

B-9 定量的微生物リスク評価に基づいた下水の灌漑 利用時における複合感染リスクの評価

○内田 翔太¹・大久保 努^{1*}・上村 繁樹¹・荒木 信夫²・多川 正³
井口 晃徳⁴・高橋 優信⁵・久保田 健吾⁵・原田 秀樹⁵

¹木更津工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒292-0041 千葉県木更津市清見台東2-11-1)

²長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒940-8532 新潟県長岡市片貝町888)

³香川高等専門学校 建設環境工学科 (〒761-8058 香川県高松市勅使町355)

⁴新潟薬科大学 応用生命科学部応用生命学科 (〒956-8603 新潟県新潟市秋葉原区東島265-1)

⁵東北大学 大学院工学研究科土木工学専攻 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)

* E-mail: okubo@wangan.c.kisarazu.ac.jp

1. はじめに

世界人口の増加に伴い、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。一例としてインドでは、地下水の急激な枯渇、エジプトは水資源のナイル川への強い依存があり、近い将来に絶対的水不足 (500 m³/人・年) に陥る危険性が指摘されている。また、世界の淡水の約8割が農業用水として供されており、淡水資源の枯渇回避のためにも新たな灌漑用水の確保が急務となっている。そこで安定的に水量を確保できる下水の灌漑利用に着目した。現在も途上国の一部では未処理下水の灌漑利用が報告されており、農業従事者への水系感染リスクは高い状態にあると考えられる。

これまで下水利用時の安全性評価は一律の散水日数を設定し評価している事例が殆どであり、必ずしも各国の農業事情に合致したリスクとは言い難い現状にある。そこで、各国の栽培暦を精査し作物種別の散水日数を算定し、ベータポアソン型の用量・反応モデルを用いて下水処理プロセス毎の処理水の利用を想定した水系感染リスクを算定してきた¹⁾。本研究では、不確実性を考慮したモンテカルロ法を用いることで、インド及び日本の下水処理プロセス毎の大腸菌濃度より単一及び複数の作物を

栽培した場合の複合感染リスクについて評価を行った。

2. 実験方法

(1) 測定試料とリスク算定条件

インドの下水試料は流入下水、UASB処理水 (一次処理)、UASBの後段処理としてポンド処理水とDHS処理水とし、日本は流入下水、最初沈殿池、最終沈殿池とした。これら下水試料の大腸菌濃度を測定 (表1) し、作物種としてトウモロコシ、大麦、米 (水稻) の栽培を想定した。大腸菌の測定は日水製薬 (株) コンパクトドライ「ニッスイ」の培地を用い、作物種別の栽培日数は文献等より独自に栽培暦を作成した (表2)。

(2) リスク計算方法

モンテカルロ法は乱数を発生させ、推定した確率分布から近似解を求める手法である²⁾。試行結果には不確定要素が考慮されており、定量的微生物リスク評価 (QMRA) におけるリスクの信頼性向上が期待できる。本研究では、Oracle Crystal Ball (Version 11) を使用し、1) 使用したデータの幾何平均、幾何標準偏差を算定、2) これらのデータが正規分布又は対数正規分布のどちらかに従っているか確認、3) 2) の結果、対数正規分布であると仮定し、1日あたりの感染リスクを算定、4) モンテカルロ法で年間の感染リスクを算定した。なお試行回数は100,000回として計算を行った。

表1 各サンプル中の大腸菌濃度

サンプル名	n	大腸菌濃度 [CFU/ml]		
		最小値	幾何平均	最大値
流入下水 (インド)	3	7.5×10 ⁴	7.8×10 ⁴	8.2×10 ⁴
UASB 処理水	3	2.4×10 ⁴	2.9×10 ⁴	3.5×10 ⁴
ポンド処理水	3	4.0×10 ³	4.7×10 ³	6.2×10 ³
DHS 処理水	3	1.8×10 ⁴	2.2×10 ⁴	2.7×10 ⁴
流入下水 (日本)	15	2.7×10 ⁴	4.1×10 ⁴	9.6×10 ⁴
最初沈殿池	15	1.6×10 ⁴	2.4×10 ⁴	4.9×10 ⁴
最終沈殿池	15	5.4×10 ¹	1.8×10 ²	4.7×10 ²

表2 作物種別の散水日数と誤摂取量¹⁾

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

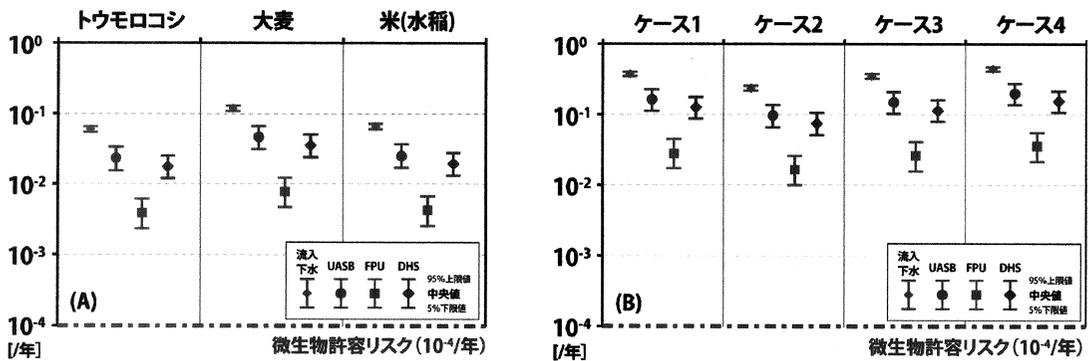


図1 インドでの汚水灌漑を想定した単一作物栽培時 (A) と複数栽培時 (B) における水系感染リスク

3. 結果及び考察

(1) 処理段階別の感染リスクの推移

インドでの単一作物栽培時の感染リスクを図1(A)に示す。流入下水を用いた場合、 10^1 /年前後の感染リスクが想定された。一方で処理水を用いた場合は処理方式によって差が見られ、DHS処理水の場合、リスクの減少は見られるが、上限値はUASBと同程度であった。ポンド処理水は、流入下水と比較して1オーダーのリスクの減少が確認された。しかしながら、米国環境保護庁が定める年間微生物許容リスク (10^4 /年) を比較基準とすると、いずれの場合も1オーダー以上高いリスクであった。

日本の場合でも流入下水では約 10^1 /年のリスクが確認された。最終沈殿池処理水の使用では2オーダーのリスク低減が示唆されたが、上限値では 10^3 /年のリスクであった。なお、既往の研究で行ったベータポアソンモデルと比較して明らかな差は確認されなかった。

(2) 複数栽培時における複合感染リスク

複合感染リスクについては、作物毎のリスクを算出し、その足し合わせにより算定した³⁾。複数栽培の組み合わせは、トウモロコシ+大麦 (ケース1, 散水日数115日/年)、トウモロコシ+米 (ケース2, 66日/年)、大麦+米 (ケース3, 105日/年)、全作物 (ケース4, 143日/年) とした。摂取量は全ケースで0.5ml/日とした。図1(B)に複合感染リスクを示す。図1(A)と比較して、1 log前後のリスク上昇が確認され、最大リスクが約0.5/年を示すケースも確認された。UASB及びDHS処理水ではいずれのケースも上限値で 10^1 /年を上回り、一方ポンド処理水のみ上限値で 10^1 /年を下回り、ケース2では下限値で 10^2 /年となった。それでも年間微生物許容リスクと比較して2オーダー以上高い値であり、依然高いリスクであることが確認された。インドでは二毛作が基本となっており、単一栽培と比べ複合感染リスクの方がより現地の実情に合致した水系感染リスクであると考えられる。また、一

部の途上国では未処理下水の灌漑利用が報告されており、水資源が減少する乾季にはこれらの使用量にも増加すると考えられる。今回の想定はいずれも同一濃度の*E. coli* 試料を年間を通して使用し続けた場合として評価しており、算出したリスクは最大のリスク値と解釈する必要がある。今後は、具体的な農作地を選定し、河川による希釈効果や雨季や乾季の使用量の増減などを考慮し精度を上げる必要がある。

なお、日本における複合リスクは、単一作物栽培時と比較して1オーダー高い値を示し、最終沈殿池処理水を使用した場合でも 10^3 /年であり、微生物許容リスクは達成できない結果となった。

4. まとめ

インドと日本における各下水試料の灌漑利用を想定し、モンテカルロ法を用いて水系感染リスクを評価した。その結果、複数の作物を栽培した場合、今回の想定ケースでは 10^1 ~ 10^2 /年となり単一作物の栽培時と比較して1オーダーのリスク上昇が確認された。

謝辞

本研究の一部は、先導的創造科学技術開発費補助金、JST-JICA地球規模課題対応国際科学技術協力事業、および科学研究費補助金による助成を頂きました。ここに記して謝辞とします。

参考文献

- 1) 内田他：各国の農業事情を反映した水系感染リスクの算定 第41回土木学会関東支部技術研究発表会, 2014
- 2) (独) 土木研究所：平成23年度下水道関係調査研究年次報告書集, 2012
- 3) ホワン他：発展途上国都市における洪水を原因とする水系大腸菌感染症のリスク評価, 水環境学会誌, Vol. 34, No. 10, pp.153-159, 2011