

## 東北地方太平洋沖地震における津波被害と海岸林の状況 ～仙台平野(福島県、宮城県)における海岸林被害状況調査結果～

埼玉大学大学院理工学研究科・(兼)環境科学研究センター 教授 佐々木 寧  
問い合わせ先 E-mail:ysasaki@mail.saitama-u.ac.jp  
埼玉大学大学院理工学研究科・(兼)環境科学研究センター 教授 田中 規夫  
問い合わせ先 E-mail:tanaka01@mail.saitama-u.ac.jp

### はじめに

2011年3月11日に発生した「2011年東北地方太平洋沖地震」は、マグニチュード9.0の巨大地震であり、それにより引き起こされた津波は、太平洋沿岸を中心に広い範囲に被害を発生させた。その後もマグニチュード5.0以上の余震は5月末時点で500回にも及んでいる(気象庁より)。今回の災害では地震による直接的な被害よりも発生した巨大津波による被害が甚大であった。国土地理院の調査記録によれば津波による浸水面積は401k m<sup>2</sup>にのぼり、浸水面積だけで見れば石巻市、東松山市、亘理町などが上位を占める。津波の高さについても調査機関によって異なるが、最大値では大船渡で23mという記録がある。リアス式海岸の山地が迫り出している場所などでは津波の駆け上がりなどの発生も考えられ、東大地震研の調査では38mという記録も報告されている。

大震災後、様々な機関、学会、大学などでそれぞれの分野での調査活動とその速報が伝えられ、震災の被害の状況も徐々に明らかになりつつある。

埼玉大学理工学研究科の水理工学研究室では、2004年12月に発生した「インド洋大津波」をきっかけとして、津波被害の軽減をはかるため砂丘、海岸林の軽減効果について調査、研究をすすめてきており、その成果も順次発表してきた(文献参照)。現在「アジア大都市周辺環境・防災問題解決に寄与する湿地・植生バイオシールド工学の展開」の研究プロジェクトが進行している。わが国で発生した今回の大震災に関しても、研究室全体で調査、研究に取り組み始めている。津波が海岸林に対して与えた被害の状況と海岸林が津波の被害軽減、減災にどう関わったのか、今後、海岸林の配置、構造、規模などはどうあるべきかを、地質、地形、土地利用などを含めた様々な視点から検討を進めている。

この報告では、福島県と宮城県南部の仙台平野を中心とし、記録された事象を中心に速報的にまとめたものである。

## 1. 調査対象地域

調査・観察した地点は以下のとおりである。

地域名	調査月日	GPS 値
<b>福島県 相馬市</b>		
	4月27日	
芹谷地排水機場	37° 46' 35.99 N	140° 58' 46.62 E
松川浦芹谷地海岸	37° 46' 15.97 N	140° 59' 17.95 E
丸田水産 (有)	37° 46' 17.26 N	140° 59' 13.84 E
寄木神社 (稲荷神社)	37° 45' 57.23 N	140° 59' 28.82 E
梅川地区	37° 47' 16.95 N	140° 57' 41.48 E
磯部	37° 45' 58.34 N	140° 59' 18.58 E
相馬港	37° 50' 6.53 N	140° 57' 13.12 E
新地火力発電所	37° 51' 02.91 N	140° 56' 47.75 E
原釜	37° 49' 17.08 N	140° 56' 50.67 E
<b>宮城県 亘理町</b>		
	4月29日	
須賀畑	38° 00' 05.31 N	140° 54' 21.74 E
吉田浜	38° 00' 03.14 N	140° 54' 26.18 E
道下 松ヶ崎山海岸林	38° 01' 01.27 N	140° 54' 53.39 E
浜吉田地区	38° 01' 07.42 N	140° 53' 37.66 E
鳥の海	38° 01' 58.97 N	140° 53' 50.29 E
鳥の海地区、大畑浜	38° 02' 04.17 N	140° 54' 56.42 E
荒浜蒲沼地区	38° 03' 32.36 N	



基図は Google Earth 画像を利用

阿武隈川右岸	140° 54' 09.11 E
明神西	38° 03' 05.05 N
阿武隈川右岸	140° 54' 17.00 E
鳥の海 築切公園	38° 01' 58.97 N
	140° 53' 50.29 E
畑東水門	38° 01' 52.19 N
	140° 54' 09.31 E
鳥の海	38° 02' 16.55 N
	140° 54' 15.63 E
荒浜漁港	38° 02' 16.97 N
	140° 54' 37.03 E
隈崎 越流被害	38° 02' 52.25 N
	140° 54' 45.62 E
隈潟 越流被害	38° 02' 45.97 N
	140° 54' 54.05 E
荒浜、排水樋管	38° 02' 33.12 N
	140° 55' 09.10 E
<b>岩沼市</b>	5月1日
蒲崎水門 阿武隈川	38° 03' 07.60 N
	140° 55' 05.58 E
瀬崎 阿武隈川	38° 03' 24.62 N
	140° 54' 39.20 E
野中 阿武隈川	38° 04' 38.67 N
	140° 54' 44.26 E
早股二の倉	38° 06' 03.73 N
	140° 55' 50.60 E
イオン仙台 PC 店	38° 07' 23.84 N
	140° 55' 14.90 E
<b>名取市</b>	5月1日
北釜地区 海岸林	38° 08' 04.22 N
	140° 56' 29.32 E
北釜 仙台空港	38° 08' 10.59 N
	140° 56' 02.94 E
関上地区	38° 10' 31.19 N



仙台市 4月28日

若林区 種次	38° 11' 32.86 N
	140° 57' 22.10 E
東浦	38° 11' 54.14 N
	140° 57' 50.82 E
荒浜新	38° 12' 58.94 N
	140° 58' 33.03 E
荒浜新 南官林	38° 12' 52.03 N
	140° 58' 44.49 E
荒浜海岸	38° 13' 04.65 N
	140° 59' 08.76 E
荒浜 貞山運河	38° 13' 10.68 N
	140° 58' 57.46 E
荒浜小学校	38° 13' 18.50 N
	140° 58' 48.30 E
宮城野区荒浜砂防林	38° 14' 03.84 N
	140° 59' 24.22 E
海岸公園	38° 14' 18.50 N
	140° 59' 46.37 E
新浜浦通	38° 14' 32.33 N
	140° 59' 16.72 E
瓦礫処分場	38° 14' 47.12 N
	141° 00' 29.41 E
蒲生海岸小学校	38° 15' 26.39 N
	141° 01' 10.48 E
四ツ辺 七北田川	38° 15' 23.46 N
	140° 59' 34.91 E
北下河原 七北田川	38° 15' 16.95 N
	141° 00' 22.13 E
蒲生地区	38° 15' 32.84 N
	140° 59' 36.01 E





<b>宮城郡七ヶ浜町</b>	5月2日
松ヶ浜湊浜漁港	38° 16' 43.67 N 141° 02' 57.63 E
松ヶ浜 神明神社	38° 16' 53.06 N 141° 03' 17.38 E
菖蒲田 諏訪神社	38° 17' 14.84 N 141° 03' 30.79 E
菖蒲田浜 長養寺	38° 16' 57.68 N 141° 03' 38.31 E
菖蒲田長浜	38° 17' 09.87 N 141° 03' 45.89 E
長須賀海岸 七ヶ浜	38° 17' 36.37 N 141° 04' 12.76 E
汐見台	38° 17' 48.69 N 141° 03' 22.69 E
<b>宮城郡利府町陸前浜田</b>	5月2日
櫃ヶ沢	38° 21' 03.93 N 141° 03' 07.69 E
<b>宮城郡松島町</b>	5月2日
双観山	38° 21' 07.71 N 141° 03' 51.64 E
松島海岸駅小石浜	38° 22' 05.74 N 141° 03' 38.78 E
<b>東松島市</b>	5月2日
野蒜立石	38° 22' 46.32 N 141° 10' 09.74 E
野蒜(ノビル)海岸	38° 22' 25.53 N 141° 10' 10.12 E
簡保の宿松島	38° 22' 06.21 N 141° 09' 35.32 E
奥松島パークライン	38° 21' 12.89 N 141° 09' 25.20 E
陸前小野中谷地	38° 23' 04.28 N 141° 10' 21.70 E
陸前浜市地区	38° 23' 24.34 N 141° 10' 36.39 E



<b>東松島市</b>	5月3日
定川関の内	38° 25' 36.59 N 141° 14' 52.49 E
矢本海浜公園	38° 24' 03.30 N 141° 13' 26.18 E
北上運河	38° 24' 18.30 N 141° 13' 50.82 E
下台	38° 24' 25.25 N 141° 14' 13.21 E
矢本大曲	38° 24' 33.91 N 141° 14' 12.62 E
大曲浜石巻港	38° 24' 38.46 N 141° 14' 44.22 E
大曲浜 玉造神社	38° 24' 49.25 N 141° 14' 44.31 E
重吉町 陸橋	38° 24' 38.46 N 141° 14' 44.22 E
<b>石巻市</b>	
石巻新大橋	38° 26' 14.39 N 141° 18' 59.21 E
長浜中地区	38° 25' 02.42 N 141° 21' 06.62 E
長浜 渡波港	38° 24' 46.91 N 141° 21' 47.69 E
愛宕神社 追波川	38° 32' 40.48 N 141° 24' 05.26 E
吉浜 釣石神社	38° 34' 29.62 N 141° 27' 05.43 E
白浜海水浴場	38° 35' 06.35 N 141° 28' 26.51 E
相川漁港	38° 35' 27.27 N





## 2. 仙台平野などにおける砂丘海岸林

阿武隈川、名取川、七北田川を擁する仙台平野や北上川河口部の東松島市や、石巻市の海岸では、沿岸に砂丘が形成されクロマツ、アカマツによる人工の海岸林が造成されている。マツの植林は順次行われており、多様な樹齢の林分が多いが、多くは40年から60年程度の樹林であるが、時に100年を超えるマツも観察された。

ここ太平洋側の海岸砂丘は、日本海や他地域での海岸砂丘に比較して、砂丘の高低差が小さく、起伏のない砂丘となっており、海岸林の規模も延長距離や幅員が小規模の例が多くなっている。

## 3. 海岸マツ林の破壊形態

海岸マツ林の津波破壊形態には、以下のパターンが見られた。

- 1)：根元付近で倒伏あるいは破断、しかし樹木そのものはその場に残存する。
- 2)：根茎の基盤が侵食され、根茎もろとも倒伏し、流木となる。
- 3)：地上1m前後で幹が破断、流木となる。

以下にそれぞれの事例を挙げた。

### 3.1 根元付近で倒伏あるいは破断した例



福島県相馬市 松川浦の海岸林、樹齢60年前後のクロマツが多いが、アカマツも混生する。松川浦付近では幅員が500m程の海岸林となっているが、南部の磯部付近では50mに満たない海岸林であった。林床植物にはヒサカキが目立つ。ほとんどが根元付近から倒伏あるいは破断している。しかし、その多くはその場に残存している。



樹齢 10 年から 20 年程度の若いマツ林は、流木とならず、ほとんどその場に倒伏している。



防潮堤の背後では、大規模な落掘が発生、幅 40~50m にも及ぶ水路が形成されている。  
落掘とその背後のマツ林。福島県相馬市松川浦芹谷地海岸



鳥の海の河口部砂洲にあった若いクロマツ人工林、根元から倒伏している。



地盤沈下を伴い、マツ林が波打ち際に接している。今後の生存は不可と思われる。  
宮城県亘理郡亘理町、鳥の海大畑浜



### 3.2 根茎の基盤が侵食され、根茎もろとも倒伏、流木となる例



海岸林の基盤である砂丘砂が侵食され、樹木が根茎ごと流木となる。スギの例もある。



建造物や住宅に押し寄せた流木、ほとんどが根茎付きで流木となっている。



松川浦の背後、2.5～3.0 kmにまで流木が到達している。福島県相馬市松川浦芹谷地海岸



### 3.3 地上1m前後で幹が破断、流木となった例

北部リアス式海岸域に多く見られたケースである。仙台平野でもその例が確認された。



クロマツが地上 1~2m程で破断、樹木上部が飛ばされている。海岸の防潮堤は、損傷、破壊されている。宮城県若林区荒浜海岸。

## 4. 海岸から離れた場所での樹林

海岸から少し離れた屋敷林や神社林、その他の立木などはどのような影響を受け、または減災効果を果たしたかを検証する。

### 4.1 屋敷林

仙台平野では居久根に代表される屋敷林が有名である。今回の被災地では、典型的な居久根といえるような樹林は少ないが、いくつかの例を観察できた。



海岸から約 1200m離れた仙台市宮城野区新浜浦通の屋敷林を備えた住宅

屋敷林は冬季の北東方向からの季節風を意識しており、住居の北東側に設置されている。しかし、今回の津波の進入方向は南西方向であり、住宅は津波を正面から受ける形となっており、住宅の1階部分が破壊されている。この場合や屋敷林もその場の住宅に対し、漂流物の捕捉効果を十分に発揮できていない結果となった。

#### 4.2 神社林



海岸から約2 km離れた場所に位置する梅川地区の大塚稲荷神社では、社建物は倒壊しているが、大杉をはじめ立木は温存されている。海水の冠水でタブノキやネザサ類の葉が茶変した。この樹林でも多くの流木を補足トラップしている。

#### 4.3 立木

海岸から離れた住宅地などにある孤立木や2-3本の立木など、そのほとんどは倒伏することなく存続している。仙台平野では広葉樹のケヤキ、針葉樹ではスギが目立っている。とくにケヤキでは海水の冠水による塩害の影響も少なく、生存、存続しており、漂流物の捕捉など減災に大きな役目を果たしていた例が多く見られるた。

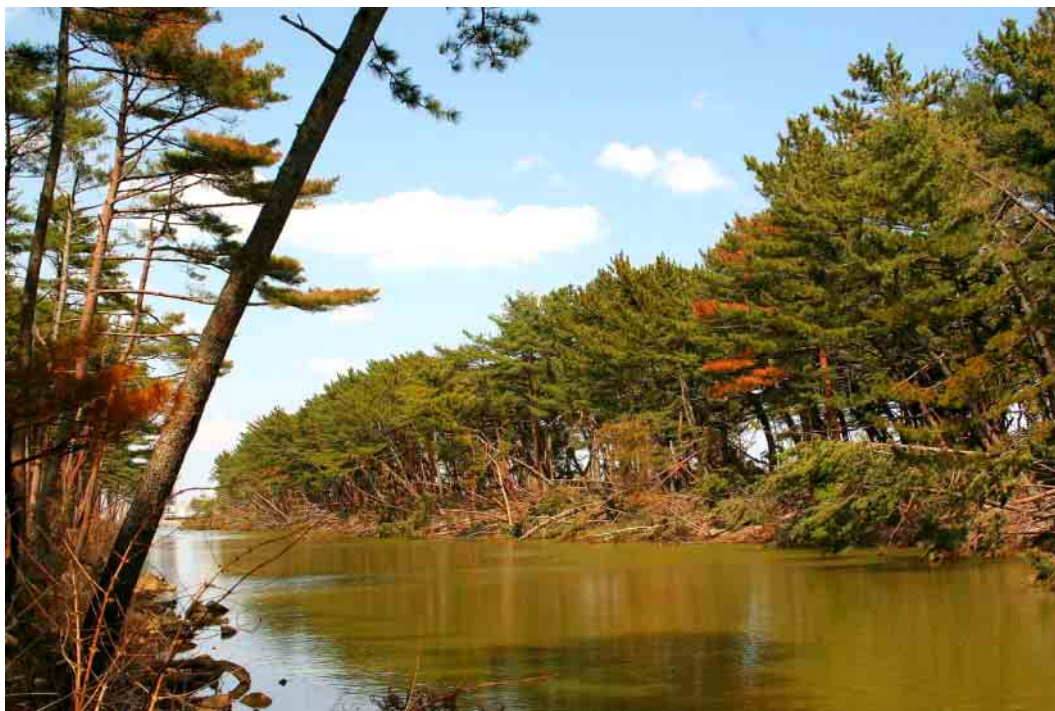


住宅地内にあったケヤキは漂流物の捕捉トラップ、押し流された住宅までも受け止める例が観察された。



## 5. 海岸林の構造

海岸砂丘に見られる海岸林のほとんどは人工的に植栽された樹林であり、主に砂防・飛砂防止用にクロマツ、アカマツが植林されている。それではこの地方での本来の自然植生は、どのような樹林であるのだろうか。潜在自然植生の概念を取り入れながら観察を行った。



仙台市宮城野区にある貞山運河沿いにある被害が少し軽微であったクロマツ林。林内はクロマツとアカマツの混交林で他の樹木類をほとんど混生していない。



亘理町道下、松ヶ崎山の海岸林。植栽されたクロマツ林内に自然に進入した多くの広葉樹が混生している。多くがヤマザクラで、コナラ、ミズキなども散在する。林内には常緑性の広葉樹タブノキ、シロダモ、ヒサカキなども見られ、より多様で多層構造の海岸林といえる。



## 6. 砂丘後背湿地

地形的には、砂丘後背地に低湿地や池沼、潟ラグーンが発達する。相馬市の松川浦芹谷地、亘理町の鳥の海、名取市の広浦、さらには岩沼市から仙台市に及ぶ貞山堀、東松山市の東名運河、北上運河もその名残を示すものである。熱帯地方ではこの場所にマングローブ林が形成される例が多い。ここ仙台平野地域では農業基盤整備や宅地、工業立地の開発が進み、当初の地形や自然植生の面影を見ることは難しい。今回の調査で、砂丘後背地の低湿地にヨシなどの湿性草地が見られるほか、湿地林の小林分、ハンノキ林が沿岸部にも観察された。岩手県内でも同様の樹林が認められており、砂丘後背湿地の潜在自然植生を示す樹林として重要である。



海岸クロマツ林の後背部に発達したハンノキ林。石巻市渡波地区。

## 7. 高台における海岸林

砂丘上ではないが、丘陵地での自然樹林の構造は、地域の神社林が良い参考事例となる。



相馬市松川浦の高台にある寄木神社では、タブノキの常緑樹林の発達が認められ、この地域で常緑樹林が成立することを示している。林内にはタブノキ、アラカシ、ヤブツバキ、シロダモ、アオキ、ヒサカキ、マサキ、シャリンバイ、ヤツデ、イヌツゲおよびモミノキが生育する。

## 8. 流水侵食と植生

今回の津波では大量の海水が流入し、多くの構造物を破壊や基盤の侵食、洗堀をしている。海岸林をはじめ、地表を覆う植生の違いが流水侵食、洗堀に対しどのような結果をもたらしたのかを検討した。

### 8.1 グランドカバー

公園園地などで見られるグランドカバー、芝の植栽は草丈が低いものの植被密度が高く、洗堀を免れている例が観察された。



鳥の海の最奥部にある築切公園では、公園園地に津波が越水した。公園施設も破壊、激しく侵食されているが、裸地部分に比較して芝地の侵食は押さえられている。宮城県亶理郡亶理町鳥の海。



海岸部に相馬港の港湾施設があり、その背後海岸林の中に設置されている新地緑地。園路の裸地部分は激しく侵食されているが、展望台下の芝地の侵食は軽微である。福島県相馬市 相馬港新地緑地。



砂質土壌の土盛りで新たに造成された堤防園地では、激しく侵食、洗堀が進んでいた。阿武隈川への津波遡上で越水被害が生じた堤防。宮城県亶理郡亶理町荒浜蒲沼の桜堤



## 8.2 防潮堤に近接の海岸林

今回の東日本大震災の被災地では、北部の岩手県を中心としたリアス式海岸地域でも、海岸部に防潮堤が設置されている例が多い。海岸林は、その内陸側に位置している場合が多い。これは既存砂丘海岸林の海岸側に、新たに防潮堤が設置されたためと思われる。今回、コンクリート構造物の防潮堤を乗り越えた津波は、防潮堤の内側で激しい浸食、落掘を形成、防潮堤と隣接する海岸林のほとんどを破壊している。



海側は離岸堤と階段護岸型の防潮堤、陸側は越水した津波で破壊された防潮堤と発生した落掘の水路。海岸林のほとんどが破壊され流木となった。福島県相馬市松川浦芹谷地海岸



2010年9月

2011年3月 Google Earth 画像

防潮堤の破壊と  
50m巾の水路が  
出現した



2010年津波前



2011年津波後

宮城県松島町七ヶ浜長須賀海岸（クロマツ林 L900mxW100m、Google Earth の画像から）  
海岸には仙台港などからのコンテナが多数打ち上げられ、津波は 4m 高ほどの防潮堤を越え、  
100m 巾のクロマツ海岸林を抜けて、国道 58 号線を越え背後の集落を破壊している。



防潮堤の一部破壊と巾 10~20m にわたって、海岸林が落掘浸食、破壊され、倒伏、流出した。  
宮城県松島町七ヶ浜長須賀海岸



## 9. 海岸林域の開発

当初、農業基盤整備の一環として防砂、塩害防止のために幕藩時代から積極的に進められてきた海岸林の植林と整備も、1970年代からの経済成長期に港湾の整備事業、その後の都市拡大に伴う宅地開発などで、海岸林は縮小、虫食い状態を余技なくされた。海岸林の管理育成も十分なされていない例も多い。とくに太平洋側の海岸では、津波や高潮に対処して防波堤、防潮堤の構築が進められ、海岸林の存在意義が失われつつあったといえよう。

一方で、防波堤、防潮堤にたよるあまり、港湾施設、公共施設、宅地開発などが海岸林を壊して進められてきた経緯がある。しかし、今回の津波は、ほとんどの防波堤、防潮堤を越え、こうした建築物をことごとく破壊している。



海岸林域開発の一例。狭い海岸林域に港湾、園地、幼稚園、中学校、高等学校、住宅地などが集中している。クロマツの海岸林は、現状でL1200m、W150m（最大200m）程である。震災で防潮堤の破壊と地盤沈下が発生、甚大な影響を受けた。宮城県石巻市渡波地区。



防潮堤は階段式の親水護岸型であり、コンクリート壁はほとんど破壊された。東側海岸部で防潮堤の一部が完全に破壊されている。宮城県石巻市渡波地区。





海岸林域での宅地開発の例。貞山運河をはさみ小学校を含むほとんどの建物、住宅が破壊された。仙台市若林区荒浜、南官林。Google Earth 2009.3と2011.4の画像から。

#### 10. 海岸林内の開削部

海岸林がこうした災害時に効果的に機能するためには、海岸林の十分な延長と奥行き（幅員）が必要となる。さらには海岸林の構造なども問題となる。一方、海岸林の林内や縦方向、横方向に走る開削部や道路なども津波が集中、通過する通り道となり危険性を増大させることが知られている。インド洋大津波の際の事例や当研究室の実験、計算結果からも裏付けされている。

仙台平野に広がる海岸林域でも、こうした海岸林を開削して通過する道路や海岸線に直角方

向に作られた広い道路の例が見られ、被害を増大させている結果となっている。



海岸線に直角方向に作られた広い道路の例。この道路の先に仙台空港が位置している。手前の防潮堤は破壊されている。名取市北釜地区の海岸。



海岸線に直角方向に作られた広い道路の例。ここでも手前の防潮堤は破壊されている。宮城県石巻市渡波地区。



## 文献

- 飯村耕介, 田中規夫, 原田賢治, 谷本勝利, 樹林密度の異なる植生帯を組み合わせたときの津波軽減効果に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.281-285, 2010.10. (発表日 20101112.)
- Nandasena, N.A.K., Tanaka, N., Effective Coastal Vegetation Management for Tsunami Protection, Proc. 8<sup>th</sup> Int. Summer Sym., pp. 119-122, 2006.7.
- Nandasena, N.A.K., Tanaka, N., Tanimoto, K., Tsunami current inundation of ground with coastal vegetation effects; an initial step towards a natural solution for tsunami amelioration, J. Earthquake and Tsunami, Vol. 2, No.2, pp. 157-171, 2008.6.
- 佐々木 寧, 田中規夫, 湯谷 賢太郎, Samang Homchuen, スマトラ沖大地震における樹林の津波防災効果について, タイ南部地区, 埼玉大学紀要工学部第 38 号, pp.49-57, 2005.
- 佐々木 寧, 田中規夫, インドネシアジャワ島の南西沖地震津波災害調査, 埼玉大学紀要工学部第 40 号, pp.42-50, 2007.
- 佐々木 寧, Samang Homchuen, 田中規夫, インド洋大津波と海岸林が果たした役割—タイ, スリランカ沿岸—, 第 11 回日本マングローブ学会, 2005. Proceeding of annual academic meeting of JAM 2005.
- Sasaki, Y., Homchuen, S., Tanaka N., The role of coastal vegetation in case of the Indian Ocean tsunami –Coastal area of Thailand and Sri Lanka-, Mangrove Science No.4, pp.49-55, 2007.
- 田中規夫, 樹林の役割について考える—インド洋大津波におけるタイ・スリランカの事例—インフォメーション荒川 10 月号, 2006, 10.
- Tanaka, N., Vegetation bioshields for tsunami mitigation: review of effectiveness, limitations, construction, and sustainable management, Landscape and Ecological Engineering, Vol. 5, No.1, pp.71-79, 2009.
- Tanaka, N., Effectiveness and limitations of vegetation bioshields in coast for tsunami disaster mitigation, The tsunami threat-research and technology, Nils-Axel Mörner (Ed), ISBN 978-953-307-552-5, INTECH, Available from <http://www.intechopen.com/articles/show/title/effectiveness-effectiveness-and-limitations-of-vegetation-bioshield-in-coast-for-tsunami-disaster-mitigation.2011>.
- 田中規夫, 佐々木 寧, M.I.M.Mowjood, K.B.S.N.Jinadasa, 八木澤順治, スリランカ南部海岸線におけるインド洋大津波被害実態調査 (その 2) —海岸林の破壊限界モーメントに注目して—, 埼玉大学紀要工学部第 39 号, pp.62-69, 2006.4.
- 田中規夫・佐々木 寧・湯谷賢太郎・Samang Homchuen, 津波防御に対する樹林幅と樹種影響について—インド洋大津波におけるタイでの痕跡調査結果—, 海岸工学論文集, 第 52 巻, 1346-1350.2005.11.

- 田中規夫, 佐々木 寧, M.I.M.Mowjood, スリランカ南部海岸線におけるインド洋大津波被害実態調査—ラグーン, 海岸砂丘, 樹林帯に注目して—, 埼玉大学紀要工学部第 38 号, pp.66-73, 2005.4.
- Tanaka, N., Sasaki Y., M.I.M. Mowjood, Limitations of coastal vegetation in the 2004 Indian Ocean tsunami and Java tsunami, In Proceedings of IAHR 32<sup>nd</sup> congress, Venice, (CDROM). 2007.
- Tanaka, N., Sasaki Y., M.I.M. Mowjood, Homchuen, S., Coastal vegetation for Tsunami protection-Case study from the Indian Ocean(Sri Lanka and Thailand), International Conference on Coastal and fluvial Disasters(Kyoto), 2005.
- Tanaka, N., Sasaki, Y, M.I.M.Mowjood, K.B.S.N.Jinadasa, Yagisawa, J., Investigation on the damage by Indian Ocean Tsunami at the Southern coast in Sri Lanka in relation to the breaking moment of the tree trunk in coastal vegetation (in Japanese with English abstract), The Science and Engineering Reports of Saitama University, No.39, pp.62-69, 2006.
- Tanaka, N., Sasaki Y., M.I.M. Mowjood, K.B.S.N.Jinadasa, Yagisawa, J., Effects and imitation of coastal vegetation on and behind the sand dune at the Indian Ocean tsunami and important points for future restoration, ICLEE, pp.35, 2006.6.
- Tanaka, N., Sasaki, Y., M.I.M. Mowjood, K.B.S.N. Jinadasa, Effects of sand dune and vegetation in the coastal area of Sri Lanka at the Indian Ocean tsunami, AOGS. 2006. 7.
- Tanaka, N., Sasaki, Y., M.I.M. Mowjood, K.B.S.N.Jinadasa, Takemura, T., Effective coastal vegetation species and structures with landform, sand dune and lagoon, for tsunami protection at the Indian Ocean tsunami, 15<sup>th</sup> APD-IAHR Congress, pp.1279-1285, 2006.8.
- Tanaka, N., Sasaki, Y., M.I.M. Mowjood, K.B.S.N.Jinadasa, Coastal vegetation structures and their functions in tsunami protection: Experience of the recent Indian Ocean tsunami, Landscape and Ecological Engineering, Springer, Vol.3, pp.33-45, 2007.
- 田中規夫, N. B. Thuy, 谷本勝利, 熱帯性海岸樹木の破壊限界を考慮した防潮林の津波低減効果の評価、土木学会論文集B, Vol. 66, No. 4, 434-443, 2010.
- 田中規夫, 武村 武, 佐々木 寧, M.I.M.Mowjood, スリランカ海岸林の樹種による破壊条件と津波到達遅延時間の相違, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp.281-285, 2006.10.
- Tanaka, N., Takemura, T., Sasaki Y., M.I.M. Mowjood, Species difference of the breaking condition of coastal vegetation in Sri Lanka by tsunami and the difference of tsunami arrival time behind the vegetation (in Japanese), Annual Journal of Coastal Engineering, JACE, Vol.53, pp.281-285, 2006.10.
- Tanaka, N., Nandasena, N.A.K., Jinadasa, K.B.S.N. Tanimoto, K., Sasaki, Y. and



- Mowjood, Developing Effective vegetation bioshield for tsunami protection, *Civil Engineering and Environmental Systems* 26 (2), pp. 163 – 180, 2009.6.
- Tanaka, N., Jinadasa, K. B. S. N, Mowjood, M. I. M., Fasly, M.S.M., Coastal vegetation planting projects for tsunami disaster mitigation – Effectiveness evaluation of new establishments, *Landscape and Ecological Engineering*, Springer, 7, 127–135, 2011.
- Thuy, N.B., Tanimoto, K., Tanaka, N., Harada K., Iimura, K., Effect of Open Gap in Coastal Forest on Tsunami Run-up - Investigations by Experiment and Numerical Simulation, *Ocean Engineering*, Elsevier, 36, 1258–1269, 2009.10.
- Thuy, N.B., Tanimoto, K., Tanaka, N., Force due to tsunami runup around a coastal forest with a gap – Experiments and numerical simulations, *Science of Tsunami Hazards*, Vol.29, No.2, pp.43-69, 2010.
- Thuy, N.B., 谷本勝利, 田中規夫, 原田賢治, 飯村耕介, 海岸樹林端部付近における樹木 (アダン) に働く津波曲げモーメント, *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, Vol.66, No.1, pp.276-280, 2010.10. (発表日 20101112)