

## 森林樹冠による降雪の遮断蒸発量に関する研究

津滝俊<sup>1,2)</sup>, 兒玉裕二<sup>1)</sup>, 中井太郎<sup>3)</sup>, 鈴木和良<sup>4)</sup>, 石井吉之<sup>2)</sup>, 石川信敬<sup>2)</sup>

1) 北海道大学大学院地球環境科学研究科 2) 北海道大学低温科学研究所

3) JST / CREST 4) 海洋研究開発機構地球環境観測研究センター

### 1. はじめに

降雪の遮断蒸発は、森林の枝や葉などの樹冠部に付着、堆積した降雪が昇華蒸発する現象である。北半球の場合、昇華蒸発量は極域周辺で最大となる。また、これらの地域ではタイガをはじめとした北方林が広く分布しており、遮断蒸発による水資源の損失は大きな問題として挙げられる。

遮断蒸発量に関する過去の研究において、わが国での遮断蒸発量は降水量の 13 ~ 40% に達するという報告がある一方、森林内外の積雪量差は小さく、降雪の遮断蒸発量は無視できるとした事例も多い。これは、特に森林内において降雪量の空間分布のばらつきが降雨に比べて大きく、測定精度が不十分な為に定量的な議論が困難であったと考えられる。

本研究では、森林内における降雪量の空間分布のばらつきを評価するため、開空率などの森林樹冠構造の違いに着目して、林外、林内それぞれにおいて積雪水量の多点観測を厳冬期～融雪期にかけて行い、遮断蒸発量の評価を目的とする。

### 2. 観測地概要

本研究の観測は北海道雨竜郡幌加内町母子里にある、北海道大学森林圏ステーション雨龍研究林内で行った(図1)。母子里は北緯 44 度 21 分 44 秒、東経 142 度 15 分 54 秒に位置し、周辺を山に囲まれた盆地地

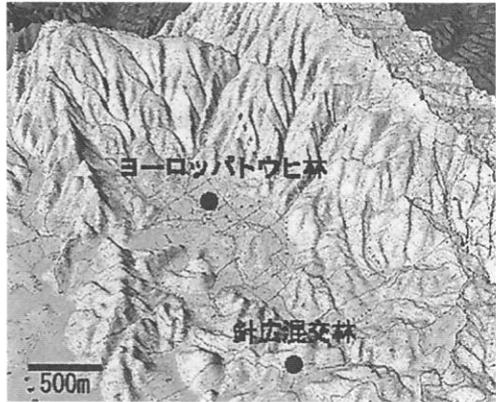


図1: 観測地点(母子里)周辺の地図

形である。冬期の気温は $-30^{\circ}\text{C}$ 以下まで低下し、積雪は $2\text{ m}$ 以上になる。この中で、アカエゾマツ、トドマツ、ミズナラ、カンバ類、ハルニレ、シナ、ヤチダモ等で構成される標高 $350\text{ m}$ の針広混交林と、標高 $287\text{ m}$ のヨーロッパトウヒ林において観測を行った。

### 3. 本研究における遮断蒸発量の定義

本研究では、降雪の遮断蒸発量を森林内外の積雪水量差として定義した。すなわち

$$I = S_o - S_f \quad (1)$$

ここで、 $I$ は降雪遮断量、 $S_o$ 、 $S_f$ はそれぞれ森林外、森林内の積雪水量を表す。

また、森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, O はそれぞれ森林内、森林外を表し、P:降水量, I<sub>C</sub>:樹冠遮断蒸発量, M<sub>S</sub>:表層融雪(流出)量, M<sub>B</sub>:地面融雪(流出)量, E<sub>S</sub>:積雪表面蒸発量, S<sub>R</sub>:積雪の再移動量, ΔC:樹冠上の積雪貯留量を表す。これを(1)に代入すると、

$$I = P_O - P_F + (I_{CF} - I_{CO} + M_{SF} - M_{SO} + M_{BF} - M_{BO} + E_{SF} - E_{SO} + S_{RF} - S_{RO} + \Delta C_F - \Delta C_O) \quad (4)$$

森林外では樹冠が無いため、I<sub>CO</sub>=ΔC<sub>O</sub>=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、降水量の空間的なばらつき、地吹雪などの積雪の再移動量を無視すると、P<sub>O</sub>-P<sub>F</sub>=0及びS<sub>RF</sub>-S<sub>RO</sub>=0となる。

中井(1996)は M<sub>SF</sub>-M<sub>SO</sub>, M<sub>BF</sub>-M<sub>BO</sub>, E<sub>SF</sub>-E<sub>SO</sub> の合計は-15(mm)~-45(mm)であると試算しており、IはI<sub>CF</sub>よりも15~45 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。このことが母子里にも適用されると仮定すると、(4)は以下のように表される。

$$I = I_{CF} + \Delta C_F \quad (5)$$

ΔC<sub>F</sub>≠0 の場合、I は単に遮断量となる。樹冠上に積雪が見られない(ΔC<sub>F</sub>=0) 場合、(5)はI=I<sub>CF</sub>となり、森林内外の積雪水量差 S<sub>O</sub>

-S<sub>F</sub>から遮断蒸発量 I<sub>CF</sub>が算出される。さらに、林外積雪量に対する林内積雪量の割合を表した降雪遮断(蒸発)率 I<sub>R</sub>は次式で表される。

$$I_R = (S_O - S_F) / S_O \quad (6)$$

#### 4. 観測方法

遮断蒸発量を算出するために、針広混交林において森林内外の積雪水量調査を実施した。観測は厳冬期から融雪期にかけての1月25日、2月1日、2月9日、3月13日、3月30日、4月11日、4月29日、5月9日の合計8回行っている。

森林内の積雪量は場所によって大きく異なるため、林内に5mグリッドを約40×100mの広さに設け、グリッドの交点189箇所において積雪深観測を実施した。また全層平均密度はグリッドの交点9箇所において計18回測定した。全層平均密度の平均値を用いて、それぞれの積雪深値から積雪水量を算出した。

林外の積雪水量は、針広混交林付近にある開地に100mの直線を設け、1mごとに積雪深を測定した。全層平均密度は5箇所で計10回測定し、林内と同様の方法で積雪水量を算出した。

また、一降雪イベントごとの降雪遮断量を測定するため、1月27日~2月10日の期間に90×90cmのビニールシート(写真1)をヨーロッパトウヒ林の林外2箇所、林内4箇所に設置し、降雪後にシート上に積もった雪の重量を量り、それぞれの降雪量を比較した。

積雪水量調査、一降雪に対する遮断量調査に付随して、それぞれ調査を行った林内で開空率、LAIの算出も行っている。全天空写真にはNikon COOLPIX4500と魚眼レンズを使用した。

その他に、昇華蒸発量を直接測定するため、1月27日~2月10日の期間に針広混交林内

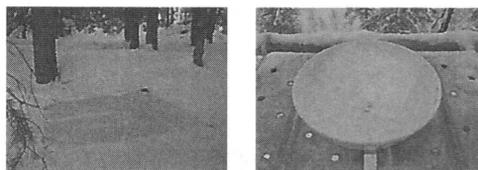


写真 1: 降雪遮断量測定 写真 2: 昇華蒸発量測定

の観測タワー(高さ 30m)の 30 m, 25 m, 12 m, 3 m, 0 m (地表面) に大きさ 15×12×4 cm の水を設置し(写真 2), 数時間~1 日おきに重量を測定し, 昇華蒸発量を算出した。

### 5. 降雪遮断率算出結果

林外積雪量の正確性を確認するため, 針広混交林に設置された雨雪量計データとの比較を行った(図 3)。林外積雪量, 降雪量ともに水量に換算して表示している。また, 両者を比較しやすくするため 1 月 25 日の積雪量を 0 とし, その後は日積算して表示している。その結果, 積雪量は降水量とよく一致し, 林外積雪量を降水量として仮定

することが可能であると示唆された。

上の結果から, 林外, 林内積雪量の差から遮断(蒸発)量を算出し, その時系列変化を示した(図 3)。林外, 林内積雪量については標準偏差をバーで表示している。林外積雪量はそれほど値のばらつきは見られないが, 林内積雪量はばらつきが非常に大きく, 林外に比べて非一様に分布していることが推測される。また, 融雪期前までの森林内外の積雪量差は期間が進むとともに大きくなっていて, その結果積雪量全体が増加しても, 遮断(蒸発)率は全期間を通して 0.2-0.3 とほぼ一定の値であった。樹冠上に冠雪が見られなかった 3 月 30 日の遮断蒸発率は 0.29 であった。

次に, 上空の開空率の違いによる林内降雪量の変化を, 一降雪イベントごとに見た場合, 降雪量が多い時に, 開空率が増加するにつれて降雪量も増加する結果となった(図 4)。林外降雪量と比較し, それぞれの降雪遮断率を算出した結果, 降雪遮断率は 0.1-0.7 と, スノーサーバイで得られた結果

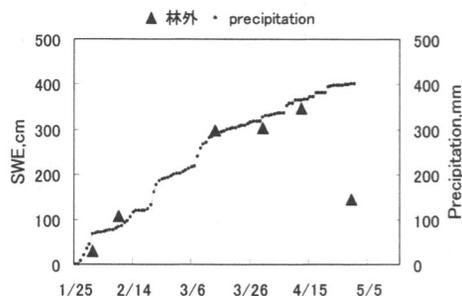


図 2: 林外積雪水量と雨雪量計の比較

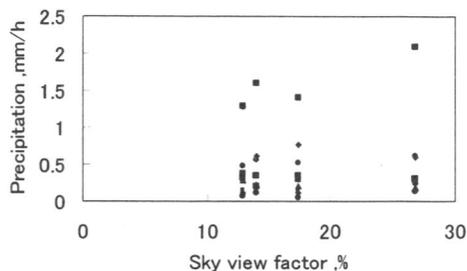


図 4: 開空率で見た林内降雪量の変化

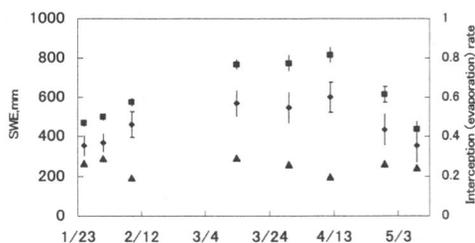


図 3: 森林内外積雪水量と降雪遮断率の変化

(■林外 ◆林内 ▲遮断蒸発率)

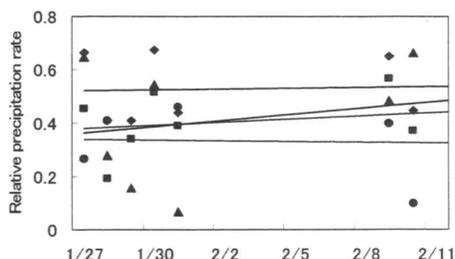


図 5: 一降雪イベントから見た降雪遮断率の時間変化

と比較すると非常にばらつきが大きくなった。これは観測数 100 点以上を平均したスノーサーベイと異なり、樹冠上から落雪があった場合、遮断率が著しく減少するなどを反映していると考えられる。また、それぞれの観測箇所における平均値は概ね 0.3-0.5 であった。

### 6. 氷の昇華蒸発量観測結果

昇華蒸発量の高度依存性を見るために、観測タワーを用いて高度別に氷の昇華蒸発量を測定した(図 6)。30 m の値に対する 25 m, 12 m, 3 m, 0 m それぞれの昇華蒸発量の割合を図 7 に示した。図中の直線はそれぞれ同時刻に測定された値の近似直線であり、高い場所ほど昇華蒸発量が大きくなるという傾向が多くの測定結果から得られ、小南による同種の野外観測結果(Lundberg, 2001)と同様の傾向を示した。しかし、高い場所よりも低い場所の昇華蒸発量が大きくなるという例外もあった。

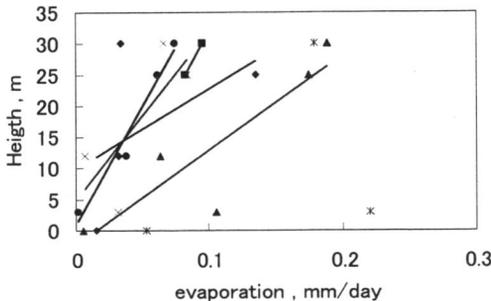


図 6: 各高度の昇華蒸発量

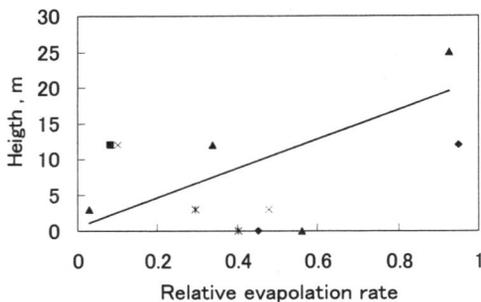


図 7: 各高度の相対昇華蒸発率

これは降雪などによる氷への着雪の影響と考えられる。

### 7. まとめ

樹冠による降雪の遮断蒸発や、それに伴う森林林床部の降雪量のばらつきを評価するため、北海道母子里の針広混交林とヨーロッパトウヒ林において観測を行った。森林内外の積雪水量測定の結果、以下の項目が明らかになった。

森林内積雪量の空間的ばらつきは大きく、融雪期前の内外の積雪水量差は時間が経つにつれ増加した。また、降雪遮断率は概ね 0.2-0.3 の範囲で変化した。

一降雪イベントごとの降雪遮断率を測定点の開空率と比較した結果、開空率の増加に伴って林床での降雪量が増加する傾向が見られた。降雪遮断率は概ね 0.1-0.7 となり、積雪水量差からの結果よりもばらつきが大きかった。これは樹冠上からの落雪の有無など、著しい降雪量の増加・減少が起こるためであると考えられる。

観測タワーを用いた氷の高度別昇華蒸発量観測の結果、蒸発量は高い場所ほど大きいという高度依存性が見られ、過去の研究結果と同様の傾向が見られた。

氷の昇華蒸発量と森林内外の積雪水量差の間には大きな差が見られ、遮断された降雪がどのような要因で消失していくか、今後更に解析を進める必要がある。

### 参考文献

Lundberg,A. 2001: Snow Interception evaporation. Review of measurement techniques, and models. Theoretical and applied Climatology 70: 117-133  
 Nakai,Y,1996 : An observational study on evaporation from intercepted snow on forest canopies. Doctoral thesis, Department of Agriculture, Kyoto University, 107pp.(In Japanese, Tables and Figures in English).