

オープンデータを活用した 3次元災害対策空間情報データベース構築の試み 川向 肇*・有馬昌宏**

A Prototype Development for 3D Disaster Mitigation Information Spatial Database Utilizing Open Data

Hajime Kawamukai*, Masahiro Arima**

Abstract: We have started to enjoy the increasing richness of geospatial Open Datasets in Japan. The availability of three-dimensional datasets are limited in the last two decades, however, we are now able to think and analyze urban structure in three-dimensional mode, in the landscape of common usage of high computational powered PCs, the availability of the three-dimensional analytical application software and datasets. In some regions in Japan, CityGML data, the high resolution three-dimensional urban structure datasets, and high-resolution digital elevation and surface model datasets have been available. The authors show our results to estimate possible flooding damages near the Kakogawa River in Hyogo Prefecture, by applying our simple three-dimensional urban structure data model.

Keywords: オープンデータ (Open Data), 3D 都市モデル (three-dimensional urban building structure model), 高解像度 DSM (High Resolution DSM), 災害対応 (Disaster Mitigation Planning)

1. はじめに

わが国では、近年、従来は浸水の可能性があるために水田耕作以外の土地利用が憚られた地域においても、住宅開発や高齢者施設などを中心とした都市的な土地利用が行われている。この背景としては、①従来開発されてこなかったこれらの地域は被災の可能性があるために地価が安いという特性、②過去数十年間に亘るダムや堤防等の流域の水源管理システム整備に伴う災害経験の低減や堤防などの整備、③過去の災害被害の記憶の希薄化、などが指摘できよう。その結果、台風の通過時の大雨に加え、梅雨前線や秋雨前線の活動の活発化に伴い発生する線状降水帯をもたらす豪雨などによる多数の水害が経験され始めるようになり、中には自然災害というよりは人災に近い災害被害の発生が各地で見られ始めている。

気象庁(2021)の記述によれば、2010年以降2021年までの12年間に甚大な被害をもたらされた気象事例を整理すると40事例にも上り、そのうち、大雨

に関する事例が33事例(暴風等による被害事例を同時に含む)あり、「顕著な災害を起こした自然現象の名称」が付与されているいわゆる甚大な被害をもたらした自然現象として、「平成21年7月中国・九州北部豪雨」以降、「令和元年東日本台風(台風第19号)による大雨、暴風等停滞」に至るまで、9事例が記録されている。このように日本列島においては、ほぼ毎年のように全国の様々な地域で豪雨ないし大雨に伴い発生する水害被害を中心とした災害が自然災害の大半を占めている。その意味で、我が国においての災害として、水害は依然として優先順位の最も高い対策が要請される災害であるということができよう。そのことは、内閣府(2021)でも、第1部第1章第3節において、今後発生が危惧される災害への対応として、首都圏等における洪水・高潮氾濫からの大規模広域避難の検討が取り上げられていることから理解される。

さて、これまでの多くの水害被害に関する定量被害把握に関する研究としては、能島他(2004)、池永・

* 正会員 兵庫県立大学 大学院 応用情報科学研究科・社会情報科学部 (University of Hyogo)

〒650-0047 兵庫県神戸市中央区港島南町 Tel: 090-1246-7027 または E-mail: kawamukai@ai.u-hyogo.ac.jp

** 正会員 兵庫県立大学 大学院 応用情報科学研究科

大原(2015), 有馬・鮑(2018), 有馬(2019), 秦・前田(2020)などが挙げられる。しかし、これらの先行研究に関しては、第4次メッシュや町丁字などの小地域における浸水想定領域データと重畳する部分の面積と当該第4次メッシュあるいは小地域の領域全体との間の面積比による按分計算を行っているが、領域全体に占める湖沼や森林などの非可住地の面積の影響を排除する考慮がなされておらず、被災住民数が過小推計される可能性があり、推定精度に問題があることを川向・有馬(2020a,2020b,2020c)などでは指摘した。

そこで、我々は、国土交通省(2021a)で提供されている各都道府県別の森林および湖沼の Shape ファイルを利用して、これらの居住に適さない領域を除外した領域を可住地と定義した上で面積比を求めて面積按分をするという川向・有馬(2020a,2020b,2020c)で提案した推計精度を高める方法により、洪水予報河川ならびに水位周知河川に対して国土交通省(2021a)で提供されている想定最大規模降雨のもとでの洪水災害ハザードについて、第4次メッシュを単位として浸水深別被災可能性人口の推計を行ってきたが、推計作業は現時点で完了し、現在はこれらデータの公開にむけての準備作業に着手したところである。

しかしながら、我々の提案している手法でも、年齢階級別や外国人といった住民属性別の被災可能性人口の推計、あるいは6歳未満の世帯員のいる一般世帯数といった世帯属性別の被災可能性世帯数の推計には2次元データのみを利活用しており、都市の物理的構造に大きく影響する基本要素であり、住民や世帯を被災時において保護するために重要な役割を果たす住宅といった建造物の高さという3次元的な側面に着目した被災人口や被災世帯数の推計については、利用可能なデータの制約などの問題があり、これまでは行われてはきていなかった。

ところで、3次元の空間データの提供に関しては、2020年から国土交通省(2021c)が「日本全国の3D都市モデルの整備・活用・オープンデータ化プロジェクト」として Project PLATEAU を開始しており、2021年8月25日現在で G 空間情報センター(2021)から

PLATEAU オープンデータとして公開されている対象自治体は、その自治体の一部地域だけ公開されているものを含めても、56都市(東京都23区は1都市としてカウント)に限られてはいるものの、収録自治体の規模や属性にはかなりのバラエティがあり、都市部から地方部まで、様々な自治体内の3Dモデルの構造物データが入手可能となっている。しかしながら、現時点で公開されている自治体は限られており、Web版の Project PLATEAU でも個別建物の計画規模の想定浸水深等の表示・判定は可能ではあるが、データが整備・公開されていない市区町村での洪水被害等の推計はそもそも不可能であるし、建築物に対する被災状況に関する推計は容易ではない。

以上の理由から、本研究では、Project PLATEAU のオープンデータを利用する代わりに、国土地理院(2021)の基盤地図情報のうち建築物についてのポリゴンデータ、G 空間情報センター(2021)を通じて兵庫県が公開している1m解像度の数値標高モデル(DEM(Digital Elevation Model)および数値表層モデル(DSM(Digital Surface Model)のデータ、国土交通省(2021a)の国土数値情報ダウンロードサービスで提供されている加古川流域での想定最大規模の洪水による浸水想定予測と浸水継続時間の予測結果を用いて、加古川最下流の加古川市ならびに高砂市の建築物を対象に、最大浸水深別および浸水継続時間別の被害建築物数に関する推計を行った。以下では、その結果を紹介する。

2. 高解像度 DSM および DEM による 3D 建築物データベースの作成と推計結果

兵庫県は、2020年から高解像度 DSM および DEM を G 空間情報センター(2021)を介して公開している。この2種類のデータについて、2次元データである建築物ポリゴンごとにそのポリゴン内に含まれる DSM および DEM を特定し、それらの平均値の差を用いれば、建築物の平均高が計算可能となる。無論、Project PLATEAU で提供されているほどの形状の精度は望めないとはいえ、建築物の高さの推計値から階高を簡易推計および簡易表示することは可能であり、通常の集合住宅の場合、陸屋根型の建築物が多

いこともあり、被災状況の推計に利用するためには十分であると考えられる。そこで、本研究では、以上の方法で建築物の階高の簡易推計を行い、最大浸水深別ならびに浸水継続時間別に当該建築物数の推計を行うこととした。

2.1. 簡易建築物 3D モデルの構築

国土地理院(2021)の基盤地図情報の建築物ポリゴンと G 空間情報センター(2021)で公開されている兵庫県 の 1m 解像度の DSM および DEM に関する CSV データからポイントデータとして変換したデータを用い、個別の建築物ポリゴン内に含まれる 1m 解像度の DSM および DEM データの平均値と最大値・最小値と分散の記述統計を求めた上で、個々の建築物ポリゴン内の DSM および DEM データから計算される分散に異常値を示す建築物データがないことを確認・検証した。その上で、これらの DSM および DEM データから計算された両者の平均値の差を当該建築物の高さとして計算し、建築物の基礎部分と屋根部分を考慮して建築物の高さから 0.7 を減じた上で、その建築物の高さを 3 で除算した値を小数点以下で四捨五入することにより求めた値を建築物の階高とすることとした。

2.2. 推計の対象地域

兵庫県加古川市と高砂市を分析対象地域として選定し、両市域内における建築物 225,090 棟の建築物高の推計データを整備・構築した。これらの自治体を対象として推計を行った理由としては、兵庫県中西部の加古川市と高砂市に関しては、近年の大雨洪

表 1 浸水想定域内外の建物数推計結果

建築物数		
浸水域内建築物数(計)	138,476	構成比
堅牢建物	2,060	1.49%
堅牢無壁舎	16	0.01%
普通建物	112,278	81.08%
普通無壁舎	24,122	17.42%
浸水域外建築物数(計)	86,614	構成比
堅牢建物	1,147	1.32%
堅牢無壁舎	7	0.01%
普通建物	71,675	82.75%
普通無壁舎	13,785	15.92%

水では大規模な浸水被害が未然に阻止されてはいるものの、国土交通省(2021b)によると、2000 年以降で 2 回の住宅の床上浸水被害が発生するなど、加古川の氾濫とその被害の可能性がある地域であることによる。

また、1m 解像度の各建築物についての建築物高の最大値が計算されていることから、建物自体が完全に水没するかどうかについても検討した。

2.3 推計ならびに集計結果

表 1 に示すように、想定最大規模の浸水の場合とはいえ、分析対象地域内の 61.5%の建築物が推計結果では床上ないし床下浸水被害が生じるという結果となった。

また、その浸水被害状況を想定浸水深別および建物種類別に集計した結果を表 2 に示し、想定される最大規模の洪水が発生した場合の浸水被害が予測される建築物数を浸水継続時間帯別に集計した結果を表 3 に示している。

表2 最大浸水規模の浸水深別の被災が予測される建築物数

浸水深	堅牢建物	堅牢無壁舎	普通建物	普通無壁舎	総数	構成比
1(0-0.5m未満)	122	0	6,113	855	7,090	5.1%
2(0.5m-3.0m未満)	647	4	37,535	7,269	45,455	32.8%
3(3.0m-5.0m未満)	1,007	10	42,067	9,108	52,192	37.7%
4(5.0m-10.0m未満)	284	2	26,557	6,888	33,731	24.4%
5(10.0m-20.0m未満)	0	0	6	2	8	0.0%

表3 浸水継続時間帯別の被災が予測される建築物数

浸水継続時間	堅牢建物	堅牢無壁舎	普通建物	普通無壁舎	総数	構成比
1(12時間未満)	22,228	276	3,880	1	26,385	19.1%
2(12時間-24時間未満)	50,858	1,069	11,556	12	63,495	45.9%
3(24時間-72時間未満)	38,517	697	8,490	3	47,707	34.5%
4(72時間-168時間未満)	675	18	196	0	889	0.6%

表 4 建築物種別の完全水没可能性のある建築物数

建築物種別	堅牢建物	堅牢無壁舎	普通建物	普通無壁舎	総数	構成比
1階建	6	1	10,144	8,202	18,353	99.9%
2階建	0	0	11	1	12	0.1%
3階建	0	0	5	0	5	0.0%

表 2 および表 3 から検討する限り、想定最大規模洪水被害が仮に発生した場合、床下浸水でとどまるものは、7,090 棟と全洪水被災棟数のわずか 5.1%程度にとどまり、浸水深が 0.5m 以上 3.0m 未満で 1 階部分の床上浸水が予想される建築物数は 45,455 棟で浸水被害が予測される全建築物棟数に占める割合は 32.8%、浸水深が 3.0m 以上 5.0m 未満で 1 階部分は水没して 2 階部分への浸水が予測される建築物数が 52,192 棟で 37.7%、浸水深が 5.0m 以上 10.0m 未満で 2 階部分までも水没して 3 階あるいは 4 階部分までもが浸水する可能性のある建築物数は 33,731 棟で 24.4%であり、1 階部分は完全に水没して 2 階部分以上の浸水が予想される浸水深が 3.0m 以上の建築物数は 85,931 棟で全浸水想定建築物棟数の 62.1%を占めるに至っており、浸水想定最大規模の洪水が発生した場合には、研究対象地域で非常に深刻な被害が生じることが予測される結果となった。

表 2 の結果からは、被災の可能性のある建築物のうち 2 階以上への垂直避難が可能な 3.0m 未満の浸水を経験する可能性がある建築物に関しては、鉄筋コンクリート等で建築された 3 階以上または 3 階相当以上の高さの建物である堅牢建物ならびに 3 階未満の建物および 3 階以上の木造等で建築された建築物である普通建物とも、いずれもそれぞれが全体に占める割合は 38%前後であるが、5.0m 以上の浸水を経験する可能性は堅牢建物が 13.8%であるのに対し、普通建物は 23.7%とかなり高く、堅牢建物はもともと地盤が強固で標高が高めの丘陵部において建設されている状況を反映した傾向が窺われる結果となっている。

表 3 に示した浸水継続時間別の浸水被害建築物数に関しても、比較的軽微な被害となる 12 時間未満の浸水継続時間となる建築物は 26,385 棟で、全被災建築物数の 19.1%にとどまる。24 時間以上浸水が継続する建築物は 48,596 棟で全被災建築物数の 35.1%に

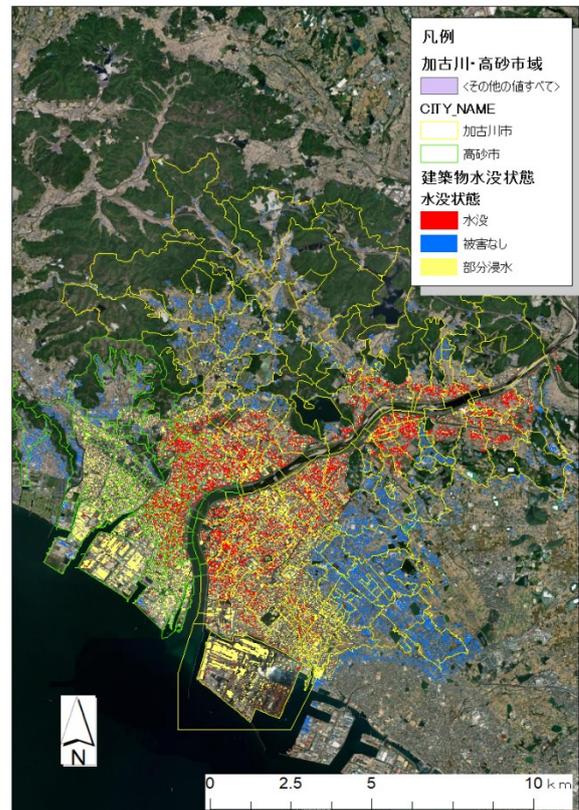


図 1 分析対象地域の建築物の水没・浸水・被害なし建築物の空間的分布

上ることが推計結果から示されており、在宅避難を行うにあたっては、氾濫水到達後に 0.5m といった一定の浸水深に達してからその浸水深を下回るまでの時間として定義される浸水継続時間を在宅避難で過ごすためには飲料水や食糧の備蓄をはじめとする準備ならびに浸水が収まってからも懸念される水道・ガス・電気などのライフラインの停止に対する備えが必要であり、住民への周知徹底をどのように図るかが課題であることが改めて明らかとなったと言える。

浸水時間帯別の建築物の構成に関しては、普通建物のうち 12 時間未満の建物が 19.8%であるのに対し、堅牢建物では 13.4%と低く、24 時間以上浸水する建物の比率については普通建物、堅牢建物とも

35%前後であり、両者に大きな差はないものの12時間以上24時間未満の浸水を経験する可能性がある建築物では、堅牢建物が51.9%であるのに対し、普通建物は45.3%とやや低く、普通建物が建築される際にはある程度長期間に渡る浸水が回避可能な地域に建築されている傾向が窺われるが、今後の新設建築物においては立地制限などの検討も考えていく必要があるように思われる結果が得られた。

ところで、ここまでの分析に関しては、1m解像度のDSMおよびDEMデータを利用する必然性はない。しかしながら、建築物が完全に水没する可能性があるかどうかについては、3次元化したデータでなければ検証は不可能である。そこで、1m解像度のデータを利用し、建築物内のDSMデータの最大値とDEMデータの平均値の差、および予想される浸水深のデータを利用して、建築物の種別ごとに完全水没する可能性についての検証を行った結果を表4に示している。

表4からは、比較的平坦な平野部における平屋建ての普通建物(183,953棟)において建築物が完全に水没するような浸水被害を経験する可能性のある建物は10,144棟で全体の5.5%が完全水没の危険性があり、2階建て相当および3階建て相当の普通建物においても想定最大浸水深の水害が発生した場合には完全水没する可能性のある建物があることが示された。

現在のCOVID-19の感染拡大下での水災からの避難において、避難所への密集を避けるという意味で、居住建物への垂直避難が勧められているところではあるが、住宅の所在地によっては垂直避難による在宅避難が必ずしも望ましくない場合があることが窺われる結果となった。

内閣府(防災担当)・消防庁(2021)は、屋内安全確保の在宅避難にあたっては、①家屋倒壊等氾濫想定区域に入っていない、②浸水深より居室は高い、③水がひくまで我慢でき、水・食糧などの備えが十分、という条件が満たされていることが前提であることが示されているが、この点が周知されているとは言えず、一律の垂直避難の勧奨よりも、居住地における浸水可能性、とりわけ居住地の想定最大浸水深と

居住する住宅構造に配慮した避難について、十分に検討した上で指定避難場所や安全なホテルや親戚・知人宅などへの立退き避難や広域避難を住民に考えてもらうように働きかける必要がある。

特に、図1に示すように、完全水没する可能性がある建築物は、加古川下流域の河口部付近に集中して見られるとともに、表4に示すように、完全水没しやすいのは平屋建ての普通建物である。これらの分析結果を考えると、平屋建ての2階建てへの改築の推奨、地盤のかさ上げの推奨、それらの推奨策への部分的な助成政策の実施、水害の発生の可能性がある地区に対しての安全な地域への移住等の促進政策を取ることが望ましいのではないかと考えられる。なお、これらの政策が実現されたとしても住民に居住地の危険性の有無をきちんと理解してもらう必要があり、そのためのツールとして、我々は、我々が開発してきている防災アプリ「ハザードチェッカー」において、国土交通省が提供している地点別浸水シミュレーション検索システム「浸水ナビ」を利用して居住地の想定最大浸水深と最長浸水継続時間を自動的に取得して表示する機能を提供する開発を行っているところである。

3. おわりに

現在、自治体や政府から様々な空間的データが提供されるようになり、それらを適切に組み合わせることで、従来は検討が難しかった建築物の被災可能性の検証が可能となった。

とりわけ、1m高解像度のDSMデータなどの提供により、従来は分析することが不可能であると考えられた推計と分析が可能となったため、本稿では、その推計ならびに分析の結果の一端を提示した。

ただし、データの制約は大きく、兵庫県が公開しているDSMデータは長期間に亘る測量結果であるため、必ずしも現在の状況を反映していない可能性があることと、ごく稀にエラーデータと考えられる異常値が散見されることなども研究の過程で明らかになった。これらのデータの整備と精度向上の方策は今後の重要な空間データ整備における課題であると言えよう。

最後に、本稿は、この種の都市の建築物に関する3Dモデルを利用した研究の一端を示したに過ぎず、現在も多様なアプローチで様々な推計や分析を行っているところであり、今後もそれらの成果について報告することを予定している。

謝辞

本研究の一部は、令和2年度にアトラス情報サービス株式会社との共同研究として兵庫県立大学応用情報科学研究科社会応用情報科学研究センターのプロジェクトの一環として実施したものを一部含んでおり、本研究で利用したデータは、同社における兵庫県立大学大学院応用情報科学研究科の大学院生の王曉華氏、葛文茜氏、周亮氏、張愛鴻氏のインターンシップの成果物の一部を利用している。この研究プロジェクトにご協力いただいたアトラス情報サービス株式会社の八瀬誠社長をはじめとする関係者と、実際の作業にあたった大学院生諸氏に感謝の意をこの場を借りて表したい。また、本研究は令和元年度科学研究費補助金(C)19K04884、「ひとりひとりに届いて心配性バイアスを惹起する危機対応ナビゲーターの構築」の支援を受けた研究成果の一部である。

参考文献

有馬 昌宏 (2019), 町丁目別浸水想定区域内の人口の推計と住民への伝達の試み, 「減災情報システム第8回合同研究会」.

有馬 昌宏・鮑 強(2018), 心配性バイアスを醸成するための津波等の浸水想定域人口の町丁目別の推計と公開の試み, 「日本災害情報学会第20回学会大会予稿集」, pp.126-127.

池永 知史・大原 美穂(2015), 全国を俯瞰した災害リスク曝露人口分布—将来人口減少を考慮した土地利用に向けて—, 「地域安全学会論文集」, 25, pp.45-54.

川向 肇・有馬 昌宏(2020a), 地域の災害レジリエンス向上のための人的被災可能性情報の提供に関する一考察, 「日本災害情報学会第22回学会大会予

稿集」, pp55-57.

川向 肇・有馬 昌宏(2020b), 被災可能性のある年齢5歳階級別の住民数の推定手法の比較, 「地理情報システム学会第29回講演論文集」, B24-3-4, (CD-ROM).

川向 肇・有馬 昌宏(2020c), 被災可能性のある住民数の特定方法の検討, 「第11回横幹連合コンファレンス予稿集」, https://doi.org/10.11487/oukan.2020.0_A-5-2.

気象庁(2021), https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index_1989.html, (2021年8月19日アクセス).

国土交通省(2021a), 「国土数値情報ダウンロードサービス」, <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index>, (2021年7月16日アクセス).

国土交通省(2021b), 「加古川の主な災害」, https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/jiten/nihon_kawa/0603_kakogawa/0603_kakogawa_02.html, (2021年8月19日アクセス).

国土交通省(2021c), PLATEAU by MLIT, <https://www.mlit.go.jp/plateau/>, (2021年8月25日アクセス).

総務省統計局(2021), 「地図で見る統計(統計GIS)」, <https://www.e-stat.go.jp/gis/>, (2021年8月6日アクセス).

国土地理院(2021), 「基盤地図情報ダウンロードサービス」, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>, (2021年7月1日アクセス).

内閣府(2021), 令和3年版防災白書, pp.98, http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/pdf/r3_dai1bu1-2.pdf, (2021年8月19日アクセス).

内閣府(防災担当)・消防庁(2021), 令和3年5月20日から避難指示で必ず避難 避難勧告は廃止です, http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinanjouhou/r3_hinanjouhou_guideline/pdf/poster.pdf, (2021年8月27日アクセス).

能島 暢呂・久世 益充・杉戸 真太・鈴木 康夫(2004), 震度曝露人口による震災ポテンシャル評価の試み, 「自然災害科学」, 23(3), pp.363-380.

秦 康範・前田 真孝(2020), 全国並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」, No.18-1, pp.107-114.

G 空間情報センター(2021), <https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/2010-2018-hyogo-geo-potal>, (2021年7月16日アクセス).