

# 北海道東部・阿寒湖周辺における エゾマツ若齢造林木の生育と環境

高橋朋佳\*・大和瑠理\*・佐藤 駿\*・酒井賢一\*\*・時田勝広\*\*・寺澤和彦\*†

(平成 31 年 2 月 12 日受付/令和元年 7 月 26 日受理)

**要約**：北海道の天然林におけるエゾマツ資源の減少を背景として、人工造林によるエゾマツ資源の回復が期待されている。エゾマツ造林の成功率向上に資するため、北海道東部の阿寒湖周辺の 2~18 年生のエゾマツ若齢造林地約 30 か所において、造林木の生育状況と立地環境を調査し、造林木の生存と樹高成長に及ぼす各種の立地環境要因の影響を解析した。造林木の生存率は、2 齢級の造林地で 40% を下回る調査地がいくつか見られたものの全体的には比較的高く、生存率 50% 以上の調査地が全調査地数の 87% を占めた。樹高成長に関しては、林齢 18 年生までで平均樹高が 3m を超える調査地はなく、既往の報告と比べると全般的に小さかった。エゾマツ造林木の生存と成長に及ぼす立地環境要因の影響を一般化線形モデル (GLM) によって解析した結果、造林木の生存率には、標高、斜面傾斜、斜面方位、散乱光透過率 (DSF)、上木の針葉樹比率、および DSF と上木の針葉樹比率の交互作用が影響を及ぼしていることが示唆された。一方、造林木の平均樹高には、林齢、DSF、上木の針葉樹比率が影響を及ぼしていることが示唆された。GLM による解析結果を用いて造林木の生存率を散乱光透過率 DSF との関係で予測したところ、生存率は DSF が小さいほど低くなり、とくに DSF が約 35% より小さい領域では生存率に及ぼす針葉樹比率の影響が強く現れ、針葉樹比率が高いほど DSF の低下にともなう生存率の低下が顕著になると予測された。同様に、造林木の平均樹高を DSF との関係で予測したところ、平均樹高は DSF が大きいほど高く、上木の針葉樹比率が低いほど高くなった。これらの結果から、DSF が約 35% を下回るような暗い天然林内でとくに上木の針葉樹比率が高い場所にエゾマツを樹下植栽する場合には、DSF35%以上を確保するために少なくとも 900m<sup>2</sup> 程度のギャップを作出するような更新伐が必要と考えられた。

**キーワード**：エゾマツ、造林、生存率、樹高成長、散乱光透過率

## 1. はじめに

エゾマツ (*Picea jezoensis* (Siebold et Zucc.) Carrière) は北海道の天然林を構成する代表的な針葉樹のひとつである。しかし、北海道におけるエゾマツ資源量は、天然林での伐採が進行したことにより 1950 年代後半以降に大きく減少した<sup>1)</sup>。エゾマツは、種子や実生の暗色雪腐病に対する感受性が高い<sup>2)</sup> ために、一般的に地表面からの更新が難しく、林床の倒木上や根返り木によって形成されるマウンド上などを主な更新基質とすることがよく知られている<sup>3-5)</sup>。したがって、択伐などの施業によって林床の倒木量が少なくなった天然林ではエゾマツの天然更新は著しく制限される<sup>6)</sup>。

一方、エゾマツの人工造林に関しては、育苗時や植栽後の諸被害への対策を主とする技術的な課題が多いとされ、1960 年代後半以降エゾマツ造林はほとんど行われてこなかった<sup>7)</sup>。しかし近年、エゾマツの人工造林の可能性を見直し、造林による資源回復を図ろうとする方向性が示され

ている<sup>8,9)</sup>。そのような背景から、最近では過去に造成されたエゾマツ人工林<sup>10-13)</sup> や天然林択伐後のエゾマツ植栽木<sup>14-16)</sup> の生育実態の調査が道内の各地で行われるようになってきたが、造林木の生存や成長をさまざまな立地環境要因との関係で多角的に解析した研究はほとんど行われていない。

北海道東部の阿寒湖周辺の森林約 3,600 ha を所有し管理する一般財団法人前田一歩園財団では、森林保全事業の一環として天然林内への植え込みを主とするエゾマツの人工造林を 2001 年から実施しており、2018 年までに 34 か所での造林実績がある。本研究では、前田一歩園財団管理のエゾマツ若齢造林地約 30 か所において造林木の生育現況を調査するとともに、造林地の立地環境を調査し、それらが造林木の生存や成長に対してどのような影響を与えているかについて検討した。

\* 東京農業大学生物産学部生物生産学科

\*\* 一般財団法人前田一歩園財団

† Corresponding author (E-mail: kt204890@nodai.ac.jp)

## 2. 調査地と調査方法

### (1) 調査地

本研究の調査地は、北海道東部の阿寒湖の南側から西および北側に至る約2,200 haの範囲に点在するエゾマツ造林地27か所31地点である(図1)。一般財団法人前田一步園財団が管理する山林内の標高370~700 mの比較的傾斜の緩やかな地形面に位置し、2018年6~9月の調査時点での林齢は2~18年生である。

調査地点のうち、未立木地や風倒被害跡地などの開放地に格子状に植栽されている調査地が6地点、天然林内に列状に樹下植栽されている調査地が25地点である。樹下植栽の場合の上木の林相は針広混交林がほとんどであり、主な構成樹種はエゾマツ、トドマツ(*Abies sachalinensis* (F. Schmidt) Mast.), イタヤカエデ(*Acer pictum* Thunb.), オヒョウ(*Ulmus laciniata* (Trautv.) Mayr), カツラ(*Cercidiphyllum japonicum* Siebold et Zucc. ex Hoffm. et Schult.), ダケカンバ(*Betula ermanii* Cham.), ヤチダモ(*Fraxinus mandshurica* Rupr.)などである。これらの上木の最大個体のサイズは、樹高では13~33 m、胸高直径では36~370 cmである。なお、ここに示した最大値(樹高33 m、胸高直径370 cm)はカツラの株立ち木の値である。林床植生はササが主であり、林齢6年生以下の造林地では下刈りが行われている。造林木の植栽密度は、格子状の植栽の場合は2,000本/ha、列状の樹下植栽の場合は約1,000本/haである。なお、植栽されたエゾマツ苗木は、すべてオホーツク管内の一種苗業者から購入されたものであり、種子の産地もオホーツク管内とされている。

調査地域の表層地質は、新第三紀から第四紀の安山岩が最も広く分布し、その他に軽石凝灰岩・凝灰質泥岩、崖垂堆積物、湖岸段丘堆積物などが分布する<sup>17)</sup>。また、調査地域の土壌は、雌阿寒岳などを噴出源とする火山放出物を母材とする場合が多く、土壌型としては適潤性褐色森林土が

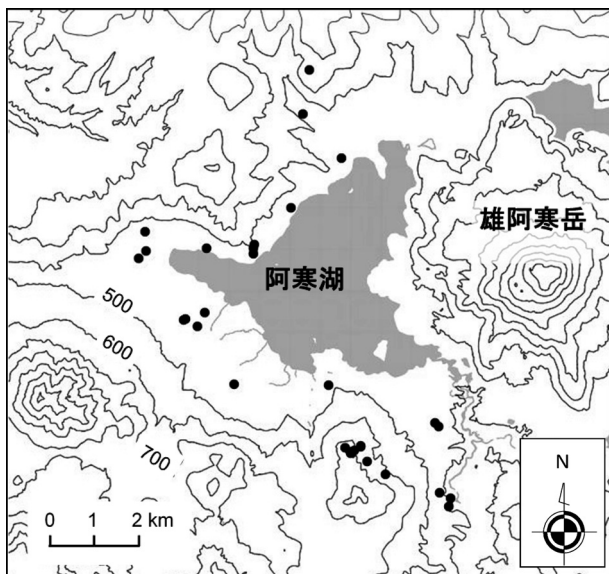


図1 調査地の位置図

●が調査を行ったエゾマツ造林地の位置を示す。

広く分布する<sup>18)</sup>。

阿寒湖畔における1981年から2010年までの30年間の年平均気温は3.9℃、年降水量は1,203 mm、1986年から2010年までの25年間の最大積雪深の平均は126 cmである<sup>19)</sup>。

### (2) 調査方法

#### a) 調査区の設定

調査対象の造林地の平均的な場所にエゾマツ造林木50本を含む調査区を設定した。樹下植栽で植栽列の配置が規則的ではない場合には、明瞭に確認できる植栽列を追跡して調査区とした。造林地1か所あたりの調査地点数は原則として1地点としたが、同一造林地内において造林木の生残や成長が明らかに異なる場所がみられる場合や光環境が大きく異なる場合などは、造林地1か所あたり2地点の調査を行った。

#### b) エゾマツ造林木の生育状況

調査区内のエゾマツ造林木50本(枯死木を含む)を調査対象とし、個体ごとに生存か枯死かを判定するとともに、生存個体の樹高の測定と、虫害および芽やシュートの異常(頂芽異常、先枯れ)の記録を行った。樹高については、調査時期がシュートの伸長期間中であったため、主軸先端の当年生シュートの基部、すなわち当年(2018年)の伸長成長開始前の樹高を測定した。測定には3 mまたは5 mのアルミスタッフを用いた。芽やシュートの異常のうち、頂芽異常は造林木の主軸の頂芽が枯死して伸長していないものであり、先枯れは主軸の先端のシュートが枯死して主軸の交代が起こっているものである。枯死木が残存していない場合には、調査区内の残存木から植栽時の苗間距離を調べ、その苗間距離ごとに造林木が存在したとみなした。

#### c) 立地環境

調査区の立地環境要因として、標高、斜面方位、斜面傾斜、光環境、上木の針葉樹と広葉樹の比率(胸高断面積)を調査した。標高は、GPS受信機によって記録した調査区的位置を1/25,000地形図に落として読み取った。斜面方位と斜面傾斜はクリノメーターを用いて測定した。光環境は、魚眼レンズ(シグマ社製8 mm F3.5 EXDG)を装着したデジタルカメラ(キャノン社製EOS 6D)を用いて天頂を中心とする全天写真を撮影し、全天写真解析プログラムCanopOn 2<sup>20)</sup>を用いて散乱光透過率(Diffuse Site Factor: 以下DSFと記す)を求めた。全天写真は調査区内の10か所で撮影し、そのDSF平均値を調査区のDSFとした。全天写真の撮影位置は、調査木の1本目から5本ごと(枯死木を含む)の位置とし、撮影高は地上1.6 mとした。上木の針葉樹と広葉樹の比率については、調査区上に樹冠が存在しているすべての上木(胸高直径10 cm以上)を対象として針葉樹と広葉樹の区別および胸高直径(10 cmごとの直径階)を記録し、それらの胸高断面積合計における針葉樹と広葉樹の比率を求めた。調査区内に顕著なギャップが存在し、そのギャップ下の造林木を主な調査対象とした場合には、ギャップの大きさ(楕円形とみなした場合の長径と短径)を記録した。

### (3) データ解析

エゾマツ造林木の生存と成長に及ぼす立地環境要因の影響を検討するために、各調査区のエゾマツ造林木の生存率と平均樹高のそれぞれを応答変数とした一般化線形モデル (GLM) による解析を行った。説明変数は、林齢、標高、斜面傾斜、斜面方位、散乱光透過率 (DSF)、上木の針葉樹比率とし、生存率のモデルでは DSF と上木の針葉樹比率の交互作用項を加えた。説明変数のうち、斜面方位は質的変数とし、4 方位 (方位角  $315^{\circ}\sim 45^{\circ}$  を北に区分し、そこから時計回りに  $90^{\circ}$  ごとの範囲をそれぞれ東、南、西とする) に平坦地を加えた 5 区分とした。応答変数が従う確率分布とリンク関数は、生存率のモデルでは二項分布と logit リンク、平均樹高のモデルではガンマ分布と log リンクとした。いずれの解析においても AIC による変数選択を行って最適モデルを求めた。解析には統計分析ソフト R (バージョン 3.5.1) を用いた。

## 3. 結果

### (1) エゾマツ造林木の生存、成長、各種被害

エゾマツ造林木の生存率は 2~100% であった (図 2)。全体的に生存率は高く、生存率 50% 以上の調査地点が 27 地点 (全調査地点数の 87%) であったが、2 齢級の造林地において生存率 40% を下回る調査地が数地点見られた。

造林木の平均樹高と林齢の関係を見ると、林齢 7 年生以下では平均樹高に調査地間での明瞭な違いは見られず、いずれの調査地でも平均樹高は 80 cm に満たなかった (図 3)。一方、林齢 8 年生以上の調査地の平均樹高は 86~266 cm であり、7 年生以下の調査地との違いが明瞭であった。

生存個体の各種被害の発生状況については、頂芽異常と先枯れが数地点で見られたが、発生本数率 (発生個体数/調査した生存個体数) はともに低かった (図 4)。

虫害については、全体的に発生本数率は低く、発生本数率が 20% を超える調査地は 3 地点であった (図 4)。虫害の発生が比較的多かった調査地点は、いずれも造林木の生存率が高く、DSF が 40% を超える比較的明るい環境であった。観察された虫害は、エゾマツカサアブラムシ (*Adelges japonicus* Monzen) による側枝先端部のゴール (虫えい) 形成が主で、他にマルナギナタハバチ (*Pleroneura piceae* Shinohara and Hara)、エゾマツノシントメタマバエ (*Dasineura ezomatsue* Uchida and Inoue) によるものが散見された。虫害はいずれも軽微であり、造林木の成長がこれらの虫害によって阻害されているようには観察されなかった。

### (2) エゾマツ造林木の生育環境

調査したエゾマツ造林地の立地環境要因 (標高、斜面傾斜、上木の針葉樹の比率、散乱光透過率 DSF) の頻度分布を図 5 に示した。標高は 370~700 m の範囲にあり、400~500 m と 600 m 以上の比較的傾斜の緩やかな地形面に多くの造林地が分布していた。斜面の傾斜については、 $15^{\circ}$  以下の緩傾斜の調査地がほとんどであり、最大でも  $16^{\circ}$  であった。上木の林相は針広混交林が大半を占めたが、広葉

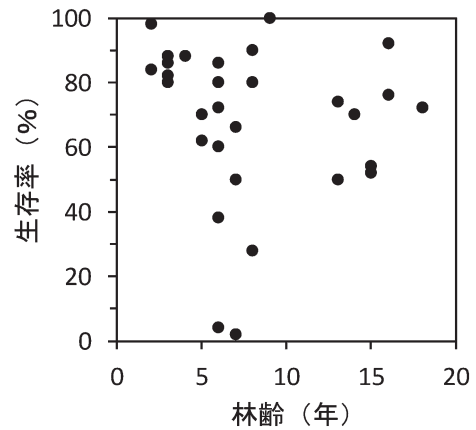


図 2 エゾマツ造林木の林齢と生存率の関係

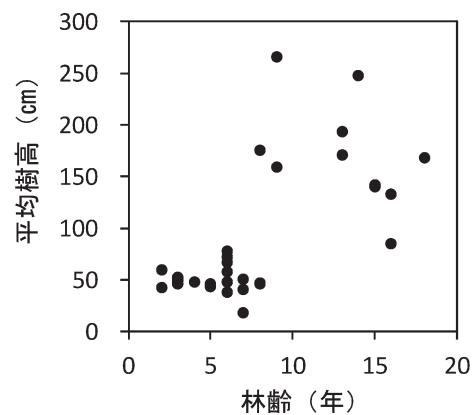


図 3 エゾマツ造林地の林齢と平均樹高の関係

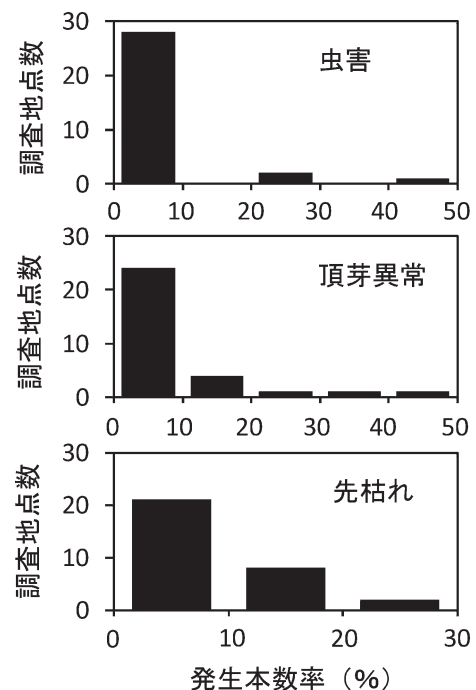


図 4 エゾマツ造林木の各種被害の発生本数率

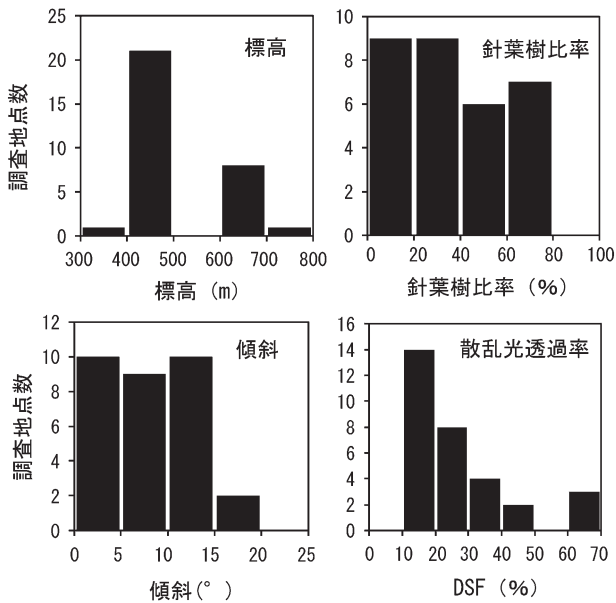


図5 エゾマツ造林地の立地環境要因の頻度分布

樹の比率が高い調査地のほうが多く、針葉樹のみで構成されている調査地はなかった。DSFは、最低が10.2%、最高が65.4%で10%台の調査地が多かった。

### (3) エゾマツ造林木の生存と成長に及ぼす立地環境要因の影響

GLMによる解析結果を表1と表2に示す。生存率を応答変数としたモデルでは、AICによる変数選択の結果、標高、斜面傾斜、斜面方位、DSF、上木の針葉樹比率、DSFと上木の針葉樹比率の交互作用が選択された(表1)。標高、斜面方位(北)、DSF、DSFと針葉樹比率の交互作用はプラスに影響し、斜面傾斜、斜面方位(東/西/南)、針葉樹比率はマイナスに影響していた。なかでも、標高、DSF、上木の針葉樹比率、DSFと針葉樹比率との交互作用のz値の絶対値が大きく、これらの環境要因が生存率と密接な関係にあることが示された。

平均樹高を応答変数としたモデルでは、説明変数は林齢、DSF、上木の針葉樹比率が選択された(表2)。林齢とDSFはプラスに、上木の針葉樹比率はマイナスに影響していた。とくに、林齢とDSFのt値の絶対値が大きく、これらの要因が平均樹高と密接な関係をもつことが示された。

### (4) 環境要因の影響を考慮したエゾマツ造林木の生存と成長の予測

上で述べたGLMによる解析結果を用いて、造林木の生存率と平均樹高の予測図を作成した(図6, 図7)。まず、生存率については、造林木の生存率を散乱光透過率DSFとの関係で示し、上木の針葉樹比率を4段階(0%, 25%, 50%, 75%)に変えて予測した(図6)。その他の環境要因については、標高は500m、斜面傾斜は10°と仮定し、斜面方位は考慮しなかった。また林齢は、GLMによる解析で説明変数として選択されなかったため予測モデルに入れなかつ

表1 エゾマツ造林木の生存率についての一般化線形モデル(GLM)による解析結果

説明変数	係数	z値	p値
標高	0.0047	6.142	<0.001
散乱光透過率(DSF)	0.0328	3.442	<0.001
針葉樹比率	-0.0232	-2.946	0.003
DSF×針葉樹比率	0.0006	2.191	0.028
斜面傾斜	-0.0320	-2.006	0.045
斜面方位(北)	0.3810	0.984	0.325
斜面方位(東)	-0.4024	-1.489	0.136
斜面方位(南)	-0.3298	-1.215	0.224
斜面方位(西)	-0.6241	-2.126	0.003
AIC 381.29			

表2 エゾマツ造林木の平均樹高についての一般化線形モデル(GLM)による解析結果

説明変数	係数	t値	p値
林齢	0.0971	11.773	<0.001
散乱光透過率(DSF)	0.0284	9.567	<0.001
針葉樹比率	-0.0034	-2.210	0.036
AIC 262.24			

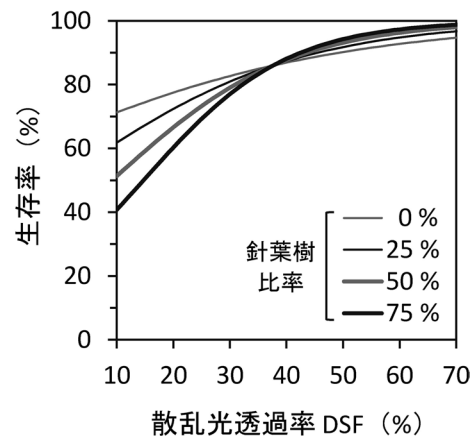


図6 エゾマツ造林木の生存率の予測 (GLMの解析結果による)

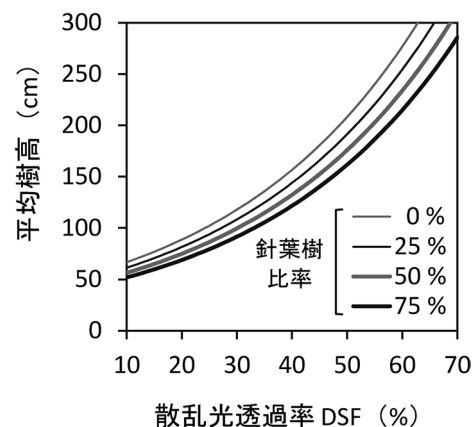


図7 エゾマツ造林木の平均樹高(10年生時)の予測 (GLMの解析結果による)

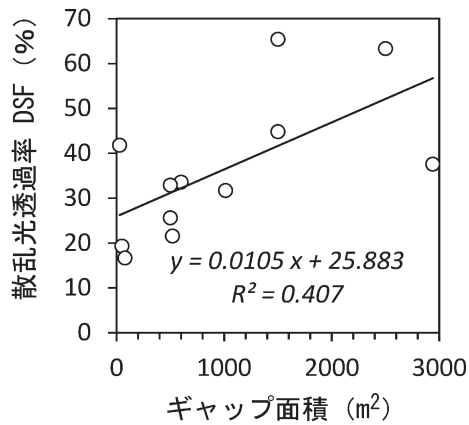


図8 ギャップ面積と散乱光透過率 (DSF) の関係

たが、解析に用いたデータが林齢18年生までのものであるから、概ね4齢級までの生存率を示していると考えてよい。図に示されているとおり、DSFが小さくなるほど、すなわち造林木周辺の光環境が暗くなるほど生存率は低くなるが、生存率の変化パターンには上木の針葉樹比率による違いがみられた。とくにDSFが約35%より小さい領域、すなわち比較的暗い林内環境において、針葉樹比率の影響がより強調され、針葉樹比率が高いほどDSFの低下にともなう生存率の低下が顕著になると予測された。逆にDSFが約35%より大きい領域、すなわち比較的明るい林内環境では生存率に及ぼすDSFと針葉樹比率の影響は小さく、生存率はおおむね85%以上となることが予測された。

平均樹高については、林齢10年生時の造林木の平均樹高を散乱光透過率DSFとの関係で示し、上木の針葉樹比率を4段階に変えて予測した(図7)。平均樹高の場合は、標高などのその他の環境要因はGLMによる解析で説明変数として選択されなかったため予測モデルには含めなかった。予測の結果、平均樹高はDSFが大きいほど高く、上木の針葉樹比率が低いほど高くなった。DSFが35%の時の平均樹高の予測値は、針葉樹比率0%で136cm、針葉樹比率50%で106cmであった。

#### (5) ギャップ面積と散乱光透過率DSFの関係

調査地内に顕著なギャップが存在した12地点について、ギャップ面積と散乱光透過率DSFの関係を図8に示す。両者の間には正の相関関係がみとめられた。その直線回帰式からDSFが35%以上となるギャップ面積を求めると868m<sup>2</sup>となった。

## 4. 考 察

### (1) エゾマツ造林木の生育状況

本研究での造林木(2~18年生)の生存率は、2齢級の造林地で40%を下回る調査地が数地点見られたものの全体的には比較的高く、生存率50%以上の調査地点が全調査地点数の87%を占めた(図2)。既報のエゾマツ造林木の生存率としては、北海道中部の針広混交林の択伐後に植栽されたエゾマツ造林木が植栽後9年間でほぼ半減した事例<sup>16)</sup>や、同じく北海道中部の針広混交林の択伐跡での植栽5年

後の生存率50%といった必ずしも良好ではない事例<sup>15)</sup>はあるものの、他の報告では12~19年生での生存率が80%を超えている場合が多く<sup>11,12,21)</sup>、本研究での生存率の結果もほぼこれらの報告と同程度のものと考えられる。

一方、樹高成長に関しては、今回の調査では林齢18年生までで平均樹高が3mを超える調査地はなかった(図3)。既往の報告では、道央の天然林択伐後の樹下植栽木が林齢20年生で平均樹高4.55mに達している事例<sup>22)</sup>や、道央の天然林風害跡に植栽された19年生の造林地の平均樹高が約5mであった事例<sup>12)</sup>があり、これらの報告事例と比較すると今回の調査地におけるエゾマツ造林木の樹高成長は全般的に小さいといえるだろう。

今回の調査では、2齢級の造林地、とくに林齢8年生より若い造林地に生存率や樹高成長が良好ではない林分がみられた(図2, 図3)。これらの林分での造林木の枯損原因は明らかではないが、生存木を観察する限りにおいては何らかの被害がとくに多いという傾向はみられなかった。GLMによる解析の結果では、散乱光透過率DSFが造林木の生存率と平均樹高に正の効果を及ぼしていることが示されていることから(表1, 表2)、一部の調査地における生育不良の原因として植栽場所の光環境が示唆される。実際、7年生以下の調査地はすべて樹下植栽であり、とくに7年生の調査地3か所はいずれも閉鎖林冠下への植栽であった。次節で述べる上木の針葉樹比率の影響も含めて、エゾマツ造林木の生育に及ぼす光環境の影響についてのさらなる検討が必要である。

### (2) エゾマツ造林木の生育と環境要因の関係

GLMによる解析の結果、エゾマツ造林木の生存率と樹高成長には立地環境が密接に関係することが示された。とくに光環境に着目すると、散乱光透過率DSFがエゾマツ造林木の生存と樹高成長に正の影響を及ぼしていることが示された(表1, 表2, 図6, 図7)。エゾマツ造林木の生育と光環境の関係については、択伐跡の若齢造林木の生存や樹高成長に林冠層の開空度が正の影響を与えている事例<sup>14,16,21)</sup>が報告されており、本調査の結果もこれらの先行研究の結果を支持するものであった。また、林内の光環境に対するエゾマツ稚樹の生存や成長の反応は、北海道の天然生針葉樹林においても調べられており、エゾマツ稚樹はトドマツ稚樹に比べて耐陰性が低く<sup>23)</sup>、その生存はrPPFD(相対光合成有効光量子束密度)の低下に強く影響されること<sup>24)</sup>や、安定した樹高成長のためにはギャップを必要とし<sup>4)</sup>、とくにその樹高成長速度は散乱光入射割合が大きいほど大きいこと<sup>25)</sup>など、本研究におけるエゾマツ造林木の生育と光環境の関係と一致する結果が報告されている。これらの先行研究ならびに本研究の結果から、稚樹段階においてエゾマツはトドマツとは異なる光利用特性を有しており、エゾマツ造林木の生存と成長のためにはギャップ下のようなより明るい環境を必要とするものと考えられる。

本研究では、GLMによる解析の結果、エゾマツ造林木の生存と樹高成長のいずれに対しても散乱光透過率DSFに加えて上木の針葉樹比率が影響を及ぼすことが示唆され

た(表1, 表2, 図6, 図7)。今回の調査地の林冠層を構成する広葉樹高木種は落葉性であるため、林内の光環境はこれらの落葉広葉樹の開葉・落葉のフェノロジーの影響を多かれ少なかれ受けることになるだろう。落葉広葉樹林における既往の研究によれば、林冠層の広葉樹が葉を展開していない季節、すなわち秋の落葉後から翌春の開葉までの期間は、夏の展葉期に比べて林内ははるかに明るい<sup>26,27)</sup>。この落葉広葉樹林の林内光環境の季節変化を落葉広葉樹と常緑針葉樹で構成される針広混交林に拡張して考えれば、針広混交林においても林冠層の広葉樹が落葉している季節には、夏の展葉期に比べて林内は相当明るくなると考えられるが、落葉期における林内光環境の好転の程度は、林冠層での広葉樹と針葉樹の構成比率の影響を受けると考えられる。すなわち、広葉樹の比率が高ければ落葉期の光環境の好転の程度は大きい、針葉樹の比率が高まるほどその程度は小さくなると推察される。針広混交林内に樹下植栽されたエゾマツ造林木が上木の落葉期にどの程度の光合成をするかは明らかではないが、落葉広葉樹林内のエゾマツ稚樹の一年葉の光合成活性が上層木の開葉前でも夏に比べてさほど大きくは低下していないという報告<sup>28)</sup>がある。これらのことから、本研究においてエゾマツ造林木の生存と樹高成長に上木の針葉樹比率がマイナスの影響を与えることが示唆された理由としては、上木の針葉樹比率の増加に伴う上木落葉期におけるエゾマツ造林木の物質生産の収支の悪化が考えられる。とくに造林木の生存率において、DSFの値が約35%より暗い領域で針葉樹比率の影響が強調される結果となったのは、林冠うっ閉度が高く比較的暗い林内に生育する造林木にとっては上木落葉期の光合成への依存の程度が高いことを示すのかもしれない。今後、エゾマツの稚樹や造林木の物質生産の面からの検討が必要と考えられる。

GLMによる解析の結果では、エゾマツ造林木の生存率に対して上述の光環境以外の立地環境要因も影響を及ぼすことが示唆されている(表1)。標高や斜面傾斜、斜面方位などの要因がどのようなメカニズムでエゾマツ造林木の生育に影響を及ぼすのかについて、土壌環境を含めたさらなる検討が必要と思われる。

### (3) エゾマツ造林に対する示唆

本研究で明らかになったエゾマツ造林木の生育と環境との関係から、今後のエゾマツ造林の成功に向けたいくつかの示唆が得られる。まず、樹下植栽においては、造林木の生存と樹高成長の確保のために適切な光環境を整える必要がある。とくに上木の針葉樹比率が50%を超えるような場合には、散乱光透過率DSFが約35%を下回ると造林木の生存率の低下が顕著になると予測されるため(図6)、このような林分に樹下植栽する時には、DSF35%以上となるように更新伐を行うことが推奨される。ギャップ面積とDSFの関係(図8)から、DSF35%以上を確保するためには少なくとも約900m<sup>2</sup>のギャップ面積が必要と考えられる。福地ほか<sup>10)</sup>は、道北地方のエゾマツ人工林の実態調査結果から、樹高成長の確保のためには1,000m<sup>2</sup>程度のギャップ

が必要であろうとしており、本研究の結果もこれを支持するものといえる。

一方、風倒被害跡などの明るい開放地に植栽する場合は、造林木の生存や成長に及ぼす光環境の影響を考慮することはなさそうである。ただ、開放地に植栽されたエゾマツは霜害などの気象害を被ることが危惧されるため<sup>7)</sup>、造林地の立地選択は慎重に行う必要があるだろう。また虫害に関しては、本研究においても明るい開放地ではエゾマツカサアブラムシによる側枝先端部のゴール(虫えい)形成が比較的多く見られる場合があったが、これまでの報告<sup>7,10,12)</sup>と同様に造林木の成長への影響はほとんどないようであり、現時点で特段の対策は必要ないように思われる。

**謝辞:** 本研究は、東京農業大学生物産業学部と一般財団法人前田一歩園財団との研究・教育に関する連携協定に基づいて実施された。調査等において便宜を図っていただいた一般財団法人前田一歩園財団の新井田利光理事長をはじめとする関係各位、調査を支援していただいた東京農業大学生物産業学部生物生産学科植物資源保全研究室および生態系保全学研究室の学生諸氏に心より感謝します。

### 参考文献

- 1) 小鹿勝利(1995)北海道のエゾマツ資源に関する研究(I)―エゾマツ資源の利用と資源量の推移―。森林計画誌24: 33-46。
- 2) 程 東昇, 五十嵐恒夫(1990)エゾマツ, アカエゾマツ, トドマツ及びカラマツ種子・稚苗の暗色雪腐病菌に対する感受性。北海道大学農学部演習林研究報告47: 125-136。
- 3) 夏目俊二(1985)エゾマツ更新の立地条件と初期生長に関する研究。北海道大学農学部演習林研究報告42: 47-107。
- 4) KUBOTA Y, KONNO Y, HIURA T (1994) Stand structure and growth patterns of understorey trees in a coniferous forest, Taisetsuzan National Park, northern Japan. *Ecol. Res.* 9: 333-341。
- 5) TAKAHASHI M, SAKAI Y, OOTOMO R, SHIOZAKI M (2000) Establishment of tree seedlings and water-soluble nutrients in coarse woody debris in an old-growth *Picea-Abies* forest in Hokkaido, northern Japan. *Can. J. For. Res.* 30: 1148-1155。
- 6) NAKAGAWA M, KURAHASHI A, KAJI M, HOGETSU T (2001) The effects of selection cutting on regeneration of *Picea jezoensis* and *Abies sachalinensis* in the sub-boreal forests of Hokkaido, northern Japan. *For. Ecol. Manage.* 146: 15-23。
- 7) 小鹿勝利, 清野 年(1996)北海道のエゾマツ資源に関する研究(II)―エゾマツ資源造成の経緯と課題―。森林計画誌26: 73-84。
- 8) 尾崎研一, 猪瀬光雄(1997)もっとクロエゾマツを植えよう!!。北方林業49: 97-100。
- 9) 猪瀬光雄(2004)エゾマツの将来。北方林業56: 136-138。
- 10) 福地 稔, 錦織正智, 雲野 明(2008)エゾマツ造林に関する研究資料I 道北地方におけるエゾマツ人工林の生育実態。北海道林業試験場研究報告45: 28-36。
- 11) 松井理生, 岡村行治, 山本勝彦, 島 強, 井口和信, 後藤晋(2006)エゾマツ資源の回復に向けた試み―エゾマツ低密度植栽地で下刈を省略した12年後の結果―。日林北支論。54: 43-45。
- 12) 松井理生, 岡村行治, 岡平卓巳, 後藤 晋(2008)低標高域におけるエゾマツ植栽と天然更新による針広混交林造成

- の可能性. 森林立地 50 : 35-40.
- 13) 徳田佐和子, 三好秀樹, 原 秀穂, 福地 稔, 錦織正智, 雲野 明 (2008) エゾマツ造林に関する研究資料Ⅱ エゾマツ幼齢造林地における成績調査事例. 北海道林業試験場研究報告 45 : 37-43.
  - 14) 石橋 聡, 佐野 真, 鷹尾 元 (1998) 天然林における択伐施業方法に関する研究 (6) ートドマツ, エゾマツ, アカエゾマツの樹下植栽及び伐根周囲植栽における成長ー. 日林北支論. 46 : 83-85.
  - 15) 中川昌彦, 小笠原繁男, 廣川俊英, 島 強, 岡村行治, 倉橋昭夫 (2002) 天然林択伐後のエゾマツ植栽について. 日林北支論. 50 : 35-37.
  - 16) 飯田滋生, 倉本恵生, 山口岳広, 石橋 聡, 高橋正義, 阿部 真 (2013) 択伐後の針広混交林に植栽したエゾマツ苗木の9年間の生残と成長. 北方森林研究 61 : 95-96.
  - 17) 地質調査所 (1965) 5 万分の 1 地質図幅説明書 阿寒湖. 工業技術院地質調査所, 東京.
  - 18) 塩崎正雄, 真田 勝, 岸田昭雄 (1994) “第3章 阿寒の土壤” 阿寒国立公園の自然 1993. 財団法人前田一步園財団, 北海道, pp.315-350.
  - 19) 気象庁, 過去の気象データ検索, <<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>> (最終アクセス 2019 年 1 月 9 日)
  - 20) 竹中明夫, 全天写真解析プログラム CanopOn 2, <<http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/>> (最終アクセス 2019 年 1 月 9 日)
  - 21) 石橋 聡, 高橋正義, 佐々木尚三 (2010) 夕張択伐試験地における天然林内植込み木の成長経過. 日林北支論. 58 : 105-106.
  - 22) 石橋 聡, 佐野 真, 猪瀬光雄, 金澤洋一, 九島宏道 (1993) 空沼天然林樹下植栽木の成長 (1) ーエゾマツ植栽木の直径及び樹高成長ー. 日林北支論. 41 : 9-11.
  - 23) KUBOTA Y, HARA T (1996) Allometry and competition between saplings of *Picea jezoensis* and *Abies sachalinensis* in a sub-boreal coniferous forest, northern Japan. *Ann. Bot.* 77 : 529-537.
  - 24) IJIMA H, SHIBUYA M, SAITO H (2007) Effects of surface and light conditions of fallen logs on the emergence and survival of coniferous seedlings and saplings. *J. For. Res.* 12 : 262-269.
  - 25) 西村尚之, 赤路康朗, 鈴木智之, 長谷川成明, 小野清美, 隅田明洋, 原 登志彦, 飯田滋生, 関 剛, 倉本恵生, 杉田久志, 中川弥智子, 松下通也, 廣部 宗, 星野大介, 稲永路子, 山本進一 (2015) 北方針葉樹林におけるトウヒ属 *Picea* とモミ属 *Abies* の稚樹の動態に及ぼす林床環境の影響. 低温科学 73 : 7-19.
  - 26) 石田 仁 (2000) 光環境が温帯林主要樹種の更新樹の分布と伸長成長に及ぼす影響. 富山県林業技術センター研究報告 13 : 1-96.
  - 27) 川村健介, 橋本 靖, 酒井 徹, 秋山 侃 (2001) 冷温帯落葉広葉樹林の林冠構成種のリーフフェノロジーが林床の光環境に及ぼす影響. 日林誌. 83 : 231-237.
  - 28) 飛田博順, 北尾光俊, 丸山 温 (2002) 落葉広葉樹林下における季節的な光環境の変化とエゾマツ稚樹のクロロフィル蛍光反応. 日林北支論. 50 : 11-13.

# Survival and Growth of Planted Young *Picea jezoensis* Trees in Response to Various Environmental Factors near Lake Akan, Eastern Hokkaido, Japan.

By

Tomoka TAKAHASHI\*, Ruri YAMATO\*, Shun SATO\*, Ken-ichi SAKAI\*\*,  
Katsuhiko TOKITA\*\* and Kazuhiko TERAZAWA\*†

(Received February 12, 2019/Accepted July 26, 2019)

**Summary** : Timber resources of Ezo spruce, *Picea jezoensis* (Siebold et Zucc.) Carrière, a coniferous tree species representative of natural forests in Hokkaido, northern Japan, have declined due to intensive logging activities and the difficulty of natural regeneration in this species. To obtain technical information for the improvement of artificial Ezo spruce regeneration, we investigated the growth and survival of planted young trees in approximately 30 stands in the forest surrounding Lake Akan, eastern Hokkaido, Japan. Most of the investigated trees were grown beneath the canopy of a natural mixed forest comprising evergreen conifers and deciduous broadleaf trees, except for a few open sites. The ages of the planted trees, which we defined as the number of years after plantation, ranged from 2 to 18 years. We also measured various environmental factors such as relative light intensity (diffuse site factor, DSF) and the proportion of evergreen conifers to the total basal area of the surrounding canopy trees. Survival rates were relatively high among the planted trees, at  $\geq 50\%$  in 87% of all stands. However, in several stands, survival rates were  $< 40\%$  in the 6–10 years age class. Height increases were smaller than those reported in previous studies ; the average height of planted trees did not exceed 3 m in any stands aged  $< 18$  years. Generalized linear model (GLM) analysis showed that tree survival was affected by altitude, slope inclination, slope aspect, DSF, the proportion of conifers in the canopy layer, and the interaction between DSF and the proportion of conifers in the canopy layer. This analysis also showed that average height was influenced by age, DSF, and the proportion of conifers in the canopy layer. We applied these results to predict survival rates and average heights of trees as a function of DSF and the proportion of conifers in the canopy layer. The predicted survival rates decreased as DSF decreased, and the proportion of conifers in the canopy layer enhanced the decline in survival rates at DSF values  $< \text{ca. } 35\%$ . The GLM prediction also showed that average height would be higher in stands with higher DSF values and lower proportions of conifers in the canopy layer. Based on these results and the relationship between DSF and gap size, we conclude that a canopy gap of at least  $900 \text{ m}^2$  may be desirable when Ezo spruce trees are planted beneath the canopy, especially in mixed stands where the proportion of evergreen conifers in the canopy layer is high and DSF is  $< \text{ca. } 35\%$ .

**Key words** : *Picea jezoensis*, afforestation, survival, height growth, diffuse site factor

\* Department of Bioproduction, Faculty of Bioindustry, Tokyo University of Agriculture

\*\* Maeda Ippoen Foundation

† Corresponding author (E-mail : kt204890@nodai.ac.jp)