

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

①研究代表者	氏名 （ふりがな）		所属		役職
	谷口 健司（たにぐちけんじ）		金沢大学 理工研究域 地球社会基盤学系		准教授
②研究 テーマ	名称	気候変化下における最大クラス洪水推定と水害リスク変容評価			
	政策 領域	[分野] 流域計画・流域管理課題分野		融合 技術	気象シミュレーション, 流出解析, 氾濫解析, 応用都市経済モデル
		[公募課題]			
③研究経費 （単位: 万円）	平成28年度	平成29年度	平成30年度	総 合 計	
※端数切り捨て。	1, 8 7 0 千円	1, 4 6 0 千円	1, 1 7 9 千円	4, 5 0 9 千円	
④研究者氏名	（研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）				
氏 名	所属・役職（※平成31年3月31日現在）				
渋尾 欣弘	土木研究所				
高山 雄貴	金沢大学理工研究域 地球社会基盤学系・准教授				
⑤研究の目的・目標	（申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。）				
<p>気候変化に伴う極端な大雨の強化が懸念されるなか、「新たなステージにおける防災のあり方」では最大クラス洪水は「未定義」とされ、温暖化予測結果を活用した最大クラス洪水推定手法の確立は急務である。また、将来の最大クラス洪水に基づき、土地利用や住まい方を工夫した水害に強いまちづくり等のソフト対策のための治水方策の検討と評価が不可欠である。</p> <p>本研究では、温暖化予測結果及び数値気象モデルを用いて既往洪水をもたらした気象事例の将来変化シミュレーションを行い、それに基づく将来の最大クラス洪水と浸水氾濫域の変化を推定する。さらに、将来の浸水氾濫域を考慮した治水メニューの検討とその実施に伴うリスク変化や経済的影響等の評価を行う。対象には下流域に小松市街地を有し、平成25年に流域内で史上最大の日降水量が観測され、観測開始以来最高水位を記録した石川県内の一級河川である梯川流域を選定する。</p>					

⑥研究成果

(様式 H-10と同じ内容について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

1. 数値気象モデルを用いたシミュレーションによる将来における降水特性の変化

本研究では、数値気象モデルを用いて、これまでに梯川流域で発生した大雨事例の再現及び将来気候シミュレーションを実施する。将来気候シミュレーションについては、擬似温暖化手法により作成した大気場を初期値・境界条件とした気象シミュレーションを行い、特定の気象イベントの将来気候における変化の可能性について検討した。擬似温暖化データの作成には、第5次結合モデル相互比較プロジェクト (CMIP5) における複数の温暖化予測結果を用いた。将来気候には、産業革命前と比較して今世紀末の放射強制力が $8.5W/m^2$ 上昇するRCP8.5シナリオによる予測結果を用いた。また、ラグ平均予報法を応用したアンサンブルシミュレーション手法を適用し、数値気象モデルや温暖化予測結果が有する不確実性を考慮するとともに、多くのシミュレーション結果を用いて水災害リスク等の確率的な評価を実施した。

図-1は本研究で対象とした大雨事例に関するシミュレーションにおける現在気候と将来気候での梯川流域での総降水量及び最大時間降水量等の比較である。総降水量については、現在気候を将来気候が上回るケースもみられる一方、将来気候が現在気候と同程度か、それを下回る結果もみられた。最大時間降水量については、すべての降雨事例で将来気候のアンサンブル平均値が現在気候を上回っているケースが多い。また、将来気候における各アンサンブルメンバーにおける値の分布範囲が現在気候に比べて広く、短時間での極端な大雨が発生しやすいことを示唆している。

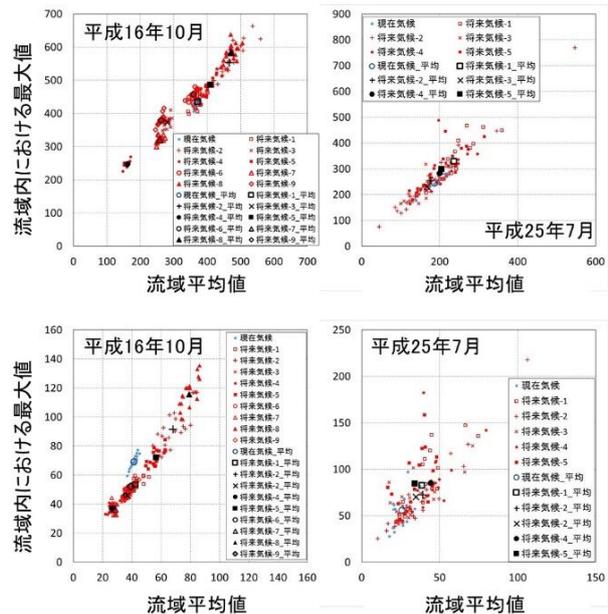


図-1 数値気象シミュレーションによる梯川流域での総降水量（上段）及び最大時間降水量（下段）の比較。青及び赤のマークは各アンサンブルメンバーの結果、黒のマークはアンサンブル平均値。

2. 降雨流出解析モデルによる流出解析

氾濫シミュレーションの実施には、河道モデルの境界条件となる河川流量が必要となる。本研究では、土木研究所、水災害・リスクマネジメント国際センター (ICHARM) で開発された、降雨流出氾濫モデル (Rainfall-Runoff-Inundation: RRIモデル) を用いた流出解析を実施した。

図-2は平成25年7月末豪雨に関する数値気象シミュレーション結果を入力とした、RRIモデルを用いた流出解析による、埴田における流量である。再現シミュレーションではアンサンブル平均のピーク流量が $500m^3/s$ であり、アンサンブルメンバー間における最大値は $724m^3/s$ である。将来気候のアンサンブル平均に着目すると、将来気候1~5のピーク流量は、それぞれ $615m^3/s$ 、 $450m^3/s$ 、 $400m^3/s$ 、 $590m^3/s$ 、 $505m^3/s$ 程度である。

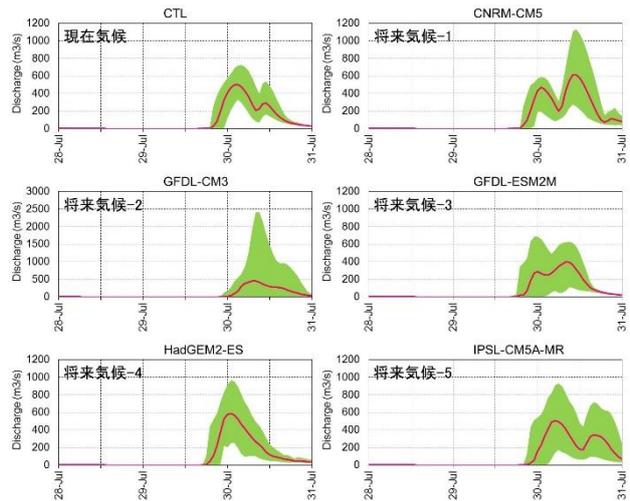


図-2 平成25年7月末豪雨を対象とした数値気象シミュレーション結果に基づくRRIによる流出解析結果(埴田)。実線はアンサンブル平均値、緑の網掛けはアンサンブルシミュレーションによる変動の範囲を示す。

⑥研究成果 (つづき)

将来気候-3以外では、将来気候の最大ピーク流量が現在気候の結果を大きく上回っている。現在気候で大雨をもたらした事例と類似した大気場が温暖化下において形成された場合、アンサンブル平均でみたように平均的には現在気候と同程度かやや大きな洪水流出が発生する傾向があるが、極端に大きな洪水も発生し得ることが示唆された。

3. 氾濫シミュレーションに基づく水災害リスクの推定

氾濫シミュレーションには、東京大学で開発された、シームレス結合モデルを用いた。シームレス結合モデルは、一次元河川流モデル、下水道モデル、氾濫モデルの3つの要素モデルから構成され、氾濫モデルを介して各要素モデルが結合される形となる。本研究で対象とする梯川下流域では、下水道モデルのためのデータが未整備なため、小松市下水道計画に基づく各排水区域に割り当てられた排水施設の諸元情報に基づく簡易な排水モデルを実装した。また、複数の降雨パターンから得られた結果を用いて、期待浸水深や最短避難可能時間等を算出した。

図-3は平成25年7月末豪雨を対象としたもののうち、類似の流出波形を示した4ケースに基づく破堤シミュレーションによる最大浸水深の合成図である。確率年が最も小さいケースでは梯川本川沿いと木場潟北部に50cm~1m、またはそれ以上の浸水が生じている。次に確率年

が大きい2ケースでは河口部に近い下流域で50cm程度の浸水が生じている。確率年が最大のケースでは本川沿いの中流部右岸で浸水深1m程度の地域が拡大し、下流域で浸水深が増加している。

図-4は、図-3に示した結果と、各確率規模降雨に対する重みから算定した期待浸水深である。期待浸水深は、各確率年降雨の生起確率を用いる手法と、最大9時間雨量に関する累積確率に基づく重みを用いる手法の二つで推定した。2つの結果を比較すると、図-4aでは中流部分の両岸でリスクの高い地域が存在するが、図-4bでは高リスク地域は限定的である。生起確率を用いた期待浸水深では、再現期間ごとの重み(すなわち生起確率)に大きな差があり、生起確率が小さな降雨による浸水の寄与が大きくなる。一方、大雨発生の累積確率に基づく重みでは、各対象降雨の寄与(すなわち重み)の差が小さくなり、再現期間の大きな降雨でしか浸水が生じない地域でも、ある程度のリスクが評価されている。

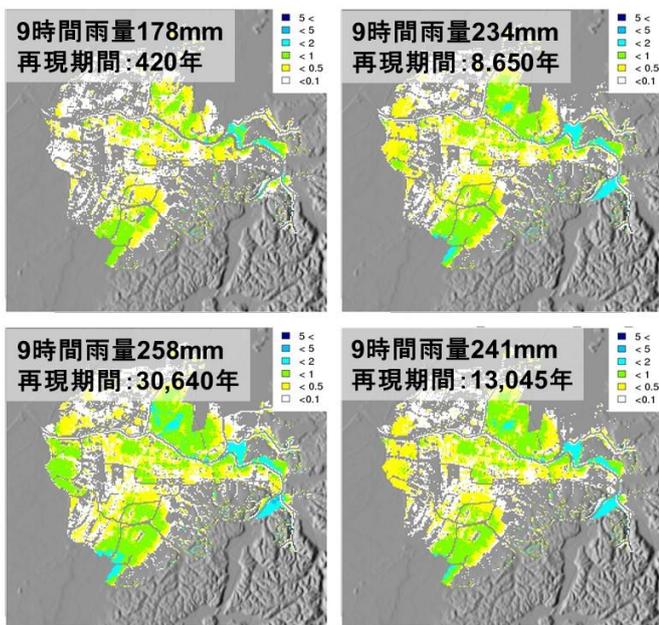


図-3 洪水波形が類似した出水がみられた4ケースに対し実施した破堤シミュレーションから算定した最大浸水深の合成図。単位はm。

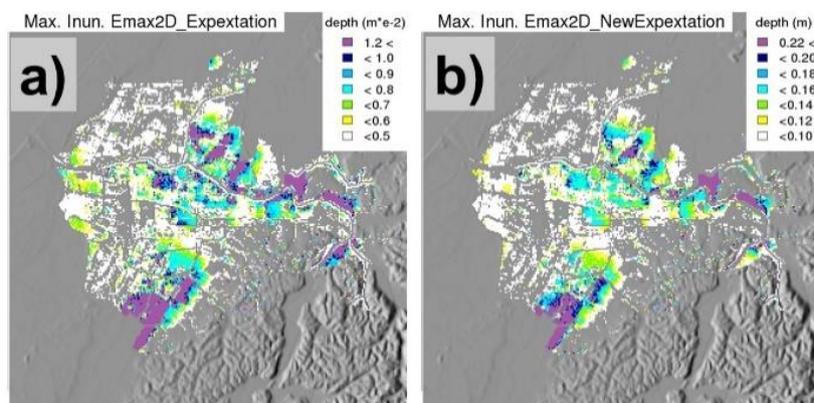


図-4 複数の確率年に対して求めた最大浸水深分布より算定した期待浸水深分布図。a) 生起確率に基づく結果、b) 累積確率に基づく結果。

⑥研究成果（つづき）

図-5aは、浸水深と流速に応じて、浸水発生、車両走行困難、徒歩非難困難、床上浸水、家屋倒壊、死者発生に分類されるリスクランクを求めたものである。図-3bはリスクランク算定手法により推定した徒歩避難可能時間である。同じリスクランクに分類される地域においても、避難可能時間についてはばらつきがある。最大浸水深の寄与が比較的大きいリスクランクは、その地域で生じ得る最大のリスクを把握するには有用であるが、避難の際には小さな浸水深を用いた評価が必要である。特に、破堤が想定される大規模な水害では避難行動が重要であり、様々な降雨波形に応じた避難可能性を算定し、避難準備情報等の発表からどの程度の時間で避難完了する必要があるかを示すことが重要である。

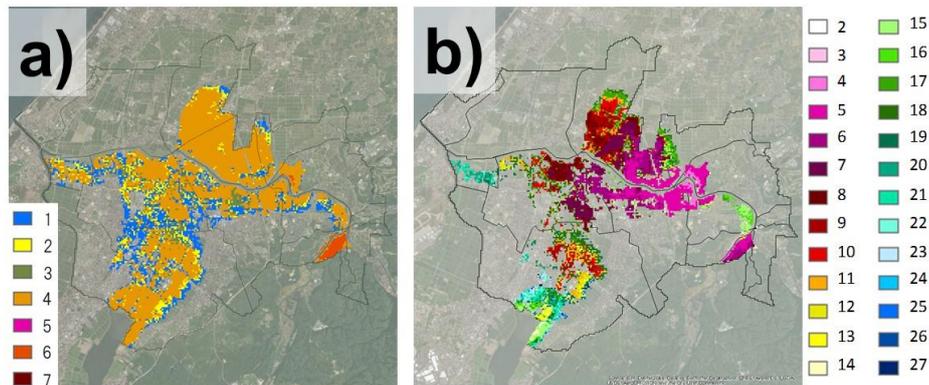


図-5 a) 4 ケースのシミュレーションから求めたリスクランクの合成図。凡例はリスクランクを示す。b) 最短避難可能時間。凡例は時間を示す。

4. 応用都市経済モデルによる都市変容シミュレーション

本研究では、新たな水災害リスク情報が与えられた際や、水災害リスクに応じた経済的負担が課せられた際の都市構造変化を推定するための応用都市経済モデルを構築した。本モデルでは既存の計量モデルでは無視されてきた都心の内生的形成メカニズム（企業間の社会的相互作用）を導入している。本モデルでは、対象とする梯川流域の社会経済データ、及び計画規模降雨に基づくハザードマップを用いて現在の都市構造を説明するパラメータを推定したのち、想定最大規模降雨による浸水想定情報を入力とした場合、及び水災害リスクに応じた保険料負担が課された場合の都市変容シミュレーションを実施し、水災害情報の公開や、経済的負担を伴う水施策が都市構造の変化に与える影響を検討した。

図-6aは梯川流域における想定最大規模降雨に基づく浸水想定区域図を、応用都市経済モデルによるシミュレーションのために再構築したものである。また、それを入力としたシミュレーション結果を図-6b, cに示す。想定最大規模降雨によって3m 以上浸水する立地点では、他の立地点よりもアメニティ水準・生産性が低くなり、家計・企業数ともに減少する。3m 以上の浸水が見られない立地点では、家計または企業が増加するが、そのため地代が上昇するため、浸水リスクが高くても、地代が安いまたは利便性の高い立地点への移動インセンティブが働く。実際、3m の浸水が生じる立地点での家計・企業の増加する現象が見られた。

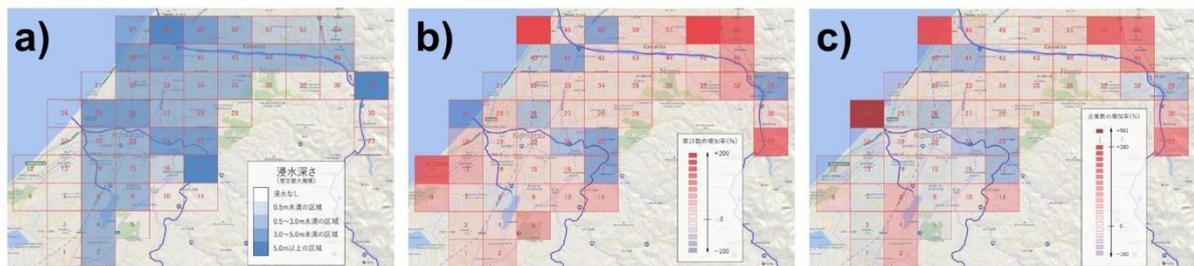


図-6 a) 想定最大規模降雨での浸水深分布, b) 浸水リスクが変化した場合の家計数の成長率, c) 浸水リスクが変化した場合の企業数の成長率, .

⑥研究成果（つづき）

図-7aは、複数の異なる規模の降雨に対して算定した最大浸水深と降雨の重みからリスクを定義し、リスクに応じて課した保険料の分布である。また、図-7b, cは、家計のみに保険料を課した場合の家計・家計数の成長率である。保険料を負担する立地点では家計数の減少が見られる。また、居住地の変更に伴い通勤費用が変化することから、就業地も変化する。その結果、保険料が設定される立地点の企業数も減少する。ただし、企業数の減少率が大きい立地点では地代も低下するため、保険料が課されるにもかかわらず、家計や企業が増加するケースも見られた。

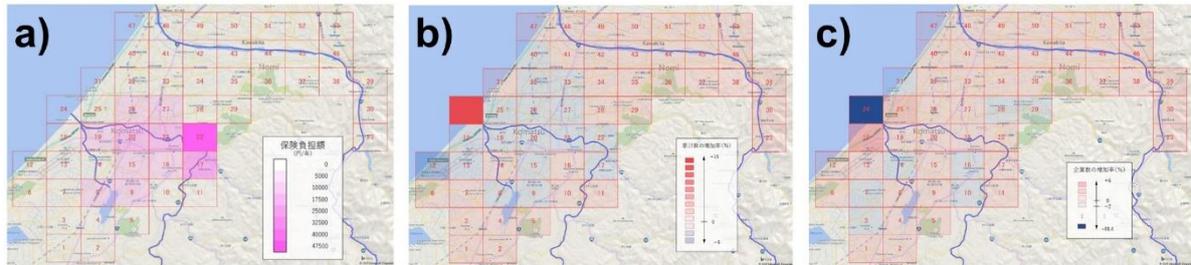


図-7 a) 立地点別の保険料, b) 保険料負担を課した場合の家計数の成長率, c) 保険料負担を課した場合の企業数の成長率.

5. 洪水氾濫に伴う経済損失の算定

数値気象モデルにより得られた降雨を引き伸ばした様々な降雨パターンを作成し、流出解析及び氾濫シミュレーションを実施したのち、得られた浸水深から洪水氾濫被害額の算定を行った。複数の氾濫シミュレーション結果から期待氾濫被害額を算定するとともに、都市変容シミュレーションによって推定された、変化後の都市構造においても氾濫被害額を算定し、水災害リスク情報の更新や保険料負担等が被害軽減にもたらす影響を調べた。

図-8は期待浸水深を求めたと同様の二つの手法によって算定した氾濫被害額の分布である。生起確率に基づく重み W_1 を用いた場合、ほとんどのメッシュで被害額は500万円を下回っている。また、梯川中流部左岸側で被害額が1,000~2,500万円ほどの地域がみられる。累積確率に基づく重み W_2 を用いた場合、被害額が500~1,000万円のメッシュが多く、中流部左岸側で期待被害額が減少している。梯川左岸側の本川沿いの地域では再現期間が小さい降雨でも浸水が生じ、重み W_1 を用いると、期待被害額も過大評価される。再現期間が大きい降雨のみで浸水が発生する地域では期待被害額が過少評価される可能性がある。一方、重み W_2 を用いた場合には、総被害額が地域全体にならされるため、対象地域内での経済損失のリスクの差が緩和されることとなった。

都市構造が変化した場合の氾濫被害額と元の都市構造における被害額との比較では、水災害リスクが変化した場合、図-6bに示すような家計の移動が生じ、それに伴う被害額の減少がみられた（図-9）。一方、移転先では被害額が増加する結果となった。保険料負担を課した場合には、変化額は小さいがいずれの地域でも被害が増加するとの結果がみられた（図は略）。

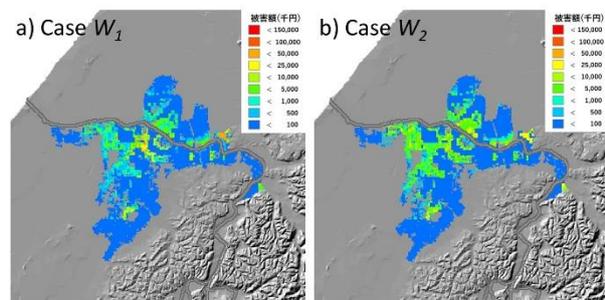
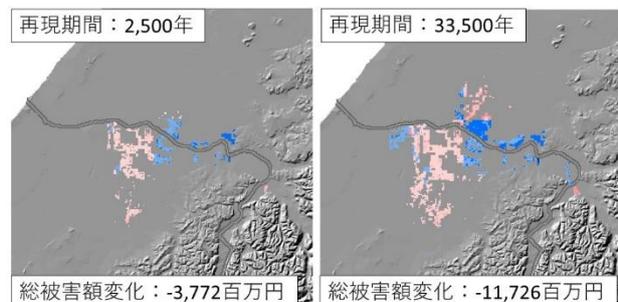


図-8 複数の確率年に対する最大浸水深分布より算定した期待氾濫被害額分布。a) 生起確率に基づく結果, b) 累積確率に基づく結果。



被害額の増減(百万円)

+3 ~ +7	+1 ~ +3	0 ~ +1
-10 ~ 0	-50 ~ -10	-150 ~ -50

図-9 水災害リスク情報の変化に伴い都市構造が変化した場合の氾濫被害額の増減。

⑦研究成果の発表状況

(本研究の成果について、予定しているものも積極的に記入して下さい。(以下記入例))

- これまでに発表した代表的な論文
 - 谷口健司, 渋尾欣弘, 吉村耕平: 鶴見川流域を対象とした既往大雨事例に基づく降水及び河川流量の将来変化, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.73, No.4, I_181-I_186, 2017.
 - 佐貫宏, 渋尾欣弘, 李星愛, 吉村耕平, 田島芳満, 古米弘明, 佐藤慎司: 都市沿岸部を対象とした浸水ナウキャストシミュレーション, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.73, No.2, pp.I_499-I_504, 2017.
 - Takayama, Y. and Kuwahara. M.: Bottleneck congestion and residential location of heterogeneous commuters, Journal of Urban Economics, Vol.100, pp.65-79, 2017.
 - 谷口健司, 渋尾欣弘: 氾濫解析モデルを用いた降雨の時空間特性と氾濫及び浸水形態の違いに関する検討, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.4, I_1489-I_1494, 2018.
 - Taniguchi, K.: A simple ensemble simulation technique for assessment of future variations in specific high-impact weather events, J. Geophys. Res.: Atmos., Vol.123, pp.3441-3461, 2018.
 - 谷口健司, 渋尾欣弘: 擬似温暖化手法による複数の確率年降雨に基づく氾濫解析と期待浸水深推定の試み, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.5, I_1405-I_1410, 2018.
 - 渋尾欣弘, 李星愛, 佐貫宏, 吉村耕平, 田島芳満, 佐藤慎司, 古米弘明, 河川・下水道の一体解析に基づく河川水位の予測精度向上に関する研究, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.74, No.5, pp.I_1357-I_1362, 2018.
 - 高山雄貴: 時間的集積の経済を考慮した始業時刻・住宅立地選択モデル, 土木学会論文集D3(計画学), No.74, No.2, pp.140-151, 2018.
 - 中村孝一, 高山雄貴: 企業と家計の相互作用を考慮した都市形成モデルの開発, 土木学会論文集D3(計画学), No.74, No.2, pp.555-569, 2018.
- 著書(教科書、学会妙録、講演要旨は除く)
 - 古米弘明, 渋尾欣弘: 都市浸水リスク予測・管理制御に向けた研究開発, 下水道年鑑, pp.65-79, 2018.
- 主要雑誌・新聞等への成果発表
 - 渋尾欣弘, 古米弘明: IoTを活用した河川・下水道のシームレスモデルによるリアルタイム浸水予測手法の開発, 下水道協会誌, Vol.56, No.675, 2019. (印刷中)

⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

- 「防災とボランティア週間」防災講演会(主催:北陸地方防災エキスパート, 特定非営利活動法人新潟ボランティア協会, 新潟県治山ボランティアセンター), 講演タイトル「気候変化の影響を考慮した氾濫解析と水災害リスク評価」(谷口健司), 新潟東映ホテル, 平成31年1月17日, 参加者数:約200名.
- 「経済集積・分散の空間範囲:理論的基礎と実証的示唆」RIETI ディスカッション・ペーパー ノンテクニカルサマリー
<https://www.rieti.go.jp/jp/publications/nts/17e125.html>
- 「線分経済における新経済地理学モデルの集積パターン:競技場経済との類似性」RIETI ディスカッション・ペーパー ノンテクニカルサマリー
<http://www.rieti.go.jp/jp/publications/nts/16e018.html>
- 「多地域経済における集積:多極パターンの創発メカニズム」RIETI ディスカッション・ペーパー ノンテクニカルサマリー
<http://www.rieti.go.jp/jp/publications/nts/16e009.html>

⑨表彰、受領歴

(単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

●土木計画学研究委員会優秀ポスター賞

受賞論文：集積の経済を考慮した応用都市経済モデルの開発

著者：島村 博徳，高山 雄貴，中村 孝一，山口 裕通（発表者の島村 博徳氏が受賞）

⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や流域計画・流域管理政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

本研究では、アンサンブルシミュレーションや複数の温暖化予測結果を用いたシミュレーション結果から、様々な確率規模降雨に対する浸水情報に基づく期待浸水深や氾濫被害額の期待値の算定を行った。得られた結果は、特定の降雨イベントに基づくものであり、より普遍的な結果を得るためには様々なイベントを対象としたシミュレーションが必要である。また、期待浸水深の算定にはふたつの異なる重み付け手法を用いた。一方では確率年の大きい（再現期間の長い）降雨の影響を過小評価する可能性があり、それを軽減する別の手法を提案した。対象地域内の水災害リスクの差異を抽出するには前者が適しており、確率年の大きい降雨の影響を見込むためには後者が適している。どちらの手法を用いるべきかは目的によって変化し得ると考えられるが、今後それぞれの手法の精査と、活用方法に関する検討が不可欠である。

応用都市経済モデルと連携した水災害リスク評価については、様々な保険料額を設定した際の応答や、高リスク地域の保険適用地域からの除外による影響の検討、高リスク地域からの移転を促す助成等の経済的な施策、コンパクトシティ化による都市アメニティ配置の変化の影響など、様々な流域計画・流域管理のための施策を検討し、モデルへ適用していきたい。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、流域計画・流域管理政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

気候変化に伴う極端な大雨の強大化が懸念されるなかで公表された「新たなステージにおける防災のあり方」にあるとおり、想定最大規模の大雨等に対して、施設による対策だけで治水を実現することは困難である。一方で、現在の計画規模降雨（L1レベル）と想定最大規模降雨（L2レベル）には大きな乖離があり、L1.5レベルともいえる中間規模降雨発生時の水防災のあり方についての検討も不可欠である。本研究手法では、複数の温暖化予測モデルの結果とアンサンブルシミュレーションを組み合わせることで、将来において現在の想定最大規模降雨を上回る降雨が生じる可能性や、多くのシミュレーション結果から降雨強度別の発生頻度を算定するなどして、L1.5レベル相当の降雨の推定が可能である。L1.5レベル降雨について検討を行うことは、たとえば排水機能の強化や宅地かさ上げ、輪中堤の整備などの追加的なハード対策により、破堤氾濫時の被害軽減を図るべき地域の抽出に有用である。このような危機管理型対策の実施により水防災に関するフェイルセーフ機能を有した地域づくりに、本研究は貢献可能である。

また、本研究で構築した応用都市経済モデルは、水防災に係る都市計画的施策が実施された際の都市の挙動や、水災害リスクに応じた経済的施策（保険適用、税制優遇、補助金）を実施ことによる都市の挙動を推定可能である、また、都市構造が変化した際の氾濫被害額算定を実施することで、大規模水災害が発生時の地域復興に有する予算規模の算定なども期待できる。

本研究で実施したような、様々なハザードを想定し、有効な都市計画的施策を仮定し、その条件化での都市変容シミュレーションを実施し、再度水害リスクを評価するといったフィードバック的な評価手法は、新たな方法論によって、危機管理型対策の実施や、水防災の観点から最適な都市・地域のあり方を模索するという河川管理・まちづくり手法の確立につながる。