

機関番号：13801  
 研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20380088  
 研究課題名（和文） 風害リスクを制御する林冠分断と修復シナリオ:葉群動態と先端流体力学のリンケージ  
 研究課題名（英文） Scenario in canopy gap creation and re-closure for reducing wind-damage risks. The linkage of CFD and canopy dynamics  
 研究代表者  
 水永 博己（MIZUNAGA HIROMI）  
 静岡大学・農学部・教授  
 研究者番号：20291552

## 研究成果の概要（和文）：

多様な森林施業に伴う林冠の動態に関連づけて風害リスクを定量評価することを目的とした。1) 個体スケールでの風害リスク評価として土壌水分の根系支持力に及ぼす影響や、樹冠サイズと胸高断面積の比の耐風性指標としての有効性を明らかにした。2) 林分スケールでの評価として、ヒノキ樹冠を通過する風の抗力係数を決定し、林冠表面の風速分布予測モデルを開発した。また強風時に林冠表面では風速の対数則モデルは成り立たないことを明らかにした。さらに3) 景観スケールでの評価として、またメソスケール気象モデルと風況予測技術をリンクし風害発生地の地形要因を解析した。

## 研究成果の概要（英文）：

Our objective is to evaluate the risk of wind damage quantitatively in relation to canopy dynamics caused by various forest managements.

1) The evaluation of wind damage risks in individual tree scale: We clarified the effect of soil water condition on root anchorage. We also found the proportion of crown size to diameter at breast height is an effective index of resistance of trees against wind damages.

2) The evaluation of the risks in stand scale: We determined Cd (drag coefficient of wind load) of Japanese cypress, and developed the model predicts the unstable wind velocity on the canopy surface through combining with canopy topography and LES method. The large discrepancy between actual observation and classical logarithm law with respect to the vertical wind profiles in strong wind conditions from wind speed observation above the canopy of cypress plantations.

3) The evaluation of the risks in landscape scale: We analyzed the topographic factor on generation mechanism of the wind damage through combining the simulation by the meso-scale climate model and numerical wind synopsis technology.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	8,600,000	2,580,000	11,180,000
2009年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

研究代表者の専門分野：造林学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：風害 林冠分断-修復 森林施業 流体力学

## 1. 研究開始当初の背景

これまでの風害研究は風害イベント後の事例報告や統計的研究など疫学的研究が多く、イベントの再来間隔の長さや関与する要因の複雑さなどの理由からリスクの定量評価を行うまでにいたっていない。

一方、樹木の力学的メカニズムからの研究は国内における研究は極めて少なく、国外の研究では、風洞実験と個体の転倒特性をリンクしたForestGALESや林縁付近での風速減衰と個体の力学特性をリンクしたHwindなどメカニズムからの解析的モデルがあるが、林分平均値レベルでの解析で、個々の樹木の風当たりや脆弱性を詳細に評価したものではない。

また用いられている風況モデルは単純な地形・景観条件下で適用すべきもので、地形や林配置の複雑なわが国の森林に適用することはできない。

個体の脆弱性を低減するための密度管理が風害回避技術として推奨される一方で、森林内の風当たりを懸念して間伐を躊躇する森林所有者は少なくなく、「間伐をしても、しなくても風害が怖い」というジレンマに台風常襲地域の林業現場は悩んでいる。

また強度間伐やパッチ状伐採が行政ベースで導入されつつあり、強い林冠分断化が風害リスクの増加を招く可能性が指摘されている。さらに近年進行している長伐期化現象で風害を受けやすい林分構造へ移行しているという指摘がある。このように最近の森林施業は風害に脆弱な森林づくりを進めている恐れがあり、林冠の分断構造を考慮した風害リスク評価が必要である。

## 2. 研究の目的

本課題の目的は、多様な森林施業に伴う風害リスクを林冠の分断と修復過程に関連づけて定量的に評価できるシステムの開発をすることにある。このために次の4点に狙いを絞って研究した。

1) 個体の幹折れや風倒の力学的モデルのパラメータの充実ははかり、とくに根元の最大回転モーメント（以下、根返りモーメントと呼ぶ）と樹冠のサイズとの関係を林冠修復過程に関連付けて明らかにすることをねらいとした。

2) 林冠修復プロセスにおける樹冠バランスの変化や幹の成長過程をシナリオごとに予測し、激しい風害を生じる閾値の風速をあきらかにし、林冠分断後からの風害リスクの変化プロセスを明らかにすることを狙いとした。

3) 施業によって生じる森林内の葉群分布

と幹の配列と風パラメータの空間分布の関係を、RIAM-COMPACTおよび現場での風速観測を通じて明らかにすることを狙いとした。

4) 山岳地の複雑地形表面を通過する非定常の風環境を予測した風害ハザードマップを作ることを狙いとした。

すなわち、育林施業がひきおこす葉群分布の変化と成長やアロメトリー関係の変化などの生態現象と幹や根元の力学特性および地域気象情報と流体リキガクシミュレーションを組み合わせ森林内の個々の樹木にあたる風の流れと幹被害現象をシミュレートするモデルを作成することにある。

## 3. 研究の方法

1) 樹木の引き倒し試験法により、ヒノキ3林分、スギ3林分において最大根返りモーメントと樹木サイズの関係性を調べた。また強雨条件下での強風への耐性を知るため、散水処理を行い土壌水分の影響を調べた。さらに連続する強風による揺れの繰り返しによるモーメントの低下を知るために負荷の繰り返し処理が根返りモーメントに及ぼす影響を調べた。

2) ヒノキ人工林内に1.3ヘクタールの調査地を設定し幹座標・胸高直径・樹高を測定した。さらに樹木の着葉分布構造をレーザースキャン法により精密に測定した。これらのデータをもとに林冠表面構造を再構築した。間伐に伴う個体の風害耐性の変化をシミュレートした。

3) 曳行風洞法によりヒノキの樹冠構造と抗力係数の関係を解析した。またヒノキ人工林試験地において地上高10mから30mまで5m間隔で風速計を設置し、強風時の風速を測定した。

4) 調査期間中の0918号台風によって生じた調査地内の被害形態について調べ、被害時の風速分布を解析した。さらに被害個体のサイズ属性や形態特性について、被害個体周辺の健全個体と比較した。

5) 大分県九重町の九州電力社有林スギ人工林における0418号台風による被害発生と、このときの台風シミュレーションによる台風経路およびRIAM-COMPACTによる風況シミュレーションをリンクして風速分布と被害分布の関係性を調べた。

## 4. 研究成果

1) 樹木個体の風害耐性

① 個体サイズと回転モーメントとの関係

幹の $D^2H$ と回転モーメントには一次の直線関係があり、樹齢による影響は見られなかった(ANCOVA  $P>0.05$ )。林縁個体と林内個体では、有意に林縁個体の回転モーメントが高

い傾向にあったが、その違いは小さかった。

## ② 土壌水分の回転モーメントに及ぼす影響

黄褐系褐色森林土壌に植栽されたヒノキ林の土壌水分を制御したところ、土壌表層の水分が土壌の荷重をもたらすことにより最大回転モーメントを大きくする一方で、根圏下部の水分はすべり面の発生やヒンジ部分の沈み込みをもたらした最大回転モーメントを小さくすることが明らかとなった。結果として 10mm 以上の散水处理の場合ほとんどのケースで最大回転モーメントを低下させた。このことは土壌中の水分分布が個体の力学的風害抵抗性に影響を及ぼすことを示すものである。

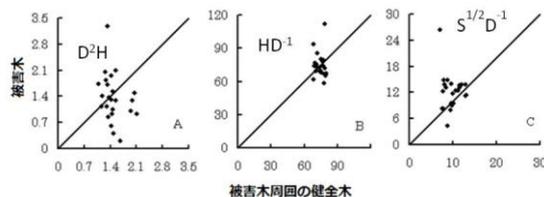
## ③ 負荷の繰り返しが最大回転モーメントに及ぼす影響

土壌硬度の高い森林では、樹木への負荷の繰り返しは最大転倒モーメントおよび Stiffness-index に影響を及ぼさなかった (ANCOVA  $P > 0.05$ )。しかしながら、負荷の繰り返しは無負荷状態での幹の傾斜を有意に増加させ (ANOVA  $P < 0.05$ )、土壌表面の形状も変化した。すなわち、風による負荷の繰り返しは幹の傾きに寄与する。

## ④ 0918 号台風被害木解析による樹木の形態と耐風性の関係

被害を受けた林分内で、樹木の  $D^2H$  と幹の形状比について被害の有無による違いは見られなかった (Pairwise T-test  $P > 0.05$ )。これまで耐風性の指標として用いられた形状比に違いが見られなかったことは、この指数の林分内の個体変異については風害とは関係ないことを示す。一方樹冠の平面積と胸高断面積の比は被害個体で有意に大きかった (Pairwise T-test  $P < 0.05$ )。この調査林のパラメータを用いて作成した GALES モデルのシミュレーションによる推定限界風速も樹冠の平面積と胸高断面積の比と負の相関があった。このことから樹冠の平面積と胸高断面積の比は風害リスク評価の一つとして用いることができることを意味する。

このことは間伐直後の台風脆弱性が林冠構造による風の侵入だけでなく、個体耐風性の低下をもたらすことを示している。



## 2) 森林内の風速分布

### ① ギャップ構造と風速分布

森林内に設定した 30m ギャップにおける樹冠下部の風速は、森林内と比較して大きい違いはないものの、ガストファクターは極めて大きかった。

## ② 台風時の風速分布

調査地に経度の風害をもたらした 0918 台風の風速は地上 30m 高 (林冠表面から 10m 高) で約 30m/s であった。

強風時と弱風時では風速の垂直プロファイルに大きい違いがあった。樹冠表面の風速は弱風時には 30m 高風速と正の関係を示すのに対して、強風時には負の相関を示し、樹冠表面で大きいシェアーを生じていることがわかった。このような強い風速時には樹冠表面では単純な対数則な度の経験則は破綻していることを示している。

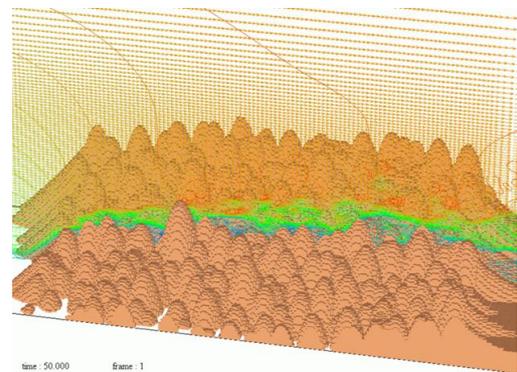
この結果、従来欧米で用いられてきた風害モデル Gales や HWind では大きい問題点を内在しており、そのまま限界風速の絶対値の計算に用いるためにはチューニングが必要であることを示している。

## ③ 樹冠の抗力係数

これまでほとんどデータの無かった抗力係数をトラック曳行風洞法により求めた。抗力係数は通常用いられている仮の値より小さかった。また風速に伴う流線化係数を決定した。抗力係数は葉群疎密度と通過する樹冠半径で決定された。

## ④ 林冠表面風速シミュレーション

林冠トポグラフィとコロケード方式の LES 法により、林冠表面の非定常な風速予測を行うことができた。林冠表面ではサイズの異なるさまざまな渦が発生しており、対数則であらわされる定常風とは大きく異なった。



## 3) 広域非定常風況予測

### ① 台風再現による風速分布と森林被害

2004 年台風 18 号により九重町スギ人工林で発生した風害を再現した。台風シミュレーション RIAM-COMPACT による風況シミュレーションをリンクして、台風通過時の風向・風速の地域分布を予測した。被害は地形的に風が集中する部分と山越えの剥離流の影響による部分に生じることが示唆された。

### ② 風害ハザードマップ

九重町の森林を対象に過去の風速・風向の統計データと CFD を組み合わせて、風害の発生しやすい場所を抽出しハザードマップを作成した。

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 5 件)

- ① Kamimura, K., Kitagawa, K., Saito, S. and Mizunaga, H. 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 European Journal of Forest Research (査読あり) 2011 in press
- ② Kitagawa, K., Kamimura, K., Saito, S., Uchida, T. and Mizunaga, H. Wind profiles and mechanical resistance of uprooted trees in a Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) plantation slightly damaged by Typhoon Melor 0918 at Kamiatago Expeimetal Forest, Tenryu, Japan: Validity of mechanistic models for wind damage risks Jpn. J. For. Environment (査読あり) Vol.52 2010 57-66
- ③ 内田孝紀、水永博己、齋藤哲、上村佳奈、木下裕子、丸山敬 森林・林業分野における風害シミュレーション-数値風況予測技術(CFD)によるアプローチ 森林立地学会誌 (査読あり) Vol.52 2010 67-78
- ④ Kamimura, K. and Saito, S. Comparing wind data at local meteorological stations and in forested areas using roughness length and topographic exposure indices FORMATH (査読あり) Vol.9 2010 135-142
- ⑤ Kamimura, K. Developing a decision support approach to reduce wind damage risk—a case study on sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) forests in Japan Forestry (査読あり) Vol.81 2010 429-445

[学会発表] (計 8 件)

- ① 喜多川権士、水永博己、上村佳奈、齋藤哲 2009 年台風 18 号により天竜ヒノキ林で発生した風倒木の樹冠内風速分布と力学耐性. 日本森林学会, 平成 22 年 4 月 3 日, つくば市
- ② 水永博己、喜多川権士、上村佳奈、内田孝紀、齋藤哲 風害リスクと間伐施業. 日本森林学会, 平成 22 年 4 月 3 日, つくば市
- ③ 上村佳奈、嘉戸昭夫、齋藤哲、喜多川権士、水永博己 森林風害リスク研究のための強風に対する立木の脆弱性について. 日本森林学会, 平成 22 年 4 月 3 日, つくば市
- ④ 齋藤哲、水永博己 日本の森林の風害研究のこれからの展開. 日本森林学会, 平成 22 年 4 月 3 日. つくば市
- ⑤ 内田孝紀 流体工学モデル

RIAM-COMPACT による複雑地形上の局所風況予測. 日本森林学会, 平成 22 年 4 月 3 日, つくば市

- ⑥ 喜多川権士、水永博己 間伐後の樹冠拡大に伴うヒノキの耐風性変化. 日本森林学会, 平成 21 年 4 月 28 日, 京都
- ⑦ 齋藤哲 林分レベルでの強風発生確率の推定-広域的確率、風向偏り及び周辺地形の影響の総合評価-日本森林学会, 平成 21 年 4 月 28 日, 京都
- ⑧ Kamimura, K. Tree pulling experiments in Japan. Wind and Trees 平成 20 年 10 月 22 日, スコットランド

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水永 博己 (MIZUNAGA HIROMI)  
静岡大学・農学部・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・助教  
研究者番号: 90325481

齋藤 哲 (SAITO SATOSHI)  
独立行政法人森林総合研究所・植物生態研究領域・チーム長  
研究者番号: 30353692

(3) 連携研究者

上村 佳奈 (KAMIMURA KANA)  
独立行政法人森林総合研究所・ポストドクター研究員  
研究者番号: 40570982