



カラマツ資源の循環利用をめざして

新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業成果集

はじめに

北海道内のカラマツ人工林資源は林齢40年生前後の林分に集中するなど成熟期を迎えている一方で、林業不振による再造林の停滞から若齢期の林分が少なく、将来にわたる持続的な供給が困難な状況になっています。さらに梱包材など付加価値の低い用途による材価の低迷等もあわせてカラマツ林業の持続性が危惧されており、「成熟した資源の需要拡大」と同時に「林業経営の収益性を上げて再造林を促す」ことが、行政をはじめ、道内の林業・木材産業における喫緊の課題となっています。

このような状況の中、これまで施業の低コスト化や加工利用技術の向上等の取り組みがなされてきましたが、それぞれ個別の目標の下に実施されてきたため、川上～川下一体型のシステムの確立には至っていません。カラマツ林業の再生と持続的発展には、用途（生産目標）に適した家系および効率的施業モデル（川上）とカラマツの利用適性を踏まえた効率的利用モデル（川下）を提案するとともに、これらを合わせた収益性の高い川上～川下一体型の林業システムを確立する必要があります。

そこで、立地条件や生産目標に適した家系および効率的施業モデル、カラマツ資源の利用適性を踏まえた効率的利用モデルを開発し、施業タイプに応じた収益性の高い最適林業システムを確立することを目的に、農林水産省の新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業（旧先端技術を活用した農林水産高度化事業）「道内カラマツ資源の循環利用促進のための林業システムの開発」を平成19年度から平成22年度の4年間にわたり実施し、研究を進めてきました。本冊子はその成果をとりまとめたもので、これらの活用によりカラマツ林業の再生と持続的発展に向けた諸問題の解決に資するものです。

目次

システム収穫表「北海道版カラマツ人工林収穫予測ソフト」の開発	1
間伐によるカラマツ材質の向上	3
成長および根株腐朽被害と立地要因との関係	5
次代検定林の成長・幹曲がり・材質データからの家系選抜	7
植栽地の環境がカラマツの材質に及ぼす影響	9
建築用材としての利用拡大に向けた原木の強度選別	11
カラマツの非破壊による材質評価法の開発	13
カラマツ人工林における効率的施業モデルの提案	15
カラマツ資源の利用適性を踏まえた効率的利用モデルの検証	17
カラマツ人工林経営の施業と収支との関係	19

システム収穫表「北海道版カラマツ人工林収穫予測ソフト」の開発

北海道立総合研究機構 林業試験場 八坂通泰、山田健四、滝谷美香
中川昌彦、大野泰之

背景と目的

近年、人工林の収穫予測のツールとして、様々な施業を実施したときの成長予測がコンピューター上で可能なシステム収穫表が開発されています。システム収穫表では、紙媒体の収穫予測手法と比較し、より多様な施業方法での収穫予測が容易であり、人工林の成長予測だけでなく採算性の検討等にも柔軟に対応できます。本課題では、北海道のカラマツ人工林において、これまで不足していた高齢林の成長量や幹の細りなどのデータを整備し、樹高、直径、林分材積だけでなく、径級別立木および丸太本数や育林コストなどが評価可能なシステム収穫表（北海道版カラマツ収穫予測ソフト）を開発することを目的としました。

成果

使用データ

地位指数曲線、収量－密度図などの作成のために、道内のカラマツ人工林約3千林分において樹高と直径を調査したデータを用いました（林分データ）。これらのデータから上層高、径級別立木本数などを予測しました。林分材積成長量を予測するために、19林分で胸高直径を2～5年間隔で繰り返し調査したデータを用いました。これらのデータを用いて、胸高直径成長量をモデル化し林分材積成長量を算出しました。幹の細りの評価のために、立木本数約6百本を対象に、胸高直径、樹高、伐採断面ごとの断面高と断面の皮なし直径を測定したデータを用いました。これらのデータから相対幹曲線式を作成し、末口径別丸太本数の予測を行いました。

収穫予測ソフトの仕組み

本ソフトはMicrosoft社Excelで作成しており（図1）、多数のサブモデルから構成されています。ソフトの基本的な仕組みについて図2に示しました。標準地の胸高直径や樹高のデータがあるときは①から予測モデルをスタートさせます。標準地データの林齢と上層高から地位指数を決定し、標準地データから林分材積、立木密度を計算します。林齢と上層高からの地位指数の推定には地位指数曲線を用います。

標準地データがないときは、②のように地域の標準的な地位指数、植栽密度から10年生時の上層高、平均直径、林分材積、立木本数を決定します。このときの標準的な林分材積や立木本数は、林分収量－密度図等を用いた方法によって算出しています。これ以降は標準地データがあるときもないときも予測の過程は同じです。予測は2年ごとに行うのでN年の次はN+2年となります。

③で林齢、地位指数などから直径成長予測モデルを用いてN年からN+2年の単木ごとの直径成長量を算出します。④では自然枯死線と最多密度線を用いて林分材積と立木密度から死亡率を算出してN+2年の立木本数を決定します。⑤では③で求めたN年からN+2年の単木ごとの直径成長量と④で決定したN+2年の立木本数からN年からN+2年の林分材積成長量を算出します。⑥では⑤で求めたN年からN+2年の林分材積成長量をN年の林分材積に加えることによりN+2年の林分材積を算出します。これによりN+2年の林分材積と立木本数が決まります。⑦では林分材積と立木本数からY－N曲線を用いてN+2年の径級分布を算出します。

林分および立木レベルの予測を次期（N+4年）に進めるには③および④へ戻って同様な作業を繰り返します。丸太レベルでの予測を行うときは⑧へ進みます。⑧ではN+2年の胸高直径別立木本数、樹高、採材長と相対幹曲線式を用いて末口径別丸太本数を計算します。

ソフトの予測精度

ソフトによる予測値が実際の林分と適合しているかどうかについて検証しました。検証に用いたデータは前出の林分データです。林分データから地位指数ごとの平均胸高直径の経年変化を求め、ソフトの値と比較することで検証を行いました。地位指数ごとの立木本数の経年変化を林分データから地位指数ごとに求め、その本数変化をソフト上で再現しソフトと林分データの平均胸高直径を比較しました（図3）。いずれの地位においても、ソフトの予測値は林分データの値と一致しており現実林分の値をよく反映できていることがわかりました。

立木データ 胸高直径 データあり 樹高 データあり 入力方法 入力方法1			林分データ 地位指数 22 植栽本数 2500 本/ha 林齢 16 年生 調査面積 0.1 ha			※立木密度は3000本/haまでに対応しています。									
						地位指数 22									
入力方法1 立木 No. 胸高直径 cm 樹高 m			入力方法2 胸高直径階 cm以上 cm未満 立木 本数			間伐スケジュール 林齢 年 本数間伐率(%) 全層 上層 下層			収穫予測 主副林木(間伐前) 平均 ha当たり 林齢 年 上層高 m 幹材積 m ³ 胸高直径 cm 立木本数 幹材積 m ³ 収量比 Ry						
1	21.6	14.5	0	2	16	30			16	13.1	0.091	13.1	2100	191	0.90
2	18.8	14.6	2	4	18				18	14.3	0.109	13.9	1470	161	0.78
3	18.5	14	4	6	20				20	15.2	0.128	14.6	1470	198	0.82
4	18.3	14.6	6	8	22				22	16					0.85
5				10	24				24	17					0.73
6				12	26				26	18.0	0.192	17.4		198	0.76
7				14	28				28	18.7	0.214	18.1		220	0.79
8	12.5	14	14	16	30	30			30	19.4	0.234	18.8	80	241	0.81
9	17.8	13.8	16	18	32				32	20.0	0.263	19.7	720	190	0.68
10	17.7	14.3	18	20	34				34	20.6	0.290	20.5	720	209	0.70
11	17.7	14	20	22	36				36	21.1	0.316	21.2	720	228	0.72
12	17.6	14.5	22	24	38				38	21.5	0.342	21.9	720	246	0.74
13	17.6	14	24	26	40				40	22.0	0.366	22.4	720	264	0.76

図1 北海道版カラマツ人工林収穫予測ソフトのメイン画面

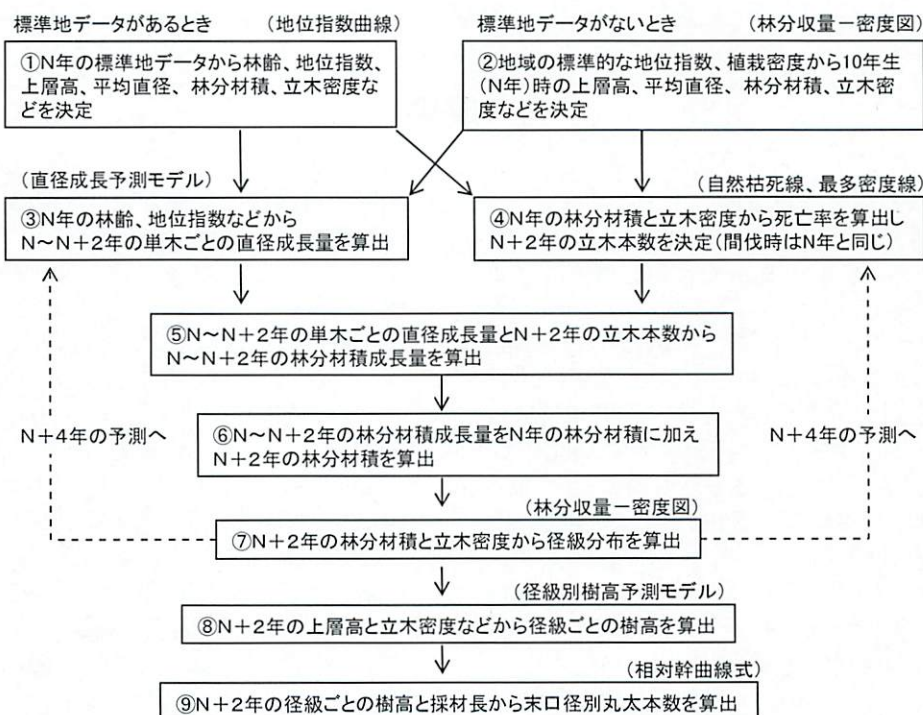


図2 北海道版カラマツ人工林収穫予測ソフトの仕組み(括弧内は各過程で使用した主なサブモデル)

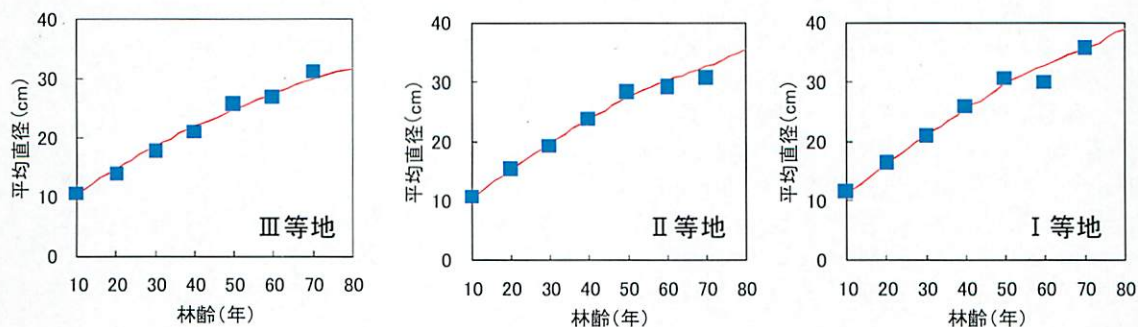


図3 北海道版カラマツ人工林収穫予測ソフトの精度(■現実林分、—予測)

間伐によるカラマツ材質の向上

北海道立総合研究機構 林産試験場 安久津久、松本和茂、藤本高明
北海道立総合研究機構 林業試験場 八坂通泰、大野泰之、中川昌彦
山田健四、滝谷美香

背景と目的

カラマツの施業と材質に関わるデータはいまだ乏しく、施業の基本である間伐についても成長、素材、製材、材質といったデータの整備は進んでいません。そこで、この事業を通じ、間伐と材質の関係を明らかにすることを目的とし、2つの試験地の試料を用いて、間伐に伴う林分材積、素材生産、丸太・製材のヤング係数などの違いを検討しました。試験地A（平取町）は間伐率が無間伐～50%の5試験区を16年生時に設定し、その後1～2回の間伐を実施し、41年生で各試験区18～20本を用いて試験した標準伐期での検討です。試験地B（新得町）は、無間伐、21%、45%の3試験区を32年生時に設定し、その後、2回の間伐を実施し69年生に各試験区5～7本を用いて試験した長伐期施業での検討です。両試験区とも成長のよい1等地です。これらの試験を通じ、間伐の有効性を明らかにしました。

成果

間伐で丸太単価の高い木材生産

試験地Aにおける40年生時の主間伐合計の林分材積を図-1に示しました。主林木だけの材積では無間伐区が最も多くなりますが、間伐木を合わせると30%以上の間伐で500m³以上と多くなっています。これは無間伐では枯死木が多量に発生したためです。20%間伐では間伐回数が少なかったため、無間伐に近い林相を呈していて、間伐による材積の生産の向上はみられませんでした。丸太の実測値や細り表から推定した41年生の出材径級は、無間伐区と20%間伐では18cm未満が7割以上に対し、40%と50%間伐では20cm以上が6割以上を占めました。カラマツ丸太は径級が大きいほど単価が高いので、間伐により高収益の丸太生産につながります（図-2）。

間伐でヤング係数の大きい木材生産

試験地Aの1番玉と2番玉（ともに材長4m）の丸太のタッピング（材の木口面をハンマーなどで叩き、FFTアナライザという機械で木材の固有振動数を測定して、固有振動数と密度からヤング係数を算出する方法）によるヤング係数を図-3に示します。無間伐より間伐区でヤング係数が大きく、強度間伐の40%で最も大きく、50%間伐区でもヤング係数は40%間伐に比べ遜色はありません。年輪解析の結果から、強度間伐で年輪幅が増加しても晩材幅や晩材密度も増加するので、材密度は低下せず、通常間伐に近い20%や30%間伐よりも高いヤング係数が得られたことがわかりました。

製材では間伐の効果がより明確に

試験地Aの丸太を集成材ラミナに製材し、乾燥後にタッピングで動的ヤング係数を測定しました。その結果を集計し、図-4に示しました。この図から、間伐率の高い試験区にヤング係数の高いラミナの多いことがはっきりわかります。たとえば、これらの材料で10プライの集成材の梁を製造する場合、標準品のE95-F270では9 GPa以上が6割、かつ10 GPa以上のラミナが4割必要です。材料の無駄のないように生産するためには20%間伐以上の試験区が適合し、無間伐区のラミナは適合しません。さらに、もう1ランク上のE105-F300の製造には、10 GPa以上のラミナが6割以上必要であり、40%と50%間伐で製造が可能でした。このように、強度間伐によって強度の優れた材料生産が可能になることがわかりました。

高齢林でも間伐により材質を向上

試験地Bは材質調査は69年生時に実施しています。高齢林でも、間伐によって大径材生産につながることでわかり、試験地Aと同様、間伐区の丸太のヤング係数が無間伐区よりも大きいことがわかりました（図-5）。

以上の成果から、カラマツの間伐施業は、成長促進の効果のみならず、材の強度に優れた木材生産につながることを示し、さらに、強度間伐の有効性も確認されたことから、新たな間伐指針の提案を可能とするものと考えています。

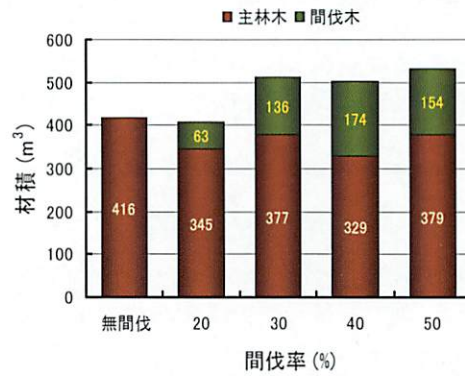


図-1 間伐と林分材積 (試験地A)

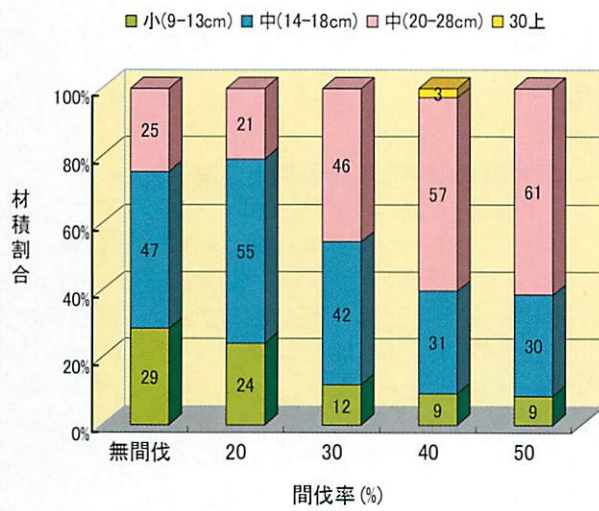


図-2 間伐と径級区分した丸太の材積割合 (試験地A)

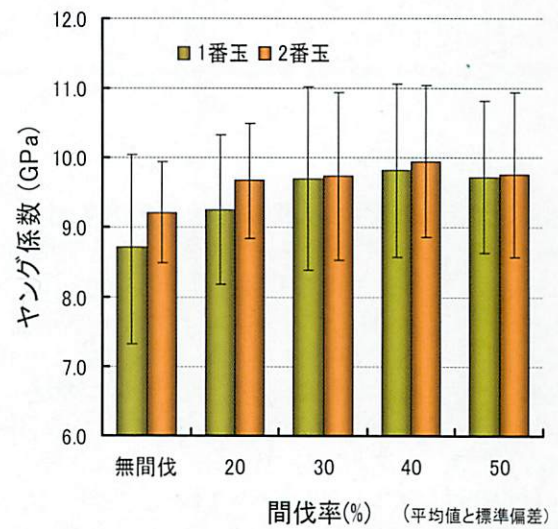


図-3 間伐と丸太の動的ヤング係数 (試験地A)

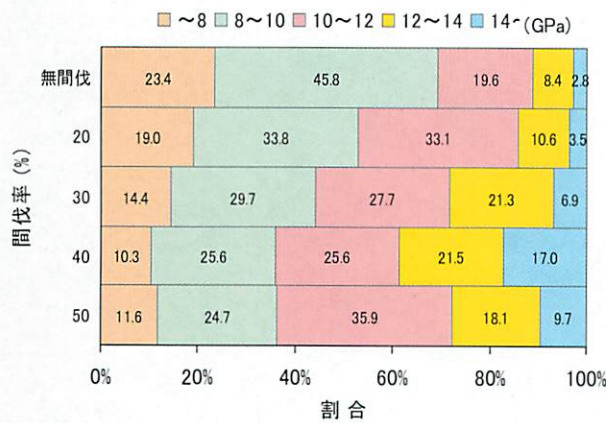


図-4 間伐とラミナのヤング係数の出現頻度 (試験地A)

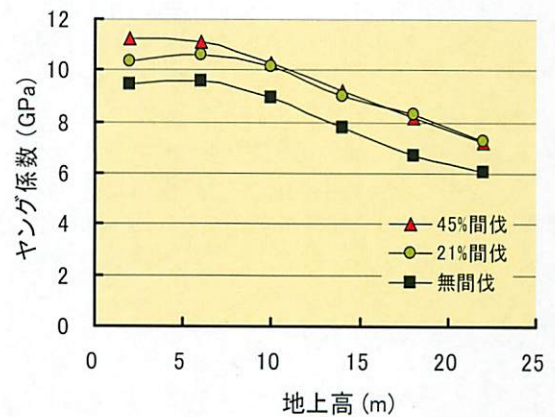


図-5 間伐と高さ方向の丸太のヤング係数 (試験地B)

成長および根株腐朽被害と立地要因との関係

森林総合研究所北海道支所 山口岳広
森林総合研究所北海道支所 石橋聡

背景と目的

近年、道内カラマツ人工林では木材価格の長期低落傾向により再造林費用の捻出が困難なことなどから、高齢化、長伐期化が進んでいます。一方で、長伐期化は大径材の生産や広葉樹等の混交による公益的機能の向上など積極的に評価できる点もあり、施策としても進められています。カラマツ長伐期林を育成するためには、その場所が将来どのような成長をするのか（地位指数）、材の欠点として懸念される根株腐朽の発生が多いのか少ないのかを判定することが重要です。そこで、多点のカラマツ人工林調査結果を用いて、北海道全域における立地要因による地位の予測を10kmメッシュ単位で行いました。また、これまで断片的な知見しか得られていなかった根株腐朽被害と立地要因の関係を明らかにしました。

成果

立地要因によるカラマツ人工林地位指数の予測

地位指数は個々の林分の成長の良否を基準林齢（ここでは40年）における上層樹高で示したもので、対象林分の気候、地形、土壌、地質などの立地要因で決定されると考えられています。そこで、これまで収集した道内2664カ所のカラマツ人工林調査地の地位指数を従属変数、立地要因のうちAIC（赤池情報基準）によって選択された1～12月の平均気温、1～12月の平均降水量、1～12月の平均日射量、暖かさの指数、気候的乾湿度、最大積雪深、表層地質、土壌型、方位、平均傾斜度、有効起伏量、露出度、集水域面積を独立変数として重回帰分析を行いました。その結果、10km×10kmの二次メッシュ単位でカラマツ人工林の地位指数の予測が可能になりました（ $r=0.70$ ）（図-1）。なお、予測の精度が担保できないため、調査地の存在しないメッシュは空白となっています。

これをみると、比較的内陸部に地位の高い地域が多く、海岸付近に地位の低い地域があることがわかります。これは、成長期間における風当たりの強さが影響していると考えられます。また、北見地域、上川地域、胆振地域など主なカラマツ林業地は地位の高い地域であることがわかります。これまで、市町村単位で地位分布を示したものはありましたが、特に面積の大きい市町村では、地域ごとの地位を表現できていませんでした。したがって、今回の結果は10km単位ではありますが、より精度の高い地位の予測が可能となったといえ、これを利用することによって、伐期の選択のほか、カラマツ人工林の配置など、カラマツ人工林経営に有用な情報が提供できると思われます。

根株腐朽被害と立地要因との関係

北海道全域（主に国有林）のカラマツ林109林分（林齢は35～81年）で実際に根株腐朽被害（図-2）がどの程度発生しているか実態調査を行いました（図-3）。その結果、全体での根株腐朽被害率は17.1%でした。広域的にみると道央地域に根株腐朽が多い傾向がみられます。しかし、被害の多い場所と少ない場所が近接している箇所も少なからずあることから、広域的な被害分布については明瞭な傾向が認められませんでした。

一方、林分ごとに見ると、土壌型が未熟土、あるいは尾根筋に出現しやすい B_c や湿潤性の B_e 型土壌で高く、土壌中に礫が非常に多いと腐朽率が高くなる傾向が、土壌母材岩石の種類としては変成岩・火砕岩・堆積岩は火成岩よりも腐朽率が高い傾向がありました。さらに最深積雪量が少ない立地条件で腐朽率が高い傾向がみられ、林齢は50年生前後まで増加する傾向がありました。このような立地環境は、その多くがカラマツの根を傷つけるような水分環境、あるいは物理的損傷に関係する因子であり、これらが影響している可能性が示唆されました。また、土壌型・最大積雪深・地質年代・林齢・土壌母材の因子をカテゴリー化して数量化I類による解析を行った結果、土壌型・最大積雪深のカテゴリースコア範囲が大きく（図-4）、これらの因子の影響が大きいたことが示唆されました。カテゴリースコアから算出された被害率の予測値と実測値を比較すると、多少の誤差はありますが、これらの因子からおおよその腐朽発生傾向を予測することができました（ $r=0.68$ ）。

根株腐朽被害は長伐期には大きなリスクとなることから、伐期の選択にあたっては、立地環境に応じた林分単位での配置が重要であると考えられます。

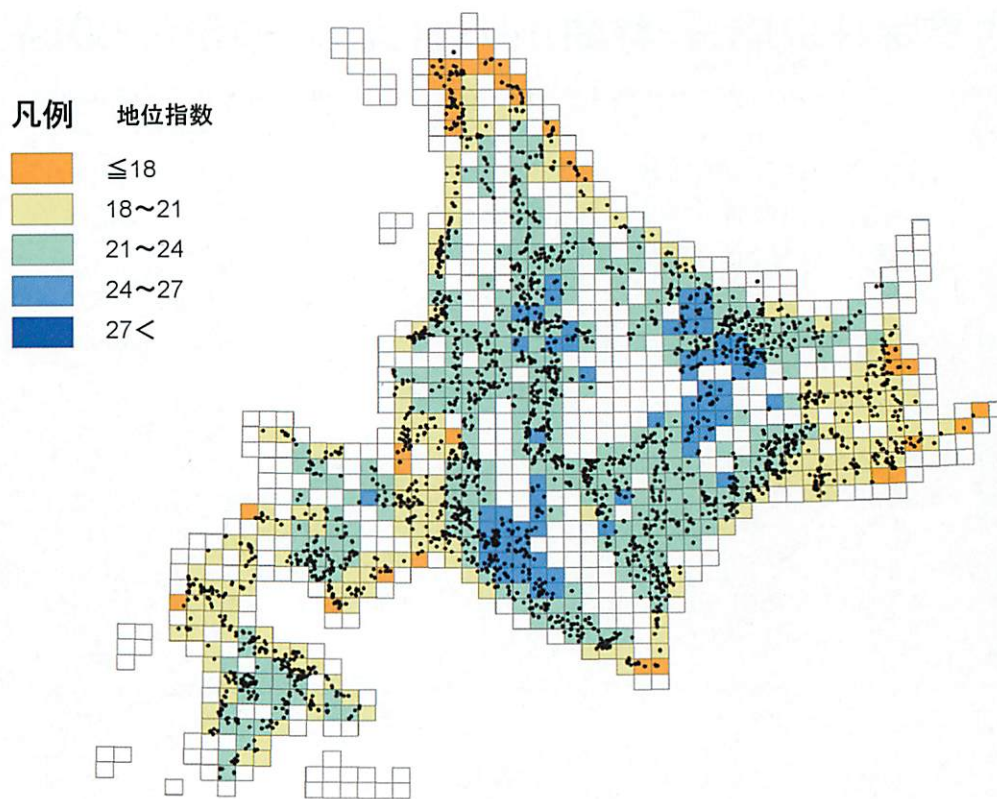


図-1 カラマツ人工林地位指数予測



図-2 カラマツの根株心材腐朽

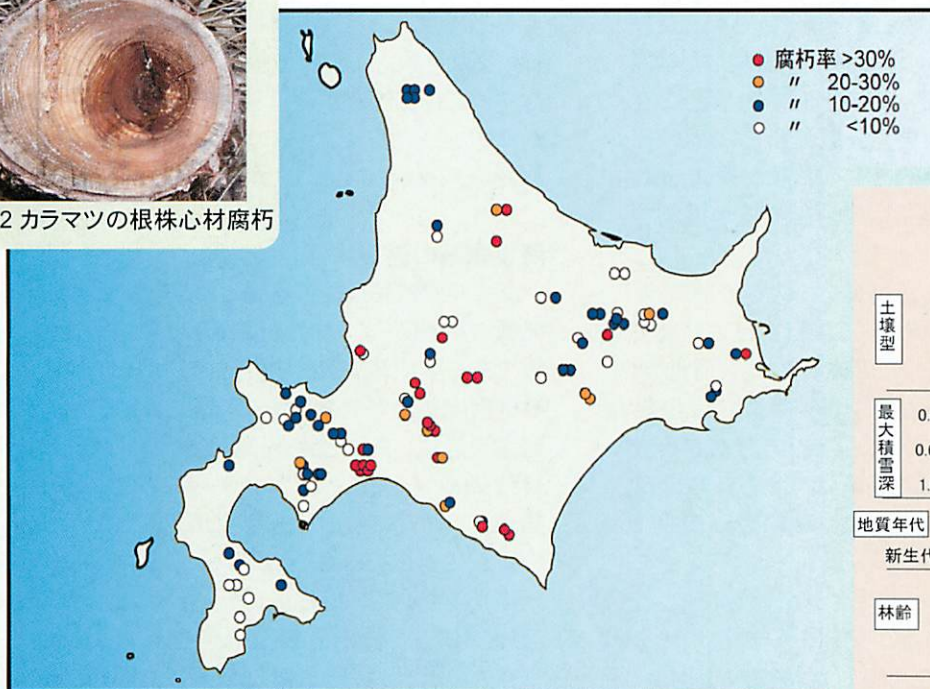


図-3 カラマツ根株腐朽被害調査地の位置と根株腐朽被害率

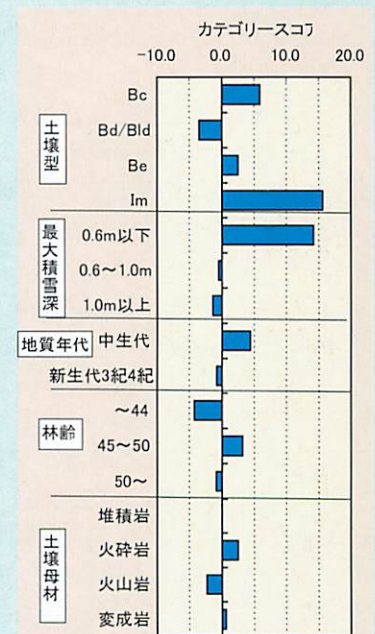


図-4 数量化I類による各項目のカテゴリスコア

次代検定林の成長・幹曲がり・材質データからの家系選抜

北海道立総合研究機構	林業試験場	来田和人、市村康裕
北海道立総合研究機構	林業試験場道北支場	黒丸亮、内山和子
北海道立総合研究機構	林産試験場	藤本高明

背景と目的

これまで、優良家系の選抜は、主に成長、諸被害抵抗性等に関する検定を進めてきました。一方で用材生産を目的とした材質に関しては利用径級に達した検定林が少なかったことから十分な解析は行われてきませんでした。しかし、近年、林齢30年を過ぎ利用径級に達したグイマツ雑種 F_1 （グイマツを母親、カラマツを父親とする種間雑種）及びカラマツ次代検定林が増えてきました。そこで、本研究では、それらの間伐木を利用し、集成材など、建築用材として優れた家系の選抜を行うため、成長が早く、諸被害抵抗性に優れ、幹が通直で造材歩留まりの高い家系を選抜することを目的としました。

成果

成長、材質の遺伝特性を解明

優良家系を選抜するには、改良目的とする形質が親から子にどの程度伝わるのか明らかにした上で、選抜する方法を決めなければなりません。本研究では、グイマツ精英樹とカラマツ精英樹を親として人工交配し、両親の組み合わせ別（家系別）に植栽した検定林（林齢約30年）を対象としました（図-1）。この検定林から得られた調査結果を分散分析という統計手法で解析すると、改良目的とする形質が母親と父親それぞれから、どの位の割合で遺伝するか推測することができます。

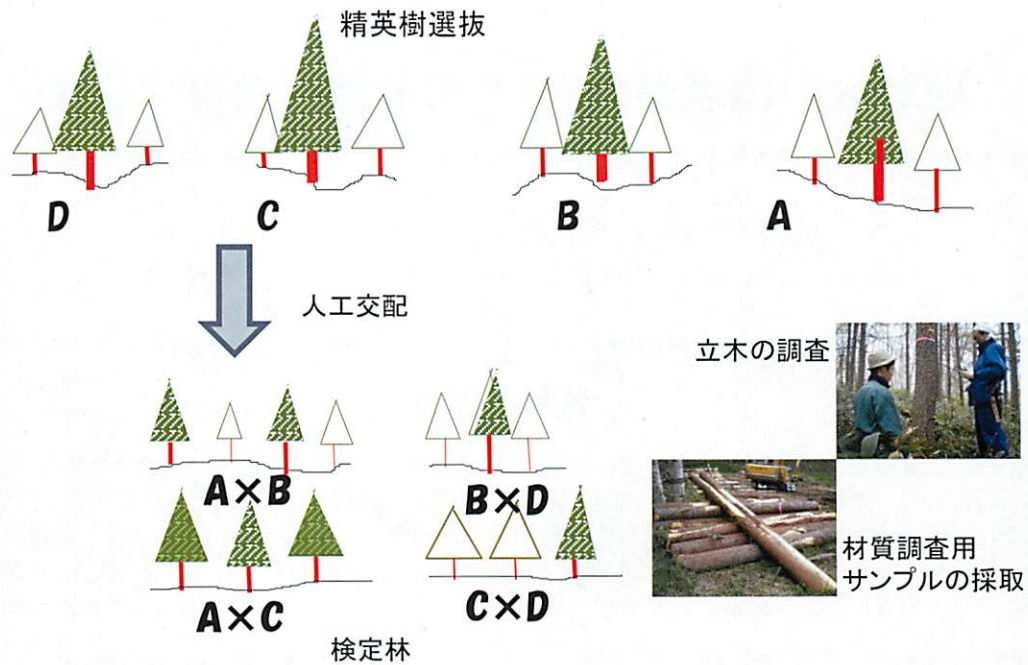
グイマツ雑種 F_1 は初期成長が良く、幹が通直であることから次世代の造林樹種として注目されています。本研究の解析結果によると、この樹種の丸太幹曲がり、丸太ヤング係数（材の強度を表す単位）は母親、父親によって違いはありますが、父親より母親から遺伝する割合が多いため、父親を選ばずともいい母親を選べば、丸太幹曲がり、丸太ヤング係数が改良できることが明らかになりました。

両親ともカラマツの場合、丸太ヤング係数では、優れたカラマツ精英樹を母親、父親のいずれかにするともう一方の親を選ばずとも優れた特徴が子供に伝わる場合と、特定の母親と父親の組み合わせでなければ優れた特徴が子供に伝わらない場合があります。つまり、母親と父親の相性を考慮して次世代を作っていく必要があります。

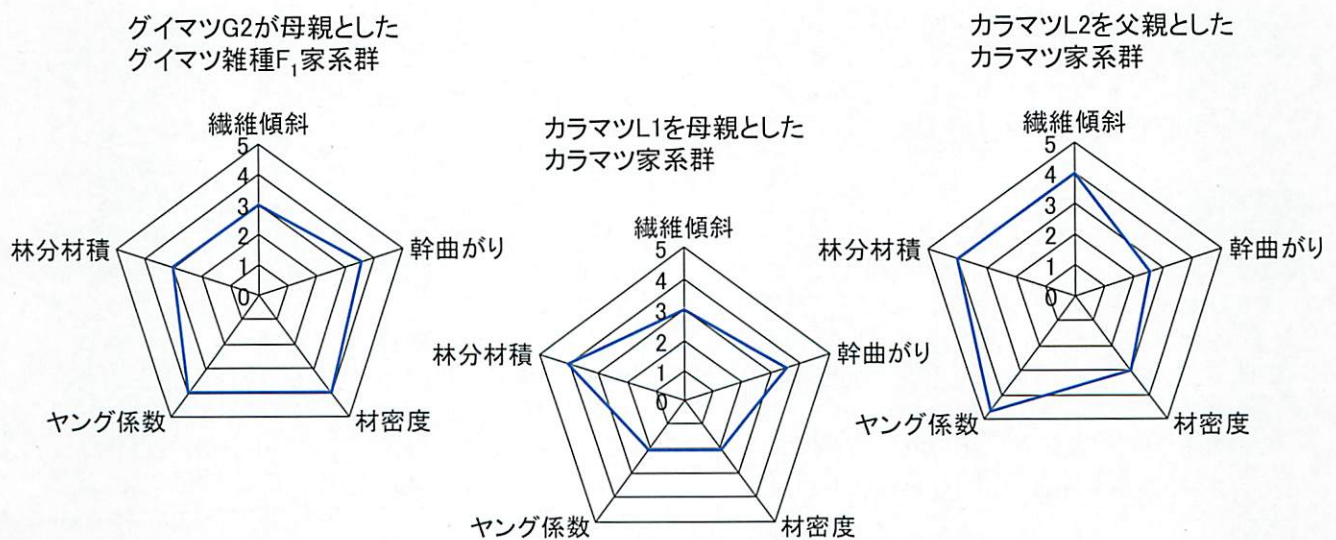
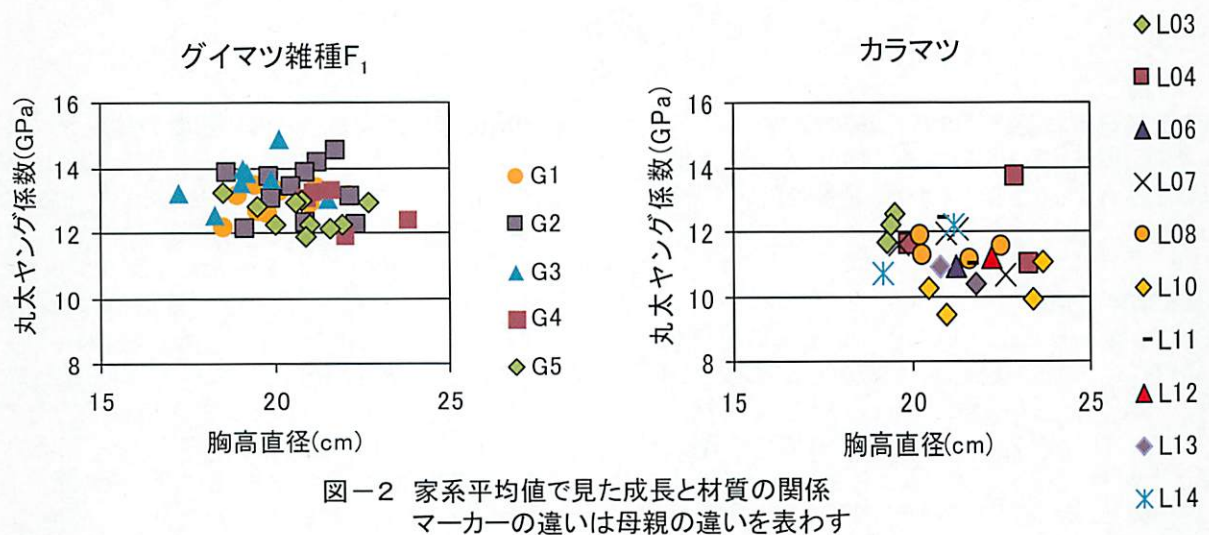
本研究では、成長と材質の改良を目的としていることから、これらの形質が遺伝的にどの程度関係しているかを明らかにすることが重要です。これまでは、成長がよくなれば年輪幅が広くなり材の強度が低下するということが心配されていましたが、グイマツ雑種 F_1 とカラマツは胸高直径と丸太ヤング係数に相関がなく、成長と材の強度は独立した形質であることがわかりました（図-2）。つまり、成長、強度ともに優れた家系を選抜することができます。

優良家系の選抜

グイマツ雑種 F_1 の41家系とカラマツ58家系のヤング係数、幹曲がり、林分材積のほか、材のねじれの指標である平均繊維傾斜度、もう一つの材の強度である材密度を合わせた5つの形質を5段階評価し、優良家系を選抜しました。その結果、グイマツ雑種 F_1 では、材積成長（ $380\text{m}^3/\text{ha}$ ）、ヤング係数（13.4Gpa）、幹曲がり（16.0%）に優れた母親家系（グイマツ雑種 F_1 全体の平均に対してそれぞれ3.6%、2.3%、13.6%の改良効果）が選抜されました（図-3）。また、カラマツの母親として材積成長（ $452.4\text{m}^3/\text{ha}$ ）と幹曲がり（18.3%）に優れた家系（カラマツ全体の平均に対してそれぞれ15.7%、6.7%の改良効果）、花粉親として材積成長（ $421\text{m}^3/\text{ha}$ ）、ヤング係数（12.6Gpa）に優れた家系（それぞれ7.7%、9.1%の改良効果）などが選抜されました（図-3）。



図ー1 親の成長や材質が子供群(次代)にどの程度遺伝するかを調べる検定林



植栽地の環境がカラマツの材質に及ぼす影響

森林総合研究所林木育種センター

井城泰一

森林総合研究所林木育種センター北海道育種場

田村明

背景と目的

建築用材として選抜した家系は、北海道内の様々な環境に植栽しても同じように優れた材質を示すのでしょうか？ 本研究では、植栽地の環境が材質に及ぼす影響について明らかとすることを目的として、応力波伝播速度とピロディン陥入量の遺伝子型と環境の交互作用の大きさを検討しました。なお、応力波伝播速度およびピロディン陥入量は、それぞれヤング率や密度と相関関係にあるとされており、立木状態で非破壊的に測定できます。

成果

応力波伝播速度およびピロディン値の測定

応力波伝播速度はFAKOPPを、ピロディン陥入量はPILODYN 6J FORESTと言う測定機器を用いてそれぞれ調べました。

採種園における調査

調査は、雨紛採種園（旭川市）、上足寄採種園（足寄町）、上尾幌採種園（標茶町）の3つの採種園で行いました。採種園は、様々なクローンで構成されており、同じクローンが異なる採種園に植栽されていることがあります。このような共通クローン数は、雨紛採種園と上足寄採種園の間では7クローン、上足寄採種園と上尾幌採種園の間では9クローンでした。それらの共通して植栽されているクローンについて、応力波伝播速度およびピロディン陥入量を測定し、採種園間の相関関係を調べました。その結果、応力波伝播速度およびピロディン陥入量とも、統計的に有意な正の相関関係が認められました。

北海道育種における調査

北海道育種場（江別市）には、多くのクローンが植栽されています。そこで、より多くの共通したクローンで応力波伝播速度とピロディン陥入量を調査しました。共通クローン数は、北海道育種場と上足寄採種園間で27クローン、北海道育種場と上尾幌採種園間では35クローンでした。これら共通クローンについて相関関係を調べたところ、応力波伝播速度およびピロディン陥入量とも、統計的に有意な正の相関関係が認められました。

植栽地の環境が材質に及ぼす影響の検討

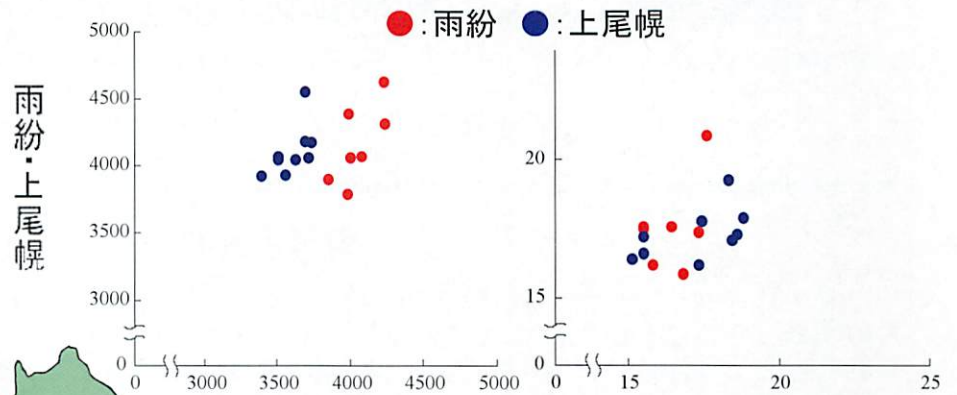
共通して植栽されているクローン間で、応力波伝播速度およびピロディン陥入量とも正の相関関係が認められたことから、植栽地の環境が異なっても、クローン間の順位の入れ替わりは小さいと考えられます。この結果を検証するために、北海道育種場、雨紛採種園、上足寄採種園、上尾幌採種園の共通クローンの応力波伝播速度とピロディン陥入量について、分散分析を行い、遺伝子型と環境の交互作用（GEI）の値を検討しました。

ここでGEIの値について説明します。例えば、同じクローン群を異なる環境に植栽したとき、環境によってクローン間の順位の入れ替わりが大きくなったとします。このとき、GEIの値は大きいとなります。GEIが大きいと、ある地域で材質が良くても環境の異なる別の地域では悪くなってしまい、その個体にとって最適なパフォーマンスを発揮させるためには、植栽する環境を限定する必要があります。逆に、GEIが小さいときは、環境によるクローン間の順位の入れ替わりは小さく、植栽する環境を限定する必要はありません。

まず、雨紛採種園、上足寄採種園、上尾幌採種園の共通クローンを対象に分散分析を行ったところ、GEIに統計的な有意差は認められませんでした。つぎに、クローン数が多い北海道育種場、上足寄採種園、上尾幌採種園の共通クローンを対象に分散分析を行った結果、やはりGEIに統計的な有意差は認められませんでした。この結果から、GEIの値は小さいことがわかり、異なる環境に選抜家系を植栽しても、応力波伝播速度とピロディン陥入量の順位の変動は小さいと考えられます。

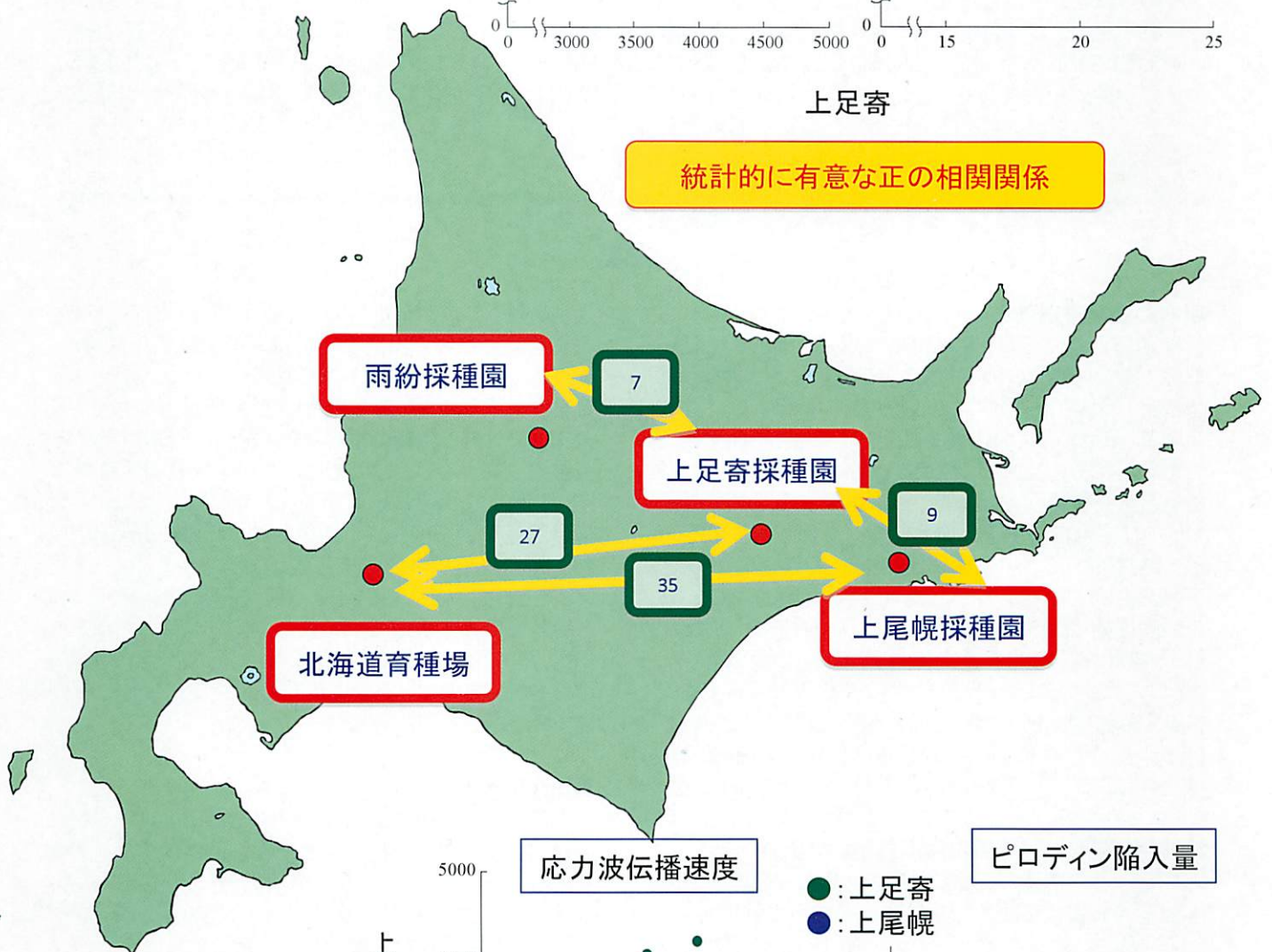
応力波伝播速度

ピロディン陥入量



上足寄

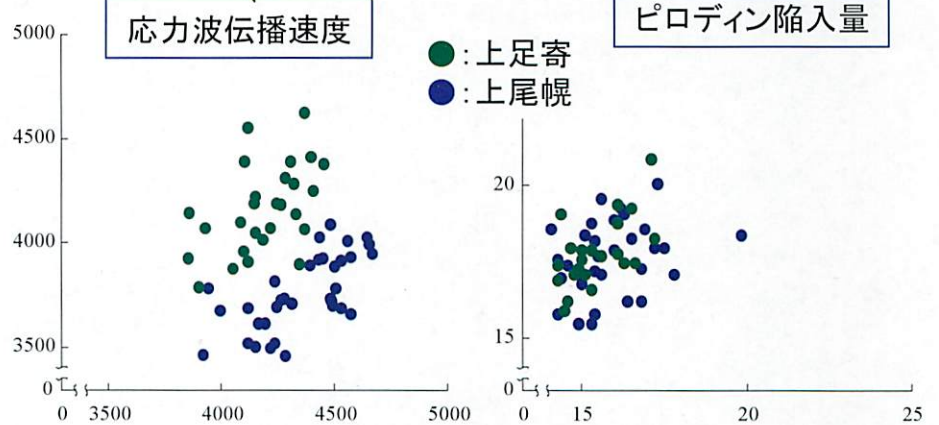
統計的に有意な正の相関関係



上足寄・上尾幌

応力波伝播速度

ピロディン陥入量



北海道育種場

統計的に有意な正の相関関係

図 調査した採種園・北海道育種場の位置および各採種園間の相関関係
地図中の数字は共通クローン数

建築用材としての利用拡大に向けた原木の強度選別

北海道立総合研究機構 林産試験場 松本和茂

背景と目的

道内のカラマツ人工林資源は成熟期を迎えている一方で、材価の低迷、再生林の停滞から将来にわたる持続的な供給が危惧される状況にあります。カラマツ材の付加価値向上のためには、強度的優位性を活かした建築用材としての需要拡大が不可欠であり、また、その需要先である建築分野では性能表示や瑕疵保証に関する法整備が進められ、建築材料に性能明示を求める声が高まっていることから、強度性能を基軸とした展開がカラマツ需要拡大のポイントになると思われます。本研究では、ヤング係数等を指標に原木段階で利用適性を評価し、要求される性能に応じた最適な原木選別・供給を行うことによる、建築用材の効率的生産、製品歩留まりの向上等について、集成材ラミナを例に検討を行いました。

成果

原木の強度選別効果

北海道におけるカラマツ製材の用途の大半は梱包材・パレット材が占めています（図1）。カラマツ資源は成熟し大径化しつつあることから、今後はより付加価値の高い建築用材の需要を拡げていくことが望まれています。そのためには強度性能の確かな材を効率的に生産する技術が必要となります。そこで、北海道産カラマツ原木を用いて、原木のヤング係数分布とそこから製材したラミナ（集成材を構成する挽き板）のヤング係数分布を調べ、原木段階での強度選別によるラミナの強度向上効果を検証しました。北海道内3地域の8林分から伐採したカラマツ原木180本のヤング係数分布を図2に示します。この分布において、基準値を10GPaに設定し強度選別を行った場合のラミナのヤング係数分布の違いを図3に示します。強度選別により分布が高強度側にシフトしており、選別の効果が示されました。

集成材製造における原木強度選別のメリット

住宅などの構造材として用いられる集成材は、1本1本強度等級が明示されています。それらは強度等級ごとに組み合わせるラミナの等級、断面構成が定められています（図4）。図中のE○○-F○○というのが集成材の強度等級で、L○○というのがラミナの等級を表しています。梁などの横架材として用いられる集成材では、内層＜外層となるようにラミナ等級を配置します。集成材製造においては、特に外層に用いる高い等級のラミナを所定の割合で確保できるかどうかが生産効率に大きく影響します。そこで、ラミナ等級L110以上の割合に着目してみると、図4のE105-F300の集成材を製造する場合、L110以上は10層中4層なので40%必要となります。ここで、図3のラミナのヤング係数分布をみると、L110以上の出現割合は、選別なしでは26%なのに対し、10GPa以上の原木を選別した場合は40%に向上しています。つまり、強度選別なしでE105-F300を製造しようとする歩留まりが非常に悪くなりますが、強度

選別を行うことで無理のない製造が可能であると判断されます。実際の集成材工場では、製造する集成材の強度等級や断面構成は何種類もあり、ラミナ等級の組合せを工夫して少しでも歩留まりを上げるよう努めているので、これほど極端ではありませんが、原木段階での強度選別によるラミナの強度向上が集成材の生産効率向上に有効であることは間違いありません。また、原木の選別基準値を変化させた場合に、得られるラミナから製造可能な集成材の強度等級の割合をシミュレーションしたところ、図5に示すとおり選別基準値を高くするほど高い等級の集成材が得られる割合が増える結果となりました。このことは、生産目標に応じて原木の選別基準値を設定することで、集成材の製造歩留まり向上が可能であることを示しています。

実用化に向けて

実際の生産現場における原木の強度選別は、既存の径級選別ラインに強度測定装置（重量・寸法・打撃音の計測）を組み込む方式が現実的です。実際に導入された装置を写真1に示します。この方式は原木の木口を叩いたときの固有振動数から強度を算出することから、冬季に材が凍結すると正確な計測ができなくなるという課題があります。現在、この凍結材の計測値の補正方法について研究を進めているところです。また、こうした大がかりな装置の導入が難しい場合でも、重量の計測を省略し、ハンディタイプの振動数測定器を用いた簡易的な強度測定が可能であり（写真1参照）、一定の選別効果があることがわかっています。今回は集成材ラミナについて強度選別効果を検証しましたが、今後は無垢製材の検討も行う予定です。現状では無垢の建築構造材で強度性能が明示されたもの（機械等級区分製材）はほとんど市場に出回っていませんが、建築用材に対するニーズの変化から需要・供給とも増加すると予想され、これらに対しても同様に原木の強度選別の考え方が適用できると考えられます。

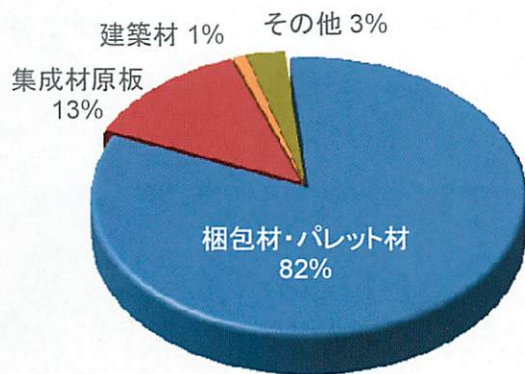


図1 カラマツ製材の用途別割合

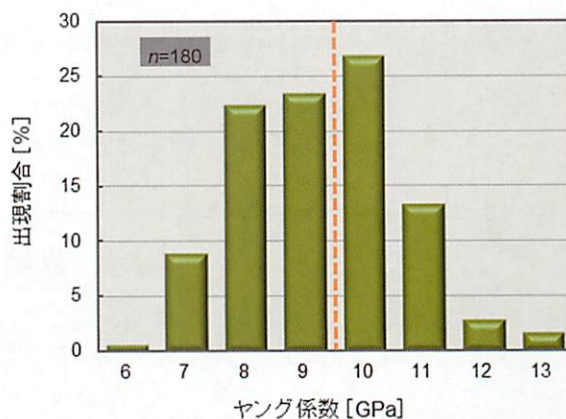


図2 原木のヤング係数の頻度分布

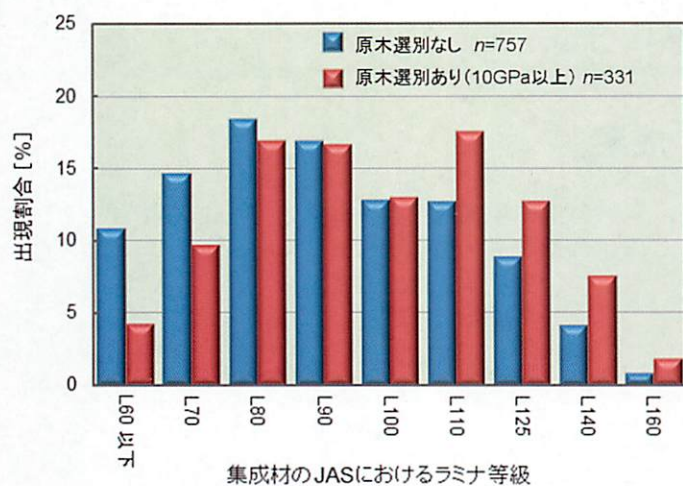


図3 ラミナの等級の頻度分布



写真1 原木の強度選別装置(上)と簡易的な強度測定の様子(下)

L110	L125	L140
L100	L110	L125
L90	L100	L110
L70	L80	L90
L70	L80	L90
L70	L80	L90
L70	L80	L90
L90	L100	L110
L100	L110	L125
L110	L125	L140
E95-F270	E105-F300	E120-F330

図4 集成材の強度等級と断面構成

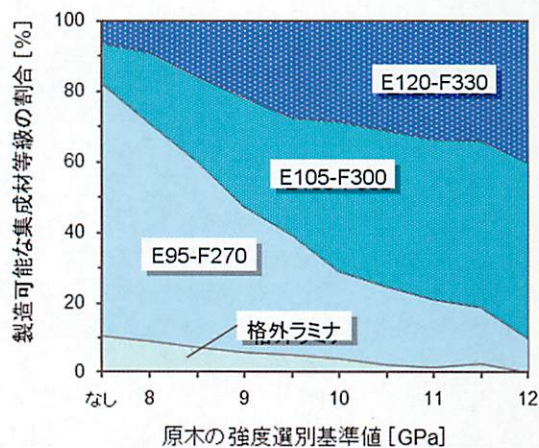


図5 原木の選別基準値と製造可能な集成材等級の関係

カラマツの非破壊による材質評価法の開発

森林総合研究所林木育種センター北海道育種場 田村明
森林総合研究所林木育種センター 井城泰一

背景と目的

現在、北海道のカラマツ林の多くが伐期を迎えていますが、カラマツの木材価格は低迷しています。木材価格を高める方法の一つとして、建築用材等の付加価値の高い用途の需要拡大が有効であり、そのためには、強度の高い材を効率よく選別する技術が必要となります。

本研究の目的は、立木段階で非破壊的かつ簡単に強度（ヤング係数）を推定する方法を確立することにあります。この手法を開発し、強度や成長量の林分情報を川下側に提供することによって、建築用材生産における歩留り向上が期待できます。例えば、あらかじめ強度の高い林分がわかれば、その林分を集成材の高強度ラミナ用の林分として利用し、強度の低い林分があれば、梱包材やパレット材用の林分として利用できます。また、この手法は、伐倒できない貴重な材料の強度が測定できるため、強度に優れた家系の選抜や採種園（種子を生産するための林）の改良にも利用できます。

成果

必要とされる情報や調査に掛けられる労力等によって、次の3つの異なる方法（方法A,B,C）で立木状態の材質評価を行います。

ヤング率の林分の評価（方法AとB）

方法Aと方法Bを使って1番玉のヤング率の林分平均値を立木状態で推定することができます。

方法Aでは、まず幹の胸高部位（地上高1.3m付近）の4方向（例えば、東西南北）の樹皮を剥皮します。剥皮する大きさは縦5cm×横1cm程度です。その後、ピロディンForest6J（写真1参照）を使って、剥皮した部分にピン（ピン径2.5mm）を打ち込み、その陥入量（ピロディン陥入量）を測定します。同時に調査林分の地上高1.3m付近の年輪数を、次ページの方法Aの回帰式に代入すれば、その個体のヤング率を推定することができます。なお、地上高1.3m付近の年輪数は、林齢から地上高1.3mに苗高が達するまでのおおよその年数を引いた値を用います。この方法Aによる調査本数は、調査場所にも依りますが、測定1名、剥皮作業1名および記録者1名、計3名で1日当たり250本程度測定できます。また、剥皮した部分は1年後に組織が癒合しますので、樹幹に対する損傷は余り大きくないと思われます（写真1参照）。また、ピロディン陥入量の測定値には調査者による差が無く、ある程度腕力と体力があれば、誰でも測定ができます。

方法Bは、樹皮を剥皮しないで、樹皮の上からピロディン陥入量を測定するので、方法Aよりも樹体に対する損傷が小さい方法です。ピンは、径2.0mmの細いピンを用います。また、樹皮の厚さが個体や樹齢によって変わるため、ヤング率を推定する際は、樹皮厚で補正する必要があります。無剥皮のピロディン陥入量、樹皮厚および調査林分の地上高1.3m

付近の年輪数を次ページの方法Bの回帰式に代入すれば、その個体のヤング率を推定することができます。この方法Bによって調査できる本数は、ピロディン陥入量の測定で1名、樹皮厚の測定1名および記録者1名、計3名で1日当たり300本程度です。樹皮を剥ぐ必要が無いため、労力が軽減できます。ただし、樹皮厚の測定では、樹幹に対して垂直にバークゲージを当てて測定する必要があり、ある程度熟練が必要になります。

優良家系の選抜や採種園の改良への活用

方法Cは方法AとBよりもヤング率の推定精度が高くなります。方法Aの測定項目以外に、応力波伝播速度も測定します（写真2参照）。この方法は熟練が必要になります。例えば、センサーの取付角度を樹軸に対して30～45°にする必要があります。また、センサーが樹皮を越えて材まで打ち込まれていなければならないため、その判断には熟練が必要になります。ピロディン陥入量と年輪数で推定した密度

（ ρ ）と応力波伝播速度を方法Cの回帰式に代入すれば、その個体のヤング率を推定することができます。精度が高いため、伐採できない試験地から材質の優れた家系を選抜したり、採種園の改良に応用することができます。ただし、応力波伝播速度のセンサーの取付には時間と労力が掛かるため、3名で1日50本程度しか調査できません。

方法A～Cは、測定時期が限定されます。特に材が凍結している時は測定できません。そのため、雪解け後から降雪前に測定する必要があります。また、方法AとBで林分を評価するためには、1林分当たり50個体調査する必要があります。その場合、径級や植栽箇所がランダムになるように調査個体を選ぶ必要があります。

立木のヤング係数 (E) (単位:GPa) の推定式

方法A $E = -15.1 + 157.3 / \pi_1 + 4.33 \ln(\text{age})$

方法B $E = -14.1 + 289.8 / \pi_2 + 3.40 \ln(\text{age}) + 0.014 \text{bark}$

方法C $E = -1.599 + 1.403 \rho v^2$

π_1 剥皮後のピロディン陥入量 (ピン径2.5mm使用) (単位: mm)
 π_2 無剥皮のピロディン陥入量 (ピン径2.0mm使用) (単位: mm)
 $\ln(\text{age})$ 胸高部位の年輪数の自然対数値 (単位: 年)
 bark 樹皮厚 (単位: mm)
 ρ π_1 と $\ln(\text{age})$ で推定した密度(ρ) (単位: g/cm³)
 $\rho = (77 + 2724/\pi_1 + 54 \times \ln(\text{age})) \times 10^{-3}$
 v 応力波伝播速度 (単位: km/sec)

表-1. 測定方法の比較

方法	調査項目				剥皮処理	推定精度 (決定係数)	樹体に対する損傷	測定効率※	熟練度	用途
	応力波伝播速度	ピロディン陥入量	樹齢	樹皮厚						
方法A	×	○	○	×	有	中 (0.425)	中	250(3)	不必要	林分評価
方法B	×	○	○	○	無	低 (0.351)	小	300(3)	やや必要	林分評価
方法C	○	○	○	×	有	高 (0.695)	大	50(3)	必要	優良系統選抜等

※1日当りの測定本数と、() 内の数値は、測定に必要な人数。



カラマツ人工林における効率的施業モデルの提案

北海道立総合研究機構 林業試験場 八坂通泰、山田健四、滝谷美香
中川昌彦、大野泰之

背景と目的

北海道におけるカラマツ人工林材は、梱包材など輸送資材を中心に利用が進んできました。最近では、もとも材の強度が高いカラマツ材に対して、乾燥技術の確立とも相まって建築材としての利用に注目が集まっています。一方で人工林施業の低コスト化を図るため植栽本数や間伐方法など効率的な施業方法が模索されています。しかし、現在のカラマツ材の用途に適した径級や強度の木材を効率的に生産するための植栽本数や間伐方法については十分わかっていません。そこで本課題では、カラマツ人工林において梱包材や建築材を生産目標としたときに、できるだけ低コストで高い生産量を達成できる収益性の高い施業方法“効率的施業モデル”をシステム収穫表等を用いたシミュレーションにより検討しました。

成果

想定した生産目標

今回のシミュレーションでは、カラマツの主要用途である梱包材やパレット材での利用を想定し、径級ごとの丸太材積を生産目標としました。また、今後拡大が期待される構造材としての利用も視野に入れ、集成材用ラミナの生産数や強度に及ぼす施業の影響も評価しました。利用径級としては、梱包材、パレット材、集成材用ラミナでの利用を考慮し末口径（14cm以上）を基準に丸太材積（間伐材も含む）を施業タイプ別に比較しました。試算条件としては、植栽本数、間伐方法を変え、仕立て方法（収量比数0.8で間伐実施）や採材長（4m）など他の条件は同一としました。地位指数は全道の平均値である22とし40年生時の丸太材積と地ごしらえから最終間伐までの育林コストを試算しました。試算には「北海道版カラマツ人工林収穫予測ソフトver2.0」を用いました。集成材用ラミナについては、3ページで示した間伐試験地Aの結果を用いてラミナ生産数や材質をモデル化し、システム収穫表に組み込みました。ラミナ生産数は、同一サイズのラミナのみを採取すると仮定し、丸太の末口径と本数から推定しました。材質はカラマツの標準的な集成材の外層に利用できる高強度ラミナ（JAS規格L110以上）の出現率を目的変数とし、収量比数、成熟材面積割合、採材高などを説明変数としました。成熟材面積率は20年生以降を成熟材として胸高部での断面積率を用いました。

低密度植栽、強度間伐で生産性が向上

40年生時の末口径別丸太材積と育林コストを施業タイプ別に図1に示しました。道内のカラマツ造林での従来の植栽本数である2,500本/haより低密度では生産目標である14cm以上の丸太材積は増加し、材価の低い14cm未満の丸太材積は減少する傾向があります。一方、育林コストは低密度植栽で20～40%低下するので収益性の向上が見込めます。間伐方法の工夫に

よっても、育林コストは削減可能です。材積間伐率30～35%では20～25%と比較すると約2割の間伐コストが低減されます（図1中）。また、風害等の危険の低い若齢時のみ50%の強度間伐を行うと約4割間伐コストを減らすことができます（図1右）。これらの間伐方法では弱度間伐と比較すると14cm未満の丸太材積が減少し、14cm以上の丸太材積が増加します。したがって、既に高密度で植栽した林分や気象害、野鼠害が懸念される場所など、低密度植栽が不適な場所では強度間伐が間伐コスト削減に有効な手段となります。なお、今回のシミュレーションでは間伐木の切り捨てや素材生産コストについては考慮していません。これらを含めると低密度植栽や強度間伐はより有利になると考えられます。開発した材質予測モデルは、間伐によりラミナの強度が向上するという間伐試験地での結果をうまく再現できていました（図2）。この材質予測モデルにより、低密度植栽や強度間伐でもラミナの材質は低下せず、ラミナ生産数も増加することを示しました（図3）。

カラマツ人工林における効率的施業モデル

カラマツ人工林における効率的施業モデルの例を表1に整理し、従来のカラマツ人工林施業と収穫量や育林コストを比較しました。これから新規にカラマツを植栽する場合には、低密度植栽が有効です。すでに通常の密度で植栽しており、植栽本数を減らすことが不適な林分では、若齢時に強度間伐を行います。低密度植栽や若齢時強度間伐が実施困難な場合は、できるだけ材積間伐率を上げます。これら低密度あるいは強度間伐を実施すると育林コストが15～40%削減できるだけでなく、14cm未満の丸太は減少するものの、より材価の高い14cm以上の丸太材積（5～30%）、ラミナの生産数（5～50%）や強度も向上し、収益性の高い施業が可能になります。



40年生カラマツ人工林



玉切りした丸太



カラマツ製材

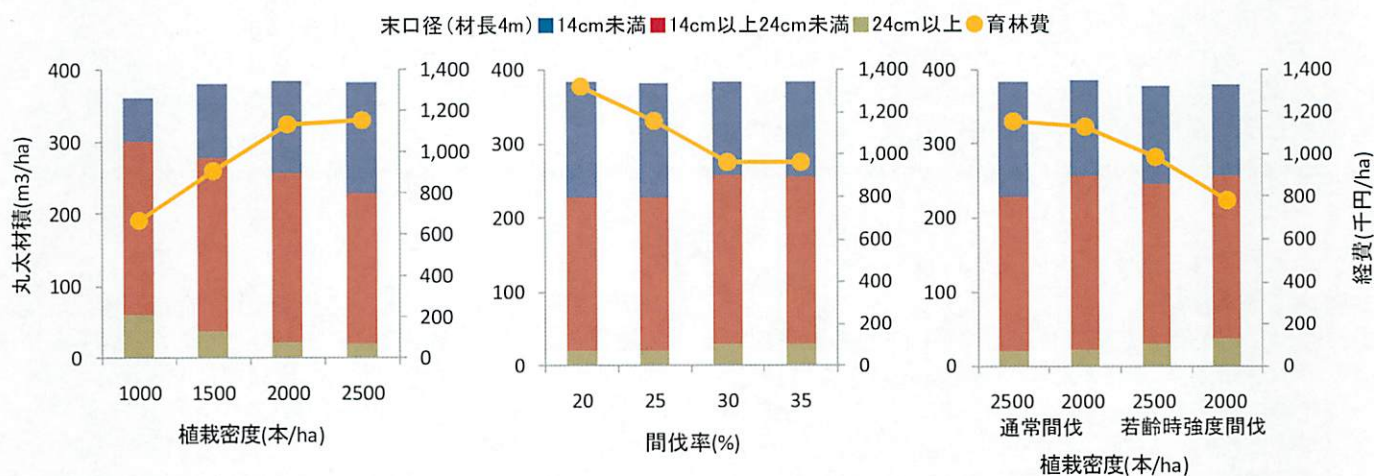


図1 システム収穫表を用いた40年生カラマツ人工林の素材生産(間伐木含む)と育林コストに及ぼす施業の影響評価
左:材積間伐率25% 中:植栽密度2500本/ha 右:通常間伐は材積間伐率25%、強度間伐は初回材積間伐率50%

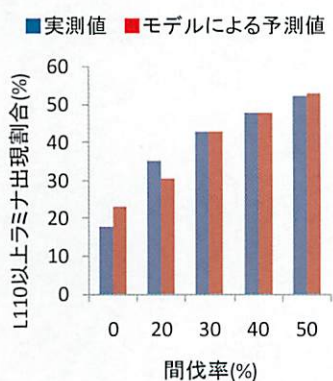


図2 間伐試験地(地位指数25)における
主伐時(41年生)の高強度ラミナの出現割合
ラミナ: JAS規格L110以上、115×36×3750mm

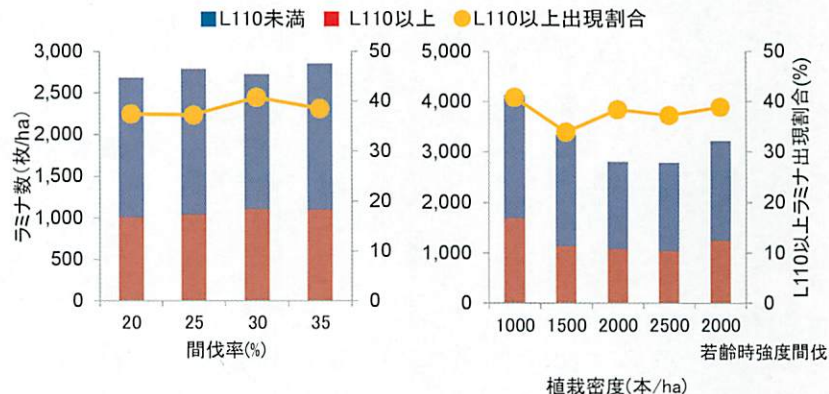


図3 システム収穫表を用いたラミナ生産(間伐木含む)に及ぼす施業の影響評価(地位指数22、植栽本数2500本/ha、林齢40年生)
ラミナ: JAS規格L110以上、115×36×3750mm

表1 カラマツ人工林の効率的施業モデルの例(地位指数22、主伐40年)

施業内容	対象林分	植栽密度 (本/ha)	材積間伐率 (%)	通常施業との比較	
				収穫量(丸太、製材)	育林コスト
低密度植栽	新規植栽林分	カラマツ 1,500-2,000 ゲイマツ雑種F ₁ 1,000-1,500	30-35	14cm未満 30-60%減 14cm以上 20-30%増 ラミナ数20-50%増	20-40%減
若齢時強度間伐	既存林分 低密度植栽不適林分	2,000-2,500	初回40-50 2回目以降 30-35	14cm未満15-20%減 14cm以上5-10%増 ラミナ数15%増	15-30%減
間伐率アップ	低密度植栽不適林分 強度間伐不適林分	2,000-2,500	30-35	14cm未満 10%減 14cm以上20%増 ラミナ数5%増	15%減

通常施業: 植栽密度2,500本/ha、間伐率25% ラミナ: 115×36×3750mm

カラマツ資源の利用適性を踏まえた効率的利用モデルの検証

北海道立総合研究機構 林産試験場 石川佳生、加藤幸浩

背景と目的

北海道内のカラマツ資源の有効活用と循環利用の促進を図るためには、カラマツ材の付加価値向上を図る必要があります。そのためには、強度的優位性を活かした建築用材としての需要拡大が不可欠であるとともに、製品価値に見合った価格構成で流通されることが重要であると考えられます。本研究では、カラマツ資源の製品歩留りと強度性能等を踏まえた効率的利用モデルのコスト要因を分析し、その実現性を検証しました。すなわち、製材工場におけるカラマツ原木の径級区分の有効性と強度選別に要する経費や集成材工場の原材料として、強度が明示されたラミナ原板を利用した場合の有効性について検証しました。さらに、これらの算出結果を基に原木価格への還元可能額について検討しました。

成果

製材工場の検証

製材工場の検証にあたり、北海道内で最もカラマツ原木の消費量が多い十勝流域における実態調査結果と各種統計資料を基にモデル工場を設定しました。モデル工場に表1のような算定条件を設定し、現状のカラマツ製材工場を想定した場合、製品毎に高い歩留りが確保できる径級のみ選択的に使用した場合、さらに、径級区分と強度選別の双方を適用した場合の製造経費と売上高をシミュレーションしました（図1）。ケース1とケース2の粗利を比較すると、1.9%の利益向上が見込まれることがわかりました。これに対して、ケース2とケース3の粗利を比較すると、ケース3には強度選別に伴う経費が上乗せされるため、マイナス0.6%となりました。そこで、原木の強度選別装置を用いて、強度選別を行う際の掛かり増し経費を試算したところ、製品1m³あたり319円の経費がかかることがわかりました（表2）。

集成材工場の検証

集成材製造においては、外層に用いる高い強度のラミナを所定の割合で確保できるかどうかが生産効率に大きく影響します。そこで、原木段階での強度選別によるラミナの強度向上が集成材の製造経費に与える有効性について検証しました（図2）。原材料（集成材原板）の仕入れ量について、木造住宅に使用される部材内訳と道内の構造用集成材の製品別出荷量から集成材工場で製造されるラミナの構成比を推定し、外層用の強度が必要なラミナと内層用のラミナの比率を34：66と設定しました。また、L110以上のラミナの出現割合を強度選別なしで26%、10GPa以上の原木を選別した場合で40%としました。これらの条件から、強度の高い原板を選択的に購入できれば、製造経費の58.9%を占める原材料費（原木費）を23.3%削減することが可能となり、これによる製造経費削減率は13.73%となります。また、集成材工場における製造経費のうち、5.8%が光熱費で、このうち4.8%がグレーディングマシンによる電力使用分と考えられます。強度選別された原板を仕入れることによ

り、グレーディングマシンの使用時間が短縮されると光熱費の1.1%削減が見込まれます。これによる製造経費削減率は0.07%となります。原材料費と光熱費の削減により、製造経費全体では、図2に示すとおり13.8%の削減効果が試算されました。さらに、製造経費の削減による原料価格への還元額を算出するため、現状の集成材工場と強度選別した集成材原板を使用した工場における変動費（製造経費）から算出した粗利を比較しました。強度選別した集成材原板の使用により、粗利は2.4%向上すると試算されました。これを集成材原板ベースに換算すると1,235円/m³が還元可能額となります。

原木への還元可能額の検証

製材工場におけるシミュレーション（表1、図1）の結果を基に、ケース3の集成材原板の製品価格に強度選別の掛かり増し経費と集成材工場における還元可能額を上乗せして試算しました（ケース4）。この場合の粗利は19.7%となり、ケース1と比較して、2.8%向上しました。これを集成材原板の生産量と製品歩留りから原木ベースに換算すると1,039円/m³が還元可能額となります。

普及に向けて

今回の検証は、特定の条件を設定したものであり、各工場の規模や流通事情等によって算定値は異なると考えられますが、カラマツ資源の利用適性を踏まえて原木の径級区分と強度選別を行い、効率的に利用することによる有効性を明らかにすることができました。このような利用モデルを実行するためには、①原木の情報伝達システム、②市場動向と製品構成のマッチング、③需給情報と在庫量をリアルタイムに把握するシステムの構築といった課題が考えられます。このような課題を解決するため、現在、流通システムの効率化や情報共有化に関する研究を別途進めています。また、今回は集成材ラミナについて検証しましたが、大径化するカラマツの資源背景と建築用材に対するニーズの変化から、無垢製材の検討も進めていく予定です。

表1 製材工場におけるシミュレーションの条件

ケース	算出条件	製品構成 (梱包材:ラミナ)	強度選別	歩留り	粗利
1	現状の製材工場を想定	88:12	なし	48.5%	16.9%
2	径級区分を適用	87:13	なし	50.0%	18.8%
3	径級区分と強度選別を適用	60:40	あり	45.6%	18.2%
4	ケース3の製品価格を変更	60:40	あり	45.6%	19.7%

その他条件

※原木消費量：10万m³/年

※使用原木の径級割合は、カラマツ素材流通調査（H20北海道水産林務部）を引用

※原木、製品等の価格は市況価格（H22.12）を引用（集成材原板の価格は乾燥経費を上乗せ）

※チップ量は、原木体積－（製材体積＋鋸道の体積）

※使用原木の材長は3.65m

※製品サイズは、

梱包材12mm（厚）×90mm（幅）

集成材原板37（厚）mm×119mm（幅）

※強度選別経費算出は労務費1人工増

※ケース4はケース3における集成材原板の製品価格に、強度選別に伴う掛かり増し経費と集成材工場の利益還元可能額を上乗せして算出した

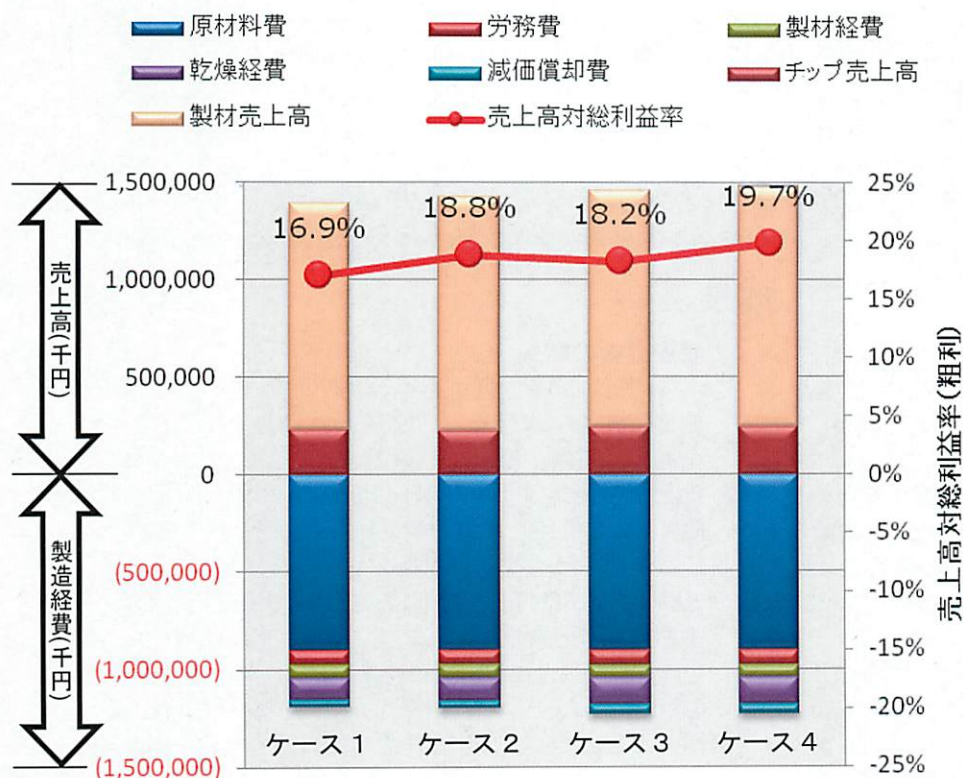


図1 製材工場のシミュレーション結果

表2 強度選別に伴う掛かり増し経費

経 費	円/m ³
労務費	222
光熱費	11
減価償却費	28
営業外損益	5
その他経費見合	53
合計額	319

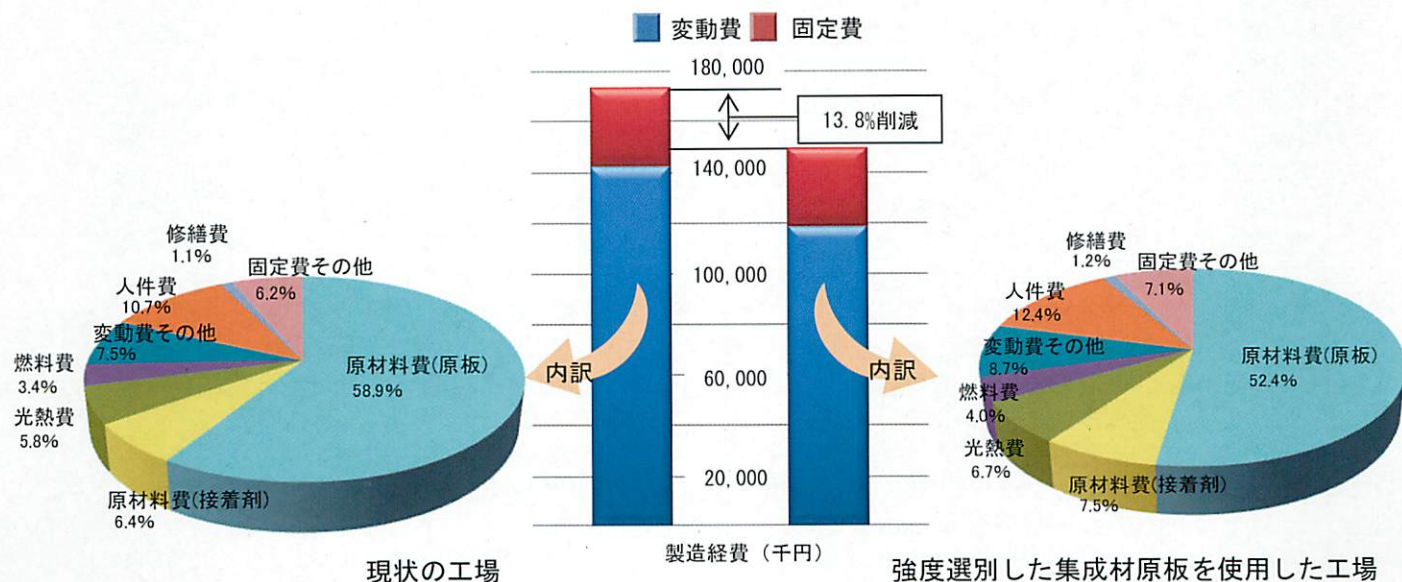


図2 集成材工場における製造経費の変化

カラマツ人工林経営の施業と収支との関係

森林総合研究所北海道支所（現筑波大学）	立花敏
森林総合研究所	駒木貴彰
森林総合研究所北海道支所	石橋聡
北海道立総合研究機構 林業試験場	八坂通泰

背景と目的

1990年代後半より、カラマツ人工林材が合板や集成材等にも利用されるようになりました。また、2000年代後半にロシア政府が針葉樹丸太の輸出関税を段階的に引き上げたことにより、ロシア材の輸入丸太価格の高まりと代替財としての国産カラマツ材の需要増加が現れました。国産カラマツ材の利用領域が拡大する中で、どのようにカラマツ人工林を造成、育林し、そして利用していくのかを検討しなければなりません。そこで、北海道立総合研究機構林業試験場の開発したカラマツ収穫予測ソフトver2.01を用い、今後の施業タイプを想定して収支分析を行いました。その結果、地位指数の高い地域でのカラマツ人工林経営はより多くの利益を生み、施業タイプとしては1ha当たり1,500本植栽や1,000本植栽がより有効であることが分かりました。

成果

施業タイプ

北海道のカラマツ人工林経営では、以前1ha当たり2,500本以上の植栽密度で施業が行われていましたが、2000年代に入り2,000本植栽が広まりを見せ、さらに1,500本植栽や1,000本植栽へという疎植化を含む低コスト林業の取り組みが展開し始めました。この取り組みは、より競争力のある人工林経営の確立にとって不可欠であり、今後も継続して実用化されていくと期待されます。

そこで、私たちはカラマツ人工林経営について12の施業タイプを想定し、丸太価格が変わった場合にどのような収支が見込まれるかを分析することにしました。地位指数は北海道の平均的な林地として22を採用し、より良い条件の林地として26を採りました。また、今後と考えられる施業タイプとしては、1ha当たりの植栽密度を2,000本、1,500本、1,000本を想定し、さらに主伐林齢を40年と60年としました。施業については、収量比数0.8以上となる林齢において間伐することが望ましいとされ、間伐率30%程度で費用低下の効果が高まりますので、それらを条件として間伐を行うこととしました。その結果は、表-1と表-2に示すとおりで、間伐回数は1回から4回までの範囲となります。用いる丸太価格については、北海道水産林務部林務局林業木材課「木材市況調査月報」に基づき、2000年代の推移を踏まえ、2000年半ばの最も高かった値と、2009年半ばの最も低かった値とを採用することにしました。最も高水準にあった時には、径級13cm以下の1m³当たり工場着価格は7,600円、径級14～18cmは10,000円、径級20～28cmは11,100円でした。さらに30cm以上の大径材は、利用技術の進歩を念頭に、径級20～28cmの価格より1割高く12,210円を仮定しました。また、最も低かった時には各々5,500円、7,500円、9,200円でしたので、大径材は10,120円としました。

収支分析の結果

カラマツ収穫予測ソフトver2.01で計算するに当たり、施業条件を中庸仕立て（収量比数0.8以上で間伐）、全層30%間伐、斜度10°以下、笹丈2m以下、全刈、複合機種使用、下刈年数（1回刈）3年、野鼠防除3回、除伐1回、間伐材は末口径10cm以上で搬出とし、枝打ちは主伐本に対して一律に打ち上げ4m以上としました。枝打ちを行うことにより、より良質な材の生産が可能となります。また、施業に対する補助率を一律に68%として補助額を算出し、主伐費用として3,000円/m³、工場着価格から差し引く輸送費は1,500円/m³としました。再造林費用についてもこの補助率を適用しました。カラマツ収穫予測ソフトver2.01で計算される1,000本植栽、地位指数26、主伐林齢60年、間伐回数2の施業体系は図-1のようになります。

主伐後に再造林を行った後の「再造林後収支」をみると、地位指数26の林地に1,000本植栽とし、60年で主伐すると最も高い収益となることが明らかになりました。その額は、2000年半ばの価格水準ならば1ha当たり367万円程、2009年半ばの水準でも245万円程です。大径材の生産が収益に結び付き、植栽密度の低さから施業コストが小さくなるため、よりよい収支に結び付くと考えられます。他方、地位指数22の林地に2,000本植栽をし、主伐林齢を40年とした場合には最も低い額となり、2000年半ばの価格水準ならば1ha当たり65万円程、2009年半ばの水準なら15万円程にしか過ぎません。

地位指数26の林地に主伐林齢60年の施業を行う場合には、疎植にする方がより収支が良くなることも示されています。また、主伐林齢の40年と60年を比べると、大径材価格が高くなるならば60年の方が2倍ほど多くの収益を生みます。つまり、適地と最適な施業の選定が経営収支改善のキーポイントといえます。

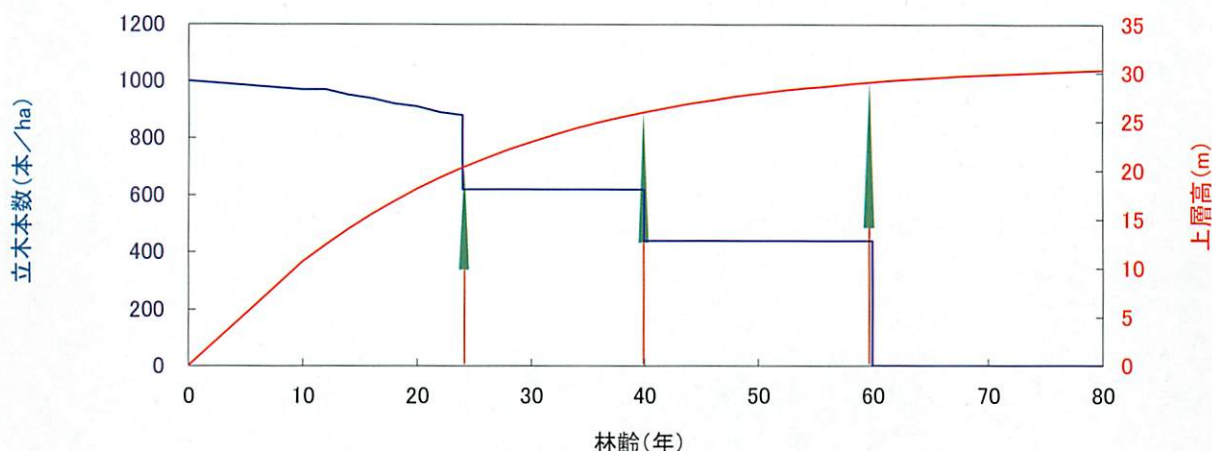


図-1 施業体系図:1,000本植栽、地位指数26、主伐林齢60年の場合

表-1 カラマツ人工林経営の収支分析結果:2009年半ば水準の価格

単位:m³、千円

植栽密度	1,000本/ha				1,500本/ha				2,000本/ha			
地位指数	22		26		22		26		22		26	
主伐林齢	40年	60年	40年	60年	40年	60年	40年	60年	40年	60年	40年	60年
間伐回数	0	1	1	2	1	2	2	3	2	3	3	4
施業コスト	550	717	701	882	796	960	960	1,140	1,036	1,211	1,156	1,345
補助金	374	488	477	600	542	653	653	775	704	823	786	914
主伐コスト	717	995	988	1,334	614	894	842	1,175	555	801	745	1,024
出材量	239	372	375	584	229	365	347	537	218	348	326	512
うち主伐	239	332	329	445	205	298	281	392	185	267	248	341
木材販売収入	1,436	2,506	2,433	4,151	1,269	2,342	2,149	3,693	1,171	2,189	1,969	3,449
主伐後収支	544	1,282	1,220	2,535	400	1,140	1,000	2,153	285	1,001	854	1,995
再造林費用	90	90	90	90	113	113	113	113	132	132	132	132
再造林後収支	454	1,192	1,130	2,446	287	1,027	887	2,040	153	869	722	1,863

表-2 カラマツ人工林経営の収支分析結果:2000年半ば水準の価格

単位:m³、千円

植栽密度	1,000本/ha				1,500本/ha				2,000本/ha			
地位指数	22		26		22		26		22		26	
主伐林齢	40年	60年	40年	60年	40年	60年	40年	60年	40年	60年	40年	60年
間伐回数	0	1	1	2	1	2	2	3	2	3	3	4
施業コスト	550	717	701	882	796	960	960	1,140	1,036	1,211	1,156	1,345
補助金	374	488	477	600	542	653	653	775	704	823	786	914
主伐コスト	717	995	988	1,334	614	894	842	1,175	555	801	745	1,024
出材量	239	372	375	584	229	365	347	537	218	348	326	512
うち主伐	239	332	329	445	205	298	281	392	185	267	248	341
木材販売収入	1,980	3,306	3,247	5,376	1,794	3,136	2,911	4,830	1,672	2,948	2,690	4,536
主伐後収支	1,087	2,081	2,035	3,760	926	1,934	1,762	3,290	786	1,760	1,575	3,082
再造林費用	90	90	90	90	113	113	113	113	132	132	132	132
再造林後収支	997	1,991	1,945	3,670	813	1,821	1,649	3,177	654	1,628	1,443	2,950

注: 中庸仕立て(収量比数0.8以上で間伐)、全層30%間伐、斜度10°以下、笹丈2m以下、全刈、複合機種使用、手刈り補正加算なし、施肥なし、防鼠溝延長なし、カラマツ1号苗、前生樹整理なし、下刈年数(1回刈)3年、野鼠防除3回、除伐1回、枝打ち打ち上げ高4m以上、間伐材は10cm以上搬出、施業に対する補助率は一律に68%として補助額を算出、主伐費用3,000円/m³、工場着価格から輸送費1,500円を差し引いた値を販売価格とした。



2011・国際森林年

独立行政法人

森林総合研究所

地方独立行政法人

北海道立総合研究機構 林業試験場、林産試験場

本冊子は農林水産省の新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「道内カラマツ資源の循環利用促進のための林業システムの開発（1935）」の成果をもとに作成しました。

2011.03
