

# 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

## Simulation of Evacuation at Nagoya Station based on the Field Experiment.

名古屋大学 青山純也  
Nagoya University Junya Aoyama

### 1 序論

現在、私たちの生活の中で地下空間を使う機会が増えてきている。地下空間の利用としては地下鉄やデパ地下、地下街など様々である。地下空間の利用が増える一方、地下空間での事故などの問題が起こっている。そして、その中の地下街でも火災や浸水による事故の事例は複数確認されている。1980年8月16日静岡駅前地下ゴールデン街での爆発事故や、2003年2月18日韓国大邱での地下鉄火災、1999年6月29日福岡県の天神地下街での浸水事故など多くの被害が地下街で起きている。これらの事例から地下街の火災や水害については様々な対策について考えられてきた。

今年で兵庫県南部地震から20年という月日が経って、兵庫県南部地震で起こった様々な問題について考えられてきた。兵庫県南部地震では日本で初めて地震による地下鉄の被害があり、地震による地下鉄の被害は世界的にも珍しいものだった。神戸市の大開駅近郊では、天井が崩落し中央にある支柱が押しつぶされ、上を走る国道28号が陥没した。地下街の被害はあまり報告されていないが、地震の直撃を受けた三宮にある地下街「さんちか」ではガラスが割れ、天井が剥離した。

地震による地下街の被害の事例として、今後30年以内に70%の確率<sup>1-2)</sup>で起こるとされる南海トラフ地震では地下街が多く存在する都市部での大きな被害が予想されている。そのため多くの人々が毎日利用する地下街での地震時の避難は至急対策が必要である。

地下街避難に関する既往研究には、森山ら<sup>1-3)</sup>の地下街での災害時の避難行動特性の実験研究がある。被験者は学生80人で20人ごとの組に分けて地下街の4箇所を出発点とした。班員20人の内3人にインスタントシニアを着用させた。地下街の交差点にカメラを設置し、出口の数と誘導灯の有無で5つのパターンの実験を行い、誘導灯による交差点での通路選択の変化を調査した。そこで、被験者の通常時の歩行速度平均値は1.40m/s（健全者1.55m/s、シニア1.24m/s）であり、混雑時は健全者0.86m/s、シニア0.88m/sであることがわかった。この結果を後述のシミュレーションのルールの参考とする。

名古屋市<sup>14)</sup>によると、南海トラフ地震での名古屋の被害規模はあらゆる可能性を考慮した最大クラスの地震の場合、死亡者約 6700 人、重傷者約 3000 人、軽傷者約 12000 人に及ぶと予想されている。名古屋市の中でも南区、港区、中川区、中村区の 4 区で名古屋市の死亡者の 8 割に及ぶ予想である。名古屋駅は中村区に立地しているため、大きな被害が予想される。

本論文で研究対象とする名古屋駅周辺の地下は「迷駅」と呼ばれている。それは、国内の主要駅と比べても、名古屋駅に集まる鉄道路線の多様性は抜きんでているからである。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<sup>15)</sup>がある。1 日に世界最多の約 330 万人が利用する新宿駅は、乗り入れ路線数こそ名古屋駅を上回るが、新幹線がなく、2027 年に開通予定のリニア中央新幹線の駅もできない。乗り入れ路線数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。新幹線から国際空港への乗り換え駅という面では、羽田空港と直結する品川駅が名古屋駅と似ていて、リニア中央新幹線も開通するが、地下鉄の乗り入れもなく、乗り入れる路線数も名古屋駅に比べて 3 本少なく、構内は比較的わかりやすい構造となっている。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乱が起こることが考えられる。

本論文では名古屋の中心部のひとつである名古屋駅周辺の地下街からの避難について考える。名古屋駅周辺の地下街からの避難時間を混雑具合などのパターン毎に算出して避難困難度を明らかにする。

## 2 名古屋駅周辺の地下街からの避難実験

### 2.1 名古屋駅周辺の地下街からの避難実験の概要

表示灯株式会社の実証実験に参加し名古屋駅周辺の地下街からの避難の実態について調べた。概要を以下に示す。

日程

2014年11月29日(土)

場所

名古屋駅東山線・桜通線構内とその周辺の地下街及び地上

実証実験の内容

日本人10人と留学生10人の合計20人を被験者として実験を行った。被験者の概要を表2.1に示す。被験者は地下鉄の構内にいる時に地震が起こったことを想定して緊急避難場所の笹島小学校・中学校に避難する。被験者一人ひとりに記録者を付け、被験者が通った道を記録する。被験者は目線カメラを装着し、避難時に見ていたものを常時記録する。被験者は他の人に場所を聞くこと、携帯を使用することは禁止された状態で地下街や地上にある案内板や誘導サインを頼りに避難する。制限時間は30分として、制限時間内に目的地に到達できなければ避難失敗とする。被験者は記録者とともに実験終了後に目線カメラで録画した映像を見て案内板や誘導サインを見たか、どのように目線が動くかを確認した。また、被験者に対して誘導サインや避難についてのアンケートをした。

表 2.1 被験者の概要

NO	性別	年齢	国籍	滞在歴
1	男性20代	25	日本	
2	女性30代	37	日本	
3	男性40代	47	日本	
4	女性50代	51	日本	
5	男性60代	65	日本	
6	女性20代	26	日本	
7	男性30代	36	日本	
8	女性40代	47	日本	
9	男性50代	51	日本	
10	女性60代	65	日本	
11	男性	33	韓国	8年6ヶ月
12	女性	24	中国	1年
13	男性	26	中国	2年7ヶ月
14	女性	26	中国	2年
15	男性	28	中国	3年
16	女性	23	中国	1年
17	男性	29	中国	3年
18	女性	24	中国	1年
19	男性	31	アメリカ	8年
20	女性	22	中国	6ヶ月

## 2.2 名古屋周辺の地下街からの避難実験の分析

実証実験より得られた結果について以下に述べる。

20人の被験者に付けた目線カメラの録画映像と記録係のつけた道順の記録を検証し、避難行動の特性を明らかにした。今回は特に後述のシミュレーションに用いるパラメータの「避難歩行速度」と「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」について調べた。

「避難歩行速度」については被験者が途中で立ち止まることなく50秒以上直進していた箇所での避難歩行速度を算出し、数箇所での避難歩行速度での平均を算出した。「階段での歩行速度」については1段当たりにかかる時間を算出し、平均踏み面30cmから階段での歩行速度を算出した。「混雑時の階段での歩行速度」については前方に人がいた場合の階段での歩行速度を算出した。「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。

上記4つのパラメータの結果を表3.2.7に示す。前述の既往研究<sup>1-5)</sup>の地下街での避難速度1.40m/sと本実験より得られた「避難歩行速度」とほとんど同じ値となった。また、本実験から得られなかった「混雑時での避難歩行速度」については既往研究の値、0.88m/sを後述のシミュレーションの値として用いることとする。

なお、シミュレーションで用いる「誘導サインを見る時間」については、20人の被験者全てに立ち止まらず見ている傾向があったため、シミュレーションでも誘導サインを見ることでの時間のロスは考慮しないが、誘導サインを見る確率は60%としてシミュレーションで求める。

	避難歩行速度(m/s)	階段での歩行速度(m/s)	混雑時の階段での歩行速度(m/s)	目的地を探すための地図を見る時間(秒)
①	1.91	0.710	0.428	-
②	1.41	0.578	-	-
③	1.10	0.450	0.420	10
④	1.32	0.550	0.420	39.33
⑤	1.52	0.564	0.393	31
⑥	1.35	0.600	-	-
⑦	1.46	0.562	-	11
⑧	1.61	0.573	-	7
⑨	1.47	0.649	0.429	10
⑩	1.34	0.499	-	-
⑪	1.62	0.630	-	4
⑫	1.40	0.575	0.485	22.5
⑬	1.40	0.581	0.420	43
⑭	1.17	0.480	0.371	33
⑮	1.59	0.583	0.420	13
⑯	1.44	0.472	-	20
⑰	1.71	0.600	-	6
⑱	1.64	0.455	-	19.66
⑲	1.40	0.644	-	-
⑳	1.33	0.533	-	10
平均	1.46	0.532	0.419	18.63

### 3 避難シミュレーションの構築

#### 3.1 対象地下街の設定

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18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。階段に関しては出口と地下街を繋げる56箇所と地下街内に8箇所あり、階段を考慮に入れる。

対象地下街は図3.1に示す縦に約820m、横に約1000mの区間である。本研究では地上での混雑は考慮しないものし、地下街内での避難を考える。



図 3.1 名古屋駅周辺の地下街の様子

#### 3.2 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4.2.1のパラメータを人のエージェントに与える。空間に図4.2.1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。人数は実証実験の録画映像から映像に映っている人数とその場の面積より算出した結果、4320人とする。混雑時の人数は通常時の人数の倍である8640人、閑散時は半分である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。サイン表示は前節で述べたように、案内板が18箇所、サイン表示が38箇所あり、内2箇所はサイン表示と案内板が同じ場所にあった。pointの上にサイン表示や出口などのエージェントを設置し、人エージェントがそのpointに来ると人エージェントに道順を教えることや、速度が変わるルールを与えるようにする。

表 3.1 避難時の人のパラメータ

避難歩行速度(m/s)	階段での歩行速度(m/s)	混雑時の階段での歩行速度(m/s)	目的地を探すための地図を見る時間(秒)	混雑時の避難歩行速度(m/s)
平均 1.46	0.532	0.419	18.63	0.88

### 3.3 避難行動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、試行パターンの条件を決定した。

表 3.2 に試行したシミュレーションのパターンを示す。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。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。サイン表示の割合に関しては現在、名古屋駅周辺の地下街内にある54箇所を100%とし、75%は41箇所、50%は27箇所、25%は14箇所と実際にあるサイン表示を適当に選び残した。また、125%に関しては現在、地下街にある54箇所のサイン表示に加え、迷いやすい14箇所に仮想的に設置した。

図 3.2 では実際に作成した地下街の避難行動シミュレーションを示す。図 4.2.2 は case6 の条件時のシミュレーションである。●が人エージェントを表している。青色は土地勘があり、出口までの道順を知っている人エージェント、緑色は土地勘のない来街者であり、出口をランダムに探す人エージェント、黄色は階段を歩行している人エージェント、赤はサイン表示を見ている人を表している。▲はサイン表示・案内板エージェントを表している。

表 3.2 試行した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

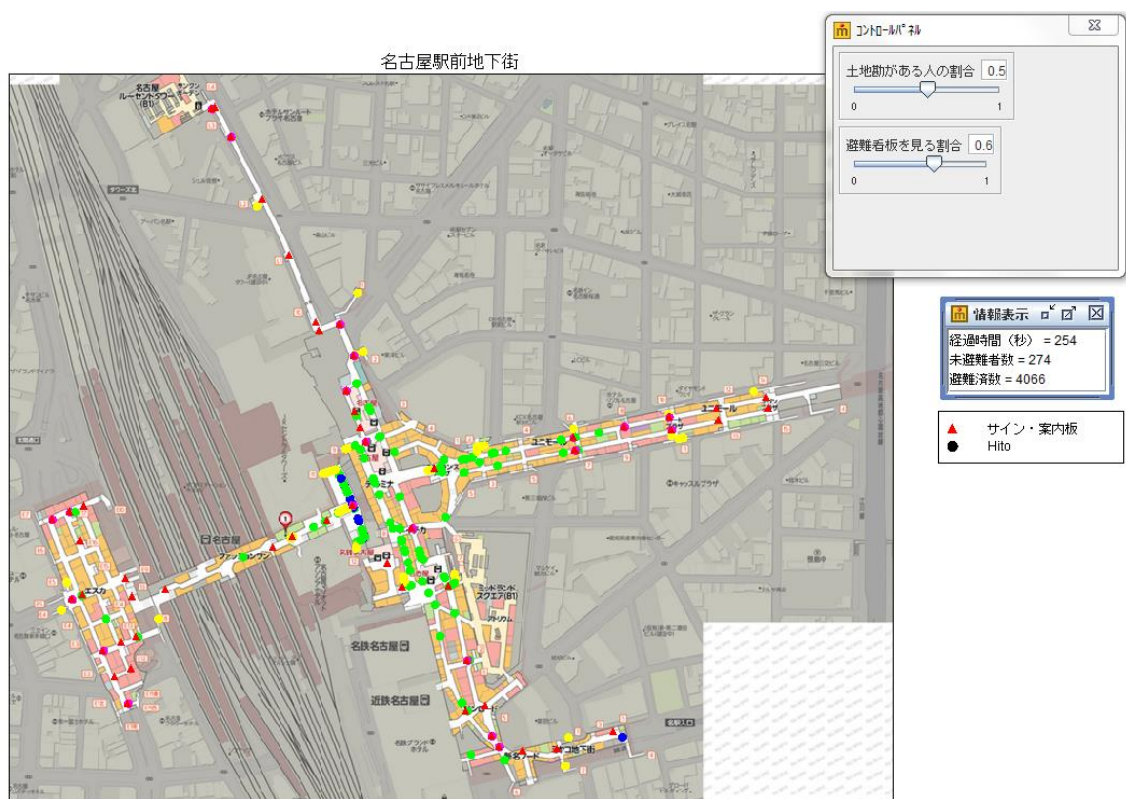


図 3.2 避難行動シミュレーションの様子

#### 4 避難行動シミュレーションの結果と分析

表 4.1 に本研究でシミュレーションによって求めた避難完了時間を示す。

case4、case27、case28 の結果の比較を図 4.1 に示す。図 4.1 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 の結果の比較を図 4.2 に示す。図 4.2 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 の結果の推移を図 4.3 に示す。図 4.3 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 の結果の推移を図 4.4 に示す。図 4.4 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くほど、サイン表示が多く必要なことが見て取れる。

表 4.1 パターン毎の避難完了時間

case	避難完了時間(秒)
1	484.4
2	607
3	713
4	741.2
5	778.8
6	734.9
7	777.3
8	777.9
9	801.4
10	840.2
11	756.3
12	1556.9
13	1322.3
14	824.3
15	638
16	550.2
17	1877.9
18	1496.8
19	946.9
20	716.5
21	572.4
22	2101.1
23	1865.3
24	1207.3
25	812.8
26	623.5
27	665.6
28	776.1
29	592.1

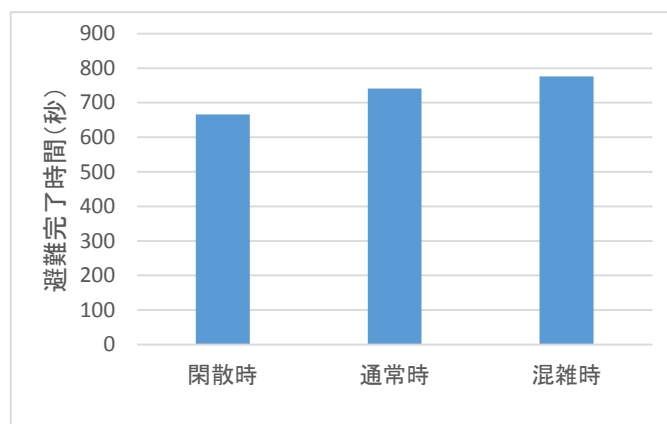


図 4.1 人口密集度による避難完了時間



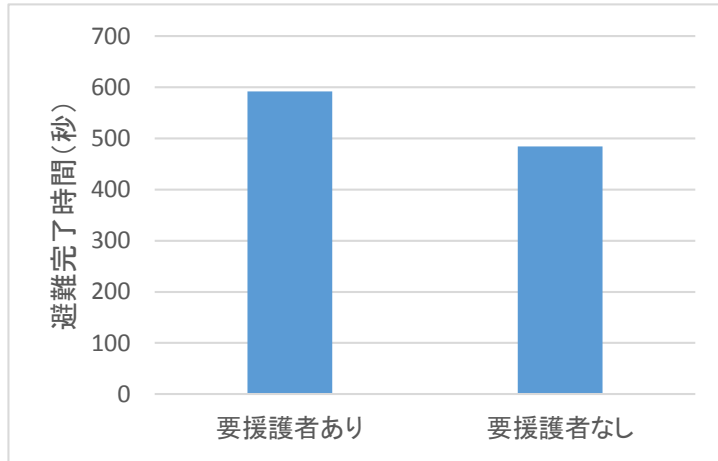


図 4.2 要援護者を考慮した避難完了時間

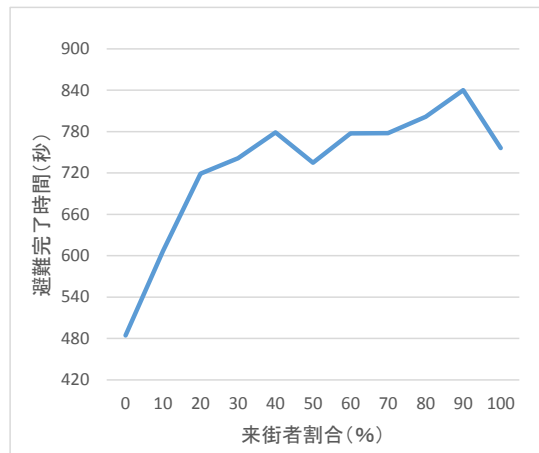


図 4.3 来街者割合の変動による避難完了時間の推移

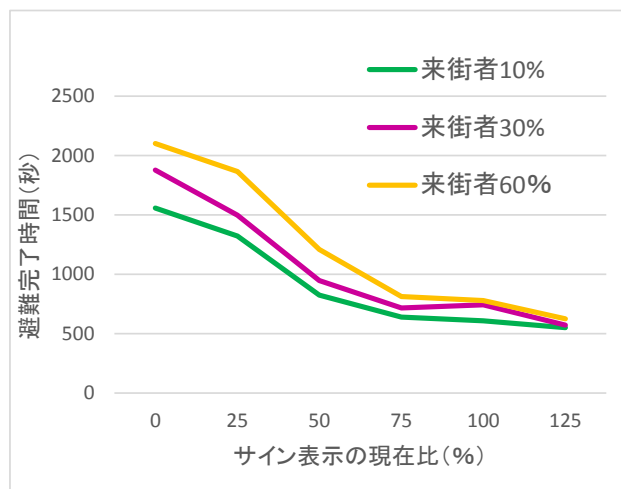


図 4.4 サイン表示の箇所数の変動による避難完了時間の推移

## 5. 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。

## 6. 参考文献

- 1-1) パシフィックコンサルタンツ(株)本社総合研究所都市防災室：平成7年 阪神大震災（兵庫県南部地震）被害調査報告書、pp118-128、1995
- 1-2) 地震調査研究推進本部 南海トラフの地震活動の長期評価  
<http://www.jishin.go.jp/main/index.html>
- 1-3) 名古屋市のホームページ（2015年1月19日アクセス）  
<http://www.city.nagoya.jp/index.html>
- 1-4) 森山修治、長谷見雄二、小川純子、佐野友紀、神忠久、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
- 1-5) 中日新聞：「迷駅」返上なるか、pp18-19、2014.10.9