3D 都市モデルを活用した洪水浸水に対する都市脆弱性の汎用的評価に向けた基礎的な研究
防災指針作成に活用可能なまちづくりの観点からのリスク評価

A Basic Study Toward a Generalized Assessment of Urban Flood Vulnerability Using 3D City Models
A City Planning Approach to Risk Assessment for Disaster Prevention Guidelines

小林 孝*・菊池 雅彦**
Takashi Kobayashi* and Masahiko Kikuchi**

This paper presents a basic study on a method for generalized assessment of urban flood vulnerability using 3D City Models developed by Project PLATEAU. Detailed population distributions were derived by redistributing mesh-based population data according to building distribution, and flood risk assessments were overlaid on these distributions. From a city planning perspective, this approach revealed vulnerabilities that hazard maps alone cannot identify, evaluated through four lenses: evacuation to designated shelters, evacuation to higher ground within homes, evacuation to nearby taller buildings, and prolonged flooding. The results demonstrated the importance of evacuating to nearby taller buildings, revealed that vulnerability factors vary by municipality, and indicated that prolonged flooding is emerging as a major challenge in urbanization promotion areas, offering a basis for local disaster prevention guidelines.

Keywords: Flood risk assessment, 3D city model, Evacuation difficulty, Vertical evacuation, Prolonged inundation
洪水浸水リスク評価, 3D 都市モデル, 避難困難, 屋内安全確保, 長期間浸水

1. 洪水浸水に対する都市脆弱性の汎用的評価の必要性

地球温暖化に伴い豪雨災害の激甚化・頻発化が懸念されており、流域治水の取り組みなどを通じて浸水被害の軽減が目指されている。都市計画分野に関しても、立地適正化計画に防災指針が位置付けられ、国土交通省都市局、水管理・国土保全局、住宅局が連携し、水災害リスクを踏まえた防災まちづくりのガイドライン（以下、水まちガイドライン）が作成された。この中では、「水災害により引き起こされる被害の蓋然性を表す「水災害リスク」を評価することが重要」とされ、これは「一般的に、ハザード、暴露（人口、財産等）、脆弱性（システム、資産の被害の被りやすさ）の 3 因子から決定される被害規模に、当該ハザードの発生確率を勘案することにより評価される」[1] としている。

しかし、防災指針の作成にあたって、リスクの高い地域の抽出の検討・記載がない市町村が一定の割合で存在しており、洪水ハザードが行政区域全域に広がりランク付けしても意味がないと考える自治体の存在が指摘されている [2]。これには、都市の水災害リスクを汎用的に評価する指標がないことが一因と考えられる。国土交通省が立地適正化計画の評価の支援を目的に実施している「まちづくりの健康診断」においては、洪水浸水リスクは「浸水想定区域内の人口の割合」で評価することとしており、ハザードと暴露までが評価対象となっている [3]。中野ら [4] は、都市計画における水害対策の取組の一層の進化に向けた課題として、客観的且つ合理的な基準や考え方の整備を挙げている。

水まちガイドラインが指摘する 3 因子のうち、暴露については研究が進んでいる。秦ら [5] が全国の浸水想定区域内人口を 500m メッシュで算出し、松中ら [6] は 4 災害の曝露人口を都市計画上の地域区分別に集計し、野澤ら [7] は最大想定規模の浸水想定区域について土地利用規制別の人口推移を分析し、人口減少局面にあっても暴露人口が増加していることを示している。小林ら [8] はこれが主として市街化区域で生じていることを明らかにしている。いずれも暴露量をハザード区域内か否かの二値で判定している。

また、データの空間解像度の課題がある。人口等のデータは町丁目単位や最大 125m 単位のメッシュデータが活用されるが、ハザードマップの解像度と大きな開きがある。中野ら [9] は、国勢調査の調査票情報や基本単位区境界データを用いて、現在実現の可能な最も実数値に近い推計を行っているが、オープンデータではないという制約がある。

これに対して、国土交通省が 2020 年から開始した Project PLATEAU により 3D 都市モデルがオープンデータとして整備されており [10]、これを活用して暴露の空間解像度を高めつつ脆弱性の指標化に踏み込んだ検討も進められている。小林は 3D 都市モデルの住宅の延床面積を用いてメッシュ人口を 25m メッシュへ按分する手法を示し [11]、住宅構造や居住者年齢等から構造的脆弱性を指標化して 7 市を比較している [12]。ただしこれら一連の検討は、貨幣価値化された被害量と発生確率の精緻化に主眼があり、脆弱性評価は被害率算出の過程で行われている。また、多くのデータを必要とするため、検討対象が一部の自治体に限られている。他にも、Project PLATEAU では様々なユースケース開発も進められており、都市構造を評価したもの [13] や、洪水浸水リスクに対する対策立案 [14] に活かされるものもあるが、自治体レベルのユースケースが多く、自治体の枠を超えた汎用的な脆弱性評価に活用された例は管見の限り見られない。

一方、現在国土交通省は 2027 年度までに 500 都市での 3D 都市モデル整備を中長期方針として掲げている [15] うえ、国土地理院が令和 10 年度末を目指して 3 次元電子国土基本図の全国整備を開始している [16]。今後、3 次元データを

* 正会員 東京都北区 （City of Kita）
** 正会員 埼玉大学大学院理工学研究科 （Saitama University）

活用した水災害リスク評価が、地方部を含む全国レベルで可能になっていくことが想定される。

このため、本研究では、3D都市モデルをはじめとする全国レベルで提供されるオープンデータのみを活用し、暴露の空間解像度を高精度化すると同時に、避難に関する脆弱性を定量化することで、洪水浸水に対する都市脆弱性を汎用的に評価する手法の確立を試みる。これにより、各市区町村が地域の洪水浸水リスクを巨視的かつ客観的にとらえ、実践的な防災指針を作成できるようになることを期待するものである。なお、水まちガイドラインが評価において勘案すべきとしている発生確率については今後の課題とする。

なお、データ処理にあたってはPython等を用いている(1)。

2. 本研究の概要と活用するデータ

本研究の概要と大まかな流れは以下の通りである。

まず、3D都市モデルデータのうち建物データを入手し、国勢調査による人口メッシュデータを按分することで、各建物に居住する人口を推計・配分する（3章）。さらに、浸水想定区域の情報や国土地理院で公開されている指定緊急避難場所（以下、避難場所）からの距離、都市計画決定情報（市街化区域・市街化調整区域・非線引き都市計画区域の用途地域・非線引き都市計画区域の用途未指定地域・都市計画区域外の5分類（以下、都計分類））を各建物に対して付与する。そのうえで、各建物の洪水浸水リスクを避難困難性の観点から判定する（4章）。最後に各建物の洪水浸水リスクをメッシュ単位、市区町村単位、都計分類ごとに集計することで、高リスク地域の洗い出しと、リスク要因を分析することを目標とする（5章）。

本研究において活用するデータは以下のとおりである。

(a) 3D都市モデルデータ [17]

2026年4月1日までに公開された304市区町村（表-1）のデータを対象に分析を行う。これは全国1,741市区町村の17.5%、2020年国勢調査人口の54.1%にあたる。整備状況には偏りがあり、政令指定都市は20市中19市、東京特別区は23区すべてが含まれる一方、町村は926町村中62町村（6.7%）にとどまる。都道府県別では45都道府県に分布している。

3D都市モデルには、多様な都市のデータが含まれているが、今回は建物データのみを活用する。建物データに対しても、多様な属性データが付与されており、これがProject PLATEAUの特長であるが、市区町村によって付与されているデータに差がある。汎用的な評価を行うためには、なるべく多くの市区町村で整備されている属性データに限定して活用することが必要であることから、以下の属性データを抽出し活用した。

重心点、建築面積（フットプリント）、建物高さ、地上階数、建物用途、建物高さの計測根拠、市区町村名

なお、地上階数（以下、階数とする）と建物用途については、一部市区町村でデータが整備されていない。また、市区町村の中でも、一部区域のみデータが整備されている、または一部区域で属性データが欠落している場合があることには注意を要する（表-1）。

(b) 国勢調査による人口メッシュデータ [18]

2020年の国勢調査に基づく5次メッシュ（250mメッシュ）人口データを用いる。

(c) 洪水浸水想定区域データ [19]

国土数値情報に掲載された2024年度時点の想定最大規模の降雨による浸水想定区域と浸水継続時間のポリゴンデータを活用する。浸水深、浸水継続時間については、国土数値情報の区分に従う。

(d) 避難場所データ [20]

国土地理院で公開されている全国の避難場所のうち、洪水対応として指定されたものの緯度経度データを活用する。

(e) 都市計画決定情報 [21]

国土交通省都市局が公表している令和6年度版の都市計画決定に関するGISデータを活用する。

表-1 分析対象とした304市区町村のリスト（用途及び階数データの整備状況別）

【用途8割以上整備】［階数8割以上整備（152市区町村）］鰺ヶ沢町, 大館市, 郡山市, 相馬市, さいたま市, 熊谷市, 加須市, 本庄市, 春日部市, 狭山市, 羽生市, 鴻巣市, 深谷市, 上尾市, 草加市, 越谷市, 蕨市, 戸田市, 入間市, 朝霞市, 志木市, 新座市, 桶川市, 久喜市, 北本市, 八潮市, 富士見市, 三郷市, 蓮田市, 坂戸市, 幸手市, 鶴ヶ島市, 吉川市, ふじみ野市, 伊奈町, 三芳町, 滑川町, 嵐山町, 小川町, 川島町, 吉見町, 鳩山町, 上里町, 寄居町, 宮代町, 杉戸町, 松伏町, 柏市, 東京都区部（千代田区, 台東区を除く）, 東京都多摩地域（檜原村, 奥多摩町を除く）, 東京都新島村, 神津島村, 三宅村, 八丈町, 川崎市, 相模原市, 横須賀市, 鎌倉市, 藤沢市, 厚木市, 新発田市, 金沢市, 岐阜市, 三島市, 伊東市, 富士市, 磐田市, 焼津市, 御殿場市, 袋井市, 湖西市, 伊豆市, 伊豆の国市, 牧之原市, 東伊豆町, 函南町, 長泉町, 小山町, 名古屋市, 長浜市, 京都市, 舞鶴市, 大阪市, 柏原市, 東大阪市, 和歌山市, 呉市, 竹原市, 広島県府中市, 三次市, 宇和島市, 北九州市, 福岡市, 久留米市, 宗像市, うきは市, 佐世保市, 松浦市, 熊本市, 荒尾市, 宇城市, 益城町, 臼杵市, 延岡市, 南さつま市, ［階数50～80%整備（47市区町村）］札幌市, 室蘭市, むつ市, 宮古市, 福島市, いわき市, 和光市, 千代田区, 台東区, 檜原村, 奥多摩町, 大島町, 利島村, 御蔵島村, 青ヶ島村, 小笠原村, 長岡市, 射水市, 舟橋村, 茅野市, 静岡市, 熱海市, 富士宮市, 掛川市, 下田市, 河津町, 南伊豆町, 豊橋市, 津島市, 安城市, 日進市, 岸和田市, 摂津市, 忠岡町, 三木市, たつの市, 岡山市, 周南市, 高松市, さぬき市, いの町, 大牟田市, 飯塚市, 古賀市, 鳥栖市, 武雄市, 玉名市, ［階数50%未満整備（64市町）］盛岡市, 白河市, 南相馬市, つくば市, 鉾田市, 宇都宮市, 前橋市, 桐生市, 館林市, 川口市, 所沢市, 白岡市, 千葉市, 木更津市, 茂原市, 八千代市, 多古町, 新潟市, 加茂市, 上越市, 高岡市, 加賀市, 松本市, 岡谷市, 諏訪市, 伊那市, 飯山市, 佐久市, 安曇野市, 大垣市, 浜松市, 藤枝市, 裾野市, 菊川市, 静岡県清水町, 吉田町, 静岡県森町, 春日井市, 伊勢市, 熊野市, 近江八幡市, 堺市, 池田市, 河内長野市, 姫路市, 朝来市, 香芝市, 三郷町, すさみ町, 太地町, 松江市, 益田市, 備前市, 広島市, 福山市, 海田町, 徳島市, 美波町, 松山市, 安芸市, 香南市, 江北町, 白石町, 波佐見町
【用途50～80%整備】［階数50～80%整備（1町）］筑前町, ［階数50%未満整備（1市）］御前崎市,
【用途50%未満整備】［階数8割以上整備（2市町）］箱根町, 豊中市, ［階数50～80%整備（3市町）］毛呂山町, 加古川市, 津山市, ［階数50%未満（34市町村）］更別村, 仙台市, 境町, 秩父市, 横浜市, 三条市, 甲府市, 長野市, 美濃加茂市, 沼津市, 島田市, 松崎町, 西伊豆町, 川根本町, 岡崎市, 豊川市, 豊田市, 四日市市, 与謝野町, 高槻市, 和泉市, 鳥取市, 米子市, 境港市, 日吉津村, 隠岐の島町, 倉敷市, 早島町, 東温市, 高知市, 小城市, 大町町, 日田市, 那覇市

3. 各建物への人口配分

本研究では、人口メッシュデータを 3D 都市モデルの建物データを用いて按分、個々の建物へ配分することで、建物単位の推計人口を算出する。これにより、建物分布に即した人口分布の推計値を算出し、暴露人口を精度良く推計するとともに、次章で述べる脆弱性の評価が可能となる。

(1) 配分方法

基本的には、住宅系建物[2]の床面積に応じて、メッシュの総人口を各建物に比例按分することとする。3D 都市モデルでは床面積自体が属性として付与されている場合もあるが、半数以上の市区町村で整備されていないため、今回は建築面積（フットプリント）に階数を掛けたものを床面積とする。このため、上層階が 1 階より小さな建物では、過大推計されうることに注意が必要である。

一方で、前述の通り建物用途や階数の属性が付与されていない市区町村や地域もある。このため、階数データがメッシュ内の 8 割以上の建物で存在しない場合は、建築面積に建物高さを掛け、建物体積を求めて、これに比例按分することとした。また、建物用途がない場合又は欠測している場合は、全ての建物に人口を配分した。このため、建物用途データが整備されていない市区町村においては、非住宅建物にも人口が配分されることとなるが、今後のデータ整備により解消されると考えられる。

3D 都市モデルとメッシュの重ね合わせについては、建物接地面の重心でメッシュへの帰属を判定する。メッシュ境界にかかる建物も分割せず、いずれか一方のメッシュに一意に帰属させるため、大規模建築物においてもひとつのメッシュに帰属することに注意が必要である。

なお、3D 都市モデルには倉庫等の構造物も含まれているため、建物高さが 3.0m 以下、建築面積 10.0m² 以下の小建築物は処理を除外した。また、3D 都市モデル整備市区町村と未整備市区町村の境界上に存在するメッシュについては、整備都市の建物に人口が過大に配分されるため、当該メッシュは処理を除外した。また、配分人口が小数値になることを許容し処理を行った。

(2) 配分結果

3D 都市モデルに収録されていた 27,629,173 棟の建築物データから小規模建物と未整備都市との境界上メッシュ内にある建物を除外した 21,557,908 棟に対して人口 65,089,687 人を配分した。この棟数のうち、「用途あり」かつ「階数あり」は 12,472,723 棟（57.9%）、「用途あり」かつ「階数なし」は 5,896,230 棟（27.4%）、「用途なし」かつ「階数あり」は 164,357 棟（0.8%）、「用途なし」かつ「階数なし」は 3,024,598 棟（14.0%）であった。「用途あり」のメッシュでみると、全建物の床面積または体積のうち非住宅建物が占める割合は、メッシュごとの中央値で 9.3%であった。このことから、「用途なし」メッシュでは同程度の割合の人口が、非住宅建物へ配分されていると推測できる。ただし、この割合の分布は偏っており、5 割以上を非住宅が占めるメッシュも 30,670 あるが、これらに配分される人口は全体の 5.9%にとどまる。なお、按分手法の切り替えによる結果の頑健性検証は 5 章(5)で行う。

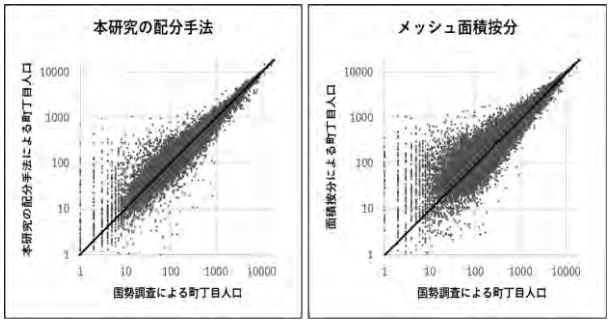
このうち、「用途あり」かつ「階数あり」で配分状況を確認したところ、1 階建て建物の延床面積中央値が 72.0m²、中央値付近の 70～80m²の配分人口平均が 0.98 人、2 階建て建物の延床面積中央値が 157.9m²、150～160m²の配分人口平均が 2.30 人、3 階建て建物の延床面積中央値が 179.2m²、170～180m²の配分人口平均が 2.88 人となっている。延床面積については、一般的な住宅の平均から考えると大きめに算出されているが、人口としては妥当な配分がされていると評価できる。「用途あり」かつ「階数なし」の配分状況については、標準的な 2 階建てと考えられる 500～550m³で配分人口が 2.36 人となっており、妥当であると考えられる。一方、「用途なし」かつ「階数なし」の場合、同じ 500～550m³の建物で配分人口が 1.98 人となっており、少なくなっている。これは、住宅以外の建物にも人口が配分され、結果的に人口が広く配分されているものと推定される。

(3) 町丁目人口データとの整合性確認

本研究の人口配分手法が妥当であるかを確認するために、配分結果を町丁目で集計し、同じ国勢調査で公表されている町丁目人口データと比較することで、単純な面積按分より本研究の人口配分手法に優位性があるかを検証した。全国 232,019 町丁目のうち、町丁目全域で人口が配分された 50,089 町丁目を分析した。なお、この検証は、按分の元とした国勢調査のメッシュ人口を、同じ国勢調査の町丁目人口と突き合わせたものであり、実際の居住者数と照合したものではない点に留意が必要である。

結果を図-1 に示す。本研究の配分手法による町丁目人口と国勢調査の町丁目人口の絶対誤差の平均（MAE）は 73.3 人であり、面積按分による MAE132.0 人に対して 44.5%改善している。精度が改善した理由は、面積按分が町丁目の面積比のみで人口を配分するのに対し、本手法は建物の位置と規模に応じて配分するため、より実際の土地利用に即して人口が配分されたことによる。延床面積に基づく按分の優位性は、既往の検討[1]でも報告されている。また、国勢調査の町丁目人口に対する本研究の配分手法による町丁

図-1 配分手法ごとの町丁目人口と国勢調査の比較
左は本研究の手法による推計、右はメッシュ面積按分による推計



目人口の比を国勢調査人口100人以上の町丁目（43,768町丁目）を対象として算出したところ、平均1.002、標準偏差0.21となり、0.7〜1.3に収まる町丁目が91.7%に達した。このため、本研究の配分手法は、単純な面積按分に比べて人口の再現性が高く、合理性があると判断した。

4. 建物ごとのリスクの判定

各建物に対して、「建物居住者の避難困難性」からリスクの判定を行い、その建物に配分された人口を集計することで都市の脆弱性を定量化して評価する。

内閣府のガイドライン[22]では避難行動として、立退き避難と屋内安全確保（安全な自宅・施設等）を挙げている。立退き避難の困難性を評価するため(a)避難場所までの到達困難性を、屋内安全確保の困難性を評価するため(b-1)自宅での屋内安全確保の困難性と(b-2)近隣を含めた屋内安全確保の困難性を評価する。ただし、ガイドラインでは家屋倒壊等氾濫危険区域に入っている、全居室が浸水する、浸水が長期間継続するおそれがある場合は立退き避難が必要とされている。このため、(c)長期間浸水継続も評価する。なお、家屋倒壊等氾濫危険区域については、指定範囲が限定的であることから、今回は評価対象としなかった。

(a) 避難場所までの到達困難性

立退き避難の困難性を評価するため、要配慮者が徒歩で移動に要する時間を参考に、各建物と避難場所までの距離に閾値を設定し、リスクを判定する。

中小河川における避難勧告等の発令基準策定の事例集[23]では、要配慮者の歩行速度0.5m/s、直線距離を避難距離に換算する際の係数を$\sqrt{2}$としている。直線距離1000mは避難距離1414mに相当し、要配慮者は徒歩で避難に約47分を要する。これに準備や情報伝達に要する時間を加えると、避難に1時間以上を要することとなるが、一般的に中小河川では氾濫までの猶予は少ない。このため、建物重心から避難場所までの直線距離が1000m以上である場合、(a)避難場所まで到達困難と判定する。同事例集は、避難先からの直線距離で到達圏を把握する方法を、全国への展開に向く簡易な手法として位置づけており、本研究の判定はこれと同じである。なお、実際には避難指示の前に高齢者等避難が発令されることを鑑みると、1000mの閾値は到達困難人口を過大に評価していると考えられる。また、避難場所データは施設の代表点が提供されているため、大規模な公園や学校等では、代表点と敷地境界との乖離により距離を過大に評価し、到達困難人口を過大に評価しうることにも注意が必要である。なお、津波避難においては500mを避難可能距離としている事例[24]もあるが、洪水発生は事前予測が可能であることから、これより大きな閾値を採用することには合理性がある。なお、避難場所から1000m以内には浸水想定区域内の人口のうち79.6%が配分されている。

なお、足立区、葛飾区、墨田区、江戸川区、江東区、新宿区、渋谷区、文京区、岡山市等において、洪水の避難場所のデータがないため、人口の大部分が避難場所までの到達困難と判定されることに注意が必要である。このうち江東5区は、荒川の大規模氾濫に対して広域避難を呼びかけており、区内の避難場所を想定していない。一方、岡山市はウェブサイトで洪水発生時の避難場所の住所一覧を公開しているが、国土地理院のデータには登録されていない。このように、意図的に避難場所が指定されていない場合と、データが欠損している場合があることに注意が必要である。

(b) 屋内安全確保の困難性

3D都市モデルは、全ての建築物に建物高さが付与されているため、浸水深との比較から屋内安全確保の困難性を評価することができる。ここで、国土数値情報に収録されている各浸水深ランクの最大値（0.5 / 3.0 / 5.0 / 10.0 / 20.0m）と建物高さの差がいくらあれば屋内安全確保が可能と判断するか、閾値の設定が必要となる。水害ハザードマップ作成の手引き[25]では、一般的な家屋の2階が水没する浸水深として5m、2階床下に相当する3m、1階床高に相当する0.5mを閾値とすることとしている。つまり、最大浸水深5mに対しては2階建て以下の建物がリスクあり、最大浸水深3mに対しては2階建て以上の建物がリスクなしとなるような閾値を設定することが望ましいと考えられる。木造2階建ての住宅は一般的に建物高さ7m〜10mであることを鑑みると、建物高さと最大浸水深の差が4mあれば、屋内安全確保が可能であると推定した。一方、3D都市モデルの建物高さについては、建築基準法で一般的に建物高さとされる全高ではなく、建築物の中央値を根拠としている場合が多い。そのため、建物高さの根拠が最高点である場合は4.0mを、中央値である場合は3.5mを閾値に設定する。

この閾値の設定が妥当であるかを検証するために、3D都市モデルの中から階数データを持つ住宅系建物の高さデータを全て抽出し、1階/2階/3階建て住宅に対して、3m/5m/10mに閾値を加えた値より建物高さが低い建物の割合を集計した。結果を表-2に示す。2階建て住宅では、3mに閾値を加えた値より建物高さが低い建物割合は13.0〜15.8%にとどまる一方、5mに閾値を加えた場合は80.9〜82.8%に達する。3階建てでは5mでも9.9〜11.9%である。手引きが想定する、浸水深3mでは2階建て以上は安全、5mでは2階建ては水没するという関係が再現されている。

表-2 3m/5m/10mに閾値を加えた値と建物高さの比較
・下3段は、3m/5m/10mに閾値（最高値の場合は4.0m、中央値である場合は3.5m）を加えた値より、建物高さが低い割合
・分母は浸水想定区域の内外を問わない住宅系建物すべて

	1階建て住宅		2階建て住宅		3階建て住宅	
	最高値	中央値	最高値	中央値	最高値	中央値
建物棟数	28,280棟	1,701,090棟	146,845棟	7,739,194棟	8,008棟	1,126,893棟
平均高さ	5.67m	5.43m	8.10m	7.63m	10.13m	9.80m
3m+閾値以下の建物割合	76.5%	77.9%	15.8%	13.0%	1.5%	1.3%
5m+閾値以下の建物割合	96.1%	93.6%	80.9%	82.8%	9.9%	11.9%
10m+閾値以下の建物割合	99.7%	98.8%	99.8%	99.7%	98.2%	98.4%

なお、3D 都市モデルの建物高さについて、位置正確度 0.66m 以内（標準偏差）を合格基準として品質が管理されていること、屋根形状が複雑な場合は誤差が大きくなることなど、様々な誤差が存在している。このため、ある程度の誤差を含みうる数値であることに注意が必要である。

一方、屋内安全確保は、自宅に限らず、近隣に身の安全を確保可能なマンションやビル等の民間施設がある場合に、当該建物の上階へ移動（垂直避難）することも含むとされている[25]。このため、各建物に対して、自宅で屋内安全確保ができない場合を(b-1)自宅屋内安全確保困難、自宅から直線距離 100m 以内の最も高い建物でも屋内安全確保ができない場合を(b-2)近隣屋内安全確保困難と定義する。国土交通省の調査[26]によると、無理なく休まずに歩ける距離が 100m までとする 75 歳以上高齢者は 17%に達していることから、100m という閾値を設定した。前項の 1000m が、計画的な避難により到達可能な距離であるのに対し、100m は浸水が迫った時点で休憩の余地なく移動できる距離であり、いずれも要配慮者の移動能力に基づいて設定した。なお、浸水想定区域の内外判断や距離の算定には建物の重心点を用いている。ただし、本判定は避難先の建物用途や受入可能性等を考慮していないため、近隣屋内安全確保が困難である実際の人口は、これ以上に増える可能性があると解釈すべきものである。なお、民間施設の受入可能性については、則竹ら[27]が江東 5 区でアンケート調査に基づく推計を行っており、本研究の数値と組み合わせることにより、実際の受入体制を推計できる可能性があると考えている。

(c) 長期間浸水継続

内閣府は、最低 3 日の備蓄を呼び掛けていることから、浸水継続時間が 72 時間以上となる場合、立退き避難が必要と判断し、(c)長期間浸水継続として判定する。

5. 脆弱性の評価結果

(1) 分析対象の全体評価

今回、按分対象となった 65,089,687 人に対し、浸水深 0.5m 以上のハザードエリアの中に居住する人口（以下、浸水区域内人口）は 24,989,692 人 (38.4%)であった。このうち避難場所到達困難人口は 5,103,904 人 (20.4%)、自宅屋内安全確保困難人口は 6,015,705 人 (24.1%)、近隣屋内安全確保困難人口は 463,132 人 (1.9%)、長期間浸水継続人口は 6,693,335 人 (26.8%)、いずれかのリスクがある人口（以下、リスク人口とする）は 12,587,989 人 (50.4%)となった。浸水区域内人口のうち、約半分が今回分析対象とした 4 つの観点についていずれかのリスクを抱えていることが分かった。このなかで、避難場所到達困難、自宅屋内安全確保困難、長期間浸水継続の 3 つの視点が、同程度の課題であることが分かる。また、近隣屋内安全確保困難人口は、自宅屋内安全確保困難の 1/10 以下であった。近隣屋内安全確保困難は前述の通り増える可能性がある数値のため、必ずしもリスクを 1/10 にできることを意味しないが、近隣建物を活用した避難の余地が相対的に大きいことが示された。

なお、リスク人口は 4 つの観点のいずれかに該当する人口であり、それぞれの関係について考慮されていないため、4 つの関係性を考慮した考察を行う。近隣屋内安全確保困難（463,132 人）は必ず自宅屋内安全確保困難であり、避難場所へ避難が必須である。このうち、避難場所へも到達困難である人口は 206,630 人（0.8%）であった。一方、長期間浸水継続（6,693,335 人）は、屋内安全確保を選択できず立退き避難が前提となる。このうち避難場所まで到達困難である人口は 2,382,964 人（9.5%）となった。

(2) 市区町村別評価

続いて、脆弱性の評価を市区町村別に行う。リスク人口が多い 30 市区町村を抽出したものが表-3 である。

まず、浸水区域内人口に対するリスク人口の割合については、分析対象全体でみると前項で述べた通り約半分であるが、市区町村によってその割合はばらつきがある。江戸川区、岡山市、葛飾区、久留米市が 100%である一方、広島市が 35%、横浜市が 34%、川崎市は 19%となっている。このことから、浸水区域内人口だけでは、各市区町村の脆弱性を正しく評価できないことが分かる。

また東京 23 区や大阪市、名古屋市といった大都市では、長期間浸水継続が最も大きなリスクである。加えて、東京 23 区では長期間浸水継続に加え避難場所まで避難困難のリスクも高い。これは、前述の通り避難場所が指定されていないことによるものである。現在進められている高台まちづくりが非常に重要な取り組みであると評価できる。

一方、屋内安全確保に関して、3 大都市圏では一定程度自宅屋内安全確保困難が存在している一方、近隣屋内安全確保困難は少ない。これは、集合住宅等が多く、こういった建物を屋内安全確保の対象として活用しうる余地が大きいことを意味する。一方、岡山市、浜松市、広島市、徳島市、久留米市、福山市、岡崎市、長野市、大垣市といった地方部の中核都市は、近隣屋内安全確保困難人口も比較的多い。当面はマイタイムラインの普及に合わせた早期避難の呼びかけが重要であるとともに、長期的には安全に屋内安全確保ができる場所の創出が重要である。

このように、3D 都市モデルを活用することによって、ハザードマップだけでは評価できない、市区町村ごとに異なる脆弱性を評価することができた。ただし、本研究で算出したリスク人口は、様々な誤差や前提を置いた数字であり、各自治体の脆弱性の大小を論じるものではなく、相対的な特徴の評価にとどめることが必要である。

(3) メッシュデータによる評価

Project PLATEAU では市区町村ごとに 3D 都市モデルを整備しているが、洪水浸水リスクへの対策は流域全体で考える必要があるため、市区町村域に囚われない評価が必要である。このため、本研究の汎用性を生かして、近隣屋内安全確保困難な地域を空間的に抽出することを試みる。

表-3　リスク人口が多い市区町村の評価結果　単位:人　［ ］は浸水区域内人口に対する割合、( ) はリスク人口に対する割合

無印は用途・階数がともに半分以上整備（床面積による按分）、* は過半が階数未整備（体積による按分）、*** は過半が用途・階数未整備（非住宅にも配分、体積按分）

	浸水区域内人口	リスク人口	避難場所到達困難	自宅屋内安全確保困難	近隣屋内安全確保困難	長期間浸水継続
大阪市	1,767,064	910,895 [52%]	0 (0%)	276,257 (30%)	60 (0%)	761,381 (84%)
江戸川区	658,048	657,582 [100%]	612,955 (93%)	134,240 (20%)	3 (0%)	645,606 (98%)
足立区	683,206	651,087 [95%]	570,786 (88%)	176,749 (27%)	2,591 (0%)	547,479 (84%)
岡山市	634,511	633,615 [100%]	631,366 (100%)	329,071 (52%)	38,549 (6%)	119,101 (19%)
葛飾区	451,953	451,805 [100%]	435,894 (96%)	142,472 (32%)	879 (0%)	447,777 (99%)
名古屋市	1,000,894	411,035 [41%]	1,291 (0%)	160,571 (39%)	6,438 (2%)	320,704 (78%)
江東区	389,480	363,353 [93%]	363,096 (100%)	30,750 (8%)	0 (0%)	267,929 (74%)
新潟市*	432,020	303,724 [70%]	31,505 (10%)	71,981 (24%)	465 (0%)	254,554 (84%)
浜松市*	403,927	270,463 [67%]	58,352 (22%)	251,180 (93%)	12,499 (5%)	10,459 (4%)
川口市*	437,694	264,042 [60%]	0 (0%)	82,065 (31%)	368 (0%)	252,621 (96%)
岐阜市	313,182	228,791 [73%]	8,791 (4%)	135,241 (59%)	7,587 (3%)	199,083 (87%)
墨田区	265,883	219,270 [82%]	206,103 (94%)	33,819 (15%)	427 (0%)	131,798 (60%)
広島市*	605,810	210,979 [35%]	866 (0%)	190,806 (90%)	32,673 (15%)	29,388 (14%)
荒川区	210,841	196,702 [93%]	0 (0%)	33,457 (17%)	0 (0%)	196,469 (100%)
横浜市***	578,101	196,483 [34%]	1,807 (1%)	112,140 (57%)	352 (0%)	116,022 (59%)
松山市*	264,297	195,384 [74%]	185,247 (95%)	44,663 (23%)	736 (0%)	962 (0%)
台東区	187,199	180,935 [97%]	0 (0%)	10,945 (6%)	0 (0%)	180,899 (100%)
川崎市	912,274	175,275 [19%]	221 (0%)	69,187 (39%)	50 (0%)	113,170 (65%)
北区	207,357	153,982 [74%]	55,758 (36%)	42,753 (28%)	546 (0%)	145,855 (95%)
徳島市*	225,344	151,966 [67%]	123,082 (81%)	75,893 (50%)	12,441 (8%)	3,632 (2%)
久留米市	147,720	147,639 [100%]	147,463 (100%)	64,954 (44%)	8,424 (6%)	72,159 (49%)
草加市	230,519	138,708 [60%]	404 (0%)	10,764 (8%)	0 (0%)	133,747 (96%)
三郷市	139,732	137,654 [99%]	1,249 (1%)	30,331 (22%)	509 (0%)	136,348 (99%)
越谷市	321,833	135,305 [42%]	1,284 (1%)	51,801 (38%)	33 (0%)	124,052 (92%)
福山市*	283,190	133,050 [47%]	14,126 (11%)	125,643 (94%)	17,149 (13%)	5,377 (4%)
岡崎市***	196,885	130,224 [66%]	14,565 (11%)	118,927 (91%)	23,375 (18%)	33,044 (25%)
戸田市	150,426	126,048 [84%]	842 (1%)	30,735 (24%)	120 (0%)	124,511 (99%)
長野市***	224,167	125,179 [56%]	74,856 (60%)	111,005 (89%)	49,507 (40%)	17,797 (14%)
大垣市*	128,660	122,394 [95%]	16,134 (13%)	74,634 (61%)	17,969 (15%)	117,206 (96%)
さいたま市	364,439	116,680 [32%]	12,554 (11%)	91,062 (78%)	5,949 (5%)	33,930 (29%)

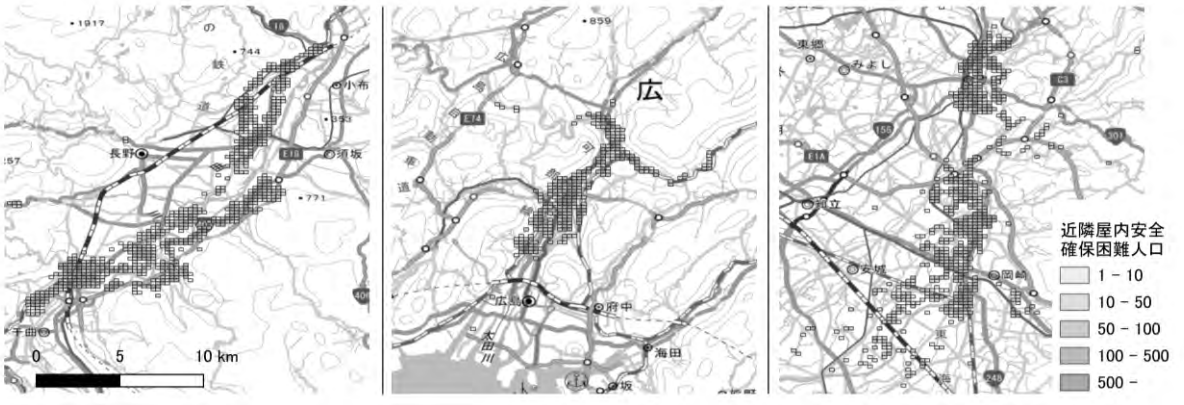


図-2　近隣屋内安全確保困難なメッシュが連担する地域　（地理院地図に加筆し著者作成）
左から千曲川流域（長野市）、太田川流域（広島市）、矢作川流域（安城市/岡崎市/豊田市）

表-4　都計分類別の都市の脆弱性評価　単位：人　［ ］は浸水区域内人口に対する割合、( ) はリスク人口に対する割合

市街化：市街化区域 非線用途：非線引き都市計画区域の用途地域 調整区域：市街化調整区域 非線白地：非線引き都市計画区域の用途未指定地域 都計外：都市計画区域外

	総人口	浸水想定区域内人口	リスク人口	避難場所到達困難	自宅屋内安全確保困難	近隣屋内安全確保困難	長期間浸水継続
市街化	56,761,015	22,099,704 [39%]	13,482,210 (61%)	4,173,441 (19%)	4,700,317 (21%)	254,062 (1%)	10,629,739 (48%)
非線用途	1,656,808	589,419 [36%]	289,690 (49%)	87,568 (15%)	208,994 (35%)	22,914 (4%)	113,486 (19%)
調整区域	4,247,650	1,639,814 [39%]	1,330,216 (81%)	612,809 (37%)	765,422 (47%)	125,529 (8%)	824,412 (50%)
非線白地	1,504,619	338,076 [22%]	226,533 (67%)	128,961 (38%)	150,565 (45%)	21,967 (6%)	63,347 (19%)
都計外	557,551	175,749 [32%]	119,019 (68%)	64,969 (37%)	92,621 (53%)	12,567 (7%)	24,433 (14%)

近隣屋内安全確保困難人口を5次メッシュで集計し、当該人口が1人以上のメッシュを対象に、8方向（上下・左右・斜め）で接するものを同一クラスターとして統合した。クラスターとして統合されたメッシュの近隣屋内安全確保困難人口を累計し、これが大きなクラスターを抽出した。その主なものを図-2に示す。最も大きなクラスターは長野市の千曲川流域で、令和元年東日本台風で浸水被害を受けた地域から上流にかけての地域である。次に太田川流域の広島市北部、矢作川流域の豊田市から岡崎市と安城市にかけての地域である。矢作川の事例のように、都市の脆弱性を市区町村域を超えて抽出することが可能となった。

(4) 都計分類別評価

各建物に付与した都計分類を用いて、都計分類ごとに評価結果を集計し、それぞれの脆弱性の特徴を分析する。結果を表-4に示す。

浸水区域内人口に対するリスク人口の割合は市街化調整区域が高く、都市計画区域外と非線引き白地がこれに続く。市街化区域は、市街化調整区域等と比べ浸水区域内人口に対するリスク人口の割合や、近隣屋内安全確保困難人口の割合は少ないものの、長期間浸水継続人口が多い。これは、市街化区域において高台まちづくりの取組が重要であることを示唆している。

(5) 按分手法による評価への影響

最後に、3章で述べた階数データがない場合の体積按分、建物用途がない場合の非住宅建物への人口配分の影響を検証する。具体的には、用途も階数もデータがある59,721メッシュを対象に、用途や階数データを人為的に欠損させて人口配分を試行し、感度分析を行う。結果を表-5に示す。

用途・階数の双方を欠損させても、全体の変化は1%前後にとどまる。自宅屋内安全確保困難のみ-5.0%と大きいが、これは建物への人口配分とリスク判定の両方に高さが効いてくるためである。一方、メッシュ単位では数十人の幅でばらつく。ただし、ばらつきは集計の過程で相殺され、全体では変化は小さくなっている。用途・階数が十分に整備された市区町村について検証したところ、リスク人口の多い順に並べた順位は保たれ、上位10市区町村はいずれの条件でも一致した。単一メッシュの値を比較することは適当でないが、全体や市区町村別の集計値の比較には影響しない結果となった。

6. まとめ

本研究では、3D都市モデルをはじめとするオープンデータを活用し、暴露の空間解像度を高精度化すると同時に、避難に関する脆弱性を定量化することで、洪水浸水に対する都市脆弱性の評価を試みた。まず、メッシュ単位で公表されている国勢調査人口を、建物分布に沿った形で配分することで詳細な人口分布を推定し、良好な結果を得た。これを建物ごとの浸水リスク評価と重ね合わせることで、都市の脆弱性を、a) 避難場所への避難、b-1) 自宅屋内安全確保、b-2) 近隣屋内安全確保、c) 長期間浸水継続という4つの観点で評価する手法を具体化することができた。これを分析対象全体で集計した結果、a) 避難場所への避難、b-1) 自宅屋内安全確保、c) 長期間浸水継続の3つの視点が同程度の課題である一方、b-2) 近隣屋内安全確保が困難な人口は、b-1) 自宅屋内安全確保困難の1/10以下であり、近隣建物を活用した垂直避難の可能性が相対的に大きいことを示すことができた。市区町村ごとの集計では、浸水区域内人口に対するリスク人口の割合が市区町村ごとに大きく異なり、ハザードマップからは評価できない市区町村ごとの脆弱性を明らかにすることができた。また、4つの観点から脆弱性を評価することで、市区町村ごとに対処すべきリスクに特徴があることが明らかになった。また、メッシュ単位の評価では、近隣屋内安全確保困難な地域を、市区町村を超えて抽出することができた。都計分類ごとの評価では、市街化区域は市街化調整区域等と比較し、浸水区域内人口に対するリスク人口の割合や近隣屋内安全確保困難人口は少ないものの、長期間浸水継続人口が多いことが定量的に示された。3D都市モデルの特性を生かし、これらの分析結果を得られたことは、この手法の大きな特長といえる。

次に、本研究の課題を示す。評価の過程で様々な仮定や閾値を用いて検討を行っており、改良の余地がある。また、3D都市モデルの整備範囲が広がってきたとはいえ、未整備都市も多いこと、また整備都市においても活用できる属性データに違いがあることにより複数の人口按分手法を組み合わせなければならなかった点を考慮した評価の調整の余地は残る。さらに、都市の脆弱性を評価する観点は、今回の4点以外にも、家屋倒壊等氾濫想定区域を考慮に入れる、配慮者の分布を考慮に入れることなど、様々な軸が考えられる。より多面的に都市の脆弱性を評価していくことが必要であろう。また、近隣家屋の避難の収容可能容量を考慮していない点については、先行研究の推計値と組み合わせ

表-5　用途や階数データを人為的に欠損させて人口配分を試行し、感度分析を行った結果

	浸水区域内人口		リスク人口		避難場所到達困難		自宅屋内安全確保困難		近隣屋内安全確保困難		長期間浸水継続	
	全体	ﾒｯｼｭ平均	全体	ﾒｯｼｭ平均	全体	ﾒｯｼｭ平均	全体	ﾒｯｼｭ平均	全体	ﾒｯｼｭ平均	全体	ﾒｯｼｭ平均
		n=32,176		n=30,535		n=10,474		n=30,162		n=3,029		n=11,773
基準値	9,774,952人	303.8人	5,480,057人	179.5人	2,596,402人	247.9人	2,178,380人	72.2人	116,233人	38.4人	3,736,742人	317.4人
階数を除去	-0.10%	-0.2±11.2人	-0.80%	-1.5±10.9人	0.00%	-0.1±7.7人	-2.50%	-1.8±12.5人	0.00%	-0.0±4.8人	0.10%	+0.2±10.6人
用途を除去	-0.20%	-0.9±24.6人	-0.10%	-0.3±21.8人	-0.10%	-0.5±17.4人	-1.10%	-0.9±22.3人	-1.10%	-1.3±12.1人	-0.50%	-1.8±26.3人
用途・階数を除去	-0.40%	-1.4±30.9人	-1.20%	-2.3±27.5人	-0.20%	-0.7±22.8人	-5.00%	-3.7±27.5人	-1.50%	-1.4±14.6人	-0.60%	-2.3±33.7人

て、実際の受け入れ態勢を推計することが求められる。

最後に、本研究の今後の展望を示す。避難場所までの避難困難性については、3D都市モデルが有している道路データを用いて避難経路に沿った距離を算出することや、橋梁・アンダーパスなど避難危険個所を評価するなど、さまざまな改良が考えられる。3D都市モデルの、より一層の整備内容の高度化が期待される。さらに、現在整備が進められている多段階浸水想定図や内水氾濫のハザードマップを活用すれば、より詳細なリスクの評価が可能になると思われる。

いずれにしても、今後、防災指針の取り組みをより高度化していくためには、河川管理者等が整備するリスク情報のみならず、都市としての脆弱性を加味することが必要である。脆弱性の評価を高度化し、客観的な評価に基づく対策を実施することで、洪水浸水リスクに強い都市への転換が進んでいくことを期待している。

【補注】

(1) データ処理はPython、空間処理にGeoPandas・Shapely・pyogrio、ラスター処理にRasterio、近傍探索の判定にSciPy、3D都市モデルの解析にlxmlおよびPlateauKitを用いた。処理は、a)CityGMLの取得と属性の抽出、b)都道府県単位への統合、c)浸水想定区域データのラスター化、d)建物単位への人口配分、e)各建物への浸水深・都計区分・避難場所までの距離の付与、f)リスク判定と集計、の6段階からなる。コーディングにあたっては生成AI（Claude Sonnet 4.6）を活用した。生成AIはコードの記述と修正に用いており、処理の設計、パラメータの設定および結果の解釈はすべて著者が行った。各段階で建物棟数と人口の収支が保存されることの確認、QGISを用いた目視確認等により、その妥当性を検証している。

(2) 本研究では、以下を住宅系建物として扱った。「住宅、共同住宅、店舗等併用住宅、店舗等併用共同住宅、作業所併用住宅」
すべての用途リストについては、「3D都市モデル標準製品仕様書」(https://www.mlit.go.jp/plateau/libraries/handbooks/)に記載されている。

【参考文献】 (URLの最終閲覧日：2026年8月12日)

1) 国土交通省都市局,水管理・国土保全局,住宅局: 水災害リスクを踏まえた防災まちづくりのガイドライン,2021年5月, p. 41
2) 西村 俊里, 佐久間 康富, 森 友里歌: 立地適正化計画における防災指針の記載内容の特徴と要因に関する研究, 日本都市計画学会関西支部研究発表会講演概要集 23 巻 (2025), pp. 89-92
3) 国土交通省都市局: まちづくりの健康診断について, https://www.mlit.go.jp/en/toshi/city_plan/content/002011672.pdf
4) 中野 卓, 木内 望: 都市の水害対策に向けた建築・土地利用マネジメントの展開とその評価, 都市計画論文集 58 巻 (2023) 3 号 pp. 1423-1430
5) 秦康範, 前田真孝: 全国ならびに都道府県別の洪水浸水想定区域の人口の推移, 災害情報, 18(1), pp.107-114, 2020.
6) 松中亮治, 大庭哲治, 米田光佑: 全国災害曝露人口を用いた将来における災害リスク分析, 都市計画論文集, 56(1), pp.73-84, 2021.
7) 野澤千絵, 上田聖也, 柿沼太貴: 最大想定規模の浸水想定区域における土地利用規制別の人口推移と居住誘導に関する研究, 都市計画報告集, 21(4), pp.452-459, 2023.
8) 小林孝, 片山茜, 林洋一郎, 森川裕貴, 波多野由基, 菊池雅彦: 都市計画的観点に基づく洪水浸水想定区域内人口増減の全国的な定量分析, 都市計画論文集, 60(3), pp.946-952, 2025.
9) 中野 卓, 竹谷 修一: 国勢調査ミクロデータに基づく災害リスク地域内の居住人口・世帯数推計, 日本建築学会計画系論文集 89 巻 819 号, p. 854-861, 2024.
10) 椿 優里: 3D 都市モデルの整備・活用・オープンデータ化“Project PLATEAU”, AI・データサイエンス論文集 5 巻 2 号 p. 1-12, 2024.
11) 小林 郁雄, ３D都市モデル等のオープンデータを活用した高解像度メッシュ人口の推計, SOMPO インスティチュート・プラス Insight Plus, 2023, https://www.sompo-ri.co.jp/2023/04/28/8016/
12) 小林 郁雄, 都市の水害リスク指標に関するケーススタディ②, SOMPO インスティチュート・プラス Insight Plus, 2024, https://www.sompo-ri.co.jp/2024/10/31/14694/
13) 都市構造評価ツールの社会実装, Project PLATEAU ユースケース uc25-09, 2026, https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc25-09/
14) 垂直避難可能な建築物の可視化等を踏まえた防災計画検討, Project PLATEAU ユースケース uc20-012, 2021, https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/uc20-012/
15) 国土交通省: PLATEAU ビジョン 2026, 2026 年, https://www.mlit.go.jp/plateau/vision/
16) 国土地理院: 3 次元電子国土基本図 https://www.gsi.go.jp/kibanjoho/mapinfo3D.html
17) G 空間情報センター, 3D 都市モデル（Project PLATEAU）ポータルサイト, https://front.geospatial.jp/plateau_portal_site/
18) 総務省統計局: 政府統計の総合窓口, https://www.e-stat.go.jp/
19) 国土交通省: 国土数値情報 洪水浸水想定区域データ（2024 年度版）, https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A31b-2024.html
20) 国土地理院: 指定緊急避難場所データ, https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/hinanbasho.html
21) 国土交通省都市局: 都市計画決定 GIS データ, https://www.mlit.go.jp/toshi/tosiko/toshi_tosiko_tk_000087.html
22) 内閣府: 避難情報に関するガイドライン（2026 年 3 月改定）, https://www.bousai.go.jp/oukyu/hinanjouhou/r3_hinanjouhou_guideline/
23) 内閣府（防災担当）・消防庁・国土交通省・気象庁: 中小河川における避難勧告等の発令基準策定の事例集（第 1 版）, 2020. https://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/pdf/200331_jirei.pdf
24) 消防庁: 津波避難対策推進マニュアル検討会報告書, 2013, https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/kento106.html
25) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課水防企画室: 水害ハザードマップ作成の手引き, 2023, https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/saigai/tisiki/hazardmap/index.html
26) 国土交通省: 高齢者の生活・外出特性について, p.9, https://www.mlit.go.jp/common/001176318.pdf
27) 則竹桃実, 四井早紀, 大津山堅介, 廣井悠: 民間施設等を活用した大規模水害時の域内避難の可能性の検討, 都市計画論文集, 60(3), pp.1479-1486, 2025.

© 2026公益社団法人日本都市計画学会 本論文はクリエイティブ・コモンズ [表示-非営利-改変禁止 4.0 国際] ライセンス（https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ja）のもと出版されており、出典を表示し、元の論文を改変しないこと、また、非営利であることを条件として、著作権者の許諾を得ることなく配布や複製などの二次利用をすることができる。