

日本海側の海岸クロマツ林における 5 千本植栽の生育状況 (I)

— 十分な防風対策下での植栽事例 —

小倉晃^{1*}・坂本知己²Growth of Japanese Black Pine (*Pinus thunbergii*) in 5,000 tree density at coastal forest of the Sea of Japan (I)

-A case study of planting in the substantial windproof-

Akira Ogura^{1*} and Tomoki Sakamoto²

要旨：日本海側の防風対策が十分な海岸クロマツ林において 5,000 本/ha 植栽地と 10,000 本/ha 植栽地とで生育状況を調査し、5,000 本/ha 植栽であっても 10,000 本/ha 植栽に劣らず成長し成林する可能性について検討した。その結果、10,000 本/ha 植栽と 5,000 本/ha 植栽の初期の上長成長に差がないと考えられた。また、両者における林冠閉鎖までの期間の差は 1~2 年であったことから、早期林冠閉鎖という点では 10,000/ha 植栽と 5,000 本/ha 植栽では大きな差がないと言える。一方、植栽経費とその後の管理経費は大きく減少する。よって、防風対策が十分な植栽地では、5,000 本/ha 植栽でも飛砂防備機能発現までの期間に大差ない生育、成林が可能であり、植栽・管理経費が減少する。

1 はじめに

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震で東北・関東地方の太平洋側の海岸では大規模な津波が発生し、海岸林に甚大な被害もたらした。津波を受けた多くの海岸林では飛砂、潮害、津波、高潮などの気象災害を防止・軽減する機能や白砂青松などの人々に親しまれてきた景観が消滅した。被災地の復興にあたっては、これら海岸林の再生が不可欠である。海岸林再生にあたって、様々な樹種が検討されているが（例えば宮城県森林整備課 2012；公益社団法人国土緑化推進機構 2013；日本学術会議 2014）、海岸の貧栄養的な砂地で生存し、潮害、飛砂害に強い高木性樹種はクロマツ以外にはみあたらない（近田 2013）。現在のクロマツ海岸林造成では高温乾燥の砂地、潮害、飛砂という過酷な条件から 10,000 本/ha 植栽という密な植栽密度を基準（橋岡 1992）とし、早期にうっ閉させる方法が一般的である。しかし、生育にともなって過密化し、諸被害に弱い不健全な森林となるので、生育にともなって除間伐を計

画的に実施しなければならない（森林総合研究所 2011）。森林総合研究所が示した林冠高に対応した目標立木密度（森林総合研究所 2011）にしたがって除伐を行なった場合、10,000 本/ha 植栽地の一部では林冠高が 3.0m に達する頃から数年間は毎年、数十%の除伐を行わなければ適正な本数にならないことから、一部では植栽密度基準の見直しが求められている。また、東北地方太平洋沖地震の津波の被災面積は広大で、海岸林の再造成にあたっては大幅に苗木が不足すると言われている（今野 2012）。

このようなことから、植栽本数の見直しは喫緊の課題であるが、低密度植栽の事例が少ないのが現状である。石川県では防風対策が十分と思われる海岸前線部の一部の植栽地で試験的に 5,000 本/ha 植栽を実施しており、防風工の高さを越えるまで上長成長し、成林している箇所が多く見られる。また、石川県の海岸林は日本海側に位置することから、冬季の季節風は太平洋側に比べて大変厳しいため、日本海側で 5,000 本/ha 植栽が可能であることが判れば、太平洋側の冬季は問題なく 5,000 本/ha 植栽でも生育が可能であると考えられる。

そこで、石川県における海岸クロマツ林の 5,000 本/ha 植栽の生育状況を植栽環境に注目しながら、活着率、生存率、成長および林冠閉鎖速度について調査を行なった。調査の結果と 10,000 本/ha 植栽の成長を比較することで、5,000 本/ha 植栽でも 10,000 本/ha 植栽に劣らず成長し成林する可能性について検討を行なった。

2 調査地および方法

2.1 調査地の概要

調査地は石川県かほく市白尾・大崎地内（以下白尾）にある石川県が施工した海岸クロマツ林である

1 石川県農林総合研究センター林業試験場
Ishikawa Agriculture and Forestry Research Center
Forestry Experiment Station, ho-1 Sannomiya
Hakusan Ishikawa, 920-2114 Japan

2 (独) 森林総合研究所東北支所
Forestry and Forest Products Research Institute
Tohoku Research Center, 92-25 Nabeyashiki
Shimo-Kuriyagawa Morioka Iwate, 020-0123 Japan.

*Corresponding author :
a-ogura@pref.ishikawa.lg.jp

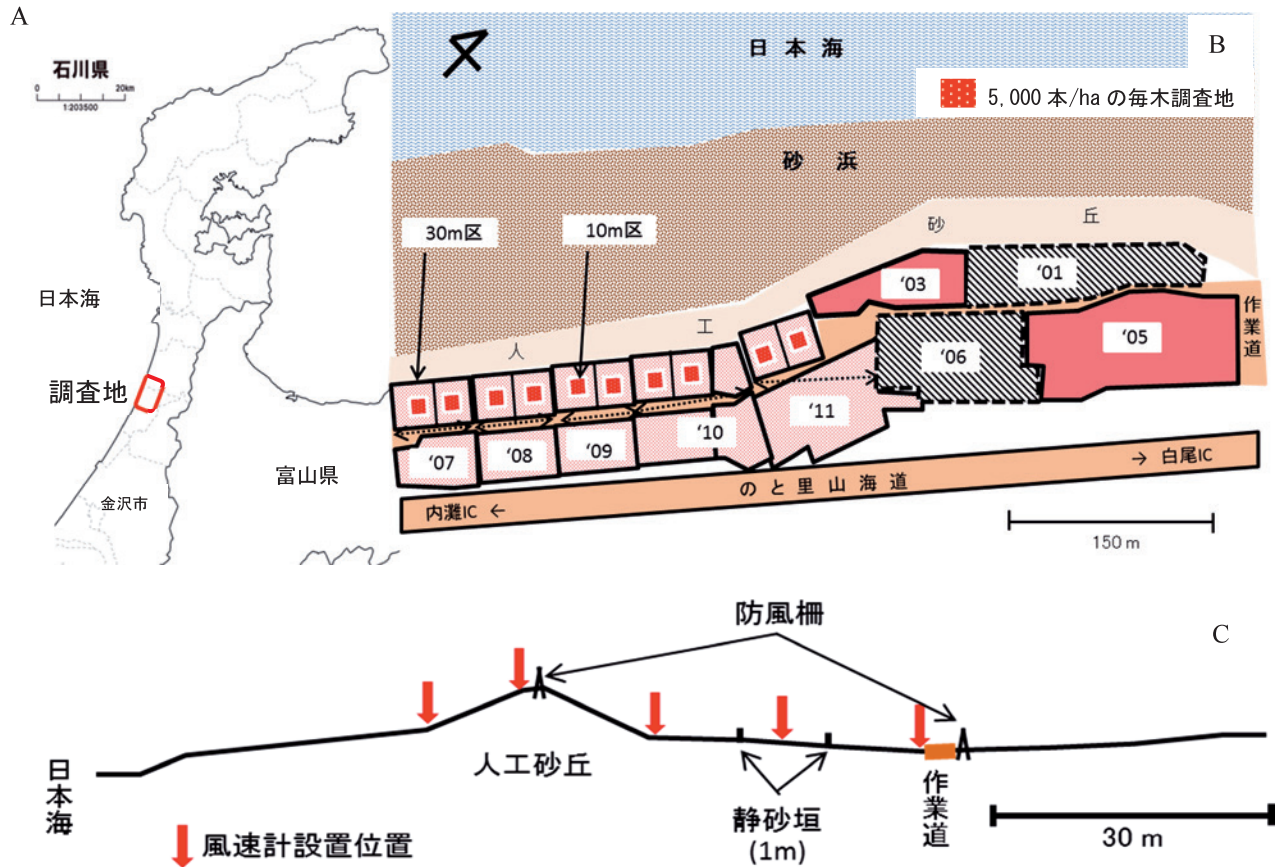


図1：調査地の概要。A：調査地の位置。B：調査区の配置。C：調査区の横断面
 なお、Bの'01,'06は10,000本/ha、それ以外は5,000本/ha、'01,'03,'05,'06は樹幹解析

(図1A)．白尾には2001年度，2003年度，2005～2011年度に植栽したクロマツ林が合計4.5haある
 (図1B)．調査地には汀線から約70m陸側に高さ5m程度の人工砂丘が設置されている(図1C)．人工砂丘の上には高さ2mの丸太防風柵B型(図2)が設置されている．人工砂丘の内陸側には高さ2mの静砂垣で一边30mの方形に区切られており，その中は高さ1mの静砂垣で一边10mの方形に区切られている(図3)．2001年度と2006年度は一边10m方形にクロマツが100本(10,000本/ha)，それ以外の年は50本(5,000本/ha)植栽されている．防風対策が不十分な植栽地ではクロマツでも季節風後に主風向側の葉が褐変し，枯損する場合も見られる．調査したクロマツに季節風後の葉の褐変が見られないこと，および前線部の人工砂丘と防風柵と植栽地内の静砂垣という多重の防風施設があることから，植栽地は風，砂，潮の影響は生育に影響がない程度に緩和された，防風対策が十分な植栽地と考えられる．なお，植栽地および前線部の土質は砂である．



図2：防風柵B型



図3：植栽地の状況

2.2 調査の方法

5,000本/ha植栽の生育状況を明らかにするために，

2012年11月に2007～2011年度植栽地(2～6年生)において植栽年ごとに100本の毎木調査を行なった。調査の場所は高さ2mの静砂垣で囲まれた30×30mの区画うち、作業道を挟んで海側に位置する区画の中央に位置する高さ1mの静砂垣で囲まれた10×10mの区画である。調査は植栽年ごとに、この10×10mの2区画で行なった(図1B)。調査内容は、枯死の有無、樹高、輪生枝毎の高さ、直径(地際または胸高)、枝張り(4方向)である。また、2013年11月にも2008～2011年度植栽地(3～6年生)について、追跡調査を行なった。なお、7年生以上になると立木間は枝が重なり合い、樹高成長の調査が非常に困難なため、2001、2003、2005、2006年度の植栽地では、各年度の植栽地毎に50本ずつ胸高直径を測定し、胸高直径を5cm刻みに階級し、各階級の相対度数を求めた。求めた相対度数に応じて合計10本の立木を伐採した。伐倒した木は樹高、輪生枝毎の高さ、胸高直径を測定後、胸高直径部位の円板を持ち帰り、一方向の年輪幅を測定後、平均半径で按分して、各林齢の胸高直径とした。なお、各林齢における樹高は輪生枝の高さとしている。

また、防風工の設置により植栽地の風速がどれくらい抑えられたかを明らかにするために、2013年1月18、25日、2月8日の季節風が強い日に簡易風速計(Kestrel 4500, 4000 Pocket Weather Tracker made Nilsen-Kellerman社製)を設置して風速分布を調査した。風速計の設置場所は海岸側の人工砂丘法尻と人工砂丘の天端付近、2011年度植栽地の砂丘尻から1、15.5、30mの地点である(図1C)。風速計の設置高は地上1mである。なお、使用した風速計は風向を記録できない機種(Kestrel 4000)が1基あり、植栽地内の15.5m地点に設置している。風速の測定時間は20分以上とし、10秒毎の瞬間風速と風向および測定時間内に観測した最大風速を記録した。

2.3 植栽コストの算出方法

石川県内の海岸前線部のクロマツ林の多くで海側の林帯前縁部の樹高は、概ね防風工(人工砂丘や防風柵)の高さで頭打ちになっている。石川県内の人工砂丘の高さは地域で異なり、防風柵を設置してい

ない地域もあることから、海側の林帯前縁部の樹高は場所によって異なる。そこで、樹高5.5m、植栽密度が2,500本/haになる時までの直接工事費を植栽密度10,000、5,000、2,500本/ha植栽で算出した。目標管理密度に関するものは森林総合研究所「クロマツ海岸林の管理の手引きとその考え方ー本数調整と侵入広葉樹の活用ー」(森林総合研究所2011)を参考とし、直接工事費は林野庁「治山林道必携ー積算・施工編ー(平成24年度)」(林野庁2012)の森林整備保全事業標準歩掛に準じて、植栽は「砂地造林歩掛」、下刈りは「灌木類、植生被覆50%未満、傾斜20%未満」、伐倒は「平均胸高直径は10cm未満、難易度区分は易、選木区分は選木なし、枝払区分は枝払あり、玉切区分:玉切あり、片付区分:片付なし」で算出をおこない、労務単価は国土交通省「平成24年度公共工事設計労務単価」(国土交通省オンライン)、苗木の単価は平成24年度石川県クロマツ苗木単価(石川県森林組合連合会聞きとり)を使用した。

3 結果および考察

3.1 クロマツの生育状況

2007～2011年度植栽地の毎木調査結果を表1-a,bに示す。2010年度植栽地を除くと、生存率は92%以上と非常に高かった。2010年度植栽地は調査時に幹が消失した個体もあったことから、植栽後すぐに枯れたと推察される。隣り合う2009年度植栽地と2011年度植栽地の生存率は96%と100%と非常に高いことから、2010年度植栽地の生存率73%という低さは低密度に植栽したことが原因ではなく、植栽時の苗の状態、植栽技術、植栽後の気象等複数の要因が重なったためと推察される。また、2010年度植栽地の樹高成長が2011年度植栽と差がないのは、植栽直後のダメージからの回復が遅れたためと考えられる。

各樹高成長(図4)を比較すると、2006年度植栽の10,000本/ha植栽地と2005年度植栽の5,000本/ha植栽地では、植栽直後は5,000本/ha植栽の成長が良いが、植栽後6年以降はほぼ同じ樹高成長をしている。2001年度植栽地の10,000本/ha植栽と2003年度の5,000本/ha植栽は、それらよりも成長が悪い。2007～2011年度の5,000本/ha植栽地の樹高成長は

表1a: 2012年毎木調査結果

植栽年	林齢 (年生)	現存 密度 (本/ha)	生存 率 (%)	樹高(cm)		直径(mm)			平均 枝張り (cm)
				平均	標準 偏差	地際 平均	胸高 平均	標準 偏差	
2011	2	5,000	100	42	6	11	—	2	24
2010	3	3,650	72	42	17	12	—	3	40
2009	4	4,800	96	98	19	35	—	6	100
2008	5	5,000	100	163	39	—	19	7	141
2007	6	4,850	97	202	84	—	34	14	158

表1b: 2013年毎木調査結果

植栽年	林齢 (年生)	現存 密度 (本/ha)	生存 率 (%)	樹高(cm)		直径(mm)			平均 枝張り (cm)
				平均	標準 偏差	地際 平均	胸高 平均	標準 偏差	
2011	3	5,000	100	72	15	22	—	4	63
2010	4	3,600	72	75	18	26	—	7	74
2009	5	4,800	96	154	31	—	19	4	151
2008	6	5,000	100	219	52	—	26	9	168

2008～2011年度植栽地の追跡調査を行なった

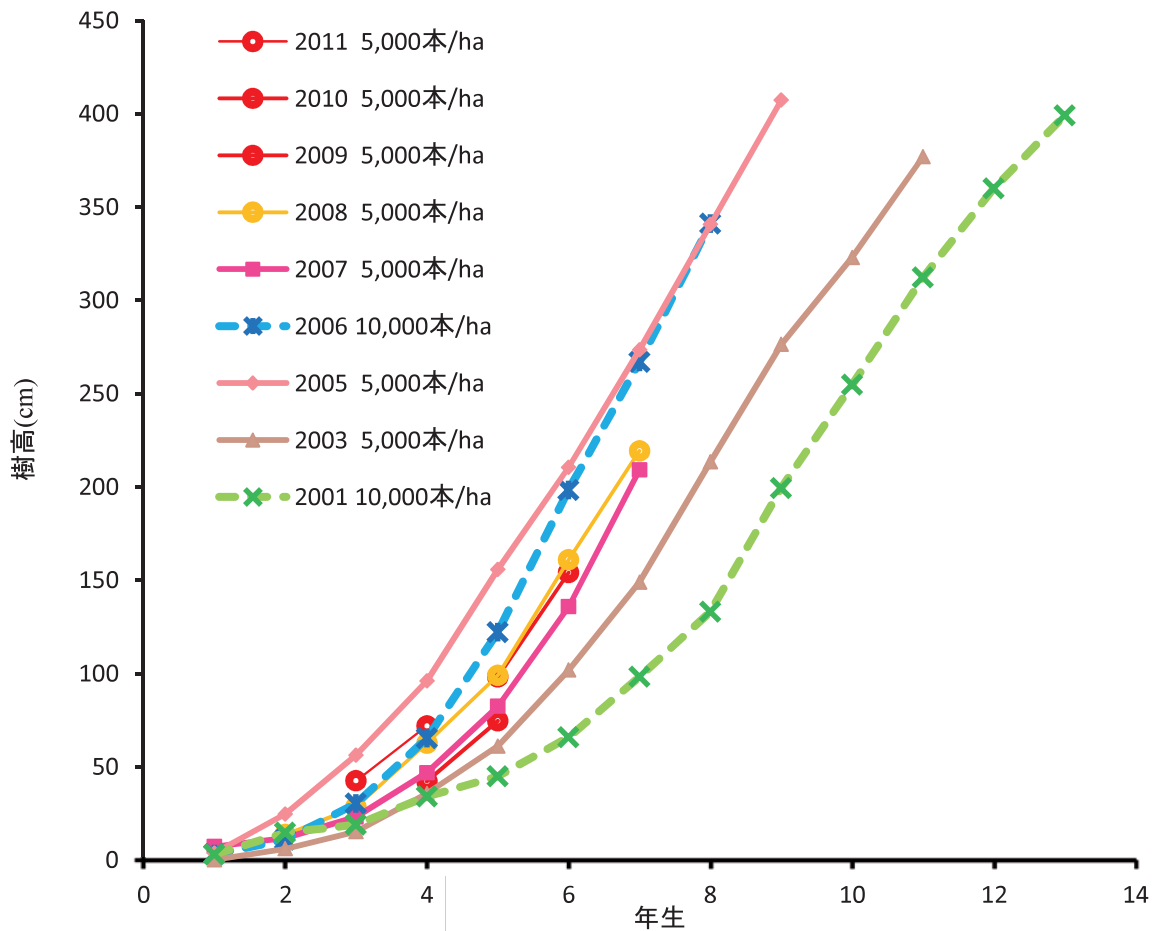


図4: 林齢毎の樹高 (実線は5,000本/ha, 破線は10,000本/ha)

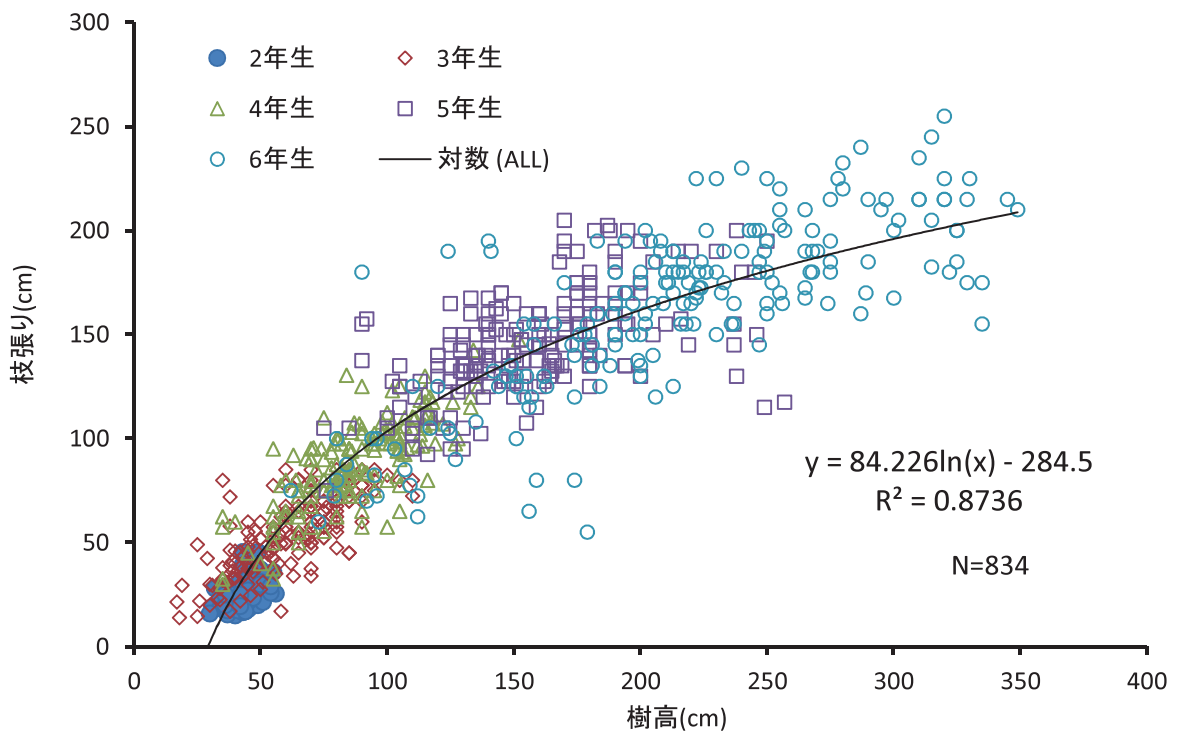


図5: 樹高と枝張りの関係 (5,000本/ha, 樹高350cmまで)

上長成長の悪い2001年度植栽地(10,000本/ha植栽)と上長成長の良い2005年度植栽地(5,000本/ha植栽)・2006年度植栽地(10,000本/ha植栽)の間にある。

本調査地は幅が約100m、長さが約600mの砂質土壌下で防風工の条件も同じであることから、環境要因は同一下と考えられる。また、2005年度植栽を除く5,000本/ha植栽の上長成長は、2001、2006年度植栽の上長成長の間にあり、密度の差による成長の差はみられなかった。

本研究の調査地は人工砂丘、防風柵、静砂垣で保護され、バックホウ等によって整備した植栽地で、その面積が4.5haであることから、調査地間ではその環境要因に大きな差がないと考えられる。このような植栽地で10,000本/ha植栽と5,000本/ha植栽の初期の上長成長を測定した結果、図4に示すとおり、成長の良い植栽地では10,000本/haと5,000本/ha植栽の成長の差はなく、他の5,000本/ha植栽の成長は成長の悪い10,000本/haよりも良い。このことから、10,000本/ha植栽と5,000本/ha植栽の初期の上長成長に差がないと考えられる。

次に2007~2011年度植栽地(5,000本/ha)の樹高と枝張りについての関係を見たところ図5のように高い相関が得られた。

$$y = 84.226 \ln(x) - 284.5 \quad (1)$$

$$(R^2 : 0.8736)$$

なお、xは樹高、yは枝張りである。

今回調査を行なった植栽密度は5,000本/haのため、植栽間隔は約140cmであり、枝張りが140cmを超える立木に関しては、枝の成長が制限されている。図5の枝張り140cm付近の林齢は5~6年生であることから、5,000本/ha植栽では、概ね5~6年生で枝張りが140cmを越え、枝と枝が重なり合い、林冠(林床)が閉鎖する。枝と枝とが重なり合うのは0.5m程度の低い位置で、閉鎖した植栽地は植栽地自体が飛砂源にはならず、防風防砂林として機能できる。

また、10,000本/ha植栽の植栽間隔は100cmであり、図5による枝張り100cm付近の林齢は4~5年生であることから、10,000本/ha植栽の樹冠が閉鎖するまでの期間は4~5年と推定される。よって、5,000本/ha植栽(植栽間隔140cm)と10,000本/ha植栽(植栽間隔100cm)の林冠閉鎖の差は1~2年であることから、早期林冠閉鎖という点では10,000/ha植栽と5,000本/ha植栽では大きな差がないと言える。

なお、2001、2003、2005、2006年度植栽地から採取した胸高直径部位の円板の年輪幅と輪生枝の高さから復元される形状比について見てみると10年生程度では植栽密度と形状比との間に関係が見られなかった(図6)。これは樹高4m(10年生)程度では

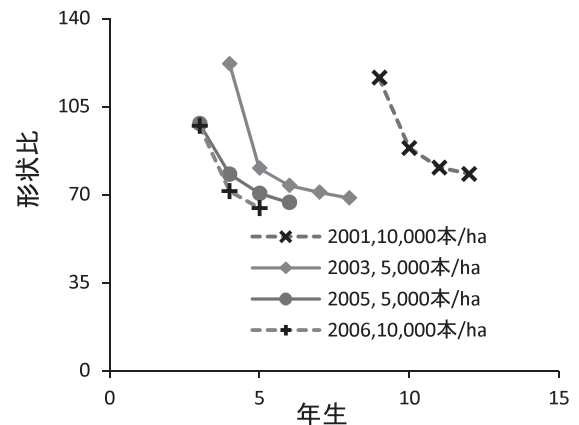


図6: 5,000, 10,000本/ha植栽の形状比
実線は5,000本/ha, 破線は10,000本/ha

伸長・肥大成長に密度の影響がないことを示している。

3.2 植栽地の風速減衰率

植栽地の防風対策効果について風速を測定した結果(図7)、いずれの観測日も同様の風速比のパターンを示し、丘頂付近で高くなり、人工砂丘より内陸側では人工砂丘から距離が離れると風速も強くなり、砂丘裏の地上1mの平均風速の風速比は海側基準点の10%程度、砂丘から15.5mの地点では20%程度、30m地点では30%程度となり、最大風速の減衰率はそれぞれ30%程度、40%程度、60%程度となった。海側基準点で観測した10秒毎瞬間値の平均風速と測定中の最大風速は、それぞれ1月18日が5.6と8.0m/s、1月25日が6.1と15.3m/s、2月8日が6.3と10.0m/sであった。このように植栽地は季節風の影響から大幅に緩和されていることがわかった。これは季節風後に葉が褐変しないことと一致する。

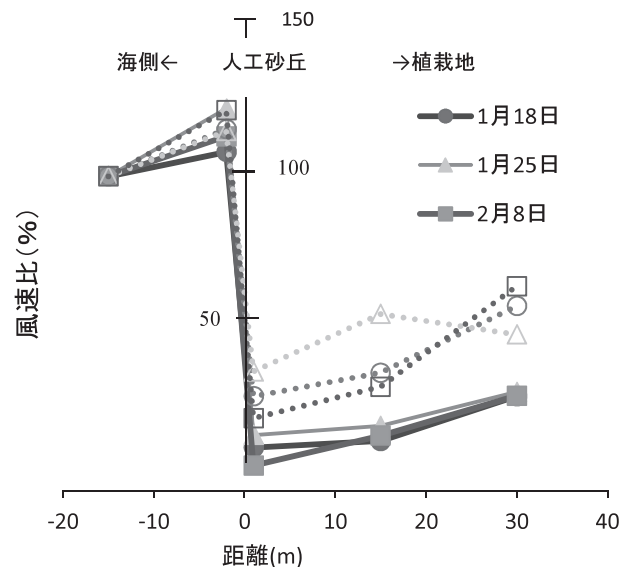


図7: 風速比(平均風速と最大風速)
実線は平均風速, 破線は最大風速

また、風向について見てみると、海岸では主に西～北の方角から吹いていたが、砂丘地内における10秒毎の風向計の記録は海岸の主風向と異なる方位（主に南東）から吹いていると示していた。しかし、目視による砂丘内の風向は、風速計が多方向に向きを変えていたことから定まっていなかったと思われる。

なお、調査を行なった近隣の気象庁アメダス（国土交通省気象庁オンライン）による地域気象観測所「石川県かほく」で測定された平均風速、最多風向、最大風速と風向、瞬間最大風速と風向は、2013年1月18日が5.9m/s、北北西、10.2m/s・北西、17.4m/s・北西で、1月25日が11.6m/s、西、16.2m/s・南西、25.5m/s・西北西で、2月8日が7.1m/s、西北西、12.7m/s・西北西、19.8m/s・西であった。

以上、白尾のクロマツ植栽地は防風工により季節風の強さが大幅に緩和されていた。

4 植栽密度が植栽コストに及ぼす影響

樹高5.5m、植栽密度が2,500本/haになる時までの直接工事費（植栽密度10,000, 5,000, 2,500本/ha）は表2のとおりである。植栽費と苗木代の合計は、いずれの植栽密度でも抵抗性マツで8割以上、普通苗で6割以上を占める。そのため抵抗性、普通苗植栽とも本数を半分にすると経費も半分程度、植栽本数を4分の1にすると経費も4分の1程度になった。抵抗性苗の苗木単価は高いことから、植栽密度を下げることは大幅な苗木代の削減となり、植栽労力の軽減、管理費の削減にもなる。

表2:植栽コスト比較

項目	単価	単位	植栽密度(本/ha)		
			10,000	5,000	2,500
苗木代	抵抗性苗	524 (円/本)	5,240,000	2,620,000	1,310,000
	普通苗	56 (円/本)	560,000	280,000	140,000
植栽費		270 (円/本)	2,700,000	1,350,000	675,000
下刈り	1年生	95278 (円/ha)	95,278	95,278	95,278
	2年生	95278 (円/ha)	95,278	95,278	95,278
	3年生	95278 (円/ha)	95,278	95,278	95,278
	4年生	95278 (円/ha)	0	95,278	95,278
除伐	1回目 (1伐3残)	196 (円/本)	490,000	0	0
	2回目 (1伐2残)	196 (円/本)	490,000	0	0
	3回目 (1伐3残)	196 (円/本)	245,000	245,000	0
	4回目 (1伐2残)	196 (円/本)	245,000	245,000	0
小計	植栽(抵)	(円/ha)	7,940,000	3,970,000	1,985,000
	植栽(普)	(円/ha)	3,260,000	1,630,000	815,000
	下刈り	(円/ha)	285,834	381,112	381,112
	除伐	(円/ha)	1,470,000	490,000	0
合計	抵抗性	(円/ha)	9,695,834	4,841,112	2,366,112
	普通	(円/ha)	5,015,834	2,501,112	1,196,112

5 おわりに

石川県において、植栽後のクロマツの生育状況を

5,000本/ha植栽の場合と10,000本/ha植栽の場合とで比較し、防風工が十分な場合には、5,000本/ha植栽の上長成長は10,000本/ha植栽と同等であった。すなわち、植栽木の活着、成長の点では5,000本/haで問題ないことが明らかになった。また、林冠閉鎖までの期間は、5,000本/ha植栽地は10,000本/ha植栽地と比べて1～2年遅れる程度であり、飛砂防備機能の点でも大きな問題とはならないことが明らかになった。一方、植栽経費とその後の管理経費は大きく減少する。

今後は、現在と同様の活着と成長をしながら、防風防砂林として機能する林分を成林させるために最大限どれくらいまで密度を減らすことができるか、また、植栽地の防風対策はどこまですれば低密度植栽にしても活着と成長に問題がないか等について検討する必要がある。

引用文献

- [1] 橋岡伸守 (1992) 施業方針. 「日本の海岸林」, ソフトサイエンス社, 村井宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也編, pp.46-48
- [2] 今野幸則 (2012) 海岸林の再生について. 第45回林業技術シンポジウム環境・生活を守る森林づくりー自然災害から学ぶー, pp.13-16
- [3] 国土交通省. 平成24年度公共工事設計労務単価. オンライン, (<http://www.mlit.go.jp/common/000993048.Pdf>). 参照2013年9月
- [4] 国土交通省 気象庁. 過去の気象データ検索. オンライン, (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>). 参照2013年9月
- [5] 公益社団法人国土緑化推進機構 (2013) ボランティアのための海岸林植栽の手引書, pp.4-20
- [6] 宮城県森林整備課 (2012) 海岸防災林に適した植栽樹種に関する調査報告書～宮城県における海岸砂防林に適した樹種の選定と種苗の供給について～, pp.4-10
- [7] 日本学術会議 (2014) いのちを育む安全な沿岸域の形成に向けた海岸林の再生に関する提言, pp.7-15
- [8] 林野庁 (2012) 治山林道必携 積算・施工編 (平成24年度), pp.719-727
- [9] 森林総合研究所 (2011) クロマツ海岸林内の管理の手引とその考え方ー本数調整と侵入広葉樹の活用ー. 森林総合研究所 第2期中期計画成果24, pp.7-14
- [10] 近田文弘 (2013) なぜ、クロマツなのか?ー日本の海岸林の防災機能についてー. 海岸林学会誌, 12 (2), pp.23-28

[受付 平成26年9月29日, 受理 平成27年6月12日]