

カラマツ壮齡人工林の樹木成長におよぼす施業履歴の効果

那須研太¹・清野達之^{2,4*}・村松義昭³・菅原 優³・上條隆志⁴

¹ 筑波大学生物資源学類

305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

² 筑波大学農林技術センター筑波実験林

305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1

³ 筑波大学生命環境科学研究科

305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

⁴ 筑波大学生命環境系

305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

要 旨

間伐等の森林施業が樹木の直径成長や樹高成長に与える影響を定量的に把握することを目的として、施業履歴の異なるカラマツ人工林において調査を行なった。調査区の管理強度は、間伐の有無や回数、時期により強度・中度・弱度に区別した。胸高直径は間伐が行なわれた強度や中度の調査区ではおよそ22.2cmから25.9cmであり、間伐が行なわれていない弱度の調査区ではおよそ18.1cmから19.2cmであった。このことから、弱度の調査区は胸高直径が強度や中度の調査区に比べて小さいことが確認できた。しかし、管理強度が強度の調査区と、管理強度が中度の調査区では胸高直径に明確な違いはなかった。樹高は約16.2mから22.7mの範囲に収まり、林齢が若い林分で低くなる傾向がみられたが、管理強度による効果は認められなかった。以上の結果から、カラマツ人工林において育林初期の間伐回数は伐期近くの林分の樹木成長に大きく影響していないことが分かり、初期保育における間伐回数が少なくてもその後に適切な間伐を行えば良質な素材を確保できる可能性が示唆された。

キーワード：カラマツ、間伐回数、初期保育、人工林、施業履歴、長野県

はじめに

樹木の成長が施業の違いでどのように変化していくのかを明らかにすることは、施業体制の指針を長期にわたって決定するための基本であり、長期的な施業を考える上で重要である。人工林の密度管理に伴う成長過程については、数多くの研究がある。例えば、長期的な観測により高齢なスギ人工林で成長経過を追った研究(大住ら 2000)では、高齢級でも材積成長が持続し、間伐により成長が促進されることが報告

されている。間伐履歴と樹木成長に関しても、間伐により高い樹木成長を期待できるという報告がある。鈴木ら(2009)は高齢級ヒノキ人工林における林分構造と間伐履歴の影響に関する報告で、立木密度を50年生までに1ヘクタールあたり500から1000本以下にして管理しておけば、その後に間伐を省略しても高蓄積の高齢級人工林の造成が可能であることを示唆した。この報告に基づくと、初期保育を重点的に行なっている林分もしくは若い段階において、間伐が多数実施され密度が低く保たれている林

*連絡者：清野達之 筑波大学生命環境系

305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

E-mail: seino.tatsuyuki.gw@u.tsukuba.ac.jp

分に関しては、今後の管理を続けることによってよりよい木材の生産が可能であると考えられる。一方で、正木ら（2011）は、50年から60年での伐期を想定して高めの密度で管理されてきた高齢のアカマツ人工林においては、間伐によって天然林のような大径木を含む林型に誘導することが困難であることを報告している。このため、高密度で維持されてきた林分に対しては、その後の間伐によって大径木生産がはたして可能なのかという疑問が残る。

林業においてコスト削減が求められている現在、効率化のためにはどのタイミングでの間伐が樹木成長に強く正の影響を与えるか調べることは重要な検証項目である。間伐の方法に関しては、強度間伐がカラマツの心材部を形成された後の成長を促進し、優良材生産に効果的であるという報告（王ら 2004）がある。従来の間伐試験は間伐後数年のみの個体ならびに林分成長の解析にとどまっているため、長期にわたる間伐の影響を追跡調査した事例が少ない（鈴木ら 2009）。材生産における高頻度の間伐は施業上重要だといわれている。しかし、施業の省力化を行なうためには間伐は最小限にする必要があり、その頻度によって材木成長と素材の質に違いが生じるのかという疑問を早急に解決する必要がある。そこで本研究では、間伐等による育林施業履歴の違いが林分構造に与える影響を定量的に把握することを目的とし、以下の内容を検証した。

- 1) 間伐による樹木成長への強い正の効果は明確に表れるのか。
- 2) 間伐の効果は間伐の間隔や間伐後の年数など、時間的变化とともにどのように変化するか。
- 3) 施業履歴の違いにより素材の質に違いはでるのか。

以上の視点から、長野県のカラマツ人工林をモデルケースとして人工林の管理施業と樹木成長の関係を明らかにし、森林管理体制の検討を行なった。

調査地と調査区

調査は長野県の東部、関東山地の最西端に位置する筑波大学農林技術センター川上演習林で、2011年6月から9月に行なった。標高は1360mから1790mの間である。カラマツの新規植栽は、前期（1960-1967年）に行なわれたも

表1 調査区における施業履歴（回数）

調査区	管理強度	間伐	除伐	枝打	下刈	ツル切	林齢
A	強	4	2	2	4	2	49
B	強	4	1	2	4	1	51
C	中	3	1	1	5	2	45
D	中	3	1	2	3	0	51
E	弱	0	2	0	4	3	51
F	弱	0	0	0	2	0	44

表中の数値は施業の回数を表す。

のと後期（1974-1979年）に行なわれたものがある。間伐は前期に植栽された林分では3回もしくは4回、後期に行なわれたものでは2回もしくは1回行なわれている（筑波大学農林技術センター演習林 2006）。

調査区の設置は2011年7月から、川上演習林内のカラマツ人工林において0.04ha（20m×20m）の森林調査区（プロット）を設置し、プロット内を10m×10mに細分した。調査区の選定は筑波大学農林技術センターハケ岳演習林事務所に保管されている川上演習林の施業履歴を基に行なった。施業履歴に基づき、調査区の管理強度を「強」「中」「弱」と区別し、各強度に2調査区ずつ、計6調査区を設置した。各調査区の管理強度、および施業履歴を表1に示す。管理強度「強」は間伐が4回行なわれている林分であり、下刈や枝打といった初期保育が積極的に行なわれている林分である。管理強度「中」の林分は間伐が3回行なわれている林分であり、初期保育も積極的に行なわれている林分である。管理強度「弱」の林分は、下刈は行なわれているものの、枝打や間伐といった施業が行なわれていない林分である。また調査区は、林齢に大きな差が無いように前期に植栽された林分から、間伐の回数に基づき5調査区を設定し（調査区：A, B, C, D, E）、林齢の違いの影響を検証するために後期に植栽された林分に1調査区を設定した（調査区：F）。間伐は本数密度（蓄積材積）に対して20-30%の強度で行なわれている。また間伐の間隔は約10年である。

調査方法

毎木調査

2011年7月から8月にかけてプロット内において毎木調査を行なった。調査項目は胸高周

囲長、樹高、枝下高で、胸高周囲長15cm以上のすべての樹木を対象とし調査を行なった。樹高および枝下高の測定にはVertex III (Hagaloof、スウェーデン) を用いて測定した。枝下高は対象木における最も低い位置にある、生きている枝の高さとした。毎木調査の結果から、胸高直径、樹冠長、樹冠長率、形状比を算出した。樹冠長は樹高から枝下高の差で求められ、樹冠長率は樹高に対する樹冠長の比である。形状比は樹高に対する胸高直径の比である。毎木調査の結果を基に、各調査区間で平均胸高直径や平均樹高などに違いがあるのかを検定するために、Steel-Dwassの方法による多重比較を行った。また調査地や管理強度で、胸高直径と樹高の関係に違いがあるのか検証するために共分散分析を行った。各水準間の検定が多重比較になるため、ホルムの方法による補正を用いて違いを検証した。解析には統計ソフトであるR version 2.14.0 (R Development Core Team 2011) を用いた。

樹幹解析

毎木調査の結果を基に、各プロット内の最も平均的な個体を選定し、試供木とした。試供木は2011年9月に伐倒し、地際より2m間隔で円板を採取した。その後円板を持ち帰り、各円板の年輪幅を4方向で測定し、その幅を記録した。年輪幅を測定後、解析ソフトであるStem Density Analyzer (Nobori et al. 2004) を用いて、樹高・材積の総成長量と年成長量を算出した。

全天写真

2011年8月から9月に調査林分の林床の光環境を測定するため、全天写真の撮影を行なった。カメラを地面から高さ1.5mの位置に固定し、撮影機材はCanon EOS Digital X (Canon、東京) に魚眼レンズ (SIGMA4.5mm F 2.8、Sigma、東京) を使用した。撮影はプロット内の10m間隔の格子点で、計9地点行なった。全天写真の解析にはCanop0n2 (竹中 <http://takenaka-akio.org/etc/canop0n2/index.html>) を使用した。全天写真の解析結果から、写真全体における林冠部で被われていない部分の割合を空隙率 (%) として定義した。

結 果

毎木調査および全天写真

表2に調査地の林況を示す。

管理が強度の調査区は、弱度の調査区と比べて2倍ほど立木密度が小さく、立木が最も少ない調査区で376本/haであり、最も多い調査区で1350本/haと管理強度によって4倍近い差が生じていた。

調査区あたりの平均胸高直径は管理強度「強」の調査区で、 25.2 ± 2.4 cmおよび 25.9 ± 3.4 cm、強度が「中」の調査区で、 22.9 ± 3.7 cmおよび 22.2 ± 4.8 cmであった。管理強度「弱」の調査区では平均胸高直径が 18.1 ± 3.8 cmおよび 19.2 ± 3.8 cmであり、管理強度が「強」および「中」の調査区に対して平均胸高直径が有意に小さかった。最も立木密度が小さい調査区Aでは、胸高直径のばらつきも少なく、径が比較的そろった立木が存在していた。管理強度「強」と「中」の調査区では、立木密度 (376本/haから825本/ha) の差が大きいにもかかわらず、胸高直径の平均値には明確な違いは認められなかった。

平均樹高や平均枝下高においては管理強度による違いが見られなかった。樹高は約16.2から22.7mの範囲に収まり、調査区Fを除くと19.0から22.7mの範囲に収まった。調査区Fといった林齢が小さい調査区で、樹高が小さくなる傾向があった。

Steel-Dwassによる多重比較検定の結果から、同じ管理強度の調査区同士で比較すると、管理強度が「強」調査区A (86.5 ± 7.2) と調査区B (89.0 ± 10.4) では違いは認められなかった。しかし、強度「中」の調査区C (84.4 ± 11.4) と調査区D (102.4 ± 15.4)、強度「弱」の調査区E (110.8 ± 16.6) と調査区F (86.5 ± 14.0) には、同じ管理強度の調査区にも関わらず、形状比に20ほどの違いが生じた。これは調査区Dの地衣指数が高いためで、調査区Fの形状比が86と小さいのは、林齢が若く樹高が低いためである。

林床の光環境を示す空隙率は調査区Fが調査区A・B・C・Dに対して有意に小さく、林冠が閉鎖していることを示した。調査区Eは調査区Bの2倍ほどの立木密度にも関わらず、空隙率には違いがなかった。

表2 調査地の林況

調査区	間伐強度	林齢(年)	密度(本/ha)	胸高直径(cm)	樹高(m)	形状比	枝下高(m)	樹冠長(m)	空隙率(%)
A	強	49	376	25.2±2.4 a	21.7±1.4 a	86.5±7.2 a	14.2±1.5 a	7.5±1.1 a	20.8±1.9 a
B	強	51	600	25.9±3.4 a	22.7±0.9 ac	89.0±10.4 a	17.2±1.1 b	5.5±1.2 b	18.4±2.3 a
C	中	45	825	22.9±3.7 a	19.0±1.5 bc	84.4±11.4 a	14.0±1.3 a	5.0±1.6 bc	17.6±0.8 b
D	中	51	725	22.2±4.8 ac	22.1±1.8 a	102.4±15.4 b	18.0±1.4 b	4.0±1.4 c	18.0±1.2 b
E	弱	50	1150	18.1±3.8 b	19.6±2.3 b	110.8±16.6 b	12.3±3.0 a	7.3±2.4 a	17.1±2.8 b
F	弱	44	1350	19.2±3.8 bc	16.2±1.6 d	86.5±14.0 a	13.2±1.3 a	3.0±1.2 d	14.3±0.9 bc

表中の数値は平均値±標準偏差を示す。アルファベットはSteel-Dwass検定による差異を示す。

樹木成長の経年変化

図1に年輪幅の経年変化を示す。成長の全体的な傾向としては、植栽後から15年ほどでは、間伐の有無による違いはあまり見られないが、無間伐の調査区(E, F)における年輪幅の成長は樹齢を重ねるにつれて徐々に小さくなった。成長の傾向は樹齢に伴い年成長量が減少するもの(調査区D・E・F)、年成長量の減少がそれほど大きくないもの(調査区B・C)、年成長量が一度減少するがその後増加するもの(調査区A)の3つのパターンが認められた。間伐を行なった調査区A・B・Cでは、間伐後に成長が増加する時期が何度か見られ(表1、図1)、この成長の増加は間伐後約3から6年で現れ、3年ほど続く傾向がみられた。

図2に樹高の経年変化を示す。

樹高はプロットA・B・C・D・Eが20.4から22.3mの範囲に達し、管理強度に関わらずほぼ同じ値となった。

図3に材積の経年変化を示す。

単木材積は管理強度が強くなるにつれて大き

くなった(図3)。調査区AとB、CとD、EとFのように、管理強度が同じ調査区では材積は同じ値になる傾向が見られた。年材積成長は植栽後長くなる傾向を示し、中度、強度の調査区での成長量は、弱度の調査区に比べて大きくなった(図3)。

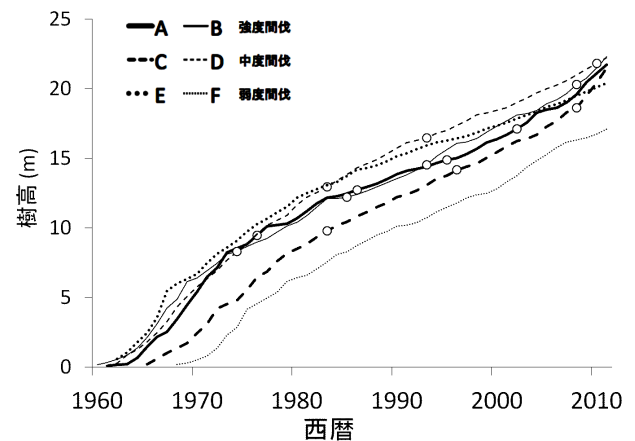


図2 樹高の経年変化

図中のアルファベットは表2における調査区を示す。白丸は間伐した時期を示す。

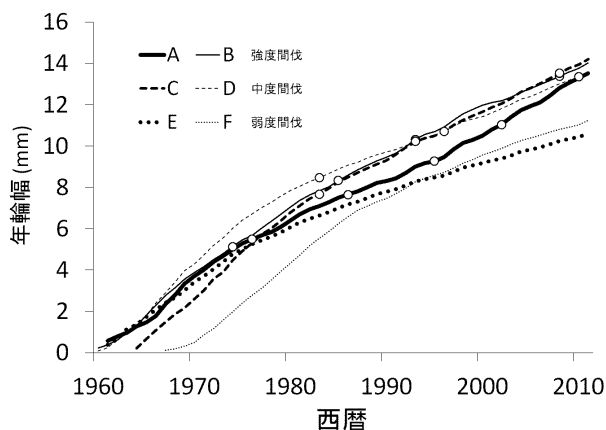


図1 年輪幅の経年変化

図中のアルファベットは表2における調査区を示す。白丸は間伐した時期を示す。

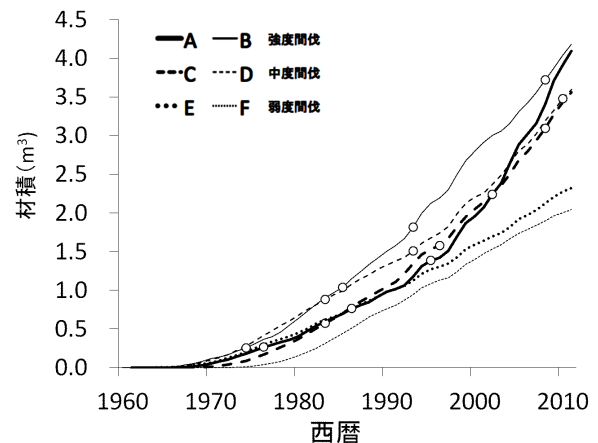


図3 単木材積の経年変化

図中のアルファベットは表2における調査区を示す。白丸は間伐した時期を示す。

考 察

間伐による林分構造の変化

本研究では間伐履歴がある調査区とない調査区では胸高直径に違いが見られたため、間伐が胸高直径に正の影響を与えることは確認できた。しかし、管理強度「強」と「中」の間では胸高直径成長および年輪幅成長のどちらにおいても明瞭な違いを確認することはできなかった。このように間伐回数の違いが顕著に表れなかった理由として、間伐後の直径年成長量の増加といった、正の影響がまだ十分に表れていないことが考えられる。高齢級人工林では、間伐から間もない期間はその影響が顕在化せず、4年から6年ほどの時間がたつと間伐の影響が直径成長に反映されると考えられることから (Latham and Tappeiner 2002; 安達・川崎 1999)、高齢級人工林への移行期である本調査地でも同様の傾向がみられ、近年の間伐の影響がまだ顕在化していない可能性が考えられる。

このため林分に立木を残しつつも立木密度を保ち、高い材積量維持し、幹成長を維持することができる可能性が示唆された。また、間伐が行われた時期に着目すると、植栽後15年程度で初回の間伐が行われている管理強度「強」の調査区と、行われていない管理強度「中」の調査区との間に平均胸高直径の違いは確認できなかった。このことから育林初期の間伐を省略しても幹成長に大きな負の効果は与えない可能性が示唆された。

樹高成長に関しては、管理強度による成長の違いは確認できなかった。これはスギ人工林において、間伐による樹高成長率の増大は胸高直径の成長率の増大と比べて小さかったという報告もあるため (玉井ら 1983)、本研究におけるカラマツ人工林でも、間伐による樹高成長への影響が顕著に現れなかった可能性が考えられた。形状比の結果から、強い管理強度の調査区で形状比が小さくなることが確認できた。形状比の大小は樹高との関係が深く、林齢が若く樹高が低い林分では、形状比が大きくなる。また、同齢の調査区 (A・B・D・E) で比較すると、管理が強度の調査区A・Bで形状比が比較的小さく、ばらつきも少ないことが確認できる。カラマツ人工林において平均形状比が小さい林分は風倒被害に対する抵抗性が大きく、その形状比は林分密度に強く影響される (渋谷ら 2011) ことから、間伐を積極的に行い、立木密度を低

く保つことで風倒抵抗性の強い林分を造成できる。

間伐の影響の経年変化について

樹幹解析の結果より、樹木成長の全体的な傾向として、樹齢の増加に伴う年輪幅成長の減少・樹高成長の減少・材積成長量の増加が見られた。年輪幅の年成長量は間伐を行なっている調査区で大きく、間伐後に年成長量が大きくなる傾向が確認できたため、間伐を行なうことで年成長量が大きくなることが示唆された。今後同様の間隔で間伐を繰り返すことにより、高い年成長量を維持できる可能性が示された。

初期の間伐において、間伐の効果があまり見られず、持続しなかった理由として、初期の間伐では立木密度があまり減らず、すぐに樹木間の競争が高くなってしまった可能性があげられる。初期の間伐強度を上げることによって効果がより大きく、そしてより長く持続することが出来ると考えられる。加えて間伐等の実施によって、被圧や病虫害、風倒被害等の災害による枯死量を少なくできれば、スギ人工林平均成長量が最大に達する林齢が高くなるという報告がある (西園ら 2008)。このように高い強度の初期間伐で個体間の競争を緩和し、その後の施業で不良形質木の除去を行なうことで、少ない間伐回数でもより高い樹齢まで成長量の増加が維持され続けることが期待できる。

素材生産に間伐が与える影響

一般に素材生産を目的とした森林管理では、大径木生産のために間伐は重要な施業であり、ある程度の間伐回数が求められる。そのため、立木密度を大幅に減少させることによってより効率的な大径木生産ができることを示唆している。

効率的な素材生産のために、目的にあった施業方針、施業体制を行っていくことは重要である。本研究においては、間伐により直径成長は促進され繰り返し間伐を行なうことでその効果が持続しやすいことがわかり、大径木の生産を目指すのであれば間伐をもっと積極的に行なう必要があることが示唆された。一方、間伐の回数による成長の大きな違いが本研究では見られなかったため、間伐の回数を減らし省力化を図りながらも大径木生産は可能であると考えられる。

材生産という観点から、間伐を繰り返し行な

い、不良形質木を除去することで、良質で均質な素材の蓄積ができる可能性が示された。ある回数以上の間伐は幹成長においては期待される正の効果が強くみられないが、良質木の生産という点においては有益だと結論した。

謝 辞

本研究を行なうにあたり、筑波大学生命環境系の中村徹教授には有益なご助言を頂いた。伐倒作業において筑波大学農林技術センターハケ岳演習林の井波明宏氏と杉山昌典氏にご助力を頂き、筑波大学農林技術センターの齋藤明氏には樹幹解析の円板試料の研磨でご指導を頂いた。また、筑波大学森林生態学研究室の落合菜知香氏と石原祥子氏には調査の際にご助力を頂き、同研究室の諸氏には研究支援を頂いた。ここに記して感謝いたします。

引用文献

- 安達亮介・川崎圭造 (1999) 高齢ヒノキ一斉林における間伐効果の一例. 中部森林研47:7-8.
- Latham P, Tappeiner J (2002) Response of old growth conifers to reduction in stand density in western Oregon forests. *Tree Physiology* 22 : 137-146.
- 正木隆・森茂田・梶本卓也・相澤州平・池田重人・八木橋勉・柴田銃江・櫃間岳 (2011) 高齢・高密度のアカマツ林の間伐は成長を改善するか. 日本森林学

- 会誌 93 : 48-57.
- 西園朋広・田中邦宏・栗屋善雄・大石康彦・林雅秀・横田康裕・天野智将・久保山裕史・八巻一成・古井戸宏通 (2008) 秋田地方のスギ人工林における林分材積成長の経年推移. 日本森林学会誌 90 : 232-240.
- Nobori Y, Sato K, Onodera H, Noda M, Katoh T. (2004) Development of stem density analyzing system combined X-ray densitometry and stem analysis. *Journal of Forest Planning* 10 : 47-51.
- 大住克博・森麻須夫・桜井尚武・斎藤勝郎・佐藤昭敏・関強 (2000) 秋田地方で記録された高齢なスギ人工林の成長経過. 日本林学会誌 82 : 179-187.
- R Core Team (2011) . R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- 渋谷正人・浦田格・島田宏行・飯島勇人 (2011) 北海道中央部の針葉樹人工林における風倒被害と樹形. 森林立地 53 : 53-59.
- 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造にみる間伐履歴の影響. 日本森林学会誌 91 : 9-14.
- 竹中明夫 CanopOn2
<http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/index.html>
(Last accessed: 24 November 2012)
- 玉井重信・大久保泰志・堤利夫 (1983) 小径木間伐に関する研究 (I) 間伐後12年間のスギ林の林況、および現存量の変化について. 日本林学会誌 65 : 372-381.
- 筑波大学農林技術センター演習林 (2006) 森林管理計画書. 122pp. つくば市.
- 王賀新・佐々木賢治・魚住侑司・植木達人・加藤正人・関慶偉 (2004) カラマツ大径木生産を目的とした強度間伐の有効性. 信州大学農学部AFC報告 1 : 63-71.

Effects of Forest Managements on Tree Growth in Mature Larch Stands

Kenta NASU¹, Tatsuyuki SEINO^{2, 4*}, Yoshiaki MURAMATSU³
Yu SUGAWARA³ and Takashi KAMIJO⁴

¹ College of Agro-Biological Resource Sciences, School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba,
Ten-nodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan

² Tsukuba Experimental Forest, Agriculture and Forestry Research Center, University of Tsukuba,
Ten-nodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577, Japan

³ Master's Program in Agro-bioresources Science and Technology, Graduate School of Life and Environmental Sciences,
University of Tsukuba, Ten-nodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan.

⁴ Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba,
Ten-nodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan

Abstract

This study aims to evaluate the effect of forest management on tree growth such as diameter and height growth in a larch artificial forest central Japan under different management regimes. The impact of management was defined by the times of thinning. Tree diameter in strong and medium impact stands were ranged from 22.2 to 25.9 cm in diameter at breast height while in a weak impact stands were from 18.1 to 19.2 cm. Diameter of trees in the weak impact stands was smaller than that of strong and medium ones. Tree heights were ranged from 16.2 to 22.7 m in all stands, and no significant difference among the thinning impacts. There were not found significant differences of diameter growth in thinning times and existence in an early stage. These results were suggest that there were possibility to keep a certain timber volume even under a less thinning operation in an initial stage of forest management.

Key words: Artificial forest, Forest management, *Larix kaempferi*, Nagano prefecture, Thinning

*Corresponding Author: Tatsuyuki SEINO Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba
Ten-nodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan
E-mail: seino.tatsuyuki.gw@u.tsukuba.ac.jp