

調査・研究に基づいた海岸林を中心とした沿岸防災モデルの提案

調査報告

近野友亮、小椋佳、黒沼尊紀、山本啓介

## 1 はじめに

東北太平洋沖地震は、千葉県に約 5m の津波をもたらし、多くの海岸林が被害を受けた。海岸林は主に防風や飛砂防止、防潮等の機能を持っているが、今回の津波被害において、漂流物の捕捉や流勢の緩和効果があったことも報告されている(今井 2011)。

そこで本プロジェクトでは海岸林の津波被害防止機能を重視し、調査・研究に基づいた沿岸防災モデルの検討・提案を行う。

## 2 調査地の概要

本演習は千葉県山武市の木戸川河口近くの海岸林から住宅地の約 64ha(約 800m×800m)を対象とする(写真 1)。この地区は、九十九里浜でも特に津波による被害を受けた地区である。また、航空写真を見ると、津波前に存在していた林帯はほとんど消失している。九十九里浜における海岸林は以前から湿地によりマツの生育に問題を与えている可能性があることが報告されており、本調査地は湿地のない場所とある場所の 2カ所を選択した。



写真 1 調査対象地 (Google Earth より引用一部改変)

### 3 調査方法

#### 3-1 津波の被害状況調査（浸水域、流路、ヒアリング調査結果）

調査地における津波の被害状況を把握するため、ヒアリングや文献をもとに、浸水域、津波の流路等を確認した。

#### 3-2 植生調査

調査地内に存在する海岸林について、湿地の無い場所(A)と有する場所(B)の2カ所を設定し、海岸前線から垂直方向への植生の変化を把握するため、トランセクト法を用いて植生調査を行った。まずトランセクト上の植生を相観で分別し、次に微地形によって分け、それらを代表するように10m四方のコドラートをAに7カ所、Bに6カ所設定した(写真2)。被度階級はブランブランケに従った。

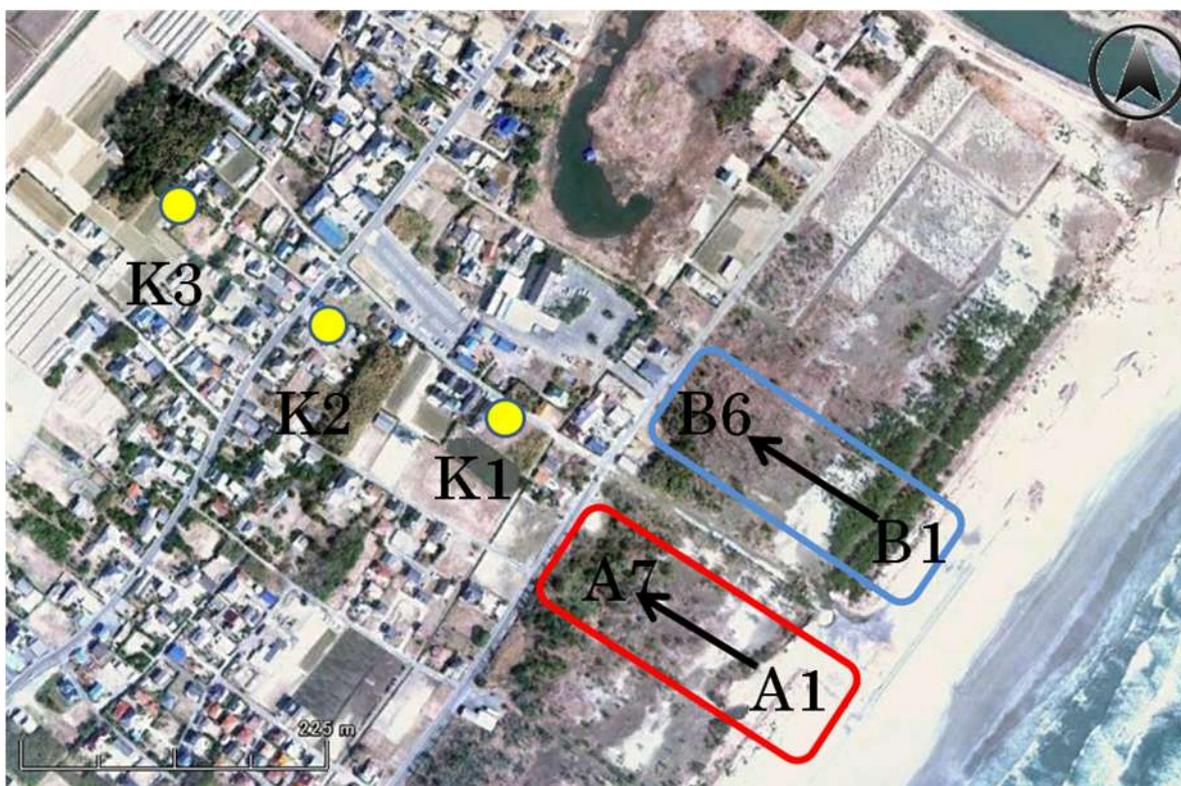


写真2 植生・土壌調査地

#### 3-3 土壌調査（地下水位、EC）

土壌における樹木への影響の有無を把握するため地下水位、塩類濃度（EC）を測定した。土壌調査地は植生調査を行ったトランセクト上のコドラートの場所と、海岸線から鉛直に並ぶ3点を津波の侵入した居住地域全体をカバーするように、調査地とした(写真2)。土壌の採取はハンドオーガを用いて、約8cmごとの深さで採取し、水浸出法でECを測定した。地下水位は土壌を採取した穴でテスターを用いて測定した。

#### 3-4 マツ材線虫病による被害

航空写真および文献により、被害の変遷を調査した。

### 3-5 防災機能をもった沿岸部の町づくりに関するインタビュー調査

防災機能をもった沿岸部の町づくりに関する市民の意見を、インタビュー調査によって、把握した。

## 4 結果

### 4-1 津波の被害状況（浸水域、流路、ヒアリング調査結果）

浸水被害について、本プロジェクトの対象地の多くが被害を受けた（図1）。想定される流路として、小松地区への津波の主な流入経路は3つある。1つ目は海岸方面からの流入である。この津波は海岸林前線にある砂丘を超えたもので汀線から約500mまで流入した。2つ目は木戸川の堤防が破損した2か所からの流入である。この津波は小松地区に最も被害を及ぼした津波であり、海岸方面からの流入と相まって木戸川周辺（小松地区のみ）の約23haの面積で1m以上の浸水深を記録し、住宅等が床上浸水・半壊した。堤防破損部位は木戸川の旧蛇行路と一致し、その背後は湿地となっていた。3つ目に川の堤防を越えた津波が大排水路をつたい、オーバーフローし浸水域が広がった。

また、海岸方面からの津波による浸水域をみると、一定の汀線からの距離以上浸水していないのがわかる。この地域の地形を見ると凹地形になっているのがわかる（図2）。津波が凹地形に留まり、それ以上流入しなかったことが予想される。



図1. 津波の流入経路と浸水域(日本地理学会より引用一部改変)

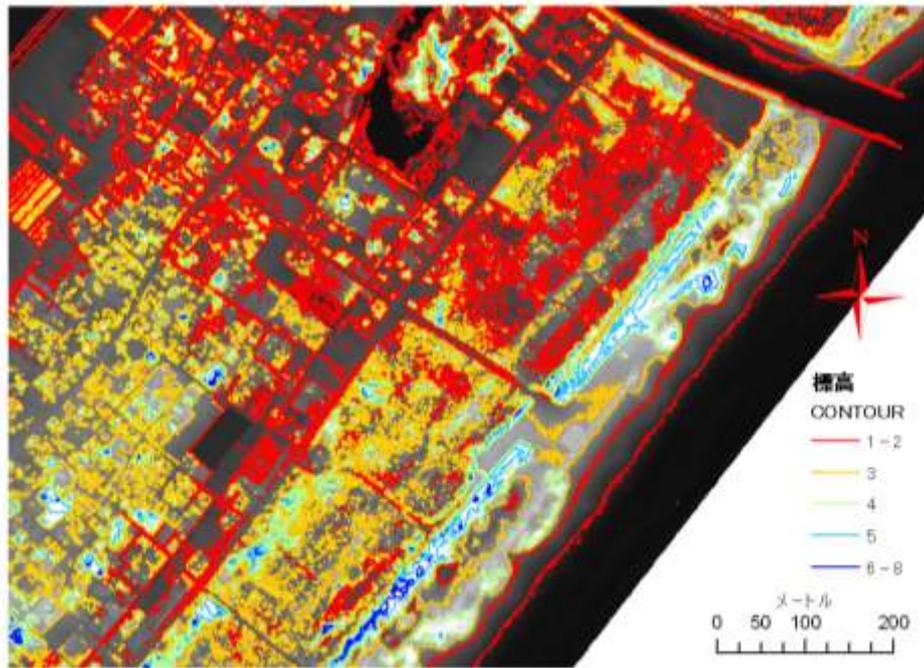


図2 調査地周辺の標高図

#### 4-2 植生調査

調査地の出現種は61種であった(表1)。61種のうち環境省に定められた要注意外来生物は8種の生育が確認され、イタチハギ、コマツヨイグサ、ニセアカシアの生育が目立った。イタチハギやニセアカシアは根粒菌により空気中の窒素を同化し土壌を肥沃化するため、かつては肥料木として利用されていた。しかし、侵略性が高く現在では肥料木としての利用は無くなった。本調査地ではイタチハギは湿地に優占し、ニセアカシアは幼木が点々と生育していた。また、本調査地におけるコマツヨイグサは砂丘後背部に点々と生育し被度は低かったが、鳥取砂丘では在来種に影響を与え問題となっており(環境省)、これらの外来種の動向を今後見ていく必要がある。

また、海岸線から垂直方向への植生の変化を把握し調査地を植生によって区分するため TWINSpan を用いた。その結果4グループ(A,B,C,D)に分けられた(表2, 図3)。海岸前線部はハマヒルガオ、チガヤガが優占し、砂丘後背部ではススキ、テリハノイバラが優占していた。さらに後背部ではトベラやササなどの生育が目立った。地下水が地表から約50cm以下で確認された湿地ではヨシやイタチハギが優占していた(図4, 5)。

表1. 組成表

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	出現回数	外来種
セイタカアワダチソウ(キク科)	・	+	1	2	1	1	3	+	+	・	・	+	+	10	●
コマツヨイグサ(アカバナ科)	・	+	+	・	1	+	・	+	+	1	1	+	・	9	●
ススキ(イネ科)	・	・	3	1	+	1	・	・	+	3	1	・	+	8	
ナガバギシギシ(タデ科)	・	2	1	1	1	・	・	・	+	+	・	+	・	7	
マメグンバイナズナ(アブラナ科)	・	・	+	+	+	・	・	+	+	+	+	+	・	7	
クロマツ(マツ科)	・	1	1	+	+	・	・	・	3	2	・	・	・	6	
テリハノイバラ(バラ科)	・	・	2	・	+	+	・	・	1	+	・	・	+	6	
ハマヒルガオ(ヒルガオ科)	1	2	・	+	・	・	・	+	・	・	+	・	・	5	
ニセアカシア(マメ科)	・	・	・	・	+	1	+	・	・	+	+	・	・	5	●
ハマエンドウ(マメ科)	・	+	+	・	・	・	・	1	+	・	・	・	・	4	
スズメノチャヒキ(イネ科)	・	・	1	1	1	2	・	・	・	・	・	・	・	4	
アレチノギク(キク科)	・	・	+	+	+	・	・	・	+	・	・	・	・	4	
マルバグミ(グミ科)	・	・	+	+	・	・	・	・	・	+	+	・	・	4	
トベラ(トベラ科)	・	・	・	+	・	1	2	・	+	・	・	・	・	4	
クワ(クワ科)	・	・	・	+	+	・	・	・	+	・	・	・	+	4	
チガヤ(イネ科)	2	3	・	・	・	・	・	4	・	・	・	・	・	3	
コウボウシバ(カヤツリグサ科)	・	+	・	+	・	+	・	・	・	・	・	・	・	3	
サルトリイバラ(ユリ科)	・	・	+	・	+	・	・	+	・	・	・	・	・	3	
ノゲシ(キク科)	・	・	・	+	・	・	+	・	・	・	・	・	+	3	
ノブドウ(ブドウ科)	・	・	・	+	・	・	・	・	+	+	・	・	・	3	
イタチハギ(マメ科)	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	3	3	3	●
クズ(マメ科)	・	+	+	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	2	
ハマニガナ(キク科)	・	+	・	・	・	+	・	・	・	・	・	・	・	2	
カラスノエンドウ(マメ科)	・	・	+	+	・	・	・	・	・	・	・	・	・	2	
キミガヨラン(リュウゼツラン科)	・	・	+	+	・	・	・	・	・	・	・	・	・	2	
ヒエガエリ(イネ科)	・	・	+	+	・	・	・	・	・	・	・	・	・	2	
オオシマザクラ(バラ科)	・	・	・	+	・	+	・	・	・	・	・	・	・	2	
トウネズミモチ(モクセイ科)	・	・	・	+	+	・	・	・	・	・	・	・	・	2	
マサキ(ニシキギ科)	・	・	・	+	・	・	・	・	+	・	・	・	・	2	
ハルジオン(キク科)	・	・	・	+	・	・	・	・	・	+	・	・	・	2	●
ネズミムギ(イネ科)	・	・	・	・	+	・	・	・	・	・	・	・	3	2	●
イタドリ(タデ科)	・	・	・	・	・	+	+	・	・	・	・	・	・	2	
ミズヒキ(タデ科)	・	・	・	・	・	+	+	・	・	・	・	・	・	2	
アオツツラフジ(ツツラフジ科)	・	・	・	・	・	・	+	+	・	・	・	・	・	2	
エビヅル(ブドウ科)	・	・	・	・	・	・	+	・	・	・	・	・	+	2	
ケキツネノボタン(キンポウゲ科)	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	+	2	
ヨシ(イネ科)	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	3	1	・	2	
ツボミオオバコ(オオバコ科)	・	・	+	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	1	
コメツブツメクサ(マメ科)	・	・	+	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	1	
オニシバ(イネ科)	1	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	1	
スゲ(カヤツリグサ科)	・	・	・	・	+	・	・	・	・	・	・	・	・	1	
ヤエムグラ(アカネ科)	・	・	・	・	・	+	・	・	・	・	・	・	・	1	
ササ(イネ科)	・	・	・	・	・	・	3	・	・	・	・	・	・	1	
ヤマノイモ(ヤマノイモ科)	・	・	・	・	・	・	+	・	・	・	・	・	・	1	
オニドコロ(ヤマノイモ科)	・	・	・	・	・	・	+	・	・	・	・	・	・	1	
ゴヨウアケビ(アケビ科)	・	・	・	・	・	・	+	・	・	・	・	・	・	1	
ミツバアケビ(アケビ科)	・	・	・	・	・	・	+	・	・	・	・	・	・	1	
アカネ(アカネ科)	・	・	・	・	・	・	+	・	・	・	・	・	・	1	
スイカズラ(スイカズラ科)	・	・	・	・	・	・	+	・	・	・	・	・	・	1	
ドクウツギ(ドクウツギ科)	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	・	・	・	1	
ハハコグサ(キク科)	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	・	・	・	1	
アメリカイヌホオズキ(ナス科)	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	・	・	1	
セイヨウタンポポ(キク科)	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	・	・	1	
ツユクサ(ツユクサ科)	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	・	・	1	
コモチマンネングサ(ベンケイソウ科)	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	・	1	
ヤブジラミ(セリ科)	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	・	1	
ヒメジオン(キク科)	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	1	●
オオニワゼキショウ(アヤメ科)	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	1	
キシヨウブ(アヤメ科)	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	1	・	1	●
オギ(イネ科)	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+	1	
クマヤナギ(クロウメモドキ科)	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	1	

\* 外来種は環境省が設定した要注意外来生物を引用(URL:http://www.env.go.jp/nature/intro/index.html)

被度階級  
 + … 1%以下  
 1 … 1-10%  
 2 … 10-25%  
 3 … 25-50%  
 4 … 50-76%  
 5 … 75-100%

表2. TWINSPANによる植生の解析

	B5	B6	B4	A3	A5	B2	B3	A4	A6	A7	A2	A1	B1
ケキツネノボタン	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0 0
イタチハギ	3	3	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	0 0 0
ネズミムギ	-	3	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	0 0 0
エビヅル	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	0 0 0
ヨシ	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 0 0
ノゲシ	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	0 0 0
クワ	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	0 0 0
トベラ	-	-	-	-	-	+	-	+	1	2	-	-	0 0 1
イタドリ	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	0 0 1
ミズヒキ	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	0 0 1
アオツヅラフジ	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	0 0 1
ニセアカシア	-	-	+	-	+	-	+	-	1	+	-	-	0 0 1
スズメノチャヒキ	-	-	-	1	1	-	-	1	2	-	-	-	0 0 1
オオシマザクラ	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	0 0 1
ススキ	-	+	1	3	+	+	3	1	1	-	-	-	0 0 1
テリハノイバラ	-	+	-	2	+	1	+	-	+	-	-	-	0 0 1
アレチノギク	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	0 0 1
ノブドウ	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	0 0 1
マルバグミ	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	0 0 1
カラスノエンドウ	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	0 0 1
キミガヨラン	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	0 0 1
ヒエガエリ	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	0 0 1
トウネズミモチ	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	0 0 1
マサキ	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	0 0 1
ハルジオン	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	0 0 1
ナガバギシギシ	+	-	-	1	1	+	+	1	-	-	-	2	0 1 0
マメゲンバイナズナ	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	0 1 0
クロマツ	-	-	-	1	+	3	2	+	-	-	-	1	0 1 0
サルトリイバラ	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	0 1 0
セイタカアワダチソウ	+	+	-	1	1	+	-	2	1	3	-	+	0 1 1
コマツヨイグサ	+	-	1	+	1	+	1	-	+	-	-	+	0 1 1
コウボウシバ	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	1 0
ハマニガナ	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	1 0
ハマヒルガオ	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	1	2	1 1
ハマエンドウ	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+	1 1 1
チガヤ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	4 1 1
クズ	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	1 1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1			
			0	0	0	0	0	0	1	1			
イタチハギ			ススキ						トベラ(c)		チガヤ		
ヨシ(a)			テリハノイバラ(b)								ハマヒルガオ(d)		

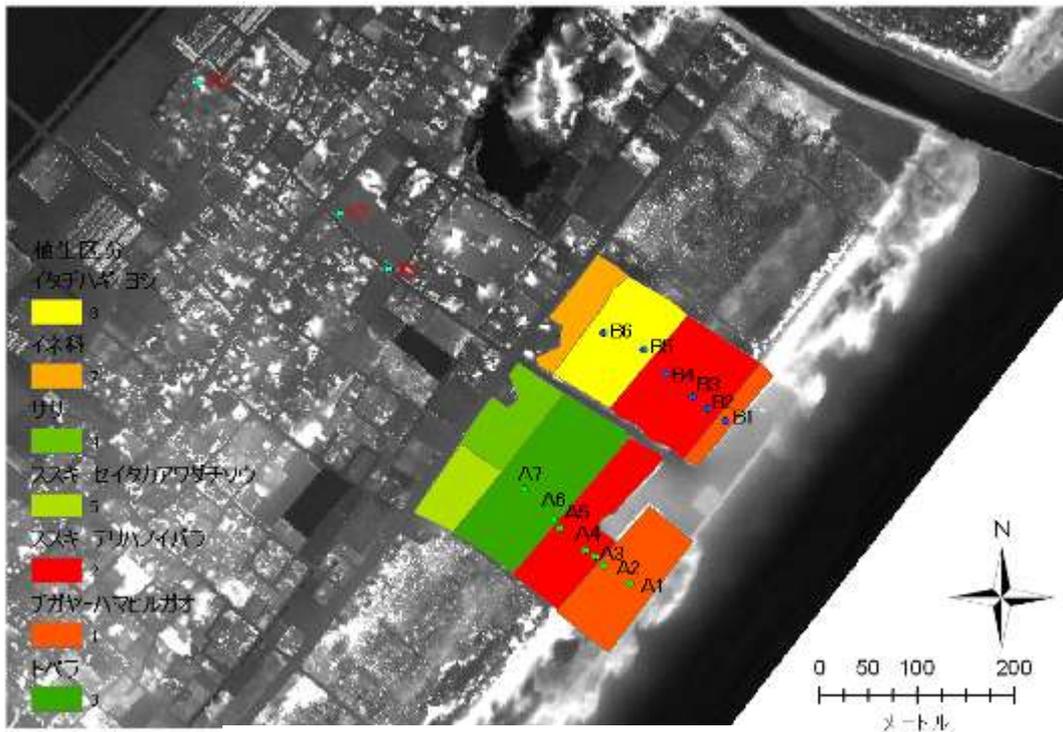


図3 植生調査による植生のタイプ分け

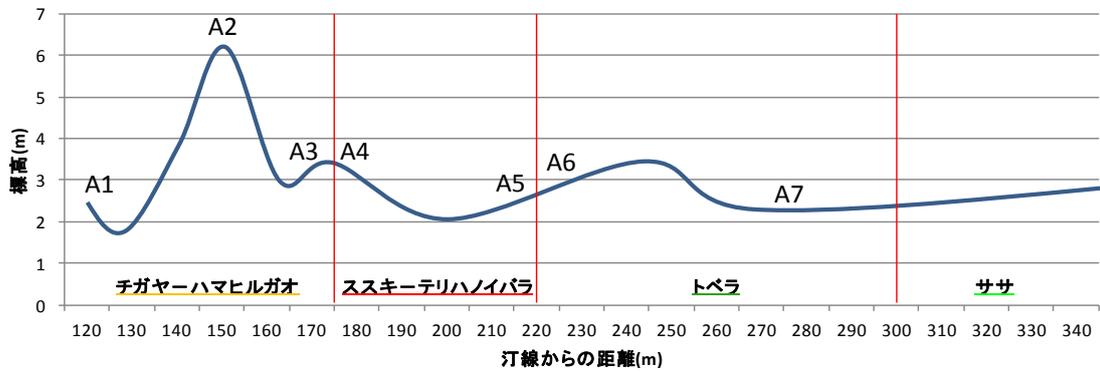


図4 調査地南側(A)の地形断面図、汀線からの距離と植生タイプ

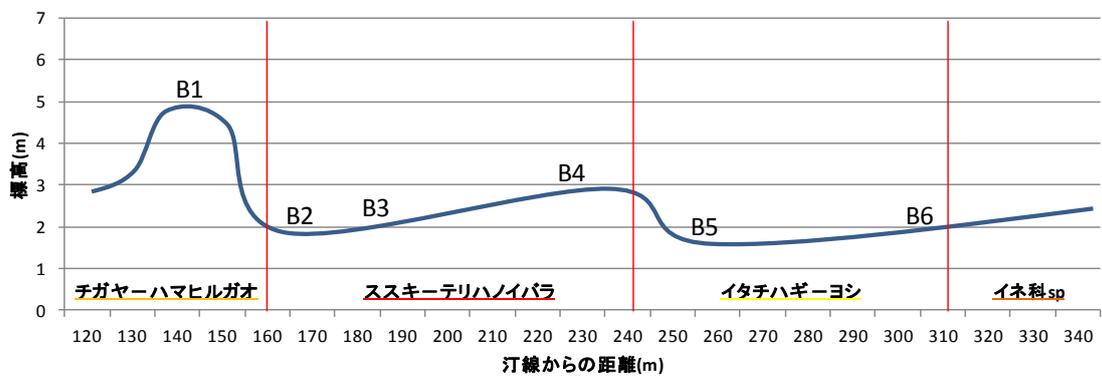


図5 調査地南側(B)の地形断面図、汀線からの距離と植生タイプ

#### 4 - 3 地下水位

海岸林における盛土の必要性を判断するため、地下水位の調査を行ったところ、湿地以外では、地上から地下水までの距離が約 1m 程度であり、湿地では約 50cm 程度であった。クロマツの生育に土壌厚は 2m 程度必要であるため、盛土は必要であると考えられた (表 3)。

#### 4 - 4 EC

津波による塩類の集積・残存について土壌分析を行った結果、すべての調査区で津波以前の既存の研究結果より低いか、同程度であり、土壌深度による変化も殆ど見られなかったため、調査地点における塩類濃度を平均化した (表 3)。このことから、土壌中には塩類の集積が発生していないと考えられる。また、B2 地点で塩類濃度が比較的高いのは、マツの葉が潮風を捕捉し塩分が葉に吸着して落葉したため他の場所と比べて塩類濃度が高くなったのだと考えられる。

表 3 土壌調査、地下水位の調査結果

地点	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
電気伝導率 <sup>z</sup> (mS/m)	2.2	1.0	1.0	1.1	2.0	2.1	0.9
塩類濃度 <sup>y</sup> (ppm)	11.1	5.1	5.0	5.5	10.2	10.6	4.3
地下水位(cm)	120以上	120以上	105	85	95	120	110
推定される降雨以前の地下水位 <sup>x</sup> (cm)	137以上	137以上	122	102	112	137	127

地点	B1	B2	B3	B4	B5	B6
電気伝導率 <sup>z</sup> (mS/m)	0.9	4.7	3.1	1.1	1.8	2.1
塩類濃度 <sup>y</sup> (ppm)	4.7	23.5	15.4	5.6	9.1	10.4
地下水位(cm)	118以上	100	75	120	45	45
推定される降雨以前の地下水位 <sup>x</sup> (cm)	135以上	117	92	137	62	62

地点	K1	K2	K3
電気伝導率 <sup>z</sup> (mS/m)	4.4	2.6	2.3
塩類濃度 <sup>y</sup> (ppm)	22.1	13.1	11.7
地下水位(cm)	85	105	120
推定される降雨以前の地下水位 <sup>x</sup> (cm)	102	122	137

<sup>z</sup>:地下水位に到達するまでの、電気伝導率の平均値

<sup>x</sup>:小田ら (1994) の報告により、前日の降雨量からの推定値

<sup>y</sup>:1mS/cm=500ppm で計算

#### 4-5 マツ材線虫病による被害

航空写真を比較すると 2003 年は被害が少なく写真からもあまりマツ枯れの被害は伺えない。しかし、2004 年以降、被害は増加していき(表 4)2010 年の航空写真から大きな被害を受けていることが伺える (写真 3, 4)。

表 4 九十九里地区における松くい虫被害量の年推移

年	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
材積 m <sup>3</sup>	1672	2588	1576	1802	2017	2145	3025	6286	10796	5064

(千葉県海岸県有保安林整備指針 2012 より引用)



写真 3 2010 年におけるマツ材線虫病の被害状況(Google Earth より引用)



写真 4 2003 年におけるマツ材線虫病の被害状況(Google Earth より引用)

#### 4-6 防災機能をもった沿岸部の町づくりに関するヒアリング調査

ヒアリング調査の結果によると、大きく次の3点が挙げられる。

- ①海岸林の重要性…マツ材線虫病や津波によって海岸林が減少したことにより、潮風の影響を受け、海岸林の重要性を再認識した。
- ②木戸川の堤防の強化…元々木戸川の堤防はつぎはぎだらけで弱く、津波によって一部破損された。県による修復は破損部だけであり、今後台風や高潮時に破壊されないか心配である。そのため全体的な木戸川の補修工事を行ってほしい。
- ③マツ枯れ防止のための薬剤散布に関する対策…マツ材線虫病のための薬剤散布により、薬剤が作物にも散布され被害を受けた。そのためマツ材線虫病の抵抗性マツや空中散布のいらない薬剤の開発を行ってほしい。

#### 要望、被害状況について

- ・マツ材線虫病に対する抵抗性マツの開発
- ・白砂青松という言葉道理想望する人もいれば、マツ材線虫病対策で散布する薬剤により農作物に被害が出るためマツ以外の樹種を希望する人もいる
- ・津波発生時、高齢者の方で家に取り残されてしまい、逃げられない方がいた
- ・橋が津波の障害物になることによって波の高さが増幅しあふれた
- ・畑地における塩類濃度は水をかけることで減少するが、ある一定値まで下がると、それ以上は下がらなくなる
- ・ササは一時的に枯れ、その後復活した
- ・ウメなどの果樹に関し、ほとんどが枯死した家もあれば、影響が見られない家もあった
- ・マキ塀は同じ家でも場所によって枯死した個体と芽吹いた個体に分かれた
- ・サルスベリとモミジは枯死と芽吹きを繰り返し、最終的に枯死しなかった

参考文献

- 明間民央(2005) 人口クロマツ林における菌根の発達度と斜面上の部位およびマツ材線虫病被害との関係, 日本森林学会誌, 87(3) 271.
- 浅野敏之・松元千加子・永野彩佳(2009) 津波防災施設としてのわが国海岸林の機能評価に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 65(1) 1311-1315.
- 千葉県(2012) (仮称) 千葉県海岸県有保安林整備指針(素案) (九十九里地区), 森林課
- 福島司(2005) 植生管理学, p230-231, 朝倉書店, 東京.
- 今井健太郎(2011) 海岸林の津波被害と減災効果, グリーン・エージ, 38(9), 38-43.
- 岩本徹・垣原登志子・江崎次夫・全権雨(2005) クロマツ苗の成長促進と乾燥耐性に対する VA 菌根菌資材の影響, 海岸林学会誌, 4(2) 1-5.
- 環境省：外来生物法, <http://www.env.go.jp/nature/intro/>.
- 環境省：要注意外来生物リスト,  
<http://www.env.go.jp/nature/intro/1outline/caution/index.html>
- 村井宏(1992) 日本の海岸林. ソフトサイエンス社. 東京.
- 野原咲枝・高橋孝之(2007) 海岸保安林における湿地対策としての盛土工法の評価, 千葉県森林センター研究報告 2号, 1-6.
- 槌尾健・高橋輝昌・野原咲枝・小平哲夫(2008) 千葉県九十九里浜におけるクロマツ林の枯損要因の検討, 日本緑化工学会誌, 34(1), 257-260.

## 資料 1

### 千葉県九十九里における海岸林と家屋の被害から見た砂堤と海岸林の津波防御効果

○ 小林達明・長谷川いずみ・野原麻由実・加藤顕・本條毅（千葉大園芸）・岡田悠・山下俊男（千葉県北部林業事務所）

#### 1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震は、千葉県にも 5m 以上の津波をもたらし、死者・行方不明 20 人など大きな被害をもたらした。本研究では、千葉県九十九里海岸でとられた地震後の航空機レーザー測量データと現地毎木調査により海岸林の被害を明らかにするとともに、被害の大きかった山武市と旭市の建物の損壊状況との関係を分析し、海岸林や砂堤が津波被害に海岸林がどのような役割を果たしたか分析した。

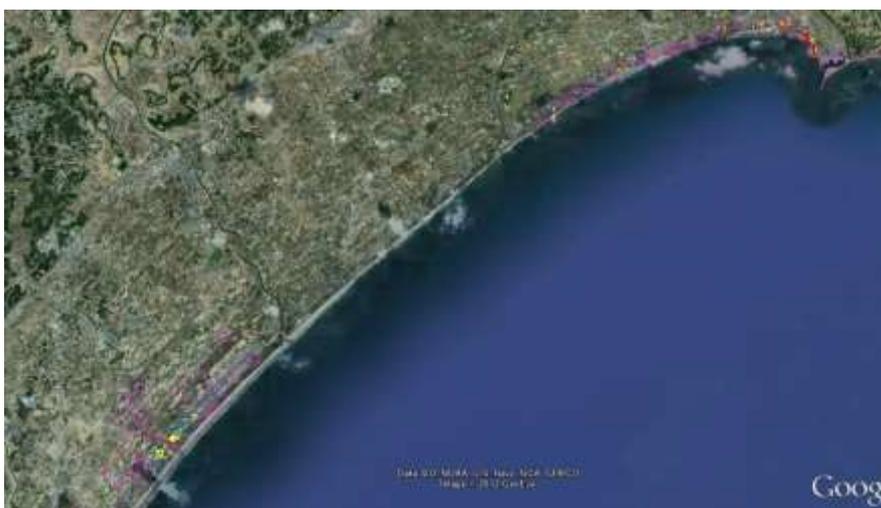


図 1 研究対象地の浸水範囲（紫線）と建物被害状況（赤：全壊、桃：半壊、黄：床下浸水、青：被災なし）の分布。復興支援調査アーカイブ ([http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/dataset/list\\_all](http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/dataset/list_all)) より

#### 2. 方法

ArcGIS を利用して、千葉県旭市と同山武市の海岸域全体を 50m メッシュのポリゴンで区切り、海岸線に最も近く建物があるポリゴン群の被害状況を把握した。両市が作成した住宅の被害状況の地図をもとに被害度のデータを各住宅のポイントに入力し、各ポリゴンの平均建物被害度を計算した。国土地理院によって取得された 2011 年 4～5 月の九十九里海岸全域の航空レーザ測量データから DEM と DCM を作成した。DTM から標高値のデータを、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループの調査結果と現地調査の結果から、津波の浸水深のデータを推定して、メッシュの平均標高、平均浸水深を算出した。建物被害

と海岸林の関係を検討するために、各ポリゴンから海岸線までの間にある緑地帯の幅を、DCM から緑地帯プロファイルを作成して「断面積」のデータを算出した。2011 年に行った 50m トランセクト毎木調査のデータから、首藤（1985）の「厚味」の定義\*に従って立木の幹直径の積算値を出し、対応する「断面積」の値と照応させて、「断面積」から「厚味」を推定する式を導いた。

以上の分析をもとに、海岸林の津波防御効果を検討した。

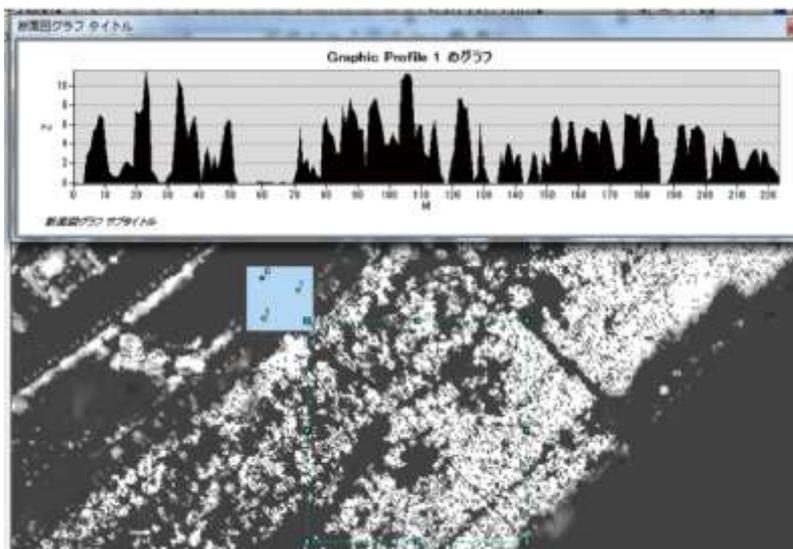


図2 分析のための単位ポリゴンの設定と「厚味」の算出基盤となったレーザデータから得られた緑地帯プロファイル（上図）. プロファイルの陰の面積が「断面積」

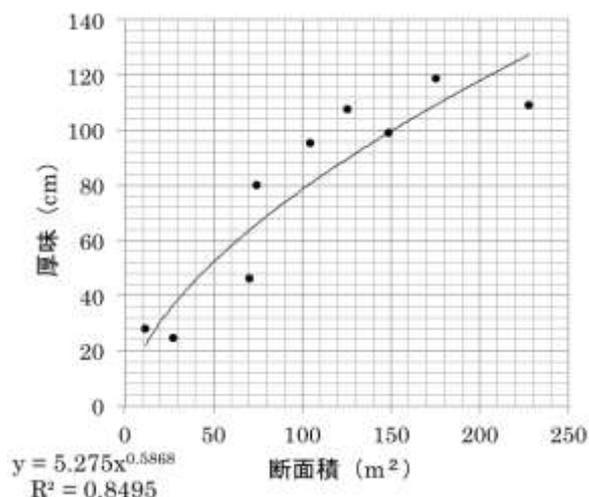


図3 得られた「断面積」と「厚味」の関係

\*厚味：海岸林帯を汀線と鉛直に幅 1m の短冊に区切った場合、その細長い短冊地に立地する胸高直径 2cm 以上の樹木の胸高直径の積算値。

### 3. 結果

#### 3-1. 海岸林の被害

樹木被害には根返り、倒伏、幹折れ、塩害があったが、物理的な衝撃によって起きる根返り、倒伏、幹折れは、砂堤第一列の背後の洗掘部分に集中し、20m 以内にほぼ限られていた。

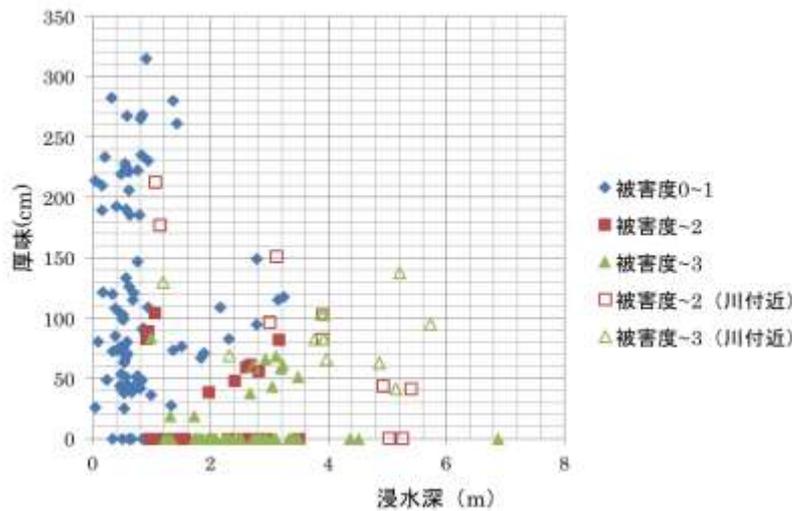


図4 建物被害度と浸水深および厚味との関係。被害の内容は以下の通り。

被害度 0～1：床下浸水または床上浸水、被害度 2：大規模半壊、被害度 3：全壊

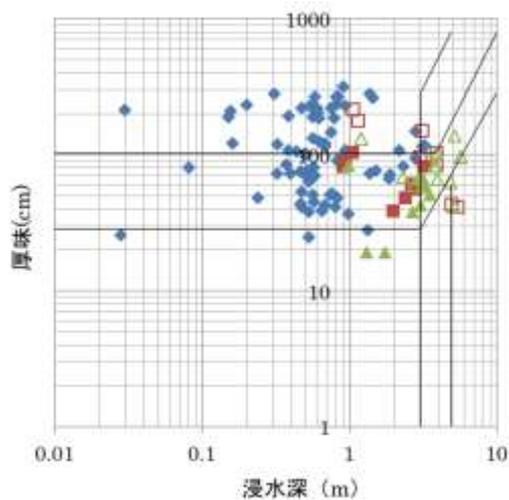


図5 図4を両対数表示したもの。首藤(1985)の海岸林の効果の領域区分では以下に相当。

A：主樹木に被害がなく漂流物阻止の効果はある。B1：主樹木に倒伏が生じるが漂流物阻止も可能。B2：全く効果がない。C1：林帯内での倒木や土壌洗掘も生じない。C2：林帯内の被害は大規模でない。D1：林帯内の被害はない。D2：背後地では流勢が軽減され、被害が緩和される

### 3-2. 家屋の被害

各単位ポリゴンの建物被害度を目的変数に、海岸からの距離、緑地帯の幅、浸水深、厚味を説明変数にして重回帰分析を行ったところ、変数選択の結果、以下のモデルが採択された。

$$\text{建物被害度} = \text{浸水深} \times 0.462 - \text{厚味} \times 0.00464 + 1.09 \quad r^2 = 0.562$$

家屋の被害は津波の浸水深に最も左右されていたが、海岸林の効果も明らかに認められた。

一方、防潮堤や海岸林が切れる河口周辺、海岸林を切り通した道路周辺では著しく被害が大きかった。河川堤防の決壊は、海岸周辺の湿地域で主に生じており、そうした部分の取扱いが防災上も自然環境要素としても課題であることを示す。また、緑地帯はあっても滞水害やマツ枯れ、津波の塩害によって森林が疎開している部分も多く、その再生が課題である。



図6 木戸川河口の堤防の決壊と津波の侵入

星印が決壊箇所。右の写真はAの決壊箇所。点線は微高地に位置する道路。破線は排水路。

#### 文献

首藤伸夫（1985）防潮林の津波に対する効果と限界，第32回海岸工学講演会論文集，465-469.

# 山武市海岸林植栽試験計画書

近野友亮、小椋佳、黒沼尊紀、山本啓介

## プロジェクト概要

東北太平洋沖地震は、千葉県に約 5m の津波をもたらし、多くの海岸林が被害を受けた。海岸林は主に防風や飛砂防止、防潮等の機能を持っているが、今回の津波被害において、漂流物の捕捉や流勢の緩和効果があったことも報告されている(今井 2011)。

本プロジェクトは、千葉県山武市の木戸川河口付近の海岸林および住宅地の約 64ha(約 800m×800m)を対象とし(図 1)、海岸林の津波被害防止機能を重視した沿岸防災モデルの検討・提案を行う。そこで、現在まで当該地域において、津波被害後の被害状況、植生調査、地下水位、EC、マツ材線虫病の被害について調査を行った。

その結果、土壌中に塩類は残存しておらず、樹木の生育を妨げる要因となることは考えにくかった。しかし一方で、湿地や地下水位が 1.2m 以下の地点が多く確認され、これら有効土層の小さい地点において生育が可能な樹種の選定が必要であることが示唆された。

これらのことを考慮し、当該地域において湿地および有効土層 1.2m 以下の地点での植栽試験を行い、沿岸防災モデル構築のための知見とする。



図 1 調査対象地 (Google Earth より引用一部改変)

## 調査地について

本プロジェクトの調査地は津波発生時、①海岸方面からの津波の流入、②木戸川堤防破損部からの海水の流入、③木戸川のオーバーフローの3方向の海水の流入により、約23haの面積で1m以上の浸水深を記録した。河川付近には、いくつか湿地が存在した。

海岸林のみに着目すると、砂丘直後に密度は低いもののクロマツ林帯が50m程存在し、これは千葉県指針の林帯幅基準値を満たす。しかし、その後背地には樹木はほとんど生育しておらず、クロマツの生育基準となる有効土層1.2m以上も満たしていない。さらに住宅地側に向かうと湿地が広がり、クロマツの生育は不可能であると考えられた(図2)。

また、木戸川の北側の蓮沼では、1948年頃河川が汀線にほぼ平行に流れていた地域であり、その名残と考えられる湿地も存在する(図3)。このように当該地域には、湿地やクロマツが生育するのに十分な有効土層を確保できない地点が存在し、これら地点において海岸林として造成可能な樹種の選定が必要であると考えられる。

その他、海岸には駐車場や道路が存在し、津波の流路となった可能性がある。このような土地利用についても、今後検討していく必要があると考える。



図2 調査地内の海岸林とその地下水位および土地利用

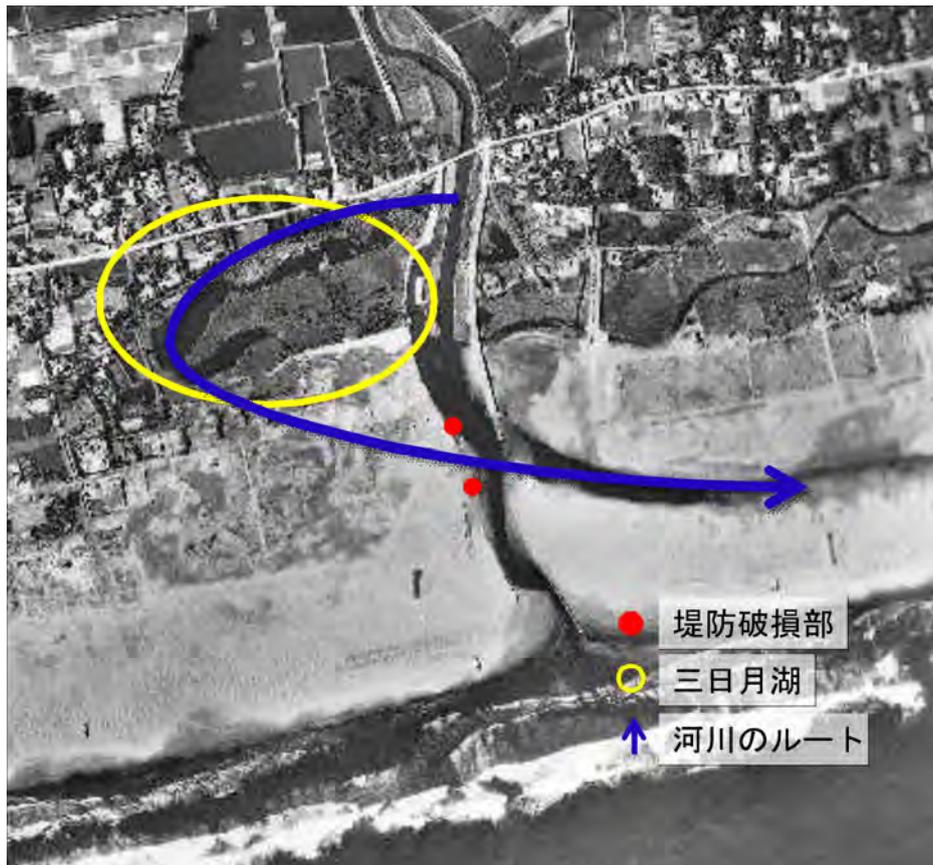


図3 1948年の木戸川付近の河川の流れ

## 植栽試験について

### 植栽試験地

本プロジェクトの調査地内に植栽試験地を設置し、湿地と有効土層 0.8m（盛土により調整）の2つの試験区を設ける（図4）。

### 試験区詳細

#### 試験区

1 試験区は 12m×12m とし、1 試験区あたり 100 本の苗木を植栽する（図5、6）。

（千葉県の指針：植栽密度 7000 本/ha を参照）

#### 樹種構成

##### ①湿地

高木樹種 2 種（ヌマスギ、ジャヤナギ）低木樹種 2 種（ハマボウ、オノエヤナギ）を想定しており、各樹種 25% の構成で植栽する。

##### ②有効土層 0.8m

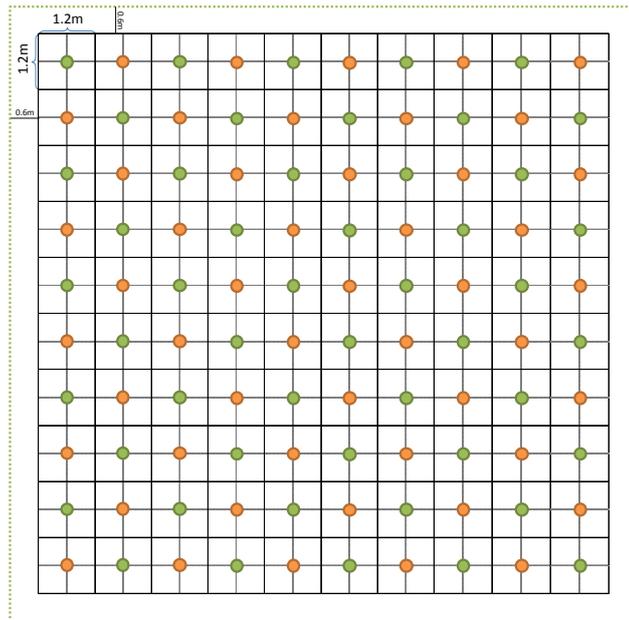
高木樹種 2 種（エノキ、タブノキ）低木樹種 4 種（マルバグミ、ヤマグワ、トベラ、マサキ）を想定しており、高木 2 種＋低木 2 種で試験を行う。そのため、①エノキ、タブノキ、マルバグミ、ヤマグワと②エノキ、タブノキ、トベラ、マサキの2つの試験区を設ける。

#### 盛土および使用土壌の調査

有効土層 0.8m の試験地を設置するため、湿地に盛土を行う。盛土に使用する土壌は、pH、EC などの基本的な分析を行う。

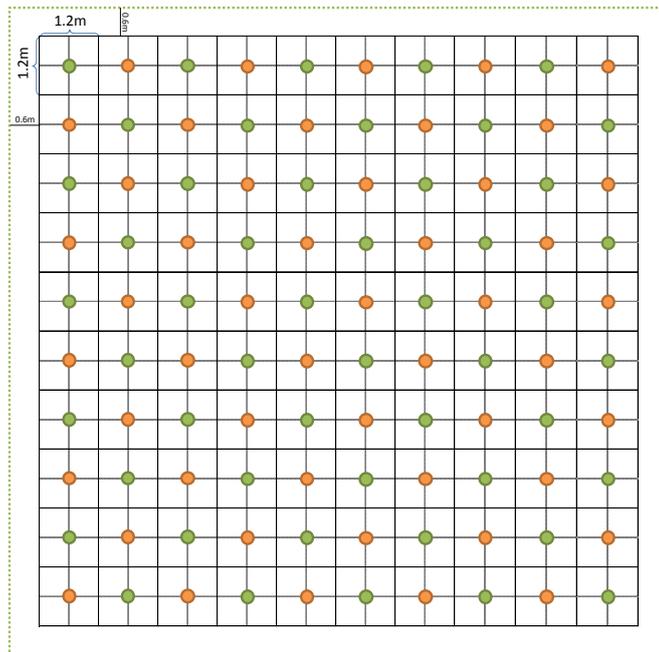


図4 植栽試験地の概略図



- 試験区面積 :144㎡ (12m × 12m)
- 高木樹種:エノキ + タブノキ 25本×2種/1試験区
  - 低木樹種:マルバグミ + ヤマグワ or トベラ + マサキ 25本×2種/1試験区
- 制砂垣 地上部85cm、地下部25cm

図 5 湿地植栽試験区の概略図



- 試験区面積 :144㎡ (12m × 12m)
- 高木樹種:ヌマスギ or ジャヤナギ 50本/1試験区
  - 低木樹種:ハマボウ or オノエヤナギ 50本/1試験区
- 制砂垣 地上部85cm、地下部25cm

図 6 有効土層 0.8m の植栽試験区の概略図

## 将来目標図

### 砂丘

今回の津波被害において、砂丘は防潮効果を発揮したと考えられる。そのため防潮堤等の人工物の新設せず、砂丘により防風・防潮を行う。

### マツ林

防災林としてのマツ林は最低 50m 確保する必要がある(千葉県 2012)、有効土層は地下水から 1.2m 以上確保する必要がある(小田 1994)。本対象地ではマツ林前線部が有効土層 1.2m 以下なので、一部盛土を行い、80m の林帯幅を確保し、千葉県指針の 10000 本/ha を目指す。

### 広葉樹林

本対象地はマツ林の後ろに湿地が広がるため広葉樹林帯を確保することができない。植栽する場合、有効土層を 80~120cm 確保し、植栽密度は千葉県の指針 7000 本/ha を目指す。しかし広葉樹林の地下水面からの有効土層に関する研究報告はないため、本調査を行うことで有効土層の厚さを検討する。

### 湿地林

可能な限り盛土を行わずとも、生育可能な樹種を植栽試験により選定し、およそ 70m の林帯幅を確保する。また密度は千葉県の指針 7000 本/ha を目指す。

### 常緑広葉樹林

現在、この地点にはササが繁茂しており、改善が必要であると考えられる。そのため常緑広葉樹を植栽し、景観に優れた林帯を目指す。樹種は千葉県の代表的な海岸植物であるタブノキ、トベラ、マサキを植栽する。

注：ニセアカシアは侵略的外来種であるため根絶を目指す。除去作業は海岸林の造成時に行う。



図7 調査地の将来目標図

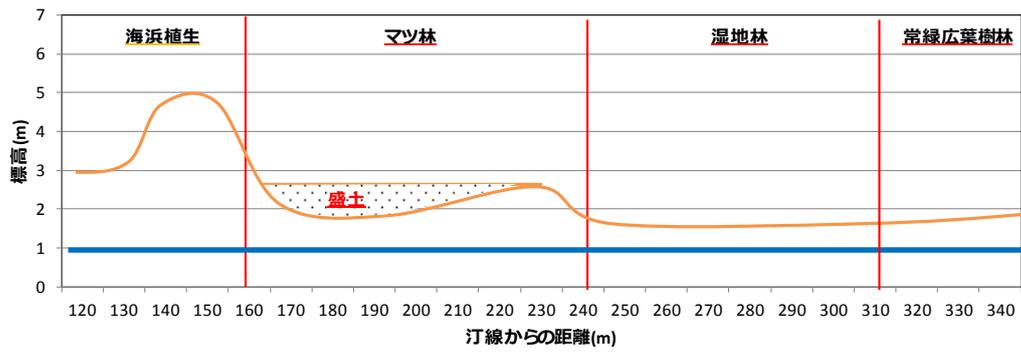


図8 調査地の将来目標図(断面図)

参考文献

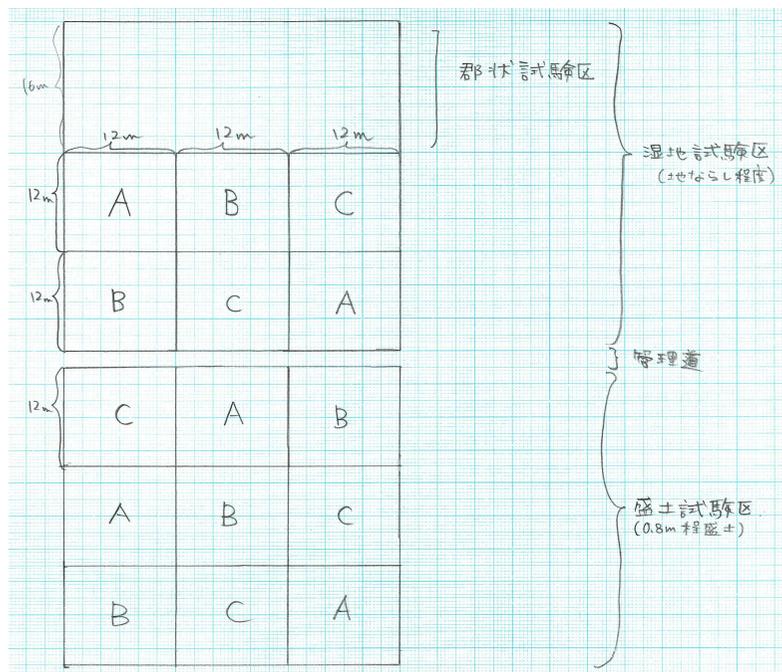
千葉県(2012) (仮称) 千葉県海岸県有保安林整備指針(素案) (九十九里地区), 森林課  
 小田隆則(1994), 海岸砂丘低湿地における植栽木根系の滞水反応と樹林帯造成法に関する研究



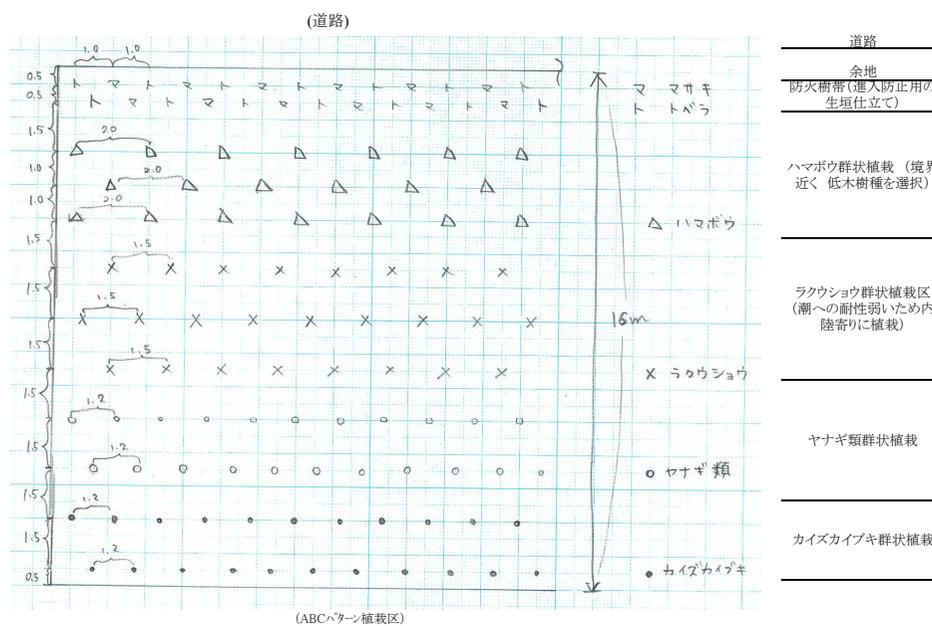
試験区見取り図

湿地試験区 1,440m<sup>2</sup> (36m×40m)  
盛土試験区 1,296m<sup>2</sup> (36m×36m)  
管理道 40m

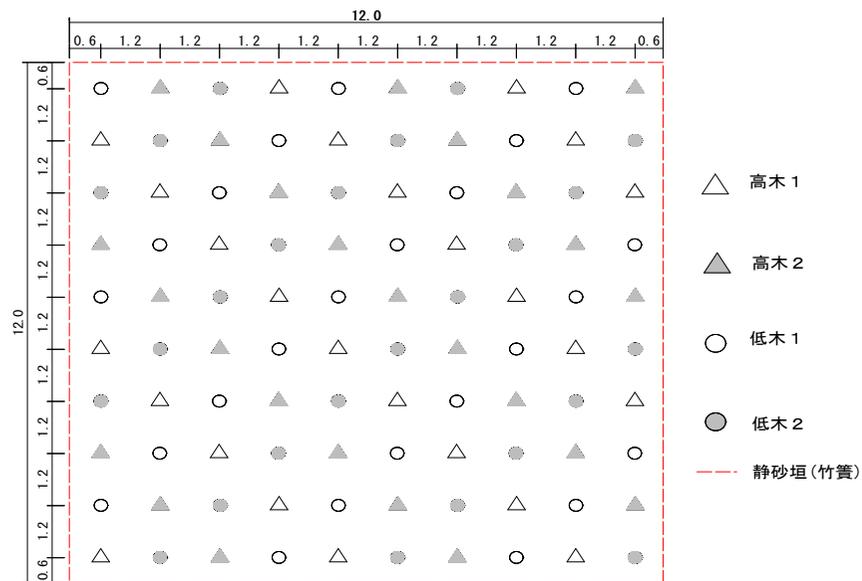
全体図



群状試験区詳細図



A・B・Cパターン模式図



2012年 千葉県山武市小松地区海岸

調査・研究に基づいた海岸林を中心とした沿岸防災モデルの提案

## 管理計画書



千葉大学園芸学研究科  
近野友亮、小椋佳、黒沼尊紀、山本啓介

## I.プロジェクト概要

東北太平洋沖地震は、千葉県に約 5m の津波をもたらし、多くの住宅地や海岸林が被害を受けた。本プロジェクト実施地の山武市小松地区（図 1, 2）においても、津波発生時、

- ①海岸方面からの津波の流入
- ②木戸川堤防破損部からの海水の流入
- ③木戸川のオーバーフロー

の 3 方向の海水の流入により、約 23ha が 1m 以上浸水し、住宅地や農地、海岸林等が甚大な被害を受けた（図 2, 写真 1）。

海岸林は主に防風や飛砂防止、防潮等の機能を保持し、当該地域においても古くから造成が行われてきた。しかし、現在、海岸林は津波の被害により衰退しており、住宅地への飛砂・潮害等の問題が懸念される。また、今回の津波被害において、海岸林は漂流物の捕捉や流勢の緩和効果があったことも報告されてことから(今井 2011)、将来の津波被害軽減にもその効果が期待されている。

そこで、本プロジェクトは、千葉県山武市の木戸川河口付近の海岸林および住宅地の約 64ha(約 800m×800m)を対象とし(図 2)、海岸林の既知の機能に加え、津波被害防止機能を重視した沿岸防災モデルの検討・提案を行う。

現在まで当該地域において、津波被害後の被害状況、植生調査、地下水位、EC、マツ材線虫病の被害について調査を行った。その結果、土壌中に塩類は残存しておらず、樹木の生育を妨げる要因となることは考えにくかった。しかし一方で、湿地や地下水位が 1.2m 以下の地点が多く確認され、これら有効土層の小さい地点において生育が可能な樹種の選定が必要であることが示唆された。これらのことを考慮し、当該地域において湿地および有効土層 1.2m 以下の地点での植栽試験を行い、沿岸防災モデル構築のための知見とする。

本管理計画は主として、植栽試験実施後、有用な樹種を選定・造成した海岸林を想定し、その維持管理に関する提言を行う。



図 1 千葉県山武市小松地区



図 2 プロジェクト実施地（山武市小松地区）

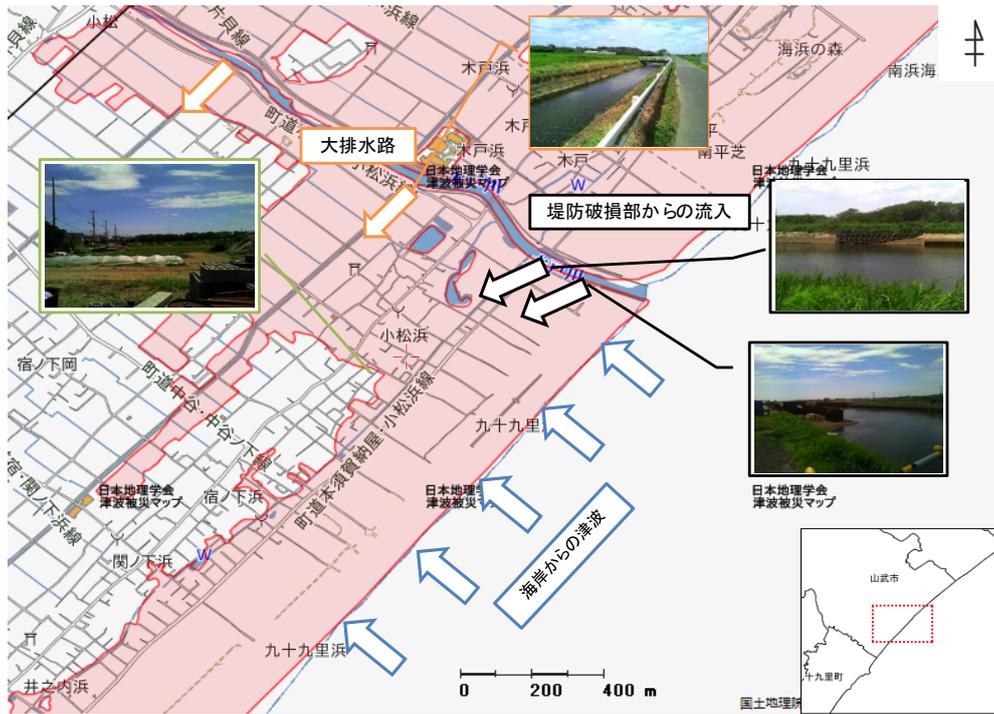


図3 千葉県山武市小松地区周辺の津波被害（浸水域 1m 以上→赤）



写真1 海岸林の様子

## II.プロジェクト実施後の竣工図

プロジェクト対象地のうち、湿地や有効土層の1.2m以下の土地が多く存在する海岸をオレンジの枠で示した(図4)。海岸林造成に伴い、特にこの地点への対策が必要と考えられるため、本管理計画ではこの地点の海岸林造成に関する竣工図を作成した(図5, 6)。



図4 プロジェクト実施地と竣工図作成地

### 砂丘

今回の津波被害において、砂丘は防潮効果を発揮したと考えられる。そのため防潮堤等の人工物の新設を行わず、砂丘により防風・防潮を行う。

### マツ林

一部盛土を行うことで(図8)、80mの林帯幅を確保し千葉県指針の10000本/haを目指す。

### 湿地林

可能な限り盛土を行わずとも、生育可能な樹種を植栽試験により選定し、およそ70mの林帯幅を確保する。また密度は千葉県の指針7000本/haを目指す。

### 常緑広葉樹林

現在、この地点にはササが繁茂しており、改善が必要であると考えられる。そのため常緑広葉樹(タブノキ、トベラ、マサキ)を植栽し、景観に優れた林帯を目指す。



図5 海岸林造成の竣工図

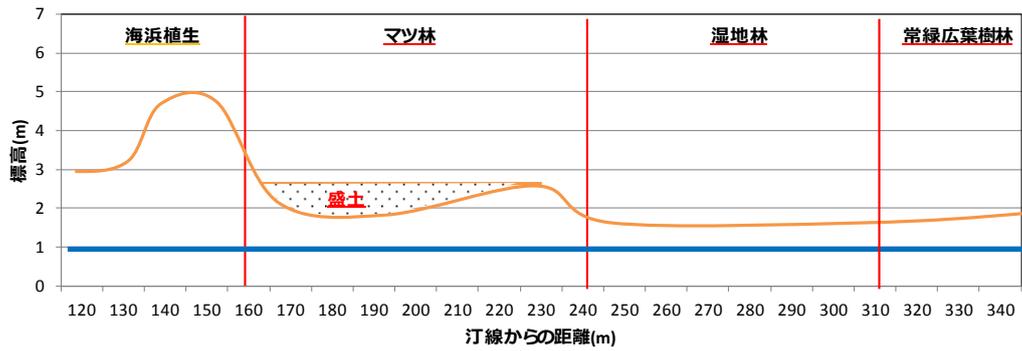


図6 海岸林造成の竣工図（断面図）

### Ⅲ.継続的な（長期的な）管理とそのスケジュール

当該地域における海岸林の管理は、可能な限り省力的な管理が望まれる。そこで造成後の海岸林の管理として、特に重要と考えられる3点の作業について、継続的な実施を検討している。

- ①マツ林帯において、マツノザイセンチュウ対策のため薬剤散布する（図5）。
- ②湿地林帯において、ヨシの繁茂が予想されるため、それらの除去を行う（図5）。
- ③常緑広葉樹林帯において、林冠が鬱閉するまでの期間、ササを除去する（図5）。

#### ①について

当該地域は、以前よりマツノザイセンチュウによる被害が報告されており、竣工図に示した密度や林帯を保持するためには、対策が必要であると考えられる（表1）。そこで、カミキリムシの活動が活発化する5月下旬～7月に薬剤を散布する。

#### ②について

本プロジェクトの植生調査の結果、湿地帯にはヨシ（イタチハギ）が優占していた。この地帯に他の樹種を造成すると仮定した場合、ヨシの除去が必要であると考えられた。そのため、夏季（7月）に除去作業を行う。

#### ③について

竣工図に示した常緑広葉樹林帯には、現在ササが繁茂している。このササを除去するため、新葉が展開する6～8月にササを刈り取る。

これら2つの作業について、スケジュールを下記に示した（図7）。

表2 九十九里地区における松くい虫被害量の年推移

年	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
材積 m <sup>3</sup>	1672	2588	1576	1802	2017	2145	3025	6286	10796	5064

(千葉県海岸県有保安林整備指針 2012 より引用)

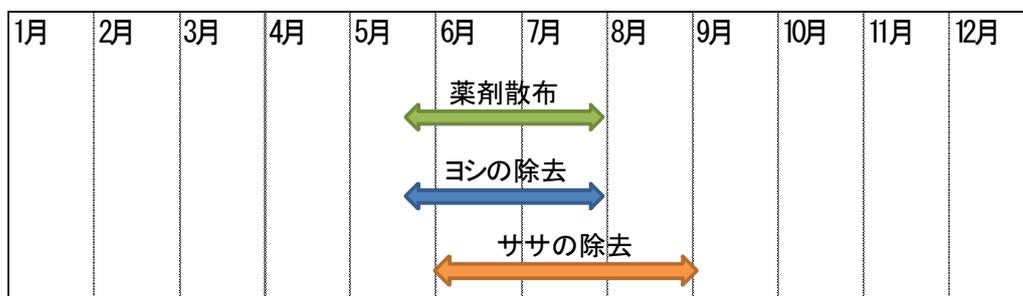


図7 維持管理スケジュール

### Ⅳ.造成前の管理

林帯造成前の管理として、上述のヨシ・ササの除去に加え、ニセアカシアの除去を行う。また、マツ林帯において十分な林帯を確保するために、盛土を行う（図6）。

## V. 基準モニタリングデータおよびモニタリング方法

### 基準モニタリングデータ

永久プロット（10m 四方）を設け、毎木調査を行う（図 8）。

時期は夏季と冬季の 2 回とする。

特にヨシ、イタチハギ、ササの動向には注意を払い、維持管理へ反映させる。

### モニタリング方法

毎木調査



図 8 永久プロットの設置位置

## VI. 植栽試験について

### 維持管理について

- ・ 主木が鬱閉するまでの数年間、定期的な除草を行う。

マルチの代用として、植物を生育させる可能性がある。その際は、背丈の大きな雑草のみ取り除く。

実施時期および頻度：夏季に 1 回

※北部林業の実施している維持管理法も参考にしたい。

### モニタリングについて

項目：根元直径の計測、枯損の有無

実施時期および頻度：夏季と冬季の計 2 回

※北部林業の実施しているモニタリング指標も参考にしたい。