

# 地下街における階段の利用が避難時間に与える影響分析 — マルチエージェントシミュレーションを用いて —

115—085 森岡 優也  
115—092 山西 祐輝

## 1. はじめに

大都市の都心部では大規模な地下街が存在し、地下駅、大規模な商業施設などと相互に接続している。巨大地震の津波などの対策は講じられているものの、地下空間の浸水危険性は残っている。地下街の浸水時は、地上の状況によって使える避難口や避難経路が変わることや、階段での待ち行列や非常口への迷いを考慮する必要があり、避難先まで円滑な避難が困難になると危惧されている。

避難に関わる研究には、災害発生時にどのような要因が避難に影響を及ぼす原因かを分析した研究<sup>1)</sup>や、浸水口別の避難完了率を用いて浸水時に危険度の高い浸水口を明らかにした研究<sup>2)</sup>、実在する地下街で避難実験を行い7割の人が地上に出る行動をとることを明らかにした研究<sup>3)</sup>などの蓄積がある。大人数での避難実験を実施することは困難であることから、避難シミュレーションモデルを構築することは有用であるが、既往の研究では、避難施設容量や階段の待ち行列による避難先の変更が避難時間にどのような影響を及ぼすかについて具体的に検討したものは少ない。

本研究では、マルチエージェントシステムを応用して地下街来街者の「避難行動シミュレーションモデル」を構築する。そして、構築したモデルを用いて、来街者自身が決めた当初の避難施設に避難できない場合の混乱や階段の待ち行列を取り入れ、避難時間の遅れを把握することを目的とする。なお、シミュレーションに用いる来街者数・歩行速度は、対象地域で現地調査を行い設定した。

## 2. 対象地域

対象地域は大阪市梅田地下街とする(図-1参照)。大阪市梅田地下街は、鉄道7駅、5つの地下街のほか、百貨店などが多い。対象地域の日あたりの鉄道利用者は約236万人であり、南海トラフによる巨大地震がもたらす津波の浸水想定が0.3~2.0mとなっていることから、大勢の来街者の避難が必要である<sup>4)</sup>。

対象地域を分析の都合上、13エリアに分割している。①梅田駅中改札~阪急三番街地下通路、②ホワイトティ梅田、③梅田駅中改札~梅田阪急ビル地下通路、④地下鉄梅田駅、⑤地下鉄東梅田駅、⑥大阪駅前第3~4ビル地下通路、⑦サウスゲートビル地下通路、⑧大阪駅前地下道(阪神梅田駅)、⑨西梅田地下道、⑩ドージマ地下センター、⑪地下鉄西梅田駅、⑫曾根崎地下歩道(JR北新地駅)、⑬大阪駅前ダイヤモンド地下街である。

## 3. 人数カウント調査

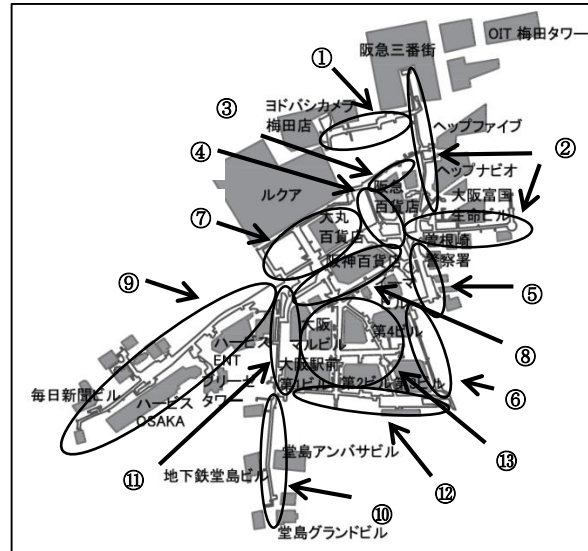


図-1 対象地域

### (1)調査概要

マルチエージェントシステムを用いた避難シミュレーションを行うにあたり、入力する来街者数が必要である。このため、2018年11月16日(金)18時時点の来街者の人数カウント調査を行った。調査方法は、対象地域を図-1に示す10個のエリアにおいて、調査実施者が一斉に地下通路の写真を撮影し、写真をもとに人数をカウントした。

### (2)調査結果

対象地域の来街者数は9,760人であった。なお、店舗内や地下鉄なお駅構内にいる来街者は調査対象としていない。

図-2は対象地域の18時台における歩行者分布である。ホワイトティうめだや阪神百貨店北側、堂島地下センターが高く、特に駅の改札口前・飲食店前・百貨店前が高かった。目視で判断した性別では、男性が52.5%、女性が47.5%を、年齢層は、若年層(20代以下)25.5%、中年層(30代以上50代以下)70.1%、高年層(60代以上)4.4%であった。

図-3、図-4にエリア別の集計結果を示す。エリア別ではどのエリアにおいても性別割合はほぼ等しかったが、その中でも⑥の大阪駅前第3~4ビル地下通路、⑪の地下鉄西梅田駅、⑫の曾根崎地下歩道(JR北新地駅)エリアは比較的男性の割合が多い結果となった。年齢層は、どのエリアにおいても中年層が大半を占めている。なかでも若年層は、⑬の大阪駅前ダイヤモンド地下街は比較的高く、⑥の大阪駅前第3~4ビル地下通路は比較的低い。また、高年層は、⑩のドージマ地下センターで比較的高くなっている。

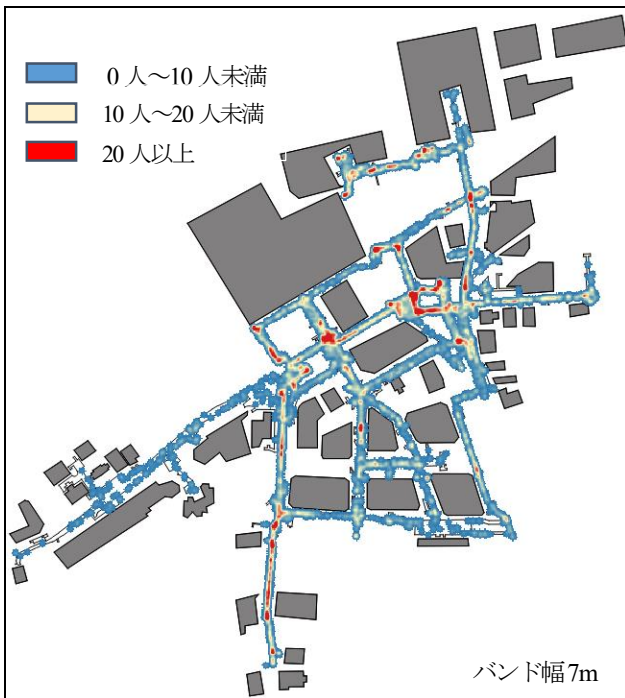


図-2 歩行者分布

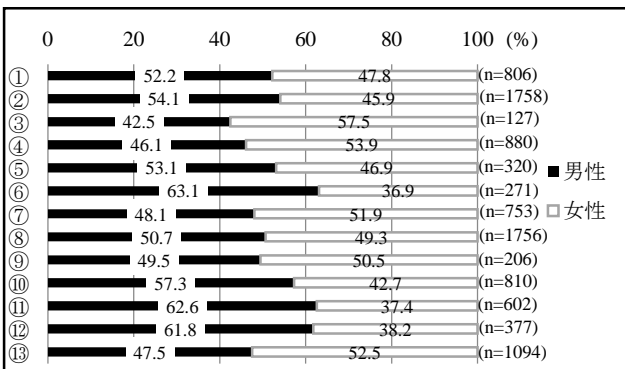


図-3 エリア別性別

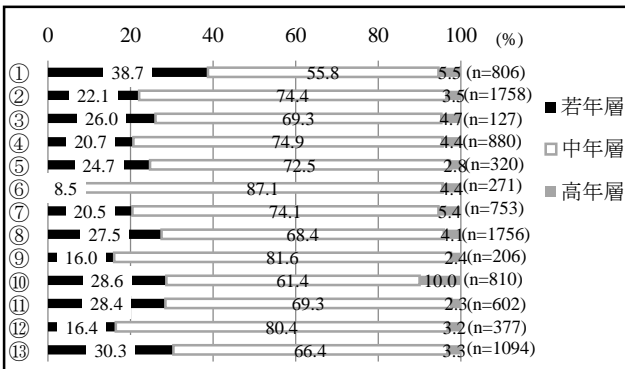


図-4 エリア別年齢層

#### 4. 歩行者速度測定調査

シミュレーションで用いる速度を現地で測定する。測定場所は、②ホワイティうめだ、⑧大阪駅前地下道、⑩ドーゾ地下街のエリアで行った。表-1に示すとおり、対象

表-1 歩行者速度調査結果

	距離(m)	平均歩行時間(s)	平均歩行速度(m/s)
ホワイティうめだ	215.7	177.7	1.214
ドーゾ地下街	277.6	215.4	1.289
大阪駅前地下道	192.0	174.2	1.102
平均	—	—	1.202

地域のCADデータから実際歩行する区間の距離を測定した値と、2人の調査者が当該区間を5回ずつ歩いた平均歩行時間を用いて、地下街に平均歩行速度を算出した。調査結果を踏まえ、シミュレーションで用いる歩行速度を1.2 m/sと設定した。

#### 5. 避難シミュレーションモデルの構築

##### (1) マルチエージェントシミュレーション

発災時の避難者はそれぞれが独立した個体であり、異なる行動特性を持っていて、複数の避難者の様々な行動特性が相互に影響を及ぼし合いながら、全体としての避難が構成されると考えられている。このため、避難行動のシミュレーションでは、個人の行動を考慮し、避難者の相互作用から全体の避難状況を表せるモデルが必要で、数理モデルでは困難と言われている。このような現象に対して、マルチエージェントシステムは、各個体をエージェントとして捉え、個々のエージェントにルールを与え、システム全体の現象を捉えることができる<sup>5)</sup>。

本研究では構造計画研究所が開発したマルチエージェントシミュレーションソフトの「artisoc4.2」を用いる<sup>6)</sup>。ルール書式に使用されるプログラミング言語は、Microsoft社のVisual Basicを基に構成されている。主な用語には、「セル(メッシュ)」があり、地下空間をセルに分割して表す。そのセルの大小でモデルの精度が異なる。「エージェント」とは、自律的に判断し行動する意思決定主体を意味するが、ここでは、1人の来街者を指す。「ステップ」とは、artisocの時刻単位の呼び名であり、コンピュータの中での1回の動作が1ステップと呼ばれ、本研究では、後述するが、1秒を意味する。

##### (2) シミュレーションモデルの構築

###### ① 地下空間のモデル化

本研究では大阪市梅田地下街の地図をもとに作成したCADデータを用いて、地下空間のモデル化を行った。対象地域には、避難口となる階段が127カ所、地下街と接続している津波避難ビルとして大阪富国生命ビルとブリーゼタワーの2つがあるので、モデル化した地下空間にも配置した。なお、避難者の受け入れ容量は、大阪富国生命ビルが736人とブリーゼタワーが1000人として設定した<sup>7)</sup>。地下空間のモデル内の1セルは1.2m×1.2mと定義し、935×929セルの空間を作成した。また、各階段と津波避難ビルの出入り口からの距離(=ポテンシ

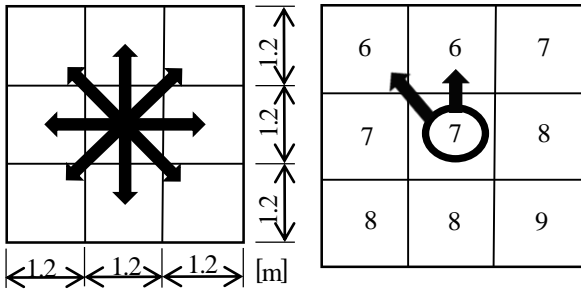


図-6 ムーア近傍と移動方向の選択

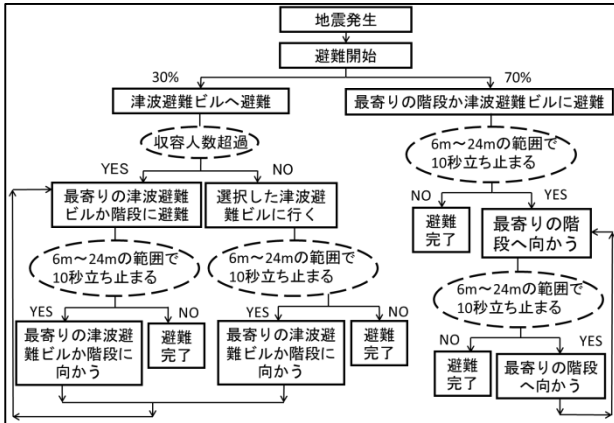


図-7 避難エージェントのフローチャート

ャル値)を地下通路の各セル(=フロアフィールド)にポテンシャル値(=階段と津波避難ビルの出入口からの距離)を格納した。また、階段の出口を1セル、大阪富国生命ビルの出口を4セル、ブリーゼタワーの出口を3セルに設定した。

### ②避難者(=来街者)のモデル化

避難者エージェントは1セルに1人しか存在することができず、フロアフィールド上を移動する。避難者エージェントはムーア近傍のルールで移動する。図-6に示すように、避難者エージェントはポテンシャル値が低いセルを選択して移動するが、進行方向のセルに別の避難者エージェントが存在する場合は別の低いポテンシャル値のセルに移動するか、その場に立ち止まることになる。避難者の歩行速度は1.2m/sとした。つまり、1セルが1.2m×1.2mであるので、歩行者は1ステップで隣接するセルに動こうとするので、1ステップが1秒となるように設定した。

### (3) 避難シミュレーション詳細

本研究の避難シミュレーションでは、人数カウント調査をもとに、公共交通機関と商業施設利用者などを除く地下通路のみの来街者数9,760人の避難者エージェントを発生させ、避難行動をシミュレーションする。

9,760人の避難者エージェントは、7割が階段から地上へ向かい、3割が津波避難ビルに向かうように設定した。階段あるいは津波避難ビルに近づいた際、6m以内の距離であれば、そのまま地上に出るか津波避難ビルに



図-8 避難シミュレーションの様子

入るまで並び続ける。しかし、避難者エージェントが階段あるいは津波避難ビルから6~24mの間で10秒以上立ち止まった場合、別の最寄りの階段か津波避難ビルを目指すように設定した(図-7参照)。また、津波避難ビルの収容人数を超過した場合は、津波避難ビルから12mまで近づかなければ避難者エージェントは超過したことを知ることができず、10秒経過するごとに1.2mずつ超過したことを知れる範囲が広がっていくように設定した。避難者エージェントが超過した情報を得ると別の階段などを探すことができる。なお、地上に向かう階段での歩行速度は、標準を0.6m/sとした。

### (4) 試行パターンの設定

発災時には、地下街だけでなく地上でも大勢の避難者が存在する。このため、地上が混雑していると、地下から地上に向かう階段での歩行速度が遅くなる。階段の歩行速度が避難完了時間に与える影響を明らかにするため、3つの試行パターンを設定した。具体的には、パターン①として、地上が混雑しておらず、制約がなく地上に出ることができる場合(階段での歩行速度=0.6m/s)、パターン②として、地上が混雑しており、階段の歩行速度が制約なしの場合の半分となった場合(階段の歩行速度=0.3m/s)、パターン③として、地上が混雑しており、階段の歩行速度が制約なしの場合の4分の1となった場合(階段の歩行速度=0.15m/s)である。

本研究の避難シミュレーションでは、パターン①~③それぞれ10回ずつ、計30回検証を行う。参考まで、避難シミュレーションの例を図-8に示す。

## 6. 避難シミュレーション結果

### (1) 避難完了時間

各パターンの最大避難時間、最小避難時間、平均避難時間を表—2に示す。平均避難時間でみると、パターン①が25分49秒、パターン②が29分55秒、パターン③が33分40秒となり、各パターンで約4分程度の差があった。

(2)避難率

図—9にパターン別の避難率を示す。避難率は、2分毎の累積避難人数と全体避難人数から算出した。パターン①では避難開始から2分19秒で50%、7分55秒で80%が避難が完了した。パターン②では避難開始から3分5秒で約50%、9分30秒で80%が避難完了した。パターン③では避難開始から3分38秒で50%、11分4秒で80%が避難完了した。

(3)津波避難ビルへの避難

津波避難ビルの受け入れについては、大阪富国生命ビルの容量は736人であり、パターン①～③の計30回で受入容量に達した。表—3に受入容量に達した時間を示す。平均で約4分14秒となった。なお、今回のシミュレーションでは出入口の数のみで避難エージェントを管理しているので、ビル内での移動は考慮されておらず、避難時間は長くなると考えられる。

ブリーゼタワーの受け入れ容量は1000人であり、受け入れ容量に達したのはパターン①で1回、パターン②で0回、パターン③で2回の計3回で、平均15分37秒であった。

(4) 階段への避難

127ヵ所の階段の内、各パターンの平均で200人以上避難した階段を図—10に示す。



図—10 避難人数が200人以上の階段

7. 総括

対象地域の来街者数は9,760人であった（公共交通機関、施設利用者を除く）。特に、駅改札付近、百貨店付近、ドーゾマ地下街に歩行者密度が高いことがわかった。階段での歩行速度の影響を把握するため、避難シミュレーションを行った結果、パターン①が25分49秒、パターン②が29分55秒、パターン③が33分40秒となり、各パターンで約4分程度の差があった。このため、地上での避難者の誘導を含め、対策を検討する必要がある。

今後の課題として、地下街の階段の大きさや長さ、公共交通機関や商業施設の利用者数や、避難誘導の影響などを考慮した避難シミュレーションを開発すれば、より精度が高い避難時間が推測できると考えられる。

【参考文献】

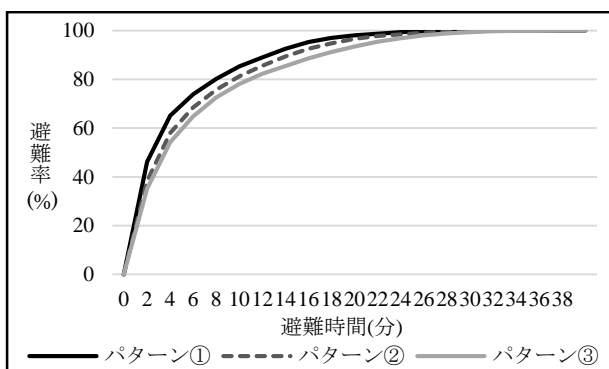
- 堀口真美(2014)「大規模地下空間の避難シミュレーション—危機迫る梅田地下街からの脱出—」,同志社大学文化情報学部文化情報学科,2013年度,卒業論文  
<http://mas.kke.co.jp/modules/mydownloads2/singlefile.php?cid=2&lid=193>, 2018年12月22日アクセス。
- 一居政宏(2016)「梅田地下街におけるシミュレーションを用いた浸水被害予測」,同志社大学文化情報学部文化情報学科,2015年度,卒業論文  
<http://mas.kke.co.jp/modules/mydownloads2/singlefile.php?cid=2&lid=236>, 2018年12月22日アクセス。
- 魚返梨那, 糸川愛美, 山口行一 (2018)「大阪市梅田地下街における避難行動に関する分析」,日本都市計画学会関西支部発表会講演概要集,16巻,p.49-52。
- 大阪市大阪駅周辺地区 地下空間浸水対策計画 Ver.1 (資料編—後半) (平成28年3月)  
[www.city.osaka.lg.jp/kikikanrishitsu/cmsfiles/contents/0000259/259323/osakaekitiku—shinsuitaisakukeikaku3.pdf](http://www.city.osaka.lg.jp/kikikanrishitsu/cmsfiles/contents/0000259/259323/osakaekitiku—shinsuitaisakukeikaku3.pdf), 2019年1月4日アクセス。
- MAS コミュニティ「マルチエージェント・シミュレーションとは」  
<http://mas.kke.co.jp/modules/tiny44/index.php?id=16>, 2019年1月7日アクセス。
- artiso 日本語版 ユーザマニュアル,  
<http://mas.kke.co.jp/cabinet/1.0/manual—ja.pdf>, 2019年1月7日アクセス。
- 大阪市 津波避難ビルの一覧【民間施設等】  
<http://www.city.osaka.lg.jp/kita/page/0000299035.html>, 2019年2月13日アクセス。

表—2 最大避難時間・最小避難時間・平均避難時間

	パターン① 0.6m/s	パターン② 0.3m/s	パターン③ 0.15m/s
最大避難時間	28分9秒	32分4秒	36分20秒
最小避難時間	23分52秒	28分43秒	31分2秒
平均避難時間	25分49秒	29分55秒	33分40秒

表—3 大阪富国生命ビルの受入容量に達した時間

	パターン①	パターン②	パターン③	平均
時間	4分14秒	4分14秒	4分15秒	4分14秒



図—9 パターン別避難率