

カラマツの間伐の遅れが材質に及ぼす影響

—カラマツ長伐期施業のための事例として—

北海道立林産試験場 安久津久・藤本高明・松本和茂
 北海道立林業試験場道東支場 滝谷美香
 北海道立林業試験場 八坂通泰

はじめに

北海道のカラマツ人工林資源は面積 46 万 ha で主要な森林資源である。8 齢級以上の成熟期のものが 50%以上を占め主伐期を迎える林分も多い。森林所有者も短伐期ばかりでなく長伐期に向けた施業にも取り組むようになった。しかし、間伐の遅れている林分も少なからずある。カラマツ林の整備を押し進めるにあたり、間伐遅れの林分で間伐を実施した場合、収穫量のみならず材質が良くなるのかあるいは変わらないのかといった議論はまだ乏しい。

十勝管内新得町にはカラマツ長伐期施業のために設定した間伐試験地があり、間伐の遅れと間伐強度の違いによる林分成長を継続的に調査している。直近の報告では明石が 58 年生時における成長および林分材積について詳細に調査している (1)。本報告ではこの試験地の 69 年生時の試料を用いて、試験区による材質や素材における径級構成比などの違いを考察した。

試験地と試料

試験地は十勝管内新得町の道立林業試験場道東支場の構内と新得町有林にまたがり、標高は 200~250m である。試験地は地位指数 22 の I 等地で、植栽は 1940 年に 3000 本/ha で行われた。その後、施業を行った記録はなく、放置されていた。1972 年 (32 年生時) に間伐強度の異なる試験区を設定した。この間伐試験区では 30cm 以上の大径丸太を生産目標とした下層間伐を実施した。試験区は間伐強度の違いにより、A 区 (材積間伐率 45%)、B 区 (同 12%)、C 区 (無間伐) とした。いずれの試験区も 0.12ha である。試験区の設定後 A 区は 1980 年と 1998 年に材積間伐率で 14%と 27%、B 区は 1987 年と 1998 年に材積間伐率で 29%と 26%の間伐を実施している。本試験の試料は 3 つの試験区から 2008 年 10 月に採取した。試験木

は試験区の毎木と胸高直径の平均と分散が等しくなるよう配慮し、A 区と B 区は 7 本、C 区は 5 本の計 19 本を選木した。試験区と試験木の概要を表 1 に示す。また、残存本数の推移を図 1 に示す。

試験方法

1) 丸太のヤング係数

試験木を伐採後、全幹集材を行い、土場で材長 4m に玉切り、各試験木 5~7 番玉までの丸太を得た。FFT アナライザ SA-78 (リオン社製) でタッピングにより固有振動数を測定し、動的ヤング係数を得た。丸太の材長はコンベックスで、元口径と末口径は直径巻尺を用いて、いずれも mm 単位で測定した。丸太の密度は、両木口の円板 (4-5cm 厚) で厚さと直径、重量から密度を算出し両木口の円板の平均密度を用いた。ヤング係数は次式により求めた。

$$E = 4f^2 L^2 \rho / 10^6$$

ここで E : ヤング係数 (GPa) L : 材長 (m) f : 固有振動数 (Hz) ρ : 密度 (g/cm³) である。

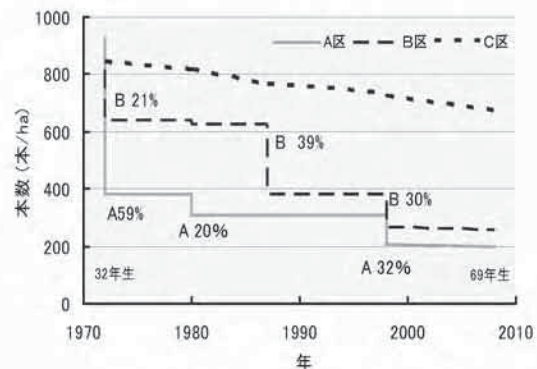


図 1 試験区の残存本数の推移

表 1 試験区の概要と試験木

試験区	平均DBH(cm)	本数(本/ha)	林分材積(m ³ /ha)	間伐回数	試験本数	平均DBH(cm)	平均H(cm)
	(範囲)					(範囲)	(範囲)
A 区	39.2 (31.5-48.8)	200	306	3回	7	38.0 (31.5-42.9)	27.1 (24.0-28.5)
B 区	36.9 (26.3-47.5)	258	349	3回	7	37.0 (30.5-42.0)	28.0 (24.5-30.4)
C 区	29.6 (15.9-43.8)	675	570	無間伐	5	29.4 (23.6-34.4)	26.5 (24.5-27.6)

Hisashi AKUTSU, Takaaki FUJIMOTO, Kazushige MATSUMOTO (Hokkaido Forest Products Research Institute, 1-10 Nishikagura Asahikawa Hokkaido 071-0198), Mika TAKIYA (Doto branch, Hokkaido Forest Research Institute, Shintoku 081-0198) and Michiyasu YASAKA (Hokkaido Forest Research Institute, Higashiyama Koushunai Bibai 079-0198)
 Effects of the delay of thinning in larch and the quality of material As the example for a long rotation operation in larch.

2) 年輪解析

年輪解析は軟 X 線デンシトメトリ法で行った。試料は各 1 番玉の 2m 部位から円板を採取し、円板から厚さ（繊維方向）2mm の試料を作製した。試料はアルコール-ベンゼン混合液で脱脂後、含水率 12% に調整した。試料の X 線撮影はソフテックス CMB-2 型を用い、撮影条件を照射距離 76cm、電圧 19kV、電流 2.5mA、露光時間 37 秒とした。X 線フィルムの濃度測定はコニカメディカル社製マイクロフォトメータ 2111 型を用い、測定スリットを 30×300μm、測定速度を 1mm/秒とし樹心から外側にフィルムの濃度を測定した。年輪解析プログラムで密度に変換し年輪ごとの各種データを得た。年輪解析では各年輪の平均密度、早材密度、晩材密度、年輪幅、早材幅、晩材幅の 6 形質を得た。年輪解析では間伐の影響を検討するので年輪の形成年を合わせるため、最外年輪を基準とした。

3) 素材生産の検討

この検討では現状の試験区から得られる素材の材積を径級区分別に検討することを目的とした。本試験では材長 4m の原木素材生産を想定し、末口径 10cm 以上を製材用として集計し、素材生産量を算出した。素材の径級区分は現状の流通径に則した径級区分 10-12cm（小径材）、14-18cm と 20-28cm（中径材）、30cm 上（大径材）とした。

径級区分別の材積は以下の方法で算出した。すなわち、丸太のヤング係数の測定後に得られた幹の細りを部位ごとに算出し、試験区ごとに平均した。細りの平均値を試験区内の立木（A 区 24 本、B 区 31 本、C 区 81 本）に胸高直径を基点として当てはめた。これにより樹皮を含む末口径を得た。末口径と樹皮を含まない短径の差は、過去のデ

ータから 2~3cm なので、末口径から 3cm を差引き、さらに 2cm 括約（14cm 未満は 1cm 括約）した。幹材積は末口二乗法（D²L）で算出した。集計値から単位面積（ha）の材積を試験区ごとに算出し推定値とした。

結果

1) 丸太のヤング係数

試験区ごとの丸太の動的ヤング係数を表-2 に示す。得られた丸太の本数は試験区ごとに A 区 40 本、B 区 43 本 C 区 28 本であった。丸太の平均末口径は A 区 25.1cm、B 区 24.9cm に対し C 区では 19.5cm と小さかった。試験区ごとのヤング係数の平均は A 区 9.6GPa、B 区 9.2GPa、C 区 8.2GPa であり C 区で小さかった。樹高部位別のヤング係数の変動を図-2 に示す。この図は丸太のヤング係数を試験区、樹高部位ごとに平均し、プロットしたものである。図からヤング係数は樹高が増すにつれ減少し、その減少の割合は試験区ごとに大きな違いはない。C 区はどの部位でも A 区と B 区よりヤング係数は小さかった。A 区と B 区では 2 番玉までは A 区で大きく、それ以降のヤング係数はほぼ同じであった。次に径級区分ごとのヤング係数を図-3 に示す。大径の 30cm 上では A 区が 11.3GPa、B 区が 10.3GPa、C 区が 9.7GPa で同一の径級区分の中でその差が最も大きい。中径材の 20-28cm では A 区と B 区が 9.7GPa、C 区が 9.1GPa、14-18cm では A 区が 8.2GPa、B 区と C 区が 7.9GPa で大径材に比べて比較的差は小さい。小径材の 13cm 未満では A 区が 7.2GPa、B 区が 6.7GPa、C 区が 6.3GPa であった。試験区で比較すると A 区のヤング係数が上位で C 区のヤング係数が他区を上回ることにはなかった。

表-2 試験区ごとの丸太のヤング係数(平均値と範囲)

試験区	試験本数	丸太本数 (立木1本当りの本数)	末口径(cm) (範囲)	ヤング係数(GPa) (範囲)
A区	7	40 (5~6本)	25.1 (7.1-39.4)	9.6 (5.9-13.3)
B区	7	43 (5~7本)	24.6 (6.8-39.4)	9.2 (5.6-11.5)
C区	5	28 (5~6本)	19.5 (7.1-32.6)	8.2 (5.3-10.1)

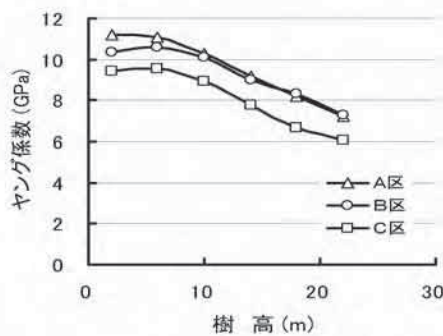


図-2 樹高部位別のヤング係数

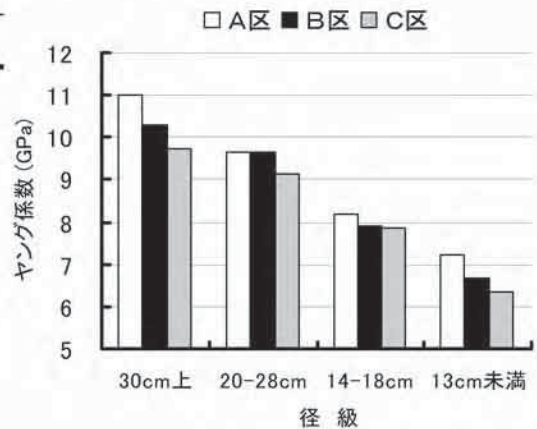


図-3 径級区分ごとのヤング係数

表-3 年輪解析の結果(2m 部位平均値)

形質	間伐前			間伐後(1973年以降)			全年輪		
	A区	B区	C区	A区	B区	C区	A区	B区	C区
年輪幅 (mm)	3.00	2.87	2.68	1.69	1.42	0.90	2.29	2.09	1.72
早材幅 (mm)	2.19	2.09	1.98	1.01	0.87	0.56	1.56	1.44	1.22
晩材幅 (mm)	0.81	0.77	0.70	0.68	0.55	0.34	0.74	0.65	0.51
年輪密度 (g/cm ³)	0.50	0.49	0.47	0.54	0.52	0.49	0.52	0.51	0.48
早材密度 (g/cm ³)	0.31	0.31	0.30	0.29	0.29	0.30	0.30	0.30	0.30
晩材密度 (g/cm ³)	0.81	0.80	0.78	0.84	0.81	0.70	0.83	0.80	0.74

2) 年輪解析

各試験区の年輪解析結果を表-3 に示す。2m 部位の年輪数は 67 前後で、表では間伐前の 1972 年以前と間伐後の 1973 年～2008 年、全年輪に分け、試験区ごとの平均値を示した。間伐前と間伐後を比較すると、間伐後に減少した形質として、年輪幅、早材幅、晩材幅の 3 形質で、間伐後に増加した形質は年輪密度、変化の少ない形質は早材密度であった。晩材密度については、試験区で傾向が異なり間伐後 A 区では増加しているのに対し C 区では減少していた。次に年輪幅と年輪密度の形成年ごとの推移を図-4、5 に示す。

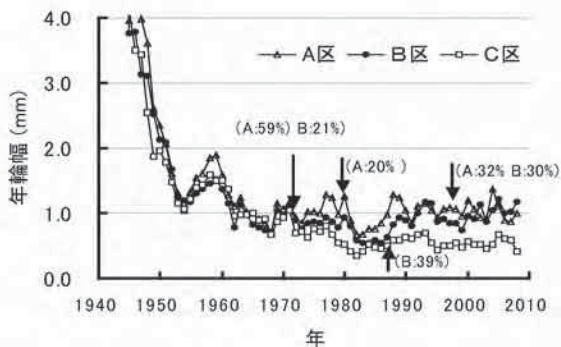


図-4 年輪幅の変動

年輪幅はいずれの試験区でも間伐実施の 12 年前から 1～2mm で推移し、間伐遅れがうかがえる。間伐後（1973 年）の 10 年程度までの年輪幅の推移は A 区で増加傾向、B 区で横ばい、C 区は間伐とは関係ないが減少傾向であった。A 区は 2 度目の間伐（1980 年）で減少しているが、B 区では 2 度目の間伐（1987 年）で年輪幅が増加した。全体の傾向としては間伐後の年輪幅は C 区で 1mm 未満、A 区と B 区で 1～2mm の推移であった。

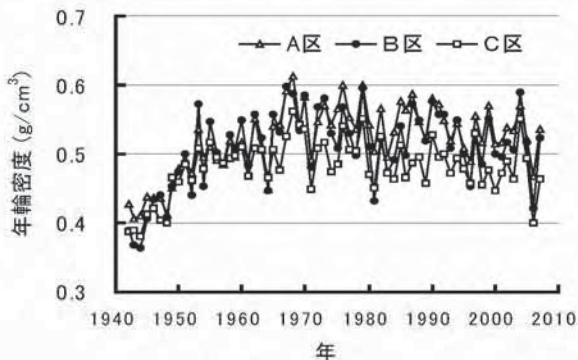


図-5 年輪密度の変動

年輪密度は各試験区とも樹心から増加傾向であり、カラマツの一般的な変動を示している。試験区ごとに見ると試験地設定後の C 区の密度は明らかに他区よりも小さい。表-3 から 1973 年以降の C 区の晩材幅は 0.34mm、晩材密度は 0.70g/cm³ でそれ以前よりも小さく、また他区よりも小さかった。その間の C 区の年輪幅はおおむね 1mm 未満で、晩材部の形成が十分で密度の増加にあまり寄与しなかったと考えられる。A 区と B 区でも間伐後の年輪幅は 1～2mm と小さかった。A 区と B 区の晩材幅は間伐前より

も小さいが、間伐後に晩材密度の減少がなかったことが年輪密度の増加につながっている。

3) 素材生産の検討

各試験区の素材の材積は試験木から得た細りを基に推定した。試験区ごとの樹高別の細りを図-6 に示す。4m 部位と 24m 部位は試験区でばらつくが、それぞれナイロイドと放物線に近い部位によるものであり、A 区は比較的梢殺材といえる。この細りの値を試験区内の全立木に当てはめ素材の材積を算出し、ha あたりの材積に換算した。試験区ごとに集計した材積を径級区分ごとに分け図-7 に示した。試験区ごとの素材の材積は A 区 277m³/ha、B 区 317m³/ha、C 区 474m³/ha であり C 区が最も多かった。径級を大径材（30cm 上）、中径材（14-20cm と 20-28cm）、小径材（10-13cm）に振り分けるとその割合は A 区が 48.7%、49.8%、1.6% で B 区が 39.6%、57.4%、3.0%、C 区が 19.9%、73.7%、6.4% であった。A 区と B 区は大径材の割合が比較的多いが、C 区では中小径材の割合が 80%以上と大きかった。

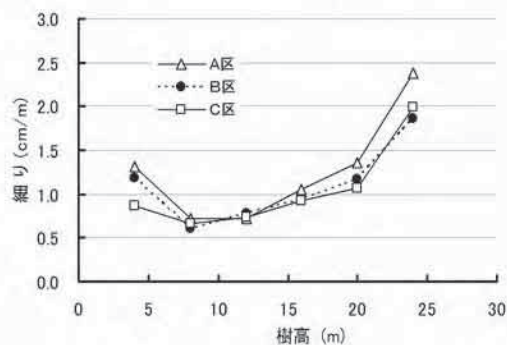


図-6 試験区ごとの幹の細り（樹皮付）

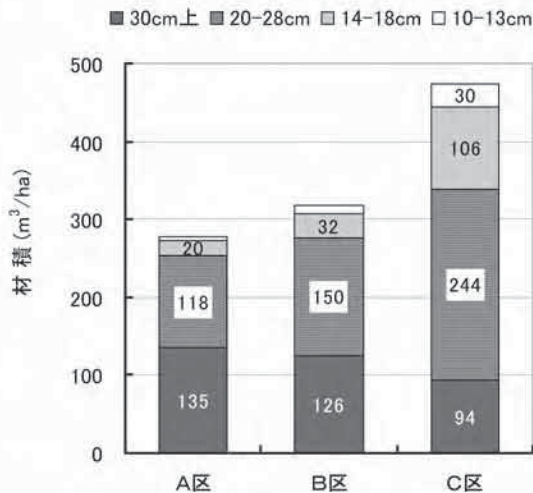


図-7 試験区ごとの素材材積

考察

1) 間伐と材質

本試験区は林齢 32 年で設定されているが、間伐前の平均胸高直径は A 区 18.2cm、B 区 19.2cm、C 区 17.6cm である (I)。間伐は下層間伐を実施しているので間伐後（試験地の設定時）の平均胸高直径は A 区 20.8cm、B 区 20.1cm、C 区 17.6cm となっている (I)。この時点でのヤング係数の値は不明であるが、樹齢や胸高直径、年輪密度の変動などから 1 番玉で 7～8GPa 程度であり、試験区による差は少な

いと推定される。林齢 69 年生時にヤング係数に差が生じているのは、間伐後の 36 年間の年輪幅（量）と密度（質）の増加が試験区で異なったためと考えられる。無間伐の C 区の場合、年輪幅が極端に小さく、加齢に伴っての年輪密度の増加につながらず、ヤング係数は 1 番玉で 9.4GPa（図-2）と他区より小さかった。また、このような年輪構造は樹幹の上部でも同様に現れ、C 区のヤング係数がどの部位でも A 区や B 区より小さく、素材全体のヤング係数に及んでいないと考えられた。

間伐強度の異なる A 区と B 区を比較すると、1972 年の間伐では、強度間伐の A 区が B 区より年輪幅が大きくなった。1980 年には A 区だけ 20% 間伐を実施しているが、年輪幅は減少し、間伐による効果は明らかではなかった。B 区の 1987 年の間伐は年輪幅の増加に寄与していた。しかし、全体の傾向として B 区は年輪幅、年輪密度とも A 区よりやや小さかった（表-3）。このことがヤング係数に若干の差を生じさせたものと思われる。1 番玉のヤング係数は A 区が 11.2GPa で B 区が 10.3GPa であった。林齢 69 年生としては、ヤング係数がやや小さいが、間伐の遅れを考慮すれば十分な値といえよう。以上のことを総合すると、32 年間間伐せずに放置された林分でも間伐を実施することにより、年輪幅の増加に伴い年輪密度が増加し、ヤング係数の増加に寄与したと考える。

2) 間伐と素材生産

A 区と B 区では大径材の生産を目標として下層間伐を 2 回、全層間伐を 1 回 1998 年に行っているの、素材の大径材の割合は高くなっている（図-7）。2008 年に主伐した場合の大径材の材積は A 区が 135m³/ha、B 区が 126 m³/ha と推測され、A 区の材積が大きい。また、A 区の残存木は 200 本/ha で B 区の 268 本/ha に比べて少ないが、平均胸高直径は A 区が 39.2cm で B 区が 36.7cm であり、30cm 上の大径

材が得られる胸高直径 37cm 以上の立木の本数割合も A 区が 75% で B 区の 58% を上回っていると推測される。一方、無間伐の C 区では大径材が 94m³/ha で材積割合が 20% と低く中小径材の割合が高かった。

さて、2008 年に主伐した場合の素材材積（図-7）は C 区が他区よりも大きかったが、A 区と B 区は間伐により残存木が減ったためである。試験区の材積を比較するには主林木と間伐木とを合わせた材積で検討する必要がある。明石はこの試験区の間伐木の林分材積を中島の形数法(2)で求め、試験区ごとに算出している(1)。その間伐木と主林木の林分材積(表-1)を合わせ図-8 に示した。その結果、試験区ごとの林分材積は A 区 522 m³/ha、B 区 579m³/ha、C 区 570m³/ha であった。林分材積を比較すると、B 区と C 区は A 区より多かった。間伐履歴(1)では、1972 年の間伐は小径木を多く伐採し、切り捨間伐に近いものと考えられた。1980 年の A 区での間伐は胸高直径 26cm を主体とした下層間伐、1987 年の B 区の間伐では 18~30cm の下層間伐が行われ、1998 年は全層間伐であった。したがって 1972 年の間伐以外は間伐収入が見込めるので A 区より B 区で間伐収入が期待できる。A 区は B 区よりも大径材生産につながるが、間伐収入まで含めれば B 区が優位と考える。一方、C 区は大径材生産にはつながらず、素材の材質が優れているともいえなかった。以上のことを総合すると、A 区は B 区よりも直径成長を促進する効果はあったが、残存本数が少なく、B 区や C 区より林分材積の増加には結びつかなかった。この結果は明石の報告(1)した後の 10 年間の林分材積でも同様であった。

おわりに

間伐の遅れた林分での材質試験を行い、間伐による材質や素材生産への効果を明らかにし、カラマツ長伐期施業のための知見を得た。カラマツの間伐による材質への影響については、いまだ十分な知見が得られていないのが現状である。現在、他の間伐試験地で標準伐期の試験も実施しており、これと併せてカラマツ間伐施業に向けた指針を作成したいと考えている。

この研究は農林水産省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（課題番号：1935）」で実施したものである。また、この試験を実施するにあたり、道立林業試験場総務部管理科、林業経営部育林科、北海道立林業試験場道東支場の皆様には選木、伐採、データ採取などにご助力をいただいた。ここに記して感謝します。

引用文献

- (1) 明石信廣 (2000) カラマツ長伐期施業のための間伐方法 北海道林試研報 37 : 59-66
- (2) 中島広吉 (1943) 北海道立木幹材積表 興林会北海道支部 : 35

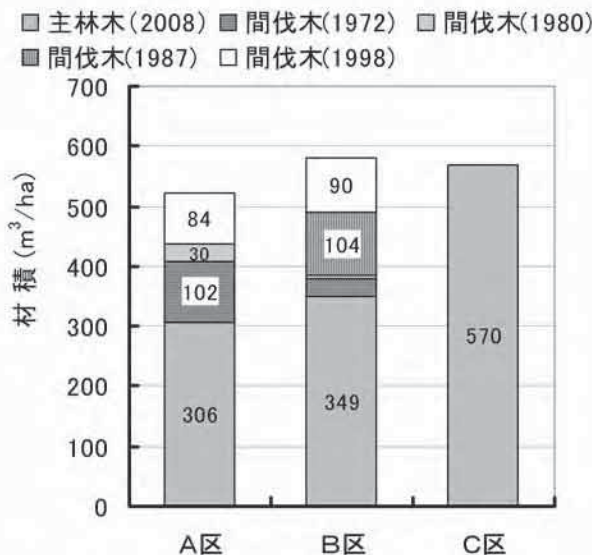


図-8 試験区ごとの林分材積