

京都大学	博士（地球環境学）	氏名	Jakpong Moonkawin
論文題目	Prediction of greenhouse gas emissions along sanitation service chains （サニテーション・サービスチェーンにおける温室効果ガス排出量の予測）		
（論文内容の要旨） 本論文は、低・中所得国の都市部における下水道，腐敗槽，し尿汚泥処理などを組み合わせたサニテーション・サービスチェーン（SSC）からの温室効果ガスの排出特性を明らかにしたものである。低・中所得国の都市の多くでは、オンサイト・サニテーションといわれる下水を発生地点で処理するシステムと，管路で下水を移動した後に処理するシステム（下水道）との組み合わせでサニテーション・サービスを運用している。オンサイト・サニテーションはその重要性の一方，下水道と比べ，温室効果ガス（GHGs）の排出実態およびその抑制策についての研究が必ずしも多くない。オンサイト・サニテーションを含むSSCの複数の要素に由来するGHGsの排出抑制に努めるとともに，GHGs排出抑制を考慮したSSCの将来戦略を検討することが肝要である。このような状況を踏まえ，本論文ではベトナムを事例としてSSCからのGHGs排出量推計と，複数シナリオに基づく排出量の将来予測を試みている。論文は6章から構成され，以下に各章の内容を説明する。 第1章は序論であり，低・中所得国に注目した都市におけるサニテーションの現状およびSSCについての基本事項を概説するとともに，SSCからのGHGs排出量推計の重要性を指摘した上で，本論文の構成と目的を述べている。 第2章は，既往研究をレビューし，関連情報を整理している。世界のGHGs排出量削減における下水分野およびオンサイト・サニテーションの重要性を指摘した上で，とくに腐敗槽（セプティックタンク）からのメタン排出量の推計に関する既往研究を整理している。その中で，IPCC等で利用されている腐敗槽からのメタン排出量推計の問題として，生物化学的酸素要求量（BOD）の除去率との相関に基づく推計の不確実性，および実測データの不足を指摘している。また，SSCの主要な構成要素ごとにGHGs排出に関する知見を整理するとともに，都市化の進展に伴い変化するSSCからのGHGs排出抑制戦略が急務であることを指摘し，本研究の重要性について整理している。 第3章では，ベトナムのハノイを対象地域として，実測に基づく腐敗槽からのGHGs排出量推計および排出特性の解明に取り組んでいる。東南アジアの多くの地域では腐敗槽の管理は劣悪で，し尿汚泥が長期に渡り槽内に貯留されている。本章では，長期間の汚泥貯留による腐敗槽の汚濁物質除去性能およびメタン排出量への影響を評価するとともに，メタン発生量とBOD除去性能との関連を明らかにすることを目的としている。調査では，15の腐敗槽			

を対象に、その処理性能を測定するとともに、フローティング・チェンバー法によりメタン、一酸化二窒素、二酸化炭素の発生量を実測し、既往研究での測定データと統合することで23槽を対象とした解析を行っている。その結果、腐敗槽の汚泥貯留期間が長いと、汚濁物質除去性能が低下する一方で、メタン排出量が増加する関係性を定量的に明らかにしている。また、BOD除去性能とメタン排出量との間に負の相関の傾向が見られたことから、BOD除去性能との正の相関を前提とした既存のメタン排出量推計方法は、長期間の汚泥貯留を伴う腐敗槽の排出量を適切に推計できず、より精緻な推計には、汚泥汲み取り間隔、汚泥厚、あるいは汚泥汲み取り間隔を反映した一人あたりの排出係数などによる推計が適切であることを示唆している。

第4章では、サニテーション・サービスチェーンに沿った各要素施設の運轉管理に伴い排出されるGHGsの推計を試みている。ここでは、オンサイト・サニテーションと下水道が併用される都市の典型として、ハノイのチュックバック排水区を対象としてGHGs排出量を定量化している。定量には、腐敗槽、バキューム車、下水道管路、下水処理場、および尿処理場の5つの構成要素からの排出を含んでいる。それぞれの構成要素における排水量および化学的酸素要求量(COD)の物質収支を構築した上で、腐敗槽は第3章から得られた推計モデル、下水処理場および尿処理場は排水処理プロセスの数学モデル(GPS-X)、下水道管路はIPCCによる推計法、およびバキューム車は原単位法を用いてGHGs発生量を推計している。その結果、SSCに沿ったGHGs排出の主な要因は、電力や薬品使用などに伴う間接排出ではなく、腐敗槽および下水道の処理プロセスに由来する主としてメタンの直接排出であることを明らかにした。また、腐敗槽からの排出はその主たるものであり、下水道管路および下水処理場からの排出がこれに続いた。腐敗槽や下水道管路の劣悪な維持管理や不適切な設計が嫌気状態に伴うメタン発生背景にあり、これら由来の排出削減が重要であることを示している。

第5章では、前章でのチュックバック排水区の現状GHGs排出に対して、3つの将来シナリオを設定し、SSCからのGHG排出削減の可能性を検討している。3つのシナリオとは、腐敗槽の汚泥汲み取り頻度の増加(シナリオA)、腐敗槽撤去と現状の下水道管路利用(シナリオB)、および腐敗槽撤去と下水道管路改善(シナリオC)である。その結果、汚泥汲み取り頻度の増加は、既存インフラの大幅な変更が不要ながらGHGs排出量削減に効果的であることを明らかにしている。また、腐敗槽を撤去し、下水道管路を改善して下水処理場で集約的な下水処理を進めることは、長期的にはGHGsの排出削減に最も効果が高いことを示している。

第6章は結論であり、論文を総括するとともに今後の課題を示している。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

低・中所得国の都市部でのサニテーションの確保は人の暮らしおよび水環境保全上の喫緊の課題である一方、サニテーション施設は温室効果ガスの排出源でもあり、気候変動抑制の観点から、その排出削減の重要性は高い。本論文は、下水道と腐敗槽の双方が利用されている都市であるハノイにおけるサニテーション・サービスチェーンからの温室効果ガス（GHGs）の排出量推計および将来予測を、現地調査と統計解析、シナリオ分析に基づき試みている。得られた成果は以下のとおりである。

第一に、長期放置されて汚濁物質除去性能をほぼ失った腐敗槽であってもメタンを排出していることを明らかにしている。また、長期放置された腐敗槽からのメタン排出量を既存の推計式で推計するのは適切ではなく、これを代替する指標を提示している。これらの知見は、低・中所得国に広く見られる腐敗槽由来のGHGs排出量推計の精緻化に寄与する成果であり、環境衛生工学的観点から重要な知見を提供している。

第二に、サニテーション・サービスチェーンという枠組みで統合的にGHGs排出量を推計することで、腐敗槽、下水道管路、下水処理場のいずれもが主要な排出源となり、その一体的対策が不可欠であることを示した点である。この知見は、複数のサニテーション・サービスが混在する都市部におけるGHGs排出量の統合的な推計の先例となりうるものといえる。

第三に、将来シナリオに応じてサニテーション・サービスチェーンからのGHGs排出を定量的に予測した点である。将来シナリオに応じて、排出量の変化のみならず排出源、ガス種、直接/間接排出が変化する予測を可能にしたことで、短期的対策としては腐敗槽撤去が、長期的対策としては下水道での集約的処理がGHGs排出抑制に効果が高いことを示した。これは、環境調和型都市のサニテーション・サービスチェーンの将来像の立案に貢献する成果であり、都市環境工学上の重要な知見を提供している。

以上の成果により、本論文は低・中所得国におけるサニテーション・サービスチェーンからのGHGsの排出量を推計し、その将来を予測することで、GHGs排出抑制の観点からの都市サニテーションサービスの新たな評価を可能にするものであり、都市衛生の改善に大きく貢献しうることから、地球環境学の発展に大きく寄与した。よって本論文は博士（地球環境学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和6年8月9日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降