

## 論文の内容の要旨

水圏生物学専攻

平成24年度博士課程 入学

氏名 許 敏

指導教員名 小松 輝久

論文題目 Studies on attachment strengths of *Sargassum horneri* (Turner) C. Agardh to the substrate and its dislodgment forces from the substrate

(アカモクの基質への固着力と基質からの引き剥がし力に関する研究)

褐藻類ホンダワラ科ホンダワラ属は、おもに温帯および熱帯を中心に沿岸に分布し、海の森林ともいべき大型の群落をつくり、環境形成作用を通じて固有の海洋環境を形成し、多くの海洋生物の生息場として沿岸生態系において重要な役割を果たしている。また、海洋生物の産卵場、生育場、索餌場として多くの商業的に重要な種の生産-再生産に関係すること、繁茂期を過ぎると流れ藻となって漂流し、この流れ藻にブリやマアジ稚魚、カツオなどが随伴することから水産的に非常に重要である。日本周辺、特に東シナ海に分布するホンダワラ属では、アカモク *Sargassum horneri* C. Agardh が流れ藻となり、ハマチ養殖の種苗として用いるブリ稚魚が随伴する。このブリ稚魚を対象とするモジャコ漁業では、流れ藻ごとブリ稚魚を採集するため、春季に薩南海域に來遊するアカモクは非常に重要である。これらの流れ藻は、中国沿岸の島嶼から供給されると推定されている。近年、薩南海域におけるアカモク流れ藻の供給に波浪や季節風が関係し

ているという研究があるが、どのような物理的あるいは生物的過程を通じてアカモクが流れ藻となっているかについて検討した研究はない。アカモク流れ藻の安定供給や、来遊予測の上から、アカモクの固着力と引き剥がし力の関係について検討することは重要である。

このような背景から、本論文においては、アカモクを対象として、実際の岩礁に生育するアカモクの固着力を現場における引き剥がし実験により、生長や成熟と固着力との関係について検討すること、次に、陸上の水槽において、定常流下における小型のアカモクにかかる流体抵抗を計測し、引き剥がし力を推定すること、現場の海域で、一定速度でボートからアカモクを牽引して流体抵抗を計測し、引き剥がし力を推定することで、アカモク個体が流れ藻になる場合にどのような流速の波が必要かを理解することを目的として研究を行った。

伊豆半島先端に位置し、筑波大学下田臨海実験センターが隣接する静岡県下田市鍋田地先大浦湾志太ガ浦のアカモク群落を対象に研究を行った。現場において基質から藻体を引き剥がすことによりアカモクの固着力を、2014年12月から2015年5月まで毎月計測を行った。計測には、ロープでアカモク個体の固着器の周囲を巻いて、置き針式力量計につなぎ、波の進行方向に検力計をアカモク個体が引き剥がされるまで引っ張ることで引き剥がし力を求めた。また、引き剥がした個体は持ち帰り、固着器の状態、葉状部長、湿重量、固着器の面積を計測した。固着器の面積は、固着器が基質と接する部分の周囲を鉛筆で白紙上に描き、その紙をスキャナーでデジタル化し、ImageJ 6.4 (NIH, USA)により固着器が基質と接する面積を求めた。底深および個体サイズについてはランダムに選び毎回20-40個体を計測した。その結果、固着力は、藻体の湿重量や長さに依存せず、成熟前までは固着器の面積に依存することが明らかになった。しかし、成熟後は、この関係はみられなかった。成熟した場合には、海水よりも比重の重たい幼胚を放出し、母藻が生育していた好適な環境近くに幼胚が着底する。アカモクは複数回にわたって幼胚を放出する。生息域を拡大する場合には、流れ藻となって移動し、新しい好適な環境で幼胚が着底することが好ましい。そのため、成熟後はエネルギーを固着器の維持に投じて固着力を強く保つ必要はないと考えられた。有意ではなかったが、浅い底深の個体ほど深い底深の個体よりも固着力が大きい傾向があった。コンブ類やラッパモク

類で見られるように、発生の初期に波による影響を受けた結果、固着器の固着力が強くなったものと考えられる。

定常流を発生できる水平方向 1.5 m、深さ方向 0.5 m の観測部をもち、鉛直方向に水が循環する東京海洋大学品川キャンパスに設置されている陸上水槽において、2015 年 1 月 28 日に下田市大浦湾の志太ガ浦で採集した小型のアカモクを用いて実験を行った。葉状部長が 40 cm 未満のアカモク個体を採集し、実験に供した。アカモクの固着器直上部にテグスを結び、もう一端を張力計につなぎ、ペン型レコーダで力を記録した。またテグスとそれを張力計につなぐ部分で生じる力もアカモクをつながずに計測し、アカモクをつないだ場合の力から減じて、各定常流における流体力とした。定常流の流速は、 $20 \text{ cm s}^{-1}$  から  $130 \text{ cm s}^{-1}$  まで  $10 \text{ cm s}^{-1}$  間隔で変化させた。使用したアカモクの葉状部長、湿重量、葉状部をスキャナーでデジタル化し、ImageJ 6.4 により面積を求めた。定常流下にある物体にかかる流体力  $F_d$  は次式で表せられる。

$$F_d = \frac{1}{2} \rho U^2 A C_d \quad (1)$$

ここに、 $\rho$  は流体の密度、 $U$  は流速、 $A$  は流れに対する物体の射影面積、 $C_d$  は物体の抵抗係数である。実験では、 $F_d$ 、 $U$  を、実験後に  $A$  を計測し、各個体の  $C_d$  を求めた。葉状部長が 18 cm 程度以上の個体は、葉が変形し、内部にガスをためて浮力を得る器官気胞をすべて持っていたが、それ以下の個体では、気胞を持っていないものもあった。慣性力と粘性力の比を表すレイノルズ数 ( $Re$ ) は次式で表せられる。

$$Re = UL/\nu \quad (2)$$

ここで、 $U$  は流体の速度、 $L$  は代表的なスケール、 $\nu$  は流体の動粘性係数である。流速が大きくなるとレイノルズ数は大きくなり、乱流に移行する。 $U$  が  $20\text{--}30 \text{ cm s}^{-1}$  から  $130 \text{ cm s}^{-1}$  になると、レイノルズ数は、 $1 \times 10^5$  から  $1 \times 10^6$  の範囲にあり、0.04 から 0.1 の範囲で一定の値に収束した。傾向として、葉状部長が大きくなると  $C_d$  は大きくなった。気胞が増加し、形態が複雑になること、凹凸ができること、浮力により流れに対する射影面積が大きくなるのが  $C_d$  の増加の原因として考えられた。コンブ、アラメ、カジメ

などの  $C_d$  の値は、0.03-0.04 と報告されている。これらの海藻は、葉状部が比較的なめらかであることから、複雑な形状を持つアカモクでは、高い値となったものと考えられる。

次に葉状部長が 30cm 以上の大型のアカモクの抵抗係数を計測するために、筑波大学下田臨海実験センターが隣接する静岡県下田市大浦湾において 2014 年 4 月と 2015 年 2 月に実験を行った。大浦湾志太ガ浦のアカモク群落から採集したアカモクを用いた。漁船(0.5 トン)の舷からバネばかりを固定したブームを出し、計測するアカモク個体の固着器直上部とバネばかりをテグスで繋いだ。アカモクは、水平に引くことができるように滑車を通じて海中へ降下し、テグスにかかる力をバネばかりにより目視で読み取った。また、アカモクを結ばず、テグスだけの場合にかかる力も計測し、オフセット値として減じた。船の対水速度は、プロペラ式の流速計を備えたデータロガー (PD3GT, Little Leonard) と電磁流速計を先端に取り付けたパイプを舷側から電磁流速計を先端に取り付けたパイプを水中に下ろし、実験中の流速を計測し、時間をもとに、実験中の対水速度を得た。測定したアカモクは、実験室に持ち帰り、葉状部長、葉面積などについて計測した。葉面積は、デジタルカメラで白紙の上に置いたアカモク個体の写真を撮影し、Image J 6.4 により求めた。船の速度は、およそ  $40 \text{ cm s}^{-1}$  から  $400 \text{ cm s}^{-1}$  の範囲で 4 段階に調節した。その結果、 $C_d$  は、 $1 \times 10^5$  から  $1 \times 10^6$  程度のレイノルズ数の範囲では葉状部長が長くなるほど小さくなる傾向が見られた。このことは、気胞があっても、長くなると流線に沿ってたなびくために、 $C_d$  は小さくなるものと考えられた。

以上、本論文は、アカモクの固着力と引き剥がし力について、生長と成熟という個体の状態も考慮し、かつ、流体により生じる力と固着器がつくる固着力との関係を、生理的な側面と物理的な側面から吟味した。また、10-40 cm の小型のアカモク個体の抗力係数を陸上水槽で 30 cm 以上の大型の個体の抗力係数を現場で求め、レイノルズ数との関係をまとめた。これらアカモク流れ藻の生じる時期や程度を推定するために必要な基礎的知見を得た本論文は、水産学上意義のある研究であると考えられる。