

奨励金No.1581

Nature-based Solutions (NbS) の実装によるマレーシア ジョホールバルの水災害対策と環境保全・再生の実現

巖島 怜
九州大学 准教授

Implementation of Nature-based Solutions (NbS) for flood disaster management and environmental conservation and restoration in Johor Bahru, Malaysia

Rei Itsukushima
Kyushu University, Associate Professor



本研究では、マレーシア・Masai 川流域を対象に、約 100 年間の土地利用変遷を復元するとともに、水文観測、洪水氾濫解析および魚類相調査を統合し、都市化が洪水リスクと生物多様性に及ぼす影響を評価した。その結果、都市化の進行に伴い洪水流出および浸水リスクが増大するとともに、外来魚類が優占し、在来魚類の生息環境が縮小していることを明らかにした。さらに、洪水解析と生態系評価を統合することで、防災と生物多様性保全を両立する Nature-based Solutions (NbS) の計画・評価手法の基盤を構築し、東南アジアの持続可能な流域管理への展開可能性を示した。

This study evaluated the impacts of century-scale urbanization on flood risk and biodiversity in the Masai River watershed, Malaysia, by integrating historical land-use reconstruction, hydrological observations, flood inundation modeling, and fish community surveys. The results demonstrated that urbanization substantially increased flood runoff and inundation while promoting the dominance of non-native fish species and reducing native habitats. By combining hydrological and ecological assessments, this study established a scientific framework for planning and evaluating Nature-based Solutions (NbS) that simultaneously enhance flood resilience and biodiversity conservation. The proposed framework provides practical guidance for sustainable watershed management in rapidly urbanizing tropical regions.

1. 研究内容

1.1. 研究の概要

近年、東南アジアでは急速な都市化と気候変動の進行に伴い、洪水被害の激甚化と生物多様性の喪失が同時に進行している。従来の流域管理は洪水防御を主目的としてきたが、持続可能な社会の実現には、防災だけではなく、生態系保全や気候変動適応を統合した流域管理が求められている。そのため近年では、湿地や森林など自然の機能を

活用する Nature-based Solutions (NbS) が世界的に注目されている。しかし、熱帯都市流域において、防災効果と生態系保全効果を統合的に評価し、計画へ反映するための手法は十分に確立されていない。

本研究では、マレーシア・ジョホール州 Masai 川流域を対象として、約 100 年間の土地利用変遷を復元するとともに、高解像度の水文観測、洪水氾濫解析、生物相調査を統合的に実施した。これ

らの成果を基に、都市化が洪水リスクと生物多様性へ及ぼす影響を定量的に評価し、防災と環境保全を両立する NbS の計画・評価手法の構築と社会実装に向けた基盤形成を目指した。

1.2. 約 100 年間の都市化が流域環境へ及ぼした影響

Masai 川流域はマレーシア南部イスカンダル開発地域に位置し、近年急速な都市開発が進められている都市河川である。本研究では、1926 年の旧版地形図、2002 年および 2018 年の土地利用図、2024 年の航空写真を用いて約 100 年間の土地利用変遷を解析した。

その結果、1926 年にはプランテーションが流域の 80%以上を占め、下流には広大な湿地が分布していたが、その後の都市開発に伴い湿地はほぼ消失し、不浸透域は 2024 年には流域面積の 54%まで増加した。また、森林の一部は保全されているものの、多くの土地が都市域や開発予定地へ転換していた（図-1）。本研究では約 100 年間という長期間の土地利用変遷を復元したことにより、都市化の進行を段階的に評価することが可能となった。従来は都市化前後の二時期比較が中心であったのに対し、本研究では都市化の各段階における流域環境の変化を時系列で把握することができ、その後の洪水解析や生態系評価を統一的に実施す

るための基盤情報を構築した。この成果は、都市化が土地利用だけではなく、流域の保水機能や河川環境そのものを長期的に変化させてきたことを示す重要な知見となった。

1.3. 都市化が洪水リスクを増幅させるメカニズムの解明

土地利用変化が洪水流出へ及ぼす影響を評価するため、流域内で高頻度の水位観測、河道断面測量および流速観測を実施し、Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) モデルを構築した。モデルは観測洪水を高い精度で再現し、対象流域の洪水解析に十分な信頼性を有することを確認した。

構築したモデルを用い、各年代の土地利用条件に対して同一の降雨条件を適用することで、気候変動による降雨量変化の影響を除外し、都市化のみが洪水流出へ及ぼす影響を評価した。その結果、都市化の進行に伴い総流出量、ピーク流量および浸水深はいずれも増加し、2024 年の土地利用条件では 1926 年と比較して総流出量は最大約 54%、ピーク流量は約 40%増加した。また、1~2 m の浸水深を示す区域が顕著に増加し、都市化による洪水危険度の増大が定量的に示された。

さらに、本研究では洪水規模の増加だけではなく、洪水危険域そのものが下流域から支川流域や近年開発された都市域へ拡大していることを明ら

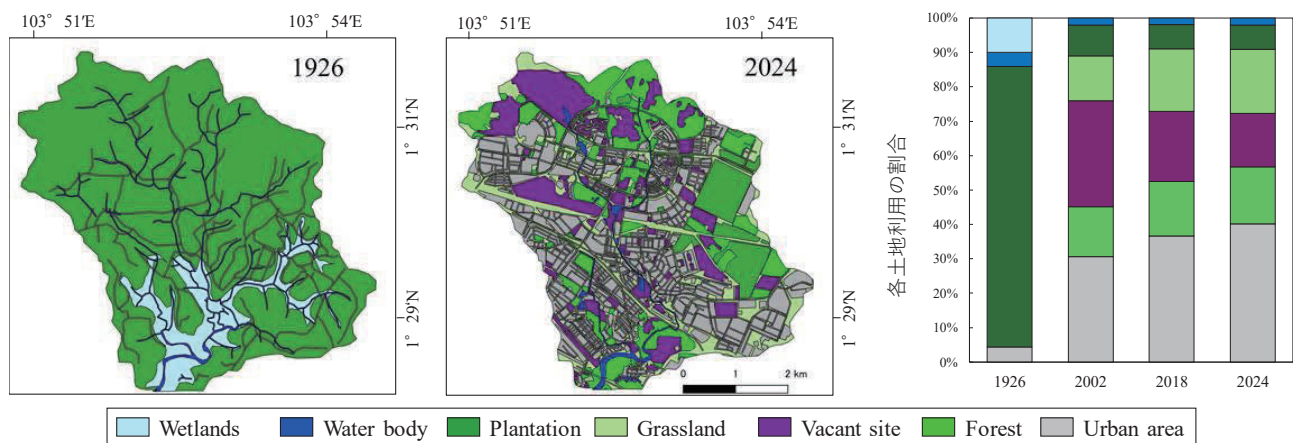


図-1 対象流域における約 100 年間の土地利用変化

かにした。特に、近年都市化が進行した支川流域では洪水危険域の拡大が顕著であり、従来の下流域中心の治水対策だけでは十分ではないことが示唆された。この成果は、都市化が洪水リスクの空間分布を再編することを示したものであり、将来の都市計画や流域治水を検討する上で重要な科学的根拠となる。

1.4. 都市化に伴う魚類群集の変化と保全上の課題

都市化が河川生態系へ及ぼす影響を評価するため、都市流域 19 地点および周辺非都市流域 8 地点において魚類および生息環境調査を実施した。その結果、合計 32 種、3,007 個体の魚類を確認した。

都市流域では *Poecilia sphenops*、*Mayaheros urophthalmus*、*Poecilia reticulata* などの外来種が優占し、在来種は著しく減少していた。一方で、森林が残存する上流域では IUCN レッドリスト掲載種を含む在来魚類も確認された（図-2）。

魚類群集と環境要因との関係を解析した結果、都市化率、河床コンクリート被覆率および電気伝導度が外来種の分布と強く関連しており、これらの種が都市環境へ適応していることが示された。一方で、森林植生や氾濫原環境が維持されている

地点では在来魚類が生息しており、都市流域においても自然環境を保全・再生することで生物多様性を維持できる可能性が示された。このことは、防災対策を進める際にも、生態系の連続性や氾濫原環境を考慮した流域管理が重要であることを示している。

1.5. NbS の社会実装に向けた展開

洪水氾濫解析と生物相調査を統合した結果、洪水危険度が高く、現在も草地や空地が残る区域は、湿地再生や遊水地整備を実施する NbS 候補地として有望であることが示された。これらの区域では、洪水時の貯留機能を確保するとともに、多様な水辺環境を創出することで、防災と生物多様性保全を同時に実現できる可能性が高い。本研究では、洪水解析と生態系評価を統合した評価フレームワークを構築し、NbS を科学的に計画・評価するための基盤を整備した。今後は、湿地再生や遊水地整備の効果を定量的に評価するとともに、現地行政機関との連携を通じて流域管理計画への反映を進め、東南アジアの都市流域へ展開していく予定である。

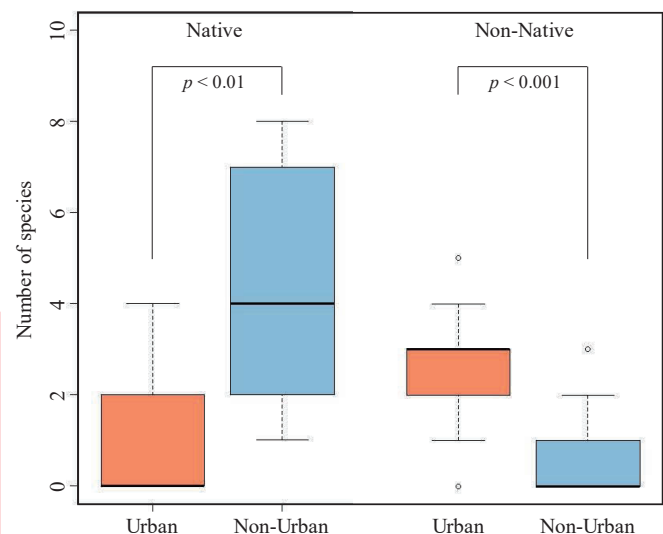


図-2 対象流域における生物相の特徴と土地利用の影響

2. 発表（研究成果の発表）

【論文】

Itsukushima, R., Adnan, M.S., Tomiyama, Y., Kano, Y., Otsu, K., & Zanolini, M.F. (2025). Database of Ichthyofauna in urban streams of Johor Bahru, Malaysia. Biodiversity Data Journal, 13. e148173.

Itsukushima, R., Adnan, M.S., Tomiyama, Y., Kano, Y., Otsu, K., & Zanolini, M.F. (2025). Impact of urbanization on stream fish fauna in tropical catchments of the Malay Peninsula. Ecological Indicators. 178, 113907.

【学会発表】

松島蒼馬、巖島怜、大槻順朗、Mohd Shalahuddin Adnan、佐藤辰郎. (2025). 熱帯都市流域における土地利用の改変が洪水流出に及ぼす影響の解明. 土木学会環境水理部会研究集会.

Itsukushima, R., Adnan, M.S., Ohtsuki, K., Sato, T. & Matsushima, S. (2025). Flood Management and Biodiversity Conservation in Urban Watersheds of Johor Bahru, Malaysia: Towards the Implementation of Nature-Based Solutions. 5th Edition of the I.S.Rivers International Conference.