

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07836

研究課題名(和文) 台風による森林被害の予測精度向上をめざした立木間の動的相互作用の解明

研究課題名(英文) Analysis of dynamic response to wind between trees to improve the estimation of forest damage from typhoons

研究代表者

上村 佳奈 (Kamimura, Kana)

信州大学・学術研究院農学系・助教

研究者番号：40570982

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：大型台風からの強風により、これまで国内外の多くの森林が被害を受けてきた。このような森林の強風害は個々の木の破壊の連鎖の結果という動的現象であるにもかかわらず、これまでの研究は破壊を静的現象として取り扱ってきた。そこで本研究は、強風を受けたときの、特に立木間の木の振動という動的現象を解明することを目的とした。2018年から2019年にかけて複数回の台風時の立木振動を観測し、風からの力が根元まで到達する程度が森林状態によって異なることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化の影響によって台風が大型化し、さらに経路が北上すると予想されることから、大型台風による森林被害は今後更に増加すると推測される。そのため、森林被害の軽減は、適切な森林資源を保続するためにも必須の課題である。これまでの事例で、間伐直後の森林が強風害を受けやすいことが確認されている。本研究によって間伐と被害の関係を立木振動の観点から明らかにしたことは、環境に対する木の生態力学的応答を解明できたことだけでなく、間伐を含めた森林管理手法の指針を示せる可能性がある点に、本研究の学術的・社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：Catastrophic wind from tropical cyclones has often damaged forests. Forest damage, as a result of damage propagation of trees, is a dynamic phenomenon, whereas many of the previous research have focused on only static phenomena of trees. In this research, we aimed to inspect the dynamic phenomena with thinned and unthinned settings to improve the estimations of forest and tree damage from wind. We successfully observed tree movements while several typhoon events in 2018 and 2019. We found that the mechanical transfer function from wind to tree canopy was more directly associated with the turning moment at the tree stem base in the thinned condition than the unthinned condition. It indicates the reason why forests after thinning are often vulnerable to wind. Our findings would support to develop new strategies of thinning in forest management to reduce wind damage in the future.

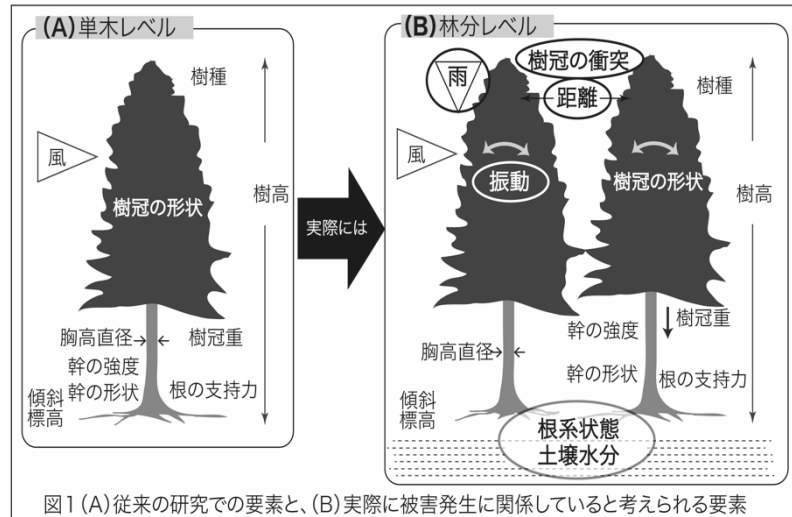
研究分野：森林科学

キーワード：立木動態 台風 風害 森林管理

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

国内外の研究の動向と位置づけ：地球温暖化の影響による大型台風、サイクロンの増加や、人工林の高齢化により、日本をはじめアジア、欧米、南半球の各国で大規模な森林被害が多発している。従来、このような災害研究は被害データを統計的に解析する手法が国内外で使われていた。2000年頃からは風の対数則特性と立木の力学特性を結合した力学的手法(Gardiner et al. 2000)による被害評価が盛んに行われるようになった。だがこれらの手法は限られた単木レベルでの静的要素(図1のA)しか考慮していないために、5-6割程度の被害予測精度だった。研究代表者の



上村は、Kamimura et al. 2016 (Canadian Journal of Forest Research)において、実被害を異なる方法で収集した複数のデータから、これまでの統計的手法と力学的手法を国内外で初めて定量的に比較した。その結果、低い推定精度の理由として、既存の手法には重要な要素、特に降雨との相乗効果や強風時の樹幹の衝突などの複数木の動的現象が考慮されていないことにあると指摘した(図1Bの○)。しかし、森林風害に関しこれらの多様な要素を研究した例は限られている。現時点で表1にある5つの論文が存在するが、理論値のみまたは一定の条件下でのシミュレーションであり、実データとの検証がまったくない。そのため未だに仮説の域を出ておらず、被害発生現象の解明に至っていない。これは、動的要素およびそれに関する環境要素を含めた多様なデータを同時にとるという発想がなかったこと、動的現象を表すためには通常膨大な数値シミュレーションが必要になることが理由として挙げられる。そこで本研究では周辺木や環境条件との相互作用に着目した台風時の動的現象をモデル化し、林分全体の耐風性予測の精度向上を目的とする。そのために、多様な要素を野外観測、試験で取得し、単木の振動モデル、複数木の数理モデル(ゲーム理論、ニューラルネットワーク等の複合モデル)を構築し検証することで実際の台風時の現象に即したモデルを目指す。

表1 森林風害予測について新たに明らかになった要素に関する既存研究

既存研究	対象	結果・成果	問題点
Kamimura et al. 2012	強風、降雨の効果	根系支持力と土壌水分の関係	単木レベルのみ。実データとの検証無し
Byrne et al. 2012	林分レベルの被害の拡大	森林の成長との関係	実データとの検証無し
Dupont et al. 2015	林分レベルの被害拡大のメカニズム	数値シミュレーションモデル	実データとの検証無し
Hale et al. 2012	立木間の競争	立木の形状と上空の風との関係	単木レベルのみ。競争の効果は未検証
Seidl et al. 2014	立木間の競争	Haleの手法の改善	単木レベルのみ。実データとの検証無し

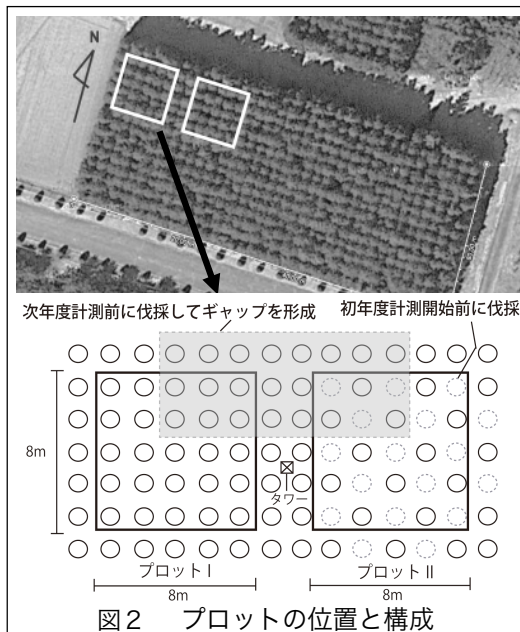
2. 研究の目的

本研究は、環境条件を含めた台風時の立木間の動的相互作用をモデル化し、林分の耐風性予測の精度向上を目的とした。具体的な方法として、まずプロットにおいて動的現象(立木の振動、衝突など)、風速、根系の重なり、土壌水分などを包括的に測定する。次に測定データを用いて単木振動モデルと、複数木の数理モデルを構築、検証する。異なる対象スケールのモデルを比較することで、立木間の動的な相互作用や現象による林分全体の耐風性への影響が分析できる。今後、台風などによる森林災害は増加すると予測されている。しかし従来の研究は計測しやすい静的現象を使ったモデルのみで、強風時の動的現象を考慮していないため、被害予測精度は低いままである。よって本研究で開発する新たなモデルは、被害予測精度を飛躍的に高めることができる。

3. 研究の方法

立木の振動や形状、地下部の状態を計測するために、国立研究開発法人森林総合研究所の千代田試験地(かすみがうら市)にプロットを設置した。対象サイトの樹種は、平成29年時点で13年生のスギ(2005年植栽)で樹幹距離は1.8m、樹高は現時点で約15mである。対象のスギはすべて母樹が同一で遺伝的にほぼ均質となっている。さらに傾斜がほとんどなく主風側(北)に障害物はないことから、遺伝や地形からのバイアスを最小限にすることができる。立木の振動の変化を見るために、2種類の樹幹距離を設定した(図2)。プロットIIにおいては、計測前に交互に1本ずつ抜き切りをし、樹幹の間隔を開けた。プロット外の電線鉄塔に三杯型風速計と、プロット間の可動式気象観測用タワーに超音波風速計を設置して2箇所風速を計測した。

立木の振動に関しては、樹幹に IMU（慣性計測装置）を地上高 6m の北面に設置し、さらにひずみゲージを樹幹下（地上高 25cm）の北面と東面の 2 方向に設置した。ひずみゲージは直接樹幹に接着せず、アルミニウム製の歪拡張金具を使用した。具体的には、その金具に歪みゲージ 2 つ（片方はダミー）を接着し、抵抗、可変抵抗器とあわせて Wheatstone Bridge を構築した。Wheatstone Bridge は Phidget 社製 PhidgetBridge を経由し、Raspberry Pi3 に接続した、IMU は PhidgetSpatial (Phidget 社) を使用し、同じく Raspberry Pi3 に接続し、データを記録した。Linux の Cron をつかって毎時 0-1 分に、データ収集用の Python プログラムを開始するように設定し、IMU 内のジャイロセンサーは毎時間のプログラム開始時にゼロ補正をするようにした。



当初計画では、平成 30 年度に、周辺環境による立木振動の変化をさらに解析するため、立木を一部伐採してギャップを形成し、立木の振動や風速などの計測を継続する予定であった。しかし、9-10 月に発生した台風 24 号により、プロット II が被害を受けたため、プロット II での観測を終了した。予定を変更し、プロット I を南へ拡張し、新たに歪みゲージを設置するとともに、周辺木を伐採して新しい林縁を作った。林内に設置した超音波風速計も台風による強風で落下し破壊されたため、同位置に三杯型風向風速計を設置し、新たに観測を開始した。

平成 30 年 11 月に、プロット I において立木引き倒し試験を実施した。試験の手法は、Kamimura et al (2012) の手法による。

収集したデータについて、ひずみゲージのデータは Matlab (MathWorks 社) の Signal Processing Toolbox を用いてノイズを処理した。IMU からのデータは、Sensor Fusion and Tracking Toolbox を使い、変位データに変換した。超音波風速計の風速データは、3 軸回転手法を用いて補正し、モーメント (u' w') を計算した。これらの処理の後、高速フーリエ変換によるスペクトル解析および伝達関数計算により、風がどのように立木を振動させるのかについて解析している。

4. 研究成果

本研究では間伐、無間伐プロットにおいて約 2 年間の立木振動および風況データを収集することに成功した。この間に、温帯低気圧や台風などで複数回の強風が発生しており、強風下での立木動態の解析が可能になった。平成 30 年 (2018 年) のカテゴリ-5 の大型台風 (台風 24 号) により、風倒害がプロット内に発生した。実際に倒伏するプロセスでの木の振動データを取得で

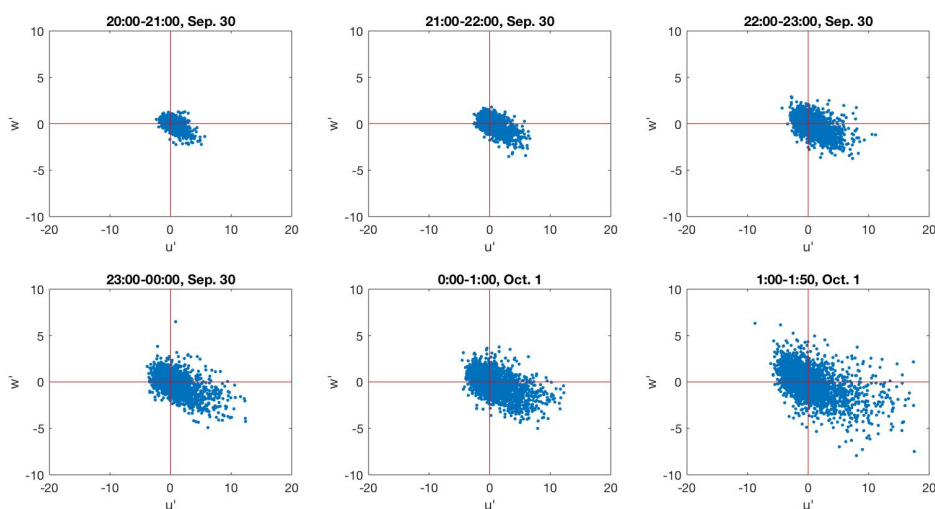


図3 観測プロット間に設置した超音波風速計において観測した 2018 年台風 24 号による主風および鉛直方向の風速変動成分 (超音波風速計の落下前まで)

きたのは、世界で初めてである。解析の結果、台風による強風時に樹冠へ吹き下ろすガストに風速変動成分 (u' 、 w') の状態が確認できた (図 3)。また、 u' 、 w' が急激に大きくなったとき、すなわち瞬間的な突風が樹冠上を通過したときに立木が倒伏したことがわかった。さらに倒伏は間伐プロット (プロット II) のみに発生していた。これは無間伐プロットのように樹冠の間の距離が近いまたは接している場合、立木が強風に対し支え合い、根系の破壊に至らないことが考えられた。このような実際の風倒木での解析は今まで行われたことがなく、これまでの国内外における森林・立木風害研究に新たな理論を提示できた点にも本研究の成果があり、非常にインパクトのある研究となった。

一方本研究では、当初予定していた雨の影響に関する解析が不十分であったこと、樹冠で受けた力がどのように根系へ影響し、破壊されるのかという直接的なメカニズムの解明には至らなかった。そこで令和 2 年度から科研費基盤研究 B「強風雨時に発生する立木倒伏の動的メカニズムの解明とモデル構築」において、新たな観測を実施する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kamimura, K., Gardiner, B., Dupont, S., Finnigan, J.	4. 巻 268
2. 論文標題 Agent-based modelling of wind damage processes and patterns in forests	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Agricultural and Forest Meteorology	6. 最初と最後の頁 279-288
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.01.020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hart, E., Sim, K., Kamimura, K., Meredieu, C., Guyon, D., Gardiner, B.	4. 巻 265
2. 論文標題 Use of machine learning techniques to model wind damage to forests	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Agricultural and Forest Meteorology	6. 最初と最後の頁 16-29
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.10.022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Nanko, K., Suzuki, S., Katsushima, T., Minamino, R., Kamimura, K., Mizunaga, H.
2. 発表標題 Estimation of tree resistance to wind damage using segmented stem and voxelized canopy from terrestrial laser scanner data
3. 学会等名 8th International Conference of Wind and Trees（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kamimura, K., Yoshioka, M., Kato, M., Suzuki, S.
2. 発表標題 Time-series analysis of typhoon damage in Japanese forests
3. 学会等名 8th International Conference of Wind and Trees（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kanimura, K., Gardiner, B., Guyon, D., Meredieu, C.
2. 発表標題 Emergence and propagation of wind damage in forests
3. 学会等名 8th International Conference of Wind and Trees (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kanimura, K., Kazuki, N.
2. 発表標題 Measurement and Recording of Tree Movement
3. 学会等名 Tree Motion and Wind Measurement Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上村佳奈, Waldron Kaysandra, Carl Bergeron, Ruel Jean-Claude, 水永博己
2. 発表標題 北方異齢林における風害
3. 学会等名 第129回日本森林学会大会,
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 南光 一樹, 鈴木 覚, 勝島 隆史, 南野 亮子, 上村 佳奈, 水永 博己
2. 発表標題 アロメトリーに基づく樹木生成を通じたヒノキの耐風性の経年変化の推定
3. 学会等名 第129回日本森林学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上村佳奈, 南光一樹, 松本麻子
2. 発表標題 2018年台風24号の強風による被害木で実測した立木振動
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上村佳奈, 南光一樹, 上野真義, 松本麻子
2. 発表標題 振動観測、引き倒し試験、生態情報からみる立木の耐風性
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔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	南光 一樹 (Nanko Kazuki) (40588951)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	