

樹木の揺れから風害 リスクを知る

森林総合研究所 鈴木 覚

はじめに

健全な森林を育成するために、収穫までの間に何度か間伐を行って樹木の混み具合を調整します。その時に現場では風害が発生しないかどうかに注意が払われます。林業者は間伐後の数年間に風害が発生しやすいこと、収穫期にある森林が被害を受けやすいことを経験的に知っているからです。風害が発生すると、それまで数十年間かけて保育してきたことが無駄になりかねないばかりか、被害木の伐出に多大なコストを費やさざるを得ません。また、近年は建築物や道路、配電線などのインフラ設備に倒木が二次被害をおよぼすことが注目されてきており、林業や森林管理の問題だけでなく、生活安全上の問題としても認識されてきています。温暖化によって、強い勢力を保ったまま襲来する台風の数が増えると予測されています。風害への備えを怠らず、リスクをコントロールしていく必要があります。

そこで、風害リスクを数値化するシミュレーションモデルを開発することを目的に研究を続けてきました。その際に、風害が発生する物理的な過程を踏まえたモデルとすることを目標としてきました。過去の被害発生状況から統計的にリスクを推定することも可能ですが、将来的な気候変動が予想されている現在では、過去が参考にできない被害も発生すると考えられます。被害発生の物理過程を踏まえたモデルとすることにより、そのような事態にも対応可能と考えられます。

風害とは

暴風による樹木の被害は、根返り、幹折れ、傾斜、湾曲、枝折れ、梢折れなど



図1 風害の被害形態
上) 根返り、下) 幹折れ

の外観に現れるもののほか、年輪剥離、モメ（材に筋状に生じる組織の圧縮破壊）などの内部に生じる被害があります。これらの中で根返りと幹折れが発生頻度の高さ、発生した時の影響の大きさの点で重要で、本稿の対象としている被害形態です（図1）。

強風の被害は「風力」に「根系の支持力」が負けたときに根返りし、「幹の強度」が負けたときに幹折れます。このような3つの因子を推定し、因子同士の大小関係で被害発生が推定できます。

風害リスクモデル

風害のメカニズムは3つの因子で決まるシンプルなものですが、樹木にかかる「風力」を実際に知ろうと思うと意外と難しく、簡単に因子同士の大小関係を検討することはできません。まず、風と樹木との関係を詳細に見てみましょう。風が吹くと樹木はゆらゆらと揺れます。揺れているときをよく見ると、樹冠の枝葉がワサワサと動いて、樹冠全体の形が変化していることがわかります。つまり、風が樹冠に衝突すると、枝や幹が風下側にしなったりして樹冠の形を変えることで樹木にかかる風力を減

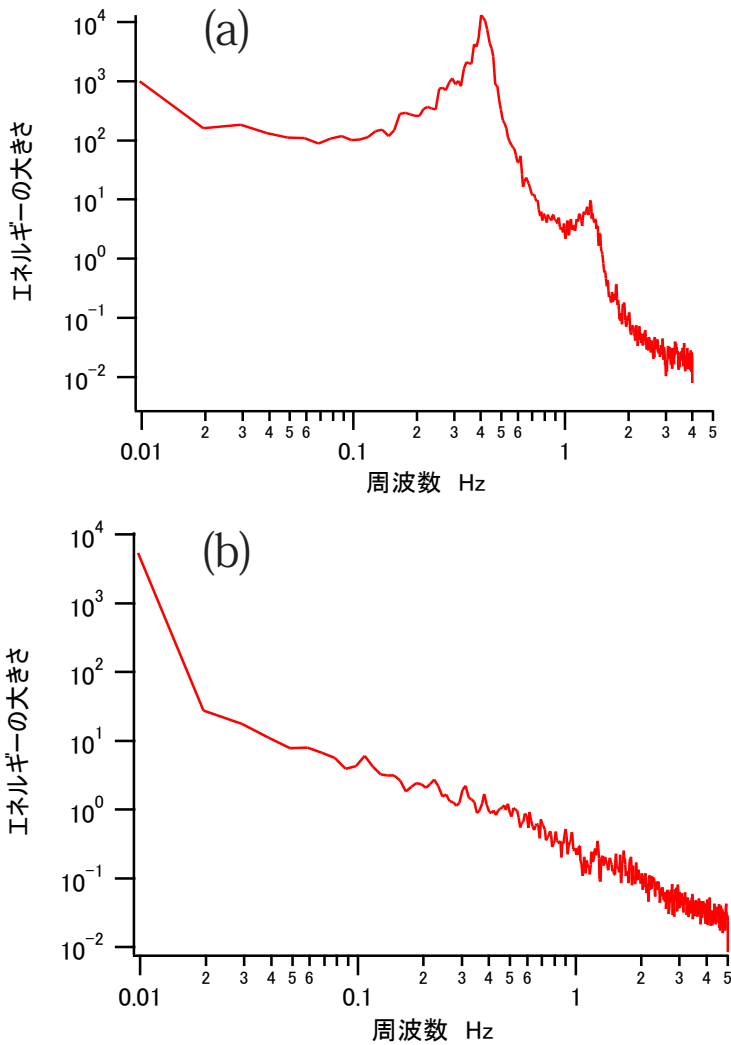


図2 樹木の揺れと風速の変化
 a) 揺れの変化、b) 風速の変化
 ある10分間のクロマツの揺れと風速の時間変化を周波数解析し、周波数ごとのエネルギーの大きさが示されている。横軸は周波数、縦軸はエネルギーの大きさを表している。揺れは0.4Hzに大きなピークが現れているが、風速は周波数が高いほどエネルギーが小さくなることを示している。

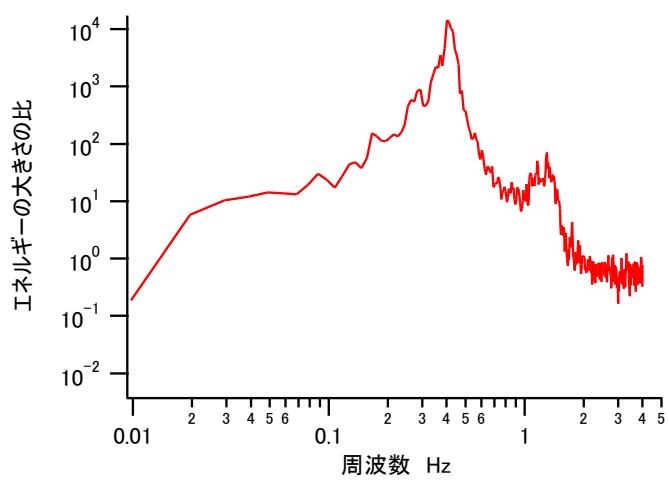


図3 風速の変化から揺れへの変換
 風速から揺れへの変換係数が周波数ごとに示されている

らしているのです。これはまさに、樹木が時として強風が吹く野外環境で生存していくために備わった、樹木の構造的な特徴と言えます。この考えに基づけば、揺れが最大になるときに最も大きな力が樹木に作用すると考えられます。このような樹木の揺れをシミュレートして揺れの大きさを推定し、その最大値から風害リスクを評価するモデルを作ること考えました。

樹木の揺れとは

樹木の揺れ方はどのように決まるのでしょうか。樹木は風力によって受動的に揺れているだけではありません。実は、樹木ごとに「揺れやすい周波数」があります。周波数とは、揺れるときに、行って帰って元に戻る動きが1秒間に何回あるかという数値で、揺れの速さを表し

ます。概して、樹木の高いものは周波数が小さく、ゆっくり揺れます。逆に樹木の低いものほど周波数が高く、早く揺れます。さらに、樹木に力を及ぼす側である風も様々な周波数をもって風速を変化させています。このように、自身が揺れやすい周波数をもつ樹木が、風速が変化する環境で生存することによって、両方の相乗効果で揺れることとなります。

風速12 m/sの強い風が吹いていたときの、海岸林のクロマツの揺れとその時の風速の変化の仕方を図2に示します。横軸は周波数です。右ほど速い変化、左ほどゆっくりした変化であることを示しており、縦軸はエネルギーの大きさを表しています。風速は低周波数側のエネルギーが大きく、高周波数側にいくほどエネルギーが減少しています(図2(b))。一方、図2(a)の0.4 Hz付近は、

風速のエネルギーが特に大きいわけでもないにも関わらず、ピークが生じています。これは、クロマツが揺れやすいから揺れる周波数であることを示しています。図2(a)を図2(b)で割り算したものを図3に示します。図3は、風速のエネルギーが樹木の揺れに変換されたと考えたときの、変換係数の周波数分布を示しています。すなわち、風速の時間変化がわかれば、図3の変換係数を使って、樹木の揺れが推定できることとなります。欧州などでは、平均風速の推定値から樹木の風害リスクを計算するシミュレーションモデルが開発されています。しかし、比較的平坦な地形の多い欧州に比べ、我が国の森林域のような急峻な地形の連続する複雑地形では、風害リスクが精度良く推定できないと言われていています。複雑地形では風の吹き方が地形の影響を受けて、それを反映した風

速の時間変化を示します。このような、風の乱れた場所にこそ、開発した風害モデルの本領が発揮されるものと考えられます。

風害事例との比較

2018年台風21号は関西地方を上陸、横断し、各地の森林で風害が発生させ、京都の観光への影響などが盛んに報道されました。大阪府高槻市の山中で大規模な風害が発生しました。開発した風害リスクモデルで、現実が発生した風害がどこまで推定できるか、比較、検討を行いました。比較検討の対象地を大阪府高槻市の10km四方に設定しました(図4)。解析範囲における被害の状況を図5に示しました。林木の揺れを推定するには、対象地の風速の時間変化のデータが必要です。そのため、気象庁が配信している日本全国を5km格子で推定した風速データから、被害地周辺の最大風速の推定値を取り出しました。そのデータを風況シミュレーションソフト

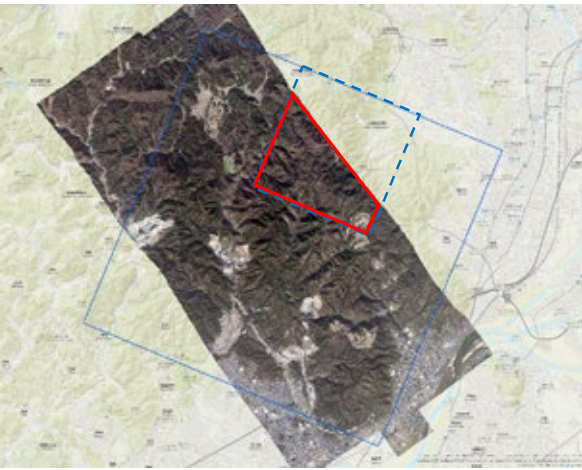


図4 解析範囲
方形の実線で示した範囲で計算し、風速推定が比較的良くできていると期待できる赤の実線で囲われたところを比較・検討の範囲とした

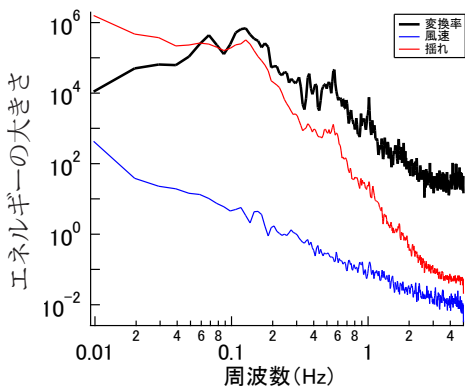


図6 スギの揺れの特徴
森林総研九州支所が鹿北試験地で測定した気象データから計算した風速変化の特性を青実線で示し、スギの揺れは赤実線で示した。変換を表す線を黒実線で示した。

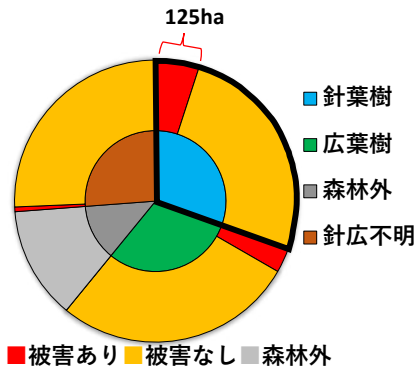


図5 被害状況
解析範囲(図4)における被害の発生状況。比較検討は黒実線で囲った針葉樹で行った。針葉樹における被害面積の割合は、およそ2割であった。

ウェア (Ram-Compact) の入力値として、被害地周辺を50m格子で風速を推定しました。被害地付近の林の状態をUAV画像から読み取ったところ、平均樹高は25mでした。そこで、樹高に近い、30mのスギの揺れデータを用いて、被害地付近のスギの揺れを推定することとしました。



図7 推定された瞬間風速の最大値

風速の推定

風況シミュレーションソフトで解析した10km四方における瞬間風速の分布を図7に示します。最大で40m/s程度の風速が推定されました。この計算結果は50mごとの格子点で計算されており、時間変化として計算したものがわかります。

スギの揺れの特徴

スギの揺れ方と風速の時間変化を周波数ごとの分布として表現した線、および風速から揺れへの変換を表す線を図6に示します。30mのスギの揺れやすい周波数は0.1Hz〜0.2Hzであることがわかります。変換を表す線も同周波数で大きいことから、その周波数で風速のエネルギーが効率よくスギの揺れに変換されていることがわかります。

ら最大値を取り出した図です。開発した風害リスクモデルは風速の時間変化を使い、それと図6に示した変換を表す線とを掛け算して揺れの大きさを推定します。

揺れの大きさの推定

推定した揺れの大きさを図8(a)に示します。計算範囲がすべてスギであったことを仮定して計算した図です。針葉樹以外を白でマスクし、実際の被害地を紫色で示したものが図8(b)です。見比べてみると、図8(a)の赤丸付近は被害と良く一致しています。格子点ごとに実際の被害と推定との一致、不一致を検討したのが図8(c)です。実際に被害があり、推定でも被害ありとされたところ(赤色)と、実際に被害がなく、推定でも被害がなかったところ(灰色)は、被害の有無が一致したところで、全体の57%でした。一方、被害がないにも関わらず、推

定では被害ありとされたところ(橙色)は35%、被害があったにも関わらず、推定では被害なしとされたところ(桃色)は8%でした。橙色は実際より被害を多く見積もった割合で、桃色は実際より被害を小さく見積もった割合です。災害リスクを推定するにあたって、橙色はリスクを大きめに評価することになり、安全側に立った評価といえます。一方、桃色はリスクを過小に評価することになり、極力そのような場所が発生しないようにすべきといえます。

比較検討のまとめと今後

開発した風害リスクモデルによる推定と実際に発生した風害とを比較しました。その結果は一致率はおおよそ6割で、3割以上被害を多めに推定し、被害を過小に評価したのは1割以下の格子点でした。一致率は決して十分

とは言えませんが、過小評価した箇所が1割以下であったのは、災害リスクの推定においては良かった点といえます。リスクの推定精度を高めるには、「風速推定」「風害リスクモデル」、「林分情報」のすべての精度が高まらなければ達成できません。一朝一夕にできることではありませんが、今回のような被害推定と実際の被害とを比較検討する試みを続けていく必要があります。

謝辞

森林総研九州支所の北村兼三氏に鹿北試験地における風速データを提供していただきました。

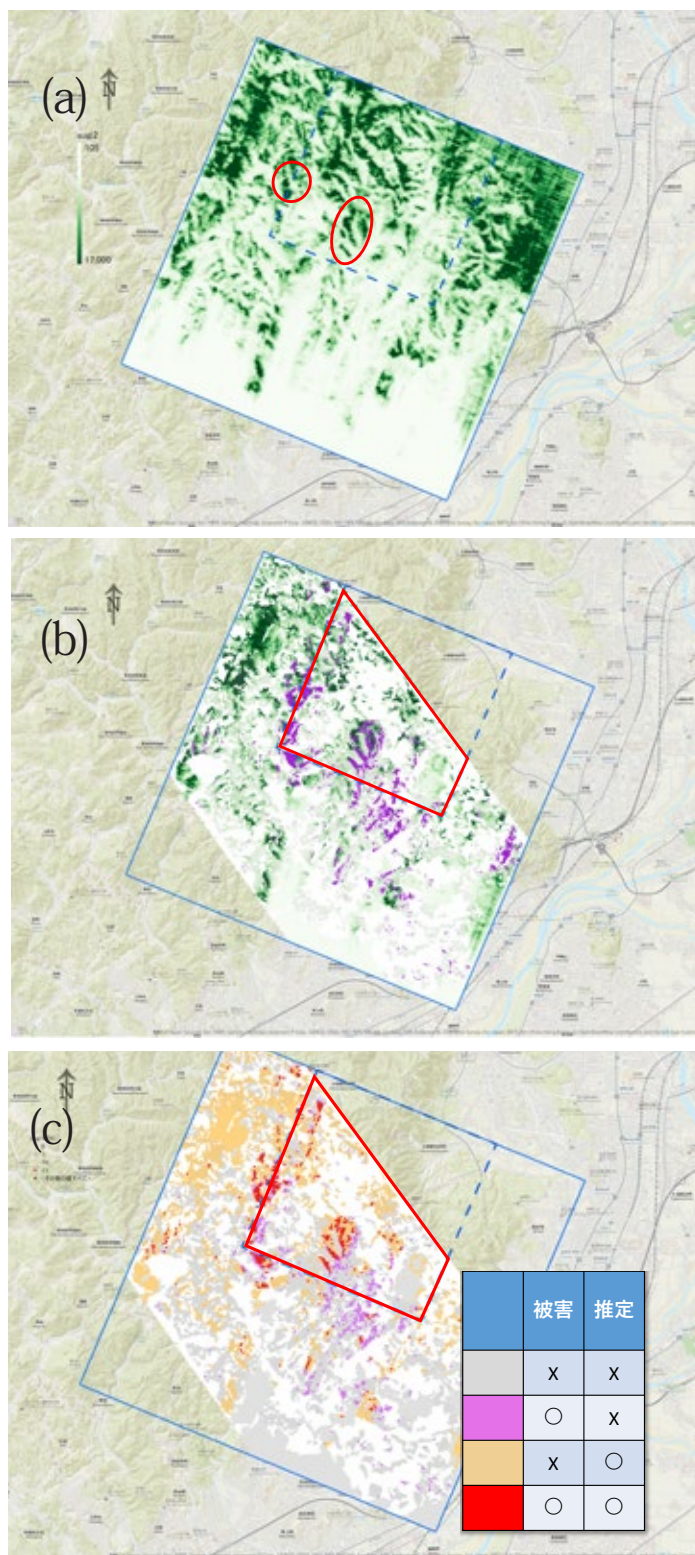


図8 スギの揺れの推定結果

a) 揺れの推定値

全体がスギで覆われていると仮定した場合の推定値

b) 針葉樹部分の揺れ推定値と被害分布(紫色)

c) 格子点ごとの被害と推定の一致、不一致