

バイオマス利活用（その1） バイオマス利活用のための地域診断

*Toward the Holistic Use of Biomass Resources(1)
Region-based diagnosis for the holistic use of biomass resources*

柚山 義人[†]
(YUYAMA Yoshito)

講座の趣旨

農業土木学会誌編集委員会講座小委員会

バイオマスの利活用は、農業を軸とした資源循環や環境保全に貢献し、農業と工業分野の協働を含む産学官・市民の連携による持続可能な地域社会の構築に大きな役割を果たす活動です。2000年5月の循環型社会形成促進基本法の制定や2002年12月のバイオマス・ニッポン総合戦略¹⁾の策定等がその活動を後押ししています。バイオマスのエネルギー変換は地球温暖化防止対策になる場合があり、京都議定書が2005年2月16日に発効したのを受けて進むと思われれます。開発した技術を外国へ導入して施策を講じると、京都メカニズム²⁾に基づき、共同実施(JI)、クリーン開発メカニズム(CDM)の対象となり、温室効果ガス削減量としてカウントされます。

バイオマスの利活用は、現在の価値基準で採算がとれなくとも、外部不経済の解消が必要な時代にあって環境保全に資する方法で進める必要があると考えます。これまでのバイオマスに係る事業制度は、ソフト、ハード事業とも多岐にわたっていましたが、農林水産省関連分は平成17年度から「バイオマスの環づくり交付金」に一本化されました。これにより、地域に柔軟な裁量が委ねられるとともに、より確実な成果が求められます。

農業土木学会では、計画基準改定調査(農村環境整備)部会の有機性資源循環利用施設分科会(増島博委員長)において、同施設に対する土地改良事業計画指針(案)³⁾を策定しています。農林水産技術会議事務局では、プロジェクト研究「農林水産バイオリサイクル」を実施しています。科学技術振興調整費を用いた「ASEANバイオマス研究開発総合戦略」も進んでいます。

このような背景の中で、講座「バイオマス利活用」を開始します。本講座は、バイオマスの利活用へ向けての総力を結集した活動を研究面から支援すべく、わかりやすく整理した基礎知識や情報を提供することを目的とし

ています。本講座を通して、バイオマス利活用に対する関心が一層高まり、農村が豊かで美しくなるような具体的な活動が増えることを期待しております。本講座は、次に示す8回のシリーズで構成する予定です。

- (その1) バイオマス利活用のための地域診断
- (その2) 堆肥化技術
- (その3) メタン発酵技術
- (その4) 炭化技術
- (その5) バイオマスの新しい変換技術
- (その6) バイオマス再生資源の需要量予測
- (その7) バイオマス利活用の評価手法
- (その8) バイオマス利活用の展望

1. バイオマス利活用のイメージをつかもう

バイオマス(Biomass)は、そもそも生物による大気圏、水圏、土壌圏に広く分散して存在している物質の集積・改質・合成という営みによってつくられる。植物は光と水と二酸化炭素を用い、光合成によって有機物を生産する。根粒菌は空中窒素を固定する。食物連鎖を通して物質の集積が進む。死滅した生物は土壌微生物が分解し、植物が養分として吸収できるようにする。物質の移動量として、人為によるものが圧倒的に多いとしても、それは局所的で特定物質に限られたものであり、種の存続や生態系保全に欠かせない広範な物質移動は、自然界の生物のみが担える機能である。

本講座では、「バイオマス」をバイオマス・ニッポン総合戦略により「再生可能な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」と定義する。この定義は、人間による利用に力点を置いたものと言える。具体的には、家畜ふん尿、食品廃棄物、生活系廃水汚泥、農作物非食用部、林地残材、資源作物等をバイオマスと呼ぶ。これらは、ポテンシャルとしてのバイオマス資源と理解すべきである。人間が介在したバイオマスは、収集、再資源化(変換)して価値が生じ、資源と呼べる状態になる。

[†](独)農業工学研究所



バイオマス・ニッポン総合戦略, 物質循環, モデル, 評価指標, 安全性

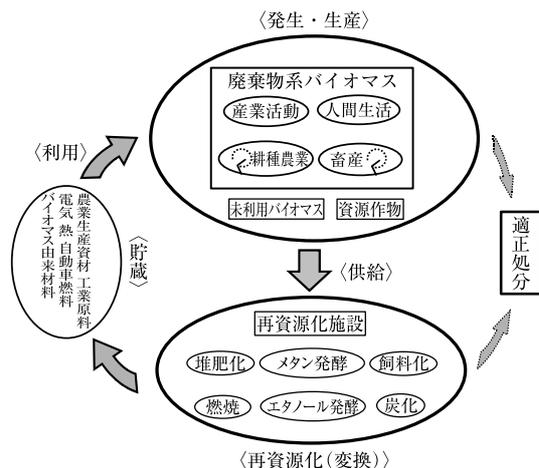


図1 バイオマス利活用のイメージ

バイオマスを再資源化して利用するイメージは、図1に示すとおりである。再資源化には、いわゆる廃棄物処分の側面が強いもの、および新たなマテリアル・エネルギー生産の側面が強いものがある。個別再資源化技術については、堆肥化、メタン発酵、炭化などの従来技術が需要者ニーズに合うように改良されてくるとともに、各種の新しい技術が開発され実証試験が始まっている。

II. バイオマス利活用の構想策定に当たって

バイオマス利活用の推進⁴⁾に当たっては、持続的な地域資源の管理、信頼できる運営組織、確実な再生資源の需要および輸送が重要である。構想や計画づくりの主体（推進役、担当者）は多様であり、多くの機関・組織が関わる。バイオマスの利活用は地域特性に大きく委ねられ、地域独自の創意工夫や合意形成を図っていくプロセスが大切である。住民やNPOが主体の場合もあるし、行政または企業が主体の場合もある。対象とするバイオマスの種類、再資源化の方法も千差万別である。

構想作成の初期段階では、何をしたいか、何をすべきかを明確にすることが重要である。東京農業大学の増島博客員教授は、手順をVSP（Vision Scenario Program）と表現した。あるべき地域の姿を描くことから始め、しっかりした理念をもたないと、目的と手段を取り違えかねない。先行事例に学び、情報をうまく活用しつつ、オンリーワンの構想を立てるという気概が必要である。構想・計画づくり、バイオマス変換プラントの建設、運営の各段階において中心となる主体は異なり、先の長い活動となる。このため、構想づくりの段階から、目標年次、スケジュール、後継者、達成感を味わえるインセンティブの維持を意識することが望まれる。

各種の交付金や補助金などの公約資金を活用するかど

うかは、1つの分岐点となる。公的資金を使うとより強い説明責任が生じる。地域住民やNPOからの発意の場合は、行政との連携を駆動力にできるという側面がある。一方、公的資金の活用では、独創性が損なわれたり経費が高んだりする側面があるとの指摘もある。

III. 地域診断により構想や計画を煮詰めよう

バイオマスの利活用は、輸送や地縁・生活圏の問題から、おおむね30km以内の空間規模で議論が進むことが多いと思われる。どのような構想や計画についても、提案・企画者自ら、または地方自治体等の担当部署は、現状を正しく認識した上で、構想や計画の効果や正負の影響を早い段階で分析する必要がある。ここでは、この作業を「地域診断」と呼ぶ。地域診断の目的は、バイオマスの利活用が持続的で健全であるかを見極め、何か問題があれば別の方法の検討につなげることにある。このため、複数案の比較、対象地域の範囲の検討、再資源化方法や組合せの検討、再資源化施設の規模・配置および機能分担の検討、需要と供給の量および時空間バランスの確認などを行う。

必要な地域情報は、地域に存在するバイオマスの種類、賦存量、発生・生産量、移動量、再生資源の利用量およびそれらの時空間分布等である。これらは、既存の統計データ、研究成果、聞き取り、補完的な現地調査によって収集する。現状把握は、物質循環の状況を概略的かつ網羅的に捉えることから始め、計画策定に大きく関わる項目について精緻化を図る。再生資源の需要量ポテンシャルと実際に利用できる量には大きなギャップがある場合が多いので、需要量予測は慎重に行う必要がある。

農地における健全な物質循環という観点では、農地内に適正量の窒素（N）、リン（P）、カリウム（K）、炭素（C）が存在し作物に有効に吸収されること、それらが過剰に環境中へ排出されないことが重要である。バイオマスエネルギーを効率的に獲得するシステム構築が目指される場合には、エネルギー源である炭素とともに収奪されるN、P、Kが安全かつ有用な形で土壌に戻される方法が組込まれている必要がある。堆肥やメタン発酵消化液（液肥）を農地に施用する場合には、N、P、Kの1つが必要量に達した時点で、成分を自由に調整できない堆肥等の供給は制限し、不足成分は単肥の化学肥料で補うことになる。たとえば、液肥の窒素濃度および施用量の上限は、作物の吸収特性および窒素耐性、地下水の硝酸汚染を招かないための溶脱量の限度などにより規定される。原田⁵⁾によると、水稻作における上限は約150

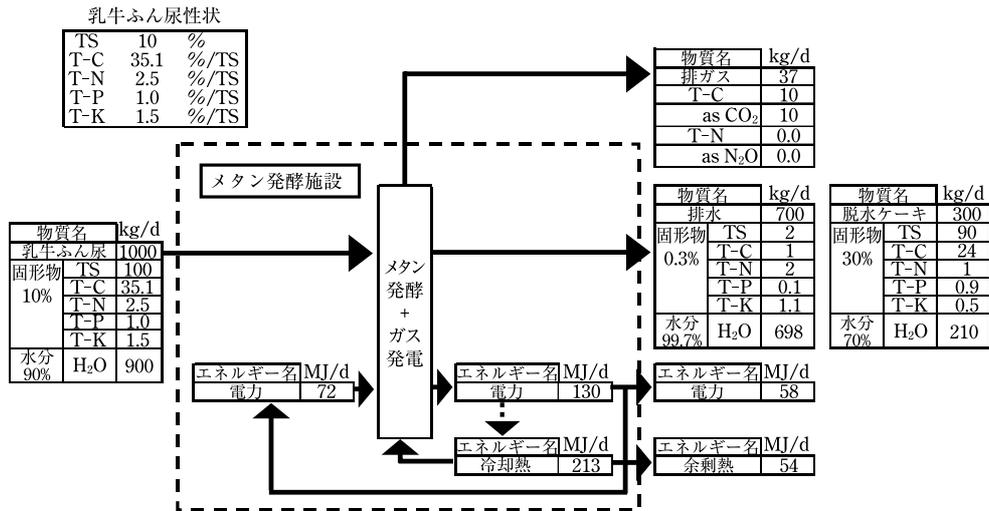


図 2 乳牛ふん尿を原料とするメタン発酵(25 t/日規模)の特性評価⁶⁾

kgN/ha/年である。水稻を除く作物での上限は、作付け回数や作物の吸収量により異なるが、耕作地面積当たり250~400 kgN/ha/年程度である。堆肥等の肥効率は種類によって大きく異なり、連用により上昇することから、モニタリングに基づき土壌診断を行いながら施肥量を調整すべきことを認識しておく必要がある。

各種バイオマスの再資源化に関する情報としては、何を原料に、どのくらいの量から、何がどのくらい生成できるか、そのために必要なエネルギーはいかほどか、環境への負荷はいかほどかなどが必要である。図 2 はメタン発酵技術について特性をまとめた例である。乳牛ふん尿 1 t を基準として物質・エネルギー収支を求めている。メタン生成効率、必要エネルギー、コスト等は施設規模、原料の種類、温度などによって変化する。このような特性評価図は、後述のモデルにおける基礎情報ともなる。再資源化そのものだけでなく、運搬や前後処理、生成廃棄物の処分についても検討しておく必要がある。

バイオマスの利活用を公的資金を用いて推進する場合には、説明責任を果たして社会的合意を得ること、施策の達成度を定量的に評価することが求められる。施策の実施は、物質収支、エネルギー収支、環境への影響、安全性、経済性、運営組織からみた妥当性、地域の社会・経済への波及効果などから総合的に判断する必要がある。評価に際しては、評価目的、比較対象および手順を明確にしておく必要がある。

バイオマス利活用に関わる評価指標群には、次の条件が含まれていることが望ましい。

- 1) 評価目的に適合し、わかりやすい。
- 2) 持続性（時間的、空間的）が検討できる。
- 3) ライフサイクルコストが比較できる。

4) 常識的な信頼度をもつデータが入手できる。

5) 外部経済性が評価できる。

持続性は根本的な評価指標といえる。経済性は、建設費、減価償却費、維持管理費を全て含むライフサイクルコストで評価すべきである。近年では、さらに環境負荷回収コストを加えたフルコストで評価すべきという考え方も出てきている。地域での負担という観点からは、国や県からの補助金を差し引いて計算する場合がある。農業を軸として考えた場合の評価指標としては、単位面積当たりの堆肥・液肥による化学肥料代替度、土壌の適正肥沃度、有機性廃棄物の最終処分量の減少度および再資源化率の増加度、農地・畜産施設から水域への流出負荷量の減少度および温室効果ガス発生量の減少度、耕種農業への投入化石資源の減少度、地域内食料・飼料自給率の上昇度などが考えられる。

一方、上記の物量で表現される指標以外に、人の価値観に関わり定量化しづらいが、地域の景観形成・イメージアップ、地域への愛着・誇り・自信の醸成、自然愛・人間愛の醸成、活動への参画による達成感・満足感の実感など本質的に大切なものが存在する。バイオマスの利活用が公害や感染症の未然防止や健康予防に役立つとすれば、それは、人の生命に係わる視点となる。

評価に際しては、バイオマス利活用システムの境界設定の妥当性が常に問題となる。地球温暖化への影響を例に考えてみよう。バイオマスの燃焼等により放出される温室効果ガスの1つであるCO₂は、もともと生物の成長過程で光合成により大気中から吸収したCO₂であるため、バイオマスはライフサイクルの中でCO₂を増加させない。この原理は、「カーボン・ニュートラル」と称される。しかし、バイオマスが吸収したCO₂やN₂を

CH₄ や N₂O の形態で大気へ放出すると地球温暖化を促進してしまう。CO₂, CH₄, N₂O は 1 mol 当たりの赤外線吸収度が異なり, CO₂ に比べ CH₄ は 21 倍, N₂O は 310 倍程度の温暖化をもたらすとされている。

ここでは, 例として堆肥の製造・利用を化学肥料の場合と比較する。堆肥で化学肥料を代替すると, 大気中の窒素固定によるアンモニア製造のためのナフサ使用量を減じ, これに伴い発生する CO₂ の発生量を削減できる。NH₃ を 1 t 製造するには, ナフサ 775 L が使用される。温室効果ガスの発生・削減量は, 「地球温暖化対策の推進に関する法律」に基づく「地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン」⁷⁾により算定できる。ナフサ使用による CO₂ 排出量として 2 223 kgCO₂/L を用いると, 窒素 1 t 当たり 0 571 t の炭素を排出することになる。一方, 堆肥化に際し, 大きなエネルギーを消費しなければ, CO₂ 発生量はバイオマスによる CO₂ 吸収量と同等以下である。しかし, 堆肥化過程で CH₄ や N₂O が揮散する。上記ガイドラインでは, 牛のふん尿処理堆積発酵で 5 kgCH₄/頭/年, 3 kgN₂O/頭/年が発生するとしている。N₂O の発生を抑制しようとする, 酸性雨の原因物質となる NH₃ 発生量が増加する。

図 3 は, ①, ②, ③ 通りのシステム境界を示したものである。牛ふん尿や堆肥の輸送は化学肥料に比べてエネルギー消費量が多い。牛のゲップで CH₄ が, 呼吸で CO₂ が排出される。飼料を輸入すると, 輸送に伴う化石資源使用量と温室効果ガス発生量が増大する。食料・飼料の生産に必要な良質の水や土壌の確保までも考えると, システム境界設定の与える影響は益々大きくなる。設定法により複数案の評価が逆転する場合もある。

IV. 地域診断のためのモデルを知ろう

地域診断のためには, 物質フロー分析や産業関連分析が有用である。前者は, 着目する系に投入される資源やエネルギー, 産出される製品や廃棄物について, 総量や特定物質の収支を明らかにするものである。後者は, さ

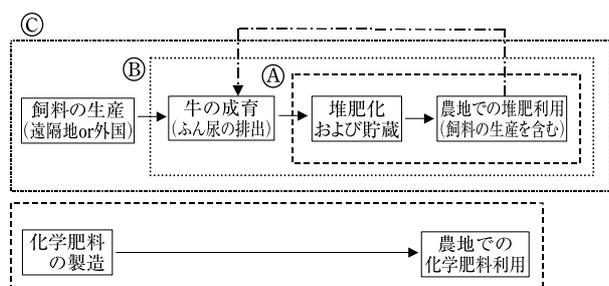


図 3 堆肥と化学肥料の利用を比較するための3つのシステム境界例

まざまな産業間の相互依存の状態を調べて生産と需要の関係を分析するものである。近年ではライフサイクルアセスメント (LCA) の適用例が増えている。共通して言えることは, 実測によりモデルの検証を行うことは困難な場合が多いので, 結果の信頼性については, 土地勘や経験も踏まえて認識する必要がある。数多くのモデルが, 農業土木学会, 農村計画学会, システム農学会, 日本土壌肥料学会, 環境科学会, 廃棄物学会, 日本エネルギー学会などの学会誌や論文集で紹介されている。

ここでは, 物質循環の診断ソフトである「バイオマス資源循環利用診断モデル」⁸⁾を紹介する。モデルのユーザーとしては, 市町村, 県, 土地改良調査管理事務所, 水土里ネット, 農業改良普及センター, 農業団体等の担当者が想定されている。対象とする空間レベルは, 実際に資源循環が機能する場であると考えられる 1~十市町村である。対象とするバイオマスは, 畜産ふん尿, 農作物残さ, 資源作物, 食品加工・流通残さ, 林・水産廃棄物, 生ゴミ, 生活系廃水汚泥など有機性資源全般である。対象物質・要素は, N, P, K, C および重量 (生) である。解析時間単位は, 流入・流出または供給・需要の時期的な変化を明らかにし, 再資源化施設における必要貯蔵量が計算できるよう「月」としている。

モデルは, 「発生・生産」量, 「フロー」(移動)量, 「バランス」(流入量と流出量の差)量および「賦存」量で構成されている。「賦存」量は初期値として与えられるが, 定常状態になると変化しない量である。「賦存」量と「バランス」量の和が計算結果として得られる「ストック」(現存)量となる。地域の中でストックが生じる部門を「コンパートメント」と称している。「農地」, 「畜産施設」, 「森林・林業・製材所」, 「人間の居住空間」, 「食品加工・マーケット」, 「再資源化施設」, 「水域」, 「大気」が基本コンパートメントである。ほとんどの発生・生産量やフロー量は, 原単位と統計データ等によるフレーム値の積として求める。たとえば, 1日当たりの1家畜当たりのふん尿量が原単位で, 頭羽数がフレーム値である。標準的なモデルの構造を図 4 に示す。

モデルは, 既存の統計データと解析ソフト (プログラム) に入っている各種のデフォルト値やデータベースを活用して作成していくものである。市販ソフトウェアであるマイクロソフト EXCEL および VISIO (フローチャート作成) を連動させて用いている。入力数値の出所・信頼度を記録する方式をとっていること, 特殊なフロー計算には関数を与えていることなども特徴である。

解析ソフトの操作法は, データの効率的入手・入力方法, 基本コンパートメントやフローの構成の変更方法,

表 1 バイオマス利活用の推進に当たっての留意点(チェックリスト)

適正な利活用システムの探究	再資源化施設の計画
<p>有用な物質やエネルギーが効率的に生成できるシステムになっているか。マテリアル利用だけでなくエネルギー利用やバイオマスリファイナーリーを目指しての多段階利用を模索しているか。</p> <p>化石資源を極力使わず環境負荷が小さいシステムになっているか。</p> <p>堆肥やメタン発酵消化液(液肥)などの再生資源は化学肥料に比べて相対的に重く嵩が大きいので、輸送や農地への散布にコスト、エネルギー、時間がかかることを認識しているか。</p> <p>求められる化学肥料代替物質の特徴を考えているか。農地の土壌は、かつてのリン不足からリン過剰の傾向にある。新しい施肥設計に基づき計画が練られているか。</p> <p>生成される農業生産資材の使用により有機農産物認証が得られるか。</p> <p>再生資源は必要がなければ廃棄物となることを認識しているか。</p> <p>品質を保持した状態でバイオマスを収集・運搬・貯蔵できる方法が選択されているか。</p> <p>副資材や副産物に関する情報も集めているか。</p> <p>生態系保全への貢献(少なくとも悪化防止)が図られているか。</p> <p>低利用にも意味があることを認識しているか。</p>	<p>規模・配置は適切か。</p> <p>需要と供給の安定性は確保されているか。</p> <p>目標年次を意識しているか。</p> <p>再資源化の方法によって、連続運転するものとバッチ運転するものがある。後者の場合は、人件費の削減を考えて、単位時間当たりの変換能力を大きくして1週間に1日の稼働とすべきものもあることを認識しているか。</p> <p>再資源化施設の耐用年数を長く見込みすぎているか。</p> <p>廃棄物が出ることを忘れていないか。</p> <p>信頼できるメーカーから情報を入手しているか。</p>
	安全性
	<p>堆肥等にはCd, Zn, Cuなどの重金属が含まれている。これらが長期にわたって、土壌の管理基準以下になるように施用できる計画になっているか。</p> <p>有害物質, POPs, 病原菌などの挙動に留意しているか。</p> <p>悪臭, 騒音, 振動に関する対策の必要性を検討しているか。</p> <p>低温暖化の場合には自然発火に注意しているか。</p>
	諸手続き
	<p>数々の法規制があり、どの手続きが必要かを判断することから始めなければいけない。リストや手順を整理しているか。</p> <p>再生資源の生産を目指している場合でも、産業廃棄物処理としての手続きが求められることがあることを理解しているか。</p> <p>時間がかかることを計算に入れているか。</p>
	実施のタイミング
	<p>技術革新や政策・制度の動向, 社会的インフラの整備状況を見極めて実施のタイミングを決めているか。</p> <p>政策の動向により、再生資源の価値や利活用システムの収益性が変化することを予見しているか。</p> <p>他の関連事業で原料としてのバイオマスが先行予約されていないか。</p>
組織・体制	
<p>総力を結集できる体制が整っているか。</p> <p>全体を統率するリーダーが存在しているか。</p> <p>役割分担と信頼に基づき適切なタイミングでリーダーシップを発揮しあえる組織が集まっているか。</p> <p>活動を楽しめているか。</p>	
構想作成	
<p>迷惑施設と捉えられる側面を忘れていないか。</p> <p>廃棄物系バイオマスに関わる既存の流通ルート, 利害関係を認識し, 調整をつけているか。</p> <p>最初から理想を追いすぎているか。</p> <p>対象地域が地理的に不連続の場合もあることを念頭においているか。</p> <p>行政コスト低減のための工夫をしているか。</p>	

区モデルを完成していくには総合力が必要である。おのおのの専門分野の関係者からデータの提供を受けたり、解析結果の妥当性を吟味してもらったりしてモデルの信頼性を高める努力が重要である。

V. 実務の上で気をつけたいこと

本講座の開始と同じタイミングで、地域のバイオマス利活用構想を考えられる読者のために、失敗の未然回避の観点から、実務において気をつけたい事項について、前章までで詳しく触れていないことを中心に、表1にチェックリストの形で整理した。矛盾する指摘もあるかもしれないが、構想の性格や煮つくり具合によるためであり、全てを満足することが求められるものではない。

引用文献

- 1) バイオマス・ニッポン HP: <http://www.maff.go.jp/biomass/index.htm> (2005年5月30日最終確認)

- 2) 岸本吉生: 京都議定書の発効と京都メカニズム活用の推進に向けて, 産業と環境 34(2), pp 25~30 (2005)
- 3) 農業土木学会: 平成15年度計画基準作成調査(農村環境整備)報告書, pp .107~157(2004)
- 4) 柚山義人・森 淳・中村真人・清水夏樹: 有機性資源の利活用推進方策, 農土誌 72(8), pp .13~18 (2004)
- 5) 原田靖生: 家畜ふん堆肥の環境保全的施用量, 安田環・越野正義共編「環境保全と新しい施肥技術」, 養賢堂, pp .102~112(2001)
- 6) 日本有機資源協会: 各種再資源化技術の性能・コスト評価, 平成16年度「農林水産バイオリサイクル研究」報告書(2005)
- 7) 環境省地球環境局: 地球温暖化対策地域推進計画案策定ガイドライン(2003)
- 8) 柚山義人: バイオマス資源循環利用診断モデルの開発戦略, 農土誌 72(12), pp 25~28(2004) [2005.3.24.受稿]