

ISSN-0289-402

RESEARCH REPORT
OF THE
OITA PREFECTURAL
FOREST EXPERIMENT STATION

No.18, August, 1992
Arita, Hita, Oita, Japan

研 究 時 報

第 18 号

大 分 県 林 業 試 験 場

平 成 4 年 8 月

大分県日田市大字有田字佐寺原

大分県林業試験場研究時報第18号 (1992年8月)

目 次

1991年9月，台風19号により発生した 大分県における森林被害の要因解析	諫本 信義 高宮 立身	1
--	-------	----------------	-------	---

**RESEARCH REPORT
OF THE
OITA PREFECTURAL
FOREST EXPERIMENT STATION**

No.18, August, 1992
Arita, Hita, Oita, Japan

— CONTENTS —

Factor analysis of forest damages

in Oita prefecture by Typhoon 19th (1991.9)

Nobuyoshi ISAMOTO 1
Tatsumi TAKAMIYA

1991年9月, 台風19号により発生した大分県における森林被害の要因解析

諫本 信義・高宮 立身

Factor analysis of forest damages in Oita prefecture by
Typhoon 19 th (1991.9).

Nobuyoshi ISAMOTO and Tatsumi TAKAMIYA

要 旨

1991年9月27日夕刻襲来した台風19号は、大分県北西部に位置する日田、玖珠、下毛地方を中心とする森林に空前の被害をもたらした。森林被害面積2万2千ha余、被害金額は496億円に達し史上最悪の激害となっている。

本報告は、平成3年10月専決予算で計上された「風倒木被害状況緊急調査事業」の一環として実施された風害被害実態調査の結果をとりまとめたものである。

調査は、被害のとりわけ大きかった日田市堂尾、天瀬町本城地区など日田市郡及び玖珠郡より5地区、森林面積にして約6千haを対象として、250mの方形格子網を設定し、この中心付近の森林618箇所について、林況、地況被害状況など被害の実態にかかるさまざまなデータを収集し、多変量解析(数量化・I類)を用いて、風害現象の解明に取り組んだ。

猛威をきわめた台風19号は、倒木の方向から推定して、南西を中心とした風であったとされるが、風圧の違いや局地風による地域差が認められ、被害地の分布や規模は錯綜としており、解析をくり返したにもかかわらず、風害現象の仕組みを十分に解明するに至らなかった。これは、最大瞬間風速44.4 m/s(日田市)という常識を超えた風の強さと、その恣意性があったと考えられた。

スギは品種間で被害の形態に明確な差異が認められた。根返り型と折損型で、ヤブクグリ、アヤスズは前者の代表的な品種で、ヒノデ、クモトオシ、イワオなど早生系とされる品種は折損型に属した。ウラセバルも折損型の代表的な品種で、日田市堂尾地区を中心に被害が続出した。調査の過程で日田郡上津江村の一部でみられるリュウノヒゲ(別名ササンノスギ)という品種は、被害が軽微であったことから、今回耐風性があったとされるシャカインとともに、検討に価する品種と考えられた。ヒノキは、全般的に根返りを主体とした被害を示し、樹種の特性としての浅根性に原因があるとされたが、折損、幹曲りもかなりみられた。被害の程度としては、ヤブクグリ、アヤスギにくらべ若干耐風性のあることが認められた。

クヌギをはじめ、シイ、カシその他の広葉樹類の林は、基岩が浅く出現するところを除いて、被害は明らかに少なく、スギ、ヒノキ等の針葉樹にくらべ耐風性のあることが認められた。広葉樹類の林は、一般に林分高が低く、

根系がよく発達し、風の抜けやすい樹冠構造などの特性が耐風性を強めていると考えられる。

胸高直径15cm以下の若齢林や幼木においては、樹体が柔構造であるためか明らかに被害は少なく、雪害の場合と逆の結果となった。

要因解析のなかで各地区に共通して、最も高い関連を示したのは、斜面方位で、暴風の主方向が南～西であったことから、南西～西側斜面に被害は集中し、北～東向きの斜面は被害を最少にまぬがれた。今回の暴風は南～西側より大部分が侵入した。従ってある地点の南、又は西側部にそれをさえぎる山体があった場合、被害は軽減された。保護山体の位置は100m以内という局地的なものより1kmといった規模での効果がみられた。

斜面位置では、緩斜尾根、台状地で被害が多く、凸型地や山麓で被害は少ない傾向がみられた。地形的に凸型地は、風衝地形とされ被害の大きいことが予想されたが、ここでは逆の傾向となった。このような風衝地では、そのために逆に根系が発達し、耐風性が付与されている可能性がある。

土壌深度と被害関連は、土壌の浅いところで被害は大きく、深いところでは、被害は小さくなる傾向があったが、地区による変化がみられた。

林況条件では、胸高直径の大なる林ほど被害が大きくなる傾向がみられた。胸高直径30cm以上の被害林について検討したところ、激害林分は形状比、収量比数とも微害林にくらべて高く、樹形としての安定度の低いことが指摘され、高齢大径林でも樹形的に安定度を高めれば耐風性は増大すると考えられた。全般に、この高齢林を含めて、日田、玖珠、天瀬地区のスギ、ヒノキ林は、過密な林分が多く、形状比、収量比数が高く、林分的に風に対して弱い構造をもっており、これが今回の被害を大きくした原因になっていることがうかがわれた。また林縁木の被害の少ないことは、従来より報告されていたが、これは今回の調査においても明らかな事実であり、復旧造林に資するため、早急な科学的解明が待たれる。

目 次

I	はじめに	3
II	台風19号の進路と森林被害の状況	3
III	調査及び方法	7
IV	調査結果	11
V	考 察	31
VI	おわりに	37
	付 記	39
	引用文献	40
	被害写真	41

I はじめに

1991年9月27日の夕刻襲来した台風19号は、数百年に一度といわれる程の規模をもった超大型の風台風で、同日17時頃から19時過ぎにかけて吹き荒れた暴風によって、日田、玖珠、下毛を中心とした県下の森林は、かつて経験したことのない甚大な被害をこうむった。被害を受けた森林面積は約2万2千haに及び被害金額は496億円にのぼっている。

台風19号に先立ち、9月16日には、中型で強い勢力をもつ台風17号が台風19号とほぼ同様のコースをたどって襲来し、県北西部の森林に466haの被害地を発生させており、このダメージを受けた森林に、更に規模の大きな台風19号が襲来したために、被害はより甚大になったものと推測される。

県では、この重大な事態にかんがみ、直ちに専決された「風倒木被害緊急調査事業」に着手し、各方面において緊急体制を整えた。研究面においても、航空写真や災害状況資料の整備にともない、同年11月より日田郡上津江村、日田市堂尾地区など激甚地とされる日田、玖珠地方より5地区、森林面積にして約6千haを対象として、無作為抽出による618箇所の森林を調査し、林況、地況、被害状況など被害の実態にかかるさまざまなデータを収集した。

猛威をきわめた台風19号は、倒木の方向からみて、南～南西の風が主体であったことが大略推定されたが、風の強さは一様性がなく、恣意性が強かったため、被害地の分布や規模は、錯綜蕪雑としており、要因解析は困難をきわめた。調査を進める中で、被害の形態や状況は、次第に明らかとなってきたが、被害の要因解析になると、くり返し統計処理を重ねたにも拘わらずなかなか精度が向上せず、風害現象の仕組みを十分解明するに至らなかった。これは、常識を超える風の強さとその恣意性にその原因を求めることができよう。前述のように、解析は、十分でなかったが、未曾有とされる今回の台風19号の森林被害について、被害状況と地況、林況との関連について解析し、とりまとめを行ったのでその結果を報告する。

II 台風19号の進路と森林被害の状況

1. 台風19号の概況及び進路

気象庁及び大分地方気象台の資料(6,7,12)に基づき、台風19号の概況及び進路について記述する。

台風19号は、1991年9月16日にマーシャル諸島の西で台風となり、宮古島の東を通り、27日16時すぎ、大型で非常に強い台風として長崎県佐世保市の南に上陸した。その後ほぼ勢力を保ったまま、早い速度で日本海を北東に進み、28日8時前に北海道の渡島半島に再上陸し、札幌市～網走市を経てオホーツク海に進み、同日15時すぎには千島近海で熱帯低気圧に変わった。

佐世保市南に上陸した時の中心気圧は940mb、中心付近の最大風速は 50m/s 、暴風(25m/s 以上)半径が300km、強風(15m/s 以上)半径は600kmという大型で非常に強い台風であった。降雨の少ない典型的な風台風で広い範囲で暴風害をもたらした。

県下では、27日の昼すぎから平均風速25m以上の暴風域に入り、夕方を中心に20時ごろまで強風が吹き荒れた。強い風の吹いた地域は、県南内陸部の一部を除いて、ほぼ全域に亘り、特に豊後高田市では、18時から3時間に亘って平均風速で 25m/s 前後を記録した。

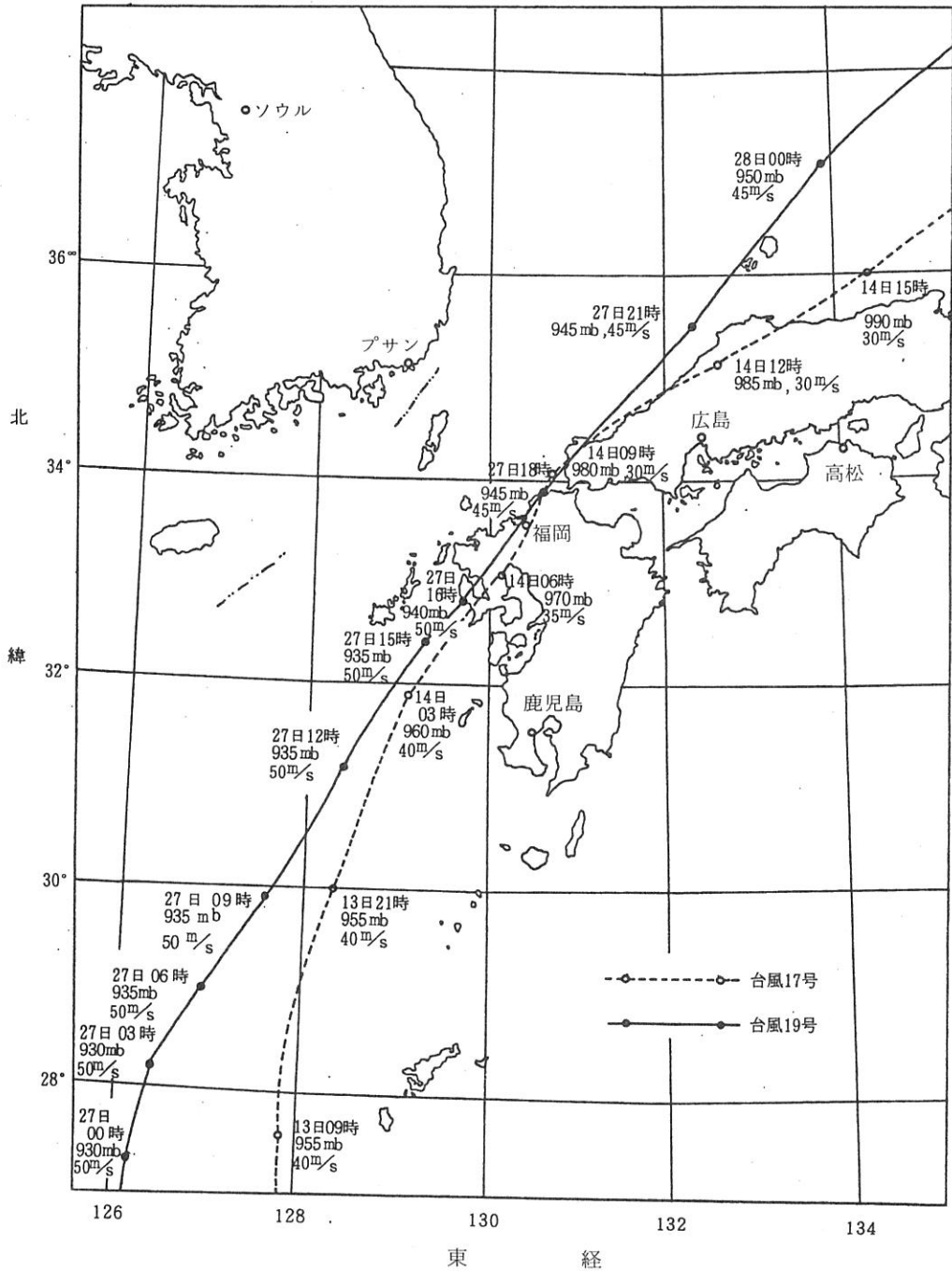


図-1 台風17号および台風19号の経路図
(風速は最大瞬間風速を示す)

また大分市では27日17時14分に38.3 m/s, 日田市では17時58分に44.4 m/s の最大瞬間風速を記録した。大分市, 日田市ともいずれも観測開始以来の記録を更新し, 観測史上最大の瞬間風速となった。

図-1 に台風17・19号の経路を, 表-1 に気象官署極値表を示した。

表-1 気象官署極値表

台風名	官署名	最大風速 (m/s)		日最大瞬間風速 (m/s)		
		観測値	起 時	観測値	起 時	従来の極値
17号	大 分	SSW 14.7	14日 9時40分	SSE 28.8	14日 7時47分	33.9
	日 田	S 15.0	14日 7時30分	S 34.3	14日 7時26分	30.1
19号	大 分	SSW 18.3	27日18時50分	SSW 38.3	27日17時14分	33.9
	日 田	SSW 16.7	27日17時50分	SSW 44.4	27日17時58分	34.3

2. 森林被害の概況

台風19号は, きわめて大型で強い勢力をもった台風であったため, 九州地方をはじめ, 中国及び東北地方にまで及ぶ広い範囲で大きな暴風害をもたらした。全国における森林被害は約6万ha, 被害金額は1,200億円に達するという甚大さであった。

特に本県における被害は激甚をきわめ, 被害面積, 被害額とも全国一という災禍をこうむった。表-2 に本県における森林被害の全体的な概況を, 表-3 に各振興局ごとの被害状況を示した。

表-2 台風19号による大分県の森林被害状況 (民有林)

	箇所・面積	被害額 (百万円)
林地(崩壊, 地滑り)	463箇所	11,888
造林地	22,019 ha	49,602
苗畑	15箇所	45
林道	75 "	28
椎茸施設, 楡木	790 "	1,777
その他施設	15 "	5
計		64,018

* 台風17号の造林地被害面積 466 ha
(林政課による)

激甚とされた森林被害は, 県北西部に集中して発生し, 県の南部一帯では, 被害は最少にまぬがれた。表-3 にみられるとおり, 県の北西部を構成する日田, 玖珠九重及び中津下毛の三振興局管内においては, 被害率がいずれも20%を超えるという災禍にあい, この三振興局における18,957haという被害面積は県下全被害面積22,019haの86.1%にあたるという集中ぶりであった。宇佐両院振興局管内における被害がこれらに次ぐ被害状況を呈した。全県下における被害率は, 人工林面積の10.1%にあっている。

図-2 に, 被害の甚大であった県西部及び北西部一帯の被害図を掲げた。被害率30%以上について捨あげたもので, 国有林は除いてある。

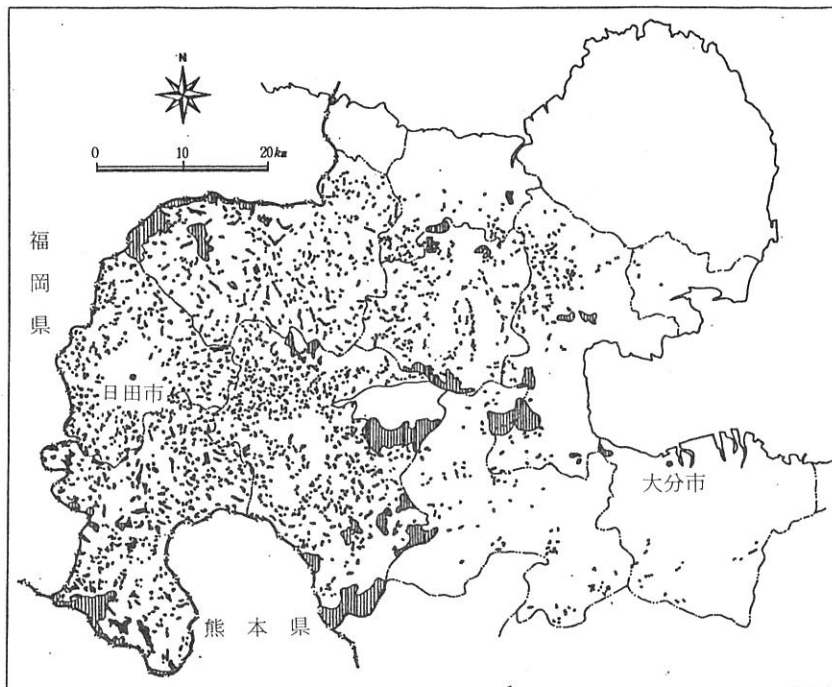


図-2 台風19号による大分県北西部の被害状況

 被害地（被害率30%以上）
  国有林

表-3 台風19号による振興局別の造林地被害

地方 振興局名	被害面積 (A)	被害金額 (B)	人工林面積 (C)	被害率 $C/A \times 100$
	(ha)	(百万円)	(ha)	(%)
西高	161	191	5,611	2.9
東国東	31	74	8,231	0.4
別杵速見	371	680	9,918	3.7
大分	654	1,122	19,787	3.3
臼津関	—	—	6,317	0.0
佐伯南部	156	167	36,193	0.4
大野	431	493	20,227	2.1
竹田直入	201	273	14,486	1.4
玖珠九重	5,252	11,979	22,332	23.5
日田	8,595	20,610	42,219	20.3
中津下毛	5,110	11,886	22,572	22.6
宇佐両院	1,057	2,127	10,988	9.6
計	22,019	49,602	218,885	10.1

1991年11月12日現在（確定）

Ⅲ 調査及び方法

1. 調査地

暴風による森林被害の激しかった日田市郡及び玖珠郡より次の5地区を調査対象地として選出した。

- 1) 上津江地区: 日田郡上津江村白草の南側山地一帯で対象地は東西 4.5 km × 南北 3.0 km, 約 1,350 ha とした。
- 2) 日田地区: 日田市南西部堂尾地区の南側山地一帯で東西 5.0 km × 南北 3.0 km, 約 1,380 ha を対象とした。
- 3) 天瀬地区: 日田郡天瀬町の本城, 五馬市一帯の高原状台地を対象とした。東西 4.0 km × 南北 3.0 km, 面積にして約 1,200 ha である。
- 4) 玖珠地区: 玖珠郡玖珠町の西部一帯の山地を対象とした。東西 4.0 km × 南北 3.0 km で面積約 1,140 ha となっている。
- 5) 九重地区: 玖珠郡九重町の東北部にあたる火山山地で東西 4.0 km × 南北 3.0 km, 面積にして約 1,200 ha を対象とした。

図-3 に対象地区の位置を示した。

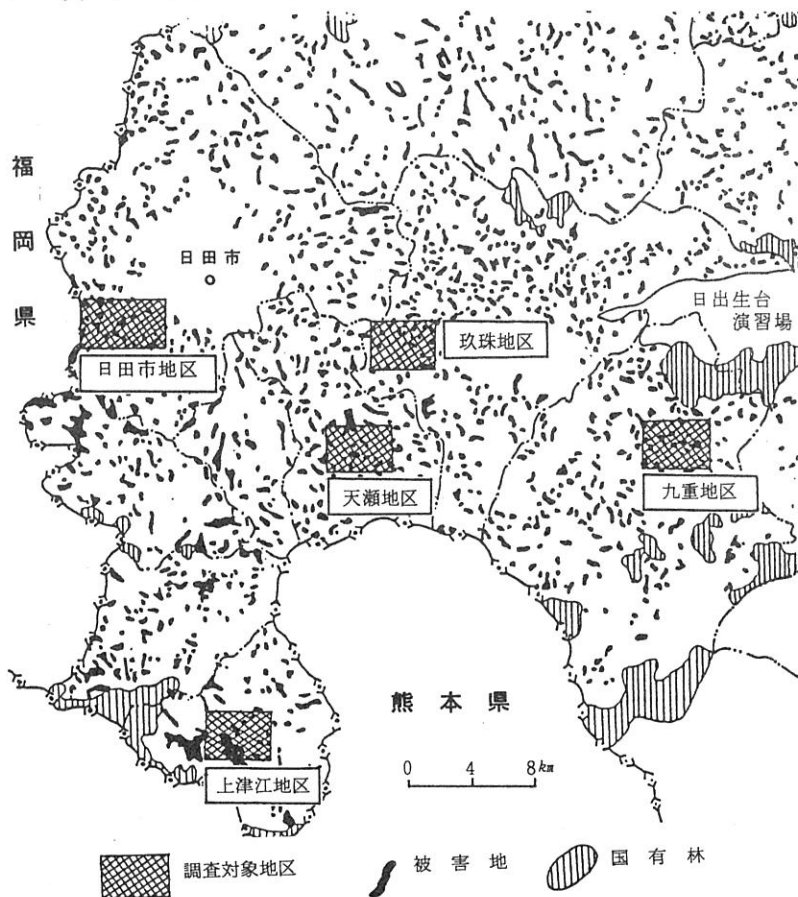


図-3 調査対象地区位置図

2. 対象地区の地形的特徴

それぞれの地区ごとに2万5千分の1地形図を用いて、1 km（図面上では4 cm）のメッシュを切り、各メッシュを更に4等分し（500 m × 500 m）、この再等分されたメッシュごとに起伏量、谷密度及び平均傾斜度を計測し、それぞれの計測値を用いて1 km²あたりの値を求めた。計測結果を表-4に示す。これより、各地区の地形的特徴を記すと次のとおりとなる。地形形測は（9）に準拠して行った。

表-4 各調査地区の地形的特徴

項目	地 区				
	上津江	日 田	天 瀬	玖 珠	九 重
標 高 (m)*	400～910	80～470	270～600	270～670	450～760
起伏量 (m)**	179 ± 61	119 ± 39	71 ± 36	122 ± 42	110 ± 33
谷密度 (本)**	60 ± 14	40 ± 12	32 ± 11	57 ± 12	46 ± 32
傾斜角 (度)**	28 ± 6	18 ± 5	12 ± 6	22 ± 6	20 ± 61

*：範囲 **：1 km²あたりの計測値

- 1) 上津江地区—— 起伏量大, 谷密度大, 傾斜角大 (大起伏山地)
- 2) 日 田 地 区—— 起伏量中, 谷密度中, 傾斜角中 (中起伏山地)
- 3) 天 瀬 地 区—— 起伏量小, 谷密度小, 傾斜角小 (小起伏高原伏山地)
- 4) 玖 珠 地 区—— 起伏量中, 谷密度大, 傾斜角中 (中～小起伏山地)
- 5) 九 重 地 区—— 起伏量中, 谷密度中, 傾斜角中 (中起伏火山性山地)

3. 調査の方法

各対象地区の森林基本図（5千分の1）を用いて、250 m（図面上で5 cm）の方形メッシュを切り、メッシュの中央部を調査対象地とした。図面上にて設定された調査対象地は、5地区で計1,004箇所であったが、現実に調査が実行されたのは、その61.5%にあたる618箇所であった。表-5に地区ごとの調査対象数と調査実行数を示した。

表-5 地区ごとの調査箇所数

地 区	調 査 対象箇所(A)	調 査 実行箇所(B)	進 捗 率 $B/A \times 100$
上津江	216	123 (116)*	56.9 (%)
日 田	221	143 (140)	64.7
天 瀬	192	138 (123)	71.8
玖 珠	183	110 (108)	60.1
九 重	192	104 (102)	54.1
計	1,002	618 (589)	61.5

* () 内数字は、要因解析に用いた調査箇所数

収集された618箇所の調査資料のなかで、対象となった地点が原野、竹林、農耕地、人工改変地等で解析資料として使用できない調査地が29箇所ほどあったため、これは資料より除外した。従って実際の解析に用いた調査地の資料は589箇所のデータとなった。

表-6に、地区別の林種ごとの調査箇所の内訳を示した。

表-6 地区別の林種別調査地数

林種	地			区		計
	上津江	日田	天瀬	玖珠	九重	
スギ(ヤブクグリ, アヤスギ)	67	21	67	45	62	262
スギ(上記品種を除く)	30	66	16	10	8	130
ヒノキ	12	39	21	18	3	93
クヌギ等雑木類	7	14	19	35	29	104
原野, 竹林など(データより除外)	7	3	15	2	2	29
計	123	143	138	110	104	618

全調査箇所618のうちスギ林が392箇所と63.2%を占め、とくにヤブクグリ、アヤスギのスギ林の箇所が多い。調査地区におけるスギ林の分布の卓越ぶりがうかがわれる。

調査は、調査地点中央を中心として、半径20mの円形プロット(面積約1,200㎡)について、その円内における状況について各種項目の調査を実施した。調査項目は、被害状況(被害形態、被害率<本数割合>)、成長量(胸高直径、樹高、枝下高)、樹種、品種、林齢、立木間隔、間伐状況及び立地状況(位置、標高、傾斜、斜面方位、土壌の深淺)である。このほか被害木の倒伏方向、林縁木の被害、根返り木の根系状況等についても、付帯調査として適宜実施した。

4. 解析方法

被害率(Y)を目的変数とし、林分構成因子や立地因子を説明変数として、多変量解析(数量化I類)によった。解析は現代数学社のプログラム・ソフト“HALBAU”を用いて実施した。

説明変数(アイテム)は、林況要因から樹種・品種、胸高直径、林分疎密度(収量比数による区分)を、施業要因として間伐履歴、地況要因として、斜面位置、斜面方位、斜面横断型、地形開閉性A・B及び土壌深度の10アイテムを取りあげた。各アイテムごとに定性的な類別によりカテゴリー区分を行った。以下各アイテムとカテゴリー区分について記す。

1) 樹種・品種

スギ、ヒノキその他樹種(クヌギ、アカマツ等)に大別し、スギは、被害形態が類似するヤブクグリとアヤスギの二品種を1カテゴリーとし、これ以外のスギ品種(実生を含む)をまとめて1カテゴリーとした。従ってここでは、スギ1、スギ2、ヒノキその他雑木類という4つのカテゴリーに区分された。

2) 胸高直径

14.9cm以下、15.0~26.9cm、27.0cm以上に区分したが解析II以降は、14.9cm以下を除き再区分した。

3) 林分疎密度

スギ(18)、ヒノキ(19)及び広葉樹(クヌギ・ナラ類)(20)の各林分密度管理図説明書による算出式を用い各林分ごとに収量比数(Ry)を求め、この値の大小により林分の疎密度を指標した。疎(Ry 0.64以下)、適(0.65~0.84)、密(0.85以上)の三つのカテゴリーに区分した。

4) 間伐履歴

調査地内にある除間伐株の状況から最新時の伐採時を推定し、間伐2年以内、3~5年前及び6年以上前とした。除間伐の全く実施されていない林分は、6年以上前に含めた。

5) 地形

解析-Iでは地形的位置から尾根・台地、山腹(凸)、山腹(平衡、凹)、谷筋、山麓と5区分したが解析-II以降では斜面位置と斜面横断形を組み合わせた区分を行った。まず位置関係から、尾根部、中腹部及び山腹下部に区分し、次に斜面横断形(26)を5千分の1地形図で算出し、この計測値を利用して、再区分した。斜面横断形は、次式によって表わされ、この値が十のときは凸、0のときは平衡、一のときは凹を意味する。

$$\text{斜面横断形}(m) : (0 - X_1) + (0 - X_2) \dots\dots\dots (1)$$

- (1) 式において 0 : 調査地点中央の標高
- X₁ : 調査地点中央を通る最大傾斜線に直交する直線上で、計測地点から水平距離で30m右方地点の標高
- X₂ : 同じく30m左方地点の標高

(1)式によって求められた計測値を斜面上の位置関係を組み合わせ次の6つのカテゴリーに区分した。

斜面上の位置	斜面横断形	地形カテゴリー名
尾根部	0~17m	①緩斜尾根、台地
	18m以上	②大凸地
中 腹	-10m~10m	③平衡斜面
	-11m~-18m	④凹型斜面
山腹下部	-18m以下	⑤谷筋、大凹地
	-10m以下	⑥山 麓

6) 斜面横断形

(1)式で求めた計測値によって、凸地(10m以上)、平衡(9m~-9m)、凹地(-10m~-18m)、大凹地(-18m以下)の4つのカテゴリーに区分した。

7) 斜面方位

調査地の最も優占する斜面の方位について、N、NE、E、SE、S、SW、W、NWの八方位に区分した。また尾根部や台状面など特定の傾斜方向をもたない場所については、全方位というカテゴリーを設けた。従って斜面方位は計9カテゴリーに区分された。

8) 地形開閉性A・B

今回の風倒木被害は、後述するようにその倒伏方向から判断して、S~SE~Wの方向からの侵入が卓越していたと考えられる。従って、その地点の南~西側部における保護山体の有無とその距離より二つのアイテムを作成し、それぞれ4つのカテゴリーに区分した。

①地形開閉性A

調査地点の南側及び西側部100m以内において、仰角3°で見通した時、山地にさえぎら

れた場合を閉, そうでない場合を開とし, 南側, 西側を組み合わせる4つのカテゴリーに区分した.

- CC : 南, 西側とも保護
- CO : 南側保護, 西側露出
- OC : 西側保護, 南側露出
- OO : 南, 西側とも露出

②地形開閉性B

調査地中央より仰角3°で見通したとき100~1,000mの範囲における南側, 西側部における地形の開閉状況. アイテムも①と同様4つに区分される. ①の地形開閉性Aは, 微地形の影響を知るためであり, 地形開閉性Bは, 中規模の地形の影響を見るためのアイテムである.

9) 土壌深さ

調査地の根返り跡の状況や, 付近の露出断面より, 土壌層(B層まで)の厚さを推定し浅(50cm以内), 中(50~100cm)及び深(100cm以上)の三カテゴリーに区分した.

IV 調査結果

1. 風倒木の倒伏方向

被害率30%以上の調査林分における風倒木の倒伏方向を調べた. 表-7は各調査地区ごとの倒伏方向を示したもので, 図-4~8は, 調査地点と倒伏方向を併せて示したものである.

表-7 地区別の風倒木の倒伏方向(被害率30%以上)

倒伏方向	上津江 箇所(%)	日田 箇所(%)	天瀬 箇所(%)	玖珠 箇所(%)	九重 箇所(%)	全体 箇所(%)
N	10 (21.3)	17 (17.9)	29 (34.3)	13 (17.3)	16 (28.5)	85 (23.7)
NE	9 (19.2)	27 (28.5)	22 (25.9)	18 (24.1)	22 (39.4)	98 (27.3)
E	4 (8.5)	10 (10.5)	5 (5.9)	14 (18.7)	10 (17.8)	43 (12.0)
SE	5 (10.6)	4 (4.2)	1 (1.1)	6 (8.0)	1 (1.8)	17 (4.7)
S	3 (6.4)	1 (1.1)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (1.1)
SW	6 (12.7)	4 (4.2)	2 (2.3)	3 (4.0)	0 (0.0)	15 (4.2)
W	3 (6.4)	4 (4.2)	2 (2.3)	1 (1.3)	1 (1.8)	11 (3.1)
NW	4 (8.5)	24 (25.2)	16 (18.8)	16 (21.3)	6 (10.7)	66 (18.6)
*	3 (6.4)	4 (4.2)	8 (9.4)	4 (5.3)	0 (0.0)	19 (5.3)
計	47 (100.0)	95 (100.0)	85 (100.0)	75 (100.0)	56 (100.0)	358(100.0)

注) *は方向性なし. 二方向の倒伏地は, 両方ともカウントしてある.

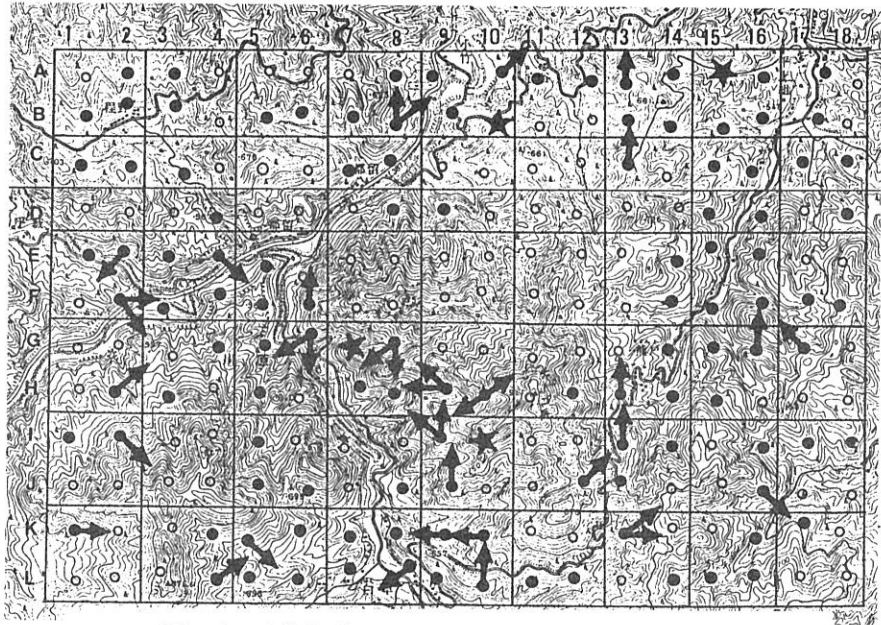


図-4 上津江地区における調査状況と倒木方向

○ 調査計画地 ● 調査実施地 ➔ 倒木方向 ★ 倒木方向性なし

「この地図は、建設省国土地理院長の承認を得て、同院発行の2.5万分の1地形図を複製したものである。(承認番号)平4九複, 第212号」

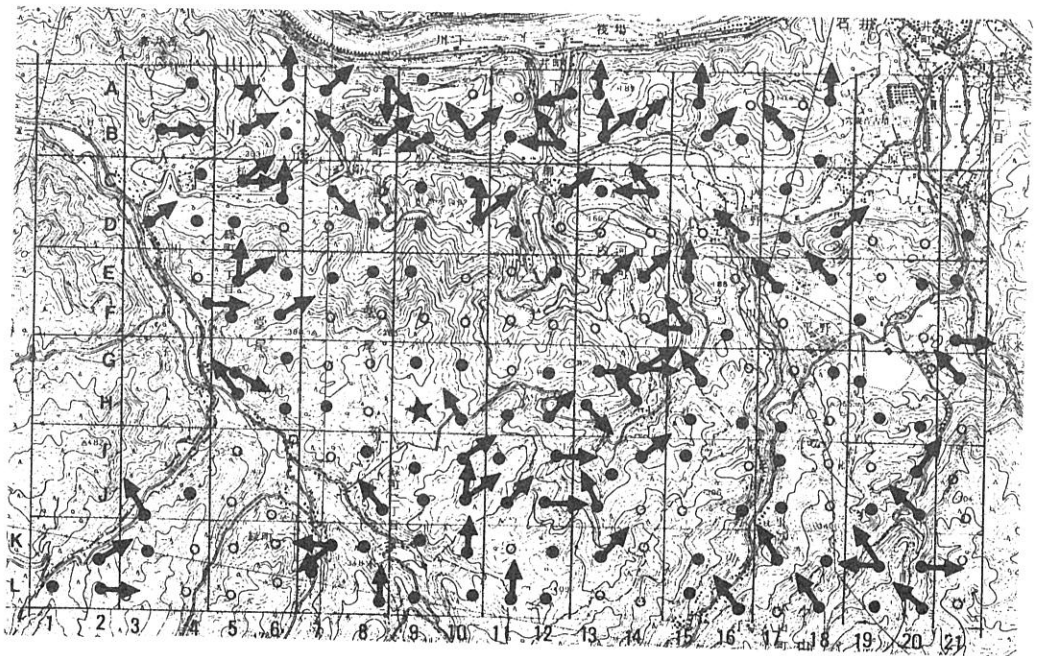


図-5 日田地区における調査状況と倒木方向

○ 調査計画地 ● 調査実施地 ➔ 倒木方向 ★ 倒木方向性なし

「この地図は、建設省国土地理院長の承認を得て、同院発行の2.5万分の1地形図を複製したものである。(承認番号)平4九複, 第212号」

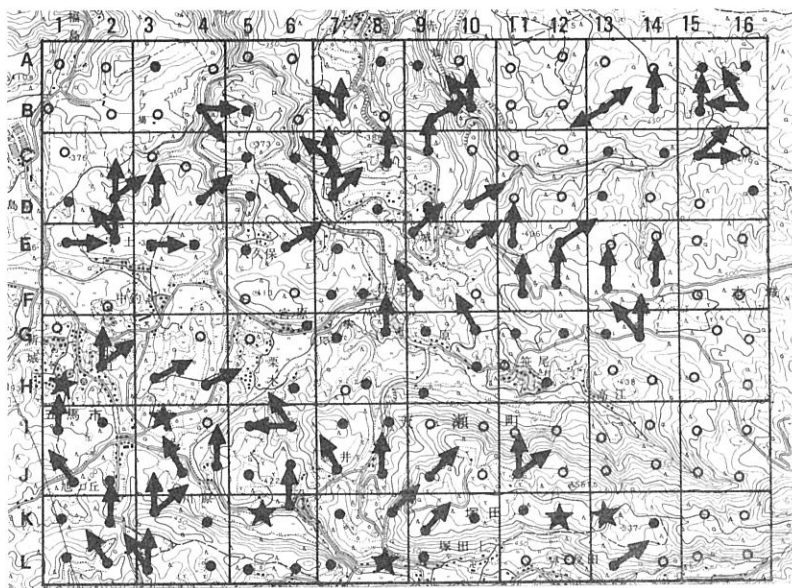


図-6 天瀬地区における調査状況と倒木方向

○ 調査計画地 ● 調査実施地 ➡ 倒木方向 ★ 倒木方向性なし

「この地図は、建設省国土地理院長の承認を得て、同院発行の2.5万分の1地形図を複製したものである。(承認番号)平4九複,第212号」

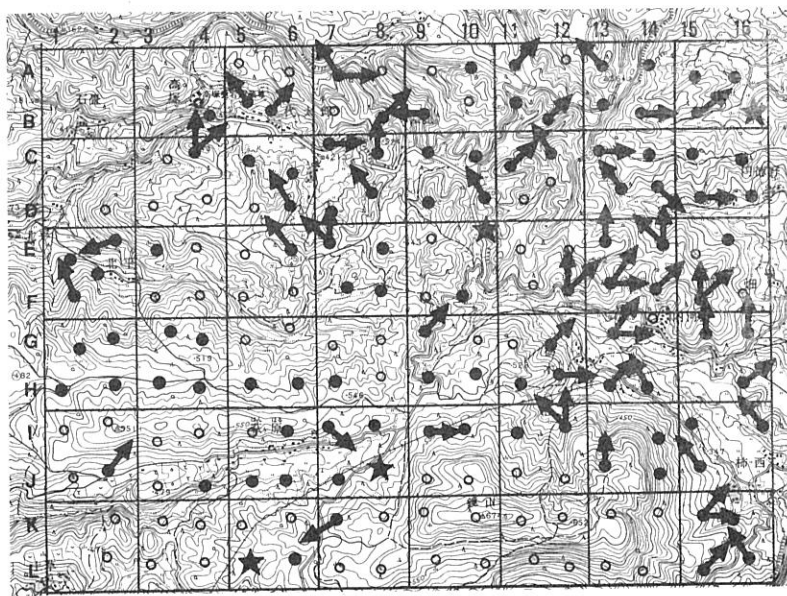


図-7 玖珠地区における調査状況と倒木方向

○ 調査計画地 ● 調査実施地 ➡ 倒木方向 ★ 倒木方向性なし

「この地図は、建設省国土地理院長の承認を得て、同院発行の2.5万分の1地形図を複製したものである。(承認番号)平4九複,第212号」

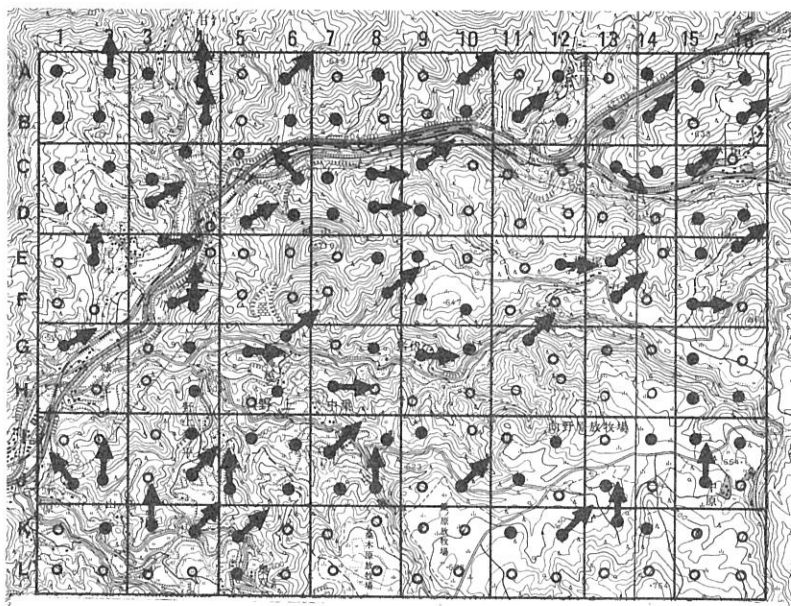


図-8 九重地区における調査状況と倒木方向

○ 調査計画地 ● 調査実施地 ➡ 倒木方向 ★ 倒木方向性なし

「この地図は、建設省国土地理院長の承認を得て、同院発行の2.5万分の1地形図を複製したものである。(承認番号)平4九複,第212号」

地区により若干の差異は認められるが、一般的な傾向としてNE, N, NWの方向に集中度が高く、次いでEの方向が多い。この4方向への集中度は、全体の81.6%と圧倒的であり、このことより風は南西方向を中心に、南、西側部より侵入したことが明瞭にうかがわれる。しかしながら、風の吹き込みは、必ずしも一様ではなく地区による差異が認められる。山岳地形の上津江では、起伏の入り組んだ大きな地形の複雑さが起因してか、他地区では少ないSE, SW方向への倒伏が目立つとともに、全体的に倒伏が拡散しており、風がかなり複雑な吹き込みをしたことがうかがわれる。日田、玖珠地区では、NW方向への倒伏が多い。天瀬地区では、N及びNE方向への倒伏が目立って多いが、高原状の台地を南～南西の風が吹きおろしたものと類推される。九重地区でも、同様の傾向がうかがわれるが、ここでは、南からの吹きおろしに加えて、西側玖珠盆地からの西風が野上川の本支流沿いに収束し、吹き抜けていったものとみなされる。倒伏方向の状態より、風は、山体や高原を大きくつつみこみながら吹きおろして通過したものと、大きな谷筋に吹き込み、これが谷のせまらにつれて収束し通り抜けていった二つの大きな風に分けられるようである。

2. 被害の形態

スギは品種間で被害形態にかなり明確な差が認められ、ヒノキでは根返りが多く認められた。スギにおける被害形態は、根返りタイプと折損タイプに大別される。ヤブググリ、アヤスギは、根返りタイプの代表的な品種でこのタイプにはクマント、アオスギ等が含まれる。この根返りタイプのものは、幹曲りや幹の傾きといった被害形態を示す場合が多い。

表-8 樹種・品種別の被害形態

樹種・品種	調査 地数	無被 害数	平均被 害率	被害形態(%)		
				折れ	傾・曲	根返り
ヤブクグリ(50年未満)	158	16	50.7	2.2	42.5	55.3
ヤブクグリ(50年以上)	41	1	56.1	10.0	30.0	60.0
ア ヤ	63	10	47.2	6.0	43.0	51.0
ウラセバル	52	6	57.3	47.0	28.0	25.0
ヒ ノ デ	26	8	41.6	36.0	38.0	26.0
ク マ ント	12	3	50.5	14.0	9.0	77.0
リュウノヒゲ	11	9	7.5	33.0	0.0	67.0
イ ワ オ	10	1	60.0	43.0	24.0	33.0
ア オ	5	0	65.6	3.0	43.0	54.0
クモトオシ	5	2	15.0	34.0	16.0	50.0
実 生	5	1	60.0	28.0	54.0	18.0
ヤ イ チ	2	0	55.0	91.0	6.0	3.0
ク ラ キ	1	0	10.0	30.0	30.0	40.0
ジャカイン	1	1	0.0	0.0	0.0	0.0
ヒ ノ キ	93	12	46.1	11.5	36.3	52.2
ク ヌ ギ	68	20	12.7	88.6	2.9	8.5
アカマツ+雑木	16	1	37.3	62.6	25.4	12.0
その他雑木林	20	3	15.3	70.5	12.5	17.0

* 平均被害率は、被害林のみを対象

折損タイプはウラセバルを代表として、ヒノデ、イワオ、クモトオシ、ヤイチなどの品種があげられる。折損タイプは早生型といわれる品種に多くみられた。根返りタイプの典型であるヤブクグリでも、50年生以上の高齢林になると折損が増加してくることが認められ被害形態も、林齢にともなう変化が品種によっては生じているようである。

スギ品種のうちで、上津江村を中心に植栽されているリュウノヒゲ(別名ササンノスギ)は、11事例中無被害林が9林分もあり、また被害林における被害率も7.5%と軽微であったことから、耐風性のある品種としてその可能性が注目される。表-8にスギ品種も含め樹種別の被害形態を示した。クモトオシは、収集資料のかたよりのためか平均被害率が小さいが現実にはイワオ、ヒノデとともに大きい。

ヒノキの被害形態は81林分での結果で見れば、根返り52.2%、折れ11.5%、残り36.3%が幹曲りということで、タイプとしては根返り型に属するようである。

クヌギ林は、68林分中、20林分が無被害であり、残り48林分の平均被害率は12.7%と少なく、クヌギ林における耐風性の強さが認められる。クヌギ林における被害の形態は、大部分が幹の折損であり、幹曲り、根返りは非常に少ない。幹折れのほかに枝の折損もかなり認められた。

アカマツ林は、純林は少なく、他の雑木類を混じている場合が多いが、その平均被害率は37.3%とスギ、ヒノキに比すれば、若干低い被害率であった。被害形態は折損タイプといえるようである。

シイ、カシ、その他を含む雑木林では、平均被害率15.3%と低かった。被害形態は折損

が70.5%と優先していたが、基岩の浅いところでは、根返りの被害が多くみられた。

3. 林縁木の被害状況

表-9 林縁木の被害状況
(被害率70%以上)

地区	件数	被害状況		
		微～なし	中	大
上津江	17	9	7	1
日田	37	27	2	8
天瀬	30	26	3	1
玖珠	30	18	2	4
九重	24	14	4	3
計	129	94	18	17
比計	100%	73%	14%	13%

林縁木における被害が軽少である場合が多く認められた。表-9は、被害率70%以上の調査地における林縁木の被害状況について示したものである。表にみられるとおり、被害率70%以上という激害林は、5地区で計129林分が計上されたが、林縁部の被害が軽微にとどまった林分は、その73%にあたる94ヶ所にのぼり、林縁木が今回の台風に対して、強い耐性を示していることが認められた。

林縁部の被害が林内同様激しかったのは、その13%にあたる17林分にとどまっていた。

4. 数量化I類による要因解析(解析-I)

林種、斜面方位等、林況、地況より8要因36カテゴリーに配列区分し、被害率を目的変数として、数量化I類による風倒木被害要因解析を行った。要因についての総括を表-10に、カテゴリースコアを表-11に示した。表-10にみられるように重相関係数は、日田地区で0.5802と最も低く、玖珠地区で0.7950と最も高い値を示した。5地区の平均は、0.6758で解明度は、十分とはいえなかった。地区別の平均被害率は、上津江で24.3%で最も低かったが、日田、玖珠、天瀬地区はいずれも44%と近似していた。九重地区はその中間の31.4%で、県で確定している被害率にくらべ、全体的にかなり高い値となっていることがうかがわれた。

表-10 偏相関係数と検定結果一覧表 (解析-I)

アイテム	地区				
	上津江	日田	天瀬	玖珠	九重
X1: 林種	0.2046 *	0.2208 *	0.3779 **	0.3957 **	0.2490 *
X2: 胸高直径	0.1974 *	0.2664 **	0.3118 **	0.2552 **	0.2770 **
X3: 林分疎密度	0.2005 *	0.2011 *	0.0685	0.1478	0.1146
X4: 地形	0.1977	0.2282 *	0.3468 **	0.2663 **	0.1744
X5: 斜面方位	0.3076 **	0.3749 **	0.3736 **	0.5378 **	0.4398 **
X6: 斜面横断型	0.2784 **	0.1403	0.1463	0.3603 **	0.1105
X7: 地形開閉性A	0.1482	0.2717 **	0.1454	0.1772	0.3734 **
X8: 地形開閉性B	0.3652 **	0.3017 **	0.2009 *	0.1693	0.2031 *
データ数	116	140	123	108	102
重相関係数 (寄与率)	0.6342 (0.4022)	0.5802 (0.3366)	0.6605 (0.4363)	0.7950 (0.6321)	0.7094 (0.5032)
定数項(%)	24.3	44.4	44.1	44.4	31.4
平均予測誤差(%)	24.0	27.8	26.4	21.3	22.6

** : 1%水準で有意 * : 5%水準で有意

表-11 風害要因解析(解析-I)

アイテム	カテゴリー	地 区					
		上津江	日 田	天 瀬	玖 珠	九 重	
林	X1: 林 種	1) スギ(ヤブ, アヤ)	2.8 (28.0)	8.3 (53.9)	7.7 (53.3)	13.4 (62.7)	5.7 (40.8)
		2) スギ(その他)	-7.1 (12.8)	1.9 (47.9)	7.5 (50.0)	6.1 (54.0)	-9.0 (32.5)
		3) ヒ ノ キ	8.3 (41.6)	-0.5 (39.8)	-5.1 (32.1)	-4.0 (46.3)	-4.7 (33.3)
		4) クスギ等 雑	-10.8 (8.1)	-20.3(26.7)	-27.8(20.0)	-16.9(17.1)	-9.2 (11.0)
況	X2: 胸高直径	1) 14.9 cm 以下	-9.8 (9.4)	-16.0(25.2)	-10.3(26.1)	-5.4 (21.3)	-10.4(35.3)
		2) 15.0 ~ 26.9	0.3 (24.6)	2.1 (47.7)	-0.6 (45.4)	7.4 (60.8)	2.8 (38.7)
		3) 27.0 cm~	6.3 (34.1)	10.7 (54.2)	17.7 (67.8)	-5.0 (52.3)	17.9 (60.0)
況	X3: 林 疎 密 度	1) 疎:(~0.64)	5.2 (28.6)	-1.1 (34.7)	-3.1 (22.3)	-5.0 (15.8)	-2.0 (16.8)
		2) 適:(0.65~0.84)	-5.2 (20.7)	-7.2 (36.4)	-1.6 (42.7)	-3.5 (41.1)	4.9 (41.6)
		3) 密:(0.85~)	4.8 (26.7)	5.6 (53.4)	1.9 (50.8)	5.1 (62.8)	-1.0 (42.5)
地	X4: 地 形	1) 尾 根	-8.4 (16.3)	11.6 (42.4)	11.5 (51.4)	-3.8 (50.6)	-4.1 (34.0)
		2) 山 腹 (凸)	-0.04(24.1)	2.3 (46.4)	-13.2(29.8)	4.7 (50.7)	3.4 (35.3)
		3) 山 腹 (凹)	-0.2 (29.8)	-14.3(37.6)	0.8 (51.8)	-6.8 (36.5)	1.1 (34.5)
		4) 谷	7.9 (28.2)	0.8 (56.6)	1.8 (48.7)	8.3 (44.6)	0.2 (26.1)
		5) 山麓, 低地	-3.7 (14.5)	-7.4 (34.7)	-8.5 (38.4)	-6.8 (27.8)	-8.1 (15.7)
地	X5: 斜 面 方位	1) 全 方 位	0.5 (10.7)	0.8 (31.0)	12.6 (63.0)	-0.6 (51.0)	5.1 (31.5)
		2) N	-3.9 (14.3)	-12.0(31.3)	-16.2(32.8)	-20.7(18.0)	-5.9 (30.2)
		3) NE	-5.2 (15.2)	-5.0 (41.5)	-15.6(34.2)	-2.4 (43.3)	-15.4(11.1)
		4) E	-11.8 (14.1)	-18.1(35.9)	-9.4 (34.3)	-16.8(32.5)	-10.0(12.5)
		5) SE	-7.6 (16.9)	-7.1 (45.5)	18.9 (40.0)	5.4 (53.7)	-7.5 (18.3)
		6) S	3.3 (32.9)	-4.4 (47.6)	7.6 (50.4)	23.1 (69.4)	-4.4 (33.7)
		7) SW	15.0 (43.5)	22.2 (55.5)	1.1 (45.7)	-7.3 (39.6)	-1.9 (29.0)
		8) W	8.9 (39.6)	-1.3 (47.0)	6.8 (56.8)	9.1 (56.6)	7.7 (44.3)
		9) NW	-5.4 (17.5)	18.2 (57.5)	-2.7 (38.9)	-1.2 (37.3)	26.6 (60.0)
況	X6: 横 断 型	1) 大 凹	-3.2 (25.3)	7.2 (46.6)	11.4 (46.2)	-23.1(28.5)	7.7 (33.0)
		2) 凹	16.1 (37.5)	8.2 (42.9)	5.3 (53.1)	-1.2 (40.0)	-0.3 (26.0)
		3) 平 衡	2.9 (26.1)	-3.3 (43.3)	-0.3 (41.3)	-0.8 (34.0)	-1.2 (29.3)
		4) 凸	-5.6 (16.9)	-2.1 (46.0)	-5.9 (43.0)	7.4 (61.5)	-0.4 (37.2)
況	X7: 地 形 開閉性A	1) CC: 南西閉	-3.2 (17.3)	10.7 (47.8)	0.19(34.6)	-1.3 (26.7)	-17.3(16.4)
		2) CO: 西側開	-0.8 (27.7)	-8.3 (42.1)	3.5 (42.0)	3.6 (39.8)	3.6 (42.2)
		3) OC: 南側開	7.4 (19.5)	12.0 (51.4)	-9.1 (36.3)	-8.7 (46.8)	-4.2 (18.1)
		4) OO: 南西閉	-1.2 (36.0)	-6.5 (40.0)	1.3 (53.7)	1.4 (58.8)	9.5 (39.5)
況	X8: 地 形 開閉性B	1) CC: 南西閉	-2.3 (18.5)	-6.3 (41.3)	-12.2(23.8)	-1.3 (47.3)	9.0 (32.2)
		2) CO: 西側開	6.6 (37.1)	4.4 (43.1)	4.1 (46.9)	-2.8 (34.3)	-4.2 (30.5)
		3) OC: 南側開	-18.8(9.1)	18.9 (62.0)	5.5 (41.2)	8.0 (55.2)	1.4 (33.0)
		4) OO: 南西閉	16.3 (63.1)	20.7 (61.3)	-1.0 (49.5)	0.3 (49.2)	-2.7 (30.7)

() はカテゴリー別被害率

全体的に、重相関係数が低かったためか、地区ごとにおけるそれぞれの要因の偏相関係数は、ごく一部を除いて、値は小さく、被害との関連は、それほど密接でないことが指摘された。しかしながら、斜面方位をはじめとして、林種、胸高直径の各要因は、各地区に共通して、値は小さいながら、有意性を示し、被害との関連のあることを示している。他の要因は、地区によって差異が認められ、全体的に共通の傾向を示していない。

カテゴリ別に検討した。正のスコアは、被害あり又は被害促進側に作用し、負のスコアは被害なし又は被害抑制側に作用する。林種要因において、スギ、ヒノキを除くクヌギ等「その他雑木類」は、各地区に共通して高い負のスコアを示し、このカテゴリにおいては、被害が明らかに少なかったことを示している。胸高直径要因の「14.9cm以下」のカテゴリも同様の傾向を示し、被害が最少であったことが抽出された。

また斜面方位要因において、N、NE及びEの三方向については、いずれも負のスコアを示し、これら方位においては、各地区とも被害の少なかったことが指摘された。この他のカテゴリにおいては、被害の発生、抑制を強く規制するものがかなり認められたが、各地区に共通して同じ傾向を示すものは見出しえなかった。

5. 数量化Ⅰ類による要因解析（解析ⅠⅡ及びⅢ）

解析Ⅰにおいて、各地区に共通して負のスコアを示した樹種要因の「その他雑木類」及び胸高直径要因の「14.9cm以下」の二つのカテゴリは、明らかに被害が少なかったということが把握されたため、これらのカテゴリをもつ調査地は、ここでの解析より除外した。また斜面方位N、NE及びEの三方向は、いずれも負のスコアで同一の傾向を持つカテゴリとみなされたので、一つのカテゴリとして統一した。斜面横断型は、偏相関係数も全体に小さく、それ自体が地形構成要素としての性格が強いので、斜面位置要因に組み入れ一つに統一した。また胸高直径要因も間伐材（15.0～21.9cm）、中目材（22.0～29.9cm）大径材（30cm以上）とカテゴリを再編成、新しく土壌深を要因として追加した。これら一連の処理により、157点のデータが除かれデータ数は計432点となった。

また、要因数は8から9に増えたがカテゴリ数は解析Ⅰと同じ36となった。

この再編成された要因配列を用いて、二つの場合について解析を行った。

1) 解析ⅠⅡ

上述の9要因36カテゴリに配列区分されたデータを用い、被害率を目的変数として数量化工類による解析を地区ごとに実施した。被害の少なかったクヌギ林や胸高直径の小さい調査地を除いたため、解析資料数は計432となった。また平均被害率は38.1%から45.3%に増加し、特に玖珠地区では44.0%が60.6%と大巾に増加した。

解析結果、風害現象の解明度を示す重相関係数は、九重地区で0.7776で最も高く、天瀬地区で0.5969と最も低かった。全体の平均は0.6796で解析Ⅰにおける0.6758とほとんど変わらず、解明度は十分とはいえなかった。

2) 解析ⅠⅢ

解析Ⅰ及びⅡと解析を繰り返したが、重相関係数は、いずれも0.67台で、一般的傾向は、把握しうるものの、風害現象を解明するには、十分ではなかった。そのためここでは、被害の現象を更に判然とさせるため、解析資料の作為抽出を試み、再度解析を試みることにした。被害現象の判然化をはかるためには、解析資料の対比化を顕著にすることによって可能ではないかと考えられたため、激害林分と無被害及び軽微被害林を対象資料として

取り出し解析することにした。激害林分は、被害率80%以上（但し九重地区は該当資料が少ないため70%以上とした）とし、無又は軽被害林は、被害率20%以下のものを抽出して解析に供した。この作為抽出によって選出された解析資料は計302となった。地区別では上津江地区で76と最も多く、九重地区で43と最も少なかった。平均で60.4ヶ所である。玖珠地区では、疎密度要因で、九重地区では間伐要因において各カテゴリーを充足する資料の欠陥が生じたため、これらの地区では、その要因は除いて解析を実行した。

解析結果、風害現象の解明度を示す重相関係数は、九重地区で0.8825で最も高く、日田地区で0.7333と最も低い値を示したが、全体平均で0.7770と解析Ⅰ、Ⅱにくらべ全地区にわたって精度の向上が認められたため、本解析にて、風害現象の解明を行うこととした。表-12に解析結果の総括を示す。

表-12 偏相関係数と検定結果一覧表（解析Ⅲ）

アイテム	地 区					計または 平均
	上津江	日 田	天 瀬	玖 珠	九 重	
X1: 林 種	0.2303	0.1336	0.1446	0.5060 **	0.4631 **	0.2955
X2: 胸高直径	0.2769 *	0.3619 **	0.5176 **	0.3961 *	0.6143 **	0.4333
X3: 林分疎密度	0.1490	0.4168 **	0.2361	—	0.2118	0.2534
X4: 間 伐	0.1783	0.1625	0.4602 **	0.3498 *	—	0.2877
X5: 地 形	0.3280 **	0.3248 **	0.2607	0.5408 **	0.4959 **	0.3900
X6: 斜面方位	0.5160 **	0.5986 **	0.5253 **	0.5766 **	0.6993 **	0.5831
X7: 地形開閉性A	0.1240	0.3967 **	0.1955	0.3148	0.6478 **	0.3375
X8: 地形開閉性B	0.4267 **	0.4449 **	0.5015 **	0.3978 *	0.6627 **	0.4867
X9: 土 壌 深	0.4535 **	0.3377 **	0.1484	0.4960 **	0.5247 **	0.3920
データ数	76	75	62	46	43	302
重相関係数 (寄与率)	0.7458 (0.5563)	0.7333 (0.5370)	0.7530 (0.5670)	0.7708 (0.5942)	0.8825 (0.7789)	0.7771 (0.6066)
定数項(%)	21.8	47.7	53.6	63.5	44.8	44.4
平均予測誤差(%)	22.4	28.1	27.4	23.8	18.7	24.1

**：1%水準で有意 *：5%水準で有意

被害の発生との関連を示す偏相関係数は、要因によって異なるのは当然のことながら、同じ要因でも地区によって差異の大きいものと近似したものとがあり、発生要因が共通している場合と、地域によって異なる場合が認められる。被害発生と関係が深く（偏相関係数が高い）そして、それが各地区に共通している要因は、第1に斜面方位があげられる。いずれの地区も共通して、0.5以上の高い偏相関係数を示しており、被害の発生と密接に関連し、しかも普通性の高い要因であることが認められる。次いで地形開閉性Bがあげられる。同じ地形開閉性でも100m以内という局地性をもつ地形開閉性Aでは、九重地区で高い値をとるほか、他地区では、その値が小さく、風のような広域性を持つ被害に対しては、このような広域規模からの解析が必要なことを物語っている。胸高直径も各地区において関連が認められるとされた要因であるが、地区による差異が比較的大きく、九重、天瀬地区では、被害との関連が密接となっている。土壌深、地形、地形開閉性Aは、一部の

地区で低い偏相関係数を持ち、普遍性はやゝ欠けるものの、被害発生にかかる要因として重要である。林種、疎密度及び間伐の各要因は、地区によっては高い関連性を示すものの普遍性は低く、要因効果としては小さいものと考えられる。

以上、被害発生にかかる要因効果について概略したが、これを更に具体的に明らかにするため、要因別にカテゴリー・スコアの面より検討する。

①林種

図-9に地区別の林種要因におけるカテゴリー・スコアを示した。

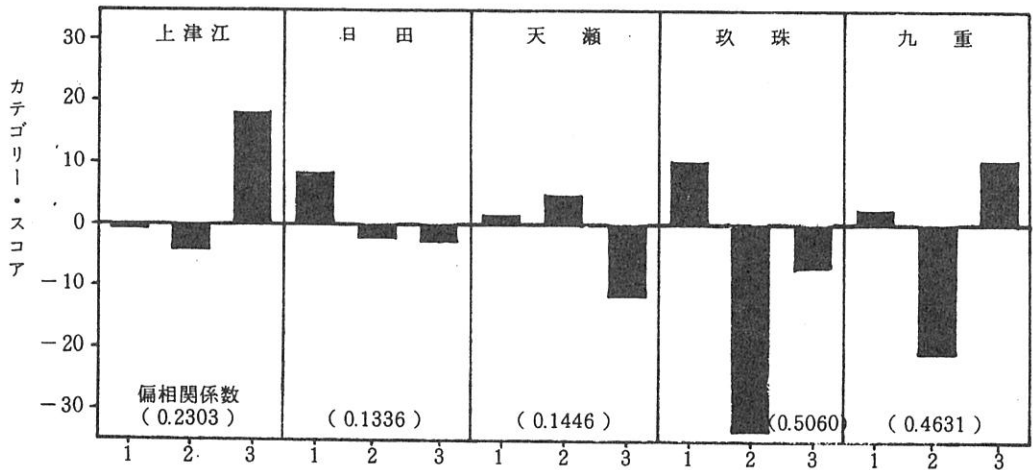


図-9 「林種」のカテゴリー・スコア

1: スギ (ヤブ, アヤ) 2: スギ (その他) 3: ヒノキ

林種要因は、被害の明らかに少なかったクヌギ等の雑木林を除いた後での比較となっており、そのためか、林種間差異は玖珠、九重地区を除いて小さい。負のスコアは被害の発生が少なく、正のスコアはその発生が多い傾向を示す。上津江では、スギにくらべてヒノキの被害が目立つが、天瀬町ではその逆となっており、この差異は、何に基づくものか特定できない。玖珠、九重地区では、ヤブクグリ、アヤスギ以外の品種が負の大きな値を取り被害の発生の小さかったことをうかがわせるが、玖珠地区では、ヤブクグリ、アヤスギの被害率が平均して69%と高かったことから相対的に他品種のスコアが引き下げられたものと考えられる。他品種の平均被害率も57.5%と高い値をとっていることから、玖珠地区におけるヤブクグリ、アヤスギ以外のスギ品種は、特に風に対して抵抗性があるとはみなされない。九重地区では、資料数が3という少なさが負のスコアを大きくしているようである。しかしながら全体的な傾向として、ヤブクグリ、アヤスギの品種群は、上津江地区を除いて正のスコアを取っており、相対的にみて、他品種にくらべ、風に対して耐性が小さかったことがうかがわれる。ヒノキは、上津江、九重の両地区で正のスコアを示すが他地区では負となっており、その判定はむづかしいが、全体的な傾向としてヤブクグリ、アヤスギの品種群より若干耐性があったのではないかと推察される。

②胸高直径

被害の少なかった胸高直径14.9cm以下の林分はここでは除いたので、比較の対象は15cm以上の胸高直径群である。図-10に地区ごとの「胸高直径」要因におけるカテゴリー・スコアを示す。

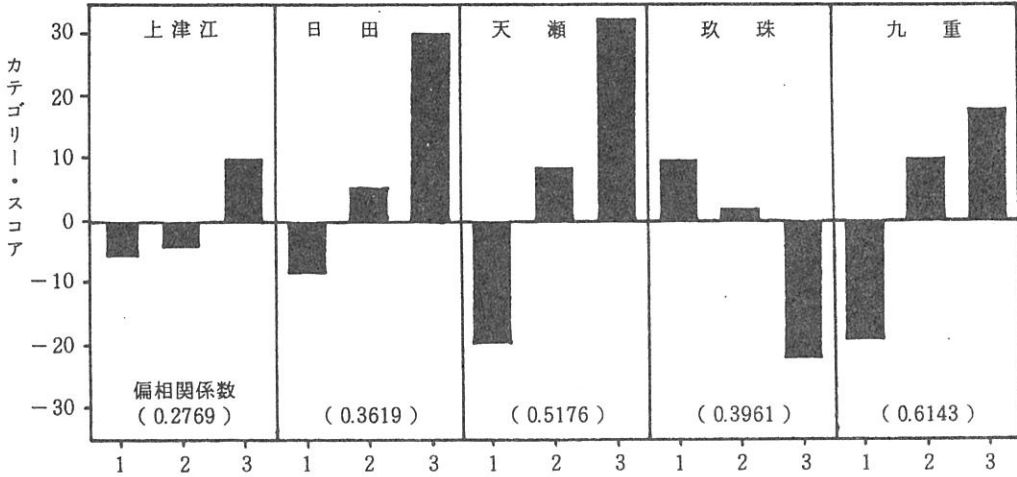


図-10 「胸高直径」のカテゴリー・スコア
 1:(15.0~21.9cm) 2:(22.0~29.9cm) 3:(30cm以上)

図にみられるとおり、玖珠地区を除いて、径級の増加にともなって、カテゴリー・スコアも増加しており、今回一般にいわれているように林齢の高い林分（直径の大きな林分）に被害が相対的に大きかったことを裏づけている。この傾向は日田、天瀬及び九重の三地区で明瞭に認められる。玖珠地区では、他の4地区とは全く逆の傾向がみられ径級が大きくなるほど被害は抑制される傾向のあることがうかがわれる。玖珠地区における人工林の状態は、他地区と特に異なっている点が見当たらないことより、この結果についての解釈は、更に詳しい検討を要するが、ひとつには、この地区が他地区にまして被害が明らかに高かったことが起因していると考えられる。

③林分疎密度

収量比数の値より疎 (Ry 0.64 以下), 適 (0.65~0.84), 密 (0.85 以上) に区分して解析に供した。玖珠地区では疎密度のカテゴリーに該当する林分がなかったため要因項目より除外した。林分疎密度における偏相関係数は、日田地区で0.4168とやゝ関連の高いことが認められたが、他地区ではその値は低く、要因項目としての信頼度は低いとみなされた。

図-11に地区ごとのカテゴリー・スコアを示した。信頼度の最も高かった日田地区のスコアでは、疎及び適密度が負のスコアを持ち、被害が正のスコアを持つ密な林分にくらべ少なかったことを示している。全体的にみて、密な林分では、正のスコアを示し、被害は大きかったことがうかがわれる。上津江地区を除き、疎または適密度の林分では、被害は相対的に小さく風に対して、構造的に優れていたことが指摘される。

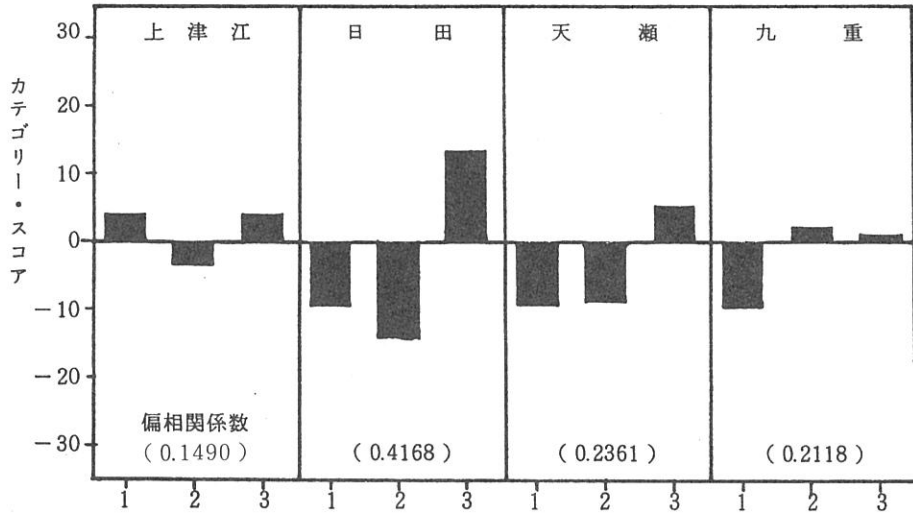


図-11 「林分疎密度」の 카테고리・スコア

1: 疎 (Ry 0.64 以下) 2: 適 (Ry 0.65 ~ 0.84) 3: 密 (Ry 0.85 以上)

④間伐履歴

間伐後の経過年数の相違と被害との関連を検討した。全く間伐が行われていない林分については、林分の平衡状態が長く続いているということで、間伐6年以上前と同じカテゴリーで取り扱った。この要因項目は、具体的には、間伐の程度、回数、時期等いろいろ

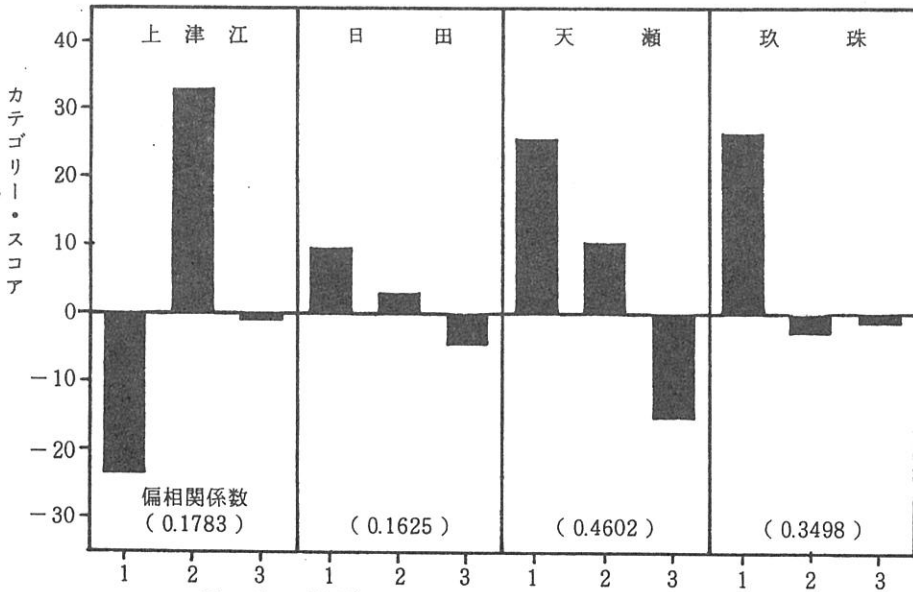


図-12 「間伐履歴」の 카테고리・スコア

1: 間伐2年以内 2: 間伐3~5年前 3: 間伐6年以上前

ろの内容が含まれており、経過年数のみで、間伐という複雑な施業の影響を把握するのは困難とされるが、ここでは、林分構造の安定及び変化が風に対してどう反応するかにねらいを定め、その効果判定のために間伐履歴を設定したものである。

図にみられるように、上津江地区を除き、他の三地区は、間伐履歴の長くなる程、被害は軽減傾向にあることが認められる。特に天瀬地区ではこれが明瞭であり、間伐直後における林分構造の変化は、風に対して耐性が低下することを物語っている。明瞭な傾向とはいいがたいが、間伐経過後の年数が多くなれば、被害は、少なくなることが示されている。間伐によって残存木の根系を含む樹勢の増加が年とともに増大し、これが林分全体の構造強化につながっていくものと推察される。上津江地区では、間伐1年以内の категория数がわずか2個であり、偏相関係数も低いことから、ここでは言及しないこととする。

⑤地 形

図-13は地区別の「地形」の категория・スコアを示したものである。

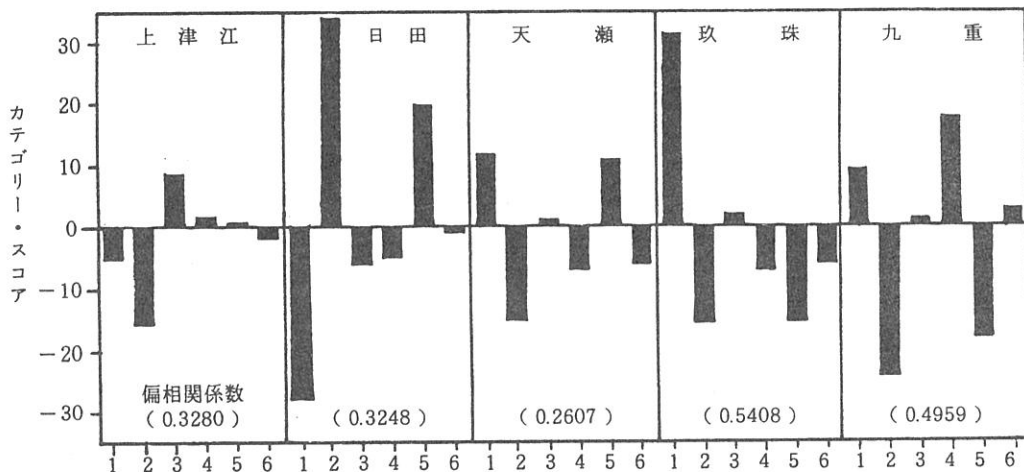


図-13 「地形」の категория・スコア

- 1: 緩斜尾根, 台地 2: 大凸地 3: 平行斜面 4: 凹型斜面
 5: 谷筋, 大凹地 6: 山麓, 低地

「地形」は地区による差異が目立つ。しかしながら categoriaごと に仔細に検討すれば、一定の傾向のある場合も認められる。常識的に考えれば、突出度の大きい大凸地は被害が相対的に大きいことが予想されるが、ここでは日田地区（資料数が3個と少ない）を除いて、いずれも負のスコアをもち、被害が小さかったことを示している。凸地のため地味不良にて、逆に根系が発達していたためか、あるいは、成長不良のため形状比の低いずんぐり型の林が形成され耐風性が高かった可能性がある。更に検討を要する。緩斜尾根・台地の categoriaでは、地形起伏が大きく谷の入り組みの大きな上津江、日田地区でマイナス、火山性高原山地の天瀬、玖珠、九重地区では正のスコアを示し、被害の相対的に大きかったことを示している。天瀬、玖珠及び九重地区における尾根、台状地は、風

向方向に対して、それをさえぎる山体がなく、露出の大きな地形となっている場合の多いことが原因と推測される。平行斜面は、地区によって正負の値をとるもスコアはいずれも小さい。平均的に被害が発生したところとされる。谷筋・大凹地では、日田、天瀬地区で被害が促進され、玖珠、九重地区で抑制傾向を持つ。天瀬地区は資料2と少ないがいずれも南側の露出が大きい。山麓、低地のカテゴリーは、九重地区を除いて他地区は負のスコアを示し、全般に被害が少ない地形であることが認められる。

⑥斜面方位

斜面方位は、今回解析に用いたアイテムのうちで、各地区に共通して、最も高い偏相関係数を示したもので、風害の現象解明に関して、最も関連の深い項目と算定された。

図-14に地区ごとのカテゴリー・スコアを示す。

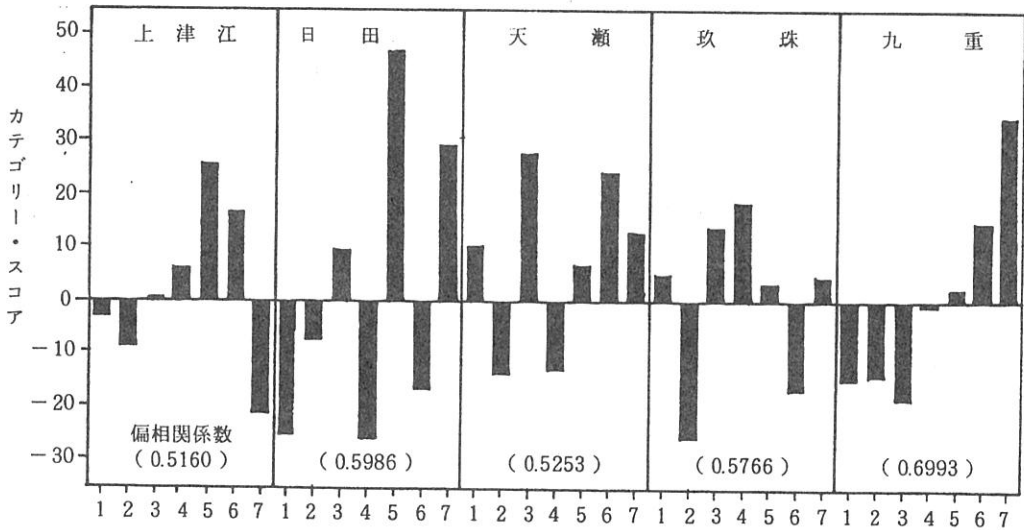


図-14 「斜面方位」のカテゴリー・スコア

1: 全方位 2: N, NE, E 3: SE 4: S 5: SW 6: W 7: NW

暴風の吹き込んできた方向は、南西側を中心に、南側、西側とされることから、その風に対面した斜面では、被害は当然のことながら大きくなる。逆に北や東に向いた斜面は、風の吹き込みが少ないことから、被害は小さくなる。地区によって、スコアがかなり異なるのは、暴風の主方向が地区によって若干のズレがあるためと推察される。地区ごとに高いスコアを示す方向をみるに上津江地区でSW, W, 日田地区ではSW及びNW, 天瀬地区ではSE及びSW, 玖珠地区でS及びSE, 九重地区でNW及びWとなっており、全体的にSW～NWにかけての斜面に被害が大きかったことが認められる。逆に被害の小さかった斜面方位は、各地区に共通してN, NE, Eの向きをもつカテゴリーですべて負のスコアとなっている。このほか負のスコアを示す斜面方位は、地区ごとに差異がみられ、上津江地区ではNW, 日田地区では全方位, S, Wの3方位, 天瀬地区ではS, 玖珠地区ではW, 九重地区では全方位及びSEとなっており、真南や真西において危険が小さくなるという場所が見出せるのは意外であるが、これは今回の風のもつ恣意性によるものであろう。

⑦地形開閉性A及びB

地形開閉性Aは、100m以内という局所地形における地形の保護状況を指標し、地形開閉性Bは、100~1,000mという小~中規模の地形の保護状況を指標するものである。図-15に、そのカテゴリー・スコアを地区ごとに示すとともに、この二つを加算し地形開閉性A+Bとして合成した。地形開閉性A・B二つの影響をあわせて検討するためのものである。

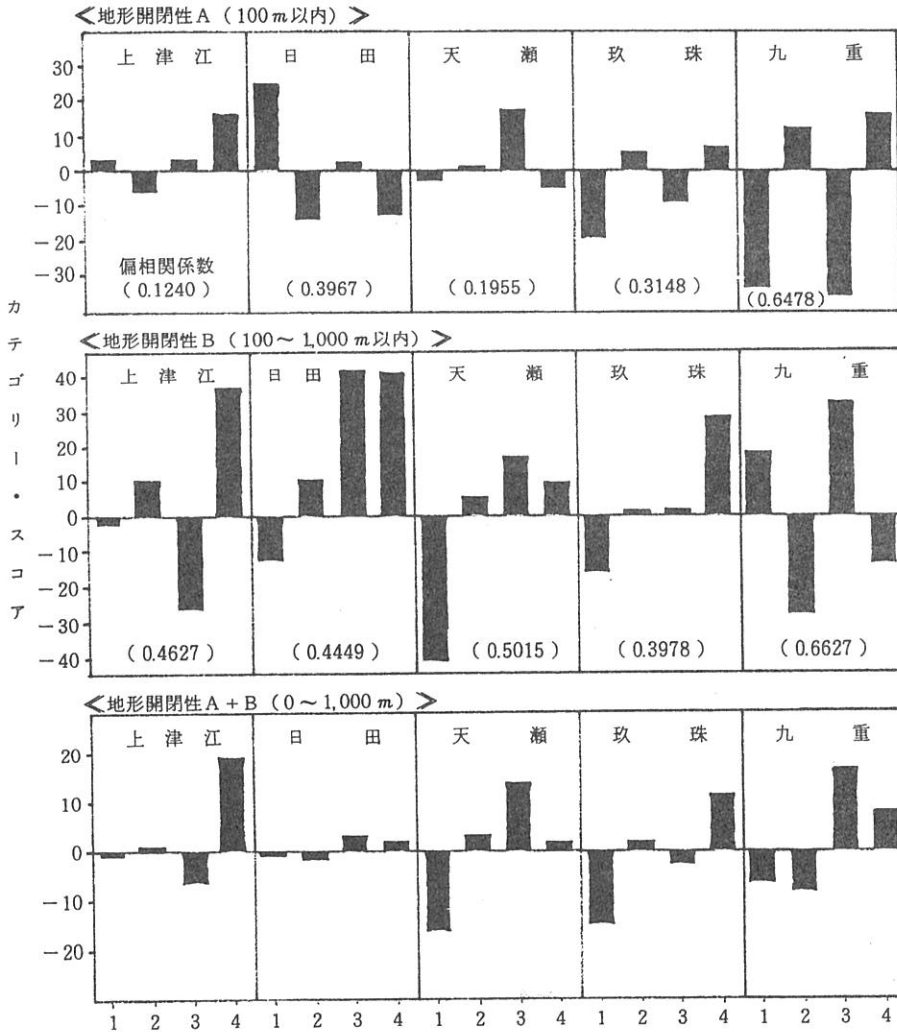


図-15 「地形開閉性A (上段), B (中段)」とその総和 (下段) のカテゴリー・スコア
 1: 南・西側とも保護 2: 南側保護 3: 西側保護 4: 南西とも露出

この二つの要因項目の設定は、暴風の方向を、南及び西側に限定し、この方向における保護山体の有無と距離が、被害の発生にどう関連したかを検定するためであった。

解析結果、この要因項目は、いずれも被害との関連がかなり深いことが見出され、とくに地形規模の大きな地形開閉性Bにおいてその関連が高く、風のような広域性をもつ因子

については、このようになりかなりマクロな視点で捉える必要性がありそうである。

図-15において二つの要因項目と、それを更に合成したものを示したが、これが地区ごとの差異と相まって、かなり複雑であるため、表-12に整理しなおして、この表をもとに検討することとした。表-13は、地区ごとの「地形開閉性A、B」を簡略化したものである。

表-13 地形開閉性A、Bと台風被害との関連

範 囲	南 西 側 側	地 区					総 括
		上津江	日 田	天 瀬	玖 珠	九 重	
地形開閉性 A (100m以内)	× ×	+	+++	-	---	---	--
	× ○	-	--	+	+	++	+
	○ ×	+	+	++	-	---	±
	○ ○	++	--	-	+	++	++
地形開閉性 B (100~1000m)	× ×	-	--	---	--	++	--
	× ○	++	++	+	+	---	++
	○ ×	--	+++	++	+	+++	+++
	○ ○	+++	+++	+	+++	--	+++
地形開閉性 A + B (0 ~ 1000m)	× ×	-	+	---	---	---	---
	× ○	+	-	+	+	+	++
	○ ×	-	++	+++	-	-	±
	○ ○	+++	+	+	+++	+++	+++

×：保護山体あり ○：解放地形 +-：被害度(+が促進，-が抑制を示す)

地形開閉性Aは、微地形における台風の作用をあらわしたものとされるが、上津江及び天瀬地区では偏相関係数が小さく、信頼度は低いものとなっている。この地区ごとにおける地形開閉性Aは、南及び西側とも保護山体のある場合、玖珠、九重地区では被害に対して強い保護作用のあることが認められる。日田地区ではこれが逆の結果となっており、微地形的な効果が日田地区では少なかったことを示している。南側に保護山体があり、西側が露出しているところでは、その作用は、大きくはないが地区ごとに効果が分かれ、天瀬、玖珠、九重地区では、相対的な被害の増加、上津江、日田地区では、被害の低下とあらわれている。南側が露出し、西側がふさがれたところ、即ち南側に弱点をもつところでは、天瀬地区が弱く、次いで日田、上津江地区が被害を相対的に強くうけている。逆に九重地区では、南側露出の影響は小さく、被害は、大きく抑制されていることがうかがわれる。南側、西側ともに露出した解放地形においては、上津江、九重及び玖珠の三地区は、相対的に被害が大きくあらわれ、地形的に脆弱であることがうかがわれるが、日田、天瀬地区では、その影響は小さい。これは、中規模地形での作用と含み合わせて捉える必要がある。

以上地形開閉性Aは、地区ごとによりかなりの変化がみられるものの、五地区全体を総括してみれば概略次のようなことが指摘されるようである。

- (1)南・西側とも保護 ……保護効果はかなりみられる。特に玖珠・九重地区で高い。
- (2)西側部露出 ……全般に効果が低く、やゝ促進される傾向にある。
- (3)南側部露出 ……全般に被害は促進される。但し九重地区では抑制傾向が強い。
- (4)南・西側とも露出 ……被害はかなり促進される傾向が強い。日田地区は影響が小さい。

中地形規模における被害把握として用いた地形開閉性Bは、微地形評価であった地形開閉性Aより、すべての地区で偏相関係数が大きく、風害との関連がより高いことが認められる。地形開閉状況ごとに検討してみる。

- (1) 南・西側とも保護山体 …… 九重地区を除いて、すべて負のスコアをもち、地形的に風に対して保護効果の高かったことを示している。特に天瀬地区では、その効果が著しい。
九重地区では、100 m以内の微地形が抑制に効果的に作用しており、この中規模地形の影響は相殺されたかっこうとなっている。
- (2) 西側部露出, 南側部保護 … 九重地区を除いて、すべて正のスコアを得ており、被害は相対的に促進されたことを示す。中地形規模では西からの風の影響の大きかったことを示している。
- (3) 南側部露出, 西側部保護 … 南からの風の侵入地形で上津江地区を除き、すべて正のスコアを持ち、被害が相対的に促進されたことを示している。日田, 九重地区でその作用が著しい。
- (4) 南・西側部とも露出 …… 南及び西側の両方向から風が侵入したとされる解放地形で、九重地区を除いて、正のスコアを持ち、風に対して脆弱な地形であったことが明瞭である。とくに、上津江, 日田及び玖珠ではそれが著しい。

以上のように、地形開閉性Bにおいては、各地区において、被害との関連がかなり大きくあらわれており、風害現象の解析にとって、有力な要因項目の一つとなっている。地区をこみにして、地形開閉性Bの全体的な効果を概略すれば総括欄に示したように、

- (1) 南・西側とも露出 …… 風に対する保護効果が大きい。
- (2) 西側部露出 …… 西からの風によって被害は相対的に増加傾向にある。
- (3) 南側部露出 …… 南からの風によって被害は大きく促進されている。
- (4) 南・西側とも露出 …… 南及び西からの風の侵入により被害は大きく促進されている。

暴風は、地形を大きくならしながら吹き抜けてゆく主風と、その主風が谷に入りくんだり、山体につき当り、旋回しつつ拡散、収束してゆく局地風とに分けられる。ここでいう地形開閉度Aは、この局地風の影響をみたものであり、地形開閉度Bは、主風に対する影響を把握するための要因項目としての性格がある。風の影響は、このように、主風及び局地風の影響をあわせて捉えることが最終的には必要となることから、図-15及び表-13に示すように、地形開閉性AとBを重みづきで合成して検討資料を作成した。これによって、微地形から中地形規模における風害現象について、かなり概略的な把握が可能となる。

南・西側ともに保護山体のある場合、日田地区を除き、風害は、保護山体によって大きく抑制されている。天瀬, 玖珠, 九重地区ともに保護山体の効果は高い。

西側露出で、南側が体護されているところ(西からの風が主となる)では、全体的に被害がかなり促進される傾向をもつ。日田地区では、この地形が逆に被害を抑制している。

南側露出で、西側が保護されているところ(南からの風が主となる)では、天瀬地区で大きく被害を助長しているほかは、抑制地区と促進地区が拮抗し、全体的には、評価のむずかしい地形となっている。南・西側とも露出した解放地形では、被害は著しく促進され

ており、今回の風に対して、地形的な保護山体の有無が被害に対して大きく左右したことがうかがわれる。

⑧ 土壌深度

図-16に地区別の「土壌深さ」の 카테고리・スコアを示した。

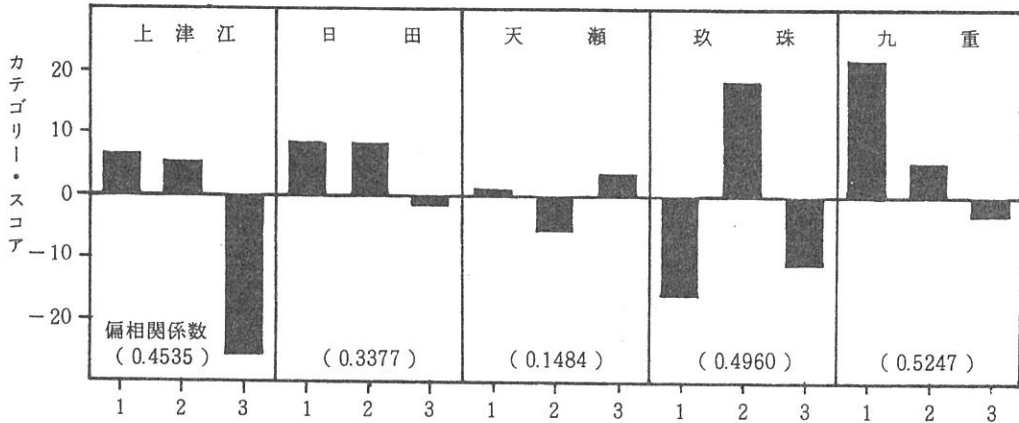


図-16 「土壌深さ」の 카테고리・スコア

1: 浅 (50 cm 未満) 2: 中 (50 ~ 100 cm) 3: 深 (100 cm 以上)

地区によっては、多少の変動がみられるものの、全体的には、土壌の浅いところで、カテゴリーは大きく、深くなるに従って負のスコアとなって被害が相対的に小さくなることを示している。上津江地区では、深のカテゴリー・スコアが負の方向に大きく、深い土壌では、特に被害の軽減されたことを示している。九重地区では、浅い土壌での被害の促進が目立っている。玖珠地区のみが、他地区と異なり、深度中で被害が突出し、また浅い深度で負のスコアを得ている。この現象については、ここでは説明しがたい。天瀬地区は、偏相関係数が小さく、検討するに無理があるように考えられる。

6. 地区をこみにした要因解析

以上、8つの要因項目について、地区ごとにその結果について記述してきた。南西方向を主体とした暴風であったが、これは、あくまで主風の方向であり、風圧の一様性のなさや恣意性、地形による拡散、収束等により、被害は、かなりの地域差をもっていることがうかがわれた。その地域性特性については前項において述べたとおりであるが、この広域にわたる台風被害を、概括してみたいと考え、地域性をこみにした検討を試みた。

5つの地区のデータをすべて入力し解析すれば、地域性は取り込まれたことになるが、コンピューターの容量からこれは無理と判断されたため、便宜的に、要因項目ごとのカテゴリー・スコアの加重平均を求め、これによって、全体的な傾向の把握を試みた。図-17は、地区をこみにした8つの要因項目のカテゴリー・スコアを示したものである。

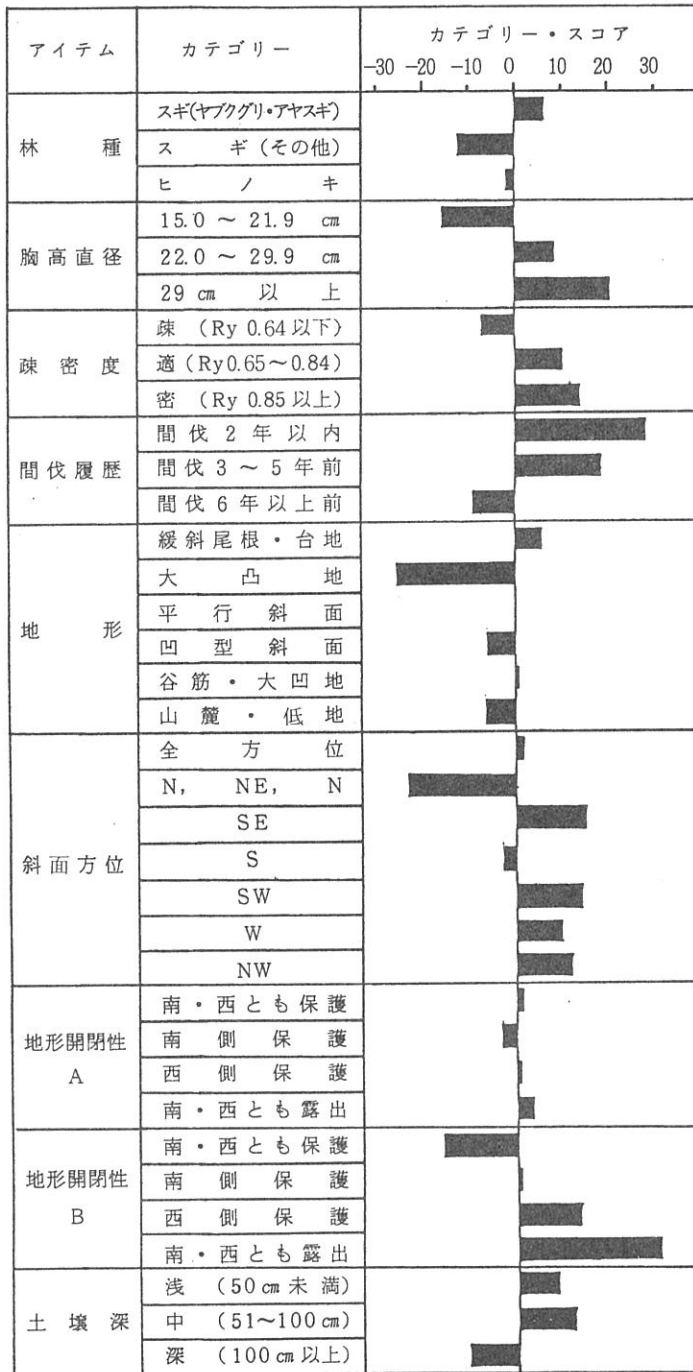


図-17 地区をこみにして算出した要因項目別カテゴリー・スコア

①林種

根返りタイプのヤブクグリ、アヤスギの二品種群のみが正のスコアをもち、被害が他の品種やヒノキにくらべやゝ大きかったことを示している。ヤブクグリ、アヤスギ以外の品種は、かなり高い負のスコアを示し、相対的に風に対して耐性のあったことをうかがわせているが、被害の軽微であったリュウノビゲの影響があると思われる。表-7に示されるように、その他品種とされるなかで、実生、イワオ、ウラセバル、アオスギ等の各品種は、平均被害率で、ヤブクグリ、アヤスギを上廻っており、カテゴリー・スコアにみられるほど、スギ品種間の耐風性の差異は、ごく一部の品種を除いて少ないのではないかと考えられる。ヒノキは、ヤブクグリ、アヤスギの二品種群にくらべやゝ耐性があるものと評定される。

②胸高直径

胸高直径22cm以下の林分では、被害は小さかった。ここでは除いているが、胸高直径の小さかった15cm以下の林分では、更に被害は軽微であった。22cm以上の中目や30cm以上の大径材では、被害が相対的に増加することが認められた。この傾向は、日田、天瀬地区で顕著であった。柔軟性の高い幼若木に被害が少なく、材質強度の面で高い安定を示す高齢木で被害が多くみられたことは、雪害の場合と逆の傾向にあった。

③林分疎密度

疎な林分より密な林分で被害は高くあらわれた。被害は、高密になるほど高くなる傾向にあった。

④間伐履歴

間伐後1～2年経過した林分で被害は最も高かった。これに反し間伐後5年以上経過した林分では、カテゴリー・スコアは負の値を示し、被害が小さいことを示した。

⑤地 形

最も被害が抑制されたところは、地形横断形において最も大きな突出を示す大凸地であり、次いで、山腹の凹地、山麓であった。これら三つの地形では負のカテゴリー・スコアを示した。逆に正のスコアをもち、被害が相対的に高かったところは、緩傾斜な尾根・台地及び谷筋・大凹地であった。ただスコアの値は小さいことから、被害が著しく集中してあらわれるというほどの脆弱性は認められない。凸凹の小さい平衡斜面では、スコアの値が0に等しく、風に対して中庸の耐性をもつ地形であることがうかがわれる。

⑥斜面方位

N, NE, Eの斜面方位をもつカテゴリーが負の方向に突出し、被害の発生が明らかに抑制されたことを示している。この斜面方位における偏相関係数は、他の要因項目のそれよりも高い値を示しており、このカテゴリーにおける耐風性の強さは、今回の台風において最も効果的であったとされよう。逆に、台風に対し、耐性を欠いた斜面方位は、SE, SW, NW, Wの4斜面方位であった。被害度の高い斜面方位が多くみられたのは、風の吹き込む方向に、地域や地形によってかなりのズレがあったためと考えられる。

⑦地形開閉性A及びB

微地形による地形の保護作用を指標した地形開閉性Aは、スコアが小さく全体的に影響力の小さいことがうかがわれた。このうちでも、南側部に保護山体のある場合では、保護効果があり、南・西側とも露出した解放地形では、被害は相対的に促進される傾向がみられた。中地形規模のレベルで風害との関連を指標した地形開閉性Bでは、カテゴリー・ス

コアの正負への突出が大きく、その関連の深いことがうかがわれた。内容的には、南・西側ともに保護山体のある場合、被害は、相対的に軽減される度合いが大きく、保護山体の効果が顕著である。これに反し、南・西とも開放された地形では、風の影響をまろに受けてか、被害は、著しく促進されたものとなっており、風に対して非常に脆弱な地形となっている。西側のみが保護され、南側が開けた地形もかなり被害が高くなることが推察される。これに反し、南側の保護されている地形は、比較的被害は小さかったことがうかがわれる。

⑧土壌深さ

とくにスコアの値は大きくはないが、理論的に特徴のある傾向を認めることが出来るようである。最も深い土壌深をもつカテゴリーで被害が最も小さくあらわれていることは、常識的に納得しうるが、最も浅い土壌深よりも中庸の土壌深で若干被害が出やすいというスコアの表示は、解釈としては、次のようなことが成り立つ。

浅土層のところは、地形的に突出した大凸地等によく出現する。これらの地形では、土壌瘠悪で乾燥傾向が強いため、逆に根系の著しい発達と、樹形の矮性が生じる。これが結果として、耐風性を増し、結果として、ここに見られるようなスコアとなっている可能性がある。

V 考 察

1. 樹種と被害

暴風による森林被害は、根返りと幹折れが大部分とされ、今までの大風害の例では、この両者で全被害木の90%以上を占めるとされている(23)。今回の台風19号による被害はこの二つの形態のほか、樹幹の湾曲、傾きがかなり認められた点で若干異なっている。また同じスギとされるなかで、品種によって根返り型と幹折れ型と明らかな差異が認められたことである。根返り型の代表であるヤブクグリとアヤスギ両品種235林分における被害形態は根返り55.1%、幹曲り40.5%、幹折れ4.4%となっている。幹曲りの被害については、傾斜、湾曲による根の浮上がりが見られたものを根返り被害とするならば、実際には根返り被害がかなり増大するものと思われる。幹折れ型は、ウラセバルをはじめとして、ヒノデ、イワオ、ヤイチといった早生系とされる品種に続出した。クモトオシも幹折れ型で激害型の典型とされている品種であるが、ここでの被害は少なかった。5ヶ所という少ない資料に加えて、被害の小さい林分が調査地として選出されたためと思われる。ウラセバル、イワオ、ヤイチの被害形態は、幹折れ45.0%、幹曲り29.4%、根返り25.6%となっている。スギ品種のなかで、根返り型と、幹折れ型の二つのタイプに被害が大きく分かれた原因は、それぞれの品種のもつ形態的特性(幹形、樹冠形、根張りなど)もさることながら、基本的には、材質強度特性によるところが大きいと考えられる。ヤブクグリ、アヤスギにみられる根返りは、根株強度の小さいことが一因(21)として示唆されていよが、幹材質の特性として、この両品種は、従来より、粘り強く折れにくいといわれるように、他品種にくらべて、曲げヤング係数が小さく、曲げ破壊エネルギーが大きい(10, 27)という強度特性を有しており、これが、根返りと深い関連をもつのではないかと考えられる。

表-14に、この被害形態を異にする二つの品種群における幹材質の力学的特性(27)を引用し参考に供する。表にみられるように、根返り型のヤブクグリ、アヤスギにおいては、曲げヤング係数は小さいが、曲げ破壊エネルギーは大きな値をとるという特性、いいかえれば、たわみやすいが折れにくいという特性を有することが明瞭に認められる。

表-14 代表的なスギ品種の力学的性質

品 種	曲げヤング係数 (10^3kg/cm^2)	曲げ破壊エネルギー (kg, cm)
ヤブクグリ	37.4	3.02
アヤスギ	37.7	3.54
ウラセバル	51.7	1.69
ヒノデ	52.7	1.84
ヤイチ	65.9	2.05

スギ36品種の力学的性質（佐々木ら 1983）より引用

これに対して、折損型の品種は、曲げヤング係数が大きく、曲げ破壊エネルギーが小さい（たわみにくく、折れやすい）という根返り型とは逆の特性を持つことが見出され、この幹材のもつ力学的差異が被害形態の差異となってあらわれた可能性が高い。

被害の形態には、明らかな差異が認められたが、品種別の被害量については、リュウノヒゲを除いて、特に差異はないようであった。数量化I類による解析においては、全体的な傾向として、ヤブクグリ、アヤスギの両品種群が他品種よりやゝ耐性の劣ることが見出されたが、それは程度の差といえる範囲のものとされ、各地区を通じて、リュウノヒゲ以外にとくに風に対して耐性をもつ品種は見出し得なかった。

ヒノキは、スギにくらべ若干耐性があるようであった。被害の形態は、根返りが50%強を占めており、根返り型といってよい。ヒノキは、スギにくらべ曲げヤング係数が大きいことから、折損型になりそうであるが、現実には、根返りが多く見られ、これはヒノキのもつ浅根性が起因しているのではと推測された。アカマツは、ヒノキよりも更に曲げヤング係数が高く、そして直根性のためか、根株支持力が強く、その大部分が折損型であったが、被害率は低かった。以上のことから、今回の台風における針葉樹の耐風性は概略

アカマツ>ヒノキ>スギ

と並べられそうで、これは、過去の一般事例（23）と同様の傾向を示している。

クヌギをはじめとする広葉樹林は、これら針葉樹林よりも明らかに耐風性のあることが認められた。クヌギ被害林の平均被害率（本数割合）は12.7%、その他雑木林は15.3%であり、スギ林の50.9%、ヒノキ林の46.1%、アカマツ林の37.3%にくらべ明らかに低く、その耐風性は、針葉樹に比して、明らかに強いことが認められた。広葉樹類でも、常緑の樹種の方が落葉性のものより弱い傾向があった。風の受け方、吹き抜け方が異なることも一つの原因と想定される。また、広葉樹類が針葉樹にくらべて耐風性がみられたのは、根系発達の違いや、樹形、樹冠構造の相違等考えられるが、一つには、林の高さが全体に針葉樹にくらべて低かったことも原因にあるのではと想定される。

2. 林況と被害状況

今回の被害は、樹齢25年ぐらいを境に樹齢の高いものに被害の多かったことが報告されているが（21）、60～70年以上の林分については、林分数が極めて少ないために、はっきりしたことはいえないとしている。筆者らは、被害調査の段階で、明確な樹齢を把握する

余裕がなかったため、樹齡のかわりに、胸高直径を用いて検討した。この結果、胸高直径15cm以下の若齡林は、風に対して耐性の大きかったことが明らかであった。これは藤森(21)が示唆しているように、若い木は、樹体の地上部と地下部の配分量、分布位置などが高齡木に比べて安定的であり、樹体に柔軟性があるからであろう。

直径15cm以上の林分についての解析結果は、藤森の報告のとおり、地区によっては、はっきりしないものの、全般的な傾向として、胸高直径の大きいものが被害も大きかったことが認められた。高齡林が台風に対して、本当に弱いのかは、林業経営上、あるいは林地保全の面から大きな問題として提起される。

樹齡と耐風性の関係は、壯齡のとき最も強く、壯齡を過ぎると弱くなり始めて、老齡になると非常に弱くなるとされている。これは、根系の発達の衰えに対し、地上部の成長が続くことから、林木は上部偏重となって、不安定を増すからといわれている。

すなわち、高齡林においては、根系発達の衰えを内在して、地上部における樹形の耐風性の低下が同時に進行する結果であるとする捉え方である。根系発達の様子は、ここでは、確認しえないが、高齡林における地上部については、常に不安定とは限らず、老齡になっても、樹形的に安定の高い場合もみられることから、高齡林における耐風性も、一律にとらえるのではなく、樹形、林分の状況から吟味しておく必要がある。

樹形と耐風性を考えた場合、樹高、枝下高、樹冠長、風心高等風圧との関連の中でいくつもの項目があげられるが、ここでは形状比を用いて検討した。胸高直径30cm以上のスギ大径林(ほとんどが50年生以上)は、5地区で71ヶ所計上されたが、このうち被害率80%以上のスギ林29林分と20%以下の微害林24林分について形状比の違いを一元配置分散分析にて解析した。この結果、1%水準で激害林と微害林で有意の差のあることが認められた。(表-15)。

表-15 形状比についての分散分析(スギ)

要因	平方和	自由度	平均平方	分散比
被害	0.0947	1	0.09475	4.4862 **
誤差	1.0771	51	0.02112	
全体	1.1718	52		

** : 1%水準で有意

有意差の認められた激害林と微害林における形状比の処理平均を求めると、激害林で0.71、微害林で0.62となっており、微害林にくらべて激害林の形状比は明らかに高く、樹形として安定度が低かったことが被害の増大につながったと推測される。

林分の疎密の吟味もまた必要である。形状比と同様、疎密をあらわす指標として収量比数(Ry)を用い一元配置分散分析を行ってみた。表-16にその結果を示す。

収量比数においても表にみられるとおり、激害林、微害林間で、1%水準で有意差が認められ、その処理平均は激害林で $Ry = 0.85$ 、微害林で $Ry = 0.77$ となっており、激害林での林分過密が把握される。

表-16 収量比数についての分散分析（スギ）

要因	平方和	自由度	平均平方	分散比
被害	0.08203	1	0.08203	5.0380 **
誤差	0.83044	51	0.01628	
全体	0.91248	52		

**：1%水準で有意

ヒノキも林分数は少なかったが、スギと同様、激害林（6林分）と微害林（3林分）の間に、形状比において1%水準で有意差が認められ、（分散分析表略）、その処理平均は激害林0.72、微害林0.55と明瞭な差異が認められた。

以上のように、同じ高齢大径林においても、収量比数が高く形状比の高い林分では、被害は大きくなり、逆に収量比数の小さい形状比の低い林分では被害は少なくなるという傾向が見出され、樹形、林分において安定性の高い林づくりを行うならば、高齢大径材林においても、耐風性の付与は可能ではないかと考えられた。

風の吹き方や強さ、あるいは、立地的条件が地区ごとに異なっているにしても、各地区にみられる共通品種、例えば、ヤブクグリ、アヤスギについて両品種の地区ごとの比較をしてみると、そこにかかなりの差異のあることに気付く。地区ごとに林分状況が異なっていたのではないか。それが被害の大小と関連していたのではないかの検討をしておく必要がある。表-17に、ヤブクグリ、アヤスギの地区別、林齢級別の被害率と形状比を示す。

表-17 ヤブクグリ・アヤスギの地区別被害率と形状比

項目	林齢級別	地区									
		上津江		日田		天瀬		玖珠		九重	
		N	M.D	N	M.D	N	M.D	N	M.D	N	M.D
被害率 (%)	49年以下	45	28.0	16	58.3	55	50.9	30	60.3	64	41.0
	50年以上	15	21.6	4	67.5	15	52.9	18	63.3	3	48.3
	計又は平均	60	26.5	20	60.1	70	51.3	48	61.5	67	41.4
形状比	49年以下	45	0.65	16	0.72	55	0.76	30	0.77	64	0.64
	50年以上	15	0.55	4	0.80	15	0.73	18	0.80	3	0.54
	計又は平均	60	0.63	20	0.74	70	0.75	48	0.78	67	0.63

N：データ数 M.D：平均

表にみられるように、玖珠地区は、被害率が最も高い。それと比例するかのように形状比も他地区にくらべて最も高い値をとっている。玖珠地区では、この形状比の高さにみられるように、風に対して樹形的に安定を欠く林分、いいかえれば、やゝ高密度で保育された構造を持つ林分が広く形成されていたためと思われる。これは、天瀬地区でも、また日田地区においても、ほぼ同様のことが見出され、風に対して無防備に近い山作りが行われてきたことが指摘される。それは、この地域が、歴史に記憶ある範囲で、風による被害については、全くといってよいほど意を払う必要のないところであったためと思われる。

上津江及び九重地区では、形状比が高く、混み具合も激しい林分もみられるものの、他地区にくらべ、平均形状比がかなり低くなっており、そのためか被害率も小さい。この両地区においては、高海拔に位置し、気象環境が他地区にくらべて厳しいことが、このような結果となっている可能性がある。

3. 間伐履歴と被害状況

間伐履歴については、天瀬地区で偏相関係数がやゝ高かったほかは、他地区では低く、信頼性は低い項目であった。間伐直後、それもかなり強度に行ったものは被害が大きかったとされている(21)。今回の解析も、間伐の程度は、考慮していないが、最も被害が大きくあらわれたのは、間伐2年以内という間伐履歴の新しい林であり、間伐後6年以上経過した林分では、被害は、最も小さかった。間伐後6年以上の経過林分は、被害に対して最も耐性があることが算定された。しかし、このカテゴリーも仔細に検討すれば、内容的に一律ではなく、いろいろの林分状況に区分されるため、風に対する効果を見るには、更に詳しい解析が必要となる。間伐後6年以上の林分を次の三つに再区分した。即ち、間伐株が見当らずほぼ無間伐に近いもの(無間伐林と称す)、間伐後6年以上経過した林分(間伐林)及び間伐後6年以上経過しており、林分密度が疎なもの(疎林分)である。

5地区を込みにして、この間伐後6年以上の再区分されたスギ林の被害率について、一元配置分散分析を行ってみた。資料数は、無間伐林66、間伐林157及び疎林分27の計250林分であった。分散分析の結果、林分間に有意差は認められなかった(分散分析表は略)。林分間における被害の傾向を見るため、処理平均を求めてみた。この結果、無間伐林47.8%、間伐林41.1%、疎林分37.0%で、疎な林分で被害は小さく、無間伐状態の過密林では被害は大きくなる傾向がみられた。疎な状態においても、間伐後の経過が長ければ、単木的に、そして林分的に風に対して安定度は高くなることを示唆したものと解される。

風に対する間伐の効果は、間伐によって残された個々の木をいかに増強させ、そして林分全体としての安定度を高めることにあると考えられる。単木の強度増進は、林分密度としては、できるだけ疎であることが望ましく、林分としての安定度を保つには、できるだけ林分の均衡をくずさないことが必要とされる。このことから、風を考慮に入れた間伐方法は、弱度の間伐をくり返し行うということになる。労務の慢性的悪化を考えれば、耐風性のある山作りを間伐施業によって推進するには、状況的にかなり厳しいものがある。

4. 地況と被害状況

被害の発生と地況との関連をつかむため、いくつかの地況要因項目を設定し検討した。斜面の横断型を加味した斜面位置(地形)、斜面方位及び地形開閉性A、Bである。

この地況に関しての要因項目において、各地区に共通して、被害の発生と関連が最も高

かったのは、斜面方位であった。次いで地形開閉性B、地形、地形開閉性Aの順であった。しかし地形、地形開閉性Aの要因項目は、地区によって偏相関係数が低く、関連の低い場合がみられた。それぞれの要因項目と被害の発生については、すでに述べたとおりであるが、ここでは、これら要因項目間の整合性について検討することにした。表-18は、地区ごとの地況要因項目と被害発生についての関連をみたものである。

表-18 主風の方向と地況状況

地区	倒木の方向 より見た 主風方向	被害の 大きかった 斜面方位	地形開閉性A・B*				地形	
			1	2	3	4	被害大	被害小
上津江	S SW	SW SW W	-	+	-	+++	・平衡斜面	・大凸地
日田	SW SE S	SW NW	+	-	++	+	・大凸地 ・谷筋	・中腹(凹)
天瀬	S SE SW	SE W *全方位	---	+	+++	+	・尾根、台地 ・谷筋	・大凸地 ・平衡斜面
玖珠	SW SE S W	SE S	---	+	-	+++	・尾根	・谷筋 ・大凸地
九重	SW S W	NW W S	---	+	-	+++	・中腹(凹)	・大凸地 ・谷筋

*) 1: 南・西とも保護 2: 南側保護 3: 西側保護 4: 南・西側とも解放
+-: 被害度 (+が促進, -が抑制を示す)

調査地区周辺における瞬間最大風速の風向は大分市でSSE、日田市でSSW、阿蘇山でSWとなっており(7)、表にみられるとおり、倒木の方向が暴風の主方向と大略合致していることが認められる。倒木の方向から推定される主風方向は、全地区に共通して、SW方向があげられ、次いでS、SE及びWのS~SW方向を中心とする暴風であったことがわかる。斜面方位は、被害の発生と最も関連の強い要因項目とされるが、主風の方向とおおむね一致しているものの地区によっては、多少のズレがみられる。上津江でのW、日田、九重地区のNW斜面、天瀬での全方位及びW斜面等である。これは、主風のほかに、谷筋を中心に吹き荒れた局地風の地区による違いがあるものと考えられる。天瀬地区における全方位斜面は、広い分布を示す台状尾根の被害が多かったからであろう。

地形開閉性は、主風の方向に対しての保護効果をみたもので、斜面方位や斜面位置(地形)とは独立した要因項目となっている。地形開閉性A、Bは、福島ら(1,24)の提案した一定仰角における対空間角度(露出度)を南及び西側の定線上的のみに限定した簡便法である。三浦らは、仰角7°の露出度を用い、北海道において発生した台風15号(昭和56年)の要因解析を行い、271°以上の露出度で被害を受けやすかったことを報告している(8)。

筆者らは、この地形開閉性A、Bにおいて、仰角の違いによる関連を当初計画していたが、仰角7°以上を用いると、高原状台地よりなる天瀬地区では、その大部分が保護山体的ない解放地形となってしまうので、今回は、仰角3°のみを用いて検討したものである。地形開閉性Aは100m以内の微地形、同Bは100~1,000mの中規模地形における仰角3°の

保護効果を見たものであるが、地形開閉性Bの方が、全般に偏相関係数が大きく、風害解析としては、効果的であった。しかしながら、広域にわたり地形を平準化しつつ吹き抜ける規模の大きな主風の作用と、主として谷により風向を変更し、収束、奔流する局地風の作用をより正確に捉えるには、更に工夫を凝らした地形解析の手法の開発が望まれる。

被害の発生と地形との関連は、今回の台風においても(21)、また過去の大風害の調査結果などより、大地形的に、あるいは局所地形的に風害地形として明らかにされてきた。筆者らは、被害発生にかかる地形との関連追求は、きわめて重要であるとの認識はあったものの、現実には大地形から微地形まで含めた複雑多様な地形について、カテゴリー区分の困難性を覚えたので、今回は、斜面上の相対的位置による地形区分によって処理してみた。各地区を通じて、意外に突出尾根を含む大凸地で被害が小さいことが見出された。大凸地では、地味不良のため、樹幹形状が低く、根系の発達があるのかもしれない。

被害の発生と地形との関連調査は、筆者らもそうであったように、地形の定性的区分によるものが大部分であるため、危険地帯の予測やゾーニングについて応用が展開しにくい欠点がある。地形を数値化し、被害度を定量化するといった手法の開発が今後の気象災害の解析や予測にあたって必要と思われた。

VI お わ り に

1991年9月27日の夕刻、九州北部に上陸した台風19号は、史上まれにみる強風を伴った風台風で、九州中～北部の森林は、人工林としては今世紀最大とさえいわれる程の甚大な被害をこうむった。本県では、さしスギの造林地として著名な日田林業地を中心に、玖珠下毛地方など県の北西部の森林が甚大な被害を受けた。日田市における瞬間最大風速44.4 m/s という風速の記録は、観測史上最大のものであり、被害の甚大さは、まず第一にこの常識をこえた暴風の強さに求められるが、自然災害を考慮にいれた育林保育がなされていなかったことも、被害を大きくした原因と考えられる。明治24年以降大分県全域を襲った大及び中規模以上の台風の回数は、昭和55年までの約90年間に32回(2.8年に1回という頻度)に及んでいるが、この32回の台風は、日田地方を含む県西部一帯にはこれという被害をもたらしていない(11, 15, 16, 17)。日田地方を含め、県西部一帯は、台風に対して安全であるという歴史的事実が、自然災害、とくに風害に対して鈍感になっていたことはいふまでもない。このためか、この地域一帯の人工林は、藤森(21)の指摘をまつまでもなく、間伐がよく実行されていない、30～50年における林分の収量比数が高い、形状比が高い等々林分が風に対して脆弱な構造のまま管理されていたきらいがある。これは、玖珠地区をはじめ、天瀬、日田地区でも随所にみられ、今回調査地に含まれていないが下毛地方の人工林にも共通してみられた現象である。風に対して油断のあったことは、否定すべくもない事実であり、この教訓の上に立っての復旧がなされなければならない。以下復旧造林にあたっての留意点について列挙する。

1. 今回の台風によって、多くの森林が被害を受けた。その被害は甚大であった。しかしながら、この激害地域にあっても、被害を全く受けていない林分も多くみられた。ただこの無被害林や微害林においては、激害林にくらべて、耐風性に優れた構造を持っていた林分であったということではなく、地形的な面や、風圧の違いで被害をまぬがれたとあってよく、風の進路や風圧の違いによっては、いずれの森林(特に人工林)も、被害を受ける

可能性を持っているといつてよい。すなわち、今回被害を受けた地域における人工林は、総体的に、気象災害に対して耐性が小さいことが指摘される。従ってこれを機会に、山づりの方向を変えてゆく必要があると思われる。

2. 広葉樹林は、スギ、ヒノキ林にくらべて、面積的に絶体数が少ないこともあり、断定的なことはいえないが、落葉広葉樹であるクヌギ林の被害は少なかった。常緑広葉樹については、クヌギ林よりも被害はやゝ高いことが認められたがスギ、ヒノキの針葉樹類より被害は小さく、広葉樹類は、耐風性の高いことが認められた。

3. 広葉樹林は、スギ、ヒノキにくらべ耐風性があることから、風に対して危険性のある所や、防風効果の高い地形では、優先的に広葉樹を配置すべきと考えられる。また広葉樹類は、その樹種特性として、樹幹流にみられるように、酸性化を矯正するといった作用のあることが見出されつつあり、気象災害の低減とともに、森林のもつ環境形成作用の面からも広葉樹の配置を増やしてゆくことが望ましい。これは、日田林業地のようなスギに偏重とした経済林優先の地に最も望まれる。

4. しかしながら、広葉樹類の造成については、クヌギ等一、二の種を除いて、その育種はおろか、適地の判定や育成方法等未解の点多く、また収穫までの伐期の長さ、利用方法、市場流通性、収益性等々問題が多く、社会的、環境的な役割りが大きいからといって一般の森林所有者が広葉樹に積極的に取り組むことは現時点では考えられない。従って、経済林地としての可能性の低い環境保全的な被害林は、治山事業等、行政主導による施策で広葉樹林化していく方法が考えられてよい。あるいは、県、市町村有等の公的被害林において積極的な広葉樹の植栽が展開されることも一つの方法と考えられる。

5. 今回の風害発生は、南西向きの斜面を中心とし、南～西向きの斜面で多く、また地形的に、南側、西側部の開放したところで被害が広く発生した。今回被害を受けたところは、風害に対して危険度の高い所と認識を強くしておく必要があり、復旧にあたっては、樹種を選択、林縁を含む防風帯の設置、施業面からの単木、林分の強化等考慮しなければならない。

6. スギ人工林の場合、風に対しては、程度の差はあっても品種からの解決は、困難と思われた。上津江地区におけるリュウノヒゲや矢幡(21)の指摘するシャカインが品種的な面で耐風性があるとされたが、まだ検討の余地が残されている。従ってその解決は施業の面に求めざるを得ない。それは、単木自体を強化し、更に林分としての強度を増してゆくという方向である。これは、植栽密度の問題より、間伐をいかに適切に実行してゆくかにあると思われる。根返りを起しやすい品種は、根系の発達をはかることが重要となる。根系は、樹冠の発達と関連が深いとされる(25)ことから、樹冠構造の発達に留意した間伐がなされなければならない。折損型の品種に対しては、風心高を低く保つ施業が必要となる。気象災害に対する安全性を追求すれば、それは良質材生産と相反する施業となる場合が多い。この場合、妥協点をどちらの側にもってゆくかが施業のポイントとなってくる。

耐風性のある人工林を造成するにあたって、林縁木の耐風性の強さは、注目されるとこ

ろであり、この現象は、今後の復旧造林にとって資するところが大きいと考えられることより、その科学的な解明が待たれる。

7. ヒノキも、スギ人工林とはほぼ同様のことが指摘される。ヒノキの場合、被害形態として、根返りが多いことから、根系発達をねらいとした間伐の実行が必要となる。この場合樹冠の発達にともなう枝の大径化が考えられ、幼時よりの枝打ちの励行があわせて実行されねばならない。

8. 施業面では、間伐直後の人工林で被害が大きく、間伐後の経過年数が長く、林分的に安定度の高い林分では被害は少なくなる傾向にあった。また間伐の進まない過密林分でも被害の多かったことから、施業的には、弱度の間伐をくり返し実行し、やゝ疎な密度で推移するような密度管理が望ましいと考えられる。

40年、50年と長い歳月にわたり、手塩にかけ大事に撫育されてきたスギ、ヒノキの林が一瞬の台風によって無情になぎ倒されてゆく。非情とさえいってよい。強大な自然のエネルギーの前には、人間の孜々たる営力の積み重ねも無に等しいほどあっけない。

酸性雨をはじめ、熱帯雨林の減少、砂漠化など地球的規模で森林のはたす役割が環境問題の中で大きくクローズアップされているが、それは、わが国、わが地方にもあてはまる現実的な問題である。

台風19号は、長い間の人間の労苦など一顧だにせずといった感で、足早に過ぎ去り、後に未曾有の森林被害を残したが、これは、高い視点より捉えれば、現在の森林のあり方に対する一つの警鐘であり、あるべき森林の姿を問う点において大きな教訓を含んでいたような気がしてならない。

いずれにせよ、このような厳しい自然現象は、確率的にみれば、数十年、あるいは100年に1回といったものであるかもしれないが、しかしこれは、自然現象として程度の差はあってもまた必ず起りうるものである。人間は、確かにこのような破壊的な自然の猛威の前には、無力であるが、ただ人間は、あらゆる困難に順応し、対処してきた歴史がある。林業として例外ではない。起りうるべきものに対しては、決然としてこれを受け、合理的な方策を展開してこれに対処しなければならない。自然災害に対して耐性のある森林の造成は、健全で諸機能の高い森林の造成と一致する。

付 記

この調査は、専決で計上された「風倒木被害状況緊急調査事業」の一環として平成3年11月より平成4年3月にかけて実施したものである。調査、とりまとめにあたって赤峯宙場長及び里 信一郎前場長(現林業振興課長)より終始ご鞭撻を得、當場千原賢次次長、堀田 隆、塚 富顕主幹研究員、小野美年技師、井上克之、大塚浩二(現畜産試験場)業務技師、及び指導林家、神川建彦氏の方々には、現地調査において強力なご支援を賜った。また日田及び玖珠九重地方振興局には、各種資料の提供を受けた。これら各位に対し深く感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 福島敏彦ら(1966)：年平均風速と蒸散条件の推定について，福岡県林試時報，18，21-40
- 2) 福岡県林業試験場(1992)：1991年9月に発生した台風17号・19号による森林被害調査報告書，1-89，付図1
- 3) 後藤康次(1992)：台風19号による森林被害，木材工業，Vol 47, No. 5，228-232
- 4) 本多静六(1974)：森林家必携(増補改訂版)，814pp，林野弘濟会，東京
- 5) 川口武雄(1947)：森林気象学，103pp，地球出版，東京
- 6) 気象庁予報部(1991)：災害時自然現象報告書，1991年第2号，平成3年9月12日から9月15日にかけての台風17号と前線による大雨と暴風，1-32
- 7) —————(1991)：—————，1991年第4号，平成3年9月25日から9月28日にかけての台風19号と前線による大雨と暴風，1-68
- 8) 三浦 覚ら(1973)：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，東大演報，73，139-160
- 9) 農林水産技術会議事務局編(1964)：土地利用区分の手順と方法，農林統計協会，432pp，東京
- 10) 小野和雄ら(1983)：日田スギ間伐材の品種別材質特性について，日田林工林産工学科研究論文，1-11
- 11) 小幡 進(1972)：日田林業技術史(林業技術史 第1巻 地方林業編上)，日本林業技術協会，451-645
- 12) 大分県・大分地方気象台(1991)：大分県農業気象災害速報，第1号，1-7
- 13) 大分県林業水産部(1991)：台風19号による林業被害の状況
- 14) —————(1991)：林業関係災害被害額調査(平成3年9月27日発生)
- 15) 大分地方気象台(1966)：大分県災異誌，第2編，1-153
- 16) —————(1975)：—————，第3編，1-130
- 17) —————(1981)：—————，第4編，1-165
- 18) 林野庁(1980)：スギ人工林林分密度管理図説明書，九州地方ほか，1-84
- 19) ———(1982)：ヒノキ人工林林分密度管理図説明書，九州地方，1-25
- 20) ———(1985)：広葉樹(クヌギ・ナラ類)人工林林分密度管理図説明書，九州・四国地方，1-32
- 21) 台風19号等災害復旧対策調査検討委員会(1992)：平成3年，台風19号等災害復旧対策調査報告書，1-65
- 22) 玉手三稟寿(1955)：森林風害調査について，林業技術，No. 158，1-8
- 23) —————(1967)：森林の暴風害とその防除法，林業技術，No. 306，21-25
- 24) 竹下敬司(1964)：山地の地形形成とその林業的意義，福岡県林試時報，17，1-192
- 25) ———ら(1992)：林木根系の実態とそれに基づく崩壊防止機能の検討，九大演報，66，83-129
- 26) 塚本次郎(1991)：仁淀川下流域の台風災害における山腹小崩壊地点と非崩壊地点の判別，日林誌，31，161-171
- 27) 佐々木光ら(1983)：スギ36品種の力学的性質，京都大学木材研究・資料，17，192-205

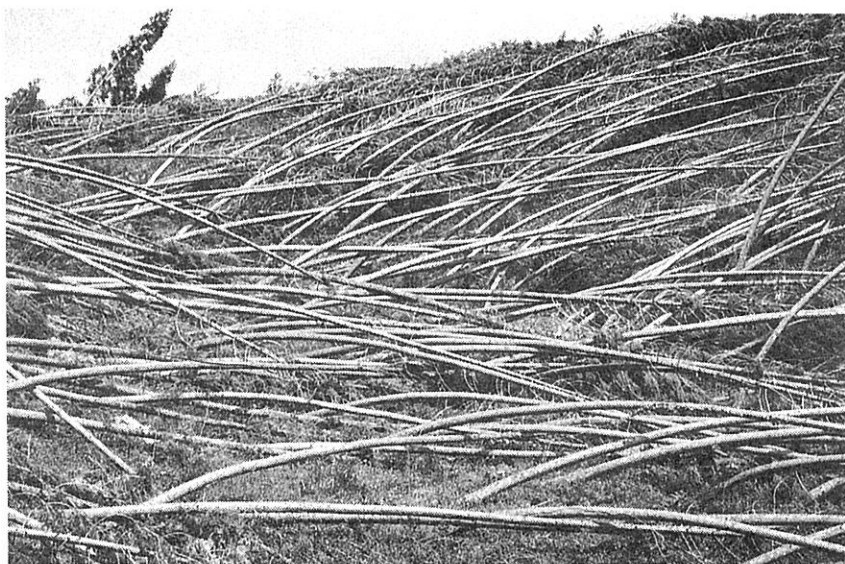


写真-1 根返り型被害林分 (ヤブクグリ)
下毛郡耶馬溪町にて

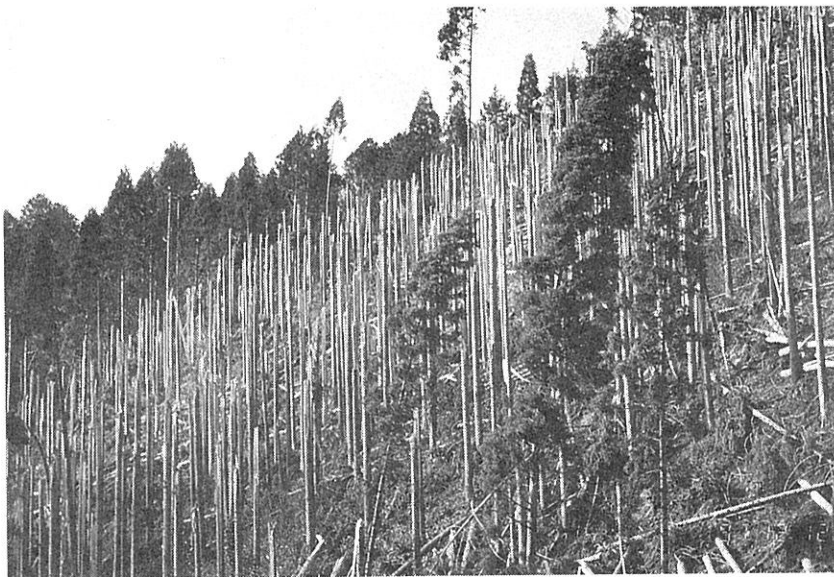


写真-2 折損型被害林分 (ウラセバル)
日田市にて

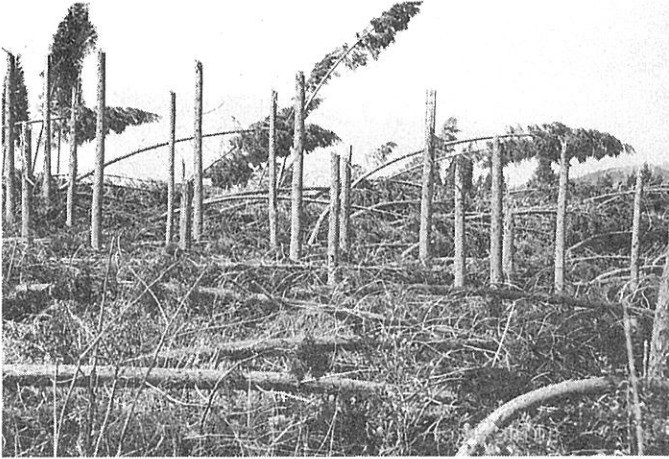


写真-3

折損型と根返り型の混在林分

(折損-クモトオシ, 根返り及び幹曲り-ヤブクグリ)

日田郡天瀬町にて



写真-4

品種による被害の明暗

(手前側根返りのヤブクグリ, 後方健全なリュウノビゲ)

日田郡上津江村にて

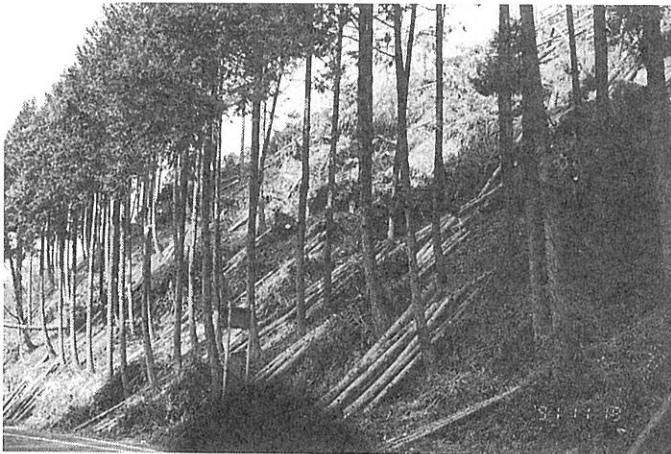


写真-5

林縁木の耐風性(ヒノキ)

玖珠郡玖珠町にて



写真-6 激害地の空中写真
日田郡天瀬町桜竹付近
白い点は調査地点

大分県林業試験場研究時報, No.18, 1992

平成4年8月3日 印 刷

平成4年8月10日 発 行

編 集 大分県林業試験場編集委員会

〒877-13 大分県日田市大字有田字佐寺原

TEL 0973 (23) 2146

印刷所



総合印刷センター

カワハラ企画

〒877-13 大分県日田市水目町315-4
TEL (0973) 22-1241
FAX (0973) 22-1444
