

破堤確率を導入して物理リスクの精緻化を試みる

2024年4月1日

株式会社三井住友トラスト基礎研究所

私募投資顧問部上席主任研究員 菊地暁

神戸大学工学研究科市民工学専攻 野村拓馬

浸水に関するリスク評価は、国土交通省ほか各自治体発表の洪水浸水想定区域図(洪水ハザードマップ)からその地域の最大想定浸水深を読み取り、さらに国土交通省水管理・国土保全局「治水経済調査マニュアル(案)」記載の浸水深別被害率を用いることにより、地盤勾配を考慮した資産価値毀損額の算定が可能である。ただし、この「治水経済調査マニュアル(案)」では破堤確率を考慮せず、河川水位が計画高水位に達すると堤防はすべて破堤すると想定して「被害最大」となる破堤地点を選定している。すなわち浸水想定区域図では、各計算メッシュにおいて氾濫想定地点ごとに計算した浸水深のうち、最大値を地図上に表現している。しかし実際には、計画高水位に達しても破堤しない場合もあり、浸水リスクが過大評価となる可能性が指摘される。リスクの発生は確率的であり、浸水リスクは降雨形態、洪水の発生状況、洪水時の堤内地の地形や地盤状態、さらには立地や建物構造の状態などの種々の条件に左右される確率事象である。すべての影響因子を考慮することは叶わないが、少なくとも浸水リスクを確率事象として捉え、その発生を確率によって定量化する必要がある。

<気候関連財務情報開示内容の精緻化が求められる>

近年、地球温暖化に伴い異常気象が発生し、日本では気候変動の影響と考えられる大型台風やゲリラ豪雨などによる浸水被害が相次いでいる。この気候変動は経済リスクとして認識され、世界経済フォーラムが公表するグローバルリスク報告書では長期的リスクの上位を気候変動関連が占める状況が続いている。投資家は企業に対して、気候変動に関する財務的インパクトの開示¹を求めており、特に不動産は、長期サイクルの事業が多く、立地が固定されている等、気候変動の影響をより強く受けることから、この影響を認識し、財務的インパクトを捉えておく必要がある。

この気候変動を巡る社会動向の変化は、低炭素社会への移行と、気候変動に伴う自然災害等の物理的影響の側面があり、企業の気候変動リスクは、「移行リスク²」と「物理リスク³」の大きく2種類に分けられる。「移行リスク」については、環境関連法令の厳格化、カーボンプライシング(CP)本格導入を想定した定量的開示、さらにはTCFDが2021年10月に公表した「指標、目標および移行計画に関するガイダンス」にて、移行計画のフレームワークが示されるなどの進展がみられる。「物理リスク」については、気候変動の影響による洪水や土砂災害の頻発化・激甚化等に対応するために、国土交通省では集水域から氾濫域にわたる流域に関わる関係者が協働して水災害対策を行う流域治水を推進している。また、住民の避難や民間企業の浸水対策を支援するために、洪水浸水想定区域図の作成・公表、任意の地点におい

¹TCFD提言から、ISSBによるサステナビリティ関連の情報開示基準に開示基準が統一され、一層の情報開示が企業に求められることになった

²移行リスク: 低炭素社会への移行に伴い、温室効果ガス排出量の大きい金融資産の再評価によってもたらされるリスク

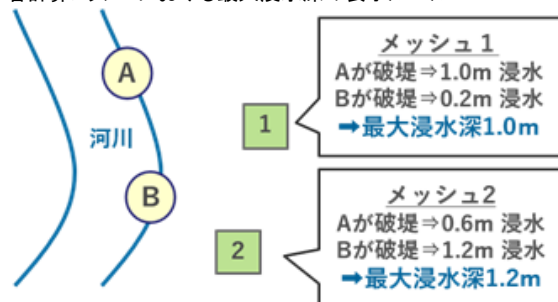
³物理リスク: 洪水、暴風雨等の気象現象によってもたらされる財物損壊等の直接リスク、およびグローバルサプライチェーンの分断や資源枯渇等の間接リスク

て浸水深等が確認できる情報提供サイトの構築等、水害リスク情報提供などの動きがみられる。2022年には、国土交通省水管理・国土保全局から「TCFD 提言における物理的リスク評価の手引き」が策定・公表された。このように、気候変動の財務的インパクトを測るためのツール・コンテンツは充実しつつある。投資家は今後、投資判断を確かなものにするために、より正確かつ精緻な気候関連財務情報を求めるようになるだろう。

<浸水リスク過大評価に繋がる可能性の指摘>

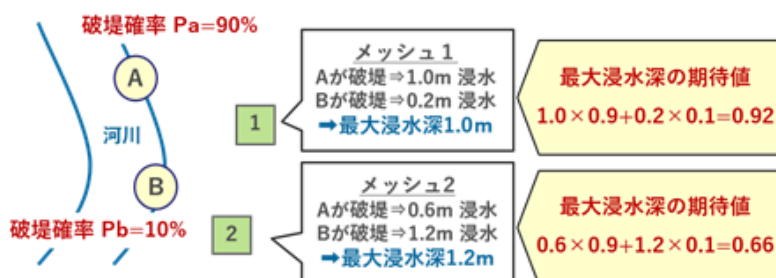
気候変動に伴う不動産の主な物理リスクとして、浸水・洪水が挙げられる。この浸水に関するリスク評価は、国土交通省ほか各自治体発表の洪水浸水想定区域図(洪水ハザードマップ)からその地域の最大想定浸水深を読み取り、さらに国土交通省水管理・国土保全局「治水経済調査マニュアル(案)」記載の浸水深別被害率を用いることにより、地盤勾配を考慮した資産価値毀損額の算定が可能である。ただし、この「治水経済調査マニュアル(案)」では破堤確率を考慮せず、河川水位が計画高水位⁴に達すると堤防はすべて破堤すると想定して「被害最大」となる破堤地点を選定している。すなわち、浸水想定区域図では、各計算メッシュにおいて氾濫想定地点ごとに計算した浸水深のうち、最大値を地図上に表現している。しかし実際には、計画高水位に達しても破堤しない場合もあり、浸水リスクが過大評価となる可能性が指摘される。浸水想定区域図は、各計算メッシュにおいて氾濫想定地点ごとに計算した浸水深のうち、最大値を地図上に表現している。例えば、図1のように破堤点 A、B と計算メッシュ 1、2 が位置しており、各破堤点が破堤した前提での最大浸水深は、浸水想定区域図上ではメッシュ 1 が 1.0m、メッシュ 2 が 1.2m と表示される。しかし、実際の破堤点 A・B の破堤確率がそれぞれ 90%・10%とした場合、図2に示すように、メッシュ 1 より高い浸水リスクがあると評価されたメッシュ 2 の浸水深期待値は小さくなる。想定される最大被害の把握は重要であるが、浸水リスクの正確な評価という観点では、リスクの過大評価に繋がる可能性が指摘される。

図表 1 浸水想定区域図上の各計算メッシュにおける最大浸水深の表示ルール



出所) 神戸大学および三井住友トラスト基礎研究所

図表 2 各計算メッシュで算出した「最大浸水深期待値」(例)



出所) 神戸大学および三井住友トラスト基礎研究所

⁴計画高水流量が河川改修後の河道断面(計画断面)を流下するときの水位や河道の縦断・横断を考慮して定められた水位

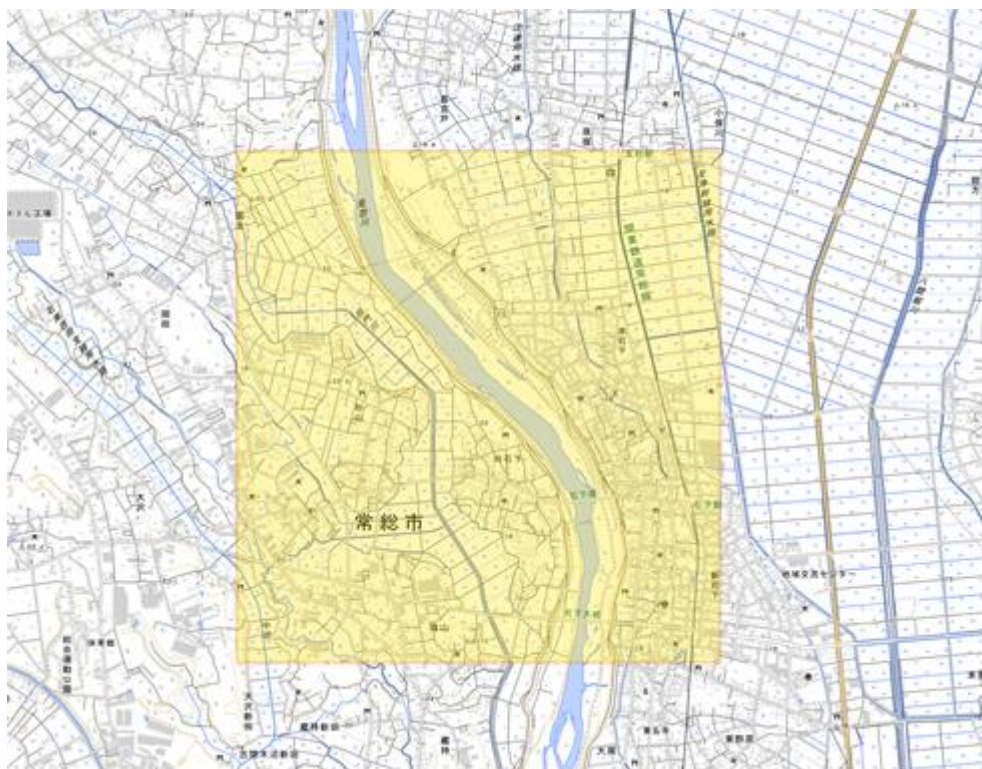
このようにリスクの発生は確率的であり、浸水リスクは降雨形態、洪水の発生状況、洪水時の堤内地の地形や地盤状態、さらには立地や建物構造の状態などの種々の条件に左右される確率事象である。すべての影響因子を考慮することは叶わないが、少なくとも浸水リスクを確率事象として捉え、その発生を確率によって定量化する必要があるだろう。そこで今回は、洪水時の堤防の破堤確率を導入した「浸水確率マップ」の作成を試みた。

＜破堤確率を導入し浸水リスクを明らかにする＞

「浸水確率マップ」の作成にあたり、まず、堤防の破堤確率を導入した浸水被害想定を検討する。堤内地において任意の浸水深範囲(以下「浸水深ランク」という。)内の浸水発生確率をもとに「浸水確率マップ」を作成し、浸水建物被害期待値を推計する。

ここでは、データ制約上、既往の研究成果を参考として茨城県常総市鬼怒川流域(鬼怒川の利根川合流地点からの距離約22~25.5km 区間を含むおよそ8.9 km²)を対象エリアとした(図表3)。そのうえで、①当該エリアを浸水させる想定破堤点の位置情報、②各想定破堤点が破堤した際の最大浸水深、③各想定破堤点の破堤確率、の3つを活用して「浸水確率マップ」を作成した。①および②は、国土交通省「浸水ナビ」⁵(以下、「浸水ナビ」)のAPI⁶を利用、③は、「堤防破壊危険確率と堤防脆弱性指標に基づく堤防破壊危険タイムラインを用いた被災プロセスの見える化」⁷のデータをもとに、鬼怒川における堤防破壊危険確率の縦断分布から各想定破堤点が破堤する確率を求めた。「浸水確率マップ」の作成は、1.想定破堤点の取得、2.最大浸水深の取得、3.データ仕分け、4.破堤確率の推計、5.地図表示の順に行った(appendix1-5 参照)。

図表3 「浸水確率マップ」作成対象エリア



出所) 国土地理院: 地理院タイル(電子国土基本図 基本測量成果 淡色地図)をもとに神戸大学および三井住友トラスト基礎研究所作成

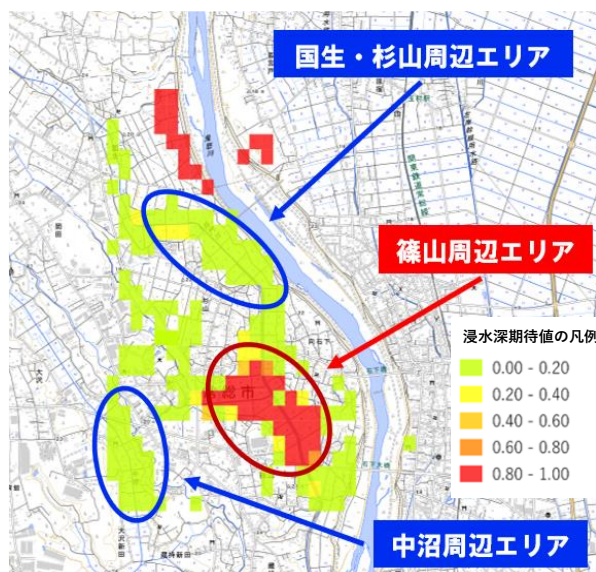
⁵国土交通省: 浸水ナビ, <https://suiboumap.gsi.go.jp/> (閲覧日: 2024年1月26日)

⁶API: Application Programming Interface. あるサービスの機能や管理するデータ等を他のサービスやアプリケーションから呼び出して利用するための接続仕様等

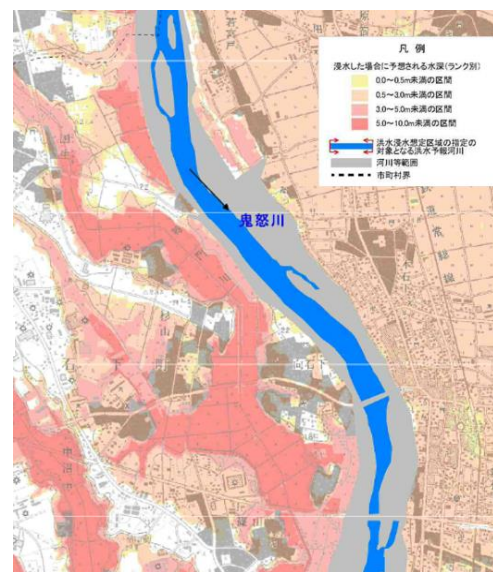
⁷福岡捷二, 田端幸輔: 堤防破壊危険確率と堤防脆弱性指標に基づく堤防破壊危険タイムラインを用いた被災プロセスの見える化, 第4回河川堤防技術シンポジウム講演概要集 2016年

これをもとに鬼怒川流域を対象とした「浸水確率マップ」を作成し、洪水浸水想定区域図と比較表示する。図表4は、想定最大規模降雨⁸を入力した場合における浸水深3m以上となる浸水確率を示したものである。一方、図表5は、同じく想定最大規模降雨を前提とした洪水浸水想定区域図である。図表4に、図表5との比較で特に浸水リスク差が大きかったエリアを丸囲みで示した。洪水浸水想定区域図では鬼怒川以西のエリアが特に濃い赤色で示されており、最大浸水深3m超と想定されている。図表4では同じく鬼怒川以西に浸水確率分布が集中するが、その浸水確率に差があることがわかる。国生・杉山や中沼といった地域では浸水確率が20%以下となっているのに対し、篠山周辺エリアでは浸水確率が80%を超えていることがわかる。このように、最大浸水深のみを表示した洪水浸水想定区域図では読み取ることができなかった各エリアの浸水リスクを明らかにすることができる。

図表4 浸水深3m以上の浸水発生確率（想定最大規模降雨）



図表5 洪水浸水想定区域図（想定最大規模降雨）



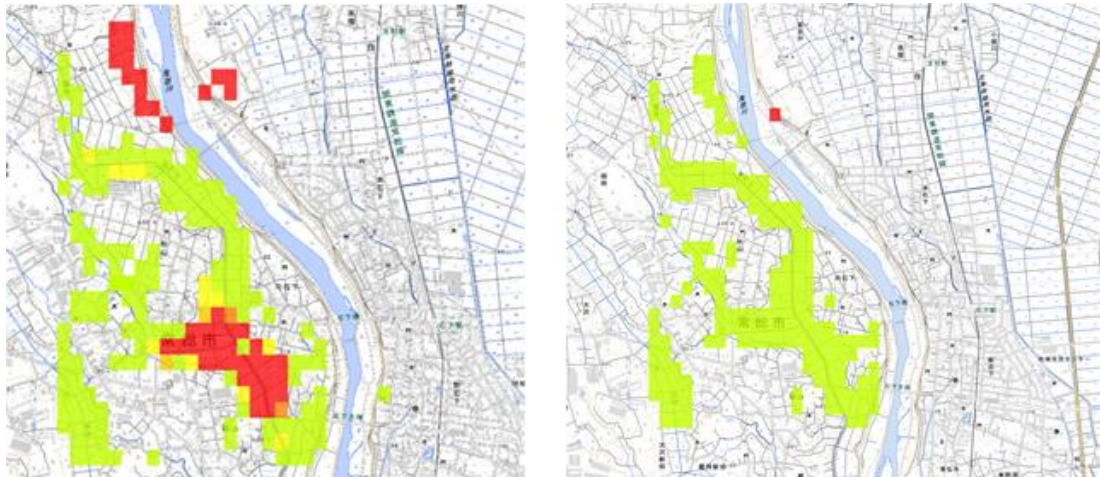
出所)図表4: 国土地理院: 地理院タイル(電子国土基本図 基本測量成果 淡色地図)をもとに神戸大学および三井住友トラスト基礎研究所作成

図表5: 国土交通省: 関東地方整備局 下館河川管理事務所 利根川水系鬼怒川洪水浸水想定区域図(想定最大規模)(鬼怒川 8/36)

⁸過去の観測データから想定される最大規模の降雨。降雨量の年超過確率が⁸ 1/1000 以上となることが多い。

次に、想定最大規模降雨を前提とした「浸水確率マップ」(図表 6)と、計画規模降雨⁹を前提とした「浸水確率マップ」(図表 7)を比較表示する。図表 7 では、先に見た想定最大規模降雨前提とした「浸水確率マップ」とは異なり、浸水深 3m 以上と表示された鬼怒川以西エリアの浸水確率は 20%を下回った。前提となる降雨量が小さくなり、浸水確率の低下を示した結果と考えられる。

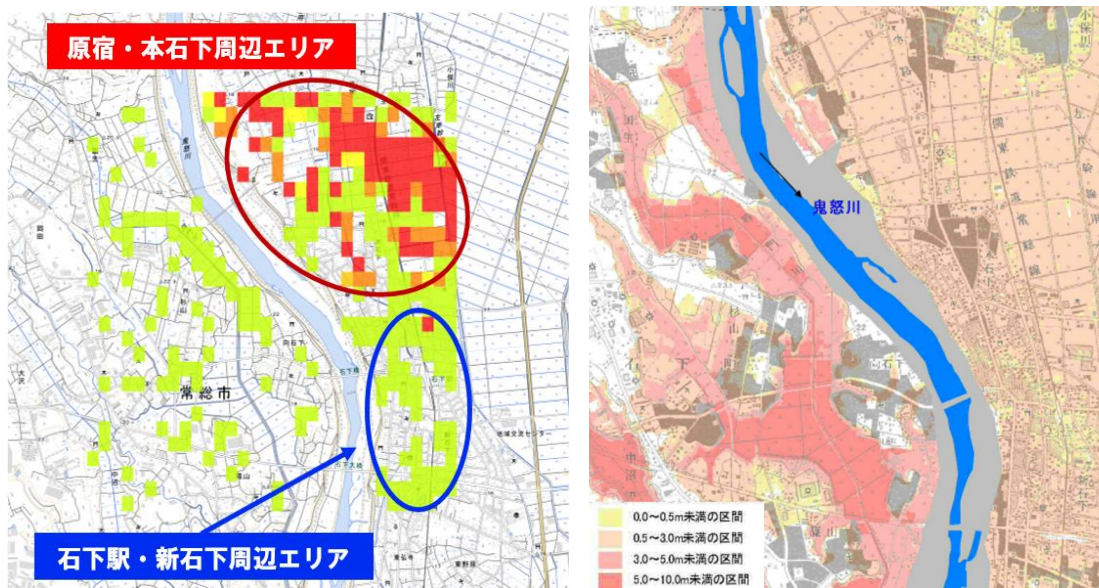
図表 6 浸水深 3m 以上の浸水発生確率 (想定最大規模降雨) 図表 7 浸水深 3m 以上の浸水発生確率 (計画規模降雨)



出所)国土地理院:地理院タイル(電子国土基本図 基本測量成果 淡色地図)

また、計画規模降雨で浸水深 50cm~99cm の浸水発生確率となる「浸水確率マップ」(図表 8)と洪水浸水想定区域図(図表 9)との比較を行った。マップ北東部に位置する原宿・本石下周辺エリアでは浸水確率が 80%を超える地点が多くみられるが、マップ南東の石下駅・新石下周辺エリアでは浸水確率が 20%を下回る地点として示されている。一方、洪水浸水想定区域図にはそのような差はみられず、すべて同じ水準の浸水深として示されている。計画規模降雨のシミュレーションでも浸水想定区域図では読み取れない浸水リスクの差が明らかになる結果となった。

図表 8 浸水深 50cm~99cm の浸水発生確率 (計画規模降雨) 図表 9 洪水浸水想定区域図 (計画規模降雨)



出所)図表 8:国土地理院:地理院タイル(電子国土基本図 基本測量成果 淡色地図)をもとに神戸大学および三井住友トラスト基礎研究所作成

図表 9:国土交通省:関東地方整備局 下館河川管理事務所 利根川水系鬼怒川洪水浸水想定区域図(想定最大規模)(鬼怒川 8/36)

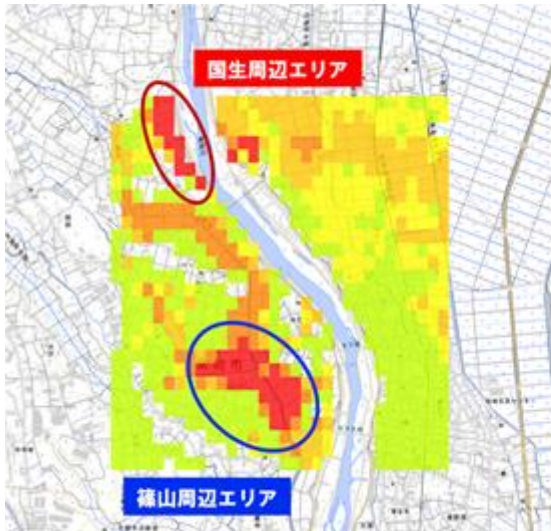
⁹河川整備など洪水防御に関する計画の基本となる降雨。降雨量の年超過確率が 1/10~1/100 程度となることが多い。

<計画規模降雨において建物被害率の期待値の差がみられる>

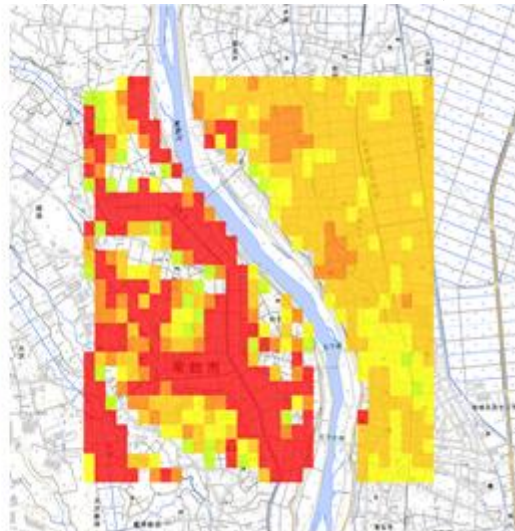
続いて、建物被害率期待値を推計し(appendix6 参照)、空間分布を示す。図表 10 が想定最大規模降雨時の建物被害率の空間分布であり、比較のため、浸水想定区域図から得た最大浸水深を基に求めた建物被害率について図表 11 に示した。想定最大規模降雨では、図表 10 の被害率が全体的に低く算出された一方で、国生周辺エリアおよび篠山周辺エリアを中心に建物被害率期待値は依然大きく、浸水想定区域図から求めた建物被害率の分布(図表 11)と概ね同様の傾向となった。

計画規模降雨では、その分布傾向に大きな差が見られた。図表 12 が計画規模降雨の建物被害率の空間分布であり、比較のため、浸水想定区域図から得た最大浸水深を基に求めた建物被害率について図表 13 に示した。浸水想定区域図から求めた建物被害率(図表 13)では鬼怒川以西側が被害率の大きいエリアであると把握されるが、建物被害率期待値の分布(図表 12)では、鬼怒川以西側のどの地点においても建物被害率期待値は 20%を下回る。むしろ鬼怒川北東部が比較的大きな建物被害率期待値を示しており、特に原宿周辺エリアでは 40%を上回る地点が多くみられる結果となった。

図表 10 浸水被害率期待値 (想定最大規模降雨)



図表 11 浸水想定区域図の被害率 (想定最大規模降雨)

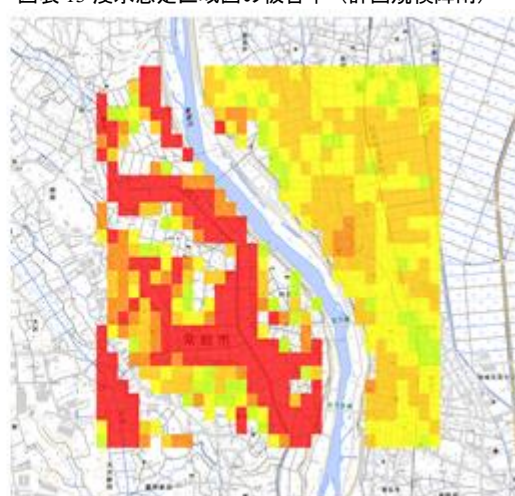


出所)国土地理院:地理院タイル(電子国土基本図 基本測量成果 淡色地図)をもとに神戸大学および三井住友トラスト基礎研究所作成

図表 12 浸水被害率の期待値 (計画規模降雨)



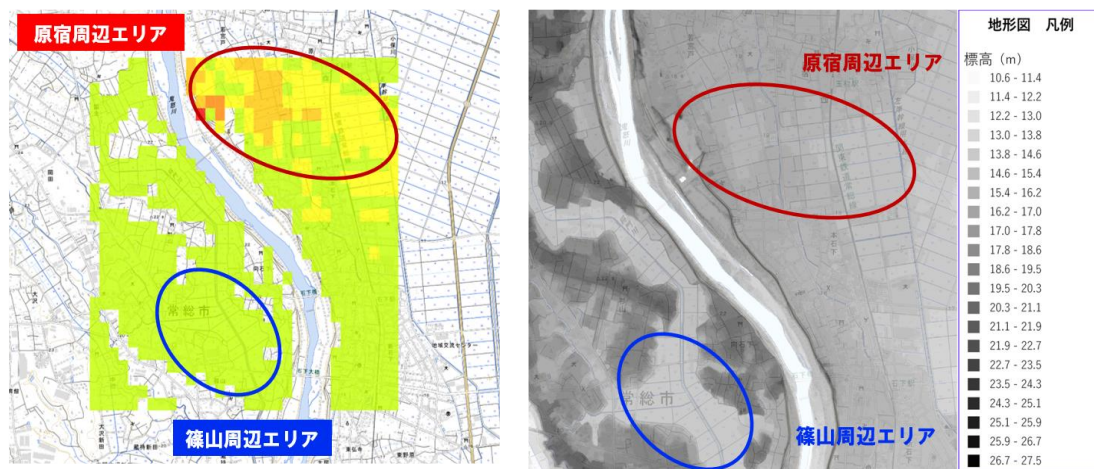
図表 13 浸水想定区域図の被害率 (計画規模降雨)



出所)国土地理院:地理院タイル(電子国土基本図 基本測量成果 淡色地図)をもとに神戸大学および三井住友トラスト基礎研究所作成

図表 14 は国土地理院公開の基盤地図情報ダウンロードサービスから入手した、数値標高モデル(5m メッシュ)を QGIS で視覚化した標高図である。標高が高い地点が暗黒色で、低くなるほど明るく白に近い色で表される。この標高図と図表 11(再掲)を比較すると、浸水想定区域図による原宿周辺エリアの建物被害率分布については、標高図における高低と概ね一致していることがわかり、地形的要因が最大浸水深の分布に大きな影響を与えていることがわかる。一方で、建物被害率の期待値は、標高図通りの分布とはなっていない部分が見受けられる。特に篠山周辺エリアは、標高図上では最も深くぼみとなっているエリアであるにも関わらず、原宿周辺エリアの方が建物被害率期待値は高い。このことから、破堤確率の導入により求めた建物被害率期待値の空間分布は、地形的要因のみでは判断できない浸水リスクの高低を表現できている可能性があるといえる。

図表 11 (再掲) 浸水被害率の期待値 (計画規模降雨) 図表 14 「浸水確率マップ」作成エリアの標高図 (右)



注) 図表 14: 国土地理院: 数値標高モデル(5m メッシュ)を基に作成
出所) 国土地理院: 地理院タイル(電子国土基本図 基本測量成果 淡色地図)をもとに神戸大学および三井住友トラスト基礎研究所作成

<「浸水確率マップ」の活用が投資機会の拡大を生む可能性>

ここからは、浸水被害額の算出について焦点を当てる。前述のとおり算出した建物被害率に 1 m²当たりの建物評価額と延床面積を乗じることにより、浸水被害額の推計が可能である。そこで、「浸水確率マップ」において多く立地する戸建住宅を対象に、浸水被害額を推計する。茨城県の建物評価額¹⁰は 183,400 円/m²、戸建住宅の平均延床面積¹¹は 107.79 m²であることから、建物被害率 20%・80%の場合の浸水被害額は、それぞれ 3,953,737 円¹²・15,814,949 円と推計できる。国生周辺エリアおよび篠山周辺エリアでは、計画規模降雨を前提とした浸水想定区域図に基づく建物被害率と、「浸水確率マップ」から求められる建物被害率の期待値には 60%以上の差がみられる地点が存在しており、浸水被害額にして約 1,186 万円の差がある可能性が示された。

今回は、延床面積が比較的小さい戸建住宅を対象に浸水被害額の差を求めたが、不動産投資対象となる物件は、都市部の集合住宅や商業施設等、建物評価額が大きい物件であり、被害額の差はより拡大する。「浸水確率マップ」を活用することで、十分なリターンが望めるにも関わらずこれまで投資対象とならなかった物件への投資が可能になるかもしれない。

¹⁰国土交通省・水管理・国土保全局河川計画課 治水経済調査マニュアル案 各種資産評価単価およびデフレーター, pp1 2023 年

¹¹国土交通省 令和 4 年度住宅経済関連データ 2022 年

¹²183,400 円/m² × 107.79 m² × 20% = 3,953,737 円

＜必要なデータ整備の課題と期待＞

今回はデータ制約上から茨城県常総市鬼怒川流域を対象としたが、実際の不動産投資では、都市部の「浸水確率マップ」が必要となる。そこで、「浸水確率マップ」作成に必要なデータおよびその入手可否を図表 15 にまとめた。

図表 15「浸水確率マップ」の作成に必要な情報と入手可否

浸水確率マップ作成に必要な情報		入手可否
浸水に関する情報	想定破堤点の位置情報	浸水ナビから入手可
	各想定破堤点に対応する最大浸水深の空間分布	浸水ナビから入手可
破堤確率に関する情報	対象河川における水位ハイドログラフの縦断分布	現状オープンデータはない
	堤体土質定数	国土技術政策総合研究所のボーリング調査結果から入手可能
	堤防断面図	現状オープンデータはないが河川管理事務所等から入手可能か

出所) 神戸大学および三井住友トラスト基礎研究所

破堤確率マップの作成では「浸水に関する情報」と「破堤確率に関する情報」が必要となる。

「浸水に関する情報」は、基本的には「浸水ナビ」から取得が可能である。浸水シミュレーションデータが掲載されている河川については、浸水ナビの「シミュレーション条件」から確認可能であるが、東京都内では荒川、江戸川、多摩川等を含む、多くの河川情報が掲載されており、情報取得は比較的容易である。

一方、破堤確率に関する情報の取得には課題が残る。破堤確率を求める際のシミュレーション上の入力条件となる水位ハイドログラフ¹³の縦断分布(Appendix4 参照)は、現状オープンデータとして提供されていない模様である。今回参考とした研究論文¹⁴では、過去の水害発生時における、河川上流端および下流端の水位観測データから、非定常流・河床変動解析を行うことで水位ハイドログラフの縦断分布を求めている。他の河川についても水害発生時の水位観測データが存在する場合、この解析手法を応用し水位ハイドログラフの縦断分布の作成が可能ではあるが、専門的知識が必要とされるだろう。なお、浸水想定区域図の作成手順には、計画規模降雨や想定最大規模降雨が発生した際の対象河川への流入を計算し、河川流量および水位の変動を求めるステップがある。そのため、そのステップで求められた河川水位の変動が、水位ハイドログラフの縦断分布という形でオープンデータ化されれば、データの入手は容易になるだろう。

破堤確率を求める上で、堤体土質定数も重要な情報の一つである(Appendix4 参照)。堤体土質定数については国土技術政策総合研究所・河川研究室が公表しているボーリング調査の結果から入手することができる(図表 16)。なお、このボーリング調査は全国の一級河川を対象に行われたものであり、浸水ナビから想定破堤点や最大浸水深の情報が得られる荒川や江戸川、多摩川左岸のみ等の河川でもボーリング調査結果データが整備されていることを確認している。

最後に堤防断面図については、現状オープンデータとしての提供データは見当たらなかった。国土交通省の各地方整備局等が作成する河川整備計画に一部堤防断面図が記載されている場合もあるが、河川縦断的に断面図が提供されているわけではない。なお、全国の一級河川では河川管理や河川改修計画を目的として

¹³河川のある観測地点で縦軸に流量を、横軸に時間をとった流量の変化の図

¹⁴福岡捷二、田端幸輔・堤防破壊危険確率と堤防脆弱性指標に基づく堤防破壊危険タイムラインを用いた被災プロセスの見える化、第4回河川堤防技術シンポジウム講演概要集 2016年

定期縦横断測量が行われており、河川縦横断図や堤防断面図が作成されている。そのため、各地方整備局や河川管理事務所に問い合わせ、これらの断面図の提供を依頼することでデータ入手は可能と考えられる。

図表 16 荒川における堤防土質係数データ 一部抜粋

河川名	左/右	距離標	ボーリングNo.	調査位置	試料No.	深度(上)	深度(下)	N値	湿潤密度	土粒子密度	間隙比	間隙比関数	礫分(%)	砂分(%)
荒川上流	右岸	29.2	B-R29.2k-1	天端	B.P-1	1.15	1.45	8		2.721			0	28
荒川上流	右岸	29.2	B-R29.2k-1	天端	B.P-14	1.15	17.5	3		2.707			0	34
荒川上流	右岸	29.2	B-R29.2k-1	天端	B.P-2	2.15	2.45	13		2.724			2	27
荒川上流	右岸	29.2	B-R29.2k-1	天端	B.P-3	3.15	3.45	7		2.728			0	63
荒川上流	右岸	29.2	B-R29.2k-1	天端	B.P-4	4.15	4.45	6		2.727			0	62
荒川上流	右岸	29.2	B-R29.2k-1	天端	B.P-5	5.15	5.45	13		2.728			1	39
荒川上流	右岸	29.2	B-R29.2k-1	天端	B.P-6	6.15	6.45	10		2.722			0	34
荒川上流	右岸	29.2	B-R29.2k-1	天端	B.P-7	7.15	7.45	15		2.695			0	21
荒川上流	右岸	29.2	B-R29.2k-1	天端	B.P-8	8.15	8.45	13		2.711			1	53
荒川上流	右岸	29.2	B-R29.2k-1	天端	B.P-9	9.15	9.45	6		2.729			0	24
荒川上流	右岸	29.2	B-R29.2k-1	天端	B.P-10	10.15	10.45	5		2.718			0	5
荒川上流	右岸	29.2	B-R29.2k-1	天端	B.P-11	12.15	12.45	9		2.684			0	8
荒川上流	右岸	29.2	B-R29.2k-1	天端	B.P-12	13.25	13.45	6		2.686			0	5
荒川上流	右岸	29.2	B-R29.2k-1	天端	B.P-13	15.15	15.45	2		2.744			0	77
荒川上流	右岸	29.2	B-R29.2k-1	天端	B.P-15	19.15	19.45	2		2.707			0	3
荒川上流	右岸	29.2	B-R29.2k-1	天端	B.P-16	21.15	21.5	2		2.695			0	1

出所)国土技術政策総合研究所・河川研究所:河川堤防の土質試験結果

以上、「浸水確率マップ」の活用例や信頼性、課題等について述べた。地域住民に対して浸水の危険性を周知する目的で作成された浸水想定区域図をそのまま浸水リスクの定量化に用いることは、浸水リスクの過大評価につながり、これにより不動産投資機会逸失の可能性がある。「浸水確率マップ」を採用すれば浸水被害額を期待値で表現することができ、より適切に不動産の浸水リスクが評価されるようになるかもしれない。浸水リスクの可視化は浸水リスクを考慮した不動産投資の活発化につながる可能性が大きい。

また本研究では、難解な理論や複雑なシミュレーションを用いずに浸水リスクの定量化を目指し、あくまで既存データの活用による定量化手法を提案した。そのため、今後、必要なデータが整備されていれば誰でも浸水リスクの定量化が可能となるだろう。現在、内閣府の戦略的イノベーションプログラムでは、防災デジタルツインを活用した確率ハザードマップの作成が計画されており、様々なインフラデータを統合した詳細度の高い解析モデルに対し、多数の災害シナリオに基づいたシミュレーションを行うことで、より科学的根拠に基づいたリスク分析が可能になると期待されている。このような技術が社会実装され、日本各地でより精度の高いリスク分析が行えるようになることで、分析結果に基づくリスク対応の加速および防災意識の向上が図られ、災害に強い都市の形成がなされていくことを期待したい。

最後に、本稿の執筆には神戸大学都市安全研究センターの飯塚敦教授の助力を得た。記して謝意を表す。

<appendix>

1. 想定破堤点の取得

マップ作成エリアの各地点について、浸水ナビをもとに破堤点データを取得した(別添図表 1)。なお、入力する緯度・経度の間隔は 0.001 とし、以降の作成手順においても、このメッシュ間隔を用いた。

別添図表 1 取得した想定破堤点データ

入力値	意味	データの説明
lat	緯度	データの取得を行う地点の緯度の指定
lon	経度	データの取得を行う地点の経度の指定
取得する主なデータ	意味	データの説明
ID	破堤点ID	指定した地点を浸水させる想定破堤点のID
BPName	破堤点名	指定した地点を浸水させる想定破堤点の名前
BPLocation	破堤点位置	指定した地点を浸水させる想定破堤点の位置 河口からの距離や右岸・左岸どちらに位置するか等
BPLat	破堤点の緯度	想定破堤点の緯度
BPLon	破堤点の経度	想定破堤点の経度
EntryRiverName	河川名	想定破堤点がどの河川のものかを示す(浸水ナビ上の登録名)
RiverCode	河川コード	想定破堤点がどの河川のものかを示す
CSVScale	降雨規模コード	各種データがどの降雨規模に対応したものかを示す 0: 想定最大規模 1: 計画規模 -1: 降雨規模未区分

出所) 神戸大学および三井住友トラスト基礎研究所

2. 最大浸水深の取得

マップ作成エリアの各地点について、1.で取得した各想定破堤点が破堤した際の最大浸水深を浸水ナビから取得した(別添図表 2)。

別添図表 2 取得した想定破堤点データ

入力値	意味	データの説明
lat	緯度	データの取得を行う地点の緯度の指定
lon	経度	データの取得を行う地点の経度の指定
bpid	破堤点ID	「破堤点取得」で得られた各想定破堤点のID
取得する主なデータ	意味	データの説明
Depth	最大浸水深	指定した破堤点が破堤した場合の最大浸水深
RiverCode	河川コード	想定破堤点がどの河川のものかを示す
CSVScale	降雨規模コード	各種データがどの降雨規模に対応したものかを示す 0: 想定最大規模 1: 計画規模 -1: 降雨規模未区分

出所) 神戸大学および三井住友トラスト基礎研究所

3. データ仕分け

1.および2.で得られたデータについて、最大浸水深と降雨規模による場合分けを行う。最大浸水深の区分は、「治水経済調査マニュアル(案)」記載の浸水深別被害率を採用した。

4. 破堤確率の推計

2.で取得した想定破堤点の位置情報と破堤確率の縦断分布を対応させ、各想定破堤点の破堤確率を求め、ここでは、福岡・田端による手法¹⁵を用いる。彼らは、洪水時の水位ハイドログラフの縦断分布を入力条件とし、堤防の土質定数(透水性、強度)をパラメータとした信頼性解析によって、堤防破堤確率を算出している。すなわち、堤防の破堤は浸透(堤体漏水)と堤体裏法滑り¹⁶の2つによるものと仮定し、浸透破壊に対しては、内田による非定常浸潤線の推定式¹⁷を、堤体裏法滑りに対しては、円弧すべり法¹⁸を用いて安全率の確率密度関数を求め、それぞれの破堤確率を算出している。従って、破堤確率は、両者の破堤確率の和として、次のように定義される。

$$P_f = P_{f1} + P_{f2}$$

ただし、 P_f :破堤確率、添え字 i :破壊モード(1:浸透破壊, 2:裏法滑り破壊)である。

また、上式で定義した破堤確率について、想定される全ての氾濫パターンの発生確率を合計した値が1になるよう再定義する。同時破堤は発生しないものと仮定すると、破堤確率は以下の式になる。

$$P_i = \frac{P_{fi}}{\sum_{k=1}^m P_{fk} + P_{nf}}$$

$$\sum_{i=1}^m P_i = 1$$

ここに、 P_i :任意の破堤点 i における再定義後の破堤確率、 m :全破堤点の個数、 P_{fi} :任意の破堤点 i における破堤確率、 P_{nf} :全ての破堤点が破堤しない確率

¹⁵福岡捷二,田端幸輔:堤防破壊危険確率と堤防脆弱性指標に基づく堤防破壊危険タイムラインを用いた被災プロセスの見える化,第4回河川堤防技術シンポジウム講演概要集 2016年

¹⁶外水位の上昇により堤体浸潤面が上昇し、やがて裏法面に到達すると、裏法面の安定性が低下し、法面崩壊に至る事象

¹⁷内田茂男:自由境界を有する非定常浸透流について,土木学会誌, pp.58-62, 1952

¹⁸河川堤防の構造検討の手引き(改訂版),財団法人国土技術研究センター, 2012など

5. 地図上での表示

マップ作成エリアの各地点において、4までの手順で求めた各想定破堤点の破堤確率を合計し、浸水確率を算出する。なお、「浸水確率マップ」の作成では以下の仮定条件とした(別添図表3)。

別添図表3「浸水確率マップ」作成上の仮定条件

仮定条件	
複数箇所の同時破堤は発生しない	浸水ナビでは複数箇所の同時破堤は起こらないという前提条件を設定しており、浸水確率マップでも同様の条件を設定
溢水氾濫に関しては、その発生確率を付与しない	無堤区間における氾濫である溢水の発生確率は解析せず、浸水ナビで得られる想定破堤点の破堤に限る。そのため浸水確率マップでも、溢水発生に対しては発生確率を与えない。
破堤確率算出時の入力降雨と、計画規模降雨および想定最大規模降雨は異なるものとする	浸水ナビは、計画規模降雨および想定最大規模降雨を入力降雨とする。ただし、今回は参考論文をもとに解析を行うため両者の降雨条件は厳密には異なる
データ不足箇所については破堤確率を0と仮定する	データの制約により約6~46km地点に限り堤防破壊危険確率を求め、データの無い46kmより上流の想定破堤点では破堤確率を0と仮定する。
破堤確率の取り扱いに関して破堤点の相互関係は考慮しない	破堤氾濫は河川流量の減少を伴うため、各想定破堤点の破堤確率は相互に影響を及ぼし合うと考えられるが、河川流量の変化は地形的条件や降雨条件等の様々な要因によって決まるため、想定破堤点同士の関係を破堤確率に反映するのは困難である。そのため、本研究では既往の研究成果から引用した堤防破壊危険確率をそのまま破堤確率の算出に用いる。
内水氾濫による浸水は考慮しない	浸水ナビでは内水氾濫は想定されていないため浸水確率マップでも同様の条件とする。

注) 計画規模降雨：河川整備など洪水防御に関する計画の基本となる降雨。降雨量の年超過確率が1/10~1/100程度となることが多い。
 想定最大規模降雨：過去の観測データから想定される最大規模の降雨。降雨量の年超過確率が1/1000以上となることが多い。

出所)神戸大学および三井住友トラスト基礎研究所

6. 建物被害率の期待値推計

各浸水深ランクの浸水確率を応用し、建物被害率の期待値を求める。以下の式のように建物被害率の期待値を定義し、その空間分布を地図上に表示する。なお、式中の a_k ではマップ作成エリアの地盤勾配が1/1,000~1/500であると仮定し、「治水経済調査マニュアル(案)」の浸水深別被害率を用いた。

$$E(x, y) = \sum_{k=1}^6 \{a_k \times b_k(x, y)\}$$

$E(x, y)$: 任意の地点(x,y)における建物被害率の期待値,

$$k: \text{浸水深ランク} \begin{cases} 1: \text{床下(45cm 未満)} \\ 2: \text{床上~50cm 未満} \\ 3: \text{50~99cm} \\ 4: \text{100~199cm} \\ 5: \text{200~299cm} \\ 6: \text{300cm~} \end{cases}$$

a_k : 浸水ランク k に対応する建物被害率

$b_k(x, y)$: 任意の地点(x,y)において浸水ランク k の浸水が発生する確率である。

【本件のお問い合わせ先】

私募投資顧問部

TEL : 080-7207-5130

<https://fofa.jp/smtri/a.p/116/>

株式会社三井住友トラスト基礎研究所

〒105-8574 東京都港区芝 3-33-1 三井住友信託銀行芝ビル 11F

<http://www.smtri.jp/>

1. この書類を含め、当社が提供する資料類は、情報の提供を唯一の目的としたものであり、不動産および金融商品を含む商品、サービスまたは権利の販売その他の取引の申込み、勧誘、あっ旋、媒介等を目的としたものではありません。銘柄等の選択、投資判断の最終決定、またはこの書類のご利用に際しては、お客さまご自身でご判断くださいますようお願いいたします。
2. この書類を含め、当社が提供する資料類は、信頼できると考えられる情報に基づいて作成していますが、当社はその正確性および完全性に関して責任を負うものではありません。また、本資料は作成時点または調査時点において入手可能な情報等に基づいて作成されたものであり、ここに示したすべての内容は、作成日における判断を示したものです。また、今後の見通し、予測、推計等は将来を保証するものではありません。本資料の内容は、予告なく変更される場合があります。当社は、本資料の論旨と一致しない他の資料を公表している、あるいは今後公表する場合があります。
3. この資料の権利は当社に帰属しております。当社の事前の了承なく、その目的や方法の如何を問わず、本資料の全部または一部を複製・転載・改変等してご使用されないようお願いいたします。
4. 当社は不動産鑑定業者ではなく、不動産等について鑑定評価書を作成、交付することはありません。当社は不動産投資顧問業者または金融商品取引業者として、投資対象商品の価値または価値の分析に基づく投資判断に関する助言業務を行います。当社は助言業務を遂行する過程で、不動産等について資産価値を算出する場合があります。しかし、この資産価値の算出は、当社の助言業務遂行上の必要に応じて行うものであり、ひとつの金額表示は行わず、複数、幅、分布等により表示いたします。