

福島県いわき相双地域における木質バイオマス利活用システムの提案と検証

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科博士前期課程
小山 敦士

The objective of this study is regional circulation of woody biomass. Taking account of the regional balance of supply and demand, this study aims to provide a utilization system to increase the use of woody biomass. The area designated for this study is Iwaki city and Kawauchi village of Fukushima Prefecture, Japan. The results are as follows. Judging from the supplied amount from the forest, approximately 77 times the amount of thermal energy from kerosene can be sustainably generated by using woody biomass. The pervasive effect on regional economy from the use of woody biomass can be estimated to be 13 hundred million yen in all.

1. 背景

バイオマスエネルギーとしての森林資源利用

地球規模での温暖化が顕在化し、京都議定書における温室効果ガス排出量の削減目標などを背景に、再生可能かつカーボンニュートラルなエネルギー源として生物資源（バイオマス）に対する関心が高まっている（新エネ法,2002）。その中でもバイオマスエネルギーとしての森林資源利用は、経済的に厳しい状況下にある現在の林業システムから、少しでも多くの利益を生み出す手段の1つとして考えられており、これらは街路樹剪定枝、製材所等残材、建築廃材と共に木質バイオマスと呼ばれている（バイオマス・ニッポン総合戦略,2002、森林・林業基本計画,2006）。

木質バイオマスを取り巻く現状

我が国において、木質バイオマスは大量に発生しながらも、そのエネルギー利用はほとんどされていないのが現状である。その要因の1つに、化石燃料に比べて単位あたりの発熱量が少なく、形状が不定形なところから原料がかさばり、広域収集費用がかさむことが挙げられる（久保山,2004）。よって再生可能エネルギーは賦存する地域内で地域のために最大限活用するのが適していると考えられる（H.Niitsuma et al.,2002、上村ら,2009）。

低コストでの木質バイオマスの収集、供給システムの実現が望まれ、これまでも林学分野において、木質バイオマス収集に関して数多くの研究がなされている（森口ら,2004、佐々木,2006、C.N. Hamelinck et al.,2005）。一方、木質バイオマスの利用方法に関して、大規模エネルギープラントでの電力・熱変換技術、ペレット化など産業部門での技術開発は実用化段階にあるものの（バイオマスハンドブック,2009）、民生家庭レベルでの市場開拓、需要量の把握、供給システムの構築は確立されておらず、抜本的普及には至っていない。また、バイオマス利用による地域経済への影響については計量経済学の分野で行われているが（保永,2006、國光ら,2006）、木質バイオマスについては行われておらず、さらに地域の資源循環を考慮しているとは言い難い。

2. 目的

こうした現状を踏まえ、本研究では、まず地域レベルでのエネルギー需給状況の把握を行うことを目的とし、森林からのバイオマス年間利用可能量、収集コスト算出、民生家庭・産業部門のバイオマス需要量把握を一体的に捉えた、対象地域におけるバイオマス診断モデルの構築を試みた。その上で、今後地域内で継続的に木質バイオマスを流通させ、利用していくために必要なシステムを提案することを目的とした。

3. 対象地概要と研究方法

対象地は中山間地域と地方都市が隣接している地域として、福島県いわき市、双葉郡川内村を選定した(図 1)。森林からのバイオマス年間利用可能量と、民生家庭・産業部門のバイオマス総需要量を比較することで、持続的な燃料供給のポテンシャルを検討し、その上でバイオマス導入による地域経済へもたらす効果を検証した。

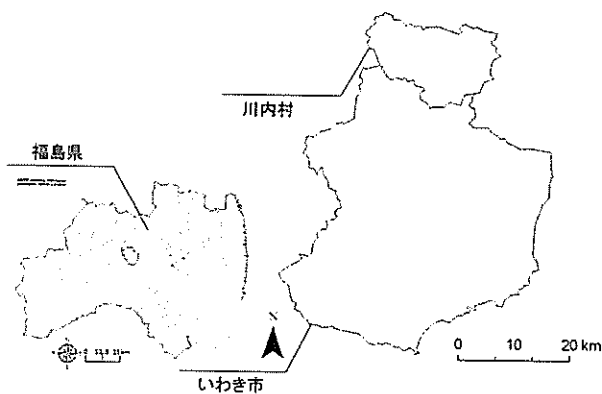


図 1 研究対象地

4. 森林からの木質バイオマス年間利用可能量の算出

木質バイオマスの利活用を考えていくにあたっては、その基礎的データとして、森林のもつバイオマスの賦存量、1年間に利用することができる森林バイオマス資源量を把握することが重要である。収穫表等でその林分の経年的な成長量や材積量が分かっているのであれば、賦存量から当年成長量が推定できたり、将来の収穫量を予測できたりするためである。

まず、エネルギー利用の対象となる小班として、樹種、林種、制限林普通林別に分類し、伐採可能な形態を選定した(表 1)。

表 1 伐採対象となる小班の代表樹種、林齢、伐採形態

樹種・林種・制昔	代表樹種	伐採対象年齢	伐採形態
針葉樹 人工林 普通林・制限林	スギ、ヒノキ、アカマツ	31~60年生	【針葉樹・人工林・間伐】 haあたり蓄積が200m ³ 以上の小班を間伐未実施とみなし、間伐率20%で間伐を実施して全木をエネルギー利用
		61年生以上	【針葉樹・人工林・主伐】 主伐を実施して丸太は木材として利用し、末木・枝葉をエネルギー利用
広葉樹 天然林 普通林	クヌギ、コナラ	31年生以上	【広葉樹・天然林・エネルギー利用主伐】 広葉樹・天然林を旧薪炭林とみなし、30年サイクルで主伐を実施して全木をエネルギー利用

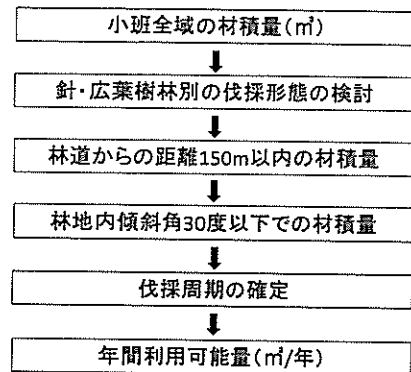


図 2 年間利用可能量の推計手順

その上で林道からの距離、傾斜角などを考慮し対象地域全体で1年間に利用することができる木質バイオマス資源量を求めた(図 2)。

また、資源量の算出結果は材積として算出されるため、森林バイオマスの資源量については材積に対する比率を考慮して求める必要がある。そこで、バイオマス変換計画の中で実施された林地残材の年間発生量の推計調査において、推計の基礎数値として用いられていたものから、以下のようなバイオマス資源量を求める計算式を立て、小班の伐採形態ごとに算出した。

※例えば「針葉樹・人工林・主伐」のうち樹種がスギの場合

$$TR = \sum \{ V_j * D_j * 15/92 \}$$

TR: バイオマス資源量(dry-t)、V: 立木の材積(m³)、D: 容積密度(t-dm/m³)、j: 樹種

結果、年間利用可能量は、いわき市 282,775[dry-t/年]、川内村 72,866[dry-t/年]と算出された(表 2.3)。

表 2 伐採対象となる材積とバイオマス年間利用可能量(いわき市)

伐採形態	利用部位	資源量	
		材積 (m ³ /年)	重量 (dry-t/年)
針葉樹・人工林・主伐	末木・枝葉	72,386	3,802
針葉樹・人工林・間伐	全木	684,752	236,647
広葉樹・天然林・エネルギー利用主伐	全木	54,142	42,326
計		811,280	282,775

表 3 伐採対象となる材積とバイオマス年間利用可能量(川内村)

伐採形態	利用部位	資源量	
		材積 (m ³ /年)	重量 (dry-t/年)
針葉樹・人工林・主伐	末木・枝葉	5,605	3,802
針葉樹・人工林・間伐	全木	183,606	65,064
広葉樹・天然林・エネルギー利用主伐	全木	9,606	7,493
計		198,818	72,866

5. バイオマス需要量の把握

調査概要

エネルギー利用としての木質バイオマス需要量の検討を行う上で、まず対象地域におけるバイオマスエネルギー消費の実態についてヒアリング調査を行った。薪ストーブ、ペレットストーブなどの木質燃料を利用している市民を対象に、合計 18 世帯（うち川内村 15 世帯、いわき市 3 世帯）にヒアリングを行った。ヒアリングは直接面談形式で、一人 1.5～2 時間ほどの時間を要した。木質バイオマスを利用するまでの経緯、燃料の入手ルート、ユーザーの直接の意見を得ることを目的とした。その他にも、各役場、木質バイオマスに関連する市内事業会社 4 社、森林組合にもヒアリング調査を行った。

次にヒアリング調査をもとに、川内村において木質燃料の利用有無に関わらず、村内全 1057 世帯を対象に、行政区長を通して 2010 年 2 月 1 日に郵送調査法によるアンケートを実施し、2 月 26 日までに回収された。ここでは、村内の森林環境に対する問題意識や、木質燃料の元来の利用状況とその変遷、導入の阻害要因となる木質燃料の問題点、非利用者に対しては今後の利用可能性、月々の光熱費などを 8 部門分類、20 個の設問による回答で、内容によっては理由も述べてもらう形式で行った。回収した後、属性を整理し、利用者・非利用者別の木質燃料に対する選好性、利用実態を明らかにした。そして、他エネルギーとのコスト比較を行うことで、健全に地域環境をマネジメントしていくための木質燃料の利活用の在り方を考察した。

調査結果

1) ヒアリング結果

ヒアリングは木質燃料を使用している割合の高い I ターン者（移住者）を中心に行った。結果、川内村での I ターン者の移住形態を見ると「ニューライフ型」「リタイア型」「芸術家型」の 3 タイプに大きく分けられた。総じて環境への興味・知識が豊富であり、生活志向も似通ったものを持っていた。また、木質燃料

以外にも太陽光発電や温熱給湯システム、小水力発電など、様々な自然エネルギーを組み合わせ生活している人が多く見られた。これは、近年の環境意識の向上・行政の補助もあり、地元住民でも導入している家庭があった。

2) アンケート結果

アンケートの回答数は 311 件で、回収率は 29.4% であった。結果、木質燃料を利用している世帯は 116 世帯あった（全体の 37.2%）。この値を全村民比に換算すると、木質燃料利用者：395 世帯、非利用者：662 世帯となった。非利用者のうち 140 世帯が、以前は何かの形で木質燃料を利用していたと答えており、平均して 22 年前まで利用していた結果となった。現在利用している世帯と合計すると、実に 8 割以上の世帯が以前は木質燃料を利用していたことになる。回答者属性として、世帯員数と職を示す。

表 4 回答者属性

世帯員数			職業		
	実数	割合	実数	割合	
1	26	8.7%	農林水産業	37	13.3%
2	94	31.5%	自営業	46	16.5%
3	64	21.5%	専門職	8	2.9%
4	44	14.8%	技術職	14	5.0%
5	39	13.1%	管理職	7	2.5%
6	15	5.0%	事務職	15	5.4%
7	9	3.0%	サラリーマン	70	25.1%
8	3	1.0%	その他	82	29.4%
9	3	1.0%			
10	1	0.3%			
合計	298	100.0%	合計	279	100.0%

木質バイオマス利用者の選好性

木質燃料利用者に対して、どのような機器を使用しているか、その導入の動機、どこで材を得ているかを質問した(図 3.4.5)。利用していると回答している 116 世帯のうち、有効回答数は 97 世帯であった。結果、導入の動機には「昔からの習慣」「コスト性」と回答している人が多く、これは利用機器が「薪風呂のみ」と回答している人が 50% 近くに上ることからも明らかである。一方、図 3 と図 4 のクロス集計の結果、「暖房器具の性能」「自然志向」と回答する人も併せて全体の 30% おり、2 つの違いをマンホイットニーの U 検定で行った結果、薪風呂と薪ストーブではその導入動機に決定

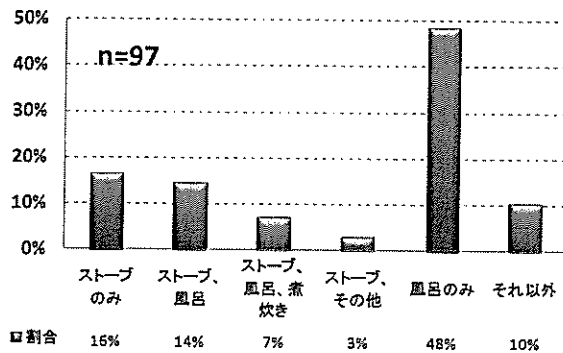


図3 木質燃料利用機器の割合

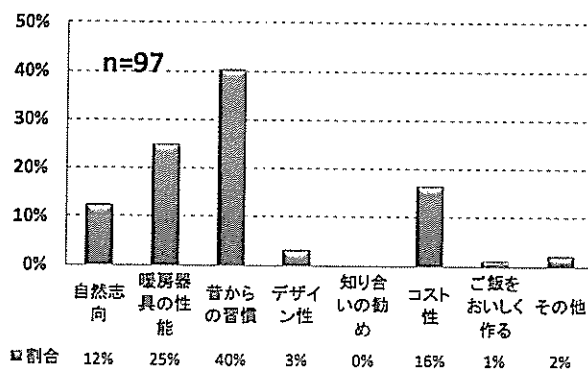


図4 機器導入の経緯

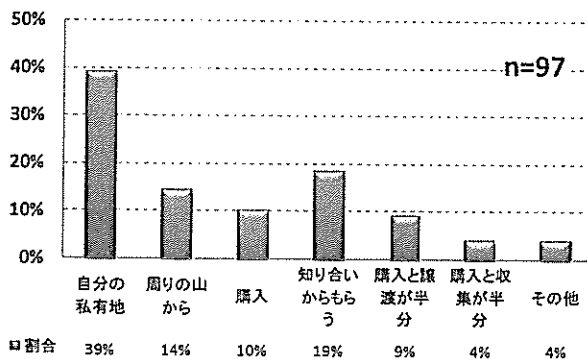


図5 材の収集方法

的な違いがあることが示された ($p < 0.05$)。

材の収集方法については、自分の私有地から集めている人が全体の40%以上いたものの、購入や譲渡で賄っている人も合計すると40%近くおり、何らかの形で外部に対して対価を払っていることが分かった。

木質燃料非利用者の選好性

非利用者のうち、140世帯が元来、木質燃料を利用していたが、現在は使用していないことが示された。止めた理由として、全体の75%が「生活スタイルの変化」と回答しており、高齢化・子供の独立・家の建て

替えなどが考えられる。利用しなくなって思う木質燃料の良さを聞いたところ、「低コスト性」と回答する人が65%を占めた。また、10%の人が「家族の団欒」と回答しており、環境心理学の分野でも言われている、炎を囲むことによって起こる心理効果・コミュニケーションの向上が示された。非利用者の、今後の木質バイオマス利用可能性については「すぐにでもしたい」「機会があったらしてみたい」と回答した人が全体の半数に上り、利用拡大に向けた潜在的なニーズがあることが分かった。

木質バイオマス利用上の問題点

バイオマス利用を進める上で問題となることについて、その重要度を5段階で評価したものが、表5である。そして利用上の問題点が、回答者の属性とどのように関係しているかを検討する。世帯別で家族内の年齢と構成を回答された属性に対し、若い頃から家庭における重要な燃料として薪炭を使ってきた世代で構成される「家族全員が70歳以上」・団塊世代を多く含み、経済発展に併せて薪炭から化石燃料に代わってきた「家族全員が50歳以上」・薪炭にあまり触れずに生活してきた世代で主に構成される「それ以外」と分けたものと、木質燃料の問題点とをクロス集計し、それをもとにコレスポネンダ分析を適用して回答属性との関係を整理した(図6)。

結果、イナーシャの寄与率は第1軸74.5%、第2軸は25.5%となった。また、固有ベクトルから解釈すると、第1軸は「経済性」、第2軸は「利便性」となった。図によれば、全員70歳以上のグループは「安全性の問題」「機材の初期投資」といった「機器の扱いにくさ」について、全員50歳以上のグループは「石油ガスの優位性」「材の置き場がない」「材の収集が大変」「温度調節が大変」といった「メンテナンスの大変さ」について、その他のグループは「近所迷惑」「取り扱い場所の不透明性」といった「理解不足」が主な課題となっているといえる。属性によって、問題に対する重要度評価はかなり異なっていることが明らかである。

表 5 バイオマス利用上の問題点に関する重要度評価

問題点	得点	標準偏差
取扱いの不透明性	3.13	1.20
石油ガス灯油の優位性	4.19	0.80
機材の初期投資がかかる	3.87	1.03
材の収集が不便	3.91	1.10
材の置き場がない	2.90	1.36
安全性に問題	3.16	1.36
温度調節が大変	3.00	1.26
近所迷惑	2.27	1.22

注：バイオマス利用上の問題点の重要度を、強く思う＝5、そう思う＝4、どちらでもない＝3、あまりそう思わない＝2、そう思わない＝1で点数化した平均値である。

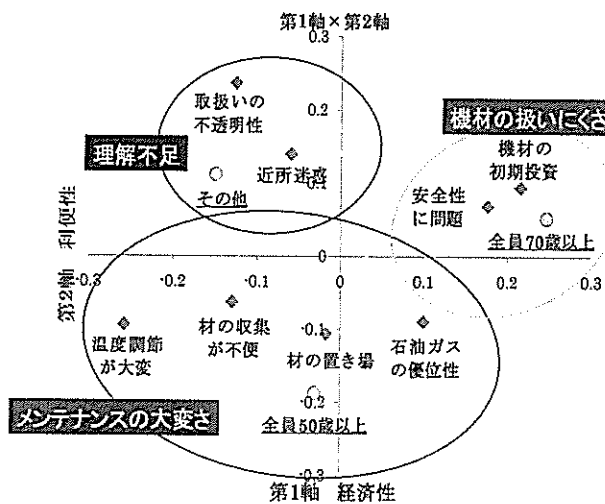


図 6 問題点のコレスポネンス分析

木質バイオマス需要量の推定

アンケートでは、電力・ガス・灯油の夏季・冬季それぞれの平均的な1ヶ月あたりの費用を調べた。以下では、村内の民生家庭における暖房・給湯に利用されている灯油の消費量を示す。なお灯油の発熱量は0.0367[GJ/l]、単価は調査時(2010年12月20日現在)の84[円/l]を用いた。

結果、川内村の年間の灯油にかかる平均価格は93,900~127,700[円/世帯/年]となり、量に換算すると1118~1520[l/世帯/年]となった。この値は燃料用以外の値も含んでいると考えられるため、80%分の894~1,216[l/世帯/年]利用していることが明らかとなった。村内で木質燃料を利用する民生家庭は395世帯なので、川内村では12,964~17,631[GJ/年]となった(表6)。また、現在村内の公共施設で利用されている木質

燃料の量は、温泉施設の加温ボイラーに利用されているチップが2700~3000 m³/年、村内の小学校等に導入されているペレットが0.3t/年である。これを発熱量換算するとチップ124,74[GJ/年]、ペレット6[GJ/年]使用していた。そこで、村内全体の木質燃料利用量は25,444~30,111[GJ/年]となる。

ここで、灯油による熱エネルギーが村内の森林バイオマスで賄うことができるかの検討を行った。前章から、川内村で1年間に利用することが可能な木質バイオマス資源量は、広葉樹7,493dry-t、針葉樹65,373dry-tと算出された。そこで、NEDOが公開しているバイオマスの燃焼利用の推計方法¹⁾で算出したところ、広葉樹119,733[GJ/年]、針葉樹1,099,120[GJ/年]となり、合計で年間1,218,853[GJ/年]が利用可能であることが分かった。上記の結果から、川内村内の森林全体では、現状の木質燃料需要の約40倍を持続的に供給できることが示された。一方、仮に村内全世帯が木質燃料を利用したとしても、川内村全体の需要量は47,172~59,659[GJ/年]であり、灯油によって賄われている熱エネルギーの約20倍を持続的に供給できることが示された。移出量としては、年間1,000,000[GJ/年]分、約100,000 m³を村外に移出することが可能であることが明らかとなった。

本研究では、いわき市における民生家庭の木質燃料の需要調査は行っていないため、利用世帯の比率は把握できないが、仮に川内村と同じ37.2%と考えると、これを川内村との市町村境に位置する小川・川前地区に当てはめると、1070世帯が木質バイオマスを利用していることになる。この値は、市内需要の最小値と捉えることができる。熱量換算すると35,118~47,759

	費用[円/世帯/年]	灯油[l/世帯/年]	灯油消費エネルギー[GJ/年]	木質燃料消費エネルギー[GJ/年]
川内村	93,900~127,700	894.3~1216.2	34,691~47,178	12,964~17,631
福島県平均	69,900	820.4	22,121.030	-
東京都平均	23,310	277.5	17710	-

表 5 民生家庭における灯油及びエネルギー量

川内村の費用はアンケート結果から算出した。福島県、東京都の年間灯油使用量は日本エネルギー経済研究所編(2007)灯油消費実態調査報告書2000年度版から引用した。福島県の世帯数は2010年国勢調査速報から、東京都の世帯数は2010年住民基本台帳から引用した。

[GJ/年]となり、公共施設で利用されるペレット 350t を併せると、41,663~54,304[GJ/年]となった。一方、森林からの木質バイオマス年間利用可能量は、282,775[dry-t/年]となったので、年間 4,219,038 [GJ/年]が利用可能であることが分かった。いわき市の森林全体では、現状の木質バイオマス需要の約 77 倍を持続的に供給できると試算された。

木質バイオマスによる雇用の創出

定常的な森林利用が実現する過程で、徐々に若者の雇用に創出する必要がある。そこで、川内村において薪ストーブ、チップボイラーで木質バイオマスを定常的に利用する場合に見込まれる雇いを評価した。

薪ストーブ

村内の民生家庭では、そのほとんどが薪利用であり、395 世帯が全て薪を利用しているとすると、1 世帯あたり年間 2000kg (材積換算：3 m³) 使用しているので、1185[m³/年]となる。この時、現状より節減される灯油代を薪生産の労賃に充てた際に創出される雇用を見積もる。ただし、石油ファンヒーターと薪ストーブの併用により、現状の民生家庭の灯油消費量の 1/4 (調査時の単価で 23,475[円/年/世帯]に相当) が節減できるものとする。この仮定は、実際に両者の併用を行っている世帯へのヒアリング調査に基づいている。ここで、地区内で広葉樹を伐採 (皆伐)、搬出するために必要な人手を考える。全国木材協同組合連合会 (2009)、いわき市 A 興産株式会社の「間伐未利用材のチップ・ペレット化による多目的利活用実証事業」結果より、15[人日/ha]となった。広葉樹 31 年林の材積密度が 85[m³/ha]となったので (福島県森林林業総室森林計画課, 1965)、1 m³の広葉樹を伐採、搬出するには 0.18[人日/m³]の人手が必要となる。薪の場合、自宅まで運搬し丸太を割る作業がさらに必要なので、この 2 倍の 0.36[人日/m³]が必要と仮定すると、需要量 1185[m³/年]を賄うには 427[人日/年]を要し、日当は 21,715[円/人日]となった。秋から冬にかけての 4 ヶ月の季節雇いを想定すると、3[人/年]の雇用が生まれ

る。なお、厚生労働省林業労働者職種別賃金調査 (2004) によると 2004 年度の平均日当は 11,910[円/人日]であり、全国木材協同組合連合会 (2009) での A 興産の労務費は 13,000[円/人日]に設定されていることから、本節で示された日当は妥当と言える。

チップボイラー

チップボイラーは、川内村の公共施設「かわうちの湯」で温泉施設の加温ボイラーとして 2010 年 4 月より転換されており、年間 3000 万円程度かかっていた燃料代を 1500 万円に抑えるとしている。その年間消費量は 2700~3000[m³/年]と計画されており、その熱量は、124,74[GJ/年]となる。チップの単位発熱量は 4.16GJ/m³、丸太にするまでの人工代が 0.36[人日/m³]なので、1079[人日/年]が必要となる。また、チップを原木換算すると (岩手・木質バイオマス研究会, 2005)、972~1080[m³/年]となる。薪からチップを製造する小型の破碎機の能力は 3.19[m³/h] (岩手県林業試験センター研究報告書, 2006) であり、そのチップ製造作業に 2 人を要し 1 日 8 時間稼働すると仮定すると、必要なチップの生産には、立木から丸太を生産する人手と併せて、1164[人日/年]が必要となる、4 ヶ月間の就労の場合、9~10[人/年]の雇用が生まれ、日当は 12890[円/人日]となる。

以上より、4 ヶ月間の季節雇用が前提ではあるが、民生家庭への薪ストーブ、村内公共施設へのチップボイラー導入により、合計 12~13 人の雇用が生まれることが明らかになった。本節で検討した民有林での薪、チップの生産を実現することで、持続的なエネルギー需給だけでなく、村内の林業技術の継承と蓄積というメリットが生じる。また、地域内需給を基本としながらも、持続可能な範囲でいわき市などの域外へ薪炭を販売することにより、さらなる雇用が期待できる。

5. 木質バイオマス利用による地域経済への効果

木質バイオマス導入は燃料や機器そのものを取り引している事業者だけでなく、それを取り巻く地域全体へと波及していく。そこで、いわき市における木質

バイオマスが地域間の産業に及ぼす波及効果に注目して検証を行った。分析には福島県発行の2000年磐城地域産業連関表95部門表を用いた。

まず、産業部門の利用を明らかにするために、現在操業中の市内の製材・木材加工会社、木材市場56社に対し、固定電話によるヒアリングを行った。主な調査項目は、①事業を行うことによって出される木質系副産物の年間の排出量、②木質系副産物の処理を外部委託する場合にその事業体と処理費用である。回答は35件で回収率は62.5%だった。いわき市における主な製材工場等残材は、チップ、バーク、木片・端材、オガ粉が挙げられる。結果、市内循環量は71,487t、移出量は7,257tと推定され、単位価格を乗ずると市内循環額は539,405千円、移出額は48,315千円となった(表6)。

表6から、市内循環額のうち477,534千円が最終需要として、「再生資源回収・加工処理(55部門)」へと付加された。また、民生家庭の木質バイオマス流通による財・サービスの流れを表7に示す。単位導入量あたりの需要額の想定方法は、NEDO(2002)や、各機器メーカー及び現地でのヒアリングから想定した。以上をもとに、産業連関表における波及効果の算出式ⁱⁱ⁾に代入すると合計で1,387,002千円と推計された。表6 いわき市における木質燃料の市内循環額、移出額(千円)

		製材工場等残材	A興産	合計
木質チップ	市内需要	A興産	33,695	33,695
		自家消費	-	-
		その他の市内民営事業	-	-
		公共施設	-	488,992
		その他(農業等)	-	-
		市内家庭消費	-	-
		小計	33,695	488,992
市外移出	34,280	-	34,280	
合計	67,975	488,992	556,967	
木片・端材	市内需要	A興産	4,258	4,258
		自家消費	-	-
		その他の市内民営事業	-	-
		公共施設	-	-
		その他(農業等)	-	-
		市内家庭消費	-	-
		小計	4,258	-
市外移出	-	-	-	
合計	4,258	-	4,258	
木質ペレット	市内需要	A興産	-	-
		自家消費	-	-
		その他の市内民営事業	-	420
		公共施設	-	10,465
		その他(農業等)	-	-
		市内家庭消費	-	-
		小計	-	1,575
市外移出	12,460	-	12,460	
合計	14,035	1,575	15,610	
合計	市内需要	A興産	37,953	37,953
		自家消費	-	420
		その他の市内民営事業	-	488,992
		公共施設	-	10,465
		その他(農業等)	-	-
		市内家庭消費	-	-
		小計	37,953	501,452
市外移出	34,280	14,035	48,315	
合計	72,233	515,467	587,698	

表7 民生家庭の最終需要量の想定

財・サービス	導入量	単位導入量あたりの需要額	最終需要額(千円)	部門
燃料製造	35t	10,500円/t	368	16: 製材・木製品
機器製造	17台	440,000円/台	7,480	37: 其他金属製品
燃料マージン(小売)		12,750円/t	446	64: 商業
機器マージン(小売)		336,000円/台	5,712	64: 商業
燃料マージン(運送)		1,750円/t	61	70: 道路輸送
機器マージン(運送)		24,000円/台	408	70: 道路輸送
機器設置サービス		120,000円/台	2,040	56: 建築

この値は、福島県企画調整部統計分析課発行の2000年におけるいわき市の市町村内総生産12,786億円の約0.01%にあたる事が分かった。

補注

- i) 熱量(GJ/年) = バイオマス貯存量(dry-t/年) or 利用可能量(dry-t/年) * 発熱量原単位(GJ/t) * 85% (ボイラ効率)
 広葉樹単位発熱量: 18.8[GJ/t] 針葉樹単位発熱量: 19.78[GJ/t] ペレット発熱量: 18.7[GJ/t] チップ発熱量: 12.6[GJ/t] 灯油発熱量: 0.0367[GJ/l]
 ii) Xは最終的な波及効果を表し、fは各部門の最終需要を示す。(I-A)⁻¹は逆行列である。また本研究では、95部門いわき市産業連関表を利用しているので逆行列の部分も95×95になる。逆行列の要素をb_{ij}とすると、以下のよう書き直される。

$$X = (I - A)^{-1} \begin{pmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_{95} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_{1,1} & \dots & b_{1,95} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{95,1} & \dots & b_{95,95} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_{95} \end{pmatrix}$$

参考文献

- Tsuguki Kinoshita, Keisuke Inoue, Koki Iwao, Hiroshi Kagimoto, Yoshiki Yamagata : (2009) A spatial evaluation of forest biomass usage using GIS. Applied Energy 86 1-8. FAO Corporate Document Repository(2005) : State of the World's Forests.
 Carlo N. Hamelinck, Roald A.A. Suurs, André P.C. Faaij(2005): International bioenergy transport costs and energy balance. Biomass and Bioenergy, Vol.29, No.2, 114-134.
 新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDO(2002): 新エネルギーガイドブック 導入編. 林野庁: 2009年度森林・林業白書.
 農林水産省(2007): バイオマスニッポン総合戦略.
 林野庁: 木材価格統計調査.
 国立環境研究所(2009): 日本国温室効果ガスインベントリ報告書. 温室効果ガスインベントリ(伊)日本エネルギー経済研究所(2010): エネルギー・経済統計要覧 2010年度版. 省エネルギーセンター.
 (財)日本エネルギー経済研究所(2007): 灯油消費実態調査報告書 2005年度版. 石油情報センター.
 (財)日本エネルギー経済研究所(2010): 民生用灯油月次調査. 石油情報センター.
 林業総合院(1982): 木材工業ハンドブック改訂第3版. 丸藤.
 川内村: 川内村森林整備計画書.
 いわき市農林水産部林務課: いわき市森林・林業・木材産業振興プラン.
 福島県森林林業総務課: 林分材積表(アマツ・カラマツ・広葉樹・ヒノキ). 浜通り地方. 昭和40年改訂.
 厚生労働省(2004): 林業労働者職種別賃金調査.
 全国木材協同組合連合会(2009): 平成20年度木質資源利用ニュービジネス創出モデル実証事業成果報告書. 79-104.
 松波晴人(2005): 火のある暮らしの効用研究. 暖炉があると会話相手との親密度が増すか. 大阪ガスエネルギー・文化研究所報. 季刊誌 CEL Vol.72.
 森口敬太・鈴木保志・後藤純一・稲月秀昭・山口達也・白石祐治・小原 忠(2004): 林地残材を木質バイオマス燃料として利用する場合のチップ化と運搬コスト. 日本林学会誌. Vol.88 No.2 121-128.
 久保山裕史(2004): 木質バイオマスエネルギー利用の現状と課題. 森林科学 Vol.40 10-16.
 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. Vol.88 No.10 877-883.
 池上真紀・新築弘明(2008): 福島県天栄村湯本地区における持続可能な木質バイオマス利用と雇用の創出. エネルギー・資源. Vol.29 No.5 22-28.
 國光洋二・上田達巳(2006): 初級発電導入の経済的効果に関する分析 -タイを対象とした産業連関分析の適用-. 地域学研究 Vol.36 No.3 561-573.
 保永康利(2006): 地域経済における農業有機質資源の循環利用評価 -北海道地域を対象とした連関効果の推計-. 地域学研究 Vol.36 No.3 611-620.

学会発表

- ・小山敦士、一ノ瀬友博(2009): 木質バイオマス有効利用と経済的持続性の観点から見た循環システム構築. 環境情報科学センター. 第22回環境研究発表会. 日本大学会館 東京 【理事長賞受賞】
 ・小山敦士、一ノ瀬友博(2011): 福島県いわき市における木質バイオマス利活用と地域経済に及ぼす影響. 農村計画学会. 農村計画学会春期大会. 東京大学農学部 東京 【ポスター賞受賞】