

伊豆大島における暖海性コンブ目アントクメ群落の純生産量

駒澤一朗¹・安藤和人¹・滝尾健二²・川辺勝俊³・坂西芳彦⁴・横浜康継⁵

¹ 東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所 (〒100-1511 東京都八丈島八丈町三根 4222)

² 東京都島しょ農林水産総合センター大島事業所 (〒100-0212 東京都大島町波浮港 18)

³ 東京都小笠原水産センター (〒100-2101 東京都小笠原村父島字清瀬)

⁴ 独立行政法人水産総合研究センター日本海区水産研究所 (〒951-8121 新潟県新潟市中央区水道町 1 丁目 5939-22)

⁵ 南三陸町自然環境活用センター (〒986-0781 宮城県本吉郡南三陸町戸倉字坂本 40)

Ichiro Komazawa¹, Kazuto Ando¹, Kenji Takio², Katsutoshi Kawabe³, Yoshihiko Sakanishi⁴ and Yasutsugu Yokohama⁵: Net production of the warm temperate kelp *Eckloniopsis radicata* population on the coast of Izu-Oshima Island, central Japan. Jpn. J. Phycol. (Sôrui) 58: 173-178, November 10, 2010

Annual and daily net production of the warm temperate kelp *Eckloniopsis radicata* population in Izu-Oshima Island, central Japan were estimated by using monthly quadrat samplings and hole-punching method while the growth seasons from February to December 2005. Individual density of *E. radicata* population reached a maximum of about 200 ind. m⁻² in April, then decreased up to around 80 ind. m⁻² in June, and almost the same level was maintained until October. On the other hand, daily net production in blade per individual reached a maximum of about 120 mg dry wt individual⁻¹ day⁻¹ in June and a minimum of about 25 mg dry wt individual⁻¹ day⁻¹ in September. Annual net production in blades of *E. radicata* population was calculated to be about 1440 g dry wt m⁻² year⁻¹. If the growth of stipes and holdfasts was taken into account, annual net production was estimated to be about 1840 g dry wt m⁻² year⁻¹.

Key Index Words: *Eckloniopsis radicata*, hole-punching method, Laminariales, net production

¹ Hachijo Branch, Tokyo Metropolitan Islands Area Research and Development Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, Hachijo-machi, Tokyo, 100-1511 Japan

² Oshima Branch, Tokyo Metropolitan Islands Area Research and Development Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, Oshima-machi, Tokyo, 100-0212 Japan

³ Tokyo Metropolitan Ogasawara Fisheries Research Center, Ogasawara-mura, Tokyo, 100-2101 Japan

⁴ Japan Sea National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Suido-cho, Niigata, 951-8121 Japan

⁵ Shizugawa Nature Center, Minamisanriku-cho, Miyagi, 986-0781 Japan

緒言

褐藻コンブ目カジメ科に属するアントクメ *Eckloniopsis radicata* (Kjellman in Kjellman et Petersen) Okamura は (吉田・吉永 2010), 日本の温帯域に分布する固有種である (川嶋 1993)。本種は, 本州太平洋沿岸中・南部および日本海沿岸南部, 四国, 九州に分布しており (川嶋 1993), 巨視的な孢子体と顕微鏡的な配偶体という典型的な異型世代交代を行う。孢子体は, 水温が比較的低い冬から春にかけて著しく生長する (右田 1985, 米山ら 1989, 筒井・大野 1993, 木村 1995, 駒澤ら 2006, 谷口 2006)。夏に成熟した孢子体は子嚢斑を形成して遊走子を放出し, 遊走子は遊泳後に岩などの基質に着生, 発芽して雌雄の配偶体へと生長する。配偶体は一般に, 水温が比較的高い夏に生長すると考えられている (横浜 2001, 2003)。

沿岸生態系において大型海藻群落は主要な一次生産者として, また, 多様な生物の産卵・生育・保育場として重要な役割を果たしている。これらの純生産量を把握することは海藻群落の種々の生理・生態学的機能を評価する上で重要で, 暖海性コンブ目藻類 (川嶋 1993, 田中 1997) においては, カ

ジメ科のアラメ *Eisenia bicyclis* (Kjellman) Setchell (吉田 1970, 寺脇ら 1991), サガラメ *Eisenia arborea* Areschoug (蒲原ら 2009), カジメ *Ecklonia cava* Kjellman (Yokohama et al. 1987, 寺脇ら 1991, 富永ら 2004) などのいわゆる海中林を構成する多年生種で報告されている。しかし, アントクメの純生産量に関する報告は皆無である。本種の分布南限は, 鹿児島県の馬毛島 (川嶋 1993) および種子島 (横浜 2003, 新村・田中 2008) 周辺海域とされていたが, 近年では, 同県いちき串木野市島平沖の海域 (新村・田中 2008) と報告されている。これらの海域には他のコンブ目藻類は分布しておらず, アントクメは日本沿岸において最も水温が高い海域に生育するコンブ目であると思われる (川嶋 1993, 芹澤ら 2001, 駒澤・坂西 2009)。他のコンブ目藻類が分布し得ない暖海に生育することができる本種の純生産量を把握することは, 生理・生態学的に非常に重要である。

今回, 著者らは伊豆大島波浮港のアントクメ群落において, 穴開け法 (Mann 1972) による純生産量の推定を試みたので報告する。

材料と方法

生長量の推定

本研究は、伊豆大島の南部、波浮港（北緯 34° 41′，東経 139° 26′）（Fig. 1）の水深 10 m 付近に形成されたアントクメ群落を対象として、2005 年 2 月から 2005 年 12 月にかけて行った。おおむね 1 ヶ月間隔で、SCUBA 潜水により、群落内に 100 cm×50 cm の方形枠を設置し、枠内の葉長 8 cm 以上の個体について、茎状部上端から 5 cm（3 月および 4 月）もしくは 10 cm（5～10 月）離れた位置にコルクボーラーで直径 4 mm（3 月）、5.5 mm（4 月）、もしくは 10 mm（5～10 月）の穴を開け（Fig. 2）、約 1 ヶ月後に枠内の全個体を付着器ごと刈り取った。藻体はすべて東京都島しょ農林水産総合センター大島事業所へ持ち帰り、葉長（茎状部上端から葉状部先端までの距離）を測定し、さらに個体ごとにデジタルカメラで撮影し、画像処理ソフト（Adobe 社製 Photoshop）を使って葉面積を求めた。

約 1 ヶ月前に穴を開けておいた個体については、葉長を B_2 とし、茎状部上端から穴の下端までの部分を切り取り、その上下方向の距離を測定して H_2 とし、さらに乾重量を求めて W_2 とした（Fig. 2）。なお、すべての個体の葉状部、茎状部および付着器は室内で風乾させた後、電機乾燥器を用いて 85°C で 12 時間乾燥させて乾重量を求めた。

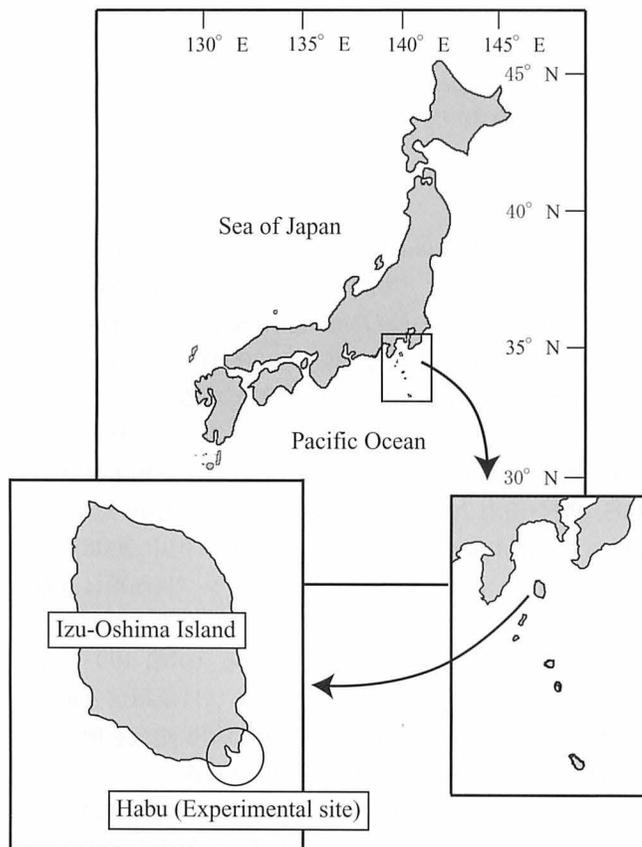


Fig. 1. Maps showing the experimental site at Habu-Bay of Izu-Oshima Island, Tokyo Metropolitan, central Japan.

穴を開けてから約 1 ヶ月後の時点 t_2 で刈り取った個体の B_2 （葉長）と W_2 （茎上端から穴までの葉片乾重量）は上記のようにして得られたが、穴開けした時点 t_1 における B_1 と W_1 は実測しなかったため、下記の方法によってそれぞれの平均値を推定した。

時点 t_1 において、穴を開ける個体を対象とした方形枠のほか同じサイズの方角枠を設置し、直後に枠内のすべての個体を刈り取り、葉長 8 cm 以上の個体の葉長を求めて B_1 とし、さらに葉面積を測定した後に、時期ごとに決められた穴の位置（茎状部上端から H_1 つまり 5 もしくは 10 cm だけ上方）で葉状部を切り分け、その乾重量を求めて W_1 とする。

調査地点の水温は、アントクメ調査定点から約 10 m 離れた波浮港内防波堤の表層にて午前 9 時に測定した値を用いた。

純生産量の算定

上記のようにして月ごとに求められた各平均値から $H_2 - H_1$ 、 $B_2 - B_1$ および $W_2 - W_1$ を求めて、葉状部の純生長量、みかけの生長量および純生産量とし、それぞれを測定間隔の日数 (t) で除して、一日あたりの値としての $(H_2 - H_1) / t$ 、 $(B_2 - B_1) / t$ および $(W_2 - W_1) / t$ とした（Fig. 2）。これらは 1 個体 1 日あたりの平均値であるが、 $(W_2 - W_1) / t$ に 1 m^2 あたりの個体密度を乗ずると群落 1 m^2 あたりの日純生産量が得られる。さらに、各月に得られた値に t_1 から t_2 までの日数を乗ずると、月ごとの 1 m^2 あたり純生産量が得られるが、それらを合計すると 4 月から 10 月にかけての 1 m^2 あたり純生産量が得られる。

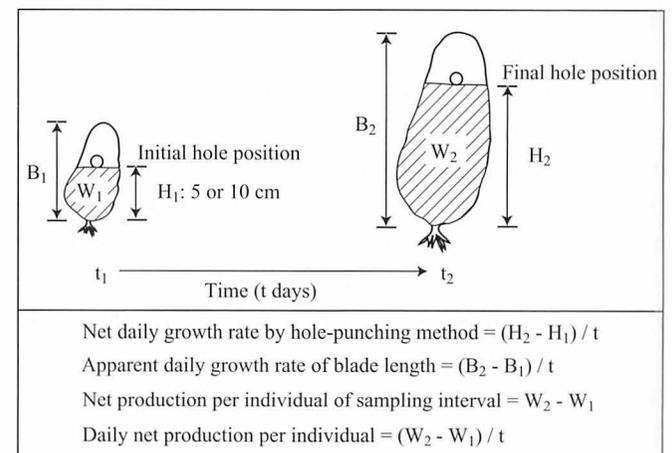


Fig. 2. Sampling design used for determination of production of blades of *Eckloniopsis radicata*. B_1 : Initial blade length, B_2 : Final blade length, H_1 : Distance between the stipe and the initial hole position, H_2 : Distance between the stipe and the final hole position, W_1 : Dry weight of the initial blade segment at t_1 estimated, W_2 : Dry weight of the final blade segment at t_2 actually determined.

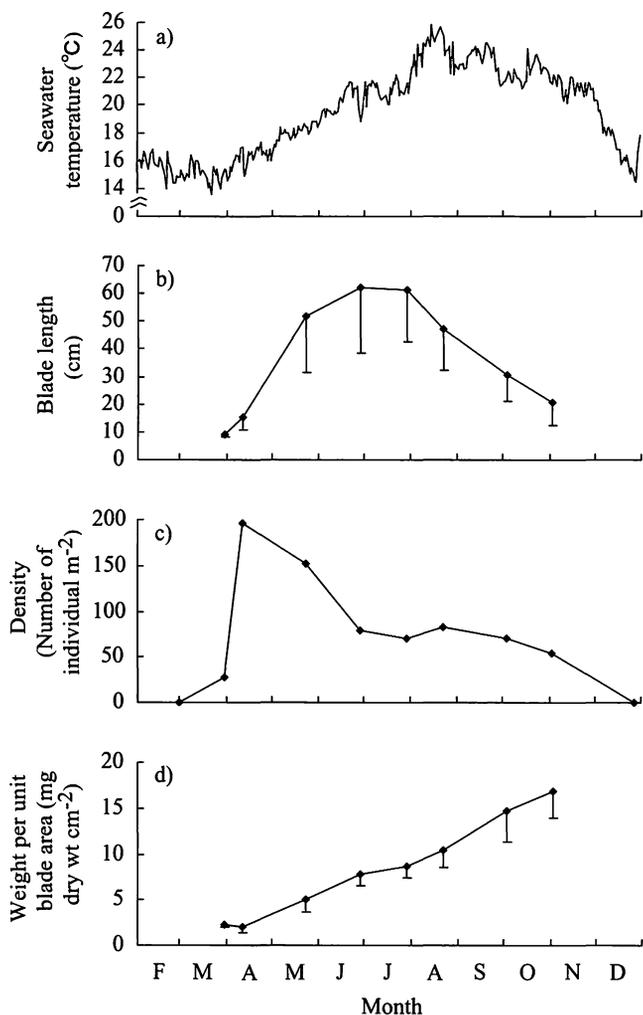


Fig. 3. Seasonal changes of surface seawater temperature (a), mean blade length (mean \pm S.D.) (b), individual density (c) and weight per unit blade area (mean \pm S.D.) (d) of *Eckloniopsis radicata*.

結果

調査期間中の水温の季節変化を Fig. 3a に示した。調査期間中の最高水温は 8 月 14 日の 25.8°C，最低水温は 3 月 21 日の 13.6°C であった。

葉長 8 cm 以上のアントクメの平均葉長は Fig. 3b に示したように、3 月には 9.3 cm であったが、その後、急速に伸長して 6 月には最長の 62.0 cm となった。7 月もほとんど等しい 61.3 cm であったが、その後は直線的に減少し、11 月には 20.6 cm となった。

葉長 8 cm 以上の個体の密度は Fig. 3c に示したように、2 月には皆無であったが、3 月に 1 m² あたり 28 株となり、4 月に 196 株へと急増した後、徐々に減少して 6 月から 10 月までは、ほぼ一定の値 (70 ~ 80 株) で推移し、11 月には 54 株となり、12 月にはすべての個体が消失した。

測定対象とした個体の単位葉面積あたりの重量は Fig. 3d に示したように、3 月から 4 月にかけて 2 mg dry wt cm⁻² を

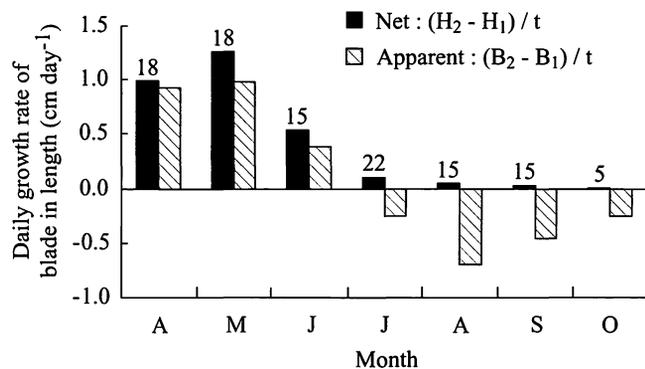


Fig. 4. Seasonal changes of daily growth rate of blade in length of *Eckloniopsis radicata*. Numerals indicate the number of punching sporophytes.

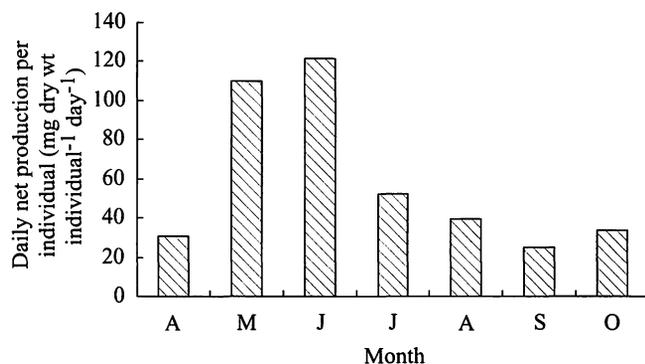


Fig. 5. Seasonal changes of daily net production in blade per individual of *Eckloniopsis radicata*.

やや上回る値だったが、その後は直線的に増加して、11 月には 16.8 mg dry wt cm⁻² に達した。

Fig. 4 は葉状部の日純生長量 $(H_2 - H_1) / t$ およびみかけの日生長量 $(B_2 - B_1) / t$ の季節変化を示しているが、いずれの月においても前者は後者より大であることが分かる。前者は 4 月に 0.99 cm day⁻¹，5 月には最大値の 1.26 cm day⁻¹ に達した後、6 月には 0.53 cm day⁻¹ へと減少し、7 月から 10 月にかけては 0.10 cm day⁻¹ から 0.01 cm day⁻¹ というきわめて低い値となった。みかけの日生長量は 4 月、5 月および 6 月にそれぞれ 0.92 cm day⁻¹，0.98 cm day⁻¹ および 0.38 cm day⁻¹ と、日純生長量よりやや小さな値となったが、その後はマイナスに転じ、7 月に -0.25 cm day⁻¹，8 月に -0.70 cm day⁻¹，9 月に -0.46 cm day⁻¹，10 月に -0.26 cm day⁻¹ となった。

葉状部、付着器・茎部および両者を合計した現存量の季節変化を Table 1 に示した。葉状部および付着器・茎部ともに 3 月から 8 月 (葉状部 626.6 g dry wt m⁻²) もしくは 10 月 (付着器・茎部 391.1 g dry wt m⁻²) にかけて増加した後に減少し、11 月にはそれぞれ 162.5 g dry wt m⁻² および 319.7 g dry wt m⁻² となった。葉状部および付着器・茎部を合計した現存量

Table 2. Annual net production of blade of several warm temperate Laminariales populations by hole punching method including *Eckloniopsis radicosa* in the present study

Species	Area	Depth (m)	Annual amount of production (kg dry wt m ⁻²)
<i>Eckloniopsis radicosa</i>	Izu-Oshima Island, Tokyo metropolitan	10	1.45
<i>Eisenia bicyclis</i>	Western coast of Miura peninsula, Kanagawa pref. (Terawaki <i>et al.</i> 1991)	3	4.58* ¹
<i>Eisenia arborea</i>	Eastern coast of Ise bay, Aichi pref. (Kamohara <i>et al.</i> 2009)	1	5.23
	Western coast of Miura peninsula, Kanagawa pref. (Terawaki <i>et al.</i> 1991)	4	1.43
<i>Ecklonia cava</i>	Izu, Shizuoka pref. (Yokohama <i>et al.</i> 1987)	5	2.84
	Kochi pref. (Tominaga <i>et al.</i> 2004)	6~7	2.73

*¹ wet wt × 19.5% (dry wt / wet wt of *Eisenia arborea* in Kamohara *et al.* (2009))

ついては、アラメで4.58 kg dry wt m⁻² (寺脇ら 1991)、サガラメで5.23 kg dry wt m⁻² (蒲原ら 2009)、カジメで1.43 kg dry wt m⁻² (寺脇ら 1991)、2.84 kg dry wt m⁻² (Yokohama *et al.* 1987)、2.73 kg dry wt m⁻² (富永ら 2004) と報告されている (Table 2)。本研究で得られたアントクメの純生産量は、寺脇ら (1991) のカジメと同程度であったが、その他の報告よりは小さかった。これは、本研究における水深が10 m と他の報告より深いことから、到達する光量の差異などの影響が考えられる。

アントクメは、他のコンブ目藻類が分布していない鹿児島県いちき串木野市に生育していることが知られており (新村・田中 2008)、日本沿岸において最も水温が高い海域に生育するコンブ目藻類である (川嶋 1993, 芹澤ら 2001, 駒澤・坂西 2009)。本研究により明らかとなったアントクメの純生産量は、アラメ、サガラメ、カジメなどの他の暖海性コンブ目と同程度か、それらよりやや小さい。しかし、本種は他のコンブ目藻類が生育することができない暖海における重要な一次生産者であると言える。

7月から10月にかけてのアントクメの1個体あたりの日純生産量 (W₂-W₁) /t は、5月から6月のそれと比べて小さく (Fig. 5)、最も純生産量が大きかった6月の20.8% (9月) ~ 42.9% (7月) であった。一方、7月から10月にかけての葉状部の日純生長量 (H₂-H₁) /t についても同様の傾向が認められたが (Fig. 4)、最も生長量が大きかった5月に対する割合は0.5% (10月) ~ 8.3% (7月) となった。日純生長量における7月以降の低下は、日純生産量におけるそれよりはるかに著しかったが、単位葉面積あたりの重量は、3月および4月から11月にかけて増加したことから (Fig. 3d)、7月から10月にかけては光合成産物が葉状部の伸長よりも肥厚に多く費やされたとみなされる。

アントクメの葉状部の伸長生長が盛んな4月から6月にかけては、日純生長量 (H₂-H₁) /t とみかけの日生長量 (B₂-B₁) /t の差は小さかったが、伸長が緩やかになる7月以降は両者の差が拡大した (Fig. 4)。葉状部の日純生長量は常に正の値を示したことから、葉状部の伸長生長は調査期間を通じて行われていたと言えるが、7月以降は葉状部の枯死・流失量が大きくなって葉長は減少し続け、そのため、みかけの日生長量は負に転ずることになったと言える (Fig. 3b, 4)。

アントクメ群落の純生産量は、1個体あたりの純生産量と密度により変化する。5月の1個体あたりの日純生産量は6月より小さいが (Fig. 5)、密度が4月に次いで大きいため1 m² あたりの日純生産量は最も大きくなった (Fig. 3c, 6)。逆に、6月は1個体あたりの日純生産量が最も大きいが (Fig. 5)、密度が5月より小さいため、1 m² あたりの日純生産量は5月より小さくなった (Fig. 3c, 6)。

大型海藻群落の純生産量推定方法は、現存量法と数学モデル法の二種類に大別される。現存量法は、現存量の時間的変化を実測し、新生生物量を純生産量とする方法であり (Mann 1972, Yokohama *et al.* 1987, 寺脇ら 1991, 富永ら 2004, 蒲原ら 2009)、本研究でアントクメの純生産量の推定に用いた穴開け法は、現存量法に含まれる。一方、数学モデル法は、陸上植物の群落光合成理論 (Monsi and Saeki 1953) に基づき、個葉の光合成速度、葉面積指数および光環境から算出する方法である (Honda 1999, Sakanishi *et al.* 2004, 三上 2007)。現存量法では、光合成により新生生物量となった分のみが純生産量とみなされるのに対し、数学モデル法による純生産量には、新生生物量に加え、溶存態有機物 (DOM) として光合成により海水中に溶出する分も含まれる (Mann 1982)。光合成による純炭素固定量に対する DOM の割合は、カジメにおいて約20~60%と推定されており (和田

2005), 光合成による純生産量は新生生物量の約 1.3 ~ 2.5 倍となる。今後, アントクメ群落についても, 数学モデル法および現存量法により推定された純生産量を相互に比較するとともに, DOM を求めて, 本種の生態系への寄与をより詳細に検討する必要があるだろう。

謝辞

本論文を校閲していただいた東京都島しょ農林水産総合センターの加藤憲司主任研究員に御礼申し上げる。

引用文献

- Honda, M. 1999. A theoretical analysis and field evaluation of a light and temperature model production by *Ecklonia cava*. *Hydrobiologia* 398/399: 361-373.
- 蒲原 聡・服部克也・原田靖子・和久光靖・芝 修一・倉島 彰・前川行幸・鈴木輝明 2009. 伊勢湾東部沿岸サガラメ群落における年間純生産量と炭素・窒素の年間吸収量. *日水誌* 75: 1027-1035.
- 神林友広 1996. 褐藻アントクメ及びカジメにおける光合成の環境適応. 筑波大学修士学位論文. 茨城.
- 川嶋昭二 1993. 日本産コンブ類図鑑. 北日本海洋センター. 札幌.
- 木村 創 1995. 和歌山県沿岸のヒロメ, アントクメ. *日水誌* 61: 109-110.
- 駒澤一朗・坂西芳彦 2009. 暖海性コンブ目アントクメ配偶体の生長と成熟におよぼす温度の影響. *藻類* 57: 129-133.
- 駒澤一朗・杉野 隆・滝尾健二・安藤和人・横浜康継 2006. 伊豆大島におけるアントクメの生長と成熟. *水産増殖* 54: 489-494.
- Mann, K. H. 1972. Ecological energetics of the seaweed zone in a marine bay on the Atlantic coast of Canada. II. Productivity of the seaweeds. *Mar. Biol.* 14: 199-209.
- Mann, K. H. 1982. *Ecology of coastal waters, A systems approach*, Blackwell Scientific. Oxford: 58-62.
- 右田清治 1985. アントクメの生活史と養殖試験. 長崎大学水産学部研報 58: 105-111.
- 三上温子 2007. 固着期から流れ藻期における褐藻ホンダワラ類の純一次生産量の推定. 東京大学大学院新領域創成科学研究科自然環境学専攻博士学位論文. 東京.

- Monsi, M. & Saeki, T. 1953. Über den lichtfaktor in den pflanzengesellschaften und seine bedeutung für die stoffproduktion. *Jap. J. Bot.* 14: 22-52.
- Sakanishi, Y., Ito, H. & Iizumi, H. 2004. Photosynthetic light-response curves of cold water species of Laminariales at the eastern Pacific coast of Hokkaido, Japan. *Jap. J. Phycol.* 52 (Supplement): 33-39.
- 芹澤如比古・秋野秀樹・松山和世・大野正夫・田中次郎・横浜康継 2001. 水温環境の異なる 2 つの生育地のカジメ群落における現存量, 密度, 年齢組成の比較. *水産増殖* 49: 9-14.
- 新村 巖・田中敏博 2008. 鹿児島県の有用藻類 II. 褐藻綱. *藻類* 56: 29-34.
- 田中次郎 1997. 褐藻 (コンブ目, ヒバマタ目, アミジグサ目) の分布にもとづく海藻相解析. *藻類* 45: 5-13.
- 谷口秀策 2006. 温帯性コンブ科藻類の生態学的研究. 東京海洋大学修士学位論文. 東京.
- 寺脇利信・川崎保夫・本多正樹・山田貞夫・丸山康樹・五十嵐由雄 1991. 海中林造成技術の実証, 第 2 報三浦半島西部でのアラメおよびカジメの生態と生育特性. 電力中央研究所報告 U91022: 1-69.
- 富永春江・芹澤如比古・大野正夫 2004. 高知県土佐湾産カジメにおける葉状部の生産量と葉状部基部の大きさの季節変化. *藻類* 52: 13-19.
- 筒井 功・大野正夫 1993. 高知県須崎湾に生育するワカメ, ヒロメ, アントクメの成長と成熟. *水産増殖* 41: 55-60.
- 和田茂樹 2005. 褐藻コンブ目カジメにより生産される溶存態有機物の動態. 筑波大学大学院生命環境科学研究科博士前期課程学位論文. 茨城.
- Yokohama, Y., Tanaka, J. & Chihara, M. 1987. Productivity of the *Ecklonia cava* community in a bay of Izu peninsula on the Pacific coast of Japan. *Bot. Mag. Tokyo* 100: 129-141.
- 横浜康継 2001. 海の森の物語. 新潮社. 東京.
- 横浜康継 2003. 海の森と地球環境. *海洋と生物* 25: 80-84.
- 米山純夫・斎藤 実・堤 清樹・河西一彦・江川紳一郎 1989. 伊豆大島におけるメガイアワビの季節成長. *水産増殖* 37: 147-154.
- 吉田忠生 1970. アラメの物質生産に関する 2・3 の知見. 東北区水産研究所研報 30: 107-112.
- 吉田忠生 1998. 新日本海藻誌. 内田老鶴圃. 東京.
- 吉田忠生・吉永一男 2010. 日本産海藻目録 (2010 年改訂版). *藻類* 58: 69-122.

(Received July 11, 2010; Accepted Oct. 15, 2010)