

氏 名	はら だ ひで のり 原 田 英 典
学位(専攻分野)	博 士 (地球環境学)
学 位 記 番 号	地 環 博 第 26 号
学位授与の日付	平 成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	地 球 環 境 学 舎 環 境 マ ネ ジ メ ン ト 専 攻
学位論文題目	A Proposal of Advanced Sanitation System and Attempts to Improve Vietnamese Sanitation (先進的サニテーションシステムの提案およびベトナム衛生改善への試み)
論文調査委員	(主 査) 教 授 松 井 三 郎 教 授 松 岡 讓 助教授 松 田 知 成

論 文 内 容 の 要 旨

・序論（第1章）

背景として、途上国における衛生改善（屎尿処理）の重要性と屎尿の農業利用の有効性を述べた。本論文では、下水道の普及を補完する途上国衛生改善、および屎尿資源循環の実現を目指す。第1部では、バキュームトラックによる屎尿回収に基づく日本型屎尿処理（NST）システム、および栄養塩を豊富に含む尿を下水から分離する（屎尿分離）アプローチに着目した先進的サニテーションシステム（AS システム）の提案を行った。AS システム適用に当たっては、第1段階として NST システムの導入（屎尿・汚泥の回収・処理）による衛生改善、さらに第2段階として、屎尿分離の導入による屎尿資源の循環をシステムに含め AS システムとする段階的導入が考えられよう。

第2部—1ではベトナムハノイ市を取り上げ第1段階実施に向けた調査を行った。第2部—2ではベトナム農村部のダンフォン村を取り上げ、トイレのない農村部での衛生改善・資源循環の両立を目指し、効果的な屎尿分離トイレ導入方法について考察した。

・第1部：先進的サニテーションシステム（第2～4章）

バキュームトラックを利用する衛生システムとして NST システムを取り上げ、NST システムおよび下水道のコスト分析を行った。システム総費用に関しては世帯密度 $1,972/\text{km}^2$ 以下において、BOD と T-N 除去の費用効率に関しては、それぞれ $90/\text{km}^2$ 以下および $1,028/\text{km}^2$ 以下において、NST システムが下水道に対して優位となることを示した（第2章）。

次に、下水から分離した尿中の栄養塩回収の方法として、尿中リン・窒素の MAP（リン酸アンモニウムマグネシウム・六水和物）としての回収を目指した。化学平衡モデルを構築し MAP 生成反応の最適条件を示し、さらにパイロットプラントを構築し反応槽に流入するリンの85.0%（尿中リンの62.0%に相当）を回収した（第3章）。

さらに、AS システムとして、尿と分離した尿を MAP 生成もしくは希釈後農業利用し、尿を家畜糞尿とともに回収しメタン発酵するシステムを提案し、尿分離がメタン発酵を促進しうること、また人口100,000人、豚5,000頭および鶏20,000羽を対象としたシステムでは、 $1,107\text{Nm}^3\text{-CH}_4/\text{day}$ のメタンおよび、 $51.9\text{ton-P}_2\text{O}_5/\text{year}$ の MAP を回収できることを示した（第4章）。

・第2部：ベトナムにおける衛生改善の試み（第5～8章）

ベトナムの衛生施設に関する既存情報をまとめた。農村部においては衛生的なトイレの普及、屎尿を農業利用するベトナムではその衛生的な利用が求められている。都市部では生活排水の処理が課題である。ハノイでは、生活排水の処理は主にセプティックタンク（ST）のみに依存しているが、その管理状態および ST 汚泥の回収・処理状況の深刻さが報告された（第5章）。

・第2部—1：ベトナム農村部

トイレの普及していない農村部の衛生対策として、尿と尿を分離処理・利用するエコロジカルサニテーション（エコサ

ン) トイレに着目した。ベトナム・ダンフォン村において筆者が参加したエコサントイレ導入プロジェクトに基づき、エコサントイレを効果的に導入する上で鍵となる要素を建築の質の確保、各世帯がトイレの破損を自ら修復できること、排泄後の便への灰散布の教育、衛生化のための10ヶ月の便の貯留などが提示された(第6章)。

・第2部—2:ベトナム都市部

ベトナムの首都ハノイ市都市部において、統計的に抽出した750世帯へのインタビュー調査に基づき、衛生設備の現状、STの管理状況に関する統計的情報を得た。90.5%のトイレ排水はSTに流入していた。多くのSTの容量(Med.=5.4m³)は適正であった一方、汚泥引抜状況は極めて深刻であった。89.6%のSTは汚泥引抜経験がなく、41.2%のSTは汚泥引抜口を有していなかった。ハノイ都市部STの汚泥貯留年数は中央値が7年であった(第7章)。

続いて、汚泥引抜状況を改善した際のST排水の水質への影響を検討するために、26世帯のST排水を採水・分析し、汚泥引抜状況と排水水質との相関を調べた。COD、BOD、SSおよびTotal Coliformに関して、両者にきわめて高い相関(CODで $P<0.001$, $R^2=0.85$)が見られた。これより、汚泥引抜状況を改善した際には、STからのCOD汚濁負荷を最大で87.9%低減できることが示された(第8章)。

・結論(第9章)

各章で得られた成果をまとめた。提案した先進的サニテーションシステムは、下水道の普及を補完しながら途上国衛生状態を改善し、尿尿資源の循環を達成するための青写真となるだろう。ベトナムのトイレがない農村部に対して、本稿で提示したエコサントイレ導入の鍵となる要素は、地域の衛生改善・資源循環に寄与すると考える。ベトナムハノイ市において、ST汚泥引抜状況を改善することにより、STからの汚濁負荷を最大で87.9%低減しうることが示された。汚泥引抜状況の改善はハノイ都市部の衛生改善のための現実的な解決策となりうるだろう。現在、適当な尿尿・汚泥の回収・処理システムを持たないハノイ市にとって、NSTシステムの導入(ASシステムの第1段階)は有効なオプションとなるだろう。

ベトナム北部は尿尿分離トイレを利用してきた歴史を持つ。ASシステムの第2段階の実施を行うに当たって、これは大きな利点となるだろう。ASシステムによるメタン生産も、物価と比べエネルギーコストが割高なベトナムにおいては大きな利点となるだろう。一方で、汚泥引抜状況改善後もST排水は無視できない汚濁負荷を依然として有する。また、雑排水もほぼ未処理である。下水道普及がごく限られているハノイ市の現状において、これらは都市排水管理における課題として残るだろう。

論文審査の結果の要旨

途上国における衛生問題(尿尿の適切な処理)は、国連ミレニアム目標に示されているように、国際社会にとって緊急の課題である。有価物を豊富に含む尿尿の適切な農業利用は、この衛生問題の改善に大きく寄与する可能性を有すると共に、資源(特にリン)循環利用の観点からも重要な意義を持つ。京都大学大学院地球環境堂とベトナム科学技術アカデミー環境技術研究所が衛生問題解決に資する共同研究を平成17年4月から開始したのに伴い、申請者はインターン研修としてベトナムに滞在し1年7ヶ月の共同調査・実験研究を行った。また日本における実験研究に基づき尿尿の資源循環を備えた新しい衛生システム(AS)を提案し、ベトナムの衛生改善に結びつく一つの解答を示している。先端研究の学術的成果を現場の問題解決に結び付ける本研究は、地球環境学舎環境マネジメント専攻の博士論文として高く評価できる。以下にその成果をまとめる。

- (1) バキュームトラックを利用する日本型尿尿処理(NST)システムと日本の下水道システムのコスト分析を行った結果、総費用に関しては世帯密度1,972/km²以下において、またBODとT-N除去の費用効率に関しては、それぞれ90/km²以下および1,028/km²以下において、NSTシステムが下水道に対して優位となることを示した。
- (2) 尿から農業資源の窒素・リンを、MAP(リン酸アンモニウムマグネシウム・六水和物)としての回収するため、化学平衡モデルを構築してMAP生成反応の最適条件を示し、さらにパイロットプラントで反応槽に流入するリンの85.0%(尿中リンの62.0%相当)を回収した。
- (3) ベトナム南部・少数民族ダンフォン村において85基のエコサントイレを導入した。再訪問し継続して使用している状況を確認し、各世帯がトイレの破損を自ら修復できること、尿の農業利用、排泄後の便に灰散布の教育習慣付けを行い、

衛生化のため10ヶ月間便の貯留などが明らかにされた。

- (4) ハノイにおいて、衛生設備の現状、腐敗槽（ST）の管理状況に関する大規模な現地調査を行い、90.5%のトイレ排水はSTに流入し、多くのSTの容量（Med.=5.4m³）は適正であったが、汚泥引抜状況は極めて深刻であった。89.6%のSTは汚泥引抜経験がなく、41.2%のSTは汚泥引抜口を有していなかった。ハノイのSTの汚泥貯留年数は中央値が7年であった。これより、汚泥引抜状況を改善すれば、STからのCOD汚濁負荷を最大で87.9%低減でき、ハノイの衛生改善と河川汚濁防止に資することが示された。
- (5) ベトナム北部農村は尿と尿分離トイレを利用していることから、尿と尿をそれぞれバキューム車で回収し、尿からの農業資源回収、尿からメタン回収を行う先進的サニテーションシステム（ASシステム）の導入可能性の提案を行っている。

以上要するに、ベトナム農村地域の衛生改善について実践的な回答を示し、ハノイの衛生改善の具体的方向を提案すると共に、先進的なサニテーションシステムをベトナムに適用する可能性を明らかにした。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、平成19年1月12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。