

第3章 バイオガス利用の促進・阻害要因の抽出

—北海道士幌町のバイオガスプラントを事例として—

浅井 真康

林 岳

小樽商科大学大学院 山本 充

1. はじめに

化石燃料の枯渇が深刻化し、集約的な土地利用がもたらす温室効果ガス排出や水質汚濁の緩和が急務とされる中、再生可能エネルギーに対する関心が世界的に高まっている。特に畜産業が集積し、大規模経営化が進む地域においては、大量に排出される家畜ふん尿の適切な処理、温室効果ガス排出削減、そして地域のエネルギー安全保障の向上を目的に、バイオガスプラント（BGP）の建設数が年々増加している（Holm-Nielsen et al., 2009, Weiland, 2010, Mol, 2014, Pan et al., 2015）。また、バイオガスの副産物として排出される消化液は、窒素・リン・カリといった成分を含んでおり、化学肥料の代替として農地に広く散布されれば、肥料購入費用の削減、そして循環型農業の達成にも貢献できるとされる（Nkoa, 2014）。

日本においても、酪農業が特に盛んな北海道では、90年代後半から2000年代前半にかけて第1のBGP建設ブームが観察された。この背景には、1997年に採択された「地球温暖化防止京都議定書」において二酸化炭素の削減義務を負ったが、2002年に閣議決定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」（Kuzuhara, 2005）、また、酪農経営の大規模化と相反する形で1999年に制定、2004年から本格施行された「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（家畜排せつ物法）」等がBGPの導入を後押ししたとされる（岩崎他, 2017）。しかしながら、当時のBGP技術や売電制度は、いまだ未成熟であり、建設後にトラブルが多発したことや、売電単価が「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS法）」により低く設定されていたことも影響して、2008年から2010年にかけて建設のなかった年が続く等、新規導入が停滞する時期を迎えた。

このような状況を一変させたのが、2011年の東日本大震災による深刻なエネルギー危機であり、さらに翌年7月に開始された再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）である。これにより、酪農家をはじめとする経済主体に対してBGPの新規導入を促す新たな経済的インセンティブがもたらされ、第2のBGP建設ブームを迎えた。2016年現在、北海道内にて設置あるいは建設中の畜産系BGP数は79基で、国内で最も多くの畜産系BGPを抱える地域である（岩崎他, 2017）。

バイオガスは、原料となる家畜ふん尿の調達先や副産物である消化液の還元先等を考慮

しても、他の再生可能エネルギーと比べて地域性の非常に高いエネルギーであると言える（Blumeling et al., 2013）。それゆえに、バイオガスシステムが普及し、効率的な資源循環が成立するには、資源利用に関わる多様なステークホルダー間の合意形成、体制作りが不可欠となる（Lantz et al., 2007）。ここで重要となるのは、このような合意の過程が必ずしも経済合理性（例えば、資源運搬費用の最小化）に基づいて進められるのではなく、農村内の社会関係性であったり、慣習の有無であったりと様々な社会的要素も関係している点である（Mol, 2014, Blumeling et al., 2013）。

つまり、上記のような合意形成過程を理解するには、まず各ステークホルダーが捉える（認知している）資源利用に関する主要な要素の抽出を行い、さらに、それらの要素がどのように関係（因果）しているのかを把握する必要がある。また、異なる主体ではどのように主要要素や関係性に違いが表れるのかを検討することや、あるいは複数主体へと対象を広げた際の全体像を把握することも重要となる。

そこで本研究では、認知マッピング（Cognitive Mapping）という手法を用いて、北海道士幌町での取組を事例に、地域の多様なステークホルダーがどのようにバイオガスを捉えているのかを明らかにすることを目的とした。認知マッピングとは、ある生産システムや事象について、そのステークホルダーへの聞き取りを通じて、キーワード（要素）を抽出し、さらにキーワード間の関係性及びその強弱を図示することで定性的・定量的な説明を行おうとする手法である。もともと政治学の分野で発展した手法であるが、近年では資源管理（湿地や自然公園の保全、水管理、森林伐採等）に関する研究分野でも多用され始めている（Özesmi and Özesmi, 2004, Vuillot et al., 2016）。

本研究では、バイオガスシステムがもたらす便益、普及を妨げる障害、普及を促進する取組の三つに関して、各ステークホルダーがどのように捉えているのかを整理し、これらの結果を踏まえて、バイオガスシステムの更なる普及やその持続的可能な発展には、今後どのような取組が有効であるのかを検討した。

2. 分析手法

（1）事例

本研究では北海道における BGP、特に士幌町での取組を事例として選択した。経営規模を拡大したい酪農家にとっては、家畜ふん尿の適切な処理手段（臭いや畜舎環境の向上）として BGP の導入が有効であるが、同時に排出される消化液については畑作農家の液肥利用が絶対条件であり、耕畜連携の構築が核となる。一方、近年の FIT 導入によりバイオガス発電による再生エネルギーの地域内利用や売電が広く開始され、新たな主体との連携も増えている。つまり、家畜ふん尿の効率的な利用・循環に向けたシステムの構築には、所有・利用・調整といった役割を担うステークホルダー間の合意形成、体制作りが必須であり、これらの過程を明らかにすることができれば、同様の課題を扱う他事例にも広くその知見を活かせるものと考ええる。

事例先の選定に先立って、まず北海道内の BGP、の現地調査視察を行った。具体的には、恵庭市、函館市の企業所有の BGP、鹿追町の自治体所有の集中型 BGP、士幌町の農協（以下、JA）所有の個別型 BGP、釧路市の個人所有の個別型 BGP を視察調査し、分析対象としての可能性を検討した。この結果、JA が個別型 BGP の建設を行い、10 軒の個別酪農家がリース利用している士幌町での取組を事例先として選んだ。酪農及び畑作が主要産業である同町では、2003 年より町ぐるみで BGP の導入を行い、さらに 2016 年からはバイオガス発電の電気を JA が買い取って JA 関係施設で利用する事業を開始する等、国内でも先進的な取組を行っている。また、先行研究の多い鹿追町の取組に比べて、士幌町に関しては研究成果の蓄積が少ないことも本事例を選出した理由である。

士幌町は北海道十勝総合振興局管内の河東郡に所在しており、十勝の中心都市の帯広市から 30km ほど北に位置している（第 1 図）（士幌町、Online）。土地面積は 259.1 km² で、およそ 6200 人が居住している（士幌町、Online）。気候は、大陸性気候で 8 月の最高気温が平均 24℃、2 月が最も寒く最低気温の平均で -14℃、降水量は 900mm で、積雪は比較的少ないのが特徴である。

士幌町の地形は平坦な部分が多く海拔平均は 210m、多くは火山灰が堆積した肥沃に富んだ土壌である。そのため土地面積の 6 割は耕作に用いられ、馬鈴しょや小麦、てん菜、小豆等を基幹作物とした大規模畑作と国内外の最新技術を導入して多頭化の進んだ酪農畜産業を中心とした農業地帯が形成されている。



第 1 図 十勝管内における士幌町の位置

JA が中心となって持続可能な農業生産の観点から 4 年輪作体系を推奨しており、馬鈴しょ、小麦、てん菜、豆類・スイートコーンが 1/4 ずつの比率で計画的に作付けされている（JA 士幌、Online）。この輪作体系の中では、堆肥の投入が積極的に行われており、畜

産農家から堆肥の提供を受ける代わりに、畑作農家が小麦の麦わらを牛の敷料として提供する循環型の農業が展開されている。

また酪農では施設内を牛が自由に移動できるフリーストール方式の牛舎を早くから導入して搾乳・飼料給与の省力化を推進し、規模拡大が図られてきた。他方、フリーストール畜舎から排出されるスラリー状の牛ふん尿は、堆肥化に多大な労力を要し、有機性資源として十分に有効利活用が図られていないとともに、臭気等の問題が大きな課題となる。そこで、士幌町では、2003年度に3戸の酪農家の協力を得て個別型BGP実証施設を整備し、ふん尿処理に当たっての課題を明らかにするとともに、町内への早期普及の推進が開始された（第1世代プラント）。さらにその8年後の2011年6月には、士幌町、JA士幌町、商工会の3団体で「士幌町再生エネルギー推進協議会」を設置し、BGPの普及等による再生可能エネルギーの利用拡大に向けた検討を開始した（JA士幌，2018）。同協議会では、既存のBGPにおける課題を踏まえ、構造がシンプルで低コストの新たなモデルが提案され、このモデルに基づく個別型BGPが2012年度に町内で4基が新設された（第2世代プラント）。本事業以降、JAが事業主体としてBGPを建設し、酪農家に管理運営・実証業務を委託する形を取っており、また2012年のFIT導入の後押しもあり、2014年度に1基（第3世代プラント）、2015年度に2基（第4世代プラント）の個別型BGPが大規模酪農家の敷地内に順次建設された。また2016年度には町内初となる共同型のBGPが1基新設され（第5世代）、2戸の中規模酪農家によって管理運営されている。第1世代の3基と合わせて、現在11基のBGPが稼働している（JA士幌，2018）。

バイオガス発電によって生産された電気の多くは、JA士幌町関連会社である小売電気事業者へ販売され、本部事務所や店舗（スーパーマーケット）、農協記念館、麦乾施設等で消費される。また発電の際の余剰熱は搾乳施設（温水利用）や固液分離後の消化液の固体部分を敷料として再利用する際の乾燥用熱として用いられる。消化液に関しては、BGP利用酪農家自身の飼料畑への散布に加えて、近隣の畑作農家に利用してもらうことが主である。第3世代のBGPを所有するA牧場では乳牛850頭分のふん尿をBGPで処理しており、副産物である消化液の排出量も多いことから、BGPの建設にあたっては消化液利用組合を設立し、消化液の貯留槽を散布先である圃場の近くに分散設置する等の広域利用システムが構築された（JA士幌，2018）。また、消化液の利用普及に向けてJA士幌町を中心に、その成分分析や利用法に関する説明等を行っているが、利用先が町内でもいまだ限定されていること、散布実績がいまだ数シーズンしかないこと、堆肥利用への嗜好が根強く、消化液の特性が理解されぬまま比較されていること等により認知度が低いのが実際である。

（２）認知マッピング

認知マッピングは、個人あるいはグループが内々に認識している外部（external world）の事象やシステムを客観的に捉えるのに有効な手法である（Hoffman et al., 2014, Jones et al., 2011）。もともとは心理学の分野で発達した手法であるが、近年では様々なステークホルダーが関与する複雑な事象（システム）における各主体の意向や思惑の差異を明ら

かにする際の有効手段として注目されている (Wood et al., 2012, Du Toit et al., 2011, Meliadou et al., 2012)。

認知マッピングでは、調査対象となる事象に関して、個人あるいはグループに質問をし、その答えとして挙げられる要素 (variables), そしてそれら要素間のつながりを矢印で示した図である「認知マップ」の構造を検討することで、彼らがどのように対象事象を理解し、フィルターをかけ、情報整理を行っているのかを明らかにする (Biggs et al., 2011, Jones et al., 2011, Du Toit et al., 2011)。認知マップを構築する上では、対象者の個々の経歴 (見解, 経験, 態度, 知識等) や置かれてきた社会あるいは自然環境の影響が反映される。本手法の強みの一つは、異なるステークホルダーの認知構造の違いを比較できることである (Meliadou et al., 2012)。作成された認知マップ上には、各ステークホルダーの思惑や信念も投影されることから、これらを比較することで、共通見解の有無が確認・検証できる。例えば、もしステークホルダーの認知マップ間で差異が観察されれば、現状生じているコンフリクトの原因やあるいは今後起こりうる問題の原因を考察する上でも貴重な情報となる (Wood et al., 2012)。

他方、本手法の短所として次のようなものが挙げられる。まず、認知マップ作成者の間違った認識や認識の偏りは排除できず、すべて認知マップに組み込まれてしまう点である (Özesmi and Özesmi, 2004)。また、認知マップで得られた情報をどのように解釈し、扱うか (例えば、情報の細かさ, 分類の仕方) は、この作業を担う研究者の能力に一任されている点である (Douglas et al. 2016)。これらの短所は、できるだけ調査対象に詳しい専門家や現場に精通している人間を調査対象者として組み込むことである程度までは対処できる (Özesmi and Özesmi, 2004)。

著者らが行った先行研究のレビューによれば、再生可能エネルギーの普及に向けた過去の研究においても認知マッピングが用いられている。具体的には、太陽光発電 (Jetter et al., 2011), 風力発電 (Kermagoret et al. 2016), バイオエタノール (Konti and Damigos, 2018), そして水素自動車 (Kontogianni et al. 2013) の普及に対する各ステークホルダーの認知構造を調査した研究がある。

例えば、Konti and Damigos (2018) は 9 名の専門家に関してバイオエタノールに関する認知マップの作成を依頼した。完成した九つの認知マップより 65 の要素を抽出し、ギリシャにおいて、有機廃棄物からバイオエタノールを生産し、利用する際の阻害要因 (例えば、経済危機とコスト上昇) と促進要因 (例えば、税優遇等の民間部門への経済的インセンティブ) をそれぞれ解明した。彼らは、いくつかの要因に関しては専門家間で共通であったが、その他に関しては専門性や興味の違い等により特定の専門家のみで見られたことを強調している。例えば、地域政府の担当者は、法的, 組織化, 管理に関する廃棄物管理システムの構築が最も重要であるとする一方、バイオエタノール生産に係る技術的な要素については無視あるいは無関心であった。他方、燃料会社の専門家はバイオエタノールの実証的な燃料利用に関して重きをおいた回答が目立った。

この他、Kermagoret et al. (2016) はフランス北西部の沿岸コミュニティにおける洋上

風力発電の設置プロジェクトに対する住民らの認識の差異をステークホルダー別に明らかにしている。彼らによれば、当プロジェクトに対するネガティブな認識は主にプロジェクトのガバナンスや資源利用、景観、レクリエーションといった地域に根付いた活動とリンクしていることがわかった。

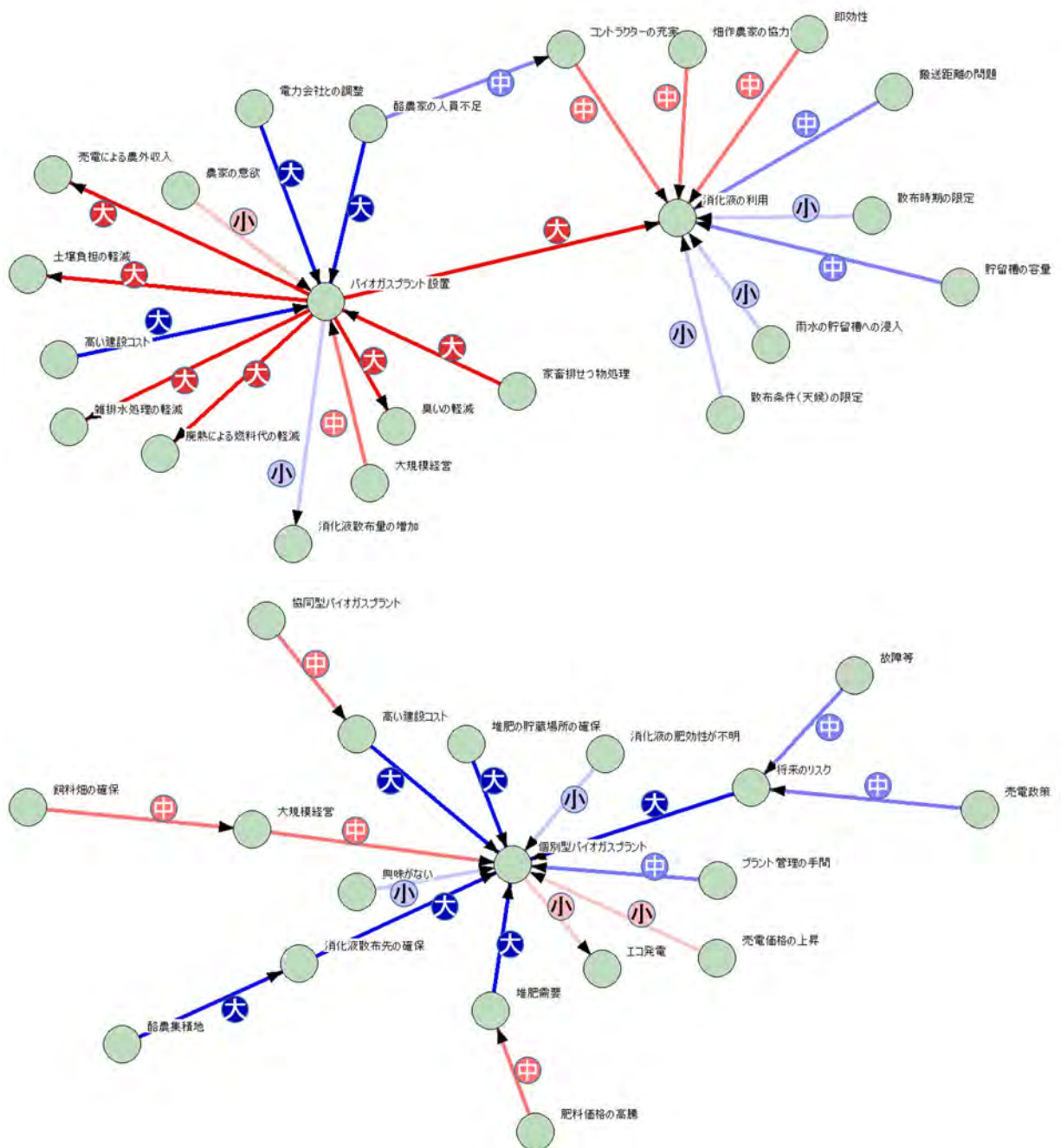
これら先行研究のレビューより、認知マッピングは多様なステークホルダーが絡む再生可能エネルギーの課題を扱う上でも有用であることが示された。なお、本研究ではバイオガス利用の取組を研究対象としたが、著者らの文献レビューによれば、バイオガス事例に認知マッピングを用いた先行研究は確認できず、この点からも学術的新規性の高さが確認された。

（３）認知マッピングを用いた調査

本研究では、北海道士幌町のバイオガス関連のステークホルダー22 名に対して認知マップの作成を依頼した。調査協力者は、3 名のプラント保有者を含む酪農家7 名、3 名の消化液利用者を含む畑作農家7 名、JA 職員2 名、技術者2 名、町役場職員2 名、大学研究者2 名で、FCM 作成作業は2016 年12 月～2017 年1 月に実施した。なお、認知マッピングを用いた先行研究である Olazabal and Pascual (2016) は14 名の利害関係者、Christen et al. (2015) は8 名の農業者と9 名の非農業者を対象にしており、本研究の回答数も以後の分析において支障のない数であったと考える。

認知マップの作成には、Özesmi and Özesmi (2004) に則して、まず「町内でバイオガスがより広く利用されるにはどうすれば良いか、また利用によってどのような影響があると思うか」という質問をし、答えとして頭に浮かんだ具体的なキーワードを挙げてもらった。次に、挙げられたキーワード間の関係性を検討し、関係のあるもの同士について、矢印でつなぎ合わせる作業を依頼した。この際、作成者から見て、一つのキーワードがもう一つのキーワードにポジティブな効果をもたらす関係をプラス（+）の関係として赤線の矢印で、逆に、ネガティブな効果をもたらすものをマイナス（-）の関係として、青線の矢印で示した。最後に、関係性の強さについて、各矢印に「大」「中」「小」のいずれかで評価してもらった。以上の作業はA3 用紙上で行ってもらい、でき上がったものを「FCM：認知マップ」とした。なお、他人の影響を受けずに協力者個人の頭の中にあるイメージをそのまま図示化してもらうために、すべての作成作業は個別に実施された。またバイアスを排除するため、調査協力者に対してバイオガスシステムに関する情報提供は一切行わなかった。これにより22 枚のFCM を回収した。一連の作業に要した時間は22 名平均で55 分（最短35 分、最長90 分）であった。

第1 図は、2 名の酪農家がそれぞれ作成した認知マップの例を示している。



第2図 BGP 設置酪農家（上）と非設置酪農家（下）の認知マップ（例）

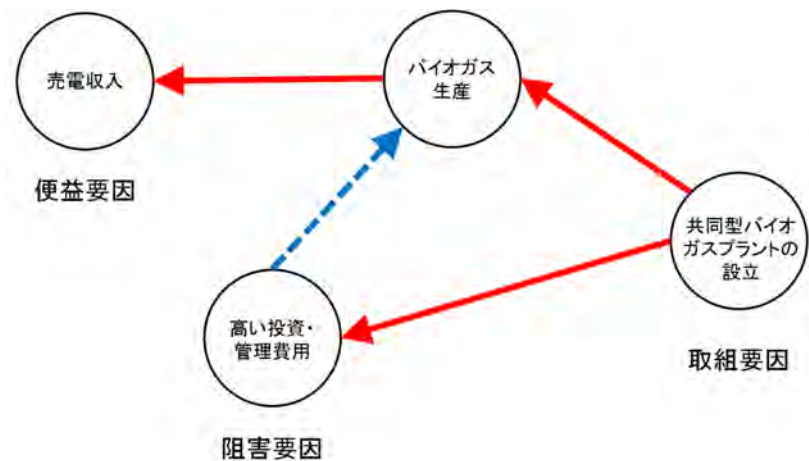
注. キーワード間を結ぶ赤線はプラス、青線はマイナスの関係を、色が濃いほど強い関係を示す。

（4）認知マップの分析

認知マップ上で挙げられたキーワードは、第3図で示したように、その意味や関係性（プラスとマイナス）を検討し、バイオガスシステムがもたらす便益要因、バイオガスシステム普及の阻害要因、そして普及を促進あるいは阻害要因を解決するための取組要因の三つに分類、整理した。この結果、22枚の認知マップからは48の便益要因、66の阻害要因、48の取組要因が確認された。

次に、ステークホルダー間での認識の相違を容易に分析するため、各要因に関して意味が類似するものを集約し、簡素化を図った。Özesmi and Özesmi (2004) によればこのような集約化プロセスは、定性的な集約手法 (qualitative aggregation) と呼ばれ、認知マッピングを用いた多くの先行研究でも用いられている。本分析では、例えば、「売電」、「FIT」、「副収入」、「家畜ふん尿からエネルギー」等のキーワードを集約し、「売電収入」と一本化した。これら一連の作業の結果、便益要因、阻害要因、取組要因の数は最終的にそれぞれ 20, 20, 16 となった (第 1 表～第 3 表)。

最後に、挙げられた各要因やその回答頻度に関して、その傾向が最も顕著に異なった「酪農家」計 7 名、「畑作農家」計 7 名、それ以外の JA 職員、技術者、町役場職員、大学研究者を取りまとめた「非農家」計 8 名の 3 グループ間で定量的 (回答頻度等) 及び定性的な比較分析を行った。なお、本分析では、回答頻度だけに着目し、各矢印を大、中、小で評価した関係性の強さは考慮しなかった。



第 3 図 キーワードを分類するための解釈例

注. 赤の実線はプラスの関係、青の点線はマイナスの関係を示す。

3. 分析結果

(1) 便益要因

第 1 表は、各ステークホルダーが考える BGP の導入と消化液の利用、さらにそれらが地域コミュニティにもたらすベネフィットについて、士幌町の酪農家、畑作農家、非農家の 3 グループ別に整理したものである。

第1表 バイオガスシステムがもたらす便益要因

項目	要因	回答 頻度	酪農家 数 (%)	畑作農家 数 (%)	非農家 数 (%)	p ²
BGP	売電収入	12	5 (71)	3 (43)	4 (50)	NS
	エネルギー自給に伴うコスト削減	10	3 (43)	3 (43)	4 (50)	NS
	廃棄物の適切な処理	8	2 (29)	3 (43)	3 (36)	NS
	ふん尿処理の省力化	7	2 (29)	1 (14)	4 (50)	NS
	経営規模（頭数）拡大	7	4 (57)	1 (14)	2 (25)	NS
	牛舎環境の向上	5	4 (57)	1 (14)	2 (25)	NS
	個別型 BGP のため経営裁量の維持	3	2 (29)	0	1 (13)	NS
消化液	堆肥散布時の臭気の低減	14	4 (57)	4 (57)	6 (75)	NS
	堆肥・化学肥料との代替に伴う購入・散布費用の削減	11	3 (43)	3 (43)	5 (63)	NS
	有機肥料としての有効利用（循環型農業の達成）	6	1 (14)	1 (14)	4 (50)	NS
	即効性のある肥料	6	1 (14)	2 (29)	3 (38)	NS
	牧草への有効性	5	1 (14)	2 (29)	2 (25)	NS
	雑草の種の死滅処理	4	2 (29)	1 (14)	1 (13)	NS
	簡易な散布	2	0	1 (14)	1 (13)	NS
地域コミュニティ	GHG 排出、地下水・河川汚染、臭気等の低減による地域環境の向上	13	5 (71)	4 (57)	4 (50)	NS
	エネルギー安全保障の向上	9	2 (29)	3 (43)	4 (50)	NS
	酪農業に対する住民理解の向上	6	3 (43)	0	3 (38)	NS
	エコタウンとしてのイメージ向上	4	0	1 (14)	3 (38)	NS
	新しい雇用の創出	4	0	0	4 (50)	0.019**
	農業振興への貢献	3	1 (14)	0	2 (25)	NS

注 (1) 数 (%) とは酪農家 7 名、畑作農家 7 名、非農家 8 名のうち、当該要素を指摘した人数及びその割合である。
(2) 表では回答割合が 30%以上の要素を黄色で、50%以上の要素を青色で網掛けしている。
(3) フィッシャーの正確確率検定の結果、10%水準で有意な差が見られなかったものは NS (not significant) とし、5%水準で有意な差が見られたものには**、10%水準のものには*を示した。

まず、BGP の導入がもたらすベネフィットについて見てみると、全体として最も回答数が多かったのは、売電収入であった。中でも、酪農家の 7 割以上が、バイオガス発電で得られたエネルギーを売電することで得られる副収入を期待していることがわかった。畑作農家や非農家においても、その半数近くが同様の認識をしていた。また、BGP を導入することで大量に発生するふん尿の処理が可能となり（全体で 8 名回答）、作業効率も向上することから（全体で 7 名回答）、酪農家を中心とする 7 名が、経営規模（頭数）拡大の一手段として捉えていることもわかった。

次に消化液の利用がもたらすベネフィットに関しては、回答者の半数（11 名）が、液肥が化学肥料や堆肥の代替として利用されることで、従来の肥料購入や散布等にかかる費用が軽減されることを期待していた。また、いずれのグループも半数以上は、堆肥が消化液に代替されることで、堆肥散布時の臭いが低減されることも期待していた。その他に挙げられたのは、消化液の即効性、牧草地への効果、ふん尿の嫌気発酵処理によって雑草の種子が死滅すること等であった。

バイオガスシステムがもたらす地域全体へのベネフィットについては、3 グループい

れも、環境への負荷低減（GHG、水質汚濁、臭気）に最も期待しており、回答数は最多の13名であった。これ以外では、非農家の半数近くが、エネルギーの地産地消や地域経済への波及効果について期待を寄せていることもわかった。その反面、酪農家と畑作農家の多くが、このような地域ベネフィットを認知していなかったことが特徴といえる。ただし、酪農家に関しては、BGPを導入することで臭気の低減や牛舎環境が向上され、これにより地域住民の酪農業に対するイメージが向上することを期待していた。

（２）阻害要因

第2表は、各ステークホルダーの認知マップから抽出されたバイオガスシステムの構築やその維持を行う上で障壁として考えられる要因を、BGP、消化液、地域コミュニティに関連するものにそれぞれ整理したものである。

まず BGP の導入・管理において最も大きな障壁として認知されていたのは、費用の問題であった。特に、全体の15名が高額な建設費用の問題を指摘しており、このうち酪農家は全員が指摘していた。建設費用の高さを指摘した者のうち8名（プラントの非保有酪農家3名、消化液の非利用畑作農家1名、技術者2名、町役場職員2名）は、特に小中規模酪農家にとって導入の大きな障壁になっているとも回答した。

次に非農家では、その半数以上が現在の売電環境（変電容量及び送電網の限界や太陽光発電業者との競合等）に満足していないことも明らかになった。また、プラントの非保有酪農家4人のうち3人が、FITの仕組みや単価が将来変更されるかもしれないという政策リスクを導入のネックとして捉えていることもわかった。

他方、7割以上の酪農家は、BGPの導入に伴い、消化液の散布先の確保が問題であると答え、特に地域内でプラント数が増えることで他オーナーとの散布先確保の競合問題が生じることを危惧していた。半数近い畑作農家も同じような状況が起こりうると回答している。

消化液に関しては、消化液の利用経験の有無に関わらず大多数の畑作農家はその「使いづらさ」を認知していることがわかった。回答頻度の多かった上位六つの利用に関する問題とは、①消化液の貯留槽から圃場までの輸送距離、②消化液散布のタイミングが季節や天候によって限定されること、③実際の肥効が不明確であること、④散布機の重量で土壤が踏み固められてしまうこと、⑤消化液よりも堆肥は優れていること、⑥生産体系や雨水の流入等によって消化液の量や質が不均一であることであった。⑤の問題については、消化液は液肥であるため、固形物である堆肥のように積んで保管できず、貯留槽が必要となること、また液肥のために土壤中にすぐに浸透してしまうため、土壤改良材としての堆肥と消化液を併用する必要がある、手間が倍増する等の理由によるものである。他方、少数ではあるが「消化液の臭い」や、「消化液の値段や散布費用が高い」、「利用メリットが見出せないため有機物ではなくて廃棄物として認識している」という意見もあった。

上記の実際の使いづらさの指摘に加えて、ソフト面での障壁も複数指摘された。具体的には、消化液を実際に利用している畑作農家が近隣におらず、そもそも消化液自体が認知

されていない点、また消化液を供給する酪農家が畑作農家の作付け体系等を理解し、適量の消化液を適切に散布できるのかという懸念が挙げられた。この懸念については、消化液処理のためにプラント所有者の酪農家がいつでも圃場に散布したがるのに対し、畑作農家は適切な施肥管理を行いたいと考える価値観の違いであるとの指摘もあった。また、消化液の肥効や使い方に関する講習会が開催されたことがなかったり、消化液をもらうにしても供給者との接点がなかったり（マッチングを担う調整役がいない）といった、情報や資源へのアクセスが限定されているという障壁も確認された。なお、上記いずれの指摘も主に畑作農家から挙げられたものであり、酪農家及び非農家からは、このような指摘はほとんど見られなかった。

最後に、地域コミュニティについては、回答自体が少数ではあったものの、バイオガスシステムに関する住民の認知が乏しい点、さらにこのようなバイオガスを核とした取組はあくまで関係する酪農家だけの話であり、地域還元が見えてこない、という指摘もあった。

第2表 バイオガスシステムの構築やその維持を行う上での阻害要因

項目	要因	回答 頻度	酪農家 数 (%)	畑作農家 数 (%)	非農家 数 (%)	p^2
BGP	高い投資及び管理費用	15	7 (100)	3 (43)	5 (63)	0.081*
	売電環境（送電容量や送電網）の不備や太陽光発電との競合	9	2 (29)	1 (14)	6 (75)	0.052*
	売電制度の将来リスク	6	3 (43)	0	3 (38)	NS
	現行補助制度（獲得が困難、補助額が不足、支払いが遅延等）	5	1 (14)	1 (14)	3 (38)	NS
	原料であるふん尿の不均一性や事前処理の必要性	4	3 (43)	0	1 (13)	NS
	採算性の不透明さ	3	2 (29)	0	1 (13)	NS
	余剰熱の利用先確保（夜間や夏季）	2	0	0	2 (25)	NS
消化液	将来的には散布先の確保が困難	10	5 (71)	3 (43)	2 (25)	NS
	長距離運搬や道路状況に伴う費用	9	2 (29)	6 (86)	1 (13)	0.016**
	散布のタイミングや条件（季節、天候）が限定	8	1 (14)	6 (86)	1 (13)	0.005**
	肥効や利用法が不明確	6	1 (14)	5 (71)	0	0.005**
	特殊な散布機が必要・その踏圧による土の凝固	6	0	5 (71)	1 (13)	0.002**
	消化液よりも堆肥を嗜好	6	2 (29)	4 (57)	0	0.039**
	生産体系や雨水の流入により質や量が不均一	4	2 (29)	2 (29)	0	NS
	周りに使用者が少ない・提供者を知らない	4	0	3 (43)	1 (13)	NS
	提供者（酪農家）の能力や気配りの欠如、施肥に関する価値観の違い	3	0	3 (43)	0	0.024**
	貯留槽の容量が限定	3	3 (43)	0	0	0.045**
	消化液散布時の臭気	2	0	2 (29)	0	NS
地域 コ ミ ュ ニ ティ	バイオガスに関する認識が低い	2	0	1 (14)	1 (13)	NS
	地域還元が少ない	1	0	1 (14)	0	NS

注 (1) 数 (%) とは酪農家 7 名、畑作農家 7 名、非農家 8 名のうち、当該要素を指摘した人数及びその割合である。

- (2) 表では回答割合が 30%以上の要素を黄色で、50%以上の要素を青色で網掛けしている。
 (3) フィッシャーの正確確率検定の結果、10%水準で有意な差が見られなかったものは NS (not significant) とし、5%水準で有意な差が見られたものには**、10%水準のものには*を示した。

(3) 取組要因

第3表は、各ステークホルダーの考えるバイオガスシステムの構築や維持を促進する上で重要となる取組を BGP、消化液、地域にわけて取りまとめたものである。

まず、BGP の普及に関して、今後は共同型あるいは集中型の BGP 導入に向けた取組が必要であると最多の 8 名が考えていることがわかった。この中には、中規模経営かつプラント非保有の酪農家 4 名全員を含む 5 名の酪農家（全体の 7 割以上）を含む。また、半数近い酪農家及びその他グループは FIT の現状維持あるいは買い取り価格の値上げが BGP の新規導入につながると指摘した。

第3表 バイオガスシステムの構築や維持を促進する上で重要となる取組要因

項目	要因	回答 頻度	酪農家 数 (%)	畑作農家 数 (%)	非農家 数 (%)	p^2
BGP	費用削減のための共同型・集中型 BGP の設立	8	5 (71)	0	3 (38)	0.021**
	FIT の維持あるいは買取額の値上げ	7	3 (43)	0	4 (50)	NS
	建設補助金	4	1 (14)	1 (14)	2 (25)	NS
	技術革新による低コスト、高効率、ユーザーフレンドリー化	3	0	0	3 (38)	0.082*
	送電・売電環境の向上	3	0	0	3 (38)	0.082*
消化液	コントラクター利用の助成	7	4 (57)	3 (43)	0	0.058*
	成分分析や利用研究の促進による利用メリットの明示化	6	2 (29)	3 (43)	1 (13)	NS
	消化液管理システム（施肥計画、利用アドバイス等を含む）の構築	5	1 (14)	2 (29)	2 (25)	NS
	利用の改良（肥効性向上、固形化、散布機改良、サブタンク設置）	4	0	4 (57)	0	0.010**
	安価または無料で散布	4	0	3 (43)	1 (13)	NS
	勉強会（講習会）の実施、供給者・需要者のマッチング	4	1 (14)	2 (29)	1 (13)	NS
	供給者の需要側ニーズの理解向上	2	0	2 (29)	0	NS
地域コミュニティ	農場外でのエネルギー利用の拡大（ハウス栽培、公共施設等で利用）	5	1 (14)	0	4 (50)	0.081**
	環境教育の一環として利用	2	0	0	2 (25)	NS
	町営の電力会社の設立	2	0	0	2 (25)	NS
	消化液で栽培した農産物市場の確立	1	0	0	1 (13)	NS

注 (1) 数 (%) とは酪農家 7 名、畑作農家 7 名、非農家 8 名のうち、当該要素を指摘した人数及びその割合である。

(2) 表では回答割合が 30%以上の要素を黄色で、50%以上の要素を青色で網掛けしている。

(3) フィッシャーの正確確率検定の結果、10%水準で有意な差が見られなかったものは NS (not significant) とし、5%水準で有意な差が見られたものには**、10%水準のものには*を示した。

他方、非農家からは、技術革新やその支援を重視すべきとの意見が多かった。具体的には、ガス利用や発電、蓄電等における低コスト化と高効率化、さらに現場のユーザーが使いやすいシンプルなシステム設計といった取組が挙げられた。

次に、消化液の利用促進について、酪農家及び畑作農家の合計数で最も多く挙げられたのは、消化液を回収・散布してくれるコントラクター利用への助成であった。その一方で、4割以上の畑作農家は、酪農家が安価または無料で消化液散布を行ってくれることが重要であるとも考えていた。

畑作農家だけの回答に注目してみると、最も回答頻度が高かったのは、消化液をより使いやすく改良する取組であった。具体的には、肥効の向上や栄養素の均一を目指す処理、散布しやすいように固体化、また散布機の改良やサブタンク設置による輸送費の低減等である。次に多く挙げられたのは、消化液の成分分析や圃場試験等を実施することで、消化液利用のメリット（費用対効果）を明示化する取組であった。

消化液の利用メリットが明らかになった場合、利用を促進するための勉強会の実施、情報交換の場の提供、あるいは施肥計画及びそのアドバイスを含む消化液管理システムの構築といった取組も畑作農家を中心に挙げられた。また、畑作農家の消化液受け入れを促進するために、農協等が調整して酪農家と畑作農家とをマッチングする取組も挙げられた。

地域コミュニティに関する取組に関しては、非農家を中心に複数の取組が挙げられた。最も回答頻度が高かった（5名）のは酪農場外でのエネルギー利用の拡大であった。この中にはハウス栽培や公共施設での熱利用等が含まれる。

4. 考察

（1）バイオガスシステムに対する認知の類似点

認知マッピングの手法を用いて各ステークホルダーに認知マップの作成を依頼し、それぞれを比較した結果、「便益要因」、「阻害要因」、「取組要因」において3グループ間で認識が共通している点及び異なっている点がそれぞれあることがわかった。

まず、バイオガスシステムがもたらす便益に関しては、グループを問わず多くのステークホルダーが、①バイオガス発電による売電収入、②エネルギー自給の達成による電気代の削減、③堆肥散布時と比べて消化液の液肥利用による臭気のコスト削減、④消化液の代替利用による肥料経費の削減、⑤環境負荷の削減、という五つの要因に関して共通認識していることがわかった（第1表）。これら五つの便益に関しては、多くの先行研究（Huttunen et al. 2014, Holm-Nielsen et al., 2009, Lantz et al., 2007, Röder et al., 2016）においても言及されており、士幌町のステークホルダーの多くがバイオガスシステムによってもたらされる主要な便益を理解できていることが示唆された。他方、英国での先行研究（Mbziabain et al., 2013, Upreti et al., 2004）によれば、BGPに対する社会的受容性の低さが依然としてバイオガスシステム普及の大きな壁となっていることを報告しているが、認知マッピングを用いた士幌町での調査ではBGP導入自体に対する反対意見等はほとんど観察されなかった。このような背景には、町やJAが先導役として積極的にBGP導入プロジェクトをサポートしていることに起因していると考えられる（Lybæk et al., 2015）。また、その他の先行研究によれば、再生可能エネルギーの普及を進めるには気候変動緩和

や環境保全対策としての役割を強調することが地域コミュニティの受容性を高め、彼らの参加を促進する上で有効であるとしている（Upreti et al., 2004）。土幌町に関しては、本研究からも明らかになったように環境便益への理解は高いことから、今後の普及をより進めていく上でも後押しとなると考えられる。

（２）バイオガスシステムに対する認知の相違点

分析からは、酪農家の多くが売電による副収入に大きな魅力を感じていることがわかった（第１表）。副収入の存在は、足腰の強い酪農経営を確立する上でも重要である。その一方で、売電収入に主眼を置いた経営規模（飼養頭数）の拡大は、それだけ大量の消化液が排出されることから、適切に処理できなければ、適量以上の散布や、浄化した上で河川への放流、さらにはごく稀に冬期間に雪の上から散布するといったケースが発生する可能性も考えられる。実際に環境への負荷が増加していることがバイオガスの普及が進むイタリア（Carrosio, 2013）やドイツ（Reise et al., 2012）の先行研究で報告されている。

消化液の利用は持続的なバイオガスシステムに欠かせないが、本研究より、重要なステークホルダーとなる畑作農家が消化液そのものをよく知らず、その利用の有用性を見出せていないことが明らかになった。特に阻害要因である「消化液の使いづらさ」については主に畑作農家だけが認知しており（第２表）、また消化液を巡る問題を解決するための取組に関しても、酪農家や非農家からの提案がほとんどなされていなかった（第３表）。つまり、酪農家や非農家は、認識上「有効な液肥」として畑作農家にその利用責任を転嫁しようとするが、畑作農家は「利用価値の低い発酵残渣・廃棄物」と捉えており、大きな認識のギャップが生じていることが確認された。特に畑作農家には化学肥料や堆肥といった消化液以外の肥料の選択肢があり、しかも堆肥が好まれているという状況にありながら（第２表）、酪農家や非農家が消化液の利点だけを先行的に認識していることが、このような認識の差を助長しているように見える。

実際、聞き取り調査を行った畑作農家の中からは、「どうして使い勝手の悪い“廃棄物”を畑作農家が受け入れなくてはならないのか」、「バイオガスを核とした取組はあくまで関係する酪農家だけの話であり、地域還元が見えてこない」というような意見もあった。

酪農家や非農家の消化液の利用者視線に立った姿勢が十分でない限り、仮に今後のバイオガス政策が、彼らが特に重要と考える「建設や維持管理にかかる費用の問題」（第２表）や「買取価格維持による売電収入の維持」、「売電環境の向上」（第３表）を支援できたとしても、バイオガスシステム全体で見た場合の解決には至らないと考える。むしろ、このような政策の実施によって BGP の普及が進めば進むほど、消化液を巡る問題はより顕著になることが予想される。

（３）バイオガスシステムの普及促進に向けた取組

この問題を解決するためには、酪農家と畑作農家との連携（耕畜連携）の強化、そして、それを調整あるいは支援する農協や町役場、技術者、研究者らのサポートが不可欠である。

そのためにも、まず畑作農家の消化液に対する認識を他のステークホルダーと共有し、消化液の需要側の視点を取り入れる必要がある。その上で、酪農家や非農家は、畑作農家に対して消化液を利用しないことによるデメリットを示し、損失回避性に訴えることが有効である⁽¹⁾と考える。

具体的な取組に関しては、第3表にて挙げたように、①消化液利用メリットの実証、②肥効性等の情報拡散及び利用法の普及、③消化液を使いやすい形態に改良及びより利用しやすいシステムづくり、④液肥利用農産物の市場拡大等が考えられる。以下、それぞれの取組について、各ステークホルダーの役割を整理しながら説明していく。

1) 消化液利用メリットの実証

まず消化液を利用することのメリットを実証する取組については、特に研究者からの貢献が期待される。近年においては、圃場試験 (Alburquerque et al., 2012, Bougnom et al., 2012, Nkoa, 2014) による消化液の液肥利用を扱った研究が増えており、利用効果を最大化する適切な散布時期や適正量等、作物別の効果的な利用法に関する知見が蓄積されつつある。実際、消化液を利用している畑作農家や自身の圃場に散布しているプラント保有酪農家の中には、牧草地への消化液散布効果は身をもって確認しているものの、それ以外の作物についてはその効果を確認できておらず、それゆえに主要品目の圃場への散布を控えているという意見もあった。上記のような研究が進めば、こういった不安を取り除くこともできる。

他方、地域内の作付け状況や畜舎から圃場までの距離を加味した上で、いかに効率的に消化液を利用するかを検討することは、費用負担者（現状では酪農家）側の運搬費用等の軽減にもつながり、結果的に長期的な消化液利用を核とする耕畜連携を促進する。これに関して、例えば、Tampio et al. (2017) は、GIS（地理情報システム）を用いて効率的に地域内に消化液を配分するための意思決定を支援するツールを開発している。このような費用負担者側の視点も取り入れたツールの開発は、今後より多くの個別型 BGP あるいは集中型 BGP が地域内で導入される際にますます重要になるだろう。

2) 消化液利用に関する情報の普及

次に、消化液の利用メリットが実証されたら、その効果的な利用方法等について情報を拡散する必要がある。ここでは、主に技術指導等を担う普及員が重要な役割を果たすと考えるが、土幌町のように農協が大きな影響力を示す地域においては、農協が消化液利用に関する講習会等の場を設けることも効果的である⁽²⁾と考える。同様に消化液を供給したいプラント保有酪農家と消化液を受け取りたい畑作農家とのマッチングを担えるのも、酪農家と畑作農家の両者につながりを持つ農協であろう。

また、調査結果によれば、消化液そのものについて地域内の畑作農家の間ではよく認知されていないことも障壁の一つだった（第2表）。この課題に対しては、他の農家への影響力が特別に強い地域内でリーダー的な畑作農家、あるいは消化液の利用効果が高い品目ま

たは地域内作付けが高い品目の栽培において模範的存在である農家を抽出し、彼らに実際に消化液を利用してもらうことが有効策と考えられる。もし、彼らが消化液利用の成果を実感でき、さらに他の農家へその知見を共有してもらえれば、消化液利用者の増加に向けた重要なステップにつながる。

3) 消化液の改良及び利用システムの構築

つづいて、使いやすい形態に改良する取組に関しては、需要側の声を取り入れた上で、研究者や技術者の協力体制に基づく技術開発が必要であり、これらの取組を経済的に支援する取組が有効と考えられる。近年、運搬、散布、不均一性等の消化液の問題（第2表）を解決するために、消化液そのものの物理的特性を変化させ、使いやすく改良することの重要性が認識され始めている（Dahlin et al. 2017）。具体的には、消化液をペレット化することで運搬環境や養分濃度を向上させたり、膜を用いて栄養素を窒素、リン、カリ別に分離させたりする技術の開発が進められている。しかしながら、このような改良を施すには高額な費用が発生するため、結果として消化液肥料自体の価格が上昇してしまう。解決策としては、利用者数を拡大させることで価格自体を下げる取組、あるいは Dahlin et al. (2017) が検討しているように、付加価値の付いた肥料として非農業部門である園芸家への販路拡大の可能性等が考えられる。いずれにせよ士幌町のような個別型の BGP の所有者自身が消化液の改良や販路拡大等を行うことは無理があることから、農協や肥料会社等の積極的な介入が必要になるだろう。

他方、消化液の利用しやすいシステム作りに関しては、第3表で酪農家と畑作農家が最も多く回答したコントラクター利用の普及が効果的だろう。士幌町においても、コントラクターを実際に利用して消化液の運搬や散布を委託している酪農家もいるが、利用コストの高さが利用拡大に向けたネックとなっている。コントラクター利用促進に向けた一つの支援策としては、補助金によって酪農家あるいは散布を希望する畑作農家への経済的負担を軽減することが有効であると考ええる。

また圃場の近くに消化液を溜められるようなサブタンク等の設置も運搬や散布にかかる手間を省く上で有効であろう。例えば、デンマークの集中型 BGP では、プラント側が、参加農家に対して、消化液を溜めるための貯留槽を個別農場内に作る際の費用援助を行っている（浅井・高井，2017）。士幌町でも、畑作農家が集まって消化液受取組合を結成し、組合員の圃場の近くに貯留槽を一つ建設したが、今後プラント設置数が増えるようであれば、酪農家自身若しくは行政等による貯留槽設置の援助が必要になってくると考える。

4) 液肥利用農産物の市場拡大

液肥利用農産物の市場拡大については、成功すれば畑作農家の積極的な消化液利用行動を取り組むインセンティブになる（山下他，2011）。しかし、士幌町では、ジャガイモや小麦といった原料野菜の生産が元来から盛んであるため、付加価値をつけた農産物生産へのマーケティング戦略への関心が畑作農家を中心に比較的低いこと、また液肥そのものが広

く知られておらず、消費者の理解が低いことが障壁として考えられる。これらに対して、例えばデンマークでは、国の政策として有機農業を行っている圃場面積の倍増を目指しており、圃場の拡大とともに発生する有機肥料不足の補充品として消化液の有効利用が注目されている（Oelofs et al., 2013）。有機農産物という消費者が価値を認めるに商品に対して、消化液をうまく取り組むことができれば、バイオガスのバリューチェーンの拡大にも貢献する。

これ以外にもハウス栽培で高付加価値農産物を栽培し、その際にバイオガス発電時に発生する廃熱と液肥として消化液を用いることができれば、無駄のない効率的な生産体系の確立が可能になるとも考えられる。しかしながら、士幌町のように個別型の BGP を保有する農家が単独で新たな利用先の発掘及び新規拡大を行うには限界があるため、行政の支援、そして農協や企業との連携が欠かせない。他方、消費者の理解向上に向けては、環境負荷が少なく、かつ循環型農業で生産された農産物であることを幅広く PR することが有効であり、そのためには農協や行政による積極的な推進活動が重要と考える。

5) 社会的要素の重要性

最後に、消化液の問題については、単に「使いづらさ」の問題を解決するだけでは不十分であり、酪農家と畑作農家の社会関係や信頼関係の有無といった、社会的要素にも着目する必要があることが本研究より示唆された（第 2 表と第 3 表）。事実、消化液を利用している畑作農家 3 名への聞き取り調査によれば、彼らが受け取りを行う理由は、消化液の効果そのものに魅力を感じているからではなく、消化液の提供者と古くからの知り合いであり、自身の管理する畑の作付け体系をよく理解し、施肥のタイミングや散布量等において、気配りのある対応をしてくれるからだと回答している。つまり、酪農家と畑作農家とが常に適切なコミュニケーションをとれる間柄であることが、不適当な消化液散布に伴う圃場内土壌の栄養素の不均一化といったリスクを回避し、結果的に畑作農家の永続的な消化液の受け入れにもつながっていると考えられる。この点に関しては、Asai et al. (2014) もデンマークの畜産農家と畑作農家が耕畜連携を構築する際の重要因子を明らかにした上で同様の指摘をしている。特に士幌町のような堆肥利用が従来から好まれ、国内最大規模の畑作経営を担う農家が多い地域において、プラント保有者である酪農家が消化液利用のメリットを強調するためには、きめ細かい気配り等による畑作農家との良好な関係の構築が非常に重要な意味を持つと考えられる。

この点に関しては、前述のコントラクター利用の普及促進を模索する上でも、同様の指摘ができるだろう。消化液を提供する酪農家の代わりにコントラクターが、受け取り先である畑作農家に対して同様のきめ細かいサービスを提供できれば、あるいは高額な利用料を支払ってでも消化液を利用したいと考える畑作農家が増えることも予想されるからである。

5. おわりに

バイオガスは、他の再生可能エネルギーと比べて、原料となるふん尿の調達先や副産物である消化液の還元先等において、非常に地域性が高いエネルギーであるといえる (Mol, 2014, Blumeling et al., 2013)。そのため、農村内における慣習や信頼関係等、そして主要なステークホルダーである酪農家と畑作農家の思惑の違いや共通認識の有無が、バイオガスシステムの普及の促進要因になったり、阻害要因になったりする (Blumeling et al., 2013)。そこで、本研究では、認知マッピングという手法を用いて、地域の多様なステークホルダーがどのようにバイオガスを捉えているのかを明らかにし、更なる BGP の導入や長期的な稼働を行うには、どのような取組が有効であるかを検討した。

本研究の結果からは、畑作農家が認知する消化液利用を中心としたバイオガスシステムの導入メリットが不明確のままであること、また酪農家及び非農家のグループが消化液の需給側の視点を持ち合わせていないことが大きな阻害要因となり得ることが明らかになった。近年では、地域経済モデル分析 (Tampio et al., 2017) や圃場試験 (Bougnom et al., 2012, Albuquerque et al., 2012, Nkoa, 2014) による消化液の液肥利用がもたらす効果を明らかにした研究が多数発表されてきているが、実際の現場で生じている課題を学術的に明らかにした研究は少ない (Holm-Nielsen et al., 2009, Dahalin et al., 2015)。この意味でも、本研究で得られた知見は、今後のバイオガスシステムの持続的な発展に大いに役立つものと考ええる。

例えば、中国の Ho et al. (2013)、イタリアの Carrosio (2013)、デンマークの浅井・高井 (2017) といった先行研究でも議論されているように、長期的かつ持続可能なバイオガスシステムの構築には、地域にもたらされる便益が共有あるいは共通認識されていること、つまり各ステークホルダーが何らかの便益を得られるシステムづくりが欠かせない。これを達成する上でも、各ステークホルダーが何を期待し、何が阻害要因と考え、どのような取組が有効であるかを明らかにした本研究は、普及を進める上での第 1 ステップとして意義のあるものと考ええる。

今後の課題は、各ステークホルダーの認知マップを異なるステークホルダー間で横断的に共有し、比較、理解し合う場を設けることで、相互理解を促進し、より持続可能なバイオガスシステムの構築に活かしていくことであると考ええる。

〔付記〕

本研究に際し、士幌町農業協同組合西田康一氏には、士幌町における認知マッピングの調査に際して多大なご協力をいただいた。西田氏の協力なしには本研究の成果は得られなかった。記して感謝の意を表す。また、本研究は、JSPS 科研費 26281060 及び 17H01928 の助成を受けたものである。

注 (1) 損失回避性とは、人は損をすることを強く嫌悪する場合が多いことを示した行動経済学の概念である（大垣・田中，2014）。

[引用文献]

- Albuquerque, J.A., de la Fuente, C., Campoy, M., Carrasco, L., Nájera, I., Baixauli, C., Caravaca, F., Roldán, A., Cegarra, J., Bernal, M.P. (2012) "Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties" *European Journal of Agronomy* 43 : 119–128.
- 浅井真康・高井久光 (2017) 「デンマークのバイオガス増産政策と関係主体間の連携：新しい取組を事例に」『農林水産政策研究』27 : 25-47.
- Asai, M., Langer, V., Frederiksen, P., Jacobsen, B.H. (2014) "Livestock farmer perceptions of successful collaborative arrangements for manure exchange : A study in Denmark" *Agricultural Systems* 128 : 55–65..
- Biggs, D., Abel, N., Knight, A.T., Leitch, A., Langston, A., Ban, N.C. (2011) "The implementation crisis in conservation planning : Could "mental models" help?" *Conservation Letters* 4 : 169–183.
- Bluemling, B., Mol, A.P.J., Tu, Q. (2013) "The social organization of agricultural biogas production and use" *Energy Policy* 63 : 10–17.
- Bougnom, B.P., Niederkofer, C., Knapp, B.A., Stimpfl, E., Insam, H. (2012) "Residues from renewable energy production : Their value for fertilizing pastures" *Biomass and Bioenergy* 39 : 290–295.
- Carrosio, G. (2013) "Energy production from biogas in the Italian countryside : Policies and organizational models" *Energy Policy* 63 : 3–9.
- Christen, B., Kjeldsen, C., Dalgaard, T., Martin-Ortega, J. (2015) "Can fuzzy cognitive mapping help in agricultural policy design and communication?" *Land Use Policy* 45 : 64–75.
- Dahlin, J., Herbes, C., Nelles, M. (2015) "Biogas digestate marketing : Qualitative insights into the supply side" *Resource, Conservation and Recycling* 104 : 152–161.
- Dahlin, J., Nelles, M., Herbes, C. (2017) "Biogas digestate management : Evaluating the attitudes and perceptions of German gardeners towards digestate-based soil amendments" *Resource, Conservation and Recycling* 118 : 27–38.
- Douglas, E.M., Wheeler, S.A., Smith, D.J., Overton, I.C., Gray, S.A., Doody, T.M., Crossman, N.D. (2016) "Using mental-modelling to explore how irrigators in the Murray–Darling Basin make water-use decisions" *Journal of Hydrology* 6 : 1–12.
- Du Toit, D., Biggs, H., Pollard, S. (2011) "The Potential Role of Mental Model Methodologies in Multistakeholder Negotiations : Integrated Water Resources Management in South Africa" *Ecology and Society* 16 : 21.
- He, G., Bluemling, B., Mol, A.P.J., Zhang, L., Lu, Y. (2013) "Comparing centralized and decentralized bio-energy systems in rural China" *Energy Policy* 63 : 34–43.

- Hoffman, M., Lubell, M., Hillis, V. (2014) “Linking knowledge and action through mental models of sustainable agriculture” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111 : 13016–13021.
- Holm-Nielsen, J.B., Al Seadi, T., Oleskowicz-Popiel, P. (2009) “The future of anaerobic digestion and biogas utilization” *Bioresource Technology* 100 : 5478–5484.
- Huttunen, S., Manninen, K., Leskinen, P. (2014) “Combining biogas LCA reviews with stakeholder interviews to analyse life cycle impacts at a practical level” *Journal of Cleaner Production* 80 : 5–16.
- 岩崎匡洋・竹内良曜・梅津一孝 (2017) 「農業施設に関わる研究・技術の最新の展開—家畜ふん尿を主原料とするメタン発酵処理施設について—」『農業施設』48 (3) : 123-130.
- JA 士幌町 (Online) 『士幌町の農業』, [http : //www.ja-shihoro.or.jp/agri/index.html](http://www.ja-shihoro.or.jp/agri/index.html) (2019 年 3 月 13 日アクセス).
- JA 士幌町 (2018) 『士幌町におけるバイオマス事業の展開』.
- Jetter, A., Schweinfurt, W. (2011) “Building scenarios with Fuzzy Cognitive Maps : An exploratory study of solar energy” *Futures* 43 : 52–66.
- Jones, N., Ross, H., Lynam, T., Perez, P., Leitch, A. (2011) “Mental Models : An Interdisciplinary Synthesis of Theory and Methods” *Ecology and Society* 16 : 46.
- Kermagoret, C., Levrel, H., Carlier, A., Ponsero, A. (2016) “Stakeholder Perceptions of Offshore Wind Power : A Fuzzy Cognitive Mapping Approach” *Society and Natural Resources* 29 : 916–931.
- Konti, A., Damigos, D. (2018) “Exploring strengths and weaknesses of bioethanol production from bio-waste in Greece using Fuzzy Cognitive Maps” *Energy Policy* 112 : 4–11.
- Kontogianni, A., Tourkolias, C., Papageorgiou, E.I. (2013) “Revealing market adaptation to a low carbon transport economy : Tales of hydrogen futures as perceived by fuzzy cognitive mapping” *International Journal of Hydrogen Energy* 38 : 709–722.
- Kuzuhara, Y. (2005) “Biomass Nippon Strategy—Why “Biomass Nippon” now?” *Biomass Bioenergy* 29 : 331–335.
- Lantz, M., Svensson, M., Björnsson, L., Börjesson, P. (2007) “The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden—Incentives, barriers and potentials” *Energy Policy* 35 : 1830–1843.
- Lybæk, R., Kjær, T. (2015) “Municipalities as facilitators, regulators and energy consumers for enhancing the dissemination of biogas technology in Denmark” *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management* 8 : 17–30.
- Mbzibain, A., Hocking, T.J., Tate, G., Ali, S. (2013) “Renewable enterprises on UK farms : Assessing levels of uptake, motivations and constraints to widespread adoption” *Biomass and Bioenergy* 49 : 28–37.
- Meliadou, A., Santoro, F., Nader, M.R., Dagher, M.A., Al Indary, S., Salloum, B.A. (2012) “Prioritising coastal zone management issues through fuzzy cognitive mapping approach” *Journal of Environmental Management* 97 : 56–68.

- Mol, A.P.J. (2014) “Bounded Biofuels? Sustainability of Global Biogas Developments” *Sociologia Ruralis* 54 : 1–20.
- Nkoa, R. (2014) “Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates : A review” *Agronomy for Sustainable Development* 34 : 473–492.
- Oelofse M, Jensen L, Magid J (2013) “The implications of phasing out conventional nutrient supply in organic agriculture : Denmark as a case” *Organic Agriculture* 3 (1) : 41–55.
- 大垣昌夫・田中沙織 (2014) 『行動経済学』, 有斐閣.
- Olazabal, M., Pascual, U. (2016) “Use of fuzzy cognitive maps to study urban resilience and transformation” *Environmental Innovation and Societal Transitions* 18 : 18–40.
- Özesmi, U., Özesmi, S.L. (2004) “Ecological models based on people’s knowledge : A multi-step fuzzy cognitive mapping approach” *Ecological Modelling* 176 : 43–64.
- Pan, S.-Y., Du, M.A., Huang, I.-T., Liu, I.-H., Chang, E.-E., Chiang, P.-C. (2015) “Strategies on implementation of waste-to-energy (WTE) supply chain for circular economy system : A review” *Journal of Cleaner Production* 108 : 409–421.
- Reise, C., Musshoff, O., Granoszewski, K., Spiller, A. (2012) “Which factors influence the expansion of bioenergy? An empirical study of the investment behaviours of German farmers” *Ecological Economics* 73 : 133–141.
- Röder, M. (2016) “More than food or fuel. Stakeholder perceptions of anaerobic digestion and land use, a case study from the United Kingdom” *Energy Policy* 97 : 73–81.
- 士幌町 (Online) 『士幌町の概要』, <http://www.shihoro.jp/about/> (2019 年 3 月 13 日アクセス).
- Tampio, E., Lehtonen, E., Kinnunen, V., Mönkäre, T., Ervasti, S., Kettunen, R., Rasi, S., Rintala, J. (2017) “A demand-based nutrient utilization approach to urban biogas plant investment based on regional crop fertilization” *Journal of Cleaner Production* 164 : 19–29.
- Upreti, B.R., van der Horst, D. (2004) “National renewable energy policy and local opposition in the UK : The failed development of a biomass electricity plant” *Biomass and Bioenergy* 26 : 61–69.
- Vuillot, C., Coron, N., Calatayud, F., Sirami, C., Mathevet, R., Gibon, A. (2016) “Ways of farming and ways of thinking : Do farmers’ mental models of the landscape relate to their land management practices?” *Ecology and Society* 21 : 35.
- Weiland, P. (2010) “Biogas production : current state and perspectives” *Applied Microbiology and Biotechnology* 85 : 849–860.
- Wood, M.D., Bostrom, A., Bridges, T., Linkov, I. (2012) “Cognitive Mapping Tools : Review and Risk Management Needs” *Risk Analysis* 32 : 1333–1348.
- 山下良平・吉田有希・星野敏・九鬼康彰・森本英嗣 (2011) 「メタゲーム論的思考によるメタン発酵消化液の液肥利用 普及シナリオの記述と課題抽出」『農村計画学会誌』 29 (4) : 463–472.