

雪氷被害を軽減するための森林施業方法

Forest management to reduce snow and ice damage

鳥田宏行 (北海道立総合研究機構 森林研究本部 林業試験場道南支場)

Hiroyuki Torita

1. はじめに

寒冷多雪な北海道の森林地帯における降雪は、森林と共に保水機能を発揮して重要な水源となっている。しかしその反面、森林そのものを破壊する事もあり、北海道における雪氷とどのように向き合い、対応して行くのかは、重大な問題である。北海道においては、冬期の降水は雪や雨氷となって樹木に冠雪・着氷し、幹折れなどの被害を発生させてきた¹⁾。北海道の主要造林樹種であるカラマツは、全国の生産量の8割を占め、北海道林業の柱となっているが、過去、幾度となく冠雪害・雨氷害などの雪氷被害を受けており、対策が望まれている²⁾³⁾。更に雪氷害は、直接的に幹折れなどの被害を生じさせるだけではなく、被害木がカラマツヤツバキクイムシの増殖源となって、周辺の立木を加害・枯死させる危険性を有しており、森林に強い影響を及ぼす。これらの経済的・環境的な損失を最小限に留めるには、適切な森林施業を実施して、雪氷被害を受けにくい森林をつくる必要がある。従来、風害・雪害の危険度を示す目安として形状比(樹高/胸高直径:地上高1.3mにおける直径)が用いられ、その値が90~100を超えると被害を受けやすいとされてきた⁴⁾⁵⁾⁶⁾。しかし、スギの若齢林では形状比70を目安としている報告⁷⁾もあり、更なる検討を必要とする。本研究では、過去に発生したカラマツ林の雨氷被害の調査事例を基に、雪氷被害を受けにくい森林施業の目安となる形状比について検討した。

2. 形状比に関する力学的検討

現地調査は、2004年日高町にて雨氷被害を受けたカラマツ144林分に、20m×20mの方形調査区を設定して実施された²⁾(図1)。この林分の内、本数被害率30%以下を軽害林、70%以上を激害林として抽出し、本数被害率30%以下ならば、その後の成長段階で回復が期待できるため、実質的には無被害林と考えた。以下に軽害と激害を分ける形状比を限界形状比として力学的に検討を進めるため、危険度 R を定義した。

$$R = \text{雪氷重量} W_{ice} / \text{座屈荷重} P \quad (1)$$

$R > 1$ は有被害(激害)、 $R < 1$ は無被害(軽害)、 $R = 1$ は、有被害と無被害の境界を意味する。ここでは、 P は座屈荷重を表し、立木に着氷した雨氷の荷重 W_{ice} に対する抵抗力である。図2のように、立木の幹を円柱として、樹冠部の雨氷荷重 P が重心に作用して座屈したとすると、曲げモーメント M とたわみ y との間には以下の式が成り立つ。

$$M = -EI \frac{d^2 y}{dx^2} = P(\delta - y) \quad (2)$$

ここで E はヤング係数、 L は地表から樹冠の重心までの高さ、 I は断面2次モーメントで、 $I = \pi D^4 / 64$ と表すことができる。ここで、 $\alpha = \sqrt{P/(EI)}$ とおくと、(2)式の一般解は、

$$y = C_1 \sin \alpha x + C_2 \cos \alpha x + \delta \quad (C_1, C_2 \text{ は積分定数}) \quad (3)$$

となる。根元は固定端と考えられるので、境界条件は以下になる。

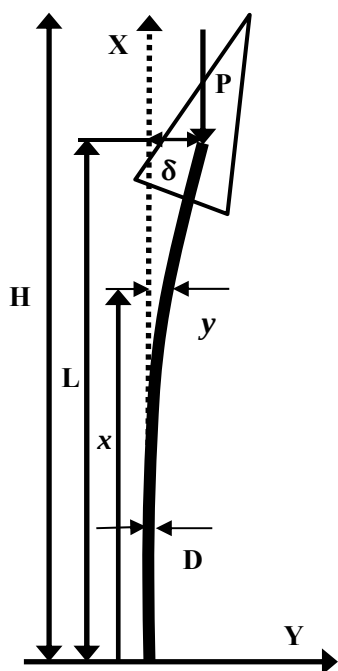


図 2 雪氷（雨氷）被害の力学モデル



図 1 幹折れしたカラマツ

境界条件 $x = 0 : y = 0$

$$x = 0 : \frac{dy}{dx} = 0$$

この境界条件より、(3)は、(4)式のように表すことができる。

$$y = \delta(1 - \cos \alpha x) \quad (4)$$

また、 $x = L : y = \delta$ であるから、(4)式より座屈条件は、 $\cos \alpha L = 0$ となり、これを満たす最小の根は $\alpha L = \pi/2$ であるから、座屈荷重 P は(5)式となる。

$$P = \frac{\pi^2 EI}{4L^2} = \frac{\pi^3 ED^4}{256L^2} \quad (5)$$

一方、樹冠に着氷した雨氷の重量 W_{ice} は、枝葉重量 W_{bc} と相関があり以下のような関係が成り立つ⁸⁾。

$$\text{Log} W_{ice} = 0.7635 \text{Log} W_{bc} + 1.233 \quad (6)$$

枝葉重量 W_{bc} は、パイプモデル⁹⁾より、枝下高の直径の2乗に比例するので、(7)式のようなになる。

$$W_{bc} = k_1 D^2 \quad (k_1: \text{定数}) \quad (7)$$

また、一般的に直径 D と樹高 H の間には、相対成長（アロメトリー）関係が成り立ち、(8)式のように表すことができる。

$$H = aD^b \quad (a, b: \text{定数}) \quad (8)$$

形状比は、樹高 H を直径 D で除した値であるが、図 2 においては、 L/D が形状比に相当する。そこで(1)において、 $R=1$ として限界形状比 L/D を(5)～(8)式を用いて整理すると、(9)式を得る。

$$\frac{L}{D} = k_2 H^{k_3} \quad (9)$$

ここで、 $k_2 = \frac{1}{2^4} \sqrt{\frac{\pi^3 E}{17.1 k_1^{0.7635}}} \left(\frac{1}{a}\right)^{k_3}$ 、 $k_3 = \frac{0.2365}{b}$ である。(9)式によれば、限界形状比は、

従来のように一定の値ではなく、成長段階（樹高成長）に伴って、変化することを示唆している。また、(8)式における定数 a 、 b および(7)式の k_1 は、一般的に正の値をとるので、 $k_2 > 0$ 、 $k_3 > 0$ となり、限界形状比は初期の成長段階にある林分ほど小さく、成長段階が進むにつれて大きくなる事を示している。

3. 結果と考察

樹木は、立地環境などにより成長速度が異なるため、林齢を用いて複数の林分の成長段階を比較するには、立地環境が同じでなければならない。そこで立地環境が異なる場合などを考慮して、本数密度の影響を大きく受けない樹高（上層高あるいは平均樹高）が成長段階を表す指標とされてきた^{例えば 10)}。本論においても、林分の成長段階を樹高で示す。

限界形状比 100 より大きな値の林分平均形状比を持つカラマツ林は 19 林分で、そのうち現地調査の結果より激害と判断された林分は、16 林分であった（図 3）。限界形状比を 100 として、被害の程度を判別すると、激害林分の的中率は 89% となった。限界形状比 100 より小さな値の林分平均形状比を持つカラマツ林は 29 林分で、現地調査の結果より軽害と判断された林分は 15 林分であり、的中率は 47% となった。激害・軽害を含めた全体の的中率は 63% である。軽害林の的中率が低いのは、軽害林分と判断される林分に激害林が多く存在しており、被害軽減の目安としては、不十分である事を意味している。同様に、限界形状比 90 より大きな値を持つ林分は 40 林分で、そのうち現地調査で激害と判断された林分は 29 林分であった（図 3）。その的中率は 73% である。限界形状比 90 より小さな値を持つ林分は 8 林分で、そのうち現地調査では 6 林分が軽害林であった。その的中率は 75% である。全体の的中率は 73% となった。限界形状比を 100 と設置したケースよりも良好な目安である。しかしながら、上記の力学的な検討からは、限界形状比は一定の値を示すものではなく、樹高の累乗式で表現されることが示され、成長段階毎に変化する結果を得ている。そこで密度管理図上において、激害および軽害林の境界を示した研究成果¹¹⁾より、その境界線上の直径及び樹高情報を用いて、限界形状比に関する回帰式（樹高の累乗式）を求めた。得られた限界形状比曲線を図 4 に示す。この限界形状比曲線より上の激害林分は 37 林分で、そのうち現地調査で激害と判断された林分は 29 林分であった。その的中率は 78% である。また、曲線より下に位置する軽害林は 11 林分で、そのうち現地調査で軽害と判断された林分は 9 林分であった。その的中率は 82% である。激害・軽害を含めた全体の的中率は 79% で、限界形状比 90 とした場合よりも、的中率が向上した。以上の結果を総合すると、限界形状比は一定値とするよりも、力学的な検討から得られた曲線式を用いて、成長段階に応じた目安設定を行う必要がある事が示唆された。

4. まとめ

カラマツは、北海道の主要造林樹種であり、北海道の産業を支える貴重な資源である。しかしながら、気象害による被害がたびたび発生し、大きな損失を被ってきた。本研究では、雪氷による被害を軽減するための目安である形状比は成長段階に応じて変化することを示した。今後は、より詳細な検討を進めるため、更にデータを収集し、目安となる限界形状比に適合した森林施業計画（植栽密度、間伐回数、間伐強度など）を具体化する必要がある。

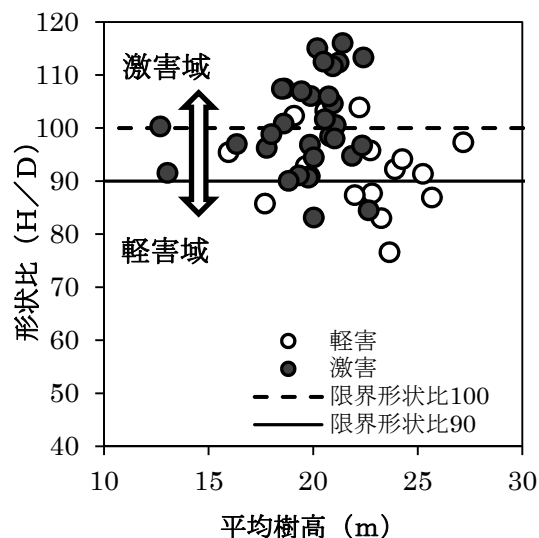


図 3 限界形状比を一定とした場合の激害林と軽害林の分布. (引用文献 11 の図 7 を加筆転載)

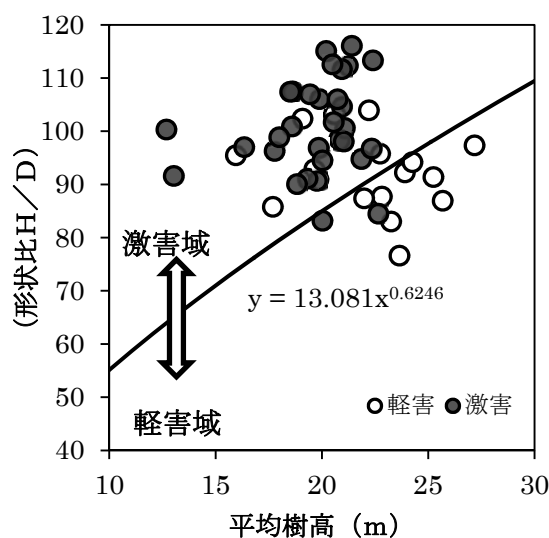


図 4 限界形状比を樹高の累乗式で求めた場合の激害林と軽害林の分布. (引用文献 11 の図 7 を加筆転載)

【参考・引用文献】

- 1) 吉武孝, 島田和則, 2001: 文献による森林気象災害一発生位置図と気候区分図一, 森林総研研報, **380**, 35-173.
- 2) 鳥田宏行, 2005: 2004 年 2 月に北海道日高町で発生した雨氷害カラマツ林分の要因解析事例, 日林誌, **87**, 354-357.
- 3) 中田欣作, 1982: カラマツ雪害木は利用できる, 林産試だより, 7 月号, 6-8.
- 4) Wang, H., Titus, S. J., Lemay, V. M., 1998: Relationships between tree slenderness coefficients and tree or stand characteristics for major species in boreal mixedwood forests, *Can. J. For. Res.*, **28**(8), 1171-1183.
- 5) Lekes, V. and Dandul, I., 2000: Using air flow modelling and spatial for defining wind risk classification(WINDARC). *For. Ecol. Manage.* **135**, 331-344.
- 6) Navratil, S., 1995: Minimizing wind damage in alternative silviculture systems in boreal mixedwoods. For. Can. and For. Lands Wildl. Aita. For. Serv. Edmonton, Alta. Canada-Alberta partnership Agreement in For. Rep. No. 124.
- 7) 石井弘, 片桐成夫, 三宅登, 1983: 冠雪害をうけたスギ人工林の直径分布, 形状比分布と被害の関係, 日林誌, **65**, 366-371.
- 8) 古川仁, 片倉正行, 近藤道治, 岡田充弘, 小山泰弘, 畠山竜哉, 1999: 立木の枝葉付着した雨氷重量についてー1998 年 4 月の事例からー, 中森研, **47**, 131-132.
- 9) 吉良竜夫, 1965: 樹形のパイプモデル, 北方林業, **17**, 69-74.
- 10) Drew, T. J. and Flewelling, J. W. 1977: Some recent Japanese theories of yield-density relationships and their application to Monterey pine plantations. *For. Sci.* **23**, 517-534.
- 11) 鳥田宏行, 武田一夫, 2007: 雨氷害を受けたカラマツ人工林における林分構造と被害率の関係, 日林誌, **89**, 39-44.