

人工林針葉樹主伐後の再造林にともなう 森林バイオマス集荷可能量の推定

酒井 明香

Estimation of the potentially collectable volume of unused forest biomass on artificial afforestation after final cutting

Sayaka SAKAI

キーワード：地ごしらえ，林地残材，伐採跡地，再造林

人工林針葉樹の主伐後に，再造林に向けた地ごしらえ作業で発生する森林バイオマス・地ごしらえ残材の集荷可能量を推定した。地ごしらえ残材集荷量を従属変数とし，伐採材積・樹種・地域・集材方法・広葉樹の出材状況を説明変数とする重回帰分析を行った結果，伐採材積・地域・広葉樹が統計的に有意な変数として採択された。自由度修正済み $R^2=0.861$ で，回帰式の P 値は1%水準で有意であった。この推定式を用いた2021年度および2031年度の地ごしらえ残材集荷量の試算結果は，各25.8万 m^3 ，34.9万 m^3 となり，2020年度に北海道で使用された“未利用材”86万 m^3 の30~40%に相当することが明らかになった。

1. はじめに

地球温暖化問題を背景として，化石燃料消費の削減に向けた取り組みが全国で活発となっている。2022年9月には，新たな「バイオマス活用推進基本計画」¹⁾が閣議決定され，バイオマスの種類ごとに2030年に向けた利用目標が掲げられた（第1表）。それによれば，黒液や製材工場等残材，建設発生木

材などの廃棄物系バイオマスは，現在の利用率が96%から100%と，ほぼ回収限界に近付いている。そのため，今後は農作物非食部や林地残材などの未利用系バイオマスの利用を推進すること，これまで計画上は扱ってこなかった新たなバイオマスの賦存量や利用量について2030年までに調査を実施することが明記されている。

第1表 バイオマス活用推進基本計画におけるバイオマスの種類ごとの利用率と2030年の目標（%）^{*1,2}

	バイオマスの種類	現在の年間発生量	現在の利用率	2030年の目標
廃棄物系	家畜排せつ物	約8,000万トン	約86%	約90%
	下水汚泥	約7,900万トン	約75%	約85%
	黒液	約1,200万トン	約100%	約100%
	紙	約2,500万トン	約80%	約85%
	食品廃棄物等	約2,400万トン	約58%	約63%
	製材工場等残材	約510万トン	約98%	約98%
	建設発生木材	約550万トン	約96%	約96%
未利用系	農作物非食部	約1,200万トン	約31%	約45%
	林地残材	約970万トン	約29%	約33%以上

* 1 現在の年間発生量および利用率は2021年4月時点

* 2 黒液・製材工場等残材・林地残材は乾燥重量、他のバイオマスは湿潤重量

また国が達成すべき目標として、2030年度までに全都道府県でバイオマス活用推進計画を策定すること、全市町村がバイオマス関連計画を活用することが掲げられている¹⁾。

北海道ではバイオマス活用推進基本計画の閣議決定（2022年9月6日）に先立つ2020年3月に「2050年までに温室効果ガス排出量の実質ゼロをめざす」ことを表明し“ゼロカーボン北海道”の達成に向けた森林吸収源対策や道産木材の利用推進に取り組んできた²⁾。北海道の森林は、人工林針葉樹の約8割が40年生以上の成熟期に達しており³⁾、森林施業に由来する低質材や林地残材は、木質バイオマス発電施設を中心に燃料としての活用が進んでいる。道内における木質バイオマスエネルギー利用量は、2016年度以降に稼働した大型木質バイオマス発電所等の利用を反映して急増しており、2020年度には146万³（うち未利用材86万³）に達した²⁾。

今後さらに複数か所の発電施設の新設が見込まれていることから⁴⁾、道内の木質バイオマス需要はさらに増加することが予想される。

本稿は、これらの施策の動きと本道における森林資源の成熟、主伐・再造林面積の増加を念頭に、再造林の前工程として実施される“地ごしらえ”作業の際に生じるバイオマス（以下「地ごしらえ残材」）を新たな未利用系バイオマス資源として、その集荷可能量を推定することを目的とする。

2. 森林バイオマスの利用可能量に関する知見

冒頭に示した農水省のバイオマス基本計画において、間伐材・主伐材・徐伐材および林地残材等の森

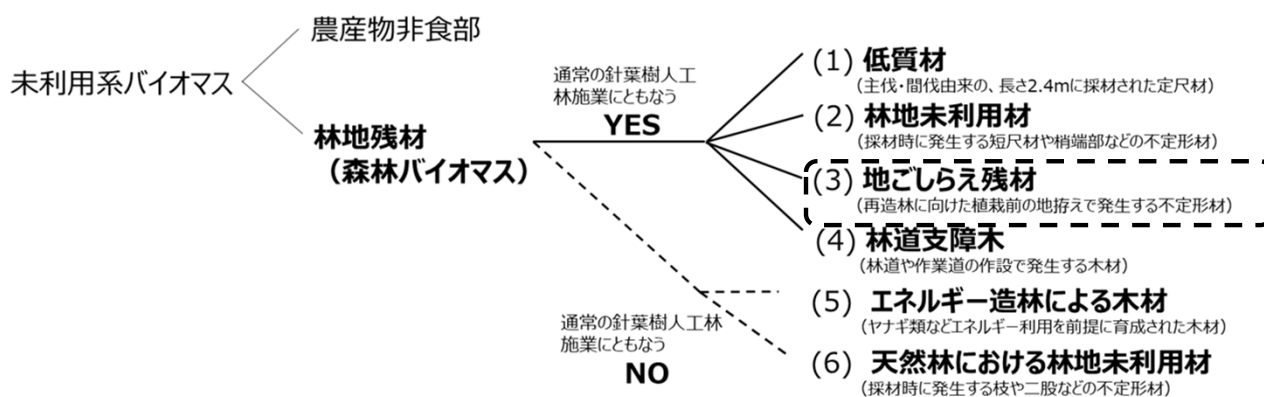
林施業が由来となるバイオマスは、未利用系バイオマスの一つとして“林地残材”に分類される。一方、林地残材と「既に利用されている木材」の境界を示すことは簡単ではない。例えば、腐朽がみられる原木は、製紙工場のある地域では主にパルプ材として利用されるが、需要のない地域では林地残材となる。末口6cmの太さの原木に需要がある地域もあれば、末口14cmの原木で切り捨てられ林地残材となる地域もある。このように林地残材になるかどうかは各地の木材需要状況や市況に大きく左右される。

本稿では林地残材を、山に残っているかどうかを問わず“森林バイオマス”と言い換え、本稿の試算対象となる地ごしらえバイオマスを含め、北海道で特に注目される森林バイオマスを、6つに分類した上（第1図）、これまでの知見を整理した。

2.1 低質材

低質材は、主伐や間伐に由来する、曲がりや腐朽などの欠点を有する原木を指す。北海道における針葉樹の低質材は、古くよりパルプ材として利用されており、吉沢⁵⁾によれば1960年から1963年における木材需要量の約3割をパルプ材が占めた。現在の北海道においても、これらのパルプ材はおおむね長さ2.4m前後に採材され、2020年現在で190余社のチップ工場に原木換算で434万³/年が出荷されている³⁾。

このことから、北海道における低質材の多くは現時点では「既存需要あり」（未利用ではない）と判断されるが、将来的な製紙業の後退によってはパルプ材としての出荷量が低下し、森林バイオマスとなる可能性がある。



第1図 本稿の試算対象とその他の注目される森林バイオマスの位置づけ

なお伐採材積に占める低質材の割合（パルプ率）の樹種による差について、大野ら⁶⁾は、北海道の山土場におけるカラマツおよびトドマツの低質材の出現パターンを調査し、カラマツは林齢とともにパルプ材出現率が低下するが、トドマツは逆に増加する傾向を明らかにしている。

2.2 林地未利用材

林地未利用材は、主伐材や間伐材を用途に合わせて採材するときに発生する、欠点を有した短尺材や、梢端部などの不定形材を指す（第2図左）。著者らの調査⁷⁾では、北海道内の間伐・主伐林分において、全幹集材時に、採材後の山土場に集積する森林バイオマス（引用文献中では「林地残材」）の立木幹材積に占める割合は約17%であった。また、立木幹材積（重量換算）を100%とした時、全木集材時に山土場に集積する森林バイオマスの重量割合は28%であった。これらは他府県のスギ・ヒノキの知見と比べ同程度かやや低めの数値である⁸⁾（中澤ほか（2006））。著者らはこの割合と北海道地域森林計画の森林経営計画（平成19～24年）等を元に全幹集材時の林地残材（本稿での未利用材と同義）の潜在的利用可能量を、約42.8万m³/年と試算した⁹⁾。

林地未利用材の名のとおり、その多くが林内に残置されたままであり、既存需要と競合しないことから、その活用が施策目標のひとつとなっている。

2.3 地ごしらえ残材

地ごしらえ残材は、主伐後の再生林の準備作業として、グラップルレーキ等を用いて不要物を除去する地ごしらえ作業の際に集められる森林バイオマスを指し（第2図右）、本稿の試算の対象である。低質

材や林地未利用材が主林木の樹幹であるのに対し、地ごしらえ残材には主林木の枝条や倒木のほか、広葉樹支障木の端材、稚樹やササ類などが含まれる。地ごしらえ残材集荷量は、伐採材積のほか、主林木の樹種や現地の下層植生、広葉樹の侵入状況等の因子に左右されると考えられるが、知見は乏しい。

著者らの調査¹⁰⁾による主伐林分では、地ごしらえ面積1haあたり約150トンが集荷できた。土砂混入率が8%～16%前後と高く、灰分の高い低質なチップではあるが、同試験地の地ごしらえ残材の熱量を計測したところ、製紙用カラマツチップの87%の熱量を有していた¹¹⁾。

従来、地ごしらえ残材は、火入れによる焼却が行われてきたが¹²⁾、消防法の強化や技術伝承の困難さから廃根線（はいこんせん）として林内に帯状に残置されることが多くなった。一方、廃根線は野ネズミの営巣環境になりやすく、野鼠害を誘発する可能性が高いとの指摘¹³⁾があり、地ごしらえ残材の有効活用の道が模索されていた。前出の事例では、地ごしらえ残材を廃根線にせずチップ化してバーク堆肥原料として出荷することで、チップ販売収入から地ごしらえに関する収支が1haあたり8万円ほど改善した¹⁴⁾。2016年以降は、道内の大型木質バイオマス発電所の一部で積極的に燃料利用されるようになり、有価物として取引される実績ができてきた¹⁴⁾。

2.4 林道支障木

林道支障木は、林道または作業道の作設の際に、森林の伐採にともない発生する支障木を指す。針葉樹・広葉樹ともに販売されることが多く、例えば北海道森林管理局では2018年度～2020年度に公売において1,000～7,000円/m³で落札されるなど¹⁵⁾、道内



第2図 林地未利用材（左）と地ごしらえ残材（右）

では有価物として取引されている実績ができつつある。

一方、公売の物件の不落率が高い地域では、森林バイオマスとなっていることが予想される。

2.5 エネルギー造林による木材

当初よりエネルギー利用を目的とした造林による森林バイオマスを指す。道内では、ヤナギ類のエネルギー造林について伊藤ら¹⁶⁾、宇都木ら¹⁷⁾、矢野ら¹⁸⁾が検討している。ヤナギ類は成長が早く萌芽更新や差し木更新が容易であるのが特徴で、エゾノキヌヤナギ・オノエヤナギの適切な個体を選び造林することで、最大で1年当たり10トン/haの生産が可能であることを示した。ヤナギ栽培は土壌を選ぶこと、またエゾシカの食害を受けることもあるため、土壌改良に関わるインフラ整備、及び動物害に対する投資が必要であるが、何らかの公的補助が可能であれば、ヤナギ栽培はエネルギー資源作物として採算が合う可能性があるとしている。

2.6 天然林における林地未利用材

天然林における林地未利用材は、受光伐や整理伐などの施業で発生するもので、一般材やパルプ材として利用されずに林内に残置された欠点部や枝条などを差す。及川ら¹⁹⁾や笹ら²⁰⁾は、北海道大学天塩演習林の天然林（針広混交林）において、平地と緩傾斜地それぞれに全木集材と全幹集材の試験区を設け、立木1m³を伐採した際に集荷できる林地未利用材の重量を計測した。針広の混交率が異なる4つの試験区で立木伐採1m³あたり0.29～0.35トンが集荷できたことを示した。

一方、當山²¹⁾は、人工林だけでなく天然林もバイオマス利用していく前提に立ち、森林経営計画を樹立する際の課題を検討した。天然林を経営計画に組み入れることは計画の各種要件を満たすために有効で、森林作業道などを開設維持する面でも望ましいとした。しかし天然林は、人工林と異なり間伐補助金などの伐採補助制度がないことから、単体で施業コストを吸収することはほぼ不可能であるとした。一般的な条件下では、補助を得て行う人工林の森林整備を主体とし、近在する天然林のバイオマス生産

も付随的に実施することが妥当と結論付けた。

3. 資料と方法

道内のカラマツ・トドマツの主伐時の立木伐採量に対する地ごしらえ残材集荷量について調べるため、北海道内で実際に地ごしらえ残材を燃料として利用する大型バイオマス発電所に出荷している素材生産事業者3社に協力を要請した。2019年～2020年で地ごしらえ残材を集荷・販売した主伐事例で、樹種と伐採方法と集材方法および立木伐採材積が記録に残されているか追跡調査が可能で、実際の販売重量のデータが揃っている伐区データに限定した。

集まった伐区データのうち、幹折れや根返りなどの被害林分（特に2016年大型台風と2019年の北海道胆振東部地震の被災林分処理に関わるもの）と、2020年のコロナ禍で通常の販売先に出荷できなかった林分を除いた。結果的にカラマツ主伐14事例とトドマツ主伐15事例、カラマツに一部トドマツの混交する2事例の計31事例を分析資料とした（第2表）。

31事例の中には、単一小班のものから、複数の林小班にまたがる施業団地と同程度（数十ha）のものを含むこととなった。これは、地ごしらえ残材は安価であるため、複数の主伐現場から出されたものを一度にまとめてトラックで販売先まで運搬し、重量計測されるケースが多いことによる。その場合は、地ごしらえ残材の販売重量が1つの数字にまとめられるため、複数の現場であっても1事例としてカウントした。

地ごしらえ残材は前述のとおり倒木や枝条などの混合物であり、材積取引が困難なことから層積または生重量で取引されることが多い。本稿では発電所向けに地ごしらえ残材を販売している先行事例¹⁴⁾を参考に1トンを1.25m³に材積換算して分析を行った。

地ごしらえ残材集荷量（以下「残材集荷量 (G_r)」）を推定するにあたり、それに影響を与えうる変数として、伐採材積 (V_0)、樹種 (S_p)、地域 (R_e)、集材方法 (L_o)、広葉樹侵入状況（以下「広葉樹 (H_a)」）を考慮して重回帰分析を行った。第3表に変数の一覧を示す。

伐採材積 (V_0) は、針葉樹および広葉樹侵入木を含む伐区全体の合計とした。

その他の4変数はダミー変数とした。樹種 (*Sp*) は主林木にカラマツを含む場合を1とし、それ以外を0とした。これは、落葉樹種であるカラマツの方が相対的に林床照度が高いため下層植生が多く、ササ類が多く集荷される可能性を考慮した。また地域 (*Re*) は、道内の主要林業地域である網走と十勝と上川管内にある伐区を1とし、路網などの輸送基盤や地ごしらえ機械 (アタッチメントを含む) が充実し、地ごしらえ残材を搬出しやすい環境が相対的に整っている可能性を考慮した。集材方法 (*Lo*) は、短幹集材を実施した伐区を1とし、それ以外を0とした。これは短幹方法の方が、全木集材や全幹集材に比較して枝条や梢端部が林内に残置されやすい可能性を考慮した。広葉樹 (*Ha*) は、一般に人工林針葉樹林には若干の広葉樹が侵入し、パルプ材の出荷がみられるが、広葉樹一般材 (製材用) も出材している伐区は、母集団としての広葉樹本数が多いことを想定して1とし、それ以外を0とした。

4. 結果

重回帰分析に用いた6変数の相関行列を第4表に示す。各変数の相関は0.7を越えず、またVIF (Variance Inflation Factor) も3以内であり、問題となる多重共線性は認められなかった。

重回帰分析の結果、自由度修正済み決定係数 $R^2=0.861$ と十分に高く、分散分析の結果、回帰式は1%水準で有意であった (第5表)。ダービン・ワトソン比は1.851であり、2に近似していることから誤差項間の自己相関は十分に小さいとみなせた。説明変数のうち、偏回帰係数が1%水準で有意だったものは「伐採材積 (*Vo*)」「地域 (*Re*)」の2変数で、5%水準で有意だったのは「広葉樹 (*Ha*)」であった。今回の結果からは集材方法や樹種は採択されなかった。

この結果より、地ごしらえ残材集荷量の推定式として、次式が導き出された。

$$Gr=0.098Vo+242.333Re+157.923Ha \quad (1)$$

第2表 分析資料に用いた主伐事例一覧

番号	市町村	作業種	伐採材積(m ³)	樹種	番号	市町村	作業種	伐採材積(m ³)	樹種
①	岩見沢	皆伐	4,604	カラマツ	①	栗山	皆伐	2,270	トドマツ
②	置戸	皆伐	3,266	カラマツ	②	むかわ	皆伐	3,275	トドマツ
③	湧別	皆伐	1,410	カラマツ	③	網走	皆伐	931	トドマツ
④	美瑛	皆伐	2,540	カラマツ	④	網走	皆伐	4,382	トドマツ
⑤	標茶	皆伐	2,886	カラマツ	⑤	津別	皆伐	1,631	トドマツ
⑥	釧路	皆伐	3,240	カラマツ	⑥	網走	皆伐	3,224	トドマツ
⑦	釧路	皆伐	1,478	カラマツ	⑦	北見	皆伐	3,024	トドマツ
⑧	足寄	皆伐	1,444	カラマツ	⑧	置戸	皆伐	1,953	トドマツ
⑨	釧路	皆伐	766	カラマツ	⑨	猿払	皆伐	2,785	トドマツ
⑩	浦幌	皆伐	3,835	カラマツ	⑩	八雲	皆伐	1,086	トドマツ
⑪	標茶	皆伐	6,756	カラマツ	⑪	八雲	皆伐	1,217	トドマツ
⑫	足寄	皆伐	2,419	カラマツ	⑫	乙部	更新伐	951	トドマツ
⑬	足寄	皆伐	901	カラマツ	⑬	乙部	更新伐	853	トドマツ
⑭	倶知安	皆伐	1,242	カラマツ	⑭	黒松内	更新伐	135	トドマツ
⑮	枝幸	皆伐	4,485	カラトド	⑮	豊浦	更新伐	532	トドマツ
⑯	乙部	更新伐	548	カラトド					

第3表 変数の一覧

説明変数	変数の種類	内容
伐採材積 <i>Vo</i>	実数	伐区の針葉樹出材積と広葉樹侵入木出材積 (m ³)
樹種 <i>Sp</i>	ダミー変数	主林木にカラマツを含む (Yes=1)
地域 <i>Re</i>	ダミー変数	道内の主要林業地域 (網走・十勝・上川) にある (Yes=1)
集材方法 <i>Lo</i>	ダミー変数	短幹集材である (Yes=1)
広葉樹 <i>Ha</i>	ダミー変数	広葉樹 (一般材) を出材している (Yes=1)

第4表 相関係数とVIF

	伐採材積	樹種	広葉樹	集材方法	地域	残材集荷量	VIF
伐採材積(<i>Vo</i>)	1.000	0.224	-0.207	-0.162	0.128	0.546	2.238
樹種(<i>Sp</i>)	0.224	1.000	0.206	0.067	0.017	0.331	2.029
地域(<i>Re</i>)	0.128	0.017	-0.167	-0.167	1.000	0.304	1.560
集材方法(<i>Lo</i>)	-0.162	0.067	0.557	1.000	-0.167	0.161	2.046
広葉樹(<i>Ha</i>)	-0.207	0.206	1.000	0.557	-0.167	0.325	2.200
残材集荷量(<i>Gr</i>)	0.546	0.331	0.325	0.161	0.304	1.000	

推定式(1)を用いて、地ごしらえ残材集荷量の将来的な集荷規模について試算した。有意な説明変数として残った3変数のうち、広葉樹 Ha は伐採前には判断が難しいが、その他の2変数は北海道森林づくり基本計画における地域別主伐（予定）材積²²⁾を用いた試算が可能である。2021年度人工林針葉樹主伐実績および2031年度主伐予定材積を用いた地ごしらえ残材集荷量の試算結果は、前者が25.8万 m^3 、後者が34.9万 m^3 となった。これは、2章で記載した2020年度における北海道内の木質バイオマス利用量のうち未利用材86万 m^3 の30~40%に相当する量である。

5. 考察

分析結果より、地ごしらえ残材集荷量は、伐採材積の大きい伐区ほど、林業生産の盛んな地域ほど、広葉樹の侵入率が高い伐区ほど大きいという結果となった。当初、想定していた集材方法の差が有意な変数として残らなかった原因の一つとして、全国的な試験結果をまとめた中澤論文⁸⁾に対し、今回用いたデータが実際の販売実績に基づくもので、伐区面積の全ての地ごしらえ残材を試験のように厳密に集荷したわけではなかった可能性が挙げられる。またカラマツとトドマツの樹種差も小さく、有意でなかった。これは、カラマツ林の下層植生の大部分を占めるササ類は、層積が大きくても容積密度が低く、重量換算後は割合として大きくなかった可能性がある

る。今後は地ごしらえ残材の樹種差を検討するにあたり、残材の構成割合の検証が必要と考えられた。

推定式(1)の結果から、伐採材積の少なくとも9.8%にあたる地ごしらえ残材が苗木植栽前に集荷されていることが示された。繰り返しになるが、この残材の除去は苗木の植栽やその後の活着のために必要な地ごしらえ工程の一部である。地ごしらえ残材をできるだけ搬出し、未利用系バイオマスとして活用することは、森林施業の流れに沿っており、バイオマス活用推進基本計画の方向性にも一致していると考えられる。

前章の試算結果から、未利用系バイオマスの一角である地ごしらえ残材は、主伐と再生林の増加にもない一定の供給増が見込まれ、「新たなバイオマス資源」としてバイオマス利活用計画に資する可能性が高いことが示された。北海道内では、木質バイオマス発電所の増加などから、各種木質バイオマスの需給ひっ迫が予測されるが、既存需要と競合しない地ごしらえ残材や3章で記載した他の未利用バイオマスを組み合わせつつ、より多く商流に乗せることが需給緩和に向けた解決策の一つと考えられる。

今後は、推定式の精緻化のために伐区データを増やすことが必要である。今回用いた地ごしらえ残材の伐区データ ($n=31$) は、既に主伐が終了し地ごしらえを実施した後に収集したため、林小班ごとの広葉樹侵入率や主伐時の本数密度などのデータを

第5表 重回帰分析と分散分析結果

重回帰分析結果						
説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	標準誤差	F値	P値	判定
伐採材積	V_o 0.098	0.566	0.017	32.017	0.0000005	**
樹種	S_p 49.400	0.071	66.688	0.549	0.465	
地域	R_e 242.333	0.293	82.172	8.697	0.007	**
集材方法	L_o 25.827	0.031	79.236	0.106	0.747	
広葉樹	H_a 157.923	0.217	60.689	6.771	0.015	*
自由度修正済み $R^2=0.861$		$n=31$	** : $P<0.01$, * : $P<0.05$			
ダービン・ワトソン比=1.851						
回帰式の有意性（分散分析結果）						
要因	平方和	自由度	平均平方	F値	P値	
回帰変動	6,065,830.738	5	1,213,166.148	39.528	0.000000001	**
誤差変動	797,978.433	26	30,691.478			

遡って入手することが困難であった。また、4章で述べたとおり、伐区が大面積で小班に分離できなかったこと、そのため推定式は市町村の団地単位など大きな伐区の推定にしか活用できないことが問題点として残された。今後は、より小面積の推定が可能のように、伐区データは林班単位ではなく小班単位に細分化できるよう、地ごしらえ残材の現地計測方法を工夫すること、衛星画像などを用いて伐採前の広葉樹の侵入率を組み込むこと等に考慮した推定式の構築が必要と考えられる。

6. 引用文献

- 1) 農林水産省環境バイオマス政策課：“新たなバイオマス活用推進基本計画の閣議決定について”。農林水産省，東京，2022，https://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/bio_g/220906.html，2022年9月30日参照
- 2) 北海道：“令和3年度北海道森林づくり白書”，北海道水産林務部，札幌，pp. 4-5, 69-71 (2022)。
- 3) 北海道水産林務部：“令和2年度北海道林業統計”，北海道庁，札幌 (2022)。
- 4) 経済産業省エネルギー庁：“再生可能エネルギー電子申請・事業計画認定情報公表用ウェブサイト”，経済産業省，東京，<https://www.fitportal.go.jp/PublicInfo>，2022年11月15日参照
- 5) 吉沢武勇：“北海道におけるパルプ材の流通”，日本林学会北海道支部講演集12，pp. 16-18 (1963)。
- 6) 大野泰之，酒井明香，寺澤和彦：“トドマツ，カラマツ人工林の土場におけるパルプ丸太の出現パターン”，第124回日本森林学会大会発表データベース (2013)。
- 7) 酒井明香，寺田文子，渡辺一郎，佐々木尚三：“北海道における機械作業システムと林地残材率を考慮した林地残材集荷可能量の推定”，森林利用学会誌，30(2)，pp. 71-78 (2015)。
- 8) 中澤昌彦，岩岡正博，峰松浩彦，小澤雅之：“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”，森林利用学会誌，21(3)，pp. 205-210 (2006)。
- 9) 酒井明香，津田高明，八坂通泰：“北海道における木質バイオマス発電所向け未利用材の供給ポテンシャルの試算”，日本森林学会誌，99(6)，pp. 233-240 (2017)。
- 10) 酒井明香，渡辺一郎：“林地残材のエネルギー利用に向けた収集・チップ化システムの検討(3)：土そりを使用したカラマツ主伐の事例”，日本森林学会北海道支部論文集58，pp. 97-100 (2010)。
- 11) 酒井明香：“皆伐跡地で林地残材を効率的に集める”，光珠内季報，Vol. 160，pp. 5-10 (2010)。
- 12) 高橋邦秀：“美幌森林組合を訪ねて：火入れ地拵えを見直す”。北方林業，Vol. 59，pp. 105-108 (2007)。
- 13) 中田圭亮：“野ネズミに強い山づくりーそのあり方と施業改善”。北海道水産林務部森林整備課，p. 38 (2000)。
- 14) 北海道水産林務部林業木材課：“令和元年度・林地未利用材集荷・搬出実践テキスト”，北海道水産林務部，札幌，pp. 2-14 (2019)。
- 15) 北海道森林管理局：“国有林野産物の公売公告及び結果”，2018-2020，北海道森林管理局，札幌，https://www.rinya.maff.go.jp/hokkaido/apply/publicsale/koubai/wood_ryuuboku_sonota/index.html，2020年12月26日参照
- 16) 伊藤江利子・古家直行・高橋正義・松井哲哉：“GIS環境情報を用いた下川町内におけるヤナギ栽培適地の抽出”，北方森林研究，62，pp. 39-42 (2014)。
- 17) 宇都木玄・松井哲哉・高橋正義・上村章・原山尚徳・伊藤江利子・古家直行・石原誠・佐山勝彦・松浦友紀子・韓慶民：“木質資源作物としてのヤナギの利用可能性”，北方森林研究，63，pp. 15-17 (2015)。
- 18) 矢野慶介・福田陽子・花岡創・田村明・山田浩雄・生方正俊：“北海道北部下川町の試験地におけるヤナギ属2樹種のバイオマス生産量のクローン間変異”，第128回日本森林学会大会発表データベース，(2017)。
- 19) 及川正敏，秋林幸男，野村睦，高木健太郎，上浦達哉，北條元，高橋廣行，小塚力，坂井勲，笹賀一郎：“天然林択伐作業における木質未利用バイオマスの収集コスト”，日本森林学会北海道支部論文集，55，pp. 98-100 (2007)。
- 20) 笹賀一郎，及川正敏，秋林幸男，野村睦，高木

健郎，上浦達哉，北條元，高橋廣行，小塚力，坂井励：“全木集材方式による木質未利用バイオマス収集コスト削減と実用化の可能性；天然林択抜作業における事例”，第118回日本森林学会大会発表データベース（2008）.

21) 當山啓介：“人工林と天然林双方の利用を包含する森林経営計画の特徴”，第126回日本森林学会大会発表データベース（2015）.

22) 北海道水産林務部：“森林計画関連資料オープンデータ”，北海道（2022）.

ー利用部 資源・システムグループ
（原稿受理：2022.11.30）