

# 病原微生物に汚染された水道水摂取による 感染症集団発生モデルの開発

渡部 徹<sup>1</sup>・福士謙介<sup>2</sup>・大村達夫<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 東北大学助手 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)

<sup>2</sup>正会員 Ph.D. 東北大学講師 大学院工学研究科土木工学専攻 (同上)

<sup>3</sup>正会員 工博 東北大学教授 大学院工学研究科土木工学専攻 (同上)

近年、水道水源として利用されている水域から、クリプトスポリジウムのような塩素耐性病原微生物の検出が報告されている。浄水処理における消毒プロセスに塩素が用いられている現在、この事実は、水道水を利用する住民が水系感染症の集団発生の潜在的なリスクを有していることを物語っている。本研究では、病原微生物に対する人間の抵抗力が年齢によって異なることに着目し、これを表すパラメータを提案した。そして、このパラメータを用量-反応モデルに組み込むことにより、集団の年齢構成分布を考慮した感染症集団発生モデルの開発を行った。その結果、集団の年齢構成分布は、その集団における感染症の発生形態に影響を与える主要な要因であることが明らかとなった。

*Key Words: infectious diseases, dose-response model, relative sensitivity, age distribution, drinking water*

## 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各地で報告されている<sup>1)</sup>。一方、浄水プロセスでは、水道水の衛生学的な安全性を保証するために塩素消毒が用いられているのが現状であり、これらの病原微生物が塩素消毒によるスクリーニングをくぐり抜け、水道水中に侵入してくる可能性は否定できない。水道水に侵入した病原微生物はその後、水道水が給水される地域の隅々まで運ばれていき、結果として、この水道水を利用する給水地域の住民は病原微生物による感染症の危険性に直面することとなる。

1996年6月、埼玉県越生町において発生したクリプトスポリジウム症の集団感染は、この危険が身近な問題であることを知らしめた。この集団感染では、わずか4週間の間に町の人口の約70%にあたる8,700人あまりもの感染者が発生し、水系感染症流行の爆発力を目の当たりにすることとなった。さらに、1997年7月にはシドニーにおいて、水道水中にジアルジアが検出され、水道公社により水道水の飲料水としての利用禁止が発令され、その後水道水の煮

沸勧告が発令される事態も発生している<sup>2)</sup>。これらの事例を見ても分かるように、水道水を介した病原微生物による水系感染症の流行は、水道水を利用して都市生活を営む人々にとっての驚異であり、その爆発的流行を食い止めるべく、水道水源を含めた浄水過程における病原微生物の管理に関する施策が切に望まれている。そして、その施策立案のために、水系感染症の被害を予測するモデルが必要とされているのである。

これまで病原微生物による感染リスクは、ある人が一度に摂取する微生物の数と、その人が微生物に感染する確率の関数である用量-反応モデルを用いて算出してきた。しかし日和見感染という言葉が示すように、病原微生物に対する人間の抵抗力には個人差があり、乳幼児や高齢者あるいは免疫不全者などは、比較的高い感染リスクを有している。これまでのリスク評価では、これら感染弱者にも健康な人間と同じ用量-反応モデルが適用されており、感染リスクは小さく見積もられてきた。これに対し、本研究では、年齢による病原微生物に対する抵抗力の違いに着目し、その人の抵抗力によって感染確率に重み付けをおこなった。

また、水道水由来の感染症の集団発生を議論する

場合、水道水中の病原微生物の分布は無視できない。土田ら<sup>3)</sup>は、環境水中の病原微生物のこの確率分布を考慮したリスク評価モデルを提案し、解析的に感染リスクを算出している。その結果、確率分布を考慮した場合、特に低用量域において感染リスクが小さくなると結論づけている。本研究では、水道水中の微生物濃度の確率分布がポアソン分布に従うものとして、給水地域内の個人間の病原微生物摂取量にばらつきを与えた。同一人物における1日ごとの摂取量にも同様なばらつきを与えた。

以上の考えに基づき、本研究では、3つの典型的な年齢構成分布をもつ給水地域をモデルケースとし、水系感染症の原因となる腸管系ウイルスの一種Poliovirus 1が水道水中に混入した場合を想定し、水道水の平均ウイルス濃度と給水地域内の感染者数との関係についてシミュレーションを行った。その結果より、年齢構成分布が水系感染症の集団発生に与える影響の評価も行った。

## 2. 用量 - 反応関係

### (1) 用量 - 反応モデル

病原微生物に限らず、その他の毒物や発ガン性物質についても、個人の摂取量と発症確率の関係を定量的に示す用量-反応関係は、リスク評価を行う際に最も重要な因子となる。この用量-反応関係を記述するため、指数モデル、ベータモデル、ロジスティックモデルなど、これまで幾つかの数学モデルが提案されている。Poliovirus 1に関する用量反応モデルも数多く提案されており、とくに低用量域における感染確率の値には大きな差が見られる。この中で本研究では、式(1)で示されるHaas<sup>4)</sup>により提案されたベータモデルを、用量-反応モデルとして用いた。

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

ここで P(D): 1回の暴露で感染する確率

D: 暴露量あるいは用量(個)

モデル選択の理由は、以下の2つである。

- ・ベータモデルは免疫学的な効果も考慮しているため、本論文の論旨と適合している。

- ・浄水処理が正常に行われている場合、病原ウイルスによる水道水の汚染レベルは、おおよそ $10^{-4} \sim 10^{-3}/L^{5),6)}$ あるいは不検出と報告されている。このような低用量域における感染確率が他のモデルよりも高く算出されるこのモデルを用いることにより、感染の状

況が比較的高い感度で把握できる。

### (2) 用量 - 反応モデルの問題点

用量-反応モデルを個々の病原微生物に適用するためには、動物あるいは人間に対する病原微生物の感染データにもとづくパラメータの決定、最適モデルの選択という手順をふまなければならない。特に水系感染症の原因となる腸管系ウイルスは人間のみを宿主とするものが多く、人間に対するデータは必須である。しかし、この種のデータを集めるためには、水や食品に病原微生物が混入する等の事故で、発生した感染者数と事故時の微生物の種類・暴露量を調べるか、あるいはボランティアグループに病原微生物を暴露する実験を行わなければならない。

実際には、事故から有用なデータを集められることは稀であり、多くの場合、ボランティアに対する暴露実験により集められたデータを用いている。しかし、ボランティアグループには比較的健康な人間が属していることを考えると、このデータに基づく用量-反応モデルを、病原微生物に対する抵抗力の比較的小さい乳幼児や高齢者にそのまま適用することは、感染確率を過小評価してしまうこととなる。

### (3) 相対感染確率

年齢による病原微生物への抵抗力の違いは、厚生省により3年毎に実施されている患者調査の統計値にも見られる<sup>7)-9)</sup>。腸管感染症の患者数は、一般的な傾向として、4歳以下の乳幼児において他の年齢層よりも約2倍も多く、他の年齢層ではほぼ同程度の値をとる。しかしながら、年齢が高い層ほどその年齢層に属する人口は減少するため、腸管感染症への罹患率は高くなる。この傾向を用量-反応モデルに反映させるため、本研究では相対感染確率というパラメータを抵抗力の指標として用いた。これは次の手順で算出した。

①統計資料より、各年齢階級 $A_k$ における罹患率 $I(A_k)$ を式(2)により求める。また、式(3)より日本人全体での罹患率 $I^*$ も算出する。

$$I(A_k) = \frac{K(A_k)}{N(A_k)} \quad (2)$$

$$I^* = \frac{\sum_{k=1}^{11} K(A_k)}{\sum_{k=1}^{11} N(A_k)} \quad (3)$$

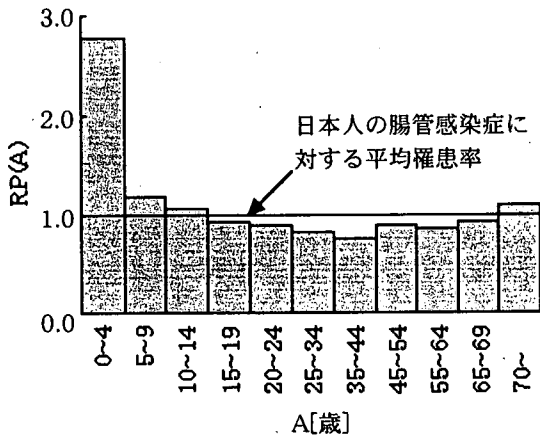


図-1 年齢階級別相対感染確率

ここで  $K(A_k)$ : ある年齢階級における患者数[人]  
 $N(A_k)$ : ある年齢階級の人口[人]  
 $A_k$ : 年齢階級 ( $k=1,2,\dots,11$ )

②日本人全体での罹患率に対する、各年齢層での罹患率の相対値をその年齢における相対感染確率  $RP(A_k)$  とする。

$$RP(A_k) = \frac{K(A_k)}{I^*} \quad (4)$$

データについては、1985年および1990年に行われた国勢調査の結果より年齢階級別人口<sup>8),9)</sup>を、1984年および1990年の患者調査の結果より年齢階級別推計患者数<sup>7),9)</sup>をそれぞれ引用した。そして、1985年の年齢階級別人口と1984年の年齢階級別推計患者数から算出した相対感染確率と、1990年のそれぞれのデータから算出した相対感染確率の平均値を実際の計算では用いた。これを図-1に示す。

この計算に使用した年齢別罹患率の統計値には、年齢による免疫力の違いだけではなく、年齢による病原微生物の用量の違いも影響している。しかし、この年齢別の用量の違いについては現在、有用なデータが存在せず詳細が不明であることより、本研究においては年齢による用量の違いは無視して議論を進めることとした。したがって、この年齢による用量の違いがないという仮定は、後に示す集団感染モデルにおいても同様に採用している。

#### (4)年齢の影響を加味した用量-反応モデル

前節で説明した相対感染確率を、式(5)を用いて従来の用量-反応モデルに導入した。

$$P^*(D, A_k) = RP(A_k) \times P(D) \quad (5)$$

ここで、 $P^*(D, A_k)$ : 換算感染確率

この式を見ても分かるように、相対感染確率とは、

同じ数の病原微生物を摂取した場合、ある年齢層の人間が日本人の平均に比べて、どれだけ感染しやすいかを相対的に示す指標ともいえる。

### 3. 都市域内におけるリスク評価

用量-反応モデルでは、1人の人間における病原微生物の摂取量と感染確率に関する情報しか与えないが、日常生活においては、同じ水道システムを利用している人間でも摂取する微生物量にはばらつきが生じる。したがって、給水地域全体がその標的となる水系感染症のリスクを議論する場合、このばらつきを無視することはできない。微生物摂取量の個人間のばらつきを考慮したリスク算出方法として、以下のモデルを提案する。

#### (1)感染症集団発生モデル

##### a)水道水の病原微生物濃度

Haas & Rose<sup>10)</sup>は、同一の水域から採水した一定量の環境水中に含まれる病原微生物の数は、ある確率分布に従っていることを明らかにした。通常、水道水源として利用される環境水中の病原微生物濃度は非常に希薄であることより、ここでは確率分布としてポアソン分布を用いる。

水道水源から浄水場へ流入するまでの間の病原微生物の不活化を無視するならば、浄水場に流入する水道原水中の微生物数の確率分布は、水道水源における分布と同一の分布をとるはずである。さらに、浄水場における微生物除去がその微生物の濃度変化の確率分布に影響を与えないと仮定すると、浄水場から送水される水道水中の微生物数の確率分布もまた、ポアソン分布に従うと考えることができる。ただし、浄水場における微生物除去により、水道水の微生物濃度の平均値は水道原水の平均値よりも小さくなる。

水道水源の病原微生物の濃度レベルおよび濃度分布は1年を通じて不変であるものとする。すなわち、水道水源での微生物濃度の1日ごとの平均値を365日間通じて一定とする。この条件下では、先に示した浄水場における微生物除去が一様に行われるという仮定により、水道水の微生物濃度の平均値も1年中一定となる。

##### b)水道水摂取量

給水地域の住民の1日あたりの水道水摂取量を2L/日とする。これは米国環境保護庁 (USEPA) が飲料水基準設定時に行うリスクアセスメントに用いられる値である。我が国においてもこれを踏襲し、水道水基準はこの摂取量をもとに算出されている。

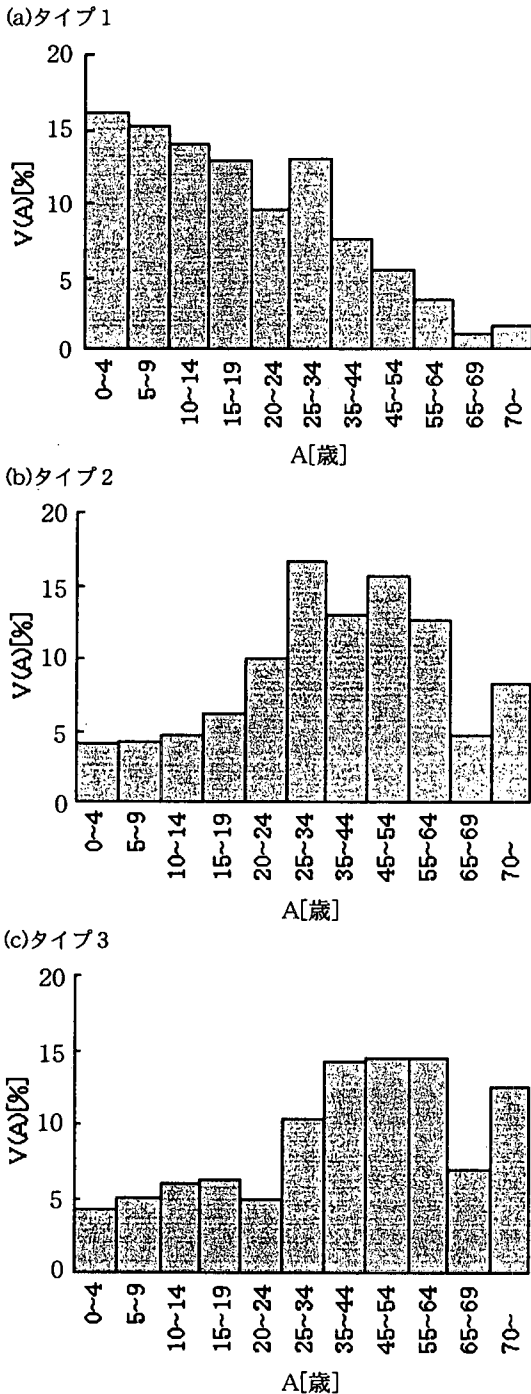


図-2 タイプ別年齢構成分布

我々の感覚からすると、2L/日という摂取量は現実よりも大きい。しかし、この影響は微生物摂取量の増加による感染リスクの過大評価として表れ、結果として安全側に働くので問題とはならない。

ここまでの仮定により、住民はある一定の平均値をもつポアソン分布に従う数の病原微生物を含んだ

一定量の水道水を1年間に渡り飲み続けることになる。

## (2)都市タイプの分類

集団の年齢構成分布の典型例として、以下の3つのタイプをリスク算出に用いることとする。

- ・タイプ1…発展途上国型

出生率、死亡率がともに高く、年齢が高くなるにつれ人口が激減する。若年層(0~20歳)の割合が特に高いことが特徴。1990年のザンビア<sup>11)</sup>の年齢構成分布を参考にした。

- ・タイプ2…中心都市型

青年層(20歳代)および成年層(40歳代)の人口構成比が高い。1995年の東京都<sup>12)</sup>の年齢構成分布を参考にした。

- ・タイプ3…高齢化地域型

過疎化の進んだ地域で青年層の割合が低い。一方、他の2つのタイプに比べ老年層(70歳~)の割合が高く、高齢化の傾向が見られる。1995年の秋田県<sup>12)</sup>の年齢構成分布を参考にした。

3つのタイプの年齢構成分布を図-2に示す。

## (3)シミュレーションの方法

集団の中で1年間に発生する水系感染症の総感染者数を求めるシミュレーションの流れを示したのが、図-3である。

まず初期条件として、単位体積の水道水に含まれる微生物数の平均値 $C$ [個/L]を与える。また、集団の人口 $P$ [人]、年齢構成分布 $V(A_i)$ [%]、年齢階級と相対感染確率 $RP(A_i)$ の関係を示す相対感染確率分布、対象とする病原微生物に関する摂取量と感染確率 $P(D)$ の関係を示す用量-反応モデルもここで定義する。また、ある人の感染の状況を表すため、感染した人を $B_i=1$ 、感染していない人を $B_i=0$ として区別した。ここで、添え字 $i$ は個人を区別するために形式的につけた番号である( $i=1, 2, \dots, P$ )。

実際の計算に先立ち、年齢構成分布に従うように集団の各人が属する年齢層 $A_i$ を決定し、その年齢層からその人の相対感染確率 $RP(A_i)$ を算出する。また、初期状態では各人とも健康であるものとする( $B_i=0$ )。

1日あたりの感染者数を算出する過程は以下の通りである。まず、集団の一人ひとりに対して0から1までの一様乱数 $r_1$ を発生させる。この乱数に基づき、モンテカルロ法により1日に摂取する微生物数 $D$ [個/日]を決定する。ただし摂取微生物数は、摂取する水道水 $2$ [L/日]に含まれる微生物数の平均値 $2C$ [個/日]を平均値とするポアソン分布に従うように決定される。この摂取微生物数から用量-反応モデルを用いて

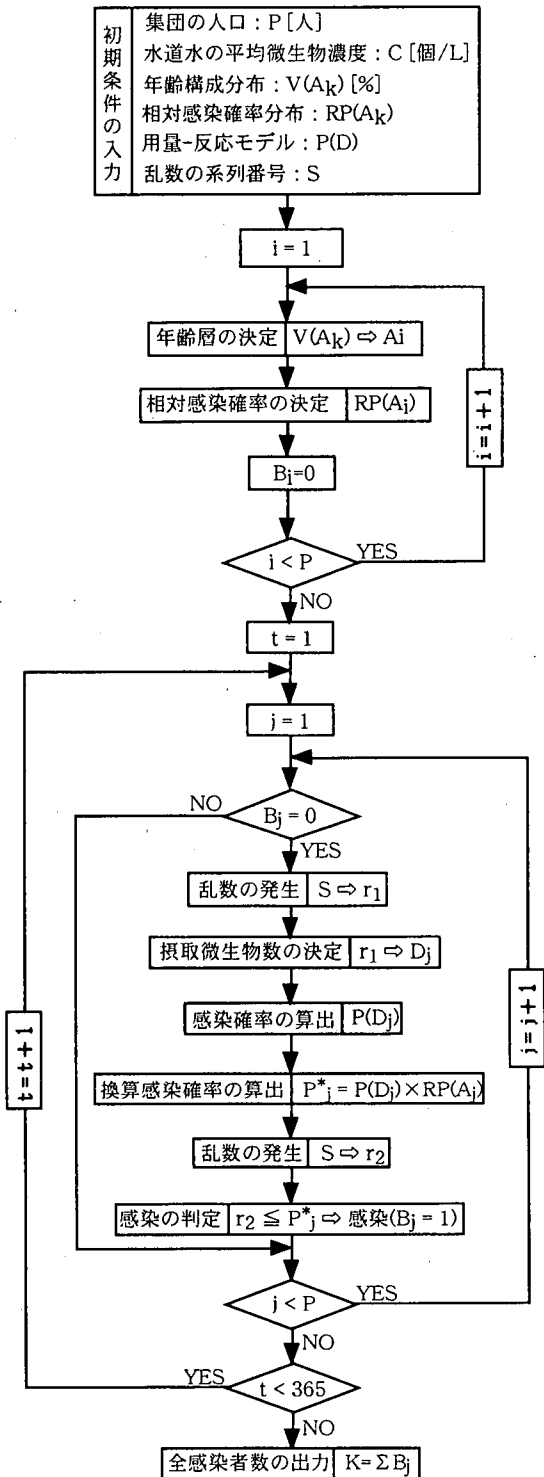


図-3 1年間の全感染者数を求めるフローチャート。ただし、図中の*i, j*は個人を表す番号、*t*はステップ数である。

感染確率  $P(D)$  を算出する。さらに、この感染確率に年齢に合わせた相対感染確率  $RP(A_i)$  を乗じるにより換算感染確率  $P^*$  を求める。そして、この換算感染確率に基づき、再びモンテカルロ法を用いて感染の判定を行う（ここで発生させる乱数  $r_2$  も0から1までの一様乱数であるが、 $r_1$  とは独立な乱数である）。ここまでの行程を、集団の人口  $P$  [人] の一人ひとりに対して行い、感染の判定を受けた人 ( $B_i=1$ ) の総数を1日あたりの感染者数とする。

同様の過程を365ステップ、すなわち1年間に渡り実行する。Poliovirus 1による感染に対する免疫は、同一の型に対しては一生継続<sup>13)</sup>ため、一度感染と判定された人間に関しては以後のステップで感染の判定は行わない。そして、365ステップ後の感染者数をこの1年間で水系感染症に感染した全感染者数とする。

#### (4) リスク評価の方法

シミュレーションにより算出された1年間の全感染者数から、この集団における水系感染症のリスク評価を行うために、次の2つの評価方法を用いる。

##### a) 感染リスクの算定

まず、水系感染症の流行の度合を示す指標として、式(6)によって示される感染リスクを定義する。

$$R = K/P \quad (6)$$

ここで、 $R$ ：感染リスク[1/年]

$K$ ：1年間の全感染者数[人/年]

$P$ ：集団の人口[人]

この感染リスク  $R$  とは、住民1人が1年間で水系感染症に感染する確率を表しており、水道水基準設定の際には重要な意味を持つ。

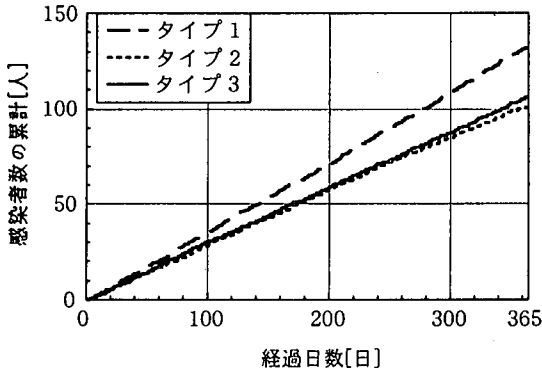
人口  $P$  [人] の集団において、上式で求めた感染リスクが  $R < 1/P$  であるとき、例えば  $P=10000$  [人] の集団の感染リスクが  $R < 10^{-4}$  であるとき、その集団において水系感染症の集団感染が発生する危険性は、1人感染するかしないかという非常に小さいレベルとなる。したがって、水道水中の病原微生物による感染リスクとして、 $R=1/P$  をその集団における水道水中の許容リスクと設定し、この許容リスクを満たす、すなわち  $R < 1/P$  となる平均微生物濃度を水道水基準に採用することにより、その集団内における水系感染症の流行を高い確率で防止することができる。

##### b) 流行拡大速度の算定

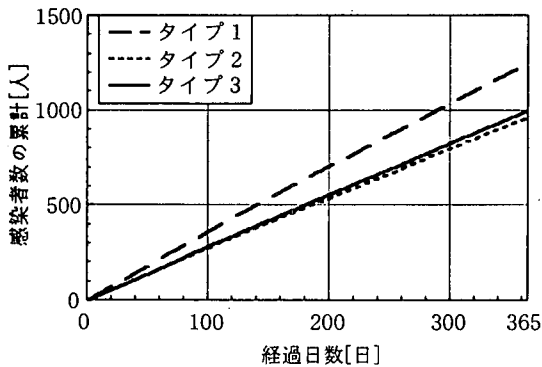
次に、水系感染症の流行がどれだけ迅速に集団内に拡大していくかを示す指標として、式(7)によって表される流行拡大速度を定義する。

$$v_x = x/T_x \quad (7)$$

(a) C=0.001 個/Lの場合



(b) C=0.01 個/Lの場合



(c) C=0.1 個/Lの場合

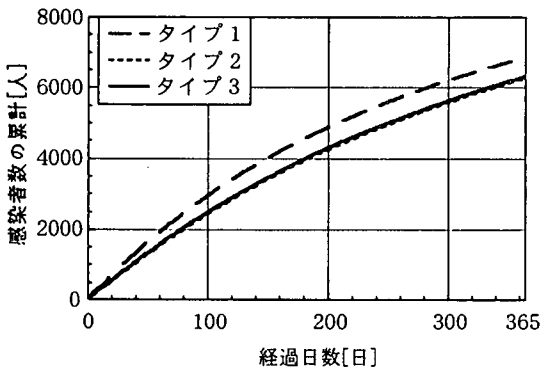


図-4 集団内における感染者数の累積

ここで、 $v_x$ : x% 流行拡大速度[1/日]

$T_x$ : 最初の感染者が発生してから感染者数が人口のx%を初めて超えるまでの経過日数[日]

水系感染症の流行を決定付ける基準は定められていないため、ここでは人口のx%という幅をもった数字で流行の判断基準とする。

例えば1%流行拡大速度 $v_1$ とは、水系感染症の最初の感染者の発生後、人口の1%に累積感染者数が達す

表-1 1%流行拡大速度(単位:1/日)

年齢構成 分布	水道水中の平均Poliovirus濃度[個/L]		
	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$
タイプ1	0.364	3.74	37.3
タイプ2	0.284	2.79	29.4
タイプ3	0.293	2.83	29.4

るまでの速さを示す指標である。水系感染症は、前述の通り水道水を介してその流行を拡大していく。この流行拡大速度が大きい都市では、最初の感染者が確認された場合、直ちに給水制限等の対策が講じられる必要がある。逆にこの速度が小さい都市では、当然対策は必要とされるが、水源汚染が緩和される傾向にある場合には、その後の経過を観察してから対策でも十分有効である。このようにこの流行拡大速度とは、その都市の水系感染症の流行に対する脆弱性を示しており、流域管理において重要な役割を果たす。

感染症流行の初期段階では、主に乳幼児や高齢者などの感染症に対する抵抗力の小さい人間が感染すると考えられるため、この抵抗力の小さい人間が多い集団ほど、流行拡大速度は大きくなることが予想される。すなわち集団の年齢構成分布はこの指標の重要な因子の一つである。そこで本研究では、年齢構成が流行拡大速度に与える影響について集団感染モデルを用いた試行によって明らかにした。

#### 4. 結果および考察

##### (1)感染者数

年齢構成分布の3つのタイプ(人口はすべてのタイプにおいて $P=10000$ [人]とした)について、水道水中の平均Poliovirus濃度 $C$ [個/L]の値を0.001, 0.01, 0.1 個/Lの3段階に変化させて、1年間の総感染者数の変動を調べた。それぞれの濃度に対して乱数の系列を変えて100回の試行を行い、リスク評価の安全性から平均値の95%信頼区間の上限値を採択した。各都市タイプにおける総感染者数の変動を図-4に示す。3つの濃度レベルにおける感染者数の累積に共通することは、タイプ1が他のタイプに比べ累積の度合いが大きく、タイプ2とタイプ3の累積が近い推移をすることである。この状況は、表-1に示す1%流行拡大速度にも顕著に表れている。すなわち、表-1より、タイプ1では最大で、タイプ2の1.34倍、タイプ3の1.32倍も早く、感染症の流行が集団内に拡大することになる。また、タイプ2とタイプ3の間で

表-2 水道水中の平均 Poliovirus 濃度と感染リスクの関係

年齢構成 分布	水道水中の平均Poliovirus濃度[個/L]					
	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$10^0$
タイプ1	0.0000	0.0013	0.0133	0.1236	0.6867	1.0000
タイプ2	0.0000	0.0010	0.0104	0.0983	0.6275	1.0000
タイプ3	0.0000	0.0010	0.0105	0.1001	0.6350	1.0000

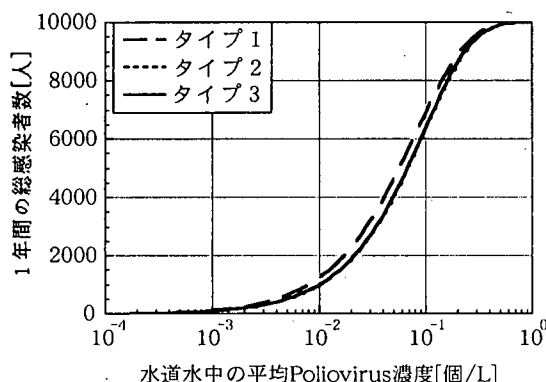


図-5 水道水中の平均 Poliovirus 濃度と年間総感染者数の関係

有意水準 5% で検定を行ったところ、有意差なしという結果であった。

## (2) 感染リスク

水道水中の平均 Poliovirus 濃度と 1 年間の総感染者数との関係は、図-5 のようになる。また、代表的な濃度における感染リスクは、表-2 のようになる。

表-2 に示すように、平均 Poliovirus 濃度が  $10^{-5}$  個/L の場合、どのタイプの集団においても感染リスクは 0 となる。ただし厳密に言えば、100 回の試行ですべてが感染者 0 人となったわけではなく、1 人だけであるが感染者が発生した試行も数回あった。よって正確には、表-2 に示した感染リスク  $10^{-4}$  のさらに 100 分の 1、すなわち  $10^{-6}$  程度の感染リスクが、この低い濃度レベルにおいても存在していると考えられる。また、平均 Poliovirus 濃度が  $10^0$  個/L の場合には、3 つのタイプすべてで感染リスクが 1 となり、集団のすべての人間が感染することとなる。このような極端な条件下では、集団の年齢構成分布の影響はまったく見られないが、 $10^{-1}$  個/L から  $10^{-1}$  個/L までの濃度条件では、タイプ 1 が他の 2 つのタイプを卓越している。特に、平均 Poliovirus 濃度が  $10^{-3}$  の場合には、タイプ 1 の感染リスクはタイプ 2 の 1.3 倍も高く、その差は無視できないものとなっている。一方、タイプ 2 とタイプ 3 の間では、どの濃度レベルにおいても有意差は見られなかった (有意水準 5%)。

## (3) 年齢構成分布の影響

流行拡大速度、感染リスクのどちらの指標をみても、タイプ 1 が他のタイプの集団に比べ、水系感染症の流行に対する抵抗力が小さいことがわかる。これは、タイプ 1 の年齢構成分布の特徴である、0~14 歳の人口の割合が多いことに起因している。この年齢層のうち、特に 0~4 歳の年齢層の相対感染確率は、他の年齢層の約 3 倍である。つまり、相対的に水系感染症に弱い年齢層の割合が大きいタイプ 1 の集団では、他のタイプの集団よりも低い Poliovirus 濃度で、水系感染症が蔓延する危険性があるといえる。

また、タイプ 2 とタイプ 3 の間では、流行拡大速度、感染リスクともに有意差が見られなかった。この 2 つのタイプの年齢構成分布の違いは、70 歳以上の人口の割合である。この年齢層も比較的感染症に弱い年齢層であるが、タイプ 2 とタイプ 3 の間の差程度では、この年齢層の影響は顕著には表れないことがわかった。

## 5. 結論

本研究では、年齢による病原微生物に対する抵抗力の違いを用量-反応モデルに組み込み、モンテカルロ法を用いたシミュレーションを行うことにより集団の感染リスクを算出する、新しいリスク評価方法を提案した。この方法を用いることにより、1 人の人間を対象としてきた従来のリスク評価方法ではなし得なかった、比較的感染リスクの高い人間の影響を集団の感染リスクに反映させることが可能となった。また、この方法により 3 つのモデルケースを用いた解析においては、感染リスクおよび流行拡大速度ともに最大 1.3 倍もの差がみられ、集団の年齢構成分布がその集団の感染リスクを算出する際の重要な因子であるという結論を得るに至った。

また本研究では、水道水の比較的低い汚染レベルにおいて 1 年間の感染リスクの算出を行ったが、実際の集団感染はより高い汚染レベルの水道水が原因となり、より短時間で突発的に発生するものである。本研究で提案された集団感染モデルは、時間間隔を

短縮することにより、このような突発的な集団感染の発生予測にも適用が可能である。

謝辞：本研究は、科学技術振興事業団戦略的基礎研究事業から一部助成を受けたことを報告いたします。

#### 参考文献

- 1) 金子光美：水系感染症とその対策，水道協会雑誌，Vol. 67, No. 768, pp. 2-21, 1998.
- 2) 大垣眞一郎：消毒技術の現状と動向，水環境学会誌，Vol. 21, No. 9, pp. 560-565, 1998.
- 3) 土田武志，福士謙介，田中宏明，大村達夫：環境水における病原微生物数の確率分布を考慮したリスク評価モデル，土木学会論文集，No. 615/VII-10, pp. 61-68, 1999.
- 4) Haas, C. : Estimation of risk due to low doses of micro-organisms : A comparison of alternative methodologies, Jour. of Epidemiology, Vol. 118, No. 4, pp.573-582, 1983.

- 5) Guttman-B., N. and B. Fattal: Analysis of tap water for viruses: Results of a survey, Water Science and Technology, Vol. 17, No. 10, pp. 89-96, 1984.
- 6) Payment, P. and M. Trudel: Detection and health risk associated with low virus concentration in drinking water, Water Science and Technology, Vol. 17, No. 10, pp. 97-103, 1984.
- 7) 総務庁統計局編：第43回日本統計年鑑，毎日新聞社，pp. 50-51 and pp. 660-661, 1993.
- 8) 総務庁統計局編：第39回日本統計年鑑，毎日新聞社，pp. 40-41, 1989.
- 9) 総務庁統計局編：第36回日本統計年鑑，毎日新聞社，pp. 628-629, 1986.
- 10) Haas, C. N. and J. B. Rose : Distribution of *Cryptosporidium* oocysts in a water supply, Water Research, Vol. 30, No. 10-B, pp. 2251-2253, 1996.
- 11) 国際連合編：国際連合世界人口年鑑 1995，原書房，pp. 186-187, 1997.
- 12) 総務庁統計局編：第47回日本統計年鑑，毎日新聞社，pp. 48-49, 1997.
- 13) 飯田広夫：感染症，理工学社，pp. 333-337, 1981.

(1999. 4. 19 受付)

## DEVELOPMENT OF OUTBREAK MODEL ON WATERBORNE INFECTIOUS DISEASES BY PATHOGENIC MICROORGANISMS THROUGH DRINKING WATER

Toru WATANABE, Kensuke FUKUSHI and Tatsuo OMURA

Pathogens which have chlorine tolerance were detected in water environment used as sources of drinking water in recent years. This report indicates that the community supplied with the drinking water has the potential risk for outbreaks of waterborne diseases. In this paper, the parameter expressing the human sensitivity against pathogens was proposed. By combining this parameter with conventional dose-response models, the novel outbreak model on waterborne diseases was developed. This model included an age distribution in the community and an existence distribution of pathogens in drinking water. It became obvious by the simulation using this model that the age distribution in the community was an important factor for characterizing outbreaks of waterborne diseases in the community.