

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○ 辰巳恵子
 京都大学防災研究所 正員 Kimaro.T.A
 京都大学防災研究所 正員 寶 馨

京都大学防災研究所 正員 立川康人
 京都大学防災研究所 正員 児島利治

1 はじめに 河川に流入する汚濁負荷のうち、現在問題となっているのは水田や畑から排出する汚濁負荷や、雨天時に市街地の路面から流出し直接河川に入り込む汚濁負荷など、面的な広がりを持つ面源から流出するノンポイント負荷である。図1に現在野洲川で観測中の NO_3^- の濃度変化の一例を示す。激しい降雨が確認された2003年6/13、7/23以後の数日間に注目すると、降雨直後に宇川・甲南の両地点で観測された河川水の水質濃度が増加している。このことは、降雨時において面源から排出される負荷がいかにも多いかを示唆していると考えられる。降雨によって晴天時に堆積した負荷物質がフラッシュアウトされ河川に流入するために河川の水質濃度は高くなる。宇川地点の方が甲南地点よりも水質濃度変化が激しい理由としては以下のことが考えられる。宇川地点の方がより下流に位置し、その付近には畑や市街地が広がっている。よって晴天時に堆積する負荷の量は甲南地点よりも宇川地点の方が多く、降雨時流出量も多いと推定できる。また甲南地点付近は森林が多いため浄化作用が働くと考えられる。このように負荷の変化特性は土地利用が大きく影響している。本研究ではこのノンポイント負荷に焦点をあて、流域の土地利用特性を考慮した、雨天時における野洲川への負荷流出を評価するモデルを構築した。

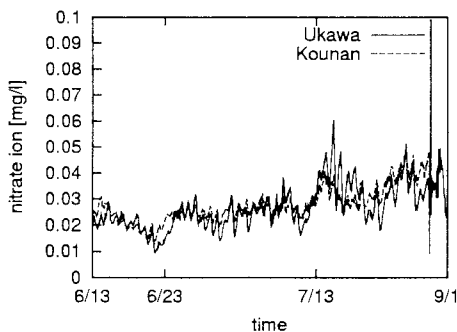


図1：宇川地点と甲南地点における2003年6/13～9/1の NO_3^- 濃度変化

2 負荷流出モデル構築 負荷物質は、降雨や施肥、社会活動などを通して流域にもたらされる。そして降雨によって流出が生じるとき、とくに降雨強度が強くて表面流出が発生するとき、地表面に蓄積されていたこれらの負荷成分が一気に流出する。本研究では、ノンポイントソースとして主に、都市、森林、水田、畑地の4つに分け、それぞれの負荷流出特性を考えた。また負荷としては窒素、とくに NO_3^- を考えている。ここでは単位流域での負荷の移動を流域負荷流出モデル（流域から河道までの負荷の流出）と河道負荷流出モデル（河道内での負荷の流出）に分けて図2のようなモデルを考える。

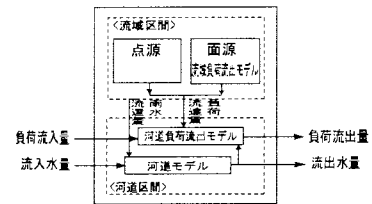


図2：単位流域における負荷流出過程のモデル化

2.1 流域負荷流出モデルでの流出計算 ノンポイント負荷流出計算は、以下に示す連続式と運動式を用いて計算する。連続式は流域区間面源内に存在する総負荷量の時間的変化を考えた式であり、運動式は負荷がある一定量を超えた分だけが流出すると考えた式である。運動式におけるこの一定量を最高可能堆積負荷量として表しており、また雨水流出量の項を考慮することで降雨強度と負荷流出量との関係を考えている。

単位流域での負荷量の連続関係を考え、そこに流入する負荷項目として、流入負荷・発生負荷・消費負荷・浸透負荷を考える（図3）。

<連続式>

$$dV_w/dt = (P_i(t) - P_g(t) - P_{n2}(t) - P_c(t) - P_{inf}(t))A$$

<運動式> $P_{n2}(t) = aq(t)^b(V_w(t) - B)^c$

ここで V_w は流域内面源に存在する負荷量 [mg] を、 P_g 、 P_i 、 P_{inf} 、 P_{n2} はそれぞれ、発生負荷量、流入負

荷量、地下浸透負荷量、面源からの排出負荷量（単位 $[\text{mg}/\text{hr} \cdot \text{m}^2]$ ）を示している。また A はメッシュ面積 $[\text{m}^2]$ を a 、 b 、 c はそれぞれ負荷流出係数、流出係数、運動係数を表す。 q は流域からの河道区間への雨水流出水高 $[\text{mm}/\text{h}]$ 、 B は最大可能堆積負荷量 $[\text{mg}]$ である。

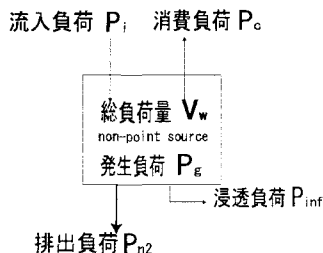


図3：面源での物質収支

(1) 畑地における負荷収支 負荷の多くは施肥によってもたらされ、投入窒素の硝酸化率や、作物による吸収率、地下深部への浸透率を考える必要がある。よって畑地の場合の P_g は施肥による負荷量と考える。 $P_c(t) (= iV_w(t))$ は作物吸収を表し (i は消費係数) $P_{inf}(t) (= jV_w(t))$ は地下浸透を表す (j は浸透係数)。

(2) 水田における負荷収支 水田では灌漑期と非灌漑期で状況が大きく異なる。今回は灌漑期を考える。多量の水が流入する灌漑期は用水負荷が重要項目となる。また入水前後の施肥時期が、水田からの負荷流出が最も多いときである。用水負荷濃度値は一定 ($0.65[\text{mg}/\text{l}]$) に設定し、他は畑地と同様の考え方で計算を行う。

(3) 都市における負荷収支 都市域での発生負荷の計算には路面堆積モデル [1] を用いる。

$$P_g = Ge^{-kn} + \frac{a(1-e^{-kn})}{1-e^{-k}}$$

ここで G は前回降雨後残存負荷量（ここでは $G = B$ ）を、 a は単位堆積あたりの負荷発生量を、 k は堆積負荷減衰定数を、 n を前回の降雨からの経過日数表し、今回は $n = 20$ とした。消費、浸透は微小とみなし考えない。

(4) 森林における負荷収支 森林は浄化作用が大きいいため、消費係数を灌漑期の水田の5倍をとる。発生負荷は考えない。

2.2 河道負荷流出モデルでの流出計算 河道区間でも、流域区間のノンポイント負荷流出計算と同様に連続式と運動式を考える。

<連続式>

$$V_c/dt = WQ_{in}(t) + P_{n1}(t) + P_{n2}(t) - WQ_{out}(t)$$

$$\text{<運動式> } P_{out} = aQ_{out}(t)^b V_c(t)^c$$

ここで V_c は河道区間内総負荷量 $[\text{mg}]$ を、 WQ_{in} は河川流入負荷量 $[\text{mg}/\text{hr}]$ を、 WQ_{out} は河川流出負荷量 $[\text{mg}/\text{hr}]$ を、 Q_{out} は河川流出高 $[\text{mm}/\text{hr}]$ を、 P_{n1} は流域内点源からの排出負荷量 $[\text{mg}/\text{hr}]$ を、 P_{n2} は流域内面源からの排出負荷量 $[\text{mg}/\text{hr}]$ を表す。

2.3 単位流域における負荷量の計算例 最上流に位置する単位流域を想定し、 $B = P_{n1} = 0$ と仮定した。各パラメタの設定は文献 [1][2] を参考にし、降雨データは5月のものを用いた。結果は図4のようになり、 NO_3^- 流出濃度変化は降雨変化に微小時間の遅れを伴う類似した変化を示した。水田からの流出濃度が最も高いが、これはやはり用水負荷の影響が大きいといえる。次いで、都市、畑地、森林の順になった。

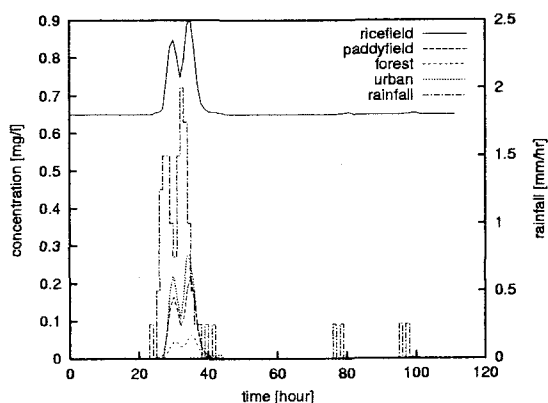


図4：単一グリッドにおける負荷量の計算例

3 考察および今後の課題 降雨時負荷流出に関するデータはまだ蓄積が少なく、結果を詳細に考察するまでは至らないが、国土交通省による水文水質データベースから得た晴天時の NO_3^- 濃度（例えば2003年5月13日の野洲川下流の服部観測地点における NO_3^- 濃度は $1.04[\text{mg}/\text{l}]$ ）と比較して、流出濃度値は概ね妥当な結果と考えられる。次の課題として流域全体でのシミュレーションモデルを構築し、その妥当性を検討する必要がある。

参考文献

- [1] 和田安彦：ノンポイント汚染源のモデル解析，技報堂出版，1990。
- [2] 北海道農業試験会議成績書，北海道立上川農業試験場，2000。