

世界土地利用エネルギーモデルによるバイオエネルギー・ポテンシャルの評価

An Analysis of Bioenergy Potential with a Global Land Use and Energy Model

キーワード: バイオエネルギー、土地利用モデル、バイオマス・フロー
バイオマス残余、廃棄物エネルギー、バイオマス・バランス表

山本博巳 山地憲治

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CO₂を排出しない。しかし、バイオエネルギー・ポテンシャルは無限ではない。バイオマス生産量には土地制約があり、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は、バイオマス需要を増加させ、バイオマス生産の土地利用競合を顕在化させるであろう。一方、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バイオマス残余の一部は、バイオエネルギーとして利用可能である。従って、バイオエネルギー・ポテンシャル評価のためには、土地利用競合とバイオマス・フローを総合的に分析する必要がある。

本研究の目的は、土地利用の競合を考慮しながら、世界のバイオエネルギー・ポテンシャルを評価することにある。このため、著者らは、SD（システムダイナミクス）の手法による、世界土地利用エネルギー・モデル（Global Land Use and Energy Model: GLUE）を開発した[1][2][3]。GLUEでは、食料需給を考慮して、余剰耕地からのエネルギー作物生産量を計算するとともに、収穫されたバイオマスが、加工プロセスを経て

消費・廃棄され、廃物（紙スクラップなど）の一部がリサイクルされるバイオマス・フローを考慮し、フローの各プロセスで発生するバイオマス残余の発生量とそのバイオエネルギー・ポテンシャルを検討する[4][5]。

また、著者らは、バイオマス資源評価のための様々のバイオマス関連統計の共通フレームワークとして、「バイオマス・バランス表」を開発した[1][2][6]。バイオマス・バランス表は、バイオマス・フローを定量的かつ一覽的に明示可能であり、GLUEのシミュレーション結果の分析に用いられる。

本報告では、GLUEの構造、データ設定、シミュレーション結果の順に研究を紹介する。なお、研究の詳細については、文献[1],[4]を参照して欲しい。

2. 世界土地利用エネルギー・モデル（GLUE）の構造

本章では、世界土地利用エネルギー・モデル（Global Land Use and Energy Model, 略称: GLUE）の構造を説明する[1]。説明は、モデルの概要、バイオマス関連データの分類、モデルの計算手続きの順に進めていく。

2.1 モデルの概要

世界土地利用エネルギー・モデル（GLUE）の概要を以下に示す。

(1) モデル化の手法

(5) 土地利用サブモデル

土地利用サブモデルは、文献[3]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[1][2]。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、土地利用の競合を表現する (図1)。また、本サブモデルは、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余 (biomass residues) の発生などの、バイオマス・フローを含んでいる (図2) (図3)。

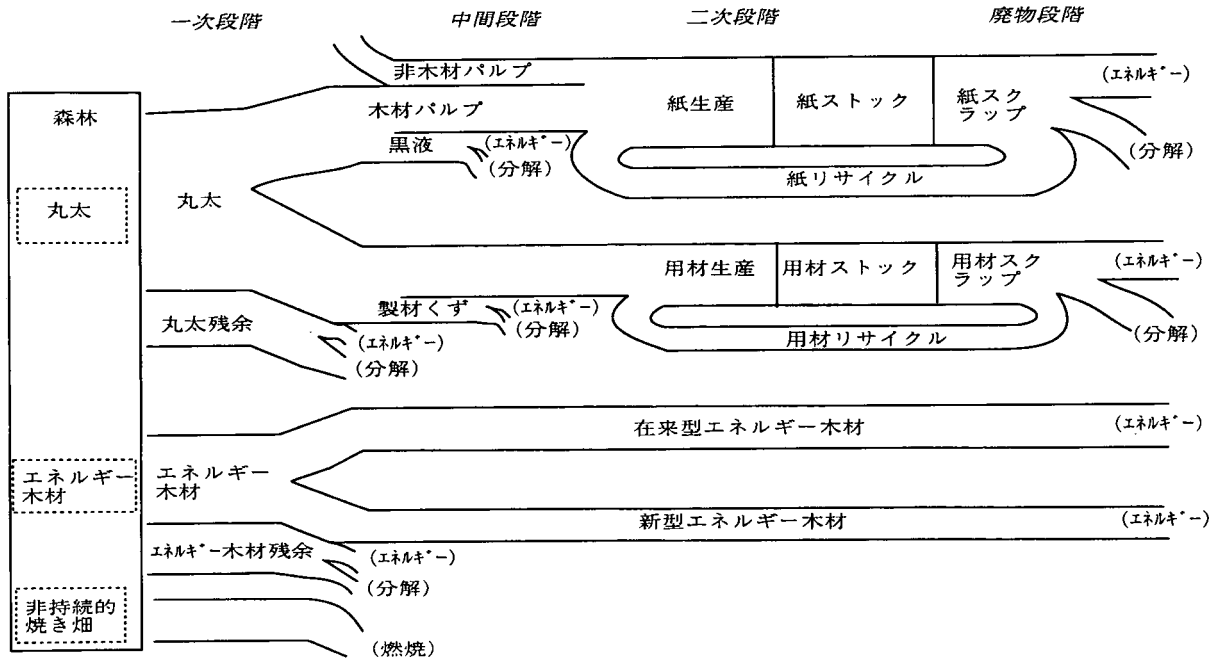


図2 木材バイオマスのフロー

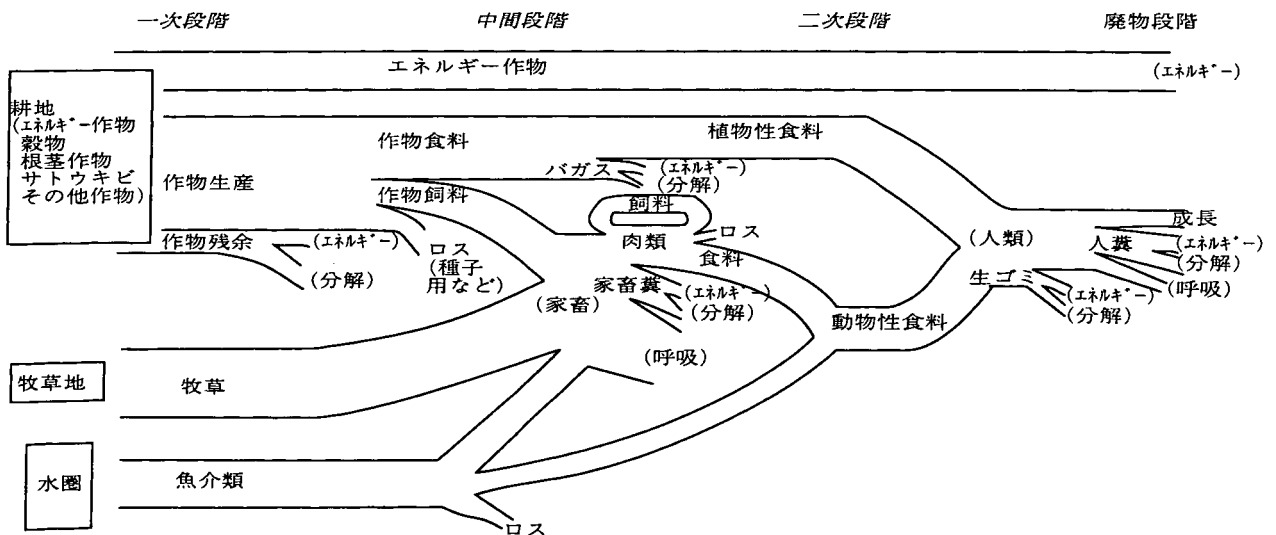


図3 食料バイオマスのフロー

(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、その構造は文献[2]で報告した。また、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）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が追加された。[1]

(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・サブモデルの石炭の需要量を代替・減少させるという関係を持つ（図2.1）。

(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とした。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^(注1)の両方を対象とした。

2.2 バイオマス関連データの分類

モデル中で扱うバイオマス関連データを、土地利用、バイオマス、バイオエネルギーの順に定義・分類する。

2.2.1 土地利用の分類

本モデルでは、4種類の土地利用（「森林（forest）」、「耕地（arable land）」、「牧草地（pasture）」、「その他土地（other land）」^(注2)）と、「水圏（water）」から生産されるバイオマスを検討した。

(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である。

「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）で主に産業用に使用される、高エネルギー利用効率（主に60%以上）の商業エネルギーである[1]。

(注2)「その他土地」は、砂漠、氷雪地、ツンドラ人類の住居、道路などから構成される。

耕地の用途は、「エネルギー作物（energy crops）」、「穀物（cereals）」、「根茎作物（roots）」、「サトウキビ（sugarcane）」、「その他作物（other crops）」の5種類に分類した。

森林は、「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生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[1]。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。

また、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。

2.2.2 バイオエネルギー・ポテンシャル

本研究では、バイオエネルギー・ポテンシャルを2種類に分類して評価を試みた。それらは、「最大バイオエネルギー・ポテンシャル」と「実際のバイオエネルギー・ポテンシャル」である。

まず、「最大バイオエネルギー・ポテンシャル」は、新型エネルギー木材とエネルギー作物の生産量とバイオマス残余の発生量の合計と定義する。「最大バイオエネルギー・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、「最大バイオエネルギー・ポテンシャル」に「実際のエネルギー利用可能率」^(注3)を掛け合わせたものと定義する（データ設定については3章を参照）。

(注3)「実際のエネルギー利用可能率」は、バイオマス残余の内で回収不能率や他用途（リサイクル、肥料など）に使用される率を除いたもので、バイオマス残余のエネルギー利用率の実際の上限值である。

2.3 GLUE の計算手続

ここでは土地利用サブモデルの計算手続の概要だけを、木材セクタ、食料セクタの順に説明する^[1]。

2.3.1 木材セクタの計算手続

本セクタでは森林の伐採面積を次のように決定する(図1参照)。

(1) 一人当たり二次木材需要(紙、用材、在来型エネルギー木材、新型エネルギー木材)と人口を掛け合わせて二次木材需要を求める。二次木材需要と非持続的焼き畑農業から、森林伐採面積需要を計算する。

(2) 次に、森林伐採面積需要だけ森林を伐採する。ただし、本研究では、成熟林面積を森林伐採面積の上限とした(2.2.1参照)。もし森林伐採面積の需要が成熟林面積を上回る場合は、用途別の需要(丸太、新型エネルギー木材、在来型エネルギー木材、非持続的焼き畑)の大きさに比例して、伐採面積を設定する。

(3) 森林伐採面積の決定後は、木材バイオマス・フロー(図2)を考慮して、各種バイオマスの量を計算し、新型バイオエネルギー供給量を求める。

2.3.2 食料セクタの計算手続

本モデルでは、根茎作物、サトウキビ、その他作物の作付け面積はシナリオで与え、穀物とエネルギー作物の作付け面積をモデル中で決定する^[1]。以下はその決定方法である(図1)。

(1) 一人当たり二次食料需要量(植物性、動物性)と人口を掛け合わせて、二次食料需要量(植物性、動物性)を求める。

(2) 根茎作物、サトウキビ、その他作物、牧草地および水圏からの二次食料供給量(植物性、動物性)を計算する。

(3) (1)で求めた二次食料需要量から(2)で求めた二次食料供給量を差し引いて求めた二次食料需要量(植物性、動物性)を、穀物の作付け面積需要に換算する。

(4) 本モデルでは、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、本モデルでは、エネルギー作物は余剰耕地から生産されると仮定した。

(5) 作付け面積の決定後は、食料バイオマス・フロー(図3)を考慮して、各種バイオマス量を計算し、新型バイオエネルギー供給量を求める。

3. データ設定

本報告では、リファレンス・ケース(略称:LEa)と動物性食料需要増ケース(LEb)の2種類のケースを紹介する。LEa ケースは、IPCCのIS92aやFAOなどを参考にして作成したもので、シナリオ分析を行う際の「リファレンス・ケース」の意味を持つ。LEb ケースは、動物性食料需要の変動が食料バイオマスの供給構造に与える影響を調べるために設定したもので、LEa ケースに比べて途上地域の動物性食糧需要が25%大きいケースである。

LEa ケースのデータ設定の概要を表1に示す^(注4)。また、表2にLEa、LEbに共通する、バイオマス残余の発生率と、その実際的エネルギー利用率^(注5)を示す。

本研究では、バイオマスの発熱量は低位発熱量(LHV)を使用した。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、バイオマス1トン中の炭素重量0.45トンを使用した。

(注4) 設定の背景については文献[1]を参照。

(注5) 実際的エネルギー利用率の定義については2.2.2を参照。

表1 主要入力データ (LEa ケース) 1

	先進地域	途上地域
人口 (億人)	2050年 14.8 2100年 15.0	2050年 85.8 2100年 101.6
一人当たりGDP (千米ドル(1990)/人)	1990年 13.4 2100年 85.8	1990年 0.8 2100年 14.2
一人当たりバイオマス需要 ・植物性食料 ・動物性食糧 ・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 ・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 (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	2025年までに休耕地 (68Mha)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 756Mhaを耕地化。
耕地食糧生産性 (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、%) (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	1990年レベルで一定	1990年レベルで一定
森林データ ・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 ・穀物 ・穀物以外	・食糧需給に応じて決定 ・1990年の輸出率で一定	・食糧需給に応じて決定 ・1990年の輸出率で一定
バイオマス用途 ² ・穀物 ・穀物以外	・食糧需給に応じて決定 ・1990年の輸出率で一定	・食糧需給に応じて決定 ・1990年の輸出率で一定
リサイクル率 ・紙・板紙 ・原材料木材 ・化学工業製品	・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

1 データの導出方法と出典については文献[1]を参照。

2 バイオマス用途は、食糧用、飼料用、その他(種子用やロス)に分類される。

表2 バイオマス残余の発生率 (LEa ケース) a

	残余発生率	エネルギー利 用率(2000年 以前)	実際的エネル ギー利用可能 率 ^b
(木材バイオマス)			
丸太残余	0.39t/t-地上部バイオマス	0.00	0.50
エネルギー-木材残余	0.20t/t-地上部バイオマス	0.00	0.00
黒液	0.45J/J-丸太投入	1.00	1.00
製材くず	0.45J/J-丸太投入	0.75	0.75
紙スクラップ	0.25t/t-紙ストック/年	0.00	0.15 c
用材スクラップ (食料バイオマス)	0.03t/t-用材ストック/年	0.00	0.75 c
穀物残余	1.3 t/t-穀物	0.00	0.25
サトウキビ残余	0.279t/t-サトウキビ	0.00	0.67
バガス	0.150t/t-サトウキビ	1.00	1.00
家畜糞	0.3 J/J-飼料	0.00	0.25
生ゴミ	0.2 J/J-食糧供給	0.00	0.75
人糞	0.2 J/J-食料供給	0.00	0.25
(化学工業)			
化学製品スクラップ	0.08 t/t-化学製品ストック/年	0.00	0.75 c

a データの導出方法と出典については文献[1]を参照。

b 2000年以降、エネルギー利用率は実際的エネルギー利用可能率に向かって上昇する。
2050年以降、エネルギー利用率は実際的エネルギー利用可能率に一致する。

c 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を65%と仮定した。

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を0%と仮定した。

4. シミュレーション結果

LEa ケースと LEb ケースを用いたモデル・シミュレーションの結果を紹介する。

4.1 土地利用

LEa ケースにおける土地利用変化を説明する。

先進地域では、バイオマス需要の安定、および完全な森林保護のため、土地利用の変化はほとんどない。

一方、途上地域では、LEa ケースの仮定により、2100 年までに 7.6 億 ha の「その他土地」が「耕地」に転換される。また、途上地域では、2025 年までに森林保護が達成されるため、それ以降の森林面積は一定である（図 4）。しかし、森林面積の内訳を考えると、森林保護が達成される 2025 年以降も、途上地域の森林需要の急増のため成熟林の面積は減少を続け、成長林の面積は増大する。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 5）。

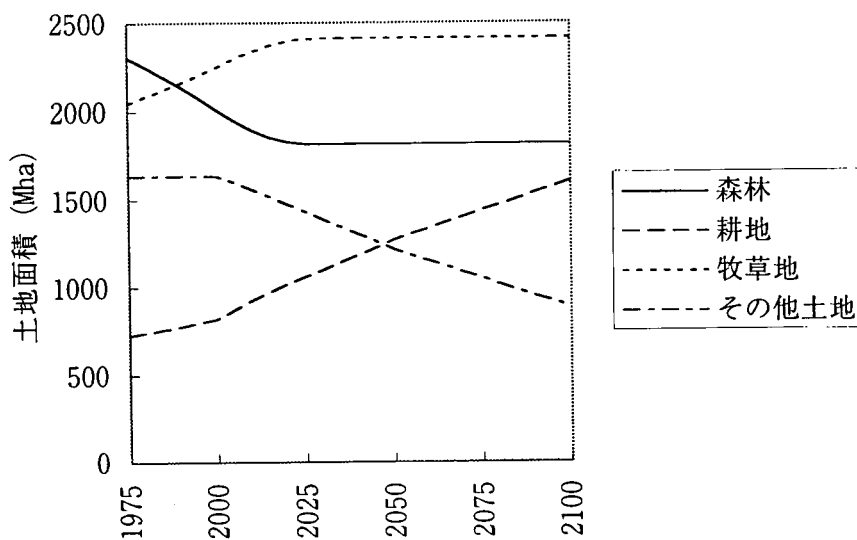


図 4 途上地域の土地利用の変化(LEa ケース)

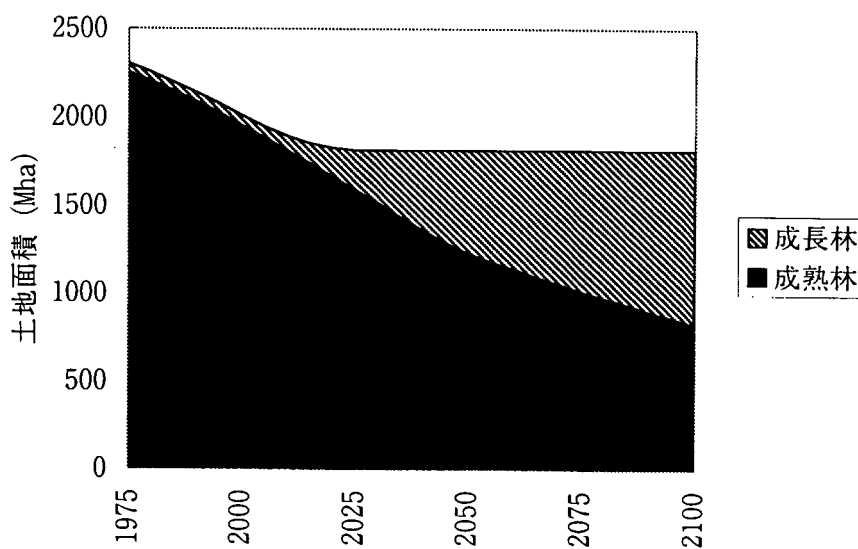


図 5 途上地域の森林面積の内訳(LEa ケース)

表3 木材バイオマスのバイオマス・バランス表 (LEa ケース、途上地域、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 ギーム 材	(3) 非木材 パルプ 材	(4) 丸太残 余	(5) エネルギー ギーム 材残余	(6) 木材パ ルプ	(7) 黒液	(8) 製材く ず	(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
(1) 収穫	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		-16.3	0.0	-2.1	-15.6				49.0	-1.9	-13.2	0.0
(10) その他					-16.3	-12.5	0.0	-5.2					-0.7	-4.2	-38.8
(11) 二次バイオマス合計									7.8	25.4	52.0	49.0			33.2
(12) 紙消費									-7.8				7.5		-0.4
(13) 用材消費										-25.4				17.4	-8.0
(14) 最大バイオエネルギー・ポテンシャル		51.7		32.6	12.5		2.1	20.8					7.5	17.4	144.6
(15) 実際のバイオエネルギー・ポテンシャル		51.7		16.3	0.0		2.1	15.6					1.9	13.2	100.8

表4 食料バイオマスのバイオマス・バランス表 (LEa ケース、途上地域、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 ギーム 作物	(2) 穀物	(3) 穀物以 外の作 物	(4) 牧草	(5) 魚介類	(6) 作物残 余	(7) サトウ キビ残 余・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) 新型バ イオエ ネルギー		
(1) 収穫	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					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			-1.0					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			6.4					0.0
(8) 在来型バイオエネルギー生産								0.0			0.0				0.0
(9) 新型バイオエネルギー生産	-54.8					-22.4	-8.7	-4.9				99.0		-8.7	0.0
(10) その他		-7.3	-2.1		0.0	-67.2	-1.8	-0.5	-14.7					-8.7	-102.3
(11) 二次バイオマス合計										37.2	6.4				43.6
(12) 食料消費										-37.2	-6.4				-26.2
(13) 最大バイオエネルギー・ポテンシャル	54.8					89.7	10.5	19.6						17.4	192.0
(14) 実際のバイオエネルギー・ポテンシャル	54.8					22.4	8.7	4.9						8.7	99.5

4.2 バイオマス・バランス表

GLUE の計算結果をバイオマス・バランス表の形式で示して分析する。ここでは、紙面の制約のため、LEa 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)だけを示す(表3)(表4)。なお、オリジナルのバイオマス・バランス表は26行37列の項目を持っている[11][4]。

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。メッシュに覆われた数値は小計を意味する。表の最下部

の2行は、最大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。

表3、表4から、LEa ケースの2100年の途上地域において、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、二次バイオマス合計125EJ/年の供給のために、一次木材バイオマス148EJ/年、一次食料バイオマス259EJ/年、一次バイオマス合計407EJ/年を収穫する。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倍に達する。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/年を上回る巨大な規模である。

4.3 最大バイオエネルギー・ポテンシャル

LEa ケースと LEb ケースにおける先進地域と途上地域の最大バイオエネルギー・ポテンシャルを図6、図7にそれぞれを示す。

図6に示す様に、先進地域に関しては、LEa ケースの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、食糧需要の安定と、耕地生産性の上昇を仮定したため、余剰耕地が発生するためである。LEb ケースのエネルギー作物ポテンシャルは、途上地域への食料輸出のため、85EJ/年に低下する。

次に、図7に示す様に途上地域の2100年において、エネルギー作物のポテンシャルは、LEa ケースの55EJ/年に対して、LEb ケースではゼロ

になる。LEb ケースでは、途上地域は先進地域から4EJ/年の穀物を輸入する。

図7から、特に途上地域のバイオマス残余のエネルギー・ポテンシャルが大きい。LEa ケースにおける途上地域の2100年の最大バイオエネルギー・ポテンシャル337EJ/年のうち、その約7割の230EJ/年はバイオマス残余のポテンシャルである。また、先進地域、途上地域を通して、「丸太残余」、「製材くず」、「用材スクラップ」、「家畜の糞」の最大エネルギー資源ポテンシャルが大きいことがわかる。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」の最大エネルギー・ポテンシャルは小さい。

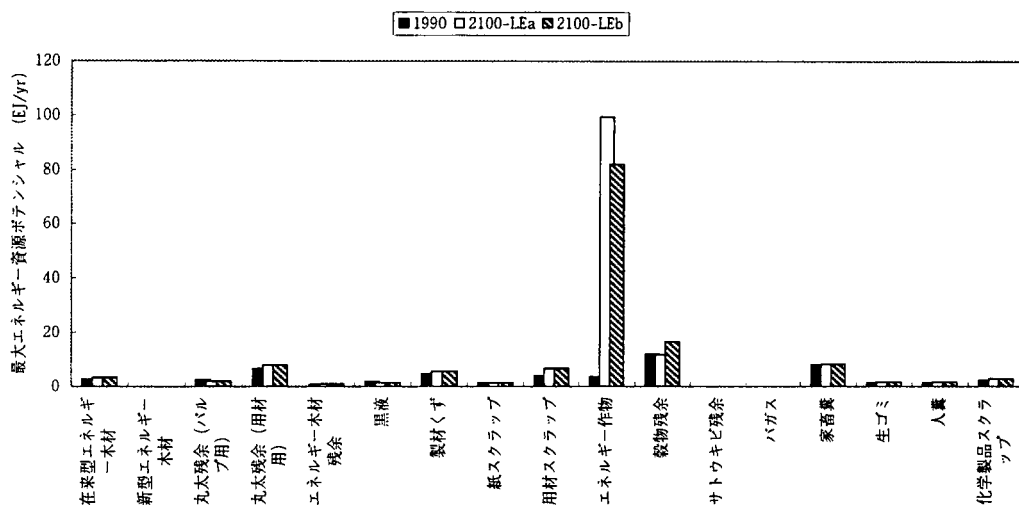


図6 先進地域の最大バイオエネルギー・ポテンシャル

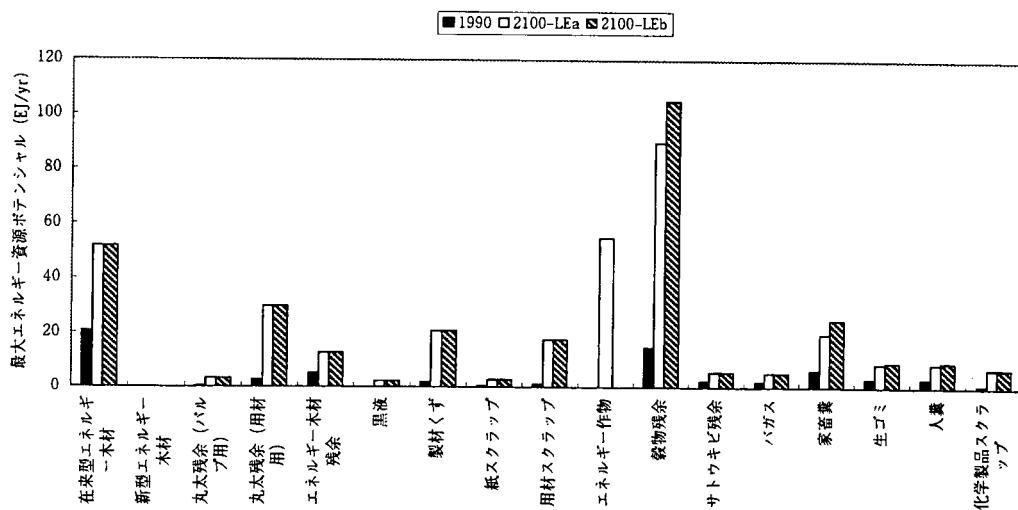


図7 途上地域の最大バイオエネルギー・ポテンシャル

5. まとめ

本報告では、世界エネルギー土地利用モデル (GLUE) の概要と、入力データの概要を説明した。そして、モデルを LEa ケース (リファレンス・ケース) と LEb ケース (動物性食料需要増ケース) の 2 種類のケースの下で実行したときの計算結果を、主にバイオマス・バランス表を利用して分析した。

シナリオ分析の主な結果として、以下を得た。

(1) 2025 年に森林保護を達成しても、途上地域の成熟林面積は、巨大な木材需要のために減少していく。

(2) エネルギー作物ポテンシャルは、途上地域の食料需給に大きく左右される。例えば、途上地域の 2100 年の動物性食料需要を 25% 上昇させる (LEb) と、世界のエネルギー作物供給量は、155EJ/年から 85EJ/年に低下する。

(3) LEa ケースの下で、途上地域の 2100 年のバイオマスの最大バイオエネルギー・ポテンシャルは、337EJ/年、そのうち 230EJ/年がバイオマス残余に由来する。バイオマス残余の中でも、丸太残余、製材くず、用材スクラップ、穀物残余、家畜糞のポテンシャルが大きい。

今後は、モデルの多地域化により地域的なバイオマス資源の評価を進めるとともに、バイオマス以外の資源 (水、鉄など) のフロー分析を進めていく計画である。

【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”、電力中央研究所研究報告 Y96001 (1996).
- [2] H. Yamamoto and K. Yamaji, “An Evaluation of Biomass Energy Potential with a Global Energy and Land Use Model”, Proceedings of Developments in Thermochemical Biomass Conversion, Banff, Canada, May 20-24 (1996).
- [3] 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”、電力中央研究所研究報告 Y94004 (1994).
- [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”、電力中央研究所研究報告 Y96002(1996).
- [5] 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).
- [6] 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).

(やまもと ひろみ
エネルギーシステムグループ
やまじ けんじ
東京大学工学系研究科
電気工学専攻 教授)