

(続紙 1)

京都大学	博士（工学）	氏名	岡本 誠一郎
論文題目	都市排水の再生利用における衛生学的リスク管理に関する研究		
（論文内容の要旨） 本研究は、下水処理水の放流先河川において農業利用や親水利用などの再生水の間接的利用がおこなわれる際に、衛生学的安全性を確保するためのリスク管理手法を検討したものであり、7章からなっている。 第1章は、序論であり、研究背景、本研究の目的と論文の構成を述べている。 第2章は、国内外の再生水利用の現状とその動向を概観するとともに、その普及に影響を及ぼす要因とともに、病原微生物に関する課題を抽出し、論述している。近年、再生水利用のニーズが高まっているが、都市排水を再利用する場合、感染症防止のために病原微生物の除去など適切な管理が必要であるとしている。しかし、都市排水が放流された後の河川下流域で間接的に再利用される場合のリスク管理の取り組みは不十分であり、その手法の確立が必要であると主張している。感染症リスクの評価の際には、再生水中の病原微生物濃度の時間的変動の十分な考慮が必要であり、特に合流式下水道の未処理放流に起因する雨天時の変動などに対して的確に評価できる手法の構築が必要であることを指摘している。 第3章では、都市排水の河川放流後における間接的な水の再利用を対象として、利用形態を分類するとともに、用途別の水質面の課題、特に人の健康に対するリスク要因について検討している。都市排水等の間接的再利用は、非意図的な利用、関係者の情報共有の下での計画的利用、利水者独自で判断する独自利用に分類され、独自利用は計画的利用に比べてリスクは高く、さらに非意図的な利用は、リスク要因の変動に対して利水者の認知が困難なケースもあることを指摘している。 第4章では、ノロウイルスを対象に、文献調査と現地調査から、下水、下水処理水、再生水中の濃度の時間変動特性を明らかにしている。ノロウイルスは、冬期に感染が集中する顕著な季節変動を示し、下水中への流入濃度もこれに対応した変動を示すため、再生水利用のリスク評価では、ハザードの時間的変動の考慮が必要であることを指摘している。また雨天時合流式下水道越流水（CSO）の放流水域での病原微生物の汚染実態を国内で初めて現地調査している。この結果、CSO放流先河川では、大腸菌群数は晴天時の100～1,000倍となり、降雨終了後は急速に晴天時の水準に戻るが、河口の表層部では、降雨後24時間を経過しても大腸菌群数が継続して高濃度で検出されることを明らかにしている。また降雨時のCSOおよびその放流先河川においてノロウイルスの存在実態を調査した結果、CSO発生後に河川水のノロウイルス濃度が上昇するが、越流時間の経過とともに減少し、降雨継続時間や越流時間の長さにかかわらず、流出は一定時間で収束することを明らかにしている。また、合流式下水道での雨水滞水池や下水処理場への遮集は、ノロウイルスの公共用水域への排出抑制に高い効果を発揮することを明らかにしている。			

京都大学	博士（工学）	氏名	岡本 誠一郎
第5章では、都市排水の間接的な再利用に対して、危害分析及び重要管理点（HACCP）に定量的微生物リスク評価（QMRA）を組み込んだリスク管理手法を提案している。下水処理場やCSOの放流先河川を経由した再生水の農業利用や親水利用への間接的再利用を晴天時とCSO等の影響を考慮した雨天時でノロウイルスを対象にリスクの定量を試みている。晴天時の農業従事者、親水利用者の1人1年当たり疫病負荷（DALYs pppy）は、WHOが提唱する基準値10^{-6}を1～2オーダー程度上回ることから、下水道から河川へのノロウイルスの放流を削減するための追加対策が望ましいこと、生物学的栄養塩除去など高度処理の導入がノロウイルスの感染リスク低減に有効であることを明らかにしている。雨天時のCSOや簡易処理放流の放流先河川での間接的再利用に対するリスクを定量した結果、農業従事者は親水利用者よりもリスクが大きいこと、CSOによる影響は、水利用や取水の一時停止などの方策が有効であるが、降雨が長時間継続する場合には、下水処理場での簡易処理・消毒放流に注意が必要であることを明らかにしている。 第6章では、河川を介した都市排水の非意図的な間接的再利用でのリスク管理を実現するために必要な社会システムや制度について検討している。この結果、関係者によるチームの結成は、流域の各種課題を検討する際に共通的な手順であり、より広域的な視点から多様な関係者の間で利害調整プロセスが必要であり、その受け皿として水質汚濁防止連絡協議会やその発展組織が考えられるとしている。また、都市排水の間接的再利用のリスク管理では、処理と放流の主体である下水道管理者の役割が重要であり、2003年の下水道法施行令および関連省令等の改正以降、より積極的な役割を担いうること、役割をさらに強化する取り組みが重要であることを提案している。 第7章は、まとめと結論である。			

(論文審査の結果の要旨)

本研究は、下水処理水の放流先河川において農業利用や親水利用など、都市排水の再生水の間接的利用が行われる場合に衛生学的リスクの評価方法と再利用時の安全性を確保するためのリスク管理手法を提案したものであり、概要は以下のとおりである。

1. 国内外の再生水利用の現状と動向を概観した結果、下水処理水放流先の河川水を間接的に再利用する際には、体系的なリスク管理の検討が行われておらず、リスク管理手法を構築する必要性があることを指摘した。

2. 河川を介した都市排水の再生水の間接的利用の形態を分類するとともに、用途別の水質面での課題、特に人の健康に関するリスク要因を検討し、病原微生物は時間的に大きく濃度変動する傾向があり、リスク評価にその特性を考慮する手法の構築が必要であることを指摘した。

3. ノロウイルスを対象に、流行期と非流行期の下水処理場での晴天時での流入水と処理水における濃度の時間変動、ならびに合流式下水道の下水処理場での雨天時の簡易処理水や未処理放流水における濃度変動を実態調査と文献考察から明らかにした。

4. 降雨時の合流式下水道越流水 (CSO) およびその放流先河川において、ノロウイルスの存在実態を国内で初めて調査した結果、放流先河川で CSO の発生後に大幅な濃度上昇を確認し、CSO の影響が従来の水質項目に加え、ノロウイルスの流出面でも大きいことを明らかにした。また、降雨継続時間や越流時間の長さにかかわらず、CSO からのノロウイルスの流出は一定時間後に収束することも明らかにした。

5. 危害分析及び重要管理点 (HACCP) を、河川での都市排水の再生水の間接的利用に適用するとともに、定量的微生物リスク評価 (QMRA) を組み込んだリスク管理手法を提案した。ケーススタディとして晴天時での下水処理場からの放流水を、また雨天時はそれらに CSO の影響を含めた放流先河川下流での再生水の間接的再利用に対して QMRA を行った結果、評価手法の有効性を確認した。

6. 都市排水の間接的な再生水利用におけるリスク管理は、関係者の利害が必ずしも一致しないため、広域的な視点からの利害調整プロセスが必要であることを指摘した。

以上要するに、本論文は、下水中の病原微生物に着目し、現場調査、リスク解析を行い、管理方法を検討したものであり、その成果は、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 8 月 2 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。