

樹冠による降雪遮断量の評価

久野友靖 (北海道大学大学院環境科学院),
 兒玉裕二, 中井太郎, 石川信敬 (北海道大学低温科学研究所)

1. はじめに

降雪遮断は降雪が葉・枝・幹・茎など植生に遮られ付着もしくは堆積する現象を指す。特に冬期に氷点下が続くような寒冷積雪地域では森林樹冠に遮られた降雪の一部がその森林樹冠に堆積する期間が数日から1ヵ月と長く、その間に樹冠上の積雪は昇華蒸発したり落雪したりする。落雪する場合は林床の積雪となるが、昇華蒸発する場合は積雪水資源の損失に当たる。様々な気候条件や森林構造における降雪遮断量、またそこからの昇華蒸発量(降雪遮断蒸発量)を的確に評価することは積雪森林流域の水循環を把握し流域管理を行う上で重要である。本研究では針広混交林・ダケカンバ林の2つの森林サイトにおいて積雪期初期～融雪期初期に林内外積雪水量の多点観測を行い、森林内における積雪水量の空間的ばらつきを森林タイプや開空率と合わせて議論し、降雪遮断量と森林構造との関係を明らかにする。また、降雪遮断蒸発量の定量的評価に向けて、昇華蒸発量と気象要素との関係について明らかにする。以上を本研究の目的とした。

2. 観測地概要

観測は2007年11月～2008年3月の積雪期から融雪期にかけて、北海道雨竜郡幌加内町母子里(北緯44度21分44秒、東経142度15分54秒)にある、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター雨龍研究林内の針広混交林・ダケカンバ林にて行った(図1)。この場所は山々に囲まれた盆地地形で、冬期の最低気温は -30°C 以下まで低下し、積雪深は2m以上になる。針広混交林は群落高24m、主な樹種はアカエゾマツ・トドマツ・ミズナラ・カンバ類・ハルニレ・シナ・ヤチダモ等である。ダケカンバ林は群落高12m、樹種は主に落葉広葉樹のダケカンバである。

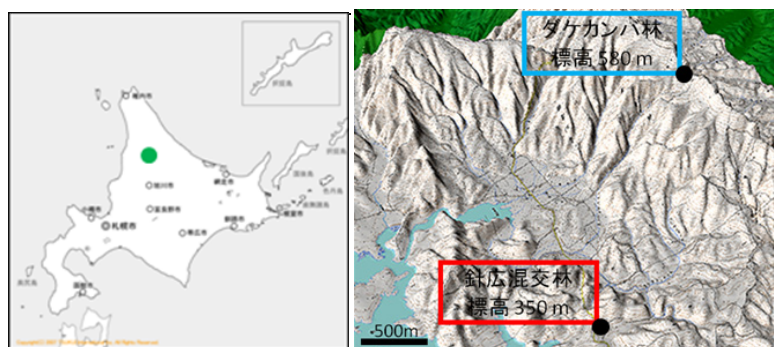


図1: 母子里観測サイト 針広混交林・ダケカンバ林地図

3. 降雪遮断量の定義

本研究では、樹冠による降雪遮断量を林内外の積雪水量差として定義した(Lundberg et al., 2004)。すなわち、

$$I = S_O - S_F \quad (1)$$

I : 降雪遮断量, S_O : 林外の平均積雪水量, S_F : 林内の各観測地点の積雪水量を表す. また, 林内外の積雪水量は, それぞれ次式で表される.

$$S_F = P_F - (I_{CF} + M_{SF} + M_{BF} + E_{SF} + S_{RF} + \Delta C_F) \quad (2)$$

$$S_O = P_O - (I_{CO} + M_{SO} + M_{BO} + E_{SO} + S_{RO} + \Delta C_O) \quad (3)$$

ここで, 各項の末尾についている F は森林内, O は森林外を表し, P は降雪量, I_C は降雪遮断蒸発量, M_S は積雪表面融雪量, M_B は積雪底面融雪量, E_S は積雪表面蒸発量, S_R は積雪の再移動量, ΔC は樹冠上着雪の変化量を表す. 各項はすべて降雪開始時からの積算値であり, 単位は mm である.

林外では樹冠が無いので, $I_{CO} = \Delta C_O = 0$ である. また, 本研究観測地点の母子里は盆地地形のため風が弱いと考え, 降雪量の空間的なばらつき, 地吹雪などの積雪の再移動がほぼないものとする. $P_O - P_F = 0$ 及び $S_{RF} - S_{RO} = 0$ となる. さらに, Nakai(1996) は $M_{SF} - M_{SO} \cdot M_{BF} - M_{BO} \cdot E_{SF} - E_{SO}$ の合計は $-15(mm) \sim -45(mm)$ であると試算しており, I は I_{CF} よりも $15 \sim 45 mm$ 小さいことに留意すれば, これらの項の計算を省略できるとしている. このことが本研究の観測地点である母子里にも適用されると仮定すると, I は以下のように表される.

$$I = I_{CF} + \Delta C_F \quad (4)$$

$\Delta C_F \neq 0$ の場合, I は遮断量となる. 樹冠上に着雪が見られない ($\Delta C_F = 0$) 場合, (4) は $I = I_{CF}$ となり, 森林内外の積雪水量差 $S_O - S_F$ から遮断蒸発量 I_{CF} が算出される. さらに, 降雪量に対する林内外積雪水量の差の割合を表した降雪遮断(蒸発)率 I_R は, 本研究では降雪量と林外積雪水量が等しいと仮定したため次式で表される.

$$I_R = \frac{S_O - S_F}{S_O} \quad (5)$$

4. 観測方法

針広混交林・ダケカンバ林における積雪水量, 降雪遮断率を算出するために, 森林内外それぞれにおいて定期的に多点観測による積雪水量調査を実施した. 2007年11月中旬から2008年3月末の期間, 月2回という頻度で調査を行った. 森林内外の積雪水量の代表的なデータを得るために, 針広混交林内では林内に105mの直線を2本, 10m離して設け, その直線に沿って5m間隔に計42地点で積雪深を2回ずつ測定した. 林外では直線50mを設け, 1m間隔に計50地点の積雪深を測定した. ダケカンバ林では, 林内外ともに直線50mを設け, 1m間隔に計50地点の積雪深を測定した. なお全層平均密度は, それぞれの積雪深を測定した場所においてランダムに10回測定し, その平均値を林内外の全層平均密度とした. その全層平均密度を用いてそれぞれの積雪深から積雪水量を求めた.

森林構造の指標として開空率を測定した. 開空率算出方法は, NikonCOOLPIX4500と魚眼レンズを用いて全天空写真を撮影し, 撮影された画像を開空率解析ソフト

LIA32 を用いて植生と空を二値化した。樹冠上の着雪の影響などにより開空率に季節変化が生じると考え、積雪水量調査毎に計 10 回の撮影を行った。

その他に、森林樹冠内の高度別昇華蒸発量の観測を、厳冬期から融雪期前までの期間、針広混交林にて行った。混交林内に設置されている CREST 観測タワー（高さ約 30 m）の 28 m, 19 m, 10 m, 2 m, の 4 地点に半径 10 cm 厚さ 5 cm の円盤形に整形した氷を 1~2 日間、長い時では 1 週間から 3 週間にわたって曝露試験を行い、その間の氷の重量変化は電子上皿天秤を用いて測定した。

5. 針広混交林・ダケカンバ林の林内外積雪水量・降雪遮断率の時系列変化

図 2 は混交林・カンバ林内外の積雪水量の平均値と標準偏差, 降雪遮断率の平均値の時系列変化を示している。混交林外及びカンバ林の林内外では積雪水量の標準偏差は期間中小さいのに対し、混交林内積雪水量の標準偏差は他の場所に比べ非常に大きく、混交林内積雪水量分布が空間的に大きくばらついていることが分かった。その空間的なばらつきは積雪期初期から融雪期前にかけて増加している。混交林の林内外積雪水量差はカンバ林に比べて大きく、遮断率をみると、混交林では 4.3~19.0 %で推移し、平均値は 12.3 %, カンバ林では 2.5~16.3 %で推移し、平均値は 8.1 %であり、混交林とカンバ林の遮断率は約 1.5 倍異なることが分かった。

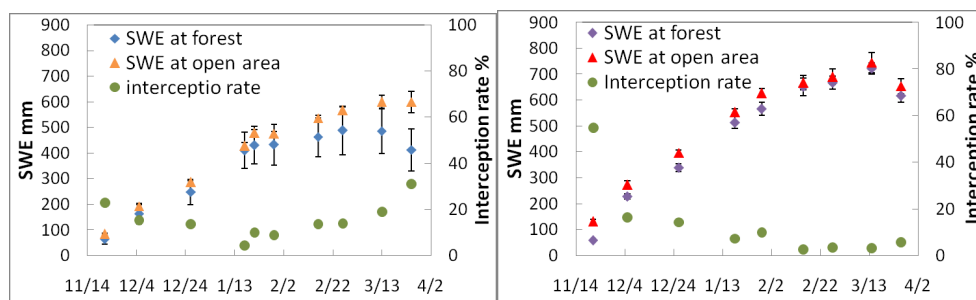


図 2 : 林内外積雪水量と降雪遮断率の時系列変化, 針広混交林(左), ダケカンバ林(右)

6. 針広混交林内積雪水量と開空率の関係

次に、混交林内積雪水量と森林構造の指標である開空率との関係について調べてみた。混交林内観測点 42 点における観測毎の林内積雪水量と開空率の関係を図 3 に示す。林内積雪水量と開空率の関係には明らかな正の相関がみられた。つまり、遮断量は樹冠密度と大きく関係していることが示唆された。しかし、両者の相関関係は時間とともに悪くなった。これは、本研究では落雪や地形による影響は無視できると仮定しているが、場所によっては落雪や地形の影響により積雪水量が変化したと考えられる。

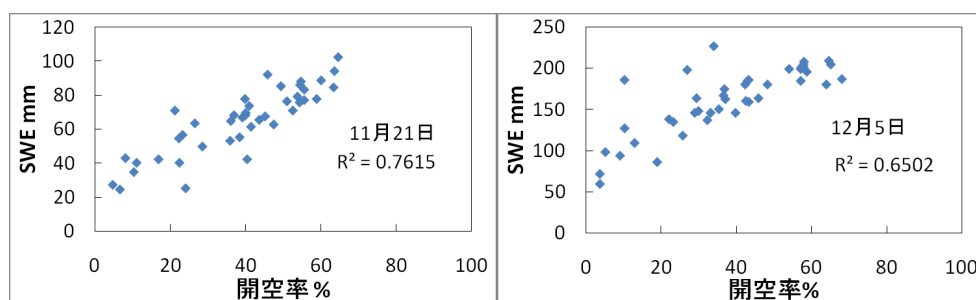


図 3 : 針広混交林内積雪水量と開空率の関係, 11 月 21 日(左), 12 月 5 日(右)

7. 針広混交林内昇華蒸発量の高度依存性

図4は氷の昇華蒸発量の高度分布について示したものである。短期間の測定結果では、昇華蒸発量の高度依存性は確認されなかった。これは、短期間では氷の重量変化が小さく、測定誤差が顕著に表れたことによると考えられる。長期間による測定結果では、昇華蒸発量の明らかな高度依存性が示された。次に、林内昇華蒸発量の高度依存性の要因について調べるため気象データとの比較を行った。前節で示した蒸発量は測定期間の長短で大きく異なるため、潜熱フラックスに換算した。この結果、潜熱フラックスは風速・飽差の積と非常に良い正の相関を示した(図5)。

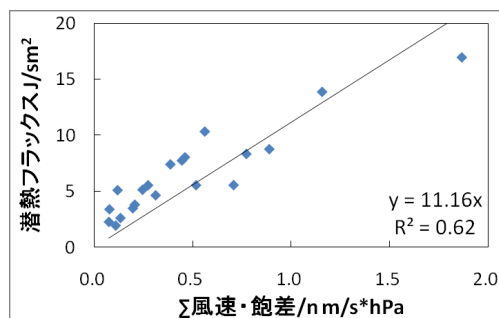
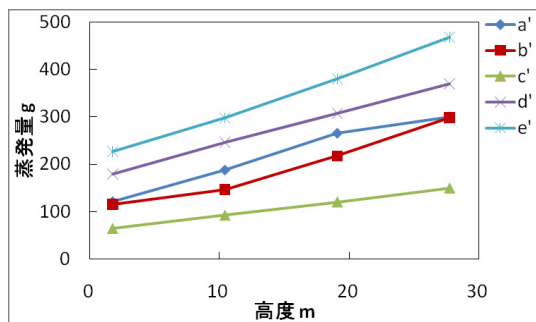


図4：昇華蒸発量の高度依存性

図5：潜熱フラックスと風速・飽差の積の関係

8. まとめ

本研究では降雪遮断量の評価を目的として、積雪期初期～融雪期初期にかけて針広混交林及びダケカンバ林の2つの森林サイトにおいて観測を行った。

11月上旬から3月下旬にかけて定期的に積雪水量調査を実施し、針広混交林内及びダケカンバ林内における積雪水量、降雪遮断率の空間分布、時系列変化を検討した。混交林内積雪水量分布は大きくばらついてしたが、混交林外、カンバ林内外では空間的なばらつきは小さかった。カンバ林に比べ混交林は全期間に渡り林内外の積雪水量差が大きく、融雪期前までの遮断率は、混交林では4.3～19.0%(平均値は12.3%)、カンバ林では2.5～16.3%(平均値は8.1%)、森林タイプにより約1.5倍異なることを示した。さらに、混交林内においては、開空率の増加とともに林内積雪水量が増加しており、降雪遮断量は樹冠密度に強く依存していることが分かった。

樹冠層内の高度別昇華蒸発量を調べるために、観測タワーの4高度において円盤型に整形した氷塊の重量変化を観測した結果、森林樹冠層内において昇華蒸発量が高度に依存することが示唆された。さらに、昇華蒸発量は風速・飽差の積と良い関係を示すことが分かった。

参考文献

- Hedstorm N.R, Pomeroy J.W., 1998 : Measurements and modeling of snow interception in the boreal forest, Hydrological processes, 12, 1611-1625
 Lundberg A, Nakai Y, Thunehed H, Halldin S., 2004 : Snow accumulation in forests from ground and remote-sensing data, Hydrological Processes, 18, 1941-1955
 中井 裕一郎, 1996 : 森林における降雪の樹冠遮断蒸発量に関する実証的研究, 京都大学大学院農学研究科博士論文