

台風15号（昭和56年）により東京大学北海道演習林 に発生した風害の要因解析

Analyses of the Wind Damage Caused by Typhoon 15
in 1981 at Tokyo University Forest in Hokkaido

三 浦 覚***, 松 本 陽 介*, 真 下 育 久*

Satoru MIURA***, Yoosuke MATSUMOTO* and Yoshihisa MASHIMO*

I は じ め に

1981年8月の台風15号により、東京大学北海道演習林（以下、北演と略す）は大規模な暴風被害を受けた。一般に北方の天然林は暴風にあうことが少なく、風に対して比較的弱いといわれている。近年では、1954年に洞爺丸台風が北海道をおそった際に、北演をはじめ全道できわめて大規模な風害が発生した。この洞爺丸台風については、総合調査団、国有林、大学演習林など各方面から、被害報告および要因解析を試みた報告^{2,4,10,11,13,19)}がなされている。しかし、このとき北演では被害報告および被害地の追跡調査等がおこなわれなかった。また、立木密度が低い林分のほうが風に強いという報告²⁾のほかは、被害の詳細な要因解析もおこなわれていない。そこで、本研究では今後風害の発生しにくい施業をすすめるうえでのひとつの基礎資料とするため、被害の要因解析を試みた。

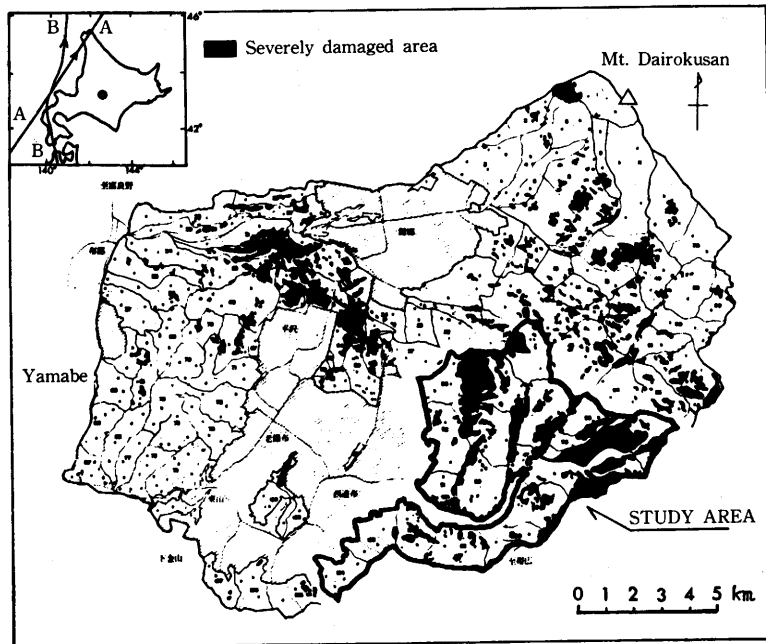
暴風による被害の程度には、その前後の林冠疎密度から計算した被害率を用い、風害発生の要因には地形要因（標高、露出度、斜面方位、斜面上の相対位置、斜面形状、傾斜角、土壌深）と、林況要因（森林率、林冠疎密度、高木層のみの林冠疎密度、針葉樹混交率）をとりあげた。解析にあたっては、まず対象地域をいくつかの地区に分け、地区ごとに被害程度と地形および林況要因との比較をおこなった。また、全対象地域において多変量解析の手法を用いて、風害の発生要因について検討した。

*東京大学農学部林学科

Department of Forestry, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

**現在の勤務先：農林水産省林業試験場

Present address: Forestry and Forest Products Research Institute, Ministry of Agriculture, Forestry and Fishery.



(from the Plan of Experiment and Research in 1982 Tokyo Univ. Forests²⁰⁾
 —translated by the authors, some parts were changed)

図-1 東大北海道演習林の台風15号(1981)による風害地域図

Fig. 1 Area damaged by typhoon 15 in 1981 at Tokyo University Forest in Hokkaido
 A : The course of typhoon Marie in 1954
 B : The course of typhoon 15 in 1981

II 調査地

北演は、北海道のほぼ中央、十勝山系の南端に位置し、総面積は約23,000haである(図-1)。東北端の大麓山(標高1,459m)を最高地点とし西端の山部(標高224m)にかけて、地形は概してゆるやかに広がっている。地質の大部分は第3紀層の流紋岩質溶岩からなり、土壌は砂質壤土である。年平均気温は約6℃、年降水量は約1,200mmである²⁰⁾。

北演は、森林帯上は温帯上部から亜寒帯(亜高山帯)に属し、北海道内のほとんどの木本類が自生している²⁰⁾。また、平均蓄積210m³/haの天然生林約20,000haを対象に、林分施業法¹⁵⁾という択伐施業を主体にした、独自の天然林施業を実行している。

図-1に示したように、北演南東部の激害地*を中心に約5,000ha(45~51, 56, 95~104林班)を調査地とした。調査地は標高350~850mの範囲にあり、北東から南西方向に数本の川が流れている。南東側は尾根で国有林と接している。

*北演の試験研究計画²⁰⁾によれば、被害率75%内外以上の被害地をいう。

III 台風進路と被害状況

1. 台風の消長および概況

気象庁の資料^{6,7,8)}から、今回の台風の概況について述べる。

1981年台風15号（以下、15号台風）は、1981年8月15日、ルソン島の東海上で発生した。その後、北上して23日04時過ぎ、千葉県館山市付近に上陸した。上陸時の中心気圧は965mb、最大風速は35m/sであった。上陸後は加速しながら北に進み、時速75kmで東北地方を縦断して、津軽海峡を通過して23日14時過ぎ、北海道渡島半島に再上陸した。その時点でも中心気圧964mb、最大風速35m/sを保つ大型で並の強さの台風であった。その後、23日16時には寿都の北西海上に抜け、北海道の西海上を北上して、23日21時に稚内の北西約100kmの海上で温帯性低気圧となった。

この台風は、雨台風の性格をもつものであり、8月23日には、北海道中部から南部における降雨量は150～200mmに達した。

風害発生に関係の深い風速について、道内各地の最大風速、最大瞬間風速を表－1に示した。最大風速が20m/sを超えた地点は、沿岸部に多く、その他の地域では15m/s前後のところが多かった。一方、最大瞬間風速は各地で軒並み30m/sを超え、苫小牧、釧路では観測所の記録を更新した。北海道東南部の帯広、根室では、最大風速、最大瞬間風速の観測時の風向は、いず

表－1 洞爺丸台風、15号台風下の道内各地の最大風速および最大瞬間風速

Table 1 Maximum and maximum instantaneous wind speed at each district in Hokkaido under typhoon Marie and typhoon 15 blowing

	洞爺丸台風 Typhoon "Marie" (1954)		15号台風 Typhoon 15 (1981)	
	風速 Wind speed (m/s)		風速 Wind speed (m/s)	
	最大 Max.	最大瞬間 Max. instant.	最大 Max.	最大瞬間 Max. instant.
旭川 Asahikawa	19.4	—	12.0	26.3
根室 Nemuro	23.1	29.2	16.0	30.3
帯広 Obihiro	14.2	21.3	11.3	25.5
寿都 Suttsu	42.0	53.2	16.5	29.8
函館 Hakodate	25.8	41.3	14.8	30.5
平均 Mean	24.9	36.3	14.1	28.5

(from Memoirs of the Japan Meteorological Agency Vol.39 No.3⁶⁾ and Prompt Weather Report in Disaster⁸⁾, the latter was translated by the authors)

れも南東であった。これらの突風のほとんどは、台風が通過したあとに起ったものである。表には参考のために、洞爺丸台風のときの風速の記録も合わせて示した。

なお、この15号台風に先立ち、同じ8月の3日から6日にかけて、低気圧による前線と台風12号の影響により、北海道全域は強風と大雨にみまわれた。とくに、北海道の中央部から南部にかけては記録的な大雨となり、3～6日の総降水量は石狩、空知支庁で400mm、道東や道央でも200～350mmに達した。このため各地で土砂くずれや、土石流などによる大規模な災害が発生した。

2. 北演における被害の概況

15号台風による被害は、道東および道南地方の裏大雪山系南、東地域に集中した。北演の被害は、被害地域面積約6,600ha（北演全面積の29%）、被害推定材積65万 m^3 （全蓄積の15%）におよび、これまでの平均年伐量のほぼ10年分にあたるものであった²⁰⁾。

図－1に明らかなように、北演の南東から北西にかけて帯状に激害地が発生している。また、奥山地域といわれる蓄積の大きい天然林地域（図－1の東側一帯）にも激害地が多い。

表－2 洞爺丸台風および15号台風による東大北海道演習林と道内営林(支)局別国有林の被害

Table 2 Wind damage in Tokyo University Forest and in National Forest in Hokkaido

	洞爺丸台風前の蓄積* Volume before damaged by typhoon Marie (m^3/ha)	被害材積 Damaged volume		B/A×100 (%)
		洞爺丸台風* Typhoon Marie A(m^3/ha)	15号台風 Typhoon 15 B(m^3/ha)	
東大北海道演習林 Tokyo Univ. Forest in Hokkaido	198**	12.1	28.4	235
国 有 林 National Forest				
旭 川 Asahikawa	131	13.6	0.2	1
北 見 Kitami	166	6.9	0.2	2
帯 広 Obihiro	116	1.8	2.0	110
札 幌 Sapporo	119	4.7	0.2	5
函 館 Hakodate	102	2.0	0.0	0
計 Total	126	6.5	0.6	9

* The volume converted as 1石=0.278 m^3

** Volume before damaged by typhoon 15

次に、北演の被害と北海道の営林(支)局別国有林の被害とを、表-2に示す。国有林で今回とくに被害の激しかった帯広営林支局の被害と比べても、北演の被害は甚大なものであった。

IV 調査および解析方法

1982年9月に約2週間の現地踏査をおこなった。そのうち、メッシュ・サンプリングによって地形図から地形を、空中写真から林況を読みとり、解析の資料とした。

1. メッシュ・サンプリング

調査地を、北演調製の1/20,000の地形図上で2cm方形(現地400m 方形)のメッシュに区切り、そのメッシュの中心に直径1cm(現地直径200m)の円(以下、メッシュ円)を描いて、1標本とした。総メッシュ数は313個であった。

2. 地形要因

前記の地形図から、以下の要因を読みとった。

A 標 高

メッシュの中心の標高を10m単位で読みとった。また、もとのメッシュの縦横を2等分した4倍密度のメッシュ(1cm方形メッシュ)の交点からそれぞれの標高を読みとり、次項の露出度の計算に用いた。

B 露出度^{14,17)}

メッシュの中心から半径5cm(現地1km)の円を描き、その範囲内を仰角7°で見上げたとき、山地にさえぎられていない水平角度の合計値を露出度とした。半径と仰角は、以下に述べる被害率との単相関を調べて、もっとも高い相関を示したときの値に定めた。計算は、標高の値を用いて水平角15°ごとに24方向調べて合計した。

C 斜面方位

メッシュ円でもっとも優占する斜面の方位を、8方位で読みとった。

D 斜面上の相対位置

尾根から沢の平坦地にいたる斜面を、上下の相対位置と傾斜から、(1)尾根、(2)尾根下部急斜地、(3)山腹緩斜地、(4)谷上部急斜地、(5)谷底部の5段階に区分した。模式図を図-2に示す。

尾根から沢の平坦地にいたる縦断面をとると、斜面途中において図-2の(3)で示される山腹緩斜地が広く台地状に認められた。したがって、これを調査地の特徴ある地形として区分した。

E 斜面形状

等高線の形状によって、(1)凹型、(3)平行型、(5)凸型の3段階と、その複合型として、(2)凹・

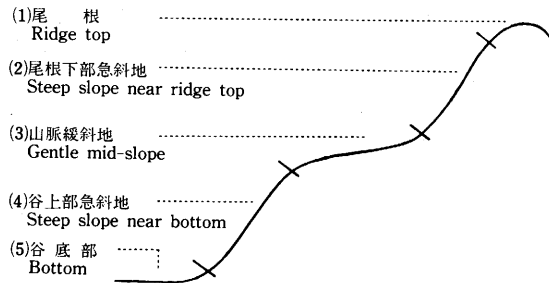


図-2 斜面上の相対位置の模式図

Fig. 2 Schematic explanation of position on the slope

平行型, (4)凸・平行型, (6)凹・凸型の6段階に区分した。(1)凹型, (3)平行型, (5)凸型は, 水の動きからそれぞれ集水型, 平衡型, 発水型に対応する。

F 傾斜角

メッシュ円に含まれる10m間隔の等高線数から計算した。

G 土壌深

北演の土壌図¹⁾にしたがって, 浅(0~30cm), 中(31~60cm), 深(61cm以上)の3段階に区分した。

3. 林況要因

以下にあげる4つの要因について, 風害発生前の林の状況を, 風害を受ける4年前の空中写真(国土地理院, 1977年10~11月撮影, カラー倍伸し)から, 風害発生後の林の状況を被害直後の空中写真(北演, 1981年10月撮影, 白黒倍伸し)からそれぞれ調べた。

空中写真上のメッシュの位置は, 実体視鏡を用いて, 地形図で定めたメッシュと一致させた。地形図と同様に空中写真上にメッシュ円(現地で直径200m)を描いて, その中で低木層(0~3m), 亜高木層(4~13m), 高木層(14m~)の各階層別に, 林冠被覆度と針葉樹混交率を10%単位で読みとった。低木層は風害をほとんど受けない樹高, 亜高木層は洞爺丸台風による風害跡二次林の最高樹高, 高木層はそれ以上という基準で定めた。この程度の樹高の区分は, 空中写真を立体視することによって容易になし得る¹²⁾。ただし, 高木層, 亜高木層の林冠被覆度が高いメッシュでは, 低木層を正確に読むことが困難なため読みとらなかった。また, 亜高木層は高木層の下にかくれる部分を除いて, 空中写真から判読可能なところだけを読みとった。

以上の資料から計算によって求めた林況要因を, 以下に記す。

A 森林率

メッシュ円の中に森林(ササ地を含む)が占める面積の割合とし, 計算は次のようにして求

めた。

$$\text{森林率}(\%) = \text{調査地率}(\%) \times \text{林地率}(\%) / 100$$

調査地率はメッシュ円に調査地の占める割合を、林地率はその調査地のうち林道、裸地などを除いた林地の占める割合を表す。

B 林冠疎密度（高木層＋亜高木層）

高木層と亜高木層の林冠被覆度を加えて10%単位で表わした。

C 高木層のみの林冠疎密度

高木層の林冠被覆度をそのまま用いた。

D 針葉樹混交率

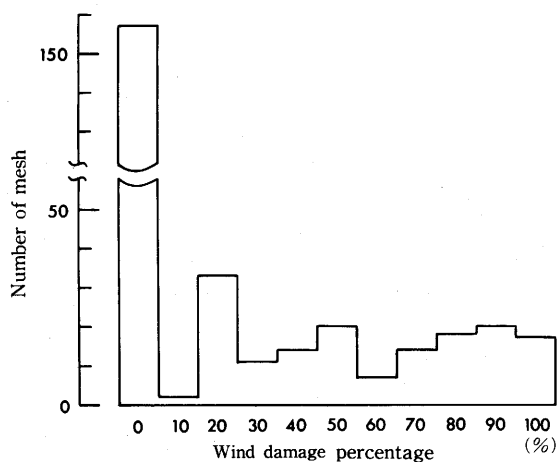
高木層と亜高木層の混交率から計算して10%単位で表わした。

今回の調査では、地形図と空中写真から読みとった値を現地で検討できなかったが、松本ら⁹⁾の報告とほぼ同様の手順で読みとっているので、読みとり値をそのまま解析に用いてもさしつかえないと考えた。

4. 解析の方法

3で求めた被害前後の林冠疎密度から、被害率を次のように定義して算出した。

$$\text{被害率}(\%) = [\text{被害前の林冠疎密度}(\%) - \text{被害後の林冠疎密度}(\%)] / \text{被害前の林冠疎密度}(\%) \times 100$$



図－3 被害率の度数分布

Fig. 3 Distribution of wind damage percentage

$$\text{Wind damage percentage}(\%) = [\text{Canopy density before wind damage}(\%) - \text{C. dens. after w. d.}(\%)] / \text{C. dens. before w. d.}(\%) \times 100$$

被害率の度数分布を図-3に示す。全体の半数にあたる157メッシュが0%であった。また、30%と60%の度数がやや低い値を示した。そこで、それらの値を境にして、被害の程度を以下のように4つの被害階級に区分した。

被害階級	被害率
無被害	0%
小 害	10~20
中 害	30~50
激 害	60~100

多変量解析では、4段階の被害階級を被説明変量として、数量化II類による判別分析をおこなった。また、同様の被説明変量を用いて、数量化I類による重回帰分析も合わせておこない、被害発生の予測を試みた。

計算には、東京大学大型計算機センターの数量化理論プログラム・パッケージ PPSS³⁾を利用した。

V 結果および考察

1. 被害と要因

図-4-a~lに、各メッシュごとの被害率および各要因の分布を示す。

はじめに、標高(図-4-a)にしたがって調査地内の地形を詳しく検討する。南東から南側にかけての一带と丸山周辺は標高が高く、その中でも幌内沢の両岸は、全体が台地状の高台になっている。岩魚沢、奥の沢、西達布川本流の3つの川にはさまれた地域は半島状の尾根をなす。その3つの川が合流して西達布川となり西流する近辺は、標高がもっとも低く、両側の山地にはさまれて、樹海峠からつづく廊下状の地域になっている。

被害率の分布を図-4-bに示した。図中で被害の大きかった地域を、地形との関係から、4つの激害地区に区分した。丸山東斜面一帯の地区(以下、丸山地区)、奥の沢と岩魚沢にはさまれた地区および、奥の沢と西達布川本流にはさまれた地区(奥の沢地区)、幌内沢両岸の地区(幌内沢地区)、二の山の北側の地区(二の山地区)の、4地区である。

被害率(図-4-b)と個々の要因(図-4-a, c~l)を比べると、露出度と斜面方位の2要因は風害の発生に関係が深いであろうと推測される。他の要因は、これらの図からは、はっきりとした傾向が見い出せない。そこで上記の4つの激害地区およびそのほかの2地区について、風害とその要因について検討した。

A 丸山地区

この地区は背面が丸山につづく尾根になっているため、露出度(図-4-c)は全般に小さ

い。しかし、斜面方位（図－4－d）はE～Sが優占し、暴風の主風方向に向いているメッシュが多い。また、斜面上の相対位置（図－4－e）で山腹緩斜地（図－2 参照）が多いと同時に、4つの激害地区の中では傾斜（図－4－g）が比較的急であることが特徴である。

B 奥の沢地区

この地区は前述のように、3つの川にはさまれて半島状の尾根地形をなしている。尾根は北東から南西方向に走り、斜面方位はSEがとくに多い。露出度も大きく、暴風を正面から受けたものと思われる。

C 幌内沢地区

斜面方位はS～SWが多く、必ずしも主風方向に面しているわけではないが、全般に標高が高いうえに傾斜がゆるやかで露出度は大きい。斜面上の相対位置は、ほとんどが山腹緩斜地である。南東の国有林との境をなすゆるやかな尾根を越えて収斂された風は、この地区をなめるようにして吹き抜けたと思われる。また、この地区の針葉樹混交率（図－4－k）は、ほかの地区に比べてとくに高かった。

D 二の山地区

この地区は二の山に連なる尾根の風背地であり、露出度、斜面方位からは、とくに被害を受けやすい地区だとは思われない。しかしながら、西流する西達布川に沿った廊下状の低地であり、西達布川兩岸の山にはさまれて収斂した風は、東寄りの暴風となってこの地区を吹き抜けたものと推測される。

以上4つの激害地区を、地形や各要因との関係から検討した。次に、被害の少なかった地区について述べる。

E 丸山地区の南側に接する地区

この地区は、斜面方位がE～Sを占めるメッシュが多い。ところが、そのような風衝地となる斜面の多くは、洞爺丸台風の際に被害にあっている。その後は、一部の場所ではごく小面積単位に針葉樹の補植がおこなわれたが、ほとんどは天然更新を期待して放置され、樹高10m前後で立木密度がきわめて高い風害跡二次林を形成している。したがって、地形状況からは風衝地にあたり被害のおこりやすい地区であるといえるが、倒れるような大径木が少ないために被害が小さかったと思われる。

F 奥の沢地区の北側に接する地区

調査地の北東側から大麓山にかけて広がる標高の高い地区が、大きな風の動きに影響を与え、風が集中することなく吹き抜けたのではないと思われる。また、高木層のみの林冠疎密度（図－4－j）が他の地区に比べてやや低く、大径木が少なかったことも被害を少なくしたと思われる。

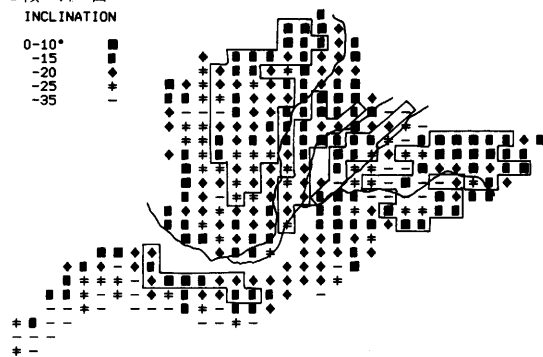


図-4 調査地内の被害率と各要因の分布

Fig. 4 Distribution maps of wind damage percentage and each factor

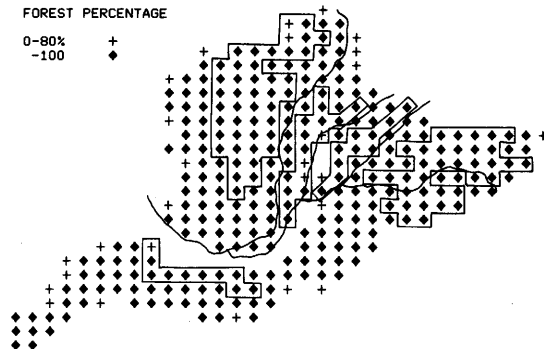
g 傾 斜 面
INCLINATION

0-10° ■
-15 ◆
-20 ◆
-25 ◆
-35 -



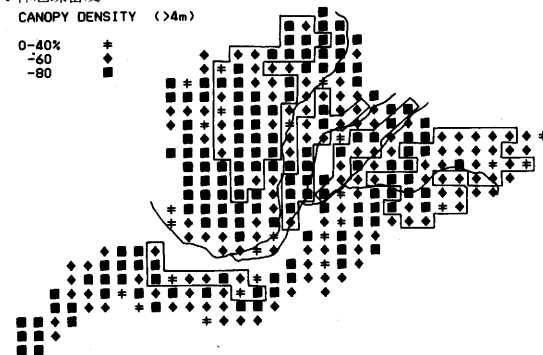
h 森 林 率
FOREST PERCENTAGE

0-80% +
-100 ◆



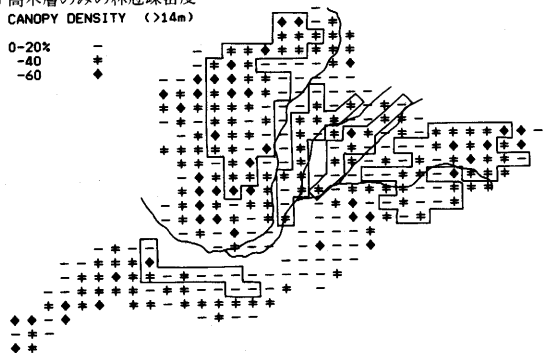
i 林冠疎密度
CANOPY DENSITY (>4m)

0-40% *
-60 ◆
-80 ■



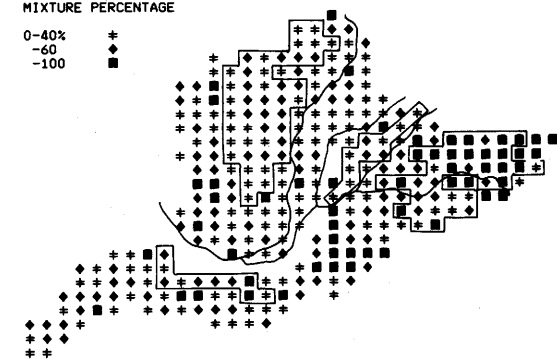
j 高木層のみの林冠疎密度
CANOPY DENSITY (>14m)

0-20% -
-40 *
-60 ◆



k 針葉樹混交率
MIXTURE PERCENTAGE

0-40% *
-60 ◆
-100 ■



l 土 壌 深
SOIL DEPTH

0-30cm *
-60 ◆
60- ■

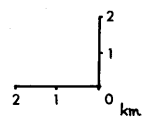
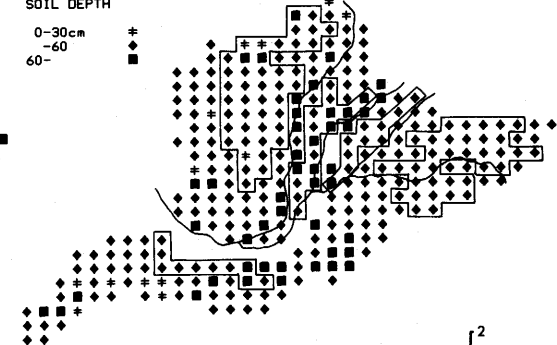


表-3 風害の発生率と地形、林況等について、数量化II類による判別分析および数量化I類による重回帰分析の結果

Table 3 Quantification analyses — item, category and score affecting wind damage

要 因 Item	カテゴリー Category	ケース数 Frequency	数量化Ⅱ類による判別分析 Quantification analysis Hayashi-2						レンジ Range EX-1 EX-3		
			ノーマライズド・スコア* Normalized score*		偏差グラフ Graph of deviation EX-1						
			EX-1	EX-3							
			-0.2 -0.1 0.0 0.1 0.2 0.3								
標 高 Altitude	300~400m	47		-15.4						0.380	
	~500	111		-7.9							
	~600	83		4.0							
	~700	55		23.0							
	~900	17		-0.8							
露 出 度 Exposure	0~180°	77	-20.8	-16.7						0.475 0.413	
	~225	71	-11.5	-9.0							
	~270	51	-11.8	-11.9							
	~315	48	26.7	23.0							
	~360	66	26.3	-0.8							
斜面方位 Facing	N	44	-17.9	-18.2						0.496 0.503	
	NE	26	-2.4	-4.7							
	E	42	28.2	28.5							
	SE	37	31.6	32.1							
	S	27	6.3	4.3							
	SW	39	-14.5	-15.1							
	W	56	-10.0	-8.2							
	NW	42	-13.1	-12.6							
斜面上の 相対位置 Position on the slope	尾 根 Ridge top	35	-1.6	-1.2						0.293 0.225	
	尾根下部急斜面 Steep slope near ridge top	50	1.3	0.2							
	山腹緩斜面 Gentle mid- slope	105	5.9	0.6							
	谷上部急斜面 Steep slope near bottom	100	-0.9	4.0							
	谷 底 部 Bottom	23	-23.5	-18.5							
斜面形状 Land type on the slope	凹Concave	47	11.4	11.6						0.300 0.298	
	凹// Gently concave	23	1.3	2.7							
	// Rectilinear	157	-0.1	-1.2							
	凸// Gently convex	19	-9.8	-8.5							
	凸Convex	43	2.7	4.1							
	凹・凸 Concave and convex	24	-20.1	-18.2							
傾 斜 角 Inclination	0~10°	42	17.2	19.2						0.240 0.332	
	~15	82	0.4	3.7							
	~20	96	-1.7	-0.6							
	~25	53	-6.8	-9.2							
	~35	40	-5.7	-14.0							
森 林 率 Forest area percentage	0~80%	27	-19.6	-19.2						0.215 0.210	
	~100	286	1.9	1.8							
林冠疎密度 Canopy density of trees higher than 4 m	0~40%	25	-16.3	-15.8						0.197 0.190	
	~60	137	-0.7	-0.6							
	~80	151	3.3	3.2							
高木層のみの林冠疎密度 Canopy density of trees higher than 14m	0~20%	129	-2.6	0.6						0.057 0.057	
	~40	138	3.1	1.0							
	~60	46	-2.1	-4.7							
針葉樹混交率 Mixture percent- age of conifer trees	0~40%	143	-5.1	-4.1						0.101 0.083	
	~60	113	4.0	4.2							
	~100	57	5.0	1.9							
土 壌 深 Soil depth	0~30cm	13	-12.4	-19.6						0.147 0.216	
	~60	253	2.3	2.0							
	61~	47	-8.8	-5.1							
						-0.2 -0.1 0.0 0.1 0.2 0.3					
総 数	Total	313	相 関 比 correlation ratio				0.373 0.401				

*: $\times 10^{-2}$

数量化 I 類による重回帰分析 Quantification analysis Hayashi-1									
偏相関係数 Partial cor.coe. EX-1 EX-3		ノーマライズド・スコア* Normalized score* EX-2 EX-4		偏差グラフ Graph of deviation EX-2		レンジ Range EX-2 EX-4		偏相関係数 Partial cor.coe. EX-2 EX-4	
-0.6-0.4-0.2 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8									
	0.265		-42.8 -17.2 12.2 53.0 - 0.7				0.958		0.269
0.394	0.341	-47.2 -38.7 -29.9 -22.8 -27.0 -28.2 63.7 59.3 61.7 48.4				1.108	0.982	0.399	0.343
0.384	0.401	-38.7 -42.0 -11.9 -11.8 59.1 62.4 76.2 77.7 14.8 12.3 -30.6 -33.8 -19.3 -18.2 -33.7 -31.8				1.150	1.197	0.371	0.391
0.150	0.122	- 6.2 - 4.7 0.1 - 1.0 14.9 1.0 - 2.2 10.3 -49.4 -40.1				0.643	0.504	0.143	0.117
0.166	0.166	29.3 32.7 2.6 6.6 - 2.3 - 5.2 -23.8 -19.9 12.5 13.8 -48.1 -45.1				0.774	0.778	0.179	0.187
0.156	0.209	35.1 42.7 3.3 11.0 - 4.5 - 2.1 -16.1 -23.3 -11.5 -31.3				0.512	0.740	0.141	0.202
0.135	0.138	-45.6 -46.7 4.3 4.4				0.499	0.511	0.133	0.140
0.113	0.112	-27.8 -28.6 1.9 1.9 2.9 3.3				0.307	0.316	0.077	0.081
0.062	0.046	- 9.6 - 1.8 9.6 4.4 - 1.7 - 8.2				0.192	0.126	0.084	0.045
0.104	0.089	-12.2 - 9.3 10.2 10.4 10.4 2.7				0.226	0.197	0.106	0.086
0.105	0.114	-18.9 -38.4 5.0 4.1 -21.8 -11.3				0.269	0.425	0.097	0.096
-0.6-0.4-0.2 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8									
重相関係数 推定 誤差				Multiple cor.coe. Estimation error		0.604 47.5%	0.627 46.4%		

2. 多変量解析

解析は4とおりの解析をおこなった。要因のうち標高を除いて数量化Ⅱ類をおこなったEX-1、同様にⅠ類をおこなったEX-2、および、すべての要因を用いて数量化Ⅱ類をおこなったEX-3、同様にⅠ類をおこなったEX-4の、4つである。その結果を表-3に示す。

標高はEX-1と2で要因から除いた。これは、標高は絶対的な尺度であるため、風害発生の要因を解析する際には、むしろ斜面上の相対位置や露出度のような相対的な尺度の方が重要であると考えたことによる。例えば、標高500mの地点が北東部の天然林地域では沢地にあたり、西部の里山地域では尾根筋にあたることなどを考えても、今回の解析では、標高は必ずしも要因として適切ではない。そこで、4とおりの解析のうち、はじめに標高を除いた解析(EX-1, 2)について詳細に検討する。

数量化Ⅱ類による判別分析(EX-1)の結果によると、相関比(分類判別の効率をはかる尺度で1に近いほどよい)は0.37であった。

正判別率(解析による予測が現実と的中した割合⁵⁾)を表-4に示す。無被害メッシュと被害メッシュとの正判別率はいずれも70%以上で、よく判別されている。しかし、被害が発生したメッシュの中で隣り合った階級間の正判別率は、あまり高くなかった。

解析に用いた要因のうち、偏相関係数の値を検討して統計的に有意(水準5%)であったものは、判別に対する寄与度が大きい順に、露出度、斜面方位、斜面形状、傾斜角、斜面上の相対位置、森林率、林冠疎密度であった。また、有意水準10%で統計的に有意であったものは、上記に加えて、土壌深、針葉樹混交率であった。高木層のみの林冠疎密度はいずれの水準でも有意ではなかった。

同様に、数量化Ⅰ類による重回帰分析(EX-2)の結果によると、重相関係数は0.60、決定係数(実測値の変動のうち解析による回帰式で説明できる割合⁵⁾)は0.36、推定誤差は47%であった。

解析に用いた要因のうち、偏相関係数の値を検討して統計的に有意(水準5%)であったものは、回帰式に対する寄与度の大きい順に、露出度、斜面方位、斜面形状、斜面上の相対位置、傾斜角、森林率であった。有意水準10%で統計的に有意であったものは、上記に加えて針葉樹混交率、土壌深であった。高木層のみの林冠疎密度、林冠疎密度はいずれの水準でも有意ではなかった。

表-5, 6に重みつき内部相関係数と重みつき単相関係数を示した。どの要因間をとっても、内部相関係数が高いものはなかった。

表-3に示したノーマライズド・スコアは、値が大きいほど被害が大きいことを示す。判別分析、重回帰分析とも各カテゴリーの被害に対する効き方は、ほとんど同じであった。まず、判別分析(EX-1)について詳しく検討する。

表-4 数量化II類による判別分析の正判別率 (EX-1)

Table 4 Correct discrimination percentage in quantification analysis Hayashi-2

無 被 害 No damage	小 害 Slight damage	中 害 Moderate damage	激 害 Severe damage
(%)			
71	52	63	
73			
	68		
	83		

偏相関係数は、露出度と斜面方位の2つがほかの要因に比べて高い。露出度では271°以上のカテゴリーで被害を受けやすく、逆に露出度がそれ以下で被害を受けにくい。斜面方位では、SEを中心とした135°の範囲が被害が大きく、この範囲をはずれると被害は小さい。

北演調製の暴風時の倒木方向原図¹⁰⁾によっても、また前述の帯広、根室で観測された最大風速、最大瞬間風速の風向からも、当地をおそった暴風の風向がSEであったことは明らかである。したがって、解析の結果から、暴風の主風方向を中心に左右約70°の範囲にある斜面でかつ、露出度の大きい場所は、風害に対して大変危険であるといえよう。

この主風方向を、玉手¹⁰⁾のいう大地形にしたがって検討すると、暴風の主風方向がおおよそESE~SESの範囲にあるとき、風は十勝平野から十勝川に沿って吹きあがり、その後、十勝山系と日高山脈との大鞍部である狩勝峠付近で収斂されて速度を速め、南東からやや東寄りの風となって富良野盆地に吹きおろす。

南側を日高山脈に、東側を十勝山系に、西側を夕張山地に囲まれた北演では、台風による暴風の主風方向として、以上述べた今回の南東寄り、洞爺丸台風について玉手ら¹⁰⁾が指摘した南西寄りの2とおりがある。

地形要因のうち斜面上の相対位置では、山腹緩斜地にやや被害を受けやすい傾向が認められる。山地を越えて収斂された吹きおろし風のばあい、風背地では台地状の突出部や高所がとくに被害を受けやすい¹⁰⁾。本調査地内では、そのような地形が特徴的にみられる。しかし、多変量解析においては、その傾向は顕著ではなかった。

斜面形状のカテゴリーでは、平行型が約半数を占める。これは、北演の地形が全般に起伏が少ないためであるが、ケース数の偏りがいちじるしく、とくにはっきりとした傾向を認めがたい。しかし、凹・平行型、凹・凸型がマイナスに反応していることから、小きざみに地形が変化する場所では、大きな被害を受けにくいように思われる。

傾斜角は、10°以下の緩斜面が大きくプラスに反応している。これは露出度とも関連している。緩斜面が広がるところは、当然のことながら露出度も大きくなり、風の影響を受けやすい

表-5 数量化II類による判別分析 (EX-1) の内部相関係数および単相関係数 (重みつき)

Table 5 Inner and simple correlation coefficient of quantification analysis Hayashi-2 (weighted).

露出度 Exposure	斜面方位 Facing	斜面上の 相対位置 Slope position	斜面形状 Land type	傾斜角 Inclina- tion	森林率 Forest percentage	林冠疎密度 Canopy density (> 4 m)	高木の疎密度 Canopy density (> 14m)	針葉樹 混交率 Mixture percentage of conifer trees	土壌深 Soil depth	被害率 Wind damage percentage
露出度 Exposure	1.000									
斜面方位 Facing	0.017	1.000								
斜面上の相対位置 Slope position	0.223	0.024	1.000							
斜面形状 Land type	-0.188	0.009	-0.205	1.000						
傾斜角 Inclination	0.269	-0.084	-0.004	0.005	1.000					
森林率 Forest perc.	0.004	0.088	0.073	0.014	-0.131	1.000				
林冠疎密度 C.density(> 4 m)	-0.047	0.000	0.244	-0.137	-0.097	1.000				
高木層のみの林冠疎密度 C.density(> 14m)	-0.008	0.115	0.108	-0.054	-0.081	0.093	1.000			
針葉樹混交率 Mixture perc.	-0.077	-0.135	0.108	-0.035	-0.040	0.083	0.106	-0.090	1.000	
土壌深 Soil depth	0.129	-0.064	0.208	-0.048	-0.003	-0.006	0.012	0.051	1.000	
被害率 Wind damage perc.	0.417	0.335	0.259	0.024	0.173	0.147	0.093	0.101	0.136	1.000

表-6 数量化Ⅰ類による重回帰分析 (EX-2) の内部相関係数および単相関係数 (重みつき)

露出度 Exposure	斜面方位 Facing	斜面上の 相対位置 Slope position	斜面形状 Land type	傾斜角 Inclination	森林率 Forest percentage	林冠疎密度 Canopy density (> 4 m)	高木の疎密度 Canopy density (> 14m)	針葉樹混交率 Mixture percentage of conifer trees	土壌深 Soil depth	被害率 Wind damage percentage
1.000										
0.014	1.000									
0.198	0.036	1.000								
-0.162	0.010	-0.196	1.000							
0.269	-0.076	0.032	-0.017	1.000						
0.003	0.085	0.087	0.007	-0.132	1.000					
-0.029	-0.012	0.229	-0.119	-0.064	-0.006	1.000				
0.002	0.112	0.120	-0.090	-0.083	0.106	0.169	1.000			
-0.082	-0.131	0.108	-0.045	-0.044	0.084	0.110	-0.068	1.000		
0.139	-0.085	0.226	-0.075	-0.025	-0.005	0.034	0.084	0.011	1.000	
0.417	0.327	0.248	0.042	0.168	0.077	0.077	0.122	0.029	0.129	1.000

ためこのような結果になったといえよう。

林況要因では、従来の報告^{2,4)}では針葉樹混交率が高いと被害が大きいとされている。しかし、多変量解析では針葉樹混交率の偏相関係数はあまり高くなく、その傾向は顕著ではなかった。

現地の踏査では、針葉樹混交率が高いほど被害が多いように思われた。そこで、数量化による方法とは別に、被害が発生したメッシュだけを取りあげて、針葉樹、広葉樹の別に被害率の平均値を算出した。その結果を表-7に示す。大きな差はみられないが、針葉樹のほうが風害に弱いという結果になった。高木層、亜高木層の別では、針葉樹、広葉樹ともに、亜高木より高木のほうがおよそ2倍近く被害を受けていることも明らかになった。これは、大径木が被害を受けやすい⁴⁾という従来からの指摘に一致する。

林冠疎密度は、値が低いほど被害を受けにくい傾向がみられるが、ケース数に偏りがあるためはっきりとはいえない。高木層のみの林冠疎密度からは、とくに傾向は認められなかった。

数量化による重回帰分析(EX-2)は、判別分析(EX-1)とともに表-3に示したが、両者は非常によく似た結果であった。重回帰分析は回帰式を求めて予測をおこなうことを目的としているので、この結果は今後の被害発生予測に役立つと思われる。図-5に予測値の分布図を示す。図は、各被害階級のケース数が実測値の分布図(図-4-b)とほぼ等しくなるように定めて描いた。両図を比べると、二の山地区を除いて、予測値の分布図は実測値の分布図にかなりよく一致した。

次に、すべての要因を用いた解析(EX-3, EX-4)について述べる。

表-7 針葉樹、広葉樹別の平均被害率(被害地のみ)

Table 7 Wind damage percentage of conifer trees and broad-leaved trees

			被害前の林冠疎密度 Canopy density before wind damage A(%)	被害前後の林冠疎密度の差 Difference of 2 canopy densities before and after wind damage by typhoon 15 (1981) B(%)	平均被害率 Wind damage percentage B/A×100(%)
針 葉 樹 Conifer trees	亜高木 middle		14.7	6.6	44.9
	高 木 upper		13.4	9.8	73.2
	全 体 whole		28.1	16.4	58.4
広 葉 樹 Broad-leaved trees	亜高木 middle		17.6	6.6	37.6
	高 木 upper		17.0	10.5	61.7
	全 体 whole		34.6	17.1	49.5
全 体 Whole tree	亜高木 middle		32.2	13.2	40.9
	高 木 upper		30.5	20.3	66.8
	全 体 whole		62.7	33.5	53.5

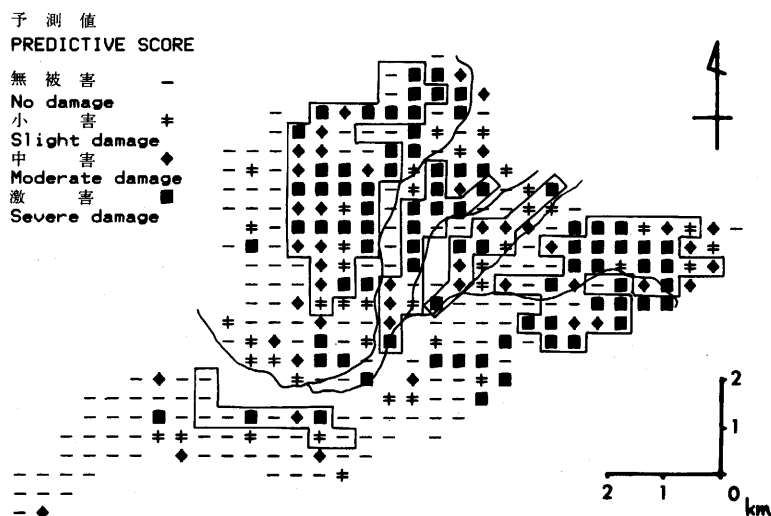


図-5 予測値の分布 (数量化による重回帰分析, EX-2)

Fig. 5 Distribution map of predictive score in quantification analysis Hayashi-1 (EX-2)
In quantification analysis Hayashi-1, each damage class was put into the following code—1: no damage, 2: slight damage, 3: moderate damage, 4: severe damage. The border of predictive score was decided that the number of each damage class of predictive score was nearly equal to that of actual score. No damage (0.50-2.00). Slight damage (-2.35). Moderate damage (-2.70). Severe damage (-4.50).

標高について、710m 以上のカテゴリーを除けば、標高が高いほど被害を受けやすい傾向が認められた。標高が高いところは周囲をさえぎられることが少ないため露出度が大きくなり、その結果、被害を受けやすいと考えられる。EX-3 および EX-4 における内部相関係数では、いずれも標高と露出度の内部相関係数は高かった。

このときの標高以外の要因の効き方は、露出度の偏相関係数がやや小さくなったことと、傾斜がゆるやかであるほど被害を受けやすい傾向がより顕著になったことが認められるほかは、標高を除いた解析 (EX-1, EX-2) とほとんど同様の結果であった。

解析全体を通して次のようなことがいえる。林が被害にあうかどうかは、主として地形状況によって決まる。地形的に危険な場所では、ある程度以上の暴風にあえば、林況 (林冠疎密度、針葉樹混交率など) にはあまり関係なく大きな被害を受けるであろう。しかし、地形的な危険性があまり高くなく同程度ならば、林況によって被害の程度に差が生じるであろう。

VI お わ り に

風害の発生には露出度と斜面方位が、とくに大きく影響することがわかった。今後の研究の方向としては、施業の指針とするために、北演全域の風害危険地域の予測と、施業上取り得る手段について、さらに詳しい検討を加えることが考えられる。

本研究にあたり、現地調査をはじめ空中写真、地形図の貸与などに快よく御協力くださった畑野健一北海道演習林長をはじめとする北海道演習林の方々に心から感謝いたします。

引 用 文 献

- 1) 朝日正美：東大北海道演習林土壤図（未発表）
- 2) 平田種男・前沢完次郎：北海道演習林の台風被害。演習林（東大）11：1-8, 1956
- 3) 日立製作所：数量化理論プログラム・パッケージ PPSS 機能編。220pp., 日立製作所, 1979
- 4) 北海道風害森林総合調査団：北海道風害森林総合調査報告。535pp., 日本林業技術協会, 東京, 1959
- 5) 本多正久・島田一明：経営のための多変量解析法, 174pp., 産業能率大学出版部, 東京, 1977
- 6) 気象庁：昭和29年台風第15号報告。気象庁彙報39(3)：1-243, 1956
- 7) ——：気象要覧。984：1-84, 1982
- 8) 気象庁予報部：昭和56年8月21日から23日までの台風第15号と前線による大雨。災害時自然現象報告書(3)：1-32, 1981
- 9) 松本陽介・斎藤 実・根岸賢一郎：上木皆伐後のシラベ・アオモリトドマツ前生稚樹の生長と微地形。東大演報71：233-247, 1981
- 10) 三島 懋・谷口信一・谷口三佐男：苫小牧演習林における風害状態(I)。北大演報17(2)：715-748, 1955
- 11) ——・——・——・菱沼勇之助：同(II)。北大演報19(1)：1-39, 1958
- 12) 中島 巖：航空写真による新しい森林のしらべ方。49pp., 林業科学技術振興所, 東京, 1965
- 13) 林野庁：北海道の森林風害記録。584pp., 北方林業会, 札幌, 1959
- 14) 関口 武：気候調査法, 地理学研究法。354pp., 朝倉書店, 東京, 1966
- 15) 高橋延清：林分施業法。127pp., 全国林業改良普及協会, 東京, 1971
- 16) 高橋康夫：倒木方向原因図（東大北演）。（未発表）
- 17) 竹下敬司：山地の地形形成とその林業的意義。福岡県林試時報, 17：1-109, 1964
- 18) 玉手三稜寿：気象, 北海道風害森林総合調査報告。101-330, 日本林業技術協会, 東京, 1959
- 19) ——・櫻山徳治・笹沼たつ・高橋亀久松・松岡広雄：洞爺丸台風による北海道の大森林風害の概要とその実況図。林試研報289：43-67, 1977
- 20) 東大演習林：試験研究計画（要旨）。19-47, 東京, 1982

(1983年5月30日受理)

要 旨

東京大学北海道演習林において、1981年夏の台風第15号により大規模な風害が発生した。そこで筆者らは、数量化による多変量解析の手法を用いて、被害率と地形および林況要因との関係を検討した。地形要因には、標高、露出度、斜面方位、斜面上の相対位置、斜面形状、傾斜角、土壌深をとり上げ、地形図および土壌図から読みとった。林況要因には、森林率、林冠疎密度、高木層のみの林冠疎密度、針葉樹混交率をとり上げ、空中写真から読みとった。

多変量解析に先立って、被害率と各要因とを個別に比較した結果、露出度と斜面方位が被害発生に大きく関与することがわかった。数量化II類による判別分析では、無被害と小、中、激害の正判別率がいずれも70パーセント以上となり、かなりよく判別された。数量化I類による重回帰分析では、重相関係数は0.60であった。これらの多変量解析の結果から以下のことがわかった。

- i) 周囲の3/4以上が露出していてかつ、斜面方位が暴風の主風方向を中心に左右約70°の範囲にある林分が、とくに大きな被害を受けた。
- ii) 傾斜がゆるやかな林分および針葉樹混交率が高い林分も、概して被害を受けやすい傾向にあった。

また、重回帰分析の予測値を用いて、調査地内の風害発生予測図を描くと、一部の地域を除いて実測値の分布図とよく一致した。

Summary

The forests in Tokyo University Forest in Hokkaido were severely damaged by typhoon 15 in 1981. We tried analyses of the relation between wind damage and some topographical and certain stand condition factors by consulting topographical map, soil map and air photographs.

Seven items for topographical factors — altitude, exposure, facing of the slope, relative position on the slope, land type on the slope (relief), inclination, soil depth — and 4 items for stand condition factors — forest area percentage, canopy density of trees higher than 4m, canopy density of trees higher than 14m and mixture percentage of conifer trees — were selected for quantification analyses.

On the quantification analysis Hayashi-2, correct discrimination percentage between no damaged areas and damaged areas was more than 70 per cent. On the quantification analysis of Hayashi-1, multiple correlation coefficient was 0.60. Among the 11 items, exposure and facing of the slope were significantly related to the occurrence of wind damage. The following stands were severely damaged : those which face to the main

direction of the stormy wind in the range of approximately 70 degree from the center. Generally, it is recognized that stands which are on gentle slopes or have high mixture percentage of conifer trees were easily damaged. As the result of drawing a predictive map of wind damage with the predictive scores of Hayashi-1, the map is generally fitted to the distribution of wind damage percentage of actual scores with some exceptions.