

京都大学防災研究所 正員 小尻利治
 京都大学防災研究所 正員 友杉邦雄
 京都大学大学院 学正員 ○木内陽一

1 緒言 近年、日本において、急激な人口増加やそれに伴う都市化の進行などによる水環境の悪化が深刻な問題となっている。一方、地理情報システム (GIS) 等の開発により、水環境過程をシステムの捉えることが可能となってきた。

そこで本研究は、流域の健全性を評価するために、流域内流量および水質のシミュレーションモデルを構築しようとするものである。なお、対象期間は1年とし、1年間を通して平常時、降雨時、洪水時、どの状況においても、流域内の環境状況を把握できるモデルを構築しようとするものである。

2 流域水循環モデルの構成 流域の水分、汚濁負荷物質の空間的分布を推定するために流域を1kmメッシュに区切る。流域のモデル化において土地利用、河道、標高、下水道、用水路、人口分布の設定を行う。土地利用については、同じような流出特性、負荷発生特性のものを一つにするという方針で12種類の土地利用分類を山地、水田、畑地、都市、水域の5種類に再分類する。下水道、用水路については、それぞれ土地利用のうち都市、水田に設置する。ただし、用水路は灌漑期 (6月1日～9月30日) のみの設定とする。また、河道の位置や標高値を用いて落水線図を描く。

3 水量流出モデル 流出過程における適用条件、仮定を以下に示す。

- ・平面分布型としてメッシュ型モデル、鉛直分布型として多層モデルを用いて流域特性を3次元的に表現したメッシュ型多層流出モデルを適用する¹⁾。
- ・鉛直方向には4段の層 (A～D) を配置する。
- ・河川、地表面においてはKinematic Wave Modelを適用する。
- ・A層には復帰流を考慮したKinematic Wave Modelを適用する。
- ・B～D層には、線形貯留モデルを適用する。
- ・時間単位で流出量を算定する。
- ・都市、水田においては、メッシュの中央に一本ずつ、

それぞれ下水道、用水路を設置し、表面流を流入させ、Kinematic Wave Modelを適用する。

・中間流からの復帰流、すなわち、表層中の中間流の水深が表層の厚さに達すると、地表流が生ずるものとする。

モデルの基礎式を以下に示す。

・Kinematic Wave Model

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r_s \quad (1)$$

$$q_r = \alpha h_r^m \quad (2)$$

ここに、 h_r :水深、 q_r :単位幅あたりの流出量、 r_s :単位幅あたりの横流入量、 x :斜面における流下方向距離、 α, m :それぞれ流れの抵抗に関する定数

・線形貯留モデル

$$\frac{dS}{dt} = I - O \quad (3)$$

$$O = \frac{1}{k} S \quad (4)$$

ここに、 S :貯留量、 I :流入強度、 O :流出強度、 k :透水係数

4 水質モデル

1) 汚濁負荷流出モデル

水量流出モデルによって算定された流出量を用いる。汚濁負荷発生源については、点源と面源に分けて扱う。点源とは工場などの特定汚染源のことであり、面源とは汚濁負荷物質が処理施設に処理されることなく面的に分布しているもののことをいう。また、点源での汚濁負荷発生量に関しては、原単位法を用いる。面源については、土地利用による原単位をそのメッシュでの土壌投入原単位とし、点源については人間による発生を考える。

$$L_{np} = \frac{\sum_{i=1}^5 L_{npi} A_i}{A} \quad (5)$$

$$\text{・面源} \quad L_p = P_p \text{People} \quad (6)$$

$$\text{・点源} \quad L_{po} = f_p L_p \quad (7)$$

ここに、 L_{np} ：面源由来の汚濁物質負荷投入原単位、 L_{npi} ：土地利用*i*での面源由来の汚濁物質負荷投入原単位、 A ：メッシュ面積、 A_i ：土地利用*i*の面積、 L_p ：点原由来の汚濁負荷流出量、 P_p ：人間由来の汚濁負荷物質排出原単位、 $People$ ：メッシュ内人口、 L_{po} ：点源からの流出負荷量、 f_p ：放出率
各層からの流出負荷量は以下のようになる²⁾。

$$L_A = (C_A + k_{wp}P_{Ap})R_{Ah}A + k_{wnp}P_{Anp}R_{Ah}^2A \quad (8)$$

$$L_i = C_i R_{ih} A \quad (9)$$

$$L_{ij} = C_i R_{ij} A \quad (10)$$

ここに、 L_A ：A層からの水平汚濁負荷流出量、 C_A ：A層からの汚濁物質負荷濃度、 R_{Ah} ：A層からの水平流出高、 k_{wp} ：点原由来の掃流係数、 k_{wnp} ：面原由来の掃流係数、 P_{Ap} ：点原由来の堆積汚濁負荷物質質量、 P_{Anp} ：面原由来の堆積汚濁負荷物質質量、 L_i ：*i*層の水平排出負荷量、 L_{ij} ：*i*層の鉛直排出負荷量、 C_i ：*i*層の貯留水濃度、 R_{ih} ：*i*層の流出高、 R_{ij} ：*i*層から*j*層への浸透高

2) 化学物質多媒体間動態モデル

各メッシュ内に大気、土壌、地下水(D層)、河川水、底泥、水田水、水田底泥の7個の部分空間(コンパートメント)を考える。化学物質の環境中での移動の推進力は、移流による流入出系、大気中化学物質の雨粒への溶解とそれによる降雨流出系、媒体間の濃度差による拡散移動系である。各媒体間の化学物質移動は、分散係数や移動速度によって決定される³⁾。

$$\frac{dV_i C_i}{dt} = (Q_{i,in} C_{i,in} - Q_{i,out} C_i) - K_i V_i C_i - \sum_{j=1}^N U_{ij} A_{ij} \left(C_i - \frac{C_j}{H_{ji}} \right) + \sum_{j=1}^N \Omega_{ij} + X_i \quad (11)$$

ここに、*i*：対象のコンパートメント、*j*：*i*コンパートメントに接するコンパートメント、 V_i ：*i*コンパートメントの体積(m^3)、 $Q_{i,in}$ ：*i*コンパートメントへの移流量(m^3/h)、 $C_{i,in}$ ：*i*コンパートメントへの移流流入濃度(mg/m^3)、 $Q_{i,out}$ ：*i*コンパートメントからの移流量(m^3/h)、 C_i ：*i*コンパートメントの化学物質濃度(mg/m^3)、 K_i ：分解係数($1/h$)、 U_{ij} ：*i*から*j*への移動係数(m/h)、 H_{ji} ：*ij*間の分配係数(-)、 Ω_{ij} ：*ij*間のその他の物理的移動量(mg/h)、 X_i ：放出速度(mg/h)

第1項は移流、第2項は分解、第3項は2層境膜モデルの概念を用いた拡散移動、第4項は地下水流出、

降雨による大気からの湿性降下など物理的移動、第5項は化学物質の使用・消費等による環境への放出速度を示している。

5 適用と考察 愛知県、岐阜県を流れる庄内川の中、上流域を対象として1996年1月1日から12月31日のデータを用いてシミュレーションを行なった。

1) 水量流出モデル

7月4日6時から14時の河川流量、流域流量分布の変化を図1、2に示す。色の濃い部分がより流量の多いことを示している。時間ごとに流量が変化している様子が分かる。

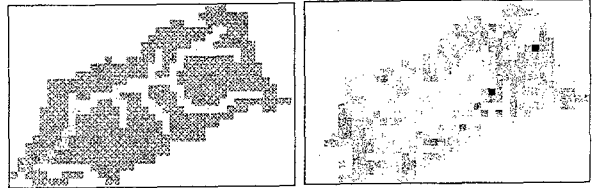


図1 7月4日6時 左：河川、右：流域

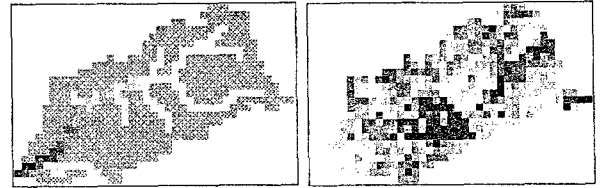


図2 7月4日14時 左：河川、右：流域

2) 水質モデル

汚濁負荷の指標としてTN(総窒素)を用い、汚濁負荷流出モデルを適用した。TN濃度の空間的分布は水量流出モデルと同様な時間的変化が見られた。詳細は発表時に述べる。

6 結語 水量流出モデル、水質モデル共に精度の良いシミュレーションを行なうことができた。またその結果を、流域全体として時空間分布で表示することによって、水分、水質の移動を視覚的に捉えることができた。

参考文献

- 1) 小尻、黒田、東海：GISベースでの水環境シミュレーションと環境評価モデルの開発、第5回地球環境シンポジウム講演集、1997、p209～p.214
- 2) 国松孝男、村岡浩爾：河川汚濁のモデル解析、技報堂出版、1990 p.166～p.171
- 3) 東海、小尻、堀：流域シミュレーションを利用した流域化学物質の環境運命予測、第5回水資源に関するシンポジウム講演集、1997、p.239～p.244