

温暖多雪地域に適用可能なアルベドモデルの検討

伊豫部 勉・河島 克久・外狩 麻子

1. はじめに

雪面における雪粒の粒径, 含水率, 不純物濃度は, 雪面での短波放射エネルギーの反射率 (アルベド) に影響を及ぼす重要な因子となる. 雪面の融解エネルギーに占める短波放射量の割合が多い積雪地域では, 雪面アルベドの変化が熱収支を直接的に支配しているといっても過言ではない. 一方, 気温と日射量を指標とした融雪強度を推定する手法が世界各地の水河や季節積雪で検討され (Pellicotti, et al., 2005, 松元ら, 2010), 雪面アルベドにおいても簡易な気象要素から推定する手法の需要が根強い. そこで本研究では, 新潟県魚沼市大白川地区の観測データを用いて, 温暖多雪地域に適用可能なアルベドモデルの検討を行った. さらに, 雪面アルベドは降雪に伴う新雪層の消失直後に急激に低下する性質があることから, 表面融雪量モデルを用いて新雪層の消失時期を推定する手法も検討した.

2. アルベドモデル

2.1 山崎ら (1994) のモデル

日平均気温, 日降水量を指標とする日平均アルベドの推定方法として, 山崎ら (1994) のアルベド実験式が知られている. 山崎らは, 札幌の北大低温研露場において観測された1984~1988年の気温, 降水量, 短波放射量データをもとに, アルベドが時間の経過によって低下していく様子を次のような指数関数で表現した.

$$\begin{aligned} a_0 &= a_{max} \\ a_n &= (a_{n-1} - a_{min})\exp(-1/k) + a_{min} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで, a_n は降雪があった日よりn日経過した日の日平均アルベド, a_{max} , a_{min} はアルベドのとり得る最大値, 最小値, k はアルベドの低下の速さを表すパラメータである. k は以下のように計算を行う.

1) 日降水量をPr, 日平均気温を T_{mean} として, $Pr \geq 3\text{mm}$ かつ $T_{mean} \leq 2.0^\circ\text{C}$ のとき降雪があったものとし, 降雪があった日のアルベドは $a_0 = a_{max}$ とする.

2) 次の降雪日まで日平均アルベドは指数関数的に a_{min} に向かって低下する.

ここで a_{min} はデータより0.40とした. 計算上未知変数となる a_{max} と k は実測データを参考にしながら次の関数形で与える.

$$\begin{aligned} a_{max} &= -0.12T_{mean} + 0.76(T_{mean} \geq 0.1^\circ\text{C}) \\ &= 0.88(T_{mean} \leq -1.0^\circ\text{C}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} k &= -4.9T_{mean} + 4.5(T_{mean} \leq 0.1^\circ\text{C}) \\ &= 4.0(T_{mean} \geq 0.1^\circ\text{C}) \end{aligned} \quad (3)$$

2.2 山崎ら (1994) の改良モデル

札幌で開発されたモデルを温暖な本州の新潟県に適用すると、推定結果が過小評価になることから、アルベドの低下の速さを表す k の値を次のように変更し、

$$\begin{aligned}k &= -8.0T_{mean} + 14.8(T_{mean} \leq 0.1^\circ\text{C}) \\ &= 14.0(T_{mean} \geq 0.1^\circ\text{C})\end{aligned}\quad (4)$$

k の値が大きくなるように設定した。さらに、降雪判断基準を $Pr \geq 2.5\text{mm}$ かつ $T_{mean} \leq 3.0^\circ\text{C}$ に変更し、このときの a_{max} の条件のみ下記の通りとした。

$$\begin{aligned}a_{max} &= -0.08T_{mean} + 0.85(T_{mean} \geq 0^\circ\text{C}) \\ &= 0.85(T_{mean} \leq 0^\circ\text{C})\end{aligned}\quad (5)$$

2.3 降雪に伴う新雪層の消失時期を考慮したアルベドモデル

式 (2) ~ (5) を基本とするが、降雪日の日降水量 (mm day^{-1}) をそのまま新雪層の水当量とみなす。降雪日の日降水量が以下の式 (6) より推定される日融雪量 (mm day^{-1}) と等しくなった日を新雪層の消失日と判定し、降雪日翌日のアルベド (a_I) を降雪日直前のアルベド (a_{-I}) に戻す。

$$Q_M = 0.39 K_d + 10.6 T_a - 29.1 \quad (6)$$

ここで Q_M は融雪熱量 (W m^{-2})、 T_a は気温 ($^\circ\text{C}$)、 K_d は全天日射量 (W m^{-2}) である。なお、右辺の各定数は、大白川で得られた過去3冬期 (2007/08~2010/11) の平均値を用いた。

3. 結果

解析期間2012年3月1日~5月9日について、新潟県魚沼市大白川地区での観測データをもとに、各モデルの再現性を調べた結果、山崎ら (1994) の改良モデルおよび降雪に伴う新雪層の消失時期を考慮したアルベドモデルはいずれも従来のモデルに比べてRMSEが小さくなり、再現性が向上した。一方、パラメータのみを最適化した改良型でも、新雪層の消雪時期を考慮したモデルと同程度のRMSE (0.06) となったが、年によっては新雪層の消雪時期を考慮したモデルの方が再現性が良い場合もあった。

参考文献

- 1) Pellicciotti, F., Brock, B., Strasser, U., Burlando, P., Funk, M. & Corripio, J.(2005) An enhanced temperature-index glacier melt model including the shortwave radiation balance: development and testing for Haut Glacier d' Arolla, Switzerland. *Journal of Glaciology*, 51, 573-587.
- 2) 松元高峰, 河島克久, 外狩麻子, 島村誠 (2010) 気温・日射量を指標とする表面融雪量モデルと積雪浸透モデルとを組み合わせた積雪底面流出量の推定. *雪氷*, 72, 255-270.
- 3) 山崎剛, 田口文明, 近藤純正 (1994) 積雪のある森林小流域における熱収支の評価. *天気*, 41, 71-77.