

## 多雪流域における気温指数法を用いた融雪流出解析

### Snowmelt runoff analysis using temperature-index models in a heavy snow basin

○田中暁大, 田中丸治哉, 多田明夫

○Akihiro TANAKA, Haruya TANAKAMARU and Akio TADA

**1. はじめに** 融雪解析法には、熱収支法のような物理的手法があるが、最近では、必要なデータが比較的少なく、決定すべきパラメータも少ない水津<sup>1)</sup>の簡易熱収支法がしばしば利用されている。その一方、気温日数法 (degree-day 法) を始めとする経験的手法も広く利用されてきた。気温日数法は古くから知られた方法であるが、近年でも同法を改良した気温指数法 (temperature-index 法<sup>2)</sup>) が複数提案されている。本研究では、実用的で精度の良い融雪解析法を見出すことを目的として気温指数法の適応性を検討した。ここでは、代表的な気温指数法及び簡易熱収支法を観測露場での積雪水量の推定、多雪流域での融雪流出解析にそれぞれ適用し、これら手法の適応性を比較した。

**2. 解析資料** 山形県・新庄, 新潟県・長岡 (防災科学研究所), 新潟県・十日町 (森林総合研究所) に設置された観測露場では、積雪水量 (SWE) と気象データが観測・公開されている。これら観測露場の 14~23 冬期間データを使用した。さらに、宮城県の鳴子ダム流域 (210.1km<sup>2</sup>) を対象流域とした。解析資料は、対象流域の日降水量, 日流出高, 流域近傍のアメダス川渡における日平均気温, 日照時間, 積雪深, 新庄測候所の日単位気象データから補完法で推定した実蒸発散量であり, 2002 年 11 月 1 日~2009 年 10 月 31 日の 7 年間を解析期間とした。流域内の標高や傾斜を把握するために DEM データ (標高・傾斜度 3 次メッシュデータ, 1km メッシュ) も利用した。

**3. 解析手法** 積雪解析: ある気温帯では、日平均気温に応じて降雪発生率が線形的に変化するとした水津<sup>1)</sup>の方法を用いた。気温指数法による融雪解析: 従来の気温日数法と 1999~2005 年に発表された 4 モデルを検討対象とした。必要な観測データは気温であるが、これらの 4 モデルは大気外日射量を用いている点, 未知パラメータが 2 個である点が気温日数法とは異なる。観測露場での積雪水量の再現性が最良であったモデルを **Table 1** に示す。

#### 簡易熱収支法による融雪解

析: 水津が提案した熱収支に基づくモデルであり、必要な観測データは気温, 降水量, 日射量ないし日照時間である (**Table 1**)。顕熱・潜熱輸送量を SL ファクターという唯一のパラメータを用いて表現している点が特徴である。

#### **4. 積雪水量の推定** 上述の

**Table 1** 解析に使用した融雪モデル  
Snowmelt models applied to analysis

モデル	計算式	出典
Temperature-index model	$M = (MF + SRF \cdot S_0) \cdot T \quad T \leq T_0$ $= 0 \quad T > T_0$	Hock(1999)
簡易熱収支法	$Q_M = Q_N + Q_S + Q_E + Q_P + Q_C + Q_G$	水津(2001)

$M$ : 融雪強度 (mm・d<sup>-1</sup>),  $MF$ : 融雪係数 (mm・d<sup>-1</sup>・°C<sup>-1</sup>),  $SRF$ : 日射係数,  $T$ : 気温 (°C),  $T_0$ : 融雪発生気温 (=0°C),  $S_0$ : 大気外日射量 (W・m<sup>-2</sup>),  $Q_M$ : 融雪熱量,  $Q_N$ : 純放射量,  $Q_S$ : 顕熱輸送量,  $Q_E$ : 潜熱輸送量,  $Q_P$ : 降雨による搬送熱,  $Q_C$ : 積雪層内の貯熱変化量,  $Q_G$ : 地中からの伝導熱。1 日当たりの融雪量は  $Q_M$  を氷の融解潜熱で除して得られる。

神戸大学大学院農学研究科, Graduate School of Agricultural Science, Kobe University

キーワード: 降雪・融雪, 長期流出, 気温指数法, 簡易熱収支法, タンクモデル

観測露場において、同定期間における積雪水量の経時変動を再現できるように未知パラメータを決定した後、同定・検証期間における再現誤差をそれぞれ調べた。その結果、各手法による再現性に大きな差はないものの、Table 1 に示した Hock<sup>2)</sup>の気温指数法の再現性が最良であった。Fig.1 に簡易熱収支法、Hock の気温指数法、気温日数法による積雪水量の再現結果（十日町、11～4月の4冬期間で検証期間）を示す。

**5. 鳴子ダム流域の融雪流出解析** 流域に含まれる DEM の 210 メッシュについて、それぞれ Hock の気温指数法、簡易熱収支法による融雪解析を実施し、得られた融雪量の合計を菅原の直列4段タンクモデルに入力して、長期流出計算を実施した。標高と降水量の関係は認められなかったため、全メッシュに流域平均降水量を与えた。気温指数法のパラメータには新庄の値を流用し、簡易熱収支法のそれはアメダス川渡の消雪日を再現できるように決定した。タンクモデル定数（16個）は、前半4年間を同定期間、後半3年間を検証期間として、相対二乗誤差平方根を最小化するように SCE-UA 法で最適同定した。

Table 2 に長期流出量（日流出高）の再現誤差を示す。ここで、RMSE は平均流量で除して無次元化しており、水収支誤差 WB は総流出高の相対誤差である。また、Fig.2 にハイドログラフの再現結果を例示する。融雪の影響がない夏期は、気温指数法、簡易熱収支法による結果はどちらも概ね良好で、これらの再現性に大差はない。融雪期については、簡易熱収支法は、3月の小ピークは概ね説明できているものの、4月の主ピークが過小推定になっており、気温指数法は、3月の融雪による応答が説明できていないが、4月の主ピークの再現性は概ね良好である。Table 2 の再現誤差によれば、同定・検証期間ともに気温指数法の方が再現性はやや良好である。気温指数法による融雪流出解析には、まだ改良の余地があるが、モデルの単純さを考えれば、融雪解析法として十分な実用性を有することが示された。

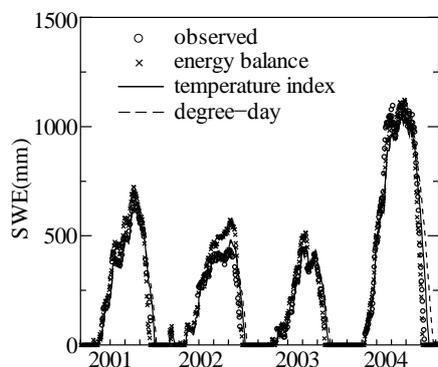
**Table 2** 長期流出量の再現誤差  
(上段：気温指数法，下段：簡易熱収支法)  
Errors of long-term runoff

期間	RMSE	RR	RE	WB
同定期間	0.3805	0.2966	0.2190	-0.0200
検証期間	0.6000	0.4127	0.3047	-0.0118
全期間	0.4826	0.3512	0.2558	-0.0166

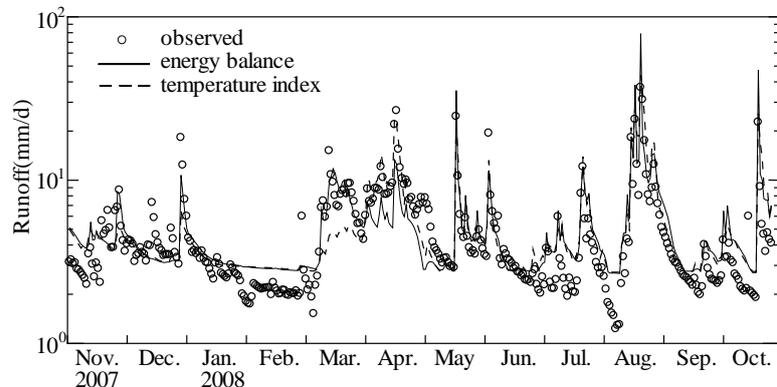
  

期間	RMSE	RR	RE	WB
同定期間	0.6146	0.3383	0.2477	-0.0200
検証期間	0.5609	0.3974	0.3067	-0.0095
全期間	0.5933	0.3648	0.2730	-0.0156

RMSE：平均二乗誤差平方根，RR：相対二乗誤差平方根，RE：相対誤差，WB：水収支誤差



**Fig.1** 積雪水量の再現結果（十日町）  
Estimated result of SWE



**Fig.2** 長期流出量の再現結果  
Estimated result of long-term runoff

引用文献 1)水津重雄：日本雪氷学会誌，雪氷，63(3)，pp.307-318，2001，2) Hock, R. : Journal of Glaciology, 45(149), pp.101-111, 1999