

## 人工下種更新によるカラマツ幼齢林の成長\*

王賀新・奥住侑司・植木達人

信州大学農学部森林科学科

### 要約

今日、林業では木材生産と森林の公益機能が調和するシステムの実現が強く求められており、そのため、施業の多様化が不可欠となっている。本研究はその一環としてカラマツ更新方法の多様化を目的にカラマツ人工下種更新による林分を調査した。調査は長野県軽井沢町浅間山麓における長倉山国有林で行った。播種は1.5m幅の列状床と1.0mの方形床との2方式で、12~13年経過して調査を行った。林分の生立木本数は、列状区が45,000本/ha、群状区が26,000本/haで、いずれの調査区も高い密度の更新と良好な成長がみられた。群状区では周辺効果で群の周囲の立木が優れた成長を示し、林分成長、優勢木本数および優勢木樹高で列状区より優れていた。群状区は地面の掻き起こしや播種量の節約でコストの軽減が期待でき、より評価できる方法といえる。今後の施業については、放置しても上層に成長の旺盛な優勢木が十分に存在しているため、当面は間伐をしなくても自然間引きで天然更新のカラマツ林に近似する林分を形成できるといえる。本研究の結果、カラマツ人工下種更新施業は低コスト、省力、良好な生育および自然力の利用の点で優れた更新方法と評価できる。

キーワード：カラマツ、群状播種、列状播種、人工下種、更新

### I. はじめに

今日、世界的に森林に求められている課題は環境の保全と木材生産の2面である。この目的を達成するためには、多様な森林造成の技術が必要となり、施業の多様化が不可欠となる<sup>17)</sup>。本研究は、多様化施業技術の開発の一環として、カラマツ施業について検討を行ったものである。

カラマツは北方林の代表樹種の一つで、林業面でも重要な樹種である。初期成長の早さ、立地条件選択の広さ、育苗の容易さ等の利点から、戦後の日本では「短伐期施業」や「早期緑化」を目的として大規模に造林された<sup>10)13)</sup>。中国でも在来種より成長が早いことや造林範囲の広さから東北地方南部で大規模に造林されている<sup>16)</sup>。これらのカラマツ造林の特徴は皆伐一斉造林であって、施業的には極めて単純である。一般的に、施業の多様性は、林分の多様性、そのための更新方法の多様性が基本となるが<sup>17)</sup>、本研究では、カラマツの更新面の多様性を図る一環として人工下種の成果について分析を行った。

日本においては、戦後にカラマツが大面積に造林されたが、廉価な外国材の導入、小径材需要量の減

少およびカラマツ不良材質等の理由から材価が低く、間伐等の保育が放棄される傾向にある<sup>3)10)14)18)</sup>。カラマツに関して、人工下種、天然下種更新の技術が確立されたならば、苗木費の節約や人件費の軽減により、更新面のコストダウンに貢献することが期待でき<sup>3)9)</sup>、カラマツ施業の推進に大きく寄与するといえる。

### II. カラマツ人工下種と天然更新に関するこれまでの研究

カラマツ人工下種に関する研究はこれまで全く行われず、研究成果は出されていない。人工下種は種子の供給を人為的に行うが、その後の発芽・生育は自然力に任せられるので、天然更新と極めて近似する更新方式である。

カラマツは長野県を中心に天然林としても広く存在し、それらの天然林につき研究されたものがいくつか存在している。これまでの報告によると、カラマツ天然更新の多くは火山土や火山噴出灰土、溶岩地、山火事跡地、地滑り跡、河原および氾濫原のような新しく形成された土壌や裸地に好んで成林している<sup>1)5)8)12)13)15)</sup>。また、道路の法面、集材路、かき起こし地など人為的な活動によって有機質に富む表層土壌が除去され、鉱物質土壌が露出した場所にも

\*本研究は第49回日本林学会中部支部大会で口頭発表した

カラマツの天然更新がよく発生するとの報告もある<sup>9)3)4)6)</sup>。最近、カラマツの天然更新は林床の表層に生息する暗色雪腐病菌によって種子が腐敗されるため、林地内や伐採跡地のような土壌のA<sub>0</sub>層が除去されない立地にはカラマツの天然更新は困難であるという点が明らかにされている<sup>2)3)</sup>。

これまでの研究によりカラマツ天然更新の成功には土壌条件が大きく関係しているといわれる。すなわち、土壌条件がカラマツ発芽の大きな条件といえることができる。カラマツ天然更新による生育については、天カラと称される高齢級のものを除けば、幼齢段階、壮齢段階のものについての報告は皆無に近い。その点で、本研究では人工下種後の生育特性に分析を加えているので意義は大きいといえる。

III. 調査地と調査方法

1. 調査地の概況と林分の経緯

調査地は北緯36°24′, 東経138°35′, 標高1,400m前後の長野県浅間山麓の長倉山国有林に位置してい

表-1 調査地概況

区分	列状区	群状区
林小班	87林班れ小班	87林班つ小班
面積(ha)	1.33	0.95
伐採年(年)	1985	1984
下種年	1988	1987
播種方式	ばらまき(列状)	つばまき(群状)
総播種量(kg/ha)	113	32
更新面播種量(kg/ha)	132	96

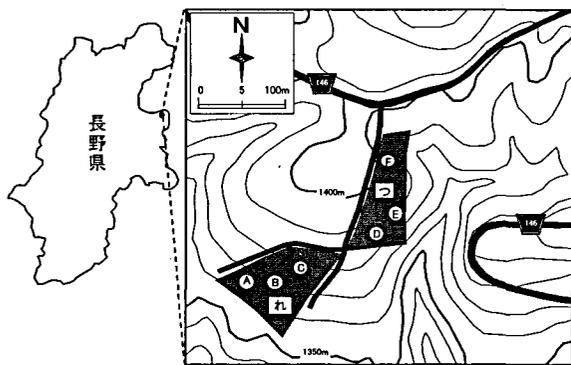


図-1 調査地の位置

(図-1)。当地域では1783年(天明3)の浅間山の大噴火で多量の軽石が噴出し堆積している。この軽石は未風化、多孔質で、透水、排水には優れているが、養分の欠乏および水分の流出により、樹木の成長は不良である。佐久森林管理センターはこの地域を土壌条件劣悪保安林として林地改良事業に取り組み、軽石層を取り除いて下層の埋設土層を出してやることにより造林木の成長を促し、健全な林分を造成するように努めた。当調査地は1984年と1985年に森林を伐採し、軽石の採取場となった。軽石採取前の土壌は、表層10cm以下には平均粒径1cm程度の軽石が層を成し、埋設土層まで平均約1.5mで、厚いところでは7-8mほど堆積している。調査地は軽石の販売により採取された跡地で、ある程度の厚さの軽石層が残されている。そのため、早く植生を回復するためにカラマツの人工下種試験を行った。調査林分の87林班れ小班1.33haには1988年5月に等高線に沿って1.5m幅の床を作って播種し(以下列状区と称する)、つ小班0.65haには、1987年5月に一辺1mの方形の床を作って播種した(以下群状区と称する)。播種用の種子は古いものであったので、更新の数を確保するため、播種量はかなり多かった。更新面で見ると、列状区は132kg/haで、群状区はその7割程度の96kg/haであった(表-1)。播種後、いずれの小班にも20万本/haと予想以上の稚樹が発

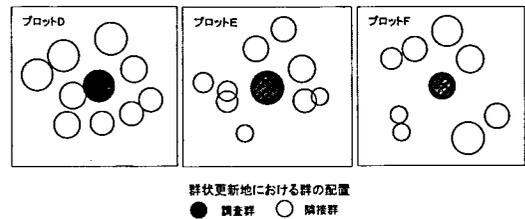
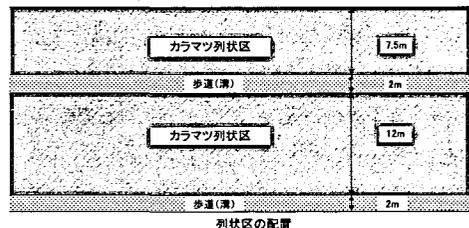


図-2 調査地における列状区および群状区の配置

表-2 調査地の経費比較

	経費項目					合計
	地拵え	植付・播種	下刈	つる切	除伐	
人工下種更新地 (軽石採集地)	0.0	10.0	8.0	0.0	18.0	36.0
新植造林地	34.0	18.0	32.0	16.0	36.0	136.0

(単位:万円/ha)

注)平成4年度長野営林局業務研究発表集(1993)により作成,作業経費は2万円/人・日である。



写真-1 列状区における12年生のカラマツ (2000年6月撮影)



写真-2 群状区における13年生のカラマツ (2000年6月撮影)

生した。播種当年と翌年には2回ずつ下刈りをしたが、その後、人為的な管理はいっさい行われなかった。また、佐久森林管理センターによると(表-2)、軽石採取跡地であったため地ごしらは省略され、更新の経費は36万円/haで、新植造林地の経費(136万円/ha)の約1/4となった。

今回の調査では、列状床の播種区については1.5m幅の列状の床は確認できず、林地には約2m幅の溝に区分された約7.5mと約12mの列状区を確認することができた(図-2)。方形の群状播種区は図-2のように四角い形状が崩れ、円形に近似する群の状態になった。調査林分はかなりの立木本数があり、また、林内には枯死木が大量に発生し、立枯れの状態で密集している。列状区では林木が均一に密生しているが、群状区では群の間に間隔があり、すべての群がほとんど独立している状態であった。写真-1、写真-2は、それぞれ列状区および群状区の現状である。

## 2. 調査方法

調査は、2000年6月と8月に行った。群状区では群の大きさに合わせて直径1m以上の円形プロットを3ヶ所設定し、列状区では半径1mの円形プロットを3ヶ所設定した。プロット内の樹高1m以上の生立木、枯死木を全て調査し、立木位置も調査した。優勢木から劣勢木まで胸高直径の大きさの順に、列状区で6本、群状区で7本の樹幹解析木を採取し、20cm間隔で円板を採取した。なお、列状区のプロットAと群状区のプロットDについて、プロット内のすべての枯死木を収集し、根元の年輪を計測して枯死した林齢を確認し、林齢別の枯死木本数を調べた。これをもって林分の枯死本数の推移や枯損率を推定した。

## IV. 結果と考察

### 1. 林分成長の現状

表-3は林分調査の結果をまとめたものである。林分には1m以上の生、枯死立木を合わせて両区が

表-3 調査林分の概況

	下種年	林分の立木密度(本/ha)			更新面の立木密度(本/ha)			枯死率 (%)	最大 樹高 (m)	平均 樹高 (m)	平均胸 高直径 (cm)	
		生立木	1m以上 枯損木	合計	生立木	1m以上 枯損木	合計					
列状区	プロットA	1988	35,469	73,666	109,135	41,380	85,944	127,324	67.5	3.5	2.9	1.6
	プロットB	1988	32,740	27,283	60,023	38,197	31,830	70,027	45.5	5.5	4.2	2.5
	プロットC	1988	65,481	30,012	95,493	76,394	35,014	111,408	31.4	4.8	2.5	1.3
	平均	1988	44,563	46,382	90,945	51,991	54,112	106,103	48.1	4.6	3.0	1.7
群状区	プロットD	1987	23,571	64,286	87,857	70,856	193,224	264,100	73.2	5.3	3.9	2.2
	プロットE	1987	25,714	62,143	84,857	77,297	186,802	264,100	70.7	7.7	4.4	2.7
	プロットF	1987	30,938	82,500	113,438	92,998	247,996	340,994	72.7	4.7	3.7	2.4
	平均	1987	25,774	66,658	92,432	77,478	200,374	277,852	72.2	5.9	4.0	2.5

ほぼ等量の更新をしているが、更新面に限定して更新本数をみると、群状区は列状区の3倍近く更新していることがわかる。生立木の場合、林分を平均すると、列状区は44,563本/haで、群状区は25,774本/haであるが、更新面に限定すると群状区は77,418本/haで、列状区は51,991本/haであった。

図-3は、樹高および胸高直径の分布を示したものである。両調査区とも多くの枯死木が発生している。樹高は、列状区では3m階がピークで、群状区では4m階がピークに達していた。また、列状区では最大は6m、最小は2mで、群状区では最大は階級8m、最小は3mであった。

以上のことから、12~13年を経過した軽石採集跡地におけるカラマツ人工下種更新は十分な本数と良好な成長を示していることがわかった。

両調査区を比較すると成長がやや異なることが認

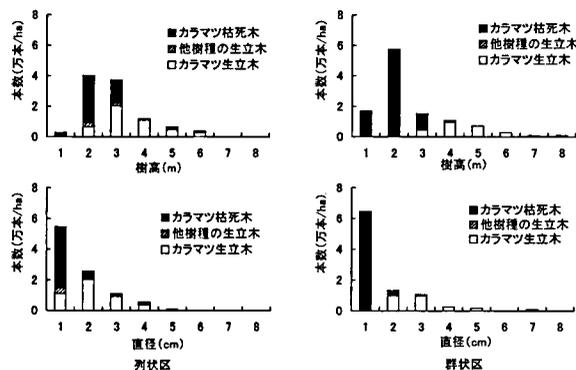


図-3 調査林分の樹高および胸高直径の階級分布

められた。表-1をみると群状区は更新面の播種量は少ないが、表-3では更新本数は多く、生立木の平均樹高と最大樹高も列状区より1.0m以上大きくなっている。図-3から、群状区の胸高直径と樹高の分布モードは列状区より高い階級にあり、大きな個体の本数が多かったことがわかる。すなわち、成長の点では群状区が列状区より優れている。これは群状区が列状区より1年早く播種が行われたことにも原因があるが、図-4の優勢木樹高成長の平均値から、群状区が常に列状区の上にあるので、1年早い播種によるものだけではないと思われる。

一般的には成長の差異は立地条件の異なりによるものが多い。しかし、本調査地の両小班はほとんど隣接し、中心部位の距離で約150m離れ、標高は約20mの差である。土壌はともに軽石採取後の跡地で、傾斜が8~10°である。方位はつ小班がやや東南に傾いているが、両者ともほぼ南向きである。林内植

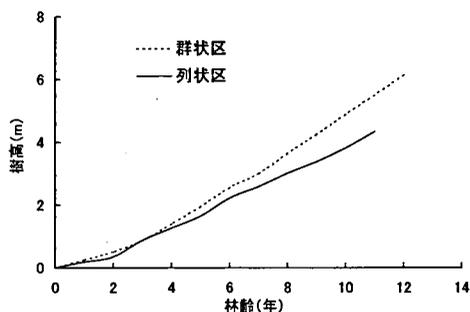


図-4 優勢木樹高成長の推移 (両区ともに3本ずつの平均値)

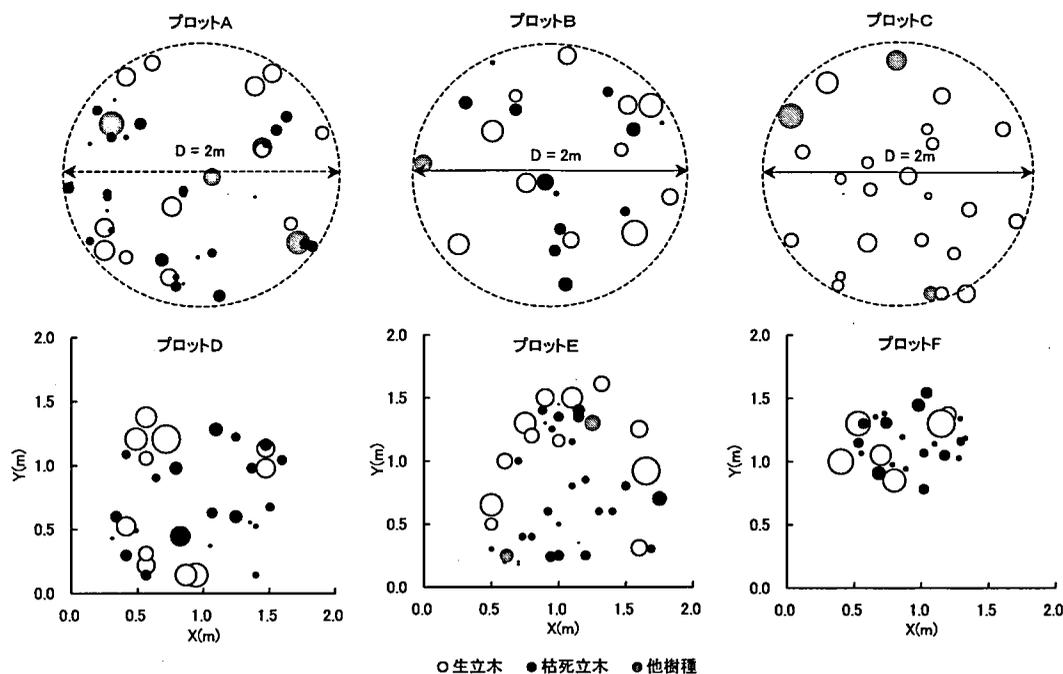


図-5 調査プロットにおける立木位置と胸高直径サイズとの関係 (プロットA, B, Cは列状区, プロットD, E, Fは群状区)

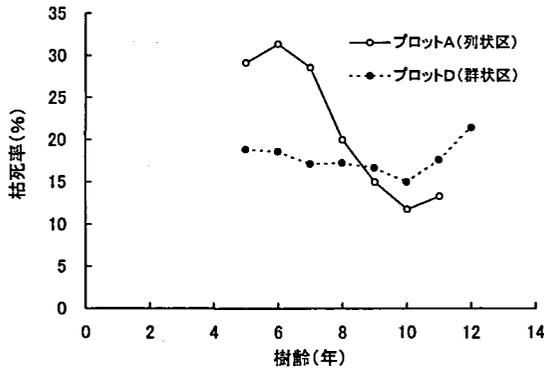


図-6 枯死木より推定した年枯死率の推移

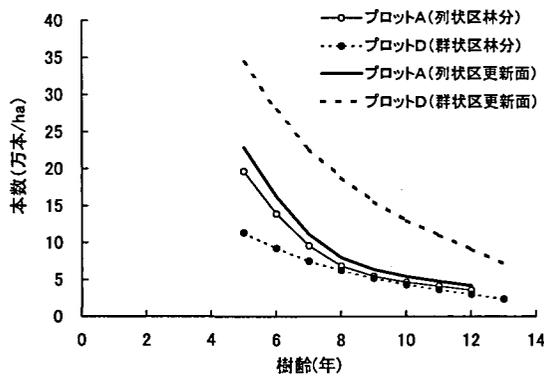


図-7 枯死木より推定した立木本数の推移

生は林分密度が高いためほとんど見られない。すなわち、両小班の地位は大差がなく、地位によるカラマツ成長の影響は大きくないと考えられる。したがって、両調査区のカラマツ林成長の差異は、地位以外の周辺効果 (Border effect)<sup>7)</sup>または林縁効果<sup>11)</sup>による影響と考えることができる。

図-5は、調査プロット内における立木の配置を胸高直径の大きさでみたものである。列状区では生立木がプロット内にほぼ均一に分布しているが、群状区では群の外周に生立木が分布していることがわかる。群状区の場合は群の外縁に空間が存在し、この空間が群の外周に位置する更新木に対して周辺効果や林縁効果を及ぼし、生育に有利に働いたためといえる。また、周辺の更新木は中心部の更新木より成長が優れていたため、種内競争から生き残ったと考えられる。

## 2. 本数減少の推移

播種されたカラマツはほぼ同時に発芽したと仮定すると、枯死木の林齢から枯死した樹齢を推定することができる。図-6は両区について樹齢ごとの枯死を推定したものである。枯死率は、林齢に伴って、列状区では最初の30%前後から次第に10%前後に減

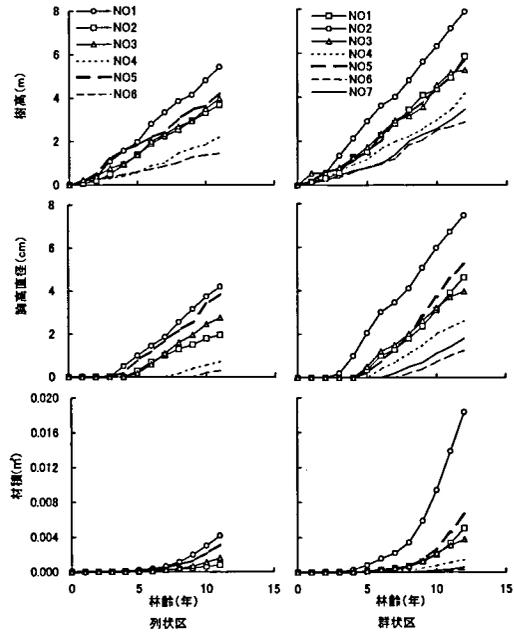


図-8 両調査区における解析木の樹高、直径および材積成長の推移

少し、群状区では最初の20%前後から緩やかに15%まで下がり、その後、21%にあがっている。枯死率は最初列状区の方が高いが、樹齢8年以後、群状区の方が高くなっている。

枯死率から生立木の本数減少を推定したのは図-7である。成長に伴い、両区とも立木本数が徐々に下がっている傾向がみられた。更新面でも、群状区の立木本数が多くなっているのは、前述の群状区における群の特徴から生じるものと考えられる。なお、林分単位に換算すると成長に伴って両プロットの本数密度はほぼ同じ本数で減少している。

カラマツ天然更新の場合、最初に形成された林分はほとんど高い立木密度であり<sup>3)4)6)8)9)12)15)</sup>、最大で50万本/haの例もある<sup>3)</sup>。本研究の人工下種により更新した林分は、この天然更新と非常に類似しているといえる。今後の推移を予測すると、両調査区はいずれも10%程度の枯死率で進むと仮定して、劣勢木の枯死によって密度が自然に調整できると考えることができる。したがって、このまま放置しても自然間引によって天然更新カラマツ林に類似する林分が形成できると考えることができる。

## 3. 単木成長の経緯

図-8は各調査区から採取した生立木を樹幹解析して成長の推移をみたものである。これによると、早い時期から成長差が生じ、早期に優れた成長を示したものはその後も優れた成長を示し、成長の劣っ

表-4 樹高および直径の大きさ別による生立木の本数と割合

	列状区		群状区	
	本数/ha	%	本数/ha	%
樹高	> 6 m	0	1,778	6.9
	> 5 m	2,728	4,444	17.2
	> 4 m	7,276	11,554	44.8
	> 3 m	18,189	21,330	82.8
	> 2 m	38,197	25,774	100.0
	> 1 m	44,563	25,774	100.0
	> 0 m	44,563	25,774	100.0
直径	> 5 m	0	889	3.4
	> 4 m	909	2,666	10.3
	> 3 m	4,547	5,333	10.7
	> 2 m	13,642	15,109	58.6
	> 1 m	33,650	24,886	96.6
	> 0 m	44,563	25,774	100.0

たものは早い時期から成長が劣っていたことがわかる。

このことから、人工下種されたこの林分においては、成長の劣ったものは将来優勢な成長を示すことはないといえる。また、優れた成長をしているものはこの段階でも旺盛な成長を示しているため、将来の成長が期待できるといえる。

#### 4. 今後の施業

一般的に、本研究調査地のように多くの更新があった林分では本数を調整するための間伐が必要となる。表-4は生立木につき群ごとに樹高階および直径階で区分して整理したものである。これによると、列状区では樹高5m以上のものが2,728本/ha生立し、群状区では樹高6m以上のものが1,778本/ha生立している。図-8から調査区の優勢木はより優れた成長を示しているため、今後放置したとしても成長の旺盛な上層優勢木本数が十分存在しているため、当面は間伐の必要はなく、自然間引きに任せようといえる。

カラマツ人工下種更新は天然更新の補助手段として、天然下種が不十分の場合、人為的に種子を供給して更新を促進する方法である。下刈や除伐等の経費が同じと想定して、植付や播種が終わる段階の経費比較を表-5に示している。種子散布だけの人工下種Aは16.8万円/haで、通常の人工造林経費(67.8万円/ha)の約25%、地拵えを伴う人工下種Bは53.7万円/haで、人工造林経費の約80%であった。また、カラマツ人工下種は通常の人工造林より経費は低く、省力と低コストによるカラマツの更新として評価できる。

表-5 カラマツの造林地と人工下種地による経費比較 (単位:万円/ha)

	経費項目			合計
	苗木・種子*	地拵え	植付・播種	
造林地	15.8	34.0	18.0	67.8
人工下種A	12.8	0.0	4.0	16.8
人工下種B	7.7	34.0	12.0	53.7

注)平成4年度長野営林局業務研究発表集(1993)に参考して作成、作業経費は20,000/人・日である。

\*苗木・種子価額は長野県上伊那地方事務所林務課資料、苗木の経費は2,300本/ha×68.6円/本で、種子の経費は3kg×25.663円/kgで計算した。

## V. おわりに

本研究はカラマツの人工下種更新について調査したものである。2つの人工下種更新方法はいずれも十分の更新本数と良好な成長が認められた。その中、群状区の方が群による周辺効果を活かし、成長の優れた優勢木も多数存在し、良好な効果が見られた。また、群状は局部地表処理や少量播種量という点で、コスト軽減の面でより評価できるといえる。これまで、カラマツ人工下種更新に関する資料は皆無で、この度の2つの更新方法による成果は貴重なものといえる。今後の施業に関しては、いずれの調査区も間伐をしないでそのまま放置しても、自然間引きで天然更新のカラマツ林分に近似するものが形成できるといえる。

カラマツの天然更新施業は造林コストの軽減化、資源の保続およびカラマツ林業の安定化に貢献できると評価されている<sup>3)</sup>。人工下種更新施業も天然更新の補助手段としてカラマツ資源の維持や育林コストの削減で同様な効果があり、カラマツ施業多様化の一つ方法として有望といえる。なお、本研究は1事例をもとに検討したものであるが、調査地は人工下種によって軽石採集跡地に早期植生回復を目的に行われ、施業試験は第一義の目的ではなかったために、厳密な統計試験設計は行われなかった。今後、立地条件、地表処理の方式、播種量、林分の施業等につき統計試験設計の手法を利用してさらに検討を重ね、実用技術へ向けて取組む必要があるといえる。

最後に、本研究を遂行するにあたりご協力を頂いた中部森林管理局佐久森林管理センターに心よりお礼を申し上げます。また、調査にご協力いただいた信州大学農学部森林計画研究室のKim Phat Nophea君、関慶偉君、佐々木賢治君に感謝致します。特に1997年度卒業の斎藤方彦君は長野県での林業研

修のご多忙中、調査を手伝っていただき、心から感謝申し上げます。

究員奨励費、課題番号12099344-00) による研究調査の一部分である。

なお、本研究は科学研究費補助金(外国人特別研

### 引用文献

- 1) 馬場多久男(1989) 南アルプス鋸山の熊穴沢における砂礫の安定とカラマツ植生の関係. 信大農演報26: 31-56.
- 2) Igarasi, T., and Chen, D. (1988) Fungal damage caused by *Racodium therryanum* to regeneration of Japanese Larch by natural seeding. Res. Bull. Exp. For. Hokkaido Univ., 45 (1): 213-219.
- 3) 五十嵐恒夫・矢島崇・松田彊・夏目俊二・滝川貞夫(1987) カラマツ人工林の天然下種更新. 北海道大農演報44: 3,1019-1040.
- 4) 伊藤晶子・菊地健・清水一(1996) カラマツ天然更新地における稚樹の定着要因と成長状況. 日林北支論44: 140-142.
- 5) 川崎圭造(1992) 金峰山天然林における崩壊地のカラマツ. 103回日林論: 387-388.
- 6) 小須田啓(1997) 浅間山麓におけるカラマツの天然更新について. 林業技術665: 28-29.
- 7) 沼田真(1987) 植物生態学論考. 918pp, 東海大学出版, 東京.
- 8) 前田禎三・浅沼辰吾・谷本丈夫(1978) 浅間山のカラマツ天然林の植生と遷移. 森林立地19(2): 1-9.
- 9) 興部林務署(1986) カラマツ人工林の天然更新. 北方林業38(5): 23-24.
- 10) 長野県林務部(1991) カラマツ人工林・長伐期施業の手引き. 115pp, 長野県.
- 11) 齋藤秀樹(1986) ヒノキおよびスギ植栽林における林縁効果—林縁から林内方向への上層木の大きさ, 低木層およびリターフォールの変化—. 京都府立大農演報30: 36-47.
- 12) 笹岡英二・矢島崇・渋谷正人・高橋邦秀・中村太士・清水収(1999) 北海道駒ヶ岳における天然生カラマツ林の林分構造. 日林誌81(1): 22-28.
- 13) 高橋松尾(1960) カラマツ林業総説. 381pp, 日本林業技術協会, 東京.
- 14) 武井富喜雄(1998) カラマツの材質向上のため施業技術に関する研究. 長野県林総セ研報12: 1-112.
- 15) 館脇操・伊藤浩司・遠山三樹夫(1965) カラマツ林の群落学の研究. 北海道大農演報24(1): 1-176.
- 16) 田志和・董健・王喜武・黄国瑞(1995) 日本落葉松育林学. 192pp, 北京農業大学出版社, 北京.
- 17) 奥住侑司(1998) カラマツ・ウダイカンバ混交林の施業について—千頭・伊那両営林署における調査結果—. カラマツ林業研究会報: 2-10.
- 18) 和孝雄・小鹿勝利・尾張敏章(1998) 北海道におけるカラマツ林業の動向. 北海大農演報55(1): 97-112.

## Study on Growth Characteristic of Young-Stand Larch by Artificial Regeneration

Hexin WANG, Yuji UOZUMI and Tatsuhito UEKI

Forest Department, Agricultural Faculty of Shinshu University

### Summary

Until recently, forests have played a vital role in providing goods and services for the public. In order to preserve the fulfillment of these functions in a sustainable way, multi-purpose management systems should be employed. An artificial regeneration of larch, representing one of these systems, had been selected. The study area is located in the Nagakurasan national forest, near the mountain of Asama-yama, Nagano prefecture. Row seeding, with a row-width of 1.5m and group seeding, in block squares of 1.0m X 1.0m, had been carried out 12 or 13 years ago in the area. The results of the survey indicate that the live tree density reached 45,000 trees/ha and 26,000 trees/ha, respectively in the row-and group seeding plots. This clearly shows that the survival rate of larch seeds was high and the growth of seedlings was excellent. The high density of seedlings in the regeneration, both in the case of row seeding and group seeding methods, could definitely be accounted for the border effect. In terms of average tree height,

dominant tree height and diameter at breast height of the live trees, those seedlings in the group seeding plots were higher and bigger than those in the row seeding plots. The plantation costs could well be reduced if the above methods are employed, since their seed-quantity requirements are much lower than that of the ordinary plantations. Furthermore, as self-thinning occurs, the examined stand of larch has a good chance of turning into a natural forest without much human interference. With low costs and good growth performance, this regeneration method is highly recommended for future use.

**key word**: artificial regeneration, group seeding, Japanese larch, row seeding