

紅藻スサビノリのヒキ（活着力）と 葉状体の基部長・基部幅との関係

阿部真比古^{1†}, 崎山馨惟², 大柱智美², 加藤大樹²,
中川昌大³, 佐藤朋子⁴, 村瀬昇¹

Relationships between Adherence Strength and Length and Width of Basal Parts in *Neopyropia yezoensis* Blade

Mahiko Abe^{1†}, Kai Sakiyama², Tomomi Ohashira², Daiki Kato²,
Masahiro Nakagawa³, Tomoko Sato⁴ and Noboru Murase¹

Abstract : We examined the relationships between adherence strength to culture net and basal part shape of *Neopyropia yezoensis* blade “nori”. The range of adherence strength was 0.030 – 0.204 N per blade. Length and width of basal parts, blade length and blade width tended to increase as the values of adherence strength raised. Adherence strength showed strong correlation with width of basal part. Moreover, adherence strength correlated with blade width. It was thought that the values of adherence strength and length and width of basal parts related to decrease water temperature in growing waters. However, it was suggested that a viewpoint of the relationship between adherence strength and width of basal part would be useful.

Key words : *Neopyropia yezoensis*, adherence strength, length of basal part, width of basal part

緒言

スサビノリ *Neopyropia yezoensis* は、紅藻綱ウシケノリ目ウシケノリ科アマノリ属に属するアマノリ類の一種である。本種は、一般に海苔として養殖されており、日本の海面養殖業における生産量（のり類）は、平成19年度から平成29年度にかけて、276,129~395,777 t（生重量）と海面養殖業全体の約3割を占めている¹⁾。しかし、近年ではノリの生産量は減少傾向にあり、その原因として、海水温上昇に伴うノリの漁期開始時期の遅延および漁期の短縮化が挙げられる^{2, 3)}。この生産量の減少に対して、養殖が行わ

れている各県においていくつかの対策が講じられている。その例として、佐賀県では採苗時期を1潮汐遅らせることで、高水温によるノリ芽の傷害を防ぎ、生産性を維持している⁴⁾。また、千葉県では「ちばの輝き」⁵⁾、三重県では「みえのあかり」⁶⁾などの高温耐性品種を開発している。

ノリの生産量を減少させる他の要因として、芽落ち・芽流れがある^{7, 8)}。これは、育苗期に海水温の降下が鈍化することにより葉状体基部が十分に発達しないこと^{7, 9)}や、生産量を増やす目的で採苗時の芽付き数を増やすことにより葉状体のヒキ（活着力）が弱くなること⁹⁾が原因として挙げられる。ヒキ（活着力）とは葉状体の網への付着の強

¹ 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産大学校生物生産学科 (Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University, Japan Fisheries Research and Education Agency)

² 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産大学校生物生産学科学生 (Student, Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University, Japan Fisheries Research and Education Agency)

³ 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産大学校水産学研究科生 (Graduate student, National Fisheries University, Japan Fisheries Research and Education Agency)

⁴ 元国立研究開発法人水産研究・教育機構水産大学校生物生産学科 (Former Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University, Japan Fisheries Research and Education Agency)

さ(以降, 活着力 adherence strengthと表記する)のことで, 活着力には葉状体基部の発達が関与している⁹⁾。ノリ養殖現場では活着力の強弱は, 葉体の健全度の指標として用いられ, 人の手で海苔網から葉体を引っ張ることによって判断されている¹⁰⁾。伏屋⁹⁾は有馬・吉川¹¹⁾の装置を使用して, 活着力を数値化するとともに, 葉状体の基部形態との関連性を報告した。

これまでに, 伏屋⁹⁾は活着力と関連する部位として葉状体基部に存在する根様糸細胞の下端から上端までの長さを示す基部長(length of basal part)を提案している(Fig.1)。また, 直近では, 三根¹²⁾が活着力と関連する部位として葉状体基部の基部幅(width of basal part)を提案した(Fig.1)が, 活着力の強弱は葉状体が容易に網から剥離するかどうかであり, 数値として表されていない。活着力や葉状体基部の発達は, 生産量の減少や健全度の指標として重要であるにも関わらず, その知見は少なく, 更なる科学的なデータ収集が必要である。そこで, 本研究では, 葉状体の活着力を数値化するとともに, 葉状体基部との関係を明らかにすることを目的とし, 活着力を自作の測定器を用いて定量化し, 基部長および基部幅と活着力との関係を精査した。

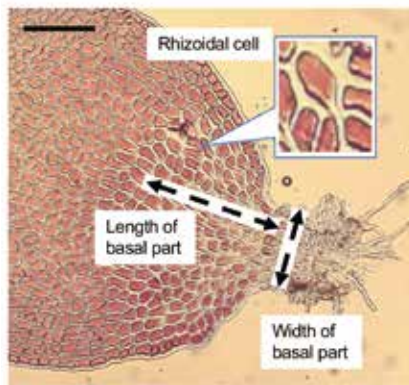


Fig. 1 Photographs showing rhizoidal cell, length of basal part and width of basal part. Bar indicates 100 μm .

材料と方法

材料は, 2017年10月21日に有明海で野外採苗され, 11月9日から山口県宇部市藤曲浦で育苗を開始し, 11月28日に葉長約2~3 cmに生長した葉状体が付着する海苔網約10 cmを3本採取した。この試料は, 乾燥後 -25°C で冷凍保存し, 実験を行う前に適宜解凍した。解凍後の海苔網は, 1

~2週間培養を行った後, 冷凍戻りによる葉状体の傷害がない網を活着力測定に使用した。培養には1/2SWM-III改変培地^{13, 14)}を用い, 温度 18°C , 光量 $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 明暗周期10 L:14 Dの条件で通気培養した。

●活着力測定

活着力は, 森田¹⁵⁾および阿部ら¹⁶⁾が作製した陸上植物の種子あるいはアマモ種子の固着力測定器を参考に, ノリ葉状体を測定できるように改良した装置を用いた(Fig. 2-a)。測定には, デジタルフォースゲージ(DS2-2N, イマダ社製)を用いた。海苔網の固定については, コイル状のステンレス製の針金(Fig. 2-b-1)と錘とするナット(Fig. 2-b-2)を用い, 測定する葉状体を真上に引き抜けるようにした(Fig. 2-c)。また, 葉状体を挟むクリップ(Fig. 2-b-3)についても, スポンジを緩衝材とし, クリップの挟む力で葉状体が切れないようにした。測定方法は, 海水を張った水槽に海苔網を固定した錘を入れ, ステンレス製の針金(Fig. 2-b-4)を用いて, 葉状体を1個体ずつクリップに挟み込んだ(Fig. 2-d)。その後, ジャッキをゆっくりと下げることで海苔網から葉状体を引き抜いた。活着力は, この海苔網から葉状体を引き抜くまでにかかった最大の力(N)とした。ジャッキのハンドルは, 3秒程度で1/4回転するように回し, 可能な限り一定速度で天板が降下するようにした。

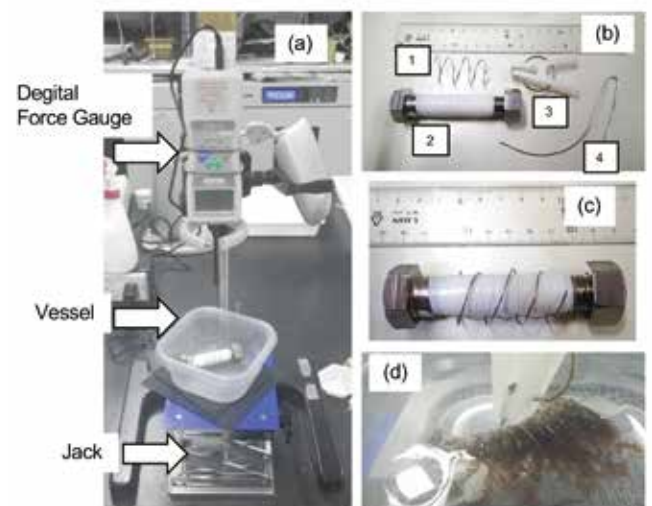


Fig. 2 Photographs showing the equipment used for adherence strength measurement. (a) shows a whole view of the equipment, (b) and (c) show the parts of improved clip in the present study, and (d) shows the clip with catching a blade of nori.

●葉状体基部の測定

活着力測定後の葉状体を用いて、葉状体基部の基部長 (length of basal part) および基部幅 (width of basal part) を測定した。基部長は、伏屋⁹⁾に従い、根様系細胞に分化した最上端から最下端までの長さとした (Fig. 1)。基部幅は、葉状体基部にできるくびれの幅とした (Fig. 1)。葉状体基部の撮影には、生物顕微鏡 (BX51, OLYMPUS) と顕微鏡USBデジタルカメラ (HDCE-X3, アズワン) を用い、基部から根様系細胞上端までを分割撮影した。画像処理ソフト (Adobe Photoshop) で画像を合成し、画像解析ソフト (ImageJ) を用いて、基部長と基部幅を求めた。また、活着力に関与する葉状体の基部以外の部位を検討するため、前述の基部長および基部幅の他に葉長 (blade length) および葉幅 (blade width) を測定した。測定は葉状体を錯葉標本にした後、ディバイダと定規を用い、葉長は葉状体の基部から葉先までの長さ、葉幅は最も幅の大きい部分の長さを測定した。

●統計処理

活着力と基部長、基部幅、葉長および葉幅とのそれぞれの関係について、データ解析ソフト (カイエンス KyPlot5.0) を用いてSpearmanの順位相関検定および重回帰分析を行った。

結 果

本研究では、海苔網から葉状体を引き抜いた際に、1個体で、かつ基部が付いていた49個体について解析を行った。

Fig. 3-aには、活着力と基部長との関係を示す。活着力は、1個体あたり0.030 ~ 0.204 Nの範囲であった。また、基部長は、649.46 ~ 2627.50 μm の範囲であった。活着力が高いほど、基部長は長くなる傾向にあった。しかし、活着力と基部長との関係の決定係数は $R^2 = 0.085$ と低く、有意な相関も認められなかった ($p = 0.282$, $p = 0.05005$)。

Fig. 3-bには、活着力と基部幅との関係を示す。基部幅は、70.21 ~ 243.12 μm の範囲であった。活着力と基部幅との関係に

は、有意な相関が認められ ($p = 0.442$, $p = 0.001606$)、基部幅が広いほど活着力は高くなった。また、決定係数は $R^2 = 0.343$ と本研究の中で最も高かった。

Fig. 3-cには、活着力と葉長との関係を示す。葉長は、0.8 ~ 6.6 cm (2.54 ± 1.22 cm, 平均値 \pm 標準偏差) の範囲であった。活着力が高いほど葉長が長くなる傾向は示したものの、決定係数は $R^2 = 0.016$ と本研究の中で最も低く、有意な相関は認められなかった ($p = 0.129$, $p = 0.3789$)。

Fig. 3-dには、活着力と葉幅との関係を示す。葉幅の範囲は、0.08 ~ 0.60 cm (0.27 ± 0.14 cm) であった。活着力と葉幅の関係には、有意な相関が認められ ($p = 0.298$, $p = 0.03253$)、葉幅が広いほど活着力も大きくなった。また、活着力と葉幅との関係の決定係数は $R^2 = 0.123$ と基部幅に次いで高かった。

Table 1には、重回帰分析を行うにあたり説明変数を選択するために、葉長、葉幅、基部幅および基部長の測定項

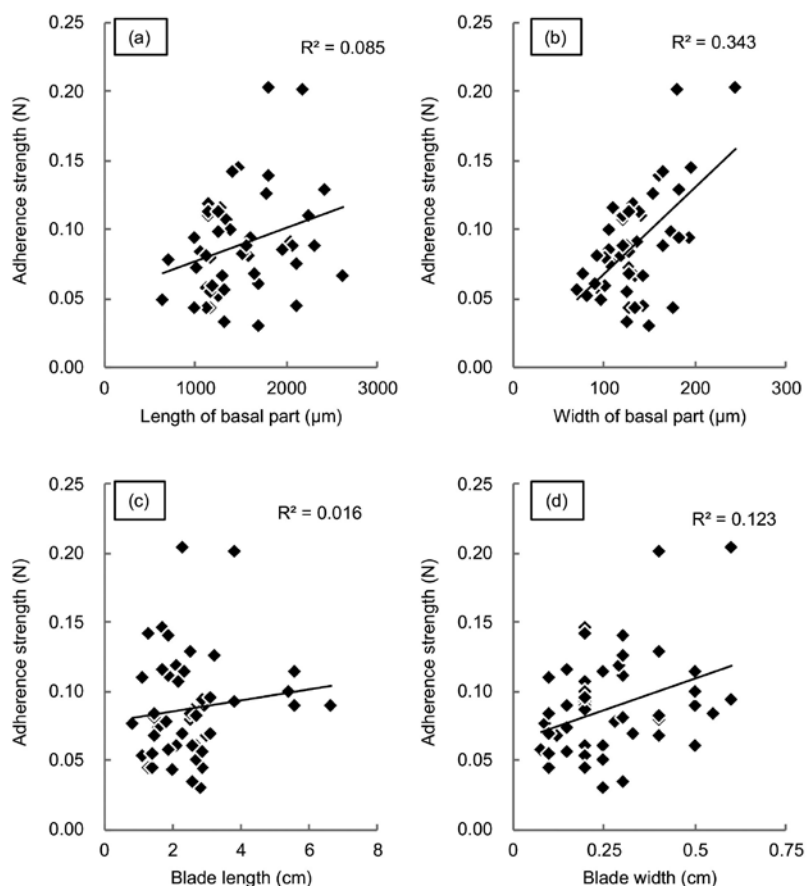


Fig. 3 Relationships between adherence strength and blade parts. (a) shows adherence strength vs length of basal part, (b) shows adherence strength vs width of basal part, (c) shows adherence strength vs blade length, and (d) shows adherence strength vs blade width. $N = 49$.

Table 1 Pearson correlation coefficient between measuring factors of *Neopyropia yezoensis* blade

Measuring factors	blade length	blade width	width of basal part
blade width	0.431*		
width of basal part	0.134	0.371*	
length of basal part	0.160	-0.010	0.268

*: $p < 0.01$

Table 2 Results of multiple regression analysis for adherence strength

Variables	Coefficient	SE	p -value	VIF	Adjusted R^2
blade length	0.000912	0.003772	0.810000	1.04	
width of basal part	0.000583	0.000133	0.000069	1.09	0.321
length of basal part	0.000012	0.000010	0.266400	1.10	

目間におけるPearsonの相関係数を示す。測定項目間では、葉幅が葉長および基部幅と有意な相関が認められた ($p < 0.01$)。このため、説明変数から葉幅を除外した。Table 2には、目的変数を活着力、説明変数を葉長、基部幅および基部長とした重回帰分析の結果を示す。自由度調整済み決定係数 (Adjusted R^2) の値が0.321とやや低くなったが、活着力に対して基部幅のみが説明変数として有意となった ($p < 0.05$)。

考 察

本研究では、活着力と葉状体基部との関係を明らかにするために、活着力と基部長、基部幅、葉長および葉幅との関係を精査した。本研究で用いた活着力測定装置では、試行回数が112回に対して葉状体49個体を解析することができた。葉状体を引き抜く際に、基部付近が切断されたり、複数個体が引き抜かれたりする場合もあったため、装置として改善していく必要はある。

本研究で解析に使用した葉状体は、葉長0.8 ~ 6.6 cm (2.54 ± 1.22 cm) であり、伏屋⁹⁾の葉長20~37 mmや三根¹²⁾の平均葉長約1.5~2.5 cmと同程度であった。基部長は、649.46~2627.50 μm (1490.77 ± 450.64 μm) の範囲にあり、伏屋⁹⁾の0.32~0.38 mmや三根¹²⁾の0.18~0.34 mmに比べて長かった。基部幅については、70.21~243.12 μm (131.75 ± 35.05 μm) の範囲で、三根¹²⁾の0.05~0.10 mmよりも広がった。活着力は、葉状体の基部外形がV形のように鋭角であるほど弱くなり、U形、W形のように鈍角になるほど強くなると報告されている¹⁷⁾。本研究で測定した葉状体の基部外形は、ほとんどがV形であり、U形と判断できたのは2個体、W形は認められなかった。以上のことから、本

研究で使用した葉状体は、葉長はこれまでの報告と同程度であったが、基部長や基部幅は高い値を示した。また、葉状体の基部外形からは、活着力は弱い可能性がある、と推定された。

活着力については、基部長、基部幅、葉長および葉幅の全ての部位において値が大きくなるほど強くなる傾向を示した。基部幅と葉幅においては、活着力と有意な相関が認められ、測定した部位の中では、基部幅が最も活着力に影響を与えていた。葉長においても、活着力は葉長が長いほど強くなる傾向を示したが、他の3つの部位に比べ明瞭に捉えることはできなかった。スサビノリは生長の過程で、葉状体先端付近から単胞子を放出することや波浪などの物理的要因により葉状体が切れたりするため、葉長そのものが変化することが原因と考えられる。したがって、網への活着は、基部長や葉長よりも基部幅や葉幅の方が影響し、活着力の強弱の推定には基部幅が適していることが明らかとなった。

本研究における基部長および基部幅については、これまでの報告^{9, 12)}に比べてそれぞれ2~6倍程度および1.5~2倍程度高い値を示した。育苗日数が長くなったり、育苗後期の水温が低い場合などは、基部長が発達する^{7, 17)}ことが報告されている。本研究で使用した葉状体の育苗期間は20日間であったが、測定までに1~2週間の室内培養を行っている。このことから、基部長や基部幅の値の違いは、育苗期間や海域の水温降下に加え、室内培養が影響したと考えられる。今後は、海域の違いや異なる水温下で生長した葉状体、育苗期間などを考慮して、活着力と基部幅、あるいは活着力と基部長との関係性などを明らかにしていく必要がある。

基部外形については、養殖網のノリはほとんどがV形を

示すことが報告されている¹⁷⁾。また、葉状体の付着密度が濃いほどV形になることも報告されている⁹⁾。伏屋ら⁷⁾は愛知県海域で、三根¹²⁾は有明海において育苗しているが、基部外形として、V形の活着力はU形やW形よりも弱いということは、海域が異なっても一致している^{9, 12, 17)}。今後は基部外形が異なる葉状体においても、活着力と基部幅、あるいは活着力と基部長との関係性などの知見も蓄積していく必要がある。

以上のことから、本研究において活着力測定装置を用いることにより、ノリ葉状体の活着力を数値化することができた。また、本研究および既往文献^{9, 12, 17)}から、育苗期の海域の環境条件によっては基部外形が多様化する可能性はあるものの、基部幅が最も活着力と相関が強く、活着力を評価する指標として最も望ましいと考えられた。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、養殖スサビノリの採集にご協力いただいた山口県漁業協同組合藤曲浦支店および山口県水産研究センター内海研究部の皆様に感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 農林水産省：海面漁業生産統計調査 http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/ (2019)
- 2) 三根崇幸：1.日本におけるノリ養殖の現状と課題. 三上浩司(編), アマノリ生物学の最前線. Globe Edit, Germany, 7-23 (2019)
- 3) 島田裕至：高温耐性, アマノリ養殖品種の特性. 藤吉栄次, 玉城泉也, 小林正裕, 有瀧真人(編), 独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所, 長崎, 51-56 (2014)
- 4) 横尾一成, 川村嘉応：採苗開始時の環境がノリ養殖の生産性に及ぼす影響. 佐賀県有明水産振興センター研究報告, 27, 61-69 (2014)
- 5) 島田裕至：高水温に負けるな！江戸前ノリの新品種「ちばの輝き」. 農林水産技術ジャーナル, 35, 38-39(2012)
- 6) 坂口研一：三重県の高水温耐性黒ノリの新品種「みえのあかり」. 農林水産技術ジャーナル, 34, 42-43(2011)
- 7) 伏屋 満, 石元伸一, 石田俊朗：ノリ病害防除技術の開発(育苗期の芽落ち現象について). 平成3年度愛知県水産試験場業務報告, 65-68 (1992)
- 8) 伏屋 満：ノリ芽流失の原因となった養殖ノリ仮根部の枯死. 愛知県水産試験場研究報告, 16, 31-32(2011)
- 9) 伏屋 満：養殖ノリの葉体基部の発達に及ぼす付着密度の影響. 愛知県水産試験場研究報告, 1, 59-62(1993)
- 10) 川村嘉応：新・海苔ブック技術編2. 海苔産業情報センター, 福岡, 160pp (2017)
- 11) 有馬郷司, 吉川浩二：ノリ葉体の強度実験. 平成2年度南西海ブロック水産関係試験研究推進会議藻類研究会誌, 10, 61-68 (1990)
- 12) 三根崇幸：有明海佐賀県海域における活着力(ヒキ)が弱いノリ葉体の基部形態. 海苔と海藻, 87, 1-4(2019)
- 13) 尾形栄二：新しい海藻培養液SWM-IIIについて. 藻類, 18, 171-173 (1970)
- 14) 藤吉栄次, 小林正裕, 玉城泉也：3-1. 培養条件について. アマノリ養殖品種の特性. 藤吉栄次, 玉城泉也, 小林正裕, 有瀧真人(編), 独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所, 長崎, 24-28 (2014)
- 15) 森田 脩：不耕起草地造成におけるイネ科牧草の発芽・定着に関する研究. 三重大学生物資源学部紀要, 4, 1-72 (1990)
- 16) 阿部真比古, 井上孝宏, 森田晃央, 倉島 彰・前川行幸：アマモ実生の胚軸毛の発達と固着力の関係. 水産増殖, 57, 285-290 (2009)
- 17) 愛知県水産試験場：ノリ養殖テキスト. 愛知県海苔協議会, 愛知, 80 pp (2001)