

VII-8

河川流域における水利用システムを介した水系感染症アウトブレイクの都市間伝播予測

東北大学大学院工学研究科 正会員○渡部 徹

正会員 福士謙介

正会員 大村達夫

1. はじめに

河川流域に立地した都市では、河川から水道原水を取水すると同時に、下水処理水を再びその河川に放流している場合が多い。このような場合、下流に位置する都市は上流に位置する都市の下水放流水を受容した河川水を利用せざるを得ない。そのため、上流の都市で水系感染症が発生した場合、感染者の糞便中の病原微生物が水利用システムを介して下流の都市に運ばれ、この都市においても水系感染症が発生する危険性がある。特に、浄水・下水処理施設のトラブルにより病原微生物の除去が適切に行われなかった場合にはその可能性が高く、流域全体を巻き込んだ大惨事に発展する最悪なケースも考えられる。本研究では、この河川流域における水系感染症の都市間伝播を予測するため、水利用システムの特徴を反映させた伝播モデルを開発し、それを用いた公衆衛生学的観点からの流域管理手法を提案することを目的とする。

2. 用量・反応関係

ある人間が病原微生物に感染する確率は、その人が摂取した微生物の個数(用量)の関数として表現される。これを用量-反応モデルといい、様々な理論に基づいたモデルがこれまで提案されている。用量-反応モデルには数個のパラメータが用いられており、これはボランティアに対する暴露実験のデータによって決定されるが、ボランティアには比較的健康な人間が属しているため、このモデルでは免疫力の弱い乳幼児や高齢者の感染確率を小さく見積もってしまう恐れがある。そこで筆者らは、相対感染確率 $RS(A)$ というパラメータを用いた、年齢による免疫力の違いを考慮した用量-反応モデルを提案した。

$$P^*(D, A) = RS(A) \times P(D) \quad (1)$$

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]

A : 年齢

本研究においてもこの $P^*(D, A)$ を採用した。病原微生物としてポリオウイルス1型を取り上げ、 $P(D)$ としてはHaas²⁾の提案したベータモデルを使用した。

3. 流行伝播モデル

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概要を図1に示す。表1に示した仮定の下、都市1と都市2の感染者数の関係を探ることをこのモデルの目的としている。本研究では、初期条件として $P_1=P_2=10,000$ 人、 $C_0=0.1$ 個/Lと設定し、 $K_1=100$ 人の場合における都市2における感染者数 K_2 を算出した。モンテカルロ法を用いた都市2における感染者数を算出する過程を図2に示す。

4. 流行伝播係数

前出の流行伝播モデルでは、隣り合う2都市間の感染者数の関係しか記述できないが、式(2)により流行伝播係数(OPC)を算出することにより、流域全体における流行伝播の評価(式(3))に利用することができる。

$$OPC_{12} = K_1/K_2 \quad (2)$$

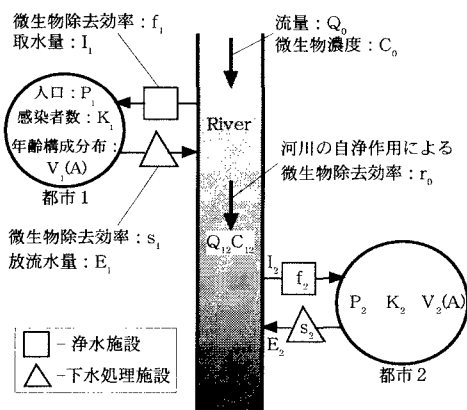


図1 水系感染症流行の都市間伝播モデル

表1 シミュレーションの仮定

項目	数値
人間に関する項目	
水道水摂取量	2L/日/人
感染者の糞便量	100gwt/日/人 ^{a)}
上下水道に関する項目	
家庭用水給水量	210L/日/人
取水量にしろる家庭用水の割合	70%
水道水中の微生物濃度の確率分布は	ポアソン分布に従う ^{a)}
1日当たりの取水量と下水処理放流量は等しい。	
ポリオウイルスに関する項目	
感染者の糞便中のウイルス濃度	10 ⁶ 個/gwt ^{a)}
下水処理場に流入するまでの汚水中におけるウイルス生存率	10% ^{a)}

Key Words: 河川流域, 水利用システム, 水系感染症, 流行伝播, モンテカルロ法, 相対感染確率

東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06 TEL 022-217-7484

$$\begin{aligned}
 K_{\text{all}} &= K_1 + K_2 + K_3 + \dots \\
 &= K_1 + K_1 \cdot \text{OPC}_{12} + K_2 \cdot \text{OPC}_{23} + \dots \\
 &= K_1 \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} \prod_{k=1}^n \text{OPC}_{k(k+1)} \right) \quad (3)
 \end{aligned}$$

上式のように流域都市群での全感染者数は、都市1における感染者数とOPCのみの関数となる。したがって、様々な条件下でOPCを算出することで、水系感染症が最初に発生した都市の感染者数だけで流域全体における流行の評価を行うことができる。

5. 結果および考察

都市2の年齢構成分布 $V_2(A)$ として東京都のものを参考とし、河川の流量を $Q_0=10,000\text{m}^3/\text{日}$ とした場合の、浄水場・下水処理場におけるポリオウイルス除去効率とOPCの関係を図3に示す。OPC=1.0の実線を超える除去効率の組み合わせでは、下流の都市ほど感染者数は減少する。逆に、この線を下回る除去効率の組み合わせでは、下流の都市ほど感染者数が増加し、流域全体に水系感染症の流行が伝播する危険性が高いことを示している。また、図4は河川流量 Q_0 を6,000–100,000 $\text{m}^3/\text{日}$ の4段階に変化させた場合のOPCの変化を示す。ただし、横軸は河川流量に占める都市1の下水処理放流水量(3,000 $\text{m}^3/\text{日}$)の割合として表現した。河川流量が減少しこの割合が高くなる渇水期にはOPCが上昇し、水系感染症流行が下流の都市により容易に伝播することになる。しかしながら、河川流量減少に伴う河川水中のバックグラウンドとしての微生物濃度の上昇が考慮されていないため、この結果だけですべてを結論づけることはできない。

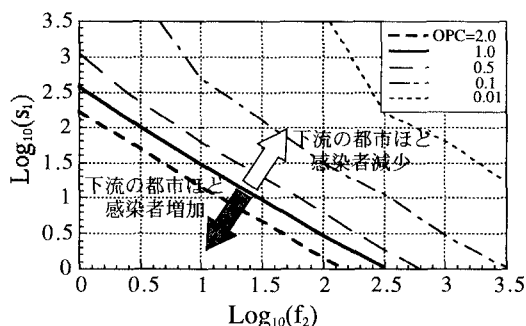


図3 ポリオウイルス除去効率とOPCの関係

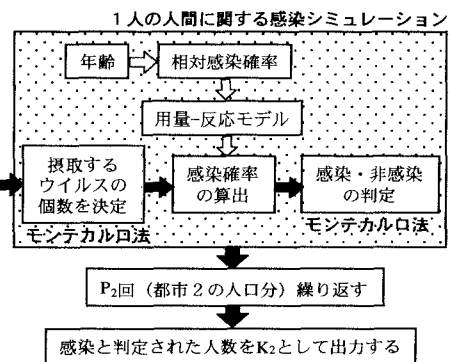


図2 都市2の感染者数を算出する過程

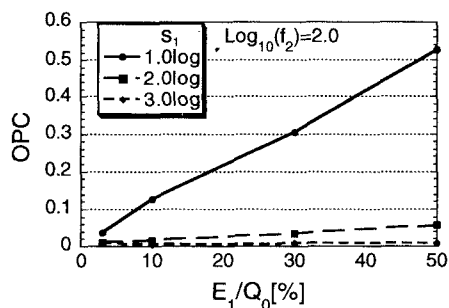


図4 河川流量に占める下水放流水の割合とOPCの関係

6. おわりに

本研究では、河川流域における水系感染症の都市間伝播を予測するモデルを開発し、流行伝播係数(OPC)による公衆衛生的観点からの流域管理手法を提案した。そして、浄水場・下水処理場における微生物除去効率、河川流量を変化させてOPCの算出を行った。今後、河川水中のバックグラウンドとしての微生物濃度などのパラメータとOPCの関係を探るとともに、浄水・下水処理過程ならびに河川水中における微生物のより詳細な挙動をこのモデルに取り入れる予定である。

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) Cooper, R. C. et al., *UCB/SEFRL Report*, No. 84-4, 1984.
- 4) C. N. Haas and J. B. Rose, *Wat. Res.*, Vol. 30, No. 10, pp. 2251–2254, 1996.