

第Ⅱ部門 雨天時流出の累積負荷量に関する確率評価

神戸大学工学部 学生員 ○岸本 宏司
 神戸大学大学院 学生員 和田 有朗
 神戸大学工学部 フェロー 道奥 康治
 神戸大学大学院 学生員 阪西 大輔

1. はじめに

戦後の急速な都市化に伴い、不浸透面積率が増加し雨水の排除によるノンポイント汚染源からの負荷流出が問題となっている。この対策として貯留、浸透施設などがあり、その計画に際して流域でどの程度の量が流出するか評価する必要がある。本研究では、神戸海洋気象台の1985年から2004年までの降雨データをを用いて、降雨事象(先行晴天日数(t_d), 平均降雨強度(r), 降雨継続時間(T))の統計特性を評価し、統計解析と Storm Water Management Model¹⁾(SWMM)を用いた汚濁負荷流出解析をもとに、累積負荷量に関する確率評価を行った。

2. 確率を用いた降雨等の頻度解析

(1)先行晴天日数(t_d)の確率分布

降雨発生を稀な事象と捉え、指数分布への適合性を検討した。用いた確率密度関数は式(1)である。²⁾

$$f(x) = ce^{-c(x-d)} \quad (1)$$

ここで、 c は散らばりの程度を表す母数、 d は下限境界値を示す母数である。図-2 でヒストグラムが頻度密度(実際の統計値)、実線が同定された式(1)の確率密度関数である。

(2)平均降雨強度(r)と降雨継続時間(T)の2変数確率密度分布

式(2)で表わされる³⁾2変数のガンマ関数を用いて、平均降雨強度と降雨継続時間の結合確率密度関数を同定した。

$$f(x_1, x_2) = \frac{1}{\Gamma(\nu)(\sigma_1\sigma_2)^{\frac{\nu+1}{2}}(1-\rho)^{\frac{\nu-1}{2}}} \times (x_1x_2)^{\frac{\nu-1}{2}} \times \exp\left\{-\frac{x_1}{\sigma_1(1-\rho)} - \frac{x_2}{\sigma_2(1-\rho)}\right\} \times I_{\nu-1}\left(\frac{2\sqrt{\rho}}{1-\rho}\sqrt{x_1x_2}\right) \quad (2)$$

ここで、 ν は形状母数、 σ_1 , σ_2 は尺度母数、 ρ は相関母数、 $\Gamma(\nu)$ はガンマ関数、 $I_{\nu-1}(z)$ は $(\nu - 1)$ 次の第1種変形ベッセル関数である。結果を図-3 に示す。濃淡図が頻度密度の実測値であり、実線が式(2)のガンマ関数である。

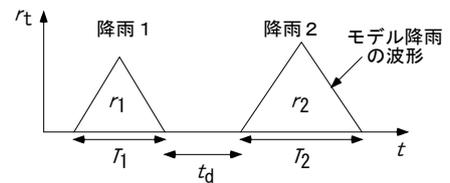


図-1 先行晴天日数(t_d), 平均降雨強度(r), 降雨継続時間(T)の概要

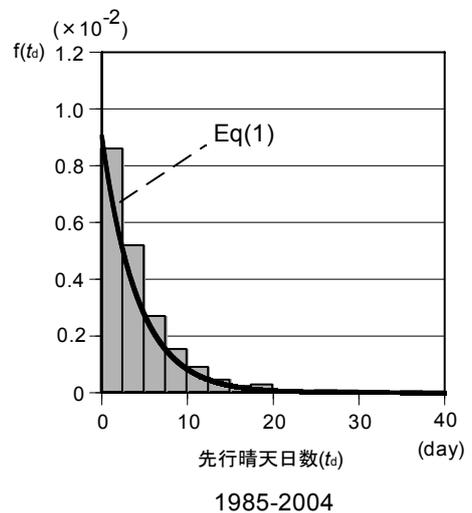


図-2 先行晴天日数(t_d)の確率密度関数のあてはめ

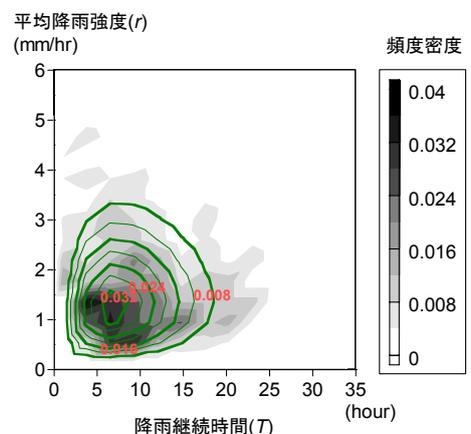


図-3 平均降雨強度(r)と降雨継続時間(T)の確率密度関数のあてはめ

3. SWMM を用いた汚濁負荷流出解析

図-3 より神戸地域では $r=4(\text{mm/hr})$, $T=25(\text{hour})$ までの組み合わせが多いことがわかる。これを考慮して $r=0.5\sim 5(\text{mm/hr})$, $T=1\sim 30(\text{hour})$, $t_d=0.5\sim 40(\text{day})$ の範囲の様々な組み合わせの三角形モデル降雨を用いて、汚濁負荷流出解析を行った。なお、対象水質項目はSSである。

4. 累積負荷量の確率評価

(r, T) 平面上において図-3 の確率密度関数と累積負荷量の汚濁負荷流出解析結果(実線)を重ね合わせると図-4 のようになる。累積負荷量 5(kg)を例にとれば、図-4 のメッシュ部分の確率密度の積分値が累積負荷量 5(kg)までの非超過確率に相当する。このようにして、それぞれ累積負荷量の確率分布(cdf)を求める。図-4 の実線は $t_d=0.5(\text{day})$ の場合の累積負荷量である。同様にして $t_d=0.5\sim 40(\text{day})$ 毎の累積負荷量の確率分布をそれぞれ求めると図-5 のようになる。これを微分して、先行晴天日数(t_d)毎の累積負荷量の確率密度(pdf)が図-6 のように求められる。ここで、先行晴天日数(t_d)の生起確率特性(図-1)を考慮し累積負荷量のpdf(図-6)に乗じて、先行晴天日数(t_d), 平均降雨強度(r), 降雨継続時間(T)の3つの水文

量の確率を用いた累積負荷量の生起確率を評価することができる。すなわち、雨が降り対象流域に流出する負荷の累積量を確率的に評価できる。結果を図-7 に示す。対象流域では一回の雨で流出する累積負荷量が 5~10(kg)程度である確率が高い。

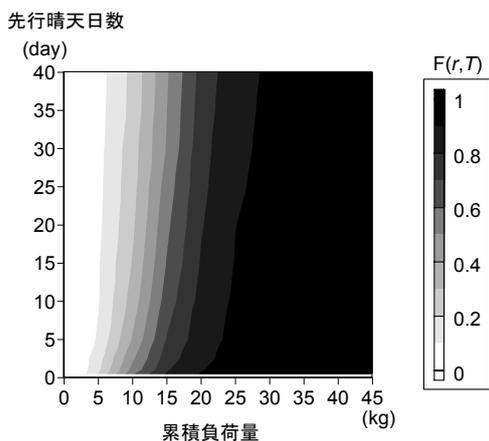


図-5 累積負荷量の確率分布

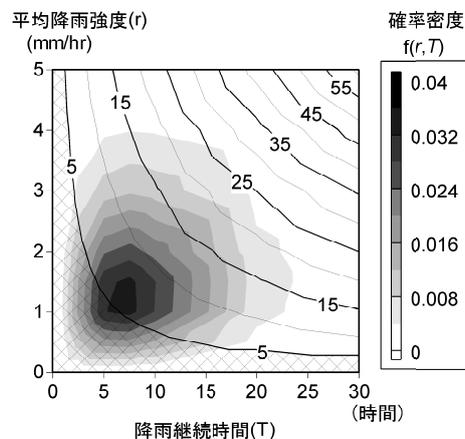


図-4 平均降雨強度(r)と降雨継続時間(T)の確率密度と累積負荷量の関係 ($t_d=0.5(\text{day})$ の場合)

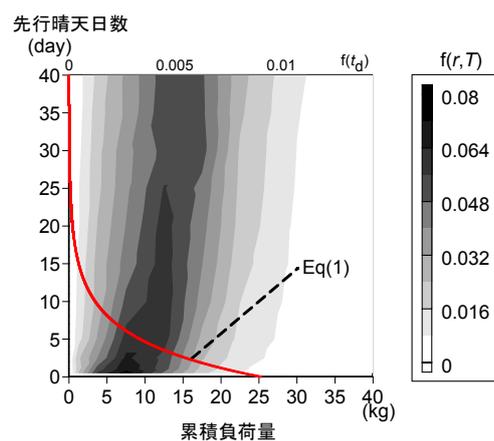


図-6 累積負荷量の確率密度分布

5. おわりに

先行晴天日数(t_d)の頻度が指数分布に従うことを確認した。また、平均降雨強度(r)と降雨継続時間(T)に関してはそれぞれを確率変数とし、2変数のガンマ関数を用いて、その頻度分布を再現した。統計解析と汚濁負荷流出解析を行い、対象流域で雨が降ると一回の雨で流出する累積負荷量の生起確率を評価した。

参考文献

- Wayne.C. Huber et al : Storm Water Management Model, Version4, ; User's Manual,U.S.EPA/ 600/3-88/001a,1988.
- 神田徹, 藤田睦博: 水文学 - 確率論的手法とその応用 -, pp13-40, 技報堂, 1979
- 長尾正志・角屋睦: 二変数ガンマ分布とその適用に関する研究(2), 京大防災研年報, 第14号, pp43-56, 1971

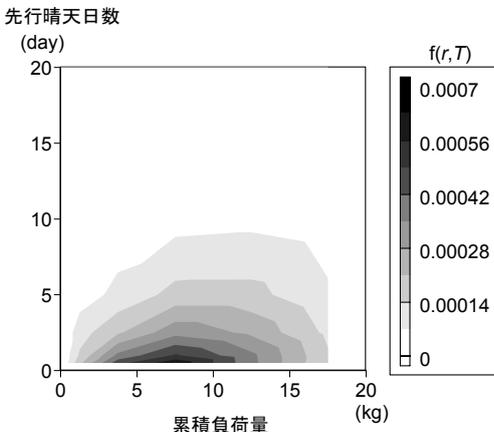


図-7 先行晴天日数(t_d)の確率を掛け合わせた累積負荷量の確率密度分布