

## スギ試験林における風倒害の危険度評価\*1

茅島信行\*2 · 佐々木重行\*2

茅島信行・佐々木重行：スギ試験林における風倒害の危険度評価 61：189-192, 2008 長伐期施業の増加は暴風災害に遭遇する頻度が高まることを意味しており、近年長伐期施業の増加に伴い暴風災害に強い森林作りが求められている。暴風災害に強い森林の評価には風倒害の危険度を評価する必要がある、本研究ではスギ試験林において毎木調査を行い、外部形態のみを指標とした単木としての簡易モデルを用いて、根返りや幹折れといった風倒害の危険度を評価検討した。その結果、風倒害の危険度は形状比と高い相関が得られ、形状比によって風倒害の危険度を定量的に評価できる可能性が示された。また、根返りよりも幹折れの方が形状比の影響を受け易く、枝打ちにより根返り危険度は改善が見られるが、幹折れ危険度はほとんど変化しない、ということが示唆された。

キーワード：風倒害、危険度評価、簡易モデル、根返り、幹折れ

## I. はじめに

近年長伐期施業が増加しているが、長伐期施業の増加は根返り、幹折れといった風倒害を主とする暴風災害に遭遇する頻度が高まることを意味している。九州南部では最大瞬間風速50m/sを超える暴風の吹く確率は40年未満、福岡県においても70年～80年に1回との報告があり(16)、長伐期施業を行えば、植栽から主伐までの間に少なくとも1回は林業に大きな被害をもたらす暴風に遭遇することが考えられる。暴風災害は特に壮齢林における被害率が大きい(1, 6, 9, 12)、長伐期施業の増加に伴い暴風災害に強い森林作りが求められている。

暴風災害に強い森林作りを進めるにあたりその評価方法が問題となるが、暴風災害に強い森林を評価するためには風倒害の危険度を評価する必要がある。しかしながら風倒害の物理メカニズムは複雑であり(6, 11, 12, 13, 14)、風倒害の危険度を評価することは容易ではない。一方で形状比により風倒害の危険度を論ずることもあるが、形状比だけでは樹冠形状や、樹幹・根系の強さなどが反映されず、また実際の危険度と対応した定量的な評価もできないなどの問題がある。従って本研究では樹冠形状や樹幹の曲げ強度、根系の強さなどを考慮した上で、外部形態のみを指標とした簡易モデルを設定し、単木としての根返り・幹折れといった風倒害の危険度を評価したので報告する。

## II. 対象地

研究対象地は福岡県久留米市山本町にある福岡県森林林業技術センター内のスギ試験林(品種別試験林・傾斜別試験林)である(図-1)。品種別試験林にはホンスギ、オビアカ、ヤマグチ、アカバ、シチゾウの5品種が植栽されている。平成6年に同県黒木

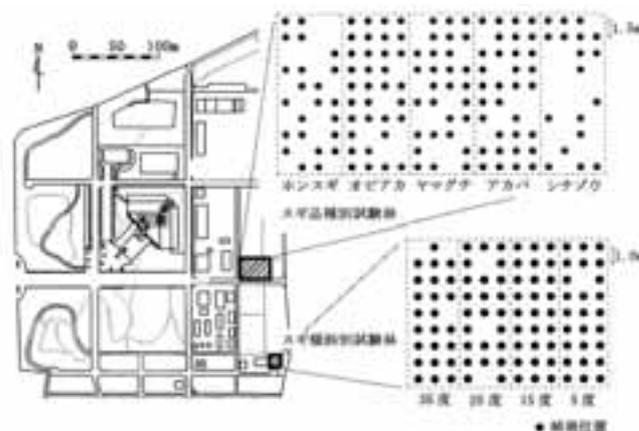


図-1. 研究対象地および試験林の植栽位置

町より移転してきたときに植栽されたため、植栽後13年が経過している。植栽時にはそれぞれ40本(東西4列×南北10列)植栽されており、植栽間隔は1.5m、植栽密度はおよそ4,400本/haであった。

また傾斜別試験林は斜面傾斜5度、15度、25度、35度の4段階の斜面が人工的に設置されている。品種はすべてホンスギであり、品種別試験林同様13年生である。植栽時にはそれぞれ27本(東西3列×南北9列)植栽されており、植栽間隔は1.0m、植栽密度は10,000本/haとかなり密植されている。

## III. 研究方法

本研究で風倒害の危険度を評価するために用いた簡易モデルの模式図を図-2に示した。このモデルは樹木を単木として扱っており、外部形態のみを指標としている。また、樹冠投影面積は樹

\*1 Kayashima, N. and Sasaki, S.: Evaluation of wind damage risk at Sugi (*Cryptomeria japonica*) examination forest

\*2 福岡県森林林業技術センター Fukuoka Pref. For. Res. & Tech. Ctr., Kurume, Fukuoka 839-0827

表-1. 品種別・傾斜別の毎木調査結果

研究対象区分	本数	樹高 (m)	枝下高 (m)	胸高直径 (cm)	根元直径 (cm)	樹冠幅 (m)	形状比
品種別 試験林	ホンスギ	23	4.93±0.86	1.45±0.18	8.23±1.72	11.75±1.99	60.5±6.40
	オビアカ	34	8.10±1.05	2.18±0.51	13.23±2.24	16.65±2.79	62.0±6.60
	ヤマグチ	29	8.88±0.57	2.28±0.40	14.15±2.59	19.05±3.35	64.3±8.69
	アカバ	33	7.37±0.63	2.12±0.36	10.81±2.04	14.68±2.60	70.0±11.1
	シチゾウ	18	8.35±0.97	2.35±0.59	13.38±2.34	17.82±2.96	63.5±9.00
傾斜別 試験林	5度	26	5.00±0.52	1.75±1.05	7.48±1.12	9.95±1.70	67.8±9.06
	15度	27	4.73±0.48	1.71±0.62	6.08±0.81	8.61±1.00	78.4±8.35
	25度	24	4.26±0.67	1.18±0.41	5.24±1.41	8.10±1.61	84.6±15.1
	35度	24	4.21±0.75	1.01±0.35	5.57±1.63	8.70±2.11	79.7±15.8

各々の値は、平均値 ± 標準偏差を示す。

冠を二等辺三角形と近似し、樹幹は円錐と近似している。このモデルにおいて評価に必要な測定項目は樹高、枝下高、胸高直径、根元直径、樹冠幅の5項目である。

この簡易モデルにおいて、木に作用する風の力である風圧力は風速を一定と考えると樹冠投影面積の関数として表される。従って、根返りを起こす力である根返りモーメントは樹冠投影面積(A) × 風心高さ(H<sup>n</sup>)の関数として表され、このAH<sup>n</sup>を、根返りを起こす力の指標とした。一方で根返り抵抗力(T<sub>R</sub>)は根元直径の2~3乗に比例することが知られており(5, 7, 10, 11, 17), aとbを定数として式-1で表される。ここで指数のbはおおよそ2.0~3.0の値をとるため(5, 7, 10, 11, 17), 本研究では平均値である2.5を用いて、D<sub>20</sub><sup>2.5</sup>を根返り抵抗力の指標とした。以上より、根返りを起こす力の指標(AH<sup>n</sup>)を根返り抵抗力の指標(D<sub>20</sub><sup>2.5</sup>)で割った値を根返り危険度(I<sub>R</sub>)とした(式-2)。

また、幹折れの場合も根返りと同様に風速を一定と考えると、風圧力は樹冠投影面積の関数として表される。従って、幹折れを起こす力である幹折れモーメントは樹冠投影面積(A) × 風心から幹折れを起こす高さ(x)までの距離(H<sup>n</sup>-x)の関数として表され、このA(H<sup>n</sup>-x)を、幹折れを起こす力の指標とした。一方で高さ(x)における幹折れ抵抗力(T<sub>b</sub>)は樹幹の最大曲げ強度をσとすると式-3で表される。ここでσを一定とすると、幹折れ抵抗力はD<sub>x</sub><sup>3</sup>の関数として表されるため、D<sub>x</sub><sup>3</sup>を幹折れ抵抗力の指標とした。以上より、幹折れを起こす力の指標(A(H<sup>n</sup>-x))を幹折れ抵抗力の指標(D<sub>x</sub><sup>3</sup>)で割った値を幹折れ

危険度(I<sub>T</sub>)とした。但し、ある高さxは移動するため、xの値を変えてI<sub>T</sub>が最大値をとった時の値をI<sub>Tmax</sub>として、これを幹折れ危険度として採用した(式-4)。

$$T_R = aD_{20}^b \quad \text{式-1}$$

$$I_R = AH^n / D_{20}^{2.5} \quad \text{式-2}$$

$$T_b = (\pi / 32) \sigma D_x^3 \quad \text{式-3}$$

$$I_{Tmax} = A(H^n - x) / D_x^3 \quad \text{式-4}$$

研究対象地であるスギ試験林において樹高、枝下高、胸高直径、根元直径、樹冠幅の5項目について毎木調査を行い、式-2、式-4を用いて根返り危険度(I<sub>R</sub>)、幹折れ危険度(I<sub>Tmax</sub>)を求め、風倒害の危険度を評価検討した。

#### IV. 結果と考察

毎木調査の項目毎の平均値と標準偏差を表-1に示した。樹高、胸高直径などより品種別試験林ではホンスギが他の4種に比べて著しく成長が悪いことが分かる。形状比では成長の悪いホンスギも含めて60台と低い値を示しているが、アカバだけが70を超えており、やや高い値を示している。一方傾斜別試験林では傾斜が急になるほど成長が悪くなる傾向が見られた。形状比も傾斜が急になるにつれて高くなったが、傾斜35度では逆に低くなる傾向が見られた。

次に風倒害の危険度を評価する簡易モデルを用いて根返り危険度、幹折れ危険度を求め、それぞれ品種別・傾斜別に比較を行った(図-3)。その結果、根返り危険度、幹折れ危険度ともに品種別試験林ではアカバで、傾斜別試験林では傾斜25度で最も高い値を示し、形状比との関係が示唆された。そこで、形状比と根返り危険度、幹折れ危険度との関係を見てみると、双方ともに形状比との間に高い相関が得られた(図-4)。根返り危険度、幹折れ危険度ともに形状比の指数乗に比例しており、風倒害の危険度が形状比によって定量的に評価できる可能性が示された。ここで指数を比較すると幹折れ危険度の方が高い値を示しており、根返りより幹折れの方が形状比の影響を受けやすいことが示唆される。また、同じ形状比でも品種別試験林よりも傾斜別試験林で風倒害の危険度が低い傾向が見られたが、これは傾斜別試験林の方が樹冠幅が狭く、相対的に枝下高が高いといった樹冠形状の差異に起因するものと推測される。

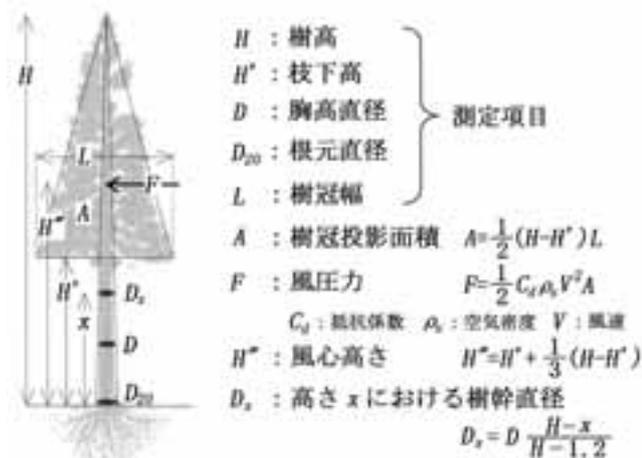


図-2. 簡易モデルの模式図

次に、品種別試験林で最も風倒害危険度の高かったアカバのデータを用い、枝打ちを行った場合を仮定し枝下高と樹冠幅を変化させ、風倒害の危険度がどのように変化するかシミュレーションを行った。その結果根返り危険度では枝打ちを行うことにより危険度が小さくなり、枝打ちにより根返り危険度の改善が見られたが（図-5）、幹折れ危険度では全く変化が見られなかった。これは簡易モデルの性質でもあるが、樹冠投影面積を二等辺三角形、樹幹を円錐と近似していることに起因しているところが大きい。根返り危険度では枝打ちにより樹冠投影面積が小さくなるが風心高さは高くなる。ここで枝打ちによる風心高さの増加率より樹冠投影面積の減少率が大きいと、根返りを起こす力の指標（ $AH^2$ ）が小さくなるのに対し、根返り抵抗力の指標（ $D_{20}^{2.5}$ ）は変化しないので根返り危険度は小さくなる。一方幹折れ危険度では樹冠長が1/2になるまで枝打ちを行ったとすると、樹冠投影面積は1/4となり、また本モデルにおける幹折れ高さはほぼ枝下高の高さと一致するため（14）、風心高さから幹折れ高さまでの距離は1/2となり、幹折れを起こす力の指標である $A(H^2 - x)$ は1/8となる。ここで幹折れ高さにおける樹幹直径（ $D_x$ ）

も1/2となるため、幹折れ抵抗力の指標である $D_x^3$ も1/8となる、というように幹折れを起こす力の指標、幹折れ抵抗力の指標ともに3乗に比例して変化するため、幹折れ危険度では枝下高を変化させても危険度が変化しない。

以上のことより、今回用いた風倒害の危険度を評価するモデルでは、枝打ちによって枝下高を上げることで根返り危険度が改善されるが、幹折れ危険度は変化しないことが示唆された。したがって、幹折れ危険度の改善のためには枝打ちなどによらない根本的な形状比の改善が必要だということが考えられる。風倒害に強い樹形として、樹冠長比を長く（枝下高を低く）した方が好ましいということが言われているが（1, 6）、このことは肥大成長を促し、形状比の影響を受けやすい幹折れ危険度を改善させる上で重要だと考えられる。一方で枝打ちによって幹折れ危険度は変化しないが、根返り危険度は改善されることが示されており、生きた枝に対する樹冠長比を維持しながら、林内の枯れ上がった枝などは早急に枝打ちを行うことが根返り危険度を減らす上で重要だと考えられる。

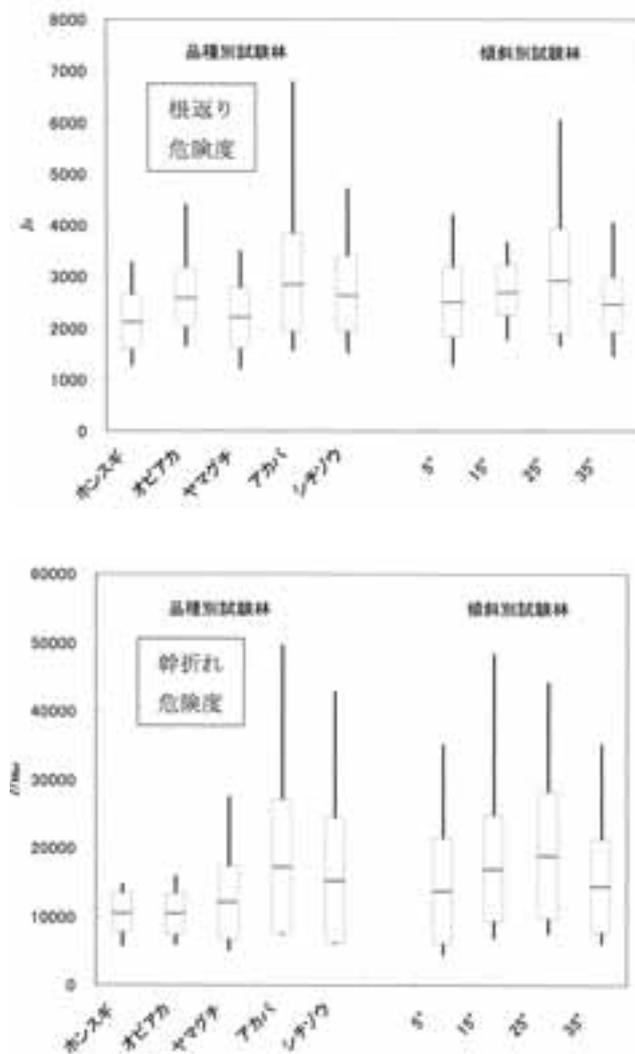


図-3. 品種別・傾斜別の風倒害危険度

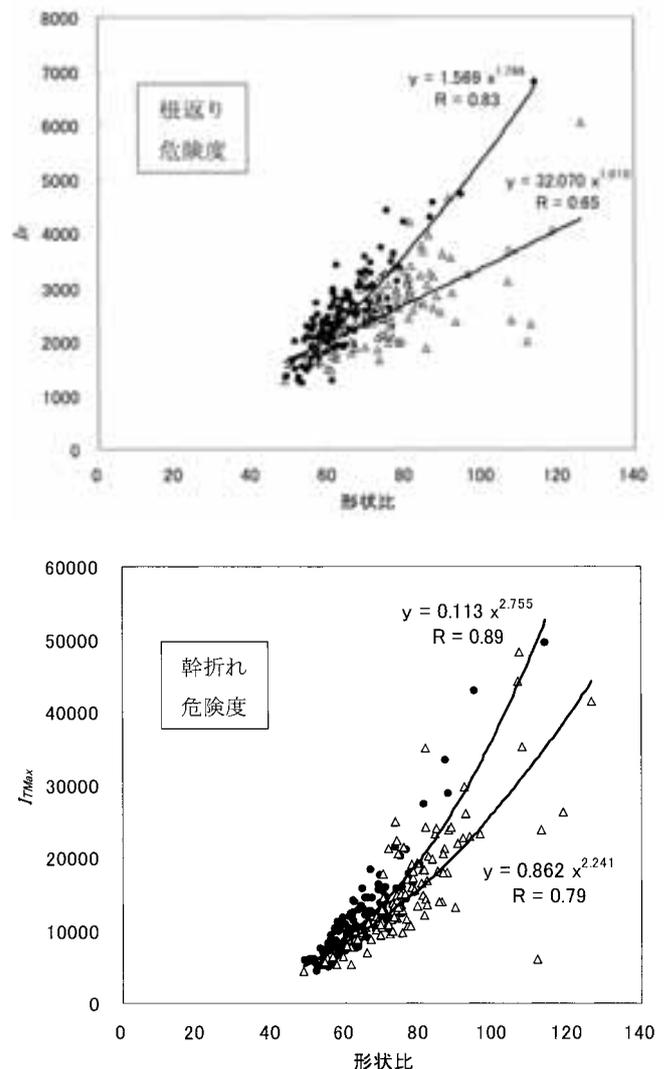


図-4. 形状比と風倒害危険度の関係

●：品種別試験林, △：傾斜別試験林

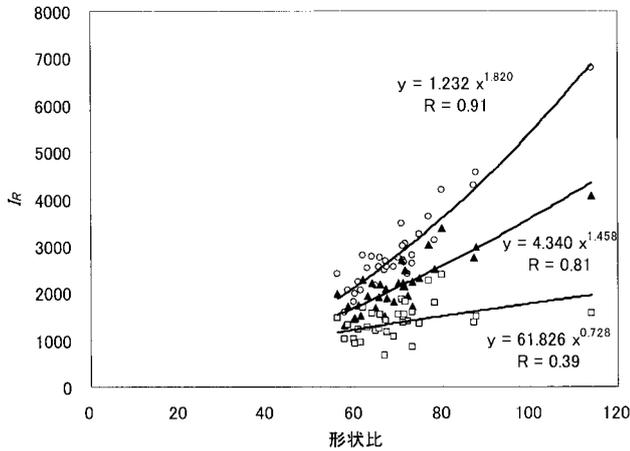


図-5. アカバにおける枝打ちを行ったと仮定した場合の根返り危険度の変化  
 ○：枝打ち前, ▲：1.0m 枝打ち,  
 □：2.0m 枝打ち

V. おわりに

本研究では外部形態のみを指標とした単木における簡易モデルを用いて風倒害の危険度を評価した。その結果、風倒害の危険度は形状比と相関が高く、形状比によって定量的に風倒害の危険度を評価できる可能性が示された。また、根返りよりも幹折れの方が形状比の影響を受けやすく、枝打ちにより根返り危険度は改善が見られるが、幹折れ危険度はほとんど変化しないということが示唆された。

実際の台風被害においては品種や立地による被害率の違いが報告されているが (2, 3, 4, 8, 15), 今回用いた簡易モデルでは、

品種や立地による差異が考慮されていない。したがって本来立地条件や品種が異なる場合、単純に危険度を評価・比較するには多少問題がある。よって今後は根系の引き倒し試験や樹幹の曲げ試験などを通して、品種や立地を考慮した精度の高い風倒害の危険度評価を行っていきたいと考えている。

引用文献

- (1) 藤森隆郎 (2006) 林業技術シンポジウム 39 : 1 -10.
- (2) 福永寛之ほか (1993) 九大演報 69 : 13-30.
- (3) 福岡県林業試験場 (1992) 研究資料 18 : 1 -89.
- (4) 諫本信義 (1993) 林木の育種 167 : 1 -7.
- (5) 苅住昇 (1979) 樹木根系図説, 1121pp, 誠文堂新光社, 東京.
- (6) 檜山徳治 (1974) 林木の気象被害, 114pp, 日本林業技術協会, 東京.
- (7) 小沼順一ほか (1988) 日林関東支論 40 : 261-262.
- (8) 宮原文彦 (1993) 林木の育種 167 : 8 -11.
- (9) 宮本邦明ほか (1992) 新砂防 45 (3) : 18-23.
- (10) 森岡昇・北川勝弘 (1987) 名大演報 9 : 1 -5.
- (11) 森岡昇ほか (1991) 日林誌 73 : 380-383.
- (12) 中尾博美 (1993) 九大演報 68 : 11-48.
- (13) 野々田稔郎ほか (1993) 日林論 104 : 735-738.
- (14) 野々田稔郎ほか (2004) 日林学術講 115 : 824.
- (15) 岡野哲郎・伊藤哲 (1993) 九大演報 68 : 1 -10.
- (16) 齊藤哲・小南陽亮 (2004) 日林誌 86 : 105-111.
- (17) 上村巧ほか (2002) 森林総研研報 384 : 181-184.

(2007年11月19日受付; 2008年1月4日受理)