

## 各国の農業事情を反映した水系感染リスクの算定

木更津工業高等専門学校 学生会員 ○内田翔太, 吉富文香, 渡邊敬介  
木更津工業高等専門学校 正会員 上村繁樹, 大久保努  
長岡工業高等専門学校 正会員 荒木信夫

### 1. はじめに

人口の急激な増加に伴い、今後、特に乾燥地域における淡水資源の枯渇が懸念されている。一例としてインドとエジプトにおける人口予測と一人あたりの年間使用可能水量を図1に示す。人口増加率はインドでは1.2%、エジプトでは1.7%で推移<sup>1)</sup>し、エジプトにおいては淡水源をナイル川に強く依存しているため2025年までにUNESCOの規定する絶対的水不足(500 m<sup>3</sup>/人・年)に陥ると予想される。世界では淡水の約8割を農業に利用していることから、淡水資源の枯渇低減・回避のためにも灌漑のための水資源の確保が喫緊の課題である。そこで現在、下水処理水の灌漑利用が注目されているが、下水処理水の安全性評価では一律のパラメータが設定されていることが多く、必ずしも各国の農業事情に合致したリスク算定とはなっていない。本研究では、水系感染リスク算定の精度向上を目的に、日本、インド、エジプトの各国で実際に取得したデータを

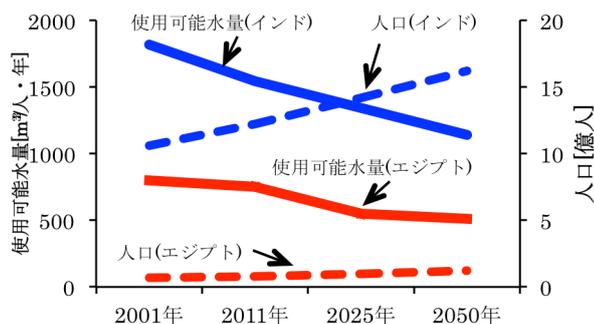


図1 人口と使用可能水量の予測<sup>1)2)3)</sup>

表1 リスク算定に用いた設定パラメータ

作物	散水日数 [日]			誤摂取量 [ml/日]
	日本	インド	エジプト	
トウモロコシ	50	38	95	0.2
大麦	84	77	64	0.2
米(水稻)	27.2	28	28	0.3

用いて、各国の栽培ごよみや作物種別に必要な水量、散水日数を考慮し、下水及び再生水利用における安全性を評価した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 使用データの取得

国内のデータは稼働中の標準活性汚泥法より試料(流入下水, 最初沈殿池, 最終沈殿池(塩素消毒前))を採取し、大腸菌, 大腸菌群, 腸炎ビブリオ, 黄色ブドウ球菌を測定した。インドとエジプトにおける大腸菌については、実際に現地を取得したデータを用い感染リスク算出に使用した。採取した試料は、0.1%ペプトン水により適切な倍率に希釈し、コンパクトドライ(日水製薬)の各種培地に接種し、培養後のコロニー数[CFU/ml]を計測した。

#### 2.2 水系感染リスクの算定方法

本研究では、三カ国で共通に栽培されているトウモロコシ, 大麦, 米(水稻)を対象に、各国の栽培ごよみから散水日数を表1の通り設定した。散水方法は、米以外はスプリンクラーとし、誤摂取量は、作物の高さ等を考慮し決定した。リスク算定は、用量・反応モデルを用い、菌種ごとの1日あたりの水系感染リスク(式1)を算定した後、反復暴露による年間感染リスク(式2)を算定した。

$$P = 1 - \left(1 + \frac{D}{\beta}\right)^{-\alpha} \quad (\text{式1})$$

$$P_t = 1 - (1 - P)^n \quad (\text{式2})$$

$P$ : 1日あたりの感染リスク,  $D$ : 摂取する菌数,  $\alpha$ ,  $\beta$ : 大腸菌 ( $\alpha$ : 0.1705,  $\beta$ :  $1.61 \times 10^6$ )<sup>4)</sup>, 腸炎ビブリオ ( $\alpha$ : 0.097,  $\beta$ : 13020)<sup>4)</sup>, 黄色ブドウ球菌 ( $\alpha$ : 0.2274,  $\beta$ : 57.96)<sup>5)</sup>,  $P_t$ : 年間感染リスク,  $n$ : 摂取頻度(散水日数)

キーワード 下水処理水, 灌漑用水, 水系感染リスク, 大腸菌

連絡先 〒292-0041 千葉県木更津市清見台東2-11-1 木更津高専環境都市工学科 TEL. 0438-30-4165 (大久保)

### 3. 結果及び考察

#### 3. 1 菌数測定結果

表 2 に下水処理場の工程別から採水したサンプルの平均菌数濃度を示す。大腸菌, 大腸菌群は流入下水から最初沈殿池までは大きな減少は見られなかったが, 塩素消毒前の最終沈殿池にかけて, 約 2 log の減少が見られた。腸炎ビブリオは流入下水のサンプルから最初沈殿池にかけて約 1 log 減少した。黄色ブドウ球菌は流入下水で数個確認されたのみであった。インドとエジプトにおける下水中の大腸菌濃度は日本と同程度と確認された (表 3)。

#### 3. 2 想定シナリオを用いた感染リスク

設定した諸条件 (表 1) と測定した菌数濃度 (表 2, 3) より水系感染リスクを算定した (図 2)。許容感染リスクは米国環境保護庁が設定した  $10^{-4}$ /年を基準とした。また, 腸炎ビブリオの最終沈殿池, 黄色ブドウ球菌の最初沈殿池以降は各菌が検出されなかったためグラフは省略した。各試料の灌漑利用を想定した場合, 大腸菌による感染リスクは, 下水及び最初沈殿池から最終沈殿池にかけて  $10^{-1}$ /年から  $10^{-3}$ /年程度となり, 処理の進行によるリスク低減効果が確認された。インドとエジプトにおいても, 流入下水利用による感染リスクは  $10^{-1}$ /年前後で, 作物によっては  $10^{-1}$ /年を上回る高い水準となった。今回算定した大腸菌感染リスクは病原性を持たないものも含めた数値であり, 最大のリスク値と考えることが出来る。病原性大腸菌のみを測定することでより現実的な感染リスクの算出が可能である。腸炎ビブリオも最初沈殿池の段階では  $10^{-2}$ /年であったが最終沈殿池では  $10^{-3}$ /年となり, 減少は見られるが許容リスク  $10^{-4}$ /年を満足できなかった。黄色ブドウ球菌は下水で僅かに検出されたが, それでも感染リスクは  $10^{-1}$ /年程度であり, 非常に高い結果となった。インドとエジプトの結果を比較すると, 特にトウモロコシの結果に顕著な差が見られた。エジプトでは砂質土壌が多く, このような保水力に乏しい土地でのトウモロコシ栽培では多くの水を要する。インドにおける想定では, 雨季に雨水を多用し, 下水処理水の使用が大きく減少すると考えたため, このような差が生じたと考えられた。インドでは, 雨量の少ない乾季に下水処理水を多用することで, 感染リスクが上昇する危険性がある。

表 2 下水処理工程別の菌数濃度 (CFU/ml)

	下水	最初沈殿池	最終沈殿池
大腸菌	$4.5 \times 10^4$	$2.5 \times 10^4$	$2.3 \times 10^2$
大腸菌群	$1.6 \times 10^5$	$1.1 \times 10^5$	$1.2 \times 10^3$
腸炎ビブリオ	$1.7 \times 10^2$	$1.4 \times 10^1$	0
黄色ブドウ球菌	$2.0 \times 10^0$	0	0

※測定回数:各サンプル 5 回 (1 サンプル 3 個の培養)

表 3 下水中の大腸菌濃度 (CFU/ml)

	インド	エジプト
大腸菌	$7.8 \times 10^4$	$1.1 \times 10^5$

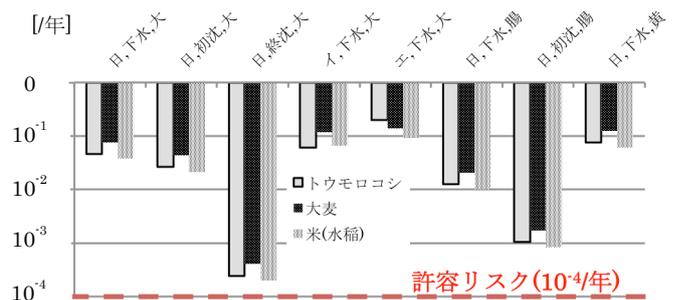


図 2 栽培作物別の水系感染リスク (日:日本, イ:インド, エ:エジプト, 大:大腸菌, 腸:腸炎ビブリオ, 黄:黄色ブドウ球菌)

#### 4. まとめ

各国の作物種別の栽培ごよみよりリスク算定条件を設定し, 各菌種別の水系感染リスクを算出した。その結果, 同一作物の栽培を想定した場合でも, リスクに大きな差が確認された。本研究により, これまでに提案されてきた一律のパラメータを用いたリスク算出手法よりも, 各国の農業事情に合致したリスク算出が可能となった。

#### 謝辞

本研究の一部は, JST 先導的創造科学技術開発費補助金 (代表: 原田秀樹) と木更津工業高等専門学校校長裁量経費 (代表: 大久保努) の助成を受けて実施しました。ここに記して深謝致します。

#### 参考文献

- 1) UN (2013) World Population Prospects
- 2) 日本産業機械工業会 (2009) アラブ諸国の環境問題の現状
- 3) UNICEF, FAO and SaciWATERs (2013) Water in India: Situation and Prospects-
- 4) 浅野孝ら (2010) 水再生利用学, pp.165, 技報堂出版
- 5) 食品安全委員会 (2012) 食品健康影響評価のためのリスクプロファイル