

津波による海岸林被害からの復興に向けて

坂本 知己

独立行政法人 森林総合研究所

1 はじめに

平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分、三陸沖を震源とする巨大な地震が発生した。この地震は、巨大な津波を発生させ、数多の生命・財産を奪い社会基盤を破壊する戦後最悪の災害を東日本の太平洋沿岸もたらした。海岸林も、青森県から千葉県にかけての広い範囲で大きな影響を受けた。なかでも岩手県から福島県にかけての海岸林の被害は甚大で、防風や防潮、飛砂防備などの防災的な機能、景観や保健休養の場の提供など、その多面的な働きが失われた。

(独) 森林総合研究所では、林野庁からの委託事業「平成 23 年度震災復旧対策緊急調査（海岸防災林による津波被害軽減効果検討調査）」を日本海岸林学会会員の協力を得て実施した。ここでは、その事業に携わった一人として、海岸林に何が起きたか（被害）、海岸林は、津波に対してどう働いたか（機能）についてお伝えし、海岸林の再生に向けて、津波に対する防災施設としての海岸林の位置づけについて私見を述べる。

一連の調査を行うにあたっては、日本海岸林学会のほかに、林野庁治山課、東北森林管理局、関東森林管理局、青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県、株式会社森林テクニクス、国土防災技術株式会社をはじめとする多くの方々からいろいろとお世話・ご協力いただいた。厚く御礼申し上げます。

なお、今回の講演の内容の一部は、独立行政法人森林総合研究所（2011）、坂本（2012）に基づいている。

2 海岸林の津波被害

2.1 巨大な津波

本題に入る前に、今回の津波が、海岸林が壊滅的に消失した場所もある超

弩級の規模であったことを確認しておきたい。すなわち、今回の津波をもたらした平成 23 年東北太平洋沖地震は、三陸沖を震源とするマグニチュード 9.0 の巨大地震であり、東北地方の沿岸を襲った津波は人々の記憶にない、想像を遥かに超えた巨大なものであった。リアス式海岸が発達する岩手県沿岸での波高はとくに高く、巨大な津波に襲われた海岸では、防潮堤が破壊され、海岸林も壊滅した（写真 1～写真 3）。

仙台平野では、防潮堤を越えた津波が堤の内陸側を洗掘し凹地を出現させた（写真 4）。防潮堤自体も、その洗掘によるところが大きいと考えられるが、激しく損壊した（写真 5）。海岸林もなぎ倒された（写真 6）。さらには、海岸林があった場所が主に引き波によると考えられる浸食によって表土が失われて海になった箇所もあった（写真 7）。

2.2 海岸林の津波被害

海岸林の被害形態・程度は多様であった。津波の到達は広範囲にわたったので、津波の規模、地形条件、それらの影響を受ける引き波の状況、海岸林の規模や林相（樹種、樹高、胸高直径、枝下高、立木密度など）、表土条件、防潮堤などの防災施設が場所によって異なるからである。調査では、樹木の被害形態を幹折れ、根返り、傾きに分けた。

2.2.1 幹折れ・根返り・傾き

「幹折れ」は、文字通り幹が折れたものをいう（写真 8）。幹が折れた場合、折れた幹が根株から分かれていた場合と、樹皮など幹の一部で根株とつながっている場合があった。幹が根株から分かれて根株だけが残っている場合、上部（幹）は流木化したことになる。

「根返り」とは、幹が傾いて根が持ち上がった状態をいう。その程度は、倒伏状態から、根の一部が地表に現れた程度、堆砂層の中で根が持ち上がったものまで、様々であった。

根返りの典型例は、仙台平野の貞山堀の内陸側や福島県の松川浦などの低地で見られた（佐藤ほか，2012；田村ほか，2012）。根返りの発生地が多くが低湿地状になっていたこと（写真 9）と、根返りした個体の多くには垂下根（直根、杭根）の発達が見られず、根が薄い盤状になっていたこと（写真 10）とから、地下水位が高いために根が浅かったと考えられた。そこに津波

を受け、浮力もあって、水流で簡単に押し倒されたと考えられた。地震の揺れによる根の破断、液状化による根の緊縛力の喪失も根返りを助長したと考えられている（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）。なお、根系が盤状になった個体に比べて、垂下根の発達した一定以上の太さの個体が根返りしたり根付きの流木（後述）となったりした事例は少なかった。

「傾き」とは、幹が傾いた状態である。傾いた原因は、根元付近での幹折れであったり、根返りであったりする。根元が津波によって運ばれてきた砂や津波以前からの飛砂で埋まっていたり、折れたのか根返りしたのかが確認できなかった場合が多く、そのような場合に「傾き」とした。なお、根返りと幹折れとの両方が生じている個体もあった。

樹木が、根返りするか幹折れするかは、津波から受けた力に対する幹の強度と根の強度（根返りに対する耐性）との関係で決まる。波力に対して、幹に比べて根が弱ければ根返りを起こし、根の耐性が高ければ幹が折れることになる。垂下根が発達した一定以上の大きさの個体では、地盤が洗掘されない限り、根返りする前に幹が折れると考えられた（写真 11）。

なお、根返り、幹折れは、波力だけで生じたのではなく、漂流物の影響も受けている。たとえば、損壊した防潮堤を構成していたコンクリートブロックなどは、その場に止まるのではなく、内陸側の海岸林内に入り込んだ（写真 3～写真 5）。これらは、海岸林を直撃することになり、樹木は押し倒されたり、傷つけられたりした（写真 12）。漁船などが海岸林をなぎ倒しながら林内に入り込んだ例もあった（写真 13，坂本ほか，2011）。

2.2.2 生存

多くの海岸林や海岸林を構成する樹木が甚大な被害に遭う中で、津波に襲われながらも生存した海岸林もあった。例えば、宮城県石巻市長浜の海岸林である（写真 14）。この海岸林の背後では 4 m 程度浸水し、海岸林周辺では多くの家屋が流失する甚大な被害となったが、海岸林の当初の被害は防潮堤の構成材料などが飛び込んだ前縁部に限定的なものであった。この海岸林が生存した理由として、平均胸高直径が 29 cm*と比較的大径木から構成されていたことに加えて、津波浸水深に比べて枝下高が平均で 13 m と高かったこと

* 林冠形成木（ここでは樹高上位 20 %木）では、36 cm。

が考えられた（写真 15）。すなわち、枝下高が高かったために、津波は幹の間を抜け、樹冠（枝葉層）には津波は当たらず、樹体が受けた波力が幹の耐性に比べて小さく、被害を免れたと考えられた。

ここで改めてどのような樹木が生存したかを考えてみたい。仙台市荒浜地区の例では、胸高直径が大きくなるほど、傾いたり折れたりする個体が減少した（図 1：田村ほか，2011；田村ほか 2012）。これに対して、根返りは、胸高直径が大きくなれば、必ずしも少なくなるというわけではなかった。個体の大きさというより、根系の状態が影響したと考えられる。

2.2.3 枯損（立ち枯れ）

津波に耐えて残った樹木は、そのまま生存できたわけではなかった。被災後 2 週間を経ていない仙台平野の海岸部を訪れたとき、立ち枯れている個体は単木のごく稀に見ることはできたが、まとまって立ち枯れている箇所は目立たなかった。また、傾いた個体も葉は緑であった。しかしながら、2 カ月以上経ってから再び仙台平野を訪れてみると、傾いたほとんどの樹木の葉が褐変してただけでなく、傾いていなかった樹木においても葉が褐変し、衰弱が見られるようになった。

先述の石巻市長浜の海岸林でも、その後、葉を褐変させ衰弱するものが見られるようになった。そのような個体は、根元付近が洗掘されていた場所（写真 16）や、相対的な低みで滞水時間が長かった可能性がある場所にあった。洗掘の原因としては、砂丘が内陸側に向かって傾斜している箇所で流速が上がり洗掘力が強くなったことが考えられた。

これらの衰弱原因は必ずしも明らかになっているわけではない。根の露出や冠水に加えて、樹高の低い個体については、大量に砂を含んだ津波が通過したことによって、幹や葉などに傷が付き、潮風害を受けやすくなったことも考えられる。残存木の衰弱は、各地で確認されているので、海岸林の被災範囲・程度は、津波直後の算定より広く大きくなると考えられる。

3 津波に対する海岸林の機能

このように大きな被害に見舞われた海岸林であるが、各所で津波被害を軽減したと考えられた。

3.1 漂流物の捕捉

海岸林には、津波による漂流物の移動を止める機能がある。船舶や瓦礫などの漂流物が家屋などの保全対象に衝突することを防ぐ機能と、家屋などが漂流物となって津波被害を拡大することを防ぐ機能、家屋などが引き波で海域に流出することを防ぐ機能である。

先に、津波によって運び込まれたコンクリートの塊や船舶などによって、海岸林の津波被害が拡大したと述べたが（写真 12, 写真 13 参照），見方を変えれば，これらは海岸林が漂流物捕捉機能を発揮した結果である。

樹木の間を漂流物が通過することもあるため不確定ではあるが，林帯が倒伏したり流失したりしない限り期待できる機能である。林帯幅が広いほど漂流物が通り抜けにくくなるが，単木であっても，樹木があるとないとは大きな違いがある（Sakamoto *et al.*, 2008）。

3.2 波力の減殺

海岸林は流れ込む水に対する抵抗として働き，その波力を減らし，到達時刻を遅らせる。津波による家屋被害が軽減されることや津波到達時刻を遅らせ避難のための時間が得られることが期待できる。避難時には間一髪で助かることもあるので，ぎりぎりの場面では数秒の差でも重みがある。

これらの機能は，波力が樹木の耐性を上回って海岸林が倒されるまでの間，期待できる。海岸林が倒れた後も，程度は低下するが，それでも流水に対して抵抗として働きつづける。津波の規模が大きくなれば，相対的にその働きは目立たないものとなるが，流木化しない限り波力減殺機能を果たしていると評価したい。

これらは，数値シミュレーションでは明らかな機能であるが，津波被害には複数の要因があるので，現地で明瞭な事例を示すことは難しい（

図 2）。例えば，2004 年インド洋大津波の際にも，海岸林による波力減殺の事例が報告されたが，示されたデータが不十分であるという反論も出されている。反論に対する回答も出されたが，必ずしも十分な回答とはなっていない（坂本・野口，2009）。

今回の津波では，岩手県～福島県に比べれば津波の規模が小さかった青森県で，津波による樹木の傾きが海岸林の途中で止まったことが明瞭に確認できた箇所があり（写真 17），津波が海岸林を通過する中で波力が減殺された

ことを示していると考えられた（佐藤ほか，2011；野口ほか，2012）。

3.3 土地利用の規制

海岸域の一定の範囲を海岸林にすることで，土地利用を規制し，保全対象を危険から遠ざけるはたらきを評価したい。津波に対して海岸林が直接的にはたらくわけではなく，これまでほとんど取り上げられることはなかったが，防災効果は確実に高く，今後は積極的に評価すべきと考えている。

例えば，今回，防潮堤のコンクリート塊が海岸林内に散乱したが（写真 12），そこに建物が建っていたらこれらのコンクリート塊はそれらの建物を直撃したことになる。単に海岸林が漂流物を捕捉したのではなく，そのような危険箇所の土地利用を制限していたことを評価したいのである。

また，石巻市長浜（写真 14）では，海岸林があったことで宅地開発が抑えられ，海岸林がなければ津波被害に遭ったであろう家屋の建築を未然に防いだことに加えて，それら流失家屋が瓦礫となって内陸側に漂流して被害が拡大することを未然に防いだと評価できる（岡田ほか，2011）。

3.4 津波から逃れる手段

津波に対する海岸林のその他の機能には，よじ登り，すがりつき，ソフトランディングといった津波から逃れるためのものがある。すなわち，浸水深より高い樹木に登って津波をやり過ごしたり，津波に襲われた人が流されないように樹木にすがりついたり，津波に流された人がひっかかったりすることができるという機能である。機能というにはいささか原始的ではあるが，2004 年のインド洋大津波の際には，樹木があったことによって多くの命が救われたことは事実である（坂本・野口，2009）。

ただし，気温・水温が低かったために，この機能はインド洋大津波のときほどは効果を発揮できなかったと考えられる。

4 海岸林の復興に向けて

4.1 津波に対する防災施設としての海岸林の特徴

わが国の多くの海岸林は，元々，飛砂害防止のために作られたものが多いが，海岸林には先に述べたような機能があるので，海岸林があるとないとは津波による被害は大きく異なる。しかしながら，平成 20 年 2 月に出された

中央防災会議（2008）の防災基本計画には、山地災害の発生防止や雪崩による災害の防止のために森林造成を図ることが記されていることは対照的に、津波対策の中に海岸林は入っていない。高度な土地利用が進んでいるわが国の場合、津波の浸入を前提とした海岸林を防災施設として積極的に位置づけることができなかつたのだろう。

そんな中、今回の巨大津波は発生した。今回の規模の津波に対応できる防潮堤を造成することは費用の面や景観等に及ぼす副作用の面から現実的ではない。また、防潮堤に頼よることの危険性が広く認識されたので、被災地の復興にあたっては、土地利用のあり方も含めた総合的な防災対策を検討することになるだろう。海岸林も、津波被害軽減機能を担う多面的な空間として、その特徴を認めながら積極的に位置づけられるものと考えられる*。ここでは、海岸林の防災施設としての特徴を、改めて防潮堤と比較しながら考えてみたい。

4.1.1 津波の規模を想定していない

飛砂害防止を目的に作られた海岸林だけでなく、津波による被害を軽減することを目的に作られた海岸林であっても、海岸林は津波の規模を想定して造成されてきたわけではない。海岸林は、防潮堤に比べると自由度が低いために津波の規模を想定することは現実的ではない。

例えば、高さ 5 m の津波を想定した防潮堤は、想定する津波の高さが 8 m になった場合、嵩上げなどで対応することも考えられるが、海岸林の樹高は随意に高くできるわけではない。また、樹高、立木本数密度、胸高直径、枝下高は相互に関係するから、大径木の海岸林を目指すのであれば、樹高成長に合わせて立木本数を減らさなければならない。生育できる樹種も対象地の環境条件に左右されるので、海岸林を造成する場所が決まれば海岸林の姿はある程度限定される。

すなわち、津波の規模を想定して海岸林の姿を変えることは現実的ではなく、想定した津波の規模に合わせて海岸林を作ったことはないと考えられる。津波の規模を想定していないので、「想定外の津波」という表現も海岸林に

* 国の東日本大震災復興対策本部の「東日本大震災からの復興の基本方針」では、復興施策の中の災害に強い地域づくりの中で「沿岸部の復興にあたり防災林も活用する」ことを記している。<http://www.reconstruction.go.jp/topics/110811kaitei.pdf>

は当てはまらない。海岸林は、津波の規模に応じたはたらきをするだけと理解するのがよい。

なお、津波の規模を想定し、それに対して海岸林がどのように機能するかを予測することはある程度可能であり、今後、その精度を高めていくことは必要である。

そして、想定された規模に合わせて海岸林の効果を高めることが求められた場合は、林相を変えることより、林帯幅を広げることで対応するのが確かである。

4.1.2 不確かさ

漂流物阻止機能やよじ登り・すがりつき・ソフトランディングの機能については、少なくない実例があるが、どこまで期待できるかとなると、不確かな部分が多い。漂流物捕捉機能については、仮に津波の規模が同じであっても、どのような漂流物が流れてくるかによって、漂流物が幹の間をすり抜けたり、あるいは漂流物の衝撃で樹木が折れたり倒されたりするからである。よじ登り・すがりつき・ソフトランディングは、個人の資質に負う部分が多く、また運次第の部分も大きい。

4.1.3 不完全さ

防潮堤は津波が防潮堤を越えるまでは海水の侵入を完全に抑えるが、海岸林の場合、浸水深が樹高を超えなくても津波は林帯を通過する。津波が林帯を通過するので、海岸林に背後地の浸水を防ぐ機能を期待することはできない。

4.1.4 時間

海岸林は、すぐに出来上がるわけではない。防潮堤の造成に比べて長い時間を必要とする。生育条件にもよるが、ある程度の機能が期待できる大きさに育つまでに、20年程度はみておきたい。

4.1.5 海岸林の評価

以上のように防潮堤を評価する視点からすると、海岸林は、津波の規模を想定して造成してきたわけではなく、その機能は、不確かで不完全な上、造

成に時間がかかる。これは、海岸林の津波被害軽減機能の仕組みが防潮堤とは大きく異なるからである。防潮堤の機能は、津波が防潮堤を超えないことを前提としている。一方、海岸林は津波が林帯を通り抜けることを前提としている。そのため、津波が防潮堤を越えるとその働きは激減するだけでなく、防潮堤の背後が激しく洗掘されるという、想定していない状況が生じる。これに対して、海岸林は、津波を防ぐのではなく、海岸林の規模に応じてはたらくことで津波の被害を少なくする。また、そのはたらき方も多様である。すなわち、海岸林には、防潮堤とは異なる視点からの評価が必要である。

そして、防災施設としての海岸林を特徴づけるのは、やはり、副作用が少ないことと、多面的な有用性であろう。例えば、飛砂害軽減機能や防風機能、潮害軽減機能、散策の場の提供、白砂青松に代表される景観の提供である。津波に対する防災施設としての役割を持ちながら、そのはたらきを示す機会が訪れるまでの間、日常的に有用な空間としてそこにあることを積極的に評価してよいだろう。

また、年々老朽化することが避けられない防潮堤と比べると、防災施設として長い寿命を期待できる。コンクリート工作物の経年劣化とは対照的に、海岸林はより充実し、何倍も長くはたらくことを期待できる。ただし、マツ林の場合は、マツ材線虫病（松くい虫）対策が前提条件となる。

さらに、防潮堤がその背後の土地利用を積極的に促す危険性を孕んでいることを考えると、前述したように、海岸林が土地利用を規制することの意義は大きい。

4.2 復興に向けて

4.2.1 健全な海岸林の復元

いろいろな海岸林の姿を思い描くことはできるが、現実的に考えると、まずは、原状の海岸林の復元である。地域の復興にあたって不可欠な海岸林の日常的な飛砂防備機能、防風機能を取り戻すための再生である。

飛砂害防止を目的とすれば、飛砂の発生空間である砂地を砂草・樹木で覆うことと、発生した飛砂の落下空間としての樹林地を確保することが重要で、樹林地を維持することが優先される。内陸側への防風機能を目的とするのであれば、内陸側の樹高を確保することが重要となる。機能向上を求めてとくに特殊な林相を求めるものではない。再生する海岸林は、基本的には健全な

樹木で構成されていればよい。

なお、わざわざ「健全な樹木で」と記すのは、わが国の海岸林が必ずしも健全な状態にないからである。わが国の多くの海岸林は、クロマツ、あるいはアカマツから構成され、マツ材線虫病（松くい虫）対策が不可欠であるが、必ずしも十分に対応されているわけではなく、壊滅的に衰退した海岸林も少なくない。また、一般に、海岸マツ林は、植栽時に 10,000 本/ha の密植を行う関係で、植栽木の成長に応じた適切な本数管理が必要であるが、多くの海岸林では本数調整が遅れ、過密化して樹高のわりに直径が細く枝下高が高くなっている。そういう意味で、健全な樹木から構成される海岸林が再生できれば、津波被害軽減機能は強化されると考えてよい。

4.2.2 津波被害軽減機能の向上

海岸林の再生にあたっては、まずは健全な海岸林を取り戻すことであり、それができれば従来に比べて津波被害軽減機能は高くなると考えているが、その上で津波に対する機能を高めるとすれば、次のようなことが考えられる。

波力減災効果を考えると、下層の抵抗性を高めたい。適切な本数調整を行ったとしても、樹高が高くなるとある程度の枝の枯れ上がりは避けられない。その場合、下層に常緑広葉樹を導入することが考えられる。また、枝下高を低く保つために、作業道を適切に配置することで林内に林縁的な光環境を作ることも考えられる。より波力減災効果を高めることを求めるのであれば、繰り返しになるが、林帯幅を広げる必要がある。林帯幅を広げるほど、より規模の大きな津波に対して波力減殺機能を期待できる。言い換えれば、必要となる林帯幅は、想定される津波の規模、期待する減殺効果によって異なる。

漂流物捕捉効果を高めるためには、漂流物の衝突に耐えられるように大径木に仕立てることが考えられる。必ずしも、林帯全体を大径木化する必要はなく、保全対象に近い陸側部分だけでも大径木化することは有効と考えられる。また、捕捉効果を期待する樹木は、樹体が受ける波力を増大させるおそれがあるので、必要以上に枝を低く保つ必要はない。

海岸林を津波に対する防災施設と考えた場合、被害を拡大するおそれのある流木化は避けたい。理想的には、津波に耐えられなくなった樹木は幹折れや根返りで流木化するのではなく、幹折れしても根株と分かれずに、あるいは、根返りしても根が抜けたり切れたりせずにその場に倒伏することが望ま

しい。そうすることで津波から受ける力が大きく低下し、その場に留まりやすくなるからである。しかしながら、どのように樹木を仕立てればそうできるかの知見は不十分である。また、より具体的な海岸林の林相と波力減殺機能との関係についての知見も、それに基づいて林相を変えるほどの実用レベルには達していない。従って、少なくとも現時点では、基本的には健全な海岸林を仕立てること、今ある海岸林を健全に維持することを優先させるのが現実的な対応であると考えられる。

あえて申せば、現状では、波力を受けにくいように枝下を高め管理することがひとつの方法として考えられる。より確実なのは、流木が発生した場合に、林帯内で捕捉できるように、林帯幅を確保することである。十分な林帯幅が確保できない場合には、保全対象の手前に、流木を止めるための別の新たな林帯を確保することも有効である。

以上のように、津波被害軽減機能を考えると、枝下高を低く保ちたい場合と、そうでない場合がある。これを単木で満たそうとすると矛盾するが、林分として満たすことができればよい。また、流木化を避けるには垂下根を発達させることがよく、地下水位が高い場所に林帯を造成する場合は、盛土が必要になる。

5 おわりに

海岸林の再生・復興にあたっては、原状回復は最低限のなすべきことと考えるが、単に再造成するだけではなく、これまで海岸林が抱えていた課題を解消する機会にしたい。すなわち、適切な本数調整を行うことで健全な林相を作り上げること、マツ材線虫病対策を適切に行うことなどを期待したい。そのためには作業道の整備は不可欠で、被害木の処理の段階から再生・復興する海岸林の姿をイメージして進めることができると考える。また、津波対策として海岸林を積極的に位置づけていくために、海岸林の津波被害軽減機能をより定量的に評価するための研究を進めていきたい。

文献

- 中央防災会議 2008. 防災基本計画, 399pp.
http://www.bousai.go.jp/keikaku/090218_basic_plan.pdf (2011年11月28日確認)
- 独立行政法人森林総合研究所 (2011) 林野庁平成23年度震災復旧対策緊急調査「海岸防災林による津波被害軽減効果検討調査」報告書. 58pp
- 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. 80pp
- 野口宏典・佐藤創・阿部友幸・鳥田宏行・真坂一彦・木村公樹・鈴木覚・宮前崇・落合博貴・坂本知己 (2012) 数値実験による海岸林の津波氾濫流減衰機能の検討ー水路実験によるクロマツ抵抗特性と被災地の林分・地形条件を用いてー. 日本森林学会大会学術講演集, 123, D06-
- 岡田穰・野口宏典・岡野通明・坂本知己 (2011) 平成23年東北地方太平洋沖地震津波における海岸林と家屋破損程度との関わりー石巻市長浜の事例ー. 平成23年度日本海岸林学会石巻大会講演要旨集, 1-2
- Sakamoto, T., Inoue, S., Okada, M., Yanagihara, A., Harada, K., Hayashida, M. and Nakashima, Y. (2008) The collision mitigation function of coconut palm trees against marine debris transported by tsunami - A case study of Tangalla on the southern Sri Lanka coast -. *Journal of the Japanese Society of Coastal Forest*, 7(2), 1-6
- 坂本知己・野口宏典 (2009) 津波防災に海岸林を活用するために. 第21回海洋工学シンポジウム OES21-137 (CD-ROM)
- 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 (2011) 平成23年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機能ー八戸市市川町の事例ー. 平成23年度日本海岸林学会石巻大会講演要旨集
- 坂本知己 (2012) 津波による海岸林の被害と復興. 環境の保全と修復に貢献する農学研究 (シリーズ21世紀の農学), 日本農学会編, 養賢堂, 119-140
- 佐藤亜貴夫・田中三郎・大野亮一・井口英道・坂本知己 (2012) 津波による海岸林被害と植生基盤盛土との関係. 日本森林学会大会学術講演集, 123, D09-
- 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 (2011) 東北太平洋沖地震津波によるクロマツ海岸林の被害ー三沢市織笠の事例ー. 平成23年度日本海岸林学会石巻大会講演要旨集, 7-8

田村浩喜・金子智紀・加賀正博・村上雅美・坂本知己（2011）仙台市荒浜海岸林の
津波被害．平成 23 年度日本海岸林学会石巻大会講演要旨集，9-10

田村浩喜・金子智紀・加賀正博・村上雅美・野口正二・坂本知己（2012）仙台平野
における東北太平洋沖地震津波による海岸林被害－仙台市若林区荒浜周辺の被害
状況と土壌水分－．日本森林学会大会学術講演集，123，D07-

図（写真）表一覧

写真 1 海岸林が壊滅した例 1（岩手県田野畑村明戸）

写真 2 かつての明戸海岸林の様子

写真 3 海岸林が壊滅した例 2（岩手県野田村十府ヶ浦）

写真 4 防潮堤の背後の洗掘 1（宮城県岩沼市）

写真 5 防潮堤の背後の洗掘 2（宮城県岩沼市）

写真 6 なぎ倒されたように傾いた海岸林（仙台市）

写真 7 陸地の消失（仙台市）

写真 8 幹折れ（岩手県陸前高田市）

写真 9 根返り

写真 10 根返り木（流木）の根系

写真 11 幹折れした個体の根系（岩手県陸前高田市）

写真 12 林内に散乱するコンクリートブロック（宮城県名取市）

写真 13 海岸林に流入し捕捉された漂流物（青森県八戸市：八戸市森林組合提供）

写真 14 生存した海岸林の例（宮城県石巻市：朝日航洋株式会社提供）

写真 15 浸水深に比べて高い枝下高

写真 16 林内に生じた洗掘

写真 17 傾きが途中で止まった海岸林（青森県三沢市）

図 1 胸高直径と樹冠浸水深の関係（仙台市荒浜地区の例）

図 2 津波被害を決めるもの