枚貝は支えられているらしい。したがって自然水域では予想以上に摂餌条件は厳しいと思われ、餌環境の良否が二枚貝の漁場形成要因として重要であると考えられる。

桑谷（1964）は Skeletonema costatum がアコヤガイの餌料として有効であると報告しているが、一般に Skeletonema costatum が長い chain状になっていることから、沈着初期の稚貝の餌料としては不適當ではないかと思われ、小型藻類を使用している場合が多い（私信）。事実、福島県水産種苗研究所および

宮城県栽培漁業センター試みられているウバガイの種苗生産では、細胞が比較的小型の珪藻である Chaetoceros calsitrans が用いられている。しかし超音波処理によって Skeletonema costatum の鎖は容易に切ることが示され、1mm サイズのウバガイの餌料として有効であることが分った。

また Skeletonema costatum が低塩分水、海水濃度 30% (Sal. 9.5%) を用いた場合にも増殖するという新しい知見が得られた。 J. W. Rijstenbil et al (1989) は Skeletonema costatum は Sal. 13.5% (約40% 海水) にさらされた場合には光合成が阻害されることを指摘しているが、本実験ではそのようなことは認められず、ヤマトシジミの餌料としても有効であり、自然水域のヤマトシジミの生長速度より高い値が得られた。 Skeletonema costatum は培養しやすく、低塩分水においても増殖可能で海産から汽水域産の二枚貝の餌料として広く利用可能であることを示している。

また Skeletonema costatum よりは餌料効果は劣るものの、鯉池底泥や自然水域底泥に餌料価値を見出したことは、飼育試験や種苗生産における餌料の生産コストの軽減につながるものであり、本実験のひとつの成果であると考えられる。

二枚貝の研究においてももうひとつの問題は、基準となるべき手法が確立されていないことであると考えられる。

本研究ではこれまであまり着目されることのなかった二枚貝の潜砂行動について重点をおき以下のようなことを明らかにした。 潜砂行動によって次の二つのことを判定できる。

第一は二枚貝の活力の有無であり、第二は環境条件の悪化である。 潜砂行動から、その種類の生存可能な環境条件の限界が判定できることが分った。 ある環境条件下におかれた場合に24時間以内に潜砂したならば、その環境のもとでの生存は可能であると考えられる。 たとえばウバガイを用いた異

なる塩分条件下における飼育試験では、海水濃度 50% (Sal.15.5%) ~ 海水濃度 100% (Sal.32.3%) の場合には 24 時間経過後の潜砂率は 100% であり、30 日間の生残率も 100% であった。一方、海水濃度 40% (Sal.12.8%) の場合には 24 時間を経過しても潜砂率は 30% と低かった。このときには 30 日間の生残率も低く 30% であった。アサリの場合も同様の結果が得られた。すなわち、30 日間の耐性試験結果をまたずに耐性限界の判定が可能であることが示された。

しかし生長におよぼす環境条件の影響を評価するためには、生長試験の実施が必要であり、本研究において簡易な飼育試験法が考案されたことは今後の研究に役立つものと考えている。

ところで本研究においては産業的に重要な 2 種類の二枚貝、ウバガイ、アサリについて実験を行ったが、総括的に二枚貝の環境要求について考察する。

最適な水質環境（水温、塩分など）は、種特異的である。

たとえば、ウバガイの最適水温は 15~20℃ であったが、アサリのそれは、20~25℃ であった。最適塩分はウバガイでは 23% 以上、アサリは 15% 以上である。

また、ハマグリの場合には適温の範囲は 22~34.5℃、適切な塩分の範囲は 19.2~32.2% とされている（沼口他 1987）。アコヤガイでは塩分 15% 以上が適当な条件と報告されている（沼口他 1986）。

一方、底質環境は二種ともに共通の要素を要求しているように考えられる。異なる底質環境におけるウバガイ、アサリの潜砂試験および生長試験結果からは微細砂~中砂が最適環境であると判断された。すなわち、稚貝の着底や着底後の安定した生息はシルト上では実現されず、微細砂あるいは細砂質の海底で実現可能であると思われる。

さらに二枚貝にとっては底質中に有機物が豊富であること、なかでもクロロフィル a 含量が多いことが望ましい条件であると推測される。

このような底質環境は、植物プランクトンの増殖を促すに十分な栄養塩の供給と、適度な流れによって維持されるものと考えられる。福島県磯部水域はウバガイの重要な漁場であるが、そこでは表層に低塩分水の流入がしばしばみられ、これが栄養塩の供給に寄与している可能性が高い。事実、海底には細かい砂や高い濃度のクロロフィル a がみられ、また有機物が堆積しており、ウバガイにとっては好適な条件を備えているものと考えられる。海流の調査は行わなかったが、そうした条件を備えた底質に同心円状に稚貝が分布していることから、ここには小規模な環流が形成されているものと推定される。環流があれば沈降物はその中心を中心にして集中して堆積するからであり、そうであれば、二枚貝類の浮遊幼生もその環流の中心部に集中的に着底し、この漁場が長期間維持されることになると思われる。

アサリ漁場として知られている砂押川河口では、河川水が流入することによって栄養塩が不断に補給されていることが、高いクロロフィル a 濃度から明らかである。

このようにみえてくると、水温、塩分によって支配される分布可能海域中のどこに分布するかという、いわゆる潜砂性二枚貝の局所的分布の規定要因で重要なのは、底質であるといえる。着底初期の稚貝にとって底質はとくに重要で着底後の安定性と餌の供給が適度に保障されていることが要求される。

水質環境はむしろその後の生長の良否、あるいは繁殖力などに影響を与えているものと考えられる。しかし、表層の水質環境が植物プランクトンの生産を支配するなど、水質環境と底質環境は密接に関連しており、切り離して考えることはできない。両方の条件がみたされて、はじめて潜砂性二枚貝の適環境が形成されるのであろう。

琵琶湖における淡水産二枚貝のイケチョウガイ（淡水真珠の母貝）の生長は水質環境と深く関係しておおり、良好な生長が認められる養殖場は植物プラン

クトンの生産と有機物の分解が平衡関係にあり、不断に水の押し出しがあり富栄養的な条件（COD 6ppm前後）によって維持されていると考えられている（中村他 1986）。

このようにみてくると二枚貝資源を維持していくためには、一方では現場における生態の研究が十分におこなわれ、他方では様々な環境の下における二枚貝の環境要求を明らかにしておくことが重要であると考えられる。

このことは、種苗放流などの増殖努力がなされる場合にも重要であると考えられる。

今後は多くの二枚貝についても研究を行うことによってそれぞれの種の環境要求を体系的に整理し、潜砂性二枚貝の望ましい漁場環境を解明していくことが望まれる。

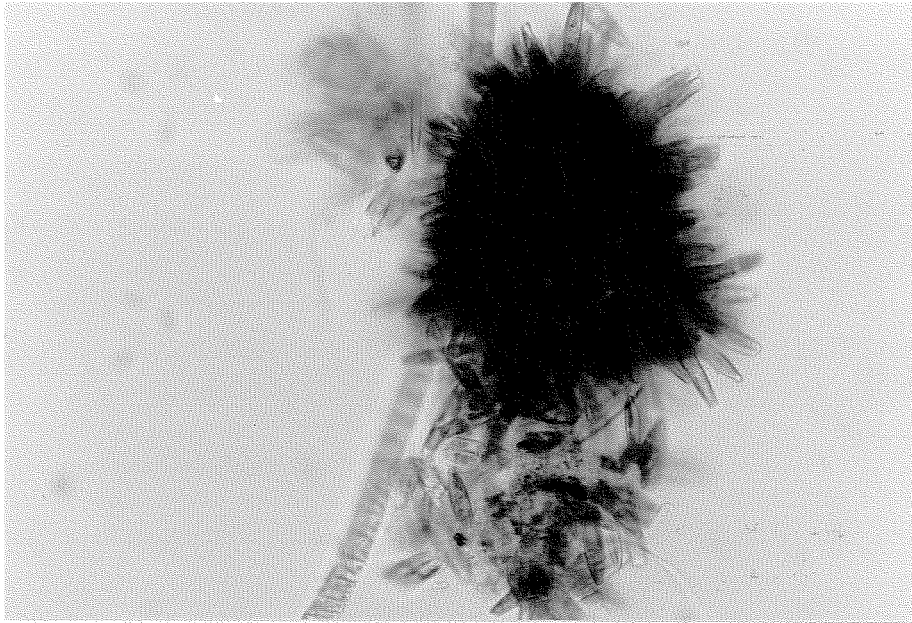


写真1 鯉池底泥 (x200)



写真2 Skeletonema costatum (x200)

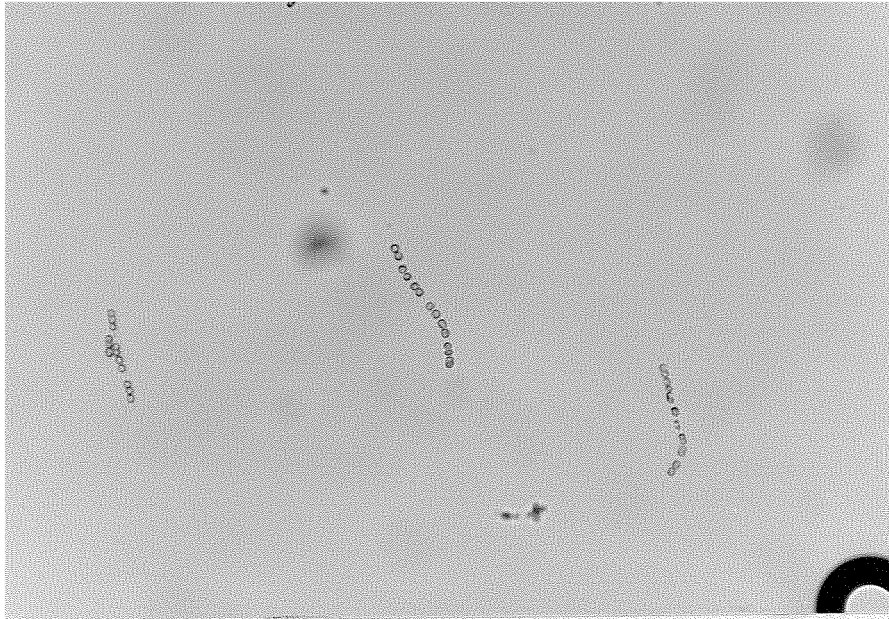


写真3 Skeletonema costatum (x50)

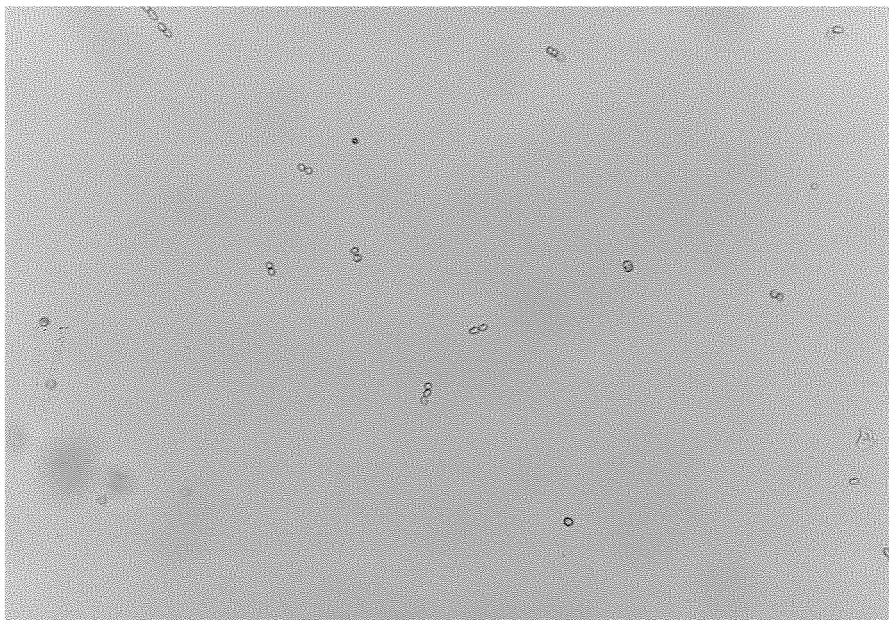


写真4 Skeletonema costatum (x50) 超音波処理

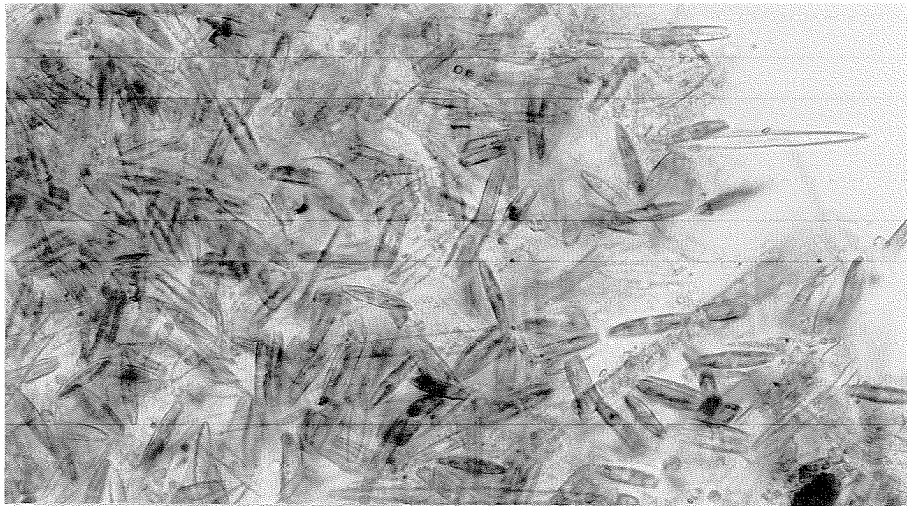


写真5 鯉池底泥 (x200) 超音波処理

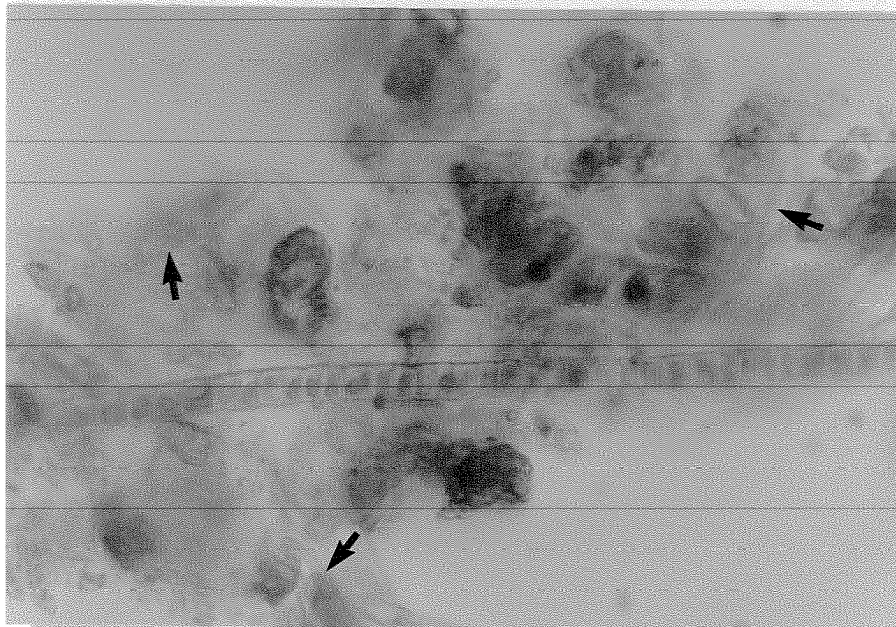


写真6 蒲生干潟底泥 (x200) 超音波処理

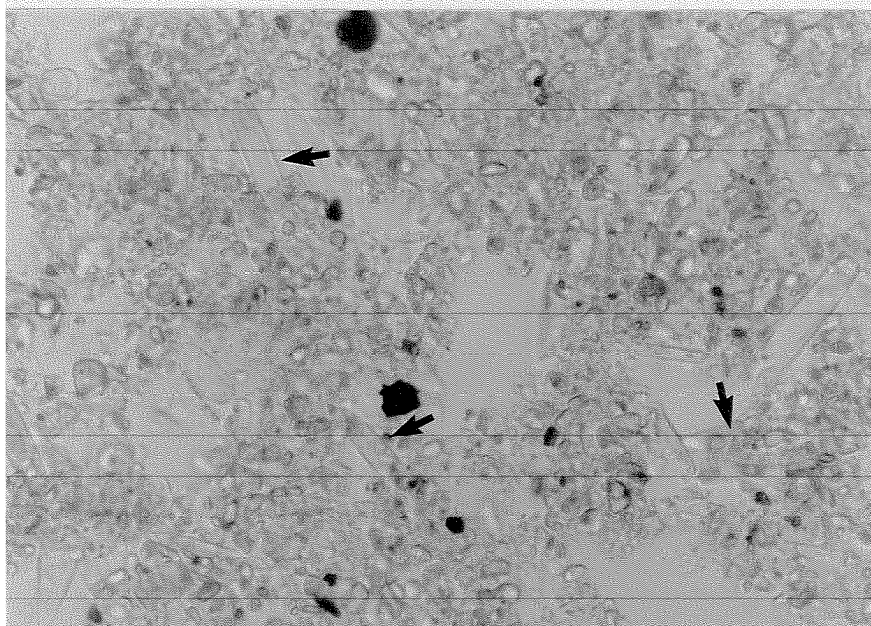


写真7 砂押川河口底泥 (x200) 超音波処理

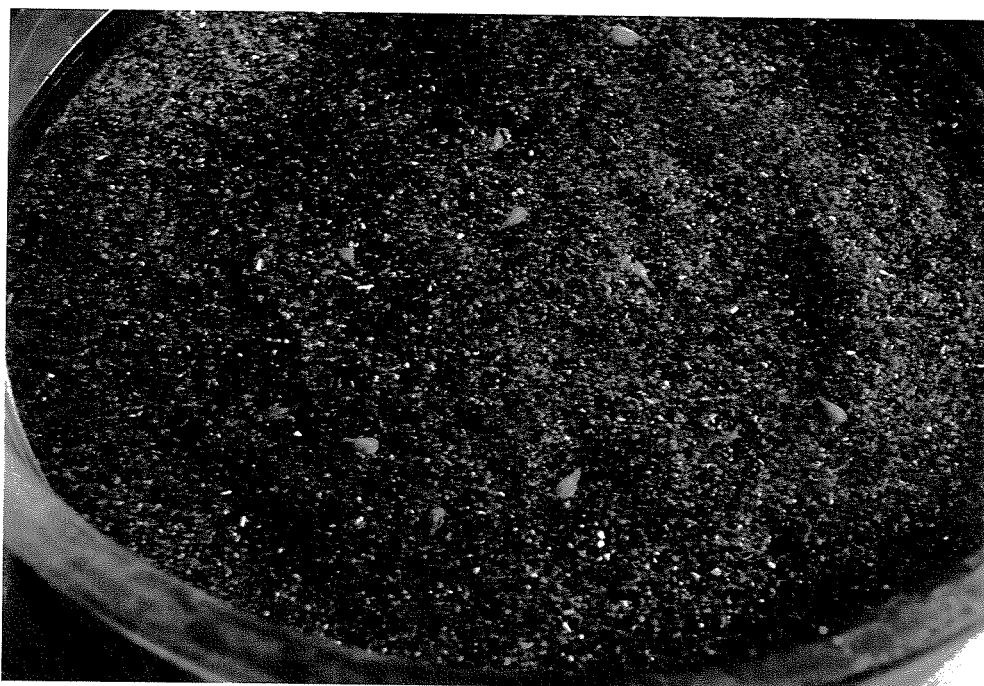


写真8 ウバガイ稚貝の潜砂状態（不完全潜砂）

海砂、粒径 500~1000 μm の粗砂の場合



写真9 ウバガイ稚貝の潜砂状態（完全潜砂）

海砂、粒径63~125 μm 微細砂の場合

謝 辞

本研究の端緒を開いていただき、本研究の遂行にあたっては、終始懇切なご教示とご指導を賜るとともに、本稿のご校閲を賜った、東北大学農学部 教授 川崎健博士に、心から感謝の意を表します。

本稿のご校閲を賜り、多くの有益なご助言をいただいた東北大学農学部 教授、谷口旭博士、ならびに竹内昌昭博士に深く感謝いたします。

本研究を行なうにあたって、多くのご教示をいただいた、東北大学農学部 助教授 大森迪夫博士、ならびに佐々木浩一博士に深く感謝いたします。

野外調査などに際しましては、千田良雄技官、本多仁助手、片山知史助手はじめ、多くの学生の皆様の手助けをいただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

磯部漁場での野外調査におきましては、磯部漁業協同組合の竹岡秀雄氏はじめ皆様のご協力をいただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

ウバガイ稚貝をわけていただきました、福島県水産種苗研究所ならびに宮城県栽培漁業センターの方々に心からお礼申し上げます。

アサリ稚貝の採集にご協力いただいた福島県水産試験場松川浦分場の方々に厚くお礼申し上げます。

砂押川河口における調査において、ご協力いただきました、東北石油（株）環境保全課の皆様に、心から、お礼申し上げます。

スケルトネマ、パヴロヴァなどの植物プランクトンをわけていただきました国立公害研究所の渡辺信博士に厚くお礼申し上げます。

また、貴重なご教示をいただきました、東北大学農学部 教授、藤尾芳久博士、秦正弘博士、東北大学農学部 名誉教授、西沢敏博士、ならびに、元助教授 狩谷貞二博士に、心から感謝いたします。

引用文献

- 網尾勝（1967）：ハマグリ、アサリの生息分布ならびに環境変化に対する抵抗性について、木曾三川河口資源調査報告書、1407-1416.
- 有馬健二・林忠彦（1969）：北海道八雲沿岸のホッキガイの幼貝について、北海道立水産試験場報告、10、51-68.
- 朝比奈英三（1941）：北海道におけるシジミの生態学的研究、日水誌、10、143-152.
- Briceiji, V.M., R. E. Malouf and C. de Quillfeldt (1984): Growth of juvenile Mercenaria mercenaria and the effect of suspended bottom sediments, *Mari. Biol.*, 84, 167-173.
- Bricelj, V.M. (1984) : Influence of algal and suspended sediment concentrations on the feeding physiology of the hard clam Mercenaria mercenaria. *Mari. Biol.* 84, 155-165.
- 千葉健治・大島泰雄（1957）：アサリを主とする海産二枚貝の濾水、摂餌に及ぼす濁りの影響、日水誌、23、348-353.
- 道津光生・木下秀明（1988）：ハマグリの卵・幼生および稚貝の高温耐性海生研報告, No. 88201 .
- 藤原次男（1977）：マシジミの稚貝の成長について、貝類学雑誌、36(1)、19-24.
- 福庭隆晴（1989）：仙台湾周辺水域に生息する二枚貝類数種の摂餌生態と生長卒業論文、pp30. 東北大学農学部.
- 福島県水産種苗研究所（1984）：昭和58年度特定研究開発促進事業 貝類の資源培養技術開発研究報告書（ホッキガイ種苗生産）.

福島県水産種苗研究所（1986）：貝類の資源培養技術開発研究報告書（ホッキ
ガイ種苗生産）

福島県水産試験場報告書（1985）：現地観測に基づいた大熊海域の水理現象に
関する研究， 1-90.

漁業・養殖業統計年報（1957-1988）：農林水産省統計情報部

林忠彦・寺井勝治・有馬健二（1967）：八雲沿岸におけるウバガイ

Supisula sachalinensis(SCHRENCK)の浮遊稚貝ならびに底棲稚貝につ
いての研究， 北海道立水産試験場報告， 7, 8-71.

His E., R.Robert and A.Dinet(1989): Combined effect of temperature
and salinity on fed starved larvae of the Mediterranean
mussel Mytilus galloprovincialis and Japanese oyster
Grassostrea gigas. Mari.Biol. 100, 455-463.

日向野純也（1990）：浅海砂浜域のベントス生態、日本水産学会東北支部大会
要旨集、5-8.

Hrs-Brenko, M., and A. Calabrese(1969): The combined effects of salinity
and temperature on embryos and larvae of the mussel Mytilus
edulis. Mari. Biol. 4, 224-226.

位田俊臣・浜田篤信（1976）：酸素欠乏にともなうヤマトシジミの代謝変動に
ついて、水産増殖、23、111-116.

池末弥（1956）：アサリの生態学的研究-II. 沈着期と初期成長，日水誌
22, 12, 736-741.

石田修・石井俊雄（1972）：ヤマトシジミの塩分に対する抵抗性ならびに地域
による形態の相違，水産増殖、19(4)、167-182.

- Kato, Y., and I. Hamai (1975): Growth and shell formation of Surf clam, Spisula sachalinensis (Shrenck). Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 25, 14, 291-303.
- 木下秀明 (1985): アサリの卵・浮遊幼生・稚貝の高温耐性.
海生研報告, No. 85204
- 木下秀明 (1985): マガキの卵および浮遊幼生の高温耐性.
海生研報告, No. 85203.
- 木下秀明 (1989): ウバガイの卵および浮遊幼生の高温耐性. 水産増殖, 37, 1, 9 - 14.
- Kiorbe T., F. Mohlenberg and O. Mohr (1981): Effect of suspended bottom material on growth and energetics in Mytilus edulis. Mari. Biol. 61, 283 - 288.
- 工場排水試験法 日本工業規格協会編 (1984).
- Kuenzeler (1961): Phosphorus budget of a mussel population. Lim. Oceanogr., 6; 400 - 415.
- 倉茂英次郎 (遺稿): アサリの生態学的研究、特に環境要素について、水産学集成 (松本文夫編), 東京大学出版会 (1957).
- 栗山義昭 (1990): 浅海砂浜域の物理環境、日本水産学会東北支部大会要旨集, 1 - 5.
- 桑谷幸正 (1964): Skeletonema costatum を餌料とするアコヤガイの飼育について、日水誌、30(2)、104 - 113.
- 宮城県地域特産種増殖技術開発事業実績報告書 (1988): ホッキガイ、1-68.
- 宮内徹夫: 真珠の養殖、高島真珠研究所、1966、pp. 74-81.
- 中村中六・太田繁・狩谷貞二: 真珠養殖漁場の水質環境変化に伴う影響調査報告書 pp. 92, 水資源開発公団 (1981).

- 沼口勝之・田中彌太郎 (1986) : アコヤガイ付着初期稚貝のへい死、および生長におよぼす水温の影響、養殖研報、9、35-39.
- 沼口勝之・田中彌太郎 (1987) : ハマグリ初期稚貝の生長におよぼす水温および塩分の影響、養殖研報、11、35-40.
- Rijstenbil. J.W., L.R.Mur, J.A.Wijnholds and J.J.Sinke(1989): Impact of a temporal salinity decrease on growth and nitrogen metabolism of marine diatom Skeletonema costatum in continuous cultures. *Mar. Biol.* 101, 121-129.
- 佐野茂 (1976) : 砂浜浅海域における生物生産 III. 海底堆積物中の有機物含有量と底生微小生物の密度、水産増殖、24(3)、77 - 79.
- 佐野茂 (1976) : 砂浜浅海域における生物生産 IV. 微量堆積物による藻類増殖の助長効果、水産増殖、24(3)、79 - 82.
- Sasaki, K(1981): Growth of the Sakhalin Surf clam, Spisula sachalinensis (Schrenck) in Sendai Bay, *Tohoku Jour. Agri. Res.*, 32, 4, 168-180.
- Sasaki, K(1987) : Life Cycle in Adult Stage of the Sakhalin Surf Clam in Sendai Bay. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 53, 11, 1959-1963.
- Sasaki, K(1988): Mortality of the Surf Clam in Sendai Bay in the early Stage. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 54(2), 193-196.
- Schulte E.H. (1975): Influence of Algal Concentration and Temperature on the Filtration Rate of Mytilus edulis. *Mar. Biol.* 30, 331-341.
- 清水利厚・目黒清美・佐藤新・加瀬信明・村田靖彦 (1988) : 九十九里浜沿岸におけるサトウガイ Scapharca satowi (Dunker) の大量へい死について、千葉県水産試験場報告、46、23 -38.

- 高丸禮好 (1981) : ホッキガイ稚貝の生長と減耗. 北水試月報、38、9、
296-305.
- 高丸禮好・角田富男 (1981) : ホッキガイの中間育成について. 北水試月報
38、234-144.
- 高丸禮好 (1984) 北海道におけるホッキガイ (ウバガイ) の増殖研究の現状
水産土木、21、1、43-47.
- 田宮博・渡辺篤 : 藻類実験法、南江堂、東京、1982、p.94.
- 田中彌太郎 (1980) : ホッキガイ稚貝の高温耐性について、水産増殖、
28(3)、165-170.
- 田中彌太郎 (1984) : ヤマトシジミの塩分耐性について、養殖研報、6、
9-32
- 田中彌太郎 (1984) : ヤマトシジミの稚仔期の形態および生理的特性について
養殖研報、6、23-27.
- Tenore, R.E. and W.M. Dunstan (1973): Comparison of Feeding and
Biodeposition of Three Bivalves at Different and Food Level,
Mari. Biol., 21, 190-195. Thompson R. J and B.L. Bayne (1974):
Some Relationships between Growth,
Metabolism and Food in Mussel Mytilus edulis. Mari. Biol.
27, 317- 326.
- 鳥羽光晴 (1988) : アサリ種苗生産試験 - II 秋季中間育成試験 千葉県水
産試験場報告、46、43-49.
- 宇藤均 (1881) : 網走湖産ヤマトシジミ Corbicula japonica Prime の生長、
北海道立水産試験場報告、23、65-81.
- 山本喜一郎 (1947) : 北寄貝の貝殻の生長について、札幌農林学会報、37
2、51-62.

安永義暢 (1980) : 砂浜性二枚貝の移植時の減耗に関する基礎的考察, 日水
研報, 31, 73-85.

Widdows J., P. Fieth and C.M. Worrall (1979): Relationships between
Seston, Available Food Feeding Activity in the Common Mussel
Mytilus edulis. Mari. Biol., 50, 195-207.

Winter, J.E., (1973): The filtration rate of Mytilus edulis and its
dependence on algal concentration, measured by a continuous
automatic recording apparatus. Mari. Biol., 22, 317-318.

Wright, D.A., V.S. Kennedy, W.H. Roosenburg, M. Castagna and J.A. Mihursky (
1983): Temperature tolerance of embryos and larvae of five
bivalve species under simulated power plant entrainment
conditions: a synthesis. Mari. Biol., 77, 271- 278.