

令和元年6月21日現在

機関番号：80122

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01254

研究課題名(和文) 海岸防災林の力学モデルと成長モデルを組み合わせた津波抵抗性の評価

研究課題名(英文) Evaluation of tsunami resistance of coastal forest by combining mechanistic and growth model.

研究代表者

鳥田 宏行 (Torita, Hiroyuki)

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部林業試験場・部長

研究者番号：50414264

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：津波に強い海岸林(海岸防災林)を構築するため、森林施業がクロマツ林の津波抵抗性に及ぼす影響を力学モデルを用いて評価した。本数密度管理として、疎(ST)、中庸(MT)、密(DT)の3種類の林業管理タイプを設定し、限界流速(根返り、幹折れが発生する時の流速)を計算した。限界流速は樹木の成長と共に増加し、その値は管理タイプによって異なった。STは、3つの森林管理タイプ中、最も津波抵抗性が高かった。しかし、本結果からは、浸水深が8 mを超えると森林が破壊され、その抵抗性の改善に限界があることを示された。更に、森林管理により津波による立木の被害形態(根返り、幹折れ)を制御できる可能性がある事がわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

東北地方太平洋沖地震津波による人的被害および経済的被害は甚大である。今後、津波発生の危険性が高まりつつある中、海岸林が果たす防災機能を効果的に発揮することが求められている。本研究では、海岸林の津波抵抗性を定量的に評価し、適切な森林管理によりその抵抗性を向上させる事が可能であることを示した。これらの成果は、海岸林が防潮機能を発揮し、減災効果を発揮するための基礎的知見の一つとなる。

研究成果の概要(英文)：In order to construct the strong coastal forests against tsunamis, we evaluated the influence of forest management on the tsunami resistance of *Pinus thunbergii* Parl. forests using a mechanistic model. We set up three forest management types, which were sparse (sparse type: ST), middle (middle type: MT), and dense (dense type: DT) stand. As an indicator expressing resistance to tsunami, critical velocity required to overturn or break the trunk of trees was calculated. The critical velocity increased with increasing tree growth and the value of critical velocity differed among management types. ST was the most resistant to tsunami of the three forest management types. However, our results showed that when water depth exceeds 8 m, forests were completely destroyed and the limitation existed on improving its resistance. Moreover, the forest management was found to have a possibility to control damage phenomena (overturning or trunk breakage) of trees by tsunamis in coastal forests.

研究分野：防災科学、森林科学、雪氷学

キーワード：津波 海岸防災林 限界流速 被害形態 森林管理

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

海岸林の研究については、スマトラ沖地震や東北地方太平洋沖地震津波後、津波被害の実態および海岸林の効果に関する研究報告（e.g., Hayashida et al., 2009; Okada et al., 2009, Tanaka et al., 2013）が行われた。これらの研究調査により、海岸林（海岸防災林）の防潮機能の重要性が再確認されると共に、海岸林における津波の流体力に対する抵抗性を定量的に評価する研究（鳥田ら、2014）が行われた。また、海岸林の生育管理に関する研究（Masaka et al., 2010）では、生育環境が海岸林を構成する立木の成長に与える影響や本数密度と被害の関係性（佐藤ら、2012）が示唆され、適正な生育管理の重要性が明らかにされた。しかしながら、海岸林の津波に対する力学的な観点と生育的な観点を統合し、造成された海岸林の抵抗性が成長と共にどのように変化するのか、あるいは間伐等の本数密度管理がどのように抵抗性に影響するのかを統一的に扱った研究はまだ行われていない。

### 2. 研究の目的

東北地方太平洋沖地震津波において、海岸林は津波エネルギーを減衰させ、海からの漂流物を捕捉するなど、程度の差は様々であるが住宅等の被害を軽減させた。しかしながら、海岸林はこのように防潮機能を発揮する一方で、海岸林自体にも被害が発生しており、その被害は防潮機能を減退させる結果となった。海岸林が防潮機能を高度に発揮するには、まず津波に対して頑強な林であり、かつどのような管理計画を立案すれば、それが実現するのかを明らかにする必要がある。そこで本研究では、林の津波に対する力学モデルと成長モデルを組み合わせ、管理計画の違いが時系列で成長過程における津波抵抗性に与える影響を明らかにし、津波抵抗性の高い海岸林を構築するための管理計画立案に資することを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 林分成長モデルを用いた成長予測

林分管理方法の差違が津波抵抗性に与える影響を評価するため、既存の成果を利用して林分の成長予測を行う。対象は、海岸林造成の主要樹種であるクロマツとし、津波抵抗性シミュレーションの対象とするクロマツ海岸林の3つの施業パターンを設定し、成長予測を行う。ST（疎管理）とMT（中庸管理）は、収量比数0.6-0.7、0.8-0.9の間で管理し、DTは無間伐を想定する。

#### (2) 力学モデルの構築

海岸林の津波抵抗性を評価するため、材料力学・流体力学に基づいた力学モデルを開発する。本モデルでは、立木に加わる流体力の他、衝撃力も考慮し、被害が発生する時の流速（限界流速）を計算可能とする。また更に、野外実験などで得られた幹の曲げ強さや、根返り抵抗モーメントを用いることで、被害形態（幹折れ、根返り）の予測も行う。被害形態は、津波被害を海岸林が受けた場合、二次被害の発生に関連した検討事項である。これまでの津波被害の報告では、幹折れした立木はデブリを形成して流され、被害の拡大を招くが、根返りした立木の多くは流されずにその場に留まり、流れに抗する働きをする事が知られている。本モデルでの被害形態予測は、ダメージコントロールとしても重要である。

#### (3) 海岸林の津波抵抗性を考慮した管理手法の検討

施業パターン毎に力学モデルを用いて、森林施業が海岸林の津波抵抗性に与える影響を定量的に評価する。

### 4. 研究成果

#### (1) 施業パターンの違いによる林分構造の差異

図1aに成長段階に応じた本数密度の変化を示す。横軸には上層高 $H_t$ を、縦軸には林分の本数密度を示した。STは、収量比数0.6-0.7の間で管理するため、間伐回数が3つの施業パターンの中で最も多く、本数密度の減少が顕著である。DTは無間伐林分で、本数密度の減少は、林分の樹高成長（時間変化）に伴って自然枯死することによって引き起こされる。

肥大成長については、間伐による本数密度の低下が個々の立木の成長を促すため、各成長段階を通じてSTの胸高直径 $D_{BH}$ が最も大きくなった。

#### (2) 被害形態

本モデルを用いた被害形態の予測では、STとMTにおいては、全成長段階を通して、根返りする傾向を示した。しかしながら、DTにおいては、初期の成長段階では幹折れ限界流速（幹折れを引き起こすときの流速）が、根返り限界流速（根返りを引き起こすときの流速）を上回るが、上層高 $H_t$ 10m付近から、その関係性が逆転して幹折れ限界流速が根返り限界流速を下回る結果となった（図2）。これは、上層高 $H_t$ が10mになるまでは、根返りが発生しやすく、 $H_t$ が10m以上になると、幹折れになることを示唆している。すなわち、被害形態が林分の成長により根返りから幹折れにシフトする事を意味する。

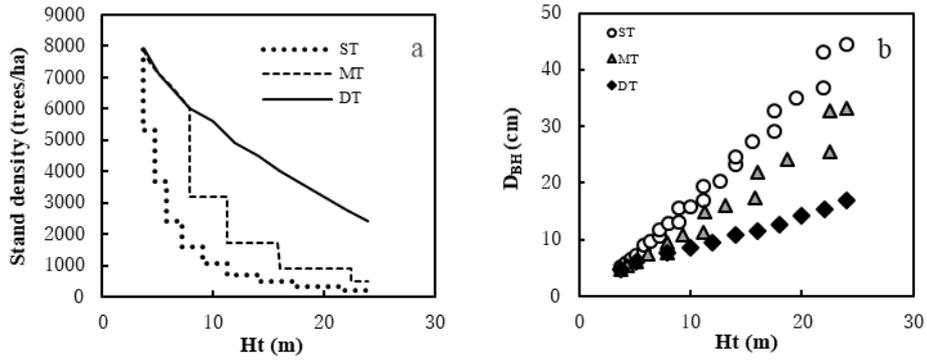


図1. 森林施業の差異による林分構造の変化

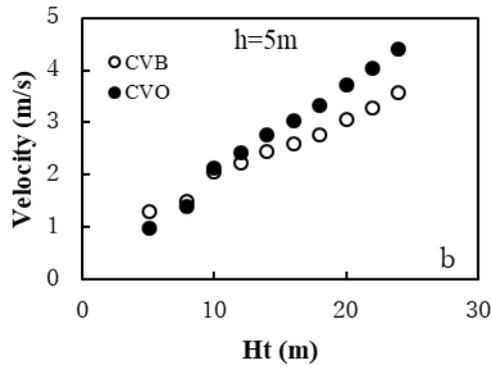


図2. 津波による立木の被害形態

DT (無間伐林分) における浸水深 5m の例。h : 浸水深、CVB : 幹折れ限界流速、CVO : 根返り限界流速。

### (3) 森林施業が林分の津波抵抗性に与える影響

林分の津波抵抗性を示す限界流速 (CV) の値は、ST が最も高く、津波に対して強い林分であることが示された (図3 a-c)。一方、DT は、最も CV の値が小さく、津波抵抗性が低い結果となった。しかしながら、浸水深 h がおよそ 10m を超えると、CV の値に差異が見えられなくなった (図3 d-f)。これは、森林施業による林分の津波抵抗の向上には、限界があることを示唆している。

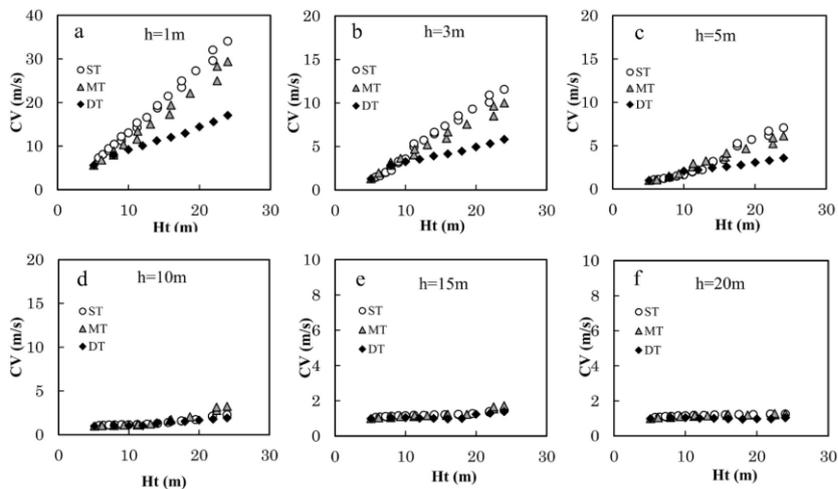


図3. 森林施業が林分の津波抵抗性に与える影響

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計2件）

- ① Torita H. et al.(2018) Effects of forest management on resistance against tsunami in coastal forests. Ocean Engineering 169: 379-387. (査読有り)
- ② Torita H、 Tanaka N (2019) Evaluation of the resistance of coastal Pinus thunbergii Parlat. Forests to the tsunami fluid force in Japan. Natural Hazards. (in press) (査読有り)

〔学会発表〕（計4件）

- ① 鳥田宏行、津波による海岸林の被害形態の変化、第65回北方森林学会、2016
- ② 鳥田宏行、佐藤創、田中規夫、海岸防災林における津波抵抗性と森林管理の関係、第66回北方森林学会、2017
- ③ 鳥田宏行、気象害と森林管理の関係、第129回日本森林学会、2018
- ④ 鳥田宏行、海岸防災林の津波に対する抵抗性、日本海岸林学会石垣大会、2018

〔図書〕（計 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

○取得状況（計 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者  
研究協力者氏名：  
ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。