

TOPMODEL による分布型融雪流出解析の試み

Approaches of distributed snowmelt runoff analysis by TOPMODEL

○高久 匠*, 石井 渉**, 丸山智仁*, 倉島栄一*
Takaku T. *, Ishii W. **, Maruyama T. *, Kurashima E. *

1. はじめに

TOPMODEL(Topography based hydrological model)は1979年にBeven and Kirkbyによって考案された, 集中定数型と分布定数型の両方の長所を合わせ持つ流出モデルである. 近年のGISの普及により, モデル計算に必要な地形指標がDEMデータから容易に求めることができるようになり, ふたたび注目されるようになった. かつてTOPMODELは1995 FORTRAN versionが公開されていたが, 現在ではパッケージ”topmodel”(Wouter Buytaert, 2011)としてC言語で実装されたモデルをR言語上で実行するようになり, 最適化などの手法の組み込みが困難であるので, C言語のみで実行できるよう汎用化を図った. さらに融雪モデルのSNTERMと組み合わせて融雪流出解析を試みた.

2. 対象流域と観測

本研究の対象地は岩手県西和賀町を流れる北上川水系和賀川支流志賀来川流域である(Fig.1). 西和賀町は奥羽山脈に囲まれ, 平年値で最大で2m以上の積雪がみられる豪雪地帯である. Fig.2に示す流域の植生はスギ・ヒノキ・サワラ植林が69%を占め, 次いでチシマザサ・ブナ群団が24%である. 流域末端(東経140°77', 北緯39°39')において, 気象要素(気温, 相対湿度, 4成分放射量, 風速, 降水量), 積雪深および河川水位の観測を行った. 流量はH-Q曲線を作成し, 水位から求めた.

3. 解析方法

TOPMODELは, 標高から算出される地形指標によって流域地点の流出挙動が決定される. それぞれの地点(セル)では根群域, 不飽和域, 飽和域の3つの貯留部分を持つ. 根群域から不飽和域への排水, および不飽和域からの地表流出または飽和域への流水は地点ごとに分布型として計算し, 飽和域から河道への流出は集中型として計算する. TOPMODELの計算においては, 地形指標やグリッドから流域末端までの洪水到達時間を適当な階級ごとにまとめて計算する方法もとられるが, グリッドごとに地表に到達した融雪量を入力するため, 個々に計算した. パラメータは, 無雪期における最大の日融雪量程度の降雨イベントを選定してSCE-UA法によって同定した. なお評価関数は, Nash-Sutcliffe指標を用いた. 積雪中の融雪水フラックスと積雪深の推定は, 精緻なモデルとして知られているSNTERM

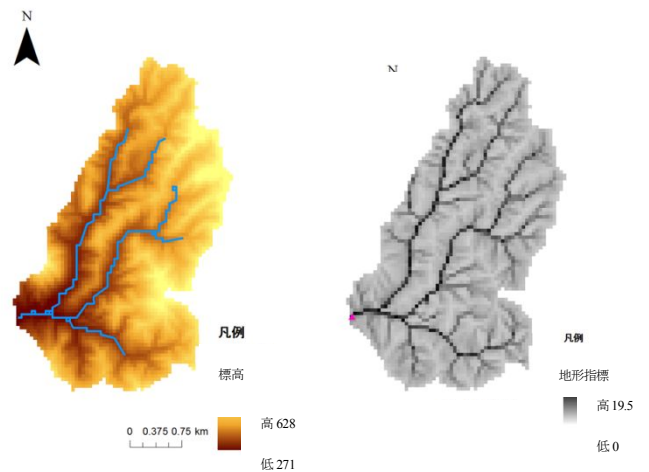


Fig.1 流域の標高と地形指標の分布
Distribution of topographic index and altitude

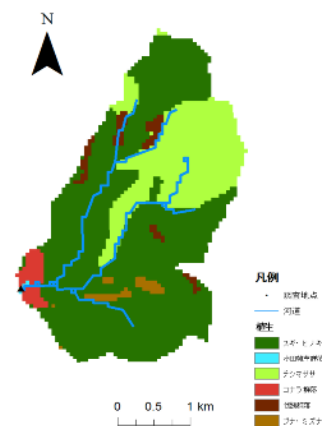


Fig.2 流域の地覆状態
Distribution of vegetation type

*岩手大学農学部, **農村振興局

*Faculty of agriculture, Iwate University, ** Rural Development Bureau

キーワード: 融雪流出解析, TOPMODEL, 地表到達量

を用いた。このモデルは積雪をいくつかの層に分割し、各層における質量保存則とエネルギー保存則に基づく積雪中の浸透フラックスと、熱収支を支配する基本式から構成されている。熱と水の移動は鉛直1次元として扱われ、分割された積雪層内の浸透フラックスが求められる。TOPMODEL への入力値は、積雪の底層の融雪フラックス（地表到達量）である。流域への適用にあたり、晴天指数から、経験式によって観測された日射量を直散分離し、セルの傾斜角と方位角によって、セルごとの日射成分を推定した。また、標高による温度低減を考慮した。流域の4月1日時点の平均初期積雪量を水収支から求めたところ流域末端の1.09倍であったので、慣例的な方法に沿って標高を4分割し、その標高範囲のセルの初期積雪深を Table 1 のように定めた。なお流域の初期の積雪密度は気象観測点で観測された値 (490kg m^{-3}) と同じものと仮定した。

3. 結果と考察

Fig.3 は 2013 年 7 月 8 日にみられた総雨量 62mm による出水について、TOPMODEL のパラメータを同定したときの計算結果を示したものである。Nash-Sutcliffe 指標は 0.990、相対誤差は 0.045 と良好な結果が得られた。このパラメータを用いて、融雪によると思われる連続した出水が観測された無降雨期間（2013 年 4 月 15～18 日、4 月 24 日～27 日）を対象として融雪流出解析を試みたところ、いずれも流出量が過大に算定された。Fig.2 で示したように、志賀来川流域の植生は針葉樹が優勢で、日射が遮断されると考えられるが融雪モデルの SNTHERM の適用にあたって、その影響を考慮していないため、融雪による地表到達量が過大に推定されたことが原因として考えられる。そこで、流域平均の地表到達量と流出量の比 f を求め、セルで算出される地表到達量に f (0.45) を乗じて TOPMODEL に入力した結果を Fig.4 に示す。同定された TOPMODEL パラメータのうち、根群域の初期貯留不足量を表すパラメータの値が、同定時の夏季の乾燥状態の土壌を反映しているため、計算開始時点では流出量が過小に評価されているが、相対誤差は 0.113 で良好な結果が得られた。

4. まとめ

TOPMODEL と SNTHERM との組み合わせで、融雪流出解析を試みた。公開されている TOPMODEL の R 言語パッケージを C 言語のみで運用してパラメータを決定し、分割されたセルにおいて SNTHERM で推定される地表到達量を入力して融雪流出解析を試みた。流出率に相当する f を導入して良好な結果が得られたが、流域内の気象要素に関連すると思われる f の意味の考究が課題である。

Table 1 初期積雪深
Initial snow depth

地帯	標高範囲 [m]	面積比率 [%]	初期積雪深[m]
0	272		1.59
1	272～361	17.6	1.65
2	361～450	46.8	1.72
3	450～539	29.6	1.78
4	539～628	6.0	1.85

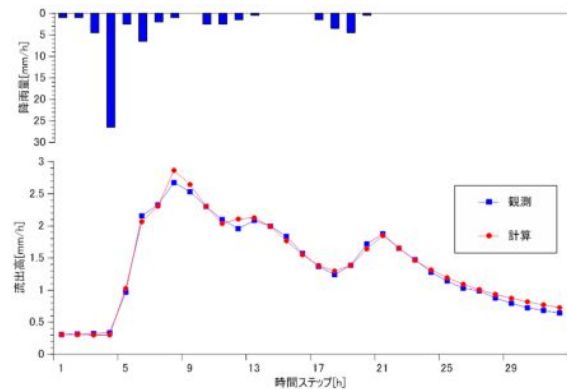


Fig.3 パラメータの同定時の計算流出高
Calculated runoff when parameter was optimized

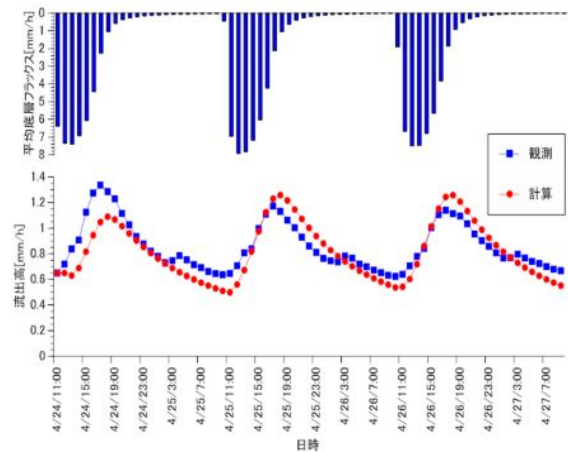


Fig.4 f を導入した融雪流出解析
Snow melt runoff analysis that introduced runoff ratio