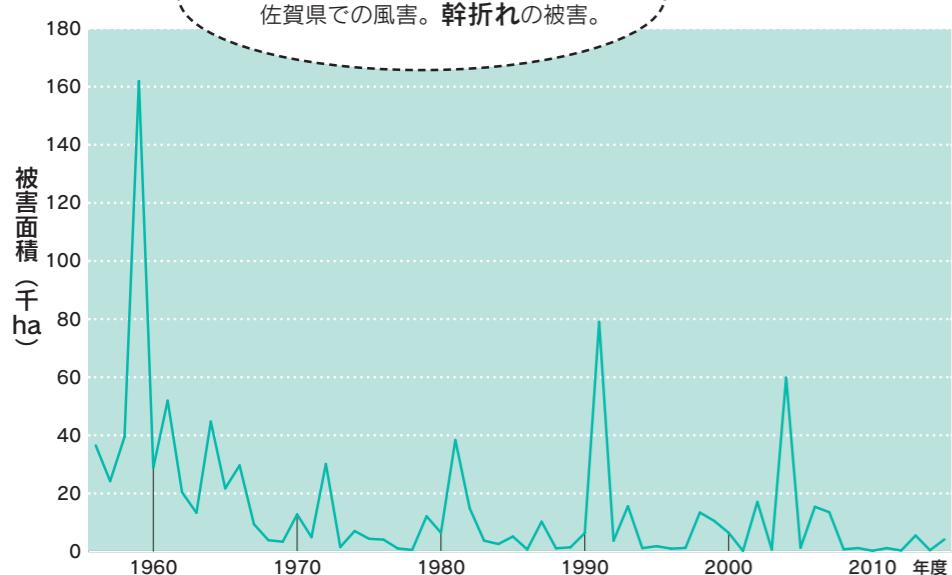
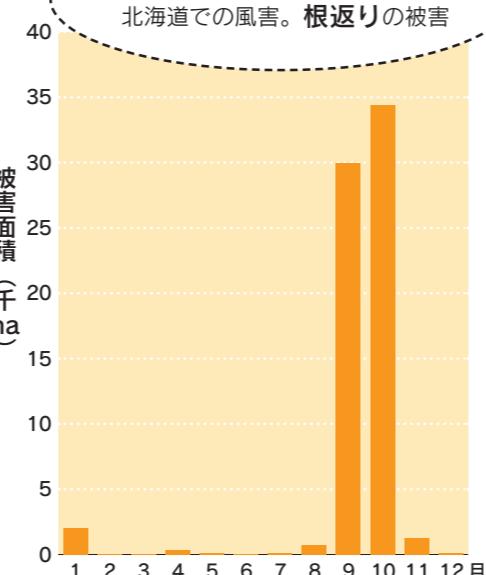


## 風害による被害例 根返りと幹折れ

樹木が強風によって被害を受ける害を風害・風倒害といいます。風害には、根ごと倒れる根返り(倒伏)や、幹が折れる幹折れ(折損)などがある。



2006年台風13号による  
佐賀県での風害。幹折れの被害。



2018年台風21号による  
北海道での風害。根返りの被害

特集

## 風と森林 強風に備える

被害は年ごとの変化が大きく、2004～2014年の平均では、風害を受けた民有林の面積は年間約6292haに達します。こうした風害に対し、どのような対策が有効か研究することは、気候変動による暴風雨が増加する時代へ向けてとても重要です。

これまで風害は、長年にわたり保育、管理してきた林木が多数倒木して経済価値を失うことから主に林業での災害でした。しかし近年は、大きく成長した樹木の倒木が周辺の道路や電線などのインフラに被害を及ぼすことも多く、より暮らしに身近な災害となりつつあります。今まで以上に森林や樹木の適切な管理が重要なっています。

### 風害とは?

日本列島は、毎年いくつもの台風に襲われる台風の通り道に位置しています。

そのため、これまでもさまざまな土砂災害や洪水などによる被害を経験してきました。強風は生活空間のみならず、森林にとつても最大級のストレスとなります。そしてときに、甚大な被害を森林にもたらします。強風による倒木は、根ごとひっくり返る根返りや、幹の途中で折れる幹折れが主要な被害形態です。

これまで風害は、長年にわたり保育、管理してきた林木が多数倒木して経済価値を失うことから主に林業での災害でした。しかし近年は、大きく成長した樹木の倒木が周辺の道路や電線などのインフラに被害を及ぼすことも多く、より暮らしに身近な災害となりつつあります。今まで以上に森林や樹木の適切な管理が重要なっています。

台風などの気象現象に伴って強風が発生することがあります。樹木に強風が吹きつけると、その大きな力は樹木の生死に影響を及ぼします。樹木は風の力をいかないして、影響を小さくする機構を持っていますが、樹木が耐えうる限界を超えた大きな力が働いた時には倒木してしまいます。倒木は森林を攪乱して森林生態系を更新する契機となり、木材生産の場である人工林においては、林業経営に経済的な損害をもたらします。また、倒木の跡地がのちの豪雨によって土砂災害の起点になることもあります。森林管理や木材生産を行うにあたって、強風とどのようにつきあっていくべきか、研究の最前線を紹介します。



監修:浅野 志穂(研究ディレクター)  
鈴木 覚(森林災害・被害研究拠点長)

特集

# 風と森林 強風に備える

# 強風を受けて、樹木はどのように応答するのか？（抗力係数を測る風洞実験）

風速 0m/s

風が強くなるほど、樹木の風を受ける面積が小さくなっています

樹木の形が流線型になっていく

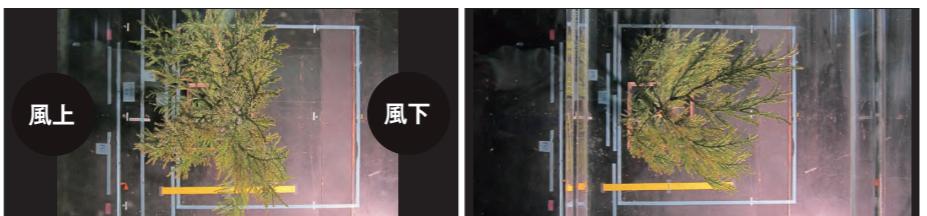
これが、樹木の風のいなし方  
(強風から身を守る機構)

風速 19m/s

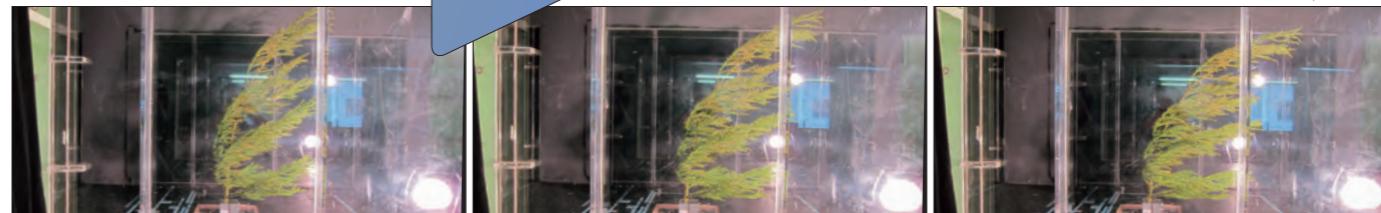
風洞の中のスギを  
横から観察すると



風洞の中のスギを  
上から観察すると

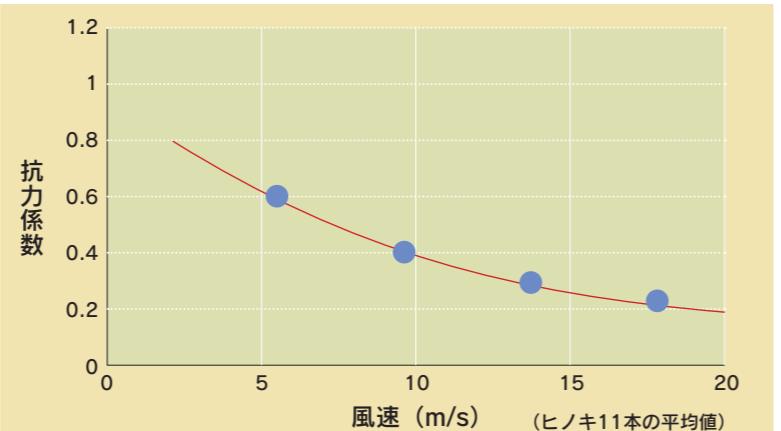


風洞の中のヒノキを  
風下から観察すると



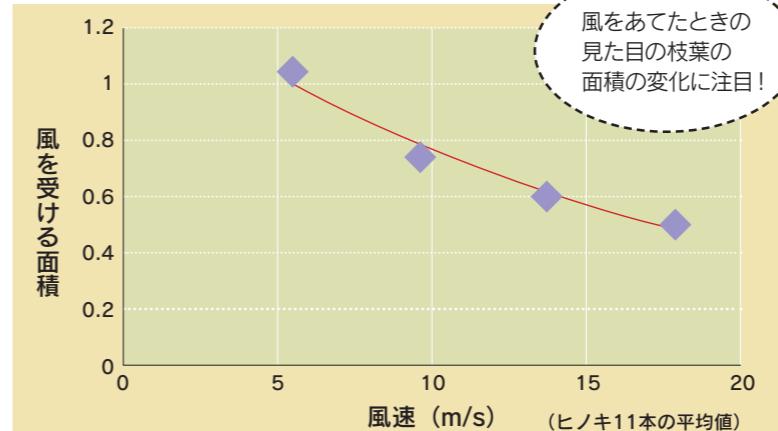
特集◎

## 風と森林 強風に備える



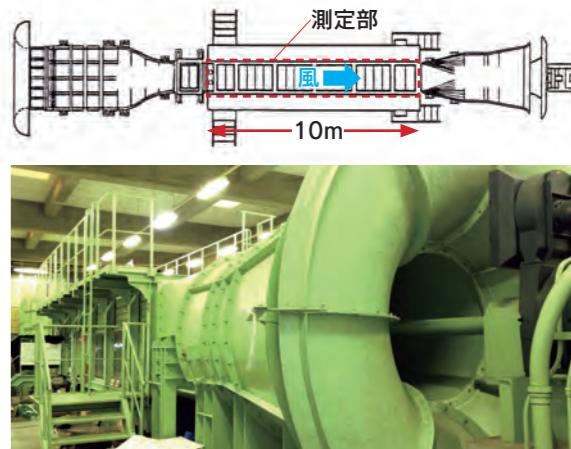
### 風速と抗力係数

風速が大きくなるほど抗力係数が減少していく。樹木に働く風の力が小さくなっていることがわかる。



### 風下から見たときの樹冠面積の変化

風速が大きくなるほど樹冠の変形が大きくなり、風を受ける面積が小さくなる。風がないときの樹冠の面積を1としたときの相対値。



### 模型実験に使用した風洞装置

1.6m x 1.2m x 10.0m(縦、横、長さ)の空間に強風を発生させることができます。

樹木の「いなし」戦略による「いなし」の他に、複数の枝が異なるタイミングで揺れることがより互いに揺れを相殺する、「質量ダンパー」と呼ばれる機構も備わっているとされています。さらに、森林のように樹木が密集している場合は、樹木同士が衝突しながら、互いに支え合っていることもわかっています。樹木は複数の戦略で強風に対抗しているのです。

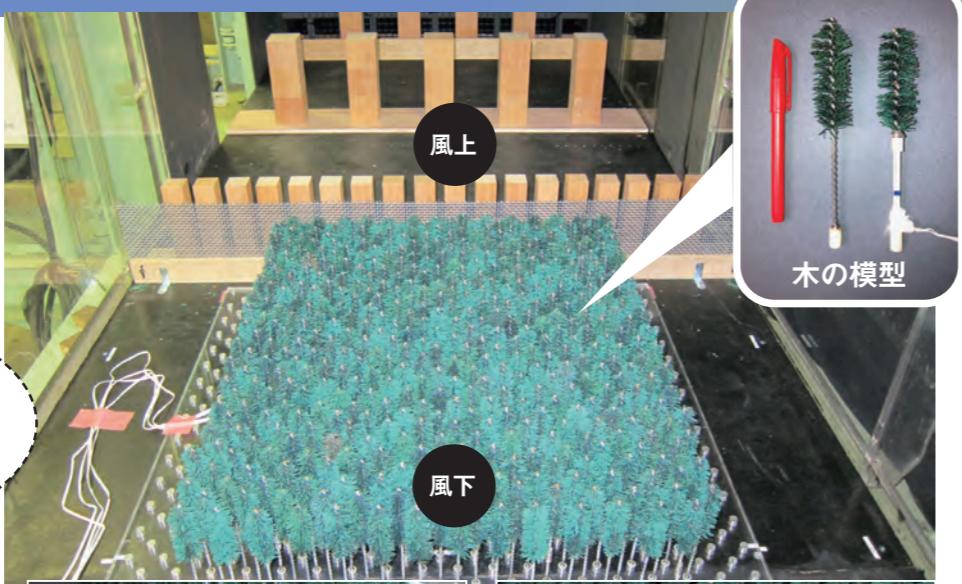
樹木の「いなし」戦略にもかかわらず、樹木が耐えられる限界を超えると、根返りや幹折れが起きます。強風から受けた力が根の耐性を上回ると根返りとなり、幹の耐性を上回ると幹折れになります。根の耐性に達する前に幹の耐性に達すれば幹折れが発生し、逆の場合は根返りとなるというわけです。根の耐性は、根の健全性（腐朽の有無）や成長の旺盛さに影響を受けます。幹の耐性は、太さや樹種ごとの材の強さや材の欠点（傷、死節、腐朽など）の有無によって影響を受けます。樹高の割に太さの細い樹木は風害を受ける危険性が高いため、強風に遭遇しても根返りや幹折れが発生しにくい樹木とするには、幹を太らせることが重要です。

常日頃から私たちは樹木の枝葉が風を受けて揺らめく情景をなんの気なしに目にしています。そうした柔軟な樹木の構造にこそ、樹木が強風から受けける力をいなす機構をみることができます。強風を受けたとき、葉・小枝・枝がたわんで流線形となり、かつ風を受ける面積を小さくすることで風の力をかかりにくくしています。つまり、硬い板のように風を正面から受け止めるのではなく、形を変えることで力を受け流して逃がすのが樹木の「いなし」戦略です。風が強くなるほど樹冠の変形は大きくなりますので、この機構が強く働きます。

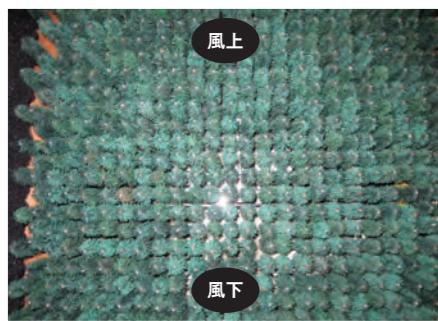
強風を人工的に発生させる風洞装置でスギやヒノキに強風を当てたときの画像を見てみましょう。横や上から観察すると、風が強くなるほど枝葉が風下側に伸びて流線形になってしまいます。また、風下から観察すると、風が強くなるほど枝葉が小さくまとまり、風を受ける面積が小さくなっていますことがわかります。こうした、樹形を変形させることにより風の力をいなし効果を表す係数が「抗力係数」です。抗力係数は風のもつている力が樹木に働く力へとなる割合を表しています。ヒノキの実験では風速20メートル毎秒のときに、風の力の2割だけが樹木に働いていることがわかります。つまり、樹木の変形による「いなし」戦略にもかかわらず、樹木が耐えられる限界を超えると、根返りや幹折れが起きます。強風から受けた力が根の耐性を上回ると根返りとなり、幹の耐性を上回ると幹折れになります。根の耐性に達する前に幹の耐性に達すれば幹折れが発生し、逆の場合は根返りとなるというわけです。根の耐性は、根の健全性（腐朽の有無）や成長の旺盛さに影響を受けます。幹の耐性は、太さや樹種ごとの材の強さや材の欠点（傷、死節、腐朽など）の有無によって影響を受けます。樹高の割に太さの細い樹木は風害を受ける危険性が高いため、強風に遭遇しても根返りや幹折れが発生しにくい樹木とするには、幹を太らせることが重要です。

## 風洞装置を用いた樹木模型による実験

1.8m 間隔に植栽された樹高 9.6m の針葉樹林を想定して、模型の木の間隔を 3cm、高さを 16cm とし、1/60 の縮尺で再現した。模型上空の風速を現実の森林に合わせて調整した。



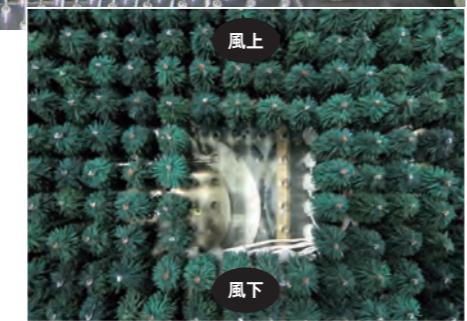
風洞内の林の模型のようす。模型の風上側には森林を模した風速分布や風の乱れをつくるためのブロックが配置されている。



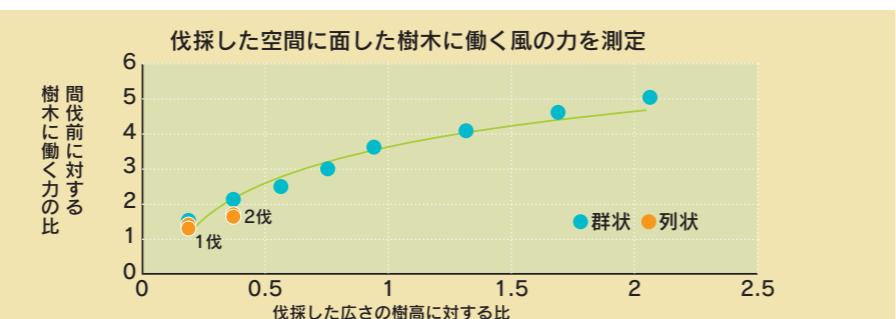
間伐前



間伐後



1本から 11x11 本にまでサイズを変えた方形の群状間伐。写真は 4x4 の例。



空間の大きさは、列状間伐は伐採列の幅、群状伐採は一辺の幅とした。伐採した空間が大きくなるほど樹木に大きな力が働く。6パターンで実験した列状間伐は、残す列数に関係なく1列伐採(1伐)か2列伐採(2伐)かによって樹木に働く力が決まり、それぞれほぼ同じ値であった。

## 特集

風と森林  
強風に備える

人工林で幹を太らせるには間伐を適切な時期に実施して肥大成長を促す必要があります。ところが、間伐を行った直後の数年間は風害を受けやすいこともあります。つまり、耐風性を高めるための間伐が、一時的には風害のリスクを高めてしまうのです。では、間伐はどういうに行なうことがベストなのでしょうか。それを考えるための間伐の影響に着目した2つの研究を紹介します。

ひとつめは、実際の林で樹木に働く風の力を測定し、間伐の前後でどのような変化が生じるか観測しました。30%の本数を取り除く間伐を行ったとき、残された樹木に働く力の大きさは、平均すると間伐前の1.4倍になりました。

このことは、間伐によって生じた空間から林内に風が入り込み、残った樹木に間伐前よりも強い風が当たるようになったこと、つまり風害を受けるリスクが高まることを示しています。この観測は一例にすぎませんが、これからさらに観測事例を増やしていく予定です。

ふたつめは、森林を模した模型を作り、風洞内で風の影響を測定する研究です。実際の森林の調査では、測定できる事例が限られていますが、模型を使つた実験であれば多数の間伐パターンで測定できる利点があります。林の模型を使つた風洞での実験によると、林内に間伐で開けた空間が大きくなるほど残された樹木に働く力が大きくなりました。このことは、間伐による風害リスクを小さくするためには、伐採で生じる空間のサイズを小さくした方がよいことを示しています。つまり、樹木の成長に十分な効果が発揮できて、かつ風害リスクの上昇を大きくさせすぎない、ちょうどよい間伐率や間伐方法を見出す必要があります。

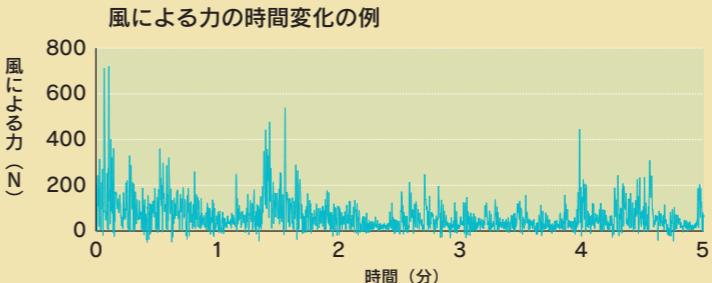
成長余力が小さく太りにくい森林を間伐すると、風害リスクの高い期間が長引いてしまう可能性もあります。間伐率や間伐方法がその後の樹木の成長にどのような影響を及ぼすのか、今後さらに多くの事例でのデータの蓄積が必要です。

## 今後へ向けての課題

針葉樹林より広葉樹林が、単層林より複層林がより強風に強いと一般には言われていますが、実際の樹木の計測と模型実験の2つの方法を上手に組み合わせることで、これらのメカニズムの解明が進めます。

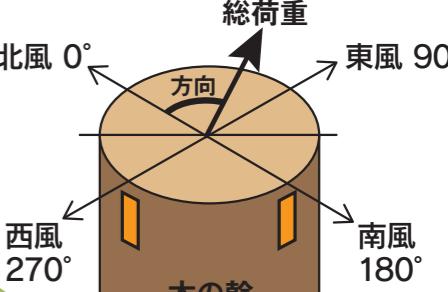
## 立木にセンサーを取り付けて、直接、樹木に働く力を測定

風による力の時間変化の例



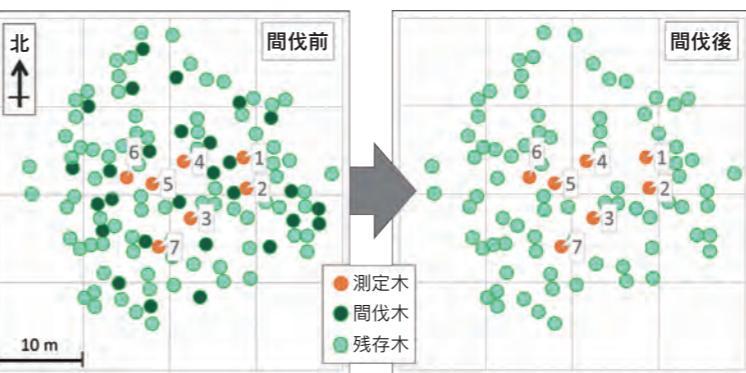
ひずみゲージを使って測定すると、風によって樹木に働く力は、細かく強弱を繰り返しながら変化していることがわかる。時折、瞬間的な強風で大きな力が働いている。

ひずみゲージ



微細なひずみを検出するひずみゲージを幹に貼り付け、樹木に力がかかる時の幹のひずみ(変形)を測定する。4枚のひずみゲージを用いることで、幹の変形から力の大きさ、力の方向を高精度に測定できる。

林内の木の位置 (上から見たところ)



間伐後に樹木に働く風の力の増加比



上のヒノキ人工林において間伐後に風による力がどれだけ増加したかを測定した。その結果、各測定木 (No.1 から 7) の平均値は、間伐によっておよそ 1.4 倍に増加したことがわかる。



上の写真は40年生のヒノキ林(1300本/ha、平均樹高17m、平均胸高直径23cm)の間伐前のようす。測定木を設定して、本数30%の間伐を行った。左の図は、間伐前後の樹木の配置を示した図。図中の丸い図形が樹木1個体を表す。橙色で示した測定木7本で樹木に働く力の計測を行った。

## 間伐の重要性と危険性