

東日本大震災津波による屋敷林および社寺林の被害からみた
広葉樹の耐塩水性の評価岡田穰¹・坂本知己²・後藤義明²・林田光祐³Evaluation of salt-water tolerance of broadleaved trees based on damage of
trees in premises forests and shrine and temple groves caused by the 2011
off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake TsunamiMinoru Okada¹, Tomoki Sakamoto², Yoshiaki Gotoh² and Mitsuhiro Hayashida³

Abstract: The purpose of this study was to clarify the salt-water tolerance of broadleaved trees on the basis of their damage and recovery in premises forests, shrine and temple groves. The superiority or inferiority of salt-water tolerance for each tree species was judged by the extent of flooding of trees due to a tsunami and by the growth condition based on the rate of leaves on the trees at each site, and the salt-water tolerance in the sites was ranked by collating the rankings at each site. As a result, it was inferred that *Euonymus japonicus* has a similar salt-water tolerance to *Pinus thunbergii*; it is likely that such trees with high salt-water tolerance will be used in the replanting of coastal forests in the future. In addition, it was inferred that *Zelkova serrata* and *Celtis sinensis* have salt-water tolerance from the recovery of trees by progress of time. The superiority or inferiority of trees and the ranking of salt-water tolerance were performed using strict definitions with no logical inconsistencies, although few trees were investigated. Moreover, an objective conclusion without site-specific factors (i.e., microtopography and growth conditions) and with a limited influence at each site was reached by conducting an investigation of many sites.

1 はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震津波が発生後、津波減災機能を有する海岸林を対象とし、海岸林自体の詳細な被害状況(佐藤ら, 2012, 山中ら, 2012)やその周辺の被害(Aoyama *et al.*, 2012)、海岸林が果たした効果(岡田ら, 2012, 坂本ら, 2012)等が多く報告されている。また、それとあわせて今後の被災地の復興に向け、防災機能を強化する方向で海岸林の再生事業も進んでおり、海岸林を構成する樹木の樹種選択への議論も行われている。例えば、日本海岸林学会(2011)による声明(日本海岸林学会平成23年度石巻大会)では、残された主な今後の課題において「マツ類だけでなく、求められる機能や立地によっては広葉樹の導入も必要と考えられ、今後、広葉樹による海岸林造成の研究も積極的に進めていく必要がある」と記しており、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)でも検討にあたって留意すべき事項の一つとして「自然

条件や地域のニーズを踏まえた多様な森づくり、生物多様性の保全も求められていることから、植栽地の状況を見極めつつ、広葉樹の植栽等についても考慮することが望ましい」としており、従来のクロマツだけの植栽ではなく、前線部以外の立地であれば積極的に広葉樹を導入することも検討されている。

海岸林(沖縄、北海道の一部を除く)の造成に広くクロマツが用いられた理由として、クロマツは砂浜の乾燥、高温、塩分を含む強風、貧栄養に対して広葉樹には見られない強い耐性があり(近田, 2013)、塩分ストレスにさらされる日本の海岸の環境に植栽樹種として優れている(中島ら, 2011)ことが挙げられる。よって広葉樹によるクロマツの代替あるいはクロマツとの併用において、その広葉樹に耐塩水性(耐浸塩水性)があり、波力に持ちこたえた場合に生存する力の強い樹種を選ぶことが植栽樹種の重要な条件の一つとなる。現在、海岸地域に広葉樹を植栽する樹種を選択する際に参考となる資料としては森林総合研究所(2014)の「海岸林樹種特性整理表」がある。しかしここでは潮風に対する耐性を対象としており、津波によって流入した海塩水が滞水することで樹木が委縮・樹勢衰退・枯死することに対しての、樹木の海塩水への耐性(耐塩水性)は示されていない。耐塩水性を対象とした既存研究としては、高橋ら(1965)や堀江(1968)による滞水実験による検討が挙げられる。しかしこれらはあくまで実験による検証であり、実験に用いたのは苗高25~30cmの挿し木苗であり、成木とは特性が異なるこ

¹ 専修大学商学部, School of Commerce, Senshu University, 2-1-1 Higashi-mita, Kawasaki Tama-ku, Kanagawa, 214-8580 Japan

² 独立行政法人森林総合研究所, Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687 Japan

³ 山形大学農学部, Faculty of Agriculture, Yamagata University, 1-23 Wakaba-machi Tsuruoka, Yamagata 997-8555 Japan

*Corresponding author: okada@isc.senshu-u.ac.jp

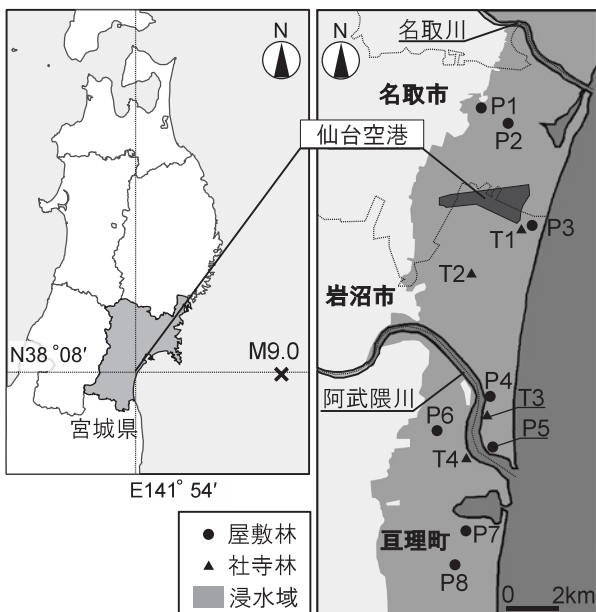
とが考えられる。今回の津波による浸水被害は様々な広葉樹の耐塩水性を事例的に調査する上で貴重な機会であり、実際の浸水による被害や回復状況を調査することで、滞水実験等よりも具体性のある耐塩水性の評価ができると考えられる。

しかし今回の津波では波力によって多くの海岸林が大きな被害を受けており、塩水害のみによる被害状況を調査するに当たっては海岸林を対象としての調査は困難である。そこで浸水被害を受けた内陸部の屋敷林と社寺林を調査対象とした。これら屋敷林、社寺林は海岸部から離れた内陸側に位置することから、波力が弱まり海岸林に見られたような幹折れ木や流失木がないところが多い。そのため、これら樹林を調査対象とすることで、樹木の被害は塩水に浸かったことによる生理的障害と判断しやすい利点がある。また津波に浸かることが考えられる屋敷林や海岸林の第二林帯を造成する際に、塩水の滞水による枯死に起因する植え直しを最小限にする樹種選定の参考にもなることも期待できる。

よって本研究では、津波によって浸水した屋敷林や社寺林にある広葉樹の被害・回復状況を調査することにより、広葉樹の耐塩水性を明らかにすることとした。

2 調査対象地と被災状況

調査対象地は宮城県仙台平野のうち、名取市、岩沼市、亶理町の浸水域(図1)内の平坦地とした。2011年3月11日の14:46に発生した東北地方太平洋沖地震では対象地に近い仙台管区気象台(仙台市宮城野区五輪)で震度6弱を観測し(気象庁, 2011)、地震後に発生した津波は対象地付近では最大で内陸約



浸水域は10万分の1浸水範囲概況図(国土地理院, 2011)より作成

図1 調査地および調査地点の位置

5km まで到達した。調査対象地内における津波に関する記録としては、仙台空港北側の海岸砂丘の背後でT.P. +10.6m(浸水深で9.6m)、仙台空港での津波の浸水深が3.4mという記録がある(東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター・ユネスコ・政府間海洋学委員会 国際津波調査団, 2011, 国土交通省国土技術政策総合研究所, 2011)。

被災の状況について、対象地が含まれる名取市、岩沼市、亶理町をまとめた被害をみると、死者1,395名、行方不明者55名、建物被害32,969棟(全壊6,077, 半壊3,937, 一部損壊15,566, 床上浸水5,811, 床下浸水1,578)であった(2012年9月30日現在(宮城県, 2012))。とりわけ名取市閑上地区や屋敷地区、岩沼市前川地区、亶理町荒浜地区といった海岸に近い地区では建物のほとんどが流失しほぼ壊滅の状態であった。

3 研究方法

3.1 耐塩水性判定の考え方

樹種間の耐塩水性を比較するためには、滞水条件を揃えて樹種による生育状態の違いを比較し、浸水程度(浸水深, 滞水期間)に応じた樹木の生育状態を樹種ごとに明らかにすることが望ましいが、現地ではそのように条件を揃えてデータを集めることは困難であった。そこで、津波の浸水程度が同程度と考えられる範囲で樹木の生育状態を比較してその範囲での樹種間の耐塩水性の優劣を判断することとし、その範囲を各屋敷林や社寺林とした。すなわち、屋敷林や社寺林ごとに樹種間の耐塩水性を比較することにした。

樹種間の耐塩水性の優劣を判定する方法として、星野ら(2012)や本田・林田(2012)は、海岸近くの樹林で浸水した樹木を対象に生存状況(生存率)の平均値を用いて比較し、樹種間の優劣を判定している。しかし今回対象とする屋敷林、社寺林では個々の浸水程度の違いを無視できるだけの調査本数を確保できないことから、各樹種の生育状況の平均値による耐塩水性の評価では信頼度が低くなると考えられる。よって耐塩水性の判断にあたっては、浸水程度を考慮して着葉率(調査時に観察した個体の樹冠全体に対する着葉部位の割合)を用いた。

浸水程度では樹木の滞水期間によって塩水の影響をどの程度受けたかをみるのが目的であるが、各調査地点で確認された滞水期間は現地における聞き取り調査から確認された「概ね2~3日」が最も詳細な情報であり、聞き取りした住人も避難していたため、これ以上の詳細な時間単位での把握は困難であった。よって今回は、津波による浸水からある程度の時間が経過してからでもその地の浸水状況を確認することができる浸水痕からみた浸水深に着目し、これを浸水程度の評価尺度とした。

津波の状況が大きく変わらないと考えられるひとつの屋敷林や社寺林の中においても地盤高の違いによって滞水期間が異なる場合、浸水深が深いほど滞水期間が長かった可能性が高いと考えられるので、次のように浸水深を考慮することとした。浸水深が深い方が樹木の生残には不利と考えられるので、同一樹種で浸水深が異なる個体を比較すれば、生育状況は同等か浸水深が深い個体の方が劣ると考えられる。すなわち、樹木Aの浸水深と樹木Bの浸水深が同程度、もしくは樹木Aの浸水深の方が深い場合には、樹木Aの生育状況が樹木Bのそれより良好であれば、樹木Aの方が耐塩水性が優れていると考えられる。従って、樹種Aのうち最も浸水深の深い個体Aと樹種Bの最も浸水深の浅い個体Bとを比較して、個体Aの浸水深と個体Bの浸水深が同程度、もしくは個体Aの浸水深の方が深い場合に、個体Aの生育状況が個体Bよりよければ、耐塩水性は樹種Aが樹種Bよりも優れていることになる。

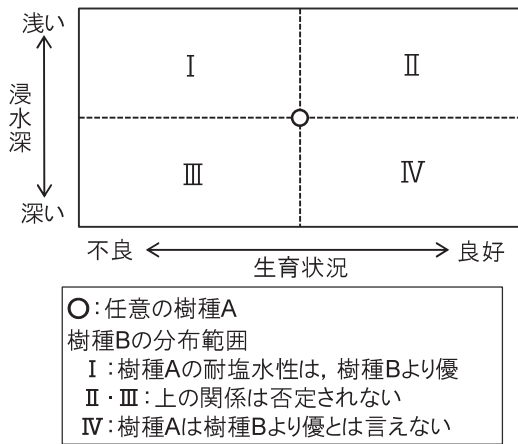
しかしながら、耐塩水性には個体差があるので、同じ樹種であっても浸水深が深い個体の方が生育状況がよいこともあり得る。そこで、実際の判定は次の

のように行うこととした (図2)。

まず、樹種Aの任意の個体に対して樹種Bの全ての個体の浸水深が浅く、生育状況が劣る場合(図2, Iの範囲)には、樹種Aの耐塩水性は樹種Bより優れていると判断した。また、生育状況で樹種Aの任意の個体に勝る樹種Bの個体があったとしても、その浸水深が樹種Aより浅ければ(図2, IIの範囲)、上の判断は否定されないとした。一方、浸水深が深いにも関わらず樹種Aより生育状況のよい樹種Bがあれば(図2, IVの範囲)、上の判断は否定され、樹種Aの耐塩水性は樹種Bより優れているとは言えない。

両方の樹種の調査本数が複数であった場合、まずは樹種Aにおいて最も浸水深が浅い樹木(図2, ①)、樹種Bにおいて最も浸水深が深い樹木(図2, ②)を境界とし、この境界の範囲内に含まれる樹種Aのうち生育状況が最も不良である樹木を境界(図2, ③)とした。そして樹種A(③)よりも樹種Bの全ての個体の生育状況が劣る場合(図2, I・Vの範囲)には、樹種Aの耐塩水性は樹種Bより優れていると判断した。また、生育状況で樹種A(③)より優れた樹種Bの個体があったとしても、その浸水深が樹種A(①)より浅ければ(図2, IIの範囲)、上の判断は否定されないとした。一方、生育状況で樹種A(③)より優れ、樹種A(①)よりも浸水深が深い樹種Bがあれば(図2, VIの範囲, VとVIに混在)、上の判断は否定され、樹種Aの耐塩水性は樹種Bより優れているとは言えない。

以上の判定基準のもと、表1に示した判定表の通り樹種間における耐塩水性の優劣を判定した。なお、両方の樹種の分布が同様の場合(浸水深と生育状況が同程度)は「引き分け」とした。また、樹種Aに対し樹種Bの生育状況が良好で浸水深が浅い場合および生育状況が不良で浸水深が深い場合のみの分布(II・IIIのみの分布)であった場合(浸水深が浅くなるにつれて生育状況がよくなるという、どのよう



両方の樹種の標本数が複数であった場合

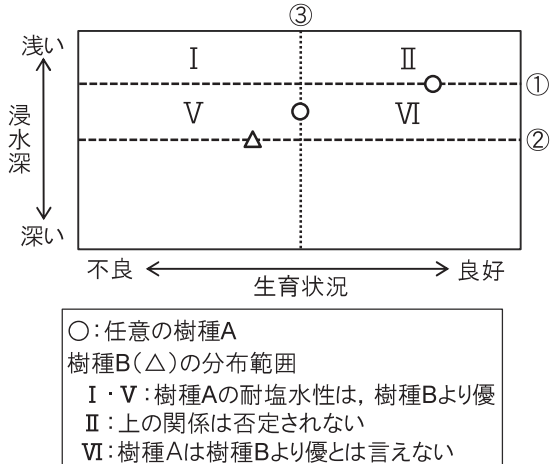


図2 樹種間における耐塩水性の優劣の判定 (樹種Aと樹種Bとの比較)

表1 樹種間における耐塩水性の優劣の判定表

		I	II	III	IV	V	VI	優劣の判定	
	◇	◆	◆					優	○
		◆	◆	◇				劣	●
		◇	◆	◇				判定不可	?
	◇	◆	◆	◇				優	○
複数の場合		◆				◇		劣	●
	◆	◆			◇	◇		判定不可	?

浸水程度・生育状況共に同程度 引き分け △

◇: 分布
◆: 場合によって分布

な樹種にも当てはまる関係), および複数の標本で比較した場合において分布が混在している場合 (VかつVIに分布した場合) は, 「判定不可」とした。

この手順では, 現地調査では全ての個体を測定する必要はなく, 同一樹種の中で浸水深が深いにも関わらず生育状況がよい個体と浸水深が浅いにも関わらず生育状況の悪いものを中心に測定することになる。

3.2 調査樹木の選定

浸水深と生育状況の関係において, 「浸水深が浅くて生育状況が良好である樹木」や「浸水深が深くて生育状況が不良である樹木」は浸水深が浅くなるにつれて生育状況がよくなるという, どのような樹種にも当てはまる関係であることから, 相対的な比較には不適と考え, 調査対象としなかった。そして耐塩水性の程度がはっきり現れると思われる「浸水深が浅くて生育条件が不良な樹木 (以下 *D* とする)」や「浸水深が深くて生育状況が良好である (以下 *S* とする)」といった条件に近いと思われる樹木を選定すべく, *S* と *D* に該当する可能性がある個体に調査対象を絞り込んだ (図 3)。樹木の浸水深について, 今回の津波による敷地内・敷地周辺において津波の浸水痕 (表 2) が確認された場合, 浸水痕の高さをレベル測定し, その浸水痕より低い地盤高に位置する樹木を浸水木と判断し, 浸水痕と樹木の地盤高との差を浸水深とした。また, 周辺において浸水痕が確認できなかった調査地点では, 耐塩水性が低いスギ (塩害によるとみられるスギ針葉の変色発生範囲は, 基本的には津波到達箇所と一致する (小野ら, 2012)。そして現地では変色したスギは概ね枯死していた) の枯死木の分布と生存木の分布が分かれる位置の地盤高を浸水高とみなし, それより低い位置に生育していた樹木を浸水木と判断した。なおこの場合は正確な浸水深の算出が困難なため, 浸水木の根元高の比高を浸水深の差とした。なお, 浸水深 (比高) が±5cm 以内であった場合には滞水状況は同程度と解釈した。

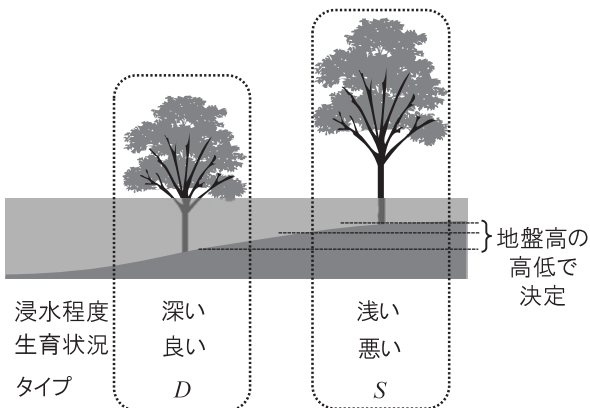


図 3 調査樹木の選択基準

3.3 樹種の耐塩水性の順位付け

樹種の順位付けの手順を図 4 に示す。まず各調査地点において樹種間優劣の結果をもとに直接の優劣の判定結果を優先してクロス表を作成し, 順位付けをした。直接の優劣が確認できなかった場合には他の共通の樹種との優劣の結果から順位を推定した。また, 優劣の結果で引き分けだった場合や優劣の推定ができなかった場合は同順位とした。

次に各調査地点の順位を照合し, 比較対象樹種全体において順位付けをした。なお, 調査地点によって順位が異なった場合には, 該当する調査地点における対象木の詳細な生育状況 (葉の褐変, 樹幹の損傷等の波力や漂流物の衝突が原因と思われる生育阻害要因の有無) および樹木の立地状況 (滞水しづらい傾斜地に位置した, 建物等の背後であった等) を確認し, 浸水程度とは別に生育状態が悪い原因が確認された場合には, それが順位付けに影響している可能性があるため, その樹種を耐塩水性の優劣の判定から除外した。

順位付け (各調査地点)

	A	B	C		A	C	D		B	C	D			
1	A	-	○	○	1	A	-	○	○	1	B	-	○	○
2	B	●	-	○	2	C	●	-	○	2	C	●	-	○
3	C	●	●	-	3	D	●	●	-	3	D	●	●	-

○: 優
●: 劣
数字: 順位
英記号: 樹種

整列 (全体)

1	A	1	A	1	B
2	B	2	C	2	C
3	C	3	D	3	D

分類 (全体)

1	A	1	A	1	B
2	B	2	C	2	C
3	C	3	D	3	D

順位付け (全体)

1	A
2	B
3	C
4	D

順位に矛盾が生じた場合

A	A	
B		B
C	D	C
	C	D

矛盾

再確認

葉の褐変, 損傷, 枯死, 立地状況等

浸水程度とは別に生育状況へ影響を与える原因が確認された樹種

A	A	
B		B
C		C
	D	D

同順位あるいは順位付けから除外

C

図 4 樹種の順位付け (概念図)

3.4 調査地点の選定

対象地域内の平野部に点在する屋敷林および社寺林（津波が流入した樹林）のうち、津波の浸水範囲ではあるが波力による大規模な物理的損傷（幹折れ、根返り等）が無かったと考えられる内陸側の樹林を調査地点とした。津波の流入は浸水範囲概況図（国

土地理院，2011）および住民への聞き取りあるいは敷地内・敷地周辺の津波の浸水痕，周辺の状況から判断した（表2）。この条件のもと，調査地点は屋敷林（8箇所，写真1）と社寺林（4箇所，写真2）の12箇所（図1）とした。

調査地点はいずれも標高0~2mに位置し，滞水期間は概ね2~3日であることが聞き取り調査により確認された。また，海水由来の塩分を含む泥土およびそれが乾燥した土の堆積・周辺への残存が1ヶ月近くみられたとの情報も得られた。

調査対象とした樹木は調査地点で確認された広葉樹（27種）とクロマツの28種とし（表3），根元の地盤高，生死，樹高，DBH，着葉率（地上からの目視による判定，10%毎11段階に区分），葉の色（褐変の確認），萌芽（根，幹，枝）の有無，損傷の有無とその形状・規模，立地状況（立地面が傾斜，波の勢いを弱めたと考えられる建物の存在等）について調査した。なお，樹木調査の時点で津波以前の生育

表2 調査地点の概況

調査地点	樹林種別	所在地	標高※1 (m)	聞き取り※2	津波の浸水痕	
					有無※3	高さ (cm)
P1	屋敷林	名取市	1~2	○	○	63.5
P2	屋敷林	名取市	1~2	△	△	84
P3	屋敷林	岩沼市	0~1	×	×	-
P4	屋敷林	岩沼市	0~1	○	○	253
P5	屋敷林	岩沼市	0~1	×	○	270
P6	屋敷林	亶理町	0~1	○	○	40
P7	屋敷林	亶理町	0~1	△	△	280
P8	屋敷林	亶理町	0~1	×	×	-
T1	社寺林	岩沼市	0~1	×	×	-
T2	社寺林	岩沼市	1~2	△	△	123
T3	社寺林	岩沼市	0~1	×	×	-
T4	社寺林	亶理町	0~1	○	○	60

※1 デジタル標高地形図(震災後)(国土地理院, 2011)より敷地周辺を図面判読

※2 ○:敷地所有者より, △:周辺住人より, ×:なし

※3 ○:敷地内で確認, △:敷地周辺で確認, ×:確認できず



写真1 調査地点の例（屋敷林， P6）



（樹木の背後は阿武隈川堤防）

写真2 調査地点の例（社寺林， T3）

表3 各調査地点における調査樹種

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	T1	T2	T3	T4
シロダモ (Ne)	●	●	●	●	●	●		●		●	●	●
エノキ (Ce)	●	●	●	●		●		●	●		●	●
クロマツ (Pi)*			●	●	●		●	▲	●	●		
マサキ (Eu)	●	●		●		●		●	▲			●
ケヤキ (Ze)			●	●	●	●	●	●				
ヤブツバキ (Ca)	●	●				●		●		●	●	
サクラ類				●				●	●	●	●	
ヒサカキ					●	●				●		●
ウワミスザクラ (Pr)	●			●								●
ツバキ(園芸種)				●	●						●	
コナラ	●					●			●			
アカメガシワ						●				●	●	
カヤ	●					●						
イヌシデ	●											
ツリバナ	●											
イヌエンジュ	●											
アカガシ	●											
シラカシ	●											
カエデ類		●										
タブノキ				●								
ナラガシワ				●								
ミズナラ						●						
クヌギ							●					
ニセアカシア								●				
アカマツ									●			
イヌツゲ										●		
ニワウルシ											●	
イチヨウ												●

■ 比較対象樹種：()内の記号は表記における略称

▲:優劣判定には使用せず

(津波以前の生育阻害要因を確認)

*:針葉樹

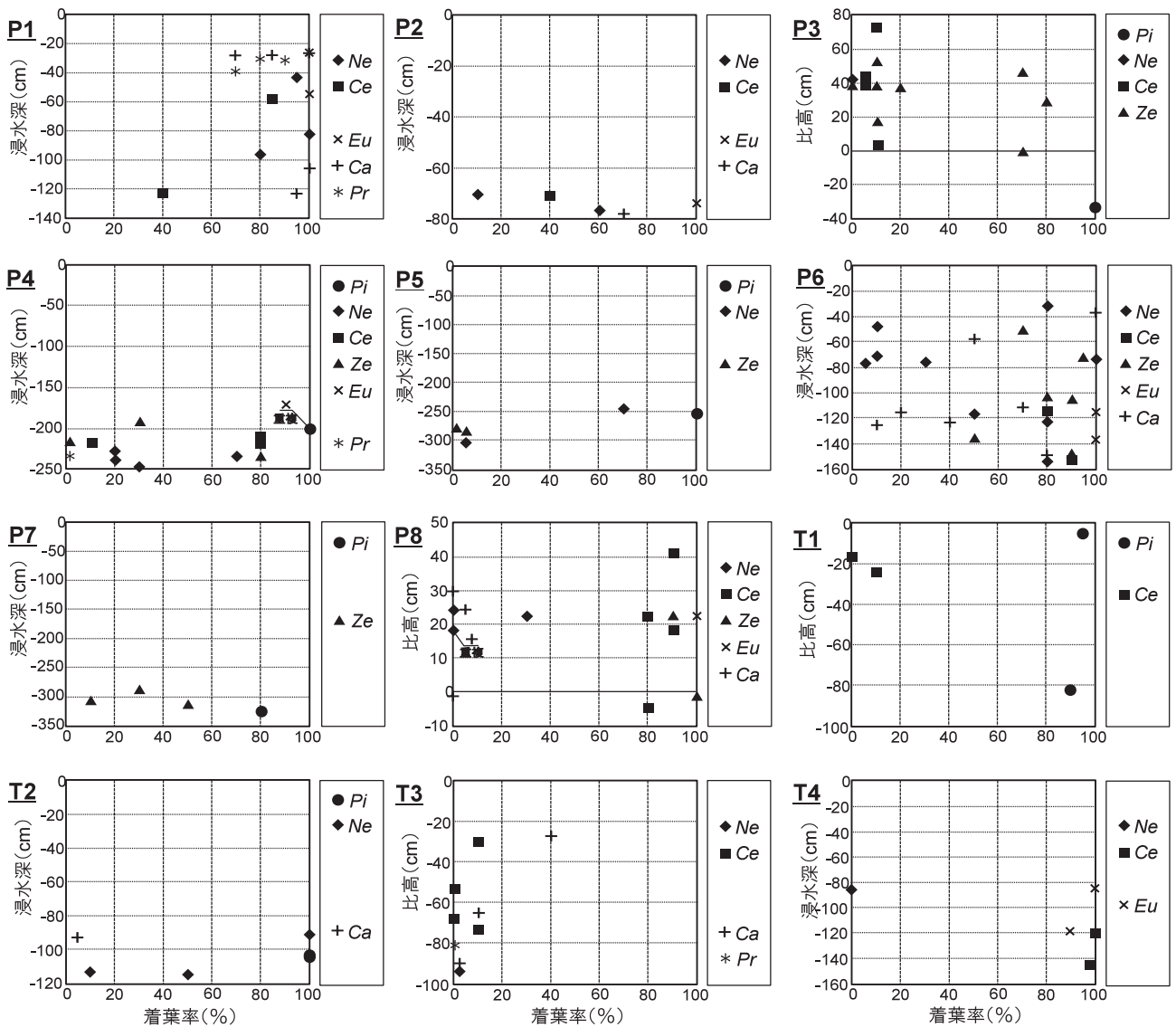


図5 各調査地点における生育状況と浸水程度の関係

阻害要因（被圧等）が確認された樹木については調査対象外とした。樹木調査は2011年5月下旬と10月上旬の2回実施し、追跡調査を2012年6月上旬に実施した。

なお、優劣の判定を実施した樹種について、今回は多くの調査地点で確認された樹種および出現樹種のうち周辺の海岸林において多く確認され、対象地周辺での広葉樹の導入に際して候補となることが考えられるヤブツバキ(Ca)、エノキ(Ce)、マサキ(Eu)、シロダモ(Ne)、ウワミズザクラ(Pr)、ケヤキ(Ze)、クロマツ(Pi)の7種(括弧内の英記号は各樹種の表記における略称)を対象に順位付けを行うこととした(表3)。

4 結果と考察

4.1 各調査地点における耐塩水性の優劣の判定と順位付け

各調査地点における浸水程度(浸水深, 比高)と生育状況(着葉率)との関係を図5に、浸水程度と生育状況との関係からみた樹種間の優劣の判定結果の例として、P3での比較結果を図6に示す。クロマツ(Pi)とケヤキ(Ze)、エノキ(Ce)、シロダモ(Ne)とを比較した場合、クロマツに対して他の3種はいずれも浸水程度が浅いにもかかわらず生育状況が不良であったため、耐塩水性の優劣はクロマツ>シロダモ、クロマツ>ケヤキ、クロマツ>エノキと判定した。次にシロダモとケヤキ、エノキとを比較した場合、シロダモに対し他の2種はいずれも浸水程度が深いにもかかわらず生育状況が良好であったため、耐塩水性の優劣はケヤキ>シロダモ、エノキ>シロダモと判定した。そしてケヤキとエノキを比較した場合、比較対象の範囲内(図2, V・VI)において両樹種の樹木が混在したため、耐塩水性の優劣は「判定不可」とした。そしてこの判定結果を基にクロス

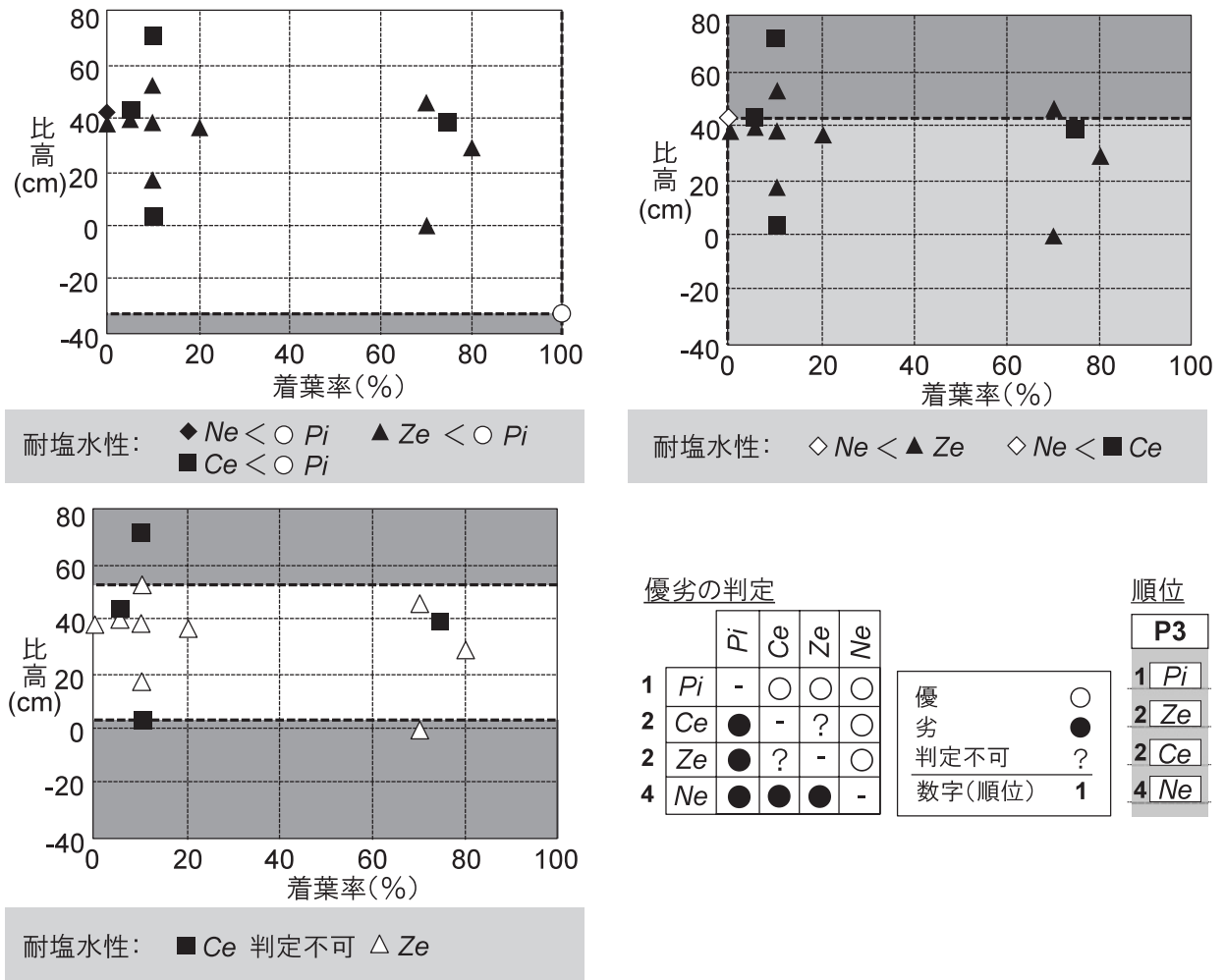


図6 樹種間における耐塩水性の優劣の判定と順位付け (P3の例)

表を作成して順位付けをすると、P3における耐塩水性の順位はクロマツが1位、エノキとケヤキが同順で2位、シロダモが4位となった(図6)。

以上の判定を各調査地点で実施し、順位付けした結果(図7)をみると、P4、T3では判定不可の判定が多く、順位を確定できないことが多かったが、他の地点では優劣の判定に伴う順位付けを概ね確定することができた。判定不可の判定が多かった理由として、P4、T3は浸水深が深く水の引き方が何かしら不規則な事態が生じたことあるいは河川(阿武隈川)のすぐ背後に位置したことが浸水程度(滞水状況)に何かしらの影響を与えたことが推察される。

樹種毎にみると、クロマツ(Pi)は確認されたすべての調査地点の樹種間優劣において「劣」と判定された事例がなかった。また、マサキ(Eu)もT4を除く5つの調査地点の樹種間優劣において「劣」と判定された事例がなかった。なおT4はマサキより「優」と判定されたエノキの胸高直径(32.6cm, 39.1cm)が他の2種の胸高直径(2.3~11.5cm)と異なるサイズであったこと、および津波が流入した方

向の直前に建物があつたため、エノキの評価が特殊であると考えられる。

4.2 全体における耐塩水性の順位付け

各調査地点での順位をもとに、比較対象樹種の耐塩水性の順位付けをした(図8)。その結果、1位がクロマツ(Pi)とマサキ(Eu)、3位がケヤキ(Ze)、4位がエノキ(Ce)、5位がシロダモ(Ne)、6位がヤブツバキ(Ca)、7位がウワミズザクラ(Pr)と順位付けできた。クロマツとマサキはP4において引き分けだったため同順位となった。なお別の調査地において異なる順位になった調査地点については対象木の詳細な生育状況を確認し、P1のヤブツバキ、シロダモ(共に滞水しづらい傾斜面に立地)、P2のヤブツバキ(海側に建物が隣接していた)、P5のケヤキ(津波による大規模な損傷痕を確認)、T4のエノキ(津波側のすぐ目の前に建物が存在、他の樹種と比べて胸高直径が大幅に大きい)を順位付けから除外した。ただし、T3のエノキは他の調査地点と比較した場合に順位の矛盾(T3のみシロダモより低い順

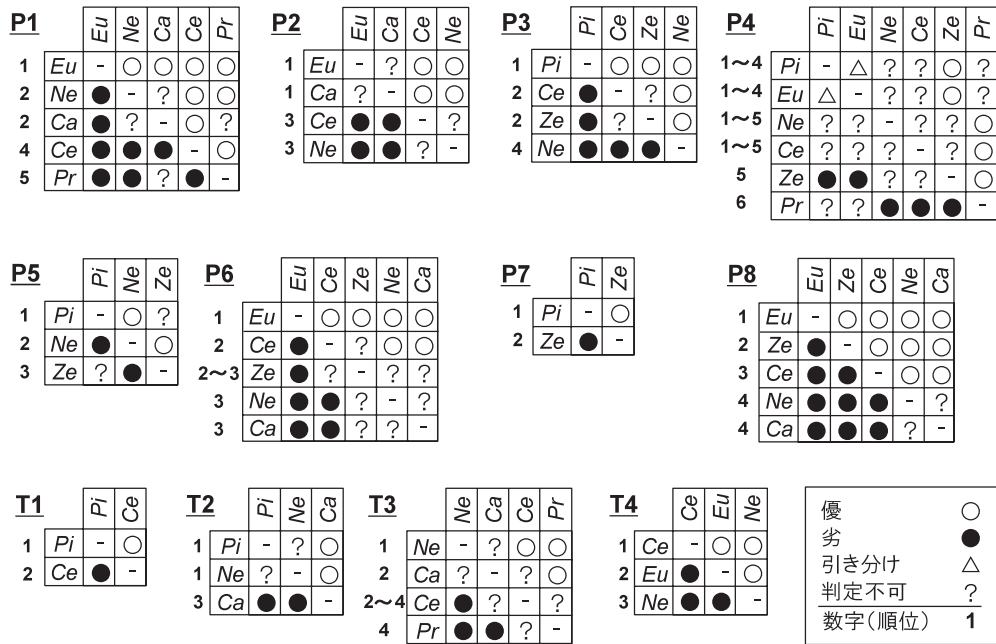
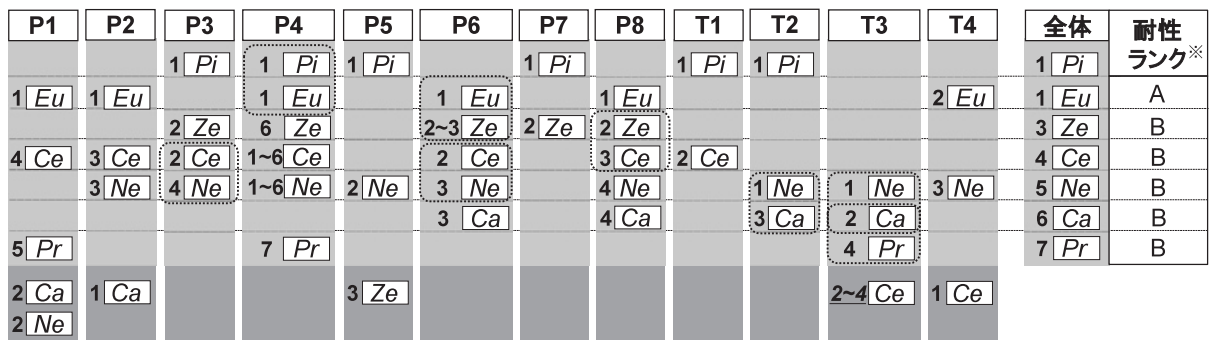


図7 優劣の判定と順位付け (各調査地点)



■ 順位付けから除外した樹種(浸水程度とは別に生育状況へ影響を与える原因を確認)
 数字: 除外する要因が確認されなかった樹種
 □: 全体の順位付けの際に前後の優劣判定組み合わせとした順位差(優劣の判定において直接の優劣あり)
 ※: 独立行政法人森林総合研究所(2014)の海岸での耐性ランク

図8 各調査地点の順位の整列・分類からみた全体での樹種の順位付け

位で、特に P3 および P6 における直接の比較結果と逆の順位)が生じたが、除外する要因が確認できなかった(ヤブツバキの順位が流動的であったため、とりあえずここではヤブツバキを除外した)。これは T3 の浸水深が深かったことや河川(阿武隈川)のすぐ背後に位置したこと、全般に生育状況が悪かったことから、T3 が特殊な浸水程度(滞水状況)であった可能性が要因として推察される。

また、森林総合研究所(2014)による海岸での耐性ランク(A: 最前縁で耐性がある, B: 最前縁で耐性はないが、海側に樹木または工作物等があれば生育する, C: 海岸で生育困難)では、1位のマサキが A で、以下の順位の樹種は全て B に区分されていた。

4.3 時間の経過による生育状況の変化

時間の経過による生育状況の変化について、2013年の追跡調査において確認された樹木の着葉率の変化を示した(表4)。敷地の更地化や再植栽などによって確認することができない調査地点もあったが、傾向としてはクロマツやマサキは変化がなかった(もともと着葉率が高かった)のに対し、エノキは回復傾向がみられ、逆にシロダモやウワミズザクラは衰退傾向がみられた。ケヤキとヤブツバキは両方の傾向がみられたが、ケヤキにおいて大幅に衰退(P3, 70%→10%, 70%→40%, 70%→40%)した樹木では、衰退要因と思われる樹幹の損傷痕が確認された一方、多くの枝萌芽といった回復も確認された。

表4 着葉率の変化 (2012年→2013年)

調査地点	樹種	着葉率の増減(単位:本, 2012年比)							
		-30%以下	-20	-10	0	10	20	30%以上	
P1	Ne	0	0	0	0	1	0	0	0
	Ce	0	0	0	0	2	0	0	0
	Eu	0	0	0	0	1	0	0	0
	Ca	0	0	0	0	5	0	0	0
	Pr	1	0	0	0	2	0	0	0
P3	Pi	0	0	0	0	1	0	0	0
	Ne	0	0	0	0	1	0	0	0
	Ce	0	0	0	1	1	1	0	0
	Ze	3	0	1	1	1	3	0	0
P4	Pi	0	0	0	0	1	0	0	0
	Ne	0	0	0	0	4	0	0	0
	Ce	0	0	0	0	0	0	1	1
	Ze	0	0	0	0	1	0	1	0
	Pr	0	0	0	1	0	0	0	0
P5	Pi	0	0	0	0	1	0	0	0
	Ne	1	0	0	0	1	0	0	0
	Ze	0	0	0	0	1	0	0	1
P6	Ne	1	0	1	1	5	0	0	0
	Ce	0	0	0	0	2	0	0	0
	Ze	0	0	0	0	5	0	0	1
	Eu	0	0	0	0	2	0	0	0
	Ca	1	0	0	0	6	0	0	0
P8	Ne	0	0	0	0	4	0	0	0
	Ce	0	0	0	0	0	0	1	1
	Ze	0	0	0	0	2	0	0	0
	Eu	0	0	0	0	1	0	0	0
	Ca	0	0	0	0	3	0	0	0
T1	Pi	0	0	0	0	2	0	0	0
	Ce	0	0	0	0	0	0	1	0
T2	Pi	0	0	0	0	1	0	0	0
	Ne	0	1	0	0	1	0	0	0
	Ca	0	0	0	0	1	0	0	0
T3	Ne	0	0	0	0	1	0	0	0
	Ce	0	0	0	0	3	0	0	0
	Ca	0	0	0	1	1	0	0	1



(写真中央, 仙台市若林区荒浜, 2012.6.1撮影)
写真3 海岸林内に生育するマサキ

4.4 樹木の耐塩性の評価

今回の調査の結果, マサキはクロマツとほぼ同等の耐塩水性のある樹種と評価できた. 実際に津波被害を受けた海岸林においても, 多くのマサキが生育していた(写真3)ことが確認できることから, マサキは今後の海岸林への広葉樹の導入に際し, 低木として非常に有効な樹種であるといえる. ちなみに高橋ら(1965)の滞水実験においても, マサキはクコと並んで防潮林に適する樹種として結論付けている.

時間の経過による樹木の回復傾向では, クロマツやマサキは塩水による被害が少なかったために回復傾向などは確認できなかったが, 4位のエノキの回復傾向が確認された. また3位のケヤキは衰退傾向もみられたが, 衰退していた樹木は物理的損傷を伴っており, 時間の経過により回復する傾向にあると評価できる. 5位のシロダモ以降では衰退傾向がみられることから, 4位までのマサキ, ケヤキ, エノキが耐塩水性のある樹種であると評価できる.

また, 今回の調査では, 調査樹木数を多くとることができなかったにも関わらず, 効果的に比較対象樹木を選定し, 滞水状況を考慮して着葉率を比較することで, 樹種間の耐塩水性を判定し順位付けをすることができたと評価できる. また各調査地点での調査量を減らしたことで多くの調査地点での調査を実施することができ, 各調査地点の微地形条件や生育条件の影響の少ない, より汎用性のある結論を導き出せたとも評価できる.

5 おわりに

本研究は, 三井物産環境基金 2011 年度東日本大震災復興助成「震災後の海岸林再生に向けた広葉樹の津波に対する耐性の評価と海岸林造成方法の提案 (R11-F3-211)」(代表: 林田光祐) の研究成果の一部である.

引用文献

- [1] Aoyama S., Asaka T., Kudou K., and Iwashita K. (2012): Tsunami damage in the Arahama coastal forest interpreted from ALOS data. *Journal of the Japanese Society of Coastal Forest* 11 (2): pp.53-58.
- [2] 独立行政法人森林総合研究所 (2014): 森林総合研究所 第2期中期計画成果 24 (安全安心-14) クロマツ海岸林の管理の手引きとその考え方 一本数調整と侵入広葉樹の活用一, 独立法人森林総合研究所, 55pp.
- [3] 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): 今後における海岸防災林の再生について (案). 林野庁森林整備部治山課, 22pp.
- [4] 本田詩織, 林田光祐 (2013): 三陸南部の津波浸水地における広葉樹6種の個体のサイズと生育地盤高の違いが被害の程度に及ぼす影響. 平成25年度日本海岸林学会岩手大会講演要旨集, pp.12-13
- [5] 堀江保夫 (1968): 植物の耐塩水性 (2) 一防潮林構成植物選定のための実験一. 林業試験場研究報告 186, pp.113-133
- [6] 星野大介 (2013): 三陸北部で津波被害を受けたマツと落葉広葉樹の耐塩水性の評価. 東北森林科学会第18回大会講演要旨集, pp.2
- [7] 気象庁 (2011): 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震時に震度計で計測した各地の揺れの状況について, 報道発表資料 平成23年3月25日, 12pp.
- [8] 国土地理院: 平成23年(2011年)東日本大震災に関する情報提供, http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h23_tohoku.html,

2013.1.31 閲覧

- [9] 国土交通省国土技術政策総合研究所:東北地方の港湾における被災状況について(現地調査速報)石巻港・仙台塩釜港・仙台空港調査速報,
http://www.ysk.nilim.go.jp/oshirase/h23tohoku_earthquake/sendaihiogama_ishinomaki_sendaiap_fr.pdf, 2013.1.31 閲覧
- [10] 近田文弘 (2013):なぜ,クロマツなのか?—日本の海岸林の防災機能について—. 海岸林学会誌 12 (2), pp.23-28
- [11] 宮城県:宮城県ホームページ,<http://www.pref.miyagi.jp/>, 2013.2.14 閲覧
- [12] 中島勇喜,岡田穰編著(2011):海岸林との共生.山形大学出版会, 218pp.
- [13] 日本海岸林学会(2012):日本海岸林学会平成23年度石巻大会(声明). 海岸林学会誌 11 (1), pp.90-91
- [14] 岡田穰,野口宏典,岡野通明,坂本知己(2012):平成23年東北地方太平洋沖地震津波における家屋破損程度からみた海岸林の評価—宮城県石巻市長浜の事例—. 海岸林学会誌 11 (2), pp.59-64
- [15] 小野賢二,平井敬三(2012):東北地方太平洋沖地震が三陸沿岸地域におけるスギ林針葉の赤褐色変化に及ぼした影響. 森林総合研究所研究報告 11 (2), pp.33-42
- [16] 坂本知己,新山馨,中村克典,小谷英司,平井敬三,齋藤武史,木村公樹,今純一(2012):東北地方太平洋沖地震津波における海岸林の漂流物捕捉効果. 海岸林学会誌 11 (2), pp.65-70
- [17] 佐藤創,鳥田宏行,真坂一彦,阿部友幸,野口宏典,木村公樹,坂本知己(2012):東北地方太平洋沖地震津波によるクロマツ海岸林被害と林分構造の関係—青森県三沢市の例—. 海岸林学会誌 11 (2), pp.41-46
- [18] 高橋啓二,堀江保夫(1965):植物の耐塩水性(1)—防潮林構成植物選定のための実験—. 林業試験場研究報告 183, pp.131-152
- [19] 東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター・ユネスコ・政府間海洋学委員会 国際津波調査団(2011):東日本大震災による津波浸水域における学術調査報告書, 13pp.
- [20] 山中啓介,藤原道郎,林田光祐,後藤義明,鈴木覚,宮前崇,井上章二,坂本知己(2012):平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震で発生した津波が仙台市井土地区の海岸林に及ぼした影響—防潮堤と海岸クロマツ林の被害との関係—. 海岸林学会誌 11 (1), pp.19-25
[受付 平成26年4月1日, 受理 平成26年6月2日]