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 Population Dynamics of a Clam, *Ruditapes philippinarum*, on an Artificially-created Sand Cover on the Tidal Flats at the River Mouth of Midorikawa River

堤 裕昭^{1)*}・石澤紅子¹⁾・富重美穂¹⁾・森山みどり¹⁾・坂元香織¹⁾・門谷 茂²⁾¹⁾ 熊本県立大学環境共生学部. 〒862-8502 熊本市月出 3-1-100²⁾ 北海道大学水産学部. 〒041-8611 函館市港町 3-1-1Hiroaki TSUTSUMI^{1)*}, Kouko ISHIZAWA¹⁾, Miho TOMISHIGE¹⁾, Midori MORIYAMA¹⁾, Kaori SAKAMOTO¹⁾, Shigeru MONTANI²⁾¹⁾ Faculty of Environmental and Symbiotic Sciences, Prefectural University of Kumamoto. 3-1-100 Tsukide, Kumamoto 862-8502, Japan²⁾ Faculty of Fisheries, Hokkaido University. Minato-machi, Hakodate 041-8611, Japan

Abstract: During 1970s, 40,000 to 65,000 tons of a clam, *Ruditapes philippinarum*, were harvested each year on the tidal flats in Kumamoto Ariake Region. However, in the past two decades, the tonnage harvested drastically declined due to the collapse of the clam-population in the whole area of the tidal flats. Fortunately, one of the measures to recover the clam population on the tidal flats, which is creating a sand cover on the tidal flats with clean sands collected from the sea floor in the offshore areas, succeeded to re-establish the dense patches of the clam with a density between 1,000 to 6,000 ind./m². We have monitored the population dynamics of the clam since a new sand cover was set on the tidal flats in May 1997. On the sand cover, the planktonic larvae of the clam recruited four times in a year. The newly recruited individuals grew to 30 mm in shell length in less than ten months. The production of the clam patches was estimated to 226.7 gDW/m²/year (only dried flesh weight) and 7,832.0 gWW/m²/year (wet weight including shell). To support this scale of secondary production of the clam, we are able to predict that a large amount of the primary production of more than 470 gC/m²/year is required. Although we were not able to confirm the presence of the primary producers on the tidal flats, the results of the population study of the clam indicate that the large potential of primary production was still preserved on the tidal flats in Kumamoto Ariake Region.

Key Words: Ariake Sea, clam, population dynamics, production, *Ruditapes philippinarum*, tidal flats

はじめに

1989~1990 年にかけて環境庁が行った全国の干潟の調査で、日本の沿岸には総面積で 51,462 ha の干潟が残されていることが明らかにされている (環境庁 1994)。そのうち約 20% に相当する 10,836 ha の干潟は、熊本県の有明海および八代海に分布している。これらの熊本県の干潟は、1970 年代までは日本最大のアサリ (*Ruditapes philippinarum*) の生産地であった。熊本県におけるアサリの水揚げ量は、1977 年、約 65,000 トンに達し、全国の水揚げ量の約 45% を占めていた。そのうち、約 95% は、有明海に面した荒尾市から宇土市に至る海岸線の長さで 50 km にも満たない砂

質の干潟から取られたものである。ところが 1980~90 年代にかけてアサリの水揚げ量は激減し、1996 年には 1,442 トンにまで減少し (九州農政局統計情報部 1975-1998; 熊本県林務水産部 1980-1994)、その後も回復の兆しをみていない。このようなアサリの水揚げ量の急速な減少の原因について、河川からの大量の土砂の流入や捕食性巻貝のツメタガイ (*Glossaulax didyma*) による食害の影響も可能性のひとつとして考えられてきたが (梶山ら 1983; 藤森ら 1983)、明確な原因究明には至っていない。

堤ら (2000) は、熊本県の有明海に面した干潟の中でも、アサリの水揚げ量が 1970 年代にもっとも高かった熊本市の緑川河口の砂質干潟において、アサリをはじめとする底生生物群集の詳細な定量調査を行った。その結果、アサリについては、プランクトン幼生が干潟の砂にほぼ周年を通して定着しているにもかかわらず、それらの新規加入個体のほとんどが、干潟に定着した直後に死亡していて、その

砂中からは殻長 1~3 mm 程度の稚貝の死殻が数多く見出されることを明らかにした。このことがアサリの水揚げ量の激減の原因であることを指摘した。同様の、干潟に定着した直後の高い死亡率は、7月に繁殖期を迎えるホトトギスガイ (*Musculista senhousia*) についても確認された。また、緑川の河口干潟では、アサリ漁場再生を目指す対策の一環として、沖合の海底で採取した砂を干潟に盛る事業が、熊本市および地元漁業協同組合によって 1995 年から行われてきた。干潟の上に盛砂した場所に限っては、アサリやホトトギスガイの定着後の高い死亡率が見られず、その後の成長にも支障はみられなかったため、これらの二枚貝が周辺の盛砂していない場所よりはるかに高い密度で生息するようになった。

したがって、アサリの水揚げ量の急速な減少は、水質や他の底生生物などの影響に起因するものではないと考えられる。干潟の底質に、アサリやホトトギスガイの定着直後の個体の高い死亡率を招く何らかの問題が発生していることが指摘される。しかしながら、堤ら (2000) が 1996 年に行った調査における干潟の底質表層の粒度組成には、アサリの水揚げ量が最大に達した時期にあたる 1981 年の同干潟域の底質の粒度組成 (河辺・富永 1982) と比較して、大きな変化が見られないので、底質表層の粒度組成の変化に、その原因を求めることはできない。

本研究においては、干潟に沖合の海底で採取した砂を盛砂することによって、その場所に限っては、アサリの幼生が定着後、高い死亡率を被ることなく成長できるようになることから、緑川河口干潟において、1997 年 4 月に盛砂された場所に調査地点を設け、1997 年 5 月~1999 年 12 月に毎月 1~2 回、アサリ個体群動態に関する定量調査を行った。

この論文では、アサリの個体群密度、生物量および体長頻度分布の季節変化を追跡し、個体群への 1 年間における新規加入の回数および個体群の世代構造を解析し、各コホートの成長曲線および生存曲線を求め、個体群としての

年間の生産量を推定した。また、盛砂した場所において増殖したアサリが、個体群をどれだけの期間維持できるかを追跡し、盛砂しない場所でアサリが死滅している原因を考察した。

調査地

本研究は、熊本市川口町の川口漁業協同組合が管轄する緑川河口の干潟域の漁場において行った (Fig. 1)。緑川は、熊本市と宇土市の境界を流れる流域面積 1,100 km²、流路延長 76 km の川である。有明海の湾中央部に通じ、河口域には最大幅 4.5 km、面積約 32 km² におよぶ砂質干潟が広がっている。本研究においては、この干潟において、1997 年 4 月に川口漁業協同組合が、厚さ約 30 cm、約 50 m 四方にわたって沖合の海底で採取された海砂を盛り、アサリ増殖漁場を造成した場所に調査地点を設けた。この調査地点は海面の潮位が +40 cm 程度の時に干出し始める場所で、大潮時の干出時間は 2~4 時間程度である。調査地点の水温は、1998 年 4 月から 1999 年 4 月までの期間において、潮が干潟に満ちてきた時に測定した値で、12.8°C (1999 年 3 月)~28.1°C (1998 年 7 月) の範囲を変動した。

調査方法

沖合の海底で採取された海砂を盛り、アサリ増殖漁場を造成した直後の 1997 年 5 月から 1999 年 12 月まで毎月 1 回~2 回大潮時に、底質の物理化学的環境条件の調査とアサリ個体群の定量調査を行った。底質の物理化学的環境要因として、粒度組成、全有機炭素量 (TOC) および全窒素量 (TN) を分析した。各調査地点において、粒度分析用サンプルは、コアサンプラー (10×10×5 cm) を用いて表層約 5 cm を採取した。TOC・TN 分析用サンプルはアシストチューブを用いて表層約 1 cm を採取した。アサリ個体群の定量調査用底質サンプルは、方型コアサンプラー (10×10×5 cm) を用いて表層約 5 cm までの底質を 5~10 サンプル採取した。

粒度分析用底質サンプルは、ウェットシービング法によって粒度組成を分析した。TOC・TN 分析用底質サンプルは、凍結乾燥後、無機の炭酸塩を除去するために 2N 塩酸で処理し、真空乾燥をし

Fig. 1. Study areas, the tidal flats at the river mouth of Midori River in Kumamoto.

Fig. 2. Seasonal fluctuations of particle size composition of the sediment.

た後、自動元素分析装置 (FAISONS, NA1500 型) を用いて TOC および TN の組成を分析した。アサリ個体群の定量調査用底質サンプルは、ローズベンガルを溶かしたホルマリン 10% 溶液で固定し、1 mm のふるいをを用いてふるい、実体顕微鏡下で残渣物の中からアサリを選別した。アサリの体長は最大殻長で代表し、最大殻長約 5 mm 以上の個体はキャリパーで計測した。殻長がそれ以下の個体は、標本の実体顕微鏡像を、実体顕微鏡像に搭載した CCD カメラ (SONY DXC-930) によりパーソナルコンピュータ (Apple Macintosh II vi+Day Star Turbo 040 40 MHz) の画面に表示し、画像解析ソフトウェア (NIH Image Ver. 1.55) を用いて計測した。

1998 年 3 月～1999 年 3 月までのアサリ個体群の殻長データは、パーソナルコンピュータ (NEC, PC 9801 BX) および体長頻度分布解析ソフト (堤・田中 1994) を用いて、体長頻度分布を作成し、コホート解析を行った。各調査時の各コホートの平均殻長および密度のデータを用いて、生残曲線法 (小野 1972 を参照) により、各コホート別に年間の生産量を推定し、その合計値から個体群の年間生産量を求めた。その計算式は以下に示す。

殻長と肉質部の乾燥重量、ならびに殻を含んだ湿重量の関係式は、実測により求めた。

$$B(t_i) = 10^{(2.17 \times \log(x(t_i)) - 4.09)} \quad r^2 = 0.912, n = 25$$

$$SB(t_i) = 10^{(2.96 \times \log(x(t_i)) - 3.70)} \quad r^2 = 0.907, n = 25$$

t: サンプル番号 (1998 年 3 月からの定量調査を行った順番)

i: コホート番号 (先に形成されたコホートからの通し番号)

$x(t_i)$: t 回目調査時、コホート i の平均殻長 (mm)

$B(t_i)$: t 回目調査時、コホート i の個体の肉質部の平均乾燥重量 (gDW)

$SB(t_i)$: t 回目調査時、コホート i の個体の殻を含んだ平均湿重量 (gWW)

$$P(t_i) = (1/2) * (D(t_i) + D(t-1)) * (B(t_i) - B(t-1))$$

$D(t_i)$: t 回目調査時、コホート i の密度 (個体数/m²)

$P(t_i)$: t-1 回目調査時から t 回目調査時までの期間におけるコホート i の生産量

個体群の年間の生産量 $P = \sum P(t_i)$

結果

底質表層の粒度組成

1997 年 5 月から 1999 年 12 月までの底質表層の粒度組成を Fig. 2 に示した。沖合の海底から採取した砂を盛った直後の 1997 年 5 月は、盛砂した砂の粒度組成が粗砂 (粒径 500～1,000 µm) および極粗砂 (粒径 1,000～2,000 µm 以上) が全体の約 9 割を占める荒い砂である (堤ら 2000)。もとの干潟の底質表層の砂は細砂 (粒径 125～250 µm) および中砂 (粒径 250～500 µm) が主体であることから、それらが混ざり合ったものとなった。1997 年 9 月～11 月にかけては、粒径 63 µm 以下のシルト・クレイ分の占める割合が 10.2～16.7% に増加した。その後は、1997 年～1998 年の冬季の海が頻繁に荒れる条件の中で、波の作用で盛砂した砂が徐々に周辺の干潟域に拡散し、一時的に堆積したシルト・クレイ分も再懸濁され、もとの細砂および中砂を主体とする干潟の砂に覆われていった。1997 年 12 月以降、底質の細砂および中砂の比率は、調査を終了する 1999 年 12 月まで、39.6～89.7% の範囲を変動した。

底質表層の有機物量

1997 年 3 月から 1999 年 11 月までの底質表層の全有機炭素量 (TOC) および全窒素量 (TN) の季節変化を、それぞれ Fig. 3 および Fig. 4 に示した。TOC は 1997 年 9～11 月に一時的に増加し、10 月に 9.11 mgC/g dry sediment のピークを迎えた。また、1999 年後半にも増加する傾向が見られ、8 月に 5.69 mgC/g dry sediment に達した。他の期間は、0.85～3.0 mgC/g dry sediment の範囲を推移した。1997 年 10 月については、底質のシルト分が一時的に増加した時期 (Fig. 2) と一致しているので、有機物含量の高いシルト分が堆積したことによるものと考えられる。1999 年後半の TOC の増加については、シルト分の堆積によるものではない。この

Fig. 3. Seasonal fluctuations of TOC of the sediment.

Fig. 4. Seasonal fluctuations of TN of the sediment.

時期には、TNの値は0.1 mgN/g dry sediment以下であることから、陸上植物の破片などが主成分の有機物が堆積していたことを示している。

底質表層のTNに関しては、調査を開始した1997年前半は0.6~0.7 mgN/g dry sedimentの範囲を変化したが、TOC同様に10月に2.07 mgN/g dry sedimentのピークを迎えた。しかしながら、TNの変動パターンには、その後2つの点でTOCとの違いが見られた。一つは1998年6~7月、1999年6月に一時的に増加した。二つめは、このような一時的な増加を繰り返しながらも、TNの値は1997年から1999年にかけて徐々に低下する傾向が見られ、1999年9月にはほとんど検出されないレベルに至ったことである。

アサリの個体群動態

1997年5月から1999年12月までのアサリの個体群の密度、湿重量ならびに殻長頻度分布図を、それぞれFig. 5~Fig. 7に示した。調査地点の干潟に盛砂されたのが1997年4月である。その直後の5月の調査時には、ほとんどアサリは生息していなかった。しかしながら、新規加入により

Fig. 5. Seasonal fluctuations of density of a clam, *Ruditapes philippinarum*, in the sand cover on the tidal flats. Fig. 6. Seasonal fluctuations of biomass of a clam, *Ruditapes philippinarum*, in the sand cover on the tidal flats.

7月には密度が3,412 個体/m²に増加した。その後、1998年の春季まで1,100~1,900 個体/m²の範囲を変動した。一方、湿重量の方は、新規加入した個体が成長することにより、1997年11月~12月にかけて3,060 gWW/m²に達した。

1998年には、個体群の密度および湿重量の変化、ならびに殻長頻度分布図における定着直後の殻長1~5 mm程度の個体の頻度の増加から判断して、3月、4月中旬~6月上旬、7月上旬~8月、11月に、合計4回の新規加入が見られた。密度は、2回目の新規加入が起きた6月10日に6,400 個体/m²、3回目の新規加入が起きた9月8日に4,840 個体/m²に達した。しかしながら、新規加入の終了とともに密度は800~1200 個体/m²のレベルまで急速に低下した。湿重量も同様に新規加入のピーク時に増加する傾向が見られ、9月8日に2,526 gWW/m²、11月23日に2,144 gWW/m²に達した。しかしながら、新規加入の終了すると、一旦380~550 gWW/m²のレベルまで低下した。

1999年になると、新規加入による密度のピークを迎えても1,580 個体/m² (4月2日)、2,200 個体/m² (6月15日)までしか増加せず、7月には600 個体/m²まで急速に減少し、9月および12月にはまったく採集されなかった。

Fig. 8には、1年のうちでもっとも新規加入個体が多く見られた1998年および1999年の6~9月の個体群の殻長頻度

Fig. 7. Seasonal fluctuations of size frequency distribution of a clam, *Ruditapes philippinarum*, in the sand cover on the tidal flats.

Fig. 8. Comparison of size frequency distribution of a clam, *Ruditapes philippinarum*, in the sand cover on the tidal flats between 1998 and 1999. Open solid: alive individuals; closed solid: dead shells.

分布図を示している。これらの図には、同時に採集された死亡直後と見られる、殻が二枚揃っているが、殻の中に肉質部がみられない個体の頻度も含まれている。Fig. 9 には、本調査で採集された殻長 1~2 mm 程度の生きていた個体とすでに死亡していた個体の標本の顕微鏡写真を示している。ピンセットで生きていた個体の標本を押すと、殻の表面の一部が崩れて、染色された肉質部が見える。一方、すでに死んでいる個体の標本では、殻がもろくなっていて、ピンセットで押すとはじけるように壊れる。

Fig. 8 に示した 1998 年と 1999 年の殻長頻度分布図を比較すると、1999 年には殻長 1~5 mm 程度の新規加入後間

もない個体の死殻の頻度が増加している。特に、1999 年 9 月には採集された 56 個体の殻のうち、死殻が 54 個体に達していた。個体群の密度が減少して生きていた個体がほとんど採集されなくなるのは、新規加入後間もない個体の死亡率が高くなり、新しい世代を構築することができないことによって生じている。

コホート解析

1997 年 7 月から 1999 年 6 月までの期間のアサリの殻長頻度分布図に対しては、コホート解析を加えた (Fig. 7)。年間に 4 回の新規加入のピークが認められることから、個体

Fig. 9. Stereoscopic microscope pictures of the clam *Ruditapes philippinarum*. The flesh parts inside the shells of the living individual were stained faint pink with a dye, Rose Bengal. No flesh parts were found in the dead shells.

群の各殻長頻度分布図は3~6つのコホートに分離され、この期間中に10のコホートが見られた。1998年3月~1999年3月までの期間については、その間に見られた9つのコホート (Cohort 1~9) の正規分布状の殻長頻度分布の平均殻長を求め、同一のコホートの成長過程を追跡し、Fig. 10に示した。

1998年の1回目の新規加入群にあたる Cohort 5は、新規加入時の密度が低く、調査時の条件によっては、このコホートに属する個体が採集されないことがあった。2回目の新規加入群にあたる Cohort 6は、6月10日には新規加入を終了した。このコホートの新規加入密度が1年間に4回の新規加入のうちでもっとも高く、コホートの密度としては5,624.5個体/m²に達していた。このコホートは、8月22日には平均殻長が15.1mmに達し、その後も冬季に成長が著しく鈍化することなく成長を続けた。1999年3月18日には平均殻長が29.6mmに達した。3回目の新規加入群の Cohort 7、4回目の新規加入群の Cohort 8は、それぞれ

Fig. 10. Growth curves of nine cohorts of the clam patches established on the sand cover on the tidal flats from March 1998 to March 1999.

8月下旬および11月上旬に新規加入が終了した。これらの2つのコホート (Cohort 7と Cohort 8) には、成長率に大きな差は見られない。

Table 1. Mean size, density, and production of nine cohorts of *Ruditapes philippinarum* at each sampling occasion from March 1998 to March 1999.

Cohort 1				Cohort 2			Cohort 3			Chort 4			Chort 5		
Date	Size	Density	Production	Size	Density	Production	Size	Density	Production	Size	Density	Production	Size	Density	Production
	mm	ind./m ²	gDW/m ²	mm	ind./m ²	gDW/m ²	mm	ind./m ²	gDW/m ²	mm	ind./m ²	gDW/m ²	mm	ind./m ²	gDW/m ²
Mar. 16, 98	27.6	73.3		21.7	510.7		15.6	124.0		10.2	66.7		2.6	18.3	
Mar. 30, 98	28.4	173.2	0.8	23.7	783.2	8.9	16.5	7.5	0.4	12.1	17.3	0.2			
Apr. 14, 98				24.4	699.9	3.7	17.7	68.3	0.4	13.0	19.8	0.1			
Apr. 28, 98				25.3	879.9	5.2	19.0	144.8	0.7	13.6	56.7	0.1	8.4	63.9	0.3
May 12, 98	34.5	40.0	6.5	28.1	453.1	15.5	22.5	290.2	4.7	14.2	25.1	0.1	10.5	59.3	0.3
May 25, 98				28.7	23.3	1.3	23.5	118.1	1.5	17.9	14.8	0.3			
Jun. 10, 98				29.5	126.6	0.5	25.6	192.2	2.5	21.4	66.3	0.8	15.6	20.9	0.7
Jun. 24, 98				31.5	70.0	1.9	28.3	76.6	3.0	22.2	84.9	0.4			
Jul. 10, 98										29.0	73.3	4.2	23.4	34.1	1.2
Jul. 24, 98										30.5	50.0	1.2	24.8	29.5	0.3
Aug. 22, 98													28.2	40.0	1.0
Sep. 8, 98													30.5	30.0	0.7
Nov. 7, 98															
Nov. 23, 98															
Dec. 22, 98															
Jan. 6, 99															
Mar. 18, 99															
Total			7.3			37.0			13.2			7.4			4.5

Cohort 6				Cohort 7			Cohort 8			Cohort 9			Total
Date	Size	Density	Production	Size	Density	Production	Size	Density	Production	Size	Density	Production	Production
	mm	ind./m ²	gDW/m ²	mm	ind./m ²	gDW/m ²	mm	ind./m ²	gDW/m ²	mm	ind./m ²	gDW/m ²	gDW/m ²
Mar. 16, 98													0.0
Mar. 30, 98													10.3
Apr. 14, 98	1.5	83.1	0.0										4.2
Apr. 28, 98	1.6	229.8	0.0										6.3
May 12, 98	1.7	798.2	0.0										27.1
May 25, 98	2.0	2631.1	0.2										3.4
Jun. 10, 98	3.6	5624.5	3.8										8.3
Jun. 24, 98	5.2	1248.0	5.6										10.8
Jul. 10, 98	11.9	300.0	11.4	2.8	315.4	0.1							17.0
Jul. 24, 98	12.6	2345.3	3.1	2.8	924.4	0.0							4.6
Aug. 22, 98	15.1	612.0	14.0	3.7	104.0	0.3							15.4
Sep. 8, 98	16.8	2782.9	12.7	4.7	1751.3	0.8							14.3
Nov. 7, 98	19.0	466.6	18.9	12.4	100.5	15.6	1.2	9.6	0.0				34.5
Nov. 23, 98	20.0	1479.8	5.6	12.5	103.0	0.0	3.4	14.7	0.0				5.6
Dec. 22, 98	21.8	986.5	13.4	14.4	109.7	0.8	5.0	77.4	0.1				14.3
Jan. 6, 99	26.4	459.9	24.2	20.0	323.8	5.9							30.1
Mar. 8, 99	29.6	586.6	14.6	23.6	117.8	5.3	11.5	20.0	0.7	3.1	92.6	0.04	20.6
Total			127.5			28.8			0.8			0.04	226.7

各コホートに共通した現象として、コホートの平均殻長が 30 mm を越えるあたりから個体群の殻長頻度分布図に、それらのコホートの頻度を見出しにくくなった。これは調査地が漁業区域になっていて、アサリについては殻長が約 30 mm 以上に成長した個体が漁獲の対象となっているためと考えられる。

生産量

Table 1 には、生残曲線法によって求めたコホート別の生産量の算出根拠となる、各調査時ごとの各コホートの平均殻長および密度を示し、合わせて前回の調査時からその調査時までの各コホートの殻を含まない肉質部の生産量を示した。

Table 2. Comparison of TOC and TN of the surface sediment up to 1 cm in depth on the tidal flats which *Ruditapes philippinarum* occurred (unpublished data).

Sampling site	Date	TOC	TN
Midorikawa, Kumamoto*	July, 2000	0.68	0.25
Arao, Kumamoto	July, 2000	4.32	0.52
Miyajima 1, Hiroshima	July, 2000	2.98	0.73
Miyajima 2, Hiroshima	July, 2000	2.88	0.78
Takamatsu 1**	July, 2000	2.68	0.68
Takamatsu 2**	July, 2000	3.50	0.83
Inchon, Korea 1	Sept., 2000	2.46	0.82
Inchon, Korea 2	Sept., 2000	2.46	0.89

* The same sampling site with this study

** The same sampling sites with Montani (2000)

*** Sampling site 1 and 2 indicate that the sampling of the sediment was collected at two different sites on the same tidal flats.

1998 年に見られた 4 回の新規加入の中で、6 月上旬に新規加入を終えた 2 回目の新規加入群である Cohort 6 は、新規加入終了時の密度が 5,624.5 個体/m² に達し、生産量も 127.64 gDW/m² に達した。新規加入終了時の密度および生産量ともに、他の 3 回の新規加入群 (Cohort 5, 7, 8) と比較して圧倒的に高い値を示した。3 回目の新規加入群である Cohort 7 の新規加入終了時の密度は 1,751.3 個体/m² で、Cohort 6 に次いで高い密度であるが、Cohort 6 の 1/3 にも満たない。したがって、この個体群の繁殖と生産は、5 月～6 月上旬にかけて繁殖と新規加入を行う Cohort 6 が主体となっていた。

1998 年 3 月～1999 年 3 月までの 1 年間に、個体群の中に見い出された 9 つのコホートの生産量を合計すると、226.7 gDW/m²/year となった。また、個体の殻長と殻を含んだ湿重量の関係式から殻を含んだ湿重量としての生産量を求めると、7,832.0 gWW/m²/year となった。

考 察

アサリは日本全国に広く分布しているので、その場所の気候条件によって生活史が大きく異なっている。柿野 (1992) は、北海道や東北地方では年 1 回産卵し、大型の個体に成長することを指摘している。五嶋ら (1996) は、サロマ湖に移植したアサリが 7 年をかけて、殻長約 50 mm に成長すると推定している。また、柿野 (1992) は、東京湾以南では年 2 回以上産卵し、小型のままで漁獲されていることを指摘している。筆者らの調査域である有明海では、干潟に稚貝が定着・変態して 12 カ月後に殻長 30 mm 前後に成長することが確認されている。産卵については、春季および秋季に 2 回行われることが通説となってきた (池末 1941, 1957; 林 1993; 秋本ら 1994)。大分県の干潟や山口県の瀬戸内海側のアサリ漁場でも同様に春季および秋季に 2 回産卵すると報告されている (樋下 1995; 立石ら 1996)。

本研究においても、成長に関しては、6 月に新規加入を終了したコホートが翌年の 3 月にはすでに殻長 30 mm 程度に達している。この成長速度は、有明海において池末 (1941, 1957) の研究以来、記録された成長速度に匹敵するものである。この速い成長に関しては、Fig. 10 に示したように、いずれのコホートにも冬季における成長速度の鈍化が見られないという特徴がある。これには調査地における冬季の水温が大きく影響していると考えられる。この研究において、潮が干潟に満ちてきた時に測定した結果でも、年間の最低水温は 12.8°C (1999 年 3 月) であった。東京湾の木更津市の干潟では、水温が 8～12°C に低下する 11 月～4 月の間、成長が著しく停滞している (鳥羽 1988)。北海道では、サロマ湖や野付湾において水温が 7～8°C 越える条件下で成長することが報告されている (中川・伊藤 1994; 五嶋ら 1996)。地域によって、適応している温度範囲が多少異なると考えられるが、これらの知見は少なくとも年間の最低水温が 12°C 以下とはならない条件では、低温による成長阻害は起きないことを示唆している。

アサリの産卵に関しては、本研究において繁殖期が 3 月～11 月の長期におよび、個体群の体長頻度分布図を精密に解析すれば、その間に小規模なものも含めて 4 回の新規加入があった (Fig. 7, 10)。これはアサリの浮遊幼生期間が 2～3 週間程度であること (熊本県水産試験場 1978)、熊本有明地区の干潟域において、満潮時にアサリの浮遊幼生が 3 月～12 月まで採集されること (熊本県水産試験場 1978; Ishii *et al.* 2001) と一致している。従来、産卵の回数が 2 回と言われてきたのは、月 1 回の調査頻度や定量調査の精度によって、新規加入量の少ないコホートを体長頻度分布図で見分けることが難しかったことに起因していると考えられる。

アサリの年間生産量については、肉質部だけの値として、生残曲線法により 226.7 gDW/m²/year が推定された。殻を含めた湿重量の推定値では、実に約 7.8 kgWW/m²/year に達する。この値は、水産学的な統計値として用いられる水揚げ量とは直結しない点に留意する必要があるが、もし、総面積約 3,200 ha におよぶ緑川の河口干潟が以前のように全域でアサリが生息できる状態にあれば、この干潟だけで年間の生産量が約 25.0 万トン (殻を含めた湿重量) に達する計算となる。その 10% 程度が漁獲可能と仮定しても、年間に 2 万トンを越える水揚げ量となる。この値はアサリ漁の最盛期の 1970 年代後半～1980 年代前半の緑川河口干潟における水揚げ量に匹敵する (熊本県林務水産部 1980～1994)。従って、沖合の海底から採取した砂を干潟に撒くだけで、アサリ漁の最盛期の生産量を回復させることが可能であり、潜在的なアサリの生産能力は、この干潟にまだ残されていることを示している。

本研究の調査域におけるアサリの実現する生産量には、それに対応した餌の生産が不可欠である。アサリの餌となる生物は、本研究ではまだ調べていないが、東京湾

の木更津市の干潟での消化管内容物および¹³C安定同位体元素を用いた研究例では、底生の珪藻類を主食としていることが指摘されている(小池ら1992)。門谷(2000)も、瀬戸内海に面した高松市の干潟において、アサリがその餌を底生微細藻類の生産に依存していることを指摘し、その底生微細藻類のほとんどは珪藻類で(門谷 私信)、年間生産量を $546 \pm 291 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ と推定した。また、門谷(2000)は、この干潟に生息するアサリの肉質部の年間生産量を $26.5 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ 、底生生物群集全体の年間生産量を 68.7 gC/m^2 と推定した。海洋生態系における一次生産から二次生産への転換効率は10~20%とされている(Ryther 1956)。この干潟におけるアサリを優占種とする底生生物群集の生産量は、底生微細藻類の一次生産量の12.6%に相当し、干潟の底質に二次生産を支えるうる一次生産が存在することを示している。

本研究の調査域である緑川の河口干潟の盛砂した場所におけるアサリの年間生産量は $226.7 \text{ gDW/m}^2/\text{year}$ (Table 1)に達し、門谷(2000)に従って41.3%が炭素分とすると、有機炭素ベースの年間生産量は $93.6 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ となる。この値は高松市の干潟のアサリの年間生産量の実に約3.5倍に相当し、この干潟の底生生物全体の年間生産量を上回っている。軟体動物のエネルギー収支に関する過去の研究例では、摂餌したエネルギー量(または有機炭素量)の約1~30%が、成長に利用されていることが示されている(Kuenzler 1961; Carefoot 1967; Hughes 1970, 1971a, 1971b; Trevalion 1971; Kofoed 1975; Vahl 1981; Loo & Rosenberg 1989)。平均的な値として、摂食した餌の約20%が成長に利用されたとすると、緑川の河口干潟のアサリの二次生産量を支えるためには、少なくとも約 $470 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ の一次生産量が必要と考えられる。また、この干潟の盛砂した場所では、他にもホトトギスガイ、マテガイ(*Solen macroceros*)などの二枚貝類、カワゴカイ(*Hediste japonica*)などが優占種として生息している(堤ら2000)。これらの底生生物の餌を賄うためには、さらに大きな一次生産量が必要と予想され、高松市の干潟における $546 \pm 291 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ (門谷2000)に匹敵するか、それを上回る底生微細藻類の一次生産量が存在する可能性が高い。しかしながら、本研究における底質表層の有機物量の測定値は、一時的な増加時を除いて、TOCで $2 \text{ mgC/g dry sediment}$ 前後、TNで $0.6 \text{ mgN/g dry sediment}$ 以下の値を推移し、大量の有機物が底質表層に含まれていることを示していない(Fig. 3, 4)。

過去の有明海の干潟域の研究例において、底生微細藻類の一次生産量を測定した例はない。緑川の河口干潟において、アサリをはじめとする底生生物の二次生産量を支えるだけの底生微細藻類の一次生産が存在するのか、または他の有機物の供給源にも依存しているのか、今後、究明すべき重要な研究課題として挙げられる。

本研究の調査域では、周年を通して、アサリやホトトギスガイなどの二枚貝の浮遊幼生が干潟に定着・変態後、ほ

とんどの個体が死亡するが、そこへ沖合の海底から採取した砂を撒くと、そのような死亡が起きずに、二枚貝類の個体群が再び形成されることが指摘されている(堤ら2000)。しかしながら、本研究結果が示すように、沖合の海底から採取した砂を撒いて3年後には、アサリの浮遊幼生が干潟の底質に定着・変態後、ほとんど死亡するという現象が再び起きて、アサリの個体群が消滅した。この原因として、過去の研究例では、乱獲、ツメタガイなどの捕食性巻貝による食害、山間部から河川を通して大量の土砂が運ばれて堆積することなどや(梶山ら1983; 藤森ら1983)、海鳥による捕食(Ishii et al. 2001)などが示されてきた。しかしながら、これらの死亡要因は、本研究で問題となっている浮遊幼生が干潟の底質に定着・変態後、ほとんどの個体が死亡している現象の原因を説明するものではない。その後の追跡調査では、2001年の6月にも、本研究と同じ調査域において、1平方メートルあたり約12,000万個体の定着を観察したが、殻長が5mmに成長するまでにほとんどの個体が死亡した(未発表)。アサリの個体群を形成するには十分な浮遊幼生の供給は、本研究の調査域で続いているのであるが、干潟の砂を表層だけでも外部のものと入れ替えないかぎり、そこで生存し、正常に成長することができない現状がある。同様な現象は、有明海の佐賀県の泥質干潟においても、アゲマキガイ(*Sinonovacula constricta*)で報告されている(吉本1998)。筆者らはこの原因について、調査結果から判断する限り、干潟の底質そのものに問題があると見ている。アサリの定着・変態直後の個体の生存または正常な成長に影響を与える何らかの物質が、底質中に微量に含まれている可能性について分析を進めている。

謝 辞: 本研究にあたっては、熊本県立大学地域貢献研究事業からの研究費の補助を受けた。緑川河口干潟における調査では、熊本市の川口漁業協同組合および熊本県水産研究センターの協力を得た。英文abstractは、熊本県立大学環境共生学部 Mr. Jay Melton に校閲をお願いした。文末ながら、これらの関係者の方々に厚く御礼申し上げる。

引用文献

- 秋本恒基・相島 昇・佐野二郎・富重信一・内場澄夫・二島賢二・山下輝昌・藤井直幹・渡辺裕介 1994. 特定地域沿岸漁場開発調査—有明海北部地域調査—. 平成5年度福岡県水産海洋技術センター事業報告, pp. 203-222.
- Carefoot, T. H. 1967. Growth and nutrition of *Aplysia punctata* feeding on a variety of marine algae. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 47: 565-589.
- Coljin, F. and de Jonge, V. N. 1984. Primary production of microphytobenthos in the Ems-Dollard estuary. *Marine Ecology Progress Series*, 14: 185-196.
- 藤森常生・堤 泰博・岩村征三郎 1983. 畠口地先アサリへい死調査(その2). 昭和57年度熊本県のり研究所事業報告書, pp. 201-205.
- 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.

- 林 宗徳 1993. 有明海におけるアサリの成長. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 1: 151-154.
- 樋下雄一 1995. 9 二枚貝生産基盤調査 (2) アサリ稚貝出現状況調査. 大分県浅海漁業試験場事業報告 (平成 5 年度), pp. 41-44.
- Hughes, R. N. 1970. An energy budget for a tidal flat population of the bivalve *Scrobicularia plauna* Da Costa. *Journal of Animal Ecology*, 39: 357-381.
- Hughes, R. N. 1971a. Ecological energetics of the keyhole limpet *Fissurella barbadensis* Gmelin. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 6: 167-178.
- Hughes, R. N. 1971b. Ecological energetics of *Nerita* (Archaeogastropoda, Neritacea) populations on Barbados, West Indies. *Marine Biology*, 11: 12-22.
- 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 弥 1957. アサリの生態学的研究—II. 沈着期と初期成長. 日本水産学会誌, 22: 736-741.
- Ishii, R., Sekiguchi, H., Nakahara, Y. and Y. Jinnai 2001. Larval recruitment of the manila clam *Ruditapes philippinarum* in Ariake Sound, southern Japan. *Fisheries Science*, 67: 579-591.
- 梶山 実・藤森常生・野尻節郎 1983. 畠口地先アサリへい死調査 (その 1). 昭和 57 年度熊本県のり研究所事業報告書, pp. 197-200.
- 柿野 純 1992. アサリ漁業をとりまく近年の動向. 水産工学, 29: 31-39.
- 環境庁 1994. 第 4 回自然環境保全基礎調査. 海域生物環境調査報告書 (干潟, 藻場, サンゴ礁調査) 第 1 巻 干潟. 環境庁自然保護局, 291 pp.
- 河辺 博・富永清人 1982. 貝類 (ハマグリ) の資源培養技術開発研究. 昭和 56 年度研究開発促進事業. 熊本県のり研究所, 75pp.
- Kofoed, L. H. 1975. The feeding biology of *Hydrobia ventrosa* Montagu. II. Allocation of the components of the carbon budget and the significance of the secretion of dissolved organic materials. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 19: 243-256.
- 小池裕子・斉藤 徹・小杉正人・柿野 純 1992. 東京湾小櫃津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.
- Kuenzler, E. J. 1961. Structure and energy flow of a mussel population in a Georgia salt marsh. *Limnology and Oceanography*, 6: 191-204.
- 熊本県林務水産部 1980-1994. 1978-1992 年度アサリ採貝業実態調査報告書. 熊本県林務水産部水産振興課.
- 熊本県水産試験場 1978. (5) 貝類 (アサリ) の栽培漁業化への試み局. 熊本県栽培漁業の歩みと将来の展望. 熊本県水産試験場・九州水産振興開発協議会, pp. 155-169.
- 九州農政局統計情報部 1975-1998. 1973-1996 年度熊本県農林水産統計年報.
- Loo, L.-O and R. Rosenberg, 1989. Bivalve suspension-feeding dynamics and benthic-pelagic coupling in an eutrophic marine bay. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 130: 253-276.
- 門谷 茂 2000. 瀬戸内海の現状と干潟域における物質循環. 海洋と生物, 129: 323-331.
- 中川義彦・伊藤 博 1994. 北海道野付湾におけるアサリの初期成長と沈着期について. 北海道水産試験場研究報告, 44: 9-18.
- 小野勇一 1972. 動物の生産過程. 共立出版, 東京, 105 pp.
- Ryther, J. H. 1956. Photosynthesis in the ocean as a function of light intensity. *Limnology and Oceanography*, 1: 61-70.
- 立石 健・井手尾寛・岩本哲二・岸岡正伸 1996. 平成 6 年度増殖場造成事業調査委託事業 (アサリ). 山口県内海水産試験場報告, 25: 124-127.
- 鳥羽光晴 1988. アサリ種苗生産試験—II 秋季中間育成試験. 千葉県水産試験場研究報告, 46: 43-49.
- Trevallion, A. 1971. Studies on *Tellina tennisi* da Costa. III. Aspects of general biology and energy flow. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 7: 95-122.
- 堤 裕昭・田中雅生 1994. 体長頻度分布図を用いたコホート解析におけるシンプレックス法の利用とそのプログラム化について. 日本ベントス学会誌, 46: 1-10.
- 堤 裕昭・竹口知江・丸山 渉・中原康智 2000. アサリの生産量が激減した後の緑川河口干潟に生息する底生生物群集の季節変化. 日本ベントス学会誌, 55: 1-8.
- Vahl, O. 1981. 1981. Energy transformations by the Iceland scallop, *Chlamys islandica* (O. F. Muller), from 70-N. II. The population energy budget. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 53: 297-303.
- 吉本宗央 1998. 有明海湾奥部におけるアゲマキ資源の変動. 水産海洋研究, 62: 121-125.