

被災可能性のある年齢階級別の住民数などの推定手法の比較

川向 肇*・有馬 昌宏**

A comparison between some estimation methods for age grouped refugees population for the possible disasters.

Hajime Kawamukai*, Masahiro Arima**

The authors have conducted an empirical study on the comparison among several estimation methods for possible disaster refugee population utilizing open data of maximum flooding damaged areas and two resolutions of grid lattice data, i.e., census data for both 250m and 500m resolutions. We also propose a more sophisticated estimation method, which can represent habitable environment for ordinary households, by excluding forest area and areas of lakes and ponds. This article shows the preciseness of our proposed estimation methods, comparing with some other traditional estimation methods.

Keywords: 空間的推計(spatial estimation methods), 水害(flooding), オープンデータ (open data), 居住可能空間(habitable environment),

1. はじめに

わが国では、台風の通過時の豪雨に加え、梅雨前線、秋雨前線の活動の活発化に伴い発生する大雨などにより、これまで多数の水害を経験してきた。気象庁(2020)の記述をもとに、2009年以降2019年までの10年間に災害をもたらした気象事例を整理すると、31事例に至り、そのうち、「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の大きな被害を発生させた自然現象が記載されている。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水害を中心とした災害が発生し、多くの被害が報告されている。内閣府(2020)では、特集として『激甚化・頻発化する豪雨災害』というタイトルで第1章から第3章にわたり令和元年度に発生した様々な豪雨災害を中心とし

て、その災害の様態と具体的に取りられた対策を述べている。特に「気候変動×防災」の取組と題された第3章では、気候変動社会における今後の防災における指針について、「気候変動を踏まえた防災の視点を様々な政策へ導入」・「自助や共助の意識向上、取組主体の連携」・「高まる災害リスクに対応した防災・減災の態勢の整備」・「新たなビジネスや市場機会の創出」・「気候変動対策の加速」の5つの方向性を示し、今後我が国の社会全体としてどのような災害対策を取るべきかについての提案を行っている。

ところで、これまでの多くの研究では、能島・池永他(2004)、池永・大原(2015)、有馬・鮑(2018)、有馬(2019)、あるいは秦・前田(2020)と同様に、ある第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次メッシュの領域全体との面積比によって按分することで避難者数の推計が通常実施されてきたが、この方法を単純に適応した場合、第4次メッシュ内の森林

* 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

などといった本来住宅としての土地利用がなされていない非可住領域の面積を含む形で按分のための比率が計算・利用されるため、過少推計の可能性がある。また、メッシュデータを利用する場合、その処理が簡単で容易であるため、一応の参照値を得るために面積按分などもせず、一部でも重畳する部分のメッシュの指標値がそのまま利用される場合もある。これらの場合では、過小推計ないし過大推計する可能性がある。これらの問題を回避するために、森林および湖沼に関しては国土交通省(2020)の国土数値情報ダウンロードサイトで提供されている洪水浸水想定区域(ポリゴン)のデータと総務省統計局(2020)がオープンデータとして提供されている第4次メッシュ(所謂500mメッシュ)と第5次メッシュ(同250mメッシュ)での人口等基本集計のデータを利用し、各第4次および第5次メッシュの領域から、国土交通省(2020)で提供されている森林部分および湖沼の形状ポリゴンを用いて、これらの部分を除いた領域(以下可住地と称する)の面積を計算し、各4次メッシュの可住地領域と最大浸水想定深が定義されている区域の被災浸水深度6区分の被災可能領域ポリゴンとの重畳部分の面積比率を用いた按分計算を行うことにより、被災領域の浸水深度に応じて、被災可能性がある様々な属性別及び世帯属性別の人口数や世帯数を特定化する手法を確立した。具体的な対象流域として兵庫県の中央部の播磨地域を流れる加古川流域を取り、流域全体での誤差の検証を行うとともに、被災可能性がある地域における災害時の一人一人の避難行動に関する決定と避難行為や避難行動を開始する時刻の決定行動の変容においてより有効であると考えられるよう、身近なスケールで住民一人ひとりが被災した場合についての現実的なイメージを与えるような情報提示のための空間的データベースを構築した。より具体的なデータ項目としては、高齢単身世帯などの支援が必要と思われる被災世帯数や特段の情報提供による声掛け等の支援が必要な外国人などの居住者数などであり、各種のより詳細な属性別の人口推計を行った方法と結果の一部を本論文では紹介する。

2. 推計に用いたデータと推計方法

実際の推計手法としては、総務省統計局の地図で見る統計(統計GIS)のサイトから2015年度国勢調査結果の第4次メッシュおよび第5次メッシュデータの統計データのうち人口等基本集計に関する事項の統計データ及び境界データをダウンロードして推計を実施した。その上で、このファイルと先述した国土交通省国土数値情報ダウンロードサイトで提供されている各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部分を除いた領域を可住地領域と定義した。この可住地領域を特定するため、ESRI社製ArcGIS10.6.1のUnion機能を利用し具体的な可住地領域を特定した。この可住地領域と、国土数値情報ダウンロードサービスで提供されている洪水浸水想定区域図のうち想定最大規模の範囲に関する洪水浸水深の領域ごとに、これらの浸水深に含まれる第4次および第5次メッシュの領域に対するそれぞれの解像度のメッシュ内の可住地領域と重畳する部分の面積比により、2015年の国勢調査の人口等の集計結果を按分し、各集計項目につ

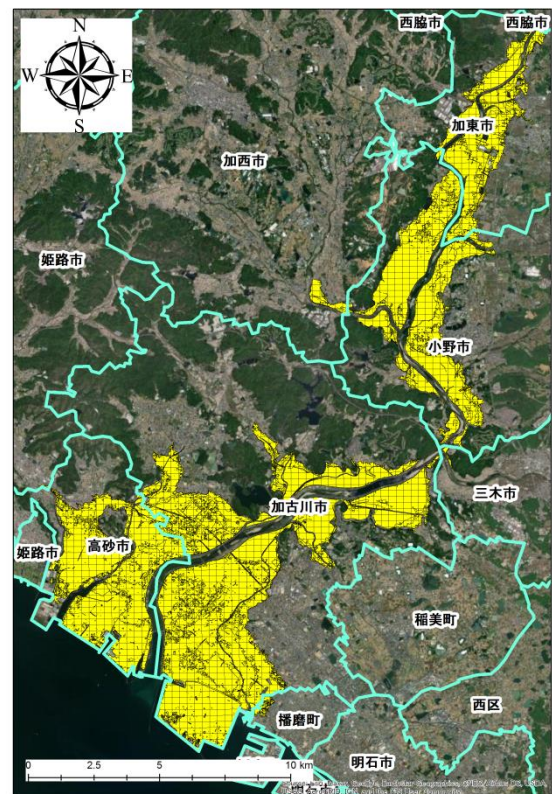


図1 加古川流域の推計例

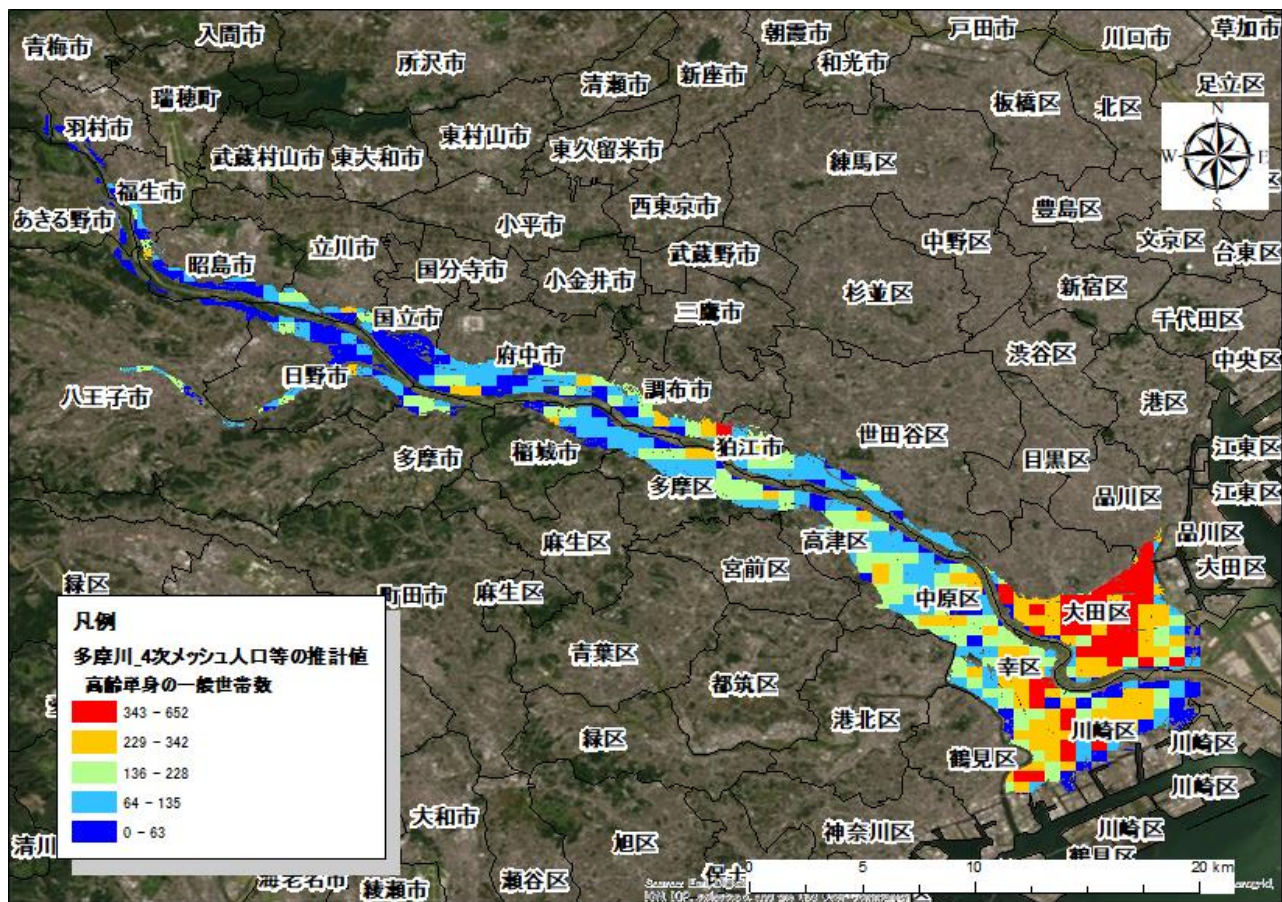


図2 多摩川流域の推計例

いての按分による推計計算結果を求めた。本稿では、兵庫県の中央部の播磨地域を南北に流れる加古川流域（図1）と、2019年の9月の集中豪雨で大きな被害を受けた多摩川の流域の想定最大規模の事例（図2）の結果を紹介する。

本稿で紹介する推計手法としては、これまで多くの研究で行われてきたような被災人口総数の推計だけでなく、それぞれのメッシュ領域内において被災する可能性がある人口のうち、何らかの配慮が必要な可能性が比較的高いと考えられる外国人人口や単身高齢者世帯数などの推計を実施した。前述したようにこれまでの通常の被災人口の推計作業では、一種の参照値が得られれば良いという発想から、第4次および第5次メッシュに特段の加工をしないまま浸水想定区域と一部でも重なる領域の統計値をそのまま利用する場合や、森林や湖沼といった居住不適領域についても分析対象領域に含め、被災人口を推計していることが多い。このような場合、一部でも

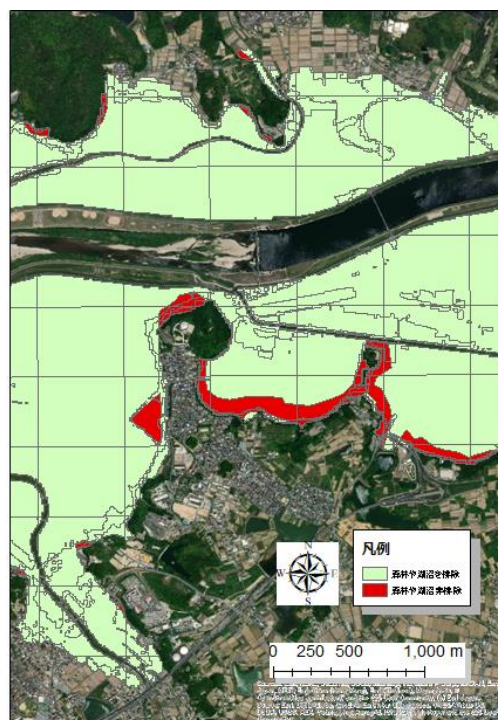


図3 国土交通省姫路河川国道事務所加古川分室付近の浸水予測（緑：非可住地を除く予測に用いる領域・赤：湖沼や森林など非可住地を含め予測に用いる領域の差異領域）

重なる場合のデータをそのまま利用する場合に関しては、被災人口や世帯数の推計値が過大推計となる。逆に面積按分の際に、通常住民や世帯が立地しがたい森林や湖沼といった居住不適領域（図 3 の赤色で表示した領域 貯水池の内部や丘陵・山麓の斜面森林地など）を含め推計する場合は、これらの居住不適領域（非可住領域）を除いて推計する場合（図 3 の緑色で表示した領域のみを用いて推計する場合）と比べ、より小さな値の人口密度の指標値として推計することになる。このため、これらの被災可能人口の集計においては、過大または過小推計となる可能性がある。

なお、図 3 は加古川市八幡町中西条 875-1 の『国土交通省姫路河川国道事務所加古川分室』付近の最大規模浸水深に関する浸水領域図である。

2.1. 推計上の工夫

個人の年齢等の多数の個人属性別、世帯属性別の集計を行うに当たっては、利用するデータ項目数が多いこともあり、ArcGIS の機能を手作業で利用するのは極めて非効率的であることから、ArcGIS に実装されている Model Builder を利用して推計用の自動化ツールを構築し（図 4）、空間的データ処理の効率化を図った。例えば、加古川の想定最大規模浸水深ごとの推計の場合で概ね 1 時間 30 分程度、多摩川の想定最大規模浸水深ごとの推計においては、独自開発ツールの利用により概ね 2 時間ほどあれば、すべての推計結果と空間的データベース化したフィーチャが形成可能であった。

3. 実際の推計結果の例

以下では、実際の推計結果とその誤差、さらに市民への情報還元手法について少し検討したい。

3.1 加古川流域を対象とした場合の事例

実際に兵庫県加古川市・高砂市・小野市・西脇市域内を流れる加古川流域の最大浸水深と第 4 次メッシュおよび第 5 次メッシュの解像度での人口等基本集計に関するデータを用いて被災可能性のある人口

を推計した結果、少しでも重畳する部分があるメッ

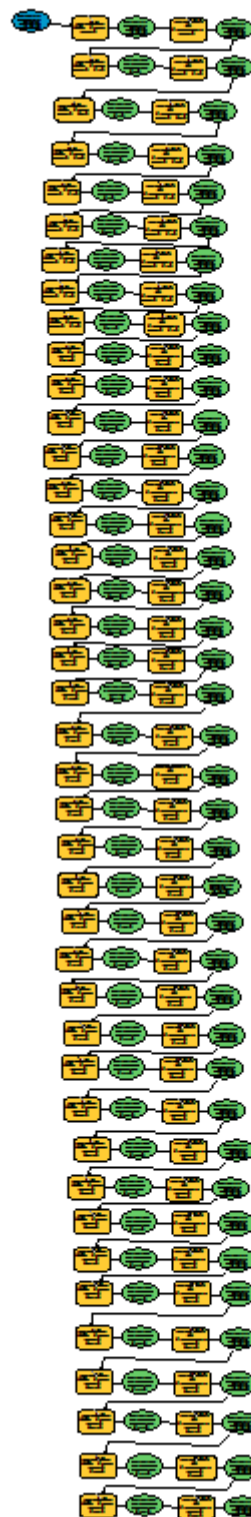


図 4 モデルビルダーの例

シュの人口を面積按分せずに用いる場合、可住地のみを利用した被災可能性がある領域（図 3 の薄緑色表示部）を用いて人口推計を実施する場合と、可住

地以外の浸水域（図3の赤色表示部）も含め推計した場合を含め推計する場合では、推計値に差がみられた。

なお、実際の処理では、後に多摩川流域の武蔵小杉駅付近の事例で紹介するが、個別のメッシュごとに属性別の人口や世帯数を計算しているが、ここでは紙幅の関係から加古川全流域における想定最大規模の範囲に関する洪水浸水深の領域についての集計地のみを紹介する。

なお、被害の発生が予測される兵庫県加古川市・高砂市・小野市・西脇市の全領域内の2015年の国勢調査結果に基づく総人口は447,911人であるが、加古川流域での想定最大浸水予測の場合で、上記4市の加古川流域の被災人口総数の推計に第4次メッシュのメッシュデータを用いた場合、一部でも重なるメッシュの人口の単純な合計値による場合で313,639人、非可住地を排除せずに推計した場合で252,704人（少数以下切り上げ）、可住地のみを対象として推計した場合で255,812人（同）であった。

次に、加古川流域の被災人口総数の推計にあたって第5次メッシュを利用した場合、一部でも重畳するメッシュのメッシュデータによる人口の単純和による場合で、297,569人、非可住地を排除しない単純面積按分による計算の場合258,644人（同）、可住地のみを対象として面積按分法による推計した場合、259,871人（同）となった。これを表にまとめたものが、以下に示す表1である。表1では、推計方法ごとに2行分表示しているが、上側の行は推計人口数や世帯数、下側の行は本論文において提示した推計法のうち、最も精度が高いと考えられる方法である、第5次メッシュのメッシュデータから非可住地部分を除き、そのうえで面積按分を行った場合の推計結果を示している。この結果からは、第5次メッシュを用いた場合、単純面積按分であろうと、非可住地部分を除いた面積按分であろうと、第5次メッシュの面積がより小さいため、加古川流域の結果からは、誤差がほぼないことがわかる。しかしながら、一部でもメッシュが重畳するメッシュの統計量についての単純和の場合、最大で14.7%（単身高齢者のみの一般世帯数の場合）、最小で2.7%（外国人の総数）

の過剰推計が行われる可能性があるという結果を示す
表1 加古川水系での複数の推計手法による被災者数の比較

	人口総数	世帯数	単身高齢者のみの一般世帯数	外国人
流域の市域計	356,881	135,404	13,445	3,049
4次メッシュによる推計				
一部でも重なる場合	313,639	121,398	12,373	2,757
	120.69%	120.13%	118.50%	111.04%
単純面積按分	252,704	98,347	10,072	2,333
	97.24%	97.32%	96.47%	93.96%
湖沼と森林を除いた面積按分	255,812	99,481	10,180	2,357
	98.44%	98.45%	97.50%	94.93%
5次メッシュによる推計				
一部でも重なる場合	297,569	115,320	11,980	2,551
	114.51%	114.12%	114.74%	102.74%
単純面積按分	258,644	100,613	10,386	2,469
	99.53%	99.57%	99.47%	99.44%
湖沼と森林を除いた面積按分	259,871	101,052	10,441	2,483

している。

第4次メッシュの指標値のデータを加工せず、そのままを利用する場合には、本論文において提唱する第5次メッシュを利用しつつ、最も高い予測精度を持つと考えられる面積案文法による属性別人口や世帯数の推計値の比較を行った。本論文で提案する非可住地領域を除いた部分と被害想定領域との面積按分による計算を行った場合と比べ、4次メッシュデータを加工せずに単純集計した場合では最大で20.7%（人口総数）の過剰推計となり、最も推計誤差の少ない属性別集計項目の外国人数でも11.0%程度の過剰推計となっている。また、通常の浸水域とメッシュ領域との単純面積按分の場合で最も推計誤差の小さい世帯数の場合でも2.75%の過小推計、最も推計誤差の大きい外国人の場合で6.0%の誤差となった。

第5次メッシュのみを利用する場合、一部でも重畳したメッシュの統計量の単純和の最大誤差を示すものは、単身高齢者のみの一般世帯数の推計値で14.7%の過剰推計であり、最も誤差が少ないのは、外国人に関する推計値であり、2.7%の過剰推計にとどまっている。外国人のように水害被害が発生する可能性があるような条件不利地においても、住宅費の関係などからある程度集住している傾向があると考えられる場合などがあり、単純な手法でも高い予測精度を持つ結果が得られている。しかしながら、

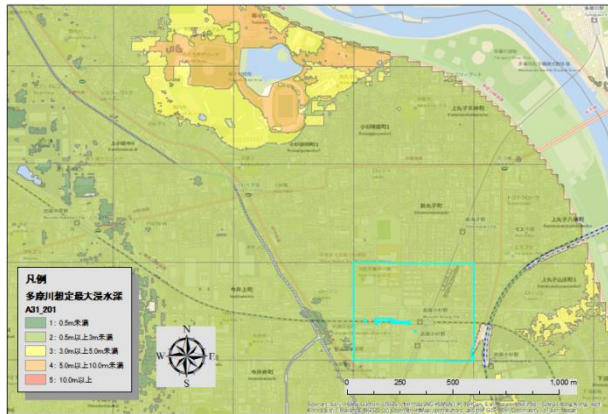
高齢単身世帯のようにメッシュ内の広い領域に分散して立地している世帯の場合、単純な重畳するメッシュの統計量の単純合計による推計の場合、誤差が大きくなる傾向があるという結果を示しているものと思われる。

次に、従来型の単純な面積按分の結果の推計値と本論文で提示したような非可住地領域を除いた水系の誤差は、加古川流域の場合、いずれの場合でもそう大きくなく、その乖離は0.5%程度にとどまっている。

加古川流域のみの結果からの議論では、十分でない可能性があるが、この結果が他の地域でも妥当妥当であるのであれば、第5次メッシュを利用するのであれば、単純面積按分による推計で実用上十分であることになる。

ところで、令和2年6月23日以降提供されている洪水浸水想定区域（ポリゴン）の提供に伴い、それ以前に提供されていたデータ基準年を平成24年度とする製品仕様書第1.1版（平成24年度）により提供されたデータを、現在ダウンロードすることが不可能な状態になっている。これら2種類のデータの違いは、データの典拠の変化である。製品仕様書第1.1版（平成24年度）では、データの典拠を河川管理者（国土交通大臣、都道府県知事）「浸水想定区域図」「水防法第十条第二項及び第十一条第一項に基づき指定される洪水予報河川並びに水防法第十三条に基づき指定される水位周知河川のうち、各河川管理者より資料提供を受けられたもの」であるが、これに対して、現在の製品仕様書の同第2.1版による現在提供されているデータの典拠は、「洪水浸水想定区域（国管理河川）」に限られ、水防法第十条第二項及び第十一条第一項に基づき指定される洪水予報河川並びに水防法第十三条に基づき指定される水位周知河川のうち、各河川管理者より資料提供を受けられたもの」となり、ハザード情報としては、国管理の河川に限定されることとなった。これに伴い、実際に氾濫の危険性のあるものの自治体などが管理する中小河川についてのデータの利用が大きく制限されることとなった。近年の内水氾濫の多発や、大規模河川での河川改修整備が概ね進んできたことに伴

い、中小河川での水災害の多発している現状と、広



報道された武蔵小杉駅前を事例として紹介する。図 5 において水色の線で囲まれた第 4 次メッシュ (4 次メッシュコードが 533925922 のメッシュ) に武蔵小杉駅前の領域は含まれる。当該 4 次メッシュ内における浸水深による被災者数並びに世帯属性別の被災世帯数の累積推計値の結果を表 2 として紹介する。なお、表 2 では、各推計値について小数点以下第 1 位で四捨五入した推計値を表示している。

図に示す 4 次メッシュコードが 533925922 のメッシュは、浸水深度のコードで 1 から 3 (浸水深が 0.5 m 以下の領域から浸水深が 5m 未満まで) の領域から構成されているが、このメッシュのほぼ全域が浸水深のコードが 2、すなわち 0.5m 以上 3m 未満の浸水が予測される領域でおおわれており、このメッシュ内では影響を受けなかった個人や世帯は極めて限られると同時に、0.5m 以上の浸水域となる領域が大半であることから、近年のオール電化が進んだ超高層マンション群で大きな被害が出たことを裏付けるような結果が示されている。

もう少しサンプルとして結果を示した武蔵小杉駅前を含む第 4 次メッシュの人口数や世帯数の属性別の被災者数をより詳細に検討するならば、水災害によって影響を受けたと考えられる外国人数は 3 桁を超えており、65 歳以上の高齢者がいる世帯数が約 570 世帯、高齢単身世帯が 200 世帯強、6 歳未満の幼児を含む世帯数がおおよそ 480 世帯弱と災害時の共助の実現の際において留意すべき住民や世帯数が一定程度含まれることが表 2 に示す指標から容易に理解可能となるものと思われる。

個々の住民にとって、身近な居住者の顔が浮かぶ程度の地域空間に関する具体的な被災可能性を持つ人口や世帯数についてのデータが構築・提示されることで、個々の住民の災害時の行動変容を促すことにつながりうるものと考ええる。

無論、災害時の公助と今後の減災対策を含めた地域計画における中心的計画主体としての責務を負う市区町村職員や都道府県職員にとって、秦・前田が提唱するような市町村単位や都道府県単位の総数による集計結果を入手することは一定の重要性がある。特に市町村単位などの行政界単位で集計を行ったマ

スとしての被災人口の推計値により予測される事態を事前に認知し、広域支援などの災害対策上の諸計画を立案・検討する目的では、これらの行政界単位での推計値については極めて高い有効性が存在するところであるが、災害発生中や災害発生直後における住民の共助活動や、住民主体の安心・安全なまちづくりを考える目的のためには、共助を行うコミュニティを形成する生活者の日常的な生活感覚や視点からはあまりにもかけ離れた集計範囲となっており、個々の住民組織とその構成員たる住民にとって、災害時の共助を考える際、あるいは個々の世帯や個人が災害時に避難における意思決定を行う際の身の丈に合った使い勝手の良い情報として利用する上では、あまり参考にならない。その意味では、住民にとってはあるいは情報品質がそれほど高くない情報であり、地域住民にとっての情報の利用価値としては相対的に低いデータ提供のあり方となっていることが指摘できよう。

本稿では、建物の存在や階高などを全く無視してメッシュ内に一様な密度で住民が居住しているものとして推計を行っているが、国土地理院 (2020) の「基盤地図情報」の一部として、建築物の外形ポリゴンデータが入手可能であること、また、近年のオープンデータの整備により、G 空間センター(2020)で兵庫県域に関する 1m という極めて高解像度の DEM・DSM データの提供が行われていることから、基盤地図情報の家枠ポリゴン情報と、高解像度の DEM・DSM データを利用して住宅以外の学校や工場などの建物を分析対象から除き、住居系の建物に対して、属性別の世帯や人口を割り当てることでより狭い範囲での高精度の被災者及び被災世帯の属性別集計の実施も検討している。

また、現段階では、第 4 次メッシュ単位での集計結果の提示にとどまっているが、大半の居住者にとっては緯度経度で機械的分割された領域であり、日常生活を行う空間についての領域認識を行っている基盤となっているわけではなく、自ら居住する日常的生活範囲を町丁字等、または街区単位を領域認識の基礎的単位となしていると考えられることから、現在の集計結果をさらに町丁字等の境界や街区領域

のデータを活用して按分し、より生活に密着した範囲を推計単位とした推計結果を作成提示することで、災害進行中、災害直後など公助がほぼ期待できない環境でも、人々が地域における共助主体として利用できるより品質の高い災害情報の構築も将来的な研究課題としてその具体的方法をもすでに検討している。

これらの対策をより効果的、効率的に実現するため、本稿で提案しておいたような方法で推計された個人属性別、世帯属性別の指標値を街区別、町丁字等の境界単位で事前に準備しておくことで、これらの資料の避難所への効率的配分や、災害発生時、ないし直後時点での共助の際の参考資料、また、近隣の宿泊施設の一時利用や自宅での垂直避難などを被災する可能性がある個人や世帯の避難に関する意思決定において高い情報品質を持つ重要な参考資料として利活用できるのではないかと考えている。

本稿では、これまで多数行われてきた災害時の被災人口の市区町村別・都道府県別集計といった行政主導型の災害対応に利用する情報ではなく、公助型の災害対応が実現するまでの発災直後期の災害対応や、個人や世帯の避難行動についての意思決定の参考となりうる情報品質の高い災害情報の構築手法について、近年広く公開され始めたオープンデータのみを用いてより高精度に算出する具体的方法とその結果の一部を紹介した。3.1において述べたように、今後メッシュデータシステムによる空間領域定義を用いるのではなく、町丁字等や街区領域などについての領域に対する集計や、個別の建築物の形状や高さ情報なども利用して、発災直後に有益であると考えられるより詳細で情報品質の点で優れた被災可能性のある人口や世帯の推計方法の検討についても実施していきたいと考えている。その具体的方法の一つとして、兵庫県高砂市を対象とした（仮称）災害時共助支援情報提供システム（<http://arcg.is/0f5H9>）のプロトタイプを試験的に構築したところである。

謝辞

本研究は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社会情報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であり、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.
- 気象庁(2020), https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index_1989.html, (2020年8月12日アクセス).
- 国土交通省 (2020), 「国土数値情報ダウンロードサービス」, <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>, (2020年8月16日アクセス).
- 総務省統計局(2020), 「地図で見る統計(統計GIS)」<https://www.e-stat.go.jp/gis/> (2020年8月6日アクセス).
- 国土地理院(2020), 「基盤地図情報ダウンロードサービス」, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>, (2020年8月1日アクセス).
- 内閣府(2020), 防災白書, pp.36-38, <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r2.html>, (2020年8月12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), 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(2020), <https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/2010-2018-hyogo-geo-potal>, (2020年8月16日アクセス).