

混合分布による雨天時浸入水量の流出割合の推定

中日本建設コンサルタント(株) ○辰巳 日登美・中根 進
日本大学生産工学部 佐藤 克己

1. はじめに

AI 学習により流量データから雨天時浸入水量を推定し、河川の洪水流量の流出成分を分離する手法の 1 つである勾配急変点法を使って雨天時浸入水量の流出成分を表面、中間、地下水成分に分離してその割合を報告した¹⁾。誤接合等降雨直後の浸入水を表面、地中への浸透水を中間、地下水面以深からの浸入水を地下水由来の成分とした。

勾配急変点法では雨天時浸入水量の減衰側勾配の変化点が見いだせないことが多いため、勾配急変点法の代わりに雨天時浸入水量の時間推移の形状を複数の正規分布で表し、流出成分とする混合分布法を考えた。複数の正規分布の混合比を各成分の流出割合とし、混合分布法と勾配急変点法と流出割合の比較を行った。

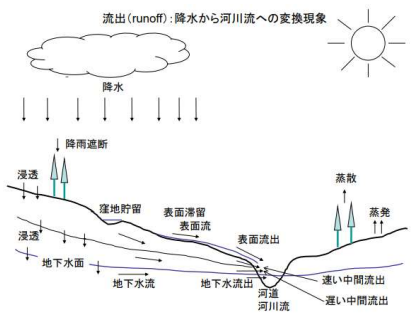


図 2.1 降水から河川流量への変換¹⁾

2. 河川洪水流量および雨天時浸入水量の流出成分

2.1 河川洪水流量

河川流量は、図 2.1 のように降雨による流量²⁾であり、地表に沿って流れ河川に流入する「表面流出」、地中浅く浸透した雨水が河川に流入する「速い中間流出」、地中深く浸透した雨水が河川に流入する「遅い中間流出」と地下水面下の地下水となって河川に流入する「地下水流出」に分けている。

2.2 汚水量と雨天時浸入水量

分流式下水道の汚水には、降雨時に誤接合などから流下水量が増加することがあり、この増加水量を雨天時浸入水量と呼んでいる。雨天時浸入水量の成分を河川の流出成分に見立てて明確に分離できるわけではないが、表 2.1 のように考える。

表 2.1 雨天時浸入水量の流出成分内訳

流出成分	浸入水原因箇所
表面流出	マンホール蓋、公共柵蓋及び宅内柵蓋柵周囲、宅内排水管
中間流出	地下水位以浅のマンホール壁、取付け管、本管
地下水流出	地下水位以深のマンホール壁、取付け管、本管

3. 既往の成分分離法

河川洪水流量の成分分離にはいろいろな方法があるが、本稿では、混合分布法と比較を行った勾配急変点法について概説する。勾配急変点法成分分離は、雨天時浸入水量の減衰側の曲線の変曲点を見つけて成分分離する。

雨天時浸入水量の第 1 変曲点より上側を「表面流出」、第 1 変曲点と第 2 変曲点の間を「表面流出」、第 2 変曲点より下側を「地下水流出」として分離し、分離線と雨天時浸入水量線に囲まれる面積から流出成分割合を算出する。

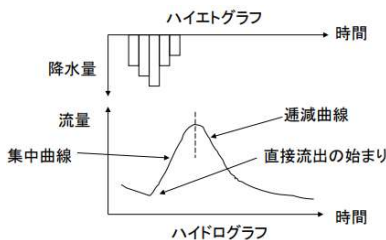


図 3.1 河川流の流出曲線

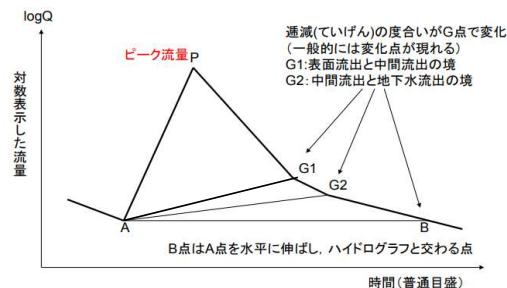


図 3.2 対数表示した河川流の流出曲線

4. 混合分布による流出成分分離の手順

流量調査によって得られた降雨時を含む流量に対して AI 法を使って雨天時浸入水量を推定する。

1 つの独立降雨に対する時系列の推定した雨天時浸入水量の推移を図 4.1 に示す。横軸の時刻(時間単位)に対する雨天時浸入水量を頻度分布に見立て、確率密度に変換する(図 4.2)。この確率密度分布を複数の正規分布からなる混合分布で表す。

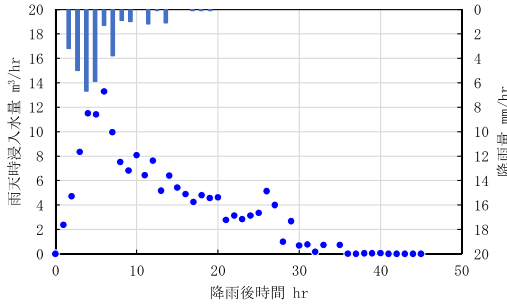


図 4.1 時系列の雨天時浸入水量の推移

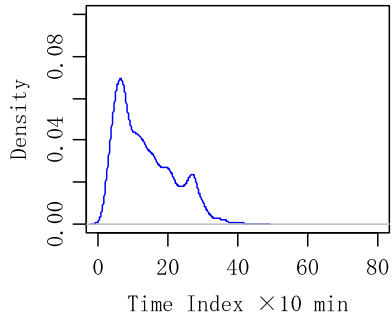


図 4.2 雨天時浸入水量の確率密度分布への変換

この確率密度分布を複数の正規分布で表すために統計用言語 R とそのライブラリ mclust を使い、各成分の数、混合比、正規分布のパラメータを同定する。

ライブラリ mclust を使うと成分の数は図 4.3 として出力される。

図中の凡例は、以下であり、V を使って流出成分数を設定する。

- E : 各流出成分で分散を共通とするモデル
- V : 各流出成分で分散が異なるとするモデル

BIC : ベイズ情報量規準(Bayesian Information Criterion)

この例では流出成分数が 3 以上で BIC の値が大きくなり、あてはまり具合の良いモデルが選択される。BIC の値は小さいほどその確率モデルが良いことを意味するが、成分数の設定に利用したライブラリ mclust は、確率モデルが良いことを視覚的に表すため符号を逆にして図 4.3 のように表示している。

このパラメータを使って確率密度分布を描くと図 4.4 を得る。図中に各流出成分割合となる混合比を示す。また、前章図 3.2 に示す勾配急変点法に示す各流出成分の境界線を示すと図 4.5 となる。

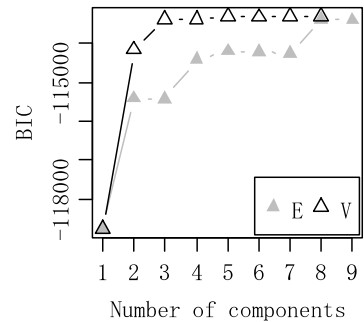


図 4.3 成分数と BIC(ベイズ情報量基準)の関係

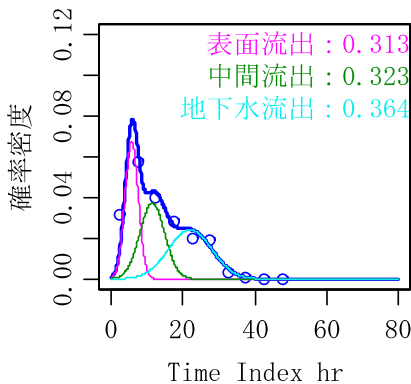


図 4.4 混合正規分布による確率密度分布

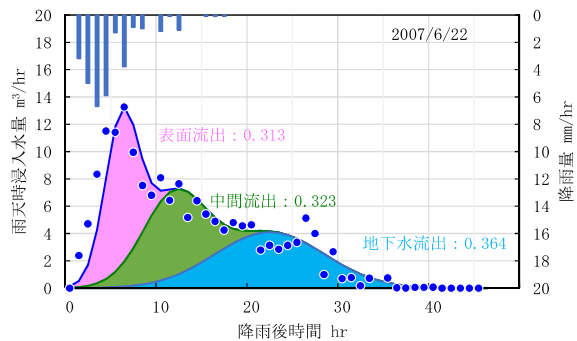


図 4.5 各流出成分の発現の様子(勾配急変点法的な表示)

5. 勾配急変点法と混合分布法による流出成分分離の比較

論文²⁾に示した集水面積 101 ha の汚水中継ポンプ場の流量記録から推定した雨天時浸入水量を例に勾配急変点法と混合分布法による流出成分分離の比較を行う。汚水中継ポンプ場の 3 例の降雨量を表 5.1 に示す。

1 例として「降雨大」における雨天時浸入水量を図 5.1 に示す。本例は独立した 1 降雨の雨天時

表 5.1 汚水中継ポンプ場の降雨量

降雨	総降雨量 mm	最大降雨 量 mm	降雨継続 時間 hr
小	18.5	3	11
中	81.5	8	35
大	67.5	30.5	6

浸入水量の例であるが、減衰側の雨天時浸入水量にバラツキがあるため、勾配急変点法で言う変曲点を見つけにくく、バラツキが小さくなった時刻を変曲点として成分分離した。分離線、成分割合を併せて図 5.1 に示す。混合分布の成分数は、ライブラリ mclust を使った結果、図 5.2 となり、3 成分で BIC の値が大となった。3 成分で成分分離した分離線、成分割合を図 5.3 に示す。

両手法で推定した成分割合の比較を表 5.2、図 5.4 に示す。表面流出の割合(混合比)は、勾配急変点法も混合分布もほぼ同じ結果を得た。地下水流出は、勾配急変点法では変化点を見つけにくく、ほとんどその割合は無い結果であったが、混合分布では中間流出と地下水流出を分離できている。

6. あとがき

混合分布法によって雨天時浸入水の成分分離は可能であったが、成分分離割合を検証する手段がなく、河川流量の成分分離法の 1 つである勾配急変点法と比較した。混合分布による成分分離は、本稿では多くの事例を示していないので明らかにしていないが、1 降雨の独立した降雨にしか適用できない。

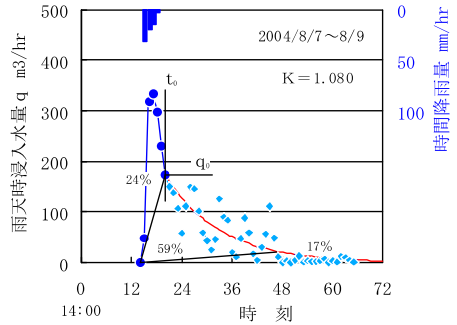


図 5.1 降雨大の勾配急変点法により成分分離

表 5.2 勾配急変点法と混合分布の流出割合の比較

流出成分	成分分離法	降雨 小	降雨 中	降雨 大
表面流出	勾配急変点法	0.21	0.26	0.24
	混合分布	0.206	0.278	0.322
中間流出	勾配急変点法	0.79	0.65	0.59
	混合分布	0.329	0.396	0.312
地下水流出	勾配急変点法	0	0.09	0.17
	混合分布	0.465	0.325	0.366

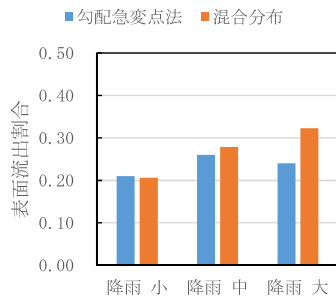


図 5.4 表面流出割合の勾配急変点法と混合分布比較

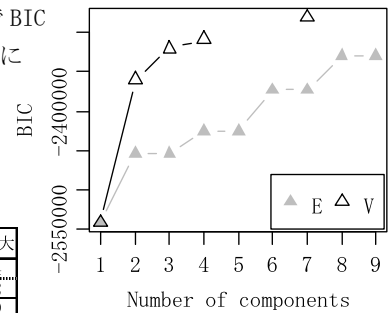


図 5.2 降雨大の成分数と BIC の関係

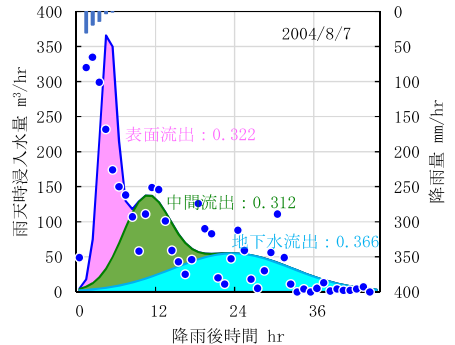


図 5.3 雨天時浸入水量と各流出成分割合 (降雨大)

参考文献

- 1) 中根 進：ニューラルネットワークを用いた雨天時浸入水を含む流量の再現 下水道協会誌論文集 平成 20 年 8 月号 pp. 162-169
- 2) www.suiri.civil.yamaguchi-u.ac.jp/lecture/kasen/river5.ppt
 問合わせ先：中日本建設コンサルタント(株) 水工技術本部 中根 進
 T E L 052-232-6055 E-mail s_nakane@nakanihon.co.jp