

VII-37

下水処理水再利用に伴う健康リスクの評価

東北大学 学生員 橋本 剛志

東北大学 正会員 渡部 徹 ○大村 達夫

1. はじめに

近年、下水処理水再利用は多くの地域で導入しており、水道水源としての再利用も検討されつつある¹⁾。しかし、下水処理水再利用による病原微生物や消毒副生成物による健康被害の発生が懸念されるため、それら健康被害のリスクを総合的に評価し、システムの最適化を行うことが必要である。本研究では、下水処理水再利用を取り入れた水利用モデルを構築し、下水処理水再利用に伴い発生する病原微生物による感染リスクおよび消毒副生成物による発ガンリスクを評価した。また、DALY（障害調整生存年）²⁾という健康指標を用いて2つのリスクの総合化を行った。

2. 下水処理水再利用シミュレーション

2.1 下水処理水再利用の方法

河川水を水道水源として利用する都市の水利用モデルおよび下水処理水再利用シミュレーションの方法は筆者らが開発した手法³⁾を用いた。この方法では、渇水日（流量25m³/s以下）に水道原水である河川からの取水が制限され、再利用シナリオ1では取水制限による不足分の50%が、シナリオ2では100%が下水処理水により補充される。

2.2 渇水低減効果

渇水の規模を示す指標の一つとして累加不足率（単位：%・day）がある⁴⁾。これは毎日の節水率の累積和である。下水処理水再利用による渇水低減効果は、再利用を行った場合の年間累加不足率の減少分として定義する。

2.3 感染リスク評価

感染リスク評価は rotavirus を対象とした。感染リスク算出における仮定は表1に示す通りである。

表1 感染リスク算出における仮定⁵⁾⁶⁾

項目	仮定
ウイルス濃度	河川水中 大腸菌群数の1/50000
浄水処理除去率	感染者糞便中 10 ⁶ 個/g (1人200g/日排泄) 凝集・沈殿・砂濾過 1.7~2.9log(平均99.5%) 消毒 3log (99.9%)
下水処理除去効率	二次処理まで 1log (90%) 消毒 3log (99.9%)
水利用者の摂取水量	1日2L

リスクの算出のための用量-反応モデルは(1)式で表されるベータ分布感染確率モデル⁷⁾を用いた。ただし、P：1回の曝露で感染する確率、D：曝露量、 α 、 β ：パラメータ ($\alpha=0.232$, $\beta=0.247$) である。

$$P = 1 - [1 + \{D/\beta\}]^{-\alpha} \quad (1)$$

2.4 発ガンリスク評価

発ガンリスク算出の対象とした消毒副生成物は、クロロホルム、ブロモジクロロメタン、ジブロモクロロメタン、ブロモホルムのトリハロメタン (THM) 4物質である。シミュレーションでは、河川水由来の THM は対数正規分布に従うと仮定し、阿武隈川の THM 生成能測定データ（総 THM 生成量の平均値 107 μ g/L、最大値 410 μ g/L、最小値 23 μ g/L, n=12）を元にして算出した。また河川水については浄水過程で 30%の THM 前駆物質が除去されることとした⁸⁾。下水処理水由来の THM は THM 生成能測定実験および揮発率測定実験の結果（表2）を使用した。ここで、揮発率測定実験は揮発性物質である THM の貯水池での揮発を想定している。THM 生成能測定実験では下水二次処理水に段階的に塩素を注入し、遊離残留塩素濃度が 1mg/L のときの THM 濃度を GC/MS で測定した。シミュレーションでは1日ごとに水道水中 THM 濃度を算出し、年間総曝露量から U.S.EPA が提案する Slope Factor⁹⁾を用いて年間発ガンリスクを求めた。ただし、クロロホルムの場合は Slope Factor が提案されていないため、許容濃度を超える確率を発ガンリスクとした。

表2 THM生成能および揮発率測定実験の結果

	Chloroform	BDCM	DBCM	Bromoform	TTHM
THM 生成能 [μ g/L]	166.8	129.2	46.7	4.5	347.2
揮発率 [%]	58.2	71.4	67.5	66.4	65.9

2.5 DALYによる評価

感染リスクと発ガンリスクを同一の尺度で比較するための指標として、本研究では DALY（障害調整生存年）を用いることとした。DALY は損失生存年数 (YLL) と障害生存年数 (YLD) の合計値である（図1）。YLL は早期死亡による損失余命を示したもので、病気に影響を受けない場合の期待余命と特定の病気での死亡による寿命の損失年数から推定される。YLD は、障害の発生期間に日常生活への障害負担を定量化した係数（健康を1、死を0）を掛けたものであり、非致死的健康影響を示す。

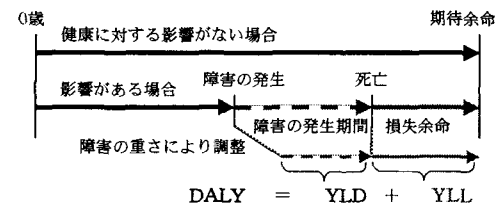


図1 DALYの概念図

3. 結果と考察

3. 1 リスク評価

図2, 3はそれぞれ二次処理水, 消毒処理水を再利用したときの感染リスクと渇水低減効果の関係をプロットしたものである。渇水低減効果が大きいほど再利用水量が多かった年と見ることができるが, 消毒処理水を使用した場合は再利用水量の増加による感染リスクの増加は見られず, 再利用なしの場合とほぼ同じ範囲に分布している。一方, 二次処理水を再利用した場合は, 渇水低減効果が200%・dayを超えると急激に感染リスクが増加することがわかる。

発ガンリスクの算出結果はシナリオ1, 2ともに再利用なしの場合と同じ範囲(4.5×10^{-6} 程度)にあり, 下水処理水再利用の影響は見られなかった。また, 消毒の強化やTHM前駆物質質の変動を想定して下水処理過程の消毒で生成するTHM濃度を2倍にして計算してみたが, この場合も影響はほとんど見られなかった。これは下水処理水のTHM生成能が河川水と同程度, あるいはそれ以下のレベルにあり, 水道水のTHM濃度が河川水のTHM生成能に依存しているためと考えられる。

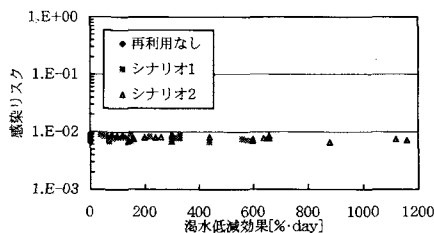


図2 感染リスクと渇水低減効果の関係(消毒処理水を再利用)

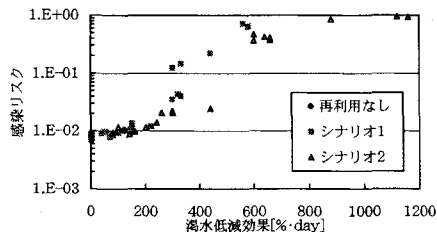


図3 感染リスクと渇水低減効果の関係(二次処理水を再利用)

3. 2 DALYによる下水処理水再利用の評価

図4は消毒処理水を再利用した場合のDALYである。ここでは, シナリオ1, 2のほかに下水処理水による補充率が20, 40, 60, 80%の場合についても計算を行った。図には各補充率で得られるDALYの平均値を示した。

感染, 発ガンの各リスクにおいて再利用による影響がほとんど見られなかったことから, DALYの合計値も再利用なし(補充率0%)とほぼ同等である。つまり, 補充率0%のときを現状のDALYであると考えた場合, 下水処理水再利用の導入による健康被害の増大は起こらない。また, DALY

合計値のうち感染によるDALYは2年程度, 発ガンによるDALYは7~11年であったため, 発ガンによる健康被害の方が社会的優先度の高い懸案事項であると言える。

図5は二次処理水を使用した場合である。補充率が20%以下であれば消毒処理水を使用した場合と差はないが, それ以上になると感染によるDALYの著しい増加が見られた。これらのことから, 下水処理水再利用においては感染リスクの増大を防ぐことが重要であり, 下水処理過程の消毒において3logのウイルス除去を施すことで現状と同等のレベルの安全性を確保することができる。

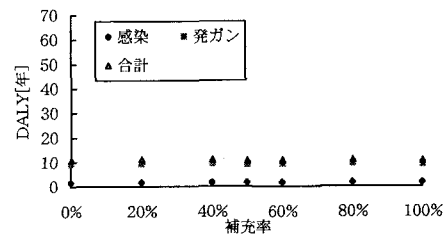


図4 消毒処理水を再利用した場合の補充率とDALYの関係

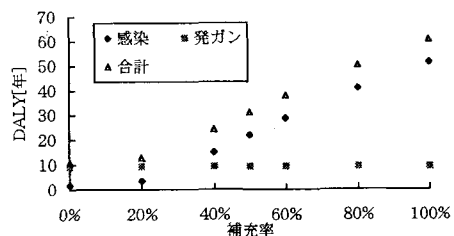


図5 二次処理水を再利用した場合の補充率とDALYの関係

参考文献

- 1) 浅野孝ら監修, 五十嵐敏文ら編著: 水環境の工学と再利用, 北海道大学図書刊行会, 1999.
- 2) Murray, C. J. L. et. al.: THE GLOBAL BURDEN OF DISEASE, Harvard University Press, 1996.
- 3) 橋本剛志ら: 病原微生物感染リスクにもとづく渇水被害低減のための下水処理水再利用の評価, 環境工学論文集, Vol.39, pp.123-134, 2002.
- 4) 土木学会編: 土木工学ハンドブック, 技報堂出版, 1989.
- 5) 金子光美: 水の消毒, (財)日本環境整備教育センター, 1997.
- 6) (社)水環境学会「水中の健康関連微生物」研究委員会: 水中の健康関連微生物シンポジウム講演集, 1995.
- 7) Rose, J. B. and C. P. Gerba: Use of risk assessment for development of microbial standards, Wat. Sci. Tech., 24, No.2, pp.29, 1991.
- 7) 丹保憲仁: 水道とトリハロメタン, 技報堂出版, 1983.
- 8) U. S. Environmental Protection Agency: Integrated Risk Information System, <http://www.epa.gov/iris/index.html>.