

## ■ 研究論文 ■

# SD手法の世界土地利用エネルギー・モデルによる 総合的なバイオエネルギー資源評価

Evaluation of Bioenergy Resources with a Global Land Use and Energy Model Formulated with SD Technique

山本博巳\*・山地憲治\*\*・藤野純一\*\*\*

Hiromi Yamamoto Kenji Yamaji Junichi Fujino

(1996年10月15日原稿受付, 12月11日原稿受理)

## Abstract

Bioenergy is expected to become one of the key energy resources for global sustainable development. However, bioenergy cannot be infinite, since land area available for biomass production is limited and a certain amount of biomass must be reserved for food and material.

The purpose of the present study is to evaluate global bioenergy potential in consideration of land use competition. For this purpose the authors developed a global land use and energy model (GLUE) formulated with SD (System Dynamics) technique.

Through a simulation, the following results were obtained. (1) There will be a certain potential for energy crops harvested from surplus arable land in the developed region of the world. However, care must be taken that the potential is sensitive to the parameters concerning global food supply and demand. (2) There will be a large bioenergy potential for biomass residues such as cereal harvesting residues, animal dung, roundwood felling residues, sawmill residues, and timber scrap. The ultimate bioenergy potential from biomass residues will be 280 EJ/yr in 2100 in the world. (3) The mature forest area in the developing region decreases from 2.1 billion hectares in 1990 to 0.8 billion hectares in 2100, although perfect reforestation is assumed to be achieved by 2025. Thus, there will be not much room to get more fuelwood from the forest in the developing region.

## 1. はじめに

バイオエネルギーは、人類の持続可能な発展のための主要なエネルギー資源の一つとして期待されている。適切に管理されたバイオマスは、再生可能であり、かつネットでのCO<sub>2</sub>を排出しない。

しかし、バイオエネルギーは、無限のポテンシャルを持つエネルギー資源ではあり得ない。なぜなら、バイオマス生産量は土地面積および土地のバイオマス生産性により制約されており、更に、生産されたバイオマスの相当量は食料と原材料の用途に確保されねばならない。将来の世界の人口増加と経済発展により、食料と原材料の用途のバイオマス需要が増加するとき、バイオマス生産の土地利用競争が顕在化し、バイオエネルギー生産の制約が厳しくなることが予想される。

一方、バイオエネルギーは、土地を直接占有するバイオエネルギー・プランテーションだけでなく、土地を直接占有しない廃材、もみ殻、家畜糞などのバイオマス残さからも生産可能である。バイオマス残さは、バイオマスの収穫から加工、消費に至るバイオマス・フローの各段階で発生する。

このように、バイオエネルギー・ポテンシャル評価のためには、土地利用競争とバイオマス・フローを総合的に分析し、バイオエネルギー・プランテーションとバイオマス残さの両方のポテンシャルを評価する必要がある。

これらを実現するため、著者らは世界土地利用エネルギー・モデル (Global Land Use and Energy Model: 略称GLUE) を開発した<sup>1)2)3)</sup>。GLUEは、世界を対象に、将来の食料需給とバイオマス・フローを考慮してバイオエネルギー・ポテンシャルを評価する<sup>4)5)6)</sup>。

本論文では、GLUEの概要、データ設定、シミュレーション結果の順に説明を行っていく。

\* 財団法人電力中央研究所 経済社会研究所 主任研究員

〒100 東京都千代田区大手町1-6-1

\*\* 東京大学工学系研究科電気工学専攻教授

\*\*\* " " " 博士課程

〒113 東京都文京区本郷7-3-1

## 2. 世界土地利用エネルギー・モデル (GLUE) の概要

モデルの概要を以下に示す。なお、モデルの詳細については、文献1)を参照して欲しい。

### (1) モデル化の手法

本モデルは、SD (システム・ダイナミクス) 手法によって記述されている。SD手法は、バイオマスのストックとフローの関係を明示的に記述することに適している。

### (2) シミュレーション期間

1期を1年として、1975年から2100年までの、125年間のシミュレーションを行う。

### (3) 地域分割

本モデルでは、世界を先進地域と発展途上地域の2地域に分類した<sup>7)</sup>。先進地域は、OECD諸国(トルコを除く)、旧ソ連・東欧、イスラエル、南アフリカから構成される。途上地域はそれ以外の地域である。

### (4) モデル内のサブモデル

図-1に示すように、GLUEは土地利用サブモデルとエネルギー・サブモデルから構成される。

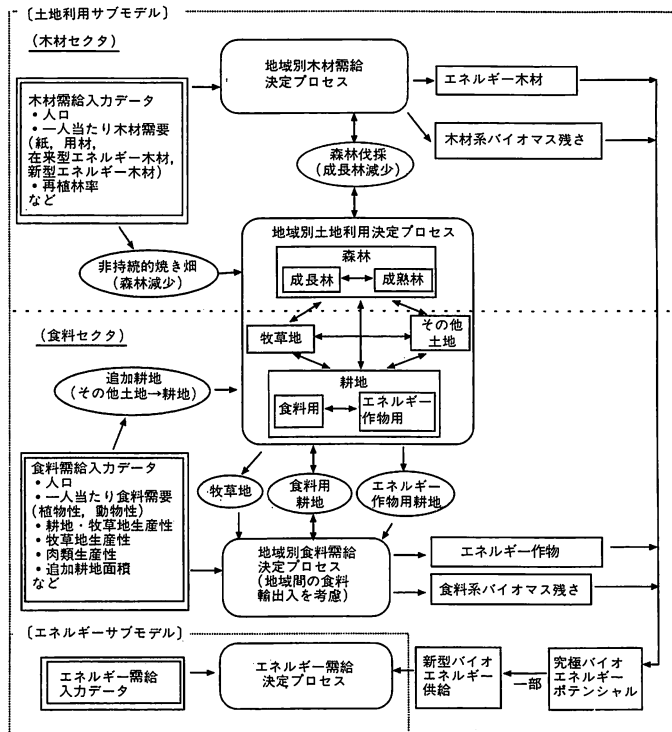


図-1 世界土地利用エネルギー・モデル (GLUE) の概要

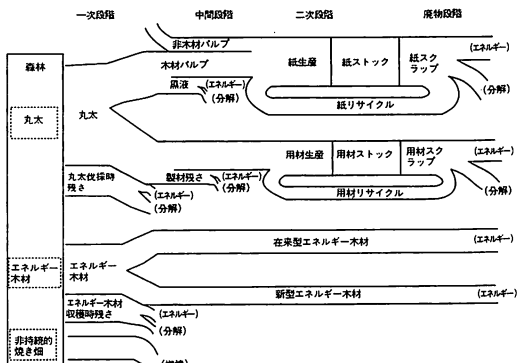


図-2 GLUEにおける木材バイオマスのフロー

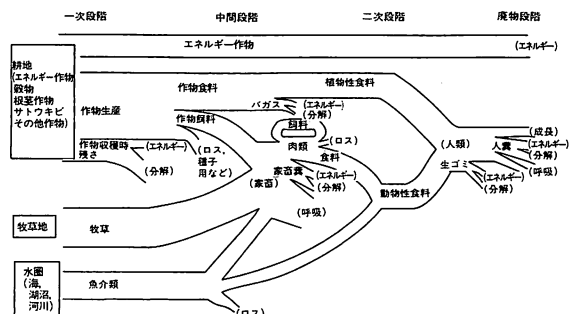


図-3 GLUEにおける食料バイオマス・フロー

(5) 土地利用サブモデル

土地利用サブモデルは、文献8)で報告したものを拡張したもので、食料セクタと木材セクタの2セクタから構成される<sup>1)2)</sup>。

本サブモデルでは、紙 (paper), 用材 (timber), 食料 (food), 飼料 (feed), エネルギーなど、様々なバイオマス用途の間の土地利用競合を表現する(図-1)。

また、本サブモデルは、図-2および図-3に示す様に、飼料(作物, 牧草, 魚介類を含む)から肉類へのフードチェーン, 紙のリサイクリング, 及び様々なバイオマス残さ (biomass residues) の発生などの, バイオマス・フローを含んでいる。

(6) エネルギーサブモデル

エネルギー・サブモデルは、Edmonds-Reilly モデルの基本構造を参考に開発したものである<sup>8)9)</sup>。今回、都市ごみのなかでバイオマス廃棄物に次ぐエネルギー資源価値を持つ、化学工業製品(プラスチックなど)の廃棄物のエネルギー・ポテンシャルを評価するために、化学工業製品フローのモジュールを追加した<sup>1)</sup>。

(7) サブモデル間の関係

土地利用サブモデルで計算される新型バイオエネルギー供給量が、エネルギー・サブモデル中の石炭の一次エネルギー需要量を代替・減少させるという関係を持つ(図-1参照)。

(8) 非商業エネルギーの扱い

エネルギー・サブモデルでは、商業エネルギーだけを対象した。土地利用サブモデルでは、商業エネルギーである新型バイオエネルギーと、非商業エネルギーである在来型バイオエネルギー<sup>1)</sup>の両方を対象とした。

注1)「在来型バイオエネルギー」とは、主に家庭の小規模な設備(コンロ, 暖炉など)で使用される, 低エネルギー効率(主に15%以下)の非商業エネルギーとする。「新型バイオエネルギー」とは, 近代的で高効率の設備(ボイラー, 蒸気発生器, ガスタービン, 液化設備など)で主に産業用で使用される, 高エネルギー利用効率(主に60%以上)の商業エネルギーとする<sup>1)10)</sup>。

3. データ設定

本研究で設定したリファレンス・ケースのデータ設定を表1に、バイオマス残さの発生率とその実際のエネルギー利用率<sup>2)</sup>を表2にそれぞれ示す。

本研究のリファレンス・ケースは、FAO統計<sup>7)11)</sup>のデータと、世界銀行<sup>12)</sup>, IPCC<sup>13)14)</sup>, および文献15)

表1 主要入力データ (リファレンス・ケース)<sup>a)</sup>

	先進地域	途上地域
人口 <sup>b)</sup> (億人)	2050年 14.8 2100年 15.0	2050年 85.8 2100年 101.6
一人当たりバイオマス需要 <sup>c)</sup> ・植物性食料 ・動物性食料 ・紙(板紙を含む) ・用材 ・在来型エネルギー木材 ・新型エネルギー木材	・1990年レベルで一定 ・1990年レベルで一定 ・1990年レベルで一定 ・1990年レベルで一定 ・1990年レベルで一定 ・導入なし	・2005年以降先進地域並み ・2100年に先進地域の40% ・2100年に先進地域の34% ・2100年に先進地域の56% ・1990年レベルで一定 ・導入なし
森林保護 <sup>d)</sup> (完全な再植林, 非持続的な焼き畑の廃止)	すでに達成	2025年までに達成
耕地面積 <sup>e)</sup>	2025年までに休耕地(68 Mha)を耕地化	・森林減少面積の3割が耕地に転用される。 ・2100年までに劣化地756 Mhaを耕地化
耕地食料生産性 <sup>f)</sup> (1990年を1.0とする)	2050年 1.74 2100年 1.77	2050年 2.19 2100年 2.49
肉類生産性(熱量換算, %) <sup>g)</sup> (肉類生産量/投入飼料量)	1990年 11 2050年 13 2100年 13	1990年 9 2050年 13 2100年 13
魚介類生産量 <sup>h)</sup>	1990年レベルで一定	1990年レベルで一定
森林データ <sup>i)</sup> ・成熟林蓄積量(t-C/ha) ・蓄積速度(t-C/ha/yr) ・蓄積期間(yr)	・100 ・2.5 ・40	・150 ・5.0 ・30
バイオマス輸出入 <sup>j)</sup> ・穀物 ・穀物以外	・食料需給に応じて決定 ・1990年の輸出入率で一定	・食料需給に応じて決定 ・1990年の輸出入率で一定
リサイクル率 <sup>k)</sup> ・紙スクラップ ・用材スクラップ ・化学工業製品スクラップ	・2050年以降65% ・ゼロと仮定 ・ゼロと仮定	・2050年以降65% ・ゼロと仮定 ・ゼロと仮定

a) データ設定の詳細は文献1)を参照して下さい。 b) 文献12)の中央ケース。  
c) 途上地域の一人当たり需要に関しては、植物性食料は80年代の伸び率で先進地域のレベルまで増加した後一定、動物性食料は文献13)の基準シナリオIS92aの肉類消費シナリオに基づく、紙と用材はIS92aの一次エネルギー消費の伸び率増加を仮定した。また、先進、途上の両地域で新型エネルギー木材を導入しないと仮定し、それ以外のデータは、1990年レベルで一定と仮定した。 d) 途上地域は文献14)の植林シナリオに準拠した。  
e) 先進地域は文献16)のRIGES (Renewable-Intensive Global Energy Scenario) とその引用文献17)から作成した。 f) 文献15)のCWS (Conventional Wisdom Scenario) に準拠した。  
g) 1990年の効率は文献1)の推計に基づく、将来のシナリオは文献15)のCWS (Conventional Wisdom Scenario) から作成した。 h) 文献18)に基づく。 i) 文献19)20)から作成した。  
j) 穀物以外の輸出入率は文献11)の1990年実績値に基づく、穀物の輸出入率は、食料需給を考慮してGLUE中で決定される。  
k) マテリアル・リサイクル率を意味する。紙のリサイクル率は文献21)に基づく。その他のリサイクル率はゼロと仮定した。

表2 バイオマス残さの発生率(リファレンス・ケース)<sup>a)</sup>

	残さ発生率	エネルギー利用率(2000年以前)	実際のエネルギー利用可能率 <sup>b)</sup>
(木材バイオマス) <sup>c)</sup>			
丸木伐採時残さ	0.39t/t-地上部バイオマス	0.00	0.50
エネルギー木材伐採時残さ	0.20t/t-地上部バイオマス	0.00	0.00
黒液	0.45J/J-丸木投入	1.00	1.00
製材残さ	0.45J/J-丸木投入	0.75	0.75
紙スクラップ	0.26t/t-紙ストック/年	0.00	0.10 <sup>d)</sup>
用材スクラップ	0.03t/t-用材ストック/年	0.00	0.75 <sup>d)</sup>
(食料バイオマス)			
穀物収穫時残さ <sup>e)</sup>	1.3t/t-収穫穀物	0.00	0.25
サトウキビ収穫時残さ <sup>f)</sup>	0.150t/t-収穫サトウキビ	0.00	0.67
バガス <sup>g)</sup>	0.283t/t-収穫サトウキビ	1.00	1.00
家畜糞	0.3J/J-飼料投入	0.00	0.25
生ゴミ	0.2J/J-食料供給	0.00	0.75
人糞	0.2J/J-食料供給	0.00	0.25
(化学工業)			
化学製品スクラップ <sup>h)</sup>	0.08J/J-化学製品ストック/年	0.00	0.75 <sup>d)</sup>

a) 文献1), 7), 11), 16), 21) などから設定。詳しい設定は文献1)を参照して下さい。  
b) エネルギー利用率は2000年以降実際のエネルギー利用可能率に向けて上昇し、2050年以降この利用可能率で一定と仮定した。  
c) 木材バイオマスの発熱量は15GJ/tとした。  
d) エネルギー利用可能率とリサイクル可能率の合計を75%と仮定した。  
紙スクラップのリサイクル可能率は65%と仮定した。(表1参照)。  
用材スクラップと化学製品スクラップのリサイクル可能率は0%と仮定した。  
e) 穀物の発熱量を12.38GJ/t、穀物収穫時残さの発熱量を12GJ/tとした。  
f) 残さ分を除く食用分のサトウキビ発熱量を1.63GJ/t、サトウキビ収穫時残さの発熱量をGJ/15/tとした。 g) バガスの含水率は50%、発熱量を7.5GJ/tとした。  
h) 化学製品スクラップは、非バイオマスであるが、主要な可燃性の部材ごみであるため分析対象に含めた。

注2)「実際のエネルギー利用可能率」は、バイオマス残さの内で回収不能率や他用途(リサイクル, 肥料など)の率を除いたもので、バイオマス残さのエネルギー利用率の現実的な最大値を意味する。

などの、中位ケース、標準ケース、基準ケースなどに基づいて作成された。ただし、耕地面積のデータは、途上地域の耕地面積が1990年から2100年までに倍増するという、文献16)のRIGES (Renewable-Intensive Global Energy Scenario) から作成したやや楽観的なものを採用している。なお、このように客観性に配慮しているが、設定したデータは長期的なものであるため、大きな不確実性があることに留意する必要がある。

本研究では、特に示さない限り、バイオマスの重量は空気乾燥重量(含水率15%)を意味し、バイオマス単位重量当たりの発熱量は15GJ/トン(低位発熱量)、バイオマス1トン中の炭素重量0.45トンを使用した。

4. シミュレーション結果

GLUEのリファレンス・ケースのシミュレーション結果を説明する。

4.1 バイオマス・バランス表

シミュレーション結果をバイオマス・バランス表の形式で示して分析する。バイオマス・バランス表は、

著者らが各種バイオマス統計の統一的フレームワークとして提案しているもので、バイオマス・フローを定量的かつ一覽的に明示可能である<sup>1)2)22)</sup>。ここでは、紙面の制約のため、リファレンス・ケースの2100年の途上地域を対象とする縮約版のバイオマス・バランス表(単位: EJ/年)だけを表3、表4に示す<sup>1)4)</sup>。

バイオマス・バランス表で、横方向の項目はバイオマスの種類を意味する。縦方向の項目は、収穫や加工などのバイオマスの利用段階を示す。表中で、正の数値は、バイオマスの生産あるいは輸入を意味する。逆に、負の数値は、バイオマスの消費あるいは輸出を意味する。表の最下部の2行は、究極バイオエネルギー・ポテンシャル、実際のバイオエネルギー・ポテンシャルを示す<sup>\*)3)</sup>。

表3、表4から、リファレンス・ケースの2100年の途上地域において、二次バイオマス合計125EJ/年(内訳は、二次木材33EJ/年、二次食料43EJ/年、在来型バイオエネルギー49EJ/年)の供給のために、一次バイオマス合計407EJ/年(内訳は、一次木材バイオマス148EJ/年、一次食料バイオマス259EJ/年)

表3 木材バイオマスのバランス表(リファレンス・ケース, 途上地球, 2100年)(単位: EJ/年)

	一 次			中 間					二 次				スクラップ	合 計	
	(1) 丸太	(2) エネルギー-木材	(3) 非木材パルプ	(4) 丸太伐採時残さ	(5) エネルギー-木材伐採時残さ	(6) 木材パルプ	(7) 黒液	(8) 製材残さ	(9) 紙	(10) 用材	(11) 在来型バイオエネルギー	(12) 新型バイオエネルギー	(13) 紙スクラップ	(14) 用材スクラップ	(15) 木材バイオマス計
(1) 収穫・伐採	50.8	51.7	0.5	32.6	12.5										148.1
(2) 輸入									0.0	0.0					0.0
(3) 輸出															0.0
(4) 一次バイオマス合計	50.8	51.7	0.5	32.6	12.5										148.1
(5) 木材パルプ生産	-4.7					2.6	2.1								0.0
(6) 紙生産			-0.5			-2.6			7.7				-4.9		-0.3
(7) 用材生産										25.4				0.0	0.0
(8) 在来型エネルギー生産		-51.7									52.0				0.0
(9) 新型エネルギー生産		0.0										49.0			0.0
(10) その他				-16.3	0.0			-2.1						-13.2	0.0
(11) 紙消費				-16.3	-12.5			0.0						-4.2	-38.8
(12) 用材消費									-7.8				7.5		-0.4
(13) 究極バイオエネルギー・ポテンシャル														17.4	-8.0
(14) 実際のバイオエネルギー・ポテンシャル				32.6	12.5			2.1					7.5	17.4	92.9
				16.3	0.0			2.1					1.9	13.2	49.1

表4 食料バイオマスのバランス表(リファレンス・ケース, 途上地球, 2100年)(単位: EJ/年)

	一 次				中 間					二 次				スクラップ	合 計
	(1) エネルギー-作物	(2) 穀物以外	(3) 穀物以外の作物	(4) 牧草	(5) 魚介類	(6) 作物収穫時残さ	(7) サトウキビ収穫時残さ・バガス	(8) 肉類	(9) 家畜糞	(10) 植物性食料	(11) 動物性食料	(12) 在来型バイオエネルギー	(13) 新型エネルギー	(14) 生ゴミ・人糞	(15) 食料バイオマス計
(1) 収穫・伐採	54.8	71.2	21.2	16.9	0.2	89.7	10.5								259.2
(2) 輸入		0.0	0.0		0.0										0.0
(3) 輸出		0.0	-0.6		0.0										-0.6
(4) 一次バイオマス合計	54.8	71.2	20.6	16.9	0.2	89.7	10.5								258.6
(5) 植物性食料生産		-25.8	-8.1						37.6						-0.4
(6) 肉類生産		-38.1	-1.3	16.9				7.0	19.6						-29.9
(7) 動物性食料生産					-0.1			-6.3							0.0
(8) 在来型バイオエネルギー										6.4					0.0
(9) 新型バイオエネルギー											0.0		99.0		0.0
(10) その他	-54.8				0.0	-22.4	-8.7								0.0
(11) 食料消費		-7.3	-2.1			-67.2	-1.8	-0.5	-14.7						-8.7
(12) 究極バイオエネルギー・ポテンシャル															17.4
(13) 実際のバイオエネルギー・ポテンシャル	54.8					89.7	10.5		19.6						192.0
						22.4	8.7		4.9						8.7

を収穫する<sup>4)</sup>。途上地域では人口および一人当たりバイオマス需要が増加するため、一次木材バイオマス、一次食料バイオマス、一次バイオマス合計の量は、1990年に比べて、それぞれ5倍、2倍、2倍に増加する。また、一次バイオマス合計407EJ/年は、現在の世界の一次エネルギー使用量330EJ/年を上回る巨大

注3) 本研究では、バイオエネルギー・ポテンシャルを「究極バイオエネルギー・ポテンシャル」と「実際のバイオエネルギー・ポテンシャル」の2種類に分類して評価した。

まず、「究極バイオエネルギー・ポテンシャル」は、エネルギー作物の生産ポテンシャルとバイオマス残さの全発生量の合計と定義する。従って、「究極バイオエネルギー・ポテンシャル」は、バイオエネルギーの最大資源量の目安としての意味を持つ。

「実際のバイオエネルギー・ポテンシャル」は、「究極バイオエネルギー・ポテンシャル」に「実際のエネルギー利用可能率」を掛け合わせたものと定義した(注2参照)。

注4) 本研究では、バイオマスを利用段階別に「一次」「中間」「二次」「廃棄」の各段階に分類した。ここで、「一次バイオマス」は収穫段階のバイオマス、「二次バイオマス」は消費段階のバイオマスである。

な規模である。

4.2 究極バイオエネルギー・ポテンシャル

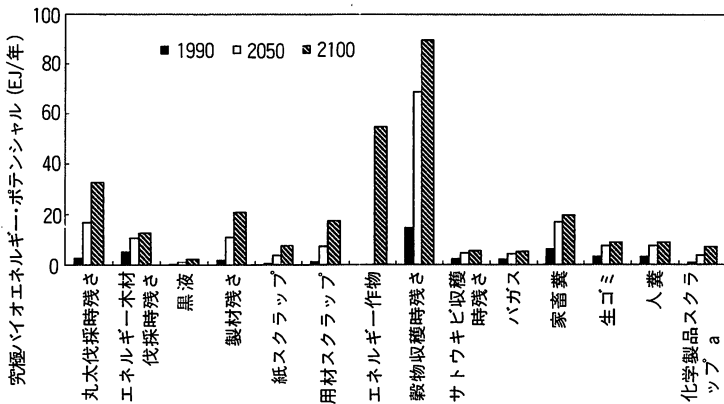
リファレンス・ケースにおける先進地域と途上地域の究極バイオエネルギー・ポテンシャルを図-4、図-5にそれぞれを示し、一覧表を表5に示す。

図-4に示す様に、先進地域に関しては、2100年において、エネルギー作物のポテンシャルが最も大きく100EJ/年に達する。これは、先進地域で、食料需要の安定と、耕地生産性の上昇を仮定したため(表1参照)、余剰耕地が発生するためである<sup>5)</sup>。

注5) GLUEでは、エネルギー作物用と穀物用の土地利用の優先順位を次のように設定した。

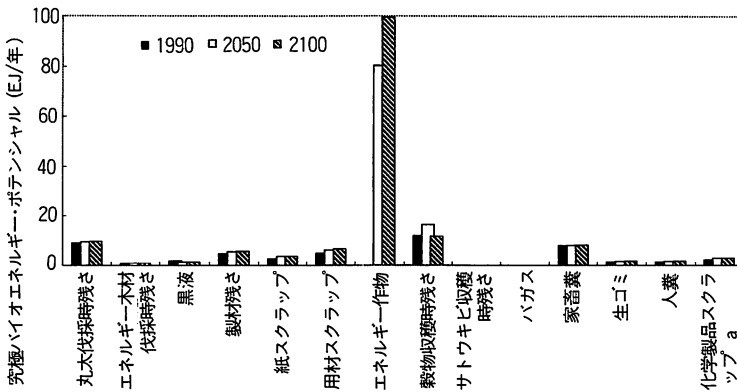
1. 自地域の穀物用
2. 他地域の穀物用(他地域で食料不足が生じる場合)
3. エネルギー作物用

つまり、エネルギー作物は余剰耕地から生産されると仮定した。なお、GLUEでは、穀物輸出入を行っても食料需要が満たされないケースでは、それ以上の食料需給調整は行わず、食料需給のギャップだけを計算する<sup>1)</sup>。



a 化学製品スクラップは、非バイオマスであるが、主要な可燃性の都市ゴミであるので分析対象に含めた。

図-4 先進地域の究極バイオエネルギー・ポテンシャル(リファレンス・ケース)



a 化学製品スクラップは、非バイオマスであるが、主要な可燃性の都市ゴミであるので分析対象に含めた。

図-5 途上地域の究極バイオエネルギー・ポテンシャル(リファレンス・ケース)

表5 究極バイオエネルギー・ポテンシャルの一覧  
(リファレンス・ケース, 2100年) (単位: EJ/年)

	エネルギー作物	バイオマス残さ	合計
先進地域	100	50	149
途上地域	55	230	285
世界計	154	280	434

2100年の世界のエネルギー作物のポテンシャルは15 EJ/年に達する。ただし、エネルギー作物のポテンシャルは、食料需給のパラメータの変化により、大きく変動することに注意が必要である。例えば、2100年の途上地域の肉類需要が25%増加すると、世界のエネルギー作物のポテンシャルは約1/2に減少する<sup>4)</sup>。

一方、図-5に示す様に、途上地域ではバイオマス残さのエネルギー・ポテンシャルが大きい。2100年の途上地域の究極バイオエネルギー・ポテンシャル285 EJ/年のうち、その約8割の230EJ/年はバイオマス残さのポテンシャルである(表5)。なお、2100年の世界の究極バイオエネルギー・ポテンシャルは434 EJ/年で、そのうち280EJ/年がバイオマス残さのポテンシャルである(表5)。

図-4、図-5に示す様に、先進地域、途上地域を通して、「穀物残さ」、「丸太伐採時残さ」、「製材残さ」、「用材スクラップ」、「家畜糞」の究極エネルギー・ポテンシャルが大きい。それに比べて、「生ゴミ」、「人糞」、「紙スクラップ」、「化学工業製品スクラップ」の究極エネルギー・ポテンシャルは小さい。

#### 4.3 土地利用

先進地域では、バイオマス需要の安定、および完全な再植林を仮定したため、土地利用の変化はほとんどない。

一方、途上地域では、2025年までに森林保護が達成されると仮定したため<sup>15)</sup>、それ以降の森林面積は一定である(図-6)。しかし、森林面積の内訳を考えると、

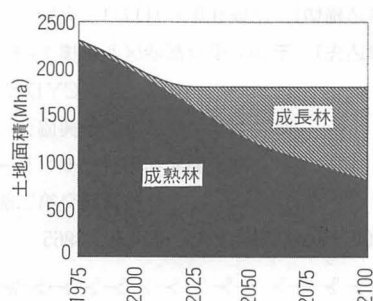


図-6 途上地域の森林面積の変化(リファレンス・ケース)

森林保護が達成される2025年以降も、成熟林の面積は減少を続け、成長林の面積は増大する<sup>6)</sup>。1990年に21億haだった成熟林の面積は、2100年には8億haまで減少する(図-6)。この理由は、4.1で説明したように、途上地域の木材バイオマス需要が急増するためである。成熟林の保全による森林の生物多様性の保護を考慮すると、途上地域の森林をこれ以上エネルギー利用することは難しい<sup>7)</sup>。

注6) 森林を「成熟林(mature forest)」と「成長林(growing forest)」の2種類に分類した。植林された森林は、成長林として一定期間成長した後で成熟林にシフトする。成熟林では、森林の成長の速度と、森林の落葉・枯死の速度が釣り合い、単位面積あたりのバイオマス・ストック量は変化しない<sup>1)</sup>。本研究では、森林の持続的な経営のために、成長林の伐採を禁じ、成熟林だけを伐採すると仮定した。なお、森林面積が一定でも、成熟林が成長林に置き換わると、森林のバイオマス・ストック量が減少し、大気中にCO<sub>2</sub>が放出されることに留意すべきである。

注7) 森林からの新型エネルギー木材生産の究極ポテンシャルを、成熟林の保護を考慮せず、年間伐採面積を(成熟林面積/生育年数)と仮定して概算すると、2100年に先進地域で129EJ/年、途上地域で133EJ/年が得られる。森林利用には成長期間遅れがあるため、厳密には、このポテンシャルは過去・将来の木材バイオマス(紙、用材など)の需要に影響される。

## 5. まとめ

本報告では、世界エネルギー土地利用モデル(GLUE)の概要を説明した。

そして、リファレンス・ケースのシミュレーション結果として以下を得た。(1)先進地域では、食料需要の安定のため、余剰耕地で生産されるエネルギー作物のポテンシャルが大きい。ただし、そのポテンシャルは将来の世界の食料需給変動に左右されることに注意が必要である。(2)途上地域では、将来のバイオマス生産・消費の急増に伴い、バイオマス残さのエネルギー・ポテンシャルが大きい。ただし、バイオマス残さの一部は、低エネルギー密度、高含水率など、エネルギー資源として条件が悪いため、高効率で低コストの収集・利用技術を開発することが課題である。(3)先進地域では、木材需要が安定し、成熟林面積の減少幅が少ないため、エネルギー木材の供給余地がある。ただし、エネルギー木材供給のメリット(エネルギー供給)とデメリット(成熟林減少、生物多様性減少)を慎重に考慮する必要がある。途上地域では、木材需要が急増し、成熟林面積が大幅に減少するため、エネルギー木材の供給余地は少ない。

今後、GLUEを用いて、様々なケースを設定して

シナリオ分析を行い、結果を報告する予定である。  
本研究は住友財団からのご支援を受けました。

### 参考文献

- 1) 山本博巳, 山地憲治; バイオマス・フローを考慮した世界土地利用エネルギー・モデル(GLUE)の開発(1996), 電力中央研究所研究報告Y96001.
- 2) Yamamoto, H. and Yamaji, K.; An Evaluation of Biomass Energy Potential with a Global Energy and Land Use Model, Proceedings of Developments in Thermochemical Biomass Conversion, Banff, Canada (1996).
- 3) 山本博巳, 山地憲治; SD手法の世界エネルギー・土地利用モデルによるバイオマス資源の総合的な評価, 第12回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集(1996), 263~268.
- 4) 山本博巳, 山地憲治; 世界土地利用エネルギー・モデル(GLUE)によるバイオエネルギー・ポテンシャルの評価(1996), 電力中央研究所研究報告Y96002.
- 5) Yamamoto, H., Yamaji, K., and Fujino, J.; Dynamic Analysis of Biomass Resources with a Global Land Use and Energy Model, Proceedings of Joint IEW/JSER International Conference on Energy, Economy, and Environment, Osaka, Japan (1996).
- 6) 山本博巳, 山地憲治, 藤野純一; 世界エネルギー・土地利用モデルによるバイオマス利用と土地利用変化のシナリオ分析, エネルギー・資源学会第15回研究発表講演論文集(1996), 269~274.
- 7) Food and Agriculture Organization of the United States (FAO); FAO Yearbook Production 1991 (1992), FAO Statistics Series No. 112, FAO, Rome.
- 8) 山本博巳, 山地憲治; 世界エネルギー・土地利用モデルによるバイオマス利用可能量の分析(1994), 電力中央研究所研究報告Y94004.
- 9) Edmonds, J. and Reilly, J.; A Long-term Global Energy-economic Model of Carbon Dioxide Release from Fossil Fuel Use, Energy Economics, Vol. 5, No. 2 (1983), 74~88.
- 10) Dessus, B., Devin, B., and Pharabod, F.; World Potential of Renewable Energies (1992), Extraits de la Houille Blanche, Paris.
- 11) Food and Agriculture Organization of the United States (FAO); Agrostat PC on diskette (1993), FAO, Rome.
- 12) Bos, E. et al.; World Population Projections 1992-93 Edition (1993), The John Hopkins University Press.
- 13) Pepper, W. et al.; Emission Scenarios for IPCC An Update (1992), IPCC Working Group 1.
- 14) U.S. Environmental Protection Agency (EPA); Report of the Expert Group on Emissions Scenarios of the Response Strategies Working Group of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Appendix (1990), EPA, Washington, D.C.
- 15) Alcamo, J. ed., IMAGE 2.0 Integrated Modeling of Global Climate Change (1994), Kluwer Academic Publishers.
- 16) Johansson, T.B. et al. eds.; Renewable Energy (1993), Island Press.
- 17) Grainger, A.; Estimating Areas of Degraded Tropical Lands Requiring Replenishment of Forest Cover, International Tree Crops Journal, No. 5 (1998), 33~61.
- 18) 森島昭夫監修, 世界資源研究所(WRI)編; 世界の資源と環境 1992-93 (1993), ダイヤモンド社.
- 19) 依田恭二; 大気中の二酸化炭素濃度に対する陸上生態系の影響, 地球科学, Vol. 16, No. 2 (1982), 78~85.
- 20) Nilsson, S. and Schopfhauser, W.; The Carbon-Sequestration Potential of a Global Afforestation Program, Climate Change, Vol. 30, No. 3 (1995), 267~293.
- 21) 資源ハンドブック編集委員会(委員長 富永博夫)編; 資源ハンドブック (1989), 丸善.
- 22) 山地憲治, 藤野純一, 山本博巳; バイオマス資源評価のためのバイオマスバランス表の提案, エネルギー・資源学会第15回研究発表会講演論文集(1996), 275~280.

### 他団体ニュース

## 「大深度地下空間開発技術の研究開発」について

〔日 時〕 平成9年7月18日(金) 10:00~17:30

〔場 所〕 発明会館(東京都港区虎ノ門2-9-14,  
Tel 03-3502-5499)

〔内 容〕 ①研究開発成果発表会  
②通商産業省主催パネルディスカッション  
「大深度地下利用の将来性について」

〔入場料〕 無料

〔参加申込締切〕 平成9年6月17日(火)

〔参加申込先〕 〒105 東京都港区西新橋1-4-6  
CYDビル

(株)エンジニアリング振興協会

地下開発利用研究センター  
技術開発第二部

TEL 03-3502-3671, FAX 03-3502-3265