

# 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—

菊地 裕幸\*

It is important for the Kagoshima area to increase the use of stockbreeding biomass energy toward more sustainable development. But there are many problems which must be addressed where stockbreeding biomass energy is concerned. In this paper, I will clarify the conditions and problems inherent to the use and furtherance of this energy. I will also describe nationwide trends for stockbreeding biomass energy, and assess the significance and potential of biomass energy from the viewpoint of economic and regional stimulation.

## はじめに

現在、地方創生が大きな課題となっている。人口減少や少子高齢化の中で地域経済は縮小・低迷を余儀なくされ、各自治体とも決め手を欠いたまま苦闘を続けている。

鹿児島県の経済構造は、域外からの外貨獲得よりも域外への所得流出の方が一貫して大きく、2014年の純移輸出額はマイナス8,000億円と大幅な移入超過となっている。再生可能エネルギー固定価格買い取り制度の導入等により、鹿児島県内でも近年、再生可能エネルギーが急速に普及しているものの、それらのほとんどは県外大手資本によるものであり、結果、所得は県外へ流出し、地域経済の活性化には必ずしもつながっていない<sup>1</sup>。

地域経済の自律的・持続的発展のための基本条件が、地域の資源を活用し、地域に住む人が主体となって所得を創出していくこと（移出力強化）、および、域内経済循環の促進により、それを地域内に持続的に再投資していくことであるとするならば、鹿児島経済が真に地方創生を実現していくためには、現状の大幅移入超過の経済構造およびそのことに何の問題意識も持たない人々の価値意識を変革し、不退転の決意でもって循環型経済・社会の構築を進めていくことが不可欠であろう。

地域の移出力強化や域内循環促進の観点から見れば、バイオマスエネルギーは地域の原料を活用・循環させてエネルギーや所得を獲得する仕組みであるから、大きな可能性を秘めていると言える。しかも鹿児島県は全国有数の畜産県であるから、畜ふん尿はふんだんに存在しており、それを有効に活用しない手はあるまい。

循環型経済・社会の構築という観点からも、畜産系バイオマスエネルギーの活用・普及は本県の持続的

---

キーワード：域内循環、バイオマスエネルギー、地域経済の持続的発展

---

\*本研究所所員・本学経済学部教授

---

1 黒瀬（2016）6ページ参照。

発展にとって極めて重要であると言えるが、畜産系バイオマスエネルギー、特に豚糞を活用したバイオマスエネルギーにはクリアすべき課題も多いのが現状である。

そこで、本稿では、畜産系バイオマスエネルギーの全国における動向を踏まえつつ、その更なる活用・普及へ向けた条件や課題を明らかにするとともに、経済面や地域活性化の面から見たその意義と可能性について探っていくこととしたい。

## 1. 鹿児島県における経済および畜産業の現状と課題

### (1) 地域経済発展の原則と鹿児島県経済構造における課題

一般に地域経済が持続的に発展していくためには、①域内に資金を呼び込む力(移出力)を高めること、②域内の資金を循環させ漏出を防ぐこと、の両方が必要である<sup>2</sup>。①②の条件が満たされることによって、翌年、翌々年……と持続的に地域内に再投資し、地域経済の持続的・自律的發展を実現していくことが可能となる<sup>3</sup>。①のためには、海外も含めた域外から積極的に外貨を獲得し得る移出産業を育成し、移出力を強化すること、また②のためには、できうる限り域内の産業連関を強化し、地域内で経済を循環させていくことが重要となる。

このような観点から鹿児島県を見た場合、現状では問題があると言わざるを得ない。鹿児島県が作成している「平成23年鹿児島県産業連関表」によると、鹿児島県全体では、移輸出額から移輸入額を差し引いた域外収支(純移輸出額)は5,926億円のマイナスとなっている。また、内閣府「2014年度県民経済計算」では8,000億円(統計上の不突合を含めると約1兆円)の大幅移輸入超過となっている。これらより鹿児島県経済においては、域外から外貨を獲得し得る移出力が弱く、また域外への所得の漏出が多くなっているということがわかる。この状態が続くと、地域内再投資に振り向け得る資金は減少し、地域経済は縮小していくこととならざるを得ない。

その一方で、移出力は、無原則に何でも強化すればよいというものでもない。たとえ企業誘致などで移出力が強化されたとしても、当該産業の地域内産業連関が弱く、域外への漏出が大きければ、地域内再投資力が高まったとは必ずしも言えないからである。企業誘致はたしかに移出力強化や雇用吸収力強化に大きな力を発揮し得るが、誘致企業の多くは原材料などを域外から調達し、域内企業との連関性は弱いなど、域内経済循環という点からは問題があると言わざるを得ない。原子力発電所誘致などはその最たるもので、電力移出による移出力強化や定期検査中の地元宿泊業や飲食業などへの経済効果、それに電源交付金・固定資産税などの財政的効果などは見られるものの、原発は特殊産業であることから地元他産業への経済波及効果はほとんどなく、雇用増加も建設時や定検時など限られたものに過ぎない。何よりも東日本大震災を経て、災害時のリスクはとてつもなく大きいことが改めて浮き彫りとなり、原発の新設・増設によって移出力強化や地域経済の振興を図っていくという戦略は、抜本的な見直しが不可避の情勢となっている。

これからの経済社会は、従来型の工業中心社会から、サービス産業中心あるいは情報・知識産業中心の社会へと変化していくことが確実視されている。また、経済のグローバル化が進み、国内企業の地方移転は今後ますます困難となるであろう。地域の個性や風土を無視したやみくもな工業中心の企業誘致を推進するのではなく、地域固有の資源や強みを活かし、地域に根差した事業と地域内連携によって移出力を高め、域内経済循環を促進していくことこそ、地域経済の持続的・自律的發展のための王道であると言えるであろう。

2 中村(2014)6ページ参照。

3 地域内再投資力論については、岡田(2005)139ページ参照。

## (2) 経済面から見た鹿児島県畜産業の現状と課題

地域に根差した固有の産業という点では、鹿児島県においては、農林水産業はその代表格であると言える。中でも畜産は本県農業産出額の約6割を占めており、その中核に位置している。全国の畜産業と比較しても、本県畜産の産出額は2,837億円（2015年）で北海道に次いで全国第2位<sup>4</sup>、肉用牛（肉用種）および豚の飼養頭数は全国1位（2017年）となっており<sup>5</sup>、本県畜産業は全国において押しも押されぬ確固たる地域を確立していると言ってよい。

その一方で、本県の畜産業には、課題も多く存在している。移出力に関して、「平成23年鹿児島県産業連関表」によると、畜産の産出額は2,359億円で、耕種農業（1,761億円）や漁業（1,075億円）より大きくなっている一方、移輸出額では耕種農業920億円、漁業710億円に対して畜産は558億円と両者よりも少なくなっており、「稼ぐ力」の観点から問題があると言わざるを得ない。移輸出額から移輸入額を差し引いた純移輸出額も81億円で、かろうじてプラスになっている程度である<sup>6</sup>。産出額に占める純移輸出額の割合も3.4%と、極めて小さな割合に留まっている。

付加価値の点においても畜産は、産出額の割には付加価値額が低く、524億円で留まっている（粗付加価値）。その結果、産出額に占める付加価値額の割合である付加価値率も22.2%と、耕種農業（58.5%）や漁業（31.9%）を大きく下回っている。畜産の付加価値率が低位に留まっている大きな要因の1つとして、飼料代が大きな負担となっていることが挙げられる。鹿児島県や農林水産省の資料では、肥育豚1頭当たり費用の約66～70%は飼料代が占めており、この多寡が養豚農家の収益性に大きな影響を及ぼすとされている<sup>7</sup>。鹿児島県（2017・a）においても、畜産の産出額2,359億円のうち787億円（産出額の33.4%）が飼料代とされている。しかも、養豚の飼料となっているとうもろこし、大豆油かす、こうりゃん、大麦等の濃厚飼料はほぼ100%を輸入に依存しており<sup>8</sup>、その代金はまるまる県外どころか国外へ消え、県内、国内の所得の漏出を生じさせている。

このような状況を改善し、国内由来飼料の利用増進を図るべく、国では国内産の飼料用米やエコフィード（食品残さ等を有効活用した飼料）の生産および利活用を推進している。取り組みの成果は徐々に出てきているものの、必要とされる飼料全体からすればまだまだ微々たるものに過ぎないのが現状であり、そのさらなる生産・利活用の拡大が期待されている。特に本県は飲食料品製造業が盛んである<sup>9</sup>ので、川下の食品小売業や外食産業なども含めた「食」関連産業全体で連携を強化しつつエコフィードを広めていくことが、畜産の発展はもちろんのこと、鹿児島経済全体の域内循環の促進につながり、ひいては鹿児島経済の持続的発展に資することになるであろう。

その他にも、本県畜産業には、飼養戸数の減少<sup>10</sup>と担い手・後継者の問題、悪臭等の環境問題、家畜排せつ物処理コストの負担等、解決すべき多くの課題が存在しており、本県の重要な基幹産業である畜産を維持・発展させていく観点からも、1つ1つ丁寧かつ早急に課題をクリアしていくことが求められる。

## (3) 畜産系バイオマスエネルギーによる地域経済振興および循環型社会形成の可能性

畜産における家畜ふん尿は、適正に処理することでバイオガス（メタンガス）を発生し、それをもとに

4 農林水産省（2017）「平成27年生産農業所得統計」

5 農林水産省（2017）「畜産統計（平成29年2月1日現在）」

6 耕種農業は移輸出額よりも移輸入額の方が大きく、純移輸出額は-283億円となっている。漁業の純移輸出額は618億円と健闘している。鹿児島県（2017・b）統計表参照。

7 鹿児島県（2017・a）および農林水産省生産局畜産部（2014）9ページ参照。

8 農林水産省生産局畜産部（2014）9ページ参照。

9 鹿児島県の「食」関連産業については、菊地（2017）を参照。

10 豚の飼養戸数は、1995年には1,540戸だったのが2005年には947戸、2015年には557戸と大きく減少している。農林水産省「畜産統計」各年版および鹿児島県（2017・a）を参照。

電力や熱などのエネルギーを得ることができる。このバイオガスによる再生可能エネルギーはカーボンニュートラルであることから、地球温暖化対策の観点から石炭、石油、天然ガス等の化石燃料よりも優れており、今後さらなる利活用が大いに期待されている。また、東日本大震災および福島原発事故をきっかけとして原子力災害の恐ろしさが明らかとなり、政策的にも固定価格買取制度（以下、FITと略）の導入等により、再生可能エネルギーのさらなる普及が推進されている。

ところで、本県は太陽光、水力、風力、地熱、バイオマス等々、再生可能エネルギーの宝庫であると言ってよい。ただ、現状では様々な問題も生じている。太陽光についてはFIT導入後、爆発的に増え、電力系統への接続が困難となるなどの問題が生じた。それだけでなく、地域経済の観点から見ても、太陽光発電は大きな雇用を生まず、また多くの太陽光発電は県外資本によるものなので、地域内再投資力の強化は限定的であると言わざるを得ない<sup>11</sup>。

これに対して、地域経済面から見たバイオマスエネルギーは、バイオガス発電として活用することにより、①畜産農家にとって厄介者である家畜ふん尿を活用・処理することができ、また悪臭対策としても効果がある、②発電による電力生産により電力の地産地消が実現できる（漏出防止）、③売電収入により地域の移出力強化に資する、④地球温暖化防止に資する、⑤処理の過程で出てくる堆肥や液肥は有機肥料として活用することが可能である等々、一石何鳥もの潜在的な地域経済効果を有している。もちろん、これらの効果により畜産の生産性向上や持続可能性にも貢献し得る。

このようなバイオマスエネルギーの大きな意義や有用性を踏まえるならば、畜産王国である本県が、技術的・制度的課題をクリアしつつ、このエネルギーを活用しない手はないのではないであろうか。

## 2. 畜産系バイオマスエネルギー利活用の動向

### (1) バイオガス発電の全国的動向

バイオガス発電は、廃棄物処理をはじめとする地域の環境問題を解決しながら電気や熱などのエネルギーを生み出すことができ、発酵後の残さを堆肥や液肥など有機肥料として活用することにより地域資源を循環利用しつつ、移出力強化、域内経済循環促進の両面から地域経済の活性化に貢献することができる。さらに、バイオガス発電の普及により、化石燃料由来電力からの代替によるCO<sub>2</sub>削減効果が期待されるとともに、メタンガスの空中排出防止による温室効果ガス削減効果も見込まれることから、地球温暖化防止、循環型社会の形成の観点からも画期的な手法であると高く評価されている。2016年9月に策定された「バイオマス活用推進基本計画」においても、「バイオマスをエネルギーや製品として活用していくことは、農山漁村の活性化や地球温暖化の防止、循環型社会の形成といった我が国の抱える課題の解決に寄与するものであり、その活用の推進を加速化することが強く求められている<sup>12</sup>と記されている。

2012年7月からは、再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）が施行され、バイオガス発電は再生可能エネルギーの1つとして39円/kWh（税抜）の買取価格が設定された。これがバイオガスプラント事業の大きな経済的インセンティブとなり、バイオガス発電の導入は拡大してきている。

図表1は、バイオガス発電施設の認定件数と認定発電容量を示したものである。ここからもわかるように、FIT発足直後の2013年2月末時点では認定件数、認定発電容量ともにわずかだったのが、2017年2月末現在ではそれぞれ216件、87,315kWと順調に伸びている。ただ、「伸びている」とは言っても、2017年2月末現在の太陽光発電213万件、8,300万kW、風力発電5,461件、95,000kWと比べると、まだまだ雲泥の差がある。バイオガス事業推進協議会（2016）によると、再生可能エネルギー先進国のドイツにおいては、

11 黒瀬（2016）6ページ参照。

12 農林水産省（2016）1ページ。

2015年2月現在のバイオガスプラントは8,900件、約420万kWとなっており、彼我の差を見せつけられている。

なお、都道府県別の認定件数、認定発電容量は、図表2の通りであり、全体の約3分の1を北海道が占めている。これは、北海道は酪農が盛んであり、牛ふん尿等の原料が豊富に存在していること、広いほ場が存在しかつ大型の散布車を用いた効率的な液肥利用が可能であること等によるものと思われる。

このように、バイオガス発電は、その有用性が広く認められており、かつFITの導入等で有利な条件となっているにもかかわらず、北海道など一部の地域を除いて十分に普及しているとは言いがたい状況である。その要因としては、多くの自治体がバイオガス事業の意義や必要性を十分に理解していない、そもそも関心がないなどということもあるかもしれないが、何よりも、施設建設費や維持管理費が巨額でとても採算に合わないといった経済的要因が大きいと言えよう。これまで多くの自治体では、できるだけリスクを避け、前例踏襲、横並び主義を旨としつつ、大過なく行政をこなしていくというのが一般的であった。そのような従来の姿勢からすれば、行政がリスクの高い発電事業に携わるなどもつてのほか、ということになるのである。

しかし、そのような従来型の姿勢に異議を唱え、地域における自立・地方創生を実現すべく行動を起こしていこうとする地域の胎動が少しずつではあるが芽生えつつある。

次項では、多くの困難を抱えつつもそれらを乗り越えて事業を持続させ、成功事例として一定の評価を得ているいくつかの先進事例について見ていくこととしたい。

## (2) 先進事例の紹介

### (a) 鹿追町環境保全センター（北海道）<sup>13</sup>

鹿追町は北海道十勝地方に位置しており、西は日高山脈連峰、北は大雪山国立公園を背景に山と緑に囲まれた自然豊かな純農村地帯である。乳用牛約18,000頭、肉用牛約10,000頭が飼養されている。酪農業は1戸当たり飼養頭数が年々増加しており、それに伴って悪臭等による苦情も寄せられるようになった。1999年より「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」（以下、「家畜排せつ物法」と略）が

〈図表1〉バイオガス発電施設の認定件数と認定発電容量

	件数（件）	発電容量（kW）
2013年2月末	11	1,125
2014年2月末	52	11,256
2015年2月末	93	30,016
2016年2月末	131	44,676
2017年2月末	216	87,315

出所）資源エネルギー庁資料より

〈図表2〉都道府県別 FIT 認定状況（2017年2月末現在）

（単位：件）

	メタン発酵ガス	再エネ合計		メタン発酵ガス	再エネ合計
北海道	72	35,656	滋賀県	1	34,935
青森県	7	13,718	京都府	1	30,267
岩手県	4	21,897	大阪府	8	69,639
宮城県	2	46,895	兵庫県	3	82,421
秋田県	1	5,176	奈良県	1	24,913
山形県	3	9,185	和歌山県	0	23,519
福島県	3	52,882	鳥取県	1	9,091
茨城県	2	101,111	島根県	1	9,228
栃木県	8	72,752	岡山県	1	55,527
群馬県	5	75,223	広島県	1	52,737
埼玉県	6	99,864	山口県	3	30,776
千葉県	6	102,451	徳島県	0	18,924
東京都	4	56,714	香川県	2	24,649
神奈川県	0	69,472	愛媛県	1	29,547
新潟県	4	12,110	高知県	1	14,507
富山県	1	9,680	福岡県	9	85,430
石川県	3	10,862	佐賀県	0	25,159
福井県	1	8,950	長崎県	1	32,115
山梨県	0	40,973	熊本県	0	53,555
長野県	7	64,747	大分県	1	41,174
岐阜県	5	56,559	宮崎県	3	51,581
静岡県	8	97,095	鹿児島県	1	61,992
愛知県	12	136,361	沖縄県	6	23,726
三重県	6	52,717	合計	216	2,138,462

出所）資源エネルギー庁資料より

13 主に、岡庭（2016）、城石（2016）、吉田文和・村上・石井・吉田晴代（2014）および鹿追町環境保全センターヒアリング調査（2017年6月2日）を参考にした。

施行されたことから、家畜排せつ物の適正処理はもとより家畜排せつ物を有効なバイオマス資源として利活用することを目的に集中型バイオガスプラントを整備することとし、鹿追町環境保全センターとして2007年10月より本格稼働した。

プラントの1日の処理能力は94.8 tで、乳牛ふん尿や動物性残さなどを原料としてメタンガスを発生させ、発電された電力の一部はプラント内の電力として自家消費し、残りはFITにより売電している。メタン発酵を終えた後の消化液は液肥として全量を農地に還元している。

2016年度のセンター収支は図表3、図表4の通りである。222万kWh発電して177万kWhを売電、売電金額は7,458万円に上っており、収入の約51%を賄っていることになる。それ以外の収入としては、センター利用料金(1,620万円)、消化液散布(1,764万円)、動物性残さ(1,724万円)等が主なものとなっている。収支はここ数年黒字になっている。ただし、減価償却費は含まれていない。

鹿追町環境保全センターにおける特徴的な取り組みとしては、バイオガス発電から得られる余剰熱を有効利用して、チョウザメの飼育、マンゴアの栽培、サツマイモの貯蔵などを行っていることが挙げられる。2014年度からの新たな事業であり、まだ始まったばかりであるが、電力だけでなく熱を活用して町の特産品づくり、さらには地域経済活性化につなげていこうとする取り組みは意欲的であり、自治意識、地域経営意識の高さを感じさせるものである。2015年度からは、バイオガスから水素を取り出し、その利活用を研究する「家畜ふん尿由来水素を活用した水素サプライチェーン実証事業」も実施している。

鹿追町は2016年4月、酪農集中地区である瓜幕地区に2基目のバイオガスプラントを本格稼働させた。1日の処理量は210 tと1基目の約2.2倍の大規模な施設となっている。発電量も1日15,600kWhとなり、ほぼ全量をFITにより売電している。

鹿追町では環境の改善、農業生産力の向上、地域経済活性化の推進(移出力強化および域内経済循環の促進)へ向けた明確な戦略的ビジョンを描きつつ、町長や町の強いリーダーシップのもと、バイオガスプラントを中心とした攻めの地域経営を貫き、バイオガス事業を成功させている<sup>14</sup>。そこでは、関係者を巻き込んだ入念な事前準備やプラント設計、トラブル防止対策などが行われていることも見逃すことはできない。体験型農業やグリーンツーリズムなど観光面にも力を入れており、観光・農業・酪農・エネルギーの有機的連関性のあり方は、他の多くの地域にとっても大いに参考になるものと思われる。

14 チョウザメの飼育は吉田町長のアイデアによるものだという。鹿追町環境保全センターヒアリング調査(2017年6月2日)に基づく。

〈図表3〉鹿追町環境保全センターの発電量等について

	発電量(kwh)	売電量(kwh)	売電金額(円)
2016年度	2,223,227	1,770,576	74,576,657

出所)鹿追町環境保全センター資料より

〈図表4〉鹿追町環境保全センター収支決算状況

単位:千円

2016年度収入		2016年度支出	
科目	金額	科目	金額
町収入	134,563	役務費	1,838
利用料金	16,198	食料費	24
消化液散布	17,635	旅費	278
消化液製品	2,329	職員給与費	23,989
浄化槽汚泥	4,256	賃金	17,574
売電料金	74,577	手当	2,827
グリーン電力	19	退職給与金	0
動物性残さ	17,242	法定福利費	3,588
生ゴミ処理	1,866	需用費	54,183
堆肥製造	0	光熱水費	17,631
施設使用料等	0	消耗品費	10,958
液肥販売	212	燃料費	3,064
視察料	228	修繕費	22,531
緊急雇用事業	0	保険料	518
余剰熱施設電気	2,046	租税公課	263
水素実証実験	8,370	委託料	1,800
	0	水素実証実験	6,134
合計	144,979	合計	89,025
		収支	55,954

出所)鹿追町環境保全センター資料より

(b) 八木バイオエコロジーセンター（京都府）<sup>15</sup>

八木バイオエコロジーセンターのある南丹市は京都府のほぼ中央に位置しており、自然に恵まれた緑豊かな田園都市である。みず菜、壬生菜、九条ねぎ、黒大豆、紫ずきんなどのブランド京野菜の産地であるほか、府下有数の酪農地帯である。2006年、園部町、八木町、日吉町、美山町の4町が合併して南丹市となった。

旧八木町では、家畜飼養頭数増加により家畜ふん尿処理に苦慮していた畜産農家からの要望を受け、おからなども合わせて堆肥化し、有機肥料として農地還元すべく施設検討を行っていたが、施設内で利用する電気についてもバイオガスを燃料に発電を行うべきとの結論に至り、1998年に全国初の施設として八木バイオエコロジーセンターが創設された。パイオニアということもあり、さまざまな困難があったものの、町長のリーダーシップや国の支援等を受けて何とか軌道に乗せ、現在に至っている。

プラントの1日の処理能力は65.3tで、牛ふん尿、おから、豆かす、有機汚泥などを原料としてメタンガスを発生させ、発電された電力の一部はプラント内の電力として自家消費し、残りはFITにより売電している。2016年度の発電量は約110万kWh、売電量約22万kWh、売電収入は約1,200万円だった。メタン発酵を終えた後の消化液は約3割を液肥として農地還元し、残りの約7割は排水処理をしている。なお、センターは農協との連携を密にしており、ふん尿処理や堆肥、液肥等の販売はすべて農協を通じて行われている。

2016年度のセンターの収支は図表5、図表6の通りである。収入で最も大きいのは動植物性残さ処理（おから等）で4,100万円、次いで家畜ふん尿持ち込み料2,400万円、指定管理料1,740万円、売電量収益1,200万円等となっている。南丹市には大規模な豆腐製造工場や有名和菓子店の工場等が立地しており、それらの廃棄物受け入れを積極的に進め、収入増につなげている。一方、支出面では排水処理を施していることから薬剤費に2,600万円かかっており、大きな負担になっている。収支は黒字になっているものの、市による施設改修費や減価償却費は含まれていない。建設から20年近く経ち、設備の老朽化も進んできているため、市長や市議会の理解のもと、ここ数年は発電機や攪拌機等のスクラップ&ビルドを積極的に進めている。

八木バイオエコロジーセンターは、淀川水系の上流にあるため上乘せ水質基準もあり、高度な処理水質が求められている。現状では消化液の農地還元が限られているため、排水処理に多額の費用を要している。現在、消化液の農地還元に関して京都大学との共同研究を進めており（たとえば濃縮による減量化など）、その成果が期待されている。また、収支バランスを図るべく、牛ふん尿以外にも、おからや豆かすなど多様な原料を確保し、その処理料で収入増を図っている点も特徴的である。

〈図表5〉八木バイオエコロジーセンターの発電量等について

	発電量(kwh)	売電量(kwh)	売電金額(円)
2016年度	1,095,725	216,250	12,160,276

出所)八木バイオエコロジーセンター資料より

〈図表6〉八木バイオエコロジーセンター収支決算状況

単位:千円

2016年度収入		2016年度支出	
科目	金額	科目	金額
家畜糞尿持込量収益	24,227	人件費	29,149
動植物性残渣処理料収益	41,035	薬剤費	25,976
売電量収益	12,160	電力費	4,938
環境施設視察収益	186	租税公課	4,950
肥料販売収益	2,970	保守修繕費	15,949
散布料等収益	8,412	燃料費	3,080
車両等使用料収益	449	車両費	6,578
指定管理料	17,367	施設管理費	4,885
雑収益	1,045	委託費	1,764
		事務費	824
合計	107,851	合計	98,092
		収支	9,759

出所)八木バイオエコロジーセンター資料より

15 主に、岡庭（2012）、山口・浦出・上甫木（2012）、八木バイオエコロジーセンターヒアリング調査（2017年8月18日）およびその時の南丹市資料を参考にした。

近年では改修費等で年間数億円程度かかっており、施設の維持・運営に関して議員や議会からの突き上げも厳しいようである。ただ、市長が事業の必要性を理解し、今後の循環型社会の形成へ向け市にとってかけがえのない施設として一貫して支持していることは大きく、このような施設を運営するに際しては、やはりトップの理解とリーダーシップが不可欠の要素だと言えよう。

### (c) 日田市バイオマス資源化センター（大分県）<sup>16</sup>

日田市は、北部九州のほぼ中央に位置しており、周囲を阿蘇・くじゅう山系や英彦山系の1,000m級の山々に囲まれた自然豊かな都市である。山々から流れ出る豊富で良質な水資源に恵まれており、飲食品系や先端技術系など多くの企業が立地するとともに、森林保全など水源涵養の維持向上にも努めている。2005年に日田市、前津江村、中津江村、上津江村、大山町、天瀬町の1市2町3村が合併し、新日田市となった。

日田市は北部九州の中でも特に畜産の盛んな地であり、まとまった数の酪農、肉牛の飼養、養豚、養鶏が営まれており、日田市の基幹産業の1つとなっている。

1999年に家畜排せつ物法が制定され、2004年本格施行となるに際し、多くの酪農家は大型の堆肥化センター等を建設するなどして備えていたのに対し、養豚農家は規模がそれほど大きくなく、豚ふん尿の処理も他の家畜ふん尿より難しいこともあって、適切な処理が行われていなかった。また環境に関しても、市は当時ダイオキシン問題への対処を迫られており、水分を多量に含む生ごみを別処理することについて検討が行われていた。そのような経緯のもと、豚ふん尿と生ごみを合わせて処理する施設として2006年、バイオマス資源化センターが建設され、稼働した。

プラントの1日の処理能力は80 tで、豚ふん尿、家庭用生ごみ、事業系生ごみ、焼酎かす等を原料としてメタンガスを発生させ、発電された電力は2014年度からFITにより全量売電している。2015年度の発電量は約164万 kWh、売電量約130万 kWh、売電収入は約5,470万円だった。メタン発酵を終えた後の消化液は、一部は液肥および堆肥として農地に還元され、残りは排水処理を施した後、下水処理を通して河川に放流されている。

2015年度のセンター収支は図表7、図表8のとおりである。収入で最も大きいのは売電収入で5,470万円、次いで産廃手数料（焼酎かす）3,000万円、堆肥袋詰手数料1,290万円、事業系生ごみ手数料1,180万円、豚ふん尿処理手数料490万円等となっている。FITによる売電収入が最も大きいものの、それ以外でも多様な収入源を確保していることがわかる。また支出面では、2015年度は施設改修に伴う工事請負費が11,900万円かかっているが、これを除くと収支はほぼ均衡状態であった。しかし、実際には設備機器の更新や修繕等の費用が年々増加傾向にあり、一般財源の負担が大きいのが現状のようである。

日田市バイオマス資源化センターにおいて特筆すべき特徴として挙げられるのは、第一に消化液の農地還元にこだわらず、処分可能な量のみ液肥として還元し、ほとんどは排水処理を施した後、下水道に放流していることである。日田市においても当初はより多くの液肥生産を行う予定であったが、それほど需要がなかったため、現在の方式となった。下水道への放流は、当初は何度かトラブルがあったものの、現在ではほとんど見られないという。消化液の処理に関しては、北海道以外の多くの地域で苦慮していることから、日田市の方式は1つのモデルケースになり得るものと思われる。

第二に、売電収入はもちろんのこと、原料として豚ふん尿の他にも家庭系生ごみや事業系生ごみ、焼酎かす等多様な受け入れを行い、それなりの収入を確保していることである。焼酎かすや生ごみ等の原料は、効率的なガス発生にも貢献しているとのことである。

16 主に、永瀬（2008）、日田市バイオマス資源化センターヒアリング調査（2017年5月15日）およびその時の日田市資料を参考にした。



第三に、市長のリーダーシップと環境意識の高さが市職員にも十分に浸透しており、豚ふん尿やダイオキシン等の環境問題を克服してきていることである。センター建設に先立ち、市長みずから欧州への先進施設調査に出向き、その後の方向性を決定したという。センターの他にも小水力発電や木質発電などにも取り組んでおり、日田市環境資源を保全しつつ域内循環を図っていくという明確な意図が見られる。

そして第四に、そのような環境意識は市民にも浸透しており、ごみの分別収集の徹底等、高い住民意識を保持していることである。もともと日田市は地域づくりや住民参加で定評のある地域であり、一村一品運動などでも成果を上げてきた。そのようなこれまでの持続的な取り組みが、地域の環境政策やエネルギー政策の一定の成功に結びついているように思われる。

日田市では平成27年度に「日田市モデル地域創成プラン」を策定し、その中で、バイオマス資源化センター、浄化センター、環境衛生センターを段階的に統合し施設を整備することで、バイオマス系の資源の効率的な処理と発電を実現することがうたわれている。バイオマス資源化センターの機能を浄化センターおよび環境衛生センター内で実施し、現バイオマス資源化センターは撤去する方向のようである。今後の日田市の取り組みに引き続き注目したい。

### 3. 畜産系バイオマスエネルギーの活用・普及へ向けた条件

#### (1) 地方創生の有力手段としてのバイオガス事業

前節では先進事例の紹介として、鹿追町環境保全センター、南丹市八木バイオエコロジーセンター、日田市バイオマス資源化センターを取り上げた。それら3センターに共通して見られたのは、バイオガス事業の多様な意義を理解しつつ、バイオガス事業を単なる廃棄物処理事業や発電事業とみなすのではなく、まちづくりやまちの持続的発展戦略の一環として位置づけ、総合的施策を展開していることである。

鹿追町では町長のリーダーシップのもと明確な戦略的ビジョンを描きつつ、畜ふん尿処理による環境の改善、農業生産性の向上、地球温暖化の防止、バイオガス発電や消化液の活用等による循環型社会の形成、そして余剰熱を活用した地場産業の振興等、バイオガス事業を中心とした総合的なまちづくりを企図し、推進していた。

南丹市でもバイオガス事業をただの廃棄物政策や農業政策に留めるのではなく、地域の立地企業や農協と連携して域内循環・循環型社会の促進を図り、センターをまちの象徴的存在として位置づけていた。パイオニア的施設のため老朽化も進んでいるが、その際に市長の果たすべき役割は大きく、計画的に設備更新を行うなどリーダーシップを遺憾なく発揮し、攻めの地域経営を貫いていた。

日田市でもやはり市長のリーダーシップのもと環境と経済を総合的に見据えた政策を推進しており、畜ふん尿の処理を生ごみや下水道と関連させつつ発電を行うとともに、地域の立地企業と連携して域内循

〈図表7〉日田市バイオマス資源化センターの発電量等について

	発電量(kwh)	売電量(kwh)	売電金額(円)
2015年度	1,644,014	1,299,483	54,734,218

出所)日田市バイオマス資源化センター資料より

〈図表8〉日田市バイオマス資源化センター収支決算状況

単位:千円

2015年度収入		2015年度支出	
科目	金額	科目	金額
事業系生ごみ処理手数料	11,824	消耗品費	28,406
豚糞尿処理手数料	4,963	光熱水費	26,167
その他処理手数料(焼却かす等)	29,920	修繕料	14,622
堆肥袋詰手数料	1,285	委託料	57,483
バイオマス発電売電収入	54,734	工事請負費	118,995
その他	702	その他	11,279
市有施設整備基金繰入金	40,000		
合計	143,428	合計	256,952
		収支	-113,524

出所)日田市バイオマス資源化センター資料より

環・循環型社会の促進を図っていた。小水力発電や木質発電の推進なども同様である。日田市では住民の自治意識を醸成する上でもセンターの役割は極めて大きなものであった。

このように、3つの事例はいずれもバイオガス事業をまちづくりの中心に据えることで畜産の振興はもちろんのこと、地域全体で所得を稼ぎ、循環させ、雇用を創出することをめざし、紆余曲折を経ながらも大きな成果を挙げている。

バイオガス発電は、地域の主体が地域の原料を活用・循環させ、発電を行うという安定的かつ自立・分散型のシステムであるから、本来的に移出力の強化や域内循環の促進と親和性が高く、地域経済の持続的・自律的發展に資するものである。しかも、事業を行うためには、施設の建設・運営、原料の確保、売電収入、消化液の処理等々、地域の多様な主体が関わり調整していかなければならないため、事業の立ち上げまでに時間がかかる一方、地元への経済波及効果や連関効果は極めて大きい。

電力はこれまで原発などの電源立地自治体を除けば、地域から所得を流出させる代表格であった。しかしながら、実は電力こそ、域外より外貨を獲得し域内循環を促進する上で有力な手段となり得るのであり、特に農山村の中小自治体にとっては、地場産業と関わらせることで大きな効果を期待し得る。

本格的な人口減少の時代を迎え、地域をめぐる状況は大きく変わりつつある。これからは、人口も経済も地域間の競争が一段と激しくなっていくことが予想される。その一方で、特に東日本大震災以降、これまでの東京一極集中から魅力ある地方への「田園回帰」の流れが強まりつつある。時代の変化を的確に読み取り、積極的にリスクを取って地域の移出力強化や域内循環の促進を図りつつ雇用と人口を確保していくための地域総合戦略、そしてそれを実現していくための創意工夫や覚悟、行動力が各地域に求められているのであり、とりわけ農山村の中小自治体になればなるほど、その強力な武器としてバイオマスエネルギーは大きな可能性を秘めていると言えよう。

鹿追町、南丹市、日田市の取り組みは、前例踏襲や横並び主義といった従来型の行政とは異なり、積極的に地域内再投資力を育てようという攻めの戦略性を有するものであり、他の自治体にとっても大変参考となり得るものである。鹿児島県においても、農山村の中小自治体こそ、先を見据えた大胆かつ緻密な戦略的ビジョンのもと、その小さいがゆえの機動性を活かした攻めの姿勢が求められるのではないであろうか。

## (2) クリアすべき諸課題

これまでの検討を踏まえ、畜産系バイオマスエネルギーの今後のさらなる活用・普及へ向けた条件や課題として、消化液の処理、多様な原料による収入増の視点、自治意識の涵養という3つの視点を提示したい。

### (a) 消化液の処理のあり方

メタン発酵後に発生する消化液は、有機肥料（液肥）として農地還元が可能である。実際、北海道では牧草地や農地が広大であり、散布に際しての需要が十分にあるため、鹿追町をはじめ多くのバイオガスプラントにおいて消化液のほぼ全量が農地還元されている。これに対して南丹市や日田市では当初は液肥の農地還元を計画していたものの、さほど需要が見込めなかったため、現在では消化液の多くに対して排水処理を施している。これは、本州や九州の多くの地域では消化液を散布するのに北海道ほど広大な農地がないため、需要が見込めないからである。また、液肥の有用性について北海道ほど認知度が高くないということもあるかもしれない。せっかくバイオガスプラントを建設して畜ふん尿を処理し、また発電できたとしても、消化液を液肥として活用できなければ、排水処理に多額の費用がかかってしまうことになる。

したがって、まずは消化液を液肥として活用することが第一の課題となる<sup>17</sup>。液肥の有用性を広く知らしめ認知度を高めていくとともに、散布しうる農地を拡大していくための耕畜連携の推進が強く求められる。その際、南丹市のように農協を巻き込んだ取り組みなども有効であろう。また、遊休地を活用して飼料用米を生産するとともに、そのほ場に液肥を利用する仕組みを構築できたならば、飼料代の削減や循環型社会・域内循環の促進につながり得るし、液肥は有機肥料なので、液肥を活用した農作物や飼料の付加価値向上、さらには液肥活用飼料用米を食べて育った豚の付加価値向上も期待し得る。

そのような試みがうまくいかず、消化液を十分に捌けない場合には、排水処理を施すこととなる。その際に参考となるのは日田市の仕組みである。日田市では総合的な環境政策を推進しており、その一環としてセンターで排水処理を施した後、下水道（浄化センター）に放流され、そこで基準値以下にまで処理が施され、河川へと放流されている。このような仕組みにより、センターの排水処理費用は一定程度その抑制に成功している。日田方式はあくまでも次善の策ということになるであろうが、消化液を捌けない場合には、検討してみる価値があるだろう。また、南丹市が京都大学と共同研究を進めているように、今後消化液の農地還元に関して画期的な研究成果がもたらされた場合には、この問題は解決へ向けて大きく前進する可能性がある。

#### (b) 多様な原料確保による安定操業および収入増

バイオガスプラントを立ち上げるに際しての大きな課題の1つは経済性である。プラント建設には莫大な費用がかかり、また維持管理費用も毎年重くのしかかる。前述のように消化液の農地還元が十分にできず排水処理費用がかかってしまう場合にはなおさらである。現在はFITが導入され売電環境は格段に有利な状況になっているものの、それでも黒字運営していくのは至難の業である。これを克服していく手段の1つとして、原料を畜ふん尿に限定するのではなく様々な事業者からの産業廃棄物等も受け入れ、処理料を徴収することで収入を確保していくことが考えられる。

南丹市八木バイオエコロジーセンターではおからや豆乳、豆かす、また日田市バイオマス資源化センターでは事業系生ごみや焼酎かすを受け入れ、どちらも年間4,000万円程度の収入を上げることができている。畜ふん尿にこれらの原料を混合させることにより、ガスの発生効率を上げることもできる<sup>18</sup>。

南丹市や日田市では近隣に原料供給企業が立地していたけれども、他のすべての地域でも同様の手法が可能というわけではないだろう。地域の産業構造や立地構造、地域資源などを踏まえつつ、地域の多様な主体と連携しながら創意工夫を凝らし、原料を確保していくことが肝要である。その点、鹿児島県は焼酎産業をはじめとした飲食料品製造業、外食産業などの「食」関連産業が多数立地しており、それらを巻き込んだ展開も大いに可能性があるのではないだろうか。

#### (c) 自治意識の涵養

バイオガス事業を推進するに際しては、何よりも住民をはじめとした地域の多様な主体が事業の意義や有用性を理解し、設備の建設、運営、原料の確保、発電（売電）そして消化液の処理等々の各段階において、一致結束して協力していくことが不可欠である。そのためには、日頃より関係者間での連携を密にして意思疎通を図るとともに、コーディネーターまたは行政のキーマンによるその円滑な推進が欠かせない。

また、エネルギーは日々の生活の基盤をなすものであるから、バイオガス事業を通じて、日田市のごみ

17 バイオガスプラント消化液の利用に関しては、岡庭（2012）を参照。

18 畜ふん尿のみよりも生ごみや産業廃棄物等と混合させた方がガスの発生効率上がる点については、たとえば木下（2016）45ページを参照。

分別徹底化のように「自分達の地域は自分達が守り育てる」という自治意識を涵養していくことも、極めて重要である。というのも、バイオガス事業は住民はじめ多様な主体が関わるものである以上、そこに住む人が意義を理解し、協力、行動していかなければ到底、持続可能なものとはなり得ないからである。

バイオガス事業は、環境対策（悪臭・環境汚染対策）、電力の地産地消や域外への売電、原料や消化液等の物質循環・資金循環、農業生産力の向上、さらには地球温暖化問題への貢献等、極めて多層的・相乗的な便益を社会に生み出し得るシステムである。それは、当事者にとってのみならず社会全体にとっても利益になる、身近だけれども高尚な取り組みである。そう考えると、バイオガス事業は南丹市がそうであったように、地域のかげがえのない資産とでも言うべきものであり、その活用・定着により、地域の人々にとって、自分の地域に対する自信や誇りの醸成にもつながり得るのではないであろうか<sup>19</sup>。子供達に対しても、環境教育、経済教育、さらには地域教育として、その教育的効果と地域への愛着度合いの高まりは大きいであろう。

そして、そのような住民自治意識の涵養、地域住民の自信や誇りの醸成、子供達への教育的効果等を実現する上で、やはり首長の揺るぎのない信念とまちづくり戦略への熱意が必要不可欠であり、それを基盤としたリーダーシップおよび住民への啓発が、大きな理解と共感を呼び込むことにつながるであろう。

バイオガス事業の活用・普及へ向けた課題としては、ほかに①電力のみならず熱エネルギーの有効活用による経済性の改善<sup>20</sup>、②FITによる継続的支援と技術革新や市場拡大による設備等価格の低減化、③送配電線の容量制約の緩和とバイオマス発電のメリットを考慮した送配電線への接続ルールの確立、④国による一層の政策的支援の拡充等が考えられる。これらには、改善までに時間のかかるものもあるであろうが、社会全体がバイオガス事業の意義、特に地域社会や地域経済にとっての意義を理解するとともに<sup>21</sup>、各種制度の整備に本腰を入れていくことが、普及拡大へ向けて一步一步、歩を進めていくことにつながるものと思われる<sup>22</sup>。

### (3) 都市ガス原料としての活用の可能性

これまで、バイオガス発電事業を中心に、その導入可能性と課題を検討してきた。しかしながら、バイオガスの活用はなにも発電のみに留まるものではない。熱利用もあり得るし、ガスそのものを利用することも可能である。たとえば、バイオガスの主成分であるメタンガスは都市ガス原料と同一の成分であることから、都市ガスの原料としての利用も期待し得る。実際、都市ガス導管網が整備されている都市部にあるバイオマス施設では、施設から出てくるバイオガスを都市ガス会社へ売却している例も見受けられる。しかも、ガスでの利用はそのままの状態で行うことができることから、電力での利用と比較してエネルギー変換効率が高くなるに高く、効率的であるとともに、温室効果ガス排出削減効果にもつながり得る。

ただ、畜産の盛んな地域の多くでは都市ガス導管網が整備されておらず、都市ガスとして利用するためには輸送が必要になってくる。その際の手段として、バイオガスは液化することにより体積が600分の1と

19 小田切（2014）は、多くの農山村において地域住民がそこに住み続ける意味や誇りを見失いつつあることを指摘し、それを「誇りの空洞化」と呼んでいる。小田切（2014）41ページ参照。

20 吉田文和・村上・石井・吉田晴代（2014）は、日本では熱の利用がまだ限られており、そのことが多くのプラント垂経済性の面で困難を抱えている1つの要因になっていると指摘している。吉田文和・村上・石井・吉田晴代（2014）64ページ参照。

21 吉田文和・村上・石井・吉田晴代（2014）は、バイオガス事業のより一層の普及を進める上で、悪臭対策効果やCO2削減効果、肥料節約効果、農業存続基盤等の公益的機能を正当に見積もった政策的支援を行うべきであると指摘している。吉田文和・村上・石井・吉田晴代（2014）65ページ参照。

22 欧州では各畜産農家が個別であるいは共同してバイオガスプラントを運営し、売電収入を得たり負担軽減につなげたりしている事例が多く見られる。「地域エネルギー自治」の観点から重要な取り組みであると評価できるが、今回は触れることができなかったため、今回の課題としたい。島田（2016）などを参照。

なるので、液化しての輸送が有望である。バイオガスが盛んなヨーロッパにおいてはバイオガスの液化装置が開発されているので、わが国においても、導入へ向けた更なる技術開発や費用の低減化、ガス版 FIT の制度化等、国による積極的な支援策等が求められるであろう。

## おわりに

以上、バイオマスエネルギーの可能性とその活用・普及へ向けた条件について考察してきた。本稿で明らかにしたように、バイオマス事業は多層的な意義を有しており、とりわけ移出力強化や域内循環の促進と親和性が高く、地域の持続的発展の有力手段として大きな可能性を秘めている。

一方、現状では既存の多くのバイオガスプラントが採算面で苦境に立たされていることも事実である。実際、いくつかのプラントでは、発電機が故障した後、修理・更新の目処が立たず、発電を断念しふん尿処理専用施設となってしまったり、設備の老朽化を受けて新たな更新等を行わず、廃止の方向に進みつつある事例も見受けられる。

たしかに多くのプラントが厳しい状況に置かれているのは間違いないが、一方で本稿の事例のように、まちづくりの一環として戦略的に活用し、一定の成功を収めているものも存在していた。そこでは首長はじめ地域のあらゆる主体が知恵を絞り、汗を流し、協働しながらよりよい成果の獲得へ向けてたゆまざる努力を傾けていた。

「できない」と言って終わらせるのは、簡単である。技術の革新や系統連系、国の支援など、一自治体ではどうにもならない事情もたしかにあるだろう。

しかし、人口減少や地域の疲弊が続く中、30年後、50年後の地域、そして将来世代に対して「できない」で終わらせることが、果たして真に責任ある対応と言えるのであろうか。現在世代は将来世代に対して、地域の維持・存続に対する「責任」を背負っていることを、決して忘れてはならない。

地域経済を持続的に発展させるための根本は、地域における主体が自らリスクを取って事業を立ち上げ、所得と雇用を増やすことである。これまでの経済システムのもとでは、農山村の小さな自治体になればなるほど一次産業以外にさしたる産業がなく、その結果、稼ぐ力は弱く、資金も都市部に吸い取られ、雇用も人口も減少して行くという「三重苦」に直面せざるを得なかった。その行く末は「地方消滅」の危機である。

しかしながら、時代状況は変わり、一次産業を基盤としたバイオマスエネルギーを活用することで移出力強化、域内循環を促進し、地域活性化を実現し得る環境が整いつつある。座して死を待つのではなく、今こそリスクを取って行動を起こすべきなのではないであろうか。

今後、十分な事前準備と関係者間の協議・協働のもと、地域活性化の一助として、バイオマスエネルギーのより一層の活用・普及が進むことを期待したい。

## 〈参考文献〉

1. 一般社団法人日本有機資源協会・バイオガス事業推進協議会・木質バイオマスエネルギー利用推進協議会（2014）「バイオマス発電事業の持続的な普及に向けて」
2. 岡庭良安（2012）「牛ふんバイオガスプラント消化液の利用促進の条件」（『酪農ジャーナル』2012年1月号）
3. 岡庭良安（2016）「国内のバイオガスプラントの普及状況と課題」（『畜産コンサルタント』Vol.52, No.620）
4. 小田切徳美（2014）『農山村は消滅しない』（岩波書店）
5. 鹿児島県（2017・a）「豚についての詳しい情報」（鹿児島県 HP file:///C:/Users/iuk/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/IE/288588GC/8839\_20120509145323-1.pdf）

6. 鹿児島県 (2017・b) 「鹿児島県産業連関表」
7. 菊地裕幸 (2017) 「鹿児島県における『食』関連産業の課題—飲食料品製造業を中心に—」(鹿児島国際大学附置地域総合研究所『地域総合研究』第44巻第2号)
8. 木下強 (2016) 「栃木県に於ける畜産バイオガスプラントの運転と課題」(『季刊 JARUS』No.167)
9. 黒瀬郁二 (2016) 「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」(鹿児島国際大学附置地域総合研究所『地域総合研究』第44巻第1号)
10. 島田龍 (2016) 「『地域密着型』畜糞バイオガス発電の可能性」(九州経済調査協会『九州経済調査月報』2016年10月)
11. 城石賢一 (2016) 「バイオガスプラントの導入事例：鹿追町環境保全センターの取り組み」(『畜産コンサルタント』Vol.52, No.620)
12. 永瀬与志弘 (2008) 「豚糞尿処理と生ごみ処理の連携 脱焼却のごみ処理を目指して～日田市バイオマス資源化センター～」(九州経済産業局『Cool Kyusyu Selection 2008』)
13. 農林水産省生産局畜産部 (2014) 「養豚農業を巡る現状と課題」
14. 農林水産省 (2016) 「バイオマス活用推進基本計画」
15. 農林水産省 (2017・a) 「平成27年生産農業所得統計」
16. 農林水産省 (2017・b) 「畜産統計 (平成29年2月1日現在)」
17. バイオガス事業推進協議会 (2016) 「バイオガス事業の芽」
18. 諸富徹編 (2015) 『再生可能エネルギーと地域再生』(日本評論社)
19. 山口奈保実・浦出俊和・上甫木昭春 (2012) 「八木バイオエコロジーセンターにおけるバイオガス化施設の実態とその評価に関する研究」(『ランドスケープ研究』75 (5))
20. 吉田文和・村上・石井・吉田晴代 (2014) 「バイオガスプラントの環境経済学的評価—北海道鹿追町を事例として—」(『廃棄物資源循環学会論文誌』Vol.25)