神戸市兵庫運河（新川）に垂下した試験板上のタテジマフジツボから供給される幼生数の推定

塚本博一

神戸市長田区役所 〒653-8570 神戸市長田区北町 3丁目4-3

Larval output from barnacles, *Amphibalanus amphitrite*, settled on a test plate in the Hyogo Canal (Shinkawa), Kobe, Japan.

Hiroichi Tsukamoto

Kobe City Nagata Ward Office, Kitamachi, Nagata, Kobe 653-0016, Japan

(Received September 2, 2009; Accepted April 12, 2010)

Abstract

Barnacles have been recognized as fouling organisms for a long time. Adhering to ship hulls, piers, wharves and cooling-water pipes of power stations, they cause significant industrial damage. Nonetheless, barnacle nauplius larvae constitute a significant food source for the larvae and juveniles of various animal species in the coastal ecosystem. In order to evaluate the contribution of fouling barnacles to this larval output, every two weeks in 2008, the author examined the number of brooded eggs of barnacles settled on a test plate hung in the water in the Hyogo Canal, Kobe. Measurements of sea water temperature and salinity at the observation site, the density of barnacle nauplii in the plankton, and the number of settled barnacles on the test plate were made. The number of nauplius larvae hatched from the barnacles settled on the test plate was thereby estimated to be 100,000/cm² over the whole year.

Key words: barnacle, *Amphibalanus amphitrite*, growth, reproduction, nauplius, larval output, Japan

フジツボ類は産業上の被害を与えて、汚損生物として忌避される一方で、生態学的には食物連鎖の一環として海洋生物に対して幼生という形で餌生物を供給していると考えられるが、寄与の程度を具体的に報告した事例はない。そこで、著者は1年間にわたり、試験板を神戸市の兵庫運河（新川）の水面下に垂下し、付着したタテジマフジツボの個体数と近隣の岸壁上のタテジマフジツボの生殖巣を調べることで、ノープリウス幼生1年間の放出数を推定した。

実験方法

2007年11月に試験板（縦15 cm×横20 cm×厚さ0.3 cmの亚克力板）を神戸市兵庫運河（新川）入江橋の下釣り船などの繫船用栈橋に、神戸港大潮最高潮位の下50 cmを試験板の上端となるように垂下し、2008年1月24日

から2008年12月26日までの間、ほぼ2週間ごとに累積付着数を調べた。また、水面下の試験板を空中に引き上げ、試験板の20 cm上方より写真撮影をした。撮影した写真から繁殖可能サイズである殻口長径3.5 mm以上の個体数を計数した。なお、本種の生物学的最小型は殻口長径が3.65 mm (Iwaki and Hattori, 1987)、3.45 mm (小坂・石橋, 1980) とされているが、今回の調査では3.5 mmの個体に受精卵がみられたため、3.5 mm以上の個体を生殖の可能な個体と考えた。なお、前年の予備調査で、調査地点での試験板に付着した個体はすべてタテジマフジツボであることを確認していた。

調査地点において試験板の周囲で1 Lの海水を採取するとともに、周辺5 m以内の栈橋に付着しているタテジマフジツボの任意の20個体の殻口長径を測定しながら採集し、直ちに10%海水ホルマリンで固定した。その後、

採取した海水と固定したタテジマフジツボを実験室に持ち帰り、試水中のノープリウス個体数（4月12日採水分以降）と、外套内の受精卵またはノープリウス幼生の有無を実体顕微鏡下で調べた。なお、4月23日、5月7日、8月28日に採集した受精卵を保有する11個体を用いて受精卵数を計数した。

試験板の周囲で海水温を棒状温度計で測定するとともに海水を1L採取し、試水の塩分を赤沼式比重計で測定した。

結 果

各調査時の水温、受精卵保有率、海域水温から得られた胚発生所要日数（岩城（1981）による式）から産卵回数を計算し、試験板に付着している殻口長径3.5 mm以上の個体数から試験板付着個体の延べ産卵回数を計算し、1個体あたりの受精卵数の平均値2,600個を乗じて、調査時毎の産卵個数を推測し、最後に産卵期間の全産卵個数を推計した（Table 1）。なお、この受精卵個数平均値については、兵庫運河で調べた11個体（殻口長径5.0～8.0 mm）の卵数が1,454から4,447であり、平均値と標準偏差は $2,605.8 \pm 925.9$ となったことから2,600を用いた。また、各調査時の塩分をFig. 1に示した。

期間中の最低水温は10.0℃（2月15日、2月26日）で、その後、水温が上昇を始め、5月19日には19.5℃となり、8月になると最高水温28.5℃（8月6日、8月19日）に達した。その後、下降しはじめ、10月15日には21.0℃となり、12月26日には11.0℃であった。調査期間を通じての平均水温は17.8℃であった。期間中の最低塩分は9.3 PSU、最高塩分は23.9 PSU、平均塩分は19.6 PSUであり、

最も多く観測された塩分帯は20 PSUから21 PSUであった。調査水域は浅い運河で、小さな河川が流れ込んでおり、塩分が安定していなかった。

試験板周辺で採集した20個体の中で、初めて受精卵がみられたのは4月3日である。受精卵またはノープリウス幼生をもつ個体の比率は4月24日には0.55となった。以後、その比率は9月17日まで、水温の上昇に従い、0.85まで緩やかな上昇を示したが、10月1日に0.65となり、その後、下降した（Table 1）。

本種の胚の発生所要日数が最も短かったのは水温が28.0℃から28.5℃の間で、3.2日であった。年間を通じての産卵回数は26.2回であった。繁殖可能な大きさと考えられた殻口長径3.5 mm以上の付着個体が、試験板上に初めてみられたのは6月14日であった。付着個体数は、その後、徐々に増え始め、8月6日に416個体がみられてからは、急激に増加し、9月17日には870個体と最多であった。その後、暫減し、12月26日には358個体であった（Table 1）。なお、調査期間中で殻口長径が3.5 mm以上の付着個体数が最も多かった9月17日の試験板の写真をFig. 2に示した。

試水中にみられたフジツボノープリウス幼生密度をFig. 3に示した。試験板および周辺のフジツボがタテジマフジツボばかりであったため、ノープリウス幼生もタテジマフジツボであると考えた。1L中にみられたノープリウス幼生数は0個体から860個体の範囲であった。4月12日から9月2日までの間は、ノープリウス幼生の多い時期であり、6月25日は突出し、最も多い860個体であった。この間の平均個体数は66.3個体/Lであった。

Table 1. Predicted total number of nauplius larvae released from barnacles attached to the test plate.

Date (2008)	Water temperature (°C)	Days from this observations to the next (Δt_i)	Predicted numbers of days required for embryo development (Pf_i)	Fraction of individuals bearing fertilized eggs (θ_i)	Predicted number of broods until next observation ($B = \Delta t_i / Pf_i \times \theta_i$)	Total numbers of barnacles (N)	Individuals larger than 3.5 mm in shell aperture (n)	Predicted total number of breeding barnacles ($Tn = B \times n$)	Predicted number of nauplii ($Na = Tn \times 2,600$)
24 Jan	10.8	11	19.5	0.05	0.0		0	0	0
5 Feb	10.2	10	20.7	0.00	0.0		0	0	0
15 Feb	10.0	11	21.1	0.00	0.0		0	0	0
26 Feb	10.0	13	21.1	0.00	0.0		0	0	0
11 Mar	13.0	11	15.7	0.00	0.0		0	0	0
22 Mar	12.7	12	16.2	0.00	0.0		0	0	0
3 Apr	14.0	20	14.1	0.05	0.1		0	0	0
23 Apr	17.0	14	10.0	0.55	0.8		0	0	0
7 May	17.0	12	10.0	0.60	0.7		0	0	0
19 May	19.5	15	7.4	0.47	1.0		0	0	0
3 Jun	18.8	11	8.0	0.62	0.9		0	0.0	0
14 Jun	22.5	11	5.0	0.58	1.3	7	1	1.3	3,000
25 Jun	23.0	13	4.7	0.73	2.0	15	3	6.0	17,000
9 Jul	25.2	14	3.7	0.80	3.0	22	9	27.1	70,000
23 Jul	28.0	14	3.2	0.86	3.8	429	39	148.2	381,000
6 Aug	28.5	13	3.2	0.83	3.6	816	416	1497.6	3,894,000
19 Aug	28.5	14	3.2	0.84	3.4	1327	655	2227.0	5,790,000
2 Sep	27.0	15	3.3	0.67	2.8	1143	795	2226.0	5,788,000
17 Sep	27.0	14	3.3	0.85	3.9	1212	870	3393.0	8,822,000
1 Oct	22.3	14	5.1	0.65	1.8	1268	860	1548.0	4,025,000
15 Oct	21.0	15	6.1	0.05	0.1	1032	684	68.4	178,000
30 Oct	19.0	12	7.8	0.25	0.5	971	629	314.5	818,000
11 Nov	18.0	14	8.9	0.05	0.1	858	600	60.0	156,000
25 Nov	15.2	15	12.4	0	0.0	738	486	0.0	0
10 Dec	16.0	16	11.3	0	0.0	625	439	0.0	0
26 Dec	11.0		19.1	0					
total					26.2				29,942,000

Fig. 1 Fluctuations in salinity (PSU) around the test plate in 2008.

Fig. 2 Grown and recently settled barnacles, *Amphibalanus amphitrite*, on the test plate set on Nov. 20, 2007 in the Hyogo Canal (photographed on Sep. 17, 2008).

考 察

Patel and Crisp (1960) は、本種を自然では産卵しない冬期に採集し、水温と餌 (*Artemia* larvae) の条件を変えて繁殖実験を行った結果によると、十分に餌を与えていれば、17.5℃から31.5℃の間の水温で全ての個体が2、3週間以内に産卵し、40日の実験期間中に1–2回の産卵を確認したとしている。兵庫運河で追跡個体数の繁殖がみられた時期の水温は14.0℃から28.5℃の間であった。その間の受精卵の平均保有率は0.6であり、水温の上昇に伴い受精卵保有率も上がった。この間の産卵回数は26.2回である。次に、三重県のタテジマフジツボの繁殖は、少し温度範囲が広く、繁殖回数が21回から26回である (岩城, 1981)。また、福井県丹生浦では繁殖時の水温は18℃から28℃ (安田, 1968)、油壺湾では24℃から27℃ (平野・大串, 1952) であり、スエズ運河では、本種の繁殖期間の水温は17℃から30℃である (Shalla et al., 1993)。年間平均水温が25℃と当水域

Fig. 3 Fluctuations in density of barnacle nauplius larvae around the test plate during the test period.

に比べて高い南モザンビークでは、水温が21℃前後の時の受精卵の保有率は0.45から0.58であるが、以後水温の上昇に伴い受精卵の保有率が減少し、水温が28℃や30℃では0.25に下がった (Luttilo, 2007)。温排水の影響のある神戸港水域で繁殖率を調べた結果によると、水温が30.1℃を超えると繁殖率は下がり (塚本, 1982)、モザンビークの例と同様であり、必ずしも水温が高いほど繁殖率が高いとは限らない。

本種の塩分と繁殖との関係について調べた報告は少ない。当水域での繁殖時の平均塩分は19.2 PSUであり、繁殖回数は26.2回であった。一方、兵庫運河より西へ5 kmの須磨ヨットハーバーでの平均塩分は28.5 PSUであり、繁殖回数は26.8回であった (その間の水温14.2℃から26.0℃) (塚本, 1982)。これらの平均塩分の違いは、繁殖に影響を及ぼしていないと考えられた。

兵庫運河では1個体当たりの一対の卵塊当たりの卵数 (以後、受精卵数) は1,454個から4,447個であり、平均受精卵数は2,600±900個であったため、放出ノープリウス個体数を推計する際には、1回に2,600個体として計算した。本種の受精卵数については2,000から3,000個 (加戸・平野, 1979)、殻口長径が大きい個体ほど受精卵数が多く3,600から4,200個 (Luttilo, 2007)、4,800個 (Barnes and Barnes, 1968) との報告がされている。兵庫運河での受精卵数が2,600個であったことより、2007年11月から神戸市兵庫運河入江橋下に垂下した15 cm×20 cm×0.3 cmの試験板においては、2008年6月14日から12月26日までの間に29,942,000個のノープリウス幼生を放出していると考えられ (Table 1)、1 cm²あたりにすると100,000個体となる。

相模湾で7月から10月の間に、カタクチイワシの食性を調べた三谷 (1988) は、消化管内容物の中で、蔓脚類は2.15%で第5位の出現率であり、全長が30 mm前後の個体では蔓脚類キプリス期幼生等を多く選択して摂餌しているとしている。また、北海道太平洋沿岸海域でサケ稚魚の食性を調べた関 (2005) は、2000年6月に標津沖水深3 mで捕獲したサケ稚魚の胃内容物の0.02%を、水深6 mで捕獲したサケ稚魚の0.15%をフジツボのキプ

リス幼生が占めており、採集場所によってはキプリス幼生が50%を占めている例もあったとしている。また、フジツボの幼生の分布については、小海（2008）が千葉県小湊の海岸から58 mの間の砂浜砕波帯で採集した小型プランクトンの中では、優占して出現したのはフジツボのノープリウス幼生で、それぞれ37.2%から40.1%を占めていたとしており、安田（1986）は福井県丹生浦湾でのフジツボ類の幼生量はノープリウス、キプリスとも湾外と湾内とで違いがなかったとしている。また、天然餌料としてカイアシ類と共にフジツボ類のノープリウスを与えて稚仔魚等の養殖に利用している例（吉田、1985）や、クルマエビ養殖の初期餌料としてフジツボを殻ごと砕いて、卵、ノープリウス幼生、および、その他の微小な組織片を与え、ゾエアからミシスに成長させた例（藤永・橋高、1966）がある。

タテジマフジツボの繁殖時期は今まで述べてきたように6月から11月の間であり、初夏から晩秋にかけてノープリウス幼生を放出している。一方、ムラサキイガイの産卵期は神奈川県久里浜においては4月（坂口・梶原、1988）、神奈川、岩手、長崎においては10月から3月、福井においては11月から2月（劉・梶原、1983）とされており、ムラサキイガイは秋から春にかけて、沿岸の生態系に卵を餌生物として供給していると考えられる。タテジマフジツボは、夏季に産卵するマガキなどと相俟って、沿岸水域での餌生物を供給していると考えられた。フジツボの幼生は沿岸での食物連鎖の一部を担うものと考えられる。また、フジツボの幼生は種苗生産時の初期餌料などにも用いられてきた。試験板を利用してフジツボ類の産出する幼生の量を試算した結果、大量であることが明らかになった。今後は、海岸に既に生息しているフジツボ類の幼生産出状況を把握することが必要である。

引用文献

- Barnes, H. and M. Barnes (1968). Egg numbers, metabolic efficiency of egg production and fecundity; local and regional variations in a number of common cirripedes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 2, 135-153.
- 藤永元作・橋高二郎（1966）. クルマエビ幼生の変態と餌料. 日本プランクトン研究連絡会報, 13, 83-94.
- 岩城俊昭（1981）. 本邦で一般的なフジツボ数種の繁殖生態. 付着生物研究, 3 (1), 61-69.
- Iwaki, T. and H. Hattori (1987). First maturity and initial growth of some common species of barnacles in Japan. *Bull. Fac. Fish. Mie Univ.*, 14, 11-19.
- 加戸隆介・平野礼次郎（1979）. 付着生物浮遊期幼生の飼育法. 付着生物研究, 1 (1), 11-19.
- 小坂昌也・石橋 公（1980）. 清水港岸壁上でのタテジマフジツボの成熟、成長、死亡の付着層間の比較. 付着生物研究, 2 (1), 9-14.
- 小海茉莉絵（2008）. 小湊研修報告－砂浜砕波帯におけるプランクトン相の特徴. 日本海洋生物研究所年報, 2008, 42-61.
- Luttilo, C. (2007). Distribution, abundance and reproduction of the Indo-Pacific acorn barnacle *Balanus amphitrite*. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 87, 724-727.
- 三谷 勇（1988）. 相模湾シラス漁場におけるカタクチイワシの食性. 日本水産学会誌, 54 (11), 1859-1865.
- Patel, B. and D. J. Crisp (1960). The influence of temperature on breeding and the moulting activities of operculate barnacles. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 39, 667-680.
- 劉 明淑・梶原 武（1983）. ムラサキイガイの繁殖生態. 付着生物研究, 4 (2), 11-21.
- 坂口 勇・梶原 武（1988）. ムラサキイガイの付着生態. 付着生物研究, 7 (1/2), 23-30.
- 関 二郎（2005）. 北海道太平洋沿岸域における幼稚魚の摂餌特性と餌料環境に関する研究. さけ・ます資源管理センター研究報告, 7, 1-104.
- Shalla, S. H. A., A. F. A. Ghobashy, and R. G. Hartnoll (1993). Studies on the barnacle *Balanus amphitrite* Darwin, 1854 (Cirripedia) from lake Timsah in the Suez Canal. *Crustaceana*, 68 (4), 503-517.
- 塚本博一（1982）. 温排水域におけるタテジマフジツボの繁殖. 付着生物研究, 4 (1), 5-8.
- 塚本博一（2005）. 野外におけるタテジマフジツボの蔓脚運動に及ぼす水温、塩分、珪藻密度の影響. *Sessile Organisms*, 22 (1), 7-11.
- 安田 徹（1968）. 福井県丹生浦湾における汚損生物Ⅲ. タテジマフジツボの生態について. 日本生態学会誌, 18 (1), 27-32.
- 吉田儀弘（1985）. 天然プランクトン. 日本栽培漁業協会事業年報, 昭和60年度, 134-136.