

論文 (Original article)

海岸林の生育基盤盛土に植栽されたクロマツと広葉樹の根系発達 —千葉県山武市小松と富津市富津における調査結果の検討—

宇川 裕一^{1)*}、小森谷 あかね²⁾、太田 敬之³⁾、小野 賢二³⁾、萩野 裕章³⁾、
新田 響平⁴⁾、野口 宏典⁵⁾

要旨

千葉県の九十九里浜と富津岬の海岸林においては、標高が低く地下水位が高いため低湿地が多く、海岸林の主要な樹種であるクロマツが過湿害を受けないよう、約30年前から盛土によって地盤を嵩上げし、根系が発達できる生育基盤を確保した上で造林を行ってきた。しかし、盛土造成時に重機による転圧を受け、土壌硬度が高くなり、植栽木の根系が深くまで発達しない事例もみられる。またマツ材線虫病対策の一つとして、広葉樹林化も検討されている。本稿では、盛土を伴う海岸林に導入可能な樹種を明らかにするため、小松と富津の海岸林に設定した調査地において、盛土の土壌硬度と根系発達の間接関係を調査した。その結果、深さ80 cm付近に地下水位が見られた富津では、クロマツとタブノキの根の鉛直方向への発達は、固結した土壌層と地下水位によって阻害されているように見えた。地下水位が確認できなかった小松では、深さ30 cm付近に固結した土壌層が見られたが、この層を通過する直径1 cm未満の細い根が、樹種によらず多く見られた。これらの結果から、海側林縁からある程度の距離がある海岸林内陸部の適度な軟らかさの盛土を伴う生育基盤においては、クロマツと同様に、タブノキをはじめとした広葉樹も導入できる可能性があることが示唆された。

キーワード：海岸林、低湿地、生育基盤盛土、広葉樹、根系発達、地下水位、土壌硬度

1. はじめに

千葉県は三方を海に囲まれ、1,467 haの海岸林が造成されている。このうち、1996年までの調査(千葉県1997)によると、標高が低く、地下水位が高い低湿地が235 haあり、その殆どは九十九里浜と富津岬の海岸林に見られる。低湿地に植栽され過湿害を受けたクロマツ(*Pinus thunbergii*)は、数年から数十年かけて集団的に衰退、枯死する(小田2001)。千葉県では、1990年頃から低湿地対策として、クロマツの根系が地下水の影響を受けまいよう、土壌層を厚くし、クロマツの生存のための垂直深を確保するため盛土を用いた工法が実施されてきた。しかし、盛土造成時に重機による転圧を受け、土壌硬度が高くなった盛土においては、植栽されたクロマツの根系が深くまで発達していない事例(野原・高橋2007)も報告されている。青森県から千葉県の広範囲の海岸林では、2011年3月の東北地方太平洋沖地震に伴う津波により、大きな被害を受けたが、海岸林の機能の一つである津波エネルギーの減衰や漂流物の捕捉等による一定の減災効果を発揮したことが報告されている(東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会2012)。渡部ら(2014)は津波による海岸林の樹木の根返り被害は根が浅い箇所

で多くみられたことを明らかにしており、海岸林の樹木の津波への物理的耐性を高くするためには、根系を土層深部まで発達させることが有効だと考えられる。このため、東日本大震災で被災した海岸林の再生の際に、地下水面が高く、根の土層深部への発達が見込めない場所では、根の発達が見込める土壌を厚くするために、盛土による嵩上げが行われる事例が多い。しかし、前述の通り、造成時の重機による転圧で盛土の土壌は硬くなりやすく、硬い盛土に植栽された樹木の根系が深くまで発達するか懸念されている。また、千葉県の海岸林ではマツ材線虫病による被害が2008年頃から急激に増加した(千葉県2019)。マツ材線虫病対策の一つとして、クロマツ以外の樹種が生育可能な地域では、薬剤防除や伐倒防除が不要となる樹種が検討され、主に広葉樹の導入が検討されている。しかし、海岸林に導入する樹種について、土壌硬度と根系発達の関係に基づき検討された事例は限られていることから、高い津波耐性を有する海岸林の造成に適した樹種を明らかにする必要がある。

本研究では、盛土を伴う海岸林に導入可能な樹種を明らかにするため、低湿地対策として盛土により生育基盤を造成した植栽から約30年後のクロマツ、タブノキ

原稿受付：令和2年8月17日 原稿受理：令和3年6月24日

1) 千葉県農林総合研究センター森林研究所

2) 千葉県中部林業事務所

3) 森林総合研究所 東北支所

4) 秋田県林業研究研修センター

5) 森林総合研究所 森林防災研究領域

* 千葉県農林総合研究センター森林研究所 〒289-1223 千葉県山武市埴谷1887-1

(*Machilus thunbergii*) と、植栽から 10 年後のクロマツ、ウバメガシ (*Quercus phillyraeoides*)、ヤマモモ (*Morella rubra*)、トベラ (*Pittosporum tobira*) を対象として、土壌硬度と根系発達に関する調査を行い、その関係について検討した。

2. 調査地と研究方法

2.1. 調査地

房総半島の西側に位置し、東京湾に細長く突き出た富津岬 (富津市富津地内) の海岸県有保安林 (以下、富津) (Fig. 1) と房総半島の東側に位置する九十九里浜中央部の千葉県山武市小松の海岸県有保安林 (以下、小松) (Fig. 1) に調査地を設定し、本研究の調査を行った。

富津の調査地 (北緯 35° 18' 89", 東経 139° 47' 59") は林帯幅約 200 m の海岸林の中央部に位置する植栽地で、林帯前縁部からの距離は約 70 m、汀線からの距離は約 100 m、標高は約 1.1 m である。林帯前縁部の海側には木製防風柵が築設されているが、30 年以上前に施工されたと推察され、調査時には腐朽が進んでいた。この調査地の海側はクロマツ林であるが疎林化が進行している。調査地付近の海岸林はクロマツ林であったが、過湿害により枯損や倒伏が進行したため、1990 年に盛土による生育基盤の嵩上げを約 2,300 m² の面積に対して行い、高さ約 1 m の静砂垣で 8 m × 4 m の長方形の区画に区分し、それぞれの区画内にクロマツとタブノキ、ヤブニッケイ (*Cinnamomum yabunikkei*)、アカメガシワ (*Mallotus japonicus*)、マサキ (*Euonymus japonicus*)、アキグミ (*Elaeagnus umbellata*)、イタチハギ (*Amorpha fruticosa*) の広葉樹を混植し、再造林を行った。植栽木の樹種構成は 50% をクロマツ、残りの 50% を広葉樹とされ、植栽間隔は 1 m (ha 当たり 10,000 本) とされた。なお、富津での本研究の調査は 2018 ~ 2019 年に実施し、調査時に

は、植栽された広葉樹のうちアキグミ以外の樹種については、生育が確認された。この調査地では他の樹種に比べて樹高や胸高直径が大きかったクロマツとタブノキを対象樹種として、それぞれ 2 個体ずつを調査の対象とした (Table 1, Fig. 2)。調査地付近は低湿地対策としての盛土工法の初期造成地であり、盛土による生育基盤の嵩上げ高は、地下水位から約 1 m であった (千葉県 1990)。嵩上げ高の根拠についての詳細は不明だが、造成が行われた前年の富津岬の海岸林の 30 年生のクロマツ林の調査 (斉藤・高浦 1989) から、比較的良好な地上部の成長が見られる林分の地盤高と地下水位の差が 1 m 程度であり、このことが嵩上げ高設定の根拠となっているものと考えられる。富津の調査地付近の盛土の材料の調達先は不明であるが、粒径は比較的粗く、海砂に近い土性を示した (小野ら 2021)。後述のように、もう一方の調査地である小松では盛土を整備した際の重機の踏圧の影響が土壌断面調査から見られたのに対し、富津でも重機を用いて盛土の整備が行われたものと考えられるが、重機踏圧の影響は土壌断面調査からは観察されなかった。

小松の調査地 (北緯 35° 34' 33", 東経 140° 29' 29") は林帯幅約 200 m の海岸林の中央部に位置する植栽地で、林帯前縁部からの距離は約 100 m、汀線からの距離は約 250 m、標高は約 1.6 m である。林帯前縁部の海側には標高約 5 m の砂丘がある。この海岸林はクロマツ林であったが、マツ材線虫病による被害と過湿害により枯損や倒伏が進行した。2008 年に盛土による生育基盤の嵩上げを約 13,000 m² の面積に対して行い、高さ約 1 m の静砂垣で 12 m の方形の区画に区分し、それぞれの区画内にクロマツとウバメガシ、ヤマモモ、トベラの広葉樹を混植し、再造林を行った。植栽木の樹種構成は 50% をクロマツ、残りの 50% を広葉樹とされ、植栽間隔は 1.2 m (ha 当たり約 7,000 本) とされた。小松では 2017 年に調査を実施し

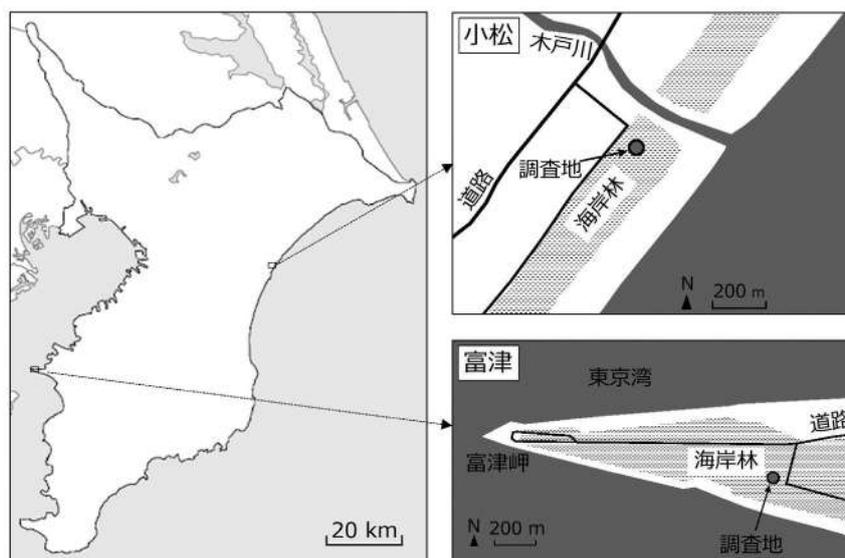


Fig. 1. 調査地位置図

た。調査時には、小松では植栽木同士が被圧しあう状況になく、樹高はどの樹種も2~3 m程度であった。植栽された各樹種、クロマツ、ウバメガシ、ヤマモモ、トベラを調査対象とし、クロマツとヤマモモは3個体、ウバメガシは4個体、トベラは1個体を対象とした (Table 2)。対象木以外の樹木のサイズは測定していないが、調査地の中で特に大きいものや、特に小さいものではないものを対象木として選定した。盛土による生育基盤の嵩上げ高は、地下水位から1.8 mであった (千葉県 2007)。盛土を行う前には地下水位は地表面から概ね0.6 m下に存在しており、地下水位から1.8 mの土壌層を確保するために、地表面から概ね1.2 mの厚さの盛土が整備された。なお、盛土厚が前述した富津と異なるのは、目標林齢に応じた盛土厚の算定方法が考案され (小田 2000)、当該地においては目標林齢を50年生とし、盛土の圧縮沈下量等も考慮し盛土厚を1.8 mとしたためである (野原・高橋 2007)。この調査地の盛土の材料は近隣地域の山腹治山工事から発生した建設発生土である。また、土壌断面調査により、深さ50 cm付近に機械的外力により形成されたと考えら

れる板状の圧密が確認された (小野ら 2021)。これは盛土を整備する際の重機による踏圧により締め固められた影響だと考えられる。調査地の海側はかつてクロマツ壮齢林であったが、マツ材線虫病による被害と2011年3月の東北地方太平洋沖地震の津波被害により、疎林化が進行した。

2.2. 研究方法

2.2.1 地上部の生育状況調査

富津では調査対象木とした選定したクロマツ2個体、タブノキ2個体の合計4個体及びそこから半径5 m以内の樹木の樹高と胸高直径と位置を測定した。小松では調査対象木として選定した、クロマツ3個体、ウバメガシ4個体、ヤマモモ3個体、トベラ1個体の合計11個体の樹高と胸高直径を測定した。地上部の調査は、富津では2018年12月に実施、小松では2017年12月に実施した。

2.2.2. 土壌硬度調査

盛土の土壌硬度の鉛直分布を把握するため、SH型貫入

Table1. 富津の調査対象木の地上部の生育状況

樹種	No.	胸高直径 (cm)		樹高 (m)		形状比	
		各個体	樹種別平均	各個体	樹種別平均	各個体	樹種別平均
タブノキ	1	22.5	19.6	6.4	6.3	28.4	32.8
タブノキ	2	16.7		6.2		37.1	
クロマツ	1	15.8	19.2	8.3	8.4	52.5	44.8
クロマツ	2	22.6		8.4		37.2	

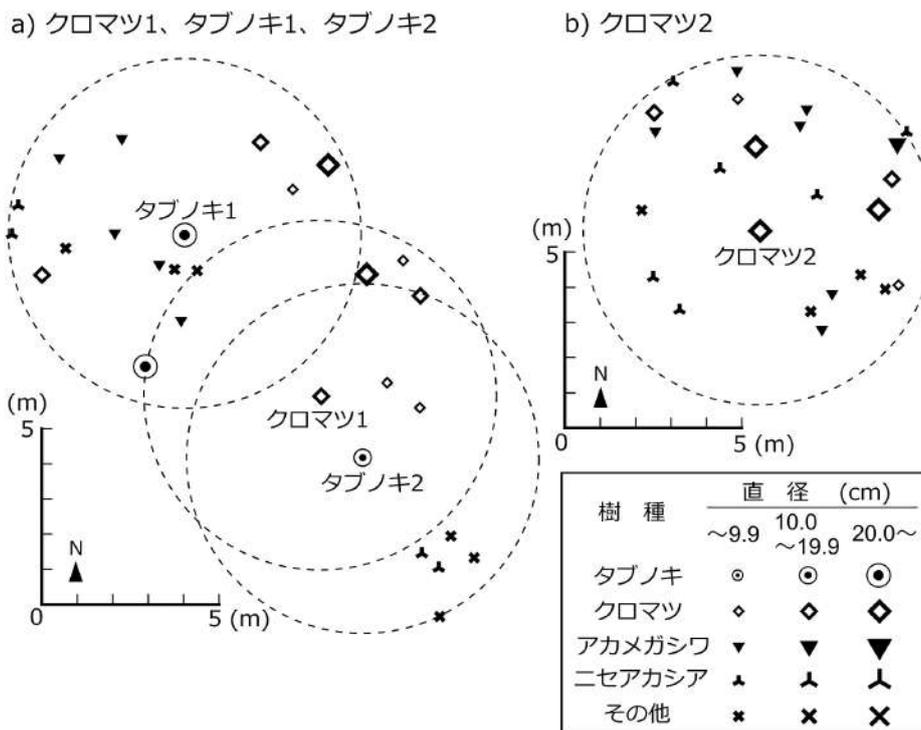


Fig. 2. 富津の対象木周辺の樹木の分布

試験機（ダイトウテクノグリーン株式会社）を用いて、3 kg の重錘を 50 cm の高さから自由落下させ 1 打撃ごとの貫入深さである軟らか度（S 値：cm / drop）を記録する土壌貫入試験を根系調査対象木周辺で実施した。なお、生育基盤の適性評価のための判断基準として、日本造園学会緑化環境工学研究委員会（2000）は、S 値 0.7 以下の土層は「多くの根が侵入困難」な「固結」としている。これは、長谷川式土壌貫入計による測定値に基づく基準であるが、表土層調査技術研究会（2015）により、SH 型貫入試験機と長谷川式土壌貫入計の測定値はほぼ同じ値となることが認められている。富津では対象木の地際の幹中心を原点とし、原点を中心とする一辺 2 m の正方形の 4 つの頂点において、小松では地際の幹の近くの 1 点において測定を行った。測定は、深さ 2 m、もしくは S 値 0.5 以下の層が現れる深さまで実施した。土壌硬度調査は、富津では 2018 年 12 月に実施、小松では 2017 年 12 月に実施した。

2.2.3. 根系調査

根系の調査は、富津では 2019 年 7 月及び 9 月に実施、小松では 2017 年 12 月に実施した。対象木の根系の発達状況を把握するため、機械（バックホウとエアスコップ）と人力（剣先スコップ等）により、対象木に向かって周囲から掘り進め、根系がある程度露出した段階で、根の主要な分岐点や屈曲点、及び、幹中心からの水平距離が 50 cm、100 cm、150 cm となる箇所、深さ 50 cm となる箇所で、直径が 1 cm 以上である根を対象として、地際での幹中心からの方位、水平距離、深さ、根の直径を測定した。それぞれの測定箇所の方位、水平距離、深さの測定値から、地際での幹中心を原点とした三次元座標を計算した。なお、富津のクロマツ及びタブノキについては、根系の水平方向への広がりが大きかったため、直径が 1 cm 以上であっても幹からの水平距離が 150 cm を超えた根は測定対象外とした。

根系の分布について、樹種及び個体間で根系発達の違いを比較するため、地際での幹中心からの斜距離 50 cm ごと（50 cm、100 cm、150 cm）となる箇所の根の断面積を、根の三次元座標と直径の測定値から計算し、サイズの異なる対象木で比較するため、地際の幹の断面積に対する比を計算した。斜距離 50 cm ごとの箇所の座標と直径は、該当箇所の両隣の測定箇所の値から、測定間の根は直線だと仮定し、直径は直線的に変化するものとして推定し、斜距離 50 cm ごとの根の断面積を計算した。さらに、側方に伸びる根が多いのか、下方へ伸びる根が多いのかを検討するために、地際での幹中心から斜距離 50 cm ごとの箇所への高低角を用いて、 -90° から -60° を「下方」、 -60° から -30° を「斜め」、 -30° から 0° を「側方」と区分した（Fig. 3）。また、直径についても、1～2 cm、2～5 cm、5 cm 以上に区分した。

2.2.4. 地下水位

調査対象木の根系調査の際に、地下水面が確認できた場合には、地表面と地下水面の間の鉛直方向の距離を地下水位として測定した。なお、野口ら（2014）や渡部ら（2014）によって、海岸地域の地下水位は潮位変動と降水量の影響を受けて数 10 cm の変動をすることが示されており、地下水位を測定する際にはその変動を測定することが望ましい。しかし、本研究では研究資源等の都合から、根系調査時のみの測定とした。

3. 結果と考察

3.1. 地上部の生育状況

富津及び小松の調査対象木の胸高直径、樹高、形状比の樹種別平均値を Table 1 及び Table 2 に示す。九十九里浜のクロマツ林の地位については、林齢 30 年の林分平均樹高で 7.2 ± 1.3m、林齢 10 年の林分平均樹高で 2.0 ± 0.5m と報告されている（小田 1975）。また、九十九里浜の白子海岸における盛土施工地に植栽した 10 年後のクロマツ（以下、白子のクロマツ林）の平均樹高が 3.7 m 程度と報告されている（野原・高橋 2007）。富津における植栽から約 30 年後のクロマツの平均樹高は 8 m 程度であり、小田（1975）による林齢 30 年の林分平均樹高と比較して高い地位にあると言える。小松における植栽 10 年後のクロマツの平均樹高は 3 m 程度であった。小松のクロマツの樹高は、白子のクロマツ林と比較するとやや低いが、小田（1975）による林齢 10 年の林分平均樹高と比較すると高かった。形状比については、富津、小松のクロマツの平均値はともに 45 程度であり、白子のクロマツ林の平均値が 65 程度（野原・高橋 2007）と比較して低かった。既往の研究によれば、林分形状比が 60 あるいは 70 以上の林分は風害を受けやすいとされており（村井ら 1992）、富津、小松ともに風害を受けやすいものと考えられた。

広葉樹の地上部の生育状況については、調査地及び周辺における広葉樹のデータはないため比較して評価できないが、富津においては、タブノキの平均樹高は 6 m 程度であり、平均樹高が 8 m 程度であったクロマツよりやや低いものの、胸高直径の平均値は同程度、形状比の平

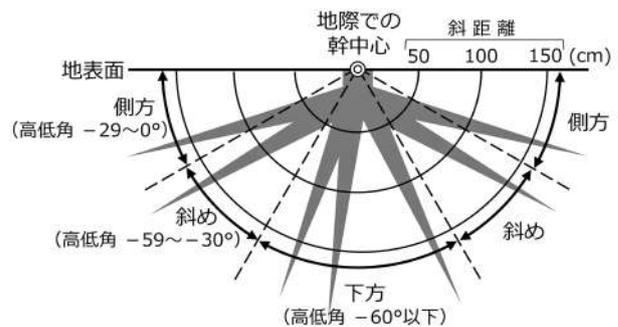


Fig. 3. 高低角による根の区分

均値は 30 程度であった。小松については、平均樹高は亜高木及び高木種のウバメガシ及びヤマモモで 2.9 m、低木種のトベラで 2.3 m であり、3 m 程度であったクロマツと同程度であった。平均胸高直径はウバメガシで 2.7 cm、ヤマモモで 2.6 cm、トベラ 3.0 cm で、7.0 cm であったクロマツと比べてかなり小さかった。形状比はウバメガシ及びヤマモモで平均 113 程度、トベラで 76 程度で、45 程度であったクロマツに比べて大きかった。

富津の根系調査対象木は、クロマツ、タブノキともに周辺の他の樹種よりサイズが大きく、周辺の樹木による被圧は受けていなかった (Fig. 2)。小松の根系調査対象木は、いずれの樹種も樹高が 2 ~ 3 m 程度であり、周囲の

樹木に被圧されている状況になかった。

3.2. 土壌硬度

土壌硬度の鉛直分布の解析では、それぞれの測定箇所での S 値 0.7 以下の硬さの層が出現した最も浅い深さに注目した。

富津において、S 値 0.7 以下の層が出現した最も浅い深さは、タブノキ 1 は 150 cm 付近、タブノキ 2 は 30 cm から 50 cm 付近、クロマツ 1 は 30 cm から 100 cm 付近、クロマツ 2 は 30 cm 及び 100 cm 付近であった (Fig. 4)。S 値 0.7 が出現した最も浅い深さには場所によってばらつきがあり、50 cm よりも浅かった箇所があった一方で、150 cm

Table2. 小松の調査対象木の地上部の生育状況

樹種	No.	胸高直径 (cm)		樹高 (m)		形状比	
		各個体	樹種別平均	各個体	樹種別平均	各個体	樹種別平均
クロマツ	1	7.6	7.0	3.4	3.1	44.7	45.5
クロマツ	2	4.0		2.1		52.5	
クロマツ	3	9.4		3.7		39.4	
ウバメガシ	1*	2.5	2.7	3.1	2.9	124.0	113.6
ウバメガシ	2*	2.0		2.8		140.0	
ウバメガシ	3	2.8		2.7		96.4	
ウバメガシ	4	3.3		3.1		93.9	
ヤマモモ	1	2.4	2.6	2.8	2.9	116.7	113.1
ヤマモモ	2	2.1		2.7		128.6	
ヤマモモ	3	3.3		3.1		93.9	
トベラ	1	3.0	3.0	2.3	2.3	76.7	76.7

*：根元から幹が二又に分かれており、胸高直径は太いものを表記した。

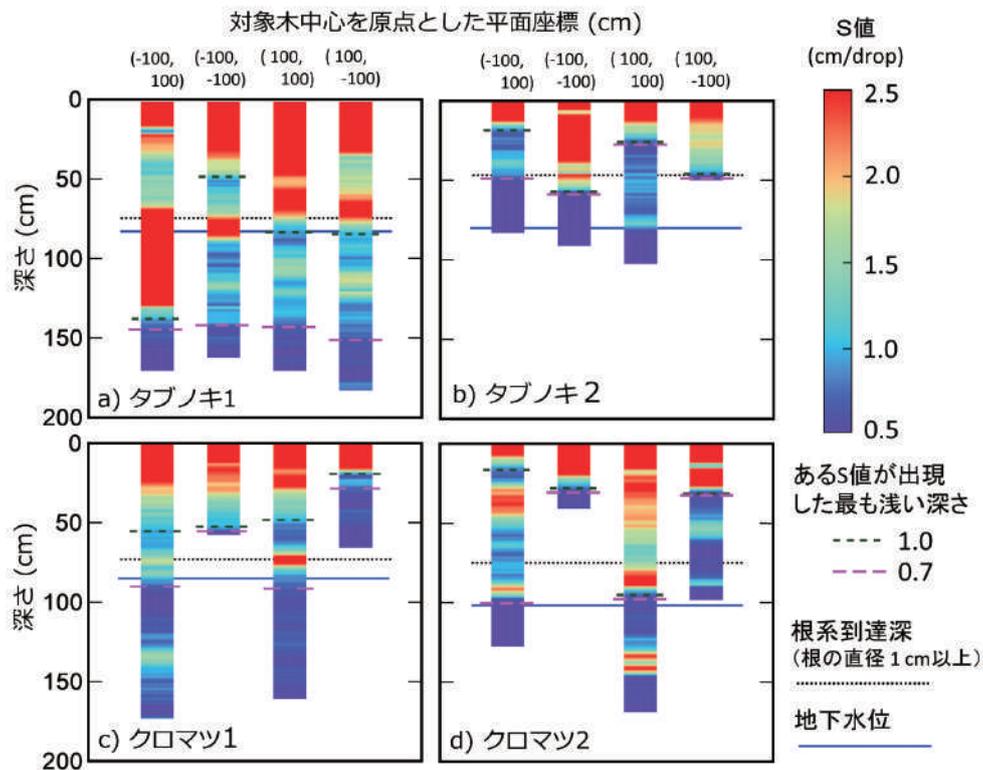


Fig. 4. 富津の調査対象木周辺の土壌硬度の鉛直分布

より深かった箇所もあった。

小松での S 値 0.7 以下の層が出現する最も浅い深さは、ウバメガシ 4、ヤマモモ 3、トベラ 1 は概ね 50 cm 程度で、他の対象木は概ね 30 cm 付近であった (Fig. 5)。いずれの箇所も S 値 0.7 以下の層が出現した深さで深においてその硬さが連続していた。

3.3. 根系の分布

3.3.1. 富津の根系

富津では、いずれの対象木においても根の掘り出し時の土壌の掘削によって、地下水位が確認できた。

タブノキは、S 値 0.7 以下が出現した深さ 150 cm 程度に比べて地下水位が深さ 83 cm と浅かったタブノキ 1 では地下水位の直ぐ上の深さ 75 cm まで根が到達した (Fig. 6a)。これに対し、地下水位 80 cm に比べて S 値 0.7 以下が出現した深さが 50 cm 程度と浅いタブノキ 2 では S 値 0.7 以下が出現した深さに近い深さ 47 cm までしか根は到達していなかった (Fig. 6b)。これらから、タブノキの根の深さ方向への発達には、地下水位と S 値 0.7 以下の層の両方から制限され、どちらかが現れる深さのうち浅い方の深さ付近までとなっていたものと考えられる。タブノキの根は水平方向への根の発達が旺盛で (Photo 1, Fig. 6)、斜距離 50 cm ほどの根の断面積を 30° ほどの高低角で区分すると、いずれの斜距離においても地表に近い方向である「側方」として区分の値が最も大きかった (Fig. 7a, b)。

クロマツでは、クロマツ 1 において、S 値 0.7 以下が出現した深さは 30 ~ 100 cm 程度、地下水位は深さ 85 cm、根が到達した深さは 73 cm であった (Fig. 6c)。クロマツ 2 では、S 値 0.7 以下が出現した深さは 30 ~ 100 cm 程度、地下水位は深さ 102 cm、根が到達した深さは 75 cm であった (Fig. 6d)。クロマツ 1 とクロマツ 2 ではともに、それぞれの対象木周囲の 4 点の測定箇所の間での S 値 0.7 以

下が出現した深さは 30 ~ 100 cm の間となり、ばらつきが見られたのに対し、地下水位はクロマツ 1 では深さ 85 cm、クロマツ 2 では深さ 102 cm であり、根が到達した深さはともに 70 cm 程度であった。S 値 0.7 以下が出現した深さと地下水位の差は小さく、クロマツの根の発達が硬さと地下水位のどちらに阻害されているのか判断はつかないが、少なくとも地下水位より深くには根が伸びていなかった。クロマツはタブノキに比べると水平方向への根の発達が旺盛でなく (Photo 1, Fig. 6)、高低角で区分した斜距離ごとの根の断面積は、斜距離 50 cm では「側方」よりも下方に向かう「斜め」の値が最も大きかった (Fig. 7c, d)。

菊住 (2010) は根の垂直分布を、大部分の根系分布が表層土層にある「浅根型」、根系分布が堅密で深くに及ぶ「深根型」、浅根型と深根型の中間の型で根系分布が中庸の深さに及ぶ「中間型」の 3 つに分類し、タブノキは中間型、

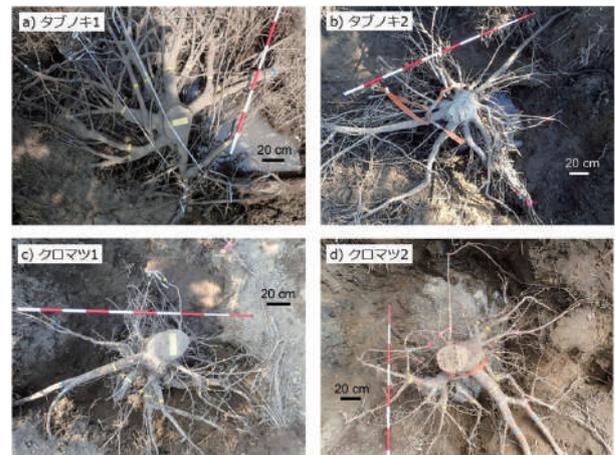


Photo. 1 露出させた富津の調査対象木の根

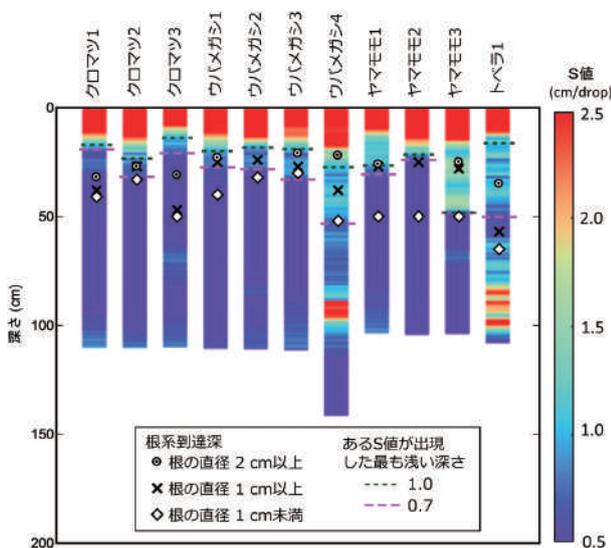


Fig. 5. 小松の調査対象木周辺の土壌硬度の鉛直分布

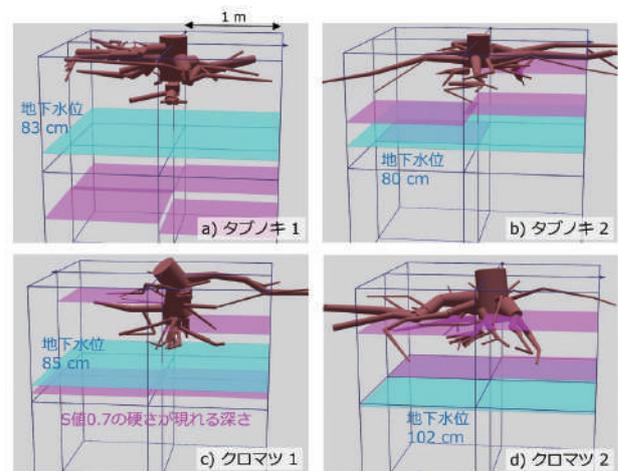


Fig. 6. 富津の根系の三次元構造と S 値 0.7 が現れる深さの関係

隣り合う根の計測点での直径と三次元座標から、隣り合う計測点間を円錐台で表現することとし、POV-Ray で描画した。

クロマツは深根型に分類されている。富津のタブノキとクロマツの垂直分布の目安として斜距離 50 cm での根の断面積を比較すると、タブノキは「側方」の値が大きく、クロマツは「斜め」の値が大きかった。地下水位の存在によって「下方」の値が小さくなった可能性が高いが、クロマツよりもタブノキの方が浅い範囲に根が多く分布する傾向が見られ、この傾向はタブノキよりもクロマツの方が根が深く発達するという苧住 (2010) の分類に合致するものだと考えられた。タブノキは、岩手県以南の海岸林に分布し、当該地以北の九十九里浜の内部においても、植生遷移の観点から目標林型を構成する高木林の主要な樹種とされている (小平 2010)。本研究の結果から、硬い層へ根を発達させる能力は、硬い層のばらつきもあり、タブノキとクロマツの優劣は明確にはならなかった。また、どちらの樹種も地下水位より深くへは根を発達させていなかった。根系の分布に関しては、クロマツに比べてタブノキの方が浅い層に集中する傾向がみられたが、斜距離 50 cm での根の断面積の合計はタブノキの方がやや大きめであった。これらのことから、海岸林の前線部を除いた内陸側の固結していない適度な軟らかさを持つ土層が存在し、地下水位まで 80 cm 程度の深さを確保された盛土においては、タブノキを導入することは可能と考えられた。

3.3.2. 小松の根系

小松では、根を掘り出していく際に根の分布範囲から 10 cm 以上深くまで掘削したが地下水位は確認されなかった。

クロマツでは、深さ 20 ~ 30 cm で S 値 0.7 以下の硬さが出現したのに対し、3 個体の内の 2 個体においてこの深さよりも直径 2 cm 以上の根が深くまで到達していた。ウバメガシでは、S 値 0.7 以下が出現した深さは 3 個体で

30 cm 付近で残り 1 個体で 50 cm であったのに対し、それぞれの個体の直径 1 cm 以上の根が到達した深さは S 値 1.0 以下が出現した深さより深く、S 値 0.7 以下が出現した深さより浅かった。直径 1 cm 未満の根は S 値 0.7 が出現した深さより深くまで到達したのもあった。ヤマモモでは、S 値 0.7 以下が出現した深さは 30 ~ 50 cm 付近であったのに対し、この深さよりも直径 1 cm 以上の根到達した深さは浅く、1 cm 未満の根が到達した深さは深かった。1 個体のみを対象としたトベラでは、深さ 50 cm 付近で S 値 0.7 以下が出現したのに対し、この深さよりも直径 1 cm 以上の根が到達した深さは深かった。

小松ではいずれの対象樹種の根も、深さ方向よりも水平方向への発達が旺盛であった (Photo 2, Fig. 8)。斜距離 50 cm での根の断面積の高低角ごとの区分では、「側方」、「斜め」の値が大きく、「下方」はクロマツの 1 個体で見られたのみであった (Fig. 9)。小松での対象樹種の根の垂直分布は、苧住 (2010) によると、クロマツは深根型、ウバメガシとヤマモモは中間型、トベラは浅根型に分類される。本研究の小松での調査結果によると、クロマツも深さへの発達は水平方向に比べると旺盛ではなかったが、他の樹種の深さ方向への発達はクロマツよりもさらに旺盛でなかった。これは、深さ 50 cm 程度までに S 値 0.7 以下の硬さが出現するようなやや厳しい環境においても、

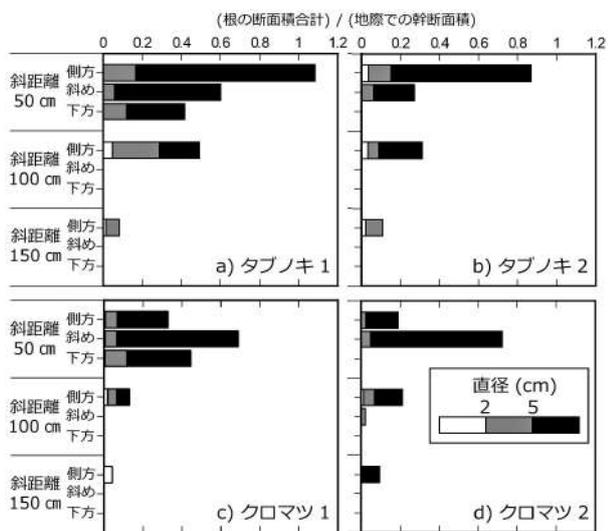


Fig. 7. 富津の斜距離、高低角ごとの根の断面積合計

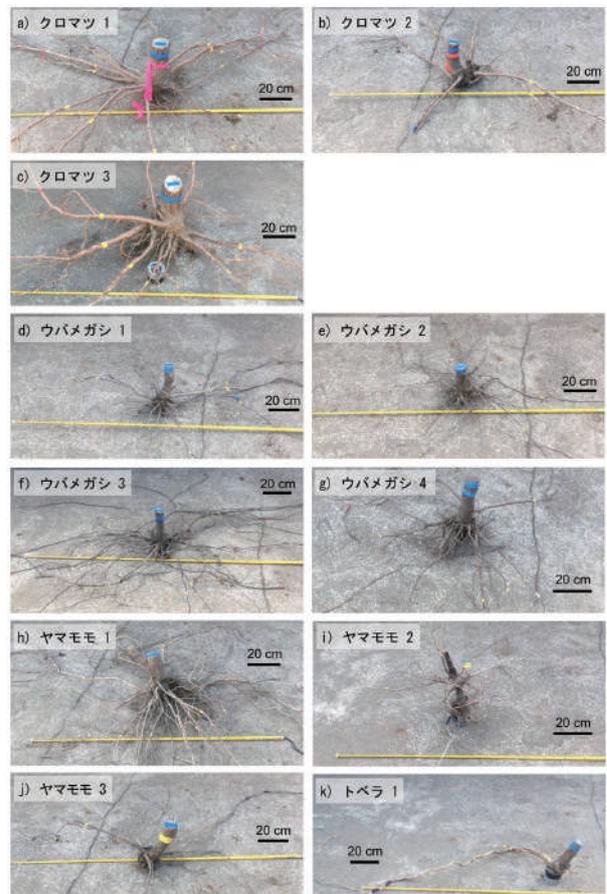


Photo. 2 露出させた小松の調査対象木の根

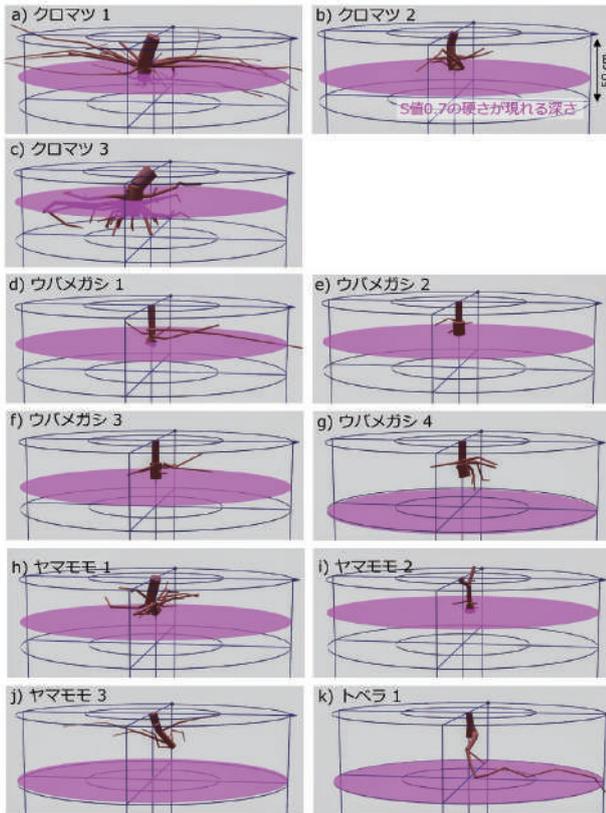


Fig. 8. 小松の根系の三次元構造と S 値 0.7 が現れる深さの関係
Fig. 6 と同様の方法で描画した。

各樹種の根の垂直分布の特性が反映されたものと考えられる。

小松での調査結果から、各樹種の硬い層での根を発達させる能力を比較すると、根が到達した深さと硬い層が出現する深さの関係には樹種間の差が明瞭ではなかったが、根の量（断面積）や形状はクロマツが他の樹種よりも発達させる能力が高いことがわかった。ヤマモモ、ウバメガシは房総半島以南、トベラは宮城県以南に分布する樹種であり、海岸林内陸部の盛土においては、根はクロマツよりも旺盛ではないがそれぞれの樹種で幹から 50 cm の水平距離において根が見られる等の一定の発達をしていた。これらの樹種は盛土の硬さに留意が必要であるが導入が見込める樹種であると考えられた。

4. おわりに

本研究では、根系発達の観点から盛土を伴う海岸林に導入可能な広葉樹の樹種を明らかにするため、低湿地対策として盛土により生育基盤を造成し、再造林した地域において、2つの調査地を選定し、土壌硬度と根系発達の関係を調査した。富津の調査地では、植栽 30 年後のクロマツ、タブノキ、小松の調査地では、植栽 10 年後のクロマツ、ウバメガシ、ヤマモモ、トベラを対象に調査を行った。

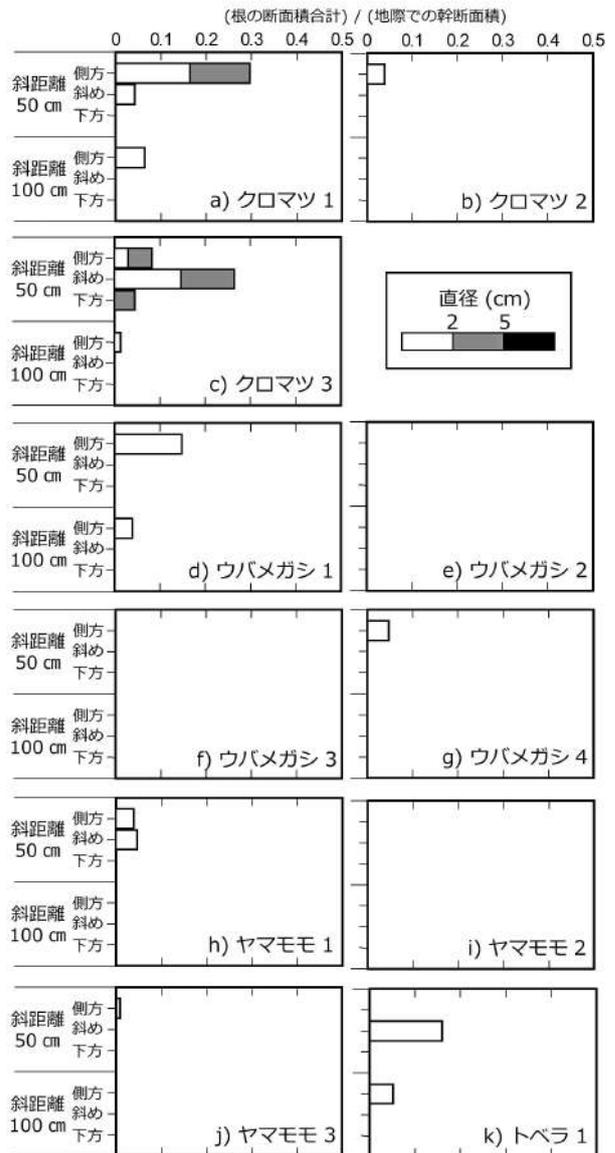


Fig. 9. 小松の斜距離、高低角ごとの根の断面積合計

調査の結果、盛土により地下水位から 1 m 程度嵩上げされた富津の調査地では、クロマツの根系の鉛直方向の発達には地下水位に制約されたものと考えられた。一方、タブノキの根系の鉛直方向の発達は、地下水位または固結した土壌層のいずれか浅い方の存在に制約を受けていたと考えられた。根の発達の方向は、タブノキはクロマツと比較して、鉛直方向よりも水平方向に旺盛であった。

盛土により地下水位から 1.8 m 程度嵩上げされた小松の調査地では、土壌硬度調査から深さ 30 cm 付近に S 値 0.7 以下の層があったが、この層に対して直径 2 cm 以上の根については、クロマツは到達する傾向があった。一方、ウバメガシ、ヤマモモ、トベラは、到達しにくいとみられた。直径 1 cm 未満の根については、樹種によらず、浅い深さの固結した層を通過する個体が多く見られ、S 値 0.7 の層が深い箇所では、垂直分布で中間型のヤマモモ、ウ

バメガシ、浅根型のトベラがクロマツに比べて鉛直方向へより深くまで到達したのが見られた。

これらの結果から、海岸林内陸部の適度な軟らかさの盛土を伴う生育基盤においては、クロマツと同様にタブノキをはじめとした広葉樹も導入できる可能性があることが示唆された。

謝辞

本研究は、(国研) 森林研究・整備機構森林総合研究所運営交付金プロジェクト(課題番号 201701)による研究成果である。

本研究の調査にあたり、千葉県中部林業事務所、同北部林業事務所の関係者に多大な協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表す。

引用文献

- 千葉県(1990) 治山台帳. 千葉県中部林業事務所.
 千葉県(2007) 治山台帳. 千葉県北部林業事務所.
 千葉県(1997) 海岸保安林管理基本計画. 千葉県農林部林務課, 330pp.
 千葉県(2019) 平成30年度千葉県森林・林業統計書. 千葉県農林水産部森林課, 191pp.
 東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会(2012) 今後の海岸防災林の再生について. 林野庁治山課, 22pp.
 表土層調査技術研究会(2015) SH型貫入試験(表層構造調査用簡易貫入試験)技術・調査基準同解説8.
 苧住 昇(2010) 最新樹木根系図説. 誠文堂新光社, 2060pp.
 小平 哲夫(2010) 千葉県九十九里浜におけるマツ材線虫病により枯れが進んだクロマツ海岸防災林の目標林型の検討. 関東森林研究, 61, 223-226.
 村井 宏・石川 政幸・遠藤 治郎・只木 良也(1992) 日本の海岸林—多面的な環境機能とその活用—. ソ

フトサイエンス社, 513pp.

- 日本造園学会緑化環境工学研究委員会(2000) 緑化事業における植栽基盤整備マニュアル. ランドスケープ研究, 63, 224-241.
 野口 正二・新山 馨・田村 浩喜・田中 三郎・久保田 多余子・安田 幸生(2014) 宮城県宮城野区海岸林における地下水位の変動. 日本森林学会誌, 96, 150-154.
 野原 咲枝・高橋 孝之(2007) 海岸林における湿地対策としての盛土工法の評価—クロマツ10年生の根系発達—. 千葉県森林研究センター研究報告, 2, 1-6.
 小田 隆則(1975) 海岸砂防林の間伐に関する試験(Ⅱ)—間伐試験区の設定—. 千葉県林業試験場報告, 9, 45-50.
 小田 隆則(2000) 砂丘海岸林の低湿地におけるクロマツ根系の分布特性からみた必要盛土厚. 日本砂丘学会誌, 47, 102-110.
 小田 隆則(2001) 九十九里浜クロマツ林における集団枯損の立地要因. 日本砂丘学会誌, 48, 7-16.
 小野 賢二・野口 宏典・村上 尚徳・新井 隆介・宇川 裕一・小森谷 あかね・新田 響平・福山 文子・齋藤 直彦・吉田 俊通・橘 隆一・川東 正幸・木田 仁廣・渡辺 名月・萩野 裕章・野口 享太郎・篠宮 佳樹・今矢 明宏(2021) 東日本および東北地方の海岸防災林・海浜公園の生育基盤として整備された造成土壌の特徴. 森林総合研究所研究報告, 20, 205-262.
 齊藤 一廣・高浦 祐之(1989) 海岸防災林の低湿地における盛土厚. 治山研論, 241-244.
 渡部 公一・海老名 寛・古川 和史・堀米 英明・大築 和彦・上野 満・宮下 智弘・坂本 知己(2014) 2011年東北地方太平洋沖地震津波による仙台平野の海岸林被害と地下水深度及び立木サイズとの関係. 海岸林学会誌, 13, 7-14.

**Root system developments of *Pinus thunbergii* and
broadleaf trees planted on anthropogenic growth bases with
embankment in coastal forests
-A case study in Komatsu, Sanmu City and Futtsu, Futtsu City,
Chiba Prefecture, Japan-**

Yuichi UGAWA^{1)*}, Akane KOMORIYA²⁾, Takayuki OTA³⁾, Kenji ONO³⁾, Hiroaki HAGINO³⁾,
Kyohei NITTA⁴⁾ and Hironori NOGUCHI⁵⁾

Abstract

There are many low-lying lands with back swamps near the coastal areas of Kujukurihama and Cape Futtsu in Chiba Prefecture, Japan. Since the 1990's, before afforestation of these areas occurred, growth bases with embankments were constructed to prevent planted tree roots from rotting due to waterlogged soil conditions. It was often observed, however, that the consolidated soil layers of growth bases built with heavy machinery suffered from obstructions to the deep development of their tree roots. In order to identify tree species whose roots can develop deep into the anthropogenic soil of these growth bases, we investigated the relationship between soil hardness and root development of *Pinus thunbergii*, which is the major tree species in the coastal forests of Japan, and some broadleaf tree species, which have the possibility to take on the role of *P. thunbergii* in case the species' pine wilt disease spreads, at 2 sites of coastal forests (Futtsu and Komatsu site) in Chiba Prefecture. At the Futtsu site where ground water levels were about 0.8 m in depth, consolidated soil layers and groundwater levels seemed to behave as barriers against the vertical root developments of *P. thunbergii* and *Machilus thunbergii*. At the Komatsu sites where ground water level could not be observed, the consolidated soil pans were observed in shallow areas (about 30 cm deep) of the growth bases. Irrespective of species, many thin roots (< 1.0 cm in diameter) of the planted trees were observed to develop to the deep layer under the consolidated pans. The findings of this study suggest that some broadleaf species, including *M. thunbergii*, could be introduced to the moderately softened, anthropogenic soils of the growth bases with embankment in inland coastal forests, as well as *P. thunbergii*.

Key words : coastal forest, low-lying lands with back swamps, embankment, broadleaf trees, root system development, groundwater level, soil hardness

Received 17 August 2020, Accepted 24 June 2021

1) Forest Research Institute, Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center

2) Chiba Prefecture Chubu Forestry Administrative Office

3) Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

4) Akita Forestry Research and Training Center

5) Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, Forestry and Forest Products Research Institute

* Forest Research Institute, Chiba Prefectural Agriculture and Forestry Research Center, 1887-1 Haniya, Sanmu, Chiba, 289-1223 JAPAN