

カルマンフィルターによる地形的単位図に関する研究

京都大学防災研究所 正員 角屋睦・田中丸治哉
清水建設 正員 ○谷口 禎弘

1. 概要 洪水流出ハイドログラフが線形単位図で再現できると仮定して、丘陵林地の斜面長分布より導かれる中間流型地形的単位図(平野ら, 年講 1974, 角屋ら, 京都大学防災研究所年報 1978)を基礎に、カルマンフィルターを用いて得られる単位図の変化から、流出に直接動員される寄与斜面長分布を考察する。

2. 地形的単位図 京都市西北部下狩川支流一の谷流域(0.13km² 図1)の例を述べる。地形的単位図の基礎となる斜面長分布にはガンマ分布または対数正規分布があてはめられるが、ここではガンマ分布を利用する。斜面上の流れが Darcy型であるとして(1)式により到達時間 T の分布に変換すると(2)式が得られる。これが河道効果を無視して得られる地形的単位図である。

$$T = \frac{f}{(ks/\gamma)} L \quad (1)$$

$$P(\tau) = \frac{1}{A^B \Gamma(B)} \int_0^\infty T^{B-2} \exp\left(-\frac{T}{A}\right) dT \quad (2)$$

ここに、 f :流出に寄与する斜面長の割合、 k :透水係数、 s :斜面勾配、 γ :有効間隙率、 A, B :ガンマ分布の尺度母数, 形状母数。

3. 有効降雨 有効降雨推定には、半対数紙上で直接流出量を分離して得られる一雨ごとの保留量曲線を利用する。すなわち累加雨量 R と保留量 F の間に(3)式を想定し、(4)式によって有効降雨 $r_e(t)$ を求める。

$$F = R \cdot \exp(-aR) \quad (3)$$

$$r_e(t) = (1 - dF/dR)r(t) \quad (4)$$

4. 地形的単位図 (GIUH) による洪水流出解析

1974-1980年の間のピーク流量 0.13m³/s 以上の10出水について、地形的単位図による流出解析を行った。ただし $f/(ks/\gamma)$ は出水ごとに異なるものとして、その最適値を一方向探索法により求めた。図2に再現結果を、図3にそのときの $f/(ks/\gamma)$ の最適値を用いた GIUH を例示している。他の出水の再現性も同程度(平均相対誤差22%)であり、GIUHの適合性は良好といえる。 $f/(ks/\gamma)$ の値は出水ごとに異なるが、これをどのように解釈すべきかは問題である。図4に、(5)式で定義される平均到達時間 T^* と直接流出率 P^* との間の関係を示す。

$$T^* = fM_L / (ks/\gamma) \quad (5)$$

ただし、 M_L :平均斜面長。図4より、一出水の平均的な斜面寄与率 f は、直接流出率と同程度の

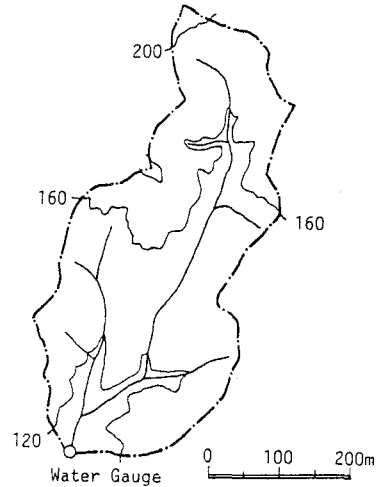


図1 一の谷流域

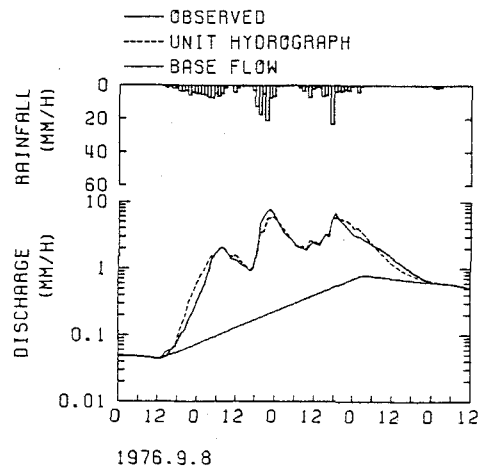


図2 地形的単位図による流出解析 (相対誤差17.9%)

Mutsumi KADOYA, Haruya TANAKAMARU and Yoshihiro TANIGUCHI

意義を持つことを示唆しているように思われる。

5. カルマンフィルターによる単位図の同定 流出

に寄与する斜面長は降雨の継続に伴い拡大・縮小するものとする、それに応じて単位図の縦距・形状も変化するはずである。そこで4. で得た GIUH を初期値として与え、これをカルマンフィルターによって時々刻々再同定することにした。図5に同定単位図の経時変化を、図3にそのときの最終単位図を GIUH と対比して示す。また図6にこのときの単位図の面積の変化を示す。これらの図より次のことがいえるのである。

① 同定単位図には、GIUH にはなかったモードが現れる。これは河道効果の影響とみられる。② 同定初期に形状を大きく変えるが、再び GIUH に近い形状に収束する。③ 降雨初期の単位図の面積はかなり小さく、流出に寄与する面積の小さいことを示唆している。④ 図6では、本来1.0と期待される単位図面積が、第2の降雨波形終了時刻の50時頃に1.0を越え、第3の降雨時に1.0以下となりその終了時刻72時に1.0に近づく。これは(4)式では、休止期間中の保留能回復を表現していないためとみられる。⑤ 上記の点を除くと、あるいは1.0以上の部分と1.0以下の面積がほぼバランスしていることを考慮すると、降雨最盛期間中の単位図面積はほぼ1.0となり、降雨終了に伴い縮退が始まる。⑥ 降雨強度の変化が急激であるためか、寄与斜面長の拡大に伴う単位図の変化は明瞭にはみられない。

6. 結び 期待したほどの成果は得られなかったが、GIUH の有用性、単位図の変化が説明できそうなこと、有効降雨推定が成果を左右する可能性の大きいことなど、今後の研究上有用な示唆が得られた。

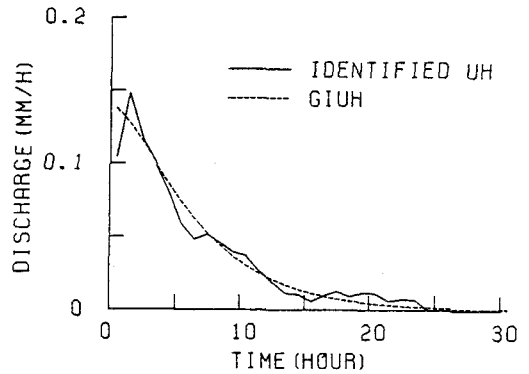


図3 地形的単位図および最終同定単位図

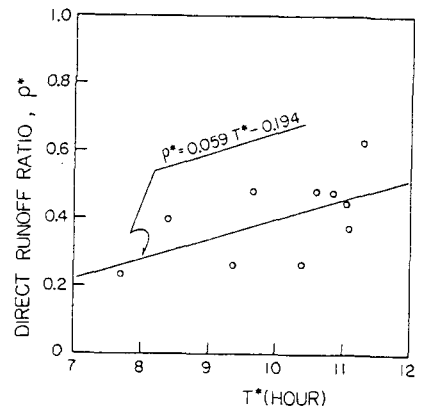


図4 T^* と P^* の関係

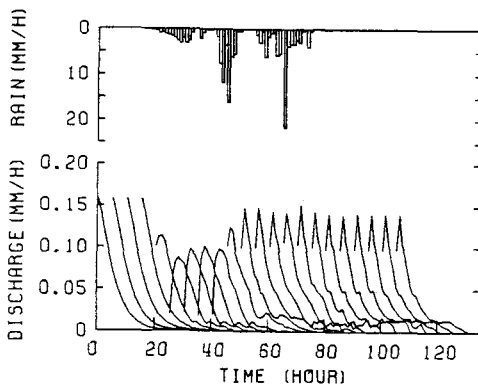


図5 同定単位図の経時変化

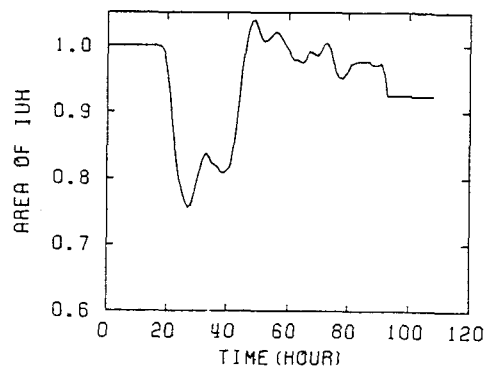


図6 同定単位図面積の経時変化