

**B-51 温室効果ガスの人為的な排出源・吸収源に関する研究**

**(1)-6 森林の炭素固定能力とバイオマス・エネルギーの利用可能性 (H10 年度のみ)**

**B-51 森林セクターの持つ地球温暖化軽減機能の計量的評価に関する研究**

**(2) 森林系バイオマスとバイオマス・エネルギー利用による炭素固定機能に関する研究  
(H8,9 年度)**

|       |             |                |
|-------|-------------|----------------|
| 課題代表者 | 環境研究所       | 西岡秀三 (H10 年度)  |
| 課題代表者 | 森林総合研究所     | 天野正博 (H8,9 年度) |
| 研究代表者 | 資源環境技術総合研究所 |                |
|       | 温暖化物質循環制御部  | バイオマス研究室 小木知子  |

**資源環境技術総合研究所**

|               |          |      |
|---------------|----------|------|
| 温暖化物質循環制御部    | 部長       | 横山伸也 |
| 温暖化物質循環制御部    | バイオマス研究室 | 小木知子 |
| エネルギー資源部      |          | 稲葉 敦 |
| (委託先) 宮崎大学工学部 |          | 土手 裕 |

平成 8 年度～ 10 年度合計予算額 16,095 千円  
(平成 10 年度予算額 8,000 千円)

【要旨】 本研究は、IPCC 報告書や COP3 議定書で今後の大幅な導入が提唱されたバイオマス・エネルギーについて、その供給と適用の可能性、温暖化への軽減効果評価を試みるものである。平成 8～10 年度の 3 年間でバイオマスエネルギー供給可能量（エネルギー・ポテンシャル）の見積もりを試算し、バイオマスのエネルギーへの変換技術の評価を行い、得られた結果からバイオマスエネルギー利用による炭素固定と削減効果算定を試みた。

バイオマス供給可能量見積もりについては、文献調査による植林可能面積算定値は 250-1,200Mha と変動が大きかった。そこでバイオマス供給量を① FAO データに基づく植林可能面積と平均生産量から、全世界のエネルギー・ポテンシャルを求め、②また特定の国については、衛星データ図解析から求めた土地被覆分類により試算した。

FAO データより試算した植林可能面積は世界合計で 1,677Mha（初出データは 744Mha）、エネルギーでみた供給量は 495EJ/y（初出データは 248EJ/y、いずれも生産量中位想定）であった。また、今後の人口増加に伴う食糧需要の増大、余剰地の食糧生産への配分を考慮に入れても、1 割程度の減少で約 400EJ/y（バイオマス生産量中位）、約 200EJ/y（低位）供給でき、この値は IPCC の値（300EJ/y）と比較しても有望であることが示唆された。ただし、今後の食生活が先進国型高カロリー摂取タイプに移行した場合、バイオマスエネルギー・ポテンシャルは 0 となった。他の手法による試算例として、カンボジアについて土地利用判読済ランドサット TM データをもとに土地被覆分類を行い、植林可能面積、ならびにエネルギーポテンシャルを求め、FAO データにより求めた結果と比較したところ、いずれの手法でもポテンシャルが算出できることが示唆された。

エネルギー変換技術としては燃焼発電、ガス化発電、熱分解液化、エタノール発酵の 4 種について検討し、発電効率、バイオオイル収率、エタノール収率を調査し、各変換法における化石燃料代替炭素量原単位を計算により求めた。その結果、発電に関してはガス化

発電を利用する場合が最も CO<sub>2</sub> 削減量が多いことが判った。またガソリン代替となるエタノール発酵よりも、電力代替の燃焼、ガス化発電にバイオマスを使用したほうが有効であることが判った。得られた原単位とバイオマス供給量を用いて、世界規模でバイオマスを利用した場合の炭素削減量を計算したところ、IPCC の削減目標については供給量が中位以上で全ての技術で対応が可能であり、COP3 の削減目標は全ての条件で達成可能であることが判った。

さらに、燃焼発電、ガス化発電については、変換技術採用による CO<sub>2</sub> 削減量だけでなく、バイオマスの植林、輸送による CO<sub>2</sub> 排出量を試算し、一連のシステムの中でのトータルの削減量を試算したところ、植林、収穫、輸送、前処理の中で CO<sub>2</sub> 排出量が多いのは植林に関するプロセスであるが、これらのプロセスによる CO<sub>2</sub> 放出を考慮してもバイオマス代替による削減効果は大きく、COP3 の削減目標は達成可能との結果が得られた。

以上の結果から、温暖化軽減対策にバイオマスエネルギーの導入が極めて効果のあることが示された。

【キーワード】 バイオマス、バイオマス・エネルギー、植林可能面積、生産量、燃焼発電、ガス化発電、熱分解液化、エタノール発酵、炭素代替量

## 1. 序論--研究の背景

地球温暖化の軽減対策として、温・亜寒帯林の成長促進、熱帯林減少の防止、バイオマス・エネルギーの導入促進、等があげられる。再生可能で大気中の CO<sub>2</sub> を固定するバイオマスは、環境調和型のエネルギー資源として、IPCC レポートや京都 COP3 会議等でもその役割が強調され、今後の大幅な導入が提唱されている。特に森林バイオマスについては、先年の COP3 でも CO<sub>2</sub> 吸収源として果たす役割が大きく取り上げられ、その機能評価の見直しが行われることとなった。IPCC レポートに代表される「今後 100 年内には世界のエネルギー供給の 1/3 をバイオマスから」というシナリオに対しては、食糧との競合性の問題や、バイオマス・プランテーション構想に対する生態学的な観点からの懸念が指摘されており、これらの問題点に応えるべきバイオマスの供給可能性やエネルギー導入システムに関する計量的評価の研究が必要である。本サブプロジェクトでは、森林バイオマスの利用による地球温暖化軽減を計量的に評価する研究の一環として、バイオマス・エネルギーの適用可能性評価を行う。

## 2. 研究目的

本研究では、森林バイオマスの利用による地球温暖化の軽減を計量的に評価する研究の一環として、バイオマスエネルギーの適用可能性評価を行うことを目的とする。バイオマスエネルギーの導入の大きな課題として、1) バイオマスエネルギーの供給源（原料）の確保、2) エネルギーへの変換技術の開発、3) バイオマス利用統合システムの環境や社会システムへの影響評価があげられるが、これに対応して 1) エネルギー源としてのバイオマスの供給可能性の評価 2) バイオマス→エネルギーへの変換技術の評価 3) バイオマスエネルギー利用による環境への影響評価を行い、バイオマスエネルギー利用による CO<sub>2</sub> 削減量を試算する。

### 3. 研究方法

#### 3. 1 バイオマス供給量可能性評価（バイオマスエネルギー・ポテンシャル見積もり）

バイオマスによるエネルギー供給、あるいは CO<sub>2</sub> 排出削減のシナリオは、バイオマス供給量、具体的には最も供給量の大きい森林バイオマスに大きく支配され、この供給可能量はバイオマス・プランテーションに転用可能な土地面積（植林可能面積）に依存する。

研究の手順として、まずエネルギー用バイオマスの植林面積、もしくは供給可能量算定に関するこれまでの文献調査とデータ収集を行った。<sup>1)</sup>

#### 3. 1-1 トップダウン法による試算（FAO データに基づく世界規模でのポテンシャル見積試算）

次にトップダウン法で、植林可能面積と平均生産量から全世界でのエネルギーポテンシャルを求め、文献値の植林可能面積ならびに IPCC で提唱されているバイオマスエネルギー供給量との比較を行った。試算は以下の式に基づいて行った。

$$\begin{aligned} \text{エネルギー供給量 (EJ/y)} &= \text{植林可能面積 (Mha)} \times \text{樹木の生産性 (t/ha/y)} \\ &\quad \times \text{樹木の発熱量 (GJ/t)} \times 10^{-1} \end{aligned}$$

国ごとに植林可能面積、樹木の生産性を求め、積算して世界全体での供給量を求めた。植林可能面積としては、FAO 生産年報<sup>2)</sup>と FAO の森林レポート<sup>3)</sup>を用いて「森林及び林地」から「森林」を除いた「その他の林地」植林可能面積として計算した。これは既存の森林は炭素の循環サイクルにすでに組み込まれており、環境保護などの点からこれをエネルギープランテーションに転用しない、とのコンセンサスによるものである。なお、FAO の生産年報については、当初、1990 年度の測定データに基づいて発表された 1995 年初出のデータを用いて試算したが、後に 1997 年に修正されたため、修正データを用いての試算も行った。森林バイオマス（樹木）の生産性については、1995 年の初出のデータでは表 3-1<sup>4)</sup>に掲げる生産性を、1997 年の修正データについては表 3-2 の生産性を採用した。発熱量については、通常用いられている 20 (GJ/t) を用いた。<sup>5)</sup>

表 3-1 生産性(t/ha/y)

(電力中央研究所報告U91054, 1992, 品田泰他による)

|    | 気候帯 |    |    |
|----|-----|----|----|
|    | 熱帯  | 温帯 | 寒帯 |
| 高位 | 37  | 33 | 21 |
| 中位 | 20  | 15 | 12 |
| 低位 | 7   | 7  | 8  |

表 3-2 生産性(t/ha/y)

(バイオマス生産と変換, 学会出版センター1981による)

|    | 気候帯 |    |    |
|----|-----|----|----|
|    | 熱帯  | 温帯 | 寒帯 |
| 高位 | 30  | 25 | 20 |
| 中位 | 19  | 13 | 8  |
| 低位 | 10  | 6  | 4  |

またバイオマスにとって常に問題となる食糧供給との競合するケースも考慮し、2100 年の人口を賄うのに必要な農地面積を想定し、これを 2100 年の人口、一人当たりの穀物当量消費熱量、穀物の発熱量、穀物の生産性をファクターとして計算により求めた。計算式を示す。

$$R = C \times Q \times 365 / (E \times 1000 \times P)$$

R : 2100 年の人口を賄うのに必要な農地面積 (ha),

C : 2100 年の人口 (人), <sup>6)</sup>

Q : 1 人あたりの穀物当量消費熱量(kcal/cap/day); 1 人が 1 日に消費する食糧をすべて穀物に換算した熱量で、低位を世界平均の 6,000kcal/day/cap (低摂取型)、高位を先進国水準 10,000kcal/day/cap (高摂取型) と設定、

E : 穀物の発熱量(2,666kcal/kg と設定),

P : 穀物の収量 (高収量 6.0t/ha/y、中収量 4.3t/ha/y、低収量 2.6t/ha/y と設定) <sup>7)</sup>

### 3.1-2 ボトムアップ法による試算 (衛星データに基づく 1 カ国での試算)

植林可能面積の推定は手法により値が大きく異なるため、衛星データ解析による算定も試みた。ランドサット TM 画像データを基に、対象国として 1 国全域をカバーするデータのあるカンボジアについて土地被覆分類を行い、さらに標高、傾斜度などの地形条件設定して植林が不可能な地形を除外し、植林可能面積を求めることを試みた。

ランドサット TM データ解析による植林可能面積の算出は、①解析対象地域の選定、②土地利用判読画像の収集、③地形情報の収集、④地形条件の設定、⑤植林可能面積の算出、⑥ FAO データとの比較の手順で行った。①、②については、使用データは国土地理院より借用したカンボジア土地利用判読済み TM データを用いた。<sup>8)</sup> 本 TM データでは、国土が海、湖沼/河川、森林、水田、畑、草地・低木林、湿地、混合地域、市街地、裸地の 10 種類に分類される。(図 3-1) これらの土地被覆分類を行い、草地・低木林・疎林と混合地域をプランテーション候補地として面積を算定する一方で、標高と傾斜度を考慮し標高 ~ 200m 以上、あるいは ~ 300m 以上、傾斜度 10 % 以上の土地はこれらの候補地から除外して面積を求めた。

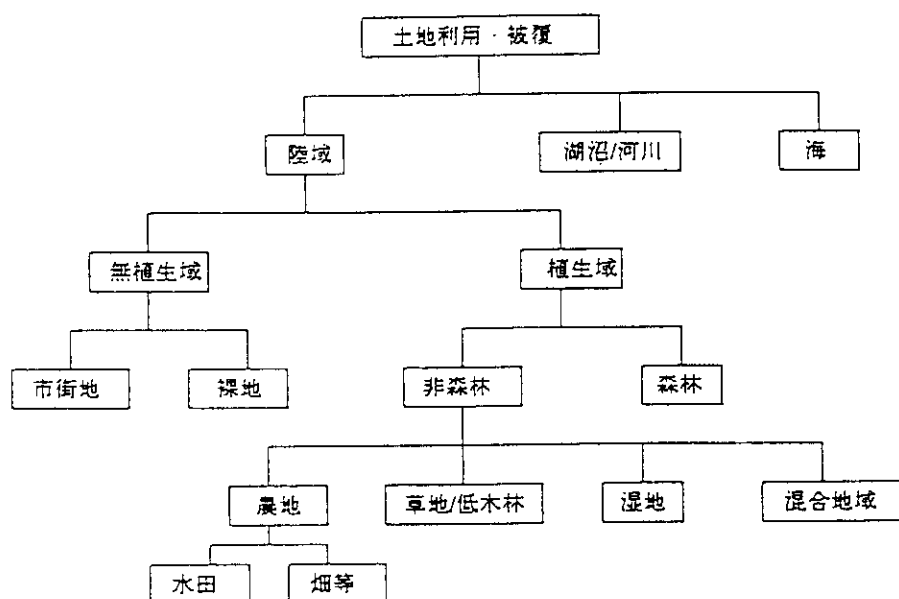


図 3-1

### 3. 2 バイオマスのエネルギーへの変換技術の評価

バイオマスがマス（量）として確保が可能であれば、次の段階としてこの原料バイオマスをエネルギーへ変換するプロセスの効率が重要となる。バイオマスのエネルギーへの変換利用プロセスとしては燃焼法、熱化学的変換法、生物学的変換法に大別でき、熱化学的手法にはガス化、液化、熱分解など、生物学的手法はエタノール発酵、メタン発酵などのプロセスがある。現在バイオマス・エネルギーとして世界で実用化されているのは、燃焼発電（と一部の複合ガス化発電）とエタノール燃料（と一部のメタン発酵）あり、その他のプロセスはまだ実証段階にある。

#### 3. 2-1 バイオマスからエネルギーへの変換技術<sup>9)</sup>

エネルギー変換技術としては燃焼発電法<sup>10)</sup>、ガス化発電<sup>11)</sup>、熱分解液化<sup>12)</sup>、エタノール発酵法<sup>13)</sup>の計4種を検討した。燃焼発電は、バイオマスの燃焼により蒸気を発生させ、蒸気タービンを利用して発電を行う技術で、アメリカ、北欧で商業プラントが稼働中である。ガス化発電は、800℃程度でガス化し、発生したガスをガスタービン、ガスエンジンで発電を行う技術で、石炭火力ではすでに商業化されており、バイオマス利用のものは160-350t/dのデモンストレーションプラントがある。熱分解液化ではバイオマスを500℃程度で急速に加熱し、液体燃料（バイオオイル）を生成する。熱分解液化は先の2者に比べまだスケールが小さく、試験プラントの最大規模は15t/dである。エタノール発酵は、バイオマスを糖化し、微生物によって発酵させエタノールを得る技術である。ブラジルでは400万台のエタノール自動車が使われている。木質系のバイオマスを利用したエタノール発酵は商業化されていないが、1t/dの試験プラントがある。

#### 3. 2-2 代替炭素量原単位計算方法

試算では電力は石炭火力発電所からの電力に代替、バイオオイルは石炭に代替して火力発電所の燃料として使用、また、エタノールはガソリンに代替して自動車用燃料として使用されるものと想定し、以上のような条件のもとで、化石燃料の代わりにバイオマスを1t用いることによって削減できるCO<sub>2</sub>量（炭素換算）を代替炭素量原単位C<sub>SN</sub>(t-C/t-biomass)とし、計算により求めた。なお、外部エネルギーの利用はないと考える。

代替炭素量原単位計算式を示す。この計算式中で燃焼発電、ガス化発電はバイオマスの発電効率を、熱分解液化はオイルの収率と発熱量を、エタノール発酵ではエタノールの収率を調査した。その他のパラメータは広く一般的に認識されている数値である。

##### (a) 燃焼発電、ガス化発電の場合の計算式

$$C_{SN} = Q_B \times \theta_C \times \eta_B / \eta_C \quad \cdots \cdots (1)$$

C<sub>SN</sub>:化石燃料代替炭素量原単位 (t-C/t-biomass)

Q<sub>B</sub>:バイオマスの発熱量 20 (GJ/t-biomass)

θ<sub>C</sub>:石炭の燃焼によって発生する炭素量 0.025 (t-C/GJ)

η<sub>B</sub>:バイオマス利用の発電効率 (%)

η<sub>C</sub>:石炭火力の発電効率 37 (%)

##### (b) 熱分解液化オイル（バイオオイル）を利用した発電の場合の計算式

$$C_{SN} = Q_P \times \theta_C \times Y_P \quad \cdots \cdots (2)$$

Q<sub>P</sub>:バイオオイルの発熱量 (GJ/t-oil)

Y<sub>P</sub>:バイオオイルの収率 (t-oil/t-biomass)

バイオオイルの発電効率に関するデータが少く、 $\eta_B$  を決定できないので、ここではバイオマス利用による最大代替量を見積もるために、 $\eta_B = \eta_C$  として計算を行った。

(C) エタノール発行によるガソリン代替の場合の計算式

$$C_{SN} = Y_B \times \theta_o \times R_G \cdots \cdots (3)$$

$Y_B$  : エタノール収率 (t-ethanol/t-biomass)

$\theta_o$  : 1l のガソリンの燃焼により発生する炭素量 0.00072 (t-C/l-gasoline)

$R_G$  : エタノール/ガソリン変換係数  $1.1 \times 10^3$  (エタノール 1t を用いたエタノールエンジンの出力に相当する出力をガソリンエンジンで得るために必要なガソリンの体積)

### 3. 3 バイオマス発電システムによる炭素削減量試算

#### 3. 3-1 モデルについて

本研究で考えるバイオマス発電システムを構成するプロセスは、a) バイオマスの苗木育成から収穫、b) バイオマスの収集、c) バイオマスの発電所までの輸送、d) バイオマスの発電のための前処理、e) バイオマスの発電、である。a) ~ b) までのプロセスで放出されるバイオマス 1 t あたりの炭素量 (kg-C/t-B) をそれぞれ、 $R_P$ 、 $R_{CB}$ 、 $R_{TB}$ 、 $R_{PT}$  とし、これらの合計したものを  $R_T$  とする。また、発電プロセスでは、石炭代替でバイオマスを用いる場合を想定し、発電方式は燃焼発電とガス化発電を考える。発電プロセスでバイオマスを 1 t 用いることによる削減炭素量 (kg-C/t-B) を  $R_G$  とし、みかけの削減炭素量と呼ぶ。バイオマスを石炭代替で発電プロセスに用いることによって削減される炭素量と発電以外のプロセスから放出される炭素量を勘案した正味の炭素削減量  $R_N$  (kg-C/t-B) を次式で表現する。

$$R_N = R_G - (R_P + R_{CB} + R_{TB} + R_{PT}) \cdots \cdots (1)$$

バイオマスの苗木育成から収穫までのプロセスには、苗木輸送、農地整備、植林、肥料・殺虫剤製造、施肥、殺虫剤散布、灌漑などのサブプロセスが含まれるが、今回調査した文献中には、サブプロセスまで調査したものは少なく、ほとんどの文献ではこれらを一括して扱っているので、本研究でもこれらを一括して扱う。

バイオマスの収集を次のように考え、炭素放出量を計算した。外径  $R$ 、半径  $r_0$  (ここでは 0.5km) のドーナツ状の植林地を考え、収穫したバイオマスを中心部分に収集する。植林地面積  $A$  は次式で計算される。

$$A = W_a / (Y \times 102) \cdots \cdots (2)$$

ただし、 $W_a$  : 1 年間に供給すべきバイオマス量 (t-B)、

$$C_A \times 10^{-3} \times 365 \times 24 \times 3600 / (H_B \times \eta_B)$$

ただし、 $C_A$  : 発電規模 (MW)、 $H_B$  : バイオマス発熱量 (GJ/t-B)、

$\eta_B$  : バイオマスの発電効率 (後述)

$Y$  : バイオマスの収率 (t-B/ha/y)

バイオマスの伐採年数を  $S$  として、植林地を  $S$  個の扇形に分割し、毎年、扇形一つ分の面積を伐採する。この扇形を半径方向に  $M$  個に分割する。分割幅は、1 台のバイオマス収集車両に搭載できるバイオマス量  $L_C$  に相当する面積  $A_u$  ( $= A / S / (W_a / L_C)$ ) が正方形としたときの一边の長さである。分割された扇形の帯の  $m$  番目について、円周方向に一つの面積が  $A_u$  になるように  $N_m$  個に分割し、そのときの中心からの距離を  $d_m$

(km)とする。1年間の収集距離 $D_a$ は次式で表現される。

$$D_a = \sum (N_m \times d_m) \cdots (3)$$

よって、収集による炭素放出量は次式で表現できる。

$$R_{CB} = C_{CB} \times D_a / W_a \cdots (4)$$

ただし、 $C_{CB}$ ：収集車両が1 km 当たり放出する炭素量(kg-C/km)

輸送により排出される炭素量は次式で計算できる。

$$R_{TB} = C_{TB} \times D_{TB} / L_T \cdots (5)$$

ただし、 $C_{TB}$ ：輸送媒体が1 km 当たり放出する炭素量(kg-C/km)

$D_{TB}$ ：輸送距離(km)、 $L_T$ ：輸送媒体のバイオマス搭載能力(t-B)

みかけの炭素削減量は次式で表現できる。

$$R_G = \theta_C \times (\eta_B / \eta_C) \times H_B \cdots (6)$$

ただし、 $\theta_C$ ：石炭1 GJ 当たり放出される炭素量(kg-C/GJ)

$\eta_C$ ：石炭火力発電所の発電効率 (-)

$\eta_B$ ：バイオマス発電所の発電効率 (-)

ただし、 $\eta_B = \alpha C A \beta$

### 3. 3-2 パラメータ調査結果

表 3-3 パラメータ調査結果

| パラメータ名               | 得られた結果                               |
|----------------------|--------------------------------------|
| $R_p$ (kg-C/t-B)     | 22.04 (15.11~42.09)                  |
| $R_{\pi}$ (kg-C/t-B) | 6.89 (3.96~10.88)                    |
| $C_s$ (MWh)          | 25 (0.3~676)                         |
| $S$ (y)              | 10 (2~15)                            |
| $L_B$ (t-B)          | 3                                    |
| $C_{CB}$ (kg-C/km)   | 1.05                                 |
| $L_{TB}$ (t-B)       | 15 (トラック)<br>400 (電車)<br>2500 (船)    |
| $C_{TB}$ (kg-C/km)   | 0.91 (トラック)<br>20.0 (電車)<br>25.2 (船) |
| $D_m$ (km)           | 30 (18.7~37.4)                       |
| $\alpha$             | 0.179 (燃焼発電)<br>0.264 (ガス化発電)        |
| $\beta$              | 0.126 (燃焼発電)                         |

文献調査により得られたパラメータを表 3-3 に示す。表中 ( ) は範囲を示す。これらの値を標準パラメータとして正味の炭素削減量を計算する。ただし、輸送に関しては標準パラメータはトラックの値を用いる。また、バイオマス収率 $Y = 10$  (t-B/ha/y)、バイオマス発熱量 $H_B = 20$  (GJ/t-B)、 $\theta_C = 27.99$  (kg-C/GJ)、代替される石炭火力発電所の発電効率 $\eta_C = 0.37$ を標準パラメータとして用いる。

### 3. 3-3 エネルギー変換技術評価とCO<sub>2</sub>削減効果

3.2-2 の項で調査した燃焼発電、ガス化発電の調査結果を用いた。(燃焼発電の結果は図 4-6 に、ガス化発電の結果は図 4-7 に示してある。) 発電効率は低位発熱量規準である。

## 4. 結果と考察

### 4. 1 バイオマス供給量と植林面積見積試算

現在までに推定された植林可能面積の範囲を図 4-1<sup>(4)</sup>に示す。植林可能面積の見積値 60 ~ 2,000Mha と非常に大きく変動しているが、これは「技術的に可能」と思われる土地を単純計算した例 (Max:2,000Mha) から経済性にみあう土地を限定算出した例 (Min 67Mha) や海水による灌漑を考慮した例などと、試算に用いた算定ファクター、算定方法が大きく異なるためである。

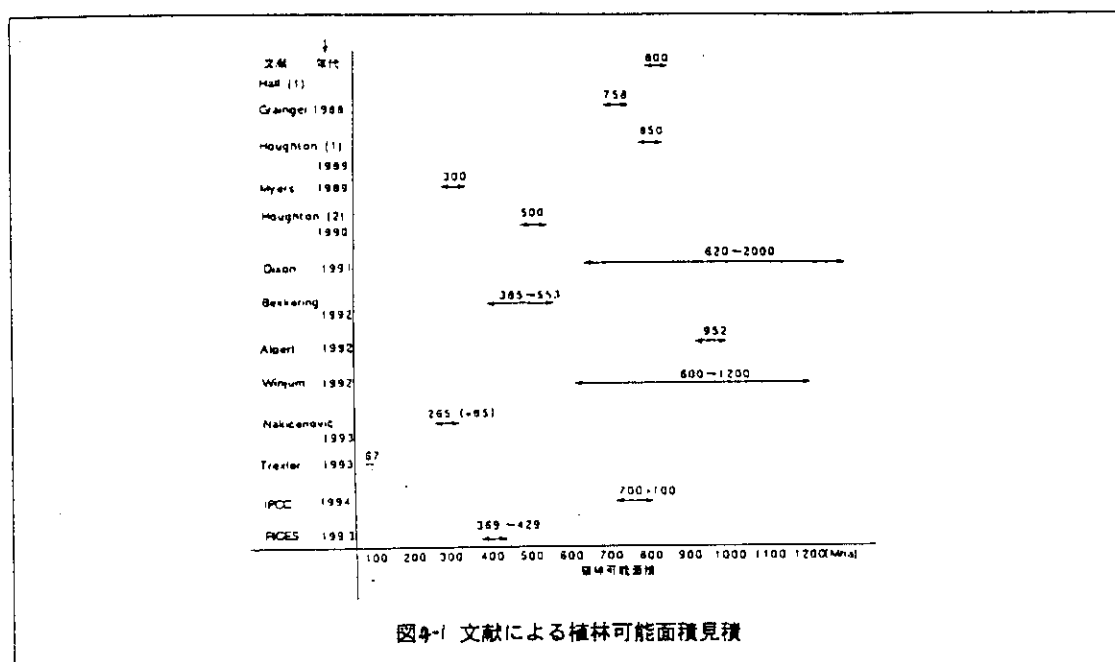


図4-1 文献による植林可能面積見積

#### 4. 1-1 F A Oデータに基づく世界規模での試算見積

食糧供給との競合を考慮しない場合の植林可能面積の見積結果を図4-2a、4-2b（世界地域別）図4-3a、4-3b（国別上位10カ国）に示す。aが1995年初出のデータ、bが1997年修正データに基づいて行った結果で、同じ1990年の測定に基づく同じ機関からのデータでも結果にこれだけのばらつきが生ずることを示す例として掲げた。世界合計での植林可能面積は初出データで744Mha、この値はトップダウン方式で見積もった他の報告の植林可能面積(850 - 500Mha)と同程度であり、一方修正版に基づく計算結果1,677Mhaは他のトップダウン方式での見積もり結果より大きく、ポテンシャルとしては上限値を示すものといえる。北米、旧ソ連などの先進国が案外のポテンシャルを有しており、アジアの割合が少ない。これはこれらの地域では、「森林及び林地」に占める「森林」の割合が高く新たに植林可能な面積が少ないため、あるいは農地や耕地、草地の面積が大きいためである。バイオマスエネルギーとしては森林樹木だけでなく、農地・草地で生産されるエネルギー作物もあるが、これらは本試算では含まれない。本トップダウン方式では考慮されないこれらのエネルギー作物によるバイオマスエネルギーは国によっては極めて重要であり、国ごとの詳細な検討が必要である。

食糧との競合を考慮しない場合とした場合の両方のケースについての植林可能面積とエネルギー供給量の試算結果を表4-1a(95年初出データ結果)、表4-1b(97年修正データ結果)に示す。IPCCの第2次報告書では目標供給量は年間約300EJとしており、食糧との競合を考えない場合、生産性が平均以上であればIPCC報告値を確保できる事になる。しかしながら実際には植林を想定している「その他の林地」は土壌が貧弱で、この生産性を確保できないことが十分予想される。またバイオマスの生産性についても値にばらつきが大きく、特に寒帯の樹木の生産性について著しい。各帯で報告されている最も生産性の低い値を用いて計算するシベリア・ケースでは、エネルギー供給量は80EJにまで低下した。生産性の向上が、植林面積を確保することと共に重要となる。

食糧との競合を考慮する場合、競合しない場合と比較すると面積で13%、エネルギーで11～16%程度の減少にとどまり、食糧競合の影響は意外と小さかった。ただし生活の向上に伴い各国が先進国型のエネルギー高摂取（摂取量10,000cal/cap：肉は穀物に換算し

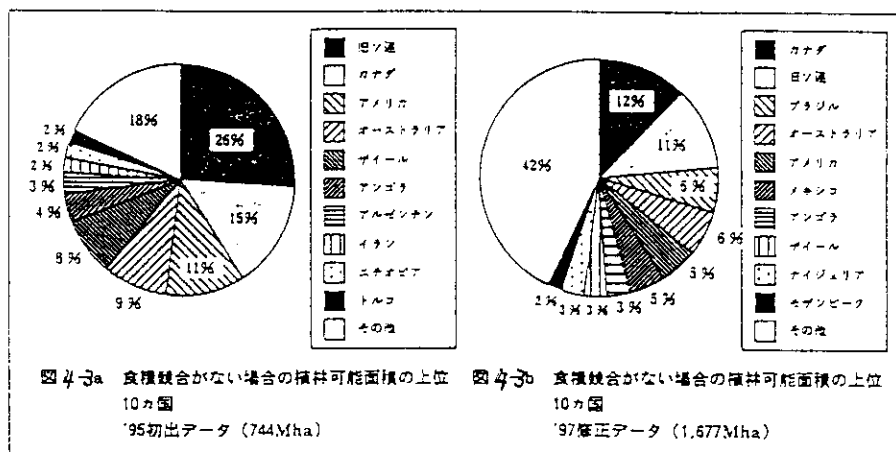
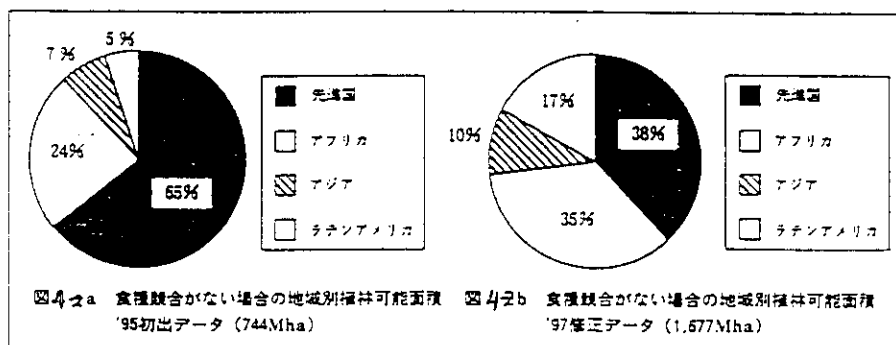


表4-1b

エネルギー供給量（食糧との競合あり）(New revised data, 1997)

|     |     | エネルギー供給量 (EJ, /y) |       |       | 植林可能<br>面積 (Mha) |
|-----|-----|-------------------|-------|-------|------------------|
|     |     | 生産性高位             | 生産性中位 | 生産性低位 |                  |
| 高採取 | 高収量 | 780               | 432   | 219   | 1,506            |
|     | 中収量 | 715               | 392   | 197   | 1,394            |
|     | 低収量 | 0                 | 0     | 0     | 0                |
| 低採取 | 高収量 | 844               | 472   | 240   | 1,615            |
|     | 中収量 | 814               | 453   | 230   | 1,564            |
|     | 低収量 | 719               | 395   | 107   | 1,401            |
| 競合無 |     | 882               | 495   | 252   | 1,677            |

表4-1a

エネルギー供給量（食糧との競合あり）(data 1995)

|     |     | エネルギー供給量 (EJ, /y) |       |       | 植林可能<br>面積 (Mha) |
|-----|-----|-------------------|-------|-------|------------------|
|     |     | 生産性高位             | 生産性中位 | 生産性低位 |                  |
| 高採取 | 高収量 | 386               | 203   | 106   | 688              |
|     | 中収量 | 362               | 190   | 102   | 654              |
|     | 低収量 | 0                 | 0     | 0     | 0                |
| 低採取 | 高収量 | 414               | 216   | 112   | 726              |
|     | 中収量 | 400               | 209   | 109   | 707              |
|     | 低収量 | 364               | 191   | 102   | 658              |
| 競合無 |     | 426               | 223   | 114   | 744              |

て計算) になり、一方穀物の生産量が上がり低収量の場合は、植林可能面積は0、すなわち世界全体で農業可能地に加えて「その他の林地」を全て食糧生産に用いても人口を賄えないとの結果が出た。

今回の試算では、生産性が中位以上であれば、バイオマスエネルギー供給量は400EJ(97年修正データによる)程度となり、IPCCで提案された値を達成できる。実際にはプランテーション用の土地は土壌が貧弱で生産性は低位に相当するため、提案値の全量達成は難しいと予想されるが、それでもかなりのエネルギー量(150～200EJ)を供給でき、エネルギー問題、温暖化対策への寄与は大きい。

#### 4. 1-2 衛星データに基づく1カ国での試算見積

衛星データに基づく土地被覆分類図を図の4-4に、またこの結果に基づくカンボジアの植林可能面積とエネルギーポテンシャル試算結果を図4-5に示す。土地被覆分類の内、「草地・低木林・疎林」と「混合地域」を植林可能地とした。図4-5中にこの土地の100%、1/3、10%をそれぞれ適用可能とした場合のポテンシャルを示したが、表4-2に先のFAOデータに基づいて試算した場合のカンボジアのエネルギーポテンシャルの結果を示す。(計算は97年修正データを採用)生産性中位の場合、「混合+草地・低木林・疎林」の約20%の土地と「森林及びその他の林地-森林=その他の林地」がほぼ同等のエネルギーポテンシャルを有する。2つの手法による試算結果は異なるが、算定基準を明らかにすればいずれの手法でも植林可能面積のポテンシャル提示は可能であり、また面積試算にあたってはいくつかの手法によるクロスチェックにより植林可能面積の上限・下限を捉えることが必要であるといえる。

#### 4. 2 エネルギー変換技術評価とCO<sub>2</sub>削減効果

図4-6に燃焼発電、図4-7にガス化発電の調査結果を示す。発電効率は低位発熱量規準である。

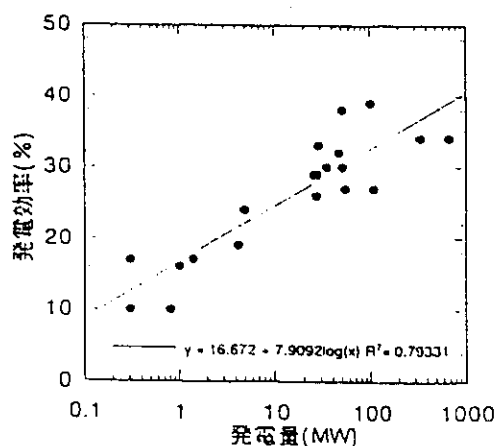


図4-6 燃焼発電における発電量と効率の関係

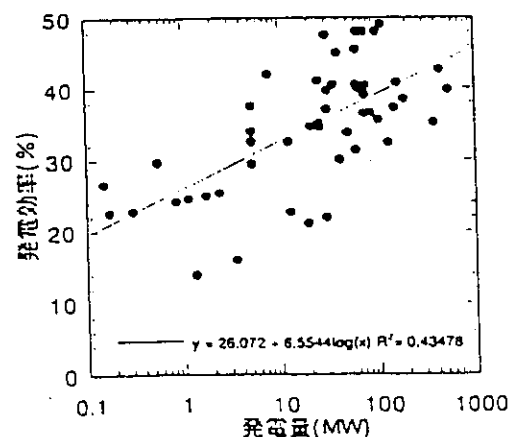
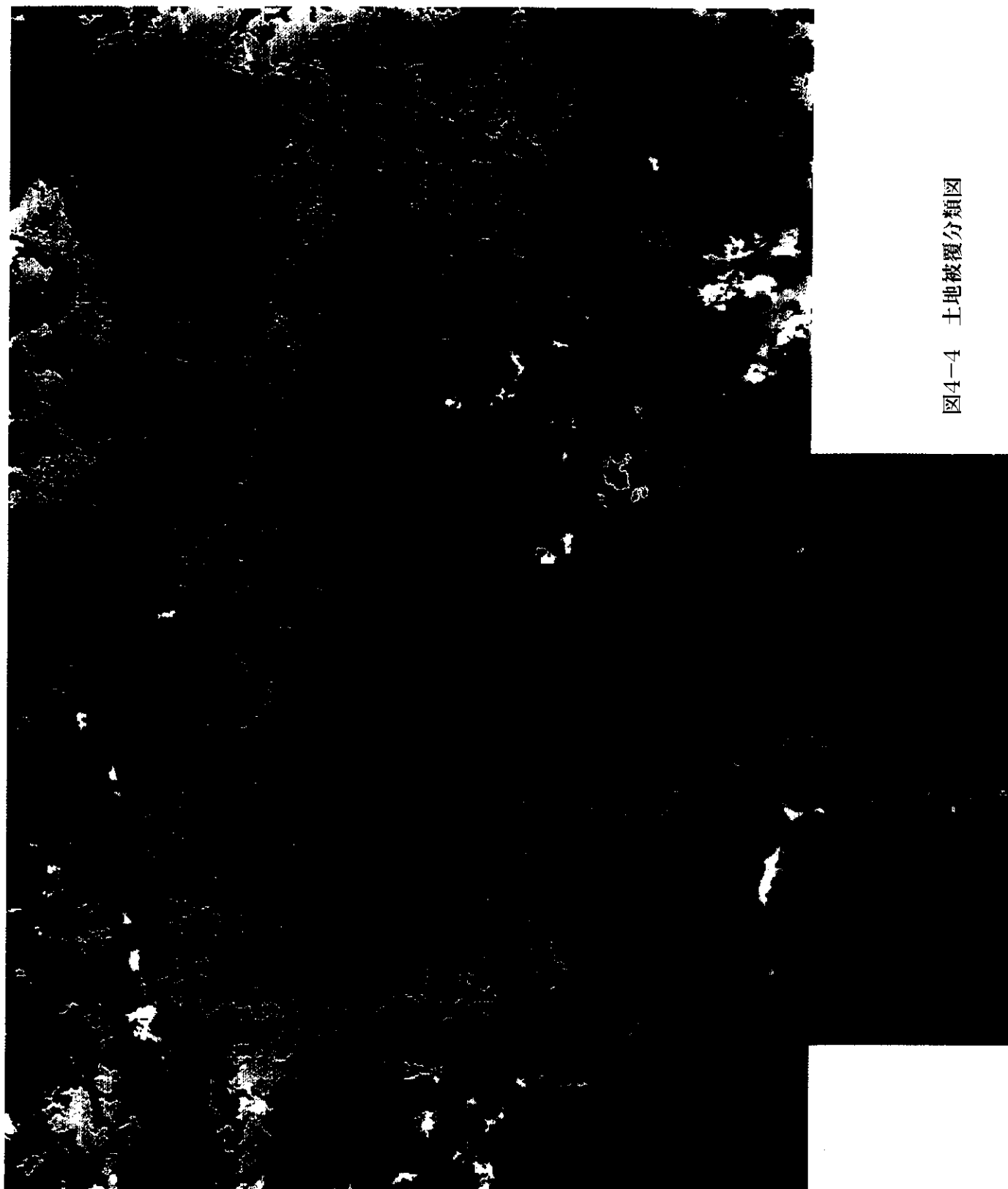


図4-7 ガス化発電における発電量と効率の関係



湖沼・河川  
海  
市街地  
裸地  
森林  
マングロープ林  
農地  
水田  
プランテーション  
草地・低木林・疎林  
湿地  
混合地域

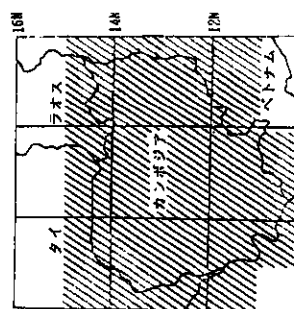


図4-4 土地被覆分類図

図4-5

衛星データより求めた面積

カンボジアの総面積

18,104 (1000ha)

|                    | 森林    | 草地・低木林・疎林 | 湿地  | 混合    | (1000ha)<br>混合<br>+草地・低木林・疎林 |
|--------------------|-------|-----------|-----|-------|------------------------------|
| トータル<br>(地形情報考慮せず) | 5,508 | 4,262     | 710 | 2,764 | 7,026                        |
| 標高考慮<br>～100mまで    | 1,287 | 2,202     | 709 | 966   | 3,168                        |
| ～200mまで            | 1,465 | 1,318     | 0.6 | 1,268 | 2,586                        |
| ～300mまで            | 609   | 347       | 0.1 | 384   | 731                          |
| 小計                 | 3,361 | 3,867     | 710 | 2,618 | 6,485                        |
| 傾斜考慮<br>～10%まで     | 4,772 | 4,213     | 710 | 2,747 | 6,960                        |

| 候補地           | (1000ha) | エネルギーポテンシャル (PJ/y)<br>バイオマス生産性 |
|---------------|----------|--------------------------------|
|               |          | 高 中 低                          |
| 混合+<br>草地・低木林 | 6,485 ha | 100% 4,176 2,644 1,392         |
|               |          | 1/3 1,392 882 464              |
|               |          | 10% 418 264 139                |

表4-2. FAOデータに基づいて試算した

カンボジアのバイオマスエネルギーポテンシャル

| 栄養<br>摂取    | 穀物収量 | エネルギー供給量 (PJ/y) |       |       | 植林可能<br>面積 (1000ha) |
|-------------|------|-----------------|-------|-------|---------------------|
|             |      | 生産性高位           | 生産性中位 | 生産性低位 |                     |
| 高<br>摂<br>取 | 高収量  | 930             | 590   | 310   | 1,554               |
|             | 中収量  | 0               | 0     | 0     | 0                   |
|             | 低収量  | 0               | 0     | 0     | 0                   |
| 低<br>摂<br>取 | 高収量  | 930             | 590   | 310   | 1,554               |
|             | 中収量  | 930             | 590   | 310   | 1,554               |
|             | 低収量  | 0               | 0     | 0     | 0                   |
| 競合無         |      | 930             | 590   | 310   | 1,554               |

調査の結果、発電量の増加に伴い発電効果が増加する傾向がみられ、燃焼発電の場合、発電効率は10～39%の範囲であり、ガス化発電の場合、14～49%であった。熱分解液化の場合、オイル収率は0.53～0.76 (t-oil/t-biomass)、発熱量は15.8～17.2 (GJ/t-oil)の範囲にあった。エタノール発酵の場合、エタノール収率は0.24～0.43 (t-ethanol/t-biomass)の範囲にあった。

調査結果から得られた数値を用いて、代替炭素量原単位を計算した結果を表4-3に示す。

表4-3 代替炭素量原単位計算結果

| ・燃焼                  |                             | ・エタノール発酵                      |                             |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 発電効率 $\eta_B$<br>(%) | 代替炭素量CSN<br>(t-C/t-biomass) | エタノール収率Y<br>ethanol/t-biomass | 代替炭素量CSN<br>(t-C/t-biomass) |
| 39                   | 0.53                        | 0.43                          | 0.34                        |
| 25                   | 0.34                        | 0.34                          | 0.27                        |
| 10                   | 0.14                        | 0.24                          | 0.19                        |

| ・ガス化                 |                             | ・熱分解液化                 |                           |                             |
|----------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 発電効率 $\eta_B$<br>(%) | 代替炭素量CSN<br>(t-C/t-biomass) | オイル発熱量OP<br>(GJ/t-oil) | 収率YP<br>(t-oil/t-biomass) | 代替炭素量CSN<br>(t-C/t-biomass) |
| 49                   | 0.66                        | 16.3                   | 0.69                      | 0.28                        |
| 31                   | 0.42                        |                        |                           |                             |
| 14                   | 0.21                        |                        |                           |                             |

この調査結果より、発電に関してはガス化発電を利用する場合が一番削減量が多いことが判った。また、ガソリン代替となるエタノール発酵よりもバイオマスを電力代替の燃焼発電やガス化発電に使用したほうが有効であることが判った。

世界規模でバイオマスを利用した場合の炭素削減量を、上で求めた原単位と、昨年度に求めたバイオマス供給量(高位 21.3, 中位 11.2, 低位 5.7Gt/y)を用いて計算した結果を表4-4に示す。燃焼発電は最大 11.3Gt-C/y、最小 0.8Gt-C/y の削減量となった。また、ガス化発電は最大 14.1Gt-C/y、最小 1.2Gt-C/y、熱分解液化は最大 6.0Gt-C/y、最小 1.6Gt-C/y、エタノール発酵は最大 7.2Gt-C/y、最小 1.1Gt-C/y となった。

表4-4 地球規模バイオマス利用による炭素削減量 (Gt-C/y)

| 技術      | エネルギー変換効率 | バイオマス供給量 |     |     |
|---------|-----------|----------|-----|-----|
|         |           | 高位       | 中位  | 低位  |
| 燃焼発電    | 高位        | 11.3     | 5.9 | 3.0 |
|         | 中位        | 7.2      | 3.8 | 1.9 |
|         | 低位        | 2.9      | 1.5 | 0.8 |
| ガス化発電   | 高位        | 14.1     | 7.4 | 3.8 |
|         | 中位        | 9.0      | 4.7 | 2.4 |
|         | 低位        | 4.5      | 2.3 | 1.2 |
| 熱分解液化   |           | 6.0      | 3.1 | 1.6 |
| エタノール発酵 | 高位        | 7.2      | 3.8 | 1.9 |
|         | 中位        | 5.8      | 3.0 | 1.5 |
|         | 低位        | 4.1      | 2.1 | 1.1 |

IPCC の削減目標の 4Gt-C/y が達成できる条件はバイオマスの供給量が中位以上のときで、いずれかの技術を用いて対応できる。供給量が低位の場合にはどの技術を用いても対

応できない。COP3 の削減目標に対しては、全ての条件の組み合わせの削減量の最小が 0.8Gt-C/y なので、全ての技術と供給量の組み合わせで達成できることが判った。本試算ではエタノールはガソリン代替で使用されると想定し、ガソリン由来の CO<sub>2</sub> を削減することになるが、ガソリン由来の CO<sub>2</sub> 排出量は 1990 年時で 0.9Gt-C/y であり、本試算での削減効果は最小でも 1.1Gt-C/y との結果が得られ、エタノールを用いても達成できることが示唆された。

#### 4. 3 システム規模の評価

発電規模と RN の関係を図 4-6 に示す。発電規模の増加とともに、発電方式に関わらず RN は単調に増加している。発電規模の増加により RN に極値が見られない理由は、後述するように R CB が RG に比較して小さいことに加えて、発電規模の増加による R CB の増加がわずかであるためである。発電規模当たりの RN を図 4-7 に示すが、発電規模の増加とともに単調に減少している。これらの図から、本研究で検討したシステムでは最適な発電規模は得られず、発電規模は大きければ大きいほど、正味の炭素削減量は増加することが分かった。しかしながら、文献によると経済的な最適規模は 25MW が限界と報告されていることから、本研究では 25MW を標準的な発電規模とする。

次に、輸送距離の影響を評価するために、RN = 0 となるときに距離を限界輸送距離 D TB、C と定義する。限界輸送距離と発電規模との関係を図 4-8a、4-8b に示す。いずれの発電方式でも、船が長距離輸送に適しており、船を用いることにより、発電規模が小さくても長距離輸送が可能であることが示された。日本でバイオマスを利用することを考えると、最も長い輸送距離は地球を半周する 2 万 km であるが、少なくとも 0.8MW 以上の規模であればバイオマス利用による炭素削減に効果があることが分かる。

##### サブプロセスの寄与

標準パラメータを用いた場合のサブプロセスからの炭素放出量の炭素削減量への影響を表 4-5 に示す。サブプロセスからの炭素放出量は、みかけの炭素削減量の約 1 割程度であった。サブプロセスでは、バイオマスの苗木育成から収穫のプロセスからの放出量が最も多く、全放出量の約 8 割であった。収集及び輸送からの炭素放出量は合わせて 5 % 程度で寄与は少ないことが分かった。

##### パラメータの感度解析

収率が炭素削減量に与える影響を表 4-6 に示す。収率が変化しても炭素削減量はほとんど変化しなかった。収率は植林面積に影響するが、上述したように収集プロセスからの炭素放出量はわずかであるため、収率の炭素削減量への影響は微少であった。

パラメータ (C TB、C CB、L TB、L CB、S) が炭素削減量に与える影響を表 4-7 に示す。表中の値は標準パラメータを用いた場合の炭素削減量に対する各パラメータを 0.25 ～ 2 倍に変化させた場合の炭素削減量の比である。この表から、パラメータを変化させても比削減量はほとんど変化せず、今回検討下パラメータは炭素削減量に対して影響を与えないことが分かった。

##### 世界規模での正味の削減炭素量

これまでの調査で得られた、バイオマス植林可能面積に、バイオマスの収率を熱帯、温帯、寒帯それぞれ、20、10、5 (t-B/ha/y) として、年間のバイオマス供給量を求め、これに炭素

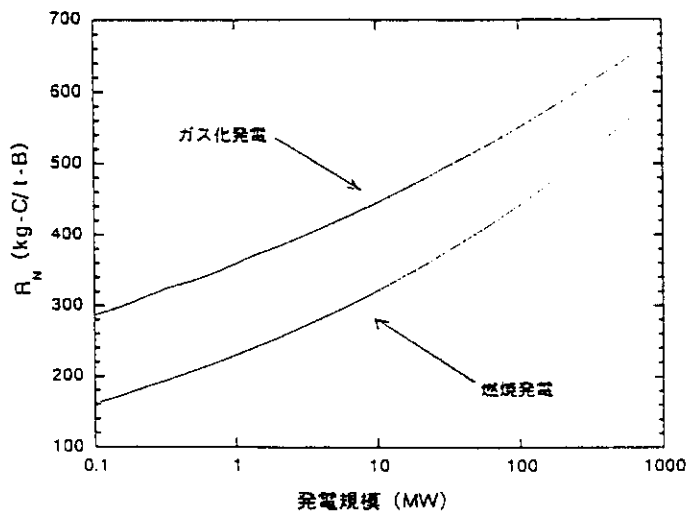


図4-6 発電規模と $R_N$ の関係

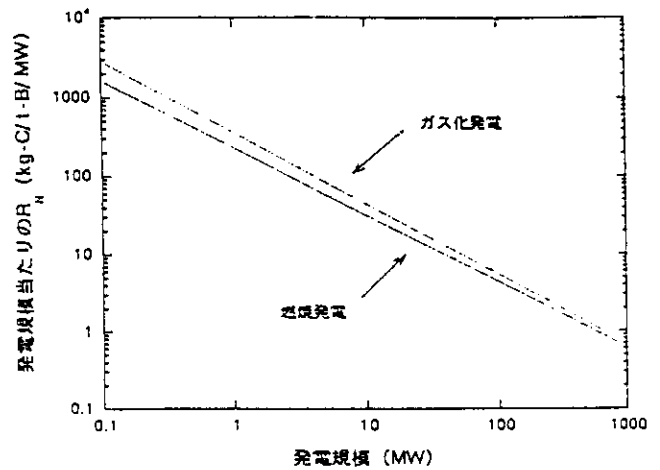


図4-7 発電規模と発電規模当たりの $R_N$ の関係

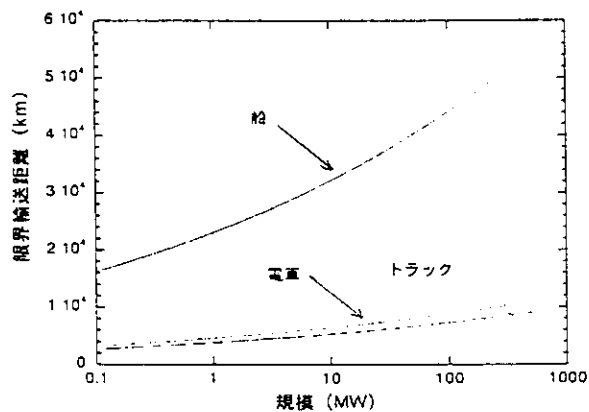


図4-8(a) 限界輸送距離と発電規模の関係(燃焼発電)

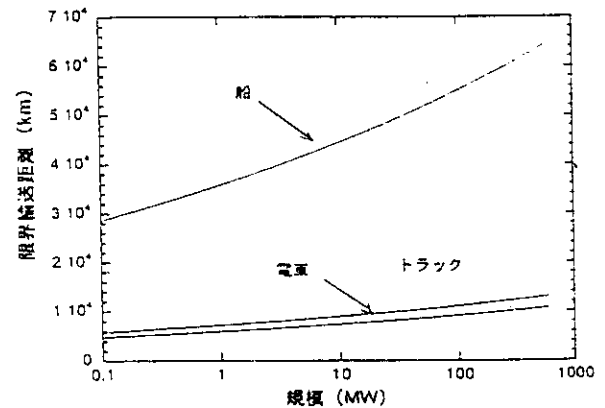


図4-8(b) 限界輸送距離と発電規模の関係(ガス化発電)

表4-5 サブプロセスからの炭素放出量の炭素削減量に対する影響(kg-C/t-B)

|       | $R_G$  | $R_P$ | $R_{PT}$ | $R_{CB}$ | $R_{TB}$ | $R_T$ | $R_N$  |
|-------|--------|-------|----------|----------|----------|-------|--------|
| 燃焼発電  | 406.28 | 32.04 | 6.89     | 0.60     | 1.82     | 41.35 | 364.93 |
| ガス化発電 | 526.81 | 32.04 | 6.89     | 0.53     | 1.82     | 41.28 | 485.53 |

表4-6 収率が変化した場合の炭素削減量(kg-C/t-B)

|       | 収率<br>(t-B/ha/y) | 発電規模 (MW) |       |       |
|-------|------------------|-----------|-------|-------|
|       |                  | 1         | 25    | 100   |
| 燃焼発電  | 5                | 229.9     | 364.7 | 441.5 |
|       | 10               | 229.9     | 364.9 | 442.0 |
|       | 20               | 229.9     | 365.1 | 442.3 |
| ガス化発電 | 5                | 358.3     | 485.3 | 551.4 |
|       | 10               | 358.5     | 485.5 | 551.8 |
|       | 20               | 358.6     | 485.7 | 552.1 |

表4-7 パラメータが変化した場合の比削減量の変化

| パラメータ           | 燃焼発電      |       |       |       |       | ガス化発電     |       |       |       |       |
|-----------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
|                 | パラメータ変化倍率 |       |       |       |       | パラメータ変化倍率 |       |       |       |       |
|                 | 0.25      | 0.5   | 1     | 1.5   | 2     | 0.25      | 0.5   | 1     | 1.5   | 2     |
| C <sub>TS</sub> | 1.004     | 1.002 | 1.000 | 0.998 | 0.995 | 1.003     | 1.002 | 1.000 | 0.998 | 0.996 |
| C <sub>CS</sub> | 1.001     | 1.001 | 1.000 | 0.999 | 0.998 | 1.001     | 1.001 | 1.000 | 0.999 | 0.999 |
| L <sub>TS</sub> | 0.985     | 0.995 | 1.000 | 1.002 | 1.002 | 0.989     | 0.996 | 1.000 | 1.001 | 1.002 |
| L <sub>CS</sub> | 0.995     | 0.998 | 1.000 | 1.001 | 1.001 | 0.997     | 0.999 | 1.000 | 1.000 | 1.001 |
| S               | 1.000     | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000     | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |

表4-8 世界規模での正味炭素削減量

| 地域名     | バイオマス供給量<br>(Gt-B/y) | 年間炭素削減量(Gt-C/y) |     |      |            |      |      |
|---------|----------------------|-----------------|-----|------|------------|------|------|
|         |                      | 燃焼発電 (MW)       |     |      | ガス化発電 (MW) |      |      |
|         |                      | 1               | 25  | 100  | 1          | 25   | 100  |
| 先進国     | 4.3                  | 1.0             | 1.6 | 1.9  | 1.5        | 2.1  | 2.4  |
| アフリカ    | 11.2                 | 2.6             | 4.1 | 4.9  | 4.0        | 5.4  | 6.2  |
| アジア     | 2.8                  | 0.6             | 1.0 | 1.2  | 1.0        | 1.3  | 1.5  |
| ラテンアメリカ | 4.8                  | 1.1             | 1.7 | 2.1  | 1.7        | 2.3  | 2.6  |
| 世界合計    | 23.1                 | 5.3             | 8.4 | 10.2 | 8.3        | 11.2 | 12.7 |

削減量を乗じて世界規模での年間炭素削減量を計算した結果を表4-8に示す。なお、収率による炭素削減量の差はほとんどないことから、収率 10(t-B/ha/y)のときの炭素削減量を用いた。1998年での石炭由来の炭素放出量は、2.2(Gt-C/y)である。表から、1 MWの小規模な発電施設でも、石炭代替として用いることにより、世界的に5～8(Gt-C/y)の削減が可能であり、バイオマスのエネルギー利用が地球温暖化対策にとって非常に有効であることが示された。

#### 日本におけるバイオマス利用の有効性の検討

先に、バイオマスの長距離輸送の可能性を指摘した。そこで、日本において、バイオマスを輸入し、石炭代替で利用することにより COP3 の目標炭素削減が可能かを検討した。1994年度の日本の炭素放出量は 320(Mt-C/y)であり、その6%である 19(Mt-C/y)を削減する必要がある。これを石炭代替でバイオマスを用いることによって削減する。石炭火力由来を25%とすると、石炭火力由来の炭素放出量は 85(Mt-C/y)であり、代替は可能である。発電規模を 25MW、輸送距離を 2 万 km、バイオマス収率を 10(t-B/ha/y)とすると、正味の炭素削減量は燃焼発電で 165、ガス化発電で 286(kg-C/t-B)である。これから必要な植林面積を計算すると、燃焼発電で 11.5、ガス化発電で 6.6(Mha)となる。これは、日本の国土面積の 20～30%に相当するが、この面積を海外に確保することは困難ではないと考えられ、海外からバイオマスを輸入することによる炭素削減は十分可能である。

以上、バイオマスを植林して石炭代替として発電(燃焼、ガス化)するシステムを考え、各プロセスからの炭素放出量を考慮し、正味の炭素削減量を検討したところ、以下のことが明らかになった。

- 発電規模を 25MW とした場合、正味の削減量は燃焼発電で 365、ガス化発電で 486(kg-C/t-B)。
- 世界規模でバイオマスを利用することで 1 MW の小規模発電でも燃焼発電で 5.3、ガ

ス化発電で 8.3Gt-C/y) の削減が可能。

c) 発電規模を大きくすると削減炭素量は単調に増加する。

d) システムを構成するプロセスの中で、炭素放出量の最も多いものは苗木の育成から収穫までのプロセスで、また、総炭素放出量はみかけの炭素代替量の約 10 %であった。

e) 収率、栽培期間、輸送媒体の距離当たりの炭素放出量及び搭載能力を変化させても削減炭素量にはほとんど影響がない。

f) 発電規模が 1 MW 以上であれば、船を用いることにより、バイオマスを長距離輸送しても炭素削減が可能。

g) 日本において、バイオマスを輸入し石炭代替として用いることにより、COP3 の目標削減量を達成することは十分可能。

## 5. まとめ

バイオマスエネルギーの導入可能性の評価と温暖化軽減に及ぼす影響の計量的評価を試みた。バイオマスの供給量は生産性が中位以上であれば、IPCC の目標値 (300EJ/y) を達成できるが、実際には生産性が低い土地がエネルギープランテーション用に割り当てられることが予想され、全量達成は困難と予想され、生産性の向上が鍵となる。食糧との競合性の影響は小さいが、バイオマス供給量と 4 種のバイオマス・エネルギー変換技術による化石燃料代替炭素量原単位を求め、両者の値を用いて地球規模でバイオマスを利用したときの CO<sub>2</sub> 削減量を求めた。IPCC の第 2 次報告書<sup>1)</sup> の削減目標 4Gt-C/y が達成できるのは、バイオマスの供給量が中位以上の場合で、この時はいずれの技術を用いても対応できる。一方供給量が低位の場合は、どの技術を用いても達成できない。COP3 の 5 %削減目標の値 0.6Gt-C/y に対しては、表 2 より明らかなように最小値が 0.8Gt-C/y (燃烧発電—供給量低位のケース) であるので、全ての条件の組合せで達成可能であることが判った。

現時点での世界のエネルギー供給に占める割合は小さい。しかしながら、これらのプロセスによりバイオマスからエネルギーを製造した場合、化石燃料代替による CO<sub>2</sub> 削減効果が極めて高い。我々の試算に寄れば、これらのプロセスの効率を先に求めたバイオマス供給量と併せて CO<sub>2</sub> 削減量を計算したところ、世界規模でバイオマスを用いた場合、COP3 での CO<sub>2</sub> 削減目標値を達成できること、特にガス化発電は効率が高く、IPCC の目標達成も不可能ではない、との結果が得られてた。CO<sub>2</sub> 削減や廃棄物処理などの環境への貢献度の観点からも、バイオマス・エネルギーは今後確実にシェアをのばすと予想される。

## <引用文献>

- 1)-a;Hall,D.O., Nature, 353,11,(1991), 1)-b;IPCC Report, Working III, (1990, 1992), 1)-c;Gustavsson, L., Borjesson, P., Johansson, B., Svernungsson, P., Energy, 20, 1097(1995), 1)-d;WEC:World Energy Council, New Renewable Energy Resource, Kogan Page, London (1994), 1)-e;Dessus, B., La Hoille Blanche, I,(1992), 1)-f;Lashof,D.A.,et al., Report to Congress from the Office of Policy, US Environmental Protection Agency,(1990), 1)-g: Johansson,et.al., Proc., Bioenergy'93 Conference, (1993) 等
- 2)FAO 編集、国際食糧農業協会訳、1991 年 FAO 農業生産年報、国際食糧農業協会、

- (1992), 3)FAO, Forest Resources Assessment 1990 Global Synthesis, (1995)
- 4)品田泰他、電力中央研究所報告 U91054(1992)
- 5)バイオマス生産と変換、学会出版センター(1981)
- 6)世界銀行編／河野果監訳、世界人口長期水系'94/95[1990-2150年]、東洋書林 (1996)
- 7)杉山他、電力中央研究所報告 Y95006 (1995)
- 8)国土地理院より貸借したデータをアジア航測株が2次解析
- 9)バイオマス熱変換反応一般に関しては Nussbaumer, T., et.al., Developments in Thermochemical Biomass Conversion, ed., by Bridgewater, A., et.al., 1229(1997)他28件、
- 10)燃焼発電に関しては Van den Broek, R., et.al, Biomass and Bioenergy, 11, 271(1996)他3件、
- 11)ガス化発電に関しては McIlveen-Write, D.R., et.al., Developments in Thermochemical Biomass Conversion, ed., by Bridgewater, A., et.al., 1525(1997)他5件、
- 12)熱分解液化に関しては Peacocke, G.V.C., et.al., Developments in Thermochemical Biomass Conversion, ed., by Bridgewater, A., et.al., 191(1997)他3件、
- 13)エタノール発酵に関しては Wayman, M., Energy from Biomass, 14, 1145(1991)
- 14)杉山 他、電力中央研究所報告 Y95006(1995)に Hall.D.O.,et al., Solar Energy materials and Solar Cells, 38, 521(1995)や S.Yokoyama, Energy Conv. Mgmt., 38, 569(1997)等のデータを加筆して作成

#### <研究発表>

##### 口頭発表

- 1)横山伸也、松田智<sup>1</sup>、齋木博<sup>2</sup>：第3回CO<sub>2</sub>除去のための国際会議 (1996)  
 “ Potential Land Area for Reforestation and CO<sub>2</sub> Mitigation Effect through Biomass Energy Conversion ”
- 2)横山伸也、松田智：化学工学会第29回秋季大会 (1996)  
 「バイオマスエネルギーによるCO<sub>2</sub>削減効果」
- 3)横山伸也：第5回地球変動に関する日米ジョイントワークショップ (1997)  
 “ Potential Land Area for Reforestation and CO<sub>2</sub> Mitigation ”
- 4)小木知子：9th Japanese-French Meeting of Experts on Energy and Environmental Technologies (1997) “ Overview of biomass energy reseearches under AIST ”
- 5)小木知子：資源環境技術総合研究所第13回研究講演会 (1997)  
 「森林セクターとバイオマスエネルギー利用による温暖化軽減の可能性と評価」
- 6)小木知子、土手 裕：日本化学会第75秋季年会 (1998)  
 「森林系バイオマスとバイオマスエネルギー利用による温暖化軽減の可能性と評価」  
 (1)「森林系バイオマスエネルギーの供給量予測」
- 7)土手 裕、小木知子：日本化学会第75秋季年会 (1998)  
 「森林系バイオマスとバイオマスエネルギー利用による温暖化軽減の可能性と評価」  
 (2)「バイオマスエネルギー変換技術導入によるCO<sub>2</sub>削減効果」

##### 誌上発表

- 横山伸也, Energy Conversion and Management 38, 569-573, (1996)

"Potential Land Area for Reforestation and Carbon Dioxide Mitigation Effect Through Biomass Energy Conversion"

- 横山伸也, 資源と環境 5, (6), 83 ~ 88, (1996)  
「ブラジルにおけるユーカリ植林のケーススタディ」
- 小木知子, 通産ジャーナル 30, (2), 52 ~ 53, (1996)  
「バイオマスエネルギーの話」
- 横山伸也, 日本機会学会誌 100, (947), 47 ~ 50, (1997)  
「バイオマスエネルギーによる CO2 削減」
- 土手 裕, 小木知子, 資源と環境 6, (6), 477 ~ 482 (1997)  
「森林系バイオマス・エネルギーの供給量予測」
- 小木知子, PETROTECH, 21, (11), 1060-1066, (1998)  
「バイオマス燃料の現状について」
- 小木知子, 土手 裕, PETEROTECH, 21, (12), 1183-1186, (1998)  
「バイオマス燃料、主要技術と実用化の状況」
- 小木知子, 燃料及び燃焼 66, (3), 170-179, (1999)  
「バイオマスエネルギー利用による CO2 削減効果」
- Shin-ya Yokoyama, Tomok Ogi, Anan Nalampoon, Biomass and Bioenergy (accepted)  
「Biomass Energy Potential in Thailand」,