

## 八代海で養殖された海藻の特質と素材化に向けた酵素処理の検討

木幡進,<sup>\*1</sup> 墨利久,<sup>1</sup> 種村公平,<sup>1</sup> 坂本卓,<sup>2</sup> 下田誠,<sup>3</sup> 浅川牧夫<sup>4</sup>

八代工業高等専門学校<sup>1</sup> 生物工学科,<sup>2</sup> 機械電気工学科,<sup>3</sup> 技術室  
(〒866-8501 八代市平山新町 2627)

\*kohata@as.yatsushiro-nct.ac.jp

<sup>4</sup>熊本大学教育学部食物学研究室 (〒860-8555 熊本市黒髪 2 丁目 40 番 1 号)

現在：特定非営利活動法人植物資源の力

## Characterization and Enzymatic Digestion of Seaweed Cultured in the Yatsushiro Sea

Susumu KOHATA,<sup>1</sup> Toshihisa SUMI,<sup>1</sup> Kouhei TANEMURA,<sup>1</sup> Takashi SAKAMOTO,<sup>2</sup>  
Makoto SHIMODA,<sup>3</sup> and Makio ASAKAWA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Bioengineering, <sup>2</sup>Department of Mechanical and Electrical Engineering, <sup>3</sup>Technical Support  
Office, Yatsushiro National College of Technology (Hirayama-shinmachi, Yatsushiro 866-8501, Japan)

<sup>4</sup>Faculty of Education, Kumamoto University (Kurokami, Kumamoto 860-8555, Japan)

(Received April 7, 2008; Accepted April 21, 2008)

### Abstract

The characterization of various cultured seaweed, called *kombu*, *wakame*, and *kurome*, from the Yatsushiro Sea is being undertaken for their potential in food-product applications. The seaweed tested contained no harmful metals, such as Cr, Pb, and Cd. Moreover, their texture was chewy and the tensile strength was desirable, which are both valuable characteristics for food applications. In the stems, leaves, and roots of *kombu* cultivated at two different locations in the Yatsushiro Sea, the ratio of neutral sugar, uronic acid, and fucose was about 4:4:1. To produce a liquefied paste, which is convenient state for practical uses, the seaweed was crushed by physical crushing and a subsequent biochemical technique. Using double enzyme processing, alginic acid lyase 0.1wt%, and cellulase agent 0.8wt%, the seaweed was digested by 72.6%, 89.1%, and 58.5% for *kombu*, *wakame*, and *kurome*, respectively. By enzyme digestion, the amounts of neutral sugar were enhanced. A seaweed powder from *nori*, which included large quantities of protein, had the best fertilizer effect for the growth of leeks. The same effects were subsequently achieved with the use of *kurome* and *kombu*.

**Key words:** Cultured Seaweed, Yatsushiro Sea, X-ray Fluorescence Spectrometry, Enzyme, Fertilizing Effect

### 1. 緒言

閉鎖系内湾域である八代海では、養殖場の残餌や陸域河川からの流入による海水中の栄養塩の増加を起因とする赤潮の発生や貧酸素海域の出現が問題となっている。その対策としては、海域に流入する栄養塩類（無機窒素、無機リンなど）や有機成分等を規制する方策および負荷された

富栄養化物質を回収・浄化できる媒体を利用する手法などがあげられる。後者の例として、八代海南西域の浅海養魚場での栽培マコンブの生産量と N, P の吸収量が検討されている[1]。また、著者らも参画した文部科学省都市エリア産学官連携促進事業「熊本県南エリア（県南グリーンバイオエリア）」の共同研究事業「藻類浄化機能利用プロジ

エクト」では、「海藻の森構想」[2]を踏まえて、栄養塩類の回収および水産生物資源の定着（稚魚の育成のための藻場形成）ならびに光合成の促進による溶存酸素量の増加を目的に、八代海中部および南部の海域でマコンブおよびワカメの養殖試験が実施され[3, 4]、これらの養殖海藻の収穫量に基づいてNおよびPの回収量が試算された[3]。当該事業では、熊本県水産研究センターにおいて養殖方法が検討されていた褐藻類クロメを、地域に密着した海藻種として増殖させる試験や、回収された養殖海藻を有効利用する観点から、機能性成分の抽出分離や機能評価等も行われ、「環境保全に資する陸上と海域のバイオマス循環システム」のモデルが構築された[5]。著者らは、養殖海藻を当該地域で新しい食用素材等へ利用すること、養殖海藻を液化およびペースト化した素材を開発して生理活性物質等を効率的に抽出可能とすることや液肥として利用可能とすること、粉末海藻を肥料として利活用することなどを目的として、海藻の微細化をテーマにプロジェクトの一員として取り組み一部を報告した[6]。本報では、八代海で養殖された海藻の特質についての検討と、海藻を物理的に微粉碎した後に生物化学的手法（酵素分解）を用いて液化およびペースト化する条件の検討、さらに、粉末海藻の施肥試験について報告する。

## 2. 実験

### 2. 1 養殖海藻の特質

八代海南部の水俣湾で養殖された褐藻類のマコンブ (*Laminaria japonica*) をマッフル炉中で650℃まで徐々に加熱して灰化した試料について、蛍光X線分析装置（リガク ZSX100e）を用いて非破壊半定量分析を行った。また、クロメおよびマコンブを水で戻し、表面の水を拭き取り20mm×70mm にカットした試験片について、その引っ張り強度（破断強度）を小型卓上試験機（島津製作所 EZ Test）で測定した。さらに、マコンブには数種の粘性糖質が含まれることが知られていることから、それらの部位（根、茎、葉）別の含量を知ることは、マコンブ中の有用物質を抽出・利用する上で重要である。そこで、部位別の糖質含量の比較を行った。部位別に粉碎した養殖マコンブ（八代海水俣湾恋路島および八代海栖本湾でそれぞれ養殖回収された）から抽出される糖質量を定量した。マコンブ粉末10mgを5mlの蒸留水に懸濁し、100℃で24時間加熱して遠心分離後の上清中に抽出された糖質量（中性糖量、ウロン酸量、フコース量）およびタンパク質の量を定量して比較した。中性糖量はグルコースを標準物質としてアンズロン法（630nm）[7]により、ウロン酸量はカルバゾール硫酸法[8]により、フコース量はチオグリコール酸法[9]

により、タンパク質は牛血清アルブミンを標準物質としてローリー法（750nm）[10]により定量した。

## 2. 2 海藻の酵素処理による液化とペースト化

### 2. 2. 1 マコンブに対する酵素処理

本研究で使用した酵素剤は、沖縄産海藻の酵素分解についての報告[11]を参考にした。海藻の酵素分解には、海藻の細胞壁を構成するセルロースの分解酵素剤A（セルレーズナガセ）、B（XP-425）、および細胞壁に存在する糖タンパク質の分解酵素剤C（XP-415）、ならびに細胞間粘質多糖のアルギン酸を低分子化、低粘度化させる酵素剤D（アルギン酸リアーゼS）を選定した。これらの酵素剤A-D（ナガセケムテックス製）の起源、至適温度および至適pHならびに含有酵素は表1のとおりである。

純水に希塩酸を加えて所定のpHとなるように調整した溶液200mlに、カッターミル（増幸産業マスコロイダーMKCM-3）で微粉末化（以下、一次処理と略す）したマコンブ葉状部（八代海水俣湾恋路島で養殖）10.0gを加えた。次に、分解効率の高い酵素剤を選択するために、種々の酵素剤を液量に対し0.2 wt%、0.4 wt%、0.8 wt%となるように添加し、恒温槽中（至適温度近傍で6時間攪拌しながら反応させた。なお、酵素Dは、予備実験を行ったところ少量の添加量で分解率が高かったことから0.1wt%添加とした。反応後に75℃で30分間酵素失活を行い、遠心分離（遠心加速度11,800[×g] ( $g=mr\omega^2$ , mは検体粒子質量[グラム], rは遠心機の回転軸から遠心管底までの距離[cm],  $\omega$ は回転の角速度[rpm]), 30分)により固液分離した。酵素処理に伴って海藻中に多く含まれている細胞壁多糖類、細胞間粘質多糖類、貯蔵多糖類などの多糖類がどの程度まで分解されるかの知見を得るため、分解液中（遠心分離後の上清）の糖度（ブリックス度、ショ糖g/100g溶液）を手持屈折糖度計（島津理化器械A形）で測定した。分解率は次式により算出した：分解率(%)=100(S-Di)/S。ここで、Sは酵素処理に用いた海藻粉末量(g)、Diは酵素処理反応液を遠心分離で回収し凍結乾燥させた後の固形分の残存重量(g)である。

### 2. 2. 2 二種の酵素の併用処理

2.2.1で高い消化効果が認められた酵素の中から、至適温度と至適pHの値が互いに近い、二種の酵素BおよびDを組み合わせて、養殖海藻の酵素処理を行った。酵素を添加しないコントロールについても同様の処理を行った。pHを5.5に調整した溶液200mlに、酵素Bを0.8 wt%、酵素Dを0.1 wt%添加し、粉末化（一次処理）した10.0gのマコンブ、ワカメ (*Undaria pinnatifida*) のメカブ、クロメ (*Ecklonia kurome*, 抗菌性成分フロロタンニンを含

表 1 使用した酵素剤の特徴

酵素略号	酵素名	至適温度 (°C)	至適 pH	起源	含有酵素 (*主酵素)
A	セルレーズ ナガセ	50	4-4.5	<i>Aspergillus niger</i>	セルラーゼ*, プロテアーゼ, $\beta$ -1,3 グルカナーゼ, グルコアミラーゼ, その他
B	セルラーゼ XP-425	50	5	<i>Trichoderma reesei</i>	セルラーゼ*, その他
C	XP-415	55	3	<i>Rhizopus delemar</i>	プロテアーゼ*, $\alpha$ -アミラーゼ, $\beta$ -1,3 グルカナーゼ, リパーゼ, ポリガラクトツロナーゼ
D	アルギン酸 リアーゼ S	45	6	<i>Sphingobacterium multivorum</i>	リアーゼ*

タノール抽出[12]した後の試料)をそれぞれ恒温槽中(47°C)で6時間攪拌しながら酵素処理した。反応後75°Cで30分間酵素失活を行い、遠心分離により固液分離し、2.2.1と同様の方法で分解率の測定を行った。分解液中の中性糖量と糖度の測定は、以下の方法で別途反応させて測定した。pHを5.5に調整した溶液10mlに、それぞれの海藻粉末1.0g、酵素B0.8wt%、酵素D0.1wt%を添加し、恒温槽中(47°C)で6時間攪拌しながら酵素処理した。反応後100°Cで3分間酵素失活を行い、遠心分離により上清を得た。グルコースを標準物質としてアンスロン法(630nm)で中性糖量を、手持屈折糖度計を用いて糖度を測定した。酵素処理は2回実施し、平均の値を求めた。さらに、酵素処理前後の海藻組織の観察を光学顕微鏡(ニコン倒立顕微鏡 DIAPHOTO)または走査型電子顕微鏡(日本電子 5310-LV)で行った。

### 2. 3 粉末海藻の施肥試験

三種の粉末海藻および各海藻粉末と消石灰粉末(榎飯田工業所より恵与)を混合比2:1で混合したものを、畝に地肥料として敷き込む方法で施肥し、深ネギの生長に対する施肥効果を検証した。消石灰は土壌の性質を一定に整える目的で施肥し、コントロールとした。海藻は褐藻類のマコンブ、クロメに加え、紅藻類のノリ(*Porphyra ezonensis*)も試験に供した。表2に示すA-Gの施肥条件下で、大きさと本数を可能な限り揃えた深ネギを1畝ずつ植え付けた。植え付け前に全重量および寸法を測定した。鈴木農園(熊本県玉名郡長洲町)において試験区(畝の

幅は約0.7m、長さは約3.6m)を設定し、2005年4月28日にA-Gを施肥した。2005年5月5日に、深ネギ(品種「F1白風」、2005年2月13日に種まきして育種した苗)を施肥試験区ごとに40本ずつを植え付けた。苗は1本当たり平均7.55g、長さ約40cmであり、40本の合計重量は300-320gであった。採取(収穫)は2005年9月10日、9月28日、10月9日の3回行い、畝長さ約0.5mの区画から深ネギをそれぞれ5本ずつ採取し重量を測定した。

表 2 海藻粉末・消石灰の施肥試験区

施肥区	施肥	施肥量
A	消石灰	0.5kg
B	クロメ	1kg
C	ノリ	1kg
D	マコンブ	1kg
E	消石灰(0.5kg)+クロメ(1kg)	1.5kg
F	消石灰(0.5kg)+クロメ(2kg)	1.5kg
G	消石灰(0.5kg)+クロメ(3kg)	1.5kg

## 3. 結果および考察

### 3. 1 養殖海藻の特徴

八代海で養殖された海藻を灰化させた試料の蛍光X線分析(半定量分析)結果を表3に示す。いずれの海藻でも

有害重金属のCd, Pb, Cr等は検出されなかった。Srが検出されたが、ヒジキ、アラメ等にはミネラル分としてCa, Brに次いでSr, Asが含まれている[13]ことから問題はないと考えられる。灰化前の海藻中に含まれていたAsは減少していたことから、灰化で揮散したものと推察された。

表3 養殖海藻の蛍光X線分析結果 (mass%)

元素	ワカメ	クロメ	マコンブ
C	5.88	5.89	6.91
Na	10.4	10.7	6.55
Mg	2.99	6.55	2.95
Al	0.036	ND	0.021
Si	0.11	0.056	0.054
P	0.58	0.89	0.29
S	1.73	7.61	2.45
K	21.0	12.3	25.3
Ca	3.77	7.36	3.56
Fe	0.04	0.056	ND
Zn	ND	0.012	ND
As	0.006	0.007	ND
Cu	ND	ND	ND
Mn	ND	ND	ND
Cd	ND	ND	ND
Pb	ND	ND	ND
Sn	ND	ND	ND
Cr	ND	ND	ND
Se	ND	ND	ND
Sr	0.18	0.41	0.11
Cl	25.6	4.61	24.6
Br	0.07	0.19	0.36
I	ND	0.31	0.66
O	27.7	43.10	26.2

ND：検出限界以下

養殖マコンブとクロメの葉状体の性状と引っ張り試験の結果を表4に示す。八代海養殖マコンブは海水温度が20℃以上になると先枯れが起こる理由から約5ヶ月で収穫する(単年生)ため、利尻産マコンブと比較して厚みは約1/2、強度は1/6程度と低く、伸び率は70%であった。

以上の結果より、八代海で養殖された海藻については、食用素材として重金属類および強度の観点での問題は無く、生食サラダ等への利用が可能と考えられる。実際に養殖マコンブを生食すると、軟らかさや歯ごたえなどの食感

は適度であった。

表4 養殖海藻の性状と引張試験結果

性状	マコンブ <sup>1)</sup>	マコンブ <sup>2)</sup>	クロメ <sup>1)</sup>
伸び (mm)	11.2	18.8	7.8
引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	10.2	63.4	6.2
厚さ (mm)	0.78	1.6	2
含水率 (%)	78	73	88

1) 養殖(八代海産) 2) 北海道利尻産

一方、マコンブなどの褐藻類には、細胞壁多糖類(骨格多糖類)としてセルロースやヘミセルロースが、また、細胞間粘質多糖類としてアルギン酸やフコイダンが、さらに、貯蔵多糖類としてラミナランなどの多糖類が含まれている[13, 14, 15]。マコンブ100g当たりの主な成分は、炭水化物60.0g(不溶性のセルロース、水溶性のアルギン酸、フコイダン、ラミナランなどの食物繊維総量31.3g)、水分10.6g、タンパク質8.4g、脂質1.6g、灰分19.5gである[16]。このように、マコンブには数種の粘性糖質が含まれることが知られていることから、それらの部位(根、茎、葉)別の含量を知ることは、マコンブ中の有用物質を抽出・利用する上で重要である。そこで、部位別の糖質含量の比較を行った

図1に100℃で抽出された養殖マコンブ1mg当たりの各成分のμg量を示す。中性糖はデンプン類の量を、ウロン酸はアルギン酸量を、フコースはフコイタン量を反映していると推定される。八代海での養殖地および部位の違いにより、マコンブに含まれる糖質含量に若干の差があった。水俣湾恋路島で養殖したマコンブの茎部および葉部の糖およびタンパク質量は栖本湾で養殖したマコンブより高い抽出量を示したが、根部については逆の傾向を示した。しかし、いずれの部位でも中性糖：ウロン酸：フコースの比率は約4：4：1(コンブ粉末重量の10%：10%：2.5%)であった。本実験での抽出条件下では、タンパク質は各部位の平均でコンブ粉末重量の約4%(マコンブのタンパク質成分量の約1/2)が抽出されていた。これらの結果から、生育環境によって合成される糖質の量が異なること、また、成長時期(部位)に必要な糖質が異なることが示唆された。

### 3. 2 海藻の酵素処理による液化

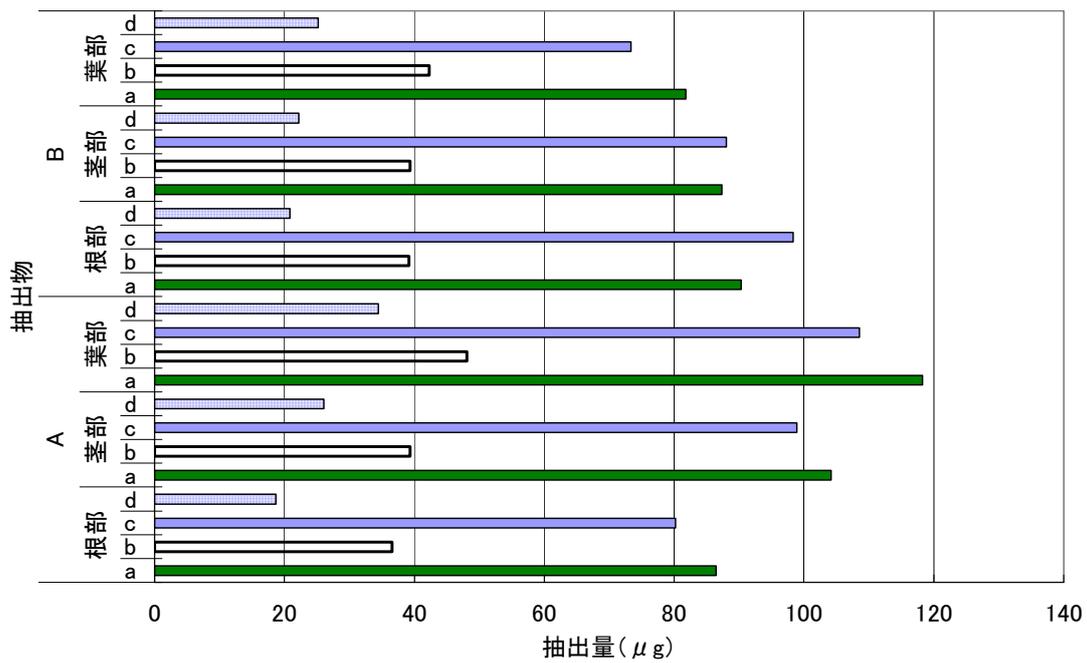


図1 養殖マコンブ 1mg 中の部位別の抽出成分 (100°C, 24 時間, A : 水俣恋路島産, B : 栖本産, a : 中性糖, b : タンパク質, c : ウロン酸, d : フコース)

表5 酵素剤によるマコンブの酵素処理結果 (反応時間 6 時間)

酵素	処理温度 (°C)	処理 pH	添加量 (%)	分解率 (%)	糖度 <sup>1)</sup> (%)
A (セルレーズ)	50	4.0	0	34.8	2.0
		4.0	0.2	36.3	2.2
		4.0	0.4	39.7	2.2
		4.0	0.8	44.2	2.3
B (XP-425)	50	5.0	0	39.9	2.0
		5.0	0.2	43.7	2.5
		5.0	0.4	44.4	2.9
		5.0	0.8	45.3	3.3
C (XP-415)	55	3.0	0	36.7	2.0
		3.0	0.2	38.9	2.5
		3.0	0.4	39.5	2.8
		3.0	0.8	42.4	3.2
D (アルギン酸リアーゼS)	45	6.0	0.1	60.6	3.5

### 3. 2. 1 マコンブに対する酵素処理

表5に酵素処理の結果を示す。酵素を添加していないコントロールのマコンブ溶液では平均 37%の分解率を与え、酵素処理のために調製した pH 値が 5.0 付近で最も水溶性成分が溶け出していた。酵素A（セルレーズナガセ）、酵素B（XP - 425）、酵素C（XP - 415）では酵素の添加量を増すにつれて分解率が高くなる傾向を示し、0.8wt%までの添加による分解率は平均で 43.7%であった。酵素処理した分解液中の糖度は、酵素Aでは酵素量を増してもほとんど変化なかったが、酵素Bおよび酵素Cで処理した分解液では酵素添加量が増すにつれていずれも増加していた。三種の酵素の中では、酵素Bおよび酵素Cが高い糖度を与えた。酵素Bはセルラーゼを、酵素Cは、プロテアーゼを主体とする複合酵素であることから、細胞壁に存在するセルロースや糖タンパク質が糖分解酵素によって分解されたものと推察される。

以上述べたように、三種の酵素処理では、コントロールに比べて 5~10%の分解率の上昇が認められ、分解液中の

糖濃度も酵素処理したときの方が明らかに高い値を示した。これは、一次処理で昆布を微粉末化したことにより接触面積が増え、各分解酵素が容易に作用できたことによると考えられる。

一方、酵素D（アルギン酸リアーゼ S）による酵素処理では、0.1wt%の少量添加でも 60.6%の高い分解率が得られた。他の酵素の 0.2wt%添加と比較した場合、約 20%の分解率上昇とより高い糖度を与えた。これは、コンブの表面を覆っている細胞間粘質多糖のアルギン酸が酵素Dにより低分子化されることで、より多くの細胞が遊離し、ヘミセルロースの加水分解による液化が進んだものと推察される。

表5で分解率の高かった二種の酵素B（XP-425、添加量 0.8%）および酵素D（アルギン酸リアーゼ S、添加量 0.1%）の酵素処理後の固液状態と固液分離後の写真を、酵素剤未添加のコントロール（pH=5.0、50℃、6時間処理）とともに図2に示した。コントロールでは、マコンブはきめの粗いペーストのままで、液化はほとんど認められなかった。

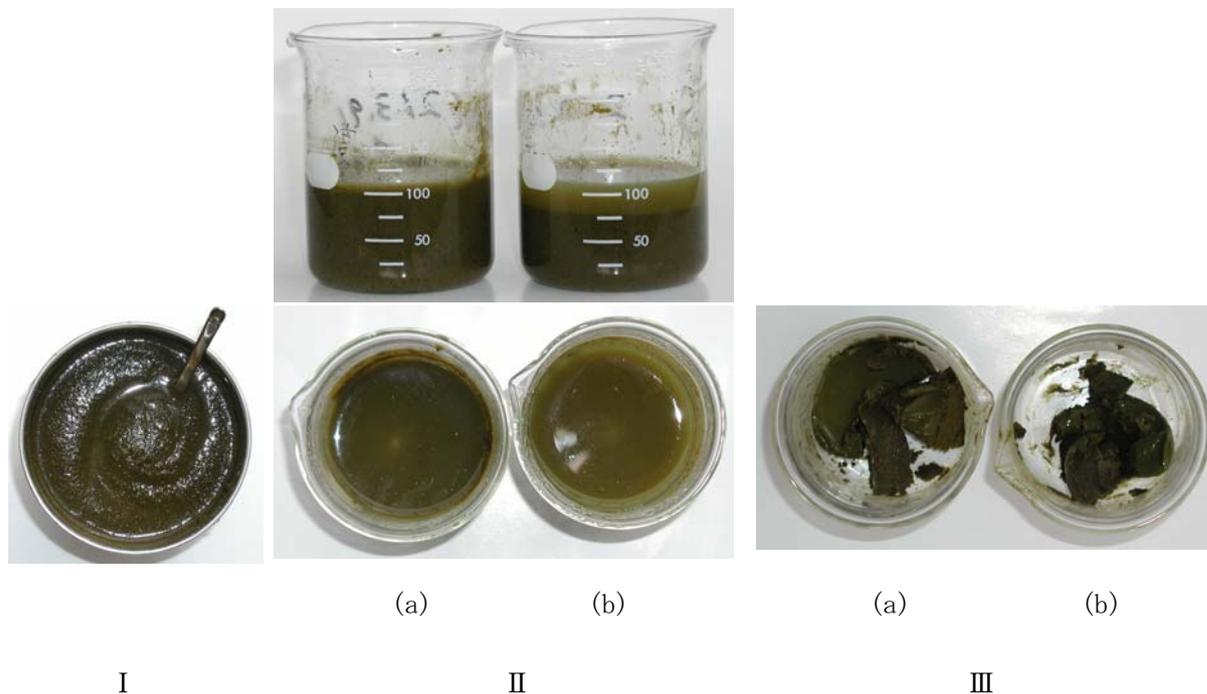


図2 養殖マコンブの酵素処理による性状変化  
( I : コントロール (酵素未添加), II (a) : 酵素B (0.8%添加 XP-425), II (b) : 酵素D (0.1%添加アルギン酸リアーゼ S), III : II (a)およびII (b)の固液分離後)

酵素Bおよび酵素Dによる処理では、液化が進行し、よりなめらかなペーストとなっており、酵素Dによる液化はかなり進行していた。

### 3. 2. 2 二種の酵素剤の併用処理

一次処理したマコンブ、ワカメメカブ、クロメの養殖海藻粉末 10.0g を pH=5.5, 反応温度 47°C の条件下で、酵素 B 0.8wt% および酵素 D 0.1wt% を併用して 6 時間酵素処理した後の固液状態と固液分離後の写真を図 3 に、分解率、糖度、中性糖量を表 6 に示す。アンスロン法では、250 倍に希釈した上清 0.5ml にアンスロン試薬 3ml を加え、所定

の方法で反応させ、630nm の吸光度と反応後の液量から中性糖量を算定した。

二種の酵素 B, D を併用することにより、コントロールと比較して、マコンブでは 6.6 倍の 72.6% まで、ワカメでは 7 倍の 89.1% まで、クロメでは 27 倍の 58.5% まで分解が進み、この条件化で十分に液化およびペースト化させることが可能であった。分解液の糖度はコントロールと比較して、マコンブで 2.8 倍、ワカメで 2.2 倍、クロメで 2.4 倍増加していた。酵素処理で生成する中性糖量(グルコース濃度換算)は、ワカメでコントロールの約 12 倍、マコンブで約 19 倍、クロメで約 4.5 倍増加していた。

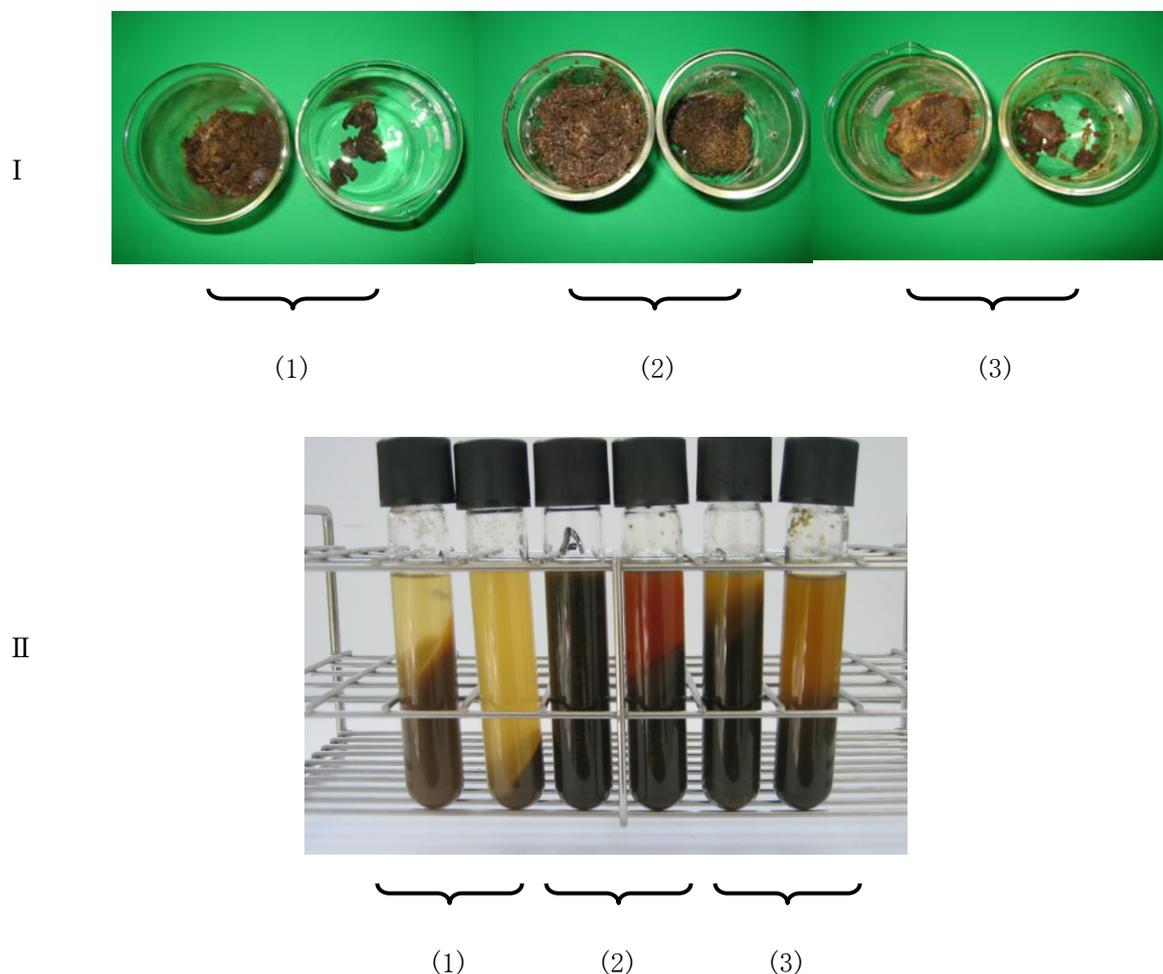


図 3 海藻粉末の酵素剤併用処理による性状変化

( I : 固液分離後, II : 反応後の固液状態, (1)ワカメ, (2)クロメ, (3)マコンブ (左側 : 酵素未処理コントロール, 右側 : 酵素処理後))

図4に酵素処理前後のそれぞれの海藻組織の大きさを、乾燥状態（電子顕微鏡）または湿潤状態（光学顕微鏡）で観察した結果の一部を例示する。酵素処理前後の組織の大きさは、マコンブ（湿潤状態：処理前 400~700 μm, 処理後 10~100 μm）、ワカメ（乾燥状態：処理前 50×100 μm, 処理後 20×20 μm, 湿潤状態：処理前 200×250 μm, 処理後 20×40 μm）、クロメ（湿潤状態：処理前 200×250 μm, 処理後 20×40 μm）であり、微小化されていることがわかる。一次処理後の海藻粉末を酵素処理することで組織がより微小化され、液化とペースト化の進行が確認できた。ワ

カメはマコンブやクロメと比較して組織が柔らかく、処理前の大きさも特に小さかったため、前述した分解率、糖度、中性糖の生成量がいずれも高いことがわかった。

以上の結果より、物理的粉砕である一次処理と、生化学的手法である二種の酵素の併用により、海藻（褐藻類）を液化およびペースト化することが可能であった。この方法をもとに、海藻の糖質以外の有用成分（生理活性物質）についても効率的に抽出することや、噴霧器が目詰まることなく葉面散布施肥ができる液肥[17]として海藻を利活用することが可能と考えられる。

表6 酵素剤併用による海藻の酵素処理結果 (pH=5.5, 反応温度 47°C, 反応時間 6 時間)

海藻	酵素処理 (添加量, wt%)	分解率 (%)	糖度 <sup>1)</sup> (%)	中性糖量 <sup>2)</sup> (mg)
マコンブ	0	11.0	2.2	1.2
	B (0.8%) + D (0.1%)	72.6	6.1	15.0
ワカメ	0	12.7	4.7	1.1
	B (0.8%) + D (0.1%)	89.1	10.1	21.1
クロメ	0	2.2	2.0	3.3
	B (0.8%) + D (0.1%)	58.5	4.9	15.0

1) ブリックス度

2) アンスロン法（グルコース換算，海藻 1g 当たりの mg 量）

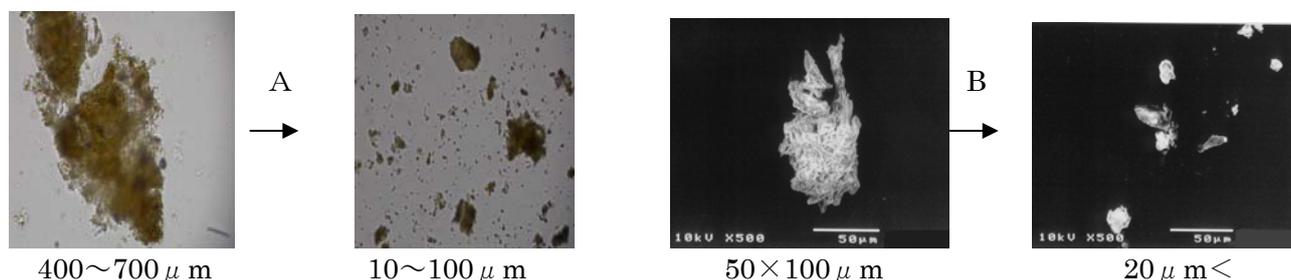


図4 一次処理後と酵素併用処理前後の海藻組織の変化 (A：マコンブ湿潤状態，B：ワカメ乾燥状態)



1畝：3.6m×0.7m，試験区：手前側よりA-G



右側よりA-G

図5 施肥・植付け試験区および植付け時と収穫時の深ネギ

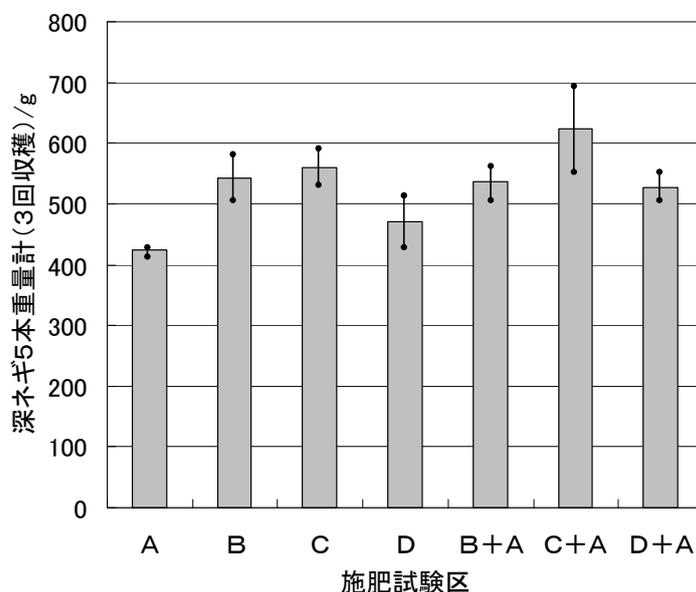


図6 海藻粉末・消石灰の深ネギ栽培における施肥試験結果  
(A：消石灰，B：クロメ，C：ノリ，D：マコンブ，収穫深ネギ5本重量計，N=3)

### 3. 3 粉末海藻の施肥試験

図5にA-G施肥試験区の様子を，図6に深ネギ5本の重量計（3回収穫の平均）の結果を示す．深ネギは植付け時の約38gから400-600gまで生長していた．図5の収穫時の深ネギの形状には著しい差は見られなかったが，重量の重い個体ほど，根の繁茂が多かった．消石灰施肥と比較すると，紅藻類のノリが高い施肥効果を示し，次いで褐藻類のクロメ，マコンブの順であった．褐藻類の施肥も消石灰と比較すると施肥効果が認められた．土壌の性質を一定に整えるために実施した消石灰と海藻との混合施肥試験においても，深ネギの生長に対して同様の傾向を示した．

本試験に供した海藻100g当たりのタンパク質およびKならびにP成分の量(g)は，それぞれ，乾燥ノリ(41.4, 2.4, 0.7)，マコンブ(8.4, 5.2, 0.2)であり[10]，ノリ中にはタンパク質が5倍量多く含まれていることから，深ネギに対しては窒素源供給肥料として特に効果があると推察された．

### 4. まとめと展望

八代海域における栄養塩の回収を目的として養殖試験されたワカメ（メカブ），クロメ，マコンブを素材として

利用するため、その特質を明らかにした。養殖海藻は、含有重金属類および強度の観点で問題はなく、食用素材として用いることが可能と判断された。二地点で養殖されたマコンブの茎部、葉部、根部のいずれの部位でも、中性糖：ウロン酸：フコースの比率は約4：4：1（マコンブ粉末重量の10%：10%：2.5%）であり、生育環境によって合成される糖質の量が異なることと、成長に応じた部位で必要とする糖質が異なることが示唆された。物理的粉碎である一次処理と、生化学的手法である二種の酵素（アルギン酸リアーゼ酵素0.1wt%とセルラーゼ酵素剤0.8wt%）を併用することにより、マコンブ、ワカメ、クロメがそれぞれ72.6%、89.1%、58.5%分解され、海藻を液化およびペースト化することが可能であった。液肥への応用や生理活性物質の抽出の低温度処理による前段階として有効な手法と考えられる。粉末海藻の施肥試験では、深ネギの栽培において、タンパク質を多く含むノリが最も高い施肥効果を示し、次いでクロメ、マコンブの順で施肥効果が認められた。

## 謝 辞

本研究の実施にあたっては、文部科学省都市エリア産学官連携促進事業および㈱みなまた環境テクノセンターならびに熊本県商工観光労働部産業支援課から多大の支援を受けたことを記して感謝の意を表す。また、研究統括の崇城大学岩原正宜教授および熊本県立大学大和田紘一教授には研究推進に対する助言を賜り、水俣漁業協同組合の岩崎巧組合長と組合員諸氏および森下惟一コーディネーターには多大の支援を受けたことを記して感謝の意を表す。また、海藻の施肥試験では鈴木雄司氏に協力いただき、さらに、酵素剤の一部を提供いただいたナガセケムテックス㈱に謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 大山隼人, 末代勇樹, 門脇秀策, 「浅海養魚場における栽培マコンブ, *Lamimaria japonica* の生産量と N, P 吸収量」, 鹿児島大学水産学部紀要, 54, 29-34 (2005).
- 2) 浅川牧夫, 森下惟一, 「海藻の森構想に基づく八代海の環境再生と海藻バイオマスの高度利用」, 月刊海洋, 37, 74-78 (2005).
- 3) 大和田紘一, 生地暢, 森下惟一, 浅川牧夫, 濱本進, 「水俣市沿岸域での養殖マコンブの成長と収穫量—富栄養化物質の回収と水産資源の新興に向けて—」, *Bull. Soc. Sea Water Sci., Jpn.*, 60, 260-265(2006).

- 4) 木幡進, 種村公平, 墨利久, 坂本卓, 田中利和, 長山公紀, 齋藤剛, 森下惟一, 生地暢, 大和田紘一, 「リサイクルガラスを用いた海藻養殖基質の試作」, *Bull. Soc. Sea Water Sci., Jpn.*, 62, 42-48(2008).
- 5) ㈱みなまた環境テクノセンター, 「環境保全に資する陸上と海域のバイオマス循環システムの開発」, 平成15~17年度文部科学省都市エリア産学官連携促進事業(一般型), 熊本県南エリア(県南グリーンバイオ)研究成果報告書(2006).
- 6) 坂本卓, 木幡進, 「海藻の有効成分抽出における前処理技術(一次処理および酵素処理)」, 2005 国際食品工業展 FOOMA JAPAN 2005 アカデミックプラザ研究発表要旨集, Vol.12, pp.151-154 (2005).
- 7) E. W. Yemm and A. J. Willis, 「The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone」, *Biochem. J.*, 57, 508 (1954).
- 8) J. T. Galambos, 「The reaction of carbazole with carbohydrates. I. Effect of borate and sulfamate on the carbazole color of sugars」, *Anal Biochem.*, 19, 119 (1967).
- 9) M. N. Gibbons, 「The determination of methylpentoses」, *Analyst*, 80, 268 (1967).
- 10) O.H. Lowry, N. J. Rosebrough, A. L. Farr and R. J. Randall, 「Protein measurement with the Folin phenol reagent」, *J. Biol.Chem.*, 193, 265 (1951).
- 11) 山城利枝子, 比嘉賢一, 豊川哲也, 鎌田靖弘, 「沖縄産海藻の新規利用法の開発—アノアオサ, ヒトエグサの酵素分解による素材化—」, 沖縄工業技術センター研究報告, 第3号, 9-13 (2001).
- 12) 長山公紀, 平山泉, 中村孝, 岩村善利, 銀永明弘, 「フロロタンニン類を主成分とする抗菌剤」, 特開2003-277203.
- 13) 山田信夫, 「海藻利用の科学(改訂版)」, pp.87-89, (2001) 成山堂書店.
- 14) 大野正夫(編著), 「21世紀の海藻資源—生態機構と利用の可能性—」, p.260, (1996) 緑書房.
- 15) 坂口守彦, 平田孝(監修), 「水産資源の先進的有効利用法—ゼロエミッションをめざして—」, pp.154-155, (2005) エヌ・ティー・エス.
- 16) 香川芳子, 「五訂増補 食品成分表2006」, (2006) 女子栄養大学出版部.
- 17) 大石圭一(編), 「海藻の科学」, pp.184-185, (1993) 朝倉書店.