特集「バイオマス利活用の評価」

解説

地域でのバイオマス利活用事業の評価

美濃輪 智朗

Estimation of Biomass Utilization at Rural Area

Tomoaki MINOWA

Synopsis: The objective of this commentary is to review the researches and/or methodologies for the estimation of biomass utilization at rural area. The purpose of the estimation is divided to the business of one stakeholder, the businesses of several stakeholders, the finding resource/conversion and consensus forming, the energy-economic model, and the ripple effect using Input/Output tables. Recently, the estimation of the effect for the policy purpose in Biomass Nippon Strategy is required. The estimation methodology should be developed for the several policy items.

Keywords: Biomass utilization; estimation methodology; rural area

1. はじめに

バイオマスの利活用には大規模な産業利用と小規模な利用の両方の側面があると思われる。大規模な産業利用では、例えば数万haのプランテーションでサトウキビやトウモロコシを栽培して、バイオエタノール燃料を製造するような利用方法や年間数十万 m^3 の木材を利用して発電やペレット生産を行う利用方法がイメージされる。これに対して小規模な利用では、身近にあるバイオマス、主に有機性廃棄物や未利用バイオマスをエネルギーや再生品（コンポスト等）として利用するイメージである。現在、日本ではバイオマス・ニッポン総合戦略（2002年12月27日閣議決定、見直し2006年3月31日閣議決定）が策定され、バイオマス活用推進基本法（2009年9月12日施行）が施行。本法に基づいてバイオマス活用推進基本計画（2010年12月17日閣議決定）が発表され、600市町村においてバイオマス活用推進計画を策定することが目標として掲げられている。本年6月現在、8県323市町村で地域バイオマス活用推進計画・バイオマスタウン構想が策定されている。すなわち、日本ではバイオマスの利活用は小規模な利用を目指している。小規模な利用の場合、大規模な利用に比べて経済性の観点から課題を抱えることになる。例えば、大規模で行われているバイオエタノール燃料生産を小規模で行っても、経済性の点で太刀打ちできない。そのため、バイオマス利用という廃棄物処理だったりして、経済性を補う別の価値観（廃棄物処理の場合は安全衛生という価値観）に

頼ることになる。

バイオマス活用推進基本法では、バイオマスを活用する目的として、地球温暖化防止、循環型社会形成、産業発展、国際競争力強化、農山漁村活性化、食糧安定供給、環境保全が謳われている。したがって、これらの目的に対してどの程度貢献しているのかという観点での評価が重要、必要となってくる。本記事では、バイオマス利活用事業の評価に係わる研究やモデルを紹介することで、地域で行われる小規模なバイオマス利活用の事業をどのように捉えて、どのように評価すればよいか、またそのための方法論とは何か、考えてみたい。

2. 評価手法

2.1 変換事業に関する評価手法

評価には事前評価、事後評価があり、またその対象や評価範囲も1事業なのか複数事業なのかで様々なものがある。ここではまず主にバイオマス変換に係わる事業の評価、主に事前評価に係わるものを紹介する。

著者らは「簡易経済性シミュレーション」を公開・配布している (http://unit.aist.go.jp/btrc/simulation/systemteam_gaiyou.html)。これはバイオマス燃焼発電、熱利用、メタン発酵を行う3種類の変換事業の経済性を簡易的に計算するシミュレータである。本シミュレータは既報の報告書等の情報を基準に作成されたもので^{1, 2)}、バイオマスの種類と量、利用方法（代替物や価格）を入力する

と、経済性は、原料価格（あるいは引取価格）に対する単純投資回収年（建設費を年間収支（電力収入から保守・人件費、原料代を差し引いたもの）で割ったもの）やIRR（内部利益率）などで示される。エネルギー代替によるCO₂削減量も計算される。入力項目が少ないため簡便に利用できるものの、精度は高くない。

復建調査設計（株）は「バイオマス利活用支援システム」を公開・配布している（http://www.fukken.co.jp/solution/solution_3_14_03.htm）。これは農林水産省平成19年度知識集約型産業創造対策事業で、東京大学（山地教授、山本准教授）、筑波大学（内山教授）及び広島大学（松村教授）との共同研究で開発されたものである³⁾。木質バイオマスのガス化発電事業及びボイラー発電事業、農産バイオマス及び資源作物のバイオエタノール化の4種類の事業を対象として経済性分析及び環境負荷評価を行うものである。特徴としては、全国の市町村毎（平成19年9月末時点）にバイオマス賦存量をデータとして用意していること、事業化に向けたアドバイスを提示することが上げられる。アドバイスの提示は、アンケート及びヒアリング調査を行い、得られた課題と解決する工夫を原料、エネルギー転換、エネルギー利用、経済性、その他に分類整理して、事業収支、事業リスク、キャッシュフローに対するアドバイスとして提示するシステムを構築している。また、事業収支の検討条件や原料調達コストの検討条件を細かく入力することができるので、精度のある検討も可能となっている。

2.2 バイオマス資源に着目した評価手法

バイオマスの利活用を行う場合、コストと調達可能量の観点を含めた原料の確保が重要になる。特に地域でバイオマスを利活用する場合には、その地域でどのようなバイオマスがあるのかを把握したうえで利用方法を考えることが必要である。このようなバイオマス資源に着目した評価手法として、バイオマス資源循環利用診断モデルとPEGASUS (Public Energy/Environment Giga-Analyzer for Sustainable Society) という評価システムを紹介する。

バイオマス資源循環利用診断モデルは独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所の柚山義人をリーダーとして開発されたもので、1～数市町村という地域レベルを対象にバイオマス資源の循環・利用に係わるビジョン策定を支援するツールである⁴⁾。本モデルでは、地域を「農地」、「畜産施設」、「人間の居住空間」、「バイオマス変換施設」、「食品産業」、「水域」、「大気」等のコンパートメントに分割し、各々のコンパートメントでのバイオマスの賦存量と発生量（生産量）、コンパートメント間での移動量を、生重量、窒素、リン、カリウム、炭素について月別に計算するものである（図1）。かなり複雑なモ

デルとなっており、入力する項目も多くなっているが、2～3日の講習会で操作を習得できるとしている。「バイオマス変換施設」として、堆肥化、メタン発酵、炭化、飼料化、バイオディーゼル燃料（BDF）化、直接燃焼、ガス化、固形燃料化について検討を行い、炭素、窒素、リン、カリウムの物質収支、及びエネルギー収支を整理している。作成したモデル地域で、「バイオマス変換施設」の種類を変えたり、フロー量を変えたりして、炭素、窒素、リン、カリウム及びエネルギー収支を分析することで、その地域に合った利活用方法を考えることができることになる。

循環型地域システム創造支援ツールPEGASUSは東京農工大学、文部科学省リーディングプロジェクト「一般・産業廃棄物・バイオマスの複合処理・再資源化プロジェクト」プロセスグループ（リーダー：堀尾正鞠東京農工大学教授）で開発されてきた評価システムである（<http://www.pegasus-web.org/>）^{5,6)}。バイオマスだけでなく、地域に存在する自然エネルギーの利活用を考え、かつ合意形成を図るための支援ツールである。現在は、PEGASUS（生存のための公共的横断型システム）研究会が本ツールの普及を行っている。操作はホームページで行われるので、誰でも簡単にアクセスできる。検討したい地域を選択した後、GIS画面上で視覚的に操作が可能で、デフォルトで用意されている資源、変換、利用のアイコンを配置し、コネクターで結ぶだけの非常に簡便な操作となっている（図2）。もちろん、より詳細な資源設定や新規の変換方式も設定可能である。市町村よりも更に絞り込んだ地区・集落レベルでのシミュレーションも可能となっている。バイオマス資源に関しては、デフォルトとしてNEDOのバイオマス賦存量・利用可能量の推計 GISデータベース（<http://appl.infoc.nedo.go.jp/biomass/>）を組み込んでおり、初期検討では資源量調査は不要である。本ツールの使用にあたっての活動では、ユーザー自身による地域資源の発見（あるものの探し）と多様なステークホルダー（専門家、行政、住民）間の合意形成のプラットフォームとすることに力点が置かれている点に大きな特徴がある。

2.3 複数事業の評価手法

バイオマスの利活用では、そのステップとして、収集、変換、輸送、利用の各段階があり、その一つ一つに別々のステークホルダーが居て、複数の事業が繋がっていることが多い。上述した評価モデルは、変換・利用を中心に経済性や環境性を評価するものである。これに対して、複数の事業をまとめて評価することを目指したものがある。

一つには著者らが開発してきたバイオマス会計表である（http://unit.aist.go.jp/btrc/systemteam-kaikeihyou/systemteam_kaikeihyou.html）⁷⁾。バイオマス利活用事業

図1 バイオマス資源循環利用診断モデルの標準フロー図⁴⁾

のデータ（物品量と金額）を会計表に入力することで、その経済収支やGHG (CO₂) 収支、その他の評価軸で事業効果を分析するもので、近年、広く行われている環境会計や環境レポートのバイオマス版である。バイオマス会計表の構造と分析事例を図3に示す。PDCAサイクル（計画、実行、評価、改善）におけるCheck（評価）の支援ツールとして開発してきたが、想定値・計画値を入力することでPlan（計画）の評価としても使うことは可能である。特徴としては、1事業だけでなく複数の関連事業を集計することで、全体（例えばバイオマスタウン全体）としての効果を把握、分析することができること、無償での物品のやり取りなど間

接的な収益、効果の分析も考慮していること、環境性評価には原単位を組み込み、自動で計算できること、ソフトには代表的な利活用事例（14種）のシナリオを用意しているなどが挙げられる。特に、複数の関連事業を集計することは、費用対効果において直接効果は少なくとも間接効果が大きいかもしれない事例を分析できることになる。元々、バイオマス変換事業はなかなか経済性が成り立たないことが多いことから、バイオマスを供給する事業や変換したエネルギー等を利用する事業も含めて分析すれば、全体としては経済性が成り立っているかもしれないという発想から開発を行ったものである。

図2 PEGASUSのGIS画面例(著者作成)

図3では事業収支、CO₂収支、バイオマス利用率、化石資源の代替率という評価項目での分析事例を示している。この他にも人件費を集計することで雇用費用、雇用人数で評価することもできる。さらに、計測可能なものであれば、社会的な側面も評価でき、例えば環境教育事業への参加者やバイオマス収集ボランティア活動への参加者を集計することで、啓蒙普及効果の目安として参加者数、参加者率で評価することもできる。

複数の関連事業を評価する手法として、社団法人地域環境資源センター (JARUS) で開発されたセクター分析がある⁸⁾。これはバイオマス利活用施設整備における費用対効果算定手法として開発されたものであり、導入したバイオマス利活用施設整備に関係する利害関係者 (ステークホルダー) をセクターと呼び、各々のセクターで、施設整備の有り無しでのコストと便益を算出して、全体での費用対効果を分析するものである (図4)。便益には設備整備により新たに生まれる社会的効果も含まれており、基本的に

は全てを金額に換算して集計する。

2.4 その他の評価研究事例

その他にエネルギー経済モデルを用いた地域でのバイオマス利用の評価や産業連関表を用いたバイオマス利用の評価等の研究事例がある。

エネルギー経済モデルは一般的には1国や世界などのマクロでの解析、評価に用いられる場合が多いが、東北大学の中田俊彦らは地域レベルでのバイオマス利活用システムのエネルギー経済モデルやマーケットシェアリングモデルを構築し、最適システムの提案、解析、評価を行った^{9,10)}。また、変換施設の最適配置問題の解析、評価も行っている¹¹⁾。

産業連関表は、一定期間 (通常1年間) に行われた財・サービスといった産業間取引 (生産ではどの産業からどれだけ原料等を入手し、賃金等を払っているか、販売ではどの産業に向けて製品を販売しているか) を一つの行列 (マトリックス) に示した統計表で、経済構造の把握、生産波

直接収益: ある事業の活動によって発生するその事業の収益

間接収益: ある事業の活動によって発生する他事業の収益(事業の(経済的)外部性)

図3 バイオマス会計表の構造と分析事例

及効果(経済性や雇用など)の計算などに利用される。日本では総務省が中心となり5年毎に関係府省庁の共同事業として作成されている。LCAの分野でも環境負荷原単位データブック(3EID)をはじめとした産業連関表を用いた多くの研究がある。

バイオマス利活用においても産業連関表を用いた分析

事例はあり、国光らはタイにおけるもみ殻発電事業の分析¹²⁾を、著者らも日本にもみ殻発電を導入した場合の分析¹³⁾を行っている。地域におけるバイオマス利活用の産業連関表を用いた分析としては、保永は北海道を対象として農業有機質資源の循環利用の分析¹⁴⁾を、本藤らは沖縄でのバイオエタノール事業を事例に分析¹⁵⁾を行っている。

図4 セクター分析の概念図⁸⁾表1 バイオマス活用基本計画の3つの柱と評価指標との関係¹⁶⁾

	バイオマス活用推進基本計画の3つの柱		
	農山漁村の活性化	産業の発展及び国際競争力強化	地球温暖化防止及び循環型社会の形成
1. 物量に特化した評価指標			
(1) 廃棄物処理量の削減			●
(2) 資材(化学肥料・プラスチック等)、燃料(ガソリン・軽油等)の代替量		●	●
(3) CO ₂ の排出削減量			●
(4) 地産地消率	●		○
(5) その他物量に関連する指標	—	—	—
2. 経済的效果に関連する評価指標			
(1) 新規雇用創出量	●	●	
(2) 経費削減効果	●	●	
(3) 農林漁業の振興・活性化	●		
(4) その他経済的效果に関連する指標	—	—	—
3. その他			
(1) 環境学習	○		●
(2) 情報発信	●	●	●

凡例：発現する（期待される）効果との関連性の高い順に●、○とした。

3. これからの地域でのバイオマス利活用事業の評価のありかた

2011年2月に総務省がバイオマスの利活用に関する政策評価＜評価結果及び勧告＞を発表し、「バイオマス・ニッポン総合戦略」政策の有効性や効率性を検証するためのデータがこれまで十分に把握されていなかったことが指摘された。一部ではバイオマス利活用事業はダメという理

解となってしまった。あまり知られていないが、これに対して2011年12月に＜勧告に伴う政策への反映状況（回答）＞が発表されている。この回答の中には、「政策のコスト等の点検結果を平成23年度結果から毎年度公表予定」「市町村による取組の自主的な検証に資するマニュアル（「市町村バイオマス活用推進計画検証マニュアル」）を平成23年度末までに作成し、関係市町村等に提示予定」と

の記載があり、2011年3月に「市町村バイオマス活用推進計画 検証マニュアル骨子案」¹⁶⁾ が発表されている。検証マニュアル骨子案では様々な評価指標を提案しており、その評価指標を政策目的である農山漁村の活性化、産業の発展及び国際競争力強化、地球温暖化防止及び循環型社会の形成のどれに該当するものであるかを整理している(表1)。また、それぞれの評価指標の計測方法についても検証マニュアル骨子案の中に記載されている。

これからの評価では、製造コスト(経済性)やGHG排出量(環境性)の算出だけでなく、様々な観点からの評価指標の算出が求められるだけでなく、それが政策目的あるいは事業目的に沿った評価指標となっているかどうかを議論する必要がある、また新たな計測方法を開発する必要もある。さらに、新規雇用創出量を1事業で見るのか、複数事業で見るのか、あるいは産業連関表を活用して産業創出の観点から新規雇用量を計測するのか、といった評価範囲の議論も必要であろう。民間企業を中心として行われている事業であれば経済性が優先されることになるだろうし、NPOなどが中心となっている事業においては「地域の誇り」や「自然を残す」といった計測が困難であることが重要な目的となっていることもある。もちろん公共事業として行われている場合は、政策目的(バイオマスの場合は複数の政策目的がある)に対する効果を計測、評価、発表することが不可欠となっている。

4. おわりに

地域におけるバイオマス利活用は、その地域毎にバイオマス種も異なれば利活用法も異なり、さらに実施目的も異なってくる。また多くのステークホルダーが関与するという特徴もある。現在、様々な評価指標の開発、計測方法の開発が求められており、評価研究の役割は大きい。合意形成や説明責任に資する評価方法の研究開発が必要となっている。

(平成24年7月30日受付)

参考文献

- 1) 美濃輪智朗, 藤本真司, 隈部和弘, 柳田高志, 福田哲久, 矢部彰 (2006): 第15回日本エネルギー学会大会講演要旨集 (15), 東京, 223-224
- 2) 藤本真司, 柳田高志, 朝野賢司, 福田哲久, 美濃輪智朗, 矢部彰 (2007): バイオマス科学会議発表論文集 (2), 広島, 128-129
- 3) 井上陽仁, 縄田大輔, 高濱繁盛, 松村幸彦, 山地憲治, 山本博巳, 内山洋司 (2009): 日本エネルギー学会誌, 88 (10), 884-893
- 4) 農林水産省農林水産技術会議事務局 (2008): 農林水産

バイオリサイクル研究－施設・システム化チーム－研究成果466, 152pp.

- 5) 堀尾正靱, 千賀裕太郎, 小林久, 志賀光洋, 日高正人, 岡田久典 (2007): バイオマス科学会議発表論文集 (2), 広島, 48-49
- 6) 重藤さわ子, 堀尾正靱 (2009): バイオマス科学会議発表論文集 (4), 北見, 6-7
- 7) ベスピャトコリュドミラ, 多田千佳, 柳田高志, 佐賀清崇, パウティスタエルマー, 藤本真司, 美濃輪智朗 (2009): 日本エネルギー学会誌, 88 (12), 1081-1094
- 8) 岡庭良安, 成田康信, 山田耕士, 中嶋康博 (2006): 農業土木学会全国大会講演要旨集, 草津, 404-405
- 9) 久保一雄, 中田俊彦 (2004): 日本エネルギー学会誌, 83, 1013-1020
- 10) 八木賢治郎, 中田俊彦 (2006): 日本エネルギー学会誌, 85, 451-460
- 11) 伊藤吉紀, 中田俊彦 (2008): 日本エネルギー学会誌, 87, 56-67
- 12) 国光洋二, 上田達己 (2006): 地域学研究, 36 (3), 561-573
- 13) 多田千佳, 柳田高志, 佐賀清崇, ベスピャトコリュドミラ, パウティスタエルマー, 藤本真司, 美濃輪智朗 (2009): 日本エネルギー学会誌, 88 (10), 869-876
- 14) 保永展利 (2006): 地域学研究, 36 (3), 611-620
- 15) 菊地克行, 本藤祐樹 (2011): 日本エネルギー学会誌, 90 (7), 643-653
- 16) 株式会社三菱総合研究所 (2011): 農林水産省委託事業 平成22年度バイオマス利活用加速化事業のうち市町村バイオマス活用の検証手法検討事業 市町村バイオマス活用推進計画 検証マニュアル骨子案, 46pp.