

農林畜産業からみたバイオマス利用の課題と展望

地域におけるバイオマス総合利活用シナリオの評価手法

土井和之*, 森本英嗣**
柚山義人***, 仲上健一****

キーワード: バイオマス, 物質循環, エネルギー収支, 経済性分析, シナリオ評価

はじめに

バイオマスは、家畜排泄物や生ゴミ、下水系汚泥の堆肥化及びメタン発酵、木質のペレット化(固形燃料化)等エネルギー利用、廃食用油のバイオディーゼル燃料化、食用とならない穀物のバイオエタノール化、さらには工業原料化など多様な原料から複数種の変換技術により利活用されてきている。

そして今、地球温暖化防止や循環型社会の形成、エネルギー安全保障の手段の一つとしてバイオマス利活用のさらなる促進が急務である。

バイオマスは嵩張る¹⁾ことから輸送に適さず、地域の中で利活用することが望ましい。すなわち地域に存在する多様なバイオマスを配分し、組み合わせ、適切な規模で変換利用するという地域システムを構築する戦略が求められる。

地域の合意を経た利活用システム構築戦略を策定するためには、複数の導入シナリオを比較検討し、多角的に評価することが重要である。

こうしたことから地域における多様なバイオマスの総合的利活用シナリオを分析・評価するためのツールとして「バイオマス総合利活用評価モデル(以下、「利活用評価モデル」と略記する)」を構築するという研究を行った。次に、このモデルを使って既存のバイオマスタウン構想71事例を分析し、新たな検討地域の利活用シナリオを相対的に評価するための指標を提示した。本稿では、利活用評価モデルの概要とシナリオ評価指標の構築

過程を報告する。

1. 利活用評価モデルの構築

1.1 モデルの基本構造

バイオマス利活用の評価には、地域全体の構想策定から事業導入の詳細な可能性調査まで取り組みの段階に応じてライフサイクルアセスメント、システム・ダイナミックス、キャッシュフロー分析など様々な方法がある。

筆者らは、2002年度からバイオマスの地域レベルにおける物質循環モデル(「バイオマス資源循環利用診断モデル²⁾」)の構築に携わってきた。地域の有機物全般の物質収支をコンパートメントとフローで表現するモデルである。本研究の利活用評価モデルは、上記の物質循環モデルの構成を基本としながら、バイオマスとして利活用できる有機物に限定して、物質、経済、エネルギー、温室効果ガス等の移動量と収支を原単位法により分析するものである。

コンパートメントは、地域を家畜、食品産業、人間(家庭)、農地、森林・林業・製材業、集落(都市域)、そして複数のバイオマス変換施設及び系外で構成する。これらコンパートメント間を移動する物質、エネルギー、マネーの量をフローとして表現している。

モデルは、物質(重量及び成分)フロー、エネルギーフロー、温室効果ガスフロー、マネーフローに分けて構築した。例として図1にマネーフローの基本構造を示す。フロー図は、各評価指標に共

Evaluation Methods of Biomass Total Use Scenario in the Regions

*内外エンジニアリング(株) Kazuyuki DOI

**京都大学大学院農学研究科 Hidetsugu MORIMOTO

*** (独) 農研機構農村工学研究所 Yoshito YUYAMA

**** 立命館大学政策科学部 Ken'ichi NAKAGAMI

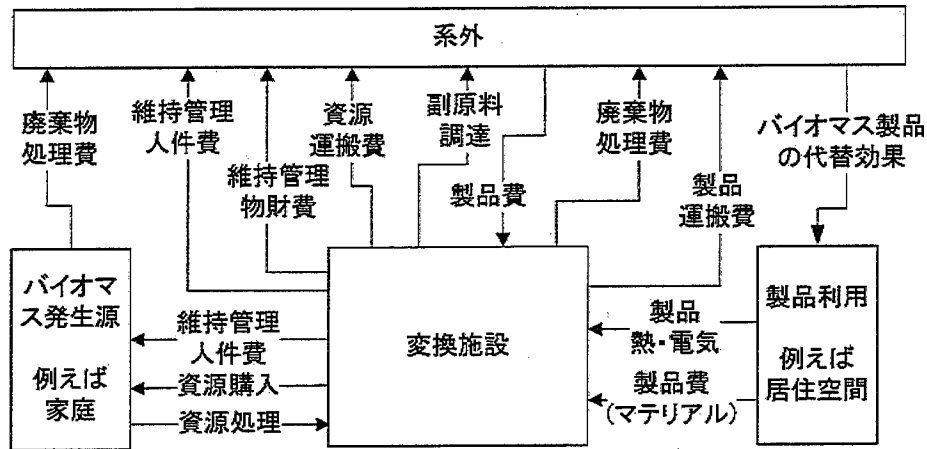


図1 利活用評価モデルの基本構造 (例：マネーフロー)

通としている。フローの方向が物質移動に対して逆になる指標があり、この場合数値をマイナスで表現することとした。

1.2 対象とするバイオマス

利活用評価モデルを組み込んだシステム(以下、「利活用評価モデルシステム」と称する)は、バイオマスの発生から変換、利用に関するデータベースを内蔵している。データベースの対象となる代表的バイオマスは表1のようである。利活用評価モデルシステムは、バイオマスの追加が容易なシステムとしている。

1.3 使用局面

バイオマス・ニッポン総合戦略のなかに、バイオマスタウンが定義されている。地域に発生するバイオマスの総合的利活用に取り組む市町村をいう。バイオマスタウンは市町村内のバイオマスの総合的利活用構想を策定し、公表する。2008年6月時点で、バイオマスタウン構想公表市町村は、150

表1 データベースの代表的バイオマス

区分	内 訳
家畜排泄物	牛、豚、鶏の糞尿
食品廃棄物	食品産業生ゴミ (産業廃棄物)
家庭廃棄物	生ゴミ、紙ゴミ、廃食用油 (一般廃棄物)
木質廃棄物	製材工場残材、建設廃木材、剪定枝 (街路樹、庭木等)
下水系汚泥	下水道汚泥、浄化槽汚泥、し尿処理汚泥、集落排水汚泥等
農業副産物	わら類、籾殻、畑作残渣等
林産副産物	間伐材、林地残材
資源作物	バイオマスとして栽培される農作物

を超えている。2006年の総合戦略では、バイオマスタウンを2010年に300とする目標をたてている。

利活用評価モデルの使用局面は、前記のバイオマスタウン構想、あるいは地域新エネルギービジョンのような構想、ビジョン、マスタープラン策定時を想定する。複数種のバイオマス変換システムを設置した状態を総合的に評価することが可能であるため、特に地域全体のマクロなシナリオ評価に適していると考えられる。

1.4 評価項目

バイオマスの利活用は多様な効果が期待されている。その一方で、トレードオフが想定される評価項目も考えられる。よって評価項目を数種設定した。環境評価の項目としては、温室効果ガス量、農地土壌への窒素及び炭素投入量、廃棄有機物量、化石燃料使用量、炭素利用などが挙げられる。経済評価の項目としては経済収支を分析する。人口や農地面積当たりの換算値を評価指標とする。

複数の評価項目を統合する手法が研究・開発されているが、本モデルでは採用していない。

1.5 システム境界

経済性、環境性の分析は、廃棄物系及び未利用系バイオマスについては、原料バイオマスの収集・運搬～変換～製品利用の範囲を対象とする。資源作物については、さらに栽培を追加する。バイオマス由来熱を使用すれば化石資源由来熱が削減されるというように、バイオマス製品利用においては、バイオマスが代替することにより削減される物質があることを考慮した。

収集・運搬・変換に使用される機械製造や構造

物築造に関する環境影響は考慮しない。

1.6 物質・エネルギーフロー原単位，費用関数の作成

モデルの作成のためにバイオマス資源の収集・運搬，変換，製品運搬・利用における物質，エネルギー移動の原単位と費用を調査し整理した。具体的には既往の研究成果等²⁻¹⁰⁾を費用関数など適用しやすい形に整理し，変換技術によっては，規模を設定したケーススタディを実施することにより，データを構築した。

1.7 変換技術

変換技術は，バイオマスタウン構想に記載されているような現在実用段階にある技術を組み込んでいる。内蔵する変換技術を表2に示す。利活用評価モデルシステムはユーザーによる変換技術の追加を可能としている。

2. 評価指標の構築

2.1 評価指標構築の方法

地域のバイオマス利活用方法をどう選択するかについては，バイオマスの発生状況や利用状況，製品需要によって異なる。構想策定の段階では，数例のシナリオをマクロな視点から多様な評価項目で検討することが望ましい。

しかし，策定したシナリオの適切性を判断する

表2 モデルに内蔵する変換技術

変換技術	区分	製品
堆肥化	高速強制発酵方式	堆肥
メタン発酵 (バイオガス化)	湿式・液肥方式	電気，熱，液肥
	湿式・固液分離方式	電気，熱，堆肥
	乾式	電気，熱，堆肥
バイオディーゼル燃料化 (エステル化)	アルカリ触媒方式	バイオディーゼル燃料
炭化	木質を対象	炭，熱
直接燃焼	チップボイラーまたは蒸気発電	電気，熱
小規模ガス化発電	分散配置	電気，熱
ペレット化+ペレットボイラー	ペレットボイラーは分散配置	熱
バイオエタノール化	セルロース発酵方式	バイオエタノール

指標はほとんどないといえる。

バイオマスの利活用では，目標値，規制値という評価指標は，いまのところバイオマスタウン構想の公表において「廃棄物系バイオマスを炭素換算で90%以上，もしくは未利用系バイオマスの40%以上を利活用する¹⁾」という炭素換算利用率目標値のみである。

マクロな分析では，相対評価が有効な手段の一つである。それには，多くの事例評価が必要である。そこで筆者らは，モデルを使って既存のバイオマスタウン構想を多数分析し，新たなシナリオを相対的に評価するための指標を提示することとした。すなわち，地域固有のシナリオが既存のバイオマスタウン構想のどのランクに位置するのかわを確認しながら検討する手法である。

2.2 バイオマスタウン構想の分析

2.2.1 分析の方法

バイオマス利活用システムの導入前から導入後へと変化する内容について利活用評価モデルを用いてバイオマスタウン構想を分析する。分析のために利活用方法別のバイオマス量（以下，仕向け量と称する）を構想書から判読する必要がある。公表されている構想書では仕向け量の不明確な市町村が大多数である。そこで2007年度，20道府県24市町村でバイオマスタウン構想について聞き取り調査を実施した。その結果，構想書に記載されている以上の詳細な仕向け量は決定されていないことが判明した。よって一部の仕向け量は推定によっている。

このほか数項目の分析条件の設定が必要であった。主な設定条件を以下に列挙する。

- ・家畜排泄物や生ゴミ等の堆肥化は電力と燃料を使用する高速強制発酵施設での完熟堆肥化とする
- ・炭化物は，土壤改良材として利用される
- ・炭化では熱を有効利用する
- ・バイオマス製品類は余剰なく利用される
- ・木質のペレット化では，製品利用施設としてペレットボイラーを同時に導入する
- ・メタン発酵は発電，熱利用を行う。発酵消化液は液肥利用する
- ・小規模ガス化発電は発電と同時に熱利用する施設の能力は全国的に概ね平均的と考えられる

設定としている。24市町村の聞き取り調査では、堆肥化は、高速発酵と無動力の堆積発酵が混在するであろうとされていたが、将来的に高速完熟発酵に移行していくと想定した。

前記の設定に基づき、公表されている構想の中から利活用量の数値を記載している71市町村の構想を分析した。環境性の評価指標を数種検討した中で、本稿では当該市町村人口一人当たりの利用バイオマス炭素量、化石燃料削減量（重油換算）の分析結果を以下に報告する。次に経済収支の分析結果を示す。

2.2.2 炭素の利用量分析

構想に記載されているバイオマス利用の年間炭素分量を当該市町村人口で除した値を利用バイオマス炭素量（kg-C/人・年）とし、炭素分量段階別の市町村数を図2に示す。炭素分量はバイオマスの有機物量を示す評価項目として適当と判断した。

分析対象71市町村のなかの50市町村（70%）が

0～150kg-C/人・年の範囲にある。上位は人口の少ない農村地域で家畜排泄物の利用が多い市町村が占める。

2.2.3 化石エネルギー削減量分析

バイオマスの利用のための投入エネルギーと利用による産出エネルギーの収支を計算した。このエネルギー収支を重油量に換算して年間一人当たり化石エネルギー削減量（ℓ-重油/人・年）とし、削減量段階別の市町村数を図3に示す。

71市町村のなかで化石エネルギー削減量がプラスである市町村数は56（79%）である。49市町村では、100ℓ-重油/人・年以下の削減量であり、大半の市町村の構想は0～100ℓ-重油/人・年の範囲にあるといえる。

化石エネルギー削減量の上位3市町村は、大量の製材工場残材あるいは建設廃木材のエネルギー利用である。下位3市町村は大量の家畜排泄物の堆肥化を構想するケースである。

木質のエネルギー利用は化石エネルギー削減効

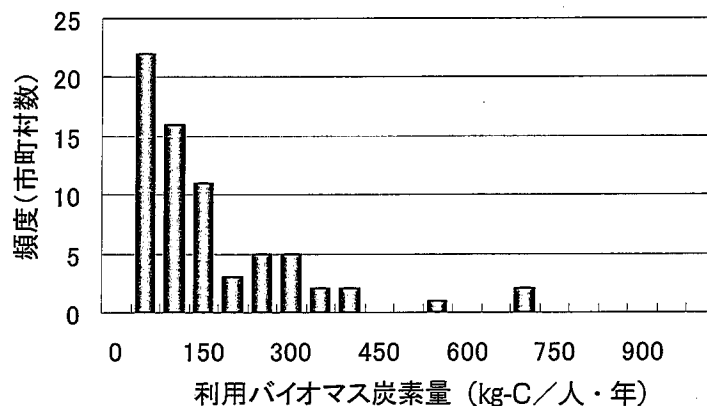


図2 利用バイオマス炭素量段階別市町村数

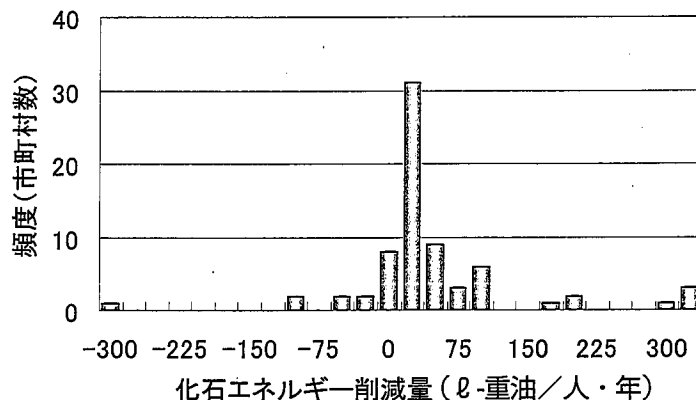


図3 化石エネルギー削減量段階別市町村数

果が高い。その一方、高速で完熟堆肥を製造する堆肥化システムは化石エネルギーを消費する。堆肥化はエネルギー生産を目的としないことから、農業生産、臭気環境など別の項目による評価が必要である。

2.2.4 経済性分析

熱、電気等のエネルギー及び堆肥等の製品販売金額を収入とし、施設償却費、維持管理費、資源調達費を支出とした経済収支を算出した。

経済収支算定には多くの経済条件の設定が必要である。主要設定項目を表3に示す。

表3の項目及び施設の建設費、維持管理のた

表3 経済性分析のための主な設定

経済収支	収入-支出=製品販売収入-(施設償却費+維持管理費+資源調達費)
施設償却費	耐用年数で償却するとして計算 耐用年数: 15年~20年 (高温となる施設は短くする) 金利4%を想定。補助金は考慮しない
維持管理費	電力料金15円/kWh 燃料代: 重油40円/ℓ, 軽油70円/ℓ 人件費: 4,500千円/人・年
資源調達費 逆有償はマイナス(▲)	林地残材17,000円/t 製材工場残材, 稲わら, 粃殻1000円/t 家畜排泄物▲500円/t, 生ゴミ▲15,000円/t 下水系汚泥▲15,000円/t, 剪定枝▲20,000円/t 建設発生木材▲5,000円/t
製品販売費	木炭1,000円/t, 堆肥5,000円/t, 液肥1,000円/t 糞尿炭化物10,000円/t, 生ゴミ炭化物1,000円/t BDF50円/ℓ, 熱2円/MJ, 電力15円/kWh ペレット33,000円/t

め的人员数, 資材量, 製品産出量などの条件は文献^{3, 5, 11-13)}によるほか, 聞き取り調査を合わせて設定している。

このような条件のもとでのバイオマス利用に関する年間市町村人口一人当たり経済収支(千円/人・年)段階別市町村数を図4に示す。

経済収支は, 8例を除いてマイナスとなっており, 一人当たり2.5万円以下のマイナスが半数を占める。一人当たり3万円以上のマイナスは15%程度である。

経済収支でプラスである上位3市町村は大量の製材工場残材のエネルギー利用が中心である。

上位2位は化石エネルギー削減量の上位2市町村と同じ市町村である。下位の3市町村は大量の家畜排泄物の堆肥化を構想するケースであり, 化石エネルギー削減量の下位3位までと同じ市町村である。

建設廃木材や製材工場残材はともに逆有償のバイオマスであり, さらに水分が少ないのでエネルギー利用すれば熱や電気の生産量が多いというメリットがある。よって逆有償の木質バイオマスを大量に利用できるバイオマスタウンが化石エネルギー使用量を削減し, 経済収支もプラスにできるといえる。

バイオマスの利活用は調達時に逆有償の資源, もしくは有償であってもごく安価な資源を用いて利活用する以外には, 経済収支がプラスとなるケースは少ない。仮にそのようなシステムを構築したとしても, 総合的な利活用を目指すならば, 調達コストの高価なバイオマスも利用しなければならない。よって経済性で不利なバイオマスを中長期的な観点からどのように利活用していくのか

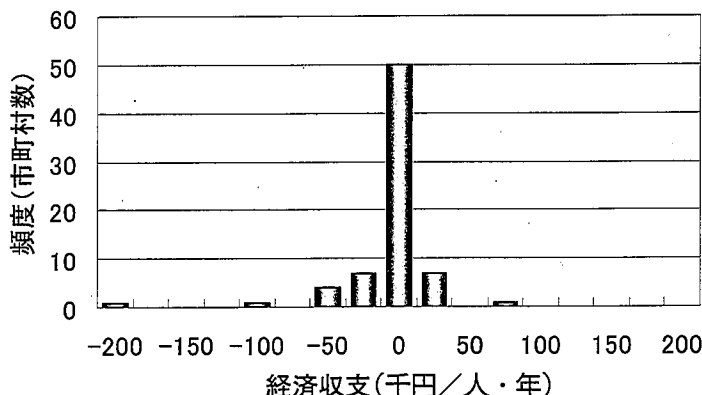


図4 経済収支段階別市町村数

を考慮しておく必要がある。

経済性に有利なバイオマスの利用を先行させると不利なバイオマスが残り、総合的な利活用という目標を達成できなくなる可能性に留意する必要がある。

24市町村の聞き取り調査では、長期的な総合利活用まで考慮されている市町村は少なく、目前の利活用システム導入のために構想が策定されているケースが多いことが判明した。バイオマスを総合的に利活用していくというバイオマスタウンになるためには、継続的に構想の見直しも必要となろう。

3. ま と め

地域におけるバイオマス総合利活用システムの構築戦略を策定するためには、利活用シナリオの検討の容易なモデルが必要である。また、シナリオの適切性評価のための指標が必要である。

本研究ではバイオマスの総合利活用シナリオ評価のためのモデルを構築した。当モデルを活用しての検討、議論が進展すれば幸いである。

さらに、公表中のバイオマスタウン構想について利活用評価モデルによる経済性や環境性評価の範囲を示した。新たに構想を策定する地域にとって相対比較の指標になるものである。

バイオマスタウン構想を公表している24市町村で聞き取り調査を実施することにより取り組みの実情を把握し、モデルの構築やバイオマスタウン構想分析の参考とした。

マクロな構想レベルの検討では多くの条件設定が伴い、特に経済性はその設定条件に大きく左右される。しかし議論のたたき台として経済性を示すことは意志決定に不可欠である。したがって算出方法を十分認識した上で経済性を議論すべきで

あろう。当モデルを組み込んだ利活用評価モデルシステムは条件設定を地域に合わせて任意に変更できるので条件の変動を加味した比較検討が可能であり、地域の将来構想策定に有効なツールになると考える。今後、システムの操作マニュアルを整備する予定である。

本報告は環境省廃棄物処理等科学研究事業「バイオマス利活用に関する地域環境の診断手法及び環境効率評価手法の研究」の概要である。

謝辞：最後になりましたが、聞き取り調査に協力いただいたバイオマスタウン構想公表市町村のバイオマス担当者に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 農林水産省；「バイオマス・ニッポン総合戦略，平成18年3月31日」，(オンライン)，入手先 (http://www.maff.go.jp/j/biomass/pdf/h18_senryaku.pdf)，(参照2009.01.10)
- 2) 農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」；バイオマス利活用システムの設計と評価，2006。
- 3) 柚山義人ほか；バイオマス再資源化技術の性能・コスト評価，農業工学研究所技報，(204)，61-103，2006。
- 4) 小林久ほか；LCA手法を適用したバイオマス資源循環の評価，農業土木学会論文集，(241)，13-23，2006。
- 5) NEDO技術開発機構；バイオマスエネルギー導入ガイドブック，2005。
- 6) NEDO技術開発機構；「バイオマスエネルギー高効率転換技術開発／セルロース系バイオマスを原料とする新規なエタノール発酵技術等により燃料用エタノールを製造する技術の開発」報告書，2005。
- 7) 社農林水産技術情報協会；主要作物の作業体系におけるエネルギー消費原単位，1998。
- 8) 社日本エネルギー学会編；バイオマスハンドブック，オーム社，2002。
- 9) エコ燃料利用推進会議；輸送用エコ燃料の普及拡大について，2006。
- 10) 原田寿郎；木質バイオマスの経済コストとエネルギー収支，第33回木材の化学加工研究会シンポジウム講演集，2003。
- 11) 社林業機械化協会；「森林バイオマスの収集・輸送コストの低減について調査」報告書，2003。
- 12) 島根県地域振興部；しまね木質バイオマスエネルギープラン，2005。
- 13) 財東京都農林水産振興財団；木質バイオマスエネルギー事業化調査報告書，2001。