

自然を基盤とする解決策としての木質バイオマスエネルギー利用シナリオの評価 Evaluation of Energy Utilization Scenarios for Wood Biomass as a Nature-based Solution

金 再奎*・岩川 貴志*・木村 道徳*・松井 孝典**・齊藤 修***・堀 啓子**・芳賀 智宏**
Jaegyung KIM, Takashi IWAKAWA, Michinori KIMURA, Takanori MATSUI, Osamu SAITO,
Keiko HORI and Chihiro HAGA

要旨：滋賀県を対象とし、ネットゼロ社会の実現に向けた地域主導型の木質バイオマスエネルギー利用シナリオを作成した。シナリオ中では、木質バイオマスの需給量、作業時間、経済効果などを定量的に求めた上で、自然を基盤とする解決策 (NbS) の観点から、シナリオの実現が地域社会にもたらしうる便益を多面的に推計、評価した。多面的な便益の定量評価は、社会課題を解決するための取り組みの進捗管理や長期的モニタリングにも有用であることを示唆した。シナリオの実現に必要な要素として、木質バイオマスをエネルギーとして利用する際の、利用者やコミュニティに求められる行動変化や活動変化について考察した。

キーワード：自然を基盤とする解決策、ネットゼロ社会、木質バイオマスエネルギー利用シナリオ

Abstract : Targeting Shiga Prefecture, the study proposed energy utilization scenarios for wood biomass as a nature-based solution (NbS) toward the realization of a zero-carbon society. The study evaluated to quantify co-benefits for the environment, economy and society through implementation of NbS. In addition, it was discussed the behavioral changes required on the user and the factors necessary to realize the scenario when using wood biomass as energy.

Key Words : nature-based solutions, zero-carbon society, wood biomass energy utilization scenarios, transformative change

はじめに

気候変動や人口減少、経済の衰退といった社会課題に対し、地域単位でそれぞれの特徴を活かし、地域内の資源を適切に活用することで、持続可能な地域社会を形成していくことが求められている。再生可能エネルギーは、地域における自然資源の中でも代表的なものの一つである。

しかし日本の場合、郊外部や中山間地域などにおいても、再生可能エネルギーの活用は、資金力で勝る都市部の事業者らが主体となって大規模な設備導入を行い、その収益が都市部へと吸収されているケースが多勢を占めている。地域内の住民や事業者にとって、決して安くはないイニシャルコストを負担してでも導入に踏み出すことの意義、特に、地元での雇用創出や地域コミュニティの再強化といった、収益面以外での恩恵を見積もることが難しく、地域主導型での社会実装はなかなか進んでいないのが現状である。

一方で近年、「自然を基盤とする解決策 (NbS: Nature-based Solutions)」という考え方が注目されている。国際自然保護連合 (IUCN) はNbSについて、「社会課題に効果的かつ順応的に対処し、人間の幸福および生物多様性による恩恵を同時にもたらす、自然の、そして、人為改変された生態系の保護、持続可能な管理、回復のための行動」と定

義 (IUCN, 2020) している。

EU 諸国を中心に、主に国際レベルでの政策やビジネスの場において、NbS という言葉は頻繁に用いられるようになってきている。NbS で謳われている理念は、先述の日本の地域社会における再生可能エネルギー活用の意義とも通底するものであり、場所やスケールを問わず、世界全体で、地域の自然資源を活用する意義を多面的に評価することへのニーズが高まりつつあると言える。

本稿はこれらを踏まえ、再生可能エネルギーの中でも、古くより地域の自然資源として活用されてきた木質バイオマスを対象を絞り、将来、具体的には2050年における地域主導型の「木質バイオマスエネルギー利用シナリオ」を作成する。シナリオの作成にあたり、木質バイオマスを含む社会全体の将来の動向については、滋賀県が県の政策として作成した2050年の二酸化炭素 (CO₂) 排出量実質ゼロシナリオ (以下「ネットゼロシナリオ」) を土台とする。滋賀県の「ネットゼロシナリオ」は、県民の行動変容も含む社会経済の思い切った変革、エネルギー需要そのものの削減、先端技術の大幅導入と合わせて、CO₂フリーの電力購入と電化、木質バイオマスを含む再生可能エネルギーの大幅な導入、吸収源としての森林の適正管理なども組み合わせることで、2050年にCO₂排出量実質ゼロを達成 (滋賀県、

* 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 総合解析部門

** 大阪大学 大学院工学研究科

*** 地球環境戦略研究機関 (IGES)

2021)した姿を示している。しかし、木質バイオマスの供給源や供給の仕組み、森林の適正管理方法などの具体的な利用の姿は明確ではない。

そこで、本稿では木質バイオマスエネルギーが地域で有効活用されている具体的な姿を、需給量、作業時間、経済効果など様々な視点から定量化することで、自然を基盤とする解決策の観点から、シナリオの実現が地域社会にもたらしうる便益を多面的に推計する。

1. 研究の方法

1. 1 全体の流れ

地域主導型で再生可能エネルギーが活用されるためには、技術的な側面のみならず、人々の日常的な暮らしのあり方、雇用や産業、それらを支えるインフラまで含めて、まちづくり全体の観点から地域の将来社会像を検討することが求められる。シナリオが実現可能であることを示し、地域の変化を具体的にイメージ可能にするためには、将来社会像そのものを社会経済システムとして整合の取れた形で定量的に提示することが望ましい。

本稿では、2050年の滋賀県をターゲットに作られた定量的な将来社会像である「ネットゼロシナリオ」を土台に、木質バイオマスの利活用状況について更に具体化した「木質バイオマスエネルギー利用シナリオ」を作成する。需給量、作業時間、経済効果など、木質バイオマスエネルギー利用シナリオの中で定量的に求められた要素をもとに、地域にもたらされる便益について、多様な側面から推計、評価を行う。さらに、木質バイオマスをエネルギーとして利用する際の、利用者側に求められる行動変化や実現に必要な要素についても考察する。

1. 2 滋賀県の「ネットゼロシナリオ」について

「ネットゼロシナリオ」は、2050年の滋賀県を対象に、人口減少の中で、地域経済の活力を維持しつつ、CO₂排出実質ゼロを達成するために、県としてどの分野に、どれだけの対策を講じる必要があるか、定量的に推計し、「2050年しがCO₂ネットゼロの将来社会像」としてまとめられたものである(滋賀県, 2021)。地域社会における多様な側面の緻密な想定と、数理モデルExtended SnapShot Tool(五味ほか, 2007; 金ほか, 2015a)を用いた、統合的かつ定量的な社会描写を特長とするものである。

Extended SnapShot Toolでは、はじめに地域内の産業がどのようにして成り立っているか(主力産業、各業種の生産性など)と、地域内にはどのような人々がどのような生活を送っているか(年齢構成、就業率、就業者の通勤構造、家計消費など)を入力パラメータとして設定する。そしてこれらの設定をもとに、産業を成り立たせるために必要な

表1 「ネットゼロシナリオ」作成に用いた主なデータ

区分	用いた主なデータ
暮らし	国勢調査, 住民基本台帳に基づく人口及び世帯数, 社会生活基本調査など
産業, 生産	産業連関基本取引表, 工業統計調査, 商業統計調査, 経済センサス, 農林業センサスなど
消費	家計調査, 消費実態調査, 産業連関表など
移動(旅客, 貨物)	パーソントリップ調査, 道路交通センサスOD調査, 全国貨物純流動調査など
エネルギー消費	総合エネルギー統計エネルギー需給実績, エネルギー・経済統計要覧など
再エネ	滋賀県新エネルギー賦存量調査, NEDOデータベース, 再エネ賦存量調査, 滋賀県GISなど

労働力から推計される地域住民の人口と、住民の消費を支えるために必要な産業の規模が、一定の均衡をもって成り立つ状態を導き出す。

次に、導き出された産業構造と人口規模から、家庭、業務、産業、運輸(旅客・貨物)部門ごとにエネルギー消費を伴う活動(運輸部門であれば人や荷物の移動、家庭部門であれば冷暖房・給湯など)を「サービス」として推計し、それをまかなうために必要な機器のシェアや効率をもとに部門ごとのエネルギー消費量を算出、それにCO₂排出係数を乗じることによって、地域における将来のCO₂排出量を推計する。対象とする地域における社会経済の動向とその下での諸活動、そしてそれらの活動に伴うエネルギー消費とCO₂の排出に至るまでを一連のものとして推計することができる(岩川ほか, 2016)。

表1に、「ネットゼロシナリオ」の作成に用いた主なデータを示す。

1. 3 木質バイオマスエネルギー利用シナリオの作成

滋賀県では蓄積量および木材生産規模の現状から、木質バイオマス発電の事業化は難しいとされている(環境省, 2013)。よって、本稿における木質バイオマスエネルギー利用シナリオは、現在放置林となっている里山について、地域コミュニティが間伐などの管理を行い、発生する材を薪として地域内で利用するものとする。

シナリオでは、里山における伐採から薪としての消費に至るまでの過程における、原木の伐採量や面積、薪の製造に要する人員、消費エネルギー量や化石燃料代替効果、これらに伴うコストの評価などを実施し、地域社会にもたらされる便益を可能な限り定量的に見積もるものとする。

利用形態については、以下の2つを想定する。

(1) コミュニティ型

かつては燃料や肥料の調達の間であった里山を持っている集落で入会地として管理し、集落の課題解決およびコミュニティの再強化と絡めて木質バイオマスを利用する。

(2) 市民協働型

入会地以外の二次林を対象として、市民らが協働で間伐などの管理を行い、里山保全・福祉・地域ビジネスの観点を加味して木質バイオマスを利用する。

1. 4 地域社会にもたらす便益の評価

木質バイオマスエネルギーの利用が地域にもたらす便益の先行研究に、滋賀県東近江市を対象とした持続可能な地域社会の「豊かさ」に関する研究（金ほか、2015a；岩川ほか、2016）がある。

先行研究では、地域の持続可能な将来社会像を作成する過程で、ワークショップ参加者らの意見を基に共起ネットワーク分析を行った。その結果、自分たちの毎日の暮らしや仕事の中で、地元地域での人と人、あるいは人と自然との「つながり」を深めることが、地域コミュニティを再強化し、感じる豊かさを向上させるための重要な要素であると結論づけている。また、前述のExtended Snapshot Toolによる将来推計も実施しており、地域の社会経済状況に関する様々な変数から、上記の「つながり」に関連する評価項目の変化にも着目している。とりわけ、「人と人とのつながり」の評価としては、「家族や地域の人と一緒にいる時間」と「市内で創出される仕事のうち、市内在住の就業者によってまかなわれる時間」を提案している。個々人の主観や状況等で感じ方が異なるであろう「つながり」について、地域全体としてどの程度向上するか、という総括的な評価が困難であること、シナリオは中期的な未来を想定したものであり、人々の「つながり」に対する意識も変化しうるものであること、家族や他者と一緒にいる時間を増やすことには、家庭やオフィス等におけるエネルギー消費を削減する効果もあること、「つながり」を感じることができたならば、結果として家族や地域の人同士で生活や活動を共にする時間が増えるであろうこと、を考慮した結果である。

本稿ではこれを踏まえ、地域主導型の木質バイオマスエネルギー利用が地域社会にもたらす便益を評価するための指標として、地域コミュニティの再強化の側面では人と人をつなげる時間（hr）を、経済側面では雇用創出額・経済効果の額（円）を、環境側面ではCO₂削減量（t）と森林の整備面積（ha）の4つを用いるものとする。

2. 結果

2. 1 滋賀県の「ネットゼロシナリオ」の概要

木質バイオマスエネルギー利用シナリオの前提と位置付ける滋賀県の「ネットゼロシナリオ」の概要を説明する。

表2に、ネットゼロシナリオの推計にあたり、想定した2050年の滋賀県の社会経済の状況を、表3に、分野別の主なCO₂削減対策を、それぞれ示す。

「ネットゼロシナリオ」では、2050年の滋賀県における

表2 2050年滋賀県の社会経済の想定

項目	基準年（2010年）からの変化
人口	少子高齢化が進行し、人口・世帯数が10%減少
マクロ経済指標	地域資源を最大限に活かす、高齢者や女性が活躍することで人口減にも関わらず、GRPは年率0.6%（1人当たりでは年率0.8%）で成長し、全体で26%増加する。生産性の向上により、1人当たりの年間労働時間は現状と同程度で、所得が増える。
暮らし方	男性の家事と育児の分担が進み、女性の社会参画時間が増える。近所づきあいやボランティア・社会参加時間が増加するなど、コミュニティ内で過ごす時間が増える。
働き方	高齢者や女性の社会参画が進み、ともに就業率が増加する。地場産業の創出などによって、県内に住みながら、県内で働く人が増える（域内就業率の増加）。
産業の構造	化学製品、電気機械、商業において高付加価値化が進み、また、エネルギー少消費型産業構造に転換する。省エネ・省資源化による石油・石炭製品、電力・ガス・熱供給、水道・廃棄物処理からの投入が低下する。
人と物の移動	モーダルシフト、物流の合理化や地産地消の拡大により、貨物の移動距離が減る。

表3 分野別の主なCO₂削減対策

分野	基準年（2010年）からの変化
家庭・業務	高効率機器の導入。住宅や建築物の高断熱化。エネルギー需要の38%（業務は20%）を再エネの自家消費・自家発電で賄う。バイオマスストーブと太陽熱温水器を除きすべて電力に転換。
産業	機器の高効率化。化石燃料の使用を運用改善と電化により28%まで削減。エネルギー需要の13%を再エネの自家発電で賄う。
交通	EVが自動車の中心となり、重量車には一部天然ガスや水素を使用。効率改善、電化、水素利用により石油の使用をゼロに。
再エネ	太陽光・熱が中心で、風力、バイオマスも導入。エネルギー需要の17%を再エネで賄う。
電力	購入電力はすべてゼロカーボン。
森林	年間46万tCO ₂ を吸収。

エネルギー消費量を2013年比66%減、エネルギー由来CO₂排出量を96%減、森林吸収量を年間約46万tCO₂見込むことでCO₂排出量実質ゼロを達成するものとしている（図1）。

経済的な側面では、民間での消費や投資について、基準年には県外への流出傾向にあったものが県内への流入傾向に転換。エネルギー購入代金の県外流出は約2割減少（3,283億円→2,632億円）するとしている。

地域コミュニティの再強化の側面では、近所づきあいの活発化やボランティア参加などによって、家族や地域の人と一緒につながる時間が、14%増加（3,271百万時間→3,715百万時間）し、農林水産業を基軸とする第6次産業など地場産業の創出、職住近接の定着などによって、生産年齢人口は減少するにも関わらず、県内で創出される仕事

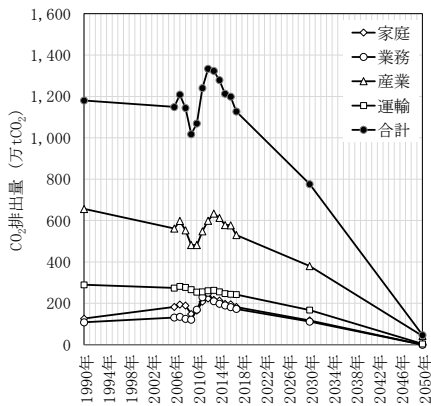


図1 滋賀県における部門別CO₂排出量の将来推計

のうち、県内在住者によってまかなわれる時間は横ばいを維持 (1,077 百万時間 → 1,079 百万時間) している。

以上のように、「ネットゼロシナリオ」内での住民の生活や産業の姿は、県内での経済循環の強化と、様々な活動が地域の住民によって自立的に成立するものとして描かれており、本稿における木質バイオマスエネルギー利用シナリオの前提条件として適切なものであると言える。

「ネットゼロシナリオ」における2050年の滋賀県の部門別エネルギー需要量とエネルギーの構成を表4に示す。木質バイオマスエネルギーは、家庭（戸建て住宅）と業務の暖房用途として2.3ktoe/y（96.3TJ/y）を利用するとしているが、具体的な供給源や仕組みなどについては明確に示されていない。

2.2 木質バイオマスエネルギー利用シナリオの概要

表4の木質バイオマスエネルギー需要、計2.3ktoe/y（96.3TJ/y）は、全て広葉樹薪を中心とした薪ストーブによるものとする。2.3ktoe/yを賄うためには、5,000 t/yの薪が必要（熱効率は灯油と同じ。発熱量4,600kcal/乾燥ナラ1kgの場合）であり、薪ストーブ2,000台（薪使用量2.5t/台/yの場合）の年間使用量に相当する。これは、2010年時点における滋賀県の薪ストーブ導入台数の推計値405台（金ほか、2015b）の約5倍にあたる台数である。

2.3 コミュニティ型による木質バイオマスエネルギー利用

コミュニティ型の検討にあたり、滋賀県内のS集落（2012年現在92世帯、383名在住）での実証データ（滋賀県琵琶湖環境科学センター、2012；金ほか、2015b）をもとに、同様の取り組みの県全体への拡大を想定する。

S集落の事例では、集落の課題と住民の希望である「里山にある樹園の剪定枝の処分」「かつての持続可能な集落生活を支えていた里山の再生」のため、集落が共同で管理する里山（入会地35ha、うち樹園3ha）から一定量の原木や

表4 「ネットゼロシナリオ」における2050年の滋賀県の部門別エネルギー需要量と構成（単位：ktoe/y）

	石炭	石油	ガス	電力	水素	太陽光・熱・風	木質バイオマス	合計	再エネ
家庭	0	0	0	127	0.0	76	1.4	205	38%
業務	0	0	0	149	0.0	37	0.9	187	20%
産業	0	54	130	394	0.0	87	0.0	665	13%
旅客	0	0	0	80	1.6	0	0.0	82	2%
貨物	0	0	10	55	1.9	0	0.0	66	3%
合計	0	54	140	805	3.5	200	2.3	1,205	17%

表5 S集落における薪生産工程別の労力投入量と滋賀県での普及可能台数の推計

作業工程	薪生産量 1t当たり (S集落での実証より)	薪ストーブ1,198台分の薪を生産する場合
現地確認、選木、薪原木伐採、搬出、運搬	・薪原木量: 3.2m ³ (≒1.6t) ・労働時間: 6hr・人(5~7人程度のチーム作業が必要) ・伐出回数: 3.2回 ・利用機材: チェーンソー1台、軽トラック1台	・薪原木量: 9,581m ³ (≒4,790t) ・労働時間: 17,964hr・人(5~7人程度のチーム作業が必要)
玉切、薪割	・玉切・薪割時間: 19.2hr・人	・玉切・薪割時間: 57,485hr・人
乾燥、保管	・ストック状態の薪の高体積: 3.2m ³	・ストック状態の薪の高体積: 9,581m ³
薪の生産量	1 t (≒19,259GJ)	2,994 t/y (≒57,661GJ)
薪の消費量	30kg/d (2.5t/台/y)	2.5t/台/y
薪生産のための必要な二次林面積	0.0166 ha	49.7 ha/y (30年間では、1,490ha)
	短期小規模皆伐で萌芽更新する管理手法の場合 (滋賀県の二次林における薪原木の資源量: 96.4t/ha(東近江市企画部緑の分権改革課, 2012))	

剪定枝を調達し、薪として使う仕組みを実証している。

これをもとに、里山での「原木の伐採～運搬～薪割～保管～薪使用」に至るまでの所要資材と労力投入量、得られたエネルギー量をまとめ、コミュニティ型による薪1tの原単位とする。

この原単位をもとに、滋賀県全体の入会地を活用した場合の結果を表5に示す。県全体の入会地の面積約29,000haのうち、林道・林業作業道から効率的に集材できる50m以内のエリア（約1,490ha）から生産可能な薪は2,994 t/y（短期小規模皆伐、伐採適期を15~30年と想定）である。これは薪ストーブ1,198台（薪使用量2.5 t/台/yと想定）分の消費量に相当する。薪によって暖房用の灯油1,571kl/yが削減可能であるため、年間1億4千9百万円（灯油95円/Lの場合）の経済効果（エネルギー代金の県外流出の抑制）と3,910 tCO₂/yのCO₂削減効果が得られる。

県内の入会地1,490haを、30年間にわたって、短期小規模皆伐で萌芽更新する管理手法で活用することで、年間49.7haの里山が新たに手入れされ、その作業時間（75,449hr・人/y）は集落での住民間の人と人とのつながりの強化とみなすことができる。

2. 4 市民協働型による木質バイオマスエネルギー利用

シナリオ全体の薪の使用量5,000 t/yのうち、コミュニティ型による2,994t/yを引いた2,006 t/yの薪を、市民協働型により供給するものとする。これは薪ストーブ802台の年間使用量に相当する。

滋賀県内の二次林において、市民らが協働作業し、実証した結果（東近江市緑の分権改革課，2012；環境省，2013）をもとに、薪ストーブに必要な薪を得るための、「原木の伐採～搬出運搬～薪生産～配達」までの労力投入量と所要コストを表6の左側にまとめる。これを市民協働型による薪ストーブ1台分の原単位とすると、802台の薪を供給・使用するためには、33.3ha/yの二次林を皆伐する必要がある。

熟練者による適切な教育や研修に加え、小規模皆伐により選木や除伐等の労力を削減する、ロープ集材を活用するなど、作業の効率アップのための対策を積極的に導入し、さらに、薪の生産や配達の工程では、県内の就労支援施設と連携することで、障害者の就労の場という役割も持たせることによって、滋賀県内のホームセンター等で流通している薪よりも低コストで薪を生産することが可能になる。

市民協働型による薪ストーブの利用によって暖房用の灯油1,053kl/yが削減可能であるため、年間約9千9百万円規模の経済効果（エネルギー代金の県外流出の抑制）と2,621 t CO₂/yのCO₂排出削減効果が得られる。

薪原木の伐採適期を15年から30年と仮定すると、30年間で999haの森林が整備される。これは広葉樹薪が生産可能な滋賀県全体の二次林面積のうち、入会地を除いた二次林面積の0.9%に相当する。就労支援施設による、薪の生産や配達の作業時間（28,608hr・人/y）は、雇用の創出による地域内での人と人のつながりの強化であるとともに、福祉の面からも有意義な取り組みとみなすことができる。

3. 考察

3. 1 木質バイオマスエネルギー利用シナリオが地域社会にもたらす便益

木質バイオマスエネルギー利用シナリオが地域にもたらす便益について、環境（CO₂削減量（t）と二次林の整備面積（ha））、経済（雇用創出額・経済効果の額（円））といった定量的な算出が比較的容易なものに加え、社会的な側面として、地域コミュニティ再強化の度合いについても、地域内での人と人（社会的弱者も含む）のつながる時間（hr）という形で定量化を行った。このように環境・経済・社会の三要素について定量的な評価を実施することは、取り組みの進捗管理や長期的モニタリングにも有用であると考えられる。

表6 滋賀県の里山における薪生産作業の工程別の労力投入量とコスト

作業工程	薪ストーブ 1台分			薪ストーブ 802台分		
	労働時間 (hr/y)	機械稼働時間 (hr/y)	コスト (千円/y)	労働時間 (hr/y)	機械稼働時間 (hr/y)	コスト (千円/y)
現地確認, 測量, 選木, 下刈, 除伐, 薪原木伐採	16.8	8.6	57	13,462	6,874	45,614
原木搬出, 整理, 運搬	12.1	8.6	59	9,739	6,874	47,140
玉切, 薪割, 乾燥, 保管	28.6	18.9	69	22,914	15,181	55,370
積卸, 配達	7.1	2.5	40	5,694	2,005	31,950
薪の使用	2.5 t/y			2,006 t/y		
薪生産のため必要な二次林面積	0.0415 ha/y			33.3 ha/y		
	短期小規模皆伐で萌芽更新する管理手法の場合 (滋賀県の二次林における薪原木の資源量:96.4t/ha(東近江市企画部緑の分権改革課, 2012))					

さらに、「ネットゼロシナリオ」においても、将来社会の姿は数理モデルを用いて定量的に示されている。よって、解決策（木質バイオマスエネルギーの利用）が社会課題（ネットゼロシナリオの実現）にどの程度貢献できるのかを評価することも可能である。

3. 2 木質バイオマスエネルギー利用シナリオの実現に必要な要素

再生可能エネルギーの普及には、それを利用する住民のライフスタイルのあり方まで含めて考える必要がある。

シナリオで設定した2つの利用形態のうち「コミュニティ型」について、消費者側に求められる生活行動の変化と、実現するために必要な要素を表7に整理した。シナリオでは薪ストーブ1台に必要な原木の切り出しが8回/y、薪割り作業だけでも48hr・人/yが必要であるため、家庭内はもちろん、集落内での人々の協力（つながり）が不可欠であり、薪ストーブの使用にあたっては時間的なゆとりを持つライフスタイルへの転換が求められる。

滋賀県にはS集落と同様の課題（かつての自然共生で持続可能な集落生活を支えていた里山の再生）を抱える集落が多く存在し、人と人のつながりを見直し、地域コミュニティの再構築を求める声が高まっている。木質バイオマスのエネルギー利用と、集落の課題解決とを連動させる本稿のシナリオは、地域住民にとって再生可能エネルギーの導入で得られる恩恵を定量的に認識することにもつながると考えられる。

一方、福祉とコミュニティビジネスの観点を加えた「市民協働型」の実現には、施設就労者やシルバー人材などの

表7 木質バイオマスのエネルギー利用（コミュニティ型）のために必要な行動変化と実現に必要な要素

	ハード面での変化	ソフト面での変化	実現のための必要要素
家庭内での行動変化	<ul style="list-style-type: none"> 防火性に配慮した上で設置空間を確保 近隣の迷惑にならないように配慮しつつ煙突工事が施されている 各世帯で平均 4.7m³分の薪棚が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 薪ストーブ 1 台当たりの薪割作業に、延べ 48hr・人/y が必要 利用可能な状態まで夏場で約 10 分、冬場で約 30 分の時間が必要 日常的に掃除や灰の処理が必須 	<ul style="list-style-type: none"> 時間的なゆとりを持つライフスタイルへの転換 家族それぞれが家庭での生活行動を共にするライフスタイルへの転換
コミュニティでの活動変化	<ul style="list-style-type: none"> 入会地の里山を活用 作業に必要な資材がコミュニティ内で共有されている(例:軽トラック、チェーンソー、薪割り機、チップーなど) 	<ul style="list-style-type: none"> 薪ストーブ 1 台に必要な原木を里山から切り出す場合、5~7 人単位で 30~60 分程度の作業が年 8 回必要 	<ul style="list-style-type: none"> 1 軒毎にチームを組み切り出す必要 薪割り作業の一部を「コミュニティでの活動」とする(集落に残る互助の精神) 里山として歴史の見直し、再生のための整備活動との連動

就労困難者との連携、薪ストーブ利用者の組織化による薪調達を目的とした里山の保全活動の展開のほか、森林所有者だけでなく、農業者（獣害対策）や一般市民（ボランティア）、薪生産・販売業者との連携を通じて、安定した薪原木の供給と薪の量産活用体制を確立する必要がある。

おわりに

自然を基盤とする解決策（NbS）は、社会課題に対処し、人間の幸福および生物多様性による恩恵を同時にもたらす必要がある（IUCN, 2020）とされている。この考えに基づくと、本稿の木質バイオマスエネルギー利用シナリオは、上位シナリオとも言える「ネットゼロシナリオ」の実現という大きな社会課題に対しての部分的な解決策であると言える。里山に存在する自然の恵みを、地域主導の仕組みで活用することによって、単なる CO₂ 排出量の削減だけではなく、地域経済やコミュニティなど、地域社会が抱える様々な課題の解決に貢献しうるものであり、この点において NbS で謳われている理念とも通底するものであり、その社会的意義は国際的にも認められるものであると言える。

近年 NbS が国際的に注目されていることからみても、本稿で提案するアプローチは、日本の里山集落に限らず世界の様々な地域においても有用なコンセプトを提示したものであると言える。

なお、「ネットゼロシナリオ」や木質バイオマスエネルギー利用シナリオの実現のためには、エネルギー供給・消費構造の転換など、社会のあり方そのものを問い直すことになるため、技術的なイノベーションだけではなく、制度や

政策、生活者の行動イノベーションも含めた変革が必要である。本稿で提示したシナリオは、地域コミュニティの行動変容およびエネルギー需給構造の変化に繋がるものであり、小規模ながらも社会実験において実現可能性が検証されたものであるため、社会変革への貢献が期待される。

ただし、本稿の結果は、特定地域における事例を原単位化して全県に拡大適用した場合の試算にとどまっている。今後は、市町単位や集落単位でのサブモデル化やネットワーク化を検討し、個々の地域特性を反映したシナリオへと展開していくことが重要である。また、今回のシナリオ評価では、自然を基盤とする解決策（NbS）の意義の一つである生物多様性についての評価が未着手であるため、これも踏まえた評価へと拡張することが課題である。

謝辞

本研究は、環境省の「令和 2 年度再生可能エネルギー導入における自然に基づく解決策との最適化等分析委託業務」と「平成 25 年度 2050 年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討事業」の支援を受けて行われました。

引用文献

- 五味馨、島田幸司、松岡譲（2007）地方自治体における統合環境負荷推計ツール開発と滋賀県への適用。環境システム研究論文集, Vol. 35, 255~264.
- 東近江市緑の分権改革課, (株) 農楽（2012）平成 23 年度薪の需要量・森林管理の意向調査業務報告書, 38pp.
- IUCN（2020）Global Standard for Nature-based Solutions: first edition, <https://portals.iucn.org/library/node/49070>.
- 岩川貴志・金再奎・内藤正明（2016）持続可能な社会システムに関する研究の地域政策への適用—滋賀県東近江市での事例より, 環境科学会誌, 29 (2), 87~96.
- 環境省（2013）平成 25 年度 2050 年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討報告書—地域における再生可能エネルギー普及シナリオの作成業務—.
- 金再奎・岩川貴志・内藤正明（2015a）市民意識の定量化に基づく持続可能社会の将来像の描出とその実現ロードマップ—地域情報システムの活用による新たな指標作り—, 環境科学会誌, 28 (1), 50~62.
- 金再奎・木村道徳・岩川貴志・佐藤祐一・大久保卓也・杉江弘行・内藤正明（2015b）地域課題解決型再生可能エネルギーの普及シナリオ。滋賀県琵琶湖環境科学センター報告書, No(10), 89pp.
- 滋賀県琵琶湖環境科学センター（2012）滋賀をモデルとする自然共生社会の将来像とその実現手法, JST 社会技術研究開発事業「地域に根ざした脱温暖化・環境共生社会」研究開発プロジェクト報告書, 181pp.
- 滋賀県（2021）2050 年しが CO₂ ネットゼロの社会像を検討するための計算結果について。滋賀県環境審議会資料 <https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/5221099.pdf>, 2021 年 9 月 24 日閲覧。