

カラマツ人工林の収益性に対する植栽密度，間伐方法，伐期の影響について

阿部友幸*

Influence of planting density, thinning method, and rotation period on Japanese larch plantation profitability

Tomoyuki ABE*

要旨

林業経営における意思決定支援のための基礎資料とするため，カラマツ人工林の様々な植栽密度，間伐方法，伐期の組み合わせ（施業シナリオ）について，システム収穫表を用いた成長予測に基づいて植栽から主伐までの支出と収入を積算し，時間あたりの収益を求めた。また，植栽密度，間伐方法，および伐期が収益に与える影響を検討した。地位指数はI等地の25とし，施業シナリオは，植栽密度，間伐方法，伐期を違えた45種類を検討した。すなわち植栽密度は1,000～3,000本/haの間を500本/ha刻みで5種類，間伐方法は疎仕立（収量比数 $R_y=0.6\sim 0.7$ ）・中庸仕立（ $R_y=0.7\sim 0.8$ ）・無間伐の3種類，伐期は30年・50年・80年の3種類である。植栽密度による収益の違いを比較すると，疎仕立と中庸仕立では，植栽密度が低い方が収益が大きくなった。これは収入に差が見られないが，支出に差があるためであり，特に間伐費用と植栽費用の少なさが関係していた。無間伐については，1,000本/haが他の植栽密度より収益がより大きくなった。これは支出にほとんど差が見られないが，収入に差があったためである。伐期による比較では，伐期が長くなるほど時間あたりの収益が大きくなった。これは，伐期が長くなると収入も支出も低下するが，支出の低下する額がより大きいためである。時間あたりの支出が低下することの一つには，間伐と主伐以外の造林初期経費の時間あたり金額が，長伐期の方が安くなることが挙げられる。間伐方法による比較では，疎仕立，中庸仕立，無間伐の順に収益が大きかったが，疎仕立と中庸仕立に大きな差はなかった。無間伐は支出がより少なかったにも関わらず，収益がより小さかったことの一つには，収入において補助金の額が小さかったことが関係している。80年伐期については，生産材積がより少なかったことも関係した。

キーワード：カラマツ人工林，植栽密度，間伐方法，伐期，収益性

はじめに

カラマツ人工林について，生産者は，生産目標や経営事情，気象害や病虫獣害の発生状況を考慮して，様々な植栽密度，間伐方法，伐期を選択できる（北海道立林業試験場 2007）。目的にあった植栽密度，間伐方法，伐期の組み合わせ（以下，施業シナリオ，という）を選択するときに，その判断基準の一つとして収益性が挙げられる。収益性を，主伐・間伐時の収入等から，育林作業や主伐等に関わる諸経費を差し引いた収益によって評価することで，どのような施業シナリオを選択すべきかの判断に利用できる。

気象害や病虫獣害は，育成に長期間を要する林業においては十分考慮すべきものである。例えば気象害は，最終的には発生確率を算定する方向に研究が進んでいる（Gardiner and Quine 2000）。このとき施業シナリオの収益性比較は，金額ベースでなされていることが重要となる。金額ベースの資料であれば，発生確率によって再計算・比較を行うことができ，生産者はより現実に即した施業シナリオを選択できる。

システム収穫表（八坂ら 2011；北海道立総合研究機構林業試験場 2017）を利用すると，様々な施業シナリオを想定して，収入，支出の計算に必要な情報をシミュレーションによって自由に推定できる。具体的には，任意の林齢における

* 北海道立総合研究機構林業試験場 Forestry Research Institute, Hokkaido Research Organization, Bibai, Hokkaido 079-0198

[北海道林業試験場研究報告 第55号 平成30年3月 Bulletin of the Hokkaido Forestry Research Institute, No. 55, March, 2018]

林分の本数密度、平均胸高直径、上層高、収量比数を初めとし、林分材積、径級分布、原木丸太材積を推定できる。このシステム収穫表を用いて、立原（2009）は、伐期と間伐方法や、施業上の工夫の違いによる林業利回りを比較した。滝谷（2014）は、様々な施業シナリオについて主伐費用を除いた事業費の比較から、低コスト化に向けた植栽、育林方法の検討を行った。また、八坂（2014）は、通常の植栽密度（2,500本/ha）について、間伐と無間伐施業について採算性の比較を行った。これらは全て施業シナリオ選択における参考とはなるが、前2者は収益を金額ベースで比較しておらず、後者は金額ベースで収益比較を行っているが間伐の有用性の検討が主目的であることから、気象害に関係が深い植栽密度の違いを考慮していない。また、八坂（2013）は、伐期の違いによるほか、植栽密度の違いによる金額ベースの収益比較を行っているが、収益に影響をあたえる間接費と運搬費を新たに考慮するとともに、新しい森林整備事業の単価と木材価格、およびシステム収穫表の改定（北海道立総合研究機構林業試験場 2017）を反映して、改めて収益性の比較を行うことは、より適切な意思決定を行うために意義があると考えられる。

本報告は、林業経営において気象害を考慮した意思決定を行うことを視野に入れ、システム収穫表を利用したシミュレーションによって、植栽密度、間伐方法、伐期の設定を広げ、主伐費用と間接費、運搬費を考慮した支出と収入、収益を同じ条件で比較した資料を示すことを第一の目的とした。あわせて支出、収入、および収益において、植栽密度、間伐方法、伐期がどのように影響するかを検討した。なお、支出、収入、および収益における比較は、明瞭な差が認められるものに限って言及した。

方法

樹種と立地条件

樹種は、北海道林業・林産業の主要樹種であるカラマツを対象にした。カラマツ林業地帯である十勝地方とオホーツク地方を想定し、地位指数は25を設定した。支出の計算において造林事業標準単価（北海道水産林務部 2017a）を適用するが、地形条件は「傾斜地（斜度10°超）」とした。下層植生高には、地拵と植付の単価については、「笹丈2m以下」とし、下刈時については、地拵や前回下刈から回復して間もない植生を想定し、「笹丈1m以下」とした。

施業シナリオ

システム収穫表（北海道立総合研究機構林業試験場 2017）によるシミュレーションをベースに、合計45通り（植栽密度5種類×間伐方法3種類×伐期3種類）の施業シナリオの収入、支出、および収益を検討した。

植栽苗木は、1号苗を使用するものとした。植栽密度は、現在の通常植栽密度2,200～2,500本/haと、補助対象となる植栽密度1,500本/ha（グイマツ F_1 は1,000本/ha）をカバーする

1,000本/ha～3,000本/haまで、500本/ha刻みで設定した。低密度植栽によって下枝が太くなることを考慮し、1,000本/haと1,500本/ha植栽に対しては、3齢級時に立て木候補となる1,000本/haの木について、4mまでの枝打ちを一回行うこととした。全ての施業シナリオにおいて、下刈り（全刈）を3年間、除伐を3齢級時に一回行うこととした。

間伐方法は、疎仕立、中庸仕立、無間伐の3種類とした。間伐の時期と強度の設計は、システム収穫表で行った。疎仕立と中庸仕立の間伐の時期と強度については、疎仕立では収量比数 R_y が0.7以上、中庸仕立では R_y が0.8以上になったら、25%以上の間伐を行い、 R_y をそれぞれ0.6以下、0.7以下に管理するものとする。ただし、間伐を行う R_y に到達していないが、2年後の R_y （システム収穫表の林齢刻みは2年）が疎仕立で0.75、中庸仕立で0.85を上回ってしまう場合は、間伐を行うこととした。主伐5年以内の間伐は行わないが、主伐時の R_y が疎仕立で0.75、中庸仕立で0.85を上回ってしまう場合は、主伐5年以内でも間伐を行うこととした。

主伐林齢は、従来一般的に行われている50年のほか、標準伐期齢の30年、長伐期として80年を設定した。

林分構造の推移と丸太生産量

システム収穫表の推定結果から、植栽密度、および間伐方法別に、本数密度、平均胸高直径、および平均形状比の推移を整理した。平均形状比を算出するために平均胸高直径のほか、平均樹高が必要である。平均胸高直径は推定結果をそのまま利用し、平均樹高はシステム収穫表から推定される上層高を、石橋（2006）の式によって平均樹高に変換した。

また、間伐と主伐によって材長3.65mの丸太を生産するものとし、その径級別丸太本数をシステム収穫表を利用して求めて、施業シナリオ別に整理した。丸太材積は末口自乗法（農林水産省 1967）で計算されている。

収支計算

収支は、山土場段階での1ヘクタールあたりの価格とし、消費税は含まないものとした。

1 支出

地拵から最終間伐までの各施業を行った時の支出は、平成29年度造林事業標準単価（北海道水産林務部 2017a）を根拠とした。この単価には共通仮設費7.5%が含まれている。支出は、この標準単価を元にした金額に、現場監督費16%と社会保険等の9%（北海道平均）を間接費として加算して算出した。標準単価には主伐費用がないため、立原（2009）を参考とした。すなわち、丸太材積あたりの主伐単価は、主伐時の林木の平均胸高直径で決まり、28cm未満は4,000円/m³、28cm以上32cm未満は3,480円/m³、32cm以上の場合には3,100円/m³である。主伐以外の施業と同じく、共通仮設費7.5%を含めた金額に対し、現場監督費16%と社会保険等の費用9%を間接費として加算して主伐の費用を算出した。

2 販売収入（木代金）

丸太の価格は木材市況調査月報（北海道水産林務部 2017b）の全道価格を適用した。単価は工場着の価格であるため、運搬費として平均的な金額である1,500円/m³を、一律に差し引いた。末口径9cm未満の丸太には、チップ原材料価格を適用した。末口径9cm以上に丸太価格を適用し、これからはチップ材は発生しないと仮定した。

3 補助金

補助金は、主伐以外の支出に対して補助される。すなわち、植栽（地拵、苗木代、植付）に対しては支出金額の94%、保育（下刈、枝打、除伐、間伐）に対しては支出金額の68%が補助されるものとした。本報告では、これらを収入として計上した。

結果と考察

林分構造の推移

図-1 に本数密度、平均胸高直径、平均形状比の推移を示

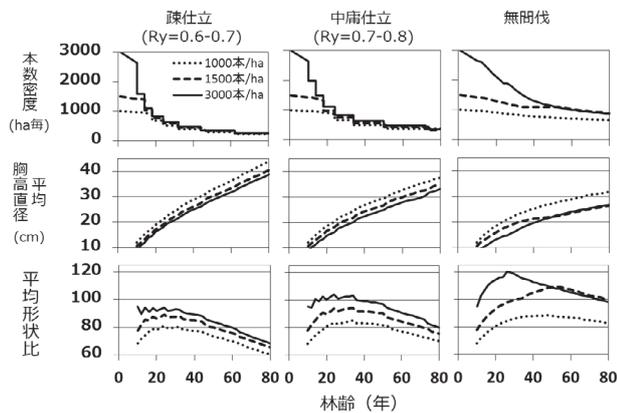


図-1 施業シナリオ別の本数密度、平均胸高直径、および平均形状比

した。本数密度については、疎仕立と中庸仕立では、主に間伐によって本数が減少する。一方、無間伐では、林齢とともに連続的に本数密度が減少するが、これは樹木間の競争により自己間引きが発生するためである。植栽密度が1,500~3,000本/haでは、50年程度までに同じ本数密度に収束したが、1,000本/haではより低い本数密度で推移した。これは無間伐では、植栽密度が1,500~3,000本/haでは、林齢が52年までにRyが1.00の最多密度に達したのに対し、1,000本/haでは52年で0.92、80年でも0.96に留まったためと考えられる。

平均胸高直径は、林齢とともに増大した。間伐方法による比較では、疎仕立、中庸仕立、無間伐の順に大きかった。また、植栽密度による比較では、植栽密度の低い方が大きかった。これらは、共に生育段階での本数密度の違いによって説明できる。

平均形状比は、全体的には30年生前後を極大とする山型の曲線となった。これは、カラマツの成長様式においては、樹高成長が胸高直径成長に先行するので平均形状比が増加するが、樹高成長は頭打ちになるのに対し、直径成長はほぼ直線的に成長するため平均形状比がある時期を極大に低下する、と説明できる。同じ林齢であれば、平均樹高はいずれの施業シナリオでも同じなので、間伐方法および植栽密度による平均形状比の違いは平均胸高直径の差で説明できる。

平均胸高直径、および平均形状比において、植栽密度が1,000本/haと1,500本/haの差は、1,500本/haと3,000本/haの差と同等以上になった。植栽密度が1,000本/haと1,500本/haの差は、林分構造から見て大きな差であることを示しているが、そのようになる理由は不明である。

丸太生産量

図-2 に間伐と主伐で生産される材長3.65mの丸太材積を示した。疎仕立と中庸仕立における植栽密度による比較では、

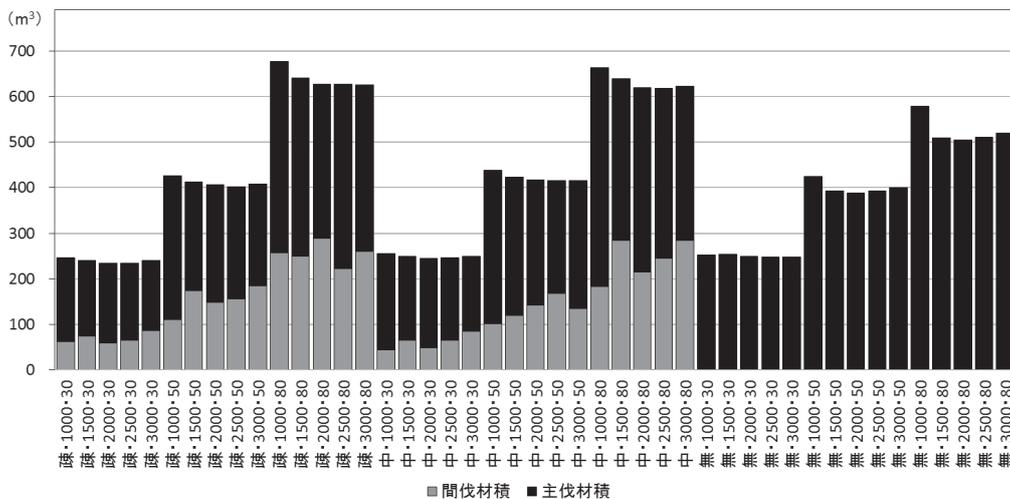


図-2 施業シナリオ別の生産丸太材積

丸太の長さは3.65mとし、その材積は末口自乗法で計算した。“疎・1000・30”は、1000本/ha植栽の疎仕立て、30年伐期を、“中”は中庸仕立て、“無”は無間伐を示す。

間伐材積は植栽密度が高いほど多くなる傾向にあり、中庸仕立で特に明瞭であった。これは植栽密度が高いほど、間伐回数が増える（図-3）ことと関係すると考えられる。一方、主伐材積は、植栽密度が高いほど少なくなる傾向にあった。これは、どのような植栽密度でも、主伐時には同じような収量比数 R_y となるよう管理されるが、植栽密度が高いほど主伐時の本数密度も高くなること（図-1）と関係している。システム収穫表の基礎である収量-密度図（北海道立林業試験場 2007）では、等収量比数線が右下がりの直線となっているが、意味するのは、「同じ収量比数であれば、本数密度が高いほど材積が少なくなる」ということである。

植栽密度は、間伐材積と主伐材積に相反する影響を示したが、間伐と主伐をあわせた総材積は、主伐材積の影響をより受けて、植栽密度が高いほど少なくなる傾向となった。無間伐においても、1,000本/haより植栽密度が高い方が、総材積が少なくなった。

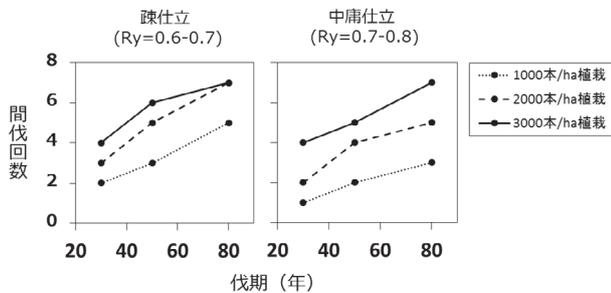


図-3 施業シナリオ別の間伐回数の比較

間伐方法による比較については、疎仕立と中庸仕立の間では、間伐、主伐、総材積に目立った差は見られなかった。疎仕立および中庸仕立と、無間伐の間には差が見られ、特に80年伐期においては、明らかに無間伐において総材積が少なかった。これは、無間伐では自然枯死（図-1）によって材積が継続的に失われるのに対し、疎仕立と中庸仕立では、自然枯死が起きる前に間伐によって木材を収穫する（図-1）からと考えられる。

支出、収入、および収益の比較

以下、支出、収入、および収益ごとに、詳細を比較する。
1 支出

図-4に支出内訳を示した。植栽密度による比較では、疎仕立と中庸仕立では、植栽本数が増えると支出全体が増える傾向にあった。これは、苗木、植付、および間伐の費用が増えることと関係していた。無間伐では、植栽密度と支出の関係は明瞭でなかったが、枝打ちの費用を考慮しなければ、同様の傾向となる。

間伐方法による比較では、疎仕立、中庸仕立、無間伐の順で支出が多かった。疎仕立が中庸仕立より支出が多いのは、 R_y を低く抑えるために間伐回数が増え（図-3）、間伐費用が増えることと関係がある。無間伐での支出の少なさは明瞭であった。無間伐では、間伐費用が掛からないため、間伐費用の節約がコストの低減に繋がると考えられる。しかし疎仕立と中庸仕立に比べ、主伐時の材積がより多いこと（図-2）、平均胸高直径がより小さく（図-1）、材積あたりの主伐単価が高い（立原 2009）ことのため、主伐費用がより割高で

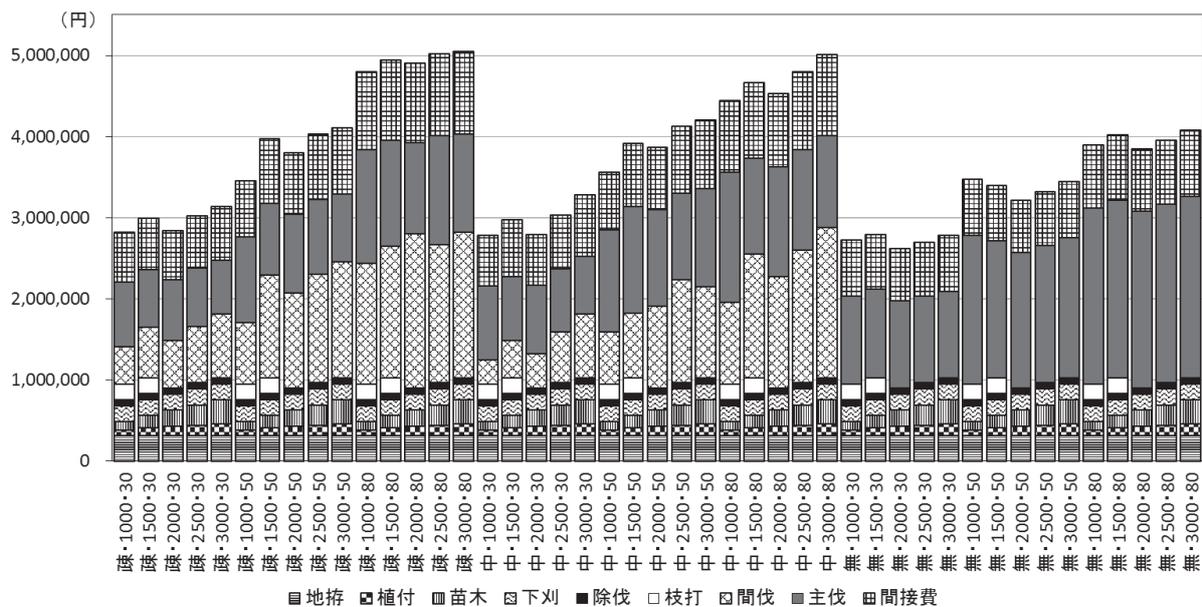


図-4 施業シナリオ別の支出内訳

各施業費には共通仮設費7.5%が含まれている。間接費として、各施業費の16%を現場監督費、9%を社会保険等の加算として積み上げた。“疎・1000・30”は、1000本/ha植栽の疎仕立て、30年伐期を、“中”は中庸仕立て、“無”は無間伐を示す。

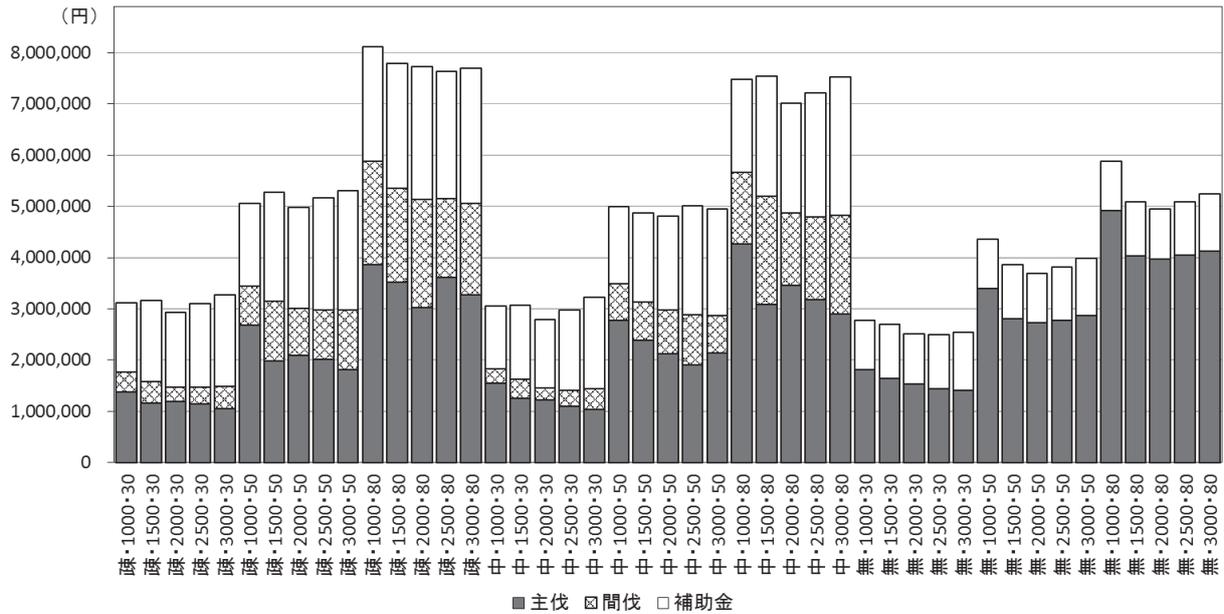


図-5 施業シナリオ別の収入内訳

補助金として、植栽に関する支出（地拵え、植付、苗木代）の94%、保育に関する支出（下刈、除伐、枝打、間伐）の68%を積算した。“疎・1000・30”は、1000本/ha植栽の疎仕立て、30年伐期を、“中”は中庸仕立て、“無”は無間伐を示す。

あり、間伐費用の節約分がそのまま、支出の圧縮には繋がらなかった。

2 収入

図-5に収入内訳を示した。植栽密度による比較では、同じ間伐方法と伐期で比較すると、植栽密度の高い方が間伐回数が多く（図-3）、間伐材積も多い傾向にあるが（図-2）、間伐収入への貢献は明瞭でなかった。これは、植栽密度の高い方が間伐木の径級が小さく（図-1）、材価が安い（北海道水産林務部 2017b）からと考えられる。それに対し、主伐収入は植栽密度が低い方が多い傾向にあった。これは、植栽密度が低いと、主伐材積が多くなり（図-2）、かつ平均胸高直径が大きく（図-1）、材価が高い、太丸太（北海道水産林務部 2017b）の割合が多くなることと関係している。間伐と主伐合計の収入は、本数密度が高いほど低くなった。しかし補助金を収入として加えると、本数密度による差は不明瞭となった。

間伐方法による比較では、疎仕立と中庸仕立では総収入に明瞭な差が見られなかった。無間伐は、疎仕立および中庸仕立と比較して、総収入が低くなった。30年伐期、および50年伐期では、無間伐の主伐収入が、疎仕立と中庸仕立の主間伐収入に迫る金額であったが、補助金の額が大幅に少ないことから（図-5）、総収入に差がついた。80年伐期では、無間伐の木材販売収入と補助金の両方が、疎仕立と中庸仕立に届かなかった。

3 収益

図-6に植栽密度別、および伐期別の収益を、収入、支出と合わせて示した。植栽密度による比較については、疎仕立

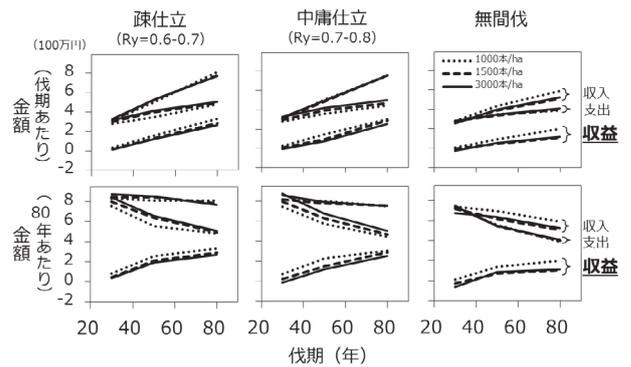


図-6 施業シナリオ別の収入、支出、および収益

異なる伐期の施業シナリオ間の収益を比較するため、時間あたりの収益を求めた。すなわち、30年伐期については80/30を、50年伐期については80/50を乗じて、80年あたりの収益として求めた。

と中庸仕立では、植栽密度の低い方が収益が大きく、特に、1,000本/ha植栽が、他の植栽密度と較べて収益が大きかった。これは、上で議論してきたように支出に差があるためであり、特に間伐費用と植栽費用の少なさが関係していた（図-4）。無間伐については、1,000本/haが他の植栽密度より収益がより大きくなった。これは支出にほとんど差が見られないが（図-4）、収入に差があったためである（図-5）。収入が1,000本/haで大きいのは、どの伐期においても立木の平均胸高直径がより大きく（図-1）、単価の高い大径丸太（北海道水産林務部 2017b）が採れること、および50年伐期と80年伐期については主伐材積が多かったことが関係したと考えられる。

時間あたり（80年伐期相当）に換算して、すなわち30年伐

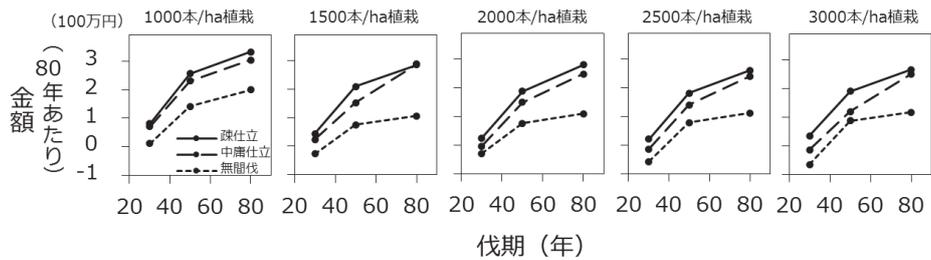


図-7 間伐方法の違いによる収益の比較

期の収益は80/30倍、50年伐期の収益は80/50倍して比較すると、どの間伐方法でも、伐期が長くなるほど収益が大きくなった(図-6)。これは伐期が長くなると、時間あたりの収入と支出の両方が低下するが、支出低下が収入低下より大きな金額となった為である。伐期が長くなると時間あたりの支出が低下することの一つには、間伐と主伐以外の造林初期における経費は、どの伐期についても同額であるが、時間あたりに換算すると長伐期の方が安くなることが挙げられる。

図-6の収益を、間伐方法による収益比較に変えて図-7に示した。間伐方法による比較では、疎仕立、中庸仕立、無間伐の順に収益が大きかったが、疎仕立と中庸仕立に大きな差はなかった。無間伐で収益がより小さかったのは、支出が疎仕立と中庸仕立に較べて小さかった(図-4)にも関わらず、収入がより低かった為である(図-5)。無間伐の30年と50年伐期については、主伐収入が疎仕立および中庸仕立の主間伐収入に迫っていたが(図-5)、補助金の額がより少なかったため、収益に差がついた。80年伐期については、補助金がより少なかったことに加え、主間伐収入がより少なかったこと(図-5)が関係して、収益がより小さくなった。

シナリオ選択について

収益の観点のみから言うと、植栽密度はより小さくすること、間伐方法について無間伐は推奨できず、中庸仕立てよりは疎仕立が良いこと、伐期については長伐期にすること、が推奨できる。

植栽密度と伐期については、試算方法において、施業方法、運搬費や間接費の計上方法、支出に対する補助金の扱いなどが異なる八坂(2013)と同様の傾向であったことから、カラマツ林業においては一般的な結果と考えられる。本報告では1,000~1,500本/haでの収益差は、現在カラマツで適用できる1,500~3,000本/haでの収益差に較べて大きかった。今回は、機械的に収量比数によって間伐率を決めたが、1,500~3,000本/ha植栽から始めても1,000本/ha植栽で始まる施業シナリオの林分の構造に近づけるような施業、例えば初期の強度間伐を行えば、同等の収益を達成できることが期待される。伐期については、八坂(2013)が試みた、投資回収の時間を考慮した内部収益率や、立原(2009)の林業利回りなど、時間を考慮した収益性指標で評価してゆくことも必要であろう。両者は、伐期が時間を考慮した収益性に与える影響について、

相反する結果を示した。原因の一つに、立原(2009)では大径材の価格が、現在価格よりも上昇すると見込んだことが考えられる。今後は、今回結果として示した支出、収入の明細を用いて、改めて様々な収益性指標を以て、再検討してゆく価値があるだろう。

引用文献

Gardiner, B. A., and Quine, C. P. (2000) Management of forests to reduce the risk of abiotic damage — a review with particular reference to the effects of strong winds. *Forest Ecology and Management* 135: 261-277.

北海道立林業試験場(2007)カラマツ人工林施業の手引き. 91pp. 北海道立林業試験場.

北海道立総合研究機構林業試験場(2017)北海道版カラマツ人工林収穫ソフト ver.3.12 <http://www.hro.or.jp/list/forest/research/fri/syukakuyosoku/syukakuyosoku.html>

北海道水産林務部(2017a)平成29年度造林事業標準単価(造林事業関係分) <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/srs/zourin/tanka.htm>

北海道水産林務部(2017b)木材市況調査月報(平成29年11月価格). <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rmm/mokuzaishikyoku.htm>

石橋 聡(2006)長伐期化に対応したカラマツ人工林収穫予想表の作成. *北方林業*58: 49-56.

農林水産省(1967)素材の日本農林規格. 昭和四十二年十二月八日 農林省告示第千八百四十一号.

立原泰直(2009)「北海道版カラマツ人工林収穫予測ソフト」を利用した収益性の検討. *日林北支論*57: 7-11.

滝谷美香(2014)カラマツ、トドマツ人工林施業の低コスト化へ向けた植栽、育林方法. *北林研*62: 3-6.

八坂通泰(2013)低密度植栽による炭素固定能と採算性の向上. *光珠内季報* 169: 8-12.

八坂通泰(2014)どちらがお得? 間伐と無間伐. *グリーントピックス*No. 48. 北海道立総合研究機構林業試験場.

八坂通泰・滝谷美香・山田健四(2011)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. *北林試研報*48: 65-74.

Summary

To improve Japanese larch plantation management strategies, we estimated the profitability of various silvicultural methods by analyzing their costs and benefits, from planting to cutting, using a system yield table with the site index for Japanese larch set at 25. We examined 45 scenarios, varying the parameters as follows: five planting densities (1,000–3,000 ha⁻¹ in increments of 500 ha⁻¹, three rotation periods (30, 50, and 80 years), and three thinning methods. The thinning methods included (1) no thinning as a control for (2) sparse density (relative yield index, Ry = 0.6–0.7) and (3) ordinary density (Ry = 0.7–0.8). Management scenarios employing a lower planting density were more profitable than those employing a higher planting density, when either sparse density or ordinary density thinning methods were applied. A longer rotation period was more profitable than a shorter rotation period in all scenarios, and thinning for sparse density was consistently more profitable than both alternative thinning methods.

Key words

Japanese larch plantation, plantation density, profitability, rotation period, thinning method