

水俣市のバイオマス発電事業を対象にした 収集可能な木質バイオマスの推計に関する研究

丹治 三則¹・竹内 優²・小林 光³

¹正会員 慶應義塾大学環境情報学部 (〒252-0882 神奈川県藤沢市遠藤5322)

E-mail: ktanji@sfc.keio.ac.jp

²非会員 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科 (〒252-0882 神奈川県藤沢市遠藤5322)

E-mail: yutake407@gmail.com

³非会員 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科 (〒252-0882 神奈川県藤沢市遠藤5322)

E-mail: hikaruko@sfc.keio.ac.jp

本研究では、バイオマス発電所の新設が計画されている水俣市において、林地残材と間伐材を対象とした木質バイオマスの利用ポテンシャルを評価することを目的としている。特に木質バイオマスの回収コストに着目し、回収工程における諸条件（傾斜、小林班と林道の距離、発電所までの輸送距離）を考慮した推計を行った。加えて発電所におけるバイオマス資源の需要量および買い取り価格から、林地残材および間伐材の回収可能量と回収可能林班を特定した。

その結果、現在計画されているバイオマス発電所の木質バイオマスの需要量は、発電所の出力が6.5MWの場合85,213(m³/年)、2.0MWの場合26,219 (m³/yr)であることに對し、水俣市の森林における林地残材のおよび間伐材の賦存量は約138,186(m³/yr)であることが明らかにされた。さらにバイオマス発電における木材の購入限界コストを5000(円/m³)とすると、この価格以下のコストで回収可能性のある林班の面積は3,159haあり全体の35%を占める。また材積量で評価すると、限界コスト以下で収集可能な林地残材および間伐材は47,800(m³/yr)あり、発電所の材の需要量と比較すると年間2.0MW～3.0MWの出力に相当する木材の供給能力があることが明らかにされた。

Key Words : woody biomass, biomass power generation plant, GIS

1. はじめに

平成 24 年 7 月 1 日から、再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度が開始され、未利用バイオマス資源の有効利用が期待されている。そのため固定価格買い取り制度の高い買い取り価格設定を背景に、全国各地で木質バイオマス発電所の建設および建設計画が増加している。特に森林の面積が広くバイオマス資源量の多い九州地方では、多くのバイオマス発電所が計画中であり、これまで使われてこなかった未利用材（間伐材等）や建設廃材等の利用により、電力や熱の供給による事業収入だけではなく、林業の振興や、新規雇用創出への期待が寄せられている。

一方で、新設計画の増加に伴って木材の供給不足が懸念されつつある。大分県、熊本県、宮崎、鹿児島県等全国でも森林蓄積量が比較的多く林業の盛んであるが、当該地域では 2013 年～2016 年までに稼働する計画のバイオマス発電所が 11 か所ありその出力の合計は 112MW に相当し、これを木質バイオマス量に換算すれば 185 万 (dry-t/yr)、相当の資材が必要とされその持続的な供給の

可能性が不安視されている。NEDO は現在の林業生産を前提とする間伐材および林地残材の推計を行っているが、これによると沖縄県を除く九州地方全域の林地残材と未利用の切捨て間伐材の合計は、約 89 万 (t/yr) であり、林地のバイオマスだけでは 100 万程度不足する見込みとなる。そのため、現在管理放棄されているが搬出等の地理的、コスト的条件が優れている森林は、林業振興の観点からも積極的に活用することが求められる。そこで本研究では、バイオマス発電所の新設が計画されている熊本県水俣市を対象に、市域の森林において営林されていない森林を含むすべての木質バイオマスの供給可能性を評価するとともに、バイオマス発電における材の調達限界コストを基準とした際に、供給可能な木材の量と範囲を特定することを目的としている。

2. 方法

(1) 水俣市の森林および林業

水俣市は熊本県の南端、鹿児島県との県境に位置し、人口 27,000 人、面積 163km² の地方都市である。水俣川が

源流から河口まで市域を東西に流れその流域に沿って市街地が形成されている。多くの地方都市と同様に人口減少傾向にあり、特に生産年齢の人口現象は著しい。

山林面積は市の75%を占めており、森林面積12,117(ha)のうち国有林が1,755(ha)、民有林10,422(ha)である。植生別の材積量をでは明治初期より植林事業が行われてきたため、人工林は全体の94%(天然林6%)を占めている。これを樹種別に材積量みるとスギ(58%)、ヒノキ(38%)、竹林類、その他広葉樹の順に優先的である。年齢別にみると概ね伐齢期となる10年齢級までの森林と、11年齢級以上の森林が同じ比率で蓄積されており、間伐及び主伐の遅れが年齢別の材積量に影響をあたえていると考えられる。また斜度別の材積量を比較すると、森林管理を実施することが比較的容易である0°～30°までに全体の材積量の78%が集積している。つまり現在は木材価格の低下により木材生産量が低下しているが、傾斜や樹種の材積状況から考えれば、木材生産の活性化と林地残材等を活用したバイオマス発電の適地である可能性がある。

(2) バイオマス発電事業概要

水俣市におけるバイオマス発電事業には、地域経済循環の観点から、2つの主要な地域外への資金流出である①市民の消費額、②生産と消費活動での電力・エネルギーの購入額に対して、市内の再生エネルギー資源を活用し、別途市域の環境産業への投資ファンとを準備することで、地域内の資金循環を保持することを狙いとしている。このような地域経済を志向しつつ個々にはおおよそ以下の目的がある。

- ① 水俣における低炭素化を推進すること。
- ② 燃料収集業者への適切な利益配分等を通じて地域の振興・雇用の確保に貢献し水俣の再生を加速
- ③ 地元の森林保全・林業再生：水俣周辺の間伐材等を利用することにより、地域の森林の保全・林業の振興を行う。
- ④ 地元資本が出資することで地域への利益還元を行い地域と産業の融和を目指す(もやい直し)。
- ⑤ 水俣再生の認知度を高める広報活動として、東京のオフィス街等にバイオマス発電を供給する。

一方で実務的な課題として、原材料となる木材の安価継続的な供給に不透明さがある。そのため、事業主体は未利用材にとどまらず、一般材や輸入PKS素材等も含めて事業を計画しているが、発電規模の縮小を視野にこれ計画を推進している。水俣市のバイオマス発電事業の概要及び関連主体を表2に示す。

(3) 木質バイオマス利用可能量推計方法

木質バイオマスの推計に関する研究については数多く行われており¹²⁾、吉岡ら¹⁴⁾は、傾斜と林道からの距離

表 2 水俣市森林における樹種別材積量

樹種	人工林(m ³)	天然林(m ³)
スギ	2,173,871	125,046
ヒノキ	1,526,615	111,072
マツ	10,480	2,192
孟宗竹	136,608	1,272
苦竹	27,991	261
淡竹	468	
こさん竹	1,786	
その他の竹	324	
その他の針葉樹	105	53
クヌギ	5,617	445
広葉樹等	138,740	4,723
その他の広葉樹	4,531	489
合計	4,027,136	245,553

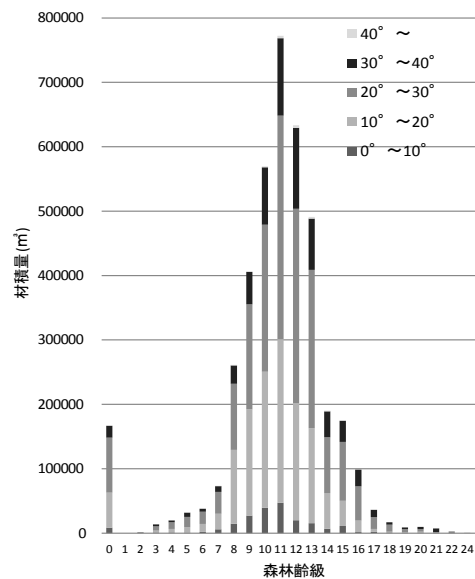


図 1. 森林年齢別傾斜別材積量

表 2 水俣バイオマス発電所概要

設置場所	熊本県水俣市工業団地内
発電規模	未定(2000kW～6500kW)
使用燃料	未利用材、一般材、PKS
燃料の仕入先	熊本県南部、鹿児島県北部
熱・電力供給先	水俣市内、東京都丸の内地区
燃料調達	地元林業関係事業者、(株)エナリス、日本紙パルプ商事(株)、ほか大手林業関係者
発電所建設 運転管理	JNC(株)、JNC エンジニアリング(株)
電力需要確保	三菱地所(株)、(株)エナリス
事業開始予定	平成28年(予定)

に応じて搬出価格を求める式を作成しており、寺田らは⁹⁾はこの式を用いて都市近郊部平地林のバイオマス搬出コストを算出している。本件急では、水俣市の利用可能な木質バイオマス量を推計するために寺田らが作成した式を元にして、①主な植生別の森林成長量予測と間伐・主伐サイクルを含む管理シナリオの設計、②各林班からバイオマス垂発電所までの木材の搬出価格の推計を行った。

a 森林成長量推計と管理シナリオ設定

バイオマスの成長量に関して樹齢別に報告されている林分の成長率データをもとに、年齢別に成長率を推計する回帰式を作成した。その結果を(1)、(2)式に示しこれを用いてバイオマスの成長量を推計する。

$$[\text{スギ}]G_s = 5.6029X^{-1.61} \quad (R^2=0.9949) \quad (1)$$

$$[\text{ヒノキ}]G_h = 7.8836X^{-1.701} \quad (R^2=0.9928) \quad (2)$$

ここでGは成長量(m³/年齢級)、Xは森林の年齢級である。

次に一般的な森林管理方法と基にして、間伐率を以下のとおり設定した。また主伐サイクルについては熊本県の標準主伐サイクルである10年齢級(50年)を基準とした。50年間で推定期間とした上で、現状の林齢構成を踏まえ、蓄積量の経年変化を推計して、個々の林班の木質バイオマス生産量を推計し、これを期間で除して1年あたりの木質バイオマス発生量の平均値を算出した。

b 木材搬出価格推計

収集・輸送コストは、集材距離(林内から林外への搬出)、収集距離(林分からプラントまでの輸送)、地形傾斜の三つの変数からなる推定式で求められる。本研究では、吉岡・小林(2006)による、樹種別、集材機械別に整理された既往の推定式を引用し、林分ごとに収穫・輸送コストを求めた。この推定式は林業における標準作業工程表を元に作成されており、特にスギ・ヒノキ植林に関して当てはまりがよい。広葉樹に関しては、人工林と比較すると精度が落ちるが、収穫・輸送コストの概算を分析可能なものとして引用した。ここでのコストには伐採、集材、破碎(チップ化)、輸送のそれぞれに伴う燃料消費量、人件費、機械費用が含まれている。なお、水俣市森林組合のヒアリングにより集材にはすべて林業用トラクタを利用していることがわかったため、林業用トラクタを想定した搬出価格の推定を行った。

$$P(i, j) = (2.11L_{sy}(i) + 0.068L_t(i, j) + 229e^{0.117d(i)} + 11408) * 0.314 \quad (3)$$

L_{sy}(i) : 林小班iから道路までの輸送距離(m)

L_t(i, j) : 道路から輸送地までの輸送距離(m)

d(i) : 小班iの平均傾度

3つの変数の値は、以下のプロセスに沿って空間的解析を行った。林小班から道路までの輸送距離は、熊本県森林GISデータに収録されている「公道林道小班距離」を元に推計した。このデータは小班から最近傍の公道林道までの直線距離であり、林班内における作業道等が考慮されていない。そのため収録されている距離に迂回係数0.52を乗じて推計した。道路から輸送地までも輸送距離に関しては、森林GISに含まれている小班的な位置情報データ、バイオマス発電所の位置情報データ、OpenStreetMapに収録されている熊本県南部、鹿児島県北部地方の道路ネットワークデータを加工し、道路から輸送地までの最短ルートを抽出しその距離を推計した。

3. 結果・考察

(1) 平均搬出価格及び搬出可能量の推計結果

(3)式、(4)式より個々の小林班のからの搬出価格(円/m³)を算出し、搬出コストの小さな小林班から搬出可能木材量を集計し、あわせて平均搬出価格を推計した。その結果を図3に示す。水俣市のバイオマス材積量のすべてを回収したとすると平均回収価格は6262円/m³となる。つぎにバイオマス発電のフィージビリティスタディの結果から、5000円/m³(120,000円/t)を集材の限界コストとして収集可能な範囲と材積量を推計した。その結果、平均集材コストが5000円/m³となるように低価格の林班から材を回収すると、概ね47800(m³/yr)程度の木材(林地残材、間伐材)が平均価格以内で回収可能であると明らかにされた(図4)。ここで選定された回収可能な範囲の林班の分布データを図5に示す。図2の小林班別の平均傾斜分布データと比較すると、材の回収には林業用のトラクタを用いたと想定しているため、平均傾度が影響度の高いことが明らかになったと考えられる。

(2) 発電所の木材需要量との比較

新設予定の木質バイオマス発電所については、2MWの場合および6.5MWの場合の双方で、必要な木材量の推計を行った。その結果、2MWの場合年間に必要な木材量は26,219(m³/yr)、6.5MWの場合、85,213(m³/yr)となる。

(ア)において推計したバイオマス発電の採算ラインである木材の搬入価格の範囲内において収集可能な材と比較すると、2MW程度の発電容量であれば水俣市内の間伐材、林地残材のみで発電所を運営可能であることが明らかにされた。

4. おわりに

本研究の分析により、水俣市で計画されている2MW級のバイオマス発電施設に対して、市域の森林を活用することで木質バイオマスの資材供給を達成できるとことが明らかになった。研究で基準とした木材の限界コストは、

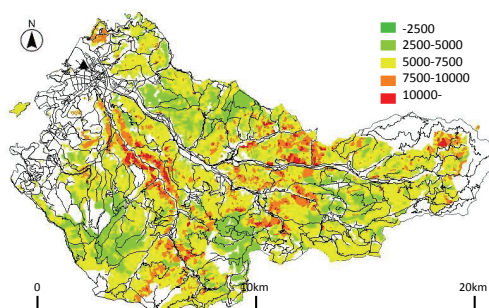


図 5. 小林班別の木質バイオマス搬出価格(¥/m³)

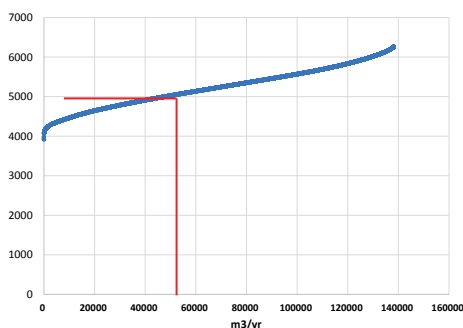


図 5. 木質バイオマスの搬出量および平均価格

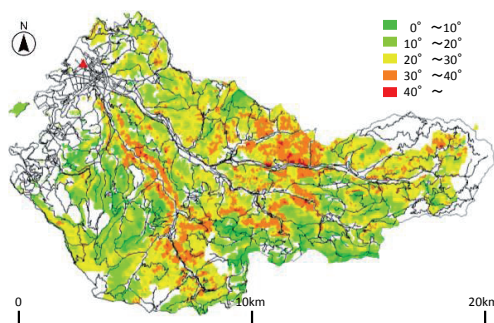


図 5. 小林班ごとの平均傾斜分布

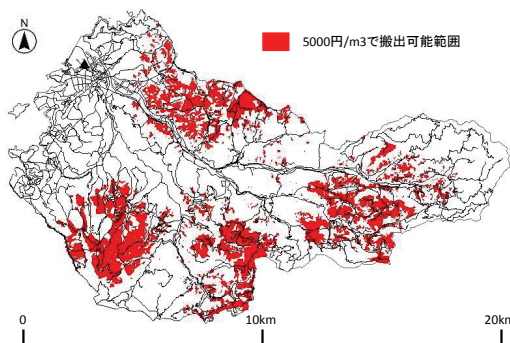


図 5. 限界費用にて搬出可能な小林班

電力のみの供給を念頭に吸い消された価格であり、本事業では工業団地内の熱供給を追加的に検討しており、限界コストが上昇し、より広範囲から材を回収する可能性も残されている。

謝辞：本研究は、第三期(平成27年～平成29年)環境経済の政策研究委託業務の支援を受けて行った。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 竹内奈緒, 齊藤修：森林バイオマス利用によるエネルギー自給ポテンシャルの推定－北海道下川町を事例として, 土木学会論文集 G(環境), Vol.69 No.6, 環境システム研究論文集第 41 巻, II_321-II-327,

2013.

- 2) 小山敦士, 一ノ瀬友博：福島県いわき相双地区における木質バイオマス利活用システムの検証, 農村計画学会誌, Vol.32 No.1, pp.24-28, 2013
- 3) 国井大輔, 澤内大輔, 林岳：木質バイオマスの需給マッチングをもとにした環境及び経済の多角的影響評価, 地域学研究, Vol.44 No.4, pp.481-493, 2014.
- 4) 吉岡拓如, 小林洋司：中山間地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. 2006.
- 5) 寺田徹, 横張真, 田中信彦：収穫・輸送コストからみた都市近郊平地林の木質バイオマス利用の可能性, ランドスケープ研究, Vol.73 No.5, pp.663-665, 2010.

(2015. 7. 16 受付)

ESTIMATION OF WOODY BIOMASS ABAILABILITY FOR BIOMASS POWER GENERATION PROJECT IN MINAMATA CITY

Kazunori TANJI, Yu TAKEUCHI and Hikaru KOBAYASHI

The purpose of this study is to estimate potential of woody biomass composed by forest thinings and timber offcuts in order to evaluate feasibility of biomass power generation project in Minamata City. Especially it is estimated by meand of considering a cost constrain when woody biomass is carried out from forest site. Cost constrain is designated by three factors, slope condition, distance from forest site to the closest road, distance from power generation plant.

As result of this study, it is clarified that woody biomass potential is estimated to 128,186(m³/yr). However in case when maximum cost of carrying woody biomass from forest is set 5000(¥/m³), forest site which can provide woody biomass resources is limited 35%(3159ha) of total forest area, and the available volume is reached to 47,800(m³/yr). In conclusion, the capacity of feasible biomass power genelation plant is expect to be from 2.0MW to 3.0MW.