

人工林の木質バイオマスエネルギー供給と 農業エネルギー需要の地理的分析

妙中 佐由理¹・上羽 隼太²・谷川 寛樹³・吉田 登³

¹学生会員 和歌山大学 環境システム学科 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930 番地)

E-mail: s094036@sys.wakayama-u.ac.jp

²学生会員 和歌山大学 環境システム学科 (〒640-8510 和歌山市栄谷930番地)

³正会員 和歌山大学准教授 環境システム学科 (〒640-8510 和歌山市栄谷930番地)

近年の石油価格高騰は、熱供給に必要な温室栽培農家にも影響を与えている。このため、農業用熱エネルギーを安定供給できる代替エネルギーが望まれている。一方、安価な外材におかれ国産材は市場での競争力を失い、専業林業家が減少し放置林が増え、公益機能低下等の問題が生じている。そこで本研究では、人工林を本来の目的(資材生産)を継続し、間伐材によるバイオマスエネルギーの配給の可能性を、エネルギーの需要・供給バランスに着目し検討を行う。また、地理的条件を考慮して需給バランスの検討を行うために、GIS やリモートセンシングを用いた詳細分析手法の提案も行った。その結果、和歌山県南部の山間部には供給能力が高く、北部や沿岸部では需要量が多く、県全体の需要量に対する供給量の割合は 141%であった。

Key Words: woody biomass energy, man-made forest, Geographical Information System (GIS), remote sensing, greenhouse

1. 研究背景と目的

近年、枯渇資源である石油の価格は高騰を続け、社会に影響を及ぼしている。熱供給に必要な施設栽培を行っている農家の経営も圧迫されている。農業生産設備や利用方法の省エネルギー化を図っているが、今後も石油価格は安値で安定する保証はなく、脱石油エネルギーを促進していく必要がある。そのため安定したエネルギーを持続的に供給できる代替エネルギーが必要とされている。

一方、国内の林業は、安価な外国木材の需要が大きく国産木材の需要が減っている。そのため、木材で生計を立てている専業林業家が減少しており、間伐など人工林の維持管理が行き届かず、森林機能が低下し斜面崩壊や土砂崩れ、生物多様性の崩壊などの問題が引き起こされている。

これらの現状の打開策の1つとして、人工林で放置されている木質資源を石油の代替エネルギー源として試算することも必要であろう。植物をバイオマスエネルギーとして利用すると、成長過程に吸収した二酸化炭素と同等の二酸化炭素量を燃焼時に発生するので、総合的に見ると二酸化炭素発生量はゼロとみなされ(カーボンニュートラル)¹⁾、石油などの化石燃料に比べクリーンで再生可能エネルギーであるといわれている。近年、バイオマスエネルギーは石油の代替エネルギーとして注目を浴

びており、日本でも利用促進に関する取り組みが行われている。その中の1つとして、農林水産省をはじめとした関係政府がバイオマス燃料の導入環境の整備や利活用技術の開発といった、バイオマス利用を計画・促進する活動「バイオマス・ニッポン」²⁾が挙げられる。

木質バイオマスは農業エネルギーとして利用すると、国内の林業の活性化や常に安定した価格でのエネルギー供給が可能になり、石油価格によって影響を受けていた作物価格も安定することが考えられる。

現在、多分野に渡り木質バイオマス利用について研究が行われている。佐野・三浦(2002)³⁾は製材所廃材エネルギーと家庭用暖房消費エネルギーの比較を行い、製材所廃材を利用したバイオマスエネルギー導入について検討している。また、森田・鈴木ら(2004)⁴⁾は林地残材のチップ化と運搬にかかる費用の実証試験を行っている。本研究室でも、岩見・谷川(2002)⁵⁾は人工林の間伐材を木質バイオマス発電とペレットストーブに利用したシナリオ設定を行い、エネルギー供給の検討を行っている。また、坂本・谷川ら(2004)⁶⁾はLCA(Life Cycle Assessment)を用い、石油燃料との比較を行い、人工林の間伐材と林地残材を利用した木質バイオマスエネルギーの導入検討を行っている。

これらの既存研究では木質資源賦存量や家庭用暖房の需要エネルギー量推計、また、需要量に対する効率的な

エネルギー供給方法についての検討が行われているが、エネルギー源である森林とエネルギーの供給先についての地理的な関係については触れられていない。

そこで、本研究ではエネルギー需要量と供給量の推計、比較を行い、地理的に分析し、持続的な木質バイオマスエネルギー供給の可能性についての検討を行う。需要面は森林計画対象の人工林のバイオマス資源賦存量、供給面は熱エネルギーに着目し園芸施設（ビニールハウス、ガラス室）で使用されるエネルギー量を推計する。

なお、本研究では、県土の77%を森林が占め、そのうち人工林率が61%であり、農業がさかんな和歌山県をケーススタディ対象地域とする。

2. 和歌山県域での木質エネルギー需給バランスの推計

(1) 供給量（木質資源賦存量）の推計

本研究では、人工林間伐材の木質資源賦存量の推計を和歌山県市町村別1990年農林業センサス⁷⁾の統計データをもとに行う。市町村の林齢・樹種（スギ、ヒノキ）別面積に間伐する林齢の間伐材積原単位を乗じて間伐材積を2000年から2050年まで推計した。間伐を行う林齢について、スギは13年、18年、25年、ヒノキは19年、23年、33年とする（川原（2004）⁸⁾）。さらに、間伐未利用率を86%とし（和歌山県木質系バイオマスのエネルギー利用調査⁹⁾）木質資源利用可能量を推計する。推計結果を図-1に示す。

(2) 需要量（園芸施設需要エネルギー量）の推計

園芸施設で使用されるエネルギー量は、園芸施設で生育される主要な野菜と花卉に分類し推計した。野菜に関しては、農林水産省近畿農政局和歌山農政事務所¹⁰⁾による農作物市町村別データ（平成15年）から、園芸施設で栽培されていると考えられる冬春きゅうり・冬春なす・冬春トマト・冬春ピーマン・いちごについて、花卉に関しては花卉作付け面積（平成15年）から各市町村の主要な花卉作物についての暖房負荷 Q_g (W)の推計を行った。

暖房負荷 Q_g (W)について

$$Q_g = \{A_g(q_i + q_v) + A_s \cdot q_s\} \times f_w \quad (1)$$

ここで、 A_g ：温室の被覆面積(m^2)、 q_i ：単位被覆面積あたり貫流熱負荷($W \cdot m^{-2}$)、 q_v ：単位被覆面積あたりの隙間換気伝熱負荷($W \cdot m^{-2}$)、 A_s ：温室の床面積(m^2)、 q_s ：単位床面積あたり地表伝熱負荷($W \cdot m^{-2}$)、 f_w ：風

速に関する補正係数、とする。

単位被覆面積あたり貫流熱負荷 q_i ($W \cdot m^{-2}$)について

$$q_i = h_i(\theta_c - \theta_{ou})(1 - f_r) \quad (2)$$

ここで、 h_i ：熱貫流率($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)、 θ_c ：暖房設定温室($^{\circ}C$)、 θ_{ou} ：設計外気温($^{\circ}C$)、 f_r ：保温被覆の熱節減率、とする。

単位被覆面積あたりの隙間換気伝熱負荷 q_v ($W \cdot m^{-2}$)について

$$q_v = h_v(\theta_c - \theta_{ou}) \quad (3)$$

ここで、 h_v ：隙間換気伝熱係数($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)とする。

なお本研究では、施設園芸の省エネルギー対策¹¹⁾から和歌山県の園芸施設を塩化ビニルフィルムの1層カーテンのビニールハウスと仮定し、 $f_w = 1.0$ 、 $h_i = 6.4$ 、 $f_r = 0.4$ 、 $h_v = 0.35$ 、とした。また、暖房設定温室 θ_c ($^{\circ}C$)は和歌山県原油価格高騰に対応した省エネ技術対策指針¹²⁾と施設園芸学¹³⁾のデータを設計外気温 θ_{ou} ($^{\circ}C$)は気象庁HP¹⁴⁾の和歌山県の月ごとの平均値を参考にとした。また、単位床面積あたり地表伝熱負荷 q_s ($W \cdot m^{-2}$)を表-2のように定める。

表-1 間伐林齢伐採原単位⁹⁾

樹種	施行内容	林齢 (年)	間伐材積原単位 (m^3/ha)
スギ	第1回間伐	12	21.73
	第2回間伐	18	51.25
	第3回間伐	25	84.42
ヒノキ	第1回間伐	19	37.33
	第2回間伐	23	75.37
	第3回間伐	33	75.37

表-2 単位床面積あたり地表伝熱負荷¹³⁾

気温差	～10 $^{\circ}C$	11～15 $^{\circ}C$	16 $^{\circ}C$ ～
q_s	-24	-12	0

(3) エネルギー需給の比較

間伐材積量と園芸施設の需要エネルギー量の推計結果をそれぞれ石油換算トン(TOE)に単位換算を行い比較を行った。なお、木材材積の単位換算値は0.189TOE/m³、園芸施設は熱出力100,000kcal/h、重油消費量13ℓ/hのハウス用暖房機(HK-4,025TC)¹⁰を用いた場合の消費重油量をA重油9,341kcal/ℓとして換算した。これらの結果を図-1、2、3、4に示す。

(4) 考察

和歌山県全域で2000年から2050年までの間伐材積利用可能量のエネルギーの平均量は63,000TOEであった。また、園芸施設需要エネルギー量は75,000TOEであり、需要量に対する供給量の割合は84%となった。市町村単位で見ると、需要量に対する供給量が100%以上の市町村は56%であり、100%未満は44%であった。地理的に見ると、和歌山県の北部や沿岸部の和歌山市、御坊市、印南町など園芸施設農業がさかんな地域はエネルギー需要量が多く市町村内でのエネルギー供給が不足しているが、森林面積が多い和歌山県中南部の清水町、龍神村などではエネルギー供給量が需要量より供給量が多いことが分かった。よって、森林資源の多い県南部の地域からエネルギー需要の多い県北部や沿岸部地域へのエネルギーの供給が必要である。

3. 詳細な空間情報を用いた木質バイオマス需給バランスの推計

実際の間伐材を用いた木質バイオマス供給計画を立てるためには、木質バイオマスの賦存する地形や林道の形状や、エネルギー需要先となる施設への移動状況、地理的位置等、様々な要因を考慮する必要がある。そのため、本章では詳細な木質バイオマス賦存量を推計するための森林の生育状態別状況の把握、需要エネルギー先となる園芸施設の位置特定を行い、需給バランスの検討手法を提案する。

(1) 木質資源賦存量の推計

本研究室では、谷川・長谷川ら(2005)¹⁰がリモートセンシングの技術を利用した人工林の生育状態の把握に関する研究が行われている。このような衛星データを用いることによって、人工林の生育状態別の森林面積がわかり、統計だけでは把握できない生育状態を考慮

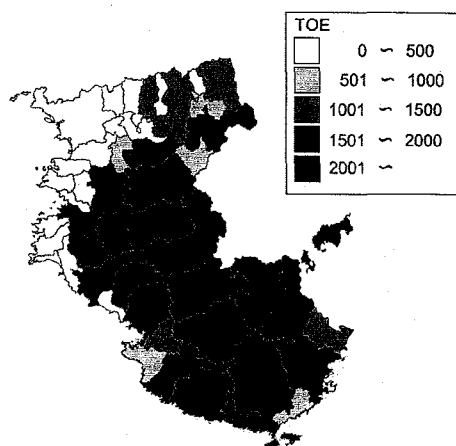


図-1 2000年エネルギー供給量(賦存量ベース)

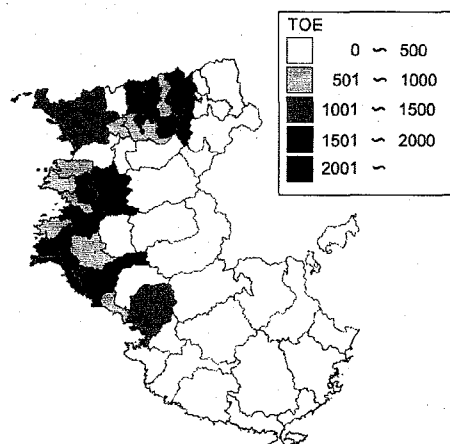


図-2 2000年エネルギー需要量

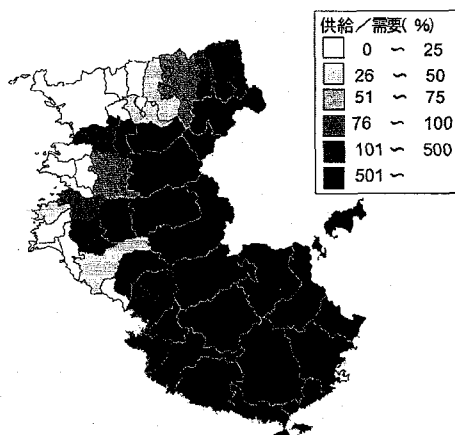


図-3 2000年需要エネルギーに対する供給エネルギー

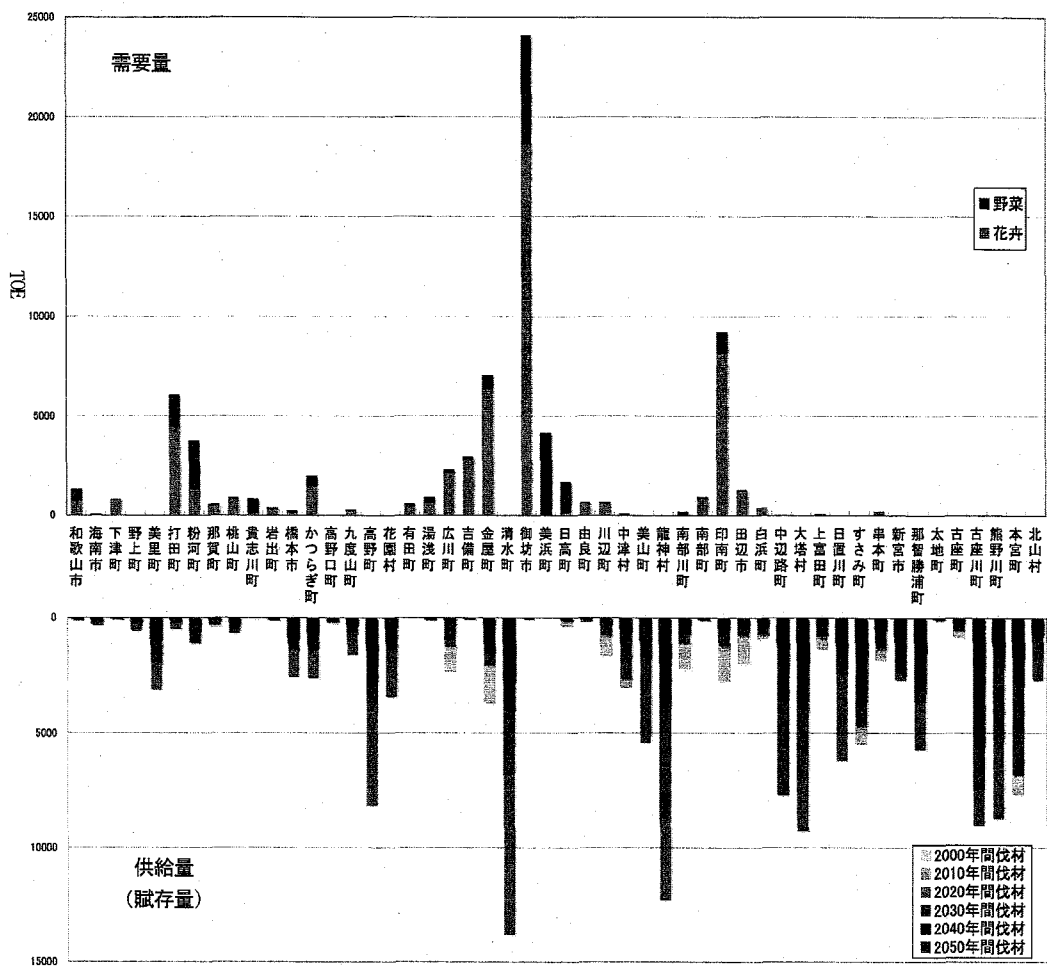


図-4 2000年需要エネルギーに対する供給エネルギー

した詳細な森林資源量を推計することが可能になる。今回は、和歌山県中部の沿岸部にあり、農業需要エネルギーが高い印南町をケーススタディ対象に取り上げ、リモートセンシング技術を用いて森林の生育状態別の面積を推計した。今回は2001年にLANDSAT/ETM+が撮影した衛星画像データを用いて解析を行った。その結果を表-3、図-5、6に示す。表-3、図-5が示すように、印南町の森林の41%が故損地域であり、森林の管理が必要であることがわかった。図-6から森林面積は町の南西部には少なく、南西部に向かうにつれて多くなっていくことがわかる。また、故損地域が町北東部に

多く存在することがわかった。これらの結果を用いることにより、詳細な木質資源賦存量の推計が可能になる。

(2) 園芸施設需要エネルギー量の推計

園芸施設需要エネルギーも同じく、統計だけではエネルギー需要のある場所の特定ができない。そこで、需要エネルギーの位置特定を行うため、GISを用いて航空写真から確認できる印南町の園芸施設の位置、形状のデータの構築を行う。その結果、エネルギー需要の多い地域は園芸施設の多い、町南西の沿岸部だとわかった。

表-3 リモートセンシングを用いた
生育状態別人工林面積推計

分類項目	推計面積 (ha)	推計面積比率 (%)
健全地域	2,366	58
枯損地域	1,682	42
軽度枯損地域	1,310	32
中度枯損地域	254	6
重度枯損地域	118	3
合計	4,049	100

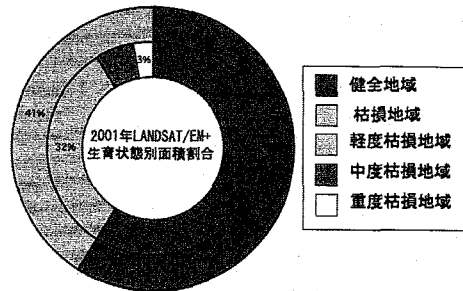


図-5 2001年 LANDSAT/ETM+生育状態別面積割合

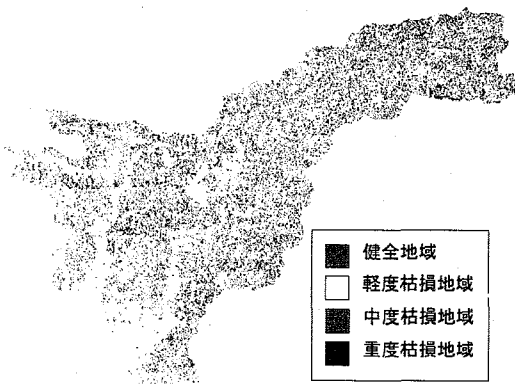


図-6 印南町における人工林の分布と生育状態

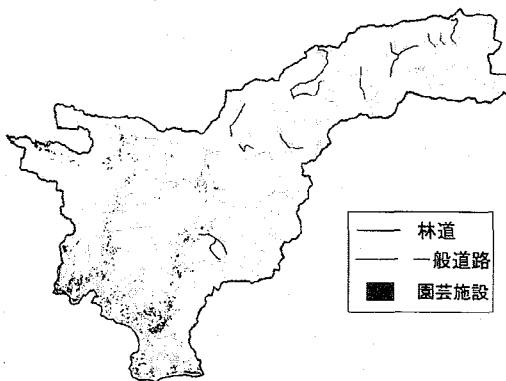


図-7 印南町の園芸施設と一般道路・林道リンク

(3) エネルギー需給の比較・考察

印南町では木質資源の豊富な北東部から、エネルギー供給先が多く存在する南西部に木質資源の輸送が必要であるということがわかった。また、(2)で構築した園芸施設の位置、形状データに林道及び一般道の道路ネットワーク（図-7）を重ね合わせることで、地理的・経済的要因を考慮したバイオマスエネルギー需給システムの分析が可能となる。

4. まとめ

本研究では、石油価格の高騰により影響を受けている農家に安定した価格でエネルギー供給を可能にするため、木質バイオマスエネルギーに注目した。エネルギー供給は人工林の間伐材、エネルギー需要は農業の園芸施設で利用される熱エネルギーとし、木質バイオマスエネルギー供給の検討を行った。その結果、和歌山県市町村別に見てみると、供給エネルギーが多くある市町村は需要量が少なく、また、需要量が多い市町村は供給量が不足していることが分かった。このことから、需要量が多い市町村は近隣の市町村のエネルギー供給を受けることが必要になることがわかった。また、印南町の生育状態別面積の推計、園芸施設の位置特定を行うことができた。

今後の課題としては、リモートセンシングデータを用いた分析より生育状態を詳細に把握し、地形や林道といった情報を加え森林資源量を推計した上で、木質バイオマスエネルギー供給可能量について分析を行う必要がある。また、今回はバイオマスとして利用する木材は間伐材のみの推計であったため、今後さらに林地残材、製材所残材、建築廃材などの材の種類を増やしていく必要がある。農業エネルギー需要量に関しても施設栽培農作物の種類を加えていく必要がある。

参考文献

- 1) 農林水産省：バイオマス・ニッポン総合戦略,2006.
- 2) 気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書, 1997.
- 3) 佐野貴司, 三浦秀一：東北地方における木質バイオマスエネルギー賦存量分布に関する研究：製材所廃材を利移用したバイオマスエネルギー導入について, 社団法人日本建築学会, vol.2002, NO.D-2, pp.605-606, 2002.
- 4) 森口敏太, 鈴木保志, 後藤純一, 稲月秀昭, 山口達也, 白石佑治, 小原忠：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, 日本林學會誌, vol.86, NO.2, pp.121-128,2004.
- 5) 岩見千津子, 谷川寛樹：人工林活性化を目指した木材資源活用シナリオの導入に関する研究, 環境情報科学論文集, vol.16, pp91-96, 2002.
- 6) 坂本知保, 岩見千津子, 谷川寛樹, 法眼利幸, 日下正基：LCAを用いた未利用木質バイオマスエネルギーの導入効果の検討, 土木学会関西支部年次講演会概要, VII-8, pp1-2, 2003.
- 7) 農林水産省：2000年世界農林業センサス 第1巻和歌山県統計書(林業編), 2000.
- 8) 川原栄喜：植林・伐採モデルによる森林資源蓄積量の安定化方策について, 環境システム研究論文発表会講演集, vol.33, pp.359-363, 2005.
- 9) 和歌山県木質系バイオマスのエネルギー利用調査 報告書, 2003.
- 10) 農林水産省近畿農政局和歌山農政事務所：和歌山農林水産統計年報,2005.
- 11) 長崎県農林部農政課：施設園芸の省エネルギー対策資料, pp18-23.
- 12) 和歌山県農林水産部：和歌山県原油価格高騰に対応した省エネ技術対策指針, pp.7-11, 2005.
- 13) 高橋和彦・上本俊平：施設園芸学, pp60-67,186-215, 1987.
- 14) 気象庁HP: <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 15) JA 全農 HP: <http://www.zennoh.or.jp/index02.html>
- 16) 谷川寛樹, 長谷川渚, 小上幸代, 法眼利幸：衛星データを用いた人工林生育状態の判定システムの構築に関する基礎的研究, 環境システム研究論文集, vol.33, pp469-475, 2005.

GEOGRAPHIC ANALYSIS OF DEMAND AND SUPPLY OF WOODY BIOMASS ENERGY FROM MAN-MADE FOREST Case study of Wakayama Prefecture and Inami Town

Sayuri TAENAKA, Hayata UEBA, Hiroki TANIKAWA and Noboru YOSHIDA

In recent years, high oil price has influenced to the hot-house farmers using heating supply system. On the other hand, the Japanese forestry industry has been affected by the increase in low-price timber imports and a diminishing work force. This has had a direct impact on the level of maintenance of the man-made forests and caused an increase in the amount of poorly maintained forests. Considering both side above, this paper examine possibility of usage unmaintained wood from man-made forest as source of woody biomass energy for agricultural energy demand. The results show that percentage of existing woody biomass energy from man-made forest maintenance per hot-house farmers' energy demand is 141% in Wakayama Prefecture, in the year of 2000. And 56% of local authority of Wakayama Prefecture have possibility to install this system from the view of energy demand and supply.