

徳島県吉野川と日和佐川に生育するスジアオノリの生態

團 昭紀 *

Ecology of the green alga *Enteromorpha prolifera* growing in Yoshino and Hiwasa River, Tokushima Prefecture

Akinori DAN *

The distribution and growing period of *Enteromorpha prolifera* in two rivers (Yoshino River and Hiwasa River) which have different river scales (large river 193 km and small river 20 km in length, respectively) in Shikoku Island were investigated from April, 2000 to May, 2002. The biomass of *E. prolifera* increased from winter to spring and decreased or disappeared in summer. Based on the survey results, the growing period was separated into two periods (winter and spring) depending on the survey station and year. These results indicated that the separation of growing period and the length of growing period were influenced by the salinity environment in the river. As the salinity in the river increases in years with a low amount of rainfall, the growing period continues from winter to spring and occasionally tends to extend until the summer. The growing period in the Yoshino River which has a large river scale tends to continue from winter to spring because of the stable salinity environment. The growing period in the Hiwasa River which has a small river scale, however, clearly separated into two periods.

Keywords: *Enteromorpha prolifera* スジアオノリ ; Environmental factor 環境要因 ; Distribution 分布 ; Growing period 繁茂期間 ; Salinity environment 塩分環境

スジアオノリ *Enteromorpha prolifera* (Muller) J. Agardh は、日本各地、朝鮮半島、太平洋、インド洋、大西洋、オーストラリアなど世界中の海に分布する普遍種である(吉田 1998)。河口およびそれに続く内湾など、淡水の影響を受ける静かな沿岸域に多産する(瀬川 1956)が、高知県四万十川では塩分が 0.3 ~ 33.1 psu の範囲に繁茂しており(大野, 高橋 1988)、広塩性の特徴を持つ。

スジアオノリの季節消長については、日本ではこれまで高知県四万十川(大野, 高橋 1988, 大野ら 1999)および高知県新莊川(Ohno and Miyanoue 1980)で調べられており、1~2月の冬期と5~6月の春期に繁茂期があると報告されている。スジアオノリが生育する河口域は、陸水や海洋と比べて塩分や水温などの環境要因の変動が大きい、河口域の環境は河川規模によっても大きく異なる。本研究では、徳島県にある大河川でスジアオノリの主な漁場である吉野川河口域、小河川ではあるがスジアオノリの生育が認められる日和佐川の2河川で、季節消長と生育場の環境との関係を調査した。

調査方法

大河川として徳島市で紀伊水道に流入する吉野川河口域を、小河川として徳島県海部郡日和佐町で太平洋へ流入する日和佐川河口域を選定し、吉野川では、Sta. 1(河口より 14 km 上流, 左岸), Sta. 2(13 km, 左岸), Sta. 3(7.7 km, 左岸),

Sta. 4(4.8 km, 左岸), 日和佐川では、Sta. 5(河口より 1.25 km 上流, 右岸), Sta. 6(1.04 km, 左岸), Sta. 7(0.75 km, 左岸)を調査地点に定めた(Fig. 1)。

調査は2000年3月から2002年5月まで、吉野川では1~2カ月に1回、日和佐川では毎月2回の大潮の干潮時におこなった。スジアオノリの被度は、最も多く繁茂している部分に50 cm 枠内を設定し、Penfound and Howard (1940)の被度階級に準じて判定した。藻体長については、

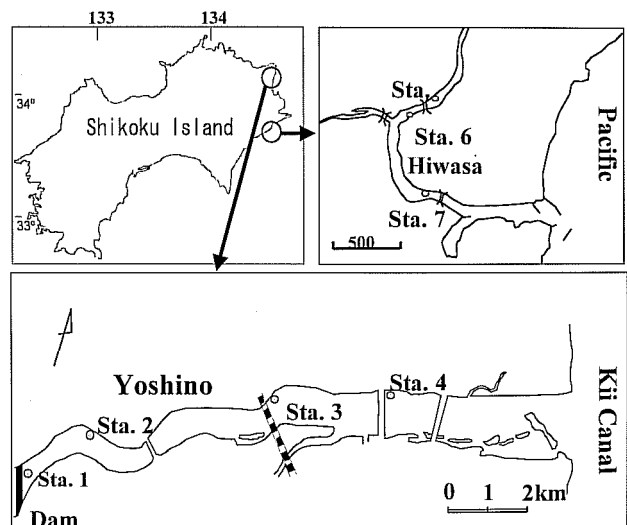


Fig. 1 Map showing survey stations in Tokushima Prefecture (station 1 - 4 in Yoshino River and station 5 - 7 in Hiwasa).

* 徳島県立農林水産総合技術センター水産研究所 鳴門分場 (Fisheries Research Institute Naruto Branch, Tokushima Agriculture, Forestry, and Fisheries Technology Center, Seto, Naruto, Tokushima 771-0361, Japan)

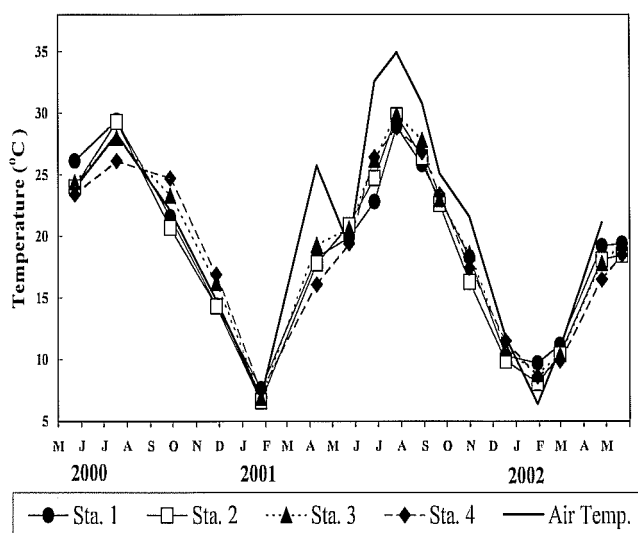


Fig. 2 Seasonal changes in water temperature at each survey station in Yoshino River from May 2000 to May 2002.

25×25 cm の枠内の藻体を採取し、上位 20 本の藻体長を測定して平均値と標準偏差を求めた。なお、吉野川の藻体長の測定は 2001 年 11 月から開始した。

日和佐川では、Sta. 5 において河川内に放出された遊走細胞の量を推定した。2000 年 7 月から 2001 年 8 月まで、付着基質として直径 2 mm のビニロン糸 (クレモナ 36 号糸) を毎月 1 回の大潮の期間に河床付近に設置した。付着基質は 4 日後に回収して PES 培地で 1 週間培養した後、1 cm 当たりのスジアオノリ発芽体を計数し、周辺の自生スジアオノリ藻体から河川水へ放出された遊走細胞の相対的な放出量とした。環境要因としては、毎月 2 回の調査時に気温と各地点の表層水の水温をデジタル温度計 (SK-250WP, 佐藤計量器製作所) で、塩分は表層水を採水後、研究室へ持ち帰りサリノメーター (T. S Digital Lab., 鶴見精機社) で測定した。

結果

水温塩分の変化 吉野川：Fig. 2 に各調査地点の表層水温と気温の推移を示した。水温については、各月とも地点間に 0.8 ~ 4.0 °C の差が認められた。1 月に年間で最低水温となり、4 月になると 15 °C を越えて、7 月に最高水温となった。1 月の水温は、2001 年が 6.6 ~ 7.6 °C (気温 6.9 °C)、2002 年が 8.6 ~ 9.7 °C (気温 6.4 °C) であり、7 月の水温は 2000 年が 26.1 ~ 29.4 °C (気温 28.3 °C)、2001 年が 28.8 ~ 29.9 °C (気温 34.9 °C) であり、2000 年度は 2001 年度に比べて最高水温が低かった。

塩分に関して、Fig. 3 に各地点の表層塩分の推移を、また、Fig. 4 に徳島市の月間降水量 (徳島地方気象台) の推移を示した。塩分は、各地点とも 1 ~ 3 月に高くなり、9 ~ 10 月に低くなる傾向を示し、塩分の低下は降水量の増加と一致した。上流に位置する定点 (Sta. 1, Sta. 2) では塩分の低下が顕著で、例えば Sta. 1 では 7 ~ 10 月にはほとんど淡水化 (0 ~ 1.5 psu) したが、下流側の Sta. 4 では塩分の低下は比較的小さかった (5 ~ 20 psu)。

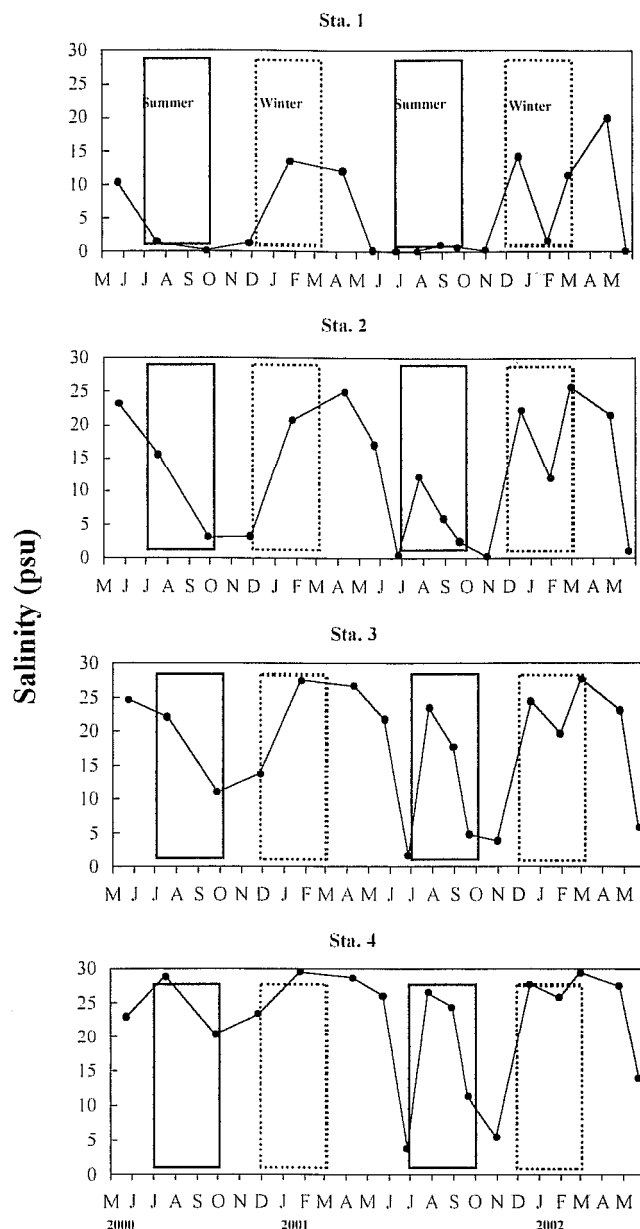


Fig. 3 Seasonal changes in salinity at each survey station in Yoshino River from May in 2000 to May in 2002.

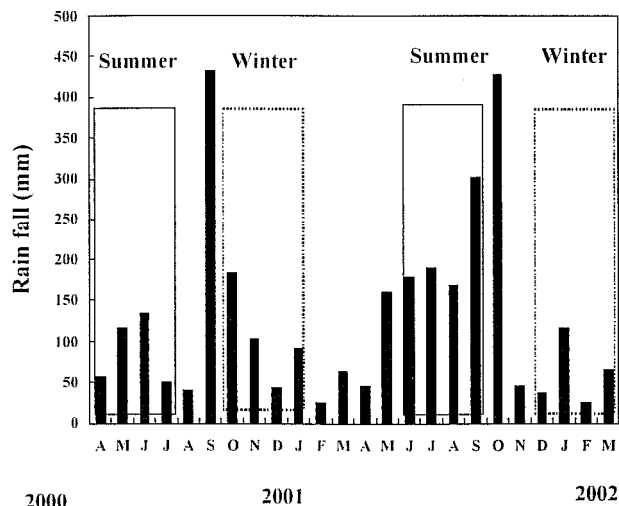


Fig. 4 Seasonal changes in rain fall in Tokushima City from April 2000 to March 2002.

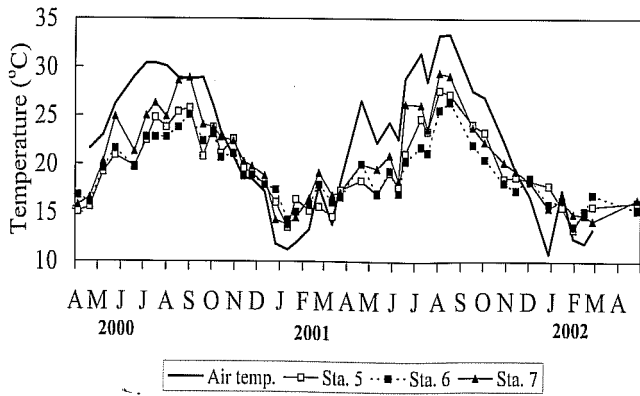


Fig. 5 Seasonal changes in water temperature at each survey station in Iiwasawa River from April 2000 to April 2002.

日和佐川：Fig. 5 に各調査地点の表層水温と気温の推移似た季節変動を示し、1月に年間で最低水温となり、8月に最高水温となった。1月の水温は、2001年が13.5～16.4℃（気温11.2～11.9℃）、2002年が13.3～16.3℃（気温12.4～17.3℃）であり、8月の水温は2000年が22.8～28.6℃（気温28.9～30.1℃）、2001年が25.6～29.4℃（気温33.3～33.4℃）であり、2000年度は2001年度にくらべて最高水温が低かった。

塩分に関して、Fig. 6 に、各地点の表層塩分の推移、Fig. 7 に日和佐町の月間降水量（徳島地方気象台）の推移を示した。塩分は、各定点とも12～3月に高くなった。2000年は7月から大きな変動を伴いながら冬期に向かって塩分が上昇したが、2001年の7～10月は最下流のSta. 7を除き、塩分0.1～5.6 psuの低い値で推移した。5～10月の降水量の合計は2001年で2239 mm、2000年で1502 mmであり、2000年は2001年に比べ小雨であった。上流にある定点Sta. 5とSta. 6は塩分の推移は似ていたが、下流側のSta. 7ではやや高めに推移を示した。

季節消長 吉野川：Fig. 8 に、各地点におけるスジアオノリの被度の推移を示した。どの地点でも、冬から春にかけてスジアオノリが多く出現した。Sta. 3, Sta. 4 では、2001

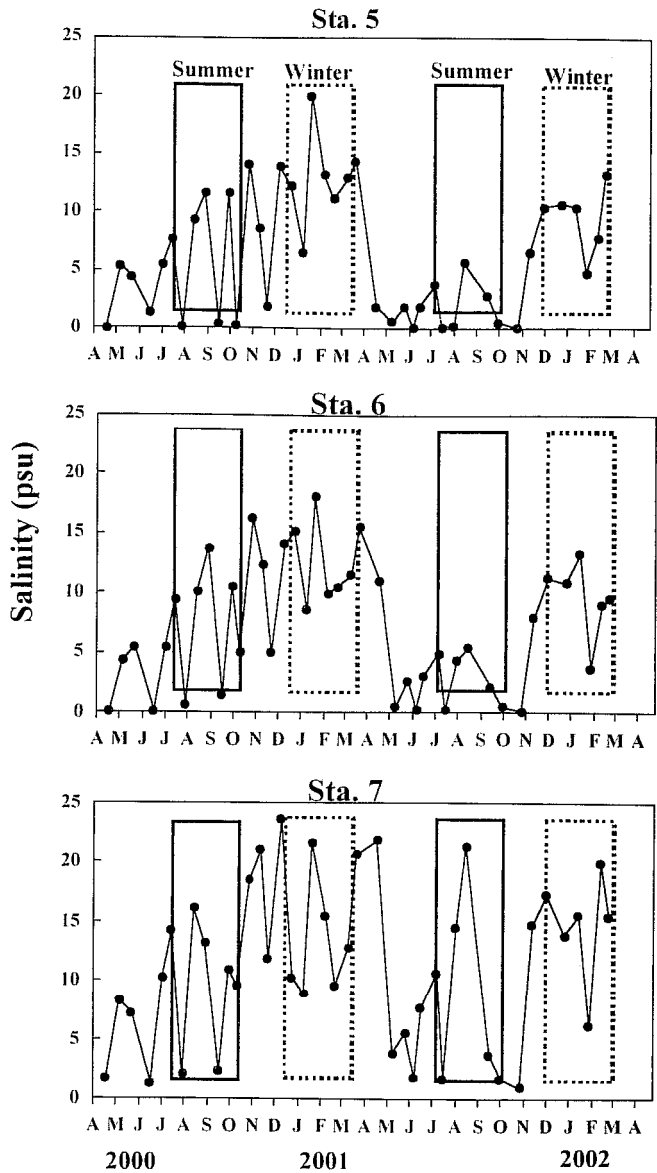


Fig. 6 Seasonal changes in salinity at each survey station in Iiwasawa River from April 2000 to April 2002.

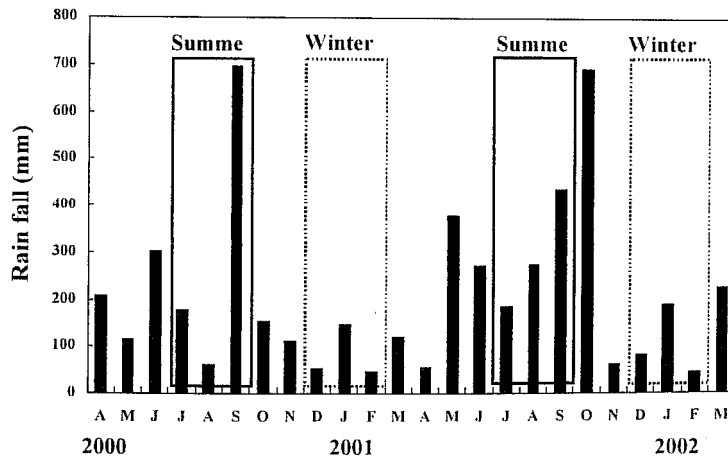


Fig. 7 Seasonal changes in rain fall in Hiwasawa Town from April 2000 to March 2002.

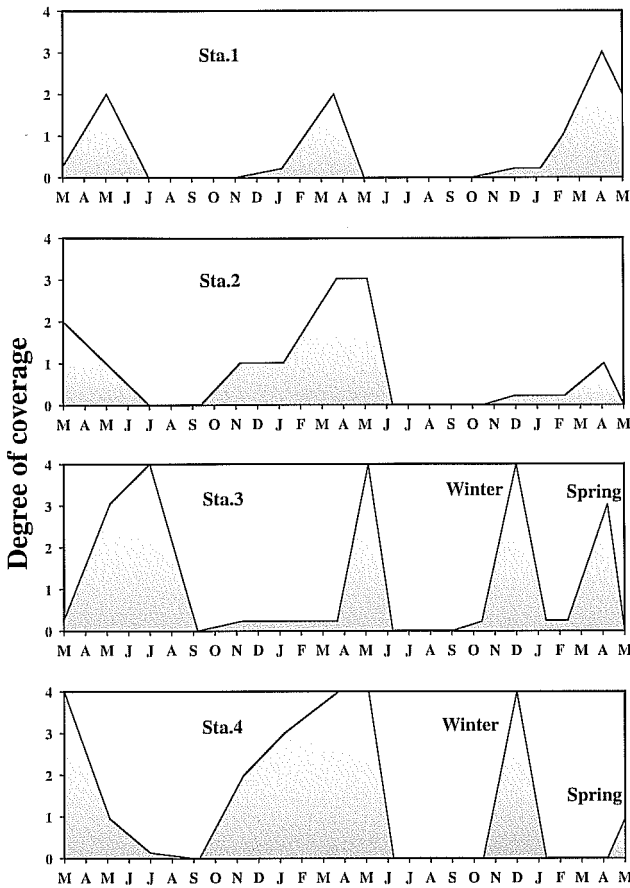


Fig. 8 Seasonal changes in the degree of coverage of *E. prolifera* in the 0.5 m square quadrat at each survey station in Yoshino River from March 2000 to May 2002.

年の10月から2002年の4月にかけて、冬ノリと春ノリの2つの山がみられた。8~9月は、2000年、2001年ともスジアオノリはまったく出現しないか、非常に低い被度であった。4地点の出現期間を比べると、Sta. 1で最も短く、Sta. 3で最も長かった。

Fig. 9に、各地点におけるスジアオノリの平均藻体長の推移を示した。2001年の春季は、4月にSta. 1で平均藻体長425 mmとなり、調査期間中の最大を示したが、5月にはアオノリは消滅した。しかし、他の地点では5月まで成長を続け、6月に消滅した。各地点とも、12月には再び藻体が成長し、平均藻体長80~115 mmの冬ノリがみられた。その後、群落は衰退し、微小な藻体となったが、2002年3~5月にSta. 4を除く3地点では、平均藻体長115~350 mmの春ノリがみられた。

このように、2001年12月から2002年4月にかけて、Sta. 1からSta. 3まで冬ノリと春ノリの2つの山がみられた。また、Sta. 1とSta. 2では、被度では2つの山に分離しなかったが、藻体長では冬ノリと春ノリの山が認められた。

日和佐川：Fig. 10に各調査地点におけるスジアオノリの被度を示した。どの地点でも冬から春にかけて(11~5月)被度が高くなっている。2000年11月~2001年5月と

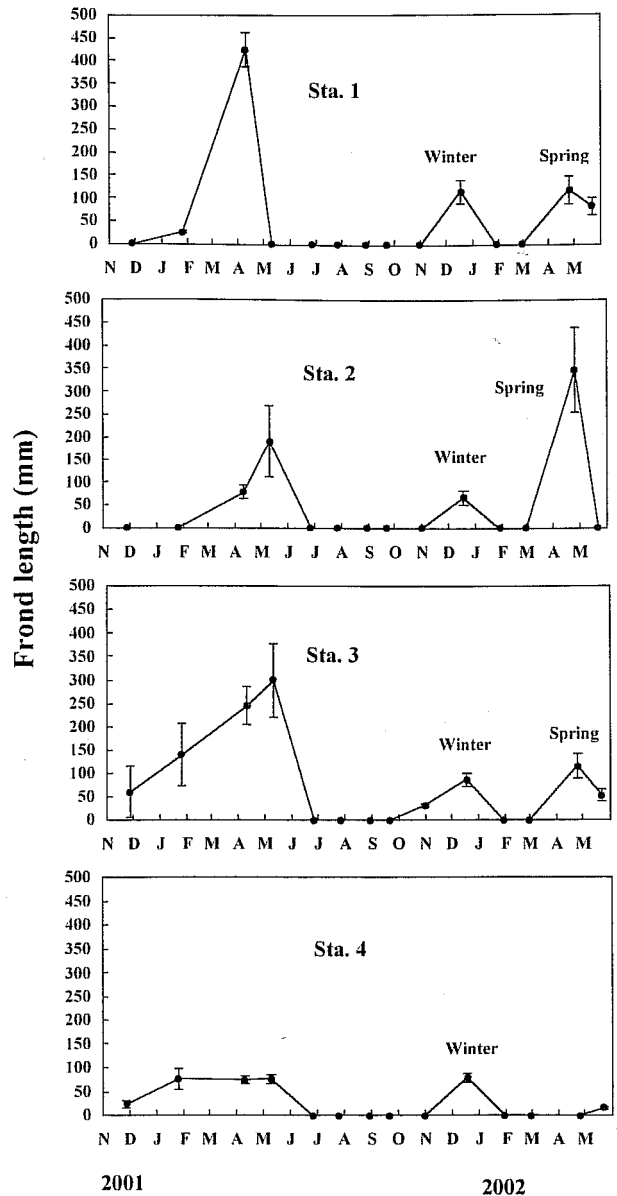


Fig. 9 Seasonal changes in frond length of *E. prolifera* at each survey station in Yoshino River from November 2001 to May 2002. Vertical bars indicate \pm SD.

2001年11月~2002年4月の2年間とも、12~1月と3~4月に冬ノリと春ノリの2つの山が認められた。8~9月は、スジアオノリはまったく出現しないか、非常に低い被度であった。3地点の出現期間を比べると、Sta. 5で最も短く、Sta. 6が最も長かった。また、夏季(6~9月)の出現期間は2001年に対して2000年の方が長かった。

Fig. 11に各地点におけるスジアオノリの平均藻体長の推移を示した。冬ノリと春ノリの藻体の伸長は被度の増大と一致した。最下流のSta. 7と最上流のSta. 5では、平均藻体長が50 mm以上となる期間は短く、Sta. 6の平均藻体長が他地点のものに比べ長くなる傾向にあった。

Fig. 12に、Sta. 5地点で毎月スジアオノリの遊走細胞をクレモナ糸に着生させ、実験室内で培養して着生数を調べた結果を示した。図ではクレモナ糸1 cm当たりの発芽体数の推移として示した。7~10月にはほとんど発芽を

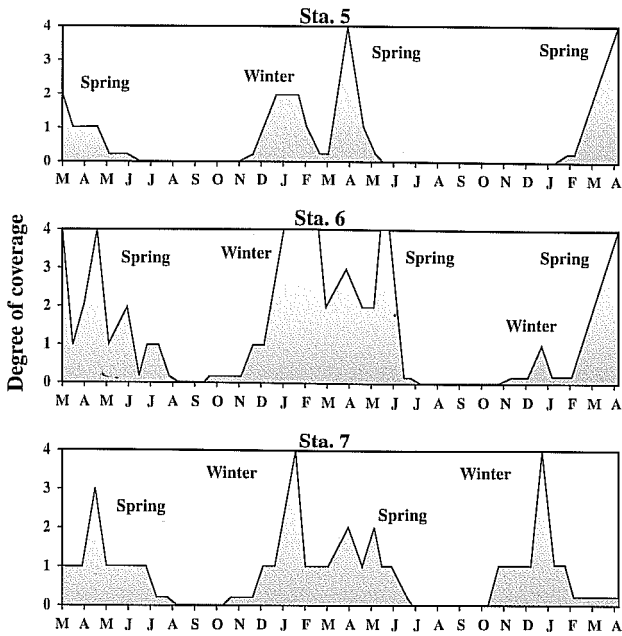


Fig. 10 Seasonal changes in the degree of coverage of *E. prolifera* in the 0.5 m square quadrat at each survey station in Hiwasa River from March 2000 to April 2002.

確認できなかった (0 ~ 3 個体 / cm) が, 11 月 (55 個体 / cm) から増加し, 2001 年の 4 月には最大 (852 個体 / cm) となった。しかし, 5 月以降, 河床からスジアオノリが消失するとともに, クレモナ糸でも発芽を確認できなくなり (0 ~ 17 個体 / cm), 前年の夏季と同様の状態となった。

考 察

河川において, 河口に近い下流域では, 潮汐の影響により, 潮の干満に応じて水位や流速の周期的な変動が起こる。このような区域は河川感潮域とよばれる。河川感潮域の長さは川によって異なり, 一般的には, 勾配が小さく, 断面積の大きい河川ほど長くなる (奥田, 西條 1996)。今回の調査の対象となった徳島県吉野川の流長は 193 km, 日和佐川は 20 km であり, 四国内の河川では典型的な大河川と小河川である (河川総合ハンドブック 1997)。現場での塩分実測から判断すると, 吉野川では, 河口より 14 km 上流にある河口堰 (第十堰) までが感潮域となっており, 日和佐川では季節により変動するが, 感潮域は Sta. 5 の少し上流 (河口より 1.3 km 付近) までが感潮域となっている。

河川感潮域では淡水と海水が混じり合い, 生物にとり重要な環境因子である水温や塩分が時間的にも空間的にも著しく変化する。感潮域での塩分の分布は, 弱混合型, 緩混合型, 強混合型の 3 つに大別される (奥田, 西條 1996)。しかし, 特定の河川に常にこの分類の型が当てはまるのではなく, 1 つの河川で, 場所により時期によりさまざまな分布型が出現する。吉野川では大潮時には強混合的な状態が, 小潮時には弱混合的な状態が出現しており (湯浅ら 1997), 日和佐川では常に強混合状態にあると考えられる。

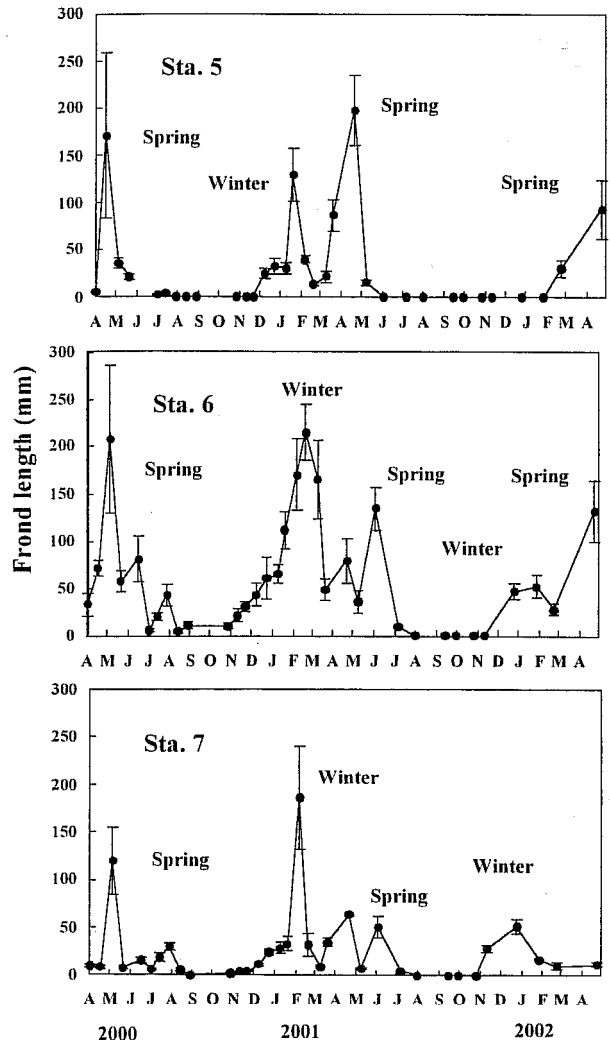


Fig. 11 Seasonal changes in frond length of *E. prolifera* at each survey station in Hiwasa River from April 2000 to April 2002. Vertical bars indicate \pm SD.

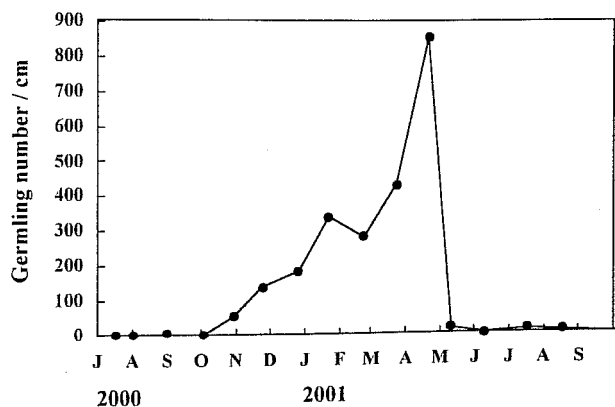


Fig. 12 Seasonal changes in the germling number of *E. prolifera* on the strings of 1 cm long set at station 5 in Hiwasa River from July 2000 to August 2001. The germling number on the string could be considered as relative swarmer number released from the natural fronds near the station 5.

スジアオノリの季節消長については高知県四万十川(大野ら 1999), 高知県新莊川(Ohono and Miyanoue 1980), 愛媛県北川(愛媛県中予水試東予分場 1999)などで報告がある。これらによると, 藻体は 11 月頃より出現して 12 ~ 1 月に成長するが, その後藻体が短くなり, 一端消えるように衰退するが, 4 ~ 5 月に再び成長し, 夏季には消失する。すなわち, 繁茂期が 2 つの山に分かれることが報告されているが, 本研究でも徳島県の 2 河川において同様の結果が得られた。しかし, 小河川の日和佐川ではその傾向が明瞭に現れたが(Fig. 10, 11), 大河川の吉野川では冬から春まで繁茂し続け, 2 つの山に分かれない場合があった(Fig. 8, 9)。また, 日和佐川では, 上流側の Sta. 5 では春ノリ(4 ~ 5 月に繁茂)が冬ノリ(12 ~ 2 月に繁茂)より被度, 藻体長ともに大きく, 下流側の Sta. 7 では逆に冬ノリが春ノリよりも伸長した。吉野川でも同様に上流の Sta. 1, 2 では春ノリの方がよく伸長し, 下流の Sta. 4 では冬ノリが伸長したが, 日和佐川ほど明瞭な傾向は認められなかった。大野, 高橋(1988)は, 四万十川での春ノリと冬ノリの分布調査をおこない, 冬ノリは下流から中流に多く繁茂し, 春ノリは上流で良く繁茂することを報告している。また, 大野ら(1999)は, 四万十川のスジアオノリには 2 つの品種が存在し, 環境条件がそれぞれのもつ好適条件に適した時に成長が促進されると示唆している。しかし, 同じスジアオノリであっても, 生理特性として, 水温下降期には高塩分環境が, 水温上昇期には低塩分環境が成長に適していることも考えられ, 今後検討する必要がある。

河川現場での観察では, 降雨の後にしばしばスジアオノリ群落の衰退が認められる。塩分の低下はスジアオノリ藻体の流出を引き起こす(大野, 松岡 1992)といわれており, スジアオノリの消長には塩分が大きく影響していると考えられる。本研究において, 吉野川, 日和佐川とも, 塩分の低下は降水量の増加と一致し, 夏季に低下し, 冬期に高くなる傾向を示した。スジアオノリの被度は冬から春にかけて増大したが, これは塩分の上昇と一致した。また, 2000 年は, 夏季のアオノリ生育期が 2001 年に比べ長かった。5 ~ 10 月の降水量を比較すると, 吉野川, 日和佐川とも, 2001 年は 2000 年の 1.5 倍の雨量を記録しており(Fig. 4, 7), 吉野川(Fig. 3)と日和佐川(Fig. 6)で実測した 7 ~ 10 月の塩分の推移をみても 2000 年は 2001 年より高塩分であった。

スジアオノリの消長は各河川の塩分特性によって特徴づけられ, 年変動の大きな日和佐川や四万十川(Fig. 9)では冬ノリと春ノリの繁茂期間が分かれやすく, 年変動の小さな吉野川では連続した繁茂となりやすいと考えることができる。繁茂期間は, 吉野川, 日和佐川とも中間部の定点(Sta. 3, Sta. 6)が最下流部の定点(Sta. 4, 7)より長く, 最下流部の定点の平均藻体長は上流部の定点のものに比

べ短かった。また, 最上流部の定点(Sta. 1, 5)では繁茂期間が全定点で最も短かった。これらのことから, スジアオノリの成長に好適な塩分帯は上流から下流までの分布域の中間部にあると考えられる。

スジアオノリは, 広塩性種(Bliding 1963, Koemann and Hoek 1982b)であり, 培養実験で好適な成長を示した塩分は 0.1 ~ 56.0 psu と報告されている(Htun et al. 1986)。吉野川での養殖は Sta. 4 より下流でもおこなわれている。また, 海面での養殖例(豊田 1997)および海洋深層水でのタンク培養例(Hiraoka et al. 2003)があることから, 完全な海水でも生育できることは明らかである。しかし, これまで述べてきたように, 本研究では, 天然での生息環境としては海水よりもやや塩分の低い場所を好むと考えられた。

河川内に放出された遊走細胞の量的変動を直接調べることができないので, 本研究では, 河床付近に付着基質を設置して遊走細胞を採苗し, これを室内培養して発芽体数を数えることにより傾向を示した(Fig. 12)。Sta. 5 では 2000 年 11 月からスジアオノリ藻体が見られ始め, 2001 年 5 月に消失している(Fig. 10, 11)が, 遊走細胞の増加は, 周辺に生育している藻体の現存量の増加と一致している。また, 2001 年 3 月には被度および平均藻体長の減少がみられ, 冬ノリが衰退した時期にあたるが, 遊走細胞数も 3 月で一度減少しており, 藻体の消長と一致している。7 ~ 10 月の夏季は藻体が見られず, 遊走細胞もほとんど認められなかった(0 ~ 3 個体)。

新崎(1957)は, アオノリ類は夏の間は干潮線近くの日陰等で微小な体で過ごし, 真夏の間には死滅してしまうものが多いが, 生き残ったものは水温 27 ~ 23 °C に下降した頃に遊走細胞を放出すると報告している。また, アオサ, アオノリでは, 一般に, 環境の急変, 殊に高温, 露出, 乾燥等に対する抵抗力は, 発芽した体より顕微鏡的な小さな体の方が大きい傾向にある(新崎 1946)。スジアオノリの藻体の遊走細胞放出のための最適な水温は 20 ~ 25 °C (團ら 1998), 塩分は 20 ~ 30 psu(Dan et al. 2002)である。Sta. 5 での夏季の水温は 22 ~ 26 °C の範囲にあり, 塩分は 0.1 ~ 14.1 psu の範囲にあった。また, アオノリ属の成長, 成熟には季節性がなく, 条件を整えば年中アオノリ類の藻体は生育していると報告されている(徳田ら 1987)が, 今回の日和佐川での調査結果では夏季には肉眼で確認できる大きな藻体は見られず, また他の河川においても夏季にみられることは希である。スジアオノリの成長の最適水温は 15 °C であり, 20 °C 以上では先端部から成熟して藻体が流出してしまう(平岡 1999)。夏季にスジアオノリが少なくなるのは, 水温上昇による成熟促進と引き続いて起こる藻体の流出, および降雨等による塩分の低下が遊走細胞の放出を阻害し, 再生産がうまくゆかないためと考えられる。また, 11 月に入って水温が 20 °C 以下となり, 塩分も上昇することでスジアオノリが成長し遊

走細胞の放出も増加するため、冬から春にかけて再生産が可能となり、繁茂が拡大すると考えられる。

文献

- 新崎 盛敏：青海苔（水産食糧増産叢書）. 霞ヶ関書房，東京，77 p. (1946).
- 新崎 盛敏：海藻胞子の発芽，生育に及ぼす光の影響に関する二，三の実験．日水誌，**19** (4), 466 - 470 (1953).
- Bliding C.: A critical survey of European taxa in Ulvales. Part I. *Capsosiphon, Percursaria, Blidingia, Enteromorpha. Opera Botanica à Societate Boabuca Lundensi*, **8**, 1 - 160 (1963).
- Dan A., M. Hiraoka, M. Ohno and A. T. Critchley: Observations on the effect of salinity and photon fluence rate on the induction of sporulation and rhizoid formation in the green alga *Enteromorpha prolifera* (Muller) J. Agardth (Chlorophyta, Ulvales). *Fisheries Sci.*, **68** (6), 1182 - 1188 (2002).
- 團 昭紀，平岡 雅規，大野 正夫：スジアオノリの成熟促進に及ぼす細断片のサイズ，温度の関係．水産増殖，**46** (4), 503 - 508 (1998).
- 愛媛県中予水試東予分場：アオノリ養殖生産管理技術に関する総括報告書．愛媛県，1 - 51 (1999).
- Hiraoka M., M. Ohno, A. Dan and N. Oka: Utilization of deep seawater for the mariculture of seaweeds in Japan. *Jpn. J. Phycol.* **52** (Suppl.), 215 - 219 (2003).
- Htun U. S., M. Ohno and S. Mizuta: Effect of salinity and temperature on the growth of green alga, *Enteromorpha prolifera*, in culture. *Rep. Usa Mar. Biol. Inst. Kochi Univ.*, **8**, 9 - 13 (1986).
- 平岡 雅規，團 昭紀，萩平 将，大野 正夫：異なる温度条件下におけるスジアオノリのクローン藻体の成長と成熟．日水誌，**65** (2), 302 - 303 (1999).
- Koeman R. P. T. and van den Hoek C. : The taxonomy of *Enteromorpha* Link, 1820, (Chlorophyceae) in Netherlands. The section Proliferae. *Cryptogamie: Algologie*, **3**, 37 - 70 (1982b).
- Ohno M. and K. Miyanoue: The ecology of the food alga *Enteromorpha prolifera*. *Rep. Usa Mar. Biol. Inst. Kochi Univ.*, **2**, 11 - 17 (1980).
- 大野 正夫，高橋 勇夫：高知県下・四万十川に生育するスジアオノリの分布域について．高知大学海洋生物研報，**10**, 45 - 54 (1988).
- 大野 正夫，松岡 正義：II 異型世代交代．アオノリ．水産学シリーズ食用海藻類の栽培（三浦昭雄編）. 恒星社厚生閣，東京，**61** - 68 (1992).
- 大野 正夫，水谷 里香，田井 野清也，高橋 勇夫：四万十川に生育するスジアオノリの生態．高知大学海洋生物研報，**19**, 27 - 35 (1999).
- 奥田 節夫，西條 八東：河川感潮域．—その自然と変貌—.(財)名古屋大学出版会，名古屋，248 p. (1996).
- Penfound W. T. and J. A. Howard: A phytosociological analysis of an evergreen oak forest in the vicinity of New Orleans. *La. Amer. Midl. Nat.*, **23**, 165 - 174 (1940).
- 瀬川 宗吉：原色日本海藻図鑑．保育社，大阪，175p. (1956).
- 徳田 廣，大野 正夫，小河 久朗：アオノリ．海藻資源養殖学．緑書房，東京，111 - 116 (1987).
- 豊田 昭：協業化によるアオノリ養殖に取り組んで．平成9年度 岡山県青年・女性漁業者交流大会資料，15 - 19 (1997).
- 吉田 忠生：新日本海藻誌．内田老鶴圃，東京，1222p. (1998).
- 湯浅 明彦，酒井 基介，牧野 賢治：スジアオノリ養殖漁場環境調査．平成7年度 徳島水試事報，164 - 169 (1997).
- 全国河川研究会：河川総合ハンドブック．東京，297 p. (1997).