

海岸風衝地におけるクロマツと落葉広葉樹の混交林造成方法の検討

渡部公一¹・上野満¹・伊藤聡²・林田光祐³Examination of planting methods to produce the mixed forest with *Pinus thunbergii* and deciduous broadleaved tree species on a coastal wind-blown slopeKoichi Watanabe¹, Mitsuru Ueno¹, Satoshi Ito², Mitsuhiro Hayashida³

要旨：ケヤキ、エゾイタヤ、カシワ、シナノキの4種類の落葉広葉樹をクロマツと混交させるための植栽方法を検討した。クロマツ幼齢林内に試験区を設け、広葉樹植栽区（以下「広葉樹区」）、クロマツと広葉樹を植栽したクロマツ同齢混交植栽区（「マツ同時区」）、予め2年前にクロマツを植栽し、後で広葉樹を植栽したクロマツ異齢混交植栽区（「マツ先行区」）の3区で比較を行った。植栽区間では広葉樹の生存率と樹高成長量に差がなかったが、マツ同時区ではクロマツと広葉樹が同じ階層で競合しており、クロマツが被圧される可能性が考えられた。また樹種間ではケヤキが生存率、成長量ともに優れていた。今回の結果からクロマツと広葉樹を競合させないように二段林化を図る場合には、クロマツを先行的に植栽し、その後に広葉樹を植栽する異齢二段林が有効と考えられた。

1 はじめに

広葉樹を導入して防災機能や生物多様性に配慮した海岸防災林を再生することが各地で検討されている。山形県においても、比較的早くから庄内海岸に生育可能な高木性広葉樹種の探索が行われ、ケヤキ、エゾイタヤ、カシワ、シナノキ、タブノキが選定された(伊藤,2006)。しかし、これらを海からの北西風が当たる風衝斜面に植栽した結果、活着率は90%以上と高いが、その後によくが枯損し、成長も極めて悪かった(伊藤,未発表)。この原因は冬季の厳しい潮風が影響しているためと考えられた。

金子・田村(2007)は、秋田県の海岸砂丘地における植栽試験によって人工植栽に適する広葉樹の選定とその造成技術について検討しており、防風柵を設置したクロマツとの混交林造成が広葉樹の活着と初期成長の促進に有効であることを示している。さらに、樹齢3年程度のクロマツ幼齢林内に広葉樹を植え込む異齢混交林は、広葉樹の早期育成や様々なリスク回避の観点から最も安全で効率的な手法であるとしている。しかし、クロマツと広葉樹を混交させて海岸林を造成し、中長期的にモニタリングした事例は全国的にも極めて少ないため、事業化するに

は知見が不足している。一方、海岸砂丘地での植栽では土壌条件が広葉樹の活着と成長に重要なことが指摘されており(金子・田村, 2007; 青沼, 1987; 武田・金子, 2007 ほか)、砂丘土壌の乾燥と貧栄養条件が成林に大きな影響を与えていると考えられる。このため植穴への客土や施肥試験も行われているが、施用量の検討はされておらず、土壌条件が広葉樹の生育にどの程度影響しているのかの結論を得るまでに至っていない。

そこで黒ボク土壌の海岸斜面に造成したクロマツ植栽地の中に、4種類の広葉樹とクロマツの混交植栽区を設けて、海岸の強い潮風の影響を受けながら広葉樹がどのような成長を示すかを試験した。本報告では、その試験地の植栽から10年目までの結果をとりまとめ、広葉樹の成長と林分構造から針広混交林を造成するための植栽方法を検討した。

2 方法

2.1 植栽試験地の概要

植栽試験地を山形県飽海郡遊佐町吹浦の日本海に面した北西向きの斜面に造成した。汀線からの距離は約150m、斜面の傾斜は約12度である。この場所は、かつては美しい壮齢のクロマツ一斉林が広がっていたが、激しい松くい虫被害に遭って壊滅した跡地である。マツ枯れにより潮風を直接受けるようになったため、クロマツの下層に生



図1 植栽試験地位置図

¹山形県森林研究研修センター, Yamagata Prefectural Forest Research and Instruction center, 2707 Hei, Sagae, Yamagata 991-0041 Japan

²山形県最上総合支庁, Yamagata Prefectural Government Mogami branch Office, 2034 Oomichigami, Kanazawa, Shinjo, Yamagata, 996-0002 Japan

³山形大学農学部, Faculty of Agriculture, Yamagata University, Wakaba, Tsuruoka, Yamagata 997-8555, Japan

*Corresponding author:

watanabekoi@pref.yamagata.jp

育していたタブノキなどの広葉樹は徐々に衰退し、クロマツ林の背後にあったスギ林も林縁から枯損が進んでいった（早乙女ら，2005）。

酒田測候所における年平均風速は 4.4 m/s であるが，12 月から 3 月までの期間は西北西の季節風が卓越し，最大風速 10 m/s 以上の日数が 51.0 日で期間の 42.5% に達している．土壌は鳥海山系の非固結火成岩を母材とする表層多腐植質黒ボク土で，pH や塩基飽和度が低いなど化学性にはやや難があるが，保肥力，保水性，透水性等の物理性は良好な土壤環境であり，この点は砂丘地における植栽と大きく異なる．

試験地ではクロマツの活着を高めるために間伐材を利用した高さ 1.0 m の防風柵が設置されており，約 1.2 ha の斜面全体が縦横 10 m×10 m の正方形の植栽マスに区切られている．それぞれの植栽マスの中には 10,000 本/ha の密度で 2000 年 4 月にクロマツが植栽された．今回の試験区は，このクロマツ植林地の一部を 2002 年 4 月に改植したものであり，4 種類の広葉樹とクロマツを植栽している．植栽試験区は 3 つのマス等を等高線方向に連ねて 1 ブロックとし，斜面の上段，中段，下段に 3 ブロック設定した（図 2）．それぞれの試験ブロックは連続しないように一段おきに配置し，クロマツが植栽されたマスをはさむようにした．そのため，周囲のクロマツの成長に伴って試験ブロック内に当たる潮風は緩和されると考えられた．

2.2 植栽樹種と試験区の設定

1 ブロック内の 3 つのマスは，それぞれ以下のようにクロマツとの混交の有無及びクロマツ植栽時期が異なる 3 つの植栽区に区分したプロットとした．

1) 広葉樹植栽区（以下「広葉樹区」）：

クロマツを植栽区内に植栽せず，ケヤキ，エゾイタヤ，カシワ，シナノキの 4 種類の広葉樹を各 50 本ずつ計 200 本植栽した．1 列あたり 20 本で 10 列の配置とし，1 列に各樹種とも 5 本ずつ植栽した．

2) 同齢混交植栽区（以下「マツ同時区」）：

クロマツを植栽区内の前列，中列及び側面に 39 本植栽し，同時にその内側に 4 種類の広葉樹を各 32 本ずつ植栽した．広葉樹の各樹種は 1 列に 4 本ずつ

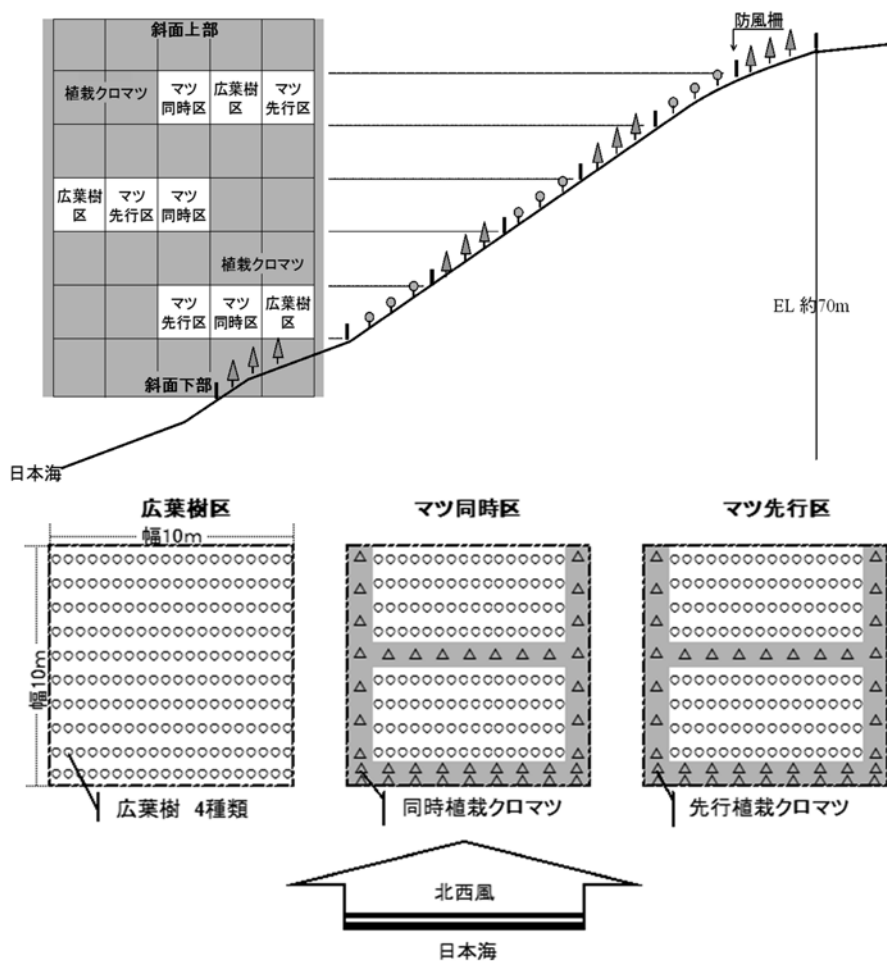


図 2 試験区の配置

植栽した．

3) 異齢混交植栽区（以下「マツ先行区」）：

植栽区内の前列，中列及び側面に先行して植栽されているクロマツ 39 本を残し，4 種類の広葉樹をマツ同時区と同じ配置で植栽した．

植栽した広葉樹の選定については，伊藤（2006）が庄内海岸の岩礁部における天然生広葉樹林を構成している樹種を調査して目標林型の主要樹種として選んだ広葉樹 5 種とした．ただしタブノキについては，冬季の北西風が当たらない風背部に限定して成立していることから対象から外した．広葉樹の植栽密度は 20,000 本/ha とし，クロマツは 1 m ピッチで列植えとした．2002 年 4 月時点の植栽苗木のサイズは表 1 に示すとおりで，広葉樹の苗高は概ね 30～40 cm，根元直径は樹種によって異なるが 3～6 mm の範囲内にあり大きな違いはない．マツ同時区のクロマツの苗高は約 40 cm，2000 年 4 月に先行植栽されているマツ先行区のクロマツの樹高は 110 cm で他の苗木と比べると大きい．広葉樹は植栽後 7 年目に一部を除いて列状に本数調整伐を行い，ha 当たり 10,000 本にした．

表 1 植栽試験地設定時の苗木サイズ

(本数: 本、樹高: 平均±標準偏差 cm、根元径: 平均±標準偏差 mm)																
植栽区	斜面位置	ケヤキ			エゾイタヤ			カシワ			シナノキ			クロマツ		
		本数	苗高	根元直径	本数	苗高	根元直径	本数	苗高	根元直径	本数	苗高	根元直径	本数	苗高	根元直径
広葉樹区	上段	50	41.5±6.9	3.2±0.5	50	34.2±4.5	4.4±0.9	50	30.6±7.7	4.4±0.9	50	38.8±7.4	6.3±1.5			
	中段	50	43.2±4.3	3.1±0.5	50	32.8±4.6	3.8±0.6	50	30.7±5.7	4.5±0.8	50	36.9±7.6	5.0±0.9			
	下段	50	41.1±4.8	2.9±0.5	50	28.8±3.8	3.4±0.6	50	30.8±5.1	4.5±0.8	50	33.3±5.7	4.5±1.1			
マツ同時区	上段	32	44.6±4.3	3.4±0.7	32	31.6±4.5	4.2±0.9	32	29.5±8.6	4.5±0.8	32	42.3±9.3	5.6±0.9	39	40.5±4.0	11.7±1.6
	中段	32	43.3±5.8	3.3±0.5	32	32.5±3.8	4.4±0.7	32	32.5±6.5	4.8±0.9	32	36.0±7.9	5.7±1.3	39	37.3±4.7	11.7±1.8
	下段	32	44.9±5.0	3.5±0.6	32	31.2±4.7	3.8±0.5	32	32.4±5.5	4.8±0.9	32	36.7±4.8	4.9±1.1	39	37.4±4.1	11.9±1.6
マツ先行区	上段	32	40.0±4.7	3.2±0.4	32	30.5±3.8	4.0±0.8	32	32.1±9.6	4.7±0.9	32	39.8±7.7	5.5±0.9	39	106.6±18.3	25.2±5.2
	中段	32	42.0±5.5	2.9±0.5	32	31.8±3.9	3.8±0.8	32	33.8±6.1	4.5±0.7	32	30.2±5.0	4.4±0.7	39	106.1±13.5	23.0±4.3
	下段	32	44.4±5.7	3.6±0.7	32	33.7±5.9	4.4±0.8	32	31.8±5.8	4.5±0.9	32	37.3±5.8	5.2±0.9	39	110.9±15.5	24.7±4.4

2.3 調査と解析方法

植栽してから 1, 2, 3, 5, 10 年目に試験区内のすべての植栽木の生存の確認, 樹高, 根元直径, 胸高直径を調査・計測した. 各試験区の生存率については, 植栽区と樹種を要因とした分散分析を行い, 植栽木のサイズについては樹種ごとに植栽区と斜面の位置を要因とした分散分析を行った. 分散分析には解析ソフト EXCEL 統計 ver.5.0 (株式会社エスミ) を使用した. また樹高の分布から林分構造を比較した.

3 結果と考察

3.1 生存率

植栽から 5 年目の樹種毎の生存率はケヤキが 84.4 (最小値)~100%(最大値), エゾイタヤ 84.4~100%, カシワ 81.3~100%, シナノキ 84.4~96.6%, クロマツ 97.4~100%で, どの樹種も平均生存率が 90%を超えており植栽区間, 樹種間ともに差はなかった. しかし, 10 年目になると, 表 2 に示すように樹種間

表 2 植栽区と樹種を要因とした分散分析表 (植栽 10 年目の生存率)

要因	自由度	平方和	平均平方	F値
植栽区	2	45	22.7	0.33
樹種	4	2538	634	9.33 **
植栽区×樹種	8	605	75.6	1.11
誤差	27	1836	68.0	

**: $p<0.01$, 生存率は逆正弦変換した値を用いた

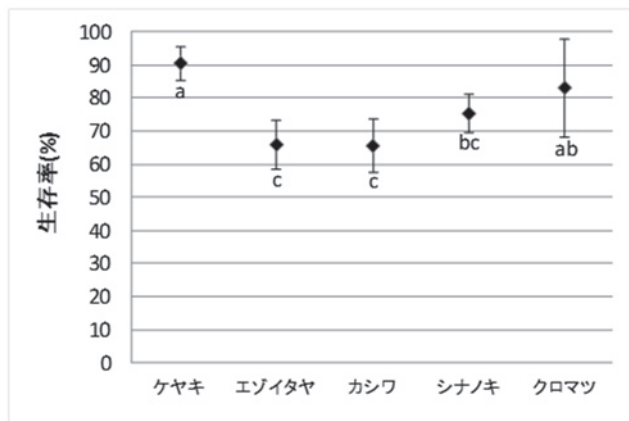


図 3 植栽 10 年目の生存率 (平均%±SD)

異なるアルファベットは有意差があることを示す($p<0.05$)

で差が認められた ($p<0.01$). 図 3 に示すように, ケヤキが 90%と最も生存率が高く, エゾイタヤ, カシワ, シナノキと有意な差があった (Tukey-Kramer, $p<0.05$). クロマツの生存率はケヤキと差はなかった. 植栽木は誤伐やコウモリガの被害による単木的な枯損が若干確認されたが, 乾燥害や潮風害のような集団的な被害はなかった.

3.2 樹高と根元直径

植栽後 5 年目と 10 年目の樹高と根元直径について, 樹種ごとに植栽区と各試験区の斜面位置を要因とした二元配置の分散分析を行った. その結果を表 3 に示す. 広葉樹の樹高については, 植栽区間では 5 年目と 10 年目のどちらもすべての樹種で差がなかった. しかし, 斜面位置間では 5 年目のカシワを除いて差が認められた. 根元直径については, 5 年目, 10 年目ともケヤキとエゾイタヤに植栽区間で差が認められた. また斜面位置間では 5 年目のカシワを除く樹種に差が認められ, 10 年目の結果では全樹種で有意な差が認められた.

そこで, 各樹種の 10 年目の樹高と根元直径の平均およびその標準偏差を 9 か所の試験区間で比較するグラフを図 4 に示す. 10 年目の樹高についてみるとケヤキ, エゾイタヤ, カシワは斜面下段が高く, シナノキは上段が高かった. 根元直径もケヤキ, エゾイタヤ, カシワでは斜面下段の広葉樹区が特に大きかったが, シナノキは上段が大きかった. このようにシナノキだけが下段よりも上段の成長が良く, 他

表 3 植栽区と斜面位置を要因とした 2 元配置の分散分析による有意差の検定

要因	ケヤキ	エゾイタヤ	カシワ	シナノキ	クロマツ
5年目	植栽区	n.s	n.s	n.s	***
	斜面位置	**	***	n.s	***
	交互作用	***	***	n.s	n.s
10年目	植栽区	n.s	n.s	n.s	***
	斜面位置	***	***	***	***
	交互作用	*	*	n.s	n.s
5年目	植栽区	***	**	n.s	***
	根元直径	**	***	n.s	***
	交互作用	***	***	*	n.s
10年目	植栽区	***	**	n.s	***
	根元直径	***	***	**	***
	交互作用	**	***	n.s	n.s

*: $p<0.05$, **: $p<0.01$, ***: $p<0.001$, n.s: 有意差なし

の樹種と傾向が異なっていた。シナノキは全体的に他の樹種と比べてサイズが小さく被圧されやすいが、上段では他の樹種の樹高成長が抑制された結果、相対的に被圧の影響を受けにくかったことが考えられる。また、有意な差ではないが、多くの樹種がマツ同時区よりもマツ先行区の根元直径が小さかった。これは、クロマツのサイズの違いによる被陰の影響と推測される。

次にクロマツのサイズに注目し、マツ同時区とマツ先行区のプロット前線部に植栽されたクロマツの樹高を比較した結果を図5に示す。マツ同時区では植栽5年目以降、マツ先行区では植栽7年目以降に斜面位置による差が拮がり始めた。そして前者では10年目、後者で12年目の樹高は、上段、中段、下段の順に高くなり、それぞれの斜面位置間では差が認められた(t検定, $p < 0.05$)。初期成長が同等であるのに、ある程度の樹高に達してからの成長速度が異なっていることから、斜面位置間での樹高差は潮風の強さによるものであると推測される。クロマツが植栽されてから5年経過した時点(マツ先行区が2005年、マツ同時区が2007年)の平均形状比(ここでは樹高/根元直径とする)を比較するとマツ先行区が 40.3 ± 6.6 (SD) であるのに対して、マツ同時区では 45.5 ± 6.4 で有意な差があった(t検定, $p < 0.01$)。これはマツ同時区が広葉樹と光を競合したために肥大成長が抑えられたことが理由として考えられる。防風林は冠雪害への耐性を高めるため、形状比を低く抑えることが必要であり(金子ら, 2000)、マツ同時区のクロマツはマツ先行区に比べて望ましい樹形ではなかった。

3.3 林分構造

図6に5年目と10年目の斜面位置別の林分階層構造を示す。表3に示したように植栽区間では各樹種の樹高に差がなかったため、各植栽区を合計して示した。5年目においては、いずれの斜面位置においても最上層は先行植栽したクロマツが優勢で、樹高が競合している広葉樹は少ない。同時植栽したクロマツはその下の層に分布するが、同じ層には他の広葉樹も多く分布していた。10年目の結果では、斜面の位置によって樹高に差が現れ、また個体間の優劣が顕著になっているが、樹種間の相対的な階層構造に違いはなかった。どの試験区でも広葉樹の中ではケヤキが上位にあり、次いでカシワの成長が良かった。エゾイタヤは樹高が各プロットでばらつき、シナノキは中層から下層に位置した。先行植栽したクロマツは植栽時から変わらずに最上層を占めていたが、同時植栽したクロマツは他の広葉樹を圧倒するような成長はしておらず、ケヤキが同時植栽したクロマツとほぼ同じ層に分布して完全に競合していた。シナノキのみは同時植栽したクロマツと競合してい

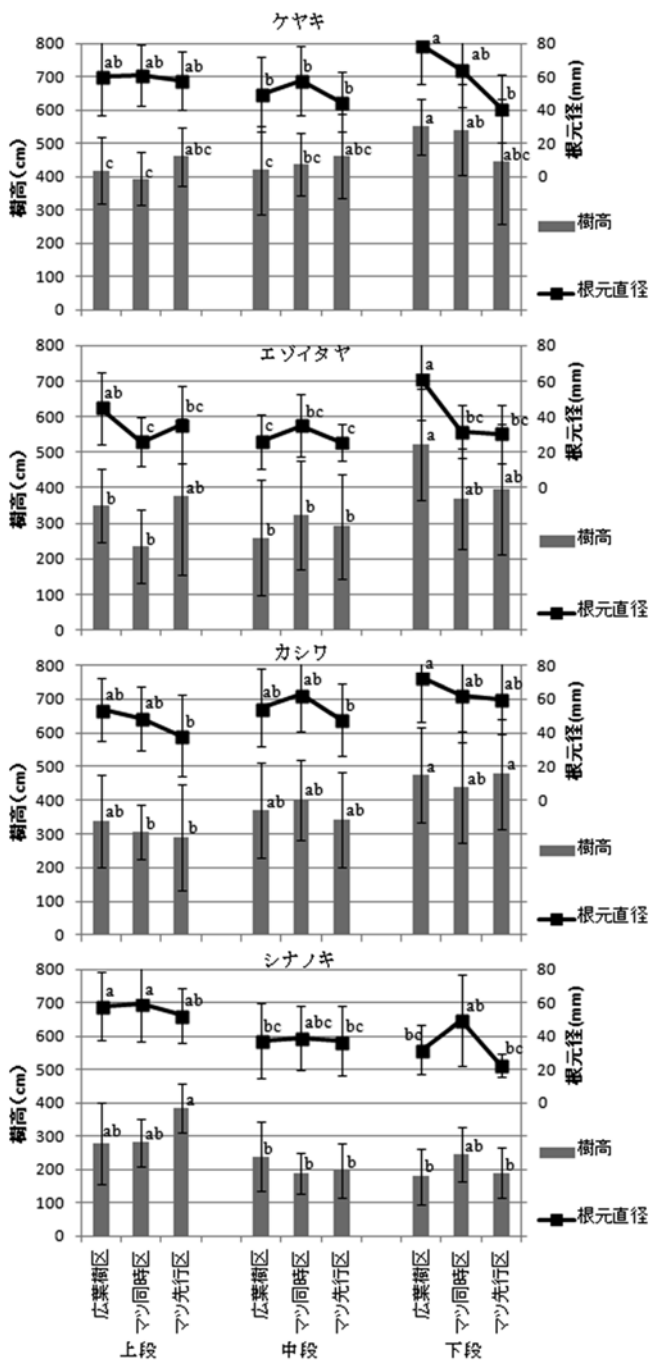


図4 植栽10年目の樹高と根元直径

縦棒はSD 異なるアルファベットは樹種内で試験区間に有意差があることを示す(Tukey-Kramer $p < 0.05$)

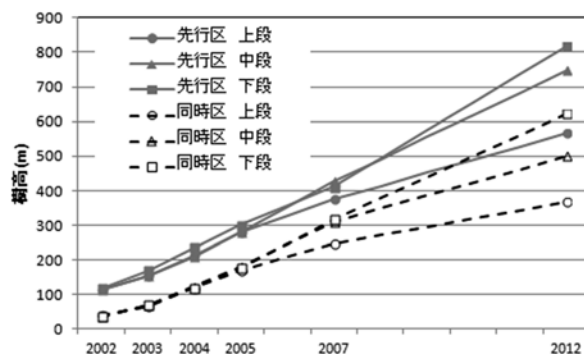


図5 プロット前線部に植栽したクロマツの樹高推移

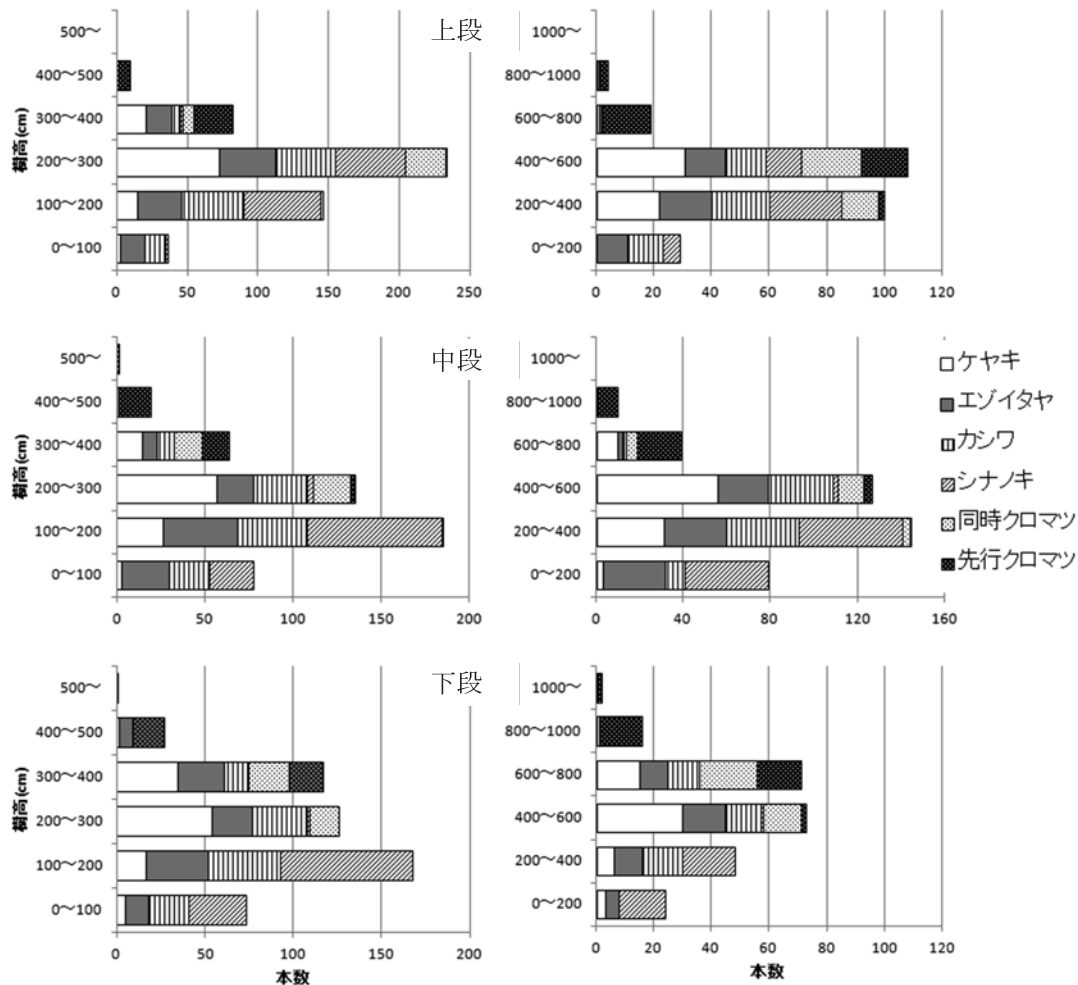


図6 斜面位置別の林分階層構造 (左側:5年目、右側:10年目)

る個体は少ないが、エゾイタヤとカシワで成長の良い個体は競合していた。

3.4 混交林造成方法

どの試験区においても、枯れ下がりによる樹高の低下は見られず、10年目の生存率も成林には問題なかった。マツ同時区のクロマツの樹高が10年目で 520 ± 127.6 cm(SD)であったのに対して、ケヤキは 455 ± 119.5 cm, エゾイタヤが 310 ± 147.1 cm, カシワが 380 ± 133.5 cm, シナノキが 229 ± 80.1 cmであり、クロマツの樹高の44.0~87.5%に相当した。広葉樹の樹高について秋田県の砂丘地での先行事例をみると、汀線から550mの砂丘後背部に植栽した事例(金子, 2005)では10年生でエゾイタヤ2.2m, ケヤキ2.5m, カシワ2.0mであり、潮風の影響が少ないクロマツの林孔に植栽した別の事例(金子, 2012)では、10年生でケヤキ2.2m, エゾイタヤ1.9m, シナノキ2.5mでクロマツの50~65%の樹高であったと報告されている。汀線から150mの風衝斜面という厳しい環境にあるにもかかわらず、シナノキを除けば本試験地の成長は他の砂丘地での成長に比べて

明らかに優れており、土壌条件は広葉樹の造林の成否に大きな要因を占めていることが確かめられた。

植栽した広葉樹の樹高成長は地形的な要因による差が認められたが、植栽方法による差は認められなかった。しかし、マツ先行区とマツ同時区では10年後の根元直径で差が認められ、林分構造も異なっていた。マツ先行区では常に上層クロマツ、下層広葉樹の二段林の構造を維持しながら成長し、広葉樹の根元直径はマツ同時区に比べて小さかった。これに対してマツ同時区ではクロマツと広葉樹の樹冠が同じ層で競合しており、クロマツの根元直径が小さく、形状比も高かった。つまり、マツ先行区では広葉樹が被圧された樹型になり、マツ同時区ではクロマツが貧弱な樹型となった。

クロマツと広葉樹を混交させて海岸林を造成するとき、潮風に強く、樹高が高いクロマツに期待する役割としては、防風・飛砂防備機能を早期にかつ広範囲に発揮させ、林内や後背部の潮風や土壌の乾燥を緩和させることである。それに対して広葉樹には中~下層の風を遮り、防災機能を高めることが期待されるとともに、松くい虫等で万が一クロマツが衰

退した場合における代替植生としての保険的な役割もある。このような海岸防災林としての役割を考えたとき、まず厳しい生育環境を緩和することが必要で、クロマツを健全な状態に保つことを優先するべきと考えられる。このため2年間という短期間であるが、クロマツを広葉樹に先行させて植栽する異齡二段林の造成は有効であり、厳しい風環境から広葉樹を守るようにゾーニングする方法が確実であると考えられた。

4 おわりに

本試験は、潮風の環境は厳しいが、海岸土壌として一般的な砂地ではなく、黒ボク土の良好な土壌環境の下に行ったものである。このような恵まれた条件の海岸は極めて稀であるが、クロマツと広葉樹が良好に生育することを示すことができた。今後は津波被災地を含めた海岸土壌における具体的な土壌改良方法やゾーニングの手法および植栽密度などを検討していく必要がある。

本研究の一部は三井物産環境基金 2011 年度東日本大震災復興研究助成（R11-F3-211）を受けて行った。

引用文献

- [1] 青沼和夫（1987）：京葉臨海埋立地における林帯造成に関する研究。千葉県林試研報，5，87pp.
 - [2] 伊藤聡（2006）：山形県の海岸丘陵地帯における広葉樹林復元の目標林型。山形森研セ研報，30，21-27
 - [3] 小田隆則（1984）：海岸クロマツ林の生長と密度について(Ⅳ)一九十九里浜のクロマツ林の現状一。日林論，95，553-554.
 - [4] 金子智紀・石田秀雄・金澤正和（2000）：秋田県沿岸南部におけるクロマツの冠雪について。東北森林科学会誌，5(2)，97-100.
 - [5] 金子智紀(2005)：秋田県中央部の海岸砂丘後背地に植栽した広葉樹混交林の成長。東北森林科学会誌，10(2)，90-94.
 - [6] 金子智紀・田村浩喜（2007）：広葉樹を活用した海岸防災林造成技術の開発。秋田県森技研報，17，37-60.
 - [7] 金子智紀(2012)：秋田県の海岸砂丘地における広葉樹・クロマツ混交林の成長－林孔植栽 10 年目の生育事例－。水利科学，NO325，56(2)，61-71.
 - [8] 早乙女明・小野瀬浩司・渡部 公一（2005）：海岸林における松枯れ後背林地の現状。日森講，116，PA046.
 - [9] 武田宏・金子岳夫（2007）：海岸防災林における常緑広葉樹の植栽成績。新潟県森研報，48，103-114.
 - [10] 村井宏編（1992）：望ましい造成法と管理法。日本の海岸林－多面的な環境機能とその活用－，375-507pp，ソフトサイエンス社，東京。
- 〔受付 平成 26 年 8 月 22 日，受理 平成 26 年 11 月 25 日〕