

# 林冠疎開度による低地帯森林の降雪遮断率の推定

國崎貴嗣\*・甲田朋子\*\*

Estimating the snowfall interception of lowland forest stands  
by using a canopy openness index

Takashi KUNISAKI and Tomoko KOHDA

## 1. はじめに

森林内の積雪量，融雪量を正確に推定することは，水資源としての雪利用や融雪水による洪水災害予測にとって重要である。このうち，融雪量の推定に関しては，近年精力的に研究が進められ（例えば，太田ら，1990；小野寺ら，1993；中村ら，1996），森林の幾何学的構造と気象因子から融雪量を推定可能となっている（橋本，1997）。一方，積雪量の推定に関しては，疎開地に対する林内の積雪深（以下，相対積雪深とする）を指標として古くから研究されている（例えば，高橋，1946，1950；片岡，1950；四手井・片岡，1950）。しかし，これらの研究では林相の違いを林冠構成種（以下，樹種とする）や齢級により定性的に評価しているため，研究成果をそのまま他の林分に適用できなかった。その後，佐藤・小野瀬（1993）は，密度の異なるスギ人工林を対象に，林分構造から相対積雪深を定量的に推定する方法を提案した。しかし，この方法で構築される推定式の場合，林分構造の異なる林分データを多数収集しなければ精度を高められない上，異なる樹種にはそのまま適用できない。

他方，後藤ら（1993）は，全天空写真から推定される開空度と積雪深変化量との間に対応関係が認められることを報告した。開空度などで把握される林冠疎開度は，異なる樹種を含む林分データを用いても，林内光環境と強い線形関係を示す（INOUE *et al.*, 2002）。また，融雪量の推定にあたっては，林冠疎開度が極めて有効な指標であることが実証されている（中村ら，

---

Received December 21, 2005

Accepted February 13, 2006

\* 岩手大学農学部農林環境科学科森林科学講座

\*\* 岩手大学大学院農学研究科農林環境科学専攻

1996; 橋本, 1997)。このように、林冠疎開度を用いることで、林相の違いを定量的に評価できるため、様々な林分における相対積雪深または積雪深変化量を推定する式を構築可能と予想される。

少雪地帯の森林を対象に、林冠疎開度と積雪深変化量との対応関係を明らかにするのが本研究の目的である。そして、この対応関係に基づき、林相の異なる調査林分における降雪遮断率を推定した。なお、従来の研究から、標高や地形の違いが積雪深の局所的不均一性に強い影響を及ぼすことが明白である(後藤ら, 1993; 佐藤・小野瀬, 1993)。このことから、林冠疎開度と相対積雪深または積雪深変化量との関係を検討するために、標高や地形の影響を無視できる低山帯の平坦地を調査地に選定した。

## II. 調査地と方法

### 1. 調査地

調査地は、岩手県雫石盆地から奥羽山脈への移行帯(39° 40'N, 140° 55'E)に位置する岩手大学農学部附属寒冷フィールドサイエンス教育研究センター御明神演習林内のスギ・アカマツ若齢混交人工林、アカマツ若齢人工林、アカマツ天然林、広葉樹天然林、疎開地(土場)である(図-1、表-1)。疎開地を除いて、いずれの林分も林冠閉鎖している。調査地の標高は

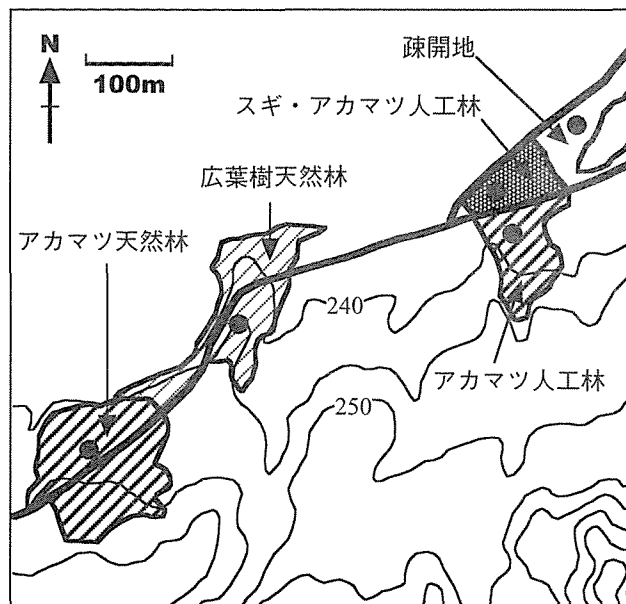


図-1. 調査地の位置と地形。

数字は標高(m)を、太線は林道を示す。黒丸はポール設置地点を示す。

表－1．調査林分の概要.

	幹本数 密度* (本/ha)	林分胸高 断面積* (m <sup>2</sup> /ha)	上層木 樹高 (m)	天空率	
				2003年 (%)	2005年 (%)
スギ・アカマツ人工林	2394	31.0	10.9	33.3	32.2
アカマツ人工林	1909	20.7	13.3	45.3	48.9
アカマツ天然林	1900	46.3	24.0	49.1	52.1
広葉樹天然林	950	31.8	13.9	79.7	76.6
疎開地	-	-	-	91.6	91.7

\*胸高直径3 cm以上の生立木を調査対象とした。

240～245 mであり、いずれもほぼ平坦地である。疎開地における気象観測資料（1990～2002年）によれば、年平均気温9.2℃、暖かさの指数74.1、年平均降水量1,706 mmである。

調査地のうち、アカマツ天然林、広葉樹天然林では林床にクマイザサ群落が生じ、疎開地ではススキをはじめとする草本群落が密生していた。これら林床植生の上に降雪した場合、地表面と積雪面の間に空隙が生じる恐れがある。そこで、積雪深を調査する前に、これら調査地で林床植生を刈り払いした。なお、スギ・アカマツ人工林とアカマツ人工林内には樹高1～2 m程度の低木が疎に分布する程度であることから、刈り払いを実施しなかった。

## 2. 調査方法

2002年および2004年の12月、各調査地に積雪深測定用のポールを設置した。積雪深測定に関する既往の文献（石橋・滝沢, 1983；小野寺ら, 1993）を参考に、長さ1.8～2.0 mのポールを20 cm程度埋設させながら1 m間隔に設置した。林木がなく完全に開放状態の疎開地には11本、樹齢の異なるアカマツとスギが混植され、林冠構造がやや複雑なスギ・アカマツ人工林には33本設置した。その他の林分には21本設置した。

そして、積雪が生じる前に、各調査地で天空率推定に必要な全天空写真を撮影した。曇天日（散光条件下）の10～11時に、設置したポール上において、フィッシュアイコンバーター（FC-F8, Nikon）付きのデジタルカメラ（COOLPIX950, Nikon）を伸縮式ポールに固定し、地上高1.6 mの位置でレンズを鉛直上向きにして撮影した。撮影にあたっては國崎（2002）と同様に、露出をプログラムオート、画質をBASICモード、画像サイズをVGAサイズに設定した。撮影枚数はポール当たり2枚である。

2003年および2005年の1月～4月に、各調査地の積雪深を1週間間隔で調査した。9～11時の間に、設置したポールに予め付けておいた地上高1 mまたは1.5 m部分の印を基準として、積雪面までの鉛直高をコンベックスにより1 cm単位で測定した。調査地内の移動にあたっては毎回ほぼ同じ地点を通るようにし、ポール周辺の積雪面をできるだけ攪乱しないようにした。

2003年8月に、疎開地を除く4林分にポール設置箇所を含むように標準地（面積0.020～0.033 ha）を1つずつ設定した。標準地内の胸高直径3 cm以上の生立木について、樹種名を記

録し、胸高直径を直径巻尺により0.1cm単位で測定した。そして、梢端折れや幹曲がりのない上層木を10本選び、樹高を超音波測高器 (Vertex III, Haglöl社) により0.1 m単位で測定した。

### 3. 解析方法

撮影した全天空写真画像をコンピュータに転送し、フリーウェアの画像解析ソフトLIA for Win32 ver.0.373 (山本, 1998) を用いて天空率 (INOUE *et al.*, 2002) を算出した。天空率は weighted openness と呼ばれる林冠疎開度の指標の1つである (INOUE *et al.*, 2004)。ポール当たり2枚の全天空写真から推定した天空率を幾何平均し、その年におけるそのポールでの天空率とした。

各ポールにおける任意の時点*i*の積雪深 $S_i$  (cm) を

$$S_i = H - H_i \quad (1)$$

により求めた。ここで $H$ は基準高 (100cmまたは150cm),  $H_i$ は時点*i*のコンベックス測定値 (cm) である。また、積雪深変化量 $D$  (cm/週) を

$$D = S_{i+1} - S_i \quad (2)$$

により求めた。ここで、 $S_{i+1}$ は時点*i*から1週間後の積雪深 (cm) である。

解析では、まず、各時点における天空率と積雪深変化量との関係を

$$D = a O_w + b \quad (3)$$

で近似した。ここで、 $O_w$ は天空率 (%),  $a$ は回帰係数,  $b$ は切片である。

次に、(3) 式から計算される $O_w=100$ における $D$ を $D_{100}$ とし、 $D_{100}$ と $a$ との関係を回帰分析により調べた。すなわち、天空率100%における計算上の積雪深変化量により、(3) 式の回帰係数を一次式

$$a = \alpha D_{100} + \beta \quad (4)$$

で説明できるかを調べた。 $\alpha$ ,  $\beta$ はそれぞれ回帰係数, 切片である。

仮に、(4) 式を推定できれば、任意の $D_{100}$ に対する(3) 式の $a$ の推定値 $\hat{a}$ と $b$ の推定値 $\hat{b}$ を得られる。そして、これら2つの推定値を(3) 式に代入すれば、各対象地の平均 $O_w$ に対応する $D$ を推定できる。ゆえに、各調査林分における降雪遮断率 $I$  (%) は

$$I = 100 \left( 1 - \frac{D_{\text{stand}}}{D_{\text{open}}} \right) \quad (5)$$

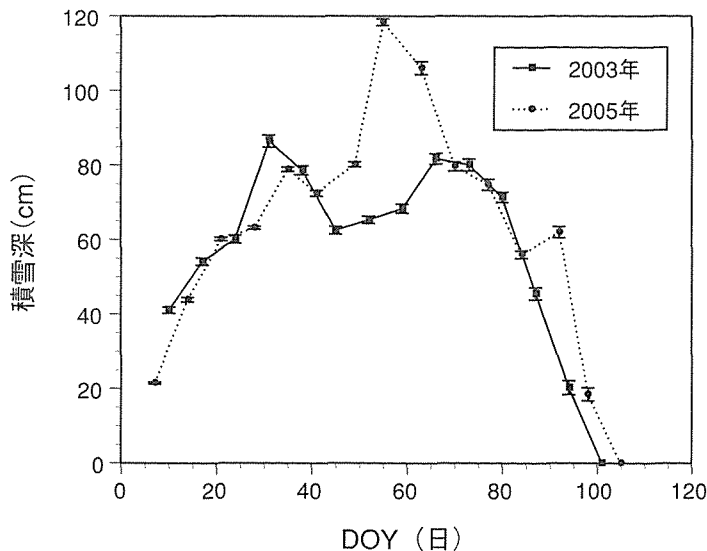
で推定できる。ここで、 $D_{\text{stand}}$ は任意の林分における平均 $O_w$ に対応する $D$ ,  $D_{\text{open}}$ は疎開地の平均 $O_w$ に対応する $D$ である。なお、(5) 式において $D_{\text{open}}$ の代わりに $D_{100}$ を用いる方法も考えられる。ただ、 $D_{100}$ は(4) 式推定のために計算した架空の積雪深変化量であることから、今回については疎開地の実際の天空率に対応する $D_{\text{open}}$ を用いた。

### III. 結果と考察

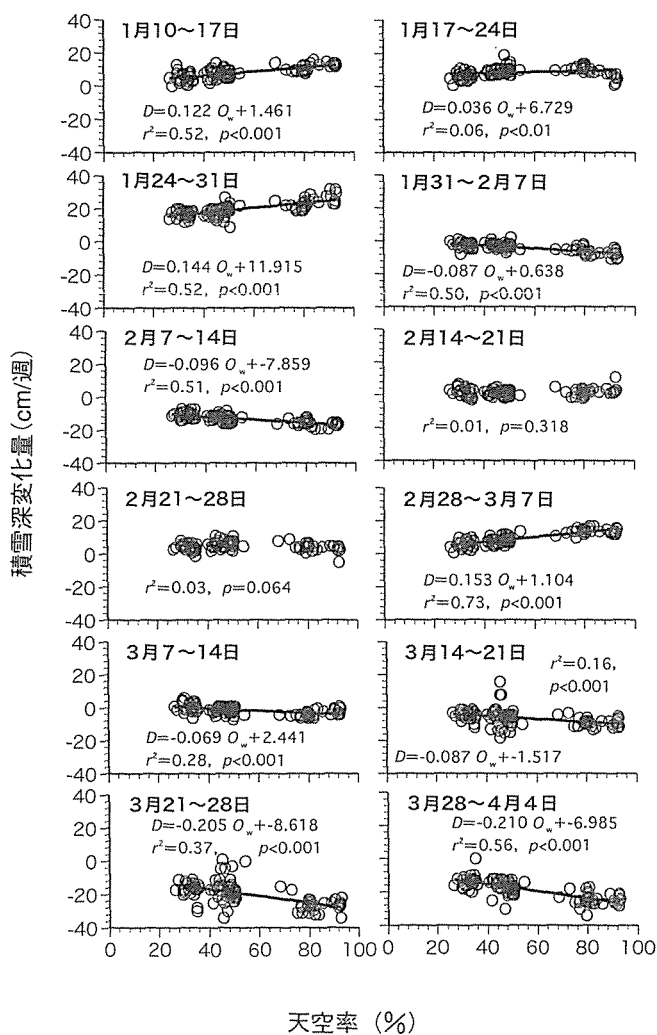
表-1 に各調査地の概要を示す。幹本数密度はスギ・アカマツ人工林で高く、林分胸高断面積と上層木樹高はアカマツ天然林で高かった。一方、天空率はスギ・アカマツ人工林で32～33%と最も低く、次いでアカマツ人工林とアカマツ天然林が45～52%であった。葉が完全に落葉する広葉樹天然林では77～80%と高かった。疎開地（土場）の天空率は92%であった。

2003年と2005年における積雪深の推移を図-2 に示す。年始起算日数（DOY）30日頃まで、つまり1月にはほぼ毎週積雪深が増加し、2月に増減を繰り返した後、DOY70日頃（3月中旬）以降では急速に積雪深が減少した。この傾向は2004年も同様であった（國崎・甲田，2004）。最大積雪深は2003年87 cm，2005年118 cm以上と推定された。演習林における過去の積雪深測定値（1977～1985年の平均86 cm）や2004年の推定値（82 cm以上）と比較すると、2005年は比較的積雪深の高かった年といえる。

2003年における各時点での天空率と積雪深変化量との関係を図-3 に示す。2月14～28日の2週間では有意でなかったものの、それ以外の期間では1%あるいは0.1%水準で有意な関係が認められた。図-2 で示したように積雪深の増加し続ける1月では、天空率が高いほど積雪深変化量が有意に高くなるという正の関係であった。それに対し、積雪深が減少し続ける3月中旬以降では、天空率が高いほど積雪深変化量が有意に低くなる（絶対値の高い負の値になる）



図一 2. 2003年と2005年における疎開地での積雪深の変動。  
記号は平均を、エラーバーは標準誤差を示す。

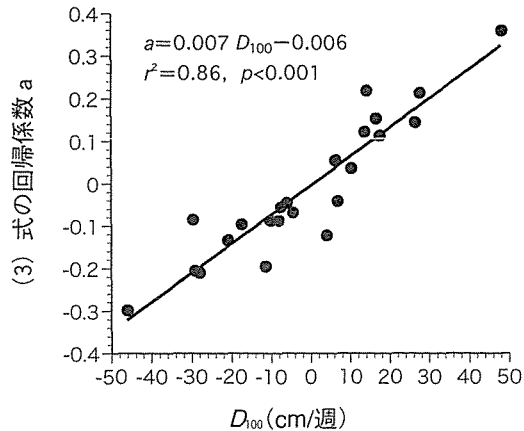


図一 3. 2003年における天空率と積雪深変化量との関係。

という負の関係であった。こうした傾向は2005年でも見受けられるとともに、後藤ら (1993) の結果とも一致していた。

そこで、次に (3) 式から計算した天空率100%での積雪深変化量 $D_{100}$ と (3) 式の回帰係数 $a$ との関係を図-4 に示す。両者の間には0.1%水準で有意な正の相関が認められ、回帰式の決定係数も0.86と極めて高かった。このことから、林外で多量に降雪するほど (3) 式の回帰係数は高くなり、林外で融雪量が多いほど回帰係数は低くなるといえる。

$D_{100}=10\sim50$ のときの各調査林分における降雪遮断率の推定値を表-2 に示す。スギ・アカマツ人工林では39~43%, アカマツ人工林では29~34%, アカマツ天然林では27~31%, 広葉樹



図－４．天空率を独立変数とした積雪深変化量の回帰式における回帰係数と $D_{100}$ との関係。

表－２．調査林分における降雪遮断率の推定値。

	スギ・アカマツ林		アカマツ人工林		アカマツ天然林		広葉樹天然林	
	2003年 (%)	2005年 (%)	2003年 (%)	2005年 (%)	2003年 (%)	2005年 (%)	2003年 (%)	2005年 (%)
天空率	33.3	32.2	45.3	48.9	49.1	52.1	79.7	76.6
$D_{100}=10$	39.4	40.2	31.3	28.9	28.7	26.8	8.0	10.2
$D_{100}=20$	41.4	42.2	32.9	30.4	30.1	28.1	8.4	10.7
$D_{100}=30$	42.0	42.9	33.4	30.8	30.6	28.6	8.5	10.9
$D_{100}=40$	42.4	43.2	33.7	31.1	30.9	28.8	8.6	10.9
$D_{100}=50$	42.6	43.4	33.8	31.2	31.0	28.9	8.6	11.0

天然林では8～11%と推定された。ここで、既往の文献（高橋，1950；小野寺ら，1993）に掲載された相対積雪深から積雪深逓減率

積雪深逓減率＝100（1－相対積雪深）

を計算し、上記の値と比較した。その結果、スギ老齢林41%（高橋，1950），スギ天然林40%（小野寺ら，1993），スギ壮齢林30%（小野寺ら，1993），スギ壮齢林25%（高橋，1950），落葉広葉樹林16%（小野寺ら，1993），スギ幼齢林7%（高橋，1950）となった。常緑針葉樹であるスギの場合，高齢の林分になるほど積雪深逓減率が40%程度まで高くなる傾向にある。一方，落葉広葉樹林や林冠閉鎖していないスギ幼齢林では積雪深逓減率が10%前後と低い値を示した。このように異なる指標ではあるものの，降雪遮断率と積雪深逓減率は比較的類似した値を示すことがわかる。それゆえ，林冠閉鎖した常緑針葉樹林では30～40%程度，落葉樹林では10%程度という降雪遮断率は妥当な推定値と考えられる。

今後は、本研究で得られた推定式の一般性を検証するために、演習林内の異なる樹種の林分や間伐などにより林冠の疎開した林分における降雪遮断率を調査する必要がある。

本研究を遂行するにあたり、御明神演習林の職員各位には調査の便宜を図っていただいた。伊藤修子さん、渡部尚子さんには調査を手伝っていただいた。ここに記して感謝の意を表する。

## 引用文献

- 後藤義明・大丸裕武・森澤 猛 (1993) 開空度の違いによる森林の積雪深変化. 雪氷 55: 197-205.
- 橋本 哲 (1997) 森林の幾何学的構造を用いた林内放射量と林内融雪量の推定手法に関する研究. 岩手大学連合農学研究科博士論文, 104pp.
- INOUE, A., YAMAMOTO, K., MIZOUE, N. and KAWAHARA, Y. (2002) Estimation of relative illuminance using digital hemispherical photography. Journal of Forest Planning 8: 67-70.
- INOUE, A., YAMAMOTO, K., MIZOUE, N. and KAWAHARA, Y. (2004) Calibrating view angle and lens distortion of the Nikon fish-eye converter FC-E8. Journal of Forest Research 9: 177-181.
- 石橋秀弘・滝沢文弥 (1983) 林内における積雪量の変動. 日本林学会東北支部会誌 35: 223-224.
- 片岡健二郎 (1950) 林相別に依る積雪深に就いて (第3報). 雪 5: 176-179.
- 國崎貴嗣 (2002) 落葉広葉樹の混交した針葉樹人工林における林内光量子束密度の推定. 岩手大学農学部演習林報告 33: 1-10.
- 國崎貴嗣・甲田朋子 (2004) 御明神演習林14林班土場における積雪深の経時変化ー2003, 2004年ー. 平成15年度岩手大学農学部附属寒冷フィールドサイエンス教育研究センター年報 2: 69-70.
- 中村宏典・石川信敬・兒玉裕二 (1996) 融雪期における林内放射収支量の開空度依存性. 雪氷 58: 229-237.
- 太田岳史・橋本 哲・石橋秀弘 (1990) 表層融雪量に及ぼす森林の影響に関する基礎的検討. 雪氷 52: 289-296.
- 小野寺弘道・樋口裕美・栗田稔美 (1993) 森林内外の融雪過程ースギ林と落葉広葉樹林の事例ー. 日本林学会東北支部会誌 45: 197-198.
- 佐藤啓祐・小野瀬浩司 (1989) スギ人工林内外の積雪 (I) ー林内と林外の積雪深ー. 日本林学会東北支部会誌 41: 96-99.



四手井綱英・片岡健二郎（1950）林相による積雪深の変化（第2報）. 雪と生活 2（8）：27-3

2.

高橋喜平（1946）林地の積雪に就て. 雪氷 8：54-57.

高橋喜平（1950）杉林地に於ける積雪について 第1報. 雪と生活 2（4・5）：28-31.

山本一清（1998）LIA for Win32（LIA32）ver.0.373ユーザーマニュアル. 9pp.

## 要 旨

少雪地帯の森林を対象に、林冠疎開度と積雪深変化量との対応関係を検討した。林冠疎開度の指標として天空率を使用した。天空率と積雪深変化量との間には、積雪期には有意な正の関係が、融雪期には有意な負の関係が認められた。そして、これらの対応関係に基づき、林相の異なる調査林分における降雪遮断率を推定した。推定した降雪遮断率は林冠閉鎖した常緑針葉樹林30～40%、落葉樹林10%であった。

## Summary

We examined the correlation between canopy openness and the difference in the snow depth per week in lowland forest stands. The weighted openness was used as the canopy openness index, and it was calculated on the basis of digital hemispherical photographs taken within the stands. It was observed that the difference in the snow depth per week was positively and negatively correlated with the weighted openness during snowfall and snowmelt periods, respectively. Based on these results, the snowfall interception in closed evergreen conifer stands and a deciduous hardwood stand was estimated to be 30%-40% and 10%, respectively.