

乾燥地域における再生水利用によるリスク評価

環境計画研究室 北井佳佑

1. 研究の背景と目的

国際連合教育科学文化機関(UNESCO)によると、世界の人口は 70 億人まで増加しており、今後も人口が増加してことを予想される。人は水なしでは生きられないため、人口増加に合わせて、水の需要量も増加する。その一方で、近年大雨や干ばつなど地球温暖化による気候変動に水資源の変動や、また砂漠化の進行などにより、今後水不足になる地域が拡大することが予想されている。特に乾燥地域に位置している開発途上国では水不足が深刻化している。乾燥地域では降水量が極めて少ないため、乾燥地域の水源は主に地下水、もしくは海水の淡水化に依存している。しかし、多くの乾燥地域では今後の人口増加により水消費量はさらに増加し、水不足に直面する人口が増加することが予想される。水不足の対策として挙げられるのが、一度使用した排水を処理し、再生水として利用することである。しかし、乾燥地域で下水再生水を使用する場合、コスト面や技術面などに課題を持ち、さらに故障した場合、未処理の下水再生水を使用しなければならない場合もある。本研究では、乾燥地域での下水再生水を活用した場合のリスクを求める。

2. 研究方法

本研究では、乾燥地域での下水再生水を活用した場合のリスクを求める。算出方法として、病原性微生物と化学物質を分けて算出した。下水再生水のリスク評価で対象とされる病原性微生物と化学物質とそれらの健康への影響について表 1 に表す。下水再生水の利用用途を農業用水と散水用水の 2 つに分けた。農業用水の中でも消費者と農業者に分け、消費者は生野菜と加熱処理した野菜の 2 つを摂取すること仮定した。使用する下水再生水は未消毒の二次処理水、消毒済の二次処理水、高度処理水の 3 つの再生水を使用する。さらに暴露量と除去率について、暴露量が最大値で除去率が

表 1 下水再生水の対象項目と健康影響

項目	健康への影響
クリプトスポリジウム	下痢, 腹痛, 嘔吐
ジアルジア	下痢, 腹痛
大腸菌群	下痢
サルモネラ菌	吐き気, 腹痛
赤痢菌	下痢, 嘔吐
腸管系ウイルス	下痢, 嘔吐, 発熱
ホウ素	食欲不振, 下痢, 腹痛
カドミウム	嘔吐, 貧血
銅	胃腸障害
マンガン	食欲不振, 頭痛, 関節痛
セレン	めまい, 倦怠感
銀	過剰摂取による発がん性

最小の場合はケース A, 暴露量が最小値で除去率が最大の場合はケース B, 2 つのケースで下水再生水のリスクの算出を行った。暴露期間は季節に分けて求めた。感染リスクの許容範囲について、U.S.EPA(買込環境保護局)は年間感染リスクの許容範囲は 10^{-4} と示しているため、本研究でも同じ感染リスクの許容値で評価する。1 回あたりの感染リスクの算出方法は式(1), 式(2)とする。P は感染リスク, d は暴露量, α , β , γ はパラメータである。

$$P(d) = 1 - \exp(-\gamma d) \quad (1)$$

$$P(d) = 1 - \left(1 + \frac{d}{\beta}\right)^{-\alpha} \quad (2)$$

その値から年間感染リスクを求める。年間感染リスクは式(3)とする。P*は年間感染リスクであり、n は曝露日数である。

$$P^* = 1 - (1 - P)^n \quad (3)$$

算出した結果から感染リスクを求め、指定された許容リスクの値と比較した。また、下水処理場が故障した時の感染リスクも同じ手順で求め、同様に算出した感染リスクと許容リスクを比較する。ただし、化学物質は、NOAEL(無毒性量)とRfD(参照用量)のデータを用いて HQ(ハザード比)とMOE(暴露マージン)の判断基準で比較を行い、使用可能であるかを判断した。本研究では HQ と MOE の算出方法は式(4), 式(5)に示す。ADDpot は一日平均摂取量である。

$$HQ = \frac{ADD_{pot}}{RfD} \quad (4)$$

$$MOE = \frac{NOAEL}{ADD_{pot}} \quad (5)$$

3. 結果と考察

下水再生水を使用するときの病原性微生物と化学物質の感染リスクの算出結果について述べる。病原性微生物については下水処理場が故障しない場合と下水処理場が故障した場合の感染リスクを求めた。化学物質については故障有無に関する記述がなかったため、値に変化はしないとする。

3.1 病原性微生物のリスク結果

(1) 下水処理場が故障しない場合

図1はケースAで生野菜を使用した場合の消毒済の二次処理水の年間感染リスクを示している。クリプトスポリジウムと大腸菌群のみ年間感染リスクの基準値を超える結果になった。消毒済の二次処理水で生野菜を使用することはできない結果となった。

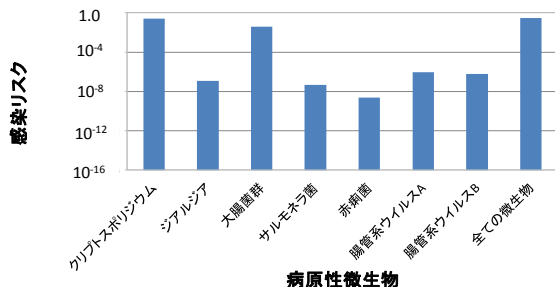


図1 生野菜の感染リスク(ケースA)

(2) 下水処理場が故障した場合

下水処理場が故障したときの感染リスクについて、図2に示している。故障により塩素がなくなったとき生野菜を栽培する場合の夏の感染リスクを示している。二次処理水で処理する下水処理場で故障により塩素消毒がなくなると感染リスクが高くなり、未消毒の二次処理水を使用することはできない結果となった。クリプトスポリジウムと大腸菌群の感染リスクが基準値を超える結果となった。故障したままの下水再生水を

使用すると、集団感染を引き起こすことになる。

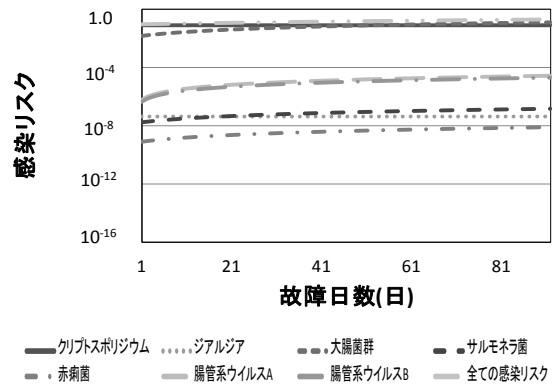


図2 故障により塩素がなくなったとき生野菜を栽培する場合の夏の感染リスク(ケース)

3.2 化学物質の判定結果

化学物質のリスクはHQとMOEの値で判定する。HQの値が1以下であり、MOEの値が10以上ならばリスクの許容範囲であり、健康への影響は見られない。化学物質の算出結果はすべての利用用途において、二次処理水も高度処理水も判定基準を上回り、健康への影響を考慮しなくても使用できる結果となった。

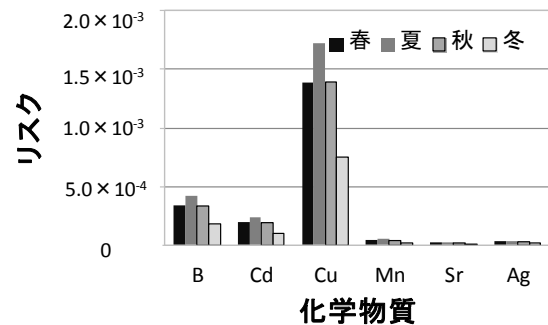


図3 二次処理水における農業用水で野菜を栽培して摂取する場合のHQ判定

4 まとめ

乾燥地域での再生水のリスク評価を行った結果、病原性微生物のリスク評価に関しては、高度処理水まで処理する必要がある。また、故障により塩素消毒がなくなった場合、未消毒の二次処理水を使用することはできない結果となった。化学物質のリスク評価に関しては、対象とされる化学物質は健康に影響がないと示された。