

現場実験法により求めたイソシジミ *Nuttallia olivacea* の成長速度 Growth Rate of the Bivalve *Nuttallia olivacea* Measured by Marking-recapture and Caging

伊藤絹子^{1),*}・佐々木浩一¹⁾・大森迪夫¹⁾・大方昭弘²⁾

¹⁾ 東北大学大学院・農学研究科. 〒981-8555 仙台市青葉区堤通雨宮町 1-1

²⁾ 水圏生態学研究室. 〒312-0014 茨城県ひたちなか市後野 1-2-6

Kinuko ITO^{1),*}, Koichi SASAKI¹⁾, Michio OMORI¹⁾ and Akihiro OKATA²⁾

¹⁾ Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University. 1-1, Tsutsumidori Amamiyamachi, Aoba-ku, Sendai 981-8555, Japan

²⁾ Laboratory of Fisheries Biology and Ecology. 1-2-6, Ushirono, Hitachinaka, Ibaraki 312-0014, Japan

Abstract: The growth rate of the bivalve *Nuttallia olivacea* in the field was estimated by the marking-recapture and caging methods in a tidal flat at the mouth of the Natori River, Miyagi Prefecture. Individuals with a shell length of 9–20 mm were marked, returned to the tidal flat, and recaptured monthly for measurement of their size and weight. Furthermore, nylon cages filled with sand, into which bivalves 9–20 mm in shell length had been put, were buried in the flat. The size and weight of these bivalves were similarly measured. No significant difference between the two methods was detected by T-analysis of the estimated growth rate values. However, the recapture rate of marked individuals in the marking-recapture trials became lower 3 months after initial release, so that precise estimation became difficult with time. Daily increments in shell length and weight as well as the rate of growth were largest in summer (August to September), i.e., 110 $\mu\text{m}/\text{day}$, 16.0 mg/day, and 1.63%/day respectively, and smallest in winter (February to April), i.e., 4.7 $\mu\text{m}/\text{day}$, 2.9 mg/day and 0.1%/day, respectively. Water temperature varied from 5°C in February to 27°C in August. The annual growth in terms of shell length and weight was 13.49 (± 2.44) mm and 3.14 (± 0.89) g from June, 1995, to June, 1996, and 12.14 (± 2.67) mm and 2.84 (± 0.67) g from September, 1995, to September, 1996.

Key Words: *Nuttallia olivacea*, tidal flat, growth, marking, recapture, caging.

はじめに

シオサザナミガイ科に属するイソシジミ *Nuttallia olivacea* (Jay, 1857) は朝鮮半島, 中国沿岸, そして日本の河口域に広く生息する二枚貝で, その分布特性や生態的特徴に関する研究報告がある (Miyawaki & Sekiguchi 1999; Sekiguchi *et al.* 1991; 堤・関口 1996). イソシジミは干潟の粒状有機物を摂食する堆積物食者であるが (Tsuchiya & Kurihara 1980), 懸濁物食者でもあり, 解剖学的には典型的な懸濁物食性の種類と考えられている (秋山 1988). また, 宮城県名取川河口域におけるこれまでの研究において, イソシジミが珪藻類を主な食物として成長し, その水管は稚魚期のイシガレイの成長を支える重要な食物であり (伊藤・大方 1998),

しかも欠損した水管は再生することによって繰り返し摂食されていることもわかってきた. これらの事実はイソシジミが河口域生産系における低次の生産者から高次生産者への物質とエネルギーの輸送者としての役割を担っていることを示すものである. そこで, 本研究では名取川河口域におけるイソシジミの生産過程を明らかにしてゆくための第一歩として, 自然における成長速度の実測を試みた.

二枚貝の成長に関する研究の多くは, 飼育条件下において食物の条件と成長との関係を求めて, 種ごとの生理的特性を中心に論議しているもので (Schulte 1975; Tenore & Dunstan 1973; Thompson & Bayne 1974; Bricelj & Molour 1984; Bricelj *et al.* 1984; Kjørbe *et al.* 1981), フィールドにおける生産力について実測した報告は少ない. 自然における二枚貝の成長を追跡する一般的な手法としては, 殻長組成のモード追跡法や殻表面の輪紋を年齢形質として利用する方法があげられるが (五嶋・野田 1992; Sasaki 1981; 宇藤 1981), モード追跡法の難点は, 産卵期が長期間に亘って連続

Received 11 Oct. 2000 Accepted 12 Mar. 2001

*: Corresponding author

的に加入がみられるような場合や、分布密度が低い場合にはその解析が難しいことにある。貝殻表面の輪紋を利用する方法では、貝殻頂付近の稚貝期に形成された部分や高齢貝の殻の縁辺部の輪紋の判読が困難なこと、また、短期間の成長の推定が難しいことがあげられる。

このような問題点を解決するためには、成長を推定する手法の検討が必要である。本研究では現場におけるイソシジミの成長速度を実測するために、ケージ法と標識放流法を検討してみた。次にその手法を用いて1年間継続して実験を行い、現場におけるイソシジミの個体レベルでの成長速度の季節的な変化および年間の成長量を求めた。また、現場実験が終了したイソシジミは成長履歴が明らかな個体であるので、これを材料として、貝殻表面の輪紋形成と成長との関係について考察した。

材料と方法

実験場所の環境条件とイソシジミの生息状況

調査水域の概要ならびに調査定点を Fig. 1 に示す。宮城県名取川の河口から約 1.5 km 上流の河川の流心に近い干潟に実験場所を設定し、1995 年から 1996 年にかけて調査・観察を行った。春季

大潮の干潮時において1時間程度の干出があり、塩分は一潮汐間に1~30 psuの幅で変動する場所で、イソシジミの分布が周年にわたり高密度に認められるところである(伊藤・大方1998)。

水温、塩分は、毎月1回、実験個体を回収・測定するときに測定を行った。底質の深さごとの特性を知るために、直径5 cm、長さ20 cmのスチロール管をさし込んで、底土を深さ別に、すなわち底土表面から深さ1 cmまで、4 cmから5 cm、9 cmから10 cmまでの3層に分けたサンプルを実験室に持ち帰り、篩分け法により粒度分析を行なった。粒径区分はWentworth(1922)の区分に従い、粒子サイズは ϕ (Φ)単位で表した。累積粒度頻度曲線を描き、50%にあたる Φ (Φ_{50})を中央粒径値(Md_{ϕ})とした(Inman 1952)。淘汰度(σ_i)についてはFolk & Ward(1957)の式

$$\sigma_i = (\Phi_{86} - \Phi_{14})/4 + (\Phi_{95} - \Phi_5)/6.6$$

に従い計算した。含泥率はシルト及び粘土を合わせたものの重量百分率で表した。底土の含水率については美園(1962)にしたがい、湿重量を測定後、105°Cで24時間乾燥後の重量を測定して水分を求め、湿重量に対する水分重量の割合で表した。イソシジミは水管を底土表面付近に伸ばして、底土直上の珪藻類などを摂取するので、生息場所の食物生物量の指標として、底土表面から深さ1 cmまでの底泥のクロロフィルaを分析した。一定量の底泥を90%アセトン中で抽出し、蛍光法によって測定した。また、イソシジミの潜砂深度、摂食行動を目視観察した。

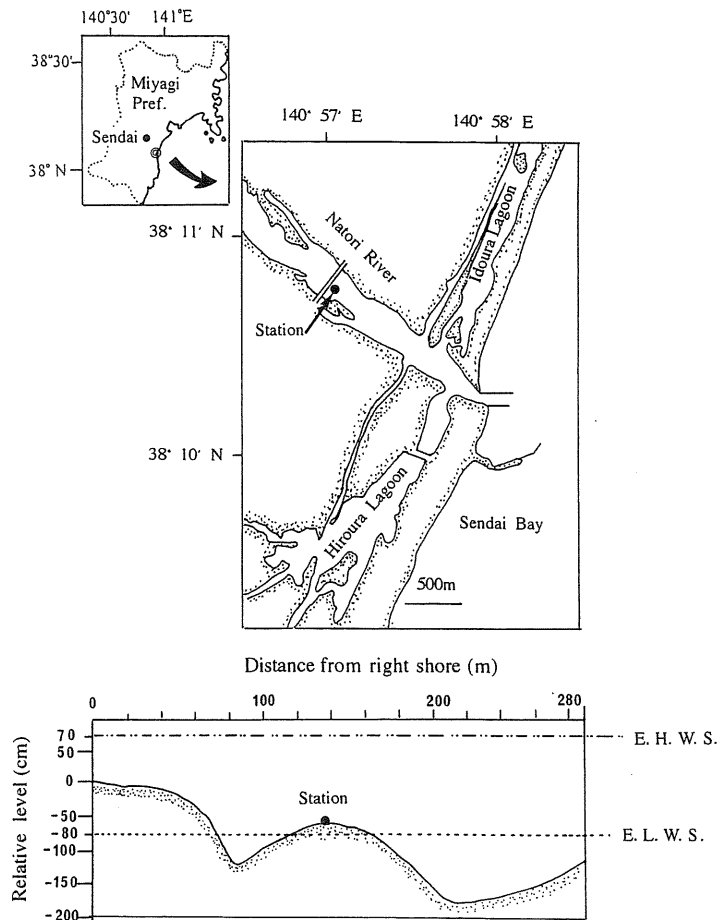


Fig. 1. Map showing the location of the sampling station and the relative level of the experimental site. E.H.W.S.: Extreme high water of spring tide. E.L.W.S.: Extreme low water of spring tide.

標識放流法およびケージ実験法によるイソシジミの成長実験

現場におけるイソシジミの成長を標識放流法とケージ実験法を併用して追跡した。採集したイソシジミを実験室に持ち帰り、標識放流個体およびケージ実験個体のすべてにマーキングを施した。ハンドリングストレスをなるべく小さくするために、粒径が約 0.5 mm の海砂を厚さ 1 cm になるように敷きつめて、汽水（塩分 20 psu）を満たした容器の中にイソシジミを放しておき、マーキングと計測時だけ取り上げるようにした。貝殻の表面に油性マーカーで番号を記入して、その上に瞬間接着剤（商品名：アロンアルファー）によるコーティングを施した。殻長、殻付重量を測定後、直ちに前述の容器に放しておき、翌日、その容器ごと実験場所まで運搬した。選定した場所の 1 m² の区画内にマーキングを施したイソシジミ（殻長 9~20 mm, 20~30 mm, 30~40 mm の個体をそれぞれ 20 個ずつ）計 60 個体を放した。干潮時で水深が 10 cm 程度の干潟上におかれたイソシジミは直ちに潜砂行動を開始した。この標識放流とは別に 9~20 mm のイソシジミ 20 個体を、目合 4 mm のケージに入れて底土中に埋めた。その際、ケージは上面が底土表面と一致するように設置した。ケージのサイズは 25×25×15 mm（縦、横、高さ）で、形状のゆがみを少なくするために、太さ 0.5 mm のナイロン製のモジ網を用いた。ケージ法では、ケージ [1]：1995 年 6 月から翌年 6 月までの 1 年間と、ケージ [2]：1995 年 9 月から翌年 9 月までの 1 年間の 2 組の実験を行った。これらのイソシジミは原則として 1~2 ヶ月ごとに再捕して、殻長と重量を測定して成長速度を求め、翌日再び放流した。殻長はキャリパー（精度 ±0.01 mm）を用いて、重量は化学天秤（精度 ±0.001 g）で測定した。

成長速度は 1 日あたりの殻長伸長量、体重増加量であらわした。1 日あたりの成長率は畑中 (1965) に従い、次式より求めた。

$$\begin{aligned} \text{成長率 (\%)} &= 100 \times (\text{体重の増加量}) / \text{中間体重} / \text{実験日数} \\ \text{体重増加量} &= \text{イソシジミ再捕時の体重} - \text{放流時の体重} \\ \text{中間体重} &= (\text{放流時の体重} + \text{イソシジミ再捕時の体重}) / 2 \end{aligned}$$

畑中 (1965) は魚類の飼育実験によって日摂食率と日成長率が 1 次回帰式で表されることを示した上で、自然における日成長率がわかれば食物消費量の推定が可能になることを示唆している。本研究においても、一定期間の成長量を表す尺度として、期間の中間の体重に対する増加量中間体重に対する体重増加量を成長率として用いた。

イソシジミの貝殻表面における輪紋の観察

二枚貝の貝殻表面には成長線とよばれる同心円状の線や、光の透過度が異なる帯状の模様がある (大野 1989)。この輪紋の形成に周期性がみられる場合が多いので、年齢や成長式の推定に用いられている。ここでは個体識別したイソシジミの殻長を定期的に測定したので、いつどのような輪紋が形成されたのか推定できる。そこで 1 年間のケージ実験を終了した全ての個体について、右殻は殻皮がついた状態で、また、左殻は次亜塩素酸ソーダ処理を施して、殻皮を取り除いて観察・計測した。殻表面に刻まれている凹凸の深さから成長線を判読し、その形成時期、色の変化とくに光の透過度の異なる帯状のバンド、すなわち透明帯や不透明帯の形成期間、その間の成長量を測定した。成長量は殻高方向の距離をキャリパー（精度 ±0.01 mm）を用いて測定した。

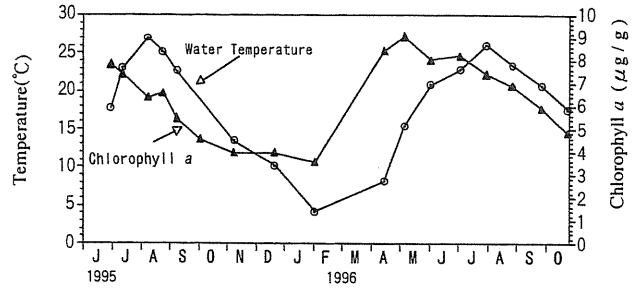


Fig. 2. Seasonal changes of water temperature and sediment-chlorophyll a on the bottom surface sampled in the Natori River flat from June, 1995, to October, 1996.

結 果

実験場所の環境条件とイソシジミの潜砂深度および摂食行動

干潟で観察されるイソシジミは生息深度に応じて殻長の違いがみられる。殻長 10 mm 以下の稚貝では、底土表面から深さ 5 cm 以内（貝の前縁部の位置）に生息しているが、成長に伴い、より深い層で生活するようになり、殻長 25 mm 以上の個体では深さ 15 cm まで潜って生活している。イソシジミの摂食行動を現場で観察すると、水管を底表に沿って伸ばしている状態はほとんどみられないが、砂の表面にある水管の穴の周囲には微細な水流ができていて、食物を摂取している様子や、出水管からの糞の排泄状況などを肉眼で確かめることができた。

調査時の水温と底土表面のクロロフィル a の季節変化を Fig. 2 に示す。水温は 2 月に最低値 5°C を示しているが、8 月には最高値 27°C に達している。クロロフィル a は季節によって大きく変動し、4, 5, 6 月に高く、8 µg/g 前後を示しているが、冬季は低く、4~5 µg/g になる。

深さごとの底土の中央粒径値、含泥率、淘汰度の年間の平均値と標準偏差を Table 1 に示す。クロロフィル a は季節による変動が大きいが、砂の粒径の指標である中央粒径値、含泥率、淘汰度については季節的な変動は小さく、底土表面の中央粒径値は年平均 0.43 (±0.13 S.D.)、含泥率は 0.90% (±0.47 S.D.)、淘汰度は 0.80 (±0.07 S.D.)であった。このように実験場所の底質は Wentworth (1922) の粒径区分法による粗砂、淘汰度は Folk & Ward (1957)による moderately sorted に区分される。

標識放流法とケージ実験法による成長の違い

1995 年 6 月に開始した標識放流法とケージ [1] により求めたイソシジミの成長を Fig. 3 に示す。標識放流法とケージ [1]を用いた場合のイソシジミの成長のしかたは、両者の間で大きな違いは認められない。それぞれの成長速度の違いを比較するために、1 日当たりの殻長の伸長量、体重の増加量、成長率の平均値と標準偏差を求めた (Table 2)。

Table 1. Characteristics of bottom sediment: median particle size (Md_{ϕ}), silt-clay content, sorting (σ_s), moisture, and chlorophyll *a* at the sampling station in the Natori River flat from 1995 to 1996. Values are means (\pm standard deviations).

| Depth of core (cm) | Median size | Silt-Clay (%) | Sorting | Moisture (%) | Chlorophyll <i>a</i> ($\mu\text{g/g}$) |
|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--|
| 0-1 | 0.43 (± 0.13) | 0.90 (± 0.47) | 0.80 (± 0.07) | 18.8 (± 5.03) | 6.37 (± 1.74) |
| 4-5 | 0.34 (± 0.31) | 0.95 (± 0.39) | 0.99 (± 0.15) | 21.2 (± 1.75) | — |
| 9-10 | 0.45 (± 0.11) | 0.88 (± 0.11) | 0.90 (± 0.15) | 21.3 (± 1.38) | — |

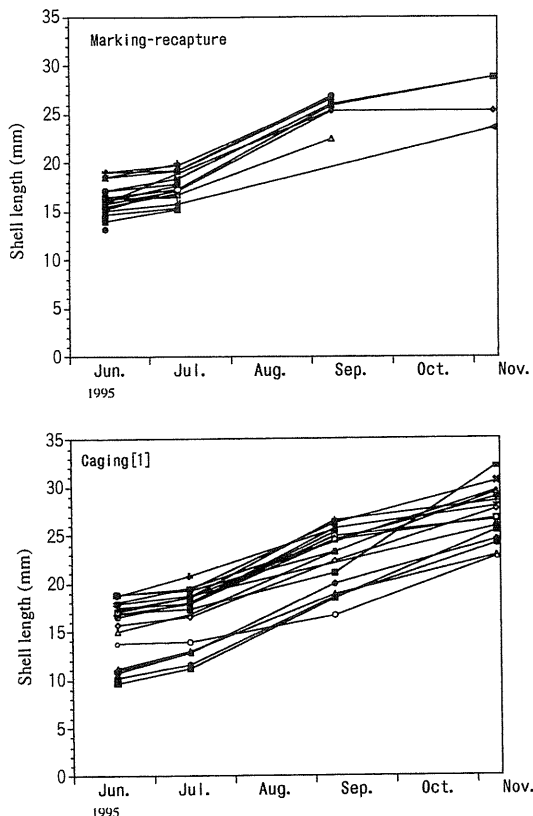


Fig. 3. Growth in shell length of *Nuttallia olivacea* individuals observed by the marking-recapture method and caging [1] in the Natori River flat from June to November, 1995.

6月から7月までの期間についてみると、1日当たりの殻長の増加は、ケージ [1] では $48.11 \mu\text{m/day}$ 、標識放流法では $37.21 \mu\text{m/day}$ 、体重の増加量はそれぞれ、 5.21 mg/day 、 7.15 mg/day である。成長率では $1.11\%/day$ 、 $1.12\%/day$ であった。次に7月から9月までの期間についてみると、ケージ [1] では $106.21 \mu\text{m/day}$ 、標識放流法では $131.16 \mu\text{m/day}$ 、体重の増加量はそれぞれ、 16.85 mg/day 、 21.66 mg/day である。また、成長率では $1.63\%/day$ 、 $1.56\%/day$ であった。以上の結果について *t* 検定を行ったところ、危険率 0.01 以上において標識放流法とケージ [1] で求めた成長速度の差はなかった。

一方、再捕率についてみると、標識放流の場合は実験開始1ヶ月後において75%であったが、3ヶ月後に35%、

5ヶ月後は15%となり時間の経過とともに著しく低下していった (Fig. 4)。このことは、イソシジミが被食によって死亡したかあるいはほかの場所へ移動した可能性を示すものである。当然のことではあるが、ケージ法ではこのような現象はみられず、5ヶ月後まで実験個体は100%回収できた。ケージ法での生残率は実験開始後3ヶ月間は90%前後で推移するが、その後安定して100%であった。

イソシジミの成長の季節変化

再捕率の高いケージ法によりイソシジミの成長を1年間追跡した。殻長の推移を Fig. 5 に、体重の変化を Fig. 6 に示す。ケージ [1] は6月からの1年間、ケージ [2] は9月からの1年間の実験である。7月から11月までの期間の4ヶ月間に注目すると、成長速度の個体差が大きいことが特徴としてあげられる。成長が最も速い個体では16mmの伸び、遅い個体では8mm、平均で10mmの伸びがみとめられた。体重については成長が最も速い個体では4g増加し、遅い個体では1g、平均すると2gの体重増加がみられた。11月から翌年の4月まではあまり成長がみとめられず、個体による成長速度の差異も小さく、平均値でみると、5ヶ月間で2mmの伸び、体重では0.5gであった。

1日当たりの殻長の伸び、体重の増加量、成長率をそれぞれ求めて、Fig. 7 に示す。8月から9月の夏季に成長が最もよく、殻長の日成長量は $110 \mu\text{m/day}$ 、体重の日成長量は 16.8 mg/day 、成長率は 1.63% である。一方、2月~4月の冬季から春季にかけての成長速度は著しく低く、殻長の日成長量は $4.7 \mu\text{m/day}$ 、体重の日成長量は 2.9 mg/day 、成長率は 0.1% であった。イソシジミは水温の高い夏季に成長し、水温が低下する冬季はあまり成長しないことが分かる。食物量の指標としてのクロロフィル *a* は春季に増加するが、イソシジミの成長速度はこの変化と同調しているとはいえず、むしろ水温の変化と同調している。

1年間の成長量の平均値と標準偏差を Table 3 に示す。1995年6月から1996年6月までの1年間のイソシジミの殻長の伸長量は平均で $13.49 (\pm 2.44 \text{ S.D.}) \text{ mm}$ 、体重の増加量では $3.14 (\pm 0.89 \text{ S.D.}) \text{ g}$ であった。1995年9月~1996年9月までのイソシジミの殻長の伸長量は、平均 $12.14 (\pm 2.67 \text{ S.D.}) \text{ mm}$ 、体重の増加量では $2.84 (\pm 0.67 \text{ S.D.}) \text{ g}$ であった。

Table 2. Comparison of growth of *Nuttallia olivacea* between marking-recapture and caging [1] trials in the Natori River flat from June to September, 1995. Values are means (\pm standard deviations).

| Period | Method | Initial shell length (mm) | Initial body-weight (g) | Terminal shell length (mm) | Terminal body-weight (g) | Daily increments in shell length ($\mu\text{m}/\text{day}$) | Daily increments in body weight (mg/day) | Daily growth rate in terms of body-weight (%/day) |
|------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------|---|--|---|
| 16 June -13 July | caging [1] n=19 | 9.6-18.0 | 0.12-0.75 | 11.7-20.7 | 0.16-1.05 | 48.11 (\pm 21.48) | 5.21 (\pm 3.19) | 1.11 (\pm 0.55) |
| | marking-recapture n=17 | 14.0-19.7 | 0.31-0.97 | 15.2-20.6 | 0.50-1.34 | 37.21 (\pm 19.98) | 7.15 (\pm 3.43) | 1.12 (\pm 0.41) |
| 14 July -8 Sep. | caging [1] n=17 | 11.7-20.7 | 0.16-1.05 | 18.4-26.5 | 0.85-2.40 | 106.21 (\pm 25.29) | 16.85 (\pm 6.17) | 1.63 (\pm 0.4) |
| | marking-recapture n=6 | 15.2-20.6 | 0.45-1.34 | 22.5-26.9 | 1.41-2.39 | 131.16 (\pm 21.66) | 21.66 (\pm 4.15) | 1.56 (\pm 0.27) |

Daily growth rate in terms of body-weight = $100 \times (\text{Terminal body weight} - \text{Initial body weight}) / \text{Midterm body weight} / \text{days}$. Midterm body weight = $(\text{Initial body weight} + \text{Terminal body weight}) / 2$.

n: Number of individuals.

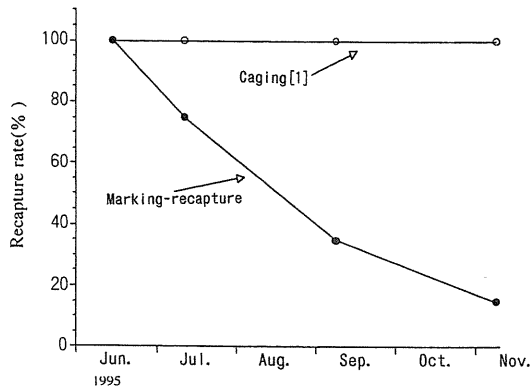


Fig. 4. Recapture rate of *Nuttallia olivacea* observed by the marking-recapture method and caging [1] in the Natori River flat from June to November, 1995.

貝殻の輪紋の形成について

現場実験が終了したイソシジミの殻の表面には、色調の変化、明るさの違いなどがみられ、明るく見える透明帯と暗く見える不透明帯とが交互に分布しており、それぞれ境界には凹状の線がみられる。次亜塩素酸ソーダ処理により、殻皮を取り除くと、明瞭な色の変化として薄紫色と白色の同心円状の帯状分布が観察される (Fig. 8)。白色のバンドは不透明帯と、薄紫色のバンドは透明帯とそれぞれ対応している。凹凸がきつい明瞭なリングの形成は10月下旬および6月下旬に1本ずつ形成される。とくに10月下旬に形成されたリングは溝が深く、これを境に薄紫色から白色のバンドに変化する。この境界はきわめて明瞭であり、このリングが成長線であると判断される。一方、6月下旬に形成されるリングを境に白から紫ないし薄紫色のバンドに変化するが、ここのリングの凹凸は10月下旬のものに比

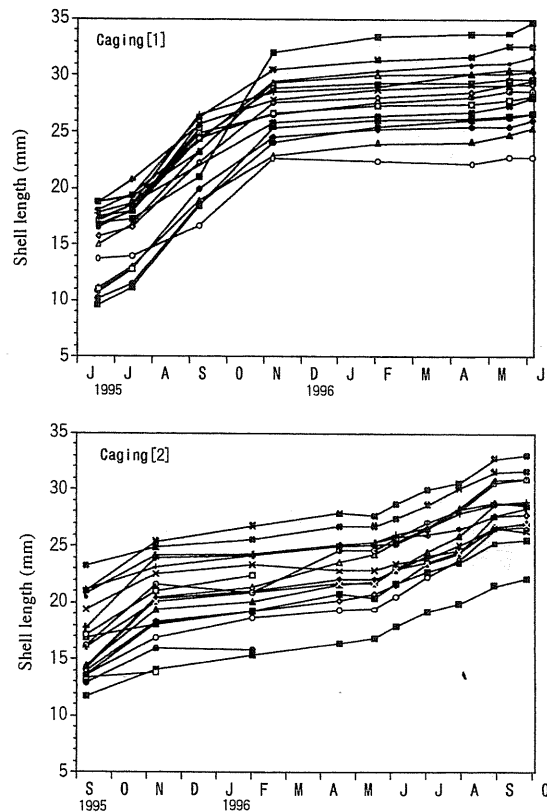


Fig. 5. Growth in shell length of *Nuttallia olivacea* individuals observed by caging [1] from June, 1995, to July, 1996, and caging [2] from September, 1995, to September, 1996, in Natori River flat.

較すると浅い。すなわち、成長が速い夏季~秋季(6月下旬~10月下旬)は透明帯(次亜塩素酸ソーダ処理により紫色)が形成され、成長がおそい冬季から春季(10月下旬~翌年の6月下旬)は不透明帯(次亜塩素酸ソーダ処理によ

り白色)が形成される。透明帯から不透明帯の境界には凹凸が深いリング、成長線が刻まれることが明らかになった。

ケージ実験期間中のイソシジミの貝殻表面の透明帯および不透明帯の幅(殻高方向の成長量)を測定して Table 4 に示す。ここでは実験期間中に形成された部分だけに限定し、それより前に形成されていた部分については測定していない。したがって透明帯の幅についてはケージ [1] のイソシジミの殻表面の観察結果に基づき求めた。また、不透明帯の幅の測定についてはケージ [2] より求めたものである。実験開始後の 1995 年 6 月下旬から透明帯の形成が始まり、10 月下旬までつづき、この 4 ヶ月間の殻高方向の成長量は平均 9.86 (±2.34 S.D.) mm である。不透明帯は 1995 年 10 月下旬からその形成が始まり 1996 年の 6 月下旬まで

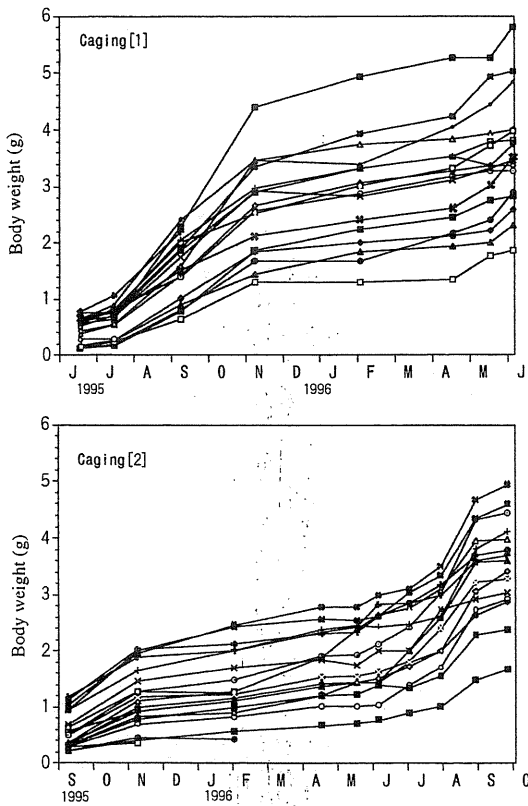


Fig. 6. Growth in weight of *Nuttallia olivacea* individuals observed by caging [1] from June, 1995, to July, 1996, and caging [2] from September, 1995, to September, 1996, in the Natori River flat.

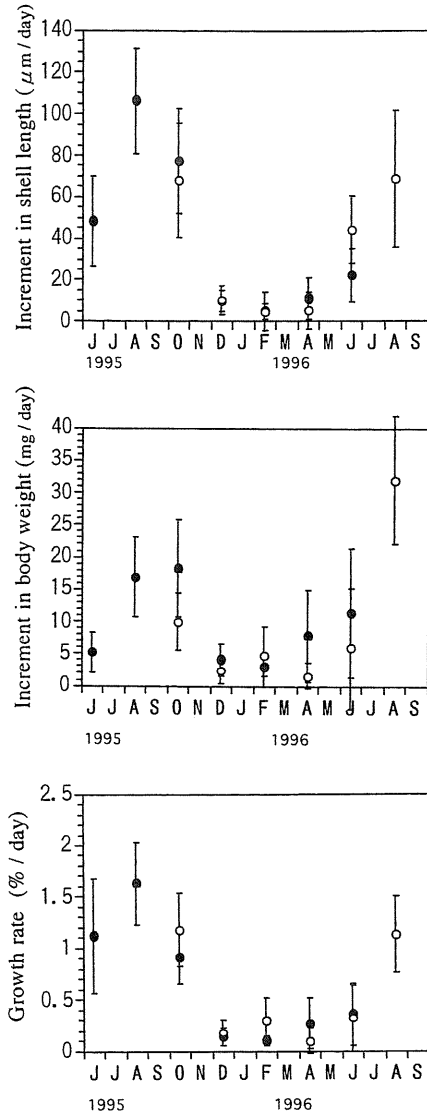


Fig. 7. Seasonal variation of average daily increments in shell length, weight, and growth rate of *Nuttallia olivacea* observed by caging in the Natori River flat. Filled circles: caging [1] from June, 1995, to June, 1996. Open circles: caging [2] from September, 1995, to September, 1996. Vertical bars denote standard deviations. Daily growth rate = $100 \times (\text{Terminal body weight} - \text{Initial body weight}) / \text{Midterm body weight} / \text{days}$. Midterm body weight = $(\text{Initial body weight} + \text{Terminal body weight}) / 2$.

Table 3. Yearly increments in shell length and body weight of *Nuttallia olivacea* in the Natori River flat from 1995 to 1996. Values are means (± standard deviations).

| Period | Method | n | Initial shell length (mm) | Initial body-weight (g) | Terminal shell length (mm) | Terminal body-weight (g) | Yearly increments in shell length (mm/year) | Yearly increments in body-weight (g/year) |
|-----------------------|------------|----|---------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------|---|---|
| June 1995–June 1996 | caging [1] | 17 | 9.6–18.0 | 0.12–0.75 | 26.6–32.4 | 1.8–5.0 | 13.49 (±2.44) | 3.14 (±0.89) |
| Sept. 1995–Sept. 1996 | caging [2] | 15 | 11.7–20.8 | 0.21–1.17 | 22.1–31.3 | 1.6–4.9 | 12.14 (±2.67) | 2.84 (±0.67) |

n: Number of individuals.

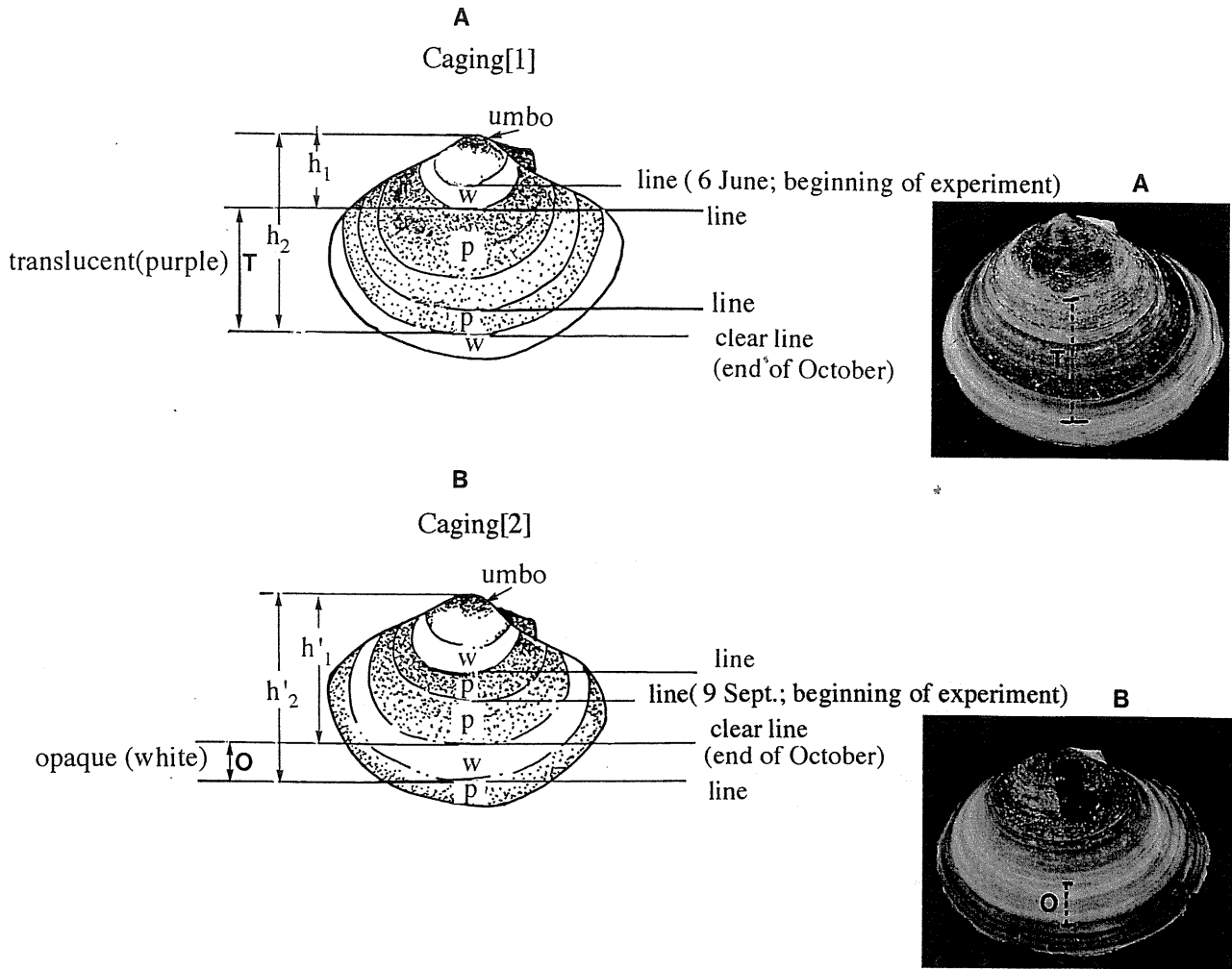


Fig. 8. Diagrammatic representation of the left shell of *Nuttallia olivacea* treated with sodium hypochlorite. A: Caging [1] from June, 1995, to June, 1996. B: Caging [2] from September, 1995, to September, 1996. $h_2-h_1=T$: Width of translucent band, $h'_2-h'_1=O$: Width of opaque band. p: Purple. w: White.

Table 4. Estimated growth in shell height of *Nuttallia olivacea* using incremental ring formation on the shell surface in the caging [1] and caging [2] trials in the Natori River flat from 1995 to 1996. Values are means (\pm standard deviations).

| Method | Experimental period | Season of formation of translucent or opaque band | Width of translucent band (mm) | Width of opaque band (mm) |
|--------------------|---------------------------------|---|--------------------------------|---------------------------|
| caging [1] n=17 | 16 June, 1995– 15 June, 1996 | end of June, 1995– end of Oct., 1995 | 9.86 (± 2.34) | |
| caging [2] n=15 | 9 Sept., 1995– 8 Sept., 1996 | end of Oct., 1995– end of June, 1996 | | 4.46 (± 0.99) |

n: Number of individuals.

続き, この8ヶ月間の成長量は平均 4.46 (± 0.99 S.D.) mm である. したがって, 1年間の成長量は 14 mm であり, ケージ実験により求めた殻長の伸びである 12~13 mm/年とほぼ一致している.

考察

現場実験によるイソシジミの成長の測定

今回, ケージ法を用いたイソシジミの成長を追跡することにより, 季節的な変化ならびに1年間の成長量を実測す

ることができた。実験開始時の初期殻長が9~20 mmのイソシジミの年間の成長量は12~13 mm、体重については約3 gの増加であった。イソシジミは夏季~秋季に著しく成長して、この4ヶ月間にイソシジミ1個体の年間成長量全体の70%の成長(殻長は8 mm、体重では2 g程度)を逃げる。水温の季節変化と照らし合わせると、18°C以上の水温条件になると成長がはやくなり、冬季には低水温のために成長がおそくなると推察される。Miyawaki & Sekiguchi (1999)の伊勢湾に注ぐ安濃川におけるイソシジミのコホート解析をもとに、7月に平均殻長10 mmのコホートに注目して、翌年の7月までの成長量を読み取ると、おおよそ20 mm/年の成長を逃げており、本研究の結果13 mm/年に比べると年間成長量が多い。また、安濃川の場合は10月から1月に成長の停滞がみられるものの、1月から5月までの成長速度は速い。1月から5月までは名取川河口域では成長が殆ど認められない期間であり、成長のしかたは地域によって大きく異なっていることを示唆している。

ケージを用いた例としては、アサリの中間育成試験の報告(鳥羽1988)がある。ラッカーズプレーによる標識をしてアサリの群としての成長を追跡している点、一度とりあげた個体は戻さないという点などが本実験と異なっている。この報告の中で東京湾におけるアサリ稚貝の成長は8月~10月が成長期、11月から5月前半までは成長の停滞期であるといわれているが、このような成長の季節的な変化の傾向は、本研究で得られたイソシジミについての結果と非常によく似ている。また、冬季にアサリ稚貝の生残率の急激な低下がみられているが、イソシジミの場合にはそのようなことはなかった。

そのほか、*Mercenaria mercenaria*についてアルミ製のシリンドラーを用いて4ヶ月間の成長を追跡した例(Grizzle & Morin 1989)、ヨーロッパカキの稚貝の成長試験にはプレキシガラスの板に瞬間接着剤で付着させて現場に固定して、2ヶ月間の成長を追跡している例(Grant *et al.* 1990)などがあげられる。両者ともに成長速度と環境条件との関係を論議しているもので、成長のはやい時期に短期間の成長実験を行っており、長期間の追跡は行っていない。

本実験ではできる限り、生息場の環境条件、底土中の物質の交換を妨げず、食物供給も自然に近い条件を保つために、ケージ上面が底土表面に一致するようにして、深さはイソシジミが生息している最大埋没深度の15 cmに設定した。1~2ヶ月に一度測定のために回収した際、ケージへの付着物も殆どみられず、繰り返し実験が可能であった。今回の方法はケージの作製が容易であること、また殻長が7 mm以上であれば油性マーカーによる標識が容易であり、サイズあるいは年齢別に分けて、並行させて成長実験を実施できるなどの利点があげられる。また、殻長組成のモード追跡法による成長の解析は、分布密度が低く個体数が少ない場合には難しいが、ケージ法の場合は現場の生息状況にあわせた実験設定ができるので、生息密度が低い場所に

おけるイソシジミの成長についても適用できることが利点の一つである。

一方、ケージ法の弱点は殻長、体重の計測のためにとりあげて翌日に戻すという手法のため、実験個体にたいしてハンドリングストレスを与えることがあげられる。対策としては、殻長のみを測定を現場で行い、直ちにもどすことにより、与えるストレスを軽減できると考えられる。

ケージ法の利点のひとつに殻の輪紋形成の検証ができることがあげられる。ここでは次亜塩素酸ナトリウム処理により、殻の輪紋が明瞭に区別できるようになり、ケージ実験終了後のイソシジミの殻の輪紋解析から、6月下旬~10月下旬までに約10 mm成長し、10月下旬~翌年の6月下旬まで8ヶ月間の成長量は4 mmであることが示され、ケージ実験において実測された殻長の伸びの季節的变化と輪紋形成とはよく一致すること、また、透明帯から不透明帯に変化する境目(10月下旬)には1本の明瞭なリングが形成されることが実証された。

網走湖産ヤマトシジミの場合には、段差状のリングは夏季に1本形成され(宇藤1981)、エゾイシカゲガイの場合には1本めのリングは8~9月に、2本目以降(1才以上)は9~10月に形成され、1年に1本できる(五嶋・野田1992)。このように年輪の形成時期は種によって異なることが分かる。また、貝殻の透明帯の形成時期についてみるとイソシジミの場合には他の二枚貝類と異なることが分かった。網走湖産ヤマトシジミの場合(宇藤1981)やウバガイの場合(佐々木1993)には、成長がはやい時期に不透明帯が、成長の停滞期には透明帯が形成されるのに対し、イソシジミの場合には成長期に透明帯が形成され、成長の停滞期に不透明帯が形成される。この要因は明らかではないが、成長速度と殻の形成機構すなわち、炭酸カルシウムと有機質との結合状態の違いによる稜柱層のつき方との関係が、ヤマトシジミやウバガイの場合と異なるためと推定される。

ところで、殻長サイズ20 mm以上のイソシジミの場合には8月中旬~10月上旬にも凹凸が深いリングが形成されることがある。この時期がイソシジミの産卵期にあたることから、おそらく放卵・放精によるものと推測される。ヤマトシジミ(宇藤1981)やホタテガイの場合の成長線は産卵ストレスが形成要因として考えられている(丸・小原1967)。しかし、イソシジミの8月中旬~10月上旬に形成されるリングの位置には、次亜塩素酸ナトリウム処理を施した殻の色の変化もみられず、透明帯の中にあり、成長の停滞によるものではないと判断される。このほかにも、実験開始時や測定のためにとりあげた際のストレスによるリングもみられるが、これらは凹凸が弱い。Tanabe (1988)は瀬戸内海のカガミガイ(*Phacosoma japonicum*)について標識放流実験を行い、4年間に亘り成長過程を追跡して、貝殻の構造の変化との対応関係を詳細に解析している。冬輪のほかにマイナーブレイクが1~2本みられ、1本は産卵の影

響であると指摘しており、イソシジミの貝殻表面の輪紋形成機構はカガミガイと類似していると考えられる。本研究で検討した次塩素酸ナトリウム処理を施した殻の色に着目すれば、成長停滞期の白色バンドとして明瞭に区別できるので、この情報とリング形成の有無という二つの項目を検証することによって、成長線を読み違えることなく、年間の成長量を求められることが示された。

このように年間の成長パターンについては貝殻の輪紋から捉えられるが、短期間の成長量を実測できること、同一個体を長期に亘って追跡が可能な点において、ケージ法は有効であるといえる。しかし、今回の結果は河口域物質循環系におけるイソシジミの役割を明らかにしてゆくための足がかりを得たに過ぎず、河口域には環境条件の異なるさまざまな場所が存在することを考慮しなければならない。たとえば、名取川河口域の入り江である広浦において行なわれたイソシジミのケージ実験では夏季3カ月間の結果で見ると本研究の実験場所と比較して著しく成長が悪いことが示されている(伊藤・大方 1998)。このことは河口域全体の生産力を論議するためには、さまざま環境条件の場所における成長過程の追跡の必要性を示している。また、イソシジミの生産力と基礎生産者との関係、すなわち、自然におけるイソシジミの成長を支えるための食物消費量を推定するためには、飼育実験によって成長率と摂食率の成長の関係式をもとめることが必要であり、現在、研究を進めているところである。さらに、イソシジミ水管を捕食しているイシガレイ稚魚との相互関係の解明は、名取川河口域生産系の仕組みを解き明かす上での今後の重要な課題であると考えている。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、野外調査等の際にお世話になりました広瀬・名取川漁業協同組合ならびに関上漁業協同組合の方々に厚く御礼申し上げます。生物採集ならびに環境調査等にご協力いただきました東北大学農学研究科・助手・片山知史博士、千田良雄技官、東北大学農学研究科・水圏資源生態学分野の学生の皆様に御礼申し上げます。また、本稿をご校閲いただき、貴重なご助言をくださいました千葉県立中央博物館の朝倉彰博士、英文のご校閲をいただきましたMark J. Grygier博士、有益なご教示をくださいましたレフェリーの方々に深く感謝の意を表します。

引用文献

秋山章男 1988 干潟の底生生物。栗原康(編), 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー, 東海大学出版会, 東京, pp. 85-95.
Bricelj, V. M. and R. E. Malouf 1984 Influence of algal and suspended sediment concentration on the feeding physiology of the hard clam *Mercenaria mercenaria*. *Marine Biology*, 84: 155-165.
Bricelj, V. M., R. E. Malouf and C. de Quillfeldt 1984 Growth of juvenile *Mercenaria mercenaria* and the effect of resuspended bottom sediments. *Marine Biology*, 84: 167-173.

Folk, R. L. and W. C. Ward 1957 Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3-26.
五嶋聖治・野田隆史 1992 函館湾におけるエゾイシカゲガイ *Clinocardium californiense* の成長. 日本ベントス学会誌, 42: 39-48.
Grant, J., C. T. Enright and A. Griswold 1990 Resuspension and growth of *Ostrea edulis*: a field experiment. *Marine Biology*, 104: 51-59.
Grizzle, R. E. and P. J. Morin 1989 Effect of tidal current, seston, and bottom sediments on growth of *Mercenaria mercenaria*: Results of a field experiment. *Marine Biology*, 102: 85-93.
畑中正吉 1965 魚類の自然における生産過程. 生物科学, 17(1): 9-14.
Inman, D. L. 1952 Measures for describing the size distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 22(3): 125-145.
伊藤絹子・大方昭弘 1998 砂浜浅海域生産系と河口域生産系の相互連関. 千田哲資・木下 泉(編) 水産学シリーズ 116 砂浜海岸における仔稚魚の生物学, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 52-64.
Kjørbe T., F. Møhlenberg and O. Nøhr 1981 Effect of suspended bottom material on growth and energetics in *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, 61: 283-288.
丸 邦義・小原昭雄 1967 ホタテガイの生態に関する研究 1. 成長と年輪形成について. 北海道水産試験場研究報告, 7: 72-83.
美園 繁 1962 容積法と土壌の物理性. 日本土壤肥科学雑誌, 33: 48-5.
Miyawaki, D. and H. Sekiguchi 1999 Interannual variation of bivalve populations on temperate tidal flats. *Fisheries Science*, 65(6): 817-829.
大野照文 1989 二枚貝の微細成長縞形成時間間隔の多様性. 日本ベントス研究会誌, 37: 35-48.
Sasaki, K. 1981 Growth of the sakhalin surf clam, *Spisula sachalinensis* in Sendai Bay. *Tohoku Journal of Agricultural Research*, 32: 168-180.
佐々木浩一 1993 ウバガイの生態と資源. 水産資源保護協会, 東京, 85pp.
Schulte, E. H. 1975 Influence of algal concentration and temperature on the filtration rate of *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, 30: 331-341.
Sekiguchi, H., H. Saito and H. Nakao 1991 Spatial and temporal distributions of planktonic and benthic phases of bivalves in a tidal estuary. *Benthos Research*, 40: 11-21.
Tanabe, K. 1988 Age and growth rate determinations of an intertidal bivalve, *Phacosoma japonicum*, using internal shell increments. *Lethaia*, 21: 231-241.
Tenore, K. R. and W. M. Dunstan 1973 Comparison of feeding and biodeposition of three bivalves at different food levels. *Marine Biology*, 21: 190-195.
Thompson, R. J. and B. L. Bayne 1974 Some relationships between growth, metabolism and food in the mussel *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, 27: 317-326.
Tsuchiya, M. and Y. Kurihara 1980 Effect of the feeding behavior of macrobenthos on changes in environmental conditions of intertidal flats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 44: 85-94.
堤 康夫・関口秀夫 1996 河口干潟における二枚貝類の着底稚貝と稚貝および成貝の分布. 水産海洋研究, 60(2): 115-121.
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 1981 網走湖産ヤマトシジミ *Corbicula japonica* PRIME の成長. 北海道水産試験場報告, 23: 65-81.
Wentworth, C. K. 1922 A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30: 377-392.

