ホンダワラ類幼胚の着生数の分布と波の影響

杜 多 哲, 飯 倉 敏 弘, 北 村 章 二

(1989 年 1 月 12 日受付)

Distribution of Settled *Sargassum* Propagules related to Wave Motion

Satoru Toda,* Toshihiro Iikura,* and Shoji Kitamura*

We investigated the distribution of settled *Sargassum* propagules by using artificial substrata and measured water motion around a *Sargassum* forest in Gokasyo Bay, Mie Prefecture, Japan. The majority of measured propagules was *Sargassum horneri* (Turner) C. Agardh and the number of propagules settled on the artificial substrata ranged from 0 to 2197 individuals/50 cm². Numbers of propagule settled on the artificial substrata in near shore region were low, while numbers were high around an offshore *Sargassum* forest.

These results indicate that wave motion effected the settlement of propagules to the artificial substrata in the following manners. In a near shore *Sargassum* forest where wave ray concentrates, the propagules that fell onto the substrata were carried out by wave motion. And in a near shore small bay where wave ray disperses and sea bottom is muddy, settlement of silt on the substrata inhibited the settlement of propagules. On the other hand, in offshore regions where wave motion has little effect on the settlement of propagules, distribution of propagules reflected the dispersion from offshore mother plants.

ホンダワラ類の幼胚の着生数の分布は、海の流動条件に大きな影響を受けると考えられる。現地において幼胚の分布を調べた例としては、本来母藻が生育していない地点へ実験的にハハキモク *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt の母藻を設置し、72 日後に幼胚着生数を調べた例がある。¹⁾ しかし幼胚の分散、着生等に影響を与えると考えられる流動環境については、詳しくは調べられていない。筆者らは、藻場周辺の幼胚の分布と流動環境との関連を明らかにすることを目的として、三重県五ヶ所湾内のガラモ場周辺で、実験用付着板を用いてアカモク *S. horneri* (Turner) C. Agardh を主体とする幼胚の分布を調べるとともに、この海域における流れに関して調査を行った。本論文ではこの結果得られた、着生数のオーダー、生き残り率、および実験用付着板で得られる着生数密度のマクロな分布と波運動による水粒子の速度との関連性について報告する。

方 法

調査海域 観測は三重県五ヶ所湾内の中津浜浦にある養殖研究所研究水面でおこなった (Figs. 1, 2)。Fig. 2 の等深線は東京湾中等潮位 (T.P.) を基準としたものであり、底深は図中の値より約 1 m 深くなる。なお本論文で

は平均水面から測った海底までの水深を底深とよぶ。この海域は、2 つの岬で囲まれた湾入部となっており、その中に岩礁帯の張り出しおよび砂泥地帯が交互に入り交じっている。また沖側にもいくつかの岩礁と転石帯がみられる。岩礁帯では、3~5 月を中心として、アカモクとマメタワラ *S. piluliferum* (Turner) C. Agardh を主体とし、他にヤツマタモク *S. patens* C. Agardh などのホンダワラ類が繁茂し、夏には消失する。大型海藻としては、ワカメ *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar もみられるが量的には少ない。この海域において 1985 年と 1986 年に調査を行った。

母藻の生長および分布の調査 ホンダワラ類の生長を調べるために、1985 年 12 月から 1986 年 6 月にかけて、適宜海藻を採集して全長および湿重量を測定した。また海藻の空間分布を知るために、1986 年の 6 月 4 日および 9 日に、Fig. 2 に示す St. 4 と St. 1 を結ぶ線上およびその延長線上の 8 点を選び、5 m から 20 m の間隔で 0.25 m² の方形枠を用いて坪刈りを行い、個体数と全長および湿重を測定した。この結果より、海藻が直立していると仮定し、海底から上向きに 50 cm ごとの深度区間内の基数を求めた。これに別途求めた茎長 50 cm あたりの湿重をかけることにより、海底から鉛直上向き

* 水産庁養殖研究所 (National Research Institute of Aquaculture, Tamaki, Mie 519-04, Japan).

Fig. 1. A map of Gokasyo Bay, Mie Prefecture, Japan.

Fig. 2. The number of *Sargassum* propagules per plate settled on artificial substrata put out on 9-18 April and sampled on 8-14 May 1985 (CASE 1). Broken lines indicate rock or gravel region determined by aerial photographs.

x: stations where bottom substrata were observed.

Δ: stations where water movements were measured.

Fig. 3. Artificial substrata attached to a stainless grid.

に 50 cm 刻みでの 0.125 m^3 の空間容積あたりの海藻の湿重を求めた。

幼胚着生数の調査 予備的な観測の結果,* この区域では付着板を海底に接して設置した場合, 10日ほど放置すると表面が浮泥でおおわれ, 幼胚の着生数が著しく少ないことが明らかとなった。そこで実験用付着基盤としてステンレス製の枠を製作し, 付着板として 5 cm×10 cm に切断した透明塩ビ板を, 9 枚ずつ洗濯バサミで固定した (Fig. 3)。対象海域の海底に, あらかじめ一定間隔で目盛りをつけたロープを張り, ロープ両端の位置を六分儀で測定した。付着基盤は, ロープの目盛りを基準として潜水して設置した。次の 3 つの測定を行った。

CASE 1: 対象海域 (約 400 m×約 150 m) 全域をカバー

Fig. 4. The number of *Sargassum* propagules per plate settled on artificial substrata put out around artificial reefs on 18-19 April and sampled on 27 May 1985 (CASE 2).

A: Concrete block ($0.9 \times 0.9 \times 0.5$ m).

B: Concrete block ($0.9 \times 0.9 \times 0.5$ m) of which upper surface was covered with polyester monofilaments (50000 denier, length=0.5 m, Ikura *et al.**).

* 飯倉敏弘, 杜多
課題研究報告書,
103-112 (1985).

一するように Fig. 2 に示す地点に, 1985 年 4 月 9 日から 18 日にかけて設置し, 5 月 8 日から 14 日にかけて, 付着基盤ごとに付着板 3 枚を回収した。なお回収した付着板は, Fig. 3 に示される 9 枚のうち, 水平方向のもの 1 枚, 45 度の傾きのもの 2 枚である。

CASE 2: 幼胚の付着に及ぼす波による水粒子速度の影響を見るために, 同じ付着基盤を, 岸側藻場縁辺 (St. 1 と St. 2 の中間付近) に設置されていたブロック群の周辺に配置した (Fig. 4)。図中 A は $0.9 \times 0.9 \times 0.5$ m のコンクリートブロックであり, B は同じコンクリートブロックの上面に 50000 デニールのポリエステルモノフィラメントを植え付けたものである。* 設置は, 1985 年 4 月 18 日から 19 日に行い, CASE 1 と同じく付着板

のうち 3 枚を 5 月 27 日に回収した。残り 6 枚の付着板は CASE 1, CASE 2 とともに付着基盤につけたまま放置し, 1986 年 2 月 20 日から 3 月 6 日にかけて回収した。

CASE 3: 年の違いによる幼胚の着生数の変動および着生初期の幼胚の生き残り率を知る目的で, 1985 年の結果を参考にして, Fig. 5 に示す地点に付着基盤を設置した。設置は 1986 年 4 月 9 日から 30 日にかけて行い, 6 月 17 日から 24 日にかけて, 水平方向に設置された付着板 1 枚, 45 度のもの 1 枚を回収した (CASE 3-1)。さらに 7 月 3 日から 11 日にかけて, 残りの付着板 7 枚をすべて回収した (CASE 3-2)。

いずれの CASE についても, 回収した付着板はすべ

Fig. 5. The number of *Sargassum* propagules per plate settled on artificial substrata put out on 9-30 April and sampled on 17-24 July 1986 (CASE 3-1).

* 飯倉敏弘, 杜多 哲, 北村章二: 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究, 昭和 59 年度Ⅲ-6 課題研究報告書, 103-112 (1985).

て検鏡し、ホンダワラ類幼胚の着生数を計数した。海底の状況については、深浅測量・底質調査の結果* を利用するとともに、付着基盤を設置した地点の底質、付着基盤の埋没や浮泥の堆積状況、周辺海藻の状況、小型巻貝・ウニなどの集積状況などを潜水時に目視観察した。

物理環境の調査 観測を行った期間の水温・塩分については、養殖研究所の日別水溫・塩分測定記録を利用した。

幼胚が実験用付着板に落下しても、しっかりと着生するまでには一定時間が必要であるから、その間に波や流れによって動かされ、付着板から落下することが考えられる。この海域の流れは微弱で、平均流としては数 cm/s のオーダーであることがわかっており、* 幼胚着生の成否には波による水粒子速度が重要であると考えて測定を行った。まず藻場内および藻場外の流速を比較するために、1986 年の 5 月 1 日に、St. 1 と St. 2 (Fig. 2) で、海底から 30 cm の高さの水平流速を、電磁流速計 (計測技研 VM-201) によつて 3 分間測定した。測定結果はデータレコーダーに記録し、0.317 秒間隔でデジタル化して解析を行った。さらに岸よりの砂泥域と藻場内の流速を比較するために、1985 年 4 月 23 日に St. 5 で、1986 年 4 月 23 日に St. 4 で、それぞれ 3 日間、超音

波流速計 (海上電気 FC-310D) による測定を行った。海底より 1.25 m の高さに超音波流速計の測定部を設置し、得られた結果は 5 秒間隔でデジタルデータレコーダーに記録した。

幼胚の着生と流速の関係 海中では付着板に落下した幼胚が、着生する前に付着板から離れてしまう場合もあると考えられる。そこで幼胚の着生と流速との関係を求めるために回転する水槽中に、中心が回転軸と一致するように市販の定規 (長さ 37 cm, 幅 3.6 cm, 厚さ 0.3 cm) を外部から固定し (Fig. 6), 水面からアカモク幼胚を投

Fig. 6. Schematic view of experiment. A water tank on a turn-table rotates, but the ruler (365×36×3 mm) to which propagules settled was fixed to outside of the tank.

Fig. 7. Growth of *S. horneri* and *S. piluliferum*.

* 飯倉敏弘, 北村章二: 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究, 昭和 58 年度Ⅲ-6 課題研究報告書, 107-116 (1984).

入して一定時間後の着生数を計数した。

結 果

海藻の生長および分布 付着基盤が設置されていた1985年の4月上旬から5月下旬にかけて、藻場は初めアカモク、ついでマメタワラが海面を覆い、景観的にはこの2種が圧倒的に卓越していた。1986年における、アカモクとマメタワラの生長をFig. 7に示す。アカモクの全長は1月から4月にかけて急速に増大し、目視観察によれば盛期には海面をおおったが、4月後半には浮力を失って海底に横たわる状態のものが多くなり、5月にかけて急速に衰退した。一方マメタワラは、アカモクが衰退に向かった4月下旬には、最大の優占種となっており、その後5月にかけて衰退した。

1986年の6月4日および9日の刈りの結果より求めた空間密度から等分布線を描いてFig. 8に示す。

Fig. 8. Vertical distribution of spatial algal density. Numerals represent the average fresh standing crops of *Sargassum* per spatial volume (g/0.125 m³).

Table 1. Mean and standard deviation of settled individuals of *Sargassum* propagules per plate

Depth	<4 m	>4 m	Total
CASE 1	3.8±7.0	252.0±508.0	204.0±527.0
CASE 3-1	4.5±5.7	20.9±34.5	19.7±37.6
CASE 3-2	6.5±2.2	12.6±22.7	10.1±21.9

幼胚着生数の分布 CASE 1: 付着板には、着生した直後と思われる幼胚から、第一葉のみのもの、および全長5 mm以上に達し、第二葉の形成されているもの等が見られた。種の同定に際しては寺脇ら^{2,3)}を参考にした。この時期の藻場が、アカモクあるいはマメタワラでほとんどおおわれていたこと、マメタワラとしては幼体の大きさあるいは第一葉基部のふくらみの大きいものが大多数であること、および形態の特徴が、アカモク幼胚に関する記述とよく一致したことから、付着板上の幼胚はほとんどがアカモクであったと推定される。付着板1枚あたりの付着数は、0-2197個体の範囲であった。幼胚着生数の分布をFig. 2に示す。またCASE 1とCASE 3について、水深4 mを境として、それより浅いところおよび深いところに分け、幼胚着生数の平均と標準偏差を求めた(Table 1)。この場合、着生が全くみられなかった地点は計算から除いた。なお、傾いた付着板による幼胚着生数は、後で述べる理由で、 $\sqrt{2}$ 倍して水平な付着板によるものと同等であるとみなした。

CASE 2: ブロックを起点として、沖方向へ2 m間隔で付着基盤を設置した場合の着生数をFig. 4に示す。付着盤1枚あたりの着生数は19点中2点で100個体以上となっているほかは、30個体以下の低い値となっている。

CASE 3: 着生した幼胚の形態は、1985年と同じでアカモクと推定されるもののほかに、1985年のものより小型のもの、また基部のふくらみの小さいものも混在しており、マメタワラその他のホンダワラ類が混ざっていた可能性があるが、この量は少なかったのでそれらを一括して扱った。幼胚の着生数密度は、0-188個体/50 cm²であった(Fig. 5)。

物理環境 1984年から1986年にかけての水温変化をFig. 9に示す。1986年1月には、前年に比べ5°C近くも低温となっていた。その後、3月に水温が急上昇して、4月以降は前年とあまり変わらない推移を示した。

藻場内のSt. 2における電磁流速計による測流結果をFig. 10に示す。この図より、周期的に流向が変化する流れが存在すること、およびそれは岸や沖に向かう南北成分が卓越していることがわかる。この測流結果のうち、南北成分の流速変動からスペクトル解析によって求めた卓越周期は約6秒であった。解析には日野によるFFT

Fig. 9. Seasonal variation of temperature at 5 m depth at Nakatuhama from April 1984 to September 1986.

Fig. 10. Stick vector diagram of velocity measured at 30 cm above the sea bottom at St. 2 on 1 May 1986.

プログラム⁴⁾をもとにプログラム言語を BASIC に変更したものを用いた。St. 1 においても流れの卓越方向・周期については同様の結果であった。測流時この海域では、周期 6 秒程度の波運動による水粒子の水平速度成分が卓越しており、それにその他の要因による長周期の流速成分が重なっていたと考えられる。波運動による水粒子の水平速度成分は、測定値から測定時間内の平均流速をさし引いた南北・東西方向の水平速度を合成して求めることができる。St. 1 および St. 2 における測流結果からこのようにして求めた波運動による水粒子の水平速度成分の絶対値を Fig. 11 に示す。この図より、St. 2 においては St. 1 より海底面上 30 cm の位置での波運動

による水粒子の水平速度成分の絶対値が大きいことがわかる。

微小振幅波理論によれば、⁵⁾ 沖波波高 (H_0)、周期 (T) の波の浅水変形は

$$\frac{H}{H_0} = \left[\left\{ 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right\} \tanh kh \right]^{-1/2} \quad (1)$$

で表される。また底深 (h) の位置における水面下 z (上向きを正とする) での水粒子の水平速度成分 u は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} u &= \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \cos(kx - \sigma t) \\ &= u_{\max} \cos(kx - \sigma t) \end{aligned} \quad (2)$$

Fig. 11. The absolute value of wave orbital velocity calculated by composing N-S and E-W component of velocity. Mean velocity was subtracted from the measured one. Velocity was measured at 30 cm above the sea bottom at St. 1 and St. 2 on 1 May 1986.

Fig. 12. Histograms of wave orbital velocity calculated by subtracting mean velocity from the measured one (s.d.: standard deviation). Velocity was measured at 125 cm above the sea bottom at St. 5 on 23 April 1985 and at St. 4 on 23 April 1986.

また波長は

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh(kh) \quad (3)$$

ここに h : 底深, T : 周期, H : 底深 h における波高

k : 角波数 ($=2\pi/L$), L : 波長

σ : 角周波数 ($=2\pi/T$), T : 周期

g : 重力加速度

$u_{\max}$: 波運動による水粒子の水平速度成分の最大値

藻場沖側の St. 1 における $u_{\max}$ は, Fig. 11 によれば約 5 cm/s であるから, $h=5$ m, $z=-4.7$ m, $T=6$ s と

おいて, 式 (2), (3) から St. 1 における波高の推定値として $H=8.8$ cm が得られる。これは (1) 式より換算沖波波高にして 9.3 cm に相当する。

藻場内と砂泥域との比較のために行った超音波流速計による測流結果を用いて, 90分間の南北流速成分の頻度分布を求めた (Fig. 12)。この場合も測定時間内の平均流速は除いてある。Fig. 2 の St. 4 と St. 5 では, 水深が異なるために藻場内の流速が大きいのではないかと考えられるが, 周期 6 秒の微小振幅波において, 沖波波高を 1 cm と仮定して, St. 4 ($h=2.5$ m, $z=-1.25$ m) と St. 5 ($h=3.3$ m, $z=-2.05$ m) における流速を (1)-(3) 式

Fig. 13. Maximum velocity of wave orbital motion calculated by the linear theory [Eq. (2)]. Wave height (H) was assumed to be 1 cm.

Fig. 14. Cumulative rate of the number of propagules counted on the ruler as a function of water velocity.

Fig. 15. Comparison of the number of propagules counted on the horizontal plates (N_h) with the number counted on the 45° inclined plates (N_i). Solid line shows the function $N_i = N_h$. Note that more points are in the range $N_h > N_i$. CASE 1, 2 and 3 correspond to Figs. 2, 4 and 5, respectively, but the plates were sampled on 3-11 July 1986 in CASE 3-2.

により計算するとそれぞれ 0.97 cm/s と 0.77 cm/s となる。従って St. 4 の流速はそれを 0.8 倍することによって St. 5 の流速と比較できる。Fig. 12 からは St. 4 においては波運動による水粒子の水平流速成分が St. 5 より大きいことおよび 90 分間のうちに 5 cm/s 以上の流速が、頻度は少ないが必ずみられることがわかる。

Fig. 13 に波高を 1 cm と仮定した場合の、各周期・底深における海底面での $u_{\max}$ を (2) と (3) 式より計算して示す。

幼胚の着生と流速との関係 回転水槽による実験で得られた流速とアカモク幼胚の着生数との関係を Fig. 14 に示す。流速は水槽の回転角速度と定規中心からの距離から求めている。図より 5 cm/s 以上では着生数がきわめて少なくなっている。

考 察

付着板の傾きによる着生数の差について 付着板は水平に設置されているもの、および 45 度の傾きに設置されているものの 2 通りとなっている (Fig. 3)。この傾きが、付着板 1 枚 (50 cm²) あたりの着生数に影響することは十分考えられる。水平に設置されていた付着板 1 枚あたりの着生数を横軸にとり、同じステンレス枠に 45 度の傾きに設置されていた付着板 1 枚あたりの着生数を縦軸にとって示す (Fig. 15)。極めてバラツキが大きい、水平のもののほうが若干着生数が多いようにみえる。着生数の常用対数をとって両者の差を検定した結果、CASE 1 については 10%、CASE 2 については 5%、また CASE 3-1 については 10%、CASE 3-2 については 20% (いずれも片側確率) の危険率で有意差がみられた。なお、全データのうち水平、傾いた場合のいずれもが 5 個体以上のデータについて、対応のある場合の平均値の差の検定 (t 検定)⁶⁾ を行った。次にこの差は鉛直方向の幼胚のフラックスに対する付着板の投影面積の違いに起因するのではないかと考え、傾いた付着板の着生数を $\sqrt{2}$ 倍して同じ検定を行った。その結果、全ケースとも 25% 水準でも有意差は認められなかった。この結果より、本論文では、傾いた付着板の着生数を $\sqrt{2}$ 倍したものを、水平なものの着生数と同等なものとして解析を行った。

生き残り率について 1986 年のデータ (CASE 3) を用いて、生き残り率について検討した。第 1 回目の回収で 10 以上の着生個体数 (S_1) がみられたものについて、第 2 回目の回収個体数 (S_2) とから、次式に従って自然死亡係数 (M) をもとめた。

$$M = -\ln (S_2/S_1)/(t_2-t_1)$$

ここに $\ln$ は自然対数であり、 t_1 , t_2 は付着基盤を設置

してから、それぞれ第 1 回目と第 2 回目の回収を行った日までの経過日数である。

得られた自然死亡係数の値は大きくばらついたが、平均 $4.3 \times 10^{-2}/\text{day}$ で地点による系統的な差はみられなかった。この値が、1 回目と 2 回目の回収の間で一定であると仮定すると、30 日間の生き残り率 (s) は

$$s = \exp (-4.3 \times 10^{-2} \times 30) = 0.28$$

となる。吉川ら^{*)}は、山口県東和町の海域で、設置藻礁上におけるアカモク現存量の推移を調べている。そのデータから推定すると、8 月から 12 月までの 4 カ月間の平均生き残り率は 0.54–0.79/月であり、上に求めた値の 2–3 倍となっている。このことは、幼胚の生長に伴って生き残り率が増すことを示すとも考えられるが、海域と実験方法が異なりこれ以上の考察はできない。いずれにしても、本研究で用いた付着板上での生き残り率は小さいものであったと考えられる。このことは、1985 年の CASE 1, CASE 2 で、多いところでは付着板 1 枚あたり 1000 個体以上の着生数がみられたにもかかわらず、約 10 カ月後には付着板上には 1 個体も生存せず、わずかに付着基盤を構成するステンレスの枠に数個体のみがみられただけであったことでも示されている。

幼胚着生数密度のオーダー 沖側藻場の中心域において設置した付着板上には、最大 2197 個体/50 cm² の着生がみられた。着底からの経過時間を 1 カ月と仮定して先に求めた生き残り率で補正し、さらに 1 m² あたりに換算すると、初期の着生数密度は

$$2,197 \times 10^4 / 50 / 0.28 = 1.6 \times 10^6 \text{ (/m}^2\text{)}$$

となる。この値と、母藻から放出される卵数のオーダーとの比較を行う。Umezaki⁷⁾ は、舞鶴湾と若狭湾で採集した 56–178 cm のアカモクの卵の計数を行い、1 雌株あたり 2.9×10^6 個、あるいは主枝長 1 cm あたり 4×10^4 個という値を得ている。沖側藻場周辺での母藻の密度は測定していないが、1986 年における岸側藻場の平均的な値で代表できると仮定して、Fig. 8 より 1 m² あたりの海藻密度を求めた。Fig. 8 において、紙面に直角方向には分布は一樣と仮定し、この方向の単位幅 (1 m) あたりについて考える。底深 5.5 m の地点より岸側を藻場とみなし、等密度線が占める面積を読み取り、密度との積を合計して各面積内の海藻の現存量とした。これを岸から海底面に沿った距離で割り、平方メートル当りの海藻密度を求めると湿重で約 4 kg/m² となる。雌雄の株の比を 1:1 とすると、藻場内での雌株の平均密度は 2 kg/m² と推定される。アカモク湿重と全長との関係 ($W=1.4L$, W : 湿重 g, L : 全長 cm) によれば、これらはのべ 14 m に相当し、卵放出量は、

* 吉川浩二, 月舘潤一: 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究, 昭和 62 年度 IV-2-(2) 課題研究報告書, 1-21 (1988)。

$$4 \times 10^4 \times 14 \times 100 = 5.6 \times 10^7 \text{ (}/\text{m}^2\text{)}$$

となる。この値は、付着板への初期の着生数密度の35倍に相当する。この差が生じた最も大きな原因としては、付着板が 50 cm² と小さく、流動環境の影響を大きく受けたことが考えられる。底深 5 m 以上の沖側では、波による水粒子速度は岸に比べて小さいが (Fig. 13), 卵が受精・分裂の後、幼胚として海中へ離脱するときの海象によっては、付着板の上に落下した幼胚が、着生する前に移動させられ付着板から落下することは十分に考えられる。卵の放出およびそれに続く幼胚の離脱は、数回にわけて行われることが知られており,⁸⁾ 離脱時と海象の組み合わせで、その時の付着板上への着生率が変動するものと考えられる。ただ、底深 5 m から 10 m では、波による底面での水粒子速度はほぼ一定の値をとるから (Fig. 13), 着生率も近似的に等しいとみなすことができる。従って、沖側藻場で得られた幼胚着生数の分布は、海中に放出された幼胚の付着板上への着底の相対的な分布を反映しているものと考えられる。

1985 年と 1986 年の着生数の違いについて 1986 年の CASE 3 の着生数は、1985 年の CASE 1 より 1 桁低いオーダーとなっている (Table 1)。1986 年の方が約 1 カ月間も長く設置されていたので、この間の自然死亡による補正を行っても、1985 年の着生数は 1986 年に比べ 2-3 倍となっている。これは、1986 年は藻場の広がり小さくアカモクが早く枯れてしまったこと、および 1986 年の設置時期が 1985 年に比べて 1 週間ほど遅かったこと等の原因のほかに、さきに述べた幼胚放出時とその時の海象の組み合わせによる変動性を反映していることも考えられる。藻場の繁茂状態が Fig. 9 に示した水温変化と関連している可能性も考えられるが、明らかではない。

幼胚着生数の分布の特徴と波による水粒子速度との関係 幼胚の着生数は、両年とも沖の岩礁帯あるいは転石帯と一致して多く、その周辺の砂場では、岩礁帯からの距離が離れるに従って減少している。先に述べたように、水深 5 m 以深での着生率の地点差は少ないと考えられるから、このことは着生数の分布が、主に母藻の分布と沈降時の拡散によって決まる付着板への幼胚のフラックスを相対的に表していることを示している。

一方、岸沿いの付着板には全般的に着生数が少ない。この原因として、岸沿いの浅い水域では波による水粒子速度が大きいために、付着板上に落下した幼胚は、着生する前に移動させられ落下する率が多いことがあげられる。Fig. 4 で、ブロックで囲まれた範囲の特に波の陰となる部分で着生数が多かったことは、局地的な地形が

波に影響し、その波の水粒子速度が着生に大きな影響をもつことを示している。奥田は、基盤上での静置時間の違いによる着生力の増加について実験を行い、16 cm/s で水平方向に振とうした場合、アカモクでは 90% の残存率に達するのに 48 時間を要することを示し、母藻から離脱後まだ十分な時間を経っていない幼胚は、わずかな水の流動によっても容易に基盤から剝離されることは、自然状態ではむしろ通常のことと思われると述べている。⁹⁾

飯倉ら⁸⁾は、10 cm 四方のステンレス板に放出直後のアカモク幼胚を並べ、この板を周期・振幅を変化させて振動させた場合、最大流速が約 4 cm/s で一部が振動と移動を開始すること (初期移動)、および約 12 cm/s で 100% が移動すること (全面移動) を報告している。回転水槽を用いた実験で 5 cm/s 以上では着生数がきわめて少なくなっていたが (Fig. 14), この値は初期移動の生じる流速とよく似ている。

海では流れの形態が異なること、設置した付着板は大きさや形状が室内実験で用いたものと同じではないことから、これらの結果をそのまま使うことには問題があるが、一応 5 cm/s 程度を、滑らかな板上に着底した幼胚が、仮根によって着生するまでの時間にはほとんど離脱する限界流速と考えることができる。Fig. 13 によると、この海域に、周期 6 秒、波高 10 cm 以上の波が恒常的にあるとすると、5 m 以浅では波による水粒子速度が 5 cm/s 以上となり、幼胚が付着板上に留まる確率は極めて小さくなる。海が静穏であった 1986 年 4 月 23 日からの 3 日間の St. 4 における測流結果 (Fig. 12) でも、5 cm/s 以上の流速が 90 分の間に必ず現れておりこの推算の妥当性を裏づけている。

一方、Fig. 12 において、砂泥域での測流結果は、水深の違いを補正しても藻場内の St. 4 よりも小さい。これは St. 5 が、地形的に波向線の発散域になっているためと考えられる。事実、この地点での付着板には、浮泥が堆積しているものがかかりみられた。

以上の考察の結果をまとめると、実験用付着基盤による幼胚の分布の特徴を、次のように整理することができる。岸側の藻場は地形の突出部にあり、波向線が集中するために、波による振動流によって、付着板上に落下した幼胚が、強固に着生する前に移動させられ付着板から落下する。逆に砂泥域は、波向線が発散する湾入部にあり、波による水粒子速度は小さく、時化等によって巻き上げられた浮泥が、静穏時に堆積して、幼胚の着底が妨げられる。一方、沖側では、波による水粒子速度が小さく、また時化のときにも岸側に比べて浮泥の巻き上げが

* 飯倉敏弘, 杜多 哲, 北村章二: 昭和 63 年度日本水産学会秋季大会講演要旨集, 418.

少ないため、幼胚の着生を妨げる要因が少なく、幼胚着生数の分布は、母藻の分布と、幼胚が放出されてから海底に落下するまでの拡散によって決まることになる。

現場海域では、毎年岸側にアカモク藻場が形成される。これは、岩礁・転石帯が平坦な滑面ではなく微細な凹凸をもっており、極めて変化に富んだ多様な流動環境が作り出されているためと考えられる。また、波による水粒子速度が大きいことは、逆に時化のときには一度着底した幼胚を再浮上させることで、好適な着生基盤に遭遇する確率を増大させている可能性があることを示している。

要 約

アカモク幼胚着生数の分布と、流動環境を測定し、以下のことを明らかにした。

- 1) 幼胚着生数は、付着板1枚 (50 cm²) あたり最大2197個体であった。この値は、母藻の卵数から推定した値の1/35であり、この差は、実験用付着板の特性と、幼胚が海中に離脱する時期の海象の影響を受けていると考えられた。
- 2) 着生後の生き残り率は、約0.28/月と推定された。
- 3) 幼胚の分布は、波による水粒子速度とよく対応した。すなわち岸側藻場では波による水粒子速度が大きく、幼胚が実験用付着板から落下するため、砂泥域では

浮泥の堆積のため、幼胚着生数が少ない。一方沖側では、幼胚の分布は、母藻の分布と流れによる拡散を反映していると考えられた。

謝 辞

本研究は、別枠研究 (MRP 58-61, III-6- (2)-①-e) に参加して行った。調査に際しては、山本茂也氏、故田中信彦博士をはじめ、養殖研究所環境管理部の方々にご助力いただいた。また京都大学教授の川合英夫博士には御校閲いただいた。ここに記して感謝します。

文 献

- 1) L. Deysher and T. A. Norton: *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **56**, 179-195 (1982).
- 2) 寺脇利信, 野沢治治, 新村 巖: 藻類, **30**, 305-310, 1982.
- 3) 寺脇利信, 野沢治治, 新村 巖: 藻類, **31**, 97-101, 1983.
- 4) 日野幹雄: スペクトル解析, 朝倉書店, 東京, 1977, pp. 231-234.
- 5) 岩垣雄一, 榎木 享: 海岸工学, 共立出版, 東京, 1979, pp. 23-77.
- 6) 応用統計ハンドブック編集委員会: 応用統計ハンドブック, 養賢堂, 東京, 1980, pp. 210-214.
- 7) I. Umezaki: *Hydrobiologia*, **116/117**, 398-402 (1984).
- 8) 奥田武男: 海洋科学, **17**, 38-44 (1985).