

II-30

大流域に適用可能な修正TOPモデルの開発

山梨大学大学院 学生員 敷 天其
 山梨大学工学部 正 員 竹内邦良
 山梨大学工学部 正 員 石平 博

1. はじめに

分布型と集中型モデルの利点と共に持っているTOPMODELは、BevenとKirkbyによって開発されてから約20年間に渡って50カ国で適用、改良されてきているが、今まで検討された流域の面積は数百km²で、使われたグリッドサイズも120m以下である(Beven, 1997)。また、分布型流出解析モデルを構築するとき、手動または実河川データで窪地を処理することは、特に大規模流域の場合、非常に困難である。本研究では、窪地の全自動処理方法、ブロック型TOPMODELとMuskingum-Cunge法の組み合わせを試み、開発したモデルを大規模流域へ適用し、大きいメッシュサイズの場合での長短期流出解析の妥当性を検討した。

2. モデルの概要

2-1 擬河道網：窪地の全自動処理

擬河道網の作成において、使用するDEMに窪地がなければ、落水線の交差、向き合い、loop等の問題は生じないが、実際には、多数の窪地が存在する。本研究では、流域の地形走向を考慮し、数式 $dh=h_0(1-\lambda(\alpha i+\beta j)/(\alpha i_{max}+\beta j_{max}))$ によって、元のDEMにおける窪地の標高を微修正することにより、窪地を処理した。ここで、 dh は窪地標高の増量で、 h_0 は dh の初期値で、 λ 、 α 、 β は地形走向係数で、 i 、 j は窪地の位置座標を表す。一回修正してから新しい窪地が出てくるが、窪地を全部解消するまでこの処理を繰り返す。ただし、修正後の窪地標高は落水線が確定でき、かつ周囲8点の平均標高より低くなるように修正する。こういった標高修正法で、GLOBE(Global Land One-Km Base Elevation)の1kmグリッドDEMを用い、流域面積それぞれ3500km²と20000km²の日本富士川流域と中国の岷江流域における擬河道網を作成した。結果は、実河道網とよく合っており、その方法の妥当性が確かめられた。

2-2 流出モデル：ブロック型TOPMODEL

TOPMODELにおける流出は、Fig. 1に示すように表面流出と地下流出より構成され、表面流出は飽和(寄与)域からの飽和超過流出で、地下水勾配は地形勾配と等しいと仮定している。各メッシュの流出は、全流域の平均飽和不足 S と平均土壌-地形指標 γ 及び各メッシュの土壌-地形指標に依存する。その指標は地形、土壌の関数で、その空間分布は重要である。以下は、提案したブロック型TOPMODELの構造である。

- (1) ブロックとグリッド：Fig. 2に示すように、全流域を任意サイズの矩形ブロックで分割し、グリッドサイズは、GLOBEの30"×30" (0.5~1.0km)グリッドである。

- (2) 各ブロックの平均飽和不足分(単位：m)：

$$S(t+1)=S(t) \cdot Q_v(t)+Q_b(t) \quad (1)$$

ここで、 t は時間stepで、 $Q_v(t)$ と $Q_b(t)$ は地下水の

補充と流出総量(メートル)である。

- (3) ブロック k のグリッド i における時間 t の飽和不足分：

$$S(i,t)=S(t)+m(\gamma(k) \cdot \ln(a_i/T_0/\tan \beta_j)) \quad (2)$$

ここで、 T_0 は浸透量係数(m²/h)で、 m は T_0 の通減率(メートル)で、 a_i はグリッド i の単位等高線当たりの集水面積(m²)である。 $S(i,t) \leq 0$ の場合では、グリッド i は飽和域とされる。

- (4) 根層貯留： $S_{rz}(i,t)=S_{rz}(i,t-1)+R(i,t) \cdot E(i,t)$ (3)

ここで、 R と E は降雨と蒸発散である。

- (5) 不飽和層貯留： $S_{uz}(i,t)=S_{uz}(i,t-1)+S_{rz}(i,t) \cdot S_{rmax}(i,t)$ (4)

- (6) 地下水への補充： $q_v(i,t)=\min(k_0 e^{S(i,t)/m}, S_{uz}(i,t))$ (5)

ここでは、 k_0 は飽和浸透係数(m/h)である。

- (7) 表面流出： $q_o(i,t)=S_{uz}(i,t) \cdot q_v(i,t) \cdot S(i,t)$ (6)

- (8) 地下水流出： $q_b(i,t)=T_0 e^{-S(i,t)/m} \tan \beta_j$ (7)

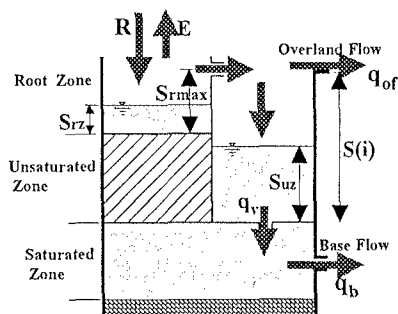


Fig. 1 TOPMODELの構造

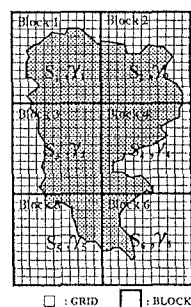


Fig. 2 流域の分割

キーワード：ブロック型TOPMODEL Muskingum-Cunge追跡 標高修正法 擬河道網 流出解析

〒400-0016 山梨県甲府市武田4-3-11 山梨大学工学部竹内研 Tel. 0552-20-8602 FAX 0552-53-4915

2-3 流出追跡：Muskingum-Cunge法（以下M-C法）

M-C法については、全グリッドについて同時に流量計算が出来ること、背水効果は計算できないが、波動拡散は計算でき、洪水波の河道追跡が出来ることなどの利点を持っている。擬河道断面は幅広矩形断面として、川幅 B は集水面積の関数として $B = a a^c$ で与え、Manning粗度係数は河道勾配によって変化させ、 $n_i = n_0 (\tan \beta_i / \tan \beta_0)^{1/3}$ で計算する。ここでは、 a 、 c は係数で、 $\tan \beta$ は河川勾配で、添字 i と o はメッシュ番号と河口を表す。追跡順番はメッシュにおける落水線の通過頻度の順番によって決める。

3. モデルの適用

3-1 対象流域及び利用したデータ

日本の本州における富士川流域を対象流域とした。その流域の面積は約3500km²で、本川の長さは約128kmである。地形モデルは、係数 $a=10$ 、 $c=0.5$ として窪地の全自動処理による擬河道網を使った。流域の分割は全流域を1ブロックとしてサイズは約88km×111kmであった。降雨データはAMeDAS 7箇所時間降雨データで、各メッシュの降雨量はThiessen法（最近傍法）で与えた。実測流量データは年間と洪水の場合それぞれ日平均流量データと時間流量データであった。蒸発散は約550mm/yとして季節的な変化を考慮し月毎に定数で与えた。シミュレーションの時間stepは全て1時間であり、河口でのManning粗度係数は $n_0=0.035$ とした。

3-2 パラメータ及びシミュレーション結果

シミュレーションのケースについては、1991年の年間流出（Fig. 3）を同定期間として、 T_0 、 m 、 Sr_{max} 、 S_0 等五つのパラメータは全流域同じで、計算流量と観測流量を合致させ、Nash 効率が高くなるように決定し、 $T_0=B(m^2/h)$ 、 $K_0=8(m/h)$ 、 $m=0.0385(m)$ 、 $Sr_{max}=0.005(m)$ とした。91.8%のNash 効率が得られた。それらのパラメータを用い、1990年の年間流出（Fig. 4）と1991年9月の洪水（Fig. 5）を検証ケースとして、それぞれ75.5%と94.4%のNash効率が得られた。シミュレーションと実測年間流出のtotal volumeの比率は1.18～1.25であった。

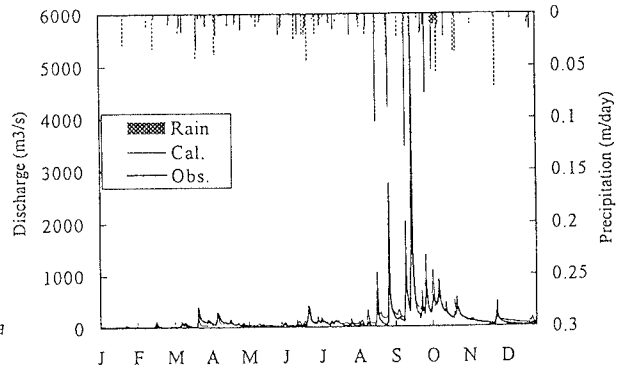


Fig. 3 1991北松野の日ハイドログラフ（同定ケース）

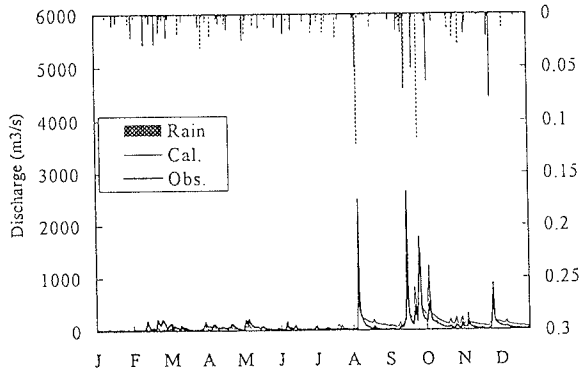


Fig. 4 1990北松野の日ハイドログラフ（検証ケース）

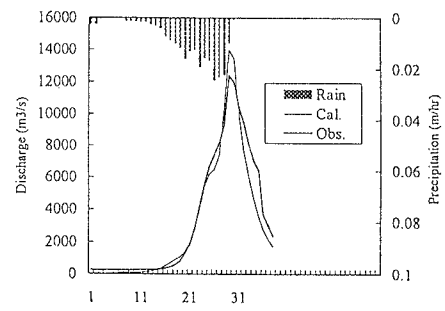


Fig. 5 1991.9北松野時間ハイドログラフ（検証ケース）

4. 結論

- 1) 数値標高地図に基づく擬河道網の、窪地処理の完全自動化便法として、標高修正法を提案した。
- 2) TOPMODELとMuskingum-Cunge法により、富士川流域全体の時間降雨量に基づく、1年間の流量のシミュレーションを行った。
- 3) 大流域への適用にあたっては平均飽和不足量評価の領域をブロック別にする方法を提案した。
- 4) 今後は水資源利用システム、及び、水質、土砂輸送モデルの組み込みを予定している。その上で、アジア太平洋Friendの比較水文水資源学研究に利用したい。

参考文献 Beven, K.J., Kirkby, M.J., 1978. A physically based, variable contributing area model of hydrology. Hydrological Science-Bulletin, 24(1), 43-69, 1979.