

低密度植栽による炭素固定能と採算性の向上

八坂通泰

はじめに

森林の地球温暖化緩和における貢献度は、森づくりの方法や木材の利用方法を工夫することで向上できます。森づくりにおいては、二酸化炭素固定能を高めることで空気中の二酸化炭素固定量を増やすことになります。木材利用においては、木材を化石資源代替のエネルギーとして利用することで二酸化炭素の排出量を抑制し、建築材利用を進めることで木材に固定された二酸化炭素を長期間貯留できます。こうした役割を発揮するには、人工林の適切な管理が不可欠です。しかし、林業の採算性を取り巻く状況はまだまだ好転してはいません。木材価格の低迷や高い施業コストが林業への投資意欲を減退させています。今後、伐期を迎える人工林は急増しますが、従来よりも採算性の向上が望める施業体系を提示できなければ、森林所有者の再造林へのモチベーションは向上しないでしょう。

当場では、これまでカラマツ人工林(グイマツ雑種F₁を含む)を対象として、二酸化炭素固定能を向上させるための品種開発や、採算性向上のための施業方法など様々な研究を実施してきました。品種開発においては、クリーンラーチによる炭素固定能の向上を、採算性向上においては雑種F₁の低密度植栽による育林コスト削減を報告してきました。しかし、二酸化炭素固定能と採算性の双方が同時に議論されたことはありません。そこで今回は、植栽密度や伐期など施業体系の基本的な構成要素について、二酸化炭素固定能と採算性への影響を分析し双方が両立可能なカラマツ人工林施業について検討しました。

分析方法

分析にあたっては、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。本ソフトは、北海道のカラマツ人工林において、様々な間伐を実施したときの収穫予測が実施できるソフトです。ソフト開発にあたっては、道内民有林約2700林分での樹高や直径のデータと、2~5年間隔で測定した約7,000のデータセットを用いています。上層高、平均胸高直径、林分材積だけでなく、径級別立木本数や径級別丸太本数なども予測できます。本ソフトを用いて、植栽密度、間伐方法、伐期などを変化させたときに、二酸化炭素固定能と採算性へ及ぼす影響を分析し、これらの両立可能な施業方法について検討しました。

できるだけ一般的な傾向を導き出すため現実的な範囲で千通り以上の施業パターンを試算対象としました。植栽密度4通り(1000, 1500, 2000, 2500本/ha,)、間伐率3通り(25, 30, 35%)、間伐方法2通り(全層間伐, 下層間伐)、仕立て方法4通り(収量比数0.8, 0.85, 0.9, 0.95で間伐実施)、間伐材搬出条件3通り(平均胸高直径14, 16, 18cm以上のとき搬出)、伐期4通り(30, 40, 50, 60年で皆伐)の合計1152通りを設けました。地位指数(40年生時上層高)はカラマツ主産地(十勝, オホーツク, 上川)の平均24、採材長はカラマツの平均的な値3mとしました。

二酸化炭素固定能の評価

各施業パターンにおける二酸化炭素固定能は年平均成長量から算出しました。ここでの年平均成長量は間伐および主伐時に搬出した幹材積の合計を林齢で割った値です。年平均成長量に容積密度(0.404ton/m³)、炭素含有率(0.5)、炭素量を二酸化炭素量に換算するための値3.67(分子量の比)を乗ずると搬出した材に固定された二酸化炭素量になります。したがって、年平均成長量が高いほど二酸化炭素固定能が高い施業方法といえます。

例えば、40年で主伐したときの間伐木を含めた収穫量が400m³/haの場合、年平均成長量は10m³/ha・年、1年当たりの二酸化炭素固定量は8.1ton/ha・年となります。ここでは、切り捨てた間伐材や地下

部など林外に搬出してない材は含んでいません。この理由は、林内に放置された材は比較的短期間で分解され二酸化炭素を放出し、バイオマス等の木材利用を通しての温暖化緩和の貢献もできないからです。つまり、今回の二酸化炭素固定能は木材利用を通じた温暖化緩和対策に重きを置いた評価ということになります。

各施業パターン平均胸高直径を図-1に示しました。なお、以下の図では主に植栽本数と伐期の影響を評価するため、間伐率、間伐方法、仕立て方法、間伐材搬出条件については道内の平均的な値を用いています。平均胸高直径は植栽密度の低下と共に大きくなる傾向があり、1000本/ha

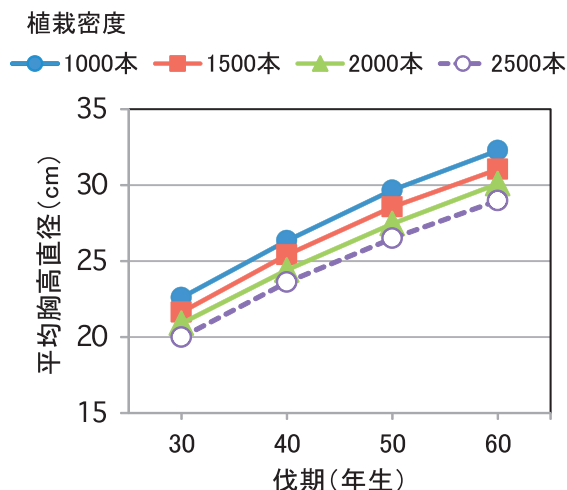


図-1 伐期と植栽密度が胸高直径に及ぼす影響

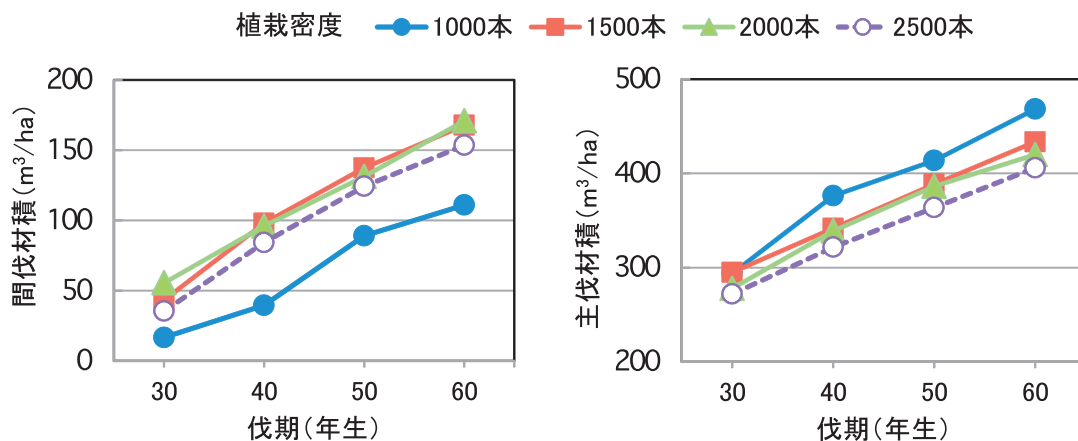


図-2 伐期と植栽密度が収穫量に及ぼす影響

は2500本/haに比べ平均で約3cm大きくなります。なお、樹高については、一般に植栽密度の影響を受けないので各施業パターンの樹高は等しいと仮定しています。この傾向はグイマツ雑種F1の植栽密度試験地でも確認されています。図-2には各施業パターン間の伐および主伐時に収穫した材積を示しました。間伐収穫は伐期が長いほど搬出間伐の回数が多いので増加します。植栽密度間で比較すると1500本/ha植栽もしくは2000本/ha植栽で多くなります。中間的な植栽密度で間伐収穫が多くなる理由は、最も低密度の1000本/ha植栽では間伐回数が少ないため、最も高密度の2500本/ha植栽では間伐回数は多くても間伐時の直径が細く切り捨て間伐が多いからです。

主伐収穫も伐期が長いほど増加し、植栽密度間の比較では1000本/ha植栽が最大で2500本/ha植栽が最低となります。これは低密度植栽による肥大成長促進と主伐時の立木本数が影響しています。これら間伐および主伐収穫の値から年平均成長量を算出し、二酸化炭素固定能に変換した結果が図-3です。伐期についてみると、どの植栽密度でも、30年伐期で二酸化炭素固定能が最大値を示しました。植栽密

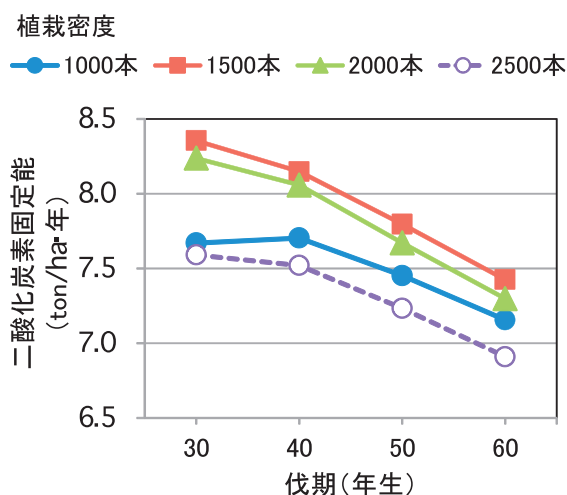
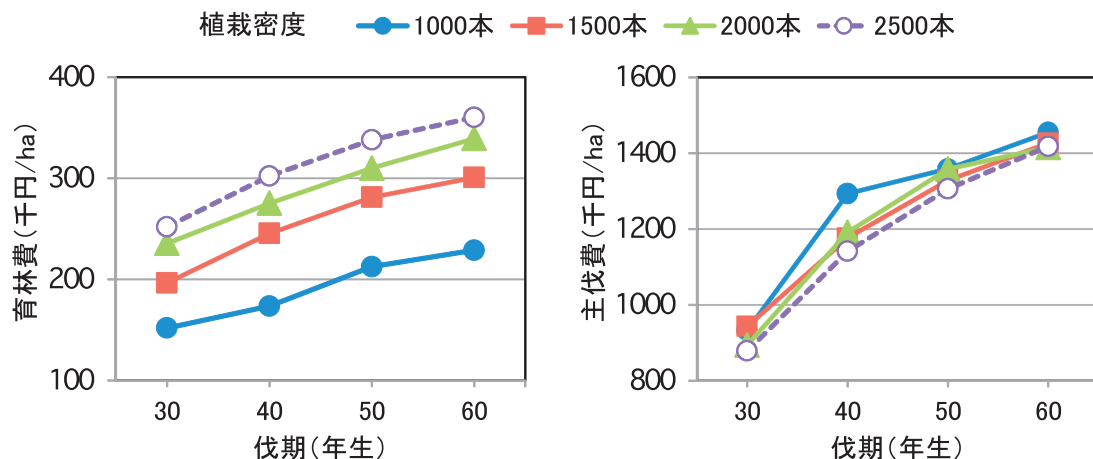


図-3 伐期と植栽密度が二酸化炭素固定能に及ぼす影響

度については、どの伐期においても1500、2000、1000、2500本/ha植栽の順に二酸化固定能が高くなりました。一般には植栽密度が高いほど固定能は多くなると考えられていますが、今回の結果は切り捨て間伐など実際の間伐施業を考慮するとカラマツの場合は1500～2000本/ha植栽で固定能が最大になることを示しています。道内カラマツ人工林での一般的な施業2500本/ha植栽50～60年伐期と比較すると1500本/ha植栽30～40年伐期では約16%の二酸化炭素固定能向上が期待できます。

採算性の評価

各施業パターンの採算性を評価するためには、地拵えから主伐までの施業による支出と、間伐および主伐収穫による収入を算出する必要があります。地拵えから最終間伐までの育林費は、平成23年度造林事業標準単価を基準とし補助率68%で補助金を活用するとしました (<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/srs/grp/zourin/H23tanka.pdf>)。主伐時の事業費（以下主伐費）は、立原ら（2009）と同様に主伐期の平均胸高直径ごとに設定しました（28cm未満4000円/m³、28cm以上32cm未満3480円/m³、32cm以上3100円/m³）。素材価格は、木材流通月報の平成23年の平均値を参考にしました（末口径8cm未満5000円/m³、8cm以上14cm未満6900円/m³、14cm以上20cm未満8900円/m³、20cm以上10600円/m³）。また、今回は各施業パターンの採算性の指標として内部収益率を用いました。内部収益率は複利計算に基づいた投資に対する収益率（利回り）で表します。計算にあたっては、育林・主伐費に関わる支出と間伐・主伐時の収入に基づいて、植栽年から主伐年まで年度ごとのキャッシュフローを作成し、マイクロソフト社エクセル2010のIRR関数を用い算出しました。



図－4 伐期と植栽密度が施業コストに及ぼす影響

各施業パターンの育林費と主伐費を図－4に示しました。苗木、植栽、間伐などに関わる経費は植栽本数とともに減少し2500本/haよりも1000本/haでは育林費は約40%少なくなります。また、伐期が長くなると育林費が高くなる傾向があります。これは間伐回数が増えるためです。一方、主伐費については収穫材積の多い低密度でやや高くなり、主伐期が伸びると材積が増加するため多くなります。各施業パターンの末口径別丸太材積から求めた間伐および主伐時の丸太販売による材価を図－5に示しました。間伐材価は長伐期、1500本/ha植栽で高くなる傾向があります。一方、長伐期、主伐収入は1000本/ha植栽で高くなります。これは主伐時には径級別素材価格が高い太い丸太が1000本/haで多くなっているためです。これら丸太販売による材価から育林費と主伐費を差し引いた利益を伐期で割った値（年平均収入）と内部収益率（利回り）を図－6に示しました。年平均収入は、低密度、長伐期で高くなりますが、投資を回収するまでの年数を考慮した内部収益率で評価すると低密度、短伐期が有利な施業方法となります。内部収益率では、初期の造林や保育に掛かる経費が複利的に累積するため、伐期の長期化は利回りを低下させる要因となります。また、今回は再造林した場合の採算性については考慮していませんが、例えば30年伐期を4回、40年伐期を3回、60年伐期を2回繰り返したとしても

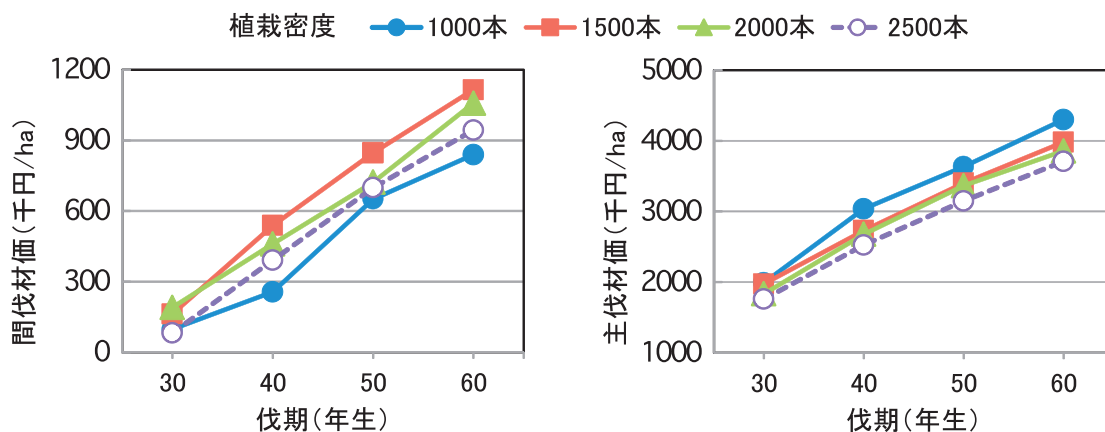


図-5 伐期と植栽密度が材価に及ぼす影響

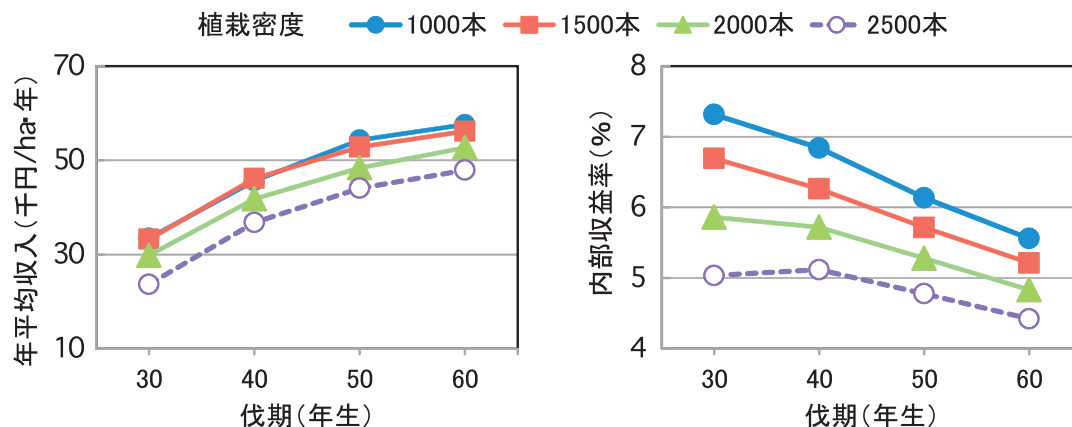


図-6 伐期と植栽密度が収益性に及ぼす影響

内部収益率は今回の結果と同様に短伐期で高い利回りを示します。これらの結果から、前述した二酸化炭素固定能が高かった1500本/ha植栽30～40年伐期は、従来の施業2500本/ha植栽50～60年伐期と比較すると約40%の利回り向上が期待でき、二酸化炭素固定能だけでなく採算性でも優れているといえます。

総合的な評価

二酸化炭素固定能と採算性を評価した結果、これらを両立する施業方法は現行よりも低密度植栽が有利であることが明らかになりました。一方、伐期については二酸化炭素固定能からみると現行の50～60年伐期よりも30～40年で高くなりますが、採算性については現実的には社会経済的な状況から判断することになりそうです。おそらく経営的には、投資回収までの年数を考慮すれば30～40年伐期が有利な選択になるので、植栽時の目標としては40年までに主伐する計画を立て、木材市況など伐採に適した状況に恵まれなければ伐期を延長するという対応になるでしょう。実際、カラマツ林業の盛んなオホーツク管内での最近の平均伐期は他の地域より短く50年弱です。また、植栽密度もこれまでよりは減少傾向にあります。こうした近年のトレンドはカラマツ林業の採算性向上に寄与する方向であることを今回の分析は裏付けたことにもなります。

低密度植栽と伐期短縮は、風雪害への耐性向上という副次的な効果ももたらします。風雪害へのおおまかな指標の1つである形状比について、同様に植栽密度と伐期の影響を比較してみました。図-7には、各施業パターン間で平均樹高10mを超えてから主伐林齢までの期間で形状比が90を超える年数を

比較しました。年数が長いほど風雪害リスクが相対的に高い施業方法といえます。なお、ここでの形状比は浦田ら(2013)を参考に平均樹高/平均直径から平均形状比を算出した値を用いました。その結果、低密度植栽と伐期短縮は風雪害リスクも軽減できることがわかりました。大きな被害を受けてしまえば、二酸化炭素固定能や採算性どころの話ではありません。植栽密度については後から変更はできませんが、伐期についてはより柔軟に考えてもよいでしょう。前述のように実際には間伐や主伐期の木材市況等によって伐期を判断することになると思います。このとき重要なことは伐期を延長できるような林分構造になっているかどうかです。植栽密度が高いと収量比数や形状比

が高くなりやすく、風雪害リスクを考慮すると伐期延長の選択ができにくくなります。こうした点においても低密度植栽は柔軟性が高い施業といえるでしょう。また、カラマツ人工林での被害としては、野鼠害など獣害も考慮する必要があります。低密度植栽の実施にあたっては、野鼠害への耐性が高いグイマツ雑種F₁を利用することが獣害対策の1つとなります。下刈り時の全刈りなど従来の野鼠害対策にも万全の注意が必要です。最近の報告では、グイマツ雑種F₁は野鼠害だけでなくマイマイガへの葉食害への抵抗性も高いことが報告されています。このように低密度植栽時にはグイマツ雑種F₁を用いることが推奨されますが、今回の二酸化炭素固定能の評価では、容積密度についてはカラマツの平均的な値を用いました。容積密度への植栽密度や林齢の影響は1~2%程度と小さいことや、グイマツ雑種F₁はカラマツよりも容積密度が10%以上高いことが最近の調査でわかりつつあります。このような炭素固定能に及ぼす育林および育種的な相乗効果については改めて報告したいと思います。

また、今回の報告は、個別林分での施業方法を炭素固定能や採算性から分析しました。今後は、北海道全体での人工林の齢級構成等も考慮した資源全体を対象とした分析も必要と考えます。例えば、伐採量が急激に増加した場合、苗木の供給量を急には増やすことは困難で造林未済地の発生、ひいては二酸化炭素固定能の低下が危惧されます。その場合、植栽密度を減らすことで二酸化炭素固定能を低下させずに限られた苗木を有効利用し人工林面積を増加させることができるでしょう。また、現在のような齢級構成が偏った人工林においては伐期の延長は資源の保続性に貢献する可能性があります。これら新規造林方法や既存人工林の伐期をどのように考えれば、北海道全体の人工林の炭素固定機能をトータルで高めることができるのかといった視点での研究も必要でしょう。

(道南支場)

引用文献

- 立原ら(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.
- 浦田ら(2013)風倒被害を軽減するトドマツ・カラマツ人工林の管理指針. 北海道大学演習林研究報告6, 1-10.

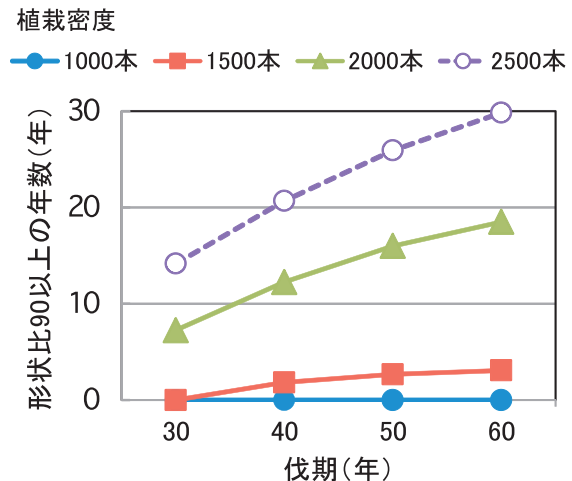


図-7 伐期と植栽密度が形状比に及ぼす影響