イワフジツボの付着初期におけるカサガイとイボニシ による室内捕食実験

吉川文雄*・篠田正俊**

(昭和 56 年 2 月 23 日受理)

A Laboratory Study on the Effect of Predation by Limpets and Whelks on Barnacles, *Chthamalus challenger* HOEK, at Early Stage of their Settlement

Fumio YOSHIKAWA and Masatosi SINODA

Department of Biology, Faculty of Science, Chiba University,
1-33, Yayoi-cho, Chiba 260

(Received February 23, 1981)

The experimental area was located on Tokawa-cho, Choshi City, Chiba, in which the acrylic panels were fixed to the shore rocks and exposed to the barnacles settlement for a given time. In experimental tanks, barnacles settled on the panels were consumed by the limpets which are commonly seen at this shore. The limpets used could be categorized into four groups; L_1 (4~5 mm), L_2 (8~9 mm), L_3 (12~13 mm) and L_4 (22~23 mm). The groups L_2 and L_4 respectively consumed 24 barnacles larvae for 18 hours, and the group L_3 8 larvae, but the group L_1 could not consume barnacles of any size.

The limpets of 1.79~3.16 cm shell length damaged the barnacles larvae which had grown up to 1.2 mm in about 14~15 days after their settlement. The other predacious shell, *Thais claviger*, is emphasised as one of the grazers in this shores, and it might consume more barnacles larvae than limpets, though details are unknown.

According to the above observation, the influence of limpets on the formation of barnacles' life zone could be discussed, especially on the critical period of barnacles just after their settlement.

銚子半島南部の岩礁潮間帯は、わが国中・南部の暖流域岩礁性海岸の生物群集として普遍的なものである。小高・沼田 (1979) によると、潮間帯上部より、イワフジツボ帯 (*Chthamalus challenger* zone), イソハンモン帯 (*Ralfsia verrucosa* zone), ハイテングサ帯 (*Gelidium pusillum* zone), ツノマタ帯 (*Chondrus ocellatus* zone) の帯状分布が成立している。これらの分布帯の中でイワフジツボ帯が成立する過程において、カサガイ類が満潮時に岩盤上に匍匐活動することにより、イワフジ

ツボの着定阻害をもたらし、その後の群落の維持に影響を与えているようである。たとえば、カサガイ類の捕食量が少ないと遷移が進行して、イワフジツボ帯がハイテングサ群落になってしまうと考えられる (小高・沼田, 1979)。

ところで、岩盤上に付着したイワフジツボ (直径およそ 0.5 mm) は、当面の成長に必要な面積を確保している (YAMASHITA & SINODA, 未発表)。この現象はフジツボ類に一般的である (CRISP, 1961)。しかし、隣接して付着した個体間距離は、それぞれの成長に伴って付着後およそ 10 日前後でなくなり、脱落を強いられる (CONNELL, 1961)。すなわち、イワフジツボ個体群の浮游期の critical period (ノープリウス IV—V 期) (平野, 1978) に続き、着定後の critical period がこの脱落時期に相当するものと考えられる (YAMASHITA &

*,** 千葉大学理学部生物学科

* 現所属機関 東和大学附属昌平高等学校 (埼玉県杉戸町下野 851) *Shohei High School, 851 Shimo-no, Sugito-cho, Saitama 345*

** 現所属機関 京都府立海洋センター (宮津市小田宿野) *Kyoto Institute of Oceanic and Fishery Science, Odashukuno, Miyazu 626*

図 1. カサガイによるイワフジツボ（付着後 2 日経過）の被捕食累積個体数。L₁ (4~5 mm, 4 個体), L₂ (8~9 mm, 5 個体), L₃ (12~13 mm, 4 個体), L₄ (22~23 mm, 3 個体)。L₁ グループによる捕食はなかった。

Fig. 1. Accumulated number of consumed barnacles with time. Size of the barnacles used ranges from 0.55 to 0.60 mm in length, and predatory limpets were categorized into L₁ (4~5 mm, 4 limpets), L₂ (8~9 mm, 5 limpets), L₃ (12~13 mm, 4 limpets), L₄ (22~23 mm, 3 limpets). Small sized limpets L₁ did not consume any sized group of barnacles during the time up to 18 hours.

SINODA, 未発表)。

前述した捕食者のイワフジツボに対する着定阻害に加えて、イワフジツボ個体群自らの critical period における著しい減耗が同一時期に起こるとすれば、イワフジツボ帯の成立と維持は、厳しい環境条件の下にあると思われる。

本研究では、捕食者（カサガイ類、イボニシ）が着定後のイワフジツボのいかなる成長段階で影響を与えるかを検討し、さらに大きさの異なる捕食者を用いて、捕食

図 2. イワフジツボの初期成長曲線。付着直後の大きさは 0.5 mm。

Fig. 2. Growth of barnacles, *Chthamalus challenger*, at early stage after settlement on acrylic panel, at which the size is 0.5 mm.

者によるイワフジツボ捕食個体数を室内水槽内で求めた。

実験方法

イワフジツボの付着は、1979 年~1980 年の観察では 7 月中旬~8 月中旬にかけてもっとも多いので (YAMASHITA & SINODA, 未発表), 付着実験およびその捕食実験は、7 月 11 日~8 月 15 日の夏季 (表層平均水温 $22.05^{\circ}\text{C} \pm 1.53^{\circ}\text{C}$) に行なった。

付着時における幼生の大きさは、直径約 0.5 mm で、色がうす茶で岩盤と同系色のため、野外での識別や個体数の計測は困難である。したがって、持ち運びや検鏡上、取り扱いが便利なアクリル樹脂性のパネル (20×20 cm, 厚さ 3 mm) を利用することにした。本種をこのパネルに付着させる場所と潮位上の位置は、YAMASHITA & SINODA (未発表) に従った。

実験が行なわれた千葉大学理学部付属海洋生物環境解析施設周辺の磯は、外洋に面して波が荒く、さらに付着を容易にするためにアクリル樹脂性のパネルには、すのこ状の溝を付けた構造にした (CRISP & BARNES,

図 3. 成長段階の異なるイワフジツボに対する捕食実験結果. カサガイの殻長 a: 17.9 mm, b: 24.7 mm, c: 31.6 mm, イボニシの殻高 d: 27.0 mm.

Fig. 3. Number of consumed barnacles having a variety of the size. Shell length of limpet a: 17.9 mm, b: 24.7 mm, c: 31.6 mm, shell height of *Thais* d: 27.0 mm.

1954)。アクリル板の設置は、アンカーボルト(直径 0.8 cm)で岩盤上に固定した。板の設置後、7 月上旬～8 月上旬にかけての 1 回の満潮位をすぎると、単位面積 (1 cm²) あたり約 10 個体の幼生が付着する。野外に設置したアクリル板にイワフジツボが付着したことを確認後、フジツボに破損を与えないように岩盤から取りはずし室内静止水槽に入れた。

捕食者としては、カサガイ類(長径 4～23 mm)と肉食性巻貝のイボニシ(殻高 27 mm)を用いた。これらの貝類は、同じく同施設近辺において採集された。様々な飢餓レベルの捕食者を得るために、任意の時間餌を与えない状態にして水槽中に確保した。すなわち、8 時間～100 時間飢餓状態におかれたカサガイと 27.5 時間飢餓状態のイボニシを、イワフジツボの付着していない板上の部分に注意深く置いた。その後捕食者には、海水(お

よそ 1ℓ)をかけてやることにより索餌行動の刺激を与えた。アクリル板は、フジツボが水面下に浸る程度の水位に保った。あらかじめ、任意面積内のフジツボの付着個体数を計数し、その面積内のフジツボ減少個体数を経過時間とともに求め、それを被捕食個体数とした。およそ 20 時間程度の捕食実験中も、捕食以外の原因による個体数の減少は認められなかった。

イワフジツボ幼生を捕食できるカサガイの大きさ(殻長)を知る実験では、被捕食イワフジツボの大きさを付着後 2 日(直径 0.55～0.6 mm)のものとし、カサガイは 4～23 mm の大きさの個体を用いた。これらのカサガイは、51.3 時間飢餓状態にした後に実験を行なった。

イワフジツボが付着後、いかなる時期にカサガイとイボニシに捕食されるかを求める実験では、付着後 1～30 日(直径 0.55～2.05 mm)までの個体が混在しているア

クリル板を使用した。捕食者を置く前に、この板上の一定面積内 (13.5 cm^2) の個体全部を万能投影機により、正確に位置とその大きさを半透明紙上に記録した。捕食後、被捕食個体数とその大きさを記録紙上から判読し、あらかじめ求めておいたイワフジツボの初期成長曲線より、捕食された個体の付着後の経過日数を求めた。なお、イワフジツボの初期成長曲線は、アクリル板上に付着した後の経過日数ごとの殻長の成長を、10~20 個体計測して推定された。

結 果

1. 付着後まもないイワフジツボを捕食するカサガイの大きさについて

海水中に付着板を設置して2日後(7月25日~7月27日), 1 cm^2 あたり5~6個のイワフジツボ(直径 $0.55\sim 0.60\text{ mm}$)が付着したので、これを大きさの異なる L_1 (4~5 mm, 4 個体), L_2 (8~9 mm, 5 個体), L_3 (12~13 mm, 4 個体), L_4 (22~23 mm, 3 個体) のカサガイに捕食させた。合計16個体のこれらカサガイは、捕食前51.3時間絶食状態に保った。もっとも小さい L_1 のカサガイは、いずれの個体とも付着板上に18時間置かれたが、イワフジツボを捕食しなかった。しかしながら、他の比較的大きなカサガイ ($L_2\sim L_4$) は、必ずしも大きさに比例した捕食量の順番ではないが、18時間にわたり捕食を続けた(図1)。 L_2 のグループ(5個体)は、最終的には23個体、 L_3 のグループ(4個体)は8個体、 L_4 のグループ(3個体)は23個体のイワフジツボを捕食した。とくに L_2 , L_4 のグループは、付着板上に置いた後の6時間に、13個体(全捕食個体数の56%)と11個体(49%)の捕食をし、その後逐次単位時間あたりの捕食個体数は減少する。 L_3 のグループは、 L_2 のグループより大きなカサガイであるから、 L_2 グループ以上の捕食量が期待されたが、最初の6時間で1個体、続く5時間で5個体、さらに7時間で捕食されたのは2個体にすぎなかった。対象のイワフジツボが $0.55\sim 0.60\text{ mm}$ であると、 $L_2\sim L_4$ (8~23 mm) のカサガイはそれを捕食できるが、4~5 mm の大きさのカサガイ (L_1) は捕食できなかった。したがって、イワフジツボが付着してまだ周殻板数が個々に判別される状態になる前(付着後およそ2日)では、8 mm 以上の大きさのカサガイによって捕食の影響を受ける。

2. 捕食されるイワフジツボの大きさについて

アクリル板上に付着したイワフジツボを、44日間にわたりその大きさを追跡計測した。図2に示すように、

図4. イワフジツボの時間経過に対する被捕食累積個体数。カサガイ (a: 17.9 mm, b: 24.7 mm, c: 31.6 mm), イボニシ (2.7 cm)。

Fig. 4. Accumulated number of consumed barnacles with time. Shell length of limpet a: 17.9 mm, b: 24.7 mm, c: 31.6 mm, shell height of *Thais*: 2.7 cm.

付着時に直径 0.5 mm であったものが44日後には 2.4 mm に成長する。各時期における平均殻長は、成長に伴ってその分散が大きくなった。これは、大型になるにつれて2個体間の形態の変異が著しくなるため、個体間差と計測誤差が大きくなったものと思われる。この成長曲線に基づき、どの大きさのイワフジツボまで、すなわち付着後何日目までのイワフジツボが、カサガイの捕食を受けるかを図3に示した。

前述の実験より、カサガイの大きさが 10 mm 以上であれば捕食が観察されることがわかったので、それぞれ17.9, 24.7, 31.6 mm の大きさのカサガイを用いた。図3からわかるように、17.9 mm のカサガイは 0.75 mm までのイワフジツボを捕食し、大型の24.7 mm と31.6 mm のものは、 1.2 mm (付着後13日)に至る範囲のイワフジツボを捕食することができる。付着後3日、2日、9日目の大きさのイワフジツボに対して、捕食された個体数をもっとも多く観察されたが、被捕食個体の大

表 1. 岩礁におけるカサガイの潮位別出現個体数 (方形枠 50×50 cm)
Table 1. Number of limpets appearing in 50×50 cm at different tidal levels, 23th September

Shell length (cm)	Tidal level (cm)								
	50	60	70	80	90	100	110	120	mean
0.7>	4	32	85	250	310	280	104	54	139.9
0.7~1.0	3	7	130	150	248	325	72	72	138.1
1.0~1.5	—	11	25	100	62	46	68	54	45.8
1.5<	—	14	10	—	—	—	—	—	3

きさに対するカサガイの選択性は明瞭ではない。しかしながら、17.9 mm と 31.6 mm の大きさのカサガイの間には、もっとも多く捕食されたイワフジツボの大きさに 0.35 mm の差がある。これは、カサガイの大きさによる口径と歯舌の発達の違いに起因するものと考えられる。

イワフジツボが付着したアクリル板上に同じく、17.9, 24.7, 31.6 mm のカサガイ 3 個体を置いて後、時間の経過とともに捕食個体数が変化する状態を図 4 に示した。いずれの個体も、10~15 時間経過後、一度捕食個体数が減少し、再び増加 (およそ 17 時後) する。

3. イボニシによる捕食について

カサガイを用いた実験と同様に、イボニシがイワフジツボのいかなる成長段階までの個体を捕食するか、また時間経過とともに捕食されるイワフジツボの個体数を図 3, 図 4 にそれぞれ示した。実験に用いたイボニシは、平均的な大きさの個体 (殻高 27 mm で、同施設周辺の夏期の磯では、これ以上の大きさのものはほとんど観察されない) を使用した。

図 3 からわかるように、各レベル (図 3 の a, b, c) のカサガイに比べてイボニシの総捕食量は多い (カサガイに比べおよそ 1.5 倍)。また、付着初期のものに対しても捕食量が多いが、最大の捕食がみられたのは、付着後 8 日目 (直径 0.9 mm) のイワフジツボで、その捕食個体数は 9 個体であった。しかし、比較的大型のカサガイの場合と同様に、捕食されたイワフジツボは、付着後 11 日 (直径 1.1 mm) までの個体であった。また、図 4 からカサガイの場合と同様に、実験開始後の 3 時間で全捕食個体の 44% (15 個体) が捕食され、その後捕食量は減少して、11~15 時間の間では捕食はなかった。しかし、15~18 時間の間で捕食の回復がみられた。この回復の現象は、前述のカサガイに対しても認められたことである。

潮間帯動物の捕食活動が、生息環境変化の主因である

潮位変動 (周期) に対応して活発であったり、不活発であったりすることは十分に推測される。さらに、その活動が 12 時間周期であるとするれば、干潮のいずれかの時に被捕食動物をもっとも捕食しやすい物理的条件が満たされ、また捕食動物の消化速度も生息環境の変動に対応しているであろう。カサガイとイボニシの捕食量が 12 時間前後のところで低くなりさらに回復する現象も (図 4)、潮位の周期に起因する潮間帯動物の摂餌周期性を示しているものと考えられる。

考 察

タテジマフジツボ (*Balanus amphitrite amphitrite*) 幼生の飼育実験によると、浮游幼生期における critical period が、ノープリウス幼生 IV~V 期に変態する時にあるという (平野, 1978)。また、自然水域でも V 期以後の幼生量が著しく減少することから、フジツボ類の初期生活史で最初の著しい減耗があると推測される。CONNELL (1961) によれば *Balanus balanoides* の着定後の個体群密度は、イワフジツボについて YAMASHITA & SINODA (未発表) が観察した結果と同様に、付着過程あるいは付着数週間後の減耗によって決定される。すなわち、新しく付着した個体に対しては、露出時の高い気温による減耗と波力による減耗が著しい (CONNELL, 1961)。これらの物理的減耗要因に加えて、付着後の非常に早い時期に、カサガイで代表される捕食者による減耗がある。CONNELL (1961) の観察によれば、付着間もない時期にはカサガイ以外の動物による減耗は考えられていないと報告している。

当実験水域において、イワフジツボ帯にはカサガイ類、クボガイ、タマキビがもっとも多く出現し、個体数は少ないが肉食性巻貝のイボニシ、レイシもしばしば見られる。実験に際し、岩盤上のカサガイ類の密度を調べたところ、サイズ別では表 1 のようであった。

図 1 に示されたように、イワフジツボ幼生の減耗に関

与するカサガイの大きさは、表1の0.7 cm以上の個体であって、それは全個体数の57.2%を占める。これらのカサガイを用いた当実験の結果から、小高・沼田(1979)が推測したように、カサガイ類の量と行動がイワフジツボの着生する夏季に、その個体群密度を制御しているものと考えられる。またその影響下で妨害極相の形が、自然環境下の岩盤で観察されると考えてよいであろう。

着定時にフジツボが spacing out することの意義は、その後の成長(着定後およそ18日で直径1.5 mm)で隣接する個体との間隔が埋められてしまうので、成体になって後にまで至るものではない。しかし、spacing out した状態で分布している時期に捕食の影響を受けるので(図3)、残された個体のその後の成長に必要な空間が、新しく他個体が付着しない限り与えられる。自然の岩盤上でのイワフジツボの分布状態をみると、必ずしも1個体ずつが十分な空間を保ちつつ成長しているわけではない。また、決して付着時の spacing out した間隔では存在しなくて、イワフジツボの初期における捕食による減耗や、先に述べた露出時の気温および波力による減耗によって、成長に必要な個体間間隔が保証されるものとする。とりわけ、当実験域ではカサガイ類および予備実験的に用いたイボニシの捕食による減耗時期は、イワフジツボの付着後(約10日間)のcritical periodを意味し、成長するのに必要な空間が生ずる一つの要因であろう。

当実験からは、減耗率の推定や捕食以外の要因による

減耗現象については把握できなかった。フジツボ個体群の消長を、フジツボ帯を取りまく他の動植物相との関連で論ずるのが本種の生態調査の目的であるから、自然岩盤上での捕食者(特にカサガイ類)の量と行動およびイワフジツボの分布状態を経年観測する必要がある。

謝 辞

本研究を進めるにあたって、千葉大学理学部生物学科の沼田真教授には、始終御指導いただき原稿を校閲していただいた。また、同大学海洋生物環境解析施設の鶴岡繁枝官、および生物学科生態学研究室の諸氏には、有益な御意見を賜った。以上の方々に厚く御礼申し上げる。

文 献

- CONNELL, J.H. (1961). The influence of interspecific competition and other factors on the distribution of the barnacle *Chthamalus stellatus*. *Ecol.*, **42**, 710-723.
- CONNELL, J.H. (1961). Effect of competition, predation by *Thais lapillus*, and other factors on natural populations of the barnacle *Balanus balanoides*. *Ecol. Monogr.*, **31**, 295-338.
- CRISP, D.J. and H. BARNES (1954). The orientation and distribution of barnacles at settlement with particular reference to surface contour. *J. Anim. Ecol.*, **23**, 142-162.
- 小高利彦・沼田真 (1979). 銚子海岸岩礁潮間帯における生物群集の帯状分布と遷移. 千葉大臨海研報. **11**, 17-29.