

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

吉田 吾郎^{*1}・内村 真之^{*2}・吉川 浩二^{*1}
寺脇 利信^{*1}

Carbon and Nitrogen Contents of Seaweeds in Hiroshima Bay, the Seto Inland Sea

Goro Yoshida^{*1}, Masayuki Uchimura^{*2}, Koji Yoshikawa^{*1},
and Toshinobu Terawaki^{*1}

Abstract Carbon and nitrogen contents were surveyed for 22 seaweed species in Hiroshima Bay, the Seto Inland Sea. Especially, the contents of some species of large brown algae, which are the main constituents of seaweed beds in the Bay, were investigated in relation to the variation among parts of the plant body and the seasons. The contents for *Ecklonia kurome* were C: 27.7-37.3% dry weight (DW), N: 0.88-2.44% DW, *Sargassum macrocarpum* C: 22.7-44.0%, N: 1.38-3.50%, *Sargassum horneri* C: 26.7-36.3%, N: 0.71-3.76%, *Hizikia fusiformis* C: 26.8-35.1%, N: 1.14-4.20%, *Undaria pinnatifida* C: 25.3-34.7%, N: 2.62-5.69%. It is concluded that the carbon contents in the total plant bodies accounts for 30-35% of the dry weight for Phaeophyta, 25-30% for Chlorophyta and 30-35% for Rhodophyta except for collaline algae. Most nitrogen contents accounts for 1-3% of the dry weight, but the values were so variable as to cause a marked variation in the C:N ratio (4.82-48.3) among these species and the seasons.

Key words: seaweed, carbon and nitrogen content, C:N ratio, seasonal variation, biomass, Hiroshima Bay

海産大型植物（海草・海藻類）により構成される藻場は、主に陸域と海域の境界である潮間帯や河口域、浅海域に形成される。その面積は全海洋面積のわずか0.55%でありながら、単位面積当たりでは熱帯降雨林に匹敵する一次生産量を有することが知られている（Whittaker 1975, 徳田他 1987）。藻場は多くの魚介類に産卵・保育場、また餌料そのものを提供して漁業生産上極めて重要な機能を有しているだけでなく、近年大きな社会問題となっている大気中のCO₂濃度の増加に対し、有効な炭素貯蔵場（carbon sink）としての機能も着目されている（Walsh *et al.* 1981, Smith 1981）。

このような藻場の生物生産及び物質循環機構に果たす役割を解明するためには藻場の面積及び現存量を正確に算定する手法に加えて、海藻の藻体による炭素・窒素等の吸収・固定、体外排出、呼吸や枯死などによる流出、また動物による被食による系外への流失等の収支を明らかにすることが必要である。

瀬戸内海の藻場はその主要構成種により、ガラモ場（ホンダワラ類）やアマモ場、アオサ場などに分類される（南西海区水産研究所 1979）。それぞれが水深帯、波浪環境、また着生基盤の特性など異なる物理環境特性を示す生育地に形成され、それは構成種の生理・生態的特性

2000年10月24日受理 (Accepted on October 24, 2000)

瀬戸内海区水産研究所業績 A 第16号 (Contribution No. A 16 from National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea)

^{*1} 吉田吾郎・吉川浩二・寺脇利信：瀬戸内海区水産研究所 〒739-0452 広島県佐伯郡大野町丸石2-17-5 (G. Yoshida, K. Yoshikawa, and T. Terawaki: National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, 2-17-5 Maruishi, Ohno, Saeki, Hiroshima 739-0452, Japan)

^{*2} 内村真之（科学技術振興事業団科学技術特別研究員）：瀬戸内海区水産研究所 〒739-0452 広島県佐伯郡大野町丸石2-17-5 (M. Uchimura: Japan Science and Technology Corporation, Domestic Research Fellow, and National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, 2-17-5 Maruishi, Ohno, Saeki, Hiroshima 739-0452, Japan)

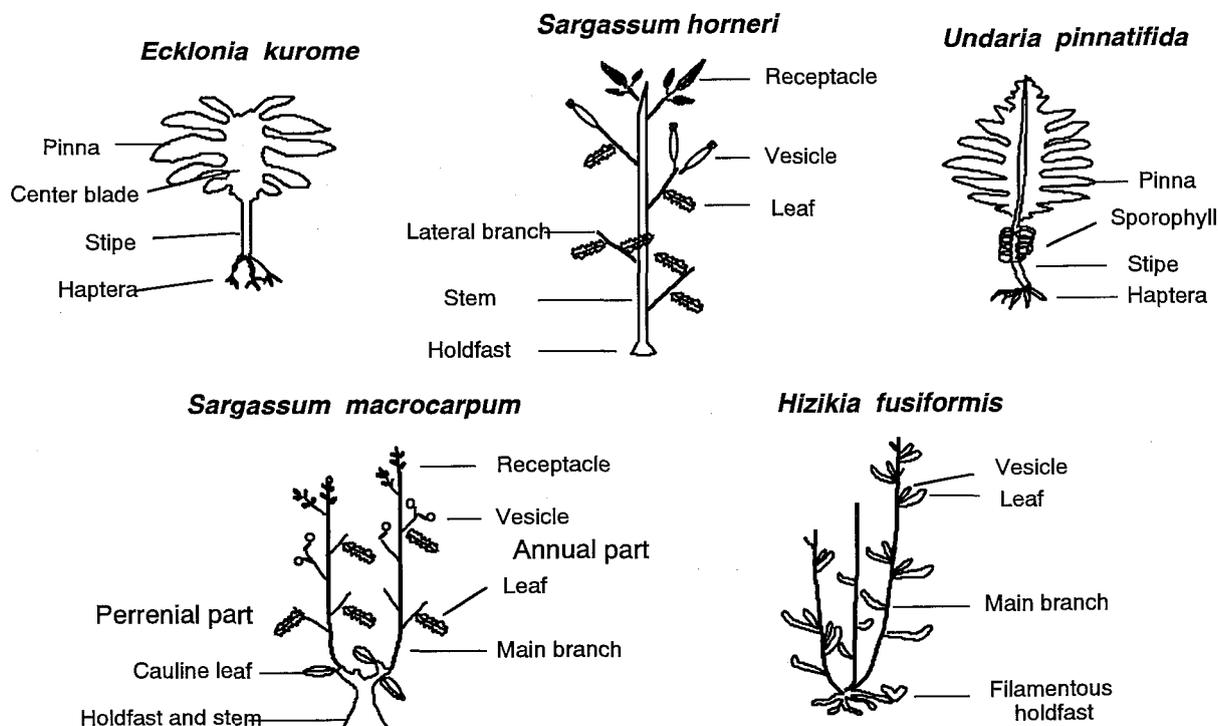


Fig. 1. Parts of the plant body of large brown algae analysed in this study and each expression. A. *Ecklonia kurome*, B. *Sargassum macrocarpum*, C. *Sargassum horneri*, D. *Hizikia fusiformis*, E. *Undaria pinnatifida*.

によって決定されていると考えられる (寺脇他 2001)。それぞれの藻場が沿岸生態系の生物生産・物質循環において多様な機能を有していることが予想される。

藻場の炭素固定能、自然循環機能を評価するため、広島湾をモデル海域とした生態調査が開始された (寺脇他 2001)。その端緒として広島湾において、湾奥部から湾口部にかけての環境勾配に沿った海藻類の水平・垂直分布様式が明らかにされた (寺脇他 2001)。本報ではこれらの海藻類によって構成される藻場の機能解明の上で、海藻類による炭素・窒素の取り込み量を試算するための基礎的知見として、主要種の藻体中の炭素・窒素量とその季節変化を調べた。

材料と方法

炭素・窒素量測定用の海藻試料は寺脇他 (2001) と同様、広島湾内の複数の採集地 (大野町, 巖島, 阿多田島, 柱島, 屋代島) で、1999年4, 7月, 2000年1月に潜水によって採集した。採集した海藻種は合計で22種 (緑藻4種, 紅藻8種, 褐藻10種) であった。試料はただちに研究所に持ち帰り、全長・湿重量などを測定した後、乾燥機で85°Cで恒量に達するまで乾燥させ、乾重量を測定しデシケーター中にて保存した。主要藻場を構成し、現存量が大きく、藻体の体制が複雑に分化した大型褐藻類 (クロメ *Ecklonia kurome*, ワカメ *Undaria pinnatifida*,

ノコギリモク *Sargassum macrocarpum*, アカモク *Sargassum horneri*, ヒジキ *Hizikia fusiformis*) については部位別 (Fig. 1) に切り分け、保存した。保存した資料は Yanako CHN Corder MT-5 にて炭素・窒素量を測定した。大型褐藻類については部位ごとに3~4試料、その他の種類については2試料を測定し、平均した。

結 果

主要大型褐藻類：1. クロメ クロメは夏季-秋季の子嚢斑形成とともに葉状部が末枯れし、藻体が短くなる (村瀬・大貝 1996) が周年藻体は存在した。広島湾内の調査地3点における大型個体の部位別炭素・窒素量と測定試料を採取した藻体の平均全長を Table 1 に示した。藻体中の炭素量は、付着器 haptera 及び茎 stipe (27.7~35.5%) に比べ、葉状部 (中央葉 center blade 及び側葉 pinna) が高い傾向 (31.8~37.3%) が見られ、また夏季 (7月) に高くなる傾向が見られた。窒素量は炭素量ほど明瞭な季節変化、部位別の差異は観察できなかったが、0.88~2.44%の範囲であった。窒素量は付着器や茎に比べ、葉状部の方が変動が大きい傾向が認められた。C:N比にもそれが反映され、葉状部のC:N比の変動の幅は13.9~42.4と、付着器・茎の変動の幅 (15.5~27.4) より大きかった。

2. ノコギリモク 多年生のノコギリモクは円錐状の付

Table 1. Carbon and nitrogen contents (% dry weight) with S. D. and C:N ratio (by weight) of *Ecklonia kurome* of different sampling periods and sites in relation to each part of the plant body

Part of plant	April, 1999			July, 1999		January, 2000	
	Hashira Is.	Yashiro Is.	Atada Is.	Hashira Is.	Yashiro Is.	Yashiro Is.	
Haptera	C content	29.0 ± 1.71	30.1 ± 3.77	33.6 ± 0.33	35.5 ± 2.47	32.9 ± 0.33	33.2 ± 1.88
	N content	1.87 ± 0.23	1.71 ± 0.56	1.59 ± 0.72	1.96 ± 0.67	1.96 ± 0.03	2.06 ± 0.77
	C:N	15.5	17.6	21.1	18.1	16.8	16.1
Stipe	C content	27.7 ± 0.95	30.1 ± 1.03	33.2 ± 1.62	30.1 ± 7.01	31.1 ± 4.79	28.2 ± 2.07
	N content	1.17 ± 0.51	1.10 ± 0.39	1.44 ± 0.20	1.15 ± 0.66	1.37 ± 0.09	1.13 ± 0.17
	C:N	23.7	27.4	23.1	26.2	22.7	24.9
Center blade	C content	32.4 ± 1.00	33.6 ± 2.91	37.3 ± 1.48	37.0 ± 2.14	34.3 ± 4.37	32.3 ± 4.07
	N content	1.14 ± 0.34	1.29 ± 0.61	0.88 ± 0.10	1.63 ± 0.28	1.72 ± 0.25	1.85 ± 0.18
	C:N	28.4	26.1	42.4	22.7	19.9	17.5
Pinna	C content	32.2 ± 2.10	31.8 ± 3.42	32.4 ± 0.51	35.2 ± 0.37	35.3 ± 3.30	34.0 ± 2.31
	N content	0.95 ± 0.36	1.82 ± 0.40	0.88 ± 0.24	2.15 ± 0.43	2.14 ± 0.37	2.44 ± 0.19
	C:N	33.9	17.5	36.8	16.4	16.5	13.9
Average length of sampled plants (cm)		64.3	71.3	72.6	54.0	81.1	56.6

Table 2. Carbon and nitrogen contents (% dry weight) with S.D. and C:N ratio (by weight) of *Sargassum macrocarpum* of different sampling periods and sites in relation to each part of the plant body. Data for *S. macrocarpum* of Yashiro Is. are the results of a single measurement

Part of plant body		April, 1999		July, 1999	January, 2000	
		Hashira Is.	Yashiro Is.	Hashira Is.	Hashira Is.	
Perennial part	Holdfast and stem	C content	34.6 ± 3.46	33.6	38.7 ± 1.32	38.2 ± 1.29
		N content	3.50 ± 0.20	2.10	2.60 ± 1.75	1.88 ± 0.97
		C:N	9.89	16.0	14.9	20.3
	Cauline leaf	C content	31.7 ± 2.33	38.5	34.0 ± 1.00	32.9 ± 0.45
		N content	2.74 ± 1.30	2.07	1.59 ± 0.63	1.38 ± 0.11
		C:N	11.6	18.6	21.4	23.8
Annual part	Main branch	C content	34.8 ± 3.40	40.7	-	-
		N content	2.00 ± 0.44	2.12	-	-
		C:N	17.4	19.2	-	-
	Leaf	C content	22.7 ± 3.94	35.0	-	-
		N content	1.71 ± 0.24	3.48	-	-
		C:N	13.3	10.1	-	-
	Vesicle	C content	30.0 ± 2.10	37.9	-	-
		N content	2.51 ± 1.50	3.04	-	-
		C:N	12.0	12.5	-	-
	Receptacle	C content	44.0 ± 1.66	-	-	-
		N content	3.38 ± 0.55	-	-	-
		C:N	13.0	-	-	-
Average length of sampled plants (cm)		147.1	54.5	15.4	17.0	

着器 holdfast とそこから直立した茎 stem により基部が構成される。毎年茎の頂端から数本の主枝 main branch が形成され、1年で数メートルに伸長し、成熟した後脱落する (吉田 1985)。附着器と茎は毎年少しずつ肥大し

ながら、分枝を増やし、形成される主枝の数も増えていく。従って、ノコギリモクの藻体は、附着器と茎及び茎から生じる茎葉からなる多年生の部位と、毎年形成・脱落を繰り返す主枝の1年生部位からなる (Fig. 1)。4月

の調査時には柱島のノコギリモクは成熟し、生殖器床が形成されていたが、屋代島のノコギリモクでは成熟は見られなかった。また7月には柱島のノコギリモクでは旧主枝が脱落し、新生の主枝が伸長を始めていたが測定は多年生部位についてのみ行った。また1月の調査時には何らかの理由により、主枝が脱落しているのが観察された。ノコギリモクの各部位における炭素・窒素量を Table 2 に示した。多年生部位（付着器・茎及び茎葉 cauline leaf）の炭素量は31.7~38.7%の範囲で見られた。主枝の部位も柱島ノコギリモクの葉 leaf を除いて高く、特に生殖器床 receptacle は44.0%と高かった。窒素量は多年生部位で1.38~3.50%、主枝の部位で1.71~3.48%であった。窒素量は春季（4月）に高い傾向があり、低い C:N 比に反映された。

3. アカモク アカモクは1年生のホンダワラ類で、柱島・大島では4月に成熟期を迎え、多数の生殖器床を藻体上に形成する。配偶子放出後、藻体は完全に基部から流失し、夏季には発芽体あるいは幼体しか観察されなかった。アカモクの炭素・窒素量の季節変動を Table 3

に示す。7月のデータは発芽体のものである。気胞の炭素量（26.7~31.4%）が他の部位（28.2~36.3%）に比べ低めであった。また季節的には、成熟期である4月は、7月の発芽体、1月の藻体に比較して高い傾向が認められた。窒素量は0.71~3.76%の範囲で変動し、特に1月の葉で含量が高かった（3.76%）。特に4月は柱島、屋代島のアカモクはともに成熟期でありながら、藻体に含まれる窒素量は屋代島のアカモクの方が高い値を示した。C:N 比は7.78~48.3の範囲で大きく変動した。

4. ヒジキ ヒジキは潮間帯に生育し、岩上を匍匐する繊維状根 filamentous holdfast から発芽し新しい主枝を伸長させる。成熟期は夏季で、配偶子を放出した後、主枝は流失する（寺脇 1985）。ヒジキの繊維状根、主枝の炭素量は32.3~35.1%の範囲で変動した。主枝に沿って形成される葉・気胞については繊維状根・主枝に比べ、26.8~28.8%と低めであった。窒素量は1.14~4.20%と大きく変動し、4月が明らかに高かった（Table 4）。

5. ワカメ ワカメは冬季から春季のみ出現し、4月に大量に採集された。部位による炭素・窒素量の差異が大

Table 3. Carbon and nitrogen contents (% dry weight) with S.D. and C:N ratio (by weight) of *Sargassum horneri* in relation to each part of the plant body. Data without S.D. are the results of a single measurement

Part of plant body		April, 1999		July, 1999	January, 2000
		Hashira Is.	Yashiro Is.	Hashira Is.	Hashira Is.
Holdfast	C content	28.2	29.2 ± 3.36	-	-
	N content	1.38	1.68 ± 0.13	-	-
	C:N	20.4	17.4	-	-
Stem	C content	32.0 ± 1.08	33.9 ± 1.57	-	30.6 ± 1.17
	N content	0.79 ± 0.35	1.36 ± 0.49	-	1.16 ± 0.05
	C:N	40.6	24.9	-	26.4
Lateral branch	C content	34.3 ± 2.82	33.2 ± 1.31	-	28.7 ± 2.50
	N content	0.71 ± 0.12	1.02 ± 0.16	-	1.49 ± 0.19
	C:N	48.3	32.6	-	19.3
Leaf	C content	36.3 ± 1.39	31.7 ± 1.61	-	29.3 ± 2.31
	N content	1.48 ± 0.60	2.70 ± 0.57	-	3.76 ± 0.30
	C:N	24.6	11.7	-	7.78
Vesicle	C content	31.4 ± 2.40	27.2 ± 2.01	-	26.7 ± 2.68
	N content	1.73 ± 0.04	2.11 ± 0.33	-	2.13 ± 0.34
	C:N	18.2	12.9	-	12.5
Receptacle	C content	34.2 ± 1.60	32.5 ± 1.20	-	-
	N content	1.44 ± 0.25	2.98 ± 0.26	-	-
	C:N	23.7	10.9	-	-
(Germling)	C content	-	-	29.9 ± 0.86	-
	N content	-	-	1.60 ± 0.22	-
	C:N	-	-	18.7	-
Average length of sampled plants (cm)		101.9	112.7	2.0	33.8

Table 4. Carbon and nitrogen contents (% dry weight) with S.D. and C:N ratio (by weight) of *Hizikia fusiformis* sampled at Yashiro Is. in relation to each part of the plant body. Data without S.D. are the results of a single measurement

Part of plant body		April, 1999	July, 1999	January, 2000
Filamentous holdfast	C content	34.7 ± 1.62	34.5	35.1 ± 2.59
	N content	4.20 ± 0.10	1.59	2.00 ± 0.25
	C:N	8.26	21.7	17.6
Main branch	C content	32.3 ± 0.48	33.9 ± 2.69	33.4 ± 1.05
	N content	4.07 ± 1.15	1.14 ± 0.29	1.34 ± 0.01
	C:N	7.94	29.7	24.9
Leaf and vesicle	C content	28.8 ± 7.79	28.4 ± 3.09	26.8 ± 1.33
	N content	3.89 ± 2.37	2.07 ± 0.31	1.74 ± 0.22
	C:N	7.40	13.7	15.4
Average length of sampled plants (cm)		-	-	34.8

Table 5. Carbon and nitrogen contents (% dry weight) with S.D. and C:N ratio (by weight) of *Undaria pinnatifida* sampled at Hashira Is. in April, 1999 in relation to each part of the plant body

Part of plant body	C content	N content	C:N
Haptera	28.2 ± 0.94	2.62 ± 0.76	10.8
Stipe	25.3 ± 4.71	2.70 ± 0.49	9.37
Sporophyll	34.7 ± 0.77	5.69 ± 2.98	6.10
Pinna	30.3 ± 3.69	2.69 ± 0.66	11.3
Average length of sampled plants (cm)		48.2	

きく (炭素25.3~34.7%, 窒素2.62~5.69%), とともに胞子葉 sporophyll が最も大きい数値を示した。C:N比は大型褐藻類のなかでは最も低い値 (6.10~11.3) で変動した (Table 5)。

その他の海藻類：その他の海藻類の結果を Table 6 に示す。緑藻類ではアナアオサ *Ulva pertusa*, チャシオグサ *Cladophora wrightiana*, フサイワズタ *Caulerpa okamurae*, ミル *Codium fragile* の4種で測定された。炭素量は22.4~31.5%の間で観察され, 7月のフサイワズタ, ミルで低かった。窒素量は0.64~2.82%で, アナアオサの4月の窒素量が0.64% (C:N比 42.9) と低く, 7月の結果 (C:N比 16.0) と比較してC:N比の変動が激しかった

その他の褐藻類ではウミトラノオ *Sargassum thunbergii*, フクロノリ *Colpomenia sinuosa*, イワヒゲ *Myelophycus simplex*, ウミウチワ *Padina arborescens*, ヤハズグサ *Dictyopteris latiuscula* の5種を調べた。炭素量は種によって19.0% (フクロノリ) から39.6% (イワヒゲ) まで大きな差があった。また窒素量においても, 4.23% (ウミトラノオ), 8.20% (イワヒゲ) と高い値

Table 6. Carbon and nitrogen contents (% dry weight) and C:N ratios of some seaweeds

		Sampling period	C	N	C:N
Chlorophyta					
<i>Ulva pertusa</i>		Apr.	27.5	0.64	42.9
		Jul.	31.5	1.97	16.0
<i>Cladophora wrightiana</i>		Apr.	27.4	1.50	18.3
	<i>Caulerpa okamurae</i>	Apr.	30.4	2.82	10.8
		Jul.	23.0	2.62	8.78
<i>Codium fragile</i>		Apr.	22.4	2.62	8.54
Phaeophyta					
<i>Sargassum thunbergii</i> (Leaf and vesicle)		Apr.	33.2	4.23	7.85
<i>Colpomenia sinuosa</i>		Apr.	19.0	1.63	11.6
<i>Myelophycus simplex</i>		Apr.	39.6	8.20	4.82
<i>Padina arborescens</i>		Apr.	25.9	1.58	16.4
<i>Dictyopteris undulata</i>		Apr.	32.2	1.84	17.5
Rhodophyta					
<i>Gelidium elegance</i>		Apr.	36.1	2.32	15.6
		Jul.	40.1	2.19	18.3
		Jan.	36.9	3.45	10.7
<i>Gracilaria textorii</i>		Apr.	31.2	1.32	23.6
<i>Gymnogongrus flabelliformis</i>		Apr.	30.1	3.75	8.03
<i>Pachymeniopsis lanceolata</i>		Apr.	29.5	1.11	26.6
<i>Lomentaria catenata</i>		Apr.	25.2	2.56	9.84
<i>Schizymenia dubyi</i>		Apr.	31.2	2.10	14.8
<i>Amphiroa dilatata</i>		Jan.	15.3	0.47	32.6
<i>Corallina pilulifera</i>		Jan.	14.7	0.61	24.1

が見られた。

紅藻類ではマクサの炭素量が他の種類より高く, 特に7月が40.1%と高かった。サンゴモ類の2種を除く他の種類 (カバノリ *Gracilaria textorii*, オキツノリ *Gymnogongrus flabelliformis*, フダラク *Glatteloupia lanceolata*, フシツナギ *Lomentaria catenata*, ベニスナ

ゴ *Scyzymeria dubyi*) は25.2~31.2%であった。またこれらの種類の窒素量の変化は1.11~3.75%であった。サンゴモ類の2種(カキノテ *Amphiroa dilatata*, ピリヒバ *Corallina pilulifera*) は炭素, 窒素量とも極めて低い値を示した。

考 察

海藻類の炭素・窒素量については, Niel (1976) がスペイン・Vigo Bay の潮間帯に生育する24種について調査し, 褐藻類が緑藻・紅藻類に比べ, 高いC:N比を示すこと等について報告している。またコンブ目 *Laminariales* の仲間については, 藻体内の炭素・窒素量の季節変化と年間の成長パターンとの関係について興味を持たれ, 詳細な研究がなされている (Chapman and Craigie 1977, 1978, Rosell and Srivastava 1985, Flores-Moya *et al.* 1995, Henley and Dunton 1995)。

コンブ目の *Macrocystis integrifolia*, *Nereocystis luetkeana*, *Phyllariopsis purpurascens* 等では藻体中の炭素量に明瞭な季節変化が観察され, 20%程度から30%以上まで大きく変動する (Rosell and Srivastava 1985, Flores-Moya *et al.* 1995)。一方, 同じコンブ目の *Laminaria longicruris*, *L. digitata* 等では, 炭素量には大きな季節変化は見られないという (Mann 1972)。今回の大型褐藻類の炭素量の結果では, 前述のコンブ目の種類のような大きな季節変化は観察されなかったものの, クロメ (コンブ目) や紅藻類のマクサでは夏季に高くなる傾向が認められた。前述の既報のコンブ類の藻体中では, 夏季にマンニトール, ラミナランなどの光合成産物の濃度が増加することが観察され (Chapman and Craigie 1978), これらは冬季の成長へ向けての貯蔵性の物質である可能性が示唆されている。またこれらの物質の濃度は光合成が活発に行われる葉状部で高く, 炭素量も茎部等に比べ葉状部で高い (Rosell and Srivastava 1985)。今回測定したクロメも葉状部 (中央葉, 側葉) における炭素量は茎や付着器に比べ高い傾向が見られた。

ヒバマタ目では, 多年生ホンダワラ類のノコギリモクでは特に多年生部位で年間を通じて炭素量が高かった。また1年生ホンダワラ類のアカモクでは成熟期である春季 (4月) に炭素量が高い傾向が認められた。フロリダ産のホンダワラ類の1種 *S. pteropleuron* においてはマンニトール, ラミナラン等光合成産物の藻体内量に季節的变化が見られ (Prince and Daly 1981), タマハハキモク *S. muticum* では光合成産物に加えてポリフェノール化合物の量も季節的に変動することが報告されている (Gorham and Lewey 1984)。*S. pteropleuron* では, 藻体の部位ごとにこれらの物質の濃度が異なり, それぞれの部位の光合成活性を反映している。*S. pteropleuron* はノコギリモク同様多年生であり, 多年生部位において

貯蔵されたマンニトール, ラミナラン等の光合成産物は, 1年生部位脱落后, 多年生部位自身の代謝と新しい主枝の形成に用いられるとされている (Prince and Daly 1981)。ノコギリモクにおいても春から夏の成熟終了後, 1年生部位が脱落し, 新生の主枝の伸長が開始される。また1年生のアカモクは成熟期には多数の大型の生殖器床を形成し, 年間で最も大きな現存量の日間増加を示す (Yoshida *et al.* in prep.) ことから, この時期に生産活動が活発になることが考えられる。従ってこれらの種類についても, 年間の成長・成熟パターンと光合成活性や同化産物の貯蔵量等をからめて, 藻体の炭素量の季節変化を論じる必要がある。

C:N比は海藻類の生理状態・成長能の良い指標 (Rosenberg and Ramus 1982) とされているが, 今回の結果は10以下から40以上まで極めて変異が大きかった。この大きな変動は異種間はもちろん, 同種内でも季節的変動, あるいは部位間の差異として観察された。コンブ目の種を対象とした既報においても同一種個体群において10~40の大きな季節的変動が報告されている (Rosell and Srivastava 1985, Flores-Moya *et al.* 1995)。今回の測定結果から, 例えばアカモクの藻体中の炭素量の季節的あるいは部位間変動が26.7~36.3%であり, 窒素量では0.71~3.76%と, 相対的な変動は窒素量の方が大きい。このことは今回調べられた大型褐藻類のどの種類についても言うことができ, C:N比の大きな変動は主に窒素量の変動によるものと考えられる (Rosell and Srivastava 1985)。植物プランクトンのC:N比についても変動は極めて大きいとされるが, 平均では珪藻で7 (原子比, 重量比では6), 鞭毛藻では10程度であるという (Kremer and Nixon 1978)。海藻類のC:N比の大きな変動, また植物プランクトンに見られない大きな値は, 藻体内に多量の窒素を貯蔵でき (Chapman and Craigie 1977, Rosenberg and Ramus 1982), その濃度が季節的に大きく変動することに加え, 海藻類の体構造の特性によるものと考えられる。すなわち海藻の藻体中では, セルロースやマンナン, アルギン酸等様々な種類の多糖類が, 細胞壁構成成分や細胞間物質として存在している (西澤・千原 1979)。従って, 植物プランクトンなどと比較して炭素含量が高いため, 大きなC:N比を示すものと思われる。藻体中の炭素のかなりの部分がこのような基本的な体構造を作る多糖類に含まれるものと考えれば, 炭素量の季節的変動が比較的小さいのは納得できる。

既報においても, 藻体中の窒素量が季節的に大きく変動する例が多く知られている。藻体中の窒素においては構造タンパクや酵素等の他に, 硝酸態 (Chapman and Craigie 1977) や遊離アミノ酸 (Rosenberg and Ramus 1982) 等の形で貯蔵された窒素がかなりの割合で含まれており, 全窒素量の変動はこれらの貯蔵窒素の量に影響

されている。特にカナダ・Nova Scotia のコンブ類では、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、最大で全窒素の 1/3 にもなり、海水中の栄養塩が枯渇しても数ヶ月の間成長を続けることが報告されている (Chapman and Craigie 1977)。富栄養化が進行したとされている広島湾に生育する海藻類においても、このように体内に窒素を大量に貯蔵し利用する機能が働いているかどうかは不明であり、今後詳しく調査する必要があると思われる。

紅藻類に含まれる全窒素量は褐藻類に比べて高い (Rosell and Srivastava 1985) とされているが、今回の測定では春季のヒジキ、イワヒゲ、ウミトラノオで紅藻類と比較しても高い窒素量が測定された。これらはいずれも潮間帯に出現する種類であり、潮間帯に生育するという生態特性と藻体内窒素量との間には何らかの関係があるのかもしれない。また、サンゴモ類は炭素・窒素含量とも、他種に比べてかなり低かったが、これは Niel (1976) の結果と一致した。サンゴモ類は細胞の内外に炭酸カルシウムを沈着しており (馬場 2000)、この特殊な体構成成分が影響しているものと考えられる。

寺脇他 (2001) において、広島湾の岩礁域における海藻類の水平・垂直分布様式が解明され、主要な 7 種 (アナオサ、フサイワズタ、マクサ、アカモク、ノコギリモク、ヒジキ) の優占する分布域が特徴づけられた。こ

れらを優占種とする藻場の広島湾における生物生産・物質循環機能を比較したとき、分布が広く、藻体が大きくなる大型褐藻類を優占種とする藻場の貢献が大であることが予測できる (Mann 1972)。これら大型褐藻類の藻体として貯蔵された炭素・窒素現存量を概算するためには、1 個体当たりの炭素・窒素量を求める必要がある。厳密に言えば、藻体の部位によりこれらの含量は若干異なるので、それぞれの部位の全重量中における割合を換算しなければならない。1 例として Table 7 に柱島の 7 月のクロメの 1 個体当たりの平均炭素・窒素量を概算した。10 個体は無作為に選び、部位別に切り分けて重量を測定し、各部位の全藻体重量 (湿重量) における平均割合を出した。各部位ごとに乾重量: 湿重量比を求め、各部位の平均乾重量に Table 1 の炭素、窒素量割合を乗じて各部位別の平均炭素・窒素量を出した。これらを合計すると、7 月の柱島クロメの平均的な 1 個体 (54.0 cm, 湿重量 230.7 g) に含まれる炭素・窒素量は、それぞれ 12.8, 0.66 g となり、乾重量における割合はそれぞれ 36.0, 1.84% となった。同様に計算した他の大型褐藻類における 1 個体当たりの炭素・窒素量の結果を Table 8 に示す。ノコギリモク・アカモクのホンダワラ類については、葉、気胞、生殖器床などが細かく分化しており、部位の切り分け作業が煩雑なため、代表的と思われる主枝 main branch (ノコギリモク)、側枝 lateral branch

Table 7. Estimate of carbon and nitrogen amount in an average individual plant of *Ecklonia kurome* sampled at Hashira Is. in July

Part of a plant body	Haptera	Stipe	Center blade	Pinna	Total
Average % of each part in total wet weight	10.8	2.1	45.5	41.6	100 (230.7g in wet weight)
Dry weight / wet weight	0.231	0.193	0.164	0.122	
Average dry weight (g) of each part	5.75	0.92	17.22	11.7	35.6
Carbon amount (g) by C content in Table 1	2.04	0.28	6.37	4.12	12.8 (36.0 % dry weight)
Nitrogen amount (g) by N content in Table 1	0.11	0.01	0.28	0.25	0.66 (1.84 % dry weight)

Table 8. Estimated values of carbon and nitrogen amount in individual plants of large brown algae sampled in April, 1999

Species	<i>Ecklonia</i>	<i>S. macrocarpum</i>	<i>S. horneri</i>	<i>Hizikia</i>	<i>Undaria</i>
Sampling site	Hashira Is.	Yashiro Is.	Hashira Is.	Yashiro Is.	Hashira Is.
Average plant wet weight (g)	177.2	178.1	85.7	16.6	86.3
Carbon amount (g) (% dry weight)	7.86 (31.4)	16.6 (37.1)	5.75 (32.9)	0.67 (29.9)	2.64 (30.1)
Nitrogen amount (g) (% dry weight)	0.29 (1.14)	1.29 (2.87)	0.22 (1.26)	0.09 (4.13)	0.27 (3.04)

(アカモク)の3~5本についてのみ葉・気胞・生殖器床の重量割合を求め、全体重における割合を概算した。藻体の各部位の重量の割合は季節によって大きく変化することが考えられ、特に年間の藻体の伸長が著しいホンダワラ類においては顕著に異なることが予想される。しかし Table 8 の結果と、前述のように大型褐藻類の炭素量の季節的変動は比較的小さいことから、藻体中の全炭素量は乾燥重量のほぼ30~35%で概算できるものと思われる。同様に、アオサ類など緑藻類は25~30%、紅藻類はサンゴモ類を除けば30~35%で概算できるものと考えられる。窒素の現存量については多くの場合は乾燥重量の1~3%の範囲に収まるものと考えられるが、種類や季節ごとの変動が極めて大きく、その動態の解明は今後の課題である。

前述したように1年生のアカモクと、多年生のノコギリモク、クロメなどは生態的特性が異なる。前者が成長して現存量が最大になった後、完全に流失し、現存量としては限りなくゼロに近づくのに対し、後者では年間を通じてあるレベルの現存量が維持され、個体レベルでは毎年大きくなっていく。従って、藻場全体を見たとき、炭素や窒素の pool として生態系の中で果たしている機能は異なる可能性がある。これらの解明のために、今後はそれぞれの藻場の詳細な生態調査を進める予定でいる。

謝 辞

本稿を校閲いただいた当所瀬戸内海海洋環境部長の井関和夫博士に御礼申し上げる。本研究は農林水産技術会議のプロジェクト研究「森林・農地・水域を通ずる自然循環機能の高度な利用技術の開発」の一部として実施した。

要 約

広島湾産の海藻類22種(緑藻4種、褐藻10種、紅藻8種)の藻体中の炭素・窒素含量を測定した。藻場を構成する大型褐藻類については藻体の部位ごとに分割して測定した。結果はクロメ C; 27.7~37.3% (乾重当り, 以下同), N; 0.88~2.44%, ノコギリモク C; 22.7~44.0%, N; 1.38~3.50%, アカモク C; 26.7~36.3%, N; 0.71~3.76%, ヒジキ C; 26.8~35.1%, N; 1.14~4.20%, ワカメ C; 25.3~34.7%, N; 2.62~5.69%であった。海藻の藻体中の炭素現存量は、褐藻類で30~35%, 緑藻類で25~30%, サンゴモ類を除く紅藻類で30~35%でほぼ概算できるものと考えられた。窒素現存量については多くは1~3%の範囲に入るが、種間、季節間、藻体部位間で変動が激しく、C:N比の大きな変動(4.82~48.3)の原因と考えられた。

文 献

- 馬場将輔, 2000. 日本産サンゴモの種類と形態. 海生研報, **1**, 1-68.
- Chapman, A. R. O. and J. S. Craigie, 1977. Seasonal growth in *Laminaria longicruris*: Relations with dissolved inorganic nutrients and internal reserves of nitrogen. *Mar. Biol.*, **40**, 197-205.
- Chapman, A. R. O. and J. S. Craigie, 1978. Seasonal growth in *Laminaria longicruris*: Relations with reserve carbohydrate storage and production. *Mar. Biol.*, **46**, 209-213.
- Flores-Moya, A., J. A. Fernandez and F. X. Niell, 1995. Seasonal variations of photosynthetic pigments, total C, N, and P content and photosynthesis in *Phyllariopsis purpurascens* (Phaeophyta) from the Strait of Gibraltar. *J. Phycol.*, **31**, 867-874.
- Gorham, J. and S. A. Lewey, 1984. Seasonal changes in the chemical composition of *Sargassum muticum*. *Mar. Biol.*, **80**, 103-107.
- Henley, W. J. and K. H. Dunton, 1995. A seasonal comparison of carbon, nitrogen, and pigment content in *Laminaria solidungula* and *L. saccharina* (Phaeophyta) in the Alaskan arctic. *J. Phycol.*, **31**, 325-331.
- Kremer, J. N. and S. W. Nixon, 1978. A Coastal Marine Ecosystem. (Ecological studies; V. 24). 1st ed, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. [中田喜三郎訳, 1987. 沿岸生態系の解析. 第1版刷, 生物研究社, 東京, 227 pp.]
- Mann, K. H., 1972. Ecological energetics of the seaweed zone in a marine bay on the Atlantic coast of Canada. I. Zonation and biomass of seaweeds. *Mar. Biol.*, **12**, 1-10.
- 村瀬 昇・大貝政治, 1996. 瀬戸内海の長島沿岸に生育するクロメの生長と成熟. 水産増殖, **44**, 59-65.
- 南西海区水産研究所, 1979. 沿岸海域藻場調査. 瀬戸内海関係海域藻場分布調査報告—藻場の分布—. 419 pp.
- Niell, F. X., 1976. C:N ratio in some marine macrophytes and its possible ecological significance. *Bot. Mar.*, **19**, 347-350.
- 西澤一俊・千原光雄, 1979. 藻類研究法, 第1版, 共立出版, 東京, 754 pp.
- Prince, J. S. and E. L. Daly, 1981. The ecology of *Sargassum pteropleuron* Grunow (Phaeophyceae, Fucales) in the waters off South Florida. IV. Seasonal variation in mannitol, protein, ash and laminaran. *Phycologia*, **20**, 232-241.
- Rosell, K. and L. M. Srivastava, 1985. Seasonal variations in total nitrogen, carbon and amino acids in *Macrocyctis integrifolia* and *Nereocystis luetkeana* (Phaeophyta). *J. Phycol.*, **21**, 304-309.
- Rosenberg, G. and J. Ramus, 1982. Ecological growth strategies in the seaweeds *Gracilaria foliifera* (Rhodophyceae) and *Ulva* sp. (Chlorophyceae): Soluble nitrogen and reserve carbohydrates. *Mar. Biol.*, **66**, 251-259.
- Smith, S. V., 1981. Marine macrophytes as a global carbon sink. *Science*, **211**, 838-840.
- 寺脇利信, 1985. 三浦半島小田和湾におけるヒジキの生長と成熟. 水産増殖, **33**, 115-118.
- 寺脇利信・吉川浩二・吉田吾郎・内村真之・新井章吾, 2001. 広島湾における大型海藻類の水平・垂直分布様式. 瀬戸内水研報, **3**, 73-81.

- 徳田 廣・大野正夫・小河久朗, 1987. 海藻資源養殖学, 第1版, 緑書房, 東京, 354 pp.
- Walsh, J. J., G. T. Rowe, R. L. Iverson and C. P. McRoy, 1981. Biological export of shelf carbon is a sink of the global CO₂ cycle. *Nature*, **291**, 196-201.
- Whittaker, R. H., 1975. *Communities and ecosystems*. 2nd ed., The Macmillan Company, New York. [宝月欣二訳, 1979. 生態学概説, 第2刷, 培風館, 東京, 363 pp.]
- 吉田忠生, 1985. ホンダワラ類の分類と分布 (8) Halochloa 節 3. 海洋と生物, **41**, 450-453.