

審 査 の 結 果 の 要 旨

論文提出者氏名 カラファラ モナ モハメド ガラル

人々の安全と環境保全のために広く用いられている上下水道の施設を建設し、運用することに伴って副次的な環境負荷が生じる。上下水道の導入によってもたらされる効用とこの副次的な環境負荷の間のトレードオフの定量的な評価はこれまでなされておらず、それを明らかにする必要がある。

本論文はこのような背景の元に行われたもので、「Tradeoff between improvement effect of water and wastewater treatment and their impact to human health, ecosystem quality and resources(上下水道がもたらす改善効果と健康、生態系および資源面の負荷との間のトレードオフに関する研究)」と題し、8章からなる。

第1章は序論で、問題意識とともに研究の目的を示している。

第2章は既往の研究についてのレビューである。この章では、水系感染症を念頭に置いたりスクアセスメントの手法を整理する一方で、上下水道を対象にしたLCAの研究例を示し、また被害算定型のインパクト分析を行っているEco-indicator 99の概要を整理している。

第3章は研究の方法である。本研究では、エジプトのナイル川の流域に立地する仮想的な人口20万人の都市群を想定し、そこに水道と下水道をともに整備した場合、どちらか一方だけを整備した場合、あるいはいずれも整備しない場合の4ケースをモデル的に設定し、これらの施設がもたらす効果を評価した。これらのケースに対して、病原性の細菌、ウイルス、原虫による下痢の発症のリスク評価の方法、Eco-indicator 99の手法における人間健康、生態系、資源の3種の被害カテゴリーの表現とそれらの統合化、排水処理導入による水域生態系の改善効果の評価の方法を示している。この方法の特徴は、人間の健康へのインパクトを表す指標としてDALY(障害調整生存年数、Disability Adjusted Life-Years)を用いることによって上下水道がもたらすリスク低減とLCAによって求める環境負荷としての健康影響を同一の単位で比較可能にしたこと、同様に下水道がもたらす生態系改善効果とLCAによって求める環境負荷としての生態系への影響をPDF(潜在的な生物種の消滅比率、Potentially Disappeared Fraction)という同一の単位で表現したこと、さらに人間健康、生態系、資源の3種の被害カテゴリーの統合化を行ったことである。これらの手法により、これまで独立に評価されていた上下水道の効用とLCA的な環境負荷を同一の単位で定量的に比較することが可能になったのである。

第4章は上下水道がもたらすリスク低減効果の評価の結果である。上水道と下水道を単独で比較すると、上水道のリスク削減効果の方が大きいですが、上水道のみでは十分にリスクが提言できないことが定量的に評価できた。

第5章は水生生態系への下水道の寄与の評価についてである。下水道の導入によ放流先の河川中の溶存酸素が高く維持される効果を、典型的な自浄作用を表すモデルで評価した。一方、河川水中の溶存酸素の濃度と魚種数の関係をナイル川のデータに基づいて一般化し、これらから下水道の導入による魚種数の増加を推定した。

第6章は上下水道施設の建設と運用に伴う環境負荷を LCA によって評価した結果である。建設時のセメントと鉄の利用、運用時の塩素の利用と電力、エネルギーの利用を対象として評価を行った。評価に当たっては、仮想的な浄水場および下水処理場を設計し、そこで得られた必要資材量やエネルギー消費量に、Eco-indicator 99 に示された環境負荷原単位を乗じて求めた。環境負荷項目としては、二酸化炭素排出量、大気汚染物質排出量、各種重金属、資源採掘量を網羅的に扱っている。これらの環境負荷をもとにして、人間の健康への損害、生態系への損害、資源への損害をそれぞれ求めた。

第7章は、統合的な比較と議論である。この章では、前章までで求めた上下水道による効用と副次的な環境負荷を比較している。まず、人間の健康への効果については、上下水道の効用が 10 DALYs/person-year のオーダー、副次的な損害が 10^{-4} DALYs/person-year のオーダーで、前者が 10 万倍程度大きい。生態系への影響については上下水道の効用が 10^{10} PDF*m²*year/person-year 程度、損害が 10^5 PDF*m²*year/person-year 程度であり、これも前者が 10 万倍程度大きい。なお、資源への影響は損害のみ生じる。人間健康、生態系、資源への影響を統合評価した結果、上下水道の効用は副次的損害の約 1 万倍大きいことが示された。

第8章は結論である。

本研究は、上下水道のようにトレードオフが生じるような施設に対して定量的にトレードオフを解析している面で非常にオリジナリティが高く、上下水道の評価のみならず、LCA 研究の面でも新たな面を切り開くものである。

以上、本研究において得られた成果には大きなものがある。本論文は環境工学の発展に大きく寄与するものであり、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。