

河川流域における水系感染症流行の都市間伝播モデルの開発

東北大学 正会員○渡部 徹
東北大学 正会員 福士謙介
東北大学 正会員 大村達夫

1. はじめに

一般に水道水源として利用可能な河川の流域には、上流から下流まで数多くの都市が立地している。その理由はその河川を水道水源として利用するためであるが、同時にその河川は下水処理水の放流先としても利用されているケースが多い。このような状況では、ある都市の下水処理水は、河川水中に放流され希釈された後、それより下流に位置する都市によって再び取水され、水道原水として利用されることとなる。

上述の水利用システムは、限りある水資源の有効利用という点では効率的である。しかし、何らかの原因で上流の都市で水系感染症の流行が発生した場合には、感染者の糞便中の病原微生物が、水利用の流れによって下流の都市まで運ばれることも考えられ、わずか1都市で始まった水系感染症の流行が、流域一帯を巻き込んだ大惨事へと発展する危険性を秘めている。この危険を予測するため、河川流域都市群内における病原ウイルス（Poliovirus 1）による水系感染症の流行伝播モデルの開発を行った。

2. 年齢を考慮した用量-反応モデル

筆者ら¹⁾は、人間の病原微生物に対する抵抗力は年齢によって変化することに着目し、ある年齢層に属する人間の抵抗力を、(1)式で計算される相対感染確率というパラメータにより表現することを提案した。

$$RS(A) = \frac{K(A)/N(A)}{\sum_A K(A) / \sum_A N(A)} \quad (1)$$

ここで、 $RS(A)$: 相対感染確率[-]

$K(A)$: ある年齢層に属する人間のうち、腸管感染症で通院・入院している人数[人]

$N(A)$: ある年齢層の人口[人]

A : 年齢[歳]

そしてこのパラメータを、ある人間が摂取する病原微生物の個数とその人が感染する確率との関数である用量-反応モデルに、次式を用いて組み込んだ。

$$P^*(D, A) = RS(A) \times P(D) \quad (2)$$

ここで、 $P^*(D, A)$: 年齢を考慮した感染確率[-]

$P(D)$: 1回の暴露で感染が成立する確率[-]

D : 人間が摂取する病原微生物の個数[個]

本研究では、Poliovirus 1の用量-反応モデル $P(D)$ として、(3)式で示される β モデル²⁾を用いた。予測を安全側で行うため、通常処理された水道水中に見られる腸管系ウイルスの濃度レベルとして報告されている 10^{-4} MPNCU/L³⁾において、感染確率を最も高く見積もるこのモデルを選定した。

$$P(D) = 1 - \left(1 + \frac{D}{1000}\right)^{-15} \quad (3)$$

3. モデルの概要

モデルの概念図を図1に示す。このモデルは、河川流域内の2つの都市の間での水利用システムを介した感染症の伝播を記述している。実際の河川流域内には多数の都市が隣接しており、その影響関係は複雑に見えるが、実は単純に、このモデルで表される2都市のみの間の関係の繰り返しとしてとらえることができる。

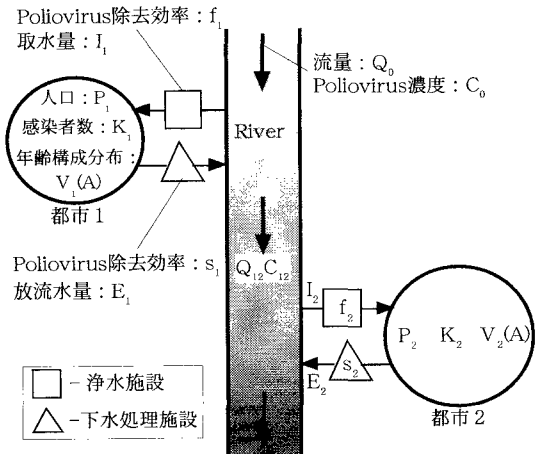


図1 都市間伝播モデルの概念図

このモデルの目的は、都市1、都市2における感染者数 K_1 、 K_2 の関係を明らかにすることである。ここでは、都市1の下水処理場および都市2の浄水場におけるPoliovirus除去率 s_1 、 s_2 により、この2つの都市の感染者数の関係がどのように変化するか、シミュレーションを行って調べた。

3. シミュレーションの方法

シミュレーションの仮定を表1にまとめた。

表1 シミュレーションの仮定

項目	数値
1. 水道水摂取量	2L/日/人
2. 水道水中のPoliovirus濃度の確率分布	はポアソン分布に従う ⁴⁾
3. 家庭用水給水量	210L/日/人
4. 取水量にしめる家庭用水の割合	70%
5. 1日当たりの取水量と下水処理放流量	量は等しい。
6. 感染者の糞便量(湿重) ⁵⁾	100g/日/人
7. 感染者の糞便中のPoliovirus濃度 ⁵⁾	10^6 個/g(湿重)
8. 下水処理場に流入するまでの汚水中におけるPoliovirusの生存率 ⁵⁾	10%
9. 河川水中でのPoliovirusの不活化は無視。	——

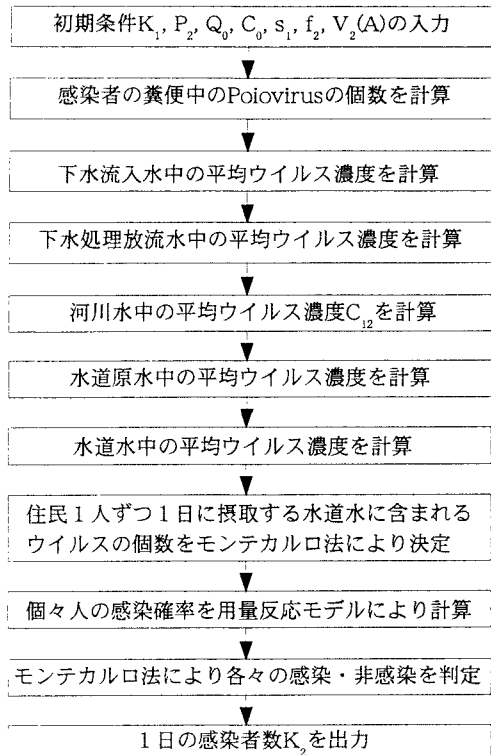


図2 都市2での感染者数を求めるフローチャート

以上の仮定の下で、図2に示す流れでシミュレーションを行い、都市2で1日あたりに発生する感染者数を算出した。

4. シミュレーションの結果.

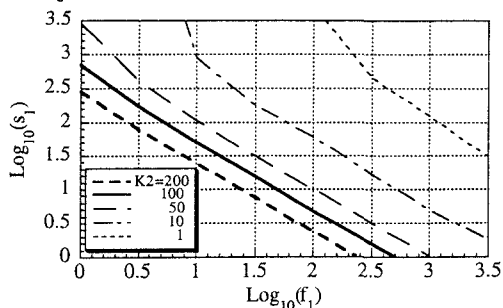
$K_1=100$ 人, $P_0=10,000$ 人, $Q_0=10,000\text{m}^3/\text{日}$, $C_0=0.1\text{N/L}$ を初期条件として与えた場合における、都市1の下水処理施設でのPoliovirus除去効率 s_1 および都市2の浄水施設での除去効率 f_2 と、都市2の感染者数 K_2 との関係を図3に示した。都市2の年齢構成分布である $V_2(A)$ には、発展途上国型、中心都市型、高齢化地域型という典型的な3つのパターンを用いた¹⁾。試行はそれぞれの除去効率の組み合わせにつき20回ずつ行い、その平均値の95%信頼区間の上限値を都市2の感染者数として採用した。

2つの処理施設において、Poliovirus除去効率 s_1, f_2 が図3中で $K_2=1$ を示す点線を越えるような処理がなされているならば、都市2において感染者が発生する確率はかなり小さい($P<0.05$)と考えられる。この場合、都市1で発生した水系感染症の流行が以後、下流の都市に広まっていく危険性は低く、都市1内で終息に向かうと予測される。

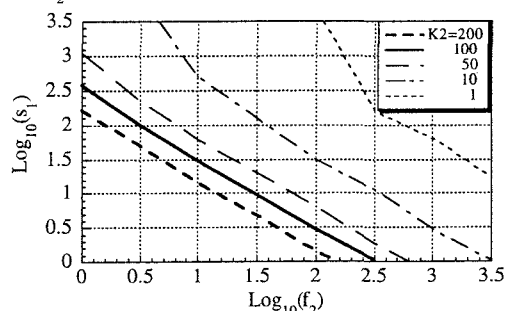
5. 結論および今後の課題

河川流域の水利用システムの特徴を反映させた、水系感染症流行の都市間伝播モデルを構築し、簡単な予測を行った。今後、環境水中でのウイルスの消

(a) $V_2(A)$ が発展途上国型のケース



(b) $V_2(A)$ が中心都市型のケース



(c) $V_2(A)$ が高齢地域型のケース

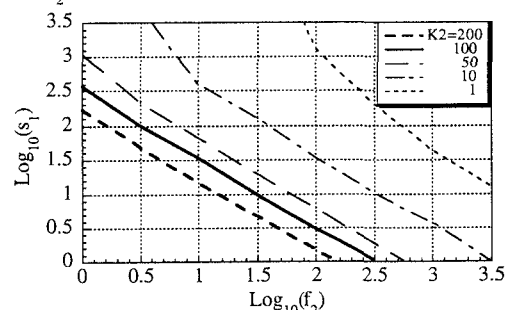


図3 Poliovirus 除去効率と都市2の感染者数の関係

長や河川流量の変化等の因子をモデルに取り入れることで、より現実的に即した伝播予測を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は、戦略的基礎研究事業((財)科学技術振興事業団)の助成により行われたことを報告いたします。

参考文献

- 1) 渡部 他, 第53回土木学会年次講演会講演集, Vol. 7, pp. 318-319, 1998.
- 2) C. N. Haas, *Jour. of Epidemiology*, Vol. 118, No. 4, pp. 573-582, 1983.
- 3) P. Payment and M. Trudel, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 17, Bilthoven, pp. 97-103, 1985.
- 4) C. N. Haas and J. B. Rose, *Wat. Res.*, Vol. 30, No. 10, pp. 2251-2254, 1996.
- 5) Cooper, R. C. et al., *UCB/SEEFRL Report*, No. 84-4, 1984.