

伊勢湾東部沿岸サガラメ群落における年間純生産量と 炭素・窒素の年間吸収量

蒲原 聡,^{1*} 服部克也,^{1a} 原田靖子,¹ 和久光靖,²
芝 修一,³ 倉島 彰,⁴ 前川行幸,⁴ 鈴木輝明²

(2009年7月13日受付, 2009年8月23日受理)

¹愛知県水産試験場漁業生産研究所, ²愛知県水産試験場,
³株式会社シャトー海洋調査, ⁴三重大学大学院生物資源学研究所

Annual net production and annual carbon and nitrogen absorptions of
Eisenia arborea in the eastern coast of Ise Bay

SATORU KAMOHARA,^{1*} KATSUYA HATTORI,^{1a} YASUKO HARADA,¹
MITSUYASU WAKU,² SHUICHI SHIBA,³ AKIRA KURASHIMA,⁴
MIYUKI MAEGAWA⁴ AND TERUAKI SUZUKI²

¹Marine Resources Research Center Aichi Fisheries Research Institute, Minamichita, Aichi 470-3412, ²Aichi Fisheries Research Institute, Gamagoori, Aichi 443-0021, ³Chateau Marine Survey Co., Ltd., Miyakozima, Osaka 534-0025, ⁴Graduate School of Bioresources, Mie University, Tsu, Mie 514-8507, Japan

It is reported that seaweeds help to prevent global warming and decrease eutrophication by fixing carbon dioxide and absorbing nutrients such as nitrogen. From June 2007 to June 2008, we investigated the annual net production and annual carbon and nitrogen absorptions of *Eisenia arborea* in the eastern coast of Ise Bay. The annual production in terms of dry weight was estimated by counting the number of new bladelets and was found to be 5.23 d.w.kg m⁻²y⁻¹. The annual carbon and nitrogen absorptions were estimated by measuring their concentrations in the bladelets; these were found to be 1.13 kgC m⁻²y⁻¹ and 0.09 kgN m⁻²y⁻¹, respectively.

キーワード：サガラメ, 炭素, 窒素, 年間吸収量, 年間純生産量

伊勢湾東部沿岸には、コンブ目の多年生大型褐藻類であるサガラメ *Eisenia arborea*, カジメ *Ecklonia cava* などの群落分布している¹⁾が、これらの海藻群落には、二酸化炭素の固定による温暖化防止²⁾や窒素の固定による富栄養化防止など環境を保全する機能などがあると言われている。これらの海藻群落のうち、伊勢湾東部沿岸に分布していたサガラメ群落は、1998年以降約150 haが減少し、2005年以降は以前の11%に相当する一部海域に残存するのみとなっている。^{3,4)} そのため、サガラメ群落の修復が重要な課題となっており、いくつかの対策が進められている。^{5,6)} しかし、サガラメ群落の生態的な重要性が指摘されているにもかかわらず、本海域における

海藻群落の二酸化炭素や窒素の固定能力を測定した例はない。そこで、群落修復後の安定した群落における炭素及び窒素の固定量の目安とするため、これらの年間吸収量を実測したサガラメの年間純生産量と炭素および窒素の含有量から求めた。

試料および方法

側葉の生長

伊勢湾東部沿岸内海地先には、水深0~2 mにサガラメ群落が形成されている。本研究は、同海域の水深1 m (Fig. 1)において、スキューバ潜水により行った。サガラメは、同属のアラメ *Eisenia bicyclis* と同様に、側

* Tel : 81-569-65-0611. Fax : 81-569-65-2358. Email : suishi-gyoken@pref.aichi.lg.jp

^a 現所属：愛知県水産試験場内水面漁業研究所 (Mikawa Ichinomiya Station, Freshwater Resources Research Center Aichi Fisheries Research Institute, Toyokawa, Aichi 441-1222, Japan)

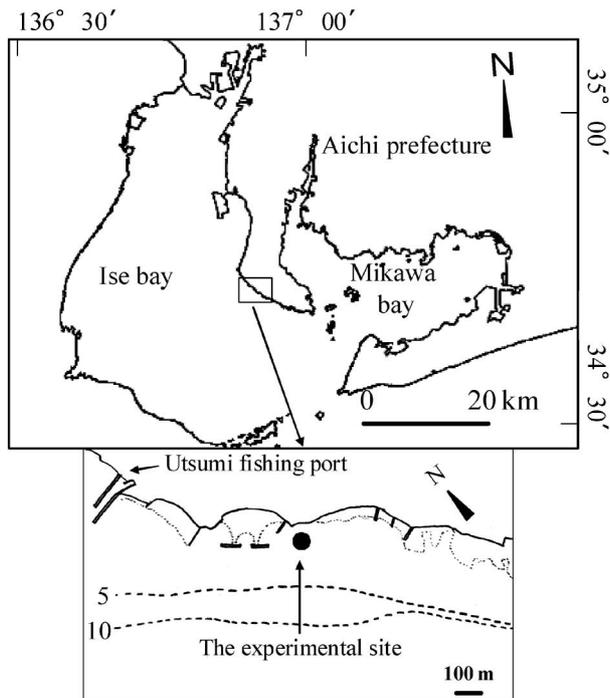


Fig. 1 Maps showing the experimental site off Utsumi, which is located on the eastern coast of Ise Bay.

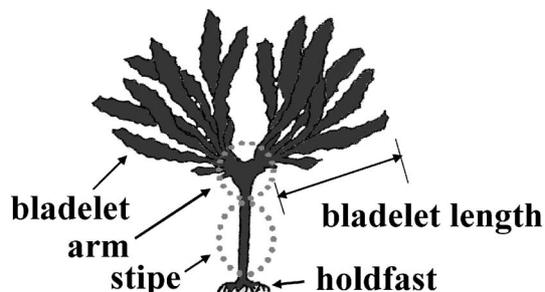


Fig. 2 A schematic figure of an *Eisenia arborea* sporophyte showing the different parts of a frond.

葉, 枝, 茎, 仮根の各部位で構成されている (Fig. 2)。⁷⁾ アラメの側葉は, 生長に伴い新しい葉が新生し古い葉が脱落する⁸⁾ことから, サガラメも同様と考え, Yokohama *et al.*⁹⁾の方法を基に, 新生側葉1枚と既存側葉の生長分を合計すると, 最大側葉が1枚生産されることと等しいとして (Fig. 3), 毎月の新生側葉数を計測し, それをもってサガラメ個体の生長量とした。なお, 枝, 茎, 仮根も生長するが, 枝, 仮根は形状が複雑なため, 海域において同一個体での連続測定が困難なことから生長量の推定に含めなかった。また, 茎については, 5歳のサガラメで平均茎長が3.7 cm¹⁰⁾とアラメの39 cm¹¹⁾と比べて極端に短く, 生長に伴う増重量は少ないと考えられることから, 生産量の推定から除外した。側葉数の測定は, 2007年6月18日, 7月19日, 8月

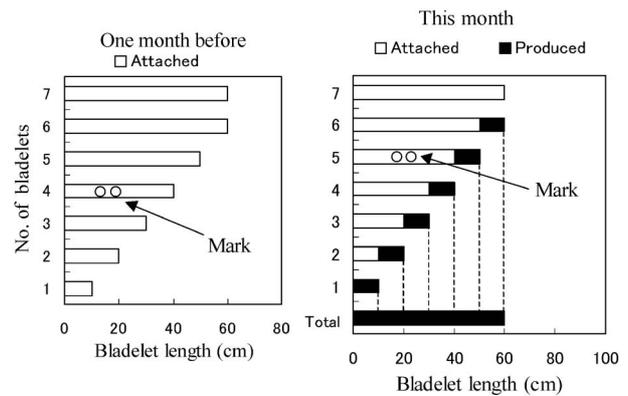


Fig. 3 Illustrations estimating the amount of new bladelets production in one arm. Assuming that the geometry remained unchanged during the counting interval, the amount of new tissue can be represented by the shaded area.

21日, 9月18日, 10月10日, 11月5日, 12月3日, 2008年1月9日, 2月5日, 3月12日, 4月14日, 5月16日, 6月9日の13回実施した。

100 m²のサガラメ群落の中から, 分叉枝¹²⁾を有しているサガラメ15個体をランダムに選び, 各個体の仮根に番号を付けたプラスチック札 (45 mm × 30 mm) を結束バンドで取り付けた。Yokohama *et al.*⁹⁾の方法に従い, 片側の枝から伸長している10 cmを超える側葉を第1番目として, 第4番目の側葉にコルクボーラで直径1 cmの穴を毎月2つ開けて目印とした (Fig. 3)。翌月の測定時には側葉数および目印を付けた側葉の順番を測定した。計測結果を前の月と比較し, 新生および脱落の側葉数を求めた。なお, 2007年6月の15個体の計測値によると, 側葉数の平均値は片方の分叉枝が25.5枚, もう片方の分叉枝が25.8枚であり, 各分叉枝からほぼ同数の側葉が伸長していたことから, 各個体の側葉新生数は, 測定した片方の分叉枝の新生数を2倍して求めた。さらに, 上記15個体のうち5個体については, 側葉に目印が付いている枝側の全ての側葉長を毎月測定し, 最大側葉長の月別変化を求めた。また, 側葉は成熟期に子嚢斑¹³⁾を形成することから, 目視により子嚢斑を観察した。

調査期間中には, 両端を10 kgのアンカーで固定した10 mのチェーン (13 mm径) に取り付けた水温計 (StowAway Tidbit TBI32-05+37, Onset) および光量子計 (小型メモリー光量子計 COMPACT-LW, ALW-CMP, アレック電子(株)) により, サガラメ群落内の水温は1時間毎に, 光量子量は10分毎に測定した。

純生産量

月毎に調査した平均側葉新生数 (= 最大側葉数) に最大側葉の平均重量 (湿重量および乾燥重量) を乗じて生

産量（湿重量および乾燥重量）とし、その年間合計を個体当たりの年間純生産量（湿重量および乾燥重量）とした。これに、 1 m^2 当たりのサガラメの平均個体数を乗じることにより、 1 m^2 当たりの年間純生産量（湿重量および乾燥重量）を推定した。また、月別純生産量（乾燥重量）を測定間隔日数で除し、 1 m^2 当たりのサガラメの平均個体数を乗じて、 1 m^2 当たりの純生産速度（乾燥重量）を推定した。

1 m^2 当たりのサガラメの個体数計測は、2007年6月、9月、11月、2008年2月、5月にスキューバ潜水によって行い、側葉の生長を測定する場所の周辺において、 0.5 m^2 内（ $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ 、2ヵ所）のサガラメを仮根から全て刈り取り、分叉枝を有した成体と単葉の幼体の生育数および重量を求めた。また、成体については側葉幅を計測した。

毎月の最大側葉の平均的な重量（湿重量および乾燥重量）は、側葉重量（湿重量および乾燥重量、 y ）と側葉長（ x ）の関係式（ $y=ax^b$ ）から推定した。2007年9月、11月、2008年2月および5月に刈り取ったサガラメの側葉を枝から切り離し、側葉長および湿重を測定するとともに、陰干した後に 80°C に設定した乾燥機で24時間乾燥させて乾燥重量を測定した。関係式のパラメーター（ a 、 b ）は両辺を対数に変換した直線式に最小二乗法を適用して求め、9月の関係式は7月、8月、9月に、11月の関係式は10月、11月、12月に、2月の関係式は1月、2月、3月に、5月の関係式は4月、5月、6月にそれぞれ当てはめ、毎月測定した5個体の最大側葉長の平均値を代入して平均重量を推定した。

窒素および炭素の吸収量

上記以外のサガラメ3個体から、最大側葉に近く、付着物が少ない4番目の側葉を2007年7月から2008年6月まで毎月採取した。陰干した後に乾燥機で 80°C 、24時間乾燥させたものを約 10 mg 取り、CHNコーダー（SUMIGRAPH、NC-900S、榊原化学センター製）で炭素および窒素の含有量を測定した。生産量の項で求めた個体当たりの毎月の生産量に炭素および窒素の月毎の平均含有率を乗じて月毎の吸収量とし、その合計を年間の吸収量とした。これに、 1 m^2 当たりの個体数を乗じることにより、 1 m^2 当たりの炭素および窒素の年間吸収量を求めた。

結 果

側葉の生長

本研究期間中の水温および水中光量子量の季節変化をFig. 4, Aに示した。最高水温（3日間移動平均値）は8月23日および28日の 28.8°C 、同様に最低水温は2月28日の 7.6°C であった。日積算光量子量の月平均値は、8月に最高の $26.7\text{ mol m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 、12月に最低の 6.1 mol

$\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ であった。15個体を平均した月毎の側葉の現存、新生および脱落の枚数、5個体の平均最大側葉長の変化をFig. 4, Bに示した。現存数（平均値 \pm 標準誤差、以下同様）は、2月に最小の 33.6 ± 2.3 枚、6月に最大の 56.0 ± 4.7 枚となった。新生数は、1月から5月にかけて 12.3 ± 1.5 枚から 13.7 ± 1.7 枚と多く、中でも4月に最多となった。また、7月から12月にかけてと6月は 0.5 ± 0.2 枚から 5.9 ± 1.0 枚と少なく、9月に最小となった。脱落数は、1月および2月が 12.9 ± 2.4 枚および 26.3 ± 3.3 枚と多かった。また、8月から12月までおよび6月は 1.2 ± 0.5 枚から 3.5 ± 1.0 枚と少なく、10月に最小となった。個体ごとの年間総新生数は 84.4 ± 10.6 枚、総脱落数は 77.6 ± 14.8 枚で、新生数が脱落数を6.8枚上回っていた。側葉の年間平均現存数の 46.8 ± 3.9 枚と比較して、新生数は1.8倍、脱落数は1.7倍であった。

側葉長は7月、8月および翌年の3月から6月にかけては $602 \pm 53\text{ mm}$ から $854 \pm 67\text{ mm}$ と長く、5月に最大となった。また、9月から2月にかけては $442 \pm 38\text{ mm}$ から $512 \pm 29\text{ mm}$ と短く、11月に最小となった。また、側葉の成熟は11月から2月にかけて確認され、盛期は水温が低下した12月（平均 13.4°C ）および1月（平均 10.2°C ）であった。

純生産量

2007年6月、9月、11月、2008年2月および5月の 1 m^2 当たりのサガラメ個体数、成体の湿重量および乾燥重量、幼体の乾燥重量および全個体に占める幼体の乾燥重量の割合をTable 1に示した。成体および幼体の個体数は $15.6 \pm 2.3\text{ ind.m}^{-2}$ および $24.4 \pm 10.3\text{ ind.m}^{-2}$ であった。また、成体および幼体の乾燥重量は $1,418.4 \pm 281.4\text{ d.w.g m}^{-2}$ および $76.4 \pm 31.0\text{ d.w.g m}^{-2}$ で、群落内での幼体の占める乾燥重量の平均割合は少なくとも $5.8 \pm 2.1\%$ であった。また、成体の側葉幅は、 $44.8 \pm 1.6 \sim 55.8 \pm 3.9\text{ mm}$ であった。

次に、側葉重量（湿重量および乾燥重量）と側葉長との関係式を各月に当てはめてTable 2に示した。側葉重量と湿重量および乾燥重量の決定係数（ R_2 ）は、 $0.788 \sim 0.899$ および $0.697 \sim 0.896$ の範囲にあり十分な相関が得られた。求められた関係式に平均最大側葉長を代入して、月毎の最大側葉の重量（湿重量および乾燥重量）を求め、個体当たりの月毎の新生側葉数を乗じて生産量を求めると、湿重量当たりで $11\text{ w.w.g ind.}^{-1}$ から $358\text{ w.w.g ind.}^{-1}$ 、乾燥重量当たりで $2.4\text{ d.w.g ind.}^{-1}$ から $62.9\text{ d.w.g ind.}^{-1}$ であった。湿重量および乾燥重量ともに9月が最低、4月が最高となった。これらを合計した年間の純生産量は、それぞれ $1,861\text{ w.w.g ind.}^{-1}\text{y}^{-1}$ 、 $335\text{ d.w.g ind.}^{-1}\text{y}^{-1}$ であった。これに、 1 m^2 当たりの平均生育個体数である 15.6 ind. を乗じると、年間の純

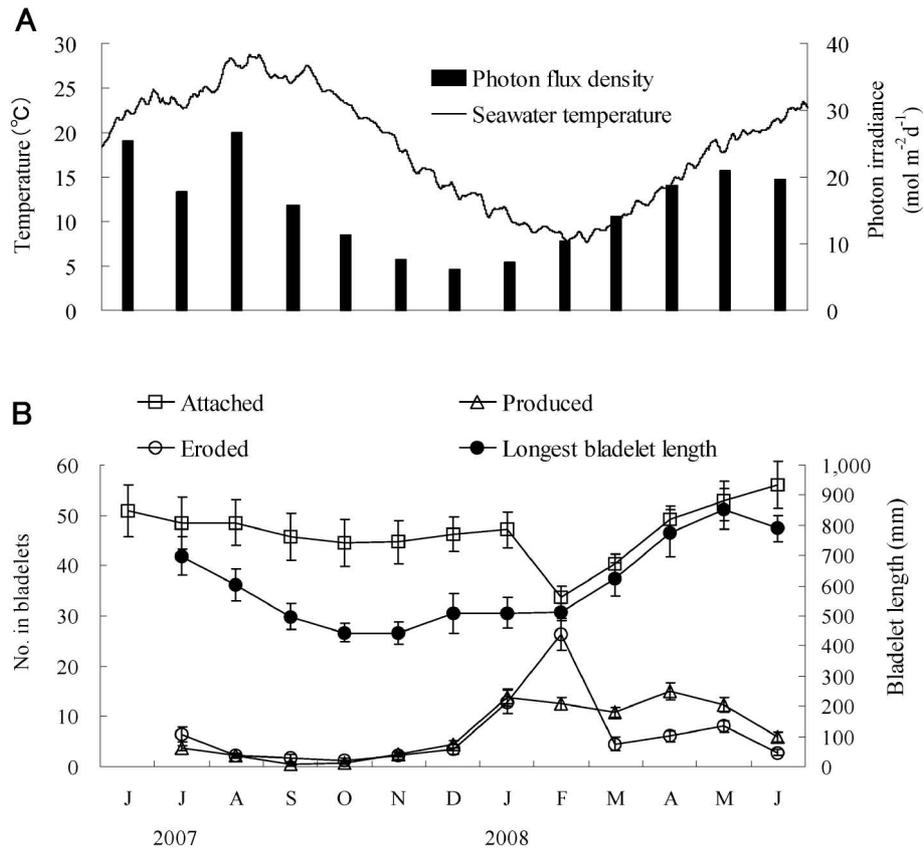


Fig. 4 Seasonal changes in (A) the photon flux density and water temperature of the moving average over 3 days at sampling site, and (B) the number of attached, produced and eroded bladelets (mean \pm S.E.) and the longest bladelet (mean \pm S.E.) of *Eisenia arborea*.

Table 1 Comparison in density and weight between adult and young fronds of *Eisenia arborea*. The mean width of bladelets of adult fronds was added. The dry weight rates of young to adult sporophyte were calculated

Year. Month	Adult sporophyte				Young sporophyte		Dry weight rate of young sporophyte (%) B/(A+B)
	Density (ind.m ⁻¹)	Wet weight (w.w.g)	Dry weight (d.w.g) A	Mean width of bladelets (mm)	Density (ind.m ⁻¹)	Dry weight (d.w.g) B	
2007.6	10	7,966.7	1,403.4	—	46	162.1	10.4
9	14	8,461.0	2,213.6	52.2 \pm 2.5	0	0	0.0
11	24	5,063.8	1,179.9	44.8 \pm 1.6	22	141.7	10.7
2008.2	16	3,040.0	535.9	44.8 \pm 3.6	4	28.5	5.0
5	14	12,436.1	1,759.0	55.8 \pm 3.9	50	49.6	2.7
Mean \pm S.E.	15.6 \pm 2.3	7,393.5 \pm 1,601.2	1,418.4 \pm 281.4	—	24.4 \pm 10.3	76.4 \pm 31.0	5.8 \pm 2.1

生産量は、湿重量当たりで29.0 w.w.kg m⁻²y⁻¹、乾燥重量当たりで5.23 d.w.kg m⁻²y⁻¹であった。また、純生産速度は5月が最高の30.3 d.w.g m⁻²d⁻¹、9月が最低の1.2 d.w.g m⁻²d⁻¹であった。

炭素および窒素の吸収量

サガラメの炭素および窒素の月別含有率と1個体当たりの炭素および窒素の月別吸収量をTable 3に示した。炭素含有率は、7月～2月および6月に23.9 \pm 0.7

% \sim 30.5 \pm 0.1%と高く、3～5月に15.8 \pm 2.3% \sim 17.2 \pm 0.8%と低かった。窒素含有率は、1月および2月に2.27 \pm 0.08%および2.40 \pm 0.12%と高くなり、8月に最低の1.15 \pm 0.07%を示した。C/N比は、8月から10月にかけて21.7から26.3と高い値を示した。また、1月から5月にかけては10.5から12.3と低い値を示した。個体当たりの月毎の生産量に炭素・窒素の含有率を乗じて推定した炭素および窒素の年間吸収量は、それぞ

Table 2 Relation between bladelet length and bladelet weight, and estimated production

Month	Relation of bladelet length to bladelet weight			Mean longest bladelet length (mm) \bar{x}	Estimate		Number of produced bladelets (bl.ind. ⁻¹) A	Amount of production		Interval (day) C	Daily net production (d.w.g ind. ⁻¹ day ⁻¹) B/C
	Bladelet length (x) and wet weight (y _a)	Coefficient of determination R ²	Bladelet length (x) and dry weight (y _b)		Coefficient of determination R ²	Wet weight (w.w.g) y _a		Dry weight (d.w.g) y _b	Wet weight (w.w.g.ind. ⁻¹) y _a × A		
Jul.	y _a = 0.0012x ^{1.5783}	0.788	y _b = 0.0001x ^{1.733}	697 ± 63	36.9	8.46	3.7 ± 0.4	136	31.3	31	1.01
Aug.	y _a = 0.0012x ^{1.5783}	0.788	y _b = 0.0001x ^{1.733}	602 ± 53	29.3	6.56	2.3 ± 0.3	67	15.1	33	0.46
Sep.	y _a = 0.0012x ^{1.5783}	0.788	y _b = 0.0001x ^{1.733}	497 ± 42	21.6	4.71	0.5 ± 0.2	11	2.4	28	0.08
Oct.	y _a = 0.0017x ^{1.5503}	0.792	y _b = 0.0001x ^{1.7331}	443 ± 31	21.5	3.86	0.8 ± 0.3	17	3.1	22	0.14
Nov.	y _a = 0.0017x ^{1.5503}	0.792	y _b = 0.0001x ^{1.7331}	442 ± 38	21.5	3.84	2.5 ± 0.5	54	9.6	26	0.37
Dec.	y _a = 0.0017x ^{1.5503}	0.792	y _b = 0.0001x ^{1.7331}	507 ± 66	26.5	4.88	4.4 ± 0.7	117	21.5	28	0.77
Jan.	y _a = 0.0005x ^{1.648}	0.864	y _b = 0.00008x ^{1.6565}	510 ± 52	14.5	2.44	13.7 ± 1.7	199	33.5	37	0.91
Feb.	y _a = 0.0005x ^{1.648}	0.864	y _b = 0.00008x ^{1.6565}	512 ± 29	14.6	2.46	12.5 ± 1.3	182	30.8	27	1.14
Mar.	y _a = 0.0005x ^{1.648}	0.864	y _b = 0.00008x ^{1.6565}	621 ± 55	20.0	3.39	10.9 ± 1.0	219	36.9	36	1.03
Apr.	y _a = 0.0001x ^{1.8622}	0.899	y _b = 0.00002x ^{1.8428}	775 ± 78	24.0	4.22	14.9 ± 1.7	358	62.9	33	1.91
May	y _a = 0.0001x ^{1.8622}	0.899	y _b = 0.00002x ^{1.8428}	854 ± 67	28.8	5.05	12.3 ± 1.5	354	62.1	32	1.94
Jun.	y _a = 0.0001x ^{1.8622}	0.899	y _b = 0.00002x ^{1.8428}	790 ± 42	24.9	4.37	5.9 ± 1.0	147	25.8	24	1.08
Total							84.4 ± 10.6	1,861	335.0		

* Mean ± S.E.

れ 72.6 gC ind.⁻¹y⁻¹, 5.56 gN ind.⁻¹y⁻¹であった。これに、1 m²当たりの平均生育個体数 15.6 ind. を乗じると、年間吸収する炭素量は 1,133 gC m⁻²y⁻¹, 窒素量は 86.7 gN m⁻²y⁻¹であった。

考 察

Maegawa¹⁴⁾によれば、サガラメの成熟相では、ほぼ一定の個体密度で安定し、更新するまで2年～5年継続するとしている。本研究で2007年6月～2008年5月にかけて調査した成体密度は 10 ind.m⁻²～24 ind.m⁻²とかなりの幅があった。2007年6月および11月に 46 ind.m⁻² および 22 ind.m⁻² の幼体の加入がみられたが、3ヶ月後にはほとんどの幼体が消失していた。また、群落内における幼体の平均重量割合も 5.8 ± 2.1% と少ないことから、新規加入がほとんどない成熟相を形成していると考え、成体の平均密度である 15.6 ± 2.3 ind.m⁻² を純生産量の算出に使用した。このことから、本研究の純生産量の推定値はやや少なめに見積っている可能性がある。

サガラメ個体当たりの側葉の年間新生数は 84.8 枚、脱落数は 78.0 枚で、三浦半島西部のアラメの年間新生数の 92 枚、脱落数の 86 枚¹¹⁾と類似していた。サガラメ側葉は、主に日積算光量子量の月平均値が最低の 6.1 mol m⁻²d⁻¹ となった12月の翌月の1月から2月にかけて成熟後に脱落し、日積算光量子量の月平均値が増加する1月から5月にかけて新生した。水温でみると、最高水温を記録した8月(平均 27.5°C)から11月にかけては、ほとんど脱落および新生が行われず、1月から最低水温を記録した2月(平均 8.5°C)にかけて多数の側葉が脱落し、1月から水温が上昇中の5月にかけて多数の側葉が新生した(Fig. 4)。三浦半島西部における同属のアラメ側葉の脱落盛期は10月～1月、新生盛期は12月～4月であった。¹¹⁾ サガラメの脱落盛期はアラメよりも3ヶ月、新生盛期はアラメよりも1ヶ月遅く始まり、脱落および新生ともに1ヶ月遅くまで続いていた。純生産量は、7月、1月から5月にかけて 30.8 d.w.g ind.⁻¹ から 62.9 d.w.g ind.⁻¹ と多く、4月に最大となった。これは、1個体当たりの新生数が4月に 14.9 ± 1.7 枚と多かったことによるものである。日積算光量子量の増加が、1月から4月にかけて顕著に見られたことから、日積算光量子量の増加が4月に純生産量を最大にさせたと考えられた(Fig. 4)。

推定した最大側葉の乾燥重量は、1月および2月に 2.44 d.w.g および 2.46 d.w.g と他の月の 3.39 d.w.g ～ 8.46 d.w.g より 29%～73% 少なかった(Table 2)。これは、1月および2月の生育個体の実測による側葉長が 510 ± 52 mm および 512 ± 29 mm と他の月の 442 ± 38 mm ～ 854 ± 67 mm の範囲の中で短い方にある(Table

Table 3 Seasonal changes in the carbon and nitrogen concentrations in *Eisenia arborea*

Month	Amount of production (d.w.g ind. ⁻¹) A	Carbon content (%) B	Nitrogen content (%) C	C/N	Amount of carbon (gC ind. ⁻¹) A×B	Amount of nitrogen (gN ind. ⁻¹) A×C
Jul.	31.3	28.7±1.3	1.95±0.09	14.7	9.0	0.61
Aug.	15.1	30.3±0.3	1.15±0.07	26.3	4.6	0.17
Sep.	2.4	28.7±0.5	1.32±0.04	21.7	0.7	0.03
Oct.	3.1	30.5±0.1	1.35±0.10	22.6	0.9	0.04
Nov.	9.6	28.3±1.9	1.68±0.09	16.8	2.7	0.16
Dec.	21.5	26.1±0.7	1.82±0.09	14.3	5.6	0.39
Jan.	33.5	25.2±0.2	2.27±0.08	11.1	8.4	0.76
Feb.	30.8	25.1±1.0	2.40±0.12	10.5	7.7	0.74
Mar.	36.9	16.9±0.8	1.37±0.06	12.3	6.2	0.51
Apr.	62.9	17.2±0.8	1.55±0.03	11.1	10.8	0.97
May	62.1	15.8±2.3	1.30±0.19	12.2	9.8	0.81
Jun.	25.8	23.9±0.7	1.44±0.04	16.6	6.2	0.37
Total	335.0				72.6	5.56

* Mean±S.E.

2) こと, 2月の採集個体の側葉幅 44.8 ± 3.6 mm が, 9月 (52.2 ± 2.5 mm) および5月 (55.8 ± 3.9 mm) より狭いこと (Table 1) によるものと考えられた。さらに, 1月から新生数が 13.7 枚と多く生産され始めており, 現場においてもこの時期には新生した細くて薄い側葉が観察されたことから, この時期は側葉の単位面積当たりの重量が軽いと推測された。

Chapman and Craigie¹⁵⁾によると, コンブ類の藻体では, 夏季に, マンニトール, ラミナリンなど光合成産物の濃度の増加が観察され, 炭素を含むこれらの物質は冬季の生長へ向けての貯蔵物質である可能性が示唆されている。また, コンブ類の藻体中の窒素は, 構造タンパクや酵素等の他に, 硝酸態や遊離アミノ酸等の形で貯蔵される。栄養塩の豊富な冬季に無機体の窒素を大量に体内に貯蔵し, その後の生長に利用すると考えられている。¹⁶⁾ 8月から10月にかけてC/N比が高かったことは, この期間が特に炭素含有率が高く, 窒素含有率が低い傾向にあったことによる。この時期は新生数が0.6枚から2.2枚と生産量が最も少ないことから, 生長を行わず貯蔵物質を蓄積していたと推測された。1月から5月にかけてC/N比が低かったことは, 1月および2月に窒素含有率が高く, 3月~5月に炭素含有率が低かったことによる。この時期は新生数が年間で最も多かったことから, 生長により構造タンパクが増え, 貯蔵物質である炭素が生長に利用されたためと推測された。

各海域での海藻草類の乾燥重量ベースの年間純生産量, 炭素および窒素ベースの年間生産量を Table 4 に示した。なお, 炭素および窒素の含有率が調べられていない場合は, 他海域の含有率を用いた。サガラメ, アラメおよびカジメのいずれにおいても, ギャップ相の発生に

より, 群落内に様々な生育段階が存在する^{17,18)} ことから, 単位面積当たりの年間純生産量に幅ができる。そのため, 単純に比較することはできないが, 概ね, 乾燥重量ベースの年間純生産量は, サガラメ ($5.23 \text{ d.w.kg m}^{-2}\text{y}^{-1}$), アラメ ($4.24 \text{ d.w.kg m}^{-2}\text{y}^{-1}$),^{8,11)} カジメ ($2.32 \text{ d.w.kg m}^{-2}\text{y}^{-1}$)^{9,11,19)} の順で高かった。炭素ベースの年間生産量は, アラメ ($1.42 \text{ kgC m}^{-2}\text{y}^{-1}$), サガラメ ($1.13 \text{ kgC m}^{-2}\text{y}^{-1}$), カジメ ($0.78 \text{ kgC m}^{-2}\text{y}^{-1}$) の順で高かった。窒素ベースの年間生産量は, サガラメ ($0.087 \text{ kgN m}^{-2}\text{y}^{-1}$), アラメ ($0.072 \text{ kgN m}^{-2}\text{y}^{-1}$), カジメ ($0.044 \text{ kgN m}^{-2}\text{y}^{-1}$) の順で高かった。サガラメは, 同属のアラメよりも年間純生産量が高かったが, これはサガラメの生息水深が-1 m と松島湾におけるアラメの生息水深の-2~-4 m や三浦半島西部のアラメの生息水深-3 m より浅いことから, アラメよりも光を多く受けることにより, 現存量が $7.39 \text{ w.w.kg m}^{-2}$ と低いにもかかわらず, 年間純生産量が高くなったと推測された。カジメについては, -4 m~-7 m とさらに深い水深に生息していることから, 光量が少なく年間純生産量はさらに低くなったと推測された。Yokohama *et al.*⁹⁾によると, カジメの純生産速度は春に約 $13 \text{ d.w.g m}^{-2}\text{d}^{-1}$, 初秋に約 $2 \text{ d.w.g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ としている。サガラメの純生産速度は, 5月に最高の $30.3 \text{ d.w.g m}^{-2}\text{d}^{-1}$, 9月に最低の $1.2 \text{ d.w.g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ であった。純生産速度が最高および最低となる時期は両者とも似ていたが, サガラメの純生産速度はカジメと比較して, 最高時期が2.3倍, 最低時期が0.6倍であった。このことから, 生息場所の光環境が藻体の生産量に影響を与えていると推測された。

炭素ベースの年間生産量は, アラメの炭素含有率

Table 4 Annual net production of several seaweed and seagrass populations including *Eisenia arborea* in the present study

Species	Area	Annual amount of production (w.w.kg m ⁻² y ⁻¹)	Carbon content (%)	Annual amount of carbon (kgC m ⁻² y ⁻¹)	Nitrogen content (%)	Annual amount of nitrogen (kgN m ⁻² y ⁻¹)	Depth (m)	Density (ind. m ⁻²)	Standing stock (w.w.kg m ⁻²)	Standing stock (d.w.kg m ⁻²)
<i>Eisenia arborea</i> (Sagarame)	Eastern coast of Ise bay, Aichi pref.	29.0	21.6*1	1.13	1.7*2	0.087	-1	15.6±2.3	7.39±1.60 (2007.6~2008.5)	1.42±0.28 (2007.6~2008.5)
	Matsushima bay, Miyagi pref. ⁸⁾	20.0	33.5 ²⁾	1.31	1.7*4	0.066	-2~-4	10	15~20 (summer) 6 (winter)	—
<i>Eisenia bicyclis</i> (Arame)	Western coast of Miura peninsula, Kanagawa pref. ¹¹⁾	23.5	33.5 ²⁾	1.53	1.7*4	0.078	-3	22	29.9 (1987.7) 32.9 (1988.7)	—
	Mean	21.8	4.24	1.42	0.072	—	—	—	—	—
<i>Ecklonia cava</i> (Kazime)	Western coast of Miura peninsula, Kanagawa pref. ¹¹⁾	9.5	33.4 ⁹⁾	0.47	1.9 ⁹⁾	0.027	-4	8~27	10.1 (1987.7) 7.3 (1988.7)	—
	Izu, Shizuoka pref. ⁹⁾	—	33.4 ⁹⁾	0.95	1.9 ⁹⁾	0.054	-5	15~25	—	3 (summer) 1 (winter)
	Kochi pref. ¹⁹⁾	—	33.4 ⁹⁾	0.91	1.9 ⁹⁾	0.052	-6~-7	16~34	—	0.54 (1994.3)~ 2.57 (1993.10)
Mean	9.5	2.32	0.78	0.044	—	—	—	—	—	—
<i>Zostera marina</i> (Amamo)	Matsunase, Mie pref. ²⁰⁾	—	35.0 ²¹⁾	0.47	—	—	-1.3~-3	—	—	0.05 (2000.9) 0.08 (2001.9)
	Aburatsubo bay, Kanagawa pref. ²²⁾	—	35.0 ²¹⁾	0.38	—	—	—	—	—	—
	Roscoff, Frn ²³⁾	—	35.0 ²¹⁾	0.56	—	—	—	—	—	—
	Mean	1.34	0.47	—	—	—	—	—	—	—

*1: (Annual amount of carbon/Annual amount of production) × 100

*2: (Annual amount of nitrogen/Annual amount of production) × 100

*3: w.w. × 19.5% (d.w./w.w. of *Eisenia arborea*)*4: Nitrogen content of *Eisenia arborea*

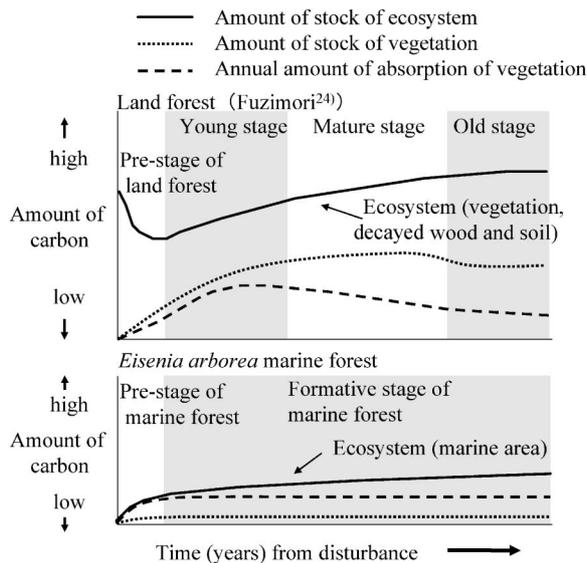


Fig. 5 Schematic illustrations showing the annual changes of carbon stock in a land forest and marine forest of *Eisenia arborea* with progress in growth stage.

33.5% が、サガラムの 21.6% より高いことから、年間純生産量とは逆にアラムがサガラムより多くなった。また、サガラムの乾燥重量および炭素ベースの年間生産量は、湾内に生息するアマモ ($1.34 \text{ d.w.kg m}^{-2}\text{y}^{-1}$ ^{20,22,23}) および $0.47 \text{ kgC m}^{-2}\text{y}^{-1}$) の 3.9 倍および 2.4 倍であった。

サガラム群落の海洋環境中における炭素および窒素の吸収および貯蔵については次のように評価することができる。藤森²⁴)は、Fig. 5 のように陸域の森林での発達段階に伴う炭素量の変化から、植生の年吸収量と植生の貯蔵量を分けて評価することの重要性を示している。炭素の年吸収量は、林分成立段階から若齢段階にかけて急上昇し、若齢段階の進んだところで最大値に達し、成熟段階で徐々に低下して老齢段階で低い値となり横這いの傾向を示す。それに対して炭素の貯蔵量は若齢段階から成熟段階を通して増え続け、老齢段階で少し減って横這いの傾向を示す。植生、枯死木および土壌を合計した森林生態系の炭素貯蔵量は老齢段階で最大値に達して横這いになる。同様に評価すると、サガラムは木の幹のような生体の大部分を占める貯蔵部位を持たず、年間に平均現存数の 1.7 倍の側葉を脱落させることから、植生の炭素貯蔵量は植生の炭素年吸収量より圧倒的に少ない (Fig. 5)。脱落した側葉は、分解されるものやアワビ類など藻食動物の餌²⁵)として利用されるもの、沖合に移送されるものに分けられる。伊藤ら²⁶)によると、対象海域の沖合深所へ移送・隔離されるものは、炭素の固定に寄与するとしている。また、藻体から分泌される溶存有機物のうち難分解性物質も固定に寄与するとしている。そ

のため、海洋生態系への貯蔵は増え続けるものと考えられた。窒素についても、炭素と同様に長期的に固定される部分があるものと考えられた。また、赤潮の発生原因となる窒素を一時的に貯蔵することで、サガラム群落は急激な海域環境の変化を緩和する緩衝材の役割を持っていると評価することもできる。ただし、炭素および窒素の吸収量中に占める固定割合については実測された例がなく、今後の課題である。

伊勢湾東部沿岸において消失したサガラム群落の面積は約 150 ha である⁴⁾ため、年間 1,695 t の炭素吸収能力、131 t の窒素吸収能力が消失したものと見積ることができる。環境省資料によると、日本人が 1 年間に排出する二酸化炭素は炭素 (C) 換算で $2,600 \text{ kg people}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、窒素 (N) は $4.4 \text{ kg people}^{-1} \text{ year}^{-1}$ とされている。この原単位から、消失した群落の年間能力を試算すると、炭素量で 651 人分、窒素量で 29,772 人分が本研究海域のサガラム群落に吸収されていたことになる。

今後は、アマモ、カジメ、ホンダワラ類などを合わせて、伊勢湾、三河湾トータルの炭素および窒素の吸収機能を調査して、内湾生態系の修復策を講じる必要がある。そのためには、海藻草類群落の生育面積を調べる分布調査も必要である。

謝 辞

愛知県水産試験場漁業生産研究所の小澤歳治氏には、海藻の測定に協力していただいた。内海漁業協同組合には、調査に協力していただいた。また、名城大学の高倍昭洋教授には論文全体の構成に当たってご助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) 蒲原 聡, 服部克也, 原田靖子, 甲斐正信. アラム藻場再生緊急技術開発試験. 平成 18 年度愛知県水産試験場業務報告 2007; 14-15.
- 2) 村岡大祐. 三陸海岸の藻場における炭素吸収量把握の試み. 東北水研ニュース 2003; 65.
- 3) 蒲原 聡, 伏屋 満, 原田靖子, 服部克也. 1997 年から 2005 年までの愛知県岩礁域におけるサガラム *Eisenia arborea* 群落の様相. 愛知水試研報 2007; 13: 13-18.
- 4) 平成 19 年度広域レベル伊勢湾漁場環境保全方針対策事業報告書. 社団法人日本水産資源保護協会, 東京. 2008.
- 5) 蒲原 聡, 伏屋 満, 柳澤豊重, 服部克也. アルギン酸ナトリウムと砂の混合ゾルに混入させたサガラム幼葉の海底基質への移植法. 水産工学 2007; 43: 201-206.
- 6) 蒲原 聡, 佐藤嘉洋, 原田靖子, 服部克也, 鈴木輝明, 高倍昭洋. サガラム *Eisenia arborea* の分裂組織を生分解性繊維で保護する簡便なアイゴ採食防御法. 水産工学, 46, (印刷中).
- 7) 寺脇利信, 後藤 弘. 海中林造成技術の基礎的検討, 第 1 報 三浦半島小田和湾におけるアラム葉部の季節的变化と根の生長. 電中研報 1996; U87056: 1-23.
- 8) 吉田忠生. アラムの物質生産に関する 2・3 の知見. 東北水研報 1970; 30: 107-112.

- 9) Yokohama Y, Tanaka J, Chihara M. Productivity of the *Ecklonia cava* community in a bay of Izu peninsula on the Pacific coast of Japan. *Bot. Mag. Tokyo*. 1987; **100**: 129-141.
- 10) 蒲原 聡, 原田靖子, 小澤歳治, 服部克也. 愛知県・内海地先及び和地地先に漂着したサガラメ *Eisenia arborea* の体の特徴. 愛知水試研報 2006; **12**: 1-4.
- 11) 寺脇利信, 川崎保夫, 本多正樹, 山田貞夫, 丸山康樹, 五十嵐由雄. 海中林造成技術の実証, 第2報三浦半島西部でのアラメおよびカジメの生態と生育特性. 電中研報 1991; **U91022**: 1-30.
- 12) 吉田忠生. 「新日本海藻誌」内田老鶴圃, 東京. 1998.
- 13) 喜田和四郎. サガラメ. 平成8年度稀少水産生物の保存対策試験事業, 日本の希少な野生水生生物に関する基礎資料(Ⅳ). 日本水産資源保護協会, 東京. 1997; 479-483, 及び図版10. 1997; 497-498.
- 14) Maegawa M. Ecological studies of *Eisenia bicyclis* (KJELLMA) SETCHELL and *Ecklonia cava* KJELLMAN. *Bull. Fac. Bio. Mie. Univ.* 1990; **4**: 73-145.
- 15) Chapman A R O, Craigie J S. Seasonal growth in *Laminaria longicruris*: Relations with reserve carbohydrate storage and production. *Mar. Biol.* 1978; **46**: 209-213.
- 16) 吉田吾郎, 内村真之, 吉川浩二, 寺脇利信. 広島湾に生育する海藻類の炭素・窒素含量とその季節変化. 瀬戸内水研報 2001; **3**: 53-61.
- 17) Maegawa M, Kida W. Regeneration process of *Ecklonia* marine forest in the coastal area of Shima peninsula, central Japan. *Jpn. J. Phycol.* 1989; **37**: 194-200.
- 18) Maegawa M, Kida W. Distributional pattern of *Ecklonia cava* (Phaeophyta) marine forest in the coast area of Shima peninsula, central Japan. *Jpn. J. Phycol.* 1991; **39**: 173-178.
- 19) 富永春江, 芹澤如此古, 大野正夫. 高知県土佐湾産カジメにおける葉状部の生産量と葉状部基部の大きさの季節変化. 藻類 2004; **52**: 13-19.
- 20) 阿部真比古, 倉島 彰, 前川行幸. 現存量法を利用したアマモ群落の生産力推定. 水産増殖 2008; **56**: 567-572.
- 21) 富士 昭. サロマ湖におけるホタテガイの養殖許容量調査報告書. 北海道水産資源技術開発協会, 北海道. 1977.
- 22) 本多正樹, 今村雅裕, 松梨史郎, 川崎保夫. アマモ現存量・生産力推定法の開発と油壺湾アマモ場への適用. 電中研報 2004; **U03062**: 15.
- 23) Jacobs R P W M. Distribution and aspects of the production and biomass of eelgrass, *Zostera marina* L., at Roscoff, France. *Aquat. Bot.* 1979; **7**: 151-172.
- 24) 藤森隆郎. 「森林と地球環境保全」丸善, 東京. 2004; 52-57.
- 25) 井上正昭. すみ場. 「磯根資源とその増殖1—アワビ—」(水産増養殖業書24) 日本水産資源保護協会, 東京. 1972.
- 26) 伊藤 靖, 中野喜央. 藻場における炭素固定機能について. 漁港漁場漁村技術研究所調査報告書, 東京. 2009; **19**: 45-50.