

# 気候リスク情報開示への広域洪水モデルの活用と 流域治水への展開

Use of Global Flood Models for Climate-related Risk Disclosure  
and Its Potential Application to River Basin Management



やまざき だい  
**山崎 大**\*1  
YAMAZAKI Dai



ひらばやし ゆ き こ  
**平林由希子**\*2  
HIRABAYASHI Yukiko

## 1. はじめに

現在進行中の人為起源の地球温暖化により、日本を始めとする東アジア域では洪水の頻度および強度が増大することは確実である。気候変動による水災害の激甚化などに対応するため、河川だけでなく氾濫域も含めてあらゆる対策を行う新たな治水計画である「流域治水」が提案されている。流域治水を推進して水害に強い社会を築くためには、流域内の浸水リスク分布を適切に把握した上で、河川管理者によるハードウェア対策でリスクを低減させるだけでなく、流域内の企業や住民、あるいは金融保険業界なども連携して、リスクの分散や保障も含めた多角的なアプローチをとる必要がある。また、流域治水が掲げる対策を実現するには、制度整備や合意形成にある程度長期の時間を見込んでおく必要があることを踏まえると、気候変動による洪水リスク変化を現在の段階で考慮することも重要になる。

流域治水における対策を効率的に計画し実施する上で、将来気候までを考慮した洪水リスクを、流域内の様々なステークホルダーが適切に認識していることが重要になるであろう。これまでは、行政による整備計画の費用対効果分析によって事業の妥当性を評価するアプローチが中心であったが、流域治水においては住民や民間事業者が主体的に各々の保有する洪水リスクを認識することで、より効果的かつ多様な対策オプションの検討が進むと期待できる。現在および将来の浸水発生頻度や想定被害額を把握できれば、止水版設置や嵩上げといった対策の経済的効果や、遊水池として浸水を許容する地区での水災保険の制度設計といった具体的な議論を進めることができるだろう。

本稿では、民間事業者が気候変動を踏まえた洪水リスクを把握する機会として、流域治水とは別の枠組みであるが近年注目が集まっている「気候リスク情報開示」の枠組みに焦点を当てる。これは、金融機関や民間事業者に各々の保有する気候変動関連のリスクを情報開示し、適切な対策を求めることによって、気候変動対策と金融システム安定化の双方を進めるという画期的な試みである。その背景には、激甚化する気象災害による損失額の増加や低炭素社会への移行にかかるコストなどによって、気候変動問題が企業の経済活動の安定性に深刻な影響を与えるという懸念がある。代表的な枠組みとしては、G20の要請を受けて金融安定理事会が設立したTCFD（Task force for Climate-related Financial Disclosure：気候関連財務情報開示タスクフォース）によるTCFD提言が挙げられる。TCFD提言では、企業などに対し気候変動関連のリスクおよび機会を分析し、投資家に向けて保有するリスクや対策について情報開示を行うことを推奨している。日本でも東証が2022年から、プライム市場上場企業に対してTCFD提言に沿った情報開示を義務付けるなど、気候リスク情報開示が浸透しつつある。（より詳しい解説は、山崎ら、2022を参照）

気候リスク情報開示への対応の一つとして将来洪水リスク分析の需要は高まっているものの、それを実施するのは容易ではない。その理由として、リスク分析を行うためのデータやツールが不足している点が挙げられる。洪水のリスク（想定被害額）を算定するためには、分析対象地点の想定浸水深と被害関数（浸水深さに対する資産額の被害割合など）を用いる手法が一般的である（国土交通省、2023）。日本の主要河川においては、水防法に基づき国・都道府県が作成している想定最大規模および計画規模の想

\* 1 東京大学 生産技術研究所 准教授

Associate Professor, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

\* 2 芝浦工業大学 工学部 土木工学科 教授

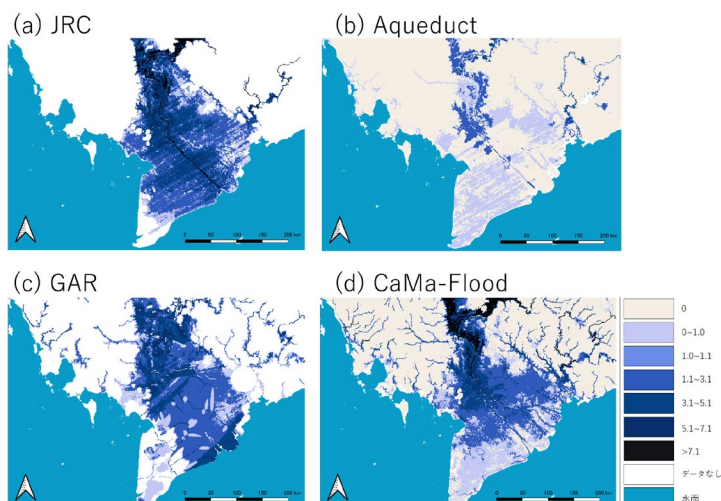
Professor, Department of Civil Engineering, Shibaura Institute of Technology

定浸水深分布図（本稿ではこれを「行政整備ハザードマップ」と呼ぶ）の整備が進んでいる。しかし、これらは現在気候下における想定浸水深を示すものであり、行政整備のハザードマップだけから将来の激化する洪水によるリスク増分を算定することは難しい。また、一級河川など比較的規模の大きい河川から整備が進んでいるが、中小河川を中心に、情報が未整備または不確実性の大きい河川が多数存在することなどが問題である。

既存の洪水防護設備も考慮に入れた、洪水規模の異なる複数の水害リスクマップの構築など、行政整備ハザードマップの高度化は進んでいる。しかし、気候リスク情報開示の枠組みでは早急な対応が要求されており、公的な洪水リスク情報の整備完了を待ってられない状況である。特に、民間企業の活動に重要な海外拠点の洪水リスクや、気候リスク開示で求められる将来リスク分析へのニーズが高まっている。こうした行政整備ハザードマップだけでは対応できないニーズに答えるため、グローバル洪水モデルのシミュレーションに基づく「広域洪水ハザードマップ」に期待が寄せられている。本稿では、グローバル洪水モデルの仕組みと広域洪水ハザードマップの特徴を、行政整備ハザードマップと比較しながら紹介することで、その有効性と利用における注意点を整理する。

## 2. グローバル洪水モデルによる広域洪水ハザードマップ開発

グローバル洪水モデルは、地球全域といった広域を対象とした河川氾濫シミュレーションを実行できるモデルの総称である。地球上の任意地点における洪水ハザード計算を実現するために、[1] 衛星観測データや気候/気象モデルデータなど広域をカバーするデータセットを用いる、[2] 河川と氾濫原における水動態を効率よく計算するために、河川流れの物理プロセスの簡略化や河道断面のパラメータ化といった工夫を実施している、という点が特徴である。そのため、行政整備ハザードマップの構築に用いられる、特定の河川流域や河川区間を対象として詳細な地形情報や物理プロセスを表現する精緻なモデルに比べると精度は低くなる。しかしながら、地球上のあらゆる地域において、モデル構築・外力データ整備・シミュレーション実行という一連の流れを、システムティックに効率よく行える点や、比較的均質な情報を得ることができる点が強みである。この利点を生かして、地球全域をカバーする広域洪水ハザードマップがグローバル洪水モデルを用いて構築されている（図一）。中小河川や海外の河川も対象に複数再起確率の想定浸水深データを推計できるため、行政整備ハザードマップの開発が追いついていない地域での洪水リスク分析に活用できる。グローバル洪水モデルの解説や広域



〈図一〉 広域洪水ハザードマップの例。メコンデルタ地域をクローズアップしたもの。(a) EC-JRCによるハザードマップ、(b) World Resources InstituteのAqueductハザードマップ、(c) UNDRRのGARレポートのハザードマップ、(d) 東京大学CaMa-Floodのハザードマップ。各プロダクトの詳細な説明は（平林ら、2022）でまとめられている。図は（平林ら、2022）をもとに改変。

洪水ハザードマップのスペック比較については、（平林ら、2022）を参照されたい。

グローバル洪水モデルは学術的にも比較的新しい研究分野であり、2010年ごろから活発に研究開発が始まり、現在でも物理プロセスや入力データセットの高度化が進んでいる。モデル要素ごとの開発状況を〈表一〉で比較した。河川および氾濫原の流れを表現する物理方程式については、グローバルモデルでは計算が簡易なキネマティックウェーブ式を用いるモデルが多かったが、河川合流部の洪水流の背水効果や河道分岐などを考慮できるより物理的に妥当な浅水波方程式を用いるモデルも登場している。標高や河川網などの流域地形データについても、グローバルに利用できる衛星標高データに含まれる誤差が大きな課題となっていたが、近年は誤差低減を施した高精度な地形データが登場し、広域洪水氾濫モデルの高精度化に大きく貢献している。〈図一〉に例示した広域洪水ハザードマップでは、CaMa-Floodが高精度地形データを採用しており、他プロダクトでは縞状のノイズの影響が見られる。また、ダム・堤防・遊水池などによる洪水防護を直接的・間接的にモデル計算に反映させる取り組みも行われている。グローバル洪水モデルはまだ発展途上ではあるものの、河川流れを記述する方程式系や流域地形データについては、行政整備ハザードマップと比較しても大きく見劣りしないものが採用されているモデルが登場しつつある。

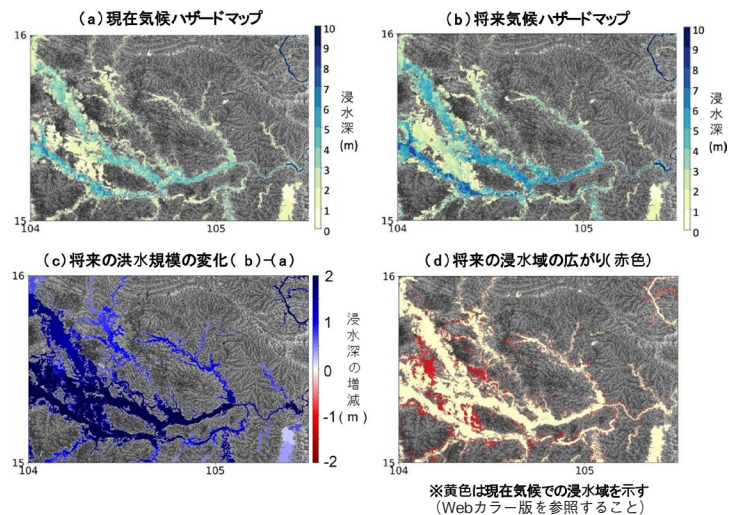
一方で、ほとんどのグローバル洪水モデルに共通して大きな不確実性が残っているモデル要素も存在する。降雨や上流端流量などの外力データは、限られた観測情報の統計分析と気候/気象モデル出力を組み合わせることで準備することが多いため、十分な観測データを基に想定降雨量や計画流

量を求める特定河川を対象としたモデルよりも多くの誤差を含んでいる。また、河道断面形状といったローカルな地形情報が得られない地域がほとんどであるため、グローバル洪水モデルでは年平均流量を用いた経験式などで河道幅や河道深さを求めており、洪水氾濫計算における大きな不確実性となっている。

現在のところ、各グローバル洪水モデルには長所と短所があり、ある特定モデルのシミュレーション結果のみを用いることは推奨できない。例えば、東京大学で開発されているCaMa-Floodモデルは、サブグリッド地形表現や高精度河川地形データの活用などにより、グローバル洪水モデルの中では比較的高いスペックを持っていることが〈表1〉からも読み取れる。しかしながら、河道断面形状・入力流出量データ・洪水防護の表現にはまだ大きな不確実性が残されている。〈表1〉にあげたモデル要素の全てが高精度な河川氾濫シミュレーションを実施するのに求められており、一つでも誤差が大きいモデル要素があると、モデルが得意とする他要素の利点が打ち消されてしまう可能性があることに注意が必要である。例えば、河道深さパラメータが現実よりも非常に大きい場合、他の全てのモデル要素に誤差がなくても推定される浸水リスクは小さくなる。〈表1〉のような比較表で優れた点が多いからと言って、そのモデルが任意の地点で他モデルよりも精度が高いとは限らない。そのため、グローバル洪水モデルを用いたリスク分析では、分析対象地点において用いるグローバル洪水モデルによる浸水深推定が妥当であるかを、都度精査することを推奨する。

グローバル洪水モデルのもう一つの強みとして、将来の広域洪水ハザードマップの構築を比較的簡単に行えることが挙げられる。特にカスケード形と呼ばれる気候/気象モデルの降雨量や流出量を入力データとするグローバル洪水モデルの場合は、入力データを気候モデルによる将来予測

データに差し替えることで、気候変動影響を考慮した河川氾濫シミュレーションを実施することができる。ただし、気候モデルが計算する降雨量や流出量には依然として大きなバイアスが含まれており、それを補正しなければ現実的な浸水深さ分布を得ることは難しい。近年では、気象再解析データと気候モデル予測データを組み合わせることで、物理的に妥当な将来の広域洪水ハザードマップの作成が実現しつつある (Kimura et al. 2023)。例えば、将来の100年洪水によるリスク評価を簡単に実施する場合には、〈図2〉aのような現在気候の100年確率洪水の頻度変化のみ、すなわち洪水が生じる場所は固定でその頻度変化を考慮することでリスク増加を概算することもできる。しかし、将来の洪水シミュレーションに基づく浸水で、〈図2〉c, dのように浸水深も浸水範囲も現在のハザードマップより大きくなっている場合には、現在気候のハザード



〈図2〉 CaMa-Floodによる現在および将来の広域洪水ハザードマップ。メコン支流のMum川流域の100年確率洪水の想定浸水深を示した。(a) 現在気候のハザードマップ、(b) 将来気候RCP8.5シナリオ21世紀末のハザードマップ、(c) 将来の想定浸水深の変化、(d) 将来の想定浸水域の広がり。(Kimura et al. 2023より改変)

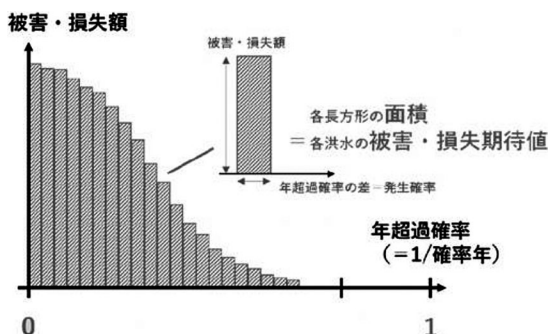
〈表1〉 広域洪水ハザードマップ比較表

	行政整備ハザードマップ	広域洪水ハザードマップ				
	洪水浸水想定区域図	GAR2015: Global River Flood Hazard	EC-JRC: River Flood Hazard Map	Aqueduct: Floods Hazard Maps	Fathom: Global Flood Hazard Map	東京大学CaMa-Floodを用いた 洪水ハザードマップ
空間解像度	約5-10m	3arcsec (約100m)	欧州: 3arcsec (約100m) 全球: 30arcsec (約1km)	30arcsec (約1km)	1arcsec (約30m)	3arcsec (約100m) 低解像度版を無償公開予定
対象河川のサイズ	水防法による洪水予報河川 および水位周知河川	約1000km <sup>2</sup> 以上	約5000km <sup>2</sup> 以上	約10,000km <sup>2</sup> 以上	約50km <sup>2</sup> 以上	約100km <sup>2</sup> 以上
再現確率 (多段階浸水想定図を整備中)	計画規模と想定最大規模 (多段階浸水想定図を整備中)	25,50,100,200,500,1000年	10,20,50,100,200,500年	2,5,10,25,50,100,250,500,1000年	5-1000年 (有償プロダクト)	2年-1000年 (公開版は一部ののみ)
河川の水の流れの 物理的なプロセス	十分に表現 河川不等流計算、氾濫2次元解析などを実施	水位計算精度に難あり 各グリッドで洪水流量を定め、 マンニング式で流量を河川水位に変換	水位計算精度にやや難あり キネマティックウェーブ、河道分岐なし 背水効果はダウンスケール時のみ考慮	水位計算精度に難あり キネマティックウェーブ 河道分岐なし、背水効果なし	妥当に表現 洪水波方程式・ 河道分岐や背水効果を考慮	妥当に表現 洪水波方程式・ 河道分岐や背水効果を考慮
標高や河道網などの 流域地形データ	高精度 行政整備の高精度地形データを利用	精度に難あり バイアス・ノイズ等が含まれる衛星データ	精度に難あり バイアス・ノイズ等が含まれる衛星データ	精度に難あり バイアス・ノイズ等が含まれる衛星データ	比較的高精度 誤差を低減した高精度衛星データ	比較的高精度 誤差を低減した高精度衛星データ
降雨・流量などの 外力データ	対象河川ごとに用意 対象河川ごとに過去の降雨量・流量を 統計処理して計画外力を設定	比較的不確実性が大きい 限られた観測流量から地域洪水モデル分析で 上流端ハイドログラフを作成	比較的不確実性が大きい グローバルな気候/気象データと 降雨-流出モデルを用いる	比較的不確実性が大きい グローバルな気候/気象データと 降雨-流出モデルを用いる	比較的不確実性が大きい 限られた観測流量から地域洪水モデル分析で 上流端ハイドログラフを作成	比較的不確実性が大きい グローバルな気候/気象データと 降雨-流出モデルを用いる
河道断面などの ローカル地形データ	高精度 現況の河道断面を使用	不確実性が大きい 年流量や流域面積の経験式で定める	不確実性が大きい 年流量や流域面積の経験式で定める	不確実性が大きい 年流量や流域面積の経験式で定める	不確実性が大きい 年流量や流域面積の経験式で定める	不確実性が大きい 年流量や流域面積の経験式で定める
ダム・堤防などの 洪水防護施設	考慮している 現業のダム・堤防の効果を反映	ダム影響を河川流量算定に反映 都市域の洪水防護を浸水深に反映	ダム影響を河川流量計算に反映	洪水防護レベルとして考慮 各地域の洪水防護レベル (どの線まで被害を 防げるか) を考慮し、想定浸水深さを補正	防護を考慮した ハザードマップも利用可	考慮していない ※研究開発中
海外の河川	作成していない	利用可能	利用可能	利用可能	利用可能	利用可能
将来ハザードマップ	作成していない	なし	なし	利用可能	利用可能	利用可能

※ (国土交通省, 2023) の比較表をもとに改変

マップに基づくリスク評価ではリスクの見落としが生じうる(図-2)。将来ハザードマップを整備することによって、頻度変化分析だけでは把握できない洪水規模の変化によるリスクの分析が可能になると期待される。

また、長期間の連続シミュレーションデータの極値分析によって発生確率ごとの洪水規模(流量や浸水深)を推計するため、任意の再起確率の広域洪水ハザードマップを効率よく構築できる点もグローバル洪水モデルの強みである。複数再起確率の浸水深データと被害関数を用いて発生確率と被害額の関係を表すリスクカーブを作成し、それを積分することで洪水による年間被害額の期待値を求めることもできる(図-3)。行政も複数再起確率のハザードマップの整備に取り組んでいるので期待値ベースのリスク分析は今後進んでいくと考えられるが、グローバル洪水モデルを用いると将来の広域洪水ハザードマップを用いて気候変動が進展した場合の年間被害額の期待値も算定することが可能になる。リスクカーブを用いたアプローチは、企業にとっては将来気候までを考えた経営安定戦略を練る際の参考にと考えると考えられる。



〈図-3〉リスクカーブを用いた年間被害額の期待値算定のイメージ図。各長方形は各規模の洪水による被害額期待値に相当し、それを足し合わせたものが年間被害額の期待値に相当する。図は(国土交通省, 2023)から引用。

### 3. 広域洪水ハザードマップの精度は？

世界各地に拠点を持つ企業が海外における現在および将来の洪水リスクの把握をする際には、広域洪水ハザードマップが用いられるようになってきた。しかし、より積極的にグローバル洪水モデルの出力結果を利用していくには、いくつかの課題を克服する必要がある。現時点で広域洪水ハザードマップへの要望としてよく挙げられるのは、グローバル洪水モデルの計算結果がどの程度信頼性を持つかを客観的に評価することである。もちろん、グローバル洪水モデルによるシミュレーションは、河川流量・水位・浸水

域などの観測データを用いて、地点ごとに検証されている。また、行政整備ハザードマップとの一致度の比較によって広域洪水ハザードマップの利用可能性を議論する研究も行われている(北と山崎, 2022)。

しかしながら、モデル検証に用いる観測データがない地点において、グローバル洪水モデルによる浸水深の推定値がどの程度の精度を持ちうるかを定量的に評価することはできていない。つまり、現状のグローバル洪水モデルは、任意地点において洪水氾濫計算を実行することはできるが、各地域における精度を担保することができていないのが現状である。これを克服するために、複数のグローバル洪水モデルによる広域洪水ハザードマップの相互比較による不確実性評価(Trigg et al., 2016; Bernhofen et al. 2018)や、大規模アンサンブル気候実験を用いた入力データに起因する不確実性の定量化(Kita et al. 2023)といった研究が進んでいる。また、衛星による浸水域や水面標高の観測データを用いて、広域でモデル性能を評価する研究も進んでおり(Zhou et al. 2021)、これが実現すると河川サイズや気候帯といった特徴ごとにグローバル洪水モデルがどの程度の精度を持つのかを客観的に示すことが可能になると考えられる。

### 4. 今後の方向性

グローバル洪水モデルの発展により広域洪水ハザードマップの整備が進んだことで、気候リスク情報開示の要請に基づいた企業主体の洪水リスク分析が進んでいくと期待される。国土交通省が2022年3月に「TCFD提言における物理的リスク評価の手引き」を公開したのち、現在および将来の広域洪水ハザードマップにアクセスできるWebGISも公開されている<sup>1</sup>。各企業が保有する現在および将来の洪水リスクを評価するためのツールは揃いつつあると言えるだろう。ただし、どのシナリオを適用するかには、事業形態や規模によって異なるため、各企業が状況に応じて判断する必要がある。このような判断をサポートするための洪水リスク評価の専門的知識をもつコンサルタント企業も存在し、洪水リスクを含めた気候リスク評価を実施するためのサービスが充実しつつあると言える。

しかしながら、現在の広域洪水ハザードマップはまだ精度が十分ではなく、グローバル洪水モデルのさらなる高度化も必要である。特に、ダム・堤防・遊水池などの洪水防護を反映して、洪水リスクの実態を適切に反映させた広域洪水ハザードマップの開発は大きな挑戦の一つである。特に、日本は世界と比較しても洪水対策が進んでいることか

<sup>1</sup> CaMa-Floodを用いた将来の広域洪水ハザードマップが、東京大学・芝浦工業大学・MS&ADインターリスク総研との共同研究LaRC-FloodプロジェクトのWebPage ([https://www.irric.co.jp/risksolution/sustainability/prediction\\_map/](https://www.irric.co.jp/risksolution/sustainability/prediction_map/)) および、株式会社GaiaVisionのWebPage (<https://www.gaia-vision.co.jp/service/>) にて、無償公開されている。

ら、洪水防護が十分に反映されていない現状の広域洪水ハザードマップではリスクが過大評価されていると想定できる。これまで行われてきた洪水対策事業の効果を広域洪水ハザードマップに反映させることで、欧米などで作成された既存プロダクトでは過大評価されていた日本の洪水リスクをより実態に即して示すことができる。これと水災害からのきわめて迅速な復興などの情報等とセットで海外向けに発信すれば、国際的な投資の呼び込みなどに繋がる可能性もある。

広域洪水モデルの基本的な地形パラメータなどの改善も重要となる。とくに、河道断面形状のパラメータには大きな不確実性が含まれており、広域洪水ハザードマップの精度向上における大きな障壁となっている。河道断面形状は河道の計画・施工・管理の際に情報としては取得されているはずであり、これら河川管理のための情報を洪水シミュレーションモデルといった危機管理のためのツールと共有するDX的な取組みが実施されれば、ハザードマップや洪水予測の高度化が進むだろう。

また、研究機関や民間企業によって様々な広域洪水ハザードマップや氾濫シミュレーションツールが開発されつつある中、それぞれのプロダクトの信頼性を客観的に評価するような仕組みも求められる。氾濫シミュレーションに用いられるモデルやデータの透明性を高めると共に、共通の観測データや性能指標を用いた精度評価のベンチマークを行えるような枠組みがあれば、ユーザーにとってもプロダクト開発者にとっても有益であると考えられる。

さらに、TCFDなどの気候リスク情報開示の枠組みを、流域治水といった河川計画と連携させるアイデアも求められる。TCFD対策により各企業が自主的に洪水リスクを把握して止水版設置などの対策を進めることはできるが、個々の企業が取れる対策オプションには限界があり、河川管理者および流域内の複数ステークホルダーとの連携が洪水リスクの低減には必要だろう。ここで、流域内の多数の民間企業が気候リスク分析に取り組むことで、これまでの治水事業の費用便益分析だけでは十分見えてこなかった「誰がどこにどれだけのリスクを保有しているか」という情報が可視化される。気候リスク情報開示を個々の企業の対応として終わらせるのではなく、流域スケールで気候リスク情報開示に取り組んで情報共有する仕組みを作ることができれば、どのように洪水リスクを分散・低減させることが望ましいかという流域治水に必要な議論のきっかけになるだろう。金融分野主導で始まった気候リスク情報開示を、河川管理による防災減災といったより身近なテーマと融合することができれば、世界的にも着目される取り組みになると期待できる。

## 謝辞

広域洪水ハザードマップのプロダクト比較は、東京大学生産技術研究所の山崎研究室が主催している「洪水リスク研究会」のメンバーを交えた研究成果です。本稿でとりあげた広域洪水ハザードマップの構築や精度分析にあたり、MS&ADインターリスク総研株式会社の木村雄貴氏および株式会社Gaia Visionの北祐樹氏に多大な助力をいただきました。

## 参考文献

- Bernhofen, M. V., et al. (2018). A first collective validation of global fluvial flood models for major floods in Nigeria and Mozambique. *Environmental Research Letters*, 13(10), 104007.
- 平林 由希子, 山田 果林, 山崎 大, 石川 悠生, 新井 茉莉, 犬塚 俊之, 久松 力人, 小川田 大吉. (2022). 広域洪水ハザードマップの比較評価と企業実務活用への提言. *水文・水資源学会誌*, 35(3), 175-191.
- Kimura Y., Y. Hirabayashi, Y. Kita, X. Zhou, and D. Yamazaki. (2023). Methodology for constructing a flood-hazard map for a future climate. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27, 1627-1644.
- 北祐樹, 山崎大. (2022). グローバル河川氾濫モデル出力の日本国内ハザードマップとしての利用可能性の検証. *水文・水資源学会誌*, 35(4), 267-278.
- Kita, Y., and D. Yamazaki (2023). Uncertainty of internal climate variability in probabilistic flood simulations using d4PDF. *Hydrological Research Letters*, 17(2), 15-20.
- 国土交通省. (2023). TCFD提言における物理的リスク評価の手引き ～気候変動を踏まえた洪水による浸水リスク評価～, [https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/tcfd/](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/tcfd/)
- Trigg, M. A., et al. (2016). The credibility challenge for global fluvial flood risk analysis. *Environmental Research Letters*, 11(9), 094014.
- 山崎 大, 北 祐樹, 木野 佳音, 坂内 匠, 野村 周平, 神戸 育人, 庄司 悟, 金子 凌, 芳村 圭. (2022). 世界はなぜ脱炭素に向けて舵を切ったのか?. *水文・水資源学会誌*, 35(3), 202-232.
- Zhou, X., C. Prigent, C., and D. Yamazaki. (2021). Toward improved comparisons between land-surface-water-area estimates from a global river model and satellite observations. *Water Resources Research*, 57(5), e2020WR029256.