

大隅地域における
合理的な素材生産・販売の評価手法に関する研究

牧野 耕輔

2022年

大隅地域における合理的な素材生産・販売の評価手法に関する研究

第1章 序論

1. 1	本論文の目的	1
1. 2	既往の研究	3
1. 3	論文の構成	5
第2章 素材生産・販売の現状		7
2. 1	高性能林業機械の導入と素材生産システム	7
2.1.1	我が国における高性能林業機械の導入	7
2.1.2	我が国における素材生産システムの現状	11
2.1.3	鹿児島大学農学部附属高隈演習林の素材生産システムについて	15
2. 2	素材生産の状況	16
2.2.1	我が国における素材生産の現状	16
2.2.2	鹿児島大学農学部附属高隈演習林の素材販売の動向	18
2. 3	素材販売の状況	20
2.3.1	我が国における素材販売の現状	20
2.3.2	鹿児島大学農学部附属高隈演習林の素材販売の動向	22
2. 4	まとめ	24
第3章 鹿児島県大隅地域を対象にしたスギ材の幹曲線式の算定と素材品質の実態分析		25
3. 1	目的	25
3. 2	調査方法	25
3.2.1	調査対象地	25
3.2.2	素材調査	27
3.2.3	素材の品質等級調査	30
3. 3	解析方法	31
3.3.1	幹曲線式の作成	31
3.3.2	形状比	36
3.3.3	素材歩留り	36
3.3.4	素材の品質等級区分	37
3. 4	結果と考察	38
3.4.1	樹幹形状の実態	38
3.4.2	形状比の実態	39
3.4.3	素材歩留りの実態	42
3.4.4	素材販売量と品等出現頻度の検討	44
3. 5	まとめ	50
第4章 鹿児島県大隅地域におけるスギ材の素材販売価格の試算		52
4. 1	目的	52

4. 2	研究方法	52
4.2.1	調査地	52
4.2.2	本研究の流れ	55
4.2.3	素材調査	59
4.2.4	品質等級調査	59
4. 3	結果と考察	62
4.3.1	素材調査	62
4.3.1.1	幹曲線式の作成	62
4.3.1.2	採材方法の分析	64
4.3.2	品質等級調査	67
4.3.2.1	生産物の出現頻度と品質把握（素材長，径級，品質等級）	67
4.3.2.2	3 m 材および 4 m 材の平均価格（2006～2014 年）	72
4.3.3	採材方法の検証（品質等級・素材調査結果の比較）	73
4.3.4	高限モデルの作成	75
4.3.5	素材販売実績に基づく試算結果と適用可能性の検証	76
4. 4	まとめ	79
第 5 章	高限モデルによる高限演習林の素材販売金額の試算	80
5. 1	高限モデルのパターン分類	80
5. 2	素材販売金額の試算	81
5. 3	素材販売金額と素材本数の試算	87
5. 4	演習林南部区域の素材販売金額の試算	91
5.4.1	材積を用いた素材販売金額の検討	92
5.4.2	立木本数を用いた素材販売金額の検討	93
5.4.3	ha あたり販売金額試算結果の分布	94
5. 5	まとめ	95
第 6 章	総括	98
第 7 章	資料	100
7. 1	素材調査プロット	100
7. 2	品質等級調査プロット	106
7. 3	採材パターン計算表	109
Summary		120
謝辞		122
引用文献		123

第1章 序論

1. 1 本論文の目的

我が国の森林面積は 2,505 万 ha におよぶ。その 4 割に相当する 1,020 万 ha は人工林であり、拡大造林期に多く形成された。樹種はスギやヒノキを中心に建築用材を生産目標として育成されてきた。その半数が一般的な主伐期である 10 齢級を越える成熟期を迎えた（林野庁 2021b）。蓄積の増加や高性能林業機械の普及、森林路網の整備も相まって、木材生産量は年々増加傾向にあり、2021 年 6 月に閣議決定された森林・林業基本計画では、新たな林業技術の展開や林業経営体の育成などが打ち出された。林業の持続的かつ健全な発展を実現するために、安定的な経営、従事者の確保、資源の持続的利用、そして収益性の確保が掲げられ、林業関係事業者の経営力の向上に対する重要性が高まっている（林野庁 2021b）。高額な高性能林業機械を多用したシステムは、伐出コストに占める機械経費の割合が増加するため（岡ら 2005a, 2005b, 全国林業普及協会 2001b）、一定量の事業規模の確保（全国林業普及協会 2001a）と少ないセット人数で稼働できる生産システムの工夫が不可欠となった。現在の事業規模および生産システムの稼働を底支えているのは、これまで推進されてきた施業集約化が進んできたことも大きく影響していると考えられる。面的にまとまった施業地が増えたことで主間伐の規模を拡大させ、路網整備の推進や作業効率の向上、生産量の拡大の実現に大きく貢献してきている（林野庁 2020）。

林業機械や森林路網など基盤的な設備を充実させてきた林業関係事業者にとっては、これらの設備が小さかったころと比べ収入と支出の把握の重要性も高まってきている。とりわけ収入については、素材販売金額は市況価格の影響を強く受ける。しかし、販売金額の予測を立てることができれば、事業の採算性が見通しが立てやすくなると思われる。また、販売金額を高めるためには、市況価格が高い柱や中目などの構造材を効率よく生産することも重要である。素

材生産現場では、収益性を向上させることを念頭に置き、市況価格を反映させながら素材生産現場において造材工程が行われている。素材の品質等級と素材歩留りは収益性を高めるために極めて重要なパラメータであるにも関わらず、素材（丸太）の販売金額を大きく左右させる採材は、伐倒木を造材する段階でしか判断できない。このため、現場での作業員の経験則（伐採技術、採材の習熟度など）に委ねられるのが実態である。

そこで本研究は、まず、伐出現場で収集したデータをもとに、収穫木や林分の状態を分析し、実際の伐出現場において林業機械から検知される丸太情報の応用可能性を明らかにする。具体的には、鹿児島大学農学部附属高隈演習林（以下、本演習林）の直営生産現場を対象に、プロセッサ造材の工程で材長・鋸断直径を計測し、胸高直径の推定と精度検証を行った。また、3次曲線式で近似した樹幹形と形状比を用いて、品質等級区分の出現頻度を検証した。伐採現場での作業中に、採算性を左右する径級や素材歩留りなどの情報を取得し、現場作業中に解析結果をリアルタイムに確認できるようなシステムが構築できると、素材販売価格に影響する採材時の意思決定に大いに役立つと思われる。

さらに、素材に販売価格の推定値を与えるために、本演習林で生産し、市売りした建築用材を対象に、プロセッサ造材時に計測した採材データおよび原木市場での素材販売データを解析した。丸太1本ごとの素材の長さ（以下、素材長）や品質、販売価格に関する分析を行い、収穫木の標準的な幹形・単純化した採材パターン（以下、高隈モデルとする）を作成し、素材販売金額の予測（復元）を試行し、実際の販売金額との整合性を検証した。

そして、高隈モデルを用いて、本演習林の素材生産の中心地である南部地域全体の素材販売金額の試算と販売予想金額をマップ化することによる情報の視覚化を目的とした。

1. 2 既往の研究

本論文は、立木と素材販売の情報を連結し、分析を行うものである。川上の素材生産現場から得られる造材情報と川中である市場での素材販売情報を個別に扱う研究は多いが、これらを連結した上で、情報を活用し、モデル化を試みる報告はほとんど見られない。

まず、立木についてはこれまで様々な視点から多くの研究が行われてきている。とりわけ、木材販売価格に直接的に影響する立木の形状は、品質等級や素材歩留りは樹幹形状によって決定される。品質等級は、樹木の成長過程の様々な要因に影響を受ける。販売金額に最も大きな影響を与える1番玉の曲り（根曲り）は、積雪や地すべりが大きな要因になる。積雪地帯は岡子・嘉戸（2015）や地すべり地帯は佐々木ら（1994）、塚原ら（2006）により報告されている。また、その他の品質に影響を与えるものとして、苗の選定などによる影響は宮下（2007）、除間伐の施業履歴は鈴木ら（2009）が報告している。また、素材歩留りを求めるうえで必要となる利用材積は、立木から丸太材積を推計する手法などについて梶原（1974）が報告している。なお、素材歩留りは森林管理の方法（生産目標）や品種、地位指数など地域特性も大きく影響することを家原・黒川（1990）が明らかにしている。

高性能林業機械は生産性を大きく向上させる機能を有する。我が国において高性能林業機械が本格的に導入された年は1988年（南方1991）とされる。その当時において、素材生産業者の経営規模による林業機械の導入状況を堺（1995）が明らかにし、素材生産規模が大きい事業者ほど高性能林業機械の導入意欲が高いことが報告された。高額な高性能林業機械を多用したシステムは、伐出コストに占める機械経費の割合が増加することを岡ら（2005a, 2005b）が明らかにし、設備投資が少額で済む低規格高密度路網および小規模搬出間伐システムの採算性については長嶋ら（2019）が明らかにした。生産性向上に力点

を置き、機械装備を拡充する場合は、一定量の事業規模を確保する必要があり（全国林業普及協会 2001a）、可能な限り少ないセット人数で稼働できる生産システムの工夫も重要になった。生産現場に適した生産システムを選択することは、経営の側面からも大変重要であり、架線系も含めた作業システムの検討は、山崎ら（2021）によって行われている。

原木市売の展開は、1980年代から90年代にかけて国産材の流通量が相対的に縮小する中で、共販市場の全国的な設立・展開などを背景に国産材流通に占める原木市売の位置づけが高まった（前田ら 2008,）。また、高級材産地から一般材産地への転換や大型製材工場の設立などの産地構造の変化の過程に伴い、役割が再編されはじめる（小池・興梠 2011, 外山・川崎 2013, 小菅・伊藤 2015, 茂木・立花 2019）。2000年代になると国産材製材工場の大規模化や集成材工場や合板工場で用いられる原木も外材から国産材への転換が相次ぎ、原木の調達から製造、流通、販売に至るまでの最適化をはかるサプライチェーンについて、石川・野村（2019）が製材工場の原木取引の実際を明らかにしている。また、2012年から再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）が導入され、主に低質材の需要構造が大きく変化してきた（山本ら 2020）。製材工場の生産物の変化、大規模化やバイオマス燃料という新しい需要などにより原木市売市場の機能や役割は常に変化している。これらについては多くの報告があり、研究方法も市売伝票データを用いて木材需要転換期における地域材流通構造の変遷を実証する（金山 2019）など様々である。

川上の立木や素材生産に関する研究、川中・川下の原木流通や製材加工に関する研究は伝統的に行われている。しかし、川上の情報と川中・川下の情報を接続しておこなう研究はほとんど行われていない。素材生産の現場から得られる伐倒木の情報と原木市売市場での素材販売情報を有機的に接続することができれば、原木市売市場に極積みされた素材から造材前の伐倒木の形状を推測し

たり、伐倒前の立木の状態から現在価値を推計したりすることが可能となる。以下では、これまでほとんど試みられていない伐倒木データ、造材データ、素材販売データを接続した分析を試行する。

1. 3 論文の構成

第2章では、森林現況を素材生産システムの現状を明らかにし、過去5年間の本演習林の生産事業の経緯と従来型林業機械の保有状況を示す。

第3章では、素材生産現場でのプロセッサ造材時に収集した伐倒木の端材長、素材長、梢端部長および各末口の鋸断径の計測結果から幹曲線式を作成し、本演習林の素材歩留りの実態と素材の品質等級を推定する。

第4章では、幹曲線式と採材方法を分析し、素材販売実績から素材の平均販売価格を算定する。これらを基に、演習林の標準的な収穫木のサイズ、幹形、および単純化した採材パターンを作成し、素材販売金額を予測する。

第5章では、本演習林の標準的な収穫木のサイズを用いて、柱材生産を目的とした採材パターンを検証し、素材販売の価格帯の階層区分を行う。そのうえで、森林簿の蓄積データおよびLIDARの樹頂点データを用いて、本演習林南部地域の素材販売金額を試算し、可視化する。

第3章から第5章にかけての研究内容を図-2.1に示した。枠内の項目は調査の種類および分析内容であり、太枠は研究に用いたデータセットである。点線と矢印は、それぞれを比較もしくは検証した項目であり、細かな点線の枠は予測値と実績値である。各章での研究範囲は、第3章が青色、第4章が赤色、第5章が黄色である。なお、青と赤の2色のものは、第3章および第4章に該当する項目である。

第2章 素材生産・販売の現状

2. 1 高性能林業機械の導入と素材生産システム

2.1.1 我が国における高性能林業機械の導入

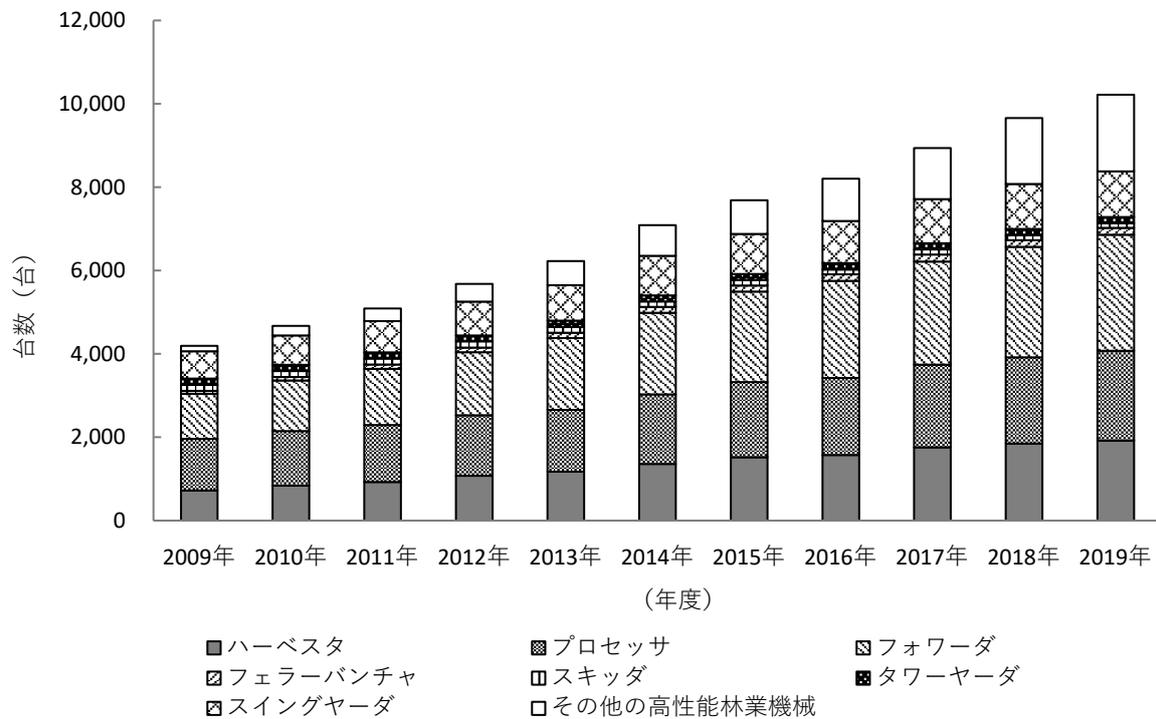
1900年代以降に高性能林業機械の普及が本格的な動きとなり（南方 1991）、施業集約化や路網整備などの様々な取り組みも推進されてきた（林野庁 2020）。これらを背景に、着実に生産性を高めてきている（新井ら 2020）。2019年時点の高性能林業機械などの保有台数の構成割合は、高い順にフォワーダ（27.2%，2,784台）、プロセッサ（21.1%，2,155台）、ハーベスタ（18.8%，1,918台）となっている（表-2.1）。過去10年間の推移をみると、その他の高性能林業機械を除くと、ハーベスタが最も増加し2009年比266%、次いでフォワーダが257%、プロセッサ174%と続き、現在の保有台数の構成割合と一致する。ハーベスタは伐倒工程も含むが、造材工程と搬出工程の機械化が進んでいることを示しており、台数はそれほど大きく現れてはいないが、列状間伐の普及に伴いスイングヤーダも少しずつ台数を伸ばしている（図-2.2）。また、その他の林業機械の増加からは、多機能型機械化への指向がうかがえ、1台で多くの作業を行うことができる林業機械は今後も増加していくことが予想される。

表-2.1 全国における高性能林業機械の機種別保有台数と構成比

単位：台

機種	2019年	構成比率
フェラーバンチャ	166	1.6%
ハーベスタ	1,918	18.8%
プロセッサ	2,155	21.1%
スキッダ	111	1.1%
フォワーダ	2,784	27.2%
タワーヤーダ	149	1.5%
スイングヤーダ	1,095	10.7%
その他の高性能林業機械	1,840	18.0%
合計	10,218	100.0%

資料：林野庁「高性能林業機械の保有状況」（2021年）

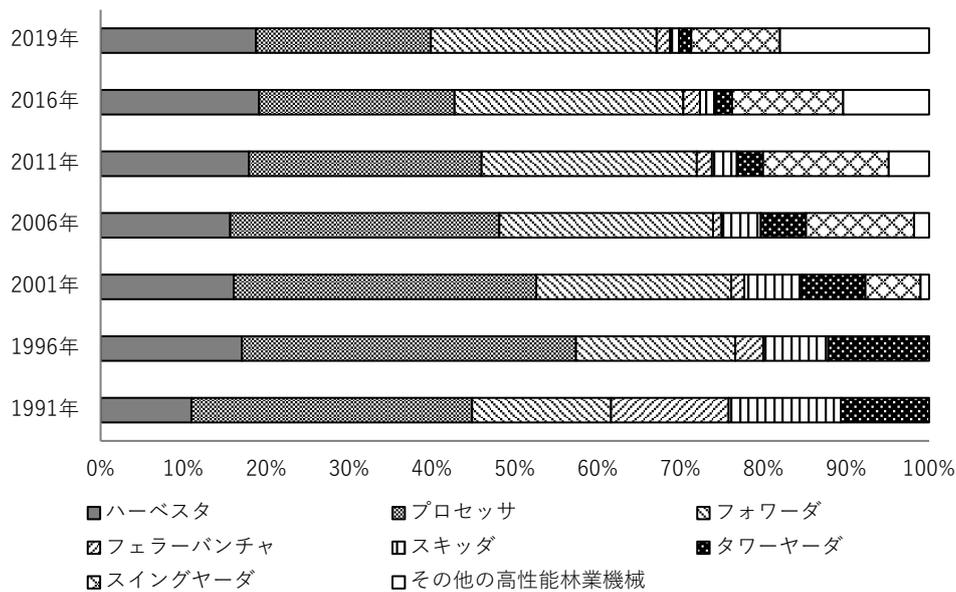


資料：林野庁「高性能林業機械の保有状況」（2021年）

図-2.2 全国における高性能林業機械の機種別保有台数の推移(2009～2019年)

高性能林業機械の構成割合をみると（図－2.3）、ハーベスタ、プロセッサおよびフォワーダが大きい。これらは、車両系の作業システムに不可欠な林業機械のセットである。近年ではスイングヤーダなどを用いた簡易架線の作業システムも広がりつつあるが、現状においては、車両系の生産システムが広く取り入れられていることを示唆している。

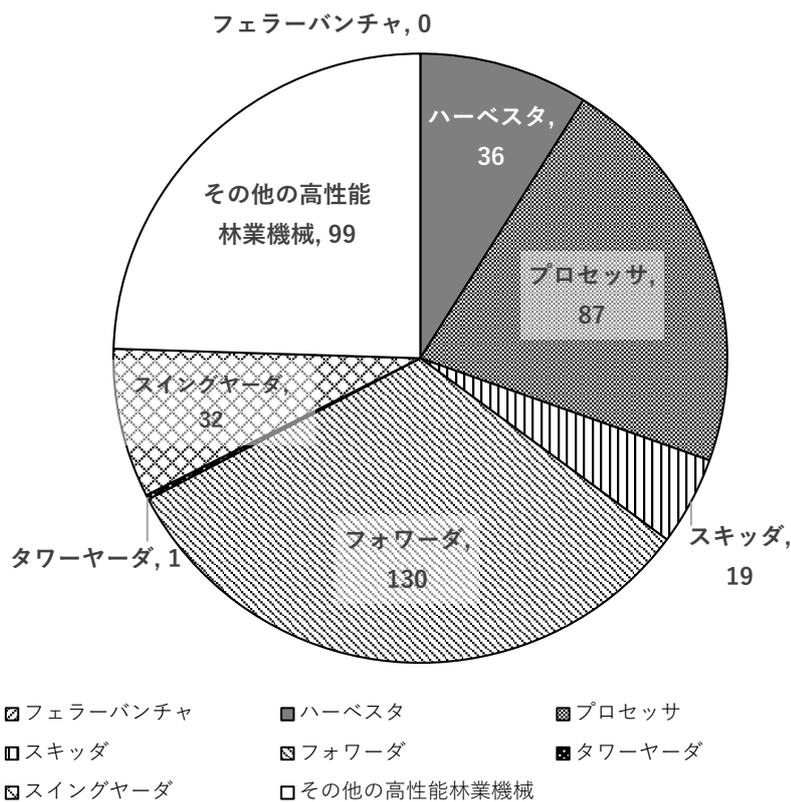
ハーベスタは、約30年前の1991年当時は11.0%であったが、2019年には18.8%にまで増加した。反対にプロセッサはハーベスタに造材作業が代替されることもあり、1996年の40.3%をピークに減少傾向にある。フォワーダは年を経るごとに増加しているが26～27%程度で落ち着いている（林野庁2021a）。



資料：林野庁「高性能林業機械の保有状況」（2021年）

図-2.3 全国における高性能林業機械の機種別保有台数の構成割合の推移(1991～2019年)

今後も林業機械専用の路網整備が進み、スイングヤーダとフォワーダによる車両・架線系の併用システムの増加が予測される。本演習林にも装備されているバケット付きグラップル（フェラーバンチャ仕様）のように、ベースマシン単体に複数のアタッチメントを装着する機械も増加しているため、その他の高性能林業機械も増加傾向にある。鹿児島県においても全国同様にフォワーダが最も多く、次いで造材工程多く持ち何時プロセッサとハーベスタが上位にあがっている（図-2.4）。

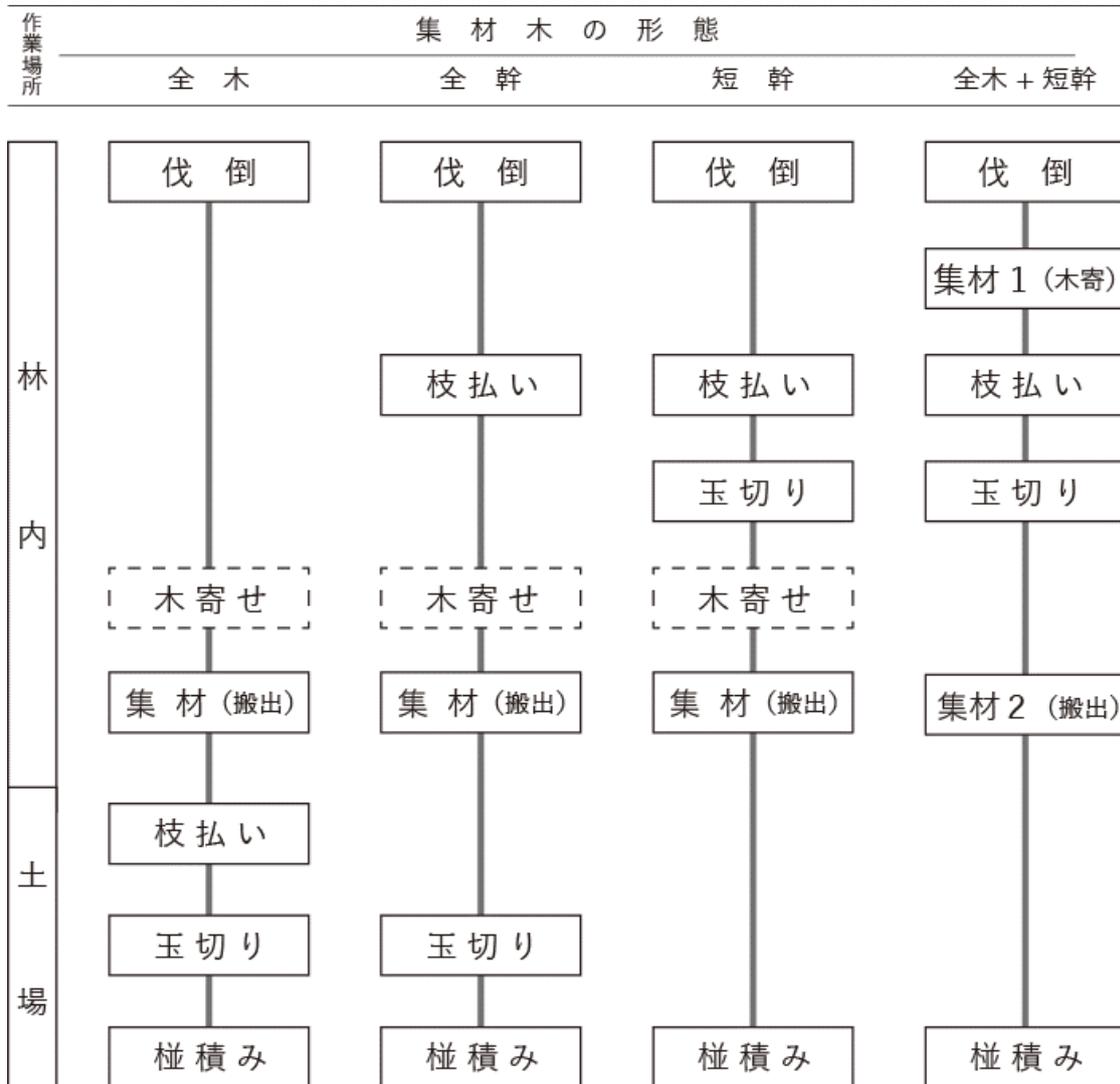


資料：林野庁「高性能林業機械の保有状況」（2021年）

図-2.4 鹿児島県における高性能林業機械の機種別保有台数の構成割合（2019年）

2.1.2 我が国における素材生産システムの現状

伐出作業は、種々の条件下で複数の機械が使用される（林野庁 1997, 林野庁 1998, 全国林業改良普及協会 2001, 独立行政法人森林総合研究所 2009）。特に近年では多様な機械や機種が普及しており、組み合わせも多様化している。作業工程は、基本的に伐倒、集材、造材、桧積み、運材の5つの行程で構成され、作業もこの順序で行われる（図-2.5）。なお、伐木作業では、作業手段としてチェーンソー、フェラーバンチャ、ハーベスタが多く用いられる。我が国は急峻な地形が多いため、主にチェーンソーが使用される。フェラーバンチャやハーベスタは平坦地や緩傾斜地、集材路網上での使用に限られる。造材作業は、伐木作業と同様にチェーンソーが主に用いられるが、全木方式による木寄せ、集材を行い集材路上でプロセッサやハーベスタを用いるケースが多くみられるようになった。集材作業は、伐倒後に林内に散在している材を最寄りの作業路や山土場まで搬出するために工程であり、集材木の形態により、全木集材、全幹集材、短幹集材、全木+短幹集材に大別される。ただし、10tトラックなどを用いる市場までの運材工程は除いている。



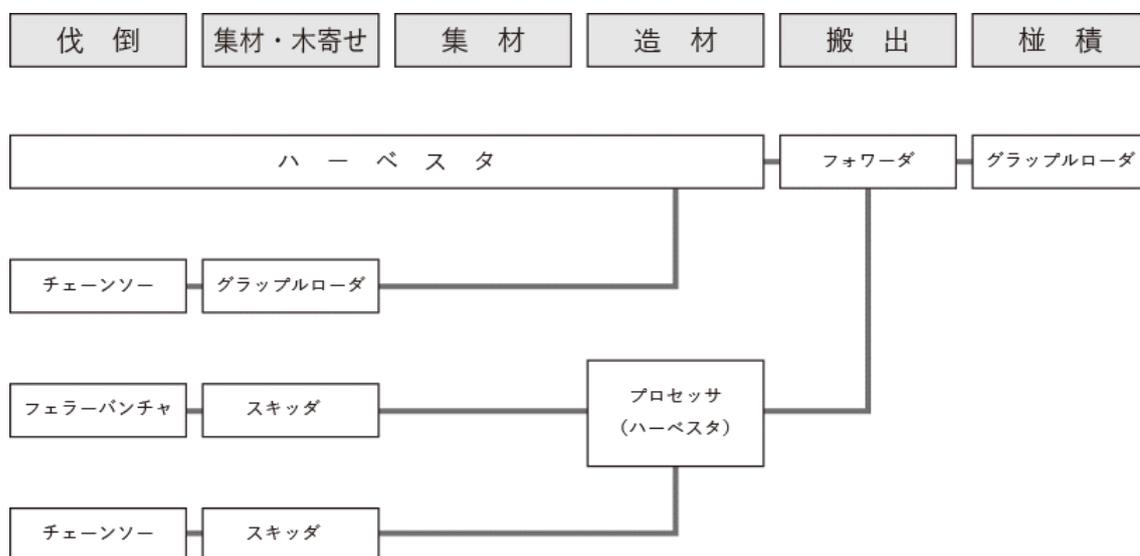
注1：木寄せは独立した工程とする場合もある。

注2：全木 + 短幹は、①林内でスイングヤード等で全木集材を行い、②集材路場等でプロセッサ造材、③フォワーダにより土場まで搬出する場合であり、2段集材の一種ともいえる。

資料：(独) 森林総研 (2009)「森林大百科事典」

図 - 2.5 集材木の形態別作業工程

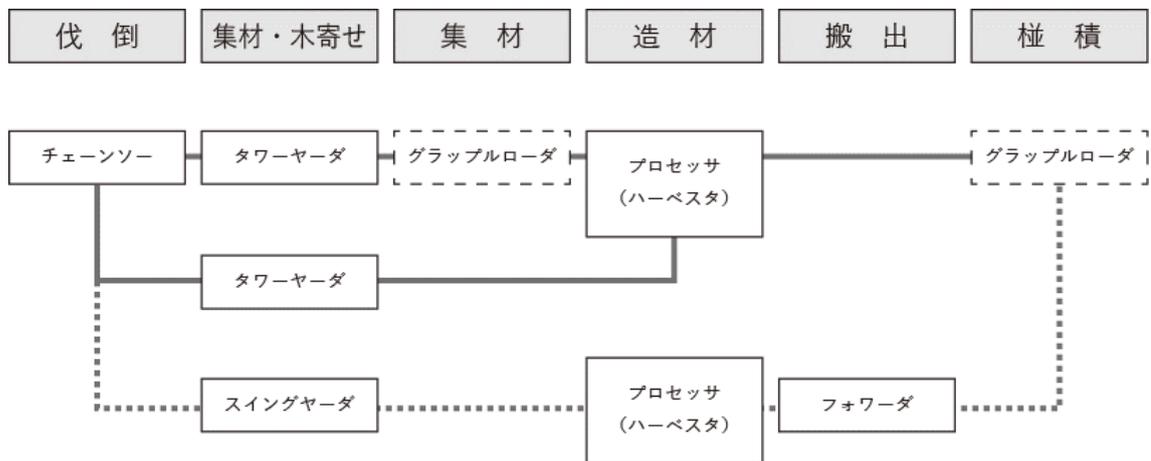
素材生産における作業システムは、作業工程からは車両系と架線系に大別できる。車両系システムは、自走可能な林業機械で伐倒造材、集材などを行う。多くの施業現場は地形傾斜が急峻な場所が多いため、森林作業道などの路上で作業することが多い。使用機械は、フェラーバンチャ、ハーベスタ、プロセッサ、スキッド、フォワーダなどである。図-2.6は車両系作業システムの例である。伐倒、木寄せ・集材、集積、造材までの一連の行程をハーベスタで行い、フォワーダで土場まで搬出し、グラップルローダで極積する。なお伐倒をチェーンソーで行う場合は、ハーベスタは造材時に使用するなど林況に応じて工程を変化させることが多い。



資料：全国林業改良普及協会（2001）「機械化のマネジメント」

図-2.6 車両系作業システムの例

架線系システムは、主に作業路上を自走し、ワイヤーロープ（ウインチ）を使用して伐倒木を集材する。使用する林業機械は、スイングヤーダ、スイングヤーダ（プロセッサ搭載）、タワーヤーダなどである。木寄せ・集材工程にタワーヤーダやスイングヤーダを用いる。林道上で作業を行う場合が多いため、フォワーダによる搬出工程が省かれる。狭い箇所で集材を行う場合は、全木材の集積や小移動、プロセッサ造材後の丸太移動や桧積にグラップルローダを用いることもある。架線系作業システム例が図-2.7である。伐倒はチェーンソーで行い、木寄せ・集材は集材距離を長くとる場合はタワーヤーダ、200m付近であればスイングヤーダを用いる。集積場所にプロセッサを配置し、造材するが、作業スペースが確保できない場合はグラップルローダで伐倒木の受渡しをする場合もある。



資料：全国林業改良普及協会（2001）「機械化のマネジメント」

図-2.7 架線系作業システムの例

2.1.3 鹿児島大学農学部附属高隈演習林の素材生産システムについて

本演習林の作業システムは、架線系+車両系の併用型システムである。伐倒(チェーンソー)、スイングヤーダ集材(標準バケット容量 0.45m³クラス, I社 TW-302), プロセッサ造材(標準バケット容量 0.45m³クラス, I社 GP-35V), フォワーダ搬出(最大積載量 4 tクラス, M社 MST-650VDL)である(図-2.8)。素材生産工程では、主に上記のスイングヤーダ、プロセッサ、フォワーダを使用していたが、いずれもレンタル契約である。しかし、スイングヤーダは2018年度に購入した保有機械である。



フォワーダ

スイングヤーダと
プロセッサ

プロセッサ

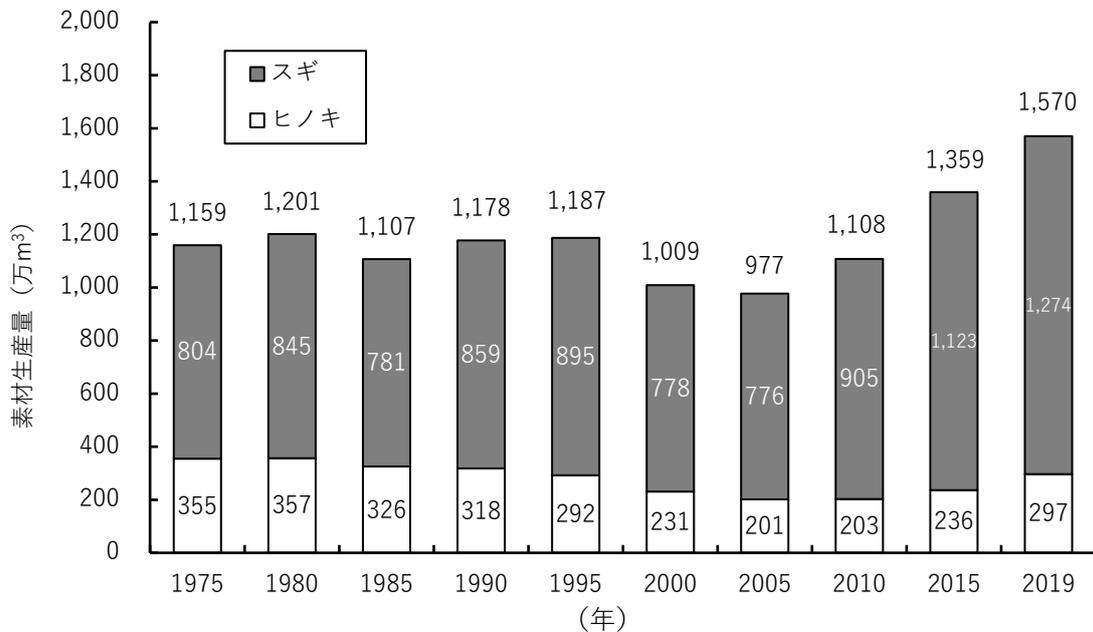
図-2.8 鹿児島大学農学部附属演習林の高性能林業機械

2. 2 素材生産の状況

2.2.1 我が国における素材生産の現状

素材は、素材生産業者などが伐採したあと、製材工場へと流通される。主な経路は、原木市売市場（以下、原木市場）を経由する場合と製材工場へと直送とがある。近年では直送が拡大しているが、どのような流通経路が最適であるかは、状況によって変化する（林野庁 2021b）。また、製材工場の大規模化が進み、国産材の大規模需要が発生すると、既存の原木流通も影響を受け、原木市場の取扱量や集荷方法も変容しつつある（前田ら 2008）。

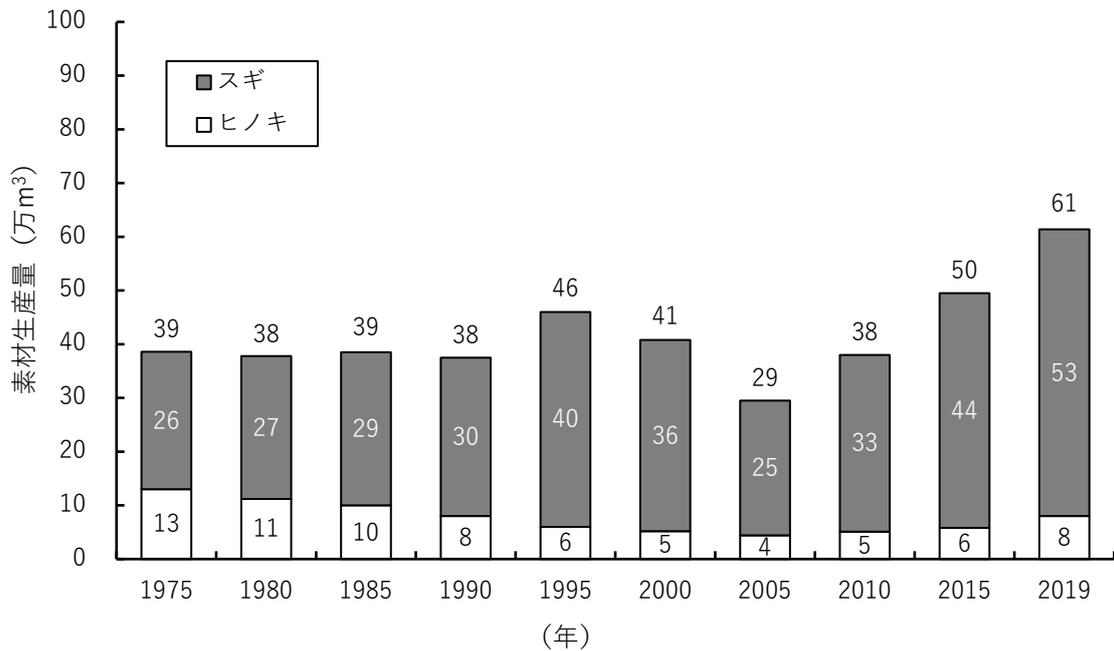
図-2.9 は 1975 年以降のスギおよびヒノキの素材生産量の 5 年ごとの推移である。スギ・ヒノキ合計の素材材積は、2005 年の 977 万 m³ を底に増加に転じ、2019 年には、国産材の素材生産量が最も少なかった 2002 年に比べると資源量の増加や合板への利用拡大などにより 1,570 万 m³ まで伸びた（林野庁 2020）。



資料：農林水産省（2019年）「木材需給報告書」

図-2.9 全国における樹種別素材生産量の推移（1975~2019年）

鹿児島県内の樹種別素材生産量の推移をみると（図－2.10）、2000年まではスギの素材生産量増加とヒノキの減少がつづき、全国の素材生産量の推移の傾向と同じく、2005年から増加傾向をみせた（林野庁 2019）。2019年のスギの素材生産量は53万 m³であり、全国8位の生産量であった（林野庁 2020）

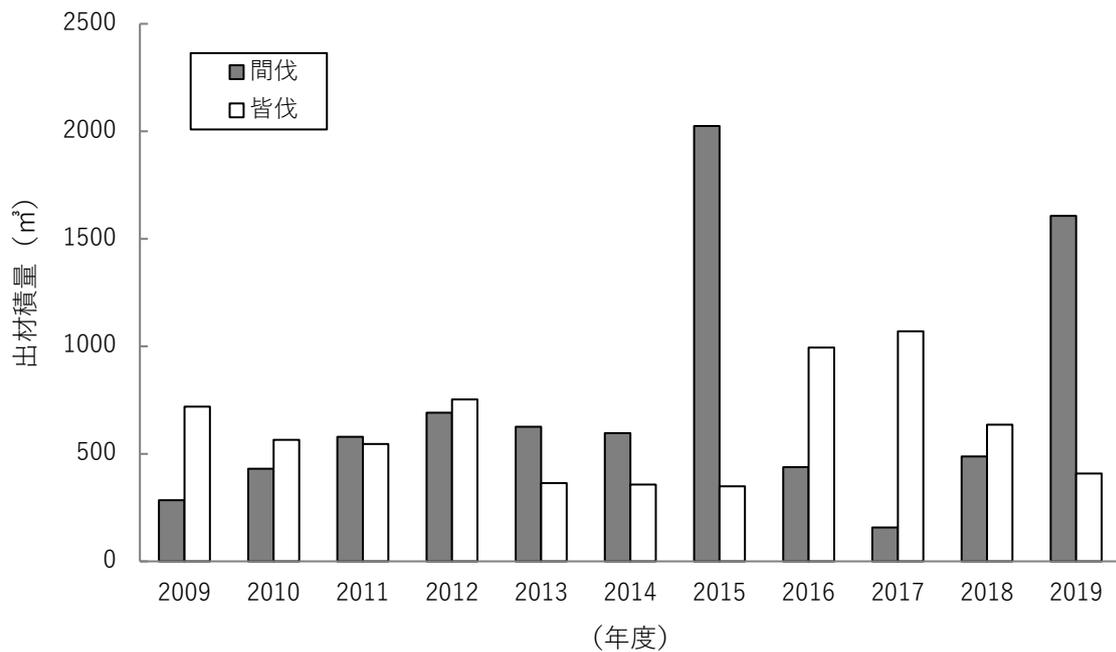


資料：農林水産省（2019年）「木材需給統計書」

図－2.10 鹿児島県における樹種別素材生産量の推移（1975～2019年）

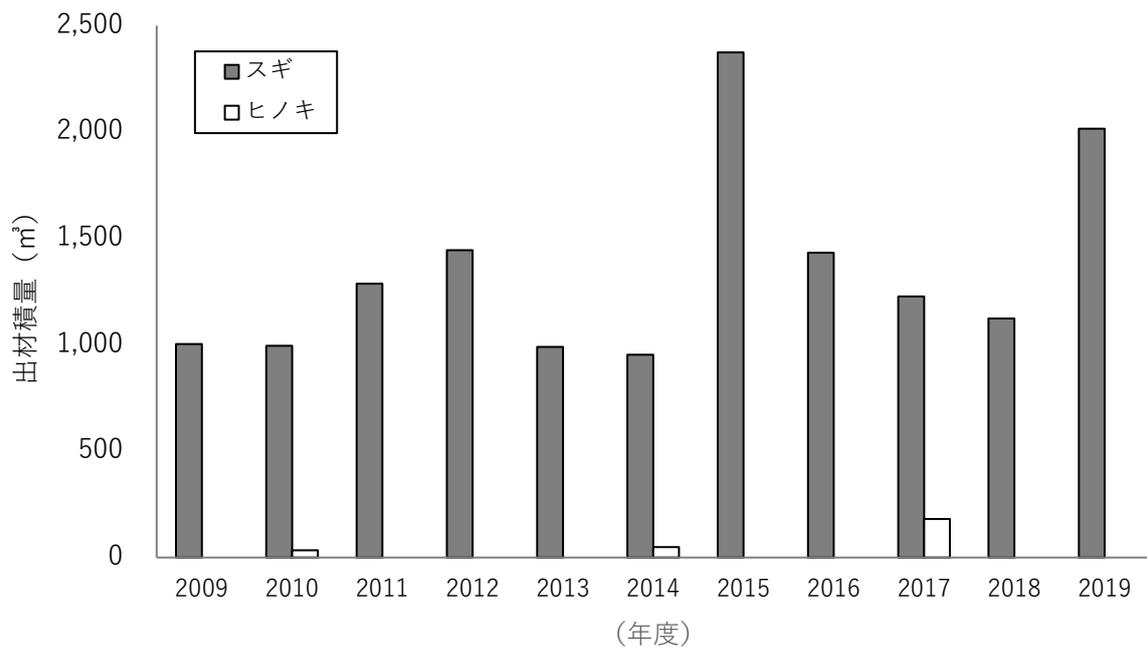
2.2.2 鹿児島大学農学部附属高隈演習林の素材生産の動向

過去10年間の施業別出材積量の推移を示したのが図-2.11である。素材生産量は一定ではなく、大きく変動する年度もあるが、最近5年は1,000~1,500 m³程度を生産している。皆伐は出材積の傾向のみをみると間伐に対して施業実績が大きい。間伐は主に3割間伐（本数）を行っているので、施業面積は1/3程度になる。樹種別では、スギがほとんどを占めており、10年間の出材積に占めるヒノキの割合は2%程度である（図-2.12）。



資料：鹿大演報（2021年）

図-2.11 高隈演習林の施業別出材積量の推移量の推移（1909~2019年度）



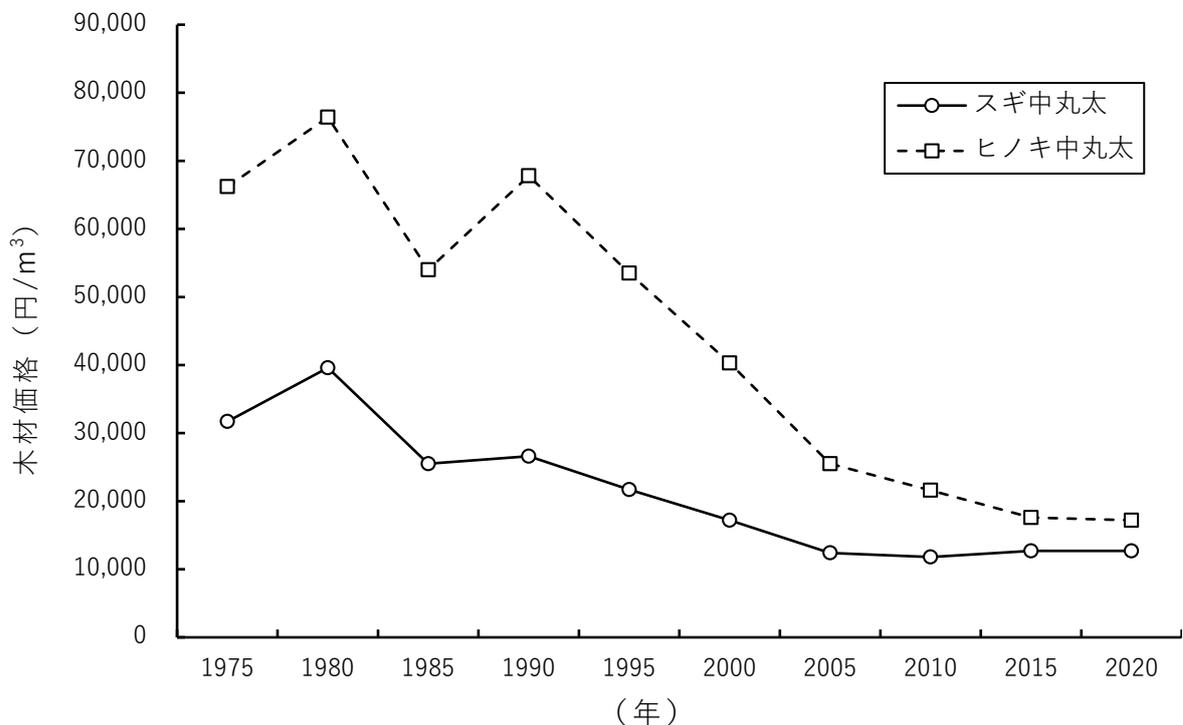
資料：鹿大演報（2021年）

図-2.12 高隈演習林における樹種別出材積量の推移（2009～2019年度）

2. 3 素材販売の状況

2.3.1 我が国における素材販売の現状

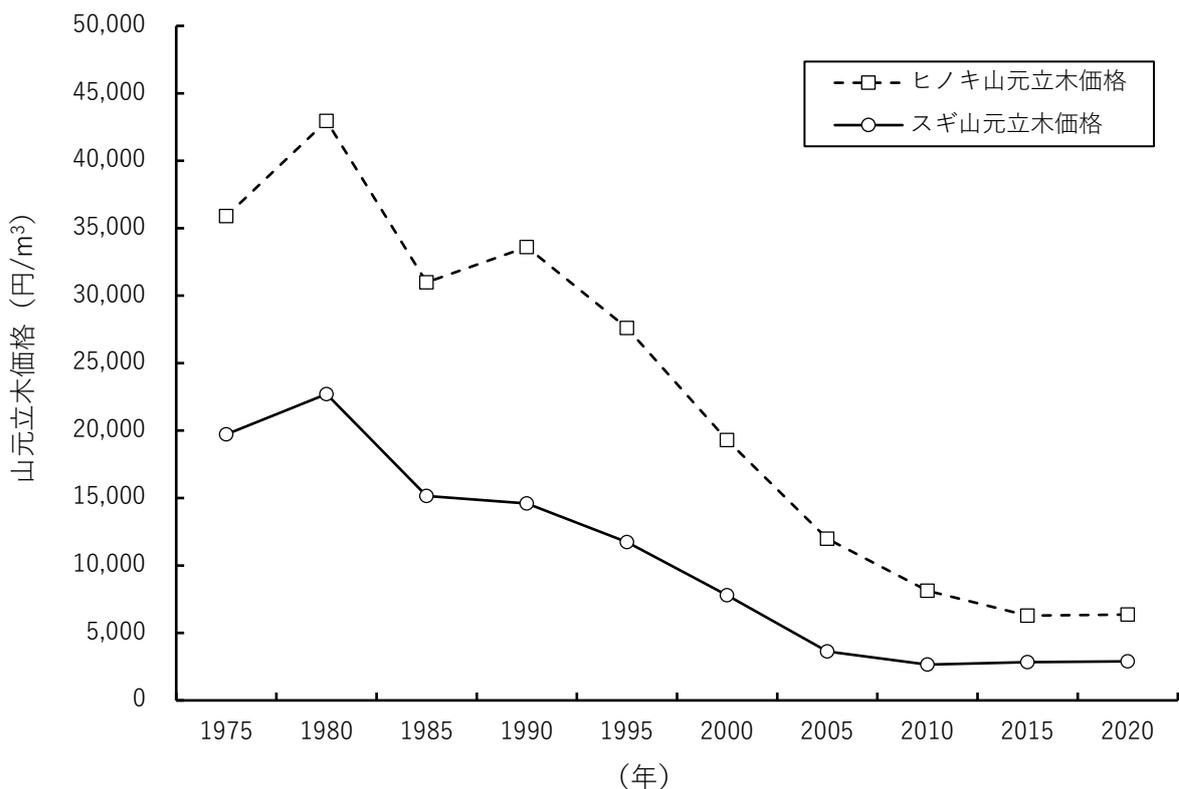
2020年現在の国産材素材価格は、スギおよびヒノキにおいて下降傾向にあるものの、2015年比では、やや価格が持ち直している（図-2.13）。素材価格は1980年までは物価全体と同様に上昇していたが、以降は下落傾向が続いてきた。近年では、価格が上下しつつも、ほぼ横ばいで推移している。スギ中目材の m^3 単価が40,000円/ m^3 付近の頃に比べると木材価格は下落傾向にあると捉えることができる。しかし、2000年頃からは価格の乱高下がなく安定した値動きが続いているともみてとれる。2020年時点での素材価格の平均は、スギは12,700円/ m^3 、ヒノキは17,200円/ m^3 であり、前年比では800~900円程度安価であった（林野庁2020）。



資料：農林水産省（2019年）「木材需給報告書」

図-2.13 全国における木材価格の推移（1975~2020年）

ここで、伐採搬出する以前の山元立木価格についてもみておく（図-2.14）。
 素材価格と同様に 1980 年をピークに低下し、安定局面に移行している。値動きの傾向は、スギとヒノキによる樹種の違いによる影響は少ない。ただし、スギとヒノキの価格差が縮まってきているとはいえ、2 倍近い開きはある。しかし、価格そのものの水準が低下しているため、金額の差はかつて 20,000 円/ m³ 近くあったものが 3,500 円/ m³ 程度にまで小さくなった。

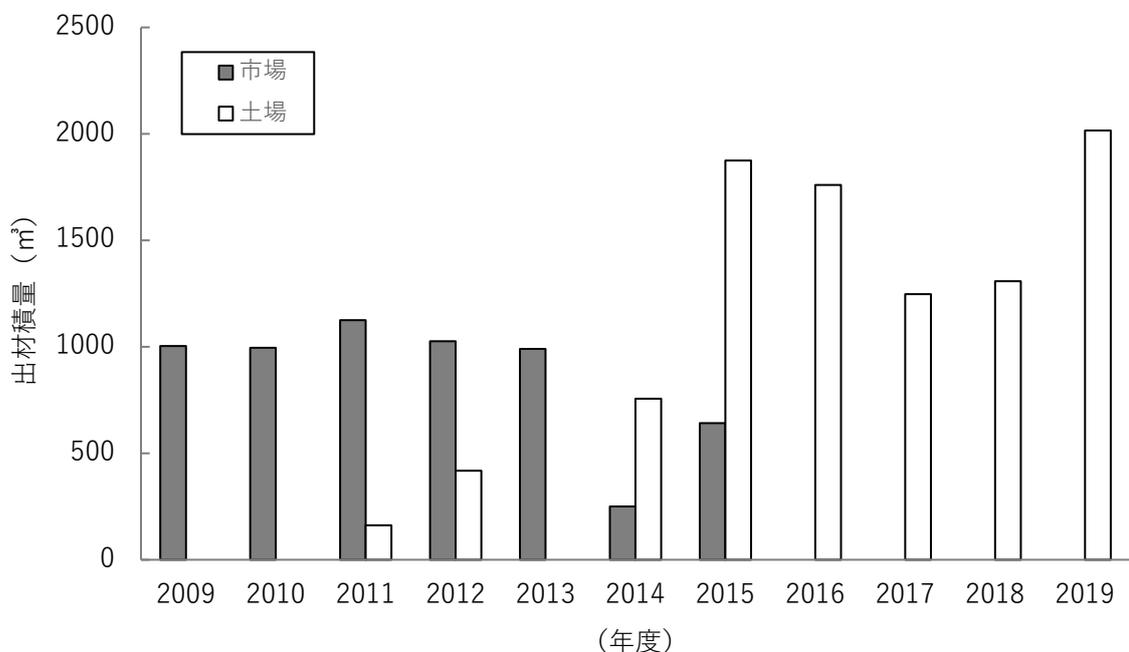


資料：農林水産省（2019年）「木材需給報告書」

図-2.14 全国における平均山元立木価格の推移（1975~2020年）

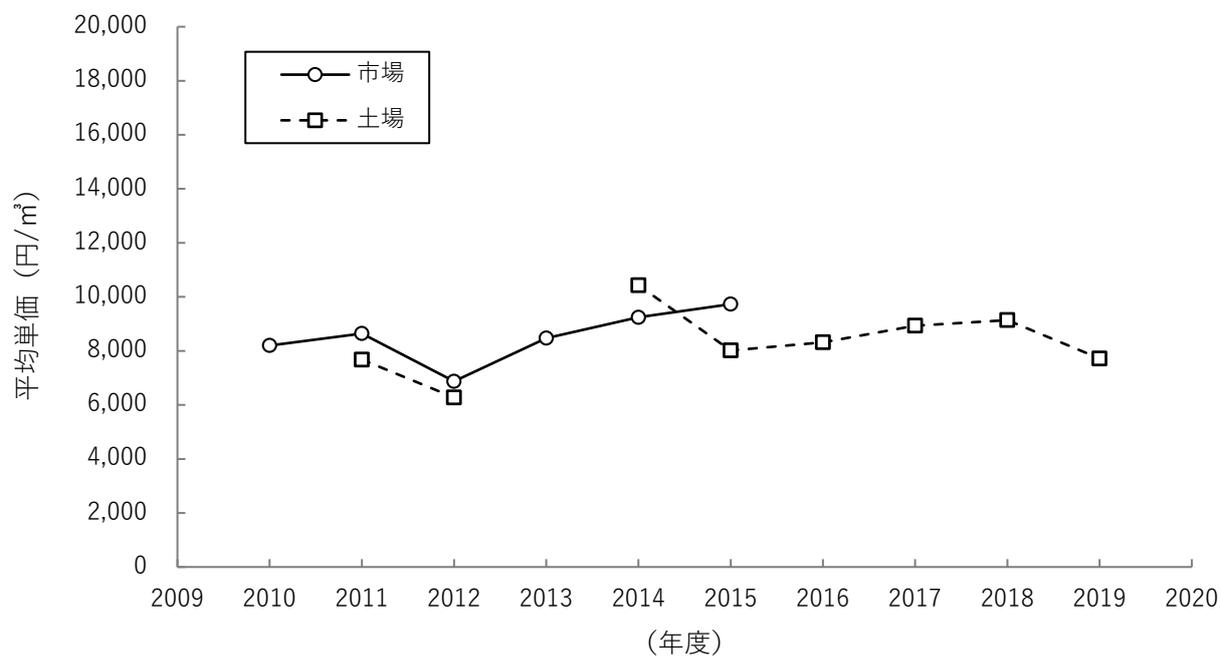
2.3.2 鹿児島大学農学部附属高隈演習林の素材販売の動向

2010年までは生産される素材は鹿児島県森林組合連合会の高山市場での委託販売を行っていた。販売金額の約10%必要となる市売り手数料を節約する目的で、2011年から土場売りを開始した。2011～2012年にかけて土場売り試験運用を実施し、2014年から本格的に稼働し始めた。2011年当初の土場売り材積は162.031 m³（販売量の12.6%）であったが、2014年以降は直営生産で搬出される素材をすべて土場売りに移行した（図-2.15）。市場での委託販売から土場売りに変更したことで2015年度から平均単価を下げている。これは、A材単独の仕分けが難しいことからAB込として販売する場面が増えたことによる影響も考えられるが、2020年現在までのところでは、大きく販売単価を下げることはなかった（図-2.16）。



資料：鹿大演報（2021年）

図-2.15 高隈演習林における素材販売方法別出材積量の推移（2009～2019年度）



資料：鹿大演報（2021年）

図－2.16 高隈演習林における素材販売価格の推移（2008～2020年度）

2. 4 まとめ

かつて、我が国の林業の担い手として家族経営的林業を営む農家林家に期待が寄せられていた。しかし、1998年に愛媛県久万町（現久万高原町）実施した調査の結果からは、彼らを持続可能な経営体として位置づけることが難しいことが明らかとなった（牧野ら 2000）。当時から農山村で生活する方々の林業離れが進んでおり、地方都市への転居も増加傾向にあった。そのため、地元集落での世帯構成も脆弱化しつつあり、同居している世帯員数、世代数は減少し、高齢化が進みながらも林業後継者のいる世帯は年を追うごとに少なくなっていた。そのような時代状況の中、拡大造林期に植えられた樹木は成熟期を迎えた。手入れ不足林分への間伐実施、素材生産量の増加、林業の成長産業化など様々な施策が展開される中、地域の森林の取りまとめ役として森林組合の役割が大きくなってきた。

素材生産量の視点からは、高性能林業機械の普及と、施業地の集約化により、従来型の家族経営的林業とは異なる経営規模の大きな林業事業体の役割が高まってきている。高額な林業機械に設備投資する事業体は、事業の収益性を高めるため、木材販売価格を少しでも高めることや、生産性を上げて施業費を低く抑える努力が求められている。本演習林においても、レンタルではあるものの、高性能林業機械の導入や木材販売方法の転換など、様々な試みを実施している。

第3章 鹿児島県大隅地域を対象にしたスギ材の幹曲線式の算定と素材品質の実態分析

3.1 目的

本章では、伐出現場で収集したデータをもとに、収穫木や林分の状態の推定を行い、実際の伐出現場において林業機械から検知される丸太情報の応用可能性を明らかにした。具体的には、鹿児島大学演習林の直営生産現場を対象に、造材の工程で材長・鋸断直径を計測し、胸高直径の推定と精度検証を行った。そのうえで、幹形・形状比・品質等級区分の推定を行い、伐出の採算性を左右する林分の状態や素材歩留り、品等別出現頻度の情報の取得と活用の可能性について検討した。

3.2 調査方法

3.2.1 調査対象地

調査対象地は、鹿児島県垂水市海潟にある鹿児島大学農学部附属高隈演習林である。技術職員が実施する素材生産（以下、直営生産）が最も盛んな演習林南部区域（約 1,000ha）は、これまで継続的にスギ人工林施業を行ってきた生産林である（図-3.1）。本区域はビシャゴ岳（標高 885m）と高峠（標高 722m）に挟まれた流域内にあり、河川に沿う山腹斜面は 40 度以上の急傾斜を成すものの、大部分は 20 度以下の緩傾斜面となっている。地質は、四万十層群の堆積岩（中生代）とそれを貫く高隈花崗岩（新生代）が基盤となり、その上位を主に、始良カルデラを形成させた噴火活動に伴う火山噴出物（最下部から順に降下軽石、火砕流堆積物）が覆っている（荒巻 1969）。さらに、桜島・霧島火山の活動による火山灰・軽石が火山噴出物の大部分を覆っている。演習林南部区域では、スギ人工林率が過半を超える林班が多く、林齢は 9～11 齢級が最も多

い。また、林道や森林作業道など路網整備がなされており、車両系林業機械を中心とした作業システムが用いられている。演習林では、チェーンソー(伐倒)、スイングヤード集材(ベースマシン 0.45 クラス, I 社 TW-302), プロセッサ造材(ベースマシン 0.45 クラス, I 社 GP-35V), フォワーダ搬出(最大積載量 4 トンクラス, M 社 MST-650VDL) を用いた架線系+車両系の併用型の作業システムを適用している。演習林では長年に渡り直営生産を行っており、技術職員は高性能林業機械の操作や採材技術, 伐倒技術などは素材生産事業者の中堅以上職員と同等程度に習熟している。

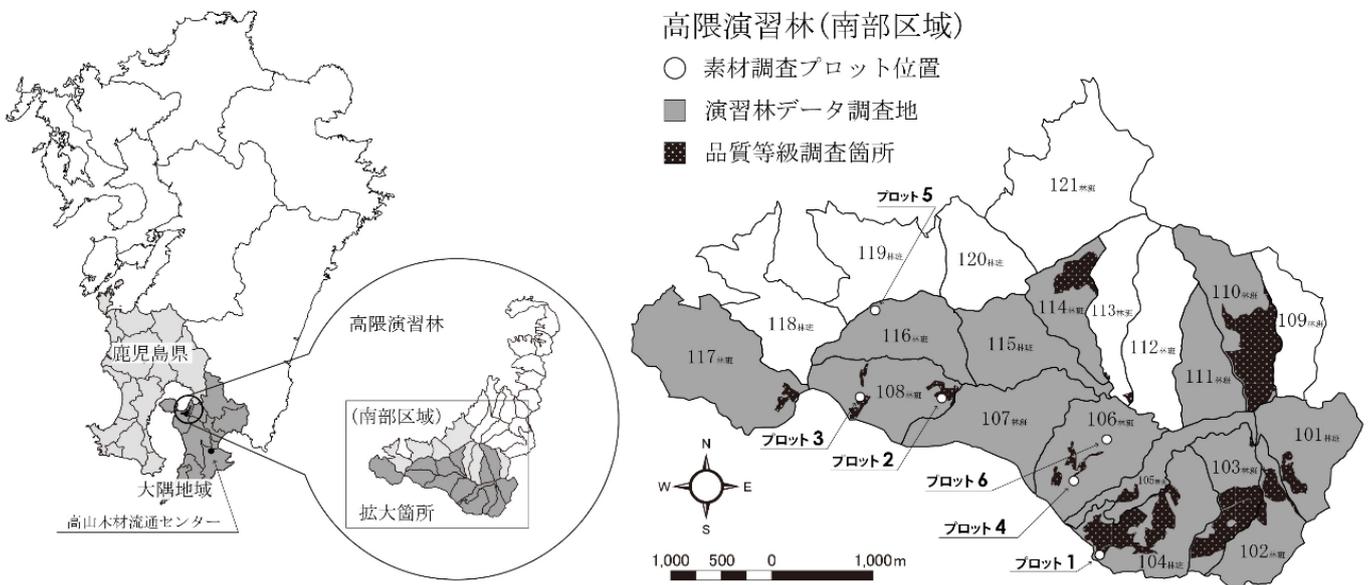


図-3.1 高隈演習林および調査対象区域図

3.2.2 素材調査

調査対象地において、2013年10月～2018年6月の期間に104林班、106林班、108林班、116林班の緩傾斜地5か所（プロット1～5）、急傾斜地1か所（プロット6）に合計6か所の調査プロットを設けた（図-3.1、表-3.1）。林齢は48年生から54年生であり、プロットは伐区内に最小面積を0.1haとして現地の施業範囲に応じて設定した。ただし、プロット6ではスイングヤードを2線張るプロットとしたため、二つに区分した。演習林では主に並材生産を行っており、採材は3mおよび4mの建築用材が中心だが、本調査ではバイオマス燃料用や端材なども含む2m以下の材もすべて計測した。調査項目は、プロセッサ造材後にサルカ（1番玉もしくは端材の元口にある伐倒時の受け口跡に残る三角形の部分）を切断するときが発生する10cm以上の端材長（m）、1番玉から梢端部までの鋸断径（cm）、材長（m）、梢端部長（m）であり、直径はすべて樹皮付きの最小値を巻尺で計測した（図-3.2）。プロセッサ造材では、プロセッサヘッドに搭載されたロータリーエンコーダで材長を計測し、材を把持するグラップル部分に搭載された角度センサで鋸断直径の計測が行われる。しかし、現行の機種（ハーベスタも含む）では、測尺装置は材の1面しか計測できないため、造材直後に鋸断径の最小値を1本ごとに巻尺で計測した（1cm括約）。丸太の鋸断径を正しく計測するため、末口方向を一定方向に揃えて平積み状態にして、未計測素材と重ならないように注意した。素材計測にあたっては計測者の安全を最優先とし、危険性があると判断した場合は造材作業を停止して計測した。

表-3.1 素材調査プロット結果

n=212

プロット 番号	林小班	林小班 面積 (ha)	平均 地形 傾斜 (度)	プロット 面積 (ha)	サンプル 数 (本)	林齢 (年)	樹高 (m)		DBH (cm)		根元直径 (cm)		形状比 (%)		調査 年月
							平均	レンジ	平均	レンジ	平均	レンジ	平均	レンジ	
1	104-052	0.26	5	0.25	22	41	16.4	5.5	29.8	30.0	33	32.4	58	52	2017.09
2	108-037	0.59	10	0.18	19	54	18.2	3.5	28.3	15.0	31.5	15.1	65	31	2016.08
3	108-066	2.08	11	0.17	15	51	17.8	3.1	28.9	13.0	31.6	13.0	62	25	2013.01
4	106-043	9.23	2	0.15	29	41	17.1	4.7	30.6	27.0	36.4	29.7	55	39	2018.02
5	116-011	3.67	12	0.1	16	49	16.4	2.0	27.5	12.0	29.6	14.0	61	23	2015.01
6a	106-020	6.02	31	0.24	47	48	19.2	12.0	26.9	24.0	33.6	25.2	74	55	2017.09
6b	106-020		31	0.29	64	48	18.0	10.2	30.4	28.0	34.6	32.2	61	56	2018.06
平均		-	27	-	-	-	17.9	14.3	29.3	32.0	32.2	34.0	62	71	-
合計		21.85	-	1.38	212	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

※プロット6は、スイングヤードを2線張ったプロットであり、2か年で実施したこと、サンプル数が多いことから6aと6bの2つに分割した。

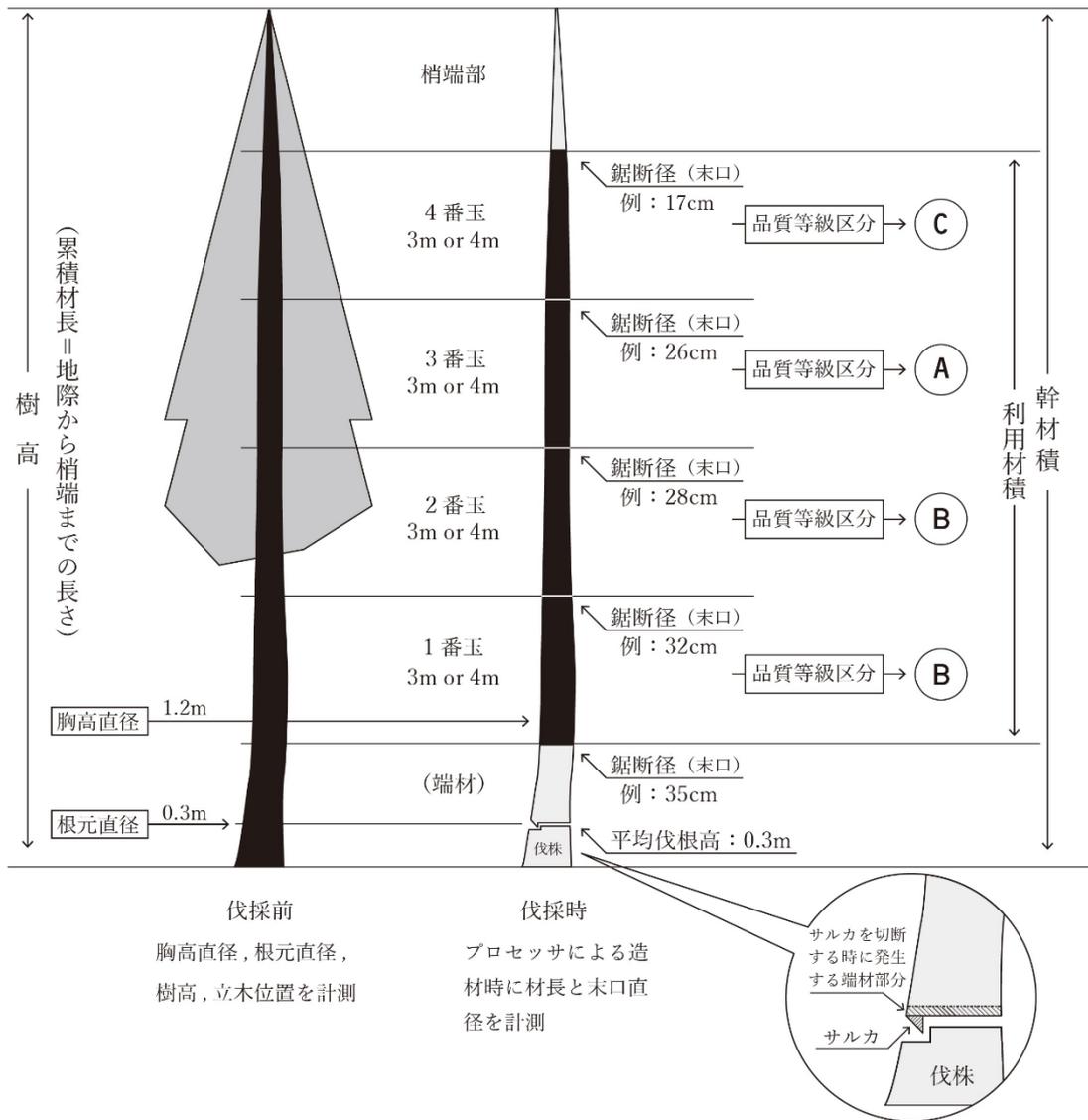


図-3.2 採材と品質等級区分の例示

3.2.3 素材の品質等級調査

演習林では、2013年までは鹿児島県森林組合連合会の高山木材流通センター（図-3.1）に委託販売してきたが、現在では山土場販売に切り替えている。演習林の山土場販売では、演習林技術職員が素材の品質等級区分と仕分けを行っている。しかし、素材の仕分けの専門家ではないことから、付加価値の高い材はA材・B材を込みにした区分にしている。また、山土場販売を開始してから、素材購入業者が製材工場に直送するケースや購入業者の中間土場で演習林材以外の材をまとめて極積するケースがあるため、演習林材のA材・B材・C材など素材品等区分のデータは追跡不可能な状況にある。

このため、高山木材流通センターへの2006年～2013年までの8年間の素材販売実績、および当該生産林分の伐採前に行った伐区内の樹種、樹高、胸高直径の全数調査の結果を用いて生産される原木の品質等級の傾向を調査した。合計対象面積は93.43ha、合計対象材積は4,347m³である。ただし、本研究で用いた品質等級は、A材、B材、C材の3区分であり、高山木材流通センターの分類方法に準じて（表-3.2）、直をA材、小曲・曲をB材、その他大曲などをC材とした。分析対象を柱材に限定するために材長は3m及び4mのみとし、25データを抽出することで、品質等級別の出現頻度を調査した。

表-3.2 ABC区分と市場選別による品質等級区分

ABC区分	品質等級内訳（市場選別）
A材	直
B材	小曲，曲
C材	大曲，傷，傷曲，割，節曲，節傷，黒，他

※材長はすべて3mおよび4m

3. 3 解析方法

3.3.1 幹曲線式の作成

素材調査では、全体で 212 本のサンプル（プロセッサ造材木）を得ることができた。図-3.3~3.9 は、各プロットのプロセッサ造材時の素材調査を基に、造材木 1 本ごとの地際から梢端までの長さ（材長）と鋸断直径（径）の関係を示したものである。ここでは、プロット 1~6b までの 7 つの結果すべてを示している。図からプロセッサ造材時の素材長を累計し、梢端部の長さを加えただけでも当該造材木の樹幹形状が把握できる。本研究では、樹幹形状を曲線で示すことができること、地際から 2m 付近にある根張り部分の再現性が高い簡易な式として求められること、そして、3 次多項式での推定値と実測値の重相関係数が極めて高いことなどから個々の造材木の曲線を 3 次多項式で近似した。ここでは、端材から梢端までのすべての材長に平均伐根高 0.3m を加えものを地際から梢端までの長さとし、3 次多項式により個々の伐倒木の幹曲線式を求めた (1)。

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (1)$$

ただし、 x : 素材材長 (m), y : 鋸断径 (cm), a, b, c, d は係数である。

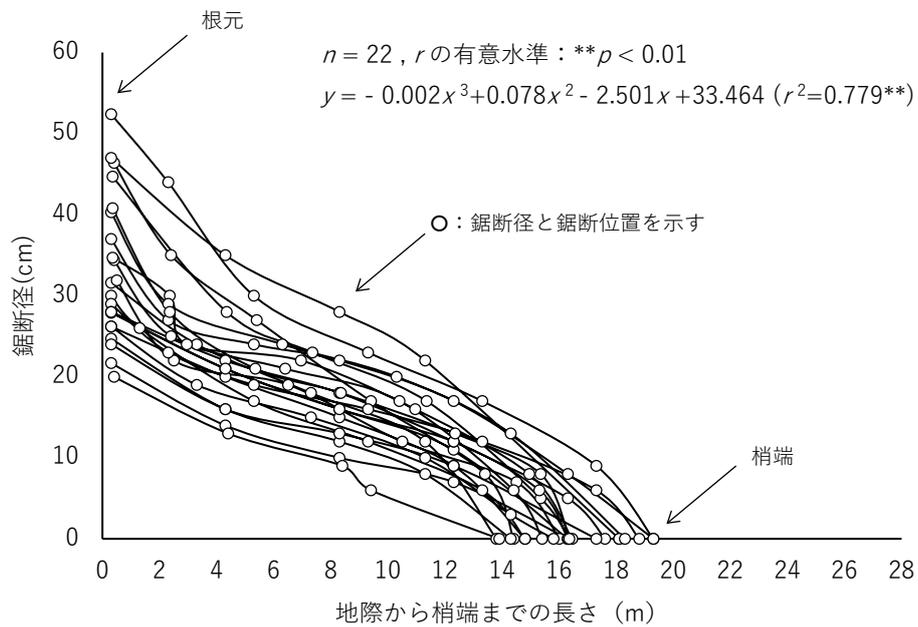


図-3.3 幹曲線式の作成 (プロット1)

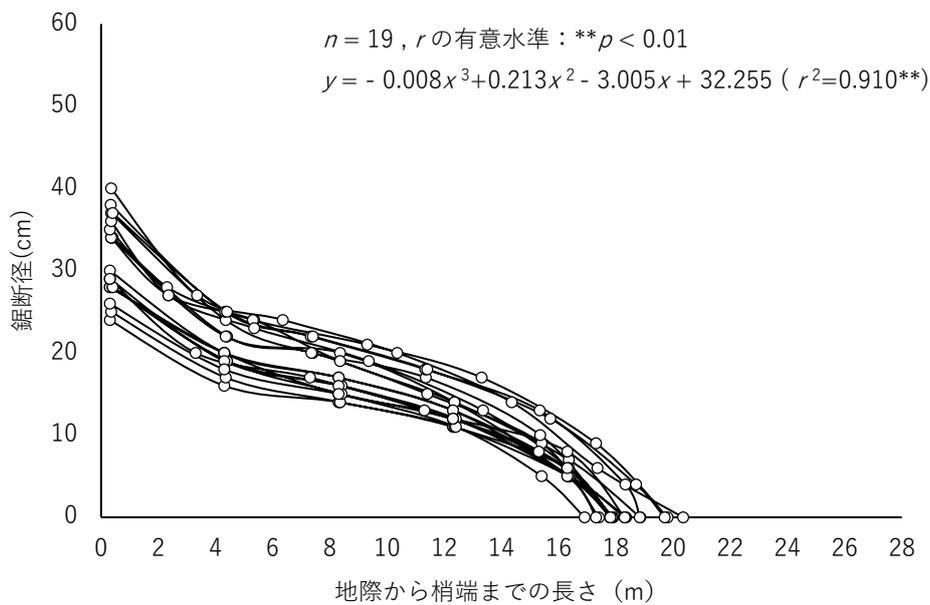


図-3.4 幹曲線式の作成 (プロット2)

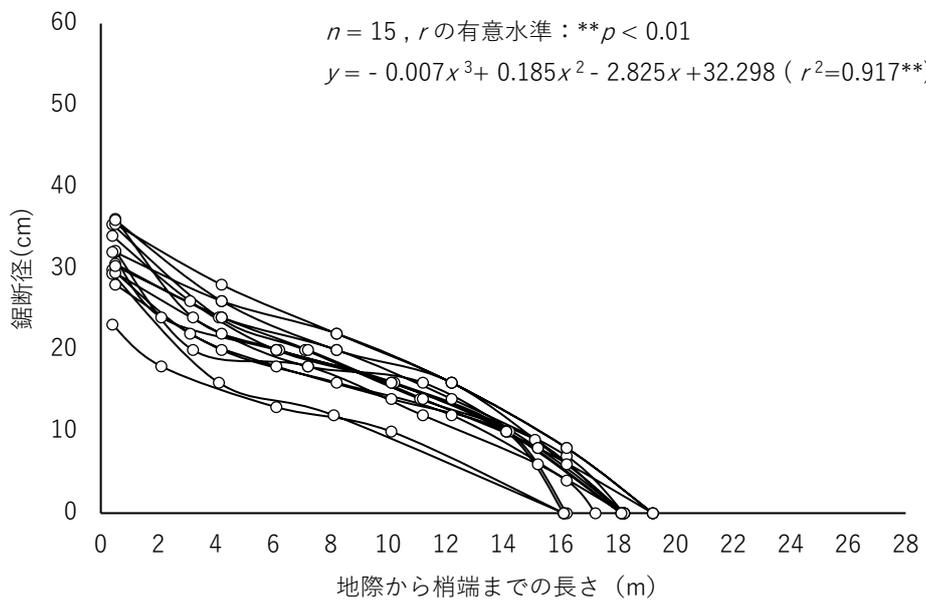


図-3.5 幹曲線式の作成 (プロット3)

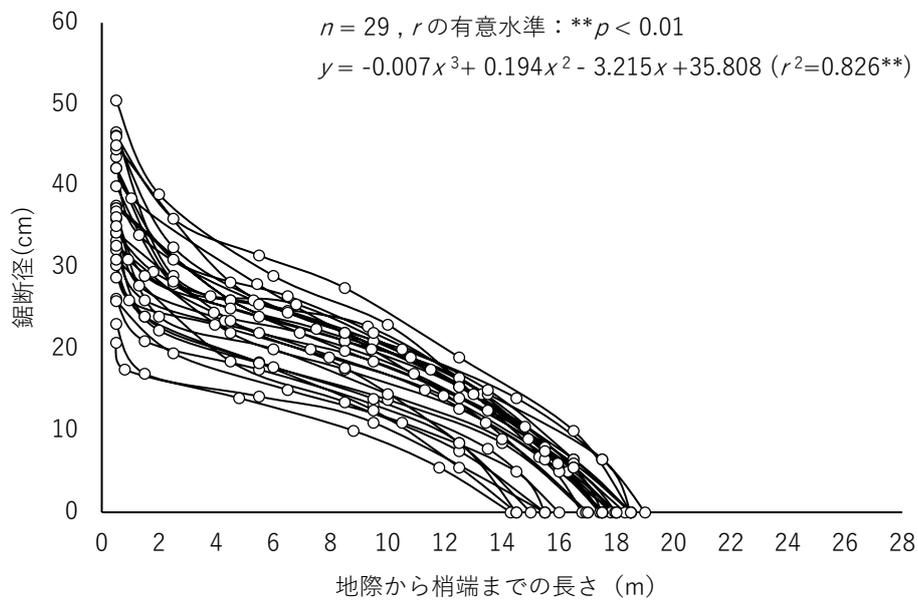


図-3.6 幹曲線式の作成 (プロット4)

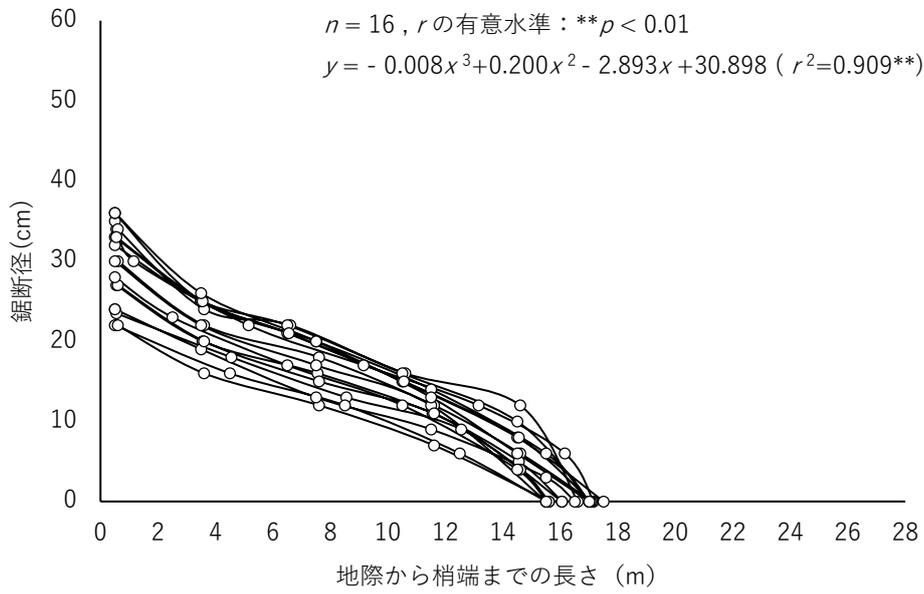


図-3.7 幹曲線式の作成 (プロット 5)

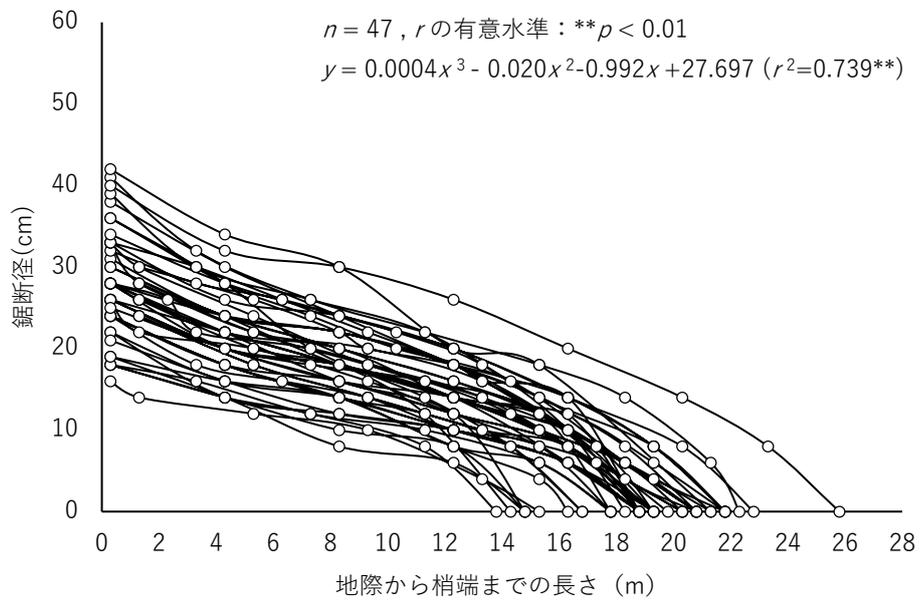


図-3.8 幹曲線式の作成 (プロット 6 a)

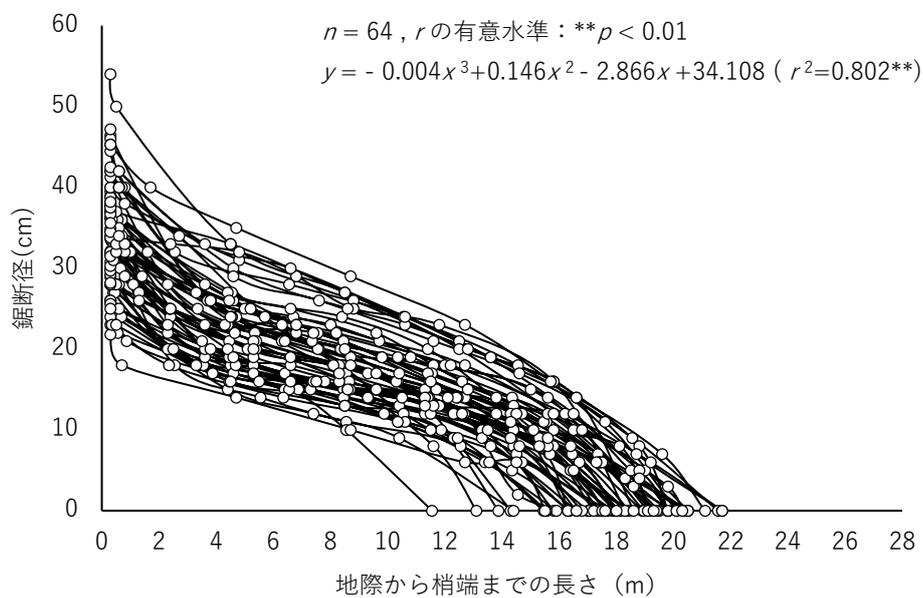


図-3.9 幹曲線式の作成 (プロット6b)

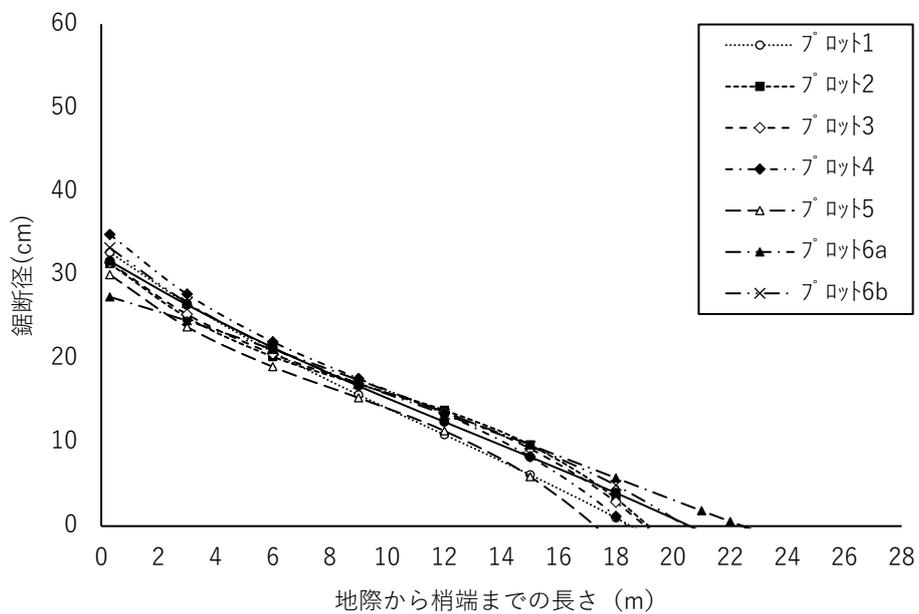


図-3.10 幹曲線式の作成 (プロットの幹曲線)

※図中の式はプロット全体の曲線式である。

※ r の有意水準: $**p < 0.01$

3.3.2 形状比

伐採前に素材調査のプロットを設定し毎木調査を行ったが、今回の素材調査では集材支障木が多く発生し、伐倒木の約3割のDBHを計測していなかった。このため、素材調査から得られた幹曲線式から機械的に1.2m高の直径を求めた（以下、推定DBHとする）。推定DBHが実測DBHの代替値として利用可能かを検証するため、実測DBHの材141本を対象に、実測DBHと推定DBHとの関係を検討した。

また、プロット調査で得られた形状比が妥当であるかを検証するため、演習林の森林簿改定のため1979年に実施された現地調査（以下、演習林データ（吉田2005））のうち、今回のプロット調査（8～11齢級）と同一もしくは隣接する林小班を対象に、14か所の林班の94データと比較した。

3.3.3 素材歩留り

生産性やコストを算定する場合、素材材積が不可欠な値となる。また、演習林材が大隅地域の性質を示しているかを確認する必要があるため、本研究では、素材歩留りの解析を行った。

造材により生産された素材材積は、素材現場で使用されている末口二乗法により伐倒木（造材木）1本ごとの素材材積を求めた（2）。

$$\sum_1^n (D_i^2 \cdot \ell_i) \quad (\text{m}^3/\text{本}) \quad (2)$$

ただし、 D_i : 素材の末口直径 (cm)、 ℓ_i : 素材材長 (m) である。

本県の立木調査では、鹿児島県庁で作成された収穫表及び幹材積表を用いている。このため、伐倒木の立木幹材積は本県作成の幹材積式を用いて求めた（鹿児島県 2008）。

$$\text{Log } V = -4.047149 + 1.657148\text{Log } D + 1.098296\text{Log } H \quad (\text{m}^3/\text{本}) \quad (3)$$

ただし、 V : 単木幹材積 (m^3)、 D : 胸高直径 (cm)、 H : 樹高 (m) である。

素材歩留りは、(2) 式で求めた素材材積を、当該造材木の地際から梢端までの長さ と DBH (推定 DBH も含む) を基に (3) 式で求めた幹材積で除して求めた。

3.3.4 素材の品質等級区分

A・B・C材の区分については、全国的に統一された基準ではないため（林野庁，2015），画一的に取り扱うことは困難である。また，素材の日本農林規格（JAS；農林水産省 2012）においては，1等から4等級まで基準が定められており，建築その他一般および電柱の用に供される丸太に適用されている。しかし，これも一般的な原木流通の品質等級とは異なるものである。このため，2.3で述べたように，演習林材の品質等級区分は山土場販売に切り替えた2013年以降は演習林材の追跡が出来ないことから，高山木材流通センターでの25事例の品質等級区分データを調査し，形状比との関係からA・B・C材の出現頻度の実態を解析した。

3. 4 結果と考察

3.4.1 樹幹形状の実態

各プロットの平均幹曲線式を図-3.10に示す。プロットごとの平均的な3次多項式の推定値と実測値の重相関係数はいずれも0.739以上($p < 0.01$)であった。なお、単木ごとの3次多項式($n=212$)の重相関係数はいずれも0.964以上($p < 0.01$)であった。

素材調査の結果、平均樹高は17.9m、平均DBHは29.3cmであった(表-3.1)。各プロットでは列状間伐を実施したことから、定性間伐とは異なり大径木から被圧木まで林況を構成しているすべての樹木が伐出され、全プロット共にDBHにバラツキが表れた。レンジが大きなプロット1, 4, 6bでは±15cm程度の幅を有していた。

また、本演習林のスギは根張りが大きく曲がりやキズなどがみられることから、根元に近い部位を1m~2m程度で切り落とし、材長4mの1番玉の品質を高める採材をした(図-3.3~3.9)。採材は収益性が高い4mが主流であるため、プロセッサの鋸断位置が4m, 8m, 12mに多く集まっており、プロット4, 6a, 6bは端材が多く出現したため、2m以下付近の計測数が増加した。プロット2, 3, 5は鋸断位置のバラツキが少なく、均等に採材ができていることがみてとれる。これらのプロットは形状比が60以上であり、他のプロットと比べて高い値となっている。各プロット内で径級の大小および樹高の長短は確認でき、樹幹サイズが異なるものの幹曲線の線形はほぼ同様の曲線形状であった。プロット6aでは、樹高が26mに達しているものもあり、成長が早い個体と被圧された個体との差が大きく、プロット6bでは、最大根元径が50cmを超えるものが現れた。

将来、センシング技術が向上し、プロセッサ造材と同時にこれらの自動計測化が進めば、単木ごとの樹幹の形状を簡易に知ることが可能になると推察され

る。

3.4.2 形状比の実態

図-3.11 は、実測 DBH と推定 DBH の関係を示したものである。実測 DBH と推定 DBH は一次式で近似でき、高い相関 ($r = 0.921$, $p < 0.01$) がみられたことから、未計測の DBH は推定 DBH が利用可能と判定し、以下の形状比の算出において推定 DBH を用いた。形状比の値が最高であったのはプロット 6a の 74 であり、最低はプロット 4 の 55 であった (表-3.1)。緩傾斜地は、形状比が 50~60 の間にあり、傾斜地の形状比は 60 以上であった。なお、今回の素材調査を行った演習林の南部区域の人工林スギの林齢構成は 10~11 齢級に最頻値があり、大隅地域の人工林 10~11 齢級の構成割合との差が 5% の範囲に収まっていることが確認された (鹿児島県 2018)。

素材調査と演習林データの形状比の分布を示したものが図-3.12 である。なお、素材調査における形状比は、地際から梢端までの長さを推定 DBH で除して求めており、サンプル数は、素材調査 $n=212$ 本、演習林データ $n=94$ か所である。形状比の最頻値を示した 50 以上 70 未満については、素材調査が 63.2%、演習林データが 76.6% であり、平均値では素材調査が 62.2、演習林データが 62.6 と 4 ポイントの差異しかなく非常に近似していた。素材調査と演習林データは別々に計測した値であるため、2 つの母集団の等分散の検定を行ったところ、両者有意水準 5% 未満で等分散の結果となった (F 検定)。以上から、素材調査と演習林データは同じ母集団から得られたものといえる。

大隅地域については、長濱・近藤 (2014) により、鹿児島県の地域別・品種別のスギの樹幹曲線に関する研究が報告されている。この報告を基に、大隅地域のスギ (全品種解析値) の形状比を計算した結果 62.8 となり、本調査と非常に近い値となった。

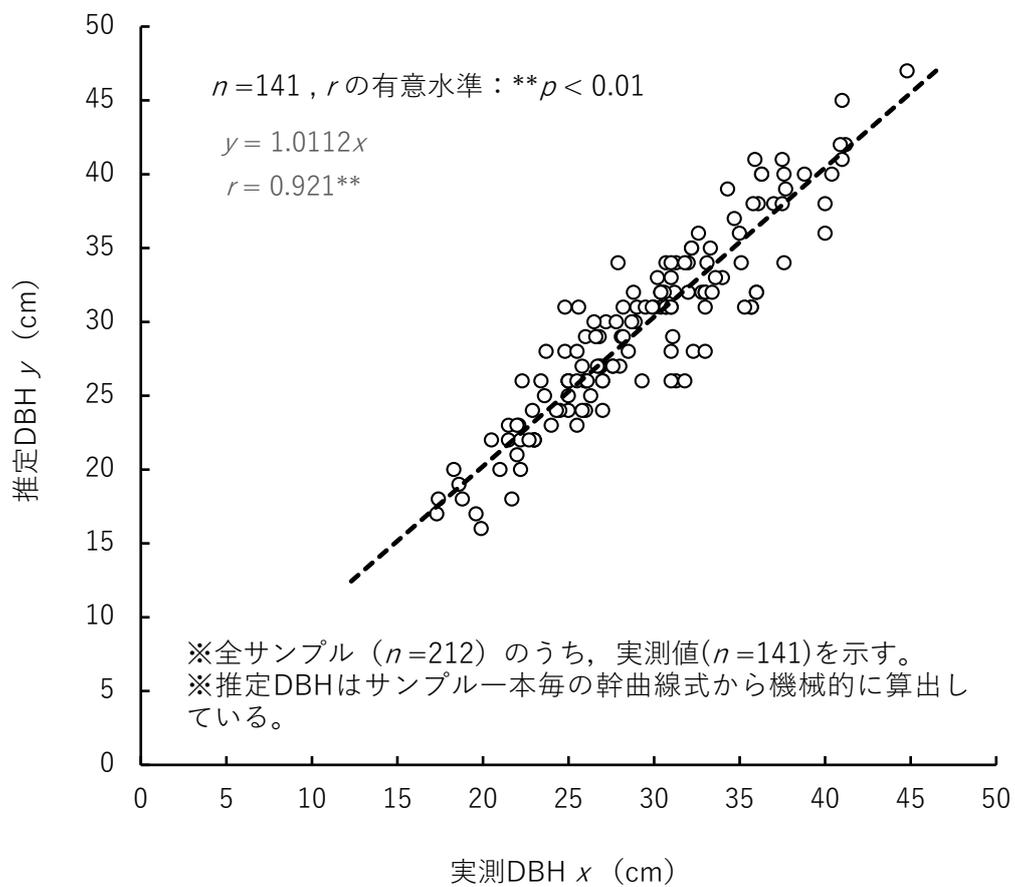


図-3.11 実測 DBH と推定 DBH の関係

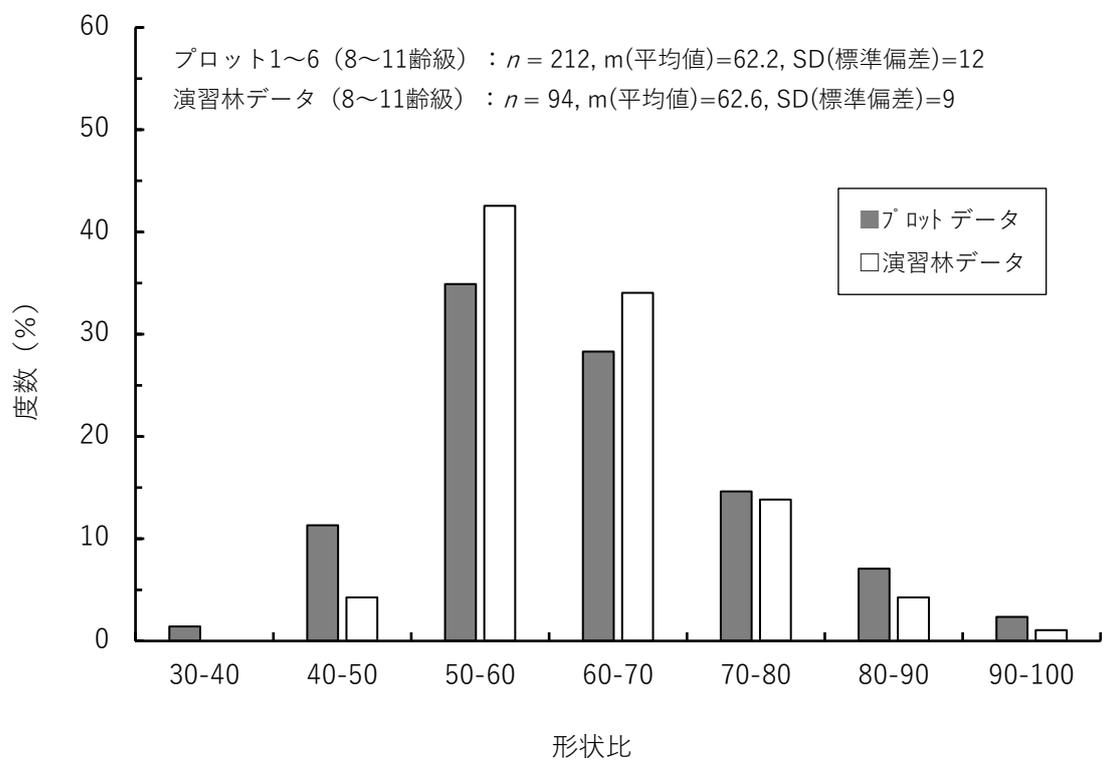


図-3.12 高隈演習林におけるスギ人工林の形状比の分布

3.4.3 素材歩留りの実態

図-3.13 は、丸太の実測素材材積（ b ：端材により切り捨てたものは含まない素材材積）と鹿児島県スギの幹材積式（3）から求めた単木材積（ c ：図-3.3～3.9 に示すプロットごとの幹曲線式から求めた推定 DBH と地際から梢端までの長さを用いて算出）との関係を示したものである。ここから鹿児島県スギの幹材積式から求めた材積と 1 本あたりプロセッサ素材材積との関係は正の高い相関がみられ、式（4）を得た。

$$y = 0.7114 x \quad (4)$$

ただし、 x ：鹿児島県幹材積表より算定した材積（ $\text{m}^3/\text{本}$ ）， y ：実測素材材積（ $\text{m}^3/\text{本}$ ）

その結果、素材歩留りは 0.71 であり、経験的にいわれている単木あたりの利用材積は幹材積の約 7 割という数値に近い結果となった。なお、材積が $0.8 \text{ m}^3/\text{本}$ 以上の材では、伐倒もしくは集材時に幹折れが発生するケースがみられた。また、極端な曲がり、キズ、二又材などについては切捨てたことから、バラツキが大きくなったと考えられる。素材歩留りは森林管理の方法（生産目標）、スギ品種、地位指数など地域特性も大きく影響する（家原・黒川 1990）。これらについては、今後の課題としたい。

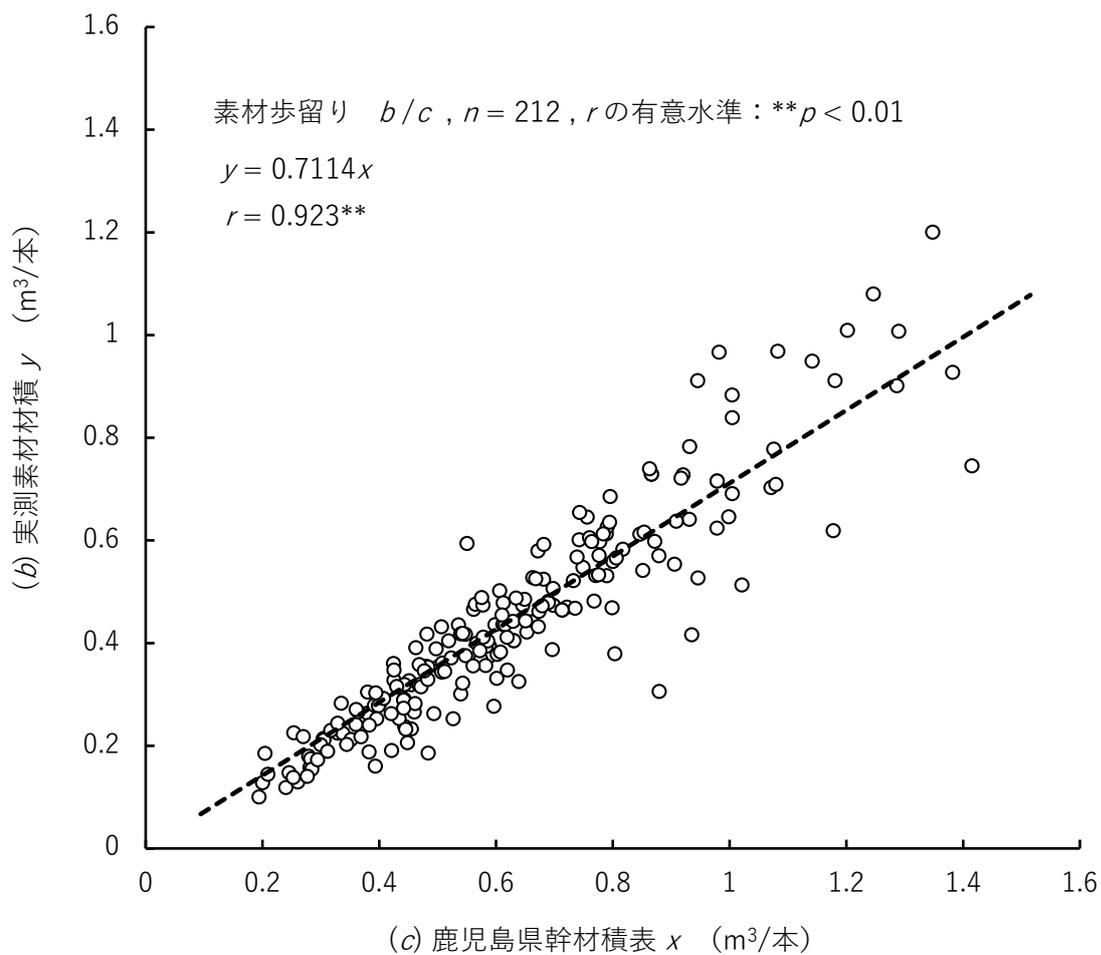


図-3.13 プロセッサ造材計測から算出した単木材積と鹿児島県幹材積式との関係

3.4.4 素材販売量と品等出現頻度の検討

図-3.14 は、形状比と素材歩留りとの関係を示したものである。形状比が 80 以上に推定 DBH20cm 以下の伐木の約 8 割が該当し、形状比が 50~80 までの範囲では推定 DBH20cm~30cm、これよりも形状比が低い範囲は推定 DBH30cm より大きな大径材が大勢を占めている。なお、全体的には形状比と素材歩留りには相関が認められなかった。

形状比の値を高めているのは、大径木に被圧された DBH の小さな樹木（以下、被圧木）が大きく影響した。今回の素材調査では、根元部の腐れや曲がり、集材に伴う樹幹折れ、3~4 番玉付近での二又木も多く発生したため素材歩留りが低い値のものも多く出現し、バラツキが大きくなった。なお、素材調査はすべて列状間伐のため、被圧木も間伐対象となり、伐採木は可能な限り全木集材するので、より森林現況に近い木材の本数割合が再現されていると考えられる。本研究では、形状比が高い材と素材歩留りには正の相関があると予想していたが、結果として、図-3.14 に示したとおり相関は認められなかった。造材においては、オペレーターができるだけ付加価値の高い素材を取ることを意識して採材することが推察され、採材技術や習熟度などの人為的な要因が影響したことが考えられる。

表-3.3 および図-3.15 は、品質等級調査の結果を基に形状比と品等区分別の素材出現頻度を示したものである。高山木材流通センターに木材を販売した林分ごとに形状比の平均を求め、生産された原木を A,B,C 材の 3 つに区分した。A 材の出現頻度の平均値は 23%であり、形状比に関わらず 4~45%の範囲で発生した（図-3.16、表-3.3）。B 材は形状比と正比例、C 材は形状比と反比例の関係が示された。しかし、A 材については、形状比と品質等級別出現頻度の相関係数は 0.053 であり、両者に相関は無く、有意差が認められない結果となった。そのため、A 材の出現予測を形状比から行うことは難しい。しかしな

がら、生産される素材の大半を占める B 材と C 材の出現傾向は、形状比から読み取ることが十分に可能だといえる。

本演習林における素材生産現場では、オペレーターの判断により採材を決めるが、これは他の素材生産現場でも同様のことがいえよう。素材生産においては、低コスト生産のためのシステム改善や高性能林業機械を用いた生産性向上に関する研究が進められている。しかし、素材生産を行う事業体にとっては、収益性向上が最も大きな課題となり、販売価格が最も高い A 材をより多く生産することが大変重要となる。このことは、A 材が形状比に大きく左右されることなく一定の割合で出現した結果からも読み取れる。

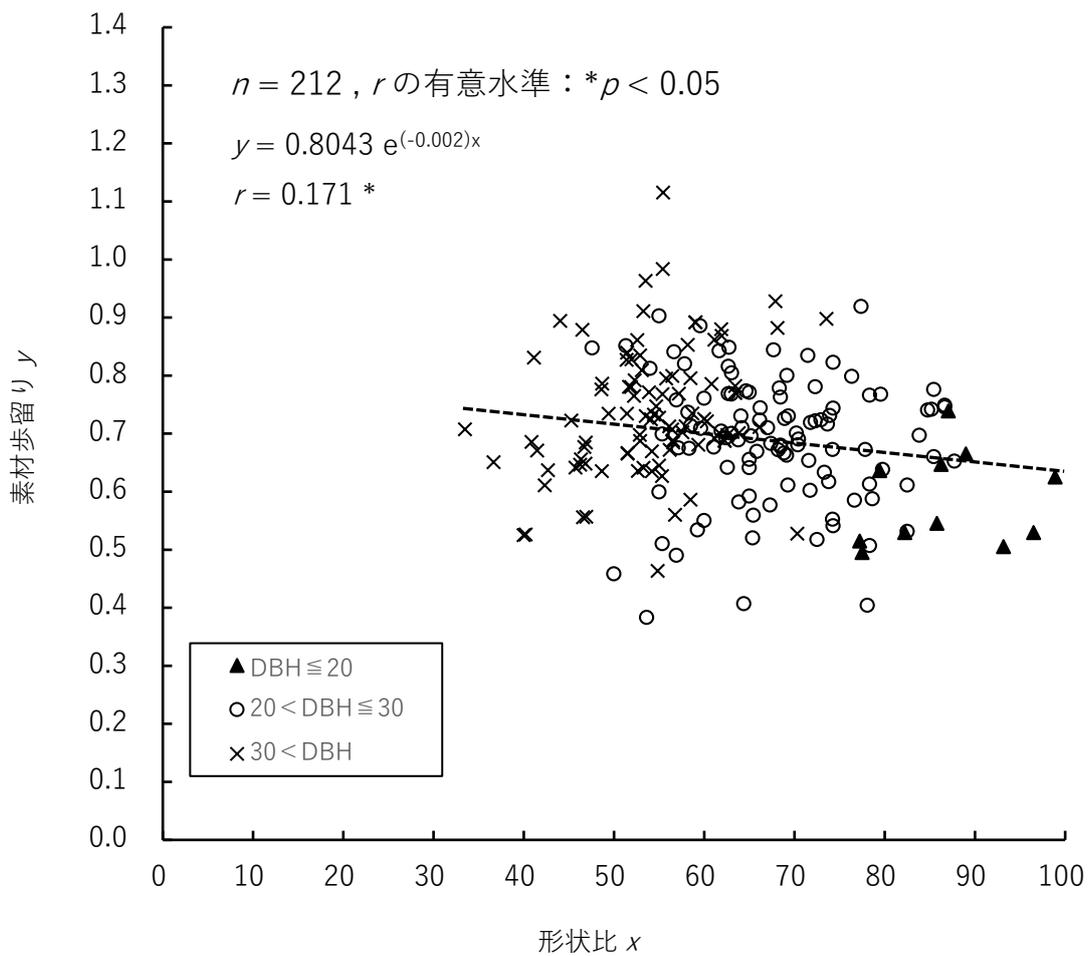


図-3.14 高限演習林における間伐木の形状比と素材歩留りの相関図

演習林・スギ：3m+4m($n=25$), r の有意水準：** $p < 0.01$

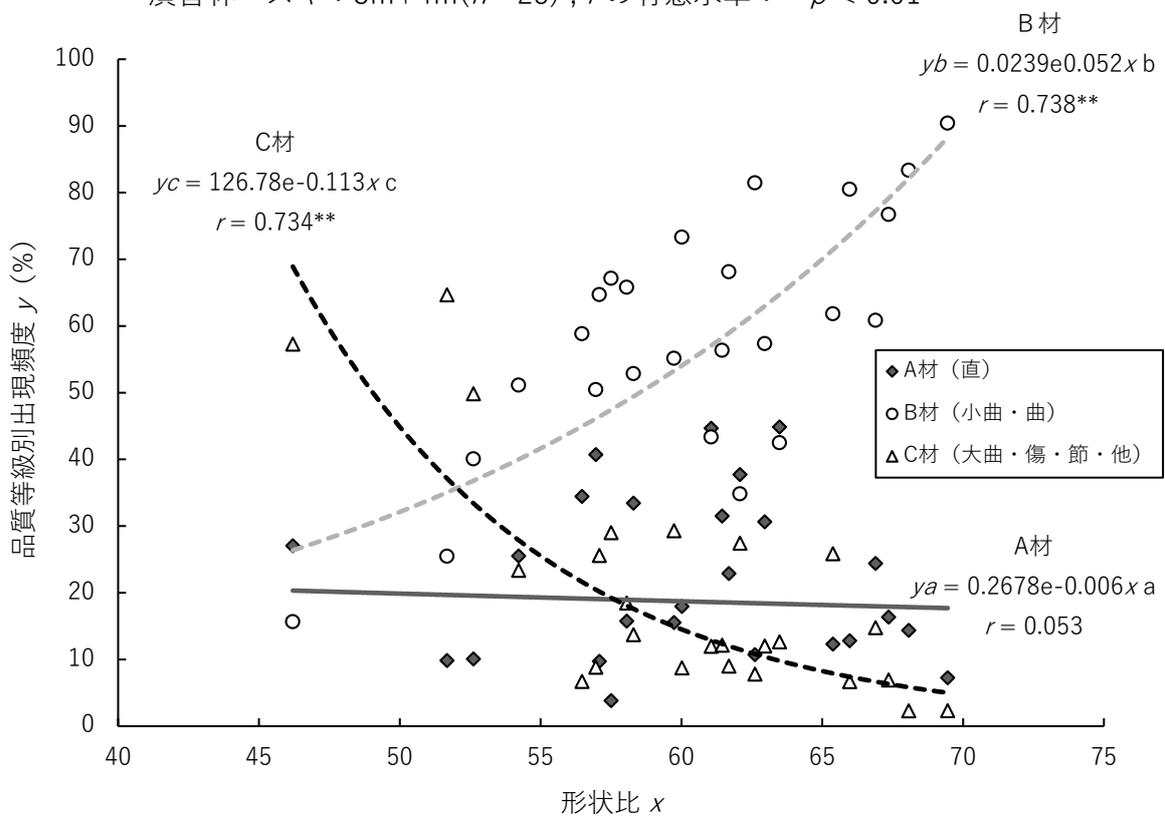


図-3.15 高隈演習林における間伐木の形状比と品質等級出現頻度

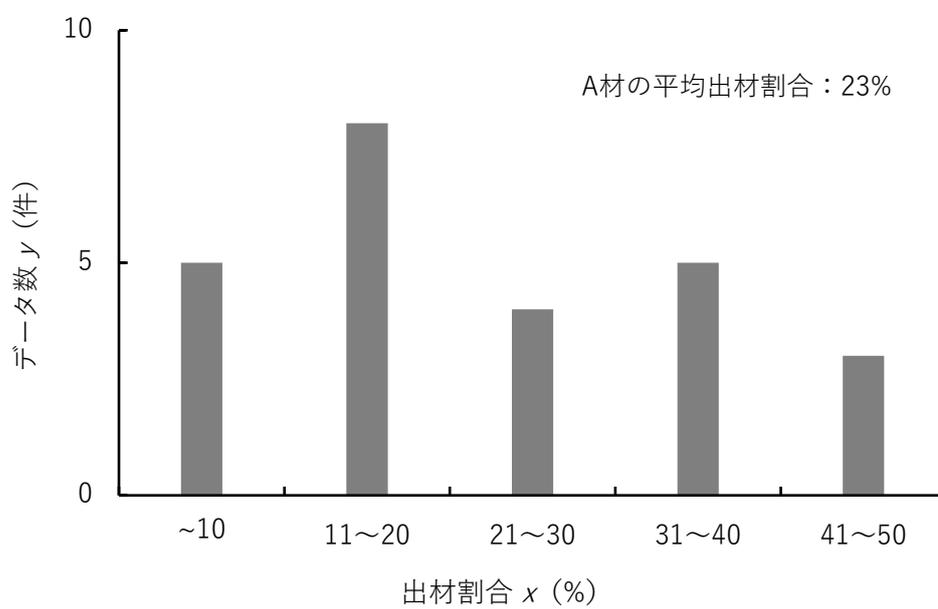


図-3.16 高隈演習林の間伐木におけるA材の出材割合

表 - 3.3 品質等級調査結果

データ 番号	林小班 番号	樹 種	林小班 面積 (ha)	調査 面積 (ha)	平均 DBH (cm)	平均 樹高 (m)	平均 形状比 (%)	合計 販売材積 (m ³)	品等別販売割合(%)			市売 年月
									A材	B材	C材	
1	101-048	スギ	2.46	1.00	26.5	15.4	58	170.918	33	53	14	2011.01
2	101-054	スギ	1.96	0.07	26.6	16.2	61	66.452	45	43	12	2010.12
3	102-006	スギ	4.78	0.20	20.2	13.8	68	98.875	15	83	2	2008.06
4	102-014	スギ	1.79	1.40	23.9	15.0	63	1128.513	31	57	12	2008.07
5	103-004	スギ	0.13	0.13	29.6	18.2	61	44.351	32	56	12	2008.02
6	103-005	スギ	0.30	0.30	27.4	16.9	62	15.640	23	68	9	2008.02
7	103-022	スギ	16.46	0.75	21.4	14.3	67	327.674	24	61	15	2008.06
8	103-026	スギ	6.63	6.63	26.9	14.6	54	330.894	26	51	23	2012.03
9	104-015	スギ	9.20	0.63	25.5	16.7	65	82.912	12	62	26	2008.01
10	104-022	スギ	14.07	0.71	27.8	16.6	60	141.908	16	55	29	2008.01
11	105-023	スギ	0.46	0.46	30.6	19.0	62	41.047	38	35	27	2010.11
12	105-024	スギ	0.44	0.19	30.4	17.1	56	63.823	34	59	7	2010.11
13	105-025	スギ	1.14	0.38	27.3	17.3	63	148.784	45	42	13	2010.01
14	106-031	スギ	1.66	0.32	41.5	19.2	46	142.667	27	16	57	2009.05
15	106-035	スギ	0.37	0.08	27.8	18.4	66	28.474	13	80	7	2009.05
16	106-047	スギ	1.30	1.30	27.1	16.3	60	115.921	18	73	9	2009.05
17	108-005	スギ	1.00	0.91	31.2	17.8	57	121.771	41	50	9	2010.11
18	108-036	スギ	0.56	0.56	28.5	16.6	58	57.083	16	66	18	2010.12
19	108-039	スギ	0.19	0.19	24.7	14.1	57	18.499	10	65	25	2010.12
20	108-064	スギ	0.75	0.48	21.6	14.5	67	63.326	16	77	7	2008.01
21	108-066	スギ	2.08	2.08	21.3	12.2	58	364.093	4	67	29	2006.11
22	110-009	スギ	15.92	1.11	35.2	18.2	52	564.868	10	25	65	2010.06
23	113-027	スギ	0.30	0.26	27.2	17.0	63	25.075	11	81	8	2007.11
24	113-031	スギ	0.63	0.60	22.6	15.7	69	22.211	7	91	2	2007.11
25	114-004	スギ	9.25	0.41	36.7	19.3	53	161.337	10	40	50	2012.06
平均	-	-	3.74	0.85	-	-	-	173.885	23	52	25	-
合計	-	-	93.43	21.14	-	-	-	4347.116	-	-	-	-

また、演習林が位置する大隅地域では調査当時は 4m 採材が主流であることから、4m の A 材を取ると、前後の丸太に曲がり部分や傷、割れなどの品質等級低下に直結する部位が集まりやすいことも品質等級の出現頻度に影響したと考えられる。4m 材は販売価格が高いので多く採材される傾向がある。しかし、長尺になる程、曲り部分を外すことが難しくなる。そのため、4m 採材により品質等級を落としてしまうよりも、3m 採材で品質等級を上げる方が立木 1 本あたりの販売価格が高くなる場合もある。様々な工程を同時に行う作業者にとって、多くの可能性を瞬時に判断してくことは熟練者であっても負荷がかかる作業である。伐採現場での採材に焦点を当て、リアルタイムに獲得した丸太情報を現地で活用できれば、採材技術の向上、ひいては収益性を高めることに貢献できると考えている。

3. 5 まとめ

本章では、プロセッサ造材の素材計測結果を基に簡易な幹曲線式を作成し、形状比、素材歩留り及び品等別出現頻度を高精度とはいえないまでも明らかにすることができた。プロセッサ造材作業と同時に素材調査を行うことにより、伐木の状態を解析することが可能となり、さらに素材の品等区分を含む販売データと結びつけることで品等出現頻度の解析までの試行を行うことができたと考えている。また、演習林を事例として、A 材の出現頻度および諸条件との関係を分析した結果、経済的価値が最も高い A 材の発生頻度を知るための指標として形状比が必ずしも機能しないことが判明した。ただし、B 材は形状比が高い林分からはより多く生産される傾向がある。

今回の幹曲線式を作成する手法は、プロセッサ造材時に造材木の計測を行えば、地域性を問わず適応可能であり林分評価の簡素化に大きく貢献するものと

考える。ただし、プロセッサで採材する過程では、林業機械の習熟度や採材技術など人的要因が影響することも否めない。今後、人的要因など素材歩留りや素材の品等区分などについてさらなる研究を進めていく予定である。

第4章 鹿児島県大隅地域におけるスギ材の素材販売価格の試算

4.1 目的

本章では、本演習林で生産した建築用材を対象に、プロセッサ造材時に計測した採材データおよび原木市場での素材販売データを用いて、丸太1本ごとの素材の長さ（以下、素材長）や品質、販売価格に関する分析を行い、収穫木の標準的な幹形・単純化した採材パターン（以下、高隈モデルとする）を作成した。そして、これを用いて素材販売金額の予測（復元）を試行し、実績との整合性を検証した。

4.2 研究方法

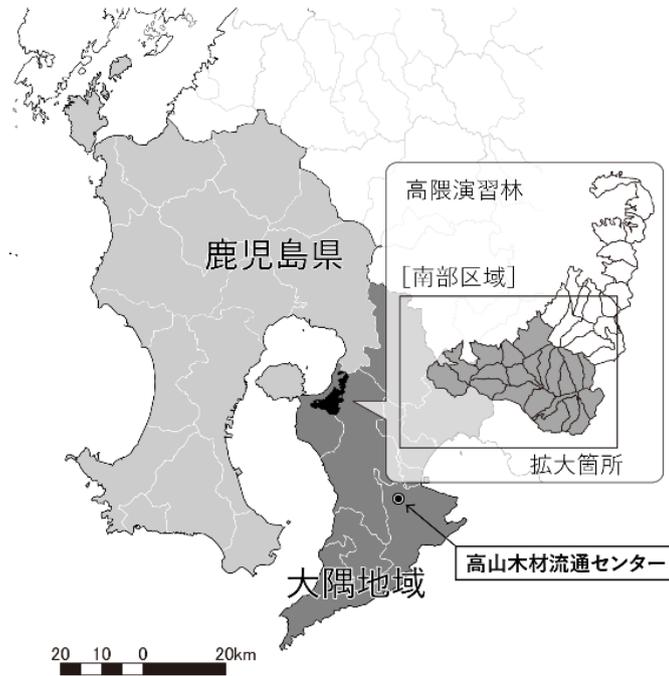
4.2.1 調査地

大隅半島北部の鹿児島県垂水市海潟にある本演習林の南部区域を調査対象地とした（図-4.1）。本演習林は、総面積 3,066 ha、標高 100～885 m、地質は四万十層群の堆積岩とそれを貫く花崗岩が基礎となっている。その上位を主に始良カルデラを形成させた火山噴出物が覆っている（荒巻 1969）。現在でも、桜島の活発な火山活動により火山灰が降灰している地域である。

本演習林南部区域は、スギが植栽された林班が多く、大隅地域におけるスギ人工林の施業と同様に ha あたり 3,000 本植栽の並材仕立てを標準としている。林齢は 9～11 齢級が中心である。この区域は、本演習林の技術職員による素材生産（以下、直営生産）が盛んに行われており、林道や森林作業道などの路網整備が進んでいる。作業システムは、伐倒（チェーンソー）、スイングヤード集材（標準バケット容量 0.45 m³ クラス、I 社 TW-302）、プロセッサ造材（標準バケット容量 0.45 m³ クラス、I 社 GP-35V）、フォワーダ搬出（最大積載量 4 t クラス、M 社 MST-650VDL）を用いた架線系+車両系の併用型システムである。

生産された素材は、鹿児島県森林組合連合会が運営する高山木材流通センタ

一（図－4.1）に委託販売をしてきたが，2014 年以降は本演習林内の土場から直接販売する山土場販売を行っている。



高限演習林[南部区域]

- 素材調査プロット位置 : [プロット1] ~ [プロット6]
- 品質等級調査対象伐区 : 伐区① ~ ⑳

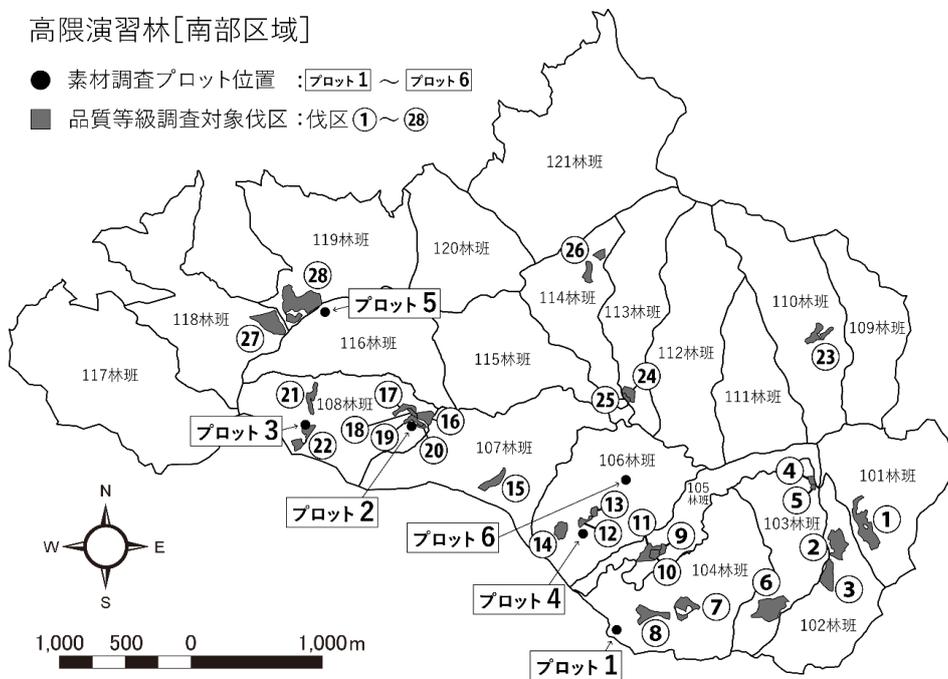


図-4.1 高限演習林および調査対象地位置

4.2.2 本研究の流れ

素材販売金額の予測結果を得るまでのフローチャートを示したのが図-4.2である。①高隈モデルを作成するために素材調査と品質等級調査の二つの調査を実施した。素材調査では、素材生産現場で計測したプロセッサでの造材データを分析し、伐倒木の幹曲線式と採材パターンを算定した。採材は、オペレーターの経験則による合理的判断により行われるため、素材長と径級の組合せは多岐にわたる。本演習林では、従来4m、3m材の建築用材を主に生産してきたことを踏まえ、ここでは、素材生産・販売量の中心となる素材長4mと3mに限定して単純化することを試みた。品質等級調査では、本演習林の素材販売実績を分析し、素材長、径級および品質ごとの平均販売価格を算定した。これらの両調査の結果を基に素材と販売価格の情報を接続した。②高隈モデルを使用して伐区ごとの素材本数および販売金額を試算し、素材販売金額の予測を行った。そして、この試算結果と実際の販売実績を比較することで、素材販売金額の予測（復元）の有効性を検証した。

なお、今回実施した素材調査および品質等級調査は異なる時期に実施した調査だが、調査対象地はいずれも本演習林内の同じ区域に隣接している。そのため、施業方法や地形条件、林分条件、林齢などいずれも近似している。また、施業を行った時点での林齢は近いので、立木の条件もほぼ同様である（表-4.1, 4.2）。

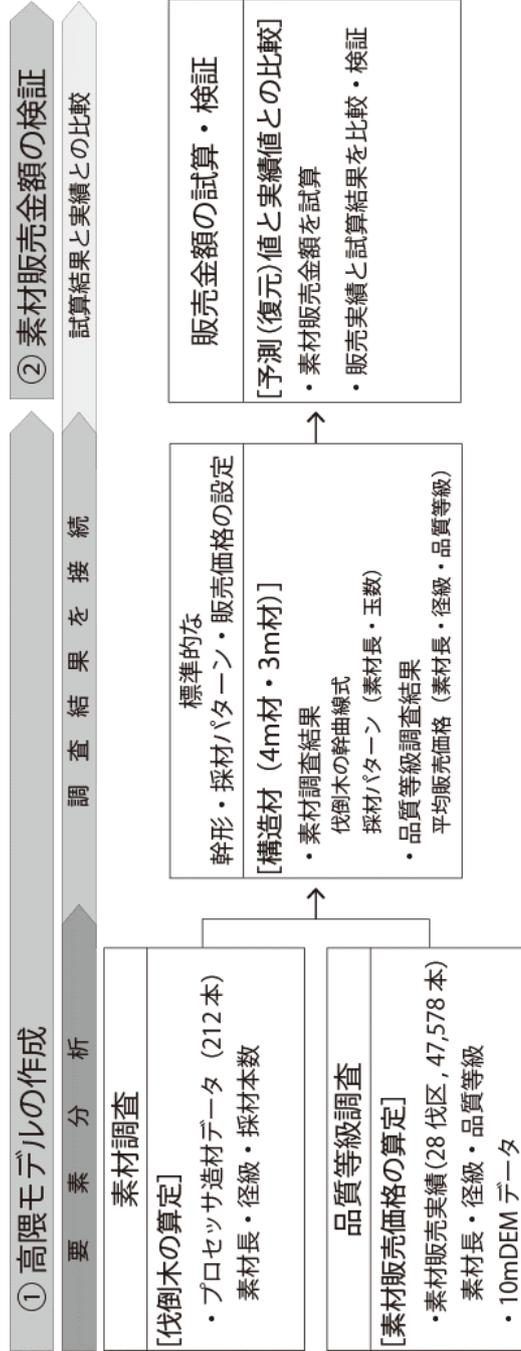


図-4.2 高限モデルによる販売金額予測方法

表 - 4.1 素材調査結果概要

プロット 番号	林小班 番号	樹種	林齢 (年生)	伐採種	プロット 面積 (ha)	平均 地形傾斜 (度)	サンプル 数 (本)	素材 本数 (本)	平均 伐倒木長 (m)	平均 DBH (cm)	調査 年月
1	104-052	スギ	41	間伐	0.25	5	22	114	16.7	29.8	2017.09
2	108-037	スギ	54	間伐	0.18	10	19	112	18.7	28.3	2016.08
3	108-066	スギ	51	間伐	0.17	11	15	87	18.4	28.9	2013.10
4	106-043	スギ	41	間伐	0.15	2	29	185	17.4	30.6	2018.02
5	116-011	スギ	49	間伐	0.10	12	16	95	16.8	27.5	2015.10
6a	106-020	スギ	48	間伐	0.24	31	47	265	19.7	26.9	2017.09
6b	106-020	スギ	48	間伐	0.29	31	64	414	18.4	30.4	2018.06
平均	-	-	-	-	-	27	-	-	18.3	29.3	-
合計	-	-	-	-	1.38	-	212	1272	-	-	-

※サンプル数は伐倒木の本数，素材本数は端材，2m材，梢端部を含めたすべての素材本数。

表 - 4.2 品質等級調査結果概要

伐区 番号	林小班 番号	樹種	林齢 (年生)	伐採種	伐採 面積 (ha)	平均 地形傾斜 (度)	植数 (植)	素材 本数 (本)	販売 材積 (m ³)	販売材積(m ³ /ha)			販売金額(千円/ha)			販売 年月								
										合計	3m	4m	その他*1	合計	3m		4m	その他*1						
1	101-048	スギ	48	間伐	3.22	21	174	1,681	171	53,010	13,138	39,235	0.637	479	134	339	6	2011.01						
2	102-010	スギ	53	主伐	2.22	25	180	7,621	753	338,706	21,982	310,964	5.760	2,210	135	2,052	23	2012.11						
3	102-014	スギ	49	主伐	1.63	26	329	12,076	1,129	693,135	139,951	552,337	0.847	5,562	1,190	4,368	4	2008.07						
4	103-004	スギ	44	間伐	0.29	18	52	338	44	152,034	25,422	123,036	3.575	1,292	210	1,063	21	2008.02						
5	103-005	スギ	39	間伐	0.13	24	30	135	16	116,718	23,224	90,957	2.537	948	187	743	15	2008.02						
6	103-026	スギ	54	間伐	3.18	23	98	2,954	331	104,058	36,706	67,042	0.309	793	294	494	5	2012.03						
7	104-015	スギ	80	主伐	1.51	26	72	733	83	55,028	10,945	43,700	0.383	477	72	398	7	2008.01						
8	104-022	スギ	81	主伐	1.51	21	149	1,057	142	93,905	24,274	66,844	2.787	844	161	646	37	2008.01						
9	105-023	スギ	86	主伐	0.31	33	62	210	41	132,036	4,732	127,304	0.000	1,290	44	1,245	0	2010.11						
10	105-024	スギ	52	間伐	0.46	14	51	458	64	137,865	0,534	137,331	0.000	1,307	3	1,304	0	2010.11						
11	105-025	スギ	56	間伐	1.13	23	121	1,233	149	131,107	18,594	111,911	0.602	1,173	162	1,006	4	2010.01						
12	106-045	スギ	30	主伐	0.40	9	104	535	143	360,702	7,524	342,581	10.596	2,149	32	2,069	47	2009.05						
13	106-035	スギ	49	間伐	0.35	11	24	312	28	82,494	11,595	70,900	0.000	469	72	397	0	2009.05						
14	106-047	スギ	50	間伐	1.01	15	69	1,115	116	114,578	6,660	107,823	0.096	705	43	662	0	2009.05						
15	107-093	スギ	67	主伐	1.18	28	134	962	156	132,250	14,560	111,957	5.733	1,089	106	950	33	2008.11						
16	108-005	スギ	56	間伐	0.90	22	66	910	122	135,288	22,000	111,427	1.861	1,348	211	1,125	11	2010.11						
17	108-033	スギ	57	間伐	0.65	23	31	121	20	29,913	0,000	29,913	0.000	289	0	288	0	2012.12						
18	108-035	スギ	56	間伐	0.22	20	39	114	15	66,803	16,108	50,695	0.000	583	133	452	0	2012.12						
19	108-036	スギ	57	間伐	0.49	16	60	511	57	116,884	30,151	86,733	0.000	944	242	702	0	2012.12						
20	108-039	スギ	56	間伐	0.14	18	35	190	18	136,320	14,539	121,781	0.000	973	96	876	0	2012.12						
21	108-064	スギ	54	間伐	0.97	16	31	1,254	63	65,100	27,123	37,977	0.000	423	156	267	0	2008.01						
22	108-066	スギ	43	主伐	1.28	9	105	3,840	364	284,923	25,472	244,987	14.464	2,593	258	2,251	84	2013.11						
23	110-009	スギ	87	主伐	1.22	21	351	2,941	565	461,937	50,917	398,788	12.232	3,102	295	2,749	58	2010.06						
24	113-026	スギ	40	間伐	0.73	28	38	787	53	73,133	11,277	61,265	0.591	517	76	438	3	2007.11						
25	113-027	スギ	37	間伐	0.19	18	38	294	25	131,398	25,756	105,642	0.000	1,022	185	835	0	2007.11						
26	114-004	スギ	84	主伐	1.25	24	119	900	161	129,043	45,071	78,669	5.304	787	275	487	25	2012.06						
27	118-011	スギ	46	間伐	2.62	28	129	1,983	301	114,897	4,054	106,235	4.608	1,024	38	966	20	2014.01						
28	119-015	スギ	43	間伐	4.74	26	158	2,313	280	59,117	13,419	42,668	3.029	367	87	267	13	2011.07						
合計										-	34.12	23	2,849	47,578	5,410	158,580	25,155	130,384	3.041	1,216	193	1,007	17	-

4.2.3 素材調査

素材生産現場でプロセッサ造材時に素材長および鋸断直径（末口直径）を調査した牧野ら（2020）のデータを用いた。期間は、2013～2018年の6年間である。対象地は、本演習林南部区域のスギ人工林であり、直営生産で間伐した緩傾斜地5か所、急傾斜地1か所の合計6か所である（図-4.1, 4.3）。なお、プロット6はスイングヤードの架線を2線張ったので、プロットをaとbに分割した（表-4.1）。伐採方法は、全プロットとも列状間伐である。プロセッサ造材は、プロセッサヘッドに搭載されたロータリーエンコーダで素材長を計測し、木材を把持するグラップル部分に搭載された角度センサで鋸断直径を測ることができる。しかし、現行の測尺装置では鋸断直径の短軸と長軸を判別できないため、造材直後にすべての素材一本ごとに最小値（樹皮付き1cm括約）を計測した（図-4.3）。

プロセッサ造材時に得られるデータから幹曲線式を算出するため、造材時に現地に破棄するサルカを切断する際に発生する10cm以上の端材や根元曲りなどの2m未満の端材、梢端部の長さもすべて計測した。なお、本調査はプロセッサでの造材作業と同時並行に行うため、計測者の安全を最優先とし、必要に応じて機械作業を停止しながら計測した。本論文では、素材長を3m材、4m材と標記するが、実際には10cmの余尺長を含む値である。伐倒木長の出現頻度における正規性の検定はKolmogorov-Smirnov法とShapiro-Wilk法で検証し（中川2019）、統計解析ソフトはIBM SPSS Statistics 27を用いた。

4.2.4 品質等級調査

素材の委託販売先である鹿児島県森林組合連合会の高山木材流通センターが発行する素材長、径級、品質等級、材積などが記載された「売上チェックリスト」および落札者や金額などが記載された「販売（実施計画・結果報告）書」

からデータを取得した。調査期間は、本演習林の素材販売方法が委託販売から山土場での直接販売に切替わる以前で、データが同一形式で利用可能であった2006～2014年の9年間である。なお、2014年以降は、本演習林技術職員による仕分けになり、品等区分の選別基準が市場選別とは異なるため調査対象から除外した。対象地は、素材を生産販売した28伐区である(図-4.1, 表-4.2)。

短期的な素材価格の変動は季節性や施策の変わり目などの契機で起こることが多い(尾分 2017)。素材価格や採材方法の研究は、市場素材価格を基礎に採材方法を決定するために線形計画法を用いた手法(南雲ら 1981)や、正常相対直径列を用いた手法(吉田・今田 1989)などがある。その一方で、素材販売価格を長期的にとらえると1980年代以降続いている緩やかな下落傾向は近年においてもほぼ横ばいで推移しており(林野庁 2020)、比較的安定した値動ともみてとれる。本調査では価格が長期的に安定していることを踏まえ、実記録に基づいた平均的な素材販売価格を算出した。

なお、伐区ごとの平均地形傾斜は国土地理院が提供している10mメッシュの標高データ(国土地理院 2016)を用いて算出した。



サンプル no の確認



プロセッサ造材



プロセッサ造材後の鋸断径計測

図－4.3 造材時の素材長および鋸断径計測

4. 3 結果と考察

4.3.1 素材調査

4.3.1.1 幹曲線式の作成

プロセッサ造材を行った 212 本のサンプルを用いて幹曲線式を作成した。根元の端材から梢端部までのすべての素材長を積算したものに伐株高の計測結果から得られた平均株高 30 cm を加えたものを地際から梢端までの長さ（伐倒木長）とした。伐倒木長と鋸断径の関係を示したものが図-4.4 である。ここから算出した幹曲線式 (5) は、簡易に求められながらも、決定係数は非常に高い ($r^2 = 0.797$, $p < 0.01$)。以下、(5) 式を本演習林の標準的な幹曲線式とし、採材の試算を行う際は本式を用いて鋸断直径を求めた。

$$y = -0.001x^3 + 0.055x^2 - 2.122x + 32.424 \quad (5)$$

ただし、 x : 素材長 (m), y : 鋸断径 (cm) である。

平均伐倒木長は 18.3 m であり、最頻値 25% の 18 m をピークに分布し、正規性の検定の結果、有意確率が 0.05 よりも大きく正規分布に従った。

なお、プロセッサ造材時に収集したデータを用いた幹曲線式の作成については牧野ら (2020) によって報告されている。本研究では、これをさらに発展させ、素材長などの採材方法を加味した採材パターンを追加した。

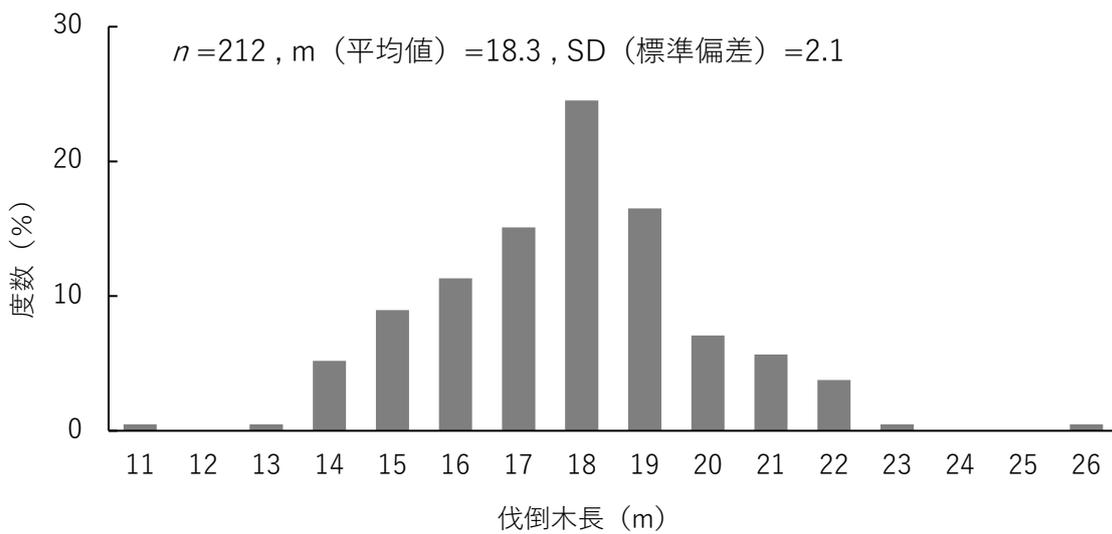
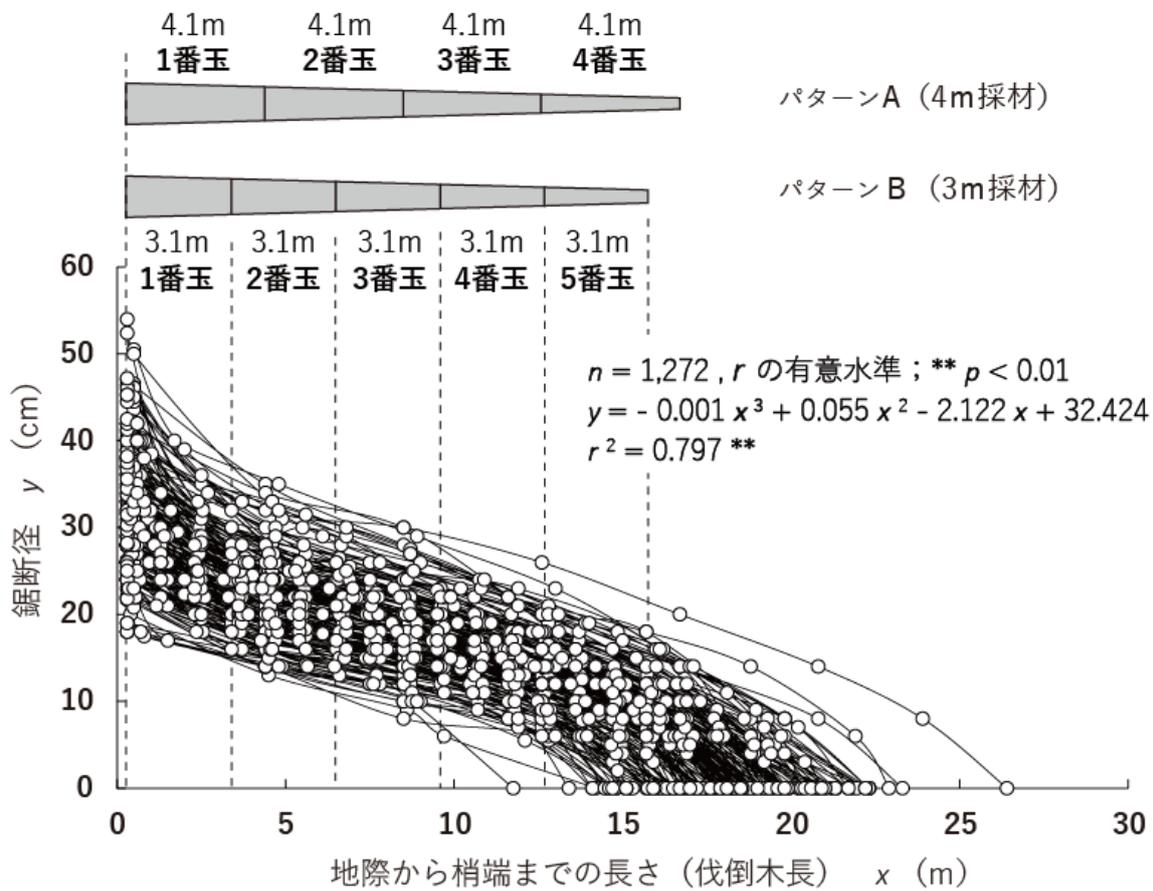


図-4.4 幹曲線式の作成と伐倒木長の分布

4.3.1.2 採材方法の分析

伐倒木長と玉取り数の関係を示したものが図-4.5である。回帰直線は(6)式で示され、相関係数は0.778 ($p < 0.01$)と高い。

$$y = 0.283x - 1.170 \quad (6)$$

ただし、 x : 伐倒木長 (m), y : 玉取り数 (本) である。

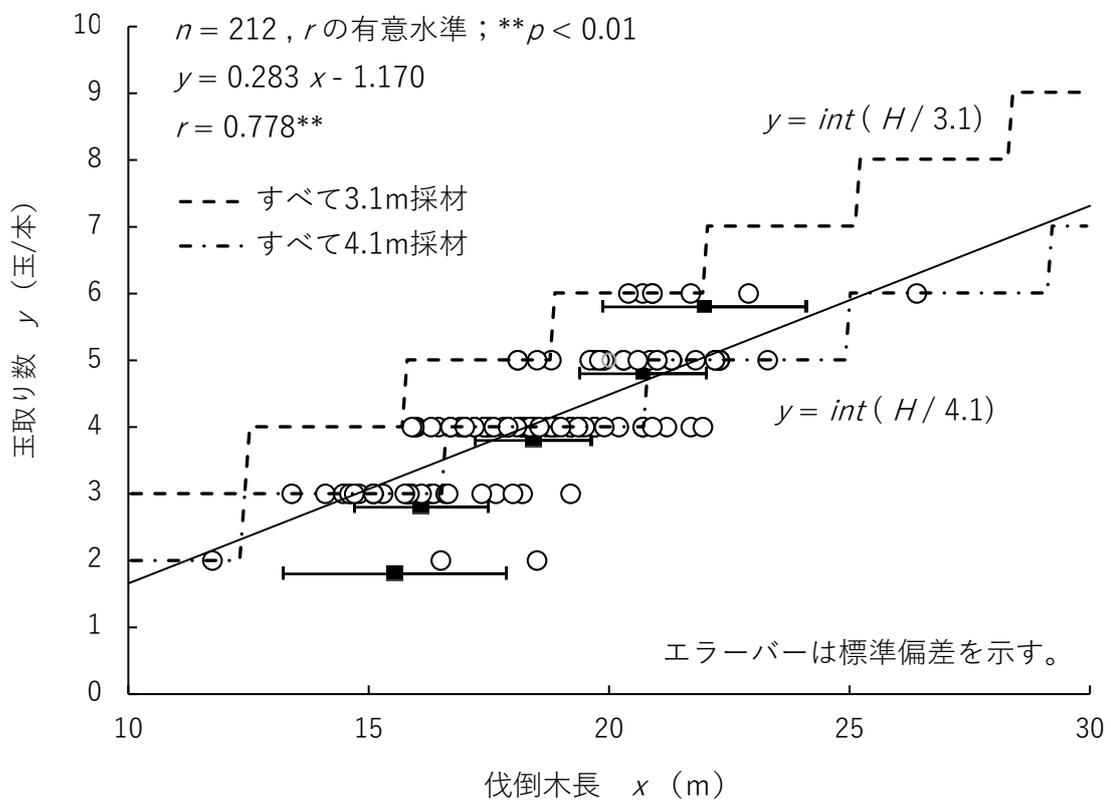


図-4.5 伐倒木長と採材本数の関係

玉取り数は、伐倒木長にかかわらず 3 玉取りと 4 玉取りが多い結果となった。3 玉取りは伐倒木長 13.4 ~19.2m, 4 玉取りは 15.9~22.0m の範囲で出現しており、各玉取り数ともに伐倒木長に約 6m の幅がある。全体として 4m 採材が多いものの、一本の伐倒木から 3m と 4m を混合して採材する場合があるため、伐倒木一本から得られる玉取り数にバラツキが発生した。また、2 玉取りの伐倒木の内、伐倒木長が 15m 以上の 2 本は伐倒木長に対して玉取り数が極端に少ない。これは、二股や腐れなどがあり、伐倒木の素性が悪かった事例である。他の伐倒木についても、同様の理由で低質な箇所を切り落とし、玉数を減少させる場合があった。このように、実際の素材生産現場では、伐倒木の素性を目視で確認し、販売価格が少しでも高くなるように採材するため、一本の伐倒木から生産される素材の本数は一様でない。

本研究では単純化するため、様々な玉取りパターンの組合せは行わずに、玉取りはすべて 4m 採材とすべて 3m 採材の 2 つとした (表-4.3, 図-4.5)。なお、本演習林技術職員が造材した際の素材歩留りの実績値 0.71 (牧野ら 2020) と比較したところ、すべて 4m 採材とした場合が 0.67, すべて 3m 採材とした場合が 0.70 であった。両者ともに実績値に近似していることから、現実との乖離の可能性は小さいと判断される。伐倒木長から採材本数を求める式は、4m 材は (7) 式, 3m 材は (8) 式である。採材する素材長は 10cm の余尺を加えた 4.1m と 3.1m とし、採材できない梢端部の穂先や端材は *int* 関数を用いて減じた。なお、素材長が 2 m 以下の短尺材と 4m 以上の長尺材を除くと、素材長がすべて 3 m の時に玉数は最大化し、4m の時に最小化する。調査結果から求めた (6) 式はおおむね (7) 式と (8) 式の間位置する採材本数を示した。

$$\text{int}(H/4.1) \quad (7)$$

$$\text{int}(H/3.1) \quad (8)$$

ただし、 H : 伐倒木長 (m) である。

表-4.3 4mおよび3mの採材パターン

	採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離 (m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積 (m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格 (円/m ³)	素材販売 金額 (円/本)
パターンA (4m採材)	株高	0.3	0.3	-	31	-	-	-	-
	1番玉	4.1	4.4	31	24	0.230	中目	8,692	2,003
	2番玉	4.1	8.5	24	17	0.116	柱	6,906	798
	3番玉	4.1	12.6	17	11	0.048	小丸太	5,250	254
	4番玉	4.1	16.7	11	6	0.014	小丸太	5,250	76
	5番玉	-	-	-	-	-	-	-	-
	梢端部	1.6	-	6	0	-	-	-	-
	合計	18.3	-	-	-	0.409	-	7,658	3,131
パターンB (3m採材)	株高	0.3	0.3	-	31	-	-	-	-
	1番玉	3.1	3.4	31	25	0.188	中目	7,954	1,491
	2番玉	3.1	6.5	25	20	0.120	中目	7,954	954
	3番玉	3.1	9.6	20	15	0.068	柱	7,316	494
	4番玉	3.1	12.7	15	11	0.036	小丸太	4,874	177
	5番玉	3.1	15.8	11	7	0.015	小丸太	4,874	72
	梢端部	2.5	-	7	0	-	-	-	-
	合計	18.3	-	-	-	0.426	-	7,484	3,188

※径級は小数点以下切り捨て。余尺10cmの材積は除外。

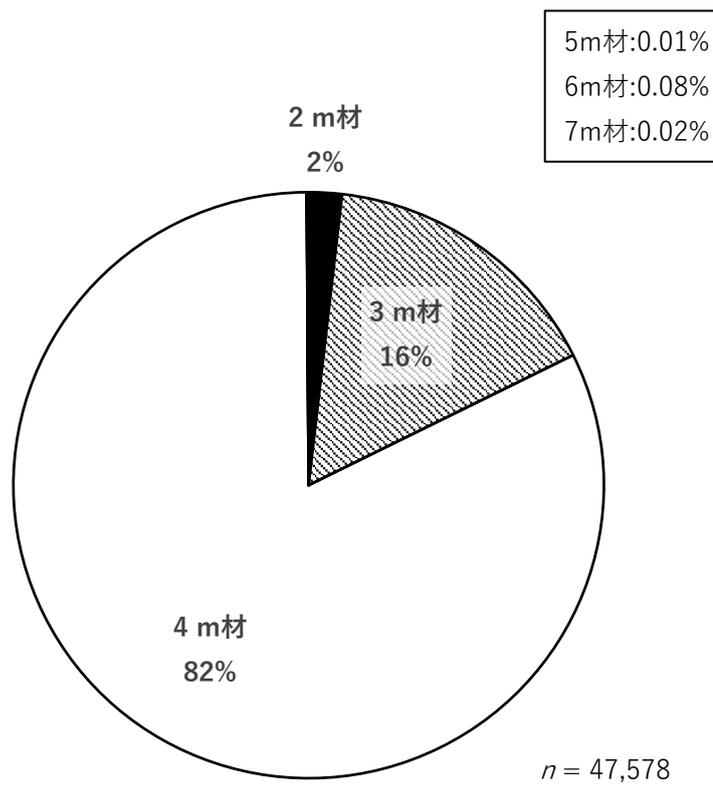
4.3.2 品質等級調査

4.3.2.1 生産物の出現頻度と品質把握（素材長，径級，品質等級）

品質等級調査の対象 28 伐区の合計は，伐採面積 34.12 ha，樫数 2,849 樫，素材本数 47,578 本，販売材積 5,401 m³であった（表－4.2）。伐区の範囲は林況や地形に応じて設定するため，伐区面積は 0.13～4.74ha と大小様々である。平均地形傾斜は 23 度であり，伐採種は間伐が 18 か所，主伐が 10 か所である。素材長は 2 m，3 m，4 m，5 m，6 m，7 m の 6 種類であり，販売材積の 98%を建築用材の 4 m 材と 3 m 材の 2 種類が占め，4 m 材が 82%と最も多い（図－4.6）。

これは，4 m 材は 3 m 材に比べて原木市場での取引価格が高いため，本演習林では可能な限り 4 m で採材する方針で造材していることに起因する（ $n = 47,578$ ）。なお，以下の分析では建築用材を対象とし，2 m 材と生産量が 1%に満たない長尺材（5 m，6 m，7 m）は除外した（ $n = 46,786$ ）。図－4.7 は，径級区分別の本数と材積の販売割合である。本数は，主に柱などに加工される末口直径が 11～18 cm の柱と 20～28 cm の中目の割合が多く，両者を合わせると構成比率は 75%になった。

材積も柱と中目が中心であり，全体の 80%を占めた。なお，中目の本数割合は 24%だが，素材 1 本あたりの材積が大きいため，材積割合は 41%となり構成比率が最大となった。反対に小丸太の本数割合は 21%だが，直径が細いため材積割合は 7%にまで減少した。



図－4.6 高隈演習林における素材長別販売材積割合

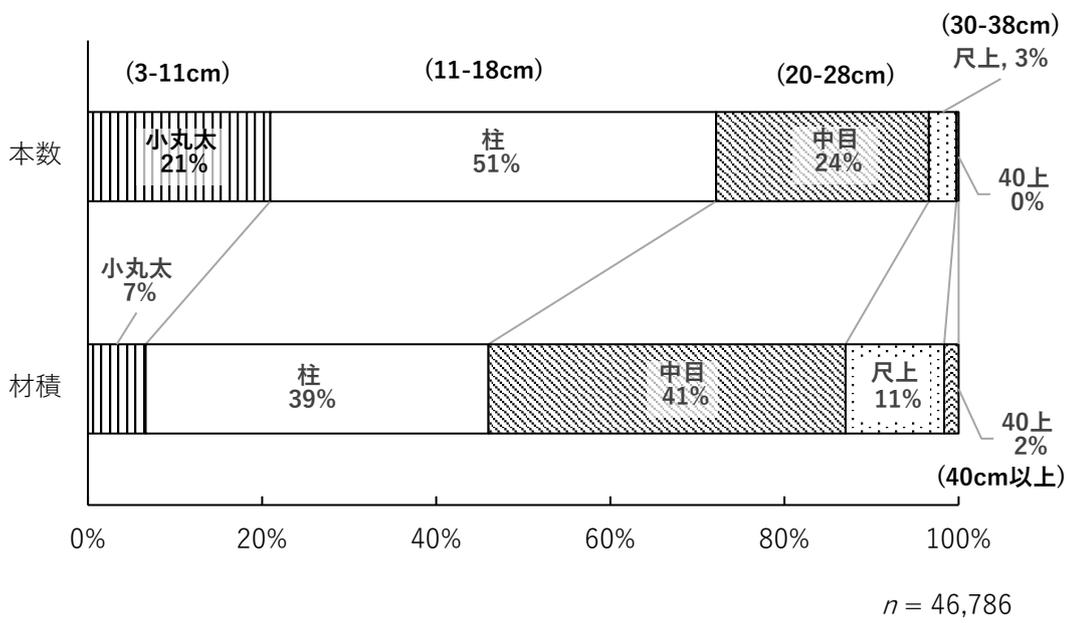


図 - 4.7 建築用材（4m 材 + 3m 材）の径級区分別販売本数および材積割合

素材の品質等級は、高山木材流通センターの等級区分を基本とした。区分は70種類を超えていたが、直、小曲、曲、節、傷、割、傷曲、大曲の8区分以外の出現頻度は1%に満たないため、その他としてひとつにまとめた。なお、出現割合が多い品質等級は直、小曲、曲の3区分であり、4 m材と3 m材を合わせた割合は、直 19.5%、小曲 22.6%、曲 29.4%、合計 71.5%であった(図-4.8)。

品質等級ごとの素材生産量を素材長別にみると、4 m材は大曲以外のすべての品質等級に小丸太や尺上が含まれ、径級や品質にかかわらず4 mに採材されたことが分かる。節、傷、傷曲などの低質材は4 m材の材積の24%が相当する。3 m材は直・小曲・曲のほとんどが柱と中目であり、径級の大きな尺上が極めて少ない。また、節や傷などの低質材も少ない。これは、1番玉は4 m採材が多いことや、素材長を4 mよりも短くすることで矢高を低く抑えたり、傷や割れを除外することで品質等級が高くなる場合にのみ3 mに採材していることが考えられる。

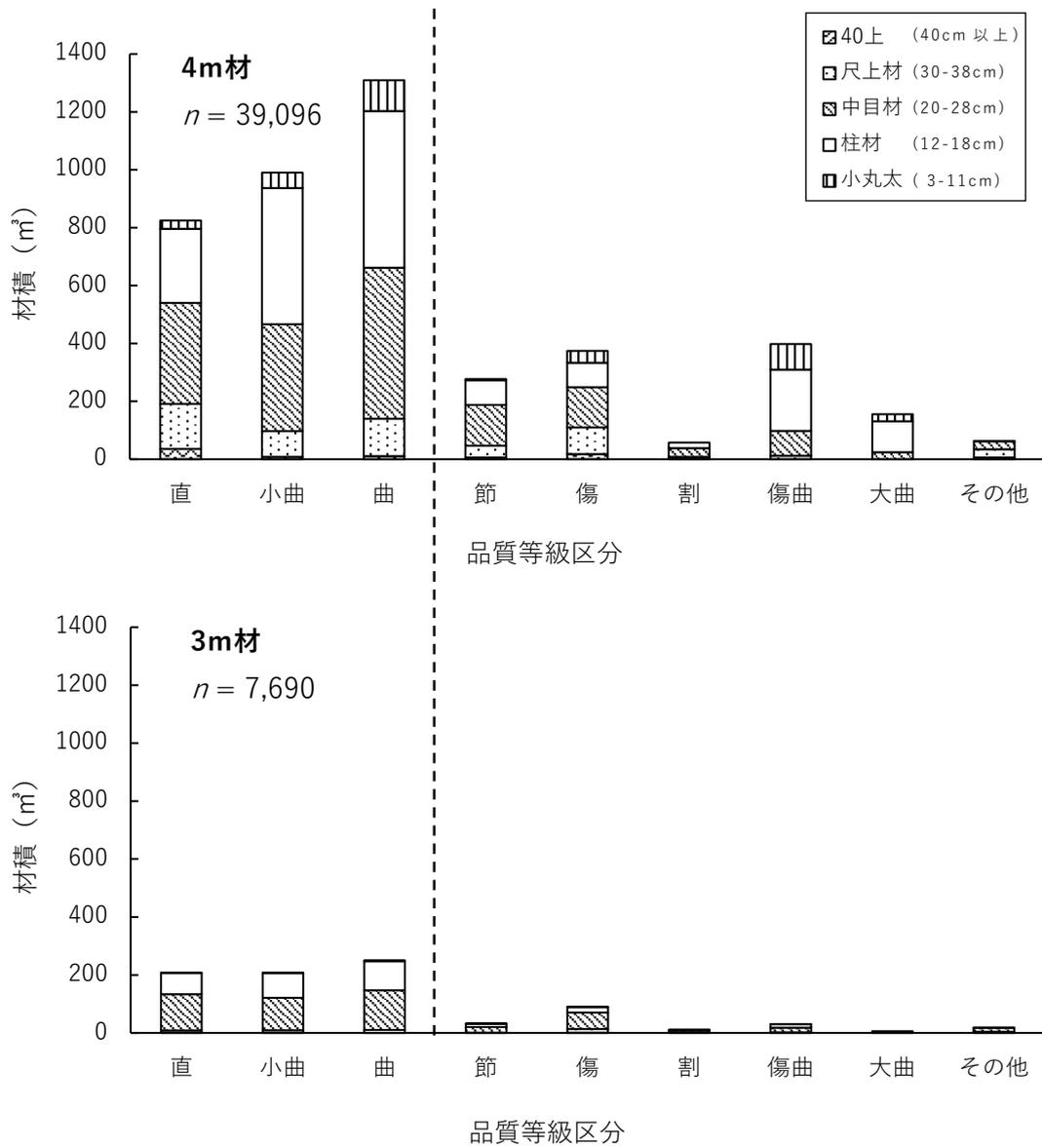


図-4.8 品質等級および材長別生産量

4.3.2.2 3 m 材および 4 m 材の平均価格（2006～2014 年）

3 m 材および 4 m 材の平均価格（2006～2014 年） 長期間の実売実績を基に素材長，径級，品質等級別の平均販売価格を算出した（表－4.4）。平均販売価格は，材長にかかわらず品質の良い直，小曲，曲の順に価格が高い。径級別にみると，4 m 材が 40 上，3 m 材は中目が最も高価であり，小丸太は両材長ともに最も安価であった。なお，柱は 4 m 材に対し 3 m 材が平均で 410 円/ m³ 高く，反対に中目は 3 m 材に対し 4 m 材が 738 円/ m³ 高い。また，梁桁の材料に多く用いられる尺上以上は販売価格が高い傾向にあった。

表－4.4 スギ材の品質等級および径級別平均販売価格（2006～2014 年）

単位：円/ m³

樹種	素材長 (m)	品質等級	小丸太 (3-11cm)	柱 (12-18cm)	中目 (20-28cm)	尺上 (30-38cm)	40 上 (40cm 以上)	平均価格
スギ	4	直	5,922	9,158	11,377	10,917	10,903	10,392
		小曲	7,170	8,085	10,021	9,724	10,042	8,923
		曲	5,864	6,483	8,137	8,235	7,797	7,275
		節	3,500	5,984	6,400	6,617	6,218	6,262
		傷	3,819	5,350	6,262	6,483	6,883	5,873
		割	-	6,631	6,779	8,097	9,477	6,963
		傷曲	4,074	4,272	5,137	5,596	-	4,454
		大曲	4,495	5,727	6,151	-	-	5,601
		その他	-	5,563	6,769	7,683	6,736	7,160
		平均価格		5,250	6,906	8,692	8,734	8,965
	3	直	5,714	10,676	10,913	11,690	13,000	10,855
		小曲	5,849	8,026	9,291	9,213	-	8,740
		曲	4,644	5,516	6,293	6,109	-	5,953
		節	3,498	4,856	6,025	8,025	7,000	5,625
		傷	3,679	5,131	5,234	5,687	6,667	5,296
		割	-	5,199	5,607	-	-	5,467
		傷曲	4,293	4,440	4,644	5,039	-	4,588
大曲		-	4,806	4,952	-	-	4,848	
その他	-	5,176	6,044	5,792	4,700	5,886		
平均価格		4,874	7,316	7,954	7,507	7,543	7,671	
平均価格		5,242	6,967	8,527	8,638	8,918	7,714	

品質等級では、直材は小丸太以外すべての径級で最高値を付けており、3 m材・40 上の 13,000 円/m³が最も高く、4 m材・柱の 9,158 円/m³が最安値であった。品質による価格差が大きいのは小曲と曲の間であり、平均価格の差は4 m材が 1,648 円/m³、3 m材で 2,787 円/m³となり、3 m材が顕著であった。品質が低い節、傷、割などの素材の販売価格は、4 mよりも3 mが低くなる傾向があり、特に傷、傷曲、大曲などは直材の半値程度まで価格が低下した。全体的に径級が細いものや傷や曲が酷いものは安価であった。

個別にみていくと、4 m材は、直の小丸太と中目、小曲と曲はすべての径級が3 m材に対して販売価格が優位であった。つまり、直以外は4 mに採材した方が価格が高いため、品質が悪い3 m材は極力生産しない方が売上を大きくする可能性が高い結果となった。なお、素材材積をもとに加重平均で算出したそれぞれの平均価格は、4 m材が 7,722 円/m³、3 m材が 7,671 円/m³、4 m材と3 m材を合わせた平均価格は 7,714 円/m³であった。

4.3.3 採材方法の検証（品質等級・素材調査結果の比較）

図－4.9 は素材調査と品質等級調査の素材長および径級別の出材積割合である。出材積の出現頻度は、両調査ともに4 m材の柱と中目が多く、2 m材は非常に少なかった。柱の出現頻度は3 m材が素材調査 7.9%、品質等級調査 5.8%であった。4 m材は素材調査 27.4%、品質等級調査 32.9%であり、両調査の差は小さい。次に中目は、3 m材は素材調査 17.5%、品質等級調査 9.0%であり、約 2 倍の開きがあるものの、出材の中心となる4 m材では素材調査 31.8%、品質等級調査 31.2%とほとんど差がなかった。また、尺上は品質等級調査の方が素材調査よりも多く出現しているが、3 m材と4 m材を合わせた全体の出現傾向は非常に類似していた。素材調査と品質等級調査の調査対象地は近接しているが、別々に計測した結果である。

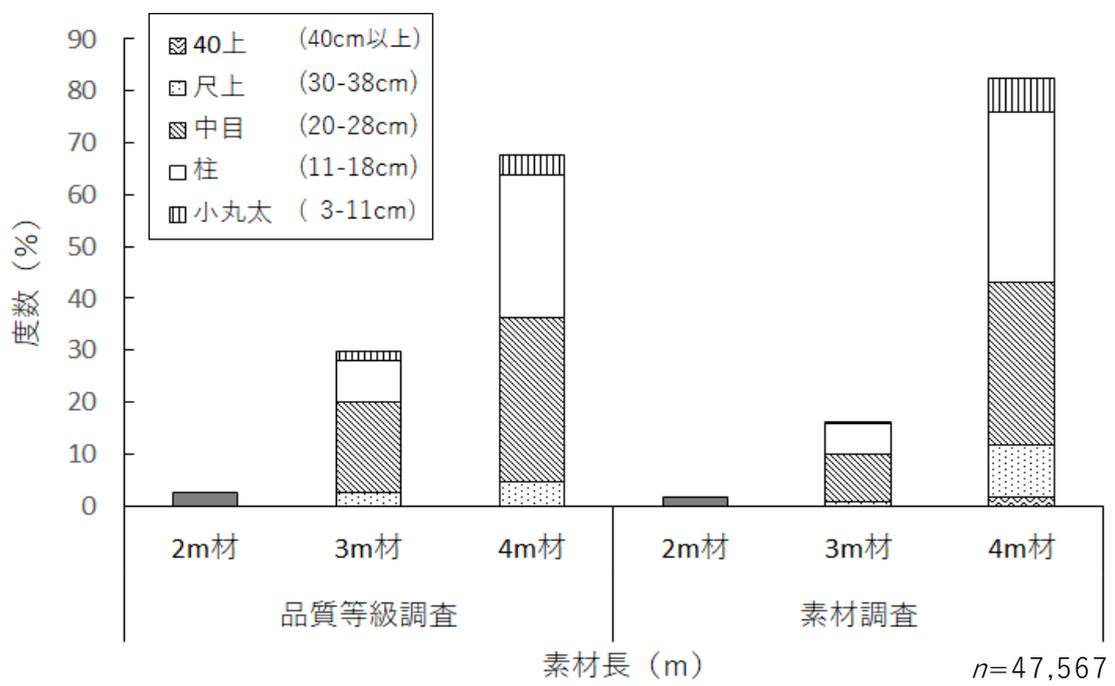


図-4.9 調査別素材長および径級別出材積割合

4.3.4 高隈モデルの作成

素材調査から得られた幹曲線式，および玉取り方法と品質等級調査から得られた素材販売価格の結果を基に，本演習林の標準的な幹形・採材パターンである高隈モデルを作成した。伐倒木長は，素材調査から得た平均値 18.3 m を用いた。採材方法は，素材長を 4 m のみで採材するパターン A（以下，A とする）と 3 m のみで採材するパターン B（以下，B とする）を採用した。なお，採材箇所は，株高を 30 cm とし，1 番玉以降の素材には 10 cm の余尺を加えた。最小末口直径は 3 cm とし，これより細かいものは材積に加えないこととした（図 - 4.4，表 - 4.3）。

分析にあたり，A の素材長はすべて 4.1 m とし，末口径は 1 番玉から順に 24 cm，17 cm，11 cm，6 cm であり，径級区分では中目 1 本，柱 1 本，小丸太 2 本の計 4 玉である。素材材積（合計）は 0.409 m^3 であり，素材 1 本あたりでは 0.102 m^3 である。同様に B の素材長はすべて 3.1 m とし，末口径は 1 番玉から順に 25 cm，20 cm，15 cm，11 cm，7 cm であり，径級区分では，中目 2 本，柱 1 本，小丸太 2 本の計 5 玉である。素材材積（合計）は 0.426 m^3 であり，素材 1 本あたりでは 0.085 m^3 であった。

次に，素材ごとの販売価格を設定するために，表 - 4.4 で求めた素材長および径級区分ごとの平均価格を表 - 4.3 の採材パターンの径級別 m^3 あたり販売価格として与え， m^3 あたりの平均販売価格を算定した。その結果，A の販売価格は 7,658 円/ m^3 ，B は 7,484 円/ m^3 となり，A が 174 円/ m^3 高価となった。ただし，B は A に対して合計材積が 0.017 m^3 多く，素材販売金額合計は 57 円高い。そのため，素材販売金額の合計では B がわずかに有利となった。

4.3.5 素材販売実績に基づく試算結果と適用可能性の検証

高隈モデルを用いて伐区の素材本数と販売金額を試算した(表-4.5)。なお、今回は2 m や 5 m 以上の長尺は除外し、主な生産物である4 m材と3 m材に限定した。まず、品質等級調査の各対象伐区の販売材積(4 m+3 m)を高隈モデルにおける素材一本あたりの平均材積で除算し、伐区の素材本数を求めた。

次に、合計材積に m^3 あたり販売価格(円/ m^3)を乗じることで、合計販売金額を算定した。最後に、合計販売金額を伐区面積で除算することでhaあたりの販売金額(千円/ha)を求めた。そして試算結果を実績値と比較することで収穫木の標準的な幹形と単純化した採材パターンの適用可能性を検証した。

その結果、推定素材本数の全伐区の合計値は、Aは51,920本、Bは62,280本であり、実績値の46,786本に対する比はAが111%、Bが133%であった。本演習林は4 m採材を中心に行っているので、Aとの整合性が比較的高くなったと考えられる。haあたりの素材販売金額は、Aは1,191千円/ha、Bは1,164千円/haであった。実績値の1,200千円/haに対する比は、Aは99%、Bは97%であり、Aの整合性が非常に高い結果となった。

表-4.5 高隈モデルの検証

パターン	素材1本 あたり材積 (m^3)	推定 素材本数 (本)	m^3 あたり 販売価格 (円/ m^3)	合計 販売金額 (千円)	haあたり 販売金額 (千円/ha)
A(4m採材)	0.102	51,920 (111%)	7,658	40,637	1,191 (99%)
B(3m採材)	0.085	62,280 (133%)	7,484	39,714	1,164 (97%)
実績値	0.113	46,786 -	-	40,933	1,200 -

※伐区面積は、品質等級調査の対象伐区合計の34.12 ha。

※合計材積の実績値は、品質等級調査の3 mおよび4 mのみを対象とした5,306.263 m^3 。

※ABの販売金額は、合計材積の実績値に m^3 あたり販売価格を積算して求めた。

※ABの推定素材本数は、合計材積の実績値に素材1本あたりの材積を除算して求めた。

※括弧内は実績値との比。

伐区ごとの実売金額と試算金額を比較したものが図－4.10である。相関係数は AB 共に $r = 0.979$ ($p < 0.01$) であり、非常に高い。販売金額が 1,000 千円/ha 前後の値は販売金額との残差の比率が下方に現れた。販売金額が 2,000 千円/ha を超えると、若齢・高齢級林分の主伐などが行われた場合は、材積の過大見積りや品質等級の価格差に影響を受けることが推測される。

標準的な幹形の立木を 3 m もしくは 4 m で採材し、販売実績に基づく価格を乗ずる高隈モデルで求めた m^3 あたりの販売価格は、実際の平均販売価格とほぼ一致した。素材本数の推計は、実際の採材方法に近い素材長を設定することで精度が向上した。販売金額の試算は、販売材積の実績値を用いれば、例外的な材長や 3 m と 4 m の採材比率を考慮しなくとも、高い精度で算出できた。また、素材生産現場で造材作業結果を踏まえながら幹形や採材パターンを簡易に作成でき、過去データを参照することができれば、現場の実態に沿った素材の販売見込み金額を反映することも可能となる。なお、現在の市況データを代用することでも販売見込み金額を検討することは可能である。

今回作成した高隈モデルで使用しているデータおよび結果は、本演習林および、林況が近い大隅地域では活用可能であると推察される。他地域の伐倒木長の分布傾向および販売平均価格を把握することで汎用性が高まり、素材販売金額の予測に展開できると考えている。

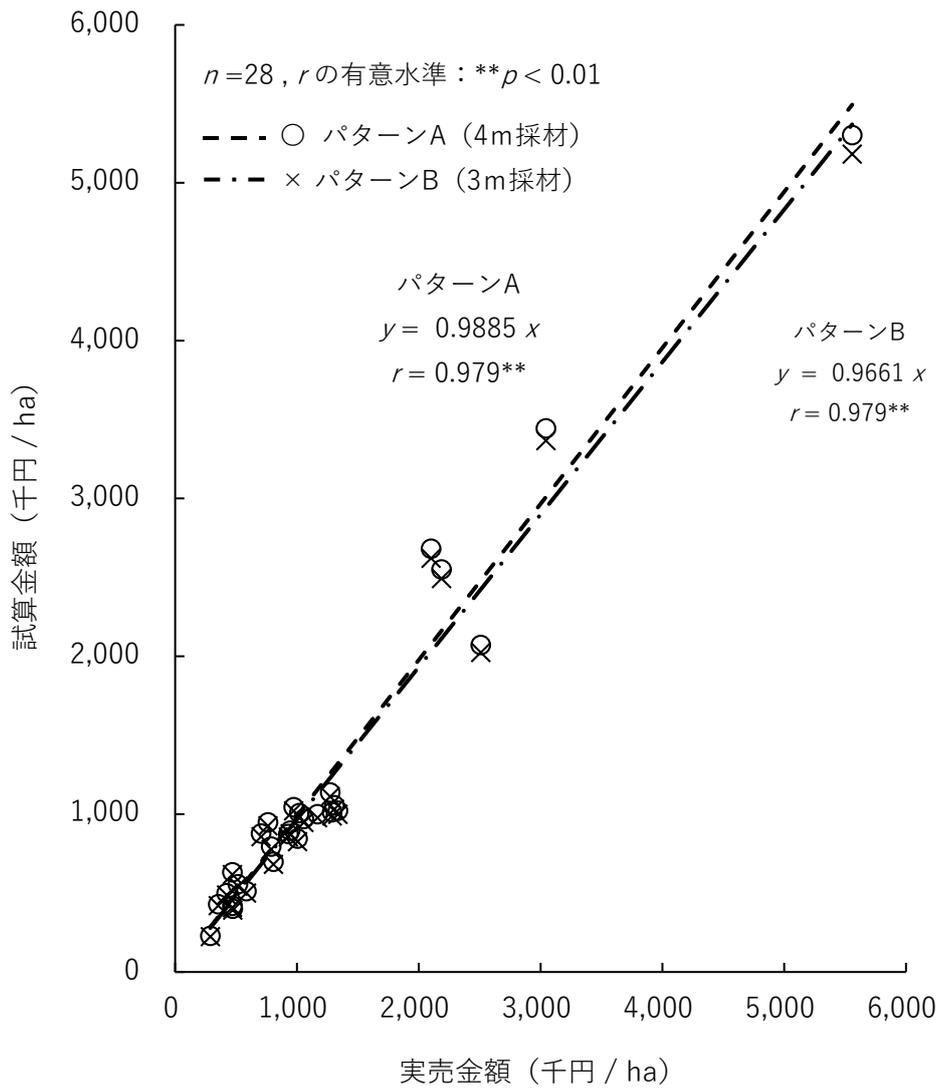


図 - 4.10 実売金額と試算金額の比較

4. 4 まとめ

本研究では、素材生産現場で得られる採材データと素材を販売した際に得られる素材販売実績データ接続させて伐倒木の簡易な幹曲線式や採材パターンを作成し、伐区の素材本数および販売金額を試算・検証した。その結果、素材の販売金額が現場でリアルタイムに確認することができれば、採材時の意思決定に活用できるばかりでなく、一日の売上見込みの金額も計算できるなど、経営面での活用の幅は大きく広がることが考えられる。

また、素材調査でのデータ収集方法については、現行の標準的なプロセッサには採材データのロギング機能が搭載されていないことや、鋸断面の最小直径を計測できないために、手作業で調査を実施した。しかし、今後 ICT 化が進む中で、これらの機能はプロセッサやハーベスタに搭載されていくことと思われる。早くから ICT を取り入れた林業機械を開発していたスウェーデンでは高度な情報・通信機能を備えたものが普及し、さらにそれらを最大限に活用する StanForD などの体制が整備されている（宗岡ら 2017）。国内においても、中澤ら（2021b）により原木品質自動判別装置を備えたハーベスタが開発されている。これらの技術が多くの現場に実装され、情報の利活用が進むことが期待される。

予測方法が簡易的であることや短期的な価格変動に対する検討を行っていないことは今後の課題とし、伐出コストを含めた収益性の評価なども視野に入れながら、さらに研究を深めたいと考えている。

第5章 高隈モデルによる高隈演習林の素材販売金額の試算

5.1 高隈モデルのパターン分類

本章では、高隈モデルで用いる玉取りパターン 21 通りすべてについて検証し、より広範囲の素材販売金額の算出を試みた。採材の組合せによって伐倒木 1 本あたりの販売価格が変化することは自明だが、ここでは、採材の組み合わせによって現れる価格差を検討した。そのうえで、森林簿上の材積と LIDER データから得られた立木本数を用いた 2 つの試算方法を経て、本演習林の素材生産量の中心である南部区域の素材販売金額を試算した。

さて、第4章では、高隈モデルによる素材販売金額の試算（復元）の可否を検証するために、簡略化した採材パターンを用いて検証した（牧野ら 2022）。すなわち、1 番玉から 4 番玉までのすべてを 4 m 採材したパターン A、1 番玉から 5 番玉までのすべてを 3 m 採材したパターン B である。本章では、この両パターンの間に存在するすべての組合せの分析を行った。1 番玉を 4 m、2 番玉を 4 m、3 番玉を 4 m、4 番玉を 3 m という具合に総当たりでパターンを組んだ。採材の組合せによって、同じ 1 本の伐倒木であっても、得られる素材の素材長および径級は変化する。すべて 4 m 採材のモデル番号 1（パターン A）を端緒に 3 m 採材に組み替えながら最終的にすべて 3 m 採材とするモデル番号 21 までのパターンを表-5.1 に示した。なお、ここでも 2 m 等の短材、長尺、切り落としなどの柱材の中心となる 3 m および 4 m 以外の採材方法については採材パターンの複雑化を避けるために除外した。

表-5.1 4mおよび3mを用いた採材パターン

パターン 番号	玉数（玉）			採材箇所別素材長（4m・3m）				
	計	4m	3m	1番玉	2番玉	3番玉	4番玉	5番玉
1	4	4	0	4	4	4	4	-
2	4	3	2	4	4	4	3	-
3	4	3	2	4	4	3	4	-
4	4	3	2	4	3	4	4	-
5	4	3	1	3	4	4	4	-
6	5	2	3	4	4	3	3	3
7	5	2	3	4	3	4	3	3
8	5	2	2	3	4	4	3	3
9	5	2	2	3	3	4	4	3
10	5	2	2	3	4	3	4	3
11	5	2	2	3	4	4	3	3
12	5	2	3	4	3	3	3	4
13	5	1	4	4	3	3	3	3
14	5	2	2	3	4	3	3	4
15	5	1	3	3	4	3	3	3
16	5	2	2	3	3	4	3	4
17	5	1	3	3	3	4	3	3
18	5	2	2	3	3	3	4	4
19	5	1	3	3	3	3	4	3
20	5	1	3	3	3	3	3	4
21	5	0	4	3	3	3	3	3

5. 2 素材販売金額の試算

素材ごとの販売価格を設定するために、表-4.4 で求めた素材長および径級区分ごとの平均価格を表-5.1の採材パターンの径級別 m³あたり販売価格として与え、m³あたりの平均販売価格と伐倒木1本あたりの販売価格の算定結果を表-5.2に示した。なお、個別の算定内容は、7章の資料に示しているので参考にされたい。

さて、1番玉を4m採材しているパターンはいずれも販売価格が高くなり、上位8位までを占めた。1番玉を4m採材した場合の末口径級は24.0cmになるので(表-4.3)、径級は中目、販売価格は8,692円/m³となる。3mの中目材の場合は7,954円/m³であるため、4m材は3m材に比べ954円高値で販売できる。素材の単木価格では4m中目材は2,003円、3m中目材は1,491円であり、素材1本あたりで512円の価格差が発生した。1番玉は材積が最も大きな部位なので、販売価格に大きく影響し、必然的に1番玉を4mとしたパターン番号1~4、6、7、12、13は高くなった(表-5.2)。

モデルをm³あたり販売価格の高い順に並び替え、採材箇所ごとの材長および径級を基に素材の単木金額を示したのが表-5.3である。m³あたりの販売価格が最も高いのがパターン番号4の1番玉：4m中目、2番玉：3m柱、3番玉：4m柱、4番玉：4m小丸太の組合せであり、販売価格は7,900円/m³であった。最も安価となったのが、パターン番号15の1番玉：3m中目、2番玉：4m柱、3番玉：3m柱、4番玉：3m小丸太、5番玉：3m小丸太の組合せであり、販売価格は7,225円/m³であった。1本あたりの販売価格では、最も高いのがパターン番号13の1番玉：4m中目、2番玉：3m柱、3番玉：3m柱、4番玉：3m小丸太、5番玉：3m小丸太の組合せであり、販売価格は3,424円/本であった。最も安価となったのが、パターン番号5の1番玉：3m中目、2番玉：4m柱、3番玉：4m柱、4番玉：4m小丸太の組合せであり、販売価格は3,058円/本であった。

採材パターンは、1番玉が4m採材か3m採材かで販売価格が大きく分かれ、次いで2番玉の採材が3m柱、3m中目、4m柱を採材するかによってさらに傾向が分かれた。

表-5.2 採材パターン別素材の径級区分と販売価格

パターン 番号	玉数 (玉)	素材長・径級区分 (4m・3m・中目・柱・小丸太)					mあたり価格 (円/m ²)					素材単本価格 (円/本)					mあたり 販売価格 (円/m ²)	1本あたり 販売価格 (円/本)	素材長 (m)	販売 材積 (m ³)	素材 歩留り (%)			
		1番玉	2番玉	3番玉	4番玉	5番玉	1番玉	2番玉	3番玉	4番玉	5番玉	1番玉	2番玉	3番玉	4番玉	5番玉								
A	1	4	4	中目	4	柱	4	小丸太	4	小丸太	-	8,692	6,906	5,250	5,250	2,003	798	254	76	7,658	3,131	16	0.409	0.669
	2	4	4	中目	4	柱	4	小丸太	3-小丸太	-	8,692	6,906	5,250	4,874	2,003	798	254	72	7,643	3,127	15	0.409	0.669	
	3	4	4	中目	4	柱	3-柱	4	小丸太	-	8,692	6,906	7,316	5,250	2,003	798	371	103	7,867	3,275	15	0.416	0.681	
	4	4	4	中目	3-柱	4	柱	4	小丸太	-	8,692	7,316	6,906	5,250	2,003	792	467	103	7,900	3,365	15	0.426	0.697	
	5	4	3-中目	4	柱	4	柱	4	小丸太	-	7,954	6,906	6,906	5,250	1,491	997	467	103	7,297	3,058	15	0.419	0.686	
	6	5	4	中目	4	柱	3-柱	3-小丸太	3-小丸太	3-小丸太	8,692	6,906	7,316	4,874	2,003	798	371	94	7,818	3,289	17	0.421	0.688	
	7	5	4	中目	3-柱	4	柱	3-小丸太	3-小丸太	3-小丸太	8,692	7,316	6,906	4,874	2,003	792	467	94	7,852	3,379	17	0.430	0.704	
	8	5	3-中目	4	柱	4	柱	3-小丸太	3-小丸太	3-小丸太	7,954	6,906	6,906	4,874	1,491	997	467	94	7,255	3,072	17	0.424	0.693	
	9	5	3-中目	4	柱	4	柱	4	小丸太	3-小丸太	7,954	7,954	6,906	5,250	1,491	954	541	134	7,555	3,145	17	0.416	0.681	
	10	5	3-中目	4	柱	3-柱	4	小丸太	4	小丸太	7,954	6,906	7,316	5,250	1,491	997	430	134	7,306	3,077	17	0.421	0.689	
	11	5	3-中目	4	柱	4	柱	3-小丸太	3-小丸太	3-小丸太	7,954	6,906	6,906	4,874	1,491	997	467	94	7,255	3,072	17	0.424	0.693	
	12	5	4	中目	3-柱	3-柱	3-小丸太	3-小丸太	4	小丸太	8,692	7,316	7,316	4,874	2,003	792	430	146	7,848	3,405	17	0.434	0.710	
	13	5	4	中目	3-柱	3-柱	3-小丸太	3-小丸太	3-小丸太	3-小丸太	8,692	7,316	7,316	4,874	2,003	792	430	146	7,812	3,424	16	0.438	0.717	
	14	5	3-中目	4	柱	3-柱	3-小丸太	3-小丸太	4	小丸太	7,954	6,906	7,316	4,874	1,491	997	430	146	7,255	3,099	17	0.427	0.699	
	15	5	3-中目	4	柱	3-柱	3-小丸太	3-小丸太	3-小丸太	3-小丸太	7,954	6,906	7,316	4,874	1,491	997	430	146	7,225	3,118	16	0.432	0.706	
	16	5	3-中目	3-中目	4	柱	3-小丸太	3-小丸太	4	小丸太	7,954	7,954	6,906	4,874	1,491	954	541	146	7,500	3,167	17	0.422	0.691	
	17	5	3-中目	3-中目	4	柱	3-小丸太	3-小丸太	3-小丸太	3-小丸太	7,954	7,954	6,906	4,874	1,491	954	541	146	7,467	3,186	16	0.427	0.698	
	18	5	3-中目	3-中目	3-中目	3-柱	4	小丸太	4	小丸太	7,954	7,954	7,316	5,250	1,491	954	494	210	7,554	3,183	17	0.421	0.690	
	19	5	3-中目	3-中目	3-中目	3-柱	4	小丸太	3-小丸太	4	小丸太	7,954	7,954	7,316	5,250	1,491	954	494	210	7,521	3,202	16	0.426	0.697
	20	5	3-中目	3-中目	3-中目	3-柱	3-小丸太	4	小丸太	4	小丸太	7,954	7,954	7,316	4,874	1,491	954	494	177	7,499	3,192	16	0.426	0.697
	21	5	3-中目	3-中目	3-中目	3-柱	3-小丸太	3-小丸太	3-小丸太	3-小丸太	7,954	7,954	7,316	4,874	1,491	954	494	177	7,484	3,188	15	0.426	0.697	
	min	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	7,225	3,058	15	0.409	0.669
	max	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	7,900	3,424	17	0.438	0.717
	av	4.76	3.38	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.38	3.38	3.48	3.48	3.38	3.31	7,551	3,198	16.24	0.423	0.693
	std	0.44	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.51	0.51	0.50	1.50	231	115	0.83	0.007	0.012

※平均伐倒木長は18.3m

※3m材は網掛け・赤字で表記

※全て4m採材から全て3m採材までの組合せは21通り

表-5.3 採材パターン別素材の径級区分と販売価格 (m³あたり販売価格順)

パターン 番号	素材長・径級区分 (4m・3m・中目・柱・小丸太)					m ³ あたり価格 (円/m ³)					素材単木価格 (円/本)					m ³ あたり 販売価格		1本あたり 販売価格						
	1番玉	2番玉	3番玉	4番玉	5番玉	1番玉	2番玉	3番玉	4番玉	5番玉	1番玉	2番玉	3番玉	4番玉	5番玉	順位	区分	順位	区分	順位	区分			
4	4-中目	3-柱	4-柱	4-小丸太	-	8,692	7,316	6,906	5,250	5,250	2,003	792	467	103	103	1	I	1	I	1	I	7,900	4	3,365
3	4-中目	4-柱	3-柱	4-小丸太	-	8,692	6,906	7,316	5,250	5,250	2,003	798	371	103	103	2	I	2	I	2	I	7,867	6	3,275
7	4-中目	3-柱	4-柱	3-小丸太	3-小丸太	8,692	7,316	6,906	4,874	4,874	2,003	792	467	94	23	3	I	3	I	3	I	7,852	3	3,379
12	4-中目	3-柱	3-柱	3-小丸太	4-小丸太	8,692	7,316	7,316	4,874	5,250	2,003	792	430	146	34	4	I	4	I	4	I	7,848	2	3,405
6	4-中目	4-柱	3-柱	3-小丸太	3-小丸太	8,692	6,906	7,316	4,874	4,874	2,003	798	371	94	23	5	I	5	I	5	I	7,818	5	3,289
13	4-中目	3-柱	3-柱	3-小丸太	3-小丸太	8,692	7,316	7,316	4,874	4,874	2,003	792	430	146	53	6	I	6	I	6	I	7,812	1	3,424
A	1	4-中目	4-柱	4-小丸太	-	8,692	6,906	5,250	5,250	5,250	2,003	798	254	76	76	7	II	7	II	7	II	7,658	14	3,131
2	4-中目	4-柱	4-小丸太	3-小丸太	-	8,692	6,906	5,250	4,874	4,874	2,003	798	254	72	72	8	II	8	II	8	II	7,643	15	3,127
9	3-中目	3-中目	4-柱	4-小丸太	3-小丸太	7,954	7,954	6,906	5,250	4,874	1,491	954	541	134	23	9	II	9	II	9	II	7,555	13	3,145
18	3-中目	3-中目	3-柱	4-小丸太	4-小丸太	7,954	7,954	7,316	5,250	5,250	1,491	954	494	210	34	10	II	10	II	10	II	7,554	11	3,183
19	3-中目	3-中目	3-柱	4-小丸太	3-小丸太	7,954	7,954	7,316	5,250	4,874	1,491	954	494	210	53	11	II	11	II	11	II	7,521	7	3,202
16	3-中目	3-中目	4-柱	3-小丸太	4-小丸太	7,954	7,954	6,906	4,874	5,250	1,491	954	541	146	34	12	II	12	II	12	II	7,500	12	3,167
20	3-中目	3-中目	3-柱	3-小丸太	4-小丸太	7,954	7,954	7,316	4,874	5,250	1,491	954	494	177	76	13	II	13	II	13	II	7,499	8	3,192
21	3-中目	3-中目	3-柱	3-小丸太	3-小丸太	7,954	7,954	7,316	4,874	4,874	1,491	954	494	177	72	14	II	14	II	14	II	7,484	9	3,188
17	3-中目	3-中目	4-柱	3-小丸太	3-小丸太	7,954	7,954	6,906	4,874	4,874	1,491	954	541	146	53	15	II	15	II	15	II	7,467	10	3,186
10	3-中目	4-柱	3-柱	4-小丸太	3-小丸太	7,954	6,906	7,316	5,250	4,874	1,491	997	430	134	23	16	III	16	III	16	III	7,306	18	3,077
5	3-中目	4-柱	4-柱	4-小丸太	-	7,954	6,906	6,906	5,250	5,250	1,491	997	467	103	103	17	III	17	III	17	III	7,297	21	3,058
14	3-中目	4-柱	3-柱	3-小丸太	4-小丸太	7,954	6,906	7,316	4,874	5,250	1,491	997	430	146	34	18	III	18	III	18	III	7,255	17	3,099
8	3-中目	4-柱	4-柱	3-小丸太	3-小丸太	7,954	6,906	6,906	4,874	4,874	1,491	997	467	94	23	19	III	19	III	19	III	7,255	19	3,072
11	3-中目	4-柱	4-柱	3-小丸太	3-小丸太	7,954	6,906	6,906	4,874	4,874	1,491	997	467	94	23	19	III	19	III	19	III	7,255	19	3,072
15	3-中目	4-柱	3-柱	3-小丸太	3-小丸太	7,954	6,906	7,316	4,874	4,874	1,491	997	430	146	53	21	III	21	III	21	III	7,225	16	3,118
min	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0						7,225	3	3,058
max	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4						7,900	4	3,424
av	3.38	3.48	3.48	3.38	3.31	3.38	3.48	3.48	3.48	3.38	3.31	3.38	3.48	3.48	3.38	3.31						7,551	3.31	3,198
std	0.50	0.51	0.51	0.50	1.50	0.50	0.51	0.51	0.50	1.50	0.50	0.51	0.51	0.50	1.50	1.50						231	1.50	115

※平均伐倒木長は18.3m

※3m材は網掛け・赤字で表記

※全て4m採材から全て3m採材までの組合せは21通り

m^3 あたり販売価格と販売材積の関係を示したのが図-5.1である。両者に相関はみられないが、販売価格が7,900~7,812円/ m^3 (高価格帯)、7,658~7,467円/ m^3 (中価格帯)、7,306~7,225円/ m^3 (低価格帯)に集まった。そこで、高価格帯のグループをI階層、中価格帯のグループをII階層、低価格帯のグループをIII階層の3つに区分した。各階層の平均価格と素材材積を示したものが表-5.4である。平均価格は、I階層が7,850円/ m^3 、II階層が7,542円/ m^3 、III階層が7,266円/ m^3 であり、I階層とIII階層は m^3 あたり584円の開きがある。採材後の素材長の合計値は階層ごとの違いが小さく、同様に素材歩留りも0.01程度の差しかない。一方で、販売材積はII階層が最も小さくなった。これは、2番玉の玉取りが影響していると考えられる。II階層とIII階層の1番玉は共に3m中目が中心であり、2番玉の採材の違いにより販売価格に差が発生している。具体的には、2番玉を3m中目にしたものがII階層であり、4m柱にしたものがIII階層に該当している。材積は2番玉を4m採材にした方が有利であったが、販売価格は3m中目に劣った結果となっている。なお、両者の m^3 あたり販売金額は、3m中目が7,954円/ m^3 、4m柱が6,906円/ m^3 であり、 m^3 あたりの価格差は1,048円である。ただし、ここで注意が必要なのは、4m柱の方が素材単木の材積が大きいため、2番玉の素材単価を単純比較すると、3m中目は954円/本であり、4m柱は997円/本なので4m柱が有利に見える点である。2番玉で4m採材すると、以降の径級が細くなるため、 m^3 あたり単価が同等であっても、材積が小さくなるため合計販売価格が低くなる傾向がある。そのため、少しでも販売価格を高くすることを目指す場合は、単木あたりの素材材積と m^3 あたり価格のバランスは大切になると言える。

なお、高限モデルを基に m^3 あたりの平均単価を設定する場合は、中央値をもつII階層を基準に上下4~6%の誤差、素材一本あたり材積は上下1~4%程度の誤差を想定していれば試算結果を大きく外す可能性は小さくなると考え

られる。ただし、全伐区を平均化した場合の想定であり、個別伐区については施業結果にバラツキが発生するため注意が必要である。

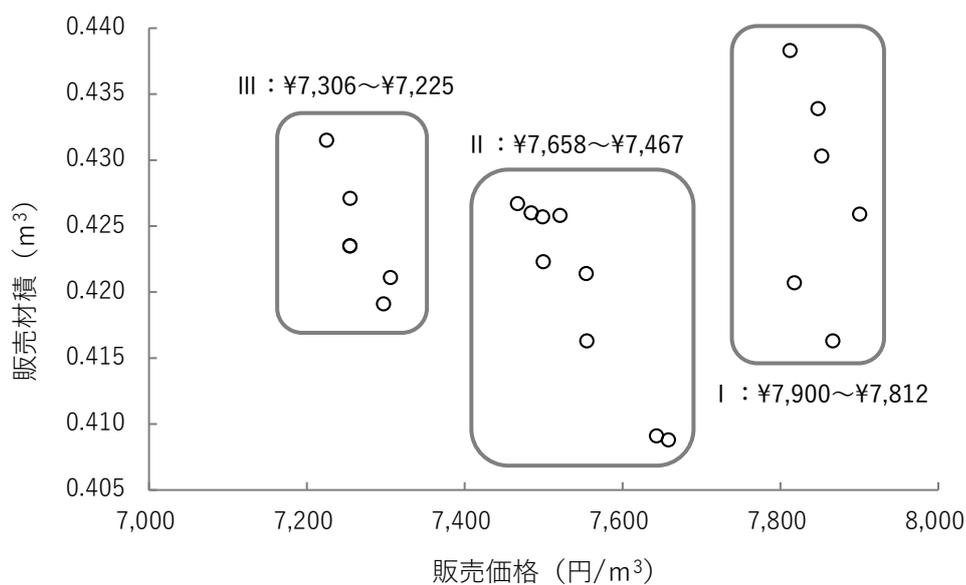


図-5.1 m³あたりの販売価格と販売材積の関係

表-5.4 階層別の平均価格と素材材積

階層	<i>n</i>	素材長 (m)	素材 歩留り	販売 材積 (m³)	m³あたり平均価格 (円/m³)		素材1本 あたり材積 (m³)	
I	6	16.2	0.70	0.428	7,850	↑ 104%	0.093	↑ 104%
II	9	16.1	0.69	0.420	7,542	-	0.089	-
III	6	16.5	0.69	0.424	7,266	↓ 96%	0.088	↓ 99%
平均	21	16.2	0.69	0.423	7,551	-	0.089	-

5. 3 素材販売金額と素材本数の試算

階層化した高限モデルを用いて 21 伐区の素材販売金額と素材本数を試算した結果が表-5.5 である。なお、試算本数は、販売材積を階層ごとに求めた素材 1 本あたりの材積で除算して求めた。試算した各階層の試算金額と実売金額実績値を比較したものが図-5.2, 試算素材本数と素材本数実績値を比較したものが図-5.3 である。試算金額は相関係数が非常に高く $r^2 = 0.959$ ($p < 0.01$), 実売価格は I 階層と II 階層の間にあり, I 階層の回帰曲線が最も近似した。実売価格が 2,000~3,000 千円/ha では, 試算金額が高く出る傾向があるが, 5,000 千円/ha の伐区では低くなった。また, 金額が大きくなるので階層間の金額差も自ずと開いている。

次に, 試算本数は, 試算金額と同様に相関係数が非常に高く $r^2 = 0.946$ ($p < 0.01$) であった。試算本数は, 全体の平均値では実績値比が 120%を超えており, 実売本数よりも多い傾向にある。これは, 採材した玉数を平均するとき, 3m採材が多く含まれるため, 4m採材を主とした実売本数に対して素材本数が多くなるためと考えられる。

販売実績に基づく素材価格を用いる高限モデルは, 階層区分を用いても実際の販売価格に近似する結果となった。なお, 階層間の実績値との差は, 試算金額は, I 階層が 102%, II 階層が 98%, III 階層が 94%である。そして, 素材本数は, I 階層が 121%, II 階層が 126%, III 階層が 126%である (表-5.5)。素材本数の試算結果は, 実際の採材ではあまり発生しない 3m材の影響がみられ, 20%程度実績値よりも多い試算結果ではあるものの, 傾向としては高い相関を示す結果が得られた。

表—5.5 品質等級調査対象伐区一覽

伐区 番号	林小班 番号	樹種	林齢 (年生)	伐採種	伐採面積 (ha)	LIDER 立木本数	販売材積 (m ³)	販売金額			試算金額			素材本数			試算本数								
								実績値			実績比			実績値			実績比			実績値			実績比		
								(千円/ha)	(円/ha)	実績比	(円/ha)	(円/ha)	実績比	(円/ha)	(円/ha)	実績比	(本)	(本)	実績比	(本)	(本)	実績比	(本)	(本)	実績比
1	101-048	スギ	48	間伐	3.22	2,115	168,865	473	411	87%	395	84%	381	80%	1,681	1,825	109%	1,906	113%	1,911	114%				
2	102-010	スギ	53	主伐	2.22	1,485	740,388	2,187	2,613	120%	2,511	115%	2,419	111%	7,621	8,001	105%	8,357	110%	8,380	110%				
3	102-014	スギ	49	主伐	1.63	201	1,127,134	5,558	5,434	98%	5,221	94%	5,030	90%	12,076	12,181	101%	12,723	105%	12,757	106%				
4	103-004	スギ	44	間伐	0.29	64	43,308	1,273	1,165	92%	1,120	88%	1,079	85%	338	468	138%	489	145%	490	145%				
5	103-005	スギ	39	間伐	0.13	91	15,300	930	896	96%	861	93%	830	89%	135	165	122%	173	128%	173	128%				
6	103-026	スギ	54	間伐	3.18	7,722	329,910	788	814	103%	783	99%	754	96%	2,954	3,565	121%	3,724	126%	3,734	126%				
7	104-015	スギ	80	主伐	1.51	0	82,335	470	429	91%	412	88%	397	85%	733	890	121%	929	127%	932	127%				
8	104-022	スギ	81	主伐	1.51	13,364	137,696	807	715	89%	687	85%	662	82%	1,057	1,488	141%	1,554	147%	1,558	147%				
9	105-023	スギ	86	主伐	0.31	274	41,047	1,289	1,036	80%	996	77%	959	74%	210	444	211%	463	221%	465	221%				
10	105-024	スギ	52	間伐	0.46	221	63,823	1,307	1,082	83%	1,040	80%	1,002	77%	458	690	151%	720	157%	722	158%				
11	105-025	スギ	56	間伐	1.13	834	148,101	1,168	1,024	88%	984	84%	948	81%	1,233	1,601	130%	1,672	136%	1,676	136%				
12	106-045	スギ	30	主伐	0.40	54	138,476	2,101	2,748	131%	2,641	126%	2,544	121%	535	1,497	280%	1,563	292%	1,567	293%				
13	106-035	スギ	49	間伐	0.35	328	28,474	469	648	138%	622	133%	599	128%	312	308	99%	321	103%	322	103%				
14	106-047	スギ	50	間伐	1.01	703	115,824	704	899	128%	863	123%	832	118%	1,115	1,252	112%	1,307	117%	1,311	118%				
15	107-093	スギ	67	主伐	1.18	1,981	149,526	1,056	993	94%	954	90%	919	87%	962	1,616	168%	1,688	175%	1,692	176%				
16	108-005	スギ	56	間伐	0.90	788	120,096	1,336	1,047	78%	1,006	75%	969	73%	910	1,298	143%	1,356	149%	1,359	149%				
17	108-033	スギ	57	間伐	0.65	688	19,564	288	235	81%	226	78%	217	75%	121	211	175%	221	183%	221	183%				
18	108-035	スギ	56	間伐	0.22	309	14,772	585	524	90%	504	86%	485	83%	114	160	140%	167	146%	167	147%				
19	108-036	スギ	57	間伐	0.49	409	57,083	943	917	97%	882	93%	849	90%	511	617	121%	644	126%	646	126%				
20	108-039	スギ	56	間伐	0.14	146	18,499	973	1,070	110%	1,028	106%	990	102%	190	200	105%	209	110%	209	110%				
21	108-064	スギ	54	間伐	0.97	816	63,326	423	511	121%	491	116%	473	112%	1,254	684	55%	715	57%	717	57%				
22	108-066	スギ	43	主伐	1.28	1,870	345,610	2,509	2,123	85%	2,040	81%	1,965	78%	3,840	3,735	97%	3,901	102%	3,912	102%				
23	110-009	スギ	87	主伐	1.22	0	549,910	3,044	3,530	116%	3,392	111%	3,267	107%	2,941	5,943	202%	6,207	211%	6,224	212%				
24	113-026	スギ	40	間伐	0.73	1,520	52,776	514	569	111%	547	106%	527	102%	787	570	72%	596	76%	597	76%				
25	113-027	スギ	37	間伐	0.19	183	25,075	1,019	1,031	101%	991	97%	955	94%	294	271	92%	283	96%	284	97%				
26	114-004	スギ	84	主伐	1.25	0	154,706	762	971	128%	933	123%	899	118%	900	1,672	186%	1,746	194%	1,751	195%				
27	118-011	スギ	46	間伐	2.62	3,541	289,043	1,004	866	86%	832	83%	801	80%	1,983	3,124	158%	3,263	165%	3,271	165%				
28	119-015	スギ	43	間伐	4.74	6,599	265,596	354	440	125%	423	120%	408	115%	2,313	2,870	124%	2,998	130%	3,006	130%				
合計	-	-	-	-	34.12	46,306	5306,263	1,200	1,221	102%	1,173	98%	1,130	94%	47,578	57,345	121%	59,896	126%	60,058	126%				

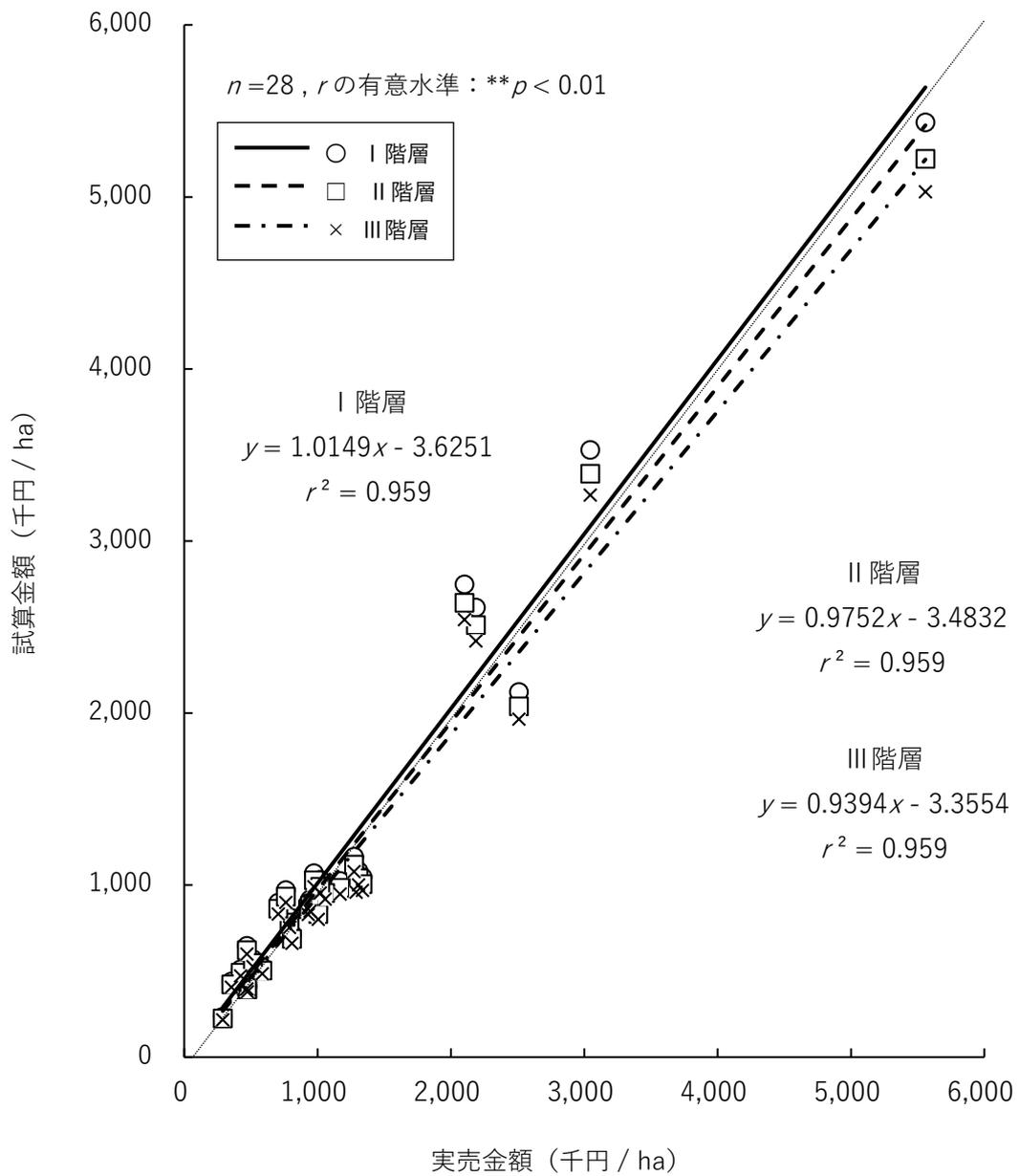


図-5.2 階層別試算金額と実売金額の比較

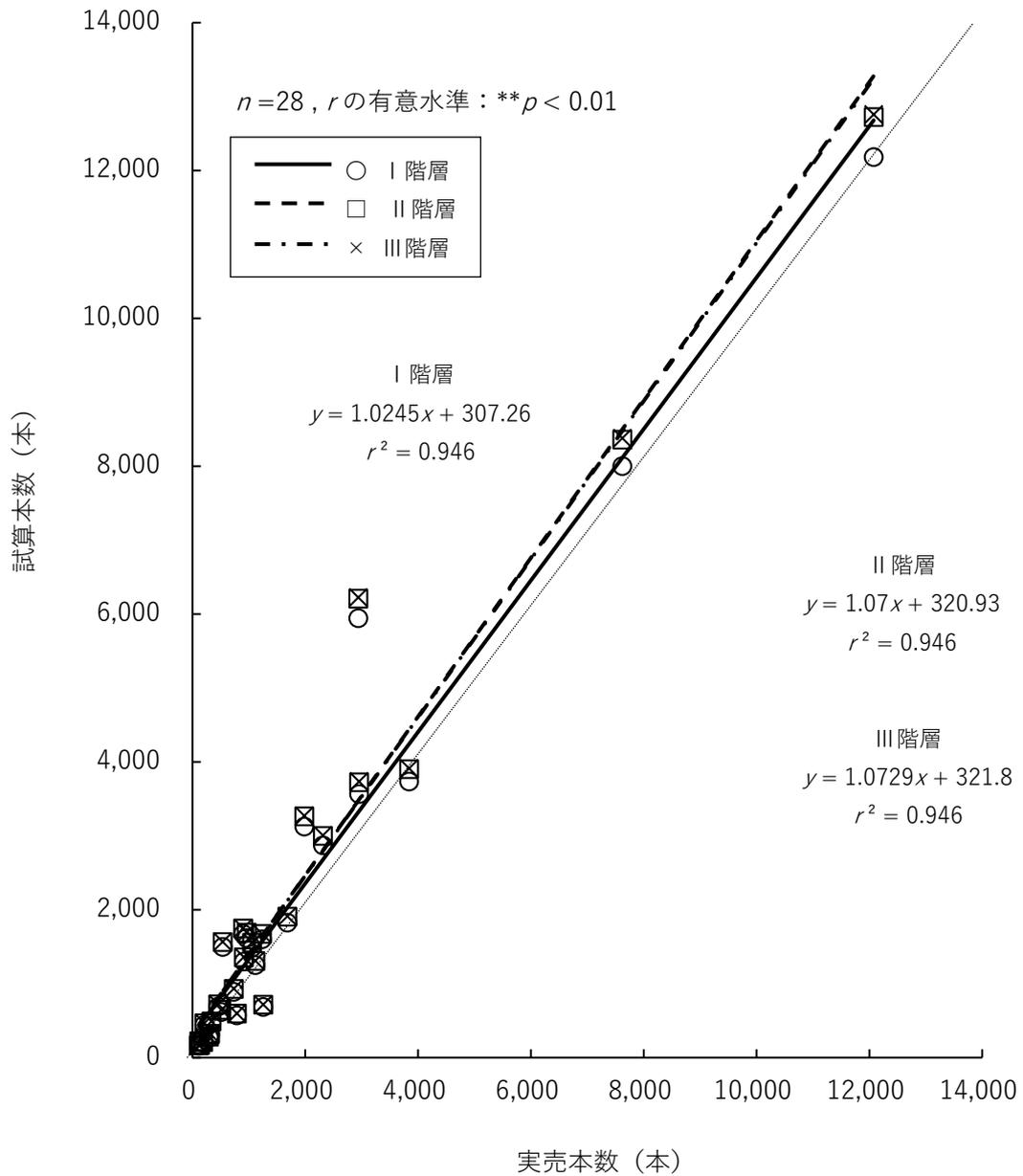


図-5.3 階層別試算素材本数と素材本数実績値の比較

5.4 演習林南部区域の素材販売金額の試算

最後に、高隈モデルでの試算対象地を直営班による素材生産の中心地となっている本演習林南部区域に拡大して素材販売金額を試算した。ここでは、森林簿の森林蓄積データと高隈演習林が2012年に実施した航空測量調査で得た樹頂点データを新たに用いた。図-5.4は樹頂点のポイントデータを示したものであり、森林簿の樹種がスギおよびヒノキの林小班のみデータが格納されている。なお、樹頂点ポリゴンを林小班ごとに集計したものを立木本数とした。

対象林小班は、101林班、102林班、103林班、104林班、105林班、106林班、107林班、108林班、109林班、110林班、111林班、112林班、113林班、114林班、115林班、116林班、117林班、118林班、119林班、120林班、121林班の21林班である。対象林小班は、対象林班の内、森林簿上の樹種がスギである364か所とした。

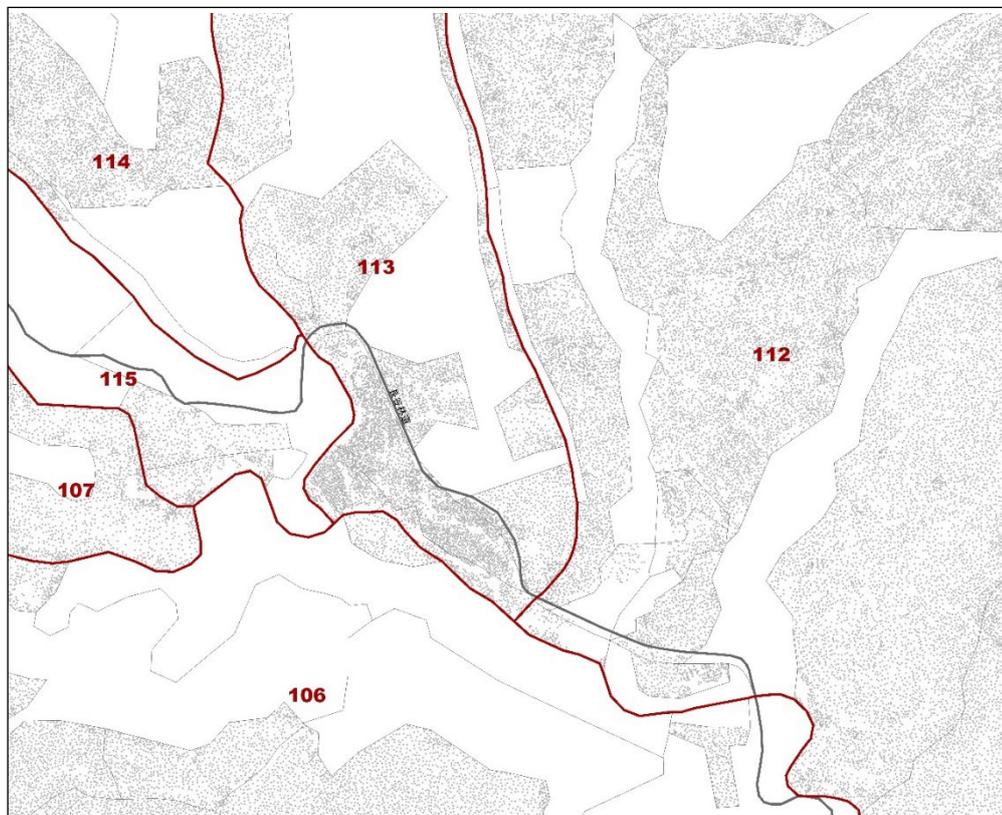


図-5.4 樹頂点データの例示（航空測量調査）

5.4.1 材積を用いた素材販売金額の検討

森林簿の森林蓄積データを試算に使用するにあたり、第3章で求めた演習林の素材歩留り0.71を蓄積に乗じて利用材積を求めた。各対象林小班に高隈モデルを適用させ、全林小班を集計したものが表-5.6である。階層ごとの合計値は、I階層が1,899,812千円、II階層が1,825,458千円、III階層が1,758,463千円、であった。II階層を中心に金額を設定するとプラスに74,354千円、マイナスに66,995千円の幅がある。差引141,349千円であり、II階層の金額に対して約8%の振れ幅となった。箇所あたりの平均販売金額の比較では、先程と同様にII階層を中心におくと、プラスに174千円、マイナスに156千円となり、差引330千円となる。少額とは言えないかもしれないが、十分に管理の可能な範疇になるのではないだろうか。なお、最も素材販売金額が期待できる林小班の1か所あたりの金額は約1億円であり、最も期待できない箇所は約3万円であった。

表-5.6 m³単価に基づく試算販売金額

n=364, 単位：千円

	I 階層			II 階層	III 階層		
	金額	II 階層との差		金額	金額	II 階層との差	
合計	1,899,812	74,354	(+4%)	1,825,458	1,758,463	-66,995	(-4%)
平均	4,439	174	(+4%)	4,265	4,109	-156	(-4%)
最大	103,899	4,067	(+4%)	99,832	96,169	-3,663	(-4%)
最小	31	1	(+3%)	30	29	-1	(-3%)

5.4.2 立木本数を用いた素材販売金額の検討

伐倒木 1 本あたりの素材販売金額を航空測量で得た樹頂点ポイントポリゴンを林小班ごとに集計した立木本数に乗じることで、販売金額を試算したものが表 - 5.7 である。

階層ごとの合計値は、I 階層が 2,033,159 千円、II 階層が 1,919,872 千円、III 階層が 1,867,495 千円である。II 階層を中心に金額を設定すると、プラスに 113,287 千円、マイナスに 52,377 千円で差引 165,664 千円となり、II 階層の金額に対して約 9%の振れ幅となった。平均販売金額の比較では、先程と同様に II 階層を中心におくと、プラスに 264 千円、マイナスに 123 千円となり、差引 387 千円となるので、本試算結果も十分に管理の可能な範疇になると想定される。なお、最も素材販売金額が期待できる林小班の 1 か所あたりの金額は約 7 千万円であり、最も期待できない箇所は千円以下であった。

材積での算定結果との比較では、合計値に大きな変化はなく I 階層が 7%、II 階層が 5%、III 階層が 6% ずつ高い試算結果となった。一方、最大値については、各階層共に 30% を越える差異が発生した。

表 - 5.7 立木本数に基づく試算販売金額

n=364, 単位: 千円

	I 階層				II 階層		III 階層			
	金額	II 階層との差	材積試算との差	材積試算との差	金額	材積試算との差	金額	II 階層との差	材積試算との差	材積試算との差
合計	2,033,159	113,287	(+6%)	(+7%)	1,919,872	(+5%)	1,867,495	-52,377	(-3%)	(+6%)
平均	4,750	264	(+6%)	(+7%)	4,486	(+5%)	4,363	-123	(-3%)	(+6%)
最大	69,901	3,895	(+6%)	(-33%)	66,006	(-34%)	64,206	-1,800	(-3%)	(-33%)
最小	0	0	(--)	(--)	0	(--)	0	0	(--)	(--)

5.4.3 haあたり販売金額試算結果の分布

材積および立木本数による試算結果を単位面積あたりの販売金額にまとめたものが図-5.5である。材積での試算では、すべての林班が5,000千円/ha以下に該当し、2,000~3,000千円/haが最も多い。一方、立木本数での試算では、試算結果が1,000千円/ha以下から9,000千円/haにかけて幅広く分布し、材積に比べ高額な林分が多く出現した。

立木本数での試算は、樹頂点の点群データを用いているため、小班毎に立木本数が異なることが算定結果に影響を与えている。なお、今回は伐倒木1本あたりの販売価格を本数に乗じているため、長期間施業が行われていない過密林分は金額が多く算定される傾向にある。これは、森林調査の実測データや施業履歴などの情報により、補正することは可能であると思われる。

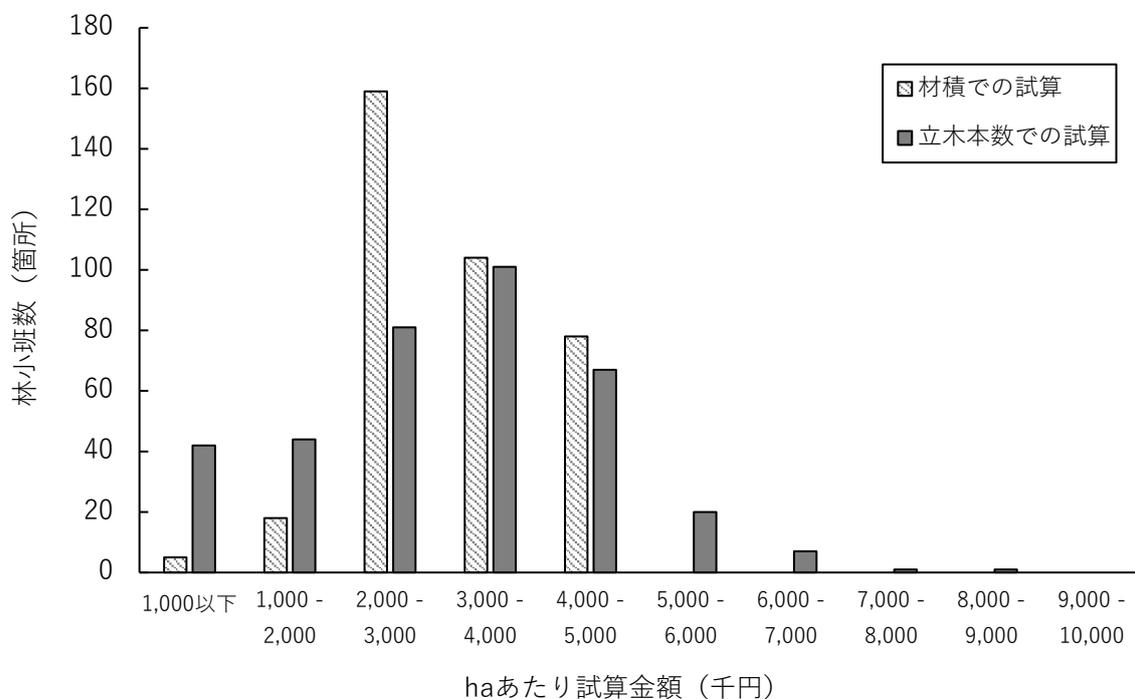


図-5.5 試算方法別 haあたり試算販売金額の比較

5. 5 まとめ

第4章で作成した高隈モデルを展開し、販売金額の価格帯によって階層区分しながら、材積と立木本数を用いた2通りの計算方法で林小班ごとの素材の販売金額を試算した。この算定結果に基づき、本演習林の販売ポテンシャルを可視化するために、材積による図-5.6と立木本数による図-5.7のマップ図を作成した。図は、haあたりの販売金額が大きいほど色が濃くなっている。両図の販売金額の分布状況（色の濃淡）は必ずしも一致しないが、全体の傾向としては比較的類似している。樹頂点データは、劣勢木や広葉樹のデータもカウントするため、販売量を過大評価してしまう場合や、逆に本来樹木があるべきところのデータが欠損してしまい、過小に評価してしまうことも想定される。情報の特性を理解した上で、相互補完的に様々なデータを活用していくことが望ましい。

近年では、センシング技術の向上により林業分野においてもICT技術が進歩している。本研究では、プロセッサ造材時に末口直径と素材長を手作業で調査した。しかし、近い将来に素材生産工程と同時に自動でデータを取得できる技術が多く、林業機械に搭載されるようになると思われる。これを受け、今後重要性が高まるのはデータを集積・分析するプラットフォームの構築であろう。例えば、広範囲かつ複数個所の作業現場で稼働している高性能林業機械から各種データをオンラインで収集し、素材生産情報や素材販売価格の変化を常時解析する。その結果を作業現場にリアルタイムにフィールドバックすることが可能になれば、現場での意思決定の助けとなり、収益性の向上に大きく貢献できると考えている。本研究で試行した技術研究をさらに進め、現場に実装できるよう引き続き取り組んでいきたいと考えている。

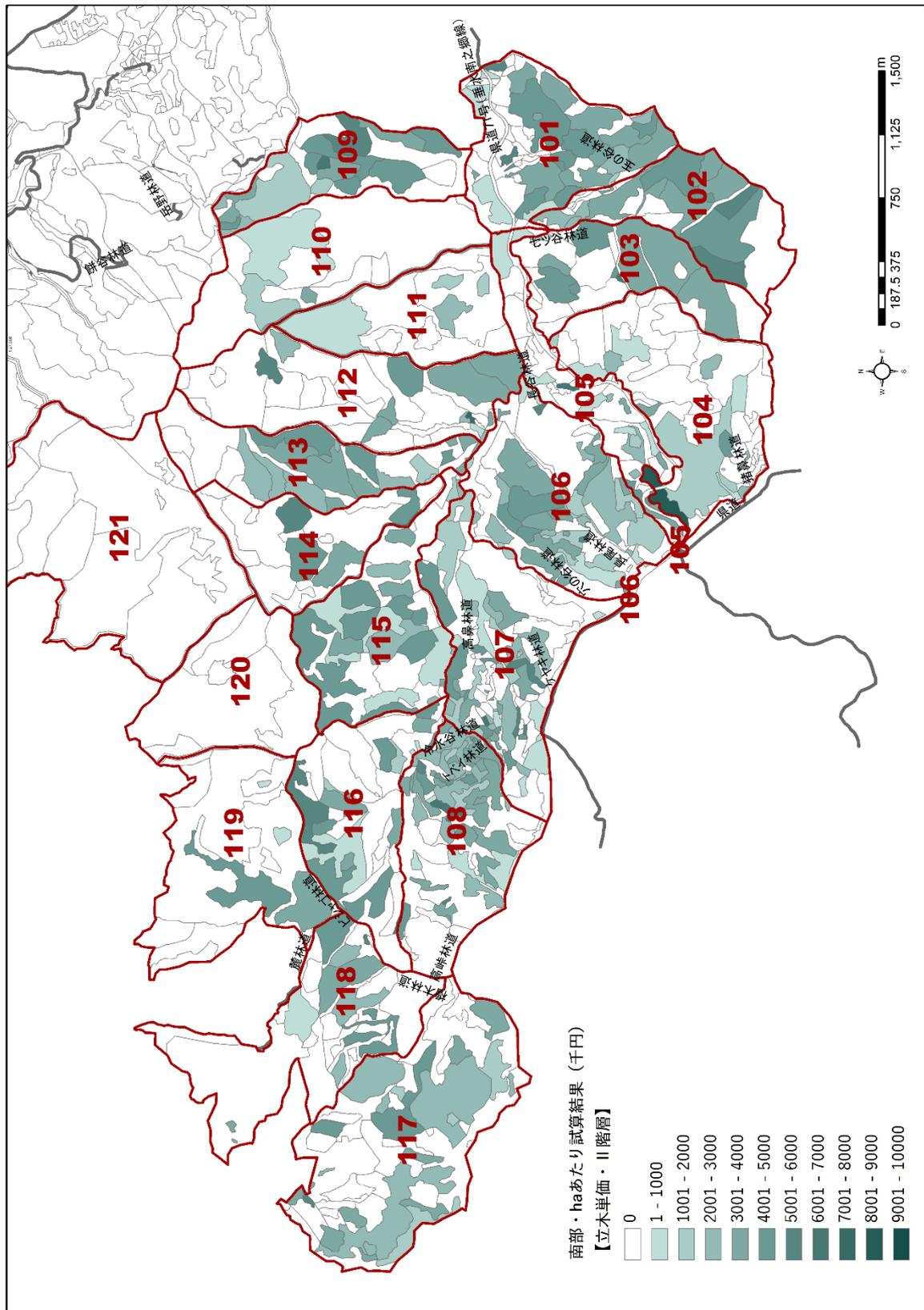


図-5.7 林小班別 ha あたり試算販売金額分布図 (立木本数による試算)

第6章 総括

第1章では、我が国の森林資源が成熟期を迎え、高性能林業機械の普及や森林路網の整備、施業地の集約化などの展開により、素材生産量が増加している背景にふれた。また、高額な高性能林業機械の保有や事業規模の拡大は多くの事業資金を必要とすることから、収益性の向上は以前にもまして重要度が高まっていることを指摘した。そして、立木の品質や高性能林業機械、素材販売について文献のレビューを行い、本研究の目的を示した。また、川上である素材生産現場で取得できる情報と原木市売り市場などの川中で取得できる情報を接続し、分析を行っていく論文構成を説明した。

第2章では、高性能林業機械の普及状況を全国、鹿児島県そして高隈演習林について確認した。また、素材生産システムについては、集材木の形態による分類と搬出方法による整理を示し、素材生産および素材販売の現状を示した。また、樹木の大径化や高額な高性能林業機の導入は、小規模経営体による旧来型の運営方法では自ずと対応力に限界が訪れる。そのため、安定的な経営を行うためには少しでも木材販売価格を向上させることが重要であることを示した。

第3章では、プロセッサ造材の工程で得られる素材長、径級の情報から簡易に幹曲線式を作成する新たな試みを行った。また、素材を原木市売市場に委託販売した際に得られる素材販売の実績データから品質等級を整理し、ABC材の出現頻度と形状比の関係を分析した。その結果、プロセッサ造材時に収集できる情報を基に簡易な幹曲線式を導くことができることが明らかになった。さらに、形状比が高い山林からはA材が多く搬出できそうなイメージがあるが、実際には形状比とA材の出現頻度には相関関係が認められない結果となった。その一方で、B材とC材については形状比が高い林分から生産される素材はB材が多くなり、形状比が低い林分ではC材が多くなることが分かり、両者の相関関係を確認することができた。

第4章では、第3章で作成した幹曲線式を発展させ、高隈モデルの作成を試みた。幹曲線式から標準的な形状の立木として樹高18.3mの樹木を導き、モデルの樹幹形を設定した。また、本演習林の主な採材方法である素材長4mもしくは3m造材を前提とした上で、すべて4mで造材した場合とすべて3mで造材した場合の単純化した採材パターンについて検討した結果、実績値に非常に近似した販売金額を試算（復元）することができた。

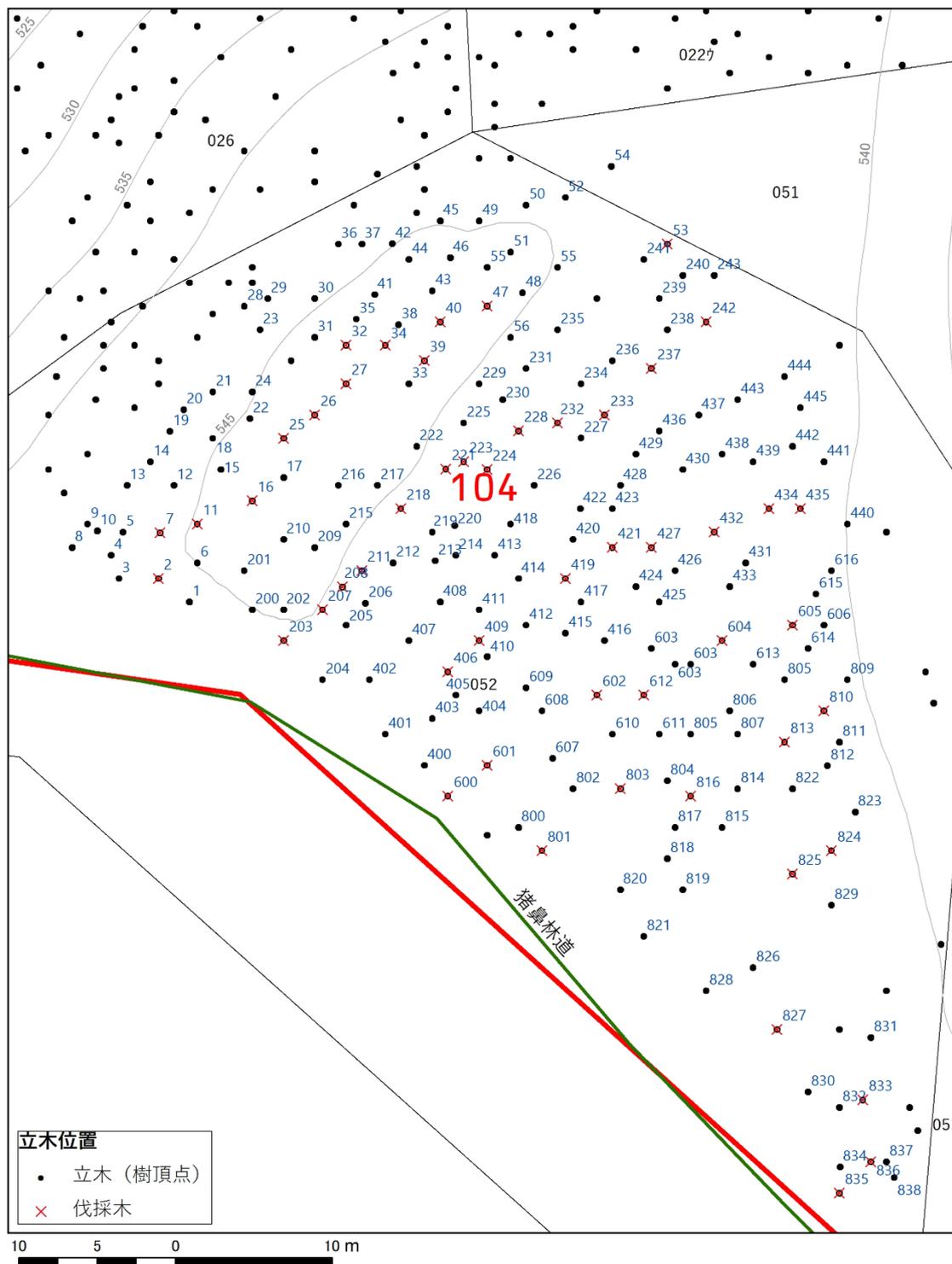
第5章では、高隈モデルで検討した2種類の採材パターン以外の組合せとして想定される19種を加えた全21種類について分析した。高隈モデルを用いて21パターンの販売金額を試算したところ、高価格帯（I階層）、中価格帯（II階層）、低価格帯（III階層）の3つの階層に整理できた。この中で中価格帯であるII階層のモデルを中心に本演習林内で盛んに素材生産が行われてきた南部区域の販売金額の試算を行った。なお、広域の販売金額を推定するために、森林簿の材積および2012年に取得したLIDARデータの樹頂点から算定した立木本数を用いた。以上のプロセスから南部区域の林小班ごとの素材販売金額を試算し、マップ化することで、販売価格の高低を可視化することができた。

今後においてICT技術の進歩が期待される中、素材生産中に自動でデータ取得ができるような技術の実用化とともに、本論文で試行した技術研究の成果が活用されることを期待している。

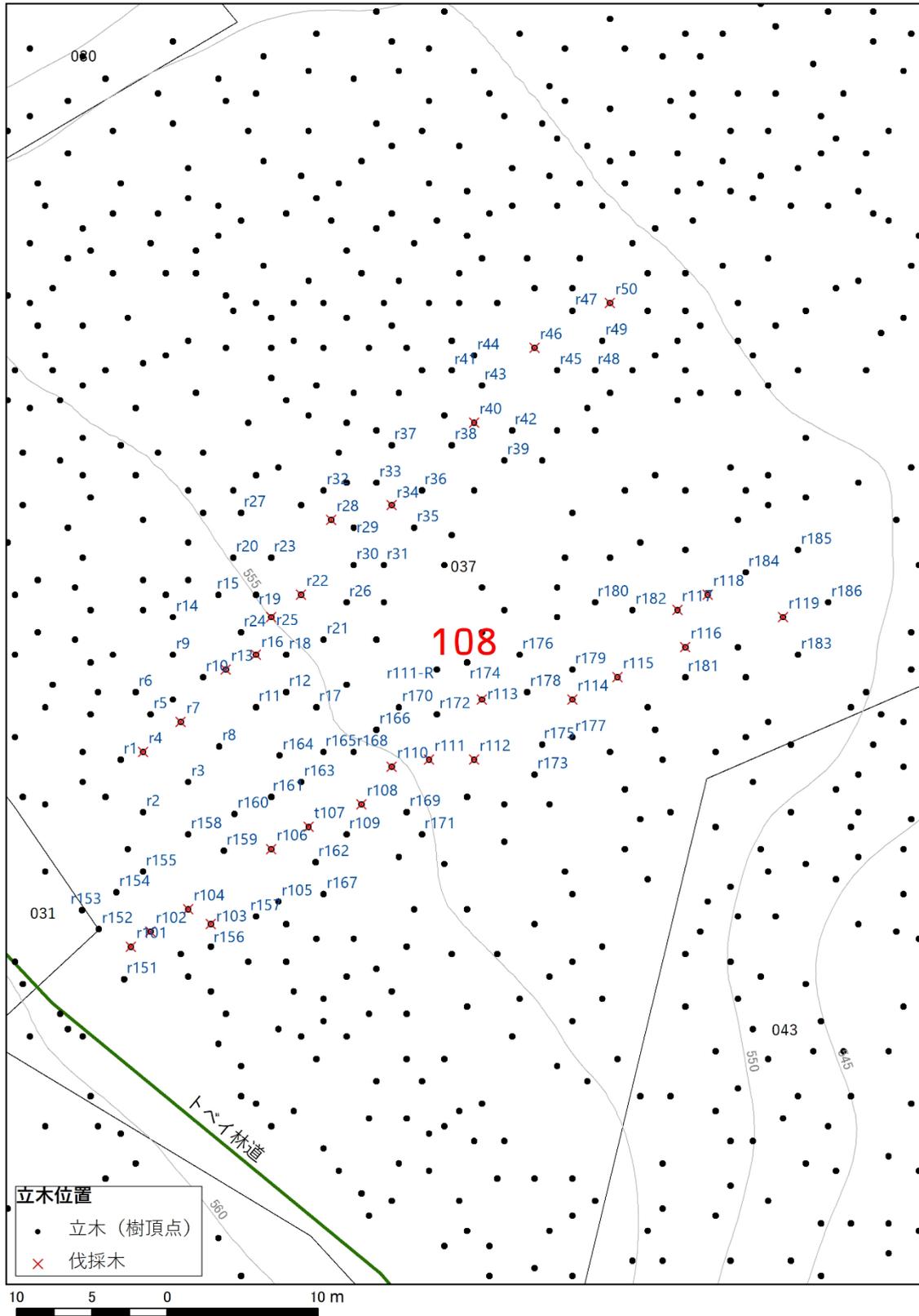
第7章 資料

7.1 素材調査プロット

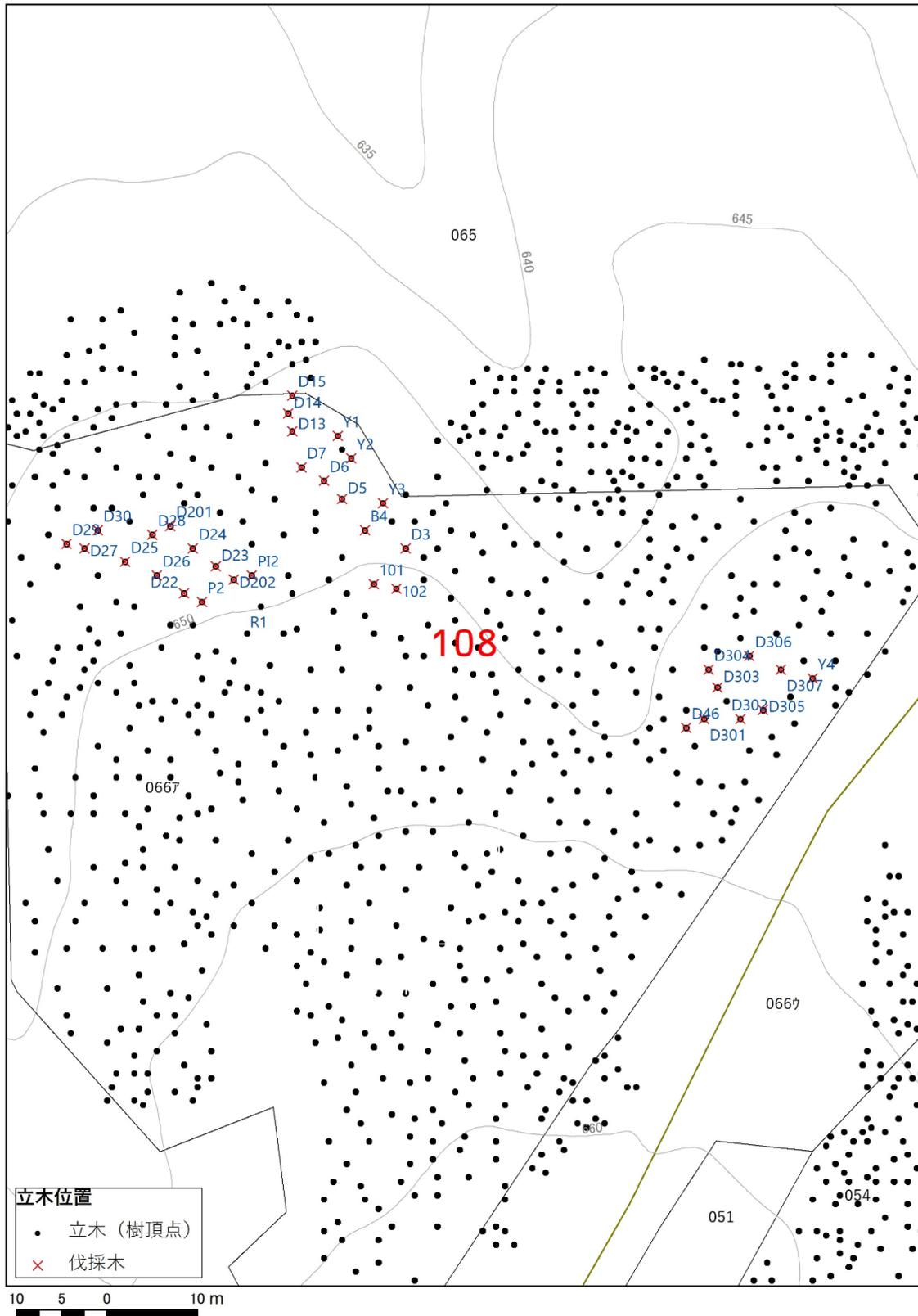
プロット1 (104-52)



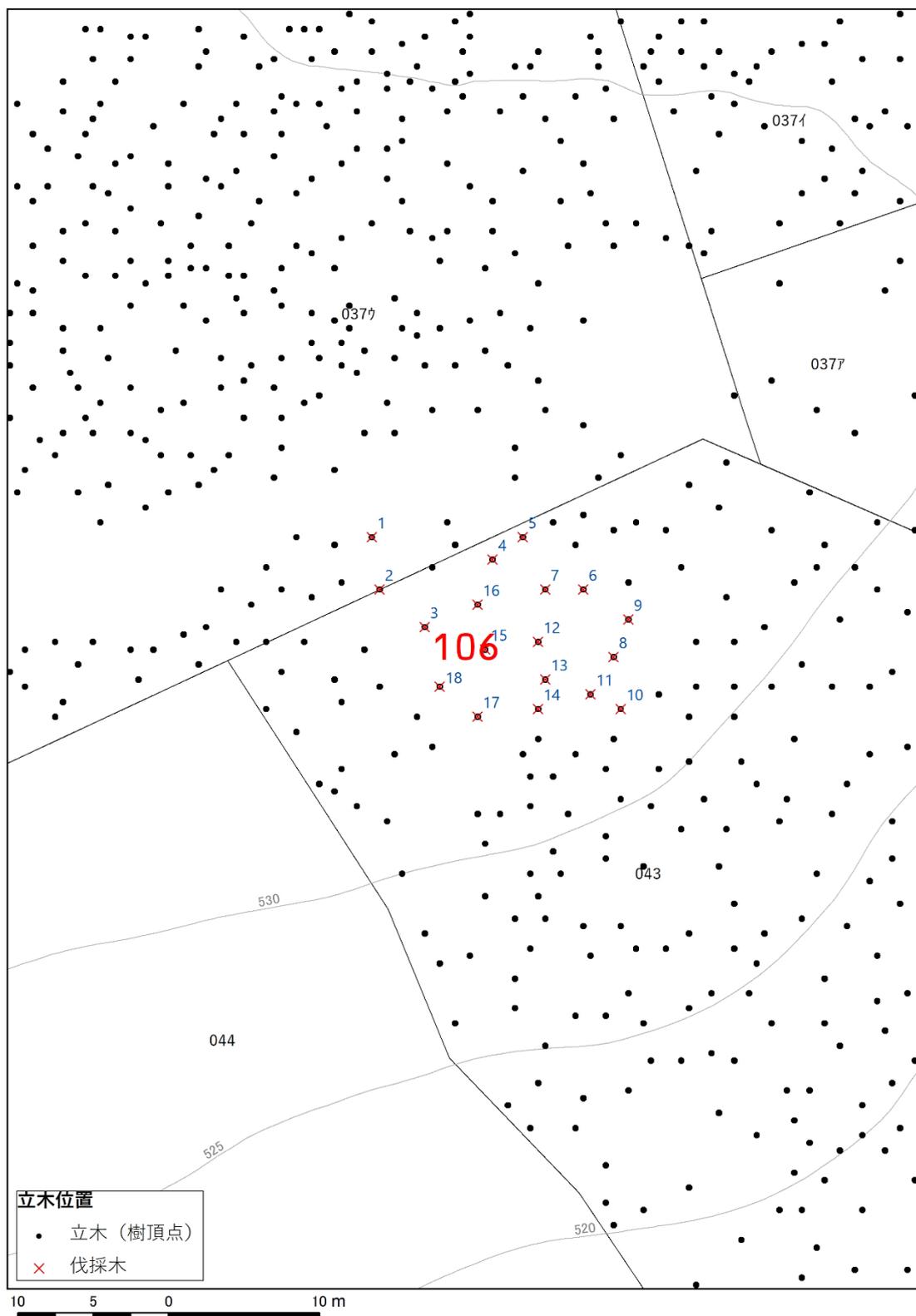
プロット 2 (108-37)



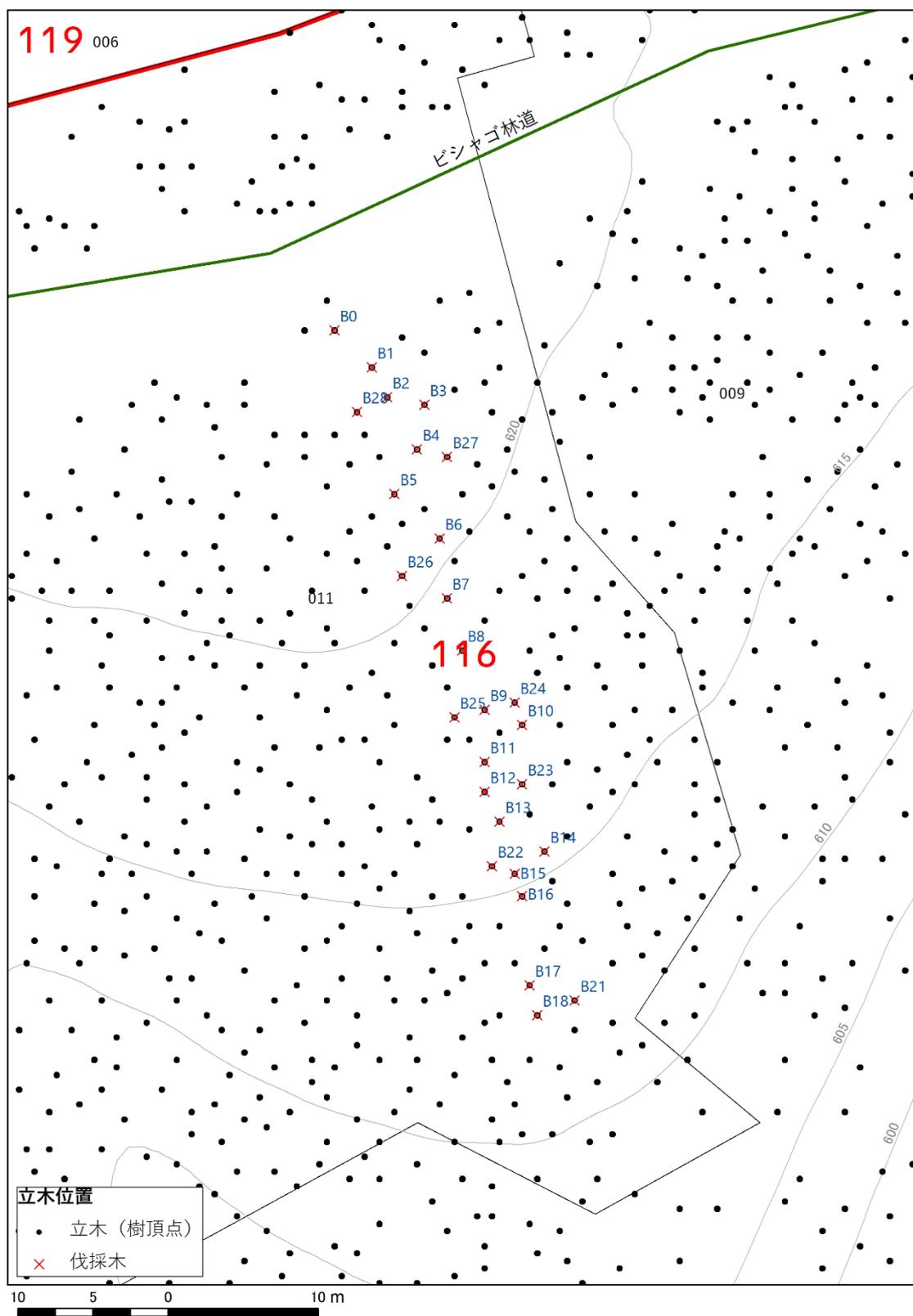
プロット 3 (108-66)



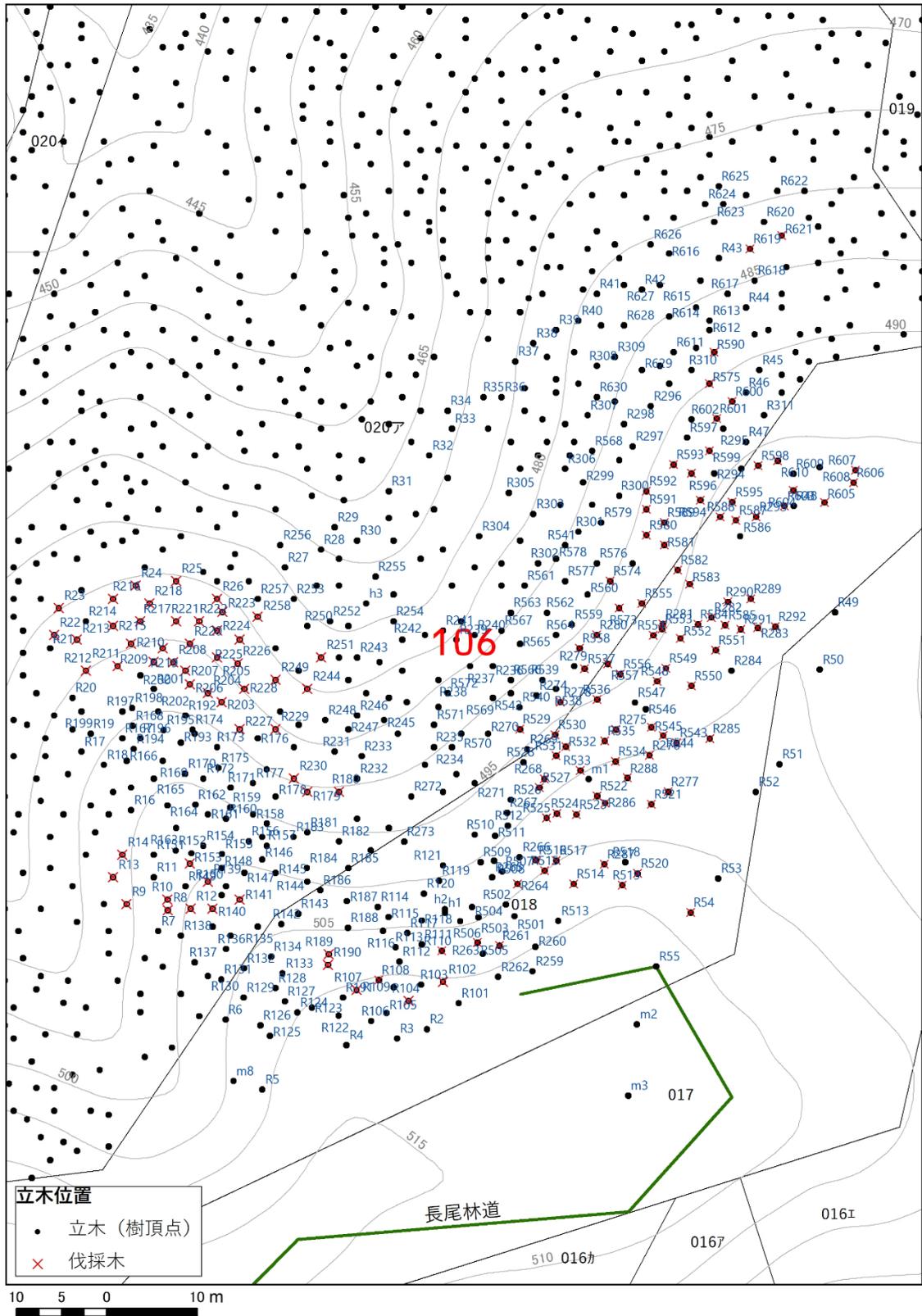
プロット 4 (106-43)



プロット 5 (116-11)

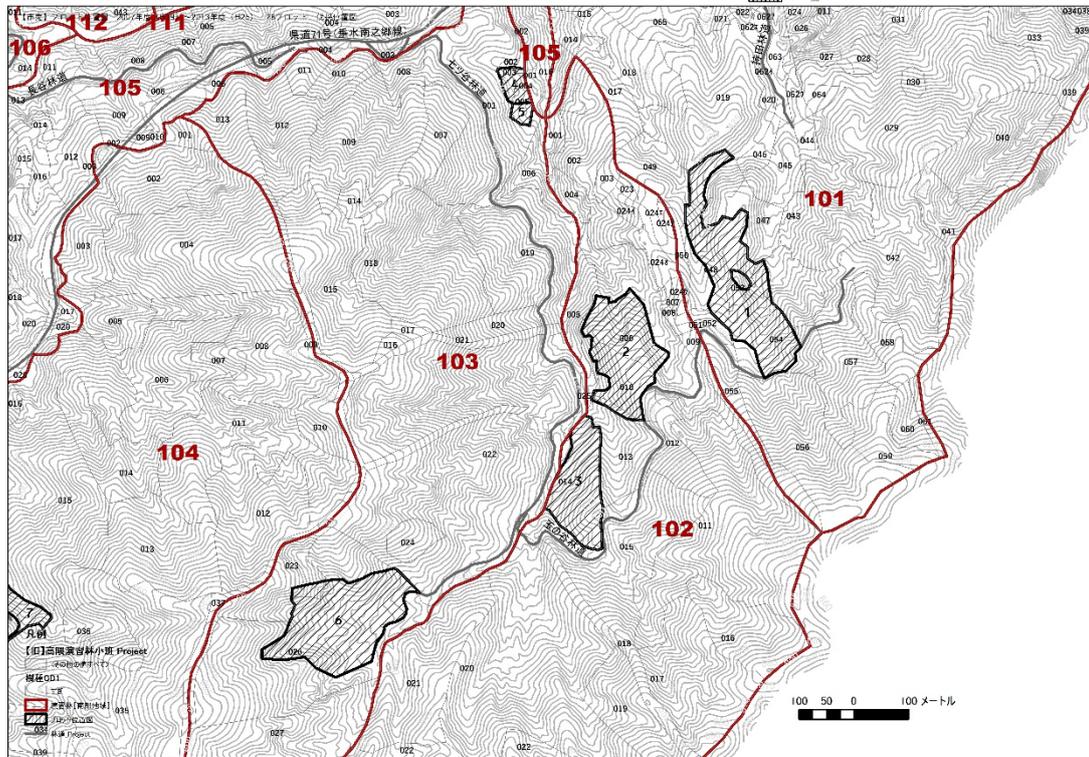


プロット 6ab (106-20)

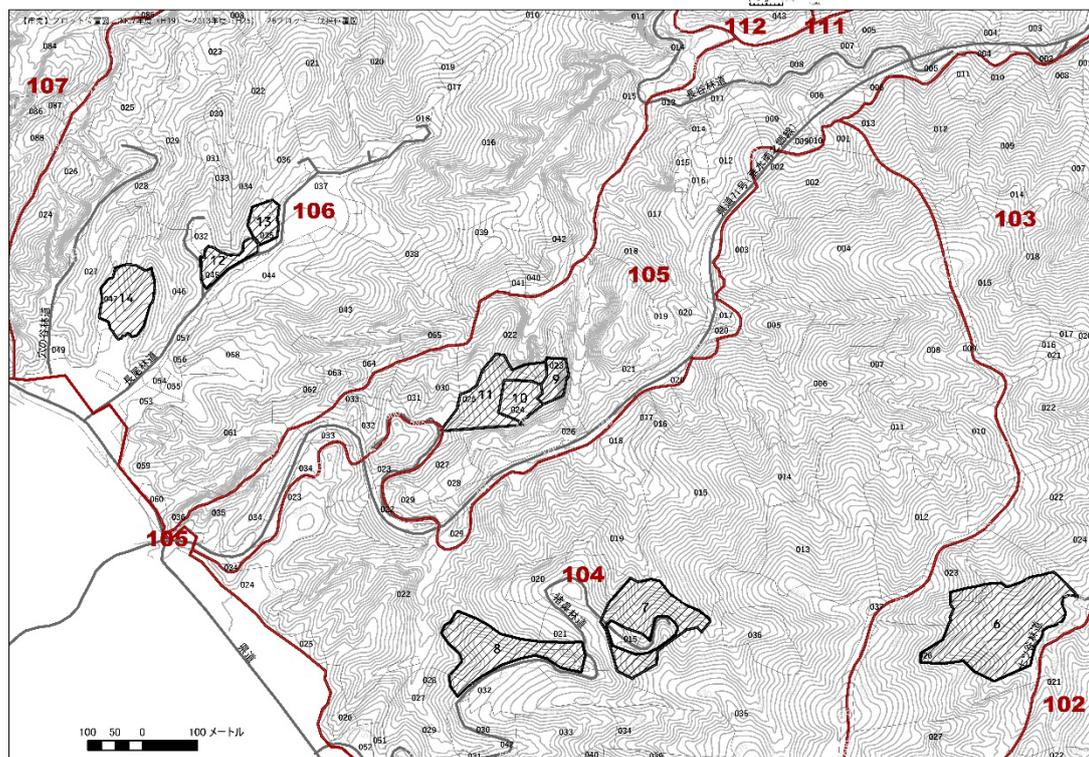


7. 2 品質等級調査プロット

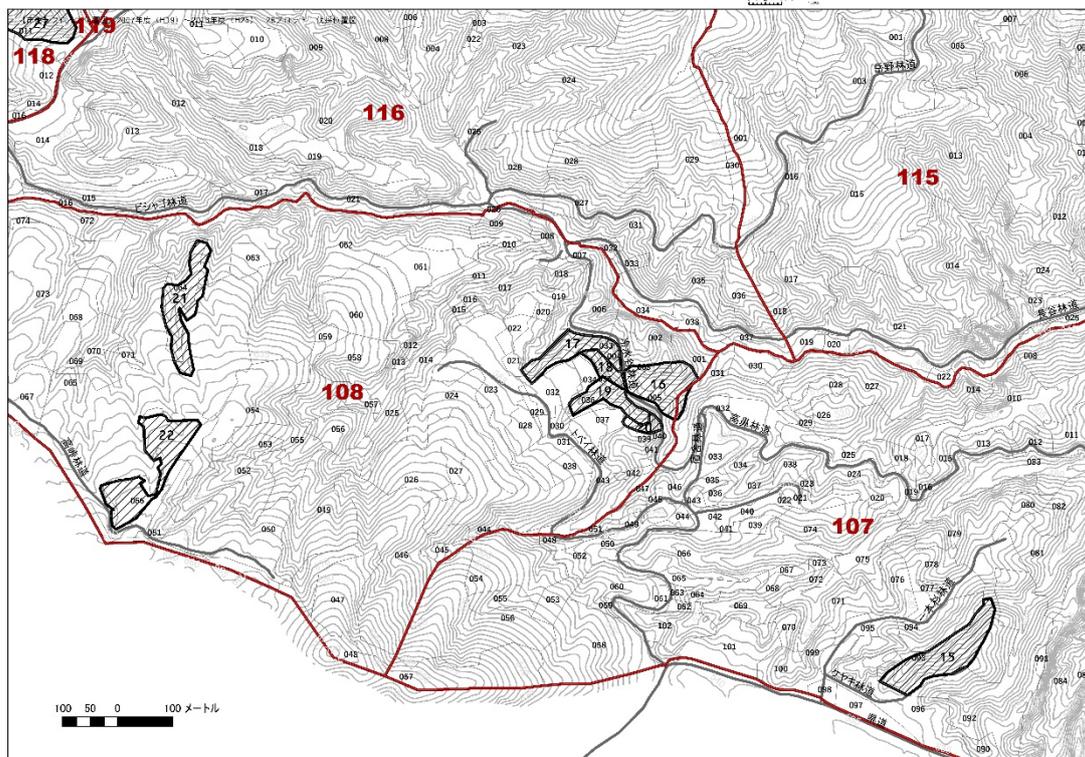
プロット 1~6



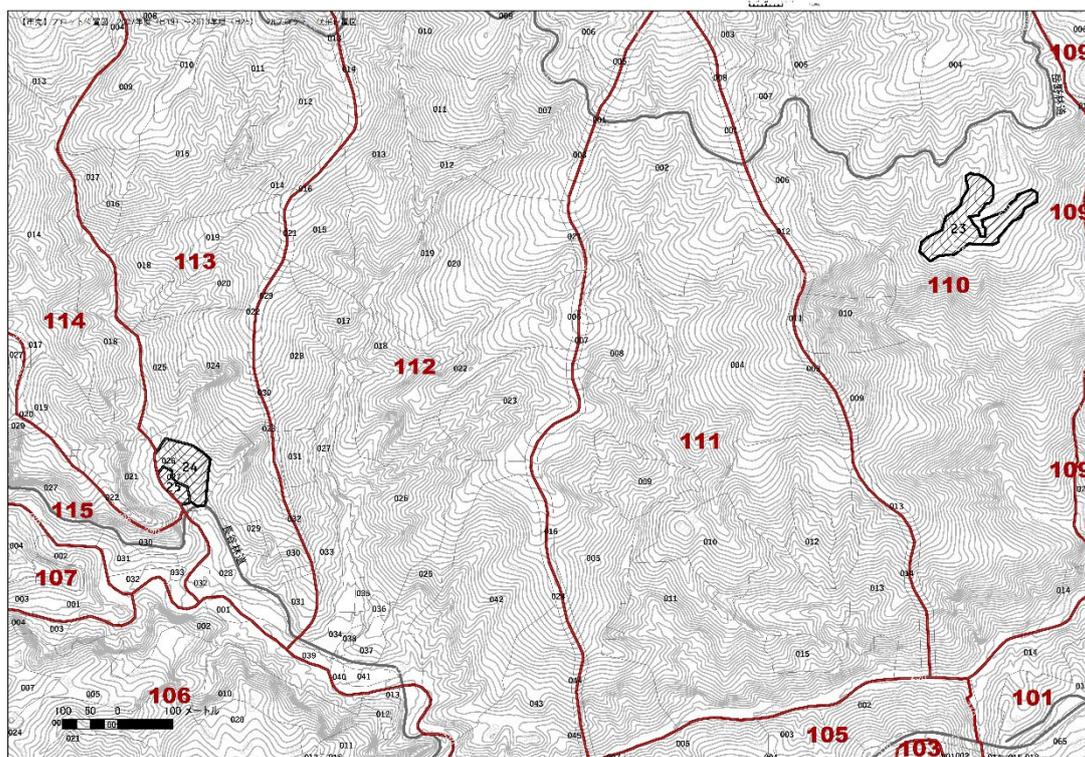
プロット 6~14



プロット 15~17, 21, 22



プロット 23~25



7. 3 採材パターン計算表

採材パターンで用いた高限演習林の標準的な樹形は、樹高 18.3m、胸高直径 30.0cm であり、幹曲線式は 4 章 4.3.1 のとおり (5) 式を用いた。なお、採材時の最小末口直径は 3cm とした。

$$y = -0.001x^3 + 0.055x^2 - 2.122x + 32.424 \quad (5)$$

ただし、 x : 素材長 (m), y : 鋸断径 (cm) である。

パターン 1

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積 (m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	4.1	4.4	31.0	24.0	0.230	中目	8,692	2,003	-
2 番玉	4.1	8.5	24.0	17.0	0.116	柱	6,906	798	-
3 番玉	4.1	12.6	17.0	11.0	0.048	小丸太	5,250	254	-
4 番玉	4.1	16.7	11.0	6.0	0.014	小丸太	5,250	76	-
5 番玉	0	16.7	-	-	-	-	-	-	-
梢端部	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.409	-	7,658	3,131	0.67

パターン 2

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積 (m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	4.1	4.4	31.0	24.0	0.230	中目	8,692	2,003	-
2 番玉	4.1	8.5	24.0	17.0	0.116	柱	6,906	798	-
3 番玉	4.1	12.6	17.0	11.0	0.048	小丸太	5,250	254	-
4 番玉	3.1	15.7	11.0	7.0	0.015	小丸太	4,874	72	-
5 番玉	0	15.7	-	-	-	-	-	-	-
梢端部	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.409	-	7,643	3,127	0.67

パターン 3

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積 (m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	4.1	4.4	31.0	24.0	0.230	中目	8,692	2,003	-
2 番玉	4.1	8.5	24.0	17.0	0.116	柱	6,906	798	-
3 番玉	3.1	11.6	17.0	13.0	0.051	柱	7,316	371	-
4 番玉	4.1	15.7	13.0	7.0	0.020	小丸太	5,250	103	-
5 番玉	0	15.7	-	-	-	-	-	-	-
梢端部	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.416	-	7,867	3,275	0.68

パターン 4

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積 (m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	4.1	4.4	31.0	24.0	0.230	中目	8,692	2,003	-
2 番玉	3.1	7.5	24.0	19.0	0.108	柱	7,316	792	-
3 番玉	4.1	11.6	19.0	13.0	0.068	柱	6,906	467	-
4 番玉	4.1	15.7	13.0	7.0	0.020	小丸太	5,250	103	-
5 番玉	0	15.7	-	-	-	-	-	-	-
梢端部	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.426	-	7,900	3,365	0.70

パターン 5

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積 (m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	3.1	3.4	31.0	25.0	0.188	中目	7,954	1,491	-
2 番玉	4.1	7.5	25.0	19.0	0.144	柱	6,906	997	-
3 番玉	4.1	11.6	19.0	13.0	0.068	柱	6,906	467	-
4 番玉	4.1	15.7	13.0	7.0	0.020	小丸太	5,250	103	-
5 番玉	0	15.7	-	-	-	-	-	-	-
梢端部	2.6	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.419	-	7,297	3,058	0.69

パターン 6

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積(m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	4.1	4.4	31.0	24.0	0.230	中目	8,692	2,003	-
2 番玉	4.1	8.5	24.0	17.0	0.116	柱	6,906	798	-
3 番玉	3.1	11.6	17.0	13.0	0.051	柱	7,316	371	-
4 番玉	3.1	14.7	13.0	8.0	0.019	小丸太	4,874	94	-
5 番玉	3.1	17.8	8.0	4.0	0.0048	小丸太	4,874	23	-
梢端部	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.421	-	7,818	3,289	0.69

パターン 7

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積(m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	4.1	4.4	31.0	24.0	0.230	中目	8,692	2,003	-
2 番玉	3.1	7.5	24.0	19.0	0.108	柱	7,316	792	-
3 番玉	4.1	11.6	19.0	13.0	0.068	柱	6,906	467	-
4 番玉	3.1	14.7	13.0	8.0	0.019	小丸太	4,874	94	-
5 番玉	3.1	17.8	8.0	4.0	0.0048	小丸太	4,874	23	-
梢端部	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.430	-	7,852	3,379	0.70

パターン 8

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積(m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	3.1	3.4	31.0	25.0	0.188	中目	7,954	1,491	-
2 番玉	4.1	7.5	25.0	19.0	0.144	柱	6,906	997	-
3 番玉	4.1	11.6	19.0	13.0	0.068	柱	6,906	467	-
4 番玉	3.1	14.7	13.0	8.0	0.019	小丸太	4,874	94	-
5 番玉	3.1	17.8	8.0	4.0	0.0048	小丸太	4,874	23	-
梢端部	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.424	-	7,255	3,072	0.69

パターン 9

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積(m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	3.1	3.4	31.0	25.0	0.188	中目	7,954	1,491	-
2 番玉	3.1	6.5	25.0	20.0	0.120	中目	7,954	954	-
3 番玉	4.1	10.6	20.0	14.0	0.078	柱	6,906	541	-
4 番玉	4.1	14.7	14.0	8.0	0.026	小丸太	5,250	134	-
5 番玉	3.1	17.8	8.0	4.0	0.0048	小丸太	4,874	23	-
梢端部	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.416	-	7,555	3,145	0.68

パターン 10

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積(m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	3.1	3.4	31.0	25.0	0.188	中目	7,954	1,491	-
2 番玉	4.1	7.5	25.0	19.0	0.144	柱	6,906	997	-
3 番玉	3.1	10.6	19.0	14.0	0.059	柱	7,316	430	-
4 番玉	4.1	14.7	14.0	8.0	0.026	小丸太	5,250	134	-
5 番玉	3.1	17.8	8.0	4.0	0.0048	小丸太	4,874	23	-
梢端部	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.421	-	7,306	3,077	0.69

パターン 11

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積(m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	3.1	3.4	31.0	25.0	0.188	中目	7,954	1,491	-
2 番玉	4.1	7.5	25.0	19.0	0.144	柱	6,906	997	-
3 番玉	4.1	11.6	19.0	13.0	0.068	柱	6,906	467	-
4 番玉	3.1	14.7	13.0	8.0	0.019	小丸太	4,874	94	-
5 番玉	3.1	17.8	8.0	4.0	0.0048	小丸太	4,874	23	-
梢端部	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.424	-	7,255	3,072	0.69

パターン 12

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積(m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	4.1	4.4	31.0	24.0	0.230	中目	8,692	2,003	-
2 番玉	3.1	7.5	24.0	19.0	0.108	柱	7,316	792	-
3 番玉	3.1	10.6	19.0	14.0	0.059	柱	7,316	430	-
4 番玉	3.1	13.7	14.0	10.0	0.030	小丸太	4,874	146	-
5 番玉	4.1	17.8	10.0	4.0	0.0064	小丸太	5,250	34	-
梢端部	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.434	-	7,848	3,405	0.71

パターン 13

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積(m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	4.1	4.4	31.0	24.0	0.230	中目	8,692	2,003	-
2 番玉	3.1	7.5	24.0	19.0	0.108	柱	7,316	792	-
3 番玉	3.1	10.6	19.0	14.0	0.059	柱	7,316	430	-
4 番玉	3.1	13.7	14.0	10.0	0.030	小丸太	4,874	146	-
5 番玉	3.1	16.8	10.0	6.0	0.0108	小丸太	4,874	53	-
梢端部	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.438	-	7,812	3,424	0.72

パターン 14

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積(m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	3.1	3.4	31.0	25.0	0.188	中目	7,954	1,491	-
2 番玉	4.1	7.5	25.0	19.0	0.144	柱	6,906	997	-
3 番玉	3.1	10.6	19.0	14.0	0.059	柱	7,316	430	-
4 番玉	3.1	13.7	14.0	10.0	0.030	小丸太	4,874	146	-
5 番玉	4.1	17.8	10.0	4.0	0.0064	小丸太	5,250	34	-
梢端部	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.427	-	7,255	3,099	0.70

パターン 15

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積(m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	3.1	3.4	31.0	25.0	0.188	中目	7,954	1,491	-
2 番玉	4.1	7.5	25.0	19.0	0.144	柱	6,906	997	-
3 番玉	3.1	10.6	19.0	14.0	0.059	柱	7,316	430	-
4 番玉	3.1	13.7	14.0	10.0	0.030	小丸太	4,874	146	-
5 番玉	3.1	16.8	10.0	6.0	0.0108	小丸太	4,874	53	-
梢端部	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.432	-	7,225	3,118	0.71

パターン 16

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積(m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	3.1	3.4	31.0	25.0	0.188	中目	7,954	1,491	-
2 番玉	3.1	6.5	25.0	20.0	0.120	中目	7,954	954	-
3 番玉	4.1	10.6	20.0	14.0	0.078	柱	6,906	541	-
4 番玉	3.1	13.7	14.0	10.0	0.030	小丸太	4,874	146	-
5 番玉	4.1	17.8	10.0	4.0	0.0064	小丸太	5,250	34	-
梢端部	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.422	-	7,500	3,167	0.69

パターン 17

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積(m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	3.1	3.4	31.0	25.0	0.188	中目	7,954	1,491	-
2 番玉	3.1	6.5	25.0	20.0	0.120	中目	7,954	954	-
3 番玉	4.1	10.6	20.0	14.0	0.078	柱	6,906	541	-
4 番玉	3.1	13.7	14.0	10.0	0.030	小丸太	4,874	146	-
5 番玉	3.1	16.8	10.0	6.0	0.0108	小丸太	4,874	53	-
梢端部	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.427	-	7,467	3,186	0.70

パターン 18

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積(m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	3.1	3.4	31.0	25.0	0.188	中目	7,954	1,491	-
2 番玉	3.1	6.5	25.0	20.0	0.120	中目	7,954	954	-
3 番玉	3.1	9.6	20.0	15.0	0.068	柱	7,316	494	-
4 番玉	4.1	13.7	15.0	10.0	0.040	小丸太	5,250	210	-
5 番玉	4.1	17.8	10.0	4.0	0.0064	小丸太	5,250	34	-
梢端部	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.421	-	7,554	3,183	0.69

パターン 19

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積(m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	3.1	3.4	31.0	25.0	0.188	中目	7,954	1,491	-
2 番玉	3.1	6.5	25.0	20.0	0.120	中目	7,954	954	-
3 番玉	3.1	9.6	20.0	15.0	0.068	柱	7,316	494	-
4 番玉	4.1	13.7	15.0	10.0	0.040	小丸太	5,250	210	-
5 番玉	3.1	16.8	10.0	6.0	0.0108	小丸太	4,874	53	-
梢端部	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.426	-	7,521	3,202	0.70

パターン 20

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積(m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	3.1	3.4	31.0	25.0	0.188	中目	7,954	1,491	-
2 番玉	3.1	6.5	25.0	20.0	0.120	中目	7,954	954	-
3 番玉	3.1	9.6	20.0	15.0	0.068	柱	7,316	494	-
4 番玉	3.1	12.7	15.0	11.0	0.036	小丸太	4,874	177	-
5 番玉	4.1	16.8	11.0	6.0	0.0144	小丸太	5,250	76	-
梢端部	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.426	-	7,499	3,192	0.70

パターン 21

採材箇所	素材長 (m)	地際からの 距離(m)	元口 (cm)	末口 (cm)	材積(m ³)	径級	m ³ あたり 販売価格(円/m ³)	素材販売金 額(円/本)	素材 歩留り
伐高	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-
1 番玉	3.1	3.4	31.0	25.0	0.188	中目	7,954	1,491	-
2 番玉	3.1	6.5	25.0	20.0	0.120	中目	7,954	954	-
3 番玉	3.1	9.6	20.0	15.0	0.068	柱	7,316	494	-
4 番玉	3.1	12.7	15.0	11.0	0.036	小丸太	4,874	177	-
5 番玉	3.1	15.8	11.0	7.0	0.0147	小丸太	4,874	72	-
梢端部	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-
合計	18.3	-	-	-	0.426	-	7,484	3,188	0.70

Summary

The added value of logs at a log production site is determined by the bucking process, using a processor or an equivalent tool. Buckers work to increase profitability in the nearest area, based on the latest market prices.

Although the information obtained during the processes of log production and log sales are important for forestry management, opportunities to use this information are very few.

In this study, I collected information in real time at the log production site and examined the possibility of using the obtained log information.

I found that the log utilization yield for Sugi in Osumi area in Kagoshima, Japan was almost the same as the value reported in literature. In addition, when the frequency of appearance of log grades was analyzed using the shape ratio as an index, the shape ratios of small bent log (B) and bent log (C) were observed to be correlated.

Following this, the trunk curve formula of the felled tree and the logging method were analyzed, and the average selling price of the log was calculated from the log sales record. Based on these data, I deduced the standard harvested tree size and trunk shape of the Takakuma Experimental Forest of Kagoshima University and made a Takakuma Model based on a simplified bucking pattern.

Using this model, I estimated the timber volume of log production and the predicted value of the log sales amount and compared it with the actual log sales amount. Our results showed a high positive correlation between the log volume and the log sales amount.

Finally, based on the log analysis results of the Takakuma Model, a total of 21 log production patterns were evident, based on the 4 m and 3 m logs, mainly

produced in the Takakuma Experimental Forest.

It is known that these patterns can be divided into three categories, high price range (First stage), medium price range (Second stage), and low price range (Third stage), depending on the sale value per cubic-meter and the average for each stage. The unit price and volume were derived. I observed a very high positive correlation between the actual log sales amount and the estimated value in the actual number of logs sold, regardless of the stage.

Therefore, for the purpose of estimating and visualizing the sales amount of standing trees in the Takakuma Experimental Forest, the number of standing trees per hectare was calculated from the forest register data of the experimental forest and the tree apex of the LIDAR data acquired in 2012. The sales amount was calculated for each forest sub compartment, and a price map was created for the southern area of the Takakuma Experimental Forest (about 1,000 hectares), where many logs are produced.

謝辞

本論文をまとめるにあたり、終始懇篤なご指導と暖かい励ましを賜り、校閲の労をとっていただきました鹿児島大学 岡勝教授に厚く御礼申し上げます。さらに琉球大学農学部 芝正己名誉教授，大田伊久雄教授，鹿児島大学 寺本行芳准教授の各先生から懇篤なご指導および校閲の労を賜りました。ここに謹んで感謝の意を表します。また、校閲の労をとっていただきました鹿児島大学農学部 西野吉彦教授，井倉洋二准教授には、演習林業務の面でも多くのご協力を賜りました。心からの敬意と、深甚な謝意を表します。

論文作成に際し、研究手法や解析方法について鹿児島大学農学部 加治佐剛准教授，新永智士客員准教授，東京大学中島徹助教の各先生から懇切丁寧なご指導をいただきました。ここに謹んで感謝の意を表します。

鹿児島大学農学部 枚田邦宏教授，奥山洋一郎助教，溝添俊樹氏，鹿児島県環境林務部森林経営課 長濱孝行氏には日頃よりご厚情を賜り、数々のご助言をいただきました。鹿児島大学農学部附属高隈演習林 松元正美技術専門職員，野下治巳技術専門職員，松野嘉昭技術専門職員，芦原誠一技術専門職員，内原浩之技術専門職員，宿利原恵技術職員，米村栄太係員の皆様には現地調査や演習林が保有している各データの取り扱い，および整理にあたりご尽力を賜りました。また，皆様の豊富な経験や知見に基づく様々なご助言をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。そして，現場で作業をしていただいた方々をはじめ，ご指導ご協力を賜りましたすべての方々に御礼申し上げます。皆様方のご協力なくしてこの論文の完成は無かったと思います。本当にありがとうございました。

最後にこれまでの研究生生活を支えてくれた妻 美奈に心から感謝します。

引用文献

新井紘嗣・立花敏（2020）我が国林業の素材生産における生産性分析．林業経済研究 66(3)：51～62.

荒牧重雄（1969）鹿児島県国分地域の地質と火砕流堆積物．地質学雑誌 75：425～442.

家原敏郎・黒川泰亨（1990）低位生産林地におけるヒノキ人工林造成の経営的評価．日林誌 72(1)：34～45.

石川智代・野村久子（2019）三重県中部地域の原木市売市場における買い方の取引特性．三重県林業研報 9：13～20.

鹿児島大学農学部附属演習林（2014）生産事業．鹿大演報 41：111

鹿児島大学農学部附属演習林（2015）生産事業．鹿大演報 42：43

鹿児島大学農学部附属演習林（2018）生産事業．鹿大演報 43：134～154

鹿児島大学農学部附属演習林（2019）生産事業．鹿大演報 44：59

鹿児島大学農学部附属演習林（2020）生産事業．鹿大演報 45：37

鹿児島大学農学部附属演習林（2021）生産事業．鹿大演報 46：83

鹿児島県（2008）鹿児島県林務水産部 平成 20 年 4 月，立木幹材積表．

鹿児島県（2018）鹿児島県林務水産課 鹿児島県大隅地域森林計画書 計画期間平成 30 年 4 月 1 日～平成 40 年 3 月 31 日．

[https://www.pref.kagoshima.jp/ad06/sangyo-](https://www.pref.kagoshima.jp/ad06/sangyo-rodo/rinsui/ringyo/keikaku/documents/8981_20180104152610-1.pdf)

[rodo/rinsui/ringyo/keikaku/documents/8981_20180104152610-1.pdf](https://www.pref.kagoshima.jp/ad06/sangyo-rodo/rinsui/ringyo/keikaku/documents/8981_20180104152610-1.pdf)(2019 年 5 月 7 日取得)

梶原幹弘（1974）相対幹曲線による林分の全幹材積ならびに利用材積の推定について．日林誌 56(10)：353～360.

金山知広（2019）地域材需要転換期における林業地域の市場対応－東三河地域を事例として－．林業経済研究 65（1）：60～71.

小池芙美・興梠克久（2011）原木市売市場の機能に関する一考察－株式会社伊万里木材市場を事例に－．林業経済 60（10）：2～16.

国土地理院（2016）基盤情報ダウンロードサービス．オンライン，
(<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>). 2021年7月16日参照.

小菅良豪，伊藤勝久（2015）岡山県北部における素材生産業者の地域特性とマネジメント戦略．林業経済 161（2）：1～12.

前田大輝・興梠克久・佐藤宣子（2008）原木需要の大規模化に伴う原木市売市場の機能変化－大分県日田地域と宮崎県都城地域を事例に－．林業経済研究 54（3）：29～36

牧野耕輔・藤原三夫・泉英二（2000）農家林家による森林管理の可能性の検証－久万林業地を対象として－．林業経済研究 46（2）：43～48.

牧野耕輔・岡勝・加治佐剛・寺本行芳・芝正己・中島徹・長濱孝之（2020）鹿児島県大隅地域を対象にしたスギ材の幹曲線式の算定と素材品質の実態分析－鹿児島大学高隈演習林を事例にして－．森林計画誌 53（2）：53～62.

牧野耕輔・岡勝・加治佐剛・寺本行芳・新永智士（2022）鹿児島県大隅地域におけるスギ材の素材販売価格の試算－鹿児島大学高隈演習林を事例にして－．森利学誌 37（1）：27～36.

南方康，機械化・路網・生産システム－低コスト林業確立のために－．日本林業調査会，1991年，東京，265pp

宮下智弘（2007）多雪地帯に植栽されたスギ挿し木苗と実生苗の幼齢期における成育特性の比較．日林誌 89(6)369～373.

茂木もも子・立花敏（2019）西川林業地における木材取引情報の非対称性の把握．林業経済研究 65（3）：19～26.

宗岡寛子・上村巧・松村ゆかり・田中亘・白井教男（2017）スウェーデンの林業・木材産業における情報活用を支える StanForD．森利学誌 32（2）：77～

81.

長濱孝行・近藤洋史（2014）Development of Relative Stem-taper Curves for Sugi(*Cryptomeria japonica* D.Don)Plantation in Kagoshima Prefecture, Southwestern Japan.J.For.Plann.19：33～41

長嶋啓子・吉永生・田中和博（2019）低規格高密度路網による小規模搬出間伐システムのコスト，生産性および採算性．森林計画誌 52（2）：67～74

南雲秀次郎・白石則彦・田中万里子（1981）スギ林分収穫表調製法のシステム化に関する研究．東大農演報 71：269～330.

中川重一（2019）正規性の検定，132pp，共立出版株式会社，東京．

中澤昌彦・松村ゆかり・田中亘・上村巧・加藤英雄・宗岡寛子・吉田智佳史・瀧誠志郎・有水賢吾・伊神裕司・藤本清彦・松田陽介・金澤豊・白井教男・高野永華（2021）原木品質自動判定装置を備えたハーベスタのための原木情報共有システムの開発．森利学誌 36（1）：21～26.

農林水産省（2012）農林水産省素材の日本農林規格．

http://www.maff.go.jp/j/kokuji_tuti/kokuji/k0000562.html(2019年5月7日取得)

岡勝・井上源基・小林洋司（2005a）稼働実績をもとにした高性能林業機械の損料率の算定．森利学誌 20（3）：183～191.

岡勝・井上源基・上村巧・小林洋司（2005b）高性能林業機械の保守・修理費率の検討．森利学誌 20（2）：79～90.

尾分達也（2017）木材価格の暴落時における素材生産事業者の経営対応－2012年価格暴落時の宮崎県・大分県・熊本県を事例に－林業経済 70（5）：15～31.

林野庁（1998）大型プロジェクト研究成果 地域に適合した林業機械作業システム研究，90pp

林野庁（2015）平成 26 年度版森林・林業白書.

https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/26hakusyo/190411_8.html

(2020 年 2 月 29 日取得)

林野庁（2019）木材需給統計書. オンライン,

(<https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokuzai/index.html>). 2021 年 12

月 3 日取得.

林野庁（2020）令和 2 年度版森林・林業白書. オンライン,

(<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/R2hakusyo/zenbun.html>).

2021 年 7 月 16 日参照.

林野庁（2021a）高性能林業機械の保有状況.

(<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kaihatu/kikai/daisuu.html>). 2021 年 12 月 3

日取得)

林野庁（2021b）森林・林業基本計画関係資料. オンライン,

(<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/plan/attach/pdf/index-4.pdf>). 2021

年 7 月 16 日参照.

林野庁（2021c）森林総合管理士（フォレスター）基本テキスト. オンライン

, (https://www.rinya.maff.go.jp/j/ken_sidou/forester/). 2021 年 11 月 30

日参照.

林野庁監修（1998）間伐の手引き解説編. 53pp, 日本林業技術協会, 東京.

斎藤孝一・篠田俊夫・植木庄司・飯塚和也・石栗太・横田信三・吉澤伸夫(2007)

ヒノキ造林木における成長と生産された丸太の関係. 宇都宮大農演報 43 : 177
~181.

堺正紘（1995）素材生産業者の現状と展開方向－熊本県の実態を事例に－.

九大演報 72 : 185~201.

佐々木靖人・藤井厚企・浅井健一・中村康夫（1994）ロームに埋積された谷頭斜面のマスムーブメントの過程．応用地質 35(5) , 27-39.

森林総合研究所（2009）森林大百科事典．626pp, 森林総合研究所, 東京.

鈴木和次郎・池田伸・平野辰典・須崎智応・和佐英二・石神智生（2009）高齢級ヒノキ人工林の林分構成にみる間伐履歴の影響．日林誌 91 : 9~14.

外山正次郎・川崎章恵（2013）木材産業再編期における原木集荷県の変容－岡山県真庭地域を事例に－．九大演報 94 : 11~17.

塚原俊一・上野雄一・上野将司・新屋浩明（2006）現場で役に立つ地すべり工学第4回．地すべり学会誌 42(5) : 64~69.

山本康介・朝尾高明・野地洋正・坂本竜彦（2020）持続可能なエネルギー資源として国産木質バイオマスの利活用を促進するための三重県南部の原木市場における原木材積評価の課題．日本エネルギー学会誌 99 (10) : 182~189.

山崎真・鈴木保志・後藤純一・渡辺直史（2021）地形に適した作業システムの選択－高知県における流域別適用事例にもとづく検討－．森利学誌 36 (1) : 13~20.

吉田茂二郎（2005）高隈演習林における簡易林分収穫表の作成とその基礎資料．鹿大演研報 33 : 167~178.

吉田茂二郎・今田俊和（1989）丸太価格を基礎とした素材の採材方法について．鹿大農学報 39 : 319~329.

全国林業改良普及協会（2001a）機械化のマネジメント, 239pp, 全国林業改良普及協会, 東京.

全国林業改良普及協会（2001b）林業技術ハンドブック, 1969pp, 全国林業改良普及協会, 東京.

関子 光太郎, 嘉戸 昭夫（2015）樹幹形状分類を用いたスギ根元曲がり木の利用材積および品質等級別材積率の推定．日林誌 97(6) , 269-275.