構造的モデリングを用いて表現する新しい水循環モデルの構築

中央大学大学院　学生員　○岡部　真人
中央大学大学院　学生員　　呉　修一
中央大学　フェロー会員　　山田　正

１．はじめに

本論文は従来の分布定数系流出モデルと比べてより普遍的かつ容易に様々なモデルの組み込み･統合が可能な統合型洪水予測手法の構築を目的とし，分布型流出モデルを回路図強いては「絵」として表現する新しい水循環フレームの提案を行う．本手法の特徴は，各要素モデルに対して回路図を用いた表現を試みさらにその回路図を組み合わせることで水理学, 水文学等の専門知識を有さない人々にも容易に降雨流出計算が実行可能な分布型流出計算手法の基盤を提供する．

２．分布型流出モデルの回路図を用いた表現と回路図のみで実行可能な降雨流出計算

本論文で対象とするものは分布定数系理論であり, 各種流出素過程を空間的に取り扱う．本論文で表現する流域の概念図を**図-1** に，降雨流出過程の模式図を**図-2** に示す. **図-2** のように一つの斜面，河道といった要素モデル毎に一つのブロックを用いて表現を行い，それらを直接連結することで**図-1** と同義な回路図を作成する．

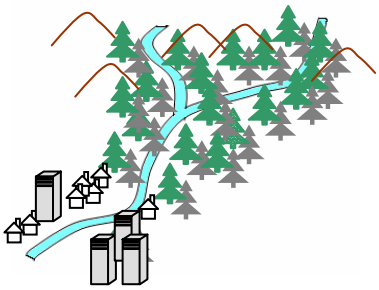

図-1　流域の概念図

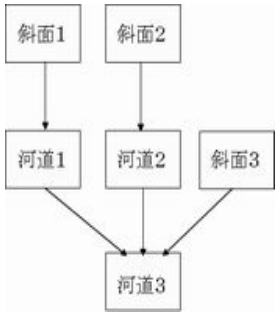

図-2　降雨流出過程の模式図

計算では回路図の上位に降雨を与えるブロックを個別に回路図として表現しすべての斜面ブロックの上位に配置することで降雨を与える．流出高を算出するためにはそのためのブロックを回路図の一番末端に配置することで求められる．降雨流出計算は回路図を組み立てるだけで実行可能となる．その一例を**図-3** に示す．

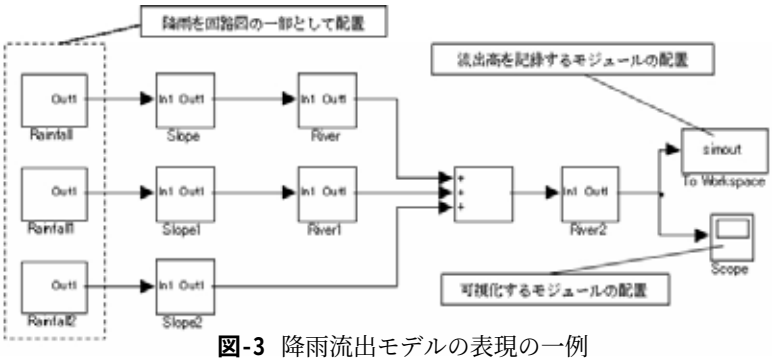

図-3　降雨流出モデルの表現の一例

３．回路図を組み合わせた降雨流出モデルの構築例

ここでは実際に降雨流出モデルを構築していく過程とその結果を示す．著者ら [2)]は従来から山地流域における降雨流出計算手法の提案を行っている．一般化した断面平均流速の式を連続式に代入し整理すると表面流に関する kinematic wave 方程式が得られ，さらに斜面長は実地形上の斜面長に比べ十分短いものとすると流出高に関する常微分方程式(1)式を得る．

$$\frac{dq_*}{dt} = a_0 q_*^{\beta}(r(t) - q_*) \quad (1)，ただし\ a_0 = aL^{\beta-1} = (m+1)\alpha^{\frac{1}{m+1}} L^{\frac{-1}{m+1}}, \quad \beta = \frac{m}{m+1}$$

また，$q_*(t)$：単位幅流量[mm^2/h]，$r(t)$：有効降雨強度[mm/h]，α：流出特性を表すパラメータ，γ：土壌の透水性を表す無次元パラメータである．斜面流下方向流れを表面流として扱う場合は Manning 則をとり，m=2/3 の値を用い，地下水流として扱う場合は飽和ダルシー則をとり，m=0 の値を用いる．河道における降雨流出の基礎式も同様に表現される. 断面平均流速に関してはマニング則で表現されまた連続式より Kinematic Wave 方程式が得られる．また斜面同様の近似をおこなうと流出高に関する常微分方程式(2)式を得る．

$$\frac{dq_{r*}}{dt} = a_{0r} q_{r*}^{\beta_r}\left(\frac{2q_{s*}(t)\cdot L}{B} - q_{r*}\right) \quad (2)，ただし\ a_{0r} = a_r L_r^{\beta_r - 1} = (m_r+1)\alpha_r^{\frac{1}{m_r+1}} L_r^{\frac{-1}{m_r+1}}, \quad \beta_r = \frac{m_r}{m_r+1}, \quad a_r = (m_r+1)\alpha_r^{\frac{1}{m_r+1}}$$

ここに，h_r：水深[m]，q_r：単位幅流量[m^2/s]，B：河道幅[m]，i_r：河道勾配，n_r：マニングの粗度係数であり，マニング則を用いていることからm_r=2/3となる．添字rは河道を表す．

キーワード　分布定数系降雨流出モデル，構造的モデリング，水循環モデル，
連絡先　〒112-8551　東京都文京区春日 1-13-27　中央大学大学院　ＴＥＬ03-3817-7409 E-mail：masato_okabe@civil.chuo-u.ac.jp

上記の斜面の基礎方程式(1)と河道の基礎方程式(2)をそれぞれモジュールとして組み立てると**図-4,5**のように表現される．このモジュールを組み合わせて単一の河道の両側に長さ一様の矩形斜面を有する単純な流域を回路図で表現すると**図-6**のように表現される．

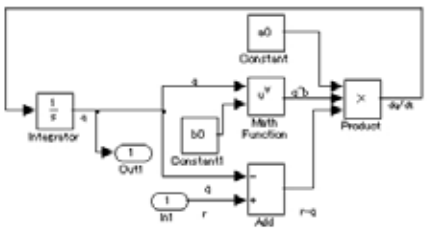

図-4　斜面の基礎方程式の回路図

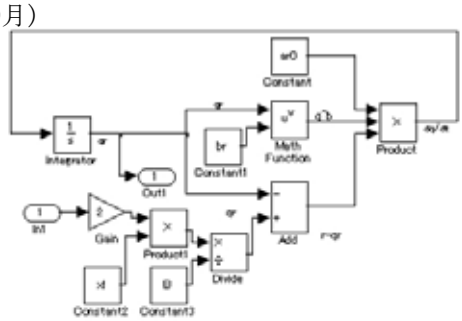

図-5　河道の基礎方程式の回路図

この回路図の組み合わせを組み合わせてとある流域を表現し，さらに「絵」としての表現を行うと**図-7**のように表現される．この図では河道および山地斜面を組み合わせることで表現をしておりその流出計算結果の一例を**図-8**に示す．「絵」とした表現を行うことによって山地斜面を市街化流域に置き換えるという作業のみで新たな流出計算が実行可能となる．「絵」の組み替えにより市街化の進行した流域の表現例を**図-9**に，また降雨流出計算結果の一例を**図-10**に示す．

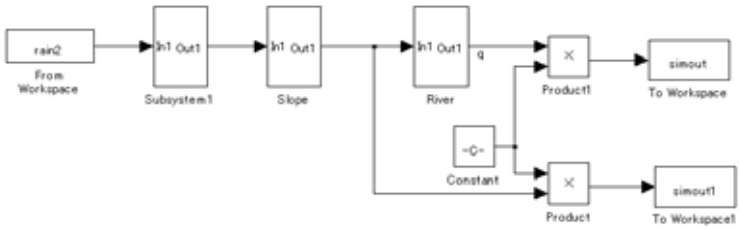

図-6　斜面の回路および河道の回路を組み合わせた降雨流出モデル

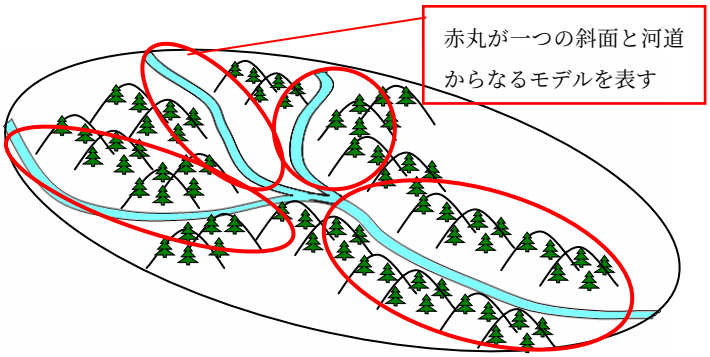

図-7　「絵」として表現した流域の一例

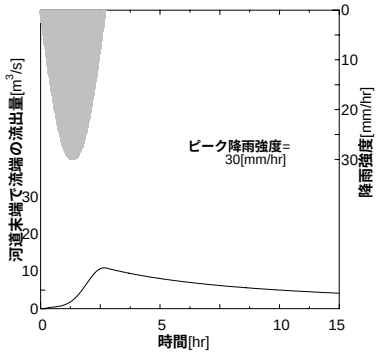

図-8　市街化前の河道末端での流出高の一例

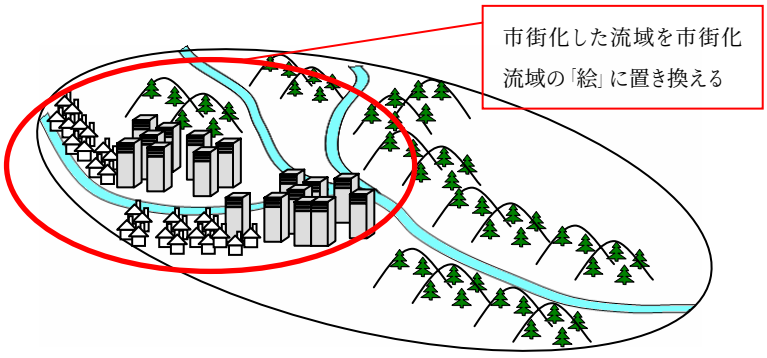

図-9　市街化した流域の表現の一例

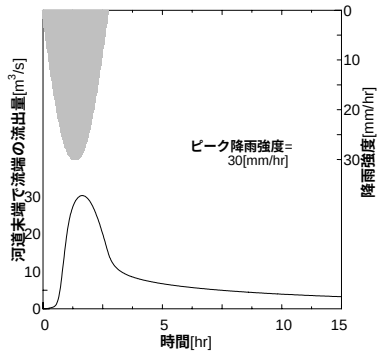

図-10　市街化後の河道末端での流出高の一例

4．まとめ

本論文は分布型流出モデルを「絵」として表現する新しい降雨流出計算手法の基盤の提案を行ったものである．これにより従来の分布型流出計算手法に比べて容易にモデルの統合および改良が可能となることを示した．また，モデルそのものを回路図として組み立てを行いモジュール化することで流出計算の回路図や「絵」としての表現を単純な形で表すことが可能となった．今後はダムや貯水池といった要素を増やすことで多様な降雨流出モデルを構築可能にする．

参考文献

1）　小葉竹重機,石原安雄：タンクモデルおよび集中面積図を利用した洪水流出モデルの総合化,土木学会論文報告集，　No.337，pp.129-135,1983

2）　呉修一，山田正：降雨流出における斜面と河道の効果に関する研究，水工学論文集，Vol.50, p.57, 2006