

# 震災時の JR 大阪駅周辺における津波避難行動シミュレーションシステム

石田 涼\*1 泉 朋子\*2 仲谷 善雄\*2

## Simulation System for Tsunami Evacuation Behavior during an Earthquake at JR Osaka Station Area

Ryo Ishida\*1, Tomoko Izumi\*2 and Yoshio Nakatani\*2

**Abstract** - In the case of a Tonankai earthquake and Nankai earthquake occurring, it is predicted that tsunami damage will occur at the JR Osaka Station area. The purpose of this study is to propose a computer simulation which can calculate the appropriate behavior of evacuees in order to avoid tsunami damage in that situation. There are many institutions, department stores and hotels, and an underground shopping center, around JR Osaka Station. Therefore, various situations must be considered, such as collisions between people trying to evacuate to buildings and people trying to get away from the underground shopping center and buildings to the outside, in order to plan a safe evacuation. In this paper, we implement a simulation that takes into account of various situations, and collect data fundamental to devising a method for inducing evacuation.

**Keywords:** Tsunami, earthquake, simulation, Osaka City, evacuation

### 1. はじめに

日本では、地震大国と言われるほど地震が多く発生している。現在、日本で大規模な地震が発生すると予測されているのが東海地震、東南海地震、南海地震、首都直下地震の4つである。特に今後30年間での発生確率が東海地震では87%、東南海・南海地震が60%を超えている[1]。これらの地震が実際に起きた場合、大規模な被害と帰宅できない帰宅困難者が多数発生すると予測されている。

南海地震、東南海地震の影響を大きく受ける大阪市では、多くの帰宅困難者が発生すると予想されている。大阪市内では、JR大阪駅や市内のメインストリートである御堂筋、市役所などが浸水域に入るほか、市営地下鉄や地下街にも大きな被害が出るのが予想される。特にJR大阪駅周辺では、通勤客以外にも観光客や買い物客など多くの人が集まっているため、震災時には42万人が足止めされ[2]、津波から避難しようと大きな混雑が起きる可能性がある。さらに、この大きな混乱により2次災害や3次災害の発生も考えられる。したがって、大阪市内における大きな被害を軽減させるような防災対策を検討する上では、迅速かつ的確な避難誘導を行うことが必要となる。平日でも混雑しているJR大阪駅周辺において避難誘導実験を実際の規模で実施することは困難であるた

め、計算機上での避難行動シミュレーションが有効と考えられる。

本研究では、このような問題に対応するため、JR大阪駅・梅田駅周辺（北区）を対象として、震災時に被災者がどのような動きをするのかを計算機上でシミュレートできる環境を構築する。

### 2. 関連動向

#### 2.1 避難行動シミュレーションの現状

火災や津波などの状況に応じて、群集の避難行動シミュレーションに関する様々な研究開発が行われている。パニック状態も視野に入れた緊急避難行動の予測手法を開発するために、ここでは数値解析手法の点からその現状を整理する。

##### 2.1.1 物理モデル手法

物理モデルとは、群集が特定の物理法則にしたがって行動すると仮定する手法である。

建物内の動線の設計では、群集を流体とみなし、速度や空間あたりの人数を計算する手法が多く使われる。これを流体モデルと呼ぶ。群集が円滑に動く場合、この手法は効果的であり信頼度も高い。計算に使われるパラメータを適切に設定することにより、人の流れが閉塞する状況も再現することが可能である。しかし、建物の構造も考慮してパラメータを適切に設定する必要がある。

群集を構成する個人をひとつの剛体と見なして、剛体同士が相互作用しながら移動する状況として群集行動をモデル化する剛体粒子モデルも多く用いられる。流体モデルと比べて、詳細な行動の表現が可能であるが、計算量は多くなる。

\*1: 立命館大学大学院 情報理工学研究科

\*2: 立命館大学 情報理工学部

\*1: Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

\*2: College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University.

高度な物理モデルとして、ポテンシャルモデルとそれを使ったシミュレーション手法が提案されている[3]。経路の空間特性、避難する個人の特性、災害状況等に対し適切なポテンシャルを設定することにより、閉塞等も含めさまざまな避難行動のシミュレーションが可能である。しかし、結果の信頼性は設定されたポテンシャルの質に依存する。状況を再現することは可能であるが、客観的にポテンシャルを決定する原理や方法がないため、信頼度の確保が重要な緊急避難行動を予測するには適していない。

### 2.1.2 セルオートマトン法

セルオートマトン法とは、時間・空間を離散的に取り扱うことにより、確率を使った単純ルールに従ってセル（歩行空間である2次元平面を格子状に区切ったもの）の間の状態遷移として群集の動きを計算する手法である。ルールは単純であるが、時間および空間を多数のセルに分割することで複雑な遷移パターンを形成できる。避難行動の場合、セル間の状態遷移を歩行者ひとりひとりの行動の集合としてモデル化すれば、各避難者の行動決定ルールに様々な要素を組み込んだり無視することにより、多様な行動パターンを実現でき、結果として複雑な状態遷移を表現できる。歩行空間の形状設定や施設配置等における自由度も高く、円滑に流れるパターンや閉塞するパターンなどの複雑な境界条件を容易に組み込んで計算できる。

定性的な状態遷移パターンの分類には適した手法であるものの、定量的な予測には限界がある。ルールを複雑にすることにより定量的な予測を行うようにもできるが、セルオートマトン法の強みではない。

### 2.1.3 マルチエージェントシミュレーション

マルチエージェントとは、「多数の自律した主体＝エージェントの行動からボトムアップにシステムを構成する」手法である[4]。システムを構成する個々の要因をエージェントとし、エージェントを自律的に行動させ、システムの挙動をシミュレートする。セルオートマトン法の発展形とも言えるが、個々の避難者の意思決定や行動により強く注目した手法で、1980年代後半に人工知能分野で実用化が進められてきた。

適切なエージェントを設計すれば信頼度が高い結果が得られるため、現在、マルチエージェントシミュレーションはさまざまな研究がされている。災害用に限っても、火災時の避難行動のマルチエージェントシミュレーションが開発されており、他の災害状況への転用も図っている。社会技術の中でも、原子力発電所の危機管理用のマルチエージェントシミュレーションも開発されている。地震災害用に、消防や警察等の行動を予測するためのマルチエージェントシミュレーションも研究されている。

これまでも火災や津波などの状況に応じて、群集の避難行動シミュレーションに関する様々な研究や開発が行

われている。例えば堀らは地下空間の避難行動シミュレーションを行っている[3]。地震時の地下5階の地下鉄駅から地上への避難行動についてマルチエージェントシミュレーションを行い、個々の避難者の避難時間にはばらつきがあること、人数に応じて避難時間が増えること、などの評価を分析している。

また津波の分野では、渡辺らがマルチエージェントシステムを用いた津波避難シミュレーションモデルを開発している[5]。この研究では、津波防災まちづくりを考える場合、どのような整備が行われれば、一定時間内に全員が逃げ切れるのか。津波防災まちづくりにおけるハード面の整備、ソフト的な施策を合わせて検討できるようになっている。

## 3. 提案の概要

### 3.1 現状の問題点

現在まで、計算機を用いて人間の行動をシミュレートする研究は数多く行われてきた[6][7]。従来のシミュレータでは、単に避難者の行動を流体としてモデル化し、その動きを模擬することが主な目的であったが、最近では避難者間の物理的な相互作用だけでなく、社会的相互作用も考慮されたシミュレータの研究が行われている。しかし、それでも現在のシミュレータでは十分とは言えない。第2章でも述べたように、実際に災害を受けた地域を対象としたシミュレーションや高層ビル、デパート、地下街などの建物の空間内での避難行動シミュレーションなどは多く存在する。しかし、様々な人や大きな建物が多く集まるような大都市を想定したシミュレーションは少ない。さらに、建物への人の流入を考慮した上での大規模で広域な避難行動シミュレーションはない。そのため、震災時の大阪市（北区）において、ビル等からの避難者やもともと地上にいる被災者がはち合わせた場合、どのような状況が発生するのかを予想できていない。

また、東日本大震災によって、大阪市の南海地震に対する防災計画は多くの面で早急に見直しをする必要性がでてきた。特に、地震に伴って発生する津波に関する対策が主に見直しの対象となっている。JR大阪駅や阪急梅田駅は、周囲に淀川が位置しているため、大津波が発生した場合には大きな被害や混乱が起きると考えられる。そういった被害を軽減させるために、津波に対する有効な避難対策が必要となってきている。現在考えられている津波からの避難対策としては、津波襲来までの限られた時間内での迅速かつ確かな避難誘導が有効的である。

しかし、大阪市に位置する企業や行政機関は津波に対して具体的な対策案を共有していない。その理由として、津波避難マニュアルを策定するための情報が不足していることと、それらがあっても共有されていないからであると考えられる。そのため、様々な企業や行政機関は独

自の避難誘導マニュアル作成しており、実際にマニュアルに沿って避難誘導を行った場合に、ある地域において有効な誘導が実現されるのかどうかは明らかにされていない。例えば、津波避難ビルに帰宅困難者を受け入れるとしても、地震直後のエレベータやエスカレータの停止したビルにおいて、3階以上の高い階への移動には抵抗感があると思われる。そのため、低い階に大勢の人が滞留してしまい、そこにさらに帰宅困難者が入ろうとした場合には大きな混乱が発生し、それが地上や地下にも及ぶ可能性がある。このような問題を解決するためには、様々な避難状況を考慮した上で避難者がどのように行動するのかを検証できるシステムにする必要がある。

### 3.2 提案方法

本研究では、地上、地下、ビルを含む大都市空間における津波警戒時の人々の避難行動をシミュレートする計算機システムを開発し、津波避難ビルの指定、避難誘導方法や体制、避難誘導先の選定などに基礎的なデータを提供することを最終目的としている。今回はその第一歩として、地上に存在する人のみを対象とした避難行動シミュレータを開発した。それをを用いて、JR大阪駅・梅田駅周辺（北区）を対象として、様々な状況下でシミュレーションを実施した。

以下に本研究のシミュレーションに考慮する機能を簡単に説明する。

#### ・機能

**a)対象地域**：対象地域は、JR大阪駅を中心として半径約1km圏域とする。

**b)避難経路**：避難者が使用する避難経路は、JR大阪駅や駅から北東、北西方面を目的地とした道路リンクネットワーク上で最短距離となる経路を通過する。また、道路上には車などの障害物がないとし、人の混雑により速度が低減しても、経路の迂回することをしないように設定する。なお、道路交通の影響は今後の課題としたい。

**c)歩行速度**：避難経路上に存在する被災者の群集密度（人/m<sup>2</sup>）と速度の関係から、基準となる速度を1人/m<sup>2</sup>あたり66.6m/分とする。また、人の混雑度合が大きくなるにつれて、速度が低減するように設定する。

**d)人数制限**：津波避難用建物の収容可能人数を調整できるようにコントロールパネルを用意する。

**e)グラフ表示**：それぞれの津波避難用建物に避難している人数を、X軸を経過時間、Y軸を避難人数の時系列グラフで表示する。避難者の行動が時間を追って、2次元上で視覚的に把握できるようにする。

## 4. システム構成

### 4.1 開発環境

本研究のシステム実装において、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タ「artisoc 3.0」を使用する。ルール記述言語は、主にMicrosoft社のVisual Basicである。二次元、三次元表示マップ（シミュレーション画面）や数値出力でエージェントの動作を視覚的に捉えることができる。artisocのプログラム構成は段階構造で、図1に例を示す。



図1 artisocのプログラム構成図例

Fig. 1 artisoc program structure

### 4.2 シミュレーションの流れ

本システムのシミュレーションの流れを図2に示す。以下で各ステップを説明する。

①：避難経路計算エージェントがダイクストラ法を用いて、目的地までの最短経路の計算しそのデータをファイルに保存する。

②：そのデータをもとに、各交差点に位置する避難者エージェントがそれぞれの位置から目的地までの最短経路を取得する。また、すべての避難者が避難経路の取得を終了すると、地図上の各交差点に避難者が緑色の丸で表示される。

③：図3のように、コントロールパネルに各緊急避難用建物の収容可能人数を設定する。このスライドバーでは、避難者を100人単位で調節することが可能である。

④：避難者が目的地に向かって避難し始める。避難者全員が避難完了するまで避難者のシミュレーションは実行され、避難完了するとシミュレーションは自動的に終了する。

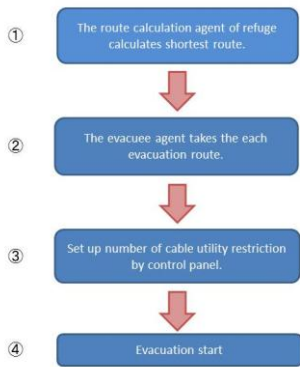


図2 シミュレーションの流れ  
Fig. 2 Simulation flow

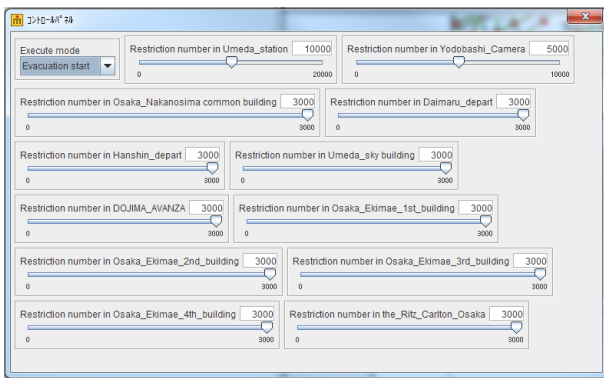


図3 コントロールパネル  
Fig. 3 Control panel

### 4.3 シミュレーション上の避難者の行動

シミュレーション実行時に、避難者エージェントは緑色の丸で表示され、各交差点にそれぞれ設置される。今回の実験では、地上に存在する人だけの動きをシミュレーションしているので、避難者の人数は約40万人でシミュレートしている。

今回のシミュレーションでは、震災時において図4に示すようにJR大阪駅や北東、北西に避難者が避難した場合を想定している。したがって、避難者の基本的な避難行動として、上記の3か所を目的地に設定した。避難経路は、図5に示しているように緑色の線を道路として設定しており、避難者は目的地まで、ダイクストラ法で計算された最短経路上を移動する。また、避難者は図6のように、移動中に自分の周りを探査して、周囲3マス以内に緊急避難用建物が存在した場合は、目的地のJR大阪駅には向かわずに、その建物に避難する。しかし、それぞれの緊急避難用建物の収容可能人数が設定値にまで達した場合、建物には入れないため、避難目的地に向かう経路に戻る。



図4 対象地域と避難建物  
Fig. 4 Evacuation routes and interactions

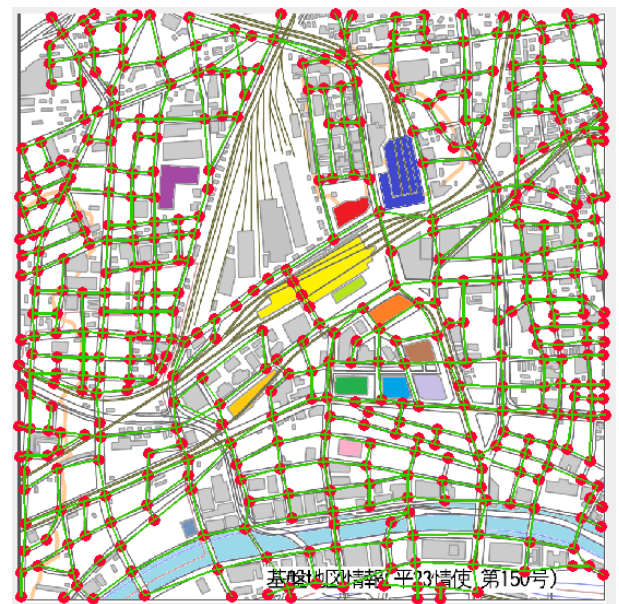


図5 避難経路  
Fig. 5 Evacuation routes and interactions

3	3	3	3	3	3	3
3	2	2	2	2	2	3
3	2	1	1	1	2	3
3	2	1	0	1	2	3
3	2	1	1	1	2	3
3	2	2	2	2	2	3
3	3	3	3	3	3	3

図6 避難者の視野の範囲  
Fig. 6 Range of evacuee's view

避難者の歩行速度は、(1)式のように密度と歩行速度の関係式から人口密度1人/m<sup>2</sup>のとき66.6m/minと言われている。そこで本実験では、避難者の基本的な歩行速度を66m/minとした。

$$V(\rho) = 1.1\rho^{-0.7954} \quad (1)$$

$\rho$  : 群集密度 (人/m<sup>2</sup>)  
V : 歩行速度



また、集団行動での様々な物理的制約や Fruin によるサービスレベルなどを用いて[8]、避難経路上の人の混雑状態によって避難者の歩行速度を増減させるように設定している。その歩行速度の増減の数値を表 1 で表す。

表 1 避難者の歩行速度

TABLE 1. WALKING SPEED

Speed[m/min]	Congestion factor		
	0-1	2-4	5-
	66	38	22

#### 4.4 津波避難用建物の策定

今回のシミュレーションでは、避難者は JR 大阪駅に避難するだけでなくその周辺の建物にも避難することができるように設定している。また、それぞれの建物に収容可能な人数を図 3 に示すように、任意で変更できるようにも設定している。表 2 に、それぞれの津波避難用建物名と収容可能な人数を記す。

表 2 建物名と収容可能な人数

TABLE 2. BUILDING NAMES AND ACCOMMODATED NUMBER OF PERSONS

	Color	Accommodated number(persons)
Umeda Station	Blue	0-20000
Yodobashi_Camera	Red	0-5000
Osaka_Nakanoshima common building	Grayish blue	0-3000
Daimaru_Department Store	Pea Green	0-3000
Hanshin_Department Store	Orange	0-3000
Umeda_Sky Building	Purple	0-3000
DOJIMA_AVANZA	Pink	0-4000
Osaka_Ekimae_1st_building	Green	0-4000
Osaka_Ekimae_2nd_building	Sky Blue	0-4000
Osaka_Ekimae_3rd_building	Light purple	0-4000
Osaka_Ekimae_4th_building	Brown	0-3000
Ritz_Carlton_Osaka	Bright yellow	0-2000

## 5. 評価

### 5.1 評価実験

このシミュレーションでは、各津波避難用建物の収容可能な人数をそれぞれの最大値まで設定することができる。本研究では、以下に記述した条件のように、様々な収容可能な人数の割合でシミュレーションを行った。

- 1)収容可能な人数の割合を 0%にした場合
- 2)収容可能な人数の割合を 20%にした場合
- 3)収容可能な人数の割合を 50%にした場合
- 4)収容可能な人数の割合を 80%にした場合
- 5)収容可能な人数の割合を 100%にした場合

また、これらの条件下で行った際に得られたデータを図 7 にまとめた。これは、各時間における未避難者数の推移を時系列グラフで表したものである。

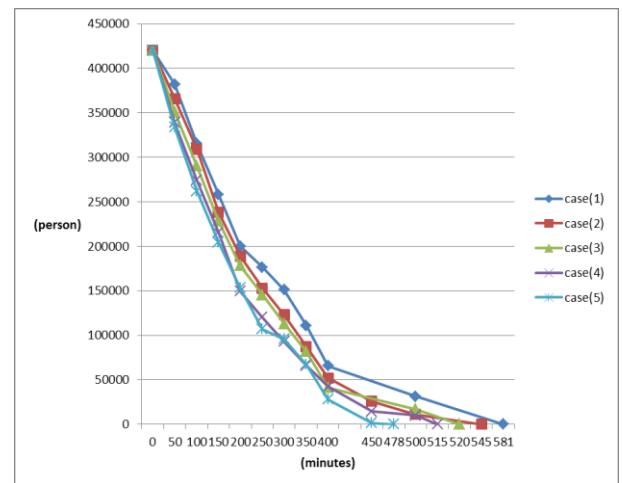


図 7 未避難者数の推移

Fig. 7 Transition of evacuees unable to find refuge

### 5.2 考察

図 7 により、1)の場合では、避難完了するまでに最長でも 581 分の時間が要することが分かった。これは JR 大阪駅や神戸方面などを目指して避難するだけだが、それでも 40 万人規模の人が 3ヶ所に集中した場合はそれだけの時間を有することが判明した。また、収容可能な人数の割合が高ければ高いほど、すべての避難者における避難完了するまでの時間がそれに比例して短くなっていることは明白である。これによって、本研究における局所的に避難者が集中した場合に、駅やデパート、高層ビルなどを津波に対しての避難建物と設定することで、効率的かつ迅速に避難者が避難することが証明された。

しかし、大阪市では津波の到来までの時間が地震発生後 2 時間 20 分であることから、40 万人程度の群集であっても、この時間を 7 時間も超えることになる。今回のシミュレーションでは、避難者の最終目的地が 3 か所に限られていたことが大きな原因と考えられるが、JR 大阪駅や神戸方面を目指す人が多数存在することは自然な設定であると言える。また、今回の条件では駅前の道路を横切ることができるようになっているが、実際の JR 大阪駅前には車で渋滞することが予想され、自由に渡れるような状況にはないと思われる。歩道橋もあるが、多くの人が利用すれば危険であり、利用は限られるものと思われる。

る。

今後は、このような状況の発生を前提として、どのようにすればこれらの群集を収容できるのか、拠点避難ビルとして何か所が必要なのか、などの検討ができるシステムとして行く必要がある。

## 6. あとがき

本論文では、大阪市および JR 大阪駅周辺において避難誘導方法の策定を最終目標とし、その第 1 歩として JR 大阪駅や阪急駅周辺における群集がどのような行動をするのかをシミュレートできるシステムを提案した。これは、避難誘導実験を実際の規模で実施することは困難であるため、計算機上での避難行動シミュレーションが有効になると考えられるからである。

今回のシミュレーションでは、ビルや地下鉄、地下街などの建物内から地上に出てくる人と、もともと地上にいる人との相互作用については扱えていない。地上に多くの群集が滞留している状況では、ビルや地下からの群集はスムーズに地上に出られないことも想定される。すなわち、駅周辺の様々な場所で群集の滞留が発生しうると考えられる。そのとき、津波襲来までの時間的制約に対する心理的圧迫感がパニックの引き金になる危険性がある。したがって次のステップとして、建物内から人が地上に避難してくる場合を考えた避難シミュレーションができるように機能拡張を行いたい。

## 7. 参考文献

[1] 内閣府：平成 22 年版防災白書，内閣府ホームページ（オンライン），入手先 <

<http://www.bousai.go.jp/hakusho/h22/index.htm> >（参照 2011-12-10）.

[2] 大阪市：大阪市危機管理室，大阪市（オンライン），入手先 <  
<http://www.city.osaka.lg.jp/kikikanrishitsu/page/0000073235.html>>（参照 2011-12-03）.

[3] 堀，犬飼，小国ほか：地震時の緊急避難行動を予測するシミュレーション手法の開発に関する基礎的研究，社会技術研究論文集，Vol.3，pp.138-145，（2005）.

[4] 大内，山本，川村：マルチエージェントシステムの基礎と応用-複雑系工学の計算パラダイム-，コロナ社（2002）.

[5] 渡辺，近藤：津波防災まちづくり計画支援のための津波避難シミュレーションモデルの開発，日本建築学会計画系論文集，74 巻，637 号，pp.627-634（2009）.

[6] B. Maury, J. Venel, “Handling of contacts in crowd motion simulations,” University of Paris in press, Orsay Cedex, France.

[7] A. Kirchner, A. Schadschneider, “Simulation of evacuation processes using a bionics-inspired cellular automaton model for pedestrian dynamics,” Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Germany, 2002, vol. 312, pp.260-276.

[8] Fruin, J.J.：歩行者の空間—理想とデザイナー—，鹿島出版会（1974）.