

Cropwat を用いた乾燥地における下水灌漑時の感染リスク及び DALY 評価

木更津工業高等専門学校 学生会員 ○内田 翔太, 田中 周弥
正会員 上村 繁樹, 大久保 努

1. 研究背景, 目的

世界人口の急激な増加により, 特に乾燥地域における淡水資源の減少が喫緊の課題となっている. 一例としてインドでは人口増加に加え管井戸灌漑普及が急速に進んでおり, 地下水の枯渇が急激に進行している. このような途上国では今後水ストレス ($1,700 \text{ m}^3/\text{年} \cdot \text{人}$) や絶対的水不足 ($500 \text{ m}^3/\text{年} \cdot \text{人}$) に陥ることが懸念されている. 近年では下水やその処理水が安定供給可能な観点から注目が寄せられているが, これらの使用による水系感染症の感染リスクや健康影響も懸念されている. これまでに筆者らは下水の処理段階毎の大腸菌の感染リスク評価を行っている¹⁾. しかしながら現在提案されている栽培シナリオの殆どでは栽培地域の気候条件などを考慮していないという課題が存在する. 本研究では気候条件を考慮した正味の栽培日数を算出し, 大腸菌の感染リスク及びノロウイルスによる健康影響評価, 過去に提案された栽培シナリオとの比較考察を行った.

2. 実験, 評価方法

2. 1 データ取得方法

本研究では日本およびエジプトにおける流入下水及び処理水を実験に供した. 日本は標準活性汚泥法の試料を使用した. エジプトの処理水試料は最初沈殿池, DHS 処理水の 3 種類である. これらの試料について大腸菌及びノロウイルス (GII) の濃度測定を行った. 大腸菌測定ではコンパクトドライ (日水製薬 (株)) に適切な倍率に希釈したサンプルを摂取し, 培養後のコロニー数 [CFU/mL] を測定した. ノロウイルスはポリエチレングリコール及びトリス塩酸バッファーによる濃縮を行い, QLAamp Viral RNA Mini (QIAGEN) にて RNA 抽出, TaKaRa qPCR Norovirus (GI/GII) Typing Kit (タカラバイオ (株)) にて逆転写反応及びリアルタイム PCR を行い測定した. これらの測定結果を表 1 に示す.

2. 2 感染リスク, 健康影響評価方法

栽培日数の設定を Cropwat (Food and Agriculture Organization) にて行なった. Cropwat は気候, 作物, 土壌の各種条件を設定することで各種作物の灌漑要求量や灌漑日数の算定を行うことができるソフトウェアである. 本研究では既往研究で提案された一律基準 (水稻: 27.2 日/年 , 0.3 mL/日 ²⁾) とも比較を行う. また, Cropwat で算定された栽培日数を表 2 に示す. 大腸菌感染リスクは用量反応モデル (ベータポアソンモデル) を用いて評価を行った (式 1, 式 2).

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

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

P : 1 日あたりの感染リスク, D : 摂取菌数, $\alpha = 0.1705$, $\beta = 1.61 \times 10^6$, P_t : 年間感染リスク, n : 摂取頻度 (散水日数)

ノロウイルスによる健康影響評価は DALY を用い

表 1 日本 (A) とエジプト (B) の測定結果

(A)	サンプル名	データ数	測定結果		
			最小値	幾何平均	最大値
大腸菌 [CFU/mL]	流入下水	44	2.7×10^4	6.0×10^4	1.4×10^5
	最初沈殿池	44	1.6×10^4	4.5×10^4	1.1×10^5
	最終沈殿池	44	5.2×10^1	1.6×10^2	7.0×10^2
ノロ ウイルス [copies/L]	流入下水	7	8.8×10^3	4.9×10^4	1.1×10^5
	最初沈殿池	5	1.0×10^3	9.1×10^3	6.6×10^4
	最終沈殿池	3	2.2×10^3	3.8×10^3	1.1×10^4

(B)	サンプル名	データ数	測定結果		
			最小値	幾何平均	最大値
大腸菌 [CFU/mL]	流入下水	7	1.0×10^4	3.2×10^4	6.2×10^4
	最初沈殿池	6	2.0×10^4	3.9×10^4	6.5×10^5
	DHS 処理水	7	5.0×10^1	2.0×10^2	6.0×10^2
ノロ ウイルス [copies/L]	流入下水	3	1.5×10^3	1.8×10^4	5.6×10^5
	最初沈殿池	3	1.2×10^3	7.5×10^3	9.8×10^4
	DHS 処理水	3	7.3×10^2	7.0×10^3	2.4×10^5

表 2 Cropwat で作成した栽培シナリオ

作物種	散水日数 [日]		1日当りの 誤摂取量 [ml]
	日本	エジプト	
トウモロコシ	3	13	0.2
大麦	1	6	0.2
米 (水稻)	8	16	0.3

キーワード 下水処理水, 水系感染リスク, DALY, 定量的微生物リスク評価

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)

て評価を行った（式 3、式 4）。DALY は障害や死亡による損失年数を用いた健康負荷の指標であり、これによりノロウイルスによる総合的な健康影響の評価を行うことができる。

$$DALY = \left\{ 1 - \left(1 - P_{inf}(D) \right)^n \right\} \times R_{inf} \times DB \quad (式 3)$$

$$P_{inf}(D) = 1 - \exp(\ln 0.5 \times D / ID_{50}) \quad (式 4)$$

DALY：一人 1 日当りの疫病負荷 [DALY/年・人]，
 $P_{inf}(D)$ ：1 回当りの感染確率，D：摂取病原体数，n：
 摂取日数， R_{inf} ：感染症発症確率（0.8），DB：疫病負
 荷（ 9.0×10^{-4} [年]）

3. 評価結果及び考察

大腸菌感染リスク及びノロウイルスに関する DALY の算定結果を図 1 に示す。日本の結果を見ると、大腸菌感染リスクは 1.7×10^{-2} /年、ノロウイルスの DALY は 3.2×10^{-4} DALY/年・人減少したことが確認された。これにより大腸菌感染リスクは年間許容リスク 10^{-4} /年についてはほぼ満足したが、DALY の年間許容値は最大で 3.3×10^{-5} DALY/年・人程度上回っており、ウイルスの除去に関する処理施設の必要性が示唆された。エジプトでは、大腸菌感染リスクは 2.0×10^{-2} /年 減少したが、ノロウイルスの DALY は 6.4×10^{-5} DALY/年・人程度の減少にとどまり、上限値はいずれのケースでも最大値を示した。一方で下限値では年間許容 DALY を示すケースもあるため、今後は月単位での測定を行い、ウイルス濃度の増減傾向を把握した上で DALY の低くなる時期を推定することが求められる。これらの評価結果を既往研究で提案されたシナリオと比較した結果、いずれの場合も後者の方が高いリスク及び DALY を示した。後者のシナリオは栽培における労働時間等の概算を示したものであるが、気候条件を考慮した場合と比較すると降雨を考慮していないため散水日数が増えることも示された。しかしながら最大のリスクや DALY を示しているため、栽培指針を使用したシナリオの使用により安全側に評価を行うことができるものと考えられる。また、米（水稻）のシナリオについて年間許容値を満足する大腸菌及びノロウイルス濃度を算定した結果、大腸菌は 200 CFU/mL、ノロウイルスは 60 copies/L 程度であった。大腸菌は DHS 処理水では幾何平均値で 200 CFU/mL であり、適切な運転が行われれば十分に灌漑利用が可能である。

ノロウイルスは 730 copies/L 程度であるため、今後はノロウイルスの除去性能の改善が求められる。

4. まとめ

気候条件を考慮した栽培シナリオを作成し、大腸菌感染リスク及び DALY の評価、既往研究との比較を行った。気候条件を考慮したシナリオはより現実的な評価が、既往研究では安全側の評価を行うことができることと示唆された。そのため、評価目的に応じたシナリオの使い分けが可能であると考えられる。

謝辞

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

参考文献

- 1) 内田翔太ら（2014）第 41 回土木学会関東支部技術研究発表会抄録
- 2) 岡本誠一郎ら（2011）（独）土木研究所 平成 22 年度下水道関係調査研究年次報告書集，pp. 179

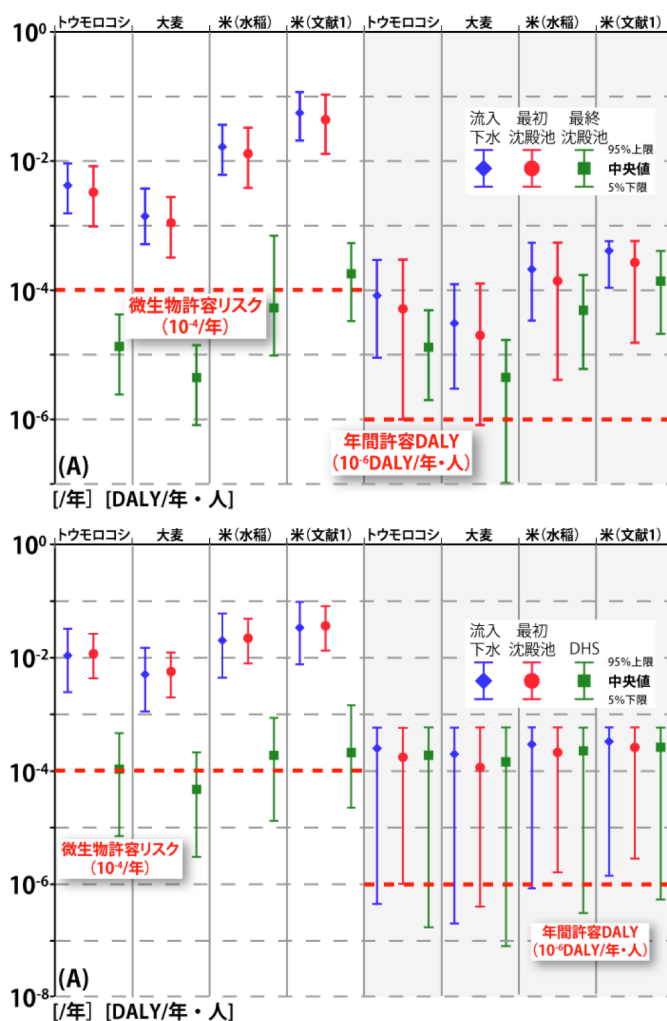


図 1 リスクと DALY の評価結果 日本 (A)，エジプト (B)