

2024 年度 旭酒造記念財団 研究助成事業 成果報告書

社会水文学による流域治水の統合的評価フレームワークの検討

研究代表者：中村 晋一郎（名古屋大学大学院工学研究科 准教授）

共同研究者：山崎 大（東京大学）、田中 智大（京都大学）、中居 楓子（東京大学）

1. 研究の目的

近代以降、治水では、河道やダム貯水池などの貯水施設によって、河川の中で洪水をできる限り速やかに海へと流し切ることを目標にした治水対策が行われてきた。しかし、近年の水害の多発、気候変動の影響を受け、例えばオランダの Room for the River 政策のように、これまでの河川を中心とした治水から、災害情報や災害教育、土地利用規制といったソフト対策を組み合わせながら、流域全体で水害リスクの軽減を図る治水対策が世界的に進んでいる。日本においても、2021 年に「特定都市河川浸水被害対策法等の一部を改正する法律」（通称「流域治水関連法」）が施行され、流域全体を俯瞰し、あらゆる関係者が協働して取り組む「流域治水」が展開されている。

これまでの治水では、基本高水や計画高水と呼ばれる治水の目標流量を設定し、これに対するハード対策の整備度合いをもとに治水の効果が評価されてきた。しかし、今後、流域治水などのハード対策とソフト対策を組み合わせた対策を加速するためには、それらの統合的な評価が必要となる。現在の治水対策の評価は、例えば国土交通省の治水経済評価マニュアル（案）で定められているように、ハード対策の効果のみが評価対象とされており、ハード対策とソフト対策の統合的な評価手法は見出されていない。そこで、本研究では、近年、世界で研究が進む人間活動と水の相互作用を考慮した「社会水文学」の最新の研究成果を応用することで、ハード対策とソフト対策の統合的な評価フレームワーク（以下、「統合的評価フレームワーク」）を検討した。

2. 研究実施内容

①社会水文モデルのレビューを実施

本研究では、まず世界的に進展している社会水文学研究のレビューを実施し、人間-水相互作用を扱うモデルの構造、対象スケール、社会的パラメータの設定方法について整理を行った。特に、ソフト対策に関する、洪水リスク認知や記憶、社会的脆弱性、避難・移住といったなど、人間の行動変容を規定する社会認知プロセス（Social Cognitive Processes: SCPs）に着目した。レビューでは、2012 年から 2025 年までに発表された 164 編の社会水文学研究を対象として、SCPs がどのように概念化され、モデル化されているかを分析した。その結果、認知、認識、知識、態度が主要な社会認知プロセスとして扱われている一方で、それらの定義や相互関係、パラメータ設定方法には大きなばらつきが存在することが明らかとなった。また、多くの研究では社会認知プロセスが仮定的あるいは間接的に較正されており、長期的な社会調査データに基づく実証的検証は限定的であることも確認された。これらの成果は、堤防整備やダム建設といったハード対策と、防災情報、防災教育、土地利用規制などのソフト対策を同一の枠組みで評価するために必要となる社会的パラメータの設定方法を整理するものである。特に、人々の認知や行動変容をどのように定量化するかという

課題は、流域治水の統合的評価フレームワークの構築において重要な課題であることが確認された。

さらに、レビューの結果を踏まえ、社会水文学の今後の方向性と課題について整理したパースペクティブ論文を、2025年にFrontiers in Waterより出版した(Nakamura et al., 2025)。この論文では、社会水文学研究が従来の「人間-水相互作用の理解」を中心とした研究段階から、実際の政策・意思決定・実践へ接続する学際的实践(transdisciplinary praxis)へと移行しつつあることを論じ、地域固有性や空間的不均一性の重要性、グローバルモデルとローカル知識の統合、さらには社会科学との協働による社会的パラメータ設定の必要性について議論を行った。また、社会水文学モデルを実際の流域治水や防災政策へ応用するためには、社会認知、制度、文化、歴史、インフラなどの多様な社会的要因をどのようにモデルへ組み込むかが重要な課題であることを示した。

①国際ワークショップの開催

研究期間中に二度の国際ワークショップを開催した。

第1回ワークショップとして、2025年7月23日に東京大学生産技術研究所において“Workshop on Human-Flood Interactions”を開催した。本ワークショップには、発表者を含め53名が参加し、社会水文学における中心的課題であるhuman-flood feedbacks(人間-洪水相互作用)について、国際的研究者を招いて議論を行った。基調講演では、ウィーン工科大学のGünter Blöschl教授が“Recent advances in understanding human-flood interactions”と題した講演を、特別講演ではウプサラ大学のGiuliano Di Baldassarre教授からは“Beyond temporal dynamics: Unravelling the heterogeneity of human-flood interactions”と題した講演をいただいた。さらに、洪水リスク認知、空間的不平等、都市洪水、地下水コンフリクト、気候変動と農業、堤防システムの歴史的変容、グローバル洪水モデルにおける人間活動表現など、多様なテーマについて議論が行われた。



Günter Blöschl 教授による基調講演の様子



Giuliano Di Baldassarre 教授による基調講演の様子

ワークショップでは、今後の社会水文学研究の方向性についても活発な議論が行われた。特に、研究者間では、社会水文学を単なる学術的理解に留めるのではなく、政策提言や実践へどのように接続していくかが重要な課題として共有された。具体的には、研究者による政策提言のあり方、学際的人材育成、社会へのアウトリーチの重要性などが議論された。また、アフリカやアジア地域におけるケーススタディの必要性も指摘され、従来の欧米中心の研究対象を超えて、多様な社会・気候・制度条件を考慮した比較研究の必要性が共有された。さらに、社会水文学研究を、現象理解を中心とした記述な段階から、予測、さらには政策形成や意思決定支援へ接続する実践的な研究へ発展させていく必要性についても議論が行われた。加えて、理解(understanding)と予測

(prediction) をどのように統合するかについても重要な論点として共有され、理論研究と実践的応用を接続する研究フレームワークの必要性が確認された。

第2回ワークショップとして、2026年3月3日に東京大学生産技術研究所において“Workshop on Interdisciplinary Approaches to Water Disaster Risk Research”を開催した。本ワークショップには、発表者を含め21名が参加し、水災害リスク研究における学際的アプローチをテーマとして、自然科学データと社会・健康データの統合について議論を行った。基調講演では、Uppsala University の Stefan Döring 博士が“Measuring Hazards, Measuring Society: Integrating Natural Science Data with Social and Health Outcomes”と題した講演を行った。また、社会認知プロセスと脆弱性のモデル化、人間-洪水相互作用モデルへの空間的不均一性の導入、「管理された撤退 (Managed Retreat)」と「自然を活用した解決策 (NbS : Nature-based Solutions)」、エージェントベースモデル、ダム操作戦略のグローバル比較などについて発表と議論が行われた。



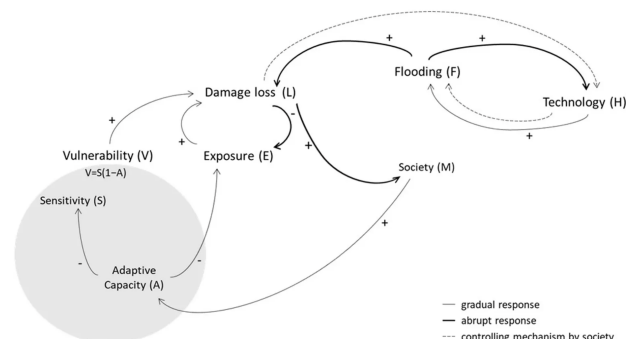
Stefan Döring 博士による基調講演の様子



第2回ワークショップの様子

③脆弱性を明示的に考慮した社会水文モデルの改良

レビューおよびワークショップを通じて得られた最も重要な知見の一つは、既存の社会水文モデルが脆弱性 (vulnerability) を静的・均質・暗黙的にしか扱っていないという構造的限界であった。特に第2回ワークショップにおいて、脆弱性の動的表現と社会的不均一性の導入が喫緊の研究課題として議論された。この知見を受けて、本研究では特定地域への適用よりも普遍的なモデル改良を優先し、脆弱性を動的な内部状態変数として明示的に組み込んだ社会水文モデルの拡張に取り組んだ。



脆弱性を明示的に考慮した社会水文モデルの概念図

具体的には、Di Baldassarre et al. (2015) の既存の人間-洪水フィードバックモデルを拡張し、IPCC 第6次評価報告書 (AR6) のリスクフレームワーク (ハザード×露出×脆弱性) と整合する形で、脆弱性 (V) を感度 (S) と適応能力 (A) の関数として動的に定式化した改良モデルを開発した。露出・感度・適応能力・脆弱性・洪水被害が時間とともに共進化するモデル構造を構築し、同一の水文学的強制力のもとでのモデル実験および Sobol 感度分析によって検証を行った。

主要な結果として、脆弱性を明示的に表現することで、短期的な洪水応答は既存モデルと同期しながらも、長期的なリスク軌跡が根本的に変化することが示された。改良モデルでは、曝露は増大するものの洪水被害は小さくなるという「脱共役」が生じ、これは洪水駆動の速い動態と脆弱性・適応能力による遅い社会プロセスが分離することを反映している。Sobol 感度分析の結果、適応行動の持続性を表すパラメータ (θ_5 : 適応行動の減衰率) が洪水被害の長期的変動を最も強く支配することが明らかとなり、Adaptation Fatigue (適応疲労) の回避が洪水リスクガバナンスにおいて中心的な役割を果たすことが示された。

このモデルは、堤防等のハード対策による洪水ハザードの軽減と、防災教育・リスクコミュニケーション・ガバナンス強化といったソフト対策による適応能力の向上を、脆弱性という共通の媒介変数を通じて一つのフレームワーク内に統合している。すなわち、本成果は、申請書が目指したハード対策とソフト対策の統合的評価フレームワークの概念的基盤を提供するものである。本成果は、国際共著論文 Garcia-Santos et al. (2026) として *Frontiers in Water* から出版した。

3. 研究成果

本研究では、社会水文学の知見を活用した流域治水の統合的評価フレームワークの構築に向けて、レビュー研究および2回の国際ワークショップを実施した。その結果、ハード対策とソフト対策を統合的に評価するために必要な研究課題と今後の方向性を整理することができた。

第一に、堤防やダムなどのハード対策と、災害情報、防災教育、土地利用規制などのソフト対策を、共通の枠組みの中で評価するためには、人間-水相互作用を定量的に表現する社会的パラメータの設定が極めて重要であることが確認された。特に、人々のリスク認知、記憶、避難行動、適応行動などをどのように定量化するかが、統合的評価フレームワークの中核的課題であることが共有された。

第二に、人間-洪水相互作用の空間的不均一性を考慮する重要性が明らかになった。同一流域内であっても、社会経済条件やインフラ整備状況、過去の災害経験などの違いによって洪水リスクや適応行動が大きく異なることから、統合的評価フレームワークにおいても地域ごとの特性を考慮する必要性が確認された。

第三に、流域治水の実践に適用可能な評価手法を構築するためには、グローバルモデルや衛星データと、地域固有の社会・制度・歴史データを統合する必要があることが示された。特に、堤防、防災情報、土地利用、地域知識などの多様な要素を統一的に扱う枠組みの必要性が共有された。

第四に、社会水文学研究を従来の現象理解 (understanding) から、将来予測 (prediction) や政策評価 (evaluation) へと発展させる方向性が確認された。これは、本研究が目指す流域治水の統合的評価フレームワークの構築とも整合するものであり、社会水文学の実践的応用に向けた重要な知見となった。

これらの成果を踏まえて、脆弱性を動的内部状態変数として明示的に組み込んだ社会水文モデルの改良論文を国際誌に出版した。本論文は、「脆弱性の動的・明示的表現」という研究課題に正面

から取り組んだものであり、IPCC AR6 のリスクフレームワーク（ハザード×曝露×脆弱性）と整合する社会水文学モデルの新たな枠組みを提示した。

また現在、社会水文学モデルにおける社会的パラメータの設定方法に関するレビュー論文を現在執筆中である。本論文では、社会認知・記憶・リスク認知の定量化、社会的脆弱性のパラメータ化、行動変容プロセスのモデル化、空間的不均一性の表現、グローバルモデルと地域データの統合などを主要な論点として整理を進めている。

4. 現在の成果と今後の展開

本研究では、社会水文学モデルを用いた流域治水の統合的評価フレームワークの構築に向けて、その課題を体系的に整理するとともに、ハード対策とソフト対策を統合的に評価するために必要な理論的要素を明らかにした。特に、リスク認知、知識、態度、意識といった社会認知プロセス（Social Cognitive Processes）が、人間-水相互作用を媒介する重要な要素であり、それらを適切に定量化することが統合的評価フレームワークの中核となることを示した。

また、国際ワークショップを通じて、地域ごとの社会的異質性（heterogeneity）や、グローバルデータとローカルデータの統合の重要性が共有され、流域治水を評価するための今後の研究課題と方向性を整理することができた。これらの成果は、流域治水政策や防災政策における統合的評価フレームワークの理論的・方法論的基盤を提供するものである。

現在、本研究で実施したレビュー成果を基に、社会水文学における社会的パラメータの設定方法に関するレビュー論文を執筆中である。今後は、本研究で整理した社会認知プロセスや人間-水相互作用の知見を社会水文学モデルへ実装し、堤防等のハード対策と、防災教育、リスクコミュニケーション、ガバナンスといったソフト対策を統合的に評価可能なフレームワークの構築を進める予定である。

さらに、本研究を通じて構築された Blöschl 教授（ウィーン工科大学）、Di Baldassarre 教授（ウプサラ大学）、Döring 博士（ウプサラ大学）らとの国際的研究ネットワークは、今後の社会水文学の発展および実践的応用を推進するうえで重要な基盤となると期待される。

本研究助成による出版物

Nakamura S, Kreibich H, Haeffner M, Mukherjee J, Di Baldassarre G, Sakamoto M, Sugiura M, Blöschl G, Oki T and Sivapalan M (2025) Expanding and mainstreaming sociohydrology toward transdisciplinary praxis. *Front. Water* 7:1629905. doi: 10.3389/frwa.2025.1629905

Garcia-Santos G, Wickramasinghe R, Chetia A and Nakamura S (2026) Integrating vulnerability processes into a sociohydrological model. *Front. Water* 8:1782475. doi: 10.3389/frwa.2026.1782475