

研究助成実施報告書

助成実施年度	2020 年度
研究課題（タイトル）	オンサイト・センシングによる監視と数値解析による検証・追跡を併用した豪雨時に発生する都市浸水に関する減災シナリオの構築
研究者名※	田代 喬
所属組織※	東海国立大学機構名古屋大学 減災連携研究センター 副センター長 ／特任教授
研究種別	研究助成
研究分野	都市政策、都市経済
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

大林財団2020年度研究助成実施報告書

所属機関名 東海国立大学機構名古屋大学
申請者氏名 田代 喬

研究課題	オンサイト・センシングによる監視と数値解析による検証・追跡を併用した豪雨時に発生する都市浸水に関する減災シナリオの構築
<p>(概要) ※最大10行まで</p> <p>本研究では、国内外の都市域が抱える浸水常襲地域に対する減災シナリオを構築するため、オンサイト・センシングと数値解析による検証・追跡を重ね、内水氾濫の影響要因について考察を行った。ミャンマー連邦共和国ヤンゴン市と愛知県津島市を対象に、過去の浸水状況に関する聞き取り調査と統計情報を分析し、浸水が常襲的な地域を調査地として選定した。文献・資料から浸水実績や被災状況の変化について考察を行ったうえで、調査地における精細な地理情報、雨水排水システムを組み込んだモデルを構築した。オンサイト・センシングでは、雨水排除に供された開水路に水位計を設置して浸水状況を監視して浸水事象が発生した際の要因を分析した。また、汎用水理ソフトウェアを適用した数値解析では、過去の浸水状況に関する再現性を確認したうえで、降雨強度と水路閉塞が浸水状況に及ぼす影響に関する感度分析を行った。</p> <p>以上の結果、浸水被害を低減させるには、雨水排水システムがその機能を十分に発揮できるよう、土砂や廃棄物の投棄・流入等を抑制し、関連施設の維持管理を効率・効果的に進めることの重要性が示唆された。</p>	

1. 研究の目的	(注) 必要なページ数をご使用ください。
<p>都市域の浸水害は、湿潤な気候条件下における多くの地域が抱える常襲的な災害である。こうした浸水事象を解析可能な汎用水理モデル(ソフトウェア)は、最新の精確な地理情報や降雨観測網を入力条件として取り込むように発展してきた一方で、その検証に用いる実測値は、「痕跡水深」として収集された最大浸水領域などに依拠してきた。河川管理のために水位挙動が着実に監視され、洪水監視・予測技術が確立されてきた一方で、発災時のみ浸水する都市域では、常襲地域が経験的に絞り込まれていても一部の危険箇所(アンダーパスの道路など)の状況把握が優先され、浸水域の拡大・縮小などの動態や過程が直接記録されることはほとんど無かった。都市浸水への対策を適切に講じるためには、被災地域の特性を理解したうえで、時々刻々と変化する浸水状況を監視する必要がある。</p> <p>一般に、雨水貯留/排水インフラは主として下水道が担っており、国内外問わず、汚水と雨水を別々の管渠で排除する分流式と同一管渠で排除する合流式に大別される。しかし、日本の中小市町村やアジアの都市の多くは、近隣を流れる河川に接続された開渠/暗渠混在型の排水路によって雨水排除を賄っている実態があり、下水道の整備は汚水処理を目的とすることも多い。開渠の場合には、周辺からの廃棄物や土砂などの異物流入によって通水支障が生じる事例が散見され、特に途上国では、浸水のみならず、廃棄物や衛生環境の管理など、他の都市問題も含めた“構造的問題の縮図”として発現する事例が散見される。そこで本研究では、平時を含めたセンシングの適用性も鑑みて、排水路システムにおける水位の変化に着目しながら、内水氾濫が常襲する対象地域の選定と過去の被災状況分析を行い、オンサイト・センシングによる都市浸水過程の可視化を通じて、対象都市域における浸水過程の検証と減災シナリオの構築を試みる。</p>	

2. 研究の経過

(注) 必要なページ数をご使用ください。

(1) 内水氾濫が常襲する対象地域の選定と過去の被災状況分析

市中に巡らされた排水路により雨水排除が行われている都市域を対象に、過去の浸水状況に関する聞き取り調査と統計情報の分析により、内水氾濫が常襲する対象地域を国内外から選定する。さらに、対象地域における精細な地理情報、下水道配管図などのデータ整備を行う。併せて、近年の気象条件や土地利用の変化を整理し、降雨状況の変化や都市化の進展による浸水現象、被災状況の変化について考察を行う。

(2) オンサイト・センシングによる都市浸水過程の可視化

(1) で収集した標高分布、開渠/暗渠の配置を参照しながら現地調査を実施し、浸水過程を時空間的に追跡するための観測地点を設定する。各地点では、雨量計による降雨計測とともに、雨水排水路等に圧力計を設置しその水深を記録するとともに浸水状況をカメラで監視する。以上で取得したデータを IoT システムによってデータサーバに一元化し、地理情報システム (GIS) 上で地表標高や地物情報と重ねて表示することができれば、浸水動態の詳細が追跡可能になる。

(3) 対象都市域における浸水過程の検証と減災シナリオの構築

(1) で収集した各種地理情報と雨水排水路系統に関する施設の諸元を入力条件に、汎用水理ソフトウェアを適用して雨水排水系統と地表氾濫流を連動した解析を行う。この際、排水系統における水理挙動とその排出・貯留能を超過した場合の地表における浸水過程を連動して表現する。はじめに (2) で記録した都市浸水のうち、内水由来の浸水過程を対象とした再現計算を行うことにより、実測値と対比しながら付与すべき計算条件を精緻化する。さらに、(1)、(2) で抽出した浸水影響要因を踏まえながら、ハード整備やソフト対策などの各種の施策メニューを組み合わせることにより、内水氾濫による被害を効果的に低減し得る減災シナリオを設計する。

3. 研究の成果

(注) 必要なページ数をご使用ください。

(1) 内水氾濫が常襲する対象地域の選定と過去の被災状況分析

本研究では、市中に巡らされた排水路により雨水排除が行われていて、内水氾濫が常襲する対象地域として、国外からはミャンマー連邦共和国のヤンゴン市、国内からは愛知県津島市を抽出した。

ミャンマー連邦共和国における経済の中心地であるヤンゴン市は人口約 514 万人を抱え、イラワジ川流域のデルタ地帯の東、ヤンゴン川沿いに位置する。過去 12 年以内、市域は約 344 km² から 673 km² に拡大するなど、都市化が急速に進行しているが、中心市街地の雨水排除は 20 世紀初頭に整備された開水路網に依拠している。雨水は開水路を介し自然流下によって排出されるが、ヤンゴン川への流出口には樋門が設置され、河川水位が上昇する時期には樋門を閉じること、不法投棄された廃棄物によって局所的に水路に閉塞が生じることなどにより、5 月から 10 月の雨季 (平均降雨量 2,711mm) を中心に内水氾濫が常態化している。近年では、2007 年の集中豪雨 (24 時間雨量 344 mm) による内水氾濫のほか、2008 年に襲来したサイクロン Nargis に伴う高潮による浸水被害 (柴山ほか、土木学会論文集 B2_65(1) : 1376-1380, 2009 など) が報告されている。

津島市は、伊勢湾沿岸部から広がる濃尾平野の日本最大の海拔ゼロメートル地帯に位置し、名古屋市の

北西にあって海部地域の一角を担う（面積 25.09 km²）、人口約 6.5 万人の中小都市である。同市の土地被覆は国土数値情報・土地利用 3 次メッシュデータ（国土交通省，<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>）によると、1976 年から 2009 年に市街地は 30% から 51% に増加した一方、農用地は 65% から 42% に減少した。1964 年以降、中心市街地に合流式下水道が整備されてきたが（2015 年 4 月時点の普及率：32.5 %）、雨水排除は市中に巡らされた下水路（開水路）に依拠する割合が大きい。1959 年の伊勢湾台風襲来以降、外水氾濫による被害は受けていないが、近年の都市化や頻発する集中豪雨に伴って、降雨強度が下水道や下水路の排水能を上回り、集水桝・人孔からの逆流や水路からの越流による内水氾濫が常態化している。図 1 には、1973 年から 2013 年にかけての津島市における水害区域面積と一般資産被害額の集計結果について、水害統計（国土交通省，https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/suigaitoukei/）から抽出して示す。図中で水害区域が最大となった 1974 年は、台風第 8 号（Gilda）の襲来に伴う「七夕豪雨」による被害が著名であるが、当地では 7 月後半の断続的豪雨により、農地を中心に市域の 38% が浸水し、床上浸水 694 棟、床下浸水 2,643 棟などの被害が生じた。1977 年の梅雨前線による豪雨では、床上浸水 179 棟、床下浸水 2,177 棟などを伴って一般資産等への被害が最大となり、2000 年の東海豪雨（床上浸水 57 棟、床下浸水 734 棟など）のそれを大きく上回るものであった。

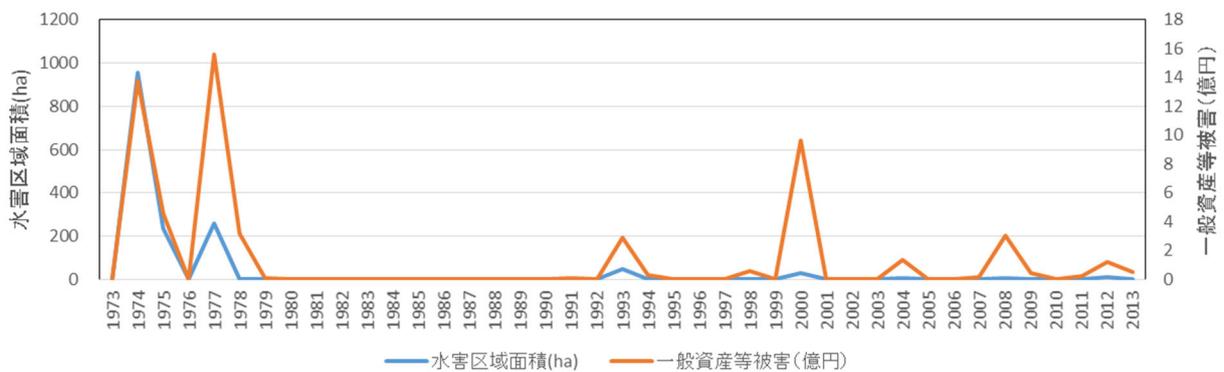


図 1 津島市における近年の水害被害の状況（データ出典：国土交通省「水害統計調査」）

（2）オンサイト・センシングによる都市浸水過程の可視化

オンサイト・センシングは、水路に設置した自記式水位計（OnSet 社，HOBO U20/U20L）による連続観測とインターバルレコーダー（KING JIM, Recolo IR5）やネットワークカメラ（GI Supply 社，TREL 3G-R）による画像取得により行った。なお、ヤンゴン市では、転倒ます式雨量計（クリマテック社，CTKF-1）も設置して雨量データも補完的に記録している。ヤンゴン市と津島市の都市域の規模には大きな隔たりがあるが、現地関係者のヒアリングをもとに浸水被害の大きな区域を含めて調査地を設定した。

図 2 には、ヤンゴン市における調査地の標高分布と排水路（Drain channels）、流出口（Outfalls）など、主たる雨水排水施設の配置を示す。本調査地は 3 つの郡区（Latha, Pabedan and Kyautada Townships）に跨り、約 2.6 km²の区域となっている。本図の作成に際し、2014 年にヤンゴン市開発委員会（Yangon City Development Committee）が世界銀行グループの支援により取得した 1 m²解像度の DTM（Digital Terrain Model）の提供を受けた。一方、図 3 左には、津島市における調査地の標高分布と下水道幹線（Conduit）の配置を示す。本調査地は名鉄・津島駅とその西側に位置する下水道共用区域の約 1.0 km²によって構成される。本図の作成に際し、津島市上下水道部から下水道データの提供を受け、基盤地図情報から「5m メッシュ（標高）」を入手した（国土地理院，<https://www.gsi.go.jp/kiban/>）。

ヤンゴン市では 2019 年 6 月から 2021 年にわたり 8 地点において、津島市では 2017 年 10 月 21 日以降、

4 地点における水位観測を継続している。各地点では、幅や高さなど水路の諸元を計測しており、当該地点の標高値から水路床の標高値を推定したうえで、計測水深、周辺地盤の標高分布と組み合わせることにより、水路からの越水発生と浸水域の拡大過程が大まかな把握が可能になる。図 3 右には、こうして可視化された都市浸水過程の一例として、2017 年台風第 21 号 (LAN) 接近時に生じた、津島市の調査地周辺における最大浸水深の推定図を示す。水位観測データによると、浸水発生は同年 10 月 22 日夜間から 23 日未明にかけての時間帯と推定されることから、図 1 などで記録されてきた統計情報では追跡し得なかった内水氾濫を可視化したものと考えられる (Tashiro *et al. Advances in River Engineering* 26: 65-70, 2020).



図 2 ヤンゴン市における調査地の標高分布と主たる雨水排水施設の配置
(出典 : Min and Tashiro *J. JSCE B176(2): I_541-I_546*, 2020)

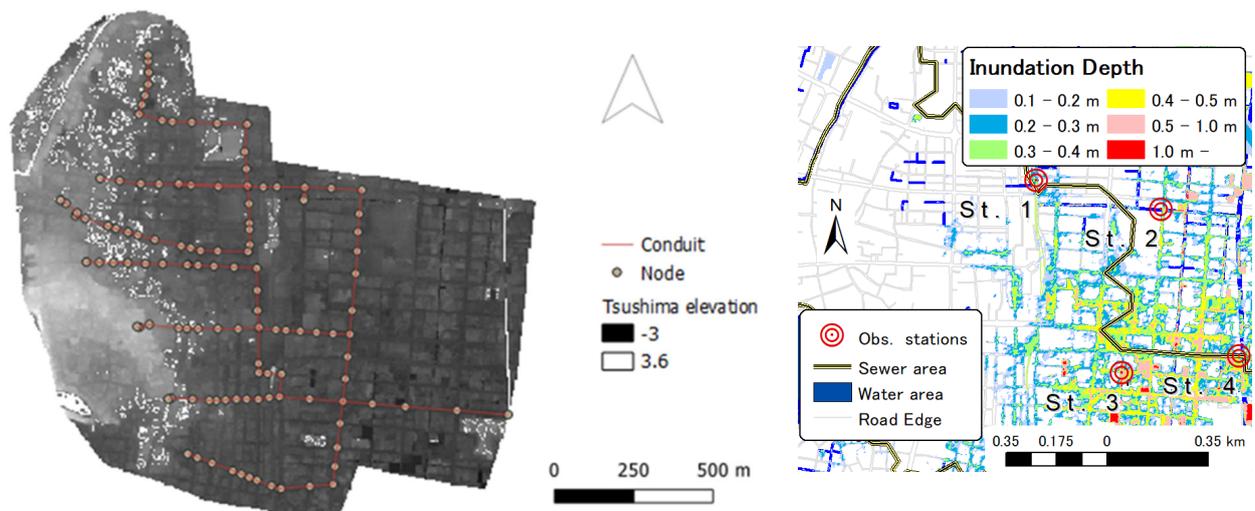


図 3 津島市における調査地の標高分布と下水道幹線の配置 (左), および、
2017 年台風第 21 号接近に伴って生じた最大浸水深の推定図 (右)

(3) 対象都市域における浸水過程の検証と減災シナリオの構築

低平な都市域で甚大な経済被害をもたらす豪雨時の浸水現象は、定量的な観測事例や系統的な分析が少ないため、要因が特定できずに対策が進んでいないことが多い。本研究では以上に鑑み、過去の被災状況の分析とオンサイト・センシングによる浸水過程の検証に基づき、減災シナリオの構築を試みる。

ヤンゴン市におけるセンシングの結果から、浸水発生事象を抽出したうえで、水路からの越水発生箇所数（最大8地点）を目的変数として、発生時点から遡った降雨量（1時間降雨量と3時間降雨量）、（連続する一雨の）降雨時間と総降雨量、先行降雨、および、先行浸水からの経過時間、排水先の河川水位を説明変数とする相関分析を行ったところ、1時間降雨に対する弱い相関関係（ $R^2 = 0.267$, $p < 0.05$ ）が認められた。なお、排水先の河川水位が高く樋門が閉じられたときに限定すると、1時間降雨との相関関係は強くなった（ $R^2 = 0.503$, $p < 0.05$ ）。一方、当該調査地における降雨強度（確率規模：1/2~1/20）と土砂や廃棄物による水路の閉塞状況（0~50%）が浸水状況に及ぼす影響について、汎用水理ソフトウェア（Innovyze社、InfoWorks ICM）による数値シミュレーションを行ったところ、水路の閉塞状況は降雨強度より顕著に浸水域を拡大させ、浸水時間を長期化させる傾向が確認された（Min and Tashiro, 2020）。以上の結果から、ヤンゴン市（の調査地）における浸水被害を低減させるには、①流出口を集約して樋門を一元化し排水機を備えること、②土砂や廃棄物の不法投棄を抑制し、雨水排水システムの維持管理を効率・効果的に進めることの重要性が示唆された。

2017年台風第21号により浸水が発生した津島地の調査地に対し、基盤地図情報から得た「建築物ポリゴン」と津島市から提供された下水道と下水路を組み込んだモデルを構築して、汎用ソフトを使った再現解析を行ったところ、NILIM 2.0（国土交通省国土技術政策総合研究所）で得られた浸水深分布（Tashiro *et al.*, 2020）よりもInfoWorks ICM（Innovyze社）のその再現性が高くなった（Tashiro and Min 未発表）。また、当該調査地における降雨強度（1/2~1/20）と下水路の閉塞状況（0~50%）を組み合わせた数値シミュレーションの結果からも、水路閉塞がもたらす浸水状況の深刻化が顕著であることが改めて示され、特に開水路に関する維持管理の重要性が確認された（Tashiro and Min 未発表）。

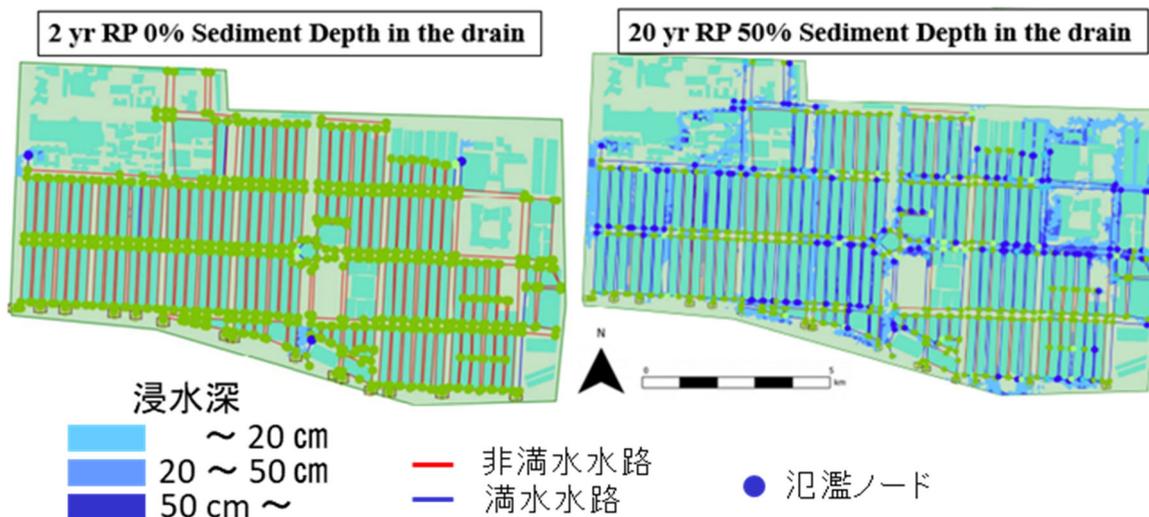


図4 ヤンゴン市の調査地における降雨強度、水路閉塞による浸水状況の変化：InfoWorks ICMによる数値シミュレーションの例（左：2年確率降雨／閉塞無し、右：20年確率降雨／50%閉塞）

4. 今後の課題

(注) 必要なページ数をご使用ください。

本研究のポイントの一つとして挙げられるオンサイト・センシングについて、(申請段階では研究計画として記載した)遠隔操作可能なIoT技術を適用した観測体制を適用する予定であり、4G回線に接続したラズベリーパイ端末に赤外線カメラと圧力センサーを接続した観測システムを設計・構築していた。しかしながら、調査地への機器設置については、都市域に立地し観測適地・箇所には私有地が含まれていることに加え、国内の津島市では近隣住民へのプライバシー保護の観点から行政の許認可が得られなかった一方、国外のヤンゴン市では盗難の危険性が高く持続的な観測体制の構築が難しいことから一部断念した。その結果、IoT方式から自記式機器を水路内に設置するスタンドアロン方式に切り替えて実施した。

以上のような制限に加え、助成期間中はコロナ禍や政情不安もあって、特にヤンゴン市については現地への立ち入りが困難な状態が続いた。そのため、本研究ではその助成期間以前から既に収集済みであったデータを用いて解析した結果や、現地の協力者を介して新たに収集したデータを用いて検討を進め、当初の目的に沿った成果を挙げる事ができたように思われる。ただし、都市浸水に対する課題が把握でき、臆気ながら減災シナリオが見出せた中であって、次のフェーズでは、リアルタイムに監視しながら水害BCP (Business Continuity Plan, 事業継続計画)などに資する形で様々な主体に活用されることが有効と言えよう。今後は関係機関との連携、調整を深め、社会実装を見据えた形で展開していく所存である。