

都市における病原微生物による水系感染症のリスク評価

東北大学 学生員(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

近年、水道水源中にウイルスや原虫（クリプトスポリジウム等）のような塩素耐性を有する病原微生物の存在が確認され、水道システムを媒介とした水系感染症の流行が危惧されている。これに対し、現在わが国の飲料水基準では、病原微生物に関する明確な基準は定められておらず、この基準づくりはまさに急務である。

現在わが国の飲料水基準は、全国一律の値に定められている。しかし、水道施設の建設やその維持・管理のコストを考えると、この一定の基準は不合理である。むしろ、対象とする都市の状況を十分考慮した適切なリスク評価に基づく、その都市固有の基準づくりが求められている。

本研究では、都市の特色を示す要因として人口と年齢構成に着目し、水系感染症の原因となる腸管系ウイルスの一種 Poliovirus 1 を対象として、各個人の摂取量と発症の関係についてのシミュレーションを行い、これらの要因が感染リスクに及ぼす影響を評価することを目的とする。

2. 用量-反応関係

病原微生物の感染リスク評価に関しては、これまで用量-反応関係について主に研究されてきた。

2. 1 ロジスティックモデル

Hald¹⁾は、病原微生物の用量-反応関係について、次式で示されるロジスティックモデルを提案した。特にウイルスに対してはこのモデルが適当であることを土田らが証明しており、Poliovirus 1 の場合の感染確率を次式で表している²⁾。

$$P(D) = \frac{1}{1 + \exp(19.951 - 10.932 \log D)}$$

ここで、 $P(D)$: 用量 D の時の感染確率

D : 用量[個]

2. 2 年齢の影響について

水系感染症の場合、感染の成立は基本的に病原体の毒性と生体の防御反応の強さとの関係で決定する。このうち、生体の防御反応と年齢の間には少なからず相関があるとされ^{3,4)}、実際に乳幼児や高齢者に重篤な患者が集中することが多い。

ここでは、感染確率に年齢の影響を加味するために、次の方法で相対感染確率を算出した⁵⁾。

$$\text{罹患率}[\%] = \frac{\text{年齢階級別推計患者数}[\text{人}]}{\text{年齢 5 歳階級別人口}[\text{人}]} \times 100$$

$$\text{相対感染確率} = \frac{\text{年齢階級別罹患率}[\%]}{\text{罹患率の期待値}[\%]}$$

ここで得られた年齢と相対感染確率との関係を図 1 に示す。実際の計算には、用量-反応関係から得られる感染確率に、年齢に応じた相対感染確率を乗じた値を用いる。

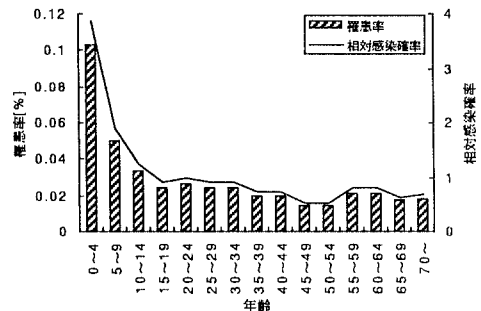


図 1. 年齢と罹患率および相対感染確率の関係

3. シミュレーションの方法

3. 1 モデルの概要

環境水中における病原微生物の数は、ある確率分布に従っている。一般に病原微生物の濃度は希薄であるとされ、ポアソン分布に従うことが証明されている⁶⁾。上水施設における微生物除去が一樣に行われるとすると、給水される水道水に存在する微生物数もポアソン分布に従う。すなわち住民が摂取する微生物数もまたこの分布に従う。

実際のシミュレーションでは、住民 1 人ひとりについて乱数を発生させ、これをもとに各人の摂取微生物数を決定する。そして、これに対応する感染確率を用量-反応モデルを用いて算定し、再び乱数を用いて感染の判定を行う。

また、感染回数は住民 1 人につき 1 回までとし、1 人当たり 1 日 2 L の水道水を摂取するものとする。

3. 2 都市構造について

前述の通り、都市構造について今回のシミュレーションでは、人口の規模とその年齢構成に注目する。年齢構成については図 2 に示す 3 つのタイプに分類した。ここで用いた構成比はそれぞれ次の国、都道府県を参考とした。

type1…途上国型（ザンビア⁷⁾）

type2…首都型（東京都⁸⁾）

type3…高齢化地域型（秋田県⁹⁾）

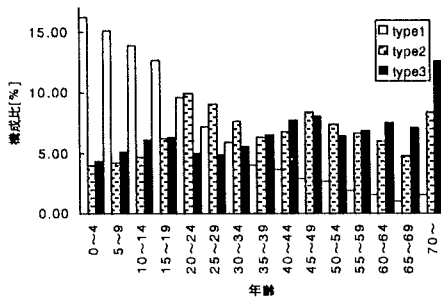


図2. 都市タイプ別年齢構成比

3. 3 評価方法

初期条件として都市の人口と飲料水中の微生物数の平均値（ポアソン分布の平均値）を与える。この条件を変えずに1日を1ステップとして365ステップ、すなわち1年間に渡りシミュレーションを行う。その結果、この条件下での感染リスクは次式で表すこととする。ここでいう感染リスクとは、1人の人間についての1年当たりの感染確率である。

$$R_{\mu} = \frac{K}{P}$$

ここで、 μ ：微生物数の平均値[個/L]

R_{μ} ：感染リスク[人⁻¹年⁻¹]

K：感染者数[人]

P：都市人口[人]

4. 結果と考察

人口10000人の都市を例として、3タイプの都市における微生物数の平均値 μ と感染リスク R_{μ} の関係を図3に示す。

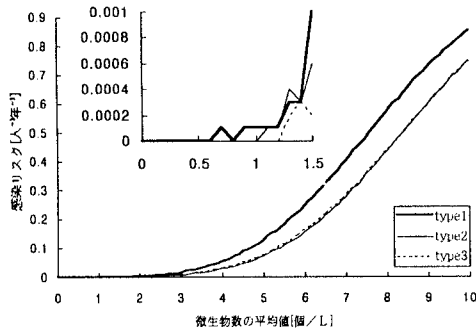


図3. 微生物数と感染リスク
(内挿図：低微生物数域の拡大図)

図3のうち、特に感染リスクが初めて0以外の数をとる時の微生物数は重要である。この微生物数は、この値を飲料水基準とした場合に給水地域の水系感染症を未然に防止することのできる最大無影響量である。人口100人、1000人で同様の試行を行い、その最大無影響量を表したのが表1である。

表1. 都市構造と最大無影響量[個/L]

都市タイプ	都市人口		
	100人	1000人	10000人
type1(途上国型)	1.4~2.8	1.0~2.5	0.5~0.9
type2(首都型)	1.7~3.2	1.4~2.2	1.0~1.5
type3(高齢化地域型)	1.8~3.2	1.2~2.2	1.1~1.3

※5回の試行の最小値と最大値を示した。

表中の値は、乱数を用いる都合上、試行によるばらつきがあるが、安全側を見て下限の値と比較すると、type1が他の都市タイプに比べ小さい値を取ることが分かる。これは、相対感染確率の大きい若年層の構成比がtype1が最も大きいことによる。また、都市人口が増えるにつれ値が小さくなっているのも、やはり若年層の絶対数が増えることによる。

5. 結論

水系感染症の最初の患者となるのは、抵抗力の小さい若年層である。今回の仮定では、この若年層の影響がそのまま感染リスクに表れてしまった。しかし、この若年層人口も都市の特色の一つと考えれば、ここで得られた最大無影響量を考慮した基準値づくりがなされるべきである。

6. おわりに

今回は対象としなかったが、水利用を議論する場合の都市構造として、人口密度や生活スタイル、産業構造なども無視できない因子である。今後、これらも含めた、より精度の高い都市モデルの構築を目指したい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、財科学技術振興事業団から援助頂いたことを報告いたします。

8. 参考文献

- 1) Hald, A : Statistical theory with engineering applications, John Wiley and Sons, 1952.
- 2) 土田武志, 福士謙介, 大村達夫 : 水環境における病原微生物のリスク評価, 第53回年次学術講演会集, 1997.
- 3) 秋葉朝一郎: 病原性微生物学, 南山堂, pp287, 1963.
- 4) 井上, 奥谷, 館, 吉田編 : 必修衛生公衆衛生学, 南江堂, pp.329-336, 1979.
- 5) 総務庁統計局編 : 第47回日本統計年鑑, 毎日新聞社, pp.48-49 and pp.674-675, 1997.
- 6) Haas, C. N. and J. B. Rose : Distribution of *Cryptosporidium* oocysts in a water supply, Water Research 30/10-B, pp.2251-2253, 1996.
- 7) 国際連合編 : 国際連合世界人口年鑑・1995・Vol.47, 原書房, pp.186-187, 1997.