

バイオマス新技術開発のインパクト分析手法の提案*

A Method for Impact Analysis of New Biomass Technologies*

奥田 隆明**・秀島 聡***

Takaaki OKUDA**・Satoshi HIDESHIMA***

1. はじめに

バイオマスは再生可能な資源で、それを燃焼させても大気中の二酸化炭素を増加させない「カーボンニュートラル」と呼ばれる特性を持ち、地球温暖化の防止という観点からその利用には大きな期待が寄せられている。またその他にも、循環型社会の形成、新たな戦略的産業の育成、農林漁業や農山漁村の活性化等の観点からも期待されており、エネルギーや製品としてこれを最大限活用する社会を実現することが求められている¹⁾。

わが国は温暖・多湿な気候条件により、かなりのバイオマス賦存量が見込まれている。しかし、現実には、その認知度が必ずしも高くないこと、エネルギーや製品への変換技術の開発が不十分であること、収集が困難であること、その結果としてバイオマス利用の事業採算性が悪いこと等の理由から、バイオマスの利用は必ずしも十分に進んでいるとは言えない。

こうした現状を打開し、バイオマスの利活用を促進するためには、新しい技術開発を行いエネルギー・製品への変換効率やバイオマスの収集効率を向上させていくことが必要不可欠である。しかし他方で、こうした新技術開発を行うためには、多くの研究開発投資を必要とすることも事実であり、公的な研究開発投資を含めてこれを積極的に推進するためには、これらの新技術開発がバイオマスの利活用を通して地域社会にどのようなインパクトを与えるのかについて明らかにしていくことが必要である。

そこで本研究では、バイオマス新技術開発が地域社会に与える影響を明らかにするインパクト分析手法を開発することを目的とする。以下、2.では本研究で提案するインパクト分析手法について説明する。また、3.では木質バイオマスの利活用に積極的に取り組んでいる岐阜県で作成した簡単なパイロットモデルについて説明する。

*キーワード: 環境計画、エネルギー計画、システム分析、計画手法論

**正会員、工博、名古屋大学大学院環境学研究科

(〒464-8601 名古屋市千種区不老町)

TEL: 052-789-4654 FAX: 052-789-1462)

***学生会員、名古屋大学大学院環境学研究科

E-mail shide@urban.env.nagoya-u.ac.jp

2. インパクト分析手法

(1) 分析手法の概要

本研究では、バイオマス利活用が特に期待されている木質バイオマスを取り上げ、木質バイオマスを利用した発電に関する新技術開発が地域社会に与える影響を定量的に把握するための分析モデルを開発する。従来、新技術開発が地域社会に与えるインパクトを分析する手法としては、産業連関分析を用いた方法^{2,3)}や応用一般均衡モデルを用いた方法⁴⁾が幾つか提案されてきている。しかし、これらの研究は何れも、いわゆる動脈産業における新技術開発のインパクトを分析するものであり、バイオマス利用のような静脈産業における新技術開発のインパクトを分析することを目的としたものではない。バイオマス技術開発の場合、新技術が開発されるとこれまで無価値物として扱われてきたバイオマスが有価値物として市場取引の対象となる可能性を持つ。そして、これが地域社会に多くのインパクトを与えることが予想されるため、こうした静脈産業における新技術開発のインパクトを分析するためには、これらのメカニズムを十分考慮した新たな分析手法の開発が必要となる。

(2) モデルの全体構成

本研究で提案するモデルは、1)経済インパクトモデル、2)バイオマス技術モデル、3)環境インパクトモデルの3つのサブモデルから構成される(図1)。1)経済インパクトモデルは、新技術開発によって新たなバイオマス利用産業が登場したとき、対象とする地域経済全体が受けるインパクトを分析する。ところが、こうしたバイオマス利用産業は既存の産業ではないため、これを経済インパクトモデルに組み込んでシミュレーションを行うには新技術開発によって生まれるバイオマス利用産業のパフォーマンス(投入と産出)を別途与える必要がある。2)バイオマス技術モデルでは、こうした新しいバイオマス利用産業のパフォーマンスを求める。さらに、3)環境インパクトモデルでは、経済インパクトモデルによって求められた各産業部門の生産量の変化から、新技術開発によって地域社会から排出される環境負荷がどの程度変化するかを明らかにする。

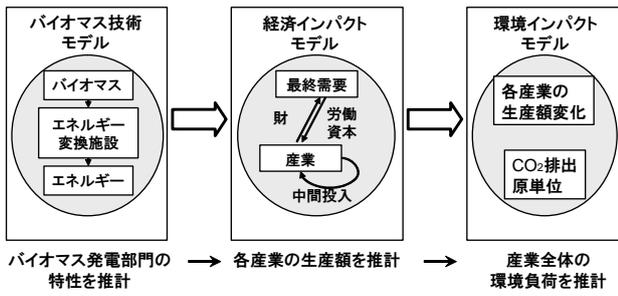


図1 モデルの全体構成

(3) 経済インパクトモデル

a) 基本的な設定

木質バイオマスの多くは、林業や製材・製紙業、建設業等が生産活動を行うときに副産物として排出される。本研究では、こうした木質バイオマスを利用して電力生産を行うバイオマス発電産業を考える。バイオマス発電産業は、現在、廃棄物として処理されている木質バイオマスを利用して電力生産を行う静脈産業である(図2)。この経済インパクトモデルでは、最終需要部門が労働・資本を産業部門に供給し、産業部門が生産物を最終需要部門に供給するという通常の経済循環の他に、動脈産業が排出したバイオマスを利用してバイオマス発電産業が電力を供給するという新たな物質循環を考えることにする。

具体的には、動脈産業として、電力部門を含む n 種類の産業部門を考える。また最終需要部門としては、域内の最終需要部門と域外最終需要部門を考えることにする。さらに静脈産業としてはバイオマス発電部門を想定する。他方、取引対象としては、 n 部門の産業部門がそれぞれ生産する n 種類の生産物を考える。また、生産要素としては、資本と労働を考える。その他に、動脈産業が排出し、バイオマス発電部門に投入されるバイオマスを考えることにする。また、バイオマス発電部門が生産する電力は電力部門が生産する電力と同質とみなされるものとする。

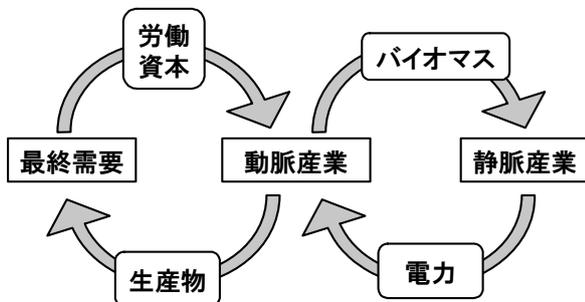


図2 経済主体と取引対象の関係

b) 電力部門と産業部門

ある産業 j は、労働 L_j 、資本 K_j 、域内財 D_{ij} 、移入財 M_{ij} から生産物 X_j とバイオマス B_j を生産するものとする。このとき、電力部門と産業部門は、次の利潤最大化問題に従って行動するものとする。

$$\begin{aligned} \text{Max } \pi_j &= p_j X_j + p^B B_j - \\ &\left(\sum_i p_i D_{ij} + \sum_i p_i^M M_{ij} + p^L L_j + p^K K_j \right) \quad (1) \\ \text{s. t. } f_j(X_j, B_j, D_{ij}, M_{ij}, L_j, K_j) &= 0 \\ X_j, B_j, D_{ij}, M_{ij}, L_j, K_j &\geq 0 \end{aligned}$$

ここで、 π_j : 第 j 産業の利潤、 p_j : 第 j 生産物の価格、 p^B : バイオマスの価格、 p_i^M : 第 i 移入財の価格、 p^L : 労働の価格、 p^K : 資本の価格

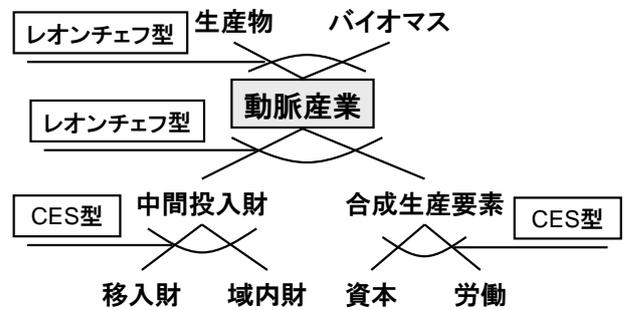


図3 電力部門と産業部門の生産関数

生産関数 f_j については、図3に示すような多段階の生産関数を仮定する。つまり、まず労働と資本、域内財と移入財がそれぞれCES型関数で結合され、次にそれぞれの合成財がレオンチェフ型関数で結合されるものとする。こうした生産関数は通常的应用一般均衡モデルで仮定される生産関数と全く同じである。本研究ではこれに副産物としてのバイオマスを考慮するために、さらに生産物とバイオマスがレオンチェフ型関数で変形されることを仮定する。つまり、産業部門は一定の生産物を生産するために一定のバイオマスを排出する必要があることを仮定する。

c) バイオマス発電部門

バイオマス発電部門は、労働 L_N 、資本 K_N 、域内財 D_{iN} 、移入財 M_{iN} およびバイオマス B から電力 X_p を生産するものとする。このとき、バイオマス発電部門も次の利潤最大化問題に従って行動するものとする。

$$\text{Max } \pi_N = p_p X_N -$$

$$\left(\sum_i p_i D_{iN} + \sum_i p_i^M M_{iN} + p^L L_N + p^K K_N + p^B B \right) \quad (2)$$

s.t. $f_N(X_N, D_{iN}, M_{iN}, L_N, K_N, B) = 0$
 $X_N, D_{iN}, M_{iN}, L_N, K_N, B \geq 0$

ここで、 p_p : 電力の価格

バイオマス発電部門の生産関数 f_N についても、図 4 のような多段階の生産関数を仮定する。つまり、労働と資本、域内財と移入財がそれぞれ CES 型関数で結合され、それぞれの合成財がレオンチェフ型関数で結合されるものとする。このとき、一定のバイオマス発電を行うためには一定のバイオマスの投入が必要であるものとし、バイオマスについてもこのレオンチェフ型関数で結合されるものとする。なお、レオンチェフ型関数のパラメータについては新技術の開発によって変化するため、後述するバイオマス技術モデルによって求めるものとする。

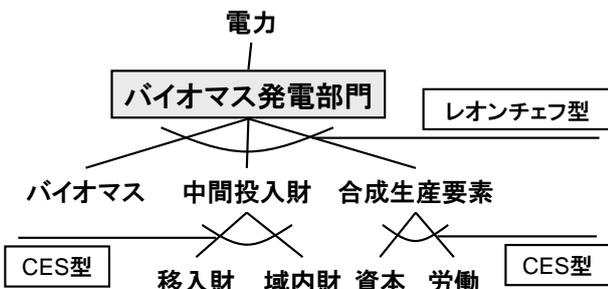


図 4 バイオマス発電部門の生産関数

d) 最終需要部門

最終需要部門は、域内最終需要部門と域外最終需要部門の2部門である。域内最終需要部門は、労働と資本を供給し、産業部門が生産する生産物、電力部門とバイオマス発電部門が生産する電力を購入するものとする。また、域外最終需要部門は、当該地域への輸出による収入で輸入を行っているものとする。また、それぞれの部門は効用最大化問題に従うものとする。さらに、効用関数についても、通常の実用一般均衡モデルと同様に、CES型とコブ=ダグラス型関数を組合せた多段階の効用関数を用いる。

e) 市場条件

労働、資本、生産物の市場ではそれぞれ需給均衡が成立するものと仮定する。ところが、バイオマスについては、廃棄物として市場取引の対象にならない場合と、有価物として市場取引の対象になる場合の2つの状態を考える必要がある。図5はバイオマス市場における需要曲

線と供給曲線を表したものである。バイオマス発電部門が十分な生産を行わない段階では、価格がゼロであっても供給(点B)が需要(点A)より大きい。しかし、新技術開発によってバイオマス発電部門が多くの生産を行うようになると、バイオマスの需要が増加し、需要曲線が右方向にシフトすることになる(曲線D')。その結果、バイオマスに正の価格が付いて、バイオマスが市場で取引されることになる(点C)。そしてバイオマスに正の価格が付くと、今まで放置されていた間伐材等の未利用バイオマスの利用が進み、さらに価格が上昇すれば、積極的にバイオマスを生産するような状況が生み出されることになる。

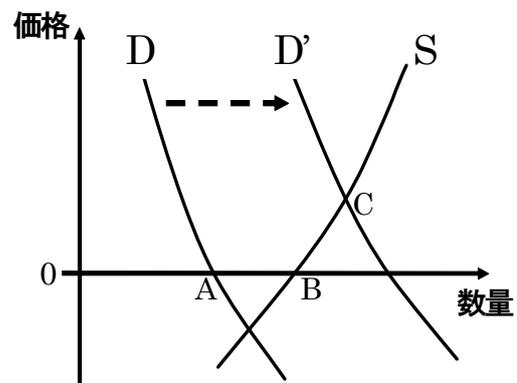


図 5 新技術開発がバイオマス市場に与える影響

バイオマス市場のこうした状況は次の相補性条件を用いて定式化することができる。

$$\begin{cases} p^B = 0, & \sum_j B_j \geq B \\ p^B > 0, & \sum_j B_j = B \end{cases} \quad (3)$$

f) 均衡条件式とその解法

以上より、経済インパクトモデルの均衡条件式が得られる。この均衡条件式は相補性条件を含む混合相補性問題となる。他方で、相補性問題の解法についてはメリット関数を用いた方法等、応用数学の分野で多くの研究が行われている⁵⁾。本研究では、最適化問題の解析ソフト GAMSの混合相補性問題用ソルバーPATHを用いてこの混合相補性問題の解を求める。

(4) バイオマス技術モデル

バイオマス技術モデルでは、上述したバイオマス発電部門のレオンチェフ型生産関数のパラメータ(投入係数)を求める。このパラメータ(投入係数)はバイオマス発電の費用を収入で除すことにより求めることができる。

バイオマス発電の費用として、1)原料購入費(中間財

投入)、2)人件費(労働投入)、3)減価償却費(資本投入)を考える。このとき、原材料購入費用については次式を用いて求める。

$$\text{原料購入費} = \text{原料投入量} \times (\text{原料単価} + \text{収集単価}) \quad (4)$$

また、バイオマス発電の収入としては、1)売電収入、2)補助金を考える。このとき、売電収入については次式を用いて求める。

$$\begin{aligned} \text{売電収入} = & \text{原料投入量} \times \text{原料発熱量} \times \text{冷ガス効率} \\ & \times \text{発電効率} \times (1 - \text{所内率}) \times \text{電力単価} \end{aligned} \quad (5)$$

このバイオマス技術モデルを用いると、例えば発電機の技術開発によって発電効率が上昇した場合には、式(5)の発電効率の値を変化させ、新技術開発後の収入を求める。また、収集システムに関する技術開発によって収集単価が低下した場合には、式(4)の収集単価の値を変化させ、新技術開発後の費用を求める。そして、こうして求めた新技術開発後の費用と収入から、レオンチェフ型生産関数のパラメータ(投入係数)を求める。

(5) 環境インパクトモデル

環境インパクトモデルでは、新技術開発によりバイオマス発電が普及すると、地域社会全体から排出される環境負荷がどの程度変化するかについて分析する。このとき、バイオマス発電の普及によって環境が受けるインパクトとしては、化石燃料の使用量の低下、その結果としての二酸化炭素排出量の減少、廃棄物系バイオマスが利用されることによる廃棄物排出量の減少等が考えられる。これらの環境負荷の変化は、バイオマス発電の普及によって地域社会の生産が変化することによって引き起こされる。そのため、経済インパクトモデルから求められる生産額の変化に各産業の単位生産当たりの環境負荷を乗じることでその大きさを求める。例えば、二酸化炭素の排出量については、経済インパクトモデルから求められた各産業の生産額の変化に、各産業の単位生産当たり二酸化炭素排出量を乗じることで、産業から排出される二酸化炭素排出量の変化を求める。

3. 岐阜県におけるパイロットモデルの開発

(1) 対象地域の設定

本研究では岐阜県においてパイロットモデルを作成し、この分析手法を用いた簡単なインパクト分析を試みた。対象地域として岐阜県を選んだのは、山林の面積が大きく、林業生産のシェアが全国平均に比べて高いこと、その結果、木質バイオマスの賦存量も多く、バイオマス

発電の普及が地域社会に大きなインパクトを与える可能性を持つこと、また、これまでも「岐阜県新エネルギービジョン」や「木質バイオマスエネルギー導入モデル基本計画」を策定する等、木質バイオマスの利活用に関する多くの取組みを実施していること、そして、木質バイオマスに関する基礎的な情報が比較的入手しやすいことなどが挙げられる。

(2) 経済インパクトモデルの作成

経済インパクトモデルの動脈部門については、当該地域の産業連関表を用いてキャリブレーションを行うことができる。本研究では、平成12年に推計された岐阜県産業連関表⁶⁾を用いて産業部門・電力部門、域内最終需要部門・域外最終需要部門のキャリブレーションを行った。このとき、平成12年の岐阜県産業連関表は産業分類は104分類であるが、これを木質バイオマスに関連する産業を中心に集計して用いた。つまり、産業分類を、1)農水産業、2)林業、3)鉱業、4)製材・製紙、5)建設、6)第二次産業、7)電力、8)第三次産業の8部門とした。ここで、製材・製紙、建設を独立させたのは、この2部門が産業廃棄物として木質バイオマスを多く排出しているためである。

参考文献

- 1) 農林水産省他：バイオマス・ニッポン総合戦略,2002
- 2) 鬼木甫：新しい情報通信技術と産業連関分析,イノベーション& I-Oテクニク, 第1巻, 第1号,1989.
- 3) 宍戸俊太郎：技術革新とI-O分析, イノベーション& I-Oテクニク, 第1巻, 第2号,1990.
- 4) 新保豊・富島正雄・浅川秀之：光ファイバー整備による経済波及効果とポストe-Japan戦略への示唆, イノベーション& I-Oテクニク, 第13巻, 第3号,2005.
- 5) 福島雅夫：均衡モデル：相補性問題への招待,オペレーションズ・リサーチ,41, no.6,1996
- 6) 岐阜県：平成12年岐阜県産業連関表,2004
- 7) 岐阜県：岐阜県廃棄物処理計画(資料編,産業廃棄物編),2000
- 8) 岐阜県：岐阜県間伐材利用事例集(案),2002
- 9) 川崎研一：応用一般均衡モデルの基礎と応用, 日本評論者,1999
- 10) 新エネルギー・産業技術総合開発機構：廃棄物発電導入マニュアル(改訂版),2002
- 11) 林野庁：平成12年度バイオマス資源の利用手法に関する調査,2000
- 12) 山口県：やまぐち森林バイオマスエネルギー・プラン,2002