

富山県のスギ林における冠雪害と地形要因の 関係

Relation between Snow Damage and Geographic Factor in Japanese Cedar Stands in Toyama Prefecture

嘉戸 昭夫・凶子 光太郎

Kato, A. & Zushi, K.

キーワード: スギ, 冠雪害, 地形要因, 回帰木, 冠雪害危険度分布図

要約: 2004年1月の大雪により冠雪害を受けた小矢部市のスギ林を対象に, 冠雪害と地形要因の関係を回帰木モデルにより解析した. その結果, 調査林分の被害率は風下斜面で最も高く, ついで緩斜面や凹地形で高かった. 10mメッシュ毎の被害率を斜面方位, 斜面傾斜度および縦断曲率から推定して, スギ林の冠雪害危険度分布図を作成した.

Abstract: The relation between snow damage and geographic factor was analyzed by using regression tree in Japanese cedar (*Cryptomeria D. Don*) stands in Oyabe City that had received damage by the heavy snow in January, 2004. As a result, the percentage of damage tree in each stand was the highest in the leeward slope, and was high also in a gentle slope and a concave curvature. The percentage of the damage tree in each 10-m grid was estimated from a slope azimuth, a slope inclination, and a profile curvature, and the hazard map of the snow damage for Japanese cedar was made.

Keywords: hazard map, Japanese cedar, regression tree, snow damage

1. はじめに

林木の冠雪害は葉や枝などの樹冠に付着した雪の荷重によって幹折や根返りする災害である。北陸地方の里山はこの災害の危険度が最も高い地域とされており(佐伯・杉山 1965), この地域でスギを成林させるためには冠雪害を考慮した森林施業が不可欠である。この防除対策としては, ①冠雪害の危険度に応じて地帯区分を行い, 危険地帯でスギ造林を差し控えること, ②冠雪害に弱い樹種・品種から強い樹種・品種に転換すること, ③既存の造林地では, 個々の林木の耐雪性を高めるため, 間伐などにより立木密度を調節して, 肥大成長を促すことなどが考えられている。

佐伯・杉山(1965)は東北地方から九州地方までの森林を対象に, 過去10年間に湿った大雪が降った回数を気温や降雪量などの気象資料から推定し, この回数を冠雪害の危険度指数とした林木の冠雪害危険地帯区分図を作成した。この図は都道府県レベルでの冠雪害危険度の比較には好都合であった。その後, 市町村レベルでの比較ができる冠雪害危険度分布図の作成も試みられている(中尾 1985)。しかし, これらは大縮尺であったため, 実際の森林へ適用するには図のキメが荒いという難点があった(石川ら 1987)。既存の調査結果によると, 冠雪害の危険性は凸地形より凹地形で, また風上側より風下側林分で高いなど, 地形の影響を強く受けることが知られている(高橋 1977, 石川ら 1987, 石橋 1989, 嘉戸ら 1992)。したがって, 従来のものに比べてより詳細で実際の森林にも適用できる冠雪害危険度分布図を作成するためには地形要因を考慮する必要がある。本研究は, 冠雪害により大きな被害を受けた富山県西部のスギ林を対象に冠雪害と地形要因の関係について解析し, この結果を用いて冠雪害危険度分布図の作成を試みたものである。

2. 調査方法

2004年1月下旬の大雪によって石川県に隣接する富山県小矢部市, 福光町, 福岡町, 高岡市及び氷見市などの県西北部のスギ林で冠雪害が発生した。被災林は標高が300m以下の丘陵地で多くみられた。この地域のスギ林は大半がボカスギやカワイダニスギなどの挿し木品種からなっており, これまでにも幾度となく大きな被害を受けている(嘉戸 2001)。

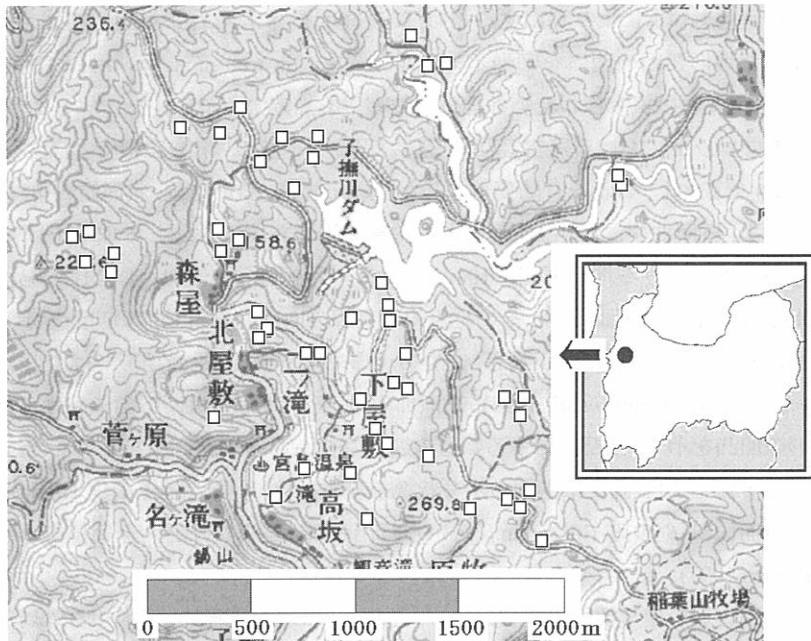


図1. 調査地(□：調査プロット)

冠雪害の発生機構を明らかにするには、被災時の降雪量や気温、風向風速などの気象状況を把握することが重要である。しかし、降雪が数日間続く場合、とりわけ山間地にあつては被災日時を正確に知ることができない場合が多い。今回被災した地域では冠雪によって折損した樹木が集落や各住宅に通ずる配電線を切断する事故が多数発生した。そこで、北陸電力株式会社の協力を得て、スギ林木の折損によって発生した配電線事故の被災日時や被災場所を調べ、これからスギ林の冠雪害発生日時を推測した。また、被災時の気温、積雪深、降水量、風速、風向などの気象状況を調べるため富山県小矢部市森屋にある富山県子撫川ダムの観測資料を用いた。

スギ林の被害調査を行ったのは、激害林分が多数存在しかつ気象資料がそろっていた子撫川ダム周辺、約600ha内に存在するスギ林である(図1)。この地域に2004年4月から7月にかけて、20×20mの調査プロットを49箇所設けて胸高直径、樹高および被害形態などについて毎木調査した。各調査地の地形特性

を数値地形解析により算出するため、緯度経度をハンディGPSで測定した。冠雪害と地形要因の関係を回帰木モデル (regression tree model) を用いて解析し、地形要因の組み合わせで各林分の被害率を推定するモデルを作成した。各調査プロットにおける冠雪害による被害程度を本数被害率 (全被害木/全立木本数) で表わし、これを目的変数とした。また、標高、斜面方位、斜面傾斜角、横断曲率、縦断曲率、土壌湿潤度などの地形要因を説明変数として取り上げた。各調査地における地形要因を10mメッシュの数値標高モデル (DEM) から算出した。なお、横断曲率は、その地点の等高線方向における地形の凹凸を示しており、凹型の地形では正数を、凸型の地形では負数を、平衡地形では0に近い値を示す (Moore *et al.* 1993)。縦断曲率は、その地点の縦断方向における地形の凹凸を示す。凹凸に対する数値の変化は横断曲率と同様である (Moore *et al.* 1993)。土壌湿潤度は土壌の水分状況を表す指数で、ある地点の集水面積 α と斜面傾斜 β の比 ($\ln(\alpha/\tan\beta)$) から算出され、湿潤なほど大きい値を示す (Beven 1997)。

本調査地の地形要因の概要は表1のとおりである。最後に、子撫川ダム周辺の森林を対象に数値地形解析を行って地形要因を計算し、これらの値を先に検討した被害率の推定モデルに代入して、冠雪害の危険度分布図を作成した。

表1. 調査プロットの概要

	本数被害率	標高	方位角	傾斜度	土壌湿潤度	横断面率	縦断面率
	%	m	度	度		%	%
最大値	91	264	347	37	8.6	0.08	0.02
最小値	0	83	3	0	3.5	-0.12	-0.02
平均値	34	157	167	16	5.4	0	0

3. 調査結果と考察

3.1. 被災時の気象状況

スギ林木の折損に伴って生じた配電線事故の累積値と被災時の気象状況を図2に示した。2004年1月21日夜半から25日まで連続して降雪があり、配電線事故は降水量の累積値が20mmに達したころから発生しはじめ、それが30～50mmに達した24日から25日かけて最も多く発生した。おそらく、スギ林の冠雪害も配電線事故と同じ日時に集中して発生したものとみられる。

気温は降雪初期に急激に低下し -5.2°C まで達したが、冠雪害が発生しはじめた23日以降は上昇し、その後は 0°C 前後で推移した。したがって、21~22日までは比較的付着力の小さな乾き雪であったが、23日以降は付着力の大きな湿り雪に変化したことが推測される。平均風速は21~22日には 10m/sec をこえ

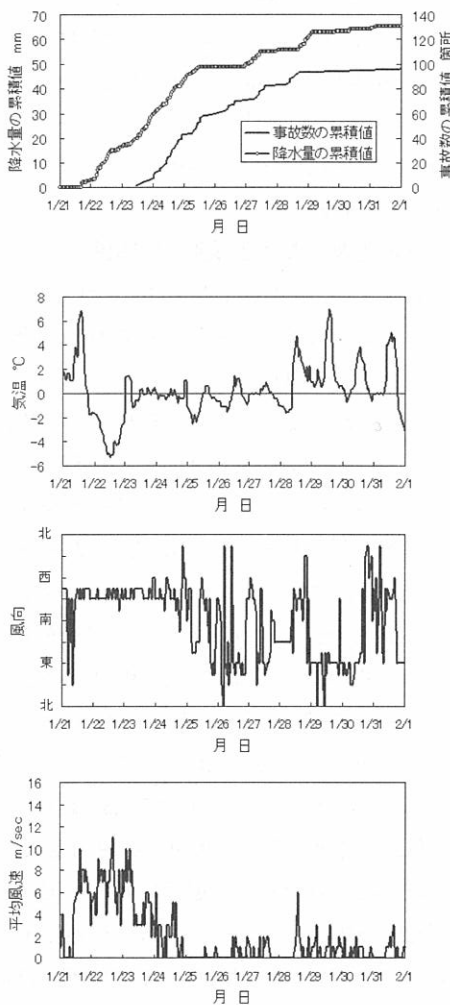


図2. 配電線事故数と冠雪害発生時の気象状況

る強風であったが、冠雪害発生したと見られる23～25日にはやや弱くなり、それ以降は微風となった。また風向は21日午後から25日までが西南西～南西であったことから、降雪初期から冠雪害発生時までほぼ一定であったといえる。

佐伯・杉山(1965)は平均最深積雪が21～100cmの地域において冠雪が発達しやすい条件として①日降雪量30cm以上、②気温範囲-3～+3℃、③風速3m/sec以下、をあげている。本調査地ではこれらの条件のうちで、①の日降雪量(降水量30～50mmが降雪量30～50cmに相当することから)と②の気温の条件を満たしていたが、③の風速の条件には適合しなかった。しかし、最近では、冠雪害は無風～微風時にも発生するが、強風時にも数多く発生していることを指摘されている(石川ら1986)。

3.2. 冠雪害の発生と林木要因および地形要因の関係

被害形態を幹折れ、幹曲がりおよび根返りに大別すると、被害木の91%が幹折れ、5%が幹曲がり、4%が根返りであった。幹折れの割合が高いのはボカスギの特徴のようである(嘉戸2001)。

全ての被害形態を込みにして、被害率と地形要因の関係について解析した結果を図3に示した。この結果は分岐を繰り返す樹状図として表されており、それぞれの分岐には分岐条件が示され、データはその条件に一致する場合には左に、一致しない場合には右に振り分けられる。これを繰り返すことによって同程度の被害率をもつ調査プロットがグルーピングされる。端末に示された値はグルーピングされた調査プロットの平均被害率を表している。なお、この解析では斜面方位は西を0度、南および北を90度、東を180度として表わした。これは降雪開始時から被災時の風向が西に片寄っており、その影響で斜面方位によって被害率に差異生じた可能性があったからである。

解析結果は図3のとおりで、被害率を推定する回帰木モデルには6つの地形要因のうち、斜面方位、傾斜度および縦断曲率が説明変数として採用された。なお、被害率の推定値と測定値の間の決定係数 R^2 は0.545であり、先の3要因によって被害率の変動の55%が説明された。スギ林の被害率を左右する最も重要な要因は斜面方位であり、西から110度以上の斜面方位にあった調査プロットの平均被害率は52%で、西から110度以下の調査プロットの平均被害率22%に比べて高かった。西から110度以上の方位角というのは、東西南北の4

方位に大別した場合にはほぼ東向き斜面に相当する。そして被災時の風向は図2に示したように西南西～南西でほぼ一定であったことから、冠雪害の危険度は風下側に位置する東向き斜面で高かったといえる。

西、南および北向き斜面の調査プロットはさらに傾斜が 10° 以下とそれ度以上によって振り分けられ、前者の平均被害率は36%と高かったのに対し、後者のそれは15%であった。さらに、傾斜が10度以上の調査プロットは縦断曲率によって振り分けられ、平均被害率は縦断曲率0.00以上の調査プロットで31%であったのに対し、0.00以下のそれは8%と低かった。縦断曲率の値が正の場合には凹型斜面、負の場合には凸型斜面であることから、被害率は凹型斜面の方がより高かったといえる。

これまでの報告によると、風速 $2 \sim 5 \text{ m/s}$ の微風の場合や風速 10 m/s をこえる強風の場合に、冠雪害は風下斜面で発生したという報告が多い(平田・堀田 1951, 杉山・佐伯 1963, 高橋・新田 1984)。さらには、風向と直角な斜面方位で被害が多かったという報告もあった(石橋 1989)。一方、被害が斜面方位に無関係であったのは、無風でかつ日降雪量 150 cm の大雪の場合(山口ら

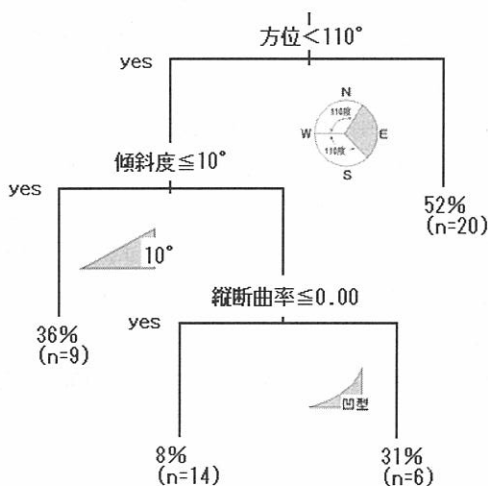


図3. 地形要因を説明変数に用いた被害率推定の回帰木モデル
(n: 林分数, 方位: 西からの角度で表示)

1982), 強風を伴うが日降水量80mmを越える大雪の場合(石川ら 1987) などであった。これらの例に共通するのは極めて多量の降雪により斜面方位に関係なく激害が発生したことである。本報の場合も一定方向の強風を伴う降雪が長時間続いたこと、56豪雪に匹敵するような大雪ではなかったことなどから、斜面方位によって被害率に顕著な差異が生じたのも風の影響によるものと考えられた。

冠雪害におよぼす風の影響として、①強風は林木を揺らして樹冠に付着した冠雪を落下させ、冠雪害の発生を抑制させる作用、②強風は樹冠への降雪片の供給量が増大させ、冠雪害の発生を助長させる作用、③降雪後の強風は冠雪荷重によって傾いていた樹木に風圧を負荷し、冠雪害の発生を助長させる作用などが考えられる。このうち、②の作用がみられるのは気温がプラスの場合といわれている(石川ら 1984)。また③の作用がみられるのは強風でヌレ雪が樹冠に叩きつけられたり、凍結したりして硬い着雪体(冠雪)が形成され、樹冠からの落雪が少ない場合である。本報の場合は、被害率が風下側で高く、風上側で低かったこと、さらには被害が発生し始めるまでは低温で乾き雪であったことなどから、風上側の林分では①の作用で冠雪害の発生が抑制されたのに対し、風下側の林分では風が弱く①の作用が小さかったことが考えられた。本調査地と同様の傾向が56豪雪で被災した福島県小野町でも認められている(高橋・新田 1984)。

西、南および北向きでかつ斜面傾斜が 10° 以下の調査プロットの平均被害率は 10° 以上のそれよりも高くなった理由として、斜面傾斜地は急傾斜地に比べて風あたりが弱くて、林木の動揺も小さいために、樹冠からの落雪が少なく、冠雪が発達しやすかったことが考えられた。また、斜面傾斜 10° 以上でかつ凹型地形の調査地で被害率が高かった理由も、風あたりが弱くて冠雪が発達しやすかったためではないだろうか。これまでも凹地形や谷筋で冠雪害が発生しやすいことが指摘されている(杉山・佐伯 1963, 高橋 1977, 嘉戸ら 1992)。

3.3. 冠雪害危険度分布図

小矢部市森屋の子撫川ダム周辺を対象に、10mメッシュのDEMを用いて全ての林地の斜面方位、斜面傾斜度、縦断曲率を算出した。これらの要因を図3に

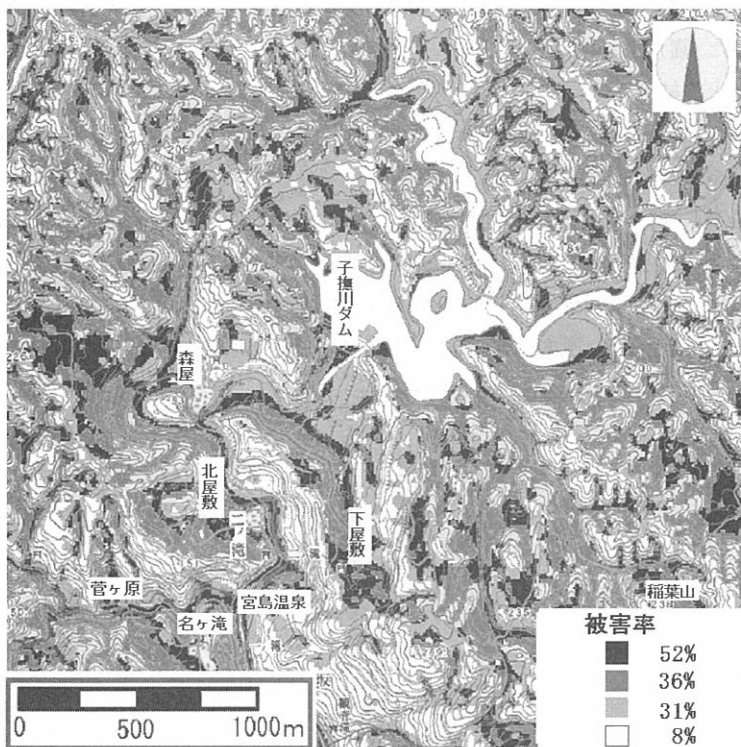


図4. スギ林の冠雪害危険度分布図

示された回帰木モデルに代入し、スギ林の冠雪害危険度分布図を作成し、図4に示した。この図では冠雪害の危険度が最も高いところを52%とし、次いで36%、31%、8%の4区分で表わした。なお、図4は南西～西南西の強風の影響を受けた場合における冠雪害危険度分布図の一例である。

そこで、富山県西部で冠雪害が発生するときには本報と同様の風の影響を受ける傾向があるのか否かについて検討した。1954年から2003年までの50年間に富山県西部のスギ林で発生した主な冠雪害は12例あった。これらの被災日の日最大降雪量、10分間の最大風速、風向などを富山県西部に位置する伏木測候所の資料を用いて調べ、図5に示した。なお、風向が南であった3例のうちの一つは、風速や降雪水量は本報とほぼ一致したが、風向が南から北へと降雪

の途中で変化した影響で、被害率は東と南向き斜面で高く、北向き斜面で低くなった(嘉戸ら 1992).

以上の結果から、被災日の日降雪量は80cmを越えるような例が認められなかったこと、何れも風を伴っており10分間の最大風速が 4 m/sec以上で、10m/sec以上の例もあったこと、風向は一定ではなく南～西南西と北西の二山型を示していたが、風向を西と東に二つに大別すると全て西寄りであったこと、などが明らかになった。以上のことから、富山県西部で冠雪害が発生するときには西寄りの風を伴う傾向があり、本調査地の場合も例外ではなかったといえる。ただし、風向は全体的には西寄りであるものの南～北西までの広い

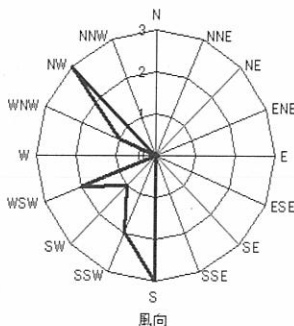
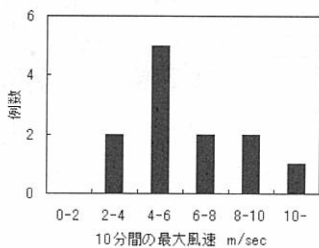
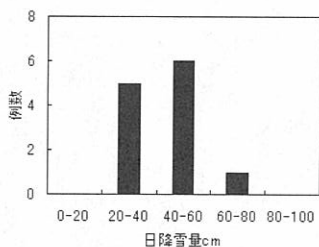


図5. 冠雪害発生時の降雪量と10分間の最大風速と風向

範囲で変動することや降雪の途中で変化することがわかった。今回は図4に示したように冠雪害危険性が最も高い地域を西から 110° 以上の範囲としたが、 90° 以上の範囲に拡大する必要があることも考えられる。

4. おわりに

冠雪害を受けた富山県西部のスギ林を対象に、冠雪害と地形要因の関係を回帰木モデルにより解析した。その結果、被害率は風下側の東向き斜面や緩傾斜地、凹斜面で高い傾向が認められ、既存の報告とほぼ一致した。この解析から得られたモデルを用いて10mメッシュの被害率を推定して、スギ林の冠雪害危険度分布図を作成した。ただし、富山県西部における冠雪害は西寄りの風を伴って発生する傾向が認められたものの、風向には大きなバラツキがみられたことから、冠雪害は風下側にあたる東向き斜面に集中するものの、風向や降雪量など違いによって冠雪害危険度も変化することも予想される。また、本報で採用した回帰木モデルでは、被害率の変動の50%を説明したに過ぎなかった。そこで、本報と同様の解析事例を集積して、冠雪害危険度分布図の精度を向上させることが求められる。

引用文献

- Beven, K. 1997. Topmodel: A critique. *Hydrological process* 11: 1069-1085
- 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
- 石橋秀弘. 1989. 強風下のスギ人工林の冠雪害. *雪氷* 51(2): 91-99
- 石川政幸・新田隆三・勝田 柁ら. 1987. 冠雪害-発生のしくみと回避法. 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(2): 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. *富山林セ研報* 14: 1-78

- Moore, I.D., Gessler, P.E., Nielsen, G.A. and Peterson, G.A. 1993. Soil attribute predicting using terrain analysis. *Soil Science Society of America J.* 57: 443-452
- 中尾嘉治. 1985. 人工林雪害の育林的防御技術の確立に関する基礎調査(II). 昭和59年度京都林試業務年報. pp.12-13
- 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
- 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: 73-95
- 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
- 山口 清・中谷和司・戸田清佐ら. 1982. 56豪雪におけるスギ造林地の冠雪害実態調査. *岐阜寒林試研報* 5: 33-71