

バイオマス利用の現状と今後の課題

Biomass Conversion

鈴木 明*

1. はじめに：バイオマスとは

バイオマス (Biomass) という用語は、もともと生態学で使われているもので、「生物現存量」とか、単に「生物量」と訳されている。生体の活動にともなって生成する物体のうち、ある一定の空間に存在する植物体または動物体を物量換算した量をいうとも定義できよう。

無機物から太陽エネルギーを利用して生合成される有機体は、地球生物圏における植物、動物、微生物等の生物の形態変化を経たサイクルによって、ふたたび無機系に戻る。このように、地球生物圏の物質循環に組み込まれるすべての生物有機体がバイオマスであるとの定義もある。

因に、バイオマスの中で、もっとも量的に多いのは植物体によるファイトマス (Phytomass) である。

バイオマスという学術用語が学問の領域からはみ出して使われるようになったのは、米国のその頃の ERDA (エネルギー研究開発庁：その後改組されて現在は DOA：エネルギー省) が発表した将来エネルギー供給構想のなかで、化石系燃料や原子核エネルギーとならんで、太陽エネルギーを大きくとりあげた時以来のことである。太陽エネルギーを生物が固定する機能によって、いわゆるリニューアブル資源 (renewable resources) という形で、バイオマスが位置づけられたといえる。

2. バイオマスはエネルギー・資源となる資格はあるか

2・1 林産バイオマス

世界の森林資源の蓄積量は FAO (国連食糧・農業

機構) の1975年の推定によれば、3000億 m^3 強と見込まれ、その $\frac{1}{3}$ が針葉樹(N), その残りが広葉樹(L)である。その賦存地域は、針葉樹ではソ連、北米およびカナダが中心である。広葉樹については、ブラジル、アジア南部およびアフリカ中央部が主体である。表1は少し古い1973年の資料である。

表1 主要国の木材資源蓄積量 (1973年 FAO)

	蓄積量 (億 m^3)	対日本 比	NL比	伐採率
日 本	19	1.0	5:5	3.1%
ソ 連	791	41.6	8:2	0.5%
ア メ リ カ	203	10.7	7:3	1.6%
カ ナ ダ	239	126	8:2	0.4%
ブ ラ ジ ル	658	34.6	殆んどL	0.2%
ニュージーランド	3	0.2	9:1	2.5%
オーストラリア	22	1.2	1:9	0.5%
マレーシア	10	0.5	0:10	1.6%
インドネシア	87	4.6	殆んどL	1.1%
パプアニューギニア	5	0.3	殆んどL	0.1%
計	2,297.7	121.5		1.1%

森林の年間蓄積量と年間伐採量とのバランスの現状についてみると、主要国の多くはすでに伐採量が蓄積量である2%を越えていて、両者のバランスはすでに世界的に崩れをみせているという。

周知のように、森林は自然環境の重要な構成要素という性格を有しており、水源涵養、洪水防止、防風、防砂などの機能は無視できない。成長量と伐採量のアンバランスは自然環境の維持を困難にするため、森林資源保有国でも森林の伐採に対しては制限を加えつつあり、近年国際的に盛り上がりを見せている環境世論にかんがみ、今後はこの種の運動は一段と強化されよう。したがって、林産バイオマスは¹⁾ニューアブル資

* (財) 野口研究所常務理事

源でありながら豊富とはいいがたく、むしろ有限な資源と考えるべきであろう。

次に、わが国の事情をみてみると、わが国の樹木蓄積量は20億^{立方メートル}で、この量は世界最大の森林国であるソ連の1/40、世界最大のパルプ生産国アメリカの1/10にすぎない。石油資源ほどではないにしても、木材資源はわが国にとって決して恵まれた状態にあるとはいえない。このような資源環境にありながら、わが国の紙・パルプ産業は、紙、板紙の生産で世界第2位、パルプの生産で第3位の地位を築いてきたのである。

2・2 農産バイオマス

繊維パルプ：竹、葦などの必ずしも農産バイオマスには含めないものもまとめて説明すると、いわゆる非木材繊維で利用可能と考えられるものは、10.3億t（1973年・絶乾重量）と推定され、人口増加を上廻る食糧生産技術の向上傾向からして、非木材繊維利用は一層その意義を増しつつある。表2は非木材繊維の利用可能量の一覧表である。

表2 非木材繊維の利用可能（推定）

材 料	利用可能量 (1,000Mt)
小麦	550,000
稲	180,000
燕麥	50,000
大麦	40,000
ライ麦	60,000
エスパルト	3,000
バガ	55,000
ジュート	4,425
ケナ	1,674
サイザル	648
マニラ麻	92
亜麻	2,000
ヘネケン	164
葦	30,000
竹	30,000
パピルス	5,000
綿	13,200
コットンリッター	1,000
合 計	1,026,203

次に、非木材パルプの生産状況については、まず、世界の紙、板紙生産に占める非木材パイプの地位についてのべる。世界全体のそれらの生産量は約1.4億t/年であり、現状ではこの生産に要する原木パルプの大半は木材と再生古紙に依存しており、非木材パルプの利用はきわめて僅かであり、約5%を占めるに過ぎない。しかし、このような木材パルプ主体の紙、板紙生産が今後も長期にわたって続けられるのは困難であ

ることは明らかである。

因に、わが国における非木材パルプの利用をみてみると、わら、マニラ麻、みつまた、こうぞ、がんび等があげられるが、その使用量は10~20万t/年でわずかな量である。

さとうきび：ノーベル賞受賞者でカルフォルニア大学教授のM・カルビン博士はさとうきびを化学工業用のバイオマスとして有力候補にあげている。その主な理由をいくつかあげると、(1) 光合成効率が日射量の1.2%で、効率の高いC₄-植物に属している。(2) 栽培適地は亜熱帯に属して、雨期、乾期が比較的はつきりしている地域である。この地域は幸いに地球表面上で、年間日射量の大きい地域に属している。(3) これは、(1)、(2)とも関連しているが、地球上の生物圏で、さとうきびは植物生産性（炭素のg数/cm²/年）の高いグループに属している。

表3はM・カルビン教授が示した、さとうきび、ヘビヤ樹およびケルブの年生産収量の比較表である。

表3 ヘビヤゴム、砂糖きびおよびケルブの生産収量

	年生産収量 t/ha	入射太陽光捕 集率 %	可能生 産収量 t/ha
ヘビヤ樹 (マレーシア) 砂糖きび (ハワイ)	2.2(ゴム)	0.2	4.5~9
	25(砂糖)	1.2	>30
	10(エタノール) 9(エチレン)		
ケルブ	9(乾炭水化物)	~2.0	90

因に、さとうきびからの砂糖1tに対し乾燥状態のバガス1tが産出されているから、バガスもそれとほぼ同重量の6000万t/年産出されている。

世界の砂糖生産は、砂糖価格を維持するために、世界全域的協定により、各国に生産割当てが行われているのが実情である。開発途上諸国で、さとうきびの作付け可能な土地がいくらあっても、砂糖向けである限り、協定に抑えられて増産ができない事情にあるようである。

したがって、もし、燃料用アルコールか、石油化学用エチレン製造中間原料等に振り向ける用途がひらかれると、さとうきびが急速に増産できるというポテンシャルを持っている。

マンジョカ：最近になって急にマンジョカがバイオ

マスの中ではかなり重要視されるようになってきている。

マンジョカは一種の農作物で、地中に芋を形成し、ここに多くの澱粉を貯え、そのために将来は有用な農作物になるであろうとみられてきたのである。

この作物はブラジルが原産といわれ、有史以前から栽培され、熱帯から亜熱帯にわたって広く分布し90ヵ国に及んでいるといわれる。これらの諸国はおおむね昔は植民地であった処が多く、そのため種々の名称でよばれてきた。マンジョカ (Mandioca) はブラジル名、キャッサバ (Cassava) は英名である。わが国ではイモ、キと呼ぶようである。

マンジョカは植物分類学上はトウダイグサ科 (Euphorbiaceae) に属し、*Manihot esculenta* の名称に統一されているという。

世界におけるマンジョカの生産状況は表4に示さ

表4 マンジョカ生産量

国 別	生産量 100万トン	対世界総 生産量(%)
ブラジル	33.0	31.0
インドネシア	10.1	9.5
ザイール	10.0	9.4
ナイジェリア	9.6	9.0
タイ	6.4	6.0
インド	6.3	5.9
ブルンジ	4.0	3.8
タンザニア	3.4	3.2
ギニア	2.1	2.0
モザンビーク	2.1	2.0
アンゴラ	1.6	1.5
コロンビア	1.6	1.5
マダガスカル	1.3	1.2
パラグアイ	1.2	1.1
スーダン	1.1	1.0
中央アフリカ共和国	1.1	1.0
ウガンダ	1.0	0.9
カメルーン	1.0	0.9
40万t以上生産10ヵ国	5.5	5.2
40万t以下生産62ヵ国	4.0	3.8
合計	106.4	100.0

れている。この表でわかることは、ブラジルは3300万t/年を生産し、世界総生産量の33%を占めて第1位である。

2・3 海産バイオマス

海産バイオマスの代表的なものである海藻類はこれまでは食料やアルギン酸原料として利用されてきたものである。したがって、エネルギー利用面からの対象物とはあまりならなかったといえよう。

ここでは、大量採取可能なものについて説明する。

ジャイアント・ケルプ：ジャイアント・ケルプ (M-acrocystis) は水温10~22℃の米国カルフォルニア沿岸に自生する褐藻類の一種で、海底の岩石に着床し、長さ60m、重量200~250kgにおよぶ巨大なこんぶの一種である。その成長速度は1~9g/㎡・日で、1日に50cmも伸びるといわれる。年間に乾燥重量で1~5kg/㎡を収穫することができ、栽培によりこの2倍の収穫が期待できるという。

ある試算では、年間42.5t/エーカーの乾燥物がえられ、これをメタン発酵に利用すれば、メタン13tを得ることができるといわれている。

米国のインテグレートッド・サイエンス社やジェネラル・エレクトリック社の実験農場では、水深50~150mの海の中の10エーカーの広さの場所に、12mの水深の位置にポリプロピレン製ロープをはりめぐらし、ケルプが植えつけられている。年に3回、中央の処理場上に引きあげられ、乾燥されて、メタン発酵に利用される。

まこんぶ：まこんぶ (*Laminaria japonica*) はその名の示す通り、北海道から三陸沿岸にわたり水深7~14mのところにて育成する日本産褐藻類の一種で、平均葉長50m、葉幅18cm、重量1.2kgという大きなもので、最大収量170kg(湿重量)/㎡におよぶ高い生産性を持っている。

近年は促成栽培法により、従来成体になるまで2年かかっていたものが、1年で育成するようになり、またこの方法により天然では分布していない九州などの暖海域でも栽培可能になったようである。その1つのプロジェクトを紹介すると、九州西南または南西諸島付近で、水深約150~400m、広さ180km²の海域にまこんぶを植えつけ、前記のジャイアント・ケルプと同様な方法で栽培し、年3回収穫し、総計1,260万t(湿重量)/年を得ようというものである。

2・4 廃棄物バイオマス

これらの代表的なものは都市ゴミである。この種ゴミはエネルギーや工業原材料、さらに土壤還元作用物等向けのバイオマスとみなすことができる。都市ゴミの再資源化処理は環境改善にも役立つのである。

まず、都市ゴミの組成をみると、収集方法、地域、季節その他各種の要因によって変動するが、その一例を示すと図-1のようである。このうち紙屑(21.4%)、厨芥(4.2%)、木屑・その他(4.2%)を含めたものをバイオマスと考えることもできよう。

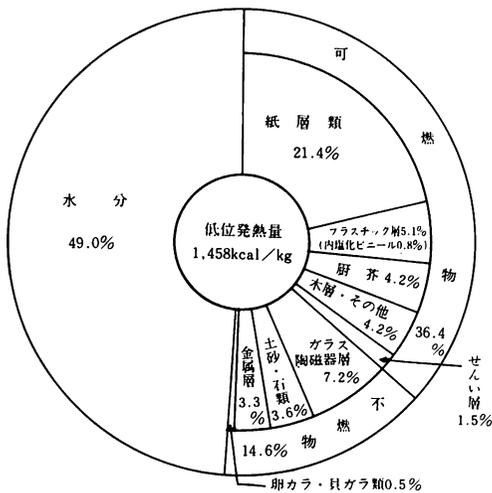


図-1 都市ごみの組成分析例

わが国における1977年の都市ゴミの総排出量は3270万tとなっており、1人1日当たり約1kgを排出していることになる。

したがって、全国ベースでは紙屑が約700万t、厨芥・木屑・その他が約280万tが排出されていることになる。

また、都市ゴミをエネルギーの面で見ると、都市ゴミの保有エネルギーを平均1500 kcal/kgとすれば、総額では約 50×10^{12} kcalとなる。この保有エネルギーを石油(1万 kcal/lとし)に換算すると、約480万klに相当する。

3. エネルギー発生源としてのバイオマスの可能性

まず、バイオマスの利点ともいえる特性をみてみると、樹木を含めた植物系バイオマスはエネルギー発生源即ち固体燃料として幾つかの有利な性質を備えている。第1に、硫黄含有量は石炭にくらべては無視できるくらいに少ない(0.1%以下)。また灰分もかなり少く、これを回収すると肥料として利用できる。

次に、バイオマスの熱価をみると、これはバイオマスの欠点ともいえるが、バイオマスの乾燥重量をもとに化石系燃料と熱価を比較すると、木材の4,000~4,500 kcal/kgに対して、石油は9,500 kcal/kg、天然ガス10,000 kcal/kg、れき青炭7,000 kcal/kgである。

伐採直後の樹木は水分含量が高く(乾燥重量をベースにして40~150%)、熱価が乾燥木材に対して30%近

くに減少してしまっており、1,500~2,000 kcal/kgである。農産廃棄物の場合もこれに近い。

3・1 林産バイオマス

林産バイオマスをエネルギー発生源に利用しようという発想の大規模なものに、発電を目的としたエネルギー栽培構想がある。

大規模発電所に必要な燃料を供給するという専用の目的で森林を育成するという特別のエネルギー農場建設の諸提案がこれまでになされている。たとえば、約1万平方mの土地から100 MWの蒸気発電所に燃料を供給するのに十分な樹木を得ることができるとの計算がなされている。

また、林産バイオマスを大量にエネルギー化する手段としては、いわゆる薪(たきぎ)だきボイラーがこれから各方面で見直されることになろう。

すでに、石川島播磨造船所は、アマゾン地方のパルプ工場の中核部となるプラント船に、薪と重油が併用できるボイラーを据つけて輸出している。

ボイラーの規模は現在の処、数100kwから1,000kwのものが適当とされているが、その理由として、燃料用木材の安定入手と発生電力、蒸気の引き取り手の問題があるからであるという。

したがって、前述のエネルギー農場の構想が最初から成り立てば、発電所の大規模化が可能になる。

これを要するに、林産バイオマスのエネルギー発生源の利用の開発は、既存技術の現代化も勿論であるが、利用システムをどのようにするかというシステム設計がポイントであるとの指摘がある。

3・2 農産バイオマス

1980年における世界主要農産物の予想収量は13億7000万tとされ、それからの廃棄物(可食部分以外のもの)の総計は28億4500万tとなり、これらの保有する熱量を石油に換算すると約9億6000万klとなるとの計算数字が発表されている。

さらに、これらの農産バイオマスの10%を実際に石油と代替できるような形で利用すると、約1億klに近い石油の節約になる。現在までの処、局部的には実施されているが、集荷、運搬等のシステムの問題がほとんど解決されていないために、世界規模での実現はまだまだ先のこととなろう。

3・3 廃棄物バイオマス

代表的な都市ゴミの直接エネルギー化について簡単に説明する。

まず、都市ゴミの高温熱分解ガス化についてみると、

ゴミ中のプラスチックが主なエネルギー供給源となつて熱分解が行われる。すなわち、第1塔(熱分解塔)でガス化され生成する残存炭素は第2塔で燃焼され、燃焼熱が流動砂を加熱して再び熱分解砂として使われる。半湿式選択別機による前処理で仕分けられたI、IIおよびIIIグループをもとに、I+II+III、II+III、またはIIIグループのガス化実験で得られたガス組成別成分率を示したのが表5である。ここに、Iグループ

表5 都市ゴミの二塔循環流動層熱分解生成ガス組成

原料 ガス成分	全量破砕ゴミ I+II+III	分別ゴミ II+III	分別ゴミ III
H ₂ %	30.0	20.2	15.8
O ₂	0.9	0.9	0.1
N ₂	2.5	2.1	4.8
CO	34.7	26.8	21.1
CO ₂	11.2	16.9	11.2
CH ₄	12.7	16.7	23.8
C ₂ H ₄	5.4	6.7	11.7
C ₂ H ₆	1.1	3.6	4.7
C ₃ H _m	1.0	4.5	5.8
C ₄ H _n	0.5	1.6	1.0
発熱量(真) kcal/Nm ³	4,100	5,670	7,000

プとは厨芥や弱い紙類および土砂・ガラス類を含むものをいい、IIグループとは紙類である。IIIグループとはプラスチック、空缶類を含むものをいう。

次に、都市ゴミの中温流動層熱分解油化を説明すると、単塔式の流動層熱分解装置によって、前処理で仕

表6 都市ゴミの流動層熱分解油化生成油
・チャー等の性状

分析項目	プラスチック系油	セルローズ系油	チャー	
含水率(wt%)	9.73	40.5	3.1	
発熱量(kcal/kg)	8,770	3,210	6,090	
粘度(cp)	20(65°C)	35(65°C)	—	
c/H	6.87	11.4	—	
平均分子量	500	—	—	
粒待(mm)	—	—	15	
灰分(wt%)	—	—	20.8	
かさ比重	—	—	0.25	
元素分析値 (wt%)	C	70.87	30.7	70.3
	H	10.31	2.7	2.7
	O	8.09	18.3	3.5
	S	0.10	0.15	0.06
	N	0.63	0.57	2.5
	Cl	0.27	0.90	0.64

分けられた紙とプラスチックを同時分解して、油状の燃料と固型燃料炭が回収される。回収油はプラスチックの熱分解生成物と紙類の熱分解生成物であるセルローズ系油に分離される。それらの性状を示したものが表6である。なお、同時発生するガスは系内燃料として加熱用に使用される。

4. 今後の課題：バイオマスとソフト・エネルギー・パス

ソフト・エネルギー・パスという比較的新しい概念については、この創刊号の論説の一テーマに組み込まれているので、それを参照していただくことにしたい。

バイオマス利用の今後の課題はまさにソフト・エネルギー・パスの中に巧みに組み込まれること、あるいは、組み込むこと、に努力し、または、それらのことが如何にしたら可能かの見通しをつけることが重要である。

また別な概念ではあるが、各種エネルギー源のオプチマル・シンビオシス(共生最適化)ということが唱えられはじめています。

これらの重要にして興味ある考え方については、別の機会を得て論じてみたい。

尚、バイオマスの化学工業原料用の資源としての利用の現状と今後の課題については、与えられた紙数の関係でほとんどふれなかったが、関心のある方は参考文献中の筆者の諸リポートを参照していただきたい。

参考文献

- 1) 工業技術 (バイオマス特集号) 20 (11), (1979)
- 2) 鈴木 明, 化学工場 20 (1), 32 (1975)
- ” 触 媒 19 (2), 96 (1977)
- ” 日化協月報 31 (5), 4 (1978)
- ” 化学経済 25 (12), 2 (1978)
- ” 化学と工業 32 (1), 8 (1979)
- ” 高 分 子 28 (12), 847 (1979)