

実証実験に基づく名古屋駅周辺の地下街避難行動シミュレーション

名古屋大学工学部社会環境工学科建築学コース

廣井研究室 青山純也

1. 研究の背景と目的

1995年1月17日に兵庫県南部地震が発生し、近畿・中国地方を中心に甚大な被害が生じた。兵庫県南部地震では、兵庫県の大開駅において日本で初めて地震による地下空間の被害が生じた。地下空間での災害対策については火災、水害の事例が多く、地震に関する事例は少ない。しかし、近い将来、南海トラフ地震が起こった際、名古屋駅周辺の地下街で起こる被害は計り知れないため、避難行動の予測をすることは有用である。

本研究では名古屋駅周辺の地下街からの避難行動について実証実験で得られた知見を反映した避難行動シミュレーションを作成し、避難完了時間を算出し、当該地下街からの避難困難性を示す。

2. 名古屋駅周辺の地下街からの避難実証実験

2.1 実証実験の概要

2014年11月29日に表示灯株式会社と廣井研究室で地下鉄名古屋駅東山・桜通線のホームを出発地点とし、緊急避難場所の笹島小・中学校を目的地とした実証実験を実施した。20人の被験者（内10人日本人、10人留学生）は目線カメラを装着し、地震が発生したことを想定し、避難を行う。ただし、被験者は事前に目的地は知らされておらず、名古屋駅の使用頻度が少ない人を被験者とした。被験者一人ひとりに記録係を同行させ、避難経路を記録した。被験者はサイン表示と設置してある地図のみを使用し、目的地に避難する。制限時間は30分である。本実験の最後にサイン表示についてと地震時の地下街から避難についてのアンケートを行った。

2.2 実証実験の結果

本実験より得られた被験者20人分の目線カメラの録画映像と避難経路を分析し、被験者の避難速度、階段での歩行速度、混雑時の階段での歩行速度、目的地を探すための地図を見る時間をそれぞれ算出した。算出した結果の平均を表1に示す。目的地を探すための地図を見る時間に関しては、笹島小・中学校が笹島町になく目的地を探すのに多くの時間を有したため、本実験の前に行われた地下鉄のホームからミッドランドスクエアまでの移動実験の際に被験者が地下街にある地図を見ていた時間から算出した。ただし、本実験では混雑時の状況を再現できないため、求められなかった混雑時の避難歩行速度については既往研究¹⁾を参考とした。

サイン表示のアンケートの結果で、トイレ表示や禁煙表示については95%を超える人が認知していたことに対し、避難所表示や広域避難場所表示については30%以下の人が認知していなかった。

地震災害時の避難については、地震発生をしてからすぐにサイン表示をみて地上に避難する傾向がある。

3. マルチエージェントシミュレータ artisoc の概要

マルチエージェントシミュレータは仮想空間に人や物を設置し、それぞれに独自のルールを持たせ相互作用を考慮することにより困難な課題をシミュレーションすること

ができるシステムである。

本研究では構造計画研究所の開発したマルチエージェントシミュレータのソフト artisoc を用いる。artisoc で使われているプログラミング言語は Visual Basic を基に構成されており直感的なプログラムで仮想空間を作ることができる。artisoc のモデルは空間とエージェントで構成されている。artisoc では X,Y 座標の格子状のセルで仮想空間を作り、一定数の step を繰り返すことで時間の流れを表現している。

4. 避難行動シミュレーションの必要性

本来災害時の避難行動を分析するには災害時の状況を再現し、実験を行う必要があるが、名古屋駅周辺の地下街のような大規模な場所では地震が発生した状態を作り通行を一時的に止めることは容易でない。一方、避難行動シミュレーションによる分析では、地震発生時における空間や人の行動特性を考慮した避難モデルを作成することにより、時間を選ばず安全に実験を行えるという利点を持っている。避難シミュレーションはルールなどの特性が必要なため、空間や人の特性については検討を行う必要がある。検討を行うことにより、現実的な結果を期待できる。シミュレーションはさまざまな条件下で繰り返し実験を行うことができるため、比較分析を行いやすい。このような利点を生かし、犠牲者を最小限に留める避難方法を見つけて提案することができる。

5. 避難行動シミュレーションの構築

5.1 対象地下街の概要

名古屋駅には日本の中で3番目に多くの路線の乗り入れがある。乗り入れ路線が一番多い東京駅は基本的に JR 線間の乗り換えで私鉄の乗り入れはない。多種多様な路線が乗り入れる名古屋駅は決して広くない敷地なので、路線を繋ぐ通路、地下街は迷路のように入組み、複雑化している。また、2027年開通予定のリニア中央新幹線により多くの来街者が利用することが予想され、災害時の避難の際混雑が起こることが考えられる。図1に名古屋駅周辺の入組んだ様子を示す。

本研究では名古屋駅周辺の地下街であるサンロード、メイチカ、テルミナ、ユニモール、エスカ、ミヤコ地下街、新名フード、ファッションワンと名古屋ルーセントタワーまでの地下通路を対象とする。地下街において地上につながる出口は全部で71箇所あるが、本研究では最悪の場合を想定するため、扉付の出口は使用できないものとし、通常時開放されている56箇所の出口を用いる。また、地下街に接続しているビルについては安全性を調査していないため、本研究では避難できないものとする。対象施設の中には案内板が24箇所、出口表示のある誘導サインは38箇所あり、「非常口」のサインについては今回使用しないものとする。

5.2 避難シミュレーションに使用するパラメータ

本研究では1stepを1秒とする。1つのセルを10m×10mとし、空間全体を100セル×82セルとする。表1のパラメ

ータを人のエージェントに与える。空間に地下街全体の png ファイルを背景として設定して、その地下街内に 273 の point を設置し、point と point の間にリンクを結び、道と階段を作成した。来街者は地下街の出口を知らないため point に到達すると次のリンクの繋がっている point にランダムに移動する。実証実験より、被験者は必ずしもサイン表示を見ていないことが得られたため、本研究では 60% の確率でサインを見て出口までの道のりを知ることができるようにする。人数も実証実験の録画映像から映像に映っている人の人数とその場の面積より算出し、4320 人とする。混雑時の人数は 8640 人、閑散時は 2160 人とする。また要援護者の速度を健常者のパラメータの半分とする。

5. 避難シミュレーションによる検討

本研究では来街者数の割合・人口密集度・要援護者・サイン表示の割合に着目し、試行パターンを決定した。本研究では来街者の変化による避難の困難度とサイン表示の必要性、利用者の多い通勤ラッシュ時や休日での避難困難度、要援護者の避難困難度を検討した。表 2 に試行したシミュレーションのパターンを示す。シミュレーションは 1 つのパターンに対して 10 回の試行を行い、得られた値の平均を求め分析を行う。

表 1 避難時の人のパラメータ

| | |
|---------------------|-------|
| 避難歩行速度(m/s) | 1.46 |
| 階段での歩行速度(m/s) | 0.53 |
| 混雑時の階段での歩行速度(m/s) | 0.41 |
| 目的地を探すための地図を見る時間(秒) | 18.63 |
| 混雑時の避難歩行速度(m/s) | 0.88 |

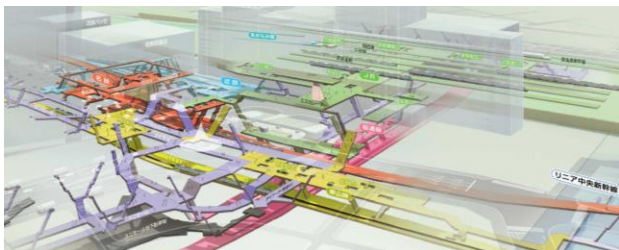


図 1 名古屋駅周辺の様子²⁾

表 2 避難シミュレーションのパターン

| case | 人の密集度 | 来街者割合(%) | サインの割合(%) |
|------|-------|-------------|-----------|
| 1 | 通常時 | 0 | 100 |
| 2 | 通常時 | 10 | 100 |
| 3 | 通常時 | 20 | 100 |
| 4 | 通常時 | 30 | 100 |
| 5 | 通常時 | 40 | 100 |
| 6 | 通常時 | 50 | 100 |
| 7 | 通常時 | 60 | 100 |
| 8 | 通常時 | 70 | 100 |
| 9 | 通常時 | 80 | 100 |
| 10 | 通常時 | 90 | 100 |
| 11 | 通常時 | 100 | 100 |
| 12 | 通常時 | 10 | 0 |
| 13 | 通常時 | 10 | 25 |
| 14 | 通常時 | 10 | 50 |
| 15 | 通常時 | 10 | 75 |
| 16 | 通常時 | 10 | 125 |
| 17 | 通常時 | 30 | 0 |
| 18 | 通常時 | 30 | 25 |
| 19 | 通常時 | 30 | 50 |
| 20 | 通常時 | 30 | 75 |
| 21 | 通常時 | 30 | 125 |
| 22 | 通常時 | 60 | 0 |
| 23 | 通常時 | 60 | 25 |
| 24 | 通常時 | 60 | 50 |
| 25 | 通常時 | 60 | 75 |
| 26 | 通常時 | 60 | 125 |
| 27 | 閑散時 | 30 | 100 |
| 28 | 混雑時 | 30 | 100 |
| 29 | 通常時 | 0 (要援護者10%) | 100 |

6. 避難シミュレーション結果の分析

case4, case27, case28 の結果を図 2 に示す。図 2 より人口密集度による避難完了時間の違いがわかる。混雑時の避難完了時間が一番長くなることが読み取れる。避難困難度は閑散時、通常時、混雑時の順に高くなり、一番高い混雑時の避難完了時間は通常時の避難完了時間の 1.05 倍、閑散時の 1.17 倍となった。

case4, case29 の結果を図 3 に示す。図 3 より要援護者を考慮した避難完了時間がわかる。要援護者を考慮した場合、避難完了時間が 1.22 倍かかることが読み取れる。

case1~case11 の結果を図 4 に示す。図 4 より来街者の割合による避難完了時間の推移がわかる。来街者の割合が増えると地上への出口を探すのに時間がかかり、避難完了時間は長くなっていくが 30%を超えると避難時間の増加の割合が小さくなる。よって、地下街から避難する困難度に関して来街者割合 20%~30%が閾値となる。

case1, case4, case7, case12~case26 の結果を図 5 に示す。図 5 よりサイン表示の箇所数の変動による避難完了時間の推移がわかる。現在のサイン表示の設置箇所数を 100%として、その割合を変動させ、サイン表示の必要性を読み取る。サイン表示の割合を 75%以下にすると避難完了時間は飛躍的に長くなる。故に、サイン表示割合 75%が閾値となる。来街者の割合が大きいほど、サイン表示が多く必要なことが見て取れる。

7. まとめ

本論では名古屋駅周辺の地下街からの避難の困難度の算出を目的として、実証実験のデータを基に避難シミュレーションを行った。今後、東京オリンピック開催により名古屋駅周辺の地下街に来街者が増えることが予想されるが、災害対策のためにもサイン表示による誘導が非常に有効であることがわかった。

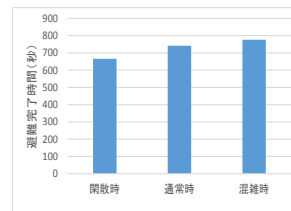


図 2 人口密集度による避難完了時間

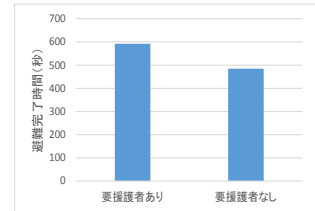


図 3 要援護者を考慮した避難完了時間

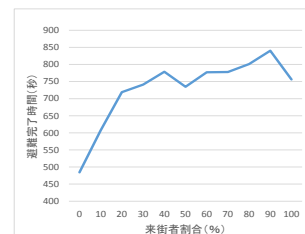


図 4 来街者割合の変動による避難完了時間の推移

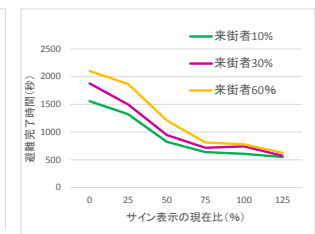


図 5 サイン表示の箇所数の変動による避難完了時間の推移

参考資料

- 1) 森山修治, 長谷見雄二, 小川純子, 佐野友紀, 神志久, 蛇石貴宏: 大規模地下街における避難行動特性に関する実験研究—実験概要と避難経路・避難出口の選択性—, 日本建築学会環境論文集, pp233-240, 2009.3
- 2) 中日新聞, 「迷駅」返上なるか, pp18-19, 2014.10.9