

蒸発散—表面流出—面源負荷発生モデルの開発

パシフィックコンサルタンツ株式会社 河川部 ○湯浅岳史, 上原浩, 佐藤祐一, 今城貴弘
宮崎大学 農学部 稲垣仁根, 竹下伸一

1. はじめに

湖沼水質保全特別措置法が改正され、面源負荷対策（法律上は流出水対策）の推進が求められていることもあり、湖沼等の水質改善を考える上で面源負荷対策の立案は必須となっている。しかし、面源負荷は空時間的に変動しうる降雨によって引き起こされ、また地表面の土地利用形態、傾斜、土壌・地質等により負荷発生量が大きく変わりうるため、その発生機構は定量的に明らかにされているとは言い難い。このため、水質浄化計画を立案する上で重要となる、面源負荷発生機構のモデル化についても、未だ手法が確立されていないのが現状である。

そこで我々は、降雨を地表面土地利用形態および土壌水分量に応じて蒸発散・地下浸透・表面流出に分配する蒸発散モデルと、蒸発散モデルから計算された表面流出量を基に土地利用毎の面源発生負荷を算出する面源負荷発生モデル組み合わせたモデルを開発した。

2. モデルの概要

(1) 蒸発散モデル

蒸発散量の計算には Penman 式、Thornthwaite 式等が一般的に用いられる。しかし、実際の蒸発散に大きく影響を与えると考えられる土地利用形態や土壌水分条件を考慮し、かつ簡便に計算できる手法は提案されていない。今回我々は、竹下ら¹⁾が現地調査データをもとに、流域の乾湿を表す土壌水分と蒸発散比の関係を簡単な関数で表した蒸発散モデルの考え方を採用した（図 1）。詳細は参考文献に譲り、ここでは、蒸発散量、地下浸透量、表面流出量算出方法の概略を記す。

いま、土壌水分量を $\theta(t)$ とすると、 $\theta(t)$ の収支式は以下のように表すことができる。

$$\theta(t + \Delta t) = \theta(t) + \int_t^{t+\Delta t} g(t) dt - \int_t^{t+\Delta t} E_t(t) dt - \int_t^{t+\Delta t} F_s(t) dt$$

ここで、 $g(t)$: 土壌への水の浸入能、 $E_t(t)$: 蒸発散量、 $F_s(t)$: 地下浸透量

蒸発散量 $E_t(t)$ は、Hamon 式により算出される可能蒸発散能 $E_p(t)$ に、土壌水分量から算出される蒸発散比 $ETR(t)$ を乗じて求める。

$$E_t(t) = ETR(t) \times E_p(t) = PET \left(1 - \frac{2}{1 + \exp(-k_e \times \theta(t) / \theta_{\max})} \right) \times E_p(t)$$

ここで、 PET : 蒸発散比最大値、 k_e : 係数、 θ_{\max} : 最大土壌水分量

土壌への水の浸入能 $g(t)$ は、Horton が提案した浸入能方程式 $f(t)$ の式型²⁾を引用して、土壌水分量を媒介とした土壌の浸入能を計算する。地下浸透量 $F_s(t)$ は、土壌水分量 $\theta(t)$ が閾値 θ_{fs} を超えると、一定値 f_{∞} で生じることとする。降雨 $R(t)$ から蒸発散等を差し引いた剰余分が、表面流出量 $Q_s(t)$ となる。

$$Q_s(t) = R(t) - g(t) - E_t(t) - F_s(t) \quad \text{ただし、} Q_s(t) < 0 \text{ なら } Q_s(t) = 0$$

(2) 面源負荷発生モデル

降雨時の地表面から発生する負荷は、既往文献³⁾を参考に、負荷堆積量を考慮した雨天時流出負荷量算定モデルを用いた。このモデルは下式により表現される。

$$L = k \times S^m \times (Q_s - Q_c) Q_s^n$$

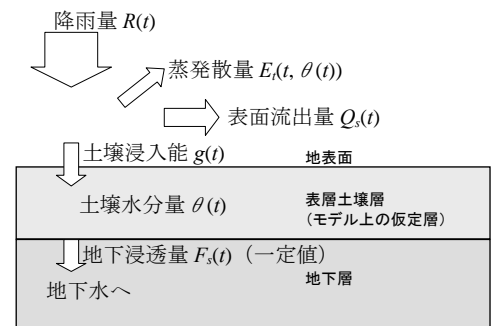


図 1 蒸発散モデル概念図

$$dS/dt = \begin{cases} \Delta S & (\text{晴天時}) \\ -L & (\text{降雨時}) \\ 0 & (S \geq S_{max} \text{ or } S = 0) \end{cases}$$

ここで、 L ：流出負荷量、 Q_s ：表面流出量、 Q_c ：掃流限界流量、 S ：堆積負荷量、 ΔS ：晴天時負荷堆積速度、 S_{max} ：最大堆積負荷量、 $k \cdot m \cdot n$ ：パラメータである。

本式を用いた堆積負荷量と流出負荷量の概念図を図2に示す。降雨時に表面流出 Q_s により、堆積負荷量 S に応じた負荷 L が発生し、その分 S は減少する。晴天時には、 ΔS により S が回復する。

3. モデル計算結果

土地利用として密集市街地を、汚濁物質としてCODを想定し、表1に示す定数を設定したときの、本モデルによる計算結果を図4に示す。千葉県佐倉市の時間降雨データを入力条件とし、2003年の1年間について1時間間隔で計算した。

蒸発散量は季節的な変動が大きく、また夏期は土壌水分量変化に依存する時間変動が大きくなっている。地表流は降雨時のみ生じ、地下浸透は年間を通じて発生する。年間の水収支は、年間降雨量1,537mmに対して、蒸発散525mm(34%)、573mm(37%)、443mm(29%)となった。

蒸発散モデルで計算された表面流出によって、降雨時負荷が発生する。負荷発生量は表面流出量に依存しているが、直前の降雨により堆積負荷量が減少している時期では、発生負荷量が少なくなる。地表面の堆積-掃流機構をモデル化できていることがわかる。

4. まとめと今後の課題

土壌水分量の考え方を導入した蒸発散モデルにより蒸発散・表面流出を算出した上で、この表面流出により地表面堆積負荷が掃流され、面源負荷発生する機構をモデル化した。今後、様々な土地利用における適用性を検討した上で、流域全体に本モデルを適用し、流域の負荷発生機構の把握、面源負荷削減方策の検討につなげたい。

キーワード

面源汚染、堆積負荷、蒸発散、表面流出

参考文献

- 1) 竹下伸一・高瀬恵次：蒸発散サブモデルを導入した長期流出モデルの開発、水文・水資源学会誌第16巻1号、pp23-32、2003
- 2) 塚本良則編：森林水文学、文永堂出版
- 3) 和田安彦編：ノンポイント負荷の制御【都市の雨水流出と負荷制御】、技報堂出版

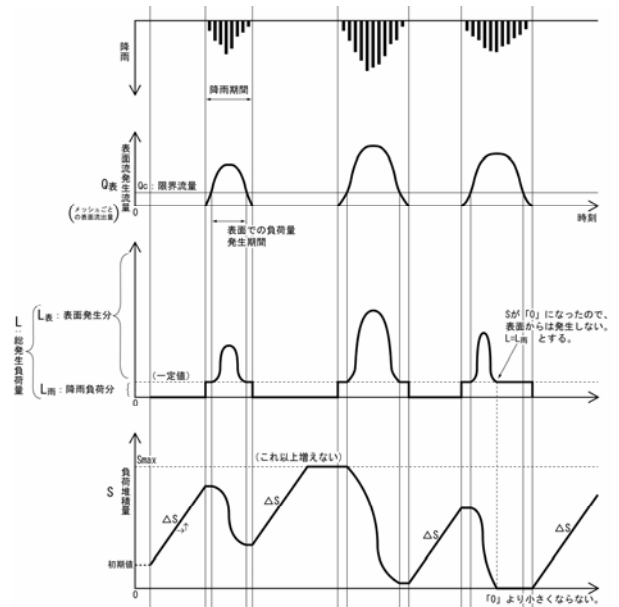


図2 面源負荷発生モデル概念図

表1 モデル定数

モデル	定数	単位	設定値
蒸発散モデル	PET	-	1
	k_e	-	0.15
	θ_{max}	mm	60
	θ_{fs}	mm	30
	α	-	0.3
面源負荷モデル	f_{∞}	mm/hr	1
	Q_c	m ³ /s	0
	ΔS	g/m ² /day	0.1
	S_{max}	g/m ²	22
	k	-	0.1
	m	-	0.8
	n	-	1

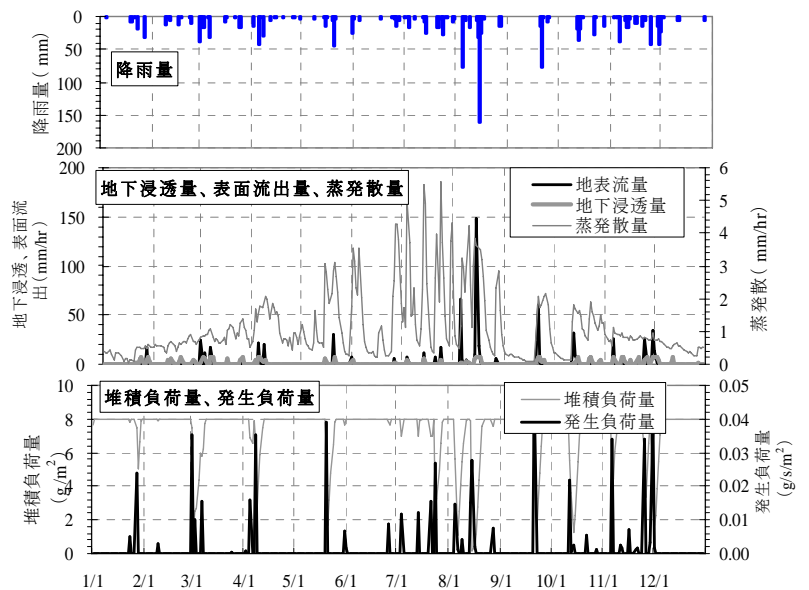


図3 モデル計算結果