

スギ人工林における冠雪害抵抗性の推定と
その応用に関する研究

2000

提出先

岩手大学大学院

連合農学研究科

嘉戸昭夫

スギ人工林における冠雪害抵抗性の推定とその応用に関する研究

嘉戸昭夫

Study on the approach for estimating resistance of Japanese cedar
to snow accretion damage and its application

Akio Kato

目次

第1章 序論	2
第1節 研究の背景	2
第2節 既往の研究	3
第3節 研究の目的と方向	8
第4節 調査林分の概況	9
第2章 冠雪害に影響する林木・林分および立地要因	14
第1節 被害形態と林木のサイズの関係	14
第2節 冠雪害と林分要因および立地要因の関係	17
第3節 冠雪害と林木形状の関係	25
第4節 冠雪害と品種	28
第3章 冠雪に影響する要因と冠雪荷重の推定	31
第1節 冠雪の発達と気象要素の関係	31
第2節 冠雪荷重と樹冠要因の関係および冠雪荷重の品種間比較	36
第3節 葉量の品種間比較	42
第4節 スギの冠雪荷重の推定	47
第4章 冠雪荷重を受けた林木の耐力	54
第1節 林木の耐力の評価法	54
第2節 樹幹の強度要因の品種間および林分間比較	65
第3節 根系の支持力の品種間・林分間比較と被害形態の判別	70
第5章 林木の冠雪害抵抗性指数としての形状比および限界降雪量の意義と ポカスギの限界降雪量の推定	84
第1節 林木の冠雪害抵抗性指数としての形状比および限界降雪量の意義と問題点	84
第2節 ポカスギ林木の限界降雪量の推定法	89
第6章 森林施業による冠雪害の軽減効果	108
第1節 間伐による冠雪害の軽減効果	108
第2節 枝打ちによる冠雪害の軽減効果	121
第7章 総合考察	129
第1節 冠雪害の発生機構	129
第2節 冠雪害の防除対策への提言	133
要旨	138
謝辞	141
文献	142
Summary	149

第1章 序論

第1節 研究の背景

スギはヒノキと並ぶ我が国における最も重要な造林樹種の一つであり、北海道南部から九州までの全国各地に広く植栽されている。このスギ人工林における代表的な気象災害は風害と雪害である。雪害の全気象災害に占める金額の割合を1961～1997年の森林国営保険事業の統計書で見ると10%と低いですが、これを成林したとみられる16年生以上の林分についてみると30%にも達している（林野庁、1998）。過去20年間に発生した大きな雪害として56豪雪（1980年12月から81年1月）と61豪雪（1986年3月）があげられるが、これらの被害額は全国でそれぞれ740億円と260億円に達するもので、その大半がスギ人工林における被害であった（石川、1983；石川ら、1987）。このように雪害が森林・林業に及ぼす経済的損失は大変に大きいものがある。

スギ人工林の雪害は雪圧害と冠雪害に大別されている（石川、1983；Kato, 1989）。

雪圧害は、積雪中に埋もれた林木が積雪の沈降圧や、斜面上の積雪の移動圧などによって折損したり、根元曲りを生じたりする被害である。したがって、この被害は林木が埋雪し易い環境下で発生するという理由から、積雪の多い日本海側の多雪・豪雪地帯に限定され、かつ15年生以下の幼齢期に多いという特徴がある。雪圧害に関しては、国立林試（現森林総合研究所）、山形大学、各県の林業試験場などで精力的研究がなされ、その発生機構や防止対策について数多くの研究成果が発表されている。

一方、冠雪害は多量の降雪が一時的に樹冠に付着し、その荷重に耐えられなくなった林木が折損する被害である。この被害は一般に10～30年生の林分に多いといわれているが、70年生以上の林分での発生例も報告されている（藤森、1987）。冠雪害は雪圧害に比べて林齢の高い林分でも発生することから経済的な損失が極めて大きくなる特徴がある。また冠雪害の危険度が全国で最も高い地域は北陸地方とりわけ富山県西部の里山地域とされ、その発生頻度は10年に5回以上といわれている（佐伯・杉山、1965）。これは、樹冠に着

雪し易い湿雪が降る回数や一回当たりの降雪量が多いことによるものである。しかし、56豪雪では日本海側から太平洋側までの広い地域で、さらに、61豪雪では太平洋側の地域を中心に被災したように、通常積雪のない太平洋側の地域であっても数年に1度の大雪によって甚大な災害が起きることがある。また、冠雪害の発生頻度が10年に1回程度の低い地域であっても、林業は収穫までに標準で40から50年を要するため、伐期までの間には冠雪害の危険に何度も遭遇することが推測される。冠雪害に関する研究も国公立の試験研究機関などで多くの研究が行われている。しかし、この被害は突発性の気象災害であるため、被害実態に関する報告が中心となり、未だに発生機構の解明が十分に進んでいない。

近年、森林に対する期待は多様化し、木材生産だけではなく環境保全、水源涵養、保健休養といった公益的機能面が特に重要視されつつある。一般に公益的機能の高い森林は気象災害や生物害に強くかつ蓄積の高い林といわれている。したがって、高度化公益的機能を確保するためには、森林の荒廃を招かないように持続的な森林施業を確立することが必要と考えられる。

以上のことから、国内の林業を振興する上から、また森林の公益的機能を重視する上からも冠雪害の発生機構を解明し、その防除対策を確立することが必要と考えられる。

第2節 既往の研究

冠雪害についての体系的な研究は第二次世界大戦後に開始され、冠雪害の発生機構から防止対策まで幅広い研究がなされ、これらは四手井ら（1954）、高橋啓二（1977）、豪雪地帯林業協議会（1984）、石川ら（1987）などによってとりまとめられている。

これらの結果によれば、林木の冠雪害を未然に回避する方法として、①冠雪害の危険地帯での造林を避けること、②森林施業により林木および林分の冠雪害抵抗性を向上させることおよび③冠雪害抵抗性の高い品種を造林することが考えられている。このうち、②および③の方法を用いて冠雪害を未然に防除しようとするためには、林木あるいは林分の冠雪害抵抗性を定量化することが必要となる。ここでは本論文に関係が深い冠雪害抵抗性に

関する研究についてみるにとどめる。

林木の冠雪害抵抗性を表す指数として形状比（樹高／胸高直径）が日本（例えば高橋啓二，1977；石川ら，1987），ドイツ（Merkel，1975），カナダ（Gill，1974）およびオーストラリア（Cremer et al.，1983）などの各国で広く用いられている。この理由は，冠雪害が発生した林分の実態調査から，形状比と冠雪害の間に一定の関係が認められていること（Cremer et al.，1983；嘉戸ら，1992），さらに形状比の算出方法が容易であることなどによるものである。

しかし，形状比が大きくても被害を受けなかった個体や林分が存在したとの報告も多い（高橋啓二，1977；石井ほか，1980；二見・梶谷，1981）。これは，冠雪害の発生には，気象要因，立地要因，林木要因などの複数の要因が関与しているため，一つの要因だけでは冠雪害の発生を説明することができないためと考えられる。また，冠雪害の発生には形状比の他に幹偏倚，径級や立木の配置などの因子も影響していることが指摘されている（松田，1988）。さらに，スギ人工林における冠雪害発生時の形状比（以下限界形状比と呼ぶ）は一定ではなく，林分の林齢または平均樹高が高いほど大きな値となることが報告（佐藤啓介，1979；山口ら，1981；Cremer et al.，1982）されている。この原因として，林木の耐力が林木の大きさにも関係するためという指摘や幹の強度特性の変化に起因するという指摘がある（石川，1983；Cremer et al.，1982）。

以上のように被害林分の実態調から，一般には形状比が大きいほど被害率が高くなる傾向はあるものの，冠雪害の発生を形状比だけでは十分説明することができないことが明らかになってきた。そこで，幹の強度特性に関する調査も実施されるようになり，幹の強度特性がスギ品種によって異なることが示され（山本ら，1982；矢野，1982），各品種の生育状態や幹の強度特性によって被害形態の差がかなりよく説明された。しかし，被害の発生を説明するには，冠雪量の多少を支配する他の要因についての解析も同時に必要なことが指摘されている（勝田・松田，1984a，1984b）。

林木の冠雪害は冠雪荷重とそれを支える幹の耐力との力関係で生じることから，冠雪害

の発生機構を力学的な手法により解析しようとする試みが諸外国で行われている (Petty・Worrell, 1981; Peltola et al., 1997)。しかし, Petty・Worrell (1981)の解析では, 幹に生ずる応力を一定と仮定しており, 現実の立木条件に適応できるものとは考えられなかった。日本でもほぼ同時期に冠雪害の力学的な解析が行われ, 沢田(1983)は林木の冠雪害を長柱の偏心圧縮による破壊とみなしたモデルを提案した。このモデルでは非対称な樹冠に雪が付着した場合を想定しており, 幹が均質な強度的性質をもった円錐台からなり, 冠雪が樹冠の重心に集中的に作用すると仮定して力学的な解析を行った。その後, 継田ら(1984)や谷ら(1985)もほぼ同様の解析を行っている。筆者ら(中谷・嘉戸ら, 1984)は沢田のモデルの妥当性を立木の荷重試験により検証し, 冠雪荷重に対する林木の最大耐力である座屈荷重が幹形, 幹の強度特性および根系の支持力から推定できることを明らかにした。

さらに, 遠藤ら(1987)は冠雪荷重と樹冠の自重が枝を通して各高さの幹にあわせて幹の自重も各高さの幹に分布荷重として負荷される場合の幹の座屈荷重をエネルギー法を用いて解析した。この解析では, 幹形と樹冠形を2つの円錐体で近似し, 幹ヤング率を林齢や幹の高さの違い関わらず一定と仮定した。そして, 冠雪荷重が幹の最大耐力(座屈荷重)に達したときに冠雪害が発生するものとして, このときの降雪量(以下限界降雪量と呼ぶ)を冠雪害抵抗性の指数として用いた。したがって, 降雪量がこの限界降雪量を越えた場合に林木の冠雪害が発生し, 降雪量が限界降雪量より小さい場合には冠雪害が発生しないと判断される。ただし, このモデルでは幹形および樹冠形を円錐体と仮定していること, 幹の材質を均質なものと仮定しており, 現実の林木に近いものとはいえなかった。

その後, 中谷(1991)は現実の幹形で, 各高さにおける自重(幹+枝+葉)および冠雪の重さと幹のヤング率が与えられ, かつ根系の支持力が既知の場合における座屈荷重を求める数値計算法を開発した。さらに, この方法で冠雪害発生時の冠雪量を求め, 冠雪量と降雪量の関係式から限界降雪量を算出した。こうして求めた限界降雪量は形状比に比べて林木の冠雪害抵抗性を高い精度で評価できると考えられ, 多くのスギ品種やヒノキなどの

他の針葉樹にも応用できることが期待されている。ただし、この手法では、冠雪荷重を計算するために個体の葉量が、また幹の耐力を求めるために葉量の垂直分布、幹形、幹ヤング率および根系の支持力などの多くの要因を測定する必要がある。これらの要因の測定には多くの労力や機材が必要であり、林木を伐倒しないで測定することは困難である。そこで、限界降雪量を冠雪害抵抗性の指数として実用化するためには、冠雪量や幹の耐力に関わる要因を容易に求める手法の開発が必要である。

また、限界降雪量の推定精度を上げるためには、冠雪荷重を精度良く推定することも重要である。冠雪の発達の仕事に関する研究が1950年代の初めに実施された（高橋敏男・高橋喜平，1952；四手井，1952；高橋喜平，1952）。その結果、冠雪荷重をもたらすような異常冠雪は降雪時の気温が+から-に推移したあと0℃より僅かに低い状態が持続し、その間には日射がなく、風も弱い場合に限られることを報告された（高橋喜平，1952）。ただし、その後、56豪雪では冠雪害が強風下で発生した場合や-3℃以下の低温下でかつ多量の降雪下で発生した場合などが観察され、これまで考えられていたよりも多様な気象条件のもとでも被害が起きることが明らかにされた（新田，1987）。また外国でも風速3m以上の条件下で発生することが報告されている（Gill, 1974；Cremerら，1983）。その後、冠雪荷重の測定は渡辺ら（1964）に引き継がれ、冠雪荷重のスギ品種間比較が実施された。また、ダグラスモミとホワイトパインを対象に冠雪荷重と降雪量の関係式が求められ、両者はシグモイド曲線で近似された（Satterlund, 1966）。松田（1981）は、スギの枝に付着した冠雪を測定し、冠雪荷重と降雪量および葉量の関係式を求めた。その後、高橋喜平（1952）の測定装置に改良を加えて、自然降雪条件下におけるスギ樹冠の冠雪荷重を測定し、冠雪荷重と降雪量の関係が調査された（片岡ら，1983a；嘉戸ら，1985）。しかし、自然降雪条件下での実験では異常冠雪の状態を再現できにくいので、人工降雪装置を開発し（新田ら，1984）、スギの冠雪荷重に幹の変形などに関する実験（中島ら，1986a, 1986b, 1989）が実施された。

以上のことから、冠雪荷重に関する研究は開始されてから長期間を経ているが、冠雪荷

重の推定式は枝レベルで求められただけで、大きな樹冠を有する一般の林木の冠雪荷重を推定するには不十分と考えられた。

つぎに、冠雪害と森林施業の関係について述べる。冠雪による被害率が立木密度の高い林分ほど大きくなる傾向がスギだけではなく（石川ら, 1987）、ポンドローサパイン（Ffolliottら, 1976）、アカマツ（片岡ら, 1982）、ラジアータパイン（Cremerら, 1983）においても認められており、冠雪害を軽減するうえで間伐・密度管理の重要性が指摘されている。このような傾向が認められるのは、立木密度の影響は樹高に対しては小さいが、密度が高くなるほど胸高直径が小さくなる結果、冠雪害抵抗性が低下したためと考えられている。しかし、降雪環境やスギ品種などの違いに応じて、間伐方法や間伐時期を変えることが求められるが、これらに関する具体的な提言は少なかった。

冠雪害対策として冠雪荷重を小さくすることが有効であることから、枝打ちと被害の関係が検討されたが、適正な枝打ちを繰り返すことにより被害率が低下したとの報告（三代, 1982；野表, 1988）と通常の枝打ちでは著しい効果は認められなかったとの報告（佐藤, 1971；石井ら, 1980；福井県, 1982）があり、未だ結論が出ていない。一口に枝打ちといっても、枝打ち強度によってその効果も変わることが予想される。すなわち、強度の枝打ちを行えば冠雪荷重が小さくなるが、その後は肥大成長が著しく低下するために、それに伴って冠雪害抵抗性も低下することが考えられる。それゆえ、冠雪害に対する枝打ち効果を検討するにあたっては、まず枝打ち直後と枝打ち数年後とに分けて、それぞれについて枝打ち強度によって冠雪害抵抗性がどのように変化するかを検討する必要があると思われる。

以上のように、林木の冠雪害に関して様々な方面から調査研究がなされ、林木の冠雪害抵抗性は形状比や幹の強度特性などの個々の要因だけを取り上げただけでは不十分で、その発生機構の全容を明らかにすることができないことや各要因間の影響の程度を比較することも困難であることも判ってきた。このようなことから、冠雪害の発生機構を力学的な手法で解析がおこなわれ、新たな冠雪害抵抗性指数として限界降雪量が提案された。しか

し、この限界降雪量を求めるには多くの要素が必要であり、これを冠雪害抵抗性指数として活用するためにはさらに容易に求める方法を検討する必要がある。

また、冠雪害は突発的な気象災害であるために被害時の降雪状況や冠雪量に関するデータが得にくいことや、仮に冠雪害を予測した施業試験地を設定してもその場所で冠雪害が起きるとは限らないことなど、野外調査だけでは降雪環境や品種などに応じたきめ細かな冠雪害防除対策を確立できないと思われる。そこで、野外調査と併せてシミュレーションによる検討が考えられる。それに先だって、林木の成長予測法と冠雪害抵抗性評価法を開発しておくことが必要である。

第3節 研究の目的と方向

本研究では、品種の選択、密度管理および枝打ちなどの林木保育によって冠雪害抵抗性の高い林分に誘導するための育林技術を明らかにし、冠雪害危険地帯における施業体系の確立を最終目標としている。そこで、まず、野外調査と併せて力学的な手法により冠雪害の発生機構を解析し、一般的なスギ林木の冠雪害抵抗性を冠雪荷重と幹の耐力の関係から定量化する手法を提案した。つぎに、間伐や枝打ちに関する施業試験やシミュレーションを行い、これらの施業による冠雪害抵抗性の影響を限界降雪量により定量化し、冠雪害の回避を目指した施業法を検討した。

本論文は7章よりなり、第1章は序論とし、第2章ではまず被害形態および被害林木の特徴について述べた。つぎに、富山県において冠雪害林の調査を行い、冠雪害の発生に関係すると林木要因、林分要因および立地要因の関係について解析した。

第3章では、実際のスギ樹冠を用いて冠雪荷重を測定し、冠雪荷重と気象要因の関係、冠雪荷重の富山県の主要品種間における差異について検討し、さらに単木の冠雪荷重の推定式を提案した。

第4章では、冠雪荷重を受けた幹の耐力の評価法について検討し、幹ヤング率および根系の支持力が幹の耐力に与える影響および品種・林分による差異について検討した。

第5章では、形状比の冠雪害抵抗性指数としての力学的な意義と問題点について検討した後、冠雪害抵抗性指数として提案された限界降雪量を測定が容易な樹高、胸高直径、樹齢などから直接推定する手法について検討した。

第6章では、冠雪害の回避を目指した間伐や枝打ち法を検討するため、施業試験と併せてシミュレーションを行い、施業法の違いによる冠雪害抵抗性の違いを第5章の限界降雪量の推定法を用いて比較検討した。

第7章では、冠雪害の発生機構を冠雪荷重と林木の耐力との関連で考察し、つづいて被害防止・軽減するための提言を行い総合的な考察を加えた。

第4節 調査林分の概況

調査は富山県内の北緯 $36^{\circ}35'$ から $36^{\circ}50'$ 、東経 $137^{\circ}22'$ から $137^{\circ}50'$ の範囲に含まれる12ヶ所と1地区で行った(図-1)。各調査地で行った調査内容の概要を表-1で示し、詳細は以下の通りである。

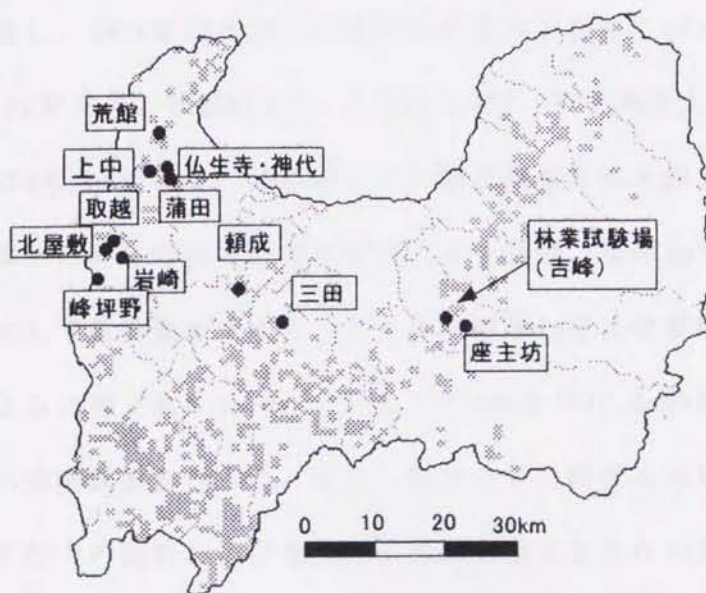


図-1 調査地の位置 (●調査地；■スギ林)

表-1 調査地の概要

調査地	標高 (m)	林齢 (年生)	スギ品種*	調査・試験	備考
(1) 荒館	50	25	B	被害調査, 強度試験 葉量と幹形調査	第2, 4, 5章
(2) 仏生寺 ・神代	10~100	18~40	B	被害調査	第2章
(3) 蒲田	50	28	T, B	被害調査	第2章
(4) 仏生寺上中	130	25	B	葉量と幹形調査	第5章
(5) 峰坪野	100	31, 33	B	被害調査, 葉量と幹形調査	第2, 5章
(6) 北屋敷	100	18~28	B	被害調査, 強度試験 間伐試験, 葉量と幹形調査	第2, 4, 5, 6章
(7) 取越	180	10~14	K	枝打ち試験	第6章
(8) 岩崎	80	15~38	B	間伐試験	第6章
(9) 下屋敷	140	25	K	強度試験	第4章
(10) 頼成	100	12, 14	T, B, M	被害調査, 強度試験	第2, 4, 5章
(11) 三田	70	20	T, B, M	被害調査	第2章
(12) 吉峰 (林業試験場)	230	6, 16 22	T, B, M, R	冠雪調査, 強度試験	第3, 4章
(13) 座主坊	350	28	K	強度試験	第4章

*T: タテヤマスギ, B: ボカスギ, M: マスヤマスギ, R: リョウワスギ, K: カワイダニスギ

(1) 荒館

氷見市荒館に位置し, 1984年12月29日に冠雪害を受けた25年生のボカスギ林である。標高は50m, 斜面方位は北向き, 傾斜は22°, 土壌はB₀型, 年平均最大積雪深は40cmであった。立木密度は1,050本/haである。1985年4月に被害調査と毎木調査を行った。また, 林分の中で小さな個体から大きな個体まで合計で7本を選び, 層厚1mで層別刈り取り法により幹, 枝, 葉を測定して乾燥重を求めた。その後, 層厚1m毎に樹幹解析用の円盤を採取して幹形を調べた。さらに地上高1.3, 4.3, 7.3, 10.3および13.3mの部位の丸太を採取して林齢・部位別の材の強度試験を行った。また, 同年5月に幹折れ木18本の幹形調査, 荷重試験による根系の支持力の測定および生丸太の強度試験をおこなった。

(2) 仏生寺・神代地区

1985年12月16日から17日にかけての湿雪によって, 氷見市や高岡市のスギ林で冠雪害が

発生した。なかでも被害の大きかった氷見市仏生寺および神代地区約600haを対象に、ボカスギ林40箇所を被害調査を行った。それらの標高は10~100mで、年平均最大積雪深は約90cmであった。林齢は18~40年生で冠雪害を受け易いとされている齢級を対象とした。これらの林分は電柱材生産を主目的にされたもので、植栽密度は1,000~2,000本/haで富山県における一般的なタテヤマスギ造林地の2,500~3,000本/haよりも少ない。

(3) 蒲田

氷見市蒲田にあるボカスギとタテヤマスギの28年生の混植林分であり、1985年12月16日から17日にかけての湿雪によって冠雪害を受けた。標高は50m、斜面方位は北東向き、傾斜は35°、土壌型はB_D(d)で、年平均最大積雪深は約90cmであった。立木密度は1,025本/haで、調査本数はボカスギ16本、タテヤマスギ26本である。

(4) 上中

氷見市仏生寺上中にある25年生のボカスギ林である。標高は130m、斜面方位は北東向き、傾斜は15°、土壌はB_D型、年平均最大積雪深は100cmであった。立木密度は1,050本/haである。幹、枝、葉の層別刈り取り調査と樹幹解析を行った。

(4) 峰坪野

小矢部市峰坪野の33年生のボカスギ林である。標高は100m、斜面方位は北西、傾斜は5°、土壌はB_D型、年平均最大積雪深は100cmであった。1980/81年の豪雪によって冠雪害を受けた。1981年4月に2箇所のプロットを設け、被害調査と毎木調査を行うとともに立木位置図を作成した。また、供試木10本について幹、枝、葉の層別刈り取り調査と樹幹解析を行った。

(5) 北屋敷

小矢部市北屋敷のボカスギ間伐試験地で、標高は100m、斜面方位は東向き、傾斜は30°、土壌はB_D(d)、年平均最大積雪深は100cmであった。18年生に当たる1984年4月間伐区と無間伐区を隣接して設定し、1994年まで冠雪害および成長について継続調査した。大きな被害は1988年1月と1994年1月に発生した。1984年4月と1988年4月に立木の荷重試験による根

系の支持力 (μ) の測定を実施した。被害木について折損部に近い非破壊部から曲げ試験用の丸太 (長さ2.5m) を採取し、実験室において生材の状態で中央集中荷重方式 (スパン2m) により曲げ試験を行って求めた。18年生時と22年生時にそれぞれ供試木7本ずつについて幹、枝、葉の層別刈り取り調査と樹幹解析を行った。

(6) 取越

小矢部市岩崎取越に位置するカワイダニスギの枝打ち試験地である。標高は180m, 斜面方位は北西向き, 傾斜は15°, 土壌型はB_{D(4)}で, 年平均最大積雪深は120cmであった。10年生に当たる1991年4月に試験地を設定し, 1994年10月まで被害状況と成長について調査した。幹、枝、葉の重量測定と樹幹解析を1991年4月に1本, 1994年10月に4本行った。また, 幹ヤング率を測定した。

(7) 岩崎

小矢部市岩崎に位置するボカスギの間伐試験地である。標高は100m, 斜面方位は西向き, 傾斜は25°, 土壌型はB_Dで, 年平均最大積雪深は100cmであった。15年生にあたる1973年に2箇所の試験地が設定され, 1995年まで被害と成長について調査が行われた。

(8) 下屋敷

小矢部市下屋敷の25年生のカワイダニスギの林分である。標高は150m, 斜面方位は北東, 傾斜は5°, 土壌型はB_{D(4)}, 年平均最大積雪深は110cmであった。32本の供試木について, 小泉法(小泉, 1987)による立木の非破壊曲げ試験をおこない立木状態のままに幹ヤング係数を測定した。

(9) 頼成

砺波市頼成の県民公園内にあるタテヤマスギ(実生), ボカスギ(挿し木), マスヤマスギ(挿し木)の見本園である。標高は100m, 斜面方位は北向き, 傾斜は5°, 土壌型はB_{D(4)}, A層は浅かった。年平均最大積雪深は100cmであった。12年生にあたる1980/81年にいわゆる56豪雪によって冠雪害を受けた。1981年4月にタテヤマスギ0.78ha, ボカスギ1.0ha, マスヤマスギ1.05haを対象に被害調査, 毎木調査を行った。また, 各品種6本づ

つ計18本について、幹、葉、枝重の測定と幹析解をした。さらに、1982年の8、9月に立木の鉛直荷重試験を行い、その後で供試木32本を持ち帰り実大材の荷重試験を行ない、ヤング率を調べた。

(10)三田

八尾町三田にある1954年植栽のタテヤマスギ、ボカスギ、マシヤマスギの品種展示林である。標高は70m、斜面方位は東南、傾斜は15°、土壌型はB_{D(4)}であった。年平均最大積雪深は90cmである冠雪害は1973年12月の大雪で発生した。1974年4月にタテヤマスギ41本、ボカスギ49本、マシヤマスギ28本について被害調査が富山県林業試験場で実施されたが、公表されなかった。

(11)吉峰（林業試験場）

立山町吉峰にある富山県林業技術センター林業試験場の品種見本園である。標高は230m、斜面方位は北西、傾斜は5°、土壌型はB_{D(4)}、年平均最大積雪深は130cmであった。1983年に6年生の幼齢林で、タテヤマスギ実生とサシキ（上市2号）、ボカスギおよびリョウワスギの樹幹ヤング率や根系の支持力を測定した（平ら、1990）。ボカスギ16年生にあたる1983年9月にタテヤマスギ、ボカスギ、マシヤマスギを対象に、立木の鉛直荷重試験を行い、その後で供試木を持ち帰り実大材曲げ試験をおこなった。また、22年生時にボカスギ、タテヤマスギ、マシヤマスギ、リョウワスギを対象に、ぶら下がり法（小泉、1987）による立木の非破壊曲げ試験をおこない幹ヤング係数を測定した。1999年1月10日に冠雪害を受けたボカスギとタテヤマスギの12年生林分で被害調査を行った。

なお、冠雪荷重試験は全て吉峰の林業試験場の構内で行った。

(12)座主坊

立山町座主坊の県有林にある28年生のタテヤマスギ林である。標高は350m、斜面方位は北東向き、傾斜は23°、年平均最大積雪深は170cmである。1984年9月に、15本の供試木について立木の鉛直荷重試験を行った後に、供試木を持ち帰り実大材曲げ試験をおこなった。

第2章 冠雪害に影響する林木・林分および立地要因

冠雪害の危険性が全国で最も高いといわれている富山県の里山地帯を中心に被害林分の調査を行った結果にもとづき、本章の前半ではまずスギ林木の主な被害形態とその特徴について述べる。後半では冠雪害の発生に影響する林木・林分要因、立地要因および品種の差異などについて解析し、冠雪害の発生が形状比（樹高／胸高直径）によってどの程度説明できるのかについて検討した結果について述べる。

第1節 被害形態と林木のサイズの関係

林木の冠雪害の発生機構を検討する上で、被害形態を把握し、それぞれの被害形態に係る林木要因や立地要因を明らかにすることが必要であろう。そこで、冠雪害をうけた林分において毎木調査を行い、主な被害形態とその特徴および被害形態と林木のサイズの関係などについて述べる。

1. 調査方法

冠雪害を受けた12～40年生までの44ヶ所のボカスギ林で毎木調査を行い、胸高直径、樹高および被害形態などについて調べた。全調査林分のうちの40ヶ所が1985年12月に冠雪害を受けた仏生寺・神代地区で調査したものであり、その他は1980/81年に被害を受けた頼成1林分と峰坪野2林分および1984年に被害を受けた北屋敷1林分である。

冠雪害の被害形態は破壊形態や被害部位などによって10種類以上に区分される場合もあるが、梢端の曲がりや折れおよび枝の折れや抜けなどの軽微な被害を除けば、基本的には幹の損傷による幹折れや幹曲りと根系の損傷による根返り（傾倒直後の斜立木を含む）の3つの形態に大別される（Kato, 1989）。

幹折れは、冠雪荷重の増加に伴って幹が変形し、折損する被害である。折損部位の違いによって、さらに梢端折れ、幹折れ（図-2a）、根元折れ（図-2b）に区分される。梢端折れはその後の生育に与える影響が小さいことから、被害として取り扱わない場合もあ

る。また、破壊形態の違いによって、幹折れ、幹割れ、幹裂けなどに細分化されることもある。ボカスギでは幹折れには割れや裂けを伴う場合が多い。

幹曲り（図-2c）は、自力で回復できないほど幹が変形したものの、折損まで至らなかったものである。根元曲り（図-2d）は冠雪荷重や積雪の沈降圧による冬季の幹の傾倒や根系の損傷だけでなく、生育期の立ち直りに起因する被害であり、幹曲りとは発生機構が異なる。

根返り（図-2e）は、根系の損傷によって林木が倒伏する被害であり、幹の強度よりも根系の支持力が小さい場合に生ずる。したがって、この被害は重度の根抜けといえる。また、樹体は倒伏しないまでも根元から大きく傾いたものを傾幹または根浮きなどと呼んでおり、これらも根返りの一つといえる。

豪雪地帯の若い林では根元割れがしばしば認められる。これは根元曲りにそって割れが生じるもので、折損させようとする力が根元付近に加わった幹折れの一種と考えられる。

2. 結果と考察

44カ所のボカスギ林における林齢と全被害木に占める被害形態毎の割合を被害形態別の割合で比較すると、発生割合が最も大きいのは幹折れで、全体の87%であった（図-3）。幹曲りの割合は12年生の林分で90%を越えたものの、他の林分では発生頻度が低かった。

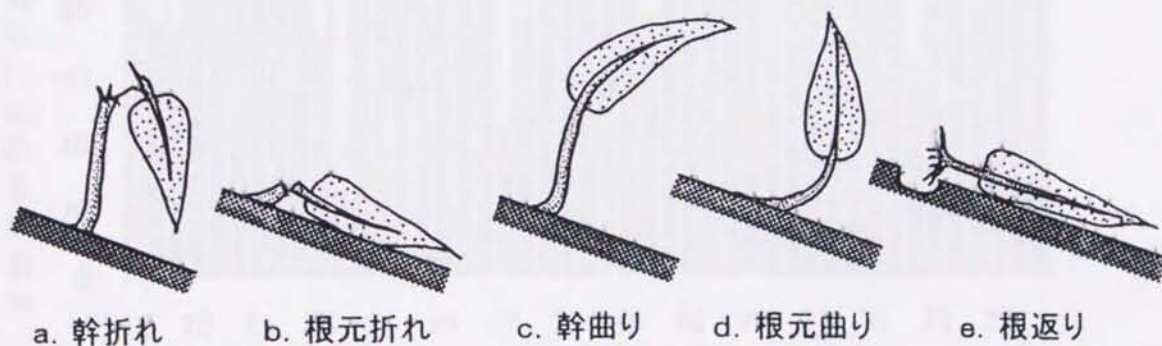


図-2 スギ冠雪害の主な被害形態

これまでの報告でも若い林に幹曲りの被害が多い傾向が報告されている（二見・梶谷，1981；藤森，1987）。根返りの割合は林分による変動が大きく，被害木の半数を占める林分があった反面全く発生しなかった林分も多かった。この原因として，根返り被害は林木要因の他に，土壌や斜面の傾斜度などの立地要因の影響を大きく受けるためと考えられた。なお，本調査では15年生未満の林分が少なかったこともあり，幼齢林の被害形態の特徴を把握できなかったが，少なくともIV齢級以降のボカスギ林分では被害形態と林齢の間に明瞭な関係が認められなかった。

林分の平均胸高直径が大きくなるのに伴って各被害形態別の平均直径も大きくなるが，同一林分内では健全木の平均直径が平均直径よりも大きい傾向が見られた（図-4）。根返り木は健全木より大きい場合と小さい場合とがあり，明瞭な傾向が認められなかった。幹折れ木や幹曲がり木の平均直径は健全木や根返り木より小さい傾向が認められた。以上のことから，平均よりも大きな個体が被害を受けにくく，平均よりも小さな直径の個体が幹折れや幹曲がりなどの被害を受ける傾向があり，林木のサイズと被害形態の間に一定の関係があることが判った。このように同一林分内の優勢木で被害が少なく，中庸木や劣勢木で被害が多い傾向がこれまでも報告されている（高橋啓二，1977）。

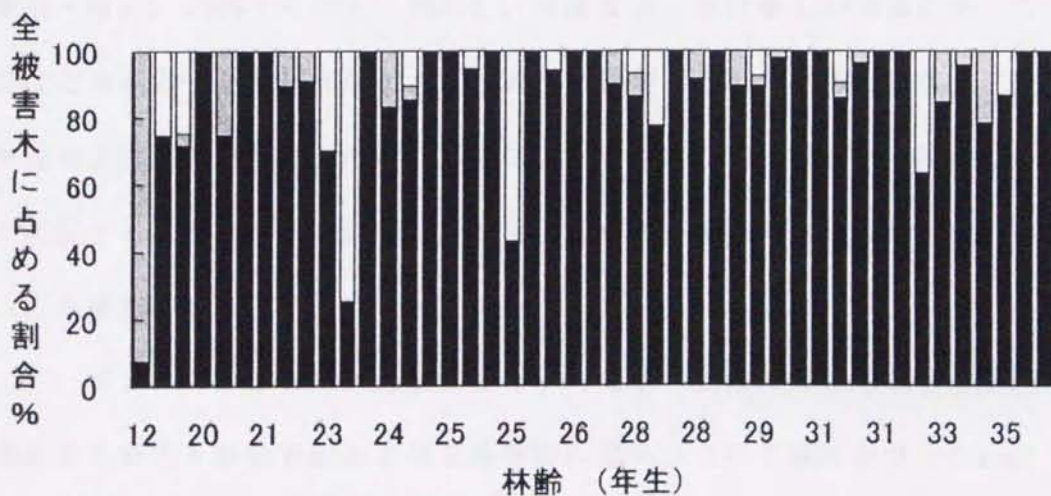


図-3 林齢と被害形態別の割合
 ■ 幹折れ □ 幹曲り □ 根返り

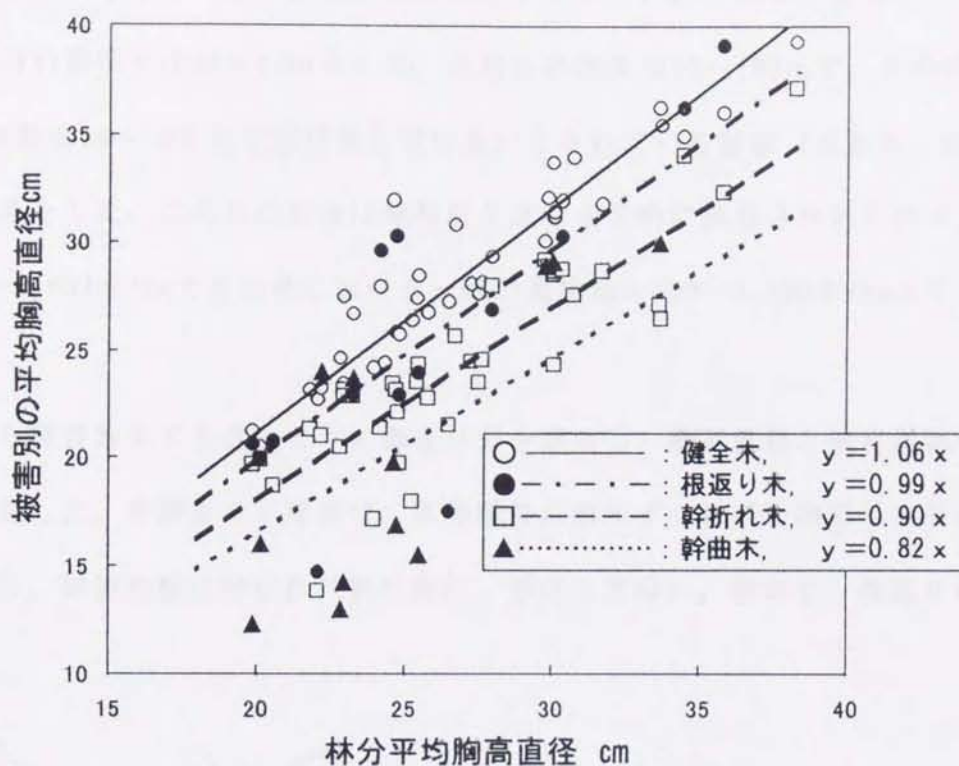


図-4 林分の平均胸高直径と被害別の平均胸高直径の関係

第2節 冠雪害と林分要因および立地要因の関係

冠雪害の発生には気象、立地、林分など複数の要因が関与していることが指摘されている（佐伯・杉山，1965；石川ら，1987）。気象要因がほぼ等しい地域においては冠雪害の発生には立地要因や林分要因などがより大きく影響するものと考えられる。また、スギの冠雪害は幹折れ・幹曲りなどの幹の損傷にともなうものと、根返り・傾幹といった根系の損傷に起因するものに大別されるが、このような被害形態の違いは発生機構の差異に起因するものと推測される。

そこで、ボカスギの造林率が比較的高くかつ立地の変化に富む地域を対象に、幹折れおよび根返りの発生と林分要因および立地要因の関係について検討を行った。

1. 調査地と方法

(1) 調査地

調査地は仏生寺・神代地区の約600ha内に点在する40箇所のボカスギ林分である（図-5）。調査林分の大きさは一辺が樹高にほぼ対応するように20×20mを基本としたが、面積の小さな林分11箇所では20×15mとした。それらの標高は10～100mで、その平均値は36mと低い。林齢は18～40年生で冠雪害を受け易いとされている齢級（石井ら，1981；高橋1977）を対象とした。これらの林分は電柱材生産を主目的に植栽されたもので、植栽密度は約1,000～2,000本/haで富山県における一般の造林地2,500～3,000本/haよりも少ない。

(2) 調査方法

無被害地から激害地までを含むように調査林分を選定し、胸高直径と被害形態の有無について毎木調査した。各調査木の樹高は、直径階毎に数本ずつ樹高を測定して得た樹高曲線から推定した。被害形態は幹折れ（幹の割れ，裂けも含む），幹曲り，根返りの3つに区分した。

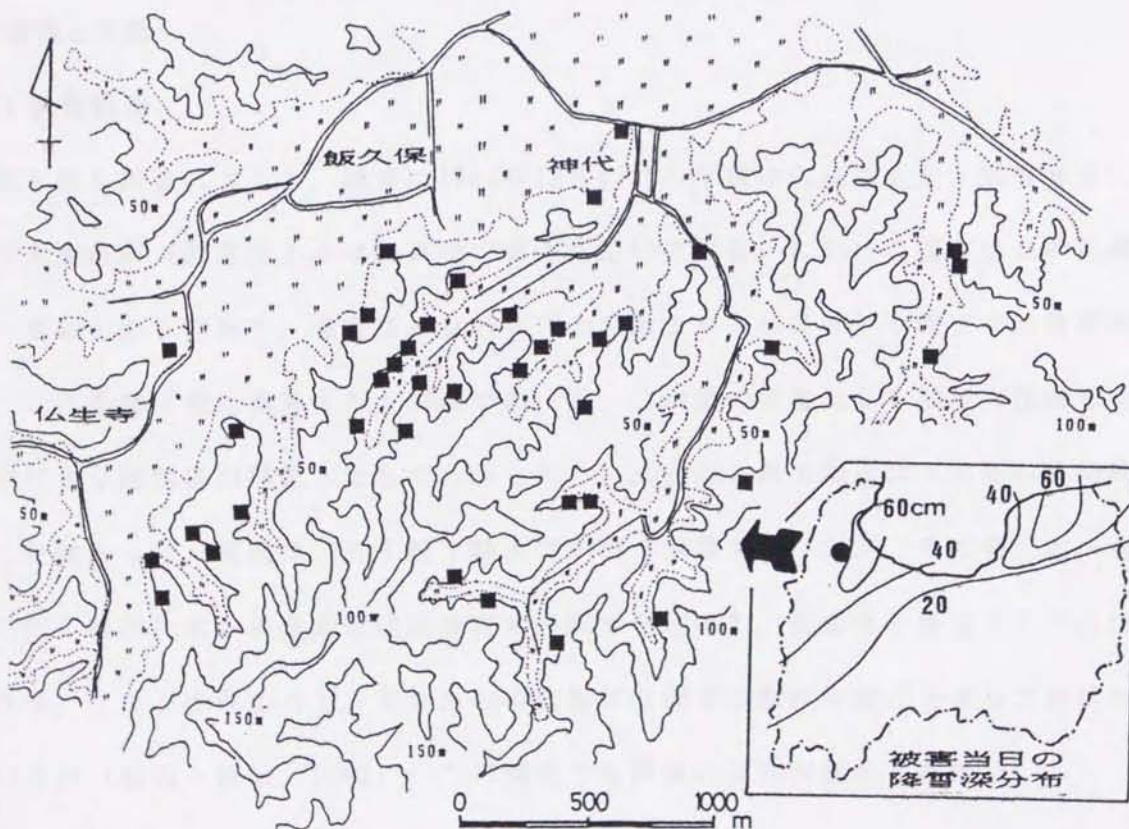


図-5 ボカスギの冠雪害調査林分の位置と降雪分布（■：調査地）

各調査林分の幹折れ木の本数百分率と根返り木の本数百分率（以下幹折れ率および根返り率とよぶ）を従属変量に、林分および立地要因を説明変量として、数量化Ⅰ類により解析した。林分要因として林齢、平均樹高、平均胸高直径、平均形状比（個体の形状比を平均した値）、立木密度および収量比数（タテヤマスギの密度管理図より求めた）を、また立地要因としては斜面方位、地形開放度、斜面傾斜角、土壌（A層）の深さをとりあげた。なお、地形開放度（渡辺，1980）とは周囲がその地点より高い山で囲まれていない開放角度（水平角）のことで、この値が180度以下であれば谷状あるいは凹地形、180度では平衡斜面、180度以上の場合は尾根状あるいは凸地形と見なすことができる。なお、平均形状比、平均樹高、平均胸高直径を同時に解析に用いた場合には3者がいわゆる閉じた関係になるので、平均形状比を入れて平均樹高と平均胸高直径をはずした8要因の場合と平均樹高と平均胸高直径を入れた9要因の場合について計算した。

2. 結果と考察

(1) 被害状況

聞き取り調査によると、被害は1985年12月17日の午前中に発生した。調査林分に最も近い伏木測候所（調査地より9km東側で富山湾沿いにある）における被害当日の気象状況は図-6のとおりである。降雪は16日の夕方から始まり、17日午前9時までの降雪深は58cmで、これを降水量に換算すると55mmであった。この間の気温は0℃前後で推移しており、湿雪により冠雪害が発生したものとみられる。10分間の最大風速は3～8m/sで降雪中としては強かった。風向は17日午前1時までが南～南西であったが、その後、北～北東に変化した。幹折れ木の本数割合は総被害木の90%を占めた。幹曲りと根返りのそれはそれぞれ3%、7%と少なかった。ボカスギの典型的な被害は割れや裂けを伴った幹折れとされているが（杉山・佐伯，1963），この調査でも同様の傾向が認められた。

(2) 幹折れの発生に関与する要因

幹折れ率と林分および立地要因との関係について解析し、その結果を表-2に示した。なお、幹曲りは幹が損傷する点が幹折れと同じであり、かつ被害率も小さかったので、以

下の解析では幹折れに含めた。平均形状比を含む場合を解析1, 平均樹高と平均胸高直径を入れた場合を解析2とした。この結果, 幹折れ率の変動のうちの約60%は平均形状比を含む8要因または平均樹高を含む9要因で説明された。

解析1と2を通して, 偏相関係数が最も高くかつレンジも大きかった要因は平均形状比であった。スコアから幹折れは平均形状比が大きいほど受け易い傾向があったといえる。

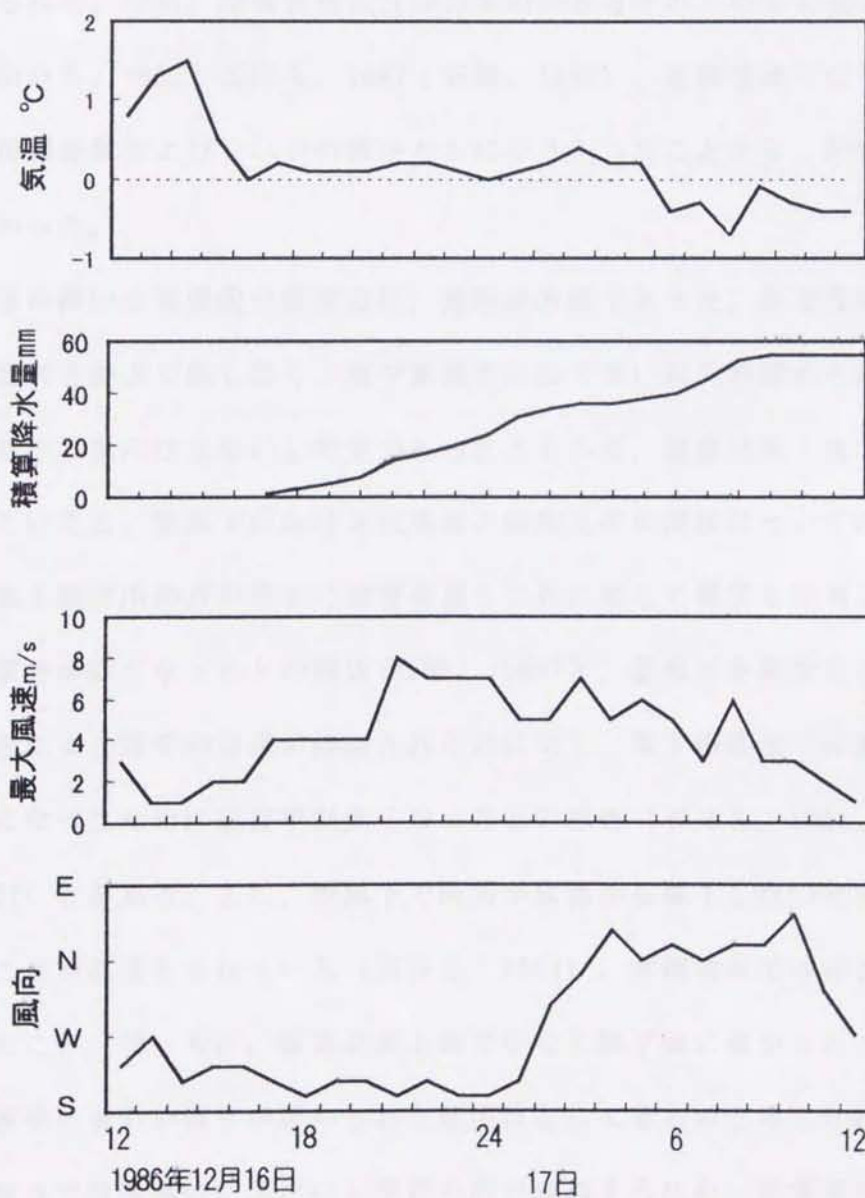


図-6 仏生寺・神代地域における冠雪害発生時の気象 (伏木測候所)

ただし、これまでも指摘されているように調査地による被害率の差異は形状比だけでは十分説明できなかつた（石井ら，1981；石川ら，1987；高橋，1977）。

また、平均形状比以外の林分要因で幹折れ率と関係が深かつたのは収量比数（解析1，2）と立木密度（解析2）であつた。平均形状比と収量比数および立木密度の相関係数はそれぞれ0.48，0.47で、平均形状比は密度の高い林分ほど大きくなる傾向があつた。このため立木密度の偏相関係数は形状比を入れた場合に比べてそれを外した場合の方が高くなつたものと考えられる。なお、冠雪害抵抗性は林木の大きさそのものとも関係があるとの報告があるが（山口ら，1982；石川ら，1987；石橋，1989），本調査地では平均樹高や平均胸高直径は偏相関係数およびレンジの値がともに小さかつたことから、幹折れの主要因とは考えられなかつた。

幹折れ率と関係の深い立地要因は斜面方位、地形開放度であつた。斜面方位のスコアから、幹折れ率は北向き斜面で最も低く、南や東向き斜面で高い傾向が認められた。被害が発生した17日午前中の風向は北ないし北東であつたことから、被害は風上側で少なく、風下側に多かつたといえる。強風下における冠雪害と斜面方位の関係については、①風向に直角する斜面や風上側斜面の方が林木に冠雪荷重とこれに加えて風圧も作用したため、風下側斜面よりも被害が多かつたとの報告（石橋，1989）と、②風圧を直接受ける風上側斜面では樹冠の動揺により冠雪の発達が抑制されたのに対し、風下側斜面では風が弱められるので冠雪し易くなつたために被害率が高くなつたとの報告（石井ら，1981；杉山・佐伯，1963；高橋，1977）とがある。また、強風下で降雪が枝葉から落下しないためには気温が0℃以上であることが必要とされている（石井ら，1981）。本調査地では被害時の気温がマイナスであつたこと（図-6），被害が風上側で少なく風下側に多かつたことから、斜面方位により被害率に著しい偏りが認められた原因は②によるものと考えられる。

一般に、北陸地方では降雪時に南ないし南西の風が卓越するため、冠雪害が北や東向き斜面に集中する傾向があるといわれているが（杉山・佐伯，1963），本調査地ではこれとはほぼ反対側の南向き斜面で被害が多かつた。これは降雪初期には南寄りの風であつたも

のが、被害時には北寄りに変化したことによると考えられる。このような風向の変化は低気圧の移動にともなう場合に見られるが（石川ら，1987），当日の極東天気図上には低気圧の存在が認められなかった。しかし，このような富山湾の沿岸部における局所的な大雪（図-5）は近くに天気図上に表されない泡沫的な小低気圧が発生した場合に多い（福田，1961）ことから，このような小低気圧の移動に伴って，風向も南から北に変化し，その時

表-2 幹折れ率と林分および立地要因の関係についての数量化I類による解析結果

要 因	カテゴリー	例数	解析 1			解析 2		
			スコア	レンジ*	偏相関係数	スコア	レンジ*	偏相関係数
林 齢 (年)	~25	16	-1.1	2.0	0.053	-3.7	11.6	0.218
	~30	15	0.9			0.9		
	31~	9	0.4			7.9		
平均樹高	~15	6				-6.8	16.9	0.254
	~20	27				4.1		
	21~	7				-2.1		
平均胸高 直径(cm)	~25	10				-10.1	16.2	0.264
	~30	20				6.1		
	31~	10				-2.1		
平均形状 比(m/m)	~65	14	-18.3	32.7	0.642			
	~70	13	5.4					
	70~	13	14.4					
立木密度 (本/ha)	~800	13	-0.6	6.1	0.125	-16.8	41.5	0.519
	~1200	19	-1.5			1.1		
	1201~	8	4.6			24.7		
収量比数	~0.70	13	1.4	30.9	0.452	-1.4	34.0	0.493
	~0.80	22	-6.4			-5.6		
	0.81~	5	24.5			28.4		
斜面方位	N	13	-17.3	29.8	0.529	-14.6	29.6	0.463
	E	9	10.4			15.0		
	S	6	12.5			7.1		
	W	12	4.7			1.0		
地形開放 度(度)	~90	24	8.4	26.7	0.491	12.3	32.6	0.513
	~180	10	-18.3			-20.3		
	180~	6	-3.1			-15.4		
斜面傾斜 度(度)	~20	13	0.7	20.3	0.371	8.9	25.9	0.453
	~30	15	8.7			5.9		
	31~	12	-11.6			-17.0		
土壌の深さ	~30	10	-3.4	7.5	0.205	-8.3	12.8	0.218
	~50	19	3.9			1.8		
	51~	11	-3.6			4.5		
重相関係数								
					0.786			0.784

点で被害に至ったものと推測される。

地形開放度のスコアは90度以下の方が91度以上の場合よりも大きい傾向があり、周囲の3/4以上が山で囲まれたような谷沿いや凹地形の林分で被害率が高かったといえる。このような原因として凹地形の林分では風下側斜面と同様に風速が弱められたため冠雪しやすくなったことが考えられる。

(3) 根返りの発生に関与する要因

根返り率に関与する要因について解析し、その結果を表-3に示した。林分要因に形状比を含む場合を解析3、平均樹高と平均胸高直径を含む場合を解析4とした。重相関係数は解析4の方が解析3より高く、根返り率の変動のうちの約80%が形状比を除く9要因で説明された。

林分要因のなかで偏相関係数が高くかつスコアのレンジが大きいのは平均樹高（解析4）であった。スコアから根返り率は平均樹高が21m以上の林分で最も高く、ついで15m以下、16~20mの順であった。冠雪荷重を受けて樹幹が変形した場合にその根元に生ずる回転モーメントは冠雪荷重とその重心の水平変位との積で表される（嘉戸ら、1988）。一般に、樹高が高いほどその水平変位が大きくなり、それに伴って回転モーメントも大きくなること、小さな林木ほど小さな回転モーメントで根返りすることになるために（嘉戸ら、1988）、被害率と樹高との関係が線形にならなかったことが考えられる。なお、形状比の偏相関係数とスコアのレンジがともに小さく、根返りの発生に及ぼす形状比の影響は小さかったといえる。このことは、形状比が根返りの危険を表す指標となり得ないことを示唆するものである。

立地要因のなかで偏相関係数が高く、かつスコアのレンジが大きい要因は斜面傾斜角、土壌の深さおよび斜面方位（解析4）であった。スコアから、根返りは傾斜が急で、土壌が浅いほど発生しやすく、とくに斜面傾斜角が31度以上で、かつ土壌の深さが30cm以下の林分で危険性が高かったといえる。根返り率が土壌が浅いほど高くなるのは土壌が浅いほど根系の発達を地表近くに制限されるためではないかと考えられる。また斜面傾斜角が急

なほど根返りが多くなる理由として、傾斜が急になるのに伴って土壌も浅くなること
 があげられているが（高橋，1977），土壌の深さを一定とみなしてもなお相関が高かったこと
 から、根系の形態や分布など根系の支持力に関わる要因が急斜地と緩斜地とで異なること
 も考えられる。

表-3 根返り率と林分および立地要因の関係についての数量化I類
 による解析結果

要 因	カテゴリー	例数	解析 3			解析 4		
			スコア	レンジ	偏相関 係数	スコア	レンジ	偏相関 係数
林 齢 (年)	~25	16	-0.5			0.3		
	~30	15	0.6	2.5	0.288	-0.8	1.6	0.236
	31~	9	2.0			0.6		
平均樹高	~15	6				2.3		
	~20	27				-1.8	6.7	0.693
	21~	7				4.9		
平均胸高 直径(cm)	~25	10				-2.5		
	~30	20				0.5	3.9	0.370
	31~	10				1.4		
平均形状 比(m/m)	~65	14	-1.5					
	~70	13	0.3	2.8	0.274			
	70~	13	1.3					
立木密度 (本/ha)	~800	13	1.3			-1.7		
	~1200	19	-0.5	2.2	0.189	-0.3	3.8	0.309
	1201~	8	-0.9			2.1		
収量比数	~0.70	13	1.7			2.5		
	~0.80	22	-1.0	2.7	0.346	-1.3	3.8	0.473
	0.81~	5	0.0			-0.8		
斜面方位	N	13	-2.1			-1.2		
	E	9	-0.7	4.2	0.473	-1.4	3.1	0.439
	S	6	1.3			1.1		
	W	12	2.1			1.7		
地形開放 度(度)	~90	24	-0.2			0.4		
	~180	10	1.0	1.6	0.178	0.3	2.4	0.271
	180~	6	-0.6			-2.0		
斜面傾斜 度(度)	~20	13	-4.8			-4.8		
	~30	15	1.2	8.5	0.703	1.6	8.0	0.743
	31~	12	3.7			3.2		
土壌の深さ	~30	10	5.9			5.9		
	~50	19	-2.0	7.9	0.644	-1.2	7.9	0.638
	51~	11	-2.0			-2.7		
重相関係数					0.800			0.872

第3節 冠雪害と林木形状の関係

気象条件や立地条件などがほぼ等いとみられる林分内においても、冠雪害を受けた林木と受けない林木とが存在する。そこで、どのような形状の林木が被害を受けやすいのかについて検討した。

1. 調査地と方法

調査地は北屋敷22年生と荒館25年生の2カ所である。北屋敷では全林木の胸高直径を測定するとともに、健全木17本と被害木20本を対象に樹高、胸高直径、形状比、幹の細りを調べた。荒館では全林木（被害木26本、健全木19本）を対象に樹高、胸高直径、形状比、枝下高、幹の細りを毎木調査した。なお、幹の細りは高さ1～6mの間における平均値(cm/m)である。

2. 結果と考察

各調査地の胸高直径階別本数分布をみると、北屋敷では被害木が劣勢木や中庸木に多く、優勢木で少ない傾向が認められ、冠雪害と胸高直径の間に密接な関係があることが示唆された(図-7)。同様の傾向はこれまでも報告されている(嘉戸・平, 1982)。一方、荒館では被害が優勢木で少ない点が北屋敷と共通するものの、被害率と胸高直径の関係は北屋敷ほど明瞭ではなかった。これらのことから、冠雪害の発生には林木の大きさが関係しているようであるが、この要因だけでその発生機構を説明できなかった。

そこで、各調査地毎に健全木と被害木に区分し、この区分に影響する林木形状について線形の判別分析法を用いて解析した。説明要因は、北屋敷で樹高、胸高直径、形状比、幹の細りの4つ、荒館ではこれらに枝下高を加えた計5つである。また、樹高、胸高直径および形状比を同時に用いて解析すると閉じた関係になるので、形状比を外した場合(解析1)と樹高と胸高直径を外した場合(解析2)とに分けて解析した。いずれの調査地においても、被害木は健全木に比べて胸高直径および細りが小さく、形状比が大きくなる傾向があった(表-4)。

ここで取り上げた説明要因で健全木と被害木に判別できるのか検討した。ウイルクスの

Λ 値はグループ間の変動を表現する量であり、この値が0に近いほどグループ間に差があることを、また1に近いほど差がないことを示す。そこで、この値を利用してグループ間に差があるかどうかを検定した結果、北屋敷の解析1では1%水準で、解析2では5%水準で、また荒館では解析1および2で1%水準で統計的有意差が認められた(表-5)。したがって、いずれの試験地においても健全木のグループと被害木のグループの間には林木形状に違いがあったと言える。そこで、これらの説明要因が判別に役立っているかどうかを調べるために、ウイルクス Λ を利用して、各要因の寄与の検定をした。その結果、統計的に有意と判定された要因は、北屋敷では胸高直径と形状比であったのに対し、荒館では樹高、胸高直径、形状比および幹の細りの4変量であった。ここでは判別関数の値が正のときには健全木に、負の時には被害木に属することから、胸高直径が大きくて他の要因が小さい場合には健全木、反対に胸高直径が小さくて他の要因が大きい場合には被害木と判別される。これらのことから、被害木に共通する樹幹の形状はサイズが小さくかつ細

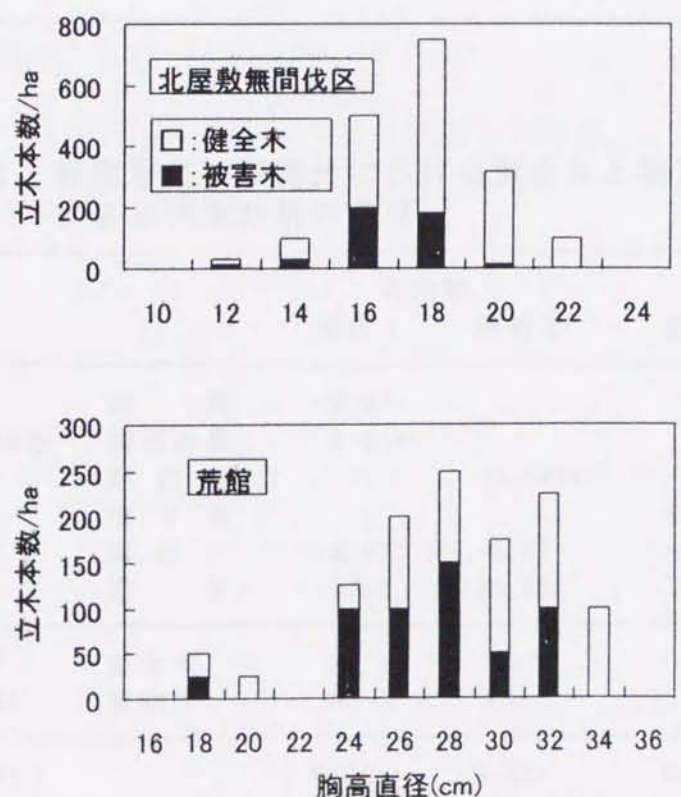


図-7 被害林分における胸高直径階別本数分布

長であるといえるが、調査地によって変量の寄与の程度が異なっていた。この原因については、降雪環境の差異によるものか、あるいは林木の強度特性の差異によるものか明らかではない。

解析 1 と解析 2 の正答率を比較すると、北屋敷では解析 1 の方が大きく、荒館ではほぼ

表 4 冠雪害の被災林分における健全木と被害木の樹幹形状の平均値の比較

	標本数 (本)	樹 高 (m)	胸高直径 (cm)	形状比	枝下高 (m)	細 り (cm/m)
北屋敷						
健全木	17	14.77	19.08	77.35		1.08
被害木	20	13.81	16.91	81.82		1.04
t 値		3.07**	5.28**	2.28*		0.54
荒館						
健全木	26	19.26	28.29	69.29	10.69	1.23
被害木	19	20.09	26.54	76.08	12.69	1.13
t 値		0.84	1.43	4.51**	3.73*	1.42

表 5 冠雪害の被災林分における健全木と被害木の樹幹形状による判別分析の結果

		北屋敷		荒 館	
		解析 1	解析 2	解析 1	解析 2
判別係数	樹 高	-0.90		-1.28**	
	胸高直径	1.65**		1.13**	
	形 状 比		-0.24**		-0.53**
	枝 下 高			-0.59	-0.46
	幹 細 り	-4.07	-3.87	-5.55**	-6.10**
	定 数	-12.55	23.48	8.47	51.80
正答率 (%)	健全木	71	65	92	92
	被害木	80	65	92	95
ウィルクスの Λ		0.60**	0.81*	0.46**	0.43**

*, **はそれぞれ危険率 5, 1% 水準で統計的に有意性を示す。

等しかった。このことから、同一林分内における健全木と被害木の判別に形状比よりも胸高直径あるいは樹高といった林木の大きさそのものが関係する場合もあることがわかった。この点は林分間における解析結果（表-4）とは異なっていた。この原因は明かではないが、例え林木の大きさが同じであっても冠雪荷重に対する林木の耐力が林分によって異なることも考えられた。

第4節 冠雪害と品種

スギの冠雪害抵抗性は品種によって差異があることが知られている（勝田・松田，1984a, 1984b）。富山県産のスギ品種についても、ボカスギがリョウウスギよりも被害率が高く冠雪害の抵抗性に違いがあったことが報告されているが（杉山・佐伯，1963），同一林分に試験地を設け，比較検討した例は少ない。そこで，代表的な品種であるタテヤマスギ，ボカスギ，マサヤマスギの雪害抵抗性について比較検討した。

1. 調査地と方法

調査地は頼成，吉峰，三田および蒲田の4箇所である（表-6）。頼成と三田にはそれぞれ3品種，蒲田にはタテヤマスギとボカスギが植栽されている。被災直後に各々の調査地において被害調査を行った。

表-6 冠雪害の品種間比較を行った調査地の概要

調査地	林齢 (年生)	標高 (m)	斜面方位	傾斜度 (度)	被災日
頼 成	12	100	北	5	1980年12月
吉 峰	12	232	北	5	1999年1月
三 田	20	70	南東	15	1973年12月
蒲 田	28	50	南	35	1985年12月

2. 結果と考察

各調査地の生育状態と本数被害率を表7～10に示した。頼成における総被害率を比較すると、タテヤマスギが最も高く、ついでボカスギ、マスヤマスギの順であった。吉峰ではボカスギの方がタテヤマスギよりも被害率が高かった。三田で総被害率が最も高かったのはボカスギで、ついでマスヤマスギ、タテヤマスギの順であった。蒲田ではボカスギの方がタテヤマスギよりも被害率が高かった。まず、マスヤマスギとボカスギの被害率を比較すると2ヶ所の林分ともボカスギの方が高かった。同様の傾向は、矢野(1982, 1984)も認めている。また、これら2品種の形状比は頼成および三田とも大きな差がなかったことから、両品種の被害率の差異は形状比に起因するものではないと考えられた。

つぎに、ボカスギとタテヤマスギを比較すると、ボカスギの被害率小さくなったのは4ヶ所の林分のうちの1ヶ所であったことから、後者の方が冠雪害抵抗性が大きいと考えられた。蒲田では両品種の形状比がほぼ等しいことから、この林分における両品種間の被害率の差異は形状比以外の要因に起因することが示唆された。また、頼成、吉峰と三田における形状比はいずれもタテヤマスギの方が大きかったことから、タテヤマスギとボカスギにの被害率の差異は形状比の大小では説明できなかった。

タテヤマスギとマスヤマスギを比較すると、頼成と三田で正反対の傾向が認められ、どちらが冠雪害抵抗性が高いのかこの調査では明かにならなかった。形状比はタテヤマスギの方がマスヤマスギよりも大きくなることから、両品種の被害率の差異を形状比だけでは説明できなかった。

以上のように、品種間における被害率の差異は形状比の違いによって十分説明できなかったことから、冠雪害の発生機構を解明するためには幹の強度特性や冠雪量などを総合的に検討することが必要と考えられた。

表-7 頼成における冠雪害の品種間比較

品種	林齢 (年)	密度 (本/ha)	樹高 (m)	直径 (cm)	形状比 (m/m)	被害率		計
						幹折れ	幹曲り	
タテヤマスキ	12	1840	5.7	9.2	62	9	27	36
ホカスキ	12	1915	7.0	12.5	56	1	13	14
マシヤマスキ	12	2504	5.4	9.7	56	1	2	3

表-8 吉峰における冠雪害の品種間比較

品種	林齢 (年)	密度 (本/ha)	樹高 (m)	直径 (cm)	形状比 (m/m)	被害率		計
						根返り	幹曲り	
タテヤマスキ	12	4864	8.6	11.1	77	0	0	0
ホカスキ	12	4693	8.8	12.3	72	13	21	44

表-9 三田における冠雪害の品種間比較

品種	林齢 (年)	密度 (本/ha)	樹高 (m)	直径 (cm)	形状比 (m)	被害率		計
						幹折れ	幹曲り	
タテヤマスキ	20	3154	10.6	14.0	76	17	0	17
ホカスキ	20	3062	9.0	13.3	68	53	18	71
マシヤマスキ	20	4100	6.2	9.8	64	4	18	22

表-10 蒲田における冠雪害の品種間比較

品種	林齢 (年)	密度 (本/ha)	樹高 (m)	直径 (cm)	形状比 (m/m)	被害率		計
						幹折れ	幹曲り	
タテヤマスキ	28	1025	17.2	27.0	64	9	0	9
ホカスキ	28	1025	17.0	27.5	62	56	0	56