

グリッド数値地形モデルにおける流域斜面の適正表現に関する研究

山梨大学大学院 学生会員 青木 謙治
 山梨大学工学部 正会員 砂田 憲吾
 (株)協振技建 近藤 克洋

1. はじめに

河川流域の水文条件の変化に対応するために地理情報システムや各種水文情報を用いた分布型流出モデルは有用である。水文流出解析において分布流出モデルを適用する場合、実流域の地形特性を忠実に再現したものが要求され、モデルの粗視化（スケールアップ）の可能性についての検討が必要である。従来の分布型流出モデルの河道についてはたとえば福井らによって実河道を忠実に表現し得るモデルの作成方法が提案されている。¹⁾ しかし、流域斜面の適正な表現に関する研究は未だ十分とはいえない。そこで本研究では、分布型流出モデルにおける斜面部分のより合理的な表現方法について検討した。

2. 擬河道網と粗視化

数値標高モデル(DEM :Digital Elevation Model)に基づき、流域に満ちた雨水を周囲の格子点8方向のうち最急勾配に追跡して格子点間を結ぶ落水線を決め、全ての格子点から流域出口まで辿ることにより擬河道網を算出する。次に格子点に上流側から順番に番号をつけ、この番号が1の点を水源とするモデルを source1、1を消去し2以上の点を水源とするモデルを source2、以下 source3,4…と水源を定義してモデルを粗視化する。

対象流域は富士川支川の早川流域(509km²)である。早川流域では流域モデルとして、500m メッシュ source3、1000m メッシュ source1 が実流域の地形的性質をより忠実に表現し得ることが導かれている。¹⁾ 本研究では、500m メッシュ source1 から作成した 500m メッシュ source3 と 1000m メッシュ source1(以下 500m,s1、500m,s3、1000m,s1 と呼ぶ)において流出応答特性の代表的性質を示す洪水到達時間をそれぞれ算出し、要素スケールによる流出応答への影響を調べる。

3. 斜面の適正表現

これまでに筆者らが行ってきた分布型流出モデルにおける検討では、斜面の到達時間は河道の到達時間に比べて小さく洪水到達時間に対する斜面流の部分の影響は小さいと考えられていた。そのため主に河道に注目し、斜面部については河道勾配と同じ勾配を用いていたり、上流の格子点が消去されている 500m,s3 モデルでは斜面長や勾配を無視しているなど、実流域を表現しているとはいえない。しかしその後の検討から、斜面流は河道流と同様に流出応答に重要な影響を与えるという事が分かってきた。²⁾

3.1 斜面勾配の設定：河道勾配と斜面勾配が同じであると設定した場合、下流部分の斜面勾配は平坦になる。しかし山地河川である早川流域では下流部でも急峻な斜面で構成されている。ここでは source1 モデルの斜面勾配の設定について 1000m,s1 モデルを例に挙げて説明する。

1000m メッシュの中に 250m メッシュの標高データ(25 点)を組込み、1000m メッシュ点の標高・25 点の標高の平均値・最高値・最低値のそれぞれ 2 つずつの組合せから斜面勾配を作成し、手作業により求めた実流域の斜面勾配と比較した。しかし、いずれの組合せも実流域の斜面勾配を合理的に表現できなかった。次に河道に直角な方向の 250m メッシュの 4 点または 5 点を取り出し(図-1)、その最低標高と最高標高より勾配を作成した。ここではこの方法を断面勾配法と呼ぶ。500m,s1 モデルについても同様の作業を行った。これを実流域の斜面勾配と比較した結果、実流域の斜面勾配を最もよく表現しており(図-3)、この方法を採用した。

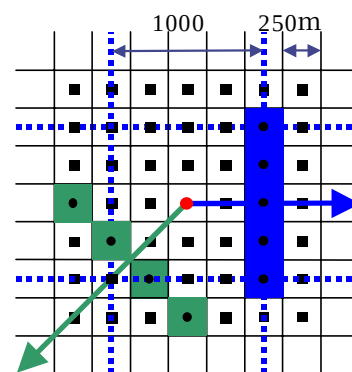


図-1 250mメッシュデータの組込み(1000mメッシュ)

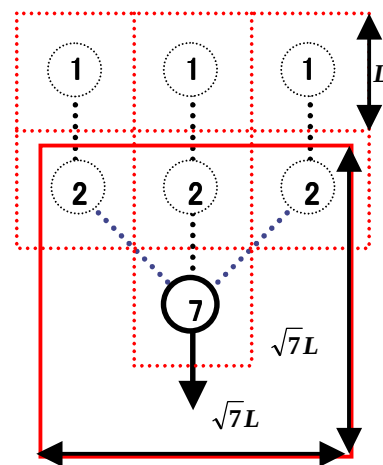


図-2 従来の斜面の与え方(500mメッシュ source3)

Keywords：DEM、分布型流出モデル、流域斜面の適正表現、洪水到達時間
 〒400-8511 甲府市武田 4-3-11 TEL 055-220-8522 FAX 055-220-8773

3.2 斜面長の考慮：従来の 500m,s3 モデルの斜面は消去された斜面長および勾配を考慮せず、集水面積にのみ注目して図-2 の様に正方形で与え、斜面長は正方形の1辺の1/2、斜面勾配はその格子点の河道勾配と設定していた。しかし消去された斜面形状を考慮すると何通りかのパターンがある。そこで消去された河道の長さを斜面長することで斜面形状を再現し、斜面勾配は消去された格子点の平均標高と最低標高から作成した。

4. 洪水到達時間による比較

従来の分布型流出モデルでは要素スケールによって流出応答が異なることが分かっている。²⁾ ここではより現実的な斜面を導入した分布型流出モデルを用いて要素スケールと流出応答(洪水到達時間)の関係について調べた。洪水到達時間は斜面流によるものと河道流によるものの2つに簡略化できる。

4.1 斜面の到達時間：山地斜面形および擬河道網系からなる流域全体で表面流出をモデル化し、Kinematic wave 理論を適用し到達時間を算出する。斜面流は降雨が地表面を流下する地表流の場合について検討する。到達時間は式(1),(2)より算出する。

4.2 河道の到達時間：河道流路は幅広矩形断面で河道流は Manning 則に従うとすると単位河道の到達時間は式(3),(4)より得られる。これを流域出口まで追跡計算することによって河道の到達時間を算出する。

4.3 解析結果：上記の方法で洪水到達時間を求めその分布を示したのが図-4(a),(b)である。(a)より、従来の方法では source1 モデルの本川付近の斜面勾配が極端に緩いため斜面の到達時間が遅くなる。これが洪水到達時間に影響していることがわかる。しかし、断面勾配法を用いて実流域の斜面勾配を再現することによってその部分がなくなった(図-4(b))。500m,s1 では斜面長が短いため適正斜面を適用後の変化があまりみられないのでここでは示していないが、1000m,s1 ではその影響が顕著に現われていることがわかる。

500m,s3 と 1000m,s1 は実河道を忠実に再現し得るモデルであり、今回さらに斜面を合理的に表現したことでより実流域の地形を表現したモデルであるといえる。この2つのモデルを比較すると従来の方法に比べると洪水到達時間の分布がよく一致していることが分かる。つまり、分布型流出モデルの要素スケールによる流出応答への影響がおおむね無くなったといえる。

5. おわりに

本研究では分布型流出モデルの斜面部の合理的な表現方法を検討し、要素スケールと流出応答の関係について調べた。その結果、実河道を忠実に再現している 500m,s3 と 1000m,s1 における流出応答の差異がおおむね無くなった。今後はより実流域に近づけるために山腹斜面への浸透などを考慮したモデルを作成し、実測値と比較しながらモデルを改善していきたい。

参考文献：1)砂田憲吾・福井史彦:流出応答特性の評価に与える流域要素スケールの効果について、水工学論文集、Vol.42, pp.205-210, 1998. 2)砂田憲吾・青木謙治:分布型流出モデルの応答に及ぼす流域要素スケールの影響について、水工学論文集、Vol.45, pp.145-150, 2001.

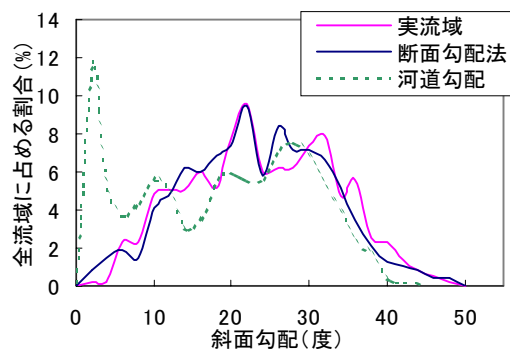


図-3 斜面勾配分布(1000m メッシュ)

$$t_s = \left(\frac{L_s r^{1-m}}{\alpha} \right)^{1/m} \quad (1)$$

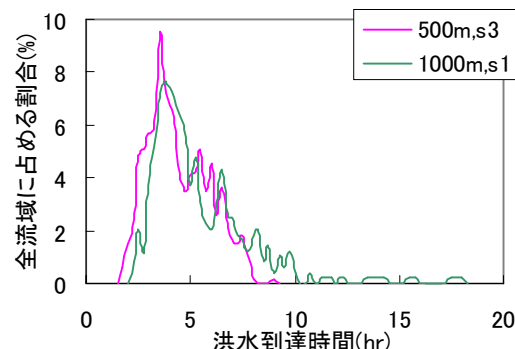
$$a = \sqrt{\sin \theta} / n_s \quad m = 5/3 \quad (2)$$

r : 降雨強度、 θ : 斜面勾配、 n_s : 等価粗度係数、 K_s : 見かけの透水係数、 t_s : 斜面の到達時間、 L_s : 斜面長、 α, m : 流れの抵抗に関する定数

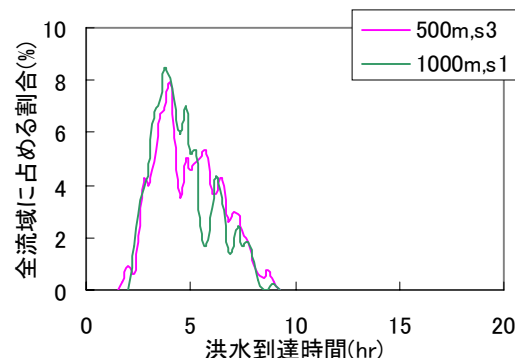
$$t_c = \frac{L}{w} \quad (3)$$

$$w = pv = \frac{p}{n} (h^{2/3} i^{1/2}) = \frac{p}{n} \left(\frac{nra}{B\sqrt{i}} \right)^{2/5} i^{1/2} \quad (4)$$

t_c : 単位河道の到達時間、 w : 伝播速度、 L : 単位流路長、 i : 河道勾配、 v : 流速、 h : 水深、 n : Manning の粗度係数、 B : 河幅、 a : 集水面積、Manning 則より $p=5/3$



(a) 従来の斜面モデル



(b) より適正な斜面モデル

図-4 到達時間分布図