

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 14 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580202

研究課題名(和文) 地形と林分構造の複雑性が森林内風環境に及ぼす影響・施業シナリオへのCFDの応用

研究課題名(英文) Effect of complexity in geography and canopy structure on wind environment over forest ecosystem. Application of CFD on evaluation of forest management scenario.

研究代表者

水永 博己 (Mizunaga, Hiromi)

静岡大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：20291552

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は森林内の風況を周囲の地形条件や林冠形状に関連付けて、山岳地の森林施業シナリオが風環境に及ぼす影響を評価するシステムを構築することを目的とした。樹冠構造と風起因の抗力特性との関係を明らかにし、林冠構造とCFDモデルを統合した。

スギとヒノキともに葉分布構造は抗力係数や流線化係数と関係が深い。その影響の方法はスギとヒノキで大きく異なった。間伐シナリオごとの風況予測を行い、間伐ギャップを起因として乱流が多発すること、間伐率や間伐列の向きが被害率に影響を及ぼすことを明らかにした。さらに、垂直下降風の確率も計算でき、この下降風を無視した従来の計算は被害率を過小評価していることが指摘できた。

研究成果の概要(英文)：The objective of this project is to establish the evaluation model for the effect of forest management scenario on wind synopsis on forest in special reference to geography and canopy topography. We clarified the relationship between crown profile and drag relations and create linkage model on forest canopy dynamic model and Computational fluid dynamics model.

We found lateral leaf area index and clumpiness of leaf distribution affected on both drag coefficient and streamlining in Japanese cedar and cypress, but the effecting manner was found to be different between tree species. We predicted the wind synopsis on canopy surface in different thinning scenario through linking canopy topography and CFD, we clarified the eddy generated due to canopy gaps and clarified thinning ratio and direction of gaps affected the proportion of damaged trees. We also found that estimation model with ignoring downward wind provided 20% underestimation of number of damaged trees.

研究分野：森林科学

科研費の分科・細目：造林

キーワード：LESモデル 風害 複雑地形 複雑林冠

1. 研究開始当初の背景

これまで我が国の森林生態学・造林学の分野では海岸の防風・防砂林の研究を除き、風環境にあまり注意が払われてこなかった。しかし風環境は、風倒による森林攪乱に関わるばかりでなく、樹高成長の制限や立ち枯れにつながる生理ストレスに強く影響することが経験的に知られている。さらに種子や花粉の散布など天然更新施業や遺伝子保全の現場にも重要な情報である。

欧米では Gales, Hwind といった風害リスク評価モデル研究が発達しており、これらのモデルは森林の風環境を風速プロファイルの対数則と林分密度の関係を用いて表現している。しかし我々は、強風時の森林の風速分布はより複雑であることを示し、風害リスク評価モデルに単純な経験則である対数則を用いることの問題点を指摘した。また複雑な地形構造では経験則から大きく外れた風挙動を示すため、山岳地に利用できない。さらには単純群落を対象としているため、多様な施業方法から創出される複雑な林分構造に適用できるシステムになっていない。また防風林における風速分布の研究やガス交換測定のための風速分布の研究においても単純な経験式の組み合わせが用いられているが、森林内の非正常な風の動きを予測することができず、また風害モデルと同様に地形や樹冠配列の複雑さに柔軟に対応できる風環境予測となっていない。すなわち、対数則など経験則による風環境の解析では森林内外の風環境を表現するうえで限界がある。

一方近年急速な進歩を見せている数値流体力学の LES (Large eddy simulation) を利用して複雑山岳地形上の風況を非正常に予測するシミュレーションソフトが開発された。こうした手法を林冠形状とリンクすることができれば、森林内の風速分布を予測することができるのではないかと着想した。

2. 研究の目的

本研究は森林内の風速の非正常な空間分布を周囲の地形条件と森林内の樹冠構造に関連付けて予測するシステムを開発し、山岳地における森林の施業シナリオが風環境に及ぼす影響を評価することを目的とする。

風工学で主流の数値流体力学(CFD)的解析を異なる二つの空間スケールの構造(メソスケールでの地形構造と林分スケールでの樹冠構造)に適用して、森林内の風速の非正常な空間分布を周囲の地形条件と森林内の葉分布に関連付けて予測するシステムを開発する。具体的には次の3点を主な目標とする
葉群構造が樹冠通過時の風の減衰に及ぼす影響を実物大サイズで定量評価する。

森林施業後の葉群構造の変化を反映し、風害発生予測に最適な葉群構造の指標値を探索する。

多様な施業方法が風速に及ぼす影響を予測し、森林攪乱に及ぼす影響について明らか

にする。

3. 研究の方法

地形版 LES モデルによる風況予測と風害発生マップの予測

大分県湯布院町 4000 ヘクタールの森林を対象に約 20 年間の台風イベントと被害実態について測定した。DEM データと LES モデルにより風速マップを再現し、林分条件と台風データおよび実際の被害記録から、スギ林の被害にどのような要因が関わっているのかをロジスティック回帰モデルおよび Cox 解析から解析した。

抗力パラメータの測定

風速分布や風による荷重を計算する場合に、抗力係数は欠かせない指標値である。樹冠は多孔質であり、さらに柔軟で風により変形する特性があり、このことが風の挙動と深く結びついている。

日本では、樹木の抗力係数を測定したデータは非常に少なく苗木レベルでの測定に限られており、スギ・ヒノキのデータはなかった。このため、我々は樹冠サイズの抗力係数の決定を曳航風洞実験により行った。

静岡県小山町富士スピードウェイにおいて、様々な樹冠形態を持つヒノキ 28 樹冠、スギ 13 樹冠をトラックに設置して、抗力を測定した。

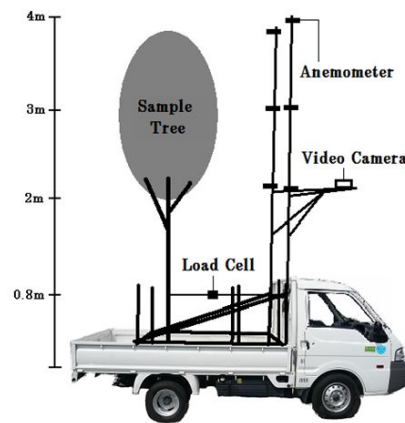


図-1 トラックによる曳航風洞実験

風速を 4-5 段階に変化させて、抗力係数の変化を測定した。風速 u と抗力係数 $Cd(u)$ の変化の関係から、次式により風速 10m のときの抗力係数 $Cd(10)$ と流線化係数 n を明らかにした。

$$Cd(u) = Cd(10)(u/10)^{-n}$$

二つのパラメーターと各サンプル樹冠の着葉の分布を解析した。

LES モデルによる林冠表面風の推定と森林施業に伴う風倒害発生リスク評価

間伐後の林冠表面形状を予測後、林冠表面を Bluff Body としてスタガード格子に区切り、LES モデルを用いて林冠表面上の風速を予測した。さらに林冠表面形状から着葉構造を通じて個体の抵抗性要因(根元耐回転モーメント・風心高・受風面積)を予測した。

4. 研究成果

地形版 LES モデルによる風況予測と風害リスク分布解析

台風の特で被害分析をロジスティック回帰で解析したところ、風速 15ms^{-1} 以上の風の継続時間や時間当たりの最大風速が風害の発生確率に貢献していた。

林分単位の解析では、上方風の強い場所、間伐後 2 年以内の場所、地位指数の高い場所が風害を受けやすいことがわかった。

抗力パラメータの解析

スギ、ヒノキともに抗力係数および流線化係数の個体間変異は大きかった (図-2)。

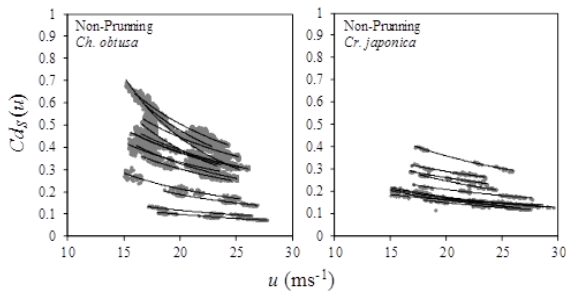


図-2 風速と抗力係数の関係

風速 10ms^{-1} のときの抗力係数 $Cd(10)$ および流線化係数 n を葉群分布因子で説明する GLM モデルを作成した。AIC を基準に選択した抗力係数のベストフィットモデルはヒノキで側方葉面積指数を、スギで葉のクランピングインデックスを説明変数とした。一方流線化係数について、ヒノキはクランピングインデックスを、スギで側方葉面積指数とクランピングインデックスを説明変数とするモデルがベストフィットモデルに選択された。

ヒノキの流線化係数 n と樹冠面積の変化率 m とは関係がみられず (図-3)、抗力係数の減少のしやすさは、樹冠の孔隙の大きさにむしろ影響を受けたことから、孔を通過する空気抵抗が貢献していると推定された。

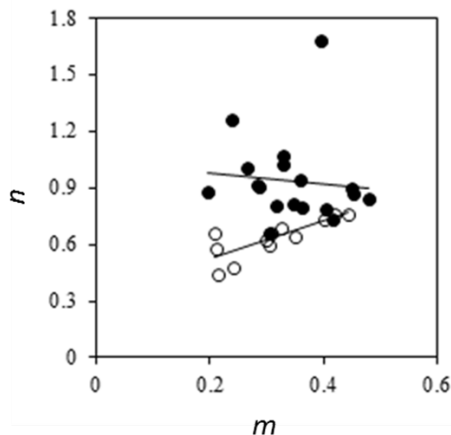


図-3 抗力の風速に伴う減少率 (流線化係数) と樹冠面積の風速に伴う減少率の関係。黒丸：ヒノキ、白丸：スギ

風速 10ms^{-1} の時の抗力係数 $Cd(10)$ を樹冠の

ギャップフラクションと関係が深いと仮定したときに、次式がなりたつ。

この式を両樹種の抗力と葉群パラメータに適用したところ、 C_{max} は、ヒノキで 0.99 スギで 0.55 であった。

抗力係数と静風時樹冠外郭面積の積と風を受けているときの葉群投影面積の関係は、ヒノキは 1:1 の関係にスギは 0.5:1 の関係にあった。この関係は C_{max} の値と一致した。すなわち、樹冠が Bluff body である状態を仮想した時の潜在的抗力係数は、解析方法が異なっても、スギで 0.5、ヒノキで 1 付近にあるといえた。この値は樹種ごとの特性値として考えることが可能であり、個体の葉分布パターンから、個体ごとの抗力係数を予測することができた。

LES モデルによる林冠表面風の推定と森林施業に伴う風倒害発生リスク評価

多様な森林施業を反映できる林冠構造モデルと LES モデルをリンクして、森林の風倒害リスクを評価するシステムを作成した (図-4)。このモデルは施業に伴う葉群分布構造の変化を予測するパーツ・葉群分布構造から個体の転倒抵抗性を予測するパーツ・林冠構造と LES をリンクして個体樹冠が面する環境を予測するパーツで構成する。

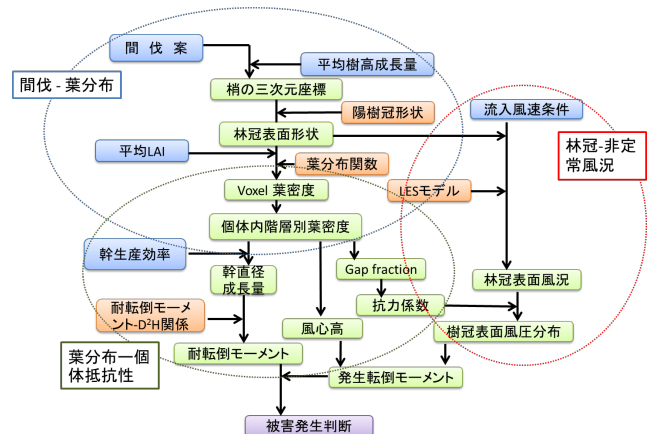


図-4 風倒被害発生リスク予測システム

67 年生のヒノキ人工林を対象に間伐シミュレーションしたところ、間伐は耐転倒モーメントを 3~9% 程度高めた。また間伐は風心高の上昇を抑制し、樹高成長量の 10~15% 程度低下させた。一方で間伐により受風荷重効率は 20% 程度増加するため、間伐は個体の抵抗性を増加させるとは限らないことがわかった。

さらに、林冠上の非定常な風況環境を予測できた。間伐は最大風速、渦強度、垂直方向の風速を増加させ、その効果は間伐後 10 年間継続した (図-5)。このことは樹高成長量の小さい林ではギャップの閉鎖が小さいことに加えて、時間が経過しても成長によりギャップが閉鎖しても林冠の凹凸が粗くなった状況は継続することから、間伐後の風当たりが強い危険な状態が続くことが予想された。

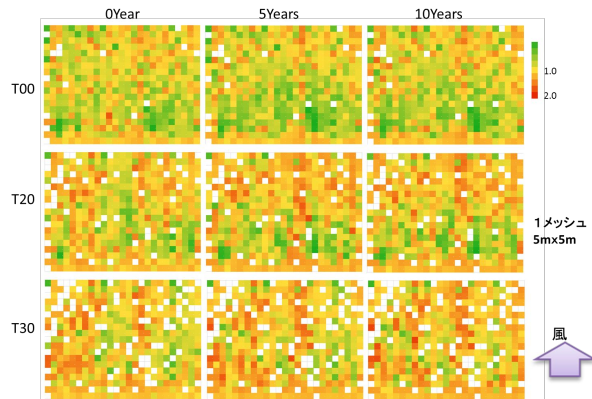


図-5 林冠表面の最大風速位置図
T00：無間伐 T20:20%間伐 T30:30%間伐

風倒被害の個体抵抗性の指標値として、これまで形状比が使用されてきた。しかし、本シミュレーションでは形状比は被害の生じやすさと無関係であった。一方で、胸高直径の樹冠投影面積に対する比が小さい個体に有意に被害が生じることが予想された(図-6)。このことは、我々が計測した天竜地域の風害被害の記録 (Kitagawa and Mizunaga 2010) と一致した。

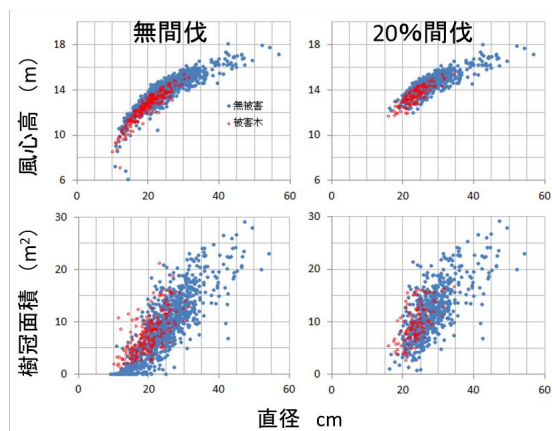


図-6 直径と樹冠面積及び風心高の関係

このシミュレーションの結果、無間伐では2000年に1回の風害イベントで、20%間伐では700年に1回のイベントで、30%間伐では170年に1回のイベントで20%以上の個体に被害が生じることが予想できた。

さらに、風速の強さによって間伐の効果が異なることが予測できた。すなわち、無間伐では小規模の被害が頻度高く生じるのに対して、間伐林では稀な風害に弱いことが予測できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

Mizunaga, Hiromi & Fujii Kazuko (2013) Is foliage within crowns of cryptomeria japonica more heterogeneous and clumpy with age. Journal of sustainable forestry 32:1-20, DOI:10.1080 (査読有)

Kana Kamimura, Satoshi Saito, Hiroko Kinoshita, Kenji Kitagawa, Takanori Uchida and Hiromi Mizunaga (2013) Analysis of wind

damage caused by multiple tropical storm events in Japanese Cryptomeria japonica forests. Forestry 1-10, DOI:10.1093 (査読有)

K. Kamimura, K. Kitagawa, S. Saito and H. Mizunaga (2012), Root anchorage of hinoki (Chamaecyparis obtuse (Sieb. Et Zucc. Endl.) under the combined loading of wind and rapidly supplied water on soil: analyses based on tree-pulling experiments., Eur. J. Forest Res. 131:219-227 DOI 0.1007/s10342-011-0508-2(査読有)

[学会発表](計7件)

水永博己・喜多川権士・岩間慎太郎(2014) もう間伐をしてもいけない、風に向かってたつ木から 日本森林学会 大宮ソニック(埼玉県)

岩間慎太郎・内田孝紀・喜多川権士・水永博己(2014) 風況シミュレーションを用いた異なる間伐方法下における風害リスクの評価 日本森林学会 大宮ソニック(埼玉県)

福井翔宇・岩間慎太郎・喜多川権士・水永博己・矢澤速仁・宇佐美敦(2013) スギ、ヒノキの樹幹構造が流線化に与える影響 日本森林学会 岩手大学(岩手県)

岩間慎太郎・水永博己・内田孝紀(2013) 間伐シナリオ別に見た、LESによる林冠上部の突風率の解析 日本森林学会 岩手大学(岩手県)

砂岡勇輝・岩間慎太郎・喜多川権士・水永博己・上村佳奈・齋藤哲(2012) 台風をイメージした樹木引き倒し実験による根返り抵抗性評価 日本森林学会 宇都宮大学(栃木県)

岩間慎太郎・喜多川権士(2012) ヒノキ樹冠の3次元葉分布構造が風速に伴う抗力係数の変化に与える影響 日本森林学会 宇都宮大学(栃木県)

辻村史晃・水永博己(2012) AE法によるキャピテーションの発生評価とその発生要因解析 日本森林学会 宇都宮大学(栃木県)

6. 研究組織

(1)研究代表者

水永博己 (MIZUNAGA Hiromi)

静岡大学・農学研究科・教授

研究者番号：20291552

(2)研究分担者

内田孝紀 (UCHIDA Takanori)

九州大学・応用力学研究所・准教授

研究者番号：90325481

齋藤哲 (SAITO Satoshi)

森林総合研究所・植物生態研究領域・チーム長 研究者番号：30353692