東北地方太平洋沖地震津波における海岸林の破壊状況と防潮機能の実証 一三陸北部沿岸地域—

星 野 大 介^{1.*.†}・坂 本 知 己² ¹独立行政法人森林総合研究所東北支所・²独立行政法人森林総合研究所

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震津波に対する海岸林の防潮機能を検 証するため,星野(2012)は海岸林が存在する岩手県の沿岸 集落14箇所で被災1ヶ月後の現地踏査をおこなった。その 結果,全ての海岸林が津波によって全壊~半壊されたものの, 海抜T.P.(東京湾平均海面)+10m以下の低地集落のうち2 箇所では,海岸林が存在したことで津波の流勢が緩和され, 津波被害が軽減された可能性があることを報告した。こうし た津波被害が軽微な低地集落の特徴とは,海岸線と保全対象 の間に水平距離にして約1,000m以上の広い土地が存在し, その広い土地の中に林帯幅1,000m前後の海岸林が,防潮堤 ほか複数の防災施設とともに存在していることであった。一 方で,海岸線と保全対象の間の距離がより短く,また海岸林 の林帯幅がより狭かった全ての低地集落では,全壊~半壊の 津波被害を受けていた。

平成25年3月28~29日の森林立地学会現地研究会では, これら14箇所のうち,代表的な3箇所と,青森県1箇所の 被災海岸林を訪れた(表-1)。東北地方太平洋沖地震の津波規 模に対して,海岸林の林帯幅が狭かったために低地集落に全 壊被害が出たと考えられる岩手県宮古市田老,海岸林の林帯 幅が厚かったために低地集落の津波被害が軽微であったと考 えられる岩手県田野畑村明戸,普代村普代浜,青森県八戸市 市川である。本稿は,これら三陸北部沿岸地域の4箇所に おける,東北地方太平洋沖地震津波による海岸林の破壊状況 と防潮機能の発揮を,被災当時の写真を用いて解説すること を目的とする。

2. 岩手県宮古市田老町の田老海岸林

田老町は著名な全長1,350 m, 高さ(天端高) T.P. + 10 mのX 字型の防潮堤が配置されていたところで,図-1にはその南半 分の,中央部に海側防潮堤,左側に内陸側防潮堤が,逆V字 型として示されている。海岸林は,全長730 m,林帯幅40~ 120 mという細長い林帯で構成され,海側防潮堤の後背地に 配置されていた。種組成は,流木や生残木からクロマツが主 体であったと考えられるが,部分的にスギ林分やアカマツー 広葉樹の混交林分もあった。海岸林の後背地に海側集落(T. P. + 3 m以上),内陸側防潮堤の後背地に内陸側集落(T.P. + 3 m以上)があり,海岸線からの距離はそれぞれ380 m, 600 mであった。

田老町の海岸に襲来した津波は、海岸線付近で遡上高T.P. + 20mに達した(東北地方太平洋沖地震津波合同調査グルー プ, 2012)。海側防潮堤を破壊することなしに越流した津波 は、海岸林の大部分を破壊し、海岸林の前縁部分を洗掘した (図-2, 3)。津波は海岸林の背後の海側集落を全壊させ、さ らに進んで内陸側防潮堤をも越流し、内陸側集落を全〜半壊 させた。

津波被災26日後,破壊された海岸林跡地のほとんどがガ レキ置き場になっていた(図-3手前)。河川堤防沿いには一部 の林分が生残していた(図-3中央)。この生残林分の海側(左 側)はクロマツ,内陸側(右側)がスギで構成されており,津 波浸水1ヶ月後の時点で両者の樹冠は緑色を呈し,生存し ていた。津波浸水4ヶ月後,クロマツは樹冠の一部に赤い 変色が認められるものの生存していた(図-4)。一方,全ての

撮影地	所在地	緯度	経度
田老 明戸 普代浜 市川	岩手県宮古市 岩手県田野畑村 岩手県普代村 青森県八戸市	39° 43'51.92″N 39° 56'47.02″N 40° 0'49.97″N 40° 35'06.48″N	141° 58'9.59″E 141° 56'21.40″E 141° 53'52.39″E 141° 28'19.28″E

表-1. 撮影箇所

Daisuke Hoshino and Tomoki Sakamoto: Coastal forest damage and tide prevention function following the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami-North Sanriku coast area-

* 連絡・別刷請求先(Corresponding Author):〒305-8686 茨城県つくば市大わし1-1:1-1 Ohwashi, Tsukuba, Ibaraki, 305-8686, Japan E-mail:dhoshi@affrc.go.jp

† 現所属:国際農林水産業研究センター: Present Address: Japan International Research Center for Agricultural Sciences

1 Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

2 Forestry and Forest Products Research Institute

(214年1月17日受付, 2014年2月22日受理)



図-1. 津波前の田老海岸林(2009年7月22日, ©2014 DigitalGlobe, Google Earth提供) 右から港湾,海側防潮堤,海岸林,海側集落,田畑,内陸側防潮堤,内陸側集落および市街。黄線は 防潮堤,赤線は海岸林,白線は集落,青線は河川堤防,紫線は線路築堤を示す(以下,同様)。



図-2. 津波後の田老海岸林(2011年3月24日, ©2014 DigitalGlobe, Google Earth提供) 海岸林跡地に防潮堤を越流した津波による洗掘池が生じている。数字は各写真の撮影箇所を示す(以 下,同様)。



図-3. 津波浸水1ヶ月後の海岸林跡地(2011年4月6日) 左が海方向。海岸林跡地には海砂が堆積し,根の痕跡さえ見えなかった。



図-4. 津波浸水4ヶ月後の海岸林跡地(2011年7月10日)



図-5. 内陸側防潮堤を越えたと考えられる流木(2011年4月6 日)

スギは樹冠が褐変して死亡していた。

内陸側防潮堤の後背地に位置した内陸側集落では、海岸林 由来と考えられる流木が津波とともに防潮堤を越えて襲来し、 木造家屋の壁に穴を開けるなどの被害を及ぼしたことを住民 から聞いた。そして実際にその集落付近でそれら流木のもの と考えられる幹が積まれていた(図-5)。流木の多くは、クロ マツの根元折れ木や幹折れ木とみられ、幹表面には衝突痕と 思われる傷が多数,認められた(図-6)。

3. 岩手県田野畑村の明戸海岸林

図-6. 流木の折れ部分や幹表面の状態(2011年4月6日)

津波襲来前の田野畑村明戸地区における、海岸線に最も近 い集落の海抜はT.P. + 10mであり、集落と海岸線の間は 1,080m離れていて、広い土地が存在していた(図-7)。その 広い土地には、クロマツを主体とした海岸林、ケヤキなどの 広葉樹やアカマツで構成された公園林、スギや広葉樹で構成 された屋敷林が広がっていた(図-9)。これらの森林帯の全長



図-7. 津波前の明戸地区(2009年7 月20日, ©2014 DigitalGlobe, Google Earth提供) 右から海浜, 防潮堤, 海岸林, 公園林, 公園建造物,屋敷林,集落。



図-8. 津波後の明戸地区(2011年4 月5日, Google Earth提供) 公園林の半ばまで樹木は流出し, 津波 で運ばれた灰白色の海砂が見える。



図-9. 津波前の海岸林(1984年3月15日,森林総研気象害・防災林研究室提供) 27年前の写真である。左が海方向。防潮堤の背後に林帯幅の厚い海岸林が配置されていた。



図−10. 全壊した海岸林(2011年5月19日)

図-9とほぼ同じアングルから撮影。左が海方向。防潮堤が破壊され、海岸林が消失した。



図−11. 海岸線に津波が襲来した様子(2011年3月11日, ひらいが海荘提供) 右が海方向。第一波とみられる。



図-12. 被災翌日の海岸林(2011年3月12日,ひらいが海荘提 供) 右が海方向。



図-13. 海岸林の跡地(2011年4月6日) 左奥が海方向。マツは幹無しの根元折れや、根ごと流出していた。



図-14. 半壊した公園林(2011年4月1日,田野畑森林組合提供) 右が海方向。



図-15. 漂流物の捕捉(2011年4月1日,田野畑森林組合提供) 右が海方向。公園林のアカマツ疎林が流木やガレキを捕捉している。



図-16. 明戸の堰状堆積物(2011年4月10日) 右が海方向。この山のような流木やガレキは、人為でなく、津波に よって運ばれてきた。公園林のたった3本の広葉樹が、捕捉したも のと考えられる。



図−17. 屋敷林スギ並木前の堆積物(2011年4月4日,田野畑森 林組合提供) 右が海方向。集落直前のスギ並木の根元に流木が堆積している。

は最大280mと短いが,林帯幅の平均値は1,040mに達していた。また海岸線付近には,天端高T.P. + 9mの防潮堤が配置されていた。

海岸線付近における津波の遡上高は23mであった(東北地 方太平洋沖地震津波合同調査グループ,2012)(図-11)。防潮 堤は越流というより完全に水没して,半壊した(図-8,10)。 海側海岸林は全壊し,根元折れと,根系さえも認められない 流失によって,立木が消失していた(図-10,12,13)。一方, 内陸側の公園林は半壊に留まった(図-14)。さらに内陸側に 位置した屋敷林は,ほとんど破壊されず,集落の被害は床上 浸水に留まった。

内陸側の公園林や屋敷林の残存した立木の根元に,海岸林 や公園林由来とみられる流木や,公園内の建造物等の残骸の 漂流物が堆積した(図-15, 16, 17, 18)。公園林の広葉樹立 木3本は,多数の流木や漂流物を捕捉し,最終的に地上高 3m,全長12mの堰状の堆積物を根元の海側に形成させた (図-16)。この堰状堆積物は長方形を呈しており,長辺が海 岸線に対して平行に堆積していた。津波がぶつかる際に,そ の流勢を弱めた可能性がある。広葉樹の海側に堆積していた ことから,寄せ波で形成されたものとみられる。引き波に よって崩れなかったのは,より低い明戸川がそばにあったの で,引き波が川に逸れて行ったためかもしれない。



図-18. 屋敷林の広葉樹林前の堆積物(2011年4月13日,田野畑 森林組合提供)

右が海方向。林縁部分で電信柱や丸太、流木を堰止めている。

4. 岩手県普代村の普代浜海岸林

普代村普代地区は津波被害を防ぐため,明治三陸津波 (1896年)の後,沿岸に近かった集落をより内陸側の現在位 置に移転させた経緯がある。そのため,海岸線と集落の間の



図-19. 津波前の普代浜海岸林 (2010年6月17日, ©2014 Digital-Globe, Google Earth提供) 右から海浜,海側海岸林,防潮堤水門, 内陸側海岸林,集落,線路築堤,再び 防潮堤。



図-20. 津波後の普代浜海岸林
(2011年4月5日, Google Earth提供)
防潮堤水門を境に攪乱程度が異なって見える。



図-21. 津波前の海側海岸林(1984年3月15日,森林総研気象 害・防災林研究室提供) 27年前の写真である。奥が海方向。両岸に海岸林が配置されていた。



図-22. 全壊した海側海岸林(2011年4月16日) 図-21とほぼ同じアングルから撮影。奥が海方向。両岸の海岸林は消失した。



図-23. 破壊された海側海岸林中央部の様子(2011年5月25日) 手前が海方向。マツは幹無しの根元折れ,または根ごと流出していた。

距離は1,250mもあり、広い土地が設けられていた(図-19)。 この広い土地には最大全長250m,平均林帯幅1,010mの厚い 海岸林が配置され、クロマツとアカマツが混植されていた (図-19,21)。さらに1984年に、海岸林中央付近に天端高T. P. + 15.5mの防潮堤水門が建設された。ここで海岸林を、こ の防潮堤水門を挟んだ海側を海側海岸林、内陸側を内陸側海 岸林と呼称する。海岸線に最も近い集落の海抜はT.P. + 5m



図-24. 破壊された海側海岸林の左岸山腹斜面の様子(2011年5 月25日) 多くの幹付き根元折れ木は, 梢端を海方向に向けて倒れていた。

であった。

津波は, 普代浜の海側海岸林を全壊させた(図-20, 22)。 海側海岸林におけるマツの被害は, 中央部付近で, 根元折れ や流失であった(図-23)。一方, 両岸の山腹付近では, 根返 りや根元折れが認められ, それらの梢端は海に向かっていた



図-25. 破壊され た海側の右岸山腹 斜面の様子(2011 年5月24日) スギ人工林が破壊 された。多くの根 返り木の梢端は、 左奥の海方向を向 いていた。



図-26. 破壊された内陸海岸林の俯瞰 (2011年4月5日, Google Earth提供) 破壊後の林縁部に流木やガレキの堆積物 がみえる。



図-27. 半壊した 内陸側海岸林と洗 掘池(左,中央), 普代川(右)(2011 年5月25日) 手前の海側から集 落方向を望む。

() 25)₀

防潮堤水門位置における津波遡上高はT.P. + 23 mに達し た(東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ,2012)。津 波は防潮堤水門の堤体を破壊することなく内陸側へ越流し, 水門の取り付け道路を破壊し,後背部に洗掘池を生じさせた (図-26~28)。越流した津波は内陸側海岸林を破壊した(図-26~31)。防潮堤水門から内陸側に230 m離れた右岸海岸林 では,未破壊部分の複数の立木が,根元に多数の流木とガレ キを捕捉して,堰状の堆積物を形成させていた(図-29)。左 岸の林床でも立木の根元に,流木やガレキの堆積が認められた(図-30,31)。これらの結果,防潮堤を越流した津波や漂 流物は集落に到達することはなかった。

植栽されていたクロマツとアカマツの耐塩水性は異なって いた。津波浸水1ヶ月後の時点で、クロマツ、アカマツの 立木の樹冠は緑色を呈して生存していた(図-32)。津波浸水 14ヶ月後、多くのアカマツは落葉し死亡した一方で、多く のクロマツは樹冠が緑色で生存していた(図-33)。



図-28. 破壊された内陸側右岸海岸林(2011年4月16日) 右奥が海方向。



図-29. 普代浜の堰状堆積物(2011年4月16日) 右が海方向。破壊された内陸側右岸海岸林の林縁部の根元に,大量の流木やガレキが堰状に堆積した。



図-30. 破壊された内陸側左岸海岸林(2011年4月16日) 左が海方向,林床に洗掘池や根返り木が見える。



図−31. 内陸側左岸海岸林の状況(2011年4月16日) 手前が海方向。生残木表面に衝突痕と思われる傷,根元には流木や ガレキが堆積する。



図-32. 津波浸水1ヶ月後のマツ樹冠の様子 (2011年4月16日)



図−33. 津波浸水14ヶ月後のマツ樹冠の様子(2012年5月22日) 左のアカマツは死亡,右のクロマツは生存。

5. 青森県八戸市市川町の市川海岸林(別名:北地区海浜 緑地)

青森県八戸市市川町には,奥入瀬川の南側に五戸川を挟ん で延長約3kmの海岸林がある(図-34)(坂本ら,2012)。林帯 幅は,広いところで,五戸川の左岸側(北側)が100m,右岸 側(南側)が350m程度である。これらの海岸林は,若江 (1961)によれば,昭和8年(1933年)の津波の際に海岸林の 津波被害軽減効果が認識されたことから国の補助事業として 潮害防備林が造成されたところとされている。そのうち今回 の対象地は,五戸川の右岸側の市川町で市川船溜の近くであ る。

調査対象箇所の海岸林の林帯幅は150~300 mであるが, 林帯幅の広い部分で公園利用がなされており,実際の林帯部 分は約215 mであった。立木密度は,海側で7,400本/ha,陸 側で2,400本/ha,中間部分で2,300本/haであった。林冠高(こ こでは樹高上位20%の平均値)は海側で6.2 m,内陸側で18.2 m,中間部分で16.8 mであった。なお,海側の林縁木だけの 平均樹高は3.8 mであった。平均胸高直径は,海側で8.1 cm, 陸側で15.2 cm,中間部分で16.2 cmであった。

津波は、T.P. + 8 mの防潮堤と浚渫残土の盛り土との間、 約200 mの部分(防潮堤高:T.P. + 3.8 m)から浸入したと考え られた。その際、市川船溜にあった船舶や埋め立て地の資材 などが海岸林に流れ込んだ(図-35,36)。海岸林に押し寄せ た津波の高さは、T.P. + 7~8 m(地上4m)程度,海岸林を 通過した津波の浸水高は、T.P. + 7.0 m(地上3~4m)程度と 推定された。津波は、林帯後方350 m地点にある道路(T.P. + 6.3 m)まで遡上した。これは、1960年5月のチリ津波の際 の浸水範囲を160~170 m超えるもので、T.P. + 2 m以上高い 位置まで到達したことになる。

海岸林に流れ込んだ漂流物は樹木をなぎ倒したが(図-37~ 39),なぎ倒された部分が陸側林縁まで抜けるにはいたらず, 林帯の陸側部分が残ったことによって船舶等の大型の漂流物 は林帯内で止まった。Google Earthの画像(画像取得日: 2011年4月5日)をみると,林帯がなぎ倒された範囲の端の 部分に,漁船などの船舶が入り込んでいることが確認でき



図-34. 市川海岸林における調査対象箇所(2011年4月5日, ©2014 TerraMetrics, Google Earth提供)



図-35. 海岸林に流入した漁船(2011年3月14日,八戸市森林組 合提供) 右が海方向。



図-36. 海岸林に流入した漂流 物(2011年3月14日,青森県農 林水産部提供)

手前が海方向。津波によって漁船 だけでなく鋼管などいろいろなも のが漂流したが、海岸林はそれら を捕捉し、背後の住宅地に突っ込 むことを防いだ。右端の漁船は、 図-35と同じもの。



図-37. なぎ倒された海岸林 1 (2011年5月18日) 右が海方向。



図-38. なぎ倒された海岸林 2 (2011年5月17日) 手前が海方向。



図-39. なぎ倒された海岸林 3 (2011年5月12日) 手前が海方向。

た¹(図-40)。また、樹木の倒伏方向は海側の林縁付近から放 射状に一定方向を向いており、引き波の影響は少なかったと 推定された。なお、被害箇所の樹木は、残存箇所と比べてと くに細いわけではなく、立木密度も低くはなかった。

津波によるまとまった表土の洗掘は,海岸林の120 mほど 海側にあった建物の角の他, T.P. + 8 m防潮堤の南側の林縁 付近の二箇所で見られたが,全体的には堆砂が生じた(図-41, 42:小野ら, 2014)。

林帯の背後の住宅(T.P. + 3.6 m)は、地上3.3 m(T.P. + 6.9 m)まで浸水したが、流失する家屋はなかった(図-43)。

以上のことから,対象地の海岸林は,漂流物の住宅地への 流入を防ぎ,波力を減殺して住宅の流失を防いだと考えられ た(坂本ら, 2012)。

なお、海岸林のクロマツが折れたり傾いたりした原因は、 1)海側の林縁部をのぞき、津波の浸水深は林内のクロマツ の枝下高まで到達していなかったこと。2)林床には表土浸 食が生じておらず、堆砂のみが認められたこと。3)なぎ倒 されたクロマツの端に、船舶など漂流物が止まっていたこと。 以上の3点から、津波の波力よりもむしろ、船舶など漂流 物による衝撃によるところが大きいのではないかと考えられ た。



図−40. 海岸林による漂流船舶等の捕捉箇所(2011年4月5日,
©2014 TerraMetrics, Google Earth提供)
黄色の円形は漂流した船舶等を,数値は海側の林縁からの距離を示す。

青森県の調べでは、海岸林には3トン級の漁船が10隻、ボート(船 外機を付けるタイプ)が10隻、作業船が2隻入り込んだ。



図-41. なぎ倒された海岸林と海側の洗掘(2011年5月17日) 左手前が海方向。



図-42. 津波による堆砂(海岸林の陸側)(2011年5月17日) 左が海方向。



図-43. 海岸林背後の住宅(2011年5月17日,青森県農林水産部提供) 奥が海方向。一階の窓の上に浸水した痕跡が見られる。

6. まとめ

被災当時の記録画像(絵画,写真)は,現場の視覚的証拠や イメージを,われわれに与えることができる。たとえば,ま だ写真機が一般に普及していなかった明治時代の頃の風俗挿 絵には,子供が樹木にすがりつくことで明治三陸津波から助 かった状況が示されている(山下,1984)。南海地震津波(四 手井・渡辺,1948),チリ沖地震津波(和泉ら,1961;中野 ら,1962),伊勢湾台風の高潮(仰木ら,1961)における報 告・論文の巻頭・巻末には,海岸林の破壊状況を示す多数の 写真が掲載され,また海岸林が船舶や筏など漂流物の移動を 阻止した様子,跳波による家屋の破壊を防止した様子を示し た写真が掲載されていた。本報告でも見てきたように, 2011年東北地方太平洋沖地震津波においても,三陸北部沿 岸地域4箇所の海岸林の破壊状況の写真は,海岸林の防潮 機能を検証するために,非常に有効であるものと考えられた。

海岸林に期待される防潮機能とは、1)漂流物の移動阻止 機能、2)流速の低下と破壊力減少機能、3)跳波による破壊 防止機能、4)すがりつきの対象となる機能、5)砂丘の移動 阻止機能を指す(石川、1992)。今回の津波の現地踏査や記録 写真から、海岸林や公園林、屋敷林の未破壊部分の林縁部に、 流木やガレキなど漂流物が堆積し、捕捉されている様子を確 認することができた。とくに海岸林の防潮機能のひとつ、漂 流物の移動阻止機能は、東北地方太平洋沖地震の巨大津波に 対しても有効に働いていたものと考えられた。さらに、海岸 林の未破壊部分の林縁部では、捕捉された漂流物が大量に集 積し、堰状堆積物が形成されることが確認された。こうした 堰状堆積物は津波の流れに直交するように形成されることで、 押し寄せる津波の流速低下と破壊力減少に貢献していたもの と推測する。

上述の様子はいずれも,防潮堤の後背地に配置された海岸 林の,とくに半壊された林縁部分で観察された(明戸, 普代 浜,市川)。巨大津波が防潮堤を破壊あるいは越流した場合, 防潮堤の後背地の海岸林が,越流津波から保全対象の集落を 守ったものと推測できる(星野, 2012;坂本ら, 2012)。し たがって,万が一の巨大津波の襲来に備えて,防潮堤の後背 地に海岸林を配置しておくことは,沿岸集落の津波防災に不 可欠であると考えられる。

海岸林は破壊されることで流木を生じさせる。田老では, 海岸林由来の流木が津波とともに内陸側集落に押し寄せ,家 屋の壁を破壊したことを見聞した。田老の海岸林は,林帯幅 が狭く,また,これら漂流物を捕捉すべきであろう第2の 海岸林が,第1海岸林と被災した内陸側集落の間に存在し ていなかった。こうした被害を最小限にするためには,明戸 の公園林や屋敷林, 普代の内陸側海岸林のような第2海岸 林を,保全対象(集落など)の前面や側方に配置しておくこと が必要である。

海岸林の破壊状況は、立地によって様々であった。普代浜 の海側海岸林の両岸の倒伏木は海方向を向いており、最終的 に引き波に引きずられたものと考えられた。一方、市川海岸 林の倒伏木は内陸方向を向いていたので、引き波に樹木を動 かすほどの波力が無かったものと考えられた。このような倒 伏木の方向は、津波による立木の破壊の原因となった波の進 行方向と必ずしも一致するわけではない。立木の破壊原因と なった波の進行方向は、幹の折れ口の形状から判断されるべ きものである。とはいえ、実際の折れ口は多方向にねじ曲 がっているケースも見られ、そういった場合、津波による立 木の破壊は複数回の、複数方向の津波によって生じているも のと推定できる。

被災から時間が経過するに従って、樹種によって、耐塩水

性が大きく異なることが認められた。スギやアカマツは、ク ロマツよりも塩水に弱く、死亡しやすいものと推定された。 当地域の津波の歴史から、今回の地震津波ほどでないにせよ、 より小規模な津波が今後とも再来する可能性は高い。防潮機 能を継続的に維持するためにも、今後の海岸林の再生には耐 塩水性の強いクロマツが植栽されることが重要であると考え られた。

4. おわりに

今回収録した被災直後の写真の半分は、現地の被災された 方々、現地の復旧にあたられた方々から提供されている。実 際、海岸林による防潮機能を検証するための現地調査、現地 踏査を研究者が行うことは、被災直後はもとより被災から数 ヶ月間は、様々な事情で非常な困難が伴う。現地の方々によ る写真や情報が、記録画像を残すために非常に重要であるこ とを強調しておきたい。

謝 辞

写真を提供してくださった,田野畑村ひらいが海荘,田野畑村森林組合,青森県農林水産部,八戸市森林組合,市川漁 業協同組合の皆さまに深く感謝を申し上げます。津波データ を提供してくださった東北地方太平洋沖地震津波合同調査グ ループ,フェアユースに則り画像を活用させて頂いたGoogle社に御礼を申し上げます。

引用文献

- 星野大介 (2012) 東北地方太平洋沖地震津波による岩手県沿岸の 海岸林と集落の被害状況.日本森林学会誌94:243-246.
- 石川政幸 (1992) 防潮. (日本の海岸林―多面的な環境機能とその 活用―, 村井宏ら編, 513pp, ソフトサイエンス社, 東京). 284-300.
- 和泉健・安部倫次・山内尚・土井恭 (1961) チリ地震津波による 防潮林効果に関する観察. 41pp, 宮城県立農業試験場, 佐々 君治山報恩会, 仙台.
- 中野秀章・高橋啓二・高橋敏男・森沢萬佐男 (1962) 岩手・宮城 両県下防潮林のチリ沖地震津波時における実態・効果と今後 のあり方.林業試験場研究報告140:1-88.
- 仰木重蔵・坂口勝美・中野秀章・樫山徳治・岩川幹夫・藍野祐久 (1961)伊勢湾台風下における三重・愛知両県下の海岸防災林 の効果と森林の潮風害に関する調査報告.林業試験場研究報 告127:1-60.
- 小野賢二・中村克典・平井敬三 (2014) 東北地方太平洋沖地震に 伴う大津波が海岸林土壌にもたらした影響.森林立地56: 37-48.
- 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―青森県八戸市市川町の事例―. 海岸林学会誌11:65-70.
- 四手井綱英・渡辺隆司 (1948) 昭和21年南海地震に於ける和歌山 県防潮林効果調査. 林業試験集報57:97-133.
- 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(http://www.coastal. jp/ttjt/)による速報値(2012年12月29日閲覧).
- 若江則忠 (1961) 日本の海岸林. 192pp, 地球出版, 東京.
- 山下文男 (1984) 写真記録 近代日本津波誌. 238pp, 青磁社, 東京.