

海産生物中の微量元素の定量 II

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者	石井, 紀明 飯村, 満江 小柳, 卓
巻/号	45巻4号
掲載ページ	p. 459-464
発行年月	1979年4月

海産生物中の微量元素の定量—II

アカモクの生長段階と鉄濃度との関係について

石井紀明・飯村満江・小柳卓

(1978年10月23日受理)

Determination of Trace Elements in Marine Organisms—II
Relationship between the Body Size of *Sargassum horneri*
and Concentration of Iron

Toshiaki ISHII*, Mitsue IMURA*, and Taku KOYANAGI*

The concentration of iron in the brown algae, *Sargassum horneri*, of various growing stages collected on the coast of Ibaraki prefecture was determined to examine the relationship between the body size and the concentration of iron. The concentrations of iron showed significant differences among 45 samples and ranged from 66 to 640 $\mu\text{g/g}$ dry weight. The concentration in algal bodies as well as in each organ of the algae tended to decrease remarkably with increasing body size. The distribution of iron among the organs of *Sargassum horneri* was not homogeneous; lamina showed the highest concentration of iron. The basal lamina of the main stipe accumulated iron about five times higher than the upper lamina of the branch around the growing point. Variation in weight percent of each organ to body weight was observed with increasing body size and the weight percent of lamina tended to decrease exponentially. The decreasing tendency in the weight percent of lamina, which is supposed to be due to the defoliation of lamina or the relative growth of other organs, was very similar to that in the concentration of iron with increasing body size. From these results, the morphological change with the growth of the algae was assumed to be an important factor controlling the variability of the concentration of iron in *Sargassum horneri*.

藻類中の微量元素濃度は、1) 環境水中の金属元素の形態や濃度およびその変化や相互作用、2) 藻類の生理生態に影響を及ぼす光、温度などの外的要因¹⁾、3) そして個々の藻体が有する遺伝的形質など種々の変動要因によつて支配されるものと考えられるが、なかでも生物学的要因の一つとしての藻類の生長に伴う生理、生態的变化が金属元素の取り込み、排泄といった金属代謝にどの程度関与するかを調査し明らかにすることは、海洋生態系の中における金属元素の挙動および分布を適確に把握する上で重要な研究課題であると考えられる。生長に伴う体内金属量の変動に関する調査研究は、魚類²⁻⁶⁾及び海産無脊椎動物⁷⁻¹⁰⁾等の動物試料では数多く報告されているが、藻類について同様な調査を行った例は非常に少ない。そこで本研究では前報¹¹⁾に引き続いて褐藻ホンダワラ科アカモク (*Sargassum horneri*) を用いて、生長に伴う鉄濃度の変動の様相を調査し、その変動要因について詳細な検討を行った。

試料および分析方法

茨城県沿岸に生育する海藻の植生の特徴は我が国の中部太平洋外洋性群落に当たり、茨城県北部の五浦海岸における海藻群落は人為的影響の少ない、自然状態にあると報告されている¹²⁾。漸深帯ではアカモクを優占種とするアラメ、オオバモク、ハキモクの混生群落がみられ、特にアカモクは漸深帯上部の岩盤上にはほぼ独立した単純群落を形成し、凋落期である夏期を除いてその成体は周年観察される。季節変化に伴うアカモク個体間における生長速度に関しては大きな相違が観察されたが、春期には各生長段階のアカモクが平均して出現すること、およびホンダワラ類中の鉄元素は春期に最高濃度を示しそれ以後は漸次減少の傾向を示す¹³⁾ことなどから、春期を本調査目的の最適時期として選定した。すなわち本研究は1977年および1978年の3月を中心にして採取したアカモクを用いて藻体中の鉄含量を調査したが、さら

* 放射線医学総合研究所海洋放射生態学研究部 (Division of Marine Radioecology, National Institute of Radiological Sciences, Isozaki Nakaminato, Ibaraki 311-12, Japan).

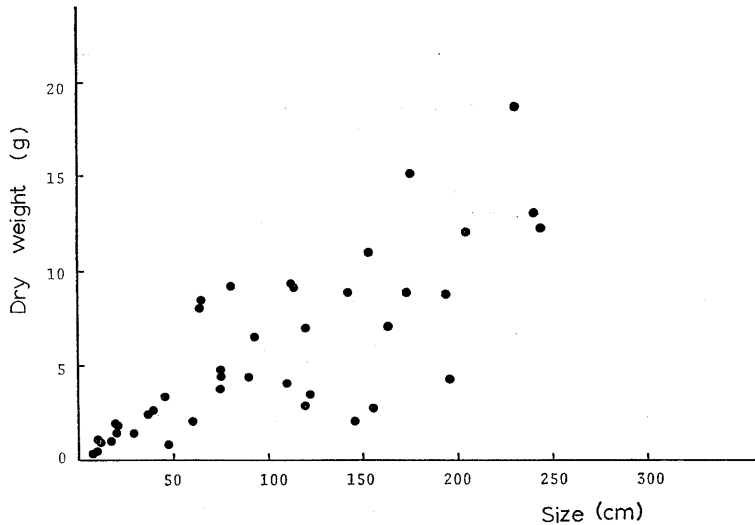


Fig. 1. Relationship between body size and body weight of *Sargassum horneri* (N=41).

に生長に伴うアカモクの形態変化と濃度変動との関連性について検討する目的でアカモク体を葉状部、気胞、莖状部の3器官に分けて鉄の体内濃度分布を観察すると共に、生長に伴う各器官の藻体に対する構成比の変化する様相についても調査した。特に葉状部は、アカモクを構成する器官の中では最も高い鉄濃度を示すことが判明している¹¹⁾ため、葉状部をさらに藻体高*の中間位置で上部葉状部と下部葉状部とに分け、また下部葉状部の中において基部付近の主枝に直接着生する葉状部を主枝葉状部としてそれぞれ区別したのち、各葉状部中の鉄濃度の相互比較を行った。またアカモクの生長に及ぼす季節変化の影響を考慮して春季以外の季節についても鉄濃度と生長との関係を調査した。すなわち季節ごとに採取したアカモクを各生長段階群別に分けてそれぞれの平均濃度を求め群別鉄濃度の季節変動を観察した。

なお生物の生長の程度を示す指標として、体長(甲長、殻長など)および体重が一般に用いられ、動物試料の場合、体重は体長の2ないし3乗に比例することが報告されている^{13~15)}が、ホンダワラ類に関して同様な調査を行った例は非常に少ないため1978年3月に採取した41個体のアカモクを用いて藻体高と藻重量との関係を併せて調査した。

採取した試料は110°C乾燥後、硝酸+過塩素酸で湿式分解し、トリオクチルアミン-キシレン法¹¹⁾で妨害元素を除去したのち原子吸光分析法で鉄を定量した。

結果および考察

41個体のアカモクにおける藻体高と藻重量(乾燥重量)との関係を散布図としてFig. 1に示した。個体間でややバラツキがみられるもののその相関は直線関係を示し、直線式として

$$Y = 0.0498X + 0.679$$

(Y; 藻重量(g), X; 藻体高(cm), $r=0.779$)

が得られた。3月における両者の関係が直線的増加式で示されるため前報¹¹⁾に従い体高をもつて生長の程度を示す指標とした。なお直線式の傾きは季節の推移とともに大きくなり、特に5月以降では両者間における直線関係は消失する傾向がみられた。また最高藻体高および最大藻重量を示すアカモクは例年6月以降においてみられ、本報告までのそれぞれの最大値は540cmおよび84gであった。なお著者らの調査**では、以上述べた傾向はホンダワラ類全般に共通した現象として観察された。吉田¹⁶⁾は、夏期におけるアカモクでは藻体先端部の流失に伴う体高の減少がみられることを報告しているが、本研究に用いた五浦海岸のアカモクの場合は春期および夏期においても先端部の流失現象はほとんど観察されなかつた。

1978年3月および4月に採取した45個体のアカモクを用いて、藻体中の鉄濃度と体高との関係について調査した結果をFig. 2に示した。各個体間では大きな濃度差が存在しているが、鉄濃度は体高の増加と共に指数関数的に減少する傾向が観察され、両者間の相関は次式

* 藻体高の類似表現として、藻長、長さ、高さ等が用いられるが、本報告では前報に従い藻体高に統一して用いた。

** 未発表

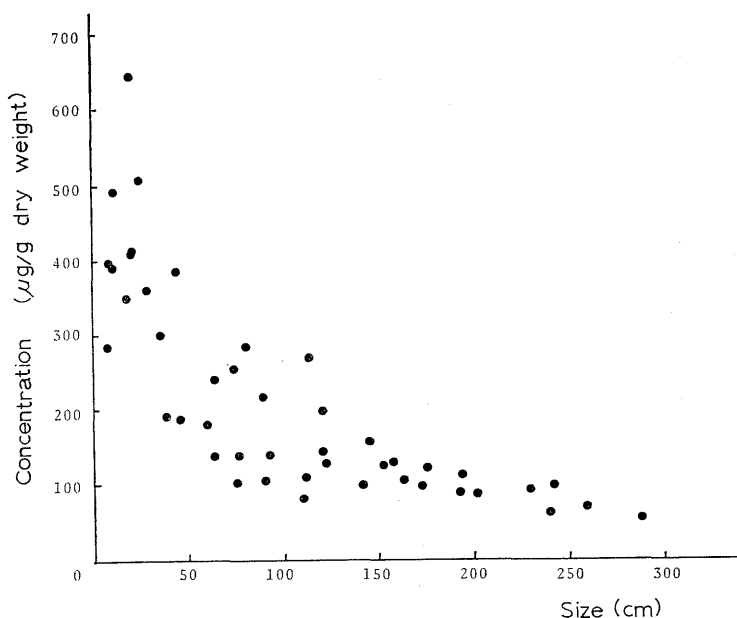


Fig. 2. Relationship between body size of *Sargassum horneri* and concentration of iron (N=45).

Table 1. Variation of concentration of iron in various organs of *Sargassum horneri* with increasing body size

Organs	(µg/g dry weight)			
	0~50 cm	50~100 cm	100~150 cm	150~300 cm
Upper lamina	207±11*	179±15*	125±9*	81±18*
Lower lamina	604±53	385±40	327±21	144±15
Air bladder	254±40	147±29	103±15	63±19
Stipe	340±32	242±21	152±19	72±14

* Mean and standard deviation for four samples sampling date March-April, 1978.

で与えられた。

$$Y = 360e^{-0.00883X}$$

{Y; 鉄濃度 (µg/g 乾), X; 体高 (cm), $r = -0.810$ }

この現象は、同様な条件で調査を行ったニッケル、銅および亜鉛では全く観察されず、これらの元素ではほぼ一定した濃度か、やや漸増の蓄積効果がみられたにすぎない。一方マンガンは体高の増加に伴って濃度は減少傾向を示したが、鉄でみられたような顕著な減少傾向はみられなかった。

アカモク体を構成する各器官中の鉄含量と生長との関連性に関する調査結果を Table 1 に示した。器官別に鉄含量を比較すると明瞭な濃度差が観察されると共に、特に葉状部の場合、上部と下部とは2ないし3倍の濃度差がみられるところから鉄はアカモク体内において顕著な不均一分布を示すことが判明した。また Table 1 に示されるように鉄濃度は生長段階が高くなると共に、い

ずれの器官でも明らかな減少傾向を示し、0~50 cm と 150 cm 以上のアカモクについて各器官ごとに鉄含量を比較すると2ないし4倍の濃度差が観察された。藻体中の鉄濃度の減少要因としては、1) 生長に伴う藻重量の増加によつて鉄濃度の希釈が起こること、2) 生長段階によつて鉄代謝に相違が生じること、3) 各器官の重量構成比の変化によつて、鉄濃度に対する各器官の寄与率が推移すること等が考えられ、その究明には藻類の生理、生態学的見地からの調査研究が必要であると考えられる。

1978年2月から4月にかけて採取したアカモクの、各器官の藻重量に対する重量パーセントが生長に伴つて変化する様相について調査した結果を Fig. 3, 4, 5 に示した。Fig. 3 は葉状部の結果を示したものであるが生長段階が高くなると共にその重量パーセントは指数関数的に減少しており、体高との相関は

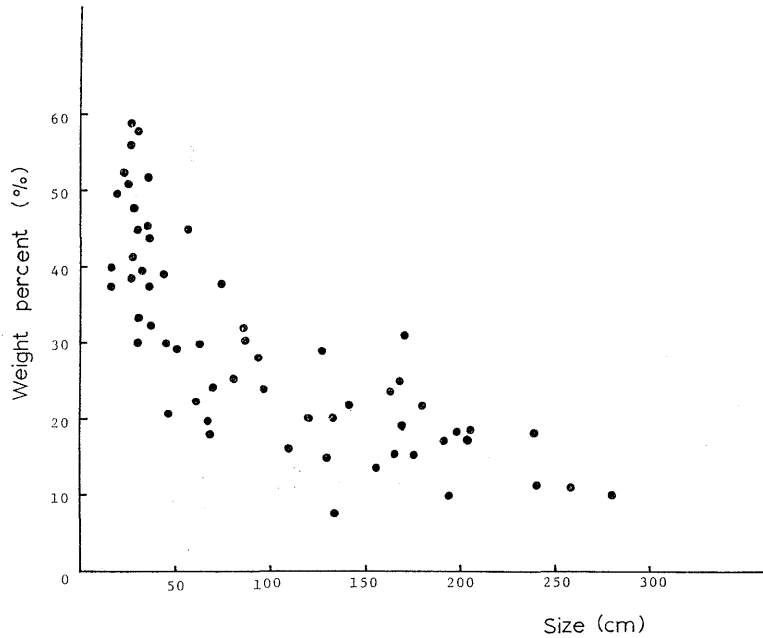


Fig. 3. Variation of weight percent of lamina to body weight with the growth (N=60).

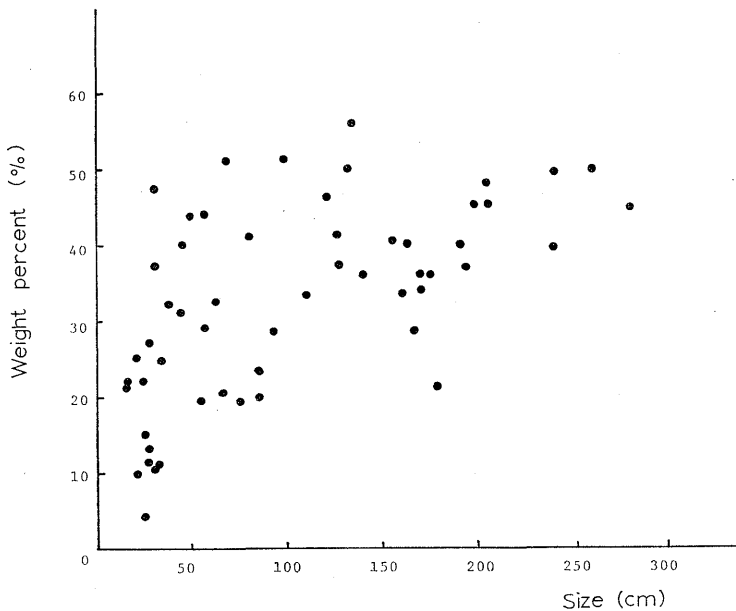


Fig. 4. Variation of weight percent of air bladder to body weight with the growth (N=55).

$$Y = 44.6 e^{-0.00602X}$$

{Y; 重量パーセント(%), X; 体高(cm), $r = -0.792$ }
 で示された。この傾向は生長に伴う藻体中の鉄濃度の減少傾向と非常に類似しており、また葉状部中には高濃度の鉄が含有されていることから、葉状部が濃度変動に対して大きく関与していることが示唆された。なお葉状部

を上部と下部とに分けて、それぞれの構成比を求めた結果、下部葉状部の重量パーセント/上部葉状部の重量パーセント=1.8±0.9であり、その値は生長が進むにつれて1.0に近くなる傾向がみられた。このことは、生長の初期段階における葉状部中の鉄は下部葉状部においてその大部分が占有されており、生長が進むにつれて葉状

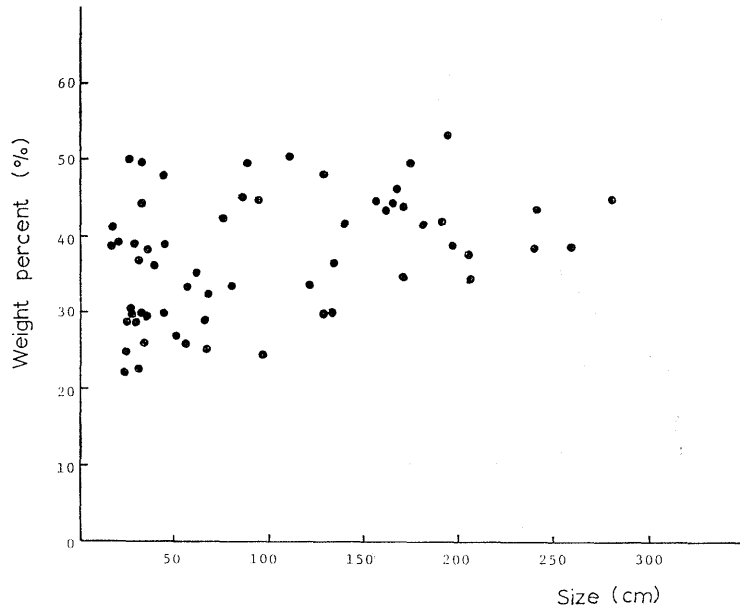


Fig. 5. Variation of weight percent of stipe to body weight with the growth (N=60).

部中の鉄含量に対する下部葉状部の寄与率が漸次低下することを示している。

気胞の重量パーセントの値は 0~150 cm の間では生長と共に急激な増加傾向を示し、150 cm 以上ではほぼ 30~50% の範囲にあつたが、気胞中の鉄は他の器官と比べてその濃度が低いことから気胞が体内鉄濃度の減少にある程度関与していることが判明した。また茎状部の値は、ややバラツキがみられるものの 20~50% の範囲にあり、ほぼ一定しているため濃度変動に対する寄与は小さいものと推定した。

以上述べてきたようにアカモクの生活史の中において、各器官の構成比、また葉状部においては上部および下部の構成比が生長と共に変化することが判明したが、アカモク体内での濃度分布が均一でないことを併せ考慮した場合、鉄濃度の変動に対して形態変化が重要な関連性をもつことが示唆された。なお葉状部の重量パーセントの減少は、他の器官特に気胞の形成および生長によって起こる相対的な減少に起因するだけでなく、葉状部自身の脱落が生長に伴って起こることにも起因している。すなわち葉状部の脱落は主に下部葉状部においてみられ、特に主枝葉状部で顕著であつたので主枝葉状部中の鉄含量、および生長に伴う重量構成比の変化する様相について調査した結果を以下に示す。主枝葉状部中の鉄濃度は、480~900 $\mu\text{g/g}$ 乾燥重量 (平均濃度 $690 \pm 120 \mu\text{g/g}$ 乾燥重量) の範囲にあり、アカモクを構成する器官のなかでは最も高い値を示した。また主枝葉状部の全葉状部に対する重量パーセントは体高 0~50 cm のアカモクで

は $58 \pm 15\%$ 、50~100 cm では $48 \pm 11\%$ であり、生長段階が高くなると共にその値は急激に小さくなる傾向がみられた。特に 200 cm 以上のアカモクでは主枝葉状部が完全に脱落している例もあり、その場合は基部における葉柄の痕跡からわずかにその存在が推定されるにとどまつた。ただし、4月以降でも主枝葉状部が脱落しないか、あるいは基部の側枝上に主枝葉状部に類似した葉状部が形成される場合があり、その様なアカモクは通常の個体とは異なる鉄濃度を示すことが判明した。体高 50~100 cm のアカモクについて、葉状部および主枝葉状部の藻重量に対する平均重量パーセント (27% および 13%) から、それぞれの鉄含量を算定すると、総鉄含量に対して葉状部には 45%、主枝葉状部には 36% が含有されていることになる。

以上の結果からアカモク中の鉄濃度は、アカモク体を構成する各器官の構成比の大小によつて主に支配されることが考えられた。特に主枝葉状部は、鉄の含量が非常に高いことから生長に伴う主枝葉状部の形成および脱落の程度がアカモク中の体内鉄濃度の変動を十分に支配しうる役割を果たしているものと考えられた。

アカモクの主枝葉状部はその特異的な外部形態から本種最大の特徴とされている^{17,18)}が、藻体中の鉄濃度の変動に対しても特異的な役割を果たしていることが明らかになつた。さらに、主枝葉状部の生理生態学的機能、脱落機構および脱落と生長との数量的関係などを解明することにより藻体の生長と鉄代謝との関連性をより明確にすることができるものと考えられる。なお Fig. 6 は、1977年

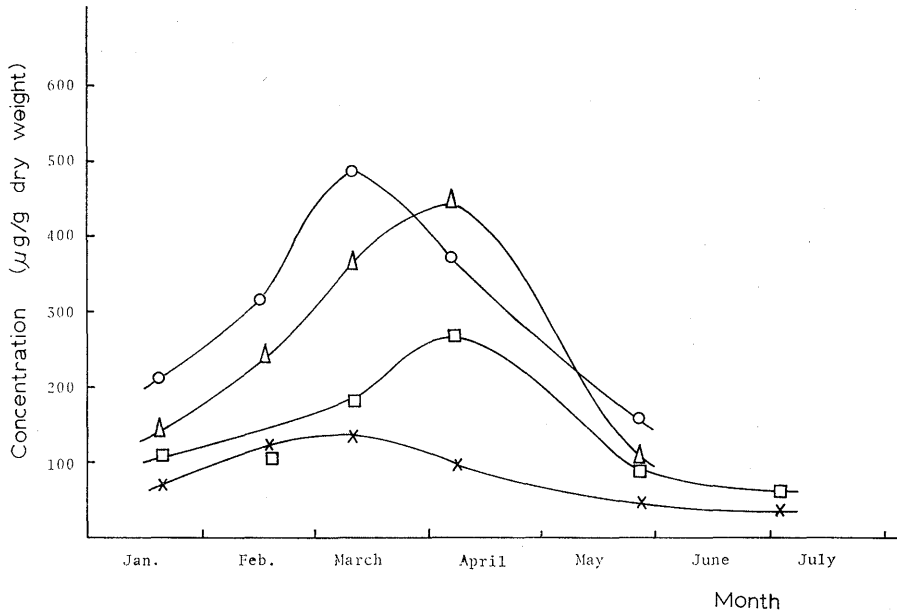


Fig. 6. Seasonal variation of concentration of iron in *Sargassum horneri* with different body sizes.

○—○ 0~50 cm, △—△ 100~150 cm, □—□ 100~150 cm, ×—× 150~300 cm.

1月から7月にかけて採取したアカモクについて各生長段階群別に平均鉄濃度を求め、群別鉄濃度と季節との関係について調査した結果を示したものであるが、いずれの時期においても生長段階の低いアカモクほどより高い鉄濃度を示しており、春季以外の季節でも生長に伴う濃度変動は、以上述べてきた形態変化で十分説明できるものと思われる。各生長段階のアカモクはいずれも春期に最高濃度を示すような季節変動が観察され、この結果は前報¹¹⁾と一致するが、各生長段階における濃度差は春期において顕著であるのに対し、冬期および夏期ではその差異は小さい。季節変化に伴う群別濃度差の大小の推移の原因には、形態変化だけでなく、代謝活性の相違等の他の要因が関与していることが考えられ、この点に関する解明は今後の研究課題としたい。

以上アカモクの生長に伴う鉄元素の濃度変動とその変動要因について述べてきたが、1) 藻類の生体中での鉄の生化学的役割、2) 海水中での鉄の存在形態、および藻類の利用している化学種、3) 鉄の細胞内分布等が解明されれば鉄の金属代謝と藻類の生長との関係がより明確に解明されるものと考えられる。

文 献

- 1) 殖田三郎・岩本康三・三浦昭雄：水産植物学，恒星社厚生閣，東京，1967，pp. 74-93.
- 2) C.R. FORRESTER and K.S. KETCHEN: *J. Fish. Res. Board Can.*, **29**, 1487-1490 (1972).
- 3) F.A. CROSS, L.H. HARDY, N.Y. JONES, and R.T. BARBER: *J. Fish. Res. Board Can.*, **30**, 1287-1291 (1973).
- 4) 鈴木輝明・畑中正吉：日水誌，**40**，1173-1178 (1974).
- 5) 森田啓次郎・松永和義・石田立夫：岡山県環境センター年報，No. 1，125-128 (1977).
- 6) C.R. BOYDEN: *Nature*, **251**, 311-314 (1974).
- 7) C.R. BOYDEN: *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **57**, 675-714 (1977).
- 8) G.W. BRYAN, G.W. POTTS, and G.R. FORSTER: *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **57**, 379-390 (1977).
- 9) G.W. BRYAN and H. UYSAL: *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **58**, 89-108 (1978).
- 10) G.W. BRYAN and L.G. HUMMERSTONE: *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **58**, 401-419 (1978).
- 11) 石井紀明・鈴木浜治・小柳 卓：日水誌，**44**，155-162 (1978).
- 12) 中庭正人：日本生態学会誌，**19**，222-225 (1969).
- 13) 久保伊津男・吉原友吉：水産資源学，共立出版，東京，1969，pp. 29-35.
- 14) 中西 孝・桑谷幸正・加畑裕康：北海道区水産研究所報告，**40**，32-37 (1974).
- 15) 千葉県水産試験場編：大規模増殖開発事業調査結果報告書（昭和 50，51 年度），36-41 (1977).
- 16) 吉田範秋：長崎県水産試験場研究報告，No. 1，13-18 (1975).
- 17) 遠藤吉三郎：The Fucaceae of Japan 東京帝国大学，理科紀要，**21**，1907，pp. 74-79.
- 18) 岡村金太郎：日本海藻誌，内田老鶴園新社，東京，1974，p. 328.