

阿蘇海で養殖されたホンダワラ科褐藻アカモクの生長と生残

西垣友和, 山本圭吾, 遠藤 光, 竹野功璽

京都府農林水産技術センター海洋センター

2010年3月

阿蘇海で養殖されたホンダワラ科褐藻アカモクの生長と生残

西垣友和, 山本圭吾, 遠藤 光, 竹野功璽

Growth and survivorship of *Sargassum horneri* (Sargassaceae, Phaeophyta) cultivated in Aso Bay, Sea of Japan.

Tomokazu Nishigaki, Keigo Yamamoto, Hikaru Endo and Koji Takeno

Growth and survivorship of the edible brown alga *Sargassum horneri* cultivated at depths of 0.5 to 3.0 m in the closed inner Aso Bay, Sea of Japan were investigated from October 2008 to February 2009. The total lengths of thalli increased rapidly after November and reached a maximum in January. Despite the relative photon flux markedly decreasing at a greater depth, the length of thalli was greater in the deeper zone. The survivorship of *S. horneri* was high at all depths until January. When salinity decreased conspicuously from January to February, the total lengths and survivorship of *S. horneri* decreased, and almost all leaves and vesicles of thalli shed at all depths. These results suggested that *S. horneri* in Aso Bay could grow rapidly and survive well in autumn, but plants showed deterioration due to the low salinity in winter.

キーワード：アカモク, 閉鎖性内湾, 養殖, 塩分

阿蘇海は日本三景のひとつである天橋立によって宮津湾と隔たれ、浅く狭い2本の水路で結ばれた閉鎖性の強い内湾である。野田川などの河川を通じて流入する栄養塩によって富栄養化が進行し、底層において無酸素層が形成されるなど水質の悪化が問題となっている。近年、栄養塩負荷の大きい魚類の網生け養殖が行われている海域において、海藻類の水質浄化機能に着目し、海藻類を養殖して水質を浄化する方法が検討されている (Hirata *et al.*, 1993; Troell *et al.*, 1999)。阿蘇海においても海藻養殖は栄養塩を回収し、富栄養化を抑制する有効な手法であると考えられる。

褐藻ヒバマタ目ホンダワラ科のアカモク *Sargassum horneri* は一年生の海藻であり、北海道（東部を除く）、本州、四国、九州に分布し、漸深帯に生育する (吉田, 1998)。現存量や生産量が大きく (Yamauchi, 1984; 谷口, 山田, 1988)、食用になり (池原, 1987)、人為的に系外へ取り去ることができることから、富栄養化の抑制への利用が検討されている (佐々木ら, 2002)。これまで各地でアカモクの人工種苗を用いた藻場造成あるいは養殖試験が実施されている (吉田, 西川, 1975; Yamauchi, 1984; 秋田県, 新潟県, 2005) が、阿蘇海のように環境要因の季節変動が大きい閉鎖性内湾で養殖された事例は見られない。そこで本研究では、阿蘇海におけるアカモクの生長および生残特性を把握するために、人工種苗を沖出しして養殖試験を行った。

材料と方法

2008年4月24日に宮津市田井地先で生殖器床を付け

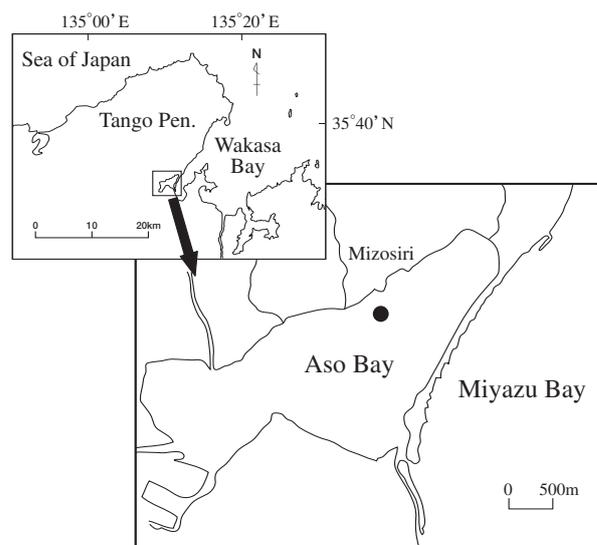


Fig. 1 Map indicating the *Sargassum horneri* cultivation site (●) off Mizosiri in Aso Bay, Sea of Japan.

たアカモクを採集し、屋外水槽棟に設置した水槽 (55×85×18 cm) に収容して幼胚を自然落下させた。5月2日に水槽の底に貯まった幼胚を回収し、200 L角形水槽 (80×55.5×48 cm) に設置されたコンクリート製建材ブロック上に基質 (ABS樹脂製, 10×15×10 mm) 200個を隙間無く並べて、駒込ピペットを用いて上方から幼胚を散布した。その後、毎時1回転程度の換水率でろ過海水を200 L角形水槽に注水し、6月12日まで静置培養を行った。それ以降は幼体の着生した基質を100 Lアルテミア孵化水槽に収容して攪拌培養を行った。

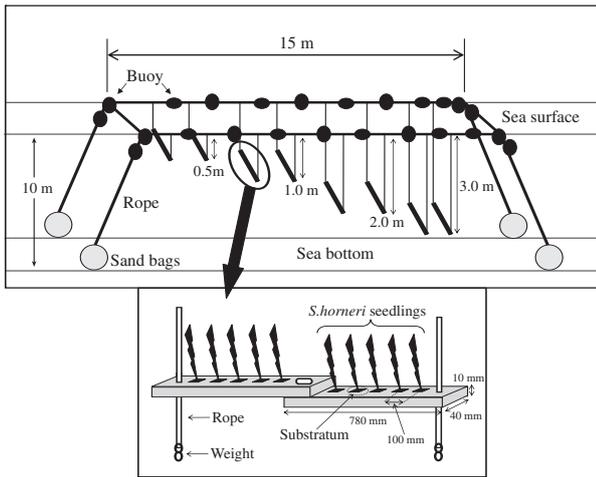


Fig. 2 Diagram showing the long-line culture method for *Sargassum horneri*. The bars on which the seedlings were fixed were hung at depths of 0.5-3.0 m from long-lines.

阿蘇海内の宮津市溝尻地先 (Fig. 1) の水深約10 mの海域に設置された養殖施設 (Fig. 2) でアカモクの養殖試験を行った。2008年10月16日に気胞を形成済みの種苗が着生した基質を選び、結束バンドを用いて固定具 (FRP製, 780×40×10 mm) に固定した。固定具1本当たりに基質を5個ずつ約100 mm間隔で固定した後に、固定具2本を連結し、水深0.5 m, 1.0 m, 2.0 m, 3.0 mにそれぞれ4本を垂下した (Fig. 2)。なお、沖出しされたアカモクの全長 (平均値±標準偏差) は 19.4 ± 3.6 cmであった。2008年11月13日, 12月15日, 2009年1月14日, 2月20日にアカモクの全長測定および生残数の計数を行い、葉状部や気胞の脱落や生殖器床の有無を観察した。基質に複数の個体が着生している場合には、基質上の最長個体の全長を測定した。アカモクの相対生長率 μ を $\mu = (\ln L_{i+t} - \ln L_i) / t$ の式から算出した。この式で、 t は調査間隔日数、 L_i はある調査日の全長、 L_{i+t} はその次の調査日の全長を表す。生残

数の計数では、基質ごとにアカモクの個体数を計数することが困難であったので、アカモクが1個体以上着生した基質の数を生残数とした。固定具ごとに生残率を算出し、平均値を求めた。

各測定日には養殖施設の近傍でクロロテック (ACL-215DK, アレック電子) を用いて海面から水深3 mまで水深0.1 mごとに水温, 塩分を測定した。さらに、光量子センサー (LA-192SAおよびLA-190SA, LI-COR) をデータロガー (LI-1400, LI-COR) に接続し、養殖施設から30 m程度離れた筏において筏上と水面直下, 水深0.5, 1.0, 2.0, 3.0 mの各水深において光量子量の瞬間値を同時に10回測定して、相対光量子量 (筏上の光量子量に対する水中の光量子量の割合) の平均値を求めた。

結 果

養殖期間中の水温, 塩分および相対光量子量の鉛直分布をFig. 3に示した。水温は2008年10月には21.4~22.6℃であり, 2009年1月にかけて徐々に低下したが, 2月の水温は1月と大きく変化せず, 1月から2月の水温の範囲は6.8~10.5℃であった。塩分は2008年10月から12月まで鉛直変化は小さく, その範囲は26.44~30.57であった。2009年1月から2月には水深2 m以浅の塩分はそれまでと比べて大きく低下し, 1月および2月の塩分は21.65~25.70および15.89~26.45であった。水深2~3mでは水深2m以浅ほど低下せず, 26.72~27.49 (1月) および27.32~29.16 (2月) であった。相対光量子量は水深が深くなるほど減少し, 水深0.5 mでは47.3~62.1% (平均54.6%), 水深3.0 mでは1.9~11.5% (平均6.5%) であった。

沖出しされたアカモクの全長および生残率の変化をFig. 4に示した。アカモクの全長は2008年11月までは緩やかに増加し, その後は急激に増加した。2009年1月には水深0.5 m, 1.0 m, 2.0 mおよび3.0 mでそれぞ

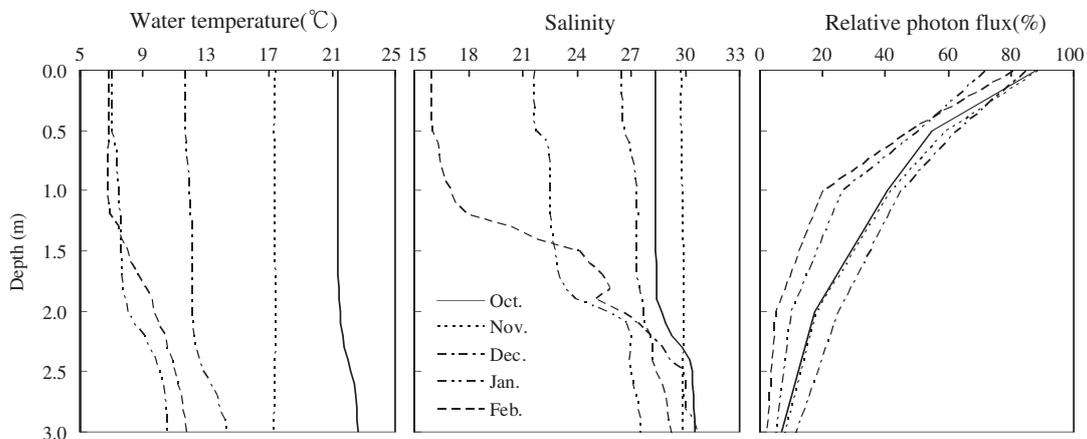


Fig. 3 Vertical distribution of the water temperature, salinity, and relative photon flux at the cultivation site of *Sargassum horneri* seedlings in Aso Bay from October 2008 to February 2009.

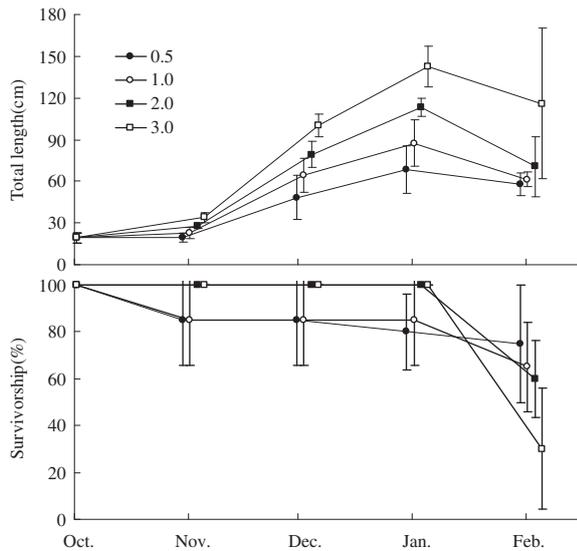


Fig. 4 Monthly changes in the total length and survivorship of *Sargassum horneri* seedlings cultivated at depths of 0.5-3.0 m in Aso Bay from October 2008 to February 2009. Bars indicate standard deviations.

れ 68.6 ± 17.3 , 87.2 ± 16.7 , 113.4 ± 6.5 および 142.6 ± 14.7 cmとなり、全ての水深で最大値を示し、水深が深いほど全長が長い傾向が見られた。その後全長は減少し、2009年2月には $57.8 \pm 8.1 \sim 116.1 \pm 54.4$ cmであった。アカモクの全長が急激に増加した2008年11月から2009年1月までの水深0.5 m, 1.0 m, 2.0 m, 3.0 mにおける相対生長率はそれぞれ0.013~0.029, 0.011~0.032, 0.013~0.032, 0.012~0.034であった。水深0.5 mおよび1.0 mの生残率は沖出し直後に85%まで低下したが、その後2009年1月までほとんど変化しなかった。水深2.0 mおよび3.0 mでは沖出しから2009年1月まで100%で推移した。その後、1月から2月に全ての水深において生残率の低下が見られ、2月の生残率は水深0.5~2.0 mで60~75%, 水深3.0 mでは30%であり、他の水深より著しく低かった。

藻体の観察では、12月までは藻体の色調、葉状部や気胞に異常は認められなかった。2009年1月には葉状部が赤味を帯び、手で触れると脱落する現象が見られ、そのような現象は水深0.5 mおよび1.0 mの藻体で顕著であった。2月にはいずれの水深においても全ての藻体で葉状部および気胞の大部分が脱落しており、生残数の計数では生残と判定したが、枯死に近い状態であった (Fig. 5)。その時点で生育状態の改善が見込めないと判断し、調査を終了した。生殖器床は調査期間を通して確認されなかった。

考 察

阿蘇海で養殖されたアカモクは11月から翌年1月にかけて急激に伸長し、最も生長の良かった水深3.0 mではその間の相対生長率は0.012~0.034であった (Fig. 4)。養殖アカモクの相対生長率は、大阪湾 (水



Fig. 5 *Sargassum horneri* cultivated at a depth of 0.5 m on January 14, 2009 (upper) and February 20, 2009 (lower). Almost all leaves and vesicles of thalli were shed from January 14 to February 20.

深2 m) では $-0.008 \sim 0.033$ (Yamauchi, 1984)、播磨灘 (水深1 mおよび2.5 m) では $0.002 \sim 0.005$ および $0.005 \sim 0.014$ (山内, 1983) と報告されている。阿蘇海の水深3.0 mの相対生長率は大阪湾での値と同等であり、播磨灘の値より高かったことから、阿蘇海においてアカモクの生長は良好であったと考えられた。

播磨灘では12月に水深1 mおよび2.5 mに移植されたアカモクの全長および湿重量は、翌年4月には後者は前者の約2倍であったと報告されている (山内, 1983)。本研究では2009年1月までの生長は水深が深いほど良好であり (Fig. 4)、最も生長の良かった水深3.0 mの相対光量子量は1.9~11.5% (平均6.5%) であった (Fig. 3)。このことからアカモクは深所において生長が良いという特性を持ち、相対光量子量が10%程度あれば生長は保障されると考えられた。

阿蘇海と同じ若狭湾に位置する小浜湾では、8月から10月にアカモクの幼体が萌出して、11月から翌年4月に茎が伸長し、4月から5月に生殖器床を形成して成熟すること (Umezaki, 1984)、成熟期には葉状部や気胞の脱落および茎の切断が起こること (吉田, 2005) が報告されている。本研究では、1月から2月にかけて

全長の減少および生残率の低下が起こり (Fig. 4), 葉状部や気胞の多くが脱落したが (Fig. 5), 生殖器床は確認されなかった。このことから, 生育状態の悪化は成熟によるものではなく, 環境要因が生育に不適となったことによると考えられた。そこでアカモクの生育状態を悪化させた環境要因について考察する。

アカモクは最低水温が3℃程度になる北海道忍路湾にも生育しており (丸伊, 1981), 小浜湾におけるアカモクの生長期の水温は9℃程度である (Umezaki, 1984)。本研究の最低水温は2月における6.8℃であり (Fig. 1), 忍路湾の最低水温より高く, 小浜湾での生長期の水温と大きな差がないことから, 水温環境はアカモクの生育に不適ではなかったと考えられる。

海藻類のうち, 潮間帯に生育するヒジキ *Sargassum fusiforme* (吉田, 1998) では塩分耐性の限界値が8~16の間にあり (百瀬ら, 2006), 塩分の変化が甚だしい潮間帯に生育する種は漸深帯に生育する種と比べて広塩性を示す (殖田ら, 1963)。漸深帯に生育するアカモクの塩分耐性の限界値は, 潮間帯に生育するヒジキより高いと推察される。アカモクの生育状態が著しく悪化した1月から2月には水深2 m以浅の塩分はそれ以前より大きく低下し, 27より低かった (Fig. 3)。一方, 水深2~3 mの塩分は1月以降もそれ以浅ほど大きく低下せず, 比較的高い値 (26.72~29.16) を示したが, 水深3.0 mの藻体でも他の水深と同様に葉状部や気胞の脱落が認められた。1月には水深3.0 mの藻体の平均全長は140 cmを超えており (Fig. 4), 水深2 m以浅の低塩分の影響を受けたと推察された。以上のことから, 塩分が低下して, 耐性の限界値を超えたことによりアカモクの生育状態が悪化したと考えられ, 本種の塩分耐性の限界値は概ね27より低い濃度にあると推察された。

アカモクの生残率は, 沖出し直後の11月に水深0.5 mおよび1.0 mで低下が認められたが, それ以降は全ての水深において2009年1月まで高い値で推移した (Fig. 4)。水深0.5 mおよび1.0 mでは, 調査開始から11月まで生残に影響を与えるような環境要因の変化が認められなかったことから (Fig. 3), 基質への付着力が弱かった個体が沖出し直後に波浪の影響により脱落したと考えられた。なお, 1月に深所ほど生残率が大きく低下した原因は本研究では明らかにできなかった。

本研究によって阿蘇海ではアカモクは秋季には良好な生長および生残を示し, 水深が深いほど全長が長くなるが, 冬季には耐性限界を超える低塩分になるために生育状態が悪化することが示された。2001~2005年の1月に阿蘇海の中央部の水深2 mで測定された塩分は12.0~24.3% (平均20.0%) である (京都府, 2002a,b,2004,2005,2006)。したがって, 例年阿蘇海ではアカモクの生長期である冬季に著しい塩分の低下が

起こることからアカモク養殖は困難であると考えられた。今後, 海藻類を用いて阿蘇海の富栄養化を抑制するには, 低塩分耐性の強いホンダワラ科海藻を対象とした養殖技術を開発する必要がある。

文 献

- 秋田県, 新潟県. 2005. アカモク. ホンダワラ類等有用海藻類の増養殖技術開発に関する研究総括報告書. 14-28.
- Hirata H., Kohirata E., Guo F., Xu B.T., Danakusumah E. 1993. Culture of the sterile *Ulva* sp. (Chlorophyceae) in a mariculture farm. *SUISAN-ZOUSHOKU*, **41**: 541-545.
- 池原宏二. 1987. 日本海における食用としてのホンダワラとアカモク. *藻類*, **35**: 233-235.
- 京都府. 2002a, 2002b, 2004, 2005, 2006. 平成12, 13, 14, 15, 16年度公共用水域及び地下水の水質測定結果. 京都府企画環境部環境管理課, 京都.
- 丸伊 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生長と成熟について. *藻類*, **29**: 277-281.
- 百瀬陽介, 伊藤絹子, 吾妻行雄, 谷口和也. 2006. 褐藻ヒジキの光強度, 水温, 塩分濃度に対する光合成特性~付着珪藻の着生との関係~. *水産増殖*, **54**: 383-390.
- 佐々木久雄, 田中千景, 一宮睦雄, 西村 修, 谷口和也. 2002. 大型褐藻による富栄養化の抑制. 「水産業における水圏環境保全と修復機能」. 119-131. 恒星社厚生閣, 東京.
- 谷口和也, 山田秀秋. 1988. 松島湾におけるアカモク群落の周年変化と生産力. *東北水研研報*, **50**: 59-65.
- Troell M., Rönnbäck P., Halling C., Kautsky N., Buschmann A. 1999. Ecological engineering in aquaculture: use of seaweeds for removing nutrients from intensive mariculture. *J. Appl. Phycol.*, **11**: 89-97.
- 殖田三郎, 岩本康三, 三浦昭雄. 1963. 塩分. 「水産植物学」. 79-85. 恒星社厚生閣, 東京.
- Umezaki I. 1984. Ecological studies of *Sargassum horneri* (Turner) C. Agardh in Obama Bay, Japan Sea. *Bul. Jap. Soc. Sc. Fish.*, **50**: 1193-1200.
- 山内幸児. 1983. 人工藻場造成に関する研究 I アカモク, カジメの藻体移植について. *兵庫水試研報*, **21**: 61-70.
- Yamauchi K. 1984. The formation of *Sargassum* beds on artificial substrata by transplanting seedlings of *S. horneri* (Turner) C. Agardh and *S. muticum* (Yendo) Fensholt. *Bul. Jap. Soc. Sc. Fish.*, **50**: 1115-1123.

- 吉田吾郎. 2005. 広島湾における褐藻アカモクのフェ
ノロジーとその個体群間分化に関する研究. 水
研センター研報, **15**: 27-126.
- 吉田範秋, 西川 博. 1975. ホンダワラ類の生長. 長
崎水試研報, **1**: 13-18.
- 吉田忠生. 1998. 「新日本海藻誌」. 内田老鶴圃, 東京.