

## 審査の結果の要旨

氏名 張 騫

中国では急速な都市化が進行しており、これに伴う温室効果ガスの排出が関心事となっている。公共サービス供給施設が都市において重要な役割を果たす中で、その事業者は、将来に向けた施設整備の意思決定を担っており、温室効果ガスの排出削減を進めるためには、施設の運用段階だけでなく建設段階も含めた温室効果ガス排出量の定量化と、さまざまな削減シナリオの効果の評価が必要である。

こうした背景のもとで、本研究は、現在から将来にわたって、中国における水供給・水処理に伴う温室効果ガス排出量の算定と削減ポテンシャルの提示を目的として、(1)温室効果ガスの直接、間接排出量の把握のための内包排出量の算定、(2)上下水道の建設・運用に要する物質・エネルギーの投入と温室効果ガス排出量の算定、(3)事例研究対象都市における上下水道システムのパフォーマンス評価と温室効果ガス排出量の算定、(4)複数のシナリオのもとでの将来の上下水道システムに伴う温室効果ガス排出量の変化の予測、を行ったものである。

論文は 8 章から構成されており、第 1 章では研究の背景、目的と研究課題、論文の構成について記している。第 2 章は文献レビューであり、温室効果ガスの排出量の算定の方法論と水システムの適用事例などに関する既往研究のレビューを行うとともに、中国の都市化の動向についてもレビューを行っている。第 3 章では、第 4 章以降で適用するシステム境界、時間軸からみた捉え方、ボトムアップ的な算定手法とトップダウン的な算定手法など、研究全体の枠組みを示すとともに、主なデータソースとその信頼性についてまとめている。

第 4 章では、中国の 2007 年の 135 部門産業連関表と、エネルギー統計における燃料消費量の部門への配分手法を組み合わせた内包 CO<sub>2</sub> 排出量算定を行い、最終需要別にみた排出量への寄与では資本形成が 42%と、国内消費 (30%)、輸出 (28%) に比べて大きな割合を占めることを明らかにした。また、Scope 1 (直接) 排出量、Scope2 (電力、熱の購入による間接) 排出量、Scope3 (それ以外の間接) 排出量を、内包排出量算定結果をもとに算定する方法を示すとともに、上下水道システムの運用および構築に伴う Scope1~3 排出量の算定結果を示した。

第 5 章では、サブシステムごとの物質・エネルギーの需要量と温室効果ガスの排出係数の文献値を用いて、上下水道システムの温室効果ガス排出推計の精緻化を行った。この算定では、格子状街区の配管網モデルの構築など、限られ

たデータからボトムアップ型の推計を行うための工夫がなされている。2006～2012年の期間における年間の温室効果ガス排出量は、運用に伴う排出が46百万トン、建設に伴う排出が16百万トンと推定され、経済発展段階では、単年度の切り口でみると、ライフサイクルで見た場合に比べて建設段階の寄与が大きいことを明らかにした。水処理施設の運用エネルギーに加え、排水処理・汚泥処理に伴うCO<sub>2</sub>以外の温室効果ガスの排出および配管網の整備が、上下水道システムの建設・運用において重要な発生源であることを明らかにした。

第6章では、中国の6つの大都市における上下水道システムの比較を行うとともに、北京市および枣庄市を対象とした事例分析によって、再生水処理センターの整備、配管網の拡大、汚泥の脱水処理などの地域固有の状況を反映した温室効果ガス排出量の算定結果を示した。

第7章では、第4～6章で構築した手法を用いて、上下水道システムによる将来の温室効果ガス排出量の予測を行った。都市への人口の移動、上下水道システムへの高度な技術の導入、利用するエネルギー、とくに電力の炭素集約度という3つの側面に着目してシナリオ分析を行い、各要因による排出量の増減幅を明らかにした。コンパクトな大都市のほうが温室効果ガス排出量が小さいが、過度な集中は高層階への水の輸送エネルギーを増大させること、汚泥処理技術の変更や海水淡水化の技術の導入が、排出量に大きな影響を与えることなどを明らかにしている。

第8章は結論であり、得られた成果を要約して得られた成果の意義をまとめるとともに、本研究の限界とさらなる研究の発展の方向性について論じている。

急速に都市化が進む中国の上下水道システムに焦点をあてたこれら一連の研究において、精緻な内包CO<sub>2</sub>排出原単位データベースの整備や、配管整備の必要量の算定のための格子状街区モデルの構築を行い、データの制約のもとでも実用性の高い温室効果ガス排出量算定手法としてまとめあげたこと、さらに、社会的・技術的变化シナリオのもとでの将来の排出量予測によって、新興経済国の政策や技術システムの設計に示唆を与える知見を得たことは、学術的にも実用的にも十分な価値が認められる。

このように、本論文は環境工学の発展に寄与するものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。