

都市域におけるあまみず社会システムに関する研究

田浦, 扶充子

<https://hdl.handle.net/2324/4475106>

出版情報 : Kyushu University, 2020, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

都市域におけるあまみず社会システムに関する研究

田浦 扶充子

2020.12

目次

1. 緒論	1
1.1. 研究の背景	1
1.2. 本研究の目的と学術的な位置づけ.....	4
1.3. 既往研究.....	5
1.4. 研究の方法	8
1.5. 本研究で対象とする範囲.....	8
1.6. 「あまみず社会」とは	10
1.7. 本論文の構成	11
引用文献	13
2. 都市ビジョン「あまみず社会」の治水, 環境効果の定量的評価	16
2.1. はじめに.....	16
2.2. 方法	17
2.3. 適用するグリーンインフラ.....	22
2.4. GI 導入による洪水抑制効果	26
2.5. GI 導入による CSO 抑制効果.....	34
2.6. 結論	36
引用文献	37
3. プロトタイプ実装.....	38
3.1. はじめに.....	38
3.2. 対象地と方法	38
3.3. サイト A : カフェ店舗敷地	43
3.4. サイト B : 個人住宅敷地	52
3.5. サイト C : 個人住宅敷地	63

3.6. 考察	69
3.7. 結論	72
引用文献	74
4. あまみず社会の社会的実装に必要となる要素	75
4.1. はじめに.....	75
4.2. 方法	75
4.3. 研究会が実施した働きかけ	75
4.4. 働きかけの拡がり	80
4.5. 働きかけと影響の経年的な変化.....	82
4.6. 結論	86
引用文献	87
5. 結論	88
おわりに.....	91
謝辞.....	92

1. 緒論

1.1. 研究の背景

都市化は流出構造を大きく変化させ、蒸発散量および土壌浸透量の減少、表面流出量の増加など、水循環の構造を変えた。近年、気候変動が主な要因と考えられる降雨の激化が各地でみられており(気象庁 2019)、洪水ピーク流量の増加や、洪水到達時間の短縮による都市型水害は世界的に深刻な課題となっている(World Meteorological Organization and Global Water Partnership 2008)。日本国内においても、局所的短時間降雨による都市型水害は全国で頻発している。気候変動に関する政府間パネル(IPCC: Intergovernmental Panel On Climate Change)が発表した第五次評価報告書では、中緯度の陸域において局所的集中豪雨がより強く、頻発となることを指摘しており、今後も都市型水害は増加するものと考えられる。

さらに、都市では流出構造の変化に伴い、地下水位の低下、平常時の河川流量の減少、水辺の環境劣化、ヒートアイランドの進行など様々な問題が発生している。また、合流式下水道が接続する河川では、比較的少量の雨でも合流式下水道越流水(CSO: Combined Sewer Overflow)が発生し、河川および閉鎖性水域への未処理の下水流出を要因とする水質の悪化が大きな課題となっている(中谷ら 2015)。

加えて、都市では水不足も大きな問題である。福岡市など地理的に水資源に恵まれていない都市では、喝水は重要な課題であり、今後の気候変動による喝水リスクは更に高まる可能性が指摘されている(社会資本整備審議会 2015)。水不足は震災時において特に多く見られる。災害後には、上下水道の損傷だけではなく、安全確認がなされるまでは一定期間の断水が発生することが知られており、消火用水、飲料・生活用水など、あらゆる場面で水が不足する様子を目にする。これまで発生した大規模地震の発生直後においても断水は発生しており、2011年東日本大震災や1995年阪神・淡路大震災においては発災7日後時点で、50%以上の場所で断水が解消されていない(大臣官房厚生科学課, 健康危機管理・災害対策室)。断水時には給水車での水の補給が一般的であるが、給水地点からの水の運搬は重労働である。

少子高齢化が進む日本において、従来型システムの維持管理コストは社会的課題でもあり、従来のシステムに加えた新たな対応が迫られている。

本来ならば流域システムと都市システムは統合され、有機的に管理されることが望まれる。しかし、明治以降それとは逆に、効率的で集中的な、単独用途目的ごとの分断・縦割り型の水管理システムが構築された。このシステムは、すべて“管”で結ばれており、互いに依存する“非自立型システム”の姿で運用されている。図 1-1 の通り、都市では地表に降りた雨水はすべて雨水桝から排出され、地下の“管”へ集められる。生活者は身の回りを取り巻く水管理システムの全体像はおろか、部分的にすらも「視えない」システムの中に暮らしている。そのため、水循環は見えず、水管理システムへの関心や理解を呼び起こすことが難しい。人々の無関心ゆえに、都市の水問題は社会的に認知されづらい。水害や喝水などの災害が発生した時にはじめてこれらの問題の存在に気づき、水

管理システムの中に自分たちの生活があることに気づく。

他方で、河川のある単独の管理目的(一般的に治水目的)のみを達成するための技術は、無機質な用水路へと河川を変えることになり、緑や生物多様性を減少させ、さらに愛着を抱くことの難しい姿に水域を変えてしまうという悪循環を生むこととなった。

都市化による流出形態の変化に本質的に対応するためには、流域全体で保水・浸透・貯留能力を強化し、水循環系自体を健全化させることが必要である。しかし流域には個人住宅、集合住宅、公共用地、学校、企業、道路、下水道、農地、山地など、多種多様なステークホルダーが関係しており、その合意を図るのは困難であり、本格的な流域治水が浸透しないのが実情である(島谷ら 2010)。

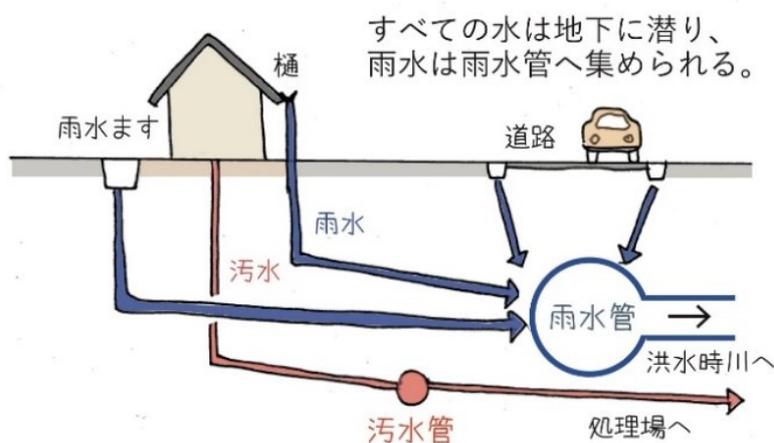


図 1-1 現在の下水道システム (分流式下水道)

都市化による流出形態の変化に対応するための治水対策として、我が国では 1976 年に総合治水対策が始まった。これは当時の急速な人口増加、都市開発による洪水流出増に対応した対策で、洪水処理のみを対象とした。総合治水対策には主に河川改修、遊水池や市街化調整区域の設定などの流域対策がニュータウン開発を対象に行われた(国土交通省)が、すでに都市化した地域での対策は進展しなかった。既存市街地においては、雨水浸透ます、雨水浸透トレンチ、校庭貯留、棟間貯留、調節池などのハードな施設の導入が目指された。総合治水対策は約 30 年にわたって行政の助成制度のもと推進されているが、特に民有地への雨水浸透ますや浸透トレンチの普及件数は低い(忌部ら 2013)。

雨水活用関連施策に関しては、自治体レベルでの雨水利用に関する指針(たとえば福岡市では福岡市雨水利用推進指針)が出されているが、これらは主に公共用地における雨水貯留・浸透施設整備に対する指針である。1989年に雨水貯留浸透技術協会が発足し、協会や日本建築学会等から雨水活用推進のマニュアル(たとえば雨水活用建築ガイドライン)がいくつか発行された。し

かし、これらは建築以外の敷地や地域・都市スケールの持続的雨水管理についての計画技術や手法に関するまとめは少なく(福岡ら 2015), 装置的な対応にとどまっている。

世界的な雨水管理に関する動向として、近年、自然の持つ多様な機能を活用するインフラや土地利用手法であるグリーンインフラ(Green Infrastructure: 以下, GI)が注目されている。米国では連邦環境保護庁(USEPA)がGIの洪水流出抑制効果, 水質の保全効果に着目し、「浸透, 蒸発散, 再利用という自然の水文過程を利用し, 強化し, 模倣する雨水管理アプローチと技術」として採用した(American Rivers et al. 2008.)。緑地や土壌の浸透・貯留機能や, 植物の蒸発散機能などを評価し活用したレインガーデン, バイオスウェイル, 透水性舗装等をGIの要素技術として示し, これらを都市に分散して導入することで雨水排水システムへの負荷を軽減しようとしている(USEPA 2020)。GIによる緑地面の増加は更に, 都市環境の改善や景観性の向上等, 多面的な効果を持つ政策として実施されている。気候変動への対応策, 持続可能な社会への政策の一つとも考えられている。例えばニューヨークでは, 下水道整備による流出抑制対策から, 安価で景観にも優れ, 導入も早い, 道路や駐車場, 家屋の屋上などへのGIの導入へと流出対策を変更した(NYC Environmental Protection 2012)。

日本においては, 2015年に第二次国土形成計画においてGIが盛り込まれ(国土交通省 2015), 持続可能な地域社会の形成および防災・減災につながる施策として推進が始まったところである。2020年に国土交通省によってグリーンインフラ官民連携プラットフォームが設立され, 自治体, 関係府省庁, 企業, 学術団体等による連携がスタートした。

GIは敷地全体を活用し, 緑を利用した貯留・浸透能力の向上を中心的な手法とした流出抑制対策であり, 総合治水対策の手法と比較すると面的な処理が特徴である。さらに, 生態系サービスを活用し景観や生物多様性の向上など, 街の魅力を向上させること, および今後の気候変動対応も念頭に置いていることが従来の総合治水対策と大きく異なる。また, GIは下水道施設による流出抑制対策よりも安価で整備が早いとされている。

GIをはじめとして, 都市の水管理システムは世界的にも分散型へ大きく転換しており, 持続可能な社会の実現が喫緊の課題である中, 降雨強度の大きい日本においても新たな水管理システムの構築を通じた, 都市における水問題の総合的な解決が望まれている。

1.2. 本研究の目的と学術的な位置づけ

本研究では、1.1 で示した都市の水問題を総合的に解決することを目指し、流域治水や環境にも配慮した持続的な分散型の水管理システムとして都市ビジョン「あまみず社会」を提示し、その有効性を検証する。また、この概念を達成するための要素技術を開発し、都市を構成する空間要素へのプロトタイプ実装によって実現可能性を検証する。さらに、あまみず社会の概念の共有や普及へ向けた社会実装に必要な要素を明らかにすることを目的とする。

具体的な要素技術には、自然の持つ多様な機能を活用したインフラや土地利用として注目されているグリーンインフラ(GI)を包含する。

本研究は水問題という社会的課題を解決するための概念及び要素技術を開発して検証し、実際に社会へ普及・定着するための試みを行う「社会技術研究」として位置付けられる。本研究では、実際の空間に、分散型水管理システムとなる概念に基づいた計画を「実装」することで実現可能性を検証するが、「実装」こそ社会技術研究の中心的な手法である。

なお、社会技術とは「“自然科学と人文・社会科学の複数領域の知見を統合して新たな社会システムを構築していくための技術”であり、社会を直接の対象とし、社会において現在存在しあるいは将来起きることが予想される問題の解決を目指す技術」と科学技術振興機構(JST)の社会技術研究開発センター(以下、RISTEX)では定義している(RISTEX, 2020)。さらに、堀井(2004)は「社会技術研究の目標は、社会問題の解決策となる社会技術を開発し、実際に社会へ適用するための試みを行うこと、および、そのための方法論を構築すること」としている。また、社会技術研究の特徴として、問題解決型研究であること、および俯瞰的研究であることを挙げている。

社会技術研究における本研究は、都市における治水、利水、危機管理時の水管理計画をステークホルダーとともにビジョンを描き、有効性を示し、ビジョンや多世代共創という考え方に沿った要素技術や社会への適応方法を開発・実装・評価・改善するというPDCAサイクルを何度も回すことを方法論とした開発研究である。

1.3. 既往研究

本稿では、社会技術研究に関する既往研究と、要素技術として参考とする GI に関する既往研究を整理する。

(1) 社会技術研究開発に関する既往研究

社会技術研究開発は、1999年6月に開催された世界科学会議(UNESCO・ICSU 共催, ハンガリー・ブダペスト)での「科学と科学的知識の利用に関する世界宣言(ブダペスト宣言)」において、『「知識のための科学」に加えて、「平和のための科学」, 「開発のための科学」, 「社会のなかの科学・社会のための科学」を推進する』という文言において誕生し、日本国内では2000年4月に旧科学技術庁「社会技術の研究開発の進め方に関する研究会」において取り上げられた。2001年に社会技術研究開発システム(現在は社会技術研究開発センター, RISTEX)が発足し、2006年より本格的に研究が開始された。

それ以前を含めても、社会のビジョンを描き、ステークホルダーと協働した社会技術研究開発はこれまで多く実施されているわけではない。このような研究の手法としては、様々なステークホルダーを巻き込み、研究計画の設計(Co-design)と研究知見の創出(Co-production)を協働で行い、社会実装につなげる超学際(TD: Transdisciplinary)研究が挙げられる。ここではこれらのレビューを行う。

我が国で最初の本格的な TD 研究として、「トキのための持続可能な自然再生計画の立案とその社会的手続き(研究代表者 島谷幸宏, H19~21, 環境総合研究推進費)」が挙げられる。この研究は、トキの野生復帰を推進する関連諸機関の組織横断的なネットワークが不足していること、具体的かつ統一的な生息環境再生ビジョンが打ち出されていないということを背景とし、トキが住みやすい環境の創造手法の開発と佐渡島の様々なステークホルダーを対象として、トキが野生復帰した後の社会を構想する研究である。ステークホルダー別の談義(ワークショップ)により地域の課題やトキが社会に定着するための道筋を描くとともに、トキ米の必須要件となっている水田魚道、江の設置などの実装が行われた。社会的合意形成ワークショップでは、農業従事者をはじめ、漁業従事者、地域づくり関係者、住民、行政等が参加しており、多様なステークホルダーとのシナリオづくりが行われた。河川、水田、草地、森林等の生態環境に関する様々な成果が得られた一方、過疎化等の地域の状況を踏まえた社会のビジョンの描き方は限定的であり、社会への定着のための仕掛けの種類が少ない。

また、「地域力による脱温暖化と未来の街ー桐生の構築(研究代表者 宝田恭之, H20~25, RISTEX)」では、桐生市を対象に地域の資源や伝統を活用し、スロービークルなどの低炭素型の交通インフラを整備し、暮らしやすい低炭素社会を実現することを目標に、市や市民、産業界との連携により実施された。ステークホルダーとの密接かつ多様なかわりを持ちながら、スロービークルの開発を地元企業がを行い、地域に実装された。また、新聞、雑誌、テレビやラジオ、広報誌等、

地域マスコミが積極的に情報発信し、合意形成と定着が図られた。

「I/U ターンの促進と産業創生のための地域の全員参加による仕組みの開発(研究代表者 島谷幸宏 H22～25, RISTEX)」は宮崎県の五ヶ瀬町を対象に行われた研究で、中山間地に人口を還流するために、ガバナンス、自然エネルギーの活用、産業創成、合意形成といった様々な要素に関する研究を地域で実証した研究である。500 人の住民への聞き込みや小水力の現場実験や鹿教育、小水力施設の実装など多面的な仕掛けが有効であることが示されている。

TD 研究に関して論考したものとして、武内(2018)の「水資源分野における超学際研究」という水文・水資源学会誌の巻頭言があげられる。この論考では、ガーナやスリランカにおける地域の住民等のステークホルダーとの協働での研究を例にし、「水資源分野における超学際研究では、伝統的な知識と近代的な知識を融合させ、自然と人間が共生する地域社会のビジョンを提示することが求められる。」としている。途上国を対象とした TD 研究は一定程度あるが、文化も異なり国内を対象とした TD 研究と容易に比較はできない。

(2) グリーンインフラに関する既往研究

GI の研究が進む米国では、雨水流出を抑制し、河川水質を改善するための費用効果の高い手段として(例えば Yang et al. 2013), さらに、都市のヒートアイランド現象抑制(Feyisa et al. 2014)等、多様な効果を生むものとして多くの知見が得られている。近年では、GI は持続可能な都市にむけた環境形成の手法として扱われる機会も多い。GI における持続可能性の評価は、雨水流出抑制を含めた環境への効果、不動産価値向上等の経済的効果、健康増進等の社会的効果などについて、米国では個別に研究が進んでいる。

また、長期的な GI の効果維持のため、メンテナンスコストや人材確保についても議論されており(Everett et al. 2018), 流域や地域エリアにおいて、GI 導入計画時の近隣住民やステークホルダーの参加や協議、事前の GI 教育によって、実装後のサポートが促される点が指摘されている(例えば Barclay et al. 2019)。

日本における GI 研究に関しては、概念や主にシミュレーションによるエリアでの導入効果検証等に関する研究がはじまったところである。エリア・面的な導入による効果検証は、既存の道路に対して米国型の GI 概念に沿った浸透性街路空間デザインを仮想し、日本の既存都市への導入効果を流出抑制の観点から評価したもの(井上 2011), 神田川上流域で緑地の増減シナリオを作成し、内水氾濫による浸水域の変化を検証した研究(飯田 2015)がある。これらは都市緑地が都市水害抑制に効果があるという点は示しているものの、緑地、道路以外の土地利用における具体的な GI 導入検証に関する研究はない。

また、貯留浸透等による流出抑制技術を、面的に導入した場合の流出抑制効果に関する研究として、東京都善福寺川上流域を対象に、主に雨水タンクおよび土壌改良による浸透効果向上を導入・実施した場合の流出抑制効果を検証した岩永ら(2015)や巖島ら(2016)による研究がある。雨水貯留や浸透能力の向上によって、長時間継続降雨に対して流出抑制効果が得られた。ただし、

これらは住宅のみへの導入であり、従来の流出抑制手法による効果算定の研究にとどまっている。

次に、実際の敷地等、サイトスケールを対象とした GI 導入検証については、米国では小規模民有地での導入を紹介した研究(例えば Kim 2018)はあるものの、日本国内での研究例はほとんどない。唯一、土壌や砕石を利用した浸透植栽空間である雨庭の流出抑制効果を検証した既往研究として、山田ら(2017)は大学敷地内に整備された雨庭(集水面積 500 m², 雨水貯留容量約 5.5 m³)の効果を検証した。しかし、雨庭の機能が限定的であり、明確な GI 効果は明らかになっていない。アジアモンスーン地域に属し、降雨量が多い我が国において、GI の導入による効果は未だ定量的に明らかになっておらず、設計および開発手法は未だ確立されていない。

さらに、日本には伝統的に水を処理する技術が蓄積されており(古田ら 2018)、日本独自の文化や気候に即した GI 手法も考えられる。

また、都市の中で多くの面積を占める民有地での GI 普及には、所有者やコミュニティに受け入れられる具体的で魅力的な流出抑制対策が求められる。米国では公有地への GI 導入において、近隣住民やステークホルダーと協働して計画策定が行われた例はある(Lamond et al. 2019)ものの、小規模民有地や住宅敷地において所有者やコミュニティなど多様なステークホルダーの連携によって導入・検証された研究はない。

1.4. 研究の方法

本研究の研究手順はビジョン提示, 実装, 検証, 普及である. 各土地利用に分散型水管理システムである「あまみず社会」の概念に基づいた GI を導入した場合の治水効果, CSO の抑制による環境効果をシミュレーションによって定量的に評価する.

さらに, あまみず社会を実際の敷地へプロトタイプ実装を行うことによって検証する. 加えて, プロトタイプ実装では, 「多世代共創」の手法を用いる. 多世代共創という手法について, RISTEX は子供から高齢者まで「多世代・多様な人々が活躍するとともに将来世代も見据えた都市・地域を, 世代を超えて共にデザインしていく」(社会技術研究開発センター 2020) 手法と定義している. これらを通して, あまみず社会の有効性を検証する.

「あまみず社会」が社会へ普及・定着するための要素については, 平成 25 年から令和元年にかけて, 「あまみず社会」をテーマとした研究グループ「あまみず社会研究会」が実施した福岡市樋井川流域および周辺地域への取組みについて調査し, 関係者や活動の展開状況の整理を行い, 関係性について分析する.

1.5. 本研究で対象とする範囲

筆者は, RISTEX が実施する「持続可能な多世代共創のデザイン」研究開発領域の公募課題として採択された「分散型水管理を通じた, 風かおり, 緑かがやく, あまみず社会の構築(研究代表者 島谷幸宏, 平成 27 年～令和 2 年)」の研究プロジェクトに属した.

研究プロジェクトでは, 多機能の「水」を対象に, 持続的な社会としての自立分散型の社会, エコロジカルな社会, 協働型の社会を目指し, 人と人がかかわる「多世代共創」の取り組みによって従来型の見えない水システムから, あまみずを可視化する社会へと社会変容を持続的に起こすことを目標とした(島谷 2020). 実施したのは, 研究グループ「あまみず社会研究会」である. あまみず社会研究会は, 土木工学, 社会学等の理系・文系の研究者ら, 建築士, ランドスケープデザイン等の専門家ら, 20 名によって構成された.

プロジェクト体制を図 1-2 に示す. あまみず社会研究会は, 4 つの研究チームが配置された. 多世代・時代をつなぐチームは地域との連携を促進するグループで, リーダーは福岡県建築士会の角銅久美子氏である. また, 多の物語を紡ぐチームのリーダーは社会学が専門の福永真弓准教授(東京大学)である. ビジョンや要素技術の担当リーダーは土木工学が専門の島谷幸宏教授(九州大学), 制度論や思想のリーダーは同じく土木系の山下三平教授(九州産業大学)である. 参加大学は九州大学, 福岡大学, 九州産業大学, 福岡工業大学, 熊本大学, 東京大学, 東京学芸大学の 7 大学である.

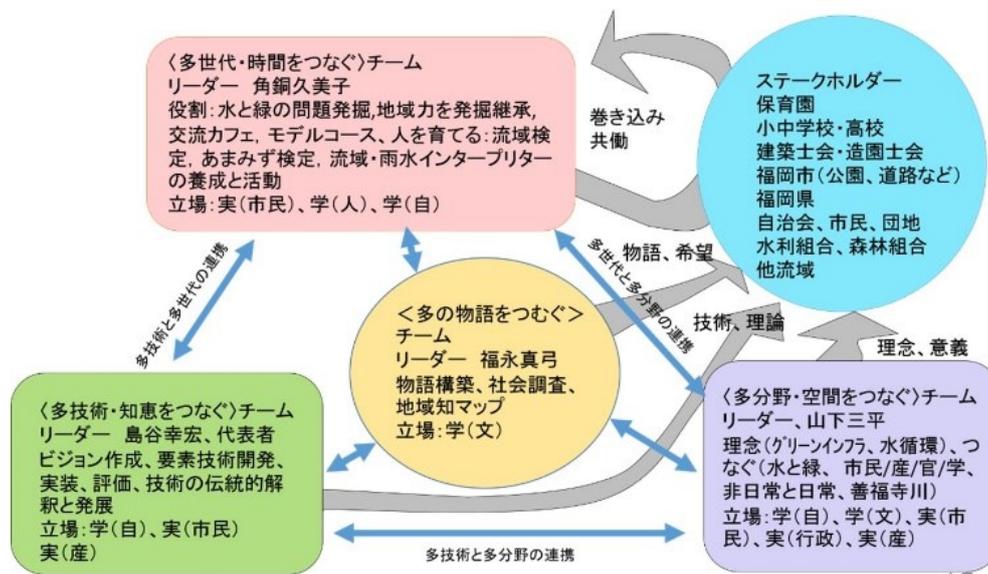


図 1-2 プロジェクト体制図

対象とするメインフィールドは、福岡市樋井川流域，サブフィールドが東京都善福寺川流域である。樋井川では 2009 年に水害を経験し，それ以降，専門家と流域住民により樋井川流域治水市民会議が実施され，雨水貯留と流域規模での治水対策を関連付けた市民活動が進む。樋井川流域治水市民会議は全 45 回開催され，約 100 基の雨水タンクが流域内に設置され，雨水貯留を行う雨水ハウスの建設等が実施された。

東京都善福寺川では，2012 年より活動を開始した「善福寺川を里川にカエル会」により，地域住民による河川再生の取り組みが行われている。善福寺川は，善福寺川では自然環境の再生，洪水リスクの軽減に加えて，CSO による水質問題の解決も重要な課題である。

筆者は，多技術・知恵をつなぐチームに属し，都市ビジョンの評価，および要素技術の開発・実装，評価を通じて，分散型水管理の実現可能性を検証することを担当した。また，筆者は各チームの実施した取り組みをとりまとめた。本研究は，研究プロジェクトのなかの都市ビジョンの検証，要素技術開発・実装・検証を対象としており，合わせて各チームの実施した取り組みを俯瞰的な立場から整理し，普及のために必要な要素を抽出し，分析したものである。

1.6. 「あまみず社会」とは

本研究では、都市の水問題を総合的に解決することを目的に、流域治水や環境にも配慮した持続的な分散型の水管理システムを用いた都市ビジョンとして「あまみず社会」を提示する。

あまみず社会とは、「雨水は貯留や浸透させ、一挙に地下・川に入れずに分散型の水管理を用いた、水と緑による有機的な社会」と定義する。

現在の都市の水システムでは、雨水のほとんどが樋や雨水ますで捕捉され、地下の雨水管へに潜る。家庭で使用された水も地下に潜り処理場まで運ばれる。また、家庭で使う水も水道管を通して運ばれ、生活の中のほとんどの水は地下に潜り不可視の状態となっている。それに対し、「あまみず社会」では、図 1-3 のように緑や土壌に雨水を浸透させ、雨水を貯留して利用する。雨の行き先を、より見えるようなかたちにする。貯留や浸透する過程で、人々が水を意識し、人と人同士がかかわり、ともに良質な緑を増やしなが、持続的で豊かな社会を構築するという都市ビジョンである。

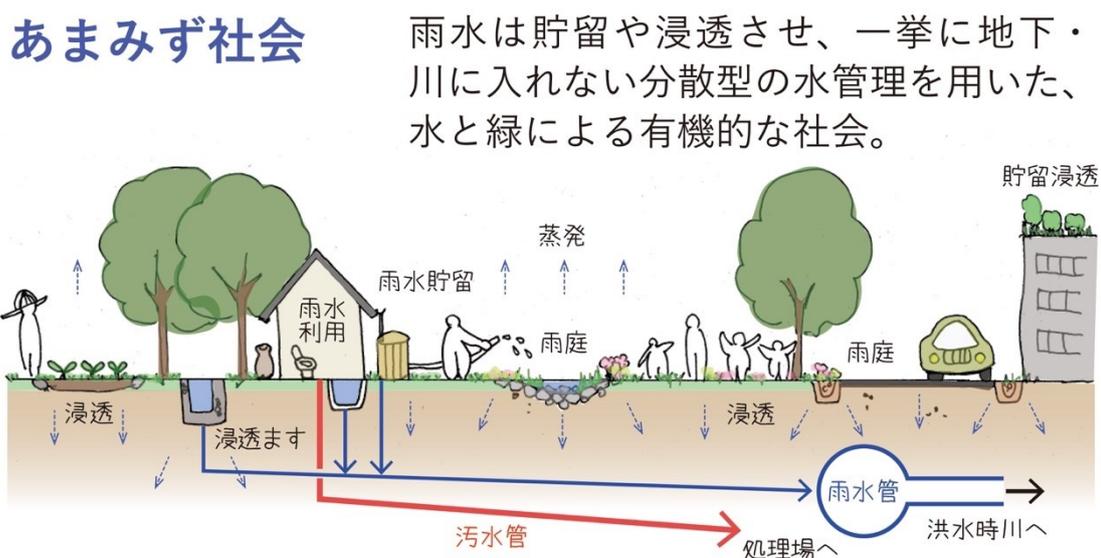


図 1-3 あまみず社会の概念図

1.7. 本論文の構成

本研究の構成を図 1-4 に示す。

第 1 章では緒論として、本研究の背景および目的と、学術的な位置づけを示した。また、社会技術研究および GI に関する既往研究を整理した。さらに、研究の方法と本研究で対象とする範囲、あまみず社会について定義し、論文の構成について述べた。

第 2 章は、都市ビジョン「あまみず社会」の有効性を示すため、東京都善福寺川上流域の約 71ha を対象に、各土地利用に GI を導入した場合の治水効果、CSO の抑制による環境効果をシミュレーションによって定量的に評価する。

第 3 章は、あまみず社会の概念に基づいた GI を、福岡および東京の個人住宅 2 か所、個人店舗 1 か所で対象地に応じて開発・実装し、実現可能性を検証する。

第 4 章では、あまみず社会を実際の社会へ、社会的に実装させるために必要な要素を明らかにすることを目的とし、平成 25 年から令和元年にかけて研究グループが実施した福岡市樋井川流域および周辺地域への取組みを調査し、関係者や活動の展開状況の整理を行い、関係性について分析する。

第 5 章では、本研究で得られた成果を総括し、今後の課題について述べる。

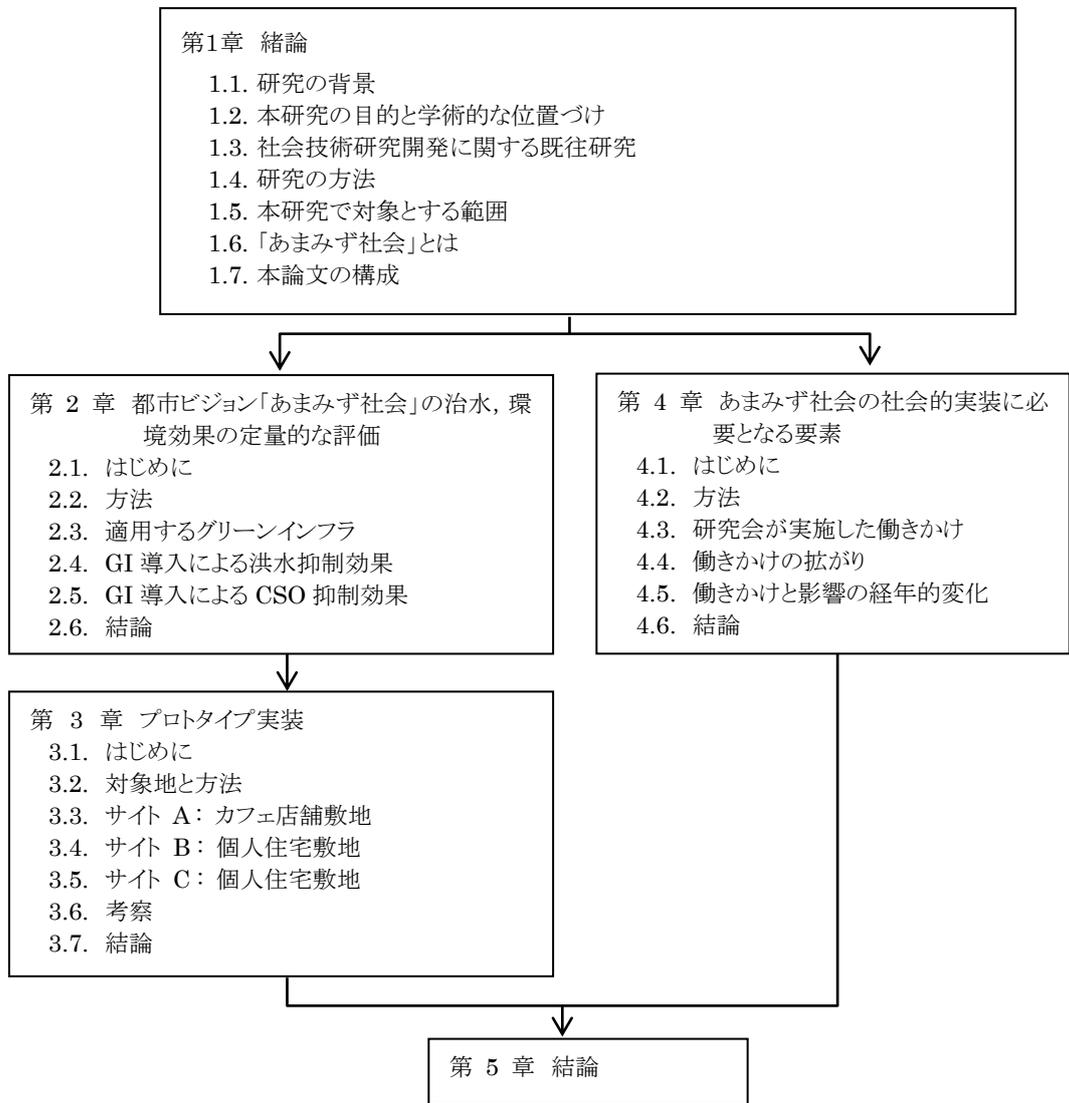


図 1-4 本論文の構成

引用文献

- American rivers, Association of state and Interstate water pollution control administrators, National association of clean water agencies, Natural resources defense council, The low impact development center, U.S. Environmental protection agency (2008). Managing wet weather with green infrastructure action strategy.
- B.Yang and S Li (2013). Green Infrastructure Design for Stormwater Runoff and Water Quality: Empirical Evidence from Large Watershed-Scale Community Developments, *Water*, 5(4), pp.2038-2057.
- 大臣官房厚生科学課, 健康危機管理・災害対策室. 平成 28 年熊本地震への厚生労働省の対応について, <https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10601000-Daijinkanboukouseikagakuka-Kouseikagakuka/0000158556.pdf>, アクセス日:2020.12.18.
- 福岡孝則・加藤禎久(2015). ポートランド市のグリーンインフラ適用策事例から学ぶ日本での適用策整備に向けた課題, *ランドスケープ研究*, 78(5), pp.777-782.
- G. Everett, J.E. Lamond, A.T. Morzillo, A.M. Matsler and F.K.S. Chan (2018). Delivering green streets: An exploration of changing perceptions and behaviours overtime around bioswales in Portland, Oregon, *Journal of Flood Risk Management*, Vol.11(S2), pp.973-985.
- G. Feyisa, K. Dons, H. Meilby (2014). Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa, *Landscape and Urban Planning*, 123, pp.87-95.
- 堀井秀之(2004). 問題解決のための「社会技術」 分野を超えた知の協働, 中公新書, pp.59.
- 飯田晶子, 大和広明, 林誠二, 石川幹子(2015). 神田川上流域における都市緑地の有する雨水浸透機能と内水氾濫抑制効果に関する研究-内外水複合氾濫モデルを用いたシミュレーション解析-, *都市計画論文集*, Vol. 50, No.3, pp.501-508.
- 忌部正博・屋井裕幸(2013). 雨水貯留浸透施設の役割およびその普及状況と将来展望, *流域圏学会誌*, 第 2 巻, 第 1 号, pp.5-14.
- 井上薫・杉本南・清水裕之・大西暁生・村上顕人・大月淳(2011). グリーンインフラストラクチャの概念を用いた浸透性街路空間デザインの導入効果, *日本建築学会計画学論文集*, 第 76 巻, 第 660 号, pp.335-340.
- 巖島怜, 岩永祐樹, 出田一史, 佐藤辰郎, 島谷幸宏(2016). 各戸貯留及び土壌改良によるマンホール集水域を対象とした流出抑制効果に関する研究, *土木学会論文集 B1(水工学)*, Vol.72, No.2, pp.49-58.
- 岩永祐樹, 巖島怜, 佐藤辰郎, 島谷幸宏(2015). 流域治水による合流式下水道雨天時越流水の流出抑制に関する研究-東京都善福寺川を事例として-, *河川技術論文集*, 第 21 巻, pp.445-46.
- J. Kim(2018). Exploring green infrastructure benefits at house and neighborhood scale: case study of Illinois, USA, *Landscape Ecol Eng*, Vol.14, pp.165-174.
- J. Lamond and G. Everett (2019). Sustainable blue-green infrastructure: a social practice approach to understanding community preferences and stewardship, *Landscape and Urban Planning*, Vol.191, 103639.

- 気象庁(2019). 気候変動監視レポート 2019, pp.39.
- 気象庁(2015). IPCC 第五次評価報告書, 第1部作業部会報告書, 政策決定者向け要約, 気象庁訳.
- 国土交通省, 総合治水対策の現状について.
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/past_shinngikai/gaiyou/seisaku/sougouchisui/pdf/2_1haikei_keii.pdf, アクセス日:2020.9.16.
- 国土交通省(2015). 国土形成計画(全国計画), pp.150.
- 中谷祐介・今福大智・根井大輝・西田修三(2015). 都市河川における雨天時汚濁負荷の実態と水質・底質への影響, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.71, No.4, pp.1183-1188.
- N. Barclay and L. Klotz(2019). Role of community participation for green stormwater infrastructure development, Journal of environmental management, Vol.251, 109620.
- N. Furuta and Y. Shimatani(2018). Integrating ecological perspectives into engineering practices - Perspectives and lessons from Japan, International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol.32, pp.87-94.
- NYC Environmental Protection(2012). NYC Green Infrastructure Plan, A sustainable strategy for clean waterways.
- 島谷幸宏・山下三平・渡辺亮一・山下輝和・角銅久美子(2010). 治水・環境のための流域治水をいかに進めるか?, 河川技術論文集, 第16巻, pp.17-22.
- 島谷幸宏(2010). トキの野生復帰のための持続可能な自然再生計画の立案とその社会的手続きに関する研究(平成19年度～平成21年度), 終了研究成果報告書
- 島谷幸宏(2013). I/Uターンの促進と産業創生のための地域の全員参加による仕組みの開発(平成22年～平成25年), 研究開発実施終了報告書, 戦略的創造研究推進事業(社会技術研究開発), RISTEX.
- 島谷幸宏(2020). 分散型水管理を通じた, 風かおり, 緑かがやく, あまみず社会の構築(平成27年～令和2年), 研究開発実施終了報告書.
- 社会技術研究開発センター. 「社会技術」とは, <https://www.jst.go.jp/ristex/aboutus/index.html>, ,
 アクセス日:2020.9.16.
- 社会技術研究開発センター. 持続可能な多世代共創社会のデザイン研究開発領域について,
<https://www.jst.go.jp/ristex/funding/i-gene/>, アクセス日:2020.9.16.
- 社会資本整備審議会 気候変動に適応した治水対策検討小委員会(2015). 水災害分野における気候変動適応策のあり方について ～災害リスク情報と危機感を共有し, 減災に取り組む社会へ～, pp. 8.
- 宝田恭之(2013). 地域力による脱温暖化と未来の街－桐生の構築(平成20年～平成25年), 研究開発実施終了報告書, 戦略的創造研究推進事業(社会技術研究開発), RISTEX.
- 武内和彦(2018). 水資源分野における超学際研究, 水文・水資源学会誌, Vol.31, No.3, pp.149-151.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). What is green infrastructure?,

<https://www.epa.gov/green-infrastructure/what-green-infrastructure>, アクセス日 :2020.8.26

World Meteorological Organization and Global Water Partnership (2008). Urban Flood Risk Management –A Tool for Integrated Flood Management, Associated Programme on Flood Management.

山田駿介, 柴田昌三(2017). 雨庭の降雨流出特性の定量的評価, 日緑工誌, Vol.43(1), pp.251-254.

2. 都市ビジョン「あまみず社会」の治水，環境効果の定量的評価

2.1. はじめに

本章では都市ビジョンとして提示した「あまみず社会」の治水，および河川環境への効果を定量的に示すため，「あまみず社会」の概念に基づいたGIを合流式下水道が敷設されている地域に導入した場合の，治水効果および合流式下水道越流水(CSO)抑制による環境効果を検証する。

なお，導入するGIは，都市住民とのワークショップを通して，あまみず社会の概念の理解を得た上で，魅力的で現実的な案を導入することとした。

研究対象とする東京都杉並区を流れる一級河川荒川水系善福寺川流域は，内水・外水氾濫やCSOによる河川水質悪化が課題である。善福寺川の環境を改善するため「善福寺川を里川にカエル会」が上流域の井荻小学校と連携し，里川の復活に向けた活動を行っている。GIは，2017年12月22日(金)に行われた地域住民とのワークショップ(図2-1)に基づき，導入可能なものを設定した。



図 2-1 GI案に関するワークショップの様子 (2017/12/22)

2.2. 方法

(1) 研究対象地

対象とするのは東京都杉並区を流れる一級河川の善福寺川である。善福寺川は、善福寺池を水源とする延長 10.5km、流域面積 18.3km²で、神田川に合流する中小河川である。

高橋ら(1982)によると、明治 20(1887)年頃の善福寺川流域は、台地上の大部分が畑地と林地であり、河川沿いの谷底低地の大部分は水田、集落は街道沿いにあるという武蔵野台地の典型的な農村地域であった。約 90 年後の昭和 51(1976)年には流域の大半が都市的な土地利用となっており、昭和時代に流域の都市化が大幅に進展したことがわかる。

これまで昭和 33(1958)年の狩野川台風や昭和 41(1966)年の台風 4 号で大きな浸水被害が生じており、近年では平成 17(2005)年 9 月 4 日に時間雨量 100mm を超過する降雨によって杉並区、中野区、新宿区で 84ha、3,588 戸の浸水被害が生じた(国土交通省記者発表資料, 2005)。

また、当該流域は 1976 年に下水道整備率が 100%となっているが、合流式下水道であるために、降雨時には雨天時越流水(CSO)が河川へ流入するという課題を有している。

高橋ら(1982)は、当該流域の浸水被害を分析した結果、下水道の普及により台地上の窪地における浸水被害の減少及び上流氾濫域の減少している一方で、下流域では、都市化によるピーク流量の増大で浸水被害が増大していることを指摘している。

本研究では、この善福寺川上流域のマンホール単位の集水域に着目する。善福寺川には下水の越流口が複数あるが、今回は最上流部に位置する美濃山橋下に設けられている越流口の集水域 70.9ha を対象とした(図 2-2)。なお、集水範囲は東京都下水道局が公表している下水道台帳から調べた。図 2-3 に対象とする集水域のマンホール及び地下管渠網を示す。597 個のマンホール及び総延長約 18,087m の管渠である。

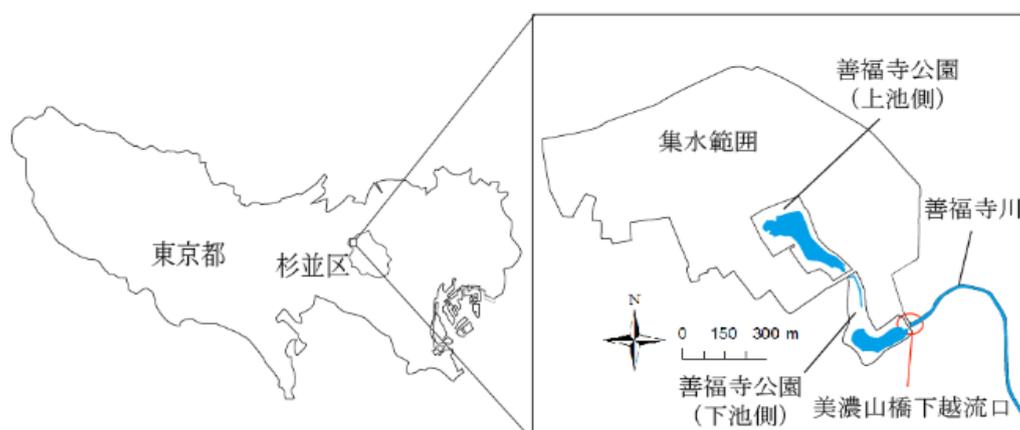


図 2-2 研究対象位置図

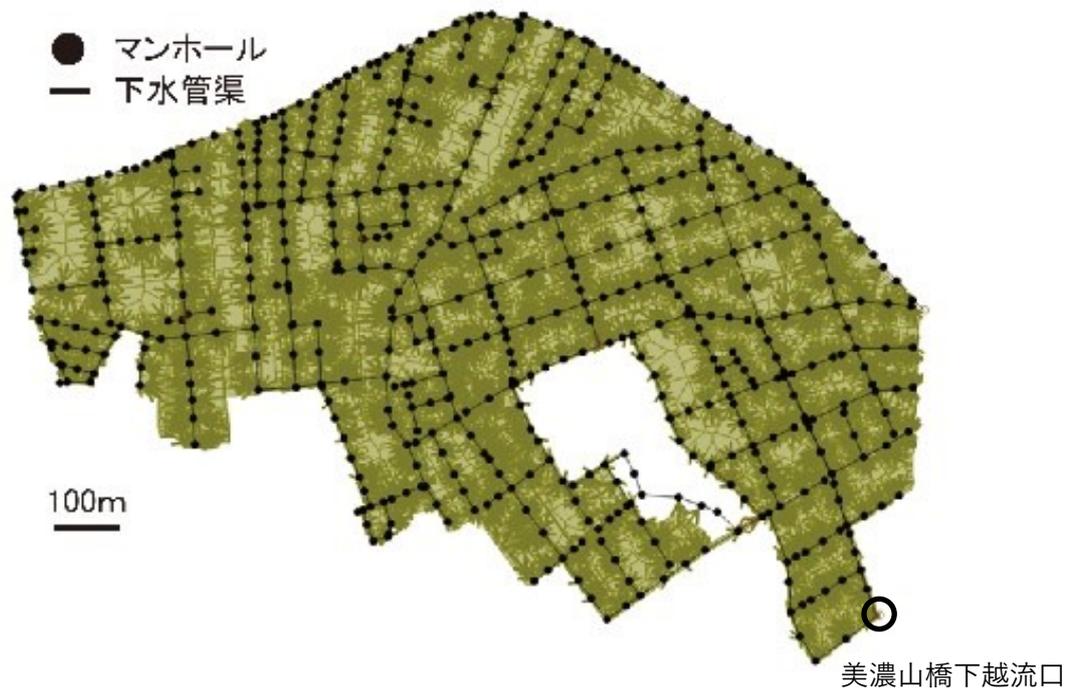


図 2-3 対象とする下水道管渠網

(2) 現地調査による水文資料の収集

各マンホールからの溢水量および美濃山橋下越流口からの越流量を再現するモデルの構築にあたり、2013年9月6日～2015年11月27日(欠測期間443日間を含む)の期間で、美濃山橋下の越流口の直上流と直下流に水位計を、越流口から400m程度離れた井荻小学校内に雨量計を設置し、共に5分間隔で計測した。越流口および河川の横断形状を測量し、国土数値情報より5mメッシュのデータを用いて河床勾配($I=1/1500$)を求め、これらのデータにより、連続の式(式(1))及びManning式(式(2))を用いてH-Q曲線を作成し水位を流量に変換した。河岸はコンクリート護岸が整備されているが、河床はガマ等の草本が繁茂しているため粗度係数は0.025とした(厳島ら2016)。

$$\text{連続の式: } Q = AV \quad \text{式(1)}$$

$$\text{Manningの式: } V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad \text{式(2)}$$

Q: 流量[m³/s]

A: 断面積[m²]

V: 流速[m/s]

n: マニングの粗度係数[m^{-1/3}・s]

I: 河床勾配

R: 径深(= A / S) [m]

S: 潤辺[m]

このようにして得られた下流の流量(図 2-4)から上流の流量を差し引いたものを越流口からの CSO 越流量とした。観測期間中における時間雨量の最大値は 47.6mm/hr, 連続降雨の最大値は 2014 年 10 月 5 日 3 時～10 月 6 日 11 時の 276.6mm である。10mm/hr 以上の降雨は 25 回発生していた。河川流量については, 2014 年 7 月 24 日に最大流量 17.0 m³/s を記録していた。

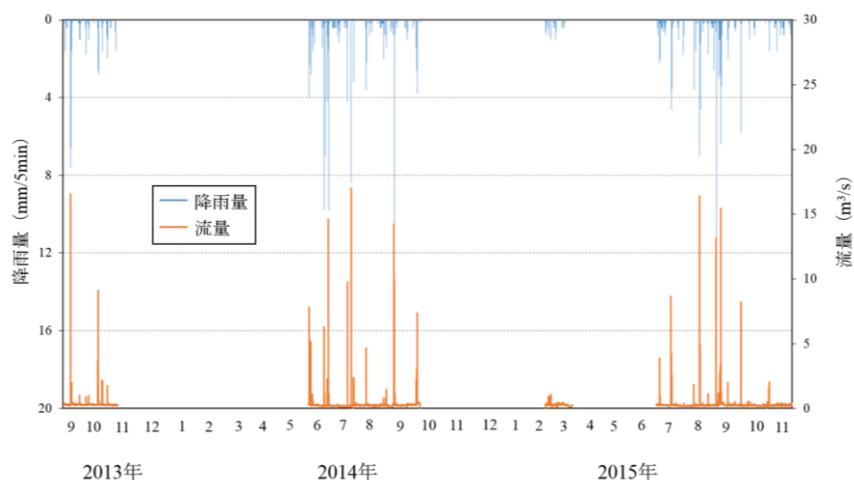


図 2-4 観測期間の雨量及び観測地点の流量（下流側）

(3) 流出モデルの構築

分布型流出モデルの一つである InfoWorks ICM 8.0 を用い, 越流現象の再現及び GI を導入した際のマンホール溢水量, CSO 量の低減効果について解析を行った。このモデルは降雨波形や浸透に関するパラメータ, 下水道管渠の構造を変化させることで流出現象を再現するモデルである。一次元と二次元モデルの統合解析技術により地表面(河川氾濫や下水道からの溢水)と地下面(下水道網ネットワーク)の両要素のモデル化を行い, 内水・外水氾濫の相互作用, 下水等への再流入等も計算できる。

本研究での流域モデルは, 東京都下水道台帳から得られた 597 個のマンホールの地盤高と面積, それらをつなぐ下水道管渠の幅, 高さ, 上下流の管底高を, 基盤地図情報及び Google の航空写真により ArcGIS Desktop10.5 で作成した流域マップ(図 2-5)に設定した。実測した降雨データを用いて, 下水道管渠を流下する流量を再現することで, 河川への CSO 越流量を算出した。なお, 各マンホールに集水される雨水の量は, 流域をティーセン分割することで最寄りのマンホールに流入するように設定した。なお, 家屋についてはティーセン分割せず, 最も近くにあるマンホールに流れ込むようにした。管渠内の流水の挙動については, 質量保存式と運動量保存式を組み合わせたサンブナン式を基本式として不定流解析を行った(厳島ら 2016)。

また, マンホールから溢水した水を氾濫させる二次元氾濫モデルを作成した。2 次元氾濫モデ

ルは, 国土地理院がオンラインで公開している基盤地図情報の数値標高モデル(5mメッシュ)をラスタ, ASC IIの順に変換し, InfoWorks 内に取り込むことで作成した(図 2-6).



図 2-5 対象流域の土地利用区分

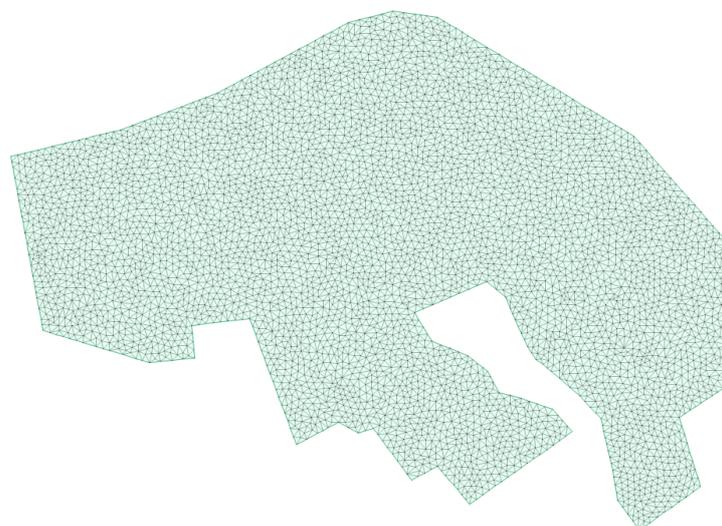


図 2-6 二次元氾濫モデル

(4) 初期損失および浸透能の設定とモデルの妥当性

流出現象の再現のため、浸透現象を適切に評価できるパラメータの設定が重要であり、土地利用毎に初期損失と浸透能を設定した。初期損失と浸透能の設定は、一般的に使用されているパラメータを使用する方法や現地実験による方法があるが、本研究では既往研究(岩永ら 2015, 巖島ら 2016)を参考に、土地利用区分を屋根面(建物)、道路面(道路, 駐車場, 非浸透域), 浸透域(前庭, 学校, 公園), 畑・ゴルフ場の4つに再分類した(表 2-1)。屋根面, 道路面, 浸透域は, 岩永らによって求められている初期損失, 浸透能を用いた。また, 岩永ら(2015)は畑・ゴルフ場は浸透域に含めていたが, 飯田ら(2015)は畑の浸透能を 215mm/hr としており, 他の浸透域よりも明らかに大きな浸透能を持つため, 初期損失 2.0mm, 浸透能 200mm/hr として別に分類した。ゴルフ場は人工芝と碎石により, 既に浸透機能が確保されていたため, 畑と同程度に設定した。

表 2-1 当モデルの無対策における初期損失と浸透能の設定値

設定値	屋根面	道路面	浸透域	畑, ゴルフ場
初期損失(mm)	0	0.5	2.0	0.5
浸透能(mm/hr)	0.01	0.01	5.0	200

本モデルの妥当性は, CSO 越流量の多い観測降雨イベントを抽出し, 実測値と流出モデルによる計算値を比較し検証した。一例として, 2013 年 10 月 15 日~16 日の再現計算結果を示す(図 2-7)。実測値と再現計算値の波形は概ね合っており, 今回設定した浸透能は適切で, 本モデルは妥当であると考えられる。

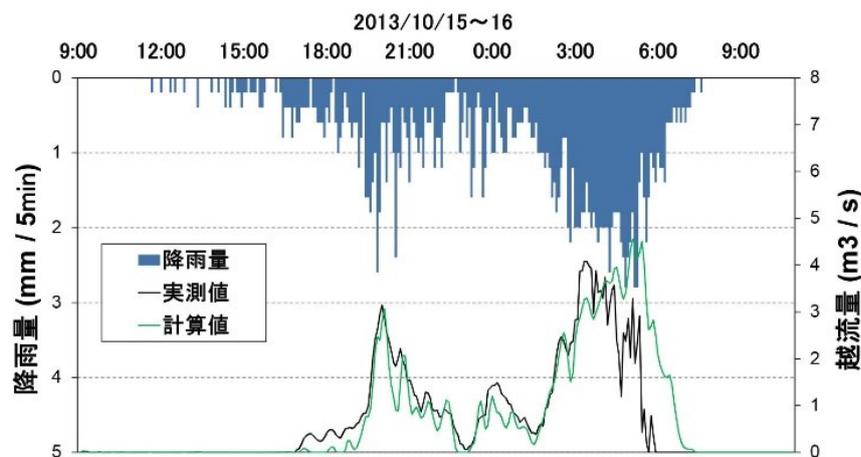


図 2-7 2013 年 10 月 15 日出水の再現計算結果

2.3. 適用するグリーンインフラ

土地利用ごとの面積割合を図 2-8 に示す。対象集水域は戸建住宅が多く、その屋根と前庭の面積を合わせると全体の 66.3%を占めており、戸建住宅対策が重要である。また他の用途に対しても GI を適用し(表 2-2)、対象集水域全体に GI が導入される計画を立案した。

今回対象とする善福寺川上流域は関東ローム台地上に位置する地区であり、浸透能は高い。東京都総合治水対策協議会(2009)は浸透施設設計時の関東ローム台地の最終浸透能を 140mm/hr、飯田ら(2015)は前庭植栽 102mm/hr、屋敷林 230mm/h としていることから、本研究では浸透能を 100mm/hr として設定した。GI の各用途別のモデル計画を以下に示す。

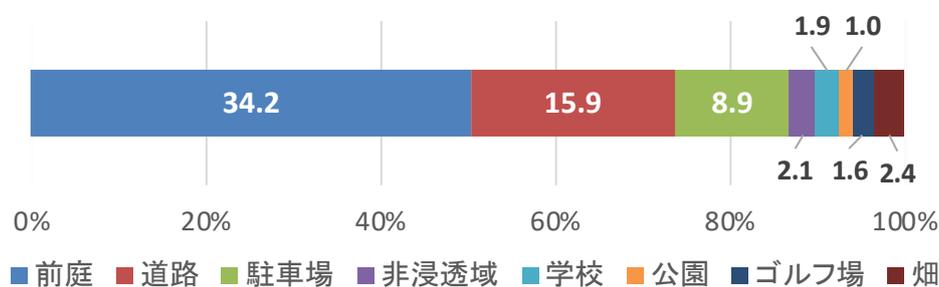


図 2-8 土地利用ごとの面積割合

表 2-2 グリーンインフラの導入モデル

土地利用	グリーンインフラ導入モデル
建物	樋の本数のうち、25%を前庭に、25%を浸透トレ ンチに浸透させ、合わせて 50%の流出抑制
前庭	緑地面を増やす (浸透能 100mm/hr, 計算上は 75mm/hr)
道路 (2 車線以上)	歩道の浸透化 (初期損失 32mm, 浸透能 20mm/hr)
道路 (1 車線)	コミュニティ道路化, バイオスウェイル整備 (初期損失 60mm と浸透能 22.5mm/hr)
学校	グラウンドの人工芝化・浸透化により流出ゼロ
駐車場	轍以外の部分を緑化により流出ゼロ
公園	浸透化, 地下に防災用雨水貯留施設を設置する ことにより流出ゼロ
上記以外の非浸透域	流出ゼロ

(1) 戸建住宅

戸建住宅のモデルとして敷地面積 100 m², 建蔽率 50%, 前庭には車 1 台の駐車スペースがあるこの地域の典型的な住宅とする。GI 導入前は屋根への降雨は樋を伝い、枡を経て下水管へほとんどが排出されている。これに対し、GI モデルでは、屋根面積の 50% 相当の樋と枡の連結を切り、そのうち 25% 分は前庭へ導水して土壌に浸透させ、25% 分は雨水浸透ますへ流入させる(図 2-9)。これにより、屋根からの下水管への流出は 50% になる。

現在、コンクリートなどで被覆されている前庭を改良し、緑を大幅に増やして雨庭(浸透型植栽空間)にし、前庭の浸透能は 100mm/hr とした。屋根からの流出も受け止めるため、流出モデル上は屋根からの流出分を差し引き、75mm/hr の浸透能を与えて計算する。

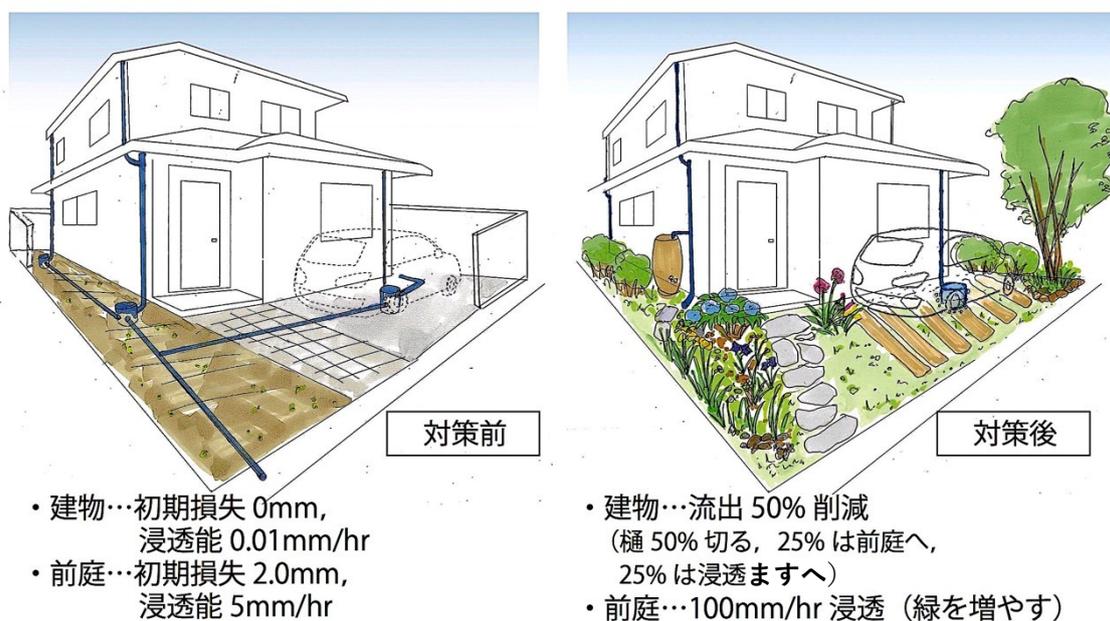


図 2-9 戸建住宅への導入モデルイメージ

(2) 道路

道路は、対象地区に見られる 2 車線の幅員 10 m, 歩道 2m の広幅員道路及び住宅街の幅員 4.5m, 1 車線の生活道路をモデルとした。

広幅員モデルでは、歩道に透水性舗装を導入し、舗装下部には深さ 40cm, 間隙率 40% の碎石貯留層 ($1\text{m} \times 0.4 \times 0.4 \times 2 = 0.32 \text{ m}^3/\text{m}$) を設け、底面からの土壌浸透は 100mm/hr とした(図 2-10, 2-11)。これにより全道路面積に対して初期損失 32mm, 浸透能 20mm/hr ($100 \times 2/10$) を確保する。

生活道路モデルでは片側に上記と同仕様の 0.5m 幅の透水性舗装を設ける。歩道と車道の間には、0.5m 幅のバイオスウェイル(線上の浸透型植栽枡)を設け、車道の表面流出水を浸透させる。

このバイオスウェイルは深さ 1.2m, 間隙率 30%の土壌を想定し, 底面からの浸透能は 100mm/hr とした. これにより全道路面積に対し, 初期損失 60mm, 浸透能 22.5mm/hr を確保する(図 2-12, 2-13).



初期損失 0.5mm, 浸透能 0.01mm/hr



初期損失 32mm, 浸透能 20mm/hr

図 2-10 2車線道路への導入モデルイメージ



図 2-11 2車線道路への導入モデルイメージ (断面図)

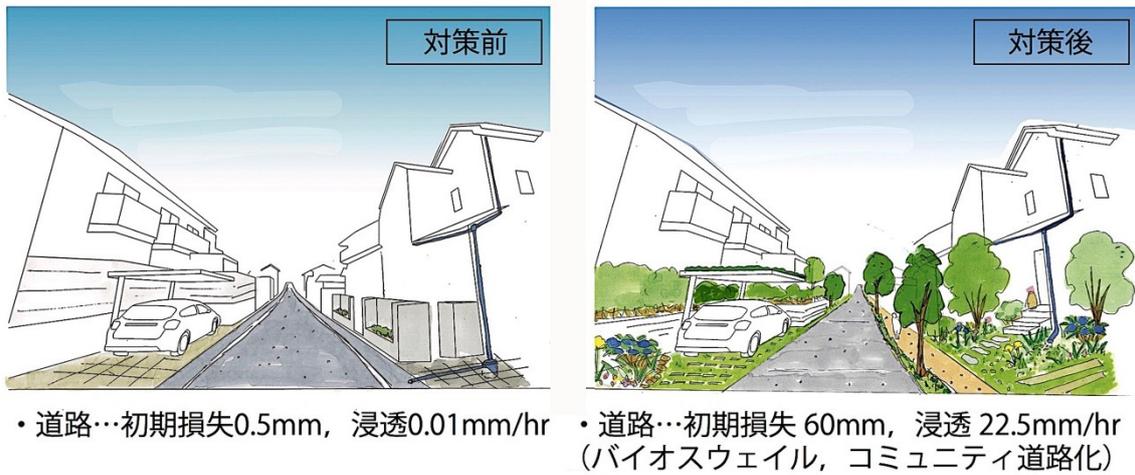


図 2-12 1車線道路（生活道路）への導入モデルイメージ

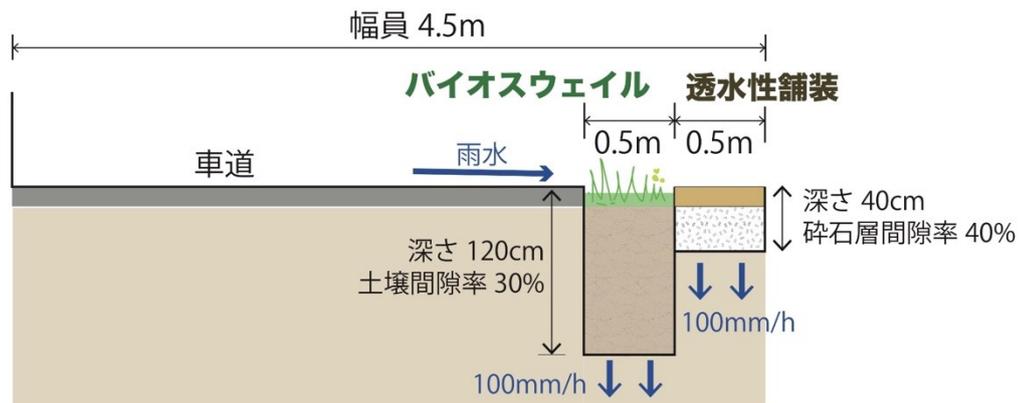


図 2-13 1車線道路（生活道路）への導入モデルイメージ

(3) 学校, 駐車場, 公園等

駐車場, 公園, 学校のグラウンド等は土壌面が大きく, GI 導入により緑化し, 流出をゼロの計画とする.

2.4. GI 導入による洪水抑制効果

(1) 対象降雨について

対象降雨として観測期間中の比較的大きな降雨量が観測された①長雨型(2013年10月15日)と②集中豪雨型(2015年8月17日)を年超過確率 1/100 の降雨量に引き伸ばしたものをを用いた(図 2-14, 図 2-15). 長雨型は 24 時間雨量が, また, 集中豪雨型は 1 時間雨量が最大となる期間を対象に 1/100 確率の降雨量に引き伸ばした. なお, 1/100 確率の降雨量は, 東京都公表資料(12)により 1 時間 97.4mm, 24 時間 327.4mm とした.

また, 近年の気候変動による降水量増加を受け, 国土交通省は社会全体が想定しうる最大規模の降雨「想定最大外力(洪水・内水)」(国土交通省 2015)を設定している. 善福寺川が含まれる関東地区の想定最大外力は排水面積 1 km²以下において 12 時間 584mm, 24 時間 690mm である. 本研究では極端豪雨においても「あまみず社会」の概念に基づいた GI が効果を発揮するのか検証するため, 関東地方の可能最大降雨程度の降雨量が平地の都市部で観測された③九州北部豪雨(図 2-16)の降雨データを併せて用いた. 2017 年 7 月 5 日に福岡県朝倉市で観測された 24 時間降水量は 516mm である. 関東は九州と降雨特性は異なるものの, 線状降水帯が停滞した場合, 同規模の降雨が発生する可能性は否定できないと考え, 九州北部豪雨のデータを極端豪雨として用いた.

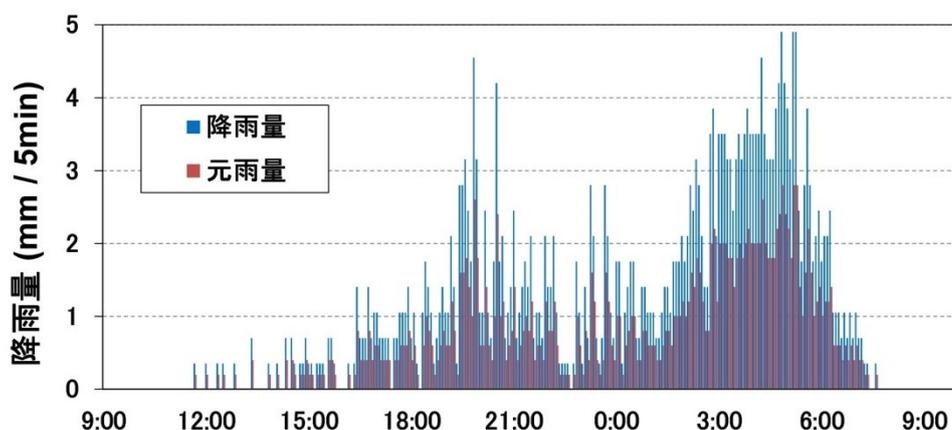


図 2-14 ①長雨型 : 1/100 確率波形 (2013 年 10 月 15 日)

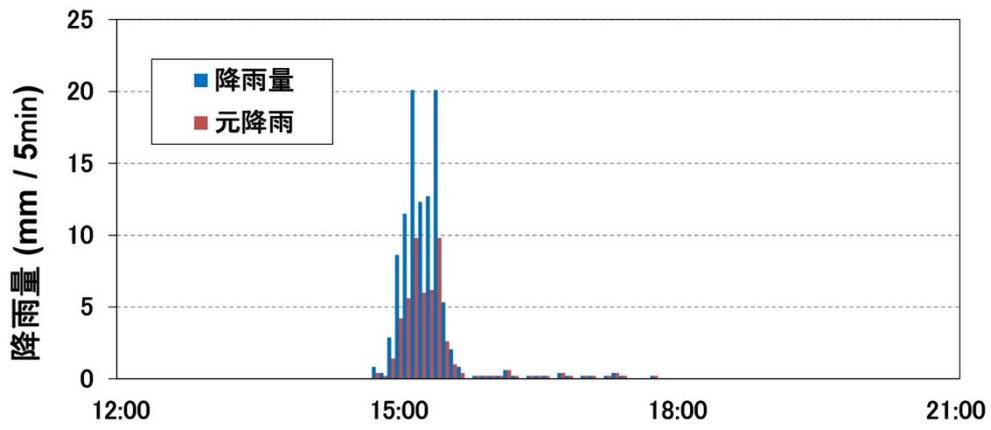


图 2-15 ②集中豪雨型：1/100 確率波形 (2015 年 8 月 17 日)

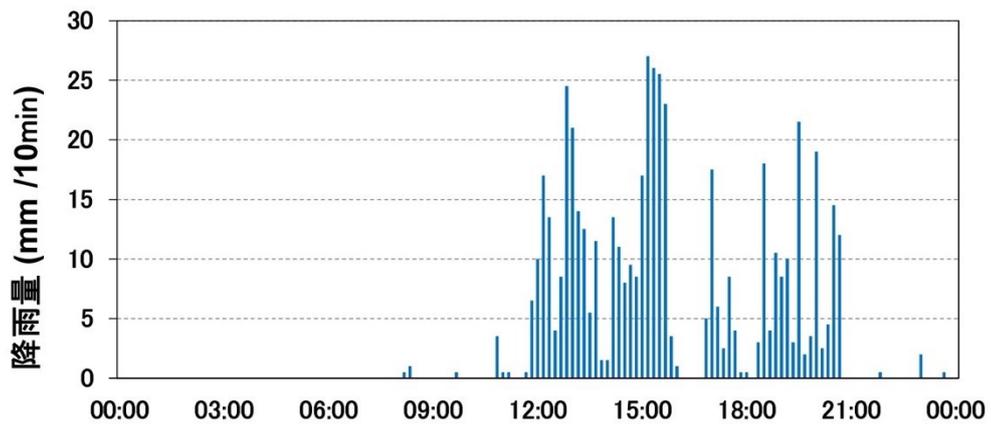


图 2-16 ③極端豪雨 (九州北部豪雨 2017 年 7 月 5 日)

(2) 1/100 洪水確率における流出抑制効果

1/100 確率の 2 降雨を対象にした、GI 導入によるマンホールからの溢水による洪水量抑制結果について述べる。

長雨型は、GI 導入前の総溢水量は約 700 m³であったが、すべての GI を導入した場合、溢水は発生しなくなった(表 2-3, 図 2-17)。対策別に見ると、面積割合が大きいところに対策したものは非常に大きな流出抑制効果を持ち、前庭に導入した場合、約 98%が抑制することが可能である。

表 2-3 長雨型・GI 対策別の溢水量値表 (m³)

無対策	全対策	建物	前庭	道路
704.985	0	133.611	10.698	160.596
学校	駐車場	公園	道路+駐車場	非浸透域
590.043	152.724	649.143	57.654	612.069

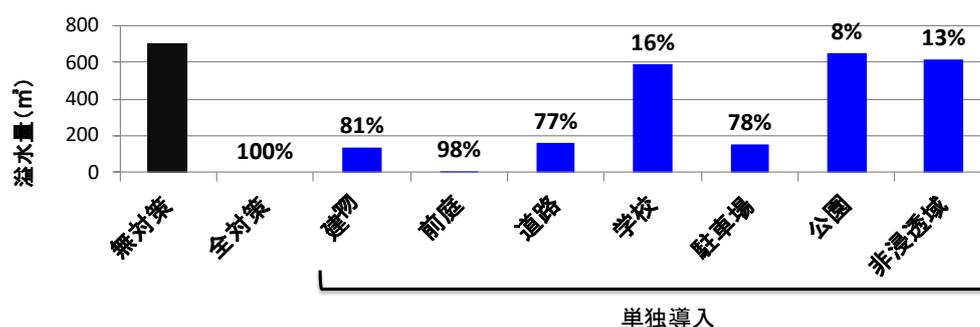


図 2-17 長雨型・GI 対策別の溢水量と無対策時と比較した減少率

集中豪雨型については、降雨時間は短いですがピーク流量が非常に大きいため、GI 導入前には総溢水量で 46,000 m³が発生している。すべての GI 対策導入により 240 m³程度まで低減し、99%の抑制効果が得られた。流出抑制対策別の効果を表 2-4, 図 2-18 から見ると、建物、前庭、道路への単独導入においても 30%を超える流出抑制効果が表れる。学校、公園、非浸透域は流域に占める面積が小さいことから効果は限定的である。

対策前は最大浸水深が 60cm を超える箇所も存在している(図 2-19)が、全対策では、最大浸水深は 5cm 以下に低減される(図 2-20)。

表 2-4 集中豪雨型・GI 対策別の溢水量値表 (m³)

無対策	全対策	屋根	前庭	道路
46598.06	241.926	29966.89	27394.1	31947.01
学校	駐車場	公園	道路+駐車場	非浸透域
44017.06	36814.27	45236.55	29938.44	44015.18

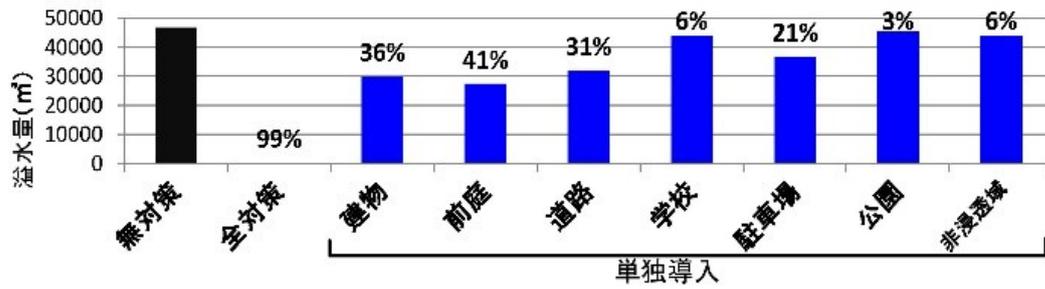


図 2-18 集中豪雨型・GI 対策別の溢水量と無対策時と比較した減少率

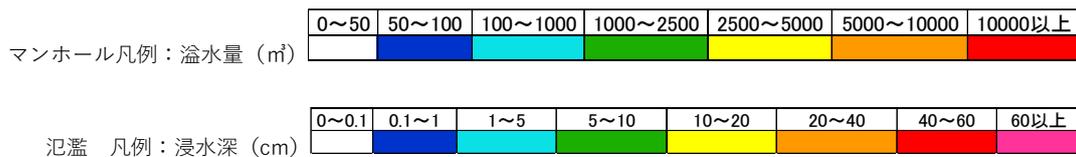
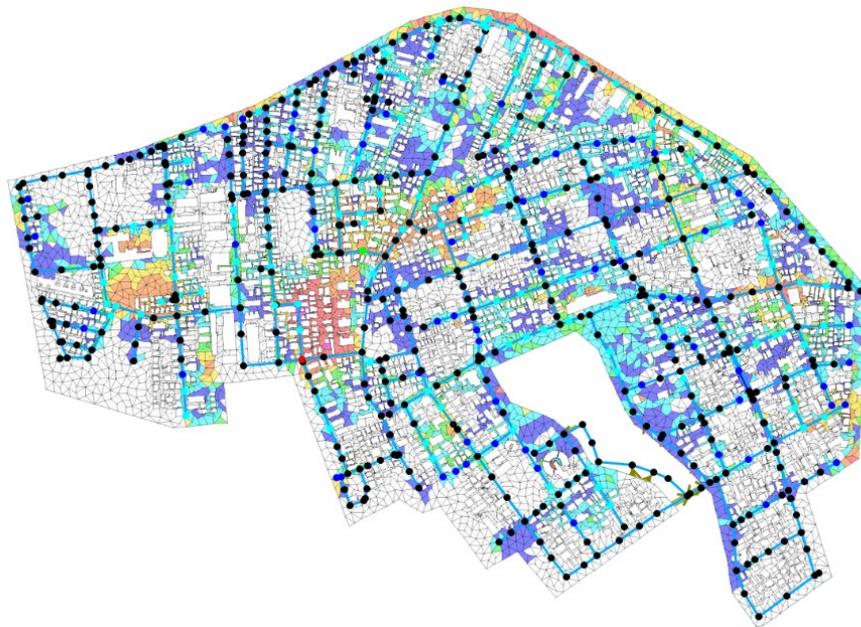


図 2-19 集中豪雨型・無対策・氾濫解析結果 浸水深 (15:50 時)

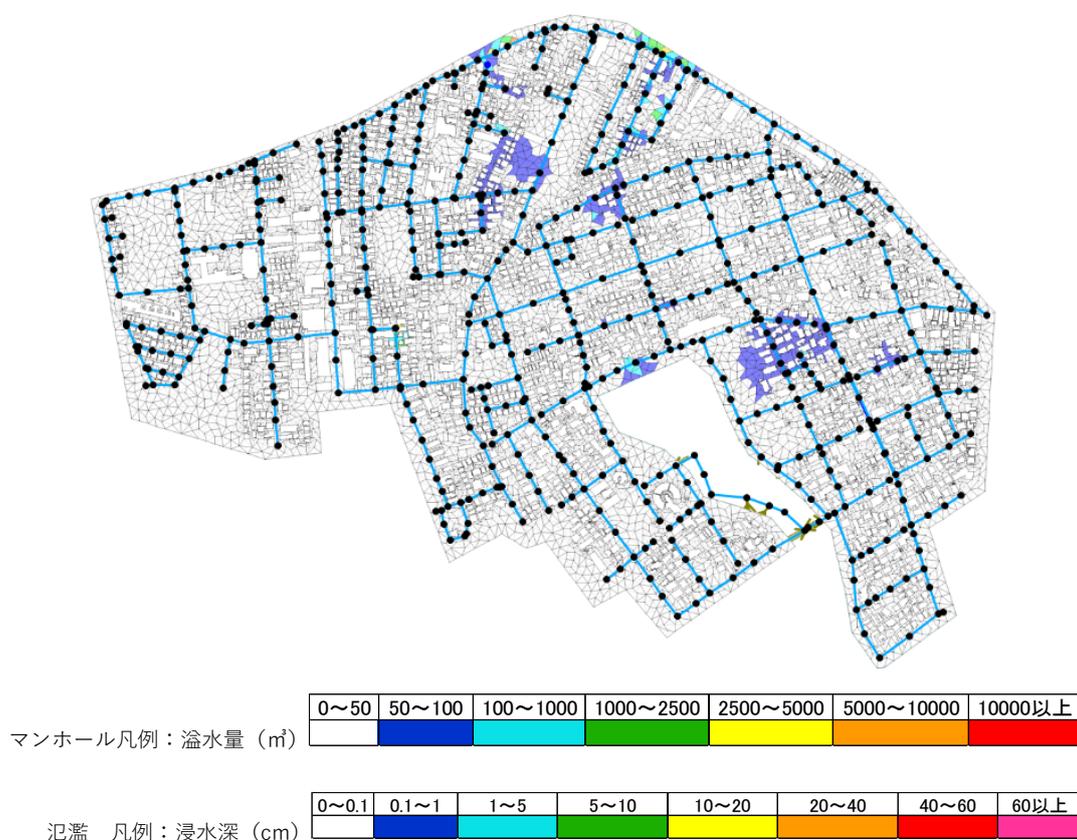


図 2-20 集中豪雨型・全対策・氾濫解析結果 浸水深 (15:50 時)

(3) 極端豪雨における流出抑制効果

関東の想定最大外力に近い九州北部豪雨の雨量データは、長時間、雨量強度が強い降雨のためマンホール溢水量は約 200,000 m³と集中豪雨型の約 4.4 倍である(表 2-5, 図 2-21). 対策別の効果は、集中豪雨型と同様、建物、前庭、道路への単独導入の効果が高く 50%を超える流出抑制効果が表れる。学校、公園、非浸透域は流域に占める面積が小さいことから効果は限定的である。浸水域が最大となる 15 時 50 分の浸水深について、GI 導入前を図 3-22 に、導入後を図 3-23 に示す。降雨強度が大きい場合、広範囲で浸水が発生する。最大浸水深は 80 cm 以上である。

台地上の住宅地において水深が大きい氾濫が発生することは、住民が想定していないことから非常に危険である。図 2-23 には氾濫流向を示したが、低い場所のマンホールに水が集中し、氾濫流が低いところをたどり最終的に谷地に流出している。最も溢水量が大きい箇所は地形的にもくぼ地になっており、1つのマンホールから総溢水量 50,000 m³もの氾濫が発生している。

一方 GI を導入すると、浸水面積は約 10%へ大きく低減した。最大浸水深は一部 40cm の箇所は残るものの、概ね 20cm 未満まで低減している箇所が多く(図 3-23), 総氾濫量は 98%削減された。

氾濫解析流出方向(図 2-24, 2-25)に注目する。これは、降雨のピーク時の流出の様子を表しており、中央付近のマンホールから溢れた水が、地形的にくぼ地となっている箇所に入り、そこが満

杯になると、隣接するもう一つのくぼ地に流れ込み、両方が満杯になると、住宅街を通過して、最終的には善福寺池に流れ込む過程が速度方向によって判明した。また、図の右上部では、マンホールから溢れた水が道路を下っていく様子が伺える。

表 2-5 極端豪雨・GI 対策別の溢水量値表 (m³)

無対策	全対策	屋根	前庭	道路
196087.7	4025.328	93452.78	68460.66	126475.1
学校	駐車場	公園	道路+駐車場	非浸透域
176724.2	129441.7	187644.4	88654.37	180548.6

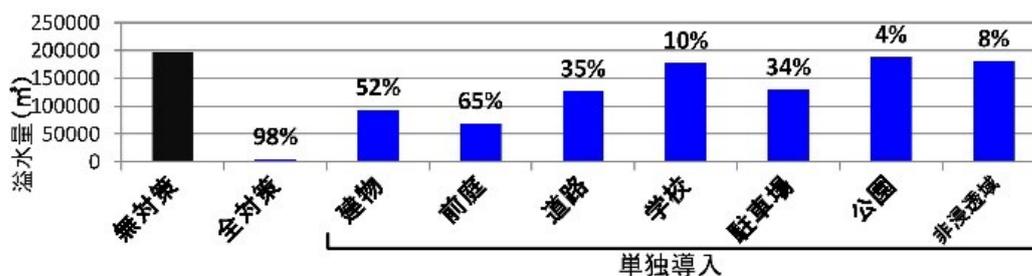
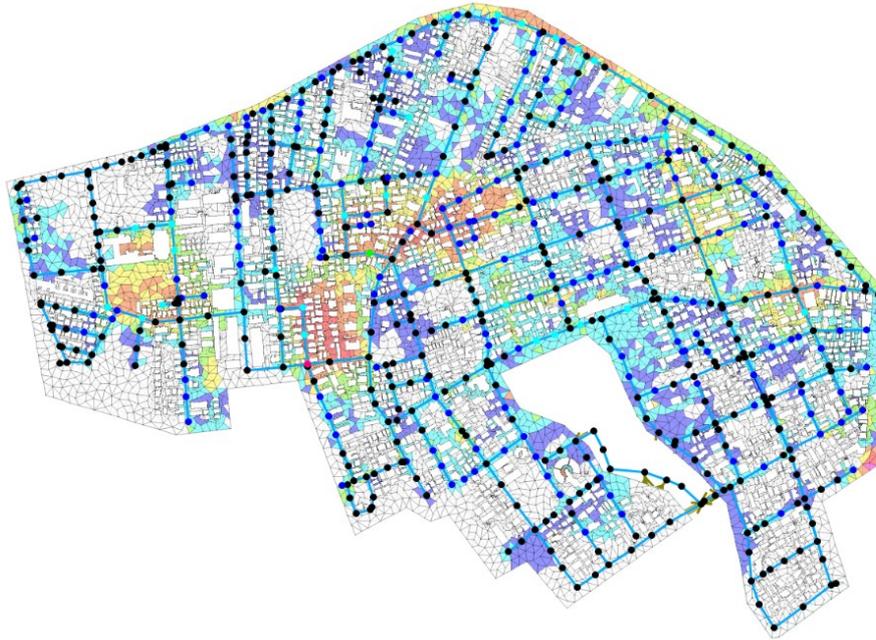


図 2-21 極端豪雨・GI 対策別の溢水量と無対策時と比較した減少率



マンホール凡例：溢水量 (m³)

0~100	100~1000	1000~5000	5000~10000	10000~25000	25000~50000	50000以上
-------	----------	-----------	------------	-------------	-------------	---------

氾濫 凡例：浸水深 (cm)

0~0.1	0.1~1	1~10	10~20	20~40	40~60	60~80	80以上
-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	------

図 2-22 極端豪雨・無対策・氾濫解析結果 浸水深 (15:50 時)

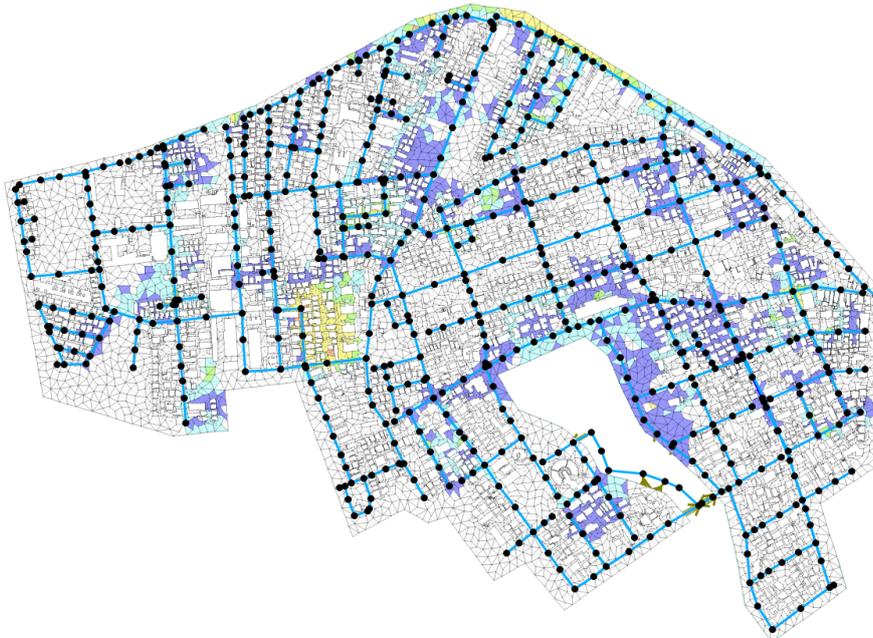


図 2-23 極端豪雨・全対策・氾濫解析結果 浸水深 (15:50 時)

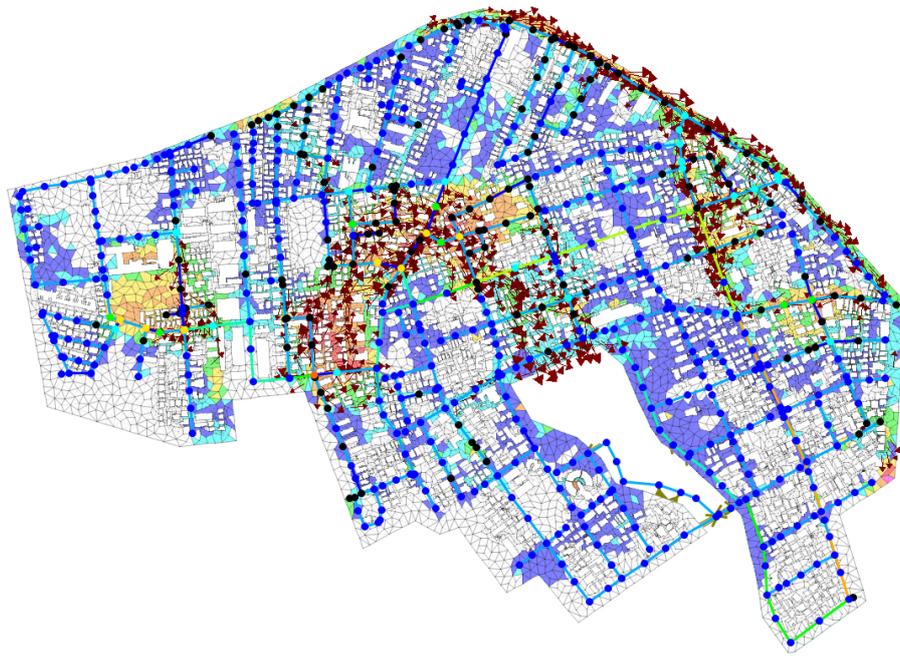


圖 2-24 極端豪雨・無対策・氾濫解析結果 氾濫方向 (15 : 50 時)



圖 2-25 極端豪雨・全対策・氾濫解析結果 氾濫方向 (15 : 50 時)

2.5. GI 導入による CSO 抑制効果

(1) 対象降雨について

合流式下水道の場合、平常時の汚水流量の概ね3倍以上の流量になると、河川等に越流する構造になっている(国土交通省 2002)。また、善福寺川流域の既往研究(岩永 2015)によると30分雨量で4.3mmを超えるとCSOが発生することが明らかになっている。

CSOは閉鎖性水域の水質や平常時の河川水質を悪化させる。閉鎖水域への影響はCSOの総量と関係があり、年間の越流量で評価できる。また、河川への影響は総越流量とともに、頻度で評価しうる。本研究では、対象流域に対して、GIによるCSOの削減効果を年間の流出量および年間のCSO発生回数で評価する。

ここでは2016年に観測された1月1日から7月8日まで(190日間)の降雨に、2014年(7月9日～12月18日:163日間)、2015年(12月19日～12月31日:13日間)をつなぎ合わせて図2-26のような年間の降雨データ(総降雨量1495mm)とし、CSO量抑制効果について検証した。

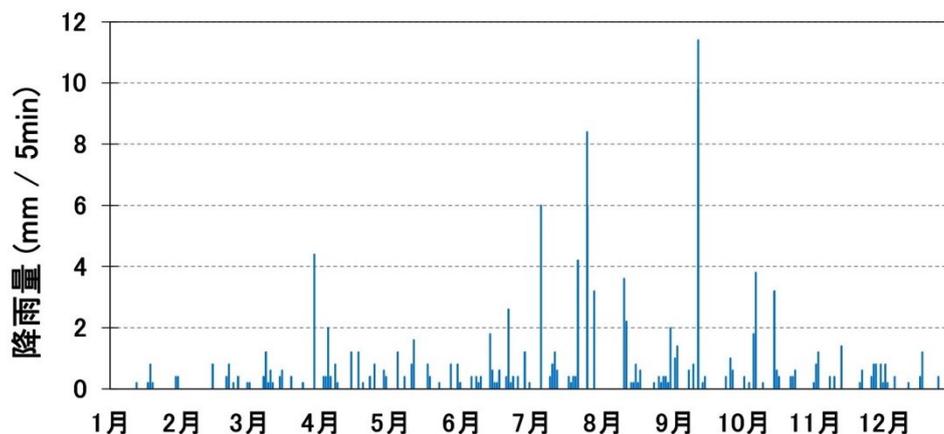


図 2-26 作成した年間の降水量

(2) 年間の CSO 抑制効果

対象集水域における年間降雨時の CSO 流出量変化及び年間発生回数を表 2-6, 図 2-27 に示す。導入前は、年間総 CSO 量約 220,000 m³が発生し、河川に流れ込んでいることがわかった。GI の全対策を施すことで、約 8,100 m³と約 96%減と大幅に抑制することが可能となった。

流出抑制対策別の単独導入のケースでは建物、前庭、道路では CSO 総流出量で 30%程度の削減効果があった。また、道路と駐車場に併せて対策を講じた場合、前庭への単独導入よりも削減効果は大きかった。これは、GI 導入前にも前庭には浸透能 5mm/hr があり、少雨が多い年間降

雨量に対しては、この浸透能によって効果が既に発揮されているためである。一方、道路や駐車場は、GI 導入前は浸透能がほぼゼロであるため、導入効果は高い。

表 2-6 年間降雨・GI 対策別の CSO 量値表 (m³)

無対策	全対策	建物	前庭	道路+駐車場
224525.1	8107.605	149673.2	139989.2	122019.8
道路	学校	駐車場	公園	非浸透域
155230.3	213701.5	179752.2	216738.1	214715.8

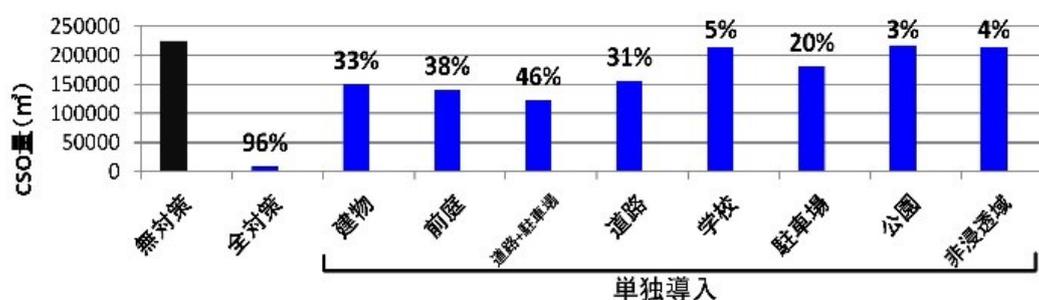


図 2-27 年間降雨・GI 対策別の CSO 量と無対策時と比較した減少率

次に、CSO の年間発生回数を表 2-7 に示す。無対策時は年間 24 回の CSO が発生していた。すべての GI を導入すると年 6 回まで抑制できる。

流出抑制対策別にみると、CSO 量への効果と同様に、道路や建物単独、または道路と駐車場を併せた対策は、削減効果は高い一方、前庭だけの単独導入では CSO の発生回数を削減できていない。CSO は小出水で発生するため、GI によって完全に発生回数を抑制することは困難であることが分かる。

以上のように、GI の導入によって、CSO 流出量は大幅に削減可能であり、これにより閉鎖性水域の水質の改善に大きく寄与するものと考えられる。

表 2-7 年間降雨・GI 対策別の CSO 発生回数

無対策	全対策	建物	前庭	道路+駐車場
24	6	18	24	17
道路	学校	駐車場	公園	非浸透域
18	24	20	24	22

2.6. 結論

本章では都市ビジョンとして提示した「あまみず社会」の治水、および河川環境への効果を定量的に示すため、「あまみず社会」の概念に基づいたグリーンインフラ(GI)を合流式下水道が敷設されている地域に導入した場合の、洪水氾濫および合流式下水道越流水(CSO)の流出抑制効果を検証した。以下に、要点を示す。

- ・あまみず社会の概念に基づいた GI の導入によって、対象とした長雨型、集中豪雨型および極端豪雨の各洪水量に対して、各土地利用への導入により 95%以上の流出抑制効果が得られた。また、浸水深も大幅に低減される。
- ・戸建住宅の前庭は集水域に占める割合が高く、この前庭への GI 単独導入にあっても高い流出抑制効果を示した。
- ・CSO は 4.3mm/30min という比較的小さな降雨でも発生するため、流出を 0 にすることは困難である。しかし、各土地利用への導入によって、年間降雨量に対して 95%の大幅な CSO 量の削減が可能である。これによって、河川環境の改善ならびに閉鎖性水域である東京湾への負荷削減改善に大きく貢献できると考えられる。

以上のように、降雨強度が大きい日本の都市における洪水対策および CSO 流出抑制対策として、あまみず社会の概念に基づいた GI の導入は非常に有効であることが明らかとなった。

なお、土壌が持つ浸透能の継続性及び浸透能の値について研究者間でも意見が一致しない場合もあるため、今後正確な土壌特性を検証することが課題である。

引用文献

- 飯田晶子, 大和広明, 林誠二, 石川幹子(2015). 神田川上流域における都市緑地の有する雨水浸透機能と内水氾濫抑制効果に関する研究-内外水複合氾濫モデルを用いたシミュレーション解析-, 都市計画論文集, Vol. 50, No.3, pp.501-508.
- 巖島怜, 岩永祐樹, 出田一史, 佐藤辰郎, 島谷幸宏(2016). 各戸貯留及び土壌改良によるマンホール集水域を対象とした流出抑制効果に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.72, No.2, pp.49-58.
- 岩永祐樹, 巖島怜, 佐藤辰郎, 島谷幸宏(2015). 流域治水による合流式下水道雨天時越流水の流出抑制に関する研究-東京都善福寺川を事例として-, 河川技術論文集, Vol.21, pp.445-460.
- 国土交通省(2015). 浸水想定(洪水, 内水)の作成等のための想定最大外力の設定手法.
- 国土交通省記者発表資料(2005). 神田川(妙正寺川・善福寺川)の水害を大きく減らします!!, <https://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/05/051118/01.pdf>, 閲覧日:2020年12月11日.
- 国土交通省都市・地域整備局下水道部, 財団法人下水道新技術推進機構(2002). 合流式下水道の改善対策に関する調査報告書 合流式下水道改善対策検討委員会報告.
- 高橋裕, 安藤義久, 前川忠生, 志村知昭(1982). 東京都の台地部中小河川の水害特性に関する史的考察(第2報), 日本土木史研究発表会論文集, 第2巻, pp.165-170.
- 東京都下水道局. 下水道台帳,
<http://www.gesuijoho.metro.tokyo.jp/semiswebsystem/TspAgreementWeb.aspx>
- 東京都総合治水対策協議会(2009), 東京都雨水貯留・浸透施設技術指針, pp.14.

3. プロトタイプ実装

3.1. はじめに

第2章では、都市ビジョン「あまみず社会」の治水、および河川環境への効果を定量的に示した。本章では、あまみず社会をプロトタイプとして実際の敷地に実装することによって、実現可能性を検証する。開発および実装は、都市水害対策に寄与することを目標とし、かつ日本の伝統文化を考慮し、コミュニティとの協働によって行うこととした。

対象としたのは、都市の中で多くの土地利用を占める一方で導入が難しいとされる、既存建物を含む小規模民有地である。

3.2. 対象地と方法

(1) 対象地

対象は図3-1に示す3箇所の小規模民有地とした。サイトAは、福岡市樋井川流域の面積144 m²のカフェ店舗敷地、サイトBは、同流域の面積249 m²の個人住宅敷地である。サイトCは、東京都善福寺川流域の面積100 m²の個人住宅敷地である。



図 3-1 プロトタイプ実装の対象地

(2) 敷地の設計目標

各敷地に対する GI の設計目標は以下のとおりである。

① 流出抑制目標

豪雨時の下水道容量負荷を軽減させるため、対象降雨に対し、当該地の下水道計画の流下能力を上回る全量の流出を抑制することを目標とした。福岡市の下水道計画量は 59mm/hr(福岡市道路下水道局 2019)、東京都の下水道計画量は 50mm/hr(東京都下水道局 2019)である。

対象降雨は、次に示す 2 つの降雨を対象とした。一つは、日本建築学会(2016)の基準に適合させることである。日本建築学会は、敷地における流出抑制対策を 100mm の豪雨に対応することとしている。この基準には降雨継続時間の概念が無いが、GI 施設の設計には時間概念が必要であるため 100mm の雨が 1 時間に集中する状況を想定した。基本的にはこの降雨を対象とする。

なお、家主など関係者との協議において、より降雨量が多い豪雨を対象としたい場合は、2 つ目の対象降雨として、2009 年 7 月 24 日の樋井川氾濫時に樋井川上流域の桧原観測点で観測された総降雨 198mm、最大降雨 106mm/hr の降雨イベント(図 3-2)とした。この降雨は樋井川整備計画の対象降雨となっている。

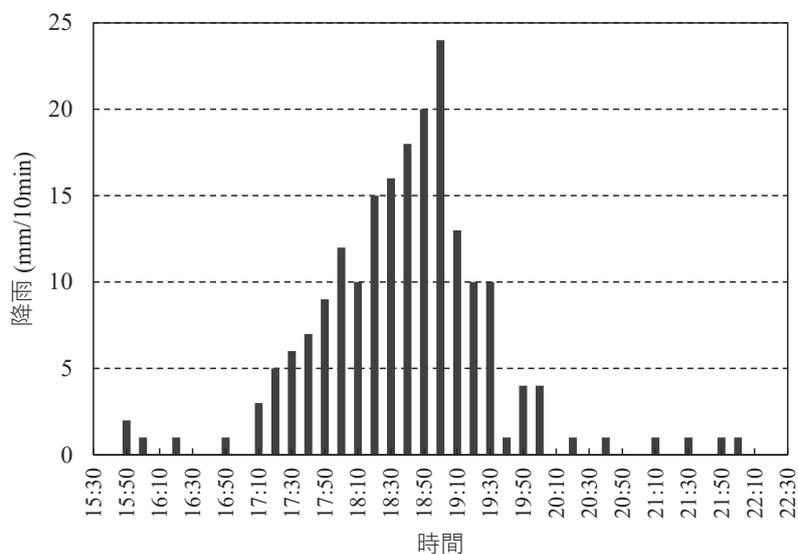


図 3-2 対象とする実豪雨 (2009 年 7 月 24 日観測)

② コスト目標

実装におけるコスト目標は、公共事業で行われている都市洪水対策の貯留施設の事業費単価および市販の雨水タンクの m^3 あたり単価を参考にした。

まず、都市洪水対策として実施されている、日本国内における貯留量 $10,000 \text{ m}^3$ 以上の 17 の大

規模地下貯水池の事業費と貯留量について、既往研究をもとに表 3-1 のように整理した(巖島ら 2016, 島谷ら 2020). 貯留量 1 m³あたりの単価は 10.0 万円～59.5 万円, 平均値は 25.3 万円/m³, 中央値は 20 万円/m³であった.

また, 市販の主要な家庭用雨水タンク費用は, 巖島ら(2016)によると凡そ 10 万円/m³とされている. これらより, 本研究では抑制量 1 m³に対して工事費 10 万円以下を目標とした.

なお, 都市洪水対策の貯留施設と小規模な民有地での流出抑制効果を直接的に比較することはできない. なぜならば, 前者は下水管などで集められた流出水を対象とし, 洪水流量が一定量以上を超えた場合貯留を開始し貯留量の上限まで効果を発揮する. 後者は, 流出の発生源を対象とし降雨開始時から流出抑制効果を発揮し, 貯留容量を超えた後も浸透機能により継続的に効果を発揮する. したがって, 同じ流出抑制ボリュームでも, 流出抑制効果としてどちらがより効果的かを単純に比較することはできないが, ここでは設計条件として単純に比較することとした.

表 3-1 大規模貯留施設の事業およびm³あたり単価

名称	事業者	貯留量(m ³)	事業費(億)	m ³ あたり単価 (万円/m ³)
神田川・環状七号線地下調節池	東京都	540,000	1,030	19.1
善福寺川調整池	東京都	35,000	35.1	10.0
大州雨水貯留池	広島市	15,300	45	29.4
御幸西調節池	大阪府	20,000	28	14.0
布施駅前調節池	大阪府	12,000	24	20.0
古川地下調節池	東京都	135,000	267	19.8
白子川地下調節池	東京都	212,000	328	15.5
中鴻池調節池	大阪府	20,100	57	28.4
首都圏外郭放水路	国土交通省	670,000	2,310	34.5
小机千若雨水幹線	横浜市	260,000	360	13.8
新羽末広幹線	横浜市	410,000	1,000	24.4
寺畑前川調節池	兵庫県	19,400	90	46.4
金岡雨水貯留施設	兵庫県	40,000	93	23.3
諏訪公園雨水調整池	四日市市	20,400	39	19.1
南砂雨水調整池	東京都	25,000	100	40.0
藤島調整池	小牧市	5,800	8	14.3
福岡市レインボープラン	福岡市	60,000	357	59.5

③ 所有者やコミュニティとの協働による実装

既存の手法にとらわれない自由なアイデアによって, より効果の高い開発となる可能性を考え, 家主や近隣住民など関係する人々と連携し, ワークショップを実施することを目標とした. さらに関係者の参加によって, 維持管理が継続的に実施されることを目標とした.

(3) 評価方法

評価はそれぞれの敷地に対して、流出抑制効果、コスト、地域との協働の 3 点が設計目標を達成したかどうかにより評価した。

流出抑制効果は以下の考え方により設計し、その設計結果が目標の流出抑制量の目標値を上回っているかにより評価を実施した。

流出抑制効果の設計において、地面の地下構造は基盤層とその上の土壌層あるいは砕石層の 2 層構造と仮定した。基盤層は福岡に関しては花崗岩、東京は関東ローム層でありそれぞれ土壌浸透能は 20 mm/h, 140 mm/h とし、基盤層からは常時浸透すると仮定した。土壌層および砕石層の貯留は間隙率を用い、その間隙に雨水が貯留すると仮定した。

基盤層への浸透能は小型のダブルリング法による測定値を用いた。外径 15cm, 内径 10cm の薄肉ステンレス管を用いた小型のダブルリングである。計測は、筒を土壌へ差し込み、外径と内径の両方に水を注ぎ、内径の水の浸透速度から浸透能を求める(図 3-3)。外径部には内径の水位とほぼ同じになるように水を注ぎ、内径の浸透水が垂直に浸透することを助ける。初めに 100mm 相当の水を注ぎ浸透させ、全量浸透するのにかかる時間を記録する。その後、100mm の豪雨後にも浸透可能な浸透高として、6 分間の浸透高を測定し、1 時間あたりの浸透高に換算したものを設計浸透能とした(図 3-4, 3-5)。最初の 100mm 分が 30 分経過しても浸透しきらなかった場合は、その後の 10 分間の水位変化から浸透能を算出する。

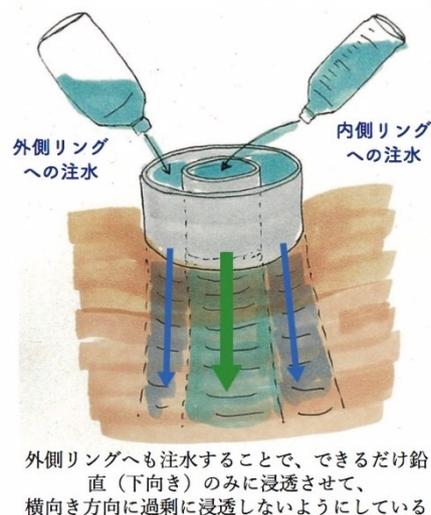


図 3-3 ダブルリングによる浸透能測定

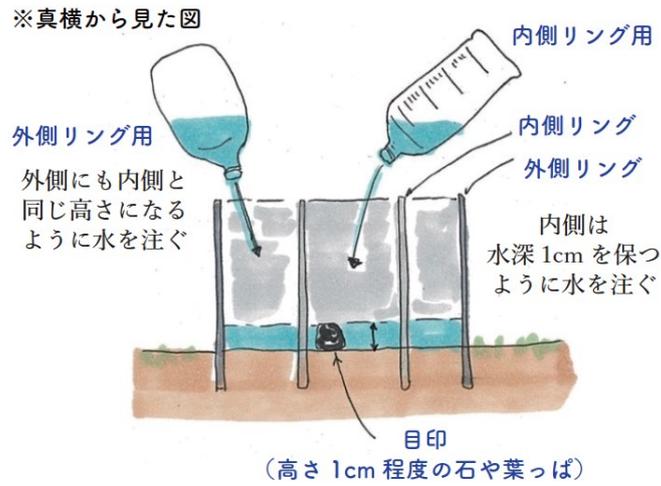


図 3-4 注水方法



図 3-5 注水時の様子

また土壌の間隙は直径 6cm の円筒型の容器を利用し、土壌を乱さないように表面から押し込む。筒の周辺を掘り、底面をスコップで抑えながら取り出し、その土塊の体積を計測した。次に上部から水をゆっくりと流し入れ、土塊表面に浸透されず水が溜まる直前の状態までに要した水の体積を測定した。コストは実装時にかかった実際の費用により評価した。協働の評価は参加観察により行った。

3.3. サイト A : カフェ店舗敷地

(1) 開発

対象敷地は、福岡市樋井川沿いのコミュニティカフェである。敷地面積 144 m²、建物屋根 36.4 m²の古いアパートの一部である(図 3-6)。実装前は、屋根に降る雨はほとんどが雨水桝から敷地外の雨水管へ流出していた。また、外構は、締め固められた裸地(図 3-7)、アスファルト、コンクリートで覆われており、雨水はほとんどが敷地外へ流出していた。



図 3-6 実装前の様子



図 3-7 実装前の駐車スペース (裸地)

カフェのオーナー、その友人ら、ランドスケープや土木、建築の専門家らが参加し、2018年3月から2019年4月までに6回のワークショップを実施し(図 3-8)、案を作成した。アイデアに対し、都度流出抑制効果を算出し、加えて施工業者へコスト確認を繰り返して案(図 3-9)を決定した。



図 3-8 話し合いの様子



図 3-9 決定したイメージ案

目標及び実施した流出抑制手法を以下に示す。

- 対象降雨は、1時間あたり100mmの降雨とする。
- 樋井川に隣接する立地特性を活かし、川を眺めるデッキを設置し、それを活用した開発とする。
- 裸地の土壌(図 3-10, 3-11)は硬化して雨水浸透がほとんど見込めなかった。そのため、深さ30cmを掘削して碎石層を設け、この間隙貯留と下部の基盤面への土壌浸透によって流出抑制を行こととした。2018年8月にメンバーで深さ30cmまで一部掘削し(図 3-12)、土壌中の状態を確認した。なお、碎石層の下部基盤面はほぼ水平であり、満水になるまで他へ流出しない。碎石層の上部は、半分をデッキで覆い、他方を駐車スペースとして利用する。
- 図 3-10 に示す通り、アスファルトを撤去し、在来種による浸透型植栽空間 G を設け、屋根(R1)に降る雨を流し入れる。植栽空間は隣の碎石層(S2)と側面で連続させ、緑地に貯留・浸透しきれない場合は碎石層に流れるように配慮する。

- 屋根(R1)に降る雨は鎖樋を使い、降雨時に水の流れを楽しむ工夫を行う。また、緑地の散水、緊急時の水の確保のため、840Lの利水用雨水貯留タンクを設置する。なお、この雨水貯留は流出抑制対策には含まない。

実装は、2019年2月に碎石層の工事を専門業者によって実施し(図3-13)、2018年6月から翌年7月までメンバーで協力してDIYによるデッキ製作、雨水タンクを設置した(図3-14)。2019年6月に雨庭への在来種の植栽を行った。2020年1月に樋と雨水樹を切断し、屋根に降る雨を雨庭へ流し入れるよう改良し(図3-15)、一通りの実装を完了した(図3-16)。

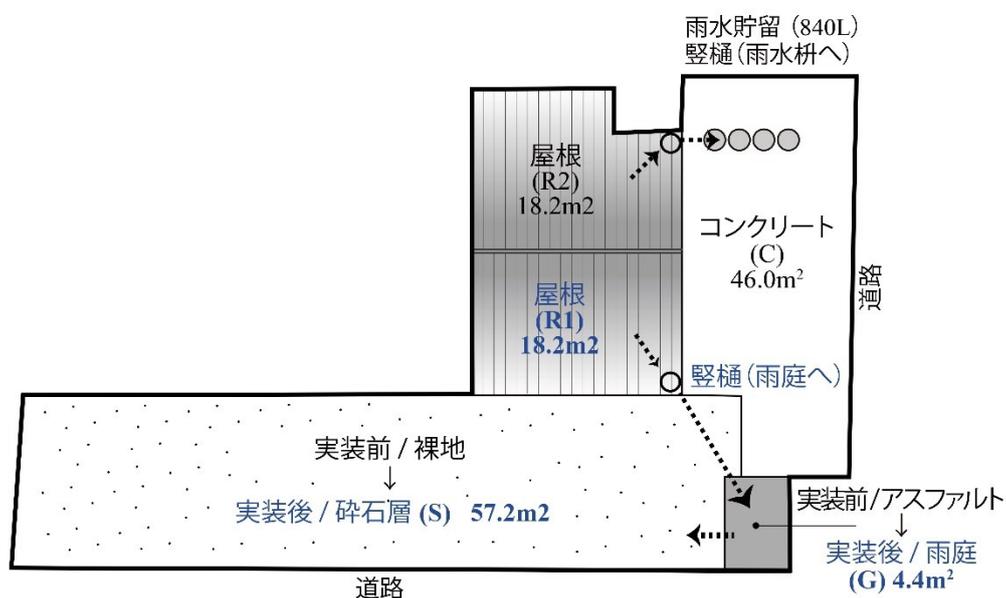


図3-10 実装後の平面図

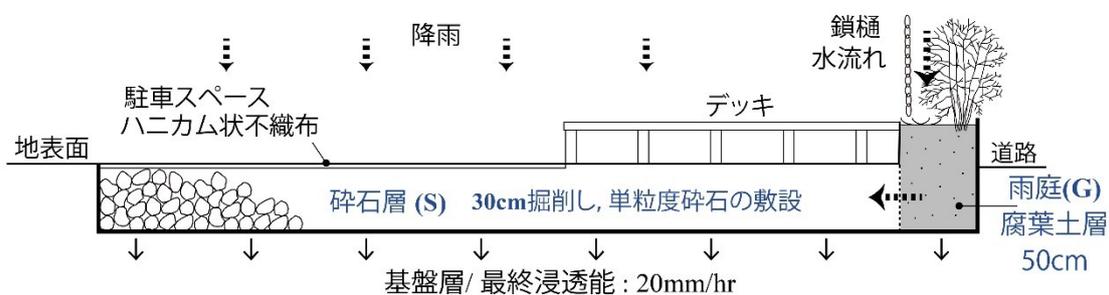


図3-11 実装後の断面図



図 3-12 裸地の土壌内部確認の様子



図 3-13 駐車スペース（裸地）の砕石層工事



図 3-14 ウッドデッキおよび雨水タンクの設置

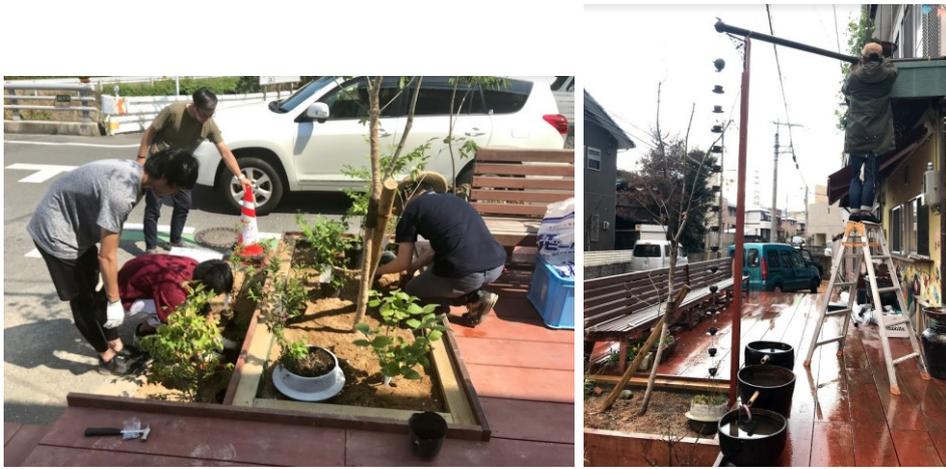


図 3-15 雨庭植栽および鎖樋設置



図 3-16 実装後の様子

(2) 流出抑制効果

実装前は、屋根への降雨は雨水桝へ排出され、コンクリートおよびアスファルト部分は道路側へ表面より流出していた。裸地(57.2 m²)の浸透能は表面が固く小型ダブルリングでの測定ができなかったため、飯田ら(2015)が示している運動グラウンドの最終浸透能を参考に、7mm/hrとした。

実装後の流出抑制効果の算定は、図 3-10、3-11 の砕石層(S)の間隙貯留と雨庭(G)の腐葉土層の間隙貯留、砕石層・雨庭の下部基盤層への土壌浸透をあわせたものとした。なお、下部基盤層の浸透能は、30cm 深の掘削後に計測し、得られた 20mm/hr の値を用いた。

敷地への降雨量は面積に対象降雨 100mm を乗じて、14.4 m³である。

実装前は、裸地の浸透(57.2 m²×7mm/hr=0.4 m³)を差し引き、敷地全体からの流出量は 14.0 m³と算出される。流出高さは 97mm/hr である。

実装後について述べる。砕石(S, 57.2 m²)での砕石間隙貯留量は単粒度砕石の間隙率 40%と層厚 30cm と面積を乗じて 6.86 m³である。雨庭(G)の腐葉土層の間隙貯留は、腐葉土層の間隙率を 40%とし、土壌深さ 50cm と面積を乗じて 0.88 m³である。砕石部分(S)と雨庭(G)の基盤面への浸透量は 1.23 m³である。間隙貯留と下部浸透面への浸透量を合計し、貯留浸透可能容量は 8.97 m³である。一方、集水面積は屋根 R1 と砕石層 S および雨庭(G)を合わせた 79.8 m²であり、100mm/hr 降雨時に発生する雨量は 7.98 m³である。これは、貯留・浸透可能容量を下回るため、すべてを処理することが可能である。

屋根 R2 及びコンクリート C (計 64.24 m²)の降雨(6.42 m³)は整備前と同様に敷地外へ流出する。

以上から、敷地全体での流出量は 6.42 m³、流出高さは 45mm/hr である。これは福岡市の下水道の流下能力 59mm/hr を下回り、目標を達成する実装となった。また、流出抑制量は流出量の前後差より 7.58 m³である。

なお、土壌の浸透能力は、降雨の連続や局所的な雨滴の影響によるクラスターが発生することで低下するとされている。しかし、今回は、表面が砕石で覆われており、その影響が排除されたこと、雨を面的に広く浸透させているため、一定の流出抑制効果を継続的に確保できると考えられる。

また、参考までに実豪雨の場合(総降雨 198mm)の実装前後の流出について算出を試みた。敷地への降雨量は面積に対象降雨 198mm を乗じて、28.5 m³である。

実装前は、裸地の浸透 7mm/hr とし、流出量は 26.7 m³と算出された。降雨が最大の時間にピークが現れ、時間最大流出高は 103mm/hr となる。

実装後については、10 分間降雨毎に基盤面に浸透させ、浸透しきらない量を砕石層および腐葉土の間隙に貯留するよう計算した。浸透および貯留量を上回る量を流出として積み上げて算出した。実装前後における流出高の変化を見ると(図 3-17)、全体的に流出が抑えられ、敷地からの総流出量は 16.4 m³まで抑制された。流出抑制量は 10.3 m³である。

10 分ごとの流出高では、19 時までには GI 対策を行った範囲からの流出がゼロに抑えられ、非浸透面からの流出のみであった。しかし、19 時を境に対策範囲からの流出が始まり、一気に流出が増加している。この時の時間最大流出高は 66mm/hr となり、下水道の流下能力 59mm/hr を上回

っていた。なお、これは碎石層の深さを5cm深く(計35cm)にすると時間最大流出高は58mm/hrとなり、目標を達成できる。

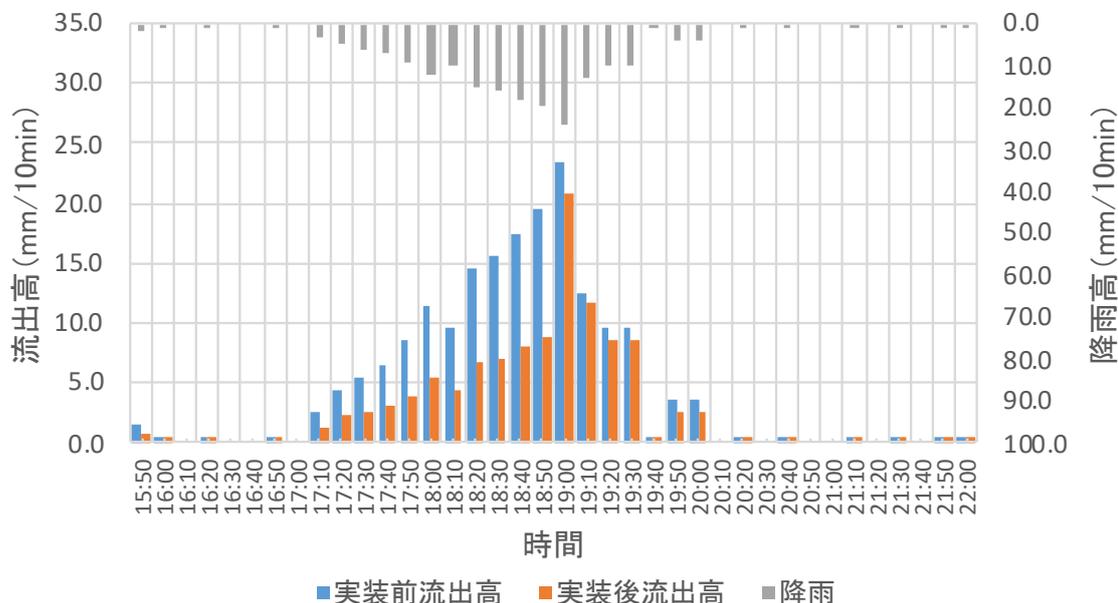


図 3-17 実豪雨（総降雨 198mm）の場合の降雨および流出高の変化

(3) 導入コスト

流出抑制のための碎石層および浸透型植栽空間の工事、材料費を含めた実装工事費は約 71 万円であった。土壌の掘削および碎石の搬入、敷設が主な内訳である。なお、植栽や雨樋の切断、鎖樋の設置はDIYで行った。

対象降雨 100mm/hr 時の 1 m³抑制あたりの単価は 9.4 万円/m³であった。目標である 10 万円/m³以下を達成した。

(4) 地域コミュニティへの影響

開発当初から実装まで約 2 年間、オーナーを中心として、カフェに関係のある方々、建築、土木、ランドスケープの専門家が継続的に参加した。実装では、その中の DIY が得意なメンバーを中心に実施し、人手を要する場合はインターネット等で告知し、興味がある人を募るという方法をとった。各実装の際は、事前にあまみず社会や実装の意義を説明して実施し、店舗内へも紹介ポスター(図 3-18)を設置した。実装中は、カフェの客も経過を見ることができたため、都度状況を説明する機会も度々あり、交流が行われた。

「上ナガオ“雨庭”テラス」つくってます！

樋井川3丁目の上ナガオテラスの外構部分を、雨庭テラスとして改修する取り組みを行っています。屋根に降る雨水をタンクに貯め、土に浸透させ、できる限り川へ流れ出てしまう量を減らします。

洪水を防ぐ

降った雨はすぐに川に流さず、敷地内でとどめる工夫をしたい。

緊急時に備える

タンクに貯めて、災害時、湧水時に使えるようにしたい。

四季を感じる

雨水を利用して緑を増やし、多様な植物を育てたい。

雨と人がつながる

雨を貯め、活用して、雨を身近に感じられる場所にしたい。

地域の拠点になる

まちや川、雨を感じながら皆が集まれる場所にしたい。

知恵と工夫で

できることはDIYで！皆で力を合わせて大切に作りたい。



図 3-18 店内に設置したポスター

基本的な維持管理は、カフェスタッフによる日常的な水やり、枯葉掃除であるが、ワークショップ時から参加したメンバーが中心となり、剪定・除草作業を実施した(図 3-19)。また、ワークショップや実装に参加した人の中には、敷地内に自分で水甕を利用した水の流れ(図 3-20)をつくり、植物を追加、手入れする人も現れた。

実装後は、樋井川流域のあまみず社会や、GI に取り組む市民の話し合いや環境学習の拠点となっており、樋井川流域で分散型水管理を進める市民プラットフォームである「ミズベリング樋井川」の定例会が度々実施されている。実装をきっかけとし、オーナーのあまみず社会や GI への理解や関心が高まったことから、2019 年に自宅倉庫の屋根に屋上緑化を導入した。また、所有する集合住宅駐車場へ雨庭の導入検討を進めている。その際にも、実装を通じて経験を共にしたメンバーに相談しながら実施しており、他の場所に活動が展開されている様子が確認された。実装を通じ、流出抑制や環境形成への理解が深まり、新たなコミュニティの関係性が形成されている様子が確認された。



図 3-19 剪定・除草作業



図 3-20 実装後に作られた水流れ

3.4. サイト B : 個人住宅敷地

(1) 開発

2か所目の個人住宅は、福岡市樋井川流域の敷地面積 249 m²、屋根面積 150 m²の2階建て戸建住宅である。実装前は屋根に降る雨水はすべて雨水桝から敷地外の雨水管へ流出していた。また、外構は駐車場がコンクリートで被覆されていたが、それ以外は庭などの浸透面であった(図 3-21)。開発した GI は、敷地南側に 82 m²の雨庭を整備して屋根に降る雨水を受け入れ、合わせて水甕などを利用した雨水貯留を行った。

実装にあたっては、建築士の家主と、その友人ら、河川工学の研究者ら、土木、造園の専門家などでワークショップを行った。その中では、雨水と緑を融合する日本庭園の造園技術を採用した GI のアイデアが出された。また、緊急時のための利水容量の確保など、地域の交流拠点としての機能を持たせることとした。ワークショップで出されたアイデアに対して、都度、流出抑制効果を算出しフィードバックさせ、並行してコストを確認しながら案を決定した(図 3-22, 図 3-23)。

家主は 2009 年の樋井川氾濫や、過去の渇水の経験から、雨水活用や個々人の流出抑制対策の重要性を認識しており、雨水や緑と上手に付き合う方法を紹介する場所を基本コンセプトとした。また、近隣住民の高齢化や独居化の進行に伴い、地域コミュニティの再構築の必要性を感じており、拠点としての利用を想定した。

ワークショップは 2015 年より実施し、実装は 2016 年 12 月から翌年 2 月に実施した。樋の切断や貯留槽の連結などの配管工事、ウッドデッキ等の大工工事、石組みなどの造園工事など大枠の工事は専門業者へ委託し、その他、庭の植栽植え込み、細かな庭づくりなどは近隣・流域住民、緑の活動を行う団体、合わせて子ども、大学生など多世代の協力により主に DIY にて実施した(図 3-24)。



図 3-21 実装前の様子

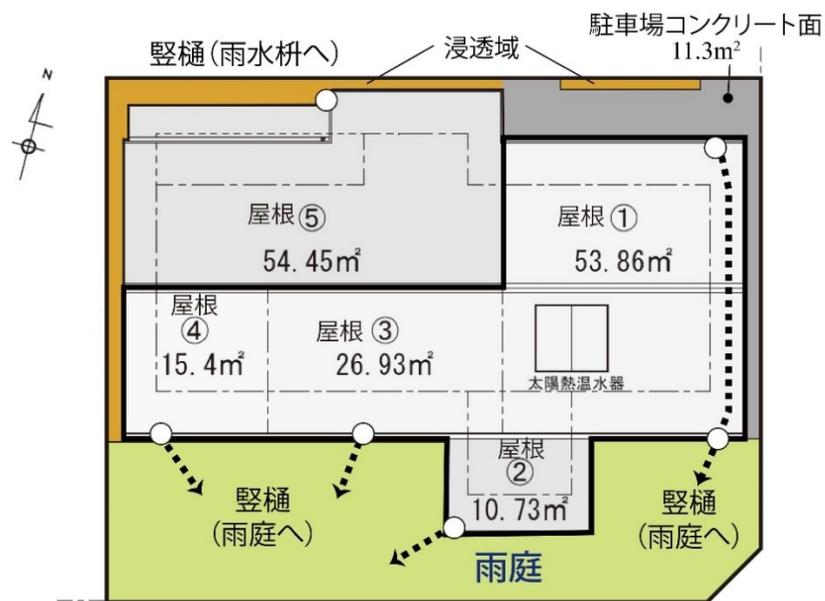


図 3-22 実装後の屋根平面図

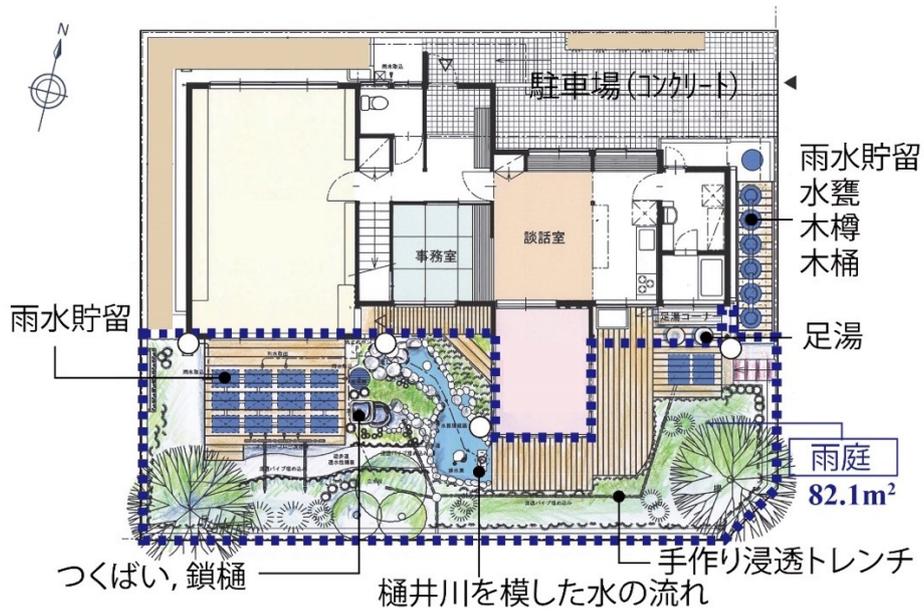


図 3-23 実装後の平面図



図 3-24 実装の様子

目標及び実施した流出抑制手法を以下に示す。

- 家主があまみず社会への理解が深く、実際に経験した 2009 年水害時の降雨への対応を希望したため、対象降雨は総降雨 198mm の実豪雨とする。
- 屋根から雨水枡へ接続する樋は、切断して貯水する。雨水貯留には、陶器の甕や木製の樽、桶など昔から日本で水の貯留に利用されているものをシボリック的に採用する(図 3-25)。その他、ホームセンターで安価に入手できる収納ボックスやたらいなど簡便な容器を組み合わせ貯留槽とし、計 5.5 m³を貯留する。収納ボックスやたらいは、ウッドデッキで覆い、居室の窓の高さをそろえ、建物内部と一体的に利用できるようにする。なお、この雨水貯留は流出抑制対策には含めない。
- 貯留した雨水は、庭への散水や掃除用、緊急用水として利用できるようにする。
- 豪雨時に貯留容器からオーバーフローした場合はメッシュパイプなどを用い雨庭の土壤内に直接浸透させる。浸透できない場合は、雨庭内の排水ますより雨水管へと流出する(図 3-26)。
- 鎖樋やつくばい、水流れなど、水を楽しむ日本の庭づくりの伝統的な手法を取り入れる(図 3-27)。
- 屋根に設置した太陽光温水器に貯水した水をポンプアップし、温めた水を足湯として利用する(図 3-28)。



図 3-25 水甕を利用した雨水貯留



(上段：メッシュパイプを利用，下段：塩ビ管に穴を開ける，砕石を周りに敷く)

図 3-26 手作り浸透トレンチ



図 3-27 つくばい，鎖樋，樽などを利用

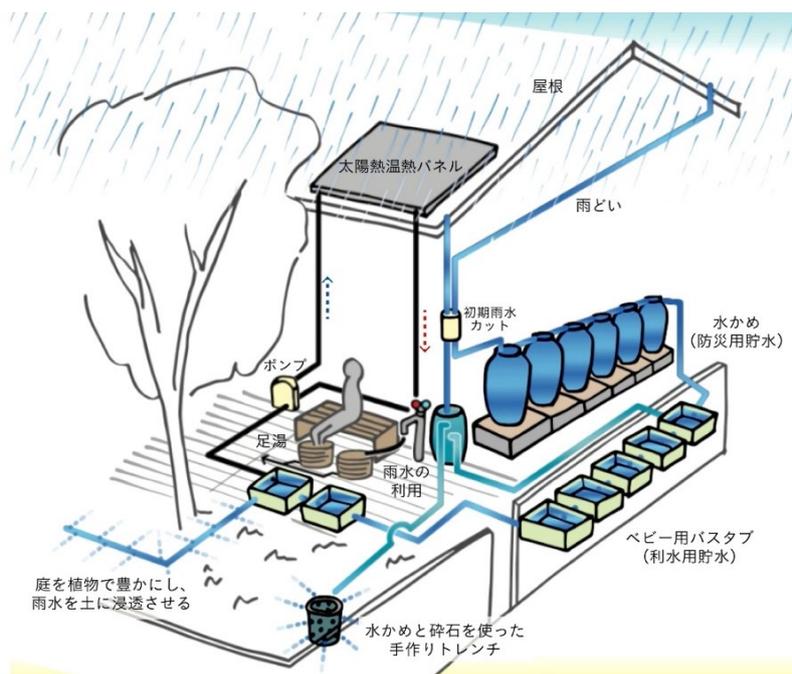


図 3-28 足湯を含めた水の流れ

(2) 流出抑制効果

庭の土層を検土杖によって確認したところ、約70cmの良好な腐葉土層とその下の花崗岩の基盤層より構成されていることを確認した。また、土壌間隙試験は2017年11月の曇りの時に実施した。測定3時間前に0.5mm程度の降雨があった。測定は敷地内3か所で行い、平均は48%であった。この結果を参考に、設計には腐葉土層の間隙率を40%とし、腐葉土層の深さ70cmの40%分(280mm分)を土壌の間隙貯留として計算した。

なお、下部基盤層の浸透能は、直接の観測は困難であり、近隣のサイトAと同様の地質帯であることからサイトAで計測した値20mm/hrを利用した。

敷地への降雨量は面積に対象降雨 198mm を乗じて、 49.3 m^3 である。

実装前は、敷地内の浸透面に直接降る雨は、腐葉土層の間隙貯留を下回るため、すべて浸透可能である。よって、敷地全体からの流出量は非浸透域面積(図3-22, 全屋根・駐車場コンクリート部 170.94 m^2)に降雨量を乗じて 33.85 m^3 である。総流出高は136mmであり、時間最大流出高は73mm/hrである。

実装では屋根1,2,3,4に降る雨を 82.1 m^2 の雨庭に流し入れる。集水面積は 171.7 m^2 である。10分間降雨毎に、基盤面に浸透させ、浸透しきれない量を腐葉土層の間隙に貯留するよう計算した。浸透および貯留量を上回る量を流出として積み上げて算出した。その結果、 4.4 m^3 が流出すると算定された。

一方、屋根5と駐車場(面積 64.02 m^2)は整備前と同様に流出し、敷地全体での総流出量は 17.08 m^3 である。

以上より、総流出高は69mmであり、時間最大流出高は36.0mm/hrと算定された。これは、福岡市の下水道許容量59mm/hrを下回り、目標を達成した。流出抑制量は16.77m³である。

10分ごとの流出高を見ると(図3-29)、降雨ピーク後の19時20分までは雨庭からの流出がゼロに抑えられ、屋根やコンクリート等、非浸透からの流出のみであった。しかし、19時20分より雨庭からの流出が始まり、流出高が増加した。流出のピークは降雨ピークより20分遅れることとなった。

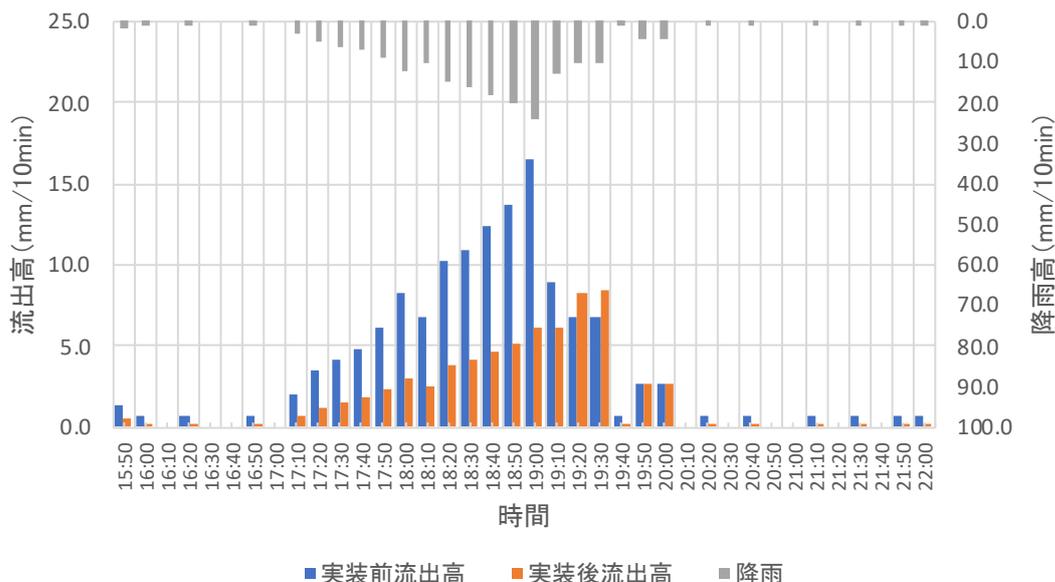


図3-29 実豪雨（総降雨198mm）の場合の降雨および流出高の変化

また、参考までに対象降雨が100mm/hrの場合の流出抑制効果の算定を行った。敷地への降雨量は面積に対象降雨を乗じて、24.9m³である。

実装前は、敷地内の浸透面に直接降る雨は、腐葉土層の間隙貯留を下回るため、すべて浸透可能である。よって、敷地全体からの流出量は非浸透域面積(全屋根・駐車場コンクリート部170.94m²)に降雨量を乗じて17.1m³である。流出高は69mm/hrとなる。

実装では、屋根1,2,3,4に降る雨を82.1m²の雨庭に流し入れる。集水面積は171.7m²である。雨庭へ流入する降雨量は17.2m³である。

基盤面への浸透可能量は雨庭面積に浸透能20mm/hrを乗じて1.64m³、腐葉土層への貯留可能量は280mmに面積を乗じて23.0m³である。雨庭の浸透貯留可能量は、合わせて24.6m³である。降雨量を上回るため、すべてを処理することができる。

一方、屋根5と駐車場(面積64.02m²)は整備前と同様に流出し、敷地全体での総流出量は6.4m³となる。時間最大流出高は26mm/hrとなる。これは福岡市の下水道の流下能力59mm/hrを下回る。なお、流出抑制量は10.7m³である。

(3) 導入コスト

工事および材料費を含めた実装工事費は約163万円であった。流出抑制1m³あたりの工事費は9.7万円/m³である。建築の樋の改変、貯水施設やオーバーフローの配管整備、電気配線、ウッドデッキなどの大工工事が主な内訳である。専門業者が必要である配管、大工、電気工事等以外の植栽や浸透トレンチ等はDIYにより実施した。

(4) 地域コミュニティへの影響

実装後にはあまみず社会の実装事例として開放した。2017年6月から「雨と緑のおつきあい・あめにわ塾」を開始し、開所1周年までの1年間で8回実施し、毎回10～20名程度の参加があった。来場者は流域内外から高齢者、子育て世代、小学生、未就学児と多様であり、また、国内外から視察団が度々訪れた。2018年3月末までの約1年間で来場者数は700名を超えた。

拠点運営は、当初、家主を中心とした研究会が担っていたが、イベントを積み重ねる中で、地域住民、特に近隣に住む高齢の女性らが、主催者側の立場に立つ、積極的な参加がみられるようになった。開所当初、近隣の高齢女性らは補助的な手伝いのみの参加であったが、開所1年後の2018年3月に開催された雨庭や花見を楽しむイベント「あめにわ塾・春ボタル」において、企画、イベント準備、参加者の食事づくりを主体的に行った(図 3-30)。さらに、来所者の駐車スペースとして自宅の駐車場を提供するもの、また家主の不在時に来訪者対応を行うものが登場し、チームとして連携する様子がみられた。イベント準備や団体視察の受け入れに際し、対応を話し合うためにセンターに集まるなど、地域の拠点として機能している様子も確認された。

実装時のDIYに参加したメンバーの中には、日常的な掃除や、軽微な改変に協力する人もみられた。実装時や掃除などの際に参加した住民の一人は、私有地での流出抑制の必要性や、GIによって魅力的に敷地を改変できるという可能性を感じ、自身の所有するマンションの駐車場の一部を雨水が浸透できるように改変した。また、別の住民は雨庭の実装を楽しみ、別の場所に自分で製作した。

2019年に家主が一時体調を崩した。そのため、これまで共に活動してきたメンバーが除草作業などのサポートを行っている。しかし、プライベートな空間であることや、家主が活動の中心であったため、活動の低迷が新たな課題となっている。



図 3-30 2018 年 3 月イベント時の様子

(5) 来訪者の評価

実装への評価検証のため、実装後にアンケート調査を行った。アンケート調査の対象者は当施設への来訪者とし、建物内の談話室に質問事項を記載した紙面を常設しておき、任意で回答して頂き、設置した箱に投函してもらった。期間は実装完了後の 2017 年 6 月から 11 月とし、計 54 件の回答が得られた。アンケート用紙に記載した質問事項は、図 3-31 に示す通りである。調査は、あまみず社会の概念および実装の内容について説明した上で実施した。

アンケート調査結果を示す。回答者の年代は 40 代～50 代が 61%と最も多く、その他は、60 代から 70 代、20 代から 30 代、大学生がおよそ同程度の回答数であった。

問 1: 「あまみず社会」、「雨庭」という言葉を聞いたことがありましたか？

(選択式)

問 2: 「あまみず」を貯めることは“洪水を防ぐこと”、“水を活用すること”、“環境のため”、“緊急の時”役立つと思いませんか？(選択式)

問 3: 「雨庭」は魅力的でしたか？

また、魅力的と思ったものに○をしてください。(選択式・複数可)

問 4: 「雨庭」を自分の家でもやってみたいですか？(選択式)

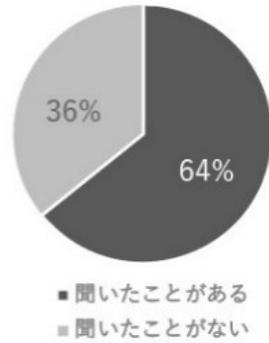
図 3-31 アンケート用紙に記載した質問事項

回答結果を図 3-32 に示す。問 1 の「あまみず社会」という言葉を聞いたことがある回答者は 64%であり、同じく「雨庭」については 73%が聞いたことがあると答えていた。問 2 のあまみずを貯めるこ

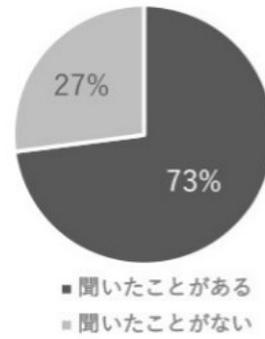
とは洪水防止, 利水, 環境, 緊急時に役立つかという問いに対してはほぼすべての回答で「思う」と答えていた。

問 3 の雨庭は魅力的かとの問いに対し, 89%が魅力的であると答えた。魅力的な要素技術についてみると, 特に「庭の植栽や鉢植え」, 「甕による貯水」, 「土壌への浸透」という雨庭の景観を構成する要素の評価が高い。一方, 土中の浸透簡易トレンチや, デッキで覆い貯水に利用したペーパーバスなど, 既製品を利用した技術は評価が低い。現在の個人住宅等における主要な雨水貯留浸透技術は, 雨水浸透ますや浸透トレンチなど, 装置的で土中に埋設されるものが主であり, これらはなかなか普及しない。あまみずを貯めるだけでなく, 伝統的な水の使い方を背景とし, 庭づくりや住環境・景観の向上を併せ持った要素技術が, 来訪者には魅力的に映ったようだ。

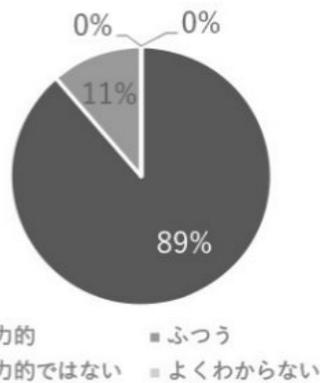
問1：「あまみず社会」という言葉を聞いたことがありましたか？



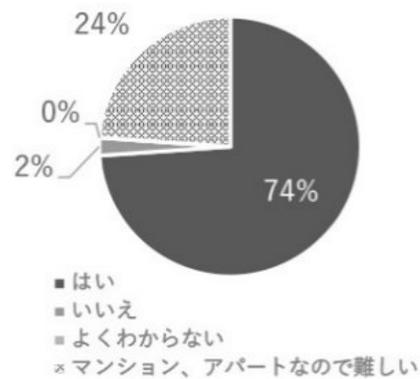
問1：「雨庭」という言葉を聞いたことがありましたか？



問3：「雨庭」は魅力的でしたか？



問4：「雨庭」を自分の家でもやってみたいですか？



問3：魅力的だと思ったものに○をしてください（複数可）

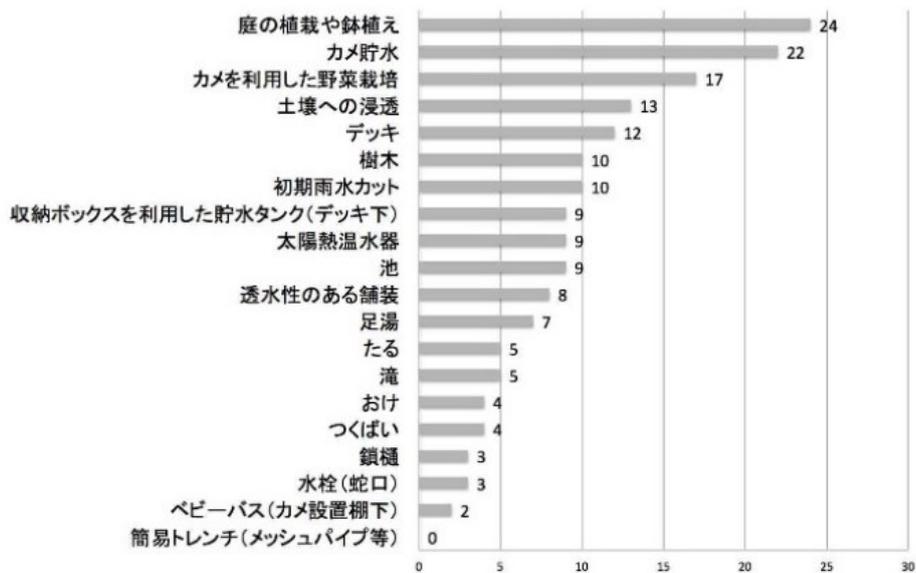


図 3-32 アンケートの結果

3.5. サイト C：個人住宅敷地

(1) 開発

対象とした戸建住宅は、東京都善福寺川流域の敷地面積100㎡、建物屋根面積が46㎡である。実装前は浸透面が34.5㎡、コンクリート駐車場などの非浸透面が20㎡であった。善福寺川の活動に取り組む家主が、サイト Bの事例を見学し、自身でも水循環の健全化を進めようと家族と相談して「Blue in Greenプロジェクト」として計画を始めた(図3-33)。水と緑を増やし、雨水の利用、浸透を促すことを目標に、子どもと共にアイデアを出し、模型を製作した。その後、建築士や土木・造園の専門家らを立てて構想を立て、実装を行った。

計画時には善福寺川の活動グループのメンバーとの意見交換(図3-34)、土木の専門家による流出抑制効果算定を並行して実施し、計画案を決定した。また、地中には水道やガス管などのライフラインがあったため、埋設物調査を行い、造園業者と施工方法について確認した。実装工事は2019年2月に行った。

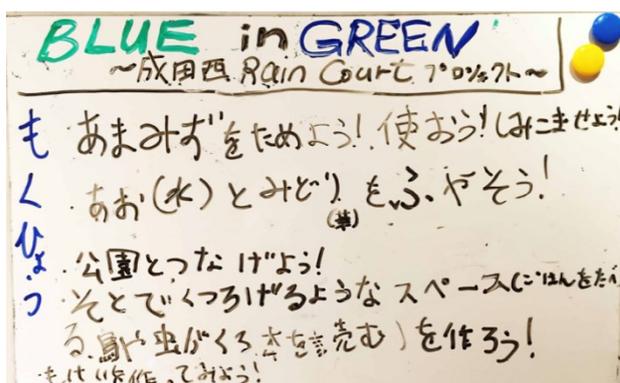


図 3-33 プロジェクトのコンセプト



図 3-34 意見交換の様子

目標及び実施した流出抑制手法を以下に示す(図 3-35)。

- 対象降雨は、1時間あたり100mmの降雨とする。
- 当該地域の土壌は浸透能力が高い関東ロームが主であるため、土壌への積極的な浸透による流出抑制が期待された。
- 屋根 1,2 に降る雨水を集水する樋と雨水排水管の連結を開放し、雨水タンクを経てオーバーフロー分を敷地内の雨庭等で浸透させる。コンクリートで覆われた非浸透面は可能な限り浸透可能に改変する。
- 屋根からの雨が土壌へ広く行き渡るように、樋からつながる砕石の路をつくる(図 3-36)。周囲は土壌改良と芝張りをし、土壌表面の硬化を防止する。また、植物を植え込み、建物へのアプローチとしての魅力を向上させる。

- 流出抑制効果の向上には、駐車場コンクリートの改変が不可欠であったが、全面撤去は費用が莫大にかかるため、一部の改変が現実的であった。端部を帯状に撤去し(図 3-37, 3-38), その他の場所には直径 10cm の穴を 40 か所あけ(図 3-39), 中に単粒度砕石を充填した。
- 植栽への散水, 緊急時の水の確保のため, 500L の雨水貯留用タンクを設置した。なお, 雨水貯留は流出抑制対策には含めない。

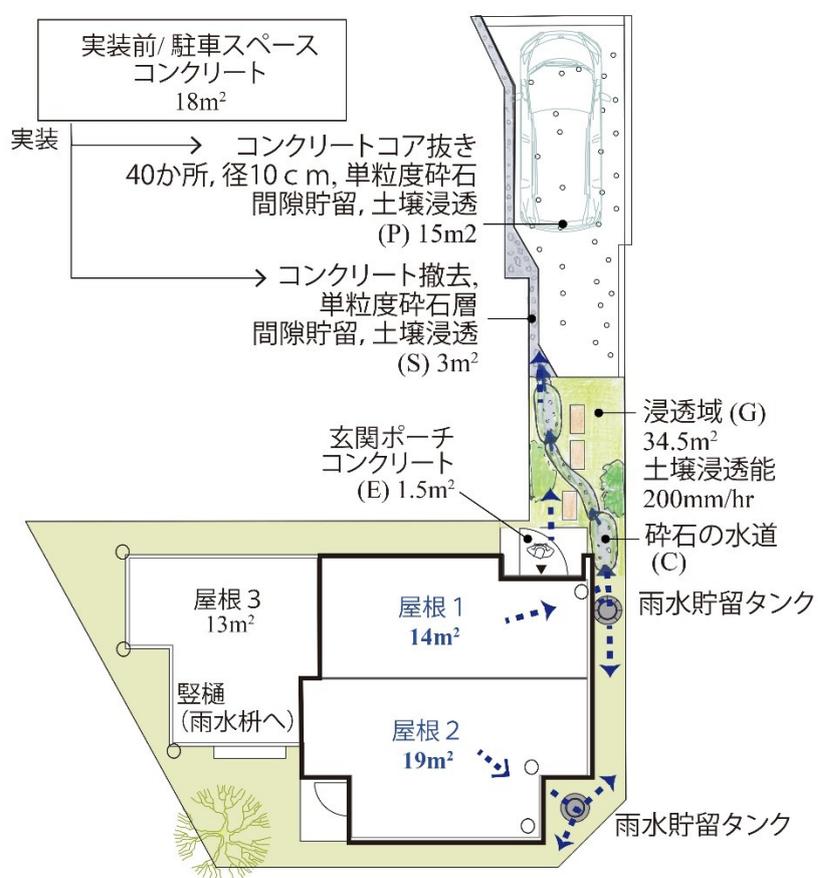


図 3-35 実装後の平面図



図 3-36 浸透域の改変 (左) 実装前, (右) 実装後, 水の流れ

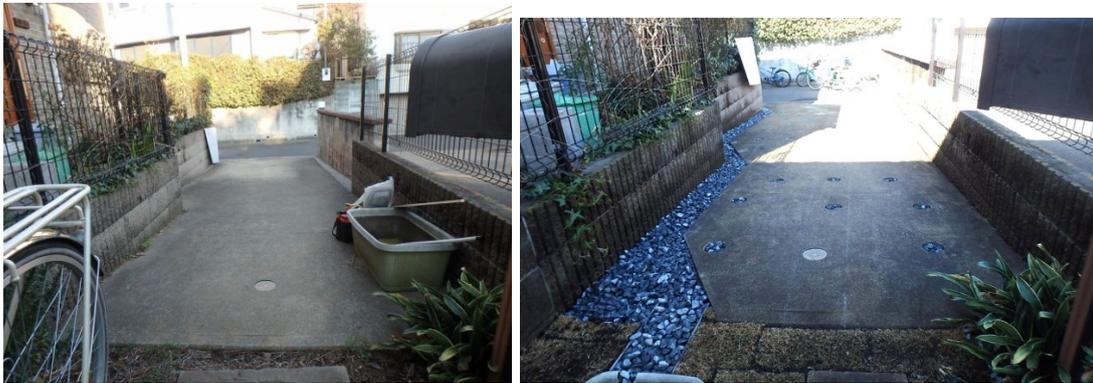


図 3-37 駐車スペースの改変 (左) 実装前, (右) 実装後

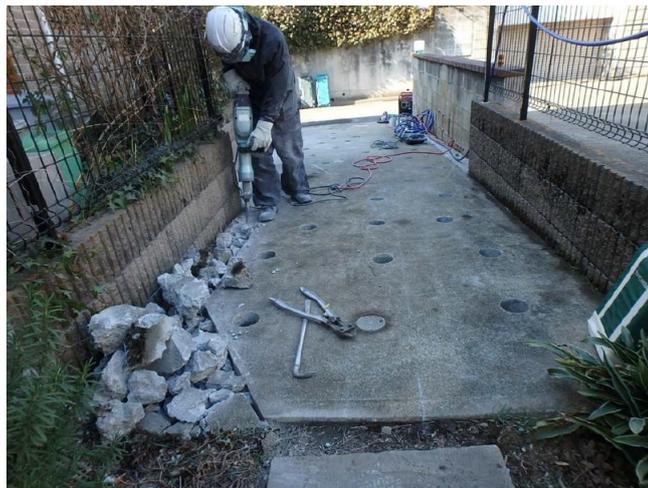


図 3-38 駐車スペースの改変, コンクリート撤去時の様子



図 3-39 駐車スペースのコア抜きの様子

(2) 流出抑制効果

東京都(東京都総合治水対策協議会 2009)は、関東ロームの土壌浸透能は140mm/hrとしている。実装前は対象降雨100mm/hrに対し、浸透面(34.5 m^2)はすべて浸透が可能であるため、非浸透面(屋根および駐車スペース)の面積65.5 m^2 に対象降雨を乗じて敷地全体の流出量は6.6 m^3 、流出高さは66mm/hrである。

実装(図3-37)では、屋根1・2、玄関ポーチ(E)に降る雨を、緑化した外構や雨庭などの浸透域(G)へ少しずつ浸透させながら、駐車場脇の砕石層(S)まで流す。この範囲の集水面積は72 m^2 であり、対象降雨100mm/hrの場合、発生降量は7.2 m^3 となる。

貯留浸透可能量は浸透域(G)、砕石層(S)で分けて算出した。

実装後の流出抑制効果は、雨庭などの土壌への浸透量と、砕石の間隙貯留によって算出した。なお、浸透面の土壌の浸透能は、植栽植え込みによって浸透能力を向上させるため200mm/hrとして計算した。

浸透域(G)の土壌浸透量は、6.9 m^3 /hrである。砕石水路の間隙貯留0.06 m^3 貯留と合わせて浸透域(G)の浸透貯留可能量は6.96 m^3 である。

砕石層(S)は、砕石下の土壌浸透は0.12 m^3 /hr、間隙貯留は深さ10cm、間隙率40%より0.42 m^3 である。砕石層(S)の浸透貯留可能量は合わせて0.54 m^3 となる。浸透域(G)と砕石層(S)の浸透貯留可能量は計7.5 m^3 であり、すべて処理することが可能である。

次に駐車場(P)15 m^2 について、対象降雨100mm/hrの場合、発生量は1.5 m^3 である。実装では、径10cm、深さ10cmのコンクリートコアを40個掘り、中に砕石を充填した。1個当たりの下部土壌への浸透量は0.001 m^3 /hr、貯留量は0.0003 m^3 となり、40個では浸透貯留可能量は計0.056 m^3 である。駐車場(P)からの流出は1.44 m^3 となる。

屋根3への降雨量1.3 m^3 は変わらず敷地外へ流出するため、敷地全体での総流出量は2.74 m^3 となる。以上より、敷地全体での流出高は27mm/hrまで低減する。これは東京都の下水道許容量50mm/hrを下回り、目標を達成した。流出抑制量は3.86 m^3 である。

また、参考までに実豪雨(総降雨 198mm)の場合の実装前後の流出について算出を試みた。敷

地への降雨量は面積に対象降雨 198mm を乗じて、19.8 m³である。

実装前は浸透面(土壌浸透能 140mm/hr)への降雨はすべて浸透し、建物屋根および駐車場に降る降雨はすべて流出するとした。総流出量は 13.0 m³となり、最大流出高は 70mm/hr と算出された。

実装後は、屋根 1・2、ポーチ(P)に降る雨を、緑化した外構や雨庭などの浸透域(G)へ少しずつ浸透させながら、駐車場脇の碎石層(S)まで流す一連の流れと、駐車場への降雨と分けて算出した。

前者は、10 分降雨ごとに、雨庭(G)および碎石層(S)下部への土壌へ浸透させ(浸透能 200mm/hr)、浸透しきらない量を碎石層の隙間に貯留するよう計算した。浸透および貯留量を上回る量を流出として積み上げて算出した。その結果、19 時 00 分から 19 時 10 分までの 10 分間のみ流出が発生し、その量は 0.35 m³であった。

次に、後者の駐車場に関しては、穴の下部土壌へ浸透させ、浸透しきらない量を碎石部分へ間隙貯留するよう計算した。駐車場 15 m²への降雨量は 3.0 m³であり、そのうち 2.6 m³が流出すると算出された。

屋根 3 への降雨 2.6 m³は実装後も流出する。以上より、敷地での総流出量は 5.5 m³となった。時間最大流出高は 33mm/hr となり、東京都の下水道許容量 50mm/hr を下回った。

10 分ごとの流出高を見ると(図 3-40)、全体的に流出を抑えられているが、雨庭からの流出が発生した 19 時 00 分に一時的に流出高が増加した。

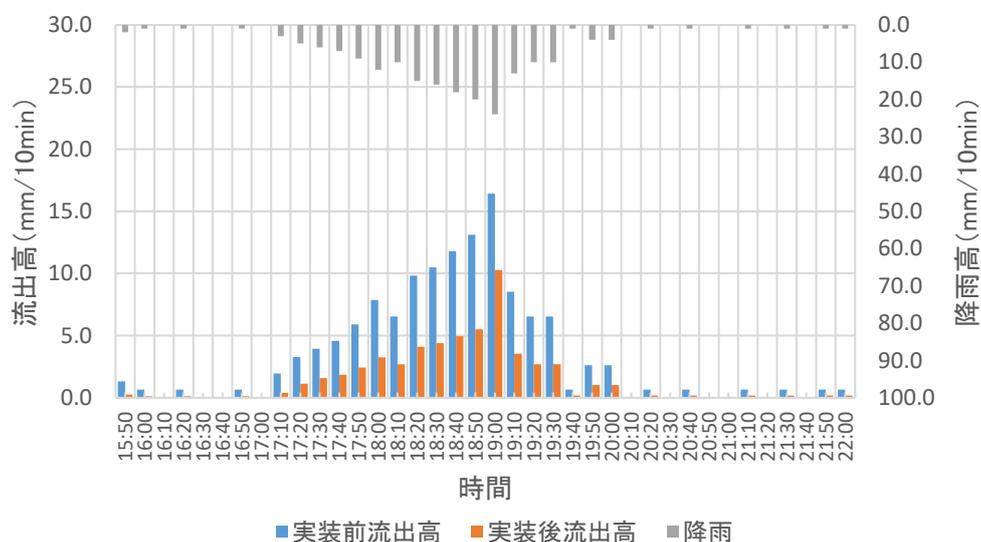


図 3-40 実豪雨(総降雨 198mm)の場合の降雨および流出高の変化

(3) 導入コスト

主要な実装工事に関わる材料費を含めた実装工事費は約80万円であった。流出抑制量1㎡あたり20.7万円/㎡であり、目標よりも高価となった。

内訳では、コンクリート掘削と撤去が総額の48%を占めており、非浸透面の改変に多くの費用を要した。

(4) 地域コミュニティへの影響

計画や実装のワークショップには子どもを含めた家主家族、善福寺川の活動グループメンバーが参加し、GIや流出抑制について理解が深まった。家主はこのGI導入を経験したことにより、近隣小学校など他の場所への導入を働きかけるなど、周辺へ活動が広がる様子が見られた。また、善福寺川上流域では、住民グループによって面的なGI計画が進められている。この実装が雨庭を含めた民有地への実践例であるため、雨庭を含めたGIの実現へ向けた行政や市民への働きかけが行われている。また、流域内のカフェで雨水タンクの設置が実現された。

事例が少ないGIの施工のため、造園業者は実装当初、不安の様子であったが、GIや流出抑制の意義について説明を行ない、協議を複数回実施した。その中で、前述したコンクリート駐車場下の水道管やガス管の埋設物調査を行ってリスクを低減させる策が業者から提案されて実現した。

3.6. 考察

(1) 流出抑制効果と導入コスト

どの敷地においても、GIの導入によって最大流出高は大きく減少し、各敷地で設定した対象降雨に対して、下水道計画の流下能力を上回る量を抑制するという目標を達成した。

特に、サイトAは広範囲での面的な改変を行ったことから最大流出高は52mm/hrもの減少であった。サイトBおよびCにおいても35mm以上の抑制となっており、大幅に減少した。

導入コストは福岡で行った2例(サイトA・B)は、1m³抑制10万円以下という目標を達成したものの、東京の1例(サイトC)は目標の2倍のコストがかかっており達成できなかった。ここではコンクリートの撤去等の改変が発生しており、導入コストの約5割がこのための費用であった。今回実装したGI手法は、現地の土壌特性を把握した上で、樋と雨水桝の連結を切り、屋根や敷地に降る雨水を庭の土壌や碎石へ流し入れることを基本としている。福岡の戸建住宅(サイトB)は、以前より浸透力が高い土壌をそのまま利用しており、浸透トレンチ等によって庭の隅々まで雨水を行き渡らせることを検討した実装であった。一方、他の2例はコンクリートの撤去や締め固められた土壌の改良のための費用が高くなる傾向にあった。また、敷地が狭い東京の住宅(サイトC)では、敷地面積あたりの費用が割高となった。

都市は既に非浸透面が多いため、導入にはコストが高くなることが想定されるが、今回のように流出抑制効果とコストのバランスを鑑みながら、各敷地において最も効果的な案を検討するプロセスが求められることがわかった。

また、比較のために各対象地において、2種類の対象降雨である100mm/hr降雨と樋井川2009年水害時の実豪雨(総降雨198mm)で算出される推定流出抑制効果及びコストを表3-2に示す。なお、流出率は敷地全体への降雨量に対する流出量の割合を示す。

表 3-2 流出抑制効果とコスト比較

対象サイト	実装内容	コスト	流出抑制量(m ³)及び対象降雨100mm/hr時の流出率変化	流出抑制1m ³ あたりの単価	流出抑制量(m ³)及び実豪雨(総降雨198mm)時の流出率変化	流出抑制1m ³ あたりの単価
A カフェ店舗(福岡)	碎石層・雨庭・透水性駐車スペース等	71万円	7.6 m ³ 0.97→0.45	9.4 万円	10.3 m ³ 0.94→0.58	6.9 万円
B:個人住宅(福岡)	雨庭, 造園, 手作り浸透トレンチ等	163万円	10.7 m ³ 0.69→0.26	15.2 万円	16.8 m ³ 0.69→0.35	9.7 万円
C:個人住宅(東京)	コンクリート撤去・コア抜き, 碎石層等	80万円	3.9 m ³ 0.66→0.27	20.5 万円	7.2 m ³ 0.66→0.28	11.1 万円

対象降雨に対する流出率やコストの割合は異なるが、降雨量が大きい樋井川水害時を対象降雨とした方が流出抑制量は大きい傾向にある。それに伴い、抑制量1m³あたりのコストも安くなっている。

都市への流出抑制対策としての導入には、流域での対象降雨の設定を含めた流出抑制目標をどう設定するのが課題である。合わせて、民有地での実装への費用への助成など、総合的な制度が実現や普及には必要である。

(2) 魅力的な要素技術の開発

来訪者へ行ったアンケート調査を通じ、庭の植栽や土壌への浸透、鎖樋、水甕や桶、水流れなど水を扱う方法など、日本の伝統的な水の使い方を背景とし、庭づくりや住環境・景観の向上を伴った要素技術が、来訪者には魅力的に映っていることが明らかとなった。

従来の雨水貯留浸透の要素技術には、既製品の雨水タンクや雨水浸透ますといったものがある。また、流出抑制手法という大規模な貯留施設等の単純で確実なアイデアが導入されがちである。しかし、その場に応じた、多世代との協働による発想によって開発された独自の雨水貯留浸透技術は治水・利水機能だけでなく、環境面、防災面、また人々の活動など、多面的な価値を持ち合わせていた。

例えば、個人住宅では緑地を手入れし続けることで土壌の保水・浸透能力を保持し、雨水の流出抑制を図る。また、この緑地を維持するために、様々な方法で雨水を貯留し利用する。この実装を中心に人々が集まり交流が生まれた。

整備時に最大の効果を示し、徐々に機能が低下する従来のインフラとは異なり、活動の発展の可能性などの新たな価値の余白を持ち、人々を引き付ける魅力を持つ。

(3) 協働による効果

① 協働によって思いが共有され、維持管理へつながる

全対象地で多様な人々が参加し、実装の過程を共有し、実装後も水循環が視える空間を体験した。この多世代共創によるプロセスが、「あまみず社会」への理解の深化や、活動の発展につながったようである。特に、サイト Bでは、家主のあまみず文化に対する情熱的な思いを体現する形で、伝統的な水使いを取り入れ、水と緑あふれる雨庭が実装された。家主の熱意を他へ伝達し、発展させるためには実装が重要であった。

実装過程の共有により、家主を中心にそれぞれに新たなコミュニティのつながりがつくられ、維持管理においても、このつながりを活かし、協力し合ってサポートする関係性が生まれていた。多様な人の参加、開発、実装の経験の共有が、維持管理においても有効であることが示唆された。

しかし、個人住宅では特に民有地であるがゆえに家主の主体性は必要であり、家主が不在となった場合の機能性の確保は課題である。持続的なあまみず技術の維持管理には、地域や行政の公的なサポートが必要であることも明らかとなった。

② 気軽さと市民技術による参加へのきっかけ

DIYでも参加できるという気軽さ、自分たちの手に届く技術、市民技術であることが参加機会を増やしていた。開発から実装の過程に様々な人が協働することを通じ、流域住民の中には、自分が参加可能な都市水害対策として、GIを自らの土地に導入する人が見られた。GIは気軽に導入可能で、場所の景観性も向上するため、この多面的な価値の認識が、あまみず社会の重要な要素であると考えられる。

3.7. 結論

本研究では、降雨強度が大きい日本において、小規模民有地の実際の敷地を対象とし、都市水害対策に寄与するあまみず社会の要素技術を開発し、実装による検証を行った。その結果、以下のような結論が得られた。

- どの敷地においても、実装によって流出高は大きく抑制できる実装が可能であった。小規模民有地、かつ既存建物が存在する敷地においても GI の導入は可能であり、効果が高いことが明らかとなった。
- 公共事業で行われている都市洪水対策の貯留施設の事業費単価および市販の雨水タンクの m^3 あたり単価と単純に比較はできないものの、本研究で実装した GI の導入コストは、これらと同等または安価であることが確認された。
- 民有地における GI 導入では、庭づくりの楽しみと共に、水甕や桶、水流れなど日本で馴染み深い水の文化を背景とした要素技術が市民には魅力的に映ることが明らかとなった。
- 本研究での要素技術開発および実装は、家主や関係者等との協働によって実現された。このような多世代共創の手法をとることによって、実装後の維持管理への参加意欲向上や、活動の展開などの効果が得られ、流出抑制効果に留まらない多面的な価値が示された。

以上のように、あまみず社会の概念に基づいた GI の民有地への導入は可能であり、流出抑制効果や実装後の維持管理に対して、有効であることが明らかとなった。

しかし、土壌評価や土壌特性の把握は未だ課題が残る。事前降雨の状況による土壌水分量や土壌浸透能の把握と設計手法への適用は、今後さらなる研究が必要である。サイト B では基盤面に降雨が降雨当初から浸透し、浸透できない量を上部の腐葉土層の間隙に貯留するという計算手法を用いた。これは、サイト B でダブルリング浸透試験を行った際、 250mm/hr の観測結果を得ており、腐葉土層の透水係数が極めて大きく、基盤層にすみやかに雨水が到達するとの過程に基づいている。実現象としては、土壌中に保水される雨水も存在するため、このような土壌特性を設計手法にどのように反映させるかは今後の検討課題である。本研究は 3 事例の導入であり、各サイトに応じて、各々で検討した設計手法を用いているため、設計手法の一般化については、今後の更なる開発実装研究によって明らかにする必要がある。

さらに、本研究では、コスト目標を 1 m^3 の流出抑制あたり 10 万円以下と設定したが、対象降雨が大きい場合は GI による流出抑制効果も高く、伴って導入コストが安くなった。本研究では設計条件として従来型の大規模貯留施設および家庭用雨水タンクの単価を参考に単純に設定したが、本

来, 対象降雨とコストの設定はこのように単純に決められるものではない. 方法としては集水範囲と基準点, 対象降雨を設定した上で, 面的に比較することが考えられるが, これらを明らかにするためには更なるかなりのボリュームの研究が必要であり, 今後の課題としたい.

引用文献

- 福岡市道路下水道局(2019). 福岡市雨水整備緊急計画 雨水整備 Do プラン 2026.
<http://www.city.fukuoka.lg.jp/data/open/cnt/3/29157/1/dopuran2.pdf?20190329131317> , 閲覧日:2020年8月26日.
- 飯田晶子, 大和広明, 林誠二, 石川幹子(2015). 神田川上流域における都市緑地の有する雨水浸透機能と内水氾濫抑制効果に関する研究-内外水複合氾濫モデルを用いたシミュレーション解析-, 都市計画論文集, Vol. 50, No.3, pp.501-508.
- 巖島怜, 岩永祐樹, 出田一史, 佐藤辰郎, 島谷幸宏(2016). 各戸貯留及び土壌改良によるマンホール集水域を対象とした流出抑制効果に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.72, No.2, pp.49-58.
- 一般社団法人 日本建築学会(2016). 日本建築学会環境基準, 雨水活用技術規準, AIJES-W0003-2016.
- 島谷幸宏(2020). 分散型水管理を通じた, 風かおり, 緑かがやく, あまみず社会の構築(平成27年~令和2年), 研究開発実施終了報告書.
- 東京都下水道局(2019). 東京都下水道局事業概要(令和元年度版).
<https://www.gesui.metro.tokyo.lg.jp/about/business/jg01/index.html> , 閲覧日:2020年9月9日.
- 東京都総合治水対策協議会(2009), 東京都雨水貯留・浸透施設技術指針, pp.14.

4. あまみず社会の社会的実装に必要な要素

4.1. はじめに

本章では、「あまみず社会」の概念と手法を、実際の社会へ実装させるために必要な要素を明らかにすることを目的とする。

社会実装とは、「研究開発で得られた成果を実際に事業化し普及・定着させるフェーズ」のことである(茅 2015)。本研究では、実際の社会や流域にあまみず社会の概念が共有、浸透され、社会変容が持続的に起こり、あまみず社会が実現・定着することを社会実装と捉え、そのための必要な要素について考察する。

4.2. 方法

「あまみず社会研究会」は福岡市樋井川流域および周辺地域に対し、多様な取り組みを実施した。ここでは、参与観察および研究終了報告書等資料(島谷 2020)等によって、RISTEX の研究期間である2015年10月から2020年3月にかけてあまみず社会研究会が行った働きかけに関して、関係者や活動の展開状況の整理を行い、関係性について分析する。

4.3. 研究会が実施した働きかけ

あまみず社会研究会が実施した主な働きかけを以下に示す。

① ミズベリング樋井川

国土交通省が進めている全国の水辺環境に対する社会の関心を高め、その新しい活用の可能性を切り開いていくための官民一体の共同プロジェクトである(水辺環境・プロジェクト事務局 2018)。登録要件は特になく、毎年7月7日午後7時7分に水辺で青いものを身に付けて乾杯をする「水辺で乾杯！」を共通行事としている。

この水辺環境の仕組みが、樋井川流域に関わる多様な主体・ステイクホルダーの連携を目的に平成28年に導入された。「水辺で乾杯！」の準備のために、月例の定例会を通して連携が深められた。水辺で乾杯は2019年度までに4回開催し、各回150名以上の流域住民が参加した(島谷 2020)。

定例会は2019年3月までに、ほぼ毎月40回開催された。水辺の経験知と科学との融合を図る「学習会」、それぞれの参加者・参加団体の催す活動の告知と報告、次回の企画のディスカッションが行われた。また、あまみず社会の概念に基づいた分散型水管理の知見の共有が行われた。

この集まりには地域の不動産業者や民間福祉支援者、自治協議会、子育て世代、行政、学生等が参加した。参加のハードルが低く、社会的活動に参加するのが難しい子育て世代、壮年世代をターゲットにした。あまみず社会研究会が事務局を行った以外に、特に規約をもたない、ゆるやかな集まりであった。やがて、散歩と川掃除を組み合わせた「樋井川さんぽ」が開催されるようになった。「当初は事務局からの呼びかけで参加を募ったが、その後、地域でミニマルシェを行い、樋井川にも関心があるお母さんたちのグループの主催・募集(山下ら 2018)」が行われるようになった。子育て世代の母親たちによる主体的な活動として展開した。

② アマミズタメルンジャーZと環境教育

キャラバンカー「あまみずタメルンジャー号」で保育園や小学校に赴き、研究会のめざす水循環のあり方についてレンジャーショーや自然観察会、川遊び等が実施された。2019年3月までに110回が開催された。レンジャーショーは、アマミズタメルンジャーZとして大学生が担い手となり、幼児や小学生を対象に都市化によって洪水が発生し、雨水を貯留浸透させることにより水害を防ぐことができることを表現した戦隊もののショー(図4-1)である。対象となる子供たちに加えて、教師や保護者、地域自治会等にもあまみず社会の概念が伝わる機会となっているほか、大学生が表に出て環境教育を行う形式は、当事者にも分散型水管理についての理解を深める機会となっており、これらの環境教育が多くの世代に研究会の活動が広がるきっかけとなった(島谷 2020)。

2018年にレンジャーショー見た小学生によるダンスユニット“RASK”が生まれ、あまみず社会研究会のコンセプトを反映したダンスの披露や、レンジャーショーとのコラボレーションを行った。また、2018年12月には、ダンスユニット“RASK”のメンバーの父親たちがレンジャーショーに出演した。



図 4-1 レンジャーショー・アマミズタメルンジャーZ

③ あめにわ憩いセンター

あまみず社会の手法と概念の普及、交流拠点を目的として樋井川上流域の福岡市城南区に設置されたセンターである。3章で述べたサイトB・個人住宅としてプロトタイプ実装を行い、雨庭が整備された場所である。2017年2月18日に「あめにわ憩いセンター」として開所した。実装事例およびあまみず社会の実践の場として見学者を随時受け入れ、日常のご近所の女性たちや流域住民との交流、茶会の場となった。2018年2月17日に1周年セミナー「龍がつなぐ 流(りゅう)域の物語」が開催された。さらに、あめにわづくりには治水と植物の両方の知識が必要であり、相互の知識を深める橋渡しとなる場を提供したいとの思いから2017年6月から学習会「あめにわ塾」が計5回開催された。

見学者は流域内外から行政、国際機関、土木・建築・造園の専門家やNPO等活動団体など様々な人が訪れており、あまみず社会の実践の在り方を紹介した。基本的には家主である80代の角銅久美子氏が運営しており、近所に住む高齢の女性たちが手伝った。また、雨庭の維持管理には緑の知識がある人々が集まり定期的な花植えなどのサポートを行っている。ここに、あまみず社会研究会の研究者らおよび学生がサポートとして実施した。

センターの緑化のサポートを行うメンバーが中心となり、2018年には川沿いの緑化等に取り組む任意団体「樋井川グリーンメイト」が発足した。

④ あまみず科学センター

あまみず科学センターは福岡大学の敷地内に、コンテナを利用して設置された拠点である。センター内部には、あまみず社会研究会の行っている研究内容の紹介展示が行われている。また、センターの屋根に降る雨を集める貯水施設を設け、流出を穴の径によってコントロールする穴あき雨水タンクを試験的に整備した。さらに、流出した雨水を受け入れる雨庭を整備した。雨庭はあまみず社会研究会メンバーの他に、ミズベリング樋井川のメンバーにも声をかけて制作した。雨庭には福岡の在来植物を植栽しており、これまでには植物に関するセミナーを行い、外来植物を選択除草するイベントを実施した。

⑤ 樋井川テラスでの実装

福岡市城南区の樋井川沿いに位置するカフェ兼レンタルスペース「樋井川テラス(旧上ナガオテラス)」では、3章で述べたサイトAとしてプロトタイプ実装を行った。オーナーであるY氏は、代々この土地で不動産経営をしており、あめにわ憩いセンターの角銅氏より声を掛けられ、ミズベリング樋井川の第1回の会議に参加したことからミズベリング樋井川に加わった。カフェは、ミズベリング樋井川が2016年に開催した水辺で乾杯！イベントに合わせて開店した。カフェは地域に広く利用してもらえるよう、イベント運営を行うS氏と共に、地域の女性たちを中心にミニマルシェなどの開催を行っており、不動産経営仲間やマルシェの参加者などとのつながりが始まっていた。このネットワークがミズベリング樋井川へ参加し、あまみず社会研究会と連携することによって、実装および樋井川の拠点として、ネットワークが広がった。レンタルスペースでは、ミズベリング樋井川の定例会や、イベントの企画会議等、川に関する拠点として利用されるようになった。

⑥ あまみずコーディネータ養成講座

あまみず社会の概念を理解する人材、コーディネータの養成を目的とし、座学による講座とあまみず社会の概念に基づいた土地利用別の設計演習である。2016年から2019年までに4回開催された。技術士、建築士、造園学会のCPDプログラムとしての認定を取得し、社会性を高めた。講師は研究会メンバーに加え、京都学園大学(現 京都先端科学大学)や法政大学の研究者などの多数の専門家が担当した。講座のテキストは毎年更新され、技術的な知見の蓄積が進んだ。講座は基礎コースと応用コースに分かれ、前者は一般市民であまみず社会の理念とあまみず技術の実装に取り組みたい人に向けた座学であり、後者はそれに加え、プロ向けに、演習をとおして貯留浸透にかかわる流出抑制手法を学び活表現する訓練を進めるものであった。

各会の参加者は40名程度であり、一般市民をはじめ土木、建築、造園の実務者や市民団体、学生、大学職員(キャンパス計画関連)、国際機関、国家・地方公務員の参加があった。

会場は福岡だけではなく、「善福寺川を里川にカエル会」と連携した東京開催(2018)や、京都市で行われている雨庭の取り組みと連携した京都開催(2019)によって、多種多様な参加者への参加が実現した。

⑦ HP・ロゴマーク

あまみず社会研究会およびその活動を、広く市民の方に認識してもらうこと、また研究メンバーの内部的な団結を図るため、研究会の理念や活動を視覚的に統一されたイメージで表し共有していくため、あまみず社会研究会およびあめにわ憩いセンター、あまみず科学センターのロゴマークがデザインされた。また、ホームページやフェイスブックが設置され、分散型水管理の概念の紹介およびイベントの告知等を行った。また、定期的に広報誌「あまみず生活」が発行された。

⑧ あまみず絵本

分散型水管理や流域治水の概念をわかりやすく伝えるための児童向けの絵本「ヒイ川のヤマタノオロチたいじ」が作成された。樋井川流域内のすべての幼稚園・保育園、小学校および中学校に配布された。2017年11月に朗読会が実施され、子供や高齢者を含めた約35人が参加した。

⑨ 他流域の中学生の交流

2016年8月、東京善福寺川を里川にカエル会の会員が教員を務める中学生11名が福岡を訪れ、樋井川の中流域に位置する友泉中学校の生徒と、自分たちの学校施設の雨水貯留浸透利用の方法を探るワークショップが行われた。寝食のお世話をしたのは、あめにわ憩いセンターの近隣に住む高齢の女性方を中心とするグループであった。

樋井川を訪れた中学生は、地元の「善福寺川を里川にカエル会」にて、樋井川での体験を紹介し、3章におけるサイトC・個人住宅でのプロトタイプ実装が計画されるなどの、活動の活発化へ影響を与えた。

⑩ 中学校でのあまみず学校づくり

福岡市立友泉中学校は校区内に樋井川が流れ、2009年の水害では被害を受けた地域でもある。2016年8月に東京善福寺川の中学生と交流をしたことを契機として、平成31までに計10回のワークショップが実施され、水と緑による分散型水管理の概念として「あまみず社会」を紹介し、流出抑制効果のある、楽しい雨水貯留、利用方法のアイデアが出された。考案されたアイデアを一つにまとめ、視覚的にわかりやすい計画として「水と緑あふれるあまみず学校プラン(図4-2)」があまみず社会研究会によって取りまとめられた。生徒と共に簡易的に流出抑制効果を計算したところ、100mmの降雨に対して、82%の抑制効果を得ることができる計算となった。平成29年には全校生徒の前で発表が行われた。できることからはじめようということで、中庭への芝植栽、雨水タンクの設置、雨庭づくりが実施された。平成31年2月に生徒らによる任意活動グループである「あまみず」が設立され、学校独自で植栽の管理や勉強会を開催するという取り組みへ発展した。実装の際には流域の住民がサポートとして参加した。

平成29年に、プロジェクトに参加した生徒へのアンケートを実施したところ、活動への参加によって、水循環への興味・関心の高まりや、分散型水管理への理解が深まったという結果が得られた。



図 4-2 水と緑あふれるあまみず学校プラン

4.4. 働きかけの拡がり

あまみず社会研究会が実施した働きかけを、影響を与えた流域住民およびステークホルダーに分けて表4-1に整理した。さらに、影響を受けた流域住民およびステークホルダーが担い手として活動を実施するようになった場合は、「担い手」として色分けした。

流域住民は、シニア世代、ミドルエイジ、子育て世代・壮年期、若者・大学生、中学生、小学生、未就学児と年代で分けた。また、ステークホルダーは、あまみず社会の実現に向けて特にポイントとなると思われる職業・機関で分けた。個人住宅など実際の現場で実装を行う土木・建築・造園技術者、政策を実施する行政(県・市・区)、民間企業や事業者、緑化活動や環境向上に取り組む団体、学校や幼保園などの教育機関である。

表 4-1 働きかけと対象者

	直接的な働きかけ											連携(一次)			
	ミズベリング樋井川		アマミズタメルンジャーZ	あまみずコーディネータ養成講座	あめにわ憩いセンター	あまみず科学センター	樋井川テラス実装	HPロゴ広報誌	あまみず絵本	友泉中あまみず学校づくり	治水効果検証・青写真	善福寺川実装	あめにわ憩いセンターから派生	ミズベリング樋井川から派生	ミズベリング樋井川から派生
	定例会	水辺で乾杯!	環境教育										樋井川グリムメイト	水辺でまったり団	樋井川さんぽ
流域住民	シニア世代														
	ミドルエイジ														
	子育て世代														
	若者・大学生														
	中学生														
	小学生														
	未就学児														
ステークホルダー	土木・建築・造園技術者														
	緑化活動団体														
	行政														
	企業・事業者														
	学校関係														
	幼稚園・保育園														
	地域団体														

凡例  担い手  反応

これを見ると、流域住民およびステークホルダーへおよそ満遍なく働きかけが行われていることがわかる。一つの世代・ステークホルダーに対し、複数の働きかけが影響を与えていた。

特に有効であったと考えられる働きかけは、ミズベリング樋井川およびイベント「水辺で乾杯!」、アマミズタメルンジャーZ、あめにわ憩いセンター、あまみず学校づくりが上げられ、担い手が誕生している。さらに、影響を与える範囲の広さとしては、あまみずコーディネータ養成講座、ホームページや広報誌等が挙げられる。

ミズベリング樋井川は参加の敷居が低く、気軽に参加できることから多様なステークホルダーが水と緑による分散型水管理の概念に触れるきっかけとなっていた。特に月一度の定例会は流域の様々な活動を共有するプラットフォームとして発展しており、地域の環境に興味のある子育て世代や若い世代が主体的に参加するようになった。

また、年1度の水辺で乾杯!という、「乾杯」を行うことを主としたゆるやかなイベントを行うということで、子ども会や店舗が協力し、流域のつながりを感じる機会となっていた。毎年、150名以上の流

域住民が、樋井川沿いで水害の歴史や水の恵みを再認識することで、共通概念の形成や流域ネットワークの形成に寄与しているものと思われる。

あめにわ憩いセンターも同様にイベント時を中心に多様な世代が参加していたが、特に高齢者が担い手となり、近隣住民の拠点として機能している様子が見られた。また、緑化活動団体が新たに誕生し、雨庭の維持管理を行うという派生的な効果も得られている。第3章でも述べたように、多世代共創により実装の体験を共有したこと、さらに、実装が魅力的なものであることを要因とし、幅広いステークホルダーを集め、分散型水管理や雨庭の概念普及に貢献していることが示唆された。

また、行政や土木・建築・造園技術者等にとってはGIや分散型水管理の実践のモデルとなり、実装による社会技術の検証として技術的・政策的な情報を提供する場ともなった。

アマミズタメルンジャーZショーは他の働きかけと比較し、子供にダイレクトに影響を与えており、親である子育て世代にも影響を与えていた。また、演者である大学生はショーを経験することで理解を深めた。ショーの内容は分散型で雨を貯留、土壌へ浸透させることで水害の抑制につながり、よりよい環境が形成されるという趣旨のものであった。都市型水害という“敵”を倒すためには、参加者(子供たち)が皆で協力して雨を貯めることが必要であるというシナリオであり、わかりやすい内容は子供たちにも受け入れられやすかったと考えられる。

中学校でのあまみず学校づくりでは、学生や教諭の入れ替わりがおこる学校において継続的に活動を行うため、学校づくりのコンセプト、ビジョンの共有が重要であった。ワークショップを行う際は毎度このコンセプトが繰り返された。さらに、できるところから小規模な実装を行い、経験を共有することが理解の深化につながっていたと考えられる。生徒らは、活動を通して日常的にあまみずや水循環に関心を持つようになり、担い手側へ徐々に主体性が変化してきていることがアンケートによって確認されている。さらに流域住民がサポートに入り、多様な世代が参加する機会となった。

あまみずコーディネータ養成講座では、一般市民だけでなく技術者、行政関係者などの参加もあり、参加者を含めたネットワークが形成された。参加者が別の企画や実装を行う場合にも連携を行うなど、専門的な分野で広がりがみられた。

これらを見ると、一つの世代、ステークホルダー単独を対象としたものではなく、例えばタメルンジャーZでは幼児と子育て世代と大学生、他流域の中学生交流では、中学生と高齢者が関わるなど、多様な世代の組み合わせが行われていた。

4.5. 働きかけと影響の経年的な変化

活動の拡がりを経年的に図 4-3~7 に示した。プロジェクト開始時(図 4-3)は「あまみず社会研究会」の前身母体である「樋井川流域治水市民会議」と建築士会の連携はあったが、他のステークホルダーとの連携はみられない。

2015 年 10 月から 2016 年度(1 年目:図 4-4)では、アマミズタメルンジャーZ、ミズベリング樋井川、あまみずコーディネータ養成講座などの活動が開始され、あめにわ憩いセンター(サイト B 個人住宅)、あまみず科学センターの実装が開始された。また、善福寺川と樋井川の中学生交流が行われた。

2017 年度(2 年目:図 4-5)になると、継続的に開催したミズベリング樋井川や養成講座等への参加をきっかけに、自宅や地域で分散型水管理に取り組みたいという方が現れはじめ、あまみず社会研究会が計画、実装へ向けた働きかけや相談に応じた。また、あめにわ憩いセンターでの活動が本格的に開始され、茶会や見学受け入れ、セミナー「あめにわ塾」により多様なステークホルダーが参加するようになった。また、友泉中学校でのあまみず学校プロジェクトが開始された。

2018 年(3 年目:図 4-6)にはミズベリング樋井川やあめにわ憩いセンターをきっかけとしたグループが自然発生的に複数発足し、活動を主体的に実施するキーパーソンが誕生した。キーパーソンの中には、あまみず社会の概念を自ら説明しているものも現れた。

また、友泉中学校などの研究会が仕掛けた活動が、自立的な活動への変化が見られた。国内外の他流域の地域でもあまみず社会の概念に賛同する人々が実装等の取り組みを開始し、プロジェクトの数が増加した。

2019 年(4 年目:図 4-7)には、これまでの活動が継続して行われているのに加え、友泉中学校では学生グループ「あまみず」が誕生した。また、養成講座に参加した国際機関との連携によって、養成講座のプログラムが国際機関で取り入れられ、インドや東南アジアからの研修を受け入れ、研究成果の提供および連携が行われた。

これらの図から年を追うにしたがって矢印の数が増え、それぞれの活動が連動していることが分かる。特に、ミズベリング樋井川に参加したことがきっかけとなり、その他の様々な取り組みを体験し、キーパーソンとなって自主的なグループを立ち上げる人が複数みられた。ミズベリング樋井川や水辺で乾杯！イベントは間口が広く、気軽に参加しやすいイベントは流域住民が「あまみず社会」を最初に知る機会となりやすいという特徴があった。

あめにわ憩いセンターは「あまみず社会」の概念や要素技術を詳しく知る拠点となっており、そのためには実装自体が魅力的であることが重要であった。また、科学的知見に基づいた実装が、GI へ関心を持つ技術者および行政関係者への実践例を提供した。

一つの取り組みだけではなく、様々な活動に複数参加し、掛け持つ住民も現れた。例えばミズベリング樋井川に参加している人が、あめにわ憩いセンター等の実装や掃除の手伝い、イベントに参加するうちに、運営に携わるようになるといったものである。

年を追うごとにネットワークが広がっており、あまみず社会研究会のコントロールが及ばない範囲

まで展開した。多面的で重層的な活動が網羅的に展開されたことで、当初にあまみず社会研究会が想定した以上の活動の広がりがうまれていた。

あまみず社会の概念は各取り組みの中で繰り返し説明されることで、あまみず社会の概念が流域住民の心に留まり、日常生活の中で意識づけられ、あまみず社会の概念が浸透・普及している様子が確認された。

①プロジェクトスタート前

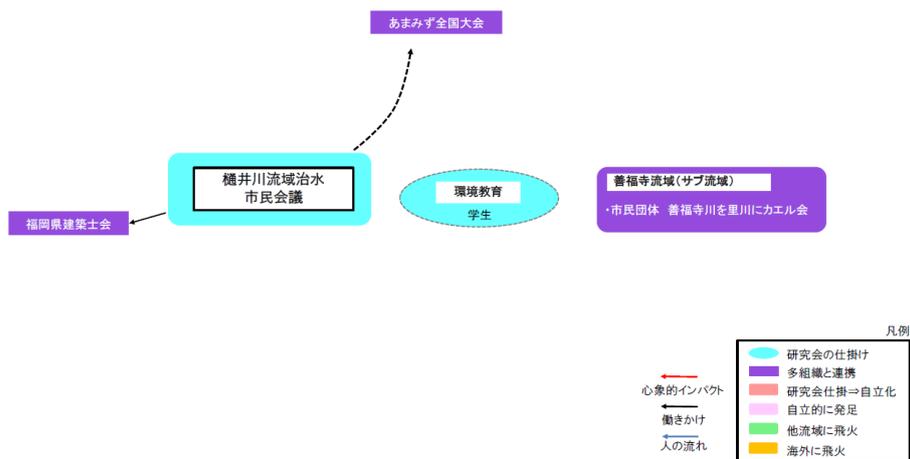


図 4-3 プロジェクト開始時

②プロジェクト開始1年目(2016年頃)

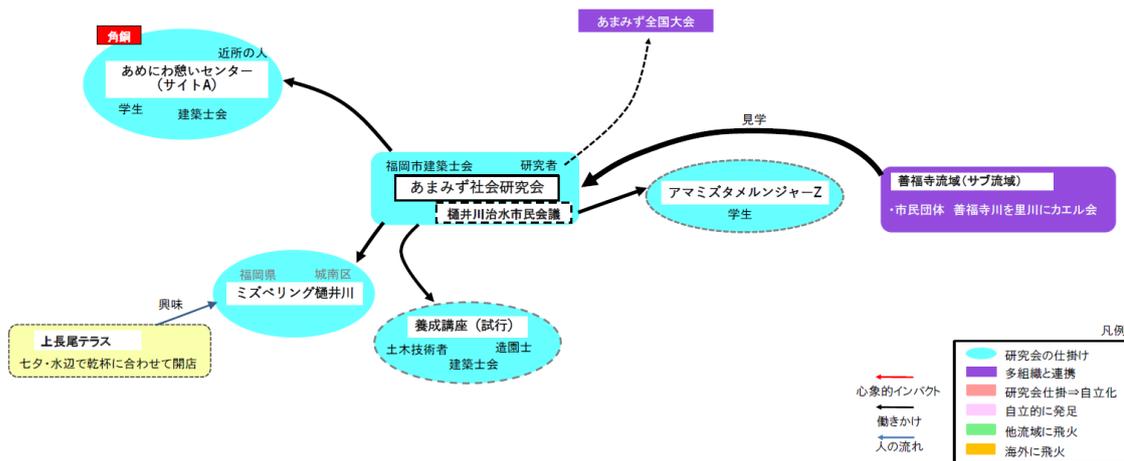


図 4-4 プロジェクト開始 1年目

③プロジェクト開始2年目(2017年頃)

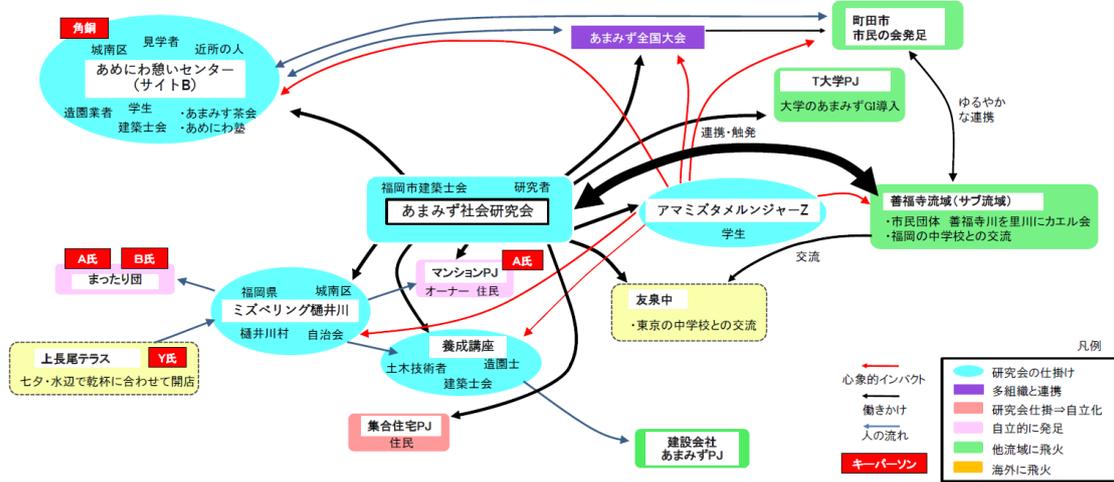


図 4-5 プロジェクト開始 2年目

④プロジェクト開始3年目(2018年頃)

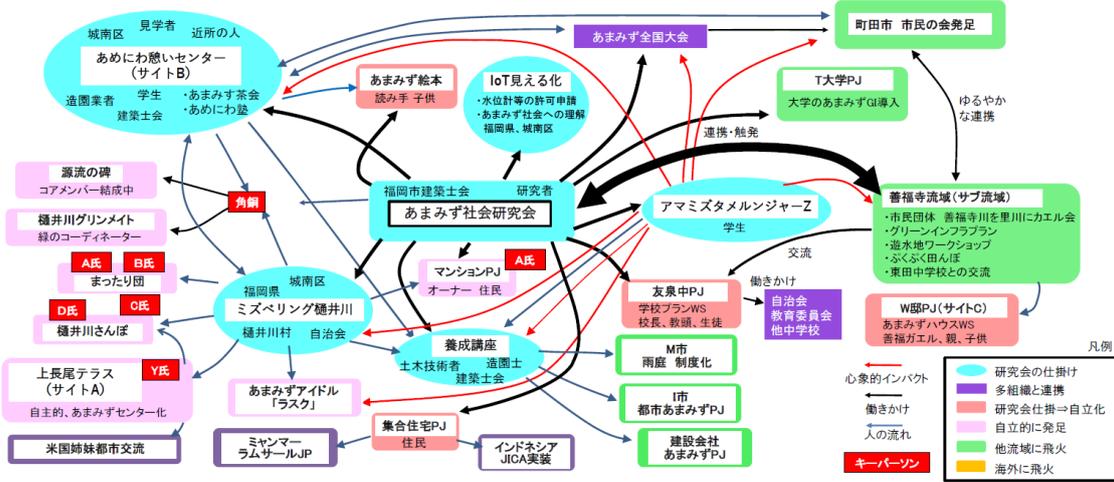


図 4-6 プロジェクト開始 3年目

⑤プロジェクト開始4年目(2019年頃)

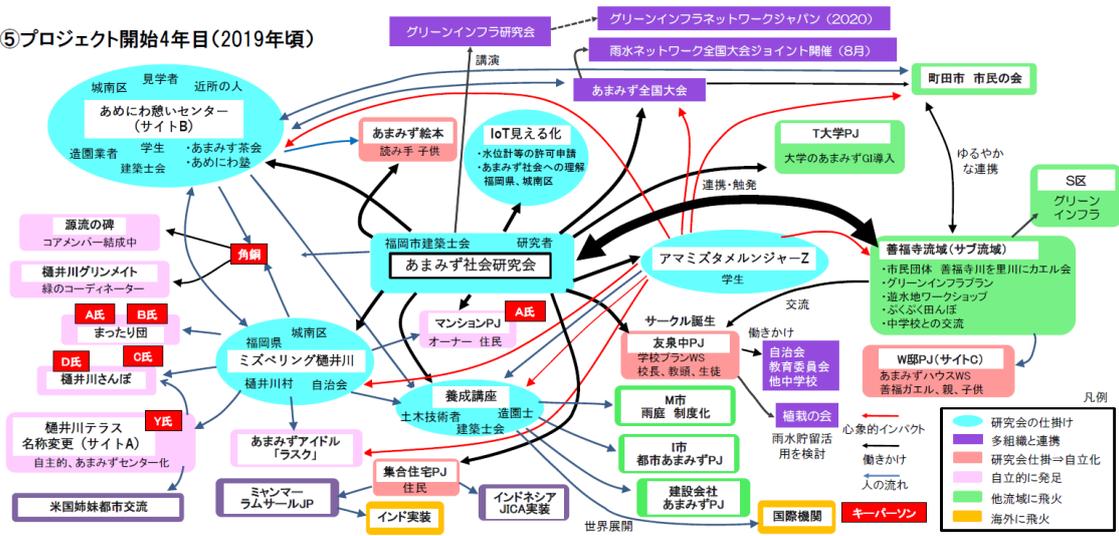


図 4-7 プロジェクト開始 4年目

4.6. 結論

本章では、「あまみず社会」の概念と手法を、実際の社会へ普及・定着させるために必要な要素を明らかにすることを目的とし、「あまみず社会研究会」が行った働きかけに着目し、関係性について分析した。本章で明らかとなった結論を以下に示す。

- 多面的で、重層的な働きかけ
どの働きかけにおいても多様な世代やステークホルダーを対象とし、様々な組み合わせが生じるような「多面的」な働きかけであった。また、それぞれの世代やステークホルダーに対して、何度も繰り返し、様々な方向から働きかける「重層的」であることが活動の活発化につながり、普及へ広がっていくことが示唆された。
- 明確でわかりやすい概念やビジョン
多様な世代やステークホルダーが存在する社会へ普及・定着させるためには、わかりやすい明確な概念やビジョンがあることが必要であり、それを共有することが有効である。
水と緑が有機的につながる分散型の水管理が実現される社会を「あまみず社会」という概念として整理し、またわかりやすいイラストや実装例とともに提供することは、多様な人々の理解を得やすいと考えられる。
- 敷居の低い活動
水辺で乾杯！イベントは特に、気軽に参加できることから多様なステークホルダーや世代が参加し、分散型水管理の考え方に触れる機会となっていた。敷居の低い活動は、参加のきっかけとして重要な要素であることが示唆された。
- 体験の共有
活動が継続的に行われ、担い手が誕生したものは、実装に関わる概念の共有や開発、整備の経験を共有したり、イベント実施のための企画運営などがあり、このような体験を共有したことによって参加者同士の顔なじみや絆ができていたことが確認された。このような関係性は、他の場所への活動の展開などへ発展する機会となっていた。

以上のようなアプローチを行うことによって、あまみず社会の概念の広がりが確認されており、社会への普及の場面においても重要であると考えられる。

引用文献

- 茅明子・奥和田久美(2015). 研究成果の類型化による「社会実装」の道筋の検討, 社会技術研究論文集, Vol.12, pp12-22.
- ミズベリング・プロジェクト事務局(2018). ミズベリング・ビジョンブックーミズベリングの現場から見えてきた水辺の未来.
- 島谷幸宏(2020). 分散型水管理を通じた, 風かおり, 緑かがやく, あまみず社会の構築(平成 27 年～令和 2 年), 研究開発実施終了報告書.
- 山下三平・竹林知樹・伊豫岡宏樹・浜田晃規(2018). 樋井川流域における分散型水管理と地域コミュニティの形成, 第 57 回土木計画学研究発表会(春大会)講演概要集, 第 57 巻.

5. 結論

都市化による流出構造の変化や、近年の短時間強雨の頻発化等により、洪水ピーク流量の増加、洪水到達時間の減少による都市型洪水は今後も増加するものと考えられる。加えて、合流式下水道からの雨天時越流水(CSO)による河川水質悪化、地下水位低下、渇水など都市には様々な水に関する問題が存在する。人口減少下で地球温暖化が進み、かつ大震災が心配される中、従来の集約的な水システムのさらなる規模拡大は予算的にも維持管理的にも困難である。さらに、現在のシステムは生活者にとっては部分的にすらも「視えない」構造であり、都市の水問題は社会的に認知されづらいという問題も抱える。

本研究では、これらの都市の水問題を総合的に解決することを目的に、流域治水や環境にも配慮した持続的な分散型の水管理システムとして都市ビジョン「あまみず社会」を提示し、その有効性を検証した。また、この概念を達成するための要素技術を開発し、都市を構成する空間要素にプロトタイプ的に実装することによって実現可能性を検証した。さらに概念の共有や普及の社会実装に必要な要素を明らかにすることを目的とした。以下に各章で得られた成果を示す。

第 1 章では、本研究の背景と目的、社会技術研究開発としての学術的な位置づけについて述べた。また、社会技術研究開発および GI についての既往研究を整理した。さらに、研究の方法、本研究で対象とする範囲およびあまみず社会について定義した。あまみず社会は、「雨水は貯留や浸透させ、一挙に地下・川に入れない分散型の水管理を用いた、水と緑による有機的な社会」のことである。また、本研究の構成を述べた。

第 2 章では、都市ビジョン「あまみず社会」の有効性を示すため、東京都善福寺川上流域の約 71ha を対象に、要素技術として、あまみず社会の概念に基づいたグリーンインフラ(GI)を各土地利用に導入した場合の治水効果、CSO の抑制による環境効果をシミュレーションによって定量的に評価した。対象降雨は、長雨型と集中豪雨型、2017 年 7 月九州北部豪雨時の降雨イベントを利用した極端豪雨の 3 種とした。導入した GI は、土壌の浸透能力を評価し、緑を活用した貯留・浸透能力の向上を中心的な手法として、雨庭や緑地面の増加、透水性舗装等とした。シミュレーションによって、各対象降雨に対して 95%以上の洪水抑制効果を確認した。また、年間降雨における CSO の年間流出量および発生回数の抑制を確認し、「あまみず社会」の治水・環境効果への有効性を明らかにした。

第 3 章は、あまみず社会の概念に基づき、福岡および東京の個人住宅 2 か所、個人店舗 1 か所で対象地に応じて要素技術をプロトタイプ的に開発・実装し、評価することによって実現可能性の検証を試みた。設計では流出抑制目標、コスト目標を設定し、ならびに協働による実装を目標とした。対象降雨は 100mm/hr の豪雨および実豪雨とし、土壌の浸透能力を評価し、屋根に降る雨水を流し入れる雨庭や碎石を用いた浸透層等を開発した。いずれにおいても大幅な流出抑制を行うことが可能であり、下水道整備計画で示された流下能力まで流出を抑制することが可能であった。さらに、コストについては従来の流出抑制対策に比較しても同等または安価であることが確認さ

れた。また、庭づくりの楽しみと共に、水甕や桶、水流れなど日本で馴染み深い水の文化を背景とした要素技術が市民には魅力的に映ることも明らかとなった。これらの要素技術は、流域住民との協働によって実現され、多世代共創による実装後の維持管理への参加意欲向上や、活動の展開など、あまみず社会の多面的な価値を示した。

第4章では、あまみず社会を実際の社会へ、社会的に実装させるために必要な要素を明らかにすることを目的とし、平成25年から令和元年にかけて「あまみず社会研究会」によって実施された福岡市樋井川流域および周辺地域への取組みを調査し、関係者や活動の展開状況の整理から要素を抽出し分析した。その結果、多面的で重層的な働きかけ、明確でわかりやすい都市ビジョン、各取り組みの敷居の低い活動、活動や実装体験の共有を通じたアプローチが有効であることが示された。

以上の結論は、今後の都市における分散型水管理のあり方がどうあるべきか、さらにエリアやサイトスポットでの具体的な導入を、住民との協働により検討・推進するうえで、有用な知見になるものと考えられる。

以下に今後の課題を示す。

本研究では、土壌の浸透能力を評価し、この機能を活かした流出抑制効果を検証した。土壌の浸透能力は、既往研究や現地での浸透試験の結果を用いた。しかし、土壌が持つ浸透能の継続性や浸透能の値について研究者間でも意見が一致しない場合もあるため、今後正確な土壌特性を検証することが課題である。

プロトタイプ実装においては、今回導入が最も難しいと考えられる既存建物を有する民有地を対象とした。引き続き、民有地においてより多くの場所で実装を行い、継続的なモニタリングを含めた検証を行うことで設計手法の一般化に向けた一層の知見が深まると考えられる。

さらに、本研究では、コスト目標を1 m³の流出抑制あたり10万円以下と設定したが、対象降雨が大きい場合はGIによる流出抑制効果も高く、伴って導入コストが安くなった。本研究では設計条件として従来型の大規模貯留施設および家庭用雨水タンクの単価を参考に単純に設定したが、本来、対象降雨とコストの設定はこのように単純に決められるものではない。方法としては集水範囲と基準点、対象降雨を設定した上で、面的に比較することが考えられるが、これらを明らかにするためには更なるかなりのボリュームの研究が必要であり、今後の課題としたい。

また、今回プロトタイプ実装で対象としなかった道路や駐車場等の要素技術開発についても、具体的な開発及び実装のプロセスを経ながら、実践的に検討していく必要があると考えられる。

さらに、今後あまみず社会やGIを日本で政策的な導入を進めるにあたっては、対象降雨をどのように設定するのかが議論を深める必要がある。各敷地における実装コストについても、“私”の敷地でのあまみず社会およびGIの導入が“公”としての流出抑制へ貢献することになることから、治水事業等ハード整備にかかる費用を、民有地への導入費用に分担するといった、都市全体としての水管理のあり方や投資方法を検討していく必要がある。

また、本研究では住民との多世代共創によって魅力的で効果的な、その場所に応じた適正技術

が開発された。この魅力的で効果的な技術が民有地での普及の要点でもあり、社会実装の段階においては、多世代共創を支えるパートナーシップ、維持管理の支援などのサポートについても検討する必要がある。

おわりに

ここまで、都市に存在する様々な水問題を解決するための新たな概念として「あまみず社会」を提示し、その有効性をシミュレーション及び実装による検証を行うとともに、多世代共創による社会実装への展開の可能性について述べた。あまみず社会の考え方は、天から皆に平等に降る雨を受け入れて、うまく付き合う「災いを恵みにかえる」考え方である。雨を貯め、緑に与え、土壌によく染み込ませ、蒸発散によって天に戻す。土壌に染み込んだ水は、地下水となり、川から海へ至る。昔から日本人の文化に根付いてきた本来の水循環、水との共生を取り戻す思想であり実践だと考えることができる。

このような「災いを恵みにかえる」取り組みは、人々が水循環の中に生活があるということに改めて気づく機会となる。さらに多様な世代、人々が協力して取り組むことにより、都市の中で希薄になりつつあるコミュニティや隣人とのつながりを再構築できる可能性を持つ。コミュニティをつなぎ合わせ、よりよい社会への希望を持つことができる社会をつくるための要素の一つとして、例えば、我々に共通する水文化が、その役割を担うことができるのではないかと、本研究を通して認識した。

気候変動や想定外の豪雨が頻発するとされる今後の社会において、分散型の水管理の実践やつながりによる「あまみず社会」が各地で誕生し、それが拡がり、総体として「あまみず社会」が実現することが望ましい。本研究によって、このような分散型の水管理は技術的にも可能であり、一定の定量的検証を行うことができたと考えている。豊かな精神性をもつ、持続的な社会や環境を、次の世代へつなげることができるように、今後も精進したい。

謝辞

筆者が本研究を実施し、取りまとめるまでの通算約4年を経て、今回このように学位論文としてとりまとめることができたのは、多くの方々のご指導とご援助のおかげであり、ここに記して深く感謝の意を表します。

特に九州大学 教授 島谷幸宏先生には、流域や景観に対する考え方、水の文化や自然環境などについて、多大なるご指導を頂きました。社会や人々への温かい眼差しで、常に国土の未来を真摯に考えておられる姿は、いつも進むべき道を示してくださいました。本研究を実施し、取りまとめる機会を与えてくださったことに、心より感謝申し上げます。

また、九州大学 教授 矢野真一郎先生、同准教授 貝沼重信先生には、本論文に対する適切かつ丁寧なご指摘とご指導を賜りました。

九州大学 准教授 樋口明彦先生には、度重なるご助言、ご指導を賜りました。島谷先生とともに、この研究に携わるきっかけを与えてくださいました。修士課程にて景観研究室で学んだ考え方や経験を、本研究を通してより深く、さらに実践的に考える機会となりました。

また、あまみず社会研究会の九州産業大学教授 山下三平先生、福岡工業大学教授 森山聡之先生、福岡大学教授 渡辺亮一先生、熊本大学准教授 皆川朋子先生、東京大学教授 福永真弓先生、東京学芸大学教授 吉富恭之先生、福岡大学助教 伊豫岡宏樹先生、同大学助手 浜田晃規先生、株式会社リバービレッジ 山下輝和氏、建築士である角銅久美子氏、木村洋子氏、春岡須磨子氏には、多大なるご指導とご協力、激励を頂きました。

また、本研究は、福岡市樋井川流域および東京都善福寺川流域で、分散型水管理の活動を進める皆さまのご協力があったはじめて、実施することができたものです。吉浦隆紀氏をはじめ、藤井浩一氏、加藤凡夫氏、森山幸久氏、ミズベリング樋井川の皆さま、上智大学准教授 渡邊剛弘先生、竹内文章氏、善福寺川を里川にカエル会の皆様には、プロトタイプ実装等、研究を遂行するにあたり、多大なご協力を頂きました。心より感謝申し上げます。

九州大学流域システム工学研究室の准教授 林博徳先生には、研究の組み立てや論文執筆にあたり、幾度もご指摘を頂きました。また、同研究室学術研究員寺村淳氏には、研究における現地調査やアドバイス等、多大なご協力を頂きました。同技術職員池松伸也氏、テクニカルスタッフ(在籍当時)岡崎裕子氏には研究遂行および日々の業務において多大なご協力を頂きました。また、あまみず社会に関する研究を卒業論文として選択された、小河原洋平氏、銭騎氏、大目雅公氏の研究成果が、本論文をまとめるにあたり大きな助けとなりました。九州大学流域システム工学研究室内の学生の皆様にも、現地調査や日々の生活において、多大なご協力と励ましを頂きました。

このように、本研究は多くの方々のご指導とご協力によって支えられ、まとめることができました。ここに改めて感謝の意を表します。

最後に、いつも支え励ましてくれる家族、両親に感謝の意を表します。

2020年12月

田浦扶充子