

■ 持 集 ■ 植物資源のエネルギー化

海洋性植物のエネルギー利用

Application of Algae Energy

山 崎 升*
Noboru Yamazaki

本題については一昨昭和54年に他の雑誌に寄稿したが¹⁾、その後あまり新しい文献が多くみられないので、かなり重複することを御了解の上お読み載きたい。とくに海藻からのエネルギー問題については日本海洋開発産業会のまとめられた“海藻によるエネルギー回収システム研究開発調査報告書”に詳しい。興味ある方の一読をおすすめする。

バイオマスという言葉はすでに広く使用されているが、その主要な基礎が植物にある以上、広大な土地が必要である。ここでいう土地は必ずしも肥沃な土地を意味するものではなく、肥沃な土地は食料生産と競合するから、バイオマス生産はむしろ未開拓、あるいは準砂漠地帯(あるいは砂漠を緑化することもある)がその対象となっている。それ故、国土に平坦な土地の少ない日本ではおのずから目を海外の土地か、周囲に広がる海に目を向けざるをえない。しかし海洋も自由に使用できるわけではなく、漁業との話し合いも必要であるし、いずれも簡単なものではない。以下海草のみでなく、水生の植物も含め、エネルギー源として如何に利用できるかにつきのべてみよう。

1. 海洋農場の構想

海洋農場の構想は石油危機を契機としてアメリカに生まれたもので、従来の化石資源を原料とするエネルギーではなく、海洋中に農場を構築し、そこに成長の早い植物を栽培し、収穫された植物から醗酵法により主としてメタンガスをとり出そうとするものである。図-1にその概念図を示す。当然ながら栽培システムのほか支援システムを基礎に収穫物の処理加工システムなどが付置されるほか、栽培システム中に繁殖する魚

類を収穫する漁業も組込まれる総合的な海洋農漁業システムとして運営されることになる。図-2にはその一例としてのフローチャートが示されている。

2. 農場システムに適した海藻類

農場システムに用いられる海藻は森林エネルギーと同様に栽培可能な、生産性高く、かつ病虫害に強いものでなくてはならない。しかし、これまでにこのような観点からの研究が少く、必要な基礎データが不足している。表1に種々の海藻類の単位面積(㎡)当りの年間生産量を示す。中でも *Macrocystis pyrifera* (ジャイアントケルプ) の生産量が $\sim 48 \text{ kg/m}^2$ 、年で、他のものにくらべ圧倒的に多いことがわかる。それ故、アメリカにおける海洋開発はこのジャイアントケルプをはじめとし *Laminaria* (ナガコンブ) や *Sargassum* (ホ

表1 海藻の生産性

	kg/m ² /年
Chlorophyta	
<i>Codium fragile</i>	0.14
Phaeophyta	
<i>Agarum cribosum</i>	1.0
<i>Laminaria angustata</i>	0.3-9.3
<i>Laminaria digitata</i>	12
<i>L. longicuris</i>	5
<i>L. ochroleuca</i>	1.66
<i>Macrocystis pyrifera</i>	1-48
<i>Saccorniza polyschides</i>	0.8-4
Rhodophyta	
<i>Gelidium</i> spp	0.1-0.3
<i>G. stellata</i>	5
<i>Iridaea cordata</i>	0.01-0.3
Spermatophyta (marine)	
<i>Thalassia testudinum</i>	0.3-1.1
<i>Zostera marina</i>	7.3
Spermatophyta (terrestrial)	
<i>Saccharum officinarum</i> (cane)	8-9
<i>Zea mays</i> (corn)	2.4

* 東京工業大学工学部高分子工学科教授

①152東京都目黒区大岡山2-12-1

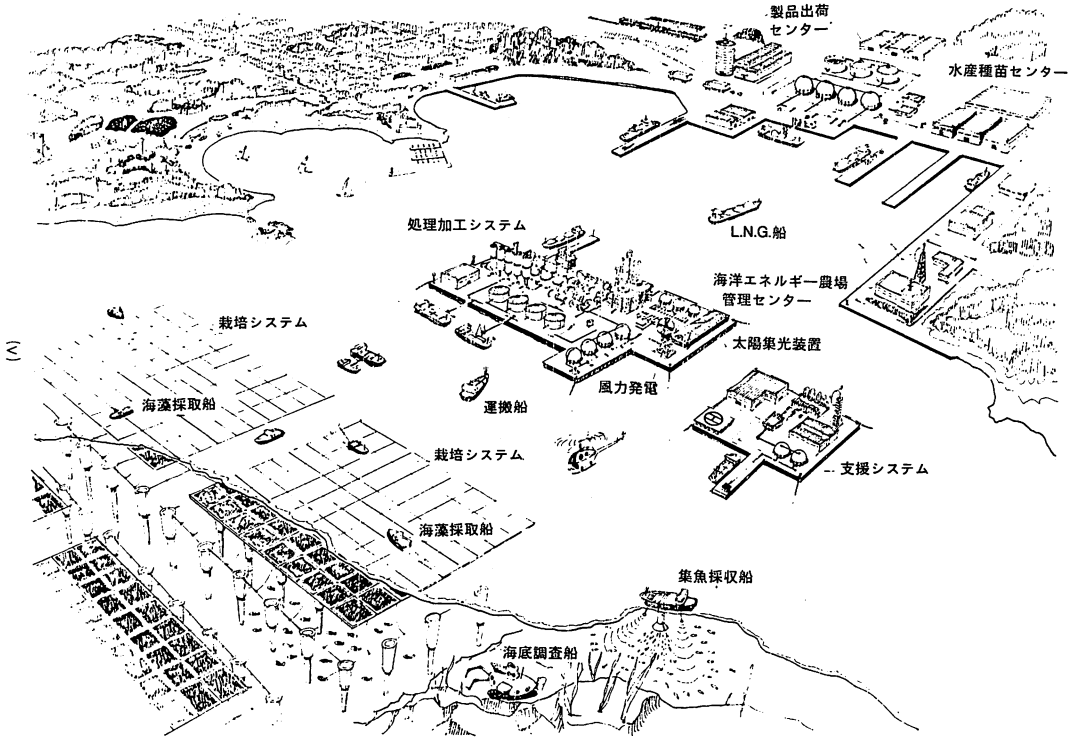


図-1 海藻エネルギー回収システム概念図

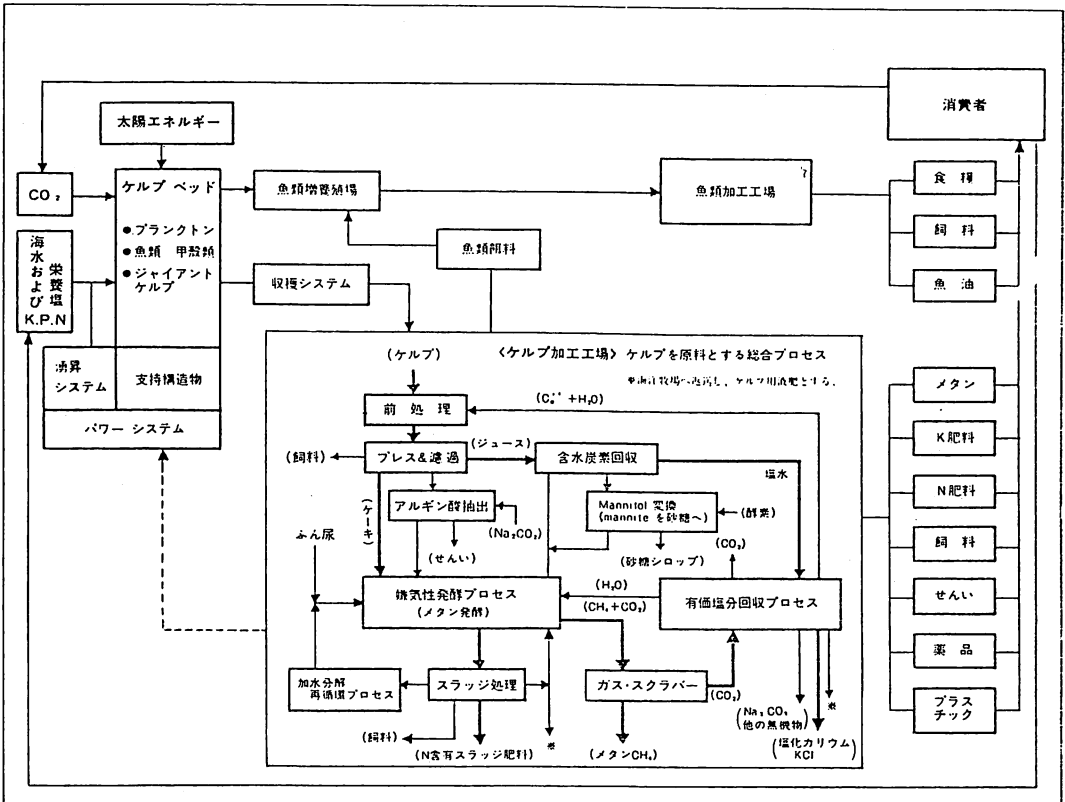


図-2 海洋エネルギー農場システムの概念図

ングワラ)などの褐藻類を中心に研究がすすめられている。

わが国では海藻のうち、コンブ、ワカメなどが多く食糧に供されていることから調査資料も多いが、それらのデータは年間の単位面積当りの収量ではなく、現在量として記されているので、アメリカのデータと比較しにくい。その中で比較的多量生産のものを拾うと表2のようなになる。コンブ類は一般に成長速度がはやく施肥による増加率も高い。そこで次に現在最も有望視されているジャイアントケルプとマコンブについて少し詳しくのべよう。

1) ジャイアントケルプ

ジャイアントケルプは水温 10~22°C のカリフォルニア海岸に自生する褐藻族の一種で、長さ 60 m、重量 20~250 kg におよぶ大きなこんぶである(図-3)。昨年 NHK の総合テレビ(1月2日)で放映されたので、御覧になられた方も多いと思うが、その長さはアパートの6階のベランダから地上までおろしまだ余るものであった。成長速度は 1~9 g/m²・日で、日に長さ 50 cm ものびるという化物のようなものである。

さらに特長としては葉体が極めてうすく、光の透過性がよく、入射光の99%は光合成に用いられる。葉体には浮きがあるため海中に直立することができ、収穫が容易である。また葉体が丈夫で波に対する抵抗力が大きく、収穫時に流失するおそれがないなどの利点がある。

アメリカの Integrated Science や General Electric (Laguna Beach 沖)の実験農場ではジャイアントケルプを10万エーカー(20 km × 20 km)の広さにわたり、海面下40~80フィート(12~24 m)の深さにつくられたポリプロピレン製支持台に移植、栽培する方法が検討されている。ケルプの生育をはやめるためには 300 m の深さの水を汲みあげ、その他必要な硝酸塩、リン酸塩などの栄養分とともに補給し、また温度調節をおこなっている。根を残して年3回刈取るとか、2年間で全部を刈取り植えかえるなど色々の工夫が考えられている。農場の中央部に設けられた集積場に集められたケルプは乾燥、工程にまわされる。

ジャイアントケルプの乾燥重量は13~14%で、そのうち41%が炭水化物で、のこりは36~39%が灰分であり、5%の蛋白、0.4%の脂肪、6%の繊維素からできている。灰分は34%のK₂O、13%のNa₂O、27%のCaO、2.4%のMgOなどからできている。炭水化物のなかには食用、医薬用として重要なアルギン酸(13~34%)、

表2 日本海藻の現存量

	kg/m ²
マコンブ	19.0
カゴメ	20.7
アラメ	20.0
ヒジキ	19.8

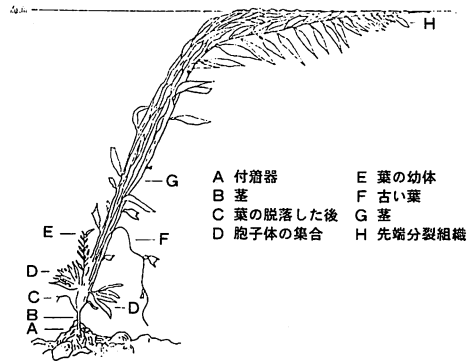


図-3 ジャイアントケルプの生育状態

ラミナリン、マニトールなどが含まれる。現在南カリフォルニアでは Kelco Co. が操業して12万t/年の収穫をし、主としてアルギン酸を製造している。

ジャイアントケルプの成長速度については文献によってかなりの差があり、大凡年間 0.2~4.8kg/m²(8.1~200t/エーカー)(乾燥重量)であり、この量も人工栽培により増殖は可能であるという。乾燥物は次の嫌気性醗酵工程に移されメタンガスを発生させる。メタン化率を0.49%とすると0.48~11.6t/エーカー・年のメタンガスがえられることになり、SNG10⁶ BTU当り36~38ドルの価格となる。経済的には乾燥重量 80t/エーカー・年の収量がなければ天然ガスに対抗できない。GE社では114t/エーカー・年を見込んでいる。その他、メタン1tに対し副産物として肥料が1.1t、同廃棄物が6.6tである。

2) マコンブ

前述のように日本では食糧用としてコンブやワカメ類が収穫されているが詳細な栽培データがない。マコンブは三陸から北、北海道南部の太平洋海岸の水深7~14 mのところの生育し、長さ 50 m、巾 30 cm、重量 1.2 kg という大型褐藻類の1種である。余市産種苗のマコンブでは垂下縄 1 m 当り 166 kg の収量をえている例もあるが、一般には30~50kg/mである。これを植えて施肥により 30~70 kg/m²(湿重量)の収量が可能な

らば、0.6~1.1 kg/m²(乾重量)となり、ジャイアントケルプ(前出)に比して余り変りがなくなることになる。これにもなう副産物はエーカー当り KCl が 14.8t, アルギン酸 8.8t, および飼料, 肥料として 8.3t である。実際にはマコンプからのメタン醗酵の研究も試みられておらず、もう少し研究が必要であろう。



図-4 マコンプ

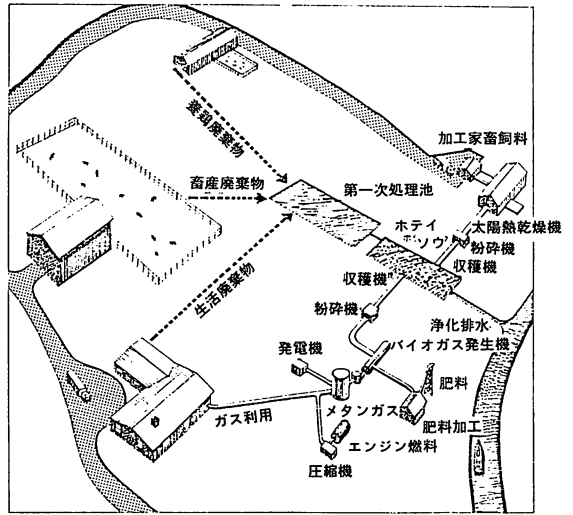


図-5 ホテイソウシステム (NASA)

3. ホテイソウシステム

アメリカ航空宇宙局(NASA)がおこなっている主として環境保全を目的としたバイオマスの利用システムとして“ホテイソウシステム”があり、興味深い。ホテイソウは金魚鉢の花として観賞用に用いられているが、高温の淡水系では旺盛な成長力を示すものである。また栄養のある水中では8~10日ごとに重量が2倍にもなるという。さらに興味あることは水中の水銀、鉛、カドミウムなどの重金属イオンを植物体内に取入れる特徴があり、これらを利用して水質改善の有効利用システムが開発された。その概略は図-5でおわかり載けよう。

まず生活廃棄物、畜産廃棄物、養鶏廃棄物などが集められ、第1次処理池で分解され、富栄養化された水がホテイソウ培養池に入れられる。ここで栄養はホテイソウに吸収され、浄化されて排水に流される。成長したホテイソウを引上げ、粉碎、乾燥後メタン醗酵にまわされる。

ホテイソウの年間生産量は212t/ヘクタールで、その成分は蛋白質17~22%, せんい15~18%, 灰分16~20%である。これからえられるメタンは220~240 m³ (7~14×10⁶ BTU)で、その他残渣は窒素、リン酸肥料として用いられる。ホテイソウでおおわれた0.2ヘクタールの水路の実験では表3にみられるように流入水に含まれるBOD、リン、窒素、銀など重量が1/5~1/1000以下に減少していることがわかる。注目すべ

表3 ホテイソウシステム水路実験 (単位 mg/t)

	流 入	流 出
有 機 物	75	13
BOD	33	3.6
全 溶 解 物	380	212
窒 素	2.36	0.43
リ ン	0.48	0.08
銀	0.99	0.001

きシステムといえよう。

4. 藻類による水素生産

以上のべてきた海藻や水生植物からのほかに、海藻に付着する光合成細菌(嫌気性球状菌)を用いて、太陽光をうけた塩水培地から水素を発生する研究がアメリカのフロリダ大学でおこなわれている。水素発生は菌内のヒドロゲナーゼやニトロゲナーゼの働きによるものである。三井教授によれば光が照射された培地の水1mlは3日間に1mlの水素発生する能力があり、その能力は5~7日も持続されるという。まだ大規模な実験がおこなわれていないがこのデータを基礎に計算すると、各家庭で深さ1m、8m×8mの広さの塩水池を備えると必要需要1000kwh/日がまかなえることになり、エネルギーの苦勞はいらぬことになる。

このほか亜熱帯の海水中にする海藻につく紅色光合

