

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Enhancing Urban Stormwater Management under Climate Change through Integrated Modeling and Multi-Objective Optimization of Green Infrastructure
著者(和文)	LIUKexin
Author(English)	Kexin Liu
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第28号, 授与年月日:2024年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:木内 豪,高木 泰士,中村 恭志,中村 隆志,VARQUEZ ALVIN CHRIST
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第28号, Conferred date:2024/12/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Liu Kexin	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	木内 豪	教授	Alvin Christopher Galang Varquez	准教授
	審査員	高木 泰士	教授		
		中村 恭志	准教授		
	中村 隆志	准教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Enhancing Urban Stormwater Management under Climate Change through Integrated Modeling and Multi-Objective Optimization of Green Infrastructure」と題し、5章から構成されている。

第1章「Introduction」では、人口増大、気候変動、排水インフラの老朽化といった都市の雨水管理が抱える課題と将来想定される影響を整理するとともに、GI（グリーンインフラストラクチャ）を持続可能な解決策として適用する上で解決すべき技術的課題として、水文モデリングに必要なデータ不足への対応、GIの設置条件に関わるパラメータの不確実性を考慮したGI導入効果の推定手法の確立及び空間的に不均一な浸水への脆弱性を考慮したGIの導入計画手法の確立を挙げている。また、本研究の目的と論文の構成についてまとめている。

第2章「Unraveling urban hydro-environmental response to climate change in a data-scarce developing city」では、カンボジア・プノンペン市を対象に、限られたデータの下で排水システムにおける流量や浸水量、浮遊物質（SS）、大腸菌（E. coli）、化学的酸素要求量（COD）をシミュレートする水文モデルを構築する手法を提示するとともに、モデルの精度検証結果を述べている。さらには、気候変動の影響を評価するフレームワークを適用し、将来の気候変動シナリオ（RCP4.5および8.5）の下で想定される短時間降雨に対して排水システムの脆弱性が高まることを明らかにしている。また、汚濁物質の負荷量は増加する一方、濃度は現状と同様の高いレベルを維持することを示している。

第3章「Cost-effectiveness of green infrastructure under climate change: model parameterization, uncertainty and sensitivity」では、様々なGIで構成される都市排水システムの有効性について、GIの諸元・能力に関するパラメータの感度と不確実性の分析を行っている。また、費用対効果分析を通じて、コストを最小化しながら利益を最大化するための最適な構成を選定する手法を検討している。具体的には、バイオリテンションセル（BRC）、透水性舗装（PP）、屋上緑化（GR）を対象にパラメータのデータベースを整備した上で、様々なBRC、PP、GRの導入組み合わせのシナリオにおいてSobol 感度分析を行い、これらのパラメータ変動が結果に与える影響の不確実性範囲を定量化している。また、様々なパラメータの組み合わせに対して、GI性能の不確実性は短い再現期間の場合でより大きいことおよびGIの増強で多くの費用をかけても必ずしも効果増大にはつながらないことを示している。

第4章「A Multi-Objective Optimization Framework for Spatial GI Planning」では、将来の気候変動の影響を考慮しながら、非支配ソート遺伝的アルゴリズム II（NSGA-II）と多基準意思決定分析（MCDA）を適用し、水文学的効果、環境保全効果及び経済的実現性のバランスのとれたGIの空間配置を最適化するフレームワークを構築・適用している。具体的には、対象域内に存在する多数のサブキャッチメントの経済面及び水文・環境面の影響を評価して順位付けを行った後、各サブキャッチメントの優先順位を制約条件としてパレート最適な解を生成した上で、最終的にはステークホルダーが異なる目的に付与する重み付けに基づき、最適なソリューションを選択できるようにしている。これにより複雑な環境条件下でも効果的かつ持続可能なGI配置を実現可能としている。

第5章「Conclusion and Future Work」では、本研究を総括して主要な結論を述べるとともに、本研究の限界および今後の課題をまとめている。

以上を要するに、本論文は、発展途上国の都市をターゲットに、気候変動に対応した都市雨水管理を行うための包括的なフレームワークとグリーンインフラの効果的な導入計画手法を構築したもので、本論文で得られた研究成果は、急速に都市化が進み、気候変動に脆弱な諸都市における都市排水システムのレジリエンスを向上させるための実践的な方法論と知見を提供している。よって、本論文は博士（学術）の学位に値する価値を有すると判断される。