Technical Report

Development of the Model to Estimate Amount and Availability of Logging Residues Using Forest Management Records in Tochigi Prefecture

Reiko YAMAGUCHI^{*1}, Kazuhiro ARUGA^{*1}, and Mayu NAGASAKI^{*2}

(Received April 27, 2011)

栃木県における森林施業履歴を用いた林地残材発生量と収穫可能量推定モデルの構築

山口鈴子^{*1}, 有賀一広^{*1}, 長崎真由^{*2}

In Tochigi prefecture, some facilities to demand woody biomass resources such as the biomass power plant, chip production factories, and the pellet plant are located. These raw materials are mainly supplied by sawmill residues and construction wastes. However, since the number of entrepreneurs who set up the biomass power plants as a measure against climate change, it is worried about stringent supplies of those materials. Therefore, unused materials such as logging residues must be harvested and used near the future. In the previous study, we developed a method to estimate the harvesting volumes and costs of logging residues from subcompartments with plus balances, including both timber and logging residue harvesting at Sano city, Tochigi prefecture. In this study, we estimated the harvesting volumes and costs of logging residues for all cities and towns in Tochigi prefecture. Three factories in Sano city, Kanuma city, and Nasu-shiobara city, Tochigi prefecture were assumed as destinations, and set of the harvesting operation system based on each forestry cooperative. In addition, the previous study estimated these volumes and costs in whole city of Sano, but this study estimated these volumes and costs using forest management records. This could estimate these volumes and costs based on actual forest operations in this area. The model estimated these volumes and costs in the following order. 1) Selecting subcompartments conducting pre-commercial or commercial thinning operations from forest management records, 2) Setting extracting rates for timber and logging residues, 3) Estimating harvesting volumes of timber and logging residues, 4) Estimating logging distances, transporting distances, and inclinations of operation sites, 5) Estimating total expenses, 6) Estimating incomes, 7) Estimating economic balances, 8) Estimating harvesting volumes from subcompartments with plus balances. The amount of logging residues from subcompartment with plus balances were 581 ton on the price of logging residues in this area: 3,000 yen/ton. If Feed-in Tariff (FIT) was established, the price of logging residues would be 10,000 yen/ton and the amount of logging residues from subcompartment with plus balances would be 134,198 ton/year which were almost equal to the demand of this area. The whole tree logging system may be more advantageous than the cut-to-length system for extracting logging residues.

Key Words

Logging residues, GIS, Forest management records, Harvesting operation system

1. はじめに

栃木県の森林は、森林面積 349,228 ha で県土の 54.5% を占めている。そのうち人工林は 156,763 ha で、県内の全森林面積の 44.9% を占め、人工林の蓄積は 42,255,000 m³ で、県内の

全森林蓄積の 62.4% を占める¹⁾。これら人工林で深刻になった間伐遅れに対応するため、栃木県では、平成 20 年 4 月より導入した「とちぎの元気な森づくり県民税」の実施事業の中で、「奥山林整備事業」を開始した。その平成 21 年度実績は 652,978

* 1 Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Utsunomiya University
350 Mine, Utsunomiya-shi, Tochigi 321-8505, Japan

* 2 Japan wood energy Co., Ltd.
5-10-1 Kawabe, Oume-shi, Tokyo 198-0036, Japan

* 1 宇都宮大学農学部森林科学科
〒 321-8505 栃木県宇都宮市峰町 350

* 2 森のエネルギー研究所
〒 198-0036 東京都青梅市河辺町 5-10-1

千円で、全事業費 1,013,339 千円の 64.4% を投入し、2,663 ha の間伐を実施した。しかし、採算性の問題から伐捨間伐の手法がとられており、県内の間伐実施面積が増加する一方で、多量の林地残材が発生し、森林内に資源が残されている²⁾。

一方で、佐野市、鹿沼市、那須塩原市等で木質バイオマスを主燃料とする発電所、チップ生産工場、ペレット製造工場等が建設され、稼働している。小規模な民間施設も加えると、さらに多くの木質バイオマスの需要があり、さらに今後も木質バイオマスの需要が増加していく可能性がある。これらの需要を満たすためには今後、未利用の林地残材を活用する必要性も生じ、未利用の林地残材の活用を検討するためには、まずは県内における間伐、主伐作業による林地残材の発生量および発生場所を把握し、さらに収穫費用、収入、収支を試算し、林地残材の利用可能性を検討する必要がある。そして、適正な買取価格や補助事業の形態、利用間伐や路網整備の促進などによる効率的な収穫作業による費用の低減化等の可能性を検討する必要がある。

このような背景を受けて、筆者らは佐野市を対象として、森林簿や森林計画図を用いて、小班単位で用材と林地残材の収穫費用と収入を試算し、収支を比較することにより、経済性が成り立つ林地からの林地残材の収穫量、収穫費用を試算するモデルを佐野市内全域のスギ、ヒノキ人工林を対象に構築した³⁾。

本調査では、前報の研究を栃木県全域に拡張するとともに、平成20年度の施業履歴を用いることにより、単年度の林地残材発生量を推定し、さらに費用算定式を用いて収穫費用を試算し、想定した買取価格と比較し、経済性が成り立つ林地から搬出される林地残材を収穫可能量として推定した結果を報告する。なお、本調査は栃木県の「緑の分権改革」推進事業における栃木県クリーンエネルギー賦存量及び利用可能量等調査内、森林バイオマス（林地残材）賦存量及び利用可能量詳細調査で行われたものである。

2. 調査地

本調査で対象としたのは、民有林のスギ・ヒノキ人工林で、森林簿から集計したその面積は、113,947 ha である。今回用いた平成 20 年度の施業履歴から、間伐が実施された全対象地（広葉樹林を約 1 % 含む）は 5,100 ha で、全 27 市町のうち 19 市町で間伐が実施された（図 1）。

発生した林地残材の搬出先として、①佐野市内のチップ生産工場（木質バイオマス年間需要量 100,000 t のうち林地残材年間需要量 6,000 t⁴⁾）、②鹿沼市内のチップ生産工場（年間チップ生産量 12,000 m³）⁵⁾、③那須塩原市内のペレット製造工場（原木年間需要量 3,000 t 程度）の 3 施設を想定した。

3. 調査方法

栃木県庁より提供された施業履歴の間伐実績から、間伐による林地残材発生量を推定し、その収穫費用を試算する。さらに買取価格を設定し、林地残材によって得られる収入を算出、収支比較によって収支プラスとなった林地残材発生量分を林地残材収穫可能量とする。

試算手順は、1. 間伐実施小班の検索、搬出の有無による施業区分（伐捨間伐、利用間伐）、2. 搬出率、材種率の設定、3. 林地残材発生量の推定、4. 林地傾斜、搬出距離、運搬距離の算出、5. 林地残材収穫直接費の算出、6. 林地残材買取価格の設定、収入の算出、7. 収支比較、林地残材収穫可能量の推定の順に行う。また、解析は 50 m × 50 m のラスターベースで行い、伐出などは小班単位で行うと仮定して計算した。

3.1 間伐実施小班の検索、搬出の有無による施業区分（伐捨間伐、利用間伐）

施業履歴から、平成20年度に実施された森林施業とその小班位置を特定し、この実施された施業の中から間伐が行われた小班について、その搬出の有無から施業区分（伐捨間伐、利用間伐）を行った（図 1）。なお、分布図について、栃木県全

図 1 間伐施業区分分布図（ポイントを約 10 倍で強調）

図2 間伐施業区分頻度分布

土に対する間伐実施小班が非常に小面積であるため、小班を判別しやすくする手法として、ポイントを約10倍に強調し作成した。施業区分は搬出ありの小班を利用間伐実施小班、搬出なしもしくは搬出不明の小班を伐捨間伐実施小班とする。図2に施業区分の頻度分布を示す。林齢が60年(12齢級)を超えるような林分においても伐捨間伐がされており、利用間伐は全体の約28%である。伐捨間伐、利用間伐の割合は市町によって特徴があり、利用間伐割合が50%を超える市町は、宇都宮市82%、矢板市76%であった。

3.2 搬出率、材種率の設定

伐採した材のうち搬出する割合を搬出率 Er として、スギで123%、ヒノキで124%と設定した。これは枝条も含めた林地残材発生量とするために、「とちぎカーボンオフセット」で利用されている日本国温室効果ガスインベントリ報告書⁶⁾から、樹種別バイオマス拡大係数BEF(蓄積(立木の幹部)に対する枝条も含めた地上部材積比率)のスギ1.23、ヒノキ1.24を用い、枝条部分を搬出材積に計上したものである。

また、伐採、搬出した材のうちチップ生産工場やペレット製造工場へ運搬する材の割合を材種率(C・D材) Lr 、通常用材とする材の割合を材種率(A・B材)として、蓄積(立木の幹部)に対して伐捨間伐で90%と10%、利用間伐で50%ずつと設定したため、地上部材積に対して材種率は表1の通りとなる。

3.3 林地残材発生量の推定

林地残材発生量 HL (t)の推定は、森林簿に記載された各小班の総材積量 S (m^3)に、伐採率 Cr 、搬出率 Er を乗じて小班からの全発生量 H (m^3)を求め、これに材種率(C・D材) Lr

表2 事業区分ごと平均伐採率

	平均伐採率 (%)
造林事業	24
治山事業	28
保安林整備事業	29
県営林事業	29
税事業(奥山A)	29
税事業(奥山B)	29

と容積比重 Gr を用いて算出した。容積比重 Gr はみかも森林組合が調査で算出した $0.68 t/m^3$ を用いた⁷⁾。

伐採率 Cr に関して、施業履歴に記録がある場合はその値を用い、ない場合は事業区分ごとの平均伐採率(表2)を伐採率 Cr として用いた。事業区分ごと平均伐採率は、間伐実績のデータ元が各補助事業の記録であることから、各補助事業で行われた間伐について、その伐採率を平均したものである。

$$H = S \times Cr \times Er$$

$$HL = H \times Lr \times Gr$$

3.4 林地傾斜、搬出距離、運搬距離の算出

小班の林分条件として、小班内の土場と林分の標高差から林地傾斜(図3)を、土場と林分の平均距離から搬出距離(図4)を、土場から想定した利用施設までの最短距離から運搬距離を、それぞれ算出する。土場の設定は、小班内で1)林道、2)小班の重心、3)利用施設のいずれから最も最短となるセルを土場と仮定した。

規模の大きいチップ生産工場への搬出は、全19市町でより近い工場へ搬出することを想定して試算した。規模の小さいペレット製造工場への搬出は、年間原木受入量を3,000tまでとし、周辺地域的那須塩原市、大田原市、那須町の3市町を対象に収穫費用の低い小班から順に収穫し、収穫量が3,000tを超えた時点でペレット製造工場への搬出は終了、残りの小班で発生した林地残材はチップ生産工場へ搬出すると想定し試算した。チップ生産工場への運搬距離を比較した結果、栃木市、西方町、鹿沼市、日光市において、小班位置による工場選択の可能性があることがわかった。

3.5 林地残材収穫直接費の算出

収穫作業システムは、県内森林組合への聞き取り調査を参考に、森林組合毎に代表的な収穫作業システムを1~2種設定した。表3に設定した収穫作業システムとその採用森林組

表1 施業区分毎の条件設定

		伐捨間伐		利用間伐		主伐
		スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	スギ・ヒノキ
搬出率		123.0 %	124.0 %	123.0 %	124.0 %	123.4 %
材種率 (C・D材)	幹部	73.2 %	72.6 %	40.7 %	40.3 %	20.2 %
	枝葉部	18.7 %	19.4 %	18.7 %	19.4 %	19.0 %
	計	91.9 %	91.9 %	59.3 %	59.7 %	39.2 %
材種率 (A・B材)		8.1 %	8.1 %	40.7 %	40.3 %	60.8 %

図3 林地傾斜 (度)

図4 搬出距離 (m)

表3 収穫作業システムと採用森林組合 (枠内：林地残材収穫直接費計上部分)

	①	②	③	④	⑤
収穫作業システム	チェンソー伐倒 ↓ グラップル木寄 ↓ プロセッサ造材 ↓ フォワーダ搬出 ↓ トラック運搬	チェンソー伐倒 ↓ チェンソー造材 ↓ スイングヤード集材 ↓ フォワーダ搬出 ↓ トラック運搬	チェンソー伐倒 ↓ チェンソー造材 ↓ グラップル木寄 ↓ フォワーダ搬出 ↓ トラック運搬	チェンソー伐倒 ↓ チェンソー造材 ↓ グラップル木寄 ↓ トラック運搬	チェンソー伐倒 ↓ グラップル木寄 ↓ チェンソー造材 ↓ フォワーダ搬出 ↓ トラック運搬
収穫作業システム 採用森林組合	日光地区森林組合 鹿沼市森林組合 栗野森林組合 みかも森林組合 那須南森林組合	日光地区森林組合 鹿沼市森林組合 栗野森林組合 みかも森林組合	那須塩原市森林組合 大田原森林組合 たかはら森林組合 芳賀地区森林組合	栗山森林組合	宇都宮市森林組合 那須町森林組合 たかはら森林組合

表4 各森林組合管轄地域

森林組合	管轄地域
那須塩原市森林組合	那須塩原市 (旧黒磯市・旧西那須野町)
栗山森林組合	日光市 (旧栗山町)
宇都宮市森林組合	宇都宮市
鹿沼市森林組合	鹿沼市 (旧鹿沼市)
日光地区森林組合	日光市
栗野森林組合	鹿沼市 (旧栗野市), 西方町
大田原森林組合	大田原市
那須町森林組合	那須町
たかはら森林組合	那須塩原市 (旧塩原町), 矢板市, 塩谷町, さくら市
みかも森林組合	佐野市, 足利市, 栃木市, 岩舟町
那須南森林組合	那珂川町, 那須烏山市
芳賀地区森林組合	茂木町, 市貝町, 益子町

合を、表4に各森林組合の管轄地域を示す。また、収穫作業システムが2種類ある場合は、最大傾斜の急な小班から、聞き取り調査から得た面積割合まで、急傾斜地に適すると思われる収穫作業システムを割り振った。この面積割合は、森林組合の管轄地域 (表4) 毎に、今回対象としている平成20年度に間伐作業が行われた全森林面積を100%として設定した値である。急傾斜地に適用した収穫作業システムは、②スイングヤード集材、⑤グラップル全木木寄である。表5に収穫作業システムが2種類ある森林組合毎に、傾斜と収穫作業システムの設定、およびその振り分けに用いた面積割合を示す。図5に収穫作業システム区分の結果を示す。

表5 収穫作業システム配分割

森林組合	鹿沼市森林組合		日光地区森林組合		栗野森林組合		たかはら森林組合		みかも森林組合	
傾斜	緩	急	緩	急	緩	急	緩	急	緩	急
収穫作業システム	①	②	①	②	①	②	③	⑤	①	②
面積割合 (%)	50	50	60	40	50	50	70	30	50	50

図5 収穫作業システム分布図（ポイントを約10倍で強調）

さらに、グラップルでの木寄を行っている森林組合については、ウィンチを用いた木寄と、グラップルを用いた直接木寄を、最大傾斜の急な小班から面積割合2:8で配分した。この面積割合は、グラップルでの木寄を行っている県内の2つの森林組合に聞き取った値で、今回はこの値を全該当森林組合に用いた。

機械規格についても聞き取りや、過去の調査記録などを参考に森林組合毎に設定した。林地残材収穫直接費として計上の対象としたフォワーダ、スイングヤーダ、グラップルについて、森林組合毎の規格設定を表6に示す。また、中型もしくは小型として想定した各機械は、フォワーダ積載量が中型で3.5 m³、小型で2.5 m³、スイングヤーダおよびグラップルのバケット容量がそれぞれ中型で0.45 m³、0.25 m³、小型で0.25 m³、0.15 m³とした。

今回は、伐倒造材までにかかる費用および作業路作設費、架設撤去費は、用材搬出費用として林地残材収穫直接費には計上せず、造材後の林地残材発生時から林地残材収穫直接費として計上した。表3に林地残材収穫直接費として計上した作業部分を示す。また、小班が道路と重なる0.25 haの小面積の場合は、搬出作業は不要と仮定して、グラップルによるはい積み、トラック運搬のみを林地残材収穫直接費とした。さら

表6 使用機械の規格設定

森林組合	フォワーダ	スイングヤーダ	グラップル
那須塩原市森林組合	小型	-	小型
栗山森林組合	-	-	中型
宇都宮市森林組合	小型	-	-
鹿沼市森林組合	小型	小型	-
日光地区森林組合	小型	中型	-
栗野森林組合	小型	小型	-
大田原森林組合	小型	-	中型
那須町森林組合	小型	-	-
たかはら森林組合	中型	-	小型
みかも森林組合	小型	小型	-
那須南森林組合	小型	-	-
芳賀地区森林組合	中型	-	小型

※フォワーダ積載量：中型2.38 t(3.50 m³)，小型1.70 t(2.50 m³)

※スイングヤーダバケット容量：中型0.45 m³，小型0.25 m³

※グラップルバケット容量：中型0.25 m³，小型0.15 m³

に副作業費として土場作設費も計上した。

表7に使用機械の林地残材収穫直接費計算式を示す。なお、計算式内の集材距離 L_y は、スイングヤーダ50 m、木寄距離 L_s は、グラップル中型15 m、小型10 mとした。また、みかも森林組合で平成20年に行われた調査において、間伐によって発生した全木を末木枝条含めて搬出した場合の生産性が、幹部のみを搬出した場合の生産性の48%程度であったため、今回の計算式でも同等の変更を加えた⁷⁾。

3.6 林地残材収穫可能量の推定

林地残材の買取価格をパルプ材の価格などを参考に3,000円/t、補助金、地域通貨¹¹⁾などによる上乗せを考慮して6,000円/t、また、電力固定価格買取制度の検討状況¹²⁾などを参考に10,000円/tと設定し、林地残材による収入を算出、林地残材収穫直接費との収支比較を小班毎に行い、収支プラスとなる小班からの林地残材発生量を林地残材収穫可能量とした。

3.7 林地残材発生量の補正

シミュレーションでは、50 m × 50 m のラスターデータに変換した際に、0.25 haのメッシュに複数の小さい小班が存在している場合、自動的に1つの小班に取りまとめられ、小班が潰れてしまったことや、GIS上での自動によるリンク付けの際に、枝番がある小班を判別できない場合などにより、施業履歴に記載されている全データ数に比べ、データ数の減少が見られた。

また、主伐に係わる施業履歴が未整備であるため、小班単位によるシミュレーションが不可能であった。そこで主伐で

表7 使用機械、規格毎の林地残材収穫直接費計算式 (円/m³)

使用機械・作業工程	規格	1 小班あたり林地残材収穫直接費 (円/m³)	備考
フォワーダ・搬出	中型	$1.011Lf + 866$	日本森林技術協会(2010) ⁸⁾
	小型	$1.348Lf + 808$	同上
スイングヤーダ・集材	中型	下荷 $16.193 \times \{(1/1.26e^{-0.003\theta} + 1/1.26e^{-0.272-0.014\theta}) \times Ly + 208.9\}$	澤口(1996) ⁹⁾ , 日本森林技術協会(2010) ⁸⁾
		上荷 $16.193 \times \{(1/1.26e^{-0.00345\theta} + 1/1.26e^{-0.272-0.0504\theta}) \times Ly + 208.9\}$	同上
	小型	下荷 $13.563 \times \{(1/1.26e^{-0.003\theta} + 1/1.26e^{-0.272-0.014\theta}) \times Ly + 208.9\}$	同上
		上荷 $13.563 \times \{(1/1.26e^{-0.00345\theta} + 1/1.26e^{-0.272-0.0504\theta}) \times Ly + 208.9\}$	同上
グラップル・木寄 (ウィンチ引き寄せ)	中型	下荷 $15.13 \times \{(1/1.26e^{-0.035\theta} + 1/1.26e^{-0.205-0.053\theta}) \times Ls + 44.36\}$	日本森林技術協会(2010) ⁸⁾
		上荷 $15.13 \times \{(1/1.26e^{-0.0308\theta} + 1/1.26e^{-0.205-0.04187\theta}) \times Ls + 44.36\}$	同上
	小型	下荷 $18.96 \times \{(1/1.26e^{-0.057\theta} + 1/1.26e^{-0.2-0.078\theta}) \times Ls + 41.51\}$	同上
		上荷 $18.96 \times \{(1/1.26e^{-0.0536\theta} + 1/1.26e^{-0.2-0.064\theta}) \times Ls + 41.51\}$	同上
グラップル・木寄 (グラップル引き出し)	中型	3,002	同上
	小型	2,265	同上
グラップル・はい積み		270	全国林業改良普及協会 ¹⁰⁾
8 tトラック・運搬		$0.076Lt + 778$	澤口(1996) ⁹⁾
土場作設費		$165.224H \times Lr + 7,211$	全国林業改良普及協会 ¹⁰⁾

Lf : 搬出距離 (m), Ly : 集材距離 (m), Ls : 木寄距離 (m), Lt : 運搬距離 (m), θ : 林地傾斜 (度), $H \times Lr$: 林地残材発生量 (m³)
集材距離は、スイングヤーダ 50 m, 木寄距離は、グラップル (中型) 15 m, グラップル (小型) 10 m とする。

は、地域森林計画策定のために推定した平成20年度における県内での主伐 (皆伐) 材積総量を、主伐林分が翌年度に植栽されたものと仮定して、森林GISの施業履歴データの造林 (植林) 実績に基づいて各市町に按分し、搬出率 Er (スギ 123%, ヒノキ 124% の平均値 123.4%) を乗じて各市町からの全発生量 H (m³) を求め、これに材種率 (C・D材) Lr と容積比重 Gr を用いて各市町からの林地残材発生量を算出した。なお、材種率 (C・D材) Lr , 材種率 (A・B材) は蓄積に対してそれぞれ 25%, 75% と設定したため、地上部材積に対する材種率は表 1 の通りとなる。

以上のことから、今回の解析では、解析から除外された小班及び主伐に伴う林地残材発生量を含む各市町の全林地残材発生量とシミュレーションで算出された全林地残材発生量の比 (補正係数) を用いて、小班毎の収穫費用は変化させずに、小班の林地残材発生量を補正した。

4. 結 果

栃木県全域において、平成20年度の施業履歴を用いて林地残材発生量を推定したところ、最小の小班で 3 t, 最大の小班で 3,853 t, 平均的には小班あたり 78 t 程度が見込まれた (図 6)。各市町における林地残材収穫直接費を、買取価格の設定でクラス分けした分布図を図 7, 8 に示す。また、各市町における林地残材収穫可能量と、その全体に対する割合を表 8 にまとめる。林地残材買取価格 3,000 円/t では収穫可能量は 595 t と少なかったが、林地残材買取価格を 6,000 円/t に設定することにより、那須塩原市のベレット工場需要量 3,000 t を那須町, 大田原市, 那須塩原市の収穫可能量で賄うことができ、栃木県全域の収穫可能量は佐野市と鹿沼市のチップ生産工場の林地残材年間需要量 6,000 t とチップ年間生産量 12,000 m³ を十分に賄うことができる量と試算された。さらに林地残

材買取価格を 10,000 円/t に設定した場合には、佐野市の木質バイオマスを主燃料とする発電所の木質バイオマス年間需要量 100,000 t をも賄うことができる収穫可能量となり、電力固定価格買取制度の影響の大きさが窺える。

また、各市町についてみると、林地残材買取価格 6,000 円/t では、市内に工場のある佐野市とその周辺の足利市, 岩舟町で収穫可能割合が 40% 以上となったが、同じく市内に工場があり、収穫作業システムも佐野市と同様の鹿沼市では 37% となっていた。これは佐野市に比べ鹿沼市が広く、佐野市の平均運搬距離が 15.8 km であるのに対し、鹿沼市の平均運搬距離は 20.3 km と長いと考えられる。特に収穫可能割合が大きくなったのは、宇都宮市と西方町であった。この 2 市町は、収穫作業システム (表 3) が①もしくは⑤の全木木寄システムで、林地残材収穫費用としてはフォワーダ搬出とトラック運搬のみが計上され低コストであった。

10,000 円/t で収穫可能割合が 50% を超えた市町は、宇都宮市, 足利市, 佐野市, 那須烏山市, 西方町, 岩舟町, 塩谷町, 那珂川町であった。市内に工場があるにも関わらず、佐野市 50%, 鹿沼市 49% とあまり高くなかったのは、収穫作業システム②のスイングヤーダの短幹材集材が割高になったためである。収穫作業システム (表 3) が①もしくは⑤の全木木寄システムは有利で、塩谷町が 65% と高い割合になったのは、たかはら森林組管轄地域 (表 4) の中でも、システム⑤に分類された小班が多かったためだと考えられる。那珂川町や那須烏山市のように、やや遠い市町でも 90% 以上となったのは、①の全木木寄システムであり、買取価格が 10,000 円/t を超えれば、平均運搬距離 55.9 km, 平均運搬費用 7,396 円/t を賄うことができるためである。しかし、⑤の全木木寄システムであっても、那須町, 那須塩原市, 大田原市といった遠距離では平均運搬距離 64.9 km, 平均運搬費用 8,396 円/t とな

図6 推定林地残材発生量 (t) (ポイントを約10倍で強調)

図8 ペレット工場搬出時の各買取価格設定における収穫可能小班分布図 (ポイントを約10倍で強調)

図7 チップ生産工場搬出時の各買取価格設定における収穫可能小班分布図 (ポイントを約10倍で強調)

表 8 市町別林地残材収穫可能量

林地残材買取価格		3,000 円 /t		6,000 円 /t		10,000 円 /t		搬出先内訳
市町村	推定林地残材発生量 (t)	収穫可能量 (t)	収穫可能割合 (%)	収穫可能量 (t)	収穫可能割合 (%)	収穫可能量 (t)	収穫可能割合 (%)	
宇都宮市	6,547.04	95.46	1.46	5,129.25	78.34	6,545.04	99.97	鹿沼チップ生産工場
足利市	3,762.44	0.00	0.00	1,544.87	41.06	2,058.01	54.70	佐野チップ生産工場
栃木市	184.96	0.00	0.00	69.74	37.70	69.74	37.70	佐野チップ生産工場
佐野市	44,654.92	92.66	0.21	21,744.60	48.69	22,371.26	50.10	佐野チップ生産工場
鹿沼市	81,908.04	124.53	0.15	12,973.78	15.84	14,929.45	18.23	佐野チップ生産工場
		180.19	0.22	17,606.08	21.49	24,802.58	30.28	鹿沼チップ生産工場
小計	81,908.04	304.72	0.37	30,579.86	37.33	39,732.04	48.51	
日光市	66,567.92	0.00	0.00	0.77	0.001	67.91	0.10	佐野チップ生産工場
		1.39	0.002	9,604.18	14.43	24,141.79	36.27	鹿沼チップ生産工場
小計	66,567.92	1.39	0.002	9,604.94	14.43	24,209.70	36.37	
大田原市	32,546.84	0.00	0.00	0.00	0.00	214.07	0.66	鹿沼チップ生産工場
		71.94	0.22	836.09	2.57	836.09	2.57	那須塩原ベレット工場
小計	32,546.84	71.94	0.22	836.09	2.57	1,050.16	3.23	
矢板市	12,404.56	0.00	0.00	154.09	1.24	6,161.07	49.67	鹿沼チップ生産工場
那須塩原市	4,867.44	0.00	0.00	0.00	0.00	544.80	11.19	鹿沼チップ生産工場
		28.80	0.59	215.94	4.44	215.94	4.44	那須塩原ベレット工場
小計	4,867.44	28.80	0.59	215.94	4.44	760.75	15.63	
さくら市	1,958.40	0.00	0.00	0.00	0.00	437.82	22.36	鹿沼チップ生産工場
那須烏山市	5,301.28	0.00	0.00	8.92	0.17	5,284.67	99.69	鹿沼チップ生産工場
西方町	1,250.52	0.00	0.00	741.75	59.32	741.75	59.32	鹿沼チップ生産工場
益子町	187.68	0.00	0.00	15.09	8.04	15.09	8.04	鹿沼チップ生産工場
茂木町	10,093.24	0.00	0.00	0.00	0.00	1,958.38	19.40	鹿沼チップ生産工場
市貝町	153.00	0.00	0.00	51.53	33.68	51.53	33.68	鹿沼チップ生産工場
岩舟町	85.00	0.00	0.00	36.87	43.37	45.27	53.26	佐野チップ生産工場
塩谷町	16,966.00	0.00	0.00	729.77	4.30	11,040.90	65.08	鹿沼チップ生産工場
那須町	30,197.44	0.00	0.00	2,118.42	7.02	2,118.42	7.02	那須塩原ベレット工場
那珂川町	16,531.48	0.00	0.00	0.00	0.00	14,010.70	84.75	鹿沼チップ生産工場
計	336,168.20	594.98	0.18	73,581.73	21.89	138,662.30	41.25	

り、買取価格 10,000 円 /t でも賄うことはできなかった。

5. おわりに

本調査では、栃木県全域において、平成20年度の施業履歴を用いることにより、単年度の林地残材発生量を推定し、聞き取り調査より各地域に沿った作業システムを設定、費用算定式を用いて収穫費用を試算、想定した買取価格と比較し、経済性が成り立つ林地から搬出される林地残材を収穫可能量として推定した。その結果、林地残材買取価格を補助金による上乗せなどにより6,000円/tに設定することにより、今回、想定した3箇所の林地残材利用施設の年間需要量を、また、電力固定価格買取制度などにより林地残材買取価格が10,000円/tと設定された場合には、佐野市の木質バイオマスを主燃料とする発電所の木質バイオマス年間需要量をも賄うことができる収穫可能量となると試算された。

作業システムに関しては林地残材収穫費用がフォワーダ搬出、トラック運搬のみとなる全木木寄システムが有利であり、このシステムを活用するためには林業機械が走行することのできる路網の整備が必要である。また、このシステムを活用している森林組合では平均運搬距離が55 kmと長距離でも収

穫可能量が大きかった。ただし、運搬距離が60 kmを超える森林組合では収穫可能量が少なかったため、今回は林業現場で広く利用されている積載量8トンのトラックを想定して、収穫費用を試算したが(表7)、今後は中間土場を設定して、大型のトレーラなどに積み替えることなどにより、運搬効率の向上を目指す必要があるだろう。

また、本調査に関しては用材搬出後に林地残材のみを搬出することを想定して収支を試算したが、実際は用材搬出費用とその収入による収支比較も行った上で、用材搬出と同時に発生する林地残材を搬出することを想定して、収穫可能量を算出するほうが現実の施業に適していると考ええる。さらに筆者らは、前報³⁾で栃木県佐野市において、用材搬出と同時に発生する林地残材の収穫可能量を算出したが、用材価格は林地残材価格に比べ高いため、収支に与える影響が大きく、用材価格が上がるにしたがって、用材収入で、林地残材費用を賄える小班が増加し、林地残材収穫可能量が増加すると試算された。したがって、今回の施業履歴を用いた全県解析においても、用材搬出収支も考慮することにより林地残材収穫可能量の増加が期待される。

施業履歴に関しては、とりまとめに多大な労力を要するこ

とから、今回は平成20年度のみを用いたが、今後は他の年度の施業履歴も活用して、林地残材発生量及び収穫可能量の傾向を分析する必要があるだろう。さらに、補助事業の記録を元に整備されている施業履歴では、主伐のように補助事業を用いない作業の記録はなく、今回の試算に適用することができなかった。今後、伐採作業の届出などを基にした主伐作業の記録の活用も検討する必要があるだろう。

謝 辞

本業務を進めるにあたり、ご協力いただいた栃木県環境森林部林業振興課、栃木県森林組合連合会に厚く感謝の意を表します。

文 献：References

- 1) 栃木県庁, 平成21年度版栃木県森林・林業統計書, (栃木県庁), (2009): Tochigi Prefectural Government, Forest and forestry statistics of Fiscal year 2009 in Tochigi Prefectural, (Tochigi Prefectural Government), (2009)
- 2) 栃木県庁, 平成21年度とちぎの元気な森づくり県民税事業評価報告書, (栃木県庁), (2010): Tochigi Prefectural Government, Tochigi no genkina moridukuri prefectural tax business evaluation report of Fiscal year 2009, (Tochigi Prefectural Government), (2010)
- 3) 山口鈴子, 有賀一広, 村上文美, 斎藤仁志, 伊藤要, 日エネ誌, **89**(10), 982(2010): Yamaguchi, R., Aruga, K., Murakami, A., Saito, M., Ito, K., *J. Jpn. Inst. Energy*, **89**(10), 982 (2010)
- 4) 山口鈴子, 有賀一広, 機械化林業, **672**, 1(2009): Yamaguchi, R., Aruga, K., *KikaikaRingyo*, **672**, 1(2009)
- 5) 下野新聞, 2月14日, 11面, (2009): Shimotsuke Shinbun, 14th of February, 11 (2009)
- 6) 温室効果ガスインベントリオフィス編, 日本国温室効果ガスインベントリ報告書, (国立環境研究所), p. 190 (2006): Greenhouse Gas Inventory Office of Japan, Greenhouse Gas Inventory report in Japan, (National Institute for Environmental Studies, Japan), p. 190 (2006)
- 7) みかも森林組合, 住友大阪セメント「木質バイオマス資源」調達に関する調査報告(非公開), (みかも森林組合), p. 11 (2008): Mikamo Forest Owner's Association, Sumitomo Osaka Cement Company Research report on extracting "forest biomass resources", (Mikamo Forest Owner's Association), p. 11(2008)
- 8) 日本森林技術協会, 低コスト作業システム構築事業報告書, (日本森林技術協会), p. 20, (2010): Japan Forest Technology Association, Low-cost system construction business report, (Japan Forest Technology Association), p. 20, (2010)
- 9) 澤口勇雄, 森林総合研究所研究報告, **372**, p. 103(1996): Sawaguchi, I., Bull. For. & For. Prod. Res. Inst., **372**, p. 103 (1996)
- 10) 全国林業改良普及協会編, 機械化のマネジメント, (全国林業改良普及協会), p. 226(2001): ZenkokuRingyo KairyoFukyuKyokai, Kikaika no Management, (Zenkoku RingyoKairyoFukyuKyokai), p. 226(2001)
- 11) 日本林業調査会, 林政ニュース, **409**, 14(2011): Japanese forestry investigation committee, Rinsei News, **409**, 14(2011)
- 12) 日本林業調査会, 林政ニュース, **405**, 7(2011): Japanese forestry investigation committee, Rinsei News, **405**, 7(2011)