

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 4 月 16 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580213

研究課題名(和文) 経済分析による森林バイオマス利用可能量算定モデルの構築とエネルギー収支分析

研究課題名(英文) Development of a model to estimate availability of forest biomass resources by economic and energy balance analyses

研究代表者

有賀 一広 (Aruga, Kazuhiro)

宇都宮大学・農学部・准教授

研究者番号：60313079

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：栃木県内の森林組合において利用間伐作業の時間観測を行い、丸太材積を変数とした収穫費用算出式を構築した。収穫費用算出式を森林GISデータに適用して、経済性が成り立つ林地から搬出される森林バイオマス発生量を利用可能量として推定した。団地化や路網整備による利用可能量増加の可能性について検討した。林業機械や発電所等の設備の廃棄状況に関して聞き取り調査を行い、廃棄過程を考慮したエネルギー収支分析を行った。

研究成果の概要(英文)：This study conducted time studies of commercial thinning operations by a forest owners' co-operative and developed calculation formulas of direct operation expenses considering log sizes. The calculation formulas were applied to forest GIS data and availability of forest biomass resources were projected as supply potentials from profitable stands. An effect of aggregating stands and establishing forest road networks on availability was examined. Disposal processes of forestry machines and power generation plants were investigated and energy balances including disposal processing were analyzed.

研究分野：森林工学

キーワード：森林バイオマス 経済分析 利用可能量 エネルギー収支分析 時間観測 丸太材積 最適採材 廃棄過程

1. 研究開始当初の背景

近年、全国各地で木質バイオマスのエネルギー利用が推進されている。しかしながら、製材所廃材や建設廃材等の発生量が大幅に増加することは見込まれず、今後も木質バイオマスのエネルギー利用を推進していくには、素材生産時に発生する林地残材等の森林バイオマスを活用していく必要がある。

申請者らはこれまでに栃木県を対象として、森林GISデータと森林施業履歴を用いて森林バイオマス発生量や利用可能量を推定してきた。ただし、これらの研究では、初回間伐、2回目間伐、主伐においてある一定の木材利用率を想定し、残材を森林バイオマスとして収穫することを想定したが、木材利用率は地位、地利、木材価格など様々な要因によって変化するため、これらを考慮したより正確な発生量・利用可能量算定モデルを構築する必要がある。さらに、経済収支のみならず、エネルギー収支についても正確な評価モデルを構築し、これを用いて評価する必要がある。

2. 研究の目的

栃木県的那須野ヶ原地域では、木質バイオマスの利活用に向けた取り組みとして、農業団体が主体となり、水源林整備の際に発生する切り捨てられた間伐材等を含む林地残材を木質バイオマス発電で利用することを検討している他、木質ペレットストーブの普及に併せて、ペレット製造工場がこの地域のN森林組合と提携し、森林整備加速化・林業再生基金を活用して、小径材をはじめとする未利用材を木質ペレットの原料として買い取り利用している。

現在、N森林組合の作業システムではチェーンソー伐倒後、グラップルローダで全木を道路脇に集積し、プロセッサを用いて造材を行っているため、梢端部に近い小径材も道路脇に集積される。この小径材は高密度の低い枝条等に比べて効率的に搬出できる森林バイオマスであるといえる。しかしながら、素材生産の側では小径材の搬出により搬出材積や売上が増加する一方、生産性の低下で費用が割高となり、採算が悪化する可能性がある。

本研究では、まずN森林組合をはじめとする那須野ヶ原地域の林業事業体を対象に小径材の搬出が作業時間に与える影響を調査し、その結果から丸太サイズを考慮した直接費用計算式を作成した。次にこの直接費用計算式を採材方法の因子として組み込み、売上と費用の差である利益を最大にする採材アルゴリズムを作成した。そして、この採材アルゴリズムを用いて間伐材搬出作業の採算性推定モデルを構築し、実際に小径材が搬出された間伐林分に適用することで、採算的に最も有利となる搬出率を推定するとともに、実測値との比較を行い、推定結果の適合性ならびに小径材搬出の可能性を検討した。

また、今後、小径材の搬出を含めた搬出間伐を推進するためには地域全体において採算の取れる林分がどのような条件でどれくらい存在するのかを把握する必要がある。そこで、構築した間伐材搬出作業の採算性推定モデルを那須野ヶ原地域的那須町全域のスギ・ヒノキ林分に適用し、採算性の評価を行うとともに、搬出間伐、さらには小径材搬出が可能となる林分条件を分析した。

最後に林業機械や発電所等の設備の廃棄状況に関して聞き取り調査を行い、廃棄過程を考慮したエネルギー収支分析を行った。

3. 研究の方法

直接費用計算式を用いて利益を最大にする採材アルゴリズムの手順を述べる。

ステップ1: まず、対象となる間伐木の採材方法を選択する。ここで、採材する丸太の材種は一般材、ラミナ材、小径材を想定した。一般材は木材共販所、ラミナ材は集成材の用材として製材工場、小径材はペレット用材としてペレット製造工場にそれぞれ販売される。次に対象となる間伐木に幹曲線式を適用し、採材される丸太の径級を求める。ここでは、以下の幹曲線式を用いて、地上高 h (m)の末口径 d (cm)を求めた。このとき、伐採高は20cmと想定した。

$$d = \frac{\{a(1-1.2/H) - 0.9a + 1.8\}(1-h/H)}{\{a(1-h/H) - 0.9a + 1.8\}(1-1.2/H)} D \quad (1)$$

ここで、 D は胸高直径(cm)、 H は樹高(m)、 a は次式で表される係数である。

$$a = \frac{(18 - 21.6/H) - 12.6\sqrt{7/10}f}{(2 - 2.4/H) + (0.7 - 8.4/H)\sqrt{7/10}f} \quad (2)$$

f は胸高形数であり、次式で表される。なお、 Vn は立木幹材積(m^3 /本)であり、二変数材積式より求めた。

$$f = 4Vn/(HD^2 / 10,000) \quad (3)$$

ステップ2: ここでは収入を算出する。ステップ1で求めた丸太の材長と末口径から末口二乗法を用いて玉材積(m^3 /玉)を算出し、これに長級・経級ごとの木材価格(円/ m^3)を乗じて丸太1玉あたりの材価(円/玉)を求める。これより、間伐木1本あたりの丸太材積 Vl (m^3 /本)、売上 p (円/本)はそれぞれ(4)、(5)式で表される。

$$Vl = \sum_{i=1}^n v_i \quad (4)$$

$$p = \sum_{i=1}^n p_i \quad (5)$$

ここで、 v_i 、 p_i はそれぞれ i 番玉の玉材積(m^3 /玉)、材価(円/玉)、 n は採材玉数(玉/本)

である。

ステップ 3：ここでは費用を算出する。各作業工程の直接費用は那須野ヶ原地域の林業事業体を対象とした既往の調査結果をもとに、直接費用計算式を作成した。

ステップ 4：ステップ 2, 3 で算出した収入と費用の差から利益を算出する。

以上、ステップ 1~4 を対象となる間伐木からとり得るすべての採材方法について計算し、結果的に利益が最大となる採材方法を探索するアルゴリズムをマイクロソフト社の Excel VBA を使用して作成した。

4. 研究成果

(1) 最適搬出率の検討

構築した採材アルゴリズムを実際に小径材が搬出された林分 A (7.12ha の 55 年生スギ・ヒノキ林分), B (6.70ha の 52 年生スギ林分) に適用し、利益が最大となる最適搬出率を推定した。その結果、最適搬出率はそれぞれ 70.3% ,37.9% ,搬出材積は 86.48m³/ha ,47.77m³/ha と推定され、実測値に近い値であることが確認された(図 - 1)。しかしながら、本研究の最適搬出率では搬出費用がかかり増しとなる小径材は搬出されなかった。そこで、ha あたりの搬出材積の増加により標準単価が高くなる新しい補助金事業を導入したところ、最適搬出率は増加し、小径材の搬出材積については林分 A B の実測値 1.79m³/ha ,1.76m³/ha に対して、それぞれ 3.63m³/ha ,2.51m³/ha となったことから、新しい補助金体系のもとでは小径材の搬出により利益が向上し、小径材の搬出が促進される可能性が示された。

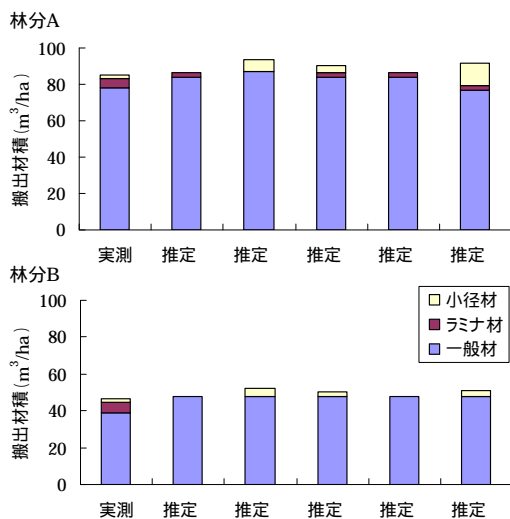


図 - 1 搬出材積の推定結果 (推定₁ : 最適搬出率, 推定₂ : 売上最大の搬出率, 推定₃ : 新しい補助金事業を導入した最適搬出率, 推定₄ : 小径材の買取価格を 4,080 円/m³にした最適搬出率, 推定₅ : 小径材の買取価格を 6,800 円/m³にした最適搬出率)

(2) 小径材搬出の可能性

次に GIS を用いて本手法を那須野ヶ原地域の那須町全域に適用したところ、小径材搬出林分は面積比で全体の 1 割程度であったが、林地傾斜が緩く、搬出距離が短いほど、小径材搬出林分の面積は増加することが確認された。これより、小径材搬出林分を増加させるためには、林道等の路網整備により搬出距離を短縮させることが効果的であると考えられた(図 - 2)。

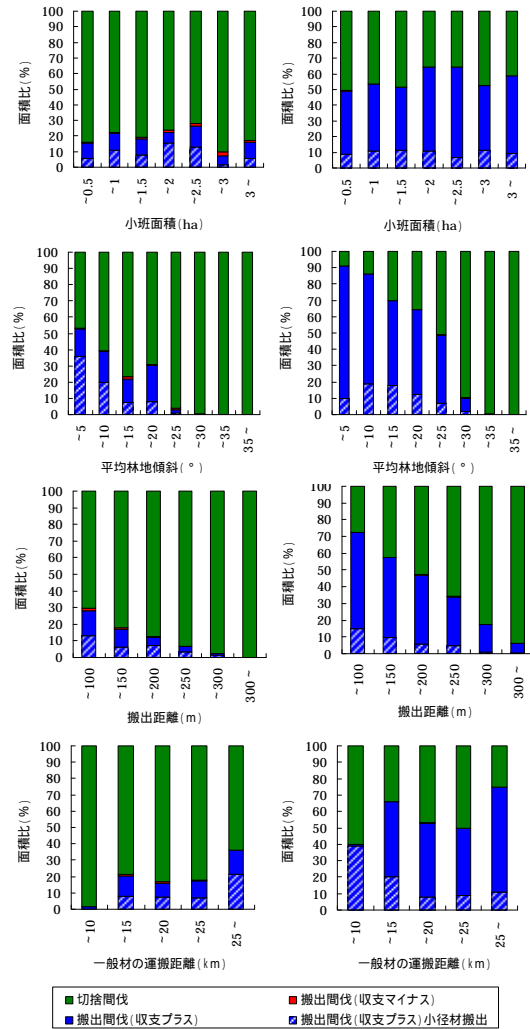


図 - 2 間伐シミュレーションの判定結果と林分条件の関係 (左 : 林齢 35 年, 右 : 林齢 45 年)

(3) エネルギー収支分析

セメント工場に併設された木質バイオマス発電施設を対象として試算した。全投入エネルギーの比率を見ると、運用エネルギーが 85% を占め、機械やプラントの製造より、実際の作業で投入されるエネルギーが大きいことが示された(図 - 3)。また、本研究で考慮に入れた廃棄に関わるエネルギーは機械、プラントすべてを合計して全体の 1% であった。灰の処理に関わるエネルギーは全体の 1% に満たなかった。これは灰の処理をセメント原料として同工場で再利用することの効果表れている。総エネルギー収支は生産エネ

ルギーと投入エネルギーの比で表される。本研究では生産エネルギーは木質バイオマスの持つエネルギーに、発電所の発電効率や電気使用量を考慮して実際に得られるエネルギーを求めた。算出の結果、総エネルギー収支は 12.02 となった。

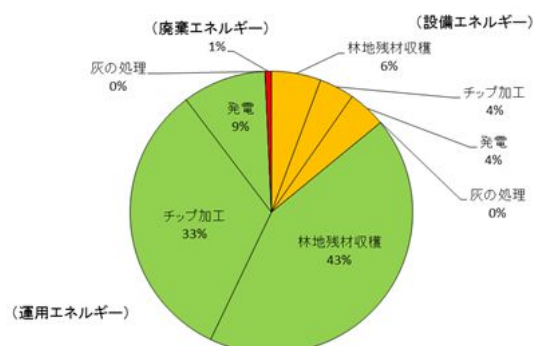


図 - 3 全投入エネルギーの比率

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 17 件)

(1) Chikara NAKAHATA, Kazuhiro ARUGA, and Masashi SAITO. Examining the optimal bucking method to maximize profits in commercial thinning operations in Nasunogahara area, Tochigi Prefecture, Japan. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 35(1):45-61(2014) 査読有 http://www.crojfe.com/r/i/crojfe_35-1_14/nakahata.pdf

(2) Chikara NAKAHATA, Kazuhiro ARUGA, Ryo UEMURA, Masashi SAITO, and Kanae KANETSUKI. Examining the optimal method to extract logging residues from small-scale forestry in the Nasunogahara area, Tochigi prefecture, Japan. *Small-scale Forestry*. 13(2):251-266 (2014) 査読有 DOI 10.1007/s11842-013-9252-4

(3) Reiko YAMAGUCHI, Kazuhiro ARUGA, and Mayu NAGASAKI. Estimating the annual supply potential and availability of timber and logging residue using the forest management records of the Tochigi prefecture, Japan. *Journal of Forest Research*. 19(1):22-33(2014) 査読有 DOI 10.1007/s10310-013-0394-1

(4) Chikara NAKAHATA, Ryo UEMURA, Masashi SAITO, Kanae KANETSUKI, and Kazuhiro ARUGA. Estimating harvest costs and projecting quantities of logging residues for small-scale forestry in Nasushiohara, Tochigi Prefecture, Japan. *Journal of Forestry Research*. 25(4):965-974(2014)

査読有 DOI 10.1007/s11676-014-0482-x

(5) Kazuhiro ARUGA, Ayami MURAKAMI, Chikara NAKAHATA, Reiko YAMAGUCHI, Masashi SAITO, and Takuyuki YOSHIOKA. Estimating annual available amounts of forest biomass resources with total revenues and costs during the 60-year rotation in a mountainous region in Japan. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 35(2):125-138(2014) 査読有 http://www.crojfe.com/r/i/crojfe_35-2_14/aruga.pdf

〔学会発表〕(計 17 件)

(1) Chikara NAKAHATA, Kazuhiro ARUGA, and Masashi SAITO. Forest biomass supply chains: Practice, economics, and energy balance in Tochigi prefecture, Japan. IUFRO XXIV World Congress. 2014 年 10 月 7 日 ソルトレイク

(2) Chikara NAKAHATA, Kazuhiro ARUGA, and Masashi SAITO. Applying the optimal bucking method to maximize profits on Nasunogahara area, Tochigi Prefecture, Japan. IUFRO XXIV World Congress. 2014 年 10 月 10 日 ソルトレイク

(3) 有賀一広・藤巻幸歩・水庭誼子・上村僚, 那須町森林組合における皆伐再造林による林業経営の持続可能性, 森林利用学会第 21 回学術研究発表会, 2014 年 10 月 26 日, 東京農業大学

(4) 有賀一広, 栃木県北地域における燃料材供給の現状と課題, 第 10 回バイオマス科学会議, 2014 年 1 月 14 日, 産業技術総合研究所

(5) 有賀一広・劉純暉・上村僚, 宇都宮大学船生演習林における地上 LiDAR データを用いた皆伐作業の収支分析, 第 126 回日本森林学会大会, 2015 年 3 月 28 日, 北海道大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

有賀 一広 (ARUGA KAZUHIRO)

宇都宮大学・農学部・准教授

研究者番号: 60313079

(2) 研究分担者

吉岡 拓如 (YOSHIOKA TAKUYUKI)

日本大学・生物資源科学部・准教授

研究者番号: 00409070