

北海道函館湾におけるアサリの成長

誌名	北海道大学水産科学研究彙報 = Bulletin of Fisheries Sciences, Hokkaido University = Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University
ISSN	13461842
著者	田村, 亮輔 中川, 宙飛 五嶋, 聖治
巻/号	64巻2号
掲載ページ	p. 37-44
発行年月	2014年7月

北海道函館湾におけるアサリの成長

田村 亮輔¹⁾・中川 宙飛²⁾・五嶋 聖治³⁾

(2014年4月30日受付, 2014年5月15日受理)

Growth of Short-necked Clam *Ruditapes philippinarum* in Hakodate Bay, Hokkaido

Ryosuke TAMURA¹⁾, Chuhi NAKAGAWA²⁾ and Seiji GOSHIMA³⁾

Abstract

Shell growth of the short-necked clam *Ruditapes philippinarum* at Hakodate Bay, Hokkaido, Japan, was studied from February 2011 to February 2012. Monthly measurements of shell growth increment from the last ring on the shells revealed that a ring was formed annually from February to March. The Gompertz growth equation was fitted to the relationship between number of rings and shell length, and the equation, $L_R = 38.41 \exp(-\exp(-0.892(R - 2.029)))$ was obtained, where L_R is the shell length (mm) at the number of ring R . This equation shows highly depressed growth rate after 30 mm in shell length, and maximum shell length was attained about 40 mm that is smaller than those of the other localities. The estimated growth pattern was in accordance with the results of analyses of the size frequency distributions. The observed depressed growth was not explained by a shortage of food supply or seawater temperatures, but may be due to sediment character of including many cobbles and pebbles with sand which disturbs shell growth of the short-necked clam.

Key words : Short-necked clam, Hakodate Bay, Shell growth, Growth ring, Growth equation, Chlorophyll *a*, Sediment, Age determination

諸 言

アサリ *Ruditapes philippinarum* はサハリンから日本、朝鮮半島、中国に分布し、潮間帯から水深約 10 m までの砂礫泥底に生息する潜砂性の二枚貝である(松隈, 2004)。日本においては古くから沿岸漁業の重要種として漁獲が行われてきたが、近年その資源は減少傾向にあり(伊藤, 2002; 多賀ら, 2005; 松川ら, 2008), 資源管理技術の確立が望まれている。適切な資源管理を行う上で本種の成長や成熟に関する情報は不可欠であるが、北海道におけるそれらの知見は本州や九州に比べて乏しく、北海道内においてもアサリ漁業の中心である道東域(中川, 1994)に限られているのが現状である。

北海道函館湾に面する北斗市(旧上磯町)館野地区では、殻長 32 mm 以上の個体を対象に漁獲が行われている。しかし当該地域においては本種の産卵期についてわずかに知見があるのみで(清水ら, 2006), 成長に関する情報は不足している。

一般に貝類の成長推定には、殻長頻度分布の多峰型解

析(伏見, 1981; 宮城県, 1984; 尾田ら, 1999; 堤ら, 2002; 水野ら, 2005; 工藤ら, 2006; 佐藤, 2012), 標識放流やケージ等を用いた現場飼育による追跡調査(池末, 1941; 柿野, 1996; 長本ら, 2004; 秋本ら, 2006; 小林ら, 2012), 貝殻表面に形成される輪紋(成長休止帯: 山本・岩田, 1956; Bourne, 1982; Harvey and Vincent, 1990; 五嶋ら, 1991; 五嶋・野田, 1992; Kawai et al., 1993; 高田ら, 2001, 日成長線: 小池・丸山, 1991; 小池ら, 1992; 田・清水, 1997; Kanazawa and Sato, 2008, 障害輪: 五嶋ら, 1996; 伊藤・小川, 1999)の解析といった方法が用いられる。これらの方法にはそれぞれ一長一短があるものの、北海道におけるアサリの成長推定には主に殻表の成長休止帯(以下、リング)を解析する手法が用いられてきた(山本・岩田, 1956; 五嶋ら, 1996)。一方で、本州や九州など温暖な地域に生息するアサリは、北方域に生息するアサリと異なり殻表の輪紋が不明瞭で、リングを年齢形質として用いることが難しいとされている(田中, 1953)。このような背景から、本州や九州におけるアサリの成長推定には、殻長頻度分布(多峰性分布)を複数の単峰に分離

¹⁾ 北海道大学大学院水産科学院海洋生物学講座
(Laboratory of Marine Biology, Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University)

²⁾ 北海道大学水産学部海洋生物学講座
(Laboratory of Marine Biology, School of Fisheries Sciences, Hokkaido University)

³⁾ 北海道大学大学院水産科学院海洋生物学分野
(Laboratory of Marine Biology, Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University)

し、その経時変化を追う手法が用いられる例が多い(伏見, 1981; 宮城県, 1984; 尾田ら, 1999; 堤ら, 2002; 工藤ら, 2006)。

本調査地である函館湾は、北海道南西部に位置し、津軽海峡を挟んで本州と相対する湾である。津軽暖流の影響を受けるため(小田巻, 1985; 杉本, 1985)比較的温暖な気候であるが、本地域におけるアサリの殻表には北方域のアサリに見られるような明瞭な輪紋が認められる。そこで本研究では、殻表のリングを年齢形質として用いることで、函館湾におけるアサリの成長、すなわち年齢と殻長の関係を推定した。また、リング形成期前後におけるアサリの殻長頻度分布を複数の単峰(以下、殻長群)に分離することで、年齢形質法によるリング読み取りの妥当性について検討を行った。

材料と方法

環境調査

北斗市館野地区アサリ漁場(41°47'48"N, 140°37'06"E)において、2012年12月から2013年11月まで、アサリの成長に直接影響を及ぼすと考えられる以下の2項目について調査を行った。

1) 水温

漁場内に温度データロガー(Onset社製 TidbiT v2)を設置し、満潮時における底質表面付近の水温を測定した。

2) クロロフィル a 量

アサリの餌料の指標としてクロロフィル a 濃度を測定した。採水は月に1度、満潮時刻の前後3時間以内に行った。遮光ボトルを用いて底層水(海底直上約10 cm)を採取し、実験室に持ち帰った試料をガラス繊維濾紙(Whatman GF/F)で濾過した。80%アセトンによる抽出を行い、吸光度法を用いてクロロフィル a 濃度を求めた。なお、採水時に混入した浮泥等が測定値に影響を及ぼす可能性を考え、1回の調査につき8本の試料を測定に供した。

年齢形質法による成長推定

本調査に用いたアサリは、北斗市館野地区アサリ漁場の潮間帯から潮下帯において、2011年2月から2012年2月までの1年間、毎月1回大潮干潮時に採集した。

殻表のリングを年齢形質として用いるにあたり、このリングの形成時期を推定する必要がある。そこで、各月で採集時の殻長と最終リング形成時の殻長を測定し、その差を縁辺成長量として表した。殻縁辺部に新しいリングが形成された直後であれば縁辺成長量は最小となり、逆に新しいリングが形成される直前であれば縁辺成長量は最大となる。アサリは年齢とともに殻長の伸びが少なくなることが知られ(柿野, 1996)、高齢個体では殻縁辺部のリング間隔が狭くなるため、ここでは比較的成長の良い若齢個体である、リングを2本持つ個体と3本持つ個体を試料として用いた。

また、採集したアサリ全個体について、リングの本数を数え、最終リング形成時の殻長を測定し、リング数と殻長の関係を表す成長曲線を作成した。成長式のモデル選択にはAICを用い、リング数ごとの殻長データに von Bertalanffy, Gompertz, Logistic の3成長式をそれぞれ非線形最小二乗法によりあてはめ、AICが最小となる式を採用した。なお各成長式は以下のように表せる。

$$\text{von Bertalanffy: } L_t = L_\infty(1 - e^{-k(t-c)})$$

$$\text{Gompertz: } L_t = L_\infty e^{-e^{-k(t-c)}}$$

$$\text{Logistic: } L_t = \frac{L_\infty}{1 + e^{-k(t-c)}}$$

ここで L_t は年齢 t 時の殻長、 L_∞ は理論上の最大到達殻長を表しており、 c 、 k はそれぞれ成長開始時点、成長速度に関するパラメータである。

殻長頻度分布の分離

本調査は、北斗市館野地区アサリ漁場の潮間帯において、2012年11月から2013年6月まで毎月1回大潮干潮時に行った。1辺が25 cm の方形枠を用いて底土を計8回採取し、1 mm の目合いの篩に残ったものを試料とした。この中からアサリを選別し、個体数の計数、殻長の測定を行い、殻長頻度分布図を作成した。殻長頻度分布は多峰性を示したので、ここでは作成した分布図から複数の殻長群(小さい方から順に $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$) が分離でき、かつ各群の殻長組成が正規分布に従うと仮定した上で、五利江(2002)の方法に従い、下記の条件において残差平方和 S が最小となるような殻長群 C_i における混合比 p_i 、平均殻長 μ_i 、標準偏差 σ_i を求めた。

$$1. f(x_j) = \frac{F(x_j)}{\sum_i F(x_j)}$$

$$2. g(x_j) = \sum_i N(\mu_i, \sigma_i^2) \cdot p_i \\ = \sum_i \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} \exp\left(-\frac{(x_j - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right) \cdot p_i$$

$$3. c(x_j) = g(x_j) \cdot h$$

$$4. S = \sum_j \{f(x_j) - c(x_j)\}^2$$

$$5. \sum_i p_i = 1$$

$$6. 0 < p_i$$

$$7. \sigma_i < \sigma_{i+1} \text{ (高齢個体ほど殻長のばらつきが大きくなることを加味)}$$

$f(x_j)$: 殻長階級 x_j における相対頻度分布の実測値

$F(x_j)$: 殻長階級 x_j に属する個体数

$g(x_j)$: 殻長階級 x_j における相対頻度分布の確率密度

$c(x_j)$: 殻長階級 x_j における相対頻度分布の期待値

h : 階級幅

S : 実測値と期待値の残差平方和

\sum_i : $i = 1, 2, 3, \dots, n$ についての総和 (n は群数)

\sum_j : $j = 1, 2, 3, \dots, m$ についての総和 (m は階級数)

結 果

環境調査

1) 水温

2012年12月から2013年11月までの漁場内の底質表面水温の変化を Fig. 1 に示す。平均水温は1月に4.5°Cと最も低く、8月に24.6°Cで最高となった。平均水温が20°Cを超えるのは7~9月の3ヵ月間に限られ、その前後の水温変化、すなわち5月から6月にかけての水温上昇、および10月から11月にかけての水温低下が著しかった。なお、夏季においても25°Cを大きく超えるような水温は記録されなかった。

2) クロロフィル a 量

2012年12月から2013年11月までの漁場内のクロロフィル a 濃度の変化を Fig. 2 に示す。クロロフィル a 濃度は2

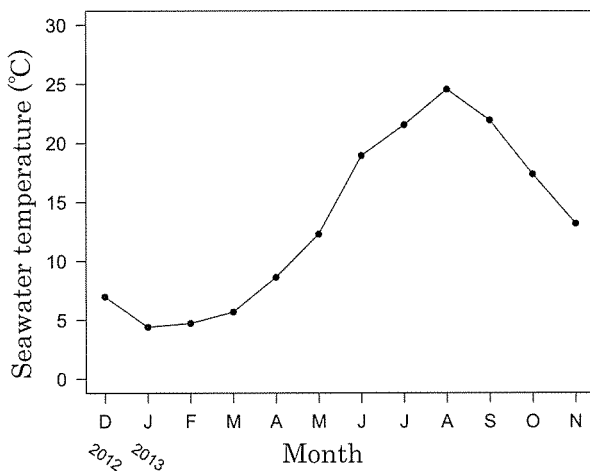


Fig. 1. Monthly mean seawater temperature at bottom surface of Tateno, Hakodate Bay. Measurements were done at high tides with a temperature data logger.

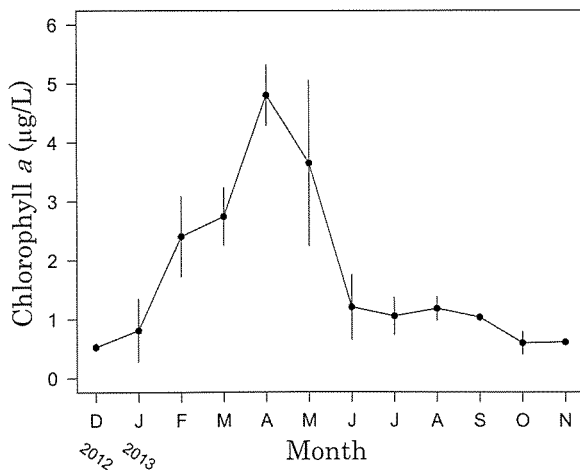


Fig. 2. Monthly chlorophyll a concentrations at bottom water of Tateno, Hakodate Bay. Measurements were done within three hours before and after high tides. Vertical bars show standard deviations of the means.

月から上昇し始め、4月に最高値 4.8 µg/Lを示すと、6月以降は2 µg/L以下の低い値で推移した。ピークは4月を中心とする春季に一度見られるのみで、秋季におけるクロロフィル a 濃度上昇(秋季植物プランクトンブルーム)は確認されなかった。

年齢形質法による成長推定

2011年2月から2012年2月までの調査で採集した、リングを2本および3本持つアサリの各月の縁辺成長量を Fig. 3 に示す。リング2本の個体、3本の個体ともに8月を過ぎた頃から成長が停滞し、その時点で1年の成長のほとんどを完了している。そして、縁辺成長量は2月に急激に小さくなり3月に最小値を示す。このことから、本地域におけるアサリのリングは、年に1本、2月から3月にかけて形成されると判断される。

また、同調査で採集したアサリ全個体について、同一リング数ごとに最終リング形成時の平均殻長を示したものが Table 1 である。この結果に3成長式をあてはめ、得られた各パラメータを Table 2 に示す。AIC が最小となったのは Gompertz の成長式であり、次式が得られた。

$$L_R = 38.41 e^{-e^{-0.892(R-2.029)}}$$

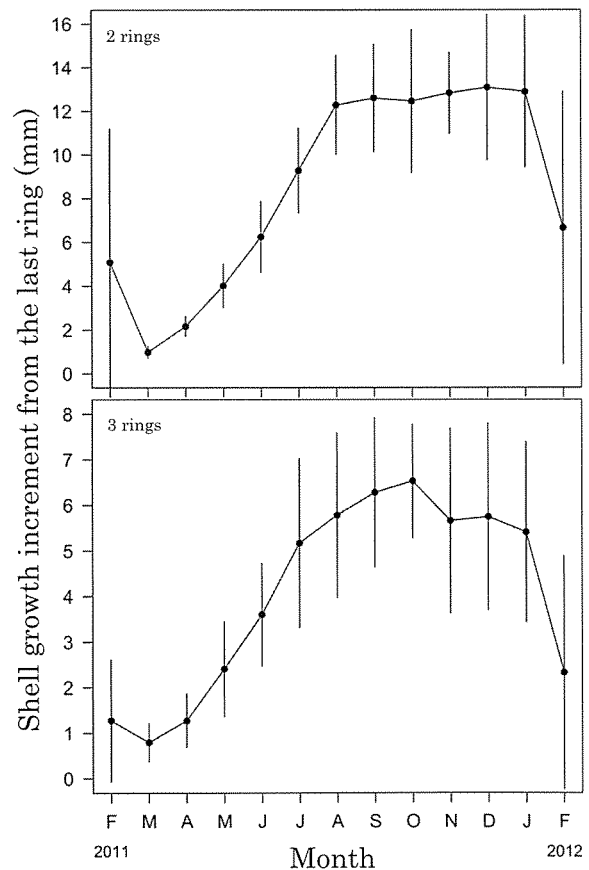


Fig. 3. Monthly shell growth increment from the last ring of the short-necked clams with two (upper) and three (lower) rings. Vertical bars show standard deviations of the means.

Table 1. Mean shell length at each number of rings.

Number of rings	Shell length (mm)		n
	mean	± SD	
1	3.7	± 0.7	222
2	12.9	± 4.3	526
3	26.4	± 3.5	594
4	31.9	± 4.0	347
5	35.5	± 3.7	113
6	37.0	± 3.8	56
7	37.6	± 3.2	53
8	39.0	± 3.3	18

n : number of clams.

Table 2. Least-squares estimators of each growth curve.

Growth function	L_{∞}	c	k	AIC
von Bertalanffy	41.31	0.861	0.437	36.822
Gompertz	38.41	2.029	0.892	23.902
Logistic	37.57	2.478	1.349	29.743

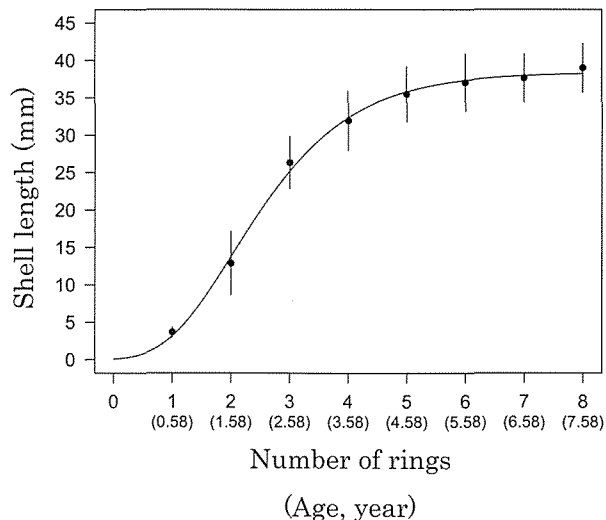


Fig. 4. Growth curve of the short-necked clam, estimated by a Gompertz equation. Plots show mean shell length at each number of rings. Vertical bars show standard deviations of the means.

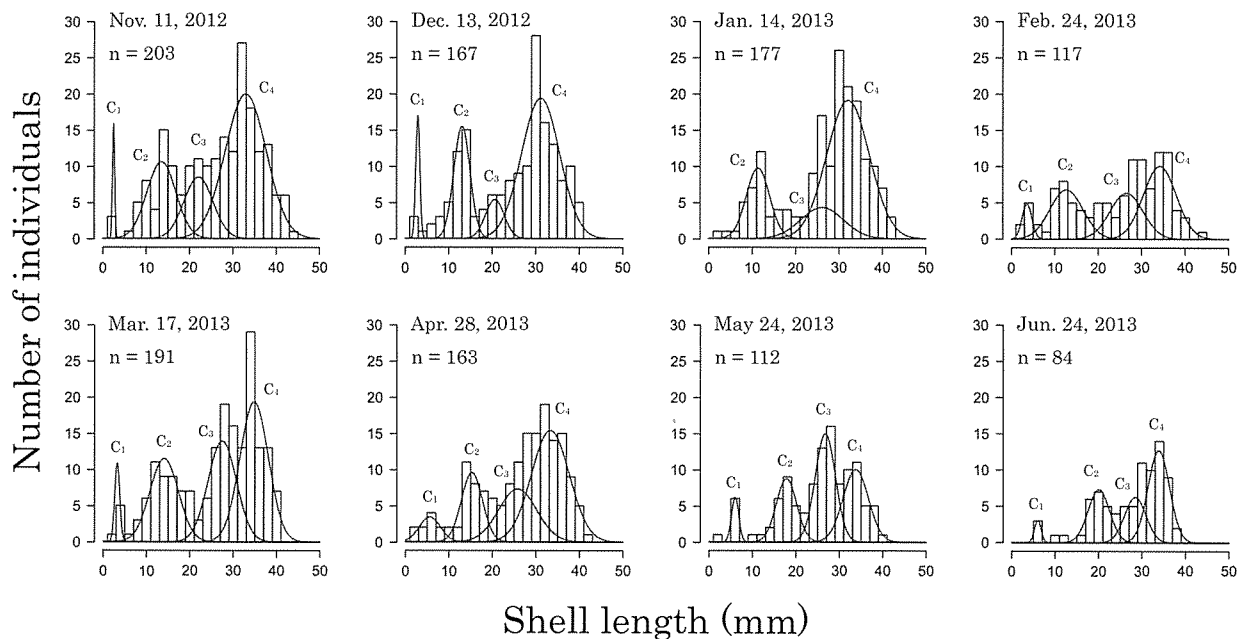


Fig. 5. Monthly changes in size-frequency distribution of the short-necked clam.

L_R は R 本目のリング形成時の殻長 (mm) を表している。すなわち、函館湾におけるアサリのリング数と殻長の関係は Fig. 4 のようになる。本調査では最大でリングを 8 本有する個体が確認されたが、リング数が 4 本を超える殻長 30 mm 以上の個体の成長は鈍く、殻長 40 mm 程度で頭打ちになる傾向が示された。

殻長頻度分布の分離

2012 年 11 月から 2013 年 6 月までの各月におけるアサ

リの殻長頻度分布図を Fig. 5 に示す。調査期間内において $C_1 \sim C_4$ の 4 つの群が確認された (Table 3)。調査を開始した 11 月から 1 月まではいずれの群においても平均殻長の変化(ピークの移動)は認められず、この間の $C_1 \sim C_4$ のピークはそれぞれ 2~3, 12~14, 21~26, 31~33 mm 付近に見られた。平均殻長の変化は 2 月以降、特に C_1 および C_2 において顕著に見られるようになり、6 月には両者のピークは 6 mm (C_1)、および 20 mm (C_2) 付近へと移動した。

Table 3. Estimates of the mixture rate, mean shell length, and standard deviation of each group at each sampling occasion from November 2012 to June 2013.

Month	C ₁			C ₂			C ₃			C ₄			
	<i>p</i> ₁	<i>μ</i> ₁	<i>σ</i> ₁	<i>p</i> ₂	<i>μ</i> ₂	<i>σ</i> ₂	<i>p</i> ₃	<i>μ</i> ₃	<i>σ</i> ₃	<i>p</i> ₄	<i>μ</i> ₄	<i>σ</i> ₄	
2012	Nov.	0.03	2.5	0.3	0.22	13.5	3.3	0.17	22.0	3.3	0.58	32.9	4.7
	Dec.	0.06	2.9	0.5	0.22	13.0	1.9	0.09	20.6	2.2	0.64	31.1	4.4
2013	Jan.				0.18	11.3	2.7	0.15	26.1	4.9	0.67	32.0	4.9
	Feb.	0.06	3.6	1.1	0.28	12.7	3.8	0.26	26.5	3.8	0.41	34.2	3.8
	Mar.	0.04	3.3	0.6	0.25	14.1	3.3	0.30	27.5	3.3	0.41	34.8	3.3
	Apr.	0.06	5.6	2.4	0.18	15.3	2.4	0.24	25.8	4.4	0.52	33.3	4.4
	May	0.06	6.0	0.8	0.23	17.8	2.3	0.39	26.8	2.3	0.33	33.7	2.9
	Jun.	0.03	6.0	0.8	0.27	20.1	2.5	0.23	28.5	2.5	0.47	33.9	2.5

*p*_{*i*}: mixture rate at C_{*i*}, *μ*_{*i*}: mean shell length (mm) at C_{*i*}, *σ*_{*i*}: standard deviation at C_{*i*} (*i* = 1, 2, 3, 4), C_{*i*}: component groups divided from size-frequency distribution of the clam.

考 察

年間の水温は年により変動することが予想されるが、Ito (2005), および Takahashi and Goshima (2012) の調査でも本調査の結果とほぼ同様の傾向が見られている。このことから、本調査で見られた水温傾向を函館湾における年間水温変化の特徴と捉えても概ね問題ないと思われる。

またクロロフィル *a* 濃度に関しては、同じ函館湾内でも年や場所によってその変動パターンが大きく異なることがわかっている (函館湾漁場環境保全対策連絡協議会, 2010, 2011, 2012)。しかし、北斗市館野地区に程近い流溪川沖では 2010 年～2012 年のいずれの調査年においても秋季のクロロフィル *a* 濃度上昇は見られていない。これらの結果から、館野地区アサリ漁場周辺は秋季のブルームが小さい海域であると推測される。

多くの二枚貝類では、さまざまな内的・外的要因により成長が停滞し、再び成長が見られるようになるとともにその履歴が殻表の成長休止帯 (リング) となって現れる。一般的にこの成長停滞には繁殖や夏季の高水温、および冬季の低水温等が関わっていると考えられている (五嶋ら, 1991; Ramón and Richardson, 1992; Kawai et al., 1993; 高田ら, 2001)。函館湾のアサリの場合、8 月頃から成長の停滞が始まり、2 月から 3 月にかけての成長再開時にリング形成が確認できるようになる (Fig. 3)。本地域において、8 月は本種の産卵盛期であると同時に (清水, 2006), 1 年を通して最も水温の高い時期である (Fig. 1)。アサリは水温 25°C を超えると高温障害が生じ成長速度が低下することが知られているが (Laing et al., 1987; 磯野ら, 1998), 調査地の水温が 25°C を著しく上回ることは稀であるため、この成長停滞が高水温に起因するものとは考えにくい。したがって、8 月に見られる成長の停滞には水温以外の要因、とりわけ繁殖の影響が強く働いているものと推察される。また、本調査を行った館野地区アサリ漁場では秋季における植物プランクトンのブルームが小さ

く (Fig. 2), 10 月以降の水温低下も著しい (Fig. 1)。そのため、このような餌不足や低水温といった要因が繁殖期終了後の成長再開を阻害し、成長の停滞を持続させていると考えられる。一方で、成長の再開はまだ水温の低い 2～3 月頃に確認された (Figs. 1, 3)。この時期、函館湾では春季ブルームと思われるクロロフィル *a* 濃度の上昇が見られることから (Fig. 2), 本地域におけるアサリの成長再開にはこの餌料増加が関わっている可能性が考えられる。

リング数を年齢に変換するためには、産卵期からリング形成期までの時間経過を考慮する必要がある。函館湾における本種の産卵期は 7～8 月であり (清水ら, 2006), リング形成期は本研究において 2～3 月と推定されたため、この間には約 7 ヶ月のずれがあることになる。したがって 1～8 本目のリング形成時の年齢はそれぞれ 0.58～7.58 歳であると推定される。なお、Fig. 4 の横軸にはリング数と対応させた形で年齢も記載している。ここから函館湾のアサリは漁獲サイズである殻長 32 mm に達するのに 3～4 年を要することがわかる。

2～3 月における殻長群 C₁～C₃ のピークはそれぞれ 3～4, 12～14, 26～28 mm 付近に見られ、1～3 本目のリング形成時殻長とおおよそ一致した。一方で、C₄ のピークは月によって多少変動するものの、概して 4 本目のリング形成時殻長より大きい値を示した。また、殻長の相対頻度は高齢個体のものほど小さくなるのが一般的であるが、C₄ の殻長組成は C₁～C₃ と比べ大きな山を形成した。これらの結果はいずれも、C₄ がリングを 4 本以上持つ複数の年級群を含んでいることを示す。以上より、殻長群 C₁～C₃ はそれぞれリング数 1～3 本の群に相当し、C₄ はリング数 4 本以上の群に相当するものと考えられる。4 つ以上の群に分離できなかった理由として、C₄ に含まれる個体間に著しい殻長差が存在しないことが挙げられるが、これは成長曲線に見られるリング数 4 本以上の個体の成長鈍化傾向とも一致する。

殻長群 C₁ の山が C₂～C₄ と比べ小さかったこと、すな

わち個体数が少なかったことは、一般的な年齢構成から期待される様相とは異なる。C₁は生後1年に満たない新規着底個体群であると考えられるが、調査を行った11~6月におけるその採集個体数は着底初期の稚貝の数としてはあまりに少ない。この点に関して、採集時に1mmの目合いの篩を用いたことで稚貝の相当数が脱落した可能性も考えられるが、1本目のリング形成時殻長が約3mmと推定されたことや、6月の調査においてもピークの移動が見られるのみで個体数の増加が確認できなかったことから、調査を行ったアサリ漁場潮間帯は新規着底個体の少ない環境であると考えた方が妥当と思われる。アサリでは稚貝の着底場所と成貝の生息場所とで適する環境条件が異なることが指摘されており(辻・宗清, 1996), 函館湾においても本種稚貝の着底場所が調査地とは別に存在する可能性が考えられる。本地域におけるアサリ着底稚貝の分布については、着底時期等とも併せ今後さらなる研究が求められる。

アサリの成長について、日本の主な産地における知見をまとめると Fig. 6 のようになる。函館湾産アサリの初期成長は本州以南のアサリと比べて遅く、道東のアサリと同程度であった。一般的に南方のアサリは成長が速く、有明海産(池末, 1957), 東京湾産(相良, 1965), 福岡豊前海産(藤本ら, 1984)のいずれも生後1~2年ほどで殻長30mmに達する。中でも特に成長の速い有明海では、冬季の成長停滞が見られない事例が報告されており(堤ら, 2002), 水温が高いことによる直接的な影響のみならず、それに付随する成長期間の長さがこの急速な成長を可能にしているものと考えられる。一方で、北方のアサリの成長は厚岸湖産アサリ(山本・岩田, 1956)のような例外を除けば、概ね南方のアサリより遅く、殻長30mmに達するのに約3年を要する(富田, 1983; 高谷, 1988)。ここ

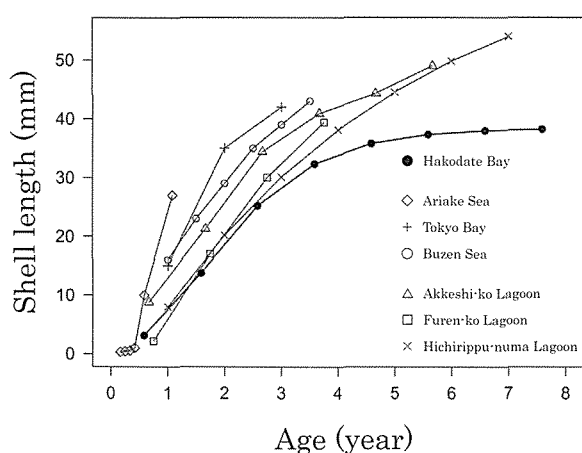


Fig. 6. Comparison of shell growth of the short-necked clams in Hakodate Bay (present study), Ariake Sea (Ikematsu, 1957), Tokyo Bay (Sagara, 1965), Buzen Sea (Fujimoto et al., 1984), Akkeshi-ko Lagoon (Yamamoto and Iwata, 1956), Furen-ko Lagoon (Takaya, 1988), and Hichirippu-numa Lagoon (Tomita, 1983).

で挙げた厚岸湖, 火散布沼, 風蓮湖におけるアサリの月ごとの詳細な成長パターンは不明であるが, 同じく寒冷的なサロマ湖において10月から4月までまったく成長が見られないことを考えると(五嶋ら, 1996), これら3地域においても成長可能な期間は長くないことが予想される。函館湾でも2~8月の限られた時期にしか成長が見られず, この成長期間の短さは函館湾のアサリと道東のアサリに共通した特徴であると同時に, 両者の成長が遅い主たる要因であると考えられる。

函館湾のアサリと北海道他産地のアサリとで初期成長に差がないことは上述の通りであるが, 3歳を超える高齢個体の成長速度および最大到達殻長には両者で大きな違いが見られた。函館湾では3~4歳頃, 殻長約30mmを超えるあたりから成長が鈍くなり, そのまま殻長40mmほどで頭打ちになるが, 厚岸湖産や火散布沼産のアサリは3歳以降も成長を続け, 6歳で殻長約50mmに達する(山本・岩田, 1956; 富田, 1983)。函館湾における年間の水温やクロロフィルa濃度が特別異常な数値を示すことはなく, また初期の成長は他産地のアサリとも同程度であることから, 函館湾産アサリのこの急激な成長鈍化の理由を水温や餌量に求めるのは難しい。

本研究では水温とクロロフィルa濃度以外の環境要因について調査を行っていないため, 函館湾産アサリの成長が鈍くなる原因の究明には至らなかったが, 試料採集の際にその手掛かりとなりそうな事象がいくつか観察された。函館湾アサリ漁場内には底質表面, 内部ともに直径30cmを超えるような大型の礫が多数存在する。アサリの多くはその礫と礫の間に挟まるようにして潜っており, 殻の一部が底質上に露出しているものや底質に対し斜めに潜砂しているものも目立つ。こうした状況は通常のアサリの潜砂様式を考えると極めて不自然なものである。また, 殻が著しく変形した個体やイソギンチャクが付着した個体, アクキガイ科の巻貝(イボニシ *Thais clavigera* など)に捕食されている個体等もしばしば観察され, そのいずれに対してもこの不自然な潜砂の関与が疑われた。成長鈍化との直接的な関連性は不明であるが, このような環境が函館湾産アサリの成長に悪影響を及ぼしている可能性は十分に考えられる。今後は函館湾アサリ漁場内における礫とアサリの潜砂との関係, およびアサリの潜砂と成長との関係について明らかにしていく必要があると考えられる。

謝 辞

試料採集に便宜をはかって下さった上磯郡漁業協同組合上磯支所の横浜芳伸氏, そして本研究に際してさまざまな議論ならびに毎月の採集に参加, ご協力下さった北海道大学水産学部海洋生物学講座の各位に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 秋本恒基・太刀山透・林 宗徳・深川敦平・後川龍男・佐藤博之(2006) 筑前海における健全クロアワビ種苗の放流効果. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, **16**, 9-15.
- Bourne, N. (1982) Distribution, reproduction, and growth of Manila clam, *Tapes philippinarum* (Adams and Reeves), in British Columbia. *Journal of Shellfish Research*, **2**, 47-54.
- 藤本敏昭・多胡信良・北原 武・尾田一成・鶴島治市(1984) アサリの流通と利用方法に関する研究. 福岡県豊前水産試験場研究報告, 21-83.
- 伏見 浩(1981) アサリ漁業の管理を目指して-I—禁漁区における成長と生き残り一. はまな, **241**, 1-5.
- 五利江重昭(2002) MS-Excelを用いた混合正規分布のパラメータ推定. 水産増殖, **50**, 243-249.
- 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.
- 五嶋聖治・長本克義・河合 溪・中尾 繁(1991) 知内におけるサラガイ *Megangulus vemulosus* の生殖周期と成長. 日本ベントス学会誌, **40**, 23-33.
- 五嶋聖治・井手名誉・藤芳義裕・野田隆史・中尾 繁(1996) サロマ湖における移植アサリの生殖周期と殻成長. 日本水産学会誌, **62**, 195-200.
- 函館湾漁場環境保全対策連絡協議会(2010) 函館湾漁場環境等調査報告書 平成22年3月. 函館湾漁場環境保全対策連絡協議会, 函館.
- 函館湾漁場環境保全対策連絡協議会(2011) 函館湾漁場環境等調査報告書 平成23年4月. 函館湾漁場環境保全対策連絡協議会, 函館.
- 函館湾漁場環境保全対策連絡協議会(2012) 函館湾漁場環境等調査報告書 平成24年4月. 函館湾漁場環境保全対策連絡協議会, 函館.
- Harvey, M. and Vincent, B. (1990) Density, size distribution, energy allocation and seasonal variations in shell and soft tissue growth at two tidal levels of a *Macoma balthica* (L.) population. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **142**, 151-168.
- 池末 彌(1941) アサリの成長と環境との関係に就いて. 水産研究誌, **36**, 82-89.
- 池末 彌(1957) アサリの生態学的研究-II 沈着期と初期生長. 日本水産学会誌, **22**, 736-741.
- 磯野良介・喜田 潤・岸田智穂(1998) アサリの成長と酸素消費量におよぼす高温の影響. 日本水産学会誌, **64**, 373-376.
- Ito, A. (2005) Adaptive significance of seasonal migration in the periwinkle *Nodilittorina radiata*. Doctoral thesis, Hokkaido University. 137 pp.
- 伊藤 博(2002) アサリとはどんな生き物か: アサリの生態, および漁業生産の推移. 日本ベントス学会誌, **57**, 134-138.
- 伊藤龍星・小川 浩(1999) ネット被覆によるアサリ人工種苗の育成試験. 大分県海洋水産研究センター調査研究報告, **2**, 23-30.
- 柿野 純(1996) 丸型指数を指標とした籠試験によるアサリの成長と生残の特性. 日本水産学会誌, **62**, 376-383.
- Kanazawa, T. and Sato, S. (2008) Environmental and physiological controls on shell microgrowth pattern of *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae) from Japan. *Journal of Molluscan Studies*, **74**, 89-95.
- Kawai, K., Goshima, S. and Nakao, S. (1993) Reproductive cycle and shell growth of the tellin *Nitidotellina nitidula* (Dunker) in Hakodate Bay. *Bulletin of the Faculty of Fisheries Hokkaido University*, **44**, 105-115.
- 小林 豊・鳥羽光晴・川島時英(2012) 被覆網を用いた春から夏季におけるアサリ人工稚貝干潟育成試験. 水産技術, **5**, 67-74.
- 小池裕子・丸山克彦(1991) 新潟県産コタマガイの殻成長と生育環境について. 日本海ブロック試験研究集録, **23**, 115-128.
- 小池裕子・斉藤 徹・小杉正人・柿野 純(1992) 東京湾小櫃川河口干潟におけるアサリの食性と貝殻成長. 水産工学, **29**, 105-112.
- 工藤勝宏・荒巻重則・時任勝宏・池田健太郎(2006) 佐伯湾番匠川河口域におけるアサリ *Ruditapes philippinarum* の漁場環境と成熟・加入・成長. 水産工学, **42**, 259-266.
- Laing, I., Utting, S.D. and Kilada, R.W.S. (1987) Interactive effect of diet and temperature on the growth of juvenile clams. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **113**, 23-38.
- 松川康夫・張 成年・片山知史・神尾光一郎(2008) 我が国のアサリ漁獲量激減の要因について. 日本水産学会誌, **74**, 137-143.
- 松隈明彦(2004) アサリ. p. 332. 奥谷喬司(編), 改訂新版 世界文化生物大図鑑 貝類, 世界文化社, 東京.
- 宮城県(1984) 7. 松島湾地区. pp. 1-64. 大規模増殖場造成事業調査総合報告書昭和58年度版, 水産庁, 東京.
- 水野知巳・南部亮元・関口秀夫(2005) 木曾三川感潮域のヤマトシジミの漁場形成と個体群動態. 日本水産学会誌, **71**, 151-160.
- 長本 篤・上妻智行・中川 清・佐藤利幸・江崎恭志(2004) 吉富地先における秋季のアサリ放流適地の選定. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, **14**, 113-118.
- 中川義彦(1994) 干潟とアサリ増殖場の資源管理について. 釧路水試だより, **71**, 7-14.
- 小田卷実(1985) 第4章 津軽海峡 II 物理. 1 潮汐と潮流. pp. 145-149. 日本海洋学会・沿岸海洋研究部会(編), 日本全国沿岸海洋誌, 東海大学出版会, 東京.
- 尾田 正・草加耕司・水戸 鼓・泉川晃一(1999) 黒島におけるアサリ生息数の季節的変動と成長. 岡山県水産試験場報告, **14**, 1-17.
- Ramón, M. and Richardson, C.A. (1992) Age determination and shell growth of *Chamelea gallina* (Bivalvia: Veneridae) in the western Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, **89**, 15-23.
- 相良順一郎(1965) アサリ. pp. 219-227. 農林図書出版コンサルタント(編), 浅海養殖60種, 大成出版社, 東京.
- 佐藤武宏(2012) 東京湾盤洲干潟におけるイボキサゴの成長について. 神奈川県立博物館研究報告(自然科学), **41**, 1-8.
- 清水洋平・大津秀夫・蛸子 彰・多田匡秀(2006) 上磯町茂辺地地区におけるアサリの産卵期について. 北海道立水産試験場研究報告, **70**, 99-104.
- 杉本隆成(1985) 第4章 津軽海峡 II 物理. 2 津軽海峡内の海洋構造. pp. 149-152. 日本海洋学会・沿岸海洋研究部会(編), 日本全国沿岸海洋誌, 東海大学出版会, 東京.
- 多賀 茂・和西昭仁・馬場俊典・松野 進・桃山和夫(2005) 山口県瀬戸内海沿岸干潟における放流アサリの成長と生残. 山口県水産研究センター研究報告, **3**, 87-96.
- 高田芳博・園田 武・中村幹雄・中尾 繁(2001) 宍道湖のヤマトシジミ個体群の成長および着底稚貝. 日本水産学会誌, **67**, 678-686.
- Takahashi, T. and Goshima, S. (2012) The growth, reproduction

- and body color pattern of *Cleantiella isopus* (Isopoda: Valvifera) in Hakodate Bay, Japan. *Crustacean Research*, **41**, 1-10.
- 高谷義幸 (1988) 風蓮湖のアサリの成長について. 釧路水試だより, **59**, 23-28.
- 田中弥太郎 (1953) アサリの年齢形質に関する一考察. 有明海研究報告, **1**, 7-9.
- 富田恭司 (1983) アサリについて. 釧路水試だより, **51**, 1-3.
- 辻 秀二・宗清正廣 (1996) 舞鶴湾におけるアサリの分布の特徴. 水産増殖, **44**, 133-139.
- 堤 裕昭・石澤紅子・富重美穂・森山みどり・坂元香織・門谷 茂 (2002) 緑川河口干潟における盛砂後のアサリ (*Ruditapes philippinarum*) の個体群動態. 日本ベントス学会誌, **57**, 177-187.
- 山本喜一郎・岩田文男 (1956) 厚岸湖に於けるアサリに関する研究. (II) 成長度及び最小成体形. 北水研報, **14**, 57-63.
- 田 永軍・清水 誠 (1997) トリガイの貝殻における成長線パターンと年齢査定. 日本水産学会誌, **63**, 585-593.