

〈木質バイオマス経済〉の総合的分析

佐藤一光*, 斉藤崇**, 吉弘憲介***, 山川俊和****, 徐一睿*****, 澤田英司*****

1. はじめに†

気候変動枠組み条約のパリ協定の発効以降、中国を中心に世界で、再エネの急速な普及が進んでいる。世界の再エネ投資額は3,335億ドル（2017年）に達し、中国はそのうち約40%を占めている。再エネの普及において先行する欧州、特に北欧諸国やドイツなど寒冷な気候の地域では、木質バイオマス（Wooden Biomass, WB）の熱利用が進んでいる。熱エネルギーを電力に転換することなく利用できるWBは高いエネルギー効率を実現できることに加え、エネルギーとして蓄積が容易であること、コストはかかるものの運搬が可能であることといった利点があり、林業との連携によって地域における雇用創出効果も高い。さらに、東アジアにおいては入浴の文化があるため給湯の需要が大きいため、WBの重要性はその利用が進んでいる欧州諸国よりもますます高くなると考えられる。

本稿は「木質バイオマス経済（Wooden Bio-Economy, WBE）」に焦点を当てるものである。WBEとは、森林で育成された木材を切り出し、その木材をエネルギー利用するという経済体制である。人類の長い歴史の中で、木材は重要なエネルギー源であった。その意味では木質バイオマス経済は非常に古いタイプのエネルギー利用形態であると言える。人類は石炭の利用と蒸気機関の発明によって産業革命を実現し、生産力を飛躍的に高めることになった（リグリー1991）。石油の利用と内燃機関の発明はモータリゼーションを引き起こし、人間の社会のあり方を大きく変えた。天然ガスの利用は家庭における煮炊きや暖房のあり方に大きな影響を与えた。発電技術の向上と電力の利用無くして、現在の情報技術産業は成り立たない。化石燃料の利用とそれに伴う技術開発が人間社会の豊かさの根源にあることは疑いようのない事実である。

他方で、化石燃料への依存はいくつもの問題も引き起こしてきた。化石燃料の燃焼に伴う大気汚染は人間の健康を損ない続けている。高価な技術を用いることで大気汚染を削減することはできるが、どの社会でも高価な技術をふんだんに使うということとはできない。化石燃料の燃焼に伴って排出される二酸化炭素は、地球全体の気候に悪影響を与えている。化石燃料への経済的依存は、採掘コストの上昇や生産の不安定化によって経済的不安定性の根源となってい

*岩手大学人文社会科学部

E-mail : kazusato@iwate-u.ac.jp

** 杏林大学総合政策学部

E-mail : t_saito@ks.kyorin-u.ac.jp

*** 桃山学院大学経済学部

E-mail : yoshihiro@andrew.ac.jp

**** 下関市立大学経済学部

E-mail : yamakawa@shimonoseki-cu.ac.jp

***** 専修大学経済学部

E-mail : xuyirui@isc.senshu-u.ac.jp

***** 九州産業大学経済学部

E-mail : e.sawada@jp.kyusan-u.ac.jp

† <本研究はJSPS科研費 19H04332の助成を受けたものです。>

る。地域経済に目を向ければ、化石燃料の購入に充てられる資金は、化石燃料の産出がない地域にとっては付加価値の漏洩となっている。このような問題に対処するために、世界各国で一定程度の脱化石燃料を目指して再生可能エネルギーの普及が進められてきた。

再生可能エネルギーは世界の主流のエネルギーとは言えないものの、決して無視できない規模まで拡大している。再生可能エネルギーには多くのタイプが存在している。太陽光発電、風力発電、水力発電などがその主力を担うものとして知られている。しかし、我々はその中でもバイオマスエネルギー、特に木質バイオマスエネルギーの利用に焦点を当てる。そこには3つの理由が存在している。

第一に、木質バイオマスは地域性が強い。電力は、遠方に運ばば減衰するものの、送電網さえ整っていれば輸送が容易である。再生可能エネルギーによって発電された電力は、送電網を通して遠方へ売却することもできるし、近年では仮想的な市場で容易に売買することができる。他方で、木材は重く、遠方に運ぶことができない。それゆえ、ある一定の物理的範囲の中での流通と利用をせざるを得ない。遠方まで運ぶためには大量の化石燃料が必要となってしまう。

第二に、木材の生産には常に労働が必要となる。持続可能で健全な(sustainable and sound)エネルギー利用には、同様に持続可能で健全な林業が欠かせない¹⁾。林道の整備から間伐、主伐を行い山林から木材を運び出す。この際に、建材利用では打ち捨てていた枝葉や根などの残渣もエネルギーとして利用可能である。運び出された木材は薪、チップ、ペレット等²⁾に加工され、この過程のどこかで乾燥が行われる。自然乾燥する場合は広大なヤードが必要となる。WB燃料の生産設備は燃焼設備に併設されている場合もあるが、多くの場合は林業事業体とエネルギー転換事業体は異なるため、この間にも一度輸送が行われ、発電・熱利用施設のヤード³⁾に一旦蓄積されたのちに、ベルトコンベヤーもしくはトラック等を利用してエネルギー転換設備に投入される。

これだけでも労働集約的な性質が強いことが分かるが、伐採後の再生林・植林、湿潤な気候の日本では重要となる数度にわたる下草刈り、そして間伐という林業のコストを考える必要がある。このことは再生可能エネルギーの中で木質バイオマスが高コストであることを示しているが、他方では雇用創出効果が強いことも意味している。木質バイオマスのエネルギー利用の促進には、都市型ではない地域的な経済発展モデルの可能性が秘められている。

第三に、木質バイオマスの利用はローテクノロジーである。太陽光や風力と違い、蓄積が可能であり、燃焼を通じてそのエネルギーを取り出す必要がある。熱エネルギーを電力に変換すると、非常に低いエネルギー効率となってしまうため発電には必ずしも向いていない。しかし、熱をそのまま利用することで高いエネルギー効率を実現することも可能である。何よりも、民生用のエネルギー需要の大半は温水や暖房といった熱の利用である。原始的な木質バイオマスの熱利用には、地球温暖化といった環境問題、エネルギーの枯渇問題、地域での雇用創

1) 本稿では林業の分析には深く立ち入らないが、経済学の観点からも斉藤(2014)、寺西他(2018)、松沢(2019)、ラトカウ(2013)といった研究が進められている。

2) WB燃料には様々な形態が存在しているが、その生産に必要なエネルギー・生産要素の投入が必要となる。薪、チップ、ペレットの順に必要なエネルギー・生産要素は大きくなる。薪ストーブや薪ボイラーなど、薪は取り扱う設備の技術レベルが相対的に低く、初期投資が安価であるというメリットがあるため、小規模分散型の利用に適している。チップは生産費用が安価であり、運搬や取り扱いが容易であるため大容量を扱いやすい。ペレットは生産費用が最も高いが取扱が容易であり、小中規模の分散利用に適している。

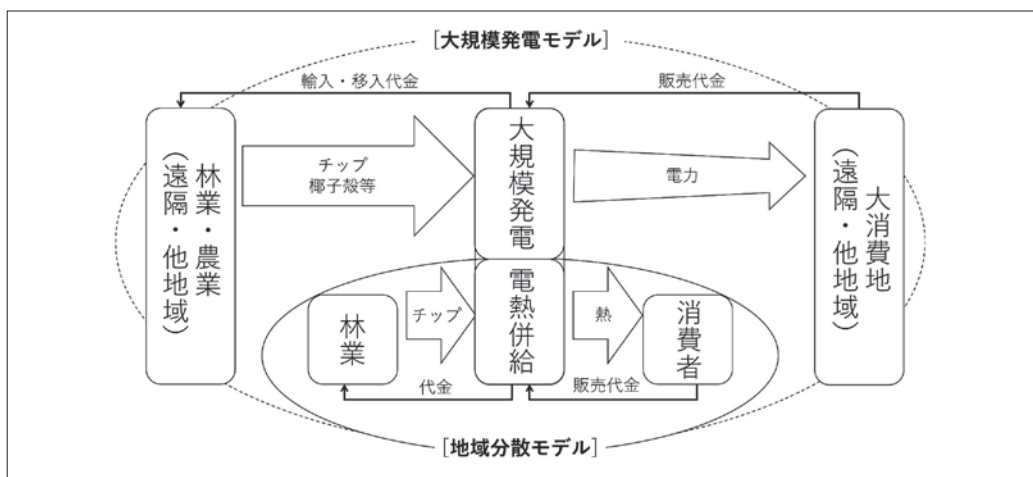
3) ここでは中・大規模な発電施設、電熱併給施設、熱供給施設を念頭においた記述となっているが、家庭や小事業所のような極めて分散的な利用であっても、ヤードという用語を利用しないものの、WBの置き場所が必要であることに変わりはない。

出問題、地域の付加価値の漏洩問題といった諸問題を解決する糸口になると考えている。さらに、木材の持続的な利用は、工夫をすれば生物多様性を担保し、地域の自然環境を保全することにもつながる。もちろん、木質バイオマスの利用に際して、生態系を考えずに目先の経済性を追い求めることでかえって環境破壊につながることもありうることにについても留意しておくべきである。

図1は〈WBE〉における資源・経済の循環を模式図で示したものである。WBを利用した大規模発電や石炭との混焼発電では、必要となるWBの量が多い為、遠隔地からの資源輸送が必要となる。大量のWBを安定的かつ安価に入手するために、しばしば海外から輸入されることもある。発電する場所と電力の消費地域との距離もあるため、エネルギー効率は悪くなるをえない。他方で、小規模発電や電熱併給を含めた熱利用に関しては、熱エネルギーを遠隔地まで運ぶことができず、地域内での循環を重視せざるを得ない。さらに、エネルギーの販売やWBの購入、税・補助金やFITを通じて発生するマネーフローは地域内での循環に加えて、地域を超えた分配・再分配をもたらす。

もちろん、エネルギー利用の全体では化石燃料の利用が主を占めていて、再生可能エネルギーの主流も太陽光と風力の利用が進められている。現状では木質バイオマスのエネルギー利用は亜流であり、このまま自動的に持続可能な木質バイオマス経済が実現できるとは考えられない。私たちは、薪を拾って煮炊きをし、暖をとっていた昔を懐かしんでいるわけではない。人間社会の知恵である、「政策」の活用が不可欠であると考えている。化石燃料や様々な再生可能エネルギーにはそれぞれの特徴がある。それらの特徴に合わせて政策を調整する必要がある。我々は木質バイオマス経済の強化によって得られる利点と、そのために必要となる政策についても検討する必要があると考えるのである。

そこで、木質バイオマス経済の特徴を理解するためには次の三つのことを考える必要がある。第一には環境・エネルギーとしての木質バイオマスである。カーボンニュートラル、再生可能エネルギーといった特徴は重要である。第二に、雇用創出効果である。繰り返しになるが、木質バイオマスのエネルギー利用は労働集約的である。第三に、化石燃料の利用抑制によって地域の付加価値が漏洩することを防ぐ。別の言い方をすると、マネーの流出を防ぐことができる。



出所：筆者作成

図1 木質バイオマスの資源・経済循環モデル

2. 国内における木質バイオマスのエネルギー利用状況

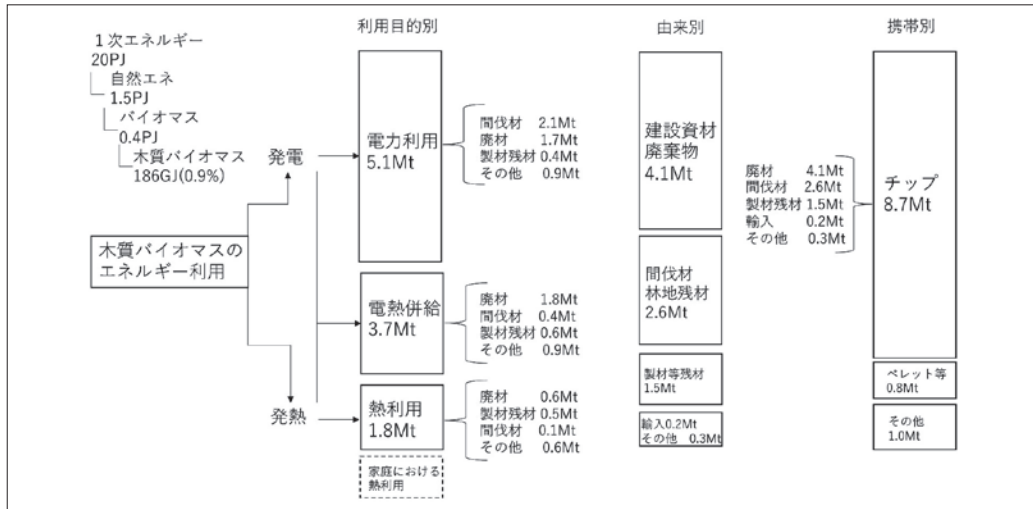
上述のように木質バイオマス経済は環境・経済・社会の複合的な現象である。本節の分析は、その中でも地域経済の持続可能性に焦点を当てる。木質バイオマスのエネルギー利用は、環境問題の観点からも、エネルギー問題の観点からも望ましいものである。しかし、すでに指摘した通り、木質バイオマスのエネルギー利用は高コストである。石炭などの化石燃料との比較だけでなく、太陽光や風力といった他の再生可能エネルギーと比較して、労働集約的な特性を持っており、カロリー含有量に対して重量が大きいため輸送コストがかかる。

どの程度、木質バイオマスのエネルギー利用を進めれば良いのだろうか。日本の一次エネルギー最終利用は 13.5×10^{18} ジュールである（2015年、経済産業省「総合エネルギー統計」）。送電ロスが 5.1×10^{18} ジュール存在しているため、1次エネルギー供給量は 19.8×10^{18} ジュールとなっている。木質バイオマスの蓄積量を減少させずに木質バイオマスを利用するとすれば、116M立方メートルを利用できるという。日本のバイオマス蓄積量が過大である可能性もあるが、二酸化炭素排出量削減の観点からはバイオマス蓄積量を一定に保つことを前提とすることは大きく間違っているとは言えない。一定期間のうちに植物が光合成を通じて大気から二酸化炭素を吸収した分のみ、エネルギー利用するということである。このような利用方法であれば、二酸化炭素を事実上排出していないカーボンニュートラルといって差し支えない。

116M立方メートルの木質バイオマスは、乾燥状態や樹種などによってエネルギー含有量は異なる。林野庁によれば水分含有量40%の杉のエネルギー含有量は約10MJであるという。すなわち、日本で1年間に利用できる木質バイオマス量は約93百万t、熱量では 0.93×10^{18} ジュールとなる。図2に2017年のWBのエネルギー利用の状況を示してある。利用目的別には発電が最も多く、分散型の熱利用は十分に普及していないことがわかる。由来別には第一に建築廃材、次いで間伐材・林地残材の利用が多く、現状では廃棄物処理の延長線上としてWBは位置付けられており、主伐材の利用、すなわち林業そのものがエネルギー産業化するという前段階にあることがわかる。利用形態別には発電で利用するのに適している、さらに建築廃材の処理と相性の良い木質チップが主たる形態であることが示されている。

日本の最終エネルギー利用の約5%にしか相当しない。すなわち、日本で生産されるすべての木質バイオマスをエネルギー利用したとしても、エネルギー需要の一部しか賄うことができない。したがって、林業を振興し、木質バイオマス生産を最大にしたとしても、環境・エネルギーの観点からは問題ないということになる。それゆえ、木質バイオマスの最適な利用水準は、生産のコストや地域経済の問題に集約されると言って良い。言い換えると、ミクロ経済学的な資源配分の問題と、マクロ経済学的な地域経済の問題が重要となる。

なお、バイオマスのエネルギー利用に関して若干の補足しておく。バイオマスのエネルギー利用は結局のところそれを燃焼させることによってエネルギーを取り出す必要がある。それゆえ、発電を行う際には既存の火力発電と同様の技術を使うことができる。既存技術の利用という特徴は、石炭発電における混焼など、既存設備のアップデートによってその利用を促進することができるも意味している。しかし、熱を利用して水蒸気でタービンを回して発電することは、エネルギーの大きなロスとなる。前述の通り生産可能な全ての木質バイオマスをエネルギーとして利用したとしても、エネルギー需要の一部しか賄えないことを考えると、エネルギー効率は重要である。そこで、バイオマスのエネルギー利用における鍵が熱利用となる。電力は大量の蓄積には不向きであるが、既存の送電網を利用することによって遠方へと比較的安



出所：農林水産省「木質バイオマスエネルギー利用動向調査」より作成

図2 国内における木質バイオマスのエネルギー利用状況（2017年）

価に輸送することができる。しかし、熱エネルギーを電力へと変換する際にエネルギーの大部分は失われ、送電を通じてもエネルギーは失われることになる。電力という品質の高いエネルギーは多様な利用可能性が存在しており、その存在なしに現代経済は成立しないとすら言えるが、結局のところ暖房や給湯、料理での利用、選択の乾燥など熱利用する場合には、エネルギー効率はさらに低くなる。

バイオマスを燃焼させた熱をそのまま利用することによって、極めて高いエネルギー効率を達成することができる。もっとも、熱エネルギーをそのまま用いるためには、利用される場所の近くで熱エネルギーを取り出す必要があり、セントラルヒーティングなどの社会設備の整備も必要となる。電力とは異なり遠方に輸送することのできない熱エネルギーの利用を前提とするならば、他の再生可能エネルギーとは異なり、利用される地域での規模や距離が重要となってくる。日本では「もったいない」という考え方が好まれる。特に、伝統的に林業を営んできた地域ほど、木材を燃やすことは「もったいない」と考える傾向がある。立派に育った木材は、建材や家具など付加価値の高いものに使われるべきだということだ。そこで、木質バイオマスのカスケード利用が重要であるとされる。すなわち、大きく育った木材は建材などの付加価値の高い分野に利用し、端材は割り箸や集成材などの利用をし、残ったクズからエネルギーを取り出すという木質バイオマスの利用方法である。

立派な木材は高付加価値であるということは正しい。それゆえ一見すると、木質バイオマスのカスケード利用は経済的に正しいかのように見える。しかし、需要量を考えると、必ずしも正しいとはいえないことに注意が必要だ。木材の需要の中に、木質バイオマスのエネルギー利用を入れるならば、それが最大のものとなる。生産されるすべての木材をエネルギーとして利用したとしても、まだまだエネルギー需要は満たすことはできないからである。それゆえ、すべての木材からエネルギーを取り出すということをベースとして、突出して価値の高い、すなわち救い出される価値のある木材だけが建材や家具の原料として利用されるという方式の方が、需要構造にはマッチしているといえよう。

木材生産において、樹木の下部に当たる垂直な原木をA材、中間のやや曲がりがあったり小

径だったりする部分をB材、それ以外の枝条や曲がり材をC材と呼び、A材は主に製材用、B材は合板用、C材はチップ用として分けられてきた。2018年度の価格では杉材でA材が14000円/m³、B材が11000円/m³、C材が6000円/m³となっている。山林から運び出される前の山元立木価格は全国平均で2804円/m³となっているが、間伐を含めた50年間の再造林コストは約7500円/m³、10年程度のサイクルで主にエネルギー利用するとしても約5000円/m³となっており、現行の木材価格では再造林を行うことができない。

それゆえ、再造林や間伐にかかる費用を公的に補助しているわけだが、木材需要が底上げされることによって木材価格が上昇し、平均で2000円強の価格上昇が実現すれば木質バイオマスのエネルギー利用は再造林込みで持続可能となり、平均で5000円/m³近く価格が上昇すれば高品質な製材用木材を生産する林業すらも持続可能となる。そのためには、木質バイオマスのエネルギー利用が拡大し、C材価格の上昇を通じてB材、A材価格の上昇にもつなげ、山元立木価格の上昇に帰結させる必要がある。かつてドイツ林学のプファイルはドイツにおける森林資源の無駄遣いを嘆き、森林の減少を通じて木材価格が上昇すれば、木材の無駄遣いは減少すると主張した（Pfeil, 1816）。エネルギー需要に比べて木材生産量可能量は小さいため森林を減少させる必要はないが、需要の増大を通じ、価格の上昇を引き起こすことで、持続可能なだけでなく費用効率的な木材利用を実現できる可能性がある。

木材の生産が、主に木質バイオマスのエネルギー利用となれば、林業の持つ意味は大きく変わってくる。日本では最大の木材需要は建材であった。集合住宅ではなく戸建に対する需要が大きいことから、建材の需要が大きかったのである。しかし、エネルギー生産が林業の主目的となるかもしれない。木質バイオマスの生産量を最大化することの資源配分上の問題は何か。労働や資本といった生産要素を過剰に利用し、他の生産が抑制されることである。特に人口が持続的に減少する日本では、労働力の過剰な配分は問題になるかもしれない。他方で、技術革新に伴ってITやAIの活用が進めば、余剰労働力の配分先が問題となることも出てくるかもしれない。さらに、日本の国土は全体として起伏が激しく、森林は山間部に位置していることが多い。入り組んでいたり山頂部にあったり、木材生産に向かない土地を活用することは、木質バイオマスの限界生産費用を限りなく高めるかもしれない。このような資源配分の問題について精査する必要がある。

他方で、マクロ経済学の問題は様相が異なる。日本では、都市部ではない地方部においては雇用の少なさが問題となることが多い。生まれ育った土地にすみ続けるには、農林水産業と言った1次産業に従事するか、教員か公務員になるしかないといった地域が多数存在する。地域によって偏りのあるマクロ経済構造の元では、一定の賃金水準さえ確保できれば、労働集約的な産業は有益である。地域の持続可能性の観点からは、木質バイオマスの生産コストが高いという特徴は望ましいといえよう。

もっとも、労働集約的で高コストな生産を政策的に成立させることが、必ずしもマクロ経済学的な視点からも望ましいと言えない場合がある。例えば、木質バイオマスの生産に際して、機械や化石燃料などの資源が必要となる。ほとんどの地域では林業に必要な専門機械や、それを運搬するための特殊なトラックを作っているわけではない。同様に原油を産出しない。木質バイオマスの生産のために、これらの機械や輸送機器、化石燃料の輸入が増加することになれば、地域経済は圧迫される。もちろん、木質バイオマスのエネルギー利用は化石燃料の利用を抑制する効果もある。このような、地域経済における付加価値の生産である雇用の側面だけではなく、地域のマクロ経済における輸入を中心としたマネーフローの変化を考えなければ、地域の持続可能性についての理解を深めることはできない。さらに、森林整備に関する補助金と

いった財政政策や、FITのようなエネルギー政策に伴うマネーフローも重要である。財政政策やFITは資源分配を変更する政策である。市場では成立しない再生可能エネルギーの利用を実現する。市場では実現できない造林を可能にする。このような政策に伴うマネーフローもまた、地域経済の持続可能性を考える上で外すことができない。

以上の問題意識に基づいて、本稿は岩手県の木質バイオマス経済の構造を、1) 産業連関表を用いて日本全体との違いを明らかにすること、2) マネーフローの変化を追跡すること、3) 財政制度とFITにおけるマネーフローを明らかにすることを通じて、分析する。もっとも、岩手県という大きな地域の分析からは、極めてわずかの情報しか得られない。

3. 岩手県釜石市の事例分析

釜石市の事例を分析するにあたり、日本製鉄のバイオマス混焼の事例の説明を行う。岩手県は日本の東北地方に位置する自治体で、寒冷な気候であり、北海道に次ぐ広さの一方で人口は少なく、人口密度は低い。大部分を山林が占めており、エネルギー需要に比してバイオマス生産量は多い。人口は主に県の中心を流れる北上川流域に集中しており、2011年の大震災・津波の被害を受けた沿岸部は相対的に人口は少ない。釜石市は沿岸部に位置している。人口は3.4万人で漁業と製鉄業が主な産業である。釜石の製鉄所は1880年に官営製鉄所としてスタートし、戦前は比較的大規模な製鉄所であった。第2次世界大戦において一度壊滅的なダメージを受けたが、戦後に復興し、当時の富士製鐵の主力の製鉄所であったが1989年高炉が休止された。高炉跡に定格149MWの石炭火力発電所を設置した。2010年から石炭に木質バイオマスを加える混焼発電を開始した。2013年からFITが開始され、2015年には混焼能力を拡大し、最大で4.8万トンの木質バイオマスの混焼を行う計画を立てた。

日本製鉄が木質バイオマスの混焼発電を開始した理由は環境問題への対処に加えて、地域への貢献があった。すなわち、地域に雇用を発生させるということである。0.7万トンの木質バイオマスは、釜石市の地方森林組合の生産する間伐材である。この木質バイオマスの生産量は、釜石地方森林組合の木材生産量の約3分の1に相当する。間伐の作業自体は木質バイオマスの混焼以前から行っており、ここでの雇用量を正確に把握することはできないが、約5人程度の雇用量に相当すると考えられる。生産された木質バイオマスは、日本製鉄の子会社として設置した三陸バイオマスがチップ化を行う。混焼発電のためには24時間体制で木質バイオマスを供給する必要がある。石炭の投入はベルトコンベヤーで行われるが、木質バイオマスはトラックを用いて準人力で投入される。したがって、間伐材のチップ化と木質バイオマスの投入に際して8時間ごとの3交代制で15名の職員が雇用されている。

2015年の混焼発電の拡大以降、順次木質バイオマスの混焼量は増大し現在では年間3万トンの混焼を行っている。釜石地方森林組合の間伐材生産量を超過し、一般材も混焼発電に用いられている。一般材の販売価格は1立方メートルあたり8千円であるが、混焼用の木質バイオマスの買取価格は7千円弱と費用的には安価である。ただし、間伐に関しては公的な森林整備事業や山主からの森林整備事業費で賄っているところがあり、生産にかかる費用は低く抑えられていると言える。

これらの木質バイオマス経済の特徴を分析するために、日本製鉄釜石におけるバイオマスと石炭の混焼発電を事例として、三つの分析アプローチを用いることにした。日本製鉄釜石では2010年より混焼発電を開始しており、2015年には混焼設備を増強し、最大で重量比15%程度、

4.8万トン程度の木質バイオマスのエネルギー利用のポテンシャルを持っている。我々が釜石市の事例に着目する理由は、林地残材だけでなく、間伐材と主伐材を含む木質バイオマスの利用を行っており、木材需要の増加によって木材価格を引き上げる潜在的可能性を有した事例であると考えからである。釜石におけるWBの生産は、釜石地方森林組合が担っている。同組合の木材生産量は年間約3万m³であり、そのうち約3分の1強の1万トン程度が発電用に供給されている。したがって、日本製鉄釜石発電所では近隣の遠野地方森林組合、気仙地方森林組合、宮古地方森林組合、陸前高田市森林組合など不足するWBを広範囲から収集している。

そこで、本稿では次の3点に着目して分析を進める。第一に、距離への着目である。木材は森林で産出される。森林で木を伐採して、消費する場所まで運ぶ。つまり、燃焼させる場所まで運ぶ。生産地と消費地はなるべく近い方がいいが、森林の中にたくさんの人口が居住するということは考えられない。だから、森林と人口密集地との距離的な関係が重要となってくる。そこで、第一に森林における木材の収集コストを理論的に分析する。ここでは森林から木材を収集してくること、間伐のために伐採した木材が、使い道がないために搬出コストを賄うことができず、そのまま森林に放置される林地残材が、大雨などの時に流出して災害の被害を加速させるという外部性を有しているという前提のもとに議論を進める。

第二に、岩手県釜石市の日本製鉄釜石発電所の事例を用いて、地図上に発電所と森林との距離を示す。日本製鉄の釜石発電所では、石炭の火力発電が行われていた。そこに、環境対策と地域への貢献を念頭に、木質バイオマスの混焼が行われている。現在では年間約3万トンの木材を混焼し発電している。これは電力に換算すると約4万MWhに相当し、約3.5万トンの二酸化炭素の削減に寄与していることになる。しかも、林地残材を中心とした間伐材だけではこのWBエネルギーを賄うことができずに、主伐材も利用するなど、木材の需要を大きく引き上げている事例として注目される。前出の通り、木材価格が持続可能な林業を実現できるまで引き上げられるためには、木材需要の底上げが必要だからである。これらの考察から、効率的に木質バイオマスを利用する距離に関する考察を深めることとする。

第三に、マネーフローについての着目である。木質バイオマスのエネルギー利用によってどの程度の付加価値＝雇用が地域に創出されたのであろうか。それと同時に、化石燃料の節約によってどの程度の付加価値の漏洩を防いだのであろうか。本稿では同様に日本製鉄釜石発電所の事例を用いて、雇用の発生とマネーフローについて分析を加える。なお、日本では再生可能エネルギーの固定価格買取制度が導入されている。日本製鉄釜石発電所は地域外へと電力を販売しているが、FITを通じてさらにマネーフローを呼び込んでいることになる。このような政策的ファクターについても検討する必要がある。

以上の分析の背景には地域性が大きな役割を果たしていると考えられる。今回の分析で対象とした日本製鉄釜石発電所にはその地域ならではの特性がある。そもそも、岩手県釜石市には日本製鉄の高炉が存在していた。長らく、鉄の生産が行われてきた。鉄鋼生産は釜石市の中心的な産業であった。現在では高炉は、鉄鋼の加工が中心となっているが、それでも日本製鉄は釜石市の主要な産業を担う企業であることに変わりはない。釜石市は日本製鉄の企業城下町としての歴史があると言える。

その分、日本製鉄は単なる営利目的の民間企業というだけではなく、釜石市という地域に密着した企業であるということもできる。地域に密着した企業は、強い社会的責任を果たす必要がある。日本製鉄は民間企業であるため、木質バイオマスの混焼によってFITを利用して十分な投資回収を行う必要がある。日本製鉄のバイオマス混焼は一定の利益とともに、あくまでも、釜石市との歴史的な地域密着の結果として、地域経済への貢献が実現しているのである。

そこで、本報告では森林資源が豊富で木質バイオマスのエネルギー利用が相対的に進んでいる岩手県の大規模発電モデルである日本製鉄釜石発電所を事例として、木質バイオマスエネルギーの利用状況、その費用効率的な利用の条件、その利用に関連するマネーフローの状況について調査し、〈木質バイオマス経済〉の現状と課題について考察を行う。

表1 岩手県における木材生産と日本製鉄釜石のバイオマス利用量

(年度)	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
木材総生産量 (千m ³)	1343	1013	1175	1262	1295	1367	1403		
木質バイオマス (千t)					162.0	245.8	338.7		
日本製鉄釜石 (千t)	1.9	4.5	3.9	5.2	4	25.7	37.5	29.6	26.1
比率						16%	15%	9%	

出所：農林水産省「木材統計」「木質バイオマスエネルギー利用動向調査」、日本製鉄釜石提供資料より作成。

3. 1 木材収集の経済分析

本節の目的は、経済理論的アプローチを用いてWBの最適なエネルギー利用についての条件を検討することである。特に、森林地域での林地残材等の回収に焦点を当てる。本節では、廃棄物収集について経済モデルをもちいて分析しているHighfill et al. (1994) のモデルを拡張し、WBの収集についてモデル化する。

本節のWB収集モデルは、いくつかの観点で上のモデルと異なる。第一のポイントは収集区域の内生的決定である。Highfill et al. (1994) では所与の収集区域における輸送費用等を考慮して、リサイクルセンターの最適な立地を導出しているが、本節のモデルでは、収集領域そのものを内生的に決定するモデルとなっている。第二のポイントは運搬費用である。Highfill et al. (1994) では、単位当たりの輸送費用を一定として分析をおこなっているが、本節のモデルでは単位当たり輸送費用が輸送する方向によって異なるものとしている。具体的には、南北方向と東西方向とで異なる単位輸送費用を想定している。これは、森林内部においては斜面等による移動・運搬の困難さが異なるということをモデルに取り入れたものである。最後に、林地残材に関連する外部性を考慮している。

本節のモデルのイメージを図3に示す。いま森林区域 ($a \times b$) を考え、ここに林地残材が一様に分布していると仮定する。また原点 (0,0) にバイオマスエネルギー発電所 (BEP) が建てられており、化石燃料の代わりに木材を収集して発電しているものとする。木材の輸送については、先行研究と同じように東西方向あるいは南北方向とする。BEPは発電した電力を売ることでの収入を得ており、林地残材の輸送費用 (c_τ) とおよび収集した木材による発電費用 (c_B) のもとで利潤を最大化する。そして林地残材の最適な収集範囲 (x_c, y_c) を決定する。

林地残材の輸送費用は、輸送距離 (d)、単位当たり輸送費用 (ϕ)、そして面積当たりの木材重量 (w) の積であらわされるものとする。また先ほど述べ

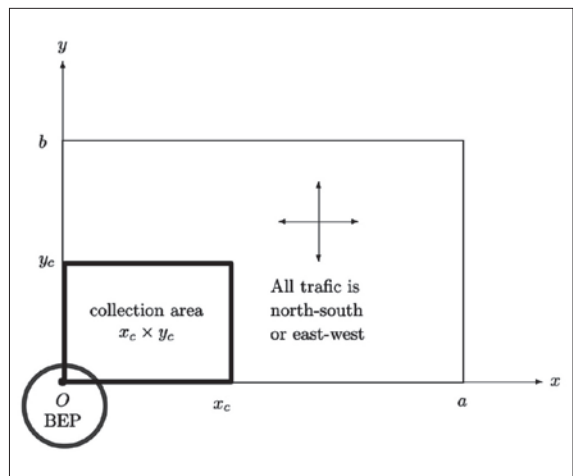


図3 木材収集モデルのイメージ

ように、単位当たり輸送費用については、輸送する方向によって異なっており、ここでは南北方向が東西方向よりも高いものとしている（ $\phi_y > \phi_x$ ）。以上のことを踏まえると、BEPが林地残材の輸送にかかる費用（ c_T ）は次のように定式化される。

$$c_T = \int_0^{x_c} \int_0^{y_c} 2(x\phi_x + y\phi_y)w dy dx$$

一方で、発電費用（ c_B ）は、発電量（ q ）の関数であらわされる⁴⁾（ $c_B \equiv c_B(q)$ ）。ここで発電量（ q ）は収集された木材総量の一定割合と仮定している（ $q = sW$ ）。木材総量については収集面積に面積当たりの木材重量を掛けたものであらわされる（ $W \equiv \chi_c y_c w$ ）。

BEPの利潤最大化条件を求め、それを整理すると、収集範囲に関して次の条件が得られる。

$$x_c \phi_x = y_c \phi_y$$

本節のモデルでは、単位当たり輸送費用について $\phi_y > \phi_x$ としていることから、最適な収集範囲に関して、 $\chi_c^* > y_c^*$ が成り立つことがわかる。つまり、単位当たりの輸送費用の低い東西方向に広く、南北方向には狭くなる。

電力の価格は最適な収集範囲の決定に重要な役割を果たしている。例えばFIT制度などによって、もしくは市場環境の変化によって電力価格が高くなれば、BEPはより広い地域から木材を集めることになる。そのため、FITを含む再生可能エネルギーの利用を促進するための補助金は、回収地域の拡大につながる。ただしこのときも $\chi_c \phi_x = y_c \phi_y$ という関係が維持されるため、収集範囲が相似拡大することになる（図4）。

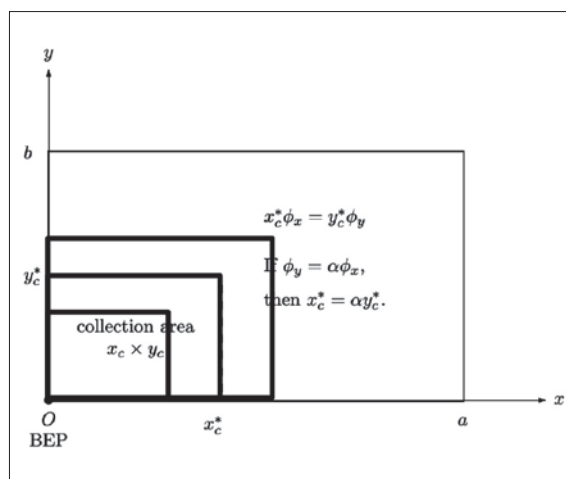


図4 効率的な木材収集のイメージ

一方、収集されなかった林地残材は、豪雨の被害を悪化させる可能性がある。そうした林地残材による外部性を考慮してみよう。このとき収集されなかった林地残材と外部性の程度との関係がどうなっているかによって、最適な政策が異なってくる。例えば、外部性の程度が未収集の林地残材の総量に依存すると考えると、社会的に最適な状態を実現するために、BEPの売電に対する補助金などの手段を考えればよい。しかしながら、林地残材の総量ではなく、どこに立地しているかによって外部性の程度が異なってくると考えると、最適な政策手段は異なってくる。この場合、輸送費用に対する補助金、つまり単位当たり輸送費用を軽減するような仕組みを考える必要があり、より複雑なものとなる。

3. 2 木材運搬の地図的分析

本節では日本製鉄釜石を事例として、バイオマス発電所から木材を収集する距離について検討を行う。これまでの研究では、植村他（2009）がGISを用いて日本の東北地方における木質

4) 発電費用について、および $c_B'(q) > 0$ および $c_B''(q) > 0$ が成り立つものとする。

バイオマス燃料資源量を算出している。しかし、それらは代表的な点データとして市役所位置データを用いている。また、Singh et al. (2008) および Fernandes (2010) は、GISを用いてインドとポルトガルの農業用バイオマス燃料の量を計算している。ただし、これらの研究の主題は主に農業であった。そこで本節では、特定のWEPと木質バイオマス資源の運搬に焦点を当てた。

地理情報システム (GIS) 解析を用いて、岩手県釜石におけるバイオマス発電所の立地およびWB供給地域の地理的位置の把握を試みた。一般的には、森林の所有会社と発電所周辺の木材会社が木質バイオマス燃料を発電所に供給している⁵⁾。木質バイオマス燃料の輸送コストは、燃料供給者からバイオマス発電所までの輸送距離に依存する。それゆえ、木質バイオマスエネルギーの利用位置と木材の生産位置は効率供給コストを推定する重要な要因である。

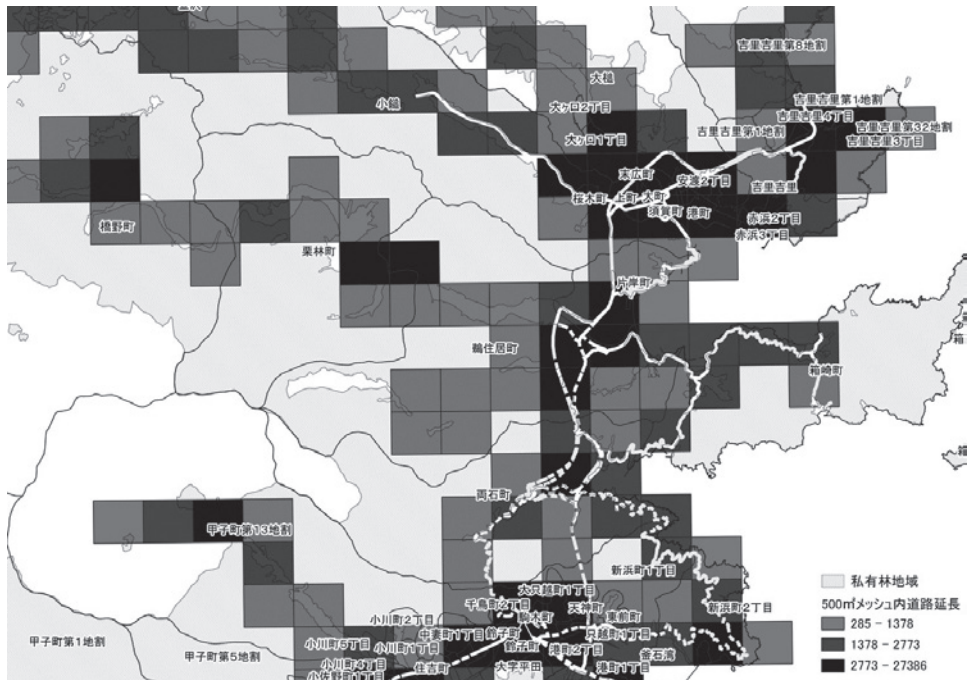
ヒアリング調査によると日本製鉄釜石は、木質バイオマス燃料を中心から約50kmの地域から調達することを念頭に置いている。図5に示す灰色の部分は、日本製鉄釜石の中心部から50kmの私有林をユークリッド距離で示している。これらの私有林から、釜石地方森林組合が木材を伐採し、もしくは間伐時の林地残材を収集し、木質バイオマス燃料を供給している。しかし、ユークリッド距離は一般的に道路を利用した輸送距離と一致しない。道路を通った距離のことをマンハッタン距離というが、日本製鉄釜石のマンハッタン距離を示す必要がある。同じく図5において、推定された主な道路の長さが10kmから50kmまでの距離を、10km区切りで示している。この着色された道路が、木質バイオマス発電所からの実道路の距離となる。本分析からは、ユークリッド距離では50kmの範囲に含まれる釜石地方の北部にある宮古市においては、道路の整備状況を勘案したマンハッタン距離に置いては距離的に遠く、それゆえ輸送費用が余分にかかる可能性があるということが示される。他方で内陸部に存在する遠野市や南部の気仙地方ではユークリッド距離とマンハッタン距離とに大きな違いがないことも見て取れる。もちろん、道路の敷設には地形が大きく関わっており、北部のWB収集には追加の費用がかかることを示している。

もっとも、このデータには主要道路のみが示されており、林道等が考慮されていない。そこで、道路メッシュデータを追加することによって、より費用効率の高い領域を明確に特定する。林道の総合的な路線データは政府のデータベースからは提供されていない。そこで、道路の長さを示す500平方メートルのメッシュデータを追加的に利用する。このメッシュデータを分析することで、WBの伐採・運搬をより安価に行うことのできる地域を特定することができる。図6は日本製鉄釜石の混焼発電所の北側の道路密度のメッシュデータを示しており、図7は南部を示している。メッシュの四角は幅5メートル以上の道路の面積を示しており、薄い灰色のメッシュでは道路の密度が低く、濃い灰色は道路の密度が高いことを示している⁶⁾。

図6からは、釜石市都仁町と加志町、大船渡市三陸町吉浜平根が森林資源へのアクセスが容易であることが示されている。図7では、釜石市鵜住居町がアクセス性の高い地域であることが示されている。以上の分析によって、地理的な条件を背景として道路整備状況の違いが存在しており、主要な道路の敷設状況や林道等の輸送用の敷設状況が大きく異なるために、木質バイオマスを利用する発電所からのユークリッド距離によってWBの収集範囲を決めることが、

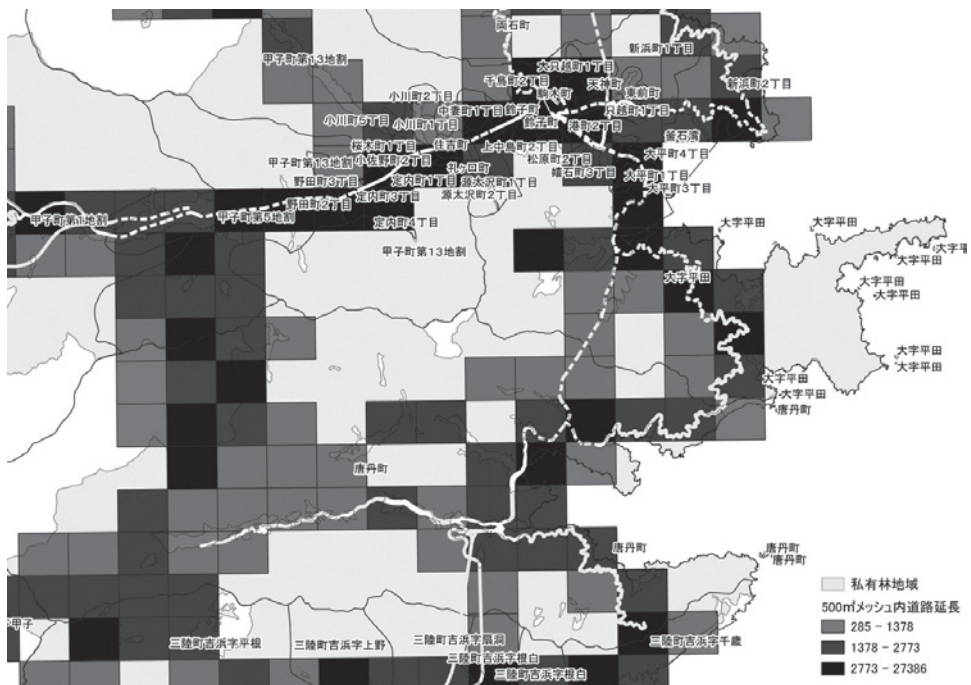
5) 本稿では輸入バイオマスについては扱わない。WBやPKSといったバイオマス燃料の輸入については、輸入元の持続可能性を考慮した検討が別途必要である。

6) メッシュの色は5段階に分割されるが、図表7および図表8では、第1および第2の分位は、視界をクリアするためにそのように除外している。



出所：国土数値情報ダウンロードサービス (<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>) より筆者作成。

図6 日本製鉄釜石北部の木質バイオマス収集道路のメッシュデータ



出所：国土数値情報ダウンロードサービス (<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>) より筆者作成。

図7 日本製鉄釜石南部の木質バイオマス収集道路のメッシュデータ

収集・輸送費用の最小化にはならないことが示された。もっとも、林業に基づく間伐・主伐の計画は森林の育成も勘案しなければならないためにさらに複雑である。実際の間伐・主伐の状況と本節の分析との関係性については今後の課題としたい。

3. 3 木質バイオマス利用のマネーフロー分析

本節の目的は岩手県釜石市の事例を用いて、WBEのマネーフロー分析を行うことである。具体的には地域付加価値創造分析と産業連関分析を組み合わせ、釜石市における木質バイオマスのエネルギー利用が地域の持続可能性に寄与しているのかどうか精査する。

地域付加価値創造分析はドイツにおいて開発された分析手法で、特定事業に着目して事業の開始と創業というタイミングと、税引後利潤・租税・従業員の可処分所得といったバリューチェーンに焦点を当てた分析である（諸富, 2019）。従来、再生可能エネルギーの分析には産業連関表を用いる分析が多かった。しかし、産業連関表には地域レベルや自治体レベルの分析には不向きであることや、データの整備に膨大な時間がかかるため、利用できるデータに大幅な制限があることなどが問題視されてきた。そこで、ドイツのエコロジー経済研究所が中心となって、プロジェクトごとの地域経済に与える影響を分析する手法として開発が進められてきた。

他方で産業連関分析も重要な分析ツールとして活用されている。中村・柴田（2013）は地域産業連関表をもとに、化石燃料からバイオマス燃料へのエネルギーシフトによって三つの経済効果が生まれると整理している。第一に、環境効果は域外から輸入・移入される化石燃料が域内で生産されるバイオマス燃料を利用することによって付加価値の流出を防ぎ、域内での売り上げ増加や雇用増加をもたらすという。もっとも、バイオマス燃料の由来が例えば輸入木材のような域外からの輸入・移入比率の高い材であった場合は、環境効果によってエネルギー部門以外の輸入を増加させる可能性もある。その場合は、域内での波及効果自体は高まったとしても、誘発される生産の大部分は域外へと漏洩することにも繋がってしまう。

第二に移出効果とは、バイオマスを利用した製品を域外に販売することで域外からの付加価値の流入を可能にするという。第三に、生産性効果である。化石燃料等の利用よりもバイオマス燃料の利用が安価であるならば、バイオマス利用者にとっては費用の削減となる。費用関数の下方シフトによって「生産物の低価格での供給が可能となり、市場での需要が増加し」、域内の総生産額が増加する可能性がある。

林他（2009）はバイオ燃料の利用による雇用と二酸化炭素排出量の変動を産業連関表によって部門別に分析している。ガソリン利用とバイオ燃料利用の二つのシナリオの比較によって、地域内の雇用量と二酸化炭素発生量の二つの点でバイオ燃料が優れていることを示しているが、それぞれのシナリオにおける移入効果の比較がなされておらず、十分に地域の持続可能性が担保されているのかどうか明らかでない。

澤内他（2014）國井他（2016）は岩手県西和賀町の薪利用を事例として、WBの需要推計だけではなく距離を用いた供給関数の推計を行い、需給のマッチングを勘案した最適WB消費量の推計を行ない、その推計値をもとに地域付加価値創造分析を行っている。供給関数を導入することによって地域の森林供給量からは大幅に少ない量の需要しか薪需要が存在しないため森林の利用としては持続可能であること、需要の大部分は町外に漏洩していることを明らかにしている。そこでは、灯油の利用より薪の利用の方が相対的に大きい付加価値が地域にとどまることが指摘されているが（澤内他, 2014: 72-73）、エコロジー的な持続可能性については担保されているものの経済的な持続可能性については十分に考慮されていない。

そこで本節では日本製鉄釜石発電所の事例を用いて、FITを通じた売電収入をベースに地域

付加価値創造分析を行い、その内のWB購入に当たる中間投入について、①木材の中間需要が増加することによって生じた波及効果、②そのうち付加価値分、③木材生産を行うために増加した輸移入増加を分離して推計し、さらにはWBの利用によって中間需要が減少した石炭についても波及効果、付加価値波及効果、輸移入減少を推計することで、WBの利用促進が地域の持続可能性に寄与したのかということを分析する。

まず、岩手県からの資金流出と資金流入を産業全体、木材産業関連、エネルギー産業関連について記述し、財政によるマネーフローを記述する（表2）。岩手県のマネーフローについてFIT導入後の2013年、全産業では大幅な輸入・移入超過であり、そのうちの木材関連産業に関しては移出超過となっている。木材関連産業は産業規模が小さいものの、構造的には域外から付加価値を引き込む効果があるといえよう。他方で、租税と補助金を通したマネーフローは大幅なインフローの超過であり、産業と合わせて考えると、280億円のアウトフロー超過となっている。導入されたばかりのFITを通じて僅かにマネーの流入が起きていることも確認される。

最後に地域付加価値創造分析をベースに産業連関分析を組み合わせることで、FITを通じて売電される売上によって実現された木質バイオマスの利用拡大が、日本製鉄釜石を中心とする釜石市の持続可能性を高めたのかどうかについて検証する。

売電収入はFITが開始された2013年から20年間の合計で、2013-2017は発電実績に基づく推計値、それ以降は2017年の実績と同様の水準が持続すると仮定した。資本投資分に相当する金額は大まかな金額を仮定し、20年間の減価償却として、直接雇用の増加については公開資料から推計した。木質バイオマスの購入費用は釜石地方森林組合の財務報告書によって6700円/cm³（11390円/トン）と仮定し、残りの部分を納税額とメンテナンス費用を含む利潤等⁷⁾とした（図8）。20年間の平均で、概ね11億円/の売上が上がっていることが分かる。そのうちWBの購入費用はあくまでも中間投入であるため産業連関表を用いて、売電収入は付加価値としてどの程度釜石地域に定着しているのか、WBの利用が地域の付加価値生産をどの程度高め、地域の持続可能性に寄与しているのかについて確認する。

図8では地域付加価値創造分析のうち中間投入分を産業連関分析によって、木材の利用による波及効果をベースに、付加価値増分と輸移入増加分（付加価値の漏洩）、石炭の取り扱い減少による波及効果をベースとして、付加価値減分と輸移出減少分とを推計したものを示した。20年間の平均的なWB購入費用は3.1億円/年であり、波及効果は4.6億円/年、そのうち付加価値分は1.8億円/年となっている。他方で輸移入の増加によるマネーの漏洩は2.9億円/年となっており、波及効果によって付加価値は増加しているものの売上の木材購入費用の大部分は最終的には域外に漏洩していることが見て取れる。同様に、WBの利用による石炭輸移入の減少の波及効果はマイナス3.7億円でありWB購入波及効果より大きいことが分かる。付加価値分は1.3億円でこちらはWBより低く、労働集約的なWBのエネルギー利用と資本集約的であるがゆえに付加価値の低い石炭の産業構造の違いが如実に現れている。石炭の輸移入減少による域外への支払いの減少は4.3億円であり、木材生産に伴う域外への支払いの増加を1.4億円/年上回っていることが分かる。

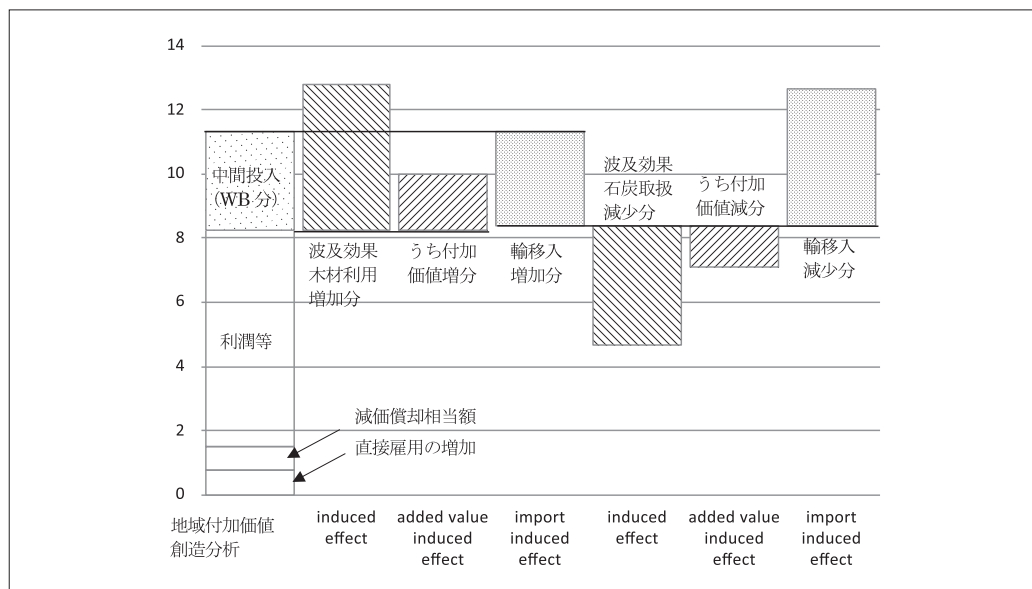
以上の分析より、日本製鉄釜石の事例ではFITを通じて得られた売電収入のうち、木材の購入に充てられた中間投入費用は、地域内で0.5億円/年の付加価値を生んでおり域内の雇用増進

7) 本来であれば利潤の本社や別部門への引上げ分を控除しなければならないが、本稿では控除していないため、基本的には過大な推計となっていることに留意する必要がある。

表2 岩手県におけるマネーフロ (2013)

Billion JPY	Inflow		Outflow	
	Export to other countries	export to other prefectures	Import from other countries	Import form other prefectures
Total Industry	415	2,049	509	2,728
Wood related industries	1	55	25	25
Energy related Industries	0	0	11	76
Tax and Subsidy		1,040		207
FIT		6		3
2013 Total		3,565		3,583

出所：「岩手県産業連関表平成25年統合小分類表」「固定価格買取制度情報公開用ウェブサイト」「国税庁長兄情報」「地方財政統計年報」より筆者作成。



出所：岩手県「地域産業連関表：平成23年沿岸36部門表」、日本製鉄釜石のヒアリング資料。

図8 日本製鉄釜石を事例としたマネーフロー分析 (億円/年)

にも寄与していることが伺われる。マネーフローについても木材生産の増加に伴う域外への支払い増加（アウトフロー）よりも、石炭の移輸入減少に伴う域外への支払いの減少が大きく、売電収入に加えて1.4億円/年のインフローに帰結していることが明らかとなった。中村・柴田（2013）では分離していなかった効果を分析対象とすることによって、異なる分析視覚からも、先行研究でのバイオマス燃料の利用拡大が地域の付加価値を高めるという結果が支持されることとなった。

4. まとめと展望

以上の分析から3.1で理論的に分析したように林地におけるWBの収集について、その輸送費用の大小によって最適に収集するエリアに歪みがもたらされており、外部性を考慮すると単に売電価格を上昇させるだけでは最適な林地残材の収集は出来ないことが示唆される。林道の整備やWB収集費用の高いエリアでの間伐に補助金をつけるなどの対応が検討されるべきである

う。もっとも、周辺の間伐材を全てエネルギー利用出来ているような日本製鉄釜石のような事例では供給能力の制約に直面しており、森林組合の生産力向上といった課題も明確になる。林地からの収集の次は道路を通じた輸送コストを検討した。3.2節で明らかになったことはWBの輸送コストはユークリッド距離では測ることが出来ず、主要道路の長さや林道等の密度を勘案したマンハッタン距離を検討する必要があるということだ。今後は実際の間伐・主伐の計画と合わせて最適なWB生産エリアの選定を検討する必要がある。

3. 3節における日本全体と岩手県の産業連関表の比較から次のことが分かった。森林資源が豊富で、2000年代の初頭から木質バイオマスのエネルギー利用について先進的な取り組みが行われている岩手県であるが、個別の先進的導入に留まっており、再生可能エネルギーの利用促進や林業のエネルギー産業化については遅れている状況であると言えよう。マネーフローについての分析からは、産業では大幅なマネー流出であるが、それを国からの補助金によって還流させていることも明らかになった。FIT導入後の2013年について、マネーフローは流出超過となっている。FITの影響はマネーフローには軽微な影響しか与えていないことも明らかになった。しかしそのような状況を背景としながらも、地域付加価値創造分析と産業連関分析の組み合わせからは混焼発電によるWBの利用増は地域で生産される付加価値を増加させ、売電収益を地域内に留める効果があり、地域経済の持続可能性に寄与する効果が示唆された。

本研究では再生可能エネルギーである木質バイオマスのエネルギー利用が進展することによって間伐材だけでなく主伐材にまで利用が進み、需要の底上げによって木材価格が上昇し、再造林費用が賄える「林業のエネルギー産業化」と、そのことによって地域の持続可能性が高まる〈木質バイオマス経済〉の実現を念頭に分析を行ってきた。ミクロな視点からの林地での費用効率的な収集、林地から発電プラントまでの輸送コストに加えて、マクロの視点からのマネーフロー分析を行うことで、費用効率性と地域の持続可能性の両立を図る可能性について考察を行った。しかし、以上の分析は十分に相互に関連しておらず、〈WBE〉を総合的に把握するために不足している分析も多い。間伐・主伐から収集、輸送、発電や熱利用、再造林といった循環的な流れを総体的に把握し、その内部に費用効率的な収集・運搬を距離的に把握し、地域内の物質フローとマネーフローを把握することで持続可能な〈WBE〉の実現のための条件を探る必要がある。

さらには、WBの利用拡大が他の材やWBの生産・収集に置いて競合関係を発生させる場合についても検討が必要である。エネルギー利用としての資源の競合的な利用が大きな影響を及ぼした例として、トウモロコシのバイオエタノール生産のための需要が高まったことでトウモロコシ価格が高騰し、飼料としてのトウモロコシ利用が大きく制限されたことが挙げられる。森林バイオマスも、エネルギー利用としての競合的利用という意味では、同様の問題として扱うことができそうだが、一つバイオエタノールとは決定的に異なる点がある。それは、森林管理が、植林から伐採まで50年を要する、長期の問題であるということである。

資源経済学では、ファウストマン周期と呼ばれる、伐採した木材の割引現在価値を最大化する最適な伐期齢を求め、このファウストマン周期がどのように修正を強えられるかに注目しながら、現実の森林管理関わる諸問題を議論する。森林バイオマスを奨励する政策が森林管理に及ぼす影響は、木材需要を森林バイオマスが持つ固有の特性を反映しながら森林バイオマス需要と森林バイオマス政策に依存する形で定式化することで、従来モデルの拡張として捉えることができる。しかしながら、50年という長期の問題である都合上、当初計画ではなかった競合的利用として森林バイオマス利用が現れることも、反対に、当初計画にはあった森林バイオマス利用が計画途上で下火になり、単に建材としてだけ利用される状況も生じ得る。従来研究に

も不確実性を伴う木材需要のもとでファウストマン周期を議論するものは多数あるが、単に、木材需要を不確実なものとして扱うのではなく、一定の確率で、計画途上で木材需要がまったく異なる別の形状に切り替わるようなモデルを構築することで、より現実に即した森林バイオマスの森林管理への影響分析が期待できる。

＜WBE＞の総合的な分析を、他の地域に適応させることも検討課題である。特に石炭の消費が大きく、森林面積が急拡大している中国におけるWBのエネルギー利用は今後重要な課題となってくる。中国のバイオマス資源は農業廃棄物、林業廃棄物、家畜の糞尿、都市生活ゴミ、有機廃水と残渣に分けることができる。毎年再生可能エネルギーとして利用可能なバイオマス資源は約4.6億石炭トンに換算することができる。そのうち、農業廃棄物は4億トン、林業廃棄物は約3.5億トン、農業廃棄物と林業廃棄物を合計すれば、約4億トンの石炭に換算することができるという。近年、中国政府は再生可能エネルギー発電に力を入れている。農林バイオマス発電容量は2014年の5GWから2018年の8GWに急増している。バイオマス発電にも太陽光や風力と同様に、FIT型補助金を導入しており、太陽光や風力発電はその規模の拡大とともに買取価格の低下傾向が見られるが、バイオマス発電の買取価格は変わらず高値で維持されている。中国において、地域の特性もあり、バイオマス発電の普及における地域間格差が極めて大きい。さらに、中国では、退耕還林といった育林政策が講じられており、森における木の伐採は厳しく管理されている。今後、日本でも議論されているように、木質バイオマス発電に必要な原料を単なる廃棄物ではなく、森林管理と連携するような社会システムの構築が求められている。以上は今後の研究課題としたい。

参考文献

- リグリー, E.A., (1991) 『エネルギーと産業革命—連続性・偶然・変化』 同文館出版。
- ラートカウ, ヨアヒム (2013) 『木材と文明』 築地書館。
- 齊藤修 (2014) 『環境の経済史：森林・市場・国家』 岩波書店。
- 寺西俊一他 (2018) 『農家が消える—自然資源経済論からの提言』 みすず書房。
- 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—」 『岡山大学経済学会誌』 45 (1), pp.19-31.
- 中村良平, 柴田浩喜, 松本明 (2013) 「木質バイオマス資源の域内循環における価格形成と地域経済効果」 地域学研究
- 中村良平, 中澤純治, 松本明 (2012) 「木質バイオマスを活用したCO₂削減と地域経済効果—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.779-817.
- 松沢裕作編著 (2019) 『森林と権力の比較史』 慶應義塾大学出版会。
- 諸富徹編 (2019) 『入門地域付加価値創造分析：再生可能エネルギーが促す地域経済循環』 日本評論社。
- 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—岩手県西和賀町の薪利用を事例とした実証分析—」 『温暖化プロジェクト研究資料 第2号』, 農林水産政策研究所, pp.39-79。
- 林岳, 山本充, 増田清敬 (2009) 「産業連関分析による地域への影響の評価」 『環境プロジェクト研究資料 第1号 バイオ燃料導入による諸効果の定量的評価』 pp.59-92。
- 國井大輔, 澤内大輔, 林岳 (2016) 「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—」 『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—バイオマスのエネルギー利用を中心として—』 農林水産政策研究所, pp.23-42。
- 國井大輔 (2016) 「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—」 『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—バイオマスのエネルギー利用を中心として—』 農林水産政策研究所, pp.43-57。
- Ryohei Nakamura, Junji Nakazawa and Akira Matsumoto (2012) "Regional Economic Effects of CO₂ Reduction Activities with Wood Biomass: Application and Extension of a Regional IO Model", *Studies in*

- Regional Science*, Vol.42, No.4, pp.779-817.
- Carley, Baldwin, MacLean, and Brass (2017) "Global expansion of renewable energy generation : An Analysis of Policy Instruments," *Environmental and Resource Economics*, 68, pp.397-440.
- Highfill, McAsey, and Weinstein (1994) "Optimality of recycling and the location of a recycling center," *Regional Science*, 34, pp.583-597.
- Minehart, D. (2002) "Effective siting of waste treatment facilities," 43, *Journal of Environmental Economics and Management* pp.303-324.
- Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF) (2018) *Annual Report on Forest and Forestry in Japan*, MAFF website.
- Smith and Urpelainen (2014) "The effect of feed-in tariffs on renewable energy generation," *Environmental and Resource Economics*, 57, 367-392.
- Fernandes, U. (2012) "Potential of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal" *Biomass & Bioenergy*, Vol. 34 Issue 5, pp.661-666.
- Kamimura, Kana, Kuboyama, Hirofumi, and Yamamoto, Koichi (2009) "Estimation of Spatial Distribution on Wood Biomass Supply Potential for Three Prefectures in the Northern Tohoku Region", *Journal of the Japan Institute of Energy*, Vol. 88, pp.877-883.
- Natarajan, Karthikeyan, Latva-Käyrä, Zyadin, Anas and Pelkonen, Paavo "New methodological approach for biomass resource assessment in India using GIS application and land use/land cover (LULC) maps." *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2016, Vol. 63, pp.256-268.
- Pfeil, Friedrich Wilhelm Leopold, (1816), *Ueber die Ursachen des schlechten Zustandes der Forsten und die allein möglichen Mittel, ihn zu verbessern, mit besonderer Rücksicht auf die Preußischen Staaten*.

(2019年10月10日 受理)