

東日本大震災の津波で被災した海岸林における地理空間情報を用いた被災前後の状況の実態把握と地理的要因の考察

今井勇雄^{1*}・後藤忍¹

Investigation on Damage Cause of Coastal Forest before and after Tsunami of the Great East Japan Earthquake Using Geospatial Information

Isao Imai^{1*} and Shinobu Goto¹

Abstract: This research aims to analyze the damage of coastal forests in the Pacific coast of the Tohoku region (Ofunato city in Iwate prefecture, Natori city in Miyagi prefecture and Minamisoma city in Fukushima prefecture) affected by tsunami of the Great East Japan Earthquake occurred on March 11, 2011. In order to clarify the actual situation of coastal forests, literature survey and interview survey were conducted. Furthermore, by using the geospatial information, we verified the geographical factors of disaster, such as forest conditions and topography, forest position from shoreline, the relationship between the tide breakwater and the tsunami inundation and the forest damage by the tsunami. As a result, it was revealed that topographical situations greatly influenced the tsunami flooding, and structures such as the tide wall could affect on suppression of flood expansion and damage to the forest. On the other hand, it was found that undulations such as the embankment along the coast were able to have an adverse effect on the drainage after the flood. In the future, it is considered that utilization of aerial photographs and foundation map information will be effective for visualizing and clarifying the actual situation of wide area affected by a disaster.

1 はじめに

2011年3月11日の東日本大震災の津波における東北地方太平洋沿岸の被害調査では、海岸林による津波エネルギーの減衰と漂流物の捕捉の被害軽減が確認されたことから、その必要性が注目されている。海岸林の津波被災に関する研究では、防潮堤の有無による若齢クロマツ林の被害の相異(山中ら, 2012)と海岸林の津波被害の状況と地形や地盤高との関係(山中ら, 2013)、さらに海岸林被害と残土盛土による海岸林の被害軽減効果(寺本ら, 2012)等が報告されている。

また、広範囲の被災状況を効果的に把握するため、地理空間情報を活用した研究も行われており、衛星画像を用いて浸水範囲を把握した研究(鎌形ら, 2011)やNDVIによる被害度の変化を分析した研究(越智・野々口, 2012)、空中写真・衛星画像を用いて汀線および後背地の土地被覆の変化量を分析した研究(壺岐ら, 2016)、高分解能衛星の観測画像を用いて倒木状況や浸水状況を分析した研究(羽柴ら, 2015)などがある。しかし、被災範囲が広域なため、地理空間情報を用いた要因の考察が行われていない地域もある。また、地形や地盤高について断面図を作成して、空中写真から得られる情報と組み合わせることで海岸林被災の地理的要因を考察した研究は、管見の限り見られない。

本研究は、東北地方太平洋沿岸で被災した海岸林を対象に、既存の調査結果から津波被災の状況を把握し

た上で、地理空間情報を活用することにより、被災状況における地理的要因を把握することを目的とする。

具体的には、林況や地形の変化、汀線からの位置、防潮堤の状況と津波浸水の範囲を把握し、津波による海岸林の影響を考察する。

2 調査地および調査・分析方法

2.1 調査地の概要

調査地は、海岸林の被害箇所・被害額・被害面積のワースト3県(岩手県・宮城県・福島県)から選定した。

地形の違いおよび隣接した地域における津波の影響を比較するために、先行研究で詳細な分析が未実施の地域のうち、資料収集と聞き取り調査および地理空間情報が取得可能な地域を選定した。また、調査地の緯度と経度は、岩手県大船渡市三陸町越喜来泊(北緯39度6分33秒, 東経141度48分35秒付近)、宮城県名取市関上北釜(北緯38度8分30秒, 東経140度56分31秒付近)、福島県南相馬市鹿島区北海老(北緯37度43分16秒, 東経141度0分38秒付近)である。

2.2 津波で被災した海岸林の過去の調査状況と被災状況の把握

海岸林の過去の調査状況と被災状況は、文献調査と聞き取り調査を組み合わせることで把握した。具体的には、①森と緑の研究所の資料収集(2016.3発行)「大船渡市三陸町(県有林)」, ②公益財団法人オイスカの聞き取り調査(2016.6.29)「名取市関上(国有林)」, ③福島県相双農林事務所の聞き取り調査(2015.9.17)「南相馬市鹿島区(県有林)」を実施した。調査内容は、①林

¹ 福島大学大学院共生システム理工学研究科

Graduate School of Faculty of Symbiotic Systems Science,
Fukushima University, Kanayagawa 1, 960-1296, Japan

*Corresponding author: uk010105-5376@tbz.t-com.ne.jp

況（林齢（年）・植生・林帯幅（m）・面積（ha））、②地盤高と地下水深度、③防潮堤の状況を把握した。

2.3 地理空間情報を用いた海岸林の被災要因の考察

地理情報システムとしてオープンソース・ソフトウェアである QGIS を使用し、地理空間情報として①国土地理院の基盤地図情報、②Google Earth における空中写真等の情報を使用した。QGIS を活用して、国土地理院の基盤地図情報の数値標高データ（等高線と標高等）に基づいて、被災地の津波浸水と地形との関係を調べた。さらに Google Earth の空中写真から津波浸水地域を目視で判読して測定点を設定し、描出した図から面積の計測と汀線からの標高断面図を作成し、汀線からの距離と起伏の変化による津波浸水の影響を調べた。

3 結果

3.1 東北地方太平洋沿岸の津波被災した海岸林の震災前後の概要

3.1.1 岩手県大船渡市三陸町越喜来泊の海岸林

調査地の文献（森と緑の研究所、2016）によると、大船渡市三陸町越喜来泊地区は、震災前に約 80 年生のクロマツ防潮林（約 0.18ha の面積）が海岸線に沿って帯状に成立し、さらに海岸防災林の背後には、三陸鉄道南リアス線の線路が通っており、海側に約 1km の防潮堤（T.P.7.9m）が整備されていた。震災時の津波高は、約 15m に達したが、岩手県森林保全課の調査では、被災直後約 80% のクロマツ壮齢林が生存したことが報告されている（図 1）。



図 1：大船渡市三陸町越喜来泊の防潮堤（2011.10.5）
（写真提供：島田直明氏）

3.1.2 宮城県名取市関上北釜地区の海岸林

調査地の関係者への聞き取り調査によると、名取市関上北釜地区は、震災前に約 136ha の面積に林齢約 120 年、平均樹高 18m のクロマツ林が海岸線に沿って成立し、海側に防潮堤（T.P.4.0m）が整備されていた。震災の津波高は、仙台空港周辺において約 12m に達し、盛り上がり個所にクロマツの残存があったものの、ほぼ全壊であった（図 2）。



図 2：名取市関上北釜の防潮堤（2011.5.24）
（写真提供：吉田俊通氏）

3.1.3 福島県南相馬市鹿島区北海老の海岸林

調査地の関係者への聞き取り調査によると、南相馬市鹿島区北海老地区は、震災前に約 18ha の面積に約 50 年経過の平均林帯幅 80m のクロマツ林が成立しており、海側に防潮堤（T.P.6.2m）が整備されていた。震災の津波高は、15～16m に達し、防潮堤が崩壊し、この地域の海岸林は全壊した（図 3）。



図 3：南相馬市鹿島区北海老の海側（2011.3.25）
（写真提供：大槻晃太氏）

3.1.4 3 地区の海岸林の概況

津波被災状況の比較（表 1）では、林齢において、名取市は、約 120 年と高く、林帯幅において、大船渡市と南相馬市は、狭く、面積も小さかった。大船渡市は、堅固な防潮堤（T.P.7.9m）が海側に隣接していることもあり、約 80% のクロマツ林が生存したと考えられる。

名取市と南相馬市は、防潮堤が低く、地下水深度も約 1m 未満と地下水位が高かった。高い地下水位は垂下根の発達を阻害するため、有効土層厚は 1.5m 以上とされている（森林総合研究所、2015）。これらの理由により、甚大なクロマツ林被害になったと推察される。

表 1：津波被災地域の海岸林概況の比較

地域・項目	林齢	林帯幅	面積	防潮堤	地下水深度	クロマツ林被害
大船渡市(三陸町越喜来泊)	約80年	約40m	約0.18ha	T.P.7.9m	—	生存率約80%
名取市(関上北釜)	約120年	約300m	約136ha	T.P.4.0m	約1m未満	ほぼ全壊
南相馬市(鹿島区北海老)	約50年	約80m	約18ha	T.P.6.2m	約1m未満	全壊

※地下水深度：地盤高と地下水位との差(海岸林造成の手引きより：森林総合研究所(2015))

3.2 東北地方太平洋沿岸の海岸林の津波被災に関する地理空間情報を用いた状況の把握と原因の考察

QGIS と Google Earth を利用して、津波被災の前後の地形および海岸林の状況と、津波浸水の状況を把握した。

3.2.1 大船渡市海岸林の津波被災の状況と地理的要因

大船渡市三陸町越喜来泊地区では、リアス式海岸の特徴として、複雑な海岸線と急峻な地形となっていた (図 4, 5)。

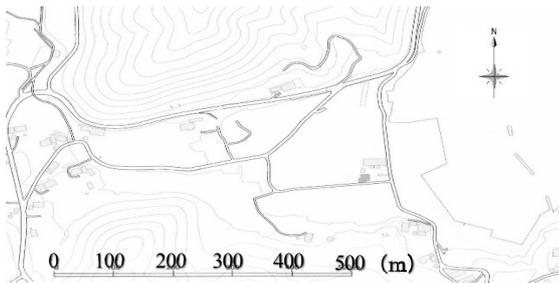


図 4 : 大船渡市三陸町越喜来地区の地形図



図 5 : 津波被災前の大船渡市三陸町 (2010.5.18)

津波被災前の海岸林は、汀線からの距離が約 90m と近く、地盤高が約 3~4m、林長が約 100m、林帯幅が約 40m と狭い状態であった (図 6)。

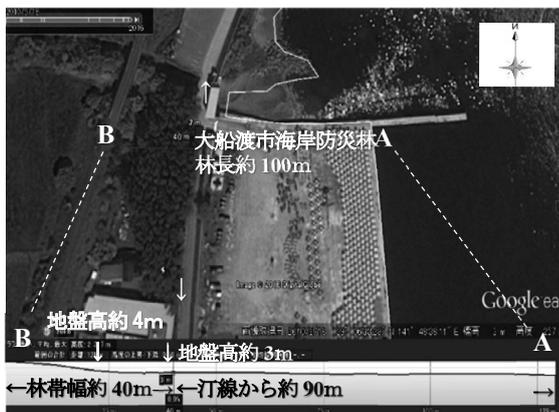


図 6 : 津波被災前の林況と断面 (2010.5.18)

津波被災後の林況と断面では、津波を受けた後に、海岸林が生存した様子がみられた (図 7)。



図 7 : 津波被災後の林況と断面 (2011.4.1)

この地域は、湾口から奥に狭くなった地形の影響により、防潮堤を越流した津波が汀線から約 570m まで低地部から高地部へ深く浸水したと考えられる (図 8)。



図 8 : 津波被災後の浸水状況 (2011.4.1)

被災前後の比較では、小河川からの津波により海岸防災林の北側が影響を受けた状況と、Google Earth を用いて海岸林の津波被災前後の面積を計測したところ、被災前 (2010.5.18) の約 0.23ha から被災後 (2011.4.1) に約 0.17ha に減少し、生存率は約 74% と推定された (図 9)。



図 9 : 被災前と被災後の海岸林比較 (2011.4.1)

3.2.2 名取市海岸林の津波被災の状況と地理的要因

名取市は、仙台市の南東部に隣接し、仙台平野の南

部に位置する。海岸林は、名取川河口から海岸線に沿い、津波被災前は貞山堀の間に林長約 5km のクロマツ林が存在していた（図 10, 11）。



図 10：名取市関上の地形図



図 11：津波被災前の名取関上（2009.8.14）

津波被災前の海岸林は、汀線からの距離が 120m～140m と近く、地盤高が約 2～3m、林帯幅が約 330～350m と広い状態であった（図 12）。

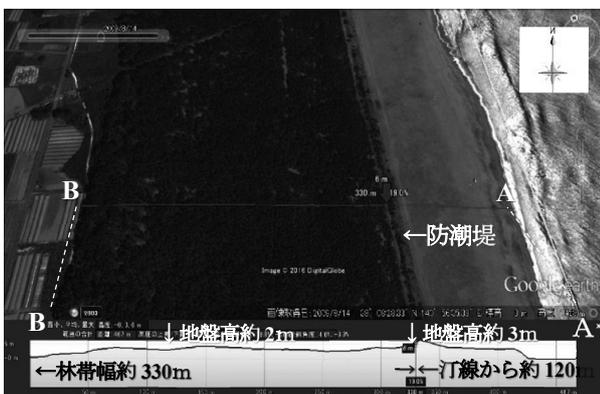


図 12：津波被災前の林況と断面（2009.8.14）

津波被災後では、海岸林が全壊した様子がみられた（図 13, 14）。



図 13：津波被災後の林況と断面（2011.5.3）

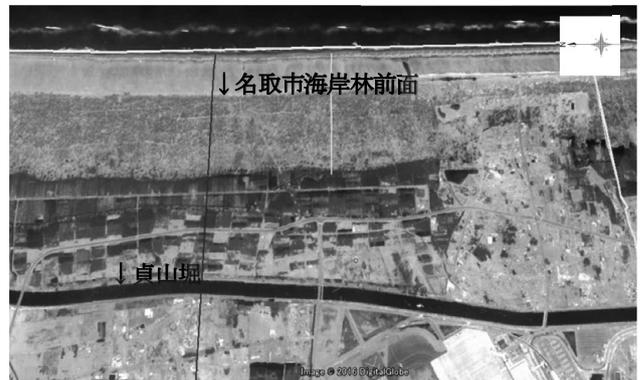


図 14：津波被災した海岸林の状況（2011.5.3）

Google Earth を用いて津波の浸水範囲（2011.5.3）を計測したところ、津波が汀線から約 5.3km まで、約 2,663ha と広範囲に浸水していた。このことから、低い防潮堤を越流した津波が平坦な地域に拡大したと考えられる。仙台東部道路の海岸側に浸水の広がりが大きく、高速道路の盛土（約 6m）が浸水を軽減させた様子が確認された（図 15）。



図 15：津波浸水状況（2011.5.3）

3.2.3 南相馬市海岸林の津波被災の状況と地理的要因

南相馬市海岸林は、津波被災前において、潮害や飛砂、風害対策を主な目的として、起伏のある地域に林長約 1.4km、平坦な地域に林長約 2km のクロマツ林が存在していた (図 16, 17)。



図 16：南相馬市鹿島区の地形図



図 17：津波被災前の南相馬市鹿島区 (2010.9.11)

津波被災前の海岸林は、汀線からの距離が約 60m と近く、地盤高が約 1m、林帯幅が約 90~100m と狭い状態であり、林内のクロマツの生育に疎らな状態がみられた (図 18)。

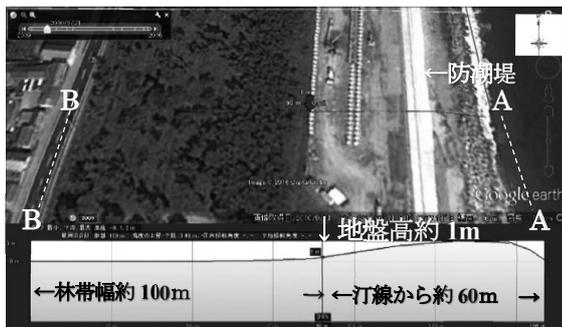


図 18：津波被災前の林況と断面 (2010.9.21)

この地域は、津波により防潮堤が寸断され、越流した津波が広い範囲に浸水したと考えられる (図 19)。

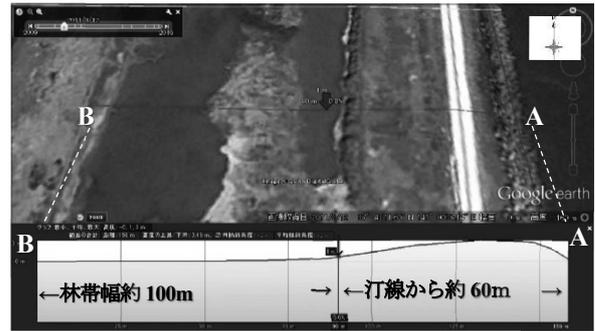


図 19：津波被災後の林況と断面 (2011.3.12)

Google Earth を用いて、立地条件の違う隣接する 2 地域を対象に津波の浸水範囲 (2011.3.12) を計測して比較すると、起伏のある地域の浸水は、汀線から約 4.4km、面積約 555ha となっているのに対して、平坦な地域の浸水は、汀線から約 3km、面積約 513ha であり、特に汀線からの距離において、地形による違いがみられた (図 20)。



図 20：津波浸水状況比較 (2011.3.12)

津波被災後において、海岸沿い防潮堤付近の陸側背面にある盛土 (汀線から約 30m 位置の地盤高約 3m) の起伏により、浸水の停滞が画像上 (2011.3.12) に見られ、2011 年 4 月 5 日の時点でも確認された (図 21)。



図 21：起伏のある地域の津波浸水と断面 (2011.3.12)

4 考察

津波被災状況の文献調査と聞き取り調査の結果から、大船渡市で津波被災後に約 80%のクロマツが生存した要因として、海岸防災林の海側にある堅固な防潮堤 (T.P.7.9m)が津波の直進力を抑制したことが考えられる。一方、名取市と南相馬市の海岸林で甚大な被害になった要因として、地下水位が高いことにより、クロマツの根が伸張できず、疎らな生育状況を生じたこと、さらに防潮堤の高さが相対的に低く、津波の直進力を抑制できなかったことが考えられる。

地理空間情報を用いた被災状況の分析により、次のような地理的要因が推察された。①大船渡市海岸林では、汀線からの距離が約 90m と近く、林帯幅も約 40m と狭かったが、地盤高が 3~4m と比較的高く、海岸林の海側約 4m の位置に堅固な防潮堤があったことで津波の直進力が抑制され、被害を軽減した、②名取市海岸林では、約 12m に達した津波が約 330~350m の広い林帯幅の海岸林を破壊し、内陸部に広がったが、内陸部の盛土 (仙台東部道路) により津波浸水が抑制された、③南相馬市海岸林では、起伏のある地域において、約 90~100m の狭い林帯幅と疎らなクロマツの生育状況が被害を拡大し、さらに約 1m の低い地盤高と海岸沿いの防潮堤付近の盛土などの起伏により被災後の排水に悪影響を及ぼした、などの点である。

このように、先行研究で指摘されていた地形や地盤、盛土等の構造物による海岸林への影響の可能性について、本研究で実施した空中写真や基盤地図情報等の地理空間情報の活用により、地理的特徴を具体的に把握することができた。ゆえに、これらの方法は、津波被災後における広範囲の実態把握に有効と考えられる。被災した海岸林の津波防災機能の評価では、樹木の形状、立木密度等の林分構造の検証が必要であるが、実際はこれらの現地調査資料やデータが少ない状況である。

「1 はじめに」で取り上げた先行研究における高分解能衛星の観測画像の活用の他、空中写真を用いた 3 次元計測の手法 (中北ら, 2013) 等も紹介されている。

東日本大震災の津波による被害状況の実態把握に加えて、今後起こりうる新たな災害に備えて、地理空間情報の拡充や活用方法の開発が求められる。

5 おわりに

本研究では、東日本大震災による津波で被災した東北地方太平洋沿岸の海岸林 (岩手県大船渡市・宮城県名取市・福島県南相馬市) の被害実態を明らかにすることを目的として、被災地の文献調査と聞き取り調査を実施するとともに、地理空間情報を活用して、被災状況における地理的要因を把握した。その結果、地形の状態・盛土等の構造物・海岸林が津波高と浸水に大

きな影響を及ぼしている可能性や、その一方で海岸沿いの盛土などの起伏が被災後の排水に悪影響を及ぼしている可能性があることが分かった。

今回対象とした海岸林では、既に再生事業が始まっている。それらの再生事業において、本研究で明らかになった地理的要因等が考慮され、より強靱な海岸林が整備されることが期待される。

謝辞

本研究を行うにあたり、岩手県立大学総合政策学部准教授の島田直明氏、公益財団法人オイスカ啓発普及部担当部長の吉田俊通氏、福島県相双農林事務所の大槻晃太氏には、多大な便宜を図って頂いた。深く感謝申し上げます。

引用文献

- [1] 羽柴秀樹・杉村俊郎・青山定敬・朝香智仁 (2015) : 高分解能衛星リモートセンシングを利用した仙台平野沿岸海岸林の被災後の変化調査, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 71(2), pp.1_999-1_1004
- [2] 壺岐信二・中山隆治・阿部慎太郎・塚本吉雄・寺澤弘陽・内藤真紀 (2016) : 東日本大震災前後の砂浜・砂丘植生・海岸林の変化, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 72(2), pp.1_763-1_768
- [3] 鎌形哲稔・赤松幸生・向山栄 (2011) : マルチプラットフォーム衛星画像による東日本大震災の被災状況把握, 写真測量とリモートセンシング, 50(3), pp.126-127
- [4] 森と緑の研究所 (2016) : 東日本大震災による岩手県内海岸林の津波被災状況と再生についての調査研究~平成 27 年度報告書~, 全 168p, pp.114
- [5] 中北理・齋藤武史・中根貴雄・田代隼人 (2013) : 東日本震災における空中写真 3 次元計測の役割, 関東森林研究 64-2, pp.89-90
- [6] 越智士郎・野々口義延 (2012) : 衛星画像解析による津波被害の把握, 社団法人国土緑化推進機構「津波と海岸林に関する調査研究事業 (平成 22 年度調査報告書)」, pp.52-70
- [7] 森林総合研究所 (2015) : 津波被害軽減を考慮した海岸林造成の手引き—海岸林を造成・管理する実務者のために—, 全 53p, pp.21-34
- [8] 寺本行芳・浅野敏之・林健二郎・多田毅・今井建太郎・坂本知己 (2012) : 2011 年東北地方太平洋沖地震津波発生後の宮城県名取市閑上浜における海岸林被害と残土盛土による海岸林の被害軽減効果, 海岸林学誌 11 (1), pp.11-18
- [9] 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宮城県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
- [10] 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・小谷英司・坂本知己 (2013) : 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震で発生した津波が宮城県仙台市井土地区の海岸林に及ぼした影響 (II) —アカマツ・クロマツ大径木で構成される海岸林の被害状況—, 海岸林学会誌 12 (1), pp.1-7

[受付 平成30年3月7日, 受理 平成30年12月15日]