

波浪によるウガノモクの幼胚および成体の基質付着限界

桑原久実*・金田友紀**・川井唯史***

1. はじめに

北海道日本海側は、深刻な磯焼け状態にあり海藻草類が極めて少なく、漁業生産は低迷が続いている。この海域に見られるホンダワラ類 *Sargassum* は、ハタハタやニシンなどの産卵基質として利用されることがわかっている (長澤・鳥澤, 1991)。

ホンダワラ類は、一般にガラモ場と呼ばれる優占群落を形成し、流失後も気胞によって海面を漂う流れ藻となり、魚類の産卵場や保育場として利用され、水産上の重要性が従来から数多く指摘されている (大野, 1885)。水産資源の増大を目的に、産卵場や保育場の造成が計画され、これに伴ってガラモ場の造成方法を明らかにする必要がある。

ウガノモク *Cystoseira hakodatensis* は、北海道日本海側で主に見られるホンダワラ類の 1 つである。直立大型の多年生海藻で数 m に達し、雌雄異株である (吉田,

1993)。水温が 13~15°C (6 月上旬~7 月下旬) になると母藻の生殖器から卵が放出され (伊丸ら, 1981)、その後、幼胚となり第 1 次仮根が底質に着底する。ウガノモク群落を造成するには、母藻が安全に生育でき、幼胚の着底が確実にいける環境をつくる必要がある。

ウガノモクのようなホンダワラ類は、比較的波浪の静穏な場所に分布することが知られている (今野ら, 1985)。この原因として、波当たりの強い場所では、幼胚の着底が困難 (杜多, 1989)、母藻の茎が基質から剥ぎ取られることが考えられる (Friedland and Denny, 1995)。波浪環境がウガノモク生育の制限要因になっている可能性が高いと推察される。

この様な背景から、本研究は、ウガノモクの生育条件のなかで、波浪による幼胚と成体の基質付着限界について研究を進めることにした。

なお、ウガノモクの幼胚と成体の概要は図-1 に示す。

2. 試験方法

(1) 幼胚の付着限界

ウガノモク幼胚は、第 1 次仮根の付着力によって基質に着底することができる。このため幼胚の付着限界は、①卵放出から第 1 次仮根が出るまでの期間、②流動環境下での幼胚の付着特性について調べることにした。

①は、照度 6700 lux、水温 16°C の一定条件で培養しておこなった。②は、杜多 (1989) と同様に図-2 のような実験装置を作製して行った。回転台上に円筒形水槽 (100 リットル) を置き、水槽中に塩ビ板 (長さ 50 cm、幅 7 cm、厚さ 5 mm) を外部から固定した。塩ビ板は中心が回転軸に一致するようにし、5 cm 間隔でスライドガラスを接着

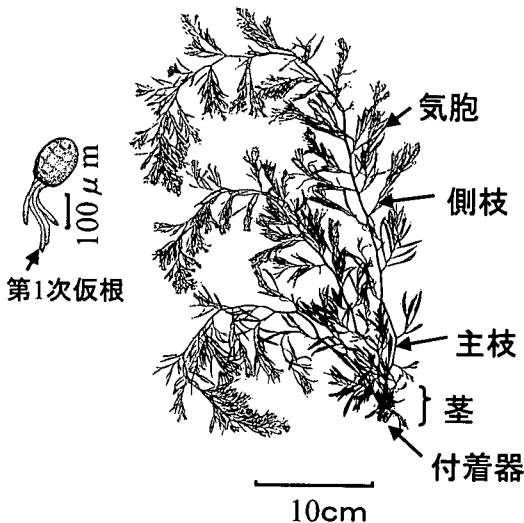


図-1 ウガノモクの幼胚と成体の概要
(幼胚: 名畑 (1998), 成体: 林 (1998) から転写。)

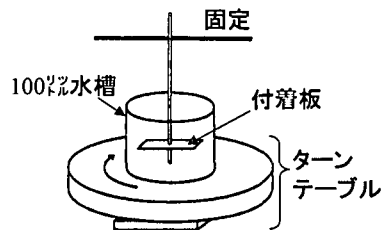


図-2 幼胚の付着試験

* 正会員 農博 北海道立中央水産試験場 水産工学室 生態工学科
** 北海道立中央水産試験場 水産工学室 生態工学科
*** 農博 北海道立中央水産試験場 資源増殖部 増殖科

した。

13rpmで回転する水槽の水面からウガノモク幼胚を投入し、30分後、スライドグラスを取り出し顕微鏡で撮影し、画像解析ソフトで付着した幼胚の個体数と仮根長(幼胚の根の長さ)の測定を行った。幼胚は、水槽にウガノモクをいれ冠水しながら飼育し、3日後水槽底面に落下したものを集めた。また、流速は、塩ビ板上を電磁流速計で測定した。

(2) 成体の付着限界試験

ウガノモク成体の流れに対する付着限界は、藻体に作用する抗力(F_d)と付着器の限界付着力(F_b)から次式で求める。

$$F_b \geq aF_d \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 a :安全率である。

ウガノモクの全長(TL)と葉面積(A)の関係、抗力(F_d)、抗力係数(C_d)は、順に、次式のように示される。

$$A = aTL^b \dots\dots\dots (2)$$

$$F_d = 1/2 \rho A C_d u^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$C_d = S_d u^\beta \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 ρ :海水密度、 u :流速、 a, b, S_d, β :定数である。

(2)~(4)式を(1)式に代入するとウガノモクの付着条件を満足するような全長と流速の関係が、次式のように得られる。

$$TL \leq \left(\frac{2F_b}{\alpha \rho a S_d u^{\beta+2}} \right)^{1/b} \dots\dots\dots (5)$$

調査海域は、図-3の小樽市銭函海域に設定した。離岸堤と突堤に囲まれた水深2.0mから岸側に大規模なウ

ガノモク群落がある。成体の付着限界は、次に示す①から④の試験を行い、 a, b, S_d, β の定数を求めると(5)式から算定することができる。室内試験は、この海域で採集したウガノモクを用いて行った。

①ウガノモクの全長と葉面積の関係は、まず、デジタルカメラで藻体を撮影し、画像解析ソフトで測定したものをを用いて、(2)式のように求めた。なお、葉面積は、投影面積とした。

②ウガノモクの限界付着力(F_b)は、SCUBA潜水により付着器に近い茎の部分をつぶして縛り、これを置き針式のバネ秤で水平方向に破断するまで引っ張ることにより求めた。

これは、藻体に強い流れが作用した場合、藻体は水平になり破断するものと考えられるためである。

③ウガノモクの抗力係数(C_d)は、流動水槽を用いて、藻体に一方向流を作用させ藻体付着器付近にかかる力を3成分力計で測定し、(3)式を用いて求めた。

④ウガノモクが生育する場所の流動環境を把握するため、調査海域の周辺(340m×850m)を非定常緩勾配方程式(渡辺・丸山, 1984)で数値計算した。メッシュ間隔は10m、離岸堤の反射率は0.4、透過率は0.3とした。

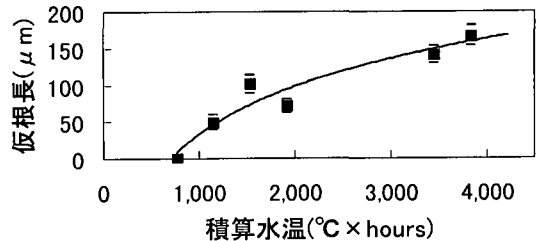


図-4 ウガノモク第一次仮根の成長

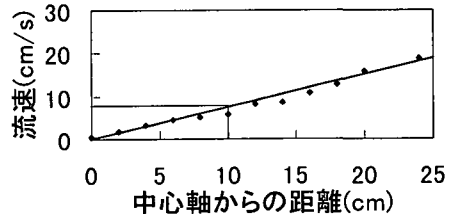
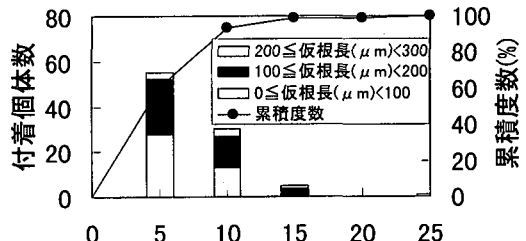


図-5 流動下での幼胚の付着特性

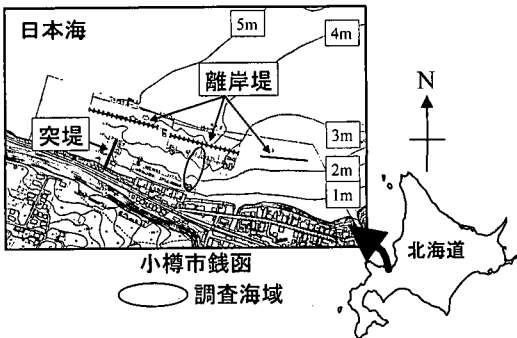


図-3 調査海域(小樽市銭函)の概要

表-1 波浪特性

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
波高m	2.50	2.32	2.09	1.67	1.05	0.69	0.65	0.77	1.27	1.87	2.66	2.70
周期s	7.5	7.5	6.9	6.7	6.0	5.5	5.5	5.7	6.5	6.9	7.6	7.5
波向	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW

(1990年~1995年、石狩湾新港の波浪観測結果から得られた1/10最大波である。)

波浪特性は、表—1のように1990年～1995年石狩湾新港で得られた1/10最大波を用いた。

3. 結果および考察

(1) 幼胚の付着限界

第一次仮根の成長を卵放出直後からの積算水温で示したのが図—4である。卵放出から約800°C時間、水温20°Cとすると約2日間は、仮根が認められず付着力が無いため、非常に移動しやすい状態にあると考えられる。

流動環境下での幼胚の付着特性を図—5に示す。回転台の中心軸から離れるに従い、流速は増加し幼胚の付着数は減少している。流速が大きくなると仮根長の長いものが着底する割合が高くなる傾向にある。中心軸から10cmまでで幼胚の付着数が全体の90%以上に達していることから、付着可能流速は約7.5cm/s以下であることがわかる。

以上から、母藻から卵が放出されて、その周辺に着底させるには、卵放期(6月上旬～7月下旬)に非常に静穏な波浪環境が数日間必要であることになる。

(2) 成体の付着限界

a) 調査海域でのウガノモク群落

調査海域で見られたウガノモク群落の概要を図—6に示す。水深2mから岸側に群落が形成されており、水深1m程度で現存量が最大となる。潜水観察から水深2mの群落沖外縁(以下、群落外)と水深1mの群落内部(以下、群落内)では、藻体に大きな違いが認められたので、これら2地点から採取したものを用いて、次に示すb)～d)の試験を行った。

b) 全長と葉面積の関係

全長と葉面積の関係を図—7に示す。群落内は、群落外に比べ、ばらつきが大きくなっている。群落外は波浪が厳しいため、藻体がちぎれ流失し、葉面積が小さくなるが、群落内は、波浪が穏やかなため藻体の流失が少ないことが考えられる。

群落内と外を合わせて(2)式の関係の求めると次式のようになる。

$$A=0.0455TL^{1.316} (R^2=0.714) \dots\dots\dots(6)$$

ここに、Aはm²で、TLはmである。

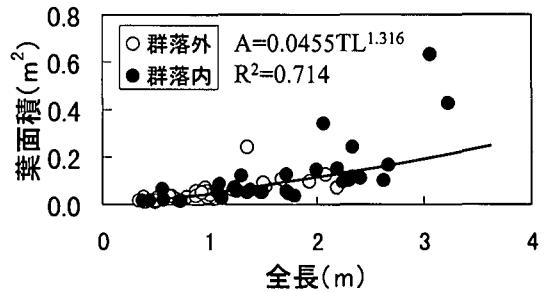
c) 限界付着力

付着力と葉面積の関係を図—8に示す。付着力は、葉面積より群落外と内で大きく異なっていることがわかる。

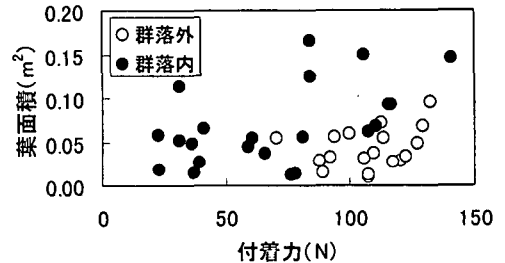
SCUBA潜水によりバネ秤で成体の限界付着力を調べたが、群落外は、全て茎の部分から破断し、群落内は茎の部分から破断するものがほとんどであったが付着器から小さな力で剥がれるものも見られた。波浪の厳しい群落外の藻体は選抜され大きな付着力を有するが、群落内は静穏なため付着力の小さなものも生残でき、ばらつきが大きいものと考えられる。波浪の厳しい群落外での付着力は、60N～140Nの範囲にあり、平均すると約100Nである。限界付着力は、約100Nと考えられる。

d) 抗力係数

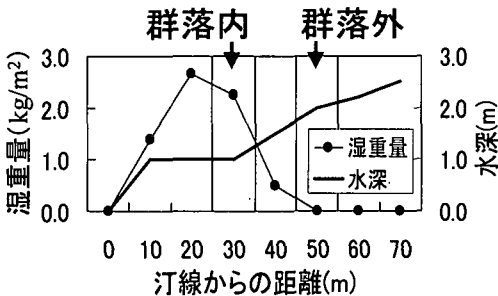
水槽実験から得られた抗力係数を図—9に示す。流速



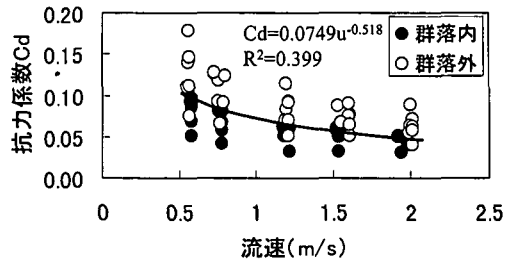
図—7 全長と葉面積の関係



図—8 成体の限界付着力



図—6 ウガノモク群落の現存量と海底地形



図—9 抗力係数

が大きくなると抗力係数が減少し、ばらつきも小さくなっており、Carrington(1990)と同様な傾向が認められる。

(4) 式は、次式のように求められる。

$$C_d = 0.0749u^{-0.518} \quad (R^2 = 0.399) \dots\dots\dots (7)$$

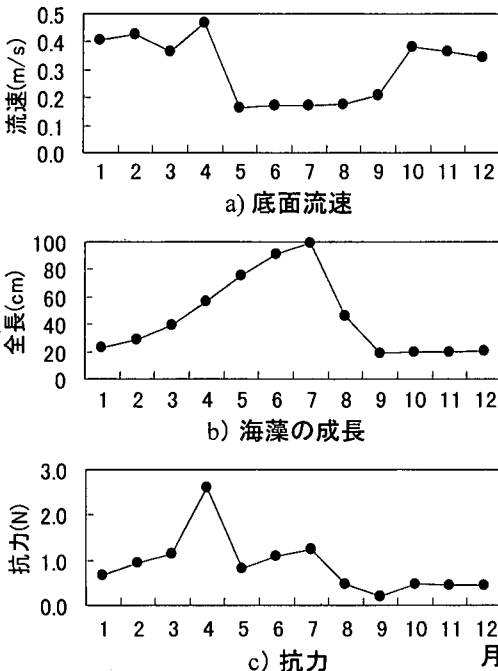
e) 成体に作用する抗力の年変化

群落外に生育するウガノモクは、波浪の厳しい環境にありながら基質から剝されないで付着器の付着力により生残したものである。この環境を評価すれば、波浪流速によるウガノモク成体の付着限界が求められると考えられる。

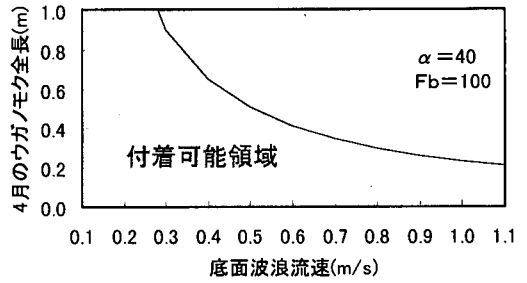
図一10 a) は、ウガノモク群落外にあたる水深1.5 m ~ 2 m の底面波浪流速を数値計算で求めたものである。10月~翌年4月は0.35~0.5 m/s と大きい、5月~9月は0.2 m/s 程度となっている。

図一10 b) は、ウガノモク藻体の成長を示したものである。成長に関する詳細な報告はないが、冬から春にかけて伸長し、7月に最大となり、その後、茎の部分を残して流失することがわかっている。ここではb) 図のように仮定した。

図一10 c) は、a) の波浪流速下で、b) のウガノモク藻体が生育した場合、藻体に作用する抗力を求めたものである。抗力は、(3) 式に(6) 式及び(7) 式を代入して求められる。図をみると4月に最大の力が藻体に作用し、基質から剝される可能性が強いことがわかる。この



図一10 成体に作用する抗力の年変化



図一11 成体の基質付着限界

ことから成体の付着限界は、最も危険な4月の波浪と藻体から求める必要のあることがわかる。

f) 成体の付着限界

図一11 は、ウガノモク成体の付着可能領域を示したものである。限界付着力 F_b を 100 N、4月の抗力 f_b を 2.5 N とすると(1) 式から安全率 α は 40 となる。(5) 式に(6) 式、(7) 式及び $\alpha=40$ を代入すると付着可能限界が得られる。

4月、影をつけた領域の底面波浪流速と藻体の全長であれば、その場で付着が可能であり生育する事ができる。

4. おわりに

波浪によるウガノモク幼胚と成体の基質付着限界を解明し、産卵藻場や保育場を造成する際の設計条件を明らかにするため研究を進めた結果、次のことが明らかとなった。

1) ウガノモク幼胚の第一次仮根は、卵放出から約800°C時間、水温20°Cとすると約2日間は、仮根が認められず、非常に移動しやすい状態にあると考えられる。

2) 流動環境下での幼胚の付着は、回転台の中心軸から10 cm までで幼胚の付着数が全体の90%以上に達していることから、付着可能流速は約7.5 cm/s 以下となる。

3) ウガノモクの成体に作用する抗力を求めるため、全長と葉面積の関係式((6) 式)、限界付着力(100 N)及び抗力係数 c_d ((7) 式)を求めた。

4) 成体に作用する抗力の年変化は、4月に最大の力が藻体に作用し、基質から剝される可能性が強いことがわかった。このため成体の付着条件を、4月の波浪流速と藻体全長の関係から求めると図一11 が得られる。

今後、幼胚の着底については、基質の勾配や凸凹の影響について、検討を加える予定である。

また、本研究で得られた結果を現地試験で確認したいと考えている。

参考文献

- 伊丸 満・稲井宏臣・吉田忠生 (1981): 北海道忍路湾におけるホンダワラ類の成長と成熟について, 藻類, 29巻, pp. 277-281.
- 大野正夫 (1985): 概論: ガラモ場—その環境と水産資源的効用, 月刊海洋科学, Vol. 17, No. 1, pp. 4-10.
- 今野敏徳・泉 伸一・竹内慎太郎 (1985): 漸深帯大型海藻の帯状分布に及ぼす波浪の影響, 東京水産大学研究報告, 72巻, 2号, pp. 85-97.
- 杜多 哲・飯倉敏弘・北村章二 (1989): ホンダワラ類幼胚の着生数の分布と波の影響, 55巻, 7号, pp. 1161-1172.
- 長澤和也・鳥澤 雅 (1991): 北のさかなたち (ハタハタ), 北日本海洋センター, p. 132.
- 名知進一・酒井勇一 (1998): 北海道東部におけるウガノモクの初期形態形成と成長, 北水試研報, 第52巻, pp.1-7.
- 林 浩之 (1998): 南後志沿岸の海藻類 I ヒバマタ目, p. 17 (未発表).
- 吉田忠生 (1993): “ウガノモク”. 藻類の生活史集成第2巻 褐藻・紅藻, 内田老鶴圃, pp. 152-153.
- 渡辺 晃・丸山康樹 (1984): 屈折・回折・碎波減衰を含む波浪場の数値解析, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 103-107.
- Carrington, E (1990): Drag and dislodgment of an intertidal macroalga: consequences of morphological variation in *Mastocarpus papillatus* Kützinger, J. Exp. Mar. Biol. Ecol., Vol. 139, pp. 185-200.
- Friedland, M., T. Mark and W. Denny (1995): Surviving hydrodynamic forces in a wave-swept environment: Consequences of morphology in the feather boa kelp, *Egregia menziesii* (Turner), J. Exp. Mar. Bio. Ecol., Vol. 190, pp. 109-133.