

## Chapter 3 強風と森林

# 間伐によって風害リスクが どれだけ変わるか

森林災害・被害研究拠点

宮下彩奈

森林防災研究領域（現 東京農工大学）

南光一樹

森林防災研究領域

勝島隆史

森林災害・被害研究拠点

鈴木 寛



## 間伐は不可欠だが風害リスクが大きい

気候変動による台風の強度増大に加え、森林の保育が十分できずに過密化が進んで幹が細くなりがちであることから、将来的に森林が強風による倒木などの被害（風害）を受けるリスクが高まると見込まれます。そのため、間伐を行って樹木の成長を促し、風害を受けにくい強靱な林にする必要があります。ところが、間伐した直後の数年間は特に風害を受けやすいことが知られています。したがって、間伐直後のリスク増加を抑えながら、間伐を積極的に実施して健全な林を造成しなければなりません。しかし、どのような間伐を行えばどれだけ風害リスクが上昇するのかは明らかになっていません。そこで、ひずみゲージを利用した風荷重計測手法（Chapter3 FocusOn）を利用し、林木の間伐や伐採の前後で、残された木に作用する風荷重（樹木に作用する風の力）がどのように変化するかを明らかにしました。また、これらの結果を反映した間伐直後の風害リスクマップを作製しました。

## 間伐で風荷重はどれだけ変化するか

人工林において間伐を実施すると、林の中に空間が開けて風が吹き込むことにより、残された林木に作用する風荷重が大きくなります。では実際に、間伐によって風荷重はどれだけ変化するのでしょうか。間伐方法が異なる2つの林分で試験を行いました。茨城県石岡市（40年生スギ・ヒノキ林、図1）と群馬県桐生市（37年生ヒノキ）の林分内に計測用のプロットを設定し、それぞれ本数20%の下層間伐と、本数30%の下層間伐を行いました。各プロットでは7個体の風荷重測定対象木を選び（図2）、間伐の前後にわたって風荷重の計測を行いました。結果は、サイズ等が異なる測定個体どうしても比較できるように、各測

定木の測定値を間伐を行わなかったプロットの個体の測定値で割って標準化しています。

石岡市のプロットでは間伐（本数間伐率30%）後に林木に作用する風荷重が平均して約1.4倍になっていました。一方、桐生市のプロットでは平均すると間伐前後での風荷重に変化はありませんでした（図3）。

この結果を見ると、間伐率20%と30%の間に大きな差があるように見えます。しかし、桐生市のプロットは樹木ごとの優劣差が大きかったので、下層間伐したときに間伐前後で林冠上層部の空間の開き具合に大きな変化がなかったと考えられます。そのため、単に間伐率だけでなく、間

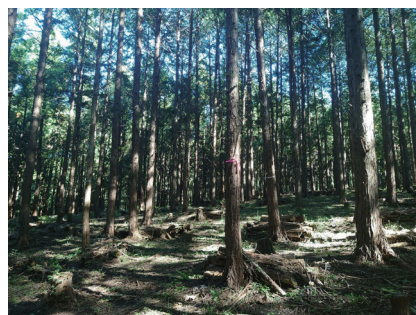


図1 茨城県石岡市のプロット  
間伐前の様子です。

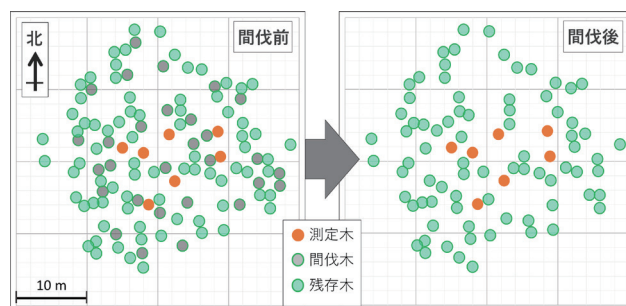


図2 間伐プロット（石岡市）内の林木の配置  
図中の丸い図形が樹木1個体を表します。橙色で示した測定木7本で風荷重の計測を行いました。



伐がもたらす空間の空き具合が結果に影響している可能性があります。様々な施業方法の影響を定量的に評価するためには、このような測定例を積み上げる必要があります。

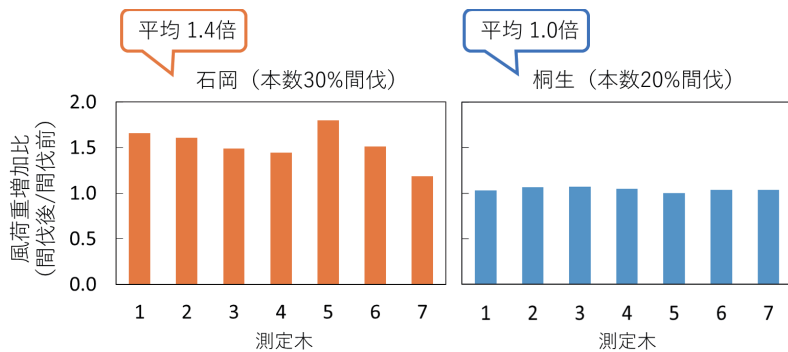


図3 ヒノキ人工林において間伐後に風荷重がどれだけ増加したかを示した図。データは30分平均値を使用し、各測定木(1～7)の値を掲載。石岡プロットでは平均して1.4倍に増加しており、樹木が受ける風の力が大きくなっていましたが、桐生プロットでは平均1.0倍であり、間伐の影響がみられませんでした。

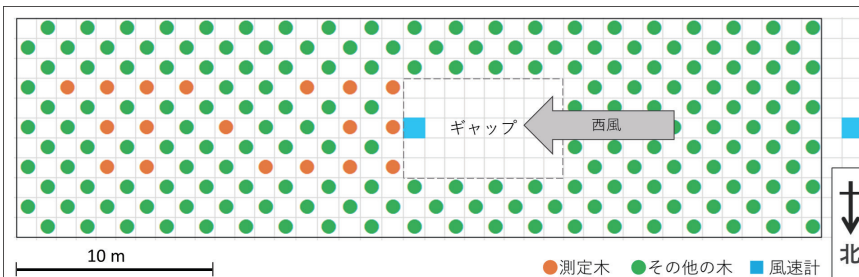


図4 スギ幼齢林を利用した伐採試験プロットの樹木配置図。ギャップ(図中のまとまった空白部分)を数段階で徐々に西側に拡大しながら観測を行いました。林内ギャップを40m<sup>2</sup>まで伐採を進めたときの模式図。プロットは、西風を主な測定対象とするため東西方向に長く造成し、測定木(橙色)はギャップの東側(風下側)に配置しました。



図5 伐採試験プロット内の写真。林内ギャップ西端から東方向に見た様子。中央に写っているポール先端に風速計を取り付け、ギャップ内の風速を測定しました。

## 林の中の空間は風荷重をどのように変化させるか

では、間伐によって林の中にできた空間(ギャップ)は、周辺の木に作用する風荷重をどのように変化させるのでしょうか。それを明らかにするため、より実験的な計測を行いました。森林総合研究所(茨城県つくば市)に設けた

樹高6mのスギ幼齢林を利用して、段階的な伐採により林内のギャップを拡大させながら18個体で風荷重の計測を行いました(図4、5)。風荷重と同時に林外とギャップ内で風速を記録し、各測定木の風荷重およびギャップに面した場所での風速が、ギャップの影響をほとんど受けない林外の風速に対してどのように変化するかを調べました。

ギャップが40m<sup>2</sup>(奥行が風上側に樹高の1.3倍程度)まで伐り開いた場合、伐り開く前に比べてギャップに面した測定木の風荷重が最大約2倍、ギャップ内の風速は約1.5倍に増加しました(図6)。得られたデータから、風向、ギャップサイズ、ギャップからの距離の関係を試験木ごとに分析し、これらの条件による林内木の風荷重の変化を推定しました。その結果、ギャップから離れた木でも風荷重が最大約1.2倍に増加することや(図7)、風向が西よりになって、風

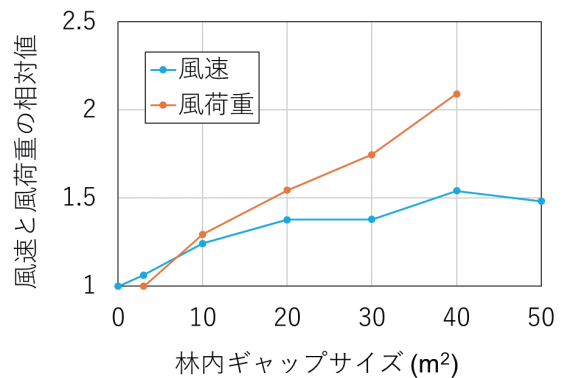


図6 ギャップが拡大したときの風荷重と風速の相対変化。ギャップに面した測定木の、風速は伐採前を、風荷重はギャップサイズ3m<sup>2</sup>時の値を1として示したものです。

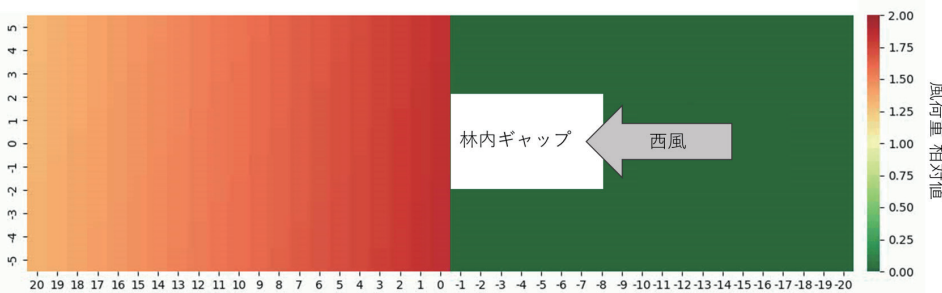


図7 風向、ギャップサイズ、ギャップからの距離の関係から推定した風荷重変化分布の一例。ギャップサイズ40m<sup>2</sup>で西風が吹いた場合の風下側の風荷重の増加率(伐採前に対する値)を示しました。

がギャップ内に入りこみやすくなるほど風荷重が増加することが分かりました。

このようにギャップの出現による林内木の風荷重の変化を明らかにすることは、森林内に生育する樹木の風害リスクや生育環境を樹木ごとに理解することにつながります。

### 間伐直後の風害リスクマップ

風荷重の計測結果を参考に、既存の風害リスクマップに対して間伐直後の風荷重および風速の増加がもたらす影響を示したマップを作成しました。

一例として、人工林での間伐 30% の結果を参考に、風荷重が 1.5 倍になった場合の安全率の変化を示したのが図 8 です。「安全率」とは、想定される力の何倍に耐えられるかを示した指標で、1 を下回ると風害が発生することを

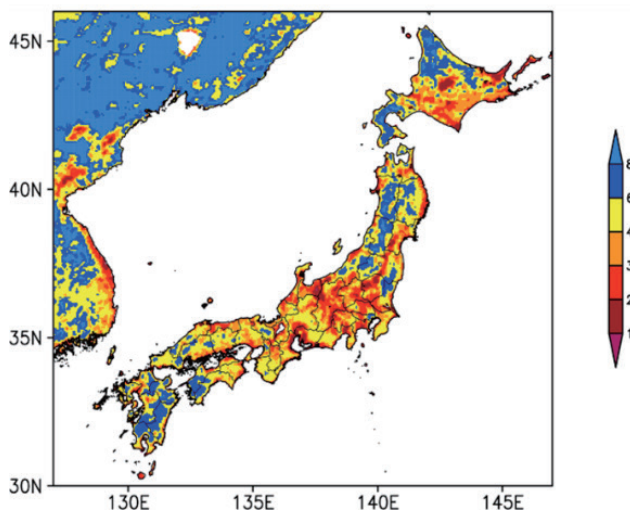
意味します。図 8 から、もともと安全率が小さめだった地域では、間伐によって安全率 1 を下回る場所がみられます。間伐は健全な森林を造るために欠かせない作業ですが気候変動の影響など将来的な風速の変化を考えた場合、風害リスクは全国的により高くなる可能性があります。

### 間伐による風害リスクの評価に向けて

立木を「風荷重センサー」とする手法を利用し、実際に間伐等による林内木の風荷重の増加を観測できたことは、他に例のない成果です。また、その成果をリスクマップに反映させるまで一連の手法を確立することができました。今後も風害リスク評価の定量化をすすめていきたいと思えます。

## 形状比80の林分の安全率（再現期間50年）

### 間伐前



### 間伐後

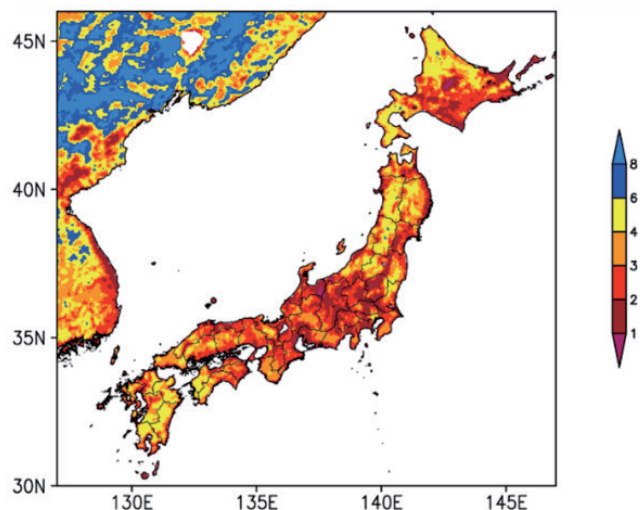


図 8 風荷重の増加を考慮した全国風害リスクマップの一例  
間伐前の安全率（左）に対し、間伐直後に風荷重が 1.5 倍になった場合の安全率（右）を示しています。形状比（樹高 / 胸高直径）が 80 の、比較的に太さのわりに樹高が高い樹木で構成された森林に 50 年に 1 度レベルのまれな風（再現期間が 50 年の風）が吹いた場合が想定されています。

### 謝辞

人工林における間伐試験の調査地を設定するにあたり、森林保険センター、森林整備センター、茨城県森連、ならびにつくばね森林組合のご協力を賜りました。

## Focus on

# あたらしい風荷重計測方法

森林災害・被害研究拠点 宮下彩奈・鈴木 寛

## 樹木の成長や生存に影響を及ぼす「風荷重」

野外で生育する樹木にとって、吹いてきた風は「力」として働き、一種のストレスとして樹木に大きな影響を及ぼします。例えば、樹木は風にさらされることで幹や根の成長をより強度が高まるように変化させることが知られています。一方、強すぎる風は倒木などの被害をおこし、個体の生死にかかわります。これは、人が手を加えていない自然林においては生態系を攪乱して新陳代謝をもたらす要素として重要ですが、林業生産を行う人工林では、経済的損失をもたらし、ときには人命をも脅かしかねない「風害」となります。しかし、風によって樹木に作用する力（風荷重）がどのように樹木の形態形成や風害を引き起こすのか、そのメカニズムには未解明な部分が多いのが現状です。

## 樹木に作用する風荷重を知ることが重要

立木に風が当たると、幹は曲がり、根元に最大の曲げモーメント（曲げようとする回転力）が働きます（図1）。風

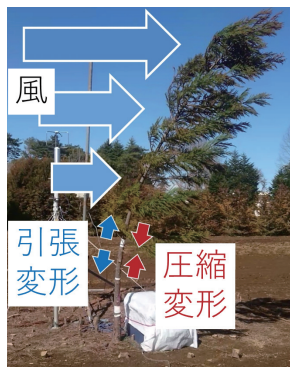


図1 立木に働く風荷重と幹に生じる変形

荷重の大きさは風速のおよそ2乗に比例し、風速は樹木の高さ方向の位置によって異なり、さらに時間的にも変化します。これは、樹木の幹にかかる力の合計、力の重心位置、および方向が常に変化していることを意味します。そのため、樹木ごとにこれらの数値を計測することが、風が樹木におよぼす力学的な影響を理解するためにはとても重要です。しかし、これまで風荷重を野外の立木で測定する実用的な方法はありませんでした。

## 風荷重の計測方法を開発

そこで、私たちは野外で樹木の幹に作用する風荷重を精度よく計測できる手法の開発に取り組んできました。計測には「ひずみゲージ」（図2）と呼ばれる、測定対象物の変形を高頻度・高精度で計測できる小型のセンサーを利用し



図2 木の幹に貼られたひずみゲージ  
樹皮を剥いで材に接着します。

ます。樹木の幹に複数のひずみゲージを貼ることで、荷重に対するそれぞれの位置の変形を計測し、これらの数値を利用して樹木が受けた風荷重の大きさ、重心位置、方向を計算します（図3）。この手法は、1秒間に数回以上の高頻度で測定できるので、風速や風向が常に変化している野外環境にあっても、良好な計測精度で測定できることが分かりました。この方法を利用すれば森林内の樹木を伐る必要はなく、立木のままで測定することができます。また、樹木を「風荷重センサー」とみなせば、風害発生リスクの評価や森林周辺の大気の動きを解明することにも役立ちます。

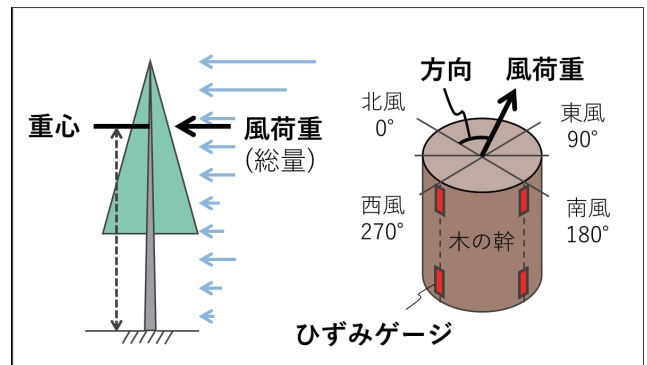


図3 ひずみゲージによる風荷重計測の模式図  
幹に貼った4枚のひずみゲージの出力差を利用して荷重の大きさ・重心・方向をもとめます。

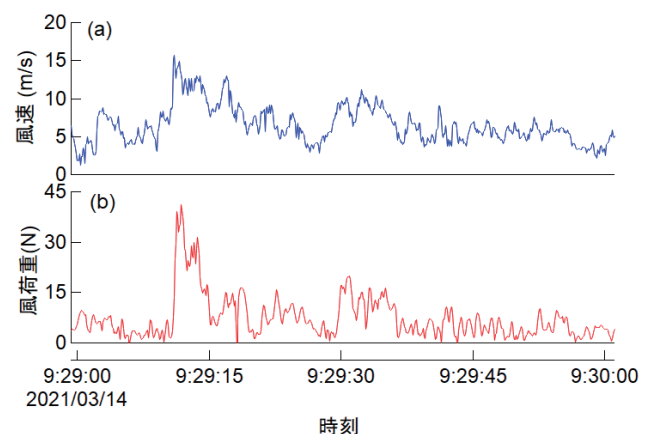


図4 風速と風荷重の変化  
1秒間に10回の計測頻度で測定しました。風速(a)と風荷重(b)の変化の傾向が似ており、風が強いほど風荷重が大きくなる関係が見て取れます。

### 引用文献

- Miyashita A, Suzuki S(2021)PLOS One, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245631>  
Suzuki S, Miyashita A(2025) PLOS One, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323532>