

II-20

森林の影響を考慮した積雪水資源量の評価

東北大学大学院 学生会員 ○泉 宏和

東北大学大学院 正会員 風間 聡

東北大学大学院 フェロー 沢本正樹

1. はじめに

冬の間に貯留された積雪は水供給を補う重要な水資源となり得る一方、近年の地球規模での温暖化による冬の積雪および春の融雪の変化に伴う水文・水資源への影響が懸念される。そこで、貴重な積雪水資源を高度利用するとともに、雪崩などの雪氷災害を最小限にとどめるためには、日本全域という広域スケールにおいて積雪・融雪情報の整備が必要である。

本研究では森林の存在を考慮し、戸塚ら¹⁾が構築したモデルをさらに発展させ、降雪-融雪過程の推定精度を評価し、汎用性のあるモデル、すなわち広域に適用可能なモデルの構築を目指す。そして、融雪係数を分布的に与えることで広域での積雪分布推定²⁾の精度向上が見込まれる。このようにして、森林の影響を考慮することにより、融雪期に貯留されている積雪水資源量を把握することを目的とする。

2. データセットおよび対象地域・期間

研究対象地域は日本全域である。研究対象期間は2004年12月～2005年5月とした。使用データとして、衛星データはNOAAのデータベースの一つであるJAIDASの東日本および西日本の画像を用い、月毎のNDVI分布図を作成した。NDVIとは、正規化差植生指標と訳され、植生の活性度を示す指標である。標高データは国土地理院が作成した数値地図情報の250m×250mメッシュをJAIDASの1100m×1100mメッシュに平均化して用いた。気象データは気象庁より提供されているAMeDASデータから降水量、気温、大気圧、風速、日射量、積雪深等を用いた。なお、これらは2004年12月～2005年5月のデータである。

3. 解析方法

(1) 降雪モデル

降雪が地面に落ちることなく枝葉に捕捉されることを降雪遮断と言う。本研究で降雪遮断モデルは、戸塚らが久保ら³⁾のモデルを基にして構築したものである。

降雪遮断モデルは、樹冠層において遮断量、冠雪量を計算するモデルであり、降雪の遮断は降雨の遮断モデルに着雪の効果を考慮して式(1)のように表現される。

$$P_{\text{eff}} = P_{\text{eff}} [1 - \exp(-f \cdot LAI \cdot \xi \cdot \zeta)] \quad (1)$$

$$\xi = 1 + k_{f1} \frac{S_f}{S_{fRmax}} \quad (S_f \leq S_{fRmax}) \quad (2)$$

$$\xi = 1 + k_{f1} \quad (S_f \geq S_{fRmax})$$

$$\zeta = 1 \quad (S_f \leq k_{f2} S_{fmax})$$

$$\zeta = 1 - \frac{S_f - k_{f2} S_{fmax}}{(1 - k_{f2}) S_{fmax}} \quad (S_f \geq k_{f2} S_{fmax}) \quad (3)$$

ここで、 LAI は葉面積指数、 f は葉の傾きを表す係数であり0.5とした。また、 P_{eff} は樹冠層における遮断量 (mm)、 P_{eff} は樹冠層に入ってくる降雪量 (mm)、 S_{fmax} は最大冠雪量 (mm) であり初期値は最初の降雪量 P_{eff} (mm)、 S_{fmax} は葉の凹凸が冠雪でほぼ覆われて滑らかになったときの冠雪量 (mm)、 k_{f1} は着雪により遮断量が増加する効果を表す係数であり、 $LAI < 1$ のとき0.3、 $LAI > 1$ のとき0.05とし、 k_{f2} は冠雪量が最大限界に近づくにつれ遮断量が減衰する効果を表す係数であり0.2とした。なお、遮断量を計算し、冠雪量が最大冠雪量を超える場合林床へ滴下が生じるものとする。

(2) 融雪モデル

林床に届く日射量の減少によって林内の融雪量は支配されている。そこで、日射量の減少を考慮した熱収支解析により積雪面と樹冠層における融雪量を求める。

a) 積雪面における熱収支

式(4)に積雪表層に起きる熱収支の式を示す。

$$Q = Rn + H + IE \quad (4)$$

ここで、 Q は融雪熱量、 Rn は純放射量、 H は顕熱交換量、 IE は潜熱交換量である。各要素の正負は、熱量が積雪表層に向かう場合が正である。ここでは、雨による伝達熱は無視する。

b) 樹冠層における熱収支

LAI の低い落葉樹林でも、日射は林外の50～80%程度に低下して、融雪量に影響を与えている。森林内の高さ z に伝達される日射量 $I(z)$ は式(5)で表すことができる。

$$I(z) = I_0 \times \exp(-f \times LAI) \quad (5)$$

ここで、 f は葉の傾きを表す係数 (=0.5)、また、長波放射についても同様に式(6)により樹冠の影響を考慮した。

$$L(z) = La \times \exp(-1.66 \times LAI) \quad (6)$$

ここで、 $L(z)$ は高さ z における下向き長波放射、 La は樹冠上面

に届く長波放射量である。なお、本研究では樹高を10mとして解析を行った。

4. 結果と考察

本論文のモデルにより熱収支計算を行い、山形での積雪水量を求めた。その結果、AMeDAS 観測所および森林内(1100m)での実測値との検証結果は良好であった。その際に推定した融雪量から、泉ら²⁾が日本全域での積雪量を推定する際に用いた式(7)に示す degree-day 法から月毎の融雪係数を LAI の関数として決定した。

$$SM = K \Sigma T \quad (7)$$

ここで、 SM (mm)は融雪量、 K は融雪係数 (mm/day/°C)、 ΣT は 0°C 以上の日平均気温の積算温度(°C)である。

図-1 は山形での 12, 4, 5 月の融雪係数 K と LAI の関係式である。なお、LAI と NDVI の関係式は石井ら⁴⁾が NOAA 衛星を用いて日本全域で推定した式を用いた。12~3 月においては融雪量が 4, 5 月に比べて極端に少ないため、一つの式で融雪係数を決定した。ただし、NDVI は変化するので融雪係数が一定ではなく、春先の展葉の効果を考慮した式となっている。

図-1 での風速の推定には対数則を用い、樹冠の最先端部である樹高 10m から積雪面まで減衰させて計算しているが、標高による補正は行っていない。しかし、広域展開するためには、風速を標高補正する必要がある。そこで、北海道、本州全域における過去 22 年間(1979-2000 年)の月毎の平均風速と標高のデータから補正式を算出した。その補正式から融雪係数、LAI および標高の関係式を求めた(図-2)。図-2 に示す式においても図-1 同様に 12~3 月は同じ式を用いた。図-1, 2 に示す式から融雪量が最も大きくなる 4 月において融雪係数が最も大きくなるという関係式が得られた。そして、図-3 には図-2 に示す式を用いて日本全域に融雪係数を分布させたものであり、2005 年 4 月の融雪係数分布である。融雪係数を推定する式に標高の項を入れたことによって低標高の都市域、高標高の山岳域での融雪係数を詳細に分布させられた。

図-4 に図-3 の融雪係数を用いて推定を行った SWE と日本全域の融雪係数を $K = 4.0$ として計算した SWE との差を示す。 $K = 4.0$ と比べて特に山岳域において低い値を示しており、このことは、融雪係数を一定として推定を行った際に課題であった SWE の過大評価が分布的に与えることで改善された。

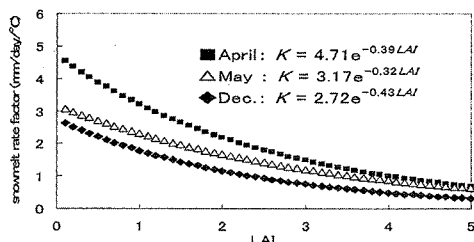


図-1 融雪係数 K と LAI の関係

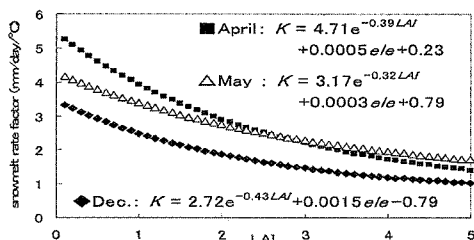


図-2 融雪係数 K と LAI および標高 ele (m)の関係

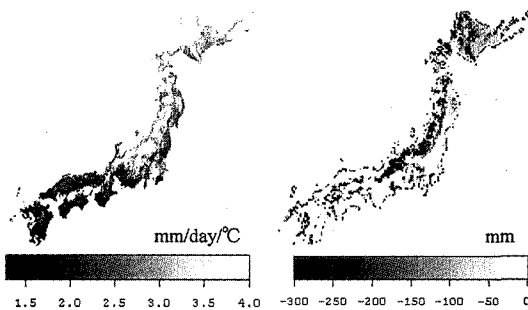


図-3 融雪係数分布 (2005.4)

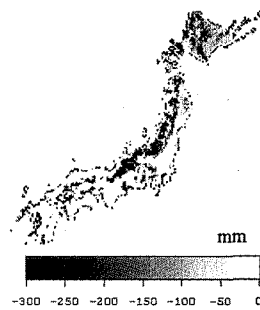


図-4 融雪係数の違いによる SWE の差(2005.2.14)

5. まとめ

本研究から、融雪係数を LAI および標高で求める関係式が得られた。そして、日本全域での SWE の推定の際、課題であった SWE の過大評価が特に山岳域での改善が顕著に見られた。謝辞

本研究を進めるにあたり「地球環境研究総合推進費」の援助を受けました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) 戸塚岳大・風間聡・沢本正樹：森林が積雪量に及ぼす影響に関する検討，水工学論文集，第49巻，(I)，pp295-300，2005。
- 2) 泉宏和・風間聡・戸塚岳大・沢本正樹：全日本の積雪水量，積雪深，全層積雪密度分布推定，水工学論文集，第49巻，(I)，pp301-306，2005。
- 3) 大久保玲子・山崎剛：降雪遮断の水文気象学的な影響，水文・水資源会誌，vol.13，No.5，pp362-370，2000。
- 4) 石井孝・梨本真・下垣久：衛星データによる葉面積指数 LAI の推定，水文・水資源会誌，vol.12，No.3，pp210-220，1999。