

京都大学大学院 学生員 ○小笠原伸行
 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

1 はじめに

近年、微量化学物質による環境汚染が問題となっている。微量であるためにその測定は困難であり、モデルによるデータの補間が必要となっている。そこで本研究では、GIS 上で作成された流域モデルを利用して化学物質の動態推定と生態系の変動予測モデルを構築する。また、気候、土地利用等の変化が水環境に及ぼす影響を水中化学物質濃度、生物個体数を指標として評価する。

2 流域水循環モデルの構成

流域の水分、化学物質濃度の空間分布を推定するために流域を大気と地表に分割し大気は 10km メッシュ、地表は 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 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流出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。
- ・10 分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 1 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考ええる。

モデルの基礎式を以下に示す。

・Kinematic Wave Model

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

$$q = \alpha h^m \quad (2)$$

ここに、 x : 斜面上流端からの距離、 h : 水深、 q : 単位幅当りの流量、 r : 単位幅当りの横流入量、 t : 時間、 $\alpha \cdot m$: 流れの抵抗に関する定数

・線形貯留モデル

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

$$O = kS \quad (4)$$

ここに、 S : 貯留量、 I : 流入量、 O : 流出量、 k : 透水係数

4 化学物質多媒体間動態モデル

流域のモデル化において流域を大気と地表に分けてモデル化すると述べたが、さらに地表メッシュ内に土壌 (A-C 層)、地下水 (D 層)、河川水、河川底泥、水田水、水田底泥、都市、下水道、用水路 (灌漑期のみ) という特性の異なる要素区分 (コンパートメント) を考え、これら合計 12 個のコンパートメントについて考える。化学物質の環境中での移動系は、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に分けられる。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。各コンパートメントにおける化学物質収支の基礎式は、次式のようなになる²⁾。

$$\frac{dV_i C_i}{dt} = (Q_{i,in} C_{i,in} - Q_{i,out} C_i) - K_i V_i C_i - \sum_{j=1}^N U_{ij} A_{ij} \left(C_i - \frac{C_j}{H_{ji}} \right) + \sum_{j=1}^N \Omega_{ij} + X_i \quad (5)$$

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($m^3/10min$)、 $C_{i,in}$: i コンパートメントへの移流入濃度(mg/m^3)、 $Q_{i,out}$: i コンパートメントからの移流量($m^3/10min$)、 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($1/10min$)、 U_{ij} : i から j への移動係数($1/10min$)、 H_{ij} : i,j 間の分配係数(-)、 Ω_{ij} : i,j 間のその他の物理的移動量($mg/10min$)、 X_i :放出速度($mg/10min$)、 A_{ij} : i,j 間の接触面積(m^2)

第1項は移流、第2項は分解、第3項は二層境界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 生態モデル

1) 生物濃縮モデル

化学物質濃度は、水生生物において、鰓からの呼吸、餌の摂取により濃縮され、排出、成長により希釈される。これを生物濃縮モデルとして次式で表現する。

$$\frac{dC_{fk}}{dt} = K_u C_w + \sum_{j=1}^n \alpha O_{ij} C_{ej} - (K + G) C_{fk} \quad (6)$$

ここに、 C_{fk} : k 年目の水生生物の体内濃度($ng/gwet$)、 t :日(day)、 K_u :1日当りの鰓からの摂取速度係数($1/gwet \cdot day$)、 α :化学物質吸収効率(-)、 n :餌の種類(-)、 O_{ij} :1日当りの水生生物 i による餌 j の消費割合($gwet$ 餌/ $gwet$ 水生生物 $\cdot day$)、 C_{ej} :餌 j の体内濃度($ng/gwet$)、 K :1日当りの水生生物の排泄速度定数($1/day$)、 G :1日当りの水生生物の成長速度定数($gwet/gwet \cdot day$)、 C_w :水中化学物質濃度(ng)

2) 生物個体数モデル

化学物質は生物体内中に蓄積され、体内濃度が増加して行く。その体内濃度によって死亡率は変化するので、こうした蓄積機構を考慮したモデルを用いる。化学物質の暴露による生物個体の死亡率、自然増、密度効果を考慮した式を以下に示す。

$$\frac{dN}{dt} = rN - \frac{r}{K} N^2 - h(C_f - C_{f0})N \quad (7)$$

ここに、 N :生物集団の個体数(-)、 t :日(day)、 h :毒物が原因の死亡係数($1/day$)、 C_f :水生生物の体内濃

度(mg/m^3)、 C_{f0} :毒物の生物へのしきい値(mg/m^3)、 r :集団の増加率($1/day$)、 K :環境容量(-)

6 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った。対象化学物質は、放出経路の違うベンチオカブ、ダイオキシン、LASの3種類を用いた。

図1~6に9月1日正午の各媒体におけるダイオキシン濃度の分布を示す。ダイオキシンは、流域中の一つの大気メッシュからすべて放出されるものと仮定した。その大気メッシュ下方周辺に高い濃度分布が見られることが分かる。これは、ダイオキシンの土壌吸着性が強いことによると思われる。

その他の化学物質の適用結果、生態モデルのシミュレーション結果については、発表時に述べる。



図1 大気



図2 河川水



図3 水田水



図4 A層



図5 B層



図6 C層

7 結論

短期、長期を含む水量解析と水利用の変化を加味した水質解析を結合させ、化学物質濃度の時間的変化を求めることができた。また、水中での化学物質の動態とそれを吸収する生物内での蓄積過程をモデル化し、多項目での環境評価を行った。

参考文献

- 1) 小尻、木内:水循環モデルを用いた流域環境評価に関する研究
- 2) 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