京都府沿岸域の環境特性の異なる生育地での ホンダワラ科海藻の年間純生産量とその比較

八谷光介,* 西垣友和, 道家章生,^a 井谷匡志,^b 和田洋藏

(2006年9月4日受付, 2007年5月1日受理)

京都府立海洋センター

Annual net productions of sargassacean species in coastal areas with different
environmental characteristics in Kyoto Prefecture, the Sea of Japan

KOUSUKE YATSUYA,* TOMOKAZU NISHIGAKI, AKIO DOUKE,^a
MASASHI ITANI^b AND YOZO WADA

Kyoto Institute of Oceanic and Fishery Science, Miyazu, Kyoto 626-0052, Japan

Sargassacean plants dominate at various types of coasts in Kyoto Prefecture, the Sea of Japan. Amino is an open coast exposed to wave action and has lower nutrient concentration. Yoro is protected from northwestern winter storms by the Tango Peninsula and has intermediate environmental characteristics between open and enclosed coasts. Maizuru Bay is an enclosed site with a low degree of water motion and higher nutrient concentration. Annual net production of sargassacean plants was investigated by the stratified clipping technique at the three sites. In Maizuru, annual net production of *Sargassum autumnale* and *S. siliquastrum* was estimated at 3.9 and 4.0 kg dry wt/m², respectively. In Amino, it was estimated at 0.8, 0.7, and 1.1 kg dry wt/m² for *Myagropsis myagroides*, *S. siliquastrum* and *S. confusum*, respectively. In Yoro, our previous work reported 1.2, 1.5, 2.4, 2.1 and 1.4 kg dry wt/m² for *M. myagroides*, *S. siliquastrum*, *S. patens*, *S. macrocarpum*, and *S. piluliferum*. The annual net production and maximum length of *M. myagroides* and *S. siliquastrum* in different sites were more variable than those of different species in the same site. The relations between environmental characteristics and production of sargassacean plants are discussed.

キーワード：アキヨレモク, 環境特性, ジョロモク, 生産構造図, 年間純生産量, フシスジモク, ヨレモク

日本列島の暖温帯にはホンダワラ科海藻によって構成されるガラモ場が分布し、様々な魚介類に餌場や棲み場として利用されている。^{1,2)}ガラモ場から流失した藻体も、流れ藻や打ち上げ海藻となって様々な動物に利用されており、沿岸生態系の物質循環の一部を担っている。³⁾

このようなガラモ場の生態は、様々な観点から調査されており、ホンダワラ科海藻の生産量もいくつかの種において調べられている。⁴⁻⁶⁾しかし、これらのホンダワラ科海藻の生長や生産量とその海域の環境特性との関係は十分に解明されていない。ホンダワラ科海藻の生長や生産量に関して、種自身の特性がどの程度その場所の特

性によって影響されているのか判断するためには、複数の種について、環境条件の異なる複数の調査地を設定し、比較する必要がある。

京都府沿岸には、内湾である舞鶴湾や、日本海の外海に直面する丹後半島北岸、またその中間的な性質を持つ丹後半島の南東岸など、多様な環境特性を有する海岸域がある (Fig. 1)。そして、これらの3地点にはいずれも複数種のホンダワラ科海藻によって構成されるガラモ場が分布している。⁶⁻⁹⁾このような環境特性の異なる藻場でそれぞれの種の年間純生産量を調査し比較すれば、様々な環境特性とホンダワラ科海藻の生産生態との関係を把握できると考えられる。

* Tel : 81-772-25-3080. Fax : 81-772-25-1532. Email : k-yatsuya85@pref.kyoto.lg.jp

^a 現所属：京都府水産課 (Fishery Division, Kyoto Prefectural Government, Kyoto 602-8570, Japan)

^b 現所属：京都府水産事務所 (Fishery Office, Kyoto Prefectural Government, Miyazu, Kyoto 626-0041, Japan)

Fig. 1 Map showing the sampling sites at the Maizuru, Amino and Yoro coasts.

そこで本研究では、本州中部の日本海沿岸で多くみられる多年生ホンダワラ科海藻を対象とし、環境特性の異なる丹後半島北岸、丹後半島南東岸、舞鶴湾の3地点で年間純生産量を調べた。そして、それぞれの地点の環境特性がホンダワラ科海藻の生長や生産量に与える影響について考察した。

材料と方法

本研究では、日本海に直面する丹後半島北岸の京丹後市網野町ツングメ（以下、網野と記す）ではジョロモク *Myagropsis myagroides*、ヨレモク *Sargassum siliquastrum*、フシスジモク *S. confusum* の3種を、舞鶴湾の捻松崎（以下、舞鶴と記す）においてアキヨレモク *S. autumnale*、ヨレモクの2種を、2003年11月から1年間にわたり調査した。また、丹後半島南東岸の宮津市養老長江地先（以下、養老と記す）では、Yatsuya *et al.*⁶⁾ によって、同地先で優占するホンダワラ科海藻5種の年間純生産量が本研究と同様の方法で2002年12月から1年間（マメタワラ *S. piluliferum* のみ2003年5月からの1年間）調査されており、このデータを引用した。

調査地の特徴 調査地点の波あたりは、外海への開放度の違いから、網野が最も強く舞鶴が最も小さい。本州中部の日本海沿岸では冬季には北西季節風が卓越し、¹⁰⁾ 丹後半島北岸の網野はそれらを直接受けるが、養老は丹後半島によって遮蔽される位置にあり、若狭湾の支湾である舞鶴湾内の舞鶴は養老よりもさらに北西季節風の影響が小さい（Fig. 1）。調査地点の波浪は実測されていないが、その近傍で行われた藻場造成や漁港整備事業における安定計算では、地理的な位置関係や海底勾配などから沖波のデータをもとに設計波高が計算されている。それらの資料によると各地の設計波高は、網野町ツング

メ（水深6 m）では4.45 m、¹¹⁾ 養老長江地先に隣接する大島地先（水深2 m）では2.02 m、¹²⁾ 舞鶴湾捻松崎から約3 km 湾口側に位置する千歳地先では1.25 m¹³⁾ となっており、網野が最も高く、養老、舞鶴の順に低くなっている。

周辺人口の多い内湾の舞鶴の栄養塩濃度は、開放海岸の網野や養老よりも高いと考えられる。3地点の栄養塩濃度を比較する指標として、本調査地点の近傍の地点（0.5 m 層）で測定されたCODを引用する。¹⁴⁾ 2003年度に測定されたCODの範囲は、網野に近い竹野沖では<0.5~0.8 mg/L、養老に近い波見崎沖では0.6~1.2 mg/L、舞鶴の近傍の檜崎地先では0.7~2.8 mg/Lであり、¹⁴⁾ CODは網野、養老、舞鶴の順に増加する傾向があるといえる。

舞鶴（Fig. 1）では水深2 m（基準面：MSL、以下同様）以浅の岩盤・転石域に優占群落を形成しているアキヨレモク（水深0.5~1.0 mで優占）とヨレモク（水深1.0~1.3 mで優占）を採集した。同地の水深0.5 m以浅にはウミトラノオ *Sargassum thunbergii* やミヤベモク *S. miyabei* も分布するが、その現存量は前2種よりも極めて少なく、ヨレモク分布域より深所にはマクサ *Gelidium elegans* や無節サンゴモが分布しホンダワラ科海藻はみられない。

網野（Fig. 1）には水深5.5 mまで防波堤の根固めブロック（コンクリート製、1辺275 cmのX型ブロック、重量1.5 t）があり、ここで優占群落を形成しているジョロモク（水深3.0~4.0 m）とヨレモク（水深4.0~5.5 m）を採集した。ジョロモク分布域より浅所の水深3.0 m以浅ではトゲモク *S. micracanthum* が多く、アカモク *S. horneri*、イソモク *S. hemiphyllum* も分布している。これらの群落は1993年以前に設置されたブロックの上に形成されており、群落の遷移は極相に達したと考えられている。⁹⁾ 防波堤の沖側の水深4.0~7.0 mには、2001年2月に藻場造成を目的として巨石（重量1.2 tまたは2.0 tの自然石）が投入されている。この巨石上には、2001年からフシスジモクが入植し優占していたが、2003年と2004年の調査では、フシスジモクに混じってジョロモクやホンダワラ *S. fulvellum* も入植してきている。^{9,15)} 本調査ではフシスジモクが優占している巨石を選び、そこから同種を採集した。

養老（Fig. 1）では、水深1.5~5.0 mに広がる岩盤・転石帯において優占する、ヤツマタモク *S. patens*、ノコギリモク *S. macrocarpum*、ヨレモク、ジョロモク、マメタワラを対象とした。これら5種の年間純生産量はYatsuya *et al.*⁶⁾ によって報告されており、本報ではそのデータをもとに養老の環境要因とホンダワラ科海藻の生産量との関連について検討し、他地点と比較する。

3地点の底質は、自然石とコンクリート製で材質は異なっているが、藻体を採集した地点は、いずれも不動の基質で構成され漂砂などの影響のない地点として条件を統一している。

ホンダワラ科海藻の年間純生産量 網野と養老⁶⁾では50 cm×50 cmの方形枠を用い、各種ごとに4枠分を採集した。舞鶴ではホンダワラ科海藻のパッチが小さかったため、25 cm×25 cmの方形枠を用い、各種ごとに4枠分を採集した。採集した藻体の付着部から主枝の先端部までを10 cm間隔の層別に切断し、80℃で24時間乾燥させてから乾燥重量を測定し、生産構造図^{4,16)}を作成した。本研究で対象としたホンダワラ科海藻の生活形は茎部越年海藻であり、¹⁷⁾ 付着器と茎は複数年越年して存続するが、主枝、葉、気胞、生殖器床は1年ごとに新生・流失を繰り返す。また、ホンダワラ科海藻の越年する部位（この部位を越年部位と呼ぶ、以下同様）の生産量は、1年ごとに新生・流失する主枝より先端の部位（この部位を新生部位と呼ぶ、以下同様）に比べて、極めて少ないと考えられるため、⁵⁾ 本研究では越年部位を除いた生産構造図を示した。当月と前月の生産構造図を重ね合わせて各層の減少量から流失量をもとめ、¹⁶⁾ その累積流失量に調査開始時と終了時の現存量の差（増加は+、減少は-で示す）を加えたものを年間純生産量とした。⁶⁾

採集された藻体の個体数および湿重量を調査枠内ごとに調べ、各種各月の個体密度と現存量（平均±標準偏差）を求めた。また、各種の現存量が最大となった月における群落内の個体レベルの全長と重量を示すために、個体数頻度分布を示した。個体重量は湿重量で測定されたため、4枠分をまとめて乾燥した藻体の乾/湿重量比から、乾燥重量を算出した。

環境測定 3地点の水温、塩分、光量子量を2002年10月（光量子は2003年4月）から2004年11月まで毎月1回あるいはそれ以上の間隔で測定した。これらの測定は、舞鶴では藻場の沖側約100 m（水深10 m）、網野では根固めブロックと投入された巨石の中間地点（水深5 m）、養老では藻場の沖側約200 m（水深15 m）で実施した。水温、塩分については水深1 m間隔で測定を行ったため、ホンダワラ科海藻の採集水深と最も近い水深（舞鶴；1 m、網野；4 m、養老；2 m）のデータを用いた。

水面上と水中の光量子量を同時に測定するために、2つの光量子センサー（水中用：LI-192SA、空中用：LI-190SA；LI-COR社）をデータロガー（LI-1000；LI-COR社）に接続し、水深1, 3, 5 mにおいて1分間の積算光量子量を2～4回測定した。各水深（ x ）mに対する相対光量子量（ y ；水面上の光量子量に対する相対値：%）の関係は、減衰係数（ k ）を用いて以下の式で

近似できる。¹⁸⁾

$$y = a \exp(-kx) \quad (1)$$

先述のとおり、1回の調査で3水深、合計9回程度の測定を行っているため、これらのデータを(1)式に近似させて、減衰係数（ k ）を求めた。また、各調査時に求められた(1)式から、各地点の採集水深（舞鶴；1 m、網野；4 m、養老；2 m）における水面に対する相対光量子量を求めた。

結 果

環境測定 3地点の水温は地点間で大きく異ならず、最低水温は約10℃で、最高水温は約26℃であった（Fig. 2）。塩分は、舞鶴では降雨による出水後に20 psu近くまで低下することもあったが、網野と養老では32～35 psuの範囲内で安定していた（Fig. 2）。海水中における光量子量の減衰係数（ k ）は舞鶴が最も高く0.41±0.05（平均±標準偏差、以下同様）であり、網野と養

Fig. 2 Water temperature (°C) and salinity (psu) at the depth of seaweed bed at Maizuru (1 m), Amino (4 m) and Yoro (2 m).

Fig. 3 Attenuation coefficient (k) at Maizuru, Amino and Yoro. See the text for the calculation of k .

老はそれぞれ 0.22 ± 0.07 , 0.21 ± 0.05 で同程度であった (Fig. 3)。各地点とも、減衰係数には規則性のある季節変化はみられなかったが、舞鶴の2004年5月以降の値がそれ以外の期間のものよりもやや高めに推移した (Fig. 3)。また、ホンダワラ科海藻の採集地点である、舞鶴の水深1 m、網野の水深4 m、養老の水深2 mに到達する光量子量は、それぞれ海面上の $50.1 \pm 7.9\%$, $38.9 \pm 5.8\%$, $52.7 \pm 5.6\%$ であった。

ホンダワラ科海藻の生産量 舞鶴で採集されたアキヨレモクの個体密度、現存量および生産構造図をそれぞれ Figs. 4, 5, 6 に示す。アキヨレモクの現存量は11月から1月には年間最低レベルで安定していたが、1月から4月にかけて増加した。アキヨレモクの密度は、現存量の増加につれて、96 個体/m² (12月) から32 個体/m² (3月) に減少した。4月から5月の間には50 cm以下の層で側枝の流失があり重量は減少したが、その後の5月から7月には全長と現存量が増加した。7月には、アキヨレモクは年間最大全長 (採集された個体のうち最長個体の全長を示す、以下同様) の130 cmに達し、現存量は年間最大の3038 g dry wt/m² (新生部位; 2938 g dry wt/m², 越年部位; 100 g dry wt/m²) に達した (Table 1)。7月に採集された個体の全長・重量区分別

頻度分布をそれぞれ Figs. 7-A, 7-B に示す。7月のアキヨレモクは、全長110 cm程度の大型個体が多く全長90 cm以下の個体は少ないが、重量区分別にみると10 g以下の個体から100~110 gの個体までほぼ偏りなく分布していた。成熟後の7月から10月の間に現存量の大部分である2695 g dry wt/m²が流失し、10月以降の現存量は年間最低レベルとなった。アキヨレモクが大量に流失した期間には幼体が加入し、密度は56 個体/m² (7月) から100 個体/m² (9月) に増加した。生殖器床は7月から翌年3月までみられた (Table 1)。アキヨレモクの2003年11月から1年間の累積流失量は3916 g dry wt/m², 調査開始時と終了時の新生部位の重量差は+33 g dry wt/m²であり、年間純生産量は3949 g dry wt/m²と推定された (Table 1)。年間最大現存量 (B) に対する年間純生産量 (P) の比 (以下、P/Bと記す) は、1.3であった (Table 1)。

舞鶴のヨレモクの個体密度、現存量および生産構造図をそれぞれ Figs. 4, 5, 8 に示す。ヨレモクの密度は20~64 個体/m²の間で変動したが、季節的傾向はみられなかった。ヨレモクは、11月から12月にかけて全層で藻体が流失し、その流失量は543 g dry wt/m²であった。1月から2月にかけて全長と現存量が増加し、2月には全長が年間最長の156 cmに達した (Table 1)。成熟後の3月から4月には年間で最大の流失 (1052 g dry wt/

Fig. 4 Monthly changes in the density (number of individuals per m²) of sargassacean plants at Maizuru (upper panel; ■: *Sargassum autumnnale*, ○: *S. siliquastrum*) and at Amino (lower panel; ×: *Myagropsis myagroides*, ○: *S. siliquastrum*, ▲: *S. confusum*). Symbols and error bars indicate mean and standard deviation, respectively.

Fig. 5 Monthly changes in the standing crop (g dry weight per m²) of sargassacean plants at Maizuru (upper panel) and at Amino (lower panel). Symbols and error bars indicate mean and standard deviation, respectively. Refer to Fig. 4 for the symbols.

Fig. 6 Productive structures of *Sargassum autumnale* at Maizuru from November 2003 to November 2004. Open and closed bars indicate the dry weight of plant in each stratum and the amount of loss from the previous month, respectively.

m²)があり、その後6月まで再び重量が増加したが、6月から7月にかけて920 g dry wt/m²が流失した。7月から11月の間は高さ40 cm以下の下層で少量の流失があったが、全長と現存量はともに増加した。2004年11月には現存量が年間最大の2122 g dry wt/m²（新生部位；2009 g dry wt/m²，越年部位；113 g dry wt/m²）に達した（Table 1）。11月に採集された個体の全長・重量区分別頻度分布をそれぞれ Figs. 7-A, 7-B に示す。11月のヨレモクは、全長100 cm程度の大型個体が多く全長80 cm以下の個体はほとんど出現しないが、重

Table 1 Maximum biomass (B), Annual net production (P) and P/B at Amino, Maizuru and Yoro

Site	Species	Average number of individuals longer than 20 cm/m ² (individuals/m ²)	Maximum length (cm)	Maximum biomass (B) (g dry wt/m ²)	Annual net production (P) (g dry wt/m ²)	P/B	Month of maximum biomass	Main loss period	Reference
Maizuru	<i>Sargassum autumnale</i>	58.2	130	3038	3949	1.3	Jul.	Jul.-Oct.	This study
	<i>S. siliquastrum</i>	35.7	156	2122	4037	1.9	Nov.	Mar.-Apr., Jun.-Jul.	
Amino	<i>Myagropsis myagroides</i>	42.5	167	766	753	1.0	Dec.	Dec.-Feb.	This study
	<i>S. siliquastrum</i>	84.7	103	492	710	1.4	Oct.	May-Jun.	
	<i>S. confusum</i>	51.9	106	839	1110	1.3	Apr.	Apr.-May	
Yoro	<i>M. myagroides</i>	19.9	430	779	1197	1.5	Apr.	Apr.-May	Yatsuya <i>et al.</i> ⁶⁾
	<i>S. siliquastrum</i>	20.4	360	1108	1458	1.3	Apr.	Apr.-Jun.	
	<i>S. patens</i>	26.7	335	1607	2407	1.5	May	May-Jul.	
	<i>S. macrocarpum</i>	21.4	385	1263	2132	1.7	Apr.	Apr.-Jul.	
	<i>S. piluliferum</i>	25.5	410	978	1471	1.5	Apr.	Apr.-May

Fig. 7 Frequency distribution of total length (A) and dry weight (B) of sargassacean plants at Maizuru and Amino when they reached the annual maximum standing crop.

量区分別にみると 10 g 以下の個体から 90~100 g の個体まではば偏りなく分布していた。生殖器床は 2 月から 6 月にみられた (Table 1)。ヨレモクの 2003 年 11 月から 1 年間の累積流失量は 3431 g dry wt/m², 調査開始時と終了時の新生部位の重量差は +606 g dry wt/m² であり, 年間純生産量は 4037 g dry wt/m² と推定された (Table 1)。また, P/B は 1.9 であった (Table 1)。

網野のジョロモクの個体密度, 現存量および生産構造図をそれぞれ Figs. 4, 5, 9 に示す。ジョロモクの密度は 39~71 個体/m² であり, 年間を通じて比較的安定していた。2003 年 12 月に, ジョロモクは年間最長の 167 cm に達し, 現存量も年間最大の 766 g dry wt/m² (新生部位; 567 g dry wt/m², 越冬部位; 199 g dry wt/m²) に達した (Table 1)。12 月に採集された個体の全長・重量区分別頻度分布をそれぞれ Figs. 7-A, 7-B に示す。12 月のジョロモクは, 全長 90~160 cm 程度の大個体と全長 40 cm 以下の小個体が出現したが, 重量区分別にみると 10 g 以下の個体が 50% 以上を占めており最大個体でも 50 g 以下であった。波浪の強い 12 月から 2 月の間は, ジョロモクの成熟期直前にあたり, その間に全層で藻体が流失し, 流失量は 406 g dry wt/m² であった。その後も 6 月まで藻体の上部が徐々に流失した。一方, 藻体の下部では 4 月から新しい主枝が伸長し始め, ジョロモク群落の現存量は 9 月まで徐々に増加した。また, 7 月から 11 月にかけて下層の

藻体の一部が流失した。生殖器床は 2 月から 5 月にみられた (Table 1)。ジョロモクの 2003 年 11 月から 1 年間の累積流失量は 703 g dry wt/m², 調査開始時と終了時の新生部位の重量差は +50 g dry wt/m² であり, 年間純生産量は 753 g dry wt/m² と推定された (Table 1)。また, P/B は 1.0 であった (Table 1)。

網野のヨレモクの個体密度, 現存量および生産構造図をそれぞれ Figs. 4, 5, 10 に示す。11 月から 5 月までの半年間にわたり, ヨレモクの全長と密度はほとんど変化せず, 比較的少量の流失と生長が繰り返された。成熟後の 5 月から 6 月の間に, 高さ 10 cm 以上の層の藻体がほとんど流失し, その流失量は 150 g dry wt/m² であった。一方, 6 月には幼体が多数出現し, ヨレモクの個体密度は 130 個体/m² (5 月) から 310 個体/m² (6 月) に増加した。その後, 6 月から 9 月の個体密度は 300 個体/m² 前後であったが, 10 月に 183 個体/m² に減少した。6 月から 10 月にかけて, 高さ 40 cm 以下の層で藻体の一部が流失したが, 全長と現存量は増加し, 10 月には現存量が年間最大の 492 g dry wt/m² (新生部位; 460 g dry wt/m², 越冬部位; 32 g dry wt/m²) に達した (Table 1)。なお, 全長は 11 月に年間最大の 103 cm に達した (Table 1)。現存量が最大となった 10 月に採集された個体の全長・重量区分別頻度分布をそれぞれ Figs. 7-A, 7-B に示す。10 月のヨレモクは, 全長 90 cm までの個体がほぼ偏りなく出現したが, 重量別にみ

Fig. 8 Productive structures of *Sargassum siliquastrum* at Maizuru from November 2003 to November 2004. Refer to Fig. 6 for open and closed bars.

ると10 g以下の個体が全体の60%を占め, 最大個体でも50 g以下であった。生殖器床は3月から5月にみられた (Table 1)。ヨレモクの2003年11月から1年間の累積流失量は587 g dry wt/m², 調査開始時と終了時の新生部位の重量差は+123 g dry wt/m²であり, 年間

Fig. 9 Productive structures of *Myagropsis myagorides* at Amino from November 2003 to November 2004. Investigation was not carried out in January 2004. Refer to Fig. 6 for open and closed bars.

純生産量は710 g dry wt/m²と推定された (Table 1)。また, P/Bは1.4であった (Table 1)。

網野のフシスジモクの個体密度, 現存量および生産構造図をそれぞれ Figs. 4, 5, 11 に示す。フシスジモクの現存量は11月から12月にやや増加したが, 12月から3月の間はほぼ一定であった。一方, 全長は3月に年間最大の106 cmに達した (Table 1)。3月から4月にか

Fig. 10 Productive structures of *Sargassum siliquastrum* at Amino from November 2003 to November 2004. Investigation was not carried out in January 2004. Refer to Fig. 6 for open and closed bars.

けて、全長は変化しなかったが現存量は約2倍になり、4月には年間最大の839 g dry wt/m²（新生部位；761 g dry wt/m²，越冬部位；78 g dry wt/m²）に達した（Table 1）。4月に採集された個体の全長・重量区分別頻度分布をそれぞれ Figs. 7-A, 7-B に示す。4月のフシスジモクは、全長50～90 cmの個体がやや多かったが、それより短い個体も出現した。一方、重量区別にみると10 g以下の個体が約半数を占め、その残りのほとんどを30 g以下の個体が占めた。成熟後の4月から5月にかけて藻体の大部分にあたる569 g dry wt/m²が流失した。11月から5月までのフシスジモクの密度は54～84 個体/m²ではほぼ一定であったが、6月から幼体が増加し、7月には年間最大の181 個体/m²に達した（Fig. 4）。6月から8月には現存量が増加したが、8月

Fig. 11 Productive structures of *Sargassum confusum* at Amino from November 2003 to November 2004. Investigation was not carried out in January 2004. Refer to Fig. 6 for open and closed bars.

から9月にかけて幼体や藻体下部の側枝が流失したため現存量や密度が減少した。8月から9月の流失量は178 g dry wt/m²であった。9月から11月までは、全長は徐々に伸長したが、現存量はほとんど変化しなかった。生殖器床は3月から5月にみられた（Table 1）。フシスジモクの2003年11月から1年間の累積流失量は1007 g dry wt/m²、調査開始時と終了時の新生部位の重量差は+103 g dry wt/m²であり、年間純生産量は1110 g dry wt/m²と推定された（Table 1）。また、P/Bは1.3であった（Table 1）。

考 察

本研究で調査された舞鶴と網野のホンダワラ科海藻と丹後半島南東岸の養老で調査された5種⁶⁾の年平均個体

密度, 最大全長, 最大現存量, 年間純生産量, P/B および最大現存量に達した月, 生殖器床を形成していた時期, 大量の流失がみられた期間を Table 1 にまとめた。なお, Fig. 4 では出現したすべての個体を対象にした密度を示したが, 種や地点によっては幼胚から発芽した幼体が季節的に大量に出現した場合もあり, これらを単純に平均すると, 各地点における各種の平均個体密度は幼体の出現の有無に大きく影響されてしまい, 群落の主体となる成体の密度の比較ができない。幼体と成体とは一律にある全長で区別できるものではないが, 養老での調査結果⁶⁾と統一する必要もあり, Table 1 では年間を通じて観察された全長 20 cm 以上の個体を成体として, 成体の年平均個体密度を示した。

Table 1 に示した項目のいくつかは, 以下のように地点毎にまとめられる傾向があった。舞鶴や網野のいずれの種の平均個体密度も, 養老の 5 種の平均個体密度 ($20\sim 27$ 個体/m²)⁶⁾ よりも高かった。最大全長は網野 (103~167 cm) と舞鶴 (130~156 cm) が養老 (335~430 cm)⁶⁾ よりも短かった。最大現存量は, 舞鶴 ($2.1\sim 3.0$ kg dry wt/m²) が網野 ($0.5\sim 0.8$ kg dry wt/m²) の約 4 倍となり, 養老はその中間であった。⁶⁾ また, 年間純生産量も舞鶴 ($3.9\sim 4.0$ kg dry wt/m²) は網野 ($0.7\sim 1.1$ kg dry wt/m²) の約 4 倍であり, 養老がその中間であった。⁶⁾

ここで, 複数の地点で調査されたヨレモクとジョロモクについて, 地点間あるいは地点内の他種と比較してみる。舞鶴のヨレモクの最大現存量や年間純生産量は, 網野や養老のヨレモクの値よりもはるかに大きく, むしろ舞鶴のアキヨレモクの値に近い。舞鶴のヨレモクの年間純生産量は網野の 5.7 倍, 養老の 2.8 倍であったが, 舞鶴のアキヨレモクとはほとんど異なっていない。網野のジョロモクの最大全長は養老のジョロモクよりも小さく, 年間純生産量は養老の 0.6 倍であり, 網野のジョロモクの全長や年間純生産量はむしろ網野のヨレモクやフシジモクの値に近い。このように, 本研究で調査されたホンダワラ科海藻の最大全長や年間純生産量は, 同一種の地点間の違いが, 同一地点内の種間の違いを超えており, 種毎に異なるある特定の範囲の値をとるのではなく, 同一地点内に生育する種同士で比較的近い値をとる傾向が示される。このことは, 群落の現存量が最大となったときの個体の全長や重量の頻度分布によっても示され, 個体レベルでも同様の傾向があるといえる (Fig. 7)。これらの結果は, ホンダワラ科海藻の生長や生産量といった量的な形質については, それぞれの種の有する遺伝的に制約される範囲がかなり広く, 各地点の環境特性の違いによってそのような形質を変化させることができることを示唆している。

次に舞鶴, 網野, 養老の各地点における環境特性がど

のようにホンダワラ科海藻の生長や生産量に影響しているのか考察してみる。舞鶴では, 陸水の影響により濁りが強く海中の光の減衰が大きい。そのため, ホンダワラ科海藻の生育は浅場に限られるが, そのようなごく浅い地点 (水深 1 m) では, 水面に対する光量子量は, 養老の水深 2 m 地点よりもやや少ないが網野の水深 4 m 地点を上回っていた。舞鶴のアキヨレモクとヨレモクの最大全長は, その生育水深と同等かやや上回る程度で短かったが, 両種とも枝を密生させており単位面積あたりの現存量は大きかった。そして舞鶴で観察された最大現存量や年間純生産量は網野や養老のものを大きく上回った (Table 1)。一般に, 海藻類の生育密度が過剰になると藻体周辺の海水流動が悪くなり栄養塩を吸収しにくくなるため, 海藻類の生産量が減少すると考えられている。^{19,20)} しかし, 舞鶴は閉鎖性内湾にあり栄養塩濃度も網野や養老よりも高いと想定され, そのために舞鶴のホンダワラ科海藻の高い生産力を維持できたものと考えられる。また, 枝が密生すると波浪の抵抗を受けて流失しやすくなるが, 舞鶴では波浪が穏やかなため, 枝が密生した藻体でも生育が可能であったと考えられる。これらの結果, 舞鶴のホンダワラ科海藻の単位面積あたりの最大現存量や年間純生産量は, 開放海岸の網野や養老よりも大きくなったと推察される (Table 1)。

舞鶴のヨレモクの P/B が 1.9 と他地点と比べて高いのは, 比較的大量の流失が生殖器床形成後の 3~4 月以外の時期にもみられ, そのことが累積流失量と年間生産量を増加させたためである (Fig. 8)。舞鶴のヨレモクは成熟後に大量に流失した後も新しい主枝が盛んに生長して, 6~7 月に再び大量に流失している。このときの流失を引き起こした要因として, 7 月以降の高水温と濁りの増加がヨレモクの生育条件として不適であった可能性が考えられる。養老⁶⁾と網野のヨレモクは, 5 月または 6 月に大量に流失してから高水温期まであまり生長していないので, この時期に流失はみられない。また, 舞鶴のヨレモクは成熟前の 11~12 月にも流失しているが, この流失を引き起こす要因は現時点では特定できていない。一方, 舞鶴では群落のパッチの大きさにあわせて 25 cm × 25 cm 枠を用いたため採集個体数が少なかった。そのため, 採集地点の違いに起因にして, 群落の生育状況が変化したとみなしてしまった可能性も否定できない。このような誤差が存在すれば推定流失量が過大評価となるが, 水深や底質が同様な地点から毎月 4 枠ずつ刈り取っていることから, このような誤差はある程度抑制されているはずである。層別刈り取り法でこのような誤差を減らすには, 生育状況が広範囲に均一な群落から採集する必要があるが, 天然群落ではそれらの条件を満たさない群落がほとんどであり, このような群落での生産量調査方法については今後の課題である。

一般に、温帯性のホンダワラ科海藻は秋から春にかけて盛んに生長する種が多い²¹⁾が、この時期に北西季節風による強い波浪を受ける網野ではホンダワラ科海藻の重量はほとんど増加していない。網野のヨレモクの重量は11月に年間最大に達し、その後の冬から春を通じて増加しておらず (Fig. 5), フシスジモクの重量も12月から3月まではほぼ一定であり、3月から4月にかけて急激に増加して年間最大に達していた (Fig. 5)。また、成熟期が他種より早いジョロモク²²⁾は12~2月に藻体が大量に流失した (Figs. 5, 7)。他方、舞鶴のヨレモクは12~2月にかけて全長と重量がそれぞれ増加し (Figs. 5, 8), 養老のジョロモクの重量は12~2月にかけてほとんど変化せず、3~4月に急増し、その後4~5月に主に流失している (Table 1)。⁶⁾

網野のヨレモクやジョロモクの生長や流失の時期が舞鶴や養老の両種と異なっているのは、波浪の影響が大きいと考えられる。網野の採集地点は水深4mで他の2地点よりも深いが、同地先の安定計算結果における碎波水深 (10.6 m)¹¹⁾ よりも浅いため波浪の影響は他の2地点よりも強いと考えられる。²³⁾ 網野では秋から春の間の生長が舞鶴や養老よりもかなり少ないことや、生長した分以上に流失するために、3地点の中で最も全長が短く年間純生産量が小さくなったと推察される。網野では冬季に個体密度が減少していないことから (Fig. 4), 付着器から個体ごと流失するのではなく枝の一部が流失していると推測される。また、波浪の強い場所では、藻体を伸長させることよりも、波浪に耐えるような頑丈な藻体を形成するのにエネルギーを配分している²⁴⁾ 可能性が考えられる。アカモク *Sargassum horneri* では、波浪の強い地点のほうが全長は短く個体重量も小さいと報告されており、²⁵⁾ *Sargassum cymosum* では波あたりの強い地点のほうが、藻長が短く個体密度が高いことが示されている。²⁶⁾ これらのホンダワラ科海藻と波浪の強さとの関係は、本研究の網野のヨレモクやジョロモクと養老や舞鶴の両種の間で一致している。近年では藻体が海水の流れを感知するメカニズムにも関心が向けられており、²⁷⁾ このような方面からも海藻類の生産生態を明らかにすることが期待される。

養老は、丹後半島により冬季に強くなる北西季節風から遮蔽されていることや、ホンダワラ科海藻の生育する地点の海底に到達する光量子量が他の2地点よりも多いことから、網野や舞鶴と比べて藻体の生長が波浪や光不足によって制限されにくいのではないかと考えられる。養老のホンダワラ科海藻の全長は他の2地点よりも長く、最盛期には藻体上部が水面を覆うほど伸長している。⁶⁾ 藻体上部が水面を覆うと、藻体の下部には光が届きにくくなるため、その部位の側枝の生長はある程度制限されると考えられる。養老のホンダワラ科海藻の場

合、全長は他の2地点よりもかなり長い、単位面積あたりの現存量や年間純生産量は舞鶴と網野の間となっており、空間的な藻体の密生度は3地点の中で最も疎らであるといえる。養老の波あたりや光などの環境特性は、ホンダワラ科海藻の生長にとって好適であるが、それゆえに藻体同士の光をめぐる競争が激しくなり、その競争に勝った少数の大型個体に空間を占有されているため、個体密度が網野や舞鶴よりも低くなったと考えられる。また、養老の現存量や生産量が舞鶴のものほど多くなかったのは、養老の栄養塩濃度が舞鶴ほど豊富でなかった可能性が考えられる。

京都府沿岸ではホンダワラ科海藻20種²²⁾ が、内湾から外海までの様々な環境特性のもとで生育している。ある地点で優占するホンダワラ科海藻はその生育場の環境特性 (波あたり、栄養塩、光、水温、塩分など) に適応した生活史特性を持つことが予想される。本研究で調べられたホンダワラ科海藻においては、同じ地点内では複数種の全長や生産量が比較的近い値をとり、環境特性の異なる地点間では同種であっても全長や生産量あるいは主枝や側枝の流失時期が異なることが示された。よって、ホンダワラ科海藻の全長や生産量といった量的な形質は、生育場の環境の影響を大きく受け可塑的に変化することのできる形質といえるだろう。

謝 辞

京都大学大学院地球環境学堂の中原紘之博士には、本研究の取りまとめにおいて有益なコメントをいただいた。京都府立海洋センター所属栽培漁業指導船「みさき」の乗組員の皆様には、野外調査においてご助力いただいた。ここに記して厚く御礼申し上げる。本報は京都府立海洋センター業績 No. 156 である。

文 献

- 1) 布施慎一郎. ガラモ場における動物群集. 生理生態 1962; **11**: 23-45.
- 2) 大野正夫. 概論: ガラモ場—その環境と水産資源的効用. 月刊海洋科学 1985; **17**: 4-10.
- 3) Mann KH. *Ecology of coastal waters: With implications of management—2nd ed.* Blackwell Science, Massachusetts. 2000; 406.
- 4) 谷口和也, 山田悦正. 能登飯田湾の漸深帯における褐藻ヤツマタモクとノコギリモクの生態. 日水研報告 1978; **29**: 239-253.
- 5) Murase N, Kito H, Mizukami Y, Maegawa M. Productivity of a *Sargassum macrocarpum* (Fucales, Phaeophyta) population in Fukawa Bay, Sea of Japan. *Fish. Sci.* 2000; **66**: 270-277.
- 6) Yatsuya K, Nishigaki T, Douke A, Wada Y. Annual net production of the five Sargassaceae species in Yoro, western Wakasa Bay, Sea of Japan. *Fish. Sci.* 2005; **71**: 1098-1106.
- 7) 今野敏徳, 中島 泰. 丹後半島五色浜周辺 (京都府網野

- 町海中公園地区候補地)の海藻植生について. 海中公園センター調査報告 1980; **69**: 23-52.
- 8) 道家章生, 宗清正廣, 辻 秀二, 井谷匡志. 京都府の海藻 I : 舞鶴湾の海藻分布. 京都海洋セ研報 1994; **17**: 72-79.
- 9) 道家章生, 西垣友和, 八谷光介, 和田洋藏. 京都府網野地先に設置した基質に形成されたホンダワラ群落の遷移. 京都海洋セ研報 2004; **26**: 9-14.
- 10) 経ヶ岬沿岸波浪計観測 20 年報. 舞鶴海洋気象台, 舞鶴. 1997; 112.
- 11) 平成 12 年度ツングメ地区地先型増殖場造成事業に係る安定計算結果表. 京都府, 宮津. 2000.
- 12) 平成 17 年度宮津市養老地区漁場環境保全創造事業に係る安定計算結果表. 京都府, 宮津. 2006.
- 13) 平成 7 年度千歳漁港漁村整備総合整備事業漁港施設設計業務委託報告書. (株)ニュージェック, 大阪. 1995.
- 14) 京都府企画環境部環境管理課. 平成 15 年度公共用水域および地下水の水質測定結果. 京都府, 京都. 2005.
- 15) 八谷光介, 西垣友和, 道家章生, 井谷匡志, 和田洋藏. 京都府網野地先に設置した基質に形成されたホンダワラ群落の遷移 II : ホンダワラ群落の生産構造図とフシスジモクの年齢構成. 京都海洋セ研報 2005; **17**: 19-24.
- 16) Monsi M, Saeki T. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Jap. J. Bot.* 1953; **14**: 22-52.
- 17) 片田 実. 海藻の生活形と遷移. 日水誌 1963; **29**: 798-808.
- 18) 有賀祐勝, 横浜康継. 藻類生理生態研究法, 環境要因の測定, 光. 「藻類研究法」(西澤一俊, 千原光雄編) 共立出版社, 東京. 1979; 436-446.
- 19) Wheeler WN. Effect of boundary layer transport on the fixation of carbon by the giant kelp *Macrocystis pyrifera*. *Mar. Biol.* 1980; **56**: 103-110.
- 20) Hurd CL, Harrison PJ, Druehl LD. Effect of seawater velocity on inorganic nitrogen uptake by morphologically distinct forms of *Macrocystis integrifolia* from wave-sheltered and exposed sites. *Mar. Biol.* 1996; **126**: 205-214.
- 21) 梅崎 勇. ホンダワラ群落の周年変化. 月刊海洋科学 1985; **17**: 32-37.
- 22) 道家章生. 京都府沿岸域に分布するホンダワラ科海藻の成熟期. 京都海洋セ研報 2004; **26**: 58-60.
- 23) Brown AC, McLachlan A. *Ecology of sandy shores*. 1990. 邦訳: 須田有輔, 早川康弘 (訳) 「砂浜海岸の生態学」東海大学出版会, 東京. 2002; 7-41.
- 24) Johnson AS, Koehl MAR. Maintenance of dynamic strain similarity and environmental stress factor in different flow habitats: Thallus allometry and material properties of a giant kelp. *J. Exp. Biol.* 1994; **195**: 381-410.
- 25) Umezaki I. Ecological studies of *Sargassum horneri* (Turner) C. Agardh in Obama Bay, Japan Sea. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1984; **50**: 1193-1200.
- 26) De Paula EJ, De Oliveira EC. Wave exposure and ecotypical differentiation in *Sargassum cymosum* (Phaeophyta-Fucules). *Phycologia* 1982; **21**: 145-153.
- 27) Hurd CL. Water motion, marine macroalgal physiology, and production. *J. Phycol.* 2000; **36**: 453-472.