

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月12日現在

機関番号：80122

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21510201

研究課題名（和文） 森林の気象災害リスク予測モデルの開発

研究課題名（英文） Development of prediction model for wind damage risk in forest

## 研究代表者

鳥田 宏行（TORITA HIROYUKI）

北海道総合研究機構・森林研究本部・林業試験場・研究主幹

研究者番号：50414264

研究成果の概要（和文）：強風による森林の気象災害リスクを予測するため、力学モデルを開発した。当モデルは、外力（風、雪）に対し、樹幹内部に発生する応力、根元の回転モーメントを計算し、被害形態（根返り、幹折れ）を予測することが可能である。モデルを用いて植栽密度や本数密度の違いが強風に対する抵抗性に及ぼす影響を評価した結果、植栽密度が低く、本数密度を低く管理すると、抵抗性が高くなることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：In order to predict wind damage risk in forest, mechanistic model was developed. This model can be used to calculate the stress in the trunk and turning moment, and classify the damaged tree types as uprooted or broken. The results from this study indicate that tree resistance to wind damage increases under the conditions of low planting density and low tree density.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：森林、気象災害、モデル、風速、シミュレーション

## 1. 研究開始当初の背景

これまで森林災害の研究では、統計的手法による要因解析を中心におこない、地形・気象状況・林況が被害発生に及ぼす影響を解明してきた。しかし、これらの研究手法は、被害発生時のデータをベースとして統計的に解析が行われたものであるため、気象状況（風速や積雪）や林況などが異なる場合に対しては、十分な解析結果を示す事

は困難である。今後、温暖化が進行すれば、台風の大型化・上陸頻度の増加、局地的な大雪など、森林や都市林などに被害が発生し、本来、森林が担っている公益的な機能（斜面崩壊防止・防風・防雪・農地保全・水源涵養など）も損なわれ、社会全体に深刻な影響が発生するリスクは高まっている。こういった自然災害を最小限に止めるためには、まず、様々な気象状況に対する森林

の抵抗性を明らかにすると共に、更に成長により時系列で変化する森林構造を考慮して、森林の抵抗性が成長と共にどのように変化するかを明らかにする必要がある。そこで、これらの問題を解決するには、力学モデルの構築によるシミュレーションがもっとも有効であると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、森林の気象災害を軽減するため、立木の倒伏モーメント、樹幹内応力等を計算し、立木の被害形態（根返り、幹折れ）や折損位置、被害発生時の風速を推定し、更に森林管理体系（植栽密度、間伐、地位指数など）の違いによる被害発生リスクの変化を予測するシミュレーションモデルを開発する。

## 3. 研究の方法

### (1) モデル構築のための基礎方程式の検討

根返り、幹折れなどの被害形態を評価するための基礎方程式を組み立てる。

### (2) 各係数や物理量の検討

ヤング係数、効力係数  $C_d$  および地上部物理量（重量、直径、樹高など）についてデータを取得して、モデルへの適応性を検討する。

### (3) 樹木根系による抵抗性の検討

立木に外部荷重を加えて、回転モーメントを発生させ、根返り発生時の最大回転モーメントと樹木地上部因子の関係を解析する。

### (4) モデルを用いたシミュレーション

森林構造と被害の関係を明らかにし、また、成長にともなって変化する林分の強風に対する耐性を評価する。

## 4. 研究成果

(1) 立木が受ける強風による風荷重を計算する際には、効力係数  $C_d$  を決定する必要がある。しかしながら、樹木は人工構造物に比較して、複雑な構造を有しているため、樹木の効力係数  $C_d$  については不明な点が多い。そこで、樹木の効力係数についての特徴を調べるため、高さ 60cm 前後の樹木（ヨーロッパトウヒ）を用いて、効力係数の風速依存性を明らかにするために風洞実験をおこなった（写真1）。



写真1 風を受けて変形する樹木  
写真は、風洞設定風速 20m/s の時の様子

樹木の効力係数には、個体差があるものの風速依存性が認められる（図1）。風速が増加するとサンプル個体差による効力係数の値の差異が小さくなり、風速 15m/s 以上になるとその値は 0.4 前後となった。

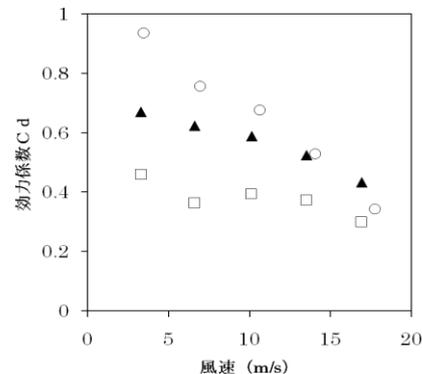


図1 樹木の効力係数  $C_d$

(2) 根返りに対する根系の抵抗性を樹種別（ヨーロッパトウヒ、カラマツ、アカマツ）に立木の引倒試験によって検討した。その結果、根返りするときの根元に発生する時の回転モーメントは、胸高直径の累乗に比例することが示された（図2）。

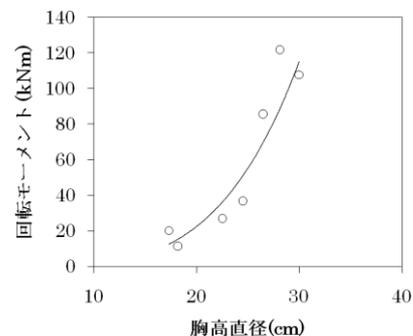


図2 根返り抵抗モーメントと直径の関係

(3) 風荷重を受けたときの折損位置（幹折れ）を推定するため、モデルによるシミュレーションをおこなった。様々な立木における樹幹内応力の分布例を示す。地上からの高さ  $x$  は、風心高  $L$  により規格化した。No1 の立木は、応力は根元で最大となり、No2 の立木では、高さ 0.22 で応力が最大となっている。また、No3 の立木では、高さ 0.37 で応力が最大となっている。立木の形態により、樹幹内応力の集中する位置（高さは）は異なり、幹折れが発生する場合は、この位置で折損すると予測される。

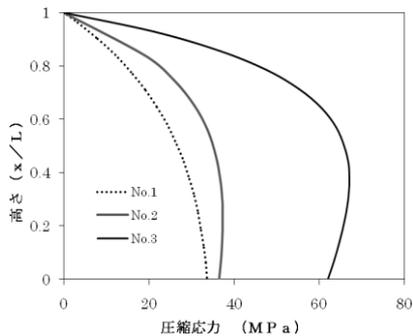


図3 樹幹内応力の分布

立木サイズおよび風速条件

No1:H=26m, DBH=33cm、No2:H=17m, DBH=16cm、No3:H=22m, DBH=19cm

H:樹高、DBH:地上高 1.3m における直径  
風速は、地上高 10m において、約 32m/s で計算。

(4) モデルを用いて、施業タイプ（植栽密度、間伐回数など）や地位指数などに対する森林の抵抗性を成長段階毎に時系列で示すため、モデルを用いてシミュレーションを実施した。抵抗性は、風害（根返り、幹折れ）が発生する時の風速を限界風速として評価した。

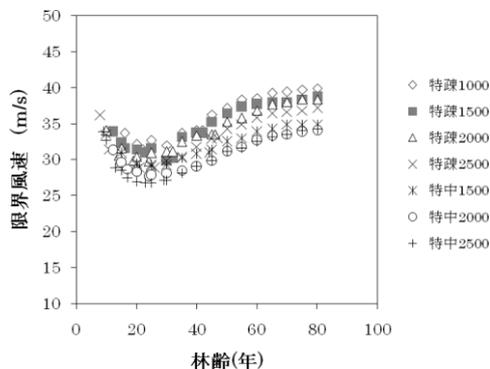


図4 特等地における強風抵抗性の時系列評価。  
特は特等地を、疎および中は施業タイプを、数字は植栽本数を表す。

図4には、特等地（地位指数 29）のカラマツ林における森林施業タイプ別の抵抗性経年変化シミュレーションの例を示す。強風に対する森林の抵抗性は、施業タイプ（植栽密度、本数密度を疎に管理、あるいは中庸で管理）によって違いが生じた。もっとも抵抗性が高いケースは、植栽密度を 1000 本/ha とし、その後の本数密度を間伐により疎仕立てで管理したタイプであった。これに対して、もっとも抵抗性が低くなるケースは、植栽密度を 2500 本/ha とし、その後の本数密度を間伐により中庸仕立てで管理したタイプであった。

また、同一の施業タイプにおいても経年変化があることが示唆され、林齢 20 年前後に強風に対する抵抗性が低下する時期があることが示唆された。

図5には、Ⅱ等地（地位指数 21）のカラマツ林における森林施業タイプ別の抵抗性経年変化のシミュレーションの例を示す。特等地におけるケースと同様に強風に対する森林の抵抗性は、施業タイプ（植栽密度、本数密度を疎に管理、あるいは中庸で管理）によって、違いが生じた。もっとも抵抗性が高いケースは、植栽密度を 1000 本/ha とし、その後の本数密度を間伐により疎仕立てで管理したタイプであった。これに対して、もっとも抵抗性が低くなるケースは、植栽密度を 2500 本/ha とし、その後の本数密度を間伐により中庸仕立てで管理したタイプであった。同一の施業タイプにおいても経年変化があることが示唆されたが、特等地のケースのように林齢 20 年前後に強風に対する抵抗性が顕著に低下する時期はみられなかった。

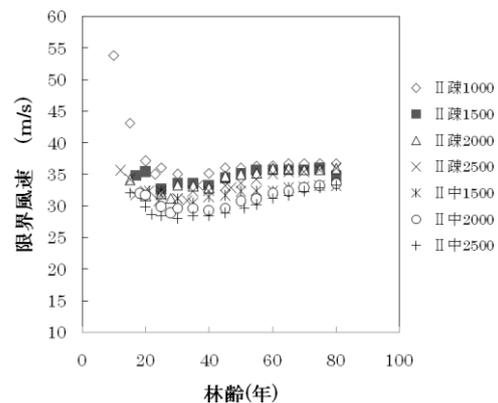


図5 Ⅱ等地における強風抵抗性の時系列評価。  
特は特等地を、疎および中は施業タイプを、数字は植栽本数を表す。

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 1 件)

- ① 鳥田宏行、渋谷正人、小泉章夫、カラマツ林の力学的解析による風害予測、日本森林学会誌、査読有、92 巻 2010、127-133、

[学会発表] (計 3 件)

- ① 鳥田宏行、地位指数が風害危険度に及ぼす影響、日本森林学会、2010 年 4 月 3 日、筑波大学  
② 鳥田宏行、力学モデルのカラマツ林における風害予測への応用、日本森林学会、2011 年 3 月 27 日、静岡大学  
③ 鳥田宏行、風洞実験による針葉樹の効力係数の測定、日本森林学会北海道支部大会、2010 年 11 月 9 日、札幌市コンベンションセンター

[その他]

ホームページ等

<http://www.fri.hro.or.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鳥田宏行 (TORITA HIROYUKI)  
北海道総合研究機構・森林研究本部・林業試験場・研究主幹  
研究者番号：50414264

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：