

第3章 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—

澤内大輔
國井大輔

1. はじめに

我が国では、これまでバイオマスニッポン総合戦略やバイオマス活用推進基本法などを通じて、市町村などによるバイオマス利用の促進が図られてきた。これらの取り組みを通じて、バイオマス利用のノウハウや効果に関する知見もかなり蓄積されてきている。たとえば、エネルギー学会（2003）などでは、バイオマスの種類ごとにエネルギー変換の方法やその特徴といった供給側からの基礎的知見の整理、および最適な取組の規模といった需要側からの基礎的知見の整理などが行われている。またその効果についても、経済的な評価をはじめ、温室効果ガス（GHG）削減の効果、化石燃料節減効果といった諸側面からの評価研究が蓄積されつつある。これらを統合しバイオマスの生産から消費・廃棄までのライフサイクルを通じて、諸側面から評価を行う必要性は柚山ら（2006）等により指摘されている。

本研究の目的は、バイオマスの利用を経済性の面のみからでなく、環境や地域社会に及ぼす影響などの側面からも評価する手法を開発することである。具体的には、岩手県西和賀町の家庭における木質バイオマス利用を事例に、①統計情報等に基づいて生産から消費、廃棄までのライフサイクルを通じた各種影響を評価するとともに、②より実践的な評価手法の開発を目指し、地理情報も加味した最適化シミュレーションに基づく各種影響の評価を試みる。

本稿の構成は以下のとおりである。第2節では西和賀町での薪利用の取り組みについて、既存文献やヒアリングをもとに整理した。第3節では、西和賀町での薪フローを明らかにした上で、既存の統計情報をもとに各種影響を推計する。具体的には薪利用に関わるライフサイクルでのGHG削減量、化石燃料の削減量、雇用発生量を推計するほか、マクロ的な視点から薪利用によるエネルギー自給率への寄与も推計する。第4節では、より実践的な木質バイオマス利用の影響評価手法の開発を目指し、地理的な情報も加味した薪利用の費用最小化シミュレーションを実施し、その結果に基づいて資源の持続可能性、環境への影響、経済への影響という各

方面からの評価を試みた。第 5 節は、まとめである。

2. 西和賀町における薪利用の取組

1) 西和賀町における薪利用の取組経緯

西和賀町は岩手県の南西部に位置しており、平成 17 年 11 月に旧沢内村と旧湯田町とが合併して誕生した町である。平成 21 年時点での世帯数は 2,493 世帯、人口は 7,093 人となっている（西和賀町（2010））。町の主な産業は農業と温泉を生かした観光業であり、農業では米のほか、酪農、花（主にリンドウ）の生産額が大きい。町の総面積は 590.8km²であるが、そのうち 87%が森林である。森林のうち約 3/4 が国有林となっており、私有林は約 23%、残りが町有林である。平成 12 年時点で 1ha 以上の山林を有する林家数は 812 戸であり、その中でも所有林地面積が 3ha 未満の小規模林家の層が最も多くなっている。

西和賀町では平成 17 年 11 月の合併以前より、豊富な森林資源を生かした木質バイオマス利用の取組が進められてきた（表 1）。平成 12 年度に旧沢内村で策定された「地域新エネルギービジョン」の中で、薪利用の促進が初めて町の施策に位置づけられた。その後も、平成 15 年の「森林バイオマス利用促進行動計画」では家庭での薪ストーブ導入が基本方針として定められ、同時に住民の薪利用に関するアンケート調査が実施された（沢内村（2004））。アンケートでは、薪ストーブの利用状況、利用している薪ストーブの種類や購入額、薪の入手方法、年間の薪利用量などについての設問が設けられている。アンケート結果の概要から、平成 15 年における旧沢内村での住民による薪利用の実態は以下のようにまとめられる。

表 1 西和賀町における木質バイオマス利用促進の取組経緯

年度	摘要（国や県の主要な政策も含む）
平成 11 年度	湯田町で「地域新エネルギービジョン」を策定
平成 12 年度	沢内村で「地域新エネルギービジョン」を策定
平成 13 年度	岩手県が「木質バイオマス資源活用計画」を策定
平成 14 年度	「バイオマスニッポン総合戦略」が公表される
平成 15 年度	沢内村が「森林バイオマス利用促進行動計画」を策定 沢内村にて「薪利用に関するアンケート調査」を実施
平成 16 年度	岩手県が「いわて木質バイオマスエネルギー利用拡大プラン（第 1 ステージ）」を策定 沢内村にて「岩手県循環型システム実証事業」を実施
平成 17 年度	旧沢内村と旧湯田町が合併し西和賀町となる
平成 19 年度	岩手県が「いわて木質バイオマスエネルギー利用拡大プラン（第 2 ステージ）」を策定 西和賀町が「総合開発計画」を策定
平成 21 年度	「バイオマス活用推進基本法」が策定 西和賀町にて「薪ストーブに関するアンケート調査」を実施
平成 22 年度	西和賀町が「「薪」利用最適化システム構築計画書」を策定

出所：西和賀町（2011）。

まず、アンケートの有効回答のうち 33%が薪ストーブを利用していることが明らかになった。このことより、沢内村（2004）では、旧沢内村の薪ストーブ利用世帯数を全 1,161 世帯（平成 15 年度の値）の 33%に当たる 383 世帯と推計している。住民が利用している薪ストーブは鉄製のものが最も多く（有効回答数の 36.8%）、価格は 1 万円以内のものが最も多かった（同 38.9%）。1 年間に使用する薪の量は平均 4.1 間（実材積約 4.1m³に相当）となっている⁽¹⁾。薪の入手元としては薪炭共有林からの調達が多く（同 29.7%）、次いで自分の山からの調達（同 26.3%）、業者からの購入（同 19.0%）の順に多かった。

平成 17 年の旧湯田町と旧沢内村の合併後も、木質バイオマスエネルギーの利用は継続的に町の重要な施策の一つとして位置づけられている。平成 19 年の「西和賀町総合開発計画」で

は、エネルギー自立や森林整備促進などの側面から、木質バイオマスエネルギーの導入促進が施策として盛り込まれた。平成 21 年には合併後の町内住民を対象としたアンケートが実施されている。その概要は以下の通りにまとめられる。

表 2 西和賀町の薪ストーブ利用世帯数の推計値（平成 21 年度）

地区名	世帯数 (世帯)	薪ストーブ利用率 (%)	薪ストーブ利用世帯数 推計値 (世帯)
西和賀町合計	2,493	24.8	617
旧沢内村合計	1,140	39.4	449
貝沢区	85	56.0	48
若畑区	72	54.5	39
川舟区	165	40.3	67
長瀬野区	80	66.0	53
泉沢区	77	34.5	27
弁天区	32	60.0	19
猿橋区	88	20.0	18
太田区	165	20.0	33
鍵飯区	35	41.7	15
前郷区	99	48.9	48
新町区	144	38.0	55
大野区	52	16.1	8
東大野区	46	44.0	20
旧湯田町地区合計	1,353	12.4	168
左草区	46	59.4	27
下前区	37	32.0	12
湯田区	199	13.6	27
湯本区	233	8.1	19
槻沢区	44	11.1	5
白木野区+湯之沢区	105	12.5	13

川尻 1 区	110	5.1	6
川尻 2 区	166	6.1	10
上野々区	144	8.5	12
耳取区	56	13.2	7
鷲之巢区+草井沢区	22	17.6	4
湯川区	47	0.0	0
小繁沢区	45	10.0	5
越中畑区	41	15.4	6
野々宿区	34	20.8	7
柳沢区	24	33.3	8

出所) 世帯数は『西和賀町の統計』、薪ストーブ利用率は西和賀町 (2011)。

注) 居住地区名が不明の回答は集計から除外した。四捨五入のため細目の合計と各地区の合計値とが一致しない場合がある。

まず、地区別の内訳をみると、最も高い地区で 66.0%，最も低い地区でゼロなど地区により差が見られた (表 2)。各地区の世帯数と各地区の薪ストーブ利用割合とを掛け合わせて算出した西和賀町の薪ストーブ利用世帯数は、全世帯数の 24.8%に相当する 617 世帯と推計される。旧沢内村の地区において薪ストーブの利用率が比較的高い傾向が見られ、その割合は 41.5%であり平成 15 年の調査時の 33%よりも増加している。直近 (平成 21 年) の方が、薪ストーブ利用率が高い理由として、灯油等の価格が大幅に上昇したこと等が推察される。

薪の入手方法は「自分の山から採取している」が最も多く 52.0%，次いで「購入する」が 38.9%であり、購入先としては森林組合が最も多かった。また薪炭共用林⁽²⁾などから薪を入手するとの回答も 21.1%であった。

一世帯当たりの年間薪使用量は 3.5m³であった。この値は平成 15 年度調査の 4.1m³や長野県における調査での 9.0m³ (平成 23 年) と比べると小さな値となっている⁽³⁾。このうち、薪を購入している世帯の一世帯当たりの年間薪購入量の平均は 3.3m³であり、年間の薪購入額は 1 世帯当たり平均 56,800 円であった。

2)「薪利用最適化計画」による木質バイオマス利用促進の取組内容

西和賀町では平成 23 年 3 月に『「薪」利用最適化システム構築計画書』(以下、計画書とする)を策定した。計画書は平成 22 年度の過疎地域等自立活性化推進交付金事業(総務省)による「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」の成果である。計画書の作成にあたって研究者、森林管理署、町役場、町民有志からなる「計画書策定委員会」が編成され、平成 22 年 4 月から 3 回の会合を経て計画書が策定された。計画書の概要は以下の通りである。

計画書では「薪ストーブ利用世界一」を目標としており、数値目標として平成 29 年までに「薪利用世帯割合 50%、1,100 世帯以上」を掲げている⁽⁴⁾。計画書を踏まえた町の具体的な事業として、町立病院周辺での地域暖房導入等が計画されており最大で 1 年あたり 5,400 万円(平成 24 年度)の予算で、平成 26 年度までに合計で 8,489 万円の予算が付けられている。

また計画書には、西和賀町の森林資源は町民が持続可能な薪利用をするのに十分な量が確保されている点も示されている。これは、西和賀町の森林の年間成長量が、西和賀町全世帯が薪利用した場合に必要な薪の量を大幅に上回っている状況にあることに依拠している。具体的には、西和賀町内の広葉樹の年間成長量は $27,545\text{m}^3$ と推計されており、すべて薪ストーブ燃料に換算すると約 7,900 世帯分($=27,545\text{m}^3/3.5\text{m}^3/\text{世帯}\cdot\text{年}$)になる。一方、西和賀町の総世帯数は約 2,200 世帯であることから、仮に西和賀町内の全世帯が薪ストーブを利用したとしても、そのすべてを町内の広葉樹林の年間成長量で十分に賄えると推察される。

西和賀町がこの「薪」利用最適化システム計画を立てた背景として、衰退傾向にある町内の林業活性化があげられる。西和賀町の面積の 9 割は森林であり、かつて林業は町の主要産業の一つであったものの、近年では安価な外国産材の輸入などにより町内の林業は停滞している。

「薪」利用最適化システムとは「森林から木を切りだし、燃料として効率的、合理的に利用することで地域に活力をもたらし仕組み」および「薪の供給・流通から利用までを合理化することで町民などに安価なエネルギー源を供給するとともに、地域を活性化させる仕組み」と定義されており、林業活性化を通じた地域経済活性化が期待されている。さらに木質バイオマスの中でも薪に注目した理由は「薪は町民にとって昔から身近であり、雇用の拡大に貢献できることなどが期待されるため」とされている。

西和賀町では計画書の作成にあたって、薪供給システムの実証試験、薪ボイラーの実証試験、国内外への先進地視察などを実施している。薪供給システムの実証試験では、森林組合の協力のもと、高性能林業機械などを導入することで間伐材を利用した薪供給の経済性が検証された。

具体的には、従来にはない新たな薪供給システムとして、①立木（広葉樹）を伐採し薪とする方法、および②スギの間伐材を収集し薪とする方法、について作業時間や投下エネルギー等を調査している。これらのデータは、後段の分析において大いに利用できると思われる。

このほか、薪ボイラー実証試験では、事業所やハウス栽培農家が薪を利用した暖房機を利用した場合の性能調査が実施されており、実証データが利用可能となっている。また平成 23 年 7 月には「西和賀町森林エネルギー利用促進協議会」が発足し、町民を対象とした森林資源活用に関する勉強会開催、薪ストーブの展示・販売会開催、オーストリアからの木質バイオマス熱供給事業アドバイザーの招聘などを実施した。

3) 西和賀町の薪利用に関するヒアリング調査

(1) 西和賀町農林課へのヒアリング調査

西和賀町農林課では、主に町内における薪利用の実態についてヒアリングした。その概要は以下のとおりである。

西和賀町の民家で利用される薪ストーブは、ホームセンターで 3,000～4,000 円/台程度で販売されている「時計型ストーブ」と呼ばれる、2 次燃焼装置などはない簡易なものが主流となっている。煙突もホームセンターにて数千円程度で調達されることが多く、ストーブ本体と合わせて安価なため、数年おきに買い替える家庭も見られるとのことである。

西和賀町内でも他地域と同様に、昭和 30 年代のエネルギー革命以降、住宅改善事業により立て替えられた家では囲炉裏が撤去される等の傾向が見られたものの、3 割程度の家では現在でも薪ストーブを利用している。これは、住民が自分の山を所有していたり、薪炭共有林が利用しやすい状況にある等、薪の入手が比較的容易であったためと考えられる。薪炭共有林は各地区（農林業センサスの集落にほぼ該当）に 17 カ所 1,067ha（平成 21 年時点）配置されており、町内の 699 戸が利用している。特に旧沢内村での薪炭共有林の利用が活発であり 699 戸中、約 8 割に当たる 564 戸が旧沢内村地区の利用者となっている。

しかしながら、現在、実際に薪炭共有林を利用して薪の収集をしているのは上記の 699 戸のうち 1/6 程度と推計されている。これは、薪炭共有林の原則として、自分で伐採などの作業をしなければならず、高齢者などには負担が大きいためと推察される。

平成 23 年 3 月の東日本大震災時には、西和賀町内でも 2 日間電力供給が停止した。その際、

電気を使わなくても利用できる薪ストーブは単に居室暖房の熱供給源としてだけではなく、光源にもなり、また、煮炊きもできるなど便利であったとの住民の話がある。このほか西和賀町住民を対象にしたアンケート調査では、通常時の薪ストーブのメリットとして、他の暖房より暖かい、薪（燃料）が身近にある、他の燃料に比べて経済的である、などの回答が挙げられている。逆にデメリットとしては、煙突掃除が大変である点、薪割りが重労働である点が指摘されている⁽⁵⁾。

（２）森林組合へのヒアリング調査

西和賀町森林組合では、主に森林組合による薪生産・販売事業についてヒアリングした。その概要は以下の通りである。

西和賀町森林組合は、旧湯田町森林組合と旧沢内村森林組合が平成 19 年に合併して設立された。平成 21 年末の組合員数は 971 人（うち正組合員数は 928 人）、一般職員数 5 人となっている。現在の森林組合の主な事業は国有林を中心とした森林整備（除伐・間伐）事業であり、その他に規模は小さいものの薪・オガ粉の加工事業、チェーンソーなどの購買事業、丸太の販売事業（販売先は合板会社）等を実施している。

表 3 西和賀町森林組合の加工部門販売実績（平成 21 年）

	オガコ	チップ	加工薪	その他	合計
数量(m ³)	10,003	701	103	33	10,840
金額(万円)	6,002	394	244	63	6,703
単価(円/m ³)	6,000	5,623	23,689	19,030	6,183

出所：西和賀町森林組合へのヒアリング（2011 年 11 月）。

森林組合では、薪の生産および町内外向け販売を行っている。販売価格は、1m³あたり 18,500 円（丸太の状態）から 23,000 円（割薪の状態）の範囲であり、別途、配送料が 1m³あたり 1,000 円かかる。平成 21 年の販売実績は、割薪（加工薪）が 103m³（平成 20 年の 80m³ から増加）、丸太が 135m³（平成 20 年の 133m³ とほぼ同等）となっている。割薪の購入者は高齢者が多い傾向にある。なお、加工薪販売額（平成 21 年に 244 万円）は、加工部門の販売額（同 6,703 万円）の 4%程度に過ぎないが、販売単価（同 2 万 3,689 円/m³）で見るとオガコ（同 6,000

円/m³) やチップ (同 5,623 円/m³) などに比べ割高になっている。

森林組合では春先に薪の生産および配達をし、各家庭においては森林組合から購入した薪を、必要があれば薪割りした上で軒先などに保管し、乾燥させている。森林組合はフィンランド製の自動玉切り・薪割り機を所有しており、薪用の原木を機械に投入すると 30cm～40cm の長さの薪が自動的に生産される。このようにして生産された薪は、そのままトラックに積み込まれ、各家庭の庭先などまで配達される。

以上、森林組合は薪の供給という面から、町の薪利用促進策を支える役割を担っていると考えられる。労力不足などのため自力での薪の入手が困難と考えられる高齢者等にとって、薪販売事業は高齢化の進む西和賀町において広く住民の薪利用を促進させる上で重要な取組を担っているものと推察される。

4) 小括

以上で見た通り、西和賀町においては町や森林組合が主体となって継続的に家庭や事業所における木質バイオマス（薪）の利用促進が図られてきた。具体的には、町は実証試験を通じた基礎データの収集、公共施設への木質バイオマスボイラー導入等のハード事業、講習会や薪ストーブ展示会を通じた住民の理解醸成等を実施し、森林組合は住民への薪供給や実証事業への協力等を担当している。家庭においても、所有する山林や薪炭共用林等から容易に薪を調達できる住民を中心に、薪が灯油などの化石燃料よりも安価なエネルギー源として位置付けられているものと推察される。

こういった西和賀町における薪利用の促進は、地域の活性化、地域におけるエネルギー自給、地球温暖化防止への貢献、といった様々な効果を見込んで進められているものであり、事業単体での経済性以外の側面からも評価されるべきと考える。これらを背景に、本稿ではバイオマスの利用を経済性のみでなく、GHG 排出量などを指標とした環境への影響、資源の持続的利用可能性、雇用創出やエネルギー自給など地域社会への影響といった様々な側面から評価する手法の開発を試みることにする。

3. 西和賀町における薪利用実態の評価

1) 本節の目的と既存研究の整理

本小節ではバイオマスのエネルギー利用の評価手法及び評価指標についての既存研究を整理する。バイオマスのエネルギー利用評価に関する研究は国内外を問わず蓄積されつつある状況にある。以下では、わが国のバイオマスの利用実態に即した研究であり、かつバイオマスエネルギーの生産から消費に至るまでのライフサイクルでの評価を試みた既存研究として農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」(2006)、柚山ら(2010)、Wang et al (2009)を概説する。

農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」(2006)は、農林水産技術会議が平成15年度から17年度にかけて実施したプロジェクト研究「農林水産バイオリサイクル」のシステム化サブチームによる「バイオマスの地域循環利用システム化技術の開発」に関する研究成果を取りまとめたものである。この研究では、地域レベルでの適切なバイオマス利用システム構築に向けて、社会的な合意形成を支援するツールを開発することを研究目的としている。より具体的には、①バイオマス利用の物質フローを把握する「バイオマス資源循環利用診断モデル」の開発、②経済性、環境影響、安全性等の面からバイオマス利用を評価する手法の開発、③国レベルでのバイオマス資源の循環実態を把握するモデルの作成、を研究開発課題として掲げている。

このうち①バイオマス循環利用診断モデルの開発では、市町村のバイオマスフローを明らかにできるツールを開発している。ここでのバイオマスフローとは、バイオマスの発生、収集、加工、利用、廃棄等の各段階の投入・産出状況を示したものである。利用診断モデルは、バイオマスの利用に対する評価を目的としたモデルではないものの、市町村でのバイオマス利用方針の策定する段階での検討材料としての活用が期待される。

第Ⅱ部の「バイオマス変換施設のコスト評価」では、牛糞及び食品廃棄物を対象にバイオマスの変換技術ごとに、施設建設費、維持管理費、及び収入を試算している。そのデータの多くを柚山ら(2006)に依拠しているものの、乳牛の糞尿と食品廃棄物の処理を事例とし、堆肥化、飼料化等のマテリアル利用だけでなく、エネルギー利用についても経済面からの評価を実施している。具体的には、各技術を事業化した際の施設建設費、資材費や人件費などの運営費、事業収入等を試算している。その上で総括として、バイオマスの利用計画は着実な需要のある物

質・エネルギーを生成していくことが重要である点、及びバイオマス利用は採算性だけでなく外部不経済の解消効果や地域の社会・経済へのプラスの波及効果も勘案すべきである点を述べている。

第Ⅲ部の「バイオマス利活用システムの評価視点」では、バイオマス利用評価の考え方を示し、安全性や環境への影響評価例を提示している。バイオマス利用の評価の必要性については、公的資金を利用してバイオマス利用を進める際には、社会的な合意を得るために助成を受けた個別事業の達成度を定量的に評価することが求められる、としている。具体的には、物質収支、エネルギー収支、環境への影響、安全性、経済性、運営組織からみた妥当性、地域の社会・経済への波及効果等を総合的に評価することが必要とされている。また、評価手法に際しては、評価目的、評価対象、及び評価手順を明確にする必要があることも示している。

さらに評価に用いられる指標群について、次の条件が含まれていることが望ましいとしている。第 1 に、評価目的に適合しており、かつ分かりやすいことである。第 2 に、時間的または空間的な持続性が検討できることである。第 3 に、ライフサイクルコストが比較できることである。ライフサイクルコストとは、建設費、減価償却費、維持管理費の全てを含む費用である。さらに近年では、排出される環境負荷回収コストをも含んだフルコストでの評価も注目されている。第 4 に、常識的な信頼度を持つデータが入手できることである。第 5 に、外部経済促進や外部不経済解消への貢献（環境改善や健康予防など）が評価できることである。ただし、バイオマスの利用には正確な計測が困難な多様な価値も生み出していることや、開発中の技術が用いられていることもあることから、バイオマス利用の環境効率の計測は不確実性を伴っている点に留意が必要としている。

第Ⅳ部の「バイオマス利活用の評価手法」では、バイオマス再生資源の需要量予測手法、バイオマス利用への LCA（ライフサイクルアセスメント）手法等が紹介されている。需要量予測の手法としては、従来は線形計画法や CVM 等が用いられてきた点、及び新たな手法として選択実験を取り上げその利点および今後の課題を提示している。LCA の適用については、時間的・空間的なシステムの全体像が把握できる等、環境改善の意思決定ツールである点をメリットとして挙げている。一方で、LCA により試算される環境影響項目間の統合方法やデータの精度に起因する不確実性への対応方法等が今後の課題として挙げられている。

柚山ら（2010）ではバイオマス利用を、ライフサイクルでのコスト（LCC ; Life Cycle Cost）及び化石エネルギー消費量（LCFEC ; Life Cycle Fuel Energy Consumption）の削減量について評価する手法の論点整理を行っている。LCC 及び LCFEC の試算の目的はコスト形成やエ

エネルギー生産・消費の構造を明らかにすることであり、数多くあるバイオマス利用の評価視点の中でも、LCC や LCFEC は持続性を担保してリスクの少ない判断のために必要な評価手法として位置付けている。

Wang *et al.* (2009)では、持続可能エネルギー供給システムにおいてどのような評価指標が用いられているのかを文献サーベイによって明らかにしている。これによると、持続可能なエネルギー供給を評価する上では、単一の評価指標ではなく複数の評価指標を考慮することが重要である点を指摘している。既存研究サーベイの結果、技術面の評価指標としてはエネルギー効率、経済面の評価指標としては投資費用、環境面の評価指標としては CO₂ 排出（削減）量、社会面の評価指標としては雇用創出が最も多く利用されていることを示している。

以上より、バイオマスのエネルギー利用事業をライフサイクルで評価することは、その事業を時間的、空間的な観点から理解し、評価することを可能にできるメリットが考えられる。本稿において事例とする西和賀町の薪利用の取組は、生産から消費、廃棄までのライフサイクルのほとんどが町内で完結しており、諸効果の発現も町内が中心になると考えられ、柚山ら（2010）をもとにして評価を進めることが適していると考えられる。また、評価指標については Wang *et al.* (2009)を参考に、エネルギー自給率、CO₂ 排出（削減）量、雇用創出量を用いることとする。本稿の分析手順については次小節において説明する。

2）分析手法とデータ

以下では、本稿における木質バイオマスのエネルギー利用の評価手法を概説し、西和賀町の取組を事例にその適用の手順を説明する。全体の方針として、評価の手順は柚山ら（2010）が示した LCC および LCFEC の適用手順を参考とし、評価指標の設定については Wang *et al.* (2009)を参考とした。

柚山ら（2010）では、LCC および LCFEC の試算の具体的な作業手順を以下のように示している^⑥。第 1 に、収集するデータの整理である。第 2 に、バイオマス利活用診断ツール等を用いたモノのフローの把握である。第 3 に、モノのフローをバイオマスの生産（発生）から利用、廃棄までの各段階に振り分けることである。第 4 に、それぞれの段階で生じるコスト及びエネルギーをリストアップすることである。第 5 に、バイオマス利用施設等の総合耐用年数やバイオマスの運搬手段等のパラメータを設定する。第 6 に、試算結果の比較から望ましいバイオマス利用計画案を抽出することである。また、利用計画の評価手法に際しては、評価目的、

評価対象、及び評価手順を明確にする必要があることも示している。

評価にあたっては、薪の生産から利用、廃棄までのライフサイクルの各段階における経済活動を明らかにすることが必要になる。そこで、柚山ら（2010）による LCC および LC FEC の試算方法を参考に、本稿における作業手順を以下のように設定した。

第 1 に、ヒアリングや各種統計資料の整理から、西和賀町での薪の生産から消費、廃棄までのフローを明らかにすることである。本稿では、データの制約などから薪のフローを限定した上で分析を進めた。詳細なフローについては次節で述べる。

第 2 に、想定したフローの各段階におけるエネルギー消費量や、労働時間等のパラメータを明らかにする。データとしては、西和賀町における実証試験結果やヒアリング結果等を利用した。

第 3 に、CO₂ 排出削減量、雇用創出量、町内におけるエネルギー自給率といった評価指標を算出する。CO₂ 排出削減量は、家庭の暖房が全て灯油で賄われていた場合の CO₂ 排出量をベースラインとし、薪利用により削減された CO₂ 排出量として算出した。雇用創出量は、現在の薪利用および西和賀町が掲げる町内 50%の世帯での薪利用が実現した際に増加する雇用者数として算出した。町内におけるエネルギー自給率は、町内の家庭で消費されるエネルギー量のうち薪から供給されているエネルギー量の割合として算出した。

3）西和賀町における薪フロー量の推定

西和賀町における薪のフローを、ヒアリング調査および西和賀町のアンケート調査（西和賀町（2011））などをもとに明らかにした（図 1）。

西和賀町における薪の供給源は、①西和賀町内の森林、②ダムの湖面から除去された流木⁷⁾、③森林組合が考えられる。①町内の森林とは、個人の山林（民有林）や薪炭共有林（国有林）のことであり、主として薪を利用する個人が利用している。②ダムの流木については、町内の湯田ダムにおいて無償で提供されているが、具体的にどれほどの流木が町内で暖房の燃料として利用されているのかは把握できていない。③森林組合が販売する薪または薪用の原木は、加工品（シイタケ栽培に利用するホダ木など）生産のために町外から調達した広葉樹の端材を原料としていることがヒアリングにより明らかになっている。

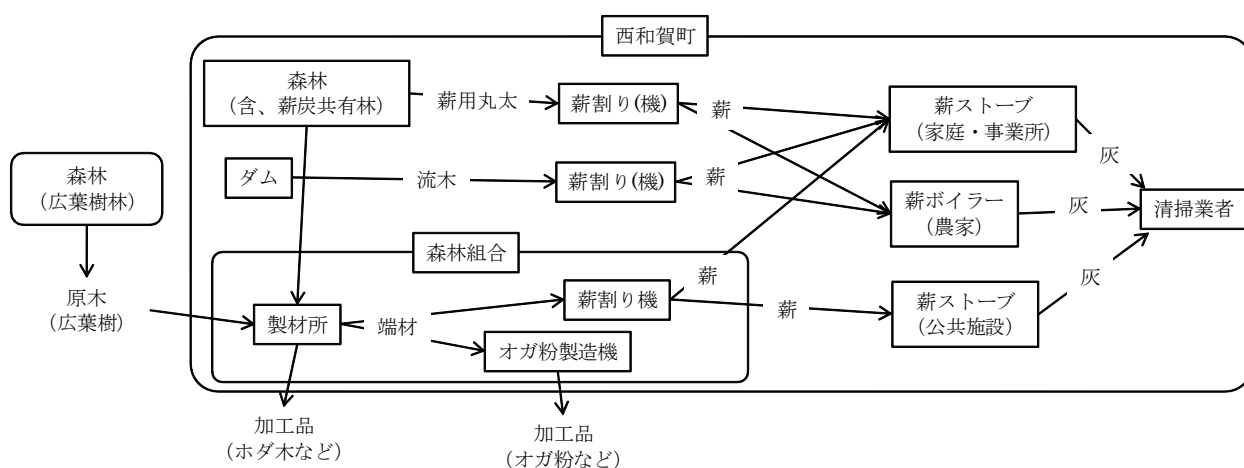


図 1 西和賀町における薪のフロー図

西和賀町における薪の利用者は、①家庭や事業所、②農家、③公共施設などである。①家庭や事業所においては、居室の暖房用に薪が利用される。この場合、エネルギー源である薪は灯油を代替するものと考えられる。薪の入手先としては町内の山林、ダムの流木、森林組合からの購入のいずれも考えられる。②農家においては、花きやシイタケなどのハウス内の暖房に利用される。この場合、薪は主として重油を代替するものと考えられる。ヒアリングから農家による薪の利用量は、家庭や事業所の薪利用量に比べかなり大きいものと推察される⁽⁸⁾。また、ヒアリングから農家の薪の調達先は町内の山林やダムの流木であると考えられる。③公共施設とは、チップボイラーを導入している町内の雪国文化研究所や新たに建設が予定されている町立病院である。いずれも主として森林組合からの薪（チップ）調達と考えられる。代替するエネルギー源は、研究所であれば居室内暖房用であるので灯油、病院であればボイラー用であるので重油と推察される。西和賀町においては、薪を燃焼させて発生した灰は家庭の場合は燃えないゴミとして処理できる。

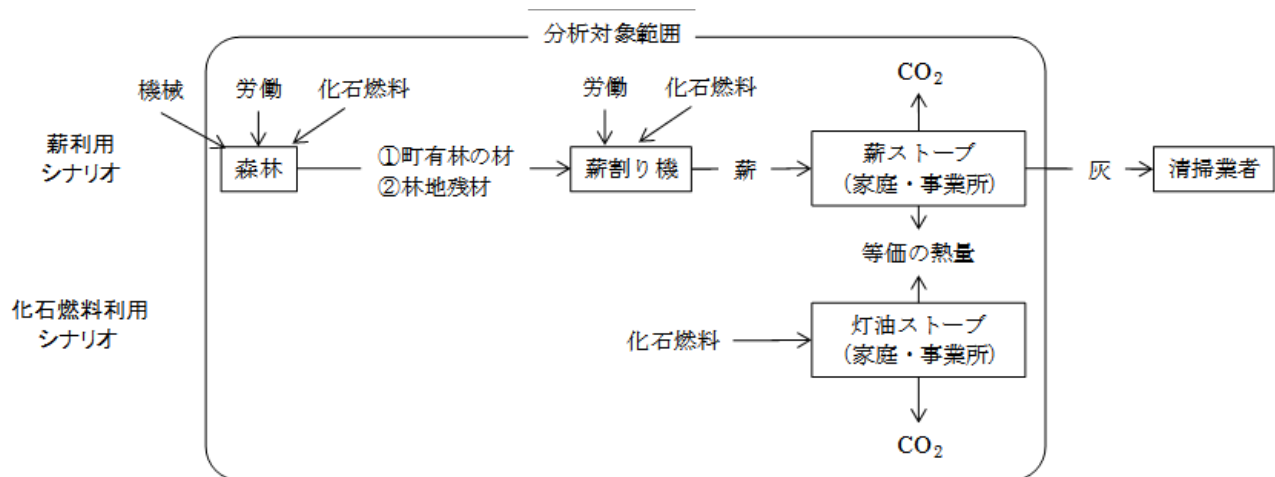


図 2 本稿の分析における薪のフロー図

以上が、西和賀町における薪のフローの概観であるが、薪利用を評価するためには、資材、労働、エネルギー等についての数値データが必要となる。現在のところ、図 1 のフローのうち入手できるデータは限られている。具体的には、農家の薪調達先および正確な薪利用量、建設予定の病院等による薪利用量などのデータは入手できない。

以上のデータ入手可能性の制約および町有林や間伐材の有効活用との観点から、本稿で分析対象とする薪のフローを図 2 の薪利用シナリオの通りに設定した。具体的には薪は、①町有林の広葉樹を伐採して薪を生産する方法、および②林地残材となっている間伐材を収集し薪を生産する方法の 2 通りにより、割薪の形で家庭に供給されるものとする。各家庭では、灯油を利用する暖房機に替えて、薪ストーブを利用するものと仮定した。

また、ベースラインとなるシナリオとして家庭で化石燃料を利用するシナリオを想定した（図 2 の化石燃料利用シナリオ）。このシナリオでは、薪ストーブと同等の熱量を得るために必要なエネルギーを全て化石燃料（灯油）で賄った状況を想定している。両シナリオの比較から、薪利用による化石燃料使用量の削減効果や温室効果ガスの削減効果等が明らかにできる。

4) ライフサイクルにおける諸効果の測定

(1) 西和賀町の薪のフローにおけるパラメータの特定

本小節では図 2 の各フローの具体的な数値を、西和賀町（2011）の実証試験結果等をもとに

明らかにする。森林から薪用の原木を調達し、薪割り機により割薪の状態にするまでには表 4 に示した作業工程が必要である。具体的には、間伐材から割薪を生産するまでには①現地確認から⑫薪割りまでの全 12 の作業工程が必要となる。一方、林地残材を収集し薪を生産する際には①現地確認、②作業道確保、④伐木、⑤枝払い、⑦集積、⑨雑木除去の作業は不要になる。これらの作業は、間伐をした際にすでに実施済みであるためである。

表4 作業工程別軽油消費量の比較(薪1m³あたり)

作業工程	間伐材利用		林地残材利用		備考
	軽油使用量 (L/m ³)	割合 (%)	軽油使用量 (L/m ³)	割合 (%)	
①現地確認	0.0	0%	-	0%	
②作業道確保	0.3	4%	-	0%	
③機材搬入	0.4	5%	1.1	12%	
④伐木	0.0	0%	-	0%	
⑤枝払い	0.0	0%	-	0%	
⑥玉切り	0.0	0%	0.0	0%	
⑦集積	1.4	16%	-	0%	
⑧積み込み	1.8	20%	0.0	0%	フロー2では人力で積み込み
⑨雑木除去	0.1	1%	-	0%	
⑩搬出	0.7	8%	4.0	47%	
⑪積み下ろし	0.5	6%	0.0	0%	フロー2では人力で積み下ろし
⑫薪割り	3.5	40%	3.5	41%	
合計	8.6	100%	8.5	100%	

出所：西和賀町(2011)を著者が再集計。

注：下線で強調している作業工程は、フロー1のみで実施される作業行程。

西和賀町(2011)を再集計した作業工程別の軽油消費量を表 4 に示した。町有林を利用した場合には、1m³の薪を生産するために 8.6L の軽油が必要であることが明らかになった。作業工程別にみると薪割りにおいて最も多くの軽油を消費しており、軽油消費量合計の 40%にあたる 3.5L がこの作業工程で消費されていた。一方、林地残材を利用した場合には、1m³の薪を生産するために 8.6L の軽油が必要であることが明らかになった。林地残材を利用した薪生産の方が、作業行程が少ないため薪 1m³を生産する際の軽油消費量が少ないと予想されたが、実証試験結果では町有林利用が 8.6L/m³であるのに対し林地残材利用が 8.5L/m³と両者間に大きな差は認められなかった。西和賀町(2011)によると、これは林地残材を利用した薪生産の試験時に、あらかじめ目標とする薪生産量がごく少量(2m³)に設定されていたため、一部の工程で機材等の投入量が過剰となる非効率が発生していたためとされている。表 4 をみると③機材搬入や⑩搬出の工程において、林地残材利用シナリオの軽油消費量がかなり大きくなっていることが分かり、これらの工程で非効率が発生していたものと推察される。

(2) 薪利用による GHG 削減量の推計

表5 薪生産実証実験結果のまとめ

比較項目	町有林利用	林地残材利用	備考
薪の生産方法	立木から	林地残材（間伐材）から	
樹種	広葉樹（ナラ、ブナなど）	スギ	
薪1m ³ あたり			
作業量（人・時間）	4.2	3.8	事務作業は除く。
軽油消費量（L）	8.6	8.5	主にトラック、重機の燃料に使用。
ガソリン消費量（L）	0.9	0.6	主にチェーンソーの燃料に利用。
生産費（円）	12,206	10,750	直接経費のみを計上。
CO ₂ 排出量(kg-CO ₂)	24.7	23.8	軽油およびガソリン消費量から推計。

出所：西和賀町（2011）より著者が再集計。

表5に、薪の生産に係る作業量、軽油およびガソリン消費量、生産費、CO₂排出量をまとめた。薪1m³を生産する際に利用される化石燃料利用により排出されるCO₂排出量は、町有林利用の場合で24.7kg-CO₂、林地残材利用の場合で23.8 kg-CO₂と推計された。薪はバイオマスであり、薪の燃焼の際に排出されるCO₂はゼロとしてカウントされるので、上記の値を薪を1m³利用した際のCO₂排出量として採用した⁽⁹⁾。

続いて、化石燃料利用シナリオのフローを推定する。薪1m³を燃焼させたときの発熱量は10,048MJとなり、この発熱量は灯油232L分に相当する⁽¹⁰⁾。環境省（2005）より、灯油を1L燃焼させると発生するCO₂は2.49kg-CO₂/Lであるので、灯油232Lの燃焼によるCO₂排出量は577kg-CO₂と推計される。同様に環境省（2005）より、灯油1Lを製造する際に発生するCO₂は155.8g-CO₂/Lであり、灯油232Lの製造によるCO₂排出量は36kg-CO₂と推計される。以上をまとめると、薪1m³と同等の発熱量を灯油で得るためには232Lの灯油が必要であり、この燃焼によりCO₂が613kg-CO₂発生すると推計される。

表6 西和賀町の薪と灯油のCO₂排出量の比較

項目	薪 1m ³	灯油 232L
発熱量（MJ）	10,048	
CO ₂ 排出量合計（kg-CO ₂ ）	24.7	613
うち燃焼時（kg-CO ₂ ）	0	577
製造時（kg-CO ₂ ）	24.7	36

注）薪のCO₂排出量は、町有林の立木から薪を製造した時の値。薪の燃焼時に発生するCO₂は、カーボンニュートラルの性質を考慮しゼロを計上した。

以上の薪と灯油の比較を表 6 にまとめた。西和賀町の家庭において薪 1m³ を利用することで、灯油 232L の削減および CO₂ 排出量 588kg-CO₂ (=613-24.7) の削減といった効果が期待される。CO₂ 排出量の削減効果は 96% (=588/613) となる。

西和賀町の薪利用世帯における年間薪使用量の平均が 3.5m³ であることから、灯油ストーブに変えて薪ストーブを利用することで、1 世帯当たり 1 年間で 811L の灯油使用量削減および 2,060kg-CO₂ の CO₂ 排出量削減の効果が期待できる⁽¹¹⁾。さらに平成 21 (2009) 年時点での西和賀町における薪ストーブ利用世帯数は 617 戸の薪利用の効果は、500KL の灯油使用量削減、1,271t-CO₂ の CO₂ 排出量削減と推計される。

(3) 雇用創出効果の推計

続いて、薪を利用することによる雇用創出の効果を評価する⁽¹²⁾。表 5 より町有林を利用して薪 1m³を生産するためには、4.2 人・時間の雇用量が必要であった。仮に現在、町内で利用されている薪がすべて、この方法で賄われていたとするとその労働量は 9,070 人・時間となりこれは、4.7 人分の年間労働時間に相当する⁽¹³⁾。また、西和賀町の目標が達成され町内世帯の半数で薪ストーブが利用されたとすると、9.4 人分の雇用が発生すると考えられる。

以上より、西和賀町の家庭における薪利用の取り組みは、薪の製造段階で利用される化石燃料を考慮しても、灯油使用量や CO₂ 排出量を大幅に削減する効果が見込まれることが明らかになった。また、利用される薪生産にかかわる雇用の量は現状で 4.7 人分、計画の達成時には 9.4 人分となりうることも明らかになった。次小節では、西和賀町のエネルギー利用量全体から見て薪利用によるエネルギー量がどの程度のウェイトであるのかを明らかにしたい。

5) 薪利用促進のエネルギー自給率への寄与

本小節では、西和賀町のエネルギー消費量を明らかにし、薪利用の促進が西和賀町のエネルギー自給率に及ぼす影響を解明する。具体的な手順は以下のとおりである。まず、資源エネルギー庁 (2006)『市町村別エネルギー消費統計作成のためのガイドライン』(以下、「ガイドライン」とする)の方法により、2009 年時点における西和賀町におけるエネルギー消費量を明らかにする。続いて、平成 21 年の推計値である町内の 24.8%の世帯が薪を利用した場合(表 2 より)と、「薪利用計画」の目標である町内の 50%の世帯が薪ストーブを利用した場合とに

ついて、町内のエネルギー消費量のうちどの程度が薪によって賄われているのか、を明らかにする。

利用するデータは、西和賀町による調査の年次に合わせ、可能な限り 2009 年のデータとし、2009 年のデータが入手・利用できない場合には 2009 年に最も近い年次のデータを利用することとした。この方針の下、統計等のデータの年次は次の通りとなった。「都道府県別エネルギー消費統計」「工業統計」「経済センサス」「家計調査年報」「ガス事業年報」「住民基本台帳人口移動報告」「熱供給事業便覧」「固定資産の価格等の概況調書」については 2009 年のデータを利用した。なお、「都道府県別エネルギー消費統計」の 2009 年度の値は速報値となっている。農林業センサスについては 2010 年のデータを、漁業センサスは 2008 年のデータをそれぞれ利用した。

ガイドラインにおける方法は、「都道府県別エネルギー消費データ」や「家計調査」などの都道府県別に公表されているエネルギー消費データを、生産額や生産要素投入量などの活動指標を用いて按分し、市町村別のエネルギー消費量を推定する方法である。按分のもととなる岩手県の 2009 年におけるエネルギー消費量を表 7 に示した。

表 7 岩手県のエネルギー消費量（2009 年）

	エネルギー源					
	石炭	石炭製品	石油製品	都市ガス	電力	熱
表示単位	000t (輸入一般 炭換算)	000t (輸入一般 炭換算)	000kl (精製用原 油換算)	Mm ³ (一般ガス換 算)	GWh	TJ
製造業	169.6	0.1	129.9	8.8	4,603.5	2,491.8
非製造業合計	0.0	0.1	205.0	7.8	363.3	0.0
農林水産業	0.0	0.0	162.9	0.3	246.1	0.0
建設業・鉱業	0.0	0.1	42.1	7.5	117.1	0.0
民生部門合計	0.0	0.0	587.2	139.1	5,472.6	44.6
家庭	0.0	0.0	384.1	15.3	2,887.6	0.0
業務	0.0	0.5	203.1	123.8	2,585.0	44.6
運輸部門	0.0	0.0	421.0	0.0	0.0	0.0

出所：「都道府県別エネルギー消費統計」（平成 21 年）、「家計調査年報」（平成 21 年）。

注：家庭による石油製品利用については「家計調査年報」の灯油及びプロパンガスの購入額の合計により推計した。それ以外の値は「都道府県別エネルギー消費統計」による。

エネルギー源としては、石炭、石炭製品、石油製品、都市ガス、電力、熱の 6 種類を計上する⁽¹⁴⁾。エネルギーを消費する部門は、製造業部門、非製造業（農林水産業と建設業・鉱業の 2 部門）部門、民生部門（家庭と業務の 2 部門）、運輸部門を推計対象とした。なお、「熱供給事業便覧」および「ガス事業年報」によれば、西和賀町内では都市ガス供給事業および熱供給事業が存在していないため、西和賀町における「都市ガス」および「熱」のエネルギー消費量は 0 とした。西和賀町におけるその他のエネルギー消費量推計方法は表 8 にまとめた。

表 8 推計方法のまとめ

エネルギー利用部門	エネルギー源					
	石炭	石炭製品	石油製品	都市ガス	電力	熱
製造業	①	①	①	—	①	—
非製造業						
農林水産業	②	②	②	—	②	—
建設業・鉱業	—	③	③	—	③	—
民生部門						
家庭	—	—	④	—	⑤	—
業務	—	—	⑥	—	⑥	—
運輸部門						
旅客用乗用車	—	—	⑦	—	—	—

注)表中の記号の説明は以下の通り。

—:推計対象外。

①:「都道府県別エネルギー消費統計」を「工業統計」の出荷額をウェイトに按分。

②:「都道府県別エネルギー消費統計」を「農業センサス」「林業センサス」「漁業センサス」の就業者数をウェイトに按分。

③:「都道府県別エネルギー消費統計」を「事業所・企業統計」の就業者数をウェイトに按分。

④:「家計調査」の世帯あたり年間購入量の補正值(世帯人員補正係数を利用)に世帯数を乗じる。

⑤:「都道府県別エネルギー消費統計」を「住民基本台帳」の世帯数をウェイトに按分。

⑥:「都道府県別エネルギー消費統計」を「固定資産の価格等の概要調書」から算出した業務系建物床面積をウェイトに按分。

⑦:「家計調査」の世帯あたり年間ガソリン購入量の補正值(世帯人員補正係数及び保有台数補正係数を利用)に世帯数を乗じる。

製造業で消費されるエネルギーは、石炭、石炭製品、石油製品、電力とした。「都道府県別エネルギー消費統計」に掲載されている岩手県の製造業部門のエネルギー消費量の値を、「工業統計」（2009 年）の岩手県の製造業出荷額に占める西和賀町のシェアをウェイトとして按分した。具体的には、岩手県の製造業出荷額が約 2.0 兆円であるのに対し、西和賀町の製造業出荷額は約 36.1 億円であることから、按分係数は 0.002 となった。

非製造業のうち農林水産業部門で消費されるエネルギーは、石炭、石炭製品、石油製品、電力とした。「都道府県別エネルギー消費統計」に掲載されている岩手県の農林水産業部門のエネルギー消費量の値を、岩手県における「2010 年農林業センサス」の農林業経営体数と「2008 年漁業センサス」の漁業経営体数との合計に占める西和賀町のシェアをウェイトとして按分した。具体的には、岩手県の農林業経営体数と漁業経営体数の合計は 64,614 経営体であるのに対し、西和賀町の農林業経営体数と漁業経営体数の合計は 827 経営体であることから、按分係数は 0.013 となった。

非製造業のうち建設業・鉱業部門で消費されるエネルギーは、石炭、石炭製品、石油製品、電力とした。推計の際には「都道府県別エネルギー消費統計」に掲載されている岩手県の建設業・鉱業部門のエネルギー消費量の値を、岩手県の建設業・鉱業従事者数に占める西和賀町のシェアをウェイトとして按分した。「平成 21 年経済センサス」による岩手県の建設業・鉱業従事者数は 52,348 人であるのに対し、「西和賀町の統計」（原資料は「平成 18 年事業所・企業統計調査報告」）による西和賀町の建設業・鉱業従事者数は 373 名であることから按分係数は 0.007 となった⁽¹⁵⁾。

民生部門のうち家庭部門で消費されるエネルギーは、石油製品（灯油、プロパンガス）および電力とした。石油製品の消費量は、「家計調査年報」の盛岡市における 1 世帯当たりプロパンガス購入量および灯油購入量（それぞれ 2 人以上世帯と単身世帯のデータがある）と西和賀町における 2 人以上世帯数と単身世帯数とを掛け合わせて推計した。電力の消費量は、岩手県の電力販売量を世帯数をウェイトとして按分し推計した。

民生部門のうち業務部門で消費されるエネルギーは、石油製品（灯油、重油、プロパンガス）および電力とした。それぞれ「都道府県別エネルギー消費統計」に掲載されている岩手県の値を、「固定資産の価格等の概要調書」による事業所（ホテル・宿泊施設、病院事務所、劇場など）の床面積をウェイトに按分し推計した。

最後に運輸部門で消費されるエネルギーは石油製品（ガソリン）とし、家計調査に掲載されている値を世帯当たりの自動車保有台数を調整したうえで、世帯数をウェイトとして按分し、

推計した。

以上のようにして推計した西和賀町の部門別エネルギー利用量は表 9 のとおりとなった⁽¹⁶⁾。西和賀町で 1 年間に利用されるエネルギーは石油製品由来のものが 270TJ, 電力由来のものが 160TJ であり, 合計 430TJ である。推計した部門別にみると民生部門の中の家庭部門のエネルギー消費量が最も多く, 124TJ であった。

表 9 西和賀町の部門別エネルギー利用量 (2009 年)

単位 : TJ

エネルギー利用部門	エネルギー源						合計
	石炭	石炭製品	石油製品	都市ガス	電力	熱	
製造業	0	0	9	0	30	0	39
非製造業合計	0	0	91	0	14	0	105
農林水産業	0	0	80	0	11	0	91
建設業・鉱業	0	0	11	0	3	0	14
民生部門合計	0	0	120	0	116	0	236
家庭	0	0	75	0	49	0	124
業務	0	0	45	0	68	0	113
運輸部門 (旅客用乗用車)	0	0	50	0	0	0	50
合計	0	0	270	0	160	0	430

出所 : 著者推計。

平成 21 年における西和賀町内の家庭での薪利用では, 約 21TJ のエネルギーが利用されていると推計される⁽¹⁷⁾。これは町内の家庭によるエネルギー利用量の 23%に相当する量である。また, 町内のエネルギー利用量合計と比べても 5%に相当する値である。薪利用の促進は, 町内でのエネルギー自給率を高めることにつながり, 震災などに対する地域のレジリエンスを高めるといふ点からも注目される。

6) 小括

本節では岩手県西和賀町の家庭における薪利用促進を事例に、生産から消費、廃棄までに至るライフサイクルでのバイオマスの循環を明らかにした上で、温室効果ガス排出量の削減量などを指標に試験的な評価を実施した。

分析の結果、平成 21 (2009) 年時点での西和賀町の家庭による薪利用の効果は、500KL の灯油使用量削減、1,271t-CO₂ の CO₂ 排出量削減と推計された。このとき、町内の家庭でのエネルギー消費量の 23%が薪によるものとなっていた。

以上の結果から次の点が示唆される。家庭における木質バイオマスの利用が促進されると、相当量の化石燃料削減や CO₂ 排出量削減といった効果が期待されることである。また、家庭による木質バイオマスエネルギー利用促進が、町内のエネルギー自給率（全エネルギー消費量に占める薪によるエネルギー供給量の割合）を向上させる効果も確認でき、エネルギー安全保障の面からも評価しうる点が示唆されたと考える。

4. 最適な薪利用シミュレーションに基づく諸効果の測定

1) 本節の目的と既存研究の整理

前節では、西和賀町における生産から消費、廃棄に至るまでの薪のライフサイクル全体を対象に、既存の手法に準じ西和賀町の家庭における薪利用の評価を試みた。分析の結果、薪利用の促進により経済面、環境面で好ましい効果が見込まれる点が定量的に明らかにされた。しかしながら、こういった効果の方向や程度は木質バイオマスの賦存状況や収集・運搬方法などの条件に左右されると考えられる。したがって、より実践的な影響評価のためには、資源の賦存量や輸送費といった利用の制約となる側面も明示的に考慮した分析が重要となる。また、薪利用促進は代替する化石燃料の使用量削減と表裏をなしており、市町村全体での経済面の効果を評価するにあたっては、この代替効果によるマイナス面を考慮することも必要であろう。

まとめると、本節では①資源の賦存量も考慮したより実態に即した評価、②木質バイオマスによる化石燃料の代替を明示的に考慮した経済的影響の評価、を念頭により実践的な評価手法の開発及び開発した手法を用いた実証を行いたい。そこでまずは、関連する研究をレビューし、研究課題を絞り込む。

薪に限らずチップやペレットも含めた木質バイオマスの供給量または供給コストに関する既存研究としては、佐無田ら（2011）、寺田ら（2010）、山口ら（2010）、Kinoshita et al.（2009）、上村ら（2009）、畑中（2008）、佐々木ら（2006a,b）、吉岡・小林（2006）、井内（2004）、前野ら（2002,2003）などがあげられる。これらの研究の多くに共通しているのは、地理情報システム（Geographic Information Systems; GIS）を用いて分析している点である。これは、薄く広く分布する特徴を有する木質バイオマスにおいては生産地と消費地との輸送距離などの地理的要因を明示的に考慮する必要があるためと考えられる。また、分析対象としてはチップやペレットが多く、より小規模分散型の利用が特徴といえる家庭における薪利用を対象とした研究は見られない。

続いて、木質バイオマスの生産から消費、廃棄までのシステムを何らかの指標を用いて評価した研究としては、吉原・土屋（2011）、永野ら（2011）、森本ら（2010）、井内（2006）、八木・中田（2006）などがあげられる。これらの研究では、事業の経済性や GHG 排出削減量を指標とした評価が多く、資源の賦存量や持続的利用の観点からの評価までを含んだ研究は見られない。

また、農山村での薪ストーブ利用に焦点を当てた研究としては、畑中ら（2012）および安村（2011）がある。畑中ら（2012）は薪ストーブの利用実態の解明と石油ストーブと比較した GHG 排出削減量を指標とした評価を実施している。安村（2011）も、重点的な実地調査をもとに、薪ストーブ利用実態の解明を試みている。

このように関連の既存研究は多く存在するものの、家庭での薪ストーブ利用という小規模分散型の木質バイオマス利用に焦点を当て、資源、環境、経済といった複数の側面から定量的な評価を行った研究は見られない。そこで、本研究の新規性の確認の意味も含め、改めて本節の課題を述べると、家庭における小規模分散型の木質バイオマス利用を資源利用、環境影響、町内経済への影響という点から定量的に評価する手法を開発し、岩手県西和賀町の薪ストーブ利用を事例にその手法を用いた実証を試みることとなる。

本節の構成は以下の通りである。第 2 小節では、分析方法とデータについて述べる。分析方法については、GIS を用いた処理や線形計画法を利用した薪需給のマッチング等について説明する。データについては、森林に関する情報が記載された森林簿、分析に利用した各種のパラメータ、本研究における家庭の取り扱い等について説明する。第 3 小節では分析結果として、①持続的な資源利用の面からの評価結果、②GHG 削減量を指標とした環境面からの評価結果、③町内資源有効活用による町民所得増加額を指標とした経済面からの評価結果、を提示する。

第4小節では、本節のまとめとして本評価手法の他事例への適用可能性などについて述べる。

2) 分析手法とデータ

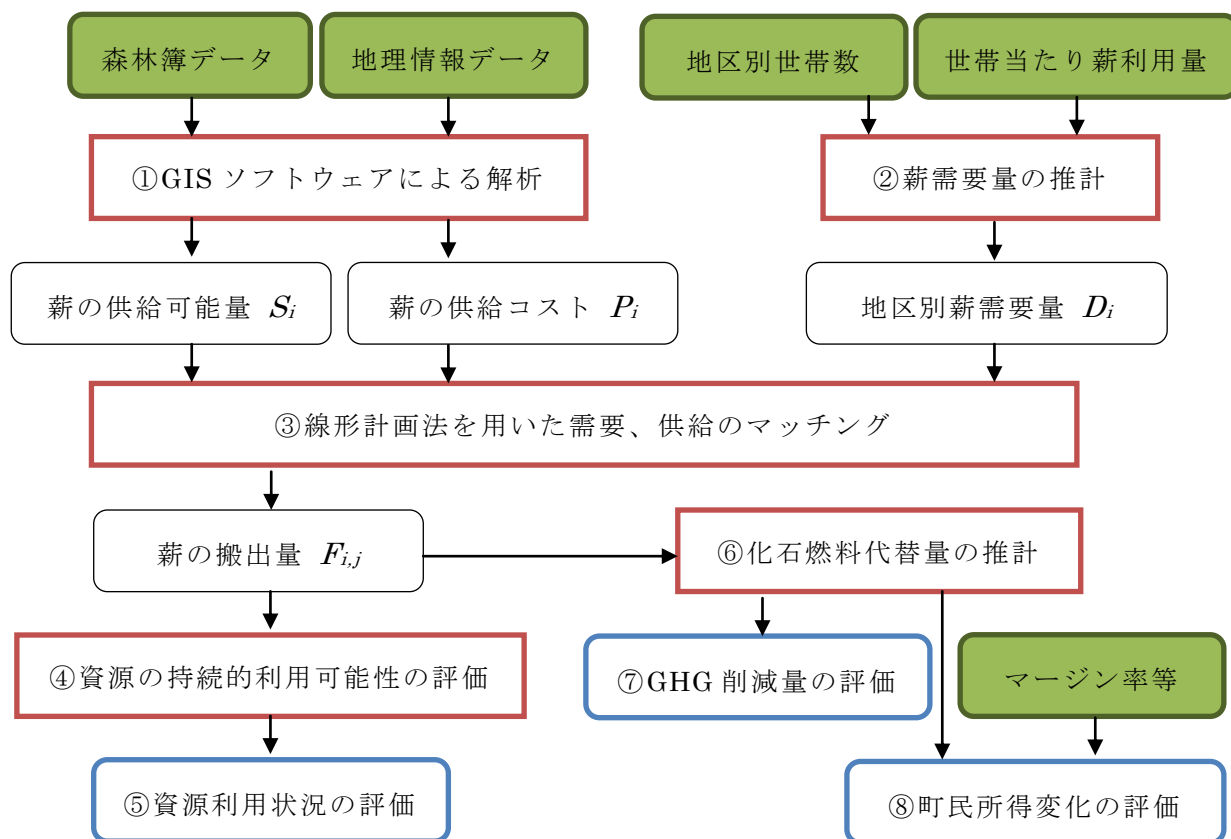


図3 分析枠組み

本小節の分析枠組みは図3の①～⑧の通りである。以下ではそれぞれの手順に沿って、推計方法及び利用したデータについて説明する。

第1に、森林簿データ及びその他の地理情報データをもとに、GISソフトウェアを用いて薪の供給可能量 (S_i) 及び薪の供給コスト (P_i) を林小班ごとに推計する (図3の①)。本小節では、町内のスギ間伐材の未利用分を薪として利用することを仮定して推計した。林小班ごとの薪供給可能量は(1)式により求めた。

$$S_i = Zaiseki_i \times Kanbatu \times Miriyou \quad (1)$$

ここで $Zaiseki_i$ は林小班 i におけるスギの材積、 $Kanbatsu$ はスギ林の間伐率、 $Miriyou$ は間伐されたスギの未利用率である。 $Zaiseki_i$ の値は、西和賀町の森林簿より入手した。

西和賀町の森林簿には、町内民有林の林班、林小班ごとに位置、樹種、材積などのデータがまとめられている。町内の林小班のうち、スギのみからなる林小班、かつ車両での搬出を想定し平均傾斜角度が 35 度未満である林小班を分析対象とした。 $Kanbatsu$ の値は、西和賀町において県の事業を利用する際の間伐率である 50% を採用した⁽¹⁸⁾。 $Miriyou$ の値は、沢内村(2004)に記載されている 73% を採用した。

林小班ごとの薪供給コストは、吉岡・小林(2006)の推計方法を採用した。具体的には、まず林小班ごとにスギの重量当たりの供給コスト (PDM_i) を(2)式により推計した。

$$PDM_{i,j} = 2.11 LSY_i + 0.068 LT_{i,j} + 229 e^{0.117 d_i} + 11408 \quad (2)$$

ここで LSY_i は林内の輸送距離、 $LT_{i,j}$ は道路上の輸送距離、 e は自然対数の底、 d_i は林小班の平均傾斜角度である。林内輸送距離 LSY_i は、林小班 i の重心から最短距離にある道路までの直線距離に、杉原・岩川(1960)による林内輸送の迂回率 0.53 を加味して推計した。道路輸送距離 $LT_{i,j}$ は、林小班 i の重心から最短距離にある道路上の点を起点とし、町内の各行政区 j の建物の重心までの直線距離に、杉原・岩川(1960)による道路輸送の迂回率 0.50 を加味して推計した。林小班の平均傾斜角度 d_i は、国土地理院基盤地図情報ダウンロードサービスの「基盤地図情報(数値標高モデル)」のデータをもとに ArcGIS により町内全域の傾斜角度を求め、求められた傾斜角度のメッシュと林班のポリゴンとから林小班ポリゴンごとの平均傾斜角度を推計した。

以上により求められた $PDM_{i,j}$ は、重量当たりのコストとなっているので、スギの含水率と容積率を考慮した補正係数を用いて材積あたりのコストに変換した。具体的には(3)式による。

$$P_{i,j} = PDM_{i,j} \times 0.31221 \quad (3)$$

第 2 に、行政区別の 1 年あたり薪需要量 (D_j) を推計する(図 3 の②)。本小節の分析では、個別の住宅ではなく、町内の行政区の住宅(建物)の重心において薪が利用されることを仮定した。これは、西和賀町の統計により行政区別の薪ストーブ利用世帯数は明らかになっているものの、薪を利用している住宅の位置情報までは入手できなかったためである。具体的には(4)

式により求めた。

$$D_j = Makisetai_j \times Riyouyou \times Hosei \quad (4)$$

ここで、 $Makisetai_j$ は行政区 j における薪ストーブ利用世帯数、 $Riyouyou$ は 1 世帯当たりの薪(スギ)利用量で $4.37\text{m}^3/\text{年}$ 、 $Hosei$ は広葉樹の発熱量をスギの発熱量に換算する係数(1.2488)である。薪ストーブ利用世帯数について本稿では、『計画書』が目標とする町内の半数の世帯で薪ストーブが利用される状況を仮定した。具体的には、現在の薪ストーブ世帯推計値の 617 世帯ではなく、町内の半数にあたる 1,247 世帯で薪ストーブが利用される状況を想定した。現状(617 世帯)と目標値(1,247 世帯)との差である 630 世帯は、各行政区の世帯数に応じて(5)式の通り按分した。

$$Makisetai_j = Genjo_j + 630 \times Setaisu_j / \sum_j Setaisu_j \quad (5)$$

$Genjo_j$ は各行政区の薪利用世帯数であり表 2 の推計値を利用した。 $Setaisu_j$ は各行政区の世帯数であり、西和賀町(2010)の値を利用した。

第 3 に、線形計画法を用いて、薪の供給可能量、供給コスト、需要量をもとに町内の薪搬出費用合計($Cost$)が最小となる薪の搬出量($Hanshutsu_{i,j}$)を決定する(図 3 の③)。具体的には、費用最小化問題として(6)式～(9)式のように定式化した。

$$\text{Min} \quad Cost = \sum_i \sum_j P_{i,j} \times Hanshutsu_{i,j} \quad (6)$$

$$s. t. \quad \sum_j Hanshutsu_{i,j} \leq S_i \quad (7)$$

$$\sum_i Hanshutsu_{i,j} \geq D_j \quad (8)$$

$$Hanshutsu_{i,j} \geq 0 \quad (9)$$

$Hanshutsu_{i,j}$ は林小班 i から行政区 j へのスギ間伐材の搬出量である。(6)式は目的式であり、町内の薪搬出費用合計を、林小班ごとの薪の搬出費用と搬出量とを掛け合わせた値の合計として定義している。(7)式は、各林小班 i の搬出量の合計が搬出可能量を超えないという制約である。(8)式は、行政区 j への搬出量の合計はその行政区の薪需要量と同等か上回るという制約である。(9)式は、林小班 i から行政区 j への搬出量が負の値をとることはないという制約である。

以上の費用最小化問題を数値計算ソフト GAMS23.9 の BDMLP ソルバーにより解いた。

第 4 に、資源の持続的利用可能性の評価を実施した（図 3 の④及び⑤）。具体的には、薪の供給可能量と需要量について、町内全体及び各行政区でのバランスを比較した。

第 5 に、薪の搬出量から化石燃料の代替量及び薪の搬出にかかわる GHG 排出量を推計し、薪利用による GHG 排出削減量を推計した（図 3 の⑥及び⑦）。薪を利用することにより化石燃料が減少すると考えられる一方、薪の搬出により排出される GHG 排出量を推計し、両者の差を薪利用による GHG 排出削減量として推計した。

第 6 に、薪利用による町民所得の変化額を推計した。薪は町内で生産、流通、消費されるため薪利用の促進は町民所得を増加させる効果が見込まれる。一方で、薪利用により化石燃料の使用量が減少し、灯油販売による町民所得は減少すると考えられる。本小節では、上記の 2 つの効果を「平成 17 年産業連関表」及び「平成 17 年岩手県広域振興圏別産業連関表」をもとに明らかにし、町民所得への効果を推計する。

本分析では多くの仮定を置いているが、主たる仮定は以下の通りである。第 1 に、町内のスギ間伐材の未利用分を薪として利用すると仮定した。前節で触れたが、町内では主に広葉樹が薪として使われており、現状ではスギが薪として利用される機会は限られているとのことである。しかし同時に西和賀町が作成した計画書では、将来的には町内に豊富に存在するスギも薪として利用することを想定しており、本小節でもその想定を採用した分析を実施した。

第 2 に、家計で消費される薪は、各行政区の建物の重心において消費されるものと仮定した。これは、薪を利用している家庭の位置情報までは入手できなかったためである。行政区別の薪ストーブ利用世帯数は西和賀町の統計から推測できる。

第 3 に、本稿でのシミュレーションでは、西和賀町が目標に掲げる町内世帯の半数での薪ストーブ利用がなされている状況を想定している。これは、現状に比べ倍近くの新が必要となる目標達成時においても、持続可能な薪利用を続けることができるのかどうかという点を明らかにするためである。

3) シミュレーション結果と考察

(1) 資源面での評価結果と考察

西和賀町の行政区におけるスギの林小班の賦存状況を表 10 に示した。町内には、樹種がスギで平均傾斜角度が 35 度未満の林小班（以下、スギ林小班とする）は 9,866 箇所存在している。スギ林小班に賦存するスギの材積は、町内合計で 1,696 千 m^3 であるが、行政区別にみる

と 2 千 m^3 ～111 千 m^3 と賦存状況は行政区によってかなり異なることがわかる。なお、このスギ林小班ごとの材積に間伐率と未利用率を乗じた値が、その林小班の薪供給可能量 (S_i) となり、町内全体では 619 千 m^3 の薪が供給可能と推計された。

表 10 西和賀町のスギ林小班の賦存状況（行政区別）

項目	単位	合計	1 行政区あたり		
			最小値	平均値	最大値
スギ林班数	箇所	9,866	19	318	945
スギ林面積	ha	5,295	7	171	404
スギ材積	千 m^3	1,696	2	56	111

出所：西和賀町の森林簿をもとに、条件に合う林小班を抽出し集計。

続いてスギ林小班の状況を表 11 に示した。スギ林小班 1 箇所あたりの面積は平均で $5,367\text{m}^2$ であり、材積は平均で 172m^3 であった。スギ林小班から道路までの林内輸送距離 (LSY_i) は平均で 128m であったが、0m～855m と林小班によって差がみられた。最近接の行政区の中心地までの道路輸送距離 ($LT_{i, \text{最近接}}$) は平均で 1,273m であった。最近接行政区向けの薪（原木） 1m^3 当たりの供給コスト ($P_{i, \text{最近接}}$) は平均で 4,410 円/ m^3 であり、最小で 3,649 円/ m^3 最高で 8,490 円/ m^3 であった⁽¹⁹⁾。この薪の供給コストの差は、主として林小班の位置や斜度などの立地条件によるものである。木質バイオマスのエネルギー利用の計画を立案する際には、バイオマスの賦存量だけでなく立地条件も考慮すべき点が示唆されたものと考えられる。

表 11 スギ林小班の状況

項目	単位	1 林班あたり		
		最小値	平均値	最大値
スギ林小班の面積	m ²	15	5,367	167,131
スギ材積	m ³	0	172	6,794
林内輸送距離 (LSY_i)	m	0	128	855
最近接行政区までの道路輸送距離 ($LT_{i,最近接}$)	m	15	1,273	4,370
最近接行政区向けの供給コスト ($P_{i,最近接}$)	円/m ³	3,649	4,410	8,490

出所：西和賀町の森林簿をもとに、条件に合う林小班を抽出し集計

続いて、(4)式に基づき行政区別の薪需要量を推計したところ、町内合計で 1 年あたり 5,407m³ となった。1 行政区あたり平均で 174m³/年、最小で 224m³/年、最大で 4,674m³/年であった。これらの値は上で推計した町全体の薪供給可能量（619 千 m³）に比べ 100 分の 1 未満の小さな値であり、スギの成長を考慮すれば、町内の半数世帯による薪ストーブ利用は持続可能な取り組みと考えられる。

図 4 に、行政区ごとの薪の需要量及び供給可能量をプロットした。1 年あたりの需要量を供給可能量で割った値は、3.8～1,313（年）となった。薪として利用可能な資源が十分に存在する西和賀町であっても、薪の需給状況は地区によって大きく異なることがわかる。このことから、町全体での薪利用を振興する際には町内の各地区間での協力も大きな課題となることが示唆される。

以上をまとめると、西和賀町では町全体でみると半数の世帯が薪ストーブを利用したとしても十分な森林資源が賦存しており、薪ストーブ利用の促進は資源の面から持続可能な取り組みであるといえよう。一方で、地区によっては将来的に薪が不足することも見込まれるため、町全体で薪利用を振興する際には、そういった地域に薪を供給する町内全体での仕組みづくりが必要である点も示唆された。

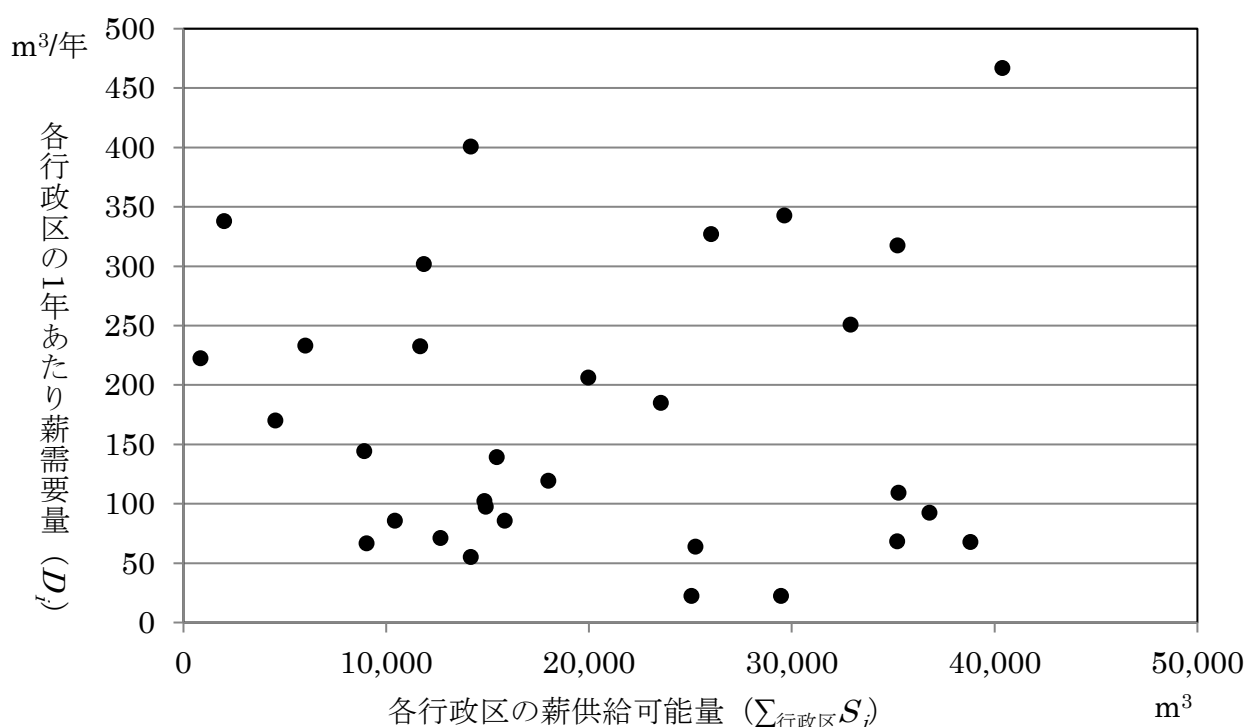


図4 各行政区の薪需要量と供給可能量の比較

これらの推計データをもとに、(6)式から(9)式によって定式化される費用最小化問題を解き、各林小班から各行政区への薪の搬出量を推計した。この搬出量をもとに以下で、環境面への影響評価及び、経済面への影響評価を実施する。

(2) 環境面での影響評価結果

次に環境面への影響として、家庭において薪が灯油を代替することによる GHG の削減量を計測した。薪への代替による灯油の削減量は、薪ストーブ利用世帯 1 世帯あたり年間 942KL であった。これを GHG 排出量に換算すると、1 世帯あたり 1.9tCO₂/年の削減となる。また、さらに町内全体で合計すると 2,346tCO₂/年の削減が見込まれることが明らかになった。一方で、町内の薪輸送にかかる GHG 排出量は 0.6tCO₂ であり、これを差し引いた町内全体での GHG 削減量は 2,345tCO₂/年と推計される。

(3) 経済面での評価結果

西和賀町内の半数の世帯が薪ストーブを利用する際には、全世帯が灯油ストーブを利用する場合と比べ町内合計で 942KL の灯油が削減可能であった。この灯油削減量を貨幣換算すると、

7,913 万円（灯油価格が 84 円/L の場合）から 1 億 268 万円（同 109 円/L の場合）に相当する。一方で、暖房用燃料として新たに薪を購入する場合には費用が発生する。現在の森林組合が販売している薪単価をもとに薪の購入費を推計すると、1 世帯あたり 6.3 万円/年、町内全体で 7,793 万円となる⁽²⁰⁾。

家計の立場から見ると、灯油価格が 84 円/L の時には薪を利用することで年間数百円程度の暖房費削減、同じく 109 円/L の時には年間約 2 万円の暖房費削減が見込まれる⁽²¹⁾。これを町全体で合計すると 120 万円（灯油価格が 84 円/L）から 2,475 万円（同 109 円/L）の暖房費削減が見込まれる。灯油価格が上昇すればするほど、暖房費の削減額は大きくなるが、灯油価格が大幅に下がったときには、薪を使うことでむしろ暖房費が増加することもありうる。

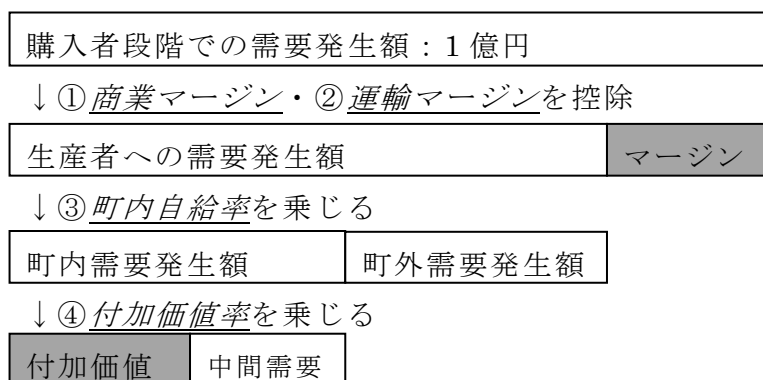


図 5 町内で生み出される価値の推計

次に、町内経済全体への影響という観点からの推計を試みたい。単純化のため、薪 1 億円の暖房費と灯油 1 億円の暖房費がもたらす経済効果を比較する。その手順を図 5 に示した。まず、町内で暖房費として 1 億円の需要があるものと仮定し、それを以下のように分解する。そのうち、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、灯油や薪の生産者に対する需要の発生額を推計する。この値に、灯油や薪がどれだけ町内で生産されるかを示す町内自給率を乗じ、町内での灯油や薪の需要発生額を推計する。さらに、町内需要発生額のうち、中間投入分を控除するために、付加価値率を乗じ灯油や薪生産に係る町内での付加価値の発生額を推計する。

表 12 分析に利用したパラメータ

項 目	灯油の場合	薪の場合
①商業マージン率	0.3378	0.3697
(小売マージン率)	(0.1651)	(0.1658)
②運輸マージン率	0.0147	0.0233
③町内自給率	0	0.7037
④付加価値率	0.2874	0.7309

出所：著者推計。推計方法については本文を参照。

表 13 マージン率の推計根拠（単位：100 万円，％）

項目	特用林産物（0213）	石油製品（2111）
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	56,619	1,747,764
小売（③）	46,059	1,669,790
国内貨物運賃合計（④）	6,463	148,857
商業マージン率（②/①）	0.3697	0.3378
小売マージン率（③/①）	0.1658	0.1651
運送マージン率（④/①）	0.0233	0.0147

出所：総務省『平成 17 年（2005 年）産業連関表：計数編（2）』の産出表。

推計に用いたパラメータは表 12 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、平成 17 年西和賀町または岩手県の値が入手できないため、『平成 17 年（2005 年）産業連関表』の算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表 13 に示した。灯油の町内自給率については、西和賀町内に灯油の精製等を行っている事業所はないと考えられるため 0 とした。薪の町内自給率については、西和賀町提供の資料より、アンケートでの薪購入者のうち森林組合から購入すると回答した割合である 0.7037 とした。付加価値率に関して、西和賀町が含まれる岩手県県南地域の産業連関表（『平成 17 年 岩手県広域振興圏別産業連関表（県南広域振興圏 35 部門表）』）の値を利用した。灯油について

は「石油・石炭製品」部門の粗付加価値部門計を域内生産額で割り返した値を、薪については「林業」部門の粗付加価値部門計を域内生産額で割り返した値を利用した⁽²²⁾。

このような手順で、灯油や薪の需要発生額 1 億円を分解し、町内に留まる資金を推計した。灯油の場合、1 億円の需要に対し町内に留まる資金は、小売マージン分である 1,651 万円分であると考えられる。これは、灯油の卸売は町外で行われていると考えられ、灯油の輸送も町外の業者が実施していると考えられるためである。また、町内の自給率は 0 となっているので、灯油生産に係る付加価値も 0 と考えられる。

一方、薪の場合、1 億円の需要に対し町内で生み出されると考えられる価値は、商業マージン（3,697 万円）と運輸マージン の合計（233 万円）である 3,930 万円に、町内での付加価値である 3,122 万円（ $=1 \text{ 億円} \times (1 - 0.3697 - 0.0233) \times 0.7037 \times 0.7309$ ）を加えた 7,052 万円と考えられる。これは、薪の原料となる木材の生産、薪への加工、薪の輸送など薪生産に係る工程行程の多くが町内で完結することによる。

両者の比較から、灯油を利用するよりも薪を利用する方が地域に留まる資金は多くなり、地域の所得増に大きく貢献することが分かる。例えば、同じ 1 億円を支払ったとしても、灯油に支出する場合に比べ薪に支出する方が地域に留まる資金は 4 倍以上も大きくなると言える。

続いて、これらの結果とシミュレーション結果とを合わせて考慮する。シミュレーションの結果では、薪利用により削減される灯油を金銭評価すると 7,913 万円から 1 億 268 万円であり、その時に町内に留まる資金は 16.5%にあたる 1,306 万円から 1,694 万円と見積もられる。これに対し薪の購入費用は町内全体で 7,793 万円と見積もられていたが、その時に町内に留まる資金は 5,494 万円となる。

以上をもとに町内に留まる資金を比較すると、灯油の利用量が減少することで町内に留まる資金は 1,306 万円から 1,694 万円程度減少すると見込まれる一方で、薪の新規需要により 5,494 万円の資金が町内に留まるようになる。差し引きすると、町内半数世帯の薪利用により 3,800 万円から 4,188 万円も多くの資金が町内に留まるようになる。薪利用の促進が地域経済にとって、町内資金循環の増加というプラスの影響をもたらし得る点が示唆されたものと考えられる。

4) 小括

本節では①資源の賦存量も考慮したより実態に即した評価、②木質バイオマスによる化石燃料の代替を明示的に考慮した経済的影響の評価、を念頭により実践的な評価手法の開発及び開発した手法を用いた実証を試みた。具体的には、森林簿情報と町内の薪利用データをもとに

GIS と線形計画法を利用し、最適な薪利用についてシミュレーションし、マクロ経済的な影響も含め、資源面、環境面への影響評価を実施した。

本稿で用いた評価手法の要点は、①森林簿と地図情報とをもとに木質バイオマスの地理的分布を明示的に考慮した点、②西和賀町による薪利用実態調査をもとにした木質バイオマス需要の地理的分布を明示的に考慮した点、及び③線形計画法を用いて、費用が最小となる木質バイオマス利用のシミュレーションを実施し各種の影響を評価した点、といえる。前節で実施した統計情報のみを用いた影響評価と比べ、地理情報も考慮した評価を行うことで、町内の薪の需給には濃淡がある点などを新たに析出することができたと考える。

一方で、本評価手法を他地域に適用するとの観点から、木質バイオマス需要に関する地理的分布や量的な情報は、比較的入手しにくい情報となっている点に注意が必要である。西和賀町は、薪の利用実態について町内の地区別の需要量データを公表しており、本稿でもそのデータを利用することで、評価を実施することができた。他地域においてより実態に即した評価を実施するためには、詳細な需要データの整備が望まれる。

5. おわりに

本研究の目的は、バイオマスの利用を経済性の面のみからでなく、環境や地域社会に及ぼす影響などの側面からも評価する手法を開発することであった。具体的には、岩手県西和賀町の家庭における木質バイオマス利用を事例に、①統計情報等に基づいて生産から消費、廃棄までのライフサイクルを通じた各種影響を評価し、②より実践的な評価手法の開発を目指し、地理情報も加味した最適化シミュレーションに基づく各種影響の評価を試みた。

第3節では、既存の統計資料を用い、西和賀町における薪利用のライフサイクル全体について、GHG削減量、雇用創出量、エネルギー自給率といった面から評価した。第4節では、地理的情報も加味した影響評価手法の開発及び適用を試み、町内での木質バイオマスの需給に濃淡がある点など統計情報のみを用いた評価では不明であった点も析出できた。

本稿で示した評価手法は、いまだ改良の余地を有しており、また体系だったものとはなっていないものの、少しでもバイオマス利用を通じた地域活性化につながるのであれば幸いである。

注

- (1) 西和賀町における薪の 1 間とは、 $0.3\text{m} \times 1.25\text{m} \times 5.3\text{m}$ であり層積（薪を積み上げた時の容積）で 1.988m^3 、実材積で 1.004m^3 となっている（西和賀町（2011））。
- (2) 薪炭共有林とは、地域住民と国が契約を結ぶことで、自宅用の薪炭材を採取できる国有林のことである。
- (3) このように地域によって薪使用量が大きく異なる理由として、気温や暖房機器の性能などの要因以外に、計測単位の相違が考えられる。沢内村および西和賀町の調査における薪使用量は、実際に燃焼される木材の容積である材積ベースで計測されている。一方、長野県の調査結果は西和賀町の調査結果の 2 倍以上の値となっており、表示単位が間隙も含む薪棚の容積である層積ベースであるとも考えられる。この場合、薪棚の間隙率を 50% として計算すると長野県の調査結果は材積ベースで 4.5 m^3 と推計される。
- (4) 計画書における薪の定義は「従来の薪に加え、一次加工（破砕）を加えたチップ」となっており、圧着などの二次加工が必要となるペレットは本計画の「薪」の範囲外となっている。
- (5) 薪ストーブの利用者である住民にとっての、薪ストーブ利用のメリット、デメリットについては西和賀町（2011）などにまとめられている。
- (6) 柚山ら（2010）の最終的な目的はバイオマス利用計画の立案であるが、本稿ではすでに立案されたバイオマスの利用の評価を目的としているなど、両研究の研究目的には相違があることを反映し、分析手順を改良している。
- (7) 湯田ダムでは平成 22 年度に 55 トンの流木が薪用として近隣の住民に提供されている（2011 年 5 月 26 日付け岩手日日新聞記事）。この流木のどの程度が、町内の家庭で暖房用の燃料として利用されているのかは不明である。
- (8) ハウスでのシイタケ栽培農家へのヒアリングでは、毎年 20m^3 から 30m^3 程度の薪を調達しているものの、春先には全て使いきってしまうことが明らかになっている。ハウスの規模にもよるものの、西和賀町の家庭における標準的な薪使用量が 3.5m^3 であることから考えると、10 倍程度の薪が消費されていると推察される。
- (9) より正確には薪を生産した場所から消費する場所までの、薪の運搬分の化石燃料消費量も算定に入れるべきではあるが、データの入手可能性から本研究では分析対象としていない。
- (10) 薪 1m^3 あたりの発熱量は、薪の種類をナラとし、薪の含水率を 20%dry として次式の通り算出した。

$$(\text{薪 } 1\text{m}^3 \text{ あたり発熱量}) = (\text{薪 } 1\text{m}^3 \text{ あたり重量(かさ密度)}) \times (\text{薪 } 1\text{kg} \text{ あたり発熱量})$$

$$=680\text{kg/m}^3 \times 3,530\text{kcal/kg}=10,048\text{MJ}$$

- (11) 本稿での試算には多くの仮定が置かれていることに注意が必要である。具体的には、薪生産の各段階で使用される機械などの生産にかかわる CO₂ 排出量は考慮されておらず、薪ストーブや灯油ストーブの熱効率も考慮していない。これらの点の改良は今後の研究に期待したい。
- (12) 本稿での雇用創出効果は薪の生産にかかる雇用の量として算出した。薪利用に代替される灯油使用量の削減に伴う雇用量の減少については、考慮していない。この点の改善は今後の課題としたい。
- (13) 一人当たりの年間労働時間は、8 時間/日 × 243 日 = 1,944 時間と仮定した。
- (14) 熱とは熱供給事業者による蒸気や水などによる熱の供給を示す。
- (15) 経済センサスにおける西和賀町の建設業・鉱業部門の就業者数は 0 となっており、実態を正確に反映したものとは考えられないため、「西和賀町の統計」の値を利用した。
- (16) 推計方法からも明らかとなっており、ガイドラインの方法ではバイオマスによるエネルギー供給は考慮されていない。
- (17) 町内の薪利用量 (2,160m³) にかさ密度 (ナラの場合 680kg/m³) および重量当たり発熱量 (14.8MJ/kg) を乗じて推計した。
- (18) ここでの県の事業とは、いわて森林づくり県民税を原資とした、いわて環境の森整備事業である。
- (19) この供給コストには原木を薪にするための薪割りに掛かる費用は含まれていない。
- (20) 森林組合が販売している薪は広葉樹であるが本稿では杉を巻きにするとの仮定をおいている。両者は容積あたりの熱量が異なるが、薪の購入費の推計の際にはこの容積あたりの熱量の差も考慮し、熱量あたりの単価が等しくなるように推計した。
- (21) 暖房費の削減額には、暖房機器の減価償却費用は含まれてない。
- (22) 岩手県県南の産業連関表において薪を含む産業部門は、「パルプ・紙・木製品」部門であるが、①この部門の係数は北上市に存在する製紙会社の投入・産出状況の影響が大きく、薪の投入・産出状況の影響が薄れてしまっていると考えられる点、②薪は素材からの加工度が低く「林業」部門の投入・産出状況に近いと考えられる点から、本研究では薪に関するパラメータを「林業」部門の値により算出した。

引用文献

- [1] 環境省（2005）「事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン」,
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/guide/index.html>。
- [2] 長野県環境保全研究所（2011）『薪ストーブ利用実態調査結果』
http://www.pref.nagano.lg.jp/xseikan/khozen/sizen/junkan_research/stove/maki_summary.pdf。
- [3] 日本エネルギー学会編（2003）『バイオマスハンドブック』日本エネルギー学会。
- [4] 西和賀町（2010）『西和賀町の統計』。
- [5] 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』。
- [6] 農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」編著（2006）『バイオマス利活用システムの設計と評価』農林水産バイオリサイクル研究「システム化サブチーム」。
- [7] 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』。
- [8] 資源エネルギー庁（2006）『市町村別エネルギー消費統計作成のためのガイドライン』。
- [9] 柚山義人・生村隆司・小原章彦・小林久・中村真人（2006）「バイオマス再資源化技術の性能・コスト評価」『農工研技報』204, pp.61-103。
- [10] 柚山義人・山岡賢・中村真人・清水夏樹（2010）「ライフサイクル的にみたバイオマス利活用評価の論点」『農業・農村工学会論文集』第78巻第2号, pp.71-76。
- [11] Wang, J., Jing, Y., Zhang, F., and Zhao, J., (2009) “Review on Multi-criteria Decision Analysis Aid in Sustainable Energy Decision-making” Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (9), pp.2263-2278.
- [12] 畑中健一郎（2008）「長野県内におけるバイオマスエネルギー量の地域別推計」『長野県環境保全研究所研究報告』4号, pp. 39-44.
- [13] 畑中健一郎・陸斉・井出政次（2012）「長野県における薪ストーブの利用実態とCO2排出量の推計」『長野県環境保全研究所研究報告』8号, pp. 25-30.
- [14] 井内正直（2006）「林地残材を用いたバイオマスエネルギー事業の成立性評価」『電力中央研究所報告』電力中央研究所。
- [15] Kinoshita, T., K. Inoue, K. Iwao, H. Kagemoto, and Y. Yamagata (2009) “A Spatial Evaluation of Forest Biomass Usage using GIS,” Applied Energy 85, pp.1-8.

- [16] 前野真吾・糸永浩司・藤沢直樹（2002）「GIS による里山のバイオマスに関する研究：長野県飯田市を事例地として」『日本建築学会大会学術講演梗概集』, pp.567-568.
- [17] 前野真吾・糸永浩司・藤沢直樹（2003）「長野県飯田市千代地区での GIS による里山領域の把握と木質バイオマス潜在量の算定：里山の木質バイオマス活用に関する研究 その 2」『日本建築学会大会学術講演梗概集』, pp. 559-560.
- [18] 森本英嗣・橋本禪・星野敏・九鬼康彰（2010）「バイオマスタウンを軸とした木質バイオマスの広域利用に関する評価」『農村計画学会誌』第 29 巻, pp.191-196.
- [19] 永野正展・松村勝喜・高見志津（2011）「木質エネルギーの地産地消による新たな地域産業モデルの構築」『高知工科大学紀要』第 8 巻 1 号, pp.187-194.
- [20] 西和賀町（2011）『「薪」利用最適化システム構築計画書』（<http://www.town.nishiwaga.lg.jp/index.cfm/8,10397,c,html/10397/20110426-181119.pdf>）[参照年月日：2012 年 8 月 16 日].
- [21] 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 巻 2 号, pp. 16-23.
- [22] 佐々木誠一・多田野修・神道徹平・立川史郎（2006a）「製紙用チップ工場で生産した土場残材チップの供給コスト試算」『岩手県林業技術センター研究報告』No.14, pp.3-8.
- [23] 佐々木誠一・多田野修・東野正・深澤光・小笠原啓次郎（2006b）「燃料用チップ供給コストの試算」『岩手県林業技術センター研究報告』No.14, pp.9-15.
- [24] 沢内村（2004）『沢内村森林バイオマス利用促進行動計画』.
- [25] 杉原彦一・岩川治（1960）「陸上路線の迂回率について」『日本林学会誌』第 42 巻 7 号, pp.269-275.
- [26] 寺田徹・横張真・田中伸彦（2010）「収穫・輸送コストから見た都市近郊部へ一輪の木質バイオマス利用の可能性」『ランドスケープ研究』73 巻 5 号, pp. 663-666.
- [27] 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 巻, pp. 877-883.
- [28] 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評価」『日本エネルギー学会誌』86 巻, pp.109-118.
- [29] 分山達也・江原幸雄（2009）「GIS を用いた再生可能エネルギー評価：長崎県雲仙市の例」『日本エネルギー学会誌』88 巻, pp. 58-69.
- [30] 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』86巻, pp. 982-995.

- [31] 安村直樹(2011)「農山村における薪ストーブ利用と普及」『山林』2011年8月号, pp.11-20.
- [32] 吉原利一・土屋陽子(2011)「木質バイオマスのエネルギー利用における貯蔵・輸送行程での温室効果ガス排出量の再評価」『電力中央研究所報告』電力中央研究所.
- [33] 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.
- [34] 浦上健司・糸長浩司(2007)「木質バイオマスエネルギーの地産地消を通じた持続可能な農村地域づくりの展望:飯館村の地産地消計画を事例として」『農村計画学会誌』26(3), pp. 153-158。