

# コンポスト型トイレにおける 病原微生物の二次感染リスク評価

中川直子<sup>1</sup>・山越一乃<sup>2</sup>・大江華<sup>3</sup>・大瀧雅寛<sup>4</sup>

<sup>1</sup>修(理) お茶の水女子大学大学院 人間文化研究科人間環境科学専攻 (〒112-8610 文京区大塚 2-1-1)

E-mail:urbanoasis@pop11.odn.ne.jp

<sup>2</sup>文化服装学院 服飾研究科 (〒151-8522 渋谷区代々木 3-22-1)

<sup>3</sup>東京大学大学院 新領域創成科学研究科 環境学専攻 (〒113-0033 文京区本郷 7-3-1)

<sup>4</sup>正会員 博(工) お茶の水女子大学大学院助教授 人間文化研究科人間環境科学専攻 (〒112-8610 文京区大塚 2-1-1)

水を使わずかつ資源回収が可能なコンポスト型トイレが現在の流域・都市の水循環が抱える問題を解決するものとして注目されている。しかし、コンポスト型トイレは水洗トイレとは異なり、排泄物を生活環境内にとどめておくため、病原微生物の二次感染について留意する必要があると考えられる。本論文では、コンポスト型トイレの衛生的安全性を調べることを目的とし、従来の水系病原微生物リスク評価をコンポスト型トイレに適用して、病原微生物の二次感染リスク評価を行い、コンポスト型トイレに要求される病原微生物除去率や必要処理時間について考察した。結果としてウイルスの方がリスクが高く、それに応じてトイレ内での必要除去率も高くなることが示唆された。また、井戸水を介した間接暴露においても、直接暴露に匹敵するリスクが生じる可能性についても示唆された。

**Key Words :** *microbial risk assessment, compost type toilet, dry toilets, MonteCarlo Simulation*

## 1. はじめに

現在の流域・都市の水循環が抱える問題点の一つに、尿水系排水に含まれる窒素、リンなどを水域へ排出することによる湖沼や内湾の富栄養化があげられる。これは同時に河川・地下水から大量の水を取水することによる水資源管理への負担、そして病原微生物による河川、湖沼、地下水の汚染も引き起こしている<sup>1)</sup>。

尿尿収集に関しては、基本的に集中型処理と、分散型処理という2種類に分けられ、下水道システムは前者に属する<sup>2)</sup>。

Otterpohl は、従来型的水洗トイレによって糞便が排水と混じる場合、大量の水の中に潜在的に危険な病原菌や微量汚染物質(製薬残余物)を拡散させ、雑排水の経済的利用や肥料生産機能も失う結果になることと、従来の集中型システムは家庭内は衛生的であるが、通常の集水地は衛生的ではないと述べている<sup>2), 3)</sup>。

Uno Winblad は飲料水の安全確保を目的に安価で衛生的なトイレとし尿の処理方式について研究した結果「エコロジカルサニテーション」を提唱している<sup>4)</sup>。この方式の中心はし尿を分離する環境低負荷

型トイレを使用し、尿はそのまま、尿は乾燥などで滅菌した後それぞれ肥料として農地に還元するもので、後者の分散型処理にあたる。

コンポスト型トイレも分散型処理に適用されるトイレであり、水循環から独立して設置されるので環境への負荷が小さく、し尿を資源として扱う可能性を有しており、わが国では水質汚染が問題となっている山岳地域や放流規制の厳しい地域で使われている<sup>5)</sup>。下水道設備を必要とせず、ポータブルであることから介護用トイレとしても利用されている<sup>6)</sup>。原理・構造は家庭用で使われ始めている生ゴミ処理機と同じである。多孔性物質(おがくず)を人工土壌として利用し、微生物による好気性分解により、尿尿を水と炭酸ガスに分解する(図-1)。処理後に残った窒素、リン、カリウムを含む残渣物は有機肥料として土壌に還元できる。

このようなおがくずを利用した尿尿処理方法や、おがくずの人工土壌としての役割、尿尿処理過程の有機物の生物分解性に関しては、寺沢らや船水らによって報告されている<sup>7), 8), 9)</sup>。

しかし、コンポスト型トイレは水洗トイレと異なり、排泄物を生活環境内にとどめておくため、病原微

表-1 糞便中の代表的な病原微生物<sup>12), 13)</sup>

病原微生物の種類	症状	1グラムの糞便中の濃度
原虫 クリプトスポリジウム サイクロスポラ	下痢、胃腸炎 下痢	$10^6 - 10^7$ $10^6 - 10^8$
腸管系ウイルス エンテロウイルス ロタウイルス アデノウイルス	麻痺、無菌性髄膜炎など 胃腸炎、小児下痢 胃腸炎、結腸炎	$10^3 - 10^{8.0}$ $10^{1.0 b}$ $10^{1.2 b}$
腸管系細菌 サルモネラ菌 赤痢菌	サルモネラ症、胃腸炎 細菌性赤痢、胃腸炎	$10^4 - 10^{11}$ $10^5 - 10^9$
回虫	回虫症、消化・栄養摂取障害	$10^4 - 10^5$

a Cell culture assays

b Electron microscope observations of viral particle

表-2 病原微生物とモデルパラメーター<sup>15), 16), 17)</sup>

病原微生物	感染モデル	モデルパラメータ	
		$\alpha$	$\beta$
ロタウイルス	ベータ関数	$\alpha=0.232$	$\beta=0.247$
エンテロウイルス	対数正規	GM=250	GSD=73
サルモネラ菌	ベータ関数	$\alpha=0.33$	$\beta=139.9$
赤痢菌	ベータ関数	$\alpha=0.16$	$\beta=155$

生物の二次感染について留意する必要があると考えられるが、衛生学的安全性についての研究はまだあまり行われていない。

また、病原微生物における二次感染の危険度を定量的に表す方法としては病原微生物による感染リスク評価があるが、従来では下水処理水や飲料水に関したのものなど<sup>10), 11)</sup>、集中型処理システムに関して行われたものが主であり、分散型処理システムに適用されたものはまだない。

そこで本論文では分散型処理システムに適用されるトイレとしてコンポスト型トイレに着目し、その衛生学的安全性を調べることを目的とし、従来の水系病原微生物のリスク評価をコンポスト型トイレに適用して病原微生物の二次感染リスク評価を行った。

また本論文では、リスク計算結果から安全なリスク水準を満たすためにコンポスト型トイレに要求される病原微生物除去率やコンポスト型トイレの残渣物の必要処理時間について考察した。

## 2. コンポスト型トイレにおける病原微生物の二次感染リスク評価

### (1) 二次感染リスク評価方法

コンポスト型トイレの病原微生物に関するリスクについて、従来のリスク評価方法(リスクの同定→用量反応評価→曝露評価→リスク判定)に従い直接曝露ケースと間接曝露ケースに分けて考察した。

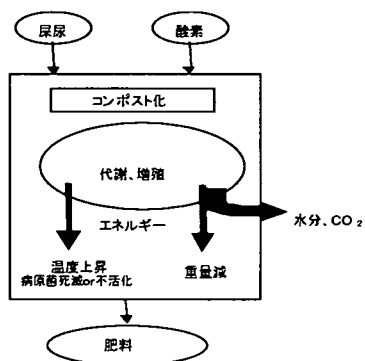


図-1 コンポスト型トイレの処理過程

### a) 病原微生物の同定(リスクの同定)

コンポスト型トイレに関して一番考慮しなければならない対象として、糞便に由来する腸管系の細菌、原虫やウイルスであると考えた。

表-1 は糞便中の代表的な病原微生物の種類、感染した場合の症状、感染者の便中の微生物濃度についてまとめたものである<sup>12), 13)</sup>。本研究ではこの中から、感染力が強く、データが比較的揃っているサルモネラ菌、赤痢菌、エンテロウイルス、ロタウイルスの4種類を選びリスク評価を行った。

### b) 用量・反応評価

人間が曝露された病原微生物量とその人が感染、あるいは発病するリスクがどの程度であるかを微生物の曝露量から決定するモデルとして、指数モデル、ベータポアソンモデルなどが提案されている<sup>14)</sup>。

リスク計算には表-2 に示すように Haas<sup>15)</sup> ら、Rose<sup>16)</sup> ら、Regli<sup>17)</sup> らによって決められたパラメータの値を用いた。

### c) 曝露評価

コンポスト型トイレを使用している場合、ヒトが病原微生物に曝露する場合は以下のように仮定される。

- ・処理槽内に直接手でふれるなどして手→口の経路で体内にとりこまれる直接曝露感染。
- ・コンポスト型トイレ内で処理された後に残る残渣物の中に病原微生物が残っているならば、コンポ

スト型トイレ（処理）→土壌→地下水→生水摂取（曝露）という経路で病原微生物が人間の体内にとりこまれる間接曝露感染の可能性もある。

その他にもエアロゾルによる感染などが考えられるが、本研究では上記の直接曝露ケース、間接曝露ケースにおける二次感染リスク計算を行った。以下に、それぞれの過程について解説する。

**(2)直接曝露ケースにおける二次感染リスク計算**

病原微生物が系に入ってから、トイレ処理後に直接曝露されるまでの中間過程を考察した。そして、それぞれ以下のように、

- a) 病原微生物初期値  $C_0$
- b) コンポスト型トイレ内処理後の病原微生物濃度
- c) 誤って摂取される担体量に含まれる病原微生物量

を設定した。以下に各過程の計算について順に説明する。

**a)病原微生物初期値  $C_0$  の設定**

シミュレーションに用いた病原微生物初期値  $C_0$  はコンポスト型トイレの残渣物に残っている病原微生物の量とした。表-1 中に示される1グラムの糞便中の病原微生物濃度を参考にし、平均値と標準偏差を設定した対数正規分布とした。1回の糞便量を150g、コンポスト型トイレの担体を40kgとした。

微生物初期値は

$$C_0 = (\text{対数正規分布に従う各病原微生物濃度}) \times 150 / (40 \times 1000) \quad (1)$$

とした。

**b)コンポスト型トイレ内での熱処理による病原微生物の減少**

コンポスト型トイレに入った病原微生物がコンポスト内の熱処理によって減少すると仮定し、トイレ内での病原微生物除去率を様々に設定して導入した。

**c)誤って摂取される担体量**

直接曝露評価においては、担体（おがくず）と接触する可能性があるのは、担体交換時、または交換後の担体使用時（肥料として使用）に手に付着したものを誤って曝露する場合だと考えられる。しかしどの程度担体が付着し、曝露に至るかということについての検討はこれまでなされていない。そこでまず、手への担体付着量に関する実験を行い、曝露評価の基礎データとした。

実験は被験者14人を対象に、プラスチック容器に入った担体を素手でつかんでもらい、軽く払い落とした後で手に残ってついている担体量を測定した。この作業を含水率が20%、50%、80%の3通りにおいて行い、結果は図-2となった。

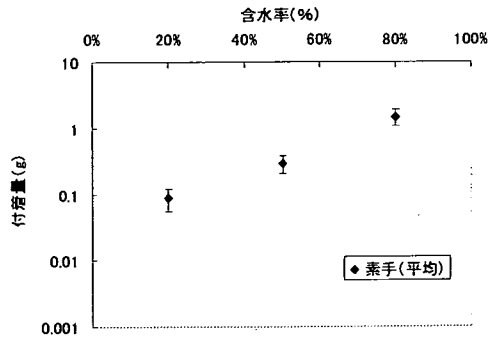


図-2 含水率の違いによる付着量変化 (平均値及び95%信頼区間)

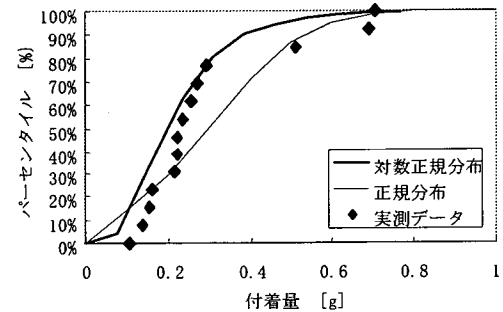


図-3 含水率50%時の付着量実測データ及び推定確率分布

ここでは、各含水率での付着量の平均と95%信頼区間をプロットした。含水率が高くなると付着量も多くなる傾向がみられた。付着量の平均値を用いると、含水率20%~80%の範囲では次式によって近似されると考えられる。

$$\begin{aligned} \text{付着量} &= \exp(k \times \text{含水率} + D_0) \quad (1a) \\ k &= 0.84 \text{ (\%}^{-1}\text{)} \\ D_0 &= -0.62 \end{aligned}$$

手に付着した担体がさらにどの程度口に入り曝露がおこるかに関しては、人間の習慣、行動、年齢などに関わってくるため、実験することは難しい。本研究のシミュレーションではリスクの安全側をとり、この付着量を最大曝露量としてリスク計算を行った。リスク計算にはコンポスト型トイレの通常の状態として、含水率が50%のときの付着量の分布のデータ解析を行い、モンテカルロシミュレーションに取り入れた。

図-3は含水率が50%のときの実験データについて、その付着量分布を示したものである。実データは算術平均値0.293g、最大値0.706g、最小値0.104gであった。このデータをもとに最尤法や尤度比検定を用いて付着量分布形を推定した結果、 $\mu = 0.299$ g、 $\sigma = 0.181$ gの対数正規分布に従うことがわかった。

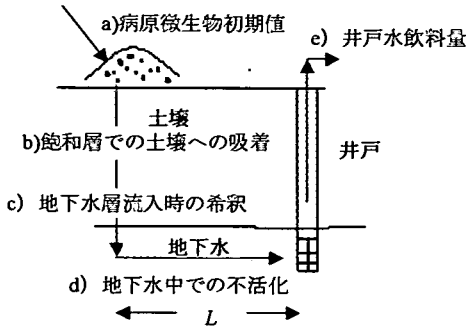


図-4 間接曝露ケースの中間過程

### (3) 間接曝露ケースにおける二次感染リスク計算

間接曝露ケースによる二次感染リスク評価ではシナリオを次のように設定した。

郊外の一軒家でコンポスト型トイレを使用しており、近距離の地点に井戸がある。病原微生物の入った残渣物が庭にまかれ、残渣物の中の病原微生物は地中を通して地下水層に達し、井戸水の中に混入する。この一軒家ではこの井戸水を消毒せずに飲んでいると仮定した(図-4)。

残渣物の中の病原微生物が庭にまかれて摂取されるまでの病原微生物の中間過程として図-4に示すようなa)～e)の過程、つまり、

- a) 病原微生物初期値  $C_0$
  - b) 飽和層での土壌への吸着
  - c) 地下水層流入時の希釈
  - d) 地下水中で不活化
  - e) 井戸水摂取量
- を考慮した。

以下に各過程の計算について順に説明する。

#### a) 病原微生物初期値 $C_0$ の設定

シミュレーションに用いた病原微生物初期値  $C_0$  直接曝露ケースの場合と同様に考え、同じデータ及び計算方法(2.(2)a)参照)を用いて算定した。

コンポスト型トイレ中の熱処理によって菌数が減ることを考慮にいれ、コンポスト型トイレ内での病原微生物除去率を入力できるようにした(つまり対数正規分布の平均値を可変にした)。

#### b) 飽和層での土壌への吸着

庭に施肥された担体中の病原微生物がその後地下に浸透し、不飽和層を通過する際に土壌に吸着されることを考慮し、不飽和層を通過後の菌数を次式で表す。浸透距離に関して一次的に減少する式が仮定されている<sup>10)</sup>。

$$C_1 = C_0 \times 10^{-k \cdot r} \quad (2a)$$

$k$ : 吸着減少係数 (1/m)

$r$ : 不飽和層の厚さ (m)

式(2a)において  $k=0.023$  (1/m) とした。これは、カルフォルニアでの浄化槽におけるウイルスのろ過テスト(土壌浸透)より得た値である<sup>10)</sup>。また、東京近郊の地下水面の高さを参考にして  $r=60$  (m) とした<sup>18)</sup>。

以上のことから式(2a)は

$$C_1 = C_0 \times 10^{-0.023 \times 60} \quad (2b)$$

とした。

#### c) 地下水層流入時の希釈

微生物が土壌中から地下水に入るとき、微生物濃度は地下水により希釈される。この時次式となる

$$C_2 = C_1 / b [\text{個/ml}] = C_1 / 10^3 b [\text{個/l}] \quad (3)$$

$b$ : 希釈定数

この式より  $C_2$  の値を計算した。ここで希釈定数  $b$  の値は最小値 1, モード 10, 最大値 20 の三角分布に従うとした<sup>16)</sup>。

#### d) 地下水中で不活化

飽和地下水中で病原微生物は一次反応的に不活化すると考慮し、次式で表されるとして不活化後の病原微生物量  $C_3$  を計算した。

$$C_3 = \epsilon C_2 \quad (4)$$

$\epsilon$ : 不活化率  $= 10^{-k \cdot t}$

$t$ : 地下水中で経過時間(day)

$k$ : 不活化係数(1/day)

で表される。

$t$  の値を考慮するにあたり、地下流速を 0.3(m/day), 井戸までの地下水の距離を  $L$  (m) とし  $t = L / 0.3$  (day) とした ( $L$  は可変とした)。また、不活化係数  $k$  はパラメータ  $\mu = -2.07(\ln(2.13))$ ,  $\sigma = 0.754(\ln(0.13))$  の対数正規分布に従うとした<sup>16)</sup>。

#### e) 井戸水摂取量

井戸水摂取量に関しては 2000 年の本研究室でのアンケート調査を参考とした<sup>20)</sup>。データの解析を行った結果、井戸を使用する人の一人一日あたりの井戸水摂取量は算術平均 0.232 (L/day) であり、対数正規分布に従うこととなった。このデータ解析について以下に述べる。

加熱処理をしていない、いわゆる生水飲料を想定して、2000 年にアンケート調査を日本全国の 859 人を対象にして行った。

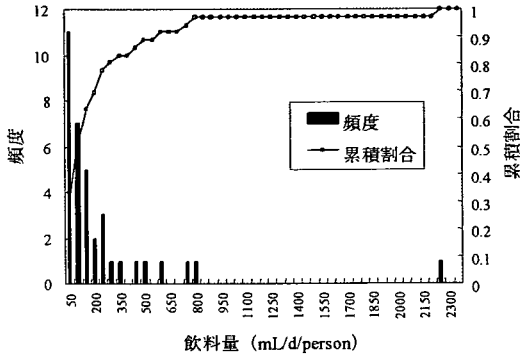


図-5 一日あたりの井戸水摂取量のヒストグラム及び累積度数分布

0(mL)摂取が859人中823人いたので、井戸を全く使用していないとして解析対象から除き、残り36件のデータを解析対象とした。図-5に1日の井戸水摂取量のヒストグラム及び累積度数分布を示す。一日あたりの飲水量の算術平均値232.2(mL)、最大値2207.1(mL)、最小値は7.1(mL)だった。

さらに最尤法や尤度比検定を用いて摂取量分布として最適な確率分布を推定した結果、 $\mu = -1.95(\ln(0.14))$ ,  $\sigma = 1.21(\ln(3.35))$ の対数正規分布に従うことがわかったのでこれをモンテカルロシミュレーションに用いた。

### 3. 結果および考察

直接曝露、間接曝露それぞれのケースにおいて、モンテカルロシミュレーションを行った。処理後の病原微生物濃度と摂取した担体量から1回あたりの病原微生物摂取量を計算した。さらに各病原微生物の用量反応モデルを用いて、1回あたりの二次感染リスクを算出した。モンテカルロシミュレーションの試行回数は各病原微生物ごとに1000回とし、リスク計算結果の中央値を感染リスクとした。

#### (1) リスク計算結果

図-6は直接曝露ケースにおける、コンポスト型トイレの病原微生物二次感染リスク計算結果である。コンポスト型トイレ内での病原微生物除去率が高くなるにつれ、感染リスクも減っている。

図-7は間接曝露ケースにおける、リスク計算結果である。残渣物が廃棄された場所と曝露地点との距離Lが近くなるにつれ、リスクは高くなっていることがわかる。

直接曝露ケース、間接曝露ケース共にロタウイルスのリスクが高く、コンポスト型トイレに高い除去率が要求されることがわかる。担体内での微生物挙動実験においても細菌よりもウイルスの方が残存性

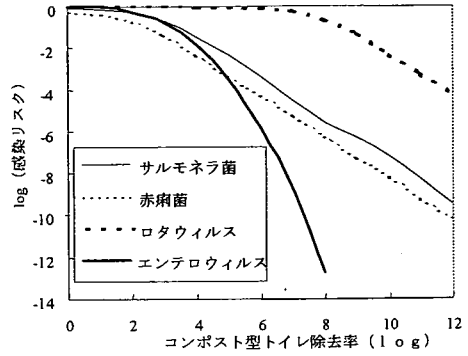


図-6 直接曝露ケースにおける病原微生物二次感染リスク計算結果

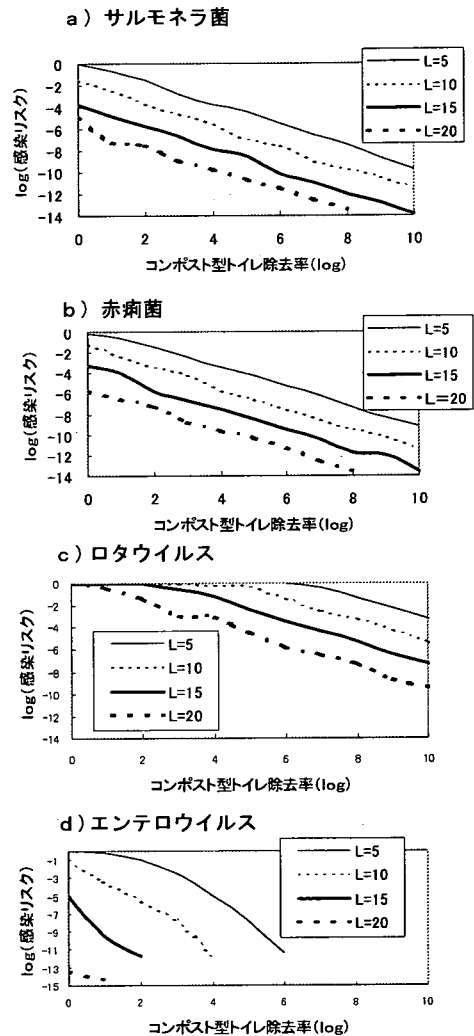
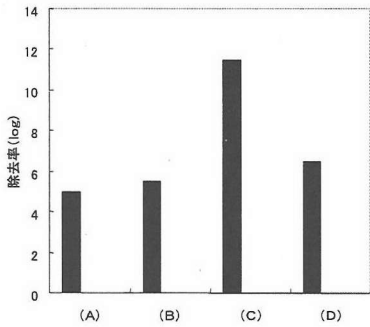


図-7 間接曝露ケースにおける病原微生物二次感染リスク計算結果



(A) サルモネラ菌 (B) 赤痢菌 (C) ロタウイルス (D) エンテロウイルス

図-8 コンポスト型トイレに要求される病原微生物除去率（直接曝露ケース）

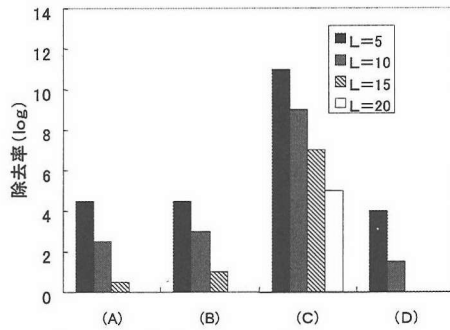


図-9 コンポスト型トイレに要求される病原微生物除去率（間接曝露ケース）

が高いという結果が得られている<sup>18)</sup>。従って、コンポスト型トイレの病原微生物感染リスクに関しては病原細菌よりも病原ウイルスの方が1 log から6 log 程度リスクが高く、留意する必要性が高いと考えられる。

### (2)コンポスト型トイレに要求される病原微生物除去率

衛生的にコンポスト型トイレを安全に使用するために、要求される病原微生物除去率はどの程度なのかを考察した。

飲料水の病原微生物を原因とする許容可能なリスク水準は暫定的ではあるが $10^{-4}$ （1万分の1の確率）であるといわれている<sup>19)</sup>。これを安全水準として、直接曝露ケースに関して、上記のリスク水準を満たすためにコンポスト型トイレに要求される病原微生物除去率を図-8にまとめた。

間接曝露ケースに関しては、図-9に許容可能なリスク水準 $10^{-4}$ を満たすためにコンポスト型トイレに要求される病原微生物除去率をLに応じてまとめた。

直接曝露ケース、間接曝露ケース共に、ロタウイルスのリスクが高く、コンポスト型トイレに高い除去率が要求されているのがわかる。また、直接曝露ケースと間接曝露ケースを比較すると、直接曝露ケースのリスクは地中を経由している間に病原微生物が減少していく間接曝露ケースよりも、リスクは高くなると予想したが、今回の仮定では、直接曝露ケースと間接曝露ケースのリスクの差は大きくなかった。従って、間接曝露ケースにおいても残渣物を廃棄する場所が曝露する地点に非常に近いなど、残渣物の衛生管理が悪いと、直接曝露に匹敵するリスクが生じると考えられる。

### (3)コンポスト型トイレの必要処理時間

さらに、病原微生物除去のためにコンポスト型トイレ内で残渣物をどの程度滞留させる必要があるの

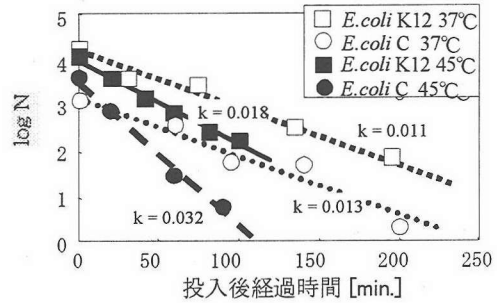


図-10 モデル細菌の担体中での経時変化

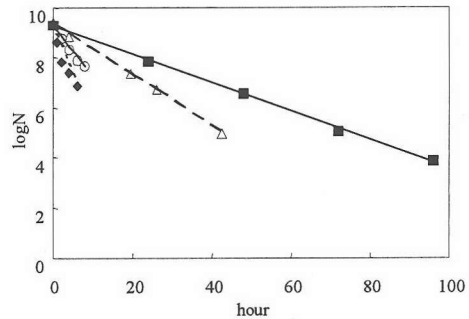


図-11 モデルウイルス大腸菌ファージQβの担体中での経時変化

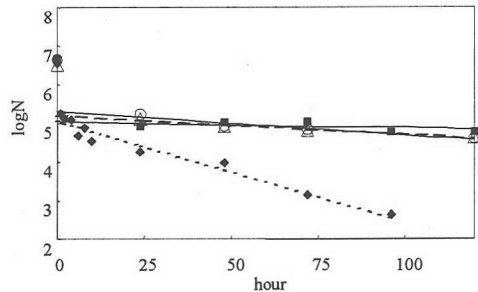


図-12 モデルウイルス大腸菌ファージT4の担体中での経時変化

表-3 仮定した直接および間接曝露ケースにおけるコンポスト型トイレの推定必要処理時間

	担体温度(°C)	直接曝露ケース	間接曝露ケース
		必要処理時間(h)	必要処理時間(h)
赤痢菌	37	8.3	6.1
	45	5.1	3.7
ロタウイルス		必要処理時間(日)	必要処理時間(日)
	35	120	104
	40	44	38
	45	34	30
	50	8	7

かを検討した。

本研究室ではコンポスト型トイレの担体に4種類のモデル微生物, モデルウイルスを投入して経時変化を観察した。この実験では, 担体として実際にコンポスト型トイレで使用したおがくずを用い, これに微生物を投入した。担体の温度を35°C, 40°C, 45°C, 50°Cに保ち, 抽出法<sup>21)</sup>により担体中の微生物濃度Nを一定間隔で連続的に測定し, 微生物濃度変化を調べた。実験に用いた対象微生物は細菌指標として, 大腸菌2種(*E. coli* K12 F<sup>+</sup>(A/λ), *E. coli* C)及びウイルス指標として大腸菌ファージ(F特異RNA大腸菌ファージQB, DNA大腸菌ファージT4)である。

大腸菌はデスオキシコール酸塩培地を用いた選択培地によるコロニー法によって, 大腸菌ファージは宿主として*E. coli* K12を用いた2層寒天培地法によるブラック法によって測定した。

各指標微生物の経時変化を図-10から図-12に示す。含水率はコンポスト型トイレの通常の状態として, 約41~47%のときのものを示した。

このようにして求めた残渣物の必要処理時間を表-3にまとめた。ここでは安全側の評価として細菌においては赤痢菌, ウイルスにおいてはロタウイルスに関してまとめた。また, 仮定するトイレ内の不活化速度データは安全側の評価として細菌については*E. coli* K12, ウイルスについてはT4のデータを用いることにした。なお, 不活化は一次反応的におこると仮定し, データより求めた速度定数をもとにして算定した。担体温度が35°C付近という, 病原微生物が不活化しにくい条件下では病原細菌の場合は9時間以上, 病原ウイルスの場合は耐性の強いものになると120日以上, 残渣物を滞留させなければならないと考えられ, 細菌よりもウイルスが問題になると思われる。

わが国で介護用などに用いられているコンポスト型トイレ(バイオトイレ)は通常50°C以上になるように設定されているが, 耐性の強いウイルスが入った場合を考慮すると, たとえ50°Cでも8日以上残渣物を滞留させなければ安全には使用できないと考えられた。

#### 4. 結論

本論文では従来の病原微生物の二次感染リスク評価をコンポスト型トイレに適用してコンポスト型トイレの病原微生物二次感染リスク評価を試みた。曝露ケースを直接曝露ケースと間接曝露ケースに分け, モンテカルロシミュレーションによる二次感染リスク計算を行った。そしてリスク計算結果より許容可能なリスク水準 $10^{-4}$ を満たすためにコンポスト型トイレに要求される病原微生物除去率や, コンポスト型トイレの残渣物の必要処理時間について考察した。

病原微生物と病原ウイルスを比較すると, 病原ウイルスの方が1 logから6 log程度リスクが高く, トイレ内での必要除去率も応じて高くなることが示唆された。直接曝露ケースと間接曝露ケースで比較すると, 間接曝露ケースであっても, コンポスト型トイレにおける病原微生物の不活化条件や, 残渣物の廃棄場所などの衛生管理が悪いと, 直接曝露ケースに匹敵するリスクが生じることが考えられた。

指標微生物を用いた実験データより, 残渣物を安全に扱えるまでの必要処理時間は, 担体温度が37°Cでは病原細菌の場合は9時間以上, 病原ウイルスの場合は耐性の強いものになると120日以上であり, 50°Cでも耐性の強いウイルスが入った場合を考慮すると, 8日以上残渣物を滞留させる必要があると示唆された。

近年, 畜産物の増産により, 大腸菌O-157, サルモネラ菌による食中毒, クリプトスポリジウム原虫による水道水源汚染, 地下水の硝酸性窒素の増加など, 家畜糞尿が原因とされる環境問題が増加している。それに対処するべく家畜糞尿の処理, 利用に注目が集まり, 家畜糞尿のコンポスト化の技術開発が進められている<sup>20)</sup>。コンポスト型トイレの病原微生物リスク評価はこうした水を用いない家畜糞尿の処理方法にも応用可能であると思われる。

謝辞: 本論文は, 科学技術振興機構による戦略的創造研究推進事業研究(CREST)の「持続可能なサンテーションシステムの開発と水循環系への導入に関する

研究」の研究成果である。

#### 参考文献

- 1) 石崎勝義, 三浦真慈, 船水尚行, 稲森悠平, 大瀧雅寛, 中川直子 : サステナブルサニテーションによる流域の水・物質循環の健全化, 第6回水資源に関するシンポジウム論文集, 2002.
- 2) Lens, P., Zeeman, G., Lettinga, G. : Decentralized Sanitation and Reuse, IWA Publishing, 2001.
- 3) Otterpohl, R. : Black, Brown, yellow, grey-the new colours of sanitation, Water 21(2001.10)
- 4) Winblad, U. : Ecological sanitation, SIDA, 1998.
- 5) 石崎勝義, 正木晴彦, 戸田清, 上幸雄, 中川直子, 糸永貴範 : 資源循環型トイレの可能性, 土木学会環境システム研究論文集 Vol.28, pp.295-302, 2000.
- 6) 石崎勝義, 大瀧雅寛, 中川直子 : 介護者にやさしいポータブルトイレ, 福祉の町づくり研究大会, 2001.
- 7) Angel, L.Z.M., Funamizu, N. and Takakuwa, T. : Onsite Wastewater Differentiable Treatment System: Modeling Approach, Proceedings of 2<sup>nd</sup> IWA-Water Congress, 2001.
- 8) 橋井敏弘, 寺沢実 : 資源化・エコ・バイオトイレの効用, 日本木材学会北海道支部講演集 第31号, pp.43-48, 1999.
- 9) 寺沢実 : 人工土壌としての粉体化木質材料—生ゴミの資源化—, 木材学会誌 42(7), pp.692-633, 1996.
- 10) Asano, T., Leong, L.Y.C., Tennant, A. and Sakaji, R.H. : Evaluation of the California waste water reclamation criteria using enteric virus monitoring data, Water Science and Technology, vol.26, No.7-8, pp.1513, 1992.
- 11) Regli, S., Rose, J.B., Haas, C.N., Gerba, C.P. : Modeling the risk from Giardia and viruses in drinking water, J.AWWA, 83, No.11, pp.76, 1991.
- 12) 本林秀文 : 有機物の農地還元による人への健康影響, 都市と廃棄物, Vol.29, No.4, pp40-46, 1999.
- 13) Haas, C.N., Rose, J.B. and Gerba, C.P. : Quantitative Microbial Risk Assessment, John Wiley&Sons, Inc. , 1999.
- 14) 金子光美 : 水質衛生工学, 技報堂出版
- 15) Haas, C. : Estimation of risk due to low doses of micro-organisms : A Comparison of alternative methodologies, J.of Epidemiology, 18, pp.573, 1983.
- 16) Regli, S., Rose, J.B., Haas, C.N., Gerba, C.P. : Modeling the risk from Giardia and viruses in drinking water, J.AWWA, 83, No.11, pp.76, 1991.
- 17) Rose, J.B., Gerba, C.P. : Use of risk assessment for development of microbial standards, Wat.Sci.&Tech., 24, No.2, pp.29, 1991.
- 18) 新井正他 共著 : 都市の水文環境, pp.125.
- 19) Haas C.N., Jin Anotai, Richard S.Engelbrecht : Monte Carlo assessment of microbial risk associated with landfilling of fecal material, Water Environment Research, vol.68, No.7, pp.1123-1131, 1996.
- 20) 矢野一好, 保坂三継, 田中愛, 大瀧雅寛他 : 飲料水について-アンケート調査の結果から-, 第3回水環境学会シンポジウム, 2000.
- 21) 大瀧雅寛, 中川直子, 伊藤由美子 : バイオトイレにおける病原微生物の挙動及び二次感染リスク評価, 第57回土木学会, 2002.
- 22) Regli et al. : Panel discussion on the implications of regulatory Changes for water treatment in the United States. In Advances in Giardia Research. P.M.Walls et al.(Eds.), University of Calgary Press, Calgary, pp.275-286, 1988.
- 23) 崎元道男 : 家畜ふん尿のコンポスト化, エネルギー・資源, Vol.22, No.3, pp206-211, 2001.

(2003. 6. 11 受付)

## MICROBIAL RISK ASSESSMENT OF THE COMPOSTING TOILET

Naoko NAKAGAWA, Kazuno YAMAKOSHI, Hana OE and Masahiro OTAKI

To change the present flush type toilets into the composting toilets is the one of solution methods of prevention of water resource and recycling of nutrition. However it is necessary to mind about secondary infection of a pathogen through this type toilet because the excrement is left in it.

In this research, the microbial risk assessments were applied to the composting toilet for investigating the hygienic safety of it. For the exposure assessment, direct and indirect routes were assumed and required removal ratio of pathogen was discussed. Consequently, viral risks were assumed to be higher than bacterial risks, and it was also assumed that risks through indirect routes were as high as the case through direct routes.