

資 料

## 発酵原料としての利用を視野とした 海藻草類の収集と成分調査

三好達夫<sup>\*1</sup>・内田基晴<sup>\*1</sup>・金庭正樹<sup>\*2</sup>・吉田吾郎<sup>\*1</sup>

### Collection and Component Analysis of Aquatic Plants with a Scope for Fermentative Utilization

Tatsuo MIYOSHI, Motoharu UCHIDA, Masaki KANENIWA, and Goro YOSHIDA

A total of 107 samples of aquatic plants including 86 seaweeds, 17 seagrasses, one freshwater plant, and three microalgae were collected, and their biochemical components were analyzed with physical properties related with pretreatment and processing. For the component analysis, proximate and sugar analysis were conducted with a scope to promote fermentative utilization of aquatic plants. Mean value of moisture was 87.2%, and proximate components on dry basis were 16.2% protein, 56.1% carbohydrate, 1.8% lipid, 25.5% ash, and 43.5% dietary fiber, respectively. Macroalgae, seagrass and freshwater plants were rich in carbohydrate (57.0%), while microalgae were rich in protein (48.2%) and lipid (7.9%). Mean values of total and reducing sugars quantified based on colorimetric methods for acid and enzymatic hydrolysate of all 107 samples were 33.1% and 10.6%, respectively, while the total sugars in red algae were 41.2% on average and the highest among the groups. Mean values of sugar components were 7.3% for glucose, 5.7% for galactose, and 3.7% for mannitol/mannose, respectively, for acid hydrolysate of all 107 samples. The sum of glucose and galactose, both suitable substrates for microbial fermentation, was 12.8% for all 107 samples, while that of red algae was 30.4%, the highest among the seaweed groups. This suggests the highest quantity of fermentation products such as ethanol will be obtained from red algae.

2012年12月11日受付, 2013年5月22日受理

近年, 二酸化炭素の排出量を減らし, 地球温暖化の進行を抑制する観点から, バイオマス資源の活用を重視した循環型社会の構築の必要性が叫ばれている。しかし, 国土が狭い日本では, 利用可能な陸生バイオマス資源の量は限られている。一方, 日本は四方を海に囲まれ, 排他的経済水域の面積からいけば世界で6番目の広さを有している。このことから, 広い海面から得られる海産バイオマス資源の有効活用が, 注目されている<sup>1)</sup>。エネルギーフローに着目した研究では, 地球全体に入射する太

陽エネルギーから得られる植物純一次生産量は, 陸上で1580EJ/年 (EJ=10<sup>18</sup>J), 海洋で1010EJ/年であると見積もられている<sup>2,4)</sup>。即ち, 海洋における植物純一次生産量は, 陸上の2/3程度であるが, 陸上ではその49% (769EJ/年) が, 既に人間により直接あるいは間接的に利用されているのに対し, 海洋では4% (37.5EJ/年) しか利用されていないと見積もられている<sup>1,4)</sup>。また, 1994年度の世界の海藻生産量は, 乾物換算で約200万t (湿重量換算で760万t) 以上と推定されているが, 中国でのコン

\*1 独立行政法人水産総合研究センター 瀬戸内海区水産研究所

〒739-0452 広島県廿日市市丸石2-17-5

National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency (Maruishi, Hatsukaichi, Hiroshima 739-0452, Japan)

uchida@affrc.go.jp (corresponding author)

\*2 独立行政法人水産総合研究センター 中央水産研究所

ブ類の養殖と東南アジアおよび南米での紅藻類の養殖が盛んになったことによって、1984年からの10年間で世界の海藻生産量が2倍に増大したことが知られている<sup>5,6)</sup>。これらのことから、海産植物資源の生産量と利用可能な量とは、陸上植物資源のそれらと比べ、まだ伸び代を残していると考えられる。その他、コンブ類の純生産量は17.5t/ha/年とされ、これはサトウキビなど陸上作物の同生産量5~10t/ha/年に比べ2~3倍も高いとする報告もあり、単位面積当たりの生産量という観点からも、海藻資源は注目されている<sup>7)</sup>。

世界の海藻生産量の内訳を概観すると、1994年度のデータで、その52%は養殖によって生産され、緑藻類の場合で74%、紅藻類の場合で22%、褐藻類の場合で82%を養殖生産量が占めている<sup>6)</sup>。養殖生産量を海藻の種類からみると、多い順にコンブ類が68万t、ノリが13万t、ワカメが10万t、オゴノリが5万tとなっている<sup>6)</sup>。日本で生産されている海藻の主なものとしては、乾燥重量でノリが6万t、コンブ類3.2万t、アオサ・アオノリ類0.4万tで、総生産額でみると、4200億円となっている<sup>6)</sup>。さらに、未だ産業利用されていない天然海藻資源を含めればさらに大きな量の資源が潜在的に存在していると考えられる。また海藻は、一般に陸地に近い浅海域で収穫されているが、将来、栄養塩の低さの問題等を解決して外洋での栽培・養殖が可能になれば、作物としての資源量が飛躍的に増加する可能性もある<sup>1)</sup>。

海藻資源の利用に関しては、食品、飼料、肥料、化成等の広範囲な分野での利用がこれまでなされてきた。しかし、アルギン酸産業に代表される一部の化成分野を除けば、海藻類は全体的には、ほとんど加工処理をされず、そのままに近い形で利用されているのが現状である。従って、海藻類の新たな加工法を検討することで、その産業的利用価値が高まると期待される。とりわけ海藻を発酵させて利用している事例はエネルギー分野でわずかに見られるのみであり、このことから藻類発酵産業という大きな産業分野が潜在的に眠っていると考えられる<sup>8)</sup>。

海藻を発酵させて利用する分野では、第一次オイルショックを契機として海藻をメタン発酵させてエネルギー源として利用する研究が、1980年代に米国を中心に精力的に行われた<sup>9)</sup>。近年になり、地球温暖化抑制の観点から、海藻からメタンエネルギーを得ることに再注目した研究も行われているが<sup>10)</sup>、全体的には、化石燃料を使用する場合と比較しての経済的コストの理由から、インドなど一部の発展途上国での事例を除いてこれまで実用化が見合わせられているのが現状である。一方、海藻資源を発酵させて食品や食料生産に利用する研究は、これまでほとんど検討されておらず、製品化もなされていない。しかし、近年、海藻資源も糖化処理を行うことで、乳酸発酵やエタノール発酵の原料として使用することが可能であることが示され<sup>11-16)</sup>、エネルギー分野だけ

でなく高付加価値化が望める食品分野での利用が期待され、これらを合わせて海藻発酵産業或いは、微細藻資源も対象に含めた藻類発酵産業という大きな産業分野を創出するものとして注目されている<sup>12,17,18)</sup>。

海藻の発酵技術の開発を推進するには、発酵の基質となる藻体の成分情報を把握しておく必要がある。藻体成分の特徴としては、まず陸上植物と比較して、水分含量が高いことが挙げられる。次に乾物としての一般成分では、糖質が主成分であり、とりわけ藻体を形作る構造多糖の割合が高い。しかし、藻体に主成分として含有される構造多糖は、陸上植物の糖質と大きく異なると考えられるが、産業利用されている一部の海藻を除き、糖質成分の種類と含量に関する情報は乏しい。発酵学の観点からは、藻体に含有される糖質のうち、どのような糖質が発酵の基質となり易く、どのような糖質がなり難いかという情報やそれらの糖質がどのような海藻にどれくらいの量として含まれているかという情報が有用であるが、これらの点が充分整理されていないのが現状である。例えば、海藻類をバイオエタノール生産の原料とすることに近年関心が集まっているが、海藻類からのバイオエタノールの生産可能性を試算する目的にも、これらの成分情報が必要とされている。

これらのことを踏まえ、本研究では、まず海藻類を中心として、海草類、淡水藻類、微細藻類も含めて、水圏植物試料107点を収集した。次に、収集した水圏植物試料について、前処理に関わる特性調査と成分調査を行った。成分調査は、水圏植物試料に発酵処理を加えて利用する観点から、発酵の基質として重要な糖質成分に重点を置いて分析を行った。

## 材料と方法

**海藻収集および形態分類** 海藻の成分調査のため、褐藻類30試料、紅藻類23試料、緑藻類33試料、海草類17試料、水草類1試料および微細藻類3試料の計107試料を収集した(表1)。藻体試料には藻体が収集された順番で収集番号を付け、さらにこれを海藻グループおよび属グループごとに並び替えて整理番号を付けた。このうち97試料は主に広島県下の沿岸環境より生藻体を採集した。ワカメ(2試料、整理No.29および30)、整理No.3アスコファイラム、整理No.10ダーピリア、レツソニア(2試料、整理No.15および16)およびマクロキスティスは、国内海藻輸入業者(神協産業)を通じて外国産のものを乾燥粉末の状態で購入した。微細藻3試料は、水産初期飼料として市販されているものを購入した。藻体は、生試料の場合は1kg、乾燥試料の場合は100gを目安として収集した。採集した海藻は、形態観察の結果に基づいて簡易同定し、種名を付した。

**藻体の洗浄と乾燥処理** 採集した生藻体は、水道水で洗

浄しながら、附着生物と泥を手で除去し、ざるに入れて5分以上水切りを行った後、湿重量を測定した。藻体はシート状（縦40cm x 横30cm x 厚約3cm）に成型し、-70℃で凍結した後、凍結真空乾燥装置（ULVAC, DF-03H）を用いて乾燥を行った。乾燥の前後で重量を測定し、生藻体の水分含量を求めた。

**藻体の原料特性評価** 藻体の集め易さの指標として定義した収集適性は、養殖（栽培）されているかもしくは外国より輸入され市販されており、大量入手が容易である藻体をS、本研究において藻体1kg（湿重量）の収集が、1人10分以内の採集作業により可能であったものをA、1人10分以上30分未満の作業で可能であったものをB、1人30分の作業で達成できなかったものをCとした。藻体の乾燥し易さの指標として定義した乾燥適性は、シート状の凍結藻体（約500g x 2枚）の乾燥処理が上記凍結乾燥装置により48時間以内に完了したものをA、乾燥が完了しなかったものをBとした。なお凍結乾燥する際には、凍結状態の藻体ブロックをハンマーで1辺が10cm角以下になるまで細かく破碎して乾燥棚にのせて乾燥させた。保水率を求めるために、陶器製の蒸発皿に藻体粉末0.1gと蒸留水0.5gを収容し、十分に水分を吸収させた後、恒温器中で60℃、1時間の乾燥を行った。藻体の保水性に関する指標として定義した保水力は、乾燥後の重量が50%（0.3g）以上の場合をA、40%以上50%未満の場合をB、30%以上40%未満の場合をC、30%未満の場合をDとした。藻体の粉碎し易さに関する情報を数値化するために、まず乾燥藻体全量を野菜カッター（Panasonic, MK-K48P-W）で目合い2mmの篩を通過する大きさまで粉碎した。一部の藻体の場合で、2mmの篩上に粉碎され難い粒子が少量残存する場合には、これを廃棄したが、廃棄した分量が藻体全重量の3%以下になるまで粉碎操作を繰り返した。次に目合い2mmを通過した試料を目合い0.5mmの篩にかけ、全重量（0.5mm通過画分+同非通過画分）に対する0.5mm通過画分の重量分布（%）を求めた。粉碎適性は、重量分布（%）が、70%以上の場合をA、20%以上70%未満の場合をB、20%未満の場合をCとした。英文字記号で表記した原料特性評価値の平均値の算出は、記号S、A、B、C、Dに対して各々0、1、2、3、4の数値を割り振り、これらの数値を用いて平均値を計算した。平均値の四捨五入値から各海藻グループの平均の原料特性評価値を得た。

**ITS領域遺伝子解析** 紅藻類と緑藻類については、Internal Transcribed Spacer (ITS) 領域の遺伝子解析を行った。緑藻33試料および紅藻23試料の藻体粉末5mgを各々100粉末のTEバッファー（10mM Tris-HCl, 1mM EDTA, pH8.0）に懸濁し、55℃、60分および95℃、15分の熱処理を行い、藻体のtotal DNAを抽出し、鋳型

DNAとした。Polymerase Chain Reaction (PCR) による遺伝子増幅に用いるプライマーは、緑藻の場合には18S1505-ITS1（フォワード、5'-TCTTTGAAACCG-TATCGTGA-3'）<sup>19)</sup>およびENT26S-ITS2（リバース、5'-GCTTATTGATATGCTTAAGTTCAGCGGGT-3'）<sup>19)</sup>を用い、紅藻の場合にはITS-f-Porphyra（フォワード、5'-GGGATCCGTTTCCGTAGGTGAACCTGC-3'）<sup>20)</sup>、ITS-f-Gracilaria（フォワード、5'-GTGAACCTGCG-GAAGGATC-3'）<sup>20)</sup>およびITS-r-redalgae（リバース、5'-GGGATCCATATGCTTAAGTTCAGCGGGT-3'）<sup>20)</sup>を用いた。DNAポリメラーゼはEx Taq（タカラバイオ）を使用し、PCR増幅はMyCycler（BIO-RAD）を使用して行った。PCRの増幅条件は、緑藻の場合で、熱変性：94℃、2.5分間を行った後、熱変性：94℃、40秒間、アニーリング：54℃、40秒間、伸長：72℃、1分間を35サイクル行った後、最後に72℃、5分間の反応を行った。紅藻の場合には、熱変性：94℃、2.5分間を行った後、熱変性：94℃、40秒間、アニーリング：56℃、40秒間、伸長：72℃、1分間を35サイクル行った後、最後に72℃、5分間の反応を行った。アガロースゲル電気泳動で増幅が確認されたPCR産物は、緑藻は18S1505-ITS1を、紅藻はITS-f-PorphyraもしくはITS-f-Gracilariaをプライマーとして、BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit（Applied Biosystems）により蛍光標識反応を行い、3730xl DNA Analyzer（Applied Biosystems）を使用して塩基配列の決定を行った。得られたITS領域の塩基配列は、波形データの信頼性を目視により確認し、問題が認められなかったものについて、核酸塩基配列統合データベース（DDBJ-EMBL-GenBank, DDBJ:DNA Data Bank of Japan）に対して、Basic Local Alignment Search Tool（BLAST）検索を行い、同一性%（一致した塩基数/比較した全塩基配列数x100）の最も高い登録配列名を記載した。なお、本研究で得られたITS領域の塩基配列情報はDDBJに登録し、アクセッション番号を記載した。

**一般成分および食物繊維分析** 一般成分の分析は、「五訂増補 日本食品標準成分表分析マニュアル」<sup>21)</sup>に準拠して行った。タンパク質は、ケルダール法（タンパク質換算係数6.25）、脂質は、エーテルを溶剤としたソックスレー抽出法、灰分は550℃、3時間の灰化法、炭水化物は、算出法（炭水化物=100-(水分+たんぱく質+脂質+灰分))により分析した。食物繊維は、酵素・重量法（プロスキー変法）により分析した。即ち試料1.0gを0.08Mリン酸バッファー（pH6.0）50mLに懸濁し、耐熱性 $\alpha$ 熱アミラーゼ処理（95℃、30分間）、水酸化ナトリウムによる中和（pH7.5）、プロテアーゼ処理（60℃、30分間）、塩酸添加（pH4.3）およびアミログルコシダーゼ処理（60℃、30分間）を行った。さらに4倍量の95%エタノールを加えて1時間放置した後、ろ過（ろ紙No.2G2）および脱脂処理（アセトン洗浄）を行

い、乾燥残渣を評量した。

### 藻体の糖化処理

各藻体粉末試料を 1.0g ずつ 3 本ずつスクリーキャップ付ガラス試験管（直径 16mm）に入れ、15mL の 3% (v/v) 硫酸を添加して混合した。この藻体懸濁液を、キャップを僅かに緩めた状態でオートクレーブ（121℃、1 時間）、加水分解を行った。得られた加水分解試料は、少量の 80% (w/v) NaOH 溶液および 10N HCl 溶液で pH4.5-7.6 の範囲となるように中和し、中和操作のために添加した液量が合計 1mL になるよう蒸留水を添加して酸糖化液とした。得られた酸糖化液から、酸糖化後の糖質の分析用に 1mL を分取した。残りの酸糖化液には 1mL の 15% (w/v) 濃度セルラーゼ溶液（ヤクルト薬品工業、セルラーゼ 12S, 12000units/g）を添加し、キャップを閉めて試験管を水平にして 50℃、16 時間（60rpm 往復振とう）の酵素糖化を行い酸・酵素糖化液を得た。

**全糖量測定** 全糖量の測定はフェノール硫酸法<sup>22)</sup>を用いた。藻体粉末の酸・酵素糖化液を 1mL 分取し、遠心分離した（6710 x g, 15 分間）。遠心上清を 50-250 倍に希釈し、全糖量の測定用試料とした。ガラス試験管に 0.5mL の試料、0.5mL の 5% (w/v) フェノールおよび 2.5mL の硫酸を添加し、ボルテックスミキサー上で混合し、20 分反応させた。マイクロプレートに反応液を 200  $\mu$ L 分取し、マイクロプレートリーダー（Perkin Elmer, Wallac 1420 ARVO SX）を用い、波長 490nm で吸光度を測定した。ここで得られた全糖量は、糖化液が 16mL 容積で調製された後、1mL を分取されて 15mL に減じた試料について得られた値であるので、補正のため得られた数値に 16/15 を乗じて算出した。既定濃度のグルコース標準液の測定結果に基づいてグルコース換算値として表した。

**還元糖量測定** 還元糖量の測定はソモギ・ネルソン法<sup>23)</sup>を用いた。藻体粉末の酸・酵素糖化液を遠心分離（6710 x g, 15 分間）し、上清を蒸留水で 5-10 倍に希釈した。ガラス試験管に 0.5mL の酸・酵素糖化液希釈液および 0.5mL の銅試薬（無水炭酸ナトリウム 24g, 酒石酸ナトリウムカリウム 4 水和物 12g, 10% 硫酸銅水溶液 40mL, 炭酸水素ナトリウム 16g, 無水硫酸ナトリウム 18g, 蒸留水で 1 リットルに調製）を添加し、ボルテックスミキサー上で混合した。ビー玉で試験管の蓋をした状態で、混合液を沸騰水中で 30 分間煮沸した。冷却後の混合液に 250  $\mu$ L 冷却のヒ素モリブデン液（モリブデン酸アンモニウム 4 水和物 25g, 濃硫酸 21mL, 結晶第二ヒ酸ナトリウム 3g, 蒸留水 475mL）および 5mL の蒸留水を添加し、ボルテックスミキサー上で混合し、反応させた。反応液は還元糖と同様の手順により波長 490nm で吸光度を測定し、得られた数値に 16/15 を乗じ、グルコース

換算値として表した。

**グルコース測定、ガラクトース測定** グルコース量およびガラクトース量は F-キット D-グルコース（Roche）および F-キット 乳糖/D-ガラクトース（Roche）を用いて酵素法により測定した。藻体粉末の酸・酵素糖化液の遠心（6710 x g, 15 分間）上清を 5-20 倍希釈し、製品説明書に示された方法に従い、分光光度計（日立製作所、HITACHI 320 Spectrophotometer）を用い、波長 340nm でグルコース量およびガラクトース量を定量した。この定量結果に前述と同じ理由により 16/15 を乗じてグルコース量およびガラクトース量を算出した。

**中性糖分析** 藻体の中性糖組成の分析は、糖質を酸分解した後、アルジトールアセテート誘導体<sup>24)</sup>にして、ガスクロマトグラフィーで分析した（n=1）。まず、藻体粉末を、110℃で一晩再乾燥させた。この乾燥藻体粉末 0.5g をビーカーにとり、5mL の 72% (w/w) 硫酸を加え、1 時間放置した。次に 250mL 容メスシリンダーに定量的に移し、蒸留水で 150mL に定容した後、オートクレーブにて 121℃、60 分加水分解を行った。放冷後、フィルター（GF/C）でろ過し、ろ液を回収した。さらに少量の蒸留水でビーカーを 1 回洗い込み、洗液をろ液と合わせた。このろ液に内部標準物質溶液（イノシトール 10mg/mL）を 1mL 添加した後、試料液 50mL 程度を 100mL ビーカーにとり、飽和水酸化バリウム溶液で中和した。pH 試験紙で pH5.5-6.5 であることを確認した後、遠心分離し（1210 x g, 15 分間）、GF/C でろ過して水酸化バリウムを除去した。このろ液 20mL を 100mL 容ナス型フラスコにとり、水酸化ホウ素ナトリウム約 70mg を添加して 2 時間放置し、糖を糖アルコールに還元した。還元処理後の試料にドラフト内で酢酸をパスツールピペットで水素の泡が出なくなるまで滴下して中和した後、ロータリーエバポレーター（60℃）で酢酸、水を除去し、さらにメタノールを加えながら繰り返し蒸留して乾固した。これに無水酢酸 4mL を加え、オープンで加熱（120℃、1 時間）した後、上清をシリンジフィルター（PTFE, 0.45  $\mu$ L 上清）でろ過し、ガスクロマトグラフィーで分析した。ガスクロマトグラフィー分析は GC-17A（Shimadzu）を使用し、注入口・検出器温度 275℃、カラム昇温条件 175℃（1 分間）、175-240℃（8℃/分）、240℃（1 分）、240-265℃（8℃/分）、265℃（12 分間）で行った。カラムは Rtx-2330（Restec, 0.32mm 内径 x 15m 長）を使用した。本分析法ではマンノースとマンニトールは、同じ誘導体分子となり区別しての分析が出来ないため、マンノース・マンニトール合計値として表記した。

## 結 果

**藻体の試料情報および収集適性** 本研究で収集した藻体107試料の整理番号、収集番号、試料名（主に和名で表記）、学名、分類グループ名、採集場所、採集日（採集日が不明の場合は、試料の入手日を括弧付けで記載）、生藻体の収集適性を表1に示す。種名は、形態的特徴をもとに判定した暫定的なものとして示した。特にオゴノリ類およびアオサ類は、形態的特徴による種名判定が困難であり、また収集した試料に複数の種が含まれる可能性もあるため、各々 *Gracilaria* spp. および *Ulva* spp. とした。有効利用についての関心が特に高いアオサ類については、地域や季節変化による成分情報の違いに関する情報を得るため広島県内の2定点を中心として、複数年・複数回の収集を行った。個別項目の評価結果をみると、収集適性については、比較的大量の藻体を収集し易いことを示すSおよびAとされた藻体は、107試料中各々22試料および74試料であり、収集適性がBおよびCとされた藻体は、各々8試料および3試料であった。ただし、今回の収集適性は、107試料のうち50試料が広島県下の特定海域で収集した実績を基にした評価であり、調査点が異なれば評価が異なってくる場合が考えられる。具体的にはマクサ（紅藻類）は、今回の調査では、収集特性がCと評価されたが、寒天原藻としての収集が行われている海域では、高頻度で海域に分布しており、Aと評価されるべき種である。収集適性を、記号点（S, A, B, C）を数値点（0, 1, 2, 3）に変換して求めた平均値でみると各海藻グループともAと判定された。個々の藻体が大型でかつ群落を形成する褐藻類や海岸線付近で大量繁殖し、漂着により集積して分布するアオサ類は、大量収集がA評価の中でもとりわけ容易であった。一方、紅藻類は、オゴノリ類や養殖種であるスサビノリ（板海苔）など一部の例外を除くと、群落が中・小規模で、かつ複数の種がキメラ状に分布することが多く、収集適性がBもしくはCと評価される種が目立った。今回の調査では、収集が容易で、かつ市場価値が小さい種としては、アオサ類が代表的なものとして挙げられた。

**水分含量、乾燥適性、保水力、粉碎適性** 生藻体試料の水分含量（%）、乾燥適性（凍結乾燥処理のし易さ）、保水力（飽和吸水後の乾燥し難さ）、重量分布（<0.5mm画分の重量割合%）および粉碎適性（<0.5mm以下の微小粒子画分の調製し易さ）を表1に示す。

水分含量（%）は、全試料、褐藻類、紅藻類、緑藻類、海草類および微細藻類の平均値で、各々87.2、85.5、88.2、89.2、86.5および78.5%であった。微細藻類の水分がわずかに低いものの、海藻草類の平均水分は、85.5-89.2%の範囲にあり概ね同程度であった。収集した試料

の中で水分が高いものは整理No.54フサイワズタ（96.3%）、整理No.56スジアオノリ（96.6%）および整理No.55ミル（95.0%）で、いずれも緑藻類であった。一方、水分含量が低いものは微細藻類の整理No.107ナンクロロプシス（65.6%）であった。なお、本調査では、藻体表面に付着した水分を紙タオル等で拭き取りするなどの処置はせず、ザル上での統一条件での水切り操作だけで秤量を実施したため、スジアオノリのような細かい繊維状の藻体や、アオサ、フクロノリのようなシート状の藻体では、水分含量が、多少高めに評価されている可能性がある。

乾燥適性では、全試料、褐藻類、紅藻類、海草類、微細藻類の平均がA評価であるのに対し、アオサ類を主に含む緑藻類は、凍結乾燥に時間がかかり、B評価であった。個別には、整理No.11アラメ、整理No.45フダラク、整理No.46ススカケベニおよびアオサの一部で凍結乾燥に48時間以上を要し、乾燥適性がB評価とされた。これらの試料では、藻体が幅広のシート状であるため、凍結乾燥の際に、藻体中心部の水分の蒸発が行われにくいことが理由と考えられた。アミジグサは、藻体がシート状ではないが、2試料（整理No.8および9）とも乾燥適性がBとされた。これは、藻体がきめ細かいブラシ状の形態であるため、放置しただけでは、水切りが充分されず、凍結処理により藻体と藻体の間隙に氷塊が形成され、乾燥に時間がかかったためと推測された。

前述の乾燥適性は、藻体の形状的特性が大きく影響する。藻体の形状的特性に左右されない形での保水性に関する特性を評価するため、粉末状の藻体にほぼ生藻体相当の蒸留水を吸水させた後、一定の条件（60℃、1時間）で乾燥処理を行った後の藻体重量を測定し、その値を乾燥前の重量で除した値を藻体の保水力（%）として示した。保水力（%）のデータを基に定義した保水力では、B評価（乾燥処理後の藻体重量が乾燥前の40%以上、50%未満）の藻体が最も多く、59試料であった。保水力A評価（同50%以上）の試料は、褐藻類、紅藻類、緑藻類および海草類で各々2試料（整理No.1アイヌワカメ、整理No.10ダーベリア）、6試料（整理No.33シキンノリ、オゴノリ類、スサビノリ）、8試料（整理No.54フサイワズタ、アオサ類）および1試料（整理No.89コアマモ）であった。

粉碎適性は、A評価（0.5mm以下の画分が70%以上）52試料、B評価（同20%以上70%未満）44試料およびC評価（同20%未満）11試料であった。褐藻類および紅藻類では、A評価が各々9および3試料であるのに対し、B評価が各々16および17試料と多く、粉碎し難いものが多い傾向が認められた。一方、緑藻類は、C評価が1試料に対し、A評価が32試料と粉碎し易い試料が多かった。アオサ類は、藻体の組織構造が2層で、多層構造をとる褐色類に比べ薄いことが粉碎し易い理由として考えられた。

**ITS 領域遺伝子解析** 紅藻類および緑藻類のITS 領域遺伝子の解析結果を表2に示す。塩基配列の決定は、緑藻類33試料および紅藻類23試料について実施したが、塩基配列の決定に成功したのは、紅藻類1試料、緑藻類8試料であった。これら9試料については、DDBJのデータベースから最も相同性の高い報告をアクセッション番号とともに記載した。大分県中津市田尻で6月に採取された整理番号No.43オゴノリ類は、セイヨウオゴノリ *Gracilaria lemaneiformis* strain Qingdao (EU561239) と96%の同一性であった。アオサ類8試料は、*Ulva pertusa* が最近縁種とされる結果が5例と一番多かったが、外来種とみなされる *U. australis* (2例) および *U. laetevirens* (1例) と96-99%の相同性を示す例もあった。

**一般成分および食物繊維** 収集した藻体107試料の一般成分および食物繊維を表3に示す。乾物藻体100g中のたんぱく質含量は、全試料、大型藻類、褐藻類、紅藻類、緑藻類、海草類および微細藻類の平均値で、各々16.2, 15.3, 13.7, 18.4, 15.7, 13.4および48.2gで、大型藻類に比べて微細藻類のたんぱく質含量が顕著に高いことが観察された。とりわけ整理No.106淡水クロレラ(V12)は61.6gとたんぱく質含量が最も高い値を示した。紅藻類のなかでは整理No.51ササビノリ(特上)のたんぱく質含量が51.5gと微細藻類の値に匹敵する高い値を示した。整理No.29ワカメ(若みどりLS, 褐藻)、整理No.31ハイウスバノリ(紅藻)および整理No.85アオサ類(緑藻)の同値も、各々30.5, 31.5および32.5gと高い値であった。また、緑藻のアオサ類では、ロットにより、たんぱく質含量が7.8-32.5gと大きなばらつきを示した。季節変化でみると、阿品産のアオサ類のたんぱく質含量が、2009および2010年ともに6月に低くなっていること(整理No.59, 7.9%, 整理No.68, 7.8%)が認められた。地御前産アオサでも、同様に2010年の6月に低くなっていること(整理No.73, 12.5%)が観察された。

脂質は、全試料、大型藻類、褐藻類、紅藻類、緑藻類、海草類、水草類および微細藻類の平均値で、各々1.8, 1.7, 2.3, 2.6, 0.8, 1.1および7.9g/100g乾燥藻体で、緑藻類および海草類には脂質が少なく、微細藻類には脂質が多い傾向が観察された。最も脂質が多かったのは整理No.36フクロノリ(紅藻)で37.0gであった。

炭水化物は、全試料、大型藻類、褐藻類、紅藻類、緑藻類、海草類および微細藻類の平均値で、各々56.1, 57.0, 56.9, 54.0, 57.2, 60.3および22.8g/100g乾燥藻体であり、微細藻類の炭水化物含量が低く、他の藻類グループの平均値は概ね同程度であった。収集した藻体107試料の中で乾燥藻体100g中の炭水化物含量が70gを超えた試料は、整理No.3アスコファイラム(褐藻)、整理No.7ヤハズグサ(褐藻)、整理No.11アラメ(褐藻)、整理No.33シキンノリ(紅藻)、整理No.47ササビ

ノリ(紅藻)、整理No.52ササビノリ(重〇6, 紅藻)、整理No.100アマモ(海草)、整理No.101アマモ(漂着海草)および整理No.104ホテイアオイ(水草)であり、各々73.3, 71.9, 71.9, 70.1, 74.1, 76.1, 71.4, 74.6および70.6gであった。

灰分は、全試料、大型藻類、褐藻類、紅藻類、緑藻類、海草類および微細藻類の平均値で、各々25.5, 25.6, 27.1, 24.6, 26.2, 23.9および21.1g/100g乾燥藻体であり、微細藻類の平均値が他の藻類と比べて小さいものの、概ねどの藻類も同程度であった。灰分が多かったのは、整理No.36フクロノリ(紅藻)、整理No.53カレキグサ(紅藻)および整理No.55ミル(緑藻)で、各々50.1, 53.2および54.2g/100g乾燥藻体であった。

褐藻類、紅藻類、緑藻類および海草類の食物繊維平均値(表3)は、各々45.7, 44.3, 40.3および44.7g/100g乾燥藻体で、非食物繊維は各々10.0, 11.2, 17.2および15.5g/100g乾燥藻体であり、食物繊維は藻体グループ間に大きな差はなく、非食物繊維は緑藻類および海草類で多い傾向が見られた。

**全糖量および還元糖量** 収集した藻体107試料の酸・酵素糖化液中の全糖量、還元糖量および全糖量に占める還元糖量の割合を表4に示す。全糖量は、褐藻類、紅藻類、緑藻類、海草類および微細藻類の平均値で、各々25.9, 41.2, 36.0, 31.4および15.2g/100g乾燥藻体で、紅藻類および緑藻類に多く、微細藻類には少ないことが観察された。紅藻類の全糖量は、整理No.32フシツナギ(紅藻)、整理No.38カバノリ(紅藻)、整理No.46ススカケベニ(紅藻)、整理No.47ササビノリ、整理No.49ササビノリ(外3)および整理No.52ササビノリ(重〇6)が各々62.0, 56.7, 56.7, 52.8, 54.6および50.3g/100gと多く、緑藻類の全糖量は、整理No.54フサイワズタが51.5g/100g乾燥藻体と多かった。さらに、整理No.17マクロキスティス(褐藻)および整理No.104ホテイアオイ(水草)も各々58.2および52.4g/100g乾燥藻体と多く、紅藻類および緑藻類以外にも全糖量の多い藻体の一部みられた。

還元糖量は、褐藻類、紅藻類、緑藻類、海草類および微細藻類の平均値で、各々10.4, 10.8, 11.1, 10.1および5.3g/100g乾燥藻体で、微細藻類には還元糖が少なく、それ以外の藻体では同程度の含量が観察された。整理No.104ホテイアオイ(水草)は還元糖量が16.4g/100gと褐藻類、紅藻類、緑藻類、海草類および微細藻類と比較して多いことが分かった。

全糖量に占める還元糖量の割合は、褐藻類、紅藻類、緑藻類、海草類および微細藻類の平均値で、各々42.3, 28.4, 31.7, 33.0および36.1%であり、全糖量が少ない褐藻類で相対的にやや高く、全糖量が多い紅藻類でやや低い値を示した。

**D-グルコース量およびD-ガラクトース量** 酵素法により測定した酸・酵素糖化液中のD-グルコース量は、褐藻類、紅藻類、緑藻類、海草類および微細藻類の平均値で、各々6.7, 9.5, 13.0, 14.5および4.4g/100g乾燥藻体であり、緑藻類および海草類のD-グルコース量が比較的多いことが観察された(表4)。しかし、整理No.11 アラメ(褐藻)、整理No.32 フシツナギ(紅藻)、整理No.38 カバノリ(紅藻)、整理No.46 ススカケベニ(紅藻)および整理No.104 ホテイアオイ(水草)のD-グルコース量は各々19.1, 20.2, 20.9, 19.2および22.7g/100g乾燥藻体であり、緑藻類および海草類以外にもD-グルコース含量が高い試料が観察された。また、同試料について酵素法により測定したD-ガラクトース量は、褐藻類、紅藻類、緑藻類、海草類および微細藻類の平均値で、各々1.0, 12.9, 1.1, 1.0および1.6g/100g乾燥藻体であり、紅藻類に突出して多量に含まれている一方、それ以外の藻体にはほとんど含まれていないことが観察された(表4)。紅藻類の中でも整理No.33 シキンノリ、整理No.34 ツノマタ、整理No.44 オゴノリ、整理No.45 フダラク、整理No.47 スサビノリ、整理No.50 スサビノリ(エビ4少)および整理No.52 スサビノリ(重○6)は各々22.6, 19.8, 18.4, 18.9, 19.6, 19.9および18.0g/100g乾燥藻体と、高いD-ガラクトース含量が観察された。D-グルコース量およびD-ガラクトース量の合計値でみると、褐藻類、紅藻類、緑藻類、海草類および微細藻類の平均値で、各々7.7, 22.4, 12.1, 15.4および6.0g/100g乾燥藻体であった(表4)。紅藻類は、緑藻類および海草類に次いでD-グルコース量が多く、さらに藻体の中で最もD-ガラクトース量が多かったため、発酵により容易にエタノールに変換できるD-グルコース量とD-ガラクトース量の合計値が最も高かった。特に、整理No.32 フシツナギ、整理No.33 シキンノリ、整理No.34 ツノマタ、整理No.37 ミゾオゴノリ、整理No.38 カバノリ、整理No.40 オゴノリ(茶)、整理No.44 オゴノリ、整理No.45 フダラク、整理No.46 ススカケベニ、整理No.47 スサビノリおよび整理No.50 スサビノリ(エビ4少)はD-グルコース量およびD-ガラクトース量の合計値が各々32.0, 33.0, 29.4, 25.3, 32.9, 27.3, 27.3, 28.3, 33.3, 26.1および26.6g/100g乾燥藻体であり、発酵基質となり易い糖質を多く含む藻体と見なされた。

**中性糖量** アルジトールアセテート法によるグルコース定量値は、褐藻類、紅藻類、緑藻類および海草類の平均値で、各々4.3, 8.1, 10.6および5.1g/100g乾燥藻体であり、紅藻類および緑藻類に多いことが示された(表5)。整理No.11 アラメおよび整理No.38 カバノリは各々20.0および24.9g/100g乾燥藻体であり、グルコース量が特に多いことが観察された。一方、ガラクトース定量値は、褐藻類、紅藻類、緑藻類および海草類の平均値

で、各々1.3, 22.2, 1.1および0.8g/100gであり、紅藻に多く含まれていることが観察された(表5)。特に整理No.33 シキンノリ、整理No.34 ツノマタ、整理No.47 スサビノリおよび整理No.50 スサビノリ(エビ4少)は、各々30.9, 29.9, 33.2および31.5g/100g乾燥藻体の高い値を示した。グルコース量およびガラクトース量の合計値でみると、褐藻類、紅藻類、緑藻類および海草類の平均値で、各々5.6, 30.4, 11.6および5.9g/100gであり、紅藻類が顕著に高いことが観察された(表5)。特に整理No.32 フシツナギ、整理No.33 シキンノリ、整理No.34 ツノマタ、整理No.37 ミゾオゴノリ、整理No.38 カバノリ、整理No.40 オゴノリ類(茶)、整理No.45 フダラク、整理No.47 スサビノリおよび整理No.50 スサビノリ(エビ4少)は各々36.8, 38.4, 37.9, 39.7, 41.7, 37.3, 35.8, 37.6および36.0g/100g乾燥藻体と高い値を示した。

マンニトールは7.4g/100g乾燥藻体と褐藻類に多く、特に整理No.1 アイヌワカメ、整理No.10 ダービリア、整理No.14 ホソメコンブ、整理No.22 ノコギリモク、整理No.23 タマハハキモクおよび整理No.24 オオバモクは、各々13.2, 17.0, 13.8, 14.1, 16.4および12.1g/100g乾燥藻体と高い値を示した(表5)。キシロースは、海藻試料間で大きな差は見られなかったが、整理No.54 フサイワズタは、27.6g/100g乾燥藻体と高い値を示した。フコースを含む海藻は、褐藻類に多く、ラムノースを含む海藻体は、緑藻類に多く見られた。リボースおよびアラビノースは、海藻の種類にかかわらず微量であった。

## 考 察

水圏植物試料の一般成分や糖質成分については、これまでも多数の報告例があるものの、統一された方法で、多数の試料を網羅的に分析して報告したものは少なく、大部分の藻体成分情報は、色々な文献中に分散して存在しているために数値を引用しにくい現状がある。その中で例外的に充実した報告としては、社団法人日本産業機械工業会が106検体の褐藻類について一般成分、粗繊維、マンニトール、アルギン酸、硫酸基、不溶性灰分、可溶性灰分等の項目で詳細に報告している<sup>25)</sup>。本研究における水圏植物試料の成分分析の特徴としては、分析試料数は全107点で、上記文献と同等ながら、褐藻類30点だけでなく、紅藻類23点、緑藻類33点、海草類17点など、比較的偏りが少なく収集している点があり、従って、各海藻グループの一般成分の代表値(平均値)を算出する目的に適している。また、前処理の際に役立つ原料特性に関する情報を提供している点も特色がある。さらに、本研究では、水圏植物資源の有効利用、特に発酵的利用を視野に入れて、糖質の分析に力点を入れているのも特色である。

原料特性(表1)としては、収集特性、水分含量、乾





表 1. つづき

85	102	アオサ類	<i>Ulva</i> spp.	緑藻	アオサ	広島県廿日市市地御前	2011/2/9	A	90.1	B	-	-	95.7	A
86	103	アオサ類	<i>Ulva</i> spp.	緑藻	アオサ	広島県廿日市市阿品	2011/2/9	A	90.1	B	-	-	97.7	B
87	74	タチアマモ	<i>Zostera caulescens</i>	海草	アマモ	神奈川県横須賀市長井	(2009/9/10)	A	84.1	A	33.7	C	23.8	B
88	27	コアマモ	<i>Zostera japonica</i>	海草	アマモ	大分県中津市田尻	2008/6/3	A	84.4	A	42.5	B	19.0	C
89	53	コアマモ	<i>Zostera japonica</i>	海草	アマモ	大分県中津市田尻	2009/3/11	A	83.5	A	51.6	A	28.1	B
90	58	コアマモ	<i>Zostera japonica</i>	海草	アマモ	大分県中津市田尻	2009/6/8	A	85.5	A	43.3	B	16.3	C
91	68	コアマモ	<i>Zostera japonica</i>	海草	アマモ	大分県中津市田尻	2009/8/20	A	81.4	A	43.3	B	56.3	B
92	79	コアマモ	<i>Zostera japonica</i>	海草	アマモ	大分県中津市田尻	2009/11/6	A	84.4	A	43.2	B	42.6	B
93	92	コアマモ	<i>Zostera japonica</i>	海草	アマモ	大分県中津市田尻	2010/7/14	A	84.9	A	34.9	C	81.6	A
94	55	アマモ	<i>Zostera marina</i>	海草	アマモ	広島県廿日市市阿品	2009/6/5	A	87.0	A	48.0	B	32.5	B
95	60	アマモ	<i>Zostera marina</i>	海草	アマモ	広島県廿日市市阿品	2009/7/15	A	87.1	A	43.5	B	33.0	B
96	67	アマモ	<i>Zostera marina</i>	海草	アマモ	広島県廿日市市阿品	2009/8/18	A	89.0	A	46.2	B	43.6	B
97	76	アマモ	<i>Zostera marina</i>	海草	アマモ	広島県廿日市市阿品	2009/9/18	A	88.6	A	38.8	C	34.3	B
98	85	アマモ	<i>Zostera marina</i>	海草	アマモ	広島県廿日市市阿品	2010/5/12	A	89.6	A	43.7	B	38.1	B
99	91	アマモ	<i>Zostera marina</i>	海草	アマモ	広島県廿日市市阿品	2010/6/24	A	87.2	A	36.1	C	66.5	B
100	95	アマモ	<i>Zostera marina</i>	海草	アマモ	広島県廿日市市阿品	2010/9/30	A	86.8	A	39.6	C	91.4	A
101	96	アマモ (漂着)	<i>Zostera marina</i>	海草	アマモ	広島県廿日市市阿品	2010/9/30	A	88.8	A	34.6	C	80.8	A
102	100	アマモ	<i>Zostera marina</i>	海草	アマモ	広島県廿日市市阿品	2010/10/26	A	89.3	A	35.5	C	90.8	A
103	49	アマモ	<i>Zostera marina</i>	海草	アマモ	広島県竹原市	2008/7/30	A	88.4	A	47.2	B	66.7	B
104	77	ホテイアオイ	<i>Eichhornia crassipes</i>	水草	ミズアオイ	東京都品川区	2009/10	A	-	-	42.8	B	92.5	A
105	107	キートセロス	<i>Chaetoceros gracilis</i>	微細藻		国内市販品	(2011/7/1)	S	93.1	A	-	-	100	A
106	108	淡水クロレラ (V12)	<i>Chlorella vulgaris</i>	微細藻		国内市販品	(2011/7/1)	S	76.7	A	-	-	100	A
107	106	ナンノクロロプシス	<i>Nannochloropsis oculata</i>	微細藻		国内市販品	(2011/7/4)	S	65.6	A	-	-	100	A
水圏植物 (海藻類、海草類、ホテイアオイおよび微細藻類) の平均 (n=107)														
海藻類、海草類、ホテイアオイの平均 (n=104)														
褐藻類の平均 (n=30)														
紅藻類の平均 (n=23)														
緑藻類の平均 (n=33)														
海草類の平均 (n=17)														
微細藻の平均 (n=3)														

収集適性

- S 養殖あるいは輸入販売されていて大量入手が容易なもの
- A 1人10分の作業で藻体1kg(湿重量)以上の収集が可能であったもの
- B 1人30分の作業で藻体1kg(湿重量)以上の収集が可能であったもの
- C 1人30分の作業で藻体1kg(湿重量)の収集が困難であったもの

乾燥適性

- A 藻体1kgの凍結乾燥が48時間以内に完了したもの
- B 藻体1kgの凍結乾燥が48時間以内に完了しなかったもの

保水力

- A 海藻粉末に5倍重量の水を添加し、60℃、1時間の乾燥処理を行った後の重量が、乾燥前の50%以上であったもの
- B 海藻粉末に5倍重量の水を添加し、60℃、1時間の乾燥処理を行った後の重量が、乾燥前の40%以上50%未満であったもの
- C 海藻粉末に5倍重量の水を添加し、60℃、1時間の乾燥処理を行った後の重量が、乾燥前の30%以上40%未満であったもの
- D 海藻粉末に5倍重量の水を添加し、60℃、1時間の乾燥処理を行った後の重量が、乾燥前の30%未満であったもの

粉砕適性

- A 2mm以下に粉砕した際、0.5mm以下画分の重量が70%以上のもの
- B 2mm以下に粉砕した際、0.5mm以下画分の重量が20%以上70%未満のもの
- C 2mm以下に粉砕した際、0.5mm以下画分の重量が20%未満のもの
- 試験せず

乾燥適性、保水力、粉砕適性の項目を設けて、特性の数値化と類別を試みたが、収集特性など各項目の評価方式にはまだ改善の余地があると考えられた。一方、粉砕適性の項目では、アオサなど手で簡単に破砕できる水圏植物試料が高い値(74.6-98.9%)を示し、レソソニアなどの多層構造の水圏植物試料が低い値(4.2%, 5.2%)を示すなど、経験値として認識している水圏植物試料の組織の堅さとよく合致する数値評価ができた。従って、食品加工の分野でよく検討される粉末加工の際に大いに参考となる情報が得られたと考えられる。なお、水圏植物試料の乾燥粉末を調製する際、1mm目合い以下の規格で調製するのは、半数位の試料で困難であったが、2mm目合い以下の規格に調製するのは、全ての試料で容易であった。

今回収集された水圏植物試料のうち、特にオゴノリ類とアオサ類は、形態的特徴だけからの同定が困難であったため、ITS領域の遺伝子配列を決定し、系統分類学的

情報として添付しておくことを考えた。オゴノリ類6試料とアオサ類30試料について、塩基配列の決定を試みたが、配列の決定に成功したのは、オゴノリ類1例とアオサ類8例の合計9例だけであった(表2)。塩基配列の決定がうまく行われなかった理由としては、海藻由来成分によるPCR増幅の阻害によりPCR産物自体が得られなかった事例、およびPCR産物は得られたものの海藻粉末試料中への他の海藻類や微細藻類の混入により信頼できる波形のシーケンスデータが得られなかった事例が考えられた。決定された塩基配列の検索結果から、廿日市市内の2か所の周年アオサ類の成育が観察される場において、いずれも秋季から冬季にかけてはアナアオサ型(*U. pertusa*)が優占するのに対し、夏季(6-8月)には、外来種と見なされるアオサ類(*Ulva australis*他)に遷移することが示唆された。この結果は、冬季に*U. pertusa*が優占し、夏季に他種(*Ulva* spp.)が優占とする過去の知見と符合する<sup>26)</sup>。また、中津市での1

例だけの知見であるが、オゴノリ類についても、外来種の塩基配列が観察された。同種もしくは近縁な海藻でも、種が異なれば成分が異なることも考えられるため、形態的特徴の乏しい海藻種の成分情報を収集する場合に

は、系統分類学的情報を与えることができる塩基情報を添付することが好ましいと考えられた。

一般成分の結果（表3）からでは、アオサ類のたんばく含量が6月前後に低くなることが観察された。この理

表2. 緑藻類および紅藻類の ITS 遺伝子の塩基配列の決定と相同性検索の結果

整理 No.	検体名	種類	アクセッション番号	検索により最近縁種とされた塩基配列	同一性 (%)	E-value
43	オゴノリ類	紅藻	AB700666	<i>Gracilaria lemaneiformis</i> strain Qingdao (EU561239)	96% (59bp/61bp)	2e-17
60	アオサ類 (阿品2009年7月)	緑藻	AB700667	<i>Ulva australis</i> voucher LK-031 (EU933982)	97% (264bp/271bp)	e-128
61	アオサ類 (阿品2009年8月)	緑藻	AB700668	<i>Ulva australis</i> voucher LK-031 (EU933982)	98% (265bp/269bp)	e-136
63	アオサ類 (阿品2009年10月)	緑藻	AB700669	<i>Ulva pertusa</i> isolate SDF30 (HM584747)	97% (230bp/235bp)	e-109
67	アオサ類 (阿品2010年5月)	緑藻	AB700670	<i>Ulva pertusa</i> isolate SDF30 (HM584747)	98% (185bp/188bp)	4e-93
72	アオサ類 (地御前2010年5月)	緑藻	AB700671	<i>Ulva pertusa</i> isolate SDF30 (HM584747)	97% (223bp/228bp)	e-102
73	アオサ類 (地御前2010年6月)	緑藻	AB700672	<i>Ulva laetevirens</i> voucher LK-049 (EU933989)	96% (537bp/558bp)	0.0
74	アオサ類 (地御前2010年9月)	緑藻	AB700673	<i>Ulva pertusa</i> isolate SDF30 (HM584747)	96% (160bp/165bp)	6e-73
86	アオサ類 (阿品2011年2月)	緑藻	AB700674	<i>Ulva pertusa</i> isolate SDF30 (HM584747)	99% (183bp/184bp)	4e-93

表3. 海藻の一般成分分析の結果

整理 No.	検体名	種類	たんばく質	脂質	炭水化物	灰分	食物繊維	非食物繊維
			g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g
1	アイヌワカメ	褐藻	14.5	0.7	62.3	22.5	42.4	19.9
2	マツモ	褐藻	17.5	5.2	48.2	29.1	34.0	14.2
3	アスコファイラム	褐藻	5.3	2.4	73.3	19.0	57.5	15.8
4	ツルモ	褐藻	6.4	2.2	44.5	46.9	-	-
5	スジメ	褐藻	14.7	0.9	45.7	38.8	38.4	7.2
6	ウガノモク	褐藻	15.3	1.7	50.8	32.1	38.5	12.3
7	ヤハズグサ	褐藻	9.2	0.9	71.9	17.9	66.5	5.4
8	アミジグサ	褐藻	20.8	4.3	49.0	25.9	41.6	7.4
9	アミジグサ	褐藻	14.8	6.4	66.1	12.8	54.5	11.6
10	ダーピリア	褐藻	10.6	0.9	66.8	21.7	56.0	10.8
11	アラメ	褐藻	14.9	0.9	71.9	12.3	-	-
12	マコンブ (間引き)	褐藻	13.0	0.1	39.1	47.8	25.2	13.9
13	マコンブ (ガニ足)	褐藻	12.0	0.2	57.9	29.8	-	-
14	ホソメコンブ	褐藻	10.4	0.7	55.5	33.4	40.0	15.5
15	レッソニア	褐藻	11.0	0.0	55.4	33.6	49.3	6.1
16	レッソニア	褐藻	10.2	0.2	63.9	25.6	61.1	2.9
17	マクロキステイス	褐藻	10.6	0.1	49.5	39.8	39.0	10.5
18	ヒジキ	褐藻	11.7	0.8	52.7	34.8	-	-
19	ヒジキ	褐藻	11.7	0.8	52.7	34.8	-	-
20	イソモク	褐藻	13.2	0.9	61.1	24.8	-	-
21	ノコギリモク	褐藻	9.0	6.2	63.5	21.3	57.0	6.4
22	ノコギリモク	褐藻	9.7	6.8	65.0	18.4	-	-
23	タマハハキモク	褐藻	16.0	1.6	46.7	35.7	35.8	10.9
24	オオバモク	褐藻	11.7	1.0	64.2	23.2	-	-
25	ウスバノコギリモク	褐藻	10.7	8.6	65.5	15.2	52.2	13.4
26	コモングサ	褐藻	16.9	5.2	65.3	12.6	-	-
27	ワカメ (メカブ除外)	褐藻	18.9	1.4	50.3	29.3	40.7	9.6
28	ワカメ (メカブ)	褐藻	14.8	4.6	51.6	28.9	41.4	10.2
29	ワカメ粉末 (若みどりLS)	褐藻	30.5	1.2	51.9	16.4	49.2	2.7
30	ワカメ粉末 (若みどり)	褐藻	24.9	2.5	43.2	29.3	40.3	2.9
31	ハウスバノリ	紅藻	31.5	0.3	48.1	20.1	-	-
32	フシツナギ	紅藻	10.0	1.2	61.0	27.8	48.3	12.7
33	シキンノリ	紅藻	8.5	0.9	70.1	20.4	61.3	8.8
34	ツノマタ	紅藻	10.8	1.2	64.1	23.9	56.8	7.3
35	マクサ	紅藻	22.4	1.7	39.1	36.8	42.6	0.0
36	フクロノリ	紅藻	12.2	37.0	0.8	50.1	-	-
37	ミゾオゴノリ	紅藻	9.4	1.1	48.7	40.8	38.9	9.8
38	カバノリ	紅藻	8.0	1.1	64.1	26.8	42.6	21.5
39	オゴノリ類 (赤)	紅藻	17.1	2.4	41.8	38.7	32.9	9.0
40	オゴノリ類 (茶)	紅藻	12.9	1.7	57.8	27.6	47.5	10.3
41	オゴノリ類	紅藻	19.9	0.3	55.3	24.5	-	-
42	オゴノリ類 (乾燥工程で一度解凍)	紅藻	17.9	0.4	57.2	24.5	-	-
43	オゴノリ類	紅藻	18.9	0.3	56.6	24.1	-	-
44	オゴノリ類	紅藻	14.6	0.2	57.5	27.7	-	-
45	フダラク	紅藻	22.1	1.9	56.6	19.4	50.2	6.4
46	ススカケベニ	紅藻	22.2	2.3	55.4	20.1	-	-
47	スサビノリ (板海苔)	紅藻	17.6	1.6	74.1	6.7	59.7	14.4
48	スサビノリ (板海苔、新A2)	紅藻	23.2	0.2	69.0	7.6	-	-
49	スサビノリ (乾燥、外3)	紅藻	25.6	0.6	57.8	16.1	-	-
50	スサビノリ (板海苔、エビ4少)	紅藻	12.4	0.1	66.5	11.1	-	-

表3. つづき

51	スサビノリ (板海苔、特上)	紅藻	51.5	0.2	40.3	7.9	27.5	12.8
52	スサビノリ (板海苔、重〇6)	紅藻	14.9	0.1	76.1	8.9	47.2	28.9
53	カレキグサ	紅藻	20.2	1.9	24.6	53.2	20.9	3.7
54	フサイワズタ	緑藻	28.6	1.6	56.0	13.8	-	-
55	ミル	緑藻	7.1	2.5	36.1	54.2	27.8	8.3
56	スジアオノリ	緑藻	8.5	2.2	57.4	31.9	50.1	7.2
57	アオサ類	緑藻	10.1	3.4	63.9	22.6	47.0	16.9
58	アオサ類	緑藻	9.9	0.3	69.2	20.6	44.1	25.1
59	アオサ類	緑藻	7.9	0.3	66.8	25.0	45.8	21.0
60	アオサ類	緑藻	12.2	0.6	62.2	25.0	35.7	26.5
61	アオサ類	緑藻	17.0	0.3	58.3	24.5	37.3	20.9
62	アオサ類	緑藻	9.7	0.4	65.1	24.8	39.1	26.0
63	アオサ類	緑藻	13.4	0.2	58.0	28.4	40.2	17.8
64	アオサ類	緑藻	22.2	0.2	49.1	28.4	32.2	16.9
65	アオサ類	緑藻	23.5	0.6	53.6	22.3	-	-
66	アオサ類	緑藻	15.7	0.3	57.3	26.6	39.6	17.8
67	アオサ類	緑藻	10.2	0.3	66.6	22.8	44.9	21.7
68	アオサ類	緑藻	7.8	0.2	68.5	23.5	43.9	24.6
69	アオサ類	緑藻	11.8	0.3	66.4	21.5	47.7	18.7
70	アオサ類	緑藻	12.4	0.1	66.5	20.1	48.3	18.2
71	アオサ類	緑藻	28.2	0.3	49.1	22.4	34.2	14.9
72	アオサ類	緑藻	18.1	0.2	55.0	26.7	40.1	15.0
73	アオサ類	緑藻	12.5	0.2	63.3	24.0	41.6	21.7
74	アオサ類	緑藻	15.2	0.3	66.0	18.5	46.7	19.3
75	アオサ類	緑藻	18.7	0.3	54.4	26.6	45.7	8.6
76	アオサ類	緑藻	22.8	0.6	53.7	22.8	-	-
77	アオサ類	緑藻	19.8	2.2	42.6	35.4	37.5	5.2
78	アオサ類	緑藻	10.1	1.7	56.7	31.4	42.3	14.4
79	アオサ類	緑藻	22.0	2.8	42.8	32.5	37.4	5.4
80	アオサ類 (初夏色落ち)	緑藻	10.2	0.1	54.5	35.1	34.6	19.9
81	アオサ類 (冬色落ち)	緑藻	17.7	0.2	48.1	34.0	31.1	16.9
82	アオサ類 (色落ち白化)	緑藻	8.9	0.2	62.5	28.3	43.2	19.4
83	アオサ類	緑藻	15.5	0.4	60.6	23.5	45.9	14.7
84	アオサ類	緑藻	19.7	0.9	55.5	24.0	39.3	16.2
85	アオサ類	緑藻	32.5	0.8	44.4	22.3	31.5	12.9
86	アオサ類	緑藻	19.5	0.4	58.3	21.8	35.4	22.9
87	タチアマモ	海草	15.3	1.5	47.2	36.0	33.5	13.7
88	コアマモ	海草	16.5	4.0	56.2	23.3	46.1	10.0
89	コアマモ	海草	18.2	0.6	63.1	18.1	46.4	16.7
90	コアマモ	海草	15.1	0.3	61.2	23.4	56.8	4.4
91	コアマモ	海草	13.2	0.8	52.1	33.9	46.6	5.5
92	コアマモ	海草	16.7	0.4	53.7	29.1	45.7	8.0
93	コアマモ	海草	13.7	0.4	53.2	32.6	42.7	10.5
94	アマモ	海草	8.4	1.0	70.4	20.3	38.3	32.1
95	アマモ	海草	15.5	2.0	55.6	27.0	39.6	15.9
96	アマモ	海草	15.1	1.4	57.4	26.1	38.1	19.3
97	アマモ	海草	10.7	1.2	58.7	29.4	35.7	23.0
98	アマモ	海草	12.9	0.8	66.0	20.3	46.2	19.8
99	アマモ	海草	11.6	0.4	61.6	26.4	43.1	18.6
100	アマモ	海草	9.6	1.0	71.4	18.0	47.3	24.1
101	アマモ (漂着)	海草	11.0	0.8	74.6	13.6	64.0	10.7
102	アマモ	海草	14.2	1.5	62.4	22.0	-	-
103	アマモ	海草	9.8	0.6	60.6	6.8	-	-
104	ホテイアオイ	水草	8.8	0.6	70.6	12.0	60.7	9.9
105	キートセロス グラシリス	微細藻	31.4	14.7	16.7	37.3	-	-
106	淡水クロレラ (V12)	微細藻	61.6	1.3	29.9	7.2	-	-
107	ナンノクロロプシス	微細藻	51.5	7.9	21.8	18.8	-	-
水圏植物の平均 (n=107) *			16.2	1.8	56.1	25.5	43.5	13.9
海藻類、海草類、ホテイアオイの平均 (n=104)			15.3	1.7	57.0	25.6	43.5	13.9
褐藻類の平均 (n=30)			13.7	2.3	56.9	27.1	45.7	10.0
紅藻類の平均 (n=23)			18.4	2.6	54.0	24.6	44.3	11.2
緑藻類の平均 (n=33)			15.7	0.8	57.2	26.2	40.3	17.2
海草類の平均 (n=17)			13.4	1.1	60.3	23.9	44.7	15.5
微細藻類の平均 (n=3)			48.2	7.9	22.8	21.1	-	-

試験方法 (「5訂増補 日本食品標準成分表分析マニュアル」に準拠)

水分：常圧105℃ 5時間乾燥法，タンパク質：ケルダール法，タンパク質換算計数は6.25，脂質：エーテル抽出法，炭水化物：算出法，炭水化物 = 100 - (水分 + たんぱく質 + 脂質 + 灰分)，灰分：灰化法，食物繊維：酸素・重量法

- 分析せず

\* 海藻類，海草類，ホテイアオイおよび微細藻類の平均

由については、種が外来種に代わったため、或いはアオサ類の成育が盛んに行われている時期にあたり、アオサ類の生理的要因に起因するためなどが理由として考えられる。横浜市海の公園の事例<sup>27)</sup>によれば、アオサ類の成育が盛んな時期には、海水中の無機態窒素が減少することが観察されており、このことが藻体中のたんぱく質含量の蓄積に対して制限因子となって影響する可能性も考えられる。製品化されたスサビノリ（板海苔）のたんぱく質含量は、等級の違いにより4倍以上の大きな違い（12.4-51.5g/100g乾燥藻体）をみせ、高い等級では高く（整理 No.51 新特上：51.5g/100g乾燥藻体）、低い等級で

は低い（整理 No.50 エビ4少：12.4g/100g乾燥藻体、整理 No.52 重〇〇：14.9g/100g乾燥藻体）傾向が認められた。プロキシー変法で測定した食物繊維は、試料をたんぱく質分解酵素とでんぷん分解酵素とで処理した後の不溶性残渣の重量を測定して求めている。この分析手法では、アルギン酸、ガラクトサン、硫酸多糖（フコイダン、ラムナン硫酸等）のうちの水溶性画分が失われるため、過小評価になっている可能性があるが、大型藻類の平均値で43.5g/100g乾燥藻体であり、水圏植物試料の種類によらず乾燥重量の4割以上を占める主要な成分とすることができる。

表 4. 酸・酵素糖化処理後の各種糖質の分析結果

整理 No.	検体名	種類	全糖	還元糖	還元糖/全糖	D-グルコース	D-ガラクトース	D-グルコース + D-ガラクトース
			g/100g	g/100g	%	g/100g	g/100g	g/100g
1	アイヌワカメ	褐藻	26.5	11.1	42.0	9.7	0.7	10.4
2	マツモ	褐藻	24.8	11.7	47.2	5.0	1.7	6.6
3	アスコファイラム	褐藻	28.8	10.4	36.2	7.1	0.7	7.8
4	ツルモ	褐藻	22.3	8.4	37.8	5.3	0.7	5.9
5	スジメ	褐藻	30.2	11.0	36.3	7.6	0.8	8.3
6	ウガノモク	褐藻	23.4	9.4	40.3	5.3	1.4	6.7
7	ヤハズグサ	褐藻	36.7	10.1	27.5	12.3	0.8	13.1
8	アミジグサ	褐藻	19.0	6.9	36.6	3.7	1.2	4.9
9	アミジグサ	褐藻	19.8	10.1	50.9	4.6	0.8	5.4
10	ダービリア	褐藻	31.8	10.6	33.3	9.3	0.7	10.0
11	アラメ	褐藻	34.8	11.2	32.2	19.1	0.7	19.8
12	マコンブ（間引き）	褐藻	25.2	10.8	43.0	7.7	0.8	8.5
13	マコンブ（ガニ足）	褐藻	24.8	11.9	47.9	1.8	0.8	2.6
14	ホソメコンブ	褐藻	27.1	10.4	38.4	8.2	0.7	8.9
15	レソソニア	褐藻	20.6	11.3	55.1	6.9	0.4	7.3
16	レソソニア	褐藻	29.4	12.5	42.6	9.8	0.3	10.1
17	マクロキスティス	褐藻	58.2	11.5	19.8	9.7	0.8	10.5
18	ヒジキ	褐藻	18.7	11.3	60.1	4.8	1.2	6.1
19	ヒジキ	褐藻	18.8	11.1	58.9	6.4	1.0	7.4
20	イソモク	褐藻	21.1	12.8	60.7	5.1	1.1	6.1
21	ノコギリモク	褐藻	30.6	11.2	36.6	4.3	1.0	5.3
22	ノコギリモク	褐藻	19.7	9.2	46.8	3.5	0.8	4.3
23	タマハハキモク	褐藻	18.1	6.5	36.0	4.2	1.0	5.3
24	オオバモク	褐藻	25.7	11.4	44.2	8.3	1.3	9.6
25	ウスバノコギリモク	褐藻	29.8	9.8	33.1	5.2	1.0	6.2
26	コモングサ	褐藻	26.1	11.2	43.0	5.2	0.8	6.0
27	ワカメ（メカブ除外）	褐藻	23.7	8.7	36.6	3.8	0.8	4.6
28	ワカメ（メカブ）	褐藻	21.8	9.2	42.3	6.2	2.5	8.7
29	ワカメ粉末（若みどりLS）	褐藻	23.2	10.0	43.2	5.4	1.2	6.6
30	ワカメ粉末（若みどり）	褐藻	16.6	10.1	61.1	6.5	1.1	7.6
31	ハイウスバノリ	紅藻	41.6	12.6	30.2	7.2	4.6	11.8
32	フシツナギ	紅藻	62.0	11.4	18.3	20.2	11.9	32.0
33	シキンノリ	紅藻	42.0	10.1	24.2	10.4	22.6	33.0
34	ツノマタ	紅藻	48.4	9.8	20.3	9.7	19.8	29.4
35	マクサ	紅藻	34.8	10.8	31.0	7.8	5.2	13.0
36	フクロノリ	紅藻	25.8	9.4	36.4	8.8	1.1	9.8
37	ミゾオゴノリ	紅藻	42.6	9.6	22.7	12.6	12.6	25.3
38	カバノリ	紅藻	56.7	10.5	18.5	20.9	12.0	32.9
39	オゴノリ類（赤）	紅藻	33.5	11.8	35.1	7.0	8.8	15.8
40	オゴノリ類（茶）	紅藻	33.5	11.1	33.0	11.5	15.7	27.3
41	オゴノリ類	紅藻	36.5	9.4	25.6	5.7	9.3	15.0
42	オゴノリ類（乾燥工程で一度解凍）	紅藻	40.9	9.9	24.3	8.1	15.3	23.4
43	オゴノリ類	紅藻	37.6	9.9	26.4	9.3	10.6	19.9
44	オゴノリ類	紅藻	38.9	12.3	31.7	8.9	18.4	27.3
45	フダラク	紅藻	43.3	11.6	26.8	9.4	18.9	28.3
46	ススカケベニ	紅藻	56.7	13.3	23.6	19.2	14.1	33.3
47	スサビノリ（板海苔）	紅藻	52.8	12.3	23.3	6.5	19.6	26.1
48	スサビノリ（板海苔、新A2）	紅藻	30.3	11.4	37.5	4.9	14.2	19.1
49	スサビノリ（乾燥、外3）	紅藻	54.6	10.6	19.5	8.4	14.8	23.1
50	スサビノリ（板海苔、エビ4少）	紅藻	43.8	11.3	25.8	6.7	19.9	26.6
51	スサビノリ（板海苔、特上）	紅藻	21.2	10.6	49.9	2.9	8.2	11.0
52	スサビノリ（板海苔、重〇6）	紅藻	50.3	9.1	18.1	6.8	18.0	24.9
53	カレキグサ	紅藻	20.9	10.5	50.2	5.7	1.2	6.9

糖化処理後の藻体中の全糖量は、紅藻類および緑藻類に多く、微細藻類には少ないことが観察された（褐藻類 25.9, 紅藻類 41.2, 緑藻類 36.0, 海草類 31.4 および微細藻類 15.2g/100g 乾燥藻体）。ただし、褐藻類にはアルギン酸多糖が大量に含有されていること（乾重量換算で

8.1-37.3%<sup>25)</sup>）が知られているが、アルギン酸は、フェノール硫酸法における発色率が本研究で標準物質として用いている D-グルコースに比べ小さい。即ち、一定濃度の水溶液で比較すると D-グルコース標準液の 485nm における吸光値を 1 とした場合、マンヌロン酸の同値は

表 4. つづき

54	フサイワズタ	緑藻	51.5	12.5	24.3	8.8	2.3	11.0
55	ミル	緑藻	40.5	11.9	29.4	7.0	2.0	9.1
56	スジアオノリ	緑藻	32.7	11.6	35.4	8.9	0.9	9.8
57	アオサ類	緑藻	40.8	12.1	29.8	16.5	-	-
58	アオサ類	緑藻	43.3	10.4	24.1	17.1	-	-
59	アオサ類	緑藻	43.6	8.8	20.3	17.1	-	-
60	アオサ類	緑藻	35.2	12.1	34.4	15.7	-	-
61	アオサ類	緑藻	31.7	11.2	35.2	15.4	-	-
62	アオサ類	緑藻	30.5	11.0	36.1	20.1	-	-
63	アオサ類	緑藻	37.3	14.4	38.6	17.9	-	-
64	アオサ類	緑藻	28.5	10.4	36.5	12.2	-	-
65	アオサ類	緑藻	23.8	9.9	41.7	6.3	-	-
66	アオサ類	緑藻	33.7	8.4	24.8	13.6	-	-
67	アオサ類	緑藻	41.4	10.2	24.6	19.8	0.8	20.6
68	アオサ類	緑藻	46.0	10.4	22.7	16.2	-	-
69	アオサ類	緑藻	45.2	9.3	20.6	18.8	-	-
70	アオサ類	緑藻	40.9	10.5	25.8	15.1	-	-
71	アオサ類	緑藻	34.8	9.9	28.3	11.5	-	-
72	アオサ類	緑藻	30.5	10.8	35.3	12.0	0.7	12.7
73	アオサ類	緑藻	29.9	11.1	37.1	14.6	-	-
74	アオサ類	緑藻	38.3	10.6	27.7	13.7	-	-
75	アオサ類	緑藻	38.7	9.3	24.1	8.7	-	-
76	アオサ類	緑藻	32.5	9.4	29.1	8.0	-	-
77	アオサ類	緑藻	31.0	12.0	38.6	6.0	-	-
78	アオサ類	緑藻	44.5	13.4	30.1	16.5	-	-
79	アオサ類	緑藻	27.7	12.4	44.9	7.1	-	-
80	アオサ類 (初夏色落ち)	緑藻	38.4	12.8	33.3	13.1	-	-
81	アオサ類 (冬色落ち)	緑藻	29.3	12.4	42.3	10.0	-	-
82	アオサ類 (色落ち白化)	緑藻	38.5	12.1	31.4	18.5	-	-
83	アオサ類	緑藻	40.0	11.0	27.6	9.2	0.6	9.8
84	アオサ類	緑藻	30.4	11.4	37.4	12.2	-	-
85	アオサ類	緑藻	26.0	10.4	40.0	7.0	0.6	7.7
86	アオサ類	緑藻	31.3	10.9	34.8	15.3	0.6	15.9
87	タチアマモ	海草	27.0	9.3	34.3	6.0	0.2	6.2
88	コアマモ	海草	34.7	12.1	34.9	13.5	0.8	14.3
89	コアマモ	海草	28.6	10.2	35.6	10.7	4.3	14.9
90	コアマモ	海草	24.4	11.0	45.1	14.4	0.5	14.9
91	コアマモ	海草	24.0	10.0	41.9	13.1	0.7	13.8
92	コアマモ	海草	31.6	10.0	31.8	13.3	0.3	13.6
93	コアマモ	海草	24.7	8.4	34.1	14.7	0.4	15.1
94	アマモ	海草	25.6	9.7	38.0	16.8	0.4	17.2
95	アマモ	海草	30.5	11.8	38.6	13.3	0.3	13.6
96	アマモ	海草	34.0	11.6	34.1	17.1	1.1	18.1
97	アマモ	海草	37.1	9.2	24.9	21.0	1.1	22.1
98	アマモ	海草	40.6	10.3	25.3	17.5	1.0	18.5
99	アマモ	海草	34.9	9.1	26.1	15.7	0.7	16.4
100	アマモ	海草	31.7	9.2	29.0	20.3	1.4	21.7
101	アマモ (漂着)	海草	30.8	9.5	30.7	15.8	1.5	17.3
102	アマモ	海草	38.1	9.2	24.1	10.1	1.3	11.4
103	アマモ	海草	35.8	12.0	33.4	12.9	0.4	13.3
104	ホテイアオイ	水草	52.4	16.4	31.3	22.7	3.8	26.4
105	キートセロス グラシリス	微細藻	12.0	5.4	45.2	2.5	0.7	3.1
106	淡水クロレラ (V12)	微細藻	18.4	5.6	30.3	6.6	2.7	9.3
107	ナンノクロロプシス	微細藻	15.2	5.0	32.9	4.3	1.3	5.6
	水圏植物の平均 (n=107) *		33.1	10.6	34.3	10.6	4.4	14.0
	褐藻類の平均 (n=30)		25.9	10.4	42.3	6.7	1.0	7.7
	紅藻類の平均 (n=23)		41.2	10.8	28.4	9.5	12.9	22.4
	緑藻類の平均 (n=33)		36.0	11.1	31.7	13.0	1.1	12.1
	海草類の平均 (n=17)		31.4	10.1	33.0	14.5	1.0	15.4
	微細藻類の平均 (n=3)		15.2	5.3	36.1	4.4	1.6	6.0

海藻類の酸・酵素糖化液の調製：海藻類試料 1.0g に対し 3% 硫酸 14mL を添加し、121℃ 1 時間で加水分解。NaOH で中和後さらにセルラーゼ（終濃度 1%）を添加し、50℃、16 時間酵素分解。糖の定量：酸・酵素糖化液の上清について、フェノール硫酸法（全糖量）およびソモギネルソン法（還元糖量）により比色定量分析せず

\* 海藻類、海草類、ホテイアオイおよび微細藻類の平均

0.87<sup>22)</sup>である。また著者が480nmで測定したデータ（未発表）においても、アルギン酸の吸光値を1とした場合で、アルギン酸およびアルギン酸の構成糖であるマンヌロン酸の同値は、各々0.39および0.44であった。また褐藻類に相当量（0-28.4%）含有されていることが知られているマンニトールの場合の480nm吸光値は、D-グルコースの1に対して0.006を実験室で観察している（未発表）。これらのことから、表4の褐藻類の全糖量は、かなり過小評価になっていると考えられた。従って、全糖量に占める還元糖量の割合が褐藻類で高い（42.3%）とされた結果も過大評価となっていると推定される。

藻体を構成する中性糖の分析（表5）では、紅藻類のガラクトース含量が平均値で22.2g/100g乾燥藻体と高いことが目立った。紅藻類のガラクトースは、寒天、カ

ラギーナン等のガラクトタン由来と考えられるが、ガラクトタンは通常、D-ガラクトースと3,6-アンヒドロ-ガラクトースが交互に連なった構造をしていることが知られていること<sup>28)</sup>から、ガラクトタン全体の平均含量は、ガラクトースとして定量された上記の値の約2倍の44.4g/100g乾燥藻体程度と推定される。D-ガラクトースはD-グルコースとともに酵母によるエタノール発酵のための良い基質になるが、これらの2種類の糖質の合計値と比較しても、紅藻類の平均値が30.4g/100g乾燥藻体と最も高いことが目立った。従って、糖化处理を伴ったエタノール発酵（複発酵）を行った場合、成分情報からの評価では紅藻類からのエタノール収量が最も高くなると推定された。なお、表4と表5において、グルコースとガラクトースの含量に違いがみられるのは定量手法が異なることに起因する誤差と考えられた。

表5. ガスクロマトグラフィーによる中性糖の分析結果

整理 No.	検体名	種類	グルコース	ガラクトース	マンニトール <sup>1)</sup>	キシロース	フコース	ラムノース	リボース	アラビノース	グルコース+ ガラクトース	合計
			g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g
1	アイヌワカメ	褐藻	7.4	0.6	13.2	0.3	1.0	<0.2	<0.2	<0.2	8.1	22.5
2	マツモ	褐藻	1.9	1.5	6.3	0.6	4.6	<0.2	<0.2	<0.2	3.4	14.9
3	アスコファイラム	褐藻	5.1	0.7	7.3	2.5	9.5	<0.2	<0.2	<0.2	5.8	25.1
4	ツルモ	褐藻	6.3	1.2	6.2	<0.2	4.6	<0.2	<0.2	<0.2	7.5	18.3
5	スジメ	褐藻	1.1	0.8	5.2	<0.2	0.7	<0.2	<0.2	<0.2	1.9	7.8
6	ウガノモク	褐藻	1.0	1.4	6.9	0.5	3.9	<0.2	<0.2	<0.2	2.4	13.7
7	ヤハズグサ	褐藻	9.9	0.8	4.1	0.9	2.6	0.2	<0.2	<0.2	10.7	18.6
8	アミジグサ	褐藻	13.0	3.4	9.9	0.7	2.4	<0.2	<0.2	<0.2	16.3	29.3
9	アミジグサ	褐藻	4.3	1.2	1.8	1.2	2.7	<0.2	<0.2	<0.2	5.5	11.2
10	ダーベリア	褐藻	14.6	1.7	17.0	0.4	6.4	<0.2	<0.2	<0.2	16.3	40.2
11	アラメ	褐藻	20.0	0.6	8.5	0.3	2.0	<0.2	<0.2	<0.2	20.7	31.5
12	マコンブ（間引き）	褐藻	0.7	0.8	8.3	<0.2	0.8	<0.2	<0.2	<0.2	1.5	10.6
13	マコンブ（ガニ足）	褐藻	0.6	0.7	2.2	<0.2	1.8	<0.2	<0.2	<0.2	1.3	5.3
14	ホソメコンブ	褐藻	1.0	0.6	13.8	<0.2	1.3	<0.2	<0.2	<0.2	1.6	16.7
15	レッソニア	褐藻	1.5	0.7	4.7	0.6	1.4	<0.2	<0.2	<0.2	2.3	9.0
16	レッソニア	褐藻	0.7	0.5	5.3	1.8	3.4	<0.2	<0.2	<0.2	1.1	11.6
17	マクロキステイス	褐藻	0.9	0.6	3.9	<0.2	2.3	<0.2	<0.2	<0.2	1.4	7.7
18	ヒジキ	褐藻	1.9	1.3	5.0	0.5	2.5	<0.2	<0.2	<0.2	3.2	11.1
19	ヒジキ	褐藻	1.4	1.1	7.3	0.3	2.4	<0.2	<0.2	<0.2	2.4	12.4
20	イソモク	褐藻	1.5	1.5	6.6	0.9	2.8	<0.2	<0.2	<0.2	3.0	13.3
21	ノコギリモク	褐藻	3.0	1.2	3.7	0.6	2.4	<0.2	<0.2	<0.2	4.2	11.0
22	ノコギリモク	褐藻	0.9	1.0	14.1	0.6	<0.2	2.1	<0.2	<0.2	1.9	18.8
23	タマハハキモク	褐藻	11.5	3.5	16.4	1.0	3.8	<0.2	<0.2	<0.2	15.0	36.3
24	オオバモク	褐藻	3.0	1.7	12.1	0.5	3.3	<0.2	<0.2	<0.2	4.7	20.6
25	ウスバノコギリモク	褐藻	3.2	1.2	8.3	0.5	2.2	<0.2	<0.2	<0.2	4.3	15.4
26	コモングサ	褐藻	5.1	1.0	1.3	0.7	2.3	<0.2	<0.2	<0.2	6.1	10.5
27	ワカメ（メカブ除外）	褐藻	2.9	0.8	5.8	0.2	0.6	<0.2	<0.2	<0.2	3.7	10.3
28	ワカメ（メカブ）	褐藻	3.7	3.4	8.3	<0.2	3.6	<0.2	<0.2	<0.2	7.1	19.0
29	ワカメ粉末（若みどりLS）	褐藻	1.6	1.4	0.3	<0.2	0.7	<0.2	0.3	<0.2	3.0	4.3
30	ワカメ粉末（若みどり）	褐藻	0.8	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.8	0.8
31	ハイウスバノリ	紅藻	3.8	10.9	0.5	1.7	<0.2	<0.2	<0.2	0.2	14.7	17.2
32	フシツナギ	紅藻	17.7	19.1	0.5	1.6	<0.2	0.2	<0.2	0.2	36.8	39.4
33	シキンノリ	紅藻	7.6	30.9	<0.2	0.3	<0.2	0.3	<0.2	0.3	38.4	39.3
34	ツノマタ	紅藻	8.0	29.9	0.5	0.6	<0.2	0.3	<0.2	0.4	37.9	39.5
35	マクサ	紅藻	7.0	23.8	0.2	0.6	<0.2	<0.2	0.3	<0.2	30.8	31.8
36	フクロノリ	紅藻	5.5	1.0	2.8	0.5	0.8	<0.2	<0.2	<0.2	6.5	10.6
37	ミゾオゴノリ	紅藻	16.1	23.5	<0.2	2.0	<0.2	0.2	<0.2	0.2	39.7	42.2
38	カバノリ	紅藻	24.9	16.7	0.5	0.5	<0.2	<0.2	<0.2	0.2	41.7	42.9
39	オゴノリ類（赤）	紅藻	7.6	10.4	0.5	0.5	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	18.0	19.1
40	オゴノリ類（茶）	紅藻	10.2	27.1	1.1	0.2	<0.2	0.3	<0.2	0.3	37.3	39.2
41	オゴノリ類	紅藻	5.1	27.7	0.7	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.3	32.8	33.8
42	オゴノリ類（乾燥工程で一度解凍）	紅藻	3.5	25.6	0.8	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.4	29.1	30.4
43	オゴノリ類	紅藻	4.5	23.7	1.1	0.3	<0.2	0.3	<0.2	0.3	28.2	30.2
44	オゴノリ類	紅藻	5.3	27.8	0.9	0.2	<0.2	0.3	<0.2	0.3	33.1	34.8
45	フダラ	紅藻	7.3	28.5	<0.2	0.4	<0.2	0.3	<0.2	0.3	35.8	36.7
46	ススカケベニ	紅藻	14.3	18.3	<0.2	1.7	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	32.7	34.4
47	スサビノリ（板海苔）	紅藻	4.4	33.2	9.3	3.1	<0.2	0.3	<0.2	0.4	37.6	50.7
48	スサビノリ（板海苔、新A2）	紅藻	3.2	26.9	7.3	1.4	<0.2	<0.2	0.3	0.3	30.2	39.5
49	スサビノリ（乾燥、外3）	紅藻	6.5	25.9	9.3	3.6	<0.2	0.3	<0.2	0.3	32.4	45.9
50	スサビノリ（板海苔、エビ4少）	紅藻	4.6	31.5	<0.2	1.7	<0.2	0.3	<0.2	0.4	36.0	38.4
51	スサビノリ（板海苔、特上）	紅藻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
52	スサビノリ（板海苔、重〇6）	紅藻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
53	カレキグサ	紅藻	3.9	4.2	0.8	0.8	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	8.1	9.7

表 5. つづき

54	フサイワズタ	緑藻	8.0	3.7	1.5	27.6	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	11.7	40.8
55	ミル	緑藻	4.9	1.5	16.5	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.4	6.5	23.6
56	スジアオノリ	緑藻	4.8	1.4	0.5	3.2	<0.2	11.4	<0.2	<0.2	6.2	21.2
57	アオサ類	緑藻	13.6	1.1	0.9	5.6	<0.2	9.3	<0.2	0.7	14.6	31.0
58	アオサ類	緑藻	16.1	1.0	0.3	5.7	<0.2	8.8	<0.2	<0.2	17.1	31.9
59	アオサ類	緑藻	15.9	0.9	0.3	4.3	<0.2	8.7	<0.2	<0.2	16.7	30.0
60	アオサ類	緑藻	14.0	0.9	<0.2	2.0	<0.2	6.8	<0.2	<0.2	14.9	23.8
61	アオサ類	緑藻	13.0	1.0	0.2	1.7	<0.2	6.6	<0.2	<0.2	14.1	22.6
62	アオサ類	緑藻	16.8	0.7	0.2	1.7	<0.2	5.8	<0.2	<0.2	17.5	25.2
63	アオサ類	緑藻	12.2	0.8	<0.2	1.5	<0.2	4.3	<0.2	<0.2	13.0	18.7
64	アオサ類	緑藻	9.8	1.0	<0.2	1.3	<0.2	5.8	<0.2	<0.2	10.8	17.9
65	アオサ類	緑藻	5.6	1.1	0.2	1.6	<0.2	6.4	<0.2	<0.2	6.7	14.9
66	アオサ類	緑藻	14.8	1.0	0.3	3.0	<0.2	7.0	<0.2	<0.2	15.8	26.1
67	アオサ類	緑藻	16.9	1.2	0.3	4.6	<0.2	9.3	<0.2	<0.2	18.1	32.3
68	アオサ類	緑藻	19.6	0.9	<0.2	3.1	<0.2	8.3	<0.2	<0.2	20.4	31.8
69	アオサ類	緑藻	15.1	1.0	<0.2	2.4	<0.2	8.8	<0.2	<0.2	16.1	27.2
70	アオサ類	緑藻	11.7	1.0	<0.2	1.8	<0.2	7.9	<0.2	<0.2	12.6	22.3
71	アオサ類	緑藻	9.5	1.2	0.3	3.0	<0.2	6.9	0.2	<0.2	10.7	21.2
72	アオサ類	緑藻	9.6	1.1	0.3	3.0	<0.2	7.1	<0.2	<0.2	10.7	21.1
73	アオサ類	緑藻	12.6	1.1	<0.2	2.7	<0.2	7.7	<0.2	<0.2	13.6	24.0
74	アオサ類	緑藻	10.1	1.1	<0.2	2.5	<0.2	7.4	<0.2	<0.2	11.2	21.0
75	アオサ類	緑藻	1.0	<0.2	<0.2	1.0	<0.2	1.0	<0.2	<0.2	1.0	3.0
76	アオサ類	緑藻	3.8	1.1	<0.2	1.6	<0.2	6.5	<0.2	<0.2	4.9	12.9
77	アオサ類	緑藻	4.1	0.8	<0.2	1.1	<0.2	5.4	<0.2	<0.2	4.9	11.3
78	アオサ類	緑藻	12.6	0.6	<0.2	1.8	<0.2	6.3	<0.2	<0.2	13.2	21.2
79	アオサ類	緑藻	2.1	0.9	0.3	0.9	<0.2	4.9	<0.2	<0.2	3.0	9.0
80	アオサ類 (初夏色落ち)	緑藻	12.8	0.8	0.3	3.2	<0.2	6.2	<0.2	<0.2	13.6	23.3
81	アオサ類 (冬色落ち)	緑藻	5.7	0.9	<0.2	1.0	<0.2	4.8	<0.2	<0.2	6.6	12.3
82	アオサ類 (色落ち白化)	緑藻	16.5	0.6	0.4	1.9	<0.2	7.8	0.3	<0.2	17.1	27.4
83	アオサ類	緑藻	6.9	1.0	<0.2	6.2	<0.2	9.2	<0.2	<0.2	7.9	23.2
84	アオサ類	緑藻	8.8	1.1	0.4	5.7	<0.2	7.5	<0.2	<0.2	9.9	23.5
85	アオサ類	緑藻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
86	アオサ類	緑藻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
87	タチアマモ	海草	3.8	0.9	0.4	1.5	0.2	0.3	<0.2	0.1	4.8	7.4
88	コアマモ	海草	6.6	1.2	0.3	2.0	0.2	0.5	<0.2	0.2	7.8	11.1
89	コアマモ	海草	4.5	1.3	0.4	1.1	0.3	0.4	<0.2	0.2	5.9	8.2
90	コアマモ	海草	3.8	1.4	0.5	2.7	0.3	0.6	<0.2	0.3	5.2	9.5
91	コアマモ	海草	4.3	1.1	0.3	1.8	0.2	0.4	<0.2	0.2	5.4	8.3
92	コアマモ	海草	5.0	1.2	0.4	2.0	0.3	0.5	<0.2	0.2	6.3	9.7
93	コアマモ	海草	1.5	0.6	<0.2	1.0	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	2.1	3.3
94	アマモ	海草	8.0	0.6	0.5	1.5	<0.2	0.3	<0.2	<0.2	8.6	10.8
95	アマモ	海草	4.4	0.5	0.3	1.6	<0.2	0.4	<0.2	0.2	4.9	7.4
96	アマモ	海草	6.4	0.6	0.4	1.5	<0.2	0.4	<0.2	0.2	7.0	9.5
97	アマモ	海草	6.9	0.6	0.6	1.6	0.2	0.4	<0.2	0.2	7.6	10.6
98	アマモ	海草	5.6	0.8	0.4	2.0	<0.2	0.4	<0.2	0.2	6.4	9.4
99	アマモ	海草	4.7	0.6	<0.2	1.4	<0.2	0.4	<0.2	0.2	5.3	7.3
100	アマモ	海草	6.8	0.8	<0.2	2.1	0.2	0.5	0.2	<0.2	7.6	10.6
101	アマモ (漂着)	海草	5.5	1.2	<0.2	3.4	0.2	0.8	0.3	<0.2	6.8	11.6
102	アマモ	海草	1.9	0.2	<0.2	0.9	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	2.1	3.2
103	アマモ	海草	6.4	0.5	0.4	1.6	<0.2	0.3	<0.2	0.2	6.9	9.4
104	ホテイアオイ	水草	14.2	3.6	1.0	5.9	0.4	0.3	<0.2	8.7	17.8	34.1
105	キートセロス グラシリス	微細藻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
106	淡水クロレラ (V12)	微細藻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
107	サンノクロロプシス	微細藻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
水圏植物の平均 (n=107) **			7.3	5.7	3.7	2.0	2.1	3.6	0.3	0.5	12.8	20.6
褐藻類の平均 (n=30)			4.3	1.3	7.4	0.7	2.8	1.2	0.3	-	5.6	15.9
紅藻類の平均 (n=23)			8.1	22.2	2.3	1.2	0.8	0.3	0.3	0.3	30.4	33.6
緑藻類の平均 (n=33)			10.6	1.1	1.4	3.4	-	7.0	0.3	0.6	11.6	22.5
海草類の平均 (n=17)			5.1	0.8	0.4	1.8	0.2	0.4	0.3	0.2	5.9	8.7
微細藻類の平均 (n=3)			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

海藻の中性糖は、72% 硫酸および 2.4% 硫酸中で加水分解後、アルジトールアセテートに誘導体化し、ガスクロマトグラフィーにより分析した (詳細は本文参照)

\*1 マニトール値にはマンノースを含んでいる可能性あり、- 分析せず

\*2 海藻類、海草類、ホテイアオイおよび微細藻類の平均

## 謝 辞

海藻成分調査のための海藻試料および成分情報の収集にご協力下さった東京海洋大学浦野直人博士、北海道立中央水産試験場福土暁彦博士、同蛸谷幸司博士、浜名湖あおさ利用協議会吉村理利氏、神協産業神田真治氏、(独)水産総合研究センター中央水産研究所石原賢司博士、同片山知史博士 (現東北大学)、日本海区水産研究所高田宜武博士、梶原直人氏 (現瀬戸内海区水産研究所)、瀬戸内海区水産研究所浜口昌巳博士に感謝申し上げます。海藻の遺伝子解析に、助言を下された島袋寛盛博士に感謝申し上げます。本研究は、水産庁の“水産バイオ

マスの資源化技術開発事業”の中の分担課題 (2008～2011年)により行われた。

## 文 献

- 1) 財団法人東京水産振興会 (2008) 平成 19 年度水産バイオマス経済水域総合活用事業可能性の検討報告書、東京、155 pp.
- 2) VITOUSEK, P. M., P. R. EHRLICH, A. H. EHRLICH, and P. A. MATSON (1986) Human appropriation of the products of photosynthesis. *BioScience*, **36**, 368-373.
- 3) 山本博巳・山路憲治 (1996) 世界土地利用エネルギー・モデル (GLUE) によるバイオエネルギー・ポテンシャルの

- 評価. 電力中央研究所報告, 東京, Y96001, 1-32 pp.
- 4) 山地憲治 (2002) バイオマスエネルギーの特性評価と利用への展望. バイオマスエネルギーの特性とエネルギー変換・利用技術, NTS, 東京, 3-40 pp.
  - 5) ZEMKE-WHITE, L. W., and M. OHNO (1999) World seaweed utilization: An-of-century summary. *J. Appl. Phycol.*, **11**, 369-376.
  - 6) 大野正夫 (2004) 世界の海藻資源の概観. 有用海藻資源, 内田厚生閣, 東京, 297-330 pp.
  - 7) MANN, K. H. (1973) *Seaweeds: Their productivity and strategy for growth. Science*, **182**, 975-981.
  - 8) 内田基晴 (2010) 日本発 海藻発酵産業の創出. 「水産の21世紀 - 海から拓く食料自給」(田中 克, 川合真一郎, 谷口順彦, 坂田泰造編), 京都大学学術出版会, 京都, 442-456 pp.
  - 9) Aquaculture Associates (1982) Energy from marine biomass. Program review. GRI Contract No. 5081-310-0458.
  - 10) YOKOYAMA, S., K. JONOUCHI, and K. IMOU (2008) Energy Production from Marine Biomass: Fuel Cell Power Generation Driven by Methane Produced from Seaweed. *Int. J. Eng. Appl. Sci.*, **4**, 169-72.
  - 11) UCHIDA, M., and M. MURATA (2004) Isolation of a lactic acid bacterium and yeast consortium from a fermented material of *Ulva* spp. (Chlorophyta). *J. Appl. Microbiol.*, **97**, 1297-1310.
  - 12) 内田基晴 (2002) 海藻の発酵. 日本乳酸菌学会誌, **13**, 92-113.
  - 13) UCHIDA, M., and M. MURATA (2002) Fermentative preparation of single cell detritus from seaweed, *Undaria pinnatifida*, suitable as a replacement hatchery diet for unicellular algae. *Aquaculture*, **207**, 345-357.
  - 14) UCHIDA, M., K. NUMAGUCHI, and M. MURATA (2004a) Mass preparation of marine silage from *Undaria pinnatifida* and its dietary effect for young pearl oyster. *Fisheries Sci.*, **70**, 456-462.
  - 15) UCHIDA, M., H. AMAKASU, Y. SATOH, and M. MURATA (2004b) Combinations of lactic acid bacteria and yeast suitable for preparation of marine silage. *Fisheries Sci.*, **70**, 507-517.
  - 16) UCHIDA, M., M. MURATA, and F. ISHIKAWA (2007) Lactic acid bacteria effective for regulating the growth of contaminant bacteria during the fermentation of *Undaria pinnatifida* (Phaeophyta). *Fisheries Sci.*, **73**, 694-704.
  - 17) UCHIDA, M. (2007) Preparation of marine silage and its potential for industrial use. *Proceedings of the thirty-fourth U.S.-Japan aquaculture panel symposium*, 51-56 pp.
  - 18) UCHIDA, M., and T. MIYOSHI (2008) Development of a new dietary material from unutilized algal resources using fermentation skills. *Bull. Fish. Res. Agen.*, **31**, 25-29.
  - 19) HAYDEN, R. S., J. BLOMSTER, C. A. MAGGS, P. C. SILVA, M. J. STANHOPE, and J. R. WAALAND. (2003) Linnaeus was right all along: *Ulva* and *Enteromorpha* are not distinct genera. *Eur. J. Phycol.*, **38**, 277-294.
  - 20) YOLAINE, J., and J. FLEURENCE. (2005) DNA isolation protocol for seaweeds. *Plant Mol. Biol. Rep.*, **23**, 197.
  - 21) 安本教傳・竹内昌昭・安井明美・渡邊智子 (2006) 五訂増補日本食品標準成分表分析マニュアル. 建白社, 東京, 228 pp.
  - 22) DUBOIS, M., K. A. GILLES, J. K. HAMILTON, p. A. REBERS, and F. SMITH (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, **28**, 350-356.
  - 23) SOMOGYI, M. (1952) Notes on sugar determination. *J. Biol. Chem.*, **195**, 141-147.
  - 24) ALBERSHEIM P., D. J. NEVINS, P. D. ENGLISH and A. KARR. (1967) A method for the analysis of sugars in plant cell wall polysaccharides by gas-liquid chromatography. *Carbohydr. Res.*, **5**, 340-345.
  - 25) 社団法人日本産業機械工業会 (1978) 海洋食料・資源トータル利用システム 概念設計報告書, 東京, 21-23 pp.
  - 26) 平岡雅規・畠田 智・吉田吾郎 (2002) グリーンタイド, 堀輝三・大野正夫・堀口健雄編「21世紀初頭の藻学の現況」, 日本藻類学会, 山形, p. 98-101.
  - 27) 工藤孝浩 (1999) 横浜市海の公園では. アオサの利用と環境修復 (能登谷正浩編), 成山堂書店, 東京, 55-70 pp.
  - 28) 西澤一俊 (1983) 生化学的特性. 海藻の生化学と利用 (日本水産学会編). 恒星社厚生閣, 東京, 9-22 pp.