

地震に関わる複合災害を考慮した 大規模地下街における避難行動分析 -名古屋駅周辺地下街における 避難シミュレーションを事例として-

名古屋大学大学院 青山純也

1. 研究の背景と目的

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きている。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。また、兵庫県南部地震で初めて地震による地下鉄の被害があり、地震による地下空間の被害は世界的にも珍しいものだった。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、天井の剥離が確認された。図1に当時の被害の様子を示す。¹⁾ 1930年4月1日に開業した上野駅の地下街が日本で最古の地下街であるが、以降日本では、地下街のある都市で大規模な地震の発生は少ない。そのため、地震による地下街の被害の研究もほとんどされていない現状がある。

地震による地下街の被害は、今後30年以内に70%の確率²⁾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。

2011年3月11日に日本の太平洋三陸沖を震源にして発生した東北地方太平洋沖地震では、日本の観測史上最大のモーメントマグニチュード9.0であった。そして、地震を起因にして発生した津波により死者18,131人、行方不明者2,829人、負傷者6,194人³⁾

(平成25年9月時)の甚大な被害が起こった。人的被害の主要な要因としては兵庫県南部地震では建物倒壊で、東北地方太平洋沖地震では津波によるものであった。以上のことより、自然災害時に起こりうる全ての事象を予想することは困難である。そのため、南海トラフ地震時、地震を起因として様々な災害が起こる可能性が考えられる。

本論文では、2027年に東京・名古屋間の開通を目指すリニア中央新幹線に向け開発の行われている名古屋駅周辺を事例として、大規模地下空間からの避難について考える。大規模地下空間から災害毎に異なる避難目的地への避難を、避難時間を基に、災害や避難誘導の有無などパターン毎に算出して避難困難度を明らかにする。



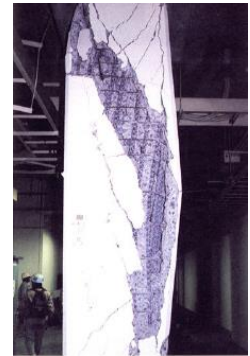
a) 神戸高速大開駅 階段部の被害



b) 神戸高速大開駅の通路部の被害



c) 神戸大開駅の中柱の被害



d) 市交通局上沢駅の柱の被害

図1 兵庫県南部地震における被害の様子

2. 複合災害の定義と研究の位置づけ

本研究における複合災害とは、地震を起因に火災、津波、滞留者による過密空間の発生など複数の災害が同時に発生することで、単一の災害に比べて被害がより拡大し、避難困難度が高くなる災害事象であると定義する。一空間において同じ時刻に複数の災害に襲われることで、人の選択する避難行動が変化し、混乱が増すことが予想される。

東日本大震災で被害を受けた仙台市交通局では、現在も、災害に対して独立した対応マニュアルになっており、複合災害の考慮がされていないことがヒアリングから明らかとなった。行政、民間ともに災害時の行動について、マニュアルを作成し、非常事態の対応について考えられている。事前に起こるであろうことを予想し、対策を考えるため、複合災害など実態の捉えにくい事象については考慮されていないのが現実である。東日本大震災の際、利用客などの避難者の対応、避難誘導、安全確認に多くの人員が必要となり、人員不足の課題が見えた。予めマニュアルがある災害についても避難に関して人員不足となっているが、起こりうる災害について考えていくことは重要である。

名古屋駅に関して、名古屋大学の川崎浩司准教授の研究によると、東海・東南海・南海の三連動地震がマグニチュード9.0の規模で発生し、高潮防潮堤をはじめ名古屋港一帯の津波を遮る構造物が地震による地盤沈下や倒壊で昨日を失う最悪のケースでは、名古屋駅でも津波の被害が起こる可能性がある。

実際、名古屋駅周辺の地下街と接続する隣接ビルのミッドランドスクエアでの防災訓練では南海トラフ地震を想定している。南海トラフ地震に発生時の初動訓練で、地震だけでなく、2次災害として火災の発生や津波が来ることを想定して訓練を行っている。訓練を多く行うことで、マニュアルに頼らず、体で覚えて、状況下で臨機応変に対応できる力がつく。

複合災害の考え方は少なからず取り入れ始めている。今後起こるとされている南海トラフ地震に向けて至急対策が必要である。

論文検索を行い、複合災害についての研究を調べる。論文検索サイトCiNiiの検索結果を表1に示す。既往研究では、複合災害のシミュレーション研究は今までに2件行なわれている。浅井ら⁴⁾の研究では津波被害が構造物の破壊、地盤の洗掘、漂流物によ

る衝突など、複数の物理が同時に起こる複合災害であり、数値予測が困難であるが、粒子法を用いてこの現象のシミュレーションを実施した。戸田ら⁵⁾の研究では洪水氾濫や土砂災害の予想から避難警報に至るまでをシステム化する課程で、大雨から洪水氾濫が起こるまでのシミュレーションを構築した。既往の複合災害シミュレーション研究は複数の災害が同時に発生する事例とは異なるため、本研究は今までにない新しい研究と位置付ける。

表1 CiNiiによる論文検索の検索結果数

検索ワード	件数
避難 シミュレーション	956
災害 避難 シミュレーション	245
地震 避難 シミュレーション	170
火災 避難 シミュレーション	148
津波 避難 シミュレーション	138
洪水 避難 シミュレーション	28
水害 避難 シミュレーション	31
浸水 避難 シミュレーション	46
地下街 シミュレーション	75
地下街 避難 シミュレーション	43
複合災害	189
複合災害 避難	16
複合災害 シミュレーション	2
複合災害 避難 シミュレーション	1

3. 複合災害避難行動シミュレーションの前提

3.1 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。

3.2 単一災害避難行動シミュレーション モデルによる事前検討

3.2.1 名古屋駅避難実証実験の概要

2014年11月29日に表示灯株式会社と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。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。被験者は地下鉄駅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と目線カメラを付けて、避難時のことを記録する。被験者は地下街や地上にある案内板や誘導サインからの情報のみを頼りに避難する。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。

3.2.2 名古屋駅避難実証実験の結果

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。

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とは考慮

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。表2に分析結果を示す。

表2 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

3.2.3 単一災害避難行動シミュレーション モデルの構築

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と名古屋駅周辺の地上部を対象とする。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。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。

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2のパラメータを人のエージェントに与える。空間に地下街全体とその地上部のpngファイルを背景として設定して、その地下街内に298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。

本検討では来街者数の割合・サイン表示の割合に着目し、試行パターンを決定した。本検討で

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を検討した。単一災害は地震発生により、火災が発生する恐れがあり、避難目的地は地上に繋がる出口とする。シミュレーションは1つのパターンに対して100回の試行を行い、得られた避難完了時間の平均を求め分析を行う。サイン表示の割合は実証実験時の名古屋駅周辺の地下街内にある54箇所を基準にして、サイン表示75%で41箇所、サイン表示50%で27箇所、サイン表示割合25%で14箇所を実際にあるサイン表示より地下街毎のサイン表示の割合が変化しないように選び残した。また、サイン表示割合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、交差路など迷いやすい場所に仮想的に14箇所設置した。

空間内に人エージェントを生成し、各エージェントにカテゴリを持たせて、土地勘があり、避難目的地までの道順を知っている避難モードの人エージェント、土地勘がなく、避難目的地をランダムに探す来街者モードの人エージェントとした。本検討では、来街者の迷いやすさとサイン表示の効果を算出するため、エージェント間での追従行為によるエージェント間のモード変更は行われないものとする。

3.2.4 単一災害避難行動シミュレーション分析

図2から来街者の割合と避難完了時間の関係がわかる。追従を考慮していないため、来街者は避難目的地を自力で探すか、サイン表示により避難目的地までの道のりを確認する。よって、来街者の割合が増えることにより、避難目的地を探すのに時間がかかり、避難完了時間が長くなる。図2のグラフから来街者の割合が40%を超えると避難完了時間の増加の割合が小さくなることから、避難困難度に影響を与える閾値は来街者の割合は40%である。

図3から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。サイン表示の箇所数を変動させ、サイン表示の必要性を読み取る。また、来街者の割合によってサイン表示の箇所数の効果について算出する。サイン表示の箇所数を減らすと来街者が避難目的地を知る可能性が低くなるため、避難時間は飛躍的に伸びていることがわかる。サイン表示割合75%以下にすると飛躍的に避難完了時間が長くなる。故に、避難困難度に影響を与える閾値はサイン表示の割合は75%である。また、来街者の割合が大きいほど、サイン表示が多く必要であることは明らかで

あるが、サイン表示割合125%の時、来街者の割合に関係なく、避難完了時間は一定である。

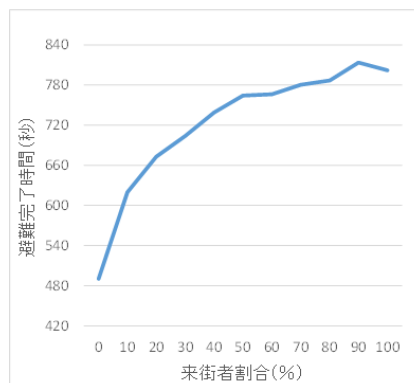


図2 来街者割合の変動による避難完了時間の推移

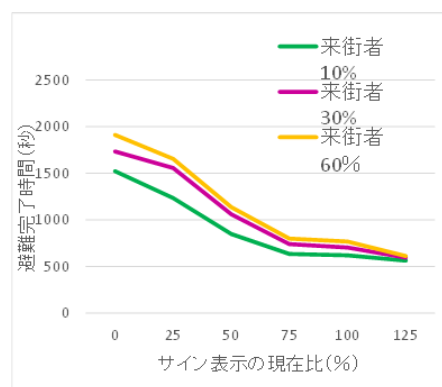


図3 サイン表示箇所数の変動による避難完了時間の推移

4. 名古屋駅の示唆

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出ている。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。名古屋駅地下の様子を図4に示す。⁶⁾

また、地下街以外にも名古屋駅周辺地上部も調査したところ、案内板の数が少ないことが明らかとなった。図5に示すのは名古屋駅周辺の案内板の一部である。図5が示すようにもともと地図・案内表示として使用されていたが年月が経つにつれて文字が薄くなり、地図がはがれている案内表示が多く存在した。また、名古屋駅周辺の案内板では、現在地は赤字になっているため自分が今いる場所を特定することは容易であるが、周りの施設については黒文字でピクトなどを用いていないため、災害時の避難場所や、避難所などの場所を探すことは困難である。2027年のリニア中央新幹線開通に向けて、名古屋駅周辺の開発が行われるにつれ、図6のような案内板の設置も行われているため、本研究でサイン表示の必要性が示すことによって、新しく、災害時のことを考えた考慮した案内板の設置が望ましいことが明らかとなる。

名古屋駅周辺には地下街、案内板の問題だけでなく、広域避難場所についての問題もある。図7に名古屋駅周辺の避難所マップを示す。⁷⁾名古屋駅周辺には平らな空間が少なく、広域な公園などが無い。そのため、図7からも明らかのように避難場所が設定されていない。避難所とは、災害によって避難生活を余儀なくされた場合に、一定期間の避難生活を行う施設で「収容避難場所」という。災害時の危険を回避するために一時的に避難する場所のことで「緊急避難場所」という。名古屋駅周辺で火災、地震が発生した際、避難する場所は緊急避難場所であるが、図7に示したように現在の名古屋駅には避難すべき明確な場所がない。名古屋駅の再開発により、広域な公園や広場が設けられることによって、新たに名古屋駅周辺の様子が変わる必要がある。

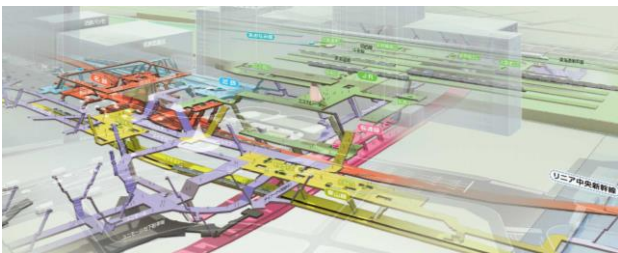


図4 名古屋駅地下街及び繋ぐ通路の様子



図5 名古屋駅周辺に設置された案内板の様子



図6 名古屋駅周辺の災害表示のある案内板の様子



図7 名古屋駅周辺の避難所マップ

5. 複合災害避難行動シミュレーション

モデルの概要

5.1 対象空間の概要

対象空間の地下街部分については事前検討と同様とする。また、名古屋駅周辺には多くのビルが建ち並ぶが、地震発生時の安全性は不確かであり、名古屋駅周辺には津波避難ビルの指定がされていないため、本研究では地下街と隣接するビル、JR セントラルタワーズ、ミッドランドスクエア、ルーセントタワー、ビックカメラ名古屋駅西店、センチュリー豊田ビル、第一堀内ビル、キャッスルプラザホテル、松岡ビル、国際センタービル、名鉄百貨店、近鉄百貨店、東洋ビルディングを使用することとする。また、対象の接続ビルは全て 6 階以上の建物であるため、避難者を受け入れるのに十分な広さがあるといえる。

地上の対象避難空間は当該地下街と避難空間と同じとする。火災時の避難目的地に設定する笹島小中学校の掲載されていないサイン表示を除いた 16 箇所とする。16 箇所全て案内板である。また、名古屋駅の東西は JR セントラルタワーズによって分断されているが、災害時の避難の際も JR セントラルタワーズ内を通行可能とする。地下街の 298 の point に加えて、地上には 240 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。地上での避難者は水野の既往研究⁸⁾と現地での計測を基に 4370 人とする。対象避難空間は図 8・図 9 に示す縦に約 820m、横に約 1000m の区間である。



図 8 名古屋駅周辺の地下街の様子



図 9 名古屋駅周辺の地上の様子

5.2 複合災害避難行動シミュレーションモデルに用いたエージェントの種類

本研究で作成した複合災害避難行動シミュレーションモデルに用いたエージェントを以下に示す。

・人エージェント

各々にカテゴリーを持たせて、火災危険意識避難モード・津波危険意識避難モード・来街者モードとした。来街者モードの人エージェントは交差点エージェントに着いた時に、今までにきた道とは別の任意の道リンクを選び、次の交差点エージェントを目指す。そして、行き止まりに着いた際は引き返して、新たな避難経路を探す。火災危険意識避難モードの人エージェントは現在地から笹島小中学校までの最短避難経路を知っており、最短避難経路で移動する。津波危険意識避難モードの人エージェントは現在地から一番近い使用可能な隣接ビルまでの最短避難経路を知っており、最短避難経路で移動する。

人エージェントは名古屋駅周辺の避難実証実験時のパラメータを基に移動速度を設定する。

・交差点エージェント

交差点エージェントに着いた時、人エージェントは自分の周囲 3m 以内の人エージェントのカテゴリーを調べて、一番多いカテゴリーに任意の確率で変化する。

・案内板エージェント

案内板エージェントに来街者モードの人エージェントが着いた時、60%の確率で案内板を見つけて、その場で 20step 停止をして、設定した災害の危険意識避難モードに移行して避難目的地まで移動する。本研究では案内板を見るだけで今起きている災害もわかることから、災害表示の出るサインエージが設置してあることとする。

・サインエージェント

サインエージェントに来街者モードの人エージェントは 60%の確率でサインを見つけて、火災発生時は一番近い地上に繋がる出口までの道を知り避難を行い、津波発生時は一番近い地下街へ隣接するビルに避難を行う。

・階段エージェント

人エージェントが階段エージェントにきた時、人エージェントは地下街のレイヤーから地上のレイヤーに移動する。

・避難誘導エージェント

20step 時に発生し、避難誘導エージェントは来街者モードの人エージェントと同じ動きをして、交差点エージェントに着いた時に、今までにきた道とは別の任意の道リンクを選び、次の交差点エージェントを目指す。避難誘導エージェントは周囲 3m 以内にいる人エージェントを設定した災害の危険意識避難モードに移行して避難目的地まで移動する。600step 後に避難誘導エージェントは避難誘導を行いながら、最短ルートで避難目的地まで移動する。

・ゴールポイントエージェント

火災発生時は笹島小中学校を避難目的地、津波発生時は地下街と隣接する接続ビルを避難目的地とする。人エージェントがゴールポイントエージェントに着いた際、避難目的地である場合、避難完了とする。避難目的地でない場合、避難未完了として避難者は来街者モードとなる。

・道リンク

交差点エージェント、サインエージェント、案内板エージェント、階段エージェント、ゴールポイントエージェントを結び、階段リンクか平坦な道リンクか判断して、人エージェントと避難誘導エージェントは階段リンクの上を移動するとき、移動速度が低減する。

5.3 複合災害避難行動シミュレーション

モデルのルール

本研究では、避難者の災害意識に注目して避難行動シミュレーションモデルを構築した。複合災害のシミュレーションの可視化を目的とする。本シミュレーションモデルでは、交差点エージェント間をリンクで結び、ネットワークを構築し、人エージェントはそのリンクの上を移動する。人エージェントは交差点エージェントに着くと次の交差点エージェントの方向に向きを変えて、移動をする。地

震発生により、津波もしくは火災が発生する恐れがあり、避難目的地は津波が発生した際は接続ビル、火災が発生した際は笹島小中学校とする。避難目的地までの最短経路は予め、ダイクストラ法を用いて、各交差点エージェント、案内板エージェントからの最短経路を算出した。算出した結果を各エージェントに記憶させて、人エージェントは各エージェントから最短経路を抽出し、避難目的地に移動を行う。正規のダイクストラ法では、各エージェントに到着する毎に、計算を行い、道が封鎖されている際などの状況の変化後の最短経路で移動することができる。しかし、本研究のような大規模な人数の避難を考える場合、各人エージェントが最短経路を計算することにより、莫大な時間がかかってしまう。本研究では、シミュレーションの途中で使用できないエージェントが発生しないことから、簡易版のダイクストラ法を用いる。サイン表示の割合 125%の時は現在あるサイン表示に地下街 14 箇所、地上 4 箇所を増やした合計、地下街 68 箇所、地上 20 箇所とした。追加したサイン表示は交差点や周辺にサイン表示のない箇所に適当に設置する。ビル使用可能数 50%の時はビルの竣工年数の新しい 6 箇所を使用するものとする。表 3 に名古屋駅周辺のビルの竣工年数を示す。単一災害シミュレーションの結果を参考に、来街者割合を 40%とする。サイン表示割合 125%の時を考慮するものとする。

本検討ではサイン表示、追従、避難誘導の効果について示す。本シミュレーションの条件を表 4 に示す。図 10 では実際に構築した複合災害避難行動シミュレーションを示す。人エージェントにはカテゴリーを待たせて、土地勘があり、火災危険意識を持ち、笹島小中学校を目的に最短の道順で避難する人エージェント(火災危険意識避難モード)、土地勘があり、津波危険意識を持ち、地下街と接続するビルを目的に最短の道順で避難する人エージェント(津波危険意識避難モード)、緑色は土地勘がなく、避難目的地をランダムに探す来街者モードの人エージェントを生成し、避難誘導エージェントは、周囲 3m の人を入エージェントに正しい避難目的地を教えながらランダムに移動し、600step が経過すると自らも避難目的地に避難を行う。

エージェント間での追従行為によるエージェント間のモード変更が行われるものとする。火災危険意

識避難モードの避難者・津波意識意見避難モードの避難者は各々、周囲 3m以内に自分と異なるモードの避難者が自分と同じモードの避難者の数を上回る時任意の確率でモードの変更が行われる。また、来街者モードの人は周囲 3m以内にいるモードの中でもっと多いモードに任意の確率でモード変更を行う。

表3 名古屋駅周辺地下街に接続する隣接ビルの竣工年数

ビル名称	竣工年数
ルーセントタワー	2007年1月
ミッドランドスクエア	2006年9月
ピックカメラ名古屋駅西店	2003年
センチュリー豊田ビル	2002年12月
JRセントラルタワーズ	1999年12月
松岡ビル	1988年2月
国際センタービル	1984年6月
キャッスルプラザホテル	1981年
近鉄ビル	1966年
東洋ビルディング	1966年2月
第一堀内ビル	1964年
名鉄ビル	1957年

表4 試行する避難行動シミュレーションの条件

避難者意識	災害	避難目的地	ビル使用可能数 6 or 12	サイン表示数 100% or 125%	避難誘導数	
					追従確率 来:30%/危:10% 来:50%/危:20%	誘導確率:10人 or 20人 来:100%/危:100% or 追従と同じ
単一:火災	火災	笠島小中学校	12箇所	100% or 125%	来:30%/危:10%	10人 / 追従と同じ確率
					or 来:50%/危:20%	10人 / 100% / 100% 20人 / 追従と同じ確率 20人 / 100% / 100%
単一:津波	津波	接続ビル	12箇所 or 6箇所	100% or 125%	来:30%/危:10%	10人 / 追従と同じ確率
					or 来:50%/危:20%	10人 / 100% / 100% 20人 / 追従と同じ確率 20人 / 追従と同じ確率
複合災害	火災	笠島小中学校	12箇所	100% or 125%	来:30%/危:10%	10人 / 追従と同じ確率
					or 来:50%/危:20%	10人 / 100% / 100% 20人 / 追従と同じ確率 20人 / 追従と同じ確率
複合災害	津波	接続ビル	12箇所 or 6箇所	100% or 125%	来:30%/危:10%	10人 / 追従と同じ確率
					or 来:50%/危:20%	10人 / 100% / 100% 20人 / 追従と同じ確率 20人 / 100% / 100%

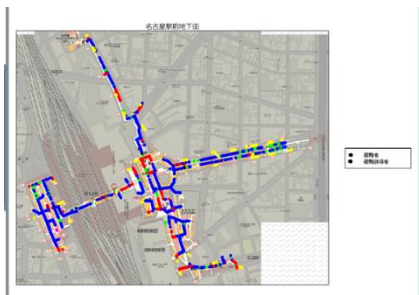


図10 複合災害シミュレーションの地下街の様子



図10 複合災害シミュレーションの地上部の様子

6. 複合災害避難行動シミュレーションモデルの分析

構築したシミュレーションの中で各災害意識、災害時にビル使用可能数 12 箇所、サイン表示割合 100%、追従確率が来街者モードの人エージェントが 30%、災害危険意識モードの人エージェントが 10% で避難誘導エージェントが 10 人で影響力は追従と同じケースの基本ケースを設けた。

各基本ケースの度数分布図 11~図 14 に示す。度数分布から分かるように災害が火災の場合、最短で避難が完了する試行が一番多く、ある。特に単一災害意識時の火災の場合、一箇所の避難目的地に避難者が集まるために追従による災害認知の確率が高いため多くの避難者が避難を滞りなく行われている。しかし、来街者モードの避難者が追従により、避難モードが変更されない場合、避難完了時間が 2 倍から 3 倍程度伸びてしまう。

火災時の複合災害シミュレーションの難時間あたりの避難完了割合を図 15 に示す。基本ケースを基にそれぞれの複合災害対策の効果が分かる。避難誘導の効果は人数の増加や誘導の影響とともに効果があるが、追従の効果とサイン表示の効果が最も火災時の複合災害に有効である。追従は避難開始時に効果が現れやすいが、サイン表示は未避難者の数に影響されないため、一番効果的といえる。

津波時の災害シミュレーションの難時間あたりの避難完了割合を図 16 に示す。サイン表示の効果について分析する。複合災害、単一災害ともに難完了時間には大きく影響を与えている。サイン表示は避難に与える影響が大きいため、他の対策の効果が出にくくなっていることが分かる。避難完了時間の短縮と避難完了割合の増加の傾きを大きくすることの両者に大きく影響を与えている。

津波時の複合災害シミュレーションの難時間あたりの避難完了割合を図 17、図 18 に示す。津波時の複合災害対策の効果が分かる。ビル避難可能率は避難発生開始時に一番傾きが大きいため効果が高いことが分かるが、避難完了率 0.8 を超えた辺りから傾きが小さくなっているのが分かる。追従による効果はあるが、サイン表示の効果が最も津波時の複合災害に有効である。追従は避難開始時に効果が現れやすいが、津波の際、多くの目的地を認知している避難者は隣接ビルへの避難が完了してしまうため、追従が起こりづらいと考えられる。避難誘導は 600

sに避難目的地に避難するため、避難完了時間は遅くなってしまいます。サイン表示は未避難者の数に影響されないため、一番効果的といえる。

火災時と津波時では避難の様子がかなり違うことが避難時間当たりの避難完了割合から分かった。これは避難完了時間から見えないことであった。火災時の単一災害は災害対策の効果はあまり見られなかった。避難完了時間2230sが単一災害時の最も滞りのない避難といえる。

また、複合災害は両者ともサイン表示の割合が一番有効であることが明らかとなった。特に津波は初動も早くなるため、今度名古屋駅の開発が進むにつれて案内板の数や、見やすいサインができることにより、災害時の避難に大きく効果を表すといえる。

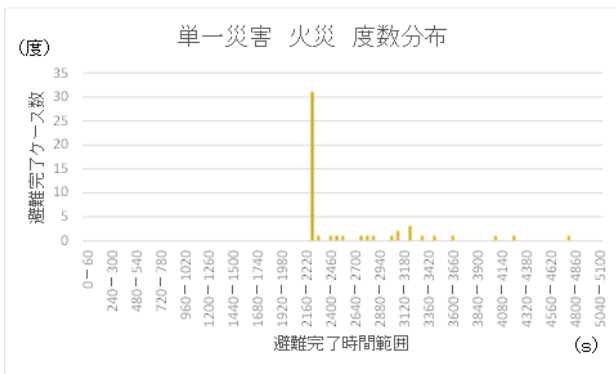


図 11 単一火災避難行動シミュレーションの度数分布

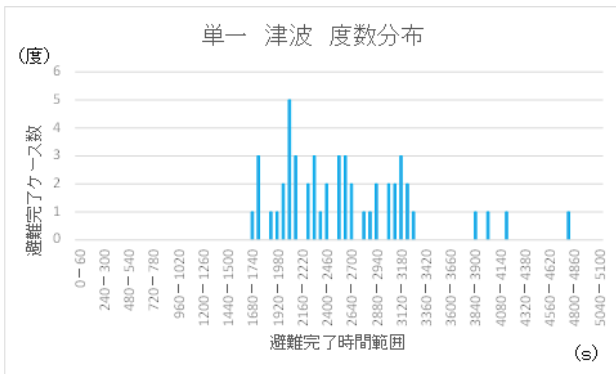


図 12 単一津波避難行動シミュレーションの度数分布

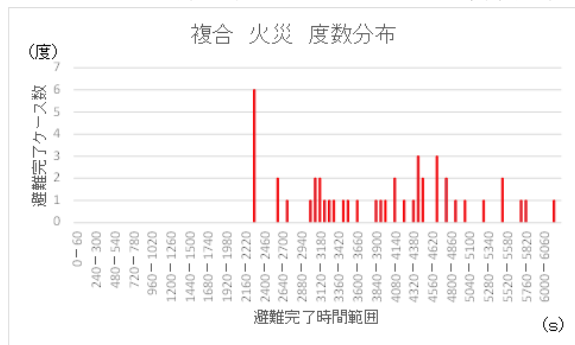


図 13 複合火災避難行動シミュレーションの度数分布

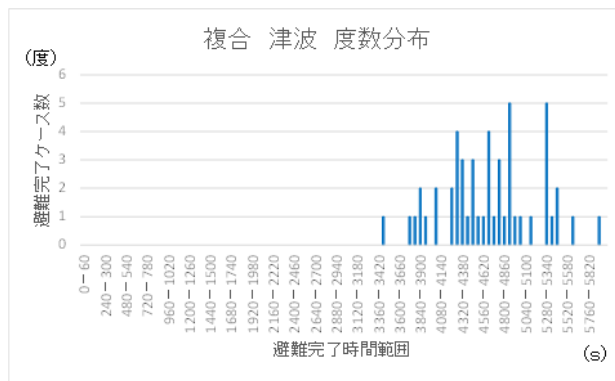


図 14 複合津波避難行動シミュレーションの度数分布

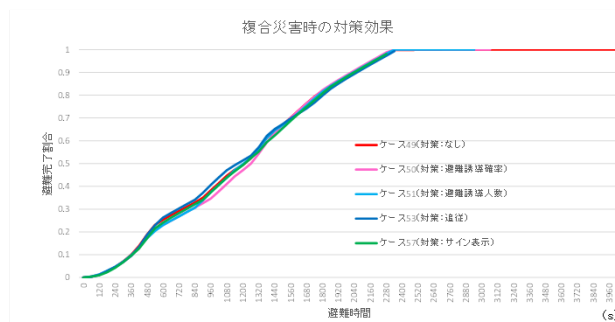


図 15 火災ケースの複合災害の対策効果

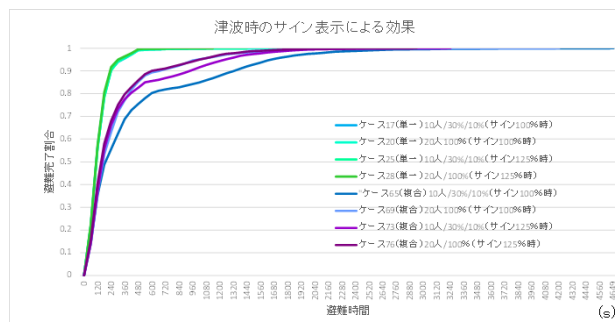


図 16 津波ケースのサイン表示による効果

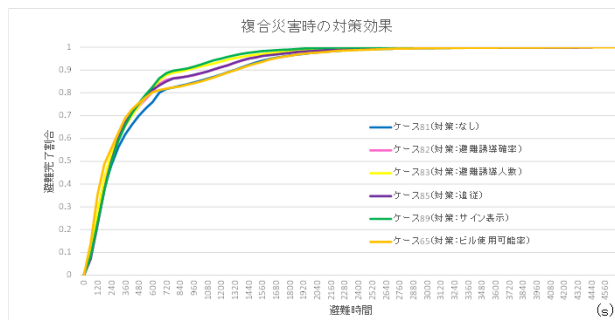


図 17 ビル使用可能率 50%を基準とした津波ケースの複合災害の対策効果

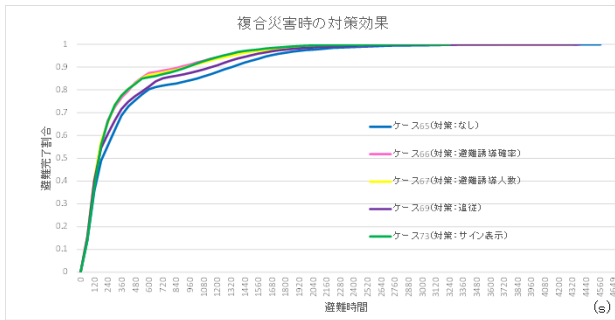


図 18 ビル使用可能率 100%を基準とした
津波ケースの複合災害の対策効果

7. まとめ

本研究の目的

本研究では名古屋駅周辺対象として、実証実験と避難行動シミュレーションを行った。南海トラフ地震の際に名古屋駅周辺の地下街でも大きな被害が生じる可能性がある。そのため、実証実験から求めた避難者のパラメータを用いて避難行動シミュレーションを作成し、避難完了時間と避難時間当たりの避難完了割合を算出することで名古屋駅周辺の地下街からの避難困難度を求めることを目的とした。また、サイン表示の割合を変動させることにより、サイン表示の効果を調べることを目的とした。複合災害シミュレーションモデルを作成し、複合災害時に起こる問題を可視化して、その対策として効果的な方法を算出する。

研究結果

- ・ 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。
- ・ 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わかった。
- ・ 火災単一災害時は対策の効果はあまり見られなかった。
- ・ 複合災害時は単一災害より被害は飛躍的に大きくなる。
- ・ 避難時間の縮小にはサイン表示の効果が一番大きいことが分かった。

8. 今後の課題

- 1) 本研究では、サイン表示が来外者割合増加による避難完了時間の遅れに対して有効であり、その効果の大きさを算出することができたので、今後の課題としてサイン表示の設置場所での効果の違いを算出し、効果的なサイン表示の設置の仕方を提案できるようにする。
- 2) 本研究では当該地下街での土地勘の有無による避難完了時間の違いについて算出することができたので、今後の研究では人の流れているほうに避難することや、暗い場所は好まれないなど人の心理を考慮した避難完了時間の算出を行う。
- 3) 今後はエージェントの持つカテゴリーを増やし、個体差のある変化を考えたシミュレーションの作成検討を行う。

参考文献

- 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
- 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>
- 3) 総務省消防庁 東北地方太平洋沖地震被害法
<http://www.fdma.go.jp/bn/higaihou.html>
- 4) 浅井光輝、森本敏弘、藤本啓介：粒子法による津波被害予測シミュレーション
理論応用力学講演会 講演論文集 62(0), 242, 2013
- 5) 戸田淳治、田中賢治、浜口俊雄：洪水氾濫統合解析システム構築とその利用手法
水文・水資源学会研究発表会要旨集 26(0), 28, 2013
- 6) 中日新聞、「迷駅」返上なるか、pp18-19, 2014.10.9
- 7) 名古屋市 防災マップのページ
<http://www.city.nagoya.jp/kurashi/category/>
- 8) 水野貴之：大規模乗換駅構内における待ち合わせ行動のエージェントシミュレーション
第16回 MAS コンペティション論文集、69-78、2016