

# 空間的オープンデータを活用した津波避難計画の検討

葛 文茜\*・川向 肇\*\*

## A Feasibility Study on Tsunami Evacuation Sheltering Planning Utilizing Open Datasets

Wenxi Ge\*, Hajime Kawamukai\*\*

**Abstract:** We have estimated the possible Tsunami evacuee populations that could be sheltered in nearest sites via the road network, utilizing open data for DSM, DEM datasets, Census datasets for residents and daytime workers, and the road network data in Amagasaki city. We provide the estimated possible sheltering evacuee populations of both residents and daytime workers. We utilize the geo-spatial open datasets in the case of both in the possible damage area and outside of the possible damage area by Tsunami in our research Project.

**Keywords:** オープンデータ (open data), 津波避難計画 (Tsunami evacuation planning), 避難可能人数 (possible sheltering evacuee population), 高精度 DSM データ (high resolution DSM data), 建築物 3D データ (3D Data Model of Urban Building), ネットワーク解析 (Network Analysis)

### 1. はじめに

近い将来、南海トラフ沿いで大規模地震の発生可能性が広く認識されることに伴い、同地震に伴う津波に対する様々な減災対策が各自治体にとって重要な政策的課題になりつつある。津波被害の軽減を実現するためには、自治体及び住民による協調行動などを伴う効果的な避難の実現が求められているところである。津波に対する効果的な避難の実現のためには、定量的な避難可能性に関する指標の算出と評価が重要であると考えられる。

ところで、各種災害に関する避難の定量化に関する先行研究としては様々なものがあるが、津波等一時避難所の収容可能性についての研究として、竹内ら(2003)は、高知県須崎市を対象に避難所の避難者の収容可能人数を考慮した津波避難場所の評価を行っている。また、吉永ら(2014)の研究では、東京都区部を対象に地震による火災が発生する場合に最寄避難所へ避難することに関する避難所の有効面積から算定した収容可能人数に関する議論を行っている。佐藤ら(2018)は、岩手県宮古市を対象に累積収容人数を用い、居住自治体以外の避難施設への避難を実施する場合の被災者の避難可能人数に関する研

究を行っているが、これらについては、現下のような COVID-19 の爆発的感染などへの感染症への配慮がなされておらず、また国勢調査による人口を対象にした分析であり、地震や津波の発生時刻による被害の変化についての検討が十分なされてはいない。蒲倉ら(2020)では、茨城県内を対象に大規模河川氾濫による浸水想定地区からの避難に関する研究を行い、広域避難する場合にはより短い避難距離で避難が完了する被災者が増加することを明らかにしたが、勤労者・一般住民及び高齢者への考慮をしておらず、その点での避難所の評価が十分ではないと考える。これらの先行研究を参考にしつつ、本論文では、尼崎市を対象に、兵庫県により公開されているオープンデータを利用し、3D 建物データを構築した上で津波等一時避難所の収容可能人数と国勢調査の 250m メッシュデータ及び経済センサスの 500m メッシュデータを用いて被災可能性人口を推計し、これらの避難所の現実的な収容可能人数を検討するとともに津波発生時の避難に関する課題を明らかにすることを試みた。また個別の街区の地理的な地域特性を考慮しながら、被災地区外への避難も含めた効果的な津波避難計画の検討の試みを紹介する。

\* 学生会員 兵庫県立大学 大学院 応用情報科学研究科 (University of Hyogo)

〒650-0047 兵庫県神戸市中央区港島南町 E-mail : aa20a101@ai.u-hyogo.ac.jp

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

## 2. 対象地域

分析対象とした尼崎市は兵庫県南東部に位置する自治体であり、南は大阪湾に面し、東は猪名川、西は武庫川に囲まれた 50.72 平方 km の市域を有する。同市域は大阪湾の沿岸流や武庫川・猪名川の両水系が運ぶ土砂が堆積してできた平野であるため、その市域の大半は平坦な平野から構成されている。このような平坦な地形を持つ尼崎市南部では、南海トラフ地震により発生すると想定されている津波災害が表 1 に示すような被害の発生が想定されるものとして予測されている。

尼崎市 (2016) では、南海トラフ地震防災対策推進計画における津波被害想定概要として、最大津波水位 4.0m、津波の最短到達時間 117 分 (津波が初期水位より 1m 上昇するまでの時間)、浸水面積 981ha、避難可能距離 3,060m (0.5m/秒で 15 分後から避難開始と想定)、津波浸水想定領域 JR 神戸線 (東海道本線) より南側の多くの地域と小田地区・園田地区の一部の浸水が発生するものとしての想定が紹介されている (図 1 参照)。

ところで尼崎市 (2019) では、尼崎市域の約 30% が海面 (平均満潮位) 以下のいわゆる「海拔ゼロメートル地帯」であり、津波浸水後、長期間にわたる海水による湛水被害の継続が予想されている。

### 2.1 避難人口の予測のために利用したデータ

本論文では、兵庫県(2021)が G 空間情報センターを通じて公開している 1m 解像度の DEM 及び DSM データ、尼崎市 (2021) による津波等一時避難場所データ、国土地理院 (2021) 提供の基盤地図情報のうち建築物、総務省統計局 (2021) 提供の国勢調査 250m メッシュデータ、経済センサスの 500m メッシュデータといったオープンデータをそれぞれダウンロードして研究を実施した。

より具体的には、これらのデータを入手した上で、ArcGIS を利用して必要なデータ加工作業を行い、津波等一時避難所の建築物容積及び受入可能人数の推計と、避難のために対処する可能性がある被災者数の推計を実施した。津波等一時避難所の建築物容積の推計を行った上で、COVID-19 の感染予防措置が必要な場合と従来通りの場合について、津波等一時避難所としての受入可能人数を求めた。

さらに国勢調査の 250m メッシュデータ及び経済センサスの 500m メッシュデータを用いて被災の可

表 1 尼崎市における南海トラフ巨大地震・津波による被害想定

	冬の早朝 (5時発災)	夏の昼間 (12時発災)	冬の夕方 (18時発災)
建物被害			
全壊(棟)	約37,200	約36,800	約38,500
(うち揺れ)	約32,000	約32,000	約32,000
半壊(棟)	約177,500	約177,600	約177,100
人的被害			
死者(人)	約23,100	約29,100	約27,450
(うち津波)	約21,100	約27,970	約25,520
負傷者(人)	約36,690	約33,800	約34,340

(出典：兵庫県 (2016))

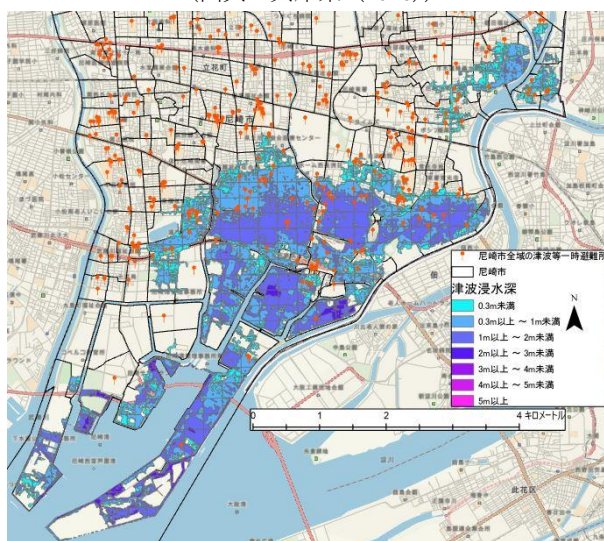


図 1 尼崎市における南海トラフ巨大地震による津波浸水想定区域 (国土数値情報を利用し、筆者らにより作成)

能性がある人口と津波等一時避難所で被災者の受入可能性を検討した。

具体的には、川向・有馬 (2020A, 2020B, 2020C) でのメッシュデータベースの国勢調査データを活用した水害に伴う被災人口の推計の提案と一部の地域に関する推計と同様の方法により、尼崎市の津波災害を事例として、以下の二種類の被災者数の推計を実施した。まず、EPOP<sub>N</sub>で示す国勢調査ベースの夜間に災害が発生した場合の被災予測人口として、オープンデータとして提供されている国勢調査の最小推計単位である 250m メッシュによる 2015 年の国勢調査集計データと、津波被災想定地域の浸水深別の被災面積の重複部分の面積比率を用いた面積按分法による推計で算出を行った。また、いわゆる昼間人口に相当する勤労者ベースの被災人口 EPOP<sub>w</sub>についても 2014 年の経済センサス基礎調査の最小公開集計単位である 500m メッシュによる集計データを利

用し、同様の方法で推計を実施した。

これらの推計の計算結果として、津波が夜間に発生した場合の被災人口  $EPOP_N$  としては、63,899人（うち65歳以上18,990人）であり、経済センサス活動調査の4次メッシュベースの集計データによる推計値である  $EPOP_w$  としては、3,555人の従業員の被災が予測されるという推測結果を得た。

### 2.3 被災者受入可能人数の推計に用いた仮定と推計式について

以下では、本論文で津波等一時避難所などの避難可能人数等についての推計に用いた仮説とそれに基づく受入可能人数の計算式について紹介する。

建築物の容積と容量の簡易推計に関しては、以下のような手順により推計を実施した。

まず、1m解像度のDSMとDEMのポイントデータを用い、建築物ポリゴン内部に存在するポイントの平均値を求め、DEMとDSMの平均値の差から津波等一時避難所となっている建築物の建物高を推計する。その上で、1階あたり3m、基礎部分を0.7mであるという大胆な仮定を置き、推計した建物の平均階高を求めた。津波等一時避難所として指定された建築物の容積を反映した受入可能容積を求めるために、建物の柱や階段室などの構造部分に関する利用不可能なデッドスペースの比率を20%として仮定した上で、個別建築物の平均的な容積の計算を実施した。

従来の既存研究での想定、即ちCOVID-19の感染対策が必要ではなかった時代における避難可能人数  $EC_n$  は、(1)式で示すようなものとなる。

$$EC_n = \frac{\text{避難所建築物面積}(m^2) \times \text{建築物高}(m)}{1(m) \times 1(m) \times 3(m)} \times 0.8 \dots (1)$$

次にCOVID-19感染対策が必要な場合における被災者の受入可能人数として、ある個人と他者との間で必要とされる物理的距離を1m間隔を仮定した場合、津波等一時避難所の避難可能人数  $EC_c$  は、以下の(2)式で計算できよう。

$$EC_c = \frac{\text{避難所面積}(m^2) \times \text{建築物平均高}(m)}{2(m) \times 2(m) \times 3(m)} \times 0.8 \dots (2)$$

以下に示す図2及び表2は、尼崎市による津波等一時避難所の被災者受入人数規模別の避難所数についてのヒストグラムと同指標の記述統計量である。

この図2・表2からは、比較的小規模で受入可能

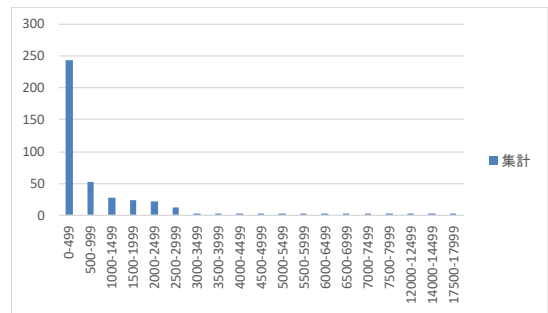


図2 尼崎市内の津波等一時避難所についての尼崎市指定の被災者受入予定人数

表2 尼崎市内の津波等一時避難所の尼崎市指定の被災者受入人数に関する記述統計量

統計量	収容人数
最小	10
中央値	330
最大	17,770
平均	918
避難所数	398

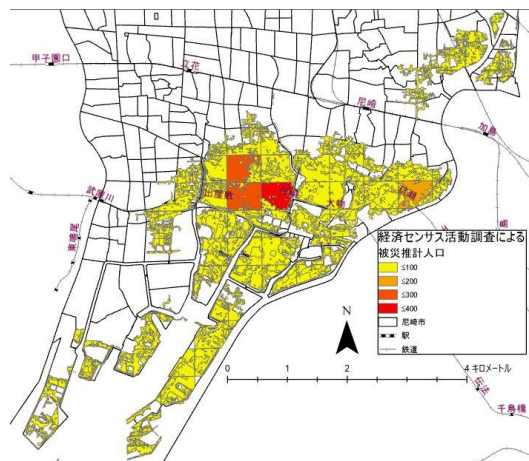


図3 尼崎市内における浸水想定区域の経済センサス活動調査による浸水深別被災者

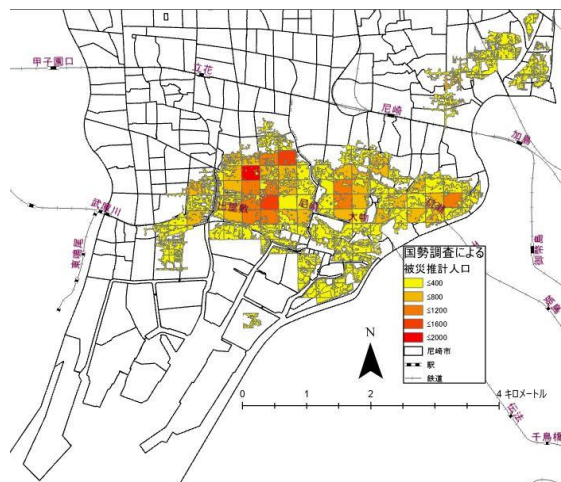


図4 尼崎市内における浸水想定区域の国勢調査による浸水深別被災者数

人数が 500 人未満の避難所が多いことが指摘される。

次に、想定されている津波による浸水深別の被災者数の空間分布を検討した結果を紹介する。図 3 は経済センサス活動調査の 500mメッシュデータを利用した場合の浸水深別の被災予測人口の推計結果、図 4 は、国勢調査の 250mメッシュデータを利用した場合の浸水深別の被災人口の推計結果である。

以下の 3 章では、山田ら (2016) のような津波の襲来方向と避難方向との関係を考慮した避難行動を検討した結果ではなく、行政の一般的な想定である被災者が津波被災地区内の最寄り一時避難所へ避難するという想定に従って避難する場合について検討した場合に加え、吉永ら (2014) と佐藤ら (2018) を参考に被災地区外へ脱出する際の道路ネットワーク上の最短脱出地点を特定した上で、その被災地区外への最短脱出地点を經由しての地域外の避難所への避難も含め、最寄りの避難所への避難が行われた場合についての避難者数の推計結果を紹介する。

### 3. 発災時の状況別を想定した場合の推計結果

以下では尼崎市の南海トラフ巨大地震における津波浸水想定区域から津波発生時に道路を利用して一時避難所への移動が発生するとしたときの、被災者の受入可能性に関する結果を紹介する。

#### 3.1 浸水域外への脱出地点及び避難所までの距離

250m ないし 500mメッシュデータを利用し、津波浸水想定区域内に一部でも含まれるメッシュについての重心を求め、その重心の集合を被災地域の代表点集合 (以下集合  $A$  と表す) とする。その被災地域の居住者等の代表点集合  $A$  に含まれる個別のメッシュの代表点を避難開始地点 (以下  $p_a$ ) として定義し、次に、尼崎市 (2021) による津波等一時避難場所の建物についても重心を求め、これを被災建物に関する代表点集合  $C$  (以下集合  $C$ ) と定義した。この集合  $C$  のうち、避難目的地となる特定の避難所を避難終了地点 (以下  $p_c$ ) と定義した上で分析を実施した。更に、日本デジタル道路地図協会から提供を受けた道路リンクデータのうち道路リンク  $B$  (以下集合  $B$ ) から、集合  $A$  の特定の地点要素  $a$  から道路ネットワーク上の最寄りポイント  $b$  となるようなネットワーク上の地点  $b_a$  を求めた。津波による被災者が発生する可能性があるメッシュの代表点についての

表 3 避難所位置別及び被災人口の種別に関する 4 つのケース

		避難者の種別	
		住民	勤労者
避難所の選択	浸水域内	I	II
	広域避難	III	IV

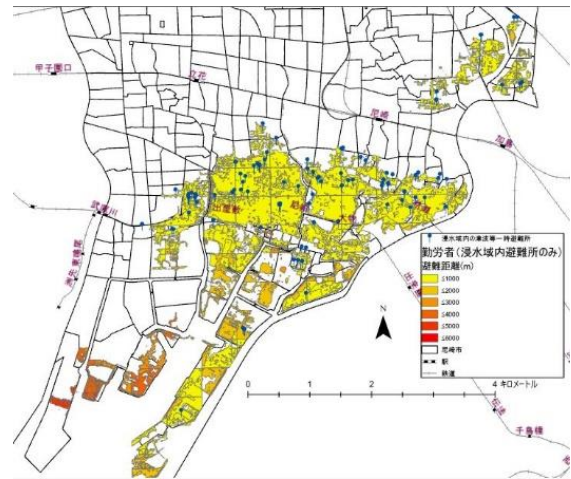


図 5 浸水域内にある最近隣の一時的避難所へ道路ネットワーク経由で勤労者が避難する場合の移動距離に関する主題図

道路ネットワーク上の最近接地点  $b_a$  及び道路ネットワーク上での避難所まで最近接点  $b_c$  とを求めするために、ArcGIS の最近接 (near) ツールを利用した。これらの  $b_a$  及び  $b_c$  を特定した上で、ArcGIS のネットワーク解析を利用して、最寄施設の検出レイヤーで  $b_a$  における最寄りのものを  $b_c$  検出した上で、道路ネットワーク上を經由する際の避難における移動距離を算出した。

ところで、表 3 における用語の定義であるが、浸水域内避難とは、浸水想定域内にある津波等一時避難所へ避難することを指し、広域避難とは、道路ネットワーク上の浸水想定域外への最短脱出地点を經由して、津波浸水地域以外に存在する尼崎市が指定した津波等一時避難所へ避難する場合を指す。この広域避難の場合については、浸水域内、浸水域外の避難所を含め、道路ネットワーク上での総移動が最も短い津波等一時避難所を避難所として選択するものと仮定し分析を行った。

図 5 から図 8 は、表 3 で区分を示した避難所の地域選択 (2 種別) と災害発生時に一時避難所に避難する可能性がある人々についての区分 (2 種別) について、計 4 種別の場合について考慮した避難開始

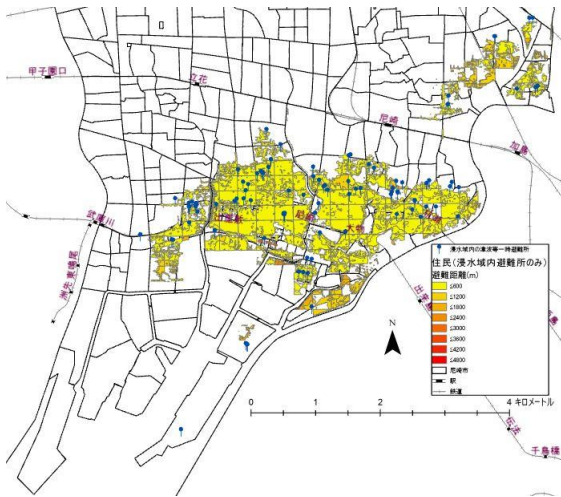


図6 浸水域内にある一時避難所へ道路ネットワーク経由で最近隣の津波等一時避難所に住民が避難する場合の移動距離

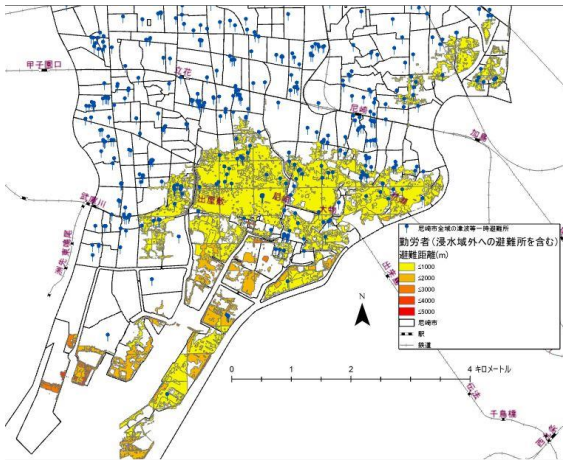


図7 ニ崎市の一時避難所へ道路ネットワーク経由で浸水域外への脱出点を経由して、津波浸水域外にある最近隣の津波等一時避難所を含め勤労者が避難する場合の移動距離

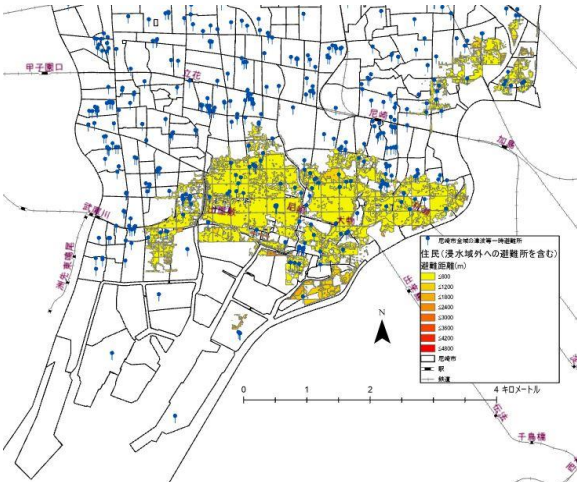


図8 ニ崎市の一時避難所へ道路ネットワーク経由で最近隣の津波等一時避難所に住民が避難する場合の移動距離

地点から一時避難所までの道路ネットワークを使用した場合の移動距離が小さな値を取るメッシュを黄色、移動距離が大きな値を取るメッシュを赤とする色調のグラデーションにより一時避難所までの距離の差異を表現した主題図である。

例えば、図5は事業所統計調査のデータを利用した場合であり、浸水域内のみの津波等一時避難所への道路ネットワークを利用して移動した場合の移動距離に関する主題図を示している。尼崎市最南部の沿岸部の地区は、工業専用地区指定がされている工場地帯であるためか、同市最南部では津波等一時避難所の指定数が限られる。これら地区では避難所までの避難経路上の移動距離は極めて大きい。避難経路上の混雑がなく、避難上の障害物がない状態であったとしても、道路上の移動距離で最大4.57km以上となり、避難所までの脱出行動の所要時間としては、一般的な健常者の1m/秒という歩行速度を想定した場合でも、最遠地点となるメッシュの代表点から、最寄り避難所までの道路上を経由した場合、徒歩による避難では、避難完了までには一時間以上が必要であることが明らかになった。

次に、災害が発生する時間帯が夜間から早朝の時間帯の場合について検討する。この場合、住民が主たる津波等による被災者となる場合を考えてみたい。この場合は、国勢調査のメッシュデータの人口を基に考えることになる。

図6に示す比較的住民による避難に要する時間が大きいと推定された地区は同市南部の東初島町や南初島町付近などであった。

図4と図6をあわせて考えると、被災者が多いのは、阪神電鉄尼崎駅と同屋敷駅の中間の阪神電鉄本線北側で被災可能性のある人口が多い地区が見られるが、これらの地区では、津波等一時避難所などへの移動距離はさほど大きくはない。とはいえ、被災者が多い阪神電鉄尼崎駅と出屋敷駅の中間地区は、高齢者が多い地区でもあり、これらの地区から避難所までの道路ネットワーク上の移動距離としては、最寄りの避難所までの移動距離が2km以上となっており、移動時間としては、健常者で40分を要するが、災害時要支援者や高齢者の移動に関しては、一般の健常者より長い時間が必須になることが予想される。

表 4 浸水域内にある最近隣の一時避難所に被災メッシュの代表点から道路ネットワークを経由して避難する場合の移動距離の記述統計量

統計量	国勢調査	経済センサス活動調査
	最小	10.16
平均	481.76	1,048.64
最大	4,579.44	5,029.74
中央値	410.08	665.01
メッシュ数	3,116	4,888

表 5 被災可能性のあるメッシュから浸水域外を含む尼崎市内の一時避難所へ道路ネットワーク経由による最近隣避難施設への移動距離の記述統計量

統計量	国勢調査	経済センサス活動調査
	最小	9.54
平均	388.90	795.58
最大	4,572.20	4,572.20
中央値	325.93	568.47
メッシュ数	3,116	4,888

表 4 は、図 5 から図 6 に示した浸水域内に存在する最寄りの避難所までの移動距離を示した主題図に関する避難所までの移動距離の記述統計量を示したものである。

これに対し、表 5 は、浸水域外を含む最寄りの尼崎市内の一時避難所までの移動距離に関する記述統計量を示したものである。表 4 及び表 5 に示すように、歩行速度を 1m/s であると想定した場合で、経済センサス活動調査のメッシュデータの集計結果による算出した避難距離の中央値から検討した場合、概ね 10 分以内で、約半数の被災者の避難は完了できると考えられる。国勢調査の 5 次メッシュデータにより検討した結果においても、健常者ばかりであれば、居住者の被災者の約半数は 5 分程度での避難が完了すると思われるが、高齢者の場合で歩行移動速度が約半分と仮定した場合でも、約半数は 10 分以内に避難が完了するという結果が得られた。

避難所までの移動距離が相当大きな値を取るメッシュが、市内中心部の阪神尼崎駅周辺、阪神出屋敷駅周辺等の高密度で人々が居住する地域付近においても複数存在が確認され、これらの地域では、表 7 に示すように、受入率が 100%を超える一次避難所も相当数見られる。これらの地区住民全員の避難が発生する場合、被災者のすべてを受入が困難であることが明らかになった。これらの状況を考慮すると、将来の避難対策においては、沿岸部においての単純

表 6 避難所位置・COVID-19 対策有無及び受入人数計算方法別における 8 分類

		市の指定人数		建物容積による人数	
		避難者の種別		避難者の種別	
		住民	勤労者	住民	勤労者
避難所	浸水域内	I	II	V	VI
の選択	広域避難	III	IV	VII	VIII

な避難完了時間の短さに着目して津波等一時避難所の指定を検討するだけではなく、住宅の密集市街地における安全な避難路の整備と一時避難所の周知のみならず、災害対策政策の一環として避難する可能性がある全住民に対して十分な受入能力を有する一時避難所群を構成することを真摯に検討する必要があることを伺わせる結果となった。

### 3.2 避難人数と受入人数

次に、3.1 で求めた最寄り一時避難所までのメッシュの重心からの避難所要時間を算出し、最短時間となる避難所の特定と最短時間となる一時避難施設に人々が移動したときの人数とその施設の受入可能人数を比較することにより、避難に関する可能性についての評価を行った。

より具体的には、表 6 に示す 8 種類の避難に関する仮定、COVID-19 などの感染症対策の有無及び、被災者による避難状況の種別により、受入人数が変化する 8 種類のケースを表 6 に示したところであるが、その 8 種類の避難に関するケースに対し、市指定の一時避難所の受入人数に対して予測される被災者の人数の比率（以下受入率と称す）に関する記述統計量を表 7 で示す。これらの受入可能比率（被災者が最近隣の施設選択する場合の被災者数に対する施設の受入能力）の最大値を見る限り、COVID-19 の感染予防措置としての物理的距離の必要がなく、比較的高密度で被災者を受入可能である場合

(I,II,V,VI の分類のケース) であっても、避難所において地域住民に対して十分なスペースの提供ができかねない結果となっている。

国勢調査のメッシュ統計を利用した津波被災予測人口を示す図 3 からは、阪神尼崎駅と出屋敷駅の北側での被災予測人口が多い地区が見られる。この地区では、高齢化率もかなり高めであることに加え、津波等一時避難所の受入人数に限られる避難所がいくつか見られた。これらの受入人数に限られる避難所と人口分布を考えると、この地域の避難所全体で被災者を受入可能であるかどうかについては、相当

表7 表6の分類区分に基づく被災者種別による避難所の受入率についての記述統計量

表6の種別	I		II		III		IV	
統計量	勤労者	住民	勤労者	住民	勤労者	住民	勤労者	住民
最小	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
中央値	1.1%	4.4%	4.1%	21.8%	4.4%	17.5%	16.5%	43.7%
最大	157.0%	7036.1%	436.5%	11238.1%	628.0%	28144.4%	1745.9%	44952.6%
平均	8.4%	162.6%	25.0%	434.9%	33.5%	650.3%	99.9%	1296.0%
超過避難所数	1	14	3	28	8	26	20	35
総避難所数	88	87	88	87	88	87	88	87
表6の種別	V		VI		VII		VIII	
統計量	勤労者	住民	勤労者	住民	勤労者	住民	勤労者	住民
最小	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%	0.01%	0.02%	0.16%
最大	121.73%	3882.56%	436.48%	12799.99%	486.94%	15530.24%	1745.94%	51199.97%
中央値	0.50%	14.69%	1.68%	45.44%	1.99%	58.77%	6.73%	181.76%
平均	5.17%	129.81%	18.24%	498.74%	20.66%	519.23%	72.95%	1994.97%
超過避難所数	1	36	3	52	7	58	23	79
総避難所数	130	133	130	133	130	133	130	133

懸念をせざるを得ない状況であることが明らかになった。

表7に示した記述統計量からは、地域の居住者の受け入れの場合においては、避難が浸水域内のみの最短距離の避難所に向けて行われるか浸水域外の最短距離の避難所に向けて行われるかに関係なく、避難所に被災者全てを受入可能でないことを示す結果となった。しかしながら、災害が日中に発生し、勤労者が被災する場合でも、多くの事業所では、堅牢な建築物内で勤務する場合が少なくない。これらの側面を考えると、勤労者の被災の場合は、さほど深刻ではないかもしれない。ところが、夜間に災害が発生し住民が主たる被害者となる場合、地震による建物被害も考えると、避難所に入りきれない被災者がかなり大量に発生する可能性があるという結果となった。この結果は深刻な状況が発生することを意味する。とりわけ、VIIIの分類のケースの住民の避難を考えた場合（即ちCOVID-19などの感染症予防対策を実施が求められる場合では、津波等一時避難所の市指定による被災者の受入可能人数に対し、被災地域内の最近隣施設での避難を被災者が選択する場合の受入比率の中央値は181.8%となった。このことは、浸水域内の最寄り施設を住民が選択した場合、半数以上の避難所の受入可能人口は被災者に比べて相当少なく、避難所の受入能力がかなり不足する可能性が示された。ところが、我々が独自に推計した避難所の受入可能人数との比率（分類VIIのケース）の受入比率との比較においては中央値で58.8%であり、感染症予防対策を行ってもなお余裕があるという結果となっている。このような受入余裕がある結

果となった原因として、体育館などの天井高の高い割に実効床面積が狭小な建築物が含まれていることによる可能性がある。

次に、経済センサス活動調査のメッシュデータ集計を元に推計した被災勤労者と避難所受入人数の比率を検討した場合、最大値が100%を超えるものがいくつか見られるが、平均値や中央値で検討した場合においては、すべての分類において100%を下回っており、勤労者に関しては、概ね問題なく受け入れが可能であると考えられる。しかしながら、津波が日中に襲来する場合でも、地域には勤労者のみならず高齢者や在宅勤務者など被災地域内において生活する住民の避難も検討する必要があることから、地域内勤労者を含む全被災者の受け入れ可能性についての懸念が存在する。

前述したように、被災推計人口が避難所の容量を大幅に超える避難所が存在する一方で、かなり余裕のある避難所、即ち、尼崎市の指定受入人数に比べ、避難してくる可能性がある被災者数がかなり少ないと予想される避難所も見られるなど、避難所の受入能力の余裕に地域的な偏りがあることも確認された。

#### 4. まとめ

本論文では、COVID-19対策を考慮しながら、尼崎市の津波等一時避難所の評価を試みた結果を紹介した。ところで、現有の避難所の受入人数に対する地域的な過不足が見られることや、紙幅の関係から十分紹介できなかったが最寄りの一時避難所とはいえ、道路ネットワークを介して移動を前提にした場合、移動に相当の時間を要するような避難所がかなりの数存在するなど、津波等一時避難所の地域的な

被災者の受入とそのための移動についての課題が存在することが確認されている。

今後の研究課題として、本論文では避難する際の被災者の移動方向を無視した上で、単に道路ネットワークを経由しての最寄り避難所へ避難する行動のみを想定についての克服が挙げられよう。即ち津波が襲来した場合には、避難途上での被災回避のために、津波の襲来方向とは逆方向に向かう避難行動が望ましいのは明らかである。これに対応するため、現在、津波の来襲方向の逆方向に当たる避難方向への避難、すなわち尼崎市では北西方向、即ち北または西方向への避難方向として限定し、津波避難についての分析の実施を検討している。また、本論文で仮定した避難手段は徒歩のみとしているという限界がある。今後は自転車・自動車での避難の可能性及び避難速度なども考慮しながら、被災人口と避難所の受入人数についてより詳細な分析と検討を行うことを予定している。

最後に、指定避難所を拡充することのみならず、近隣の高層マンションの管理組合等との協定を結んだ上で民間施設の利活用による一時避難所の検討や、避難行動の評価を含めた、より適切な避難行動指針とそれに基づく避難計画の立案が望まれよう。

## 参考文献

尼崎市(2019A), 尼崎市の津波想定を知りたい(FAQ), <https://faq.city.amagasaki.hyogo.jp/faq/detail.aspx?id=1902815>. (2021年7月31日アクセス)

尼崎市(2019B), 平成30年度版尼崎経済白書, [https://www.city.amagasaki.hyogo.jp/\\_res/projects/default\\_project/\\_page/001/006/749/30hakusho\\_all2.pdf](https://www.city.amagasaki.hyogo.jp/_res/projects/default_project/_page/001/006/749/30hakusho_all2.pdf). (2021年7月31日アクセス)

宇野 喜之, 嶋原 康子, 岡安 章夫(2016), 群集避難モデルを用いた津波減災対策の地区別選択に関する研究,「土木学会論文集 B2(海岸工学)」, pp.1573-1578.

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](https://doi.org/10.11487/oukan.2020.0_A-5-2).

蒲倉 光, 梅本 通孝(2020), 大規模河川氾濫による浸水想定区域からの脱出を一義的目標とした避難計画の効果に関する基礎的研究,「地域安全学会論文集」 Vol. 37, pp.249-258.

国土交通省(2021),「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).

佐藤 史弥, 谷本 真佑, 南 正昭 (2018), 避難場所の累積収容人数を考慮した津波避難計画に関する研究,「土木計画学研究論文集 D3(土木計画学)」 vol. 74, pp.315-325.

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).

竹内 光生, 近藤 光男, 山口 満, 渡田 洋平(2003), 容量を考慮した津波避難場所の評価に関する実証分析—須崎市を対象として—,「土木計画学研究・論文集 V」, pp.345-354.

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](http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/pdf/r3_dai1bu1-2.pdf). (2021年8月19日アクセス).

兵庫県(2016), 兵庫県南海トラフ巨大地震・津波被害想定, <https://web.pref.hyogo.lg.jp/kk37/documents/souteikekka.pdf>. (2021年7月31日アクセス).

山田崇史, 佐々木雅宏, 岸本達也 (2016), 津波避難時の避難施設選択モデルを用いた避難施設圏域の推定,「日本建築学会技術報告集」 vol. 22, pp.825-830

吉永潤二, 金裁澁, 志村泰知, 菅田寛, 加藤孝明(2014), ボロノイ図による東京都の避難場所割り当てのリスク評価,「生産研究」 vol. 66, pp.379-382.

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).

## 謝辞

本論文で利用した兵庫県尼崎市内の道路地図データを無償提供してくださった一般財団法人日本デジタル道路地図協会にこの場を借りて深く感謝の意を示す。