

持続的な地域資源の活用システムの構築
—持続可能なバイオエネルギー利用のために—



平成31年3月

農林水産政策研究所

本刊行物は、農林水産政策研究所における研究成果をまとめたものですが、学術的な審査を経たものではありません。研究内容の今後一層の充実を図るため、読者各位から幅広くコメントをいただくことができれば幸いです。

表紙写真 北海道士幌町（士幌町農業協同組合提供）

まえがき

農林水産政策研究所では、平成 28 年度よりプロジェクト研究「都市住民等による農業・農村の価値・魅力の発揮を支える多様な取組に関する研究」（平成 28 年度～平成 30 年度）を実施し、都市住民等が求める農業・農村の価値・魅力とは何か、またその価値・魅力を最大限活用し、地域活性化への効果的な方策を明らかにするための研究分析を行ってきた。このプロジェクトでは大きく三つの課題に取り組んでおり、一つは若年世代の農村への移住に関する課題、二つ目が農村に人を呼び込む取組に関する研究課題、そしてもう一つは地域に賦存する資源を持続的に活用するための研究課題である。本プロジェクト研究資料は、このうち三つ目の課題について、いかに持続的な地域資源の活用システムを構築するか、また地域資源を活用していかに循環型社会を実現するのかについて分析・検討した成果をとりまとめたものである。

周知のとおり、農村地域には森林資源、農産資源等、さまざまな資源が賦存している。また、これらの資源は都市住民にとっても重要な資源である。これらの資源をいかに持続的に利用し、循環型社会の形成に結びつけられるのかは、農村地域のみならず都市地域の経済活動・社会生活に大きな影響を与える。

本プロジェクト研究資料では、農村地域の地域資源のうちバイオエネルギーに焦点を絞った上で、まず第 1 章では、既存研究における地域資源の定義を踏まえ、バイオエネルギーを地域資源として定義し、第 2 章で我が国におけるバイオガスの普及状況について概説する。続いて、第 3 章、第 4 章では北海道士幌町におけるバイオガスプラントを事例に、メンタルモデル分析を用いて得た情報から、バイオガス普及の阻害要因を明らかにした研究成果及び社会心理学の心理的距離の概念を用いた分析の成果を紹介する。そして、第 5 章では農林水産政策研究所が国際再生可能エネルギー機関（IRENA）及び国際農林業研究センター（JIRCAS）と共同で行った研究プロジェクトの中で、ナイジェリアでのバイオエネルギーの持続可能性指標の評価にステークホルダーの意見を反映させる手法の開発研究について紹介する。最後に、第 6 章でこれまでの分析で得られた結論を述べる。

本資料が農村地域における地域資源の有効利用のための基礎資料として幅広い分野で活用されることを願っている。なお、本資料の内容は、平成 25 年度から 28 年度まで実施していた「農業・農村の新たな機能・価値に関する研究」において刊行したプロジェクト研究資料「農村における地域資源の活用とその効果ーバイオマスのエネルギー利用を中心としてー⁽¹⁾」（平成 28 年 8 月刊行）とも密接に関連している。こちらについても、本資料と併せてご覧いただければ幸いである。

平成 31 年 3 月

農林水産政策研究所
都市住民プロジェクトチーム

注. <http://www.maff.go.jp/primaff/kanko/project/28arakachi3.html> 参照。

要 旨

第 1 章では、地域資源を取り扱った既存研究を整理するとともに、これらの既存研究をもとに本資料における地域資源の定義づけを行った。具体的には、本研究で事例として取り扱うバイオエネルギーが、既存研究で地域資源の特徴として挙げられている条件を満たしているかを確認し、バイオエネルギーが地域資源と定義されることを確認した。

第 2 章では、地域資源としてのバイオガスに焦点をあて、日本における生産及び利用状況、政策的支援、今後の普及に向けた課題を整理した。バイオガスは家畜ふん尿や食品廃棄物、し尿・下水汚泥といった含水率の高いバイオマスのメタン発酵によって生産されるため、廃棄物の適切な処理やエネルギー自給率の向上、温室効果ガス排出の低減等に貢献する。また副産物である消化液は、液肥として作物栽培に利用できる。バイオガスプラントはその規模や機能に応じて、「集中型」、「共同型」、「個別型」の 3 タイプに分類できるが、その設置については、地域や個別農家における原料の確保可能性や供給量に依存するところが大きい。2002 年の「バイオマス・ニッポン総合戦略」等を契機として、2000 年代前半にバイオガスプラントの設置数は第 1 ピークを迎え、その後 2012 年の「再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）」開始に伴い、第 2 の設置ブームを迎えた。ただし、バイオガス生産・利用の普及には、消化液の液肥利用が浸透していない点、建設コスト及びランニングコストが高額な点、売電環境が整備されていない点、政策転換のリスクが常につきまとう点といった課題が残されていることが先行研究のレビューにより示された。

第 3 章では、北海道士幌町におけるバイオガスの取組を調査事例とし、メンタルモデル分析と呼ばれる手法を用いて、各ステークホルダーがバイオガスの便益や普及の阻害・促進要因をどのように認識しているのか、またこれらの認識がステークホルダー間でどのように異なるのかを明らかにした。分析の結果、バイオガスの便益として、売電収入、消化液散布による化学肥料代替、地域環境の向上等が挙げられ、これらはステークホルダー間で認識が共有されていた。阻害要因には、建設費用、消化液の処理・利用等があり、建設費用は共通認識されているものの、消化液の利用については、酪農家・非農家と畑作農家との間で認識に大きな差が生じていることも明らかになった。このような消化液に対する認識の違いがバイオガス普及促進の障害になり得ることから、バイオガスの総合的な普及には、まず畑作農家が考える消化液の利用に関する懸念を全体の問題としてすべてのステークホルダー間で共有すること、そしてバイオガスプラントを設置する酪農家に主眼を置く施策だけでなく、消化液の需要者である畑作農家に対する施策も必要であることが示唆された。

第 4 章では、同じく士幌町の個別型バイオガスプラントを事例として、社会心理学の「心理的距離」という概念を用い、バイオガスプラントから発生する消化液の利用において、消化液の需要者である畑作農家と供給者である酪農家の間の関心の違いを明らかにした。本研究での分析からは、バイオガス生産を中心とした耕畜連携での消化液利用について、酪農家と畑作農家では関心分野が異なることが示され、また畑作農家は酪農家への関心とともに、他の畑作農家の消化液利用の動向にも関心があることが明らかになった。この結果から、

バイオガスプラントを中心とする耕畜連携の促進には、特に畑作農家が消化液利用に対して感じている懸念や不便さを、酪農家が解消・低減することで畑作農家と関心分野を共有する必要があることが示された。

第 5 章では、農林水産政策研究所が国際再生可能エネルギー機関（IRENA）からの依頼を受けて開発したバイオエネルギーの持続可能性評価ツールを紹介し、ガーナとナイジェリアでの試行的適用の結果を紹介する。持続可能性評価ツールは、国際バイオエネルギー・パートナーシップ（GBEP）の持続可能性指標をベースに、各国でどのようなバイオエネルギーを導入することで、持続可能性がより高まるのかを判断することができるものである。このツールでは、各国のバイオエネルギーの状況や政策的な重点事項を反映できるよう、各指標にウェイトを設定することができるのが特徴である。ガーナへの試行的適用では、持続可能性の観点からは、液体燃料が最も高い評価となり、またナイジェリアでの適用でも、バイオエタノールの評価が最も高くなった。このことから、アフリカのこれらの国では、いまだ普及していないバイオエタノールの導入を促進することで、持続可能なバイオエネルギーの普及促進が可能と考えられていることが示された。

最後に第 6 章で、これまでの分析及び考察の結果から最終的な結論として地域資源としてのバイオエネルギーを持続的に活用するためには、どのような政策的支援が必要なのかについてまとめた。バイオエネルギーの生産・消費システムはバイオガスの生産のみならず、原料収集から副産物である消化液の利用までを含めた包括的なシステムである。このシステム全体をうまく稼働させるためには、ステークホルダー間での円滑な合意形成に寄与する政策的支援が必要であることを指摘し、具体的には、ステークホルダー間の調整役を担う者の配置・団体の設置や新たな技術の開発を促進するような研究への支援といった方策を掲げた。

持続的な地域資源の活用システムの構築
—持続可能なバイオエネルギー利用のために—

目 次

まえがき

要 旨

第1章 地域資源とは何か

林 岳 1

第2章 日本におけるバイオガスの生産・利用の現状

浅井 真康

林 岳 7

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

山本 充（小樽商科大学大学院）25

第4章 消化液利用における畑作農家と酪農家の関心の相違

林 岳

浅井 真康

山本 充（小樽商科大学大学院）47

第5章 バイオエネルギーの持続可能性指標評価ツールの開発

林 岳

井上 泰子（森林総合研究所）

ジェームス・C・オボンナ（ナイジェリア大学ヌスカ校）57

第6章 まとめと結論

林 岳

浅井 真康81

第1章 地域資源とは何か

林 岳

1. はじめに

地域資源という用語は地域おこしや地域活性化に関連してよく使われる。それぞれの地域には特有の資源があり、これを活用することで地域活性化を進めようという取組が全国各地で行われている。その際、どのような資源を地域資源とするかについては、それぞれの地域や取組によって異なり、画一的な定義をすることは困難である。しかしながら、地域資源の議論をする上では、やはりどのような資源が地域資源となり得るのか、地域資源として取り上げられることが多いのかを整理することは必要であろう。さらに、本研究ではそのような地域資源のうちどの部分を取り扱うのかを明確にすることは、分析を行う上で不可欠である。ここでは、これまで地域資源を対象とした研究における地域資源の定義を整理し、本資料における地域資源の定義を示す。

2. 既存研究における地域資源の定義

(1) 七戸・永田の定義

これまでの研究で最も地域資源の定義を厳密に議論しているのは、七戸・永田（1988）であろう。この中では当時の『農業白書』内の記述を根拠として地域資源の定義を試みており、「その地域だけに存在する資源」、「自然によって与えられる有用物で、なんらかの人間労働が加えられることによって、生産力の一要素となり得るもの⁽¹⁾」という定義を与えている。そして、地域資源は、他地域への移動が困難な非転移性、地域資源相互間の有機的な連鎖性、市場メカニズムにはなじまない非市場性という三つの性格を有していると論じている。さらに七戸・永田は、地域資源を本来的地域資源、準地域資源に分類している（第1表）。本来的地域資源とは、「人間が自然に働きかける過程で（資源としての）⁽²⁾対象となるものであり、かつ、地域資源が持つ三つの側面を、ほぼ同程度にそなえているもの」としている（七戸・永田，1988，p.87）。この本来的地域資源は、さらに潜在的地域資源、顕在的地域資源、環境的地域資源に細分している。潜在的地域資源とは、「利用の手段・方法がわからない段階で労働手段と労働支出が行われない段階では有用物になり得ない無償の「自然力」で、具体的には地質、地勢、陸水、海水といった地理的条件や降水、日射、気温等の気象的条件がこれに該当する。次に顕在的地域資源とは、「人間が自然に働きかける活動を開始したかなり早い段階から地域資源として存在していたものであり、その意味では労働手段と労働支出が行われた加工された自然」とも言える資源である。具体的には

森林や農地，用水，河川等が該当する。そして環境的地域資源とは，「もともと「無償の自然力」である潜在的地域資源が固有するものともいえるが，その「無償の自然力」の利用と管理に，何らかの労働手段と労働支出が行われることによって，その地域が固有する自然景観，保全された生態系」を指す。これに該当するのは自然環境や保全された生態系で，いわゆる二次的自然が当てはまるものと思われる。一方，準地域資源とは，「なんらかの人間労働が加わることによって，本来的地域資源からうみだされるもの」であって，かつ地域資源がもつ非転移性，連鎖性，非市場性の三つの側面を備えているものとしている。準地域資源は，間伐材，家畜ふん尿等生産活動の副産物として発生する付随的地域資源，地域の特産物である特産的地域資源，地域の伝統技術や情報等の歴史的地域資源の三つに分類される。このように七戸・永田（1988）では，地域資源の厳密な定義を試みており，本稿における地域資源の定義の際にも大いに参考になる。

第1表 七戸・永田（1988）における地域資源の分類

1次区分	2次区分	内容
本来的地域資源	潜在的地域資源	地理的条件—地質，地勢，位置，陸水，海水 気候的条件—降水，光，温度，風，潮流
	顕在的地域資源	農用地，森林，用水，河川
	環境的地域資源	自然環境，保全された生態系
	付随的地域資源	間伐材，家畜ふん尿，農業副産物等，山林原野の草
準地域資源	特産的地域資源	山菜等の地域特産物
	歴史的地域資源	地域の伝統的な技術，情報等

資料：七戸・永田（1988）p.88，表 2-4 を著者が一部修正。

（2）地域資源を分析対象とした研究における定義

七戸・永田（1988）の議論は，地域資源を包括的に定義したもので，既存研究においても，特定の地域に対象が限定される場合はより限定的かつ具体的な定義がなされる場合が多い。そこで，地域資源を分析対象とした既存研究における地域資源の定義を見てみる。

西阪他（2008）は，地域の歴史に関する石碑や遺跡等を保護する役割としての都市公園という位置づけに着目し，その実態を報告しているが，この研究ではモニュメント，遺跡等の地域の歴史を継承し得るものを地域資源と定義している。また，石川他（2000）では，川崎市の地域資源を対象に市民に保全意識をアンケート調査し，市民による地域資源保全意識と保全の対象とすべき地域資源の特定を行っている。この論文では，川崎市に存在する名所・旧跡や公園緑地といったものが具体的に地域資源として特定されており，これらは文化系，産業系，自然系の三つに分類されている。以上の論文は都市に存在する地域資

源を対象とした研究であり、これらの論文では農産物や木材といったバイオマスは地域資源として考えられていない。農村地域を対象とした研究として、坂本他（2009）では、地域資源を活用した農山村づくりの中での外来者の役割と地域住民の協同体制のあり方を検証している。この論文では地域資源を、自然資源、人工施設資源、物的資源、知識・技術資源、組織・地域活動資源、社会関係資源の六つに分類している。また、藍沢他（1996）では、集落の存立条件として地域資源を位置づけ、集落における地域資源の活用状況を明らかにしている。この研究では、農村社会は経済基礎資源と生活基礎資源により成立するものとして、「地域資源は経済的な側面から生活面・環境面に至る活動内容及びストック」と定義している。さらに、上原・重松（2000）では、農山村の地域資源活用状況を土地利用から分析している。この論文では地域資源の明確な定義はなされていないが、論文の文脈からは農産物や燃料といったバイオマスを地域資源として分析対象にしており、どちらかという農村地域に賦存する物的資源を重視するものである。清水他（1999）では、地域特性に応じた農林業基盤の維持・管理システムの提案に際し、七戸・永田（1988）における定義を踏まえ、潜在的な地域資源と顕在的な地域資源を、村落を構成し農林業基盤になる資源、環境的地域資源と準地域資源を村落構造が発揮した機能によって生産された資源と捉えて分析を進めている。最近の研究では堀川他（2018）が水力発電を地域資源と定義して、そこから得られる利益の配分の歴史的変遷をまとめている。この論文で水力発電を地域資源としているのは、水力発電が「農山村地域における河川の流水と地形的条件を利用して電力を得る」ためであるとしている。大澤（2018）も静岡県沼津市の西伊豆戸田地区を事例として、同地域に自生するタチバナを地域資源として活用するためのタチバナの生育実態を紹介しており、タチバナという地域固有の植物種が地域資源として扱われている。澤田（2017）は、地域資源を活用した防災・減災対策として、地区防災計画策定プロセスを検証している。この論文では地域資源の明確な定義はされていないが、主に人的資源を中心とした議論を展開しており、地域資源としての人的資源や人的ネットワークを重視していることがわかる。

以上の既存研究における定義をまとめると、地域資源とは、七戸・永田の定義では、一般的に地域に特有な資源であることと、地域資源同士の有機的な連鎖を介して、人間の生産活動や自然界を関連づけつつ、人間に有用な働きをするものと言うことができるが、近年はこれに加え、人的資本、人的ネットワーク（ソーシャル・キャピタル）も地域資源として取り扱うことがある。そして、地域資源の具体的な中身としては、第2表に示すように、自然環境そのものから始まり、そこから産み出される農産物、林産物といった生産活動の主産物とともに、間伐材、家畜ふん尿といった副産物が含まれる。この他、主産物・副産物を生産・加工するために培われた地域独自の技術、さらには地域特有の気候風土に根ざした生活スタイルそのものや建物・設備といった人工建造物、さらにはこれら地域資源全体を包含した景観等も地域資源として幅広く含まれるのである。

第2表 各既存研究における地域資源の具体的内容

文献	地域資源の具体的中身	地域
藍沢他(1996)	地域資源を特定せず、関連指標で評価	全国8県の537集落
清水他(1999)	七戸・永田の潜在的地域資源, 経済的地域資源, 環境的地域資源	全国1753市町村
上原・重松(2000)	農林地	福岡県新宮町相島地区
石川他(2000)	名所・旧跡や公園緑地など多数	神奈川県川崎市
西阪他(2008)	モニュメント, 遺跡	兵庫県芦屋市, 神戸市
坂本他(2009)	河川, 山林, わら細工, 古民家, 小正月行事, 水路組合など多数	新潟県上越市
澤田(2017)	人的資本, 人的ネットワーク	新潟県長岡市山古志地域, 岩手県大船渡市などの被災地
大澤(2018)	タチバナ	静岡県沼津市西伊豆戸田地区
堀川(2018)	水力発電	宮崎県小丸川流域

資料：著者作成。

このように、個別の事例を対象とする既存研究における地域資源の定義も統一的なものではなく、それぞれの研究において分析対象とするものを便宜的に地域資源と呼んでいるに過ぎない。しかしながら、既存研究においては多くの場合、自らの定義する地域資源を明確化しており、本資料においても地域資源の定義を明確にする必要がある。

3. 本資料における地域資源の定義

本資料では、地域資源としてバイオエネルギーを取り上げている。そのため、必然的に地域資源とはバイオエネルギーを指すことになるが、七戸・永田の定義に従うと、バイオエネルギーも「その地域だけに存在する資源」、「自然によって与えられる有用物で、なんらかの人間労働が加えられることによって、生産力の一要素となり得るもの」でなければならない。一般的にバイオエネルギーは地域に賦存する木質バイオマスや家畜ふん尿、農業・食品加工残渣を原料とする。これらの資源は廃棄物や副産物が中心で、単独で商品として高い価値を付加することは困難であり、準地域資源の付随的地域資源に位置づけられる。また、バイオマスは地域に「広く浅く」存在する資源であり地域性、すなわち非転移性が高い。また、バイオエネルギーはバイオマスを原料とすることから、生態系の中に位

置つけられ、他の地域資源と密接な関連性を有する。これは地域資源相互間の有機的連鎖性を有することを意味する。さらに、バイオエネルギーは「広く浅く」賦存することから、採算性が低く既存の化石燃料と比べても市場メカニズムには馴染みにくい。これらのことから、バイオエネルギーは七戸・永田（1988）における定義に当てはまり、地域資源と見なすことができると考える。

さらにより具体的に本資料で取り上げるバイオエネルギーについて考えると、本資料では、北海道士幌町のバイオガス生産とナイジェリアにおけるバイオエネルギー全般を分析対象としている。これらのバイオエネルギーは、士幌町内で発生する家畜ふん尿や、ナイジェリア国内で産出されるキャッサバや木質バイオマスを原料としたものを想定していることから、本資料の研究で分析対象としているバイオエネルギーも「その地域だけに存在する資源」として、地域資源として位置づけられるだろう。このことから、本資料における地域資源を、七戸・永田の定義に基づく地域資源として取り扱い、さらにその中の付随的地域資源と同様として定義し、今後の議論を進めることとする。

4. おわりに

以上見てきたように、地域資源を包括的に定義した研究事例は七戸・永田（1988）を除くとほとんど見られず、多くの文献ではそれぞれの分析対象を地域資源と称しているに過ぎない。そこで、本研究でも分析対象とするバイオエネルギーを、永田・七戸の定義に当てはまるかを確認した上で、地域資源と見なすことにした。

次章以降、地域資源の中でもバイオエネルギーの話に特化した記述となるが、これはあくまで地域資源の一つの事例としてバイオエネルギーを取り上げ、分析を進めたということである。そのため、当然ながら、バイオエネルギーに関して明らかになった点がすべての地域資源に当てはまるわけではないことは、先にお断りしておく。

注（1） この部分は、七戸・永田（1988）が石井（1981）による資源の定義を引用している。

（2） カッコ内は著者が挿入した部分である。

〔引用文献〕

藍沢宏・保住秀樹・山下仁・小出良純（1996）「集落立地累計からみた地域資源構造と集落誘導の方向性」

『日本建築学会計画系論文集』484：137-146.

堀川洋子・佐藤政良・石井敦（2018）「地域資源の視点からみた水力発電の利潤配分—近現代の宮崎県小丸川における県営発電を中心に—」『農村計画学会誌』37 論文特集号：168-175.

石井素介（1981）『土は訴える』，信濃毎日新聞社.

石川宏之・大原一興・小滝一正（2000）「地域資源に対する川崎市民の保全意識の形成に関する調査研究」

『日本建築学会技術報告集』10：203-208.

- 西阪玲子・田原直樹・上甫木昭春（2008）「都市公園における地域資源の存在状況と活用実態に関する研究」『ランドスケープ研究』71（5）：615-618.
- 大澤啓志（2018）「西伊豆戸田地区における在来野生柑橘タチバナの地域資源化に向けた取り組みと生育実態」『農村計画学会誌』37 論文特集号：161-167.
- 坂本達俊・弘重穰・中島正裕・千賀裕太郎（2009）「地域資源を活用した農山村地域作りにおける外来者と地域住民の協同に関する研究－新潟県上越市 NPO 法人かみえちご里山ファン倶楽部を事例として」『農村計画学会誌』27 論文特別号：299-304.
- 澤田雅浩（2017）「地域資源を有効活用した防災・減災対策－人口減少が進む地域での考え方－」『農村計画学会誌』36（3）：435-438.
- 七戸長生・永田恵十郎編（1988）『地域資源の国民的利用 新しい視座を定めるために』, 農山漁村文化協会.
- 清水夏樹・佐藤洋平・山路永司（1999）「中山間地域資源の維持・管理システム－農林業基盤に着目したシステムの提案－」『農村計画論文集』18（18-suppl）：301-306.
- 上原三知・重松敏則（2000）「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』65（5）：831-834.

第2章 日本におけるバイオガスの生産・利用の現状⁽¹⁾

浅井 真康
林 岳

1. はじめに

本章では、地域資源としてのバイオエネルギー、特にバイオガスを取り上げる。バイオガスは地域に賦存する家畜ふん尿や食品加工残渣といった有機廃棄物をメタン発酵させることで生成される。廃棄物の再利用という点で、第1章の定義に従えば、付随的地域資源となるが、近年、世界的にも注目を集める循環型経済（Circular economy）の達成を担う上でも、バイオガスを生産・利用するシステム（以下、バイオガスシステム）の構築は重要課題である（Pan et al., 2015）。システムの構築に先立っては、地域に賦存する資源をいかに有効利用できるかという理念に基づいて検討されるため、極めて地域性が高く、またその収集から生産、そして副産物を含めた利用に至るまで地域内の多様な主体の参画によって管理運営される。この点で、バイオガスシステムは他の再生可能エネルギーと比較しても複雑なシステムである。

このような複雑なシステムの理解、さらにはその持続可能性を検討する上で、第3章ならび第4章では、北海道士幌町の取組を事例として選出した。本章では、具体事例を分析する事前情報として、バイオガスシステムの仕組みや日本におけるバイオガス生産及び利用状況、政策的支援、さらにシステム普及に向けた課題等について簡潔に説明する。

2. バイオガスに関する基礎知識

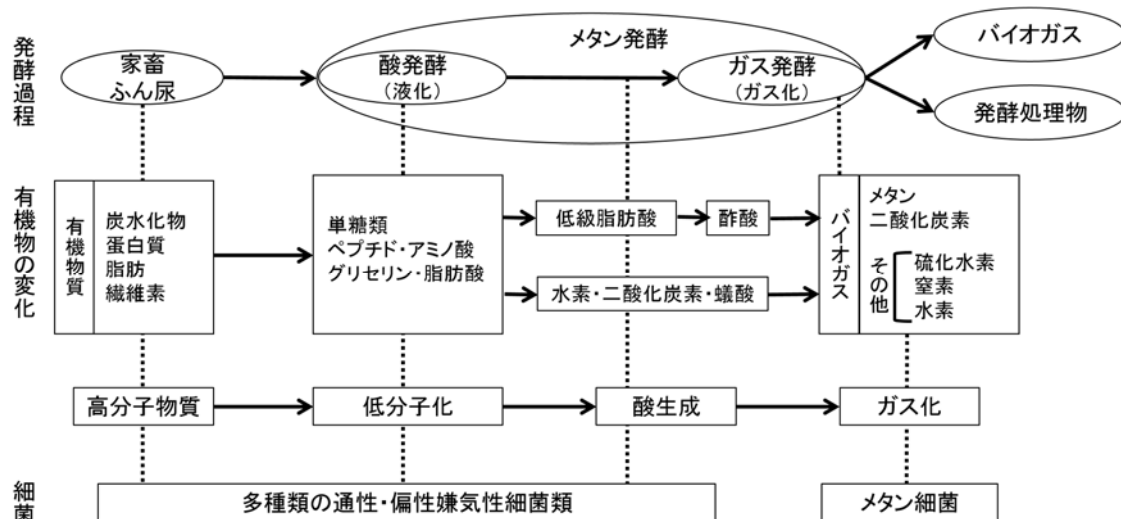
（1）バイオガスプラントの概要とその導入メリット

バイオマスとは、動植物から生まれた再生可能な有機性資源であり、具体的には下水汚泥、生ごみ、野菜くず、家畜ふん尿等が含まれる。バイオガスプラント（BGP）とは、これらのバイオマスをメタン発酵させ、発生したバイオガスをエネルギーとして利用する施設のことを指す⁽²⁾。

BGPでは、空気の入らない密閉された発酵槽において、嫌気性微生物の働きによってバイオマスを分解する。発酵槽では、微生物の働きを良好な状態にするために一定の温度⁽³⁾に保ち、第1図に示すように、通性嫌気性菌による酸生成過程と偏性嫌気性菌であるメタン細菌によるメタンガス生成過程という二つの段階を経て、バイオマス資源からバイオガスと副産物（発酵処理物）である消化液が生成される。

発生するバイオガスは、メタンが約60%、二酸化炭素が約40%、その他、微量の硫化水

素、窒素の混合気体である（梅津，1999）。発生したバイオガスは、ガス発電機やボイラー等の燃料として利用され、電気や温水を作り出す。また消化液は、液肥として農業利用されるか、脱水して残渣をコンポスト化し、脱水ろ液は水処理して放流するか、下水道に排出される。



第1図 家畜ふん尿のメタン発酵過程

資料：北海道バイオガス研究会（2002）。

BGP 導入によるバイオガスシステムの構築は、地域に様々なメリットをもたらす。以下、BGP 導入によるメリットを廃棄物の適切な処理、循環型農業の実施、エネルギー供給、環境影響の低減という観点から整理する。

まず、廃棄物の適切な処理の観点からのメリットであるが、BGP では様々な廃棄物を適切かつ一括に処理できる。特に家畜ふん尿や食品廃棄物、し尿・下水汚泥といった含水率が高いバイオマスの処理に長けている。通常、これらのバイオマスは、水分量が多すぎるために焼却処理や堆肥・飼料化がしづらく、たとえ処理できても追加的なコストが発生してしまう。また、多様なバイオマスを一つの発酵槽で一括処理できるため、廃棄物処理インフラの合理化に寄与することができる（NEDO，2018）。

次に、副産物である消化液は肥料成分（窒素，リン，カリウム）を豊富に含んでいるため、適切に扱えば良質な肥料として農作物栽培に利用できる（Nkoa，2014）。一般的に消化液はふん尿スラリーに比べて悪臭が少ないとされ、またメタン発酵の過程で雑草の種子や病原菌の多くが死滅するといったメリットもある。そのため、耕種農家も含めて、幅広く地域内で利用されれば、循環型農業の実施に寄与する。

つづいて、エネルギー供給・利用のメリットである。バイオガスを燃料として発電・発熱したエネルギーを BGP や農場施設の運転管理に用いることで、外部から購入するエネルギーの使用量を削減できる。また、電力については、施設内で使い切れない余剰分を売電することで副収入が得られる。この他、バイオガスは一時貯留することができるため、

太陽光や風力とは異なり出力変動が発生しにくく、安定的なエネルギー供給が可能である。

最後に環境面での貢献である。まず完全閉鎖系での処理（嫌気性処理）であるため、廃棄物処理に係る悪臭を低減することができる。北海道の酪農地帯では、多くの酪農家の間で堆肥化設備（好気性発酵）からの悪臭を低減する目的でメタン発酵設備が導入されている（NEDO, 2018）。また、地球温暖化の要因であるメタンの放出がほとんどなく、酸性雨の要因となるアンモニアの揮散が少ない。さらにバイオガスのエネルギー利用は大気中のCO₂を増大させないカーボンニュートラルであるため、化石エネルギーの代替エネルギーとして広く普及すれば、地球温暖化防止に寄与する。

（２）BGP の種類

BGP は、メタン発酵で用いられる原料の種類（家畜ふん尿・生ごみ・し尿及び汚泥）や扱える原料量の規模等で様々な形態に分類できる。

現在、日本で稼動しているプラント数について、そのすべてを網羅している公式な統計データはないものの、例えばバイオガス事業推進協議会（2015）の調査によると、2014 年 8 月時点でバイオガスを発酵槽加温等の熱利用に使用している全国の下水処理施設は全国で 294 件、家畜ふん尿・食品残渣⁽⁴⁾、し尿を用いて発電を行っている施設・下水処理施設でバイオガス発電を行っている施設は全国で 94 件であった。一方、NEDO（2015）によると、国内には 178 件の BGP が設置されており、内訳は家畜ふん尿等畜産系原料が 60 件、食品廃棄物等の食品系原料が 118 件と報告している。さらに、118 件のうち 38 件は北海道に集中しており、畜産系原料のプラントにおいては 60 件中 28 件と 46.6%を占める。この他、食品加工会社に BGP を設置する事例も見られる。これらは廃棄物処理の一環として廃棄物を活用したエネルギー生産を行い、自社工場内の電力や熱利用に活用している。ただし、これら食品系原料の事例は、第 3 章、第 4 章で対象とする家畜ふん尿を主原料とする BGP とは本質的に目的が異なることから、以降、本章では家畜ふん尿を主原料とする BGP を中心に扱う。

家畜ふん尿を主原料とする BGP は、その規模や機能に応じて、主に「集中型」、「共同型」そして「個別型」という以下の 3 タイプに分類できる（第 1 表）。

第 1 表 各 BGP タイプの整理

タイプ	概要
集中型	集中型は、多数の農家が参加する処理施設で、家畜ふん尿以外にも家庭の厨芥生ゴミ等、地域で発生するバイオマスを受け入れることが可能な規模のもの。副原料を積極的に受け入れることで、行政・組合等が参加する公共性の高い施設となり得る。さらに、副原料によるバイオガスの増産と有効活用により、地域社会で活用できる資源循環システムが実現する。輸送コスト及び効率の観点から、原料収集半径がおおむね 10km 以内の条件下で実施される場合が多い。
共同型	共同型は、複数の農家が参加・運営し、これら農家以外からのバイオマスの搬入は少ない場合

	が多い。このため参加農家の位置が比較的狭い範囲にまとまっていて原料搬送が容易であることが条件となる。集中型との主な違いは、大規模な副原料の受け入れがなく施設の公共性が低いことである。また個別型との違いは、家畜ふん尿処理を共同で行うか、個別の農家自身が行うかの相違である。共同で行う場合、建設費や維持管理作業・経費の分担が可能となる。
個別型	個別型は、個々の農家向けの処理施設として、主に畜舎に隣接して設けられる。運営方法としては、個人が施設の運転管理、原料ふん尿の搬入、消化液の搬出散布等、すべてを行う。一般に事業として成立するには、乳牛の場合約 200～300 頭（ふん尿量 20t/日程度）と言われている。養豚業にて同規模の量を回収するには、数千頭規模の豚を飼養する必要がある。

資料：北海道（2015）、NEDO（2018）をもとに著者が作成。

第2表 各 BGP タイプのメリット・デメリット

	集中型・共同型		個別型	
	メリット	デメリット	メリット	デメリット
維持管理 設備投資	・集中管理により維持管理コストの効率化が図れる ・各農家の作業負担が軽減	・イニシャルコストの総額が高い	・営農状況に合わせて個々の管理が可能	・維持管理の労力と時間が発生
原料搬入	・ふん尿の搬出により農場内の衛生向上 ・農場内でのふん尿処理作業が減少	・プラントまでの運搬コスト ・成分が不均一。そのため破砕等の前処理が必要な場合がある	・堆肥化に比べ労力が軽減 ・輸送コストがかからない ・原料成分が均一	・搬入作業は農家自身で行わなければならない
	・プラント作業員、収集車運転士等の雇用が発生（費用負担増と雇用創出の両側面あり）			
バイオガスの利用	・処理量当りのガス発生量が多い ・売電収入	・多量に得られるガスの利用方法の確立が必要	・売電収入 ・農場内で熱利用が可能なため、光熱費が削減	・処理量当りのガス発生量が少ない ・発電コストが割高
消化液	・悪臭や土壌汚染を抑制 ・肥料費の削減 ・地域環境に配慮した農業が実現	・消化液の運搬、散布コストがかかる ・大容量の貯留槽が必要	・悪臭や土壌汚染を抑制 ・肥料費の削減	・個人での散布方法の確立が必要

資料：北海道（2015）をもとに著者作成。

第2表では「集中型」、「共同型」、「個別型」BGPのメリット・デメリットを整理した。石田他（2007）によると、2006年頃までの国内のBGPの多くは個人酪農家の農場内に設置した小規模な個別型施設であることが多く、機械トラブルや経済的収支の課題から、継続運転が困難な場合も多かった。その点、大規模集中型システムの方が事業採算性は高いとされており、自治体や民間企業を中心とした組織が運営主体となって集中型BGPを運営する事例も増加している。北海道では、大規模酪農家がBGPを個人所有したり、JAが所有するBGPを自らの営農団地に設置したりする事例が見られる。また、近年では、中規模酪農家数戸が共同でBGPを建設・所有する事例（共同型BGP）も増えている。

（3）原料・副原料

前述のように、メタン発酵は水分率が高いバイオマスを処理することができる。そのため、一般に家畜ふん尿や食品廃棄物、下水汚泥等が原料として用いられている。ただし、第3表に示したように、同じ重量でもガス発生量に数倍～十数倍の開きがある。そのため、エネルギー供給を目的とする事業では、バイオガス発生量の多い食品廃棄物の割合が重要視される。また、メタン発酵過程では、同時に投入するバイオマスの種類、量、質によって、発酵の安定性やガス発生量が大きく異なる。

他方、バイオマス賦存量は地域的に大きな偏りがあり、どのような原料を主体として、どのようなものを副原料として投入するかは、それぞれの地域における原料の確保可能性や供給量に大きく依存する。実際には、家畜ふん尿にしろ、食品廃棄物にしろ、廃棄物の処理や有効利用を目的としてBGPを設置する事例が多く、ある地域でどのような原料が利用可能なのか、若しくは廃棄物として処理しなければならないのかによって、BGPの設置の可否が決まることも多い。

第3表 原料タイプ別1トン当たりのバイオガス発生量、電力量、熱量

原料タイプ	バイオガス発生量	電力量	熱量
ふん尿（乳牛）	15~30 Nm ³	約 145MJ（40kWh）	約 193MJ（灯油 5.3L 分）
ふん尿（豚）	19~34 Nm ³	約 171MJ（47kWh）	約 228MJ（灯油 6.2L 分）
食品残渣	150 Nm ³	約 967MJ（269kWh）	約 1,289MJ（灯油 35.1L 分）
下水汚泥	12~14 Nm ³	約 84MJ（23kWh）	約 112MJ（灯油 3.0L 分）

資料：環境省（2017）をもとに著者作成。

注．バイオガス発生量に幅があるバイオマスについては、中央値を用いて電力量及び熱量を計算した。

1）家畜ふん尿

農林水産省（2015）によると、現在日本における主要畜種（乳牛・肉牛・豚・鶏）の家畜ふん尿発生量は年間約 8300 万トンで、うち約 90%が堆肥化や液肥処理に、約 10%が浄

化・炭化・焼却処理へ利用されている。メタン発酵処理は水分率の高いスラリー状のふん尿処理に適しているため、国内の主要畜種の中では、乳牛と豚のふん尿が主な対象となることが多い（第4表）。

第4表 各家畜ふん尿の特徴とメタン発酵への適性

畜種	既存の処理方法	水分量	メタン発酵への適性	備考
乳牛	・堆肥化（固形） ・メタン発酵（スラリー） ・農地散布（スラリー）	89%	高い	スラリー状のふん尿が回収されやすく、堆肥化や曝気過程における悪臭が問題となることがある。水分が多いため発酵不良になる場合も多い。
肉牛	・堆肥化处理（固形）	81%	中程度	敷料の割合が多いふん尿が回収されやすく、発酵槽の配管がつまる恐れがある。堆肥化处理が基本となる。
豚	・堆肥化（固形） ・浄化处理（スラリー） ・メタン発酵（スラリー）	91%	高い	スラリー状のふん尿が回収されやすく、堆肥化過程における悪臭が問題となることがある。
鶏	・堆肥化 ・焼却	60%（採卵鶏） 35%（ブロイラー）	中程度	固形状のふんが回収され、堆肥化や焼却・炭化で処理または熱回収されることが多い。

資料：NEDO（2018）より著者が加筆・修正。

注．水分量については新エネルギー財団（2008）より引用。

乳牛のふん尿は好気発酵させることで、堆肥化して処理することも可能であり、現在はBGPへの投入よりも堆肥化が主流である。しかしながら、酪農経営で大規模化を行う場合、労働作業の低減・効率化のために飼養方式はスタンション（つなぎ飼い）方式からフリーストール方式へと転換することが多く、この場合、発生するふん尿もドロドロのスラリー状のものとなる。これは、つなぎ飼い方式の場合は敷料とふん尿をまとめて処理することから、固形分の多いふん尿になるのに対し、フリーストール方式の場合はふん尿の量に対して混ぜる（混ざる）敷料の量が少なく、さらにパーラー等で発生する雑排水もふん尿と一緒に処理されるためである。このようなフリーストール方式で発生するスラリー状のふん尿は、水分率が高いため堆肥化が困難であり、液肥として処理するか、BGPに原料として投入することが最良の処理方法である。したがって、牛の飼養方式がつなぎ飼い方式か

らフリーストール方式へ移行するにしたがって、BGP のニーズは高まると考えられる。

ただし、これらの飼養方式の相違は地域性も大きく、例えば北海道の十勝及び根釧地区のような酪農経営の大規模化を目指す地域では、フリーストール方式が不可欠と言えることから、今後も BGP の導入需要は高いと考えられる。

一方で、中小規模酪農経営の酪農家が多い地域や肉牛を飼養する農家の場合は、敷料と混ざった固分の多いふん尿が発生する傾向にある。そのため、これらの地域では堆肥化でも十分にふん尿の処理は可能である。一般的にふん尿は堆肥化が優先される傾向にあり、このような地域では、バイオガスの原料に回されるふん尿の量も少なくなることから、BGP の普及はあまり見込めないものと推察される。

2) 副原料

BGP では、前述のように、副原料として食品廃棄物等をふん尿とともに発酵槽へ投入するとガスの発生効率が向上する。自治体が運営する BGP では、家畜ふん尿の処理とともに、家庭や飲食店からの食品廃棄物、食品加工工場からの食品加工廃棄物等を受け入れているところもある。しかしながら、家畜ふん尿が多く発生する酪農地帯では、人口密度も低く、家庭や飲食店からの食品残渣等はふん尿の量に対してわずかとなる。また、食品加工工場からの食品加工廃棄物についても、工場が近隣にある場合には副資材として活用できるが、このような BGP は限られている。一方で、九州の一部の地域では、焼酎かす等の食品加工廃棄物を大量に入手できるところもあり、このような地域ではより効率的なバイオガス生産が可能となる。

(4) 消化液の利用方法

メタン発酵消化液の肥料効果に関する先行研究をレビューした岩崎他 (2017) によれば、農作物の収穫量に関しては化学肥料と同等あるいはそれ以上で、メタン発酵消化液を施用した場合の土壌の窒素形態や栽培跡地の土壌の性質は化学肥料と差はない (第 5 表)。

第 5 表 メタン発酵消化液の作物への施肥効果

生育作物	施肥	発酵原料	施用量	収穫量	文献
飼料イネ	消化液	乳牛ふん尿	60 kg-N/ha	1.8-2.2 t/ha	須永他 (2009)
	化学肥料	—	60 kg-N/ha	2.2 t/ha	
水稻 (コシヒカリ)	消化液	乳牛ふん尿・生ごみ	40 kg-N/ha	5.07-5.42 t/ha	上岡・亀和 田 (2011)
	化学肥料	—	40 kg-N/ha	5.10-5.56 t/ha	
	無施肥	—	—	2.41-2.59 t/ha	
トマト	消化液	乳牛ふん・豚ふん、 鶏ふん・生ごみ混合	3.25 g-N/kg (土壌)	552-851 g 株	宮田・池田 (2006)
	化学肥料	—	3.25 g-N/kg (土壌)	597-866 g 株	

コマツナ	消化液	牛ふん・野菜屑	12 kg-N/ha 24 kg-N/ha 48 kg-N/ha	1.3 t/ha 1.9 t/ha 1.8 t/ha	藤川・中村 (2010)
	化学肥料	—	24 kg-N/ha	0.8 t/ha	
飼料トウ モロコシ	消化液	牛ふん	56.0 kg-N/ha 67.2 kg-N/ha 78.4 kg-N/ha	45.00 t/ha 44.00 t/ha 42.67 t/ha	Rahman et al. (2008)
	無施肥	—	—	34.67 t/ha	

資料：岩崎他（2017）より著者作成。

通常の BGP の場合、投入原料の 1～2 倍の消化液が発生する（NEDO, 2018）。例えば、処理量 50t/日、稼働日数 330 日/年とした場合、16,500～33,000 t/年の消化液が発生する。そのため、BGP 運営の成否を左右する大きな要因として、消化液の処理が挙げられる⁽⁵⁾。BGP から発生する消化液の利用については、液肥として農地に散布することが最も効率的な利用方法である。実際、国内では北海道や九州の一部の地域において、液肥として圃場還元されている。

ただし、作物によって散布期間が異なること、また特に積雪寒冷地では積雪や土壤凍結により冬期間の圃場散布ができないことから、散布可能な時期まで貯めておくことができる消化液貯留槽が必要である。北海道における国営かんがい排水地区の肥培かんがい施設諸元に準じれば、冬期間日数は土壤が凍結を始める日（平均気温-2～-3℃以下）から牧草が生育を始める日（平均気温 5℃以上）までと考えられており、貯留槽の容量は、1 年間で最も長く圃場還元をしない期間（積雪寒冷地では基本的に冬期間）を目安として、地域によって異なるがおおむね 150～160 日となる場合が多い（北海道開発土木研究所、2006）。

また、降雨による消化液濃度低下や貯留中のアンモニア揮散による窒素肥料成分の損失を防止するために貯留槽にカバーや屋根を付ける有蓋型も有効である（北海道開発土木研究所、2006）。しかし、北海道のような積雪寒冷地では、積雪重によって屋根の必要強度が高く建設費が高くなること等から、現在のところ開放型とすることが多い。他方、例えばデンマークでは、アンモニア揮散防止を目的としてカバーが義務づけられている。

消化液の貯留には、集中貯留方式と分散貯留方式がある。集中貯留方式は、BGP 地点に消化液の全量を貯留し、散布時に適時搬出・散布する方式である（北海道開発土木研究所、2006）。大きな貯留槽を一つだけ建設する集中貯留方式とすることにより、工事費等の節減を図ることができるが、圃場がプラントから遠隔地にある場合は、運搬により多くの時間と労力が必要となる。分散貯留方式は、消化液還元を行う圃場が BGP から遠隔地にある場合の対策として、プラントでの貯留施設とともに、遠隔地の圃場群の近隣にサテライトタンクを設ける方法である。この方式では、BGP からサテライトタンクまでの搬出を、非散布期の任意の空き時間にあらかじめ行っておくことができ、散布期の搬出作業を軽減

することができる。

つづいて、代表的な消化液の散布方法を第6表に示す。消化液の散布時にはアンモニアが揮散するが、これは肥料効果の低減や環境負荷の増大にもつながるので、散布方式決定の際には、労力・コストとともに考慮する必要がある。また、傾斜地においては消化液の表面流出等にも配慮しなくてはならない。なお、例えばデンマークではアンモニア揮散防止の観点から、スプラッシュプレートのような空中散布は法律で禁止されており、インジェクタによって土壌に直接流し込んでいる。また、九州の水田地帯などでは、水田の灌漑水と液肥を混合して投入する方式も採用されており、液肥の輸送手段として、ローリーやバキュームカーなどの車両やパイプラインが使われている。

第6表 消化液の散布方法

方式		散布方式	導入費用	労働時間	アンモニア揮散
スプラッシュプレート		飛散板によって消化液を飛散させて空中散布する方式。	安い	短い	多い
バンドスプレッダ		横広の筒状の管から垂らしたチューブによって地表面近くに散布する方式。	高い	短い	中程度
溝きり流し込み		圃場内に溝を掘り、その中に消化液を流し込む方式。	安い	短い	中程度
流し肥 (ながしごえ)		ローリーやバキュームカーで液肥を輸送し、液肥を水田の灌漑水に混合して投入する方式。	安い	短い	少ない

パイプ ライン		消化液貯留槽からのパイプラインにより液肥を輸送し、液肥を水田の灌漑水に混合して投入する方式。	高い	短い	少ない
浅層インジェクタ		消化液散布のためのホース先端に注入爪を付け、これにより土壌表面に 5～15cm 程度の深さの溝を切り広げ、そこへ消化液を注入する方式。	高い	長い	少ない
リールマシン		ポンプ圧送により散水器で空中散布する方式。圃場まで管路を整備する必要がある。圃場への荷重が小さい。	高い	短い	多い

資料：北海道開発土木研究所（2006）をもとに著者作成。

写真提供（一部）：佐賀大学 田中宗浩教授。

（５）固液分離

家畜ふん尿中には、乳牛の体内で消化できなかった敷料（麦稈やおが粉等）が多く含まれている。一般に、それらはメタン発酵槽の中でも完全に処理されることはなく、消化液中にも含まれている。そこで、消化液を固液分離して敷料等の固形分を取り出し、これを好気発酵させることで再生敷料（戻し堆肥）が製造される。再生敷料は発酵による 60 度以上の熱で 30 分殺菌されている上、膨軟性や吸水性が高く、一般敷料と同等の安全性が確保可能であり、近年北海道内で利用が進んでいる。再生敷料の利用は敷料購入費の削減のみならず、牛体が清潔に保持され乳房炎の発生が抑えられる等の効果が報告されている（岩崎他，2017，NEDO，2018）。

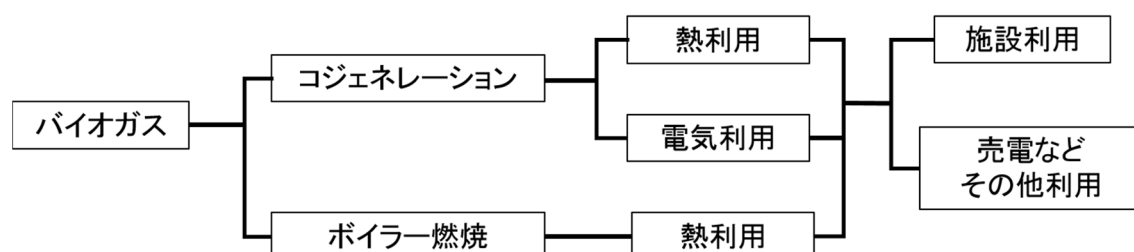
（６）電気・熱利用

生成されたバイオガスの利用には、燃焼エネルギーを利用するボイラー燃焼利用とコージェネレーション利用の二つが主である（第 2 図）。嫌気性発酵では、閉鎖系で無酸素状態を保持すると同時に、発酵槽内の温度環境を維持することと、攪拌により槽内を均一化することが重要であり、これらに用いる熱や電気等のエネルギーが必要となる。そのため、生

成されたバイオガスは、BGP の施設運転に必要な熱や電力としてまず利用される。従来は BGP によってプラント施設並びに隣接する農場が必要とする熱と電気を自給することを基本としていたが、2012 年からの再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）導入に伴い、プラントの発電分を売電した方が農家収入は高くなるケースも見られ、BGP 導入の大きな経済的インセンティブになっている。

大規模 BGP では、発生するバイオガスをコジェネレーションシステムで燃焼させて電力及び熱エネルギーとして利用する方法が一般的である。ガス発電機では、発電に伴い本体の温度が上昇した際に余剰熱が発生するため、これを熱エネルギーとして利用することができる。ただし、これまではその余剰熱の一部しか活用されておらず、多くの熱は屋外へ排出されていた。そこで、例えば、鹿追町環境保全センターの BGP では、ガス発電機から生じる余剰熱を貯蔵するため、70 度のお湯を 100t 貯蔵できる「蓄熱槽⁽⁶⁾」を導入し、蓄熱槽に貯蔵されたお湯をチョウザメ試験飼育施設やさつまいも貯蔵設備、マンゴーのハウス栽培といった余剰熱利用施設へと分配し、チョウザメ飼育の効率化やさつまいもの長期保存、他産地と出荷時期をずらしたマンゴー栽培を行っている。

熱を発生させるその他の方法として、発生させたバイオガスのすべてを発電に使うのではなく、ボイラーで燃焼させることも考えられる。この場合、売電による収益は減るが、蒸気を得ることができ、より広い用途にすることが可能である。



第2図 バイオガスの電気・熱利用

3. 日本におけるバイオガス関連政策と利用の現状

日本における BGP の発展には、これまでに行われてきた政策や法案が大きな影響を与えてきた（第7表）。

富士通総研によれば、年間の BGP 設置数は 2000 年代前半がピークであったとしている（加藤，2014）。特に 2002 年に閣議決定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」等を契機として、プラントの建設は増加した。この頃のバイオガス事業実施の主な目的は廃棄物処理であり、その背景には、2001 年に施行した「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律（食品リサイクル法）」や、2004 年から本格施行した「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）」がある。これらの法律により、廃棄物処理の有効な手段としてバイオガスへの関心が一時的に高まったといえる。しかし、発

電された電力は、2003年に施行された「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、電気事業者との個別契約で売電することはできたものの、取引価格は1kWh当たり平均約7～9円と低かった。さらに、この時期に設置されたプラントは実証的なものが多く、原料確保の問題から設備利用率が低いあるいは稼働が停止する、あるいは採算性等に問題があり、本格的な普及には結びつかなかった（加藤、2014）。

その後、東日本大震災を契機に、2012年にFITが開始されたことに伴い、売電単価が大幅に上昇することとなり、採算が取れるバイオガス事業の展開が可能となったことから、家畜排せつ物を利用した発電施設の整備が増加している（加藤、2014）。例えば、農林水産省畜産振興課による報告でも、2012年以降の全国BGP設置数の増加が見て取れる（第8表）。今後稼働予定の39施設を含めると、2016年時点でBGPは159件存在し、これは2010年の46件、2012年の63件から大幅に増加している⁽⁷⁾（農林水産省、2018）。

第7表 BGP 関連政策・法案時系列表

年・月	政策・法案名	概要
1999・11	「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」	家畜排せつ物の素掘り池での貯留や野積みを禁止
2001	「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律（食品リサイクル法）」	廃棄物の再利用に関する取組
2002・12	「バイオマス・ニッポン総合戦略」閣議決定	地球温暖化防止、循環型社会形成、戦略的産業育成、農山漁村活性化等の観点から、バイオマスの利活用推進に関する具体的取組や行動計画
2003	「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）」	電気事業者との個別契約により、発電した電気を売電可能
2004・8	「バイオマスタウン構想」募集開始	安定的かつ適正なバイオマス利活用が行われることを目指し、市町村等が作成する構想
2004・11	「家畜排せつ物法」本格施行	家畜排せつ物管理の適正化
2009・6	「バイオマス活用推進基本法」制定	廃棄物系バイオマス（紙・食品・バイオマス）の利用率の目標設定
2010・12	「バイオマス活用推進計画」閣議決定	バイオマス活用推進基本法に基づきバイオマス活用の将来像や目標等を示す
2011	「バイオマスタウン構想」	地方自治体におけるバイオマス活用推進計画の手引き作成
2012・7	「再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）」	一般電気事業者や特定規模電気事業者等へ固定価格で売電することが可能 ^(注)
2012・9	「バイオマス事業化戦略」閣議決定	7府省連携のもと、バイオマス活用の事業化を重点的に推進し、地域におけるグリーン産業の創出と

		自立・分散型エネルギー供給体制強化を実現していくための指針
2013・3	「バイオマス産業都市」募集開始	地域に存在するバイオマスを原料に、収集から利用までの一貫システムを構築し、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、むらづくりを目指す
2015・3	「食料・農業・農村基本計画」	地域産業活性化施策の一つとして嫌気発酵利用が挙げられる
2015・3	「家畜排せつ物の利用の促進を図るための基本方針」	消化液等の副産物の有効活用、バイオガスエネルギーの利用推進
2015・7	「食品リサイクル法に基づく基本方針」の改定	食品廃棄物をメタン発酵し消化液等を肥料利用することへの再生利用順位が向上

資料：バイオガス事業推進協議会（2015）、農林水産省（2008）、環境省（2012）等から著者作成。

注．2019年度時点でのバイオマス由来のメタン発酵ガス電力買取価格は税抜き 39 円/kWh、調達期間は 20 年である。

第 8 表 BGP 設置数の推移

	2010 年	2011 年	2012 年	2014 年	2016 年
メタン発酵	74	74	90	124	179 (39)
うち熱利用	64	61	61	71	73
うち発電	46	47	63	94	159 (39)

資料：農林水産省（2018）より著者作成。

注．2016 年の（）内は、2017 年以降に稼働を予定している施設数（内数）である。また、熱利用と発電を併用している施設はそれぞれ内数に入れているため、合計数が一致しない。

4. バイオガス導入の課題

以上、日本におけるバイオガス導入の現状について、家畜ふん尿を原料とするバイオガスを中心に解説してきたが、本節ではバイオガス導入の課題について触れる。一つ目として、消化液の液肥としての利用問題がある。消化液の液肥利用においては、北海道や東北を中心とした畜産業では草地や畑地への利用が一般的であり、九州では、主に水稻と麦の肥料として利用されている（矢部，2014）。しかし、特に本州以南において消化液の液肥としての利用が、いまだ進んでいない現状があり、液肥の生産母体となる再資源化施設や、し尿処理組合、畜産農家と耕種農家との連携不足、臭いや環境汚染に関する液肥の否定的イメージ、液肥施用に向けた栽培技術や普及活動の不足、廃棄物処理プラント業者の思惑、導入時における市町村や農協の担当者の負担等が原因とされる（矢部，2014）。この他、下水汚泥を混ぜると、生成された消化液を「特殊肥料」としての届け出ができないことや、生ごみ由来の消化液利用が進んでいないといった現状も問題点としてあげられる（谷川他、

2008)。今後、水田地域での液肥利用を促進する技術開発が重要な鍵となる。九州でのクローラー型散布車及び流し込みによる水田へのし尿液肥利用はその一つといえ(第3図)、急峻な山に囲まれ、一戸当たり土地面積の小さい日本においては、スプレッダといった大型機ではなく、中山間地域や圃場に対応した散布法の確立等が重要となるであろう。

二つ目は、建設コスト及びランニングコストの高さである。日本のBGPの建設費は、バイオガス先進国であるドイツと比較して3倍以上であり、耐震性等、ドイツよりも厳しい規制に対応しなければならないという事情もあるが、それを勘案しても日本のプラント建設コストは高いというのが現状である。加えて、近年は資材の高騰等でBGPの建設費はますます上昇している。BGPの建設費は、その一部が補助金でまかなわれるものの、このような建設費の高騰はBGPの収支に大きく影響を与え、普及の阻害要因となる可能性がある。また、BGPの国内市場規模が小さいために、国内メーカーが機器開発をしにくく、外国製の機器を使わざるを得ないことから、機器の修理や維持にかかるコストが非常に高いという側面もある(石田他, 2007)。また、メンテナンスに必要な部品調達に時間がかかる等の課題もある。さらに、本州以南のように、消化液の耕地全量散布が難しい地域では浄化処理が必要になり、追加的設備の初期投資・エネルギーや薬剤等のランニングコストがかかる。この維持管理費が大きく、自治体の管理下にあるプラントは、その収入不足分を自治体の財政から補填することが多い(石渡, 2007)。



第3図 クローラー散布車

写真：著者撮影。

三つ目は、売電環境を巡る問題である。例えば、送電容量の制約がある。現在の送電設備では、送電できる容量に限界がある。発電事業者から系等への接続契約の申し込みがあれば、その送電容量の中で、申し込み受付順に送電できる容量を確保している。ところが、2012年のFIT開始以降、事業用太陽光発電が急速に認定・導入量が拡大したことにより、未稼働案件を含む太陽光発電事業者によって系統容量が押さえられてしまい、新規のバイオガス発電事業者が接続契約できない等の課題が顕在化している。

この他、「立地環境」の問題もあげられる。通常、電力会社に販売する際にはBGP内の受送電設備から、送電網を介して近隣の変電所に送られることになるが、変電所から極端に離れた農場では送電線へのアクセスが物理的に難しく、BGPの設置自体ができない。

四つ目は、政策転換リスクである。再生可能エネルギーを取り巻く政策動向は主要な事業リスクの一つである（NEDO, 2018）。例えば、国の政策動向に関わる主なリスク要因としては、電源構成（エネルギーミックス）に関する基本的な方針、FIT（買取価格や買取期間、適用要件）や補助金（補助率、事業者要件）等のインセンティブ制度、再生可能エネルギー由来の電力と熱・ガスそれぞれに対する優遇、電力の系統接続に関する基本的な方針等があげられる（NEDO, 2018）。

国の各種政策は、バイオマスエネルギーを「推進」するか「抑制」するかに大きく分かれる。推進側に政策転換された場合には、インセンティブが拡充されるだけでなくインフラ整備が進み、BGPの導入が加速する可能性もある。ただし、特定地域での設置数が増加しすぎると、原料資源の競争や送電容量の逼迫の問題が発生する。また、消化液散布先確保の競争が激化するというリスクも生じる。他方、抑制側に政策転換された場合には補助金等が削減される可能性があり、バイオマスエネルギー事業の計画数自体が大きく減少することも予想される（NEDO, 2018）。

5. おわりに

本章では、第3章及び第4章で扱う北海道士幌町の事例分析を理解する際の事前情報として、バイオガスシステムの仕組みや日本におけるバイオガス生産及び利用状況、政策的支援、さらにシステム普及に向けた課題等について説明を行った。本章の内容からも明らかのように、バイオガスの生産・利用システムは、地域内のバイオマスをいかに有効利用するかという理念に基づいて構築されるため、極めて地域性が高く、またその収集から生産、そして副産物を含めた利用に至るまで地域内の多様な主体の参画によって管理運営される。つまり、バイオガスシステムが普及し、効率的な資源循環を達成するには、資源利用に関わる多様な主体間の合意形成、体制作りが不可欠となる。ここで興味深いのは、このような合意の過程が必ずしも経済合理性に基づいて進められるだけでなく、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の影響も受けていると考えられる点である。つまり、上記のような合意形成過程を理解し、促進を図る上では、まず各主体がどのようにバイオマス利用や他主体との関係を認知しているのかを把握し、さ

らには彼らの認知・意向が主体間でどのように異なるのかを整理することが有効である。そこで第3章及び第4章では、これら各主体の認知・意向を理解する上で有効な認知マッピングという手法に注目し、本手法を北海道士幌町での取組に適用しながらデータ収集、分析、議論を進めていく。

- 注(1) 本章の一部は2016年7月から10月までインターン研修生として農林水産政策研究所に在籍していたワーヘニンゲン大学永澤拓也氏が執筆した原稿を著者らが改編したものである。永澤氏には当方からの原稿とりまとの依頼を快諾していただき、記して感謝申し上げる。なお、本文中の誤りはすべて著者らに帰するものである。
- (2) 日本では「メタン発酵処理施設」の名称を用いることが多いが、本章では有機性廃棄物、主にスラリー状の家畜ふん糞尿をメタン発酵し、発生するメタンガスをエネルギー化する施設全体を「バイオガスプラント(BGP)」と呼ぶことにする。
- (3) メタン発酵は一般に中温発酵と高温発酵とに適温が分かれ、その最適温度の範囲は、それぞれ30～50℃、50～60℃の範囲にある(梅津, 1999)。また、中温と高温の有機物処理能力は、1:2.5の比率で、高温の方が中温の2倍以上の有機物処理能力を有する。欧州で普及している家畜ふん尿を対象とするメタン発酵槽の多くが55℃を中心とした高温域で運転している。また、消化液の有機物肥料としての圃場還元の際に衛生面の配慮から、殺菌効果の高い高温域での処理に対する評価が高い。家畜ふん尿を対象としたメタン発酵処理施設の場合、戸別型では中温、大型共同施設では高温による運転が一般的になっている(梅津, 1999)。
- (4) 本章では家庭や飲食店から出る生ゴミを「食品残渣」、食品加工工場から出る食品廃棄物を「食品加工廃棄物」、そして食品残渣と食品加工廃棄物が区別なく合わさったものを「食品廃棄物」として整理した。
- (5) 矢萩他(2012)は、複数のケースを用いてBGPの事業採算性を計算した。それによれば、消化液をできる限り有償販売かつ全量散布することで、プラントの初期投資回収は可能となり、さらに液肥の全量散布が困難な地域でも消化液の販売・有機性廃棄物有償受入を導入することで、事業を継続できるという結果を得ている。
- (6) 蓄熱槽とは、高温となった発電機の冷却液を蓄熱のため水槽まで通し、水槽内の水を温めて貯蔵する仕組みである。
- (7) 前述のように日本で稼働しているプラント数について、そのすべてを網羅している公式な統計データは存在しない。そのため農林水産省(2018)の設置数も11ページで示されたNEDO(2015)の値とは若干異なるが、第8表では設置数の推移を示すことに主眼を置いたことから農林水産省(2018)のデータを用いた。

[引用文献]

- バイオガス事業推進協議会(2015)『バイオガス事業の栞[平成27年度版]』。
- 藤川智紀・中村真人(2010)「乳牛ふん由来のメタン発酵消化液の施用方法がコマツナ収量と亜酸化窒素発生量に与える影響」『日本土壌肥科学雑誌』81(3):240-247。
- 北海道(2015)『畜産系バイオガスプラント導入ガイドブック』。
- 北海道バイオガス研究会(2002)『バイオガスシステムによる家畜ふん尿の有効利用』酪農学園大学エクステンションセンター。
- 北海道開発土木研究所(2006)『積雪寒冷地における乳牛ふん尿を対象とした共同利用型バイオガスシス

- テム導入の参考資料』.
- 石田哲也・山田章・横濱充宏（2007）「副資材を共発酵処理する共同利用型バイオガスプラントの稼働と運営経費の特徴」『寒地土木研究所月報』655：47-51.
- 石渡輝夫（2007）「共同利用型バイオガスプラントの課題と展望に関するシンポジウム」を終えて『寒地土木研究所月報』647：58-64.
- 岩崎匡洋・竹内良曜・梅津一孝（2017）「農業施設に関わる研究・技術の最近の展開—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.
- 上岡啓之・亀和田國彦（2011）「水稻コシヒカリに対するメタン発酵消化液の基肥利用」『日本土壌肥科学雑誌』82（1）：31-40.
- 環境省（2012）『バイオマス利活用に関する環境省の取り組み』.
- 環境省（2017）『廃棄物系バイオマス利活用導入マニュアル』.
- 加藤望（2014）「地域エネルギー事業としてのバイオガス利用に向けて」、『富士通総研経済研究所研究レポート』413：1-24.
- 宮田尚稔・池田英男（2006）「メタン発酵消化液が養液土耕におけるトマトの生育と果実収量に及ぼす影響」『日本土壌肥科学雑誌』77（6）：619-626.
- NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）（2015）『NEDO バイオマスエネルギー導入ガイドブック』.
- NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）（2018）『バイオマスエネルギー地域自立システムの導入要件・技術指針【メタン発酵系バイオマス編】』.
- Nkoa, R. (2014) "Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates : A review" *Agronomy for Sustainable Development* 34 : 473-492.
- 農林水産省（2008）『バイオマスタウン構想策定マニュアル』.
- 農林水産省（2015）『家畜排せつ物の管理と利用の現状と対策について』.
- 農林水産省（2018）『畜産環境をめぐる情勢』.
- 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.
- Rahman, S.M.E., Isam, M.A., Rahman, M.M., Oh, D.H. (2008) "Effects of cattle slurry on growth, biomass yield and chemical composition of maize fodder" *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 21 (11) : 1592-1598.
- 新エネルギー財団（2008）『バイオマス技術ハンドブック（導入と事業化のノウハウ）』.
- 須永薫子・吉村季織・侯紅・Win, K.T.・田中治夫・吉川美穂・渡邊裕純・本林隆・加藤誠・西村拓・豊田剛己・細見正明（2009）「飼料イネ栽培へのメタン発酵消化液の多量投入が土壌，水質，大気環境に及ぼす影響」『日本土壌肥科学雑誌』80（6）：596-605.
- 谷川昇・古市徹・石井一英・西上耕平（2008）「生ごみバイオガス化施設におけるメタン回収量・環境保全性・経済性の検討」『廃棄物学会論文誌』19（3）：182-190.
- 梅津一孝（1999）「バイオガスプラントによる家畜糞尿の有効利用」『北海道草地研究会会報』33：10-15.

矢部光保（2014）『高水分バイオマスの液肥利用』，筑波書房．

矢萩健太・古市徹・石井一英・翁御棋（2012）「地域特性と事業採算性を考慮した集中型家畜糞尿バイオガス化施設のシステム化の検討」『第 40 回環境システム研究論文発表会講演集』：153-161．

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。

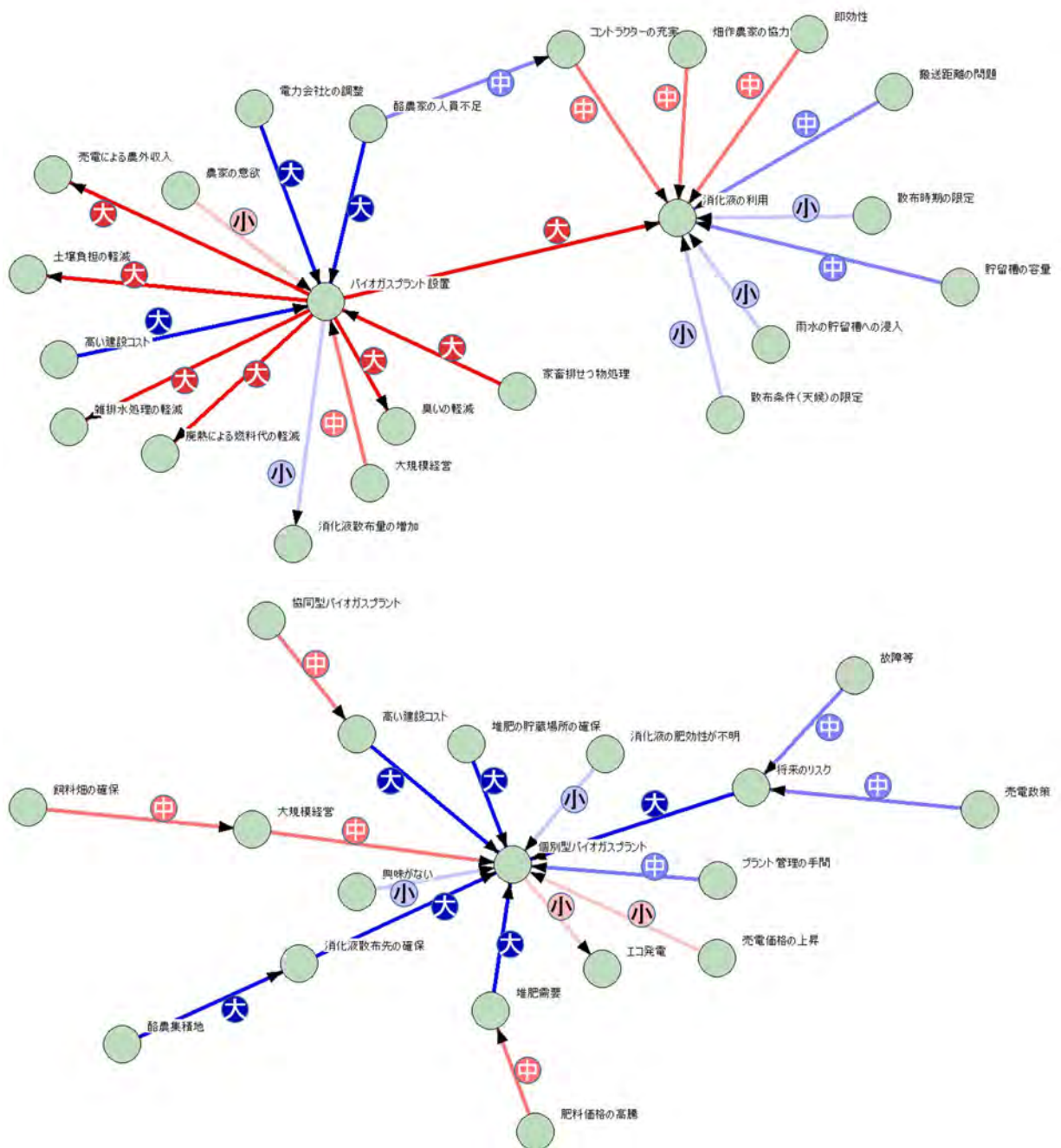
これら先行研究のレビューより、認知マッピングは多様なステークホルダーが絡む再生可能エネルギーの課題を扱う上でも有用であることが示された。なお、本研究ではバイオガス利用の取組を研究対象としたが、著者らの文献レビューによれば、バイオガス事例に認知マッピングを用いた先行研究は確認できず、この点からも学術的新規性の高さが確認された。

（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）

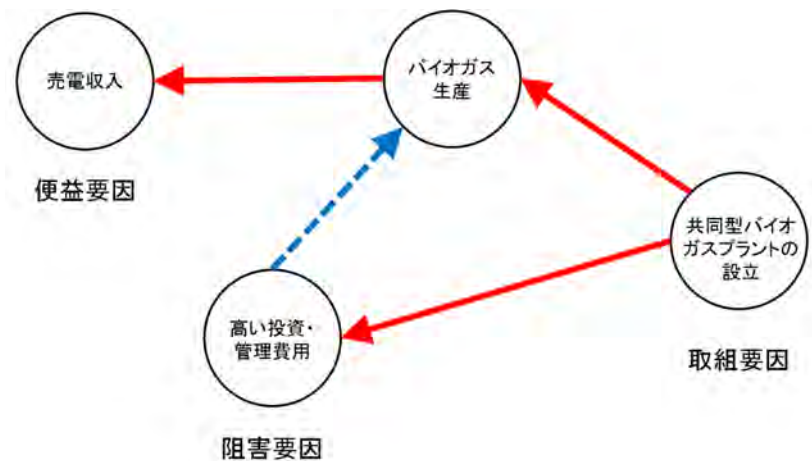
注. キーワード間を結ぶ赤線はプラス、青線はマイナスの関係を、色が濃いほど強い関係を示す。

（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、土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。特に土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.

第4章 消化液利用における畑作農家と酪農家の関心の相違⁽¹⁾

林 岳

浅井 真康

小樽商科大学大学院 山本 充

1. はじめに

北海道では酪農地帯を中心にバイオガспラント（BGP）の導入が進んでいる。著者らのこれまでの研究では、再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）の導入によって BGP の導入は進んだが、それに伴い発生する消化液への対応が遅れていることを指摘した（浅井他，2017，本資料第3章）。このため、さらなるバイオガスの普及促進には、バイオガス生産に伴って発生する消化液の利用促進，すなわち BGP を中心とする耕畜連携の形成が欠かせない。現状においては、消化液の利用については酪農家やコントラクターが散布を行い、一部無償で行われる場合もあることから、畑作農家の経済的負担は大きくない。にもかかわらず、畑作農家において消化液の利用が進まないのは、経済的要因以外のところに原因があると考えられる。BGP を中心とする耕畜連携を形成しようとする場合、特に個人が所有・利用する個別型 BGP については、畑作農家と酪農家個人間で消化液の相対取引を行うことになる。このような個人間の取引においては、資源を運搬する物理的な距離だけでなく、両者の相手に対する評価や信頼関係が耕畜連携の成否に大きく影響することが先行研究より明らかになっている（Asai et al., 2018）。このため、畑作農家と酪農家がそれぞれ相手をどう見ているのかを明らかにすることで、双方の理解促進につながり、消化液利用を進めることができると考える。

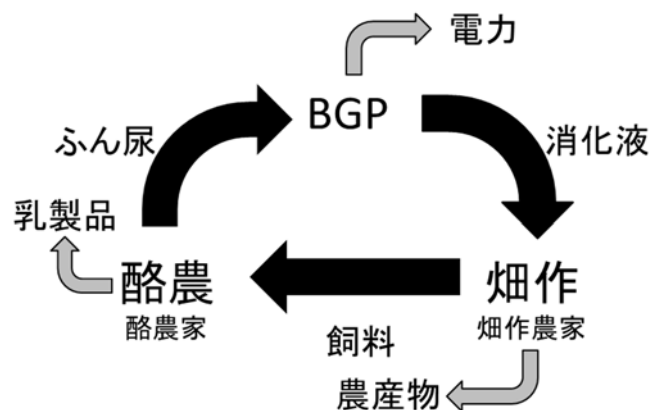
これまで耕畜連携という視点での研究は、飼料米とたい肥に関するものが多く、BGP を中心とする耕畜連携を対象とした研究では、BGP の経済性の評価や環境負荷の計測や（小野・鶴川，2006，清水・柚山，2010，吉田他，2014），バイオガスシステム内での消化液の効果を検証するもの（中村，2016）の他に、消化液の液肥としての効果を検証するもの（梅津他，2003），消化液の輸送や散布計画に関する研究が多い（山岡他，2012）。これらの研究は、いずれも耕畜連携の一部分のみに焦点を当てた研究であり、BGP を中心とする耕畜連携の全体像を捉えたものではない。また、畑作農家と酪農家といった耕畜連携の主体が他のどの主体に関心を持っているかといった主体間の関心分野の相違を明らかにしたものではなく、このような視点から分析を行っている論文は見当たらない。

そこで本研究では、士幌町の個別型 BGP を事例として、社会心理学の「心理的距離」という概念を用い、BGP から発生する消化液の利用において、消化液の需要者である畑作農家と供給者である酪農家の間の関心の違いを明らかにする。

2. 分析手法

(1) システムフロー

本研究で想定している BGP を中心とする耕畜連携のシステムフローは第 1 図に示されるとおりである。酪農家の営農活動によって発生した家畜ふん尿を BGP に投入することで、電力が発生すると同時に副産物としての消化液が発生する。これを畑作農家の圃場で液肥として散布することで農産物の他、とうもろこし等の家畜飼料が生産され、これが再び酪農家によって利用されるという循環である。現状では、BGP の増加に伴って増加する消化液について、その利用先が必ずしも十分に確保されていないという問題がある。その結果、適量以上の散布が行われていたり、浄化した上で河川に放流したり、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不適切な処理が行われるケースも見られる。このように、消化液の利用が BGP を中心とした耕畜連携のボトルネックとなっている（浅井他，2017）。



第 1 図 BGP を中心とする耕畜連携のシステムフロー

次に、本研究における用語の定義について触れておく。まず、BGP を中心とした耕畜連携とは、BGP から発生する消化液、畑作からの飼料、酪農からの家畜ふん尿等の物質の循環的利用形態を指す。そして、消化液利用とは BGP を中心とした耕畜連携のうち、消化液の液肥としての利用に関する部分のみを指すものとする。

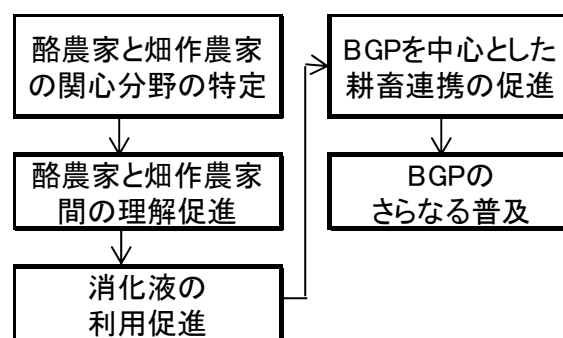
(2) 心理的距離と認知マッピング

本研究では、BGP を中心とする耕畜連携に関して、酪農家と畑作農家の相手に対する関心分野を明らかにするため、社会心理学の心理的距離の概念を適用する。心理的距離とは、Michelle, Liberman, Trope らの心理学者が提唱した概念で、ある対象物や人物に対する親近感や物理的距離等をまとめて距離的概念で表現するものである。そして心理的距離を

踏まえ、人々がある事象をどのように解釈するかに関する包括的な理論として解釈レベル理論がある（Liberman and Trope, 1998, Trope and Liberman, 2003）。解釈レベルでは、心理的距離を、信頼度を表す社会的距離、遠い過去や未来、近い将来といった時間的距離、物理的な距離感を表す空間的距離、経験の有無や想像・現実の世界を表す仮想的距離の四つの下位次元に分類している（第1表）。そして、このような心理的距離を考え、関心分野を特定することで、人々の行動を促したり、問題を解決するための方策を検討したりすることができる。

第1表 心理的距離の種類

種類	対象	心理的距離の遠近
社会的距離	相手と自分	相手と親しく信頼できる関係にあれば社会的距離は小さく、疎遠で信頼できない関係であれば社会的距離は大きい
時間的距離	将来・過去と現在	直近のことであれば時間的距離が小さく、遠い過去もしくは将来のことであれば時間的距離は大きい
空間的距離	物理的な遠近	距離的に近くのことであれば空間的距離は小さく、距離的に遠くのことであれば空間的距離は大きい
仮想的距離	想像と経験	実際に経験したことは仮想的距離が小さく、未経験で想像上のことは仮想的距離は大きい



第2図 心理的距離とBGP普及の間のロジックフロー

さらに、心理的距離を用いて酪農家と畑作農家の間の関係について、関心のある分野を明らかにすることで、酪農家と畑作農家の間の理解促進の方策を示すことができ、これが

消化液利用の促進を通じて最終的には BGP の普及促進につながると考える（第 2 図）。

また、本研究では、分析に用いるデータの取得方法として、認知マッピングという手法を適用する。認知マッピングとは、ある生産システムや事象について、その関係主体への聞き取りを通じてキーワード（要素）を抽出し、さらに要素間の関係性及びその強弱を図示することで定性的・定量的な説明を行う手法である（Özesmi and Özesmi, 2014）。認知マッピングはもともと政治学の分野で発展した手法であるが、近年では農業や再生可能エネルギー等の多様な主体が関わる問題に関しても、主体間の認識の相違点を検証する上で用いられている。例えば、Christen et al. (2015) はスコットランドの農業環境政策に対する農業者と非農業者の認識の違いを明らかにし、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意識の差異を主体分類別に明らかにしている。調査対象者が思い描く事象は「認知マップ」として図示化されるため、異なる主体間でその内容について比較することが可能となる。さらにこの手法は、調査対象者が頭の中に思い描くさまざまな事象を整理しながら聞き出すことができるという特長がある。調査対象者は必ずしも思い描く事象を口頭で述べることに長けている人とは限らず、このような手法を適用することで、BGP を中心とする耕畜連携といった複雑な要素が絡む事象について、口述が得意ではない人からも、視覚的に論点を整理しながら話を聞くことができる。この点が本研究で認知マップを適用した大きな理由である。

（３）認知マッピングによるデータ収集

本研究では士幌町の個別型 BGP を事例として分析を行った。士幌町内には現在 10 戸の酪農家の農場内で個別型 BGP が稼働しているが、個別型 BGP では、消化液のやりとりは仲介組織等を介さない個人的な直接取引が中心となるため、畑作農家と酪農家の関係が大きく影響する。本研究では、第 3 章で用いた、士幌町の BGP の利害関係者（酪農家、畑作農家、JA 士幌町及び役場職員、研究者、プラント製造業者）合計 22 名を対象に、2016 年から 2017 年の冬に行った認知マッピングの調査のデータを使用した。調査では、Özesmi & 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」、「利用によってどのような影響があると思うか」という二つの質問を課し、その答えとして頭に浮かんだ具体的なキーワード（要素）を挙げてもらった⁽²⁾。そして、要素間に相乗効果があるのか、相反効果があるのかといった因果関係を検討し、相乗または相反の関係にあるものについて矢印でつなぎ、さらに因果関係の強弱を示してもらった。こうして作成された図を「認知マップ」という。調査は、調査対象者に個別面談方式で行われ、22 枚の認知マップを回収した。本研究では、そのうち畑作農家と酪農家それぞれ 7 名により作成された合計 14 枚の認知マップを用いる⁽³⁾。

これらの認知マップから抽出された要素のうち、畑作農家と酪農家の関係に関するものを抽出して心理的距離との関係から分類した。具体的には、例えば「運搬距離」に類似するキーワードが入っている場合には空間的距離に、畑作農家や酪農家に対しての「つきあ

い」、「知り合い」等、人的ネットワークに関するキーワードが入っている場合には社会的距離に分類した。そして、各心理的距離に関する要素の出現数や出現割合を畑作農家と酪農家で比較した。なお本研究では、認知マッピングで得た情報のうち、要素間の関係性を表す矢印や因果関係の強弱のデータは使用せず、要素数のみを用いて分析を行った。

3. 分析結果

認知マップでは、畑作農家 7 名で合計 160、酪農家 7 名で合計 176 の要素が挙げられた（第 2 表）。このうち畑作農家と酪農家に関する要素は、酪農家が 5 個（全要素の 2.8%）に対し、畑作農家では 22 個（全要素の 13.8%）であり、フィッシャーの正確確率検定の結果、1%水準で有意な差が見られた（ $p=0.0002$ ）。ある要素の出現は、調査対象者が対象となる事象の想起しやすさと捉えることができ、当人の対象事象に対する関心の有無を表す。したがって、畑作農家と酪農家の間の関係について多数の要素が挙げられれば、それだけ関心があると解釈できる。

次に、心理的距離について種類ごとに見てみると、物理的な距離を表す空間的距離についての要素が畑作農家、酪農家どちらからも挙げられており、両者ともそれなりの関心を持っていることがわかる。個人的な信頼感の度合いを表す社会的距離については、酪農家からは二つの要素が挙げられただけなのに対し、畑作農家からは 12 個が挙げられ、1%水準で有意な差が見られた（ $p=0.0046$ ）。したがって、酪農家よりも畑作農家の方が、相手の信頼感に関心を持っていることが窺える。さらに経験済みか未経験なのかを表す仮想的距離⁽⁴⁾に関する要素も、畑作農家だけから挙げられているが、これらはいずれも消化液を使用していない畑作農家によるものである。なお、時間的距離に関する要素は酪農家、畑作農家双方から全く挙げられなかった。

第 2 表 酪農家と畑作農家の関係に関する要素数

		畑作農家		酪農家	
心理的距離		要素数	割合	要素数	割合
畑作農家と酪農家の関係に関する要素	空間的距離	6	3.8%	3	1.7%
	時間的距離	0	0.0%	0	0.0%
	社会的距離	12	7.5%	2	1.1%
	仮想的距離	4	2.5%	0	0.0%
	小計	22	13.8%	5	2.8%
それ以外の要素		138	86.3%	171	97.2%
合計		160	100.0%	176	100.0%

さらに、それぞれの要素の具体的内容を見たものが第 3 表である。ここでは、社会的距離を能力・配慮といった個人的資質に関する要素と、ネットワークやソーシャル・キャピ

タル(SC)⁽⁵⁾といった個人間のつながりに関する要素に分けてその内容と数を示している。これを見ると、社会的距離のうち能力・配慮に関しては、畑作農家から「酪農家の能力・人間性」や「畑作と酪農の考え方の違い・価値観」といった要素が出されており、畑作農家は酪農家に対して関心を抱いている一方で、酪農家からはそのような要素は出されておらず、畑作農家と酪農家で関心分野が異なることがわかる。さらにネットワークやSCに関する要素については、畑作農家からは「畜産との交流」や「プラントオーナーとの付き合いがない」といった酪農家への関心だけでなく、「受け取り農家同士の交流」や「模範農家が未利用」といった要素も挙げられており、畑作農家同士の中での消化液利用の動向にも関心があることがわかる。

第3表 畑作農家と酪農家の関係及び畑作農家同士の関係に関する要素

心理的距離	内容	具体的項目	畑作農家	酪農家
空間的距離	物理的距離		6	3
		運んでいける(遠くまで)		1
		移動距離の問題		1
		農家間の距離		1
		距離(長)	1	
		移動距離	1	
		運搬距離	3	
		身近な人(距離)	1	
社会的距離	能力・配慮		3	
		酪農家の能力・人間性・他農家への気遣い	1	
		畑作と酪農の考え方の違い・価値観	1	
		受け取り側の状況	1	
	ネットワーク・SC		9	2
		消化液を受けたい・やりたい人が不明	1	
		畜産との交流	1	
		プラントオーナーとの付き合いがない	1	
		受け取り農家同士の交流	1	
		模範農家が未利用	1	
		使っていない人が多い	1	
		身近に関係者がいれば使うかも	1	
		知り合い・年代・関わり	1	
		電話で連絡・個人-個人・知人を通じた関係	1	
		畑作農家の協力		1
		畑作農家の興味		1
仮想的距離	情報取得機会		4	
		プラントについて知る機会がない	1	
		消化液を知る機会がない	1	
		話題にならない(良い話も)	1	
		(消化液の利用の是非について)使用している人とも話さない	1	

4. 考察

以上の結果を二つの視点から考察する。第1に畑作農家と酪農家の関心分野の違いである。上記の結果からは、畑作農家、酪農家ともに消化液の運搬距離、すなわち空間的距離が大きいことに対して関心を示しているものの、酪農家と畑作農家では、社会的距離に関する関心に違いがあった。

畑作農家によって挙げられた「身近に関係者がいれば使うかも」や「知り合い・年代・関わり」といった要素は、相手をよく知っていることを重視するものであり、また「酪農家の能力・人間性・他農家への気遣い」や「畑作と酪農の考え方の違い・価値観」は、畑作農家が酪農家に対して自身への理解を求めていることを示す要素である。このことから、畑作農家は耕畜連携に際して、消化液の物理的な移動距離のみならず、これまでに消化液を供給する酪農家との交友関係があるのかや、酪農家が畑作農家の営農や経営の方針を理解してくれるのかを見て、消化液の受け取りをするかを判断している。しかし、その一方で、酪農家は単に消化液の物理的な移動距離だけしか考えていない。認知マッピングから得た情報からは、具体的には消化液の成分が安定しない、散布の時期や時間が畑作農家の希望どおりにならない等の点が畑作農家から挙げられている（浅井他，2017）。

このことから、BGPの持続的な運営のために重要な要素である消化液利用に対する酪農家側の配慮や情報提供が、畑作農家側が求める水準に達していないことが窺え、これらの点への酪農家の対応に改善が見られないことが、畑作農家による消化液利用の阻害要因になっていると考えられる。畑作農家の消化液に対する懸念や不便さに対して、酪農家が真摯に受け止め対応することで、畑作農家による消化液利用を促進することができ、結果としてBGPを中心とする耕畜連携が促進する可能性がある。さらに、知人を介した紹介や酪農家と畑作農家の交流促進等も畑作農家による消化液利用を進める方策の一つとして考えられる。

第2に畑作農家同士の関係を考察する。分析結果では、畑作農家は酪農家に対する交友関係や自身への理解度とともに、他の畑作農家の動向にも関心を持っており、模範となる畑作農家や知人の畑作農家の動向も気にしていることが示されている。このことから、自分以外の畑作農家、特に自分が信頼しているリーダー的存在の畑作農家が消化液を利用すれば、自らも利用するという行動パターンが生じる可能性があることが示される。すなわち、消化液利用の促進のために、酪農家はリーダー的存在の畑作農家の消化液に対する懸念や不便さを理解したり、彼らとネットワークを築いたりして、まずリーダー的な畑作農家の消化液利用を進め、さらにそこから他の畑作農家へ消化液利用を普及させるという方策が考えられる。

5. 結論

本研究での分析からは、BGP を中心とした耕畜連携での消化液利用について、酪農家と畑作農家では関心分野が異なることが示され、また畑作農家は酪農家への関心とともに、他の畑作農家の消化液利用の動向にも関心があることが明らかになった。この結果から、BGP を中心とする耕畜連携の促進には、特に畑作農家が消化液利用に対して感じている懸念や不便さを、酪農家が解消・低減することで畑作農家と関心分野を共有する必要があることが示された。

バイオガスの普及促進のため、これまでは FIT やバイオガスプラントの建設費用の補助等、BGP の利用者または所有者である酪農家への補助や支援が手厚く行われてきた。その一方で、BGP から必然的に発生する消化液の利用に関しては、十分な対策が行われていなかった。今後さらに BGP を普及促進するためには、消化液の利用促進、すなわち BGP を中心とする耕畜連携の形成が不可欠で、その耕畜連携の形成には、畑作農家と酪農家の双方によるより深い関与が必要である。本研究の分析からは、具体的には、酪農家が畑作農家の消化液ニーズを十分考慮し、畑作農家の間の交流促進や消化液に対する情報提供等を通じて、まずはリーダー的存在の畑作農家と関心分野を共有し、そこから利用消化液に対する理解促進を行うことが、BGP を中心とした耕畜連携の形成に有効な策となりうると示された。

最後に本研究の限界について触れておく。これについては、認知マップの作成において、「消化液」について限定して聞いた訳ではない点が挙げられる。要素数や出現割合で見ると、畑作農家が耕畜連携について頻繁に答えているように見えるが、畑作農家がバイオガスに関わる点と言えば、消化液程度である一方、酪農家は畑作農家との関係の他にも考慮すべき点が多くあるはずで、故に消化液及び畑作農家への関心が相対的に低くなっているとも言える。このようなことから、本研究はあくまで BGP を中心とした耕畜連携の中で、消化液に注目した結果という位置づけとなる点は留意いただきたい。

注 (1) 本章は、林他 (2018) を加筆・修正の上、再掲したものである。

(2) その際、バイアスを排除するため、調査対象者に対して BGP に関する情報提供は一切行わなかった。

(3) 調査対象の酪農家には BGP 所有者 3 名とともに非所有者 4 名が含まれているが、肥育農家や肉牛のみを飼育している農家は含まれていない。また、畑作農家には消化液使用者 3 名とともに非使用者 4 名が含まれているが、必ずしも飼料生産農家とは限らず、食用や加工用農産物を生産する畑作農家も含まれている。

(4) 心理的距離では、情報取得機会が多いほど、実現度が高い、すなわち現実的であると考えことから、情報取得機会が仮想的距離に分類される。

(5) SC にはさまざまな定義があるが、本研究では、Putnam (2000) に従い、SC を「社会的ネットワーク、及びそこから生じる互酬性、信頼性の規範」と定義する。

[引用文献]

- 浅井真康・林岳・山本充（2017）「メンタル・モデルを用いたバイオガス利用普及の促進・阻害要因の抽出：北海道士幌町の取組を事例として」『環境科学会 2017 年会報告要旨』.
- Asai M., Moraine M., Ryschawy J., de Wit J., Hoshide A.K., Martin G. (2018) “Critical factors for crop-livestock integration beyond the farm level : A cross-analysis of worldwide case studies”, *Land Use Policy* : 184-194.
- 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.
- 林岳・浅井真康・山本充（2018）「バイオガスパラントを中心とする耕蓄連携における畑作農家と酪農家の関心の相違に関する考察」『フロンティア農業経済研究』 21（1）：123-130.
- Kermagoret, C., Levrel, H., Carlier, A., Ponsero, A., (2016) “Stakeholder perceptions of offshore wind power : a fuzzy cognitive mapping approach”, *Society & Natural Resources* 29（8）：916-931.
- Liberman N, Trope Y. (1998) “The role of feasibility and desirability considerations in near and distant future decisions : A test of temporal construal theory”, *Journal of Personality and Social Psychology* 75（1）：5-18.
- 中村稔（2016）「酪農バイオガスシステムにおけるメタン発酵由来消化液の活用の効果」『酪農学園大学紀要』 36（2）：77-122.
- 小野学・鶴川洋樹（2006）「共同利用型バイオガスシステムの経済性と成立条件－バイオガスパラントの利用実態と経済性シミュレーション－」『寒地土木研究所月報』 635：19-29.
- 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.
- Putnam, R. (2000) “Bowling alone : The collapse and revival of American community”, Simon & Schuster (柴内康文訳（2006）『孤独なボウリング 米国コミュニティの崩壊と再生』, 柏書房).
- 清水夏樹・柚山義人（2010）「エネルギー収支・経済性・環境負荷からみたバイオマス利活用シナリオの評価」『農村計画学会誌』論文特集号：243-248.
- Trope Y., Liberman N. (2003) “Temporal construal”, *Psychological Review* 110（3）：403-421.
- 梅津一孝・山縣真人・岸本正・谷昌幸・林峰之・三崎卓也（2003）「乳牛ふん尿と有機性廃棄物による混合メタン発酵消化液の秋蒔き小麦（ホクシン）への施用」『農作業研究』 38（4）：199-205.
- 山岡賢・柚山義人・中村真人・折立文子（2012）「メタン発酵消化液の輸送・散布計画支援モデルの機能拡張：消化液輸送車の複数台運用と中間貯留槽の導入に対応」『農業農村工学会論文集』 280：53-61.
- 吉田文和・村上正俊・石井努・吉田晴代（2014）「バイオガスパ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誌』 25：57-67.

第5章 バイオエネルギーの持続可能性指標評価ツールの開発

林 岳

森林総合研究所 井上 泰子

ナイジェリア大学ヌスカ校 ジェームス・C・オボンナ

1. はじめに

バイオエネルギーは再生可能なエネルギーとして今後ますますの利用拡大が見込まれているが、その原料を地域に賦存するバイオマスに依存するため、その利用の仕方いかんでは、資源の浪費や非持続可能な形でバイオエネルギー利用となる可能性がある。そのため、それぞれの地域の実情に即した持続可能なバイオエネルギーを導入することが求められる。これまでバイオエネルギーの持続可能性を評価しようとする動きとしては、国際バイオエネルギー・パートナーシップ（Global Bioenergy Partnership : GBEP）から国または地域レベルで適用可能な持続可能性指標（以下、GBEP 指標）が公表され⁽¹⁾、いくつかの国で適用されている。その際、過去に導入したりこれから導入しようとするバイオエネルギーの持続可能性評価が必要となるが、持続可能性にはさまざまな側面があり、基本的には環境、経済、社会の三つの軸で持続可能性を検討することが一般的である。GBEP 指標においても環境、経済、社会の側面について、それぞれ八つ、合計 24 の指標が提案されており、これらを用いて各国または地域の持続可能性を評価することが推奨されている（GBEP, 2011）。

しかし、このような指標を用いた持続可能性評価では、いくつかの論点が指摘されている。一つは、それぞれの指標の重要度は国ごとまたは地域ごとに大きくことなることである。例えば、水資源が希少な国においては、水を大量に使用してバイオエネルギーの原料作物を生産することは、持続可能な水利用に影響を与え、バイオエネルギーが持続可能な発展に貢献しないかもしれないが、比較的降雨に恵まれ、水資源に余裕がある地域では、持続可能な発展に貢献するということも考えられる。このように、持続可能性を評価するための複数の指標を用意しても、それぞれの指標の重要度は大きく異なるのが普通であり、各国においてどの指標がどれだけ重要なのかを明らかにしなければならない。二つ目の論点として、さまざまなステークホルダーごとに、持続可能性の指標でもその重要度の評価が異なる点である。バイオエネルギーは原料生産からエネルギーへの加工、流通、消費といったサプライチェーンのほか、政策分野でも多くのステークホルダーが関与しており、それぞれのステークホルダーごとに考えている持続可能性のイメージも異なるのが通常である。そのため、持続可能性指標による評価でもステークホルダーごとに異なる視点や認識を持っているはずである。前述の GBEP 指標も、あくまで各国で共通の指標であり、

GBEP 指標を適用する際も、これをそのまま適用するのではなく、それぞれの国や地域における特有の事情やデータの利用可能性を十分に考慮した上で、GBEP 指標に一定の修正や改変を行うことが望まれる。

以上の論点を踏まえると、バイオエネルギーの持続可能性評価には、それぞれの国ごとにステークホルダーの意見を踏まえた、指標の重要度のウェイト付けが必要ということになる。つまり、バイオエネルギーの普及導入には、どのようなバイオエネルギーがどのような側面でどのくらい持続可能な発展の実現に貢献するのかを、それぞれの地域の実情に合わせた形で評価する必要がある。上記のような持続可能性指標のウェイト付けを行うことによって、ステークホルダーが考える指標の重要度を数値化して定量的に評価することができる。

そこで本稿では、農林水産政策研究所(政策研)が国際再生可能エネルギー機関(IRENA)及び国際農林業研究センター(JIRCAS)と共同で開発した GBEP 指標を元にした持続可能性評価ツールについて紹介し、ガーナとナイジェリアにおけるバイオエネルギーの導入を事例に、ステークホルダーの意見を踏まえたウェイト付けを行った結果を報告する。

2. IRENA でのプロジェクトと評価ツール開発の経緯⁽²⁾

(1) IRENA「バイオマス残渣のエネルギーとしての付加価値化プロジェクト (Valo-BRES)」

アフリカでは、農産物加工部門の規模が非常に大きく、大量の農産廃棄物が発生している。これらの廃棄物は、次世代バイオ燃料、電力、熱等さまざまな形でエネルギー源として利用可能である。一方で、アフリカの国々では慢性的な電力不足に悩まされており、産業界では独自にディーゼル発電機を導入したり、小規模な地域電力供給システムに電力供給を頼ったりしている状況である。このように、アフリカ諸国では、農産廃棄物からのエネルギー供給には明らかに大きな潜在的能力があるものの、政策的なインセンティブがないことや、農産廃棄物の潜在的価値に気づいていないこと等もあり、これまで商業的に実施されているプロジェクトはほとんど見られない。これらのエネルギー供給の課題を克服し、環境と経済に便益をもたらす革新的な方法の一つに、農産廃棄物をエネルギー源として利用することで農産物を高付加価値化し、農産加工物のバリューチェーンを最大化することがある。

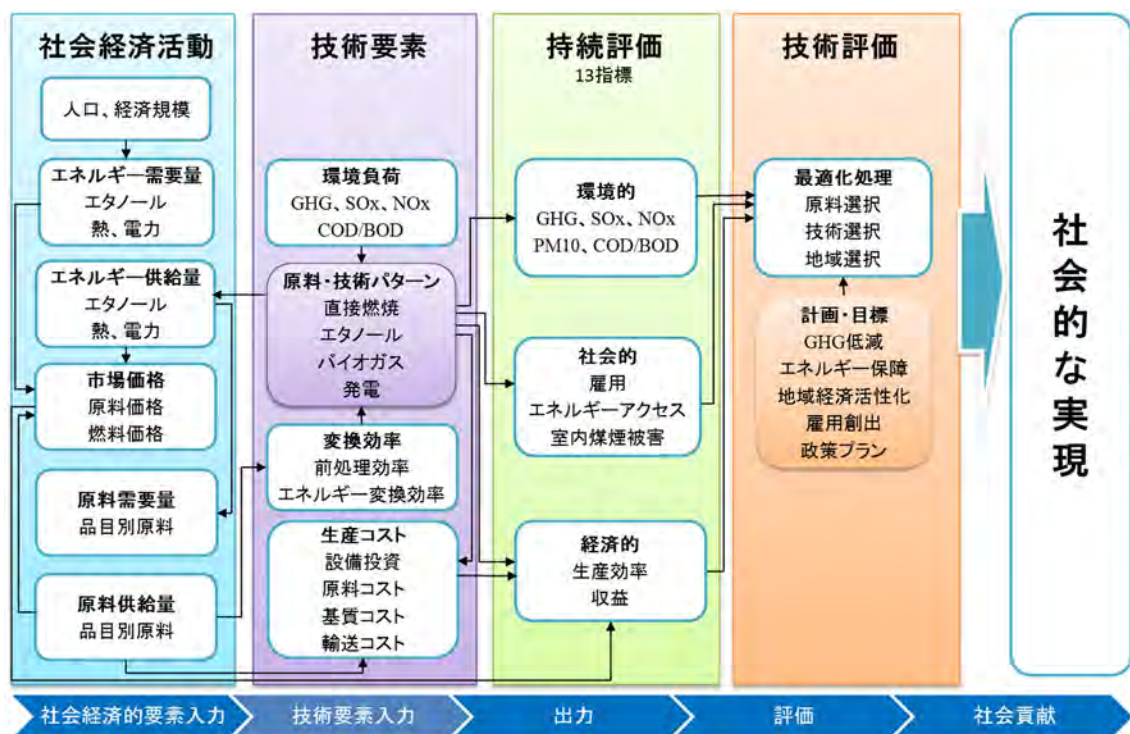
このような背景から、IRENA ではアフリカ諸国を対象として「バイオマス残渣のエネルギーとしての付加価値化 (Valorisation of Biomass Residues as an Energy Source (Valo-BRES))」というプロジェクトを実施してきた。このプロジェクトは、日本政府の支援のもと、アフリカにおける上記のような状況を改善するため、以下の3点を目的として行われている。

- (1) 技術的・経済的に最善の方策を導くため、コスト情報等各農産廃棄物種に応じたバイオエネルギー変換技術選択肢を提供

(2) 持続可能な農産廃棄物のエネルギー利用に向けた投資を誘発するために、国レベルでの技術選択肢の包括的評価を通じた国レベルの政策的支援・インセンティブの枠組みを構築

(3) 現場レベルでのさまざまなプラントの詳細な調査・分析を通じた、バイオエネルギー生産事業者レベルでの投資機会の特定化

プロジェクトは、第1図のような4段階の枠組みになっている。ここにあるとおり、第1段階では、各地域の地域情報を収集することである。これには人口や経済規模といった基礎情報のほか、エネルギー価格、バイオマスの価格、バイオマスの供給量・需要量といった情報も収集される。第2段階はバイオマスの変換技術に関する情報の収集である。具体的にはエネルギーへの変換効率や生産コスト等のほか、温室効果ガス（GHG）排出量や大気汚染物質（SO₂, NO_x, PM 等）排出量等環境への影響も含まれる。第3段階としては、インパクト評価である。この段階では、国または地域単位での GHG, SO₂, NO_x, PM 等の排出量といった環境への影響、雇用、エネルギーアクセス、健康への影響等社会的な影響、そして所得機会といった経済的影響の3側面で、バイオエネルギーを利用することによる持続可能性が国または地域単位で評価される。最後の第4段階として、第3段階での結果を踏まえ、どの地域で、どのようなバイオマスを使って、どのような種類のバイオエネルギーに変換すべきなのかについて、目的に応じた最適な選択肢が決定するという仕組みである。



第1図 IRENA Valo-BRES のフレームワーク

資料：IRENA 内部資料をもとに著者作成。

IRENA では、上記のプロジェクトにおける目的達成のため、途上国におけるバイオエネルギー導入支援に向け、それぞれの国においてどのようなバイオマスを原料として、どのような変換技術を用いて、どの種類のバイオエネルギーを生産するのが経済面、環境面、社会面から総合的に判断して最も適切なのかの情報を提供できるツールを開発することを計画していた。しかしながら、IRENA にはいまだ学術的な知見や研究蓄積が少ないため、国連食糧農業機関（FAO）等、ほかの国際機関、各国の大学や研究機関にツール開発の協力を依頼した。その一環で政策研にもバイオマス賦存量を評価する資源量評価ツールとバイオエネルギーの持続可能性評価ツールの開発への協力要請があった。また、日本国内では、JIRCAS に対しても、途上国におけるデータ収集等の面で IRENA 側からの協力要請があり、IRENA と JIRCAS そして政策研の 3 組織が共同で開発作業を行うこととなった。

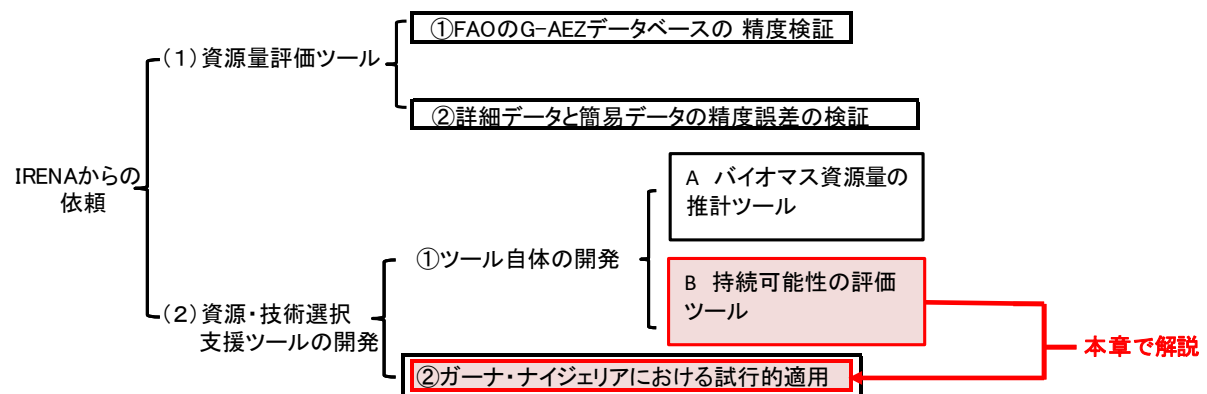
（２）政策研に求められた役割

IRENA から政策研へ依頼があった事項は大きく分けて二つある。第 1 に、資源量評価ツールの検証である。2013 年に IRENA は、9 種類のバイオマス（エネルギー作物、収穫残渣、加工残渣、畜産廃棄物、都市廃棄物、薪、木材伐採残渣、木材加工残渣、木質系廃棄物）について、現在及び 2030 年における資源量を評価した（IRENA, 2014）。資源量の評価にあたっては、2030 年における、食料需要、単収、エネルギー需要、農産物生産適地図、農産物残渣発生係数を主要な入力データとして、「農地は食料生産に優先的に利用され、食料生産後の余剰農地においてのみエネルギー作物が生産される」という仮定のもと試算を行った。しかしながら、この評価の問題点は、主要変数の多くを FAO 食料需給見通し、Global Agro-Ecological Zone (G-AEZ) 等外部のデータベースに依存していることであり、それぞれの手法が持つ仮定・前提条件を IRENA 独自の用途に応じて変更することができない点である⁽⁴⁾。この点の改善のため、IRENA では、FAO が開発した G-AEZ のデータを使いつつ、新たに IRENA 独自で GIS を導入し、対象作物の追加・変更、環境保全地域の設定といった各種前提条件の変更が可能な資源量評価手法を構築する計画である。その一部の開発作業について、政策研に協力依頼があった。

第 2 の依頼事項は、資源・技術選択支援ツールの開発である。IRENA では地域の再生可能エネルギーの資源評価から技術の選定、プロジェクトの構築、バイオマスの提供者とのマッチングや実施プロセスの流れを一体的に支援するツール（ガイドライン、チェックリスト等の集合体）である「プロジェクト・ナビゲータ」を構築している。これまでに風力発電に関する作業を進めてきたが、現在、バイオエネルギーに関する作業を行っているところであり、このバイオエネルギーの「プロジェクト・ナビゲータ」の中心となる資源及び技術の選択を支援するツールを開発することが求められていた。この「資源・技術選択支援ツール」は、大きく分けて二つの要素から構成される。第 1 に農業生産、農地面積、気象条件、人口、GDP、エネルギー統計等の基礎統計及び、現地での聞き取り調査の結果を組み合わせることで、利用可能なバイオマス資源量を推計する部分である（第 1 図）。第

2 に、地域に存在する多様なバイオマス資源のうち、利用可能なバイオマスの種類とエネルギー利用技術の組み合わせごとに、経済・環境・社会といった持続可能性の観点から地域に与えるインパクトを定量的に評価し指標化することで、最適な技術の組み合わせの選択を支援するための情報を提供する持続可能性評価ツールである。本稿で触れるのは、このうちの後者の持続可能性評価ツールの部分であり、これは、(1) ツール自体の開発、(2) 開発したツールのガーナ及びナイジェリアにおける試行的適用の二つの小課題がある。

政策研では、IRENA 側からの要請に応える形で、これらの課題を遂行した。その結果のうち、一部は政策研の新たな価値プロジェクト研究資料（農林水産政策研究所，2016）の中にとりまとめたが、本稿では農林水産政策研究所（2016）に掲載された内容も含め、改めて全体を紹介する。



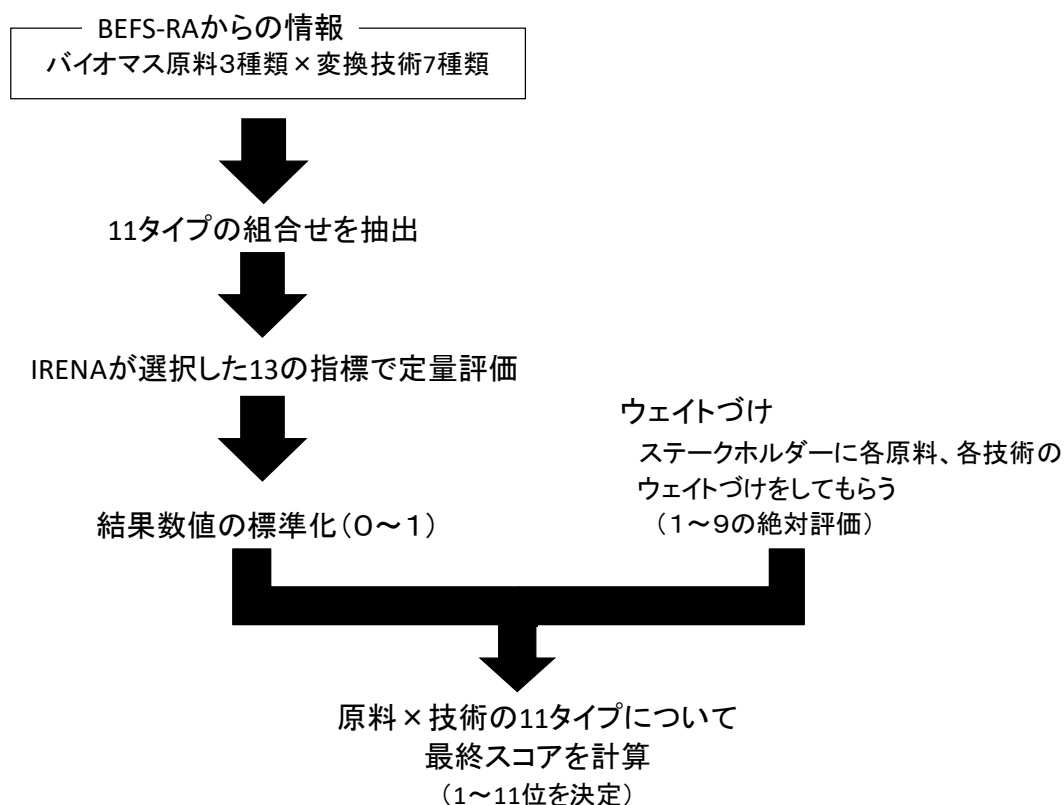
第 2 図 IRENA からの依頼事項と本章の関係

3. 持続可能性評価ツールの概要

(1) 評価フレームワーク

持続可能性評価ツールでは、IRENA が選択した 11 の持続可能性指標による評価結果を統合化し、最終的にどのような原料をどのようなバイオエネルギーに変換するのが最も持続可能なのかをスコア化して評価し、最適な資源・技術の選択を明らかにする。

IRENA 側では、FAO の BEFS-RA というバイオエネルギーに関するデータベースを活用したいという意向があり、これに対応するため、BEFS-RA にある 3 種類の原料（Agricultural residue, Energy crops, Wood resources）を七つの技術（Charcoal, Briquette, Biogas, Gasification, Vegetable oil, Combustion, Liquid Fuel）で変換する場合を想定してモデルを構築する（第 3 図）。この場合、想定される原料と技術の組み合わせは農産廃棄物が 6 技術，資源作物が 1 技術，木質資源が 4 技術の合計 11 通りの組み合わせがあり，この 11 通りの組み合わせに対してスコア付けするツールとなる。



第3図 持続可能性評価ツールのイメージ

①適用可能な指標の抽出

IRENAにより、評価に適用する13指標が取り上げられているので、各原料・変換技術の持続可能性をこれら13指標で評価する。

②評価結果の標準化

①で算出された評価値は指標ごとに全く異なる単位の数値で表されているので、これら数値を指標化して、一定の範囲内(0~1)の値に変換する。

③ウェイト付け

①で算出した指標にウェイトを付ける。ステークホルダーにそれぞれの指標の重要性を示したウェイト付けをしてもらう。

④原料、技術、燃料ごとの選択肢の評価

標準化された評価結果とウェイトを乗じ、原料、技術、燃料のカテゴリーごとのそれぞれ選択肢のウェイト付け標準化スコアを推計する。

⑤最終スコアの推計

原料と技術の11通りの組み合わせについて、ウェイト付け標準化スコアを乗じて組み合わせごとの最終スコアを推計する。

算出された結果を用いて原料×技術の組み合わせに対して順位付けができる仕組みである。

（２）持続可能性評価へのウェイト付け

本研究では、持続可能性指標のウェイトの算出に、多基準分析（MCA）という手法を用いる。MCA は多様な代替的行動を評価する手法で、幅広いステークホルダーの意見を反映し、多角的な視点からの評価ができるのが特徴である。この手法は、（１）定量データ、定性データ双方を含む多様なデータセットを取り扱うことができること、（２）共同的計画や意思決定環境の構築に利用しやすいこと、（３）理論的技術的に強固な背景を持ちつつもその仕組みは簡素で直感的であること等から、基準や指標を構築するのにふさわしい手法と認められている（Mendoza and Prabhu, 2003）。さらには、バイオエネルギー供給システムが、原料や製造技術の選択、流通手段、エネルギー種等多くの複雑性と利害関係者を有することから、MCA はバイオエネルギーに関する意思決定のための重要な要素を分析するのに最も適した手法であるとも指摘されている（Buchholz et al., 2009）。これらのことから、本研究では、MCA が GBEP 指標に基づく評価に最も適切かつ有効な手法の一つであると考ええる。

MCA をバイオエネルギー分野の持続可能性に適用した研究事例はこれまでに数多く存在し、Scott et al. (2012) と Huang et al. (2011) がバイオエネルギー及び再生可能エネルギーへの MCA 適用研究事例をレビューしている。既存研究の中では、複数のステークホルダーの関与を取り扱ったり（Buchholz et al., 2009, Elghali et al., 2007, Turksim et al., 2011）、一部は最も持続可能で最適なバイオエネルギーの選択肢、若しくは少なくとも最悪の選択肢を抽出するために（Turksim, et al., 2011, Sultana and Kumar, 2012）、また一部は指標間の相互関係を解明するために MCA を適用している（Mendoza and Prabhu, 2003）。このように、MCA はこれまでもバイオエネルギーの事例に幅広く適用されていることから、本研究で開発するツールでもこの手法を適用する。

さらに、MCA にはそれぞれの選択肢で一対比較を行う階層分析法（AHP）その発展型であるネットワーク分析法（ANP）、選択肢を絶対評価する加重加算方式（WSM）等、いくつかの具体的手法がある。これらの具体的手法の中では、AHP や ANP 等、より正確な評価ができる複雑な手法が適用されることが多いが、WSM の利点は最も簡単な方法で手法の適用に高度な知識を必要としない点や、回答するステークホルダーにとっても、一対比較を行う AHP ほど回答に負担がかからない点等が挙げられる。そのため、MCA に精通していない者でも比較的容易に理解が可能なので、WSM を基本としたツールとすることで、専門家だけでなく、政策担当者等にも活用の幅が広がると考えられる。そこで、本研究では、これら MCA の手法のうち、WSM を用い、WSM を基本とした持続可能性評価ツールのフレームワークを構築することにした。ただし、適用する国の状況や評価する指標の数に応じて、適用する具体的手法については、適宜変更できるようにする。

4. ガーナへの適用

(1) はじめに

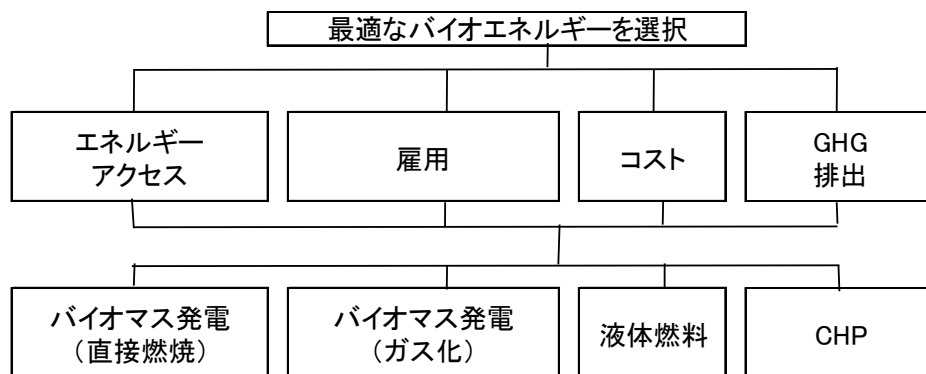
本節では、前節までに紹介した持続可能性評価ツールをガーナにおいて試行的適用した結果を報告する。IRENA では JIRCAS の協力のもと、西アフリカ 4 か国（ナイジェリア、カメルーン、セネガル、ガーナ）を対象とした試行的適用を検討していたが、この中でガーナのみを対象としたのは、以下の 4 点の理由による。第 1 に、ガーナではほかの対象国に比べても農産加工業が盛んであり、農産廃棄物の発生量が多く、バイオエネルギーへの利用可能性も高いことである。第 2 に、調査実施予定時期の 2015 年頃に西アフリカ諸国でエボラ出血熱が発生し、ガーナ以外の対象国では現地調査が困難になったためである。第 3 に、JIRCAS のアフリカ連絡拠点がガーナの首都アクラにあり、現地情報を収集しやすい環境にあったことである。さらに、第 4 の理由として、現地の公用語が英語であり、質問票の現地語への翻訳や現地調査時の通訳雇用が不要であったことである。

(2) ガーナの概要とバイオエネルギーの利用状況

ガーナは西アフリカに位置する人口約 2600 万人、面積 23 万 9000km² の国である。主要農産物はチョコレートの原料となるカカオである。ガーナにおけるエネルギー状況について、ガーナでは現在電化率はおおよそ 70% で農村部を中心にいまだ系統電力が整備されていない地域が残っている。特に人口密度が低い北部の農村地帯においては、電化率が低く、この地域の電化率は 35% 程度に留まっている（国際協力機構ガーナ事務所、2012）。このため、ガーナ政府は、2020 年までに電化率を 100% とする政策目標を掲げ、また総発電量の 10% を再生可能エネルギーで担うことを目標としている。これらの目標のもと、2011 年 11 月には「再生可能エネルギー法」が可決され、再生可能エネルギーに関する各種規制や規範作りを行っているところである。また、地術的な側面では、各国の支援のもとで大規模な太陽光発電や風力発電及び小水力発電の整備が行われている。バイオマスについては、ガーナの 1 次エネルギー供給に占める伝統的エネルギー⁽³⁾の割合は約 70% であり、一方で最終エネルギー消費に占める電力の割合は 6% に満たない（国際協力機構ガーナ事務所、2012）。ガーナには熱帯雨林地帯もあり、平均気温が高い等、気候的条件も良好な条件であることから、国内の木材資源のエネルギーとしての潜在的能力は非常に高い。しかしながら、これら伝統的バイオエネルギーの利用は、室内煤煙による健康問題やバイオマスの収集にかかる女性・児童労働の問題等の各種社会問題をもたらしているほか、特に木質系バイオエネルギーは森林破壊を引き起こしており、持続可能なバイオマス資源の利用が特に重要な課題となっている。国際協力機構ガーナ事務所（2012）によると、ガーナにおける近代的バイオエネルギーの導入に関しては、木材加工残渣や穀殻からの発電、ヒマワリ油のディーゼル発電機での使用が検討されているが、いずれも実験・計画段階であり、実用化には至っていない。

（３）持続可能性ツールの改良

ガーナでの試行的適用に際して、持続可能性評価ツールはガーナのバイオエネルギー利用の実情に応じて改変されている。具体的には、まず指標を当初の 11 指標から、ガーナでのデータ収集可能性や将来のバイオエネルギー導入政策等を鑑み、エネルギーアクセス、雇用、費用、GHG 排出量の 4 指標に絞った。前節で解説したとおり、ウェイト付けを行う MCA には階層分析法（AHP）、加重加算方式（WSM）いくつかの具体的手法がある。このうち AHP は、指標同士を 1 対 1 で比較し、優劣の度合いを評価してもらう手法である。AHP は一対比較を行うことから、それぞれの指標で正確な優劣評価ができるという利点がある反面、指標数が多いと評価の回数が増加し、回答者に負担がかかるという欠点がある。今回のガーナへの適用では、指標数が当初の 13 指標から 4 指標に大幅に削減されたことから、回答者の負担が軽減されたことから、AHP の適用が可能となった。そのため、ガーナでは WSM ではなく AHP を採用して指標のウェイト付けを行った。



第4図 バイオエネルギー選択の階層構造

次に、バイオエネルギーについては、これも現地のバイオエネルギー利用状況を鑑み、直接燃焼バイオマス発電、ガス化バイオマス発電、液体燃料、電熱併給（CHP）の4タイプを設定し、階層構造を第4図のとおりとした。

本研究における試行的評価では、ガーナにおけるバイオエネルギーの導入について、ステークホルダーとしてバイオエネルギー関係者に質問票を配布し、各指標のウェイトを回答してもらっている。質問票の配布地域とその生態的特徴については、第5図に示したとおりである。質問票の配布は沿岸部地域から内陸地域にわたる5地域で実施され、それぞれが生態的特徴により分類される。また、ステークホルダーとしての具体的なバイオエネルギー関係者とは、国家政策担当者、地方政府政策担当者、研究者・専門家、工場経営者・管理者、原料供給・流通業者、原料製造者・農家、その他の7種を想定した。

ウェイトの推計に必要なステークホルダーへの一対比較評価のためのアンケートは、IRENA が現地のコンサルタントに依頼し、第1表のとおり五つの生態ゾーンで合計65人のステークホルダーに質問票を配布し、回答してもらった。

配布した質問票には、回答者がどのような属性のステークホルダーかを回答してもらっ

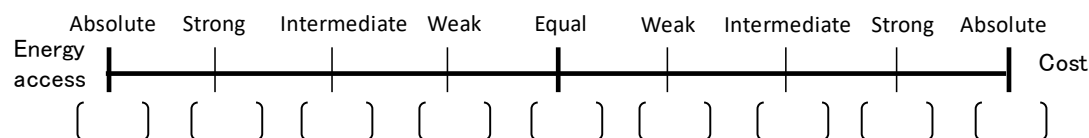
た後、それぞれの指標間の重要性を一对比較で回答してもらった。一对比較は第5図のとおり、例えばエネルギーアクセスと雇用の指標の間で「絶対的にエネルギーアクセスが重要」から「どちらも同程度」、さらに「絶対的に費用が重要」までを9段階の中から選択肢を回答してもらう方式を採った。さらに、バイオエネルギー種についても、各指標の観点からみて、あるバイオエネルギーともう一つのバイオエネルギーはどちらがどれだけ重要かを尋ねた。例えば「エネルギーアクセスの観点から見て、バイオマス発電と固形バイオマスはどちらがどの程度重要か」を質問し、指標間一对比較と同様の9段階で回答してもらった。

第1表 質問票配布地域の概要

生態地域	地域の生態的特徴	主要産物	バイオエネルギー原料として見込まれるもの	代表都市	サンプル概数
沿岸サバナ地帯	沿岸地域	漁業	とうもろこし葉茎	アクラ	5
熱帯雨林地帯	森林、プランテーション	カカオ(ココア)	木材加工残渣(枝葉), キャッサバ皮, とうもろこし葉茎, パーム残渣	タコラディ	2
落葉樹林地帯	森林、プランテーション	カカオ(ココア)	木材加工残渣(枝葉), キャッサバ皮, とうもろこし葉茎, パーム残渣	クマシ	32
遷移地帯	落葉樹林からサバナへの遷移地帯	カカオ(ココア), キャッサバ	キャッサバ皮, とうもろこし葉茎	スニャーニ	10
ギニアサバナ地帯	サバナ	トウモロコシ, ソルガム, キビ, 塊茎(ホドイモ), ササゲ	ソルガム茎, キビ茎, とうもろこし葉茎	タマレ	16
合計					65

2. Please select which of these two factors is more important, and how the factor is important than the other.

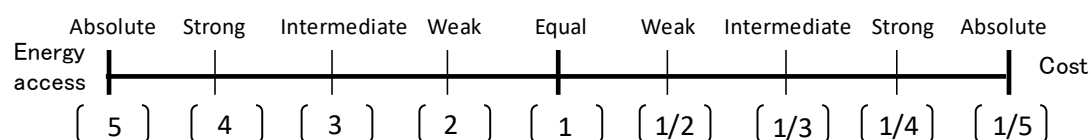
2-2 Of the two criteria “Energy access” and “Cost”, which is more important with respect to sustainable bioenergy and how much more?



第5図 一对比較の質問例

今回の質問票では、四つ指標と四つのバイオエネルギー種があるので、指標の一対比較で 6 回 (=4×3÷2)，指標ごとのバイオエネルギー種同士の一対比較が 6 回×4 指標の 24 回，合計 30 回の一対比較を回答者にしてもらったことになる。回答者にとってはかなりの負担かもしれないが，木下（2000）によると，AHP では最大で 7 要素までが望ましいとしており，本研究における 4 指標，4 バイオエネルギー種での AHP 適用は問題ないものと考えている。

AHP ではステークホルダーに回答してもらった各指標の重要比較結果を数値化する。上記第 5 図の例で示すと，一対比較の「どちらも等しく重要 (Equal)」の回答を 1，「エネルギーアクセスが若干重要 (Weak)」という回答を 2 とし，順に「ほどほど重要 (Intermediate)」を 3，「かなり重要 (Strong)」を 4，「非常に重要 (Absolute)」を 5 とする。逆にコストのほうがより重要とした回答は上記の逆数として，「コストが若干重要 (Weak)」から「非常に重要 (Absolute)」までを順に 1/2, 1/3, 1/4, 1/5 とする (第 6 図)。



第 6 図 回答の数量化

これと同様にほかのすべての一対比較の回答結果も数量化し，これを第 2 表のような表形式に表して各列の数値の和を計算する。この表では a₁₂ から a₃₄ までの六つの数値を上記第 6 図から転載し，その逆数を対角要素に入力するだけでよい。続いて，計算された列和で各数値を除して比率を計算する。これにより，各指標の相対化が行われ，算出した数値の列和は 1 となる (第 3 表)。そして，この第 3 表の数値の行ごとの平均がそれぞれの指標のウェイトとなる。

このようなウェイトの算出方法は最も簡便な方法であり，ほかにも AHP によるウェイトの算出方法はいくつか存在する。今回最も簡便な方法を採用したのは，WSM と同様，IRENA スタッフや現地の政策担当者でも利用できるように，なるべく高度な専門的知識を必要としない手法となることを心がけたためである。

第2表 回答数値の行列化と列和の算出

質問票の 右側の項目	質問票の左側の項目			
	Energy access	Labour opportunity	Cost	GHG emission
Energy access	1	a_{12}	a_{13}	a_{14}
Labour opportunity	$1/a_{12}$	1	a_{23}	a_{24}
Cost	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	1	a_{34}
GHG emission	$1/a_{14}$	$1/a_{24}$	$1/a_{34}$	1
列和	Σa_1	Σa_2	Σa_3	Σa_4

資料：木下（2000）をもとに著者作成。

第3表 回答数値の相対化

	Energy access	Labour opportunity	Cost	GHG emission	ウェイト (=行平均)
Energy access	$1/\Sigma a_1$	$(1/a_{12})/\Sigma a_2$	$(1/a_{13})/\Sigma a_3$	$(1/a_{14})/\Sigma a_4$	w_e
Labour opportunity	$a_{12}/\Sigma a_1$	$1/\Sigma a_2$	$(1/a_{23})/\Sigma a_3$	$(1/a_{24})/\Sigma a_4$	w_l
Cost	$a_{13}/\Sigma a_1$	$a_{23}/\Sigma a_2$	$1/\Sigma a_3$	$(1/a_{34})/\Sigma a_4$	w_c
GHG emission	$a_{14}/\Sigma a_1$	$a_{24}/\Sigma a_2$	$a_{34}/\Sigma a_3$	$1/\Sigma a_4$	w_g
列和	1.00	1.00	1.00	1.00	

$$w_e = \{1/\Sigma a_1 + (1/a_{12})/\Sigma a_2 + (1/a_{13})/\Sigma a_3 + (1/a_{14})/\Sigma a_4\}/4$$

$$w_l = \{a_{12}/\Sigma a_1 + 1/\Sigma a_2 + (1/a_{23})/\Sigma a_3 + (1/a_{24})/\Sigma a_4\}/4$$

$$w_c = \{a_{13}/\Sigma a_1 + a_{23}/\Sigma a_2 + 1/\Sigma a_3 + (1/a_{34})/\Sigma a_4\}/4$$

$$w_g = \{a_{14}/\Sigma a_1 + a_{24}/\Sigma a_2 + a_{34}/\Sigma a_3 + 1/\Sigma a_4\}/4$$

資料：木下（2000）をもとに著者作成。

同様の計算方法で、エネルギーアクセス、雇用、コスト、GHG 排出のそれぞれの観点から見たバイオエネルギー種 4 種のウェイト $w_1 \sim w_4$ を導出する。そして最終的なウェイト W ，すなわち統合されたスコアは，以下の行列式で表される。

$$W = \begin{pmatrix} w_{1e} & w_{1l} & w_{1c} & w_{1g} \\ w_{2e} & w_{2l} & w_{2c} & w_{2g} \\ w_{3e} & w_{3l} & w_{3c} & w_{3g} \\ w_{4e} & w_{4l} & w_{4c} & w_{4g} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_l \\ w_e \\ w_c \\ w_g \end{pmatrix}$$

ここで，添え字の 1～4 は各バイオエネルギー種を，添え字の e, l, c, g はそれぞれエネルギーアクセス、雇用、コスト、GHG 排出の観点から見ていることを示す。これにより，それぞれの指標の観点から見た各種バイオエネルギーのウェイトと，指標自体のウェイトの双方を考慮したスコア付けが可能となり，スコアを見ることでどのバイオエネルギー種が最も望ましいかを判断することができる。

（４）結果と考察

はじめに、第４表には各持続可能性指標に対するウェイトの推計結果を示している。これを見ると、エネルギーアクセスが最もウェイトが高く、続いて雇用機会、経済性、GHG排出の順になっている。このことから、ガーナでは、バイオエネルギーの持続可能性の実現に際しては、エネルギーアクセスが最も重視されていることがわかる。

第４表 各持続可能性指標に対するウェイト

	指標ウェイト
エネルギーアクセス	0.438
雇用機会	0.276
経済性	0.186
GHG排出	0.101

次に、各バイオエネルギー種による各持続可能性指標の項目への貢献度に関するウェイトの推計結果が第５表に示されている。これを見ると、全般的に高い貢献度であると評価されているのは、液体燃料である。直接燃焼発電については、エネルギーアクセスへの貢献度は高く評価されているものの、それ以外の評価はあまり高くない。また、CHP やガス化発電については、相対的に評価が低くなっている。このことから、ガーナのバイオエネルギーのステークホルダーの間では、液体燃料の評価が高いことが窺える。

第５表 各バイオエネルギー種の持続可能性への貢献度

	エネルギー アクセス	雇用創出	経済性	GHG排出
直接燃焼発電	0.400	0.243	0.240	0.157
ガス化発電	0.165	0.206	0.208	0.292
液体燃料	0.295	0.351	0.353	0.375
CHP	0.140	0.200	0.199	0.176

最後に、第４表と第５表の結果を行列式にて乗じることで算出される総合的な貢献度は、第６表に掲げた。これを見ると、各指標の重要度とそれぞれの指標が評価する持続可能性の各側面への貢献度を踏まえた総合的なウェイトでも液体燃料が最も高い評価を得ており、続いて直接燃焼発電、ガス化発電、CHP の順になっている。この結果から示唆されることは、ガーナのバイオエネルギーのステークホルダーからは、持続可能なバイオエネルギーを導入しようとする際には、液体燃料が最も有望であると評価されていることがわかる。一方で、ガス化発電や CHP については、あまり評価されていない。これは、ステークホルダーによる評価では、これらのバイオエネルギーによる持続可能性への貢献が大きくないとの判断とも言えるが、一方で、これらの技術は、いまだガーナでは導入事例が多くな

く、バイオエネルギーのステークホルダーであっても、これらのバイオエネルギーについて精通していないためとも考えられる。このような結果が得られた背景については、現地のバイオエネルギーの導入状況等を鑑み、慎重に分析する必要がある。

第6表 各エネルギー種の持続可能性への貢献度（総合）

	総合ウェイト
直接燃焼発電	0.303
ガス化発電	0.197
液体燃料	0.329
CHP	0.171

（5）まとめ

本節では、持続可能性評価ツールをガーナにおいて試行的適用した結果を紹介してきた。ガーナへの試行的適用によって、ツールとしての有効性を確認するとともに、ガーナでは、持続可能なバイオエネルギーとして、液体燃料が最も有望であると評価されていることが示された。このような形で持続可能性の評価に各国の事情を考慮して指標を選択したり、ステークホルダーの考えを反映したりすることで、それぞれの地域の実情に応じたバイオエネルギーの評価が可能となる。

ガーナにおける試行的適用の課題としては、持続可能性指標のウェイト付けに持ち至れたステークホルダーへのアンケートの回答数が 65 と少なく、統計的な解析を行うまでには至らない点である。そのため、次節で紹介するナイジェリアにおける試行的適用においては、ガーナの事例よりも大幅にサンプル数を増加させることにした。

5. ナイジェリアへの適用

（1）ナイジェリアのバイオエネルギーの利用状況⁽⁵⁾

ナイジェリアはアフリカで最大の人口を誇る国で、人口 1 億 8 千万人のうち、80%超が 40 歳未満という若齢社会である。国土の北部から南部にかけてあらゆる植生を誇っており、豊かな自然が広がる国であるとともに、石油の埋蔵も確認されている。ただその埋蔵量は多くなく、40 年もすれば枯渇すると言われている。

アフリカ諸国においてエネルギー安全保障と食料安全保障の問題は大変重要な課題である。ナイジェリアでも農村地域は貧しい上、失業率も高く、農業に対する政府からの助成はなく、儲かる仕事ではない。信頼できる統計がないことや汚職の問題もあり、ナイジェリアでは政府が行う様々なインセンティブ施策も上手く機能していない。食料安全保障を達成するためには、十分な収入、雇用の創出、また、安定した市場も必要である。

そこで、食料安全保障達成のためにバイオエネルギーを活用することが想定されている。バイオエネルギー生産によって作物需要が創出され、農産物価格そして収益性も上がる。それが農業への投資を呼び込み、それにより耕作面積の拡大や生産量の増加にもつながり、

食料の利用可能性が高まることになる。さらに、バイオエネルギーによって新たな雇用が創出され、購買力も上がることで食料の購買力も高まり、飢餓の減少につながるはずである。

このようなナイジェリアの状況から、バイオエネルギーには大きな期待が寄せられている。そのためには、バイオエタノール生産技術の開発が必要である。技術開発には産学連携が必要となるが、最大の問題は産業基盤がないことで、基本的な技術の開発・導入のほかに、人材育成やインフラの整備も重要な課題である。

ナイジェリアにおいてバイオエネルギーは、エネルギー安全保障にとって最も実行可能で、かつ持続可能な選択肢となっている。ナイジェリアに限らず、多くのアフリカ諸国は、未利用の広大な土地、若く安い労働力があるので、バイオエネルギー生産に比較優位を有していると考えられる。

ナイジェリアのバイオエネルギー消費を見ると、その半分以上が薪炭である。しかし、薪炭は低効率で大気汚染も多く、利用者の呼吸器系の問題も深刻で、森林破壊の原因にもなっている。バイオガスは高い潜在性があるが、発生する廃棄物の大部分が分別されておらず、原料となるバイオマスのみを収集することができないため、現在大規模には行われてない。バイオディーゼル（BDF）は大きな市場があるが、現在はすべて輸入に依存している。BDFの原材料としてパーム油、落花生油、大豆油があるが、高価なので原料として使用できない状況である。また、非食用のジェトロファからの BDF 生産があるが、パイロット農場が一つあるのみである。栽培しやすい微細藻類からの BDF 生産はかなり有望だが、まだ商業化には至っていない。

バイオエタノールについては、石油に混ぜて使用するものも含め、無水エタノールを大量に輸入している。エネルギー作物としては、キャッサバのほか、サトウキビやトウモロコシ等もあるが大変高価で、コスト的に原料として適さない。その点、キャッサバは生産コストが低い上、でんぷん製造工程での廃棄物もエタノール生産の原料となる。このため、ナイジェリアでは、バイオエタノールが今後導入すべきバイオエネルギーとして注目されている。

（２）ウェイト付けの手法

ナイジェリアへの適用については、持続可能性評価ツールの当初の手法である WSM を使用する。この WSM は、Mendoza and Prabhu（2003）でも採用されているが、ある目的（ここでは持続可能なバイオエネルギーの導入）に対して、いくつかの基準（ここでは持続可能性指標）の重要度を、複数段階の絶対値、例えば「1：とても重要」から「10：全く重要ではない」の 10 段階で尋ねる方式である。

WSM ではステークホルダーに持続可能性指標の重要度を絶対値で尋ねる。本研究では、ある持続可能性指標 i についてその重要度を 1～9 の段階で絶対評価してもらい、ステークホルダー全員による評価値の算術平均 a_i を算出する。次に Mendoza and Prabhu (2003) に倣い、すべての指標の a_i を合計した $\sum a_i$ を求め、指標 i のウェイトを以下の式から算出する。

$$w_i = a_i / \sum a_i \quad (1)$$

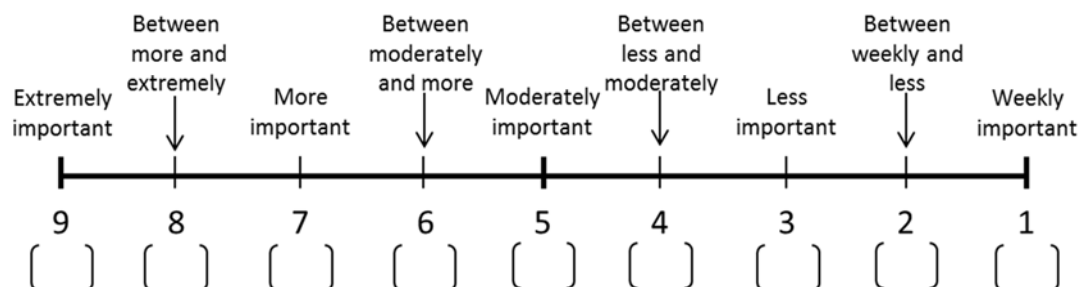
(3) 条件設定と分析データ

本研究では、ナイジェリアの実情に合わせ、分析対象とするバイオエネルギーの種類をバイオエタノール、バイオガス、改良型かまど、電熱併給 (CHP) の 4 種類とした。また、これらの持続可能性を評価するための指標として、(1) 水利用と効率性、(2) 土地利用と土地利用変化、(3) 食料価格と供給、(4) 雇用、(5) 生産性、(6) インフラと流通の 6 指標を取り上げる。これらのバイオエネルギー種は、ナイジェリアでのデータ収集を委託したコンサルタントであった著者がナイジェリアで導入可能性の高いバイオエネルギー技術として選択したもので、持続可能性指標についても、コンサルタントが GBEP 指標の中の 24 指標から選択した。選択した六つの指標を持続可能性の 3 分野と照らし合わせて見ると、該当する指標は水利用と効率性が環境分野に、土地利用と土地利用変化、食料価格と供給、雇用が社会分野に、生産性とインフラと流通が経済分野の指標に該当し、環境、社会、経済それぞれの分野から二つずつ指標が選ばれている。

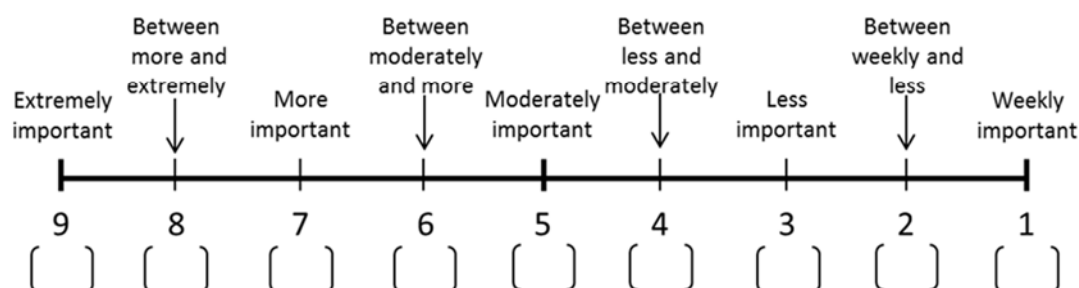
ステークホルダーによるウェイト付けには、ナイジェリア国内各地のステークホルダーを対象にしたアンケート調査により収集したデータを用いる。アンケートではそれぞれの指標の重要度を 1～9 の値の絶対評価で回答してもらうほか、それぞれのバイオエネルギー種が六つの指標で表される持続可能性の側面に対して、どのくらい貢献しているのかを尋ねた (第 7 図)。

4. Please select how important following criteria are to produce any kind of bioenergy.

4-1 Water use and efficiency (WU)



5-1 From your point of view, how much significantly **Bioethanol (BIE)** will contribute to water use and efficiency (WU) of the bioenergy sustainability indicator?



第7図 アンケート票の質問例

アンケート調査は2017年11月から12月にかけて行われ、合計330人のステークホルダーに対してアンケート票が配付され、そのうち280サンプルを回収した。分析はこのうちの有効回答244サンプルを用いて行った。ステークホルダーごとのサンプル数内訳は、研究者・専門家が39、国の政策担当者32、地方の政策担当者33、キャッサバ加工関係者22、財政関係者25、原料供給者4、市民団体25、エタノール生産者1、農家40、その他23となっている。ガーナより多くのサンプルを回収することで、統計的な解析が可能となった。

それぞれのバイオエネルギー種のウェイトは、本研究で取り上げる四つのバイオエネルギー種が、六つの指標で評価される持続可能性の各側面にどのくらい貢献するかとともに、六つの指標の重要度の差を考慮して以下の(2)式のとおり算出される。

$$\begin{pmatrix} W_{BET} \\ W_{BGS} \\ W_{ICS} \\ W_{CHP} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{WU}^{BET} & C_{LU}^{BET} & C_{FP}^{BET} & C_{JO}^{BET} & C_{PR}^{BET} & C_{IF}^{BET} \\ C_{WU}^{BGS} & C_{LU}^{BGS} & C_{FP}^{BGS} & C_{JO}^{BGS} & C_{PR}^{BGS} & C_{IF}^{BGS} \\ C_{WU}^{ICS} & C_{LU}^{ICS} & C_{FP}^{ICS} & C_{JO}^{ICS} & C_{PR}^{ICS} & C_{IF}^{ICS} \\ C_{WU}^{CHP} & C_{LU}^{CHP} & C_{FP}^{CHP} & C_{JO}^{CHP} & C_{PR}^{CHP} & C_{IF}^{CHP} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W_{WU} \\ W_{LU} \\ W_{FP} \\ W_{JO} \\ W_{PR} \\ W_{IF} \end{pmatrix} \quad (2)$$

ただし、Wはウェイト、Cは貢献度の評価を指し、添え字のBET、BGS、ICS、CHPはそれぞれバイオエタノール、バイオガス、改良型かまど、CHPのバイオエタノール技術を、WU、LU、FP、JO、PR、IFはそれぞれ水利用、土地利用変化、食料価格と供給、雇用、生産性、インフラと流通の6指標を表す。なお本分析では、すべてのサンプルを用いたウェイトとともに、男女にサンプルを分けてウェイトを計算した。これは、IRENAでジェンダーによるバイオエネルギーの持続可能性評価に差があるのかを検証したいという意向があったためである。

(4) 結果と考察

第7表には、分析結果のうち各持続可能性指標に対するウェイト W_{LU} から W_{IF} までを求めた結果を示している。これを見ると、男女で大きな差はみられないものの、男性は生産性や雇用といった指標を女性よりも重視し、女性は男性よりも環境分野の指標を重視する傾向がある。また、六つの指標の中では男女とも生産性が最も重要で、インフラと流通が一番重要度が低いという結果となった。なお、アンケート調査の評価について、男女での評価値の違いを統計的に検証したが、いずれの指標についても男女で評価に統計的に有意な差は見られなかった。

第7表 各持続可能性指標に対するウェイト

			男性	女性	全体
環境	水利用と効率性	W_{WU}	0.163	0.168	0.164
	土地利用と 土地利用変化	W_{LU}	0.164	0.167	0.165
社会	食料価格と供給	W_{FP}	0.168	0.168	0.168
	雇用	W_{JO}	0.173	0.169	0.171
経済	生産性	W_{PR}	0.175	0.170	0.173
	インフラと流通	W_{IF}	0.158	0.159	0.158

続いて、各バイオエネルギー種の持続可能性への貢献度の評価結果が第8表～第10表である。これを見ると、男女ともに多くの持続可能性の側面で、バイオエタノールが最も貢献するという結果が得られた。これはバイオエタノールが持続可能性への貢献度が高い

と評価されていることを示す。一方で、改良型かまどについては男女とも評価は低く、ステークホルダーは、改良型かまどは持続可能性へあまり貢献しないと考えていることが窺える。

第 8 表 各バイオエネルギー種の持続可能性への貢献度（男性）

	水利用と 効率性	土地利用 と土地利 用変化	食料価格 と供給	雇用	生産性	インフラと 流通
バイオ エタノール	0.273	0.273	0.269	0.266	0.263	0.256
バイオガス	0.258	0.258	0.262	0.256	0.257	0.255
改良型かまど	0.228	0.237	0.233	0.240	0.235	0.242
CHP	0.241	0.232	0.236	0.239	0.245	0.247

第 9 表 各バイオエネルギー種の持続可能性への貢献度（女性）

	水利用と 効率性	土地利用 と土地利 用変化	食料価格 と供給	雇用	生産性	インフラと 流通
バイオ エタノール	0.269	0.268	0.265	0.261	0.258	0.253
バイオガス	0.258	0.257	0.260	0.262	0.256	0.262
改良型かまど	0.228	0.230	0.235	0.236	0.239	0.243
CHP	0.244	0.245	0.241	0.241	0.247	0.242

第 10 表 各エネルギー種の持続可能性への貢献度（総合）

総合	水利用と 効率性	土地利用 と土地利 用変化	食料価格 と供給	雇用	生産性	インフラと 流通
バイオ エタノール	0.272	0.271	0.267	0.264	0.262	0.255
バイオガス	0.258	0.257	0.262	0.258	0.256	0.258
改良型かまど	0.228	0.235	0.233	0.239	0.237	0.242
CHP	0.242	0.236	0.238	0.239	0.245	0.245

また、アンケート調査の結果から持続可能性への貢献度について男女差を t 検定により検証すると、バイオエタノールによる生産性への貢献及びインフラと流通への貢献について、男女サンプル間でそれぞれ 10%水準、5%水準の統計的有意差が確認できた。さらに CHP のインフラと流通への貢献についても男女サンプル間で 5%水準の統計的有意差が確認できた。このことから、男性のほうが女性よりもバイオエタノールによる食料価格と供給及びインフラと流通への貢献を高く評価していることが明らかになった。また、男性のほうが女性よりも CHP のインフラと流通への貢献を高く評価していることが明らかとなった。

第 7 表～第 10 表の結果を上記の (2) 式に当てはめて算出した各技術の総合ウェイトについては、第 11 表に掲げた。これを見ると、各指標の重要度とそれぞれの指標が評価する持続可能性の各側面への貢献度を踏まえた総合的なウェイトでもバイオエタノールが最も高い評価を得ており、続いてバイオガス、CHP、改良型かまどの順になっている。しかしながら、男女間でウェイトの平均値に統計的に有意な差は認められなかった。この結果から示唆されることは、ナイジェリアにおいて持続可能なバイオエネルギーを導入しようとする際には、バイオエタノールが持続可能性への貢献度が最も高いとステークホルダーから評価されている点である。一方で、国民に身近な存在である改良型かまどは持続可能性への貢献度が低いと評価されている。

第 11 表 各技術の総合ウェイト

	男性	女性	総合
バイオエタノール	0.267	0.262	0.265
バイオガス	0.258	0.259	0.258
改良型かまど	0.236	0.235	0.236
CHP	0.240	0.243	0.241

(5) まとめ

本研究では、ナイジェリアにおけるバイオエネルギーの導入を事例に、GBEP 指標を元にした持続可能性評価指標について、ステークホルダーの意見を踏まえたウェイト付けを行った。ウェイト付けはすべてのステークホルダーによる評価のみならず、ステークホルダーの男女による違いも明らかにした。

分析の結果、今回取り上げた六つの持続可能性指標の中では、ステークホルダーからは生産性をもっとも重要と評価され、インフラと流通をもっとも重要度が低く評価された。また、各バイオエネルギー種による持続可能性への貢献度については、バイオエタノールの貢献度が高く評価されている一方、改良型かまどについてはあまり高く評価されていないことが示された。t 検定によるウェイトの平均値の男女差の検証では、男性のほうが女

性よりもバイオエタノールによる食料価格と供給及びインフラと流通への貢献を高く評価していること、また、男性のほうが女性よりも **CHP** によるインフラと流通への貢献を高く評価していることが明らかとなった。そして、各指標の重要度とそれぞれの指標が評価する持続可能性の各側面への貢献度を踏まえた総合的なウェイトでもバイオエタノールが最も高い評価を得ており、続いてバイオガス、**CHP**、改良型かまどの順になった。

以上の分析結果は、バイオエタノールや **CHP** といった新たな技術への期待度が高いことを示している。ステークホルダーの間では、伝統的かまどを改良型に変更するといった身近なエネルギー技術の改良よりも、バイオエタノールやバイオガスといったこれまであまり普及していない新しい技術を導入する方が国全体の持続可能な発展に貢献すると考えられていることを示している。このことから、このような新たなバイオエネルギーの導入を進めることで、利害関係者の期待に則したバイオエネルギーの導入を進めることができると思われる。よって、政策担当者は改良型かまどの導入等、直接的に国民に恩恵のあるバイオエネルギーの導入を進めるだけでなく、長期的な視野を持ちながら、新技術の導入を進めていくべきであると言える。

最後に、本分析の限界についても触れておく。まずステークホルダー間での評価の違いについては、まだ分析が未了である。ステークホルダーの間での違いを明らかにすることができれば、バイオエネルギーの導入に関して、異なった側面からの示唆を与えることができると思われる。また、技術的な課題としては、サンプルに母集団の代表性が担保されていないことである。今回の分析に用いたサンプルは現地のコンサルタントが任意に抽出したものであり、本分析の結果は必ずしもステークホルダー全体の見方を表すという保証はない点に留意が必要である。

6. おわりに

本章では、IRENA, JIRCAS と政策研が開発した、**GBEP** 指標を元にした持続可能性評価ツールについて紹介し、ガーナとナイジェリアにおけるバイオエネルギーの導入を事例に、ステークホルダーの意見を踏まえたウェイト付けを行った結果を紹介してきた。開発した評価ツールは、**GBEP** の持続可能性指標が定量的な評価を行うことに着目し、**GBEP** 持続可能性指標の個別の指標に対してウェイトを付与することで、ステークホルダーの意見や地域独自の状況を反映させることができる。このようなバイオエネルギーの持続可能性評価指標を用いることで、バイオエネルギー政策における複数の政策オプションがもたらす持続可能性への影響を事前評価することが可能となり、当該国または地域でどのようなバイオエネルギーを導入すべきかについての情報を提供することができる。今回はガーナ、ナイジェリアといったアフリカの途上国において試行的適用を行ったが、持続可能性評価ツール自体は、途上国のみならず、日本を含めた先進国でも適用は可能である。さらに、**GBEP** の持続可能性指標での評価ができるのであれば、地域単位での適用や、特定のバイオエネルギー種での評価も可能である。

なお、ここで紹介した持続可能性評価ツールに関する共同研究の成果については、IERNA の報告書に掲載され、2019 年 1 月に公表された (IRENA, 2019)。

注 (1) GBEP 指標の詳細については、農林水産政策研究所 (2014) を参照のこと。

(2) 第 2 節から第 4 節は、新たな価値プロジェクト研究資料第 3 号『農村における地域資源の活用とその効果ーバイオマスのエネルギー利用を中心としてー』の第 5 章「IRENA との協同によるバイオエネルギー評価ツールの開発」を一部加筆修正して再掲している。この理由は、第 1 に当該資料の原稿締め切りまでに IRENA から現地調査のデータを入手できなかったため、当該研究資料は、ガーナにおける試行的適用の一部分の記述にとどまっており、最終的な結果を掲載していないためである。また、第 2 の理由として、新たな価値プロジェクト研究資料第 3 号の内容と今回新たに行った分析は、どちらも IRENA, JIRCAS, 政策研が協同で行ったプロジェクトの成果であり、一貫するものであるため、プロジェクトの一連の成果をまとめて掲載したほうが良いと判断したためである。

(3) FAO のデータの詳細は FAO (online) を参照のこと。

(4) 伝統エネルギーとは、薪、木炭、農業廃棄物を指す (国際協力機構ガーナ事務所, 2012)。

(5) 本小節は、2019 年 1 月 16 日に開催された政策研セミナー「持続可能なバイオエネルギー生産における我が国の国際貢献」において、ジェームス・C・オボンナ氏が発表した内容を要約してとりまとめたものである。なお、同様の内容は『農林水産政策研究所レビュー』88 号にも「シンポジウム概要紹介」として掲載されている。

[引用文献]

- Buchholz, T., Volk, T.A., Luzadis, V.A. (2009) “Multi Criteria Analysis for Bioenergy Systems Assessments” *Energy Policy* 37 (2) : 484-495.
- Elghali, L., Clift, R., Sinclair, P., Panoutsou, C., Bauen, A. (2007) “Developing a sustainability framework for the assessment of bioenergy systems” *Energy Policy* 35 (12) : 6075-6083.
- FAO (online) “Global Agro-Ecological Zones”,
<http://www.fao.org/nr/gaez/en/> (2019 年 3 月 19 日参照).
- GBEP (2011) “The Global Bioenergy Partnership sustainability indicators for bioenergy”,
http://www.globalbioenergy.org/fileadmin/user_upload/gbep/docs/Indicators/The_GBEP_Sustainability_Indicators_for_Bioenergy_FINAL.pdf (2019 年 3 月 19 日参照).
- Huang, I. B., Jeffrey Keisler, J., Linkov, I., (2011) “Multi-criteria decision analysis in environmental sciences : Ten years of applications and trends” *Science of the Total Environment*, 409 (19) : 3578-3594.
- IRENA (2014) “Global bioenergy supply and demand projections: A working paper for REmap 2030”.
- IRENA (2019) “Sustainable rural bioenergy solutions in Sub-Saharan Africa : A collection of good practices”.
- 木下栄蔵 (2000) 『入門 AHP 決断と合意形成のテクニック』, 日科技連出版社.

- 国際協力機構ガーナ事務所（2012）『ガーナ共和国再生可能エネルギー分野情報収集・確認調査報告書』。
- Mendoza, G. A., Prabhu, R. (2003) "Qualitative multi-criteria approaches to assessing indicators of sustainable forest resource management" *Forest Ecology and management* 174 (1-3) : 329-343.
- 農林水産政策研究所（2016）『新たな価値プロジェクト研究資料第3号 農村における地域資源の活用とその効果ーバイオマスのエネルギー利用を中心としてー』。
- 農林水産政策研究所（2014）『温暖化プロジェクト研究資料第2号 バイオエネルギーの活用とその評価』。
- Scott, J. A., Ho, W., Dey, P. K. (2012) "A review of multi-criteria decision-making methods for bioenergy system" *Energy* 42 (1) : 146-156.
- Sultana, A., Kumar, A. (2012) "Ranking of biomass pellets by integration of economic, environmental and technical factors" *Biomass and Bioenergy* 39 : 344-355.
- Turcksin, L., Macharis, C., Lebeau, K., Boureima, F., Mierlo, J.V., Bram, S., Ruyck, J.D., Mertens, L., Jossart, J.M., LeenGorissen, L., Pelkmans, L. (2011) "A multi-actor multi-criteria framework to assess the stakeholder support for different biofuel options : The case of Belgium" *Energy Policy* 39 (1) : 200-214.

第6章 まとめと結論

林 岳
浅井 真康

1. 各章のまとめ

七戸・永田（1988）の定義に従うと、地域資源は「その地域だけに存在する資源」、「自然によって与えられる有用物で、何らかの人間労働が加えられることによって、生産力の一要素となり得るもの」である。第1章では、地域資源を取り扱った既存研究を整理するとともに、バイオエネルギーがこの定義に当てはまることを確認した。

第1章での定義づけをもとに、第2章では、地域資源としてのバイオエネルギーのうち、バイオガスの生産・消費システム（以下バイオガスシステム）に焦点をあて、日本におけるバイオガスシステムの普及状況、政策的支援、今後の普及に向けた課題を整理した。バイオガスは家畜ふん尿や食品廃棄物、し尿・下水汚泥といった含水率の高いバイオマスのメタン発酵によって生産されるため、バイオガスシステムの構築は廃棄物の適切な処理やエネルギー自給率の向上、温室効果ガス排出の低減等に貢献する。また副産物である消化液は、液肥として作物栽培に利用できる。一方で、バイオガスシステムの普及には、畑作における液肥利用が浸透していない点、バイオガスプラント（BGP）の建設コスト及びランニングコストが高額な点、バイオガスシステムから発生した電力の売電環境が十分に整備されていない点、さらには補助金政策等、政策転換のリスクが常につきまとう点といった課題が残されていることが先行研究のレビューにより示された。

第3章では、北海道士幌町におけるバイオガスシステムを調査事例とし、メンタルモデル分析を用いて、各ステークホルダーがバイオガスシステムの便益や普及の阻害・促進要因をどのように認識しているのか、またこれらの認識がステークホルダー間でどのように異なるのかを明らかにした。分析の結果、バイオガスシステムの便益として、売電収入、消化液散布による化学肥料代替、地域環境の向上等が挙げられ、これらはステークホルダー間で認識が共有されていた。一方の阻害要因には、BGPの建設コスト、消化液の処理・利用等があり、建設コストについては酪農家・非農家と畑作農家との間で共通認識されているものの、消化液の利用については、認識度に大きな差が生じていることも明らかになった。このような消化液に対する認識度の違いがバイオガスシステム普及促進の障害になり得ることから、バイオガスシステムの総合的な普及には、まず畑作農家が考える消化液の利用に関する懸念を全体の問題としてすべてのステークホルダー間で共有すること、そしてBGPを設置する酪農家に主眼を置く施策だけでなく、副産物である消化液の需要家である畑作農家に対する施策も必要であることを指摘した。

第4章では、同じく士幌町の個別型BGPを事例として、社会心理学の心理的距離の概念を用い、BGPから発生する消化液の利用において、消化液の需要者である畑作農家と供給者である酪農家の間の関心の違いを明らかにした。本研究での分析からは、バイオガス生産を中心とした耕畜連携での消化液利用について、畑作農家は消化液の供給者である酪農家に対して関心を持っているのに対して、酪農家は消化液の需要者である畑作農家に対してあまり関心を持っておらず、酪農家と畑作農家では取引相手に対する関心度が異なることが示され、また畑作農家は酪農家への関心とともに、他の畑作農家の消化液利用の動向にも関心があることが明らかになった。この結果から、BGPを中心とする耕畜連携の促進には、特に畑作農家が消化液利用に対して感じている懸念や不便さを、酪農家が解消・低減することで畑作農家と関心分野を共有する必要があることが示された。

第5章では、農林水産政策研究所が国際再生可能エネルギー機関（IRENA）からの依頼を受けて開発したバイオエネルギーの持続可能性評価ツールを紹介し、ガーナとナイジェリアでの試行的適用の結果を紹介した。持続可能性評価ツールは、国際バイオエネルギー・パートナーシップ（GBEP）の持続可能性指標をベースに、各国でどのようなバイオエネルギーを導入することで、持続可能性がより高まるのかを判断することができるものである。このツールでは、各国のバイオエネルギーの生産状況や政策的な重点事項を反映できるよう、各指標にウェイトを設定することができるのが特徴である。ガーナへの試行的適用では、持続可能性の観点からは、液体燃料が最も高い評価となり、またナイジェリアでの適用でも、バイオエタノールの評価が最も高くなった⁽¹⁾。このことから、アフリカのこれらの国では、いまだ普及していない液体燃料（バイオエタノール）の導入を促進することで、持続可能なバイオエネルギーの普及促進が可能であることが示された。

以降、本章では、これまでの分析及び考察の結果から最終的な結論として地域資源としてのバイオガスを有効活用するためには、どのような政策的支援が必要なのかについてまとめる。

2. 各章の結論から導かれるインプリケーション

（1）バイオガスシステムの普及に向けた政策的支援

バイオガスシステムの構築にあたって、消化液はBGPにおける副産物として必ず発生するものである。しかしながら、本研究の分析より、バイオガスシステムにおいては、主産物となる電力や熱をいかに活用するか、または酪農において廃棄物として発生する家畜ふん尿をいかに効率的に処理するかといった点に関心が集中し、BGPから発生する消化液の活用については、各ステークホルダーの意見を踏まえた幅広い視点からの議論が不足している可能性が指摘された。BGP所有者や役場などといったBGPに直接関わるステークホルダー間では、消化液の肥料としての有用性が先行的に認識されている反面、実際の利用者である畑作農家間では、たい肥との比較において消化液の利用には様々な制約があり、その使い勝手の悪さを指摘する声も多かった。

このような状況が生じた背景には、現状のバイオガス関連政策が、再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）や BGP 建設補助金など、酪農家側に対してバイオガスシステムの構築に向けた経済的インセンティブをもたらすことに主眼を置いており、消化液の利用促進についてはあまり関心が向けられてこなかったことが一因と考えられる。しかしながら、消化液の効率的な利用はバイオガスシステム全体の経済収支の向上にも貢献する上、資源の循環利用や持続可能性の確保の観点からも欠かせない。そのためにも、更なるバイオガスシステムの普及を促進するには、①酪農家などの BGP に直接関わる者の消化液利用促進に対する意識を高める方策、そして②需要家である畑作農家が積極的に消化液を使いたくなるような品質改良やプロモーションを行うことが大切である。

①については、例えば、新規 BGP を建設する際には必ず消化液の散布先を確保することを建設許可要件あるいは建設補助金の受給条件に課すことなどが一案として考えられる。例えば、フィンランドの Tampio et al. (2018) は BGP 新設予定地周辺の農地面積、作付け等を考慮して、地理情報システム（GIS）上で作物の養分需要量を計算し、消化液がすべて肥料として用いられることを前提として新設地を検討できるようなシミュレーションモデルを提案している。当国では、本モデル分析の結果を BGP 建設の公聴会等の場で利用することで、消化液利用者である畑作農家の意向も踏まえたバイオガスシステム構築に関する合意形成を手助けしている。このように規制を設けたり、またその規制下で意思決定を支援する定量的なモデルツールの開発を助成したりすることで、消化液利用に対するステークホルダーの意識改善が期待できる。

②については、まず消化液利用を直接支援するような取組への助成が考えられる。例えば、消化液を BGP オーナーの代わりに散布してくれるコントラクター利用への助成、そして消化液の散布機や成分分析を行う機材を新規購入する際の補助金などである。また、より利用しやすい形状への改良や成分の均一化を低コストで実現するための技術開発に対して公的研究資金を積極的に充てることも、消化液利用の将来的な活性化につながるだろう。このほか、消化液の利用に関する知識自体が、いまだ広く浸透していないことから、各圃場での試験散布の結果や成功事例を収集し、それに基づく利用マニュアルの作成や講習会の開催等の取組を積極的に支援するといった情報拡散に着目した施策も有効である。このような多角的な政策的支援によってバイオガスシステムの持続可能な運営が達成されることが考えられる。

（２）持続可能なバイオエネルギーの利用のために

バイオエネルギーは原料供給、エネルギー加工、残渣処理という複雑なプロセスを経て作られるものであり、それぞれのプロセスにおいてステークホルダーが存在する。その点が太陽光発電や風力発電といった、よりシンプルなプロセスで生産される他の再生可能エネルギーと大きく異なる。さらにバイオマスは「広く浅く」賦存する資源であるため、原料となるバイオマスを供給するステークホルダーや残渣を処理・受け入れるステークホルダーの数も多くなる。すなわち、バイオエネルギーはステークホルダーの範囲と数の双方

において、他の再生可能エネルギーよりも大きくなる。多様なステークホルダーが関わるということは、それだけステークホルダー間での調整作業を必要とし、合意形成にかかる取引費用が増大することを意味する。以下では、持続可能なバイオエネルギーの利用に向けて、どのような取組や条件が多様なステークホルダー間での円滑な合意形成に寄与するのか、そしてそれを支える政策的支援のあり方について考察する。

まず、ステークホルダー間の調整役を担う人・団体の存在である。公平な立場から各ステークホルダーの意向を聞き取り、それらをステークホルダー間で共有する場を設け、相互理解を促進することが求められる。またプロジェクトの進捗に応じて、様々な意見がシステムづくりに平等に反映されていることを示すことも重要である。このような役割を担う人物としては様々な業種が該当するが、例えば自治体の職員や民間のコンサルティング会社、また研究者や専門家等も考えられる。この際、例えば第3章で用いたような認知マッピングの手法や、第5章において紹介した持続可能性評価ツールを用いることで、扱っている課題の可視化・定量化が可能となり、よりステークホルダーの相互理解を活性化できるものとする。しかしながら、調整能力や学術的手法を扱える能力を兼ね備えた人材を確保することは決して容易ではないことから、政策的支援としては、このような能力を習得できる大学院コースを設ける等の人材育成を支援することが有効だろう。また、成功事例で導き出されたノウハウを共有できる情報ネットワークづくりや講習会等を実施する活動への支援も大切である。

次に新しい技術が開発されることによって、合意形成が容易に進むことも考えられる。例えば、前述のように消化液中の養分を低コストで均一化できる技術が開発されれば、畑作農家の消化液の受け入れも促進するだろう。そのためにも研究開発への支援は有効であるが、従来の国の研究機関や都道府県の公設試験研究機関だけが研究開発を担うのではなく、大学や民間企業と積極的に連携していくことでよりイノベーションが促進される点にも注意が必要である。そのため、例えば研究支援費用の応募要件として農林漁業者、企業、大学、研究機関等の関係機関がチームを組んで取り組むこと、そして、そのチームには農林漁業者等が必ず参画すること、といったルールを設けることも有効であるとする。

他方、公的予算には限りがあることから、支援先の重点化も欠かせない。その際、例えばエネルギー分野における技術開発のように経済規模が大きく、民間部門の反応が早い課題ではなく、バイオエネルギーシステムの構築が貢献する気候変動対策や水質汚濁の改善などといった公共性の高い取組に対して重点的に支援していくことも重要となるだろう。

注. バイオエタノールは液体燃料に含まれるが、現地でのアンケート調査において、ガーナでは液体燃料をバイオエネルギーの選択肢の一つとし、ナイジェリアにおいてはバイオエタノールを選択肢の一つとしたため、本文中では、両国の結果について、あえて異なる名称で説明した。

[引用文献]

七戸長生・永田恵十郎編（1988）『地域資源の国民的利用 新しい視座を定めるために』，農山漁村文化協会．

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.

平成 31（2019）年 3 月 31 日 印刷・発行

都市住民プロジェクト研究資料第 1 号

持続的な地域資源の活用システムの構築
—持続可能なバイオエネルギー利用のために—

編集発行 農林水産省農林水産政策研究所

〒100-0013 東京都千代田区霞が関 3-1-1
中央合同庁舎第 4 号館
TEL 03（6737）9000
FAX 03（6737）9600

印刷・製本 ミツバ総合印刷株式会社



リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。