

冠雪害リスクが高い富山県のスギ林分と林木の特徴
Characteristics for Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) Stands and Trees with High Snow Accretion Damage Risk in Toyama Prefecture

嘉戸 昭夫

Kato, Akio

キーワード: 冠雪害, リスク, スギ

要約: 富山県内で実施された研究結果をもとに, 冠雪害リスクが高いスギ林分や林木の特徴をとりまとめた. その結果, 冠雪害リスクは富山県西部の低山帯で高い傾向が認められた. この理由として, 冠雪害に弱い品種であるボカスギ林が多かったこと, 気温が比較的高いために付着力の大きな雪が降ることがあげられた. 冠雪害リスクが高い林分は, 平均形状比が大きい, 斜面方位が風下側に位置する, 斜面形状が凹地形であるなどの特徴があった. 冠雪害リスクが高い林木は形状比が大きい, 樹幹ヤング率が小さいなどの特徴があった.

Abstract: Characteristics for forest stands and single trees of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) facing high risk of snow accretion damage, were examined based on the results of the investigation in Toyama. As a result, the damage risk was high in the low mountainous region in the west of Toyama Prefecture. The first reason was that there remained a lot of plantations of Bokasugi that was a weak cultivar to the snow damage. Because the temperature was comparatively high, it was the second reason that the adhered snow easily fell. The forest stands with the high damage risk had the characteristics that the average height/diameter ratio was large, the slope azimuth was located on the leeward side, and the slope form was concave. The wood trees with a high damage risk had the characteristics of the

large height/diameter ratio, and the small Young's modulus of the tree trunk.

Keywords: *Cryptomeria japonica* D. Don, risk, snow accretion damage

1. はじめに

富山県は多雪・豪雪地帯に位置するため、スギ林では大きな雪害を幾度となく経験している。なかでも1980年12月末から1981年1年初めの大雪(以下、56豪雪と呼ぶ)による被害は規模が大きく、被害額が約44億円にのぼった。これは当時の富山県における年間林業生産額の1.5倍に相当する額であった。林木の雪害は雪圧害と冠雪害とに大別される。前者は埋雪した幼齢木が積雪の沈降圧や移動圧を受けて折損したり、根元曲がりを生じたりする被害である。一方、後者は枝葉(樹冠)に多量の降雪が付着や堆積した場合に、その荷重によって折損する被害で、幼齢木のみならず壮齢木でも被災することがある(図1)。とくに壮齢期の被害は収穫期を間近に控えていることもあって経済的な損失が大きく、森林経営・森林管理上、重要な問題となっている。



図1. ボカスギ林の冠雪害(左: 若齢林, 右: 壮齢林)

スギ林の冠雪害の発生機構やその防除対策に関する研究が、1950~1980年代にかけて精力的に実施され、その成果が高橋(1977)、石川ら(1987)、豪雪地帯林業技術開発協議会(1984)(以下、豪雪協と呼ぶ)などによってとりまとめられた。最近では、北ヨーロッパにおいて力学モデルを用いた研究が行われている(Peltola *et al.*, 1999)。

富山県でも56豪雪を契機として、冠雪害を受けたスギ林の実態調査や冠雪害の力学モデルなどに関する調査研究を行ってきた(中谷, 1991; 嘉戸, 2001など)。本報告は、これらの研究結果を中心に、冠雪害リスクが高いスギ林分や林木の特徴をとりまとめたものである。

2. 材料と方法

2.1. 冠雪害リスクが高い地域

富山県森林政策課の行政資料を用いて、1966年から2005年までの40年間に富山県内で発生した冠雪害の発生回数、被災地の実損面積および材積などを旧市町村毎に調べた。なお、56豪雪の調査資料は本数被害率30%以上の3齢級以上の林分が対象とされており、地番や被災林分面積などが記載されていた。そこで、3齢級以上のスギ林を対象に、総面積に対する被害林分の面積百分率を旧市町村毎に算出した。また、冠雪害と標高の関係を検討する目的で、旧福光町と魚津市のスギ林を対象に、被害林分の面積百分率を標高50m毎に算出した。

2.2. 冠雪害リスクが高いスギ品種

富山県には多くのスギ品種があるが、代表的なのはタテヤマスギとタテヤマスギである。そこで、これら2品種の冠雪害率を比較した5カ所の調査林分における事例を収集した(嘉戸, 2001)。

2.3. 冠雪害リスクが高い気象条件

スギ林における冠雪害の発生の有無と日降雪深および午前9時気温の関係について判別分析を行った。調査対象とした地域は冠雪害の発生頻度が高かった富山県西部の氷見市、高岡市、旧福岡町、小矢部市、砺波市、旧小杉町、旧福野町、旧福光町などである。対象期間は1973年12月から1986年

3月まで13年間である。冠雪害の発生の有無は先に示した富山県森林政策課の行政資料を用いて調べ、また日降雪深や午前9時の気温などの気象資料を富山県降積雪および気温観測調査報告書(富山県・日本気象協会富山県支部, 1974/1986)のNo. 1からNo. 13を用いて調べた。なお、降雪日が連続する場合には、その期間内における日降雪深の最大値とその観測日の午前9時の気温を用いた。

2.4. 冠雪害リスクが高い林分と地形

嘉戸ら(1992)は、1985年12月中旬の大雪により冠雪害を受けた氷見市仏生寺・神代地区(約600ha)を対象に40カ所のボカスギ林で被害調査を行い、被害形態を幹折れと根返りに大別して林木要因および地形要因の関係について数量化I類を用いて解析した。本報では幹折れと根返りを混みにして本数被害率を求め、これを目的変数とし、林齢、立木密度、収量比数、平均樹高、平均形状比などの林分要因と標高、斜面方位、斜面傾斜度、地形開放度などの地形要因を説明変数として、ステップワイズ法による重回帰分析を用いて検討した。なお、林分要因および地形要因は先の解析と同じものを用いたので、測定方法などの掲載を省略した。

2.5. 冠雪害リスクが高い林木

1985年12月中旬に被災した氷見市仏生寺・神代地区のボカスギ林40カ所で、胸高直径と樹高を同時に測定した無被害木(322本)と被害木(419本)の形状比(樹高/胸高直径)を求め、形状比と冠雪害の関係について検討した。

タテヤマスギとボカスギの樹幹ヤング率を1984年に砺波市頼成のスギ品種見本園(14年生)、1989年に立山町吉峰の見本園(22年生)および1999年と2007年に立山町吉峰の林分密度試験地(12及び20年生)で測定した。砺波市頼成では実大材試験器を用いて丸太の状態ですぎ幹ヤング率を測定した。その他の調査地では荷重棒を梃子として樹幹にモーメントをかける装置(小泉, 1987)を用いて立木状態で樹幹ヤング率を測定した。なお、立山町吉峰の林分密度試験地の2007年以外の資料は既に公表済みである(嘉戸, 2001)。

3. 結果と考察

3.1. 冠雪害リスクの高い地域

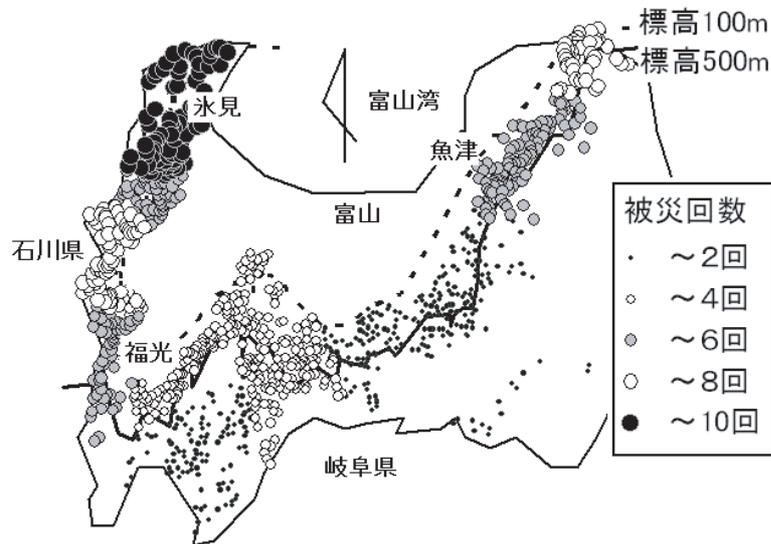
表1は、1966年からの40年間に富山県内で発生した冠雪害の概要を示したものである。被災面積が10haを超える冠雪害は合計10回あったことから、この規模の被害は約4年に1度の割合で発生したことになる。これらの中で、被災面積や被災材積が大きかったのは56豪雪であった。表1と同様の資料を用いて、旧市町村毎の被災回数を求めて図2に示した。この結果、冠雪害の被災回数が最も多かったのは県西部の氷見市の9回で、つづいて県西部の小矢部市や県東部の朝日町の7回であった。これに対して、岐阜県に隣接する県南西部や南部および立山連峰に近い南東部では、被災回数が0~2回と少なかった。

ただし、図2は被害率や被害規模などが考慮されていないので、被災回数と冠雪害のリスクが一致しない場合もみられた。そこで、過去40年間で被害が最も大きかった56豪雪を取り上げて、旧市町村毎の面積被害率を求め図3に示した。この結果によると、県西部や西北部で4~13%と高かった

表1. 富山県のスギ林における主な冠雪害

被災年月	被災面積 (ha)	被災材積 (m ³)	主な被災市町村 スギ品種
1966年12月	不明	6,400	県東部（朝日町など5市町） タテヤマスギ
1973年12月	246	4,347	県下全域（とくに氷見市、小矢部市、標高200m以下） ボカスギ>タテヤマスギ
1975年1月	282	2,913	県下全域（とくに小矢部市、標高100m以下） ボカスギ>タテヤマスギ
1976年1月	27	308	県西部（氷見市、福光町） ボカスギ
1976年12月～ 1977年1月	221	27,338	県下全域（とくに、県西部の福光町、砺波市） ボカスギ
1980年12月～ 1981年1月	748*	104,252	県内全域（とくに県西部の福野町、大門町、福光町） ボカスギ>タテヤマスギ
1984年12月	53	不明	氷見市と朝日町など5市町、標高100m以下 ボカスギ>タテヤマスギ
1985年12月	131	11,540	県西部（氷見市など4市町、標高100m以下） ボカスギ
2001年1月	17	不明	県西部（氷見市など5市町、標高100m以下） ボカスギ
2004年1月	77	不明	県西部（小矢部市、福岡町など5市町） ボカスギ

注 *は被害率30%以上の林分



のに対し、岐阜県に隣接する県南西部や県南部および立山連峰に近い県東部では 0~2% と低かった。また、図 2 と図 3 と比べると、冠雪害リスクの分布は多少異なるものの、県西部の低山帯で高く、県西部と東部の山地帯で低い傾向は両者において共通して認められた。このように、冠雪害リスクが低山帯で高く、山地帯で低い傾向が認められたことから、冠雪害と標高の関係についてももう少し詳しく検討した。図 4 は 56 豪雪によって冠雪害を受けたスギ林の面積被害率と標高の関係を県東部の魚津市と県西部の旧福光町(現南砺市)について示したものである。この結果から、被害率は、魚津市と旧福光町で異なるものの、いずれにおいても被害率は標高 400m 付近まで高く、それを越えると徐々に低下する傾向が認められた。以上の結果から、富山県における冠雪害のリスクは標高 400m を越えると低くなるといえる。このように、冠雪害のリスクが標高の高い地域において低くなる一因として、高橋(1977)は標高が高い地域では積雪が多くなる傾向があ

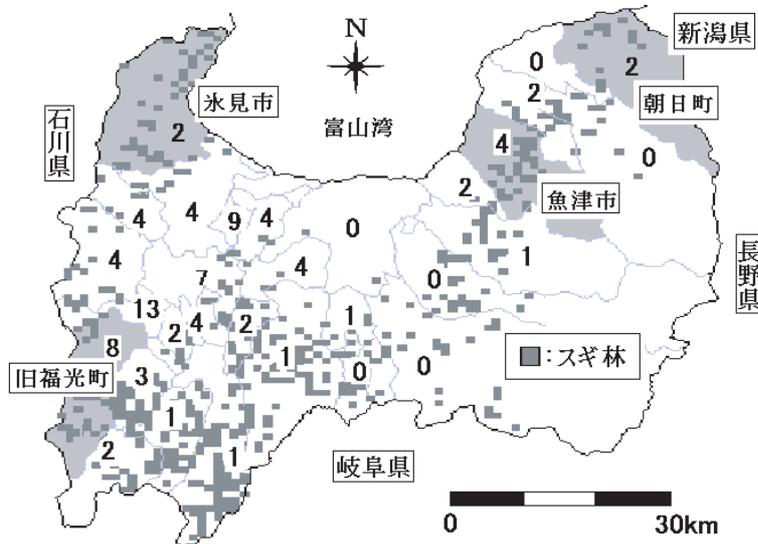


図 3. 56 豪雪における旧市町村の面積被害率図中の数字は面積被害率 %

り、幼齢期のうちに冠雪害リスクの大きな林木が雪圧害で淘汰され、そのリスクの小さな林木が残る傾向があることを指摘している。

3.2. 冠雪害リスクが高い品種

富山県には多くのスギ品種があるが、ここでは代表的な品種であるタテヤマスギとボカスギを取り上げて、両者の冠雪害による本数被害率を表 2 に比較した。この結果によると、5カ所の調査地のうちの4カ所で、ボカスギの被害率はタテヤマスギのそれよりも高かった。冠雪害に対してタテヤマスギは強く、ボカスギは弱い傾向があることが、これまでも指摘されている(豪雪地帯林業技術開発協議会, 1984)。

ところで、富山県におけるタテヤマスギとボカスギの分布の概略は図 5 に示すとおりである。タテヤマスギは県東部一帯および県南西部の山地帯に造林されているのに対し、ボカスギは県西部や県西北部の低山帯に多く造林されている。この図 5 と図 2 や 3 を重ね合わせると、冠雪害リスクが

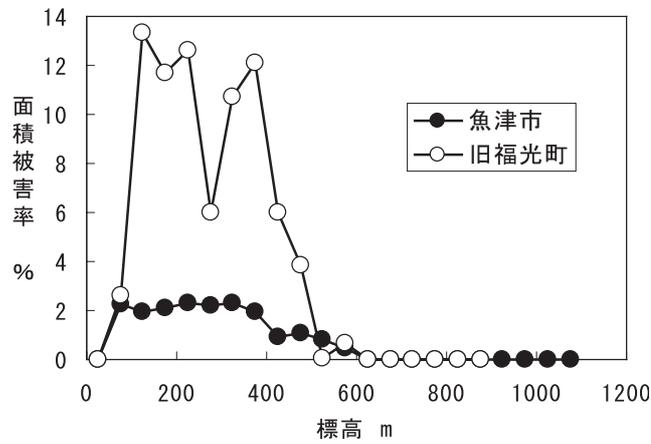


図 4. 56 豪雪による面積被害率と標高の関係

表 2. 冠雪害による本数被害率の品種比較

調査地	被災年月	林齢 年生	被害率 %		平均胸高 直径 cm		平均樹高 m		平均形状比 m/m	
			T	B	T	B	T	B	T	B
砺波市 頼成	1980年12月	12	36	14	9.2	12.5	5.7	7.0	62	56
立山町 吉峰	1999年 1月	12	0	44	11.1	12.3	8.6	8.8	77	72
富山市 八尾町三田	1973年12月	20	17	71	14.0	13.3	10.6	9.0	76	68
氷見市 蒲田	1985年12月	28	9	56	27.0	27.5	17.2	17.0	64	62
小矢部市 取越	2004年 1月	54	4	74	36.3	41.1	23.3	27.0	64	66

注：Tはタテヤマスギ，Bはボカスギを示す。

高い地域とボカスギの多い地域とが概ね一致することがわかる。したがって、富山県における冠雪害危険度地域とスギ品種の分布は密接に関連しているといえる。

3.3. 冠雪害リスクが高い気象条件

富山県では県西部と県西北部の低山帯すなわちボカスギが多く造林されている地域で冠雪害のリスクが高かった。この地域を対象に、冠雪害の発

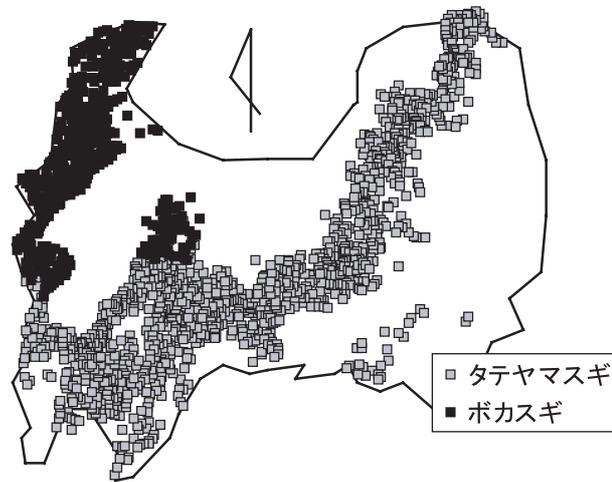


図 5. スギ品種の分布

生の有無と日降雪深および午前 9 時気温の関係を調べ、図 6 に示した。この結果、冠雪害は午前 9 時気温がマイナス 3℃ からプラス 2℃ の範囲にあってかつ日降雪深が 30cm 以上のときに発生する傾向があること、さらに日降雪深 30 から 50cm のときには冠雪害が発生する場合としない場合とが混在することが明らかになった。そこで、冠雪害発生の有無をわける判別式を、午前 9 時気温 T と日降雪深 S から求めた。

$$[1] \quad Z = \frac{1}{2}(0.370T^2 - 0.00357S^2 - 0.0400TS + 2.57T + 0.0318S + 4.18)$$

なお、 $Z < 0$ の場合は冠雪害発生、 $Z > 0$ の場合は非発生と判別される。この式から、最少の降雪深 (39cm) で冠雪害が発生するのは午前 9 時気温がマイナス 1.5℃ の場合であり、これより低温になるほどより多量の降雪がないと冠雪害が発生しないことがわかった。

佐伯・杉山 (1965) は、冠雪害を生じやすい気象条件として、気温がマイナス 3℃ からプラス 3℃ の範囲内にあって、富山県西部の低山帯のような平均最深積雪 21 から 100cm の地域では降雪深 30cm 以上の場合を挙げ

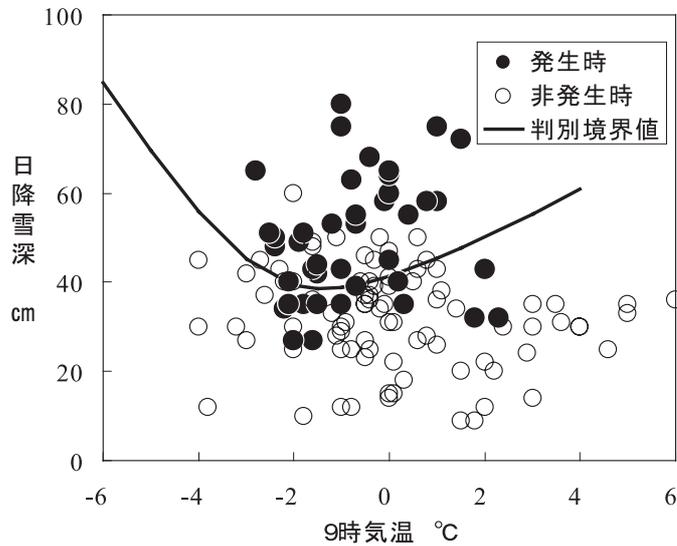


図 6. 富山県西部のボカスギ林における冠雪害の発生の有無と日降雪深と 9 時気温の関係

ている。午前 9 時気温が一日の平均気温に近い値を示すことから、図 6 の結果は佐伯・杉山の指摘をほぼ追認するものといえる。

以上のことから、冠雪害は降雪深が大きいことに加えて、気温が 0°C 付近である場合に発生しやすいといえる。石川ら (1987) は気温が 0°C 付近の場合に冠雪害が発生しやすい理由として、① 0°C よりわずかに高い雪は水を含んでおり、この水分の毛管力が付着力として作用し、この状態から気温がマイナスに推移して凍着すると付着力が一層高まること、② 気温が -2°C 以上になると雪片の樹上からの落下量が減少して堆積量が増すことなどの理由から樹冠着雪が発達しやすいことを指摘している。

反対に、気温が低くなった場合には、雪の付着力の低下や雪片の落下量の増大のために樹冠着雪が発達しにくくなることが推測される。一般に、標高が高くなるほど気温も低くなることから、樹冠着雪が発達しにくくなり、冠雪害リスクも低くなることが考えられる。図 4 に示したように 56 豪雪

では標高が 400m を越えると被害率が低下する傾向が認められたが、このような傾向には標高の増加に伴う雪の付着力の低下も影響したことが考えられた。

3.4. 冠雪害リスクが高い林分

市町村ぐらいの広がり対象とした場合には、冠雪害の発生には降雪深や気温などの気象条件が密接に関係することを述べた。そこで、気象条件がほぼ等しいとみられる地域において、どのような林分要因が冠雪害の発生に影響するのか検討した。

1985 年に冠雪害を受けた氷見市仏生寺・神代地区 (約 600ha) のボカスギ林 40 カ所で被害調査を行った。本数被害率を目的変数とし、林齢、立木密度、収量比数、平均樹高、平均形状比 (樹高/胸高直径) などの林分要因と標高、斜面方位、斜面傾斜度、地形開放度などの地形要因を説明変数として、ステップワイズ法による重回帰分析を行った。なお、被災時の風向は北であったことから、斜面方位角は北向き斜面の場合を 0° 、西と東向き斜面の場合を 90° 、南向き斜面の場合を 180° として計算した。また、地形開放度とは周囲がその地点より高い山で囲まれていない解放角度 (水平角) のことで、この角度が 180° 以下であれば谷間あるいは凹地形、 180° 以上であれば尾根あるいは凸地形であることを示す。

この解析結果は表 3 に示すとおりで、ステップワイズ法によって選択された林分要因は平均形状比と立木密度、地形要因は斜面方位と地形開放度の合計 4 要因であり、冠雪害の発生には林分要因と地形要因が影響していたことがわかった。平均形状比は偏相関係数が正の値であったことから、樹幹が細長い林木が多い林分で被害率が大きかったといえる。平均形状比の大きな林分が冠雪害を受けやすい傾向は、国内のスギ林 (高橋, 1977; 石川ら, 1987) のほか海外の針葉樹林 (Cremer *et al.*, 1983) や広葉樹林 (Pellikka and Jarvenpää, 2003) でも認められている。生育段階が同じであれば、立木密度が高いほど平均形状比も高くなる傾向があるので、立木密度が高い林分ほど被害率が大きかったともいえる。

また、斜面方位の偏相関係数は正の値であったことから、被害率は南向き

斜面で高く、北向き斜面で低い傾向があったといえる。被害時には最大風速 3 から 7m/s の北向きの風があったことから、被害は風上側斜面で低く、風下側斜面で高かったといえる。このように被害率は風下側の斜面で高く、風上側の斜面で低い傾向が、2004 年 1 月に冠雪害を受けた小矢部市のボカスギおよびカワイダニスギ林でも認められた(嘉戸・図子, 2007)。これまでのところ、冠雪害に対する風の影響は二面性があり、① 風が着雪強度を高めかつ外力として作用して、冠雪害を助長させる場合と、② 風が冠雪の脱落を促し、冠雪害を抑制させる場合があることが指摘されている(高橋, 1977)。本調査地のように、被害率が風上側斜面より風下側斜面で高いとの報告はこれまでも多いことから(平田・堀田, 1951; 杉山・佐伯, 1963; 高橋・新田, 1984)、風が冠雪の発達を抑制するように作用する場合が一般的であると考えられた。

なお、本調査地とは異なり、2004 年 1 月に冠雪害を受けた小矢部市の例(嘉戸・図子, 2007)では、被害率は西向き斜面で低く、東南向き斜面で高かった。この違いは、被災時における風向きの違いと考えられた。すなわち、氷見市の例はメソ低気圧の通過に伴って西から北へ変化したのに対し、小矢部市の樹齢は冬型の気圧配置の影響で風向が西向きで一定であった。富山県では冬型の気圧配置となった場合に風向が西～南に偏る傾向があ

表 3. 氷見市仏生寺における冠雪害による本数被害率と
林分および地形要因の重回帰分析結果

要因		平均値	回帰係数	偏相関係数	備考
平均形状比	(m/m)	67	2.518	0.514	
立木密度	(本/ha)	983	0.021	0.233	
斜面方位角	(°)	77	0.220	0.502	N=0°,E=90°,W=90°,S=180°
地形開放度	(°)	89	-0.088	-0.321	180°以下：谷間・凹地形 180°以上：尾根：凸地形
定数項			-158.0		
重相関係数	R ² =0.506				

ることから、冠雪害のリスクが東向き斜面で高くなることが指摘されている(杉山・佐伯, 1963; 高橋, 1977)。

また、地形開放度の偏相関係数は負の値であったことから、被害率は谷間や凹地形の林分で高かったといえる。この原因として、谷間や凹地形では風速が弱く、冠雪が発達しやすかったことが考えられた。

3.5. 冠雪害リスクが高い林木

冠雪害の発生を考えると、冠雪害リスクが高い林木とは、冠雪荷重に対して樹幹耐力が小さい林木といえる。したがって、冠雪荷重に対する樹幹耐力の比は冠雪害リスクの一つの指標となるであろう。澤田(1983)は、樹木の冠雪害を「長柱の座屈」による破壊とみなして解析を行い、冠雪荷重を受けた林木の樹幹耐力が樹幹直径の4乗(断面2次モーメント)と樹幹ヤング率に比例し、冠雪の重心高(樹冠の重心高に相当)の2乗に反比例することを指摘している。このことから、樹幹耐力の小さな林木とは樹幹直径と材質の強度が小さくかつ樹冠の重心が高い木といえる。

また、嘉戸(2001)は、スギの冠雪荷重が降雪量に伴って増加するとともに、降雪量が同じ場合には葉量の0.86乗に比例すること、葉量が同じであれば冠雪荷重の品種間差異が小さいことなどを報告している。このことから、葉量の大きな林木ほど冠雪荷重が大きいといえる。ただし葉量は枝下直径の2乗に比例することがパイプモデル(吉良, 1965)で示されており、樹種や品種によって直径が同じであれば葉量もほぼ一定になると考えられる。したがって、冠雪荷重も直径によって概ね一定になることが推測された。

そこで、①冠雪の重心高が樹高に比例する、②冠雪荷重が葉量に比例する、③葉量が樹幹直径の2乗に比例する、などの仮定を置くならば、冠雪害リスクの指数(樹幹耐力/冠雪荷重)は樹幹ヤング率に比例し、形状比(樹高/直径)の2乗に反比例することになる。さらに、樹幹ヤング率の変動が小さいならば、形状比は冠雪害リスクの指標となりうるであろう(嘉戸, 2001)。

図7は、1985年12月に冠雪害を受けた氷見市仏生寺・神代地区のボカ

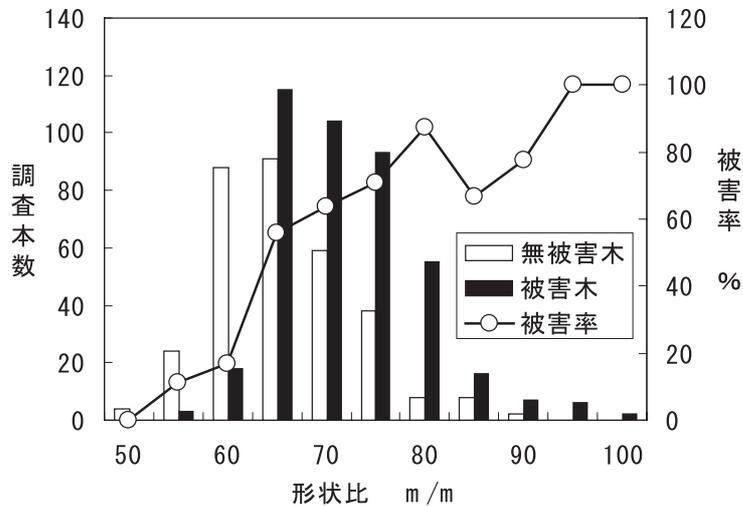


図 7. 氷見市ボカスギ林における無被害木と被害木の形状比階別本数と被害率

スギ林における形状比別の本数分布を無被害木と被害木別に示したものである。なお、この図には形状比階別の被害率（被害木本数/（被害木本数 + 無被害木本数）× 100）も併せて示してある。この図から、形状比別の本数分布は無被害木と被害木とで重なり合う部分も多くて、両者が明瞭に分離しているわけではないが、被害木の方が無被害木よりも形状比が大きい傾向が認められる。また、被害率は形状比 60 以下の場合に 20% 以下と低いものの、形状比の増大に伴って高くなる傾向が認められた。この結果から、形状比が大きい林木ほど冠雪害のリスクが高かったといえる。このように、形状比の大きな林木ほど冠雪害のリスクが高いことが以前から経験的に知られており、冠雪害リスクの指標として形状比がしばしば用いられてきた（杉山・佐伯, 1963; 高橋, 1977; 石川ら, 1987）。

タテヤマスギとボカスギの平均形状比に顕著な差異がない場合であっても、被害率に大きな差異が認められる事例が表 2 に示されている。そこで、タテヤマスギとボカスギの樹幹ヤング率を比較したところ、表 4 に示すよ

表 4. 樹幹ヤング率の品種比較

調査地	調査年月	林齢 年生	平均樹幹ヤング率 Mpa		平均胸高直径 cm	
			T	B	T	B
砺波市 類成	1982年 9月	14	3059.784	2589.048	17.4	17.5
立山町 吉峰 ₁	1999年11月	12	3198.749	1831.457	13.8	15.1
立山町 吉峰 ₁	2007年11月	20	4314.785	2251.491	19.7	23.4
立山町 吉峰 ₂	1989年 9月	22	5482.113	3491.292	20.4	25.6

注: Tはタテヤマスギ, Bはボカスギを示す.

うに, 両品種間には顕著な差異が認められた. また, ボカスギはタテヤマスギよりも葉量が 10 から 20% 大きく, その分, 冠雪荷重も大きくなることが推測されている (嘉戸, 2001). 以上のことから, 両品種の冠雪害リスクの差異は樹幹の強度的性質や冠雪荷重の差異を反映していると考えられた.

4. おわりに

富山県における冠雪害リスクが高いスギ林分や林木の特徴について検討した. その結果, ① 冠雪害リスクはボカスギ林の面積割合が高い県西部の低山帯でとくに高い, ② 冠雪害リスクが高い林分は平均形状比が大きく, 風下側の斜面に位置する, ③ 冠雪害リスクの高い林木は形状比が大きく, 樹幹ヤング率が小さい, などの特徴が明らかになった.

以上のように, 形状比はスギ林分や林木の冠雪害リスクを相対的に評価する場合の指標となることがわかった. しかし, 形状比を冠雪害の防除対策に用いるためには, 冠雪害を受けはじめときの形状比 (以下, 限界形状比と呼ぶ) をあらかじめ把握しておく必要がある. その理由は, 限界形状比が施業対象とする地域の降雪深や品種によって変わると考えられるためである. また, 従来は冠雪害対策に主眼をおいた森林施業について検討されてきたが, 今後はさらに収益性も加味した森林施業体系を構築する必要がある.

引用文献

- Cremer, K. W., Cater, P. R. and Minko, G. (1983) Snow damage in Australian pine plantations, *Aust. Forestry* 46: 53–66.
- 豪雪地帯林業技術開発協議会 (1984) 雪に強い森林の育て方, 日本林業調査会, 東京, 170p.
- 平田 種男・堀田 雄次 (1951) 千葉県演習林の風雪害に就いて, 東大演報 8: 45–55.
- 石川 政幸・新田 隆三・勝田 柁・藤森 隆郎 (1987) 冠雪害-発生のおくみと回避法, 林業科学振興所, 東京, 101p.
- 嘉戸 昭夫・中谷 浩・平 英彰 (1992) ボカスギ林における冠雪害と林木および地形要因の関係, 日林誌 74: 114–119.
- 嘉戸 昭夫 (2001) 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, 富山林技セ研報 14: 1–78.
- 嘉戸 昭夫・関子 光太郎 (2007) 富山県のスギ林における冠雪害と地形要因の関係, *FORMATH* Vol. 6: 77–88.
- 吉良 竜夫 (1965) 樹形のパイプモデル, 北方林業 192: 69–74.
- 小泉 章夫 (1987) 生立木の非破壊試験による材質評価に関する研究, 北大演報 44: 1929–1413.
- 中谷 浩 (1991) 林木の冠雪害に関する樹木力学的研究, 富山林技セ研報 4: 1–54.
- Pellikka, P. and Jarvenpää, E. (2003) Forest stand characteristics and wind and snow induced forest damage in boreal forest, *Proc. of the Int. Conf. on Wind Effects on Trees*, pp. 269–276.
- Peltola, H., Kellomäki, S., Väisänen, H. and Ikonen, V.-P. (1999) A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of scots pine, norway spruce and birch, *Can. J. of Forest Res.* 29: 647–661.
- 佐伯 正夫・杉山 利治 (1965) 林木の冠雪害危険地域, 林試研報 172: 117–137.
- 澤田 稔 (1983) 風および冠雪による針葉樹幹の変形, 林試北海道支場研究

資料 128: 1-18.

杉山 利治・佐伯 正夫 (1963) 昭和 35 年 12 月末の大雪による北陸地方の
森林の冠雪害調査報告, 林試研報 154: 73-98.

高橋 啓二 (1977) 造林地の冠雪害とその対策, 日本林業技術協会, 東京,
47p.

高橋 亀久松・新田 隆三 (1984) 強風時の冠雪発達をもたらす被害分布の特
徴, 日林論 95: 309-310.

富山県・日本気象協会富山県支部 (1974/1986) 富山県降積雪および気温観
測調査報告書, 富山県, 90p.