

環境水中における病原性微生物数の確率分布を考慮したリスク評価モデル

山形県庁土木部河川課 正会員 土田 武志
 東北大学工学部 正会員 福士 謙介
 同上 正会員 大村 達夫

1.はじめに

近年、水需要の増加に伴い種々な水源の活用がなされてきている。それによって水の安全性が懸念されており特に公衆衛生的な立場から、水環境中で暴露される病原性微生物の違いにより人体にどのような影響があるのかを予測するのは重要である。しかしその一方で、水環境中における病原性微生物の統計的分布特性についてはあまり研究されておらず、リスクアセスメントによる水質基準の設定については環境中の分布を考慮したものはこれまでにない。本研究では、既存の用量反応モデルに環境中での病原性微生物の確率分布を考慮した新しい感染リスクモデルを提案する。

2.モデルの構造

モデルについて論ずる前に次のような仮定を立てる。以下に述べる論は、この仮定の下に成り立つものである。

- ・環境水中の病原性微生物の中で、ある種類の病原性微生物について着目し、その感染確率を考える。
- ・考える病原性微生物の各々の個体は、各々等しい感染能力を持つ。

(1)用量反応モデル

まず、既存の用量反応モデルの内、次の3つの式で表されるモデルを示す。

- ・指数モデル
- ・β分布感染確率モデル
- ・ロジスティックモデル

$$P(D) = 1 - \exp(-\gamma D) \quad P(D) = 1 - (1 + (D/\beta))^{-\alpha} \quad P(D) = [1 + \exp(M - N \log D)]^{-1}$$

ここで、 $P(D)$: 感染確率, D : 用量[個] である。また、 α , β , γ , M , N はパラメータであり、各モデル毎に最終的に感染実験の結果に最も良くフィットするように設定される。

本研究をするに当たって、まず、Haas¹⁾の集めた感染確率の実験結果を用いて、先に述べた3つのモデルにパラメータフィッティングを行った。その結果を表1に示す。また、モデルがどのように実験結果にフィットしているのかを、*Salmonella typhosa* の場合を例にとり図1に示した。

(2)病原性微生物の環境中での分布

Haas & Rose²⁾は、環境水のある採水量 $V(l)$ だけ採水したとき、その中にいる病原性微生物の数はある確率分布に従っているとした。

表1 パラメータフィッティングの結果

病原性微生物名	βモデル		指数モデル	ロジスティックモデル		病原性微生物に対する最適なモデル
	α	β	$\gamma (\times 10^{-3})$	M	N	
細菌類						
<i>Salmonella typhosa</i>	0.1591	21403	3.1769	6.1516	0.93911	βモデル
<i>Shigella dysenteriae</i> 1	0.28286	21.346	4431.4	3.3414	1.3429	βモデル
<i>Shigella flexneri</i> 2A#	0.18443	65.276	-	2.9758	0.84257	βモデル
<i>Shigella flexneri</i> 2A##	0.330615	5563.4	23.181	8.1619	1.78795	βモデル
ウイルス類						
<i>Poliovirus</i> (Minor's data)	5962.5	743090	8024	19.951	10.932	$0.2 \times 10^{-3} \times 10^{-3}$
<i>Poliovirus</i> (Lepore's data)	0.11427	163.63	-	2.9733	0.605065	βモデル
<i>Poliovirus</i> 3	0.41782	0.81379	272910	0.90295	1.5727	$0.2 \times 10^{-3} \times 10^{-3}$
<i>Echovirus</i> 12	0.91845	50.3725	13038	3.7558	2.1155	$0.2 \times 10^{-3} \times 10^{-3}$
原生						
<i>Entamoeba coli</i>	0.13054	0.59079	-	1.889	0.86711	βモデル

--- は5%の有意水準で、x²検定の結果棄却されたものである。

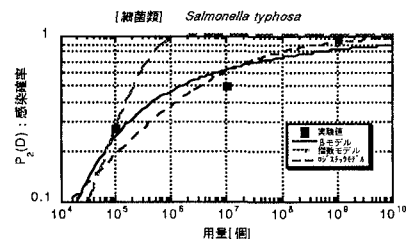


図1 *Salmonella typhosa* の用量反応モデルと実験値のフィッティングの様子

Key Words : 病原性微生物 感染確率 用量反応モデル 確率分布 リスク評価

〒990-70 山形市松波 2-8-1 TEL 0236-30-2612

〒980-77 仙台市青葉区荒巻字青葉 TEL 022-217-7480 FAX 022-217-7482

確率分布はポアソン分布、正規分布、指数分布などの分布が考えられるが、ポアソン分布の場合には次に述べるように理論的に導くことが可能である。

- ・ μ : 1 l (または ml) 採水時に病原性微生物が 1 個いる確率
- ・ V : 採水する水の量 (l または ml)
- ・ $a (= \mu V)$: V 中にある病原性微生物の平均の数 [個]

とくと、採水量 V の中に D 個の病原性微生物がいる確率 $P_V(D)$ は、確率 μ の試行を V 回試す時に D 回成功することと等しいので、 V が大きい時は次のようにポアソン分布の式を導くことができる。

$$P_V(D) = {}_V C_D \cdot \mu^D \cdot (1 - \mu)^{V-D} = (a^D e^{-a}) / D!$$

(3) 分布を考慮した感染確率

環境中から V (l) 採水した時、 D (個) の病原性微生物がある確率分布 $P_1(D)$ を持って存在していると仮定する。その水を V (l) だけ飲んだとき、用量 D (個) で感染する確率 $P(D)$ は、 $P(D) = P_1(D) \times P_2(D)$ のように条件付き確率として表すことができる。

ここで、 $P_2(D)$ はパラメータフィットさせた用量反応モデルにおける感染確率である。*Salmonella typhosa* の場合を例にとり、本モデルの概念を示したのが図 2 である。図 2 中において、点線と一点鎖線のように $P_1(D)$ と $P_2(D)$ を仮定し $P(D)$ を計算し図示したものが実線である。ここで $P(D)$ の値を D が 0 の時から ∞ まで積分すれば、それはある確率分布を持った水を V (l) 飲んだときに感染する確率 P_V を表すことになる。即ち、 $P_V = \int P(D) dD$ である。*Salmonella typhosa* について分布の平均値と分散を変化させて P_V を求めたものを表 2 に示す。

3. 結果の考察

図 1 及び表 1 からわかるように、最適な用量反応モデルは各病原性微生物によって異なるため、場合にに応じて使い分けることが必要である。また図 2 は、病原性微生物が環境水中に確率分布するため、大きな用量でもその用量を飲むという確率自体が少ないから、結果としてその用量で感染する確率は小さくなるということを明確に示している。さらに、表 2 をみると用量反応モデルがロジスティックモデルの場合は、病原性微生物の分布の平均が小さい時に他の 2 つのモデルの場合に比べ大きな感染確率をとり、また、確率分布の分散が変わっても同じ平均であれば感染確率はほぼ同じであるということがわかる。

4. おわりに

本研究では水環境における病原性微生物のリスク評価手法として、用量反応モデルに代わり環境水中の分布を考慮したモデルを提案した。病原性微生物と人との反応の関係を示すデータが少ない現状では、明確な感染リスクを求めることは極めて難しいが、本モデルは既存の用量反応モデルに比べ環境中の分布を考慮するという点で、実際の病原性微生物のリスク評価におけるより実用的なモデルであると考えている。

参考文献 1) Haas, C. N.: Estimation of risk due to low doses of microorganisms: A comparison of alternative methodologies, Amer. Jour. of Epidemiology Vol.118, No.4, pp.573-582, 1983.

2) Haas, C. N. & J. B. Rose: Distribution of *Cryptosporidium* oocysts in a water supply, Water Reserch 30/10-B, pp.2251-2253, 1996

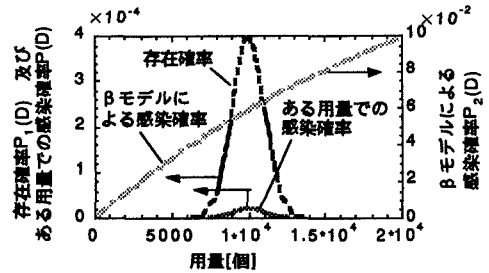


図 2 *Salmonella typhosa* の場合における感染確率評価モデルの概念図

表 2 *Salmonella typhosa* の場合の分布を考慮した感染確率

		用量反応モデル: $P_2(D)$		
確率分布 $P_1(D)$	(a) または (μ, σ)	β モデル	指数モデル	ロジスティックモデル
	(0.1)	0.007	0.003	2.06
	(0.5)	0.037	0.016	9.07
	(1.0)	0.074	0.032	15.8
	(20, 10)	1.49	0.64	71.5
	(20, 20)	1.49	0.64	71.3
	(10^2 , 10)	7.41	3.18	137
	(10^2 , 10^2)	7.41	3.18	137
	(10^3 , 10^2)	72.4	31.7	344
	(10^3 , 10^3)	72.4	31.7	344
	(10^4 , 10^3)	592	313	835
	(10^4 , 10^4)	592	313	835

単位 [$\times 10^{-4}$]

確率分布のうち (a) はポアソン分布の平均、
(μ, σ) は正規分布の (平均、分散) を意味する。