

II-37

流域スケールと直接流出特性について

山梨大学工学部 正員 砂田憲吾
日本道路公団 木村真章

1. はじめに

基本とする要素流域の空間スケールが降雨-流出系の応答特性に及ぼす影響は、従来から重要な課題とされてきたが、現在のところ、その評価・判断基準のものにも統一された考えはない。最近、Woodら¹⁾は流域浸透(総)量や直接流出(総量)率に関して、流域水文量(降雨強度、(飽和)透水係数など)の非一様性を考慮し、代表基本流域(BEA)のスケールを検討しているが、最大流量や集水過程の組込みまでは言及していない。一方、わが国でも近年整備されつつあるレーダー雨量や数値地形などの分布型水文情報を組み合わせての、より合理的な流出モデルの基準サイズが探索されている^{2,3)}が、流域水文量の空間的分布状況の考慮まで至っていない。ここでは、まず降雨の時間スケールを考えつつ、所与の流域水文量の変動が最大直接流出量に及ぼす影響を調べ、流域のスケール効果についての基礎的検討を行った。

2. 中間流・地表流共用モデルに基づく最大流量

最大流量は、すでに著者らにより実流域での検証が得られている中間流・地表流共用モデル⁴⁾に基づいて以下のように準解析的に求められる。ただし、降雨は継続時間内一様強度、長方形斜面、河道では一定流下速度の仮定を置く。降雨条件(強度 p , 継続時間 t_r)と斜面条件(表層飽和透水係数 K_s など)により多段階の場合分けが必要となる。ここでは、 $p > K_s$, $t_r > t_0$ (到達時間) の場合のみを例示する。ただし、 $p = p - K_s$, $\lambda = \text{空隙率}$ である。

1) 飽和領域長(ℓ): Fig.1を参照して式(1)で与えられる。

$$\ell = (L - d \cdot \sin \beta)(1 - \exp(-2K_s t / \lambda d)) \quad (1)$$

2) 斜面地表流最大流量(単位幅当り: q_L): 上端から飽和域までと飽和域から末端までの到達時間 t_0, t_1 は次式。

$$\exp(-2K_s t_0 / \lambda d)(L - d \sin \beta) + d \cdot \sin \beta = \frac{\alpha}{p} (p \cdot t_0)^m \quad (2)$$

$$t_1 = \frac{1}{p} \left[\left\{ \frac{p}{\alpha} \ell(t_0) + (p \cdot t_0)^m \right\}^{m-1} - p \cdot t_0 \right] \quad (3)$$

$t_r > t_0 (= t_0 + t_1)$ のとき、 $t = t_r$ で q_L は最大、Fig.2を参照し、

$$L - \ell(t_{u0}) = \frac{\alpha}{p} (p \cdot t_{u0} - p \cdot t_u)^m \quad (4)$$

$$t_r - t_{u0} = \frac{1}{p} \left[\left\{ \frac{p}{\alpha} \ell(t_{u0}) + (p \cdot (t_{u0} - t_u))^m \right\}^{1/m} - p \cdot (t_{u0} - t_u) \right] \quad (5)$$

$$\text{より、} q_L = \alpha \{ p \cdot (t_{u0} - t_u) + p(t_r - t_{u0}) \}^m \quad (6)$$

以上、Manning則で $\alpha = \sqrt{\sin \beta} / n$, $m = 5/3$, n : 等価粗度

3) 流域最大流量: 斜面の特性とスケール効果の把握にまず重点をおき、河道では単純にこう配のみに依存する線形河道(流速一定)を仮定して、河道に沿って斜面流出量($q_L + q_{Li}$)を合成し、流域末端の最大流量を求めた。

3. 最大流量シミュレーションとその条件

地形形状の影響を抑えるために長方形に近似しうる斜面流域を千曲川流域から17ヵ所抽出した(面積: $2.16 \sim 233.2 \text{ km}^2$)。傾向を調べるために単一斜面で置き直すには明らかに広い面積も含めた。流域水文特性パラメタとして、従来の知見をもとに空間率($=0.4$)、等価粗度係数($n=0.15$)は一定とし、不確定な表層厚、透水係数についてはこれまでの推定値を中心に、 $d=5 \sim 40 \text{ cm}$, $K_s=0.2 \sim 1.8 \text{ cm/sec}$ の組合せ20ヶ

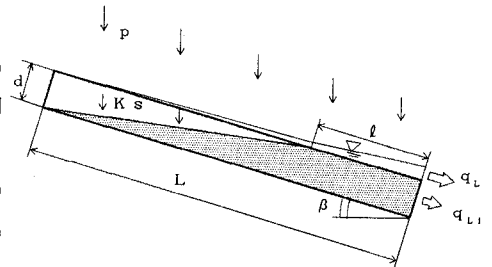


Fig.1 中間流・地表流共用モデル

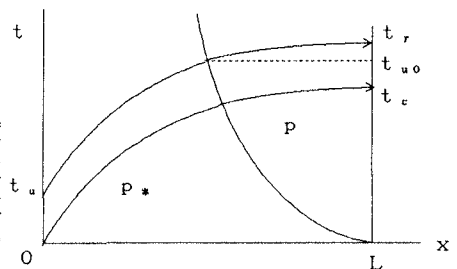


Fig.2 到達時間の算定

ースを各斜面で設定した。それぞれのケースに対し、降雨継続時間 $t_r = 30, 60, 120, 240, 480\text{min}$ を与えて最大流量を求めた。ただし、降雨には石黒⁴⁾による100年確率強度式 $p = 583 / (\sqrt{t_r} + 0.49)$ を用いた。

4. 結果と考察

最大流量を比流量の形で表し、結果の例を示せばFig.3のようになり、それらに対応する最大流量の変動係数はFig.4で示される。これらの図より、継続時間の短い強い降雨とすることは斜面飽和領域の伸長と直接深い関

係があり、それを規定する表層厚、透水係数の見積りが重要となることを示す。逆に、長い弱い降雨では、小流域では定常に近い流出状態が生じ流域特性パラメタの影響は少なく、河道集水過程に変化を与える大流域でのパラメタの見積りが重要となる。すなわち、対象とする降雨・洪水の時間スケールに応じて、流域特性の見積りの sensitivity を与えるものであり、より高精度な特性量の推定が要求される流域スケールの大きさの範囲を示している。

各継続時間ごとに各流域での20組のシミュレーション結果の単純平均をとって Creager 曲線 ($C=30$) と比較すればFig.5のようになり、Creager曲線はこれらプロット群の包絡線を与える。粗い仮定に基づくシミュレーションではあるが、降雨時間に応じて(最大)比流量に貢献する流域スケールが理解され、従来の比流量曲線の成立を物理的に説明している。

5. おわりに

流域スケール・降雨継続時間と最大流量との関係について考察した。ここでは、一様降雨のもとで、妥当な特性量が与えられるべき流域スケールが定性的に示された。しかしながら、実際上は降雨の空間変動スケールも同時に考慮する必要があり、問題はさらに複雑である。今後も検討を重ねていきたい。

- 【参考文献】 1) Wood, E.F. et al., Journal of Hydrology, 102(1-4), 29-47, 1988.
2) 嶋田・山田・藤田, 第33回水講演文集, 133-138, 1989.
3) 陸・小池・早川, 土木学会論文集, 411/II-12, 135-142, 1989.
4) Sunada, K. and T.F. Hong, Journal of Hydrology, 102(1-4), 323-334, 1988.
5) 岩井・石黒, 応用水文統計学, 156-158, 1970.

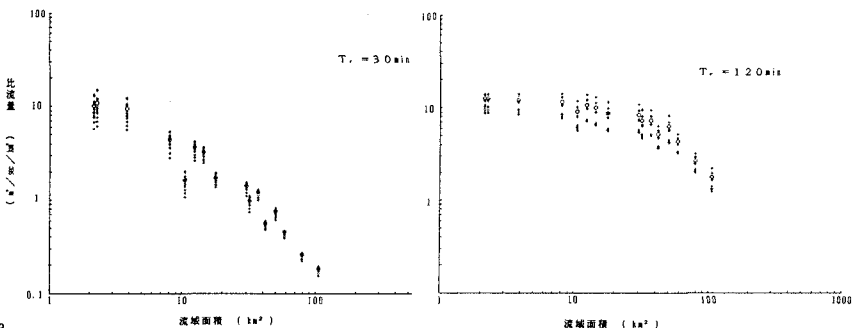


Fig.3 各流域におけるシミュレーションによる最大流量(比流量)

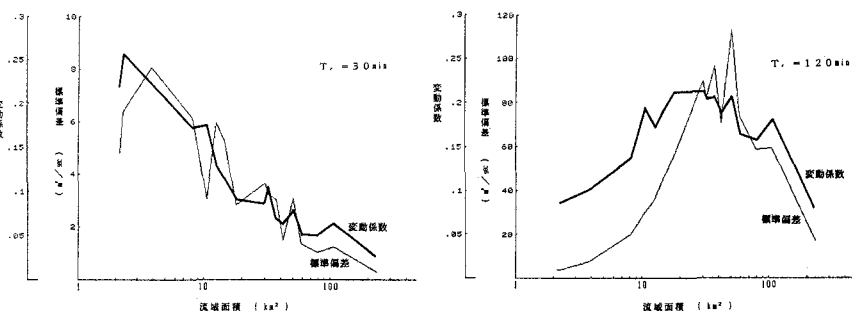


Fig.4 最大流量の標準偏差・変動係数

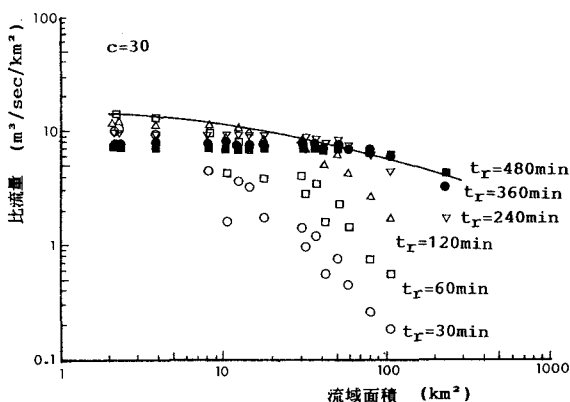


Fig.5 比流量と流域面積