

バイオマス新技術開発の インパクト分析手法の提案

奥田 隆明¹・秀島 聡²

¹正会員 名古屋大学大学院助教授 環境学研究科

²学生員 名古屋大学大学院 環境学研究科

バイオマスは優れた多くの特長を持つが、同時に様々な問題点を抱えるため十分に利活用されているとは言えない。バイオマス利用を普及させるためには、これらの問題点を解決する新しい技術の開発が必要不可欠である。ところが、新しい技術の開発には多額の資金が必要であるため、その技術が実用化された時、環境と経済にどのようなインパクトを与えるのかについて事前に明らかにしておく必要がある。本研究では、木質バイオマスのガス化発電を取り上げ、そのインパクト分析を行うための方法を提案した。また、岐阜県でパイロットモデルを作成し、これを用いて簡単な感度分析を行った。分析の結果、発電効率を現状の40%から50%に向上させればバイオマス利用が始まり、さらに発電効率が上昇すると林業などの生産にも影響を与える可能性を持つこと等を明らかにした。

Key Words: biomass, management of technology, computable general equilibrium model

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、続く2. ではバイオマス新技術開発の動向とそのインパクトの特徴について述べる。また、3. では本研究で提案するインパクト分析手法の詳細について説明する。さらに、4. 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。そして、5. ではこのパイロットモデルを用いて感度分析を実施し、モデルの挙動を確認した結果について報告する。

2. バイオマス新技術開発とそのインパクト

(1) バイオマス利用技術

バイオマスをエネルギーや製品として利用する技術は、表1のように整理することができる。ここで、直接燃焼とはバイオマスを直接燃焼させて熱を利用したり発電を行ったりする技術を指す。メタン発酵とはバイオマスを嫌気性細菌に分解させてメタンを取り出す技術である。エステル化とは食用油などを調質し、ディーゼル燃料として使えるようにする技術である。ガス化とはバイオマスを水素や一酸化炭素、メタンなどの可燃性ガスに分解

する技術を指す。またエタノール発酵とは、木材などに含まれるセルロースを糖化し、発酵させてエタノールを得る技術である。

多くのバイオマスは「広く薄く」分布しており、木材のように山間部に存在しているものも多い。そのため、これらのバイオマスを利用するための施設が大規模なものになるとバイオマスを収集・運搬するためのコストが大きくなり、採算性が低下する。そのため、小規模な施設を分散して設置することが求められるが、現在、最も多く利用されている直接燃焼では、小規模な設備で高い発電効率を得ることには限界がある。こうした背景の中で、バイオマスをガス化し、小型でも高効率を得られるガスタービンやガスエンジンによって発電を行う方式をはじめ、新たな技術開発に大きな期待が寄せられている。

(2) バイオマス新技術開発のインパクト

では、これらの技術開発によってバイオマス利用が普及すると、地域社会はどのようなインパクトを受けるのであろうか。図1は「バイオマス・ニッポン総合戦略」等を参考にしながら、バイオマス発電における新技術開発が地域社会に与えるインパクトを整理したものである。

バイオマス新技術開発はバイオマス発電コストを低下させ、そのコストは化石燃料等を利用した発電コストに次第に近づいていく。これによってバイオマス発電は電力市場において一定のシェアを獲得し、化石燃料等を利用した電力生産を減少させる。その結果、既存の電力会社が排出する二酸化炭素量を減少させることが可能になる。他方で、バイオマス発電が普及するとバイオマスの需要も増加し、これまで廃棄物として処理されていたバイオマスが有価物として市場取引の対象になることが予想される。さらにバイオマス発電が本格化し、バイオマス需要が増加すると、この取引価格が次第に上昇していく。そして、バイオマス価格の上昇はバイオマスの供給をさらに増加させる。つまり、最初はこれまで廃棄物と

して処理されてきたバイオマスが市場に供給されるが、バイオマス価格の上昇に伴い、これまで放置されてきた稲わらや間伐材、林地残材等の未利用バイオマスが積極的に市場に供給されることが予想される。さらにバイオマス価格が上昇すると、飼料作物の栽培をはじめ、より多くのバイオマスを生産するための産業が育成されることになる。

こうしたバイオマスの生産は主に農林漁村で行われるため、農林漁村には新たな雇用が創出されることになる。そして、こうした雇用の創出は農林漁村に新たな消費を生み出し、これによっても農林漁村の活性化に結びつく可能性を持っている。

3. 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。2.(2)でも説明した通り、バイオマス新技術が開発されると、これまで無価物として扱われてきたバイオマスが有価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。

表1 バイオマス利用技術

	用途	
	エネルギー	製品
実用化	直接燃焼 炭化 メタン発酵 エステル化	堆肥化 飼料化 再生木質ボード
開発中	ガス化 エタノール発酵	木質プラスチック

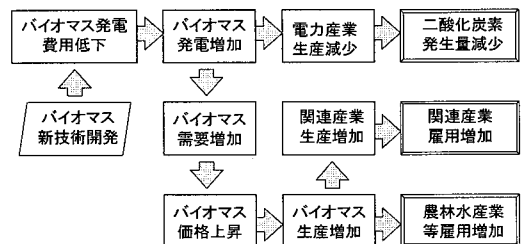


図1 バイオマス利用の普及によるインパクト

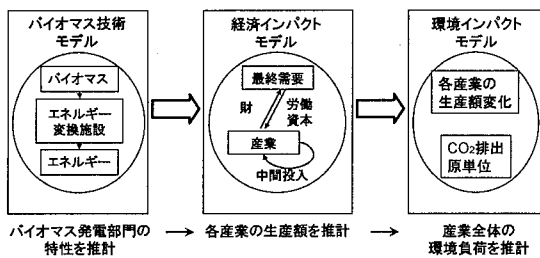


図2 モデルの全体構成

(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2)。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。

(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3)。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。

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

生産関数 f_j については、図4に示すような多段階の生

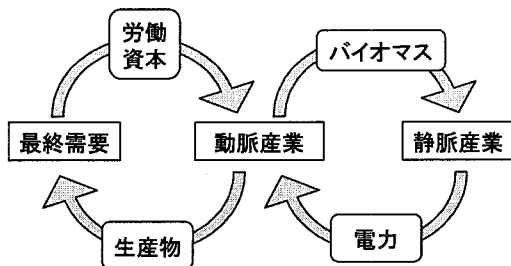


図3 経済主体と取引対象の関係

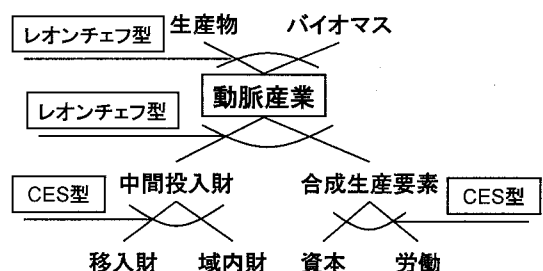


図4 電力部門と産業部門の生産関数

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の応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。

$$\begin{aligned} \text{Max } \pi_N &= p_p X_N - \\ &\left(\sum_i p_i D_{IN} + \sum_i p_i^M M_{IN} + p^L L_N + p^K K_N + p^B B \right) \quad (2) \\ \text{s. t. } f_N(X_N, D_{IN}, M_{IN}, L_N, K_N, B) &= 0 \\ X_N, D_{IN}, M_{IN}, L_N, K_N, B &\geq 0 \end{aligned}$$

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 5 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を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。

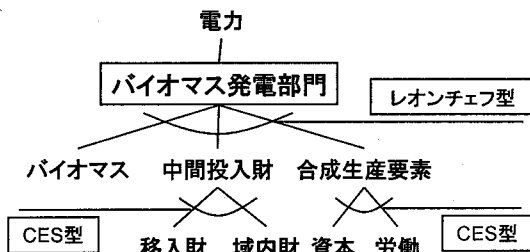


図5 バイオマス発電部門の生産関数

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、通常の応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6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。

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。

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

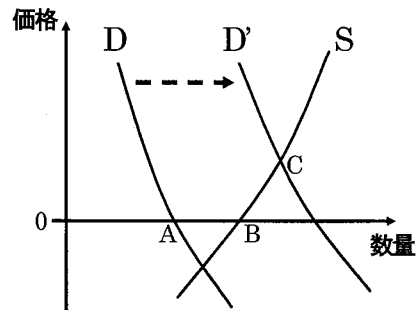


図6 新技術開発がバイオマス市場に与える影響

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として付録の方程式体系が得られる。したがって、式(A1)～(A33)から、変数 $X_j \sim p^B$ を求めればよいことになる。このとき、式(A1)～(A33)は相補性条件を含む混合相補性問題である。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⁹⁾。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た。

(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。

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

他方、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。

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

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。

4. 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⁹⁾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。

また、各産業のバイオマス排出量については、岐阜県廃棄物処理計画資料⁷⁾及び岐阜県間伐材利用事例集(案)⁸⁾の値を用いた。さらに、バイオマス発電部門の投入と産出については、(3)バイオマス技術モデルの作成の部分で説明する。

その他、経済インパクトモデルには、労働と資本の代替弾性値、域内財と移入財の代替弾性値が必要となるが、これらの値については代表的な応用一般均衡モデルである世界貿易モデル(GTAP)⁹⁾で採用されている日本の値を参考として設定した。

(3) バイオマス技術モデル

バイオマス技術モデルでは、現在、事業化されているバイオマス発電の費用と収入に関する情報を用いて、キャリブレーションを行った。

バイオマス発電の費用のうち、減価償却費、人件費、原料購入費については、「廃棄物発電導入マニュアル改訂版(資料編)」(NEDO)¹⁰⁾の発電システムデータベースに掲載されている発電システムの受注実績のデータを参考にして設定した。その他、バイオマスの収集費用については「平成12年度バイオマス資源の利用手法に関する調査」(林野庁)¹¹⁾を参考にして設定した。

また、バイオマス発電の収入を算出するためのパラメータについては、「やまぐち森林バイオマスエネルギー・プラン」(山口県)¹²⁾を参考にして設定した。

(4) 環境インパクトモデル

環境インパクトモデルでは単位生産当たりの環境負荷排出量の値が必要となる。このとき、二酸化炭素の排出量については、2000年産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)104部門版¹³⁾に基づき、8分類の生産額と二酸化炭素排出量を求め、その値から求めた。

また、バイオマス発電部門の二酸化炭素排出量原単位についてはゼロとみなした。本来、バイオマス発電部門はバイオマスの燃焼に伴い二酸化炭素を排出する。しかし、これらの二酸化炭素はバイオマスが生産される時に光合成によって大気中から吸収したものである。そのため、バイオマス発電に投入したバイオマスと同量のバイオマスを植林等によって生産すれば、バイオマス発電部門から排出される二酸化炭素排出をゼロとみなすことができる。また、産業連関表の仮定により、バイオマスの収集等に伴って排出される二酸化炭素は輸送サービスを供給する部門が排出するため、バイオマス発電部門には計上しない。

5. パイロットモデルの感度分析

(1) ケース設定

本研究では、岐阜県で作成したパイロットモデルの挙動を確認するため、新技術開発によってバイオマス発電部門の発電効率が向上した場合に、岐阜県がどのような

インパクトを受けるのかについて簡単な感度分析を行った。現在、バイオマス発電の発電効率は40%程度である。これに対してセラミックガスタービンをはじめとするバイオマス新技術開発が実現すれば、その発電効率は50%程度に向上すると言われている。さらに、燃料電池とガスタービンのハイブリッドシステム等の開発目標には、発電効率を70%まで向上させようとするものも見られる。そこで、本研究では発電効率が40%の場合(ケース1)、発電効率が50%まで向上した場合(ケース2)、発電効率が60%まで向上した場合(ケース3)、発電効率が70%まで上昇した場合(ケース4)の4つのケースを設定し、それぞれのインパクトについて岐阜県のパイロットモデルを用いて感度分析を行った。

(2) バイオマス発電の普及

図7は、バイオマス発電の発電効率の変化に伴ってバイオマス発電の年間発電量がどのように変化するかをシミュレーションした結果である。発電効率が40%の現状ではバイオマス発電量はゼロとなる。しかし、新技術開発により発電効率が50%まで向上すれば、バイオマス発電量は23,000万kWh(既存の電力部門の1.6%)となった。さらに、発電効率が60%、70%に上昇すると、バイオマス発電量は28,000万kWh(既存の電力部門の2.0%)、33,000万kWh(既存の電力部門の2.3%)まで増加した。このように新技術開発によってバイオマス発電の発電効率を上げることができれば、次第にバイオマス発電が普及する可能性を持っていること、中でも、発電効率を40%から50%程度まで上昇させることができれば、バイオマス発電は急速に普及していく可能性があること等が明らかになった。

(3) 経済インパクト

図8は、バイオマス発電の発電効率の変化に伴ってバイオマスの価格がどのように変化し、また、林業生産がどのように変化するかを分析した結果である。上述

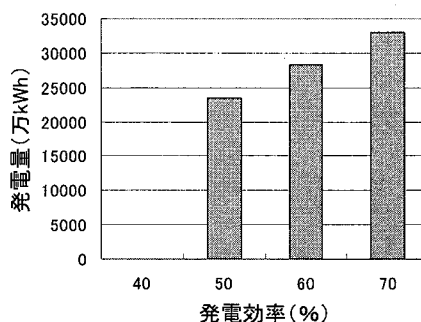


図7 バイオマス発電効率と発電量の変化

した通り、発電効率が 40%の現状では、バイオマスの供給は需要を上回り、市場取引の対象とはならない（価格はゼロである）。しかし、発電効率が 50%程度まで上昇すると、バイオマスに価格が付いて市場取引の対象となる。さらに、発電効率が 60%まで向上するとバイオマスは 6,000 円/t の価格で取引され、電効率が 70%まで上昇すると、その価格は 13,000 円/t まで上昇した。

他方で、こうしたバイオマス価格の上昇によって木質バイオマスを供給する林業の生産が増加する。発電効率が 50%の段階では林業生産の増加率は 0.1%と小さいが、発電効率が 60%、70%まで向上すると、林業生産の増加率は急速に高くなり、1.0%、2.4%まで増加した。つまり、(2)でも説明した通り、バイオマスの普及という観点から考えると、発電効率を 50%程度まで上昇させることが重要であるが、林業生産をはじめとする関連産業にも大きなインパクトを与えるためには、発電効率を 60%～70%まで向上させ、バイオマスがある程度の価格で取引されるような段階に入らなければならないことが明らかにされた。

(4) 環境インパクト

図 9 は、バイオマス発電の発電効率の変化に伴って岐阜県の産業全体が排出する二酸化炭素がどのように変化するかを示したものである。(2)でも説明した通り、バイオマス発電の発電効率が 40%から 50%まで上昇すると、バイオマス発電量が急速に増加する。これに伴って競合する既存の電力部門での電力生産が減少し、二酸化炭素の排出量が減少する。他方で、(3)でも説明した通り、発電効率が 50%の段階ではバイオマス生産に関連する産業へのインパクトは小さく、これによって新たに排出される二酸化炭素量は少ない。その結果、岐阜県の産業全体から排出される二酸化炭素量は 28,000 炭素 t（全産業の排出量の 0.5%）減少する。さらにバイオマス発電の発電効率が 60%、70%まで上昇すると、特に

バイオマスの生産に関連する産業で生産が増加し、これらの産業から排出される二酸化炭素量は増加する。しかし、化石燃料を投入して行われる既存の電力部門の生産が減少し、これに関連する産業も含めて二酸化炭素の排出量は減少する。その結果、岐阜県の産業全体では、発電効率 60%の場合、二酸化炭素の排出量は 33,000 炭素 t の減少、さらに、発電効率 70%の場合には、38,000 炭素 t 減少する。このように二酸化炭素の排出削減量を見ても、バイオマス発電の発電効率を 50%まで減少させると、二酸化炭素の排出量は大きく減少することが明らかになった。

6. おわりに

本研究では、バイオマス新技術開発が地域社会に与えるインパクトを把握するための分析手法の提案を行った。このインパクト分析手法の特長は、バイオマス発電部門のような静脈産業での新技術開発が地域社会に与える影響を分析できる点にある。バイオマス発電部門のような静脈産業で新技術が開発されると、化石燃料を利用した既存の電力部門の生産の一部がバイオマス発電部門の生産によって置き換わるだけでなく、バイオマスの需要が増加し、これまで廃棄物として扱われていたバイオマスが有価物として市場取引の対象となる。さらに、これによって新たなバイオマスの生産が始まり、これが関連産業にも影響を及ぼし、地域全体に多くのインパクトを与える。本研究で提案したインパクト分析手法では、バイオマス市場を相補性問題として定式化することにより、バイオマスが無価物から有価物に転換する状態を扱うことが可能になった。

また、論文の後半では、このインパクト分析手法を岐阜県に適用し、そのパイロットモデルを作成した。そして、このパイロットモデルの感度分析を行い、モデルの

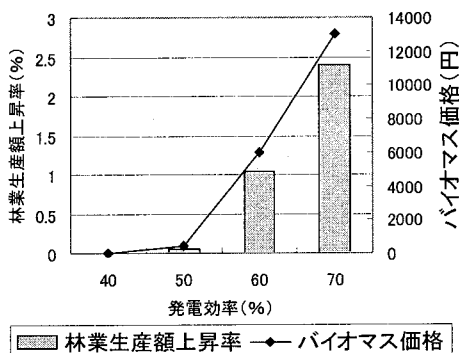


図 8 バイオマス価格と林業生産の変化

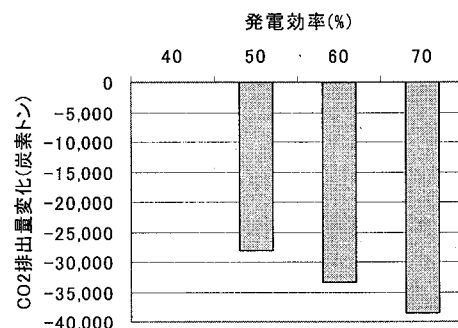


図 9 バイオマス発電効率と二酸化炭素排出量の変化

挙動を確認した。その結果、バイオマス発電部門の発電効率が現状の 40%から 50%程度まで上昇すると、バイオマス発電が急速に普及する可能性があること、しかし、発電効率を 50%まで上げて、バイオマスを生産する産業へのインパクトは比較的少ないこと、これらの産業にもインパクトを与えるためには、バイオマス発電の発電効率をさらに向上させる必要があることなどを明らかにすることができた。

しかし、本研究では岐阜県で簡単なパイロットモデルを作成し、その感度分析を行った段階に止まっているため、これを現実的な政策評価に結び付けていくためには、さらに多くの課題を解決しなければならない。例えば、現実の研究開発投資のインパクト分析を行うためには、新技術導入に必要な費用を詳細に検討し、これをバイオマス技術モデルの入力変数として与える必要がある。こうした新技術導入の費用については、新技術の普及に伴って量産効果が発揮され、設備の価格が急速に低下することも考えられる。また、こうした量産効果を生み出すために、新技術の普及段階に公的補助を実施することも考えられ、こうした補助の効果などについても明らかにしなければ、新技術導入に必要な費用のシナリオを与えることは難しい。今後は、これらに関してより現実的なシナリオを与えることで、さらに現実的な政策評価が可能になるものと考えている。

付録 経済インパクトモデルの方程式体系

<電力部門と産業部門>

$$X_j = \frac{\bar{X}_j}{\bar{Y}_j} \cdot Y_j \quad (A1)$$

$$B_j = \frac{\bar{B}_j}{\bar{Y}_j} \cdot Y_j \quad (A2)$$

$$Z_{ij} = \frac{\bar{Z}_{ij}}{\bar{Y}_j} \cdot Y_j \quad (A3)$$

$$D_{ij} = \frac{\bar{D}_{ij}}{\bar{Z}_{ij}} \cdot \left(\frac{p_{ij}^Z}{p_i} \right)^{\sigma_i} \cdot Z_{ij} \quad (A4)$$

$$M_{ij} = \frac{\bar{M}_{ij}}{\bar{Z}_{ij}} \cdot \left(\frac{p_{ij}^Z}{p_i^M} \right)^{\sigma_i} \cdot Z_{ij} \quad (A5)$$

$$F_j = \frac{\bar{F}_j}{\bar{Y}_j} \cdot Y_j \quad (A6)$$

$$L_j = \frac{\bar{L}_j}{\bar{F}_j} \cdot \left(\frac{p_j^F}{p^L} \right)^{\sigma_j} \cdot F_j \quad (A7)$$

$$K_j = \frac{\bar{K}_j}{\bar{F}_j} \cdot \left(\frac{p_j^F}{p^K} \right)^{\sigma_j} \cdot F_j \quad (A8)$$

$$p_j \cdot X_j + p^B \cdot B_j = \sum_i p_{ij}^Z \cdot Z_{ij} + p_j^F \cdot F_j \quad (A9)$$

$$p_{ij}^Z \cdot Z_{ij} = p_i \cdot D_{ij} + p_i^M \cdot M_{ij} \quad (A10)$$

$$p_j^F \cdot F_j = p^L \cdot L_j + p^K \cdot K_j \quad (A11)$$

<バイオマス発電部門>

$$Z_{iN} = \frac{\bar{Z}_{iN}}{\bar{X}_N} \cdot X_N \quad (A12)$$

$$D_{iN} = \frac{\bar{D}_{iN}}{\bar{Z}_{iN}} \cdot \left(\frac{p_{iN}^Z}{p_i} \right)^{\sigma_i} \cdot Z_{iN} \quad (A13)$$

$$M_{iN} = \frac{\bar{M}_{iN}}{\bar{Z}_{iN}} \cdot \left(\frac{p_{iN}^Z}{p_i^M} \right)^{\sigma_i} \cdot Z_{iN} \quad (A14)$$

$$F_N = \frac{\bar{F}_N}{\bar{X}_N} \cdot X_N \quad (A15)$$

$$L_N = \frac{\bar{L}_N}{\bar{F}_N} \cdot \left(\frac{p_N^F}{p^L} \right)^{\sigma_N} \cdot F_N \quad (A16)$$

$$K_N = \frac{\bar{K}_N}{\bar{F}_N} \cdot \left(\frac{p_N^F}{p^K} \right)^{\sigma_N} \cdot F_N \quad (A17)$$

$$B = \frac{\bar{B}}{\bar{X}_N} \cdot X_N \quad (A18)$$

$$p_P \cdot X_N = \sum_i p_{iN}^Z \cdot Z_{iN} + p_N^F \cdot F_N \quad (A19)$$

$$p_{iN}^Z \cdot Z_{iN} = p_i \cdot D_{iN} + p_i^M \cdot M_{iN} \quad (A20)$$

$$p_N^F \cdot F_N = p^L \cdot L_N + p^K \cdot K_N \quad (A21)$$

<域内最終需要部門>

$$I = p^L \cdot L + p^K \cdot K \quad (A22)$$

$$Z_{iH} = \frac{\bar{Z}_{iH}}{\bar{I}} \cdot \frac{I}{p_{iH}^Z} \quad (A23)$$

$$D_{iH} = \frac{\bar{D}_{iH}}{\bar{Z}_{iH}} \cdot \left(\frac{p_{iH}^Z}{p_i} \right)^{\sigma_i} \cdot Z_{iH} \quad (A24)$$

$$M_{iH} = \frac{\bar{M}_{iH}}{\bar{Z}_{iH}} \cdot \left(\frac{p_{iH}^Z}{p_i^M} \right)^{\sigma_j} \cdot Z_{iH} \quad (A25)$$

$$p_{iH}^Z \cdot Z_{iH} = p_i \cdot D_{iH} + p_i^M \cdot M_{iH} \quad (A26)$$

<域外最終需要部門>

$$E = \sum_i \sum_j p_i^M \cdot M_{ij} + \sum_i p_i^M \cdot M_{iB} + \sum_i p_i^M \cdot M_{iH} \quad (A27)$$

$$D_{iE} = \frac{\bar{D}_{iE}}{\bar{E}} \cdot \frac{E}{p_i} \quad (A28)$$

<市場条件>

$$X_i = \sum_j D_{ij} + D_{iB} + D_{iH} + D_{iE} \quad (i \neq P) \quad (A29)$$

$$X_P + X_N = \sum_j D_{Pj} + D_{PB} + D_{PH} + D_{PE} \quad (A30)$$

$$L = \sum_j L_j + L_B \quad (A31)$$

$$K = \sum_j K_j + K_B \quad (A32)$$

$$\begin{cases} p^B = 0, & \sum_j B_j \geq B \\ p^B > 0, & \sum_j B_j = B \end{cases} \quad (A33)$$

$$p_i^M = 1 \quad (A34)$$

ここで、上付きの変数（例えば、 $\bar{X}_j$ ）は基準均衡時の値を示す。

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テクニーク,第1巻,第1号,1989.
- 3) 穴戸俊太郎：技術革新とI-O分析,イノベーション&I-Oテクニーク,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テクニーク,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
- 13) 南齋規介・森口祐一・東野達：2000年産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)104部門版,独立行政法人国立環境研究所 地球環境研究センター,2002

A METHOD FOR IMPACT ANALYSIS OF NEW BIOMASS TECHNOLOGIES

Takaaki OKUDA and Satoshi HIDESHIMA

The biomass utilization is not common due to insufficient development of its technology. To promote the utilization and benefits of biomass, it is necessary to develop a new technology and ensure its high economical efficiency. As heavy investments are required for the development of new technologies, it is necessary first to clarify the influence economy and the environment by the technology. Then, we suggest the method of analyzing the impacts of the new technology concerning biomass. We also analyzed its potential for Gifu Prefecture. The result shows that when a supplementary rate of the facilities construction cost is 50%, biomass utilization begins if the power generation efficiency rises to 50%. If the efficiency rises further, this will have a positive impact on the forestry production.