

畜産系バイオマスを活用した循環システム構築における課題

—事業の採算性と費用負担のあり方を中心に—

松本 俊哉*

はじめに

温室効果ガスの排出抑制に寄与する化石燃料の代替エネルギーとして、太陽光・風力・小水力・地熱・バイオマスといった再生可能エネルギーの導入が進められている。これらの再生可能エネルギーの導入は、地域資源を活用するエネルギーの地産地消にもつながり、地域の産業振興や雇用創出、地域外への所得流出抑制といった観点から、地域経済の持続的発展に寄与するものとしても期待が寄せられている。

畜産業が盛んな鹿児島県内にはバイオマスの一つである家畜排せつ物が豊富に存在しており、こうした畜産系バイオマスはメタン発酵させて生成したバイオガスをエネルギーにして発電などに活用することができる。しかし、全国的にも、鹿児島県内においても、畜産系バイオマスはもっぱら堆肥に加工されて農地還元されており、一部の事例を除くとエネルギーとしての利用は少量にとどまっている。

本稿は、畜産系バイオマスのエネルギー利用を通じた循環型社会を目指すうえで課題となっていると考えられる、バイオマス事業の採算性の問題と費用負担のあり方について考察している。

本稿は、日本ガス株式会社委託研究を通じて得られた知見に基づいている。同委託事業の先行研究において、鹿児島における畜産系バイオマス導入に関するさまざまな課題が検討されてきた。黒瀬（2016）は、大隅地域の木質系および畜産系バイオマスを活用した地域振興について鹿屋市と曾於市を拠点とするバイオマスエネルギー開発の潜在的可能性に言及し、「バイオマス産業都市」を目指した自治体と地元企業のネットワーク構築を提言している。菊地（2018）は、バイオガス事業を総合的なまちづくり戦略の一環として位置づける重要性を指摘するとともに、課題として、畜産系バイオマス活用に伴う消化液の処理、多様な原料確保の必要および住民の自治意識の涵養を指摘している。中西（2019）は、畜産農家の規模や経営形態などの考察に基づいて、鹿児島県内の豚ふんバイオマス施設の経営形態としては「事業協同組合」が適していることを提起している。これらの先行研究の成果に依拠しつつ、本稿では、畜産系バイオマスの活用の障害になっていると考えるバイオマス事業の採算性と費用負担の問題について検討を加えたい。

論述は以下の通りである。第1節で、バイオマス活用をめぐる国の政策動向について概観し、バイオマスの活用がエネルギー政策と廃棄物・リサイクル政策という二つの政策課題領域にかかわるものであることを指摘する。第2節では、鹿児島県内の畜産系バイオマスの活用状況と課題について述べる。第3節では、畜産系バイオマス事業を持続的なものにするのに必要な条件である事業の採算性について確認する。第4節では、バイオマス事業の採算性を左右することになる廃棄物（家畜排せつ物）処理費用の負担のあり方

キーワード：畜産系バイオマス、家畜排せつ物、廃棄物処理、費用負担

* 本学経済学部准教授

について考察し、負担の責任範囲を広げることを主張している。

1. バイオマスの活用と持続可能な社会の形成

本節では、畜産系バイオマスの活用が、どのような政策の流れのなかで推進されるようになってきたのかを確認しておきたい。

1-1 畜産系バイオマスのエネルギー活用

バイオマスとは、動植物に由来する有機物である資源（化石資源を除く）と定義される（バイオマス活用推進基本法）。植物は光合成によって太陽エネルギーを吸収し、ため込んだエネルギーを使って大気中の二酸化炭素と水を結合させて有機物をつくり蓄える。この太陽エネルギーを有機物のかたちで蓄えているものがバイオマスである。樹木や草、農作物などの植物のほか、それら植物を食べた動物の糞尿などすべてが含まれる¹。

有機物であるバイオマスを燃焼させると二酸化炭素が排出されるが、それらは植物が成長過程で大気中から吸収した二酸化炭素に由来しているため、バイオマスを燃焼させても、全体として大気中の二酸化炭素の量は増加しないと考えられる。このことをカーボンニュートラル（炭素中立的）と呼び、地球温暖化の防止のために化石燃料の代替エネルギーとしてバイオマスの活用を推進する根拠となっている。

バイオマスは、廃棄物系バイオマス、未利用バイオマス（農作物非食部、林地残材）に大別される。国内の賦存量の大半を占めている廃棄物系バイオマスは、生ごみ、下水汚泥、家畜排せつ物、食品廃棄物、建設廃材、黒液などのような人々の生活や産業活動のなかから排出される廃棄物のことである。

図1は、バイオマスの性質と、それに応じた利用形態を示している²。乾燥系バイオマスは、水分をあまり含んでいないバイオマスで、林地残材などの木質バイオマス、稲わらなどの農業残渣などが含まれる。湿潤系バイオマスは、水分を多く含んでいるバイオマスで、食品廃棄物、家畜排せつ物、し尿、生ごみ、下水汚泥などが含まれる。バイオマスの性質によって、エネルギーへの変換技術は異なっており、また、同じ変換技術によって得られるエネルギーは、発電だけでなく、熱源や燃料などとしても活用される。

本稿が取り上げる畜産系バイオマス（家畜排せつ物）の主なエネルギー変換技術は、生物化学的変換といて、微生物の働きによってバイオマスからガスを発生させるものである。メタン発酵と呼ばれるもので、従来からし尿や汚泥の処理に用いられており、最近では食品廃棄物の処理などにも利用されている。メタン発酵によって発生させたバイオガス（メタン、二酸化炭素が主成分）は、密閉された容器の中で回収蓄積され、発電や施設・設備の熱源などのエネルギーとして使用することができる。

1 原後・泊（2002）6～8ページ。

2 資源エネルギー庁（2011）、109ページ、国立環境研究所「バイオマス発電」

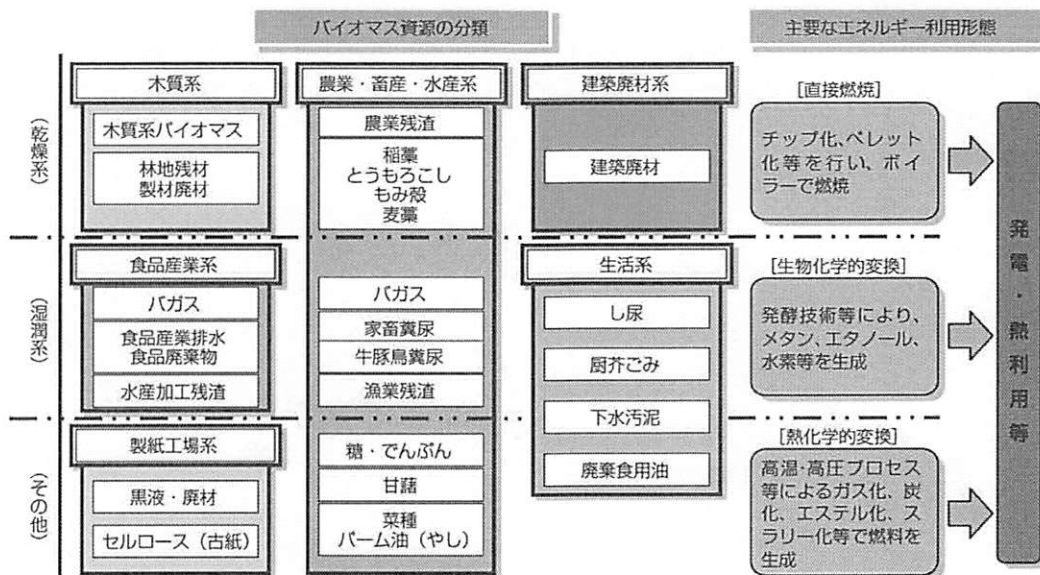


図1 バイオマス資源の分類及び主要なエネルギー利用形態

出所：資源エネルギー庁『エネルギー白書2011』, 109ページ

1-2 畜産バイオマスの活用推進の二つの流れ

日本社会において、バイオマスが化石燃料の代替エネルギーとして注目を集めるようになり、また国の政策としてその活用が推進されるようになったのは、およそ20年ほど前からである。

背景には、資源浪費の危機、地球温暖化の危機および生態系の危機といった社会問題があり、そうした問題が論じられるなかで、「持続可能な社会」の形成が課題として浮上してきた。「持続可能な社会」とは、循環型社会、低炭素社会および自然共生社会といった社会像の総体を指す概念で、一つひとつの社会像は別々に追求されるものではなく、統合的な取り組みによって実現が図られるべきものとされている³。ここでは、政府・関係省庁がバイオマスの活用を推進してきた経緯について、循環型社会と低炭素社会という二つの側面から振り返っておきたい⁴。

一つ目の「循環型社会」の実現に向けた取り組みは、2000年の循環型社会形成推進基本法の制定が大きな契機となっている。環境省が所管する同法は、環境基本法の理念にのっとり、廃棄物・リサイクル関連の諸政策の基盤をなす基本法となる。同法は、形成すべき「循環型社会」とは、廃棄物などの発生抑制、資源の循環的な利用および適正な処分によって、天然資源の消費を抑制し、環境への負荷ができる限り低減される社会としている。また、従来は一緒くたに「廃棄物」として扱われてきたもののうち、有用なものを「循環資源」と位置づけ、その循環的な利用を促進することを定めている。

同法では、バイオマスについての具体的な定めはないが、1999年の家畜排せつ物法（農林水産省所管）、2000年の食品リサイクル法（同省所管）の下で、家畜排せつ物や食品廃棄物を適切にリサイクルして処理することが義務付けられた。それにともない、家畜排せつ物や食品廃棄物をバイオマス資源として活用推進していくこととなる。

2002年12月に閣議決定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」（2006年改訂）は、バイオマスを貴重な資源としてとらえ、エネルギー利用（電源、熱源）を進めていくことを明記した⁵。農林水産省をはじめ

3 環境省（2007）、1～4ページ。

4 以下、古市・石井（2018）、経済産業省・資源エネルギー庁「政策について」を参照。

5 以下のバイオマス活用推進については、古市・石井（2018）、農林水産省「バイオマスの活用の推進」、バイオマス活用推進会

とする関係府省による推進体制の下、地球温暖化防止、循環型社会の形成、農林漁村の活性化などを目標に掲げ、全国の自治体にバイオマス活用に向けた「バイオマスタウン構想」の策定を促すことになる⁶。2009年6月にバイオマス活用推進基本法が施行されると、関係府省はバイオマス活用推進会議を設置し、全国の自治体が公表する「バイオマスタウン構想」のなかから交付金の対象とする施設整備事業を選定して支援した。

しかし、2011年2月に総務省が発表した「バイオマスの利活用に関する政策評価」によれば、国は1,374億円以上を全国市町村のバイオマス事業に投じたが、それらの9割近くで効果が上がっておらず、関連施設の約7割が赤字であり、事業の持続性を含めた多くの課題があった⁷。このような評価を受けて、2012年9月、同会議は「バイオマス事業化戦略」を新たに策定し、全国の自治体から「バイオマス産業都市構想」⁸を募集し、交付金の対象事業を選定するようになる⁹。なおその際には、全国モデルになる先導性、実現可能性、地域波及効果、事業の持続性や長期的な採算性の確保などが評価基準とされている。

表1 国の再生可能エネルギーおよびバイオマス活用に関連する法律、閣議決定等

1999年11月	家畜排せつ物法	1997年 4月	新エネルギー法
2000年 6月	循環型社会形成推進基本法		
2000年 6月	食品リサイクル法		
2002年12月	バイオマス・ニッポン総合戦略	2002年 6月	エネルギー政策基本法
2003年 3月	循環型社会形成推進基本計画	2003年10月	第1次エネルギー基本計画
2006年	バイオマス・ニッポン総合戦略改訂		
2007年 6月	21世紀環境立国戦略	2007年 3月	第2次エネルギー基本計画
2007年 6月	食品リサイクル法改訂		
2009年 6月	バイオマス活用推進基本法		
2010年12月	バイオマス活用推進基本計画	2010年 6月	第3次エネルギー基本計画
		2011年 3月	東日本大震災・福島原発事故
2012年 9月	バイオマス事業化戦略	2012年 7月	再生可能エネルギー特別措置法 (FIT 法) 施行
		2014年 4月	第4次エネルギー基本計画
2015年 5月	水道法改正 (下水汚泥の再生利用)	2015年 7月	長期エネルギー需給見通し
2016年 9月	バイオマス活用推進基本計画見直し	2017年 4月	改正再生可能エネルギー特別措置法施行
		2018年 7月	第5次エネルギー基本計画

筆者作成。

もう一つの「低炭素社会」の実現に向けた取り組みは、2002年のエネルギー政策基本法が嚆矢となる。同法では、「太陽光、風力等の化石燃料以外のエネルギーの利用への転換」「地球温暖化の防止及び地域環境の保全が図られたエネルギーの需給を実現し、併せて循環型社会の形成に資するための施策」を推進することが示され、これ以降、同法の下で「エネルギー基本計画」が数次にわたって策定（閣議決定）され

議（2012）を参照。

6 2010年度末までに300市町村の選定が目標とされた。2011年4月までに318市町村がバイオマスタウン構想を公表した。

7 泊（2012）、73～74ページ。

8 原料生産から収集・運搬・製造・利用まで経済性が確保された一貫システムを構築し、バイオマスを活用した産業創出と地域循環型エネルギーシステムの強化によって、地域の特色を活かしたバイオマス産業を軸とした環境にやさしく、災害に強いまち・むらづくりが目指される。自治体（市町村）単独、県との共同あるいは民間団体との共同により構想を作成する。

9 2020年度までに90市町村が選定されている。農林水産省（2020）、16ページ。鹿児島県内では、2016年度に薩摩川内市と長島町がバイオマス産業都市に選定された。

てきた（表1）。

2011年3月の東日本大震災と東京電力福島原発事故を受けて、2015年7月に政府・経済産業省が示した「長期エネルギー需給見通し」は、2030年までのエネルギー需給構造の基本方針として、再生可能エネルギーを積極的に拡大し、原発依存度の低減を図ることを明記している。

2012年7月には、再生可能エネルギーの普及を促進するために、「再生可能エネルギー固定価格買取制度（以下、FIT制度）」が導入される。FIT制度は、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスのいずれかを活用して発電した電力を、電力会社が一定期間、一定価格で買い取る制度である。

FIT制度では、バイオマスを原料にメタン発酵させ発生させたバイオガスを活用した発電（以下、メタン発酵バイオガス発電）電力は、他の再生可能エネルギー電力よりも高い買取価格が設定されている。こうした価格設定がされている理由は、メタン発酵バイオガス発電にかかる費用が他の再生可能エネルギーを活用した発電と比べて割高であるためである。また、太陽光や風力が「急速なコストダウンが見込まれる電源」であるのに対して、バイオマスは地熱や小水力とともに「地域との共生を図りつつ緩やかに自立化に向かう電源」であると理解されている（第5次エネルギー基本計画）。2017年4月のFIT制度改正によりバイオマス発電の買取価格が見直されたが、木質バイオマス発電電力（21～32円/kwh）に比べて、家畜排せつ物などを原料とするメタン発酵バイオガス発電電力（39円/kwh）はもっとも高い価格に据え置かれている。

以上にみてきた、「循環型社会」のための廃棄物・リサイクル政策と、「低炭素社会」に向けたエネルギー政策は、「持続可能な社会」の形成というスローガンの下に一体化され、バイオマスの活用は二つの政策が重なる場所に位置している。家畜排せつ物などの廃棄物は、「循環型社会」に向けた取り組みのなかで、バイオマスというエネルギー資源とみなされるようになった。また、カーボンニュートラルという特質をもつことから、「低炭素社会」を形成するうえでの有力な代替エネルギーの役割を与えられた。さらに、バイオマスには、「産業創出や環境にやさしく災害に強いまち・むらづくりのための地域資源」（バイオマス産業都市構想）としての期待も寄せられている。

バイオマス、とりわけ畜産系バイオマス（家畜排せつ物）を地域資源としてエネルギー利用するには、施設整備への投資が必要となる。通常、自治体が家畜排せつ物処理施設をバイオガス発電を含むエネルギー施設として開設・運営するには関係府省から交付金を獲得することが不可欠であるが、そのためには、バイオマス事業の持続性や採算性の確保といった課題を克服しなければならない。

1-3 畜産系バイオマス活用の実態

先述したとおり、家畜排せつ物は、メタン発酵バイオガスに転換し、発電や熱利用のためのエネルギーとして利用が可能である。このようなエネルギー利用以外にも、家畜排せつ物には、堆肥に加工して土づくりのために農地に還元する利用の仕方がある。マテリアル利用といって、従来から行われてきたものである。

畜産農家から排出される家畜排せつ物は、かつては、野積み・素堀りといわれる不適正な管理が行われることもあり、悪臭や水質汚濁といった生活環境を悪化させる環境問題を生じさせた。1999年の家畜排せつ物法は、循環型社会の形成を掲げ、一定の飼養規模をもつ生産者に対して野積み・素堀りを禁止している。また、飼養規模にかかわらず、すべての生産者に対して、家畜排せつ物を堆肥として有効利用することを促している。

畜産農家は自らの責任で家畜排せつ物の適切な管理と利用を行うことになっているが、小規模な畜産経営は自家で家畜排せつ物の処理ができないため、それを専門業者に委託するか、地域の自治体が設置する共同処理施設を利用している。

図2は、2016年3月現在の、国内のバイオマス賦存量（発生量）と利活用状況を示している。家畜排せつ物は、廃棄物系バイオマスのなかでもっとも大きな割合を占めている。その家畜排せつ物の利活用は賦存量に対してすでに9割に達しており、その大半は堆肥としての活用である。

家畜排せつ物は畜産経営から排出される産業廃棄物であり、畜産経営にとってその処理は「費用」にはかならない。FIT 制度の導入は、家畜排せつ物を発電や熱利用のためのエネルギー資源として活用することによって、「収入」を生み出す機会を作り出すものである。しかしながら、実際のところ、畜産系バイオマスのエネルギー利用は低調である。

対象バイオマス	年間発生量	利活用状況
生物系廃棄物バイオマス	家畜排せつ物	約8,700万t 堆肥などへの利用 約90% 未利用 約10%
	下水汚泥	約7,900万t 建築資材・堆肥への利用 約75% 未利用 約25%
	黒液 ¹¹	約7,000万t エネルギーへの利用 約100%
	廃棄紙	約3,600万t 製材原料・エネルギーへの利用 約60% 未利用 約40%
	食品廃棄物	約1,900万t 肥料などへの利用 約25% 未利用 約75%
	製材工場等残材	約430万t 製紙原料・エネルギーへの利用 約95% 未利用 約5%
	建設発生木材	約470万t 製紙原料・家畜敷料などへの利用 約70% 未利用 約30%
未利用バイオマス	農作物非食部	約1,400万t 肥料・飼料・家畜敷料などへの利用 約30% 未利用 約70%
	林地残材	約800万t 製紙原料などへの利用 約1% ほとんど 利用なし

図2 バイオマスの賦存量と利活用状況

注1：製紙工程で原料の木材からパルプを製造するときに発生する廃液のこと

資料：新たなバイオマス活用推進基本計画（2016年3月時点データ）

出所：エネルギー庁「バイオマス熱利用」（2020年8月15日閲覧）

https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/biomass/02.html

2. 鹿児島県内における畜産系バイオマス活用の現況と課題

鹿児島県では、2014年に策定された「再生可能エネルギー導入ビジョン」の下、再生可能エネルギーの導入が推進されてきた¹⁰。FIT 制度による再生可能エネルギー発電市場の拡大を背景に、県内の再生可能エネルギー発電量は増大し、2020年度末の導入量目標値に対して、2016年度までに太陽光発電とバイオマス発電¹¹は目標値を達成し、風力発電、水力発電および地熱発電は目標値の9割を超えている。2016年度末の県内における FIT 制度を活用する再生可能エネルギー設備導入量は、合計166.3万 kw で全国第7位である¹²。

全国有数の畜産業を擁し、肉牛、豚の飼養頭数が全国一である鹿児島県は、家畜排せつ物の発生量（賦存量）が多い。しかし、2020年3月末現在の県内の FIT 制度を活用したバイオマス発電の内訳は、木質お

10 鹿児島県（2018）、2～3ページ、6ページ。

11 バイオマスを活用した発電には、直接燃焼のケースとメタンガス化のケースがある。鹿児島県内のバイオマス発電の割合はほぼ前者が占めている。

12 鹿児島県（2018）、139ページ。

よび一般廃棄物を活用した発電に偏っており、家畜排せつ物や食品残渣などの湿潤系バイオマスのメタン発酵バイオガス発電の導入実績はない¹³。

エネルギー利用されない家畜排せつ物は、もっぱらマテリアル利用（堆肥化）に回されている。2014年度の県内の家畜排せつ物の発生量は568.5万トンと推定されるが、そのうちの132.5万トン（約23%）が浄化処理および焼却・産廃処理¹⁴、残りの383.3万トン（約68%）が堆肥化处理、46.8万トン（約8%）が生利用（未処理のまま農地還元）となっている¹⁵。

県の家畜排せつ物に関する利活用計画は、①良質な完熟堆肥の製造技術の向上、②地域によって発生する堆肥量に対する還元用農地の過不足に対応するための広域的な堆肥流通の促進、③家畜排せつ物が需要量を超えて過剰に発生している地域におけるメタン発酵処理等の導入の検討¹⁶、といった具合にエネルギー利用に対しては必ずしも積極的とはいえない。木質および一般廃棄物を活用したバイオマス発電と比べて、家畜排せつ物を用いたバイオガス発電がきわめて低調であるのは、おそらく以下のような事情によるものであろう。すなわち、畜産農家においては、家畜排せつ物は現行の法制度にしたがって適正な処理を行っており、何ら不都合は生じていない。FIT売電を視野に入れて再生可能エネルギーの導入を進める事業者においては、バイオガス発電のFIT買取価格は相対的に高く設定されているものの、畜産系バイオマスを活用する事業は収益性に劣る。行政においては、各種バイオマスについて算出した発生量に対する利用量から割り出される利用率はすでに100%に近づいており¹⁷、そうであれば、バイオマス以外の再生可能エネルギーの導入に注力するほうが効率的である。

堆肥としての活用に必要な家畜排せつ物を、無理矢理にエネルギー利用へ振り向ける必要はない。しかし、現在、県内の家畜排せつ物のうち1割近くが堆肥化处理をされずに生利用、つまり環境負荷の大きなかたちで活用されている¹⁸。これら未処理の家畜排せつ物を、地域によって過剰に発生している分と合わせて、エネルギー利用へ振り向けることを検討できないだろうか。とはいえ、バイオガス発電においては、投入資源となる家畜排せつ物の量を安定的に確保することが重要である。また、一口に家畜排せつ物といっても、牛、豚、鶏のそれでは特性が異なるため一律に扱うことが難しく、処理するバイオマス施設の設計や選択する技術などにもかかわってくる。このように、問題は複雑に入り組んでおり、家畜排せつ物を活用したバイオガス発電などのエネルギー利用には克服すべき課題が多い。

鹿児島県内において、再生可能エネルギーの導入は着実に進められており、FIT制度の下での設備導入状況も全国上位の実績である。しかしながら、2015年度の県内の最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギーの割合は1割に満たない（図3）¹⁹。エネルギー代金（電気、ガス、ガソリンなど）の収支は、県内のほとんどの市町村において赤字状態であり、域内総生産の数%から10%相当の金額がエネルギー代金の支払いのために域外へ流出している²⁰。

13 農林水産省（2020）、20ページ。

14 焼却処理される約6.3万トンはエネルギー利用とみなしうる。産廃処理される排せつ物の一部は堆肥化されていると考えられる。

15 鹿児島県（2016a）、2～3ページ。

16 鹿児島県（2017）、9ページ。

17 同上書、2ページ。

18 同上書、9ページ、鹿児島県（2016a）、2ページ。

19 鹿児島県（2018）、41ページ。

20 同上書、127ページ、環境省（2015）、14ページ。

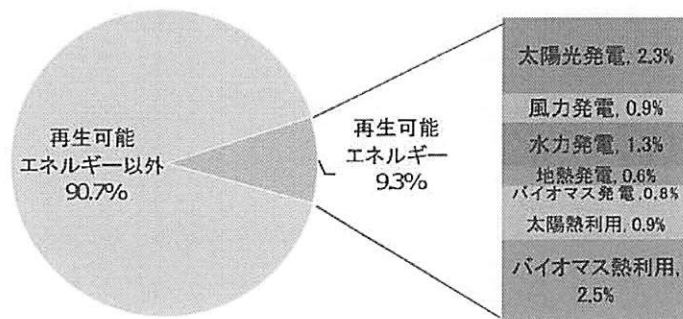


図3 最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギー利用量の割合（2015年度）

出所：鹿児島県（2018），41ページ。

近年，地域経済の持続的発展をつくりだしていくためのアプローチとして，「漏れバケツ理論」²¹が注目されている。それは，地域からの所得の流出を減らして，いったん地域に入った所得は地域内で循環・滞留させることを重要視し，そのためには，穴が空いて水漏れしているバケツの穴をふさぐ取り組み，すなわち地域外へ所得を流出させてしまっている地域経済のあり方を変えていく取り組みが必要であるというものである。地域経済の持続的発展を支える資金循環および再投資のための政策として理にかなっており，エネルギー自給率の向上や自立・分散型の電力システムの構築といった，再生可能エネルギー導入の意義とも一致する。

家畜排せつ物を活用したメタン発酵バイオガス発電によるエネルギーの地産地消は，長期的な視点に立てば，域内所得の域外への流出を抑制することに寄与するであろう。かならずしも，FIT制度を活用した発電施設である必要はなく，売電収入の獲得を目的とせず，施設内や周辺の限られた範囲の地域への電力供給を賄うだけの自立・分散型の自家消費電力であってもよい。畜産系バイオマス事業を域外へのエネルギー代金の支払いをわずかでも減らして所得流出を抑制することに寄与し，さらには域内所得の再投資先となって所得の域内循環の一環となるような事業として創出・育成していくことが求められる。

3. 畜産系バイオマス事業の採算性

3-1 事業の持続可能性

図4は，地域内にあるバイオマスを活用した資源循環システムを構築するにあたって考慮すべき要素を示している²²。バイオマスの活用を持続的な事業にするためには，次のような要素が必要であるとされている（カッコ内は，畜産系バイオマスの活用を想定した場合に考慮すべきこと）。

21 イギリス・ロンドンに本部のある New Economics Foundation (NEF) が提唱する概念。枝廣（2018）を参照。

22 以下，古市・石井（2018），39～43ページを参照。

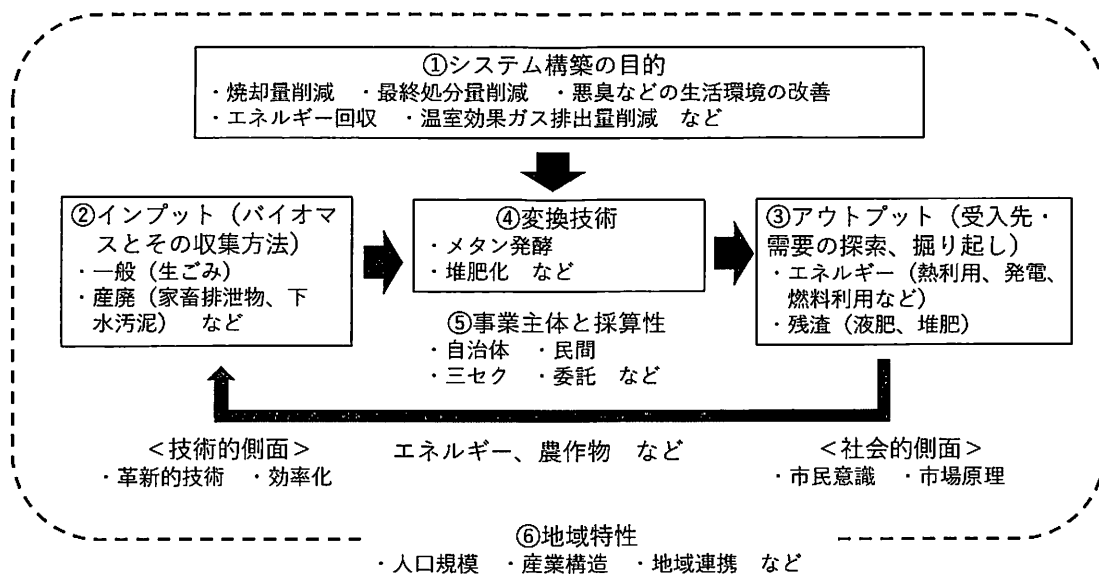


図4 バイオマス循環システム構築の考え方

出所：古市・石井 (2018), 39ページをもとに著作作成。

①システム構築の目的の明確化 (環境保全, 堆肥化に加えて, バイオガス発電などのエネルギー利用を目的とするか否か), ②活用するバイオマスとその収集方法の選定 (牛, 豚などの畜種の別, 収集・投入の数量, 食品残渣などの混合の有無など), ③産出するエネルギーや資源の利用方法の選定 (堆肥や液肥の還元農地の確保, バイオガス発電電力の自家消費・売電など), ④変換技術の選択 (堆肥化, メタン発酵, 浄水処理など), ⑤事業主体の選定 (自治体, 民間, 第三セクター, 事業委託など), ⑥地域特性 (耕種農家との連携など)。これらに加えて, 地域において効率的に資源を循環させるためには, 新技術の導入, 資源となる廃棄物の分別やバイオマス活用に関する住民の理解といったことも重要となる²³。これらの各要素を適切に選択して配置することによって, 目的に合致したバイオマス事業を採算性を確保するかたちで成り立たせることができる。

家畜排せつ物を用いたメタン発酵バイオガス発電を資源循環システムとして成り立たせるには多くの課題が存在している²⁴。とりわけ重要な課題は, バイオマス事業の採算性の確保である。先にも述べたとおり, 畜産系バイオマスを原料とするバイオガス発電は, 太陽光などの再生可能エネルギーによる発電と比較すると, 施設の整備費や維持管理費が高つく。メタン発酵の過程で発生する硫化水素による施設の腐蝕を防ぐためには, 硫化水素の除去装置を設置し常時監視する必要もある。また, メタン発酵過程で生成される消化液を排水する場合には, 浄化処理施設の整備や薬剤などの費用も発生する。こうした結果, バイオガス発電事業の利益率は低く, 採算性の確保が困難となる。

畜産系バイオマスとは, 産業廃棄物とされている家畜排せつ物である。したがって, 畜産系バイオマスを活用した事業を考えるにあたっては, エネルギー事業である以前に, 家畜排せつ物処理事業として理解しておく必要がある。家畜排せつ物処理を行う施設の運営は, 事業収入として家畜排せつ物の処理料の徴収が行われるが, その料金水準は処理料を支払う畜産農家が許容できる水準にとどめざるをえない。また, 家畜排せつ物から加工生産される堆肥や液肥の販売収益が見込めるが, 通常, 自治体あるいは

23 みやま市バイオマスセンター, 大木町おおき循環センター, そおりサイクルセンター大崎有機工場では, 地域住民と自治体の協働によるごみ分別収集の徹底, メタン発酵で発生する液肥の地域ぐるみの活用などが資源循環システムを成り立たせている。松本 (2020) 参照。

24 鹿児島県 (2016b), (2017), 菊地 (2018), 中西 (2019) を参照。

第三セクターが運営するバイオマス施設は、耕種農家や地域住民に対して、堆肥や液肥は比較的廉価で販売するか、無料で配布することが多い。こうしたことも採算性の確保を困難にする一因である。その他の収入源としては、メタン発酵バイオガス発電を通じたFIT売電の収入がありうる。大規模施設でのバイオガス発電が可能であれば、設備投資と売電収入とが見合って採算を確保しやすくなるが、すると今度は、大規模施設の運転を維持するために必要な大量の家畜排せつ物を安定的に確保し続けなければならなくなる。こうした事情から、バイオガス発電を行っている施設においても、FIT売電をできるだけ発電量を確保できるとは限らず、発電した電力は施設内での自家消費に充てるにとどまる。

3-2 バイオマス事業の採算性——3つの事例

この20年ほどの間に、全国各地でメタン発酵施設を備えた家畜排せつ物処理施設が公設公営方式で運用されてきたが、それらすべての施設が順調に操業を続けているわけではない。以下、3つのバイオマス施設の事例から事業の採算性について考えてみたい。

①八木バイオエコロジーセンター（京都府南丹市）²⁵

地元の畜産農家から排出される家畜排せつ物の共同処理施設として、1998年に八木町（当時）と農協の出資によって設立され、家畜排せつ物の堆肥化とメタン発酵バイオガス発電および液肥の生産を行っている。

同センターでは、畜産農家から搬入される家畜排せつ物のほかに、食品加工工場から排出される食品残渣を積極的に受け入れており、これらの食品残渣の処理料（トン当たり1万円前後）を家畜排せつ物の処理料（トン当たり850円）よりも高く設定することによって有力な収入源としている。堆肥と液肥の販売収入・散布料収入のほか、バイオガス発電によるFIT売電収入もある（年間約1,000万円）。支出面では、人件費や修繕費のほか、浄化処理に使用する薬剤費（年間約2,500万円）が嵩んでいるが、大学との共同研究を通じて費用削減のための技術改良に努めている。

開設から20年以上が経過し、施設の老朽化が進んでいる。近年、年間数千万円の施設改修費を必要としてきたが、南丹市からの財政支援を受けて事業を存続させている。南丹市では前市長の時期から循環社会の形成に向けた取り組みを積極的に進めてきた実績があり、2015年に「バイオマス産業都市」に選定されてもいる。

②山鹿市バイオマスセンター（熊本県山鹿市）²⁶

農林水産省のバイオマス利活用フロンティア整備事業の第1号に採択され、2005年に初期投資額10.3億円（国庫補助50%、県補助10%、市負担40%）をかけて建設され、家畜排せつ物や食品残渣などを原料にした堆肥の生産、メタン発酵バイオガス発電および液肥の生産を行っている。

同センターでも、上記の八木バイオエコロジーセンター同様に、家畜排せつ物の処理料よりも食品残渣の処理料を高く設定しているが、搬入されるバイオマスのほとんどは家畜排せつ物が占めている。また、メタン発酵バイオガス発電を行っているが、施設内での使用にとどまり、FIT売電による収入はない。

近年、畜産農家の減少に伴って家畜排せつ物の搬入量が減っており、このことが処理料収入を減少させ、事業収支を悪化させたと考えられる。また、施設の老朽化に伴う維持管理費が増大したことも原因となり、2013年以降は毎年4000万円超の赤字を出し続けてきた。こうした結果、畜産農家に貸与する堆肥製造施設を除く施設をすべて解体し、2020年度には施設の運営を廃止することになった。山鹿市は、同センターの

25 菊地（2018）、松本（2020）などを参照。

26 山鹿市（2009）、『熊本日日新聞』2019年3月7日を参照。

廃止にもなって、個別に家畜排せつ物の処理施設を整備しなければならなくなる畜産農家を支援するために予算を計上しているとのことである。

③鹿屋市畜産環境センター（鹿児島県鹿屋市）²⁷

養豚農家の経営規模の拡大にもなって家畜排せつ物の量が増えたが、野積み・素掘りといった不適切な管理がされていたことによって、河川の水質汚濁が深刻化した。1999年の家畜排せつ物法を機に、自前で処理施設を整備することが困難な畜産農家から共同処理施設の整備が要望され、2001年に家畜排せつ物の堆肥化、河川の汚染防止を目的とする同センターが開設された。同センターでは、当初はメタン発酵バイオガス発電を行って電力を施設内で自家消費していた。しかし、メタン発酵の過程で発生する硫化水素による施設の腐蝕が進んでしまったため、現在はメタン発酵を行っておらず、家畜排せつ物の固液分離による堆肥化と浄化処理に特化した施設となっている。

排せつ物処理料はトン当たり1000円程度に抑えられているが、食品残渣などのバイオマス資源の受入れとその処理料から得られる収入はない。これらのことが同センターの収支悪化の一因になっていると考えられる。また、収入源としては、良質な堆肥が生産・販売されているが、固液分離後の浄化処理の費用が高んでいる。鹿屋市は、事業収支の悪化が続いていることを理由に、数年内に同センターを廃止する予定である。

同センターは、河川の水質汚染対策として、家畜排せつ物の浄化処理を行うための共同施設として創設された経緯をもつ。山鹿市がバイオマスセンターの廃止に伴って個別に処理施設の整備が必要となる畜産農家を財政支援するように、今後、鹿屋市においても処理施設の整備への補助金の支出が環境保全の観点から求められることになろう。

以上、やや性格の異なる3つの畜産系バイオマス施設について、採算性の確保に注目しながら概観した。図4で示した循環システムを構築する各要素がうまく組み合わせることによって採算性が確保され、事業の継続が可能になることがわかる。八木バイオエコロジーセンターは、インプットするバイオマスに食品残渣を加えることによって安定的な収入の確保に努めている。他方、山鹿市バイオマスセンターと鹿屋市畜産環境センターは、インプットするバイオマスの処理料によっては十分な収入を確保することができず、このことが採算性を悪化させる要因となっている。

八木バイオエコロジーセンターは、自治体の財政支出に支えられて事業を継続しているが、山鹿市バイオマスセンターと鹿屋市畜産環境センターは、採算性の悪化が自治体財政の支出増加を招いていることを理由に廃止（予定）に至った。

地域の畜産農家から排出される家畜排せつ物の処理施設は、産業廃棄物の処理という公共サービスを担う公共施設であるといえる。それゆえ、畜産農家が支払う処理料は低めに設定されており、処理料を事業の主要な収入源とすることには制約がある。このような公共施設の維持に必要な費用の負担はどのように行われるべきなのか。畜産農家は地域経済を構成する経済主体である。また、家畜排せつ物の適正な処理が滞ると地域住民の生活環境の悪化につながる懸念がある。こうしたことを考慮に入れるならば、畜産系バイオマス関連施設の存続の可否は、地域社会全体の課題として検討され、対応するべきであろう。

27 中西（2019）、松本（2020）を参照。

4. バイオマス施設の費用負担

畜産系バイオマス施設は、産業廃棄物処理施設である。家畜排せつ物を受入れて、エネルギー利用であれ、マテリアル利用であれ、最終的には浄水処理などを施すことによって、環境への負荷を除去・低下させる役割を果たす。そこで、廃棄物処理などにかかわる環境政策を対象にしてきた環境経済学の知見（費用負担原則）を参考にしながら、家畜排せつ物処理を担う公共施設としての畜産系バイオマス施設の費用負担について考えてみたい。

4-1 外部不経済の内部化

1999年の家畜排せつ物法の施行以前、畜産農家の家畜排せつ物の不適正な管理・処理が環境問題を発生させていた。生産者（畜産農家）が環境保全のために必要な費用を支出せず、その結果、市場取引の外部で、当事者（畜産農家）以外の経済主体（地域住民など）に悪臭や水質汚濁といった悪影響が及んでいたという見方ができる。このような事態を経済学では「外部不経済」と呼ぶ。当事者以外の経済主体が被る悪影響を費用とみなし、社会全体で負担している社会的費用と、生産者が市場取引を通じて負担する私的費用（生産費用）の間に乖離が生じている場合、その乖離分（外部費用）を生産者に負担させる。そうすると、生産者の追加的な費用が商品価格を押し上げて需要を減らし、その結果として環境悪化が減少する。あるいは、生産者が追加的な費用負担を回避する代替品の生産に移行したり、技術改良を行ったりするインセンティブが生じることにより環境悪化が減少する。このことを「外部不経済の内部化」といい、そのための政策手段の一つがピグー税である。

ピグー税的な考え方によれば、排せつ物処理に必要な費用を畜産農家に対して課すことにより、畜産農家は生産価格が上がり需要が減るため生産数を減らしたり、家畜排せつ物による環境悪化を招かないような生産に切り替えたりするので、結果として家畜排せつ物が減って環境問題の解決につながるようになる。

しかし、畜産経営の事情を考慮に入れるならば、こうした想定は現実的とはいえない。むしろ肥育頭数を減らして畜産農家の所得を減少させたり、処理費用を負担できない畜産農家の事業継続を困難にしたりしかねず、そのことは地域経済の振興や雇用・所得の確保といったことから考えて、望ましい政策手段とはいえないであろう。

環境経済学の分野ではさまざまな環境政策に関わる実証と理論の研究が進められ、ピグー税的な考え方を超えて、環境保全費用の公正な配分といった観点から費用負担のあり方が論じられてきた²⁸。それらの知見を援用すると、畜産系バイオマス施設の運営についてどのような費用負担のあり方を考えることができるだろうか。

4-2 廃棄物処理の費用負担

事業所から排出される事業系ごみや産業廃棄物については、廃棄物運搬・処理業者に処理料を支払うことで処理が行われる。こうした費用負担のあり方を原因者負担原則という。この場合、事業者が自らの商品生産において処理料を生産費用に転嫁すれば、「外部不経済の内部化」が行われることになる。この事業者の商品を購入する消費者は、商品価格に転嫁された外部費用を間接的に負担することになる。こうした原因者負担原則を採用することは、原因者（事業者）に環境負荷の低減につながる産業廃棄物の排出量を抑制させるインセンティブとなり、社会的な総処理費用を小さくする効果がある。

28 諸富・浅野・森（2008）、212ページ。

家庭から排出される生ごみやし尿といった一般廃棄物は、地方自治体あるいは委託業者によって処理が行われる。こうしたごみ処理サービスに必要な費用は、多くの場合、納税者共同負担原則（公的負担）によって賄われている。このような原則が広く受け入れられる理由は、一般廃棄物の処理といったサービスが環境衛生の向上につながるということが明白であり、このことを原因者でもあり受益者でもある納税者・住民の多くが受け入れているからだといえる。

ただし、近年、ゴミ処理の有料化のように、廃棄物の排出者が費用を負担する原因者負担原則が一部に取り入れられるようになってきた。ごみの有料化は、排出量に応じて費用負担を課す点で原因者負担原則にかなない、公共サービスからの受益の大きさに比例している点で受益者負担原則にもかなっている。こうしたことが、廃棄物処理を純粋な納税者共同負担（公的負担）から原因者負担もしくは受益者負担を加味した納税者共同負担へ移行させる根拠になっている。公的負担と原因者負担あるいは受益者負担をどのように組み合わせるのが最適な費用負担なのかということが、廃棄物処理の費用負担をめぐる明らかになるべき課題である²⁹。

自家で家畜排せつ物の処理ができない畜産農家は、家畜排せつ物の処理を専門業者に委託するか、自治体が設置する共同処理施設の処理費用の一部を支払って使用している。前者の場合は、原因者負担原則による費用負担がなされているものと理解できる。後者の場合、費用負担は、一部を原因者である畜産農家が負担するが、残りは公的負担つまり住民の納税者共同負担となっていると理解できる。

前節で、山鹿市バイオマスセンターと鹿屋市畜産環境センターが廃止（予定）に至った経緯に触れた。投入するバイオマスの種類や地域特性に違いはあるが、事業の採算性の悪化を主な理由として自治体が財政支出を止める判断をしたことは共通している。自治体にとって財政支出が過重な負担となっていることが、家畜排せつ物処理施設を地域社会における「公共財」として提供し続けることを諦めざるをえない主な原因であると考えられる。しかし、家畜排せつ物処理施設は、バイオガス発電などの畜産系バイオマスのエネルギー利用の機能を持たせることができれば、循環型社会の形成、自立・分散型発電システムの構築あるいはエネルギー代金の域外流出の抑制などを通して地域経済の持続的発展に寄与するバイオマス施設になる可能性をもっている。その際、費用負担のあり方として以下の二つを考えることができる。

①受益者負担の拡大——堆肥・液肥の値上げ

現行の公的な家畜排せつ物処理施設の費用負担は、原因者負担原則と納税者共同負担原則が組み合わさっている。原因者負担原則によって畜産農家に処理費用の全額を負担させることは畜産経営の費用負担の点から困難である。他方で、家畜排せつ物処理施設への自治体財政からの支出を維持することが困難な事態も生じている。そこで、受益者負担の考え方を拡大させて、費用負担のあり方を検討することはできないだろうか。現在、家畜排せつ物処理施設で生産されている堆肥や液肥の利用者である耕種農家や地域住民は、家畜排せつ物処理サービスの受益者であるといえる。施設の運営が持続することによって、良質な堆肥や液肥を継続して入手できるようになる。そこで、堆肥や液肥の価格引き上げというかたちを通して、受益者である耕種農家や地域住民に施設維持費の一部を負担してもらうことはできないだろうか。

その際、耕種農家に対して堆肥や液肥の値上げによって農産物の生産費用の引上げを一方向的に押し付けるのではなく、農畜産物の地産地消を基礎にした資源循環システムを生産者・行政・住民らが共同して作り出し³⁰、地域における農産物の消費拡大や価格引き上げなどを通して生産者の費用負担を分かち合うことが望ましいであろう。

29 同上書、218ページ。

30 例えば、福岡県大木町、みやま市、鹿児島県曾於市では、バイオマス施設で生産した堆肥や液肥を用いて栽培した菜の花から搾った菜種油や有機野菜のブランド化を進めている。松本（2020）64～66ページ。

②原因者負担の拡大——排せつ物処理料の引上げと取引業者への価格転嫁

畜産経営を圧迫することになりかねない家畜排せつ物処理料の引上げには限界がある。そうであれば、畜産農家と直接・間接に取引のある食肉加工業者や卸売業者との取引価格に費用の一部を転嫁することによって、それらの業者に家畜排せつ物の処理費用の負担を分担してもらうことはできないだろうか。肉牛と比べて豚の場合は、預託された肥育農家から卸売業者が直接買い取りを行うことが多い。その際の買い取り価格に排せつ物処理費用を埋め込むようなしくみをつくることができれば、事業収入の確保のために排せつ物処理料を引上げたとしても畜産農家の負担増加を回避でき、また、自治体財政の負担軽減にもつながる。

市場競争のなかで肉の仕入れ価格をできるだけ低く抑えることが当然である取引業者にとっては、家畜排せつ物の処理費用の一部を買い取り価格に上乘せすることは容易には受け入れられないであろう。大手業者と畜産農家の間に契約相手の選別や取引価格の決定に関して非対称な関係が存在しているのであれば、特定の自治体・地域でのみそのようなルールを導入することは、契約農家の選別を助長することになるであろうことから現実的な方策ではないかもしれない。

しかし、適正な取引価格とは、生産費の一部と考えられる廃棄物処理費を含むべきである。畜産系バイオマス施設の持続的な運営にとって、採算性の確保が避けることのできない問題であるかぎり、畜産農家と自治体といった既存の費用負担者の枠を超えた利害関係者の間において、つまり原因者負担原則の考え方を拡大し、原因者を取引企業にまで拡大して費用負担のあり方を模索するべきではないかと考える。

おわりに

バイオマスは再生可能エネルギーとして発電などに活用することができる資源であるが、そもそもその多くは廃棄物である。エネルギー生産と廃棄物処理という二つの経済活動が一体となって行われるところが、バイオマス活用の特徴であり、太陽光や風力、水力など他の再生可能エネルギーとの間にある大きな違いである。エネルギー生産と廃棄物処理という二つが重なり合う経済活動について考察を深めることが、畜産系バイオマスのエネルギー利用を進めるうえでも重要だと考える。

畜産系バイオマスの活用は、エネルギー事業として採算性を確保しにくいという事情だけでなく、家畜排せつ物処理施設が、畜産農家の経営を支える公共的役割を担う施設であるがゆえに、家畜排せつ物処理事業として採算性を確保しにくいという問題を抱えている。費用負担のあり方を通して、家畜排せつ物処理事業としての持続性を確保することが必要であり、そのことと合わせて、エネルギー事業としての可能性は議論されるべきである。上記のような問題に関しては、「バズの経済学」や「静脈産業論」といった研究がすでに環境経済や農業経済の分野で蓄積されている。それらの研究成果に学び、畜産系バイオマス活用の可能性についてさらに考察を進めていきたい。

バイオガス発電によるエネルギーの地産地消は、域内所得の流出を抑制する効果があることを述べた。「漏れバケツ理論」が提唱する穴を塞ぐ作業である。そうした経済活動の効果を明らかにするには、地域経済循環分析や産業連関分析などの方法を使って、地域経済の移出入の構造を丁寧に解きほぐし、エネルギー資源の循環構造の動態を再構成し、その経済効果を検証するといった作業が必要である。今後の課題としたい。

終盤でバイオマス施設の費用負担のあり方について考えてみた。費用負担原則という環境経済学の知見に学んで、畜産系バイオマス事業の持続可能性と費用負担のあり方を考える手がかりを得たかった。しかし、バイオマス施設の収支報告書や自治体の財政状況を基礎に据えた議論ではなく、また畜産の専門知識には乏しく理解が足りないところが多いため、随分と上滑りな議論になってしまったと思う。これらの

点も今後の課題としたい。

謝辞

本稿は、2019年度日本ガス株式会社の委託研究助成を受けて実施した研究成果の一部である。訪問調査に際して、施設を案内いただき、様々な情報をご教示いただいた、みやま市バイオマスセンター、大木町おおき循環センター、そおりサイクルセンター大崎有機工場、鹿屋市畜産環境センター、南丹市八木バイオエコロジーセンターの関係者の方々に、ここに記して感謝申し上げます。

文献

- 枝廣淳子 (2018) 「地元経済を創りなおす—分析・診断・対策」 岩波書店
- 鹿児島県 (2016a) 「鹿児島県における家畜排せつ物の利用の促進を図るための計画」
- 鹿児島県 (2016b) 「バイオマスエネルギー利用に向けた取組方針」
- 鹿児島県 (2017) 「鹿児島県バイオマス活用推進計画」
- 鹿児島県 (2018) 「再生可能エネルギー導入ビジョン2018」
- 環境省 (2007) 「21世紀環境立国戦略」 https://www.env.go.jp/guide/info/21c_ens/index.html (2020年7月1日閲覧)
- 環境省 (2015) 「地域経済循環分析とは」 <https://www.env.go.jp/press/files/jp/28653.pdf> (2020年8月15日閲覧)
- 経済産業省・資源エネルギー庁 (2011) 「エネルギー白書 2011」
- 経済産業省・資源エネルギー庁「政策について」 <https://www.enecho.meti.go.jp/category/index.html> (2020年7月1日閲覧)
- 菊地裕幸 (2018) 「畜産系バイオマスエネルギーの可能性とその活用・普及へ向けた条件—鹿児島経済における域内循環促進の観点から—」 『地域総合研究』 第45巻第2号
- 黒瀬郁三 (2016) 「研究報告 大隅の地域振興と再生可能エネルギー—バイオマス産業都市をめざして—」 『地域総合研究』 第44巻第1号
- 国立環境研究所「バイオマス発電」 <https://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=2> (2020年8月15日閲覧)
- 泊みゆき (2012) 「バイオマス本当の話—持続可能な社会に向けて—」 築地書館
- 中西孝平 (2019) 「豚ふんバイオマス発電の促進と協同組合」 『地域総合研究』 第47巻第1号
- 農林水産省「バイオマスの活用の推進」 <https://www.maff.go.jp/j/shokusan/biomass/> (2020年8月15日閲覧)
- 農林水産省 (2020) 「バイオマスの活用をめぐる状況 令和2年8月」
- バイオマス活用推進会議 (2012) 「バイオマス事業化戦略」 <https://www.maff.go.jp/j/press/shokusan/bioi/pdf/120906-02.pdf> (2020年7月1日閲覧)
- 原後雄太・泊みゆき (2002) 「バイオマス産業都市—「生物資源 (バイオマス)」の基礎知識」 築地書院
- 古市徹・石井一英 (2018) 「エネルギーとバイオマス—地域システムのパイオニア—」 環境新聞社
- 松本俊哉 (2020) 「バイオマス資源の活用による地域づくりの事例調査」 『地域総合研究』 第47巻第2号
- 諸富徹・浅野耕太・森晶寿 (2008) 「環境経済学講義」 有斐閣
- 山鹿市「有機資源循環施設 山鹿市バイオマスセンター」 <http://www2.jarus.or.jp/biomassdb/image/4300012/yamaga-pamphlet.pdf> (2020年8月1日閲覧)
- 山鹿市 (2009) 「山鹿市バイオマスタウン構想」 https://www.maff.go.jp/kyusyu/kikaku/baiomasu/pdf/kumamoto_yamagashi.pdf (2020年8月1日閲覧)