

大型藻類のゾーネーションに関する研究Ⅲ

—アラメ・カジメ幼体に作用する流体力と流動環境—

STUDY ON THE ZONATION OF MACRO ALGAE .Ⅲ. FLUID FORCES ON
JUVENILE PLANTS OF *Eisenia bicyclis* Setchell AND *Ecklonia cava* Kjellman
AND CURRENT ENVIRONMENTS

菅原顕人¹・小松輝久²・瀬戸雅文³

Akihito SUGAWARA, Teruhisa KOMATSU and Masabumi SETO

¹東京大学大学院博士3年 海洋研究所資源計測グループ (〒164-8639 東京都中野区南台1-15-1)

²農博 東京大学助教授 海洋研究所資源計測グループ (〒164-8639 東京都中野区南台1-15-1)

³正会員 水産博 北海道立中央水産試験場水産工学室 (〒046-8555 北海道余市郡余市町浜中町238)

Seaweed forests of *Eisenia bicyclis* Setchell and *Ecklonia cava* Kjellman are broadly distributed along the rocky coastal area of central Honshu Island, Japan, facing the Pacific Ocean. We aimed to clarify a process of zonation which are consisted of the two plants. We measured attaching force of holdfast to a substratum in a field and fluid forces on them in a laboratory. Attaching force of their holdfast depended on a condition of substratum surface as same as adult plants. Dominant fluid force exerted on juvenile plants was a drag force different from adult plants because of little development of stipe part. For juvenile as well as adult plants, attaching force of their holdfast was almost higher than maximum fluid force in situ by using model data.

Key words : *Eisenia* and *Ecklonia*, zonation, current environments, fluid force, juvenile

1. はじめに

アラメ *Eisenia bicyclis* Setchell・カジメ *Ecklonia cava* Kjellman は、太平洋に面する常磐から南四国までの岩礁性浅海域に多く見られる典型的な大型藻類である^{1)・2)・3)}。両種の分布が重なる海域では、アラメの分布域が低潮線から水深10 m 程度までであるのに対し、カジメでは水深25 m 程度までである⁴⁾。このようにアラメがカジメより浅所に生育し、深度に沿って帯状の分布、ゾーネーション (Zonation) を形成することが知られている^{5)・6)}。藻場・海中林とよばれるこれらの群落は、直接的にはウニ・アワビ・サザエなどの植食動物の餌料として、間接的には魚類の産卵場や幼稚仔の保護育成場として、更には海水中に溶出した窒素やリンの吸収など水質浄化面等、沿岸域の環境形成に重要な役割を担っている。近年、藻場は沿岸域の開発にともなう埋め立てや「磯焼け」によって著しく減少してきており、環境と調和した海岸施設の設計や自然環境

の修復を目的として藻場造成技術が検討され、アラメ・カジメ藻場についても各地での造成事業が始まっている^{7)・8)・9)}。しかし、これらの事業は必ずしも成功しているわけではない。これは、藻類の生残に不可欠な生息条件についての生態学的な基礎的知見が不足しているためと考えられる。

藻類の分布や生育・生残を制限する要因としては、光量、水温、基質、波浪といった物理的要因、栄養塩といった化学的要因、食害といった生物的要因が上げられる。これらの中で、波浪などの流動環境は、藻類の生残、形態、垂直分布に大きな影響を及ぼす重要な環境要素である。

著者らはこれまで、アラメ・カジメ藻場の修復・造成に必要となる、これらの成体について、1) 固着力と波浪に伴い藻体に作用する流体力との関係¹⁰⁾、2) 群落の垂直分布と光環境条件およびこれらの種の光合成速度の関係¹¹⁾について明らかにしてきた。しかし、アラメ・カジメの幼体については未だ明らかになっていないので、それらの形状特性や基

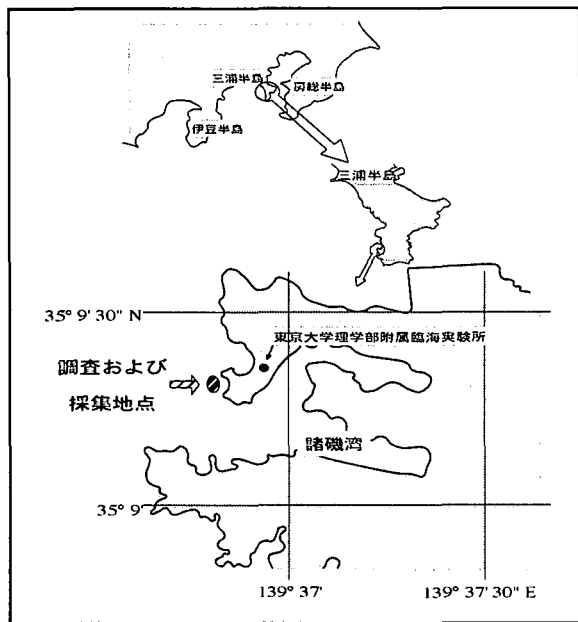


図-1 調査および採集地点概略図

表-1 アラメ・カジメの幼体と成体との形状特性の比較
(平均値±標準偏差)

茎部/葉部	幼体	成体
湿重量	0.21±0.11	0.65±0.20
長さ	0.24±0.15	1.04±0.43

表-2 引き剥がされた藻体の基部の状態

剥離状態	アラメ	浅所カジメ	深所カジメ
全基質表面含む	10個体	6個体	8個体
一部基質表面含む	なし	4個体	2個体
仮根・茎部破断	なし	なし	なし

質への固着力の測定、水理実験による幼体に作用する流体力の測定を通じて、アラメ・カジメの初期生育段階における作用流体力と流動環境との関係について検討した。

2. アラメ・カジメ幼体の固着力

(1) 測定方法

1999年10月21日に、神奈川県三浦市の東京大学理学部附属臨海実験所地先(図-1)に分布する、アラメ・カジメ幼体を対象とした実験をおこなった。底深が1.5 m にアラメ群落、2.7 m (浅所型)、4.5 m (深所型)にカジメ群落が分布している。各群落において、それぞれ10個体の幼体について、藻体の基部付近に細いロープを固縛し、卓越する波向方向に引っ張り、力量式置き針計で水平固着力を計測した。さらに、それらの形状特性や藻体の基部から引き剥がされた仮根部の状況についても記録した。

(2) 幼体の形状特性

幼体の形状は、アラメ・カジメともによく似ており、葉部は単葉で側葉もほとんど形成されていない。また、成体と比べて茎部の発達が乏しいのが特徴である。本研究の固着力測定に用いたアラメ・カジメ幼体についても、葉部に対する茎部の湿重量お

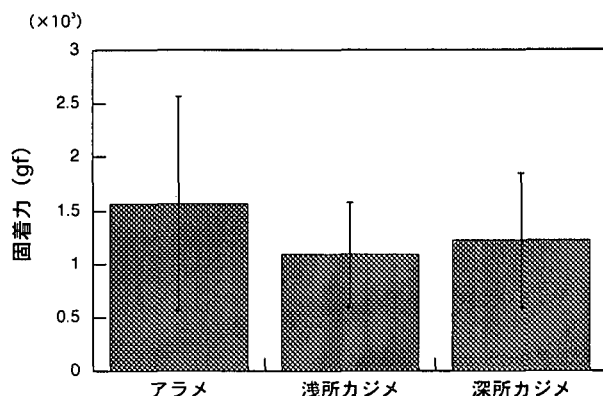


図-2 各藻体の固着力(平均値±標準偏差)

よび長さの比ともに、以前に著者らが扱ったほぼ同時期の成体と比較して低い値であった(表-1)。

(3) 固着力

固着力の強さは、平均値で見ると、アラメで 1.57×10^3 gf、浅所カジメで 1.09×10^3 gf、深所カジメで 1.22×10^3 gf と必ずしも水深には依存していなかった(図-2)。また、値にはかなりのばらつきがあり、 $0.40 \times 10^3 \sim 2.35 \times 10^3$ gf の範囲内であった。

さらに引き剥がした個体の基部を調べると、ほとんどの個体において基質の表面ごと剥がされており、仮根あるいは茎部が破断された個体は全く認め

表-3 供試藻体諸元

測定項目	アラメ	浅所カジメ	深所カジメ
茎長(cm)	6.00	2.30	5.00
茎径(cm)	0.81	0.26	0.29
葉長(cm)	17.00	9.60	14.40
葉面積(cm ²)	136.00	49.92	80.64
湿重量(g)	9.80	2.39	4.53

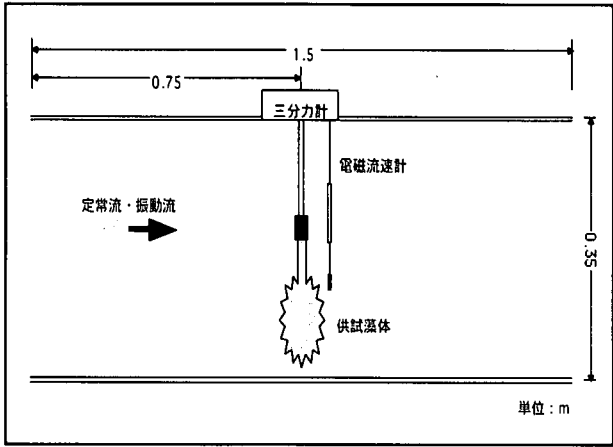


図-3 流体力測定実験概要図

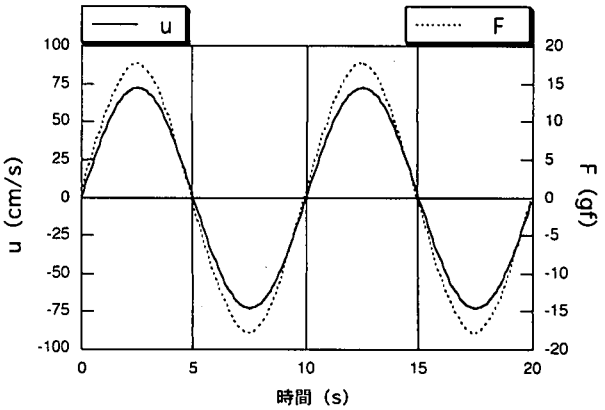


図-4 振動流場での流速(u)に対する流体力(F)の変化（代表例アラメ：周期 10秒，流速振幅 74.3 cm/s）

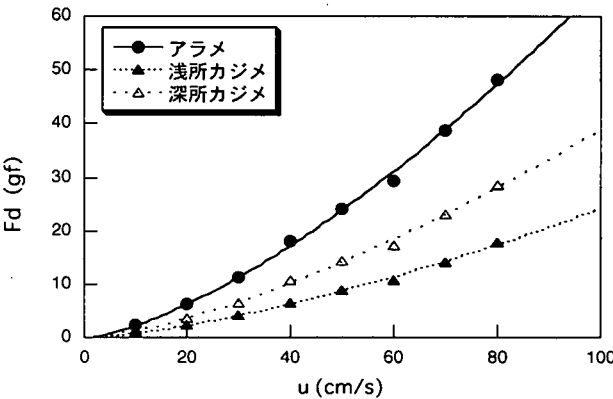


図-5 全抗力(Fd)の流速(u)に対する変化

られなかった（表-2）。
これらの結果から、得られた幼体の固着力は基質表面の強度を示しており、その強度は成体の場合と同様に基質表面の状態（例えば石灰藻に覆われているかどうかなど）に依存しているものと考えられた。

3. アラメ・カジメ幼体の作用流体力

(1) 実験装置および方法

1999年9月14日に、アラメおよび浅所、深所カジメの各群落から幼体を採取し、北海道立中央水産試験場において測定をおこなった。供試藻体の諸元を表-3に示す。

流体力は、同試験場が有する海水対応の回流水槽（観測部長さ1.5 m，常用水深0.35 m）で計測し

た。幼体は、水槽中央上部に設置した三分力計のセンサー部に付着物を除去した仮根部ごと上下逆向きに固定し、中央葉部が主流方向に対して垂直となるように配置した（図-3）。水槽内に定常流（0.10～0.80 m/s）および振動流（周期6.0～10.0 s，流速振幅0.10～0.80 m/s）を発生させ、同時に電磁流速計を用いて主流の流速変動も記録した。なお、実験期間中の水槽内海水温は、19.0～19.5℃の範囲内でほぼ一定であった。

(2) 幼体に作用する流体力

振動流場における幼体に作用する流体力は、アラメ・カジメともに流速の変化とほぼ同位相であった（図-4）。このことは、成体と比較して茎部の発達が乏しい幼体では、抗力成分が卓越していることを示している。アラメ・カジメともに幼体に作用する流体力は、抗力成分のみを用いても差し支えないこ

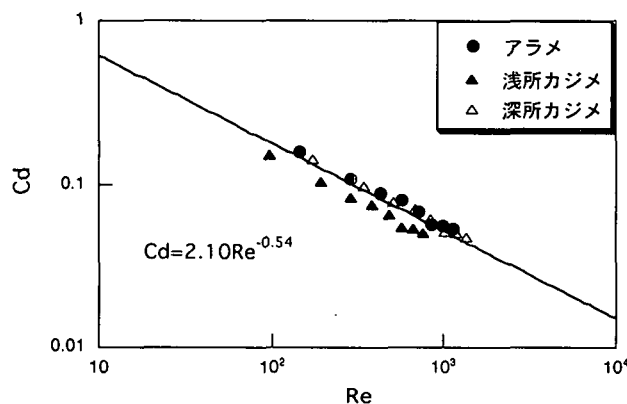


図-6 抗力係数(Cd)のレイノルズ数(Re)による変化

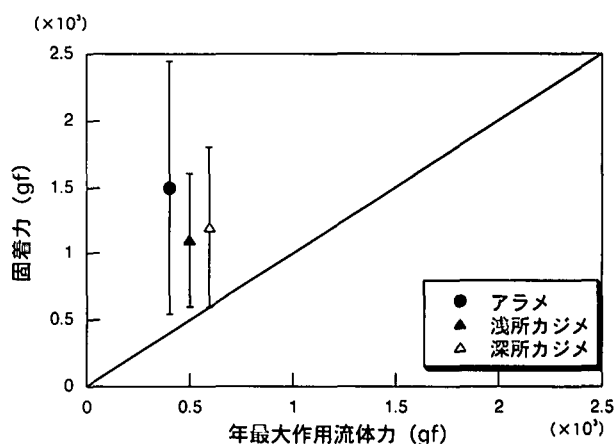


図-7 予想される年最大作用流体力と固着力との比較
(固着力：平均値±標準偏差)

とが示された。

次に、定常流場でのアラメ、浅所および深所カジメに作用する流体力(Fd)の主流流速(u)に対する変化を図-5に示す。これらの計測データをもとに、幼体の抗力係数(Cd)を計算し、葉長を代表長さとしてレイノルズ数(Re)で整理した(図-6)。その結果、アラメ、浅所および深所のカジメともに、Cd値はRe数に依存しながら0.03~0.05程度の値に収束した。この範囲の値は、以前に著者らが計測したコンブ葉体¹²⁾、およびアラメ・カジメ成体の葉部における値¹⁰⁾とほぼ一致した。また、Cd値はRe数の関数として、近似的に以下の式で表現できた。

$$Cd = 2.10Re^{-0.54} \quad (1)$$

(3) 幼体に作用する流体力のモデル化

成体では、茎部が葉部と独立して発達しているため、藻体に作用する流体力は、茎部と葉部の作用流体力を加算することにより推定することができた。しかし幼体では、前述のように茎部の発達が乏しく、作用流体力は抗力成分が卓越していることから、抗力のみから推定できる。

図-7は、固着力を測定したアラメ、浅所および深所カジメ幼体の各葉面積の平均値をもとに、幼体に作用する最大流体力を計算し、それぞれを固着力と比較したものである。なお、計算に使用した波浪条件は、相模湾の実験対象海域における1年確率最大波の沖波条件¹³⁾($H_0=5.1$ m, $T=9.2$ s)をもとに、各幼体の生育水深における波高および底面流速を推算し使用した。その結果、予想される幼体に作用する年最大作用流体力は、成体の場合と同様に、アラ

メ・カジメともに基部の固着力よりも小さいことが示された。

4. おわりに

流動環境が海藻の分布や生育・生残に及ぼす影響を把握することは、藻場の造成適地選定をする上で非常に重要である。本研究では、これまでに得られた成体に関する知見に加えて、幼体の固着力および流体力学的特性を検討することであった。今回の結果からは、アラメ・カジメ幼体は成体と同じように藻体の基部の固着力は基質表面の状態に依存していること、また、成体とは異なりよく似た形態をもつアラメ・カジメ幼体では、流体力学的な特性は両種ともほぼ同様であることが明らかとなった。今後はアラメとカジメの形態が分かれ始める段階の流体力学的特性を捉えることで、流動環境がアラメ・カジメのゾーネーションとどのように関係しているかを解明していきたいと考えている。

謝辞：現場調査および試料の採集にあたり、種々の御支援、御協力を頂いた東京大学理学部附属臨海実験所の森沢正昭所長、関本実枝官、関藤守枝官に、さらに流体力測定の実験にあたり御協力を頂いた北海道立中央水産試験場水産工学室の小林敏規室長をはじめ、職員各位に厚く御礼申し上げます。なお、この研究は笹川科学研究助成により実施したものであり、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 神田千代一 : 暖海産昆布科植物の遊走子培養に就いて, 服部報公会研究報告 8, pp.317-343, 1936.
- 2) 新崎盛敏 : アラメに就いて, , 藻類 1, pp.9-13, 1953.
- 3) 川嶋昭二 : 日本産コンブ類図鑑, 北日本海洋センター, 札幌, 1979.
- 4) 寺脇利信 : 藻類の生活史集成第2巻, 褐藻・紅藻類, 堀輝三編, 内田老鶴圃, pp.133-134, 1993.
- 5) 喜田和四郎, 前川行幸 : アラメ・カジメ群落に関する生態学的研究Ⅰ, 志摩半島御座岬周辺における群落の分布と構造, 三重大水実研報 3, pp.41-54, 1982.
- 6) 喜田和四郎, 前川行幸 : アラメ・カジメ群落に関する生態学的研究Ⅱ, 熊野灘沿岸各地域における群落の分布と構造, 三重大水実研報 10, pp.57-69, 1983.
- 7) 中久喜昭 : 磯焼け漁場の海中林造成, 栽培技研 9, pp.25-30, 1980.
- 8) 山本秀一, 児玉理彦, 野口雄二, 綿貫啓 : 相模湾西部海域におけるカジメ場造成試験, 水産土木 23, pp.13-18, 1986.
- 9) Anon. : 海域特性総合利用技術開発調査報告書(磯焼けグループ), 北海道, 68pp., 1994.
- 10) 菅原顕人, 瀬戸雅文, 小松輝久 : 大型藻類のゾーネーションに関する研究Ⅰ, アラメ・カジメの垂直分布と流動環境, 土木学会海洋開発論文集 14, pp.29-34, 1998.
- 11) 菅原顕人, 小松輝久, 瀬戸雅文, 佐藤博雄 : 大型藻類のゾーネーションに関する研究Ⅱ, アラメ・カジメの垂直分布と光環境, 土木学会海洋開発論文集 15, pp.141-145, 1999.
- 12) 瀬戸雅文, 水野武司, 山田俊郎, 梨本勝昭 : 縦スリット型藻礁の水理特性に関する研究, 海岸工学論文集 44, pp.971-975, 1997.
- 13) Anon. : 平成9年度三崎漁港修築事業(県単)二町谷海外地区整備調査報告書, 82pp., 1998.