

VII-59 GISを用いた阿武隈川流域における水中病原微生物の挙動評価モデルの開発

東北大学 学生員 三浦 尚之 阿部 欽章
東北大学 正会員 ○渡部 徹

1. はじめに

近年、地球温暖化による気候変動や都市への人口集中により、水資源が不足する事態が国内外において度々報告されている。温暖化による最近の天候の特徴として、夏の異常高温、暖冬、異常少雨や異常多雨などがあり、年降水量は緩やかな減少傾向にある¹⁾。一方で、従来行われてきたような水資源開発は困難な状況にあり、水の効率的な循環利用が望まれている。

しかし、一度社会で利用された水は、種々な人間活動による汚染を受ける可能性が高く、その利用においては汚染物質への暴露による健康被害の発生が懸念される。汚染物質の中でも人間の腸管に感染し下痢を引き起こす病原微生物は、感染者の体内で増殖し、極めて高い濃度で下水中に排出されることが知られている。よって、下水処理過程において十分な除去・不活化が期待できない病原微生物は、下水処理水の放流とともに水環境汚染を引き起こす。その水環境を利用することで新たな感染者が発生し、結果的に、感染症が爆発的に流行する危険性がある。したがって、病原微生物による水系感染症のリスクを評価・管理する場合には、感染症流行地域のみならず、同一の水環境を利用する流域全体を視野に入れた議論が必要である。

本研究では、流域スケールでの感染リスク評価のために、地理情報（標高、土地利用、雨量、河川の位置など）と人口動態についての情報が統合された地理情報システム（Geographic Information System: GIS）を利用し、流域の人口分布や土地利用、水循環、水利用の変化から、病原微生物の発生と挙動を予測することができるモデル構築を目的とする。

2. モデル化の方法

2.1 メッシュデータの処理

本研究では、阿武隈川流域を対象流域として設定し、国土交通省が提供している国土数値情報から、標高・傾斜度メッシュ（G04-56M_07）と土地利用メッシュ（L03-09M-07）を利用した。標高・傾斜度メッシュは、3次メッシュ（2万5千分の1の地形図の1/10細分区画、約1km×1km）の1/4細分区画まで整備されているのに対し、土地利用メッシュは、3次メッシュの1/10細分区画で整備されている。メッシュサイズが小さすぎる場合は、莫大な計算時間や、記憶容量の不足が考えられ、逆に、メ

ッシュサイズが大きすぎる場合は、流出計算において、誤差の増大や、細部での出力を把握できない場合がある。したがって、本対象流域がおおよそ5,400km²と広いことを考慮して、さらに、小尻ら²⁾が1kmメッシュで高精度の分布型流域環境予測モデルを開発していることを参考に、本研究では、3次メッシュ（総メッシュ数7,200）で解析を行った。

標高・傾斜度メッシュから得られる標高データを用いて、各メッシュの流出方向は、隣接する上下左右の4メッシュの最急勾配方向とした。ただし、この規則にしたがうと、不連続な落水線が存在してしまう場合がある。その場合には、メッシュ間の勾配がほぼ0となるように標高データを修正した。

また、土地利用メッシュのデータは、11種類に分類され与えられる土地利用を同一流出特性のものどうしをまとめ、以下の5種類に再分類³⁾し解析を行った。

- 分類1（水田） 田
- 分類2（畑地） その他の農用地
- 分類3（山地） 森林・荒地・ゴルフ場
- 分類4（都市） 建物用地、幹線交通要地・その他の用地
- 分類5（水域） 河川地及び湖沼・海浜・海水域

上記の分類がメッシュごとに占めるそれぞれの割合で蒸発散、流出水量を算定することとする。

2.2 降水

降水データは、雨量年表（国土交通省河川局、2001年）を用いた。各メッシュの降水量は、雨量観測地点と各メッシュ間距離の重み付き平均値として割り当てた。

2.3 流出水量

平面方向にはメッシュ型、鉛直方向には多層型を用いて流域特性を3次的に表現するメッシュ型多層流出モデルを適用する。鉛直方向の多層のとき、表層については、粗度係数と傾斜を考慮した次式により、流出量を計算する。

$$q_{out} = k_i dq_t / (k_2 A_p + k_3 A_f + k_4 A_m + k_5 A_c + k_6 A_w) \quad (1)$$

ここに、 q_{out} : 流出量、 q_t : 時刻 t での水量、 d : 最急勾配方向のメッシュ間標高差、 A_p , A_f , A_m , A_c , A_w : 水田、畑地、山地、都市、水域の面積率、 k : 各土地利用区分での流れに対する抵抗に関する係数である。

また表層以外の層については、以下の式で定義される

線形貯留モデルを適用する。

$$\frac{dS}{dt} = I - O \quad (2)$$

$$O = k \cdot S \quad (3)$$

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

2.4 蒸発散

蒸発散量の推定法には各種の手法があるが、本研究では代表的な熱収支法²⁾を用いた。地表面における熱収支は、次式で与えられ、

$$R\downarrow = \sigma T_s^4 + H + \iota E + G \quad (4)$$

入力放射は全日射量と長波放射量により、顕熱、潜熱の輸送量はバルク式によりそれぞれ次式で定義される。

$$R\downarrow = (1 - \text{ref})S\downarrow + L\downarrow \quad (5)$$

$$H = c_p \rho_a C_H U (T_s - T_a) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \iota E &= \iota \rho_a C_E U (q_s - q_a) \\ &= \iota \rho_a \beta C_H U (q_s - q_a) \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、 $R\downarrow$ ：入力放射量、 σ ：ステファン・ボルツマン定数、 T_s ：地表面温度、 H ：顕熱輸送量、 ιE ：潜熱輸送量、 G ：貯熱量、である。また、 ref ：アルベード、 $S\downarrow$ ：全日射量、 $L\downarrow$ ：長波放射量、 c_p ：空気定圧比熱、 ρ_a ：空気密度、 U ：風速、 T_a ：気温、 q_s ：飽和比湿、 q_a ：比湿、 ι ：気化潜熱、 C_H ：顕熱のバルク係数、 C_E ：潜熱のバルク係数、 β ：蒸発効率、である。以上より、蒸発散量 E_{evapo} は、

$$\begin{aligned} E_{\text{evapo}} &= (1 - \text{ref})S\downarrow + L\downarrow - \sigma T_s^4 \\ &\quad - c_p \rho_a C_H U (T_s - T_a) - \iota \rho_a \beta C_H U (q_s - q_a) \end{aligned} \quad (8)$$

で得られる。蒸発散量は、表層より差し引き、表層の水量が0のときは、その下の層より差し引くこととした。

3. 結果と考察

まず、標高・傾斜度メッシュより得られる平均標高データから求めた阿武隈川上流域の落水線を図2に示す。

次に、式(1)を用いて表層のみについて流出解析を行った結果を図3および図4に示す。流量観測地点の白河と須賀川において計算値と実測値を比較すると、両地点とともに降水量に呼応した流量変化を大まかに再現することができた。

この成果に、図2に示した下水処理場のような点源や、畑地、農地等の面源（下水汚泥の緑農地還元を想定）からの病原微生物の発生を考慮することにより、流域内での水中病原微生物の挙動評価が可能となる。

4. おわりに

本研究ではGISを用いた簡易な流出解析により、阿武隈川上流域でのおおまかな流量変化を再現することがで

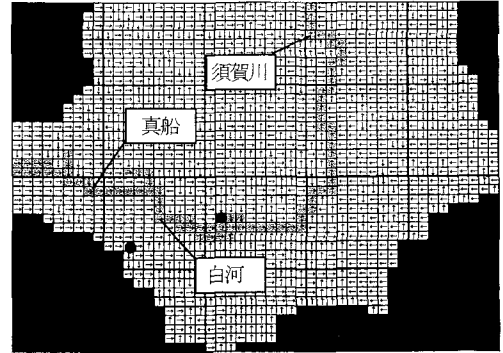


図2 阿武隈川上流域の落水線と流量観測点

(灰色のメッシュが阿武隈本川、●は下水処理場を示す)

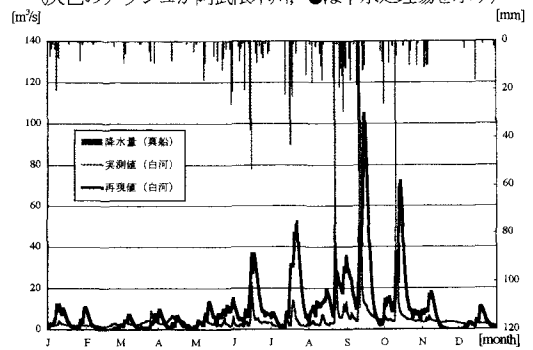


図3 ハイドログラフ（白河）

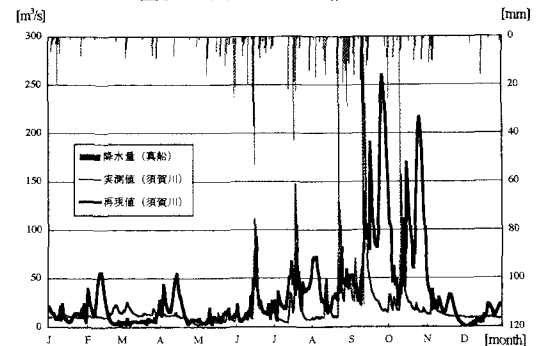


図4 ハイドログラフ（須賀川）

きた。しかし、集中豪雨による突発的な流量増加時には、下水道から高い濃度の微生物が放流される、いわゆるCSOやSSO問題が知られていることから、正確なリスク評価のためには、より短時間での流量変化の予測が可能となるよう、モデルの改良が必要である。

参考文献

- 1) 気象庁：気候変動監視レポート，2003。
- 2) 小尻利治：シミュレーションモデルでの流域環境評価手順の開発，京都大学防災研究所年報，第41号，1998。
- 3) 近藤純正：水環境の気象学，朝倉書店，2004。