

長野県佐久市を事例とした地域循環型の生物資源利用システムに関する研究

Study on Regional Bioresource Utilization and Recycling System in a Case of Saku City, Nagano Prefecture, Central Japan

原科 幸爾^{*,**} 武内 和彦^{*}
Koji HARASHINA Kazuhiko TAKEUCHI

Abstract : In order to present a model of regional bioresource utilization and recycling system in medium-scale local city, amount of potential bioresource supply was estimated in Saku City, Nagano Prefecture, Central Japan. Potential supply of 1) woody resources, 2) agricultural residues and livestock wastes and 3) garbage and human wastes were estimated by using GIS and statistical data. The degree of self-sufficiency of lumber used in timber construction in the city was estimated to be 30% with sustainable forest management. It was also estimated that 63% of domestic heat energy use would be supported by woody biomass energy and biogas generated from livestock wastes, garbage and human wastes. In addition, manure made from residues generated after methane fermentation would support more than 100% of total nitrogen input to the agricultural lands. Based on these results, an example of regional bioresource recycling system model was presented and feasibility of the system was discussed in relation to current status of bioresource utilization in Saku City.

Keywords: recycling society, bioresource, biomass, forest
キーワード：循環型社会, 生物資源, バイオマス, 森林

1. はじめに

再生が可能な生物資源（バイオマス資源）は、循環型社会推進に資するものとして、その有効活用が期待されている。一般に生物資源は低密度で分散して分布し、輸送効率が悪いいため、なるべく地域内での利用を推進していくことが望ましく、それが生物資源に依拠した循環型社会の形成につながる。

生物資源利用技術に関しては、バイオマス発電や家畜糞尿のメタン発酵など、数多くの研究がされてきた。一方、地域をベースとした研究としては、田中ら（2003）¹²⁾がGISを用いて地域の木質系資源の潜在的供給量を評価し、それによる発電能力の試算を行なっている。しかし、地域には林業、農業、生活等、様々な生物資源が存在する。したがって、個々の賦存量を適正に評価したうえで、それらの有機的なつながりを考慮し、総合的な視点から地域評価を行なう必要がある。しかし、このような研究は、島嶼を対象とした上原・重松（2001）⁹⁾など数少ない。

そこで、本研究では中規模地方都市を対象として、1) 木質系資源、2) 農畜産系資源（農業副産物および畜産廃棄物）、3) 生活系資源（し尿および生ごみ）の賦存量とその利用可能性を評価し、それらの循環的利用に基づいた地域内の生物資源利用システム構築の可能性を示すとともに、生物資源利用の現況との乖離を埋めるための主要課題を明らかにすることを目的とした。

対象地域は、林業、農業、畜産業による生物資源が賦存し、かつ都市域を含むため相当量の生活系廃棄物も見込まれる長野県佐久市とした。佐久市は、これら生物資源の有効利用に積極的に取り組もうとしている自治体のひとつである。

2. 研究対象地域の概要

佐久市は長野県東端に位置し、人口67,852人（2002年10月）、面積19,262ha、標高620～2,200mである。佐久盆地を中心に市街地・集落が立地し、南北に貫流する千曲川沿いの低地部に水田、山麓部に畑や果樹園が分布する。森林は東西の山地部を中心に分

布し、市の面積の約56%を占めている。農業としては、水稻をはじめ果樹、高原野菜、花卉の栽培が盛んである。林業としてはカラマツ植林が圧倒的に多く、スギ・ヒノキ植林はわずかである。

3. 本研究のフローと生物資源利用システムの概要

本研究のフローと生物資源利用システムの概要を図-1に示す。まず、植林と雑木林からの木質系資源、農地からの農業副産物、家畜からの畜産廃棄物、市街地・集落からの生ごみとし尿の賦存量の評価も行った。また、佐久市では水田の40%が生産調整の対象となっている⁹⁾が、これも生物資源生産の場として考えた。

木質系資源のうち、植林における主伐材は製材として利用し、それ以外は、全てエネルギー利用することとした。また、製材使用後に発生する建設廃材は、100%リサイクルしてエネルギー利用することとした。農業副産物は、一般的には農地還元されているので農地への窒素負荷という点からの評価を行った。生産調整水田の利用としては、家畜飼料の多くを輸入に頼っている現状を改善するための方策として、飼料イネの導入可能性について検討した。畜産廃棄物および生活系資源は、そのまま堆肥化して利用するよりも、メタン発酵によるバイオガスを利用した後、消化汚泥を堆肥化した方が、より有効利用につながると考えられる。ま

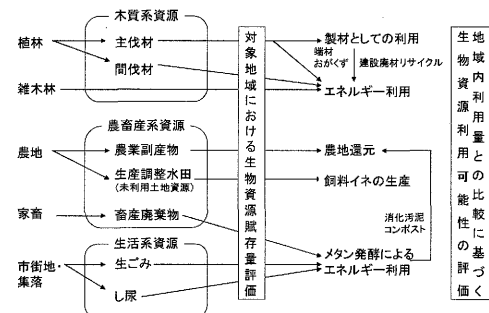


図-1 研究のフローと生物資源利用システムの概要

*東京大学大学院農学生命科学研究科 **(株)荏原製作所

た、畜産廃棄物、生ごみ、下水汚泥などをまとめて複合処理することは、施設のコストダウン²³⁾や、メタン生成菌の微量栄養塩の供給⁴⁾などにもつながると考えられる。

4. 生物資源賦存量評価の方法

(1) 木質系資源

使用したデータは以下の通りである。

①植生データ：環境庁（当時）による第5回自然環境保全基礎調査（緑の国勢調査、1995-1997年実施）の植生図（縮尺1：25,000）のうち、佐久市の部分を抽出して使用した。ここでは森林を自然林・自然植生、雑木林（主にクリ・ミズナラ群落）、スギ・ヒノキ植林、カラマツ植林の4つに区分した。このうち、自然林・自然植生は利用の対象外とした。

②林齢分布データ：2000年世界農林業センサス第1巻 長野県統計書¹⁹⁾の「10 人工林・天然林の齢級別樹林地面積（森林計画面積）」をパーセンテージに変換して用いた。このうち、雑木林には「天然林」、スギ・ヒノキ植林とカラマツ植林には「人工林」のデータを用いた。なお、「天然林」は自然林も含むが、本対象地域内の天然林のうち83%を雑木林が占めているため、とくに大きな問題はないと判断した。

③材積量・生長量データ：国有林のデータとしては、林野庁中部森林管理局の千曲川上流森林計画区（上田・佐久地方）の収穫予想表を使用した。雑木林に対しては「その他広葉樹」の値を、スギ・ヒノキ植林には「スギ」と「ヒノキ」の平均値を用いた。民有林のデータとしては、長野県林務部の長野県地域森林計画主要樹種林分材積表（昭和61年3月調整）千曲川上流計画区を使用した。雑木林に対しては「ナラ類・その他広葉樹」の値を、スギ・ヒノキ植林には「スギ」と「ヒノキ・サワラ」の平均値を用いた。

④間伐に関するデータ：スギ・ヒノキ植林およびカラマツ植林における間伐に関しては、佐久市の森林整備計画書¹⁰⁾に記載されている中仕立ての方法を参考にした。すなわちスギ・ヒノキ植林では、林齢16年と24年、カラマツ植林では19年と29年のそれぞれ2回、間伐強度40%（本数率）で間伐を行なうことを想定した。

上記の①と②のデータを用いて、各植生区分の齢級別面積を求め、それに③の面積あたりの材積量および年間生長量を乗じることによって材積量と年間生長量を算出した。また、間伐林齢に該当する森林材積量の40%を間伐材積量として計算した。これらは、いずれも国有林民有林別に計算した後に合計した。なお、対象地域の森林のうち、32.1%が国有林、67.9%が民有林である¹⁶⁾。

③の国有林データは齢級ごとに値が記載されているのでそのまま使用したが、民有林データでは林齢1年ごとに値が記載されており、林分の立地する地位によっても値が異なる。そのため、齢級ごとの平均を代表値として使用した。天然林の林齢分布データの齢級区分は5年よりも粗いため、これに対して③のデータはその齢級区分に該当する値の平均値を算出して使用した。間伐面積については、②の林齢分布データでは5年ごとの齢級別面積しか与えられていないため、齢級内の林齢分布は均等であると仮定し、間伐林齢が含まれる齢級の面積を5等分して算出した。

(2) 農畜産系資源

農業副産物量と畜産廃棄物量は、松本・袴田（1994）²⁰⁾による手法によって算出した。これは、作物の主産物生産量や果樹園面積、家畜頭数に与えられた係数を乗じることによって、それぞれの副産物や廃棄物の乾物重と窒素重を算出する方法である。

農産物の生産高・作付面積と家畜飼養頭数については、佐久市統計書⁹⁾および佐久市経済部農林課の業務資料から、それぞれ1999年度、2000年度のものを用いた。

一方、転作田における飼料用イネ栽培については、佐久市の生産調整対象水田のうち、とくに作付けされていない「調整水田

表-1 長野県佐久市における生物資源賦存量の試算結果

項目	持続可能収穫量 (m ³ /year)	面積 (ha)	材積量 (m ³)
1. 木質系資源			
雑木林	7,735 (27%)	4,796	397,917
スギ・ヒノキ植林			
主伐材	619 (2%)	135	31,359
間伐材	148 (1%)		
カラマツ植林			
主伐材	11,410 (40%)	4,014	777,041
間伐材	8,367 (30%)		
合計	28,280 (100%)	8,945	1,206,318
2. 農畜産系資源			
	乾物重 (t/year)		窒素重 (t/year)
農業副産物 ^{a)}			
水稲	14,998 (91%)	138	(76%)
豆類	298 (2%)	9	(5%)
芋類	49 (0%)	1	(1%)
野菜類	216 (1%)	6	(3%)
果物	893 (5%)	29	(16%)
小計	16,454 (100%)	182	(100%)
畜産廃棄物			
乳牛	1,461 (29%)	45	(36%)
肉牛	3,248 (65%)	69	(55%)
豚	270 (5%)	12	(10%)
小計	4,979 (100%)	127	(100%)
合計	21,432		309
3. 生活系資源			
(人口から推計)			
し尿	1,086 (57%)	251	(90%)
生ごみ	814 (43%)	27	(10%)
合計	1,900 (100%)	278	(100%)
(聞き取りによる)			
生ごみ	812	-	-

^{a)}現況の耕作農地における収穫残渣の量を示しており、転作田における飼料イネ栽培によるものは含まれていない。

（水張り減反）」と「自己管理保全（作付けをせずに水を張らない状態で水田を維持）」の合計272ha（1999年度）を対象とした。ここでは、佐久市の冷涼な気象条件に適していると考えられる中国146号の栽培を想定した。中国146号の収量は移植栽培で17.41 t/ha、TDN（可消化養分総量）収量は10.6 t/haである¹³⁾。

(3) 生活系資源

生ごみとし尿についても松本・袴田（1994）²⁰⁾による人口1人当たりの排出量（乾物重および窒素重）を用いて推計した。さらに、生ごみについては、佐久クリーンセンター（ごみ焼却施設）の業務資料と現地での聞き取りによって生ごみの処理量を試算し、上記データの妥当性を確認した。

5. 対象地域における生物資源賦存量

(1) 木質系資源

森林における持続可能な収穫量は、病虫害や森林火災、風害、土砂災害などの影響も考え、ここでは生長量の60%と仮定して計算した。対象地の木質系資源としてはカラマツが多く、総材積量の64%、持続可能収穫量の70%を占めていた（表-1）。また、前述のとおり間伐を行なった場合の間伐材積量は、植林における持続可能収穫量の40%以上にも達することが明らかになった。

(2) 農畜産系資源

農業副産物としては、耕作田における水稲の副産物が圧倒的に多く、それについて果樹園の副産物が多かった（表-1）。なお、表-1中の家畜ごとの値は家畜糞尿と敷料の合計値である。

対象地域における農地への窒素投入量を表-2に示す。窒素投入量は、作物ごとの作付面積に面積あたりの施肥基準窒素量を乗じて算出した。作物ごとの施肥基準量はJA佐久浅間の「平成14年主要作物施肥基準表」と栃木県の施肥基準¹⁴⁾を参考にした。ただし、これは化学肥料による投入量のみであり、実際にはさらに堆肥を加えているために総投入量はこの1.2~1.5倍程度²¹⁾であると考えられる。それと比較すると、農畜産系資源を全て堆肥化した場合、農地への窒素投入量とはほぼ一致すると考えられる。

(3) 生活系資源

表-2 佐久市における農地への窒素投入量

	窒素投入量 ^a (ton)	面積 ^b (ha)	面積あたりの 窒素投入量 (kg N/ha)
水田	142	1,670	85
畑	86	601	143
果樹園	7	165	41
合計	235	2,436	—
(転作田) ^c	(22)	(272)	(80)
(合計)	(257)	(2,708)	—

^a作物ごとの作付面積に、面積あたりの施肥基準窒素量を乗じて算出した。作物ごとの施肥基準量はJA佐久浅間の「平成14年主要作物施肥基準表」と栃木県の施肥基準¹³⁾を参考にした。ただし、これは化学肥料による投入量のみであり、実際にはさらに堆肥を加えているために窒素投入量はこれよりも多くなる。
^b実際に作付けされた面積を合計したもので、統計書に記載されているものとは若干異なる場合がある。
^c転作田において飼料イネを栽培した場合。

表-3 本研究で用いた木材ごとの発熱量

	発熱量(10 ⁶ kcal/m ³)	備考
スギ・ヒノキ植林の材	1.868	スギとヒノキの平均
カラマツ材	2.382	—
雑木林の材	2.814	クリとミズナラの平均

表-1には、人口から試算した結果と聞き取りによる結果の両方を示した。佐久クリーンセンターでの可燃ごみの年間処理量は13,533,250 tである。聞き取りの結果、この約3割が生ごみなので、野菜くずなどの一般的な含水率から生ごみの含水率を80%とすると、生ごみの乾物量が812 tとなる。これは人口から試算された値とほぼ一致することから、上記データは妥当であるといえる。

6. 地域内利用量との比較に基づく生物資源利用可能性の評価
(1) 木質系資源

製材の供給量は、主伐材積量に針葉樹の丸太換算率0.637を乗じて求めた²⁴⁾。また、木材の発熱量は材積量に体積あたりの燃焼熱(表-3)を乗じて求めた。なお、表-3の値は、貴島ら(1962)⁶⁾と阿部(1988)²⁾のデータから算出した。

不動産価値も含めた現況の木造建築のサイクルから、平均寿命を25年¹⁾とすると、佐久市における製材使用量の4%を年間に供給することが必要となるので、これをもとに年間製材必要量を算出し、製材の自給率を求めた。佐久市の製材使用量は、木造建築の総床面積(2003年4月現在で約3,000,000 m²、長野県総務部市町村課資料)に1 m²あたりの製材使用量¹⁷⁾0.21 m³を乗じて算出した。佐久市全世帯における熱エネルギー消費量は、世帯数(24,140世帯、2002年10月)に一世帯あたりの年間消費量¹⁰⁾(都市ガス、LPG、灯油で5,486 Mcal)を乗じて求めた。バイオマス発電は直接燃焼方式(発電効率:20%)⁵⁾によるものとした。

その結果、製材自給率は30%と試算された(表-4)。また、熱エネルギーとしては全世帯による使用量の53%が供給可能であり、これを用いたバイオマス発電では、電力使用量(電灯電力計403,071 MWh、2002年度)の4.1%が供給されると試算された。

(2) 農畜産系資源および生活系資源

生ごみ、家畜糞尿およびし尿にメタン発酵の複合処理を行なった場合のメタン発生量を表-5の方法で算出した。なお、豚と牛の糞尿中の固形物のうち、大型固形物はメタン発酵には適さないため、ここでは搾汁後の分離かすは除去し、搾汁液内の固形物のみを対象とした。その結果、合計で約1.53×10⁶ m³のメタンガスが発生し、熱量換算で約13.1×10⁹ kcal(メタンの低位発熱量:8,550 kcal/m³)と試算された。これは、佐久市全世帯の熱エネルギー消費量の10.2%に相当する。

メタン発酵後の残渣は、良質な液肥および堆肥として利用できる。松中(2002)¹⁹⁾は、乳牛の糞尿のメタン発酵前後における性状を比較した結果、全窒素量は変化していないことを報告してい

表-4 佐久市における木質系資源の利用ポテンシャル

	年間供給量	佐久市内の使用量に対する割合(%)
製材としての利用	7,663 (m ³)	木造建築に対して、自給率30% ^a
エネルギー利用 ^b		
1. 燃料(チップ等)	70.3 (10 ⁹ kcal)	全世帯の熱エネルギー使用量の53%
2. バイオマス発電	16,348 (MWh)	電力使用量(電灯電力計)の4.1%

^a木造建築を25年サイクルで建て替える場合。^b1, 2のいずれかを選択した場合。

表-5 メタンガス発生量の算出方法

	a. 乾物重 (固形物全体) (t)	b. 搾汁液中固形物 物の割合 (%)	c. 搾汁液内の 固形物 (t)	d. CH ₄ 発生係 数 (Nm ³ /kg)	e. CH ₄ 発生量 (Nm ³)
生ごみ	814	—	—	0.319	259,330 (a×d×1000)
豚糞尿	236	51%	121 (a×b)	0.364	43,897 (c×d×1000)
牛糞尿	3,575	39%	1,409 (a×b)	0.168	236,636 (c×d×1000)
g. 人口					
h. 1人あたりのバイオガス 発生量(Nm ³ /person/year)				i. メタン濃度 (%)	e. CH ₄ 発生量 (Nm ³)
し尿	67,852	24.3	16,498	60%	990,639 (g×h×i)
				合計	1,530,503

b. 豚糞尿は本多(1981)¹⁷⁾、牛糞尿は本多(1981)¹⁹⁾から引用した。d. データ提供: 瀬原真製作所 h. 桑原⁹⁾より算出。

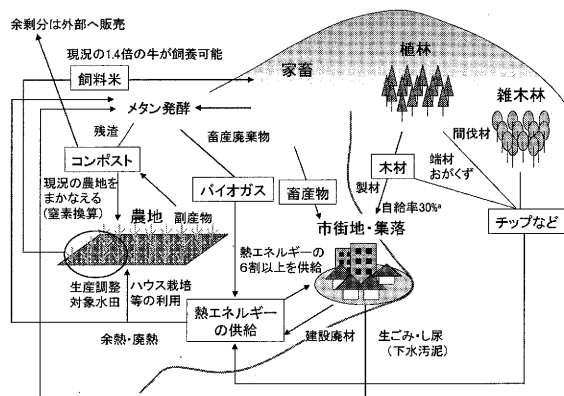


図-2 生物資源循環型の地域システムの例
*木造建築を25年で建て替える場合

る。メタン発酵によって窒素分が減少しないとすると、窒素重で587 tの堆肥が生産されることになる。表-2の窒素投入量と比較すると過剰であるため、外部に販売することなどが考えられる。

(3) 転作田における飼料用イネ栽培の可能性

飼料イネ(中国146号)は、4,736 tのホールクロップが生産可能と試算された。これはTDN(可消化養分総量)換算で2,883 tである。牛1頭あたり、1年間に必要なTDNを1.4 t(1日あたり4.0 kg、乳牛肉牛の平均)とすると、計算上は2,059頭の牛が飼養可能であり、これは2000年現在(1,426頭)の1.4倍である。

7. 地域循環型の生物資源利用システムの例

これまでの議論に基づいて、地域循環型の生物資源利用システムの例を図-2に示した。ここでは木質系資源の熱エネルギー利用を行うことを想定した。そのときの熱エネルギーの供給量は、バイオガスと合わせて全世帯消費量の63%まで供給できる。また、その際の余熱・廃熱は、ハウス栽培の暖房やメタン発酵槽の保温に用いることも考えられる。とくに、バイオマス発電などを行なう際には、例えばメタン発酵槽と併設するなどして、発電効率が低いために発生する廃熱を無駄なく利用していることが重要である。このように、複数の生物資源利用を機能的につなげ、高次の地域的利用システムを構築することによって、全体の利用効率を高め、生物資源利用の循環性をさらに高めていくことが可能となる。

8. 現況との比較による問題点の整理と今後の展望

佐久市における素材生産量と主伐材の持続可能収穫量を比較すると、いずれも伐採利用率が20%未満であることがわかった(表-6)。木材の素材生産量の統計は県単位で集計されているため、ここでは2000年度の長野県樹種別素材生産量¹⁵⁾をもとに、

表-6 佐久市における木質系資源の利用評価

	雑木林	スギ・ヒノキ 植林	カラマツ 植林
(主伐に関する現況)			
主伐材の持続可能収穫量 (m ³ /year)	7,735	619	11,410
2000年度の推定素材生産量 (m ³)	473	111	1,965
持続可能収穫量に対する利用率	6%	18%	17%
(間伐に関する現況)			
林齢分布から算出した間伐対象面積	—	3ha	149ha
間伐目標面積(森林整備計画書 ¹⁰⁾ による)	1999年-2003年: 800ha (1年あたり160ha) 2004年-2009年: 700ha (1年あたり140ha)		
間伐実施面積	2000年度 2001年度	20ha 65ha	

長野県全体と佐久市の樹種別森林面積の比から、佐久市の素材生産量を推定した。主伐材の伐採利用率が低いのは、経済的理由によるところが大きい。とくにカラマツ材は価格が安く、70~80年生未満だと採算が取れないなど大きな問題を抱えている。

一方、間伐も費用がかかるため、あまり進んでいない。間伐材積算出のために計算した間伐対象面積は152haである(表-6)。佐久市の森林整備計画書¹⁰⁾による間伐目標面積は、1年あたり140~160haであり、間伐対象面積とほぼ一致しているが、間伐実施面積をみると、1年あたりの目標面積の半分以下である。しかし、2001年度からは間伐事業が始まり、間伐面積が前年度の3倍以上となるなどの成果も得られている。

一方で、間伐が進んでも間伐材の用途がないことが新たな課題となっている。この点については、間伐材のエネルギー利用などを推進して安定した需要が確保できれば、間伐事業との相乗効果が期待できると考えられる。現在、佐久市では施設園芸の暖房用燃料として、建設廃材と合わせてペレット化することなどを検討しており、他部門との連携を図っていくことも重要である。

佐久市における農業副産物利用状況についてはデータがないが、一般に、籾殻や落花生の殻などを除けば、ほとんどの農業副産物は畑に鋤き込まれる²²⁾と考えてよいので、佐久市もこれに従うものとする。畜産廃棄物は、畜産農家が各自で堆肥化し農地へ還元しており、集落排水処理施設による処理は行なわれていないが、畜産廃棄物による河川や地下水の汚染は発生していない。

生ごみは全て焼却処分されており、リサイクル利用は行なわれていない。公共下水道、集落排水処理施設、コミュニティプラント、合併浄化槽の汚泥および回収されたし尿は、100%リサイクルされている。消化汚泥は、民間会社によって堆肥化の後売却されており、一部は農家に直接引き取られ、利用されている。

このように、農畜産系資源と生活系資源は、生ごみを除くと、かなり利用が進んでいる。汚泥のリサイクルでは、すでに回収システムが確立しており、民間活力も導入されているため、今後、これらに生ごみも加えてメタン発酵によるバイオガスを利活用していく可能性は十分あると考えられる。

9. まとめと今後の課題

本研究で用いた生物資源評価手法は、全国で整備されているデータを用いているため、国内の他地域にも適用可能である。本研究で示したモデルは、木質系資源、農畜産系資源および生活系資源の3つのコンポーネントからなるが、場合によっては、水産系資源など新たなコンポーネントを加えることなども必要であろう。また、生物資源利用方法も、地域ごとに異なるコンポーネントの大きさを踏まえたうえで検討されるべきである。なお、生産調整対象水田は全国でほぼ均等に割り当てられているため、飼料イネ生産については普遍的な議論が可能であるが、家畜頭数との関連性などは地域によって異なると思われる。本研究の結果、対象地域では表-1に示した生物資源(ただし農業副産物は除く)を最大限利用した場合、家庭用の熱エネルギーに関してはかなり自

立的なシステムを構築できることが明らかになった。一方、製材や電力供給能力は十分であるとはいえない。ここでは持続可能な伐採量を生長量の60%と仮定したが、今後、森林へのアクセス性や病虫害・災害発生確率などの検討を踏まえ、個々のケースに応じて伐採量を設定していくことになる。また、木造建築の寿命を25年とした仮定は、不動産価値に基づくものであり、物理的耐久性はこれより長いとされている¹⁾。木造建築サイクルの長期化は、地域内木材自給率の向上に大きく寄与すると考えられる。

さらに、木質資源である製材の自給率の低さについては、地域として設定した空間単位が小さいこともひとつの原因と考えられる。したがって、今後の課題としては、地域循環型の生物資源利用システムの最適空間規模の問題があげられる。また、これが経済的に成り立つかどうかについても、重要な検討課題である。

謝辞: 本研究を進めるにあたり、東京大学アジア生物資源環境研究センター長の飯山賢治教授、長野県佐久市役所の小林寛氏、菊池秀一氏には多大な御協力を賜った。この場を借りて心よりお礼を申し上げたい。なお、本研究は長野県佐久市の「佐久地方における木質バイオマス等生物系未利用資源の賦存量とその活用に関する調査」の研究成果の一部を改変したものである。

引用文献

- 1) 秋山俊夫編著(1998): 木材のリサイクル: 産調出版, 東京, 226pp
- 2) 阿部房子(1988): 森林バイオマスの熱化学的研究: 林試報 352, 1-95
- 3) 上原三知・重松敏則(2001): 地域資源の保全と有機的活用による循環型地域システムの確立に関する基礎的研究: ランドスケープ研究 64(5), 831-834
- 4) 奥野芳男・李玉友・佐々木宏・関廣二・上垣内郁夫(2003): 生ごみと汚泥の高濃度混合メタン発酵に及ぼす汚泥比率と発酵温度の影響: 土木学会論文集 734/VII-27, 75-84
- 5) 河本晴雄(2001): 5.4 バイオマス発電: 坂土朗(編) バイオマス・エネルギー・環境, アイビーシー, 東京, 347-355
- 6) 貴島恒夫・岡本省吾・林昭三(1962): 原色木材大図鑑: 保育社, 大阪, 204pp
- 7) クリーン・ジャパン・センター(1982): 再資源化技術(建設廃材): (財)クリーン・ジャパン・センター, 東京, 249pp
- 8) 桑原衛: バイオガス等式: Biogas & Manure <http://homepage2.nifty.com/biogas/index.html>, 2003.10.20 参照
- 9) 佐久市(2001): 佐久市統計書平成13年度版: 佐久市
- 10) 佐久市: 佐久市森林整備計画書(計画期間: 1999年-2009年)
- 11) 住環境計画研究所編(1999): 家庭用エネルギーハンドブック: 省エネルギーセンター, 38, 78
- 12) 田中貴宏・久木裕・田中陽・吉田聡・砂土原聡(2003): 持続的な森林バイオマスエネルギー利用の潜在評価へのGISの活用: GIS-理論と応用 11(1), 45-52
- 13) 畜産草地研究所: 中国146号: 畜産草地研究所ホームページ<http://ss.nagri.afrcr.go.jp/siryoin13/wcs_hp/146p.pdf>, 2003.10.20 参照
- 14) 栃木県: 農作物施肥基準: 栃木県庁ホームページ<http://www.pref.tochigi.jp/gijutu/sonota/sehi/menu.html>, 2003.10.20 参照
- 15) 長野県農林部(2001): 平成12年度長野県林業統計書
- 16) 農林水産省統計情報部(2002): 2000年世界農林業センサス第1巻長野統計書(林業編): 農林統計協会, 東京
- 17) 本多勝男(1982): 豚ふん尿によるメタン発酵技術 家畜ふん尿のメタン発酵とガス化技術の研究(2報の1): 畜産の研究 36(6), 765-771
- 18) 本多勝男(1982): 牛ふん尿によるメタン発酵技術 家畜ふん尿のメタン発酵とガス化技術の研究(2報の2): 畜産の研究 36(9), 1111-1115
- 19) 松中照夫・成瀬往代・熊井美鈴(2002): 乳牛ふん尿のメタン発酵処理に伴う性状変化: 日本土壤肥料学会誌 73(3), 297-300
- 20) 松本成夫・袴田共之(1994): 農村地域における有機物フロー推定のためのデータベースの構築 1. 農作物副産物, 畜産廃棄物, 食生活廃棄物の産出量整理: 資源・生態管理研究収録 10, 35-42
- 21) 松本成夫・三島慎一郎・織田健次郎・袴田共之(1995): 地域農業における物質循環予測システム: システム農学 11(2), 164-174
- 22) 松本成夫・三輪春太郎・袴田共之(1990): 農村地域における有機物フローシステムの現存量とフロー量の推定法: システム農学 6(2), 11-23
- 23) 三崎岳郎(2002): 家畜ふん尿を主体とした複合廃棄物資源回収技術: 用水と排水 44(10), 896-900
- 24) 林野庁編(2003): 森林・林業統計要覧: 林野弘済会, 東京, 189pp