

## 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—

坂本知己<sup>1\*</sup>・新山馨<sup>2</sup>・中村克典<sup>2</sup>・小谷英司<sup>2</sup>・平井敬三<sup>1</sup>  
齋藤武史<sup>2</sup>・木村公樹<sup>3</sup>・今純一<sup>3</sup>

### Effectiveness of the coastal forest in stopping drifts from entering the residential area

- A case study of the *Pinus thunbergii* coastal forest in Hachinohe City Aomori Prefecture -

Tomoki Sakamoto<sup>1\*</sup>, Kaoru Niiyama<sup>2</sup>, Katsunori Nakamura<sup>2</sup>, Eiji Kodani<sup>2</sup>, Keizo Hirai<sup>1</sup>,  
Takeshi Saito<sup>2</sup>, Koki Kimura<sup>3</sup> and Junichi Kon<sup>3</sup>

**Abstracts:** The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake Tsunami surged through the *Pinus thunbergii* coastal forest of Ichikawa-cho, Hachinohe City in Aomori Prefecture with about T.P. (Tokyo Peil) +7-8 m (4 m above ground). The tsunami height in the forest was presumed to be about T.P.+7.0 m (3-4 m above ground). The tsunami moved drifts such as fishing boats (20 or more) into the coastal forest. The fishing boats etc. mowed down much of the coastal forest, but were eventually stopped and did not reach the residential area to its rear. In other words, the coastal forest demonstrated a catching drift function. Conversely, the coastal forest sustained larger damage based on the scale of the tsunami than suggested by existing knowledge, which indicated the significant influence of the drift. In addition, although the width of the coastal forest was considered sufficient, it was actually insufficient depending on the direction in which the fishing boats flowed.

#### 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による巨大な津波は、多くの場所で軽々と防潮堤を越えただけでなく防潮堤を破壊した。このため、今後の津波対策では、これまで津波対策の中心であった防潮堤だけに頼るのではなく、土地利用や避難まで含めた総合的な対策がより重要とされるようになった。その中で、海岸林にもその津波被害軽減効果が期待されている（東日本大震災復興対策本部，2011）。海岸林の津波被害軽減機能としては、漂流物捕捉機能、波力減殺機能、登ったりすがりついたりする避難場を提供する機能、砂丘を維持する機能などが知られている（首藤，1985；石川，1992）。

首藤（1985）は、過去の5つの津波に関する報告書に基づいて、津波に対する樹木の被害を津波浸水深と胸高直径との関係で整理した。また、防潮林が効果を発揮できる林帯幅や林帯の厚み（幹の量の

概念：胸高直径×樹幹本数）について、津波浸水深との関係で整理した。しかしながら、海岸林を他の防災施設等と連携した総合的な対策の中で位置づけるためには、既往の知見は必ずしも十分ではない。

そこで、今回の津波を対象に行われた多くの調査結果を加えることで、知見を充実させることが重要である。本研究では、青森県八戸市市川町の海岸林を対象に、どのような林相の海岸林に、どのような規模の津波が押し寄せ、海岸林がどのような被害を受けたかに加え、海岸林が漂流物を捕捉した実態を明らかにすることを目的とした。

#### 2 調査地概要

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1）。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。今回、調査の対象としたのは、そのうち五戸川の右岸側で市川船溜の近くである。

ここの特徴は、津波によって海岸林はなぎ倒されながらも、海から運ばれた複数の船舶を海岸林で止めたこと（写真1）と、その海岸林の内陸側に隣接する住宅地では、家屋が浸水したが流失すること

<sup>1</sup>（独）森林総合研究所，Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687 Japan

<sup>2</sup>（独）森林総合研究所東北支所，Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Nabeyashiki, Shimo-Kuriyagawa, Morioka, Iwate 020-0123 Japan

<sup>3</sup>（地独）青森県産業技術センター林業研究所，Forestry and Forest Products Research Institute, Aomori Prefectural Industrial Technology Research Center, Kominato, Hiranai, Aomori 039-3321 Japan

\*Corresponding author: safe@ffpri.affrc.go.jp



図1 調査対象海岸林の位置



図2 調査対象地概況と地盤測量実施線



図3 調査区位置図



写真1 海岸林に捕捉された漁船  
(八戸市森林組合提供)



写真2 被害箇所での調査状況

はなかったことである。

対象海岸林の海側の地形は一様ではなく、北側部分には汀線に平行な道路を挟んで T.P.+8.0 m の防潮堤が北へ伸びており、対象地の海側正面から南側にかけては、道路を挟んで奥行き 190 m~300 m の埋め立て地が造成されていた (図 2 : 白破線枠内)。奥行き 190 m 部分 (T.P.+3.7~3.9 m, 図 2 : 測線 A) の海側端は T.P.+3.8 m の防潮堤となっていた。300 m の埋め立て地部分 (図 2 : 測線 B) には、八戸港の浚渫土が二段 (下段天端 : T.P.+9.5 m, 上段天端 : T.P.+12.4 m) で仮置きされていた。

対象地の林帯幅は 150 m (図 2 : 測線 A) ~300 m (図 2 : 測線 B) であるが、幅 300 m の部分では一部で公園利用がなされており、林帯部分は約 215 m であった。

### 3 調査方法

海岸林の被災範囲、ならびに船舶の流入状況は、Google Earth の画像 (2011 年 4 月 5 日撮影) から判読した。現地調査は、2011 年 5 月 12 日に概況調査、5 月 17~18 日に、残存林分調査と、海岸林被害状況調査、地盤測量、堆砂厚調査、浸水痕跡調査、聞き取り調査を行った。

地盤測量は、汀線 (防潮堤) から浸水範囲までを対象とした。測量にはトータルステーションを用い、汀線に直交する測線を 2 本設けた。いずれも、海岸林が広くなぎ倒された箇所を通るように設定した (図 2 : 測線 A, 測線 B)。また、津波の遡上範囲を把握するための測線 (測線 C) も設けた。津波で運ばれた砂が堆積していた箇所では、堆積した砂を取り除いて津波前の地盤高を出し、砂の堆積厚を求めた。

津波浸水深は、家屋や電柱に残った痕跡から求めた。なお、聞き取り調査によって確認した痕跡もある。

なぎ倒された箇所の樹木 (被害木) が、倒されなかった箇所の樹木 (残存木) と比べて被害を受けやすい条件であったかどうかを確認するために、それぞれの標準的な箇所に調査区を設けた。

対象海岸林が風衝林形を呈していたことから、残存木については、海側林縁に近い部分 (海側区 : 図 3, P-1, 35 m<sup>2</sup>)、陸側林縁に近い部分 (陸側区 : 同 P-3, 100 m<sup>2</sup>)、その中間部分 (中間区 : 同 P-2, 100 m<sup>2</sup>) に調査区を設けて毎木調査を実施した。また、海側と陸側の残存した林縁で林冠形成木 10 本を対象として樹高、枝下高を測定した。

被害木については、海岸林の被害箇所の概ね 10×10 m の範囲から優勢木を 10 本選んで、樹高、胸高直径、枝下高を測定するとともに、被害形態を調査した (写真 2)。被害木について毎木調査を実施しなかったのは、現地調査の前に重機による漂流物

の撤去作業が行われていたため、小・中径の被害木を中心にその残り方が津波直後とは異なると考えられたからである。優勢木を対象としたのは、樹木の被害実態を知る場合、津波に対して耐性の高い大径の個体の被害状況ほど重要と考えたことと、優勢木の状況から林冠高を推定するためである。被害箇所の立木本数密度は、上の概ね 10×10 m の範囲で樹木の流失が生じていないと判断された箇所に、5×5 m の方形区 (図 3, P-4~P-8) を設けて算出した。なお、被害箇所の調査区は、残存箇所の海側区と中間区に対応し、陸側区に対応するものはない。なお、海側の道路に接する被害箇所の前縁部分は漂流物の処理で荒らされていたために、また、津波で流失していることも考えられたため、海側区に対応する調査区 (P-4, P-8) は、林縁から少し内陸側に設定した。

### 4 結果

#### 4.1 海岸林の概要

海岸林の残存箇所の立木本数密度は、海側区で 7,400 本/ha, 中間区で 2,300 本/ha, 陸側区で 2,400 本/ha であった (表 1)。林冠形成木 (ここでは樹高上位 20%) の平均樹高 (以下、林冠高) は、同じく 6.2 m, 16.8 m, 18.2 m であった。平均胸高直径は、同じく 8.1 cm, 16.2 cm, 15.2 cm であった。なお、林縁の林冠形成木の平均樹高は、海側林縁で 3.8 m, 陸側林縁で 15.2 m であった (表 2)。

被害箇所の立木本数密度は、海側区 (P-4, P-8) で、7,200 本/ha, 3,200 本/ha, 中間区 (P-5~P-7) で 3,600 本/ha, 3,600 本/ha, 4,000 本/ha であった (表 3)。優勢木の胸高直径は、海側区 (P-4, P-8) で 10.5~18.3 cm, 11.0~18.5 cm, 中間区 (P-5, P-7) で 12.8~19.5 cm, 10.7~27.5 cm であった。優勢木が対象なので、平均樹高は林冠高に相当すると考えられ、海側区 (P-4, P-8) で 10.5 m, 11.8 m, 中間区 (P-5, P-7) で 12.6 m, 15.1 m であった。これらの結果を残存箇所 (表 1) と比べると被害箇所の樹木は、とくに細いわけではなく、立木本数密度が低いわけでもなかった。なお、海側区の樹高は被害箇所の方が高いが、これは、被害箇所の調査区を、前縁部分ではなく、林縁から少し内陸側に設定したことの影響と考えられる。

これらのことから、被害箇所の林相が残存箇所と比べてとくに津波被害を受けやすいものであったとは考えられない。

#### 4.2 津波の概要

気象庁は、対象地の南西約 7.5 km に位置する八戸検潮所付近の津波の高さとして 6.2 m を記している (気象庁, 2011)。また、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ (<http://www.coastal.jp/tjt/>) の

速報値 (tjt\_survey\_07-Aug-2012\_tidecorrected.csv) によれば、林帯の海側約 140 m 地点での津波高は T.P.+8.1 m とされている。

聞き取り情報によると、津波は対象地の北側にある T.P.+8 m の防潮堤を越えていないようである。現地状況からも、越波はしたとしても越流はしていないと推測された。浚渫土の盛土の下端天端に設置された金属製の柵は陸側に曲げられていたが、周辺状況から津波高(浸水高)はそこまでなく、遡上した波によって曲げられたものと考えられていた。また、盛土の北側法面は流水による洗掘が見られた。残土盛土の上段の天端には、遡上痕跡から、遡上波もわずかに到達しなかったと考えられていた。対象林帯の海側 120~140 m ほどのところにある建物は、津波によって建物の周りが洗掘され、少なくとも地上 5.0 m (T.P.+8.7 m 程度) まで損壊痕跡があった。

以上のことから、対象海岸林に到達した津波の浸水高を、T.P.+7~8 m 程度(地上 4 m 程度)であったと推定した。なお、津波は、海岸林の海側にあった漁業協同組合の事務所を流失させた。

海岸林内では津波浸水痕跡を特定することができなかったが、地上 3.7 m~4.0 m に、津波によ

て運ばれたと考えられるビニールシートの切れ端などのゴミがひっかかっているのを多数確認した。測線 B 付近の公園に残された痕跡は地上 3.9 m (T.P.+7.6 m 程度)、公園内のトイレの中に残った痕跡は床面から 2.75 m (T.P.+7.1 m 程度)、海岸林を横断する道路脇の電柱に残った浸水痕跡は地上 3.8 m (T.P.+6.9 m 相当) であった。

以上のことから、林帯部分での浸水高は、T.P.+7.0 m 程度(地上 3~4 m) と推定した。この高さは、海岸林の海側部分では枝下高を超えるが、中間区や内陸区では、林縁部を含めて枝下高より十分に低い。

海岸林背後の住宅地での浸水痕跡は、測線 A に接する海岸林の背後の家屋で、地上 3.3 m (T.P.+6.9 m) であった。林帯後方 277 m までの建物に残された津波浸水痕跡は、T.P.+6.9~7.0 m で、ほぼ一定であった。津波は、林帯後方 348 m 地点にある南北方向の道路(図 2、測線 C 左端: T.P.+6.3 m) まで遡上した。これは、2007 年 2 月作成の「浜市川駐在所津波避難マップ」に掲載されたチリ津波(1960 年 5 月)の浸水範囲を 160~170 m 超えるもので、標高では 2 m 以上高い位置まで到達したことにな

表 1 対象海岸林の林相

調査区	面積 m <sup>2</sup>	立木本数 本 本/ha	胸高直径			樹高			林冠高 m	枝下高			形状比		
			最大 cm	最小 cm	平均 cm	最大 m	最小 m	平均 m		最大 m	最小 m	平均 m	最大	最小	平均
1 海側	35	26 7,429	16.0	3.1	8.1	6.5	2.0	5.2	6.2	3.3	1.1	2.2	109	38	70
2 中間	100	23 2,300	25.8	11.0	16.2	17.9	11.5	14.9	16.8	11.4	7.1	9.3	137	65	96
3 陸側	100	24 2,400	24.2	8.2	15.2	18.7	8.8	14.1	18.2	13.1	4.4	9.3	124	66	97

林冠高: 上位20%木の平均樹高

表 2 林縁木の状況

	胸高直径 cm	樹高 m	枝下高 m	形状比	林冠長率 %
海側林縁	—	3.8 ± 1.1	0.5 ± 0.3	—	84 ± 11.0
陸側林縁	20.0 ± 4.0	15.2 ± 1.7	9.4 ± 0.9	77 ± 11	38 ± 6.1

林縁木10本の平均

—: 未測定

表 3 被害木の概要

調査区	面積 m <sup>2</sup>	立木本数 本 本/ha	胸高直径			樹高			枝下高			形状比		
			最大 cm	最小 cm	平均 cm	最大 m	最小 m	平均 m	最大 m	最小 m	平均 m	最大	最小	平均
4	25	18 7,200	18.3	10.5	14.6	11.9	8.2	10.5	8.8	2.7	6.6	102	55	74
5	25	9 3,600	19.5	12.8	16.1	13.2	12.1	12.6	9.7	3.4	7.0	95	66	80
6	25	9 3,600	32.7	12.8	20.9	13.6	10.5	11.9	8.0	4.5	6.4	70	49	58
7	25	10 4,000	27.5	10.7	17.4	16.4	14.0	15.1	11.4	6.6	9.4	136	52	91
8	25	8 3,200	18.5	11.0	14.3	13.4	10.3	11.8	9.7	5.0	6.8	97	65	84

調査区は立木本数を求めるだけに設定

毎木調査は、調査区の周辺も含めて上層木を10本測定

平均樹高を林冠高と見なしてよい

る。

津波によるまとまった表土の洗掘は、海岸林の海側 120~140 m ほどにある建物の角の他、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。聞き取り情報によると、海岸林の海側を南北に走る道路には部分的に 20 cm 程度の堆砂があった。林内の残存箇所では、30 cm ~60 cm であったが、被害箇所ではこれより少なかった。

### 4.3 海岸林被害の特徴

対象海岸林の津波被害の特徴は、市川船溜の付近で集中的に海岸林がなぎ倒されたことである。被害を受けた前縁部の幅は、T.P.+8.0 m の防潮堤と奥行き 300 m の埋め立て地との間の汀線方向の幅で約 200 m の防潮堤が低い埋め立て地部分とほぼ一致した。

樹木は海側から陸側に広がるように放射状になぎ倒されており、なぎ倒された範囲は、大きく 3~4 区域に分けられた。なぎ倒された海-陸方向の距離は、測線 A では約 50 m であったが、最も長い範囲がなぎ倒された測線 B では、林縁に直交する距離で約 160 m、倒れた方向に沿った距離では 170 m に達した。海岸林がなぎ倒された幅は、広いところで汀線に平行に 100 m、樹木が倒れた方向に直交する距離では 80~90 m であった。

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内陸端の部分には、例外なく漁船などの船舶が入り込んでいることが確認できた（図 4）。海岸林に入り込んだ船舶数は、青森県の調べでは、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 隻であった。

なお、樹幹の傾きは、根元折れよりも根返りによるものが多かった。

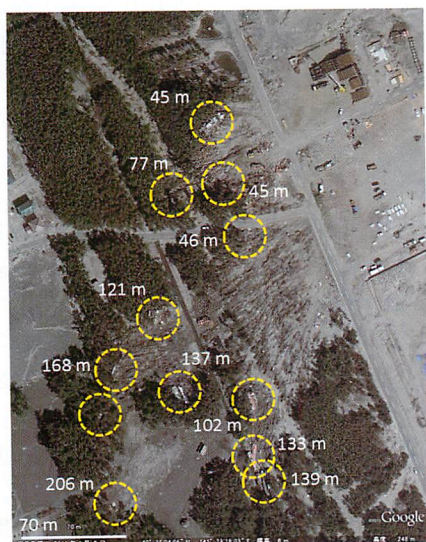


図 4 漂流船舶等の捕捉箇所

## 5 考察

### 5.1 海岸林の耐性

海岸林がなぎ倒された端には例外なく船舶が入り込んでいたことから、船舶が流入しなければ、海岸林の被害はもう少し少なかったと考えられる。津波による樹木の被害について、首藤（1985）は津波浸水深と胸高直径との関係で整理しているが、それに今回の調査対象地について、首藤にならって、残存木については調査区の最小胸高直径を、被害木については最大直径を用いて、浸水深を 3.5 m として重ねると、各残存調査区内の小径木は曲線 I と II の間の「防潮林内部においても、洗掘に起因する倒伏が見られる」領域に位置した（図 5）。また、林内では洗掘ではなく堆砂が生じた。すなわち、首藤の図から予測されるよりも対象地の海岸林の耐性は高かった。

ただし、今回の津波は林帯前縁の幅 200 m の部分に集中して流入したことが考えられたので、海側区 (P-1) については、被害箇所と比べて波力が小さかったことが考えられる。

一方、船舶等が入り込んだことによってなぎ倒された調査区の大径木は、首藤（1985）の図の曲線 I の上方の「悪条件でないかぎり切断も倒伏もされない」領域に位置した。すなわち、船舶の流入という悪条件によって根返りや幹折れが発生したと考えられる。

以上のことから、船舶などの漂流物がなければ、今回の津波で対象海岸林が倒伏や幹折れを生じること、前縁部を除いて、ほとんどなかったものと判断できる。

### 5.2 漂流物の捕捉と林帯幅

対象地の海岸林は、漂流物によってなぎ倒されたが、船舶等の漂流物を捕捉し、それらが住宅地に流入するのを阻止した。すなわち、海岸林がなければ、船舶等は住宅に衝突しそれらを破壊したと考えられる。もちろん、海岸林が開発されて住宅地になっていた場合には、家屋が破壊されたことが考えられる。以上のことから、対象地の海岸林は、漂流物の捕捉機能を発揮したと評価できる。

ただし、決して十分な林帯幅を持っていたわけではない。船舶は林内で止まったが、船舶の侵入方向によっては、すなわち、170 m に渡って倒れた方向が林帯幅の狭い箇所（幅 150 m）と重なってれば、船舶等は林帯を抜けていたと考えられるからである。今回の調査区（被害区、残存区）について、前縁から調査区中央までの距離を林帯幅と見なして被害の有無を首藤（1985）の図に重ねると、対象海岸林では、漂流物の捕捉だけでなく波力減殺効果も期待できる領域においても海岸林がなぎ倒されたことになる（図 6）。これは、漂流物の影響が格段に

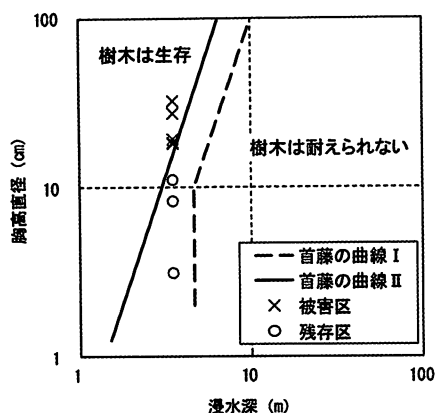


図 5 林木被害に関する首藤 (1985)の図での位置づけ

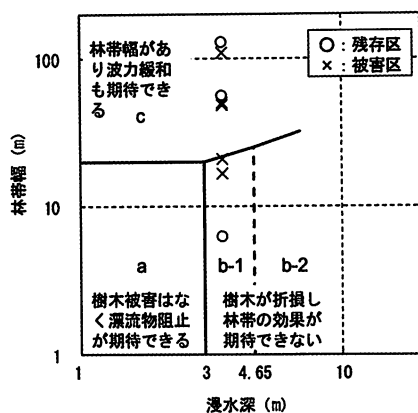


図 6 林帯幅に関する首藤 (1985)の図での位置づけ

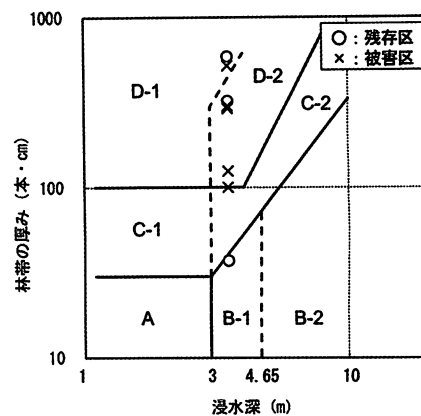


図 7 林帯の厚みに関する首藤 (1985)の図での位置づけ

大きかったことを示している。

首藤 (1985) は、また、林帯幅に立木密度、胸高直径を加味した林帯の厚みと防潮林の効果との関係を整理している。この防潮林の効果は、林帯後方への波力減殺効果のことであるが、この図は、林帯の厚みと林帯の被害との関係を示していると捉え直すこともできる。そこで、各調査区の中央までの林帯の厚みを求め、今回の調査区 (被害区、残存区) について首藤 (1985) の図に重ねた (図 7)。被害区域は、D-2 領域を中心に C-2、D-1 領域に位置づけられた。今回の場合、浸水深は等しいとしているので、違いは調査区の位置で決まる林帯の厚みによるものである。

首藤 (1985) は、各領域での樹木被害を次のように整理している。すなわち、C-2 領域では、林帯内に何らかの被害が生じ得るが、防潮林が完全に破壊されるような大規模なものではない。D-2 領域では、林帯内で表土浸食が生じるが、背後地では流勢や浸水深が軽減され、防潮林のない場合に比べて被害が緩和される。D-1 領域では、よほどのことがない限り林帯内の被害は発生せず、発生する場合も樹木が流体力に耐えかねてではなく、また、樹木周辺に生じる洗掘孔が大きくなるからでもない。地形や土質の悪条件で洗掘・浸食が生じることによる。これに対して、被害区域では樹木は完全になぎ倒されているわけであるから、首藤 (1985) の図で予想される被害程度を格段に上回っている。このことから、漂流物の影響が格段に大きかったことを示している。

## 6 おわりに

八戸市市川町の海岸林には、船舶などの大型の漂流物が流入したことによって海岸林を構成するクロマツはなぎ倒されながらも漂流物を捕捉して、それらが背後の住宅地に流入するのを阻止したと評価でき

る。また、この海岸林は狭いところでも 150 m の林帯幅をもち、過去の 5 回の津波の事例に基づく首藤 (1985) の図に照らし合わせれば、十分な幅を有していたことになるが、なぎ倒された距離の 170 m と比べると決して十分なものではなかった。今回の知見が、今後、船舶等の漂流物が予測される場所で海岸林を造成、再生する際の参考になればと思う。

なお、2011 年 5 月の調査時点で幹折れや根返りを免れた残存個体の多くは緑色の葉を付けていたが、同年 8 月の調査時には、葉が変色し衰弱していると見られる多くの個体が現れた。詳細については、今後の調査を待たなければならないが、その原因として海水が滞留したことの影響が考えられ、海岸林の造成、再生にあたっては、そのことも考慮する必要がある。

本研究の一部に林野庁からの委託事業「海岸防災林による津波被害軽減効果検討調査」の予算を使用した。また、調査にあたっては、八戸市森林組合の工藤氏、浜市川保育園の石田園長、北栄興産株式会社の木村会長とご友人の木村氏、市川漁業協同組合の木下氏、畑中建設工業株式会社の上村氏をはじめとする方々には、貴重な情報をいただいた。心よりお礼申し上げます。

## 引用文献

- 東日本大震災復興対策本部 (2011) 東日本大震災からの復興の基本方針. 32pp, <http://www.reconstruction.go.jp/topics/110811kaitei.pdf>
- 石川政幸 (1992) 海岸林の防潮機能と効果. 「日本の海岸林」, ソフトサイエンス社, 村井 宏・石川政幸・遠藤治郎・只木良也編, 289-298
- 気象庁 (2011). 平成 23 年 3 月地震・火山月報 (防災編), 321pp
- 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

〔受付 平成24年 8 月30日, 受理 平成24年11月14日〕