

流出特性と地形・地質との関係の再考

名古屋大学大学院生命農学研究科 ○堀田裕貴・田中隆文

1 はじめに

菅原のタンクモデル(図1)はモデル構造が比較的単純であり、過去の降水—流出関係を用いてパラメータを適切に調整すれば河川流量を精度よく推定できるため適用事例が多い。そうして求められたパラメータは物理的根拠に乏しいとされていたが、近年、平均流出経路長(内田ら, 2016)や土壌・表層地質(横尾ら, 1999)と関係性があることが報告されている。本報告ではこれらの報告を踏まえ、変動流出寄与域説を表現した半分布型モデルとして知られる(浅野ら, 2005) TOPMODEL (Beven et al, 1979)比較しながら、地形指数や土壌・地質とタンクモデルパラメータの相関関係を検討する。

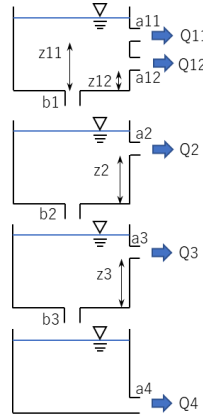


図1 菅原のタンクモデル

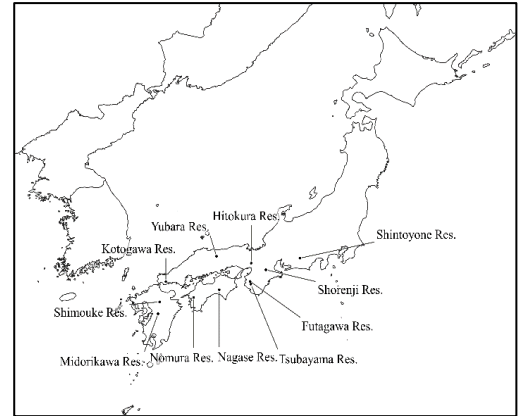


図2 対象流域

2 タンクモデルパラメータの同定

降雪の影響が少ないと考えられ、流域内の大半の土地利用が森林である流域面積 100 km²~400 km²の国内 12 流域(図2)において、カイ 2 乗誤差を目的関数として SCE-UA 法により表 1 に示すデータセットを用いて日単位のダム流入量を予測するタンクモデルパラメータを同定した。

表1 パラメータ同定に使ったデータセット

データセット	期間
流域降水量	CHIRPS Daily*をアメダスで補正
流域蒸発散量	MOD16A2.006* 2009~2016**
ダム流入量	ダム諸量データベース

*: Google Earth Engine収録

** : 湯原ダムのみ2009 ~ 2014

3 検討する流域内条件

本研究ではタンクモデルの各パラメータとの関係性がすでに指摘されている平均流出経路長や土壌・表層地質の透水性に加え土壌の飽和しやすさを表す地形指数である Topographic Wetness Index (Beven et al, 1979, 以下 TWI)とタンクモデルの各パラメータとの関係性を検討した。TWI は下式で表される。

$$TWI = \ln \frac{a}{\tan \beta}$$

a : 等高線長さ当たり集水面積(m)

β : 斜面勾配

なお TWI および平均流出経路長は基盤地図情報の 10 m メッシュ DEM を用いて算出した。一方、土壌・表層地質の透水性は国土数値情報の「土壌」、「表層地質」データを横尾ら(1999)の基準で分類し、透水性が大と判定された土壌・表層地質が流域内に占める面積率で代表させた。

4 流域内条件とタンクモデルパラメータの相関

4.1 流出経路長・土壌・表層地質とタンクモデルパラメータの関係

平均流出経路長は z11, a2 と正の相関が、土壌の透水性は z2 と正の相関がみられた。(図3) また、表層地質の透水性と b1, b2 は正の相関が見られたが、a12, z12 は表層地質の透水性が大きくなると値が小さくなる傾向を示した。(図3) b1 や b2 は下部タンクへの移行しやすさを表しており、地下浸透のしやすさを反映していると考えられる。また a12 は b1 の増加つまり下層タンクへの浸透率の増加に伴い値が小さくなったと考えられる。なお z12 の表層地質の透水性は後述の TWI 7 以上の面積率と強い正の相関を示しており、その結果 z12 は透水性大の表層地質の面積率と負の相関を示したと考えられる。

4.2 TWI とタンクモデルパラメータの関係

1 段目のタンクの流出口高さである z11 および z12 はそれぞれ TWI 7 以上および TWI 5.5 以上の面積率と最も強い負の相関を示した。(図4)

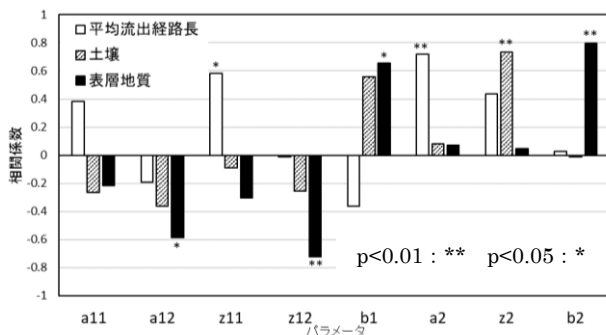


図3 平均流出経路長, 土壌, 表層地質とタンクモデルパラメータの相関

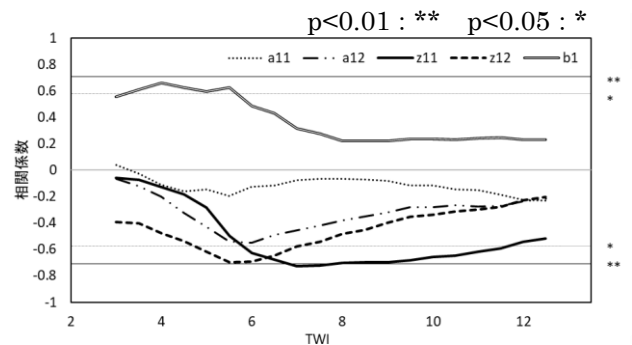


図4 TWI 基準値以上の面積率と1段目パラメータの相関係数

5 TOPMODEL との比較

本研究で用いた 12 流域に対し、TOPMODEL を用いて地下水面上昇による飽和地表流の発生をシミュレーションした。年平均値を比較すると、全 12 流域において $Q11 < \text{飽和地表流量 (TOPMODEL)} < Q11 + Q12$ の関係にあった。(図 6) また、総降水量に対し飽和地表流量が占める割合は流域間で 9~18% 程度、 $Q11$ の占める割合は 2~14% 程度とそれぞれ大きな開きがあり、大出水時の流域間の流出特性の違いが表現された。両者は強い正の相関が見られ、特にタンクモデルの相対誤差が 40% 未満の流域に限ればその決定係数はさらに上昇した。(図 7) このことから飽和地表流量とタンクモデルにおける $Q11$ は関連性があることが示唆される。TOPMODEL において各グリッドが飽和するかどうかは TWI が各時点の閾値以上であるかにより決定される。その閾値の推移する範囲は概ね 5~11 の範囲をとり、高水時には 7 以下となる(図 8) これはタンクモデルのパラメータ $z11$ と最も強い負の相関を持つ TWI の範囲と一致する。飽和地表流量は降水強度と飽和面積率の積で計算されることから飽和閾値以上の TWI をとる面積が多いほど、飽和地表流量が増加すると考えられる。飽和地表流量が多くなると $Q11$ も大きくなるという関係を前提にすると、タンクモデルでは $z11$ を小さくすることで両流出口までの水深を確保し $Q11$ の増加を表現したと考えれば TWI 7 以上の面積率と $z11$ の負の相関を説明することができる。

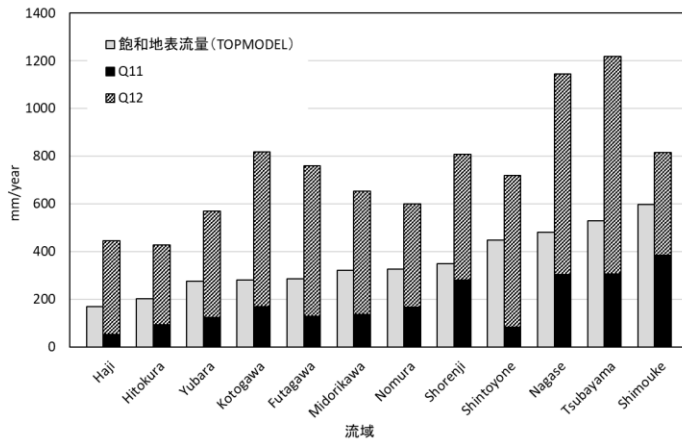


図 6 飽和地表流量と Q11, Q12 の関係

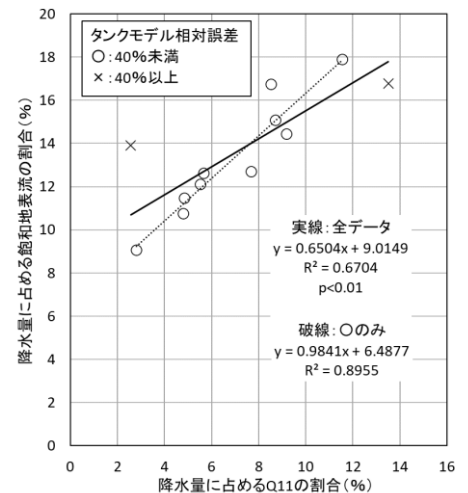


図 7 $Q11$ と飽和地表流が期間内総降水量に占める割合

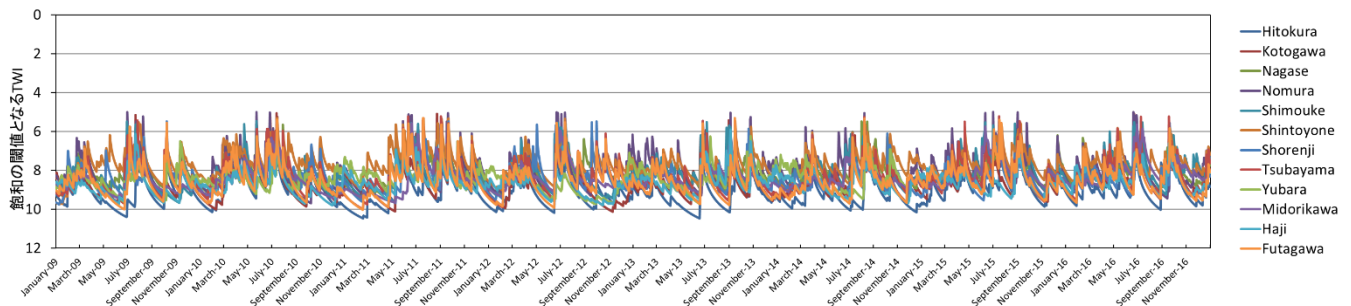


図 8 飽和の閾値となる TWI の推移

6 まとめ

- ① 森林流域において表層地質の透水性は菅原のタンクモデルの下層タンクへの浸透性に寄与することが再確認された。
- ② 森林流域において菅原のタンクモデルにおける流出量 $Q11$ を比較することで、地形、地質データを使わずに飽和地表流の生じやすさを推定することができることが示唆された。
- ③ 森林流域において菅原のタンクモデルのパラメータ $z11$ は流域内の TWI 分布により規定される飽和面積の拡大縮小のしやすさに影響を受けていることが示唆された。

<参考文献>

- 浅野ら(2005) : Variable Source Area Concept の次なる斜面水文過程の概念構築に向けた近年の試み : 斜面に降った雨はどこへ行くか?, 水文・水資源学会誌, vol.18, No.4, pp.459-468
- 横尾ら(1999) : 国土数値情報に基づくタンクモデル定数の推定, 水文・水資源学会誌, vol.12, No.6, pp.481-491
- 内田ら(2016) : 比較水文学的アプローチによる山地流域の降雨流出応答の影響因子に関する一考察, 地形, vol.37, No.4, pp.579-595
- Beven.K.J.et al. (1979) : A physically based variable contributing area model of basin hydrology, Hydrol. Sci. Bull., vol.24, No.1, pp. 43