

京都府立海洋センター研究論文

第 7 号

平成17年12月

SPECIAL REPORT No. 7

Kyoto Institute of Oceanic and Fishery Science

December 2005

ホンダワラ藻場の生産・流失過程に関する研究

八 谷 光 介

Studies on Production and Outflow Process of *Sargassum* Forest

by

Kousuke Yatsuya

研究論文集 第7号 平成17年12月

京都府立海洋センター

SPECIAL REPORT No. 7, December 2005

KYOTO INSTITUTE OF OCEANIC AND FISHERY SCIENCE

Odasyukuno, Miyazu, Kyoto 626-0052, Japan

目 次

Abstract	1
緒 言	3
第1章 調査地点の特徴	4
ホンダワラ科海藻の分布特性	4
調査地点	4
水深帯別の景観区分	4
方法	5
結果	5
考察	8
第2章 生産量の見積もり	10
材料と方法	10
サンプリング	10
年間純生産量の見積もり	10
異なった分別単位で算出した年間流失量の比較	11
結果	11
水温	11
年間純生産量	12
1. ヤツマタモク	12
2. ノコギリモク	12
3. ヨレモク	13
4. ジョロモク	14
5. マメタワラ	14
異なった分別単位で算出した年間流失量の比較	15
考察	15
第3章 流失過程, 流失経路	17
材料と方法	17
層別刈り取り法	17
マッピング法	17
枯死期における流失・倒伏	18
結果	19
層別刈り取り法	19
マッピング法	19
枯死期における流失・倒伏	20
考察	21
第4章 流れ藻	23

材料と方法	23
流れ藻の種組成	23
流れ藻の比重	24
結果	26
流れ藻の種組成	26
流れ藻の比重	27
考察	31
流れ藻の種組成	31
流れ藻の比重	32
流れ藻の出現と浮遊期間の関連	33
第5章 打ち上げ海藻	34
材料と方法	34
結果	35
考察	36
第6章 総合考察	37
要約	38
引用文献	39

Studies on Production and Outflow Process of *Sargassum* Forest

Kousuké Yatsuya

Abstract

Sargassaceae seaweed was studied in the aspect of production and outflow process in Yoro, western Wakasa Bay, central Japan Sea coast of Honshu. Sargassaceae seaweed forms large seaweed bed along temperate Japan, in which a large amount of organic matter is photosynthesized. In the Sargassaceae seaweed bed, ecosystem is based on the photosynthesized organic matter. Sargassaceae seaweed has buoyant vesicles and become floating seaweed after detachment from substratum. The floating seaweed provides unique ecosystems at the sea surface and plays an important role of transporting organic matter or nutrient to seashore or sea bottom, since it is stranded ashore or sunk to oceanic sea bottom. In this study, to elucidate such important roles of Sargassaceae forest, productive process, drifting seaweed, stranded seaweed on beach was investigated along the material cycle in and around Sargassaceae forest.

Annual net production of five Sargassaceae species, which constitute Yoro seaweed bed, was examined by means of stratified clipping technique. Annual net production was estimated for *Sargassum patens* at 2,407 g dw/m², *S. macrocarpum* at 2,132 g dw/m², *S. siliquastrum* at 1,458 g dw/m², *Myagropsis myagroides* at 1,197 g dw/m², and *S. piluliferum* at 1,471 g dw/m². Percentage cover of five Sargassaceae species (49.7%) and species composition estimated annual net production of the seaweed bed to 998 g dw/m². The ratio of annual net production to maximum biomass (P/B_{max}) ranged from 1.3 to 1.7, which was higher than the previous studies using the same method. It was shown that winter storms dislodged some thalli of Sargassaceae, resulting in the higher P/B_{max} .

Four-segregated unit in the stratified clipping technique estimated the amount of loss per year. As smaller unit was applied, the amount of loss increased. When the amount of loss estimated by the 10 cm thickness of strata and not divided annual part was regarded as 100%, the amounts of loss estimated by the 10 cm stratum and quarterly divided annual part: main branch, leave, vesicle, and receptacle, would be 104 to 108%, and these by the 20 or 50 cm thickness of strata with not divided annual part were 98 to 99% or 86 to 96%, respectively. *Myagropsis myagroides*, which was shorter than 2 m in maturation period, should be applied 20 cm or less thickness strata, however, for *S. patens*, *S. macrocarpum*, and *S. siliquastrum* annual amount of loss could be estimated by 50 cm thickness strata.

The amount of loss of Sargassaceae seaweed was investigated by means of stratified clipping method and permanent quadrat method. Thalli in the permanent quadrat were monthly investigated in length and the number of main branch. The amount of loss of Sargassaceae seaweed was exclusively in its deterioration period, (April to August), and was also plenty in winter season. Annual amount of loss in Yoro seaweed bed was 921 g dw/m² in the estimation by stratified clipping method, and was 1,217 g dw/m² in the estimation by permanent quadrat method.

In the deterioration period of Sargassaceae, *S. patens* and *S. macrocarpum* was investigated to estimate the ratio of withered thalli and drifted thalli. Marked main branches of both species were monitored every ten days until all main branches were withered or drifted. For *S. patens*, this ratio was estimated at 33:67, and for *S. macrocarpum* it was 23:77. Higher part of the thalli was drifted rather than withered.

Floating seaweed collected in western Wakasa Bay was mainly constituted by Sargassaceae. Monthly most collected species was as follows; *S. horneri* in March to July, *S. macrocarpum* in August, *S. ringgoldianum* subsp. *coreanum* in September and October, *S. siliquastrum* in November. Species composition of floating seaweed was almost same as that growing in the coast of Kyoto Prefecture.

The specific density of Sargassaceae seaweed was measured. Floating seaweed was ballasted with pre-weighed lead and the specific density of thalli was calculated. The density was lowest and buoyancy was largest in *S. horneri* among four Sargassaceae species investigated. Floating period was estimated to be 4 to 14 weeks for the thalli detached before maturation period, 1 to 8 weeks for the thalli detached in maturation period and 2 weeks or less for thalli detached after maturation period. The buoyancy and floating period of Sargassaceae seaweed was dependent on the species and the period of detachment from substrata.

Stranded seaweed on the beach located in front of the seaweed bed was investigated throughout a year. Annual amount of stranded seaweed was 1,733 g dw/m and Sargassaceae seaweed consisted 72.9% (1,263 g dw/m) of the stranded seaweed. In deterioration period, April to July, the amount of stranded seaweed was 34% of the amount of annually stranded seaweed, and it was 61% in January to February. Winter storm has an important role in the stranded process of seaweed. Species compositions of stranded Sargassaceae by the dry weight and by the number of holdfast were almost same as that in seaweed bed, so that the stranded Sargassaceae might almost come from the adjacent seaweed bed.

The outflow process of Sargassaceae seaweed in Yoro was summarized as follows. The amount of loss in it deterioration period was 67.4% of annual amount. In this period, 30.4% of thalli were withered in seaweed bed and 69.6% was drifted away. In other season, all amount of loss was transported out of seaweed bed, and 20.4% of annual amount of loss was within seaweed bed and 79.6% was transported out of seaweed bed. The percentage of stranded seaweed on the adjacent beach was 1.6%. The thalli transported out of seaweed bed except for onto beach were regarded as resource for floating seaweed. Floating seaweed was speculated to be two component such as dissolved or particulate matter (11.1%) and sinking thalli (88.9%). The percentage of seaweed weight sunk to offshore sea bottom was 69.4% of the annual amount of lost from Sargassaceae forest. This flow chart disregards two important pathways, one is seaweed drifting at seafloor and another is floating seaweed washed up to other seashores. Those processes should be investigated in further studies.

This study was able to express production and outflow process of Sargassaceae forest in quantity and evaluate the supply of floating seaweed and stranded seaweed, which contribute nutrient recycling and provide habitats and food on the beach or sea surface.

緒 言

生物や生態系は、それ自身が完全に独立したものではなく、エネルギーや物質を系内のみならず系間で循環させて成り立っている(植田, 1982)。それゆえ物質循環の健全性が保障されないと生物や生態系は姿かたちを変えていき、その許容限度を超えたとき、生物は死を迎え、生態系は回復できなくなる(室田, 2001)。

地球上で生物が生息する環境は、大気、陸上、海洋と3つに分けられる。これら3つの環境もそれぞれ独立したものではなく、お互いに影響を及ぼしあっている。沿岸生態系は、陸上と海洋の接点であり、両者の物質循環の仲立ちをしている。陸上から河川などを通じて海洋に持ち込まれた栄養塩はまず沿岸生態系に取り込まれ、その後徐々に生物を通して遠洋や深海へ広がっていくものと考えられる(Mann, 2000)。また、沿岸海域で生産された海産植物が海岸に打ち上げたり、サケなどの遡河回遊魚や海鳥などによって、海域の栄養塩が陸上へuploadされる場所(室田, 2001)としても沿岸生態系は重要である。

沿岸生態系には、一次生産者を基準にすると、藻場、干潟、サンゴ礁、マングローブ林などに分類される(Mann, 2000)。その中で藻場は、大型褐藻類によって構成され、温帯より寒帯までに分布し、その生産力は沿岸生態系の中でも高く $1\text{kgC}/\text{m}^2/\text{yr}$ 程度とされている(Mann, 2000)。ホンダワラ藻場は、海藻類を餌とする植食動物や棲み場として利用する動物も多く見られ、多様な生物が集まり複雑な生態系を構成している(布施, 1962)。また、ホンダワラ科海藻は藻場以外の様々な場所へ餌や棲み場所を提供している。

ホンダワラ科海藻が藻場から流失した場合、流れ藻や(吉田, 1963; 池原・佐野, 1986)、海底を漂う寄り藻となることや、海岸に打ち上げる(池原・林田, 2003)ことは認識されているが、それらの過程が定量的に研究されることは少なかった。今後、藻場造成の事前調査などで様々な藻場の生産力が明らかになってきても、その生産力が結果的にどうなるのかということ进行を明らかにしないと、その藻場が沿岸生態系に果たす役割を解明できない。たとえば、海岸に打ち上げた海藻には、昆虫類や端脚類などの動物が集まり、またこれらを餌とする捕食者を通じた物質循環が形成される(Griffith *et al.*, 1983; Inglis, 1989)。漸深帯のコンブ科海藻が潮間帯に打ち上げ、それを利用してカサガイ類が高いバイオマスを維持している(Bustamante *et al.*, 1995)。磯焼けや波浪により海藻群落の生産性が低い場所に分布するウニなどの植食動物にとって、藻場から流失した海藻類が主要な餌資源となりうる(Yatsuya and Nakahara, 2004a, b)。また、ホンダワラ科海藻は、気胞による浮力のために、基質から離れたのちに海面上を浮遊する流れ藻となる。流れ藻は、産卵

基質や幼稚魚の棲み場所として利用されるために、水産業上の重要性が指摘されている(千田, 1965; 池原, 1977)。このように藻場から流失した海藻にはさまざまな役割があるが、海藻の生産量のどれほどが、どこへ、どの様に流失しているのかということは明らかにされていない。そのため、流れ藻や寄り藻の発生量を予測するための基礎的知見も不在のままである。

海藻類は海水中の栄養塩を取り込み、それらを体構成成分に変換して固定するため(Mizuta and Maita, 1991; 西垣ら, 2004)、藻場の海藻が取り込んだ栄養塩の輸送を明らかにすることは物質循環の立場から重要である。藻場から流失した藻体がたどる経路の違いによって、藻場で固定された栄養塩の行方が左右される。藻体に取り込まれた栄養塩は海水中に再放出されるか、陸上に打ちあがるか、深海中に沈んでいくか、そして、どのような生物によって利用されるかということ进行を解明することは、海洋生態系全体から見ても重要なこととなる(Kirkman and Kendrick, 1997)。

そこで、本研究では本州日本海側の若狭湾西部に位置するホンダワラ藻場を対象として、その生産と流失過程に関する研究を行った。ホンダワラ科海藻は温帯から熱帯にかけて分布し(Yoshida, 1983)、特に暖温帯では大規模な藻場を形成する(大野, 1981)。第1章では、調査地点の概要を示し、藻場を構成するホンダワラ科海藻の分布とその特性について取り上げた。また、藻場内の植食動物についても調査した。第2章では藻場を構成するホンダワラ科海藻の年間純生産量を層別刈り取り法によって調べた。第3章では、藻場からの流失過程を調べた。季節的な流失過程については、第2章で用いた層別刈り取り法と永久コドラート内の藻体をマッピングする方法を併用した。ホンダワラ科海藻の枯死脱落期には、個体識別した藻体の主枝に目印をつけ、これを連続的に観察することで、流出倒伏過程を追跡した。第4章では流れ藻を若狭湾西部海域から採集しその種組成の季節変化を調べ、漂流する流れ藻の主要な特性である比重について実験した。第5章では、藻場の前面に位置する砂浜への打ち上げ海藻について年間を通じて調査した。第6章では総合考察として、藻場での生産・流失過程を通じるフロー図を作成し、本研究を総合的に取りまとめた。

第1章 調査地点の特徴

—藻場を構成するホンダワラ科海藻の分布特性—

藻場を構成するホンダワラ科海藻の分布は、水深や基質により異なっているし(今野ら, 1985)、同じ場所でも複数種がモザイク状に生育していることも知られている(今野・中島, 1980; Hayashi *et al.*, 2000)。このようなホンダワラ科海藻の分布を調べるには、調査線

を1本設けてその周囲のみを調査対象とする方法では、水平方向の植生のばらつきを評価することができないために不十分である。そこでホンダワラ科海藻の分布を岸沖方向だけでなく水平方向についても把握できるような被度調査を行った。ホンダワラ科海藻各種とそれらが付着する基質との関連性を見出すためには、ホンダワラ科海藻をすべて識別し、それらが付着している基質を記録する必要があると考えた。そこで、調査範囲を限定し、そのなかのホンダワラ科海藻が付着している基質をすべて記録する調査を行った。

また、海藻群落の分布に影響を与える植食動物とその他の底生動物の現存量も調査した。

調査地点

調査地点である京都府宮津市養老地区(35°39.07'N, 135°15.35'E)は、本州日本海岸の若狭湾の西部に位置する(Fig. 1)。この地区は丹後半島の南東岸に位置し、日本海で冬季に卓越する北西季節風からやや遮蔽

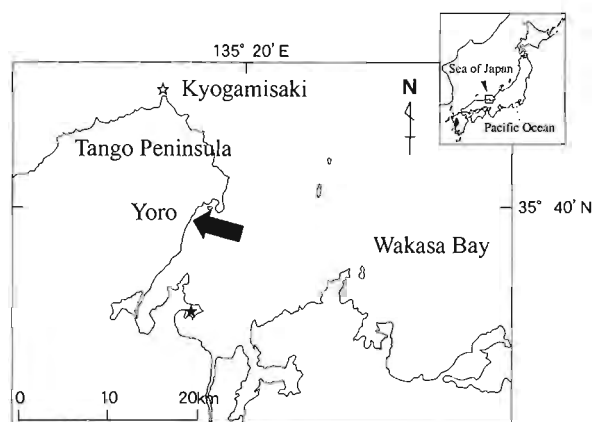


Fig. 1 Map showing study site Yoro. Closed star (★) indicates the Kyoto Institute of Oceanic and Fishery Science where density of seaweed was examined (see Chap. 4). Wave height was recorded at Kyogamisaki (☆) by Maizuru Marine Observatory (see Chap. 3 and 5).

されている。この地区の水深1.5~5.0 mに海岸線と平行に岩礁および転石帯があり、そこにはホンダワラ科海藻が優占する藻場が形成されている(Fig. 2)。また、ホンダワラ藻場より岸側は砂地でありアマモが点在する。潮間帯は砂浜で、砂浜の最上部には、若干の海浜植生が見られた。藻場より沖側の基質は砂であり、ホンダワラ藻場の沖の端より水深8 m以深までアマモ場が広がっている。

水深帯別の景観区分 2002年8月26日に海岸線と直行する調査線を藻場の中央部に設け(Fig. 2)、この線に沿って生育している海藻種とその分布域を目視により

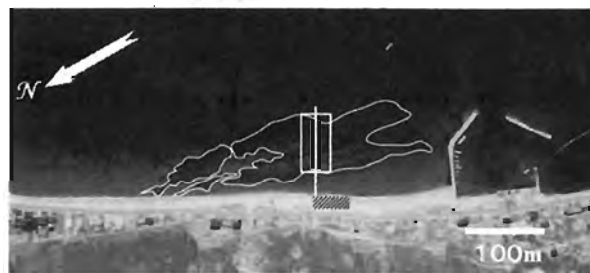


Fig. 2 Aerial photograph of Yoro. Seaweed beds are located in the areas enclosed by white line. White line perpendicular to shore line indicates transect line to investigate depth profile of the seaweed bed. White rectangle indicates where substratum and percentage cover of Sargassaceae species were investigated. Stranded seaweed was collected in the area indicated by slash lines (see Chap. 5).

調査した。海藻植生と基質の状態から構成される景観を水深帯別に3つに分け(新井, 1997)、それらを「岸帯、中帯、沖帯」と名づけた(Fig. 3)。岸帯の水深は1.5~2.5 mであり、基質は主に岩盤と転石で、ヤツマタモク *Sargassum patens* C. Agardh, マメタワラ *S. piluliferum* (Turner) C. Agardhが優占し、ノコギリモク *S. macrocarpum* C. Agardh, ヨレモク *S. siliquastrum* (Mertens ex Turner) C. Agardh, ジョロモク *Myagropsis myagroides* (Mertens ex Turner) Fensholtも出現した。中帯の水深は2.5~3.5 mであり、基質は主に岩盤でヤツマタモク, マメタワラ, ノコギリモクが優占し、ジョロモク, ホンダワラ *S. fulvellum* (Turner) C. Agardh, アカモク *S. horneri* (Turner) C. Agardhも出現した。沖帯の水深は3.5~5.0 mであり、基質は主に転石でノコギリモクとヤツマタモクが優占し、アカモク, ホンダワラも出現した。これらのホンダワラ科海藻のうちアカモクとホンダワラのみが1(2)年生種であり、他は多年生種である。ホンダワラ科海藻の下草として、クロメ *Ecklonia kurome* Okamura, マクサ *Gelidium amansii* Lamouroux, カバノリ *Gracilaria textorii* Suringarなどがすべての水深帯区分でみられた。各水深帯区分の沖出し距離は岸帯25 m, 中帯28 m, 沖帯35 mで、合計88 mであった。

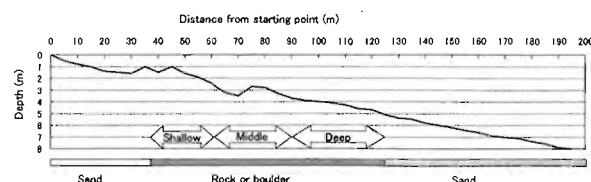


Fig. 3 Depth profile and substratum along transect line in Yoro seaweed bed. *Sargassum* bed is located on rock or boulder. Three depth ranges in *Sargassum* bed are also indicated.

方 法

2004年8月27日に、上述の景観区分調査のために岸沖方向に設けた調査線を中心とし100 mの調査線を10 m間隔で6本設けた。これらの調査線の始点と終点はホンダワラ藻場の外に置かれている。調査線に沿って10 m間隔で調査枠(1 m²)を置き、枠の中心部の水深、枠内のホンダワラ科海藻各種の被度、各基質区分(砂:<米粒大, 石:<150 cm, 岩:150 cm<)の被度を調べた。調査範囲は50 m×100 mであり、調査枠数は合計66枠となった。水深はダイビングコンピュータを用いて10 cm間隔で測定された。養老で水深測定した日時における舞鶴湾検潮所の潮位は、年間平均潮位より38 cm高かった*ため、実測水深より40 cm差し引いたものを水深とした。調査枠内で80%以上を占めている基質区分をその地点の基質とみなした。また、80%以上を占める基質がなかった場合には、被度第1位と第2位の基質を(1位)/(2位)のように記した。

2004年9月2日に、ホンダワラ科海藻とそれらが付着する基質をマッピングする調査を行った。調査地点は、上述のホンダワラ科海藻5種が生育していた水深2 m近辺であり、ここに長さ5 mの調査線を1 m間隔で岸沖方向に6本設けた。この調査線上に1 m間隔で50 cm方形枠を置き、その枠内のホンダワラ科海藻種および基質を防水紙にマッピングした。ホンダワラ科海藻については、全長別(A: 5 cm未満, B: 5~20 cm, C: 20~50 cm, D: 50 cm以上)に記録し、基質は藤田ら(2003)を参考に、小礫(~10 cm)、中礫(10~40 cm)、大礫(40~150 cm)、岩(150 cm~)の区分で記録した。

ホンダワラ藻場における底生動物の現存量を把握するために、枠取り調査を行った。2003年7月18日には、水深帯を2~3, 3~4, 4~5 mの3つに分け、それぞれの水深帯の底生動物を調査した。各水深帯において海岸線方向に100 mずつ離れた3ヵ所において、1 m²枠を2回ランダムに設置し、枠内の底生動物をすべて採り上げて個体数を調べた。2003年11月18日には、藻場中央部の調査線付近の岸帯、中帯、沖帯において、1 m²枠を3回ランダムに設置し、枠内の底生動物をすべて採り上げ、個体数と湿重量を調べた。

結 果

調査地点の水深帯はおおむね海岸線と平行に分布していたが、水深3~4 m地点で直径20 m程度の凸部が見られた(Fig. 4)。岸帯(水深1.5~2.5 m)の基質は岩が中心であったが中央部には転石が多かった。中帯(水深2.5~3.5 m)の基質は転石や岩盤が中心であっ

たが、北側には沖出し距離10 m程度の砂地の場所があった。沖帯(水深3.5~5.0 m)の基質は転石が中心で部分的に砂地となっていた(Fig. 4)。

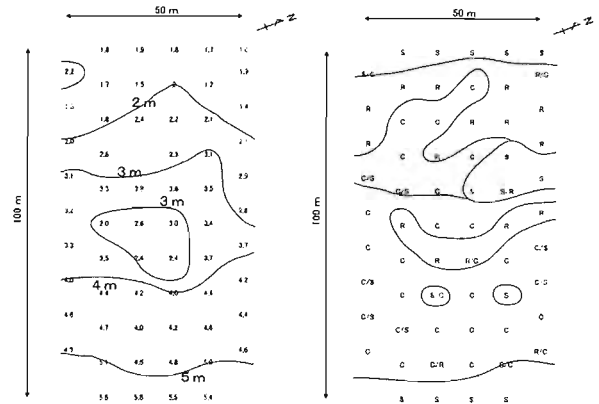


Fig. 4 Depth profile (left side) and substratum (right side) in Yoro seaweed bed. S, C and R indicate Sand, Cobble and Rock, respectively.

出現頻度の高かったヤツマタモク、ノコギリモク、マメタワラ、ヨレモク、ジョロモクの5種の被度をそれぞれFigs. 5-9に示す。その他のホンダワラ科海藻としては、ホンダワラ、アカモク、フシシジモクがみられたが、いずれの種も局所的にしか出現しなかった。

ヤツマタモクの被度は、岸帯や中帯で高く(20~90%)、沖帯で低い(10~40%)傾向があった(Fig. 5)。しかしながら、北側から2番目の調査線上では、ヤツマタモクの被度が最大でも10%しかなかった。ノコギリモクの被度は中帯から沖帯にかけて高い(20~60%)傾向があるが10%を下回る調査線もあった(Fig. 6)。マメタワラでは、被度がパッチ状に高くなるところが岸帯、中帯、沖帯のすべての水深帯で見られ、その最大値は沖帯で見られた80%であった(Fig. 7)。ヨレモクでは、被度がパッチ状に高くなるところが岸帯、中帯の水深帯で見られ、その最大値は岸帯で見られた60%であった(Fig. 8)。ジョロモクの被度は、全体的に低く藻場の中では1ヵ所だけ20%を越えた(Fig. 9)。調査区画内全体でホンダワラ科海藻5種が底面に占める割合は49.7%であった。これらの5種の占める割合を被度から導くと、ヤツマタモク:42.9%、ノコギリモク:22.9%、マメタワラ:19.4%、ヨレモク:10.6%、ジョロモク:4.0%となった(Table 1)。

異なる基質に付着していたホンダワラ科海藻の個体数と全長区分を記録したが、全長5 cm未満の個体は密生しており、個体数を正確に数えることが困難であったため結果に含めなかった。調査枠内の個体数は、マメタワラが最も多く、ヤツマタモク、ノコギリモクが続いた(Table 2)。しかし、50 cm以上の大型個体では、ヤツマタモクが最も多く、ノコギリモク、ヨレモクが

*舞鶴海洋気象台. 実測潮位. <http://www.maizuru-jma.go.jp/>

Sargassum patens

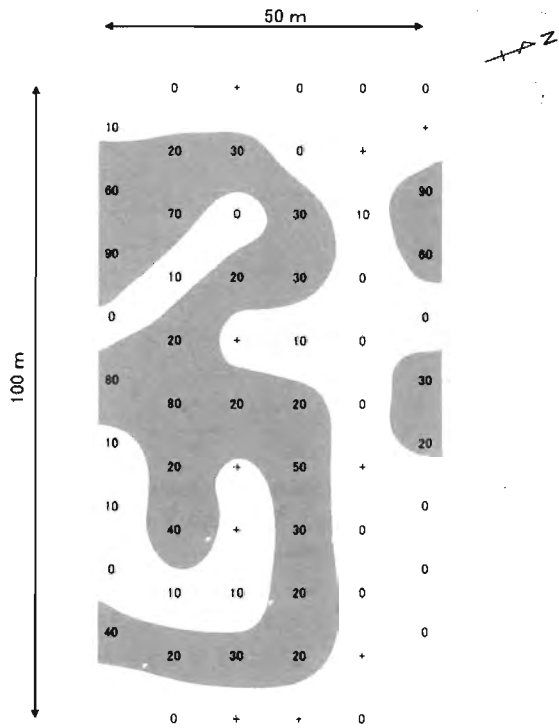


Fig. 5 Percentage covers of *Sargassum patens*. Shaded areas indicate where the percentage cover is equal to or more than 20 %.

Sargassum macrocarpum

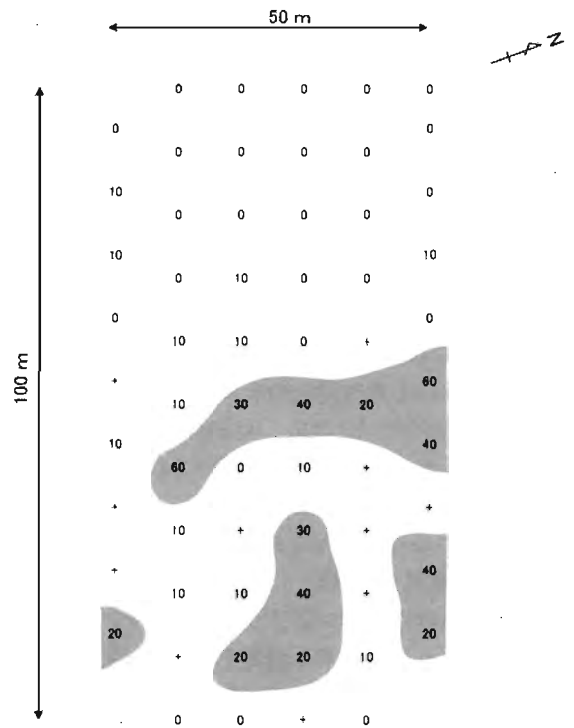


Fig. 6 Percentage covers of *Sargassum macrocarpum*. Shaded areas indicate where the percentage cover is equal to or more than 20 %.

Sargassum piluliferum

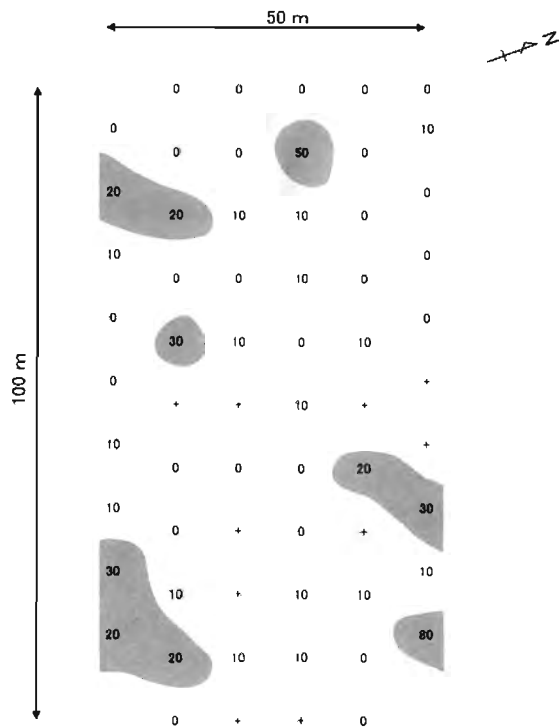


Fig. 7 Percentage covers of *Sargassum piluliferum*. Shaded areas indicate where the percentage cover is equal to or more than 20 %.

Sargassum siliquastrum

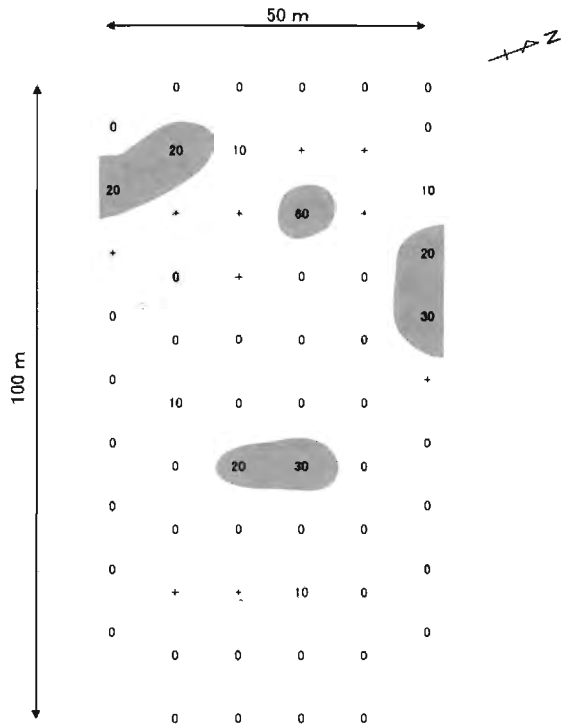


Fig. 8 Percentage covers of *Sargassum siliquastrum*. Shaded areas indicate where the percentage cover is equal to or more than 20 %.

Myagropsis myagroides

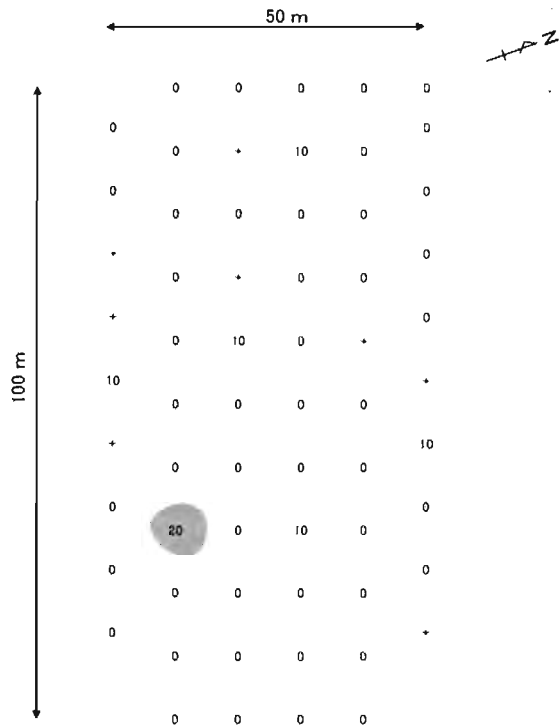


Fig. 9 Percentage covers of *Myagropsis myagroides*. Shaded areas indicate where the percentage cover is equal to or more than 20 %.

続いた。50 cm枠内が単一種で占められる場所はほとんどなく、複数種が出現することが多かった。付着していた基質別にホンダワラ科海藻各種の個体数割合をTable 3に示す。すべての種で岩に付着する割合が最も高く、その割合はマメタワラ (73.5%) を除いて80%以上であった。大礫、中礫、小礫上には12.5~25.5%が生育しており、その割合はマメタワラが最も高かった (Table 3)。中礫より小さい基質に付着している個体の割合が高い順に並べると、ジョロモク (12.5%)、マメタワラ (12.3%)、ヨレモク (8.3%)、ノコギリモク (5.7%)、ヤツマタモク (4.8%) となった (Table 3)。

2003年7月18日に調査した底生動物の分布量をTable 4に示す。分布密度が1個体/m²を超えたのは、ヒザラガイ類、イトマキヒトデ*Asterina pictinifera*、クモヒトデ類、アカウニ*Pseudocentrotus depressus*、ムラサキウニ*Anthocidaris carassispina*であった。植食動物ではムラサキウニは水深2~3 mで多く、アカウニは水深3~5 mで多かった。

2003年11月18日に調査した底生動物の分布量をTable 5に示す。個体数が多かったのは、ヒザラガイ類、バフンウニ*Hemicentrotus pulcherrimus*、ムラサキウニであった。湿重量が多かったのは、クモヒトデ類とウニ類で、最も多かったムラサキウニは、中帯では183.0 g ww/m²であった。また、沖帯ではアカウニの湿重量が最も多く、42.6 g ww/m²であった。

Table 1 Relative percentage of five Sargassaceae species in Yoro seaweed bed, estimated from the percentage cover of each species

Species	Percentage
<i>Sargassum patens</i>	42.9
<i>S. macrocarpum</i>	22.9
<i>S. piluliferum</i>	19.4
<i>S. siliquastrum</i>	10.6
<i>Myagropsis myagroides</i>	4.0

Table 2 The number of individuals per 9 m² in each length range for the five Sargassaceae species in Yoro on September 2, 2004

Species	B(5-20cm)	C(20-50cm)	D(50cm<)	Total
<i>Sargassum patens</i>	29	17	58	104
<i>S. macrocarpum</i>	8	3	24	35
<i>S. siliquastrum</i>	6	0	6	12
<i>S. piluliferum</i>	109	21	25	155
<i>Myagropsis myagroides</i>	2	1	5	8

Table 3 Relative percentage of the five Sargassaceae species on each type of substratum in Yoro on September 2, 2004

Species \ Substratum	Sand	C1 (<10cm)	C2 (10-40cm)	C3 (40-150cm)	R (150cm<)
<i>Sargassum patens</i>	0	1.0	3.8	10.6	84.6
<i>S. macrocarpum</i>	0	5.7	0	8.6	85.7
<i>S. piluliferum</i>	0	0	8.3	8.3	83.3
<i>S. siliquastrum</i>	0	0	12.3	14.2	73.5
<i>Myagropsis myagroides</i>	0	0	12.5	0	87.5

Table 4 The number of benthic animals per 1 m² in Yoro seaweed bed investigated on July 18, 2003

Species \ Depth	2~3m	3~4m	4~5m
Chiton	1.2	0.2	0.3
Shellfish			
<i>Astraliium haemafragum</i> (Menke)	0.5		
<i>Anachis misera</i> (Sowerby)		1.0	
Starfish			
<i>Astropecten polyacanthus</i> Müller et Troshel			0.2
<i>Asterina pictinifera</i> Müller et Troshel			0.2
<i>Asterias amurensis</i> Lütken	0.2	1.5	0.2
Brittle star	1.7	1.0	0.8
Sea urchin			
<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i> (A. Agassiz)	0.3	0.3	
<i>Pseudocentrotus depressus</i> (A. Agassiz)		1.2	1.5
<i>Anthocidaris carassispina</i> (A. Agassiz)	1.7	0.2	0.3
Sea cucumber			
<i>Stichopus japonicus</i> (Selenka)	0.8		
<i>Holothuria monacaria</i> (Lesson)		0.2	

考 察

本研究の調査地である養老の周辺海域では、舞鶴湾(道家ら, 1994), 宮津湾(道家ら, 1995a), 丹後半島外海の網野町(今野・中島, 1980), 福井県高浜町小泊(梅崎・有山, 1981; Yatsuya and Nakahara, 2004a)において海藻群落の調査が行われている。舞鶴湾, 宮津湾のホンダワラ群落は, 水深3 m程度まで分布しているが, それ以深ではまばらにしか見られない。また, 両湾において優占するホンダワラ科海藻は, ウミトラノオ*S. thunbergii*やアキヨレモク*S. autumnale*など潮間帯やその直下に分布する種であった(道家ら, 1994; 1995a)。丹後半島外海域のホンダワラ群落は, 波あたりの弱いところではジョロモク, ヤツマタモクが優占

し, 波あたりの強いところでは, オオバモク(ヤナギモク)とアカモクが多く分布していた(今野・中島, 1980)。福井県高浜町小泊では, 水深2 m付近ではジョロモク, ヤツマタモク, マメタワラが多く(Yatsuya and Nakahara, 2004a), 水深4~6 mではヤツマタモク, マメタワラ, ノコギリモクが繁茂していた(梅崎・有山, 1981)。養老のホンダワラ藻場の種組成は, 網野町の波あたりの弱いところや小泊と類似している。これらの地点は, 内湾的な舞鶴湾や宮津湾と外海的な網野町の中間的な特徴を備えた藻場といえる。舞鶴湾や網野町の外海に直面した地点では, ホンダワラ科海藻が最大でも1.5 mを超えることはない(八谷ら, 未発表)。一方, 養老のホンダワラ科海藻は最大で3.5 mを超えるため(2章参照), 養老の藻場は立体

Table 5 Wet weight and the number of individuals per 1 m² of benthic animals in the seaweed bed investigated on November 18, 2003

Species	No./m ²			Wet weight (g/m ²)		
	Shallow	Middle	Deep	Shallow	Middle	Deep
Chiton						
<i>Cryptoplax japonica</i> (Pilsbry)		0.3			1.2	
<i>Liolophura japonica</i> (Lischke)	11.3	0.7		12.6	0.5	
Shellfish						
<i>Omphalius pfeifferi carpenteri</i> (Dunker)	0.7	0.3		8.6	10.1	
<i>Astraliium haemafragum</i> (Menke)		2.3	0.3		6.3	1.8
<i>Ergalatax contractus</i> (Reeve)		1.7	0.3		1.1	0.3
<i>Anachis misera</i> (Sowerby)	0.3			12.6		
Hermit crab						
<i>Pertolisthes japonicus</i> (de Haan)		0.3			0.5	
Rock crab						
<i>Thalamita prymna</i> (Herbst)		0.3			7.2	
Starfish						
<i>Astropecten polyacanthus</i> Müller et						
Troschel	0.3		0.3	0.8		1.3
<i>Asterias amurensis</i> Lütken	0.3	0.7		8.8	5.9	
Brittle star						
<i>Ophioplocus japonicus</i> H. L. Clark	3.3	7.0	3.0	16.5	32.6	17.1
<i>Ophiuroidea</i>	0.3	2.7	1.0	0.2	1.6	0.6
Sea urchin						
<i>Hemicentrotus pulcherrimus</i> (A. Agassiz)	0.7	1.7		13.1	36.0	
<i>Pseudocentrotus depressus</i> (A. Agassiz)			1.0			42.6
<i>Anthocidaris carassispina</i> (A. Agassiz)		1.3	0.3		183.0	26.3
Sea cucumber						
<i>Holothuria monacaria</i> (Lesson)		0.3			11.8	

的にも大規模な藻場を形成する。日本海沿岸中部では、おそらく養老のくらの外海への遮蔽度（開放度）を持つ地点が、最も大規模なホンダワラ藻場を形成するのではないかと推察される。

50 m×100 mの範囲でホンダワラ科海藻の被度調査を行ったところ、ホンダワラ科海藻の被度は各調査線によって異なっていた。このようにホンダワラ科海藻の分布は、微地形によってかなり異なり、藻場全体の現存量や生産量を把握する場合、その調査方法に注意する必要がある。養老藻場のホンダワラ科海藻の種組成は、水深帯によっても異なるし水平方向でも異なっていたため、調査定点を増やすことによってこれらのばらつきも含めた種組成を把握した。

中礫より小さい（長径40 cm以下）基質は、養老地先において波浪で横転したり移動したりすることが観察されているので、これらの基質は不安定である。その基質に付着していた個体数割合を各種に対して求めたところ、4.8～12.5%の範囲内であった。逆に言うと、安定した基質に各種とも87.5～95.2%の個体が付着し

ていたことになる。今回の調査では、ホンダワラ科海藻の各種が付着する基質の大きさに、種による違いを見出せなかった。しかしながら、岩に付着した全長50 cm以上の個体数をみるとヤツマタモクが全体の約半数を占めており、各種の個体も1個体ずつランダムに生育しているわけではなく、いろいろな大きさのパッチ状態となって生育していた。そのため、ホンダワラ科海藻の分布には、何らかの傾向があり、棲み分けが起こっている可能性がある。また、本研究では基質の大きさだけを調べたが、今後は砂や玉石などによる剥ぎ取りなども考慮するために、転石や岩などの比高も調べる必要があるだろう。

本研究で対象とした5種のホンダワラ科海藻はすべて茎部越年性の大型多年生であり生活形（片田, 1963）が類似している。このように同じ生活形に属する海藻種の棲み分けの有無やその程度を明らかにするには、更に詳細な調査が必要であり今後の課題としたい。

養老海域周辺では、福井県高浜町小泊のムラサキウニの分布量が調査されている（Yatsuya and Nakahara;

2004a)。小泊では、ホンダワラ藻場の中でムラサキウニの湿重が20.0~74.3 g/m²であり、ムラサキウニの密度が高かったピリヒバ帯では299.8~854.2 g/m²であった。また、北海道南西部日本海岸の磯焼け域においては、キタムラサキウニの湿重が193.2~272.0 g/m²、エゾバフンウニの湿重が32.2~71.9 g/m²と報告されている(吾妻, 1997)。養老における主要な植食動物はウニ類であるが、それらの合計湿重量は、岸帯で13.1 g/m²、中帯で219.0 g/m²、沖帯で68.9 g/m²となっており、岸帯と沖帯はホンダワラ藻場におけるウニ類の分布量に近く、中帯のウニの分布量は、藻場と磯焼け域の中間程度となっていた。しかしながら、養老においては植食動物がホンダワラ群落の植生を変化させているような地点は見られなかった。

第2章 生産量の見積もり

ホンダワラ科海藻は高い生産力を持ち(Mann, 2000)、暖温帯ではガラモ場と呼ばれる大規模な藻場を形成し(大野, 1981)、様々な生物に棲み場所や餌を提供している。また、ホンダワラ科海藻には年周期があり、一年生種はその藻体の全部を、多年生種は茎より先の一年生部位を流失させる(梅崎, 1985)。流失した藻体は、流れ藻、寄り藻、打ち上げ藻となり、他の生物に利用されるので、藻場はそれらの供給源としても機能している。また、大型海藻の生産や輸送は海洋炭素循環や栄養塩循環の重要な一部でもある(Smith, 1981)。

ホンダワラ藻場の持つそのような物質循環に対する重要性を評価するためには、まず、ホンダワラ科海藻の生産力を調べなければならない。1960年代後半より、沿岸域の生産力の調査が始められ、日本海においては1970年代後半より現在までにヤツマタモク、ノコギリモク、スギモクの生産力が調査されている。能登半島飯田湾の水深4~6 mにおけるヤツマタモクとノコギリモクの年間純生産量はそれぞれ5.5および8.3 kg dw/m²であり(谷口・山田, 1978)、山口県深川湾の水深8 mにおけるノコギリモクでは1.6 kg dw/m²であった(Murase *et al.*, 2000)。男鹿半島の水深1 mにおけるスギモクの年間純生産量は2.1 kg dw/m²であった(中林・谷口, 2002)。これらの研究はホンダワラ科海藻の年間純生産量には、1~8 kg dw/m²程度の幅があることを示している。しかし、年間純生産量の違いが、種自身の持つ違いによるものか、水深などの環境条件によるものか明らかではない。

ホンダワラ藻場では、複数種がモザイク状に生育していることがよくある(今野・中島, 1980; Hayashi *et al.*, 2000)。しかし、同じ藻場でホンダワラ科海藻の年間純生産量の違いを調べた例は少ない(谷口・山田,

1978)。そこで、若狭湾西部養老地先において、同じ藻場に生育しているホンダワラ科海藻5種、すなわち、ジョロモク、ノコギリモク、ヤツマタモク、マメタワラ、ヨレモクの年間純生産量を調べた。

ホンダワラ科海藻の年間純生産量は層別刈り取り法を用いた生産構造図によって見積もられてきた(Monsi und Saeki, 1953; 谷口・山田, 1978)。層別刈り取り法は、植物体を切り分ける分別方法が異なると推定流失量に変化するという方法であるが、これまでそれらの関係は調べられてこなかった。そこで、本研究で得られたデータを組み合わせることで異なった分別単位をつくり、それらを基に年間流失量を算出し、それぞれの分別方法を評価した。

ホンダワラ科海藻を周年調査することによって、年間純生産量とともに年最大現存量を知ることができる。ホンダワラ科海藻の年間純生産量と最大現存量の比P/B_{max}が比較的安定していれば、最大現存量(B_{max})から年間純生産量(P)を見積もることが可能であると考えられる。このことが可能ならば、ホンダワラ科海藻が最大現存量に達する時期はおおよそ決まっているので、その時期に最大現存量を調査すれば年間純生産量を推定することができる。そこで本研究でもP/B_{max}を調べ、これを過去の知見と比較した。

材料と方法

サンプリング 2002年12月から2003年12月まで毎月1回、養老藻場の水深2.0~2.5 m地点において、ヤツマタモク、ノコギリモク、ヨレモク、ジョロモクを50 cm×50 cm方形枠で4枠分刈りした。サンプリング地点周辺を見渡し、海藻種の単一種からなるパッチで平均的な繁茂状態にあるとみなせる地点から採集した。マメタワラについては2003年5月から2004年5月に、同じ地点で同様の方法により採集した。単位面積あたりの個体数については、小型個体による大きな変動を避けるために、全長20 cm以上の個体を対象とした。採集時には水深2 mで採集場所の水温を測定した。

年間純生産量の見積もり 年間純生産量は2つの部分からなり、調査開始時と終了時の現存量の差に調査期間中の流失量を加えたものである(Midorikawa, 1959)。植食動物の現存量が少ないこと、藻体に被食痕が見られなかったことから、植食動物による摂食は無視できるものと考えた。各層の流失量を連続する2つの生産構造図の差から求めた(Monsi und Saeki, 1953)。それぞれの種に対して生産構造図を13ヵ月にわたって描き、年間流失量を見積もった。

刈り取った藻体を付着部から高さ10 cm毎に切断し、それぞれの層の試料を一年生部位と多年生部位に分け、一年生部位はマメタワラを除き主枝、葉、気胞、

生殖器床に分けた。その後、80℃で24時間乾燥し乾重量を測定した。生産構造図をMurase *et al.* (2000)を参考にして描き、葉と気胞の乾重を左側に示し、主枝と生殖器床の乾重を右側に示した。なお調査対象とした5種のホンダワラ科海藻の多年生部位は一年生部位と比べかなり小さく、年間の重量変化もほとんど示さないため、本研究ではその生産量を考慮していない。

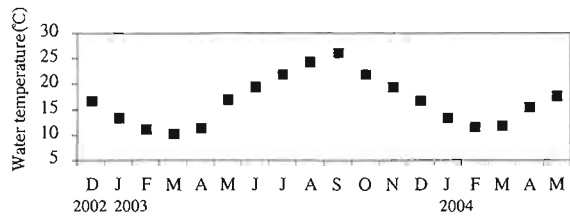


Fig. 10 Water temperature at a depth of 2 m in Yoro from December 2002 to May 2004.

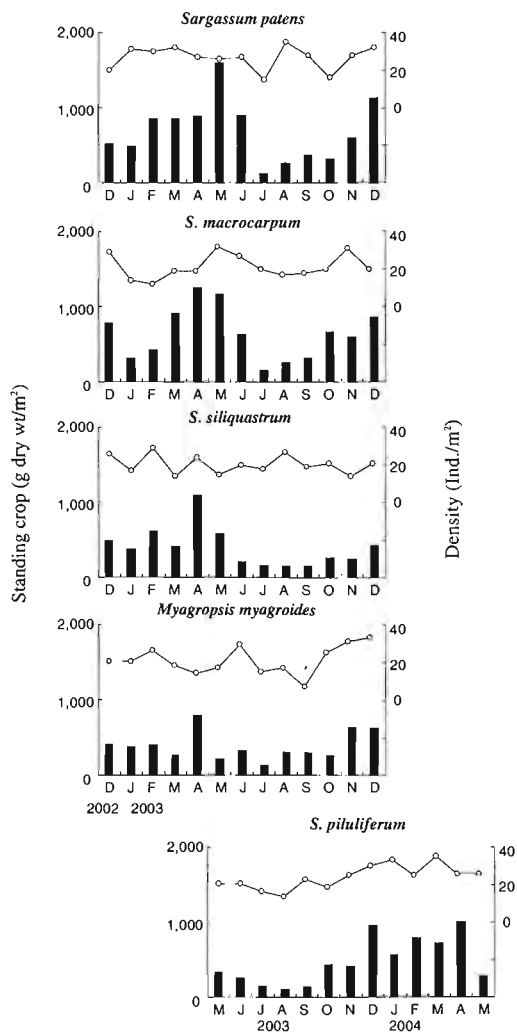


Fig. 11 Monthly changes in standing crop (bar; left axis) and density (circle; right axis) of the five Sargassaceae species in Yoro.

異なった分別単位で算出した年間流失量の比較 ホンダワラ科海藻の年間流失量は、上述のように層別刈り取り法を用いて求められている。ヤツマタモク、ノコギリモク、ヨレモク、ジョロモクについては、10 cmの層に切り分け、4つの器官（主枝、葉、気胞、生殖器床）に分けた。マメタワラは10 cmの層に切り分けそれ以上は分別しなかった。このように分別した試料の乾重量をいくつか組み合わせて、様々な分別単位を作り出した。それぞれの分別単位を基に年間流失量を算出した。用いた分別単位は、1: 10 cm層で4つの器官に分別、2: 10 cm層で分別しない、3: 20 cm層で分別しない、4: 50 cm層で分別しない、であった。

結果

水温 調査地の水温をFig. 10に示す。2002年12月から下降し2003年3月に最低の10.1℃となった。その後、昇温し2004年9月に最高水温26.3℃となった。2004年2月に11.5℃の最低水温を記録した後、調査終了時の5月まで上昇した。

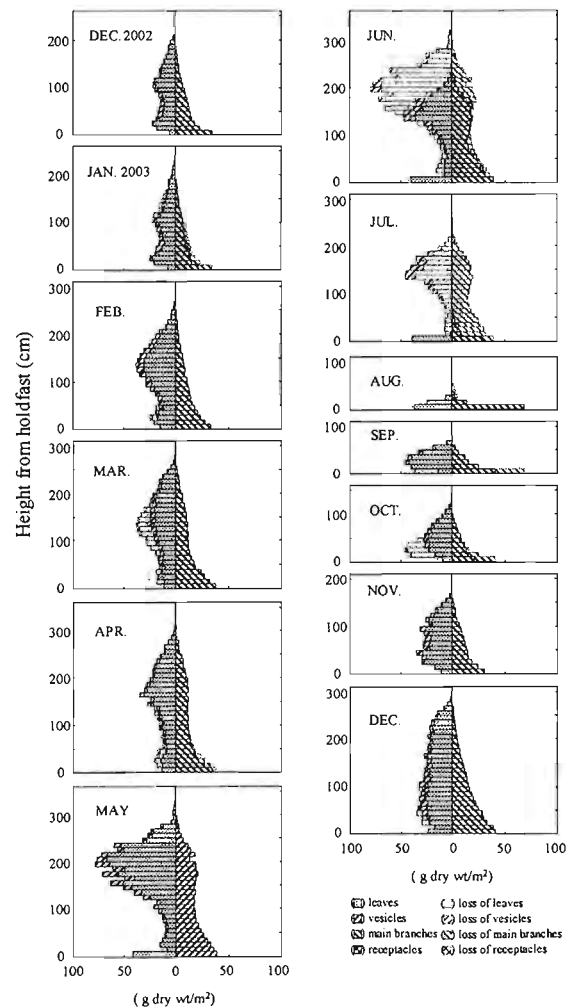


Fig. 12 Monthly changes in the productive structure of *Sargassum patens* in Yoro from December 2002 to December 2003.

Table 6 Estimated total loss for different units (g dry wt./m²/yr) and their percentages relative to the units of 10 cm stratum and a combined annual part (in parenthesis)

Segregated unit		<i>Sargassum patens</i>	<i>S. macrocarpum</i>	<i>S. siliquastrum</i>	<i>Myagropsis myagroides</i>	<i>S. piluliferum</i>
10 cm	Discriminated	1,973(108)	2,153(104)	1,644(107)	1,124(106)	—
10 cm	Combined	1,831(100)	2,080(100)	1,540(100)	1,061(100)	1,504(100)
20 cm	Combined	1,790(98)	2,068(99)	1,527(99)	1,041(98)	1,492(99)
50 cm	Combined	1,752(96)	1,982(94)	1,444(94)	915(86)	1,418(94)

Annual parts of *Sargassum piluliferum* were not discriminated, as described in text.

Table 7 Maximum and minimum biomass (B_{max} , B_{min} ; g dry wt./m²), annual net production (P; g dry wt./m²), and P/ B_{max} ratio of Sargassaceae species in Yoro

	B_{max}	B_{min}	P	P/ B_{max}
<i>Sargassum patens</i>	1,607	135	2,407	1.5
<i>S. macrocarpum</i>	1,263	161	2,132	1.7
<i>S. siliquastrum</i>	1,108	171	1,458	1.3
<i>M. myagroides</i>	779	127	1,197	1.5
<i>S. piluliferum</i>	978	109	1,471	1.5

年間純生産量 1. ヤツマタモク ヤツマタモクの現存量と密度の変化をFig. 11に、月ごとの生産構造図をFig. 12に示す。ヤツマタモクの現存量は2002年12月より増加し2003年5月に最大となった。この期間には藻体の中部あるいは下部において少量の脱落があった。5月には生殖器床が形成されたが、その重量割合は非常に低かった。5月から6月にかけて、ほとんどすべての藻体が流失し、新生した主枝が残った。2003年7月から12月かけて藻体は徐々に生長し、藻体下部で少量の脱落があった。最大現存量は2003年5月の1,607 g dw/m²であり、最低現存量は2003年7月の135 g dw/m²であった。ヤツマタモクの密度は15~35個体/m²の範囲内であり、明確な季節変動を示さなかった。藻体の最大長は335 cmであった。

気胞の割合は2002年12月より大規模な脱落があった2003年6月まで10%程度で一定であった (Fig. 17)。7、8月には気胞がみられなかったが9月に再び出現し12月までに10%程度まで上昇した。生殖器床は5月と6月に出現したが最大時でも一年生部位全体の1.2%の重量しかなかった。多年生部位の茎と付着部は常に10 cm以下の層にあり、その重量は80.6 g dw/m²以下で、年間を通じて比較的一定であった。

一年生部位の年間流失量は、10 cm層を更に4つの器官に分けたとき、1,973 g dw/m²と見積もられた (Table 6)。このうち葉と主枝の流失量が88.0%を占めた。10 cm層を分別せずに求めた年間流失量は、1,831 g dw/m²となった。先行事例と比較するため、本研究

の年間純生産量は、10 cm層を分別しないで算出した年間流失量から求めた。以下、生産量の算出方法は他種も同様である。調査開始時と終了時における一年生部位の現存量の差は+577 g dw/m²であった。それゆえ、ヤツマタモクの2002年12月から2003年12月までの年間純生産量は2,407 g dw/m²と見積もられ、P/ B_{max} は1.5であった (Table 7)。

2. ノコギリモク ノコギリモクの現存量と密度の変化をFig. 11に、月ごとの生産構造図をFig. 13に示す。ノコギリモクの現存量は2002年12月から2003年1月の間に60%が流失した。この流失は藻体下部から主枝全体が流失したもので、その後主枝の伸長、葉の展開がみられた。2003年1月から4月まで藻体の長さ重量ともに増加した。5月には藻体上部の葉が流失し、中部、下部の葉は6月に流失した。7月には新生した主枝を残して、ほとんどすべての藻体が流失した。2003年7月から12月にかけて藻体は徐々に生長し、その間には、11月に下部において少量の脱落があった。最大現存量は2003年4月の1,263 g dw/m²であり、最低現存量は2003年7月の161 g dw/m²であった。密度は、12~32個体/m²の範囲内であり、明確な季節変動を示さなかった。藻体の最大長は385 cmであった。

気胞の割合は2002年12月より急速な脱落があった2003年6月まで10%程度で一定であった。7月に気胞はみられなかったが、8月にふたたび出現し12月までに9.5%まで上昇した。生殖器床は3月に出現し、6月に全体の23.4%の重量となった (Fig. 17)。多年生部位

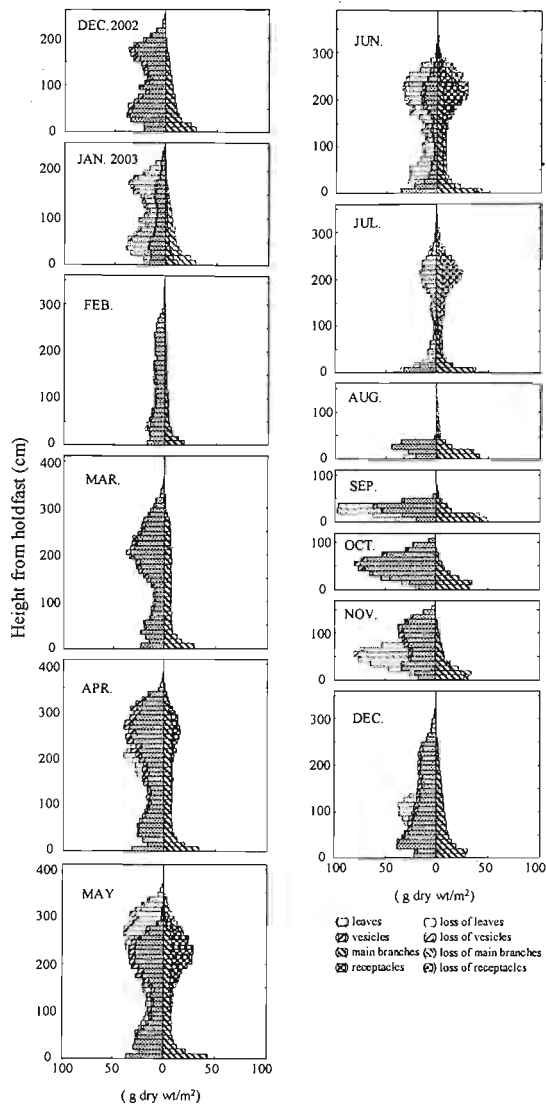


Fig. 13 Monthly changes in productive structure of *Sargassum macrocarpum* in Yoro from December 2002 to December 2003.

の茎と付着部は常に10 cm以下の層にあり、その重量は47.9 g dw/m²以下であり、年間を通じて比較的一定であった。

一年生部位の年間流失量は、10 cm層を更に4つの器官に分けたとき、2,153 g dw/m²であった (Table 6)。このうち葉と主枝が主要な部位であったが、気胞と生殖器床の年間流失量も一年生部位の10.8%を占めた (Fig. 13)。10 cm層を分別せずに求めた年間流失量は、2,080 g dw/m²であった (Table 6)。調査開始時と終了時における一年生部位の現存量の差は+52 g dw/m²であった。それゆえ、ノコギリモクの2002年12月から2003年12月までの年間純生産量は2,132 g dw/m²と見積もられ、P/B_{max}は1.7であった (Table 7)。

3. ヨレモク ヨレモクの現存量と密度の変化をFig. 11に、月ごとの生産構造図をFig. 14に示す。ヨレモクの現存量は、2002年12月より2003年1月にかけて29.3%が流失した。この流失は藻体下部から主枝全体が流失

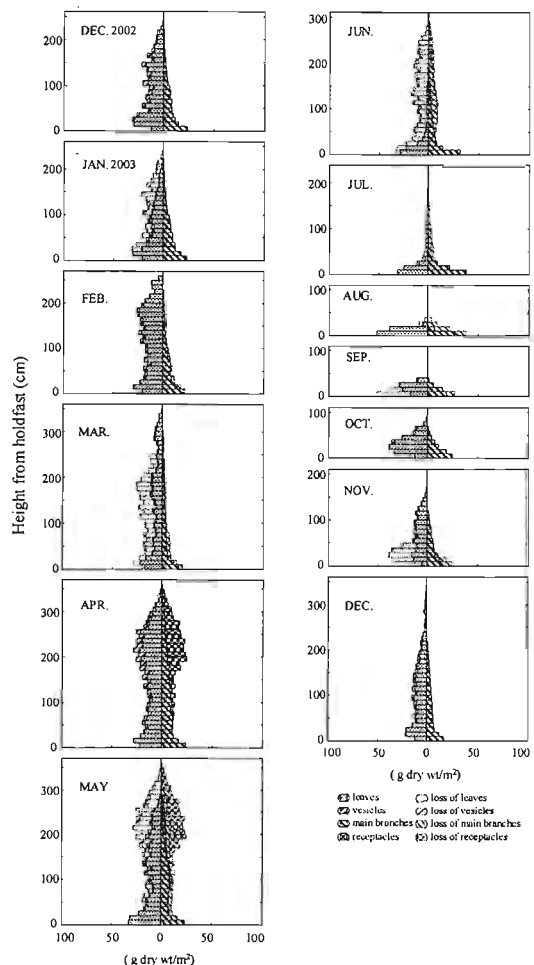


Fig. 14 Monthly changes in productive structure of *Sargassum siliquastrum* in Yoro from December 2002 to December 2003.

したもので、その後、主枝の伸長や葉の展開がみられた。同年2月から3月にかけても現存量が減少した。2003年4月に最大重量となり、その後2ヵ月間で大部分が流失した。2003年8月から新生した主枝が徐々に生長し、12月には330 cmに達した。その間、9月および11月に藻体下部の葉の脱落がみられた。最大現存量は2003年4月の1,108 g dw/m²であり、最低現存量は2003年8月の171 g dw/m²であった。密度は、14~29個体/m²の範囲内であり、明確な季節変動を示さなかった。藻体の最大長は360 cmであった。

気胞の割合は2002年12月より2003年5月に脱落するまで、10%程度で一定であった。気胞は6、7月にはみられなかったが8月にふたたび出現し12月までに9.2%まで上昇した (Fig. 17)。生殖器床は3月に出現し、4月に年間最大の22.1%となった後、5、6月に減少した (Fig. 17)。多年生部位の茎と付着部は常に10 cm以下の層にあり、その重量は50.1 g dw/m²以下であり、年間を通じて比較的一定であった。

10 cm層を更に4つの器官に分けて推定した一年生部位の年間流失量は、1,644 g dw/m²であった (Table 6)。このうち葉と主枝が主要な部位であったが、気胞と生

殖器床も流失量全体の25.6%を占めた。10 cm層を分別せず求めた年間流失量は1,540 g dw/m²であった (Table 6)。調査開始時と終了時における一年生部位の現存量の差は-82 g dw/m²であった。それゆえ、ヨレモクの2002年12月から2003年12月までの年間純生産量は1,458 g dw/m²と見積もられ、P/B_{max}は1.3であった (Table 7)。

4. ジョロモク ジョロモクの現存量と密度の変化を Fig. 11に、月ごとの生産構造図をFig. 15に示す。ジョロモクの現存量は2002年12月より2003年3月にかけて一定かあるいはわずかに減少した。2003年4月に現存量が最大となった。4月から5月にかけて藻体のほとんどが流失し、7月には現存量が最低となった。2003年7月から12月にかけてジョロモクは伸長し430 cmに達した。その間、藻体下部で少量の葉の脱落がみられた。最大現存量は2003年4月の779 g dw/m²であり、最低現存量は2003年8月の127 g dw/m²であった。密度は、6~32個体/m²の範囲内であり、明確な季節変動を示さなかった (Fig. 11)。藻体の最大長は2003年12月の430 cmであったが、成熟期に限れば2003年4月の165 cmであった。

ジョロモクの気胞と殖器床の重量割合をFig. 17に示す。気胞の割合は2002年12月より2003年3月までは5%前後であった。4月には8.5%まで上昇し5月に急落した。7、8月には気胞は主枝に形成されなかったが、9月にふたたび出現し12月までに15.0%まで上昇した。

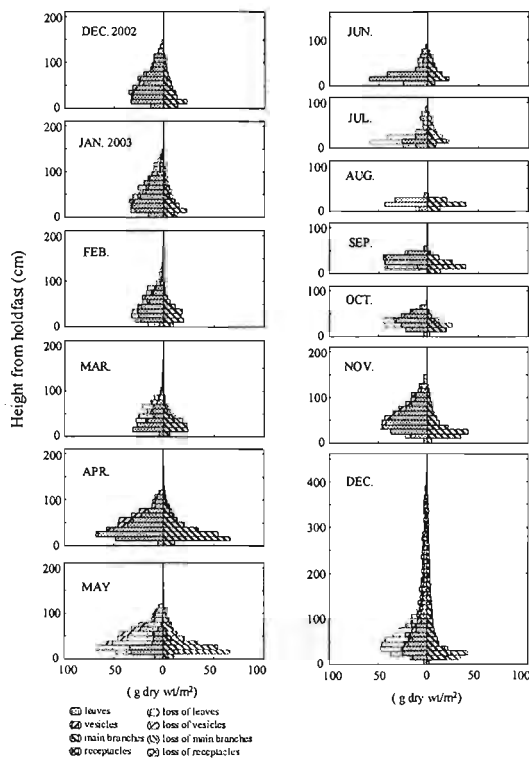


Fig. 15 Monthly changes in productive structure of *Myagropsis myagroides* in Yoro from December 2002 to December 2003.

この値は前年同月の約2倍であった (Fig. 17)。殖器床は3月と4月に出現したが、その重量割合は最大でも1.7%でしかなかった。多年生部位の茎と付着部は常に30 cm以下の層にあり、その重量は177.4 g dw/m²以下で、年間を通じて比較的一定であった。

10 cm層を更に4つの器官に分けて見積もった一年生部位の年間流失量は、1,124 g dw/m²であった (Table 6)。このうち葉と主枝が主要な部位であり全流失量の90.3%を占めた。10 cm層を分別せず求めた年間流失量は1,061 g dw/m²であった (Table 6)。調査開始時と終了時における一年生部位の現存量の差は+136 g dw/m²であった。それゆえ、ジョロモクの年間純生産量は1,197 g dw/m²と見積もられ、P/B_{max}は1.5であった (Table 7)。

5. マメタワラ マメタワラの現存量と密度の変化を Fig. 11に、月ごとの生産構造図をFig. 16に示す。マメタワラの一年生部位の現存量は、2003年5月より8月にかけて減少し、8月に50.5 g dw/m²の最低値となった。2003年9月から12月にかけて藻体が生長したが、藻体

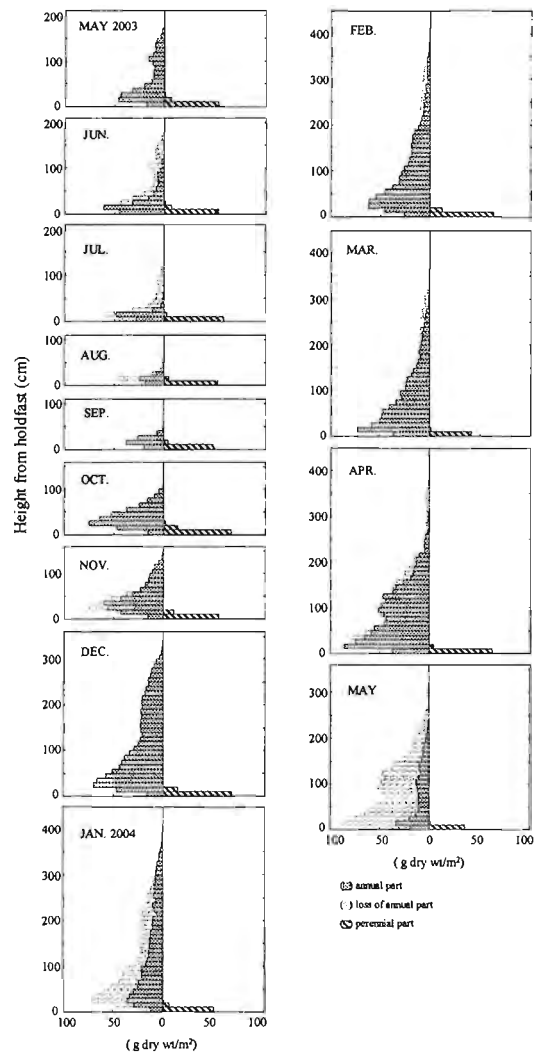


Fig. 16 Monthly changes in productive structure of *Sargassum piluliferum* in Yoro from May 2003 to May 2004.

下部における脱落は観察されなかった。2003年12月から2004年1月の間には一年生部位の45%（重量割合）が流失した。この流失は下部から主枝全体が流失したものであった。その後、主枝の伸長、葉の展開がみられ、2004年4月に912.1 g dw/m²の最大現存量となるまで増重した。5月には現存する一年生部位の71.7%が流失した。多年生部位の茎と付着部は常に30 cm以下の層にあり、その重量は116.9 g dw/m²以下で、年間を通じて比較的一定であった。密度は、12~33個体/m²の範囲内であり、明確な季節変動を示さなかった。藻体の最大長は410 cmであった。

10 cm層を分別せずに求めた一年生部位の年間流失量は1,504 g dw/m²であり（Table 6）、調査開始時と終了時における一年生部位の現存量の差は-34 g dw/m²であった。それゆえ、マメタワラの2003年5月から2004年5月までの年間純生産量は1,471 g dw/m²と見積もられ、P/B_{max}は1.5であった（Table 7）。

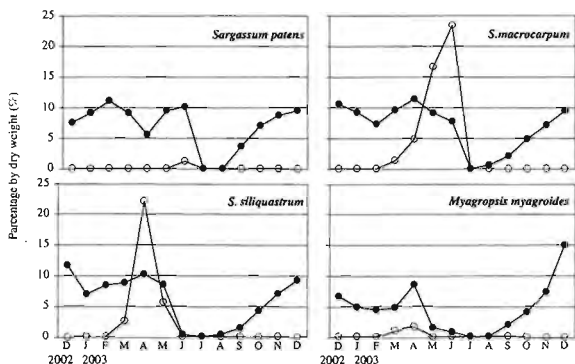


Fig. 17 Monthly changes in percentage by dry weight of vesicle (●) and receptacle (○) in the four Sargassaceae species from December 2002 to December 2003.

異なった分別単位で算出した年間流失量の比較 様々な分別単位で算出された年間総流失量をTable 6に示す。各種とも10 cm層を更に4つの器官に分けたときに、年間流失量は最大となり、50 cm層を各器官に分別しなかった単位を基に算出した年間流失量が最小となった。10 cm層を分別せずに求めた年間流失量を100%としたときの流失量をTable 6の括弧内に示す。10 cm層を各器官に分別した場合、年間流失量は104~108%となり、層の厚さを20 cmとすると年間流失量は98~99%となった。層の厚さを50 cmとすると年間流失量はジョロモクの86%を除いて94~96%となった。藻体をより細かく分割していくほど、年間流失量は増加した。

考 察

海藻群落の生産量を測定する方法はいくつか試され

ている。コンブ類では生長点が基部近くにあるため、葉状部に小さな穴をあけ、一定期間経過後に穴の移動距離を測るという作業を繰り返すことによって純生産量が求められている（吉田, 1970; Mann, 1972; Yokohama *et al.*, 1987）。ホンダワラ科海藻では生長点が先端部にある頂端生長（Yoshida, 1983）なのでこの方法は適用できない。そこで、Monsi und Saeki (1953) が陸上草本に適用した層別刈り取り法によって生産構造図を描き、そこから生産量を推定する方法がホンダワラ科海藻に用いられてきている（谷口・山田, 1978; 村瀬, 2001）。この方法は単位面積あたりの個体数が年間を通じてほぼ一定であり、頂端生長で藻体は気胞によって水中では直立しており、枯死脱落する位置と量が季節的に決まっている、ことが前提とされている（谷口・山田, 1978）。この方法に対して、過少見積り（木村, 1976; 中原, 1984）や過大見積り（木村, 1976）の可能性が示唆されている。過少見積りの原因としては、生産構造図の同じ層で当該期間に流失と生長が同時に起こる可能性があげられている。このことは、生育期間に盛んに分蘖する陸上のイネ科型草本にあてはまる（木村, 1976）。ホンダワラ科海藻のある主枝の生長点が波浪などにより切断された場合、切断部位のすぐ下の葉腋から側枝が伸長することがあり、このような場合には、過少見積りになってしまう（中原, 1984）。この過少見積りを避けるためには、生産構造図の層を細かくし、サンプリング期間を短縮する方法があるが、かなりの手間であるうえに、サンプル間のばらつきを拾い上げる確率が高くなるという欠点がある。過大見積りの原因としては、ある器官が枯死し別の器官が出現するときにそれらの器官の間で物質輸送が行われているとみなされる場合である。ホンダワラ科海藻の場合、生殖器床の形成と葉の脱落が同時に進行している期間がある。生殖器床の形成が光合成による生産に基づくもの以外にも枯死した葉に由来する物質にも依存しているならば、葉の生産と生殖器床の生産を二重に計算してしまう。この過大見積りを避けるためには、ホンダワラ科海藻が器官どうしで物質のやり取りをしているかどうか確認しなければならない。ナガコンブ *Laminaria angustata* var. *longissima* では旧葉部から新葉部へ物質が輸送されていると考えられている（町口ら, 1985）。

このように、層別刈り取り法を用い生産構造図を描くことにより、年間流失量を求め、年間純生産量を推定する方法には、いくつかの問題点がある。しかしながらホンダワラ科海藻の生産量測定法として、現状ではこれに替わる方法が考案されていない。そこで本研究では、層別刈り取り法から年間純生産量を求める方法をホンダワラ科海藻5種に適用し、それらの年間純生産量を調べた。

多年生のホンダワラ科海藻は、脱落期において古い

主枝が脱落する一方で新しい主枝が新生している。層別刈り取り法では、脱落する主枝と新生する主枝が同じ層に存在すると過少見積りとなる。古い主枝がすべて流失したときには新生した主枝が形成されており、このとき年間最低現存量を記録する。それゆえ上記の過少見積りはその最低現存量以下となる。本研究では、最低現存量は50~140 g dw/m²であり、年間純生産量の7%以下であった。現実には、この過少見積りは5%未満となると想定されるので、本研究では考慮していない。

ノコギリモクの年間純生産量は、日本海沿岸の他の場所でも調べられており、能登半島飯田湾の水深4~6 mでは8.3 kg dw/m²であり(谷口・山田, 1978)、深川湾の水深8 mでは1.6 kg dw/m²であった(Murase *et al.*, 2000)。一方、養老の水深2.0~2.5 mでは2.1 kg dw/m²であった。養老におけるノコギリモクの最大全長と密度は飯田湾と同様で、深川湾のものより全長は長く密度は低かった。養老と飯田湾のノコギリモクは大型で、深川湾のものより密度が抑えられており、これらの違いが年間純生産量の違いをもたらしたと推察される。養老では水深2 m付近のホンダワラ科海藻が最大全長3.5 m程度まで生長する。このとき上部の藻体は、水面に広がりキャノピーを形成する。そうすると、水面下の光量はかなり少なくなるので、藻体下部の現存量が少なくなるものと想定される。一方、飯田湾では水深4~6 m地点のホンダワラ藻場を対象としているので、水面がキャノピーで覆われることはなく、藻体下部まで光が十分に届いていたと推察される。このような違いにより、飯田湾のノコギリモクの生産量の方が、養老よりも大きくなったのではないかと推察される。また、ヤツマタモクでも養老の年間純生産量は飯田湾のものより少ないが、このこともノコギリモクと同様に生育水深の違いが関連しているものと推察される。しかしながら、環境要因が生産量に与える影響については、いまだ明らかでない部分が多く、今後の課題である。

本研究におけるP/B_{max}は、既報の値と比べると全体的に高い。ノコギリモクのP/B_{max}は、飯田湾では1.4で(谷口・山田, 1978)、深川湾では1.2であり(Murase *et al.*, 2000)、養老では1.7となった。これらの3地点の生産構造図に見られる顕著な違いは、冬季における流失の有無である。養老ではかなりの量が12月から1月の間に流失している。日本海では冬季波浪が激しく、ホンダワラ科海藻が砂浜へ大量に打ち上げている(5章参照)。2003年1月には、ノコギリモクは前月の重量の60.3%、ヨレモクは29.3%を流失させており、2004年1月にはマメタワラが45.0%を流失させている。飯田湾や深川湾の採集地点は波あたりから遮蔽されたところ

にあり、冬季に個体数や主枝数が減少せず、付着部からの引き抜きや主枝途中における切断はなかったものとされている(谷口・山田, 1978; Murase *et al.*, 2000)。しかし、養老では冬季波浪による引き抜きがあり(3章参照)、残された個体は空いた空間を占めるように生長した。したがって養老においては、冬季波浪が年間生産量を規定していることが示唆される。

連続する2年間の同じ月、例えば2002年12月と2003年12月では、ホンダワラ科海藻の現存量が異なり、ジョロモク、ヤツマタモク、ノコギリモクではその差が大きかった。ジョロモク、ヤツマタモク、ノコギリモクでは2003年12月のほうが長く重いものであった。経ヶ岬で観測された11月の波高は2002年のほうが2003年よりも激しく*、この違いが12月の現存量の違いをもたらした要因ではないかと推察される。海藻現存量の年変動はまれなことではない。アカモクやヨレモクでは年の違いにより全長が異なった事例がある(寺脇, 1986; Nanba and Okuda, 1993)し、コンブ類やヒジキなどの食用海藻では収穫量の年変動が記録されており、数倍の差は見られている(鳥居・田沢, 1987)。ホンダワラ科海藻の年間純生産量は1年間のみの調査に基づいていることが多く、年間純生産量の年変動を調べることは困難である。海藻生産量の年変動と環境要因や海藻自体の内因的要素との関係は、今後、沿岸生態系の研究の中で明らかにされるべき課題である。

ホンダワラ科海藻は気胞の浮力によって直立している。気胞の重量割合は海藻の浮力に影響するだろう。ヤツマタモク、ノコギリモク、ヨレモクでは12月に気胞の割合は10%に達し、脱落期まで一定であった。一方、ジョロモクの気胞は2003年12月を除いて他種に比べてその割合が低かった(Fig. 17)。ジョロモクは波あたりの強い場所に多く分布するので(今野ら, 1985)、浮力を小さくし波の力をあまり受けないようにしているのかもしれない。気胞の重量割合はその種が主に分布する場所の環境と対応している可能性が指摘される。

生殖器床の割合は種間によってかなり異なった。ノコギリモク、ヨレモクはヤツマタモク、ジョロモクよりも生殖器床の割合が高い。深川湾のノコギリモクの生殖器床は成熟期には34%となっており(Murase *et al.*, 2000)、養老の1.4倍である。生殖器床の形態は分類形質として記述されているが、生殖器床の数や重量についてはあまり注目されてこなかった。アカモクでは、生殖器床1個当たり1,443個の卵があり、1個体あたりでは 2.2×10^6 個の卵があると報告されている(Umezaki, 1984a)。生殖器床の重さや体積と卵の数については、個体群の維持のためのエネルギー配分の観点からも、今後研究されなければならない課題であ

* 舞鶴海洋気象台。経ヶ岬沿岸波浪計データ。http://www.maizuru-jma.go.jp/

る。

層別刈り取り法において、異なった分別単位を用いると、年間流失量の見積もりが変化し、その結果、年間生産量も変化する。年間純生産量を正確に見積もるためには、より細かく分割した単位を用いる必要がある。一方で、あまり分割しない単位を用いれば、時間や労力を軽減できるので、より多くのサンプルを調べることができる。その際に、この方法ではいくらかの過小評価が避けられないことを考慮しなければならない。10, 20, 50 cmの層に切り分け、各器官別にしなかった分別単位を基に見積もった年間流失量は、10 cm層を4つの器官に分割して求めた年間流失量より少なくなるが、その量は狭い範囲内に収まるので、予測可能であった (Table 6)。しかし、50 cm層を用いたジョロモクについては例外であり、年間流失量が他種よりかなり減少した。ジョロモクは他種に比べて全長が短く、50 cm層では見積りの過少量が大きくなった。これらの結果から、大型の種 (成熟期で3 m以上) であれば、50 cm層を用いて年間純生産量の算出が可能であるが、中型より小さい種 (成熟期で3 m以下) であれば20 cm層かそれ以下の分別単位を用いる必要があることが示された。

本章で得られたホンダワラ科海藻5種の年間純生産量に、各種の被度割合や藻場全体に占めるホンダワラ海藻の被度 (1章参照) を掛け合わせると、養老藻場全体を対象とすると、単位面積あたりの年間純生産量は998 g dw/m²となった。

第3章 流失量, 流失経路

ホンダワラ科海藻をはじめとする海藻類は、流失後に流れ藻、寄り藻、打ち上げ海藻となるため、藻場以外の場所でも様々な生き物に棲み場所や餌を提供する (千田, 1965, Lenanton *et al.*, 1982; Inglis, 1989; Rodríguez, 2003)。そのような藻場からの流失を定量的に明らかにすることは、流れ藻、寄り藻、打ち上げ海藻の発生時期や発生量を予察するために重要である。また、藻場生態系から系外への物質輸送が沿岸生態系の物質循環において果たす役割を考察するための情報ともなる (Smith, 1981)。

ホンダワラ藻場の藻体は枯死期にすべて流れ藻となるわけではなく、一部はその場で立ち枯れている (藤田, 1999)。藻場内にとどまる藻体は、ウニ、アワビ、サザエなど植食動物の餌となるほか、細分化されたデトライタスはナマコなどの堆積物食者の餌ともなる。このように、枯死、流失後のホンダワラ科海藻も様々な役割を持つが、このような過程を明らかにした研究は少ない。

ホンダワラ科海藻の流失量を調べるためには、経時

的に坪刈りして生産構造図を描く方法を用いることができる (2章参照)。この方法では、毎回異なる場所からサンプリングするので、連続して採集したサンプル間に個体数や主枝数などの違いがあった場合、それが場所の違い起因するのか、当該期間における群落自身の変化によるものか、区別できない。現実の調査では、なるべく均質でかなり広い群落を調査対象とし、サンプル数を増やすことによって場所間の違いを小さくする手法がとられる (木村, 1976)。しかし、ホンダワラ藻場の場合、均質な群落はあまりない (1章参照, 今野・中島, 1980)、藻場がどの程度均質なのかを調べなければ、根本的な問題解決とはならない。この問題に対処する方法の一つとして、同じ場所の群落を連続的に観察する必要があるが、ホンダワラ科海藻を対象としたものは、ノコギリモク群落1 m²を観察した村瀬 (2001) を除いて見当たらない。本研究では、年間を通じて流失実態を把握するために、永久コドラートを設け、その中のホンダワラ科海藻をすべてマッピングし、その全長、主枝数を14ヵ月追跡した。また、このデータをもとに、混生群落の月間流失量を1年間にわたり推定した。

ホンダワラ科海藻は、成熟後に現存量が急激に減少する (2章参照, 梅崎, 1985)。この枯死期には、藻場内で立ち枯れている藻体が多く観察されており (藤田, 1999)、藻場の海底面には大量の海藻片が漂っている (Yatsuya and Nakahara, 2004a)。また、藻場外でも流れ藻 (吉田, 1963)、寄り藻、打ち上げ海藻 (5章参照) が多く見られる。しかし、ホンダワラ科海藻の枯死期に基質から離れた藻体が藻場内外へどれほどの割合で輸送されるのかは明らかでない。そこで、本研究では養老藻場で優占するヤツマタモクとノコギリモクを対象に、枯死期の直前に主枝に日印をつけ、その主枝が流失や倒伏する過程を追跡することで、藻場内外へ輸送される藻体の割合を把握しようとしてみた。

材料と方法

層別刈り取り法 第2章でヤツマタモク、ノコギリモク、ヨレモク、ジョロモクの月間流失量を2002年12月より2003年12月まで、マメタワラの月間流失量を2003年5月より2004年5月までそれぞれ1年間にわたり調査している。これら5種の月間流失量に各種の被度割合とホンダワラ科海藻全体の被度 (1章参照) を掛け合わせることで、藻場全体の月間流失量を1年間にわたり算出した。マメタワラについては、2002年12月から2003年5月までの月間流失量が調べられていないので、2003年12月から2004年5月までの月間流失量を代用した。

マッピング法 藻場内の景観は水深帯別に3つに分け

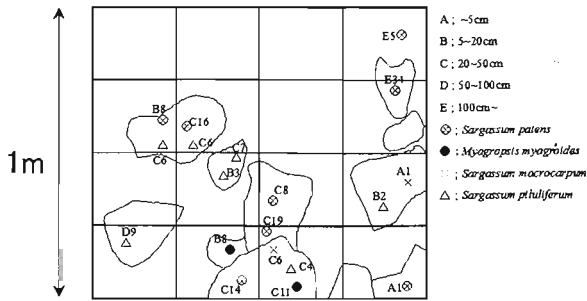


Fig. 18 Example of 'Mapping' field notebook. Symbols, alphabet, and the number indicate species, total length, and the number of main branches, respectively.

られたので (1章参照), それぞれに調査区 (2 m×2 m) を1カ所ずつ設けた。藻場中央部に調査線を設置しそこに目印を付けて基点とし, 調査区的位置を確認した。調査時には, 海底に設置してある鉛ロープに1 m塩ビパイプを組み合わせて配置し調査区の区切りとした。また, 大型のホンダワラ科海藻の茎の付け根に結束バンドを付けて個体を区別できるようにした。2003年5月に予備調査として調査区内の基質とホンダワラ科海藻をマッピングし (Fig. 18), その後2003年6月から2004年7月まで毎月1回追跡調査を行った。追跡調査では, 調査区内のすべての個体について種名, 全長区分, 主枝数を記録した。全長区分はA: 5 cm未満, B: 5~20 cm, C: 20~50 cm, D: 50~100 cm, E: 100 cm以上のように5段階にわけた。また, ホンダワラ科海藻が付着している基質もマッピングし, 基質の移動についても記録できるようにした。

マッピングした藻体の月間流失量を以下の方法で推定した。マッピング調査と同時に養老藻場の岸帯からヤツマタモク, ノコギリモク, マメタワラ, ヨレモク, ジョロモクについて, 各種について約1 m²の範囲から

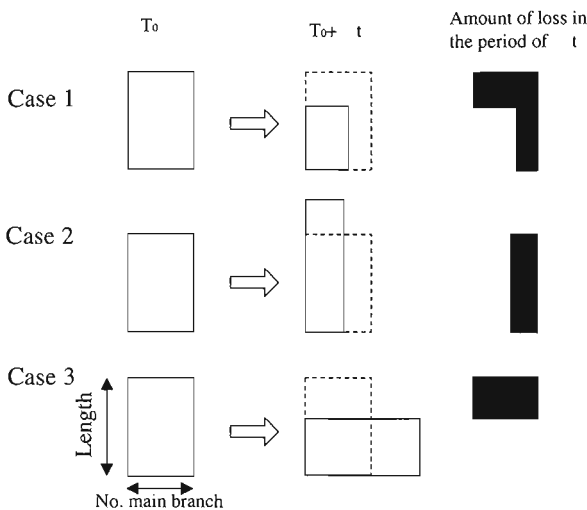


Fig. 19 Diagram showing the three case of loss in the mapped thalli. See text in details.



Fig. 20 Photographs showing the tags on mine branch (left) and around basal part (right) of *Sargassum patens*.

藻体を刈り取り, それらの全長, 主枝数, 湿重量を記録した。これらの刈り取り藻体の湿重量が全長と主枝数の積に対し一次回帰すると仮定し, 各種についてその回帰式を求めた。全長をマッピングで用いた5段階の全長区分に分け, 各全長区分の平均全長を各種各月に対して求めた。マッピングした各個体の全長区分と主枝数を上記で求めた回帰式に代入して湿重量を求めた。調査枠内には少数であるが, ホンダワラとアカモクが出現したので, これらの種には主枝数や葉のあたなどの形態が比較的似ていたヨレモクの値を代入した。

連続した2回の調査の間で流失が起こる場合を以下のように3通り想定し, 流失量を推定した (Fig. 19)。①主枝数が減少し, 全長も短くなる, ②主枝数が減少するが, 全長は短くならない, ③主枝数は減少しないが, 全長が短くなる。この3通りの流失様式に対して流失量を以下のように計算した。①前月の湿重量と今月の湿重量の差, ②前月の全長と減少した主枝数の積, ③前月の主枝数と全長の減少量の積。なお, 藻体全体が流失した場合は, 主枝数, 全長ともに0として計算した。調査枠内の全個体について月間流失量を計算し, 単位面積あたりの月間流失量を計算した。

枯死期における流失・倒伏 2004年5月27日にヤツマタモク20個体とノコギリモク22個体の茎部に番号札をつけ個体識別した (Fig. 20)。このときには両種の主枝は直立しており, 各個体の主枝1本に付着部から高さ1 mと2 mに目印 (色付ビニールを付けた長さ10 cmの針金, Fig. 20) をまきつけた。以後10日間毎に, 直立, 倒伏, 流失の状況を確認した。1 mの目印がなくなったものは藻体全体が流失したものとみなし, 主枝が倒れこみ一部でも海底に接触していたものを倒伏とした。倒伏したときに残存していた藻体の全長を記録し, 2 mの目印が残っていたものは, 藻体全体が倒伏したものとみなした。

ヤツマタモクとノコギリモクの倒伏主枝数と流失主枝数を調べ, 5月下旬の両種の平均的な垂直分布を示す個体が (2章参照), 倒伏あるいは流失していくものとして, それらの重量割合を求めた。

結 果

層別刈り取り法 層別刈り取り法から求めた月間流失量をFig. 21に示す。4月から7月までの枯死期に流失量が多く、この期間で年間流失量の67%を占めていた。一方、12月から1月の間も流失量が増加し、月間流失量は110.7 g dw/m²となった。藻場全体の年間流失量の平均値は921 g dw/m²となった。年間流失量の種類別重量割合を多い種から順に並べるとヤツマタモク (45.4%) ノコギリモク (26.1%), マメタワラ (16.6%), ヨレモク (9.0%), ジョロモク (2.9%) となった。

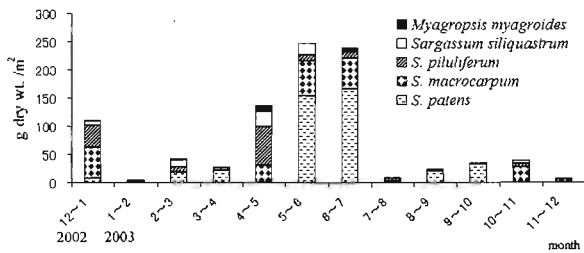


Fig. 21 Monthly changes in amount of loss in the five Sargassaceae species estimated by the productive structure.

マッピング法 5 cm未満の小型個体は個体数が多くその変動も激しかったため、個体数の取りまとめに関しては5 cm以上の個体のみを対象とした。岸帯、中帯、沖帯の個体数をFig. 22に、個体数の増加率（前月の個体数に対する増加個体数の割合、減少の場合はマイナスとなる）をFig. 23に示す。

岸帯におけるホンダワラ科海藻の個体数は18.0～31.0個体/m²の範囲内であった (Fig. 22)。2003年6月から8月までは22個体/m²前後で安定していたが、9月から11月まで増加率が10%を超え、2003年12月に31.0個体/m²に達した。2003年12月から2004年1月にかけて増加率が-28%となり (Fig. 23), 30.8個体/m²から22.0個体/m²まで減少した。その後2004年7月まで個体数は徐々に減り2004年7月には18.0個体/m²となった。中帯におけるホンダワラ科海藻の個体数は29.5～36.0個体/m²の範囲内であった (Fig. 22)。2003年12月から2004

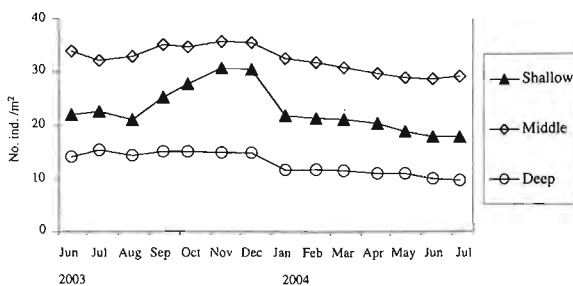


Fig. 22 Monthly changes in the number of Sargassaceae (longer than 5 cm) per 1 m² in each permanent quadrats.

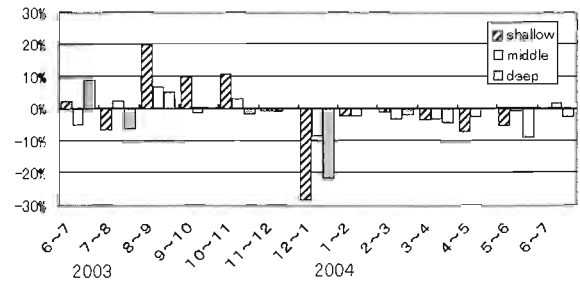


Fig. 23 Rate of increase in the number of Sargassaceae (longer than 5 cm) in each permanent quadrat between successive two months.

年1月にかけて増加率が-8%となり (Fig. 23), 35.8個体/m²から32.8個体/m²に減少した。他の期間の増加率は±5%以内で大規模な個体数の変動はみられなかった (Fig. 23)。沖帯におけるホンダワラ科海藻の個体数は9.8～15.3個体/m²の範囲内であった (Fig. 22)。2003年12月から2004年1月の間の増加率は-22%であり (Fig. 23), 15.0個体/m²から11.8個体/m²に減少した。他の期間の増加率は±9%以内で大きな個体数の変動はみられなかった。

種類別に個体数の変化を見ると (Fig. 24), 岸帯で個体数が多いのがヤツマタモク、マメタワラであり、2003年12月から2004年1月にかけて最も個体数が減少したのはマメタワラであった。中帯で個体数が多いのは、マメタワラ、ヤツマタモク、ノコギリモクであった。中帯においても2003年12月から2004年1月にかけて個体数が減少したが、その比率は、岸帯や沖帯よりも低かった (Figs. 23, 24)。沖帯において個体数が多い種は、ノコギリモク、ヤツマタモクであり、両種は全期間を通じて74%以上を占めていた。

全長別に個体数 (Fig. 25) をみると枯死期以後の2003年7月から2003年12月までは、ホンダワラ科海藻の生長に伴い全長組成が長いほうへとシフトし、全長1 m以上の個体数割合が最大になった。2003年12月から2004年1月にかけて個体数が減少したが、全長5～20 cmの区分で個体数が減少しており、この小型個体にはマメタワラが多かった。2004年1月から5月までの期間は、全長の最大値は変化しているものの、全長区分の組成は安定していた。この期間には、岸帯と中帯では全長1 m以上の個体が過半数を占めたが、全長1 m未満の各区分の個体もそれぞれ40%程度存在していた。沖帯では、80%以上の個体が全長1 m以上であった。2004年5月以降には枯死や流失により全長組成が短いほうにシフトした。すべての水深帯の調査区内の個体数が減少した2003年12月から2004年1月にかけて、ホンダワラ科海藻が付着していた転石のうち移動したものの数は、岸帯で1.2個/m²、中帯で0個/m²、沖帯で1.7個/m²であった。

マッピングから得たデータを基に算出した流失量は、ホンダワラ科海藻の枯死期に多く、その期間は5

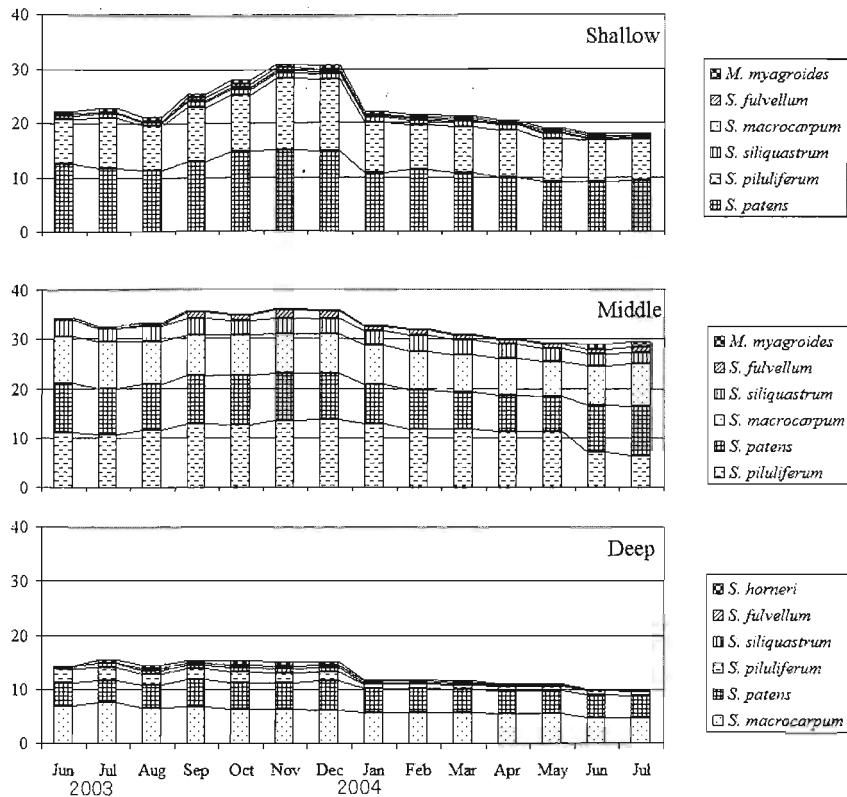


Fig. 24 Monthly changes in the number of Sargassaceae (longer than 5 cm) per 1 m² in each permanent quadrats.

月から8月であった (Fig. 26)。冬季波浪による個体の流失や主枝数の減少もみられたが、月間流失量は、層別刈り取り法のように1ヵ月だけが目立ったものではなく、12月から3月までのすべての月間で増重する傾向があった。マッピング法によって見積もられた年間流失量は、1,217 g dw/m²となり、層別刈り取り法の1.32倍となった。

枯死期における流失・倒伏 この調査で流失・倒伏が確認できた個体数はヤツマタモク17個体、ノコギリモク21個体であった。ノコギリモクの流失・倒伏過程をFig. 27に示す。5月27日には、すべての主枝が直立していたが、6月7日には、1 m、2 mの目印をつけた主枝がともに流失しはじめた。6月17日には主枝を1 m残して倒伏するものが出現した。その後、ノコギリモクの主枝は、次々と倒伏・流失し、7月25日には直立している主枝がなくなった。ノコギリモクの倒伏した主枝の長さは、1 m未満が全倒伏主枝数の61.9%となり、1 m以上2 m未満が33.3%、2 m以上が4.8%となった (Table 8)。

ヤツマタモクの流失・倒伏過程をFig. 27に示す。5月27日にはすべての主枝が直立していたが、6月7日には2 mの目印が流失しはじめた。6月17日には1 m、2 mの目印をつけた主枝がともに流失し、主枝を2 m以上残して倒伏するものも出現した。6月29日には、すべてのヤツマタモク的主枝が倒伏あるいは流失し、その後7月25日まで、倒伏した主枝も徐々に流失してい

った。ヤツマタモクの倒伏した主枝の長さは、1 m未満が全倒伏主枝数の47.1%となり、1 m以上2 m未満が35.3%、2 m以上が17.6%となった (Table 8)。

これらの結果と両種の5月の平均的な生産構造図 (2章参照) よりの倒伏した藻体の重量割合を計算したと

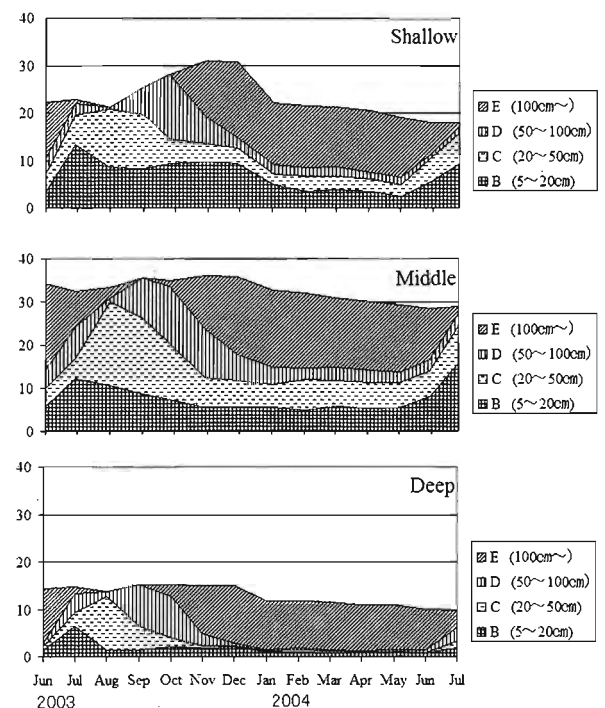


Fig. 25 Monthly changes in the number of Sargassaceae (longer than 5 cm) per 1 m² in each permanent quadrats.

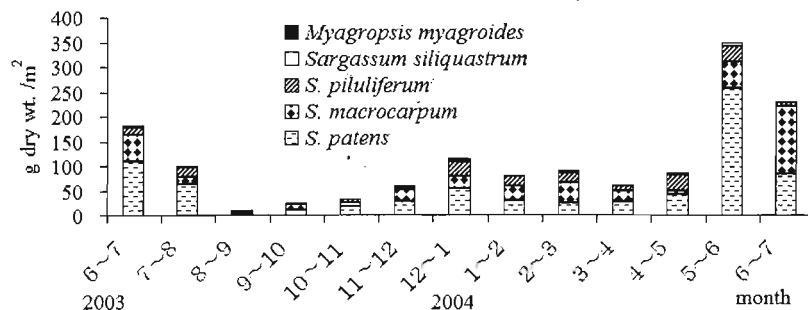


Fig. 26 Monthly changes in amount of loss in Sargassaceae seaweeds estimated by the 'Mapping method'.

ころ、ヤツマタモクでは37.0%，ノコギリモクでは27.0%となった (Table 9, Fig. 28)。両種とも主枝が途中で切断される場合が多く、藻体上部の流出する割合が高くなっていった (Fig. 28)。

考 察

本研究では層別刈り取り法以外にも調査区内の個体をマッピングし1年以上追跡することによって流失過程を追跡した。層別刈り取り法では個体数の変動に関して場所間による違いを無視できないので、マッピング法を併用することは有効である。2003年12月から2004年1月にかけて連続観察していた調査区内の個体数が減少した。これは、北西季節風による冬季波浪に

よるものと推察される。冬季における流失は、層別刈り取り法においてもノコギリモク、ヨレモク、マメタワラで観察されている (2章参照)。また、冬季に突発的に大量の打ち上げ海藻があることも観察されている (4章参照)。本章では、この時期に藻場での個体数の減少を直接観察することができ、層別刈り取りや打ち上げで観察された流失が確か存在したことを裏付けた。

層別刈り取り法では単一種で構成される個体群の流失量を調べ、それを被度割合に従って混生群落に適用したが、マッピング法では混生群落に直接用いることができた。マッピング法において推定された年間流失量は、層別刈り取り法の1.32倍となった。マッピング法では個体識別をしており、各個体の流失量を推定できるが、層別刈り取り法では単位面積あたりの藻体を一つのサンプルとして扱い流失量を推定するために、同じサンプルの中で生長と流失が同時に起こると過少見積りとなる (2章参照)。このこと以外にも、調査区の種組成が単一種か複数種かという違いや、マッピング法から流失量を見積もる推定精度が未解明であること、などが両方法における推定流失量の違いを導く要因として挙げられる。

2003年12月から2004年1月における個体数の減少率は、各水深帯で異なった。岸帯では28%，中帯では8%，沖帯では21%が流失した。岸帯で流失割合が高いのは、水深が浅く波あたりが最も強かったことや転石が横転したり移動したりしたためであると考えられた。沖帯は基質が転石と砂であり (1章参照) これらが移動したため藻体の流失割合が高かったのではないかと考えられた。中帯の調査区は、基質が岩盤で転石

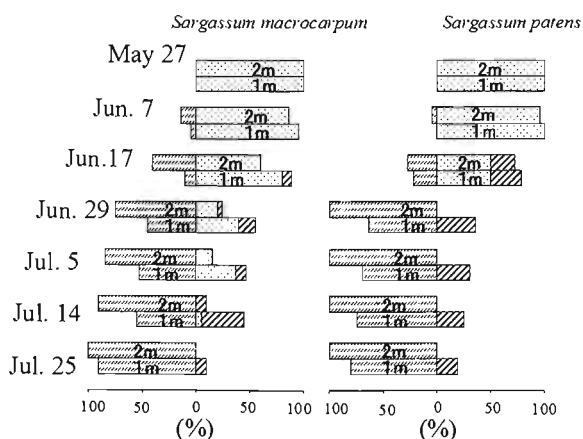


Fig. 27 Changes in the percentage of thalli which was withered in stand or drifted away during deterioration period. □: Stand upright, ▨: Withered in stand, ▩: Drifted away.

Table 8 Percentage by the number of withered main branch within each length range

	Length of withered main branch		
	<1m	1~2m	2m<
<i>Sargassum patens</i>	47.1%	35.3%	17.6%
<i>S. macrocarpum</i>	61.9%	33.3%	4.8%

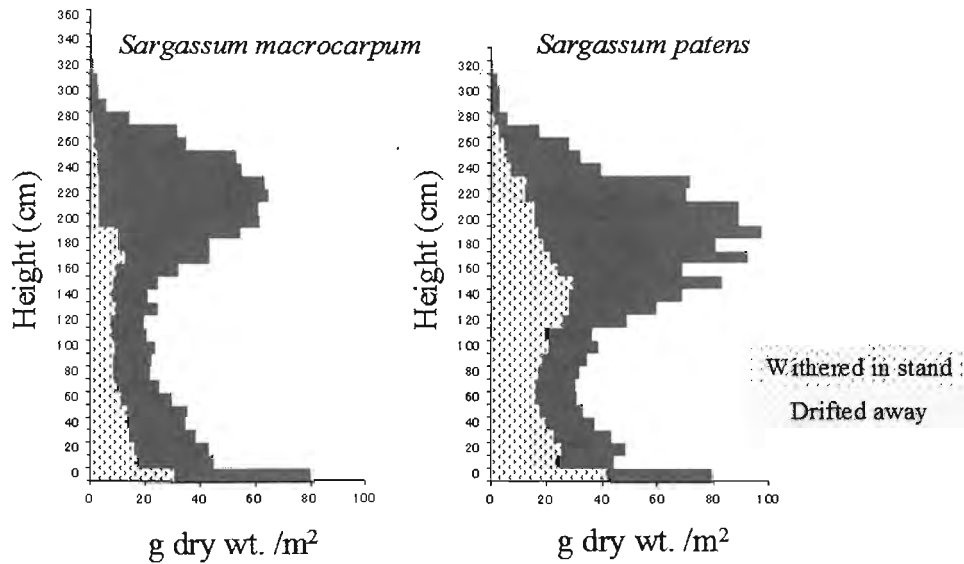


Fig. 28 Biomass in each height was divided into the thalli withered in stand (dotted) or the thalli drifted away (shaded) during their deterioration period.

Table 9 Percentage by the weight of withered or drifted main branch of each species

	Withered in stand	Drifted away
(A) <i>Sargassum patens</i>	37.0%	63.0%
(B) <i>S. macrocarpum</i>	27.0%	73.0%
Mixed (A : B = 65.2 : 34.8)	33.5%	66.5%

がほとんどない場所であった。そのため、激しい波浪を受けても岸帯や沖帯ほど流失しなかったと推察された。

マッピングの結果からは、流失しやすい種はマメタワラの小型個体（全長5~20cm）であることが示された。マメタワラは、不安定な基質に着生する小型個体の割合が高いので（1章参照）、転石の横転などによる剥ぎ取られによる流失が多いと推察された。

枯死期には、ホンダワラ科海藻の活力が低下し、流れ藻になったりその場に倒れこんだりすることが指摘されているが（藤田, 1999）、それらの割合を定量的に明らかにしたのは本研究が初めてである。枯死期のノコギリモクとヤツマタモクは、両種とも倒伏し藻場内にとどまるものよりも、流失し藻場外へ輸送されるものの割合が多かった。また、主枝の切断部位も個体によって異なっていたが、2 mより上部の部位が藻場底部に倒伏する割合は小さかった。ここで得られた知見は、藻場の流れ藻供給量を推定する基礎的知見となるだろう。

養老藻場の年間流失量は、層別刈り取り法で見積もると921 g dw/m²となり、藻場の沖出し距離は88 m（1

章参照）なので、藻場全体の年間流失量は、海岸線1 mあたり81.0 kg dw/mとなった。そのうちの枯死期に流失する量が67%で54.3 kg dw/mとなる。

養老藻場の倒伏割合をヤツマタモクとノコギリモクで代表させることができるとして、その割合をもとめた。両種の被度がホンダワラ科海藻全体の43%と23%（1章参照）であることを勘案すると、枯死期に倒伏する藻体の重量割合は養老藻場全体では30.4%となった。よって、残りの69.6%は、藻場外へ輸送されるとみなされた。枯死期に倒伏する藻体量を海岸線1 mあたりで表すと、16.5 kg dw/mとなる。なお、枯死期以外には、藻場内に藻体がとどまる様子が観察されなかったことから、枯死期以外に流失した藻体はすべて藻場外へ輸送されるとすると、年間を通じて藻場外へ輸送された藻体は64.5 kg dw/mとなり、これは年間流失量の79.6%となる。よって養老のホンダワラ藻場では、年間流失量の8割が藻場外へ輸送され、2割が藻場内にとどまるのではないかという結果を得た。

第4章 流れ藻

流れ藻とは付着基質から離れて海面を漂う海藻類のことで、日本列島周辺では気胞を持つホンダワラ科海藻が主体である。ホンダワラ藻場が発達する日本列島暖温帯（大野, 1981）では流れ藻の発生量が多いものと推察される。これまでに、流れ藻が調査された海域は、九州北岸（吉田, 1963）、山口県外海（河野・斎藤, 2004）、隠岐島（千田, 1962）、佐渡海峡（池原・佐野, 1986）、伊豆半島（Hirata *et al.*, 2001）、土佐湾（大野, 1984）、瀬戸内海（山本ら, 2002）である。

流れ藻を利用する魚類には水産有用種も多く、産卵基質としてサンマ *Cololabis saira*、サヨリ *Hyporhamphus sajori*、トビウオ類 *Exocoetidae* などが利用し（千田, 1965）、幼稚魚の成育場としてブリ *Seriola quinqueradiata*、メジナ *Girella punctata*、メバル類 *Sebastes spp.* などが利用している（千田, 1962, 1965; 池原, 1977）。これらの魚種は若狭湾西部海域においても漁獲対象種となっている。しかし、当海域の流れ藻に関してはサヨリの産卵基盤として利用されていることが報告されているだけで（傍島・船田, 1988）、流れ藻の構成種やその季節変化は明らかにされていない。

流れ藻の生態的側面を明らかにする研究は1950年代後半より行われてきている。これまで、流れ藻の採集や標識放流によって種組成、出現時期、漂流経路に関する知見が集積されている（木村ら, 1958; 吉田, 1963; 千田, 1966; 池原・佐野, 1986; Hirata *et al.*, 2001; 山本ら, 2002）。しかし、流れ藻が発生、浮遊、沈降するメカニズムには依然として不明な部分が多い。流れ藻は浮力を有する海藻であるので、その浮力（比重）の変化についての情報を収集すれば、流れ藻の発生、浮遊、沈降するメカニズムを明らかにするうえで重要な貢献が期待できる。しかしながら、流れ藻の比重を測定した例はWoodcock (1950) を除いて見当たらない。

Woodcock (1950) の研究対象は浮遊状態では無性的に繁殖を繰り返している北大西洋の *Sargassum natans* である。彼の実験は、様々な比重を持つ藻体が様々な水圧や下降流のもとでどのような挙動を示すかというものであり、流れ藻の生態を考えるうえで示唆に富んでいる。しかし、日本列島沿岸の流れ藻は様々な種のホンダワラ科海藻が含まれるし、流れ藻の性質も浮遊期間の経過とともに変化する（吉田, 1963; 池原・佐野, 1986）。そのため、日本列島周辺の流れ藻の生態を明らかにするためには、様々な種の比重を継続的に測定する必要がある。また、ホンダワラ科海藻の生長、成熟によって藻体の比重が変化すれば、流失時期の違いによって流れ藻の比重が異なってくる可能性がある。

流れ藻の浮遊期間を明らかにすることは、流れ藻の漂流経路や魚類や葉上動物などの関連生物の生態を検

討するために必要である（吉田, 1963; 千田, 1966）。吉田 (1963) は、九州北岸で流れ藻に標識ハガキをつけ海岸に打ち上げたものを回収することによって、浮遊期間を2ヵ月以上と推定している。しかしこの方法では、ハガキをつけるまでに経過していた時間を評価できない。千田 (1966) は、標識ハガキを付けた流れ藻の漂着状況から、4~6月には、瀬戸内海の流れ藻が2週間で70%減耗するとしている。大野 (1984) は、土佐湾沖の流れ藻となるホンダワラ類の成熟期と流れ藻の出現時期や消失する時期を比較し、流れ藻の浮遊期間を約1ヵ月と推定している。このような流れ藻の浮遊期間推定法は、状況証拠を集めた間接的なもので、大まかな推定となっている。しかし、流れ藻の比重を継続的に調べれば、これまで明らかでなかった種類別、流失時期別の流れ藻の浮遊期間を推定できるだろう。

本章では若狭湾西部海域における流れ藻の実態把握を目的とし、流れ藻を周年にわたり採集しその種組成を調べた。第3章では永久コドラートを設置しホンダワラ科海藻の流失過程について明らかにしたが、本章では、ホンダワラ科海藻各種の流れ藻について切断部位や出現時期をまとめ、流れ藻から流失過程を検討した。さらに簡便な海藻の比重測定方法を開発し、ホンダワラ科海藻の比重を継続的に測定した。この実験を種類別・時期別に行うことで、ホンダワラ科海藻の比重や浮遊期間に関する知見を得た。

材料と方法

流れ藻の種組成 若狭湾西部海域において2003年4月28日から2004年4月9日まで毎月1回の頻度で流れ藻を採集した (Fig. 29)。2003年4月には京都府立海洋センター所属の海洋調査船「平安丸」(183トン)、2003年5月から翌年4月までは同栽培漁業指導船「みさき」(17トン)と船外機船を用いた。流れ藻の探索は、栗田半島から冠島のある北東方向へ調査船を走らせ、潮目が

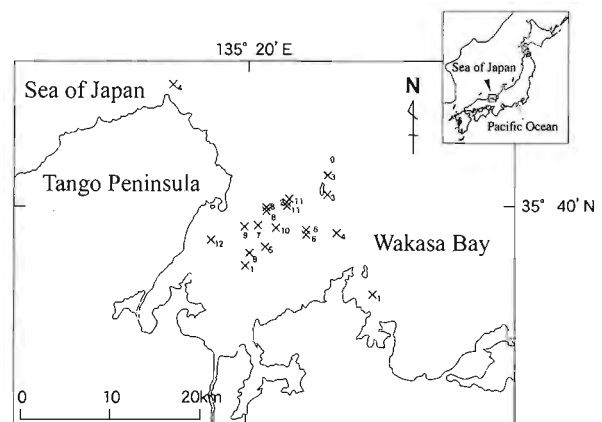


Fig. 29 Map showing collecting sites of drifting seaweed (x). A number by the cross indicates month during study period.



Fig. 30 Photograph showing how to measure the density of seaweed (left) and mesh boxes in which drifting seaweed was stored (right).

見えた時にはそれに沿って移動しながら目視により行った。タモ網または稚魚ネットを用いて流れ藻を採集し、1回あたりの採集量は10 kg以上を目安とした。なお、2004年1月30日にはこの海域での採集量が少なかったために、同海域の東側の海岸近くでも採集した (Fig. 29)。また、2003年4月28日には、経ヶ岬近辺で流れ藻を採集した (Fig. 29)。流れ藻採集地点の表層水をバケツで採水し、棒状温度計により水温を測定した。

採集した流れ藻を実験室まで持ち帰り、藻体を切断しないようにしながら種別に分けた。ホンダワラ科海藻については付着器の有無によっても分別した。付着器をつけているものは付着器が基質から剥がれて流失したとみなし、付着器の無いものは主枝が切断されて流失したとみなした。分別された各試料の湿重量を測定し、付着器を有している個体については全長を測定した。

流れ藻の比重 藻場より付着器ごと採集したホンダワラ科海藻を、京都府立海洋センターの海面生簀施設に係留したコンテナカゴ (縦52 cm×横77 cm×深さ41 cm; 目合い1 cm) に1個体分の試料海藻を収容した

(Fig. 30)。収容した海藻が沈むまで1週間ごとに比重を調べた。海藻の比重を求めるためには、海藻の体積と重量、ならびに海藻の体積の測定の際に用いた海水の比重を測定する必要がある。

海藻の体積の測定方法は以下のとおりである。海藻を入れた網袋を海面に浮かべ、その下端にある小袋に入れる錘 (鉛製) を少しずつ増やしていき、海藻が沈み始める直前の錘の重さを記録する (Fig. 31)。このとき海藻の体積 S_v は、

$$S_v = \frac{S_w + b_w}{d_t} - b_v$$

と表される。ここで、 S_w は海藻の重量、 b_w は錘の重量、 b_v は錘の体積、 d_t は海水の比重である (Woodcock, 1950)。なお網袋、錘を入れる袋、およびそれらをつなぐ紐についてはあらかじめ補正しておいた。水深0, 1, 2, 3 mの海水の比重を水温塩分計 [ACL215-DK; アレック電子(株)] で測定した。2003年には海水の比重を実測しなかったため、海水の比重を1.025とした。用いた錘の最小の重量は3.3 gであった。コンテナカゴの底部 (水深20 cm) にRMT自記式水温計 [(株) 離合社] を設置し、1時間毎に水温を記録した。

2003年には、4月16日にジョロモク、ノコギリモク、ヤツマタモク、ヨレモクを養老地先より、2003年5月6日にアカモクを舞鶴市田井地先より、2003年6月4日にノコギリモク、ヤツマタモクを養老地先より各種1個体ずつ採集した。藻場での平均的な全長や主枝数を持つものを試料として選んだ。採集した試料の成熟段階、全長、湿重をTable 10に示す。

実験に用いた藻体は、様々な生長、成熟段階のものがあつた。ここでは生殖器床を形成していないものを成熟前、生殖器床を形成していて脱落しはじめていないものを成熟中、生殖器床を脱落させはじめているものを成熟後と呼ぶ。成熟前のはヤツマタモク、ノコギリモク (4月16日採集) で、成熟中のものはヨレモク (4月16日採集)、アカモク (5月7日採集)、ノコ



Fig. 31 Schematic diagram showing how to measure the density of seaweed.

ギリモク（6月4日採集）で、成熟後のものはジョロモク（4月16日採集）、ヤツマタモク（6月4日採集）であった。

多年生のホンダワラ科海藻には、流失時の切断部位が2ヵ所（①基質-付着器、②茎-主枝）あると想定し、これらの切断部位に対応した比重を測定した。すなわち、①の場合は藻体全体の比重を測定し、②の場合は主枝、葉、気胞、生殖器床で構成される一年生部位の比重を測定した。なお、アカモクは一年生海藻なので切り分けず、藻体全体を測定した。

採集日を実験開始日とし同日から1週間毎に藻体の

比重を測定した。実験途中で藻体本体から脱落した破片は比重測定には含めず、コンテナカゴから取り除いた。比重測定時には藻体に残る気胞を無作為に50～100個選び、つぶれている気胞を数えた。

2004年には時期別の比較ができるように1月から6月までの期間に合計5回実験した。2004年1月28日にジョロモク、ヤツマタモク、ヨレモク、アカモクを、2004年3月11日にジョロモク、アカモクを、2004年4月20日にジョロモク、ヤツマタモク、ヨレモクを、2004年5月19日にヤツマタモク、ヨレモク、アカモクを、2004年6月18日にヤツマタモクを、それぞれ3個体ずつ採集

Table 10 Length, wet weight and maturation stage of Sargassaceae seaweed collected in 2003

Collected date	Species	Maturation stage	Plant length (cm)	Wet weight (g)	
				Perennial part	Annual part
Apr. 16	<i>Myagropsis myagroides</i>	Post-mature	328	419	2,061
	<i>Sargassum macrocarpum</i>	Pre-mature	364	113	1,187
	<i>S. patens</i>	Pre-mature	334	16	1,424
	<i>S. siliquastrum</i>	Mature	389	22	1,318
May 7	<i>S. horneri</i>	Mature	191	-	720
Jun. 4	<i>S. macrocarpum</i>	Mature	241	57	1,130
	<i>S. patens</i>	Post-mature	238	12	337

Table 11 Length, wet weight and maturation stage of Sargassaceae seaweed collected in 2004

Collected date	Species	Maturation stage	Plant length (cm)	Wet weight (g)
Jan. 28	<i>Myagropsis myagroides</i>	Pre-mature	348.3	453.3
	<i>Sargassum patens</i>	Pre-mature	256.0	490.0
	<i>S. siliquastrum</i>	Pre-mature	288.3	502.7
	<i>S. horneri</i>	Pre-mature	241.0	230.3
Mar. 10	<i>M. myagroides</i>	Mature	372.0	406.7
	<i>S. horneri</i>	Mature	295.7	646.7
Apr. 20	<i>M. myagroides</i>	Post-mature	331.7	406.7
	<i>S. patens</i>	Mature	289.0	923.3
	<i>S. siliquastrum</i>	Post-mature	255.7	396.7
May. 19	<i>S. patens</i>	Post-mature	172.7	263.3
	<i>S. siliquastrum</i>	Post-mature	326.0	693.3
	<i>S. horneri</i>	Post-mature	313.0	140.0
Jun. 18	<i>S. patens</i>	Post-mature	276.0	1,076.7

した。アカモクは実験海面の近隣の藻場で採集し、アカモク以外は養老地先の藻場で採集した。図表においては比重や湿重量は3個体の平均で示す。採集した試料の全長、湿重、成熟段階をTable 11に示す。

実験には、成熟前から成熟後まで様々な藻体を用いた。成熟前のもは1月28日に採集した全種であった。成熟中のもは、アカモク、ジョロモク（3月11日採集）、ヤツマタモク（4月20日採集、5月19日採集）であった。成熟後のもはジョロモク、ヨレモク（4月20日採集）、ヨレモク、アカモク（5月19日採集）、ヤツマタモク（6月18日採集）であった（Table 11）。

2003年の実験より、多年生部位の有無による比重の変化が限定的であることが分かったため（後述）、2004年は一年生部位の比重のみを用いて実験した。また2004年には比重測定時の気胞の計数を省き、その代わりに写真撮影によって藻体の様子を記録した。

結 果

流れ藻の種組成 流れ藻採集地点の表層水温は、調査開始時の2003年4月28日には14.2℃であり、その後上昇し5月には16.9℃、7月には21.7℃となり、9月には最高水温の26.7℃に達した。9月以降水温は下降し、2004年2月には最低水温の11.7℃を記録した。2月以降には再び水温が上昇した（Fig. 32）。

各月の流れ藻の採集量は6～141kgであり（Table 12）、調査期間を通じて採集された種数は、緑藻綱2種、褐藻綱24種（うちホンダワラ科海藻21種）、紅藻綱2種、単子葉植物綱2種、合計30種であった（Table 12）。2003年12月にはアマモ *Zostera marina* の重量割合が67.4%を占めたが、それ以外の月ではホンダワラ科海藻が80%以上を占めた。緑藻綱、ホンダワラ科以外の褐藻綱、紅藻綱の重量割合は、年間を通じて1%未満であった（Table 12）。

ホンダワラ科海藻全体に占める割合がいずれかの調査時で10%を超えた種は、アカモク *Sargassum horneri*、

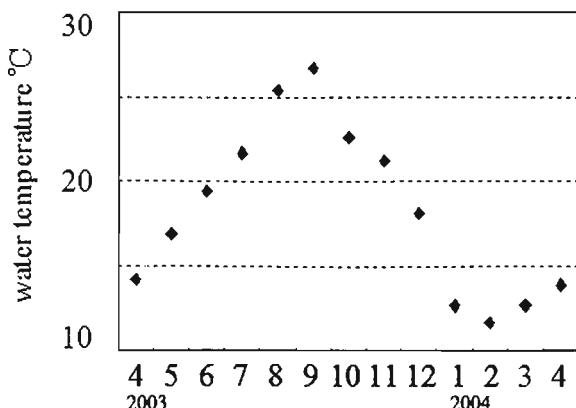


Fig. 32 Water temperature (°C) of the sea surface at which drifting seaweed was collected.

ノコギリモク *S. macrocarpum*, ヤナギモク *S. ringgoldianum* subsp. *coreanum*, ヨレモク *S. siliquastrum*, ホンダワラ *S. fulvellum*, ジョロモク *Myagropsis myagroides*, ヤツマタモク *S. patens*, マメタワラ *S. piluliferum* の8種であった。これらの8種の重量割合を付着器の有無別にFig. 33に示した。2003年7月に採集されたアカモクは、藻体が絡んでおり個体に分別できなかったため付着器の有無は不明としたが、絡み合ったアカモクの海藻塊には付着器が多数みられた。各月で最も多く採集されたホンダワラ科海藻を列挙すると、4～7月がアカモク（41～92%）、8月がノコギリモク（52%）、9、10月がヤナギモク（29～64%）、11月がヨレモク（49%）、12、1、2月がヤツマタモク（33～60%）、3、4月が再びアカモク（40～69%）であった（Fig. 33）。アカモクは3月から7月までの5ヵ月間にわたり最も多く出現し、その期間の水温は12.7～21.7℃であった（Fig. 32）。

ノコギリモク、ヤツマタモク、マメタワラはほぼ一年中出现したが、ヨレモク、ホンダワラは7、8月に、ジョロモクは7～9月に、アカモクは9～12月にほとんど出現しなかった。ヤナギモクは8～11月だけ出現した（Fig. 33）。これらの種の出現割合が高い期間と付

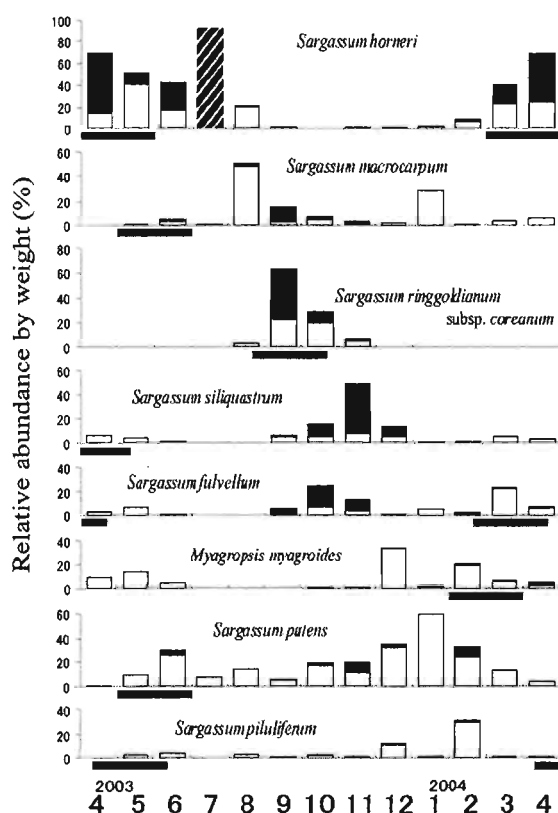


Fig. 33 Relative abundance by weight of Sargassaceae drifting seaweed. Closed and open bar indicates drifting seaweed with holdfast and without holdfast respectively. *Sargassum horneri* in July was not been able to examine on its holdfast. Gray horizontal bar indicates maturation period of the species.

Table 12 Total weight (wet weight; kg) and species composition (percentage by weight) of drifting seaweeds collected in western Wakasa Bay from April 2003 to April 2004

		2003								2004				
		Apr28	May6	Jun6	Jul8	Aug4	Sep4	Oct9	Nov6	Dec4	Jan30	Feb25	Mar17	Apr9
Total weight (wet weight : kg)		6.2	87.0	63.4	141.4	30.8	27.7	12.5	27.7	16.9	7.8	14.3	27.9	48.9
CHLOROPHYCEAE	Subtotal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
	<i>Enteromorpha</i> sp.				+									0.1
	<i>Chaetomorpha</i> sp.								0.1	+	+			
PHAEOPHYCEAE	Subtotal	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(Except for Sargassaceae)														
	<i>Colpomenia sinuosa</i>			+										
	<i>Scytosiphon lomentaria</i>					+				+			+	
	<i>Chorda filum</i>	+		0.2	0.3									+
(Sargassaceae)	Subtotal	99.8	100.0	99.0	99.7	82.0	96.4	83.1	92.2	32.5	98.9	99.9	99.8	99.9
	<i>Myagropsis myagroides</i>	9.0	13.5	4.3			0.1	0.3	1.1	11.2	1.6	20.4	7.0	5.4
	<i>Sargassum autumnale</i>					0.6	1.3	0.6						
	<i>S. confusum</i>	9.3	5.5	3.3			0.2	0.2	2.6	0.1	0.1	0.4	4.9	0.7
	<i>S. fulvellum</i>	3.1	7.6	0.3			5.5	21.0	12.7	0.2	5.3	2.2	24.0	7.9
	<i>S. fusiforme</i>												0.1	
	<i>S. hemiphyllum</i>	0.5	4.5	0.5	+		0.1	+	0.1	+	0.4	2.0	1.2	0.1
	<i>S. horneri</i>	69.4	51.4	40.9	92.0	17.1	0.5		0.5	0.3	1.7	8.8	40.1	68.8
	<i>S. macrocarpum</i>	0.2	0.8	5.5	0.4	42.5	15.0	6.3	3.7	0.6	28.5	0.7	4.3	6.7
	<i>S. micracanthum</i>	1.1	0.2	0.1						0.1			+	+
	<i>S. miyabei</i>			0.1		0.3					+		+	+
	<i>S. muticum</i>			0.1										
	<i>S. nigrifolium</i>	0.2	0.1	0.1								+		
	<i>S. patens</i>	0.8	9.3	29.8	7.2	11.6	5.5	15.8	18.0	11.5	59.6	33.0	12.8	5.0
	<i>S. piluliferum</i>	0.2	2.0	4.1	0.1	2.4	0.5	1.8	0.9	4.3	1.1	31.3	0.3	0.8
	<i>S. ringgoldianum</i> subsp. <i>coreanum</i>			+		2.6	61.2	24.0	6.2				+	+
	<i>S. serratifolium</i>						0.5	0.2	1.0				0.1	
	<i>S. siliquastrum</i>	5.9	4.1	1.9			5.8	12.6	45.2	4.3	0.6	1.2	4.9	3.4
	<i>S. thunbergii</i>	+	1.1	0.4	+	4.6	0.3		+				+	+
	<i>S. yendoii</i>			0.1	+	0.4		0.2	0.2		+			1.1
	<i>S. yezoense</i>			0.1	+									
	<i>Sargassum</i> sp.	+			+									
RHODOPHYCEAE	Subtotal	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	<i>Hypnea charoides</i>			+										
	<i>Camphyllaephora hypnaeoides</i>			0.5										+
MONOCOTYLEDONEAE	Subtotal	0.2	0.0	0.2	0.0	19.9	3.6	16.9	7.7	67.4	1.1	0.1	0.1	0.0
	<i>Zostera marina</i>			0.2	+	19.9	3.6	16.9	7.7	67.4	1.1	0.1	0.1	+
	<i>Phyllospadix japonica</i>	0.2												

+: Less than 0.1%.

着器の有無は以下のようになった (Fig. 33)。アカモクは3~7月に出現割合が40%を超え、その期間における付着器を有する流れ藻が21~80%であった。ヤナギモクは9, 10月に出現割合がそれぞれ64, 28%であり、付着器を有する流れ藻がそれぞれ66, 34%となった。ヨレモクは10~12月に出現割合が10%を超え、付着器をつけた流れ藻の割合が64~85%となった。ホンダワラは9~11月に出現割合が5%以上であり、付着器をつけた流れ藻の割合が71~96%となった。1月および3~5月にも出現割合が5%を超えたが、この期間には付着器をつけたものは少なかった。ノコギリモクは、8月と1月に出現割合がそれぞれ52, 29%で高かったが、この期間には付着器をつけたものは少なかった。一方、9月には出現割合は16%であったが、付着器をつけた流れ藻の割合が81%となった。ジョロモクは12, 2, 5月に出現割合が10%を超えたが、このとき付着器をつけた流れ藻は少なかった。ヤツマタモクは年間を通じて付着器の無い流れ藻が多く出現した。マメタワラは

12, 2月に出現割合が10%を超えたが、このとき付着器をつけた流れ藻は少なかった。

年間を通じて採集された流れ藻のうち、付着器をつけていたホンダワラ科海藻の個体数および全長を Table 13に示した。付着器を有する個体が最も多かったのがホンダワラで224個体であり、続いてヨレモク (83個体)、アカモク (73個体)が多かった。付着器をつけたホンダワラ科海藻各種の最低全長は、ジョロモク (115 cm) とヤナギモク (62 cm) が長く、ノコギリモク (36 cm)、ヨレモク (29 cm)、ホンダワラ (25 cm) が短かった (Table 13)。また、付着器をつけたヨレモクの茎は、分岐数が0または1回の小型のものが多かった。

流れ藻の比重 ホンダワラ科海藻を収容したコンテナカゴの水温は、2003年4月16日には約14℃であったが、5月8日には約17℃、6月4日には約19℃となり、実験終了時の7月中旬には約22℃となった (Fig. 34)。また、

Table 13 Length of drifting seaweed with holdfast

	N	Length (cm)	
		Range	Average
<i>Sargassum fulvellum</i>	224	25 ~ 202	61
<i>S. siliquastrum</i>	83	29 ~ 135	63
<i>S. horneri</i>	73	43 ~ 265	120
<i>S. patens</i>	48	46 ~ 421	119
<i>S. ringgoldianum</i> subsp. <i>coreanum</i>	30	62 ~ 122	91
<i>S. macrocarpum</i>	25	36 ~ 160	71
<i>S. piluliferum</i>	6	45 ~ 180	118
<i>Myagropsis myagroides</i>	5	115 ~ 305	179

N: The number of holdfast.

2004年1月28日から3月11日まで一定で11℃前後であったが、その後水温は上昇し4月20日には16℃となり、5月19日は18℃、6月18日には24℃、実験終了時の7月上旬には23~25℃であった (Fig. 34)。海藻の比重を測定した海面生簀施設の海水比重をFig. 35に示す。1月下旬から3月中旬までは全層で1.025付近であった。3月下旬より5月中旬までは間欠的に淡水が流入し表層海水の比重が下がった。3月24日には0 m層で1.016と最も低い値を示した。また5月下旬から7月上旬までは全層で比重が下がり、3 m層でも1.022となった。5月下旬以降の表層海水の比重は1.019から1.023の範囲内であった。

2003年の実験結果をFig. 36に示す。ジョロモクは多年生部位の重量が全体の19%を占め (Table 10)、採集直後の比重が多年生部位の有無によって0.027異なった (Fig. 36)。ノコギリモク、ヤツマタモク、ヨレモクでは多年生部位の重量は全体の10%以下であり (Table 10)、多年生部位の有無による採集直後の比重

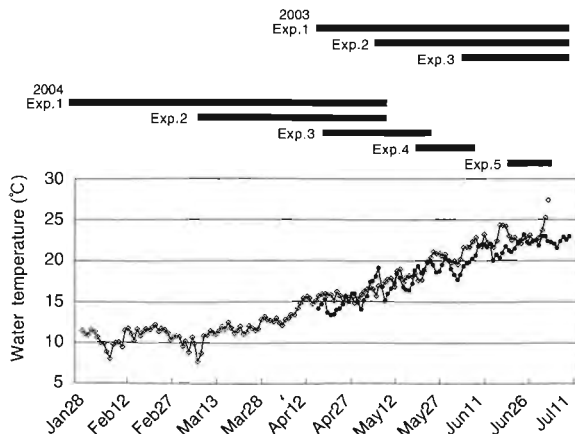


Fig. 34 Experimental period (closed bar) and water temperature (diamond) in the cage in 2003 (◆) and 2004 (◇).

の違いは、0.013以下であった (Fig. 36)。

採集直後の一年生部位の比重を比較すると、6月4日のノコギリモク (0.835) がもっとも小さく、4月16日のジョロモク (0.962) がもっとも大きかった。4月と6月にかけてヤツマタモクは比重が成熟前の0.933から成熟後の0.967へと増加したが、ノコギリモクは成熟前の0.902から成熟中の0.835へと減少した (Fig. 36)。

2003年4月に採集されたジョロモクとノコギリモクにおいては、比重が急激に増加した (Fig. 36)。ノコギリモクの比重が急増した期間には、同種の気胞が最大で52%つぶれており、その割合は他種 (0~28%) よりも高かった。4月に採集されたヤツマタモクとヨレモク、5月に採集されたアカモクの比重変化は緩やかであった (Fig. 36)。アカモクの比重は7週目まで採集直後と同程度で小さかった。この期間にアカモクをつぶれた気胞の割合は10%以下で他種よりも少なかった。4月に採集されたヤツマタモクは、浮遊期間中に新たな側枝を伸長させ、5月中旬には側枝の先端部に生殖器床を形成した (Fig. 37)。比重と浮上速度の関係をみると、海藻の比重が1.000より小さい個体はすばやく浮上するが、1.010より大きい藻体は一度沈降するとほとんど浮上しないかきわめて緩やかにしか浮上しなかった。

藻場から採集したホンダワラ科海藻を海面に浮かべると、3~4週後まで湿重量が増しその後減少していく

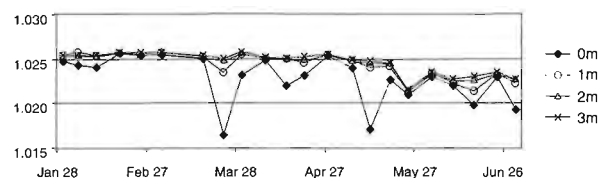


Fig. 35 Specific density of sea water at the experimental area from January. 28 to July 2, 2004.

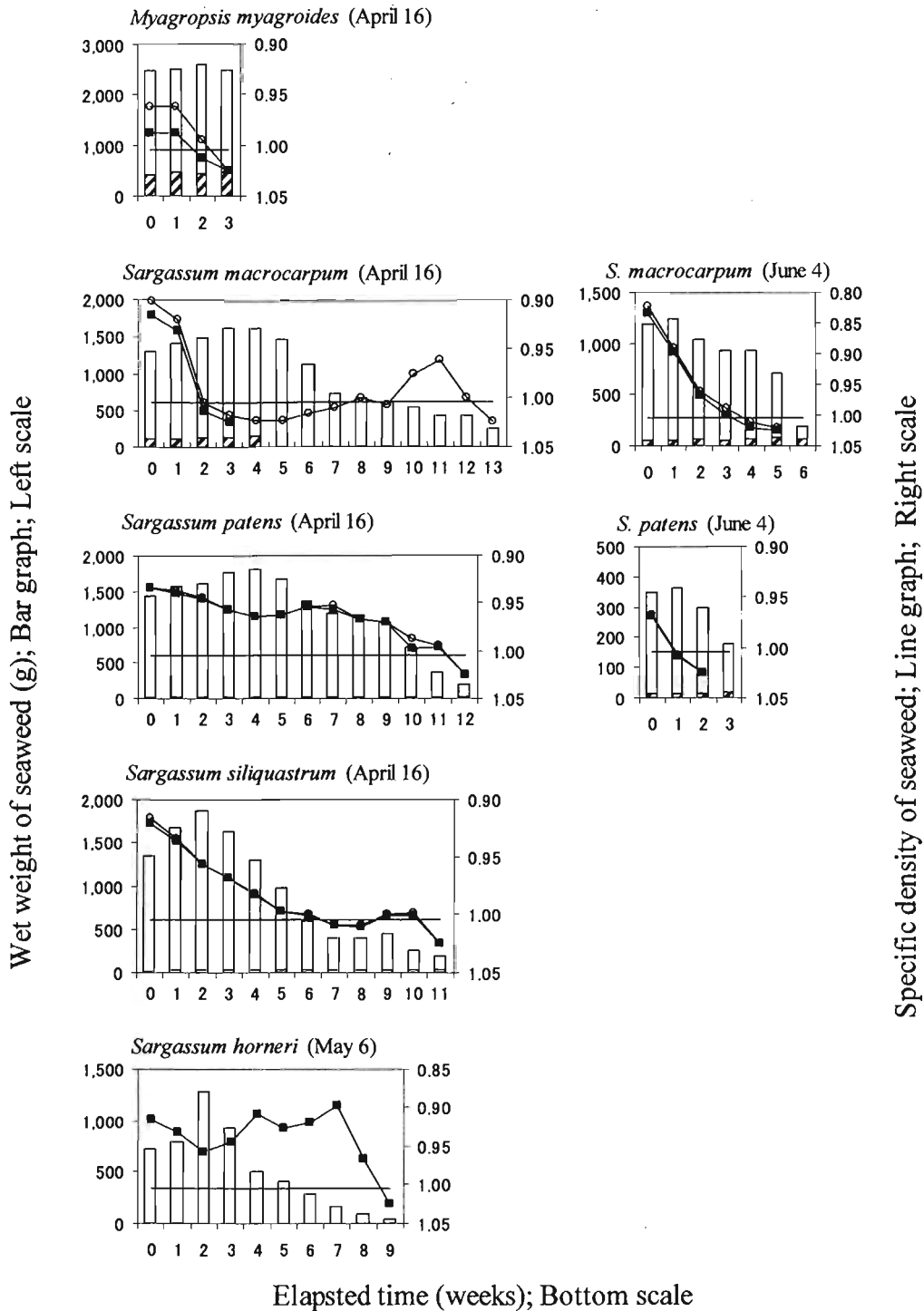


Fig. 36 Changes in specific density (■: Annual part, ○: Whole thalli) and wet weight (White bar: Annual part, Slashed bar: holdfast and stem) of seaweed experimented in 2003. Horizontal line represents 1.005 of specific density. The date of starting experiment is shown in parenthesis after species name.

傾向がみられた (Fig. 36)。重量が増加した期間には、藻体の表面に粘液の分泌が多くみられ、浮泥が付着していた。特にアカモクでは、藻体表面に粘液が多くみられ藻体重量の増加が著しかった (Fig. 36)。重量が減少した時期には、藻体がもろくなってちぎれ、多くの破片がコンテナの底に溜まっていた。

2004年の実験結果をFig. 38に示す。採集直後の藻体の比重を比較すると、2004年1月28日に採集されたア

カモク (0.761) がもっとも小さかった。月別に比較すると、5月19日に採集されたヤツマタモクを除き、採集時期が遅くなるほど採集時の比重が大きくなった (Table 14, Fig. 38)。ジョロモクでは1月28日に採集されたものの比重が0.929であったが、4月20日には0.952となった。ヤツマタモクでは1月28日に採集されたものの比重が0.929であったが、6月18日には0.992となった。ヨレモクでは1月28日に採集されたものの比重が

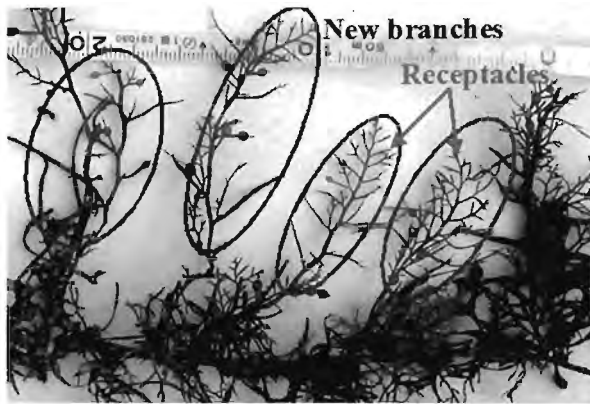


Fig. 37 New generating branches on drifting *Sargassum patens* in the middle of May, 2003. This seaweed was detached from seaweed bed on April 16, 2003.

0.929であったが、5月19日には0.987となった。アカモクでは1月28日に採集されたものの比重が0.761であったが、5月19日には0.987となった。

藻体の比重の増加傾向は、水温の低かった1~3月に実験を開始したものでは緩やかであったが、4~6月に採集した藻体は、実験開始直後より比重を急激に増加させた (Fig. 38)。流れ藻の湿重量は、海面に浮かべられた直後から増加する傾向が見られた。その増重期間は、実験開始時期によって異なっていた。2004年1月28日に開始した実験では、10~11週間後まで湿重量が増加したが、3月11日のものでは6週間後まで、4月20日のものでは3週間後まで、5月19日のものでは1週間後まで湿重量が増加した。しかし、6月18日に実験

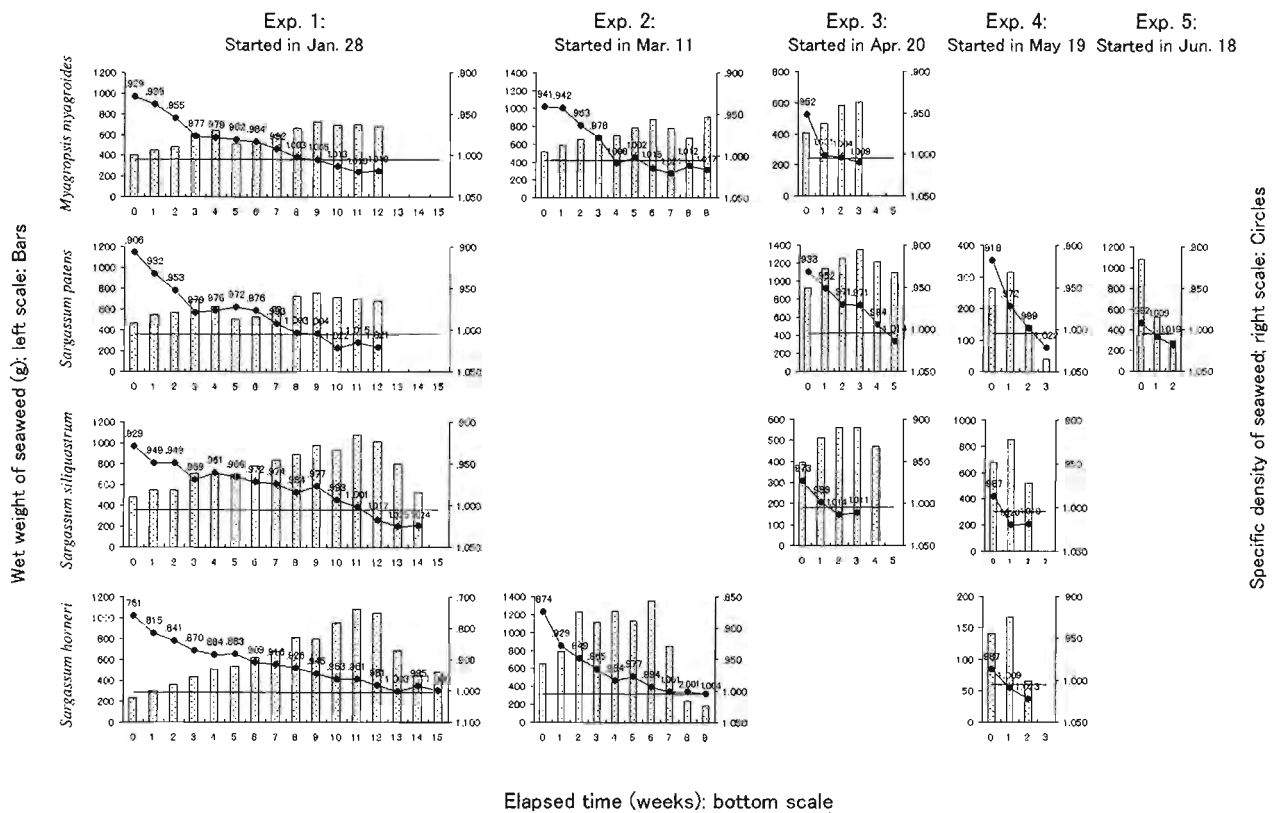


Fig. 38 Changes in specific density (●; Right scales) and wet weight (Bars; Left scales) experimented in 2004. Horizontal line represent 1.005 of specific density.

Table 14 Specific density of Sargassaceae seaweed at the start of the experiments in 2004

Species \ Collected date	Jan. 28	Mar. 10	Apr. 20	May. 19	Jun. 18
<i>Myagropsis myagroides</i>	.929	.941	.952		
<i>Sargassum patens</i>	.906		.933	.916	.992
<i>S. siliquastrum</i>	.929		.973	.987	
<i>S. horneri</i>	.761	.874		.987	

を開始したヤツマタモクは、海面に浮かべても湿重量が増加しなかった。2003年同様、増重期には粘液の付着が見られ、減少期には藻体がもろくなってちぎれていた。2004年1月28日の実験開始時には成熟前であったアカモク、ヨレモク、ジョロモクは、浮遊開始から約40日後に生殖器官を形成した。一方、同時に実験を開始したヤツマタモクは浮遊期間中に成熟しなかった。

考 察

流れ藻の種組成 若狭湾西部海域で採集された流れ藻はホンダワラ科海藻が大部分を占め、残りはほとんどがアマモであった。また、流れ藻の主体となったホンダワラ科海藻の種組成は、春から初夏にはアカモクが多く、夏にはノコギリモク、秋にはヤナギモク、ヨレモク、冬にはヤツマタモクが多くなる傾向があり、この傾向は対馬暖流域の九州北岸(吉田, 1963)や佐渡海峡(池原・佐野, 1986)と一致していた。対馬暖流域の流れ藻の種組成を豊後水道や土佐湾(大野, 1984)、伊豆半島(Hirata *et al.*, 2001)、瀬戸内海(山本ら, 2002)と比較すると、アカモクが春から初夏に優占する点だけが一致し、その他の種は異なっていた。

本研究で流れ藻から採集したホンダワラ科海藻は21種で、そのうち20種は京都府沿岸域に生息している種である(道家, 2004)。その他の1種は、同定できなかった*Sargassum* sp.であった。また、ホンダワラ科以外で流れ藻として採集された種も京都府沿岸域で生育していることが確認されている(今野・中島, 1980)。これらの結果から若狭湾西部海域の流れ藻供給源が近隣の藻場である可能性が高いのではないかと考えられる。しかしながら、上記のように対馬暖流域の流れ藻の種組成は類似しているし、流れ藻の輸送に関しては明らかにされていないので、現時点では流れ藻の起源の特定には至っていない。

ホンダワラ科海藻のなかで流れ藻における出現割合が高い種は、すべて漸深帯に分布しガラモ場を形成する種であった(Yoshida, 1983; 大野, 1981)。一般に、海藻が生育できるだけの光量がある面積は、漸深帯の方が潮間帯や漸深帯上部よりも広い。そのため漸深帯の藻場構成種の方が現存量も多く、流れ藻にも多く出現すると考えられる。漸深帯の藻場に生育するホンダワラ科海藻は、個体同士が互いに光をめぐる競争関係にあると考えられている(村瀬, 2001)。その様な場所でもよりよい光環境を得るためには、主枝を気胞によって直立させ他個体より上部の空間を占める必要がある。このような種は気胞による浮力が大きく、流れ藻になりやすい性質を備えるのではないかと推察される。流れ藻における出現割合が最も高かったアカモクの浮力は、ホンダワラ科海藻の中で特に大きいことが

観察されている。

一方、流れ藻における出現割合が低いものは、分布の中心が潮間帯や漸深帯の浅所に限られている種(アキヨレモク*Sargassum autumnale*, ヒジキ*S. fusiforme*, イソモク*S. hemiphylum*, トゲモク*S. micracanthum*, ミヤベモク*S. miyabei*, ナラサモク*S. nigrifolium*, ウミトラノオ*S. thunbergii*, エゾネジモク*S. yezoense*) (Yoshida, 1983; 今野・中島, 1980) や、漸深帯に分布する(Yoshida, 1983)ものの、京都府沿岸では分布面積が限られている種(フシスジモク*S. confusum*, タマハハキモク*S. muticum*, ウ斯巴ノコギリモク*S. serratifolium*, エンドウモク*S. yendoi*) (八谷ら, 未発表)であった。

次に、ホンダワラ科海藻の流れ藻への出現時期や付着器の有無を生長期・成熟期と関連させまとめ、流れ藻となる様子を以下のように3つに分け、生活史や付着器の形態と関連させて検討する。ホンダワラ科海藻の流れ藻への出現割合とともに、京都府沿岸における成熟期(道家, 2004)をFig. 33に示した。

第1のグループは、年間を通じて出現し、付着器の無い流れ藻の重量割合が高かった、多年生海藻のノコギリモク、ジョロモク、ヤツマタモク、マメタワラである(Fig. 33)。ノコギリモクは9月に付着器をつけた流れ藻の割合が高かったが年間を通じた傾向により、このグループに入れた。多年生のホンダワラ科海藻では、主枝は毎年生え替わるが付着器と茎が越年する(梅崎, 1985)ので、付着器の無い流れ藻の割合が高くなると考えられる。また、これらの種では、成熟した主枝が流失した時点ですでに茎から新しい主枝が形成されており(梅崎, 1985)、これらの主枝が比較的短期間のうちに伸長し、それが切断されて流れ藻になると考えられる。このような理由で、これらの種の流れ藻は成熟期のかなり前から出現し、場合によってはヤツマタモクのように周年出現するのではないかと推察される。

第2のグループは、流れ藻への出現が成熟期とその前後に限定され付着器をつけた流れ藻が多かった、1年生のアカモクと多年生のヤナギモクである(Fig. 33)。1年生海藻のアカモクは付着器や茎が越年しないため、付着器ごと流失し流れ藻となるものが多いと考えられる。若狭湾の支湾である小浜湾では、アカモクの全長は、12月には波あたりが強いところでは19 cm、波あたりが弱いところでも49 cmであったと報告されている(Umezaki, 1984b)。また、本調査では全長43 cm未満のアカモクは流れ藻となっていなかった。これらの観察結果から、アカモクの場合12月ごろまでは、主枝の伸長や気胞の形成があまり進んでおらず流れ藻になることは少なかったのではないかと推察される。それ以後には藻体が伸長して流れ藻に多く出現したと考えられる。

アカモクは流れ藻の中で最頻種となった期間が最も

長かった。京都府沿岸ではアカモクは水温10~18°Cで成熟し(道家ら, 1995b), 他のホンダワラ科海藻より成熟期が長いと報告されている(道家, 2004)。更に, 本調査の流れ藻からは成熟期終了から3ヵ月ほどの期間でも多く採集された。アカモクの成熟期は同じ海域でも生育水深によって変化すると推察されており(道家ら, 1995b), このことが流れ藻への出現期間を長期化させている可能性があるため, 今後さまざまな海域で水深別にアカモクの成熟期を調べていきたい。

ヤナギモクは多年生であるが, 付着器をつけた流れ藻の割合が高くその出現は成熟期に限定されていた。ヤナギモクは他種と比べて主枝が太いので(Yoshida, 1983), 成熟前には主枝が切断されることがほとんど無く, 生殖器床が形成され波浪から受ける力がある限界を越えると付着器から剥ぎ取られて流れ藻になるのではないかと推察される。しかし, 成熟後には主枝が茎から脱落するので(Umezaki, 1985), これが浮上すれば付着器の無い流れ藻となるが, 本調査ではその割合は少なかった。ヤナギモクの流れ藻の最低全長が62 cmで他種より長かったのは, 本種がホンダワラ科海藻の中で比較的大型の付着器や茎を持つ(Yoshida, 1983)のために固着力が強く, 未成熟な小型個体は流失しにくかったり, 大型の藻体でないと浮力が得られなかったりするためではないかと考えられる。

第3のグループは, 生長期である秋季には付着器をつけたものが多く, 成熟期である春に付着器の無い流れ藻が多かった, 多年生のヨレモクと1(2)年生(吉田, 1985)のホンダワラであった(Fig. 33)。これらの種は, 流れ藻となる最小の全長が25~29 cmであり, 他種と比べて小さい個体も流失していた。また, 秋季に多く出現したヨレモクは, 茎分岐数が少ないことから若齢個体であると考えられる(Umezaki, 1985)。日本海沿岸では秋季に北西季節風が強くなり波浪が激しくなりはじめる。この時期に, ホンダワラ(吉田・西川, 1975)やヨレモク(Nanba and Okuda, 1993)は主枝を伸長させるため, 波浪が藻体を剥ぎ取る力が増すと予想される。このときに, 主枝が切断されずに付着器が基質から剥がれれば, 付着器をつけた流れ藻となる。ホンダワラの付着器は仮盤状であり, ヤツマタモクの盤状根やノコギリモクの円錐状根よりも固着力が弱いと考えられている(吉田, 1985)。ヨレモクの付着器は円錐状根(Yoshida, 1983)であるが, 若齢のうちには固着力があまり強くないのかもしれない。

ホンダワラは1年生で成熟後に藻体全体が流失し付着器や茎を残さないと考えられてきたが, 成熟後に茎から新主枝を形成していることから, 越年しているかもしれないと指摘されている(Yoshida, 1983)。本調査の結果では成熟期に付着器をつけた流れ藻が少なかったため, ホンダワラが付着器や茎を残す多年生かどうか, 海中での観察などにより確かめる必要がある

う。

流れ藻の比重 本研究では, 簡便な海藻比重測定方法を開発し, ホンダワラ科海藻の比重を継続的に測定した初めての試みである。その結果, ホンダワラ科海藻の比重が, 種や時期によって異なっていることが明らかになった。ホンダワラ科海藻は, 成熟前に比重が小さく, 生殖器床を形成しその後生殖器床が脱落していく過程で, 比重が大きくなっていった。また, 1~3月のアカモクの比重は他種に比べて特に小さかった。

実験海面は静穏な海域であったが, 現実に流れ藻が浮遊する海面には下降流(Woodcock, 1950)も存在するので, 海水より比重が小さい海藻でも沈降することが想定される。そこで本研究では, 流れ藻の沈み具合の観察結果から流れ藻が沈降するときの比重を1.005と仮定し, 藻体の比重が1.005以下になるまでの期間を推定浮遊期間とした。比重1.005の線をFigs. 36, 38に示している。

2003年の実験から得られた推定浮遊期間(比重が1.005より小さかった期間)は以下ようになる。4月に採集されたものではヤツマタモクが11週間, ヨレモク6週間, ジョロモク, ノコギリモクが2週間であった。5月のアカモクは8週間, 6月のノコギリモクが3週間, ヤツマタモクが1週間未満と推定された。推定浮遊期間が3週間以内の種は, 採集直後の比重が急激に変化する傾向があった。

2004年の実験での推定浮遊期間(比重が1.005より小さかった期間)は1月に採集されたアカモクが最長で14週間であった(Fig. 39)。推定浮遊期間は各種とも, 時間の経過とともに減少する傾向があった(Fig. 39)。1月に採集したものの推定浮遊期間は8~14週間であった。3月のもものでは5~8週間, 4月のもものでは1~4週間, 5月のもものでは1週間未満~2週間, 6月のもものでは1週間未満であった。これらの推定浮遊期間を採集時の成熟状況(Table 11)との関連でまとめると, 成熟前のもものでは4~14週間, 成熟中では1~8週間, 成熟後のもものでは2週間以内となった。

本研究で推定された浮遊期間は最大で14週間であり, これまでに吉田(1963)や大野(1984)が推定した流れ藻の浮遊期間(1~2ヵ月以上)とおおむね一致する。しかしそれらの報告では, 種別, 時期別に浮遊期間が推定されていない。流失した個体の生長段階によって浮遊期間が異なることは, 海面上の流れ藻の動態を検討する場合には考慮すべきことであり, このことは本研究によって初めて明らかにされた。

藤田(1999)はホンダワラ科海藻の切断部位や海水の比重が流れ藻の浮遊期間に影響している可能性を示唆した。本研究では2003年に切断部位を「基質-付着器」「茎-主枝」の2通りを想定し比重を測定した。その結果, ジョロモクは付着器と茎の重量割合が全体の

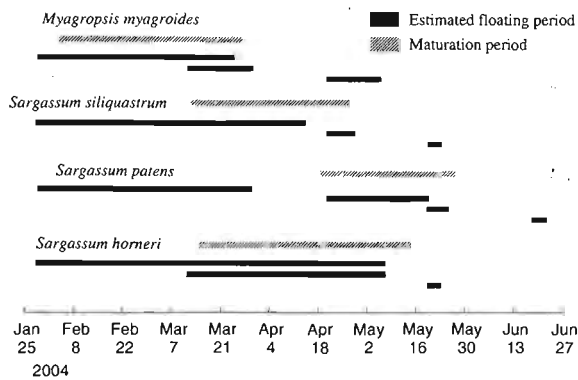


Fig. 39 Estimated floating period and maturation period of four Sargassaceae species. Experiment was carried out from January to June 2004.

19%であり、切断部位の違いによって比重や推定浮遊期間に顕著な違いがみられた。しかし、その他の種では切断部位の違いによって比重がほとんど異ならず推定浮遊期間も異ならなかった。もっとも、付着器や茎が小さい種でも、付着器に転石や岩の破片などをつけた流れ藻の場合は、これらの付随物の影響は無視できないものと思われる。

海藻の比重が一定でも、海水の比重が小さくなれば海藻の浮力は小さくなる。2004年には実験海面の表層水の比重は1.016から1.025の間で変動し、その差は0.009であった。本研究では海藻の比重が1.005より大きくなったときに沈降すると想定したが、海水比重の変動も考慮して、海藻が沈降する比重を0.009小さくし0.996とすると、推定浮遊期間は最大で2週間短くなる。また、2004年6月20日に採集したヤツマタモクのように比重が海水に近いものは、海水の比重が下がると浮上しなくなるので流れ藻にならない。海水の比重の変化は流れ藻の発生量にも影響を与えている可能性があるため、この点についても今後検討する必要があるだろう。

基質から離れたときの藻体の状態（成熟前・成熟期・成熟後）と比重および浮遊期間について考察してみる。2003年のノコギリモクを除いて、すべての種で成熟段階の進行とともに比重は増加し、推定浮遊期間は短くなっていった。ヤツマタモク、ノコギリモク、ジョロモク、ヨレモクでは12月から枯死脱落がはじまるまで、気胞の重量割合はほぼ一定であるが、生殖器床の重量割合は成熟期になると増してくる(2章参照)。ヤツマタモクではこの時期の気胞の体積が一定とみなせるので(八谷, 未発表)、比重の大きい生殖器床の割合が増加することによって藻体全体の比重を増加させている可能性があり、ジョロモク、ヨレモク、アカモクにも同じことが当てはまるかもしれない。しかし、ノコギリモクでは成熟中のほうが成熟前よりも比重が低下していた。ノコギリモクは気胞の体積が変化している可能性もあり(八谷, 未発表)、今後の課題であ

る。さらに、葉や主枝の比重の変化については情報がなく、この点も今後考慮していく必要がある。

流れ藻の湿重量が減少し始めるまでの期間は推定浮遊期間とおおむね一致した。これらの期間は低温期の1月から3月に長く、水温上昇期の4月から6月に短かった。藻体がもろくなり切断されることにより、湿重量が減少しはじめるので、流れ藻の活力と浮遊期間に関連があるようにみえる。成熟段階の進行や水温の上昇とともに、光合成活性など流れ藻の生理状態が悪化、あるいはそれらに伴い、付着細菌の活性化が生じている可能性が考えられる。また、気胞のつぶれやすさも流れ藻となったからの生理状態の変化と関連があるかもしれない。これらの流れ藻の生理状態は、基質に付着しているときとは異なることも予想されるので、今後確かめる必要がある。当面は、流れ藻の水分含量、光合成色素や窒素・リン含量などの変化を明らかにすることが求められるだろう。

ホンダワラ科海藻は流れ藻となっても生長や成熟することが観察された(Fig. 37)。ホンダワラ科海藻の幼胚着定密度は天然海域で母藻から15~20 m離れると1/10程度に減少すると報告されている(飯倉ら, 1986)。ホンダワラ科海藻の幼胚の拡散範囲は、流れ藻が生育場から離れた海岸に漂着すれば格段に広がることになる。特にアカモクのような1年生種では、この分散過程が重要かもしれない。

流れ藻の湿重量は浮遊開始時から増加しはじめるが、推定沈降時の前後で減少しはじめる傾向がみられた。そこで、流れ藻の浮遊期間中に減少した重量を浮遊期間中に藻体が細分化され海水中へ溶解するか懸濁物となるもの、沈降したときの重量はそのまま海底に沈降するとして、その配分を求めた。流れ藻の最大重量と沈降したときの重量の差分を、浮遊期間中に懸濁物となったもの、残りは海底まで沈降するもの、と配分した。ここでは、2004年に実験した3個体の平均値を用いた。浮遊期間中に重量の減少がみられたのは、1, 3月のアカモクと4, 5月のヤツマタモクのみであり、他のものは推定沈降時より前に重量が減少しなかった。4, 5月に流失したヤツマタモクの浮遊期間中の最大重量のうち、推定沈降時まで残っていた重量は4月では10%、5月では53%であった。4, 5月に流失するヤツマタモク(と成熟期がほぼ等しいノコギリモク)が流れ藻となるのは、年間流失量の12.7%(3章参照)であったので、その結果、流れ藻全体のうち11.1%が海水中へ溶解または懸濁物となり88.9%は海底に沈降すると見積もられた。

流れ藻の出現と浮遊期間の関連 本研究で調査した若狭湾西部海域を含む対馬暖流域(吉田, 1963; 千田, 1962; 池原・佐野, 1986; 木村ら, 1958)や、太平洋岸(大野, 1984; Hirata *et al.*, 2001)や、瀬戸内海(山本

ら, 2002) では, 流れ藻が多く出現する3~7月にアカモクが占める割合が特に高い。また, モジャコの採捕が盛んな九州南西岸の流れ藻は, 中国沿岸由来のアカモクではないかと推察されている (小西, 2000)。本研究では, アカモクは1~3月においては, 他種に比べて生育時の比重が小さく推定浮遊期間が長いことが示された。このことは, 流れ藻にアカモクの出現割合が高いことの要因となりうるだろう。

海水流動や比重などの物理環境のほかに, 藻体の比重などが関連しあって, 流れ藻の発生過程や浮遊過程を規定していると想定される。1~3月の低温期にはホンダワラ科海藻の比重は小さく推定浮遊期間も長かった。この時期には日本海では北西季節風が卓越しており, 流れ藻は海岸へ打ち上げられやすいため, 流れ藻の現存量はそれほど多くないと想定される。一方, 4~6月の昇温期には, 推定浮遊期間が短かったが, 日本海は静穏となり藻場からの流失量も多い (3章参照) ため, 流れ藻の発生量が多くなる (吉田, 1963) と考えられる。今後は流れ藻の比重と海の物理環境などのデータを組み合わせることで流れ藻の発生量, 浮遊期間, 移動経路, 打ち上げ先, 沈降先などを解明していくことが期待される。これらの流れ藻の諸生態を明らかにすることは, 魚介類資源の変動や物質循環の研究にも貢献するだろう。

第5章 打ち上げ海藻

海岸には様々な漂着物とともに海藻が打ち上げられる。それらには, テングサやエゴノリのように食用として利用されることもあるが (池原・林田, 2003), 砂浜や潮間帯上部などのように一次生産者が少ないところへ有機物を供給する役割もある (Inglis, 1989; Bustamante *et al.*, 1995)。ホンダワラ科海藻は年間生産量が高くその流失物の多くが流れ藻となる (3章参照) ことから, 打ち上げ海藻のなかでも出現割合が高いのではないかと推察される。しかしながら, 年間を通じた打ち上げ海藻の調査は少なく (吉村ら, 1981; 池原・林田, 2003; 川俣・木元, 1999), その実態は明らかでない。

打ち上げ海藻は, 藻場が固定した栄養塩を海域から陸域へuploadする役割も想定されるため, 物質循環について議論をするためにも, まず海岸への打ち上げ量を把握する必要がある。そこで本研究では, 藻場近傍の砂浜へ打ち上げた海藻を周年にわたり取り上げて, その打ち上げ量, 種組成, 海況との関連を調べた。また, 藻場での生産量と打ち上げ量の関係についても考察した。

調査地点の養老ではホンダワラ藻場の岸側は, 砂底域で潮間帯は砂浜である (1章参照, Fig. 2)。高潮時の打ち上げ波の到達点である汀段端の上部には若干の海浜植生があるが, その直後に国道が海岸線と平行に延びている。通常は潮間帯上部から汀段端の間に海藻が打ち上げられるが, 波浪が激しい時には汀段端を超えることもあった。砂浜の砂が移動したときは, 一部が砂中に埋もれた海藻もあった。

2003年4月28日に藻場の前面の砂浜に海岸線方向の長さが56 mの採集区画を設け, 採集区画とその両端5 m程度の範囲に打ち上げていた海藻・海草 (以後, 打ち上げ海藻と記す) を全て取り除いた。2003年5月上旬より2004年5月下旬まで毎月3回, すなわち, 上, 中, 下旬の終わりの日に, 原則として打ち上げ海藻をすべて採集した。しかし, 2003年8月上旬と12月下旬には採集調査ができなかった。

海藻が大量に打ち上げたときには, 採集区画の幅を10~20 mに縮小した。また, ホンダワラ科海藻が絡み合いパッチ状に大量に打ち上げていたときは, すべてのパッチを取り上げることができなかった。そのため, すべてのパッチの長さ・幅・高さを測定し体積をもとめ, その中から数個のパッチを採集し重量を測定した。採集したものから重量:体積比を計算し, それをすべてのパッチに適用し, 打ち上げ重量を推定した。結果の取りまとめには, 採集区画の違いを考慮して, 打ち上げ量を海岸線1 mあたりに換算した (以後, 打ち上げ海藻の量や付着部を有するホンダワラ類の個体数を, それぞれg dw/m, 個体/mと表す)。

採集された打ち上げ海藻を実験室に持ち帰り, 海水中で砂などの夾雑物を取り除き, 種別に分け, 乾燥重量を測定した。海藻片が小さく種別に分けられなかったものは, 分別できたものの重量比に基づき比例配分した。ホンダワラ科海藻が藻場からどの部分で切断され流失しているのか把握するために, ホンダワラ科海藻については, 種ごとに付着部をつけている藻体を数えた。

サンプリングは10日間隔だったので, その間に細菌による分解などで海藻の重量が減少していると想定した。その減少量を調べるために重量測定した海藻を砂浜に埋めて10日後に再度重量を測定した。海藻の分解速度は, 温度によって変化するものと想定されたので, 高温期 (2003年6月30日に開始) と低温期 (2004年2月10日に開始) の2回行った。藻場からノコギリモクを採集し, その先端部を50~80 cm切り取り, 湿重量を測定した。また, 同じ部位の藻体を用い, 湿重量:乾重量の比を算出した ($n = 3$)。ノコギリモクの約70 g (高温期) または100 g (低温期) を目合い60 mmの網袋 (50 cm×30 cm) に入れた。これを打ち上げ海藻が

Table 15 Decrease in dry weight of the buried seaweed, *Sargassum macrocarpum*, after 10 days

	Start of the experiment	Temperature in sand	n	Dry weight (g) of seaweed		Percentage of residual seaweed
				Start ^a	End	
Summer	Jul. 30, 2003	24°C	1	11.7	4.4	37.3%
Winter	Feb. 10, 2004	2.6~8.9°C	3	15.3-16.5	11.0-13.2	74.5%

^a Dry weight at the start of the experiment was estimated by dry/wet weight ratio of three other *S. macrocarpum* thalli.

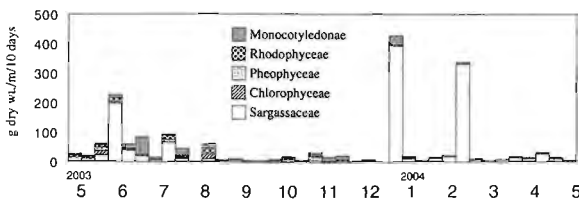


Fig. 40 Dry weight of stranded seaweed on the beach from late-April 2003 to mid-May 2004. *; Investigation was not carried out.

最も多く堆積していた砂浜の潮上部に、深さ20 cmとなるように埋め、10日後に取り上げた。取り上げた海藻を海水で洗い150 μ mのネットでろ過しその上に残った海藻片の乾燥重量を測定した。埋設時と取り上げ時には砂中の温度を測定した。サンプル数は高温期で $n = 1$ 、低温期で $n = 3$ であった。

海藻の重量は1日ごとに指数関数的に減少し、サンプリングまでの10日間に毎日同量の打ち上げ海藻があると仮定した。高温期の減少量を6, 7, 8月に適用し、低温期の減少量を12, 1, 2月に適用した。残りの月には、高温期と低温期における減少速度の中間の速度から算出した減少量を適用した。

海域の波高と打ち上げ海藻の関連を調べるために、丹後半島の北端に位置する経ヶ岬沿岸波浪計* (1章, Fig. 1) によって観測された有義波高のデータを入手した。

結 果

打ち上げ量を推定するために、砂浜に海藻を埋めその間の減少量を調べた。砂中の温度は、高温期で24.2°C、低温期で8.9°Cであった。10日後のノコギリモクの重量は高温期で37.3% ($n = 1$)となり、低温期で74.5 \pm 4.5% ($n = 3$)となった (Table 15)。それゆえ、高温期の6, 7, 8月には採集量の1.65倍の打ち上げ量があるとみなし、低温期の12, 1, 2月には1.17倍、3, 4, 5, 9, 10, 11月には1.36倍の打ち上げ量があるとみなした。

2003年5月上旬から2004年5月中旬までの打ち上げ量をFig. 40に示す。打ち上げ量は5月下旬から増加し6月上旬には247 g dw/mの極大値を示し、その後は8月中旬まで、19~100 g dw/mの範囲内であった。8月下旬以降12月までは低水準で32 g dw/m以下であった。2004年1月上旬と2月下旬には突発的に334~360 g dw/mの大量の打ち上げがみられたが、それ以外の期間は低水準で30 g dw/m以下であった。年間累積打ち上げ量は、1,733 g dw/mとなり、ホンダワラ科海藻はそのうちの72.9%を占め、1,263 g dw/mであった。

打ち上げ海藻を分類群ごとにまとめると (Fig. 40)、5月から11月まではホンダワラ科海藻と種子植物が多く、12月から4月まではほぼホンダワラ科海藻で占められた。そのほかの分類群では、紅藻類ではイグス (5月)とイバラノリ類 (7, 8月)、緑藻類ではシオグサ類とアナアオサ (7, 8月)が目立ったが、アナアオサ以外はすべてホンダワラ科海藻に附着していたものであった。

ホンダワラ科海藻の種組成は、明確な季節変動を示さず各種とも周年出現した。年間累積打ち上げ量の種組成をFig. 41Aに示す。ヤツマタモクが最も多く32%を占め、ノコギリモク、ヨレモク、マメタワラは15~20%であり、ジョロモク、ホンダワラは7~10%であった。これら6種でホンダワラ科海藻の99%を占めた。

附着部を持つ海藻の個体数は、打ち上げ量が突発的に多くなった冬季に増加したが、それ以外の時期には少なかった。1月上旬には4.8個体/mで調査期間中の最

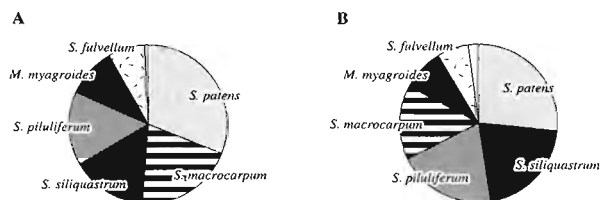


Fig. 41 Percentage of stranded Sargassaceae on the beach from late-April 2003 to mid-May 2004 by dry weight (A) and by the number of holdfast (B). Blank indicates other Sargassaceae species.

*舞鶴海洋気象台. 経ヶ岬沿岸波浪計データ. <http://www.maizuru-jma.go.jp/>

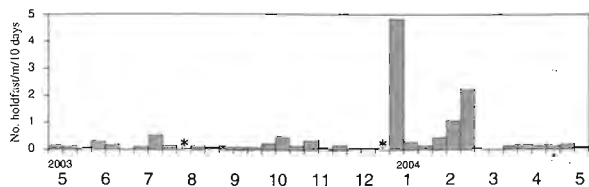


Fig. 42 The number of holdfast of stranded Sargassaceae on the beach of Yoro from late-April 2003 to mid-May 2004. * ; Investigation was not carried out.

大値を示し、2月中旬と下旬にはそれぞれ1.1と2.2個体/mで、他の期間より高かった (Fig. 42)。付着部をつけた打ち上げ海藻数の種組成は打ち上げ量の種組成とほぼ同じであった (Fig. 41B)。

打ち上げ海藻が特に多かった冬季を含む期間 (2003年10月～2004年3月) の経ヶ岬における有義波高を Fig. 43に示す。1月上旬と2月下旬に見られた大量の打ち上げを引き起こした波浪を矢印で示している。1月上旬に採集した大量打ち上げ海藻の原因となった波浪は12月下旬の波浪で、有義波高が年間最大値の612 cmを記録し、5 m前後の有義波高が36時間続いた。2月下旬の大量打ち上げを引き起こした波浪は、12月下旬のものより波高は低く最大でも504 cmであった。5 mを超える有義波高は12月から2月の間にのみ発生し、上記の2回を含めて合計5回あった。

考 察

ホンダワラ科海藻の流失には、枯死脱落期における藻体の活力低下によるものと波浪による剥ぎ取りがある (3章参照, 池原・佐野, 1986)。砂浜への打ち上げ量もこれに対応しており、ホンダワラ科海藻の枯死脱落期である4月から7月 (3章参照) と冬季波浪が卓越する1, 2月に打ち上げ量が増加した。枯死脱落期には、連続して多量の打ち上げ海藻があるのに対して、冬季には突発的に打ち上げ量が増加し、その他の期間の打ち上げ量は少量であるという特徴があった。また、冬季には付着器の付いた藻体の打ち上げ数が多かったが、枯死脱落期には特に増加しなかった。枯死脱落期の4月から7月に打ち上げた海藻の重量は年間総打ち上

げ量の34%で、冬季波浪による1, 2月では61%となった。藻場におけるホンダワラ科海藻の流失量は4月から7月が67%を占めているが (3章参照), 打ち上げ量は冬季のほうが多かった。これらの結果は、藻場からの流失量だけではなく風や波浪の強さや方向なども、海藻の打ち上げ量を変化させることを示唆している。

冬季波浪によって打ち上げられたホンダワラ科海藻は数個体振れるようにして絡み合っていた。これらの打ち上げ海藻は、付着部に転石をつけているものあり、その石の重さは最大で2 kgを超えていた。藻体が絡み合うと、主枝の切断や付着部の剥離が発生しやすくなり、波浪への抵抗力がある限界を超えると打ち上げられるのかもしれない。

2003年から2004年にかけての冬季には5 m以上の有義波高が5回観測されたが、大量の打ち上げがあったのは1回目と5回目の2回であった。強い波浪があっても、大量の打ち上げがあるわけではないことから、大量の打ち上げを引き起こすには波浪だけではなく、ホンダワラ科海藻がある程度伸長することが必要ではないかと考えられる。本研究では2回の大量打ち上げの間隔は約2ヵ月であり、この間に流失を免れた藻体が空いた空間に伸長し (2章参照), 再び大量の打ち上げが発生したと推察される。今後、大量打ち上げが発生する間隔などを観察すればこの推察を検証できるだろう。

藻場におけるホンダワラ科海藻の個体数変動を追跡したマッピング法 (3章参照) では、大規模な個体数の減少が12～1月に1回だけ確認された。2月下旬にも砂浜へ大量の打ち上げ海藻があったにもかかわらず、この流失は藻場内では確認できなかった。このことは、4 m²×3ヵ所の藻場内での調査範囲 (3章参照) が十分広くなかった可能性を示唆するもので、今後の課題として検討したい。

本調査で採集された打ち上げ海藻の起源は、ほとんどが前面の藻場であると推察している。その理由として、打ち上げ海藻と藻場から流失したホンダワラ科海藻の種組成が、ヤツタモクが最も多く、ノコギリモク、ヨレモク、マメタワラがそれに続き、ほぼ一致するからである。また、打ち上げ海藻に含まれたホンダワラ科以外の種も、すべて前面の藻場に生育している

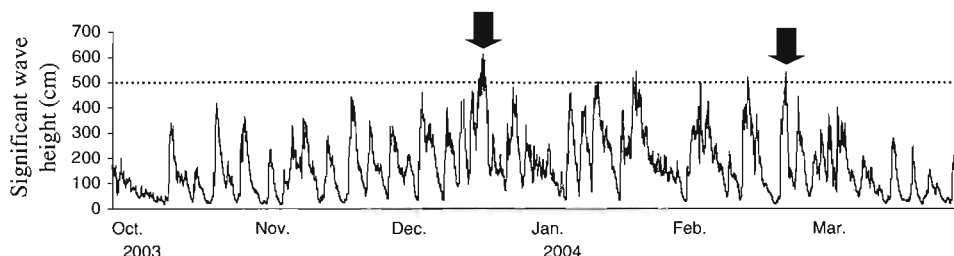


Fig. 43 Significant wave height at Kyogamisaki from October 2003 to March 2004. Data from Maizuru Marine Observatory. Arrows indicate the waves induced mass stranded seaweed. Dotted line represents 500 cm.

種であった。養老への打ち上げ海藻がすべて前面の藻場から供給されたとすると、その年間打ち上げ量 1,263 g dw/mは、藻場での年間流失量 (81.0 kg dw/m) の1.6%となる。

海藻類の海岸への打ち上げは、海から陸への栄養物質の還流という重要な役割を持っていると考えられる。海岸への打ち上げ海藻は、砂中のヨコエビ類、ソコミジンコ、線虫類などの間隙動物や、フナムシ、さらには、砂浜に生息する昆虫類に利用される (Inglis, 1989)。これらの一部は食物連鎖を通じて海に回帰したりする (Griffith *et al.*, 1983)。また、海浜植生への栄養物質供給という役割も期待されている。今後は、打ち上げ海藻がどのような生物にどのように利用されているかという点も明らかにする必要がある。

第6章 総合考察

ホンダワラ科海藻は日本列島暖温帯で大規模な藻場を形成しており (大野, 1981)、そこでは莫大な量の有機物が合成され、それらを基礎とする生態系が形成されている (布施, 1962)。そこでは、直接ホンダワラ科海藻が固定した有機物を利用する植食動物以外に、さまざまな動物が棲み場所として、生活史の一部、あるいは全体にわたり利用している。また、ホンダワラ科藻体には気胞による浮力が備わっているため流れ藻となり、海洋表層に特異な生態系を形成し、藻体を直接摂食する小動物以外にも、多くの稚魚の成育場となっている (千田, 1965; 池原・佐野, 1986)。流れ藻は海表面を漂った後に、海岸へ漂着したり沖合で沈降したりして、藻場以外の様々な場所へ有機物や栄養塩類を供給していると考えられる (Smith, 1981; Inglis, 1989; Rodríguez, 2003)。本研究では、このようなホンダワラ藻場の役割を解明するために、藻場における生産から流れ藻や打ち上げ海藻といった流失後の過程に至るまでの流れを連続的にかつ定量的に明らかにすることを目的とした。この様な沿岸生態系の物質循環に関する研究は、南アフリカのコンブ藻場 (Griffith *et*

al., 1983)や北アメリカ東岸の塩生沼沢地におけるもの (Teal, 1962) など、数例の報告があるのみで、ホンダワラ藻場においては行われていない。

生産構造図を用いた現存量法によって、藻場で優占していたホンダワラ科海藻5種の年間生産量を見積もり、それを基にして推定した藻場全体の平均年間生産量は998 g dw/m²となった。この値は沿岸生態系の一次生産者のうち、コンブ科海藻の生産量と匹敵し、海産顕花植物よりも高いものであった (Mann, 2000)。本研究ではこの生産量に対する流失過程を追跡した。

1~5章の結果から、養老におけるホンダワラ藻場の流失経路を以下のようにまとめた (Fig. 44)。養老のホンダワラ藻場全体を平均した年間流失量は、921 g dw/m²であった。流失量は成熟後の枯死期 (4~7月) に多く、年間流失量の67.4%を占めた。枯死期以外では冬季波浪により流失したと想定される12~1月に多く、この時期の流失量は年間流失量の12.0%となった (3章参照)。枯死期の流失量の内訳は、藻場内での立ち枯れが30.4%であり、藻場外への流出が69.6%となった。枯死期以外の時期に流失した藻体はすべて藻場外へ輸送されるものとする、年間流失量のうち79.6%が藻場外へ輸送され、20.4%が藻場内にとどまったと見積もられた (3章参照)。藻場の前面に位置する砂浜への打ち上げ海藻の年間累積量は、海岸線1mあたりで1,263 g dw/mとなり (5章参照)、海岸線1mあたりのホンダワラ藻場の年間流失量の1.6%となった。藻場外へ輸送される藻体で、前面の海岸に打ち上げなかったものは藻場の年間流失量の78.0%となり、これが流れ藻の年間供給量と見積もられた (4章参照)。流れ藻全体のうちで浮遊期間中に海水中の懸濁物となるのは11.1%で、残りは海底に沈降すると見積もられた。海底に沈降する量は、藻場の年間流失量の69.4%と見積もられた (Fig. 44)。

本研究で得られたホンダワラ藻場からの流失経路は以上のようにまとめられた。しかし、ここでは考慮されていないが、現実には大きな割合を占める経路も想定される。一つは、藻場外へ輸送される藻体のうち寄り藻として海底を移動する経路である。寄り藻の発生

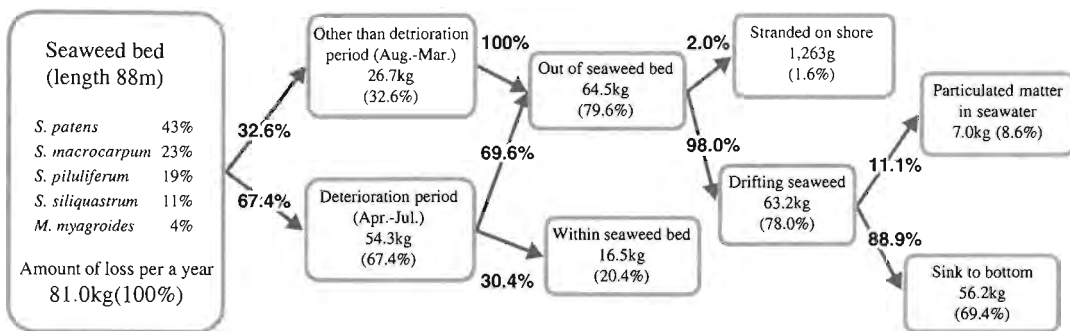


Fig. 44 Flow chart of Sargassaceae production and outflow process in and around Yoro Sargassaceae forest. See text for the details.

量を調査する手法がなかったため本研究ではこの経路を考慮できなかった。しかし、寄り藻トラップなどを適切に配置すれば寄り藻の発生量を推定できるかもしれないので、今後の課題としたい。もう一つの考慮できなかった経路としては、流れ藻のうち本研究で調査対象とした以外の海岸へ打ち上げる経路である。このような経路を把握するためには、藻場から標識をつけた流れ藻を放流し、最低でも若狭湾西部海域全体の海岸線を調査しなければならないので、かなり大掛かりなものになってしまう。しかしながら、日本海において冬季の北西季節風によって流失させられたホンダワラ科海藻は、流れ藻となり外洋へと漂流するよりも、海岸へ打ち上げる量が多い可能性がある。また、ホンダワラ藻場が分布していない場所への打ち上げも存在するはずであり、この経路を把握することは重要である。若狭湾西部海域ぐらいの大きさの海域をモデル海域として、その海域で広域かつ集約的な調査を行う必要があるのかもしれない。

このような未解明の課題はあるものの本研究はホンダワラ藻場の流失経路を取りまとめた初めての事例である。ホンダワラ藻場からは、アマモ藻場やコンブ藻場から供給されるものよりはるかに多い流れ藻が供給される。養老地先のホンダワラ藻場からは、年間流失量の78.3%が流れ藻になると見積もられ、本研究によって初めてホンダワラ藻場の流れ藻供給源としての役割が定量的に示された。

藻場の生産量や流れ藻の現存量に関する研究はこれまで個別に行われていたし、海岸への打ち上げ海藻については、あまり注目されてこなかった。本研究は、これらをホンダワラ海藻の生産・流失過程という一連のものとして結びつけることができた。ホンダワラ科海藻は大規模な藻場を形成し、その藻場は様々な生物に棲み場所や食物を提供するが、藻体が藻場を離れても流れ藻や打ち上げ海藻として、様々な生物に棲み場所や食物を提供する。以上のように、ホンダワラ科海藻は藻場以外の場所へも様々な影響を与えており、本研究ではその定量的な評価に向けての基礎的知見を得ることができた。

要 約

本州日本海岸の若狭湾西部養老地先のホンダワラ藻場における生産過程とその後の流失過程に関して研究した。ホンダワラ科海藻は日本列島暖帯で大規模な藻場を形成しており、その一次生産を基礎とする生態系が形成されている。また、ホンダワラ科海藻には気胞による浮力が備わっているため流れ藻となり、海洋表層にも特異な生態系を形成する。この流れ藻はある期間、海表面を漂った後、海岸への漂着、あるいは沖

合で沈降し、多くの場所に有機物を輸送するために、藻場以外の様々な場所への有機物あるいは藻体に含まれる栄養塩類を供給していると考えられる。本研究では、このようなホンダワラ藻場の役割を藻場内に限定せずに、藻場における生産から流れ藻や打ち上げ海藻といった流失後に至るまでの過程を連続的かつ定量的に明らかにすることを目的とした。

藻場を構成するホンダワラ科海藻5種の単位面積あたりの年間純生産量を層別刈り取り法によって調べた。単位面積あたりの年間純生産量は、ヤツマタモク 2,407 g dw/m²、ノコギリモク 2,132 g dw/m²、ヨレモク 1,458 g dw/m²、ジョロモク 1,197 g dw/m²、マメタワラ 1,471 g dw/m²であった。藻場全体での各種の被度割合とホンダワラ科海藻が底面に占める割合 (49.7%) から、養老藻場におけるホンダワラ藻場の単位面積あたりの年間生産量は、998 g dw/m²と推定された。ホンダワラ科海藻各種の年間純生産量 (P) と最大現存量 (B_{max}) の比 (P/B_{max}) は1.3~1.7となり、本州日本海岸で既に調べられたホンダワラ科海藻の値よりも高かった。養老における冬季波浪による藻体の引き抜きが P/B_{max} を増加させる要因として示唆された。

層別刈り取り法において得られたデータを組み合わせ4通りの分別単位を作り出し、それぞれについて年間流失量を算出したところ、細かく分別するほど年間流失量が増加した。層の高さを10 cmとし、一年生部位を主枝、葉、気胞、生殖器床の各器官に切り分けずに算出した年間流失量を100%とすると、一年生部位を各器官に切り分けて層の厚さを10 cmとしたとき、および、一年生部位を各器官に切り分けず層の厚さを20 cm、50 cmとしたときの年間流失量は、それぞれ104~108%、98~99%、86~96%となった。主枝が短い (成熟期でも2 m未満) ジョロモクの場合は、層の厚さを50 cmにすると年間流失量がかかなり減少してしまうので、層厚を20 cm以下にすべきであるが、ヤツマタモク、ノコギリモク、ヨレモク (成熟期で3 m以上) については、層の厚さを50 cmとしても年間流失量の算出が可能であると考えられた。

ホンダワラ科海藻の藻場からの流失過程を調べるために、生産量調査に用いた層別刈り取り法と、調査区域内のホンダワラ科海藻をマッピングしてその藻体の全長と主枝数を毎月追跡する方法を併用した。ホンダワラ科海藻の流失量は、枯死期の4月から8月にかけて最も多く、それ以外では北西季節風が卓越する冬季のものが多かった。養老藻場における単位面積あたりの年間流失量は、層別刈り取り法では921 g dw/m²となったが、マッピング法では1,217 g dw/m²となり、後者は前者の1.32倍となった。

ホンダワラ科海藻の枯死脱落期において、ヤツマタモクとノコギリモクの藻体を個体識別しその主枝が流失・倒伏する過程を追跡した。両種とも藻体の上部の

主枝が切断されて藻場から流失する割合が高くなった。流失した藻体と倒伏した藻体の重量割合は、ヤツマタモクで63:37となり、ノコギリモクで73:27となった。藻場の海藻が枯死する際にはすべて流れ藻となるわけではなく、その一部が藻場内で立ち枯れることを観察し、その割合を定量的に示した。

養老の前面海域である若狭湾西部において流れ藻を周年にわたり採集した。同海域の流れ藻はホンダワラ科海藻が主体となっており、最も重量が多かった種を月別にみると4~7月がアカモク、8月がノコギリモク、9、10月がヤナギモク、11月がヨレモク、12、1、2月がヤツマタモク、3、4月が再びアカモクであった。若狭湾西部海域の流れ藻に出現した種は、すべて京都府沿岸に生育していることが確認されており、同海域の流れ藻の供給源は主に近隣の藻場である可能性が示唆された。

流れ藻の主要な特性である比重を測定した。ジョロモク、ヨレモク、ヤツマタモク、アカモクの中では、アカモクの比重が最も小さく、藻体の浮力が大きいことが示された。流れ藻の浮遊期間は、藻体の生長、成熟段階によって異なり、成熟前に基質から離れて流れ藻となったものは4~14週間、成熟中では1~8週間、成熟後のものでは2週間以内となった。流れ藻の浮力および浮遊期間が、種や流失時期によって異なることを定量的に示した。

ホンダワラ藻場の前面に位置する砂浜への打ち上げ海藻を取り上げて、その量や種組成を周年調査した。海岸線1 mあたりの年間累積打ち上げ量は、1,733 g dw/mとなり、その72.9%がホンダワラ科海藻によって占められ、打ち上げ量は1,263 g dw/mであった。年間打ち上げ量に対する各季節における打ち上げ量の割合は、枯死脱落期の4月から7月が34%で、波浪が強かった1、2月が61%となり、冬季波浪による打ち上げが重要であることが示された。打ち上げられたホンダワラ科海藻の重量割合や付着部の数の割合が、藻場の種組成とほぼ等しいことから、この砂浜への打ち上げ海藻の供給源は、ほとんど前面の藻場であると考えられた。

以上の結果から、養老におけるホンダワラ藻場の流失経路を以下のようにまとめた。ホンダワラ藻場の流失量を時期別にみると、成熟後の枯死期(4~7月)に多く年間流失量の67.4%を占めた。それ以外では冬季波浪により流失したと想定される12~1月に多く、この時期の流失量は年間流失量の12.0%となった。枯死期の流失量の内訳は、30.4%が藻場内で立ち枯れ、69.6%が藻場外へ流出すると見積もられた。枯死期以外の時期に流失した藻体はすべて藻場外へ輸送されるものとする、年間流失量のうち20.4%が藻場内にとどまり、残り79.6%が藻場外へ輸送されたと考えられた。藻場の前面に位置する砂浜への打ち上げ海藻の年

間累積量は、ホンダワラ藻場における海岸線1 mあたりの年間流失量の1.6%となった。藻場外へ輸送される藻体で、前面の海岸に打ち上げなかったものは、藻場の年間流失量の78.0%となり、これを流れ藻の年間供給量と想定した。流れ藻全体のうちで浮遊期間中に海水中へ溶解または懸濁物となるのは11.1%で、残りは海底に沈降すると見積もられた。ホンダワラ藻場の年間流失量のうち外洋の海底に沈降する量は69.4%と推定された。

流失経路は以上のようにまとめられたが、藻場外へ輸送される藻体のうち寄り藻として海底を移動している量や、流れ藻が調査対象外の海岸へ打ち上げる量については考慮できていない。これらの経路については今後の課題として残されている。

本研究の結果から、ホンダワラ藻場における生産・流失過程を連続的かつ定量的に評価することができた。これらの結果は、ホンダワラ科海藻が持つ役割が藻場以外の場所にも存在することやその評価のための基礎的知見となり得るだろう。

引用文献

- 吾妻行雄. 1997. キタムラサキウニの個体群動態に関する生態学的研究. 北水試研報, 51: 1-66.
- Bustamante R.H., Branch G.M., Eekhout S. 1995. Maintenance of an exceptional intertidal grazer biomass in South Africa: Subsidy by subtidal kelps. *Ecology*, 76: 2314-2329.
- 道家章生, 宗清正廣, 辻 秀二, 井谷匡志. 1994. 京都府の海藻-I, 舞鶴湾の海藻の分布. 京都海洋セ研報, 17: 72-79.
- 道家章生, 宗清正廣, 辻 秀二, 井谷匡志. 1995a. 京都府の海藻-II, 宮津湾の海藻の分布. 京都海洋セ研報, 18: 22-27.
- 道家章生, 宗清正廣, 辻 秀二, 井谷匡志. 1995b. 京都府の海藻-III, 若狭湾西部海域におけるホンダワラ類の成熟期. 京都海洋セ研報, 18: 28-33.
- 道家章生. 2004. 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, 26: 58-60.
- 藤田大介. 1999. 日本海中部沿岸域の流れ藻と漁業資源: 総括と展望. 海洋と生物, 21: 421-426.
- 藤田大介, 新井章吾, 村瀬 昇, 田中次郎, 渡辺孝夫, 小善圭一, 村松 航, 長谷川和清, 千村貴子, 佐々木美貴, 村井香里. 2003. 氷見市蛇が島周辺のガラモ場の垂直分布, 生産構造および葉上生物相. 富山水試報告, 14: 43-60.
- 布施慎一郎. 1962. ガラモ場における動物群集. 生理生態, 11: 23-45.

- Griffiths C.L., Stenton-Dozey J.M.E., Koop K. 1983. Kelp wrack and flow of energy through a sandy beach ecosystem. *Sandy Beach as Ecosystems*, McLachlan A., Erasmus T. (eds): 547-556.
- Hayashi I, Konno T, Yamakawa H. 2000. Distributional characteristics of benthic organisms in shallow sublittoral rocky areas of Mikuni, Fukui Prefecture: Part of the survey on the effects of the Nakhodka oil spill. *Bull. Japan Sea Natl. Fish. Res. Inst.* **50**: 43-137.
- Hirata T., Tanaka J., Iwami T., Ohmi T., Dazai A., Aoki M., Ueda H., Tsuchiya Y., Sato T., Yokohama Y. 2001. Ecological studies on the community of drifting seaweeds in the south-eastern coastal waters of Izu Peninsula, central Japan. I: Seasonal changes of plants in species composition, appearance, number of species and size. *Phycol. Res.*, **49**: 215-229.
- 飯倉敏弘, 杜多 哲, 北村章二. 1986. 藻場の水理と物質の集積. 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する研究. 昭和60年度Ⅲ-6課題計研究成果報告書, 1-11.
- 池原宏二. 1977. 佐渡海峡水域の流れ藻に付随する魚卵, 稚魚. 日水研報, **28**: 17-28.
- 池原宏二, 佐野 修. 1986. 佐渡海峡における流れ藻の出現種と分布. 日水研報, **36**: 59-75.
- 池原宏二, 林田文郎. 2003. 駿河湾奥部三保海岸における打ち上げ海藻類について. 東海大紀要海洋学部, **1**: 31-37.
- Ingliš G. 1989. The colonization and degradation of stranded *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Ag. by the macrofauna of a New Zealand sandy beach. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **125**: 203-217.
- 片田 実. 1963. 海藻の生活形と遷移. 日水誌, **29**: 798-808.
- 河野光久, 齋藤秀郎. 2004. 山口県日本海沿岸域に出現する春季の流れ藻とそれに付随する稚魚. 山口水試報告, **2**: 95-99.
- 川俣 茂, 木元克則. 1999. 波浪による海藻の流失に関する研究. 平成9年度沿岸漁場整備開発調査. 水産庁資源生産推進部整備課. 100-117.
- 木村喜之助, 堀田秀之, 福島信一, 小達 繁, 福原 章, 内藤政治. 1958. 流れ藻調査から得られたサンマの産卵に関する知見. 東北水研報, **12**: 28-45.
- 木村 充. 1976. 陸上植物群落の生産量測定法, 生態学研究法講座8. 112p. 共立出版, 東京.
- Kirkman H., Kendrick G.A. 1997. Ecological significance and commercial harvesting of drifting and beach-cast macro-algae and seagrasses in Australia: A review. *J. Appl. Phycol.*, **9**: 311-326.
- 小西芳信. 2000. 流れ藻は中国からもやってくる, 西海水研ニュース, **103**: 11-15.
- 今野敏徳. 1985. ガラモ場・カジメ場の植生構造. 月刊海洋科学, **17**: 57-65.
- 今野敏徳, 中島 泰. 1980. 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. **69**: 24-52.
- 今野敏徳, 泉 伸一, 竹内慎太郎. 1985. 漸深帯大型海藻の帯状分布に及ぼす波浪の影響. 東水大研報, **72**: 85-97.
- Lenanton R.C.J., Robertson A.I., Hansen J.A. 1982. Nearshore accumulations of detached macrophytes as nursery areas for fish. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **9**: 51-57.
- 町口裕二, 三本菅善昭, 岡田行親. 1985. 再生期におけるナガコンブの無機態窒素吸収と生長について. 北水研報告, **50**: 45-61.
- 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. 2000. Ecology of coastal waters (2nd ed). Blackwell Science. 406 pp.
- Midorikawa B. 1959. Growth-analytical study of altherbosa on Mt. Hakkoda, north-east Japan. *Ecol. Rev.*, **15**: 83-117.
- Mizuta H., Maita Y. 1991. Effects of nitrate supply on ammonium assimilations in the blade of *Laminaria japonica* (Phaeophyceae). *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **42**: 107-114.
- Monsi M., Saeki T. 1953. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Jap. J. Bot.* **14**: 22-52.
- Murase N., Kito H., Mizukami Y., Maegawa M. 2000. Productivity of a *Sargassum macrocarpum* (Fucales, Phaeophyta) population in Fukawa Bay, Sea of Japan. *Fish. Sci.*, **66**: 270-277.
- 村瀬 昇. 2001. 褐藻ノコギリモク *Sargassum macrocarpum* C. Agardhの生態学的研究. 水産大研報, **49**: 131-212.
- 室田 武. 2001. 物質循環のエコロジー, 晃洋書房, 京都.
- 中林信康, 谷口和也. 2002. 男鹿半島沿岸におけるスギモク群落の季節変化. 日水誌, **68**: 659-665.
- 中原紘之. 1984. 個体群をめぐって. 褐藻類の生活史VI. 海洋と生物, **33**: 300-305.
- Nanba N., Okuda T. 1993. Growth of main branches of *Sargassum siliquastrum* at Tsuyazaki, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **59**: 1675-1678.
- 西垣友和, 八谷光介, 道家章生, 和田洋藏. 2004. ヤツマタモク, ヨレモクの栄養塩吸収能力. 京都海洋セ研報, **26**: 21-29.
- 大野正夫. 1981. ガラモ場内の環境. 「藻場・海中林」

- (日本水産学会編) . pp.75-92. 恒星社厚生閣, 東京.
- 大野正夫. 1984. 土佐湾沖の流れ藻の藻類学的研究. 日水誌, **50**: 1653-1656.
- Rodríguez S.R. 2003. Consumption of drift kelp by intertidal populations of the sea urchin *Tetrapygus niger* on the central Chilean coast: Possible consequences at different ecological levels. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **251**: 141-151.
- 千田哲資. 1962. 隠岐島近海の初夏の流れ藻とそれに伴う幼稚魚の研究. 生理生態, **10**: 68-78.
- 千田哲資. 1965. 流れ藻の水産的効用, 水産研究叢書13. 55p. 日本水産資源保護協会, 東京.
- 千田哲資. 1966. 瀬戸内海におけるサヨリの産卵, II. 流れ藻に産みつけられた卵の漂流経路と運命. 日生態誌, **16**: 171-175.
- Smith S.V. 1981. Marine macrophytes as a global sink. *Science*, **211**: 838-840.
- 傍島直樹, 船田秀之助. 1988. 若狭湾西部海域におけるサヨリの漁業生物学的研究 I. 産卵生態. 京都海洋七研報, **11**: 51-60.
- 谷口和也, 山田悦正. 1978. 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, **29**: 239-253.
- Teal J.M. 1962. Energy flow in the salt marsh ecosystem of Georgia. *Ecology*, **43**: 614-624.
- 寺脇利信. 1986. 三浦半島小田和湾におけるアカモクの生長と成熟. 水産増殖, **33**: 177-181.
- 鳥居茂樹, 田沢伸雄. 1987. 北海道におけるコンブ生産について. 北水試月報, **44**: 275-334.
- 槌田 敦. 1982. 資源物理学入門, NHKブックス423, 日本放送協会, 東京
- Umezaki I. 1984a. How many eggs will be discharged from the plant of *Sargassum horneri* ?. *Hydrobiologia* **116/117**: 398-402.
- Umezaki I. 1984b. Ecological studies of *Sargassum horneri* (Turner) C. Agardh in Obama Bay, Japan Sea. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **50**: 1193-1200.
- Umezaki I. 1985. Growth of the primary laterals in *Sargassum ringgoldianum* Harv. subsp. *coreanum* (J. Ag.) Yoshida in Obama Bay, Japan Sea. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **52**: 1441-1445.
- 梅崎 勇. 1985. ホンダワラ群落の周年変化. 月刊海洋科学, **17**: 32-37.
- 梅崎 勇, 有山啓之. 1981. ホンダワラ科植物群落について. 昭和55年度文部省科学研究費補助金成果報告書, 藻場(ガラモ場)の生態の総合研究. pp. 2-7.
- Woodcock A.H. 1950. Subsurface pelagic *Sargassum*. *J. Mar. Res.*, **9**: 77-92.
- 山本昌幸, 藤原宗弘, 山賀賢一, 棚野元秀. 2002. 瀬戸内海中央部における流れ藻の構成種. 水産増殖, **50**: 375-376.
- Yatsuya K., Nakahara H. 2004a. Density, growth and reproduction of the sea urchin *Anthocardia crassispina* (A. Agassiz) in two different adjacent habitats, the *Sargassum* area and *Corallina* area. *Fish. Sci.*, **70**: 233-240.
- Yatsuya K., Nakahara H. 2004b. Diet and stable isotope ratios of gut contents and gonad of the sea urchin *Anthocardia crassispina* (A. Agassiz) in two different adjacent habitats, the *Sargassum* area and *Corallina* area. *Fish. Sci.*, **70**: 285-292.
- 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.
- 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. 1963. 流れ藻の分布と移動に関する研究. 東北水研報, **23**: 141-186.
- 吉田忠生. 1970. アラメの物質生産に関する2・3の知見. 東北水研報, **30**: 107-112.
- Yoshida T. 1983. Japanese species of *Sargassum* subgenus *Bactrophycus* (Phaeophyta, Fucales). *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. ser. V (Bot.)*, **13**: 99-246.
- 吉田忠生. 1985. ホンダワラ類の分類と分布(5), Teretia節の種類2. 海洋と生物, **38**: 200-203.
- 吉村晃一, 金丸誠司, 大畑 実, 加来靖弘, 杉村充三, 竹内淳一. 1981. 流れ藻の発生時期と成長. 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する研究, 昭和55年度 I-6課題計研究成果報告書, 125-141.