

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05650

研究課題名（和文）超暴風台風による里山森林風倒に関するレジリエンス研究

研究課題名（英文）The resilience study about the windthrow in satoyama due to super storm typhoons

研究代表者

小林 達明（Kobayashi, Tatsuaki）

千葉大学・大学院園芸学研究院・教授

研究者番号：40178322

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：令和元年房総半島台風による風倒被害について航空写真を分析し、同じ常緑広葉樹林でも、マテバシイで最も甚大な風倒害が生じていた。激害地で毎木調査を行ったところ、有効土層が1m以下では根返り、以上では幹折れが多かった。マテバシイ幹折れの原因について、風荷重および材質を調べる実験を行ったところ、マテバシイは他の常緑樹種に比べて幹の太さに対する葉面積が大きく風荷重が大きいこと等により、大きな瞬間風速に弱く、幹折れしやすいことがわかった。マテバシイ風倒地の在来種による再生試験の結果、倒木除去や苗木植栽を行わず、萌芽除去を行っただけの処理区でも同様の天然実生の成立があり、有望な方法であることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

常緑広葉樹の風倒被害に関する総合的研究は国内外ともに従来例がなく、今後さらに気候変動が強化されると考えられる中で重要な適応対策に関して、樹木風倒と植生・林分形状・個体形状・樹種などとの関係について貴重な新知見を提供している。また、風倒地の再生に関して、生物多様性保全に資する方法を提案しており、その面でも社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：Analyzing aerial photographs of wind damage caused by the Boso Peninsula Typhoon in 2019, the most severe windthrow damage occurred in *Lithocarpus edulis* in the evergreen broad-leaved forests. We conducted tree census on the wind damage of *L. edulis* forest. Though the windthrow damage was mainly uprooting on the land with a less effective soil layer than 1 m, it was mainly stem breakage on the land with a more layer than 1 m. We measured the wind load and wood quality in order to study the cause of windthrow. It was found that the wind load of *L. edulis* was large compared with other evergreen broad-leave trees due to the large leaf area compared to stem diameter. *L. edulis* was sensitive to large instantaneous wind speeds and was prone to trunk breakage. The result of regeneration test using native tree species in the wind-damage site showed that natural seedlings were established in the treatment plot where only sprouts were removed without removing fallen trees or planting seedlings.

研究分野：緑地環境学

キーワード：森林風倒害 台風 レジリエンス マテバシイ サンプスギ 照葉樹林再生

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

令和元年房総半島台風は、建物や森林の直接被害だけでなく、最大時 64 万戸の停電が発生する大きな社会的災害となり、森林風倒がその一因と報道された。近年、日本近海海水温の上昇によって、平成 30 年台風 21 号、令和 2 年台風 10 号と、瞬間最大風速が 50m/s を超える超暴風台風が毎年日本国土を襲うなど、強度・頻度ともに従来とは異なる攪乱レジームに変化する恐れがある。そうした変化に適応した森林の在り方について再検討が必要となっている。本研究は、千葉県における先発事例を集中的に研究することによって、対策に寄与しようとするものである。

2. 研究の目的

- (1) 令和元年房総半島台風によるランドスケープスケールの森林被害を航空写真から抽出し、森林風倒状況を把握して、地形・植生等との関係を分析すること
- (2) 林分スケールの被害を現地調査から把握し、危険林分の評価に必要な指標を検討すること
- (3) マテバシイ個体および林分の風倒メカニズムについて実験的に検討すること
- (4) マテバシイ風倒地において、在来樹種よりなる森林の再生を目指した試験を行うこと
- (5) 沖縄の森林を調査し、温暖化が進行した中での森林の風倒レジリエンスを検討すること

3. 研究の方法

- (1) 台風直後の房総市・館山市域の航空写真を教師に、現地調査で確認した被害形態を参考にして、被害を[被害なし、軽度の被害、重度の被害]として、教師付き最尤法によって航空写真簡易オルソ画像の分類を行った。国土数値情報 DEM データから斜面方位、傾斜角度、地形露出度を計算した。日本気象協会が提供する 2019 年台風 15 号による千葉県全域の強風再現解析結果から最大瞬間風速分布データを、自然環境調査 Web-GIS から現存植生図データを得た。森林区域から 9000 ポイントをランダムに抽出して、被害要因を分析した。
- (2) 山武市と南房総市で被害林分調査を行った。サンブスギ林の調査を 2020 年千葉県山武市の千葉県農林総合研究センター森林研究所内のサンブスギ見本林で行い、平地に 1125 m²の調査区を設定した。マテバシイ林の調査を千葉県南房総市の大房岬自然公園で行い、丘陵地凹状斜面と凸状斜面にそれぞれ 800 m²の調査区を設定した。農研式検土杖を用いて、調査区内の 3~5 カ所で深さ 1 m までの土層構成を調べた。調査区内の胸高直径が 10 cm 以上の全ての幹を対象に毎木調査を行った。すべての個体において樹種・樹高と胸高直径・被害類型(健全・幹折れ・根返り)を測定した。サンブスギ林の溝腐病による溝が形成されている個体は、溝の上端・下端の高さと最大幅を測定した。サンブスギ林・マテバシイ林ともに、幹折れ木では、地面から折れた箇所までの高さ(幹折れ高)、折れた箇所の長直径・短直径(平均して幹折れ直径)を測定した。根返り木では、根返りした根系と土が一体となった塊を根鉢とし、その根元部位と根鉢の反対側最深部位の間の距離を測定して根鉢の厚さとした。
- (3) 2021 年、千葉大学松戸キャンパス研究圃場にマテバシイ 2 個体、イスノキ 1 個体、モチノキ 1 個体の計 4 個体の苗木を単木状に植栽し、4m 四方の区画にマテバシイ、モチノキ、イスノキ 36 本の苗木を格子状に植栽し林分を形成した。その試験地で、風荷重の現場測定を行った。風速および樹幹の曲げ変形の連続試験を 2023 年 9 月 19 日~12 月 7 日に行った。風速は超音波風向風速計(ソニック社, SA-21 型)を使用し、10Hz で計測した。主風は南と想定し、幹の下位北側に変位計(東京計測器, CDP-5)を使用して幹のたわみを測定し、10Hz でデータロガー(TEAC 社, es8)に連続記録した。たわみから風荷重を推定するために必要な樹幹の剛性を求めるため、無風時に樹幹の引張試験を行った。樹幹にロードセル(東京計測器社, TCLZ-500NA)を取付け、北向き水平方向に人力で樹幹を引っ張り、荷重と幹のたわみを動ひずみ測定器(東京計測器社, DC-004P)に記録した。以上より、現場の風速 たわみ曲線を作成した。樹形との関係を調べるために、供試木の全一次枝の分枝位置と枝元直径・長さ・着葉数・葉面積を記録した。写真から樹冠の水平投影面積を求めた。幹の曲げ強さを求めるために、野外計測試験終了後の供試木を用い、実験室にて中央集中荷重による曲げ試験を行い、応力ひずみ曲線を作成した。
- (4) 大房岬の丘陵地凸状斜面マテバシイ倒伏地に、2021 年、100m²の区画を 4 つ設定し、対照区である倒木残置未処理区のほか、倒木除去植栽区、倒木残置植栽区、倒木残置萌芽除去区とした。倒木除去植栽区では、倒木及び先駆性落葉樹木を除去して地拵えを行い、在来樹種苗木であるウラジロガシ、クロガネモチ、スダジイ、タブノキ、ヒメユズリハ、モチノキを計 50 本植栽し、毎年、苗木以外の落葉樹およびマテバシイの下刈りを行った。倒木残置植栽区では、倒木を残置し、先駆性樹木を除去後、在来樹種苗木を計 50 本植栽した。調査区 3 は、マテバシイ倒木を残置し、苗木植栽も行わないが、マテバシイの萌芽を毎年除去した。2023 年、各調査区および風倒がなかったマテバシイ林分の毎木調査を行った。苗木と天然実生の調査では、個体に標識を付し、樹種を記録

し、個体の消長および苗木の成長を記録した。各調査区の林内光条件、温湿度を 2023 年 4 月 15 日から 2023 年 12 月 31 日まで測定した。

- (5) 2022 年に沖縄のヤンバルの森および今帰仁村等の屋敷林で毎木調査を行った。

4. 研究成果

- (1) 南房総市・館山市の航空写真解析の数量化二類分析の結果、マテバシイ林で最も被害があり、竹林、コナラ林、シイ・カシ二次林、シイ林で被害が起きやすく、タブノキ・ヤブニッケイ二次林では被害が生じにくかった。標高が低くなるほど、傾斜は 30° 以上で、瞬間最大風速 46.1m/s 以上の猛烈な風で被害が生じやすかった。また、スダジイ林で枝折れ等の軽度被害は発生しやすかったが、重度の被害は生じにくい状況だった。標高が低いことは海岸に近いことを意味しており、臨海部の急斜面で被害が主に発生していたことを示す。
- (2) 山武試験地のサンプスギ林では、形状比 75 以上の全ての個体が幹折れし、形状比 50~75 の個体では、非赤枯性溝腐病の外部病徴が顕著な個体で幹折れが多い傾向があった。大房岬試験地では、有効土層 1m 以上の斜面に成立したマテバシイ林の風倒被害率は 66% で、マテバシイ風倒木のうち 85% は幹折れによるものだった。有効土層が 55~100cm と薄い斜面に成立したマテバシイ林の風倒被害率は 75% で、マテバシイ風倒木のうち 79% は根返りによるものだった。大房岬では、マテバシイの被害が大きく、モチノキやクロガネモチ、ヒメユズリハなどで被害が小さい傾向があった。また、マテバシイの幹直径や株毎胸高断面積が大きいほど被害率が高い傾向があった。
- (3) 樹形の観点から、個体あたり葉面積は、マテバシイがイスノキやモチノキの 3 倍以上であり、樹冠の水平投影面積もマテバシイが他の樹種よりも大きな値を示した。イスノキやモチノキに比べて、マテバシイの一次枝数は半数程度と少なく、また太い枝の割合が大きく、枝直径に対する葉面積も大きかった。風速 10m/s をこえた日の風速 たわみ関係を見ると、林分林縁の個体より単木区の個体の方が風速に対して大きくたわみ、単木状態での風荷重が相対的に大きいことを示す。林分内部の個体のたわみはさらに小さく、もはや明瞭な風速 たわみ関係が見られなかった。単木状態の個体を比較すると、モチノキのたわみが最も大きく、次にマテバシイ、最もたわみにくいのがイスノキだった。引っ張り試験から得られた幹の剛性は、モチノキが最も小さく柔らかいため、たわみが大きかったと考えられる。たわみから計算される幹の曲げ応力は、マテバシイが最も大きく、次がイスノキで、モチノキが最も小さかった。樹冠面積あたりの抗力係数は、いずれの樹種においても風速が増すほど低下するが、柔軟な材質のモチノキでは、枝葉がしなりやすく、風荷重を逃しやすいと考えられた。幹の曲げ試験の結果からは、イスノキの曲げ強さが最も強く、次にマテバシイで、モチノキが最も弱かった。イスノキは、九州南部の台風常襲地である綾天然林で最も強風に強い樹種と過去に評価されているが、曲げに強い材質のため、幹折れしにくいと考えられた。マテバシイ幹はまた小さいひずみで折れ、靱性が小さいことを示した。これらの結果から、マテバシイは幹の太さに対する葉面積が大きく風荷重が大きいこと、幹の靱性が小さく強風が継続するとエネルギーを吸収できないことが明らかとなり、超暴風条件では幹折れしやすい性質であることがわかった。

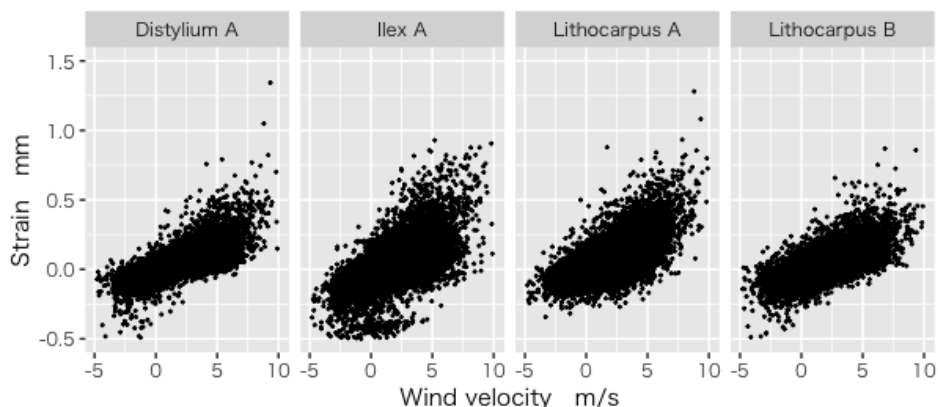


図 単木状個体の現場・風速 たわみ関係 . 左からイスノキ、モチノキ、マテバシイ 2 本

- (4) 倒木除去植栽区の苗木の生残個体数は 45 個体、倒木残置植栽区の苗木の生残個体数は 44 個体で、ともに損失はほとんどなかった。上層木がなく光環境が良好な調査区である倒木除去植栽区で天然実生の個体数が最も多かったが、マテバシイ萌芽の除去によって他の倒木残置区よりも光環境がよくなった倒木残置萌芽除去区の天然実生数もほぼ同様だった。マテバシイ萌芽除去処理は、樹種が主に鳥散布種に制限されるものの、省力的な方法として有効であることを示した。苗木の成長率は、倒木除去植栽区が倒木残置植栽区より良好で、とくにタブノキやモチノキは光条件が不良な倒木残置区で成長が悪く、スダジイはそのような条件でも比較的良好的な成長を示した。
- (5) 強大台風常襲地の沖縄では、マテバシイの樹形が異なっていることなどを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 小林達明	4. 巻 49
2. 論文標題 なぜランドスケープのレジリエンスを検討するのか	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 日本緑化工学会誌	6. 最初と最後の頁 294 ~ 294
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7211/jjsrt.49.294	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 森本淳子、岡浩平、小林達明	4. 巻 49
2. 論文標題 緑地管理における気候変動対策 異なる3スケールのレジリエンスから考える	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 日本緑化工学会誌	6. 最初と最後の頁 301 ~ 304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7211/jjsrt.49.301	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 小林達明、高橋里奈、神原謙太、加藤顕、高橋輝昌、福島成樹	4. 巻 47
2. 論文標題 令和元年房総半島台風によるサンプスギとマテバシイの風倒木の分析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本緑化工学会誌	6. 最初と最後の頁 105-110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7211/jjsrt.47.105	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 小林達明	4. 巻 47
2. 論文標題 生態的レジリエンスの定義と緑化工学的視点	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本緑化工学会誌	6. 最初と最後の頁 374-377
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7211/jjsrt.47.374	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 吉崎 真司, 森本 淳子, 蔵本 洋介, 塚本 文, 木田 幸男, 吉田 寛, 岡 浩平, 小林 達明, 大塚 芳嵩, 岩崎 寛, 上野 裕介, 上野 崇之, 長谷川 啓一	4. 巻 46
2. 論文標題 特集「緑地とグリーンインフラ 緑化学からの新たな展開」	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本緑化学会誌	6. 最初と最後の頁 369 ~ 391
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7211/jjsrt.46.369	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Tatsuaki Kobayashi
2. 発表標題 Ecological resilience in Kyoto along the Kamo River
3. 学会等名 International Symposium "Creation of Resilient Landscape Studies" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林達明
2. 発表標題 生物多様性とEco-DRRの視点に立った治山事業のあり方について
3. 学会等名 第61回治山シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林達明
2. 発表標題 千葉の海岸林
3. 学会等名 第54回日本緑化学会大会公開シンポジウム「新潟の海岸から学ぶグリーンインフラ」(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林達明
2. 発表標題 ランドスケープの生態的レジリエンスを考える
3. 学会等名 第54回日本緑化工学会大会研究集会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tatsuaki Kobayashi
2. 発表標題 Ecosystem service and disservice of SATOYAMA in climate change
3. 学会等名 The 1st Summer Course in Indonesia Tropical Landscape 2023（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林達明・清水海優・加藤顕・高橋輝昌・丸山喜久
2. 発表標題 令和元年房総半島台風による広葉樹林被害要因のGIS解析
3. 学会等名 第53回日本緑化工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Risdayatri Aulia, Tatsuaki Kobayashi, Akira Kato, Yuki Yano
2. 発表標題 Analyzing the value of trees by using i-Tree Eco. Case studies: the influence of the evaluation of ecosystem service on the environmental perception in Chiba University
3. 学会等名 ICLEE2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中美有・小林達明・平野亮将
2. 発表標題 雨庭における繰り返し湛水・乾燥条件に対する植物の適性評価
3. 学会等名 第53回日本緑化工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田邊 純, 遠藤良太, 小林達明, 加藤 顕, 石栗 太, 根津郁実
2. 発表標題 マテバシイにおける応力波伝播速度の軸方向変動
3. 学会等名 第72回日本木材学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林達明
2. 発表標題 生態的レジリエンスの定義と緑化工学的視点
3. 学会等名 第52回日本緑化工学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林達明, 高橋里奈, 神原謙太, 加藤顕, 高橋輝昌, 福島成樹
2. 発表標題 令和元年房総半島台風によるサンプスギとマテバシイの風倒木の分析
3. 学会等名 第52回日本緑化工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tatsuaki Kobayashi
2. 発表標題 Disaster reduction of SATOYAMA in climate change
3. 学会等名 The 6th International Symposium of Sustainable Landscape Development (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林達明
2. 発表標題 気候変動下における里山の災害リスク対策
3. 学会等名 令和3年度 第1回「食と農の連携シンポジウム」(招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 小林達明	4. 発行年 2022年
2. 出版社 株式会社ブックエンド	5. 総ページ数 127
3. 書名 バイオシティ特集人と自然の共生地域OECM入門 災害に強く、生物多様性保全に役立つ林づくり	

1. 著者名 亀山章・池邊このみ・小野良平・加藤和弘・倉本宣・小林達明・斉藤庸平・佐々木邦博・下村彰男・塚本瑞天・柳野良明・濱野周泰・藤井英二郎・村上暁信・本中眞・横張真	4. 発行年 2022年
2. 出版社 株式会社朝倉書店	5. 総ページ数 689
3. 書名 造園大百科事典	

1. 著者名 亀山 章、倉本宣、佐伯いく代、小林達明 ら	4. 発行年 2021年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 160
3. 書名 新版 生態工学	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高橋 輝昌 (Takahashi Terumasa) (20291297)	千葉大学・大学院園芸学研究院・教授 (12501)	
研究分担者	加藤 顕 (Kato Akira) (70543437)	千葉大学・大学院園芸学研究院・准教授 (12501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------