

台風19号による長伐期人工林の
被害実態の解析と今後の森林施業
への対応方策の検討

19号台風による長伐期人工林の被害実態の 解析と今後の森林施業への対応方策の検討

I 試験担当者

東北支所経営部防災研究室

齋藤武史 北田正憲 大丸裕武

松岡廣雄* 北田健二*

東北支所育林部更新技術研究室

中村松三 糸屋吉彦 太田敬之

木材利用部木材特性科材質研究室

平川泰彦

(*: 元東北支所経営部防災研究室)

II 要旨

1. 地形的位置及び樹形と被害との関係解析

台風19号による被害林分の分布と台風通過時の風向の変化から、秋田県北部地域では特定の地点で強風が長時間持続し、風害発生の危険性が大きいことが分かった。風害危険地形は、風向に向かって流れる沢沿いの斜面凹地、風向に向かって流れる沢の支流分岐点、風向側山腹の急斜風衝面、風向に向かって流れる沢の急斜面、吹きおろし風があたる風背側山腹の台地などであった。なお、台風通過時の風向は、被害木の倒伏方位から見て、どの被害地でも、ほぼ南西から南であった。また樹木の被害形態は、斜面上部では折損、斜面下部では根返りが多かった。被害木の土壤緊縛範囲（根鉢体積）の最大量は、スギ人工林では $20m^3$ 、スギ天然林は $63m^3$ 、ブナ天然林は $66m^3$ であった。

（齋藤武史 北田正憲）

2. 長伐期人工林の森林形態と被害

林齡、樹高と台風被害の関係を検討した結果、樹高 $11m$ を超える林分で被害発生が顕著になってくることが明らかになった。地位との関係で樹高 $11m$ への到達林齡は変わるが一つの目安として林齡20年を台風被害発生の危険林齡とすることができる。それ以前に適正な除間伐を行うことが肝要である。また、20年生以降の林分に対しても放置することなく適正な時期に適正な保育間伐を実施することが林分の耐風性を高めることにつながることが明らかになった。

樹冠層率と幹距を林分構造の指標とし、壮齡林、高齡林について台風被害との関係を検討した。その結果、構造的に完成された複層林は最も耐風性を有した林分構造であることが明らかになった。一方で、保育間伐が十分になされず高密度におかれた林分に対し強度の間伐を行ったような林分構造では耐風性が極端に低いことが明らかになった。

林縁の形態と台風被害の関係を検討した結果、良好な林衣を有する林縁木集団が林分の耐風性強化に効果的であることが明らかになった。

(中村松三)

3. 被害材の材質実態・経時変化

台風被害木の材質及び二年間の林内放置による材質の経時変化を調べた。被害木では、モメの発生により主として風下側での衝撃強さの低下が著しく、曲げヤング係数及び曲げ強度も低下していた。肉眼的にモメが確認できない個体及び部位でも微細な細胞壁の圧縮破壊によりそれらが低下する場合がある。

二年間の林内放置材では、辺材と白線帯で材変色が認められたが心材色はほとんど変化せず、心材の強度性能は被害直後と変わらないものと推定された。秋田スギの有効利用を考える上においては、モメを取り除き比較的変色の少ない心材色を活かした非構造用部材への利用が望まれる。

(平川泰彦)

III 試験目的

1. 地形的位置及び樹形と被害との関係解析

観測史上最大の暴風を伴い東北地方を襲った1991年台風19号は、秋田県北部を中心に甚大な森林被害をもたらした。このため、復旧対策の方法や施業方法の見直し、二次災害の発生予測などを行うための基礎資料を得る目的で、緊急調査を行う。

地形的位置と被害との関係については、被害を受けやすい地形的位置条件を明らかにする目的で、被害の発生箇所数及び被害の形態と、それぞれの被害地の局所地形及び位置を調べる。また、樹形と被害形態との関係について、林木の地上部を支える根系の発達程度を知る目的で、根返り木の根鉢の直径、深さ及び土壤緊縛範囲を調べる。

(齋藤武史)

2. 長伐期人工林の森林形態と被害

台風被害は気象要因、地形要因、林分要因が複雑に絡み合い総合化された結果として発生している。ここでは気象要因、地形要因の関与を排除できるような調査手法を採用し林分要因のみで台風被害を評価することに努めた。

林分の林齡、樹高、林縁形態、林分構造を林分要因として取り上げ台風被害との関係を検討する。特に、林分構造では過去の保育、施業と関連させ被害林分の構造的特性を明らかにし、耐風性林分の造成について考える。

上記林分要因とは別に、地形に起因する被害の発生が多々みられたため、そのような地域、地点での被害林分の被害実態を調査し局所的耐風対策の基礎資料とする。

(中村松三)

3. 被害材の材質実態・経時変化

台風被害林分の木材では、風害によるモメ発生とそれによる強度性能の低下、さらには、伐木や搬出処理の遅れによる腐朽や虫害発生に伴う材変色、密度と強度性能の低下を招きやすいものと考えられる。また、被害を受けたまま生育している立木の今後の材利用についても考慮しておく必要がある。本課題では、長伐期スギを対象に被害による材質低下の実態及び林内放置による材質の経時的変化を明らかにし、今後の木材利用に向けて基礎データを得ることを目的とした。

(平川泰彦)

IV 試験の方法と結果

1. 地形的位置及び樹形と被害との関係解析

1) 被害の程度・分布と地形との関連の解析

(1) 気象概況と被害林分の分布

台風19号は、大型で強い勢力を保ちながら、1991年9月28日に秋田県沖の日本海を北東進した。この台風による東北地方の森林被害は、国有林、民有林ともに主に秋田県に多く、青森県がそれに次いだ（松岡ほか、1992）。秋田県農業気象災害速報（秋田地方気象台、1991）によれば、秋田県では27日夜半過ぎ沿岸地方から南よりの強風が吹きはじめ、その後強風は県内全般に広がった。午前5時には本荘で25 m/s、秋田、能代、男鹿で20 m/sを記録、県内の所々で20 m/s以上の暴風が午前5時頃から8時前にかけて吹き荒れた。5時59分には秋田で51.4 m/sという観測史上初めての最大瞬間風速を記録した。台風通過後の28日午前9時過ぎからは西よりの風に変わって、この強い風は昼前にかけて続いた。28日の秋田県内各地の最大風速は、秋田25.6 m/s、本荘25 m/s、能代20 m/s、男鹿20 m/s、五城目19 m/s、鷹巣、鹿角19 m/s、八幡平16 m/s、大曲15 m/s、八森15 m/sなどを記録した。

台風による森林の被害は、秋田県北部が特にひどかった。おもな被害地は、図1に示すように、阿仁川をはじめとする米代川の支流に沿った、出羽丘陵と奥羽山脈とに挟まれてほぼ南北に走る地域と、東西にのびる白神山地に遮られた田代地域、白沢から矢立峠に至る地域に分布した。

台風が秋田県北部の森林に大きな被害を与えたのは、台風の強さとともにこの地域の地形的な特質が関与しているものと考えられる。

秋田県内のアメダス観測点（気象庁の地域気象観測所）における9月28日の毎時の風向の変化を見ると、図2に示すように、海岸平野部の観測点（八森、能代、秋田、本荘）では28日午前9時過ぎを境に風向が北西寄りに大きく変化したが、内陸部の観測点（鹿角、鷹巣、

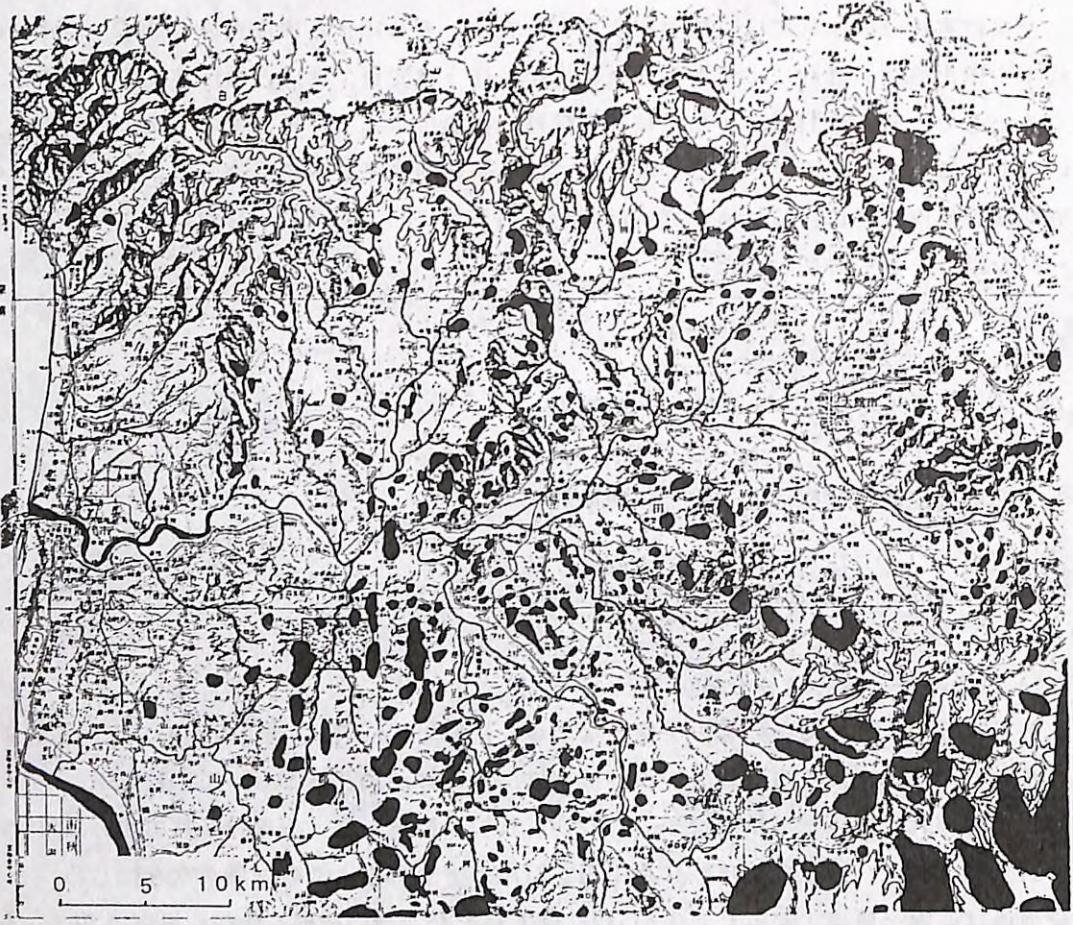


図1. 秋田県北部における森林被害地の分布
(図中黒塗りの部分が被害地を示す)

注) 被害地の中には、小規模な被害の散在する
地域全体を塗りつぶしたもののが含まれる。

五城目、角館)では台風の中心の通過に伴う風向の逆転がなく、終日同一方向からの強風が吹き続けた。これは、台風の移動に伴って上空の風向が変化しても、阿仁の谷地形によって収束された風が同一方向に吹き続けたためと考えられる。そのため、秋田県北部の山岳地帯では特定の斜面が長時間強風にさらされ、被害を大きくしたものと考えられる。また、阿仁の谷底を走り抜けた風は北部県境地帯で白神山地に遮られ、そのため白神山地の周辺部にも大きな被災地を作ったものとみられる。

このような地形的な特質は、日本海を台風が通過する場合には、その進路が少々異なっても常に特定の地点が被災しやすいことを意味しており、今回の被害地は今後とも風害危険地として認識する必要があることを示している。

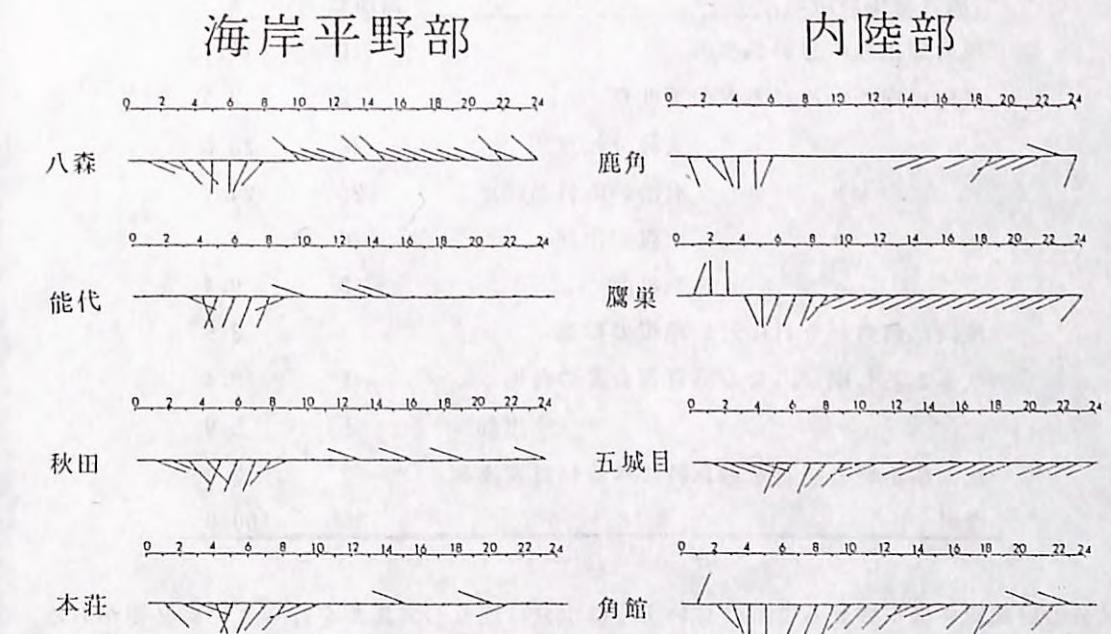


図2. 台風19号通過時の風向の変化
(1991年9月28日における毎時の風向)

(2) 被害の発生に関する地形要因の解析

今回の台風では、森林被害調査表(松岡ほか, 1992)を作成し、秋田営林局はじめ関係営林局署の協力を得て被害地の緊急調査を行った。

まず、回収した調査表の記載内容を整理して、台風19号による被害地の地形を表1のように分類し、被害発生の箇所数を調べた。なお、地形は局部的なものとした。

風害は、風向に向かって流れる沢沿いの斜面凹地、風向に向かって流れる沢の支流分岐点、風向側山腹の急斜風衝面、風向に向かって流れる沢の急斜面、吹きおろし風があたる風背側山腹の台地などで多く発生しており、これらの場所が今回の台風に対する風害危険地形であった。

これらの地形は、いずれも風が直接吹き付けるか、もしくは風道となって強風の発生しやすい場所である。従ってこれらの場所では、今後とも日本海を台風が通過する際には強風が発生することが予測されるので、本報告書での施業方法についての指摘を踏まえ、

表1. 風害危険地形と被害箇所数（国有林調査箇所より）

風害発生局所地形	箇所数	%
風向側山腹の急斜風衝面	10	11.7
風向に向かい流れる沢の湾曲点	2	2.4
"　　支流分岐点	20	23.5
"　　沢沿いの斜面凹地	21	24.7
"　　山腹突出部	6	7.1
"　　急斜面	8	9.4
風向に直角かそれに近い尾根の鞍部	3	3.5
吹きおろし風があたる風背側山腹の台地	8	9.4
"　　突出部	5	5.9
風向側山麓の緩斜から急斜に移る傾斜変換部	2	2.4
合計	85	100.0

林分の耐風性を低下させることのないように十分に注意して施業を行っていく必要がある。また、たまたま林齡が幼若であったりしたために今回の台風による被害を免れた林分であっても、近傍の被害地と同様の風害危険地形と判断される場合には、同程度の強風が発生するものと考えられるので、今後の施業では林分の耐風性を高めるように配慮する必要があろう。

つぎに土地分類図（経済企画庁総合開発局、1972）から秋田県の山地の標高分布を調べ、被害地の標高分布と重ねてみると、図3のように、台風被災地は低標高の100~300mのところに発生していた。

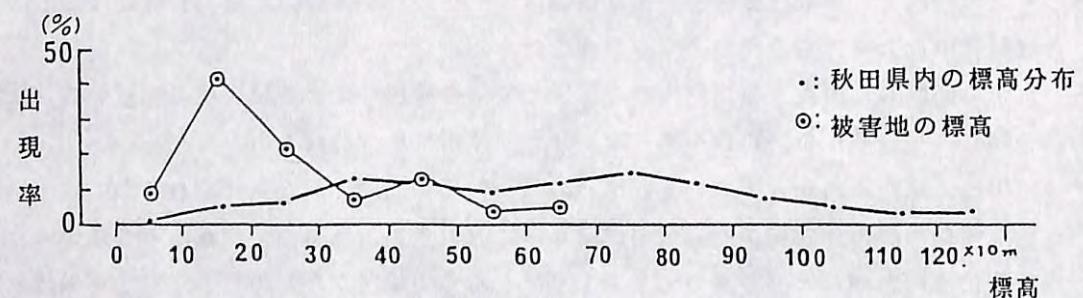


図3. 秋田県内の標高分布と被害地の標高

秋田県には突出した高標高の山が少なく、低標高の山や丘陵が多いので、台風にたいする地形による減風効果が小さい。すなわち、低標高の平野や谷底であっても、遮るものがないために強風にさらされやすい。従って、秋田県の場合は、高標高の風衝地でなくとも、台風被害の危険性は大きいものと考えられる。

被害斜面の方位は、図4に示すように南斜面が最多く、続いて西斜面が多かった。その他には、尾根越えの風による北斜面の被害、尾根が南北にのびているところを北上する風による東西両斜面一様の被害がみられた。

各被害斜面における被害木の倒伏方位は北東、北向きがほとんどで、台風通過時の風向き（南西から南）の通りであった。

被害斜面の方位は、必ずしも台風時の主風向とは正対していなかった。すなわち、たとえ風衝斜面ではなくとも、風道となった谷の側面などのように強風の発生しやすい局所地形では風害発生の危険性が高いことがわかった。

この結果からみると、斜面の方位のみから北斜面や東斜面は安全と判断するのは危険であることがわかる。

従って、個々の森林施業の現場では、今回の台風による近傍の被害地の地形を参考にして、表1に示したような局所的な風害危険地形を見定める必要があるものと考えられる。

斜面上の位置（尾根部、中腹、沢）毎に樹木の被害形態を折損木、根返り、倒木に至らない傾斜木に分け、その出現割合を表すと、表2のようになった。

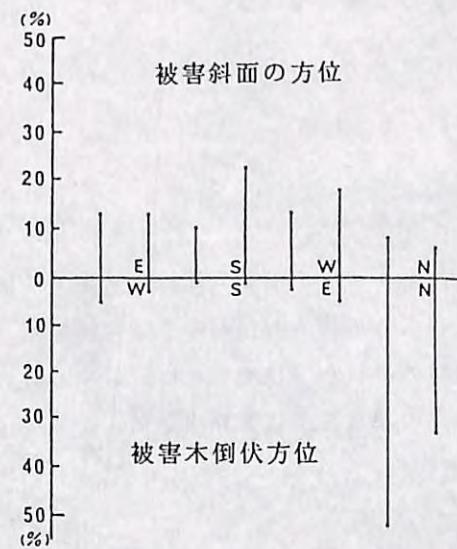


表2. 各斜面位置における風害木の被害形態（比率：%）

	折損木	根返り木	傾斜木
尾根部	51.7	39.8	8.5
中腹	40.4	44.8	14.9
沢	30.1	62.0	8.0

折損木は斜面上部に多く、根返り木は斜面下部から沢にかけて多く、傾斜木は中腹に多かった。

斜面下部から沢にかけて根返り木が多かった理由としては、

- ①沢地形で地下水位が高く、根系の発達が悪かった。
 - ②土壤が膨軟で粘着力が小さかったために、土壤による根系の支持力が弱かった。
- の2点が考えられる。これらの2点はいずれも地形に起因した立地条件であり、将来も持続するものと考えられる。従って、今回の被害地は、根返りの危険地として今後とも注意していく必要がある。

斜面上部に折損木が多かった理由としては、

- ①斜面上部は相対的に風速が大きく、樹体がうける風圧力が大きかった。
 - ②根系による樹体の支持力が十分であったために、樹幹部が相対的に弱点となり、破壊された。
- の2点が考えられる。このうち①については、立地条件からみて強風害の発生危険地であるので、今後とも注意していく必要がある。②については、形状比を小さくするなど、今後、樹木の耐風性を高めるような施業を行うことによって、折損の危険性を低くすることが可能である。

(松岡廣雄 斎藤武史)

2) 根返り木の土壤緊縛範囲

スギ人工林、スギ天然林、スギ・ブナ混交天然林、スギ天然林（複層林施業）、ブナ天然林の各種林分について、根返り被害木の根系の土壤緊縛範囲（根鉢の大きさ）を調べた。土壤緊縛範囲（m³）は、根鉢の形状が円柱やそれに近似するものが大部分なので、円柱形とみなし、根鉢平面積に根鉢の深さを乗じて算出した。

(1) スギ人工林

台風の被害調査は、森林被害調査表（松岡ほか、1992）に基づき、秋田営林局はじめ関係営林署の協力を得て実施した。

秋田営林局管内の被災地の中から、鹿角（旧十和田・花輪営林署）、扇田、鷹巣、上小阿仁、合川、藤里、能代、秋田、大曲、本荘営林署管内の84箇所を調査した。調査表には各林分の調査項目の平均値が記入されている。

調査表の項目の一部が未記入のものもあり、使用可能な資料数は限定されたが、出来る限り多数の資料で解析するようにしたので、要因により、利用した資料数が異なることがある。表3に主要な調査項目の基本統計量を示した。

このような、立地・林分状況のなかで、各要因間の相関係数行列を求めるとき、相関係数

表3. スギ人工林の主要調査項目の基本統計量

NO	調査項目		最小値	最大値	平均値	標準偏差	変動係数	ひずみ	とがり
1	小班面積	(ha)	0.47	25.72	9.38	6.43	0.69	0.78	-0.20
2	被害面積	(ha)	0.10	10.00	3.33	2.95	0.89	0.83	-0.14
3	被害強度	(m ³ /ha)	0.07	3.01	0.88	0.61	0.71	1.58	3.77
4	被害率	(%)	0.18	112.36	35.71	30.65	0.86	0.84	0.01
5	標高	(m)	80.00	600.00	266.25	168.61	0.63	0.66	-0.99
6	傾斜	(°)	1.00	37.00	16.34	8.64	0.53	0.36	0.01
7	林齢	(年)	30.00	85.00	62.44	14.45	0.23	-0.59	0.12
8	胸高直径	(cm)	22.00	46.00	31.94	5.51	0.17	0.61	0.33
9	樹高	(m)	15.00	33.00	23.13	4.54	0.20	0.39	-0.51
10	林分蓄積	(m ³ /ha)	131.00	637.00	367.72	143.55	0.39	0.35	-0.95
11	林分密度	(本/ha)	238.00	1276.00	594.94	257.55	0.43	1.11	0.78
12	枝下高率	(%)	11.80	75.00	45.01	14.93	0.33	-0.06	-0.20
13	間伐後経過	(年)	2.00	18.00	6.16	3.52	0.57	1.55	3.21
14	幹折率	(%)	0.00	85.00	35.66	25.70	0.72	0.12	-1.26
15	根返率	(%)	10.00	100.00	58.91	26.11	0.44	0.00	-1.25
16	傾斜木率	(%)	0.00	30.00	6.72	6.55	0.98	1.51	4.06
17	根鉢直径	(m)	100.00	370.00	218.44	53.47	0.25	0.42	1.25
18	根鉢深	(cm)	50.00	250.00	107.81	37.65	0.35	1.74	5.82
19	土壤緊縛範囲	(m ³)	0.45	20.10	4.34	2.82	0.64	1.63	3.46

(注) 被害強度：被害材積（m³）／被害面積（ha）

被害率：被害材積（m³）／被災前の林分蓄積（m³）

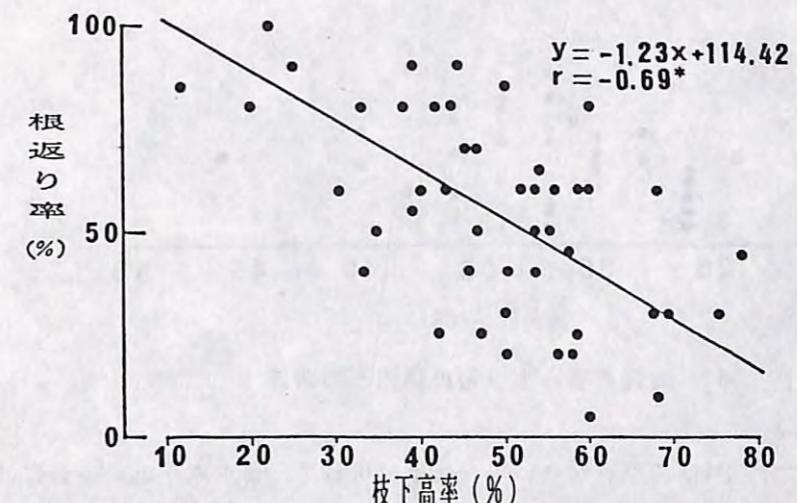


図5. 枝下高率と根返り率との関係

は大部分の要因間で有意性が認められなかった。しかし、枝下高率（枝下高／樹高×100）と根返り率は負の相関、枝下高率と幹折れ率は正の相関があり、相関係数に有意性が認められた。このことは枝下高率の低いものほど根返りが発生しやすく、枝下高率が高いものほど幹折れ被害が発生しやすい傾向を示している（図5、図6）。

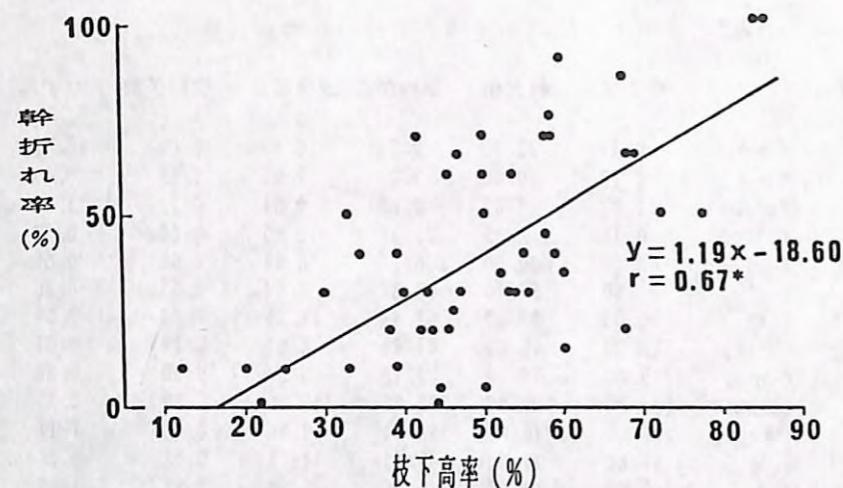


図6. 支下高率と幹折れ率との関係

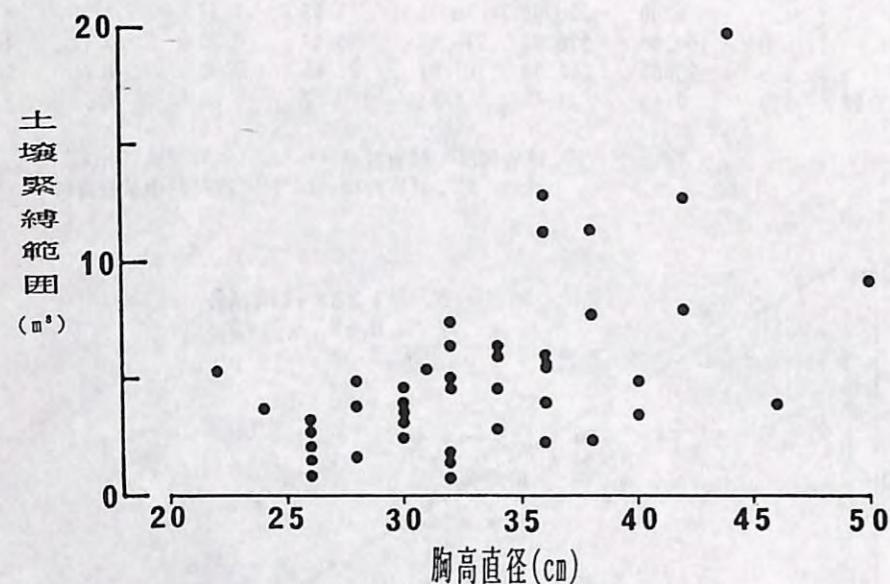


図7. 胸高直径と土壌緊縛範囲との関係

樹木は完満度が同じであれば荷重点が高い場合には幹折れを、荷重点が低い場合には根返りを助長する傾向がある（嘉戸ほか, 1988）。さらに、風心の位置は、通常枝下高から上へ樹冠長の1/3付近になる（森林総合研究所関西支所ほか, 1991）ので、枝下高率の低い樹木は、比較的低い位置に最大の風圧がかかり根返りを起こしやすく、逆に枝下高率が高い樹木は、比較的高い位置で風圧が最大となるため幹折れが発生しやすいのではないかと思われる。

土壌緊縛範囲は、一般に根元直径や胸高断面積・胸高直径との相関が高い（綿引ほか, 1989; 北田ほか, 1992）。ここでは、スギの胸高直径と土壌緊縛範囲との関係を図7に示し

た。相関係数 ($r=0.51$) に有意性は認められず寄与率も低いが、土壌緊縛範囲の大まかな推定の参考になると思われる。

スギの土壌緊縛範囲に関する項目の最大値（表3）は、主としてB_b型土壌に出現しており、胸高直径の範囲が22~46cmで、根鉢深は250cm、根鉢直径は400cm、根鉢平面積は12.6m²、土壌緊縛範囲は20.1m³であった。根系の発達は樹木の生育している地形、土壌の堆積状態、水分環境などで変化すると考えられるが、資料からは、被害木の根鉢深は標高が増加するにつれ、浅くなる傾向がみられた。また、林齢・樹高・根鉢直径が増加するにつれ土壌緊縛範囲は増大傾向を示すが、相関係数に有意性が認められない。林分密度や根鉢直径と土壌緊縛範囲の関係は無相関であった。

(2) スギ天然林（合川営林署管内）

合川営林署管内2林班い小班の天然生のスギを調査した。米代川の左岸に位置する七座山（標高261m）を最高峰とする小さな山塊の北西向き斜面の約0.6haの小流域で、標高は100~200m、やや急斜面で傾斜は25~45°であった。

被災前の林況は220年生（現地測定）のスギを主とした林分で、林分材積はスギ327m³/ha、林分密度はスギ39本/haであった。地質は新第三紀層で凝灰岩が基盤となり、土壌型は褐色森林土（B_b型）であった。流域末端から強風が吹き込み倒伏したものと思われ、被害形態は全て根返りで、被害率は55%であった。

天然生スギの主要な調査項目の基本統計量を表4に示した。

表4. スギ天然林の基本統計量

NO	調査項目		最小値	最大値	平均値	標準偏差	変動係数	ひずみ	とがり
1	胸高直径	(cm)	44.00	130.00	93.89	31.14	0.33	-0.36	-1.15
2	根鉢長径	(m)	2.40	6.00	4.39	1.22	0.28	-0.13	-0.73
3	根鉢短径	(m)	2.10	5.80	3.58	1.28	0.36	0.29	-0.82
4	根鉢面積	(m ²)	3.97	27.33	13.45	7.61	0.57	0.52	-0.44
5	根鉢深	(m)	1.20	3.00	1.94	0.69	0.36	0.44	-1.56
6	土壌緊縛範囲	(m ³)	4.77	62.85	27.99	20.63	0.74	0.69	-1.00

胸高直径と土壌緊縛範囲との関係を図8に示した。資料数は少ないが、相関係数に有意性が認められ、当該地の天然生のスギの土壌緊縛範囲の推定が可能となった。直立な垂下根や斜出根が土壌のB層の深くまで発達し、土壌を緊縛しているのが観察された。

スギの土壌緊縛範囲に関する項目の最大値（表4）は、胸高直径の範囲が44~130cmで、根鉢深は300cm、根鉢直径は590cm、根鉢平面積は27.3m²、土壌緊縛範囲は63.0m³であった。

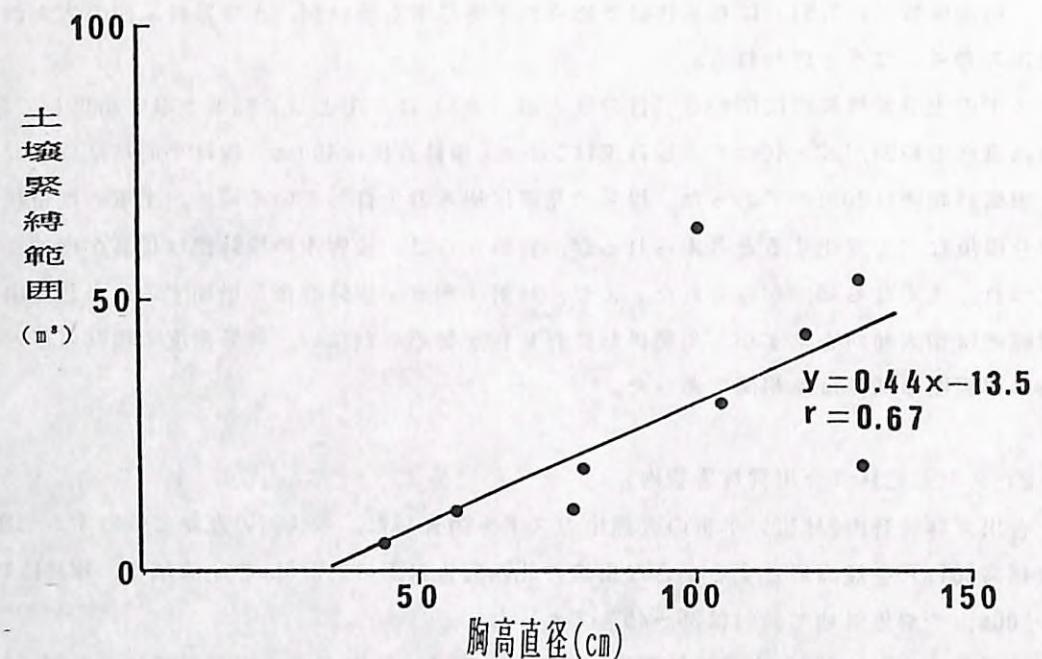


図8. 胸高直径と土壤緊縛範囲との関係

(3) スギ・ブナ混交天然林（矢島管林署管内）

矢島管林署管内74林班へ小班の天然生の鳥海ムラスギとブナの混交林を調査した。鳥海山(2230m)の北斜面の標高700m付近の平坦地に生育したスギ・ブナ林である。被災前の林況はスギ・ブナ混交林で、混交歩合はスギ38%、ブナ57%、その他5%である。スギ(249年生:現地測定)の林分材積は65m³/ha、林分密度は23本/ha、ブナ(170年生:現地測定)の林分材積は97.6m³/ha、林分密度は51本/haであった。地質は第4紀の安山岩、土壌型はグライ型(G)であった。林地全体が壊滅的被害を受け、被害率は90%を超えており、被害木の大部分は根返りであった。

土壤緊縛範囲に関わる主要な項目の基本統計量は、鳥海ムラスギを表5に、ブナを表6に示した。

鳥海ムラスギとブナの胸高直径と土壤緊縛範囲との関係を図9に示した。なお、回帰線は相関係数の有意性が認められたブナのみ示した。

また、ムラスギは、胸高直径と土壤緊縛範囲は無相関($r=0.15$)であった。これは、ムラスギは豪雪地帯の劣悪な環境下で生育し、風雪害や過湿土壤により奇形を呈することが多い。特に胸高直径の測定位置は梢円形となっていたり、3.5mを超す積雪の沈降圧による根元曲がりが多いこと、通直完満なものが少ないとなどが胸高直径に影響しており、さらに、地下水位の高いことは、地下の深くまで根を発達させることが困難となり、胸高直径と根の発達範囲との関係を希薄にしていると思われる。

表5. スギ・ブナ天然林の基本統計量(スギ)

NO	調査項目	最小値	最大値	平均値	標準偏差	変動係数	ひずみ	とがり	
1	樹高	(m)	17.00	25.50	20.67	2.03	0.10	0.43	0.25
2	胸高直径	(cm)	45.00	113.00	79.38	16.23	0.21	0.15	0.03
3	枝下高	(m)	3.00	10.00	6.86	1.79	0.26	-0.55	0.84
4	樹冠幅	(m)	5.00	10.00	7.67	1.56	0.20	0.01	-0.69
5	根鉢長径	(m)	3.00	8.50	5.44	1.68	0.31	0.05	-1.12
6	根鉢短径	(m)	2.00	5.80	4.28	1.05	0.25	-0.34	-0.81
7	根鉢深	(m)	0.30	0.80	0.52	0.11	0.22	0.62	1.01
8	根鉢面積	(m²)	4.91	35.77	19.84	9.88	0.50	0.14	-1.39
9	土壤緊縛範囲	(m³)	1.47	23.37	10.69	6.18	0.58	0.46	-0.66

表6. スギ・ブナ天然林の基本統計量(ブナ)

NO	調査項目	最小値	最大値	平均値	標準偏差	変動係数	ひずみ	とがり	
1	樹高	(m)	12.00	25.00	17.26	2.83	0.16	0.86	2.12
2	胸高直径	(cm)	23.00	93.00	49.63	17.10	0.34	0.35	1.05
3	枝下高	(m)	4.00	10.00	6.47	1.65	0.25	-0.03	-0.11
4	樹冠幅	(m)	3.00	10.00	7.21	1.87	0.26	-0.45	0.31
5	根鉢長径	(m)	1.50	7.00	4.04	1.51	0.37	0.21	-0.67
6	根鉢短径	(m)	1.20	5.00	3.22	1.10	0.34	-0.03	-0.85
7	根鉢深	(m)	0.20	0.80	0.44	0.23	0.51	0.41	-1.19
8	根鉢面積	(m²)	1.43	28.26	11.50	7.41	0.64	0.73	-0.22
9	土壤緊縛範囲	(m³)	0.29	12.01	5.03	3.51	0.70	0.49	-0.64

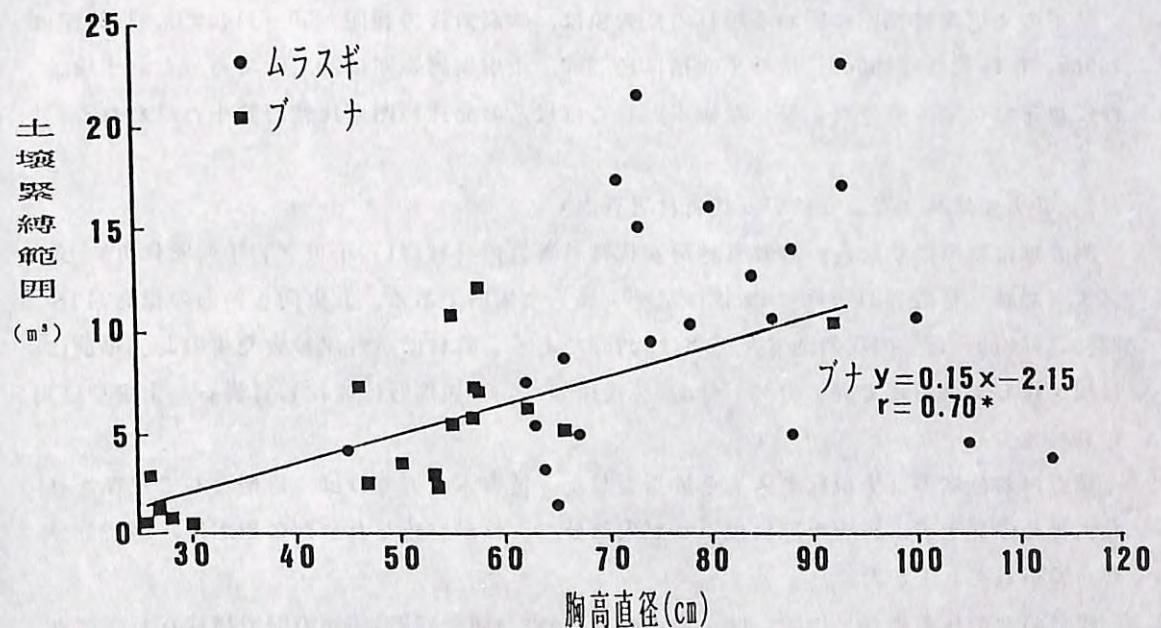


図9. 胸高直径と土壤緊縛範囲との関係

当地では、地下水位が高いためムラスギ、ブナの両樹種とも全般に根鉢体積は小さく、根鉢の底部は、グライ層が浅い位置に現れ、地下水位が高いことなどにより、平均すると深さ50cm付近を底とする平板の形状を呈していた。

ムラスギの土壤緊縛範囲に関わる項目の最大値（表5.）は、胸高直径の範囲が45~113cmで、根鉢深は80cm、根鉢直径は680cm、根鉢平面積は35.8m²、土壤緊縛範囲は23.4m³であった。

ブナは胸高直径と土壤緊縛範囲との相関は高く、相関係数の有意性が認められる。ブナの土壤緊縛範囲に関わる調査項目の最大値（表6.）は、胸高直径23~93cmの範囲で、根鉢深は80cm、根鉢直径は600cm、根鉢平面積は28.3m²、土壤緊縛範囲は12.0m³であった。

(4) スギ天然林（秋田営林署管内）

秋田営林署管内18林班ぬ小班で、天然生のスギ林に樹下植栽をした複層林施業地（1ha）を調査した。標高220m付近の平坦地に生育した天然生のスギが上層林冠を占め、植栽木が下層林冠を占め、被災前の林況は上層林冠を占める天然生のスギ（240年生：現地測定）は林分材積が700m³/ha、林分密度は45本/haであった。下層林冠を占める植林したスギ（59年生）は林分材積が300m³/ha、林分密度はスギ630本/haであった。地質は第三紀の花崗岩を基盤とし、土壌は褐色森林土（B_d型）であった。

スギの6本の被害木は全て下層林冠から突出した上層木で、被害形態は根返りであった。被害木の諸元は樹高：42.4m、胸高直径：95.8±17.8cm、根鉢長径：4.2±0.4m、根鉢短径：3.5±0.3m、根鉢深：1.2±0.3m、土壤緊縛範囲：13.7±4.5m³であった。

スギの土壤緊縛範囲に関わる項目の最大値は、胸高直径の範囲が60~114cmで、根鉢深は160cm、根鉢直径は450cm、根鉢平面積は15.9m²、土壤緊縛範囲は20.7m³であった。土壤条件に恵まれた場所に生育していた樹木としては根系の発達範囲が比較的狭小と思われる。

(5) ブナ天然林（青森営林局安代営林署管内）

調査地は秋田県境に近い青森営林局安代営林署管内46林班い₃小班（岩手県安代町）のブナ天然林（林齢180年）で、漸伐作業を実施した場所である。北東向き斜面の標高710~820m、傾斜0~17°の緩斜地で、面積は約7haである。森林は、台風被害発生の2~3年前に母樹を残して材積率で68%（165m³/ha）を伐採した。表層地質は流紋岩質岩石、土壌型は褐色森林土であった。

調査は対象地のブナ根返り木を全数調査した。被害木の大部分は、母樹として残存させた大径級のブナで、被害形態は根返りが大部分で、幹が腐朽した一部の樹木は、腐朽部分から幹折れをしていた。

緩傾斜地の代表的な土壤断面は、地表からA₀層、A層、AB層、B層の順で構成され、深さ70cm以下にはBC層すなわちB層への風化過程にあるC層が出現した。A層からBC層まで土性は

埴質壤土で、水湿状態は潤であった。

土壤硬度は地表から深度が増すごとに硬化しており、地表付近は1kg/cm²、深さ20cmでは2kg/cm²、30~50cmでは4~5kg/cm²、60~70cmでは8~10kg/cm²、80~100cmでは12kg/cm²、130cmでは14kg/cm²であった。

ブナの根は浅根型で大部分の根は表層土壤にあり、深い土壤層での発達は極めて悪い（舛住、1979）と言われているが、当地では垂直方向への根系はA層、B層で良好に繁茂しており、BC層の浅い部分にも比較的多く、その末端はBC層のやや深い部分まで侵入しているのが認められた。A、B層が厚い場所では、根系の発達は深さ2.5m付近まで達し、B層が垂直分布の限界となっていた。BC層が浅い位置に出現するような場所では根の垂直分布はBC層でとどまっているようである。これは、C層が固く、土壤硬度が植物の根の生育が困難となる11.8kg/cm²（相対値24mm）を大幅に超えると考えられ、酸素不足なども相まって土層への根の侵入を困難にしているためと考えられる。

表7にブナ天然林の調査項目の基本統計量を示した。

表7. ブナ天然林の根返り木の主要項目の基本統計量

調査項目	最小値	最大値	平均値	標準偏差	変動係数	ひずみ	とかり
傾 斜 (°)	0.00	48.0	11.4	13.2	1.15	1.43	0.88
樹 高 (m)	10.00	29.0	22.4	3.6	0.16	-1.02	0.47
胸高直径 (cm)	11.00	130.0	55.5	23.3	0.42	0.44	-1.71
枝 下 高 (m)	2.00	13.5	7.6	2.7	0.36	0.20	-0.50
樹 冠 幅 (m)	4.00	25.0	11.5	4.7	0.41	0.60	-0.29
根鉢長径 (m)	0.80	8.0	4.1	1.5	0.37	0.24	-0.57
根鉢短径 (m)	0.60	5.5	3.0	1.0	0.32	-0.02	-0.24
根 鉢 厚 (m)	0.30	2.5	1.3	0.5	0.36	0.38	-0.12
胸高断面積 (m ²)	0.009	1.3	0.3	0.2	0.80	1.43	2.64
D ** ²	0.012	1.7	0.4	0.3	0.80	1.43	2.64
D ** ² *H	0.225	44.8	8.6	7.4	0.86	1.61	3.81
幹 材 積 (m ³)	0.081	11.7	2.5	2.0	0.79	1.31	2.34
根鉢断面積 (m ²)	0.385	30.7	11.3	6.8	0.61	0.68	-0.22
土壤緊縛範囲(m ³)	0.115	66.0	16.4	14.0	0.89	1.37	1.58

（注）D：胸高直径、H：樹高

表8. ブナ根返り木の主要調査項目の相関係数

調査項目	傾 斜	樹 高	胸 高 直 径	枝 下 高	樹 冠 幅	根 鉢	根 鉢 厚	胸 高 断 面 積	D ** ² H	立 木	土 壤 緊 縛 範 囲
1. 傾 斜	1.00	-0.27	-0.03	0.05	-0.23	-0.82	-0.24	-0.07	-0.11	-0.12	-0.19
2. 樹 高		1.00	0.54	0.03	0.58	0.52	0.46	0.45	0.52	0.55	0.41
3. 胸高直径			1.00	-0.17	0.78*	0.84**	0.63*	0.97**	0.96**	0.97**	0.82**
4. 枝 下 高				1.00	-0.31	-0.25	-0.08	-0.17	-0.15	-0.16	-0.19
5. 樹 冠 幅					1.00	0.74*	0.58	0.75**	0.76*	0.78*	0.74*
6. 根鉢長径						1.00	0.61*	0.81**	0.80*	0.81**	0.87**
7. 根 鉢 厚							1.00	0.60	0.58	0.60	0.81**
8. 胸高断面積								1.00	0.99**	0.99**	0.82**
9. D ** ² H									1.00	1.00**	0.80**
10. 立木幹材積										1.00	0.81**
11. 土壌緊縛範囲											1.00

**:相関係数の有意水準（信頼限界99%）

* : 同 上 （信頼限界95%）

根の切断状況は、根鉢側面においては中径根（5~20mm）と小径根（2~5mm）で多く見られた。急傾斜地では大径根（20~50mm）のものや特大根で切断されたものも部分的に認められた。根鉢底面では大部分の細根はその末端まで土壤を抱えて根返りしており、部分的には小径根で切断されているものもみられた。

ブナ根返り木の主要測定項目の相関係数を求めた（表8）。この結果、土壤緊縛範囲は胸高直径と相関が高く、相関係数有意性が認められた。

胸高直径と土壤緊縛範囲との関係を図10に示した。ブナの土壤緊縛範囲に関わる項目の最大値（表7.）は、胸高直径の範囲が11~130cmで、根鉢深は250cm、根鉢直径は630cm、根鉢平面積は30.7m²、土壤緊縛範囲は66.0m³であった。

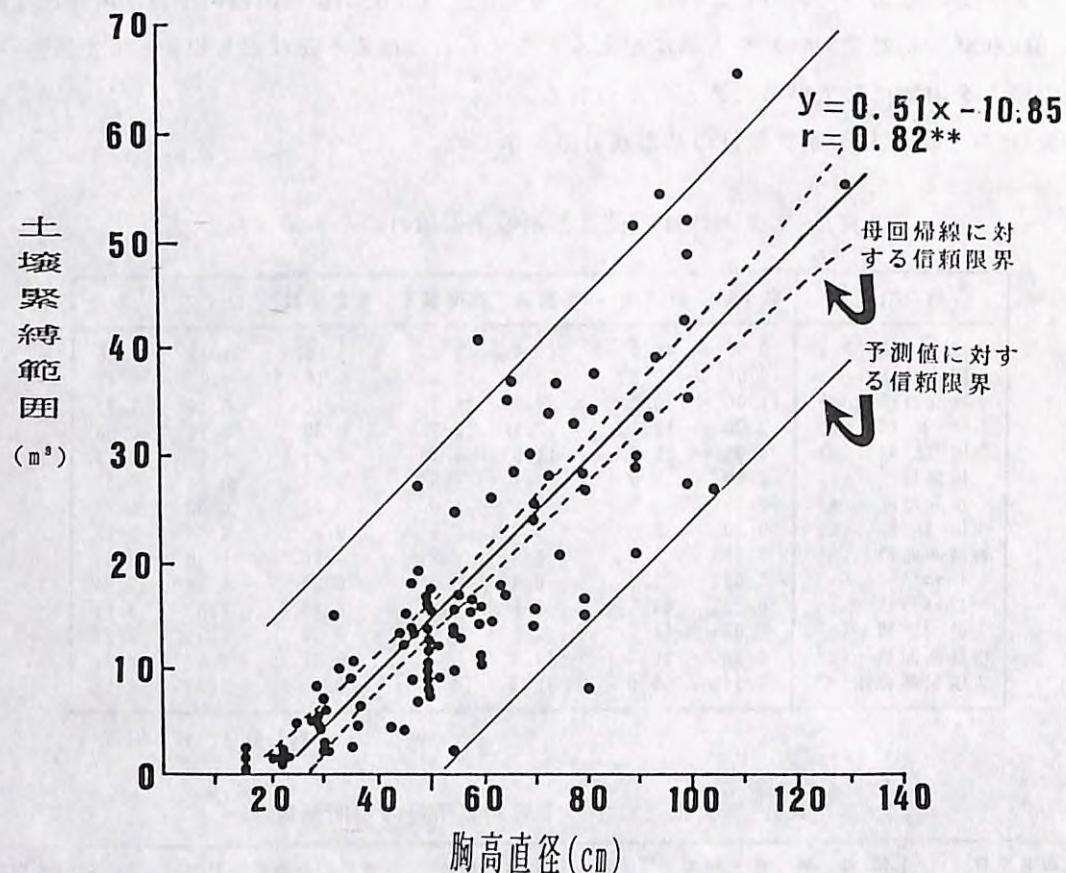


図10. 胸高直径と土壤緊縛範囲との関係

(6) 全被害木の土壤緊縛範囲

樹木の根系の発達範囲は、生育地の立地条件（土壤型・土層深・水分状態）や林分条件（樹種・胸高直径・樹齢・林分密度）などの諸因子により影響を受けていると考えられる。

スギの根系は小数の太い斜出根と短い垂下根によって特徴づけられ、ブナは斜出根の分

岐が多い（苅住、1979）など、樹種により根系の形状が異なるが、一般に、樹木の根系の発達範囲が大きければ、大きいほど、根系の土壤緊縛範囲は大きくなる可能性が高く、根返りに対する抵抗性も増大すると考えられる。参考までに既往の報告を基に、根鉢の体積を円柱とみなして土壤緊縛範囲を推算すると、次のような数値となる。

スギ人工林：

①福岡県下の調査では林齡37年、立木密度880本/ha、胸高直径31cm(27~36cm)、樹高19m(17~21m)で、土壤緊縛範囲の最大は3.5m³と推定される（福岡県林業試験場、1992）。

②秋田県での調査では林齡70年、立木密度575本/ha、胸高直径40cm、平均樹高24mで、土壤緊縛範囲の最大は約6.0m³（深さ0.8m）である（小野寺ほか、1993）。

③三重県下の調査では、林齡30年、立木密度4,800本/ha、胸高直径8.0cm、樹高7.7mで、土壤緊縛範囲の最大は約4.0m³（根系幅1.3x1.2m、深さ0.8m）である（森林総合研究所関西支所ほか、1991）。

ブナ・ミズナラ林：

①群馬県下のブナ（胸高直径40cm、根鉢直径4.3m、根鉢深さ1.7m）は、土壤緊縛範囲が16.7m³であった（苅住、1979）。

②秋田県下での調査では、ミズナラを主体とした広葉樹（林齡不詳、立木密度1,270本/ha、胸高直径55cm、）で、土壤緊縛範囲の最大は約10.0m³（深さ0.9m）であった（小野寺、1993）。

今回調査したスギ人工林、スギ天然林、スギ・ブナ混交天然林（鳥海ムラスギ）、ブナ天然林の根系の土壤緊縛範囲を、同一座標軸にのせて図11に示した。ただし、図が煩雑になるので、スギ・ブナ混交林のブナの図示は省略した。

樹木の生育環境が違うので一概に比較できないが、調査したスギ人工林の土壤緊縛範囲は、同一の胸高直径の天然林のブナと比べるとやや小さいと思われる。スギ人工林では林分密度と土壤緊縛範囲の相関は認められなかったが、既存の資料からみても人工林は比較的土壤緊縛範囲は小さい。これは、人工林は立木密度が高いこと、あるいは急傾斜地の浅い土層に生育している樹木の資料が多かったためではないかと推測される。

ブナ天然林の土壤緊縛範囲が、スギ人工林と比べるとかなり大きいと思われる。樹木根系の土壤緊縛範囲を今回の調査からみる限り、湿性ないしは湿润性の土壤型に生育している樹木は、胸高直径が大きくなても土壤緊縛範囲が比較的小さいことは、根系の発達範囲が土壤構造や水分環境で制限されているものと思われる。このことは土壤が乾燥気味の場所では、樹木は水分を求めて根を下層まで伸ばし、湿性の環境下では根を下層まで伸ばす必要性はないので、湿性環境では相対的に根は浅い（竹下、1992）ことや、根の密度は乾燥土壤型の方が適潤性より、また、適潤性土壤型は湿性土壤型より多い傾向（苅住、1979）があるとの研究結果と一致していると考えられる。

樹木の根系は林地の地表侵食の防止や表層崩壊防止に有効である。これに関する樹木根

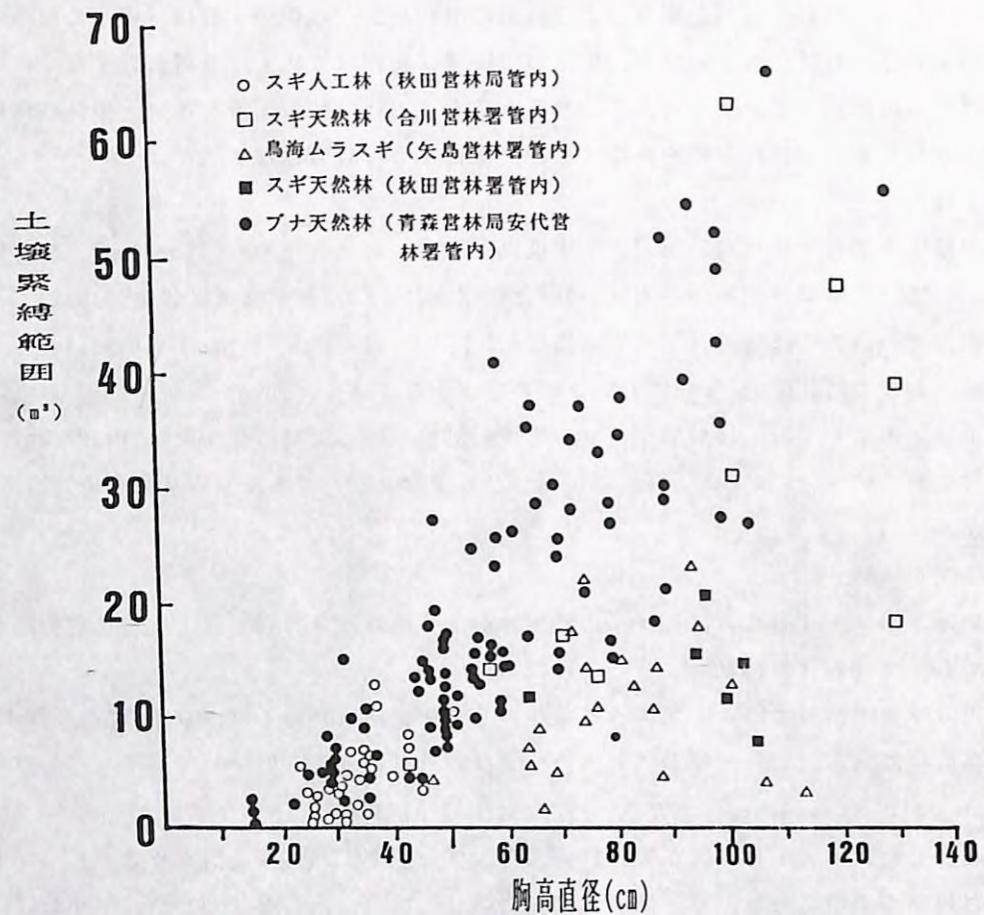


図11. 主要調査地の根返り被害木の胸高直径と土壌緊縛範囲との関係

系の土壌緊縛範囲について、若齡林分や径級の小さい樹木は、調査が進んでいるが、大径級の樹木の量的・質的情報は、根が地下深くまで存在し、かつ巨大なので、情報収集に莫大な労力を要するので、なかなか的確な情報を得られないのが実情である。

長伐期施業は、森林の公益的機能の高度発揮や維持助長の一翼を担っているので、樹木の生産基盤である林地の保全対策に役立たせるため、今後、長伐期人工林の大径級の樹木根系の土壌緊縛範囲の資料を補完したいと考えている。

(北田正憲)



写真1. ブナ天然林（青森営林局安代営林署管内）
ブナの根返り



写真2. スギ天然林（秋田営林局合川営林署管内）
スギの根返り

2. 長伐期人工林の森林形態と被害



写真3. スギ・ブナ混交天然林（秋田管林局矢島管林署管内）
スギの根返り



写真4. スギ・ブナ混交天然林（秋田管林局矢島管林署管内）
ブナの根返り

台風被害はいろんな要因が複合し、総合化された結果として発生しているため、解析データがばらつき、被害に関与した各種要因を分離しない限り本質的な解釈ができない。

被害に関与する要因として気象要因、立地要因、林分要因が考えられる。

気象要因：被害の起因としての気象要因は台風19号のような風台風の場合、風速を中心と考えればよい。風速は高層大気の流れに従い、台風の位置、中心からの距離で時々刻々と変わる。またジェット効果流、山越え気流など局所地形によっても風速は変化する（和達ほか、1974）。台風19号襲来時に記録された秋田県下の最大風速をみても地域によってその現れ方が大きく異なっている（梶川ほか、1992）。

立地要因：被害の誘因としての立地要因には地形、土壤などが考えられる。地形要因には前述のジェット効果流などの発生に密接に関連する局所地形、強風の風向との関係での斜面方位、斜面傾斜角などが被害に関与している。一方、土壤要因では前述の斜面傾斜角との関連での土壤の厚さ、地域的な偏りがあるが停滞水や表層地質に関連した有効土層などが被害に関与している。

林分要因：林分要因には樹種、林齡、密度、あるいはこれらの総体としての林木の形状、林分の構造が被害と関係している。そして、それらは過去の施業履歴を反映したものに他ならない。

上述した3要因、気象要因、立地要因、林分要因が複雑に関連し合って被害発生に至る訳である。

ここではまず「地形要因に起因する被害」の実態を報告する。次いで「林分要因に起因する被害」の検討を行い、本題である「強風に強い林分構造とはどのような構造なのか」について検討し、「林分の耐風性」を考える。

なお、本研究は秋田県受託研究「1991年台風19号による大規模森林被害の実態解析と耐風性森林育成技術の検討」と並行して実施しており、本研究の成果は受託研究の成果と密接に関連しあい不可分の関係にあることを記しておく。

1) 地形要因に起因する被害の実態

秋田管林局技術開発室が中心となって台風直後に実施した83か所の被害概況調査資料、各管林署が作成した林小班ごとの被害木処理に関する資料を参考に現地調査を行った結果、地形と密接に結び付いた局所的被害を見い出した。そこでその中で激害状態を呈する林分について被害実態を調査した。

(1) 谷地形にみられる被害

a) 調査地及び調査方法

河川沿いの林分に被害が集中した鹿角営林署夜明島川流域を選定した。この地域一帯の被害発生状況を営林署資料をもとに把握するとともに現地踏査を行い、激害状態にあった166林班わ小班に調査地を選定した。ただ、被害と林分構造の関係を検討するため調査区の設定は壊滅的被害を受けた河川近接部を避けその斜面上方、立木が若干残存する場所にて行った。林分風上前面から20m幅で風向に沿い（倒木方向を参考）長さ60mのプロットを設定し残存木の毎木調査を行うとともに、被害木のサイズ・被害形態を調査した。被害形態は図12に示すように樹幹横方向に切断されたものを剪断、樹幹縦方向に裂けたものを割裂、その両形態をもつものを剪裂、外的な損傷はみられないが樹幹が大きく傾いているもの、及び湾曲しているものを傾斜、樹幹が破壊される前に転倒したものを根返りとして区分した。なお、全ての調査においてこの区分法を適用している。

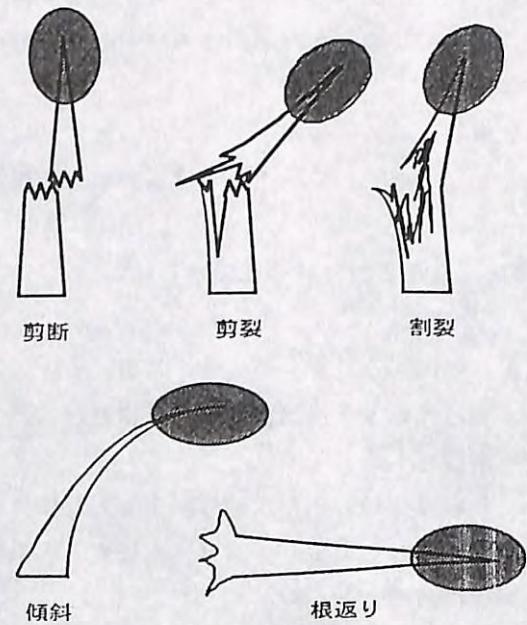


図12. 林木の被害形態の分類

b) 調査結果

夜明島川は米代川の一支部である。その源は柴倉岳（1180m）・三又森（1119m）の鞍部北斜面にある。狭い谷筋をほぼ北北東へ流下し長井田で谷地形を脱し花輪に至る河川である。この夜明島川沿いには台風被害が特に集中して発生していた（図13）。この局所的な被害は田沢湖・宝仙湖方面からの南風が柴倉岳・三又森を山越え下降し、狭い谷地形底部を流れる夜明島川沿いに吹き抜けたため発生したものと考える。いわゆる山越え気流とジ

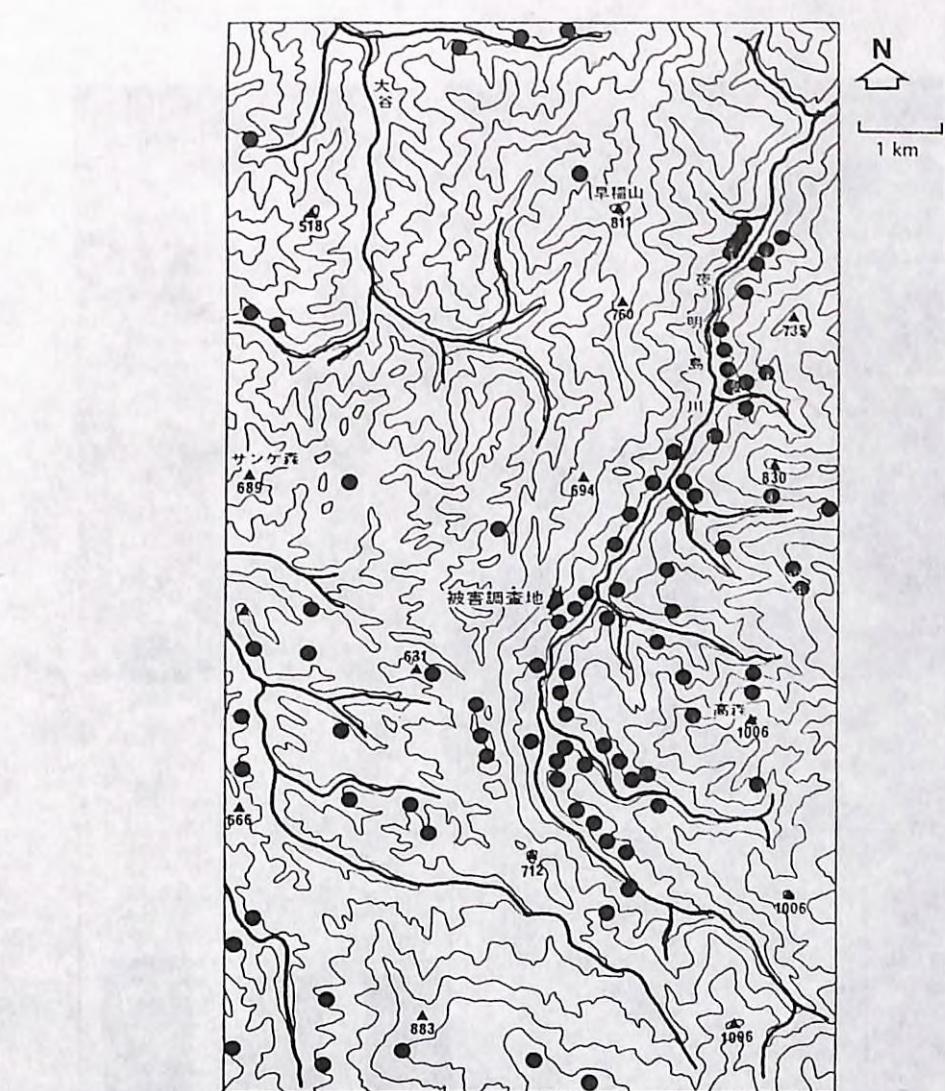


図13. 谷地形の河川沿いに集中して発生した台風被害
(鹿角営林署夜明島川流域)

エット効果流（和達ほか, 1974）を合わせたものによる被害だと考える。

この流域で最も被害が大きかったのは鹿角営林署166林班わ小班であった。59年生のスギ林（29.9ha；ブナ、ミズナラなどの広葉樹が一部混生）で、被害材積は4900m³にのぼった（写真5）。壊滅的被害を被った河川近接部を外して設定した調査区ベルトでの被害率を図14に示す。林分風上前面から0~30mと30~60mで被害率に大きな差が認められる。通常、風上前面で被害が大きく後背地で低くなるのが一般的であるが、ここでは逆の関係になっていた。この逆転は図15、図16から明らかなように林分構造の違いに起因するものと推察された。同一林分ではあるものの過去の除間伐の歴史が違い異なった林分構造になったもの



写真5. 鹿角営林署166林班わ小班の被害状況

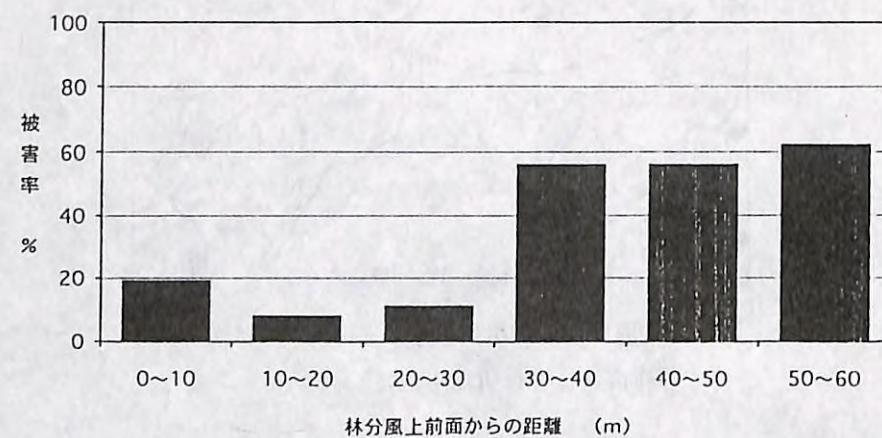


図14. 夜明島川流域の激害林分における被害発生状況（鹿角営林署166林班わ小班）

である。被害率が高かった後背地の林分は若干の広葉樹を混成するものの林相は林冠層が薄いスギ林（胸高断面積合計 $41\text{m}^3/\text{ha}$ 、立木密度707本/ha），逆に低かった風上前面の林分は林冠層が厚いスギ・落葉広葉樹混交林の様相を呈する林分（胸高断面積合計 $57\text{m}^3/\text{ha}$ 、立木密度1660本/ha）であった。この激害地での調査結果からスギ・広葉樹混交林の方がスギ単純林より耐風性が高いことが示唆された。

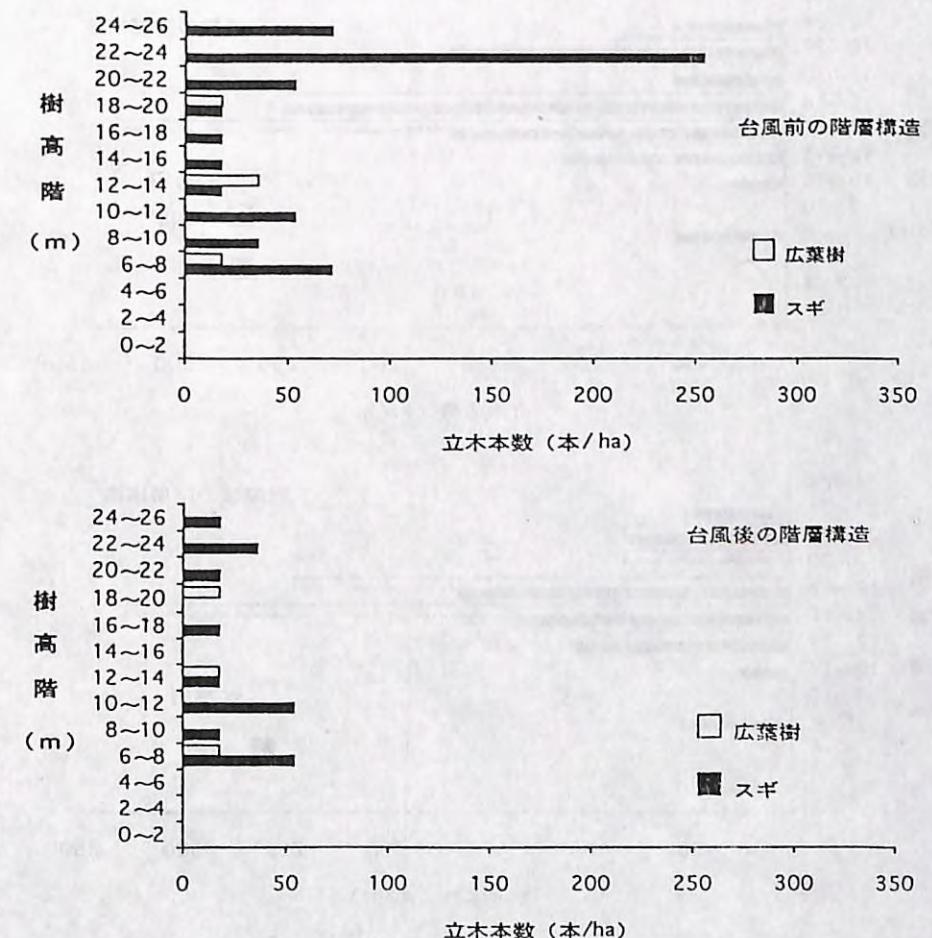


図15. 林分風上前面より30~60mに存在する林分の階層構造と被害（スギ林）

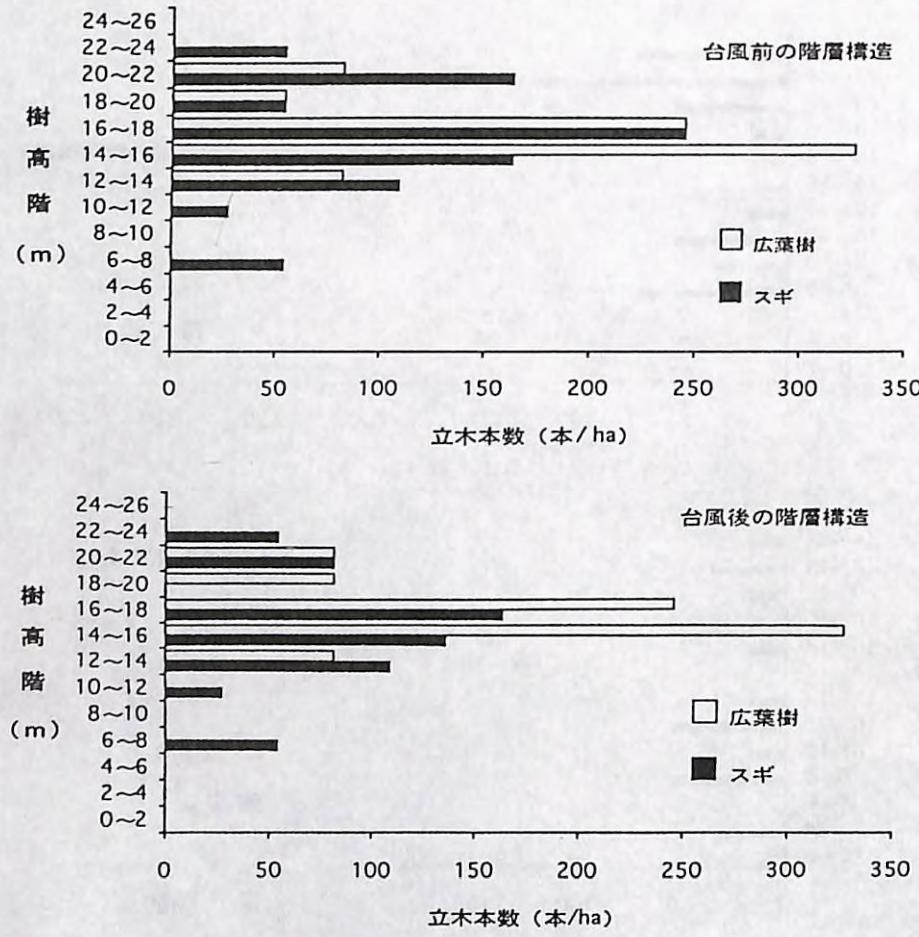


図16. 林分風上前面0~20mに存在する林分の階層構造と被害（スギ・広葉樹混交林）

(2) 山頂・尾根地形にみられる被害

a) 調査地及び調査方法

谷地形に起因するジェット効果流とは別に山頂部あるいは尾根部にある林分にもジェット効果流によるものと思われる被害が多発していた。そこでその典型と思われる林分について被害実態調査を行った。調査地は能代営林署95林班い小班のスギ林である。林分内に20×30mの調査区を設定し被害調査を実施した。



写真6. 能代営林署95林班い小班の被害状況

b) 調査結果

能代営林署95林班い小班は78年生のスギ林である。小班面積は33.58ha、その内2haに100m³の被害が発生していた（写真6）。隣接の95林班ろ小班79年生スギ林、96林班い小班82年生スギ林においても被害状況は類似し、この3林分で1800m³の被害を受けていた。風上側、五城目管内は地形的に大きく開けしかも新植地で風を遮るようなものは全くなかった。いずれの林分でも被害は尾根部（標高250~280m：尾根線から50m以内の風下側）に集中して発生していたのが非常に特徴的であった（図17）。五城目営林署管内からの吹き上げ、尾根越しの南風によって被害がもたらされたものであった。剪断、剪裂、割裂の幹折れ被害が卓越していた。全ての被害形態が入り乱れて発生していたが（図17）、強いていえば林分風上前面に剪断が、その後背斜面に根返りが多い傾向にあった。

台風被害地域の踏査の過程で、上記のような南～西に開けた山頂部や尾根部の立地に成

林する高齢林はほぼ間違いなく幹折れを主体とする壊滅的被害を受けていることが明らかになった。

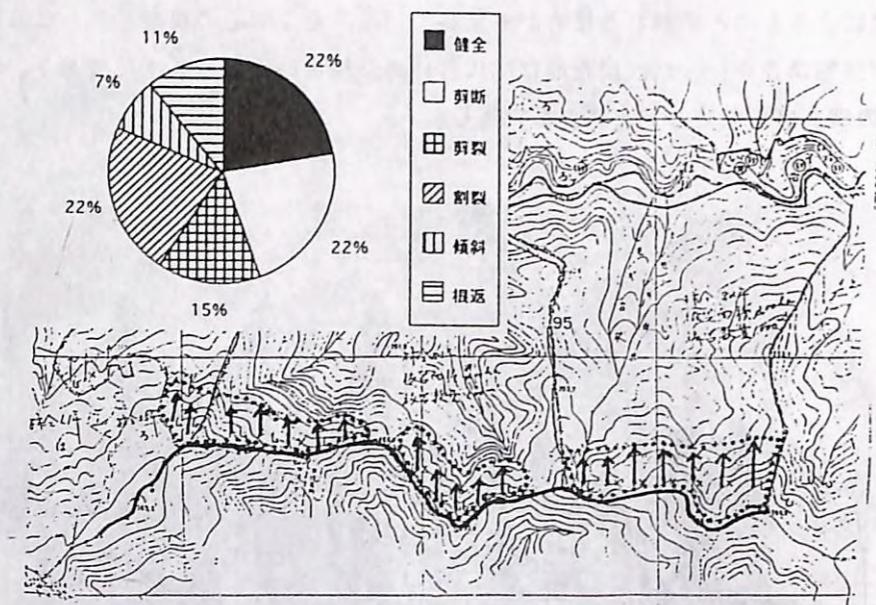


図17. 尾根部に発生した台風被害（能代営林署95林班い小班）

(3) 微地形と被害

a) 調査地及び調査方法

能代営林署管内には小規模な連続した凸凹地形が散見される。尾根と沢の高低差が樹高に満たないような凸凹地形である。このような地形における被害の発生形態を把握するため同署87林班と小班を調査地として選定し実態調査を行った。この小班は65年生のスギ林（面積6.92ha）で、2haに960m³の被害が発生していた。まず測量を行い地形変化を把握した（図18上段左側）。その後、北東向き斜面、南西向き斜面、尾根の3か所にそれぞれ20×20mのプロットを設定し被害状況を調査した。

b) 調査結果

3プロットとも林分の樹高、直径、枝下高はほぼ同じ（これらの諸量は地形断面図と縮尺を合わせ図18上段左側に模式化している）、また密度も500本/ha前後で大きな違いはなかった。このような林分に風は南西方向（図18上段右側）から襲来し被害をもたらしていた。被害の発生は北東斜面と尾根において顕著で、それぞれの被害率は83%、72%であったのに對し、南西斜面では25%の値を示すにすぎなかった（図18）。また被害形態についても特異的な結果が得られた。すなわち、北東斜面では67%もの根返りが発生していたのに対し、南西斜面と尾根ではわずか4%、6%にとどまっていたことである（図18）。

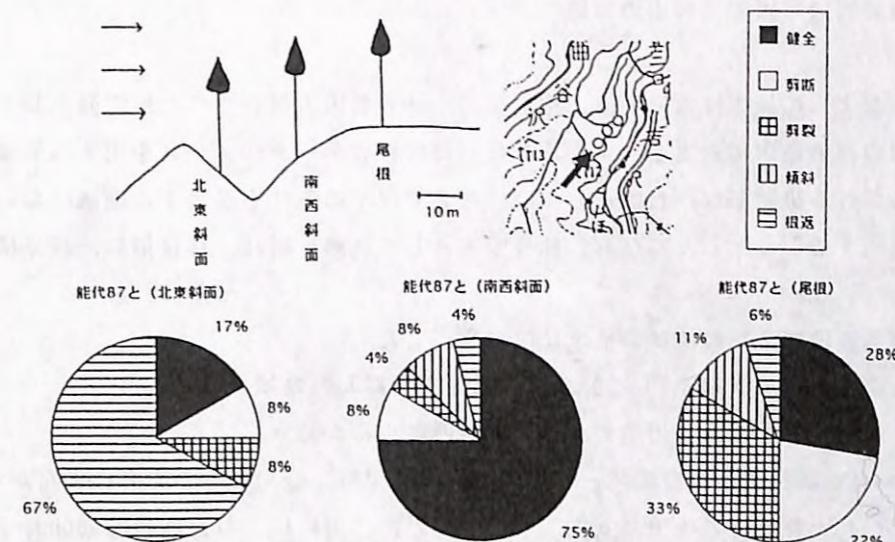


図18. 微地形と被害形態の関係（能代営林署87林班と小班）

風向きとの関係からみると、南西からの風に對峙する南西向き斜面の林分では被害率が低く、逆に風に後背する北東斜面の林分では高く、しかも根返りが極端に多いことがある。風のモーメントは北東斜面では地際を支点とし根系を掘り起こす方向に（根返りが起りやすい）、南西斜面ではその逆の方向に働くことが、被害率や被害形態の違いを引き起こした原因ではないかと考える（図19）。南西斜面で被害率が低くそれに続く尾根で被害率が高く幹折れ被害が多くなっている点に関してその原因は明らかでないが、両立地のわずかな比高差や斜面地・平坦地での風に対する林冠の連続性の違いに何らかの関係を有するのではないかとも思われる。

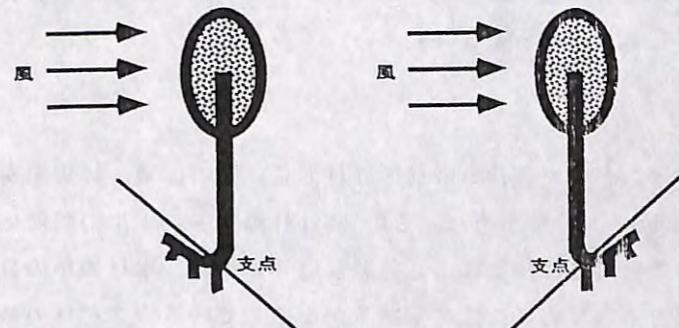


図19. 風向き・斜面向きと根返り誘発の難易性

2) 林分要因に起因する被害の実態

前述したように被害は気象要因、地形要因、林分要因の複合された形で発生している。林分要因のみの被害に対する効果をみるために被害データにノイズを出す気象要因や立地要因の関与を排除しなければならない。そこで以下の条件を満足する地域において被害調査を実施することとした。なお、林分要因として林齢、樹高、林縁形態、林分構造を取り上げた。

- ①被害調査地域を比較的狭い地域に限定すること。
- ②最大クラス（最大風速19~20m/s）の風速を記録した地域であること。
- ③ある広がりをもった平坦地で、しかも四面に山岳が迫らないこと。

以上の3点を満足する調査地域として北秋田郡鷹巣町、合川町、森吉町にまたがる大野台を選定した。大野台は米代川の支流、小猿部川と阿仁川に挟まれた面積3,000ha、周辺より約30m高い台地である。

(1) 林齢と被害

a) 調査地及び調査方法

台風被害に関する、「若齢林では被害がみられない」、「高齢林分で被害が多い」などよく耳にした。これらは視覚的なイメージで判断したもので客観的なデータを基にした話ではないようである。仮にデータに基づく話であっても風要因、地形要因などを整理せずブラックボックスに入れたまでの検討であったり、あるいはデータの基となる母集団についての検討がないままであったりする。ここでは上述の2要因を最大風速19m/sの地域、平坦地とした中で、林齢と被害の関係を検討することとした。

秋田県北秋田郡大野台地に成立するスギ林を調査対象林分とした。北秋田農林事務所の被害調査資料及び森林簿データをもとにスギ林を各齢階毎に被害林分、無被害林分に区分し、その森林面積、被害面積、被害率を集計した。なお被害面積は被害林小班の面積に目測して得た被害率を乗じそれらを合計したものである。

b) 調査結果

大野台に成立するスギ林の各林齢階別の森林面積、被害面積、被害率を図20に示す。大野台には現在約980haのスギ林があり、その75%は林齢10~40年生の齢階に属している。これらの林分は戦後の拡大造林政策による急激な造林の展開、木材価格の低下や労働力の減少による林業の衰退に時間的ずれは若干あるが呼応している。スギ林の被害面積合計は約76haで、これは全体の8%程度であった。

被害率を林齢との関係で検討した結果以下に述べる3点が明らかになった。

- ①20年生以前の林分でほとんど被害が発生していない。

②被害は20年生以降の林分にみられ、被害率は40年生台でピーク（約20%）に達している。

③60年生以上（90年生台以下）の高齢林の被害率は10%程度で、20~30年生台の被害率とはほど変わらない。

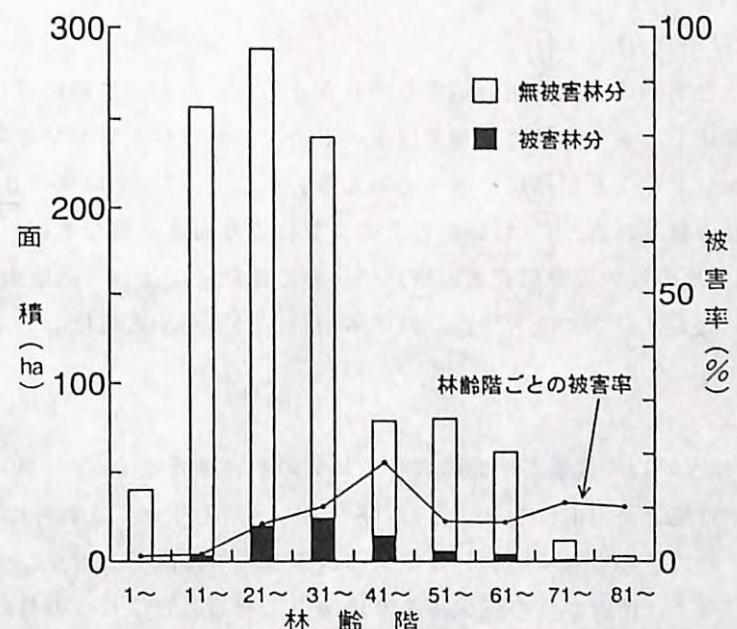


図20. スギ林の林齢階別被害面積と被害率（北秋田郡大野台）

若齢林では強風害が少ないということはいくつかの報告に見られる（東京営林局、1960：中尾ほか、1993：台風19号など災害復旧対策調査検討委員会、1992）。この現象は秋田のスギの場合にも20年生以下ではある。若齢林では枝葉の枯れ上がりがそれほどないため風心が低く、その上、材に柔軟性があり強風のエネルギーをよく「しなる」ことで分散させるためではないかと思われる。なお、風心とは風圧のかかる中心で、樹冠長の約1/3、枝下高より上の幹にある（玉手ほか、1935）。

20年生を過ぎた辺りから材の柔軟性が失われ、さらに林分閉鎖に伴う下枝の枯れ上がりが起こり風心が高くなる。20~40年生台にかけての保育間伐の遅れがそれを助長し、また肥大成長が結果的に抑制されるため、出来上がった林は強風に対して脆弱な林分構造になってしまうと考える。

60年生台以上の高齢林になると間伐自体が収入につながり、また過去に複数回の間伐が行われている。その効果は伸びが鈍り出した樹高成長ではなく肥大成長に現れ、直径が大きくなることで結果的に折損に対する抵抗性を高めたのではないかと思われる。ただ、適正な間伐が適正な時期に行われていない40年生台の林分がこのまま高齢林へ移行した場合にはこの限りではないものと考える。

この考察に関しては各林齢階ごとの林分構造を詳細に調査し検証する必要がある。ただ、

考察の妥当性はともかく、スギ林が20年生台に入ると強風害の危険期に入ったと認識すべきである。

(2) 樹高と被害

a) 調査地及び調査方法

前項で20年生台を強風害危険期の始まりの目安とした。ただ、実際には林分のサイズが被害と密接に関係しており、林齢は見かけ上のものでしかない。林分サイズや現場を考えると樹高に目安をおくことが適切であると考える。そこで、7) 平坦地に互いに隣接した樹高の異なる林分の被害調査、4) 短い斜面上の位置により樹高が異なる同一林分内の被害調査、9) 秋田県実施の被害実態調査表の樹高データの検討、によって危険樹高を明らかにすることとした。なお、ここでは大野台以外の事例4), 9) を加えて検討した。

b) 調査結果

(7) 平坦地に互いに隣接した樹高の異なる林分の被害調査

森吉町松栄、台地上平坦面に並立する9林分を調査対象とした。これらの林分は南東-北西ライン上に一列に並んでいる。各林分の前面は南西方角に面しており、その前面は広い畠地で遮閉物はなく、南西からの強風はこの畠地の上を通過しこれらの林分に到達していた。樹高11m以上の林分で被害が認められ、それ以下では認められなかった(図21)。なお、樹高が20mを超えた林分で被害がほとんど認められなかった2林分は十分に発達した林衣を持っていた。

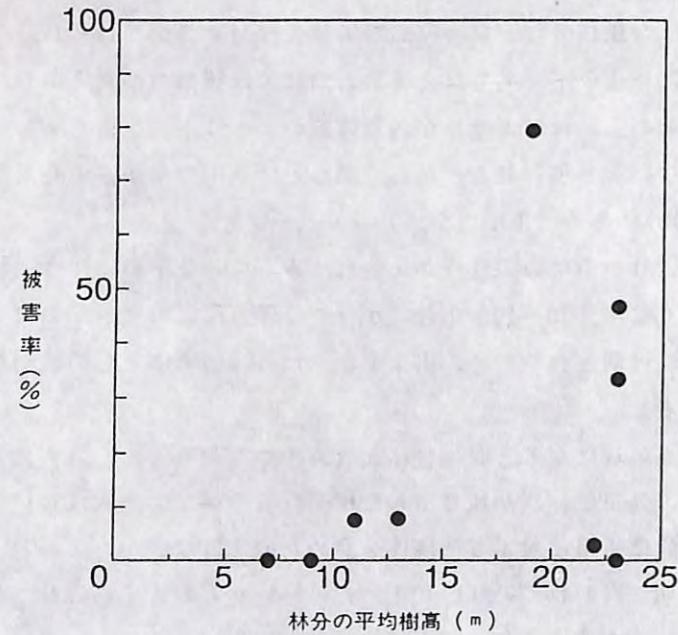


図21. 平坦地に隣接する9林分の林分樹高と被害率(北秋田郡大野台)

(4) 短い斜面上の位置により樹高が異なる同一林分内の被害調査

上小阿仁村国見沢、傾斜23度の南南西斜面上に成林した31年生林分を調査対象とした。この斜面から見て南東から西方角にかけては遮閉物が全くなく、南南西の強風がこの斜面に吹きつけていた。斜面上部と中部の調査区は斜面長で45m、高低差で15m程度しか離れていない。斜面上部の調査区は樹高10m、斜面中部では樹高15mで、両樹高間に強風被害発生の境目があった(図22)。

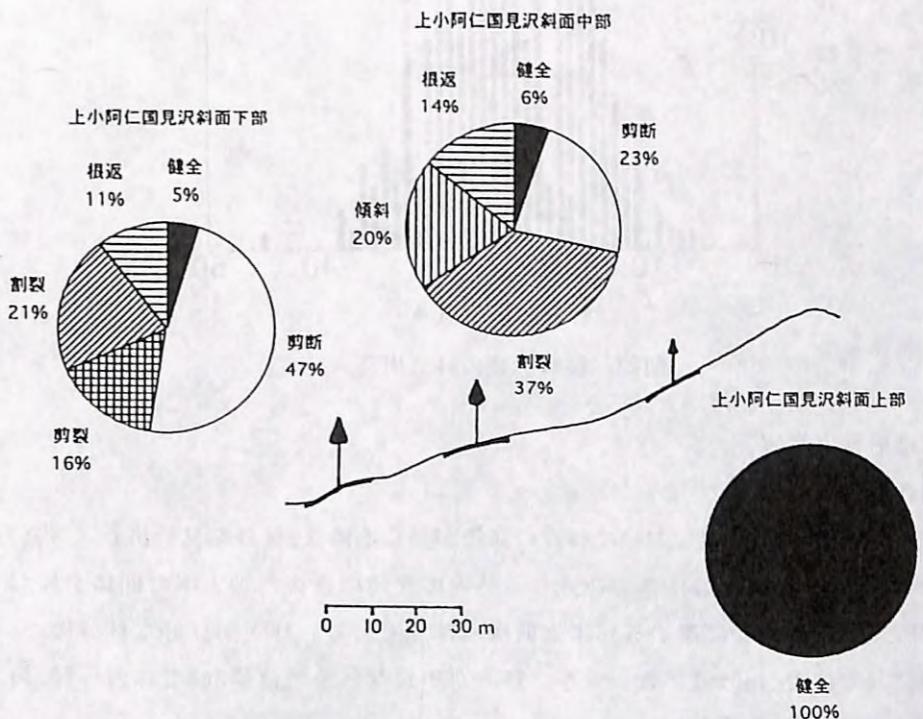


図22. 同一斜面上に成林した同一林分の被害状況(上小阿仁村国見沢)

(9) 被害実態調査表の樹高データの検討

台風被害後に秋田県が実施した364林分の被害実態調査から、スギ被害林分の樹高データを抽出し、その頻度分布を検討した(図23)。被害林分の樹高の分布はきれいな正規分布を示し、ほぼ林分樹高11m以上で被害の発生が顕著になることが明らかである。

以上の調査結果から考えると、強風害のリスクは樹高11m以上で大きくなることが推察された。強風害の危険地域では林分樹高が11mに達する以前に適正な除間伐を実施し、風心高を低く抑える、肥大成長を促進させるなどの取り組みが必要である。

ちなみに、樹高11mに達する林齢はおおよそ地位1等地で18年、2など地で20年、3など地で24年、4など地で26年、5など地で32年である。

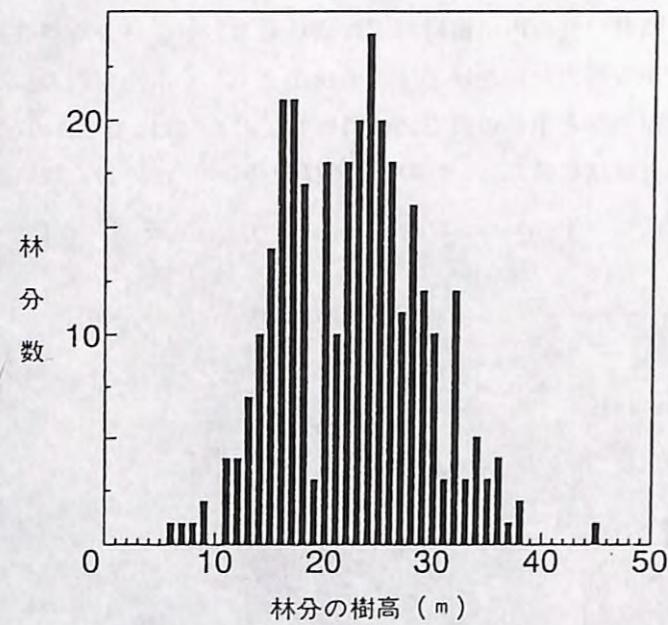


図23. 被害林分の林分樹高



写真7. 林衣の状態が異なる2林分

左側：林衣が十分に発達した林分　右側：林衣の発達が不良な林分

(3) 林縁形態と被害

a) 調査地及び調査方法

北秋田郡大野台の平坦地において林衣の発達が異なる隣接2林分を見い出し（写真7），風上側前面にある林縁木の枝葉で作られる林衣の発達の良否と被害率の関係を検討した。

両林分とも林冠は20mに達する40年生前後の林分である。林衣が良好な林分については林縁から幅30mで林内へ30mのプロットを，林衣が不良な林分では幅30mで林内へ60mのプロットを設定し被害状況を調査した。

b) 調査結果

両林分の風上側前面に遮閉物はなく，強風は南西方角から両林分の林縁にほぼ直角に吹きつけ被害を引き起こしていた。写真7から明らかなように林縁の形態が違っており，林縁形態と被害の関係を評価するに適した林分であった。

調査林縁長30m内にある林縁木の枝下高の頻度分布を図24に示す。両林分の林縁構造が異なる点は林縁木の数が林衣が良好な林分で不良な林分より1.6倍多いこと，さらに枝下高が不良な林分で4~8mであったのに対し良好な林分で1~6mと低いことにあった。

両林分の被害率を林縁からの距離別に図25に示す。林衣が不良な林分では風が林内へ吹き込み，林縁から40mまでの距離で約50%，それ以降で約30%の被害が発生していた。しかし，林衣が十分に発達した林分では3%程度の被害しかなく，林縁木の枝葉が強風被害の発生を抑止したことが明白であった。

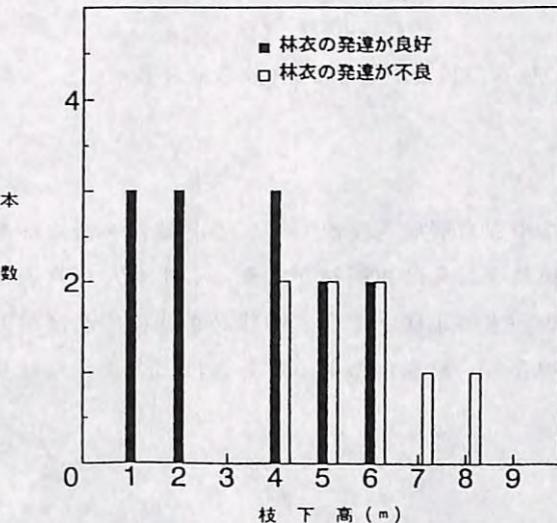


図24. 林縁木の枝下高の頻度分布（調査林縁長30m）

林縁木には側方の空間と十分な陽光が保証されている。そのため片樹冠ではあるが枝葉が多く地際近くまで着生するという形態的特徴を持つ。幹は梢殺（うらごけ）で林内木より太く，樹冠長が長いことから風心高も低くなり強風に対して強い。これは，今般の台風被害地で林縁木だけ生き残った光景を何度か目のあたりにし，また同様のことが他で報告（福岡県水源の森基金，1992）されていることからも明らかである。強風に対して強い林

縁木を林分の風上側前面に配置すれば、物理的に強風を遮断、減衰させる効果が期待できる。

強風害の経験として林縁木に手をつけるなどの指摘がある（工藤ほか, 1955）。防風機能を備えた林縁木に対しても往々にして枝打ちや間伐が行われているのを見かけるが、先人の教訓を活かし林縁木は自然状態におくことが大切である。

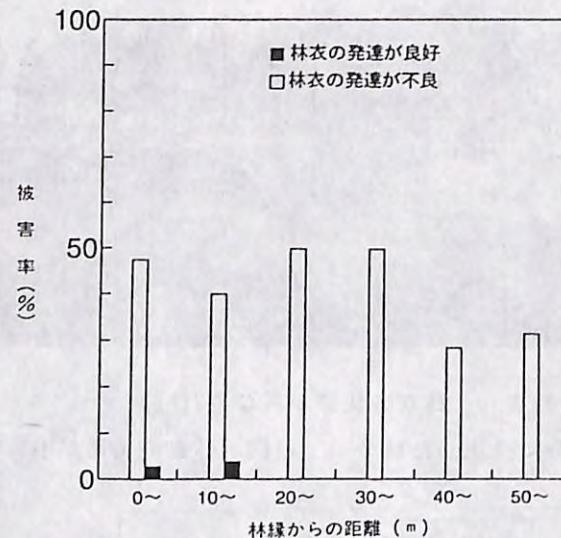


図25. 林衣の状態が異なる2林分の被害率

(4) 林分構造と被害

林分構造は過去の更新方法や保育履歴を反映している。皆伐一斉造林を行えば通常の単層林ができ、非皆伐の樹下植栽を行えば複層林ができる。また、保育過程で間伐を手抜きすれば枝下が枯れ上がった細い木の集団ができる、間伐をまめにやれば相対的に枝下が低い位置にある太い木の集団ができる。耐風性のある林分とはどのような林分構造なのかここで検討した。

a) 調査対象林分

大野台だけではいろんなタイプの林分構造を有するスギ林を十分な数だけ取ることができなかった。そこで大野台周辺の市町村まで範囲を広げ、南西の風、最大風速19~20m/sを記録した五城目町、上小阿仁村、能代市などにおいて地形要因などの影響が排除できると思われるスギ林を探索し、林分構造関連の調査データを補充した。なお、被害の少ない林分、無被害の林分については激害地の中でとり、しかも隣接林分の被害状況などにより強風襲来の確証を得た林分である。表9に林分構造の解析に供した調査林分の概況を示す。

表9. 調査林分の概況

林分番号	所在	林齢	林分高	平均直径	被害率	立木密度	斜面傾斜角	斜面方位	備考
1	森吉町		26	31	0	3956	0		複層林
2	森吉町		23	15	0	1422	0		林衣良好
3	森吉町		22	19	3	1800	0		林衣良好
4	森吉町	72	28	17	12	2311	0		複層林
5	森吉町	14	11	13	7	2700	0		
6	森吉町		13	15	8	2600	0		
7	鷹巣町		26	28	14	1275	0		
8	森吉町	38~80	25	12	6	1556	0		異齡林
9	五城目町	48	24	29	61	604	7	W	1896年間伐
10	森吉町	43	23	28	47	1022	0		
11	森吉町		18	23	20	1500	0		
12	森吉町	16	14	14	9	3400	0		
13	森吉町	51	23	30	76	725	0		
14	鷹巣町		25	25	48	1100	0		
15	上小阿仁村	18	20	94	1199	15	SSW	1989年間伐	
16	森吉町		23	19	33	2200	0		
17	五城目町	41	26	38	83	200	0		
18	上小阿仁村		18	20	95	706	29	SSW	
19	森吉町	75	24	37	83	575	0		
20	五城目町	41	26	25	17	1765	0		無間伐林
21	能代署23い	69	34	32	38	1051	23	W	
22	能代署64い	67	32	32	55	497	15	SE	1990年間伐32%
23	上小阿仁署161に	73	31	42	72	491	11	SW	1984年間伐16%
24	能代署125ろ	83	33	42	95	396	18	E	1990年間伐20%
25	能代署95い	82	35	46	78	450	0		1983年間伐
26	森吉町	33	22	26	73	1467	0		
27	能代署87と	68	27	33	83	370	40	NE	
28	合川署22り	101	35	47	100	333	0		1986年複層伐
29	鹿角署52か	72	22	40	6	255	0		複層林

b) 解析方法

従来、強風害に関与する林木側の要因として形状比、樹冠長比あるいは風心高比などの平均値をもって林分構造の指標に置き換えていた（中尾ほか, 1993；七里, 1989；箕口ほか, 1992；福岡県水源の森基金, 1992）。今回、このような単木レベルの値を積み上げ最終的に平均値になおして解析する手法は用いなかった。

強風に対する抵抗性とは強風自体を遮断あるいは減速させること、林木自体を折れにくい形状、すなわち幹を太く、風心高を低くすることにある。前者に関連する要因として樹冠層率、後者の折れにくい形状に関連する要因として幹距を取り上げ、これらを林分構造の指標とした。

ここで樹冠層率と幹距の求め方を説明する。

①樹冠層率

林分を構成する各林木を集団としてとらえ、図26に示すように樹高・枝下高の関係から林木集団の最高樹高と最低枝下高（ただし双方とも厳密な意味での最高値や最低値ではない）を把握し樹冠層の厚さに置き換え、最高樹高（以後、林分高とする）に対する樹冠層の厚さの比率として表現する。樹冠層が厚くなればなるほど樹冠層率は1に近づき基本的に強風の遮断・減速効果は高くなる。

②幹距

幹距とは林木間の距離を言い、基本的に立木密度と同じ概念である。単位面積当たりの立木本数が立木密度であるが、幹距は単位面積を立木本数で割り1本の木の占有面積を算出し、その値の平方根を取ったものである。端的に言うと3,000本植栽の場合1.8m間隔で植栽するが、この1.8mが幹距である。折れにくい林木を作るには林木の生育段階である一定以上の幹距を絶えず間伐で維持し続けなければならない。また、長期間、幹距を短く管理し、ある時点で間伐によりいきなり幹距を広げると強風に極端に脆弱な林木を作る結果となってしまう。なお、今回の解析においては壮齡林、高齡林という対象の中で便宜上幹距を用いたが、今後この指標を林木の成長・密度に関連性を有する指標に置き換える必要があると考える。

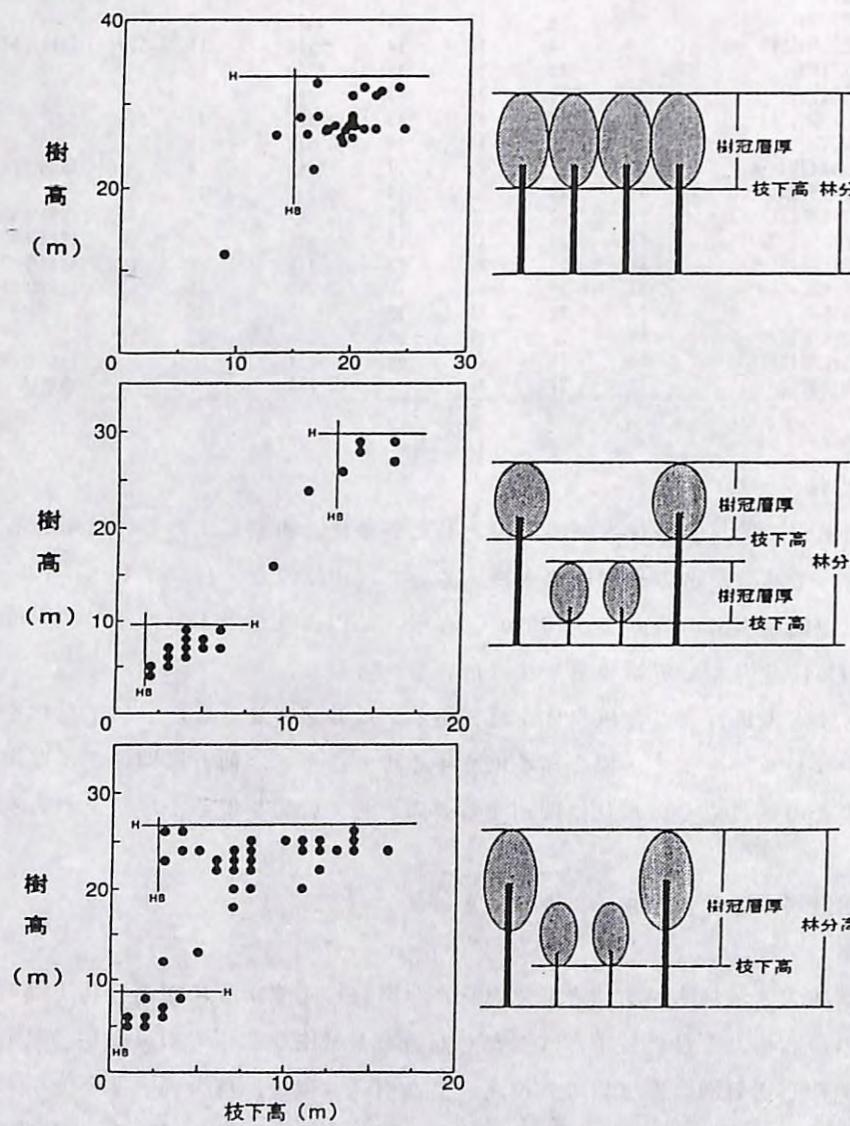


図26. 樹冠層率の求め方（樹冠層率=樹冠層厚／林分高）

c) 調査結果

各調査林分の幹距をX軸、樹冠層率をY軸に配し、両指標の交点上に各林分の被害率（本数被害率）をそれぞれ5段階に区分し表示した（図27）。各点に添えられた番号は表9の林分番号に対応する。

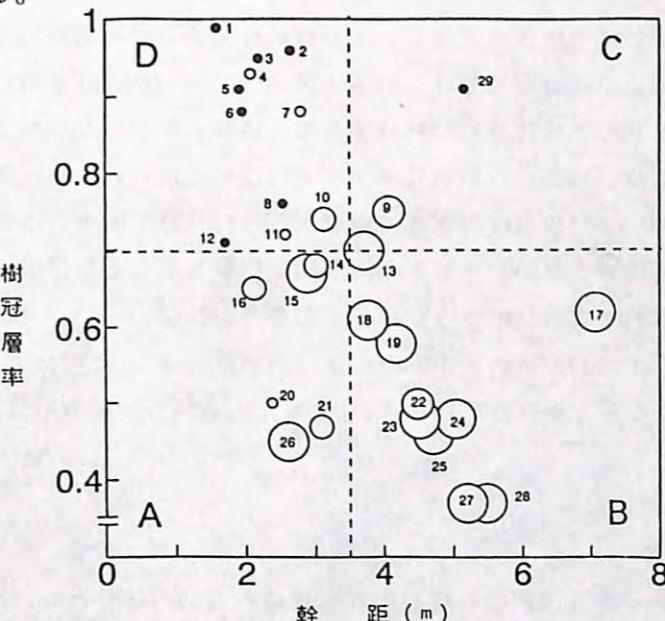


図27. 各林分の樹冠層率および幹距と被害率の関係

- 被害率10%以下 ○ 被害率51~70%
- 被害率11~30% ○ 被害率31~50%
- 被害率71%以上

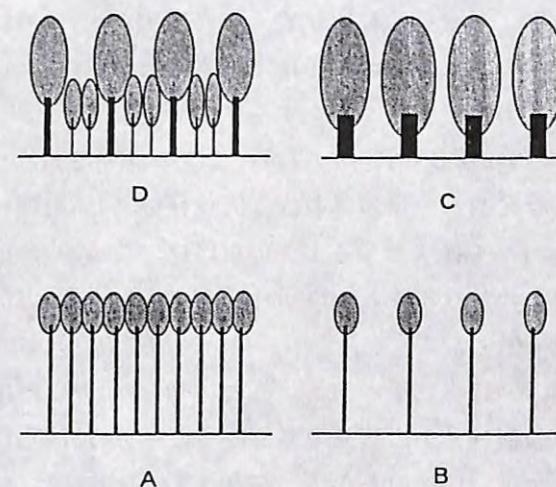


図28. A～D象限における林分構造の模式図

図上における各林分の位置によりおおまかな林分構造が決まる。図を概略4象現に区分した。各象現での林分構造の模式図を図28に示す。図27の左下のA象現は高密度で枝が枯れ上がり樹冠層が薄くなった林分、いわゆる間伐手遅れ林のような様相を呈する林分である（図28(A)）。右下のB象現は密度が低く樹冠層が薄い林分、すなわち前述の高密度林分に対して間伐あるいは強度の間伐を実施したような林分である。複層林事業で造成された複層林にこのような構造の林分が見受けられる（図28(B)）。右上のC象現は基本的に林木が低密度の疎開された状態で維持された林分である。植栽本数が少ない林分か、あるいはかなり早い時期から間伐が頻繁に行われ幹距が相対的に広く取られていたような林分が該当する（図28(C)）。左上のD象現は高密度で樹冠層が厚い林分である。通常の皆伐一斉造林ではこのような構造はできない。上層木の樹冠層下に亜高木あるいは低木の葉層が存在する、いわゆる完成された複層林のような林分である（図28(D)）。

全体的な傾向として図27左上の幹距が短く樹冠層率が大きいD象現にある林分で被害率は小さく、右下の幹距が長く樹冠層率が小さいB象現にある林分で被害率は大きくなっている。

(5) 林分の耐風性の検討

a) 複層林について

樹冠層率、幹距からみて図27の両極、D、B象現にあるNo.1林分とNo.28林分を比較する（写真8、9）。No.1の林分構造の模式図を図29に、No.28を図30に示す。この図は調査区内の全林木の枝下高の棒グラフ上に葉層（樹高 - 枝下高）を積み上げ、X軸上に樹高の高い個体から順に幹距の距離間隔で並べたものである。つまり、林分の樹冠層の構造と林木の込み方を視覚化したものである。

No.1は樹高18~26mの上層林冠と4~7mの下層林冠を持つ典型的な複層林である。この林分には被害が全く発生していない。幹距が短く樹冠層率が大きい林分構造は風抵抗性を持つことを示唆している。ただし、この幹距は下層木（胸高直径4cm以上）込みの値である。参考までに上層木のみについて幹距を計算すると3.6mとなる。

一方、No.28も1986年に複層伐を行った複層林施業の林分である。複層林と言っても林分の構造はNo.1とは明らかに異なり単層林の強度間伐林分（75%の個体に不定芽が発生）の構造である。樹冠層率0.37から推察できるように複層伐以前はかなり長期間高密度で維持されており、そこで強度の複層伐を入れたのが林分の耐風性を落し100%という壊滅的被害を被る結果になったと思われる。

ここで図27のC象現にあるNo.29を考える。この林分もNo.28とほぼ同時期の1984年に約40%の複層伐を実施した複層林施業の林分である。この林分の幹距はNo.28と同水準、しかし樹冠層率は0.91でNo.1に近い。図31から明らかなように構造的には単層林である。幹距が長く（X軸のスケールが前2林分と違うことに注意）、しかも強度間伐林であるにもかかわらず被害率がわずか6%であったのは、かなり以前に強度の疎開を行ったか、あるいは間伐



写真8. 構造的に完成された複層林 (No.1林分)



写真9. 複層林の造成がはじまった林分の被害状況 (No.28林分)

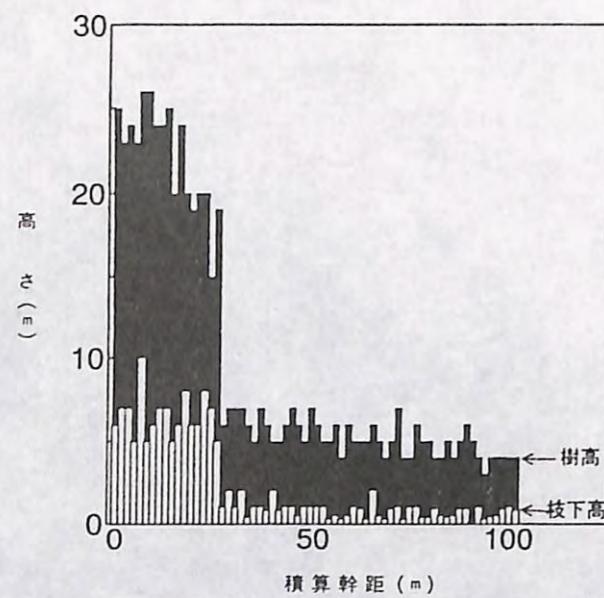


図29. No. 1林分の林分構造の模式図（調査面積225m²）

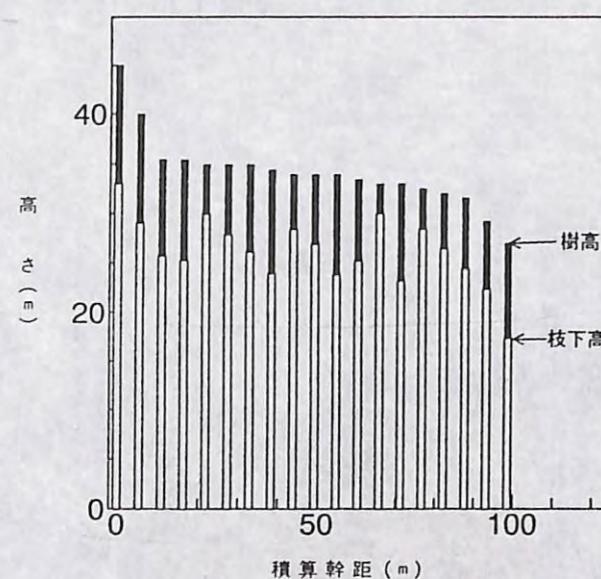


図30. No. 28林分の林分構造の模式図（調査面積600m²）

を適宜実施しその時々の幹距を通常より相対的に長く維持したかであり、枝葉が下方まで着生した風心高の低い耐風性のある林木が形成されていたためである。

構造的に完成した本当の意味での複層林は最も耐風性を有した林分構造であることが明らかになった。耐風性を、①強風自体を遮断あるいは減速させること、②林木自体を折れにくい形状にすること、の2つに分解することを前述したが、それに従いここで複層林の耐

風性をまとめてみる。

①上層林冠と下層林冠の凸凹的連続性、立体的な葉層の配置が強風の遮断、減速を引き起こす。

②枝葉を展開する空間を十分に有する上層木はその風心高が低く、また幹の肥大成長が促進されており折れにくい形状である。一方で、下層木は高密度である上に若齢で柔軟性を有し折れにくい。

「複層林は台風に弱い」とよく耳にしたが、それは恐らく複層林を造成し始めた林分での被害状況からそのように判断したものと思われる。このような林分は構造的に決して複層林ではなく、単層林の強度間伐林分にほかならない。複層林造成では樹下植栽樹に光を与えるため上層木を強度に間伐する傾向にあるが、かえってこの間伐が林分の耐風性を著しく低下させている。特に保育間伐が十分になされず高密度におかれた林分に対して強度の複層伐を実施するのは非常に危険であることが証明された。

台風害の危険がある地域の複層林造成にあたって、C象現のNo. 29タイプの複層林をめざすか、D象現のNo. 1タイプの複層林をめざすのがよいと考える。No. 29タイプであれば、早い時期から保育間伐を適期に実施し、複層伐を行う60年生前後までに風心高が低く幹が太い林木を作りあげておくことが肝要である。No. 1のタイプであればかなり早い時期に複層林へ誘導することが必要になる。上木が30年生になる頃から複層伐を行い樹下植栽を実施していくのがよいと考える。このような複層林はある時間幅の中で徐々に間伐しながら誘導することが肝要である。強度間伐により一気に複層林へ誘導していく方法は林分の耐風性を考えると行わない方がよいと思われる。

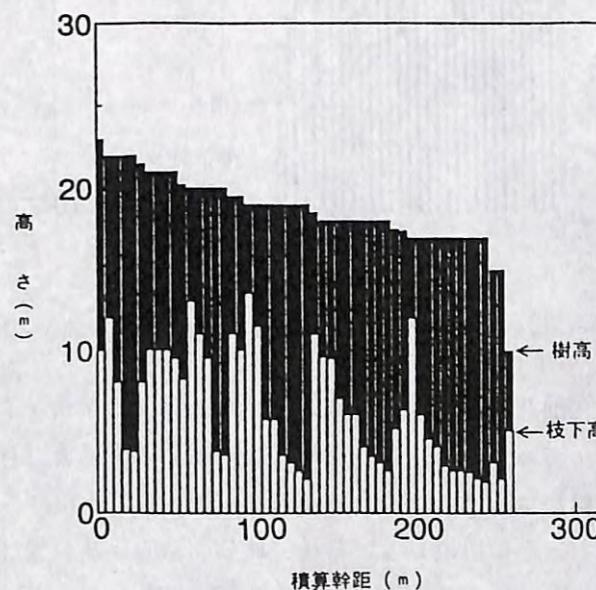


図31. No. 29林分の林分構造の模式図（調査面積2000m²）

b) 過密林分（無間伐林）について

調査の過程で「無間伐林の方が間伐林より強風に強い」という声をよく聞いた。昨今の間伐事情を反映し、間伐回数の減少や間伐時期の遅れが目立ち始め、過密林分が相対的に多くなってきている。このような状況を考えると過密林分の耐風性についても検討を加える必要がある。

要間伐時期に間伐を行わなかったため過密な状態になったのが図27のNo. 20, 21, 26の林分である。枝下は枯れ上がり結果的に樹冠層率がいずれも0.5より小さい値を示すに至っている。参考までにNo. 20の林分構造を図32に示すが、樹冠長比が小さい個体が多く幹距も短いことが明白である。これら3林分の被害率は大きくバラツキ、No. 20が17%で微害、No. 21が38%で中害、No. 26が73%で激害の様相を呈していた。表9に記載したようにNo. 20は41年生で1,765本/ha（全くの無間伐林）、No. 21は69年生で1051本/ha、No. 26は33年生で1467本/haでかなり込み合い互いに最多密度曲線に近い位置にある。残念ながら過密林分の資料が3点と少なく、被害率のバラツキも大きすぎたため、C象現にある林分と比較し過密林分の耐風性について判断を下すことができなかった。

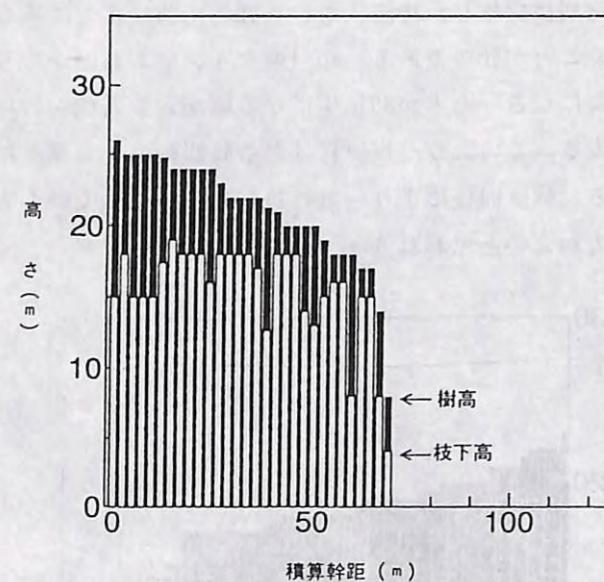


図32. No. 20林分の林分構造の模式図（調査面積170m²）

閉鎖した林分に対して間伐を行い閉鎖を破ると一時的に（再閉鎖するまでの期間）林分の耐風性が落ちることは考えられる。特に適期に間伐ができず過密な林分にしてしまった後で間伐すればこの危険性は非常に高くなる。強度に間伐を行えばさらに危険性が高まるのは間違いない。林分が完全に閉鎖している過密林分、無間伐林分ではある程度強風に対し強いと想像できるが、ここで忘れていいことは、過密な林分は単木的に見れば風に非常に弱い細長い形状の林木集団であるということである。林分の一部が風で一端破壊さ

れると壊滅状態になる可能性が非常に高いと思われる。

間伐林は風に弱い、無間伐林は風に強いと短絡的に結論づけることはしない方がよいと考える。間伐は保育の上で非常に重要な作業である。要は、間伐が悪いのではなく、諸般の状況から適期に間伐ができない、頻繁にできないということが問題なのである。なぜなら、幹が太く枝葉が茂り風心高が低い耐風性のある林木を作るのも間伐だからである。

（中村松三）

3. 被害材の材質実態・経時変化

1) 供試木と試験方法

上小阿仁営林署管内、161に林小班の被害木生産事業地から、73年生のスギ20本を選木した。被害形態を立木、斜立木、折損木、根返り木の4種にタイプ分けした。各タイプから5本づつの計20本を'92年の6月に伐採し、1番玉（地際—地上高3.6m）と2番玉（地上高3.6m—7.2m）を採取した。

1番玉は林内にべた置きし、末口側から1.5mを'92年9月に、残りを'93年9月に採取し、経時変化調査用試料とした。また、2番玉は、'92年6月に採取し風害による被害実態の調査用試料とした。

試験項目は、モメ調査、衝撃曲げ試験、曲げ試験、材色調査及び密度変化の調査である。

2) 被害材の実態

(1) モメの発生状況

モメは細胞壁の圧縮破壊の総称であり、肉眼で確認できる大きなものから顕微鏡レベルで確認できるものまで様々である。肉眼で確認されるモメの数は被害のタイプごとで特に差はなかった（表10）。しかし、モメは風下側の材部に特に多く、個体の高さ方向では2番玉で多く（表10）下側に向けて少なくなるが最も低い位置では地上高約10cmでも発生していた。外樹皮のモメは材部のモメと連続しているが、個体によっては材部でモメが多くても外樹皮に現れない場合があった。

モメの樹幹内部への侵入の深さについては井坂（1959）による報告があり、樹幹外側でのモメが大きいほど樹幹内部にひろがりモメが深い傾向があるとされている。今回のスギでは60cm近くのモメがあり、モメの深さは10cm以上のものがあった。それ以上では折損する場合が多い。モメの深さは、樹幹での長さが20cmを超えるあたりから急激に深くなる傾向があった（図33）。

表10. 各個体のもめ数

タイプ	No.	2番玉 末口径 (cm)	2番玉 もめ数		材部 もめ数 計
			樹皮	材部	
立木	11	41	0	0	0
	12	34	2	13	17
	13	47	0	13	8
	14	46	14	42	6
	15	39	0	11	4
斜立木	21	39	8	47	23
	22	32	0	12	7
	23	32	0	28	30
	24	37	8	19	19
	25	32	0	26	14
折損木	31	31	4	28	8
	32	34	11	23	12
	33	36	23	38	15
	34	36	0	23	5
	35	39	25	30	4
根返り木	41	44	7	43	19
	42	42	0	22	12
	43	32	0	20	5
	44	29	1	7	5
	45	43	0	12	15
					27

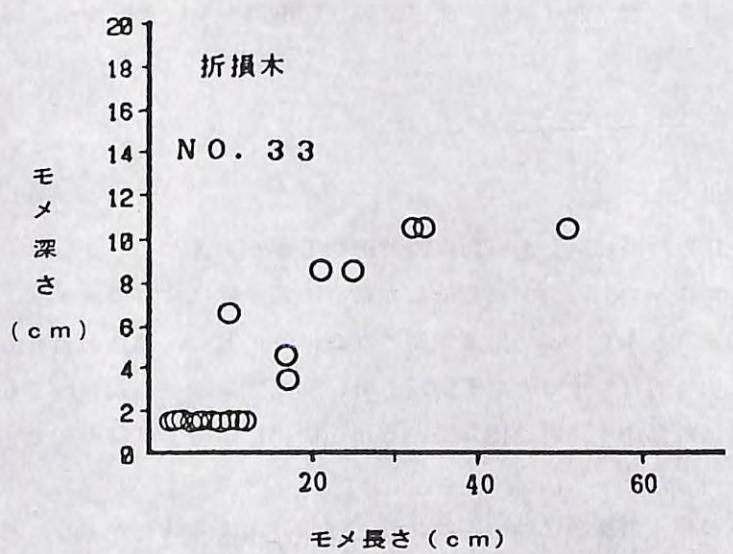


図33. もめの長さと深さ

肉眼的にモメが認められないものでも、強度性能が低下する場合があることから顕微鏡

により微細なモメの観察を行なった。肉眼で認められるモメでは、晩材部の細胞壁が間層から開裂していたが（写真10），肉眼的に判別できないものでも風下側の材部では電子顕微鏡により細胞壁の圧縮破壊線が認められ（写真11）そのような微細なモメは偏光顕微鏡によっても破壊線として検出された（写真12）。肉眼的にモメがみられる個体ではモメ以外の部分で、また、肉眼でモメがみられない個体でも多くの微細な圧縮破壊線が生じている可能性がある。



写真10. 晩材部での開裂

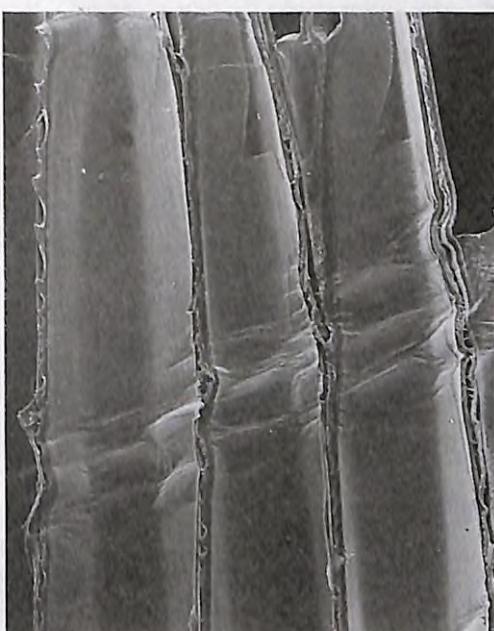


写真11. 細胞壁のしわ



写真12. 偏光顕微鏡による破壊線の検出（矢印）

(2) 強度性能

強度性能を調べるために、丸太のモメ側から反対側へと箇を含む半径方向に小試験体を順に採取し、衝撃曲げ試験（シャルピー式）と曲げ試験を行なった。試験体はできるだけモメを取り除いたものを用い（ $20 \times 20 \times 320\text{mm}$ の節のない小試験体）JIS-Z-2101に準じて試験を行なった。

被害のタイプに関わらず、風下側で特に衝撃強さが低下していた（図34）。風上側の成熟材部と比較すると、衝撃曲げ吸収エネルギーが30%以下となっているものもみられる。また、生立木の肉眼的にモメが認められなかった個体でも衝撃強さは低下していた（図34のNo. 11）。風上側では、樹心に近い部位での低下がみられ（図34のNo. 33）モメの水平方向のひろがりを示している。

また、個体内の高さ方向では風上側の樹幹の基部に近い部位（1番玉）が比重値との相関から考えて衝撃強さの低下が少ない傾向があった（図35）。2番玉の被害が大きいのは図

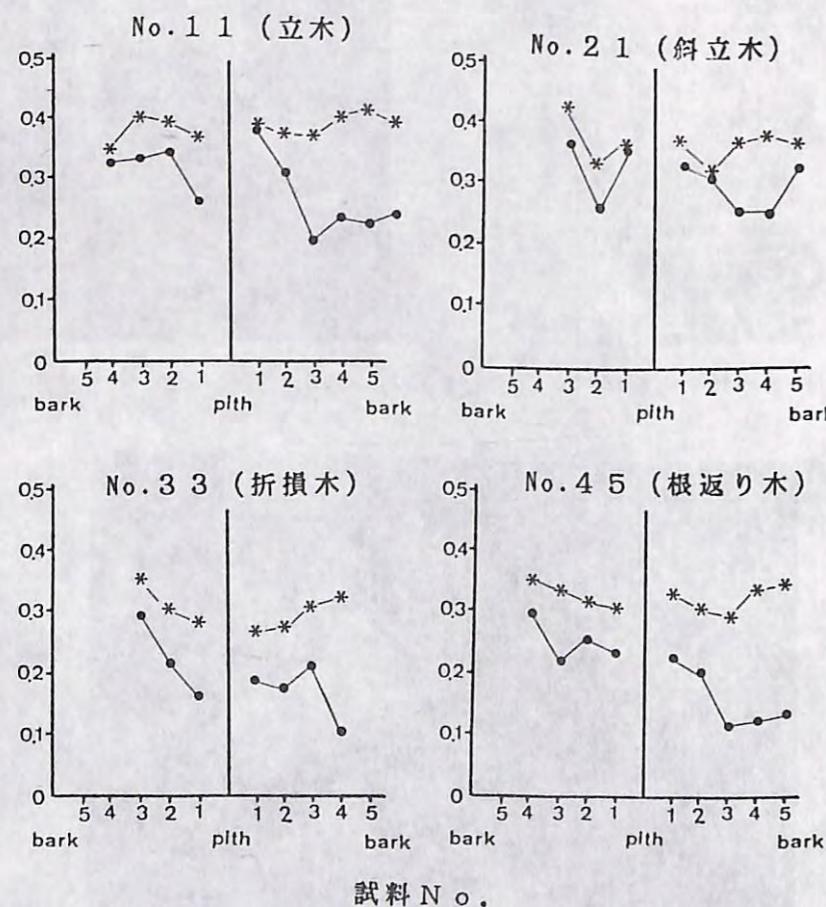


図34. 衝撃曲げ吸収エネルギーの樹幹内水平方向の変動
(地上高4m、右側が風下側)

● 衝撃曲げ吸収エネルギー ($\text{kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$) * 比重

36の比重と衝撃強さの全個体での関係からみても明らかであるが、風圧の最も大きい部分が樹高の30-40%付近の地上高の部位であるとの報告（千葉、投稿中）からみても妥当な結果である。

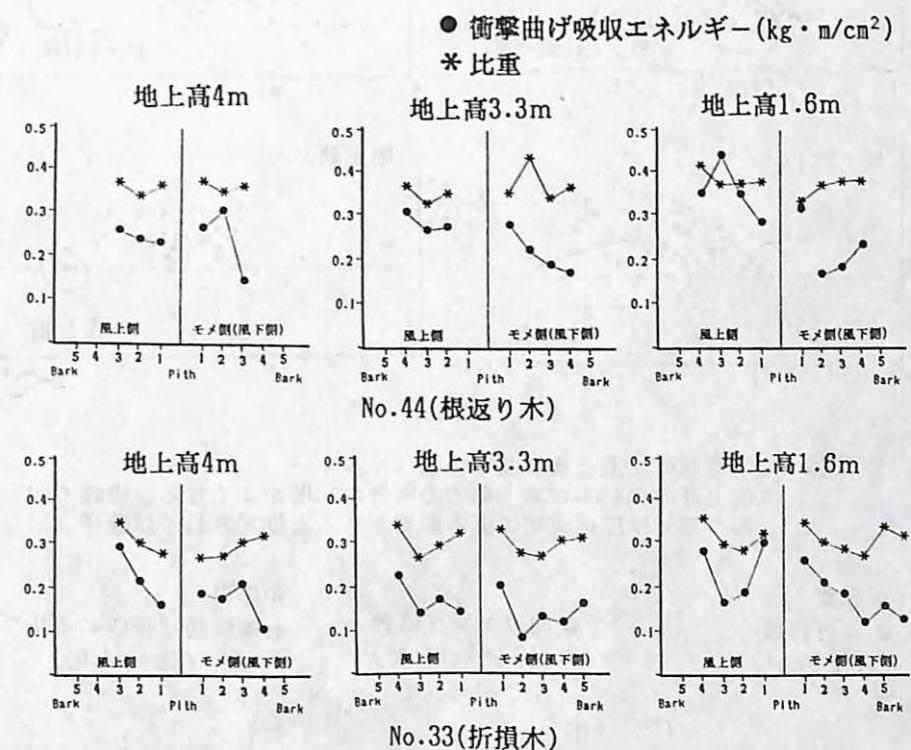


図35. 個体内における地上高別の比重と衝撃曲げ吸収エネルギー

モメが肉眼で認められない試験体での曲げヤング係数と曲げ強度は、比重との関係からみて著しく低下したとは考えられないが（図37のNo. 44），時々風下側でヤング係数がやや低いものがみられた（図37のNo. 12）。しかし、ヤング係数は $60 \cdot 10^3 \text{kg}/\text{cm}^2$ を上回っており、スギの標準的な値からみれば特に値が低いわけではない。肉眼的にモメが認められる試験体では、自重で折れる場合もあるなど明らかに衝撃強さと曲げ強度は低下するが、モメの視認出来ない個体の取り扱いについては注意が必要である。静的曲げ強度は標準値でも衝撃強さが低下している場合があるためである。

柱材などへの実際的な利用を考えたとき、10cm程度の正角の実大材の強度性能も当然問題となるが、視認できるモメが多数存在する場合には衝撃強さ及び曲げ強度が低下していることは明らかであった。自重で折れるものが多いなど試験を行なうことすら難しい場合が多い。2-3cm程度の小さなモメがある場合には、その位置や数などを定量的に評価するのが困難で、モメの位置や大きさの変化に伴い値も変化するため再現性に乏しく、本研究では試験を行なわなかった。既往の報告でも強度性能が極端に低下した事例（宮島、1959）

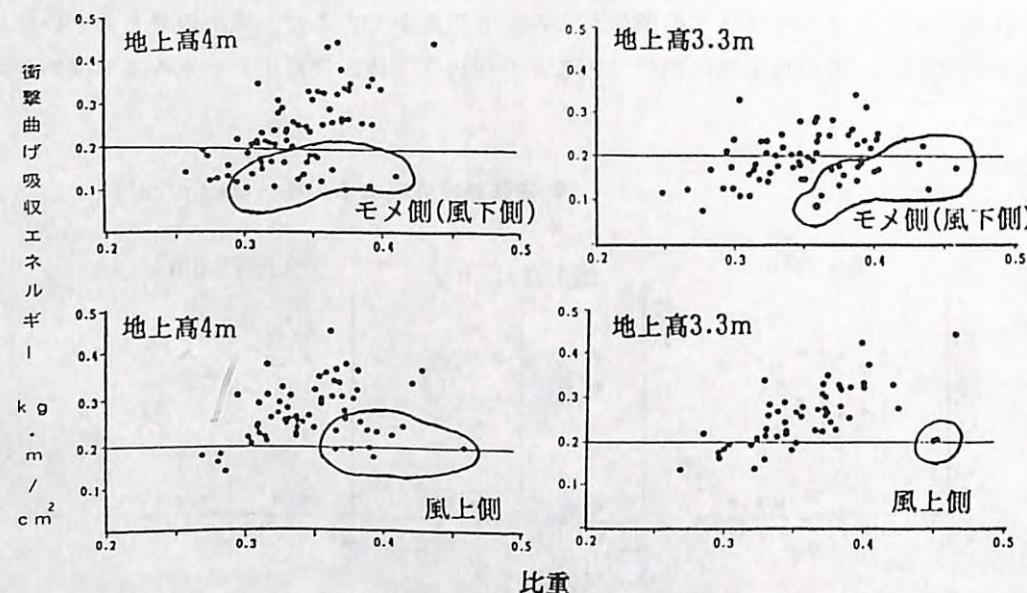


図36. 地上高別の比重と衝撃曲げ吸収エネルギー
(地上高の低い方が風上側での両者の相関がよくなる。実線で囲んだ部分は圧縮破壊による影響があると推定される試験体。)

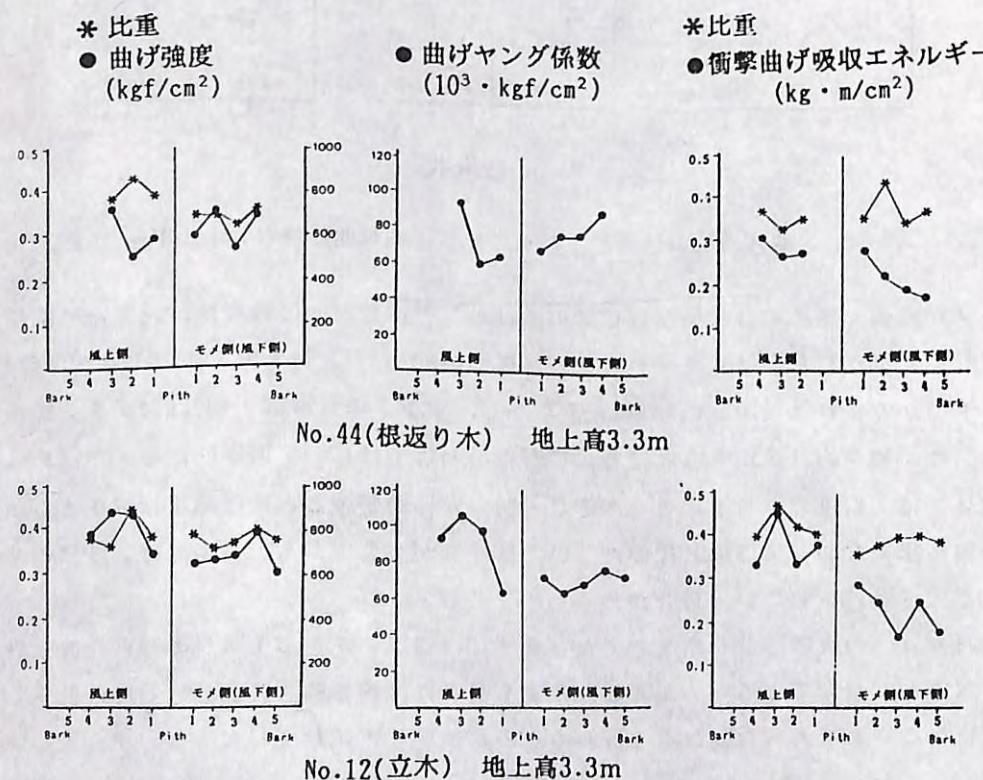


図37. 曲げヤング係数、曲げ強度と衝撃曲げ吸収エネルギー
(曲げ試験と衝撃曲げ試験の試験体はほぼ同一部位)

に対してほとんどヤング係数に変化がなかった事例(飯田ほか, 1982)など様々であり、定量的評価が難しいことを示している。

(3) 材色変化

モメの生じた辺材部では、モメの周囲で変色が起きていた。モメによる水分通導異常のため柔細胞が壊死し、傷害心材形成と類似した現象が起きているものと推定される。

3) 被害材の材質の経時変化

(1) 比重(密度)

林内放置材の比重は、木口付近の外気に曝されていた材部を取り除けば樹幹内部では特に変化はなかった。図36での地上高別の比重をみても0.3~0.4の間にほぼ位置しており、林内放置された1番玉(図36の地上高3.3m)で特に比重が低下している事例は認められなかった。

(2) 材色変化

林内放置した材では、辺材色が黒味や黄色味を帯び、白線帶付近では緑色の筋状の変色が認められたが、両者ともに色彩色差計では変色を捉えられなかった。心材では肉眼的にも変色は認められなかった。従って、利用においては辺材と白線帶の材部の変色を考慮し、心材部を主に利用すべきである。

(3) 強度性能

図35, 36で明らかなように1番玉の風上側(図36の地上高3.3m)で衝撃強さの低下した試料が少なく、林内放置された1番玉の方が2番玉より衝撃強さが上回っている。すなわち、材質的には、林内放置による強度性能の低下よりもモメ被害の程度の大きさの方が問題となるものと考えられる。林内放置材では、比重と材色の変化が小さいため腐朽の影響は小さいと推定され、辺材ではやや強度性能が低下する可能性はあるものの、心材では林内放置による影響はほとんどないものと考えられる。

(4) 生立木の材質

被害林分付近では、樹幹にモメが発生したまま生育している個体が数多くあるものと推定される。モメは樹幹の内側に巻き込まれていくが消失することではなく、今後の材利用にも障害となることから注意が必要である。また、外樹皮にモメが認められる個体では常に折損の危険があり、今後特に注意が必要である。

(平川泰彦)

V まとめ

1. 地形的位置及び樹形と被害との関係解析

台風19号による被害林分の分布と台風通過時の風向の変化とから、今回の大被害の発生には、秋田県北部の地形的特質が大きく関与しているものと考えられた。すなわち、日本海を台風が通過する場合には、その進路が少々異なっても、常に特定の地点で強風が長時間持続する可能性が高く、そのような場所を風害危険地形とみなす事ができた。被害地の局所地形を見ると、風害は、風に向かって流れる沢沿いの斜面凹地、風に向かって流れる沢の支流分岐点、風向側山腹の急斜風衝面、風に向かって流れる沢の急斜面、吹きおろし風があたる風背側山腹の台地などで多く発生しており、これらの場所が風害危険地形であった。

なお、台風通過時の風向は、被害木の倒伏方位から見て、何れの斜面でも、ほぼ南西から南であった。また樹木の被害形態は、斜面上部では折損、斜面下部では根返りが多くあった。

これらの風害危険地形では、今後とも日本海を台風が通過する際には強風が発生することが予測されるので、本報告書での施業方法についての指摘を踏まえ、林分の耐風性を低下させることのないように十分に注意して施業を行っていく必要がある。

また、今回の台風では、沢沿いのスギ人工林を中心に根返りによる被害が多発したので、根系による樹体支持力に大きく関与すると考えられる土壤緊縛範囲（根返り木の根鉢の体積）をスギ人工林、スギ天然林、ブナ天然林で測定し、比較した。

その結果、立地条件や樹齢も相違するので一概に比較出来ないが、被害木の土壤緊縛範囲は最大量でスギ人工林（林齢：81年生、胸高直径：44cm）は $20m^3$ で、これはスギ天然林（ $63m^3$ ）の約32%、ブナ天然林（ $66m^3$ ）の約30%であった。スギ人工林は地上部の大きさに比べて地下部の発達が少ない傾向があるので、風害危険地では樹体に大きな風圧がかからないよう、林分の耐風性を高めるような施業上の配慮が必要であろう。

（齊藤武史 北田正憲）

2. 長伐期人工林の森林形態と被害

大被害をもたらした台風19号の進路はくしくも洞爺丸台風の進路とほぼ同じであった。調査に同行した古老の話では両台風によって同じ様な場所が被害を受けていることである。東北地方に接近する台風の進路は色々あるが、今回の台風の進路が最も大被害を引き起こす進路と考えることができる。台風通過後のゆりもどし、南西の風に起因する強風害の危険地域があるようで、今回被害を受けた林分の周辺地域はまず間違いなくこの危険地域に入っていると考えてよい。具体的には秋田営林局五城目、上小阿仁、能代、合川、鹿角（旧十和田）営林署管内、すなわち五城目町、上小阿仁村、森吉町、比内町、十和田湖を結ぶ南西から北東へのラインの沿線周辺の上記管内の森林は特に危険地域内にあると

考えてよい。

このような危険地域にある林分全般については間伐による密度コントロールをメインとし、良好な林衣の造成をサブと位置づけ、耐風性強化を図ることとする。間伐は手遅れにならないよう林齢20年あるいは樹高11mを一つの目安に早期に開始し、こまめに少しづつ材を抜き、下枝の極端な枯れ上がりを未然に防ぎ、肥大成長を促進させることとする。

また、危険地域内において風害危険地形（表1）と目される箇所においては今般の台風被害状況をも勘案し長伐期林施業の可否を慎重に検討した方がよいものと思われる。また、強度の間伐を必要とする複層林施業の林分については複層伐直後においてその構造は単層林の強度間伐林分の構造に他ならず、この構造は今回の解析で最も耐風性が低いことが判明したことから、特に風害危険箇所においては設定を見合わせた方がよいものと考える。諸般の事情で複層林を造成する場合には早い時期から疎仕立てとし保育間伐を適期に実施し複層伐を行う60年生前後までに風心高が低く幹が太い林木を作り上げておくか、あるいは上木が30年生になる頃から徐々に少しづつ複層伐を行い樹下植栽を実施していくのがよいと考える。このように複層林はある時間幅の中で耐風性を考えながら徐々に間伐をし造成していくことが肝要である。

最後に、台風19号のエネルギー自体が巨大であったことが被害を大きくした原因であることは間違いないが、林業サイドから、ここでもう一度、従来からいわれている間伐の基本、林縁木に関する教えを思いだし、着実にそれらを実践していくことが最も大切なことではないかと考える。

（中村松三）

3. 被害材の材質実態・経時変化

秋田スギの台風被害材においては、林内の放置による材質劣化よりも風害によるモメの発生に伴う木材の強度性能の低下が特に問題となることが明らかになった。中でも、特に衝撃強さの低下が著しい。当面は、視認できるモメを取り除き、心材色を活かした非構造用部材に利用するのが最も安全な方法である。モメを取り除いた材においても、衝撃強さは低下している場合が多いので特に注意が必要である。

（平川泰彦）

引用文献

秋田地方気象台：秋田県農業気象災害速報第1号、秋田地方気象台（1991）

秋田県林務部：1991年台風19号による大規模森林被害の実態解析と耐風性森林育成技術の検討、73pp.（1994）

千葉幸弘：A mechanistic analysis of devastating damage by typhoons in sugi plantations in terms of stem breakage. 日本林学会誌、（投稿中）

- 福岡県林業試験場：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, 89p p. (1992)
- 福岡県水源の森基金：台風による森林被害の形態・分布に関する森林立地的検討と2次的被害, 1~33 (1992)
- 七里成徳：1987年台風12号による森林風倒被害の解析, 長崎県総合農林試験場研究報告(林業部門) 20, 1~15 (1989)
- 飯田信男ほか：昭和56年台風15号によるカラマツ風害木の材質調査, 北海道林産試月報, 1~8 (1982)
- 井阪三郎：風害木に現れたモメの樹幹内分布について, 林試研報, No. 111, 183~192 (1959)
- 梶川正弘ほか：台風9119号による秋田県の強風分布について, 第11回日本自然災害学会学術講演会要旨集, 116~117 (1992)
- 苅住 昇：樹木根系図説, 誠文堂新光社, 112pp. (1979)
- 嘉戸昭夫, 中谷 浩, 平 英彰：根系の支持力が冠雪荷重下の立木の耐力に及ぼす影響と被害形態の判別, 日林誌, 70 (7), p. 308 (1988)
- 経済企画庁総合開発局：土地分類図（秋田県）, 経済企画庁総合開発局 (1972)
- 北田正憲, 松岡廣雄, 北田健二, 大丸裕武：ブナ根系の土砂緊縛範囲, 日林学会東北支誌, 44, 155~156 (1992)
- 工藤志朗ほか：管内国有林における15号台風による林木被害の実例, 青森林友5, 86~106 (1955)
- 松岡廣雄, 大角泰夫, 長島朝雄：1991年台風第19号の森林被害調査表のくみたてについて, 日林学会東北支誌, 44, 113~114 (1992)
- 箕口秀夫ほか：1991年台風19号により佐渡郡相川町の複層林に発生した風害, 新潟県林業試験場研究報告34 (1992)
- 宮島寛, 風害木のモメについて, 北大演研報, 20, 197~208 (1959)
- 中尾博美ほか：台風9117, 9119号による森林被害の要因解析, 九大演報68, 11~48 (1993)
- 小野寺弘道, 樋口裕美, 栗田稔美：多雪急斜地の台風被害林分における小規模崩壊地の形成と動態, 日林東北支誌, NO. 45, 199~200 (1993)
- 森林総合研究所関西支所・三重県農林水産部林業事務局：平成2年台風19号による東紀州地方の森林被害調査報告書, p. 30 (1991)
- 台風19号等災害復旧対策調査検討委員会：台風19号等災害復旧対策調査報告書, 65pp (1992)
- 竹下敬二, 中尾博美, 綿引 靖, 丸谷知己, 森田紘一, 池本 浩, ムハマド・ヌルディン, 長澤 喬：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 (1992)
- 玉手三棄寿ほか：森林保護上より見たる風水害調査報告, 高知営林局叢書1号 (1935)
- 東京営林局：昭和34年台風第7号及び第15号による森林の風害調査, 191pp (1960)
- 和達清夫ほか：雨・風・寒暑の話, NHKブックス, 214pp (1974)
- 綿引 靖, 中尾博美：樹木根系の地際の根張りとその地中の形状について (II), 100回日林論 : 655~656 (1989)