

樹種別の造材歩留まりが木質資源利用可能量へ与える影響

齋藤 仁志^{*1}・佐々江希望²・白澤 紘明³・松澤 義明⁴・植木 達人⁵

樹種別の造材歩留まりを推定し、木質資源の利用可能量に与える影響を検討した。カラマツ・ヒノキ・スギ・アカマツの樹種別造材歩留まりを推定するため、長野県内で行われた搬出作業の結果から伐採量と販売量を把握し、造材歩留まり推定した。その結果、主伐ではすべての樹種において、造材歩留まりが従来値よりも低くなり、間伐では、アカマツ以外の樹種で従来よりも高い値となった。また、集材方法別では、車両系集材の方が架線系よりも高い値となった。この結果を用いて、樹種別に造材歩留まり考慮した場合と、従来通り一定値とした場合とでそれぞれ木質資源利用可能量推定を行った。その結果、従来方法の推定よりも、カラマツ、ヒノキ、スギでは利用可能量が増加し、アカマツでは利用可能量が減少することが明らかになり、造材歩留まりの正確な推定が重要であることが示された。

キーワード：造材歩留まり、利用可能量推定、未利用木材、樹種別

Masashi Saito, ^{*1} Nozomi Sasae, ² Hiroaki Shirasawa, ³ Yoshiaki Matsuzawa, ⁴ Tatsuhito Ueki⁵ (2021) Effect of the Yield Percentage by Tree Species on the Amount of Available Wood Biomass Resources. *J Jpn For Soc* 103: 443-448 The yield percentage by tree species was estimated and the effect on the amount of wood biomass resources available was examined. In order to estimate the yield percentage of larch, cypress, cedar, and red pine by species, the results of logging operations in Nagano Prefecture were used to determine the amount of timber cut and sold, and to estimate the yield of lumber produced. As a result, the yield percentage of all tree species in clear-cutting was lower than the conventional value, and in thinning, it was higher than the conventional value for all tree species except red pine. In addition, by yarding system, the value for vehicle-based yarding was higher than that for overhead wire-based yarding. Using these results, we estimated the amount of wood biomass resources available when the yield percentage was taken into account for each tree species and when the percentage was assumed to be constant as in the conventional method. The results showed that the availability of larch, cypress, and cedar increased, while that of red pine decreased, compared to the estimation by the conventional method. The results suggest that it is important to accurately estimate the yield percentage.

Key words: yield percentage, wood biomass resource availability estimation, unused logs, tree species


I. はじめに

発電を中心とした木質バイオマスの利用が推進され、特に伐採時に発生する小径材や梢端部等の未利用資源の需要が増す一方で、安藤 (2013) は木質バイオマス発電施設の建設計画分だけで、すでに未利用材の供給量を需要量が上回っていると指摘している。また、福田 (2017) は新たに未利用材を利用する発電所が稼働すると、未利用材の需要が増えるため、未利用材のエネルギー利用比率の高い場所では、製紙用チップなどの既存用途への影響が生ずると指摘している。

このように先行研究において未利用材の供給不足が懸念されており、発電施設が十分な量の未利用材を確保できない可能性がある。そのため、未利用材の供給が可能なのか正確な利用可能量の把握が重要であり、様々な未利用材利用可能量の推定が行われている。上村ら (2009) は、市町村を単位とした未利用材を含む木質バイオマス資源の賦存量や利用可能量を推定するためのマクロ的な手法を開発

し、山口ら (2010) は小班単位で用材と残材を同時に収穫した際の収穫可能量と収穫費用の試算を行っている。これらの研究は、林分蓄積量に伐採率、造材歩留まりを乗じて生産可能な木質資源量を推定し、収穫費用との収支比較を行う事で利用可能量を推計している。林分蓄積量の正確さや、収穫費用の想定は精緻化されつつあり推計精度が向上していると考えられるが、価格の高い用材部と未利用材部の比率を示す造材歩留まりに関しては、樹種等を考慮せず主伐で80%程度、間伐では50%程度に固定し試算されている例が多い (山本ら 2017; 守口ら 2016; 上村ら 2009)。

これまでの研究において、造材歩留まりが提示された例として生産性調査時に実測した値では (仲畑ら 2018; 中澤ら 2006; 立川 2004)、スギは65~89%、ヒノキは50~93%程度と示されており、同樹種間であっても歩留まりに差があることが示されている。また、信州木材認証製品センター (2011) では、スギ93%、ヒノキ94%、アカマツ90%、カラマツ93%と樹種別に異なり、酒井 (2019) では、カラマツは間伐で76%、主伐で79%と作業種別に造材歩

*連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: msaito@iwate-u.ac.jp  <https://orcid.org/0000-0001-9364-6852>

¹ 岩手大学農学部 〒020-8550 岩手県盛岡市上田 3-18-8 (Faculty of Agriculture, Iwate University, 3-18-8 Ueda, Morioka, Iwate 020-8550, Japan)

² 長野県上伊那地域振興局林務課 〒386-8666 長野県伊那市荒井 3497 (Kami-ina Regional Development Bureau, Nagano Prefectural Government, 3497 Arai, Ina, Nagano 386-8666, Japan)

³ 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1 (Forestry and Forest Products Research Institute, Forest Research and Management Organization, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan)

⁴ 長野県林業コンサルタント協会 〒380-8567 長野県長野市中御所岡田 30-16 (Nagano Forestry Consultant, 30-18 Nakagsyo Okada, Nagano, Nagano 380-8567, Japan)

⁵ 信州大学農学部 〒399-4598 長野県上伊那郡南箕輪村 8304 (Faculty of Agriculture, Shinshu University 8304 Minamiminowa, Kamiina Nagano 399-4598, Japan)

(2021年4月6日受付; 2021年8月30日受理)

©2021 一般社団法人日本森林学会: この著作はクリエイティブ・コモンズのライセンス CC BY-NC-ND (引用を表示し、改変せず、非営利目的に限定) の条件の下で再配布・二次利用が可能なオープンアクセスです。 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.jp>

留まりが異なることが示されている。また、中澤ら(2006)は集材システムによっても影響があることを指摘している。このように樹種や作業種、集材システムによって異なる造材歩留まりが、広域を対象とした木質資源利用可能量試算では大きな影響を及ぼすと考えられる。しかし、これまでの調査では主に個別の生産結果等から歩留まりを推定しているため、樹種や作業種による比較は困難であった。

そこで本研究では、生産時の使用機械、機械規模、施業体系、地位等の条件のばらつきが少ない一都道府県(長野県)を対象に、樹種(カラマツ・ヒノキ・スギ・アカマツ)、作業種(間伐・主伐)、集材システム(架線系・車両系)別の造材歩留まりを解明し、造材歩留まりが木質資源利用可能量に与える影響について検討した。なお本研究では、用材およびパルプ用材の搬出材積を伐採材積で除した割合を造材歩留まり(%)と定義し、用材およびパルプ用材の搬出材積を用材部材積とした。また、伐採材積から搬出材積を引いた材積を利用間伐や主伐で発生する、末木、端材の未利用材部と判断し未利用部材積として扱った。

II. 方 法

1. 造材歩留まり調査対象

造材歩留まり推定は素材生産実績や生産性調査結果など、これまで蓄積されていたデータのうち、施業班単位で樹種ごとに伐採量が明確または推定できるもの、かつ、樹種ごとに用材販売実績や素材生産結果が明らかなるものを抽出し行った。使用したデータは以下の通りである(表-1)。
①長野県内国有林の素材生産データ(2017~2018)、②信州大学農学部附属 AFC 手良沢山演習林の素材生産データ(2010~2018)、③長野県林業総合センターの素材生産調査データ(2012~2016)、④作業仕組み、伐出諸経費の把握に関する伐区調査票(2000~2006)、⑤南木曾町木材需要動態調査(2018)。

これらのデータを対象に長野県の主要樹種であるカラマツ、ヒノキ、スギ、アカマツの4樹種の造材歩留まりを作業種ごとに推定した。また、集材方法が判別可能な調査対象では架線系集材と車両系集材に分けて、造材歩留まりを推定した。調査対象の標準的な車両系作業システムは、チェーンソー伐倒、グラップルまたは地引ウィンチでの木寄せ、プロセッサ造材、フォワーダ集材であり、架線系では主にタワーヤードもしくは集材機による集材が行われていた。そこで、集材機、タワーヤード、スイングヤードを使用した集材を架線系、それ以外を車両系と分類し歩留ま

りを集計した。

2. 造材歩留まり推定方法

前述のデータから、伐採材積と用材およびパルプ用材の搬出材積を抽出し、それらを伐採材積で除すことにより造材歩留まりを推定した。①~③の伐採材積は各林分における材積伐採率を把握しているため、これを林分蓄積量に乗じることにより推定した。林分蓄積量は、林分単位で標準地調査を実施している場合は林分材積表を用いて求め、毎木調査によって立木幹材積表から単木単位での材積が把握できている林分では、その合計とした。④および⑤は、作業前後で毎木調査が実施され、その差から伐採材積が明らかになってきたためその値を用いた。また、搬出材積の算出は①~③では、販売実績から行った。販売時に末口二乗法によって求積された材積が、販売実績として用材とパルプ材に分けて記録されているため、それぞれの販売実績を足し合わせて搬出材積とした。そのため④と⑤においても、用材とパルプ材の搬出材積を集計した。なお、パルプ材も m^3 単位での販売実績が記録されているものは、用材と同様に末口径から求積されているが、①のパルプ材の販売実績の一部に、重量(tf)で集計されているものが存在した。このデータについては、樹種ごとに山内(2014)が概算した立木の含水率と、国立環境研究所地球環境研究センター温室効果ガスインベントリーオフィス(GIO)(2018)で公表されている容積比重から、樹種ごとに立木時の容積比重(表-2)を求め、販売時の重量に乘じ、容積(m^3)に変換した。また、③の搬出材積の一部に関しては、施業班単位での搬出材積を把握するため、販売時と同様の末口二乗法で実測したデータが含まれる。

算出した伐採材積と搬出材積の関係から、樹種、作業種、集材システムごとに近似直線を求め、その傾きをそれぞれの造材歩留まりとした。また、データの中には針葉樹パルプなど複数の樹種がまとめて計上されており、樹種が特定できないデータが存在した。このようなデータは、樹種別に明らかとなっていない用材材積がパルプ材材積に比例していると仮定し、総パルプ材材積を対象樹種の用材割合で案分し、各樹種のパルプ材材積として求めた。

3. 木質資源利用可能量の推定方法

造材歩留まりが木質資源利用可能量に与える影響を分析するために、長野県を対象として、利用可能量推定シミュレーションを行った。対象は、長野県内の森林簿に記載されている民有林の人工林である。なお、保安林に関しては伐採の制限が少ない、水源涵養保安林のみ対象とし、それ以外は

表-1. 各データの総括表

	標本数	調査期間	伐採材積 推定方法	搬出材積 推定方法
①長野県内国有林の素材生産データ	80	2017~2018	標準地調査 毎木調査	販売実績*
②信州大学農学部附属 AFC 手良沢山演習林の素材生産データ	20	2010~2018	毎木調査	販売実績
③長野県林業総合センターの素材生産調査データ	8	2012~2016	毎木調査	販売実績 現地調査
④作業仕組み、伐出諸経費の把握に関する伐区調査票	6	2000~2006	毎木調査	販売実績
⑤南木曾町木材需要動態調査(2018)	28	2018	標準値調査	販売実績

*この販売実績は、パルプ用材を含まず用材についてのみの販売実績である。

表-2. 立木の容積比重

樹種	容積比重 (tf/m ³)
カラマツ	0.714
ヒノキ	0.856
スギ	0.965
アカマツ	0.833
山内(2014)および国立環境 研究所地球環境研究センター 温室効果ガスインベントリー オフィス(GIO)(2018)より 作成。	

対象から除外した。集計は長野県の最小の林分管理単位である施業班単位で行った。搬出の対象となった施業班の数はカラマツ 209,851, ヒノキ 62,482, スギ 140,771, アカマツ 54,743 となった。また蓄積は、カラマツ 33,783,056 m³, ヒノキ 6,673,051 m³, スギ 13,077,462 m³, アカマツ 6,351,520 m³ であった。利用可能量推定のため、長野県の地域森林計画を参考に樹種別に間伐および主伐可能な林齢を設定した。なお本研究では、間伐は全て利用間伐を想定し、切捨て間伐は想定していない。

用材の価格は、用材部に対するパルプ材率を 20% と仮定し、2018 年時点の長野県市況を参考に、カラマツ 11,000 円/m³, ヒノキ 13,000 円/m³, スギ 9,000 円/m³, アカマツ 8,000 円/m³ とした。本研究における費用は直接費、間接費、運搬費の合計とする。直接費は、有賀ら (2018) を参考に、長野県全域の森林計画図と森林簿を用い、地形条件により決定した作業システムでの伐採・搬出費用、収穫林分における路網作設費用の合計とした。ただし、既存路網から収穫林分までの路網作設費用は支出に含めないものとする。直接費の算出は間伐を想定して行う。主伐の伐採・搬出費用は間伐よりも低くなると考えられるため、主伐での伐採・搬出費用は水庭ら (2015) の研究を参考に間伐時の 1/2 とする。間接費 (現場監督費, 社会保険料等) は、施業地ごとに異なり大きなばらつきがあるため正確な推定が困難である。そのため、今回は計算の簡略化のため森林整備事業の標準単価等の考え方を参考に、直接費に 0.5 を乗じることにより求めた。また、運搬費は有賀ら (2018) を参考に、最寄りの市町村役場までの輸送費用とする。また、現実的に主伐後は再造林・育林が行われると考えられるため、主伐においては再造林・育林費を費用に含めた場合の木質資源利用可能量の推定も行った。再造林・育林費用は農林水産省 (2018) より 50 年生までの費用の合計で、カラマツ 601,630 円/ha, ヒノキ 1,394,893 円/ha, スギ 2,318,386 円/ha, アカマツ 773,357 円/ha として計算を行った。

収支比較で用材部での収入が黒字かつ、現実的な作業道開設距離および集材架線設置距離を踏まえ、施業班の重心位置が既存の路網から 500 m 以内に存在する場合に搬出可能とした。これらの条件を満たす施業班に存在する未利用材部を未利用材部の木質資源利用可能量とし推計を行った。

III. 結果と考察

1. 造材歩留まり推定結果

造材歩留まりの推定に用いた施業地の基本情報を表-3 に示す。作業種の区分上、皆伐, 受光伐, 間伐 (搬出のみ) に分類されるが、受光伐は間伐の一種とみなし以降では間伐のデータとして取り扱った。推定された樹種ごとの歩留まりの分布を図-1 に示す。すべての樹種において間伐と主伐それぞれの歩留まりを算出した (図-2~5)。ただし、スギの主伐はデータが 1 施業地分にとどまっており、今回はその値をスギの主伐の値とした。推定された歩留まりはそれぞれカラマツ (間伐) 54.7%, カラマツ (主伐) 78.5%, ヒノキ (間伐) 63.8%, ヒノキ (主伐) 69.7%, スギ (間伐) 63.1%, スギ (主伐) 71.8%, アカマツ (間伐) 36.7%, アカマツ (主伐) 65.0% となった。4 樹種間の造材歩留まりについて Kruskal-Wallis 検定を行ったが有意水

表-3. 調査対象の総括表

	カラマツ	ヒノキ	スギ	アカマツ
林齢 (年)	38~105	45~111	35~81	60~97
作業種 (箇所数)				
間伐	26	45	19	5
受光伐	6	10	1	0
主伐	17	11	1	5
集材方式 (箇所数)				
車両系	23	11	12	6
架線系	2	14	5	0
不明	24	41	4	4

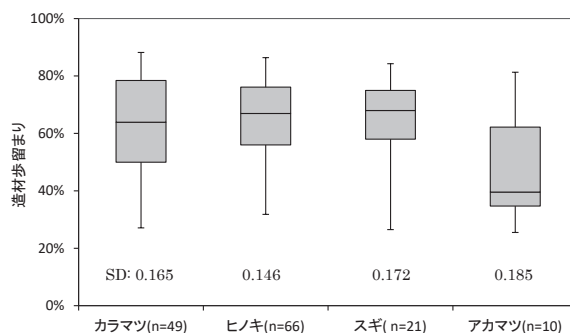


図-1. 樹種別造材歩留まり

それぞれの最小値, 第 1 四分位, 中央値, 第 3 四分位, 最大値, 標準偏差 (SD) を示す。

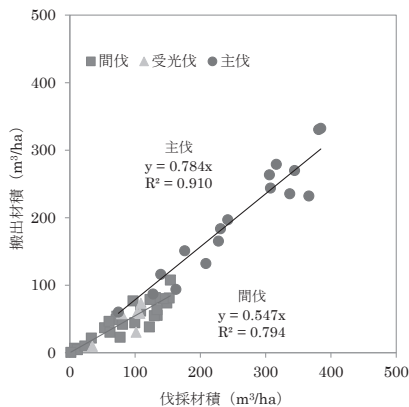


図-2. 単位面積当たりの伐採材積と搬出材積の関係 (カラマツ)

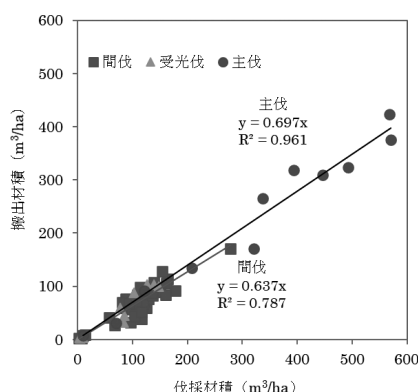


図-3. 単位面積当たりの伐採材積と搬出材積の関係 (ヒノキ)

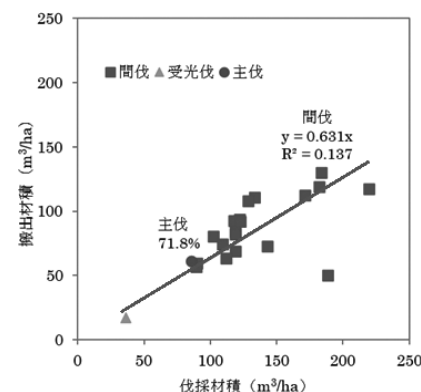


図-4. 単位面積当たりの伐採材積と搬出材積の関係 (スギ)

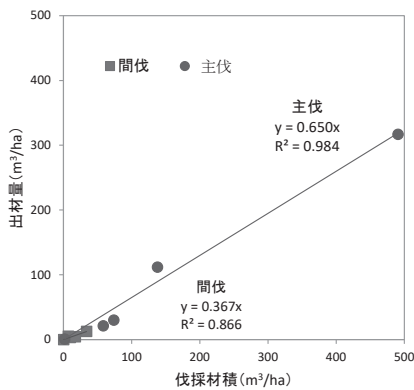


図-5. 単位面積当たりの伐採材積と搬出材積の関係（アカマツ）

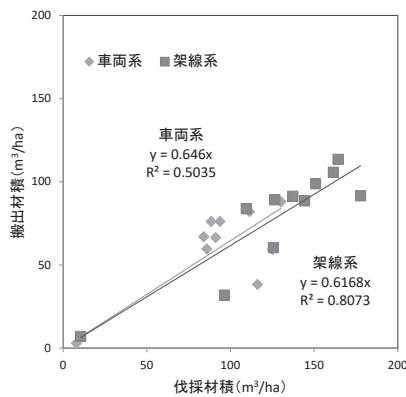


図-6. 単位面積当たりの伐採材積と搬出材積の関係（ヒノキ間伐）

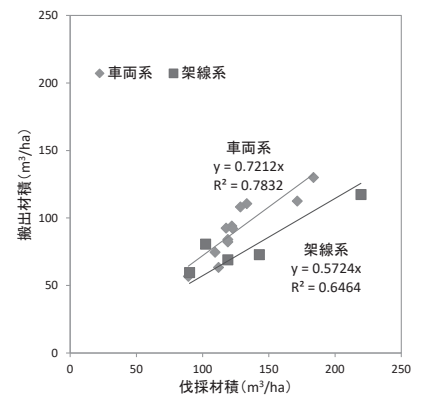


図-7. 単位面積当たりの伐採材積と搬出材積の関係（スギ間伐）

準5%で有意差はなかった ($p=0.08>0.05$) が、アカマツとその他3樹種間においては、Steel-Dwass検定で有意水準5%の有意差が認められた。カラマツ、ヒノキにおいて作業種（間伐、主伐）の造材歩留まりをKruskal-Wallis検定を行うとカラマツでは有意水準1%で有意差があった。また、アカマツにおいては作業種（間伐、主伐）の造材歩留まりをMann-WhitneyのU検定に供したが、有意差はなかった。さらに、スギとヒノキの間伐において、集材方法別の歩留まりを推定した。その結果、ヒノキ間伐（車両系）で64.6%、ヒノキ間伐（架線系）61.7%、スギ間伐（車両系）72.1%、スギ間伐（架線系）57.2%となった。これらについて、Mann-WhitneyのU検定を行うとスギにおいて、車両系と架線系で造材歩留まりに有意水準5%で有意差があった（図-6, 7）。標本数に偏りもあり、すべての樹種、作業種、集材方法において有意差が認められる結果ではなかったものの、歩留まりの差がある傾向が見られ、これまでの研究でも樹種間等で差があることを指摘していることから、樹種間での差があった場合の影響を検討するためこれらの造材歩留まりを用いて木質資源利用可能量の推定を行った。

2. 木質資源利用可能量の推定結果

前述の条件および推定した造材歩留まりを用いて木質資源利用可能量推定を行った。用材部率と未利用材部率は、推定した歩留まりに基づく場合（パターン1）と、従来通り歩留まり80%を用いる場合（パターン2）を設定した。そして、設定した施業条件（表-4）の下でそれぞれのパターンでの施業班単位での収穫量を求めた。

その結果、再生林・育林を考慮しない場合、パターン1で利用可能な未利用材部は、カラマツ 2,513,136 m³、ヒノキ 504,252 m³、スギ 1,790,857 m³、アカマツ 335,412 m³となった。またパターン2では、カラマツ 2,358,220 m³、ヒノキ 308,225 m³、スギ 1,237,848 m³、アカマツ 325,613 m³となった（表-5）。このように今回推計した、造材歩留まりを適用すると、すべての樹種で未利用材部の利用可能量は増加した。本研究においては、未利用材部は用材搬出時に合わせて収穫可能であり、作業内容、搬出費用に影響を及ぼさないと仮定したことから、造材歩留まりの割合の変化が、材価の高い用材部を増加させ、収益性が向上したた

めであると考えられる。

再生林・育林を考慮した場合、パターン1ではカラマツ 2,311,538 m³、ヒノキ 95,076 m³、スギ 48,648 m³、アカマツ 0 m³となった。またパターン2では、カラマツ 2,197,756 m³、ヒノキ 168,066 m³、スギ 7,234 m³、アカマツ 12,041 m³となった（表-6）。樹種ごとの造材歩留まりを考慮すると、パターン1はパターン2と比べて未利用材部の利用可能量はカラマツ、スギでは増加し、ヒノキ、アカマツでは減少した。

3. 考察

本研究で推定された造材歩留まりは、主伐ではすべての樹種において先行研究（守口ら 2016；上村ら 2009）で用いられている、造材歩留まり80%程度という値を下回る結果となった。長野県内においては概ね末口14cm以上を収穫対象としており、他地域と異なる可能性もあるが、実際の施業地もしくは林分単位では、曲がりや被害木など造材歩留まりの低い個体が存在するため、これまでの単木の生産結果の積み上げから推計した歩留まり（仲畑ら 2018）よりも低くなったと考えられる。間伐においてはカラマツ、ヒノキ、スギで、先行研究（山本ら 2017）で用いられている50%を上回る結果となった。これは、利用間伐の対象が高齢級化しており、これまでの先行研究の調査時よりも、単木材積が大きいため伐採対象木の歩留まりが高くなったと考えられる。一方、アカマツでは従来の値を下回った。アカマツの間伐は松枯れ対策としても実施され、被害木は林内で処理しほとんど用材として利用していないため、従来よりも歩留まりが低い結果となったと考えられる。

樹種別による傾向としてアカマツは若干ではあるものの他樹種と比べて、歩留まりのばらつきが大きい。これは、アカマツが曲がりや二又木の発生しやすい樹種であるためと考えられる。スギも比較的造材歩留まりのばらつきが大きいですが、これは長野県においてスギは多雪地帯である北信地域で多く生産されているため、雪圧による根曲がり原因と推察される。また、集材方法ごとに造材歩留まりを推定したヒノキとスギについては、ともに車両系の方が架線系より造材歩留まりが高くなった。架線系は車両系と比べ、製材用材として利用が困難な低質木を土場まで搬出する割合が少ないことを意味し、架線系では集材時に残存木への

損傷を減らすため、梢端を切り落として集材することや、車両系集材では、高密路網を開設し直接グラップル等で集材されることが多く、梢端まで合わせて木寄せされるため、用材として利用可能な小径部分まで造材されていることが推測され、歩留まりが高くなることに起因すると考えられる。また、ヒノキでは集材方法による有意差は見られなかったため、樹種ごとの梢端部の処理方法に違いがある可能性が示唆された。今回推定した造材歩留まりは、間伐では従来用いられていた値よりアカマツ以外では高かった。そのため、樹種ごとに造材歩留まりを考慮すると、間伐ではアカマツ以外は用材部による収入が増加し、用材部と未利用部を合計した利用可能な木質資源量が増加した。ただし、カラマツでは他の樹種に比べ間伐時の造材歩留まりが従来値と差が小さいため、間伐時の木質資源利用可能量の増加も少なく、未利用部の利用可能量が減少した。また、カラマツ、ヒノキ、スギは収支の均衡付近に多くの施業班が存在しているため、用材の収益から搬出可否を判断した本シミュレーション結果では、未利用材部利用可能量が造材歩留まりの変化の影響を大きく受けたと考えられる。

主伐では推定した歩留まりは、すべての樹種で従来値

よりも低い傾向が見られたが、再造林・育林を想定しない場合では、樹種別に歩留まりを考慮してもアカマツ以外では、利用可能材積に大きな変化はなかった。これは、間伐と再造林・育林を考慮しない場合のパターン1で1m³当たりの収支を利益の大きい施業班から並べると、図-8となるように、アカマツ以外では主伐の支出（主に生産費用）が比較的小さいため収支が大きく黒字側にあり、造材歩留まりが多少変化しても大きな影響を与えなかったと考えられる。一方で、アカマツの主伐では収支の均衡付近に比較的多くの施業班が存在しているため（図-9）、造材歩留まりの違いが大きな影響を与えた。また、アカマツは間伐・主伐ともに搬出が困難である結果となったが、実際の作業においても低い材価をカバーするため、松枯れ対策の各種補助事業を活用することで搬出されているため、補助事業を考慮しない本研究ではこのような結果が示された。

アカマツ以外では、今回の推定方法では造材歩留まりの違いにより、利用可能量に大きな変化はなかったが、パターン1と2では1m³当たりで150円～1,500円程度収入が変化しており、用材部から得られる収入に大きな影響を与えることから、正確な造材歩留まりの推定が重要である

表-4. 木質資源利用可能量推計の施業条件および用材部率・未利用材部率

		カラマツ		ヒノキ		スギ		アカマツ	
		利用間伐	主伐	利用間伐	主伐	利用間伐	主伐	利用間伐	主伐
パターン1	施業対象林齢	40～60	61～	35～55	56～	35～55	56～	35～55	56～
	伐採率	35%	100%	35%	100%	35%	100%	35%	100%
	用材部率	54.7%	78.5%	63.8%	69.7%	63.1%	71.8%	36.7%	65.0%
パターン2	未利用材部率	45.3%	21.5%	36.2%	30.3%	36.9%	28.2%	63.3%	35.0%
	用材部率				利用間伐 50%	主伐 80%			
	未利用材部率				利用間伐 50%	主伐 20%			

施業対象林齢は長野県地域森林計画を参考に作成。

表-5. 樹種・作業種別 木質資源利用可能量 (m³) の推計 (再造林費を含まない)

	樹種	カラマツ		ヒノキ		スギ		アカマツ	
		パターン1	パターン2	パターン1	パターン2	パターン1	パターン2	パターン1	パターン2
間伐	搬出対象蓄積量	1,445,365	1,334,586	436,578	67,983	368,549	0	0	0
	用材部	276,715	233,553	97,488	11,897	81,394	0	0	0
	未利用材部	229,163	233,553	55,314	11,897	47,598	0	0	0
主伐	搬出対象蓄積量	10,623,131	10,623,338	1,481,641	1,481,641	6,181,771	6,189,238	958,319	1,628,065
	用材部	8,339,157	8,498,670	1,032,704	1,185,313	4,438,512	4,951,390	622,908	1,302,452
	未利用材部	2,283,973	2,124,668	448,937	296,328	1,743,259	1,237,848	335,412	325,613
合計	搬出対象蓄積量	12,068,495	11,957,924	1,918,219	1,549,624	6,550,320	6,189,238	958,319	1,628,065
	用材部	8,615,872	8,732,223	1,130,192	1,197,210	4,519,905	4,951,390	622,908	1,302,452
	未利用材部	2,513,136	2,358,220	504,252	308,225	1,790,857	1,237,848	335,412	325,613

表-6. 樹種・作業種別 木質資源利用可能量 (m³) の推計 (再造林費を含まない)

	樹種	カラマツ		ヒノキ		スギ		アカマツ	
		パターン1	パターン2	パターン1	パターン2	パターン1	パターン2	パターン1	パターン2
間伐	搬出対象蓄積量	1,445,365	1,334,586	436,578	67,983	368,549	0	0	0
	用材部	276,715	233,553	97,488	11,897	81,394	0	0	0
	未利用材部	229,163	233,553	55,314	11,897	47,598	0	0	0
主伐	搬出対象蓄積量	9,685,468	9,821,016	131,227	780,845	3,724	36,169	0	60,203
	用材部	7,603,092	7,856,813	91,465	624,676	2,674	28,935	0	48,163
	未利用材部	2,082,376	1,964,203	39,762	156,169	1,050	7,234	0	12,041
合計	搬出対象蓄積量	11,130,832	11,155,602	567,805	848,828	372,273	36,169	0	60,203
	用材部	7,879,807	8,090,366	188,953	636,573	84,068	28,935	0	48,163
	未利用材部	2,311,538	2,197,756	95,076	168,066	48,648	7,234	0	12,041

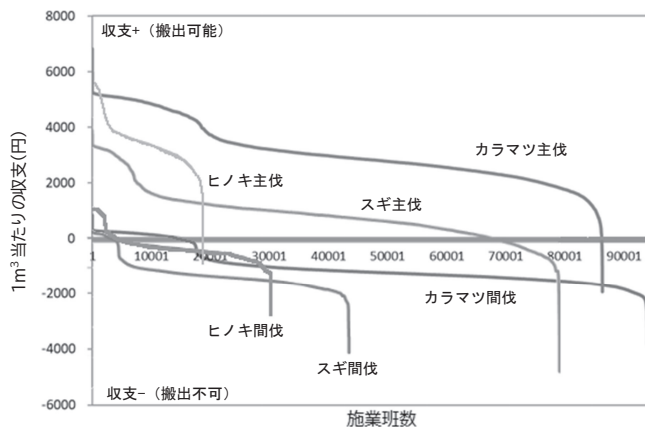


図-8. 施業班ごとの1m³当たりの収支（カラマツ・ヒノキ・スギ：パターン1 再造林未考慮）

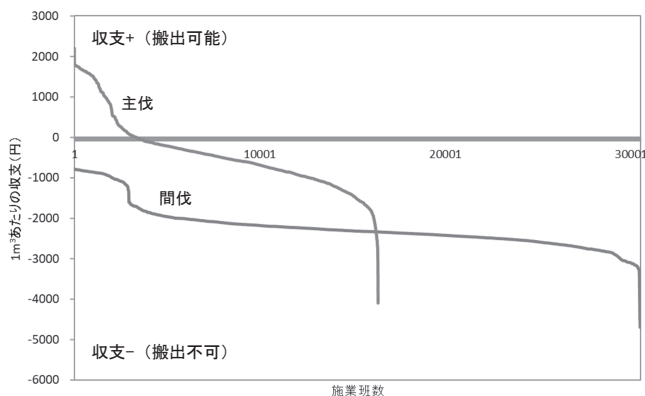


図-9. 施業班ごとの1m³当たりの収支（アカマツ：パターン1 再造林未考慮）

ことが確認された。また、再造林・育林を想定した場合の主伐では、歩留まりを考慮すると、カラマツ以外では未利用材部の利用可能量が減少した。再造林・育林費を支出に含めたことにより、用材部での収入が十分に確保されていなければ、収穫可能と判断されない。今回推定した造材歩留まりは従来の値より低かったため、用材部での収入が十分に確保されない施業班が多くなり、結果的に利用可能な木質資源量が減少し、未利用材部の利用可能量も減少したと考えられる。

IV. おわりに

今回の研究では樹種、作業種、集材システムによる造材歩留まりの違いを明らかにすることができた。そして、本研究で推定された造材歩留まりを用いて、木質資源利用可能量を算出すると、再造林、育林を考慮しない場合、従来通り造材歩留まり80%を用いた場合よりカラマツ、ヒノキ、スギでは増加し、アカマツでは減少することが明らかになった。また1m³当たりの収支を明らかにすることにより、正確な造材歩留まりの推定を行うことの重要性を示

すことができた。用材部による収入に影響を与える造材歩留まりは、材価の変動による影響も大きく受けるため、今後はより正確な木質資源利用可能量の推計を行うために、地上レーザによる正確な資源量を用いた歩留まり調査や、ハーベスタの造材記録等を活用した、多量のサンプル収集手法を検討し、樹種のみではなく林齢、林況などと造材歩留まりの関係を明らかにする必要がある。また、本研究においては製材用材とパルプ材を用材部として扱ったが、樹種ごとに用材・パルプ材割合の比は異なる可能性もあるため、収入に与える影響の大きい製材用材割合に関しても引き続き調査が必要である。

謝 辞

本研究はJSPS科研費15H04508および21K05665の助成を受けたものです。ここに記して謝意を表す。

引用文献

- 安藤範親 (2013) 木質バイオマス発電の動向と課題への対応. 農林金融 2013: 25-39
- 有賀一広・山本嵩久・白澤結明 (2018) 地理情報を用いた供給コストと資源量把握の取組. 森林科学 83: 8-11
- 福田 淳 (2017) 各都道府県における間伐材等由来チップのエネルギー利用量の分析. 林業経済研究 63(3): 23-31
- 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. 日エネ誌 88: 877-883
- 国立環境研究所地球環境研究センター温室効果ガスインベントリオフィス (GIO) 編 (2018) 日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2018年
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/NIR-JPN-2018-J.pdf> (2020年12月1日参照)
- 水庭諄子・上村 僚・有賀一広・仲畑 力 (2015) 那須町森林組合における皆伐作業の採算性の検討. 宇都宮大学農学部演習林報告 51: 9-18
- 守口 海・植木達人・大塚 大・斎藤仁志 (2016) 造林・育林費用の許容上限の簡易な計算方法. 日林誌 98: 31-38
- 中澤昌彦・岩岡正博・峰松浩彦・小澤雅之 (2006) 全木・全幹・短幹の集材方式の違いによる土場残材発生量の変化. 森林利用誌 21: 205-210
- 仲畑 力・山本嵩久・斎藤仁志・有賀一広 (2018) 素材販売実績に基づく皆伐再造林の採算性分析: 栃木県宇都宮市の事例. 森林利用誌 33: 59-66
- 農林水産省 (2018) 平成25年度林業経営統計調査報告. 農林水産省 <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/rinkei/index.html> (2020年12月1日参照)
- 酒井明香 (2019) Q&A 先月の技術相談から〔「造材歩留まり」について〕. 林産試だより 2019年3月号: 8
- 信州木材認証製品センター (2011) 県産材のLCA調査報告書 <https://shinshu-kiraku.net/intro/img/lca/pdf/00.pdf> (2020年12月1日参照)
- 立川史郎 (2004) 全木集材により発生した土場残材の集積状況と残材発生量の調査事例. 機械化林業 609: 1-4
- 山口鈴子・有賀一広・村上文美・斎藤仁志・伊藤 要 (2010) 栃木県佐野市における用材と林地残材収穫の経済性を考慮した林地残材収穫量と収穫費用算定モデルの構築. 日エネ誌 89: 982-995
- 山本嵩久・有賀一広・古澤 毅・當山啓介・鈴木保志・白澤結明 (2017) 栃木県における木質バイオマス発電のための長期的な未利用材利用可能量推計. 日林誌 99: 266-271
- 山内仁人 (2014) 木材チップ等, 木質資源の含水率. 長野県林業総合センターミニ技術情報 50 <https://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/joho/minigijutsu/documents/50chipmc.pdf> (2020年12月1日参照)