

# 『海岸防災林造成の植栽樹種・方法に関する実証試験』に関する経過報告

2021年4月

林野庁・東北森林管理局

## もくじ

1. 植栽実証試験の概要	
1-1 試験地の位置	1
1-2 試験区の設定	2
1-3 試験区ごとの植栽樹種、苗木規格、植栽本数および植栽実施期間	3
1-4 モニタリング調査の内容	4
2. 試験地の基本環境	
2-1 地形環境	5
2-2 気象環境(現地観測)	6
3. 植栽実証試験地の現況	
3-1 試験地全景写真と林分構造断面図	8
3-2 試験区別現況	11
4. 植栽木の生育状況に関するモニタリング調査経過	
4-1 活着状況(試験区・樹種別)	15
4-2 成長量(代表的樹種の経年成長)	16
4-3 梢端標高と先枯れ発生状況	18
4-4 根系発達状況	19
5. これまでの試験結果から得られた科学的知見	
5-1 植栽初期の活着と成長に関する知見	20
5-2 台風等による潮害など海からの強い気象ストレスと植栽木の活着状況	23
5-3 クロマツと広葉樹類の混植	24
5-4 植栽木の根系生育状況	24
5-5 他地域の海岸防災林造成に反映可能な科学的知見	25
6. 植栽実証試験における今後の注目点	26

# 1. 植栽実証試験の概要

## ■1-1 試験地の位置

宮城県岩沼市寺島地内。  
阿武隈川の河口近く左岸に位置する海岸防災林。民有林で岩沼市の市有地。

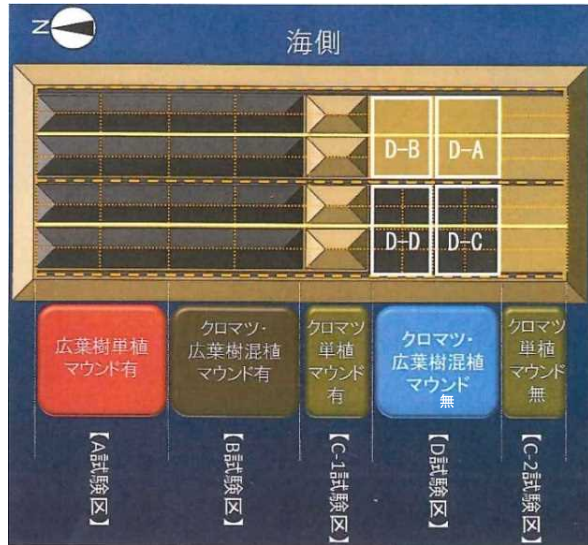


地理院地図/GSI Maps



仙台森林管理署撮影 (2020年10月14日)

## ■1-2 試験区の設定



試験区		植栽樹種	植栽密度 (本/ha)	マウ ンド	表層土	植穴 施肥	防風柵 静砂垣	着眼点	
大区分	小区分								
A	—	広葉樹	30,000	有	黒土 (バーク堆肥混合)	有	標準	黒土の覆土および密植による人為的な極相林の成立の可能性確認。	
B	—	広葉樹+クロマツ	30,000	有	黒土 (バーク堆肥混合)	有	標準	従来方式にマウンドを設置。表層の排水性によるクロマツの生育比較。	
C	C-1	クロマツ	5,000	有	海砂	有	標準	従来方式	
	C-2	クロマツ	5,000	無	海砂	有	標準	従来方式	
D	海側	D-A	広葉樹(ケヤキ・コナラ) + クロマツ	10,000	無	海砂	無	疎	海岸砂地での広葉樹およびクロマツの生育状況確認。
		D-B							
	陸側	D-C	広葉樹(ケヤキ・コナラ) + クロマツ	10,000	無	黒土 (バーク堆肥混合)	無	密	黒土の被覆地での広葉樹およびクロマツの生育状況確認。
		D-D							



【A試験区】 2016.10.13



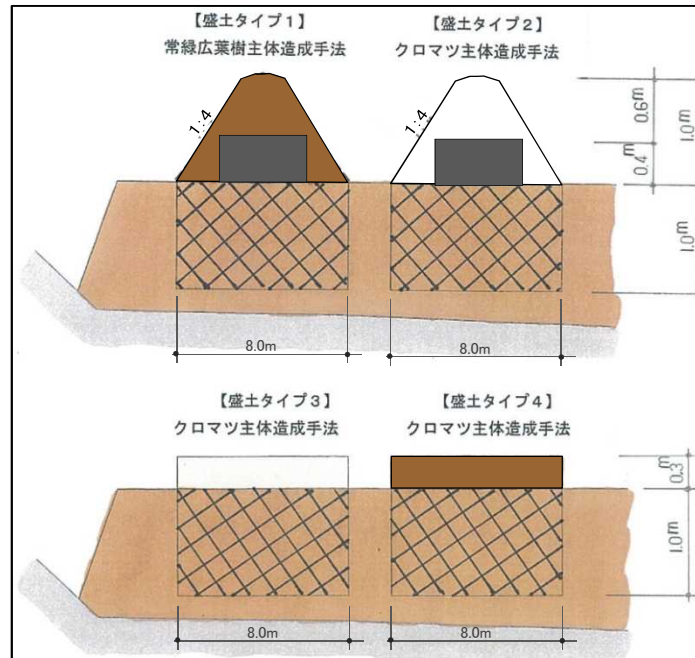
【C-1試験区】 2016.10.13



【B試験区】 2016.10.13



【D-A試験区】 2016.10.13



【生育基盤土層構成模式断面図】

凡例		
区分	記号	名称
表層盛土	---	ワラ伏
	■	黒土+バーク堆肥
	□	海砂
	■	中材(岩ズリ)
生育基盤盛土	■	山砂(掻き起こしあり)
	■	山砂(掻き起こしなし)
地山	■	自然砂丘(地山)

## ■ 1-3 試験区ごとの植栽樹種、苗木規格、植栽本数および植栽実施期間

### ○ 植樹樹種・本数

試験区					A区		B区		C-1+C-2区		D区	
試験区面積					0.08ha		0.08ha		0.08ha		0.08ha	
植栽密度					30,000本/ha		30,000本/ha		5,000本/ha		10,000本/ha	
広葉樹（高木・亜高木）					76%	1820	67%	1600			75%	600
広葉樹（低木）					24%	580	23%	560				
針葉樹					0%	0	10%	240	100%	400	25%	200
合計					100%	2,400	100%	2,400	100%	400	100%	800
No.	種別	樹種名	規格	産地	%	必要本数	%	必要本数	%	必要本数	%	必要本数
1	常緑高木	タブノキ	ポット苗 2~3年生	千葉県	19%	340	19%	300				
2		シラカシ	"	千葉県	22%	400	21%	340				
3		アカガシ	"	千葉県	13%	240	13%	200				
4		ウラジロガシ	"	千葉県	15%	280	15%	240				
5		スダジイ	"	千葉県	5%	100	6%	100				
6		アラカシ	"	千葉県	15%	280	15%	240				
7	落葉高木	ヤマザクラ	裸苗 2~3年生	宮城県	3%	60	4%	60				
8	常緑亜高木	ヤブツバキ	ポット苗 2~3年生	千葉県	3%	60	4%	60				
9		シロダモ	"	千葉県	1%	20	1%	20				
10		モチノキ	"	千葉県	1%	20	1%	20				
11		ネズミモチ	"	千葉県	1%	20	1%	20				
(11種類) 高木・亜高木小計					100%	1820	100%	1600				
12	常緑低木	ヒサカキ	ポット苗 2~3年生	千葉県	9%	50	11%	60				
13		マサキ	"	千葉県	71%	410	68%	380				
14		マルバシャリンバイ	"	千葉県	10%	60	11%	60				
15		トベラ	"	千葉県	10%	60	11%	60				
(4種類) 低木小計					100%	580	100%	560				
16	針葉樹	クロマツ	コンテナ苗 2~3年生	宮城県		0	100%	240	100%	400	20%	152
17	広葉樹	ケヤキ	コンテナ苗 1, 5年生	茨城県（森林総研）							34%	259
18	広葉樹	ケヤキ	裸苗	宮城県							25%	192
19	広葉樹	コナラ	コンテナ苗 1年生	茨城県（森林総研）							12%	93
20	針葉樹	クロマツ	コンテナ苗 1年生	茨城県（森林総研）							8%	64
(1種類) 針葉樹小計						0	100%	240	100%	400	100%	760
合計						2,400	合計	2,400	合計	400	合計	760

※植栽実施期間:2014年5月25日~2014年5月28日 ただし、茨城県(森林総研)産ケヤキ1年生コンテナ苗の一部(148本)は2015年9月25日

## ■1-4 モニタリング調査の内容

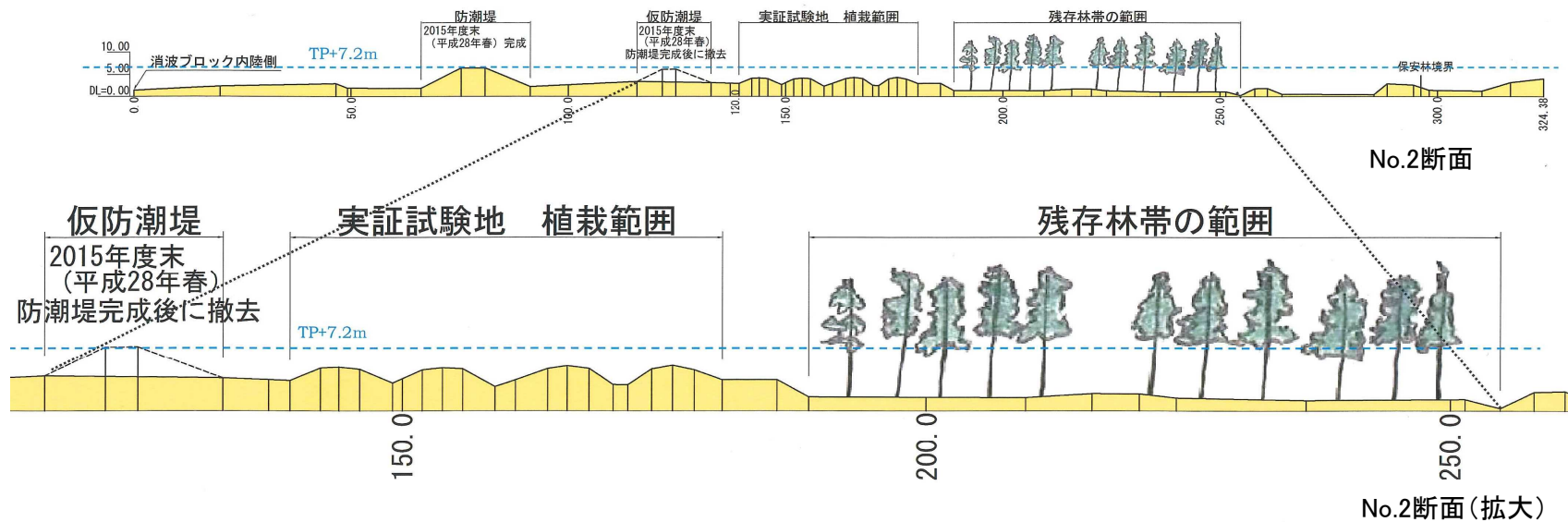
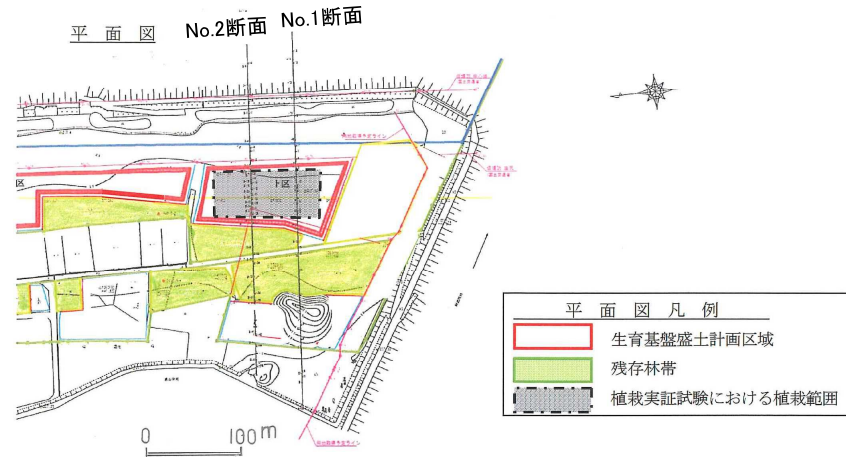
モニタリング調査は、試験地基本環境、防災林の効果、造成コストに区分される。主な調査項目は下表に示す内容を実施している。

区分	項目	モニタリング調査内容		
		実施項目	実施細目	実施回数の考え方
試験地基本環境	気象環境	現地風向風速	自記風向風速計	当初(2015年1月～12月)に1回
			風観測システム(風速鉛直分布および風向)	2019年8月から観測データ蓄積
		空中塩分濃度		当初に1回
	生育基盤環境	土壌物理性	土壌断面調査	〃
			土壌硬度 (長谷川式貫入試験・山中式土壌硬度)	〃
			土壌三相分析(固相、液相、気相) 粒度分析 浸透能試験 など	〃
		土壌化学性	pH	〃
			CEC(陽イオン交換容量)	〃
			塩基飽和度	〃
			EC(電気伝導度)	〃
防災林の効果	地上部生育状況	成長量調査	根元直径	毎年(モニタリング期間に応じて間隔を再考)
			樹高、樹長	〃
		活着状況調査	活着状況区分	〃
	地下部生育状況	根系発達	直根発達深および側根発達範囲、根直径など	当初に1回(モニタリング期間に応じて再実施検討)
			地下部重量(地上部重量) T/R率	〃
			直根発達深	2021年1月
造成コスト	コスト		初期造成コスト、下刈り等保育コスト	2014年～2020年

## 2. 試験地の基本環境

### ■2-1 地形環境

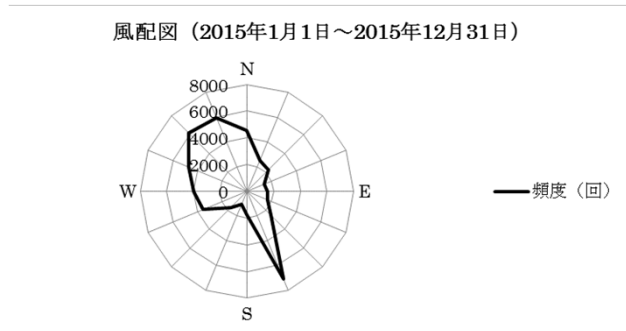
試験地は、汀線から約150m程度に位置し、汀線側に防潮堤が存在し、内陸側には樹高12m～14mの残存林帯が存在する。2014年に試験地を設定した時点では下図に破線で示す仮防潮堤が作られていたが、2015年度末に防潮堤が復旧したのに併せて撤去された。



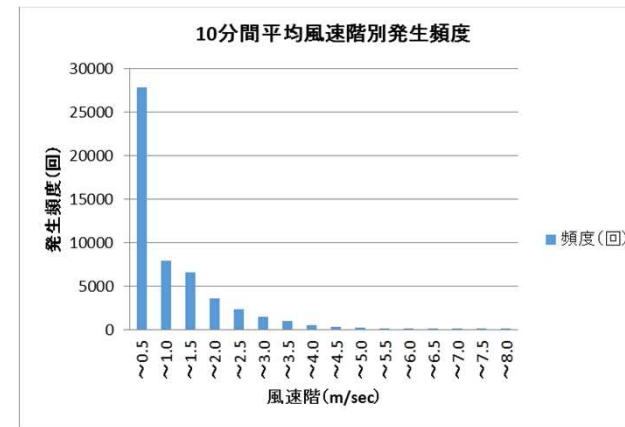
## ■2-2 気象環境

### (1) 地表付近の風向風速

試験地の風について、現地に風向風速計を設置し(地上高1.0m)、2015年1月～12月の1年間、風向風速観測を実施。



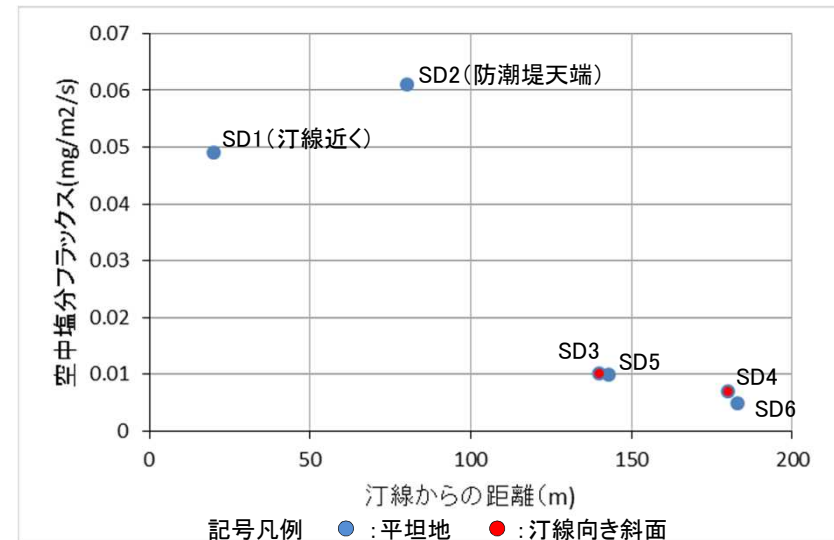
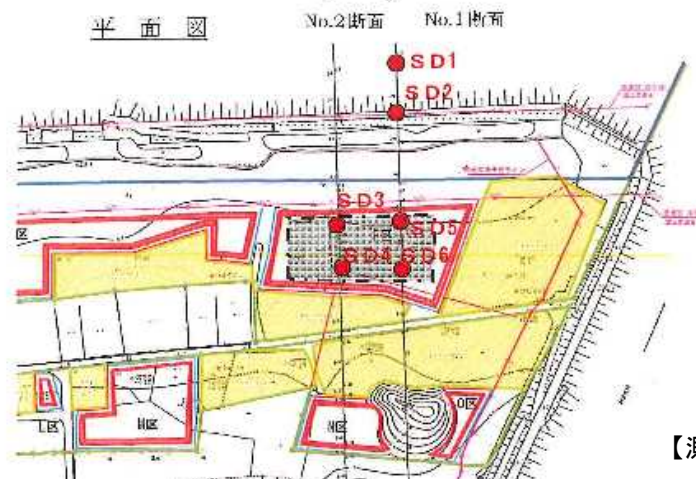
①風向は北西を中心とした西北西～北の風(晩秋～早春)と、南南東の風(晩春から初秋)に二分される。



②飛砂が発生すると言われる5m/secを超えるような風が吹く頻度が少ない。防潮堤や残存林帯の存在が風速を緩和している。

### (2) 空中塩分濃度

- ①植栽地の空中塩分濃度は汀線近くや防潮堤天端の1/5程度に低下。
- ②植栽地内部では、位置が変わっても空中塩分濃度に変化が無い。
- ③平坦部と汀線向き斜面とで空中塩分濃度に変化が無い。



【測定日】 2015年8月13日

【測定時の風向】 E

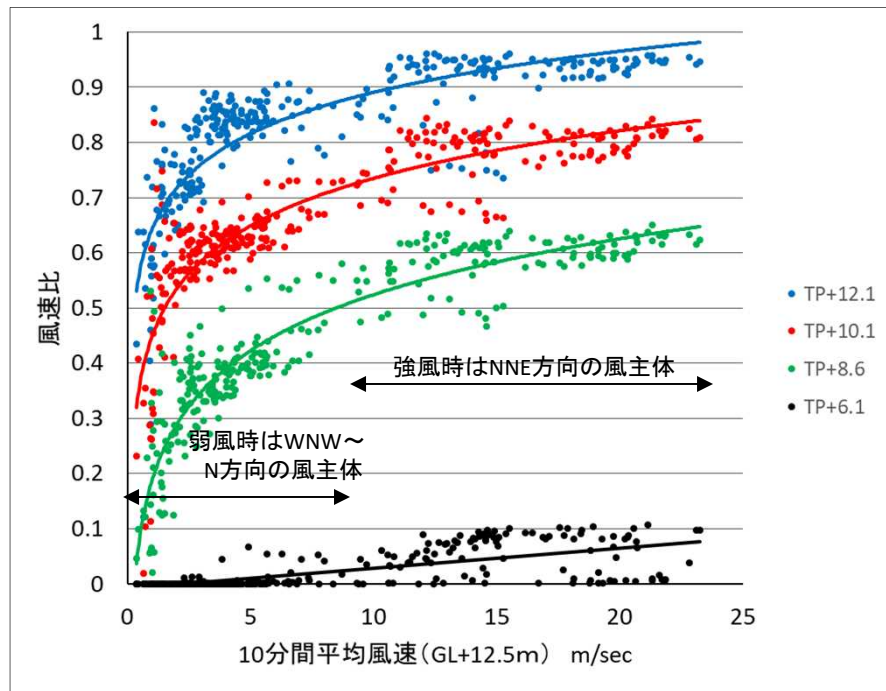
【測定時10分間平均風速】2～4m/sec

### (3) 風速の鉛直分布(風観測システム)

植栽実証試験では、活着した植栽木の今後の樹高成長と風などの気象ストレスとの関係を明らかにし、海岸防災林造成に適した樹種に関する科学的知見を得ることが期待される。

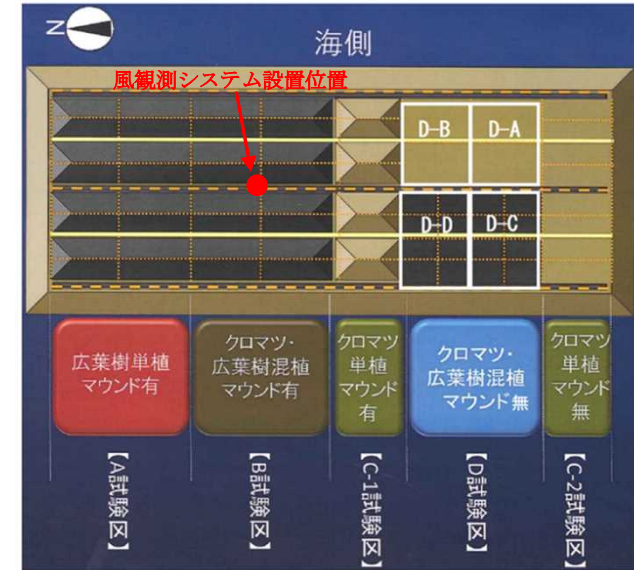
そこで、2019年8月に風観測システムを新設し、風速の鉛直分布と風向の現地データを蓄積している。この観測は今後長期にわたって継続し、樹種ごとの成長と気象ストレスとの関係を解析する予定である。

これまでの観測の中から、風速の鉛直方向の分布を例示したのが下のグラフである。地表からの高度が増すほど風速が大きくなるという既往知見を追認する結果を得ている。また、林冠高よりも低い位置に設置した風速計(設置高TP+6.1m)のデータから、林帯による防風効果も確認できた。

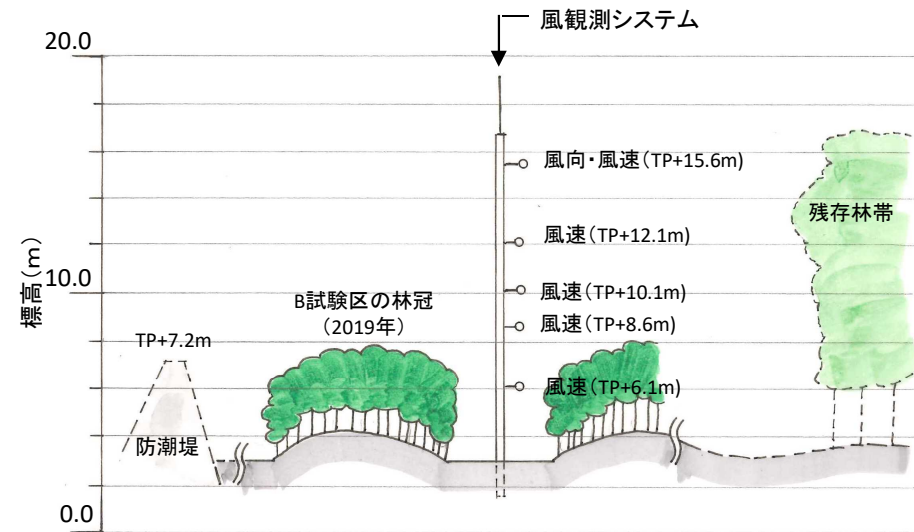


■ 風速比の鉛直分布図(10分間平均風速) 2019年10月12~13日

※最上部(TP+15.6m)の風速を1とした時の下部4台の風速比の散布図に回帰線を記入



■ 風観測システム設置位置図



■ 風観測システム 計器設置条件模式断面図(2019年設置時)



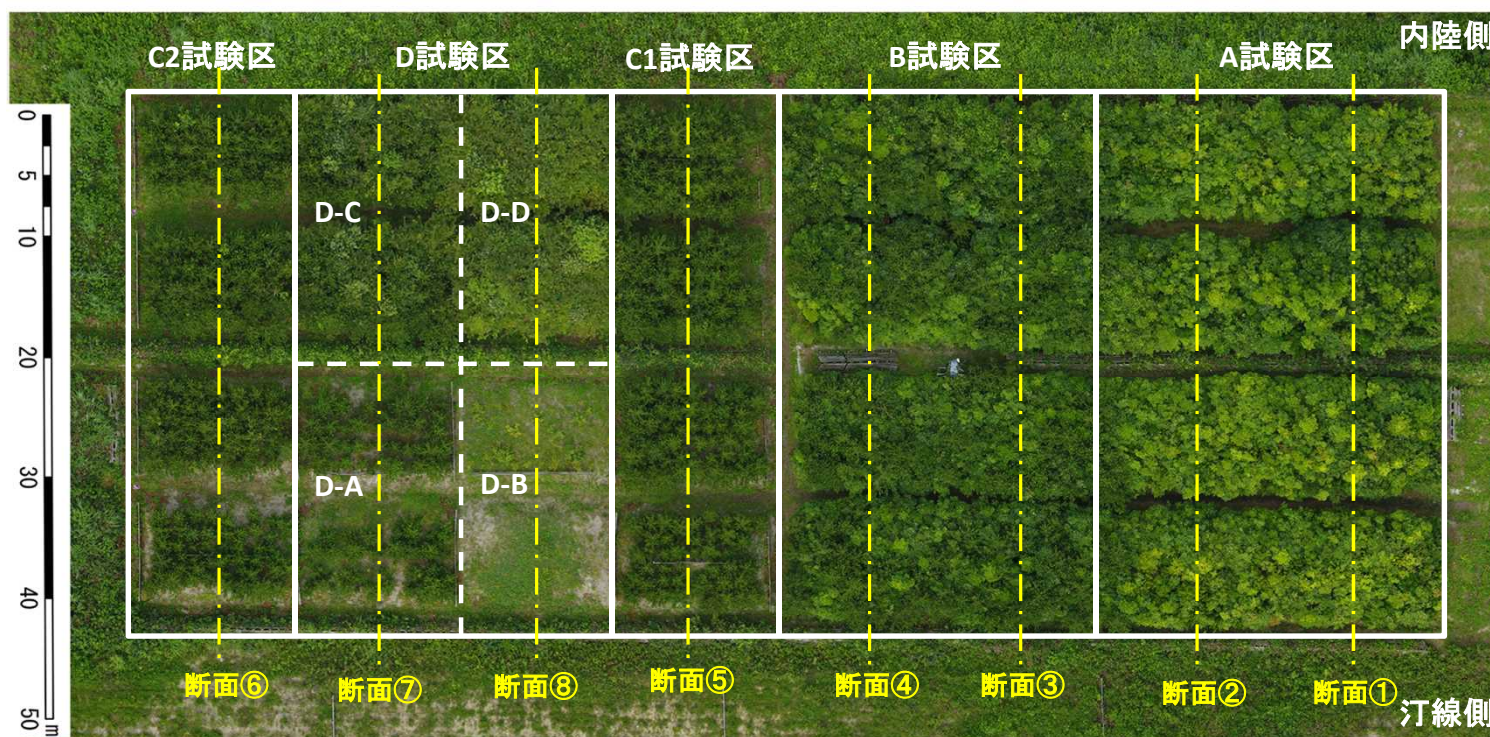
### 3. 植栽実証試験地の現況

#### ■3-1 試験地全景写真と林分構造断面図



防潮堤天端からの  
全景写真

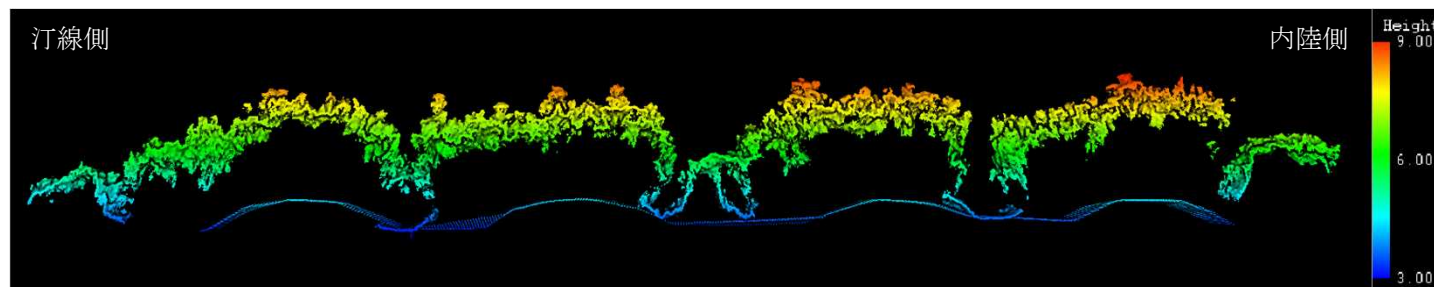
2020年7月2日撮影



UAVで撮影した  
簡易オルソ写真

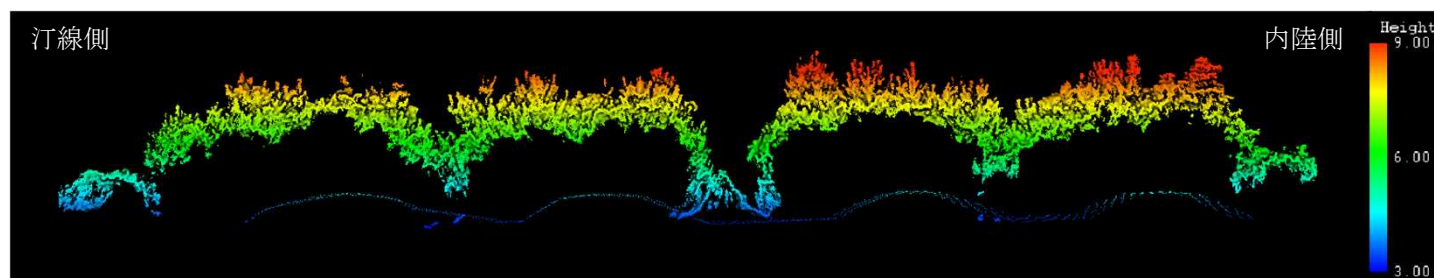
2020年8月6日撮影

※ 断面①～断面④は次ページに示す実測とUAV写真測量から作成した林分構造断面図の位置  
断面⑤～断面⑧は次々ページに示す地上レーザ測量およびUAV写真測量から作成した林分構造断面図の位置を示す

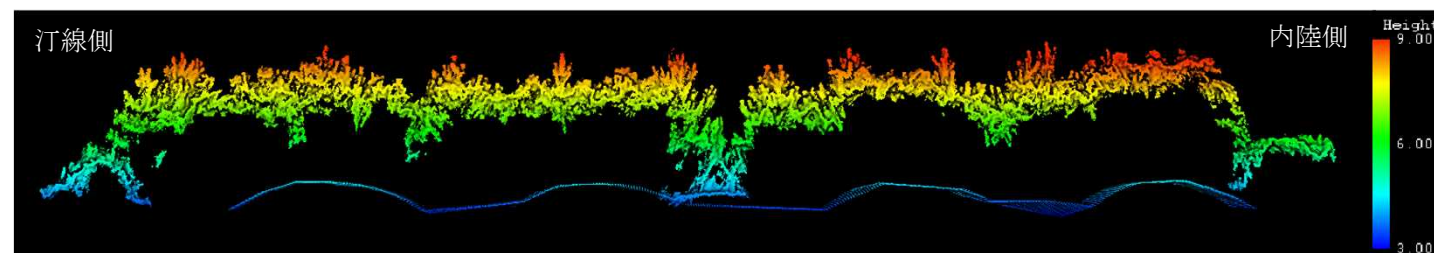


【林分構造断面図】

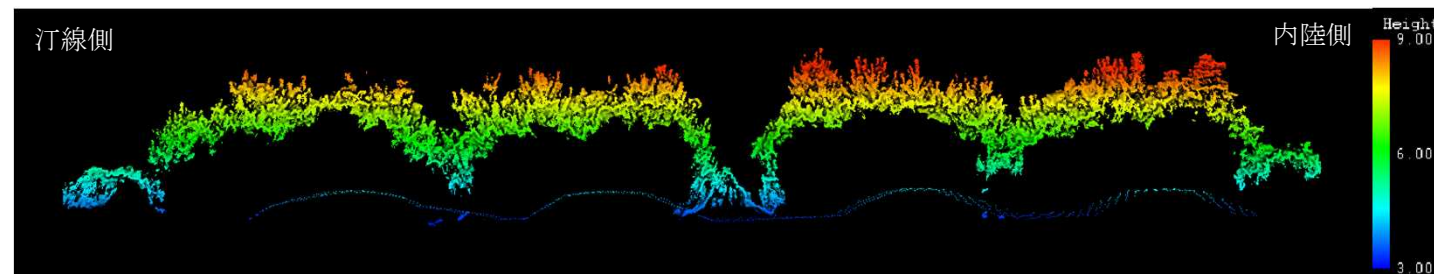
断面①  
A試験区-1  
(2020年8月)



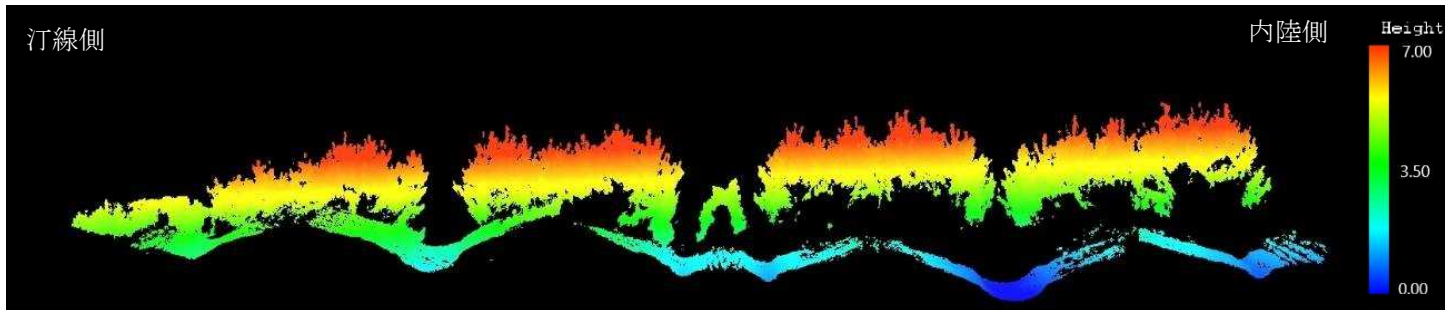
断面②  
A試験区-2  
(2020年8月)



断面③  
B試験区-1  
(2020年8月)

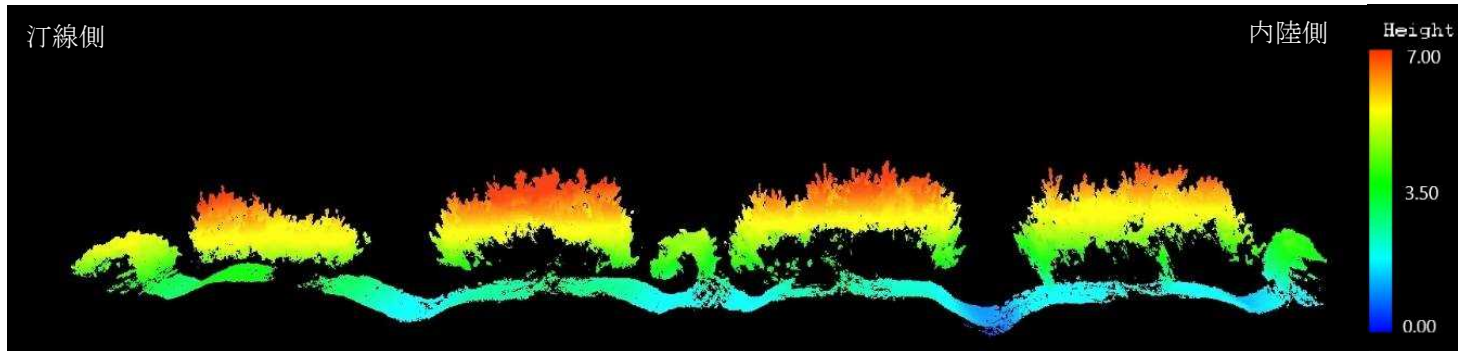


断面④  
B試験区-2  
(2020年8月)

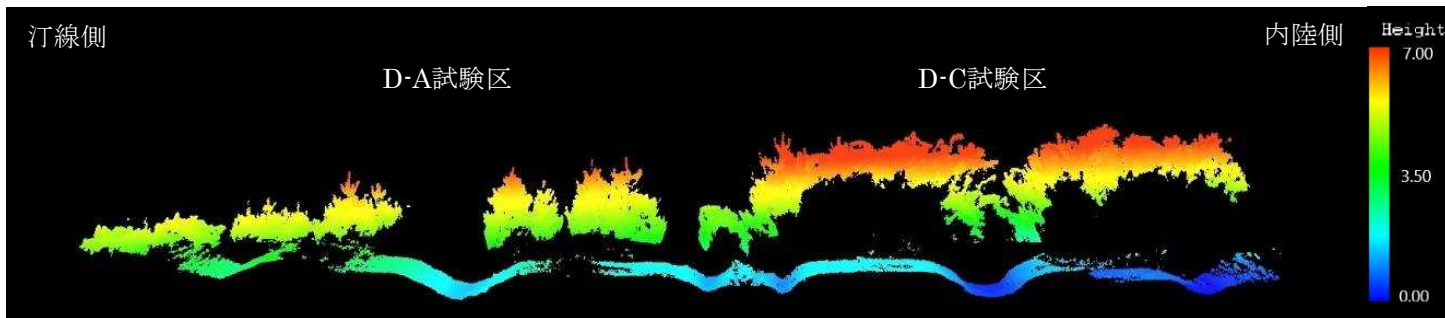


【林分構造断面図】

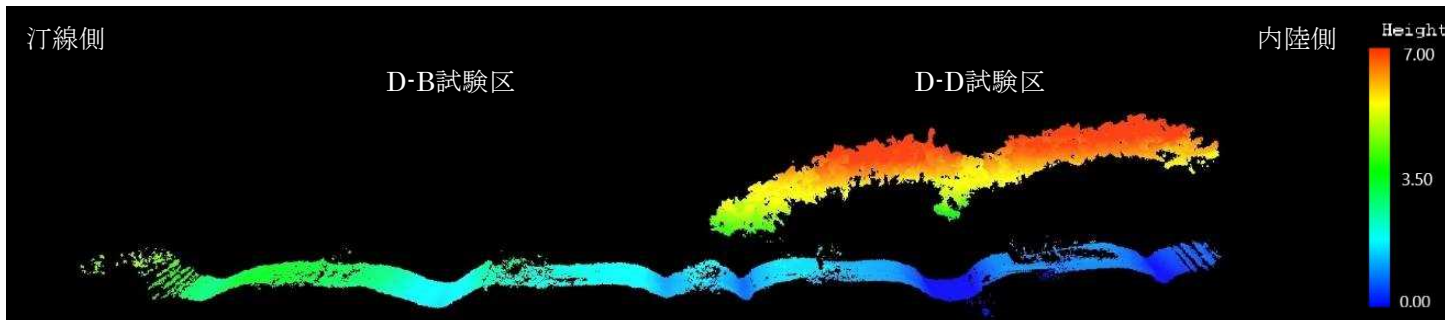
断面⑤  
C-1試験区  
(2020年8月)



断面⑥  
C-2試験区  
(2020年8月)





断面⑦  
D-A~D-C試験区  
(2020年8月)



断面⑧  
D-B~D-D試験区  
(2020年8月)

### ■3-2 試験区別現況

A 試験区	B 試験区
 <p><b>【常緑広葉樹主体造成手法】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・植栽木: 常緑広葉樹 (一部落葉広葉樹)</li> <li>・植栽密度: 30,000本/ha</li> <li>・地形: マウンド地形</li> <li>・表層土: 黒土-バーク堆肥混合土 植穴施肥: あり</li> <li>・防風施設: 標準配置</li> </ul> <p>ほとんどの樹種が活着し、成長の早い個体は防潮堤天端高を越える樹高に成長した。ただし、樹種によっては先枯れする個体が見られる。 ヤマザクラの活着状況は不良である。 マルバシヤリンバは低木種であり、複層林型の下層では活着するものの生育状況は良くない。</p>	 <p><b>【常緑広葉樹主体造成手法】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・植栽木: 常緑広葉樹 (一部落葉広葉樹) とクロマツを混植</li> <li>・植栽密度: 30,000本/ha</li> <li>・地形: マウンド地形</li> <li>・表層土: 黒土-バーク堆肥混合土 植穴施肥: あり</li> <li>・防風施設: 標準配置</li> </ul> <p>クロマツ以外の樹種についてはA試験区の現況と変わりない。 クロマツは宮城県産コンテナ苗を使用しているが、他の広葉樹類よりも成長が早く、ほとんど全ての個体が防潮堤天端高よりも樹高が高くなっている。広葉樹類のなかで成長の早い樹種よりも1m程度抜き出した状況。</p>

C-1 試験区



**【クロマツ主体造成手法】**

- ・植栽木:クロマツ
- ・植栽密度:5,000本/ha
- ・地形:マウンド地形
- ・表層土:海砂 植穴施肥:あり
- ・防風施設:標準配置

活着、成長とも順調である。

苗種はB試験区と同じ宮城県産コンテナ苗を使用しているが、樹長成長はB試験区よりも70cm程度遅い。これは表層土の養分環境の差と考えられる。

C-2 試験区



**【クロマツ主体造成手法】**

- ・植栽木:クロマツ
- ・植栽密度:5,000本/ha
- ・地形:平坦地形
- ・表層土:海砂 植穴施肥:あり
- ・防風施設:標準配置

活着、成長とも順調である。

地形条件以外はC-1試験区と同じであるが、個体別の根元直径と樹高の中央値は同等ながら分布範囲はC-1試験区よりも狭くなる傾向である。この原因としては、地形条件の差の他に、C-2試験区が実証試験地の南端に位置するため、夏季の海からの風の影響が強いことも考えられる。

D-A 試験区



**【クロマツ主体造成手法】**

- ・植栽木:クロマツと落葉広葉樹(ケヤキ・コナラ)と混植
- ・植栽密度:10,000本/ha
- ・地形:平坦地形
- ・表層土:海砂 植穴施肥:なし
- ・防風施設:疎配置

クロマツは宮城県産コンテナ苗(2~3年生)のほか、森林総合研究所で育苗した3種類のコンテナ苗(1~2年生)を植栽し、いずれも活着と成長が順調で、本試験地の環境においては1年生コンテナ苗の可能性が伺える結果である。

落葉広葉樹は、D-B試験区で述べるように活着が難しく、クロマツとの混植では先行して成長するクロマツに被圧される。

D-B 試験区



**【クロマツ主体造成手法】**

- ・植栽木:落葉広葉樹(ケヤキ・コナラ)
- ・植栽密度:10,000本/ha
- ・地形:平坦地形
- ・表層土:海砂 植穴施肥:なし
- ・防風施設:疎配置

落葉広葉樹(ケヤキ・コナラ)は、汀線に近い位置で貧栄養状態(海砂表土+植穴施肥なし)の土壤環境では活着が難しい。ほとんど地上部が失われ枯死したと思われる場合でも新たに萌芽する個体も存在するが、ほとんど樹高成長できない。

D-C 試験区



【クロマツ主体造成手法】

- ・植栽木:クロマツと落葉広葉樹(ケヤキ・コナラ)を混植
- ・植栽密度:10,000本/ha
- ・地形:平坦地形
- ・表層土:黒土-バーク堆肥混合土 植穴施肥:なし
- ・防風施設:密配置

クロマツも落葉広葉樹も、8割以上の個体が活着し概ね順調に成長している。

樹高成長を成長の早い個体と比較すると、クロマツよりもケヤキやコナラの方が早く、1m近い差が生じている。そのため、クロマツは被圧されて樹勢が衰える個体が増えてきている。また、広葉樹同士でも被圧による樹勢の衰えが見られる。

D-D 試験区



【クロマツ主体造成手法】

- ・植栽木:落葉広葉樹(ケヤキ・コナラ)
- ・植栽密度:10,000本/ha
- ・地形:平坦地形
- ・表層土:黒土-バーク堆肥混合土 植穴施肥:なし
- ・防風施設:密配置

8割以上の個体が活着し概ね順調に成長している。ケヤキの樹高成長は、苗木種によってバラツキが大きい。コナラは苗木種は1つだけであるが、ケヤキと同等かそれ以上の樹高成長を示している。

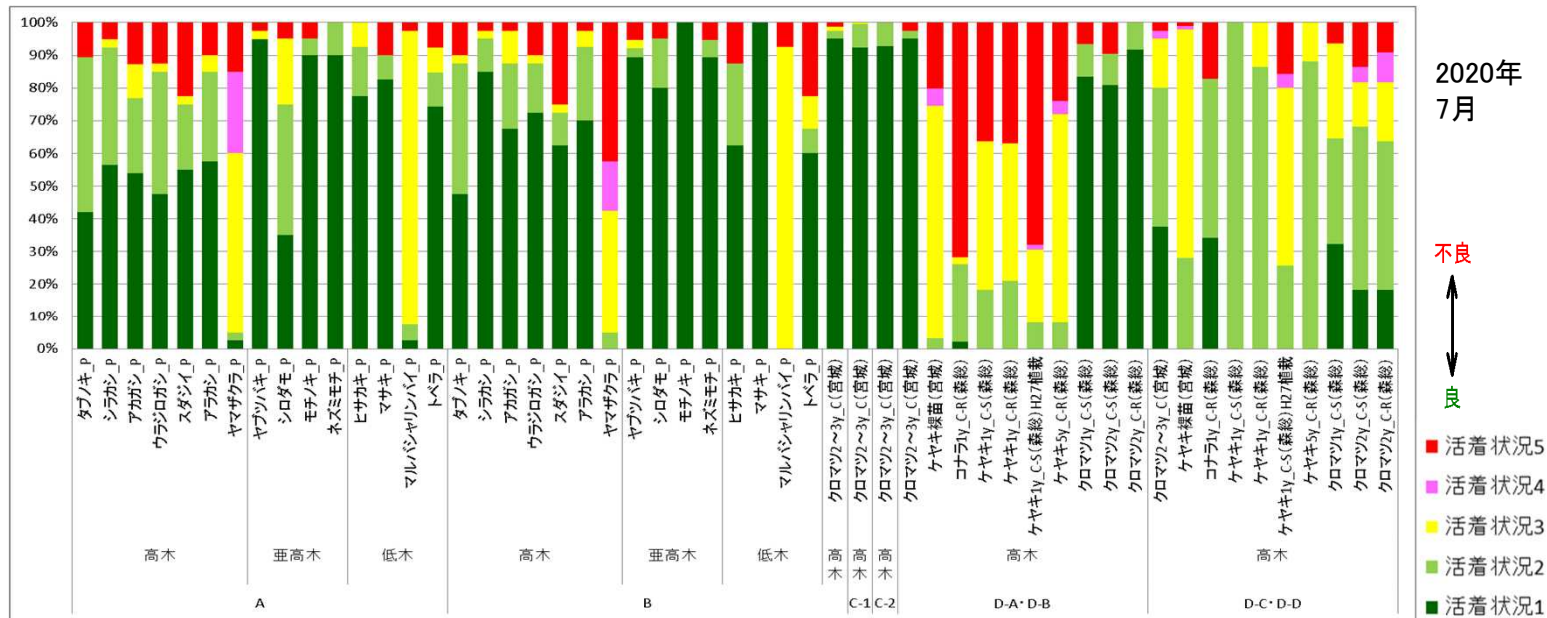
広葉樹個体間の成長スピードの違いにより、被圧されて樹勢が衰えるものが見られる。

## 4. 植栽木の生育状況に関するモニタリング調査経過

### ■4-1 活着状況(試験区・樹種別)

2014年5月末に植栽後、2020年10月で6年半経過し、初期活着の他に樹木の成長に伴う樹勢の変化も現れるようになってきている。2020年7月の活着状況調査結果を下図に示す。活着状況で明らかになった事項はつぎの5点である。

- ①活着状況1～3は活着したと判断すると、多くの植栽木は概ね90%以上が活着している。
- ②ヤマザクラは活着率は50%程度と低い。
- ③マルバシヤリンバイは活着はするものの、活着状況3の個体が概ね90%を占めており樹勢が低い。
- ④表層土が海砂で、しかも植穴施肥をしていないD-A試験区とD-B試験区に植栽したケヤキとコナラは、苗木形式に係わらず活着した個体の割合が低く30～70%である。しかも活着状況3の個体も多い。
- ⑤D-C試験区のクロマツは、ケヤキとコナラの成長により被圧され、枯死したり樹勢が低くなる個体が見られる。



試験区別・樹種別活着状況(2020年7月測定)





## ■4-2 成長量(代表的樹種の経年成長)

植栽実証試験地全体の植栽木成長量の概要を把握するため、B試験区、C-1試験区、D-A・D-B試験区およびD-C・D-D試験区に植栽されている代表的な樹種を選び、植栽後の経年的根元直径成長と樹長成長を図示したのが次ページのグラフである。

グラフは、右の参考図で示す“箱ひげ図”を用い、データの中央値、データの分布状況を表現している。

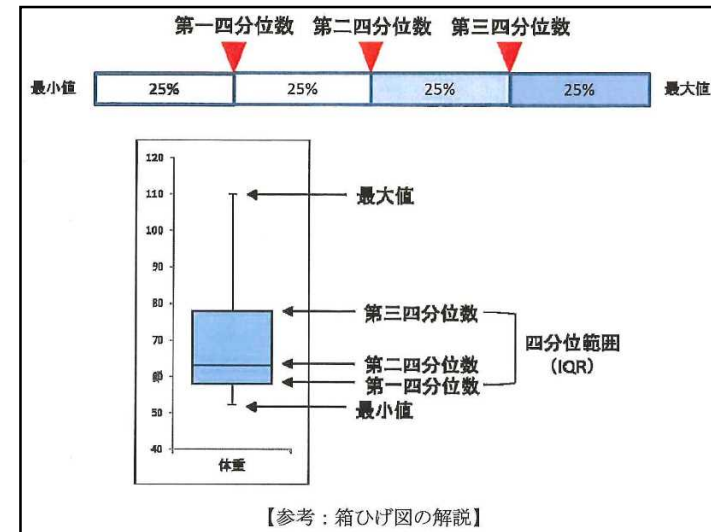
試験区毎に現段階で判ったことはつぎのとおりである。

### 常緑広葉樹主体造成手法(B試験区)

- ①クロマツは根元直径、樹長ともに他の広葉樹類よりも成長が早い。樹長の中央値は約4.2mに達し、広葉樹の中では樹長成長が早いタブノキよりも1m程度高くなっている。
- ②常緑広葉樹の成長は、高木種、亜高木種、低木種に応じた成長量になっているが、低木種であるマサキの樹長成長は亜高木種と同程度の速さとなっている。
- ③どの樹種も個体による成長の速さにバラツキが大きい、シロダモはバラツキの幅が小さい。
- ④マルバシャリンバイは根元直径、樹長とも経年的に見て成長が遅い。これは樹種特性によると考えられる。

### クロマツ主体造成手法(C-1試験区)

- ①クロマツ(宮城県産コンテナ苗)は経年的に順調な成長をしている。
- ②B試験区のクロマツと同じ苗種であるが、根元直径、樹長ともB試験区より成長が僅かに遅い。これは表層土の養分条件の差と考えられる。



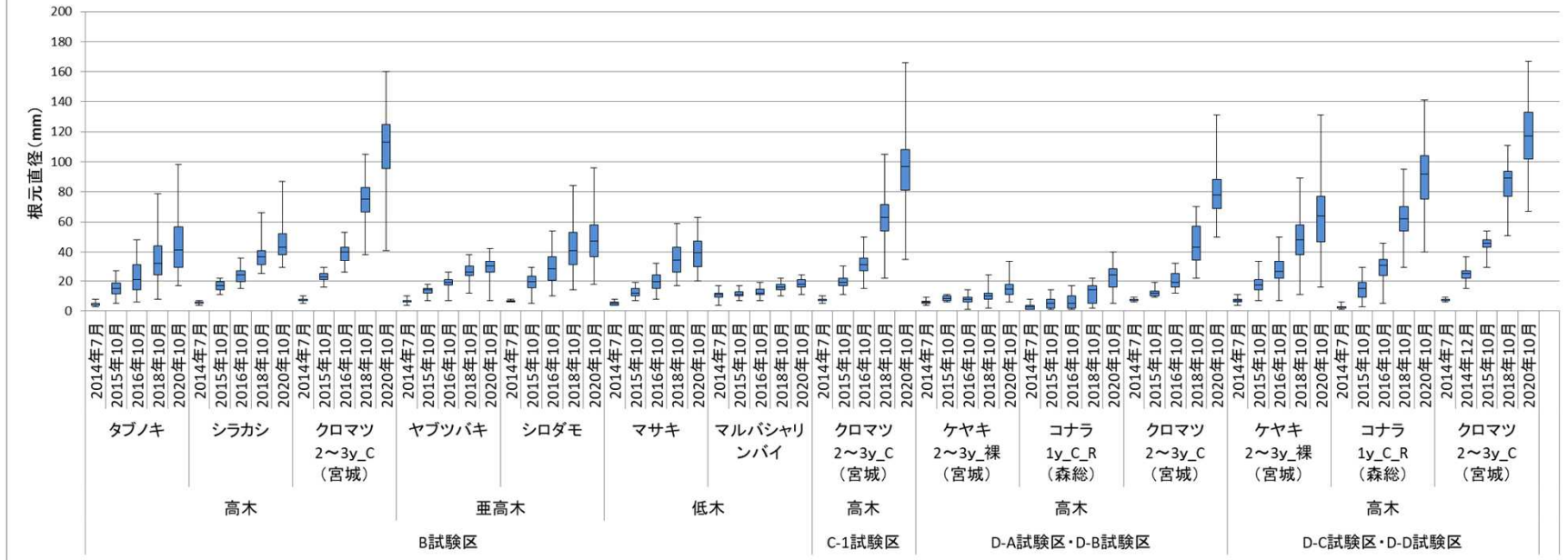
### クロマツ主体造成手法(D-A、D-B試験区)

- ①土壌の養分条件が劣るため、クロマツおよび落葉広葉樹に関わらず、根元直径も樹長も成長が遅い。特に落葉広葉樹でその傾向が顕著で、経年成長量が非常に小さい。

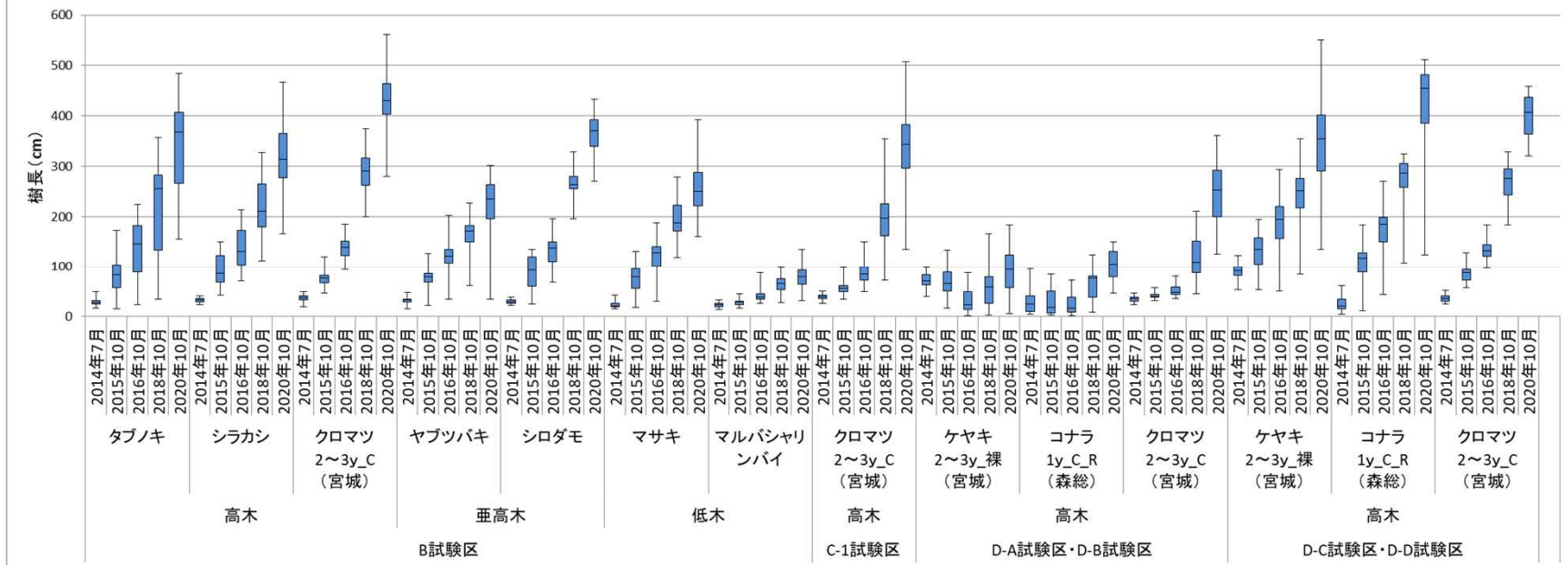
### クロマツ主体造成手法(D-C、D-D試験区)

- ①土壌の養分条件がD-A試験区およびD-B試験区より勝るため、クロマツも落葉広葉樹も根元直径と樹長両方の成長が早い。
- ②落葉広葉樹の成長は、表層土として黒土とバーク堆肥の混合土となっているB試験区の常緑広葉樹類よりも早い傾向にある。

代表樹種の試験区別経年根元直径成長図



代表樹種の試験区別経年樹長成長図

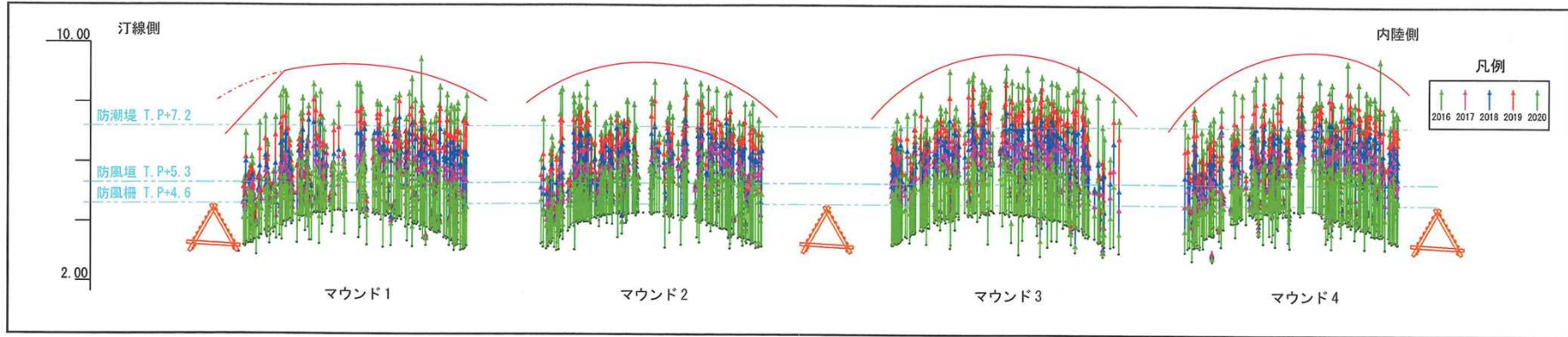


### ■4-3 梢端標高と先枯れ発生状況

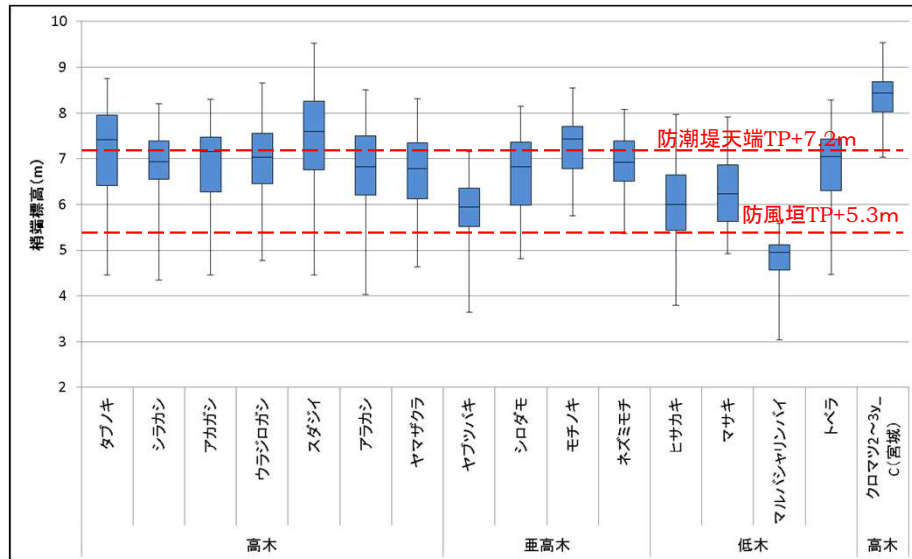
汀線からの距離と梢端標高には明瞭な差は認められないが、汀線に最も近い前線部では上長成長が抑制される傾向が認められる。

A試験区とB試験区の樹種ごとの梢端標高を箱ひげ図で見ると、多くの樹種が防潮堤天端を越える高さまで成長している。ただし、ヤブツバキ、ヒサカキ、マサキ、マルバシヤリンバイは成長が遅く、ほとんどの個体の梢が防潮堤天端高よりも低くなっている。

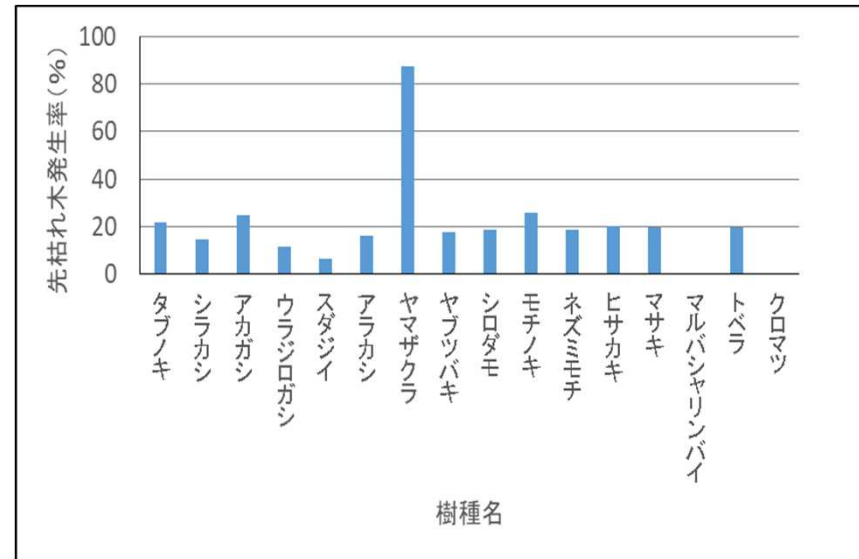
先枯れ発生率を見ると、ヤマザクラが約80%と高く、その他の樹種は20%程度の発生率で、マルバシヤリンバイとクロマツは発生していない。



A・B試験区 全樹種の梢端標高成長図(2016年～2020年)



A・B試験区樹種別梢端標高分布箱ひげ図(2020年10月測定)



A・B試験区樹種別先枯れ発生率(2020年10月測定)

## ■4-4 根系発達状況

植栽から6年半経過した植栽木の根系発達状況を、クロマツ、ケヤキ、タブノキ、シラカシについて掘削して調査した。右図は直根のスケッチ、土層区分および土壌硬度の分布を樹種ごとの平均的な個体について示したものである。

樹種ごとの特徴は下記のとおりである。

### 樹種別直根発達の特徴

#### 【クロマツ】

- ・直根が真下に伸長する傾向。
- ・直根の到達深度が1.5m以上で安定。
- ・土壌硬度24を超える硬い土層でも直根が伸長。

#### 【ケヤキ】

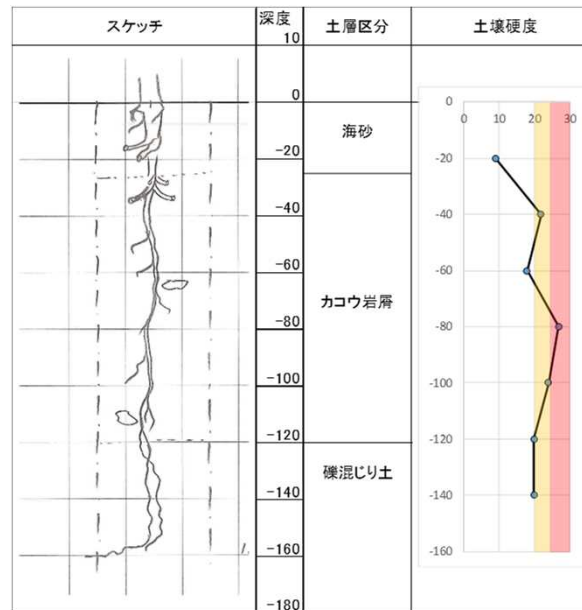
- ・直根は細い根が多数発達。
- ・直根の到達深度は最大の個体ではクロマツと同等だが平均的にはクロマツよりも浅い傾向。
- ・直根が屈曲する傾向。
- ・土壌硬度20近くでも直根が伸長。

#### 【タブノキ】

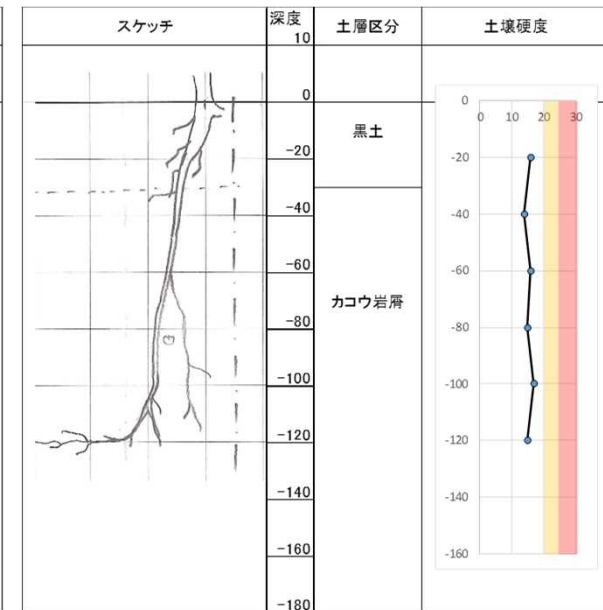
- ・直根は太くてしっかりしているが、土壌が硬いと屈曲して側根化する傾向。
- ・直根の到達深度は70cm程度。

#### 【シラカシ】

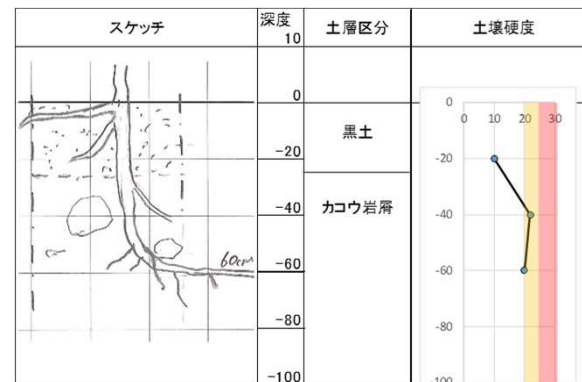
- ・現段階では直根よりも側根の発達が顕著。
- ・直根は細くて到達深度は70cm程度。
- ・直根が屈曲して側根化する傾向。



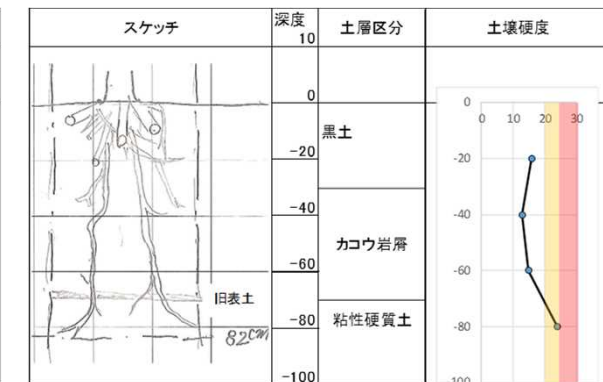
クロマツの直根発達状況(2021年1月)



ケヤキの直根発達状況(2021年1月)



タブノキの直根発達状況(2021年1月)



シラカシの直根発達状況(2021年1月)

## 5. これまでの試験結果から得られた主な科学的知見

### ■5-1 植栽初期の活着と成長に関する知見

常緑広葉樹主体造成手法試験区（AおよびB試験区）の植栽樹種について、初期の活着と成長に関する知見を整理する。

#### (1) 樹種ごとの活着に必要な条件

前生樹がない裸地に植栽する時、本試験で植栽した樹種の中ではヤマザクラは生育基盤の土質などに係わらず活着が不良であった。その他の樹種については、生育基盤の土質条件などを整えれば活着させることができた。

樹種ごとの初期活着に関する条件は右表のように考えられる。

■ 樹種区分別初期活着条件一覧表

区分		樹種	活着条件
針広別	高低別		
常緑針葉樹	高木	クロマツ	生育基盤の土壌化学性（養分が少ない）が悪い砂地でも黒土などの養分に富む土質でも活着が期待できる
常緑広葉樹	高木	タブノキ、シラカシ、アカガシ、ウラジロガシ、スダジイ、アラカシ	生育基盤の物理性（保水性、硬度）・化学性（養分）を整えれば活着が期待できる。
	亜高木	ヤブツバキ、シロダモ、モチノキ、ネズミモチ	
	低木	ヒサカキ、マサキ、トベラ	
落葉広葉樹	高木	ケヤキ、コナラ	
常緑広葉樹	低木	マルバシャリンバイ	生育基盤の物理性（保水性、硬度）・化学性（養分）を整え、高木類との混植を避ければ活着が期待できる
落葉広葉樹	高木	ヤマザクラ	生育基盤の物理性（保水性、硬度）・化学性（養分）に関わらず活着が期待できない

#### (2) 樹種ごとの初期成長

活着に必要な条件が満たされた場合は、高木性樹種と亜高木性樹種のほとんどは梢端が防潮堤を超える高さまで初期成長する。

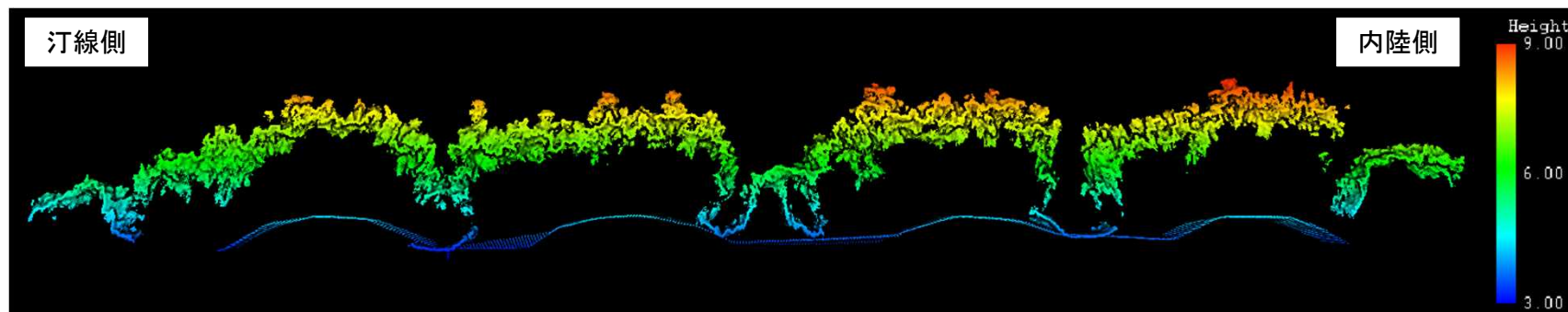
低木類を含め、樹高成長の速さで植栽樹種を4区分したのが右表である。

■ 初期樹高成長の速さによる区分

樹高成長による区分	樹種	特徴
高成長が早い	タブノキ、スダジイ、モチノキ、クロマツ	梢端標高の中央値がTP+7.2m（防潮堤天端）に達している。
樹高成長が平均的	シラカシ、アカガシ、ウラジロガシ、アラカシ、シロダモ、ネズミモチ、トベラ、ヤマザクラ	梢端標高の中央値がTP+6.8～7.2m程度。梢端標高の中央値が防潮堤天端高に近づいている。
樹高成長がやや劣る	ヤブツバキ、ヒサカキ、マサキ	梢端標高の中央値がTP5.9+～6.2m程度。梢端標高の四分位範囲の下限值が防風垣を超えた。
樹高成長が最も劣る	マルバシャリンバイ	梢端標高の中央値はTP+5.0mで防風垣上部に届かないが、最高値はTP+5.6mで防風垣上に達する。樹高成長が遅いのは樹種の特性と考える。樹種特性により被圧を受けた個体が多い。

### (3) 地形条件(汀線からの距離、斜面の向き)と初期樹高成長量

当試験地は面積が狭く、海岸防災林の林帯全体を見ると地形条件の違いは限定的と言える。そのため、汀線からの距離の違いや斜面の向きの違いによる初期樹高成長量の違いは明瞭ではない。傾向としては、試験地の中では汀線から遠い内陸側で樹高成長が僅かに早い傾向が認められた。また、樹種によっては汀線向き斜面よりも内陸向き斜面で樹高成長が早い傾向が認められた。ただし、それらは僅かな違いである。



■ 地上実測とUAV写真測量による地形と樹冠構造例(A試験区)

### (4) 植栽密度と林冠うっ閉までの時間

海岸防災林造成では、飛砂の移動を押さえるために、なるべく短期間で林冠をうっ閉させる必要があるため、植栽密度を比較的高くすることが多い。本実証試験では、3種類の植栽密度で植栽されているが、10,000本/haと5,000本/haのうっ閉までに要する時間の差を見ると2年程度の差が認められる。

近年は海岸域の飛砂量が減っていることもあり、5,000本/ha程度の植栽密度を採用することの可能性を確認した。ただし、地域によっては飛砂量が多いことが考えられるため、植栽密度の決定に当たっては、植栽地の立地を考慮する必要がある。

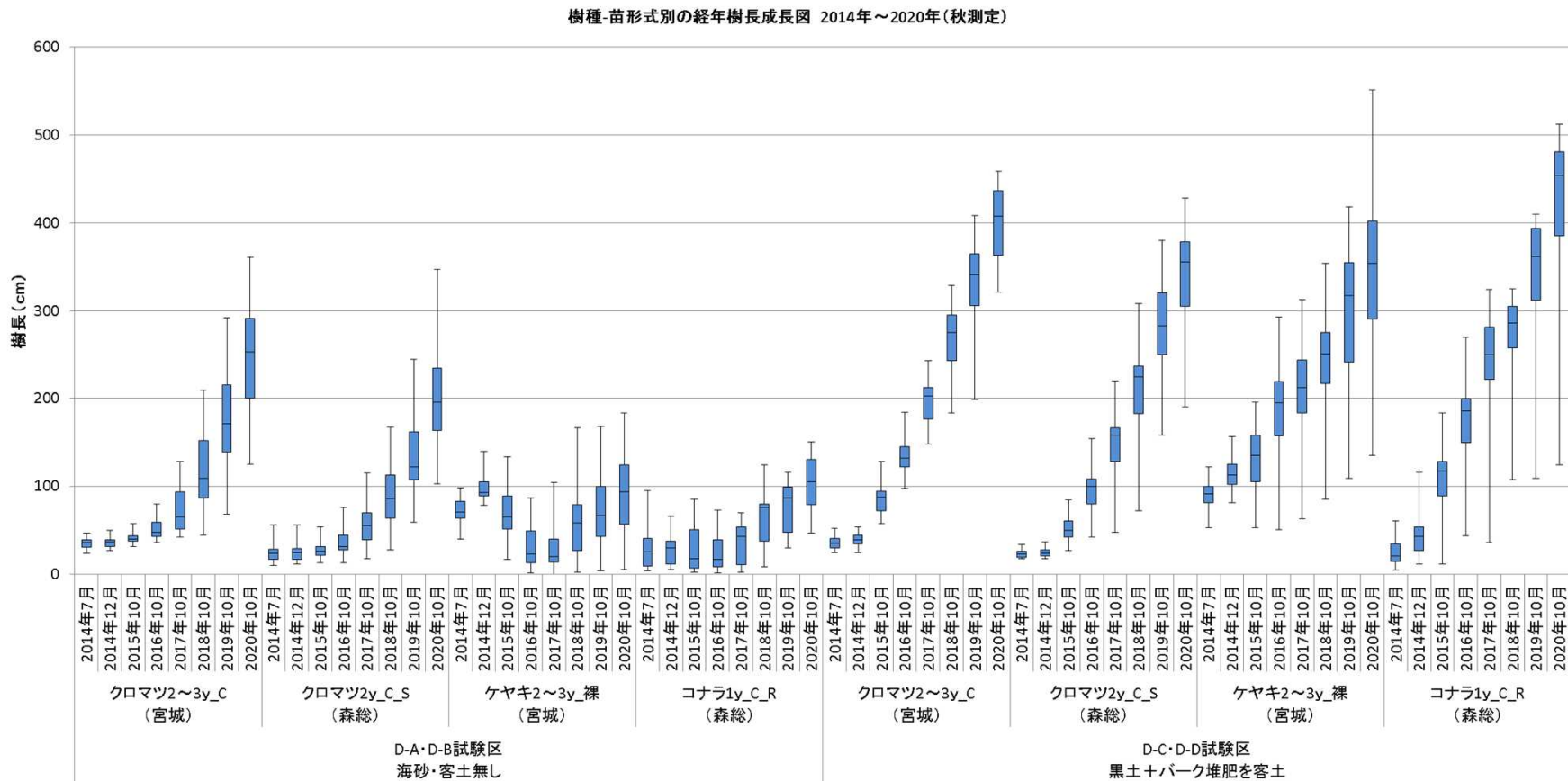
■ 試験区別植栽密度と林冠うっ閉までの時間

植栽密度 本/ha	試験区		マウンド 有無	表層土	植穴 施肥	防風 施設	植栽樹種	林帯のうっ閉状況 (目視による観察)
	大 区分	細 区分						
30,000	A, B		有	黒土 + パーク	あり	標準	常緑広葉樹 主体	2017年うっ閉完了
10,000	D	D-A D-B	無	海砂	なし	疎	落葉広葉樹 主体	植栽木の活着状況が悪く うっ閉が進まない
		D-C D-D	無	黒土 + パーク	なし	密	落葉広葉樹 主体	2018年うっ閉完了
5,000	C	C-1	有	海砂	あり	標準	クロマツ	2020年うっ閉率90%程度 前年度と大きな変化なし
		C-2	無	海砂	あり	標準	クロマツ	2020年うっ閉率90%程度 前年度と大きな変化なし

### (5) 黒土客土による初期成長速度の改善

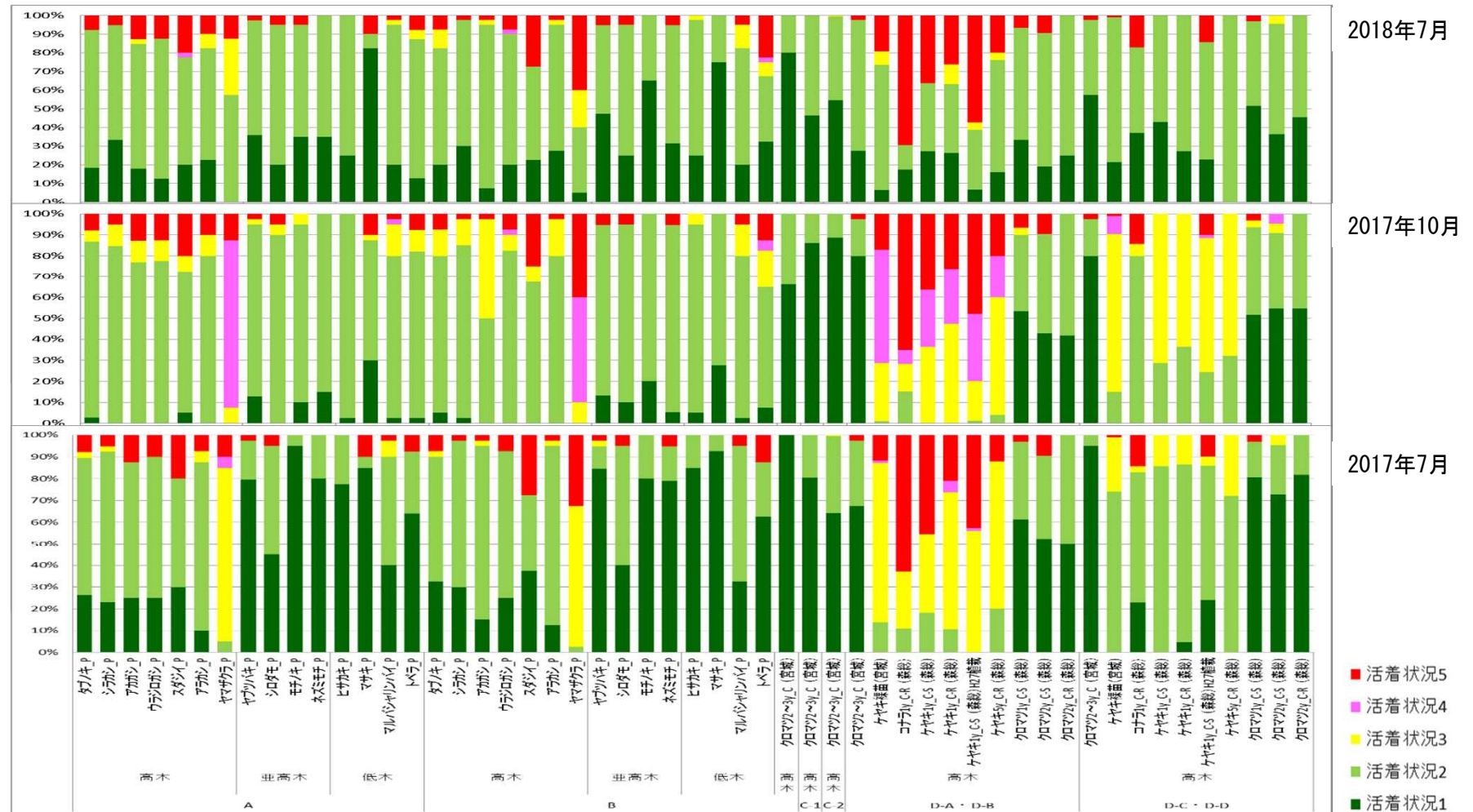
D試験区は汀線側のD-AとD-B試験区で生育基盤の表層が海砂となっており、植穴への施肥もおこなわれていない。一方、内陸側のD-CとD-D試験区は生育基盤の表層に黒土が客土されている。この両者に植栽されている4種類の苗種について、経年的な樹長成長を図示したのが下図である。

ケヤキとコナラは客土による土質（主に養分）改良が成長の前提条件であることが良くわかる。また、クロマツにおいても、土質を改良することにより樹長成長速度を改善できることがわかった。



## ■5-2 台風等による潮害など海からの強い気象ストレスと植栽木の活着状況

2017年9月18日に仙台湾に接近した台風18号は、海側からの強風が吹いたほか降雨が無かったことから、樹木が潮害を受けやすい条件であった。下図で2017年7月と10月の活着状況を見ると、多くの樹種で活着状況が低下しており、台風による影響と考えられる。ただし、翌年2018年7月には回復してきており、枯死につながる潮害ではなかった。





### ■5-3 クロマツと広葉樹類の混植

クロマツと広葉樹類を混植した場合、先に上長成長した樹種が優勢となり、初期成長が遅い苗木が被圧される傾向になる。

また、クロマツは特に好陽性であることから、混植した場合でもB試験区のようにクロマツが先行して成長することが求められる。目標林型としては、上木の主体はクロマツで、混植した広葉樹類が下層を形成する林型とせざるを得ない。

クロマツと広葉樹類を混植して目標林型に誘導するためには、土壌環境、苗木規格、気象環境などを調整する必要があるが、人為的にそれらをコントロールすることは非常に難しいと考えられる。



B試験区のクロマツは成長が早く広葉樹類より樹高が高い



D-D試験区のクロマツ苗種によっては成長が遅く広葉樹類の被圧を受けて活着状況が劣る個体が散見

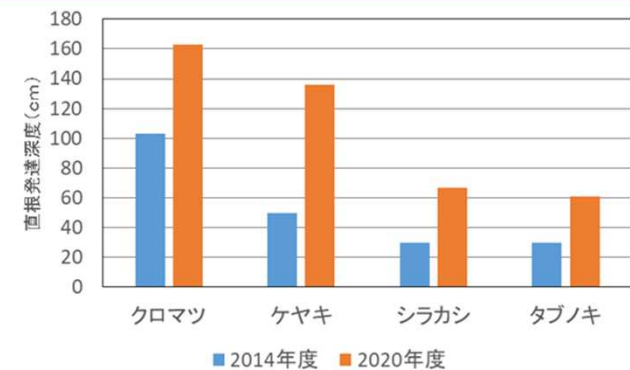
### ■5-4 植栽木の根系生育状況

樹種ごとの経年的な直根発達深度を右図に示した。どの樹種も経年的に直根が伸長しているとともに、樹種間の発達深の差の傾向が変わっていないことがわかる。掘削調査をした4樹種では、クロマツ、ケヤキ、シラカシ、タブノキの順で直根が深くまで発達している。

クロマツは、山中式土壌硬度計による土壌硬度が24を超える硬い土層においても直根を真下に伸長させることができる可能性がある。

落葉広葉樹であるケヤキは、クロマツに次いで直根が深くまで発達するが、初期成長段階では細い直根を複数本発達させる傾向にある。

常緑広葉樹であるタブノキとシラカシは、初期成長の段階では浅い側根主体に発達する傾向にある。



樹種別経年直根発達状況

## ■5-5 他地域の海岸防災林造成に反映可能な科学的知見

以上、5-1～5-4でこれまでのモニタリング調査結果から得られた科学的知見を紹介した。これらの知見は植栽初期における知見であり、今後も継続調査を実施して確認すべきものが多い。

そのような知見の中で、仙台湾沿岸地区以外の地域における海岸防災林造成計画にも反映可能なものとして、つぎの4つの科学的知見をあげることができる。

- ① ヤマザクラは、海岸防災林の汀線側に植栽しても活着の可能性が低い。  
植穴施肥や表層土の客土をしても活着は不良である。
- ② ケヤキとコナラは、海岸防災林の汀線側で土壤化学性が悪い海砂で構成される生育基盤に植栽しても活着の可能性が低い。しかし、表層土として土壤化学性に優れる良質土を客土すると初期活着の可能性はある。ただし、これらの樹種(落葉広葉樹)はクロマツや常緑広葉樹よりも海からの気象ストレスに反応しやすいことが2017年台風18号および2018年台風24号の影響に関する検証から推定されるため、林帯の最も汀線側に導入することは避けた方がよい。
- ③ マルバシヤリンバイは、好陽性で耐潮性が高い樹種であるため、海岸防災林では前線部などに利用可能であるが、高木類と混植すると被圧により生育不良となる傾向が認められる。
- ④ クロマツと広葉樹類を混植して目標林型に導くためには、土壤環境、苗木規格(ロット品質など)、汀線からの距離などの環境を調整する必要がある。これを人為的にコントロールすることは非常に難しい。  
クロマツと広葉樹を混交させる目的にもよるが、初期造成ではクロマツ単層林とし、クロマツが一定の林冠高に達した段階で耐陰性のある広葉樹類を導入して二段林あるいは多段林を目指す方法が技術的には容易であろう。広葉樹類の導入方法としては、人工植栽と自然侵入広葉樹活用の二つが考えられる。

## 6. 植栽実証試験における今後の注目点

これまでのモニタリング調査結果から、海岸防災林の造成における植栽初期の植栽木活着や初期成長(地上部と地下部)に関する科学的知見を得ることができた。

また、初期活着した樹木が経年的に成長することにより、次のような①～③のような状況も確認されている。

- ① 2018年までに、ほとんどの樹種ごとに成長の早い個体が防潮堤天端高さまで成長した。
- ② 2019年には、汀線に近い植栽木の梢端標高が低いといった、気象ストレスによる樹長成長の抑制が確認された。
- ③ 2020年には、梢端標高が高くなったことによる先枯れ個体の増加や主軸交代する個体が確認された。また競合する樹種による被圧で、樹勢が衰える場合があることも確認された。

本実証試験における今後の注目点は、樹種ごと、造成手法ごとに、植栽木がどのように成長するのかを調査し、海岸防災林の造成に活用可能な樹種と造成手法を見極めていくことである。2019年8月から稼働している風観測システムから得られる風速の鉛直分布や風向データと合わせて検討し、有益な科学的知見を得られることが期待される。