

わが国の陸上バイオマス資源

Terrestrial Biomass Resources in Japan

津川 兵衛*

Hyoe Tsugawa

1. はじめに

過去2度にわたるオイルショックに端を発し、石油代替エネルギー開発の必要性が叫ばれてきたが、石油に代るエネルギー源の一つとして生物資源を利用するための技術開発が世界各国で活発な展開をみせるようになった。

広大な農耕地を有し、コムギ、トウモロコシなど穀物の莫大な生産力を誇る米国は、深刻な農業不安を招くほどの余剰農産物をかかえるにいたり、それらのバイオマスをアルコール生産に振り向ける計画が実施されている。また、ブラジルでは1975年に国家アルコール計画が発足し、サトウキビ、ソルガム、キャサバからアルコールが生産されている。この計画は他の国々にバイオマス資源の有用性を認識させるようになったといわれる。カナダでは豊富な森林バイオマスの活用を主眼とした技術開発が進められてきた。英国では農林産廃棄物、エネルギー植物、水生植物等のバイオマスのエネルギー転換技術が注目されている。フランス、イタリアではテンサイ、キクイモをバイオマス資源に当てる計画が立案された。東南アジア諸国でもキャサバ、カンショ、サトウキビを原料とするアルコール生産技術の確立に向けて研究が進められている^{1,4)}。その他の国々でも豊富に存在する植物資源の有効利用を目ざしてバイオマスに関する研究は年ごとに盛んになっている。

石油、その他鉱物資源に乏しいわが国ではバイオマスの活用は欠かせない。しかし、国土が狭いため耕地面積が限られているうえに、多大な人口を養ってゆかねばならないので、農林産バイオマスは従来の用途との競合を避ける必要がある。農作物の収穫物は有用部分を取った後、多量に出る未利用部分をバイオマス資源として活用できる。森林資源にしても同様のことが

いえる。また、山麓部の傾斜地、河川敷など普通の作物を栽培するのに適さない土地でのバイオマス生産も今後の課題である。さらに、乾物生産力が大きく、わが国の気候・土壌に適し、省力栽培が可能で、収穫の容易な新しいバイオマス資源の導入・育成も一方策であろう。

バイオマス資源の生産性の問題に関しては、1968年から1978年にかけて行われたIBP（国際生物学事業計画）のもとで多大な知見が集積された。さらに、1970年代末から農林水産省、通商産業省、科学技術庁の研究機関をはじめ都道府県の研究機関、大学等でバイオマスとなる新しい資源植物の育成、バイオマス資源の変換・利用技術の開発のための研究が活発に進められている。ここでは、これまでに得られた研究成果を参考にしながら、わが国のバイオマス資源開発の方向について考えてみたい。

2. バイオマスの定義

バイオマス (biomass) という語は元来「現存量」と訳される生態学用語であって、「単位空間に現に存在する生きている生物の量」を意味する。たとえば、草原に1 m²の方形枠を置き、枠内の植物体を地際から刈取る。それを植物の種類ごとに仕分け、枯死部を除いた生存部分を80℃で24時間以上乾燥後、秤量してm²当りのg数で表わしたものがそれぞれの種のm²当りの地上部現存量である。植物を仕分けず一括して測定することがある。また、林木などの大型植物を取扱うときは方形枠は大きくなる。

しかし、これでは現在広く使われているバイオマスなる語の説明にはならない。

植物は光合成によって無機物から有機物を合成する。有機物は消費者である動物、分解者としての微生物などの食物連鎖を経て、もとの無機物に戻る。化石資源は別にして、この物質循環に組込まれるすべての生物有機体がバイオマスであるというのが一般的な生

* 神戸大学農学部園芸農学科助手
〒657 神戸市灘区六甲台町1

物学的解釈である。

ところが、純粋学問領域を越えて、産業界の諸分野でも広くこの語が使われるようになってきている。発端は米国エネルギー研究開発庁がまとめた「アメリカの将来エネルギー構想」にあるといわれる。そこでは、太陽エネルギーを固定する生物の光合成機能を利用して新しいタイプのエネルギー源を作り出し、利用する目的で、バイオマスとはエネルギー源として利用できる生物資源であるという新たな位置付けが与えられた。このように、エネルギー源としてバイオマスを捉えようとする場合には bio-energy とか bio-fuel の語の使用もみられる¹⁾。エネルギー源としての植物の取扱いでは、従来の農作物のように特定部分の利用が目的とされるのではなく、その全体が利用され、生産においては全カロリーの変換率を問題とするのが特徴である¹⁾。

植物資源の多方面にわたる変換技術が開発され、多様な資源利用の可能性が注目されるようになってきている。したがって、バイオマスの語はさらに拡大解釈されるようになってきた。バイオマスは生物あるいは生物由来の資源を意味する語として使用されている。すなわち、種類・形状を問わず、大量に集めて、エネルギー、食料、飼料、その他工業用原料などの資源とすることのできる生物体とその排泄物、さらに人間の生活ならびに生産活動にともなって生ずる生物起源有機系廃棄物がバイオマスに含まれる²⁾。最近では、未利用資源を活用するという発想のもとに、生物資源に対してバイオマスの語が使われる傾向が強い。なお、バイオマスには動物、微生物も含まれるけれども、圧倒的に多いのは植物によるファイトマス (phytomass) であるから、ここではバイオマス=ファイトマスの観点に立って論を進める。

3. バイオマス資源の種類、賦存量および地理的分布

バイオマスは利用成分別には、①炭水化物（澱粉、蔗糖、セルロースなど）、②炭化水素（テルペン類、ゴム成分など）、および③その他の有機物（タンパク質、脂質など）に分けられる。また、利用形態別には、①固体（薪炭、イナワラ、ムギワラなど）、②気体（メタンガス、水素など）、③液体（動植物油、エタノール、炭化水素植物からの抽出物など）および④コロイド（バイオマスを微粉化し、重油などを混入したものに）分けられる³⁾。生産場所（生態系）別にバイオ

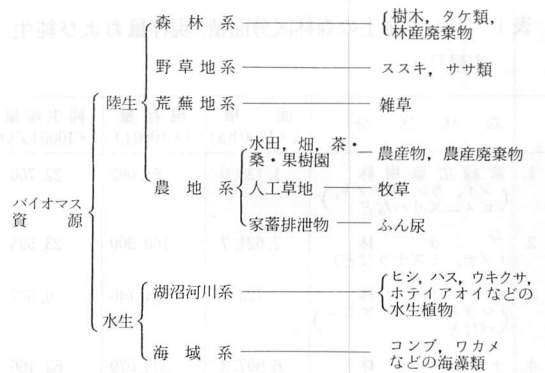


図-1 生産場所(生態系)にもとづくバイオマスの分類

マスを分類すると図-1の通りになる。ここでは、陸生バイオマスを構成する森林、野草地、荒蕪地および農地系バイオマスの賦存量と地理的分布について述べる。

3.1 森林系バイオマス

陸上生態系では気温、降雨量など植物の生長要因である自然条件の制限が小さいと、植生遷移のクライマックスは森林となる。わが国は森林気候下にあつて、陸地面積3,700万haの68%は森林で覆われているから、森林系バイオマス資源量はきわめて大きいといえる。森林帯の分布概要は図-2に示した通りであるが、森林の分布は北海道22%、東北地方18%と寒冷地に片寄っている²⁷⁾。

森林バイオマスはきわめて大きな現存量を有することが特徴である。他の生態系のバイオマスにくらべて10ないし数10倍に達する。岩城⁹⁾はわが国全土の各種森林区分の現存量と純生産量を算定している(表1)。

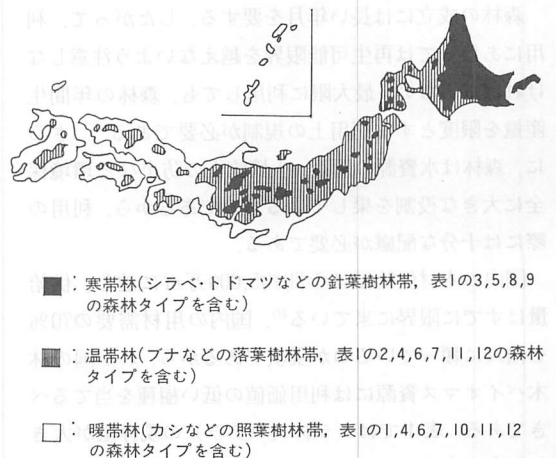


図-2 森林帯の分布³³⁾

表1 わが国全土の森林区分面積、現存量および純生産量⁹⁾

森林区分	面積 (×1000 ha)	現存量 (×1000 t)	純生産量 (×1000 t/yr)
1. 常緑広葉樹林 (シイ, カシ, モチノキ, ヒメユズリハなど)	1,138.0	53,092	22,760
2. ブナ林 (ブナ, ミズナラなど)	2,621.7	160,300	23,595
3. カババ林 (シラカンバ, ダケカン バなど)	723.0	34,746	6,507
4. ナラ林 (コナラ)	6,907.3	305,079	62,166
5. 天然性針葉樹林 (エゾマツ, トドマツ, シラビソなど)	3,199.6	266,483	35,196
6. マツ林 (アカマツ)	3,851.6	136,518	53,922
7. スギ・ヒノキ林	4,767.1	292,703	66,739
8. 落葉針葉樹林 (カラマツなど)	1,030.3	35,920	10,303
9. 高山低木林 (ハイマツなど)	105.9	2,118	530
10. 亜熱帯低木林 (メヒルギ, オヒルギ, マテバシイなど)	12.5	375	100
11. 低山常緑低木林 (アセビ, ヒサカキなど)	0.2	5	2
12. 低山落葉低木林 (ツツジ, ネジキ, リョーブなど)	130.3	1,965	783
計	24,487.5	1,289,304	282,603

現存量は夏季の地上部現存量を示す。純生産量は地下部を含む。

森林バイオマスの99.7%は高木林が占め、このうちナラ林が約24%で第1位、スギ・ヒノキ林は約23%で第2位、ついで天然性針葉樹林約21%、ブナ林約12%、マツ林約11%と順位は下る。

森林の成立には長い年月を要する。したがって、利用にあたっては再生可能限界を越えないよう注意しなければならない。最大限に利用しても、森林の年間生産量を限度とする利用上の規制が必要である²⁰⁾。さらに、森林は水資源の涵養、土壌流亡の防止など環境保全に大きな役割を果たしているものであるから、利用の際には十分な配慮が必要である。

国内の木材供給量は年間約5,000万m³に達し、供給量はすでに限界に来ている²¹⁾。国内の用材需要の70%を輸入に頼っているのが現状であるから、わが国の林木バイオマス資源には利用価値の低い樹種を当てるべきである。表1ではナラ林(コナラ)の現存量が大きな割合を占めている。コナラはかつて薪炭材料に用いられ、エネルギー供給に大きな役割を果たしてきたが、

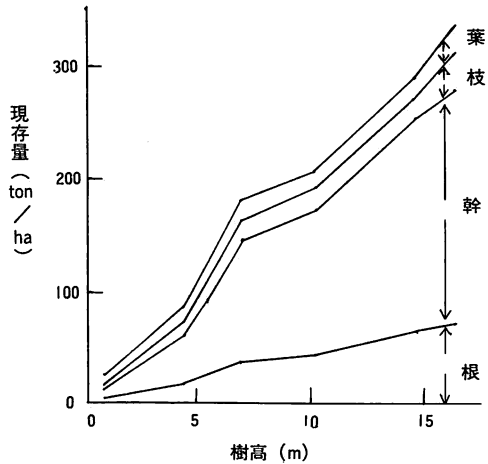


図-3 シラベ(寒帯針葉樹)天然林での生育にともなう器官別現存量の変化²⁰⁾

現在では林業面では利用価値の低い雑木林とみなされている。新規用途の開発を計ればナラ林はバイオマス資源となりうる。

用材樹種であっても、不用部分である葉、枝条、梢端部の現存量は大きなものであり、有望なバイオマス資源である。平均樹高15mのシラベ天然林の根を含めた全体の現存量は365 t/haであり、その約11%は葉と枝条から成っている(図-3)。スギ林ではha当りの葉量は19 t、枝条量25 t、梢端量31 t、樹皮10 tである²⁰⁾。全国規模で不用部分を収集すれば大きなバイオマス資源を得ることになる。なお、根の現存量は相当大きいですが、地下部の採取は面倒なうえ、土壌保全の面からも制限せざるをえない。

木材の未利用部分は加工、製品化の過程でも排出される(表2)。約30%の固形木質が残廃材となるが¹²⁾、

表2 わが国における木材工業別廃材排出量(万m³)¹⁵⁾

廃材の種類	製材工業	パルプ工業	木材チップ工業	合工 単板業	合計
残 材	729			272	1001 (42.1%)
オガ屑 { 国産材 外 材	208 313 } 521				521 (21.9)
バーク { 国産材 外 材	118 145 } 263	35 9 } 44	249 - } 249		556 (23.4)
スクリー ンダスト { 国産材 外 材		9 3 } 12		82	94 (4.0)
その他*				204	204 (8.6)
合 計	1,513	56	331	476	2,376 (100)

* 区分困難な分

これはバイオマス資源として今後大いに活用の余地が残されている。

以上は林木を伐採して得られる資源量である。しかし、落葉の採取は森林破壊なしに行いうる。閉鎖林の葉乾重は落葉広葉・針葉樹林2.9、マツ林6.8、常緑針葉樹林16.0、スギ林19.4 t/haである²⁶⁾。落葉樹の葉の寿命は1年未満であるが、他の樹種では1～5年であるから毎年上記の資源量が採取できるわけではない。しかし、生産母体を損わずに毎年一定量の資源が確保できるという点で落葉は注目すべきである。同様な意味では、林木育成中に枝打ちされた下枝もバイオマス資源である。なお、落枝、落葉は分解されて樹木の養分となるべきものであるから、採取にあたっては土壤肥沃度の維持に十分注意しなければならない。

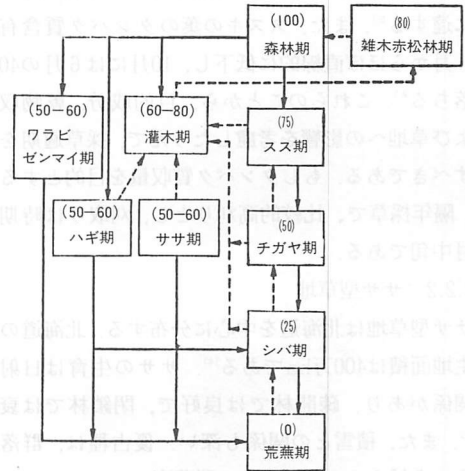
竹林面積は約21,000ha⁹⁾であるが、竹林は現在ではタケノコ、竹細工材料以外は利用されていない。現存量はモウソウチク、ハチク63 t/ha、マダケ45 t/haと高い値も得られているが²⁴⁾、岩城は竹林の現存量を15 t/haとして、全国の竹林バイオマス賦存量を314,000 tと試算している⁹⁾。なお、自然竹林は3 t/ha/年の生産量を維持できるといわれる²⁵⁾。

3.2 野草地バイオマス

わが国の野草地面積は約143万haである²⁰⁾。その大部分は山地、山の裾野に発達したものであり、もとは森林であった。林木の伐採と火入れによって野草地に変えられ、その後採草、火入れ、放牧など人為的操作で草地として維持されてきた。たとえば、ススキ型草地では1年あるいは数年おきに行われる草刈りや火入れを止めると、数年のうちに低木やアカマツなどの陽樹が侵入して森林への移行が始まる(図-4)。荒蕪地から森林への移行過程を遷移と呼ぶが、ササ、ススキ型草地は遷移の途中相として出現するものである。このように野草地は不安定な存在であるから、そこでのバイオマス生産にあたっては、樹木が侵入してくるような進行的遷移、あるいは土壤が痩せ退行的遷移が起こらないよう管理を要する。

3.2.1 ススキ型草地

ススキ型草地は牛馬の飼料を生産する採草地として維持されてきた。しかし、飼養頭数の減少、飼養形態の変化にともなって、利用されないまま放置されている草地が増え、低木の侵入が進んでいる。ススキ型草地は北海道南部から沖縄まで分布し(図-5)、草地面積は335,000ha²⁰⁾であって、地上部現存量を5 t/haとすると、わが国のススキ型草地バイオマスの賦存量



点線は進行遷移、実線は退行遷移を示す。カッコ内の数字は森林期を100としたときの各時期の相対的土壤肥沃度を示す。

図-4 草原を中心とした遷移模式 (茨城県)²¹⁾

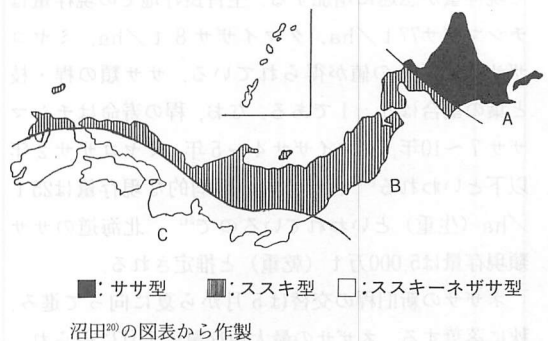


図-5 採草によって維持される主要草地型の分布

は1,675,000 tと推定される。

大迫は長期にわたる採草試験から、ススキの現存量、草高ともに隔年採草、9月採草、6月と9月の2回採草の順に低下し、年2回採草すると10年のうちにススキ型からシバ型へ移行することを認めている²⁰⁾。年2、3回の刈取りでチガヤ群落が発達するという報告¹⁸⁾もある。

6月から9月中旬までの採草はススキの稈数を減じ、とくに8月下旬から9月上旬の刈取りはススキの生育に悪影響を及ぼす。5月中と10月以後の採草は比較的影響が少ない⁷⁾。刈取り高もまたススキの生育に大きな影響を及ぼす要因である。茎の再生率は地表刈りでは33%、地上3 cm刈りでは53%、地上5 cm刈りでは75%となっている²⁰⁾。

ススキ型草地の現存量は8月下旬から9月上旬に最大に達する⁵⁾。また、ススキの葉のタンパク質含有量は6月からほぼ直線的に低下し、10月には6月の40%に落ちる⁸⁾。これらのことから、目的成分、乾物収量および草地への影響を考慮したうえで、採草適期を決定すべきである。もしタンパク質収量を目的とするなら、隔年採草で、比較的高刈りとし、刈取りは時期は7月中旬である。

3.2.2 ササ型草地

ササ型草地は北海道を中心に分布する。北海道のササ生地面積は400万haである¹⁰⁾。ササの生育は日射量と関係があり、疎開林では良好で、閉鎖林では衰える¹⁰⁾。また、積雪との関係も深い。優占種は、群落高が3mを越えるチシマザサ、群落高が1~2mのクマイザサ、群落高1m以下のミヤコザサである。ササ類は夏に向って新葉を出し、同時に前年または前々年の古葉が落ちる。落葉率は7~8月に最大になる。9月に入って新葉の生育が完了し、かつ新稈の充実によって現存量が急速に増加する。生育良好地での現存量はチシマザサ77t/ha、クマイザサ8t/ha、ミヤコザサ7t/haの値が得られている。ササ類の稈・枝と葉の割合は5:1である。なお、稈の寿命はチシマザサ7~10年、クマイザサ4~5年、ミヤコザサ2年以下といわれる^{14,20)}。ササ類の平均的な現存量は25t/ha(生重)といわれているので²⁰⁾、北海道のササ類現存量は5,000万t(乾重)と推定される。

ネザサの新旧稈の交替は5月から夏に向って進み、秋に落葉する。ネザサの最大現存量は7月に得られ、11t/haである。このとき稈・枝と葉の比率はほぼ2.5:1となっている²⁰⁾。ネザサは広く分布するにもかかわらず、その生産に関する研究は極めて少ない。バイオマス資源として活用するには今後の研究が待たれる。

3.3 荒蕪地系バイオマス

農作物の栽培に適さない荒蕪地は国土のいたるところにみかけられる。この種の土地は野火や土砂崩れ、あるいは人為的攪乱を受けやすく、山麓部の未利用地、路傍、畦畔、市街地の空地、河川敷などが含まれる。荒蕪地系バイオマスとは1年生、2年生および多年生植物より構成されるものであり、現在のところ害草とされ、駆除の対象となっている雑草である。しかし、これは変換技術が開発されれば有用資源となりうるバイオマスである。

アブラナ、マメ、タデ、イネ、キク、ナデシコ、ブ

ドウおよびスベリヒユの各科の1年生および多年生草種から構成される雑草群落を対象にして、4月下旬から11月中旬にかけて7回の刈取りを行ったところ、6t/haの乾物収量が得られた¹⁰⁾。このように、雑草は頻繁な刈取りにもよく耐えて、旺盛な再生力を示すバイオマスである。

著者は荒蕪地系バイオマスに属するクズの生産生態に関する特性を明らかにするために基礎的研究²⁸⁻³⁰⁾を進めてきたが、最近では本種の新しい栽培・利用システムの開発に取り組んでいる。

工場、倉庫等の建物に網をかぶせ、そこへ長い茎と広葉からなる葉茎冠を迅速に展開するクズを登攀させる。葉茎冠は真夏の直射日光を遮断してくれる。また、葉の蒸散作用は気温を下げるのに効果的である。クズで覆った建物の壁面温度は、植被のない場合に比べて10℃以上低くなると推定される。このようにして、冷房に要する電力を節約して省エネを計ることができる。秋にはクズを網ごと地面に降ろし、植物体を地際からある程度の高さまで残して上方はバイオマス用に収穫する。翌年には茎の残部の節から生じた新しい茎葉が再び建物を被覆する。現在のところ小規模段階に留まっているが、近い将来には本格的な実験に着手したいと考えている。

3.4 農地系バイオマス

わが国の農用地は田畑、茶・桑・果樹園、人工草地を含めて約829万haで、国土面積の約22%、わが国全植生面積の約27%を占める⁹⁾。ここから得られる農作物の可食部分は食料であり、牧草は飼料として用いられる。未利用バイオマス資源は農産廃棄物と家畜排泄物である。用途の異なる多種類の作物が栽培されているため多種多様な廃棄物が排出されるが、それらの質、量を完全に把握することは困難である。主なもの

表3 主要農作物の可食部、残渣部生産量 (t/ha)¹⁹⁾

作物名	部位	
	可食部	残渣部
イネ	4.7-10.3	5.9-8.8
コムギ	2.8-10.1	2.8-6.1
ビールムギ	2.8-5.9	2.8-3.5
トウモロコシ	2.7-6.9	2.7-4.1
カンショ	20.9-27.6	6.1-23.2
パレイショ	26.7-69.5	10.7-27.8
サトウキビ	67.2-197.0	13.4-38.4

イネトウモロコシは風乾重、カンショ以下は生重で示した。

が調べられているにすぎない。

3.4.1 農産廃棄物

主要農作物のha当りの可食部と残渣部の割合は表3の通りである。1979年における残渣部量は水稻1,238万t, コムギ54万t, 他のムギ類49万t, カンシヨ5万t, パレイシヨ15万t, その他40万t, 合計1,400万tと推定されている¹⁶⁾。農産廃棄物は地力維持のため土壌へ還元する必要があるから、バイオマスとしての利用可能量は限られてくるであろう。

3.4.2 家畜排泄物

ふん尿排泄量は乳牛1頭当り38.5, 肉牛26.3, 豚3.0, 鶏0.1kg/日であり, 固形物の割合はそれぞれ12.5, 12.9, 13.3, 33.3%となっている²⁾。わが国の年間家畜排泄物量は約7,500万tと推定される³⁾。家畜ふん尿は環境汚染を引起す原因となっていることから、今後の活用が望まれる。

4. 陸上バイオマスの生産ならびに利用上の特徴

バイオマスの一般的特徴はすでに多数の文献^{1,4,6,17,24,31,32)}中で論じられている。陸上バイオマスはその供給源が主に植物体であること, 生産場所が主に山地, 丘陵地であること, 廃棄物, 排泄物が含まれることによって, 以下に列挙するような利点, 欠点をもつ。

- 1) バイオマスは太陽エネルギーのすぐれた変換・貯蔵システムであって, 適正な管理の下では再生が可能で, 半永久的に利用できる。
- 2) バイオマスの生産にはあまり高度な技術を必要とせず, 生産自体が環境改善に役立つ。反面, 収穫が適切に行われないと環境悪化をもたらす。雑草, 廃棄物, 排泄物をバイオマス資源として活用すると, 環境美化ならびに環境汚染防止にも効果がある。
- 3) それぞれの地域で気候, 土壌に適合した生産力の高い固有のバイオマスを育成することができるが, 生産規模が小さくなりがちで, 生産地が分散するため集積に手間取る。バイオマスの種類が多様なため, 形状, 化学組成が不均一となり, 取扱いが面倒である。また, バイオマスの種類に応じたきめ細かな変換技術の開発が必要となる。
- 4) バイオマスの種類によっては, 水分が多く, 重量密度が低く, 収穫物がかさ張るため, 収穫と運搬の効率が悪い。とくに山地での生産物は搬出が容易ではない。過去にササ類の利用が計画倒れに終わったのは, 運搬の問題が一因であるといわれる。また, 廃棄物の中

には変質・腐敗するものがあり, 家畜排泄物は悪臭をまき散らすので, 未処理の状態でこれらを運搬することは衛生上問題が生ずる。

- 5) 生産・供給に季節的な片寄りがあり, 年間を通じて一定した産出が望めない。また, 生産・供給は天候に支配されやすい。
- 6) エネルギー資源としてのみならず, 食料, 飼料, 肥料その他工業用原料など多目的に利用できる。なお, ある種のバイオマスは環境汚染負荷を処理するために役立てるなど総合的利用が可能である。

5. おわりに

これまでに述べたことから, わが国はバイオマス資源に関しては恵まれていると考えてよい。バイオマス資源の活用はまず第一に変換・利用技術の開発にかかっている。最近ではエネルギーへの変換以外にも, 木材を蒸煮あるいは爆砕して粗飼料化する技術¹⁷⁾, 木本および草本植物のセルローズ, ヘミセルローズ, リグニンをグルコース, キシロース, フェノール類の低分子化合物に変換し, 有用物質を得る技術¹⁷⁾, 葉タンパク質濃縮物を製造し, 食品添加物あるいは家畜, 養魚用飼料とする技術^{13,23)}, スギ, ヒノキなどの常緑針葉樹の葉から精油を生産する技術¹⁷⁾, 家畜排泄物のコンポスト化技術³⁾などの研究はかなり進み, 一部は実用化の段階に入っている。今後, この方面の技術開発は急速な進展をみせることが予想される。それにとまってバイオマスの生産, 収穫, 搬出方法も改良されて, バイオマス資源の利用はいっそう容易になろう。

バイオマス時代に突入しようとする今日, 他の資源と同様に, バイオマスの利用はあくまで人間社会の円滑な機能と生態系の保全を中心に置いた長期的な展望に立って考えなければならないことはいうまでもない。

最後に, 本論文を書くことを御勧め下さった神戸大学教授松中昭一博士, ならびに論文作成のために御教示を賜った神戸女学院大学名誉教授矢野悟道博士に心から感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 新船 保; 農業および園芸, 56 (1981) 493~496, 1003~1007.
- 2) 電力中央研究所・生物環境技術研究所; 電力中研報, No. 479016 (1980) pp.30.
- 3) 原田靖生・羽賀清典; 日土肥誌, 59 (1988) 116~119.
- 4) 速水昭彦他 (監訳); バイオマス・エネルギー (1980) pp. 6~15, 学会出版会.

- 5) 平吉 功先生退官記念事業会(編) ; ススキの研究 (1976) pp.14~15, 平吉 功先生退官記念事業会.
- 6) 本多淳裕 ; バイオマスエネルギー (1986) pp.13~15, 143~152.
- 7) 井上揚一郎 ; 草地経営の技術 (1957) pp.300, 地球出版.
- 8) 岩城英夫 ; 草原の生態 (1971) pp.90, 共立出版.
- 9) 岩城英夫 ; 公害と対策, 19 (1983) 116~122.
- 10) 科学技術庁資源調査所 ; 資料第76号 (1980).
- 11) 川井一之 ; 化学と生物, 19 (1981) 50~55.
- 12) 河田 弘 ; パーク堆肥 (1985) pp.10~12, 博友社.
- 13) 佳山良正 ; 畜産の研究, 40 (1986) 803~808.
- 14) 松井善喜 ; 林試北海道年報 (1964) 186~229.
- 15) 宮部健次郎 ; 山林, 9 (1979) 42~51.
- 16) 宮崎 信 ; 化学と生物, 19 (1981) 611~618.
- 17) 日本農芸化学会(編) ; バイオマス (1987) pp. 1~6, 17~18, 21~24, 朝倉書店.
- 18) 猶原恭爾 ; 日本の草地社会 (1965) pp.27~28, 111~112, (財)資源科学研究所.
- 19) 農林水産技術会議事務局 ; バイオマス変換計画 (1981) pp.42, 農林水産技術会議.
- 20) 沼田 真(監) ; 草地の生態学 (1973) pp.8, 36, 84~85, 229~232.
- 21) 大迫元雄 ; 本邦原野に関する研究 (1937) pp.211, 日本林業技術協会.
- 22) 坂口 進 ; 農業および園芸, 61 (1986) 261~266, 388~392.
- 23) 坂井和男 ; 食品加工技術, 6 (1986) 29~35.
- 24) 柴田和男・木谷 収(編) ; バイオマス生産と変換(上) (1981) pp.69~71, 81~82.
- 25) (社)資源協会 ; 国際的な新農業資源開発の可能性 (1978) pp.157, (社)資源協会.
- 26) 只木良也・蜂屋欣二 ; 森林生態系とその物質生産 (1968) pp.64, 林業科学技術振興所.
- 27) 只木良也 ; 森林の生態 (1971) pp.28~29, 94, 28) TSUGAWA, H. and R. KAYAMA ; J. Japan. Grassl. Sci., 31 (1985) 167~176.
- 29) TSUGAWA, H. et al. ; J. Japan. Grassl. Sci., 32 (1987) 337~347.
- 30) TSUGAWA, H. et al. ; J. Japan. Grassl. Sci., 33 (1988) 13~23.
- 31) 都留信也 ; 農業および園芸, 61 (1986) 21~25.
- 32) 山澤新吾 ; バイオマスエネルギー (1987) pp.1, 朝倉書店.
- 33) 依田恭二 ; 森林の生態学 (1971) pp.9, 築地書館.

