

# 大地震時を想定した大阪市からの一斉徒歩帰宅シミュレーション 滞在者分布の精緻化

○川岸 裕\*<sup>1</sup> 瀧澤 重志\*<sup>2</sup>

キーワード：帰宅困難者 徒歩帰宅 南海トラフ 大阪市 1次元歩行者モデル モバイル空間統計

## 1. 研究背景と目的

大地震の際には都市部では大量の帰宅困難者が発生し、大きな混乱を招く。帰宅困難者が一斉に帰宅すると、車だけでなく歩行者レベルの移動でも、平常時では考えられない大混雑が発生しうることを、廣井らは東京を対象とした大規模なシミュレーションを実施して明らかにしたり。一方、南海トラフに起因する大地震が発生した場合、津波が約1時間50分程度で淀川まで到達し、大阪市の中心部である梅田地区も浸水することが予想されている。したがって、大阪시는通常の帰宅困難者問題に加え、帰宅・避難するための猶予時間が限られるという深刻なリスクを抱えている。大阪시는帰宅困難者対策を策定・公開<sup>2)</sup>しており、発災時にいる施設に留まることを基本的な帰宅困難者対策としている。一方、津波の浸水による逃げ遅れ等の浸水リスクとのリンクが不十分であるのが現状である。

この問題に対する基礎的知見を得るために、既報<sup>3)</sup>では大阪市全域を対象として、大規模な徒歩帰宅行動モデルを開発して歩行者シミュレーションを実施し、特に津波の遡上が懸念される淀川の橋の通行止めの有無による混雑状況に着目した分析を行った。この研究では、シミュレーションの前提となる滞在者の初期分布を、モバイル空間統計の4次メッシュ毎に、その中に存在する道路ノードに一樣に割り付けていたが、建物は空間内で偏在するので、一樣な割り付けは現実的ではない。そこで本研究では、建物の延べ床面積に応じて、滞在者を割り付ける方法に精緻化してシミュレーションを行い、既往研究の結果と比較するなどの検討を行う。

## 2. 帰宅行動シミュレーションモデルの作成

本研究では、都市における滞在者の多い平日の昼間に地震が発生し、一部の帰宅困難者が徒歩で一斉に帰宅するというシナリオで大規模な帰宅行動シミュレーションを実施する。

### 2.1 大阪市内滞在者の分布

シミュレーションを実施する前準備として、市内滞在者の昼間の空間分布を推定する必要がある。そのためにモバイル空間統計<sup>4)</sup>(2015年4月平日14時台)を用いて、図1のように大阪市内の平日14時台の滞在者を推定した。モバイル空間統計は、15歳から79歳までが推定対象であることと、移動中か施設に滞在中かを区別しない点に注意す

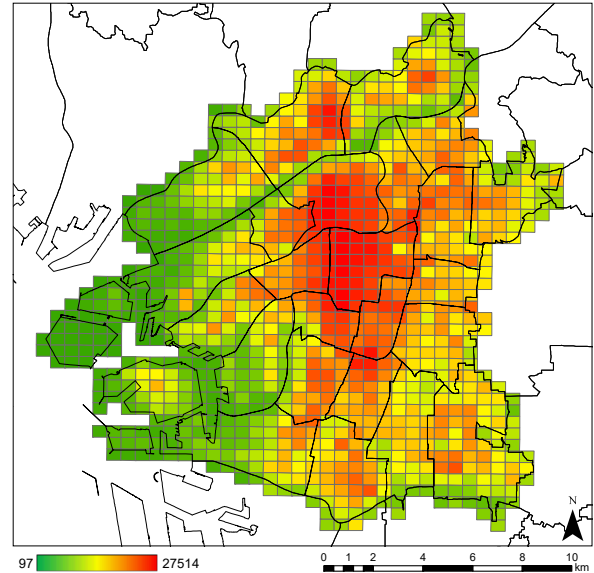


図1 大阪市内の平日14時における滞在者の分布

る。この時間帯の滞在者の数は約270万人である。このデータは4次メッシュレベルでの人口集計量であり、メッシュごとに都道府県レベルから大字レベルまでの居住地別人口が存在する。しかし秘匿化処理で欠損データが増えるため、欠損した大字レベルの居住地人口を府レベルの人口に合わせて、混合整数計画法を用いて推定した。その結果、表1に示すような近隣県の居住地別人口となった。この表から、大阪府以外では、兵庫県からの来訪者が多いことがわかる。これらの居住地別の人口から自宅外出者として、大字レベル人口を抽出した。抽出した結果、滞在者の人口は2,696,546人となった。

### 2.2 帰宅経路の作成

道路ネットワークのデータには、拡張版全国デジタル道路地図データベース2015年版<sup>5)</sup>を用いた。今回は、大阪市とその20kmバッファの範囲内の高速道路を除く全道路を計算対象とした。これは、815,739本のエッジと621,670点のノードで構成される、大規模な道路ネットワークである。そして、各滞在者に関して帰宅経路を最短経路とみなしてダイクストラ法で求め、帰宅経路と距離を求める。

前述したように、筆者らはこれまでに、滞在者一人毎に、滞在するメッシュと居住地の字ポリゴン内に含まれる道路ノードをランダムに1ペア選択し、OD(起終点)データを作成してきたが、この分布方法では建物の規模に関わら

ずメッシュ内のノードに滞在者が一様に分布している状態となっている。モデルの再現性を考慮すると、規模の大きい建物付近に滞在者を多く分布させるのが望ましい。

そこで筆者らは、式(1)に示すような建物の延床面積に関する確率式を用い、建物の延床面積に比例して滞在者がOノード(始点)に割り付けられるよう配分方法を変更する。

$$P_i = \frac{A_i}{\sum A} \quad (1)$$

$P_i$ は4次メッシュ内のノード*i*に滞在者を割り付ける確率、 $\sum A$ はノード*i*が属するメッシュ内に存在する建物の延床面積の総和である。 $A_i$ はノード*i*が最寄りとなる建物の延床面積の総和である。当該メッシュ内のノード*i*を最寄りとする建物の集合を $B(i)$ とし、建物 $b \in B(i)$ の一階当たりの床面積を $a_b$ 、階数を $f_b$ とすると、 $A_i$ は次式で表される。

$$A_i = \sum_{b \in B(i)} a_b f_b \quad (2)$$

建物データには、大阪市から提供された平成25年度建物別土地利用現況図データ新建物現況データを用いた。ただし、このデータは大阪市を対象としたものしかなく、大阪市以外のOノード、Dノード(終点すなわち自宅近隣のノード)の分布に関しては、滞在者の居住地の字ポリゴンに含まれる道路ノードにランダムに分布させている。このようにして滞在者毎のODデータを作成した。

図2、図3にそれぞれ、既往研究と提案手法によるOノード上の滞在者の分布を示す。本来は対象地全体の分布を記載するのが望ましいのだが、紙面の都合上、建物ポリゴンを表示するには限界があるため、延床面積の大きい建物が集まっている梅田付近の分布を載せている。延床面積が10万㎡以上の建物付近に滞在者1,000人以上のノードが集中するなど、規模の大きい建物付近に滞在者が分布していることが示されている。

$E$ を市内滞在者の集合とし、大阪市内の滞在者 $e \in E$ のODの最短経路の距離を $d_e$ (km)とする。次に、中央防災会議の帰宅困難者数推定の考え方<sup>9)</sup>をもとに、式(3)で $e$ が外出先から自宅に帰宅する確率 $P_e$ を求める。

$$P_e = \begin{cases} 1, & \text{if } d_e < 10\text{km}, \\ (20 - d_e)/10, & \text{if } 10 \leq d_e < 20\text{km}, \\ 0, & \text{if } d_e \geq 20\text{km}. \end{cases} \quad (3)$$

ただし、本研究では津波の浸水を考慮し、Dが南海トラフによる大阪府と兵庫県の浸水範囲内<sup>78)</sup>にある滞在者に関しては、帰宅距離にかかわらず、帰宅を断念するものとした。そして、区間が0から1の一様分布乱数を用いて、

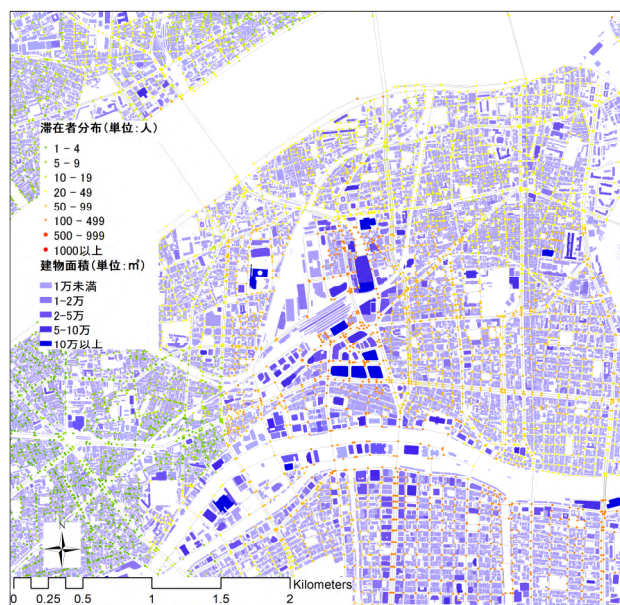


図2 滞在者の分布 (既往研究<sup>3)</sup>)

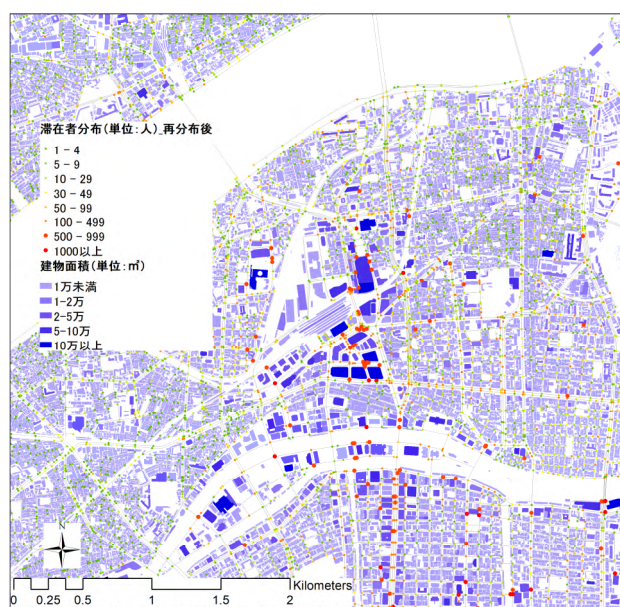


図3 滞在者の分布 (本研究)

各滞在者について式(1)に基づいて帰宅するかどうかを計算したところ、2,695,680人の滞在者のうち、近距離徒歩帰宅者が1,214,259人、遠距離徒歩帰宅者が238,725人、近/遠距離徒歩帰宅者を合わせた帰宅者が1,452,984人であると推定された。

### 2.3 歩行者シミュレーションモデル

前節までに求めた約145万人の帰宅者一人一人に対して、歩行者シミュレーションを実施する。本研究では、Social Force Modelに基づきながら、空間を1次元で表現して計算効率を高めた1次元歩行者モデル<sup>9)</sup>を実装して用いる。

1次元歩行者モデルの速度式は式(4)で表現される。

$$\dot{x}_i(t + \Delta t) = \dot{x}_i(t) + \left\{ a_1(v_0 - \dot{x}_i(t)) - a_2 \exp\left(\frac{r - \Delta x}{a_3}\right) \right\} \Delta t \quad (4)$$

式(4)において、 $t$  は時刻(s)、 $x_i(t)$ は $t$  における各レーン上の先頭から $i$ 番目の歩行者の歩行速度(m/s)、 $\Delta x$ は直前の歩行者との距離(m)、 $\Delta t$ はシミュレーションステップ(s)である。 $x_i(t)$ は、歩行者 $i$ が存在するレーン上の時刻 $t$ における始点ノードからの距離、 $r$ は歩行者半径(m)、 $v_0$ は自由歩行速度(m/s)、 $a_1, a_2, a_3$ は歩行実験等の結果からキャリブレーションすることで求められるパラメータである。この式から時刻  $t + \Delta t$  における速度を求めて、位置を更新する。

このモデルでは人々が歩行の際に形成する列をレーンで表現するが、レーン幅を歩行者の幅とすると、レーンを形成できる数はエッジの歩道幅によって決まる。本研究では、歩行者は歩道やそれに準ずるだけの通路幅内を移動すると仮定し、各エッジ内の歩道とみなせる幅からレーン数を決定する。実際の歩道幅を用いるのが再現性の観点で最も望ましいが、対象とする大規模な道路ネットワークの歩道幅の詳細な情報を得ることは難しい。そこで、前述した大阪市内の GIS の道路データのエッジを、道路種別毎に数十本ランダムサンプリングし、抽出された道路の歩道幅を Google Maps の距離計測ツールを用いて計測した。そしてそれらの平均値を道路種別ごとの歩道幅とした。最終的に、1レーン当たりの幅を約 75cm と仮定し、既往研究<sup>3)</sup>と同様のレーン数を用いた。

### 3. 徒歩帰宅シミュレーション

提案したモデルを用いて、大阪市からの帰宅行動シミュレーションを実施する。

#### 3.1 条件設定

歩行者シミュレーションは  $\Delta t = 1s$  として計算する。式(3)のパラメータの値は、既往研究<sup>9)</sup>と同じ  $v_0 = 1.023(m/s)$ 、 $r = 0.522m$ 、 $a_1 = 0.962$ 、 $a_2 = 0.869$ 、 $a_3 = 0.214$ としている。シミュレーションは、浸水範囲内<sup>7)</sup>の淀川に架かる5本の橋梁が地震に起因する破損や津波によって通行止めになることを想定するかどうかと、混雑現象の再現の有無による二つの条件を与え、それらの組合せとして、表1に示した四つのケースについて実施する。

表1 シミュレーションのケース

ケース	淀川に架かる橋梁の通行止めの有無	混雑現象の有無
ケース 1a	無	無
ケース 1b	無	有
ケース 2a	有	無
ケース 2b	有	有

### 3.2 結果

以上のケースについてシミュレーションを行った。その結果を以下にまとめる。

まず、滞在者分布の違いが結果にどのような影響を与えたかについて述べる。既往研究において、混雑が継続した時間が 2~3 時間であったエッジが 3~5 時間に増加するなど、本研究の分布で人口が増加したノード付近で混雑継続時間が増加したエッジが数点確認されたが、淀川に架かる橋梁部における混雑継続時間に大きな変化はなく、結果として帰宅者の帰宅時間に大きな変化はなかった。

次に滞在者が帰宅者となり、徒歩一斉帰宅の混雑の影響を受けることによって帰宅完了時間がどのように変化するかを把握するために、各ケースについて、終点ノード側の平均帰宅完了時間の分布を可視化し、それらを図 4~7 に示す。1a, 2a では大阪市から郊外に行くにしたがって、帰宅完了時間が単調に増加する傾向にある。次に、ケース 1b, 2b での分布を見ると、大阪市内に帰宅する帰宅者の分布に大きな変化は見られないが、郊外において 6~8 時間及び 8 時間以上のノードが増加するなど、混雑の影響が大きく出ていることがわかる。特に、ケース 2b に関しては淀川以北の地域に帰宅する帰宅者の混雑の影響が大きくなっており、平均帰宅完了時間が 8 時間以上のノードが増加している。

### 4. まとめ

本研究では、大阪市を対象とした大地震時における帰宅者の帰宅行動に関する基礎的知見の把握を行うために、従来の滞在者分布の割り当て方を精緻化したうえで、大規模な帰宅行動シミュレーションを実施した。その結果、淀川以北の帰宅者の帰宅完了時間に大きな影響を与えることなど、従来の滞在者の分布時と同様の知見が得られた。

一方、本研究には、都市内滞留者については、移動者と施設等の区別がついていない点、自宅にいるのか自宅外にいるのかの区別がついていない点、帰宅行動モデルについては、滞在する建物によってネットワーク上の避難開始時間が異なることが自然であるのに対して、それを考慮していない点、実状よりやや速い速度を仮定している点、最短経路を帰宅経路としており、混雑回避行動を考慮していない点、避難のための歩行を考慮していない点などの課題が残っている。今後はこれらの課題を克服し、より現実的なシミュレーションモデルに発展させ、実行性のある帰宅・避難行動計画の策定のツールとして精度を高めることが目標である。

#### 謝辞

本研究は、科学研究費補助金基盤研究(A)、JST CREST (JPMJCR1402)、大阪市大 CERD 特別推進研究の援助を受けています。道路データは東大 CSIS の共同研究制度で利用しています。

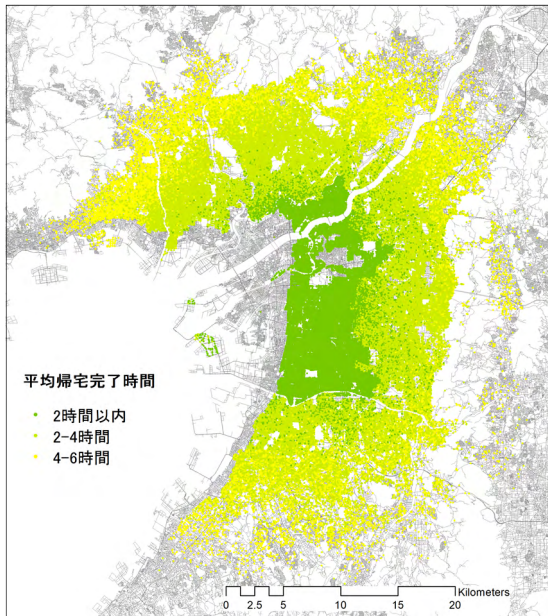


図4 平均帰宅完了時間（ケース 1a）

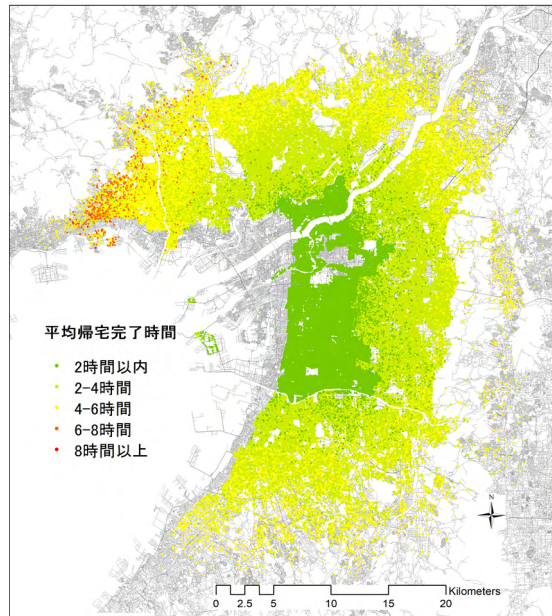


図5 平均帰宅完了時間（ケース 2a）

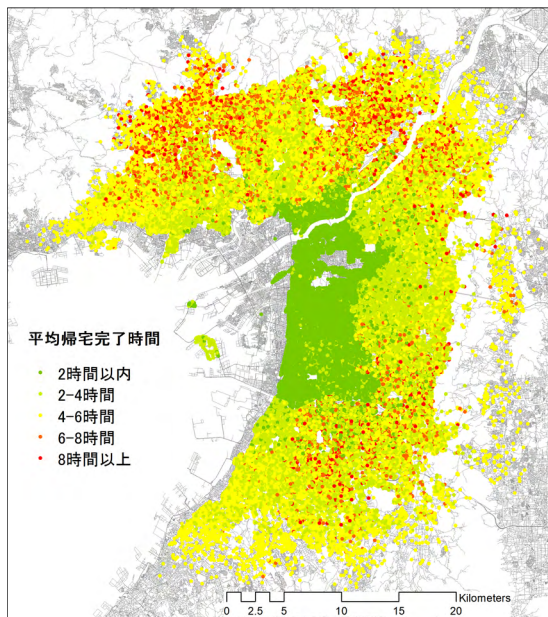


図6 平均帰宅完了時間（ケース 1b）

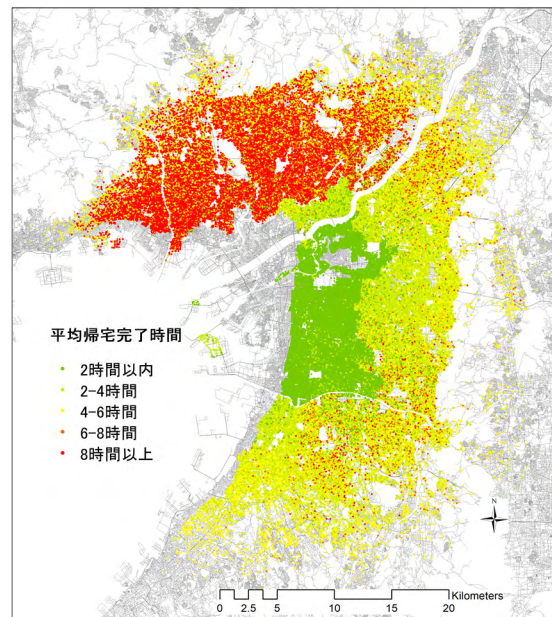


図7 平均帰宅完了時間（ケース 2b）

**【参考文献】**

- 1) 廣井悠, 大森高樹, 新海仁: 大都市避難シミュレーションの構築と混雑危険度の提案, 日本地震工学会論文集, 16(5), pp.5\_111-5\_126, 2016
- 2) 大阪市: 大規模災害時における帰宅困難者対策, <http://www.city.osaka.lg.jp/kikikanrishitsu/page/0000073235.html>, 2016.10.28 (2017.10.4 確認)
- 3) 川岸裕, 瀧澤重志: 大地震時を想定した大阪市からの一斉徒歩帰宅シミュレーション, 大阪市立大学都市防災研究プロジェクト, 都市防災研究論文集, 第4巻, 2017 (印刷中)
- 4) NTT ドコモ: モバイル空間統計に関する情報, [https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile\\_spatial\\_statistics/](https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/) (2017.10.4 確認)
- 5) 住友電工システムソリューション株式会社: 拡張版全国デジタル道路地図データベース,

[http://www.sciss.co.jp/ms/gis/map\\_db.html#ex\\_map\\_db](http://www.sciss.co.jp/ms/gis/map_db.html#ex_map_db) (2017.10.4 確認)

- 6) 中央防災会議: 首都直下地震避難対策等専門調査会報告書, <http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutohinan/>, 2008.10.27 (2017.10.4 確認)
- 7) 大阪府: 大阪府津波浸水想定の設定について, <http://www.pref.osaka.lg.jp/kikikanri/tsunamishinsuisoutei/>, 2013.8.30 (2017.10.4 確認)
- 8) 兵庫県: CG ハザードマップ, 南海トラフ巨大地震津波浸水想定図, <http://www.hazardmap.pref.hyogo.jp/> (2017.10.4 確認)
- 9) 副田俊介ほか: 一次元歩行者モデルを用いた高速避難シミュレータの開発, 情報処理学会 研究報告数理モデル化と問題解決, 2010-MPS-81(6), pp.1-6, 2010

\*1 大阪市立大学大学院工学研究科 前期博士課程

\*2 大阪市立大学大学院工学研究科 准教授, JST CREST, 博士(工)