

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

平成28年8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 岩手県陸前高田市生出地区（菅野征一郎氏提供）

まえがき

農林水産政策研究所では、平成 25 年度よりプロジェクト研究「農業・農村の新たな機能・価値に関する研究」（平成 25 年度～平成 27 年度）を実施し、これまで見過ごされて評価されてこなかった農業・農村にある新たな価値を抽出し、評価する研究分析を行ってきた。このプロジェクトでは大きく 2 つの課題に取り組んでおり、1 つが農業・農村の多面的機能に留まらない農業・農村の新たな価値の抽出とその評価、もう 1 つはこれまで地域資源として農村地域にありながら、見過ごされてきたものの活用方策の提示とその効果の計測である。本プロジェクト研究資料は、このうち後者について、地域資源の活用方策の提示とその効果の計測に関する課題の成果をとりまとめたものである。

農村地域には森林資源、美しい景観や伝統的な風景といった観光資源など、さまざまな資源が賦存している。特に最近では、これまで農村地域の人々では気づかなかった地域資源の価値が都市住民などから認められ、多くの観光客が農村地域を訪れたり、それにより地域住民がその資源の活用を進めたりする事例も多数見られる。これらの事例は、農村地域の住民のみならず国民全体の生活に欠かせない役割を果たしていることを示しており、農村地域の貴重な資源をいかに有効利用し地域活性化に結びつけるかは、農村地域における最大の課題と言っても過言ではない。

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マスのエネルギーに焦点を絞った上で、まず、資源賦存量・利用可能量の評価に始まり、バイオマスのエネルギー利用による環境や経済、さらには持続可能性への影響等を多角的に評価する手法を提示する。続いて、いくつかの事例において実際にその効果を計測した研究成果、加えて海外におけるバイオマスのエネルギー利用の取組についても紹介する。

本資料が農村地域における資源活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、新たな価値プロジェクトでは、本資料の他に 2 冊の研究資料を刊行している。新たな価値プロジェクト研究資料第 1 号、第 2 号についても、本資料と密接に関連する内容を含んでおり、併せてご覧いただければ幸いである。

平成 28 年 8 月

農林水産政策研究所
新たな価値プロジェクトチーム

要 旨

第1章では、岩手県陸前高田市生出地区における木炭からの発電を事例として取り上げ、木炭からの発電に際しての発電コストを算出し、経済面での課題を抽出することを目的とする。評価の結果、木炭発電による発電コストは 690 円/kWh となり、既存の購入電力 28 円/kWh よりも大幅に高い金額となった。コスト構造を見ると、人件費が 90%を占め、木炭発電に多くの労力がかかっていることが窺え、いかに発電にかかる人件費を圧縮するかが今後の課題として明らかになった。また、人件費の評価に用いた賃金率いかんによって、発電費用も大きく変化し、これに関しては、地元住民による労働提供をボランティア労働とみなすかどうか、どのような水準に賃金率を設定するかについて、未だ議論の余地が残されていることを示した。

第2章では、岩手県西和賀町における町立病院への木質チップボイラー導入を事例として、地域で発生する間伐材のエネルギー利用による地域の森林管理と経済への影響について評価を行うことを目的とする。現状の間伐を元に分析を行った結果、町有林で発生する間伐材だけでは、病院の需要を満たすことができないことが明らかとなった。また、病院において重油ではなく木質チップを燃料として利用することで、病院では年間 661 万円の燃料費削減効果が見込まれ、岩手県南地域にとっては年間 657 万円の経済効果が見込まれた。この地域への経済効果は重油利用の 7 倍もの効果であることが示された。さらに、病院における木質チップの需要創出により、平均で年間 77ha の間伐を実施することができると明らかとなった。

第3章では、岩手県を対象として、複数の木質バイオマス発電所により燃料木材の需要が発生した場合に、どのような収集範囲の競合が生じるのかを把握することを目的とする。具体的には、燃料木材の収集範囲や供給量の分析に利用するデータについて、詳細なデータと簡易なデータによる精度の比較を行った後に、対象地域における収集範囲の競合に関する検証を行った。本研究では、収集範囲と供給量の分析のために、詳細なデータとして輸送距離と森林簿を利用し、簡易データとして需要地を中心とした円と植生図を利用した。検証の結果、岩手県レベルの規模を対象とした場合、収集範囲と供給量の分析の両方において、詳細なデータの利用が適していると考えられた。また、岩手県において 2015 年 12 月現在稼働中もしくは建設・計画中の出力 2000kW 以上の 6 つの木質バイオマス発電所を対象に、上記の詳細データを利用して燃料木材の収集範囲に関する競合関係を検証したところ、多くの発電所で木材収集のためには 100km 以上の輸送距離が必要となり、すべての発電所における収集範囲を輸送距離 100km の範囲と仮定した場合には、6 発電所の収集範囲の 95%以上で木材の競合が生じることが明らかとなった。

第4章では、デンマークにおいて 2015 年から稼働し始めた 2 つのバイオガスプラントの活動を先進事例として着目し、(1)農村地域におけるバイオマス所有主体の発見から再生可能エネルギーの生産に至るまでの諸課題を制度的側面、社会的側面、環境側面等から解明する分析枠組の構築すること、(2)その枠組をデンマークの事例にあてはめることでその有用性を検証すること、(3)事例先の主要な主体である「農家」、「自治体」、「エネルギー会社」がいかに取引コストを節約する取組を行っているのかを整理することの 3 つの課題に取り組む。本研究では Institutions of Sustainability (IoS) 枠組を提示し、これを用いてデンマークにおける先進的な取組の整理を行ったが、これによって主体間のバイオマスを介したやりとりの総体的な把握が可能となり、IoS

枠組の有用性が確認された。また、デンマークでのプラント設立に関しては、全国共通の強固なガバナンスの存在が認められた。

第5章では、再生可能エネルギー機関（International Renewable Energy Agency: IRENA）とともに開発したバイオエネルギーの評価ツールを紹介し、ガーナにおける資源量評価及びバイオエネルギーの選択問題への試行的適用を行った結果の一部についてまとめた。資源量評価では、国連食糧農業機関（Food and Agriculture Organization: FAO）が公表している Global Agro-Ecological Zones (G-AEZ) の精度評価を行い、資源・技術選択支援ツールのフレームワークを提示した。そして、ガーナにおいて、資源量評価及び資源・技術選択支援ツールを試行的に適用した事例について紹介した。

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の活用方策を提示した。本資料を通して、地域にはこれまで利用されていなかった資源が未だ多く賦存し、これらを活用することで、当該地域に経済活性化やコストの削減などのさまざまな効果をもたらすことを示してきた。そして、地域資源活用のためには、(1)資源量を把握すること、(2)地域資源活用の目的を明確化すること、(3)地域資源活用の効果を把握すること、(4)地域資源活用のための前提条件を確認することの4点が必要であることを示した。

目 次

まえがき

要旨

- 第1章 小規模木質バイオマス発電の経済性評価ー岩手県陸前高田市生出地区における木炭発電の費用推計ー・・・・・・・・・・・・・・・・・・1

林 岳

- 第2章 木質エネルギー利用による森林管理及び地域経済への影響評価ー岩手県西和賀町における木質チップボイラー導入を事例にー・・・・・・・・・・23

國井 大輔

澤内 大輔（北海道大学）

林 岳

- 第3章 複数の大規模木質バイオマス発電所における燃料木材の競合ー岩手県における大規模木質バイオマス発電所を事例にー・・・・・・・・・・43

國井 大輔

- 第4章 バイオガス関連政策と主体間関係ーデンマークでの取組を事例にー・・・・59

浅井 真康

- 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・・・・・・83

林 岳

國井 大輔

仲田 俊一（再生可能エネルギー機関）

- 第6章 まとめと結論・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・111

林 岳

第1章 小規模木質バイオマス発電の経済性評価

ー岩手県陸前高田市生出地区における木炭発電の費用推計ー

林 岳

1. はじめに

農村地域には都市地域にはない多様な資源があり、これらを活用することで地域活性化に結びつけようとする取組が各地で行われている。このように、農村地域に賦存する地域資源をいかに活用するかが、当該地域の活性化の成否につながるといっても過言ではない。特に国土の 2/3 が森林に覆われている日本において、森林資源は全国各地に普遍的に賦存し、かつては建築用資材や家具などの調度品の材料として幅広く活用されてきた。しかしながら、近年は安価で大量に入手可能な輸入材との競争により、次第に木材価格が低下し、森林管理の費用も賄うことができなくなる状況に追い込まれ、国内における森林資源の活用は停滞してきた。このため、各地の山林では適切な管理がなされないまま森林が放置され、地滑りや洪水、生物多様性の喪失、鳥獣害などの災害や問題を引き起こす原因となってきた。このような背景から、森林資源は今地域において最も活用が求められる資源でもある。

しかしながら、森林資源の活用には、コスト面などさまざまな課題があり、なかなか容易には実現できていないのが現状である。最近では木質バイオエネルギーとしての木材需要に注目が集まっており、これを機に森林管理の結果発生する間伐材需要の拡大が期待されているが、これについても、固定価格買取制度（FIT 制度）や間伐に対する補助金によりなんとか経済性を確保している状況であり、農村において地域資源を活用するにあたっては、まずはいかに経済性を確保するかという大きな問題が立ち上がる。

これまで、八木・中田（2007）、中村・柴田（2013）、石田他（2011）など、多方面から森林資源のエネルギー利用における経済性に関する研究分析が行われてきた。岩手県陸前高田市生出（おいで）地区では、木炭を燃焼させて水性ガスを抽出し、それを燃料に発電機を回して発電するという取組が行われており、発電した電力は地域内の街灯などに使用されている。このような木質エネルギーを用いたコミュニティレベルでの小規模な発電事例は、陸前高田市の事例以外には見られず、本事例は非常に先進的、特徴的なものである。このような小規模発電の計画推進においては、その経済性を明確にすることが求められ、実際に経済面においてどのような課題があるのかを抽出することは、今後の地域資源活用のための有効な情報を提供できると考える。

そこで、本章では、岩手県陸前高田市生出地区における木炭からの発電を事例として取り上げ、まず木炭からの発電に際しての発電コストを算出し、経済面での課題を抽出する。その上で、生出地区で導入された木炭破砕機の費用削減効果を明らかにすること、人件費

推計の際の賃金率設定についての課題を明らかにすることを目的とする。

2. 陸前高田市生出地区での木炭発電の概要⁽¹⁾

(1) 生出地区の概要

岩手県陸前高田市矢作町生出地区は陸前高田市の内陸部に位置する人口約 300 人、世帯数 110 世帯の山間の集落である（第 1 図）。集落は山に囲まれた南北に細長い平地に広がる集落内を県道 246 号線が通っており、これが実質的に外部との唯一の連絡道となっている。生出地区は陸前高田市の中心部からは車で 30 分ほどのところにあり、集落内には中心的な施設となる研修・宿泊施設の「ホロタイの郷炭の家」（以下、炭の家）がある。

山林に囲まれた生出地区では、もともと炭焼きが盛んに行われており、現在も数人の住民が炭焼きを続けている。集落内には岩手窯と言われる小型の炭焼き窯がいくつかあり、炭の家にも研修用としての炭焼き窯が設置されており、初心者が炭焼きの技術を習得できる。生出地区は陸前高田市中心部まで通勤が可能であることから、若年層を中心に市中心部へ働きに出ており、平日昼間は集落内で若い人の姿を見る機会はあまり多くない。しかしながら、生出地区では自治会機能を有する生出地区コミュニティ推進協議会が積極的な活動を行っており、集落の自治基盤としては陸前高田市内でも随一の活動状況である。また、生出地区では集落外からの訪問者を積極的に受け入れており、首都圏の大学が毎年林業研修のサイトとして利用しているほか、毎年 10 月にはおいで木炭祭りが開催され、陸前高田市内のみならず、仙台市圏や首都圏からも来訪客を集めている。



第 1 図 陸前高田市生出地区の位置

（２）生出地区で木炭発電を導入した背景

生出地区は陸前高田市の内陸部にあり、東日本大震災の時も津波による直接的な被害はなかったが、震災当時、集落内は数日間の停電に見舞われた。また、集落内を通る県道 246 号線は、ほぼ平行して流れる生出川の氾濫により、川にかかる橋がたびたび通行止めになる。系統電力の送電線も県道や生出川に沿う形で設置されており、災害の際は外部との往来や電力の確保に大きな支障が発生する可能性がある。このように、生出地区は災害に対して決して強固な基盤を有するとは言えない状況であり、特に地域内で自給できる自前の電力の確保は生出地区の大きな課題でもある。

生出地区では、2004 年から東北大学両角和夫教授（現東京農業大学教授）のグループと共同で、木炭から水性ガスを取り出し、これを燃料に発電機を回すことで発電する（以下、木炭発電）というプロジェクトに取り組んでいる。生出地区において、木炭発電を計画したそもそもの理由は、生出地区の森林の間伐作業から発生する間伐材の利用促進のためである。生出地区に限ったことではないが、戦後に植林したスギ等の人工林が伐採期にあるにも関わらず、輸入木材との価格競争に伴う木材価格の低迷のために林業の採算が悪化し、間伐などの森林管理作業はほとんど行われず、森林生態系が極めて劣悪な状態にある。そのため、生出地区では、悪化した森林生態系を修復するには、適正な間伐が不可欠と考え、間伐促進のための間伐材需要拡大のため、間伐材を木炭にし、それを発電のために利用する計画を立てたのである⁽²⁾。さらに、木炭発電により、地域資源による再生可能エネルギーの供給や非常時の電源確保にも貢献すると考えられる。

また、間伐材を木炭に加工し、これを燃焼させることで水性ガスを発生させて発電する理由は以下の２点である。第１に、木材を直接燃焼させて発電する方式に比べ、維持管理が容易である点である。木炭は 99%以上が炭素で構成されており、不純物が少なく、燃焼後もタールやクリンカー⁽³⁾などが固着して燃焼室を劣化させたり、燃焼効率を低下させたりする心配が少ないのである。第２に、もともと生出地区ではかつて木炭生産が盛んであり、地域の伝統工業を維持するために木炭を用いたのである。現在、木炭発電用の木炭を供給しているのは、炭焼き窯を所有している住民であり、彼らが生出地区の伝統である炭焼きを続けられるようにとの配慮が行われたのである。

（３）木炭発電システムの概要

木炭発電装置は、木炭自動車の原理を応用したものである。石油資源が極端に不足した第２次世界大戦の戦時体制下の時期に、国内にある既存のトラック、バスを改造して木炭自動車が製作され広く使われた。この自動車は、ガソリンの代わりに木炭から発生した水性ガスでエンジンを動かすもので、生出地区の木炭発電装置は、この動力ユニットに発電機を組み合わせて発電するものである。木炭発電の仕組みは、第２図に示すとおりであ



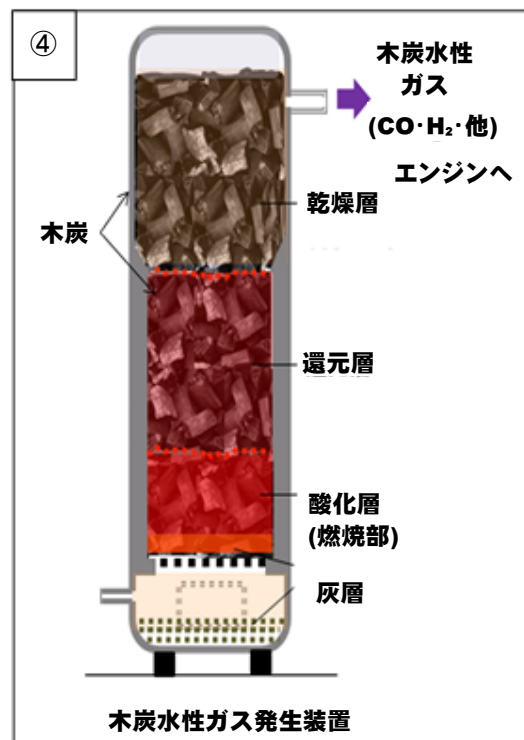
① 正面からみた木炭発電装置
(廃車となった消防車を再利用)



② 背後からみた木炭発電装置
荷台に水性ガス発生装置を積載



③ 車室の後部座席に発電機(4.8kW)を
積載, 動力は下部の動力伝達シャフトか
ら得ている。車両は, 4輪駆動車なので,
前輪用の駆動力で車を走らせることが可
能だが, 陸運局の許可が必要。



④ 木炭ガス発生装置

この装置には, 約20kg の木炭が入り, 約4時間の連続運転が可能。空気を遮断して木炭を燃焼させることで, 木炭水性ガス (CO と H₂) を発生させ, このガスをガソリンの代わりに自動車のエンジン (通常ガソリンエンジン) に送り, エンジン进行を動かし, この動力で発電機を回す。

第2図 木炭発電装置の仕組み

出所: 東京農業大学両角和夫教授作成資料を著者が改変。

る。発電装置自体はトラック型消防車の廃車体を再利用している (図中①)。これは, 木炭

発電では発電用エンジン、動力伝達装置などは自動車のものをそのまま利用可能であり、発電装置の開発・設計・製造コストの削減のために、廃車体を再利用したためである。この廃車体の後部荷台に木炭から水素を取り出す装置（木炭水性ガス発生装置）を搭載し（図中②）、ここで発生した水性ガスをトラックのガソリンエンジンに送り込み、エンジンを稼働させてその駆動力によって発電機を回転させる仕組みである（図中③）。

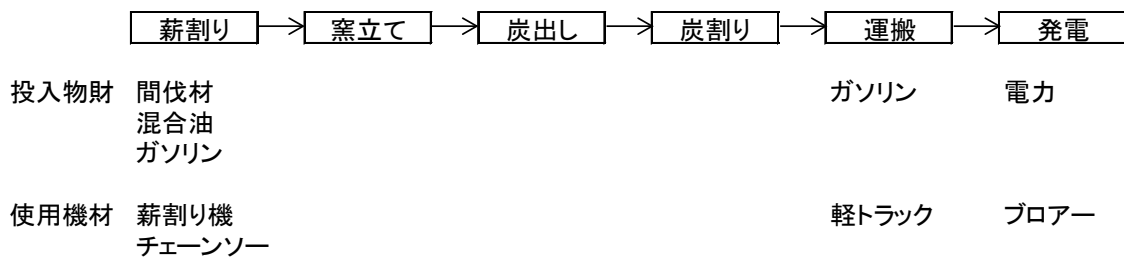
これまで生出地区では1台の木炭自動車（通称たんたん号）と3機の木炭発電装置が作成されており、木炭発電装置の前には木炭発電車の試作も行われている。3機の木炭発電装置のうち、最初に作成された1機は県外の自治体に売却されたが、残りの2機は生出地区に残されており、うち1機が第2図で示した現在使用中のもの、もう1機は2014年まで使用されていたものである。通常は使用しないたんたん号及び木炭発電装置2号機ともに未だ稼働可能である（本章末尾イラスト参照）。現行3機目の木炭発電装置の発電能力は4.8kWであり、水性ガスにより稼働させるガソリンエンジンは2Lである。この前の2機目は発電能力が7.5kWであり第4号機より出力が大きかったが、ベースとなる車両に軽トラックの廃車体を用いていたため、排気量0.66Lのエンジンでは発電のために高回転の維持が必要となり、大きな騒音が発生する、長時間の運転に耐えられないなどの欠点を有していた。現行型は、エンジンが2Lへと大型化し、発電能力を小さくしたため、エンジン回転数を低く抑えられ、長時間の運転に耐えられるものとなった。また、現行型は、エンジン出力に余裕があることから、広葉樹の木炭に比べてやや発熱量が低いスギなどの針葉樹の木炭でも運転が可能という特長を有する。発電した電力は一旦バッテリーに蓄電し、ここから電気器具等へ給電する方式を採用している。これにより、系統電力に接続しないで生出地区内で発電から消費までのサイクルを完結させることが可能となる。

木炭発電装置は炭の家の敷地内に設置されている。なお、生出地区では、木炭発電の他にも木製大型水車を利用した小水力発電施設も設置されており、ここで発電した電力は地域内の街灯に利用されている。これらの発電システムにより、非常時の電源確保にも備えることができる。

3. 発電コストの推計

（1）評価範囲とデータ

評価範囲は、生出地区の自治会組織である生出コミュニティ推進協議会が取り組むプロジェクト全体で、スギの間伐材から木炭を製造し、その木炭を用いて木炭発電装置を稼働させて発電するまでである。具体的な工程は第3図のとおりである。木炭の原料となる木材は地元のスギ間伐材を利用する。これを岩手窯と呼ばれる伝統的な小規模炭焼き窯で木炭にするが、間伐材は4mの長さなので、これを70cm程度にチェーンソーで切断し、さらに縦に4分割程度にして太さを細くする。この作業には薪割り機（燃料はガソリン）を用いて行う。薪割り機は森林組合からレンタルする。



第3図 木炭発電のフローと本分析におけるシステム境界

続いて、裁断した薪を炭焼き窯の中に詰め込む作業（窯立て）がある。この作業は人手で行う必要があり、手間と時間のかかる作業である。窯立てが終わると、窯の口を土と粘土で密封して火をつける。この後、薪が炭化し、木炭となるまでには2週間、窯が冷めて木炭を出せる温度に低下するのにさらに5日から1週間ほどの期間を要するが、火を付けた最初の半日程度は火加減の確認が必要だが、その後は放置してもほぼ問題ない。

木炭ができあがった後、窯から木炭を搬出する作業（炭出し）と木炭発電装置に投入できるように木炭を細かく破碎する作業（炭割り）が必要になる。現在は木炭の破碎に機械を用いているが、調査時点では手作業での破碎を行っていたため、ここでは手作業のデータをもとに費用を推計している。破碎した木炭は炭焼き窯からおよそ2km離れた木炭発電装置のある場所に輸送する。その後、木炭発電装置に木炭を投入し発電を行う。発電の際に投入するエネルギーは木炭燃焼時に送風するためのブロアーを動かす電力である。過去に木炭で発電した電力をバッテリーに保管しておいてブロアーに使用することができるので、今回の調査時には発電した電力量から差し引くかたちで、エネルギー消費としてカウントした。

推計には2014年に行った現地調査で収集したデータを用いた。具体的なデータ収集日と作業内容は第1表のとおりである。このうち、2014年6月16日の作業については、降雨による一時中断があったが、それ以外の日については、悪天候による作業中断はなかった。データ収集では、投入物財重量、容量などの他、作業者の作業時間、電気機器（ブロアー）の稼働時間、木炭発電装置の発電機稼働時間などのデータを収集した。

第1表 データ収集実施時期

日にち	作業内容
2014年6月16～17日	薪割り, 窯立て
2014年7月8～9日	炭出し, 炭割り
2014年12月5日	発電

（２）作業の詳細

１）薪割り、窯立て

ここでは、木炭製造から発電までの作業の内容について詳細に解説する。まず 2014 年 6 月 16 日の薪割りについては、作業者は生出地区の住民で炭焼きを行っている F 氏である。当日、調査員 2 名（著者を含む政策研究員）が生出地区に到着したのは 10:00 頃であるが、F 氏は既に薪割り作業を 9:00 頃から始めていたとのことであった。薪割り作業は 70cm 長に切断された丸太を割る作業で、作業には薪割り機を用いて行う（第 4 図）。エンジン油圧式の薪割り機の動作は緩慢で、1 回の薪割りに 30 秒ほどの時間を要する。丸い丸太を半分に割り、割れた丸太を薪割り機の上で 90 度回転させ、さらにもう一度割ることで 4 分割となる。したがって、1 本の丸太を割るのに最低薪割り機 2 回の動作が必要で、4 分割でも太すぎる場合はさらにもう一度割る必要がある。このため、薪割り機に丸太を載せたり下ろしたりする時間も含めると 1 本の丸太を薪割りのためには 1 分半から 2 分の時間を要することになり、非常に労働集約的な作業である。この調査日の作業は、午前中は F 氏 1 人だけで行っていたが、調査期間内に予定されていた窯立てまでの作業が終わらないことを懸念し、午後の作業からは 2 名の調査員のうち 1 名がデータ収集し、もう 1 人は F 氏の作業補助をすることにした。作業補助とは、具体的には割る丸太を薪割り機に置く作業及び割った薪を炭窯近くに並べる作業である。調査初日 6 月 16 日の作業は、予定していた薪割りの作業をすべて終え、16:32 に終了した。



いずれも著者撮影。

第 4 図 薪割りと窯立ての様子

翌 6 月 17 日は、朝 8:35 から作業を開始した。この日の作業は窯立てである。はじめにケヤキなどの小枝を炭窯内の床部分に敷き詰める。これは、薪の接地部分を少なくすることで木炭の焼ムラを少なくするためである。次に薪を炭窯の中に詰め込む（第 4 図）。炭窯の口は小さく炭窯内は屈まないといけなほど天井が低いので、作業性は悪い上、薪もそれなりの重量があり重労働である。この日は、F 氏が炭窯内に入り、もう 1 人が作業補助として炭窯の外から薪を送り込む作業分担で行った。しかし、途中で割った薪が足りなく

なり、前日行った薪割り作業を再度行わなければならなくなった。そのため、薪割りと窯立ての作業を交互に行うこととなった。一連の作業は炭窯が満杯になるまで行われ⁽⁴⁾、午前中だけで作業は無事終了した。昼休みを挟んだ後、午後からは炭窯の口をふさぐ作業だけを行い、2日目の作業は13:37に終了した。作業により炭窯に投入した木材は1.21m³となった。この後、炭窯に火を付けることになるが、最初の8時間程度は火力の管理が必要となるため、午後から火を付けると、火の管理を夜まで行わなければならない。そのため、火の管理を日中だけにしよう翌日6月18日の早朝から火を付けることになった。

2) 炭出し、炭割り

火を付けた炭窯では2週間ほどで木炭ができあがり、その後冷ますのに5日から1週間ほどの時間を要する。そのため、第1回調査から約3週間後の2014年7月8日から9日にかけて生出地区での2回目の現地調査を行った。第2回調査の目的は炭窯からできあがった木炭を搬出する作業（炭出し）と木炭発電装置に投入できるよう数cm角に細かく破碎する作業（炭割り）である。

第2回調査の1日目、7月8日は10:18から作業を開始した。まず炭窯の口を開け、中から炭を取り出す炭出しである（第5図）。炭窯から出した炭は運搬しやすいよう肥料用の麻袋に詰め込み、重量を計測して袋ごとに番号を振った。作業はF氏と調査員の2名が共同で行った。具体的にはF氏が炭窯の中から木炭を出し、調査員が袋詰めするという形である。計測の結果、今回できた木炭は麻袋の数で29袋、総量245.9kg（風袋除く）となった。木炭の搬出後、灰の処理や下敷きに使ったケヤキの炭なども取り出し、炭窯内をきれいにした上で炭出し作業は12:40に終了した。

昼休みを挟んで午後は炭割りの作業に従事した。炭割りはマイナスドライバーとハンマーを用いて、木炭を数cm角にまで細かく裁断する作業である（第5図）。木炭発電装置の窯に隙間なく詰め込むにはなるべく細かく砕いた方が良いが、あまり細かすぎると空気の通りが悪くなり、燃焼効率が低下するため、木炭発電装置の運転を担当する地元住民K氏の経験的感覚で数cm角が最適という結論を得ている。木炭を手作業で細かく破碎する作業はかなりの重労働であり、通常は地元住民の作業ではあるが、今回は我々のデータ収集のために木炭発電装置を稼働させるということもあり、調査員2名が交代で炭割り作業を行った。木炭は1袋に8～10kg程度入っているが、これをすべて炭割りするのに40～50分の時間を要し、さらに炭割り時に発生する粉炭が舞い上がり、一連の発電作業の中でこの炭割りが最も重労働かつ時間のかかる作業、そして最も劣悪な環境下での作業である。割り終わった木炭はふるいにかけて細かな粉炭を除去した上で再び袋に入れた。調査1日目は17:19に終了し、2日目も8:54から同様の炭割りを継続した。製造した木炭のうち、1回の発電に必要な分のみを炭割りしたため、2日間合計で、製造した木炭の21.4%にあたる52.50kgの炭を割り、粉炭などを除いた実際に発電に使える細かな木炭は合計で47.92kgとなった。この結果、木炭の歩留まり率は91.3%となり、約9%が粉炭など発電には使えない分となった。そして、炭割りと同時並行で10:01から製造した木炭（割った分

と割っていない分両方)をこれまで作業をしていたF氏所有の炭窯から2.2km離れた木炭発電装置の設置場所に運搬する作業を行った。作業はF氏所有の軽トラックに割った木炭を袋ごと積載し、木炭発電装置隣接の物置に格納する作業である。炭窯ー木炭発電装置間を2往復し、すべての作業は11:52に終了した。



いずれも著者撮影。

第5図 できあがった木炭と炭割り作業の様子

3) 木炭発電

木炭からの発電試験は、3機目の木炭発電装置の落成を待って行ったため、炭割り作業から5か月後の2014年12月5日に行われた。発電作業の担当は地元住人であるK氏である。作業は8:51から始まり、まずは前回の発電の時から木炭発電装置内に残っていた灰や残り炭のかき出し、物置から木炭の運び出し、木炭発電装置の点検などの準備作業が行われた。まず発電装置の窯に破碎した木炭を投入し火を付ける(第6図)。火を大きくするためにブローアで空気を送り込む。火力が安定すると同時に木炭に含まれていた水分が蒸発し始め、初めは水蒸気を含んだ白い煙が立ち上がる。木炭が乾燥してくると煙は無色に近くなり、水性ガスが発生し始める。窯の上部の蓋を開けた状態でマッチで火を近づけ炎が上がると水性ガスが十分に発生していることになるので、蓋を閉めて密閉状態とし、水性ガスをエンジンへと供給する。水性ガスが十分にエンジンに供給された状態でセルモーターを回せばエンジンがかかる。エンジンが暖まっていないかけ始めのときはエンジンの回転が安定しないので、安定するまでエンジンを暖め、回転が安定した頃にギア操作をしてエンジンと発電機を直結する(第6図)⁽⁵⁾。今回のデータ収集時は、エンジンと発電機を直結したのは10:51で、準備から実際の発電までの所要時間はちょうど2時間となった。この後、発電は1時間11分継続し⁽⁶⁾、12:02の時点で水性ガスの供給量が少なくなりエンジン回転が不安定化したため、発電機への接続を解除して発電を停止し、発電作業並びにデータ収集も終了した。なお、当日は計測機器が揃わなかったため、発電量のデータを取得できなかった。そのため、発電量は発電機の定格出力と稼働時間から推計することにした。

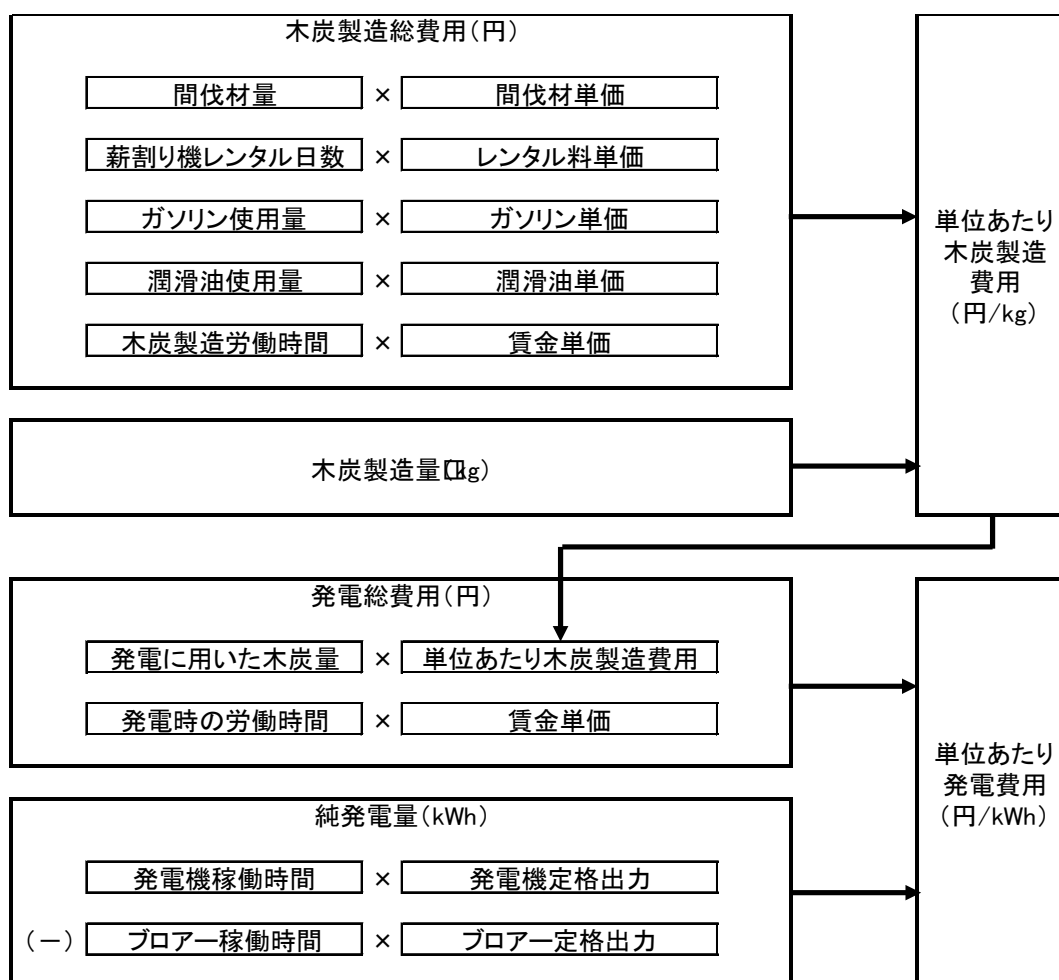


木炭発電装置の窯に木炭を投入

車内に設置した発電機

いずれも著者撮影。

第6図 木炭発電装置による発電風景



第7図 発電費用の推計フロー

(3) 推計方法

コスト計算の基本的なやり方は、第7図に示すとおり、現地調査でデータ収集した物財・エネルギー投入量、労働時間にそれぞれ単価を乗じることで計算されるが、製造した木炭のすべてが今回の発電に用いられたわけではないので、まずは木炭1kgあたりの製造費用を計算し、この金額に発電で使用した木炭量を乗じて発電のための木炭費用を推計した。さらに、木炭費用に発電に伴う人件費を加えて発電総費用を算出し、これを発電時の消費電力量を除いた純発電量で除することで、単位あたり発電費用を推計した(第7図)。

推計では、第2表の投入物・エネルギー・賃金単価を用いた。まず木炭の原料となるスギ間伐材は陸前高田森林組合から地元で発生した間伐材を2000円/m³で購入している。次に間伐材の切断に用いるチェーンソーの燃料としては混合油を用いるが、この混合油はガソリン:潤滑油=50:1で混合したものである。ガソリンの単価は石油情報センター(online)より2013年6月17日週から2014年6月16日週までの52週分の岩手県レギュラーガソリン小売価格を平均した159.3円/Lを用いた。潤滑油の価格は当時の潤滑油の市販価格を参考に500円/Lとした。また、賃金は2014年当時の岩手県最低賃金665円/時を適用した。この他、投入エネルギーとしては発電時のブローアに使用する電力があるが、これは発電量からブローアでの電力消費量を差し引き純発電量を推計することで費用として考慮した。

第2表 推計に使用した物財、エネルギー、賃金単価

	単価		データ出所
	数値	単位	
間伐材	2000	円/m ³	森林組合からの購入単価
薪割り機 レンタル料	1000	円/日	森林組合からのレンタル料
ガソリン	159.3	円/L	石油情報センターより、2013年6月17日週から2014年6月16日週の岩手県内レギュラーガソリン価格平均値
潤滑油	500	円/L	当時の実売価格から判断し設定
賃金	665	円/時間	2014年当時の岩手県最低賃金
電力	--	円/kWh	発電量から消費量を差し引いて計算

注．潤滑油は混合油としてガソリン50：潤滑油1で混合してチェーンソーに使用している。

4. 分析結果

(1) 木炭製造にかかる作業時間

現地における合計3回5日間のデータ収集で得たデータは、主に作業時間に関するデータであった。第3表には2014年6月、7月に行った木炭製造に関するデータ収集における調査日ごとの作業時間、休憩時間、昼休み時間が示されている。1日の作業開始から終了

までの全体の拘束時間に占める作業時間の割合は、4日間の調査日の平均で60%、残りの約40%が休憩または昼休みの時間となった。特に、薪割りと窯立てを行った第1回作業では、7時間32分の拘束時間のうち、実際に薪割り作業で労働したのは3時間46分と全体のちょうど50%となった。我々ホワイトカラーの労働時間から考えると、休憩時間がとても多く感じるが、これは薪割りの作業自体が肉体労働であり、休憩時間を挟みながらの作業が必要であることが影響している。また、昼休みを2時間ほど取っている理由は、生出集落内に食堂などがなく、調査員が昼食を取るために近隣の食堂までの往復に40分ほどの時間を要するためであった。なお、薪割り・窯立て2日目は集落内の商店で昼食を購入して済ませたため、昼休み時間が短くなっている。

第3表 調査日ごとの作業時間、休憩時間、昼休み時間

(時間:分)

	薪割り・ 窯立て 1日目	薪割り・ 窯立て 2日目	炭出し・ 炭割り 1日目	炭出し・ 炭割り 2日目	合計時間	比率
	6月16日	6月17日	7月8日	7月9日		
労働作業	3:46	2:56	3:33	3:28	13:43	59%
休憩	1:41	0:57	1:23	0:10	4:11	18%
昼休み	2:05	1:09	2:05	0:00	5:19	23%
合計(拘束時間)	7:32	5:02	7:01	3:38	23:13	100%

注. 炭出し・炭割り2日目は同時並行作業があるので、のべ労働時間である。

第4表は作業項目ごとの時間である。これを見ると、木炭製造の作業全体のうち、薪割りと窯立て、炭割りで多くの時間を費やしていることがわかり、これらの作業が労働集約的であることがわかる。特に炭割りについては、第4表に掲げられている数値は炭窯で1回に製造した木炭の21%分のみであり、もし仮に製造したすべての木炭を破碎しようとした場合には16時間以上の作業時間が必要となる。したがって、炭割りの作業をいかに効率化し、作業時間を削減するかが課題と言えよう。

第4表 木炭製造における各作業時間

(時間:分)

	薪割り・ 窯立て 1日目	薪割り・ 窯立て 2日目	炭出し・ 炭割り 1日目	炭出し・ 炭割り 2日目	合計時間	比率
薪割り	3:46	0:45			4:31	33%
窯立て		1:54			1:54	14%
窯口塞ぎ		0:17			0:17	2%
炭出し			0:58		0:58	7%
炭割り			2:07	2:23	4:30	33%
移動				0:59	0:59	7%
準備その他			0:28	0:06	0:34	4%
	3:46	2:56	3:33	3:28	13:43	100%

注. 炭割りを行ったのは木炭全体の21%分のみであり、この分の労働時間を計上している。

（２）木炭製造の費用

木炭製造における投入物・使用機材とその使用燃料種、使用量は第５表に示したとおりである。木炭の原料となる間伐材以外はすべて燃料であり、それ以外の投入物は必要ない。薪割り機と木炭の輸送に使用した軽トラックは燃料がガソリンである。軽トラックは炭窯から木炭発電装置までの片道 2.2km を 2 往復したので、総走行距離 8.8km、軽トラックの燃費を 10km/L として燃料使用量を計算した。

第５表 木炭製造に伴う投入物・使用機材とその投入量

投入物・ 使用機材	使用燃料	投入量 使用量	単位	備考
間伐材	—	1.213	m ³	樹種はスギ
薪割り機	ガソリン	4	L	機械は森林組合からレンタル
チェーンソー	混合油	0.9	L	ガソリン50:潤滑油1の割合
軽トラック	ガソリン	0.88	L	炭窯から木炭発電装置までの距離片道2.2kmを2往復、 軽トラックの燃費を10km/Lで計算

第５表の投入量・使用量および第４表の労働時間に第２表の各単価を乗じることで、一窯分の木炭製造にかかる費用の総額が計算できる。なお、第４表の労働時間のうち、炭割り作業の時間は製造された木炭の 21%分であるため、ここからすべての木炭の炭割りする時間を推計して、これを労働時間に加えた。木炭 1 kg を製造するのに必要な費用は第６表のとおりであり、木炭 1 kg の製造費用は炭割りまで含めて 144.4 円となった。第６表の費用の内訳を見ると、人件費が費用の大部分を占めていることがわかる。それ以外の費用は間伐材購入費と機材（薪割り機）レンタル料が大きく、エネルギー投入にかかる費用はわずかである。

一般的な岩手木炭は 1 kg あたり 300 から 500 円程度で市販されているが、これはナラなどの広葉樹を使用した木炭であり、その場合は材料となる原木の調達費用がより高くなるはずである。生出コミュニティ推進協議会が東京農業大学などの研究実験などのため、試験実施主体へ木炭を販売する際には 1 kg あたり 150 円で販売しており、この価格はほぼ木炭製造の実費となっていることがわかる。また、両角（2010）によると、岩手県における木炭の生産者価格は岩手県の県北地域で低く、陸前高田市などの県南地域で高い傾向にある。遠野・陸前高田地域では、140.0～153.3 円/kg の価格となっており、今回推計された費用とほぼ一致する（両角，2010，p.11 表－４）。ただし、両角（2010）の値は広葉樹木炭ものであり、原木の調達価格が高くなる一方、本研究での推計費用に含まれる木炭の破碎費用が両角（2010）の値には含まれていないため、結果として数値がたまたま一致したものと考えられる。

第6表 木炭 1kg あたりの製造費用

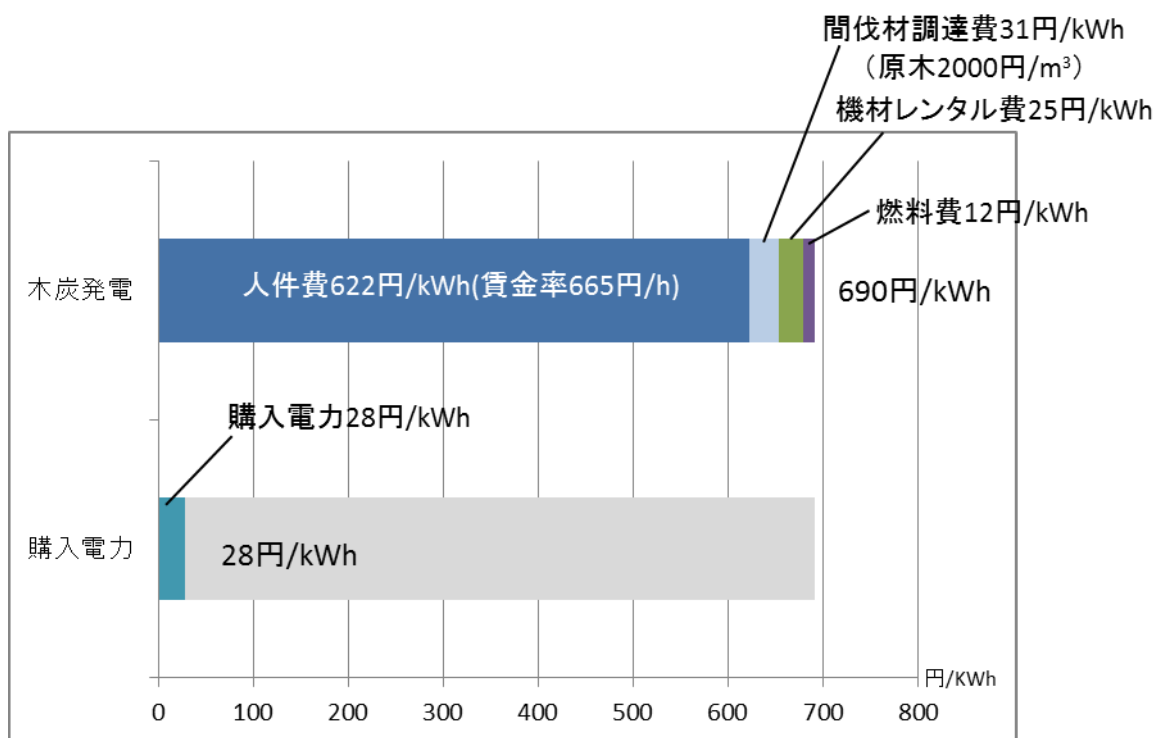
	(円/kg)	
	金額	構成比
人件費	122.7	84.9%
間伐材購入費	9.9	6.8%
燃料費	3.8	2.6%
機材レンタル料	8.1	5.6%
合計	144.4	100.0%

(3) 木炭発電の費用

木炭発電の費用については、上記で求めた木炭製造の費用に発電に使用した木炭の量を乗じ、さらに労働時間と賃金単価から求めた発電に要する人件費を加算することで推計した。調査日の稼働では、木炭発電に 17.45kg の木炭を使用したことから、木炭の調達費用は 2521 円となった。また、発電作業に伴う労働時間はちょうど2時間となり、これに当時の岩手県の最低賃金 665 円/時間 を乗じ、人件費は 1330 円となった。よって、発電にかかる総費用は 3851 円となった。一方、今回、発電された電力は、発電機の稼働時間 1 時間 11 分に定格出力 4.8kW を乗じることで計算され、5.68kWh となった。よって、発電にかかる総費用 3851 円を発電量 5.68kWh で除し、1kWh あたりの発電費用は 690 円となった(第8図)。

この金額は、東北電力からの購入電力 28 円/kWh よりも大幅に高い金額である。このように、木炭発電を費用面だけで捉えると、購入電力を利用するよりも大幅な費用増となってしまう。しかし、生出地区における木炭発電の導入理由は、電力費用の削減が目的ではない。前述のとおり、生出地区で木炭発電を実施する理由は、間伐材の需要先の確保、非常時の電力確保、伝統的炭焼き技術の継承などであり、決して安価な電力の確保が目的ではない。これらの効果を総合的に勘案した上で費用と効果の比較が必要であると考えられる。生出コミュニティ推進協議会においても、木炭発電の費用削減の方策を検討するとともに、木炭発電で得た電力でグリーン電力認証を得て、都市部の企業に販売するという取組を行っている。これにより、木炭発電の費用削減とともに電力による追加的収入を得ている状況である。

とは言え、購入電力で 28 円/kWh に対し、木炭発電では 690 円/kWh というのは、その差のすべてを費用削減やグリーン電力販売で補うことはできず、やはりあまりにも大きな差である。仮にボランティアを動員して人件費をゼロにしたとしても、物財費・エネルギー費だけで 68 円/kWh となり、これでも系統電力にはかなわないのである。木炭発電の費用構造を見ると、人件費が 90% を占め、木炭発電に多くの労力がかかっていることが窺える。この要因は 2 つ考えられる。1 つは、木炭製造及び発電自体が自動化・機械化されたものではないこと、もう 1 つは、人件費の積算に際し、岩手県の最低賃金である 665 円/時間を用いていることである。これらの 2 つ論点については、次節で詳しく議論する。



第 8 図 木炭発電の費用（1 kWh あたり）

5. 作業工程の機械化による費用削減効果と賃金率の設定水準

（1）木炭破碎機の導入による費用削減効果の推計

本節では、まず一連の発電作業の自動化、機械化について考察する。前節の費用推計では、人件費が総費用の 90% を占め、一連の作業において、労働投入量の削減をいかに進めるかが課題として示された。特に炭割りについては、前述のとおり、これまでの手作業での炭割りに必要な作業時間が炭窯一窯分の木炭を割るのに 16 時間以上も必要となる。木炭発電費用の削減のためには、炭割りの効率化が必要であることは間違いない。この点は地元でも認識されており、生出コミュニティ推進協議会では、製造した木炭の破碎作業を省力化するため、2015 年に木炭破碎機を導入した。本節では、この木炭破碎機の費用面における導入効果を検証し、木炭発電における機械化による費用削減について議論する。

木炭破碎機は、突起の付いた 2 つの回転ドラムで炭を挟み込みながら砕く装置で、上部の投入口から木炭を投入すると、ドラムの間を通り抜ける間に破碎され、下にある炭受け箱に落ちる仕組みである（第 9 図）。木炭破碎機は陸前高田市内の鉄工所に依頼して作成された。木炭破碎機の動力はモーターであり、モーターの定格出力 200W、電源は家庭用の 100V である。



左：菅野賀一氏提供，右：政策研研究員撮影。

第9図 木炭破碎機の仕組みと実際の使用風景

生出地区において、木炭破碎装置を用いた木炭の破碎作業が 2015 年 3 月 26 日に行われ、我々もその日にデータ収集を行った。当日の作業では、スギの木炭を破碎したが、モーターの出力が小さすぎる、もしくはプーリーの直径比が大きすぎるという理由で、回転が速い一方で破碎力が小さく、時折木炭が破碎されずに詰まりドラムの回転が停止する事態も発生した⁷⁾。破碎された木炭は粉炭とともに機械下部の受け箱に溜まるので、ここから木炭を取り出し、ふるいにかけて上で大きさが一定以上のものを袋詰めする作業を行った。

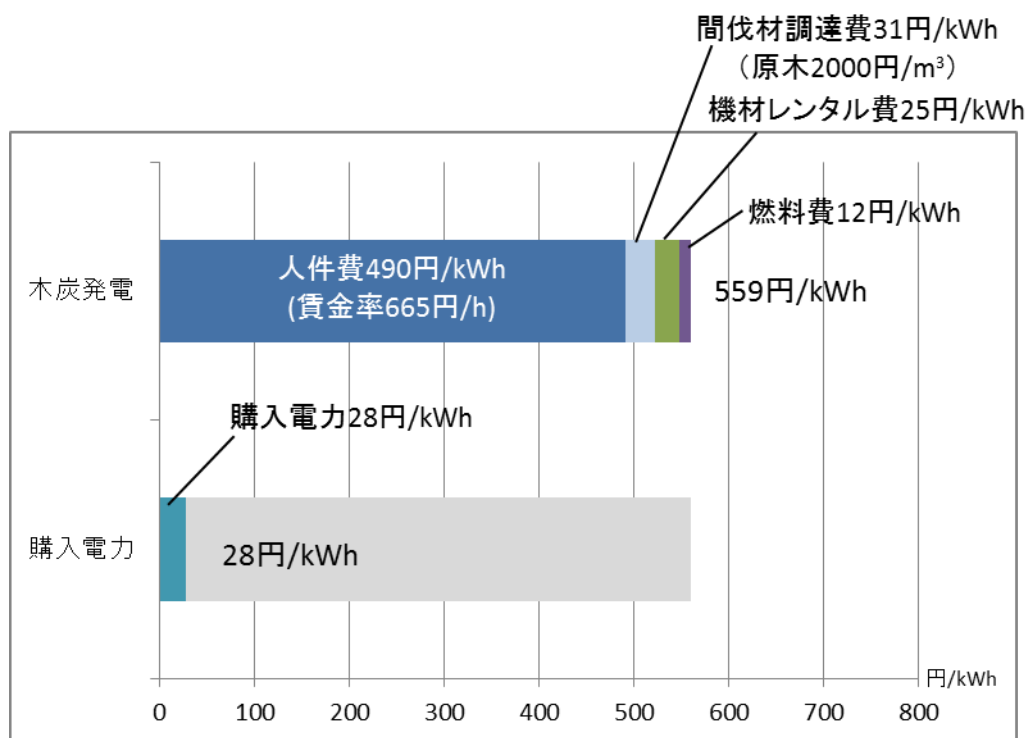
今回のデータ収集では、20.55kg の木炭を破碎するのに 22 分、ふるいがけ、袋詰めに 5 分の合計 27 分で作業が完了した。1 kg の破碎に必要な時間はわずか 1 分 19 秒となり、手作業で炭割り作業をしていた頃は、1 kg の炭割りに 5 分 9 秒ほどかかっていたことを考えると、木炭破碎機は作業時間を 1/5 近くにすることができ、省力化効果は大きいと考えられる。

木炭破碎機を使用した際の木炭発電の費用については、前述のデータのうち、炭割りにかかる作業時間を、木炭破碎機を導入した場合の作業時間（22 分）に置き換えることで推計した。また、木炭破碎機で消費した電力は、ブロアーの消費電力と同様、発電量から控除した。それ以外の前提条件・使用データについては一切変更していない。

推計の結果、木炭破碎機を使用した場合には、木炭 1 kg あたりの製造費用が 104.4 円となり、これまでの 144 円から 28%削減できた（第 7 表）。また、木炭発電の費用も 559 円/kWh となり、これまでの 690 円/kWh から比べると 19%の削減となった（第 10 図）。ただし、この場合でも人件費の割合は 88%と依然高い状況である。

第 7 表 木炭破碎機使用の木炭製造費用

	円/kg	構成比
人件費	82.7	79.2%
間伐材購入費	9.9	9.4%
燃料費	3.8	3.6%
機材レンタル料	8.1	7.8%
合計	104.4	100.0%



第 10 図 木炭破砕機を使用した際の木炭発電の費用

(2) 人件費削減と賃金率の設定水準

前項では、木炭破砕機の導入により、木炭発電の費用を一定程度削減できることが明らかになった。このような作業工程の一部機械化は、費用削減だけでなく、木炭発電の工程の過度な労働力依存を解消することにもつながるが、費用に占める人件費の割合が高いため、機械化による作業時間の短縮は費用削減に大きな効果を持つ。機械化だけでなくノウハウの蓄積による作業効率化も同様の効果を持つであろう。

一方で、作業時間の削減は、作業担当者が作業労働により得られる賃金獲得機会を失うことにもつながるため、特に地域住民の所得機会を確保するという観点からは、機械化による労働削減は慎重に行うべきという意見もある。確かに、これまでも農村地域における労働機会は大幅に減少し、農村住民が都市地域に移住したり、若い住民が就職先を求めて都会へ流出したりする事例は数多く見られ、生出地区も例外ではない。地域活性化、定住人口の増加には働き口の確保が重要であるという点は多くの自治体で認識されており、これを目指す動きも各地で実施されている。そのため、農村における過度な労働投入の削減は地域活性化や定住人口の確保の流れに逆行する可能性もあり、生出地区における木炭発電の事例においても、省力化とコスト削減の間のバランスをうまく確保することが必要となるだろう。

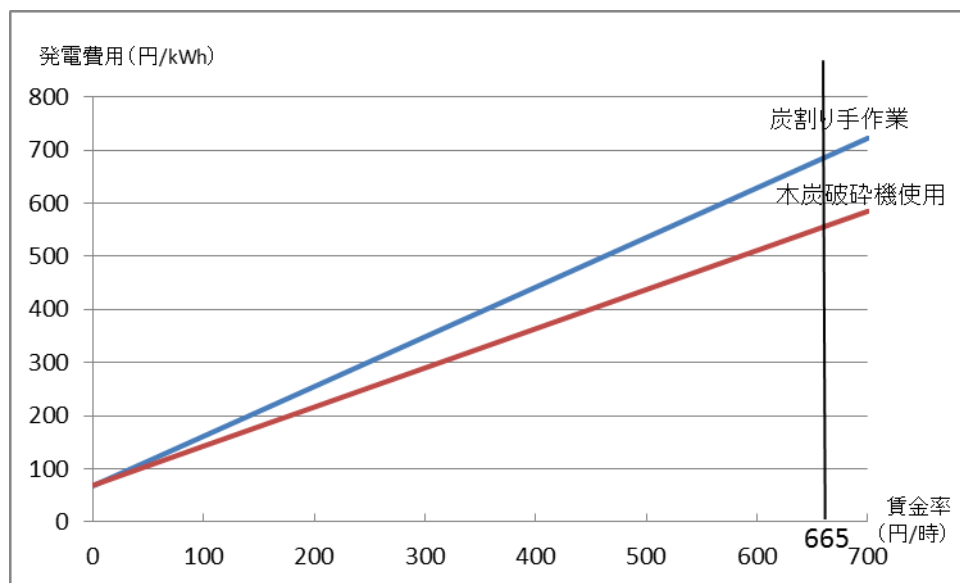
では、特に木炭発電の事例において労働者の賃金水準をどのように設定すべきであろうか。この点に関しての論点は2つある。1つは、ボランティア的な労働の機会費用を費用

として考慮すべきかという点、すなわち、賃金率を0とすべきか、0以外の一定の水準に設定すべきかという点である。もう1つは、もし一定の水準に設定すべきとなった場合、各県で定められている最低賃金が適切な水準であるかという点である。

第1の論点については、取組の継続のためには木炭製造においても最低限一定の賃金水準の人件費を費用として計上しておくべきという考え方がある。一方で、木炭製造・発電では、作業者の賃金を費用とする必要はないという考え方もある。すなわち、木炭発電に際しては、職業としての専属スタッフを配置しているわけではなく、地元の作業従事者は実際にこの作業から所得は得ておらず、木炭発電を所得獲得機会と見なすことはできないという意見である。実際、生出地区での木炭発電に携わる住民は、すべて定年退職した人であり、発電作業はなかば地元住民の趣味的、ボランティア的なものであるとも言える。この考え方に基づいて考えると、そもそも木炭発電の作業は、木炭製造も含めてボランティアとして行われているので、費用として人件費を計上することは必要とせず、木炭発電の費用としては、間伐材調達費、機材レンタル費、燃料代のみを計上すればよいということになる。どちらの考え方も一定の合理性を有し、木炭発電に要する労働力をどのように見るかによって変わってくる。そのため、どちらが正しいと一義的に結論を導くことは困難である。

この点についての著者の見解としては、ボランティア労働という位置づけにするかしないかについては、生出地区の住民の中で判断すべきであり、その結果を踏まえて本分析での取扱いを決めることが望ましいと考えている。

次に、第2の論点として、費用推計に用いた賃金率の設定水準が適正であるかという点について議論する。第11図は、賃金率の設定水準を0円/時から700円/時まで変化させたときの発電費用の推移を表したものである。この図からわかるように、発電費用は賃金率の設定水準によって大きく異なることがわかる。一般用途向けの木炭製造では、木炭を販売しても生産者の人件費が賄えないほどの低価格でしか売れないと言われており、木炭製造自体の採算性は極めて低い。実際に、生出で木炭製造を行うF氏も、木炭製造で得られた純利益を労働時間で除すると、賃金率は100円/時くらいと言う。これに対して、今回の試算では労働時間に665円/時の賃金率を乗じて人件費を計上しているため、人件費の割合が非常に高くなっているのである。上述のような木炭製造における状況下で、木炭発電のための木炭製造の費用推計において、賃金率を最低賃金の水準に設定するのは、一般的な木炭製造の費用構造を反映しているとは言えず、若干違和感が残る。したがって、最低賃金を適用した今回の推計では費用の過大評価の可能性が残されているのである。しかしながら、最低賃金でなければ、どの賃金水準が最適かという問いに対しては、残念ながら未だ結論が得られていない。今後、一般用途の木炭製造の費用などのデータを収集しつつ、最適な賃金水準を見いだす作業が必要になろう。



第 11 図 賃金率の設定水準と発電費用の関係

6. おわりに

本章では、岩手県陸前高田市生出地区における木炭からの発電を事例として取り上げ、まず木炭からの発電に際しての発電コストを算出し、経済面での課題を抽出した。これについては、木炭発電の一連の工程が労働集約的であるため、人件費が総費用の 90%を占めており、人件費をいかに削減するかが課題であることを明らかにした。次に、費用削減のための方策として生出地区で導入された木炭破砕機の費用削減効果を明らかにした。その結果、木炭 1 kg あたりの製造費用を 28%、木炭発電の費用を 19%削減できることが示された。最後に、人件費推計の際の賃金率設定についての論点として、ボランティア労働の取扱いを挙げ、木炭発電の一連の作業をボランティア労働見なすかどうかは、事業主体である生出コミュニティ推進協議会の中で検討すべきと結論づけた。また、最低賃金が適切な水準であるかという点を挙げ、これについては、未だ結論に至らないものの、一般的な木炭製造の費用構造を考えても、最低賃金を適用することは費用の過大評価に繋がる可能性を指摘した。

経済性の観点で見た場合、生出地区における木炭発電の取組は決して経済性が良いものではなく、これだけを見れば、事業の意義は見当たらない。しかしながら、生出地区における木炭発電は単に経済的な利益を確保することを目的としていない。木炭発電を行う理由は、地域内の間伐の促進、自給エネルギー源の確保、伝統工業である木炭製造の維持などである。木炭発電の導入を契機に、生出地区内では、山林所有者自らが間伐作業を行ういわゆる自伐林業を目指した研修が 2014 年 3 月に実施され、間伐促進に向けた動きが進み始めた。また前述のとおり、東日本大震災当時、生出地区は数日間の停電に見舞われた。木炭発電により日頃からバッテリーに電気をためておくことで、停電時も一定時間の電気

機器の使用が可能となった。さらに、現在主に木炭発電用の木炭を製造する F 氏はこれまで木炭製造を行っていなかったが、木炭発電の取組もあり、定年退職を機に 2012 年に新たに炭窯を設置し、木炭製造に取り組み始めた。したがって、木炭発電が木炭製造という伝統工業の継承にも貢献していることは間違いない。

このように木炭発電は様々な側面でその導入効果が見られる。しかしながら、これらの効果は直接的に貨幣評価できるものではなく、経済収支の中には表れないものである。したがって、事業の良し悪しを検討するには、経済性だけでなくこれらの諸効果を含めて考える必要がある。とはいえ、いくら直接的に貨幣評価できない効果があるとはいえ、あまりにも経済性が悪い事業では、やはり地域住民の合意が得られない可能性が高く⁽⁸⁾、事業の経済性はやはり精査しておく必要があると考える。その上で、事業の実施に関する住民の合意を得るためには、費用を削減する努力を怠らないことが大切であろう。生出地区においても、本稿で紹介した木炭破碎機の導入の他、大型炭窯の導入による木炭製造の効率化なども検討しており、木炭製造及び木炭発電の費用をさらに削減することが期待されている。

最後に、本研究における費用推計の課題について 2 点触れておく。第 1 に減価償却費を計上していないことである。木炭からの発電の取組は生出地区独自のものであり、国内においても類似事例は見当たらない。そのため、機械の耐用年数や会計上で定められたものとは大きく異なる可能性があり、本研究では減価償却費を見積もることは行わなかった。そのため、費用は過小評価になっている可能性がある。また、第 2 に前述のとおり、生出地区における木炭発電では、木炭製造から発電までの一連の作業で手作業が中心となる。発電に関しても、スイッチを押せばすぐに発電が開始されるものではなく、木炭発電装置の操作者のノウハウ、勘、経験が発電量や投入木炭の多少といった発電の成否、そして発電費用を大きく左右している。そのため、ノウハウを蓄積した特定の人しか発電作業を効率的に行うことができないのが現状である。すなわち、このような状況は今回試算した発電費用も、発電作業を担当する人によっては大きく値がずれ込む可能性が残されているのである。本稿で紹介した費用推計の結果についても、かような要因によって大きく変化する可能性は否定できない点に留意されたい。

謝辞

本稿の分析を行うにあたり、生出コミュニティ推進協議会菅野征一郎氏、菅野房雄氏、佐藤耕吉氏、菅野賀一氏には、データ提供やヒアリング調査、データ収集作業に快くご協力いただいた。これらの方々の協力なしでは本稿の分析はできなかった。記して感謝申し上げます。

注

(1) 本節の本文の一部は、東京農業大学両角和夫教授が作成した資料の記述を、ご本人の承諾

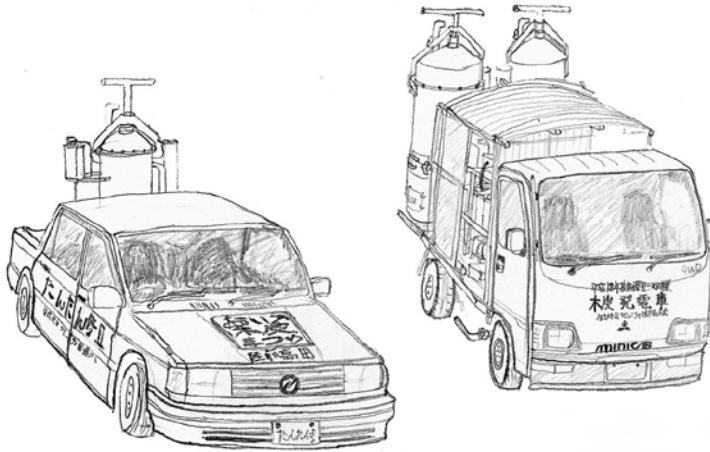
を得た上で著者が改変している。資料の記述の利用・改変のお願いにご快諾いただいた両角教授には記して感謝申し上げます。なお、本文中の誤りはすべて著者の責任に帰する。

- (2) 岩手県及び陸前高田市における林業の概況については、両角（2015）を参照されたい。
- (3) クリンカーとは、燃焼時の高温によって、燃料に含まれる不純物に変質してできた半溶解状の物質を指す。焼却灰と同様、クリンカーが溜まると、燃焼効率の低下や機器の劣化を招くことがある。
- (4) 木炭は空気のない状態で木材を燃焼させて蒸し焼き状態にしなければならないため、薪を炭窯一杯に詰め込んで空気をなるべく少なくする必要がある。窯の高さが極端に低いのも空気の残りを少なくするためである。
- (5) 前述のとおり、木炭発電装置には自動車の廃車体を利用しているので、マニュアル変速機のギアを投入すると、車体のドライブシャフトを介してエンジンの回転が発電機に伝達する仕組みになっている。
- (6) 木炭発電装置は約 20kg の木炭で 4 時間程度の稼働を想定しているが、これは広葉樹木炭の場合である。スギなど針葉樹から製造した木炭では広葉樹に比べて密度が低いため、早く燃え尽きてしまい、水性ガスの発生が持続しない。
- (7) このトラブルがその後も頻発したため、後日モーターを出力の高いものに交換した。その結果、トラブルはおおむね解消された。
- (8) 木炭発電事業については、毎年生出コミュニティ推進協議会の総会において庶務報告として地域住民にその活動報告を行っており、現状では一定の住民合意は得られているものと考えられる。

〔引用文献〕

- 石田康・坂内正明・宮崎隆彦・中沢真一・横山隆一（2011）「バイオマス利用エネルギー供給システムの経済性・環境性評価―産業系事業所における木質バイオマスコージェネレーション導入の効果分析―」『日本エネルギー学会誌』 90, pp.547-553。
- 石油情報センター（online）「価格情報」<https://oil-info.ieej.or.jp/price/price.html>（2016 年 4 月 7 日アクセス）。
- 中村良平・柴田浩喜（2013）「木質バイオマスの地域循環による経済活性化効果―岡山県真庭市のバイオマスエネルギー利用―」『岡山大学経済学会雑誌』 45(1), pp.19-31。
- 両角和夫（2015）「農山村地域における森林組合の事業展開と林業の課題―岩手県陸前高田市を事例にして―」『日本農業研究所研究報告 農業研究』 28, pp.189-224。
- 両角和夫（2010）『循環流域経済圏の構想と地域資源利用の総合的マネジメントに関する研究 平成 21 年度中間報告』、平成 20～22 年度 科学研究費補助金（基盤(B)）課題番号 20380123「地域環境ビジネスの創出に必要な社会システムの構築主体の形成に関する研究」。
- 八木賢治郎・中田俊彦（2007）「資源分布と技術特性を考慮した森林バイオマス小規模ガス化

システムの経済性評価」『日本エネルギー学会誌』86, pp.109-118。



木炭自動車(左)と木炭発電装置2号機(右)

第2章 木質エネルギー利用による森林管理及び地域経済への影響評価

—岩手県西和賀町における木質チップボイラー導入を事例に—

国井 大輔
澤内 大輔（北海道大学）
林 岳

1. はじめに

日本では、戦後の資材確保のために、全国各地にスギ、ヒノキ、カラマツ等の針葉樹の植林が行われ、現在では国土の66%を占める森林のうちの41%が人工林であり、さらにそのうちの78%が針葉樹林となっている。けれども、価格の安い輸入材の利用が広がり国産木材の利用が減少するに伴い、林業がビジネスとして成り立たなくなり、針葉樹人工林への管理が行われなくなった⁽¹⁾。針葉樹人工林において管理が行われなくなると、樹冠が覆われ林床に光が届かなくなるために下草が生えず、林床の裸地化による土壌流出や風倒木被害等が起きやすい森林になる、いわゆる森林荒廃が懸念される。また、たとえ間伐が実施されても、間伐により伐採された木材は、品質が低いために需要が少なく、林地残材や未利用間伐材として林内に放置されることが多いために、品質の低い間伐材の利用先確保が大きな課題となっている。以上のことから、森林の管理を適正に行うためには、間伐を行うとともに、間伐材の搬出および利用先確保が重要となる。

近年、間伐材の利用先として、木質エネルギー利用が注目されている。木質エネルギーを利用するメリットとしては、二酸化炭素の排出抑制、エネルギー源の多様化によるリスク分散効果、森林の適切な整備への寄与、産業や雇用創出を通じた山村地域の活性化の効果などが期待されている（林野庁，online a）。特に、再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)の導入に伴いバイオマス全体の利用が増加傾向にあるなかでも、間伐材由来の木質バイオマスにより発電した電力に高い価格が設定されている（第1表）。また日本の政策としても、『森林・林業基本計画（平成23年7月26日閣議決定）』において「木質バイオマスの利用にあたっては、カスケード利用を前提としつつ、未利用間伐材などの発電への利用、地域における熱電併給システムの構築、バイオマスボイラーの高性能化、家庭用薪ストーブの普及を図る。」とあるように、木質エネルギー利用の促進を図っている。

第1表 FITによる電力の買い取り価格（2016年1月現在）

	メタン発酵ガス (バイオマス由来)	間伐材等由来の 木質バイオマス		一般木質バイオマス・ 農作物残差	建築資材 廃棄物	一般廃棄物・ その他のバ イオマス
		2000kW未満	2000kW以上			
調達価格	39円	40円	32円	24円	13円	17円
調達期間	20年	20年	20年	20年	20年	20年

出所：経済産業省資源エネルギー庁（online）。

木質エネルギーの利用としては、大規模な木質バイオマス発電所や、市町村の公共施設等におけるボイラー熱への利用、家庭における薪やペレット利用等があり、森林管理の促進という立場に立つと、市町村の公共施設等における利用は重要である。國井他（2015）で指摘されているように、市町村における木質エネルギー利用の取組を持続的に行う場合には、資源・環境・経済という複数の視点を総合的に評価する必要がある。特に市町村の事業担当者の立場に立って見た場合には、以下の点が重要であると考えられる。まず第1に、資源の需給バランスである。市町村内にある地域資源を利用する場合には、このバランスが崩れると、資源確保に支障をきたす恐れがある。第2に、木質エネルギー利用者への経済的メリットである。事業の持続性にとっては、木質エネルギー利用者に対して経済的なインセンティブがない限りは、事業は続かないであろう。第3には、地域への経済的にプラスの影響があることである。地域資源を利用する場合、資源の賦存する地域へ経済的なメリットがあることが重要となる。そして第4に、事業を行うことで、どの程度森林管理が進むのかという点である。地域の森林管理を一つの目的として行われる木質エネルギー利用であるために、この点は極めて重要となる。そして、上記の視点のうちに1つでも欠けた点があった場合には、事業の持続性に支障をきたす可能性があるため、例えば市町村の担当者の立場に立つと、事業計画の段階でこれら4つの視点を評価することが必要となる。けれども既存の研究をみると、収集コストの推計（佐無田他，2011，山口他，2010，Yoshioka et al., 2011），バイオマスの供給可能量の推計（上村ら，2009，吉岡・小林，2006），需給バランスと地域経済効果の分析（國井他，2015，中村，2012，Sacchelli et al., 2013），施設導入のための最適地の分析（Panichielli and Edgard, 2008），などは数多く行われているが、木質エネルギー利用設備導入により、どの程度の森林管理が可能かという視点からの研究はほとんどみられない。

そこで本研究では、適正な森林管理を行いつつ、持続的な木質エネルギー利用を行うため、以下の4つの質問に答えを導く形で、事業の持続性に関する分析を行う。

- 1，資源の需給バランスは確保されているか
- 2，木質エネルギー利用者に費用の削減効果が見込めるか
- 3，地域への経済効果があるか
- 4，木質バイオマス利用で、どの程度の森林管理を行うことができるか

である。

本研究は、岩手県西和賀町における町立病院への木質チップボイラー導入を事例として分析を行う。分析の進め方としては、まず、資源量評価として、町内の資源で町立病院の需要を満たすことができるかを分析する。次に経済影響評価として、公共施設などのボイラー燃料として広く使用されている重油と木質チップの利用を比較することで、まずは木質チップ利用と重油利用はどちらが町立病院の燃料コストを削減できるかを分析し、その後木質チップと重油では、どちらが地域への経済効果が大きいかについて分析を行う。そして最後に、町立病院による間伐材の需要により、どの程度の森林管理が可能かについて分析を行う。

2. 西和賀町の概要と分析手法

(1) 西和賀町の概要と取り組み

1) 西和賀町の概要

西和賀町は岩手県の南西部に位置しており、2016年3月末現在の世帯数は2,360世帯、人口6,076人（西和賀町，online）で、町の面積約590km²のおよそ9割が森林に覆われており（第1図）、その適切な管理・利用が求められている状況である。町では『「薪」利用最適化システム構築計画書』を策定し、間伐などにより発生する低品質木材の需要先の1つとして薪での利用に着目し、「薪ストーブ利用世界一」を標語として掲げて、現在町内の3割の世帯で利用されている薪ストーブを5割まで普及させることを目指す（西和賀町，2011）など、町全体として木質バイオマスの利用促進に取り組んでいる。

2) 町立病院に導入された木質チップボイラー

以下では、西和賀町の町立沢内病院（以下町立病院とする）に導入された木質チップボイラーについて概略する。西和賀町では、2014年に町立病院の建て替え移転に伴い、当該病院の暖房・給湯用に木質バイオマスボイラーを導入した。当該ボイラー導入にあたっては、2011年に招聘したオーストリアの木質バイオマス熱供給に関する専門家のアドバイスより、床面積1m²あたり0.1kWが目安にして計算し、200kWのチップボイラーを2台とした。2台のチップボイラーの稼働状況は、冬季の暖房・融雪・給湯に利用する際には2台稼働し、夏季の給湯のみの利用の際には1台のみの稼働である。木質チップの年間消費量は1,442m³（2014年10月から2015年9月の実績値）であり、設営当初立てた町の見込み消費量1,800m³を下回る結果となった。

町立病院では、ボイラーの燃料となる木質チップは、すべて町内の森林組合から3,500円/m³で購入しており、その木質チップは、森林組合が町内の町有林（町有林および国有林の分収林を含む）について、町から委託され間伐を行い、チップ化したものである。つまり西和賀町の場合、間伐、原木の運搬、チップ化、チップの運搬はすべて町の森林組合によって行われている。また、灰の処理に関しては、病院側が産業廃棄物業者と直接契約

している。

町は森林組合に、ボイラーの維持管理も委託しており、年間 150 万円で契約している。主な作業としては、不具合（チップのつまり解消など）への対応やボイラー室、チップ貯蔵室の清掃などである。森林組合側では、維持管理作業に対して、チップ工場の作業員 4 名のうち毎日 2 名を当てており、作業員は森林組合の工場作業についても兼務している。ただし、ボイラーの管理作業はだいたい 1 日 2 時間程度である。森林組合によると、ボイラーは、稼働し始めた当初はチップ送り装置の不具合などがあったが、それ以降は大きなトラブルは起きていないとのことであった。また、トラブルが生じた際には、バックアップ用の重油ボイラーに切り替えることが可能であり、たとえば夜間にトラブルが生じて木質チップボイラーがストップしてしまっても、重油ボイラーで対応できるので、これまで夜間の緊急作業は行ったことはないとのことである。



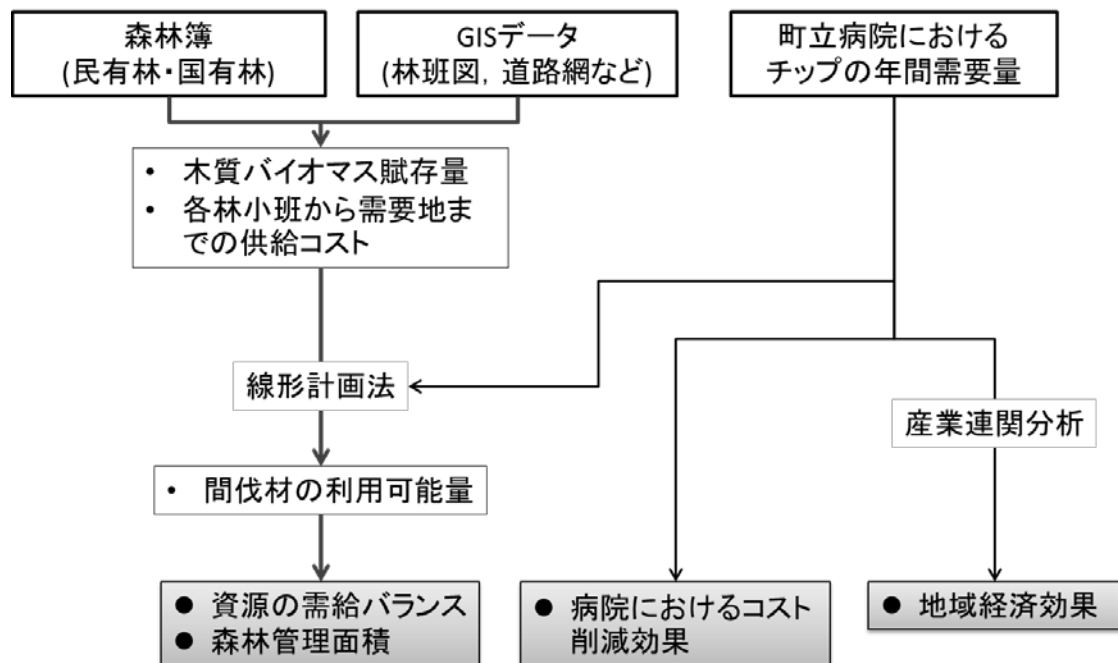
第 1 図 西和賀町の位置および人工衛星画像

出所：Landsat/TM（2000 年 9 月撮影）を USGS の HP よりダウンロードし、著者作成。

（２）分析手法の概要

本研究の分析の概要を第 2 図に示す。まず、民有林の森林簿および国有林の森林調査簿

(以降森林簿と森林調査簿を共に森林簿とする)とGISデータから、各林小班で発生しチップとして利用する間伐材の賦存量(木質バイオマス賦存量)と各林小班から需要地まで間伐材を輸送するためにかかる費用(供給コスト)を算出した。次に、町立病院におけるチップの年間需要量を推計し、木質バイオマス賦存量、供給コストおよびチップの年間需要量より、線形計画法を用いて間伐材の利用可能量を算出した。この利用可能量から、町立病院の木質チップボイラー利用に伴う資源の需給バランスおよび森林管理面積を推計した。また、チップの年間需要量から求めた年間の木質チップ購入費とそれと同等の熱量を重油ボイラーで得る場合の重油購入費用を比較し、木質チップボイラー導入にかかる病院のコスト削減効果を分析した。最後に、年間の木質チップ購入費と重油に代替した場合の重油購入費から、産業連関分析により、木質チップを利用した場合と重油を利用した場合における地域経済効果を比較した。



第2図 分析方法の概要

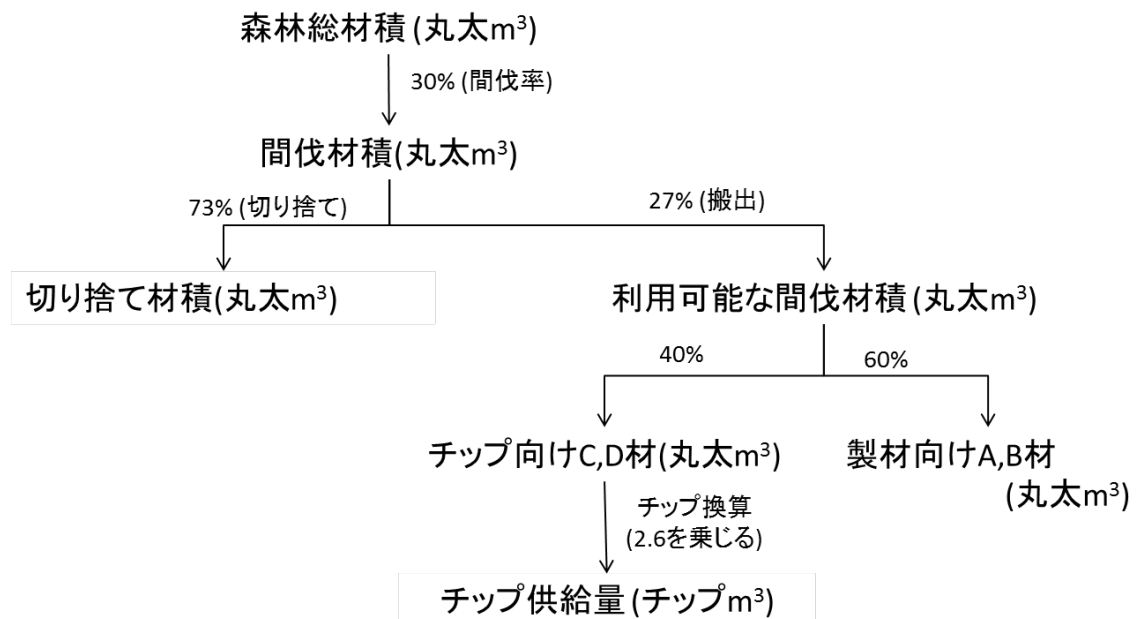
3. 資源量評価

(1) 課題設定

本項では、町立病院への木質ボイラー導入による資源利用に係る、資源の需給バランスが確保されているかについて分析を行う。具体的な課題としては、町有林から発生する間伐材で病院における木質チップボイラーの需要を満たすことが可能かである。

(2) 前提条件

本分析を行うにあたり、森林組合および町役場へのヒアリング調査をもとに、いくつかの前提条件を設定している。この前提条件は、現在西和賀町で行われている間伐の状況を基本としている（第3図）。また、本分析で対象とする木質バイオマスは、西和賀町の町有林および国有林からの分収林（以下これをまとめて、町有林とする）における、スギの間伐材とする。



第3図 西和賀町における間伐材によるチップ供給量推計の流れ

注1. 切捨て間伐の割合は、沢内村（2004）を利用し、チップ換算係数は、岩手県林業技術センター（2006）を利用した。

注2. A, B材とC, D材の利用割合は、西和賀町森林組合へのヒアリングによる。

現在西和賀町では林小班の総材積あたり30%の間伐率で間伐を行っている。伐採した間伐材のうち、27%を土場まで搬出し、残りの73%は切捨て間伐材として林内に放置される（沢内村，2004）。搬出された間伐材はその品質によって、製材等として利用可能なA,B材とそれ以外の用途へ利用されるC,D材に分けられ、木質チップとして利用されるものはC,D材である。利用可能な間伐材のうちA,B材とC,D材の割合はそれぞれ、60%と40%とした（以後、利用可能な間伐材におけるチップ用の材積の割合をチップ用材率とする）。そして、そのチップ向けのC,D材の材積量に対して、換算係数2.6（岩手県林業技術センター，2006）を乗じたものが、チップ供給量となる。間伐の実施は町の間伐計画⁽²⁾に基づき、森林組合が町からの委託を受けて実施しており、主伐を60年～70年生の森林とし、25年生、35年生、45年生の林班を間伐適期として、間伐実施の対象林とする。また間伐適期に達した森林のうち、過去10年間に間伐が行われていない林班で間伐を実施するとし、過去10年間の間に間伐が行われた林小班は対象としない。次に、間伐適期に達した林小班のう

ちどの林班から病院の需要のために材を搬出するかという林小班の選択は、有賀他(2006)のコスト計算式をもとに、間伐材を森林組合まで輸送するまでの総コストが最も安くなるように、線形計画法(LP)により計算を行った。なお、当該分析においては、病院の需要を満たすまで間伐をした場合を仮定しているために、木質チップの可能量の最大値は、病院の需要量と一致する。また、需要側の病院における木質チップ需要量は、西和賀町へのヒアリング調査の結果より、2014年10月から2015年10月までの実績値である1,442m³とする。

資源量の分析は、資源利用の持続性を考えて2012年から2030年までを推計しているが、2012年森林簿に記載されている成長量(m³/年)の数値を利用し、2012年から2030年まで毎年この成長量分だけ各林小班の材積が増加すると仮定した。また、ある年に間伐された場合は、その分の材積量が減少したうえで、2012年の成長量が再度増加していくとした。

(3) 分析方法

第2図では分析法の概要を示したが、具体的には以下の手順で分析を行った。①民有林および国有林の森林簿データの整理、②GIS データを利用した各林小班の平均傾斜角度、林内から土場までの輸送距離、土場から森林組合までの輸送距離の算出、③有賀他(2006)の計算式を利用した、各林小班における間伐コストおよび、各林小班から森林組合までの運搬コストの分析、④LPを利用した、間伐対象林小班の抽出、⑤間伐材の利用可能量および間伐に伴う間伐可能面積の推計である。

①では、民有林と国有林の森林簿の情報と、西和賀町における林小班のGISデータについて、林小班の番号をもとに結合し、データ容量を小さくするために、今回対象とするスギの人工林のみを抽出し、これを林小班ポリゴンデータとする。

②では、まず西和賀町の10mメッシュ標高データより、10mメッシュの平均傾斜角度を算出し、①で作成した林小班ポリゴンデータと重ね合わせ、各林小班内の平均傾斜角度(d)を計算し、林小班ポリゴンデータと結合した。次に、各林小班の中心から最寄りの道路(2万5千分の1の地形図記載の道路)までの直線距離を算出し、これを林小班から土場までの距離(Lsy)とした。またこの際、林内の輸送における迂回率は杉原・岩川(1960)より、0.53を用いた。土場から森林組合までの距離は、ArcGISのネットワーク解析ツールを用いて、道なりの輸送距離(Lt)を算出した。

③では、有賀他(2006)の計算式(下式(1))により、単位面積当たりの間伐及び間伐材輸送のコストP_(i,j)(円/m³)を計算した。

$$\begin{aligned}
 P_{(i,j)} = & 1000 && \text{(チェーンソー伐採)} \\
 & + 0.845 \cdot Lsy + 91.7 \cdot e^{0.117 \cdot d} + 1746 && \text{(トラクタ搬出)} \\
 & + 1954 && \text{(プロセッサ造材)} \\
 & + 0.022 \cdot Lt + 778 && \text{(トラック運搬)} \quad \dots (1)
 \end{aligned}$$

ここで、 i は林小班 i を示し、 j は森林組合を示す。また、 L_{sy} は林内における移動距離（林小班的中心から最寄りの道路までの距離）、 d は林小班的平均傾斜角度、 L_t はトラックによる移動距離（土場から森林組合までの輸送距離）とする。また、右辺のカッコ内には、各数字や式が作業のどの部分のコストを示しているかを示した。

④では、搬出量 ($S_{(i)}$) を下式(2)より求める。

$$S_{(i)} = V_{(i)} * \text{間伐率(30\%)} * \text{搬出率(27\%)} \cdots (2)$$

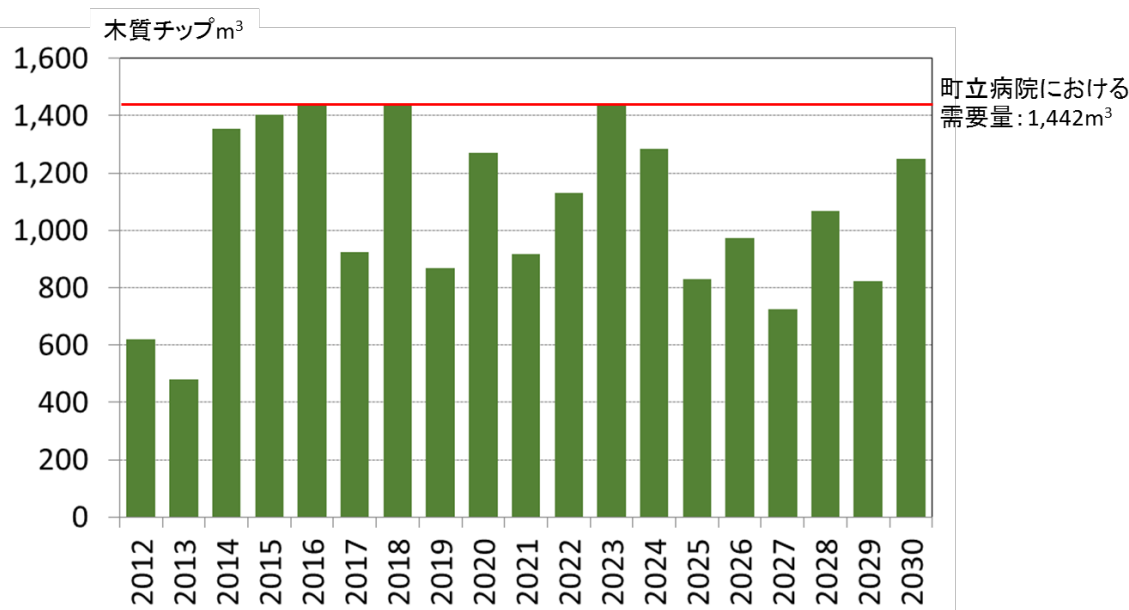
$V_{(i)}$ は、林小班 i における総材積量とする。その後、その年に病院の需要を満たす分だけの間伐材搬出の総コスト $\sum P_{(i,j)} * S_{(i)}$ が最少になるように、LP により計算し、間伐対象となる林小班を抽出した。この時利用した総コストは、あくまで LP を利用して間伐対象となる林小班を求めるためのものである。これは、有賀他（2006）の式は、モデル地区を対象として作られたものであり、西和賀町において実証されたものではないことと、実際の間伐では傾斜角度や林内の移動距離によって利用される機材がことなるが、今回はすべて同様の条件で計算を行っているためである。

⑤では、④の LP によって抽出された林小班から搬出される間伐材の総材積量及び、林小班的総面積を計算した。

（４）分析結果

2012 年から 2030 年において、町立病院の木質チップボイラーの需要量に対して、町有林の間伐適期のスギ人工林から供給可能な年間の木質チップ材積量の推計結果を第 4 図に示す。町立病院における年間の木質チップ需要量の $1,442\text{m}^3$ に対して、間伐適期の町有林から供給される年間の木質チップ量は 479m^3 から $1,442\text{m}^3$ であり、町立病院におけるチップ需要を満たすことができるのは、2016 年、2018 年、2023 年の 3 か年のみであった⁽³⁾。現状の間伐を基本とした仮定では、年間の木質チップ需要を満たすことができないという問題に対して、実際に町では、前年度までの余剰ストックや間伐適期に達していなかったり間伐遅れとなったりしている森林の間伐等によって対応している。ただし、長期的な需給バランスを考えた場合には、現状間伐の搬出率 27% の上昇や、民有林からの材の受け入れなど、間伐の面積を増やすことを考える必要がある。

そこで次に、町立病院の需要を町有林の間伐材で満たすために、搬出率を高くした場合を想定した考察を行う。西和賀町では、将来的に切捨て間伐ゼロを目指しているために、本分析においては、町が最も理想的と考えている搬出率 100% と仮定し、そのほかの間伐率（30%）やチップ用材率（40%）は変更せずに分析した⁽⁴⁾。その結果、搬出率 100% の状況下では、2012 年から 2030 年のすべての年において、町立病院における需要を町有林から発生する間伐材で賄うことができることが明らかとなった。



第4図 木質チップの年間供給量

(5) 結果の考察とまとめ

現状の間伐をベースとして分析した場合、間伐適期に達した林小班から搬出される間伐材により供給される木質チップ量では、ほとんどの年において病院の需要を満たすことができないことがあきらかとなった。つまり、本分析の課題である①町有林から発生する間伐材のみで町立病院における需要を賄えるかという問いに対しては、現状の間伐材の搬出率では不可能であるといえる。

搬出率を現状の 27%よりも上昇させ、例えば搬出率を 100%にした場合は、間伐適期に達した町有林の間伐材のみで町立病院の需要を賄うことが可能であることが示されたが、実際に搬出率を上げる場合には、搬出コストが大きな問題となる。搬出コストなどを考慮しつつどの程度まで搬出率を上昇させるかという詳細な分析を行うためには、作業道からの距離と搬出コストの関係を明らかにする必要がある、分析における今後の課題となる。また、実際の間伐材におけるチップ利用率は、林道などに近い部分や、間伐材でも比較的品質の良いものが優先的に搬出される傾向がある。つまり、搬出率を上昇させた場合には、搬出した間伐材に占めるチップ用材率が変化すると考えられるが、本分析においては A、B 材の利用を目的にしているわけではないので、言及を控えることとする。

4. 経済影響評価

(1) 町立病院における燃料費削減効果の計測

1) 課題設定

ここでは町立病院への木質ボイラー導入による経済面への影響について考察する。木質ボイラーの導入による経済的な影響としては、(1)ボイラーの導入・設置に伴う初期投資による影響、(2)ボイラー用の木質チップ需要の増加による影響、(3)ボイラーのメンテナンス等に関わる影響などが考えられるが、ここでは、(2)のボイラー用の木質チップ需要が増加することによる経済的な影響を考察する。木質チップとの比較として、仮に木質チップボイラーではなく重油ボイラーを導入した際にどの程度の重油需要が増加するのかも同時に評価する。すなわち、仮に西和賀町役場の担当者の立場で、町立病院に暖房・給湯施設を導入しようとする際、通常は重油ボイラーを導入することが一般的である。そのため、地域資源利用のために木質チップボイラーを導入する際には、木質チップボイラーと重油ボイラーの燃料コストの比較検討を行うはずである。

そこで本項では、木質チップボイラーと重油ボイラーの燃料コストを比較し、病院にとってコストが抑制できる暖房・給湯設備を特定することを目的とする。

2) 前提条件

はじめに、燃料コスト推計の前提条件について説明する。まず、木質チップについては、これまでの分析に倣い、町内で発生する間伐材を用いて森林組合から供給されると仮定する。その際、2014年実績値である3,500円/m³+税の木質チップ価格を用いて木質チップの燃料コストを計算する⁽⁵⁾。一方の重油に関しては、木質チップと発熱量等価の重油量を計算した上で、重油の単価データを用いて燃料コストを計算する。重油価格データには、石油情報センター（online）から東北区A重油小型ローリー納入価格（2012年平均）88.1円/Lを用いて計算する。なお、重油価格は2012年当時の消費税5%分が含まれた価格であるため、整合性を保つために木質チップにおいても消費税は5%として税込3,675円/m³の単価を適用する⁽⁶⁾。

3) 計算結果

計算の結果、木質チップの場合は燃料コストとして、 $1,442\text{m}^3 \times 3,675 \text{円/m}^3 = \text{年間 } 530 \text{ 万円}$ の燃料コストであることが明らかになった。一方の重油については、 $1,442\text{m}^3$ の木質チップと発熱量等価の重油量は135,178Lとなり、これから $135,178\text{L} \times 88.1 \text{円/L} = \text{年間 } 1,191 \text{ 万円}$ の燃料コストとなることがわかった。

したがって、燃料コスト比較では木質チップのほうが重油よりも優位であることが示された。すなわち、木質チップボイラーを導入することで、病院には燃料コストを削減できるというメリットがあり、その節約額は年間661万円になることが示された。また、この

推計結果は、重油が比較的高騰していた 2012 年の重油価格を用いて計算されたものである。本原稿執筆時点の最新のデータである 2015 年 3 月から 2016 年 2 月までの平均価格は 72.5 円/L となっている。この値で計算した場合、重油は 980 万円の燃料コストとなり、この場合でも木質チップのほうが燃料コストが低くなる。重油の燃料コストが木質チップと同じ 530 万円になるのは、重油価格が 39.2 円/L であり、低下してきたと言われる最近の重油価格の水準からさらに 45% 近く下落したときの水準である。

（２）地域経済効果の計測

１）課題設定

前項の分析では、木質チップと重油を比べると木質チップのほうが燃料コストが 661 万円低くなることが示された。これは木質チップボイラーの導入が町立病院の収支の改善に貢献し、経営効率化に資することを示している。しかしながら、町立病院の収支というミクロ的な視点では効率化にはなるものの、町内もしくは地域経済というマクロ的な視点では、町内で流通する資金が年間 661 万円の減少することを意味し、これは地域経済にとっては、マイナスの影響を与える可能性がある。

そこで、本項では、(1)木質チップと重油ではどちらが域内に留まる資金が大きいのか、(2)木質チップと重油ではどちらが地域経済効果が大きいのか、という 2 つの問いに答えるべく、木質チップの需要増と重油の需要増による地域経済への経済波及効果を計測することを目的とする⁷⁾。

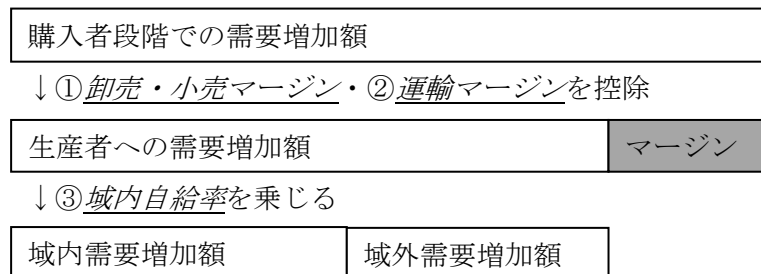
２）分析手法

分析では、産業連関分析を用いて地域経済効果を計測する。使用する産業連関表は岩手県が公表している『2005 年県南広域振興圏産業連関表』（35 部門表）を著者が独自に 2009 年に延長したものを使用する。なお、この産業連関表は西和賀町を含む県南地域の産業連関表であるため、地域経済効果は西和賀町のみならず、県南地域全般への効果を計測するものとなることに留意いただきたい。

分析シナリオについて解説する。ここでは、仮に西和賀町役場が町立病院にボイラーを導入する際、「木質チップボイラーと重油ボイラーとではどちらが地域経済にとってメリットがあるか」を導入の判断基準とすることを仮定し、前項で算出した 530 万円分の木質チップ需要が増加する場合と 1,191 万円の重油需要が増加する場合を考え、これをもとに両者の需要増のうち、県南地域に留まる資金を推計する。さらに推計した結果をもとに県南地域へもたらされる地域経済効果の大きさを産業連関分析で評価する。

分析の手順は、過去に著者らが西和賀町での仮定における薪利用に関する分析の手順とほぼ同一であり（國井他, 2015, 澤内・國井, 2014）、第 5 図に示されているとおりである。前述のとおり、町立病院で暖房費として木質チップ、重油にそれぞれ 530 万円、1,191 万円の需要増加があるものと仮定し、それを小売店や運送業者の取り分である商業マージン

及び運輸マージンを控除し木質チップや重油の生産者に対する需要の増加額を推計する。
この値に重油や木質チップがどれだけ地域内で生産されるかを示す域内自給率を乗じ、県
南地域内での木質チップや重油の需要増加額を推計する。



第5図 域内で生み出される価値の推計方法

出所：澤内・國井（2014）の図5を著者が改変。

推計に用いたパラメータは第2表に示したとおりである。具体的には、商業マージン率及び運輸マージン率は、2005年または2009年の西和賀町及び岩手県の値が入手できないため、国全体の産業連関表『平成17年（2005年）産業連関表』の産出表からそれぞれのマージン率を推計した。推計に用いたデータは第3表に示した。

さらに本項では、上記のように求めた地域内に留まる資金が循環することでどの程度の地域経済効果をもたらすのかを産業連関分析により明らかにする。具体的には、木質チップ需要が530万円増加した場合と重油需要が1,191万円増加した場合の地域経済効果を比較する。

第2表 分析に使用したパラメータ

部門名	木質チップ	重油
	特用林産物	石油製品
商業マージン	0.370	0.338
卸売マージン	0.166	0.320
小売マージン	0.204	0.018
運輸マージン率	0.023	0.015
域内自給率	0.894	0.068

出所：『平成17年産業連関表』より著者推計。

第3表 マージン率の推計

産業連関表における部門	木質チップ	(百万円) 重油
	特用林産物	石油製品
最終需要計(①)	277,762	10,116,756
商業マージン合計(②)	102,678	3,417,554
卸売(③)	56,619	1,747,764
小売(④)	46,059	1,669,790
国内貨物運賃合計(⑤)	6,463	148,857
商業マージン率(②/①)	0.370	0.338
卸売マージン率(③/①)	0.204	0.173
小売マージン率(④/①)	0.166	0.165
運送マージン率(⑤/①)	0.023	0.015

出所：『平成17年産業連関表』

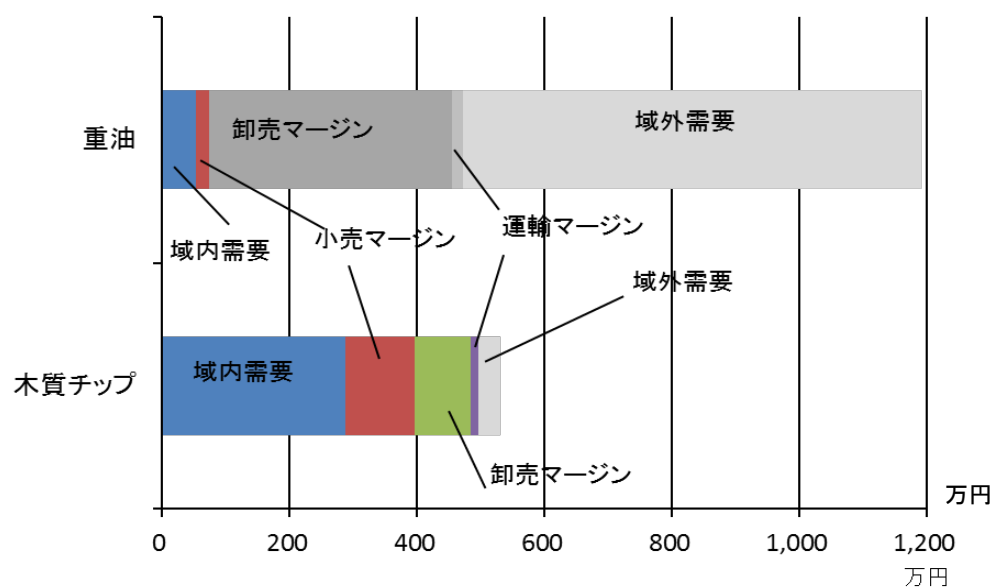
3) 分析結果

まず域内に留まる資金の比較について、木質チップの場合、530 万円の需要増のうち、域内に留まると考えられる資金は、卸売、小売、運輸の各マージンの合計である 208 万円に、域内での需要増を加えた 496 万円と考えられ、増加した需要の 93.6%が域内に残存する(第6図)。これは、木質チップの原料となる木材の生産、木質チップへの加工、木質チップの輸送など木質チップ生産に係る工程の多くが西和賀町内で完結することによるものと考えられる。

一方、重油の場合、1,191 万円の需要に対し域内に留まる資金は、小売マージンと域内需要を加えた 73 万円分であると考えられ、残存率は 6.1%とごくわずかである(第6図)。これは、重油の生産から卸売までは域外で行われて、重油の輸送も域外業者が行っていると考えられるためである。ただし、この場合も重油の域内需要は産業連関表の推計上の都合から残るものであり、実際には県南地域において重油の生産は行われていないため、この域内需要も実在しないものと考えられる。

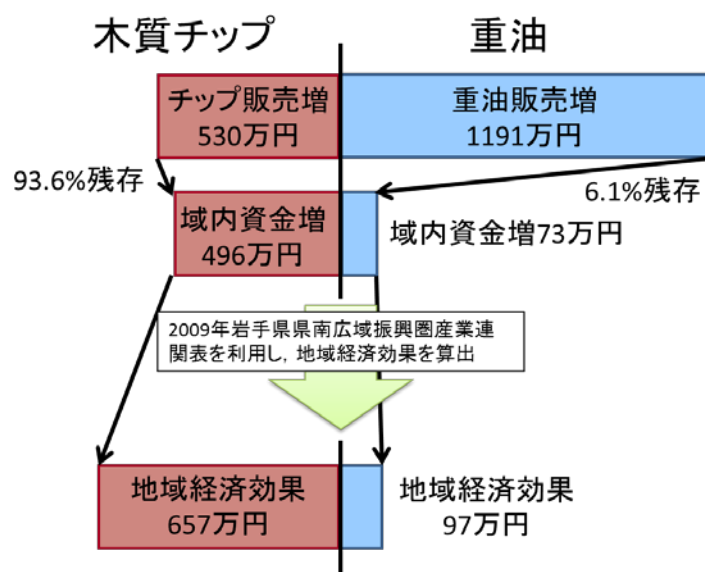
以上の推計結果から、たとえ重油の需要増加額が木質チップのそれよりも多くても、重油の需要増加額の多くは域外へ流出してしまい、域内に残る資金は木質チップのほうが多くなることが示された。したがって、西和賀町の町立病院で重油を使用するよりも木質チップを使用した方が域内に留まる資金は多くなり、地域の所得増に貢献することが分かる。

続いて、地域経済効果の推計結果について解説する。結果は第7図にまとめられているとおりである。前述のとおり、重油の需要が 1,191 万円増加したとしても、域内に残る資金は 73 万円のみで、これを元に得られる地域経済効果は 97 万円にしかない。一方で、木質チップの場合は、チップの需要増による域内資金の増加額は 496 万円であり、ここから得られる地域経済効果は 657 万円となり、重油の場合のおよそ 7 倍の金額となった。



第6図 域内に留まる資金の推計

注. 色つきの部分が域内に残る資金を示す.



第7図 地域経済効果の推計結果

(3) 結果の考察とまとめ

これまでの分析により、町立病院の燃料コストというミクロ経済的な視点では、木質チップのほうが燃料コストが安く、町立病院にとっては木質チップボイラーの導入が燃料コストの削減という経営効率化に資することが明らかになった。また、地域経済効果という

マクロ的な視点からは、木質チップのほうが域内に残る資金が多く、重油より大きな地域経済効果をもたらすことが示された。このような結果は、木質チップボイラーの導入の事例では、町立病院（ミクロ）の経営効率化と地域経済活性化（マクロ）の両立、すなわちコベネフィット関係の成立が可能であることを示している。

昨今、経営の効率化、いわゆるコスト削減はあらゆる場面で求められており、農村地域におけるビジネスにおいても例外ではない。しかしながら、コスト削減を過度に進めることは、人件費削減などを通じた雇用機会の喪失、地元の製品が大規模大量生産により安価に生産された他地域産の製品に置き換えられるなど、地域経済にとっても悪影響を与えかねない。一方で本分析では、町立病院のコスト削減と地域経済へのプラスの影響のコベネフィット関係の成立が示され、必ずしもコスト削減という経営効率化が地域経済にマイナスの影響を与えるものではないことが示された。

5. 森林管理への影響

（１）課題の設定

1. でも述べたように、西和賀町における木質チップボイラー導入の目的の1つとして間伐の促進がある。町の担当者にとっては、資源のバランスや経済効果とともに、事業を持続的に進めるにあたっては、間伐材由来のチップを利用することで、間伐がどの程度進むのかということも重要となる。そこで本節では、町立病院への木質チップボイラーの導入が町内の森林管理にどの程度寄与するかについて分析する。

また3. では、その年に間伐適期に達する町有林から生産される木質チップだけでは町立病院の需要を満たすことができない年が多いことが示された。そこで本節では、町有林以外のスギ林も間伐する場合に、どの程度追加的な間伐を行う必要があるかについても推計する。

（２）分析の方法

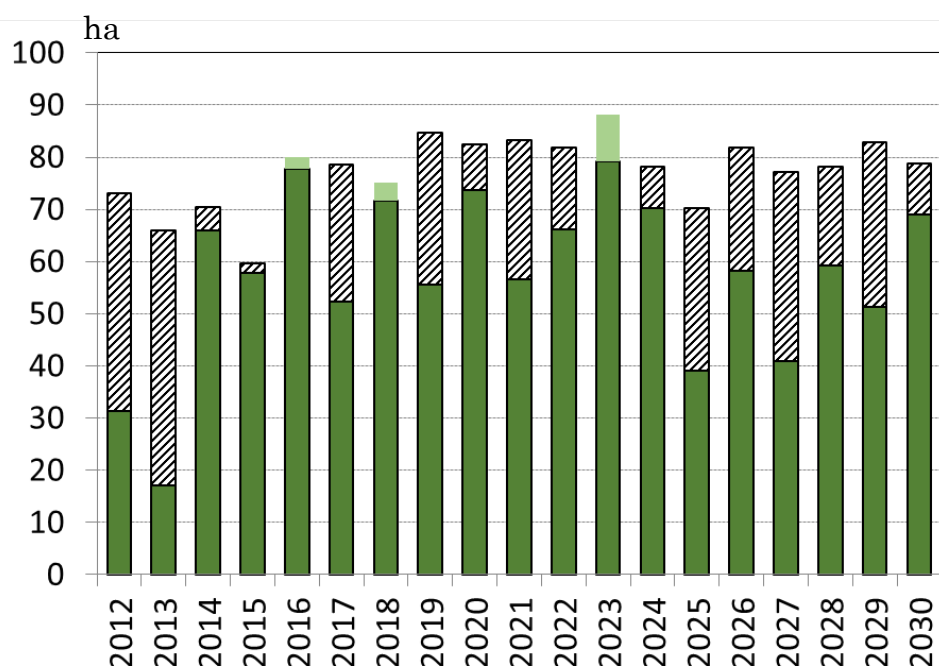
森林管理面積の推計は、3. の資源量の分析をもとに行う。3. では、病院の需要量を満たすまでLPによって間伐を行う林小班を決定し、そこから生産される木質チップの量を推計した。本節では、3. でLPによって決定した林小班の総面積を求めた。

また、追加的に必要となる間伐面積については、西和賀町における2012年から2030年の間に間伐適期に達する町有林の平均的なスギ材積量（235m³/ha）を利用して、病院の需要を満たすために追加的に行わなくてはならない間伐面積を推計し、間伐適期の面積に足し合わせた。

(3) 分析結果

3. でも示したように、町有林から供給可能な木質チップは、 479m^3 から $1,442\text{m}^3$ であり、この木質チップを得るために間伐される町有林面積は、年間 $17\text{ha}\sim 79\text{ha}$ と推計された（第8図）。これは、2012年から2030年までの間に間伐適期に達する町有林のほとんどすべての森林を施業できるということを意味している。ただし前述のように、間伐適期に達する町有林だけでは病院の需要量を満たすことができないため、その需要を満たすために町有林以外で行われる間伐の面積を足したところ、年間 $60\text{ha}\sim 80\text{ha}$ （平均 77ha ）の間伐が実施されることが示された。

次に、3. でも考察したように、町有林のみで町立病院の需要を賄うために、仮に搬出率を100%とした場合について、間伐が実施される面積についても考察を行う。搬出率を増加させると、1つの林小班から搬出される間伐材が増加するために、全体として間伐が実施される面積も減少するため、2012年から2030年において間伐が実施される面積は、年間 $13\sim 35\text{ha}$ となり、その年に間伐適期に達する森林の31～77%しか間伐が実施されないことが示された。



第8図 木質チップの需要により必要となる間伐面積

注1. 緑色+薄緑色 = 各年の間伐適期のスギ林の面積

注2. 斜線は病院の需要を満たすために追加的に必要とされる仮の間伐面積を示す。町有林の間伐適期のスギ林における平均的な材積量 ($235\text{m}^3/\text{ha}$) から試算。

注3. 薄緑色は間伐適期のスギ林が病院の需要を上回る場合の余剰面積を示す。余剰面積が生じた場合は、翌年へのストックや他の需要先への供給が考えられる。

(4) まとめ

本節では、第1節で掲げた木質バイオマス利用でどの程度の森林管理を行なえるかという問いに対し、病院における木質チップ利用による需要創出で、町有林のスギ人工林の間伐をどの程度実施可能かとの観点から検証を行なった。その結果、現状の間伐をベースとした場合、その年に間伐が必要な面積のほぼすべてである、17~79haの町有林の間伐を実施可能であることが明らかとなった。ただし町立病院における需要を完全に満たすためには、町有林以外からも供給を行う必要があり、町有林とそれ以外の森林合わせて平均で年間77haの間伐が実施できる。また、町有林から発生する間伐材のみで需要を満たすために、町が目標とする搬出率100%を仮定すると、需要量(1,442m³)だけの供給を確保するためには、年間13~35haの町有林の間伐すればよく、これはその年に間伐が必要な面積の31~77%にしかならないことが明らかとなった。

町立病院に木質チップボイラーを導入することで、町内で発生する間伐材の安定的な出口を創出し、森林管理促進に貢献することが示された。また、現状の搬出率などを加味すると、町有林だけでは需要を満たすことができず、私有林からの間伐材受け入れなどを通じて、町内全体の間伐促進に貢献することが期待される。

6. おわりに

本章では、岩手県西和賀町の町立病院における木質チップボイラーを事例として、適正な森林管理を行いつつ持続的な木質エネルギー利用を行うために、木質エネルギー利用による森林管理や地域経済への影響を、4つの質問に答えを導く形で分析した。

第1に資源の需給バランスが確保されているかである。西和賀町における現状の間伐をベースとした場合、2012年から2030年の間では、ほとんどの年において町有林から発生する間伐材のみでは、需要を賄うことができないことが明らかとなった。また、搬出率を100%にした場合には、十分に需要を賄うことが可能となる。

第2に木質エネルギー利用者に費用の削減効果が見込めるかである。木質チップの方が、重油に比べて燃料コストが安いために、町立病院にとっては木質チップボイラーの導入が燃料コスト削減という経営効率化に資することが明らかとなった。

第3に地域への経済効果についてである。木質チップの方が域内に残る資金が多いために、重油よりも大きな経済効果があることが判明した。

第4に木質バイオマス利用でどの程度の森林管理を行なえるかである。西和賀町の町有林においては、年間17~79haの間伐を実施することができる。ただし、病院の需要を完全に賄うためには、町有林以外からの間伐材も受け入れる必要があり、全体として町立病院への木質チップボイラー導入では、平均で77haの間伐を実施できることが示された。

本章では、西和賀町における町有林から発生する間伐材だけでは、燃料の確保に課題が残るものの、町立病院という公共施設への木質チップボイラーの導入により、町立病院で

のコスト削減と地域経済へのプラスの効果という、コベネフィットの関係が明らかとなった。さらに、このような取組によって、地域の森林管理促進の効果も示された。本研究の手法を利用して市町村において木質エネルギーを利用する事業を行う際の事前評価を行うことで、資源の確保、事業の経済性、森林管理への影響を評価し、事前に事業推進の課題を明確にすることができる。地域資源としての木質エネルギーを利用する取組は、地球温暖化抑制や地域振興の観点から極めて重要な取組であり、このような取組が全国的に広がることで、地域だけではなく日本全体の農山村地域の振興につながると考える。そのためにも、本研究のような手法を利用し事業の事前評価を行うことで、より持続的な木質エネルギー利用を期待したい。

本章では、地域資源を地域内で利用することによって、ミクロとしての経営効率化とマクロとしての地域経済活性化の間において、コベネフィットの関係成立が可能であることを指摘した。このコベネフィット関係の成立のためには、域内自給率の低い製品を域内自給率の高い製品で置き換えることが1つのポイントである。コスト削減や経営効率化は農村ビジネスにとっても必要なことではあるが、特に雇用機会の少ない農村においては、雇用機会の喪失が人口流出に直結する可能性が高い。したがって、やみくもな効率化を行うのではなく、地域に相乗効果（コベネフィット）をもたらすような効率化をきちんと考えて行うべきであると考ええる。

注

- (1) 林野庁 (online b) によると、2008 年から 2014 年において、目標としていた年平均 55 万 ha の間伐を達成しており、間伐の実施状況は改善しつつあるが、引き続きの間伐促進は必要である。
- (2) 西和賀町としては、25, 35, 45 年生の林班において間伐を行うことを計画しているが、現在のところ計画通りには間伐が進んでいない。この原因としては、過去における間伐遅れの林班や施業しやすいところなどを優先的に間伐しているためである。
- (3) 2016 年, 2018 年, 2023 年における、供給可能な材積量としてはそれぞれ, 1542m³, 1542m³, 1643m³ であるが、線形計画法による分析において、需要を満たすまでの供給量を分析していることから、第 4 図においては、町立病院の需要量 (1442m³) までのグラフとなっている。
- (4) 搬出率 100%とは、間伐した木材すべてを搬出することを意味している。実際の現場では、土場や作業道から遠くなればなるほど搬出コストが高くなるために、現状の木質チップの取引価格では困難であると予想される。本分析における搬出率 100%の想定は、コスト面は考慮しない、理想的な間伐施業を想定したものである。
- (5) 3,500 円/m³ は、西和賀森林組合が県立プールへ納入する木質チップの価格と同額であり、このあたりの価格帯が木質チップの相場と考えられる。
- (6) 実際には、町立病院における木質チップボイラーの稼働は 2014 年 10 月からで、消費税は 8%が適用されている。
- (7) 本稿では、「地域経済効果」を産業連関分析の「経済波及効果」と同義で用いている。

[引用文献]

- 有賀一広・吉岡拓如・櫻井倫（2006）「中山間地域における木材および森林バイオマス資源の長期的な利用可能性ーランダムサーチを用いた収穫量の平準化」『森林利用学会誌』21(1), pp.49-59。
- 岩手県林業技術センター（2006）『燃料用チップ供給の手引き』岩手県林業技術センター 新技術解説シリーズ 19。
- 上村加奈・久保山裕史・山本幸一（2009）「北東北三県における木質バイオマス供給可能量の空間的推計」『日本エネルギー学会誌』88, pp.877-883。
- 経済産業省資源エネルギー庁（online）「なっとく再生可能エネルギー」『経済産業省資源エネルギー庁ホームページ』
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/kakaku.html
（2016年1月20日アクセス）。
- 國井大輔・澤内大輔・林岳（2015）「木質バイオマスの需給マッチングをもとにした環境及び経済の多角的評価ー岩手県西和賀町の家庭における薪利用を事例にー」『地域学研究』44(4), pp.418-493。
- 村上良平・中沢純司・松本明（2012）「木質バイオマスを活用した CO₂ 削減効果と地域経済効果：地域産業連関モデルの構築と新たな適用」『地域学研究』42(4), pp.799-817。
- 西和賀町（online）「西和賀町ホームページ」<http://www.town.nishiwaga.lg.jp/>（2016年4月11日アクセス）。
- 西和賀町（2011）『「薪」利用最適化システム構築計画書：森林エネルギー利用で切り開く西和賀町の未来推進事業』。
- Panichelli, L., Gnansounou, E., (2008) “GIS-based approach for defining bioenergy facilities location: A case study in Northern Spain based on marginal delivery costs and resources competition between facilities” *Biomass and Bioenergy* 32, pp. 289-300。
- 林野庁（online a）「なぜ木質バイオマスを使うのか」『林野庁ホームページ』
http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/con_2.html（2016年3月15日アクセス）。
- 林野庁（online b）「間伐の実施状況等」『林野庁ホームページ』
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/suisin/zyokyou.html>（2016年3月20日アクセス）。
- Sacchelli, S., Fagarazzi, C. and Bernetti, I., (2013) “Economic evaluation of forest biomass production in central Italy: A scenario assessment based on spatial analysis tool” *Biomass and Bioenergy* 53, pp.1-10。
- 佐無田啓・内山洋司・岡島敬一（2011）「茨城県におけるバイオエネルギー生産と輸送の最適化分析」『エネルギー・資源』32(2), pp.16-23。
- 澤内大輔・國井大輔（2014）「家庭における木質バイオマス利用の影響評価手法の開発ー岩手県西和賀町の薪利用とした実証分析ー」『農林水産政策研究所 温暖化プロジェクト資料

第2号 バイオエネルギーの活用とその評価』, pp.39-79。

沢内村 (2004)『沢内村森林バイオマス利用促進行動計画－煙突の見える村 あったか沢内－』。
石油情報センター (online)「価格情報」<https://oil-info.ieej.or.jp/price/price.html> (2016 年 1 月 7
日アクセス)。

杉原彦一・岩川治 (1960)「陸上路線の迂回路について」『日本林学会』 42(7), pp. 269-275。

山口鈴子・有賀一広・村上文美・斎藤仁志・伊藤要 (2010)「栃木県佐野市における用材と林地
地残材収穫の経済性を考慮した林地残材収穫量と収穫費用算定モデルの構築」『日本エネ
ルギー学会誌』 89(10), pp.982-995。

吉岡拓如・小林洋司 (2006)「中山間地域におけるエネルギー利用が可能な森林バイオマス資
源量と収穫・輸送コスト」『第 57 回日本森林学会関東支部大会発表論文集』, pp. 335-338。

Yoshioka, T., Sakurai, R., Aruga, K., Sakai, H., Inoue, K., (2011) “A GIS-based analysis on the
relationship between the annual available amount and the procurement cost of forest biomass in a
mountainous region in Japan” *Biomass and Bioenergy* 35, pp. 4530-4537.

第3章 複数の大規模木質バイオマス発電所における 燃料木材の競合

—岩手県における大規模木質バイオマス発電所を事例に—

國井 大輔

1. はじめに

再生可能エネルギー由来の電力固定価格買取制度（FIT）の導入に伴い、バイオマスを利用した発電事業が注目され、2012年の制度開始から2015年11月までの累計買取電力量は、1,032,377万kWhとFIT認定事業からの合計買取電力量の12.6%を占めている。特に、間伐材等由来の木質バイオマスを利用した発電事業については、現在全国各地で新たな木質バイオマス発電所の建設および建設計画が進行中である。安藤（2014）によると、2012年7月から2014年4月末までに稼働もしくは計画が発表された発電所は81か所に上っており、全国の都道府県の中でも、岩手県、福島県、宮崎県、鹿児島県で木質バイオマス発電所の数が多くなっている。FITにおける設備認定に際し林野庁は事前のチェックシートを公開しており、未利用間伐材等を使用燃料とする場合について、燃料となる木材の安定供給や木材の既存利用への影響に関して確認をするため、都道府県林務担当部局等への事前説明と林野庁におけるヒアリングを求めている（資源エネルギー庁、[online](#)）。事前チェックシートでは、発電能力や使用燃料、燃料の使用量、購入予定価格などとともに、①木材の買い取り価格について、山側への還元が十分なされているか、②林業・山村地域等の活性化への配慮（地域内への波及効果、雇用創出、地域林業への効果）があるか、③燃料を安定調達できるか（どのように調達しようとしているか、施設から50km圏内の材の需要者に対する対応）、④山側への要望や課題、⑤住民や既存分野の関係者からのネガティブな反応とそれに対する対応、に関する記載項目があり、様々な方面への配慮がうかがえる。ただし、使用木材の需給バランスや他の需要者との競合に関する定量的な分析結果は求められていない。特に、木質バイオマス発電所のように、面的に広く薄く分布している資源を大規模需要へ安定供給する場合、燃料の収集範囲が広範囲に及ぶことから、立地条件や道路などのインフラを考慮した分析や同一燃料種を利用する他の需要者との競合関係の分析を、定量的に行うことが重要である。既存の研究では、バイオマスの供給可能量推計（上村他、2009、吉岡・小林、2006）や収集コスト分析（佐無田他、2011、山口他、2010、Yoshioka et al., 2011）、バイオマス利用プラントの建設最適地抽出（Panichielli and Gnansounou, 2008）に関する研究は行われているが、複数の需要に対する燃料木材の競合に関しての研究は見られない。

複数の木質バイオマス需要における競合を分析するためには、各木質バイオマス発電所における木質バイオマス収集範囲を知る必要がある。つまり、各発電所の需要を満たすためには、燃料となる木材を需要地からどの程度離れた場所まで取りにいかなくてはならな

いかということを示す範囲である。この範囲を特定するためには、まずは発電所の周囲にどの程度木質バイオマスが分布しているかを把握し、その後需要量に応じて収集範囲を決定する必要がある。木質バイオマスの賦存する森林は発電所周辺に均一には分布しておらず、森林においても樹種や樹齢の違いにより、そこから供給できる材積量もさまざまであるため、発電所周辺の森林の樹種や材積量に応じた分布状況を把握する必要がある。また、木材を収集するための収集範囲の決定には、需要地点から半径何 km の円や、トラックでの輸送距離何 km の範囲、トラックでの輸送時間何分の範囲等による決定方法が考えられる。たとえば、経済産業省（2015）では、半径 50km における木材収集を例として挙げており、また上村他（2009）では大手製材所への聞き取り調査の結果として、輸送距離 50km 圏内の森林から 80%、100km 圏内からはほぼ 100%の原木を収集しているという結果が示されている。このような木質バイオマスの分布状況と収集範囲を分析することで、発電所で必要とする木材を収集するためにはどの程度の収集範囲になるかが判明し、これらを地図上に記載することによって、燃料となる木材収集範囲の競合具合が判明する。

ただし、このような分析を行う上では、どのようなデータを利用するかが問題となる。たとえば、Kinoshita et al.（2009）では、高知県の梶原村を対象として、資源量の把握に森林簿を利用しており、上村他（2009）は東北地方の3県を対象として、資源量の把握には植生図を利用し、収集範囲の把握には道路網のデータを利用している。また、Emer et al.（2011）では、広範囲の分析（北イタリア地方）では、土地利用図と統計値から資源量を分析し、狭範囲の分析（プリミエロ・バレー地域）では、資源量の把握には森林簿を利用し、収集範囲などには道路網のデータを利用している。このように、木質バイオマスの収集範囲や分析の対象範囲の規模に応じて利用されるデータが異なっており、これはデータの精度と容量に規定されている。詳細な材積量等のデータを利用するならば、より正確な分析結果を得ることができるが、大規模需要に合わせるような広範囲の分析を行う場合には、データ量が膨大になるために、多額の費用と時間がかかり費用対効果が低くなる。また、そもそも開発途上国などでは、後述の森林簿等の詳細なデータが入手できない場合もある。一方、小規模な需要に対して簡易的なデータを利用した場合には、データの精度によっては、需要に対する分析の誤差が大きくなりすぎてしまうことも考えられる。資源量の把握で利用されるデータでは、森林簿は林業施業の最小単位である林小班ごとに樹種、材積量等が管理されており、情報量の多い詳細なデータとして利用される。また、植生図は5万分の1や2万5千分の1の地形図の上に樹種による色付けなどがされており、比較的簡易なデータとして利用できるとともに、Web 上から全国のデータがダウンロード可能である。収集範囲については、道路網を考慮した詳細な分析や需要地を中心とした円による簡易な範囲設定などがある。道路網を考慮した分析を行う場合、地理情報システム（GIS）を利用する上でもより高度な技術が必要となるのに対して、需要地を中心とした円を利用する分析では、そのような高度な技術は必要とされない。この様に、木質バイオマスの資源量に関する分析を行う場合、需要の大きさに対して、まずは上述のような詳細データ及び簡易データに関する適正の検証は重要である。

そこで本章では、複数の木質バイオマス発電所による木材需要においてデータの適合性を検証したのち、どのような競合が生じているかを把握することを目的とする。本章ではまず、詳細なデータ（道路網・森林簿）と簡易なデータ（需要を中心とした円・植生図）による資源量分析結果の違いについて比較をし、利用するデータによってどの程度の誤差が生じているかを検証することで、当該規模の分析にはどのようなデータが適しているかを把握する。その後、複数の木質バイオマス発電所における木材の収集範囲の競合に関する検証を行う。また本章では、岩手県における木質バイオマス発電所を事例とする。その理由は、上述のように、岩手県は全国的にも木質バイオマス発電所の FIT 認定件数が多く、木材の競合が生じやすい環境にあると考えられるためである。本章の構成は、2. において、まず詳細なデータと簡易なデータによる分析の違いについて検証を行い、3. において複数の木質バイオマス発電所における木材収集範囲の競合に関する検証を行う。そして、4. で全体のまとめを行う。

2. 詳細データと簡易データによる資源量分析の検証

（1）研究の概要

本節では、木質バイオマス発電所のような大規模な需要に対する資源供給可能量を分析する際に利用するデータに関して、詳細なデータと簡易なデータによる分析結果の違いについて比較検証する。対象は、1. で述べたように全国の中でも木質バイオマス発電の FIT 認定件数の多い岩手県において、実際に稼働中の発電所とする。まず木材の収集範囲の比較として、収集範囲の面積を算出する。その計算には、詳細なデータとして岩手県の道路網データ^①を利用し、簡易なデータとして対象とする発電所から半径 50km の円のポリゴン（円ポリゴン）^②を利用する。また、供給可能木材の材積量の比較を行うため、詳細なデータとして岩手県の民有林の森林簿および国有林の森林調査簿（樹種別）^③（以下これらをまとめて「森林簿」とする）を利用し、簡易なデータとしては岩手県の植生図および統計値を利用する。

（2）発電所の概要

対象とした木質バイオマス発電所（発電所 X）について 2015 年 3 月のヒアリング調査結果に基づき概要を示す。当該発電所は最大出力 5800kW で、2014 年より稼働開始し、現状 800kW は発電施設内での自家消費であり、残りの 5000kW 分を売電している。発電所 X は自社製材工場において増産を行った場合のチップの安定的な出口を創出する目的で計画されたものであり、2011 年 3 月の東日本大震災においてバイオマスエネルギー利用の重要性を感じスタートさせものであるため、あくまで「副産物の利用」という立場で行っている。また、木質バイオマス発電所により木材の安定的な出口を供給することで、林業の底上げ

も目的の1つとなっている。発電事業については、基本的には自社から発生するチップのみでも経営が成り立つ規模を想定しており、万が一他から間伐材が集まらなくなった場合においても、事業継続が可能であると想定している。

木質チップの使用量は年間約 90,000 トンであり、そのうちの 45,000 トンが自社製材工場で発生する木質チップを利用しており、残りの 45,000 トンは、岩手県内で素材流通の調整を行っている素材流通組織を通じて丸太を購入し、施設内でチップ化して利用している。この素材流通組織から購入する間伐材は、今のところすべて国有林から出た木材である。木材は、おおよそ 270 トン/日で納入されており、樹種の割合としては、カラマツ：スギ：アカマツ＝35：60：5 の割合である。発電所から発生する灰については、岩手県内のセメント会社に有償にて引き取ってもらっている。

(3) 分析方法

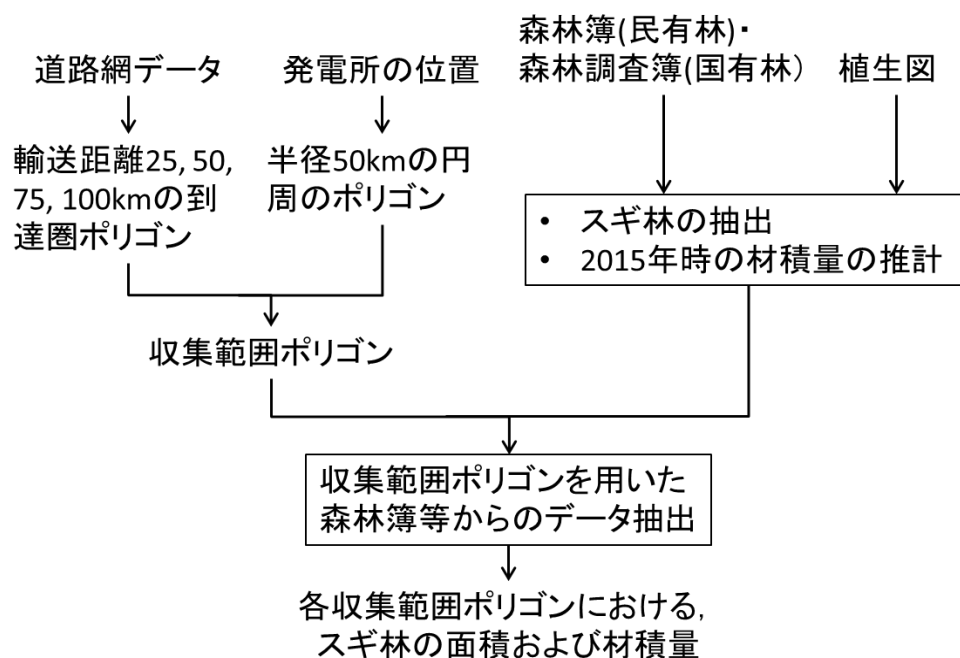
第1表 分析項目と利用データ

	詳細データ	簡易データ
収集範囲	道路網	円ポリゴン
材積量	森林簿	植生図・統計値

本分析では、発電所 X を対象とし、当該発電所で燃料として利用される木材は、スギの間伐材のみと仮定する⁽⁴⁾。また利用する詳細データとしては、収集範囲とその面積

を計算するために、道路網データとして ArcGIS Data Collection 道路網 2014（岩手版）を利用し、発電所への供給可能木材の材積量を計算するために、岩手県の森林簿を利用した（第1表）。簡易データとしては、収集範囲とその面積の計算には発電所から半径 50km の円のポリゴン（円ポリゴン）を作成および利用し、材積量の計算には 5 万分の 1 の植生図および岩手県の統計値より算出した岩手県のスギ林の平均材積量を利用した（第1表）。

分析の概要を第1図に示す。まず、対象とする発電所における木材の収集範囲を推計するために、詳細データである道路網データを利用して、道なりに輸送した場合の距離（輸送距離）25, 50, 75, 100km で到達できる範囲である到達圏ポリゴン⁽⁵⁾を作成する。また、簡易データとして、発電所 X から半径 50km の円ポリゴンを作成⁽⁶⁾し、到達圏ポリゴンと円ポリゴンを合わせて収集範囲ポリゴンとする。この収集範囲ポリゴンにより木材の収集範囲面積の違いについて検証する。次に、森林簿および森林調査簿（森林簿）および植生図の分析を行う。まずは、森林簿のスギ林の林小班を抽出し、各林小班における年度の成長量がそのまま毎年続くと仮定して、民有林・国有林どちらも 2015 年時のスギの材積量を推計した。また植生図は、生物多様性センターの植生図第5回調査（1994 年～1998 年）⁽⁷⁾を利用し、植生図の植生区分における集約群落名の「スギ・ヒノキ・サワラ群落」をスギ林として抽出した。植生図では各スギ林の材積量を求めることができないために、スギ林の材積量は、岩手県（2015）から計算した岩手県の平均スギ材積量（397.2m³/ha）を、植生図から求めたスギ林の面積に乘じることで算出した。その後、森林簿および植生図と収集範囲ポリゴンを重ね合わせ、各収集範囲ポリゴンに含まれるスギ林を抽出し⁽⁸⁾、収集範囲におけるスギ林の面積および材積量を算出した。



第1図 分析の概要

(4) 分析結果

まず、詳細データを利用した輸送距離（25，50，75，100km）と簡易データを利用した半径 50km の円ポリゴンによる収集範囲の違いを比較した結果を示す（第2図）。赤い線で示した輸送距離 50km の収集範囲と点線の円で示した半径 50km の円による収集範囲が大きく異なっていることがわかる。具体的にその収集範囲の面積を比較してみると、輸送距離 25，50，75，100km における収集範囲面積はそれぞれ 312，1704，5335，10582km² であり、半径 50km の円による収集範囲面積は 7847km² となった。つまり、収集範囲を半径 50km の円で想定していた場合、それと同等の収集範囲面積を得ようとする、実際には輸送距離で 75km から 100km の範囲から木材を収集する必要が生じるといえる。本分析における詳細データと簡易データの比較では、詳細データは簡易データの 21.7% の面積にすぎず、輸送距離としては 1.5 倍から 2 倍の差が生じる。3. の分析においても、大規模木質バイオマス発電所における収集範囲においては、輸送距離を利用した収集範囲の分析を採用するのが好ましいと考えられる。



第2図 木質バイオマス発電所から半径 50km の円と道路距離
(25, 50, 75, 100km)の範囲

次に、詳細データとしての森林簿と、簡易データとしての植生図を利用した際の比較結果について考察する（第2表）。収集範囲ポリゴンおよび円ポリゴンにより抽出したスギ林から算出した面積と材積量は、共に森林簿の方が大きくなり、植生図におけるスギ林面積は森林簿における面積の 50%から 87%（平均 73%）、同総材積量は 68%～95%（平均 81%）となった。つまり、詳細データとして森林簿を利用した分析結果よりも、簡易データとして植生図を利用した分析結果の方が過小評価される可能性が示唆された。この原因は、森林簿と植生図におけるスギ林の分布状況の違いによる影響が大きいと考えられ、特に輸送距離 25km, 50km においては分析結果の差が大きくなることから、収集範囲が小さくなるほど分析結果の差も大きくなる傾向にある。本分析のような、収集範囲が半径 50km の円の範囲を想定するような規模の場合は、その誤差は詳細データ、簡易データともに面積で 20%、

材積量で 10%程度の誤差が生じると想定され、森林簿等の詳細データの利用が望ましい。ただし、森林簿等の詳細データが入手できない場合について植生図等の簡易データの利用も可能であるが、上述のような誤差を考慮する必要がある。また、たとえば 2014 年より FIT の対象として新設された 2000kW 未満の間伐材等由来の木質バイオマスを利用した発電に関する分析を行う場合には、本事例よりもさらに小さな収集範囲の設定が見込まれるために、植生図のような簡易データよりも、森林簿のような詳細データの利用が適していると考えられる。

第 2 表 森林簿と植生図を利用した岩手県内のスギ林面積および総材積量

	森林簿(国・民)		植生図		植生図/ 森林簿 (面積)	植生図/ 森林簿 (材積量)
	スギ林面積 (km ²)	総材積量 (千m ³)	スギ林面積 (km ²)	総材積量 (千m ³)		
輸送距離25km	27	807	14	548	0.52	0.68
輸送距離50km	153	5,600	100	3,970	0.65	0.71
輸送距離75km	567	20,090	442	17,557	0.78	0.87
輸送距離100km	1,214	43,957	1,053	41,804	0.87	0.95
円ポリゴン (50km)	826	30,246	654	25,963	0.79	0.86
岩手県全体	2,000	78,267	1,537	61,045	0.77	0.78

注 1. 森林簿の総材積量は、2015 年現在の材積量を計算した結果である。

注 2. 植生図の総材積量は、平成 25 年度岩手県林業の推計（岩手県，2015）における岩手県内のスギ林の平均材積量 397.2 m³/ha を利用して計算した。

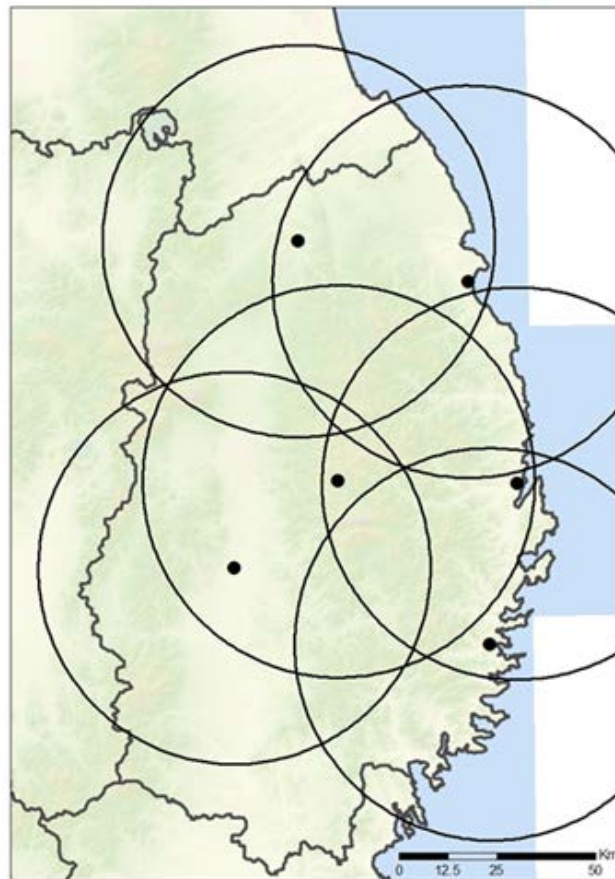
3. 複数の木質バイオマス発電所における木材収集範囲の競合の検証

(1) 研究の概要

本節においては、岩手県における複数の木質バイオマス発電所における木材の競合について分析を行う。2016 年 3 月現在、岩手県内において稼働中もしくは計画・建設中の 2000kW 以上の木質バイオマス発電所は混焼を合わせ 6 カ所（A～F とする）存在している。これらについて各発電所を中心とする 50km の円を収集範囲として描いてみると、ほぼ岩手全県が収集範囲に含まれ、さらには多くの場所で 2 つ以上の発電所における収集範囲が重なり合っていることがわかる（第 3 図）。このような状況においては、集材範囲が重なりあっている場所では、発電所間での燃料需要の競合が危惧されるが、木材の競合に関しては定量的な検証がされていない。そこで本節では、岩手県内の 6 つのバイオマス発電所の需要を岩手県内のスギ間伐材で賄うと仮定した場合に、どのような競合が生じるかについて検証を行った。

（２）分析方法

対象とした森林は、岩手県内の森林簿に記載されているスギ林とする。そのスギ林の 25, 35, 45 年生のスギ林を体積当たり 30%の間伐率で間伐し、間伐した木材のうちの 30%を搬出、さらに搬出した間伐材のうち 40%を発電用のチップとして利用するとした⁽⁹⁾。木材の収集範囲は、前節を参考に、各発電所から輸送距離 25km, 50km, 75km, 100km として分析を行った⁽¹⁰⁾。また各発電所において、発電に必要な燃料木材材積の想定量（需要量とする）は、安藤（2014）から 1000kW あたり 13,895m³と推計し⁽¹¹⁾、各発電所の最大出力に掛け合わせることで求めた。F 発電所については、混焼発電であるために、需要量は岩手県（2015）より計算した。なお、乾燥重量から材積量への換算係数は 2.2（林野庁企画課，2016）を用いた。ただし、実際には現在稼働中の発電所では、スギ間伐材以外の木材や建築廃材等も同時に利用していたり、自社の製材所で発生するチップも利用していたりするが、本分析ではすべての発電所が岩手県内で発生するスギ間伐材を利用すると仮定している。



第 3 図 岩手県における 6 つの木質バイオマス発電所から
半径 50km の円の重なり具合の様子

(3) 分析結果

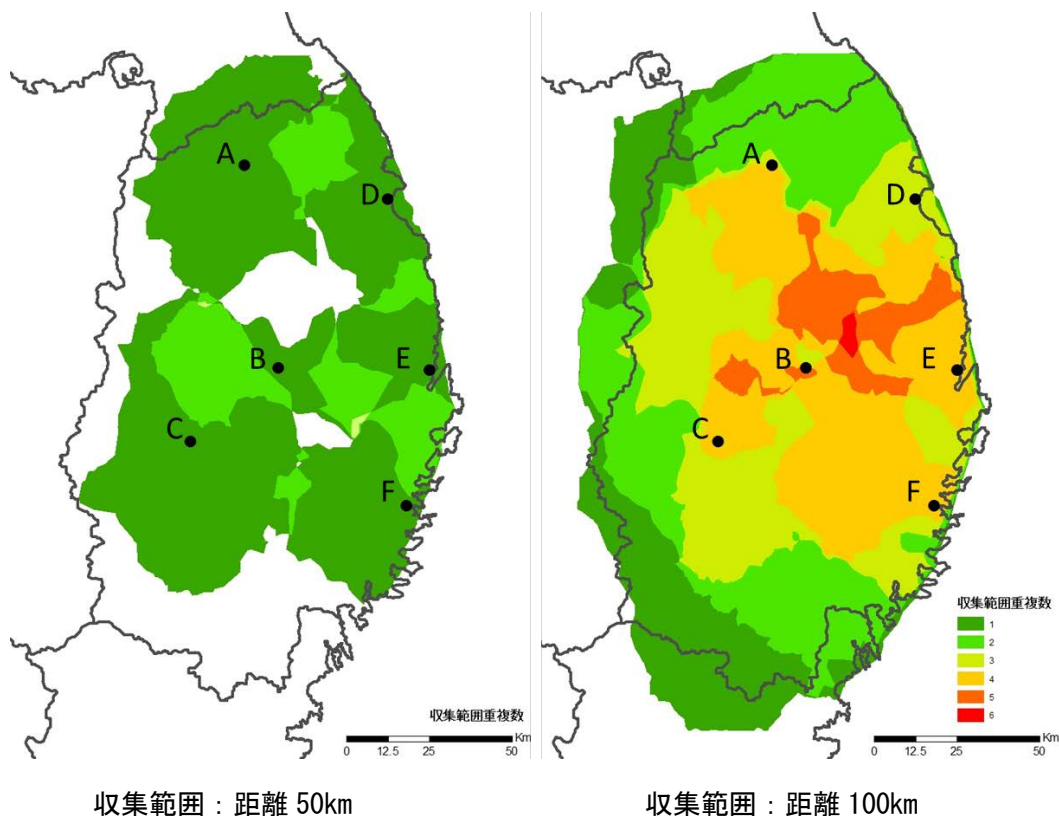
各発電所における需要量に関して分析を行い、結果を第3表に示す。6つの発電所において輸送距離 50km の範囲内で需要量を満たすことができる施設は、混焼発電で需要量の少ない F の 1 か所のみであり、C で 75km、B と E で 100km、A と D では岩手県内における輸送距離 100km の収集範囲内のスギ間伐材では需要を満たすことができなかった。本分析では木材の供給を岩手県内のスギ林のみに限っているが、A と D は青森県との県境近くに立地しているため、青森県からの供給を想定していると考えられる。

第3表 岩手県内の6発電所における材の収集範囲と利用可能材積量の関係

		(単位: m ³)				
		25km	50km	75km	100km	必要な材積 の想定量
A	国有林	351	2,286	5,266	9,186	
	民有林	7,105	17,779	23,945	33,187	
	合計	7,456	20,065	29,211	42,372	86,087
B	国有林	456	1,334	9,174	21,924	
	民有林	1,282	8,035	28,983	72,436	
	合計	1,738	9,369	38,157	94,360	79,889
C	国有林	2,117	9,565	21,580	25,826	
	民有林	6,361	35,035	69,510	103,556	
	合計	8,478	44,600	91,090	129,382	86,087
D	国有林	316	664	789	2,264	
	民有林	2,029	7,235	17,132	27,119	
	合計	2,345	7,899	17,920	29,383	192,835
E	国有林	307	1,231	4,027	7,195	
	民有林	4,079	11,488	23,781	56,706	
	合計	4,386	12,719	27,808	63,901	41,322
F	国有林	537	4,053	7,434	9,263	
	民有林	9,320	35,045	61,449	82,443	
	合計	9,857	39,097	68,883	91,706	6,600
合計						492,819

第3表のように、ほとんどの発電所が 100km 以上の輸送距離を収集範囲とする必要があったため、次に6つの発電所における輸送距離 50km と 100km の収集範囲を地図上に示し、各発電所による木材の収集範囲の重複具合を考察する。第4図は、6つの発電所における木材の収集範囲を重ね合わせたものであるが、収集業者数が1の場所では、その場所を木材の収集範囲とする発電所が1か所であることを示しており、この場所では競合は起きていない。一方、収集業者数が2以上になると、2つ以上の発電所の収集範囲が重なり合っていることを示し、競合が起きていることを表している。まず6つの発電所における輸送

距離 50km による収集範囲すべてを重ね合わせた場合（第4図左），多くの場所で1つの発電所による独占状態を示す収集業者数1となった。けれども，Bの周辺では，収集業者数が2の場所がみられ，これはBが岩手県の中央部に位置しているために，周囲の発電所との競合範囲の割合が他の発電所に比べて高くなったと考えられる。さらに，輸送距離を100kmに広げた場合には（第4図右），岩手県全体が6つの発電所による木材の収集範囲の中に含まれ，その多くの場所で収集業者数2以上と，競合が生じる可能性が示された。特に，BやEにおいては，発電所の周囲において収集業者数が4以上の場所が多くなり，自らの発電所の直近においても競合が生じる可能性が高い。発電所における競合具合を数値で表すと第4表になる。輸送距離50kmの場合の収集事業者数をみると，79.4%の範囲は他の発電所と競合なく木材を収集可能となる。一方，輸送距離を100kmとすると，6つの発電所の収集範囲全体の95%が2か所以上の収集範囲と重なり合っており，50%以上が4か所以上の発電所の収集範囲が重なっていた。第3表によると，4つの発電所で輸送距離100km以上の収集範囲が必要となることが示されており，6つ全ての発電所が稼働した場合には，岩手県の多くの森林で発電用の木材の競合が起きると予想される。



第4図 輸送距離50km および100kmにおける木材の競合の様子

第4表 複数の発電所における収集の競合具合

収集事業者数	道路距離50km		道路距離100km	
	収集範囲に含まれる面積 (ha)	割合 (%)	収集範囲に含まれる面積 (ha)	割合 (%)
1 (重複なし)	12,541	79.4	5,506	4.5
2 } (重複あり)	3,225	20.4	20,343	16.7
3 }	21	0.1	33,116	27.2
4 }	0	0	50,961	41.8
5 }	0	0	11,588	9.5
6 }	0	0	432	0.4
合計	15,786	100	121,946	100

ここで、岩手県におけるスギの間伐実施状況と本分析結果を比較する。第5表に、2008年度から2012年度までの岩手県におけるスギの間伐実施状況を示した。2012年度は他の年度と比べて著しく間伐量が少ないため、2008年度から2011年度までの平均値を計算すると、平均の間伐材積量は421,590m³となり、岩手県内のスギ間伐材のみを燃料とした場合、間伐した木材をすべて搬出し発電に利用したとしても、6つの発電所の需要(492,819m³)を完全に満たすことはできない。また、2012年の実績値として、間伐材の主な用途としては、製材・加工材としての利用が52.7%、丸太としての利用が6.7%、原材料(チップ)としての利用が40.6%となっており(岩手県, 2015)、岩手県の平均間伐材積量をすべて搬出した場合においても、チップとして利用できる木材は168,636m³程度となり、さらに供給可能性が減少するはずである。

本分析では、発電所で必要とされる燃料すべてを岩手県内で生産される間伐材由来のチップと仮定し、必要な木材材積量に関しては、文献値をもとにして一律に決定している。実際には、2.の発電所Xなどのように、

自社で発生する木質チップを利用しつつ、外部からカラマツを購入するケースや、輸入のパームヤシ殻や建築廃材なども利用する発電所がある。さらに、大小の製材所や製紙工場など、既存の間伐材需要が多く存在するため、極めて複雑な需給関係が発生し、収集範囲の設定にも影響することに留意が必要である。

第5表 岩手県におけるスギ間伐実施状況
(単位: 面積:ha, 材積:m³)

	面積	材積
2008	6,162	467,406
2009	5,248	395,891
2010	4,707	407,709
2011	5,543	415,352
2012	3,418	231,932

出所: 岩手県(2015)より著者作成。

4. おわりに

本章では、複数の木質バイオマス発電所による木材需要により、どのような競合が生じるかを把握するために、まずは利用するデータについての検証を行った後に、実際の競合状況の分析を行った。詳細なデータと簡易なデータを比較したところ、県レベルの規模を対象とした分析には、植生図を利用した場合の面積および材積量の分析結果は、森林簿を利用した場合よりも 10%から 20%のマイナスとなり、森林簿を利用した分析が好ましいと考えられる。また、詳細データが入手できず植生図等の簡易データを利用する場合には、その結果に対して、10%から 20%の誤差が生じていることを考慮する必要がある。

また競合関係については、事例とした岩手県では、発電所稼働に必要な木材を確保するためには、輸送距離 50km の収集範囲ならば他の木質バイオマス発電所との競合は 20%程度であるが、必要木材確保に問題が生じることが予想される。一方、輸送距離 100km の場合は、木材の確保は輸送距離 50km に比べると大きく改善するものの、収集範囲の 95%以上で発電所間の競合が生じることが明らかとなった。競合する範囲については、発電所周囲の森林分布や発電所の規模、隣り合う発電所との距離によって左右されるものの、本研究のように GIS を利用した定量的な分析を行うことで、より正確な競合地域や競合の状態を把握することができる。

本研究で残された課題としては、まず、詳細データとして道路網データを利用したが、利用した道路データは、道路幅などの情報を加味していない。たとえば上村他（2009）では、大型トラックによるチップの輸送を想定するために、私道や幅員 1.5m 未満の道路を除外した分析を行ったり、集材範囲として搬出距離 500m 以内を作業エリアとして設定したりしている。本分析においても、木材の競合範囲の設定においてより細かい設定が必要である。また、実際の事業運営において、県境によって集材範囲を設定することはないはずである。本分析では岩手県内で発生するスギ林の間伐材を利用すると設定しているが、より詳細な分析のためには、樹種の幅を広げることと、集材範囲を岩手県外にも広げることが必要である。競合範囲の分析においては、各発電所では必要となる木材の量が異なり、それによって集材範囲も異なるために、それらを加味した集材範囲と競合範囲の分析が必要となる。

木質バイオマスのエネルギー利用において、そのエネルギーを電力のみに利用した場合、発電効率は 20~25%と考えられておりそのほかの大部分は熱として放出されてしまうために、熱をうまく使うことが重要とされている（渡邊，2002）。ただし、大規模な木質バイオマス発電により放出される熱は膨大な量となるが、発電所の立地としては山間部であることが多く、熱の需要先を見つけることが困難な状況である。FIT の認定が 2000kW 以下の中規模以下の発電を重視し始めたことから、熱の需要地に近い場所での事業展開も期待される場所である。さらには、FIT の導入により木質バイオマス発電の事業が急拡大したことのように、熱エネルギーへの政策的な支援により事業展開や技術革新を誘導することができるかもしれない。木質エネルギーの利用に関する研究においても、電熱併給に関する分

析が望まれる。

注

- (1) 本分析で利用した道路網データは、ESRI ジャパンで販売している ArcGIS データコレクション道路網 2014（岩手版）であり、当該データは住友電気工業株式会社の拡張版全国デジタル道路地図データベース（ADF）を加工して開発した全国道路ネットワーク データセットである。道路・交差点間の接続性や右左折禁止、一方通行などの交通規制情報を有していることが特徴であり、幹線道路、主要道路、一般道路などの階層分けがされている。
- (2) ポリゴンとは、多角形からなるデータであり、各頂点が座標値で管理されているベクタデータのことである（高橋他，2005）。
- (3) 岩手県における民有林の森林簿は、岩手県よりデータ貸与していただいたものであり、2012 年現在の情報となっている。また国有林の森林調査簿は、林野庁よりデータ貸与していただいたものであり、各林班からのデータ取得年次は 2009 年から 2013 年の範囲となっている。
- (4) 実際には、対象とする木質バイオマス発電所では、カラマツ・スギ・アカマツを利用しているとのことであったが、本分析では分析データの容量を抑えることと、3. における分析と利用樹種をそろえることを目的として、スギのみを利用木材として分析を行っている。そのため、実際の対象とする発電所の状況とは一致するものではない。
- (5) 到達圏ポリゴンの解析には、ArcGIS10.3.1 の Network Analyst を利用した。当該分析における使用道路条件では、一般道路のみを利用すると想定し、有料道路と高速道路を除外した。
- (6) 円ポリゴンは、発電所 X の緯度経度の情報より、ポイントデータを作成し、バッファー処理によりポイントから 50km の円状のポリゴンを作成することで、発電所 X から半径 50km の円ポリゴンを作成した。
- (7) 植生図は、生物多様性センターのホームページ（環境省自然環境局，online）よりダウンロードした。当該ホームページで GIS データとしてダウンロード可能な縮尺 5 万分の 1 の植生図は、第 1 回調査（1973 年）、第 2 回調査（1983～1987 年）、第 3 回調査（1987～1988 年）、第 4 回（1989～1993）、第 5 回調査（1994～1998 年）がある。本分析ではその中でも最も新しいものである第 5 回のものを利用した。縮尺 2 万 5 千分の 1 の植生図も GIS データとして整備されつつあるが、2016 年 4 月現在、岩手全県のデータが整備されていないため、本分析においては、縮尺 5 万分の 1 の植生図を利用する。ただし、縮尺 2 万 5 千分の 1 の植生図を利用する場合には、5 万分の 1 のものよりもデータ量が大きくなるため、注意が必要である。
- (8) 収集範囲の中に含まれる森林簿のスギ林の林小班の抽出は、ArcGIS の属性検索により、「収集範囲ポリゴンと交差する」ものを選択した。つまり、収集範囲ポリゴンの境界部分においては、林小班がポリゴンからはみ出しているも、林小班の一部でも収集範囲ポリゴンと重なっていれば選択されることになる。これは、一般的に林小班は林業施業の最小単位であるため、一度の施業では収集範囲ポリゴンと重なる一部分だけではなく、林小班の全体を施業すると考えたためである。また、植生図の分析においては、ArcGIS の Clip 処理を利

用し、収集範囲ポリゴンに含まれる森林のみを抽出した。この場合には、収集範囲ポリゴンがスギ林のポリゴンを横断する際は、収集範囲に含まれる部分のみを選択し、それ以外の部分は除外した。これは、植生図は施業単位で分割されておらず、樹種による分類であるためである。

- (9) この設定は、第2章の岩手県西和賀町における間伐状況をもとに設定した。西和賀町では、間伐材の搬出率は27%であったが、本章の分析においては30%とした。
- (10) 収集範囲の分析に利用した道路網データが岩手県およびその周囲までに限られているために、県境付近にある発電所においては、完全に輸送距離を満たすだけの収集範囲を分析できなかったわけではない。
- (11) 安藤（2014）によると、5,700kWの木質バイオマス発電所において、年間利用木材はおよそ60,000トン（WB40%）であり、乾燥重量（DB）としては36,000トンとなる。これに換算係数2.2（林野庁，2016）を乗じると、年間需要量は79,200m³となる。また、鹿児島県内における木質バイオマス発電所へのヒアリング調査による発電規模と燃料用丸太の利用量は、5750kW級の発電規模で79,200m³と、本計算と同様の結果となった。

[引用文献]

- 安藤範親（2014）「未利用材の供給不足が懸念される木質バイオマス発電―地域別需給推計と展望―」『農林金融 2014.6』, pp.364-378.
- Emer, B., Grigolato, S., Lubello, D., Cavalli, R., (2011) "Comparison of biomass feedstock supply and demand in Northeast Italy" *Biomass and bioenergy* 35, pp.3309-3317.
- 岩手県（2015）『いわて木質バイオマスエネルギー利用展開指針～「みどりのエネルギー」利用日本一に向けて～』。
- 上村佳奈・久保山裕史・山本幸一（2009）「北東北三県における木質バイオマス供給可能量の空間的推定」『日本エネルギー学会誌』88(10), pp. 877-883.
- Kinoshita, T., Inoue, K., Iwano, K., Kagemoto, H., Yamagata, Y., (2009) "A spatial evaluation of forest biomass usage using GIS" *Applied Energy* (86), pp.1-8.
- 環境省自然環境局（online）「環境省自然環境局生物多様性センターホームページ」
<http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-023.html>（2016年5月19日アクセス）。
- 経済産業省（2015）「小規模な木質バイオマス発電の推進について」
http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/017_01_00.pdf（2016年4月8日アクセス）
- Panichelli, L., Gnansounou, E., (2008) "GIS-based approach for defining bioenergy facilities location: A case study in Northern Spain based on marginal delivery costs and resources competition between facilities" *Biomass and Bioenergy* 32, pp.289-300.
- 資源エネルギー庁（online）『FIT 設備認定における事前チェックについて』
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/setsubi_bio/mokusitu_bi

- o_check.pdf (2016 年 4 月 8 日アクセス)。
- 林野庁企画課 (2016)『平成 26 年 木材需給表』 <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001138689> (2016 年 5 月 19 日アクセス)。
- 佐無田啓・内山洋司・岡島敬一 (2011)「茨城県におけるバイオエネルギー生産と輸送の最適化分析」『エネルギー・資源』 32(2), pp.16-23。
- 高橋重雄・井上孝・三條和博 (2005)『GIS の基礎知識 高橋朋一編,事例で学ぶ GIS と地域分析』, 古今書院。
- 渡邊裕 (2002)「木質系バイオマスによる発電・熱供給事業の採算性と今後の市場展望, バイオマスエネルギーの特性とエネルギー変換・利用技術―地域特性に合った技術選定・最適プロセスの構築から事業採算性・市場展望まで―」『株式会社エヌ・ティー・エス, 2002 年, 東京』, pp.151-177。
- Yoshioka, T., Sakurai, R., Aruga, K., Sakai, H., Inoue, K., (2011) “A GIS-based analysis on the relationship between the annual available amount and the procurement cost of forest biomass in a mountainous region in Japan” *Biomass and Bioenergy* 35, pp. 4530-4537.
- 吉岡拓如・小林洋司 (2006)「中山間地域におけるエネルギー利用が可能な森林バイオマス資源量と収穫・輸送コスト」『第 57 回日本森林学会関東支部大会発表論文集』, pp. 335-338。
- 山口鈴子・有賀一広・村上文美・斎藤仁志・伊藤要 (2010)「栃木県佐野市における用材と林地残材収穫の経済性を考慮した林地残材収穫量と収穫費用算定モデルの構築」『日本エネルギー学会誌』 89(10), pp.982-995。

第4章 バイオガス関連政策と主体間関係

ーデンマークでの取組を事例にー

浅井 真康

1. はじめに

天然資源の枯渇が深刻化し、温室効果ガス排出や水質汚染の緩和が重要視される中、地域資源の効率的な利用・循環は世界共通課題である。そのためには、再生可能資源を所有する主体と、それを再利用する主体との協働パフォーマンス（＝複数の主体間における効率的な資源循環の構築とその成果）の向上を取引コストの節約により実現する必要がある。

そこで本研究は、デンマークにおいて昨年から稼働し始めた2つのバイオガスプラントの活動を先進事例として着目し、以下3つの課題に取り組むことを目的とした。

まず農村地域におけるバイオマス所有主体の発見から再生可能エネルギーの生産に至るまでの諸課題を制度的側面、社会的側面、環境側面等から解明する分析枠組の構築である。そして、その枠組をデンマークの事例にあてはめることでその有用性を検証し、さらに彼らがいかに取引コストを節約する取組を行っているのかを整理する。

有効な結果が得られれば、日本におけるバイオマス関連事業の具体的な評価や新たな資源循環システムの創生へ向けた政策提言を行う上でも活用できるものとする。

2. 分析枠組の構築

(1) 取引コスト理論

より持続可能な農林業生産の実現には、地域に内在するバイオマス所有主体の発見や再評価と、利用主体とのネットワーク構築による主体間のマッチングが不可欠である。本研究では、この主体間マッチングに関して、取引コスト理論からアプローチする。

取引コスト理論とは、Coase(1937)が創始し、Williamson(1985)が精緻化した理論である。その骨子は、主体間においてある取引が行われる場合、情報収集や交渉、契約履行の監視などの取引にまつわるコスト（取引コスト）が発生するため、これを節約するためのガバナンス制度が展開されうるというものである。取引コストの大きさは取引の資産特殊性、不確実性、頻度といった要因に依存する。さらにHobbs(1997)やWidmark et al.(2013)の議論によれば、取引コストは主に4つのタイプに分類できる。まず最適な取引相手を見つけるための情報を探索する際にかかる費用、取引条件について交渉にかかる費用、取引の実施にかかる費用（例えば運搬費）、そして契約の条項がきちんと守られているのかを確かめるためのモニタリングにかかる費用の4つである。探索コストおよび交渉コストは取引決定前に、実施コストおよびモニタリングコストは取引決定後にかかわってくる。

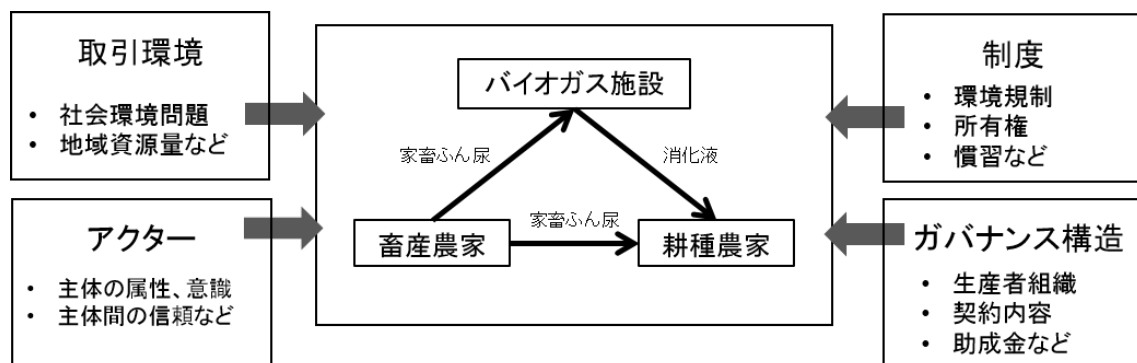
近年では GIS（地理情報システム）を用いて農村地域における効率的なバイオマスの収集・運搬・集荷を評価する研究が増えている。このような研究分野の発達によってバイオマス所有主体の発見や賦存量評価，利用主体への効率的な管理に関するアドバイス等が可能になる。しかしながら，これらの先行研究の多くが，主体の意思決定は輸送距離等の物理的費用に基づくものと仮定している。しかし，デンマーク畜産農家が余剰分の家畜ふん尿を耕種農家へ譲渡する際に結ぶパートナーシップについて調査した Asai et al.(2014)によれば，多くの農家が物理的費用に関する要因だけでなく，地縁や適切な情報交換等によって取引に関する不確実性を低減可能なパートナーを重視することが明らかになった。

Asai et al.(2014)の研究においても取引コスト理論を援用しており，これによりバイオマスを介した主体間のマッチングへの理解には，取引コストの節約という観点からアプローチすることが有効であることが確認された。

（２）Institutions of Sustainability（IoS）分析枠組

主体間のマッチングについて，成功事例，進行事例，あるいは失敗事例から，その理解を深めるためには，バイオマスを取り巻く自然環境，制度・政策，ステークホルダー意識，技術・市場条件等に関する経緯と現状に関して，またそれぞれの対応関係について，情報を整理する必要がある。このような問題意識から，Hagedorn et al.(2002)は社会・生態システムにおける資源利用を介した主体間のやりとりを分析する新しい枠組みとして Institutions of Sustainability（IoS）分析枠組を提案している。

IoS 分析枠組とは，主体間のバイオマスを介したやりとり（＝取引）が，１）資源量やその収集・運搬・集荷等に影響を与える「取引環境」，２）主体の属性や利用意識，主体間の信頼関係等の「アクター」，３）バイオマスの所有権や環境規制，あるいはインフォーマルな慣習等を含めた「制度」，４）利用調整を担う生産者組織や契約内容，あるいは利用を促進する助成金システム等の「ガバナンス構造」の４つの要素から成り立つと捉える分析枠組である（第１図）。



第１図 Institutions of Sustainability (IoS)の概念図

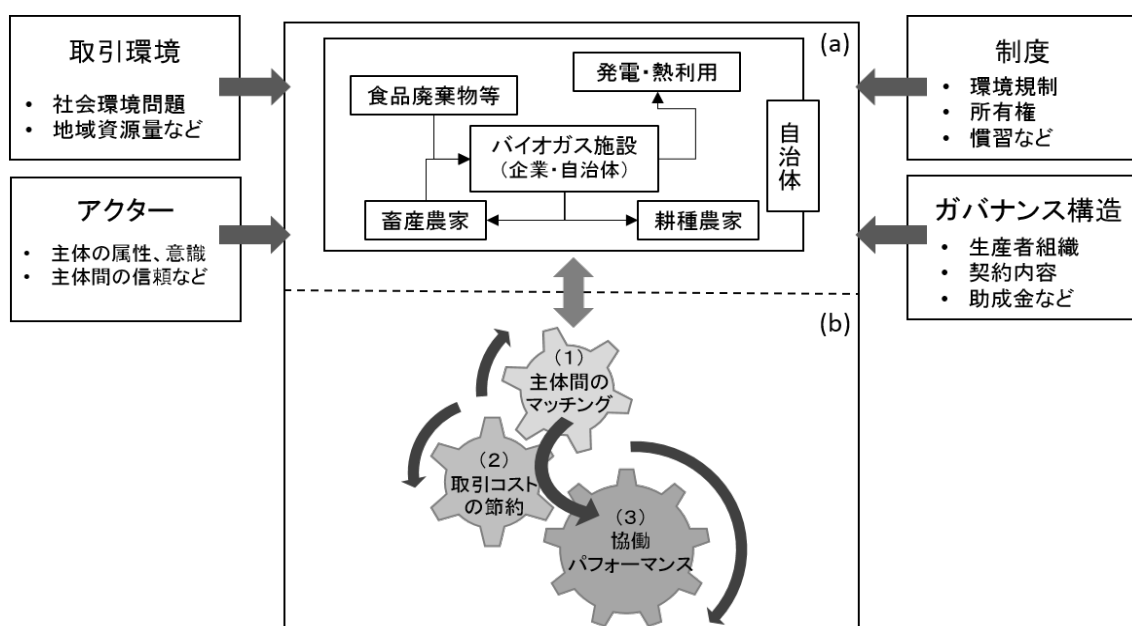
出所：Hagedorn (2008)をもとに著者作成。

IoS 分析枠組を用いれば、第 1 図が示すように、例えば、畜産農家から耕種農家への家畜ふん尿の譲渡は、ふん尿の排出量や運搬経路、近隣農家との協働経験、施肥に関する規制等の様々な要素間のコーディネーション（調整）を経て実施されることが体系的に理解できる。

他方、この IoS 分析枠組によるマッチングの分析は、取引コストを節約あるいは浪費する要因の抽出を助け、各要素における支援方策の必要性を整理できるというメリットもある (Prager, 2010)。例えば、共同バイオガス施設の設立は、農家の資源アクセスや養分効率性の向上、さらには組織の強化を期待できる。そこで、建設の投資助成による支援という具体的な政策提言まで行うことが可能となる。

（３）本研究への取引コスト理論と IoS 分析枠組の適用

本研究では、デンマーク事例調査から得られた情報を IoS 分析枠組の 4 要素に分けて整理することで、バイオガス施設を中心とした農家、自治体、エネルギー会社等の主体が地域内のバイオマスを紹介してどのように関係し、調整を行っているのかを把握する（第 2 図 a）。そして取引コストを節約あるいは浪費する要因の抽出を行う。このような理解が取引コストの節約をもたらす政策へのヒントを導き出し、ひいては取引コストの減少が協働パフォーマンスの向上（例えば、温室効果ガスの排出緩和や地域内エネルギー自給の達成）につながるものとする（第 2 図 b）。なお IoS 分析枠組はこれまで Ehlers(2008)と Plieninger et al.(2009)がドイツのバイオ燃料に関する研究において援用しているが、バイオガス生産システムへの理解に IoS 分析枠組を用いた研究は筆者の知る限り本稿が初めてである。



第 2 図 IoS 分析枠組を用いたバイオガスに関する主体間の理解 (a) と協働パフォーマンス向上のメカニズム (b)

出所：著者作成。

3. デンマークにおけるバイオガス

(1) 背景

現在デンマークは世界有数の豚肉・乳製品の輸出国であるが、集約的な大規模畜産業へと発展を遂げる一方で、排出される家畜排せつ物の有効利用を目的としたバイオガスプラントの開発と利用が 1970 年代以降進められてきた。オイルショックに直面していた当時、主に建設されたのは畜産農家が石油の代替燃料として自家農場の家畜糞尿あるいは有機廃棄物から取り出したバイオガスを燃焼させて発電あるいは発生熱を冬季暖房として利用する農家規模のプラントであった。

他方、1984 年には国内初の集中型プラントが建設された。集約的な畜産業の発展に平行する形で、農業活動による水質汚濁水汚染が表面化しはじめ、厳格な環境規制が実施され始めた頃である。例えば、ha あたりの家畜ふん尿投入量の制限や家畜ふん尿の肥効率向上義務、悪臭問題などをクリアする手段として家畜ふん尿のバイオガス処理が有効であると認識され、複数の畜産農家がイニシアチブを取って組合を設立し、共同の集中型バイオガスプラントが建設された (Raven and Gregersen, 2005)。

集中型プラントで生産されたバイオガスは主に CHP (Combined heat and power plant: 熱電併給発電所) の燃料として利用され、電気は電力会社に、余熱は近くの地域暖房会社に販売するのが一般的である。デンマークでは、1970～80 年代にかけて北海のガス・油田が開発され、この天然ガスを有効利用するためにおよそ 500 の分散型 CHP と地域暖房施設、そしてそれらを結ぶガスパイプラインが全国に建設された。これら旧来の CHP プラントを核とする熱電併給システムをバイオマス併用方式へと転換してきたことが、分散型 CHP や地域暖房を核とするバイオガスプラントの普及につながる一因であったとされる (Raven and Gregersen, 2005)。

集中型プラントでは家畜排せつ物以外にも下水処理施設からの汚泥や食品廃棄物等の処理も行う。近年ではガス生産量を増加するために資源作物 (ビートやとうもろこし) や藁等の植物残渣も投入する場合も増えているが、フードセキュリティの観点から食料や飼料以外の目的で作物を栽培することへの抵抗意識が強く、デンマーク国内における資源作物の利用は数%ほどである。

(2) 現状

2014 年の時点で、デンマーク国内には 158 のバイオガスプラントが稼働しており、2014 年のエネルギー総生産量は約 5.53PJ であった (第 1 表) (Energistyrelsen, 2014a)。全体の 7 割を占める 4 PJ は家畜排せつ物をベースとしたプラントから生産されたものであり、これは国内全消費エネルギー約 800PJ の 0.5%ほどである (Lybæk and Kjær, 2015)。

第 1 表 2014 年におけるデンマークのバイオガスプラント数とエネルギー生産量

	施設数	総生産量 (PJ)
集中型プラント	23	2.865
農家規模プラント	48	1.150
下水処理施設プラント	53	1.084
ゴミ処理施設	28	0.179
工業プラント	6	0.255
合計		5.533

出所：Energistyrelsen（デンマーク・エネルギー局）（2014b）。

注．バイオガス施設を所有する下水処理施設及び廃棄物処理施設は自治体が所有する

第三セクター企業である。

デンマークバイオガス協議会の Bruno Sander Nielsen 氏によれば、2012 年の時点でバイオガス生産に利用された家畜排せつ物は全国で排出された家畜排せつ物のおよそ 6 % にすぎない。仮に全国で排出される家畜排せつ物をすべて有効に利用できたとすると、およそ 40PJ のエネルギーが生産でき、これは全エネルギー消費量の 5 % を占める。この値を達成するためにはおよそ 50 基の新たな集中型プラント、あるいは大量の農家規模プラントの建設が必要になると試算されている。

（３）近年のバイオガス関連政策

デンマーク政府もバイオガスセクターの持つポテンシャルに注目しており、バイオガスに関する複数の政策が実施されている。例えば、2009 年の「緑の成長戦略」では 2020 年までに 50 % の家畜排せつ物を利用し、20PJ のエネルギーを生産すると決定した（Danish Government, 2009）。さらに 2011 年には 2050 年以後のエネルギー供給のすべて（電力、暖房、給湯、商工業、輸送）を再生可能エネルギーでまかなうという「エネルギー2050」を国民に示した。化石燃料から独立した社会の確立を目指す本政策は、与野党・国家議員 9 割以上（179 人中 170 人）からの支持を得て決議された。

その第一歩として 2012 年 3 月に「エネルギー2020 政策」を打ち立て、2020 年までに総エネルギー消費の 30 % を再生エネルギーで賄うことを目標としている。これは 2012 年比の 2 倍以上に相当する。

「エネルギー2020 政策」では、バイオガス施設・設備の建設と改良を目的として、建設・設備費への補助金がこれまでの 20 % から 30 % に引き上げられた。またバイオマスエネルギーの固定価格買取制度（FIT 制度）が改められ、バイオガスを燃料にして発電する電力生産者や精製バイオガス生産者へインセンティブを与えている。

特に近年ではバイオガスに含まれるメタン（CH₄）と二酸化炭素（CO₂）を分離させて圧縮することで天然ガスと同質の精製ガスを生産する技術が発達している。これに伴い精製

バイオガスを天然ガス輸送ラインに供給できれば、バイオガス市場が飛躍的に拡大し、多様なバイオガス利用が可能になることが期待されている。「エネルギー2020 政策」では、天然ガス会社のバイオガス生産事業への参入を認めており、精製バイオガスの FIT 制度に加えて政策的にも北海の天然ガスの代替燃料として精製バイオガスの利用を支援する動きが高まっている。

FIT 制度の具体的な変化とは、これまで（2008 年以降）の基本調達価格に新たに追加補助金 A と B が追加されたものである（第 2 表）。なお、第 2 表は 2012 年度の基礎調達価格を示しているが、これは消費者物価指数に対応して毎年 1 回（1 月 1 日）調整される。

追加補助金 A は前年の平均天然ガス価格と基礎価格（53.2 デンマーククローネ/Nm³）の差に応じて毎年 1 月 1 日に調整される。追加補助金 B は 2016 年まで同額だが 2016 年から毎年 2 デンマーククローネ/GJ 減額し、2019 年が最終交付年となる。ただし、追加補助金 B 以外は期限が定められていない。しかし「エネルギー2020 政策」の合意書には 2018 年にエネルギー政策の再検討を実施することが明記されている（高井，2014）。

第 2 表 2012 年度における FIT 制度の内容（デンマーククローネ/GJ）

	基本調達価格	追加補助金 A	追加補助金 B	合計
バイオガスを燃料にした電力	79	26	10	115
精製バイオガス	79	26	10	115
産業利用	39	26	10	75
輸送利用	39	26	10	75
その他（暖房等）		26	10	36

出所：Energinet.dk (2014a, b)をもとに著者作成。

注．バイオガスを燃料にした電力は主に CHP を通じて発電されるが、kWh に換算した場合の

FIT 単価の合計は 1.15 デンマーククローネである。

さらに乾燥工程等の産業生産過程に使用されるエネルギー、あるいは輸送に係るエネルギー、または暖房等に係るエネルギーがバイオガス由来のものであった場合、それを最終消費者へ販売したエネルギー生産者に対しても FIT 制度が適用される。

なお、デンマーク国内では 2012 年 3 月の「エネルギー2020 政策」において上記の支援制度が提案され、同年 6 月にデンマーク議会によって決議されたが、実際に助成金・FIT 等の実施をするためには欧州委員会による承認を得なければならない。

ところが欧州委員会による承認を得るまでに長期を要し、施設・設備への 30%補助金、電力および精製バイオガスの FIT が承認されたのは 2014 年 1 月、さらに産業・輸送・暖房等への FIT が承認されたのはおよそ 1 年後の 2015 年 12 月であった。

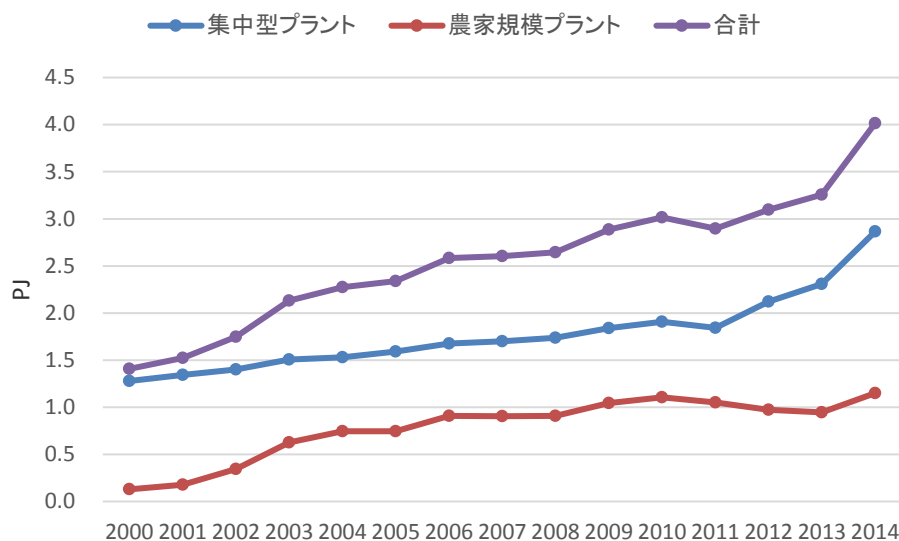
高井（2014）によれば、「エネルギー2020 政策」の国内決議を受けて、多くのバイオガスプラントの建設や既存施設の拡張・改善プロジェクトが補助金を申請し、計 20 あまりのプロジェクトが仮認定を受け、欧州委員会による承認を待ち続けた。大幅な遅れのために「エ

エネルギー2020 政策」の目標達成自体が危ぶまれることとなったが、2014 年1 月の承認を受けて、バイオガス増産政策が実施段階に入った。

（４）今後の課題

第3 図は 2000 年から 2014 年までの集中型プラントおよび農家規模プラントのエネルギー総生産量の遷移を示したものである。この 14 年間で 1.4PJ から 4PJ へとおよそ 3 倍に増加しているものの、このペースでは 2009 年の「緑の成長戦略」で掲げた 2020 年までに 20PJ を達成することは難しいものと考えられる。

しかしながら、前述の FIT 価格増額と建設費への補助金が始まったのは 2014 年であることからバイオガス増産政策の成果はこれから出るものと思われる。例えば、2013 年9 月の時点でエネルギー局が把握しているバイオガス関連のプロジェクト計画あるいは開始されたプロジェクトは全部で 41 件あり、これらのプロジェクトが 100%実施されたと仮定した場合、バイオガス生産は約 12PJ になると試算された（高井，2014）。



第3 図 デンマークにおける家畜排せつ物をベースとしたバイオガス生産量の遷移

出所：Energi styrelsen（デンマーク・エネルギー局）（2014c）。

他方，Lybæk et al. (2014)は、この 10 年間でバイオガス生産技術が進歩しているのにも関わらず、新しいバイオガスの建設数がそこまで伸びていない要因をいくつか説明している。そこで、まず Lybæk et al. (2014)の行ったバイオガスセクターの長所と短所を「環境」、「エネルギー」、「農業」そして「ファイナンス」という 4 つの観点から整理を行ったものを見てみよう（第3 表）。

第3表 デンマークのバイオガスセクターに関する長所と短所

	長所	短所
環境	● 家畜排せつ物の処理によって温室効果ガス排出量の削減 ● 消化液を液肥として利用することで有機廃棄物の再利用 ● 液肥は作物の還元効率がよく、水圏環境への汚染が減少 ● 消化液にすることで臭気の減少	● タンク貯蔵時のガス漏れリスク ● 家畜排せつ物の貯留槽から環境中への漏れ ● 家畜排せつ物搬入時に発生する騒音、粉じん、交通渋滞等の増加 ● 周辺住民による大規模集中型プラント設立への反対
エネルギー	● バイオガスは高質なエネルギー燃料源となる ● バイオマス由来エネルギーの地産地消によるエネルギーの地域安全保障 ● コールや天然ガスといった化石燃料への依存を減らす ● 交通部門等を含めた多様なエネルギー利用への採用が可能 ● ガスは貯蔵できるため、必要なときに利用することが可能（例：風力発電の供給が低いときのバックアップ等）	● 天然ガスと同水準の精製バイオガスを生産するコストが高く、かつ交通部門での利用コストも高い ● バイオガスによる発電および地域暖房の市場が限定されている ● 起動力となる高プロテインの産業有機廃棄物へのアクセスが限定されているためエネルギー生産量に限界がある：農業系バイオマスだけに頼ったエネルギー供給は低い
農業	● 環境負荷が減ることによって農業部門に対する市民の好感度が向上 ● 化学肥料の利用が減少することで生産コストの削減 ● 消化液にすることで家畜排せつ物よりも肥料としての質が向上	● 産業有機廃棄物の代替となるような安定かつコスト安の農業系バイオマスがない
ファイナンス	● バイオガスプラントの建設および稼働によって農村部に新たな雇用が創出される ● バイオガス販売によって追加的な収入が得られるため、化石燃料価格および穀物価格の高騰時には、農家経済の堅強性が増す	● プラント建設への高い投資に対して得られる収益が低い ● 建設ローン体制が整っていない ● 農家の多くが高品質な液肥だけではなく、投資への見返りを期待する ● 集中型プラント設立には長期間かかる（5-10年）

出所：Lybæk et al.(2014)をもとに著者作成。

第3表の「長所」を見てわかるように、バイオガスセクターがもたらす恩恵は多様であり、国内のみならず EU 全体が掲げる持続的な発展目標への貢献も大きい。その一方でバイ

オガスセクターの障壁となりうる「短所」も多数指摘された。Lybæk et al.(2014)は、これらの中でも特に重大な障壁になりうるものとして以下の4つを挙げている。

産業有機廃棄物の代替バイオマス

従来のバイオガスプラントにおいては、ガス排出量を向上させる（つまりプラントの経済性を向上する）ためにプロテインを多く含んだ産業有機廃棄物（食肉加工や魚の残さ等）が利用されてきた。しかし、国内で排出される産業有機廃棄物の多くはすでに稼働中の現存プラントへ供給されてしまっており、新しいプラントに配給できるものが限られてきている。家畜排せつ物の嫌気性消化によるバイオガス生産を今後も増やしていく上では、起動力となりうる新たなバイオマスの確保が必要である。例えば、家庭からの生ゴミが考えられるが、このような代替資源の探索には自治体の積極的な介入が有効である。

市場の拡大

バイオガス市場の拡大には、未開発の地域において地域暖房や大規模 CHP プラントでのバイオガス利用を増やし、エネルギーを供給できるエリアを拡大していく必要がある。新たな市場の確立はバイオガスセクターの発展につながる。そのためには、例えば、自治体が主導となってバイオガスパイプラインを設置していくことや、天然ガス会社が精製したガスを公共交通機関に利用する等の取組が必要である。

住民の反対

大規模な集中型バイオガスプラントを建設する際の障壁となるのが建設場所の決定に関する議論である。悪臭、運搬トラックの集中による粉じんや騒音、また巨大プラントの設置による景観が損なわれる等の危惧から、地域住民の反対が多い。プラント建設を進める主体と地域住民との双方が納得するまでの話し合い、および調整役の存在（多くの場合が自治体）が必要となる。

ファイナンスの問題

従来、バイオガス部門を引率してきたのは個々の農家や農業協同組合等の農業部門であった。しかし、農業部門は2007年の経済危機のあおりを受け、投資能力が大きく損なわれた。そのため、エネルギー会社（例えば天然ガス販売会社）のような、高い投資力と最新技術を有し、新しいマーケットを開拓していく新しいステークホルダーの参入が必要である。

以上の主な障壁は今後のバイオガスセクターの発展を担う上でも乗り越えなくてはならない課題と言える。他方、これらを解決していく上では「農家」、「自治体」、「エネルギー会社」という3つの主体の役割、また主体間のやりとりが重要であることが指摘されている（Lybæk and Kjær, 2015）。そこで以降では、デンマーク国内でも先進的な2つの取り組み

を IoS 分析枠組に当てはめることで、バイオガスプラントの設立を介した地域バイオマスに関する「農家」、「自治体」、「エネルギー会社」のやりとりを制度的側面、社会的側面、環境側面等から明らかにしていく。

4. 適用事例の紹介と事例選定の理由

本研究で事例として扱うのは、ユトランド半島中西部に位置する NGF Nature Energy Holsted（以下 Holsted）およびシェラン島中東部の Solrød Biogas（以下、Solrød）という 2 つのバイオガスプラントである。いずれもバイオガス増産政策の欧州委員会の承認を待って、ともに 2014 年に株式会社として設立され、2015 年秋に稼働を始めたという点で共通している（第 4 表）。以下、それぞれのバイオガスプラントの概況および事例選定の理由を説明する。

第 4 表 事例となった 2 つのバイオガスプラントの概要

	NGF Nature Energy Holsted	Solrød Biogas
バイオマス (シェア%)	家畜排せつ物 (70%) , 資源作物と食品廃棄物 (30%)	家畜排せつ物 (9.5%) , 海藻 (0.5%) , 食品廃棄物 (ペクチン) (76.5%) , 有機廃棄物 (カラギーナン) (13.5%)
年間処理能力	40 万トン	20 万トン
年間生産量	1300 万 m ³ 精製メタンガス	600 万 m ³ メタンガス 23 GWh 電力 28 GWh 熱
納入先	ガス会社	電力送電会社, 地域暖房会社
消化液搬出先	家畜排せつ物を提供した畜産農家	家畜排せつ物を提供した畜産農家+地域内の耕種農家
株主	Nature Energy (天然ガス販売会社) : 65% Borørup-Holsted Biogas (バイオガス協同組合) : 26% Xergi (プラント建設会社) : 9 %	Solrød (自治体) : 100%
地域雇用創出	建設時 : 150 人 稼働後 : 10 人	建設時 : 90 人 稼働後 : 14 人

出所：関係者への聞き取り調査をもとに著者作成。

（１）Nature Energy Holsted の概要

Holsted での取組を選出した理由は次の２点である。まず家畜排せつ物を主原料とするデンマークの典型的なバイオガスプラントでありながら、新しいタイプのステーキホルダーといえる天然ガス販売会社が 40 戸の畜産農家で構成されるバイオガス協働組合と共同出資を行った点、さらに最新の精製バイオガス技術を取り入れている点である。

Holsted の位置するユトランド半島中西部は砂の多い土壤に覆われているために耕種栽培に適さず、酪農や養豚、ミンク養殖（毛皮用）等の畜産業が集積してきた地域である。そのためバイオガス生産の主原料は協働組合の畜産農家が提供する牛、豚、ミンクの排せつ物であり、年間 28 万トン进行处理する。また、これに都市部スーパーマーケットからの食品廃棄物をとうもろこし等の資源作物と混ぜて加えている（合計でおよそ年間 12 万トン）。年間およそ 1300 万 m³ の精製メタンガスが生産され、天然ガス供給網を通じて 2000 戸に販売供給される。収益は Xergi へ 9 %、バイオガス協働組合へ 26 %、残りが Nature Energy へ配当される。ただし、今後収益が上がった場合には最大 40 % まで協働組合の配当が上がる。消化液は家畜排せつ物を提供した畜産農家へ返却され、農地に施肥される。

地域雇用の創出については、建設時には 150 人の建設関係者、設立後には 10 人のフルタイム雇用者を生み出した。フルタイム雇用のうち 6 人が家畜排せつ物の運搬を担うトラック運転手で、残りの 4 人はプラント稼働および事務関係の仕事に従事している。

建設費用の 30 % 相当（およそ 4000 万デンマーククローネ）は EU プロジェクトやデンマーク・エネルギー政策 2020 などの予算をプールした助成金によって支援を得た。

（２）Solrød Biogas の概要

Solrød での取り組みは以下 3 つの点でデンマーク国内のみならず世界的にも注目を集めている(Kaspersen et al., 2016)。本研究でもこれらを理由に事例として選定した。

まず、バイオガス生産の原料として海藻を使っている点である。バイオガス生産に利用される海や湖沼で発生する藻類はブルーバイオマスと呼ばれ、食料・飼料としても利用される資源作物とは異なり人間や動物との競合を生み出さないことから、その研究や利用に近年関心が集まっている。Solrød および周辺の自治体では、夏場に海岸に打ち上げられる海藻が悪臭を放ち公害問題となっていた。これを改善し、なおかつエネルギー資源として利用しようとしたことがプラント設立の発端となった。試算によれば海藻を浜辺から取り除くことで海に流出する年間 62 トンの窒素および 9 トンのリンを除去することができる。

続いて温室効果ガス排出緩和における施策の 1 つとしてバイオガスプラントが設立された点である。デンマークの他の多くの自治体と同様に Solrød 市は気候とエネルギーに関する EU 市長誓約（Covenant of Mayors for Climate & Energy）に調停しており、2025 年までに市から排出される温室効果ガスを現レベルの 50 % まで減少させることを目的としている。プラント稼働によって年間 40,500 トンの二酸化炭素排出が抑制され、これは Solrød 市が現

在排出している二酸化炭素量の 28%に相当することが試算されている。

3つ目の理由は、上記のような地域全体に関わる環境保全を目的として、プラント設立の実行計画イニシアチブを自治体を中心となってい、さらに複数の利害関係者が協力体制をとった点である。

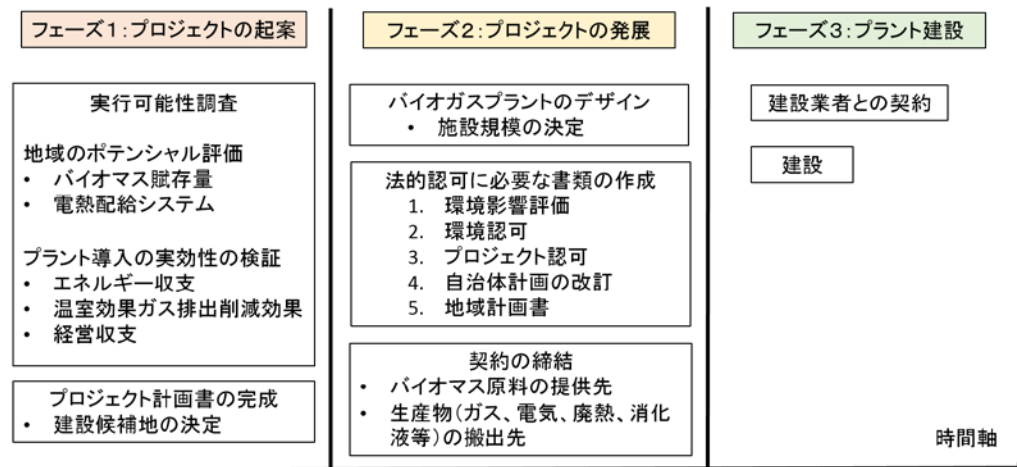
Solrød のプラントでは、年に 7,400 トンの海藻、53,200 トンの家畜ふん尿、14 万トンの有機廃棄物（ペクチンおよびラギーナン製造の残さ）を処理する。年間およそ 600 万 m³ メタンガスを生成し、23 GWh の電力と地域暖房として年間 29 GWh を供給する。消化液に関してはスラリーを提供した養豚農家へ同量分が返却され、各自の農地に施肥される。しかし、プラントから排出される液肥量はこれを上回るため、契約した近隣の耕種農家へも搬入される。

地域雇用の創出については、建設時には 90 人の建設関係者、設立後には 14 人のフルタイム雇用者を生み出した。フルタイム雇用者のうち 10 人がバイオマス運搬を担うトラック運転手で、残りの 4 人がプラント稼働および事務関係の仕事に従事している。

5. 結果と考察

本研究の分析には 2016 年 2 月に行った両バイオガスプラントの視察および関係者、また大学研究者（コペンハーゲン大学、ロスキレ大学、オーフス大学）への聞き取り調査の結果を主に用いた。具体的にはこれらの聞き取り調査の結果を IoS 分析枠組の 4 要素に当てはめることで整理を行った。特に「自治体」、「農家」、「エネルギー会社」という 3 つの主体間のやりとりに注目し、地域内におけるバイオマス所有主体の発見や主体間のマッチングのプロセス、さらには取引コストを抑える戦略等について考察した。なお取引コストに関しては、前述の 4 タイプのコスト（探索コスト、交渉コスト、実施コスト、モニタリングコスト）に関して検討を行う。

なお、Holsted および Solrød が稼働を開始したのは 2015 年の秋であり、聞き取り調査時にはまだ半年あまりしか経過していなかった。そこで本研究ではバイオガスが起案されて稼働に至るまでのプロセスについて特に着目して整理を行っていく。Lybæk and Kjær (2015) によると、このプロセスは主に 3 つの段階（フェーズ）に分類できる（第 4 図）。この時間軸の分類を踏まえた上で、本研究では IoS 分析枠組の 4 要素を整理していく。しかしながら、関係者への聞き取り調査より「フェーズ 3：プラント建設」に関しては重要事項が観察されなかったことから本稿では取り扱わない。



第4図 バイオガスプロジェクトが起案されてから建設に至るまでのプロセス

出所: Lybæk & Kjær(2015)をもとに著者作成。

第5図は4要素に基づいて聞き取り調査の結果を要約したものである。図中において Holsted に特定の事象には H, Solrød については S, 共通の場合は B (=Both) とした。以後、各要素の詳細を説明していく。

取引環境	制度
- 再生可能エネルギー利用への期待(B) - 大規模畜産農家の集積(H) - ガス配給網の存在(H) - 都市からの食品廃棄物の輸送(H) - 夏場に打ち上げられる海藻(S) - 食品工場の立地(S) - 都市部に隣接(S)	- 農業・環境法(B) - 施肥管理、悪臭対策、汚水の流出防止等 - 自治体:建設許可のための5つの書類提出(B) - 環境影響評価 - 地域住民へ公聴会の実施 - ガス会社、農業組合、建設業者の共同シェア(H) - 自治体がプラント所有(非営利)(S)
アクター	ガバナンス構造
- 地域住民の不安(臭い・交通等)(B) - 利潤追求(H) - 地域住民の高い理解(S) - 耕種農家の液肥受入れの躊躇(S)	- 畜産農家←バイオガス(B) - 無料で排せつ物運搬と搬入 - 高い乾物含有率へプレミアム支払い - ラグーン設置に対する金銭サポート - 長期契約 - 耕種農家へ無料で液肥の運搬(S) - ガス会社によるコーディネート(H) - 自治体のコーディネーター(S) - FIT導入および建設助成金(B)

第5図 Holsted および Solrød バイオガスの現状を IoS 分析枠組の4要素で整理した結果例

出所: 関係者への聞き取り調査をもとに著者作成。

（１）取引環境

取引コスト理論によれば不確実性をいかに減らしていくかが取引コスト節約戦略の１つの鍵となりうる。そこでバイオガスプラント設立のプロジェクトを起案するにあたって、まずその実行可能性の調査が行われ、不確実な要素を減らしていく。具体的にはバイオマスの収集運搬といった実施コストを抑制するための検討がなされるが、このような事前の徹底的な調査は、以後の取引内容を決定する際の交渉コストや稼働後のモニタリングコストの減少にも貢献する。

実行可能性調査で特に重要となるのが、地域内でバイオマス原料をどれだけ集められるのか（利用可能バイオマスの調査）、どれだけ地域内にエネルギー需要があり効率的に配給できるか、の２点である。特にバイオマス収集に関して、デンマークでは一般的にプラント稼働にかかる費用のうち実に 30%近くが家畜排せつ物の運搬費用であるとされている。つまりプラントの建設地ならびに大きさ（つまり処理能力）は隣接地でどれほどのバイオマスを収集できるかに大きく依存する。なおこれらの調査には GIS を用いた地域内の資源量評価やエネルギー需給のシナリオ分析等も含まれる。Holsted では Nature Energy がイニシアチブを取って、彼らが委託した専門のコンサルティング会社が、Solrød ではプラント設立プロジェクトのメンバーであるロスキレ大学の研究者が事前評価分析を行った。

Holsted では、プラントの設立場所の検討に際して、家畜排せつ物提供の契約を結んでいる畜産農家の多数が半径 20 キロ圏内に位置していることが重要であった。また Holsted 周辺では天然ガスの供給網が整備されており、効率的にプラントで精製されたバイオガスの配給を行える環境にあったことも重要なポイントとなった。第 4 表の「短所」にもあったようにバイオガスの精製技術は現時点ではコストが高く、それを補えるだけのプラント規模と生産性、そして販売先が必要である。Holsted では多数の大規模畜産農家が集積している点、供給網が整備されている点でこの要件をクリアできた。

他方、Solrød では夏場に回収される海藻と近隣養豚農家からのスラリーの有効利用がプロジェクトの発端であったが、経済的なプラント運用にはこれらのバイオマスだけでは十分なエネルギー生産量を確保できないことが 2009 年の最初の実行可能性調査における試算から明らかになった。このため追加的な原料バイオマスの探索が行われ、2010 年に CP Kelco という食品製造工場より、ペクチン製造の残さ（主に柑橘類の皮）を供給してもらう契約を結ぶことになり、プラント設立場所も工場に近接する方が経済的であることが示された。この決定はペクチン残さを飼料として養豚農家に依頼して引き取ってもらっていた CP Kelco にとっても残さの搬出費用の削減や環境保全という企業の社会的責任の観点からも好ましく、お互いにとって有益な取引となった。また、Solrød はコペンハーゲン中心部から 20km ほどの距離にあり、CPH を通じてエネルギー需要の高い都市部に電熱を安定的に供給できることもプラント設立の実現性を高める上で後押しすることになった。

（２）アクター

バイオガス計画が成功するためには関係する主体それぞれが何らかのかたちの利益を実際に得られる、あるいはそう期待していること（＝モチベーション）が重要である。逆にこれらが欠如している場合、計画を実行していく際の障害ともなり、交渉コストの増大につながる。

まずプロジェクトが起案された際の各主体のモチベーションを整理する。「環境保全型」の Solrød の取組は地域内においてこれまで未活用あるいは有害であったバイオマスを有効利用し、水辺環境や気候変動への影響を緩和することであった。そのためプラントのオーナーである自治体はプラント運営における営利を目的としておらず、当面の目標は 10 年間の稼働によって初期投資を還元することである。また Solrød における実行可能性調査では、生産されたバイオガスを CP Kelco の工場運営エネルギーとして転売する場合、さらに精製させて天然・都市ガス配給網に供給する場合、電力会社 VEKS の CPH へバイオガスを供給し電力および廃熱利用にする場合の 3 つのケースについて検討された。最終的に採用されたのは 3 つ目のオプションであったが、これは最も二酸化炭素排出の抑制量が高いことが試算されたためである。経済性と環境インパクトという多面的な指標による具体的な数値をもって検討が進められたことが多様な利害関係者の理解醸成を推進し、合意形成を得られたといえる。

これに対して Holsted での取組はより「利益追求型」と言える。世界有数の豚肉・乳製品輸出国であるデンマークでは、農家の大規模化がハイペースで進んでおり、国際競争に打ち勝てる優秀な農場経営者だけが生き残れる。このような状況下において、プラント建設に投資を行う農家は、家畜排せつ物の処理という環境規制への実質的な対応とは別にして、利益を求める傾向にある。このようなモチベーションを背景にして Holsted に家畜排せつ物を提供している畜産農家は 2008 年に独自のバイオガス協働組合 Borørup-Holsted Biogas を立ち上げた。さらにバイオガス増産政策によって天然ガス販売会社だった Nature Energy の参入が可能となり、共同投資案が持ち掛けられた。利益追求という同様のモチベーションを持つバイオマス所有主体と利用主体がうまくマッチングする環境が整ったことが交渉コストを節約しながら計画案を押し進められた要因と考えられる。

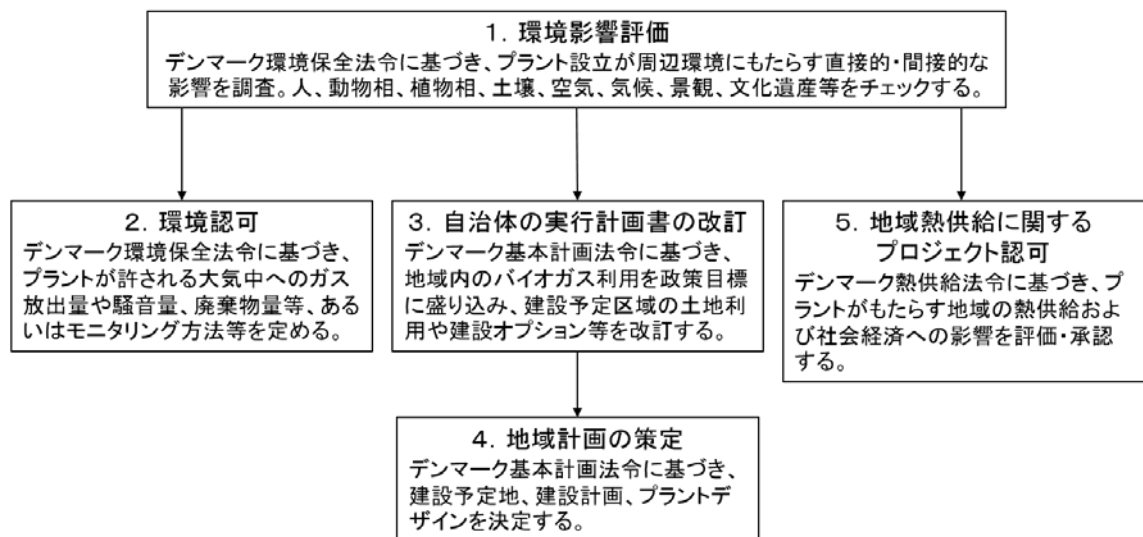
他方、バイオガス計画を阻害する要因もいくつか確認された。まず大きな障害となったのがプラント建設に対する近隣住民の反対の声である。Holsted は国内でも最大規模のプラントであり、毎日大量の運搬トラックの往来等が懸念された。またコペンハーゲンからも近くベットタウンにもなっている Solrød では景観を乱すことや住宅地への近接等の不安が寄せられた。このような近隣住民の不安やコンフリクトを取り除くために幾度も公聴会が開かれ、住民承認を得るまで十分な説明がなされた。例えば Solrød ではプロジェクト発足時からロスキレ大学の研究者が実行委員として参加している。これにより研究機関と自治体とが連携を図りながらプラントがもたらす地域環境や気候変動緩和への貢献について効果的に地域住民へ説明が行われ、最終的な交渉コストの節約につながった。

また Solrød では副産物として排出される消化液の受取先の確保が障害となった。通常、消化液は原料スラリーに比べて、乾物含量が少ないために流動性が高く散布作業性に優れ、即効性窒素としてのアンモニウム態窒素に富む液肥として評価される。しかしながら海藻に含まれる重金属の影響を懸念する噂が拡散したことにより耕種農家の受け入れを妨げる事態に発展した。その後、デンマーク国内でも最大規模の耕作面積を誇る自治体内の耕種農家が年間8万トンの消化液を受け入れる契約を結んだため、これが周辺農家の心配を払拭する機転となった。またプラント側も消化液の成分分析を行いその結果を提示したり、地域内の農家アドバイザー（民間の農業普及員）へ消化液の受け入れを促すよう依頼したりして消化液受け取りの普及推進を行っている。

（３）制度

デンマークでは農業や環境、エネルギー供給に関する法規制が全国共通で定められており、Holsted および Solrød が置かれている基本的な「制度」条件は同じであった。実現可能性調査を通じたプラント設立案の検討の際にも各法令に従っていることが前提である。

フェーズ1を終えて新規バイオガスプラントの計画書が作成された場合、これ以降の具体的な作業を進めるためには建設予定地を管轄する自治体が5つの重要書類を作成しなくてはならない（第6図）。まずプラント設立が周辺環境にもたらす影響を調査する環境影響評価を行う。この影響評価の結果に基づき、以後の審査あるいは実行計画が定められている。



第6図 新規バイオガスプラントを設立する際に必要な書類と作成フロー

出所：Solrød Kommune(2014)をもとに著者作成。

これら5つの書類作成はそれぞれ同時並行で行えるが、「自治体の実行計画書の改訂」が

済まない「地域計画」の策定は行えない。それぞれ順に書類を揃えた場合、「地域計画」にたどり着くまでに 93 週間ほどの行政時間がかかるとされる (Lybæk and Kjær, 2015)。

通常最も時間がかかるのは、自治体評議会による承認を得るまでと、建設地の決定である。プラント設立の起案から住民の承認を経て建設が完了するまでに平均 5～8 年ほどかかるとされ (Lybæk and Kjær, 2015)、例えば Solrød では 2008 年にプロジェクトが起案されてから 2015 年夏の建設完了までに実に 7 年以上の月日が費やされた。

Lybæk and Kjær(2015)の報告によれば、フェーズ 1 とフェーズ 2 で必要となる書類の作成費用は平均およそ 340 万デンマーククローネ (およそ 6,000 万円) とされ、その多くが環境影響評価等を始めとするアセスメントにかかる費用である。

このような稼働までに投入される大量の時間と費用が、特に自治体主導型のバイオガスプラント推進事業の障壁の 1 つになっている。解決策の 1 つとしては助成金を獲得して有効に用いていくことであろう。Solrød では、実行可能性調査を実施する際には EU 構造基金 (Growth Forum Zealand: 全額の 36 %を EU 負担、残りは地域予算) を用い、さらに環境影響評価等のフェーズ 2 における必要書類の作成にかかった費用は EU プロジェクト助成金 (Mobilising Local Energy Investments) より拠出した。

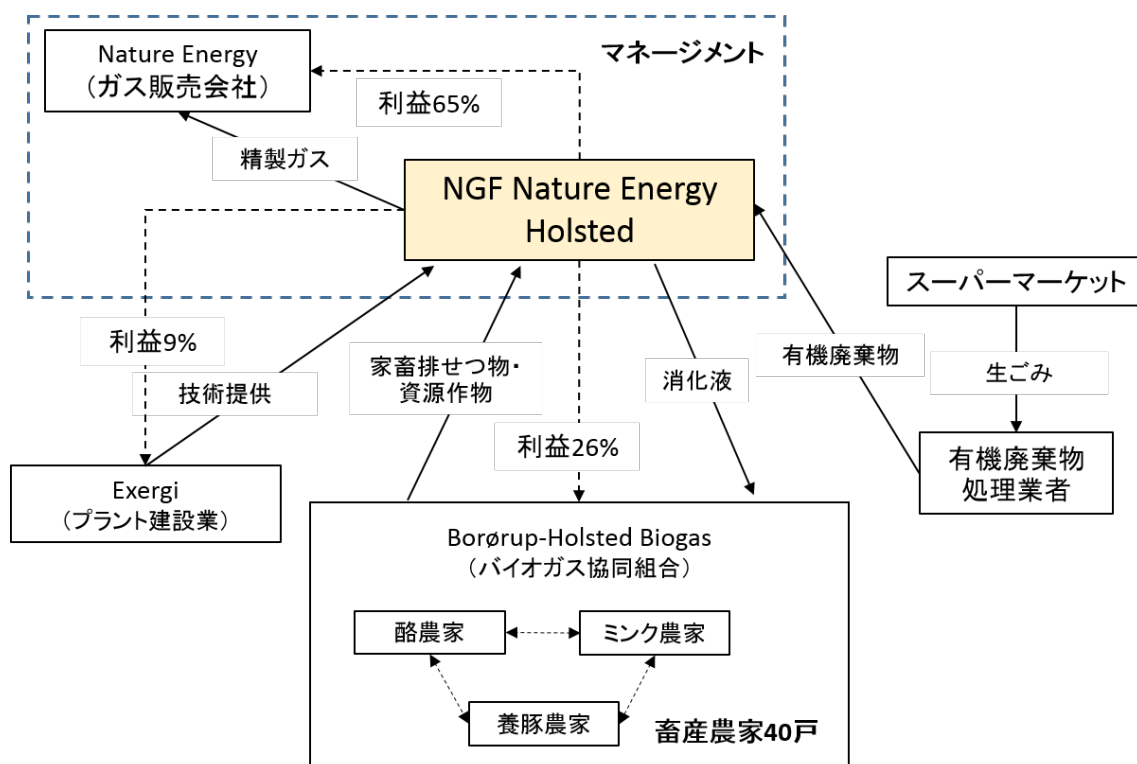
上記で見てきたようにデンマークにおけるバイオガスプラント設立にかかる取引コスト (情報コストおよび交渉コスト) は非常に高額であると考えられる。しかし、その一方で最低でも 10 年以上の稼働を前提に徹底的な多角評価が行われ、これは結果的に稼働後の実施コストやモニタリングコストを引き下げるものと考えられる。

(4) ガバナンス構造

Holsted と Solrød の取り組みにおける「ガバナンス構造」はどうなっているのだろうか。全体像の把握と取引コストの節約という観点から主体間の契約内容について整理していく。

1) Holsted のガバナンス構造

第 7 図は Holsted における主体間の資源・知識・金銭のやりとりを介したガバナンス構造を簡略図で示したものである。Holsted では天然ガス販売会社である Nature Energy が会社全体のマネジメントを行い、必要に応じて他の主体との業務連絡を行うコーディネーターの役割を担っている。Nature Energy は 4 年前まで天然ガスだけを扱う企業であったが、「エネルギー 2020 政策」における天然ガス販売会社のバイオガス生産事業への参入認可を皮切りにバイオガスプラント事業を積極的に進めている。バイオガス事業をきっかけに Nature Energy もこれまで縁のなかった農業部門との連携を強めている。プラント技術に関しては専門業者である Exergi から技術提供を受けつつ、精製ガスの取り扱いならびに配給に関しては、これまでの天然ガスで積み上げてきたノウハウを活かしている。シンプルなガバナンス構造によって交渉コストや実施コストを下げていると考えられる。



第7図 Holsted のガバナンス構造

出所：関係者への聞き取り調査をもとに著者作成。

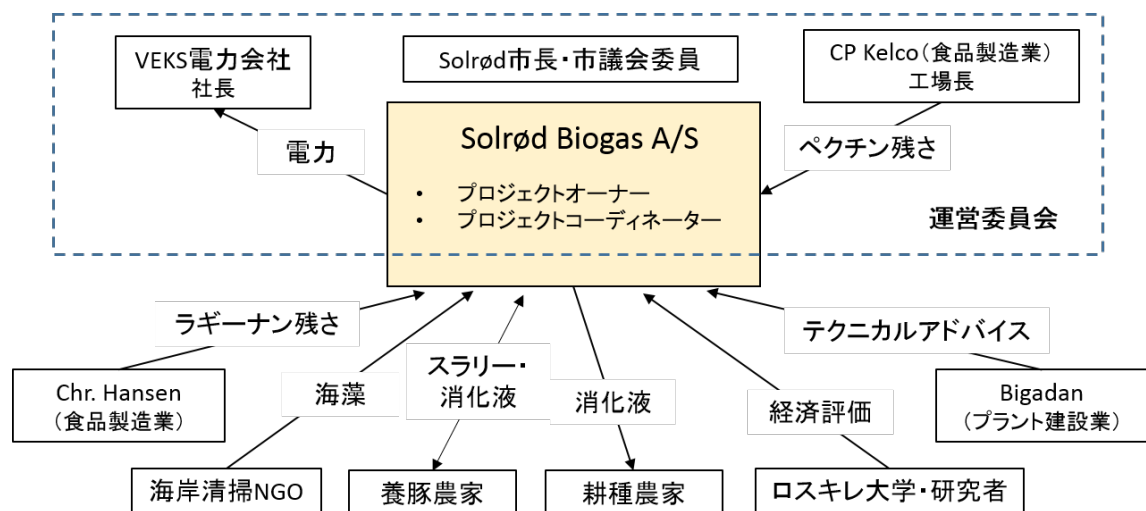
その一方で、Nature Energy の共同出資者でもあるバイオガス共同組合 Borørup-Holsted Biogas も独自のガバナンスを有している。40 戸の畜産農家メンバーの中から選出された組合長を含む 3 人の幹部が組織を束ね、彼らが代表してプラント会社の運営やコンプライアンス等について Nature Energy と連絡をとりあっている。

組合全体でプラントへ提供する家畜排せつ物の年間総合量が決まっており、各メンバー農家は割り当てられた負担量をプラントへ搬出することになっている。つまり組合は一定量の排せつ物を必ずプラントに提供することが契約で義務づけられおり、契約期間は 15 年に渡る。バイオガスプラントへの搬出ではないものの、デンマークの畜産農家が家畜排せつ物を耕種農家へ譲渡するパートナーシップの機能を調べた Asai et al.(2014b)によれば、10 年以上も継続して同じ農家に譲渡し続けていると答えた畜産農家は全体の 3 割（サンプル数は 677 戸）に満たなかった。15 年間に渡って家畜排せつ物の処理に煩わされなくなるのは農家にとっても大きな利点である。例えば、新しい搬出先を見つけなくて済むことは情報コストを下げるという意味で有利である。

現在、40 戸の畜産農家で十分な量の家畜排せつ物が確保できているが、仮に新規加入を希望する者は組合長に連絡を取り、組合全体で協議にかけられる。このような組合内の取り決めに関して Nature Energy 側の介入は行われない。

2) Solrød のガバナンス構造

Solrød では多様な主体が関係していることが特徴である（第8図）。特にプロジェクトが起案されたフェーズ1の時点から市長を中心とする市議会、さらにはペクチン残さを提供する CP Kelco の工場長、バイオガスを買取る VEKS 電力会社社長らが運営委員として参加してきた。このような多様な利害関係者が一堂に会してプロジェクトを推進できたことが自治体主導型のプラント稼働に至った成功要因とされる（Solrød Kommune, 2014）。そこには公害問題や温室効果ガスの排出緩和、未開発資源の有効利用といった地域共通の目標があったからである。



第8図 Solrød のガバナンス構造

出所：関係者への聞き取り調査をもとに著者作成。

技術的な運用に関してはプラント建設業者である Bigadan が行い、同社からの出向という形でエンジニアが4人常勤している。Bigadan との契約は稼働から5年間である。

これらのエンジニアに加えて Solrød 市から出向しているプロジェクトオーナーとプロジェクトコーディネーターが1人ずつ常勤している。彼らの主な業務は関係主体との調整役である。例えば、夏場になると海岸清掃 NGO と協力して打ち上げられた海藻を収集し、プラントまで持ってくる作業の指示を出す。また Holsted と異なり、スラリーを提供する養豚農家は組合を形成していないため、各農家と個別に契約内容等に関する取り決めを行っている。消化液を受け取る耕種農家との交渉も同様である。

このような地域内における多様な関係者間の調整を行って合意形成を図るコーディネーターであるが、2008年のプロジェクト起案から2016年2月現在までに4人がその任務を勤めてきた。現在のコーディネーターはロスキレ大学において環境計画学の修士号を取得し、その後市役所で環境関係の仕事を行ってきた経歴を持つ。このような専門的知識を有する優秀な人材の確保は交渉コストを引き下げ、特に自治体主導のバイオガスプラントプロジェクトには重要であろう。

3) プラントと農家の家畜排せつ物に関する契約

具体的な家畜排せつ物の搬出入に関しては、プラントと各農家との間で取引が行われる。Holsted と Solrød とともに同様の取引が行われていたため、以下まとめて整理を行う。

各プラントにはトラック運転手が常勤しており、彼らが各農家を訪れ、排せつ物の回収を行う。飼養頭数やラグーン（貯留槽）の貯蔵量によって異なるが週に1～2度の頻度で各農家を回る。プラントと各農家との取り決めで着目すべきは以下の3点である。

- 家畜排せつ物および消化液の搬出入にかかる運搬費用は無料である（Holsted の場合はプラントから半径 20km 以内に位置する農家の場合）
- 乾物含有量が高く、窒素含有率が高い家畜排せつ物にはボーナス支払いが行われる
- 農家は家畜排せつ物用と液肥用のラグーンを2つ所有し、プラント側からラグーン建設の援助金が出る

「取引環境」の章でも述べたように、バイオガスプラントの運営においてはバイオマス運搬にかかる費用をいかに抑えるかが重要な鍵となる。Holsted では 20 キロ以内であればその費用をプラントが全面負担しても経営面での損失はないとの計算結果がなされ、上記の契約が結ばれた。なお、20km 以上離れた農家に関しては、1 km 離れるごとに1トンあたり 0.8 デンマーククローネを農家自身が負担する仕組みになっている。Holsted の場合、4 戸の農家がこれに該当する。

家畜排せつ物は環境負荷への影響等から問題視されることが多いものの、それ自体は作物栽培において養分となる貴重な資源である。これに関して両プラントでは排せつ物自体への支払いは行わないものの（よって農家は無料で提供）、一定基準以上の良質のものにはボーナスが支払われる。そのため、回収された排せつ物はプラントに到着すると直ちに乾物含有率および窒素、リン、カリウムの含有率が検査される。Solrød の場合、もし運搬されてきた豚スラリーの乾物含有率が定められた基準値よりも高かった場合、1 % 上回るごとに1トンあたり 5 デンマーククローネのボーナスがつく。他方、基準値よりも低かった場合には、逆に支払いを求められる。

特に豚のスラリーは乾物含有量が低く、ともすればバイオガス生成力の低い水分を輸送しているだけになりかねない。そのためにも契約農家の徹底した家畜排せつ物管理が求められ（雨水の進入を防ぐ等）、このようなインセンティブを付けるシステムが構築された。事実、Holsted では提供される家畜排せつ物の質が日に日に向上してきているという。

他方、仮に消化液に含まれる窒素含有量が提供時のスラリーよりも低くなってしまった場合、この栄養分のロスはプラントからの支払いによって賄われる。Solrød では、運搬されたスラリーおよび消化液の含有窒素量が1トンあたりともに 4.1～4.5kg の間であれば補填は発生しないが、この閾値外で差が発生し、消化液の質が下がってしまった場合には1トンあたりの窒素量 0.1kg につき 1 デンマーククローネの補填費が出る。他方、持ち込まれた

スラリー 1 トンあたりの窒素量が 4.1kg 以下であった場合には、逆に支払いを求められる。

バイオガスの副産物である消化液の貯蔵スペースに限りがある点、また運搬費用を抑えることを目的として、トラックが各農家へ家畜排せつ物の回収に行く際には、前回の回収量と同量の消化液が積み込まれプラントから搬出される。そこで農家は自家農場で排出される排せつ物を貯めるラグーンとプラントから運び込まれる消化液の受け皿となる 2 つ目のラグーンを所有している必要がある。デンマークでは畜産農家は排出された排せつ物を最低半年間貯蔵できる規模のラグーンを保有していることが法規制で定められている。しかしこれに加えて 2 つ目の設備を建設・管理するには農家の負担が大きく、そこでプラント側が畜産農家に援助金を出している。

Solrød では消化液の受け入れのみを行う無家畜の耕種農家にもラグーン設置援助を行っている。まずトラックが 1 度に搭載できる 38m³ 分の消化液を貯蔵できるラグーンが最低限必要とされるが、この設置に関して、最初の 5,000 トンまで 4 デンマーククローネ、5,000 トンから 1 万トンには 3 クローネ、1 万トン以上では 2 クローネの補助が毎年支払われる。

以上のような取組に関して特筆すべき点は、家畜排せつ物を科学的な成分分析を行うことで情報の透明性を高め、同じ条件化におかれた農家同士が排せつ物の質向上をそれぞれ高め合うようなインセンティブが与えられていることである。結果として運搬の効率性が上がり（実施コストの低下）、さらにはバイオガス全体の生産性を高めること、つまり協同パフォーマンスの向上につながる。

6. おわりに

本研究では取引コスト理論の観点から IoS 分析枠組を構築し、これを用いてデンマークにおける先進的な取組の整理を行った。このアプローチによって主体間のバイオマスを紹介したやりとりの総体的な把握が容易になり、IoS 分析枠組の有用性が確認された。

デンマークでのプラント設立に関しては、全国共通の厳格な制度の存在が認められた。環境影響評価や住民との協議等は稼働前における情報コストや交渉コストを大幅に増加させるが、結果的にこれらのプロセスは長期に渡るプラント稼働のためには不可欠であり、実施コストやモニタリングコストの節約に貢献するものと考えられる。これを実証するためには両プラントにおける継続的な観察が必要であり、今後の課題としたい。

また長期契約や排せつ物管理に関するボーナス支払いによるインセンティブ等、ガバナンス面での工夫も多数見られた。今後日本での取組に関しても参考になる点が多いと考える。

[引用文献]

- Asai, M., Langer, V., Frederiksen, P., Jacobsen, B., (2014a) “Livestock farmer perceptions of successful collaborative arrangements for manure exchange: A study in Denmark” *Agricultural Systems* 128, pp.55-65.
- Asai, M., Langer, V., Frederiksen, P., (2014b) “Responding to environmental regulations through collaborative arrangements: The case of Danish manure partnerships” *Livestock Science* 167, pp.370-380.
- Coase, R., (1937) “The Nature of the Firm” *Economica* 4, pp.386-405.
- Ehlers, M.H., (2008) “Farmers’ reasons for engaging in bioenergy utilisation and their institutional context: a case study from Germany” In Glauben, T., Hanf, J.H., Kopsidis, M., Pienadz, A., Reinsberg, K., (eds) *Agri-Food Business: Global Challenges – Innovative Solutions, Studies on the Agricultural and Food Sector in Central and Eastern Europe*, IAMO, pp.106–117.
- Energinet.dk (2014a) “Biogas: Pristillæg til biogas”
<http://energinet.dk/DA/El/Vaerker/Sider/Biogas.aspx> (2016 年 3 月 7 日アクセス).
- Energinet.dk (2014b) “Subsidy for upgraded biogas”
<http://energinet.dk/EN/GAS/biogas/Stoette-til-biogas/Sider/Biogas-PSO.aspx> (2016 年 3 月 7 日アクセス).
- Energistyrelsen, (2014a) “Fakta om biogasproduktion i Danmark”
<http://www.ens.dk/undergrund-forsyning/vedvarende-energi/bioenergi/biogas> (2016 年 3 月 7 日アクセス).
- Energistyrelsen, (2014b) “Eksisterende Biogasanlaeg”
http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/dokumenter/side/oversigt_biogasanlaeg.pdf (2016 年 3 月 7 日アクセス).
- Energistyrelsen, (2014c) “Biogasproduktion 2000 til 2014”
http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/undergrund-forsyning/vedvarende-energi/biogas/biogasproduktion_2000_til_2014.pdf (2016 年 3 月 7 日アクセス).
- Hagedorn, K., Arzt, K., Peters, U., (2002) “Institutional arrangements for environmental co-operatives: a conceptual framework. In Hagedorn, K., (ed.) *Environmental Cooperation and Institutional Change*” *Theories and Policies for European Agriculture*, Elgar Cheltenham, pp.3–25.
- Hagedorn, K., (2008) “Particular requirements for institutional analysis in nature-related sectors” *European Review of Agricultural Economics* 35, pp.357-384.
- Hobbs, J.E., (1997) “Measuring the importance of transaction costs in cattle marketing” *American Journal of Agricultural Economics* 79, pp.1083–1095.
- Lybæk, R., Andersen, J., Christensen T. B., (2014) “The role of municipalities, energy companies and the agricultural sector in Denmark as drivers for biogas: Trends in the current development” *The Journal of Transdisciplinary Environmental Studies* 13(2), pp.24-40.
- Lybæk, R., Kjær, T., (2015) “Municipalities as facilitators, regulators and energy consumers: enhancing

- the dissemination of biogas technology in Denmark” *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management* 8, pp.17-30.
- Raven, R.P.J.M., Gregersen, K.H., (2007) “Biogas plants in Denmark: successes and setbacks” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11(1), pp.116-132.
- Plieninger, T., Thiel, A., Bens, O. Huttel R.F., (2009) “Pathways and pitfalls of implementing the use of woodfuels in Germany’s bioenergy sector” *Biomass and Bioenergy* 33, pp.384-392.
- Prager, K., (2010) “Applying the institutions of sustainability framework to the case of agricultural soil conservation” *Environmental Policy and Governance* 20, pp.223–238.
- Solrød Kommune, (2014) “Solrød Biogas – conception, project development and realization” Teknik of Miljø Solrød Center.
- 高井久光 (2014) 『デンマークに於けるバイオガス増産への取り組み』北海道バイオガス研究会。
- Widmark, C., Bostedt, G., Andersson, M., Sandström, C., (2013) “Measuring transaction costs incurred by landowners in multiple land-use situations” *Land Use Policy* 30, pp.677-684.
- Williamson, O.E., (1985) “The Economic Institutions of Capitalism: Firms, Markets, Relational Contracting” New York: Macmillan Publishers.

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

林 岳

國井 大輔

仲田 俊一（再生可能エネルギー機関）※

1. はじめに

近年、再生可能エネルギーの1つであるバイオエネルギーに注目が集まっている。EU では 2009 年に「再生可能エネルギー指令」を公表し、2030 年までに EU 全体の最終エネルギー消費の 20%を再生可能エネルギーで賄うことを目標としている。再生可能エネルギー機関（IRENA）では 2030 年までに再生可能エネルギーに占めるバイオエネルギーの割合が 60%に達すると見ており（IRENA, 2014, p14）、バイオエネルギーに対する需要は今後ますます高くなると見込まれる。

しかしながら、バイオエネルギーについては、例えばバイオ燃料の生産拡大が 2008 年頃の食料価格の高騰の一因とされるなど、やみくもな生産増加はさまざまな社会問題、環境問題を引き起こすという認識が広まっている。そのため、バイオエネルギーの利用については、持続可能なものであることが強く求められている。それを目指す動きも世界的に進められており、例えば国連の「万人のための持続可能なエネルギー（SE4ALL）」をはじめ、「国際バイオエネルギー・パートナーシップ（GBEP）」、「持続可能なバイオ燃料円卓会議（RSB）」、「責任ある大豆生産円卓会議（RTRS）」、「よりよいさとうきびイニシアティブ（BSI）」などの機関が国際的なバイオエネルギーの持続可能性確保のためのさまざまな活動を行っている。

また、学術的な分野においても、バイオエネルギーの持続可能性を評価する手法や指標の開発や実際の評価事例などの研究成果は多数存在する。例えば、McBrid et al.(2011)は、環境面での持続可能性について、土壌や生物多様性、温室効果ガス排出量など 19 の指標を用いて評価する手法を提案している。また、Hayashi et al.(2014)は、GBEP の持続可能性指標をもとに、個別の持続可能性評価結果の数値を統合して総合スコアを付するツールを開発している。

このような背景のもと、農林水産政策研究所（以下、政策研）では、IRENA からの要請に応じる形で、新たな価値プロジェクトにおいて 2013 年から世界各国で適用可能なバイオエネルギーの資源量評価ツール及び資源と技術の選択支援ツールの開発に取り組んでいる。これらのツールは、各国におけるさまざまなバイオエネルギーの利用可能性を評価した上で、その利用形態を踏まえ、原料（バイオマス）種、変換技術などの組み合わせにより、

※ 現国際協力機構

それぞれの持続可能性を評価するものである。本章では、これら IRENA との共同によるバイオエネルギー評価ツール開発の概要を紹介し、ガーナにおけるツールの試行的適用についてその一部を紹介する。

2. IRENA でのプロジェクトと評価ツール開発の経緯

(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)」

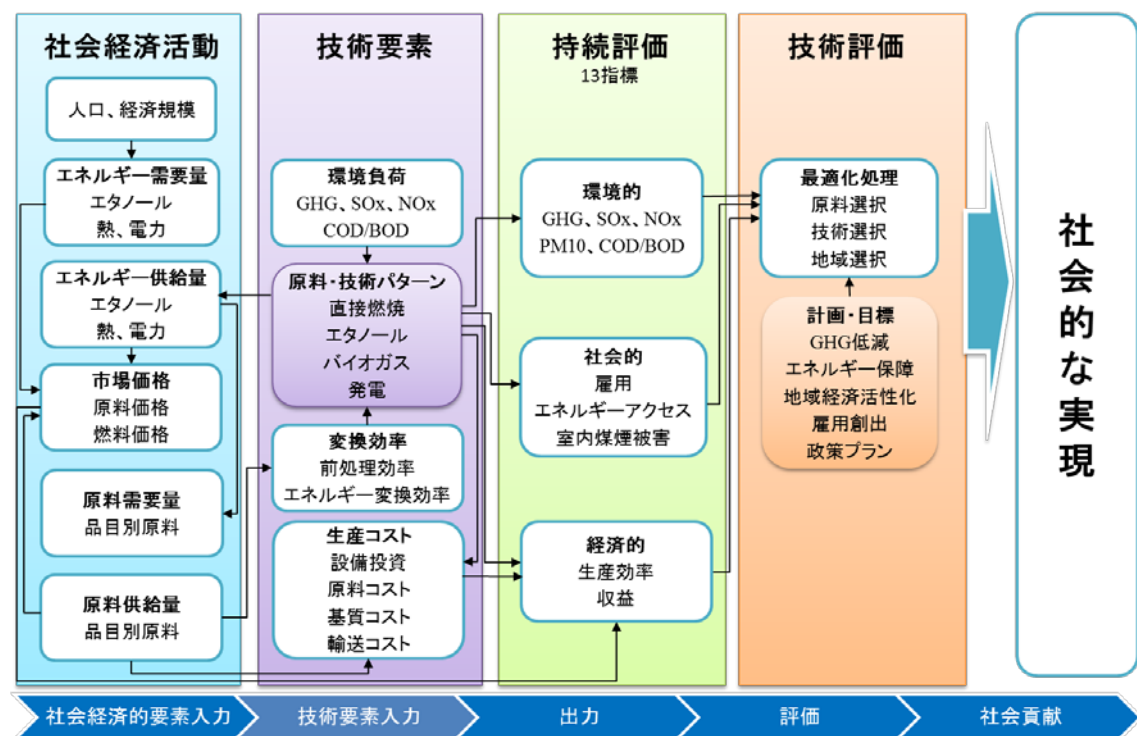
アフリカでは、農産物加工部門の規模は非常に大きく、大量の農産廃棄物が発生している。これらの廃棄物は、次世代バイオ燃料、電力、熱などさまざまな形でエネルギー源として利用可能である。一方で、アフリカの国々では慢性的な電力不足に悩まされており、産業界では独自に独立したディーゼル発電機を導入したり、小規模な地域電力供給システムに電力供給を頼っている状況である。これらのエネルギー供給の課題を克服し、環境と経済に便益をもたらす革新的な方法の1つに、農産廃棄物をエネルギー源として利用することで高付加価値化し、農産加工物のバリューチェーンを最大化することがある。このように、アフリカ諸国では、農産廃棄物からのエ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などもあり、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いる。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、コスト情報など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の提供
- (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他、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などの他、温室効果ガス (GHG) 排出量や大気汚染物質 (SO₂, NO_x, PM など) 排出量など環境への影響なども含まれる。第3段階とし

では、インパクト評価である。これには、国または地域単位での GHG、SO₂、NO_x、PM など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、健康への影響など社会的な影響、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

出所：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 には未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）など他の国際機関、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、国際農林水産業研究センター（JIRCAS）に対しても、途上国におけるデータ収集などの面でIRENA 側からの協力要請があった。

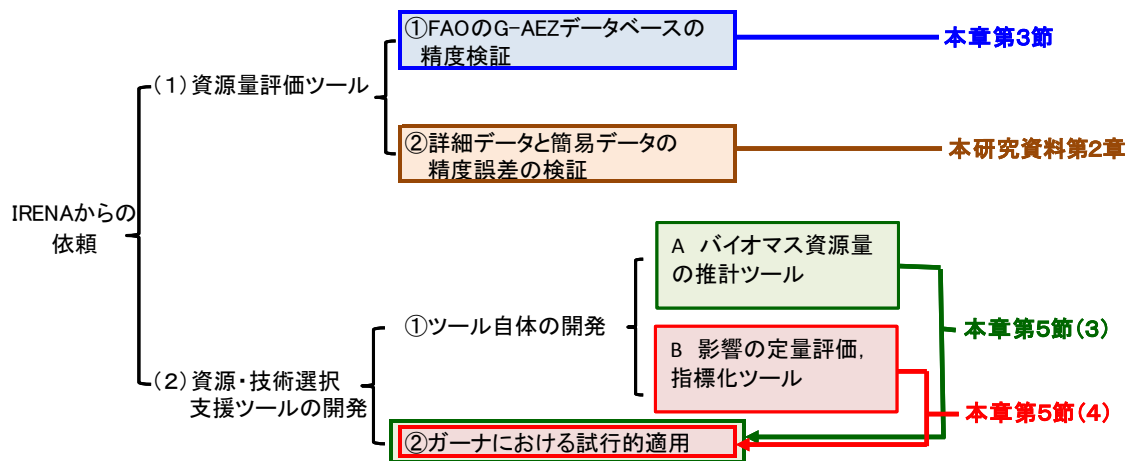
（２）政策研に求められた役割

IRENA から政策研へ依頼があった事項は大きく分けて２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、現在および 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) など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¹⁾。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」の中心となる資源およ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２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および、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、経済面・環境面・社会面といった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部分である。第２図に示すとおり、それぞれの依頼事項にはさらに小課題があり、(1)資源量評価ツールの検証には、(1)①FAO の G-AEZ データベースの精度検証、(1)②詳細データと簡易データの精度誤差の検証の２つの小課題が、(2)資源・技術選択支援ツールの開発課題については、(2)①ツール自体の開発、(2)②開発したツールのガーナにおける試行的適用の２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、(1)①FAO の G-AEZ と現場レベルのデータを用いた場合との比較による G-AEZ の精度の検証、(1)②GIS に簡易データと詳細

データを用いた場合の精度差の検証、(2)①B の影響の定量評価、指標化ツールの開発の3課題を担当した。この後本章第3節においては資源量評価として、G-AEZ の精度検証の結果を紹介する。続いて、第4節では、影響の定量評価・指標化ツールの開発として、(2)①B の手影響の定量評価ツールのフレームワークについて解説する。そして、第5節では資源量評価ツールと影響の定量評価・指標化ツールをガーナにおいて試行的に適用した事例についてその一部を紹介する。なお、ガーナにおける試行については、本原稿の提出期限までに IRENA 側から一部データが入手できなかったため、一部分のみを紹介するにとどめる。また、第2図の(1)②については、岩手県の本質バイオマス発電所を事例として分析を行い、その結果については本研究資料第3章で解説したので、本章ではこの部分は割愛する。



第2図 IRENA からの依頼事項と本研究資料各章・節の関係

3. バイオマス資源量評価

(1) 背景

IRENA でのツール開発の実行に際しては、以下の2つの点が重要である。第1に、ベースとなる G-AEZ がどのくらいの精度を有するツールなのかを検証する必要がある。G-AEZ は、FAO により提案された Agro-Ecological Zone (AEZ) をもとにして、FAO と国際応用システム分析研究所 (IIASA) により開発された全球規模の潜在作物生産性の推計し 2.5 度のグリッドでマッピングを行うツールである。これは、気候、土壌などの条件に基づき、潜在的な作物生産量を計算するものであり、現在 G-AEZ v 3.0 となっており、ブラウザベースでの利用が可能となっている。ここで利用されている諸データは、第1表に示すように、全球をベースとして作成されているものである。また、G-AEZ で利用されている統計データについては、FAO が各国で収集した統計データを利用したツールであるため、実

際の圃場レベルの詳細なデータを用いる場合とはどうしても誤差が生じてしまう。その誤差がどのくらいの水準なのかを検証することは、IRENAにおいても、G-AEZを改良した新たなツールの開発に不可欠である。Masutomi et al.(2009)では、G-AEZのいくつかのパラメータを改良したM-G-AEZを提案しつつ、アジア地域における水稻生産への気候変動の影響を評価している。また、申他（2011）ではM-G-AEZを利用して世界のトウモロコシ生産性への温暖化の影響を評価するなど、研究レベルでの活用がみられる。けれども、本研究におけるバイオマス資源量評価では、途上国などにおけるツールの利用を目指しているため、インターネットにアクセスできればブラウザ上で利用できるG-AEZを採用する。

第1表. GAEZver.3.0における利用データ

項目	データ	引用	備考 ^{注2)}
気象	CRU CL 2.0 (10分グリッド ^{注1)})	New(2002)	平均気温、最高・最低気温、日射量、 風速、湿度、降雨日数 降水量
	CRU TS 2.1 (30分グリッド ^{注1)})	Mitchell(2005)	
	VASCLimO (30分グリッド ^{注1)})	VASCLim Website(www.gpcc.dwd.de)	
気候シナリオ	HadCM3	Hadley Centre, UK Meteorological Office Max-Planck-Institute for Meteorology, Germany Australia's Common wealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia Canadian General Circulation Model	30分グリッド
	ECHAM4		
	CSRIO		
	CGCM2		
土壌	HWSD	FAO,IIASA,ISRIC,ISS-CAS,JRC(2009)	Harmonized World Soil Database, 30秒グリッド
標高 傾斜角度 斜面方向	SRTM(緯度60度まで) GTPOPO30(北緯60度以北)	CGIAR-CSI(2006), USGS-GTPOPO30(2002)	Shuttle Radar Topography Mission, 30秒グリッド
土地被服	GLC2000 land cover	JRC(2006)	30秒グリッド
	IFPRI Agricultural Extent database	IFPRI(2002), USGS(online)	30秒グリッド
	The Global Forest Resources Assessment 2000 and 2005	FRA(2000) and FRA(2005)	30秒グリッド
	GMIA ver.4.01	Siebert(2007)	Digital Global Map of Irrigated Areas, 5分グリッド
	IUCN-WCMC protected areas inventory		30秒グリッド
保護地域	Spatial population density inventory	FAO-SDRN	30秒グリッド
	WDPA 2009	WDPA(online)	The World Database of Protected Area Annual Release 2009, 30秒グリッド
	Natura 2000	The European Union	100mグリッド
国・地域境界	GAUL	FAO	The Global Administrative Unit Layers

注：地球を完全な球と仮定し、赤道直下の地球の円周を40,000kmとすると、角度単位1度あたりは約111kmとなる。

1度は60分なので、1分は1.85kmとなる。つまり、10分＝18.5km、30分は55.5kmとなる。

実際には、地球は完全な球体ではないために、赤道直下から離れるほどこの値からずれが生じる。

注1. 備考は、データに記載されている内容や、データの仕様を表している。

注2. 地球を完全な球と仮定し、赤道直下の地球の円周を 40,000km とすると、角度単位 1 度あたりは約 111km となる。 1 度は 60 分なので、1 分は 1.85km となる。つまり、10 分＝18.5km、30 分は 55.5km となる。実際には、地球は完全な球体ではないために、赤道直下から離れるほどこの値からずれが生じる。

第2に、GISを用いて資源量を評価する場合、途上国でも得られる様な簡易的なデータを使う場合と、詳細なデータを使う場合とでは、結果にどの程度の誤差が生じるかの検証である。田中他（2012）では、G-AEZの北海道への適応に関して分析に際して、M-G-AEZに対して気温条件の変更、バイオマス量計算論理の変更、LAI算出法の変更、出穂日推定論理の追加、障害型冷害推定論理の追加などを行っている。田中他（2012）の結果では、北海道においてほぼ全域でG-AEZの低温条件を満たさずに収量がゼロになる結果となっ

たが、改良を加えることで大幅に改善されたとしている。このような事例は、他の地域や他のバイオマス種でも生じる可能性がある。ただし、IRENA で開発する資源量評価ツールにおいて、詳細なデータを利用しようとしても、それが得られる国は限られ、特にツールを必要とする途上国の多くは詳細なデータが得られない可能性が高い。このような状況を踏まえると、途上国におけるデータ制約を考慮し、まずは G-AEZ を採用することをベースとして、G-AEZ の精度に関する検証を行い、その他の簡易データと詳細データの比較検証をする必要がある。そこで本節では、岩手県を対象として、G-AEZ の精度検証を行い、バイオマス資源量評価ツールに利用する際の注意点などを整理することを目的とする。また、上述の簡易データと詳細データの比較については、第 3 章の第 3 節を参照されたい。

（２）日本における再生可能エネルギー賦存量に関する既存研究

G-AEZ の分析を行う前に、まずは日本における再生可能エネルギーおよびバイオマス資源量の賦存量のマッピングについて整理を行った。日本では、全国規模の資源賦存量データは、農林水産省の「自然エネルギー賦存量図」、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「バイオマス賦存量・有効利用量の推計（以下、バイオマス賦存量推計とする）」、永続地帯研究会の「エネルギー永続地帯」などがある。

「自然エネルギー賦存量図」は、農林水産省がグリーンエナジー計画として実施した大規模研究プロジェクト「農林水産業における自然エネルギーの効率的利用技術に関する複合研究」の成果の一環として作成された。5 km メッシュのデータで全国を網羅し、月ごとに日射量、風力、水力の 3 つの自然エネルギーの賦存量を推計している。ただし、バイオマスについては推計されておらず、推計から既に 20 年以上が経過しており、データ更新などはなされていない。

「バイオマス賦存量推計」は、NEDO が地球温暖化対策、循環型社会構築に寄与するバイオエネルギー利活用を促進することを目的に、各種バイオマスの資源量等に関するデータ公表を行うことを目的として作成された。バイオマス種ごとの地域賦存量を算出・把握し俯瞰的なデータとして構築されている。また、当該データは、NEDO のホームページにて公開されている（NEDO, online）。ここでは、2005 年よりデータ公開を開始し、2011 年に更新されている。データは市町村単位での推計および 1 km メッシュでの推計を全国で行っている。対象とするバイオマス種は、木質系、農業系、畜産系、食品系、汚泥系と多岐にわたっており、実際の市町村におけるバイオマス賦存量の推計に利用されている。

「エネルギー永続地帯」は、永続地帯研究会により提唱されており、2008 年から日本国内の市町村単位でエネルギー永続地帯を公表している（永続地帯研究会, online）。永続地帯研究会は、千葉大学倉阪教授の研究グループと NPO 法人環境エネルギー政策研究所による共同研究組織として 2005 年に発足し、エネルギー永続地帯指標の試算と公表を行っている。エネルギー永続地帯（sustainable zone）とは、「その区域で得られる再生可能エネルギーと食糧によって、その区域におけるエネルギー需要と食糧需要のすべてを賄うことがで

きる区域」と定義されている（千葉大学倉阪研究室・環境エネルギー政策研究所，2013）。対象とするエネルギー源を電力と熱に分け，電力は太陽光，風力，地熱，小推力，バイオマスの5つ，熱に関しては太陽熱，地中熱，温泉熱，バイオマスを自然エネルギーとして定義し推計している。当該データは，市町村ごとにエネルギー需要と自然エネルギー供給量を推計し，両者の関係でエネルギー永続地帯か否かを判断している。ただし，市町村単位での推計であるために，さらに細かなメッシュデータとしての利用はできない。

以上の3つのデータから，特にIRENAと共同で行っているバイオマス賦存量推計ツールに参考になりそうなものが，NEDOによるバイオマス賦存量推計であるため，以下でさらに詳しく説明を行う。当該データの特徴としては，市町村単位と1kmメッシュ単位の両方で推計値が公開されていることと，市町村単位では6系26種，1kmメッシュでは5種と多岐にわたるバイオマスを対象としている点である。市町村単位の推計では，バイオマスを未利用系資源と廃棄物系資源に分け，それらをそれぞれ，木質系バイオマス，農業残渣，草本系バイオマスと，木質系バイオマス，家畜ふん尿・汚泥，食品系バイオマスに分けている。それら6つの系に対して林地残材，稲わら，ササなどのバイオマス種計26種を当てはめている。1kmメッシュ単位での推計では，森林成長量，稲わら，もみ殻，ササ，ススキの5つのバイオマス種を対象としている。各バイオマス賦存量の推計は井内（2004）を参照されたいが，市町村単位の木質系バイオマスおよび1kmメッシュ単位の森林成長量の推計について，簡単に紹介する。まず，森林バイオマスの賦存量は下式(1)にてあらわされる。

$$\text{市町村別賦存量(DW-t/yr)} = \text{都道府県別賦存量(DW-t/yr)} \times (\text{市町村別森林面積(m}^2\text{)} \div \text{都道府県別森林面積(m}^2\text{)}) \cdots (1)$$

その結果を，GISの各市町村ポリゴンに入力することで，全国のマッピングを行っている。また，計算に用いる林地残材率や立木係数，体積密度などは全国一律の値を文献値から引用している。また，有効利用可能量の推計は，集材範囲として「市町村別林道延長(m)×集材距離(50mと仮定)(m)」を設定し，下式(2)により推計する。

$$\text{市町村別有効利用可能量(DW-t/yr)} = \text{市町村別賦存量(DW-t/yr)} \times (\text{市町村別林道延長(m)} \times \text{集材距離(m)} / \text{市町村別森林面積(m}^2\text{)}) \cdots (2)$$

つまり，森林面積に対する林道の占有率を賦存量に乗じることで推計している。なお，農業残渣などにおいても，同様の考え方により推計が行われている。次に，1kmメッシュ単位における森林成長量であるが，これは下式(3)により推計される。

$$1\text{ kmメッシュ別成長量(m}^3\text{/yr)} = \text{対象群落の面積(ha)} \times 1\text{haあたりの年間成長量(m}^3\text{/ha} \cdot \text{yr)} \cdots (3)$$

これは、5万分の1現存植生図の対象群落の1kmメッシュ内の占有率から1kmメッシュにおける群落の面積を推計し、そこに各県別の針葉樹と広葉樹の年間成長量の統計値を乗じたものである。稲作残差などについても、同様の考え方により推計されている。

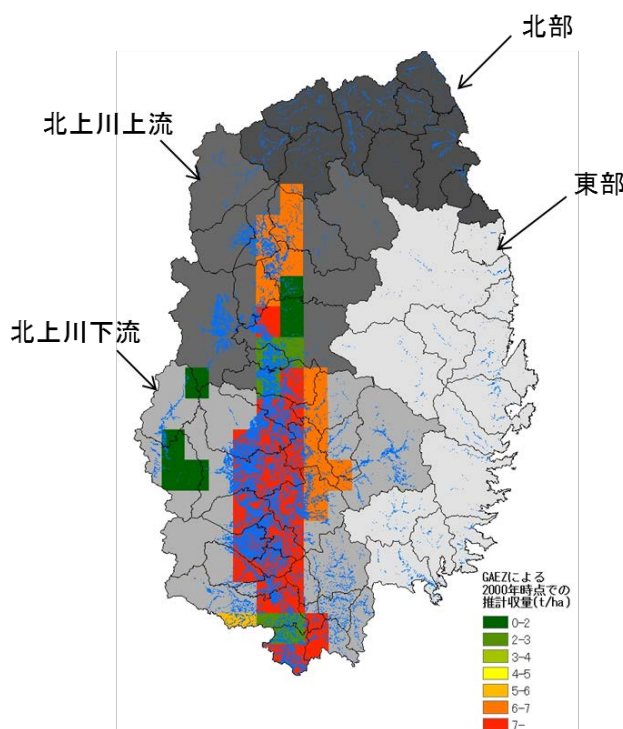
NEDOによるバイオマス賦存量推計は、統一の手法を用いた全国におよぶバイオマス賦存量および有効利用可能量の推計を行っていることから、マクロな視点でのバイオマス賦存量分析にはきわめて有効であると考えられる。一方、いくつかの課題も挙げられる。まず市町村別の推計であるが、賦存量および利用可能量の推計には、市町村別の既存統計値に全国一律の割合を乗じたものである点や、県の統計値を面積按分して用いている点などがあげられる。樹種別の植生の分布などを反映した分析が望まれる。また、1kmメッシュ単位の推計は、植生図から1kmメッシュあたりの含有率を求めた推計であり、市町村別の推計よりもより実態に即した推計値であると考えられる。けれども、稲わらなどの発生量に関して、全国一律の統計値を利用しており、各地方などの状況に即した値の適用が必要であると考えられる。

以上より、本研究課題であるバイオマス資源量評価においては、バイオマス賦存量推計などの推計方法を参考にしながら、GISを活用してより実際に即した分析手法の開発が必要となるであろう。

(3) G-AEZ の精度検証

1) 分析方法

本研究では、G-AEZの精度検証を行うため、詳細なデータのあるわが国の水稻収量について、岩手県を対象に分析を行った。分析には、G-AEZにより推計した2000年における水稻収量推計値の結果と、2006年度全国土地利用図(100mメッシュ：国土数値情報ダウンロードサービスよりダウンロード)より抽出した水田分布データ(2006年度)を利用した。



第3図 岩手県におけるG-AEZ分析結果
および土地利用図による水田分布の様子

2) 分析結果

その結果を第3図に示す。2.5度グリッド(岩手県においては東西約7km, 南北約9km)で表示されるG-AEZの分析結果をみると, 作柄地域の北上川上流と北上川下流の中央部にグリッドが分布しており, 特に北上川下流において2000年時点での推計収量が7t/ha以上と高くなっていることがわかる(第3図)。一方, 土地利用図から抽出した水田の分布では, G-AEZの結果と同様に北上川上流と北上川下流に多く水田が分布しているが, それ以外の地域においても水田が分布していることがわかる。つまり, 県レベルの分析において, G-AEZのデータでは, 水田の中心的な分布地域は把握できるものの, 分布状況を把握することができないと考えられる。

次に, 水田面積や収穫量について検証を行った。東北農政局(online)によると, 2000年を100とした場合の2006年, 2015年の作付面積が95, 90であり, 1haあたりの収量が94, 101, 収穫量が89, 82であった(第2表)。この増減を踏まえた上で, G-AEZの推計値(2000年時点)および土地利用図の推計値(2006年時点), 岩手県の統計値(2015年時点)について, 比較を行った。まず水田面積についてみると, G-AEZは土地利用図による水田面積の2.3倍, 2015年度作付面積の5.2倍となった(第3表)。この差は, 表4にある2000年, 2006年の統計値と比べても, 著しく大きな値となった。次に, 1haあたりの収量について比較すると, G-AEZと2015年の統計値はそれぞれ3.15t/haと5.18t/haであり, 2t/haもの差が生じていた。これは, G-AEZの分析結果が東部と北部の地域をほとんど含んでいなかったためであると考えられる。以上のように, G-AEZの精度検証について, まずは県レベルでの検証を行った結果, 水田の中心的な分布地域は把握できるものの, 収量の予測には適していないことが示された。また, 既存の100mメッシュサイズの土地利用図を利用した場合においても, 分布の様子は把握できるものの, 面積の把握やそこからの収量予測は困難であると考えられる。

第2表 岩手県における水稻作付け状況(2015年統計値より)

	作付面積 (ha)	増減率	1haあたりの 収量(t)	増減率	収穫量 (t)	増減率
2000	63,000	100	5.6	100	349,100	100
2006	60,100	95	5.2	94	312,000	89
2015	57,000	90	5.6	101	287,800	82

出所: 農林水産省東北農政局(online)

注. 増減率の値は, 2000年の各値を100とした場合の2006年および2015年の値。

第3表 G-AEZ と土地利用図および統計値による水田面積、収量、および収穫量の比較

	GAEZ分析結果 (2000年時点)			2006年 土地利用図		2015年度統計資料		
作柄地域名	水田面積 (ha)	平均収量 (t/ha)	収穫量 (t)	水田面積 (ha)	収穫量 (t)	2015年度 水稻の haあたりの 予想収量 (t/ha)	2015年度 予想作付 面積(ha)	2015年度 予想収量 (t)
北上川上流	90,506	3.31	1,389,443	31,035	166,657	5.37		
北上川下流	217,500	5.98	431,813	89,448	461,549	5.16		
東部	0	0.00	0	5,105	23,636	4.63		
北部	1,813	0.55	10,880	8,326	39,550	4.75		
岩手県全体	309,819	3.15	1,832,137	133,914	693,672	5.18	57,000	287,800

出所：2015 年度統計資料の数値は、農林水産省東北農政局(online)より集計した。

注：2006 年土地利用図における収穫量は、土地利用図より算出した水田面積に 2015 年の
各作柄地域における 1ha あたりの収量 5.2(t/ha)を乗じて求めた。

4. 資源・技術選択支援ツールの開発

(1) 背景

バイオマスの利用に関する難しさの 1 つはその多様性にある。国や地域ごとに利用できるバイオマスの種類や量が大きく異なることに加え、バイオマス資源をエネルギー変換する技術も熱利用（産業利用、家庭利用）、発電（単独燃焼、混焼、CHP）、液体燃料（バイオエタノール、バイオディーゼル燃料）、ガス（ガス化、メタン発酵）と多岐にわたっている。こうした多様性が、現場レベルでプロジェクトを検討する際に、資源や技術の選択を困難にする要因となっている。このような背景の下、IRENA では途上国でも適用可能な資源・技術選択支援ツールの開発に取り組み、そのフレームワークの開発を政策研に依頼してきた。本節では、バイオエネルギーの導入が地域に与える影響を定量的に評価し指標化する手法を開発した結果を紹介する。

(2) ツールに求められる機能と適用手法の選択

資源・技術選択支援ツール（以下支援ツール）では、バイオエネルギー導入による環境的、社会的、経済的なさまざまな影響を考慮して、対象国または地域において、どのようなバイオマス原料から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供給すべきかの選択の際の指標を与えることを目的としている。その際重要な点は以下の 3 点である。第 1 に、バイオエネルギーの選択の際の視点で、すなわちどのような観点からバイオエネルギーの選択肢を評価・選択するかである。この評価視点をどのように設定するかによって、最適な選択肢も大きく変わってくる。第 2 に、さまざまなステークホルダーの主観的な意見を反映した評価/選択であることである。バイオエネルギーは多様なステークホルダーが関与しており、それぞれの立場によって、最適な選択肢も異なる。これら多

面のステークホルダーの主観的な見解を幅広く反映させた上で最適な選択肢を決定することが重要である。第3に、最終的に最適な選択肢を決定するにあたっては、異なる複数の評価視点を定量化・統合化することである。最適なバイオエネルギーの選択肢の評価視点は単一ではなく、複数の視点から多角的に評価することが望ましい。また、評価結果はできるだけ定量化して客観的なかたちで示すことが求められる。そのため、異なる視点からの評価結果を定量化し、かつ比較または統合するため、異なる単位で定量化された結果を標準化し合算できるようにする必要がある。本研究における支援ツールの開発では、このような3点の機能を有することが求められ、これには、多基準分析（MCA）を適用することが有効であると考え、本研究ではMCAを用いて支援ツールを開発する。

（3）多基準分析（MCA）の概要と既存研究の整理

MCAは多様な代替的行動を評価する手法で、多角的な評価視点を有し幅広い利害関係者を考慮すること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などから、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）。MCAを用いることで、例えばバイオガス、バイオ燃料、固形バイオマスなどバイオエネルギー種の選択の複数の代替案について、経済性、雇用への効果、環境への影響など複数の基準を考慮しつつ、最適な代替案を選択することが可能となる。特に、バイオエネルギー供給システムは、原料や製造技術の選択、流通手段、エネルギー種など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（Buchholz et al., 2009a）。

MCAを持続可能性に適用した研究事例は数多く存在する。一部は複数の利害関係者の関与を取り扱ったり（Buchholz et al., 2009a; Elghali et al., 2007; Turcksin 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、もしくは少なくとも最悪の選択肢を抽出するために適用したり（Turcksin, et al., 2011; Sultana and Kumar, 2012）、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）。また、Scott et al. (2012)とHuang et al. (2011)は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。

MCAには、加重総和法（WSM）、階層分析法（AHP）や目的達成法（GAM）などいくつかの手法がある。それぞれ代替案の特定化手法が異なるもので、日本では特にAHPの適用事例が多い。AHPはサーティによって提唱された手法で、複数の代替案について基準ごとに一対比較を行うものである。この手法は問題の分析において、主観的判断とシステムアプローチをうまく組み合わせた問題解決型（提案型）の意思決定法の1つである（木下, 2000, p.2）。木下（2000）によると、AHPの特長としては、(1)人間の持っている主観

や勘が反映されるようにモデルが作られていること、(2)多くの目的を同時に考慮できるようなモデルであること、(3)あいまいな環境を明確に説明できるようなモデルであること、(4)意思決定者が容易にこのモデルを使えることの4つであると指摘している。

このように MCA には複数の手法が存在するが、Buchholz et al (2009a)は、異なる4つの MCA 手法を適用し、結果の大きな差異が生じたと結論づけており、適用する手法によって結果が変わることも指摘されている。

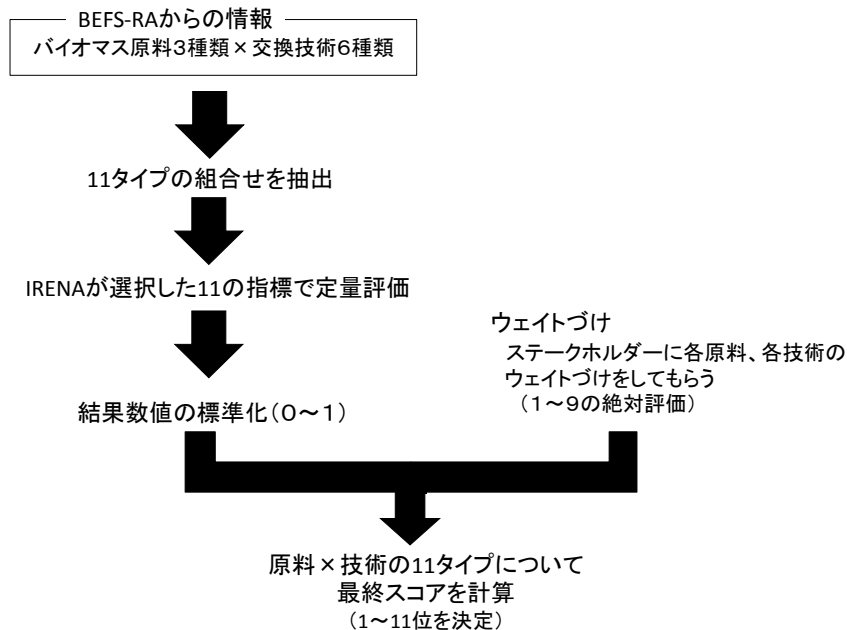
(4) 評価フレームワーク

支援ツールでは、IRENA が選択した 13 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 7 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。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。

ここでは MCA の手法のうち、加重総和法 (WSM) を用いる。WSM は MCA の中でも最も単純な手法であり、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、専門家だけでなく、政策担当者などにも活用の幅が広がると考え、WSM を基本としたフレームワークを構築することにした。支援ツールは WSM を応用してウェイト付けして、評価の手順は以下のとおりである (第4図)。

総合評価ツールのイメージ



第4図 支援ツールのイメージ

①適用可能な指標の抽出

IRENA で、評価に適用する 13 指標を取り上げているので、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、この単位を統一し、一定の範囲内（0～1）の値に変換する。

③ウェイト付け

①で抽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

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。

5. ガーナにおける資源・技術選択支援ツールの試行的適用

(1) はじめに

本節では、前節までに紹介した資源・技術選択支援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、ガーナでは他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 年頃に周辺国でエボラ出血熱が発生し、他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) 対象国・地域の概要

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よそ 70% で農村部を中心に未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おこな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⁽²⁾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、平均気温が高いなど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な能力は非常に高い。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・児童労働の問題など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。



第5図 質問票配布地域の位置と生態的特徴

(3) バイオマス資源の需給バランス評価

1) バイオマス資源量と需要の分布の特定

資源・技術選択支援ツールの構築において最も基礎となるデータはバイオマス資源の地理的分布である。研究開始時の構想としては、対象国において農産加工事業者の一覧を作成し、この中からサンプリング調査によって地域毎のバイオマス資源量、需給バランス等を評価して基礎データとして活用することを想定していた。しかし現場でのデータ収集は多大な時間と労力を要し、国の全体像を短期間で把握するには必ずしも適当な手法ではないと判断されるに至った。このため方針を変更し、国レベルまたは地域レベルでの農業生産統計を基本的なデータとし、これにG-AEZの作物別生産的地図を掛け合わせることで、地域毎の主要農産物の生産分布図の代替として利用することとした。これによって農産廃棄物によるバイオマス資源量の8 km×8 km メッシュの国内分布図が作成された。バイオエネルギーの原料となるバイオマス種はカカオ殻、パーム房殻、とうもろこし芯、ピーナツ殻の4種類、バイオエネルギー種としては固形燃料（ペレット）とバイオマスからの小規模発電による電力の2種類である。

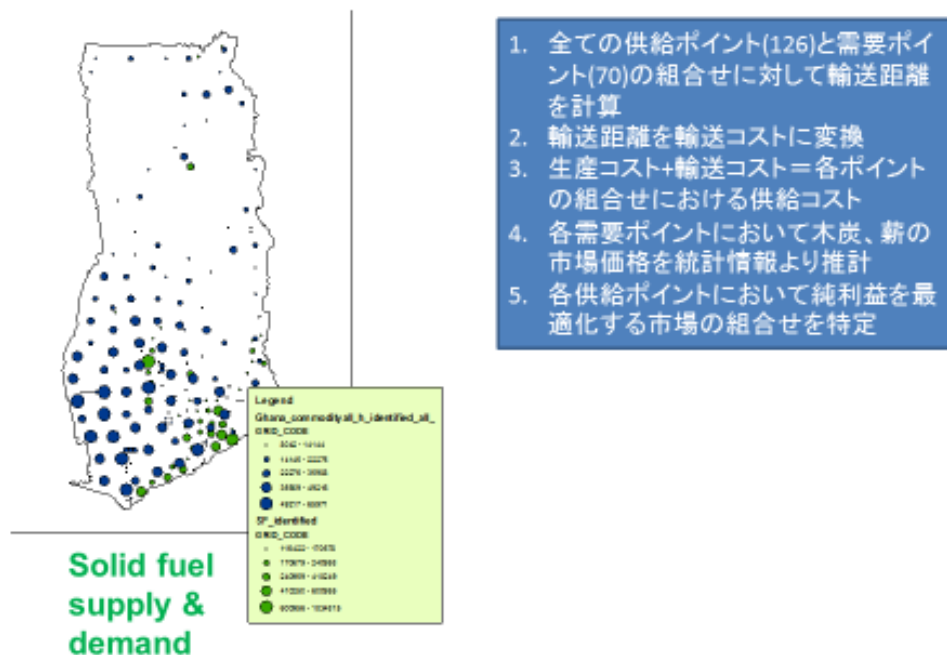
次にバイオマスのエネルギー利用形態（固形燃料，小規模発電施設）によってエネルギー変換のために必要なバイオマス量が異なるため，上記で作成した資源分布図を利用し，エネルギー形態毎に設置可能なプラント数，プラントの場所（供給ポイント）を推計した。このプラント数，場所の特定には，それぞれの原料からペレットを作る大規模ペレット工場運営に必要なバイオマス量を年間 1000 トンとし，小規模発電施設の運営に必要なバイオマス量を年間 2500 トンと仮定して，半径 12km 以内でこの量のバイオマスを確保できる地点とした。

次に需給バランスを評価するため，ガーナ政府の取りまとめたエネルギー統計から都市部，農村部における 1 人当たりの炭および薪の消費量を得た。これにガーナの人口密度分布図を掛け合わせることで 2 km× 2 km メッシュの地域毎の家庭用固形燃料の消費量分布図を作成し，これをエネルギー需要分布とした。なお，電力需要については時間の都合上今回は分析を行わなかった。そして，作成された固形燃料需要図に基づいて，半径 20km 以内の固形燃料需要が高い地点を選定し，ガーナ国内で需要の高いポイントを上位 70 か所選定した。

2) 輸送コストを勘案した需給バランスの評価

これまでの分析で，バイオマスの供給ポイント（産地），需要ポイント（市場）がそれぞれ特定されている。ここでは固形燃料のみを対象として，それぞれの供給ポイントにおいて純利益が最大となる産地と市場の組合せを特定するため，すべての供給－需要ポイントの組合せに対して輸送距離に基づいた輸送コストを算定し，別途 FAO のツールを利用したペレット製造コストを加えることで固形燃料の供給コストを推計した。また，ガーナのエネルギー統計から地域毎の固形燃料価格を入手し，各需要ポイントにおける薪・炭の販売価格を推計した。供給量，供給コスト，需要量，市場価格の 4 つの数字に基づき，純利益を最大にする産地－市場の組合せを検討した（第 6 図）。さらに，それぞれの組み合わせに対して，各ポイント間で競合による価格競争が一切発生せず，市場の需要，価格，距離に応じて最適な販売先の組み合わせを選択できると仮定し，それぞれの供給ポイントごとの純利益を比較した。

輸送コスト評価と需給マッチング(固形燃料)

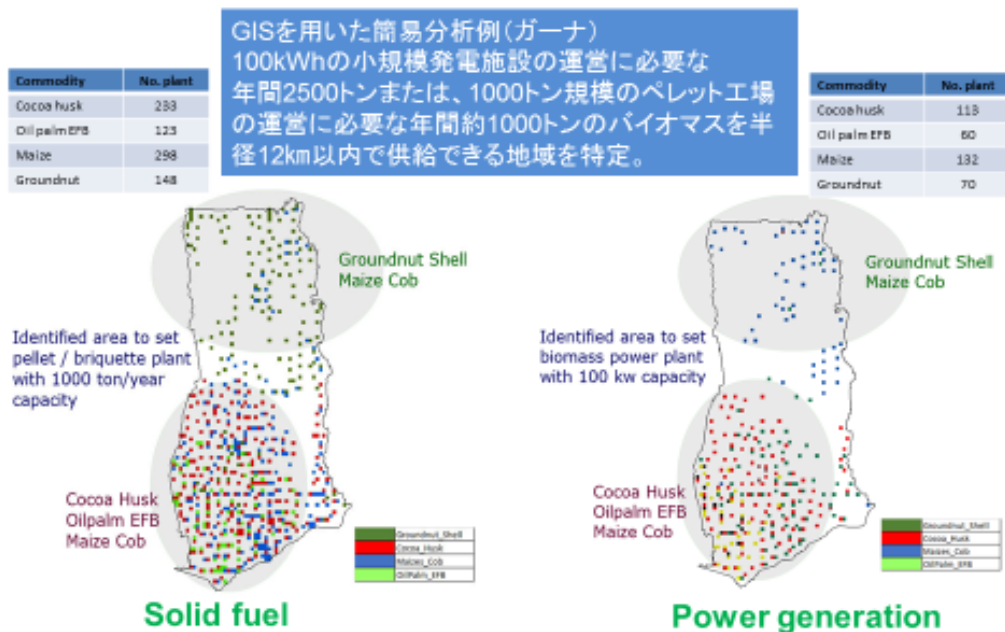


第6図 輸送コスト評価と需給マッチング

3) 評価結果

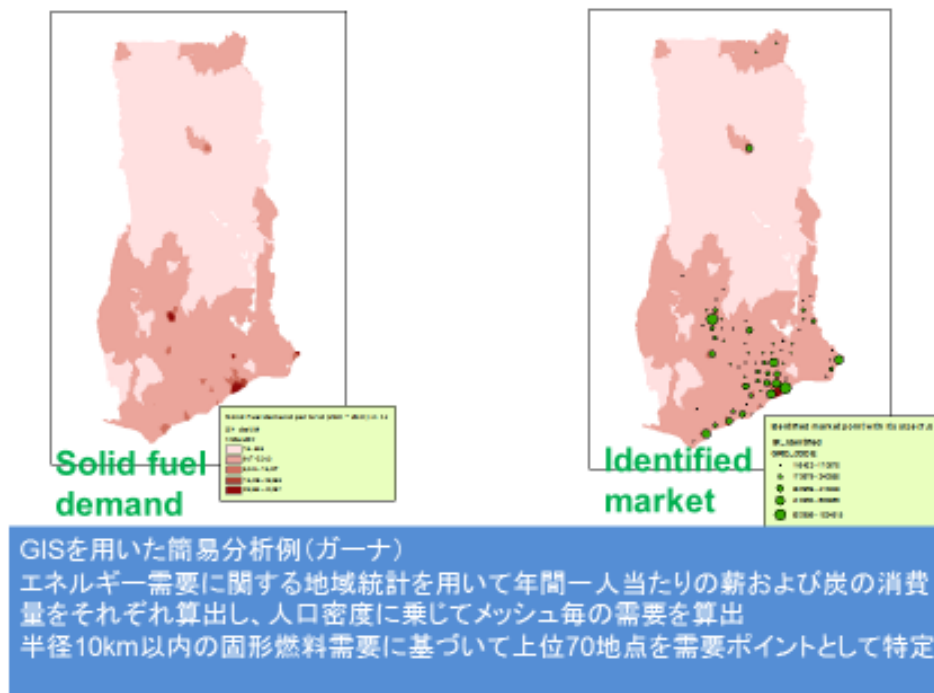
第7図には、バイオマスの供給ポイントが示されている。固形燃料について、その原料別にみると、とうもろこし芯を原料とするプラントの設置可能数が298と最も多く、次いでカカオ殻の233、パーム房殻の198となっている。一方、電力の場合は、固形燃料に比べて設置可能なプラント数が大幅に少なくなる。この理由としては、発電の場合はより多くのバイオマス原料を収集しなければならないためである。地理的な分布を見ると、固形燃料として利用する場合、北部の内陸部ではピーナツ殻ととうもろこし芯が有望なバイオマスとなり、中部・南部地域ではカカオ殻、パーム房殻、とうもろこし芯が有望であることが示された。これを第8図のエネルギー需要ポイントと合わせて見ると、固形燃料、電力ともエネルギーの需要地は中部から南部沿岸地域に集中しており、北部のエネルギー需要は多くないことがわかる。第9図には各供給ポイントの純利益が示されている。これを見ると、南部の沿岸地域とくに南西部において利益が高くなる傾向が示されている。これは、南西部には原料へのアクセス性と需要地へのアクセス性双方の利点があるためと考えられる。

バイオマス供給ポイントの特定



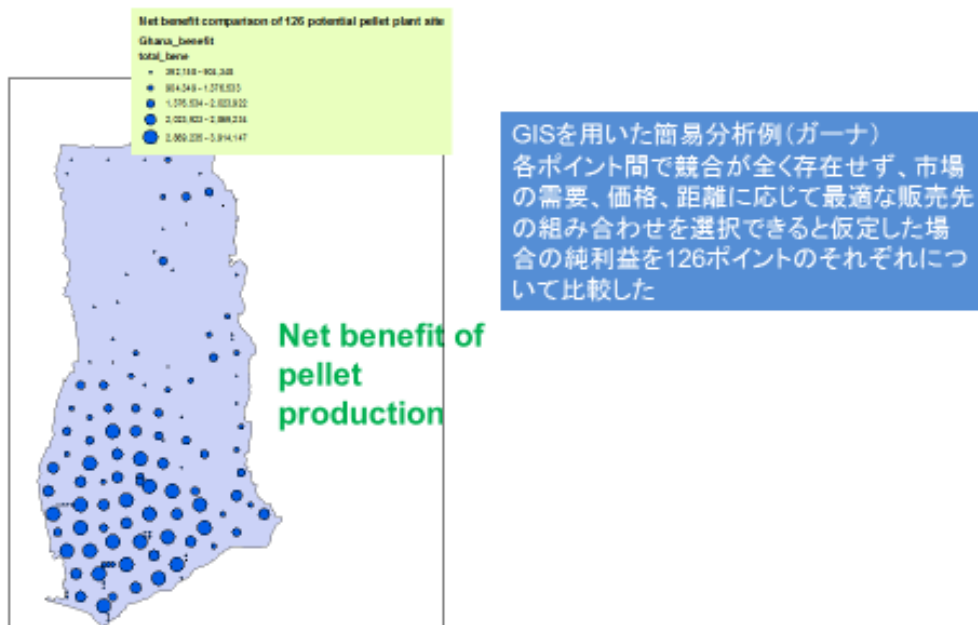
第7図 バイオマス供給ポイントの特定

バイオマス(家庭用燃料)需要ポイントの特定



第8図 バイオマス需要ポイントの特定

市場配分を最適化した場合に おける各供給ポイントの純利益の比較



第9図 各供給ポイントにおける純利益の比較

4) まとめ

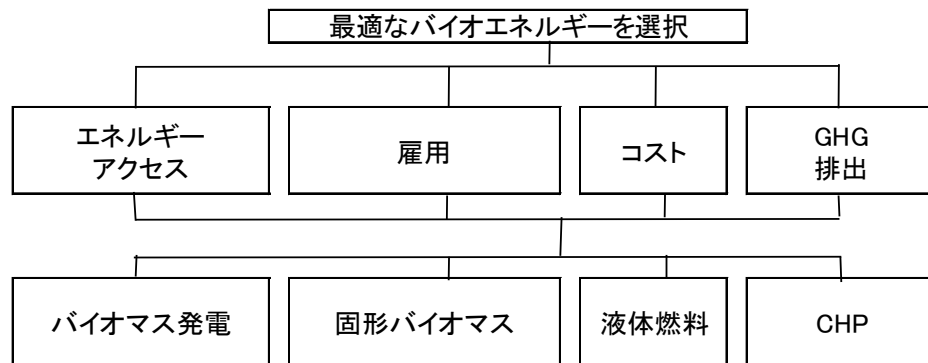
国レベル／地方レベルの生産統計と G-AEZ を組み合わせることでバイオマスの地理的分布を簡易に推計することができた。これを同様の手法で推計したバイオマス需要と組み合わせることで輸送コストを推計し、純利益を最大化する産地／市場の組合せを特定した。ガーナへの適用事例では、北部ではピーナツ殻が、南部ではカカオ殻、パーム房殻などがバイオエネルギーの原料として有望である一方、エネルギー需要が高いのは南部であり、バイオエネルギープラントの純利益が高くなるのは原料バイオマスと需要地双方へのアクセス性が高い南西部であることが示された。

(4) 支援ツールの試行的適用

1) 概要

ガーナでの試行的適用に際して、支援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などを鑑み、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。このことにより、指標が大幅に削減され、MCA の中でも指標同士の一対比較が可能となったことから、ウェイト付けには上記絶対評価法では

なく、一対比較を行う階層分析法（AHP）を採用した。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、バイオマス発電、固形バイオマス、液体燃料、電熱併給の4タイプを設定し、階層構造を第10図のとおりとした。



第10図 バイオエネルギー選択の階層構造

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実施は、IRENAが現地のコンサルタントに依頼し、第4表のとおり5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。

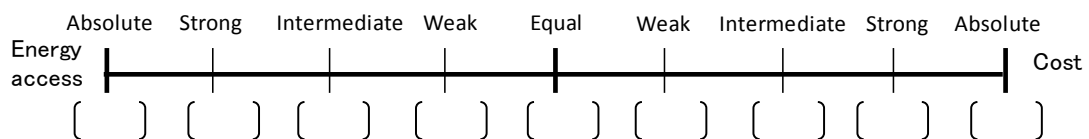
配布した質問票には、回答者がどのような属性のステークホルダーかを回答してもらった後、それぞれの指標間の重要性を一対比較で回答してもらった。一対比較は第11図のとおり、例えばエネルギーアクセスと雇用の指標の間で「絶対的にエネルギーアクセスが重要」から「どちらも同程度」、さらに「絶対的に費用が重要」までを9段階の中から選択肢を回答してもらう方式を採った。さらに、バイオエネルギー種についても、各指標の観点からみて、あるバイオエネルギーともう1つのバイオエネルギーはどちらがどれだけ重要かを尋ねた。例えば「エネルギーアクセスの観点から見て、バイオマス発電と固形バイオマスはどちらがどの程度重要か」を質問し、指標間一対比較と同様の9段階で回答してもらった。

第4表 質問票配布地域の概要

生態地域	地域の特徴	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	スニヤーニ	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?



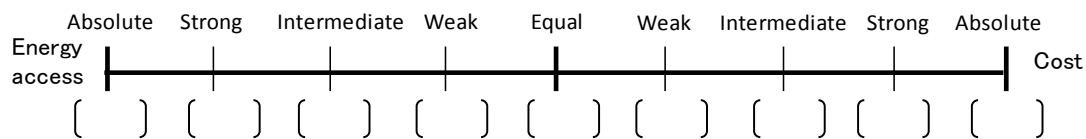
第11図 一対比較の質問例

今回の質問票では、4つ指標と4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。

2) AHPによる数量化手法

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7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 12 図)。



第 12 図 回答の数量化

これと同様に他の一対比較の回答結果も数量化し、これを第 5 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 a_{12} から a_{34} までの 6 つの数値を上記第 12 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 6 表)。そして、この第 6 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、他にも 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 5 表 回答数値の行列化と列和の算出

		質問票の左側の項目			
		Energy access	Labour opportunity	Cost	GHG emission
質問票の右側の項目	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

出所：木下（2000）をもとに著者作成。

第6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	

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

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

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

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

出所：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 $w_l \sim w_d$ 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。

本稿の提出期限までに IRENA 側からアンケート調査の結果が得られなかったため、本稿では試行的適用の結果については言及することができなかった。IRENA との共同研究については、2016 年度以降も継続する予定であるため、結果についてはその折に報告したい。

6. おわりに

本章では、IRENA と政策研の共同研究の成果として、バイオマスの資源量評価ツール及び資源・技術選択支援ツールの開発研究について解説し、これらのツールのガーナへの試行的適用に関して、その一部を紹介した。IRENA ではこれらのツールを用いることで、途上国、特に西アフリカ諸国において、持続的で経済的なバイオエネルギーの普及拡大につなげたい考えである。一方で、これらのツールは先進国である日本においても適用可能であり、日本にこれらのツールを適用することで、途上国とは違った視点からバイオエネルギーの評価を行うことができる。また、第3章で取り上げた詳細なデータと簡易データとの結果の差については、日本のような統計データが整備された国や地域でしか実施できない

い貴重な分析であると考え。このような分析から様々な知見を得ることで、途上国における適用に際にも、有用な情報を提供できると考える。

今回のガーナにおける資源量評価ツールの試行的適用では、産地及び市場の地理的分布を特定し、輸送距離に基づいた経済的評価を行った。この手法は輸送コストのみならず、他の指標と組み合わせることで、環境インパクト（GHG 排出量削減）や社会インパクト（エネルギーアクセス、雇用機会の改善）の地理的分布を推計することにも応用できると考えられる。また、支援ツールの試行的適用については、WSM ではなく AHP を用いた一対比較によるフレームワークを適用した。このような手法の有効性が確認されれば、改善を施した上で他国への適用も検討したい。

今後の課題として、資源量評価については、データの質や解像度の違いが結果にどのような違いをもたらすかに関する検証や、距離の測定について2点間の直接距離でなく道路網を勘案した距離に組み替えること、電力需要にも対応すること、他の国への分析範囲拡大などについて、今後取り組む必要がある。また、支援ツールについては、アンケート結果が得られ次第、早急に分析を進めるとともに、WSM と AHP による結果の違いなども今後分析すると興味深い結果が得られるかもしれない。

注

- (1) FAO のデータの詳細は FAO (online) を参照のこと。
- (2) 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）。

〔引用文献〕

- Buchholz, T., Volk, T.A., Luzadis, V.A., (2009a) “Multi criteria analysis for bioenergy systems assessments” *Energy Policy* 37(2), pp.484-495.
- 千葉大学倉阪研究室・環境エネルギー政策研究所（2015）『永続地帯 2014 年度版報告書』。
- 永続地帯研究会（online）「永続地帯ホームページ」<http://sustainable-zone.org/>（2016 年 4 月 8 日アクセス）。
- 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), pp.6075-6083.
- FAO(online)”Global Agro-Ecological Zones” <http://www.fao.org/nr/gaez/en/>（2016 年 4 月 8 日アクセス）。
- FAO, IIASA, UNFPA, ISRIC, ISS-CAS, JRC (2009) “Harmonized World Soil Database (version 1.1)”, FAO and IIASA, Rome.
- FRA(2005)”Global Forest Resources Assessment 2005 – Progress towards sustainable forest management”.
- FRA (2000)”Global Forest Resources Assessment 2000”.
- Hayashi, T., (2014) “A holistic sustainability assessment tool for bioenergy using the Global Bioenergy

- Partnership (GBEP) sustainability indicators” *Biomass and Bioenergy* 66, pp.70-80.
- Huang, I. B., 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), pp.3578-3594.
- IRENA (2014) “Global bioenergy supply and demand projections: A working paper for REmap 2030”.
- 井内正直 (2004) 「バイオマスエネルギー利用計画支援システムの開発--賦存量データベース及び収集コスト評価モデル」『電力中央研究所研究報告 Y03023』, 中央電力研究所。
- 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』。
- Masutomi, Y., Takahashi, K., Harasawa, H., Matsuoka, Y., (2009) “Impact assessment of climate change on rice production in Asia in comprehensive consideration of process/parameter uncertainty in general circulation models” *Agriculture, Ecosystems & Environment* 131(3-4), pp.281-291.
- McBride, A. C., Dale, V. H., Baskaran, L. M., Downing, M. E., Eaton, L. M., Efroymson, R. A., Garten C. T. Jr., Kline, K. L., Jager, H. I., Mulholland, P. J., Parish, E. S., Schweizer, P. E., Storey, J. M., (2011) “Indicators to support environmental sustainability of bioenergy systems” *Ecological Indicators* 11(5), pp.1277-1289.
- 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), pp.329-343.
- Mitchell, T. D., P.D. Jones, (2005). “An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high resolution grids” Norwich, UK Climatic Research Unit, School of Environmental Sciences, University of East Anglia.
- NEDO (online) 「バイオマス賦存量・有効利用可能量の推計」
<http://app1.infoc.nedo.go.jp/biomass/index.html> (2016 年 4 月 8 日アクセス)。
- New, M., Lister, D., Hulme, M., Makin, I., (2002) “A high resolution data set of surface climate over global land areas” *Climate Research* 21, pp.1-25.
- 農林水産省 (1988) 「自然エネルギー資源賦存量図(日射) (グリーンエナジー計画成果シリーズ I 系(エネルギーの分布と利用) No.7)」。
- 農林水産省 (1987) 「自然エネルギー資源賦存量図(水力) (グリーンエナジー計画成果シリーズ I 系(エネルギーの分布と利用) No.6)」。
- 農林水産省 (1986) 「自然エネルギー資源賦存量図(風力) (グリーンエナジー計画成果シリーズ I 系(エネルギーの分布と利用) No.4)」。
- Scott, J. A., Ho, W., Dey, P. K., (2012) “A review of multi-criteria decision-making methods for bioenergy system” *Energy* 42(1), pp.146-156.
- Siebert, S., Döll, P., Feick, S., Hoogeveen, J., Frenken, K. (2007) “Global Map of Irrigation Areas version 4.0.1.” FAO, Rome.

- 申龍熙・高橋潔・肘丘靖明・花崎直太・山本隆広・増富祐司（2011）「気候予測の不確実性を考慮した世界のトウモロコシ生産性の温暖化影響評価」『土木学会論文集 G（環境）』67(5), pp.I_61-I_67。
- Sultana, A., Kumar, A., (2012) “Ranking of biomass pellets by integration of economic, environmental and technical factors” *Biomass and Bioenergy* 39, pp.344-355.
- 田中朱美・高橋潔・申龍熙・増富祐司・山中康裕・佐藤友徳（2012）「潜在作物生産性モデル GAEZ の北海道での適用可能性の検討と改良」『土木学会論文集 G（環境）』68 (5), pp.I_237-I_248。
- 東北農政局 (online) 「平成 27 年度産水稻の作付面積及び予想収穫量 (10 月 15 日現在) (東北)」
<http://www.maff.go.jp/tohoku/stinfo/toukei/kekka27/> (2016 年 3 月 7 日アクセス)。
- 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), pp.200-214.
- USGS(online) “Global Land Cover Characterization (GLCC) “ <https://lta.cr.usgs.gov/GLCC>, (2016 年 7 月 29 日アクセス)。
- WDPA (online) “World Database of Protected Areas, Annual Release 2009”,
<http://www.wdpa.org/AnnualRelease.aspx>, (2016 年 5 月 18 日現在 2009 年データへのアクセス不可。ただし、上記サイトにて 2014 年のデータダウンロード可能)。

第6章 まとめと結論

林 岳

1. 各章における分析の位置づけと本研究資料の意義

これまで、本研究資料の第1章から第5章において、様々なバイオエネルギーを事例として様々な手法や視点からの評価を行ってきた。第1章では、コミュニティレベルでのごく小規模な発電を、第2章では町立病院という市町村自治体の範囲を対象として、第3章では県レベルで、それぞれ様々な視点からの評価分析を行った。また、第4章以降は海外を事例として、第4章ではデンマークの地域レベルでの取組を、第5章ではガーナを事例とした国レベルでの評価事例を紹介した。このように本研究資料はコミュニティレベルから国レベルまでの多様な対象範囲において、バイオエネルギーの導入による効果を明らかにしてきた点が1つの特徴である。

また、それぞれに適用した分析手法も様々である。第1章はミクロ（事業体）レベルでの経済性の評価、第2章はミクロレベルでの経済性評価に加え、地域経済への影響といったマクロレベルでの経済性評価とミクロレベルでの資源量評価、第3章は地域（県）というマクロレベルでの資源量評価である。第4章は社会的側面に焦点を当てた分析、そして第5章は国でのマクロレベルでの資源量評価と、経済、環境、社会を包括した総合的評価手法を提示している。このように、それぞれの章ごとに適用する手法や適用範囲は大きく異なる。このような各視点からの資源量評価や経済性評価については、既にさまざまな文献や既存研究で指摘されていることである。しかしながら、これら段階的な適用範囲、それぞれのレベルに応じた複数の分析手法を1つの資料としてまとめたものはそう多くない。本研究資料はこの点に大きな意義あると考える。

2. 各章の結論から導かれるインプリケーション

第1章の分析では、陸前高田市生田地区における木炭発電を事例として、発電費用の推計を行った。その結果、木炭発電の事例では、購入電力の価格を大幅に上回る費用がかかることが明らかになり、農村における事業のビジネスとしての採算性の低さを示す結果となった。ここから示唆される点は2点ある。1つは、このような農村地域における事業の経済性を評価する場合、労働投入に対する評価をどうすべきかという点である。この点については、無償労働と有償労働の区別、賃金率の設定の2つの論点を示し、前者については、その区分を明確にする必要性を説き、また後者については、この種の評価に通常用いられる最低賃金を基準とした評価が特に農村地域での評価において妥当かどうかという点を問題提起した。もう1つは、生田の木炭発電の取組は経済性だけでは決してビジネスと

しては成立しないが、その目的は決して安価な電力を得ることではないということである。すなわち、木炭発電の理由は経済性の確保ではなく、地域内の森林の間伐促進や、非常時でも電力供給が可能なシステムの導入などが目的であった。しかし、第1章の分析では、これらの効果がどの程度達成されているかを具体的に示すことはできなかった。

そこで、第2章では、少し対象範囲と分析対象の効果を拡大し、市町村レベルにおいて、ミクロ経済性の他、資源量の評価と地域経済への影響というマクロ経済性の評価という3つを組み合わせた評価を行った。この分析の特徴は2つある。1つは、資源量の評価において、新たな木質バイオマスのエネルギー需要の創出で、どの程度の間伐が可能になるのかという、第1章で明らかにできなかった部分を明らかにすることができた点である。もう1つは、地域経済への影響というより広範囲な経済的影響を把握することができるようになったことである。第2章の分析結果で興味深い点は、町立病院における暖房費の削減というミクロ経済性と、西和賀町を含む岩手県南地域の地域経済効果というマクロ経済性の双方が同時に達成できるという点である。すなわち、コスト削減を事業体レベルで突き進めることが必ずしも地域経済を衰退させることに繋がるわけではないことが示されたのである。したがって、やり方次第では、地域経済の活性化と事業体レベルでのコスト削減をうまく両立させることができるので、このような方策をいかに見いだすかが、真の意味での事業の成否に関わってくるのである。

第2章の資源量評価は、範囲を拡大して第3章で岩手県全体に拡張した。第3章では岩手県内の木質バイオマス発電所を事例として、収集範囲を把握する際の条件設定による資源量の違いと木質バイオマス発電所間の資源の競合の有無を検証した。第3章の結果からは、2つの点が示された。1つは、収集範囲を道路網の有無の考慮などより厳密な条件下で定義することで、同心円など簡易な方法で定義する場合と資源量が大きく異なること、もう1つは岩手県内6か所の木質バイオマス発電所において、資源の競合が発生することである。これにより、県レベルでのバイオエネルギー利用計画では、個別の事業においてそれぞれミクロ資源量評価するだけでなく、地域全体でのマクロ資源量評価を行わなければならないことが示された。この点はこれまでのミクロ的な経済性・資源量評価に加え、資源量評価においてもミクロ・マクロ双方の視点による評価が必要であるということである。

さて、第4章では、これまでの経済性、資源量評価とは別の側面、すなわち社会的な側面の評価を行った。農村でのビジネスにおいては、必ずしも経済的な要素が優先されるわけではなく、地域の人的ネットワークなど経済性以外のさまざまな要素が複雑に絡んでビジネスが成立している。このような経済性以外の要素のうち、それぞれの主体がどのように繋がっているのかを明らかにすることは、農村においてビジネスを行う上で非常に重要な点である。そこで、第4章では、IoSを用いて、主体間のバイオマスを介したやりとりの総体的な把握を容易にする枠組を提示し、デンマークにおけるバイオマスプラントでの家畜ふん尿取引に適用し、その有効性を検証した。このような枠組を適用することによって、第1章から第3章までの資源量や経済性で行った側面とは異なった視点からの評価手法を提示することができた。

そして、最後の第5章では、適用範囲をさらに拡大して国レベルとし、ガーナを事例としたマクロ資源量評価及びバイオエネルギー導入による様々な効果を包括的に評価し、定量化する手法を提示した。第5章において提示した包括的評価ツールは、これまでの各章における評価項目をすべて統合することも可能で、これらすべてを考慮した上で、最終的にどのようなバイオマスを用いて、どのようなバイオエネルギーを生産するのが最も望ましいのかを明らかにできる。以上のように、各章の分析結果は一連の流れの中で、最終的に第5章で提示したフレームワークの中で統合される。

本研究資料で提示した評価手法は、それぞれの事例に合わせて評価項目を設定したり、評価手法を選択したりしている。したがって、本研究資料の適用手法をそのまま他の事例に適用したり、結果を普遍化したりすることはできないと考えている。しかしながら、本研究資料の手法は、他の事例の評価手法を検討する際の参考となると考えられ、本研究資料で提示した評価手法を参考に、他の事例でも幅広く地域資源利用の効果を評価していたければ幸いである。

3. 地域資源活用の方策

本節では、本研究資料の結論として、地域資源活用の方策を提示する。地域資源活用の方策として、具体的には以下の4点について検討を行うことが必要と考える。

(1) 資源量を正確に把握する

地域資源活用のためにまず必要なことは、資源量を把握することである。農村住民が自らの地域資源を活用する際には、まず当該地域にそのような資源がどのくらいの資源あるのかを正確に把握しなければならない。資源量の把握は地域資源活用の大前提であり、これをしなければ地域資源の活用もできないだろう。資源量評価の手法は、それぞれの事業体、市町村、都道府県、国など、それぞれの評価レベルに応じて、使える情報やデータなどが異なるため、それぞれのレベルに応じた手法が必要になる。第2章でミクロ資源量評価、第3章、第5章ではマクロ資源量評価としてその手法を提示してきたので、評価の際の参考にされたい。また、第3章では、詳細データと簡易データによる評価結果の差も検証した。データの質の差による評価結果の違いも今後の資源量評価において有用な情報を提供するものと考えている。

(2) 地域資源活用の目的を明確化する

次に必要なことは、地域資源活用の目的を明確化することである。何のために地域資源を活用するのかを地元住民全体で議論し、その意義を明らかにすることは、後述する地域資源活用に関する合意形成にも重要なことである。そして、その目的に応じて評価すべき

効果も変わってくる。第1章の木炭発電の事例では、経済性では決して良いとは言えない結果となったが、地元住民は木炭発電に購入電力と同じ水準の発電費用を求めているわけではなく、それ以外の効果を目的としている。したがって、第1章の事例では、地元住民が目的としている間伐促進効果や非常時の電源確保を効果として計測すべきだったのかもしれないが、残念ながらそこまでの分析はできなかった。第2章の事例では、町立病院における木質バイオマスボイラーの導入は、当初から間伐材の需要先を確保することによって町内の森林の間伐を促進する目的があった。そのため、本分析でも間伐促進効果がどのくらいあるかの評価を行ったのである。

（３）地域資源活用の効果を把握する

第3に求められるのは、（2）で明確化した目的に沿って、地域資源活用の効果を評価することである。評価手法については、本研究資料でそれぞれの適用範囲、評価項目によっていくつか提示した。なぜこのような様々な範囲や分析手法を採用するのか。これには、地域資源の活用にはそれぞれの範囲や目指す目的や期待される効果によって、評価手法が異なるためである。効果の把握の際には、それぞれの評価範囲や目的に応じた評価手法を選択すべきであると考ええる。第5章では、複数の効果を統合化して包括的評価が可能な手法も提示した。包括的評価手法では、個別の効果の評価結果だけではわからない総合評価が可能となるので、必要に応じてこのような手法を用いることも検討すればよい。

もちろん、本研究資料で紹介した評価手法は無数にある効果のうち、ごく一部のものを評価するものにすぎない。本研究資料で紹介していない手法は数多く存在するので、これらの評価手法も参考にしつつ、さまざまな事例においてその効果を評価すればよいだろう。

（４）活用のために必要な条件を確認する

ある地域にこれだけの地域資源があり、それをこういうことに使いたい、その効果はこういうものがあると明らかになると、いよいよ具体的な地域資源活用の段階に入るだろう。この段階で検討すべきは、地域資源活用のために必要な条件、地域における制約条件などを確認するということである。具体的には、事業予算や補助金などの資金源の把握、事業実施主体の決定、市場アクセスといった地理的条件や場合によっては気温、日照時間など気象条件などの地域特有の課題や条件の把握、そして、合意形成などの事業自体の意思決定の仕方などである。これらのうち、特に重要なのは、地域内においてどのような主体がその活用を実際に進めていくのか、計画の推進にあたってどのように合意形成を行うのかという点である。

まず、どのような主体・ステークホルダーが存在するのかについて検討する際には、第4章の分析結果が参考になる。ここでは、各主体間がどのように繋がっているのかを把握するための手法を提案し、デンマークにおける事例でその有効性を確認した。この事例の

ように、どのような主体がどのように関わって地域資源活用計画を進めるのかは地域資源活用のための条件として確認しておく必要がある。また、合意形成に関しては、第1章のミクロ経済性評価も合意形成の際に必要な情報を提供するものであると考える。経済性、特にミクロ経済性は、地域資源活用の合意形成の際に非常に重要な情報となる。第1章でも触れたが、いくら経済性以外の効果を求めているとは言え、あまりに経済性を無視した事業では、地元住民の合意形成に影響を及ぼしかねない。このように、地域資源の活用の際し、どのような情報を提供し、どのような手段で合意形成を行うのかについても検討しておく必要があるだろう。

このような点を注意深く検討することで、地域資源活用をより円滑に進めることができると考える。

2016（平成 28）8 月 31 日 印刷・発行

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

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

電話 東京(03)6737-9000

FAX 東京(03)6737-9600



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。