

## トドマツ人工林における降雪の樹冠遮断

○中井裕一郎・北原 曜・坂本知己・斉藤武史・寺嶋智巳  
(森林総合研究所 北海道支所 防災研究室)

### 1. まえがき

森林の樹冠遮断蒸発による降雪の損失は、積雪を重要な水源とする地域において重要な意味を持つ。しかし、森林における降雪の樹冠遮断蒸発量は実測例が少なく、様々な森林の状態、気象条件に対応する降雪の樹冠遮断蒸発量を定量的に評価するための資料は不足している。

本報ではトドマツ人工林を対象として林内降雪量の観測および積雪調査を行い、林内降雪量の空間分布について考察するとともに樹冠における降雪水量の収支から常緑針葉樹林における遮断蒸発量の一推定例を示す。

### 2. 観測の対象地と方法

観測の対象とした森林は札幌市羊ヶ丘の森林総合研究所実験林内にある樹齢19年、平均樹高7.7m、平均胸高直径12.0cm、平均枝下高3.7m、立木間隔1.5mのトドマツ人工林である。樹冠は十分閉鎖しており、下層植生は乏しい。本森林は傾斜3度以下の北向き斜面に位置し、南北28m東西50mの広さを持ち、その周囲は別仕様のトドマツおよびウダイカンバ人工林に囲まれていて地吹雪の影響は少ない。

トドマツ人工林内の積雪水量は幹に近いほど小さく樹冠投影面の端に近づくにつれて大きくなる分布を示し、樹木1個体の樹冠投影面範囲で大きな変動がある。対象地のように林木の形状が比較的均質な人工林では、互いに隣接する4本の立木に囲まれた格子状の区画(以下、単に区画という)内平均積雪水量の、林内での分布は比較の変動が小さいと思われる。そこで降雪水量についても同様の分布特性があるかどうかを検討し、そのうえで降雪の樹冠遮断蒸発量を推定するために、林内降雪水量の測定を行った。林内の降雪水量は林分内の中央部に設定した5区画それぞれにカップ(上端内径27.4cm、高さ24cm、ポリプロピレン製、以下カップはすべて同規格)

を図-1のように17個ずつ配置し、1~5日の間隔でカップに捕捉された降雪水の重量を測定した。各区画の平均降雪水量の計算方法はカップに捕捉された降雪水量17点をそれぞれ隣接する3点を直線で結んでできる三角形平面の集合する多平面体の体積を求め(図-2)、その底面積で除して算出した。林外降雪水量は観測林分に隣接する裸地にカップを設置し、林内降雪水量と同様に測定した。観測期間は1992年2月19日~3月9日の19日間である。加えて1992年3月9日に積雪調査を行った。積雪は断面積20cm<sup>2</sup>のスノーサンプラーを用いて林内ならびに隣接する3地点の裸地で採取し積雪深と積雪重量を測定した。林内の積雪は北

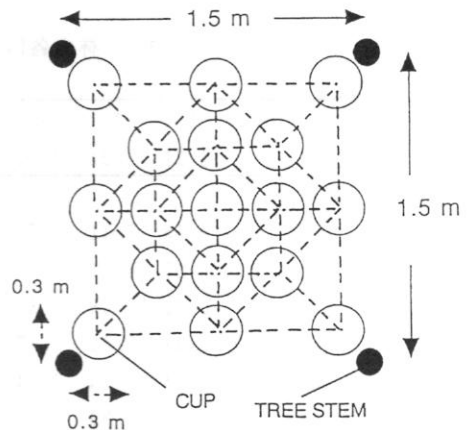
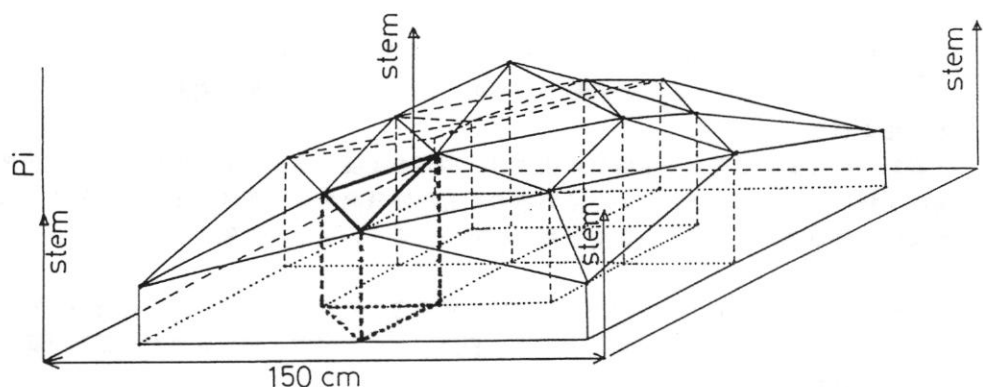


図-1. 林内降雪水量測定用カップの配置



図－２．林内の区画平均降雪水量の計算において想定される多面体型

原ほか(1)に従い立木間で等間隔に5ないし6点採取し格子内の積雪水量分布が四角錐形に近似するとして平均積雪水量SWEを算出した。

### 3. 結果と考察

表－１は林内の各区画平均降雪水量を示したものである。まず、林内降雪水量の区画によるばらつきを検討する。5区画平均の林内降雪水量合計は28.4mmであり、区画による変動は変動係数が6%で比較的小さかった。林内降雪水量は期間2と期間5で全観測期間の降雪水量の75%を占めているため、降雪水量の区画による差と区画内の分布型は、期間2と5における観測値によって代表されると考えられる。各測定期間毎にみると林内降雪水量は期間2と5以外の林内降雪水量が小さい期間に区画毎のばらつきが大きかったが、期間2および5では変動係数が10%以下で区画毎のばらつきが小さかった。本対象地における林内降雪水量の代表値として、ある程度以上降雪水量の大きい連続降雪の場合に5区画の平均値を用いることが妥当であると考えられる。

表－１． 林内各区画の平均降雪水量

(単位 mm)

| 期間No.  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | 6    | 7    | 8    | All   |
|--------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|
| 測定日    | 2/21 | 2/24 | 2/25 | 2/27 | 3/4   | 3/5  | 3/7  | 3/9  | Total |
| 区画No.  |      |      |      |      |       |      |      |      |       |
| No. 1  | 0.15 | 7.41 | 0.75 | 1.40 | 15.26 | 2.24 | 0.22 | 2.31 | 29.74 |
| No. 2  | 0.09 | 6.75 | 0.55 | 1.61 | 13.80 | 1.78 | 0.15 | 1.84 | 26.57 |
| No. 3  | 0.12 | 7.06 | 0.86 | 1.86 | 16.61 | 2.00 | 0.11 | 2.05 | 30.66 |
| No. 4  | 0.12 | 5.82 | 0.77 | 1.48 | 13.54 | 2.05 | 0.18 | 3.06 | 27.02 |
| No. 5  | 0.14 | 6.74 | 0.34 | 1.81 | 13.94 | 1.87 | 0.10 | 3.02 | 27.95 |
| 平均(mm) | 0.13 | 6.76 | 0.65 | 1.63 | 14.63 | 1.99 | 0.15 | 2.46 | 28.39 |
| 標準偏差   | 0.03 | 0.59 | 0.21 | 0.20 | 1.29  | 0.18 | 0.05 | 0.56 | 1.76  |
| 変動係数   | 0.21 | 0.09 | 0.32 | 0.12 | 0.09  | 0.09 | 0.34 | 0.23 | 0.06  |

各区画内の降雪水量分布型を全期間合計、期間5 および期間1 について図-3 に示す。  
 $R$  はカップ位置の降雪水量/区画平均降雪水量、 $X$  は幹からの距離/(立木間隔 (=150cm) / 2) である。期間5 では区画によるばらつきも少なく区画内の降雪水量分布は幹の近くで区画内平均の0.6倍、区画内中央で同じく1.4~1.5倍程度になる山型を示した。全期間合計の降雪水量の分布型も期間5 におけるのと同様であった。降雪水量が1mm未満で非常に少なかった期間1 の分布型は平坦であった。

林内外の積算降雪水量の経時変化を図-4 に示す。期間中、降雪があったのは14日間、5mm以上の林外降雪量があったのは4日間、露場の観測結果によると真冬日は9日間であった。林内降雪水量 $P_i$ は5区画の平均値である。図の点線は積算林外降雪水量と積算林内降雪水量の差で、その時点での冠雪量と積算の遮断蒸発量との和を意味する。ある期間の樹冠における降雪水量の収支は

$$P_r = P_i + I_p + \Delta S$$

$P_r$  : 樹冠上の降雪水量、 $P_i$  : 林内の降雪水量、

$I_p$  : 遮断蒸発量、 $\Delta S$  : 冠雪の増加量

で表される。観測期間を通じた積算林外降雪量は58.1mm、同じく積算林内降雪量は28.4mmであった。冠雪は観測開始時には見られず、また観測期間の最後に残存した冠雪量を落下させて測定したところ1.24mmであった。仮に樹冠上の降雪水量 $P_r$ が林外降雪水量 $P_o$ に等しいとすると $I_p$ は28.5mmで遮断蒸発率は49.0%である。全期間の平均日遮断蒸発量は単純平均で1.49mm/dであるが、19日間の観測期間中、完全に冠雪がないと判断された日が4日間あ

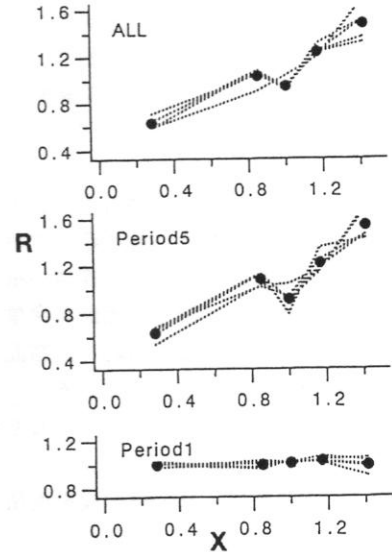


図-3. 林内降雪水量の分布型の例  
 (上から全期間合計、期間5、期間1)  
 ●は5区画の平均値、点線は各区画の値  
 $x$  : 幹からの距離/立木間隔の2分の1  
 $R$  :  $x$  の位置にあるカップ測定値の平均降雪水量/区画平均降雪水量

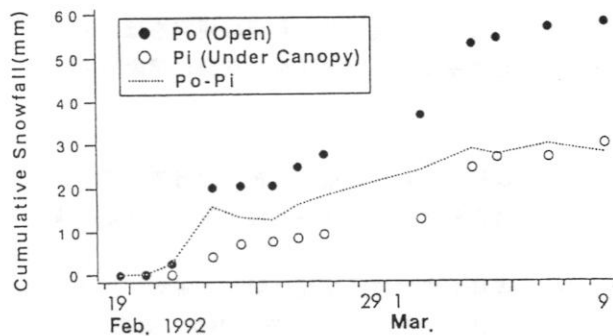


図-4. 林内外の積算降雪水量の経時変化

たので実際には単純平均より大きい日遮断蒸発量が生じていたと考えられる。これは小島ほか(1985)が観測した札幌の裸地における2~3月の無降水日の平均積雪面蒸発量0.34mm/dの4倍以上に相当する。

一方、積雪調査の結果から裸地の積雪水量SWE<sub>0</sub>は3地点の平均値を用いて242mm、トドマツ林内の平均積雪水量SWEは136mmであった。このとき、林内降雪水量の観測の場合と同様に、裸地の積雪水量SWE<sub>0</sub>が樹冠上の積算降雪水量に近似すると考えて積雪の遮断率Iを

$$I(\%) = (1 - SWE / SWE_0) \times 100$$

とすると、Iは44%であり、林内降雪水量の観測から推定された遮断蒸発率と近い値を示した。トドマツ以外の常緑針葉樹林においても積雪水量調査結果から30~50%の積雪の遮断率が得られている(北原ほか(1991)、中井ほか(1992))。

以上のように、降雪量の観測および積雪水量調査の結果の両者から得られた遮断(蒸発)率は40~50%近い値を示しており、おそらく常緑針葉樹林における降雪の樹冠遮断蒸発の強度はきわめて大きく裸地の積雪面蒸発の4倍以上になる可能性が示唆される。

このように降雪の遮断蒸発量が大きくなる原因は常緑針葉樹林の樹冠内に多くの枝の層が重なっていて降雪時に冠雪面の多層構造を形成し、雪の表面積が非常に大きくなることが重要であると考えられる。そこで実際の常緑針葉樹林では枝葉の投影面積が単位水平面積当たりどれくらいか、すなわち林分平均で枝階層が何層あるかを以下に考えてみる。枝階層の数NLは、 $NL = Ab / La \times LAI$ で求められる。このとき、LAI: 森林の葉面積指数、La: 枝の葉面積、Ab: 枝の投影面積である。トドマツでは、 $Ab/La = 0.5 \sim 0.67$ (中井ほか(1992))、 $LAI = 5 \sim 10$ (依田(1971))であることから、 $NL = 2.5 \sim 6.7$ となり、単位面積当たりの平均枝階層数NLは2.5~6.7層となる。枝階層は降雪があると冠雪層になるので冠雪の表面積は上面だけを考えても裸地の積雪表面に比べてNL倍になる。

森林による極めて大量の降雪遮断蒸発量は積雪を重要な水源とする地域において植栽樹種の選択や間伐、枝打ち等の森林施業に際して水資源上重要な意味を持つ。今後、様々な条件下での降雪の樹冠遮断蒸発量の観測を行うとともに、冠雪の形成・消失や冠雪表面からの昇華蒸発等の過程に基づいた微気象学的な推定方法を確立することが必要である。

最後に、観測・調査に際し羊ヶ丘実験林の利用に便宜をはかって頂いた森林総合研究所北海道支所実験林室岸田昭雄室長および同職員の皆様に感謝する。

#### 引用文献

- 北原 曜ほか(1991) 森林内における積雪分布、北海道の雪氷10、14~17。  
小島賢治ほか(1985) 積雪の蒸発量(札幌と母子里での測定結果)、低温科学物理篇44、49~62。  
中井裕一郎ほか(1992) 森林の降雪遮断蒸発に関する研究、日林誌(投稿中)  
依田恭二(1971) 森林の生態学、41p、築地書館、東京