人流シミュレーション及び社会実験型避難訓練を活用した交通防災拠点のあり方検証

富澤　敦[1]・森山　祥文[1]・松本　勝紀[1]・江波戸　孝明[1]・小池　和喜隆[1]・
山下　慎二[2]・ダス　ルベル[3]・森田　格[4]・鈴木　達也[5]・大山　雄己[6]

[1]非会員　国土交通省関東地方整備局
（〒330-9724 埼玉県さいたま市中央区新都心 2-1 さいたま新都心合同庁舎 2 号館）
E-mail: tomizawa-a8310@mlit.go.jp　moriyama-y8310@mlit.go.jp
matsumoto-k8315@mlit.go.jp　ebato-t8310@mlit.go.jp　koike-w8310@mlit.go.jp
[2]非会員　日本工営株式会社　中央研究所（〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原 2304）
E-mail: a9451@n-koei.co.jp
[3]非会員　元日本工営株式会社　中央研究所（〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原 2304）
E-mail: －
[4]正会員　日本工営株式会社　中央研究所（〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原 2304）
E-mail: a5951@n-koei.co.jp
[5]非会員　日本工営株式会社　交通政策事業部（〒102-8539 東京都千代田区麹町 5-4）
E-mail: a6216@n-koei.co.jp
[6]正会員　芝浦工業大学准教授　工学部土木工学科（〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5）
E-mail: oyama@shibaura-it.ac.jp

東日本大震災において東京都心部では，道路は大渋滞，歩道は一斉帰宅の帰宅困難者で溢れ，鉄道駅等には人が集中し交通機能がマヒしていた．近年では，災害時にも交通が機能する拠点整備の必要性から，一時滞在機能・情報提供機能・代替輸送手段発着拠点機能等を有した「交通防災拠点」のあり方が議論されている．

本論では，「交通防災拠点」の機能評価が可能な人流シミュレーションモデルをオープンソースソフトから構築したうえで，情報提供と帰宅困難者の行動変容に着目し，どのような情報提供が駅周辺等の混雑解消や一時滞在施設の利用促進に資するか検証した．この際，情報提供内容と一時滞在施設の利用意思の関係を社会実験から把握した．結果，情報提供内容の充実により路上待機者は減少したが一定数残存したため，更なる対策が必要と示唆された．

Key Words: *disaster-preventive transportation hub, returning home difficulty, people flow simulation, multi-agent, social experiment*

1. はじめに

東日本大震災において東京都心部では，道路は大渋滞，歩道は一斉帰宅による帰宅困難者で溢れ，鉄道駅は運転見合わせにより人が集中し，交通拠点として機能しない状況が発生するといった課題が生じた．一方，令和 3 年，令和 4 年に発生した福島県沖地震等では，バスタ新宿を発着する高速バスを確保することで鉄道運休期間中の代替輸送を確保する対応が行われた[注1)][注2)]．

このような課題や対応を踏まえ，全国でバスタプロジェクト（以下，「バスタ」と称す）が動いている状況において，首都直下地震等の大規模災害時にも交通が機能する拠点「交通防災拠点」について，そのあり方の検討や機能評価が必要とされている．「交通防災拠点」とは，平常時に利用している機能が災害時にも機能するような拠点を想定している．具体的には，平常時における交通拠点は，周辺施設と分担・連携で交通機能・交流等機能を発揮し，人・モノの流れを支えるが，災害時の交通混乱下では交通機能を維持し，人・モノの流れを確保できるように，交流等機能から防災機能にシフトする（**図-1**）．この際，帰宅困難者の発生を防ぐまたは減らすことが重要となるため，「交通防災拠点」の有する防災機能には，一時滞在機能や情報提供機能，シェアモビリティ等を活用した輸送機能，公共交通運休時の代替輸送手

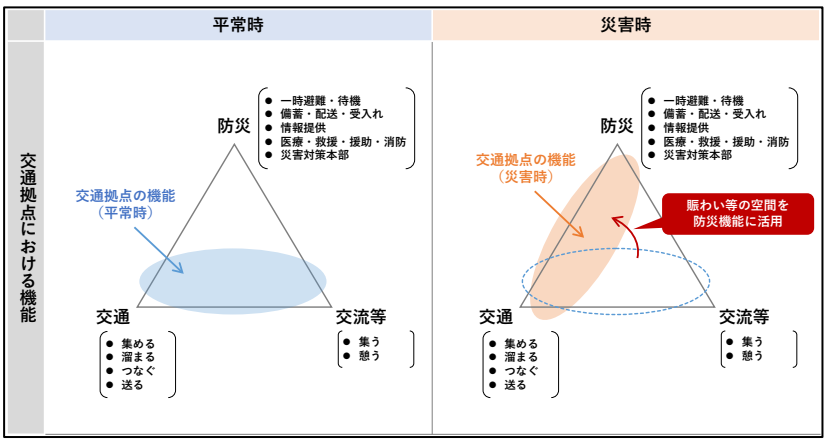


図-1　平常時／災害時の交通拠点の機能（交通拠点の機能強化に関する計画ガイドライン[注3)]を参考に作成）

段の発着拠点機能等の他，拠点によっては国内・国外からの支援部隊等の受入れ機能を想定している．なお「交通防災拠点」の整備方針については，先進的な技術の導入やまちづくりとの一体的な整備，官民連携等を踏まえて検討している．本論では，江東区豊洲にある都市型道の駅[注4)]を中心としたエリアを対象に「交通防災拠点」の検討を行っている．

「交通防災拠点」の機能評価について言及されている既往研究は筆者らの知る限り行われていないが，類似の取組みに大佛ら [1)]や廣井ら [2)]の帰宅困難者の人流シミュレーションに関する研究がある．大佛ら [1)]は，皇居を中心とする半径 20km 圏内に着目した大地震発生時の徒歩帰宅者のシミュレーションを行っている．一時滞在施設等に向かう際の移動断念者の到達可能距離は 2km という仮定を置いている．また，廣井ら [2)]は，首都圏を対象とした大都市圏避難シミュレーションを構築しており，歩行者と自動車のマルチエージェントシミュレーションを実施している．帰宅開始時間分布は一斉帰宅の仮定，帰宅率は一律帰宅や半分帰宅等の仮定を置いている．その他の取り組みとしては，下平ら [3)]による被災者の帰宅行動について，徒歩帰宅，滞留，鉄道利用等の選択が可能な帰宅行動モデルの構築や，牧野ら [4)]による災害時において道の駅が持つべき情報提供としての機能の整理が挙げられる．従って，「交通防災拠点」の情報提供等の機能評価手法の確立が求められる．

本論では，「交通防災拠点」の機能評価に帰宅困難者の人流シミュレーションを適用し，駅周辺の混雑解消に資する情報提供機能の検討及び，「交通防災拠点」のあり方の検討を行う．「交通防災拠点」のあり方の検討にあたっては，「交通防災拠点」の概念整理，機能評価可能な人流シミュレーションモデルの構築，及び機能評価の実施を行う．その際，既往研究から参考値の引用，有識者との仮説の妥当性確認，社会実験型避難訓練から得られたアンケート結果の引用等，様々な根拠に基づいた人流シミュレーションモデルを構築する．そのうえで，「交通防災拠点」の機能評価を行うため，帰宅困難者に関する人流シミュレーションから歩道混雑度，路上待機者の発生割合，一時滞在施設の収容率等の観点から効果検証を行う．歩道混雑度については，歩道の面積を考慮した混雑度評価を行うことで，「交通防災拠点」によって帰宅困難者が路上に溢れかえることをどの程度抑制できるか評価する．なお，構築する人流シミュレーションモデルは大学での高度化を見据えて，オープンソースソフトを活用したモデル構築を行う．

本論の構成は次の通りである．2 章では，「交通防災拠点」という新しい定義及びそのあり方を整理する．3 章では，一時滞在施設への誘導に必要な情報内容や一時滞在施設への移動可能距離，一時滞在時のニーズ等を把握することを目的とした社会実験型避難訓練の実施内容と，併せて行ったアンケートについて人流シミュレーションに関連する結果を整理する．4 章では，モデル概要や基本条件を整理し，人流シミュレーションモデルについて，既往研究や社会実験から参考値やアンケート結果を引用すること，文献が不足している場合に行動設定の仮定すること等について説明する．5 章では，シミュレーションシナリオの整理，及び人流シミュレーションの結果についてまとめる．帰宅困難者に関しては，歩道混雑度，路上待機者の発生割合，一時滞在施設の収容率等の観点から効果検証を行う．6 章では，本論の結果や今後の課題について取りまとめる．

2.　「交通防災拠点」の概念整理

前述の通り，「交通防災拠点」とは，平常時に利用している機能が災害時にも機能するような拠点である．「交通防災拠点」の定義，「メゾノードの交通防災拠点」の機能で想定される活用方法，及び本論で選定したケーススタディ選定箇所について記載する．

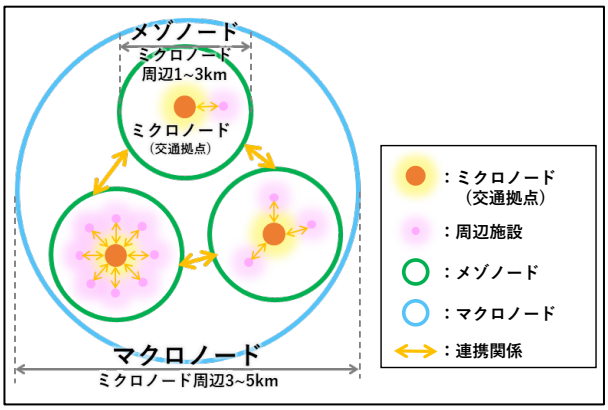


図-2　「交通防災拠点」の定義

(1)　「交通防災拠点」の定義

「交通防災拠点」に求められる機能を検討するにあたり，施設単体に求められる機能だけでなく，まちづくりとの連携等を考慮したエリアとして求められる機能についても検討する．ここでは拠点（ノード）を「ミクロノード」「メゾノード」「マクロノード」の 3 つに区分し，次のように定義づける（**図-2**）．

- ミクロノード：バスタや道の駅等に防災機能を持たせた交通防災拠点（施設単体）とする．
- メゾノード：ミクロノードを含むコミュニティレベルの範囲（概ね半径 1～3km）を拠点とする．
- マクロノード：複数のミクロノード・メゾノードが連携する広域範囲（概ね半径 3～5km）を拠点とする．

本論では，「メゾノードの交通防災拠点」を対象として検討する．

(2)　「メゾノードの交通防災拠点」の機能で想定される活用方法

「メゾノードの交通防災拠点」における機能のうち，帰宅困難者に関する機能として，一時滞在機能，情報提供機能，シェアモビリティ等を活用した輸送機能について，平常時・災害時に想定される活用方法を整理する．

一時滞在機能としての活用方法：ミクロノードやその周辺施設において，平常時の待合空間や交流・憩い空間，施設のエントランス，会議室等が，災害時には帰宅困難者や一時避難者の受入れ空間として活用される．

情報提供機能としての活用方法：平常時は地域のイベント情報，観光情報，施設情報を提供し，災害時には公共交通運行情報，道路交通情報，災害情報，避難所・一時滞在施設情報等を提供することが考えられる．具体的には，交通防災拠点に整備されるデジタルサイネージやメゾノード内の鉄道駅，施設等に整備済みのデジタルサイネージ等の活用，及び個人携帯端末の活用が想定される．



図-3　豊洲の「交通防災拠点（メゾノード）」

シェアモビリティ等を活用した輸送機能としての活用方法：平常時はメゾノード内やその周辺地域への輸送から，災害時には一時滞在施設までの移動が困難な人の輸送や，救急車両が渋滞等で動けない場合の病院までの搬送等に活用することが考えられる．なお，災害時の活用では，広い歩道空間や公園内の遊歩道等を利用して一時滞在施設や病院等の施設間の移動支援や備蓄品輸送の際に利用されることが考えられる．

(3)　本論で選定したケーススタディ選定箇所

ケーススタディ選定箇所は，官民連携によりスマートシティを推進し，スマート防災やスマートモビリティ等様々な取組みを積極的に行っている豊洲エリア（メゾノード）を対象とする（**図-3**）．

豊洲エリアの特徴を以下に示す．

- 豊洲 1～5 丁目は，豊洲駅や企業，学校，大規模ショッピングセンター等が建ち並び，人が多く集まる．
- 豊洲 6 丁目は，豊洲の交通防災拠点の核となる都市型道の駅や豊洲市場，豊洲ぐるり公園等があり，開放的な空間が広がる．
- 豊洲エリアの情報提供機能には，都市型道の駅に整備されているデジタルサイネージ（現在はイベント情報，施設情報等を提供）や豊洲駅に整備されているデジタルサイネージ（現在は広告等を提供）等が挙げられる．
- 豊洲エリアの一時滞在機能には，都市型道の駅（一部のみ）や豊洲市場（行政施設）が挙げられる．
- 豊洲エリアのシェアモビリティ等を活用した輸送機能には，シェアサイクルや電動キックボード等が挙げられ，サイクルポートは豊洲エリア全体に設置されている．

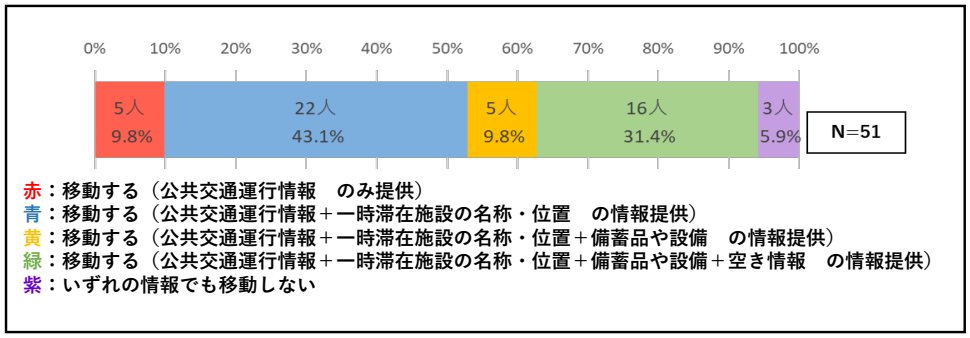


図-4　情報提供内容の充実度に応じた一時滞在施設への移動意思

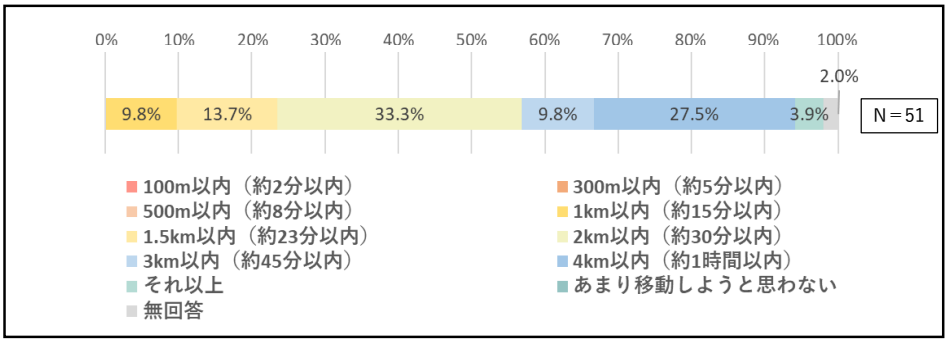


図-5　一時滞在施設への移動可能距離

3.　社会実験型避難訓練

(1)　実験概要

一時滞在施設への誘導に必要な情報提供内容や一時滞在施設への移動可能距離，一時滞在時のニーズ等を把握し，交通防災拠点の考え方や必要な機能等を検討するために社会実験を実施した．

○被害想定：M7.3（首都直下地震クラス）が発生，公共交通は不通，豊洲エリア及び周辺部も公道は渋滞，緊急車両等も通行困難な状況

○実施時期：2022 年 12 月 15 日，17 日の 2 日間

○参加人数：延べ 61 名（豊洲に職場や自宅が無く，業務や私事目的で豊洲に来訪していると想定）

○本論で参考にしている主な訓練内容

- 豊洲エリアで最も人が多くいる豊洲駅周辺の帰宅困難者に対して，一時滞在施設への誘導に有効な情報提供内容を確認．
- 豊洲駅から都市型道の駅までの約 1.5km を徒歩で移動し一時滞在施設までの移動可能距離の目安を確認．

○アンケート概要：被検者の個人属性や災害時に想定される行動，一時滞在施設への徒歩移動に対する所感，備蓄品や施設機能へのニーズ等についてのアンケート

(2)　アンケート結果

61 名分のアンケート結果のうち，10 名はどのような状況においても帰宅することを選択した「帰宅意思あり」に分類された．また，残り 51 名は帰宅しないと判断したうえで，情報提供内容から一時滞在施設に向かうか否かを判断する「帰宅意思なし」に分類され，誘導に必要な情報提供内容や移動可能距離の分析に使用した．なお，後述する人流シミュレーションモデルの行動設定では，一時滞在施設への誘導効果は「帰宅意思なし」のエージェントに対してのみ影響すると設定した．

情報提供内容の充実度に応じた一時滞在施設への移動意思は**図-4** に示す結果となった．公共交通運行情報のみの場合（赤）は約 10%が移動し，公共交通運行情報に加え一時滞在施設の名称・位置＋備蓄品や設備に関する情報を提供する場合（黄）は合計約 63%が移動し，一時滞在施設の空き情報まで提供する場合（緑）は合計約 94%が移動するという結果であった．ただし，「いずれの情報でも移動しない」と回答した人も一定数存在した．

一時滞在施設への移動可能距離は**図-5** に示す結果となった．2km 以内の回答が約 33%で最も多く，次いで 4km 以内の回答が約 28%と多かった．一方，1km 以内や 1.5km 以内といった社会実験での移動距離よりも短い距離を回答した人は約 24%存在した．

4.　人流シミュレーションの概要

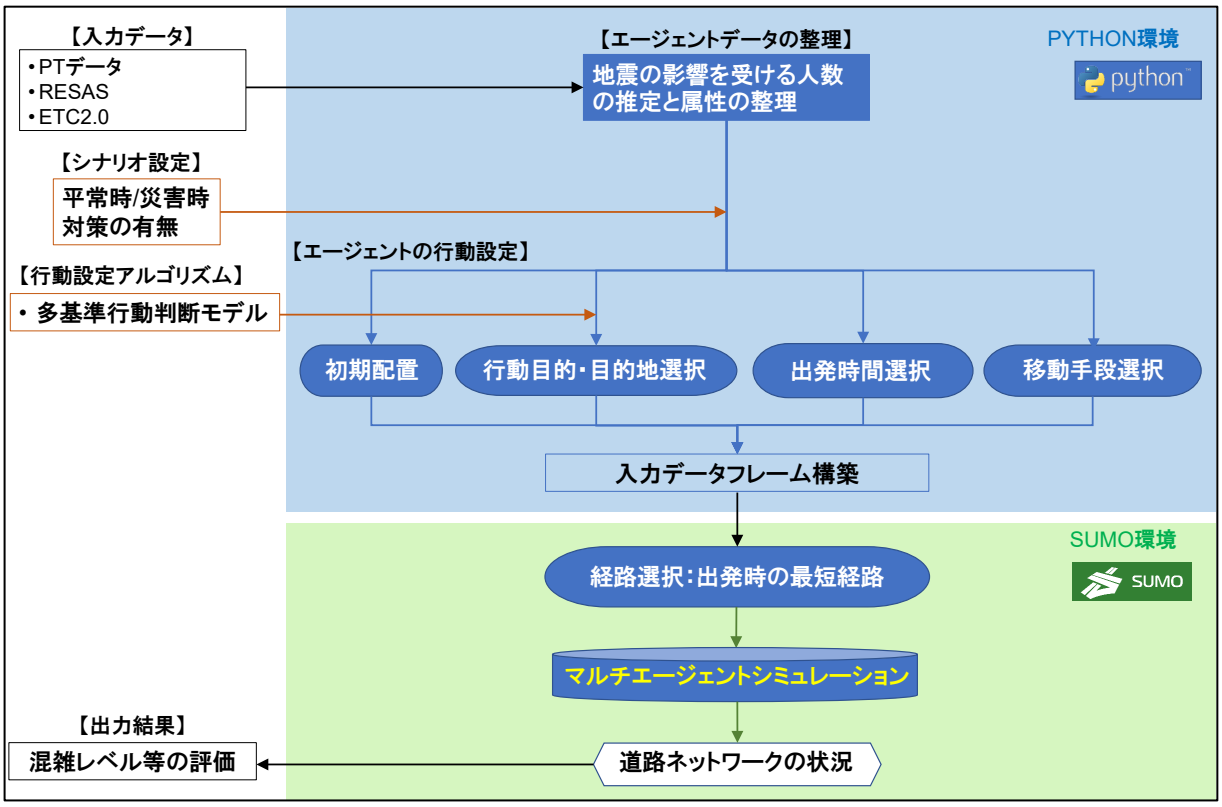


図-6　人流シミュレーションモデル概要フロー

「交通防災拠点」の機能評価が可能な人流シミュレーションモデルを構築する．人流シミュレーションでは，情報提供に関する政策と帰宅困難者の行動変容に着目し，情報提供内容の充実度が駅周辺等の混雑解消や一時滞在施設の利用促進に資するか検証する．

(1)　人流シミュレーションモデル概要

本モデルでは，SUMO（Simulation of Urban MObility）[注5)]を用いたマルチエージェントシミュレーションを行う．人流シミュレーションモデルの概要フローを**図-6** に示す．

主な入力データとしては，H30 東京都市圏パーソントリップデータ（PT データ）や RESAS データ，ETC2.0 プローブデータ等がある．エージェントデータを整理した後，各エージェントの初期配置，シナリオに応じた行動目的・目的地，出発時間，移動手段を設定する．各エージェントの行動設定を基に SUMO でマルチエージェントシミュレーションを実行し，その出力結果からシナリオ評価を行う．行動目的・目的地の設定の際に使用した多基準行動判断モデルは本論にて構築したモデルである．多基準行動判断モデルの詳細については後述する．

(2)　想定状況・シミュレーション条件

豊洲エリアにおいて，平日の 15 時に M7.3（首都直下地震クラス）が発生した状況を想定し，発災直後から 5 時間後までのシミュレーションを実施する．シミュレーションの基本条件を**表-1** に示す．災害時は公共交通機関が不通となり，公共交通利用者は徒歩で移動することを想定している．道路の渋滞状況も再現するため，信号は機能せず，橋には障害が発生し，ボトルネックとなることを想定している．また，被災直後から個人の携帯端末にて情報取得できると仮定している．

(3)　帰宅困難者の定義

内閣府の中央防災会議では帰宅困難者の定義は帰宅断念者と遠距離徒歩帰宅者とされている[注6)]が，本論ではより具体的に以下のように定義している．

・遠距離徒歩帰宅者：帰宅する人のうち，自宅まで 10km 以上ある者．
・帰宅断念者：帰宅しない会社員・学生や来訪者．多基準行動判断モデルにて，帰宅意思がないと設定された会社員・学生や来訪者が帰宅断念者に相当する．

表-1　シミュレーションの基本条件

	平常時	災害時
公共交通	利用**可能**	利用**不可**
公共交通利用者	**公共交通**を利用	**徒歩**で移動
信号機	機能**する**	機能**しない**
橋を渡るときの速度	**制限速度**	段差等の障害発生を想定し，最大速度を **1km/hに設定**
自動車利用者	**自動車を使用**	自動車を使用するが **渋滞に巻き込まれる**
15時以降に自宅を出発する豊洲住民	**通常通りに行動**	トリップをキャンセルし**自宅待機に切り替え**

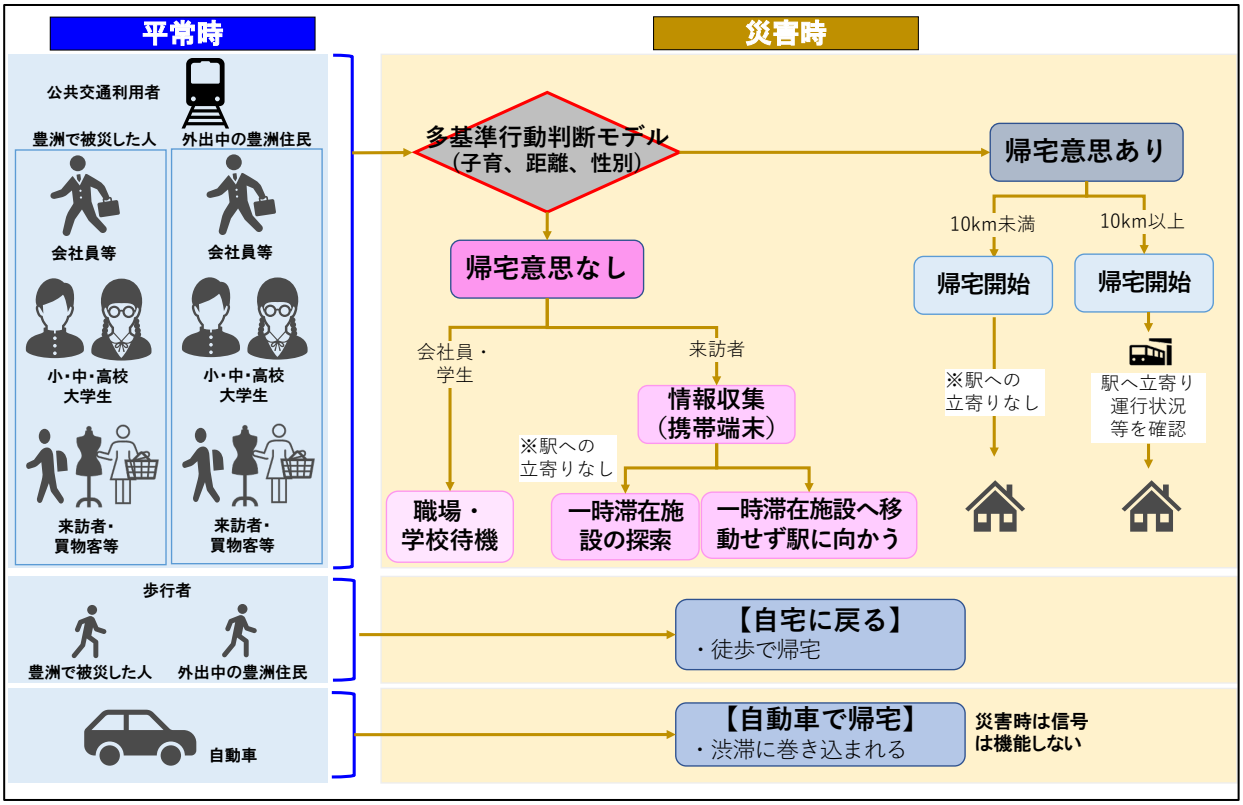


図-7　行動設定フロー

また，帰宅意思がない来訪者のうち，一時滞在施設を探索しない人や一時滞在施設の探索を諦めた人については，駅等の屋外で待機する路上待機者と定義している．

(4)　行動設定

行動設定の概要フローについて，**図-7** に示す．シミュレーションの対象となるエージェントは，会社員・学生，来訪者，豊洲住民であり，平常時の代表交通手段別（公共交通機関，徒歩，自動車）に行動設定を行っている．来訪者は業務及び私事目的で豊洲に来訪した人を指す．平常時に公共交通機関を利用している人は発災後徒歩での移動に切り替わるが，自宅まで遠い人が多いため，帰宅するか否かの判断を行い帰宅意思の有無を決定する．歩行者については，PT データより，平常時の 15 時に徒歩で移動している人（歩行者）は家が近い傾向にあるため，全員帰宅すると設定している．平常時に自動車で移動している人は，発災後も全員自動車で帰宅すると仮定している．

帰宅意思の有無を決定する多基準行動判断モデルは，既往研究 [5]を参考に構築しており，性別，子供の有無，自宅までの距離の 3 変数に応じた帰宅率からエージェント毎に帰宅意思を設定している（**表-2**）．

帰宅意思がある場合は，自宅のある方面に向かって帰宅を開始するが，自宅まで 10km 以上あるエージェントは一度駅に立寄ってから帰宅を開始する．これは，「自宅まで遠いため携帯端末で運行情報が取得できたとしても，最新状況を確認するため立寄る」行為を表現している．

帰宅意思がない場合は，会社員・学生は職場や学校で待機し，来訪者は提供情報を基に一時滞在施設を探索するか判断する．一時滞在施設を探索するか否かの判断は，社会実験より得られた「情報提供内容の充実度に応じた一時滞在施設への移動意思」の割合に応じて決定する．一時滞在施設を探索しないエージェントは駅等で路上待機すると仮定している．一時滞在施設を探索するエージェントについては，探索可能な一時滞在施設は移動可能距離以内の施設とし，累積の移動距離が移動可能距離に達した場合は，探索を諦め駅等で路上待機すると仮定している．この際，社会実験より得られた「一時滞在施設への移動可能距離」の割合に応じて各エージェントに移動可能距離を設定している．（ただし，社会実験より得られた割合値はサンプル数が少ないため参考値として使用している．）

表-2　多基準行動判断モデルの帰宅率

帰宅率	子供あり	子供なし
男性	0~10km：0.858 10~20km：0.642 20km以上：0.307	0~10km：0.879 10~20km：0.507 20km以上：0.123
女性	0~10km：0.842 10~20km：0.398 20km以上：0.032	0~10km：0.863 10~20km：0.314 20km以上：0.013

また，（豊洲外在住で）豊洲で被災した人，（豊洲外に）外出中の豊洲住民，のそれぞれのエージェントをモデルに組み込んでおり，豊洲への出入りも考慮している．

出発時間の設定では，会社員・学生については東日本大震災に関する文献[注7]より設定している（**図-8**）が，来訪者については災害に関する文献が不足しているため，イベント時の帰宅開始時間の分布[6)7)注8)]を参考に出発時間分布を仮定している（**図-9**）．

(5) 帰宅困難者対策

帰宅困難者への対策としては，以下を想定している．

・対策①：情報提供が可能なシステムが構築されている
・対策②：豊洲エリア内の民間施設等と一時滞在施設の協力体制が確立されている

対策②では，**図-10** の施設と協力体制が確立されていると仮定している．各施設の収容人数については，収容人数が公表されている IHI[注9)]を基準に建物面積当たりの収容人数を設定し，各施設の建物面積を乗じることで，それぞれの収容人数を算定している．豊洲市場については，青果棟と水産卸売場棟は使用可能とし，水産仲卸売場棟は船着き場に隣接するため自衛隊等の活動拠点になると想定し一時滞在施設として使用できないと仮定している．

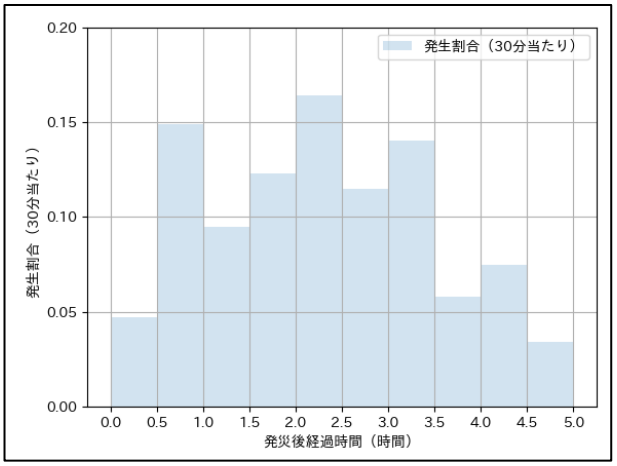


図-8 出発時間分布（会社員・学生）

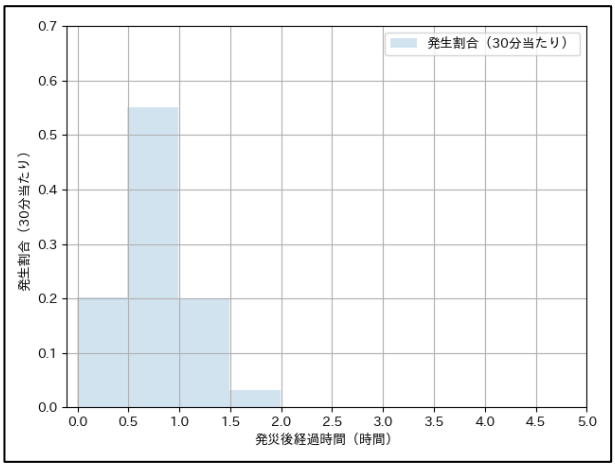


図-9 出発時間分布（来訪者）

5. 人流シミュレーションの実施

(1) シナリオ

シミュレーションのシナリオは，以下の災害時における 3 シナリオを設定した．

・シナリオ a：「公共交通機関の運行情報」のみ情報提供したケース（現在すでに提供されている情報）
・シナリオ b：「公共交通機関の運行情報」と「一時滞在施設の場所・設備や備蓄品」を情報提供したケース（発災前にあらかじめ準備可能な情報を追加）
・シナリオ c：「公共交通機関の運行情報」と「一時滞在施設の場所・設備や備蓄品」に加え，「一時滞在施設の空き情報」を提供したケース（さらに，発災後からリアルタイムに把握する必要がある情報を追加）

なお，各シナリオで一時滞在施設を探索する人の割合は，社会実験より得られた「情報提供内容の充実度に応じた一時滞在施設への移動意思」の割合に応じて決定した．

場所	No	名称	収容人数(人)
1～5丁目	1	IHI	200
	2	NBF豊洲ガーデンフロント	105
	3	NBF豊洲キャナルフロント	97
	4	らら ぽーと豊洲	769
	5	豊洲ベイサイドクロス	264
	6	日本ユニシス	121
	7	豊洲キュービックガーデン	170
	8	豊洲センタービル	80
	9	豊洲センタービルアネックス	94
	10	豊洲フォレシア	196
	11	豊洲フロント	139
	12	豊洲プライムスクエア	72
6丁目	13	ガスの科学館	76
	14	ホテルJALシティ東京 豊洲	82
	15	メブクス豊洲	200
	16	ラピスタ東京ベイ	45
	17	豊洲市場（青果棟）	1197
	18	豊洲市場（水産卸売場棟）	1309

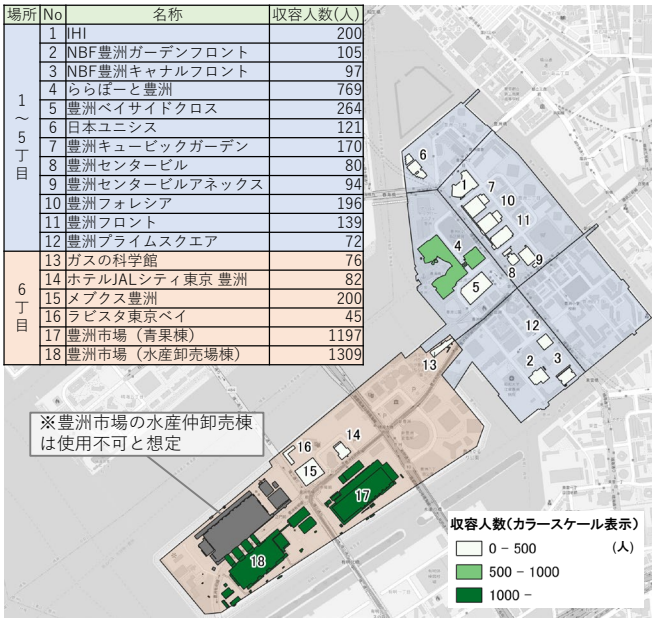


図-10 一時滞在施設の想定

(2) 評価方法

シナリオ評価では，主に歩道の混雑状況と「帰宅意思のない来訪者」の動向に着目して評価する．

歩道の混雑状況は，路上歩行者数の推移や歩道混雑度といった観点から評価する．路上歩行者数は，路上にいる人の合計人数を表すが，具体的には①帰宅意思のある

エージェント，②一時滞在施設を探索するエージェント，③外出中の豊洲住民エージェント，の 3 種類のエージェントのうち移動や帰宅を開始しているエージェント，及び④路上待機しているエージェントの合計を表す．歩道混雑度では，各歩道の路上歩行者数を歩道面積で除することで混雑度に換算し，ランク付けして評価する[注10)]．

「帰宅意思のない来訪者」の動向は，「帰宅意思のない来訪者」の推移や来訪者の施設滞在割合，路上待機者の発生割合，一時滞在施設の収容率といった観点から評価する．4.(4)で前述した通り，「帰宅意思のない」会社員・学生は職場や学校で待機することから，帰宅困難者の中でも「帰宅意思のない来訪者」のみを対象として，帰宅困難者の動向を評価する．なお帰宅困難者は PT データより 15 時以降に豊洲エリアで滞在している来訪者を算定し，そのうえで多基準行動判断モデルを用いて帰宅意思の有無を設定した．その結果，来訪者は 7,124 人と算定され，そのうち「帰宅意思のない来訪者」は 3,950 人と算定された．来訪者の施設滞在割合や路上待機者の発生割合，一時滞在施設の収容率の評価方法は以下の通りである．

- 来訪者の施設滞在割合：「帰宅意思のない来訪者」のうち「一時滞在施設で滞在できた人」の割合を評価．
- 路上待機者の発生割合：「帰宅意思のない来訪者」のうち「一時滞在施設を探索したが利用できず路上待機する人」と「一時滞在施設を探索しない人」が駅等で路上待機する割合を評価．
- 一時滞在施設の収容率：豊洲駅周辺の一時滞在施設及び都市型道の駅周辺の一時滞在施設のそれぞれでどの程度収容できたかを評価．

(3) 歩道の混雑状況

各シナリオの路上歩行者数の推移を図-11 に示す．いずれのシナリオでも発災後 1 時間～1 時間半をピークに路上歩行者数は減少していた．発災後 4 時間以降も路上歩行者として残っているのは，路上待機しているエージェントである．

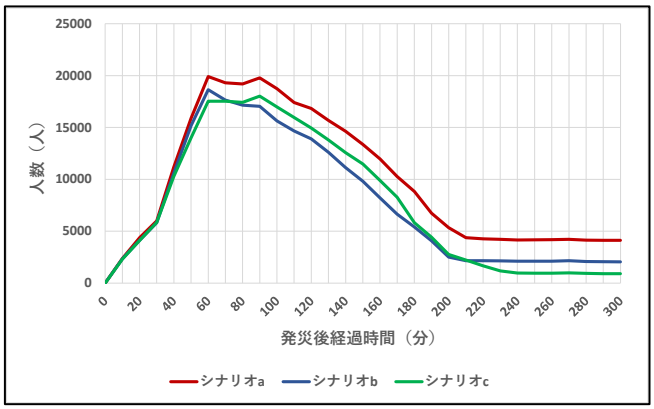


図-11 各シナリオの路上歩行者数の推移

路上歩行者数が最も多いシナリオ a のピーク時の混雑状況を図-12 に示す．ピーク時では，豊洲駅を中心に北西方面の道路沿いで混雑が発生していた．この理由として，平常時豊洲駅周辺では 15 時台に人が多くなること，北西方面へ帰宅する人が多いこと，この道路は一時滞在施設が建ち並ぶこと等から，高い密度で混雑している状態（桃～赤）の表示が広がっていた．

発災後 5 時間時点での各シナリオの歩道混雑度を図-13 に示す．一時滞在施設を探索しない人や一時滞在施設を探索したが利用できず路上待機する人が，豊洲駅周辺に集まり混雑が発生した．シナリオ a では最も混んでいる状態（赤）の表示が最も広く，シナリオ b ではその範囲が減少し，シナリオ c では最も混んでいる状態は発生していなかった．

(4) 「帰宅意思のない来訪者」の動向

各シナリオの「帰宅意思のない来訪者」の推移を図-14 に示す．各シナリオ共通で，来訪者が多く出発する発災後 1 時間半までに路上歩行中の「帰宅意思のない来訪者」が急激に増加する傾向がある．シナリオ a では，社会実験結果より一時滞在施設を探索するエージェントは約 1 割しか発生せず（図-4），ほとんどが路上待機するため発災後 2 時間で高止まりし，一時滞在施設の利用者数も少ない結果となった．シナリオ b では，発災後 1 時間～1 時間半で路上歩行中の「帰宅意思のない来訪者」がピークとなるが，豊洲駅周辺の一時滞在施設に約 1,900 人が収容されるため，最終的な路上待機者は約 1,480 人となった．シナリオ c では，発災後 1 時間～1 時間半で路上歩行中の「帰宅意思のない来訪者」がピークとなるが，豊洲駅周辺及び都市型道の駅周辺の一時滞在施設に収容されていき，最終的な路上待機者は約 330 人となった．また，豊洲駅周辺の一時滞在施設は満杯とな

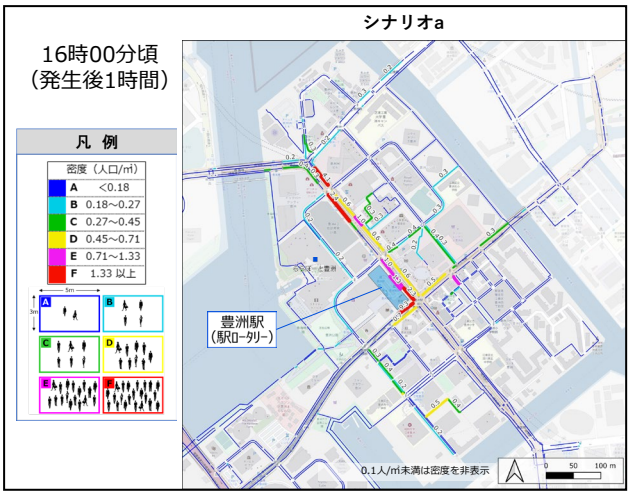


図-12 シナリオ a の発災後 1 時間の豊洲駅周辺の歩道混雑度

り，都市型道の駅周辺の一時滞在施設でも収容可能人数の約半分まで収容された．

表-3 では，主に来訪者の施設滞在割合や路上待機者の発生割合，一時滞在施設の収容率の観点から，人流シミュレーション結果をまとめている．来訪者の施設滞在割合について，シナリオ a では 10%と低い結果であったが，シナリオ b では 62%，シナリオ c では 92%と高い結果となった．路上待機者の発生割合について，シナリオ a では 90%と高い結果であったが，シナリオ b では 38%，シナリオ c では 8%と低い結果となった．豊洲駅周辺の一時滞在施設の収容率について，シナリオ a では 14%と低い結果であったが，シナリオ b では 80%を超え，シナリオ c では 100%であった．都市型道の駅周辺の一時滞在施設の収容率について，シナリオ a・シナリオ b では

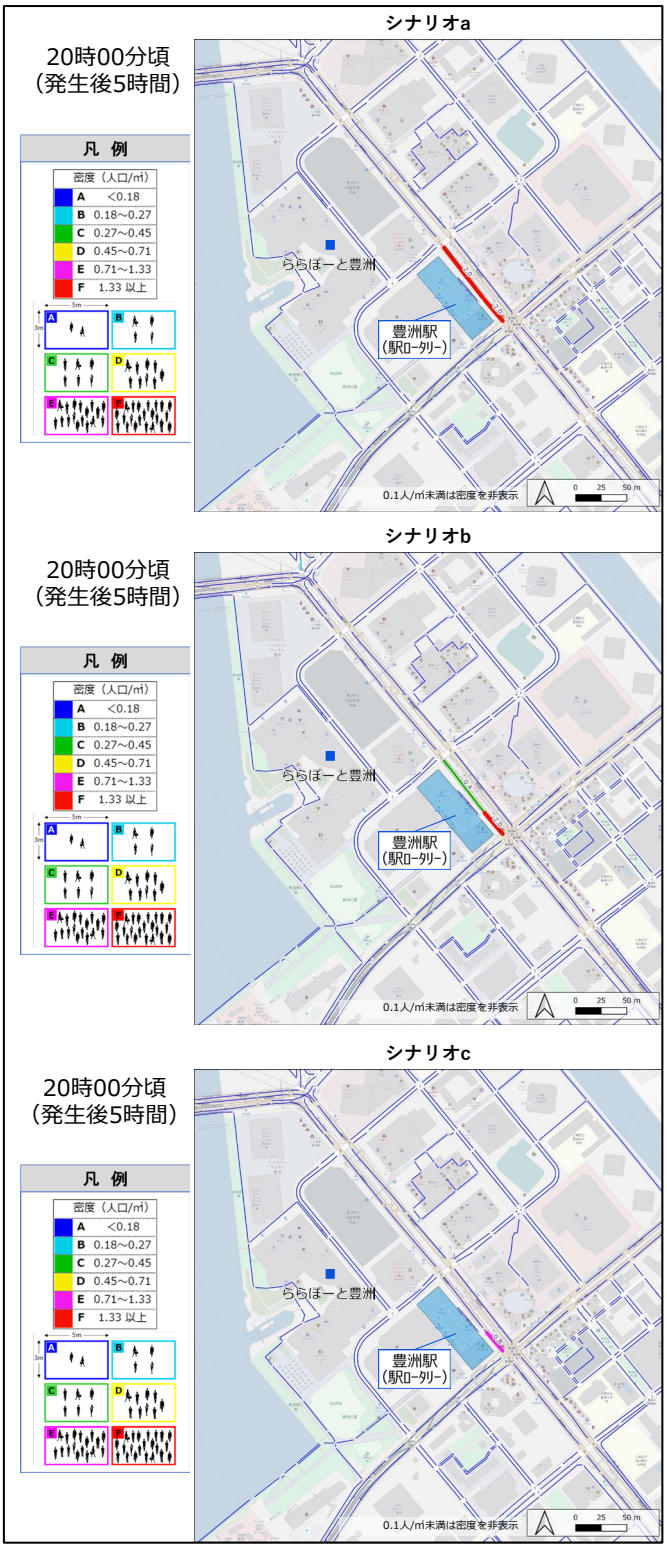


図-13 各シナリオの豊洲駅周辺の歩道混雑度

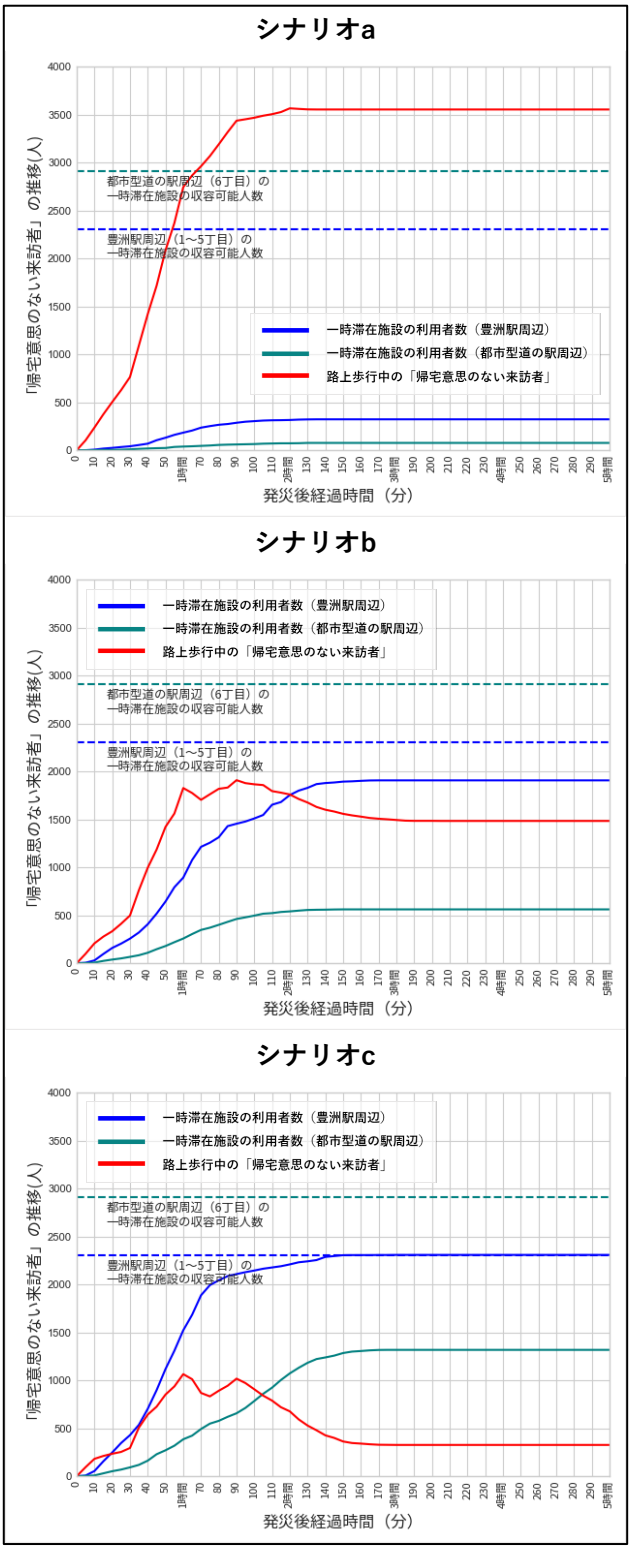


図-14 各シナリオの「帰宅意思のない来訪者」の推移

表-3　人流シミュレーション結果

		シナリオa		シナリオb		シナリオc	
シミュレーション条件	提供情報内容	運行情報のみ		運行情報、一時滞在施設の場所・設備・備蓄品		運行情報、一時滞在施設の場所・設備・備蓄品、空き情報	
	一時滞在施設を探索しない人	90%発生		37%発生		6%発生	
	帰宅困難者（帰宅しない来訪者）	3,950人		3,950人		3,950人	
「帰宅意思のない来訪者」の動向	一時滞在施設を探索し利用できた人数（来訪者の施設滞在割合）	約400人	10%	約2,470人	62%	約3,620人	92%
	最終的な路上待機者の人数（路上待機者の発生割合）	約3,550人	90%	約1,480人	38%	約330人	8%
	一時滞在施設を探索したが利用できず、路上待機する人	0人	0%	約20人	1%	約90人	2%
	一時滞在施設を探索しない人	約3,550人	90%	約1,460人	37%	約240人	6%
一時滞在施設の収容率	豊洲駅周辺（豊洲１～５丁目）	14%		83%		100%	
	都市型道の駅周辺（豊洲６丁目）	3%		19%		45%	
一時滞在施設の収容状況	豊洲駅周辺（豊洲１～５丁目）	発災後5時間でもほぼ収容されない		発災後5時間で8割以上収容される		発災後約2時間半で満杯に収容される	
	都市型道の駅周辺（豊洲６丁目）	発災後5時間でもほぼ収容されない		発災後5時間でもほぼ収容されない		発災後5時間で約半分収容される	

20%にも満たなかったが，シナリオ c では 45%の収容率であった．

また，各シナリオの設定とシミュレーション結果の関連性について以下のことも把握された．

- 一時滞在施設へ移動しない人の増加が直接的に，路上待機者の増加に影響していた．
- 発災前にあらかじめ準備可能な情報を追加したシナリオ b では，シナリオ a より約 2,100 人（「帰宅意思のない来訪者」の全体の約 5 割）の路上待機者が減少した．さらに，発災後からリアルタイムに把握する必要がある情報（一時滞在施設の空き情報）を追加したシナリオ c では，路上待機者が約 330 人（8%）まで減少した．
- 一時滞在施設を探索する人が減少すると，一時滞在施設を探索しても利用できなかった人が減少した．

6.　終わりに

(1)　本論のまとめ

本論では，「交通防災拠点」という新しい概念及びそのあり方について，「交通防災拠点」の定義，「メゾノードの交通防災拠点」の機能で想定される活用方法を整理した．また，人流シミュレーションからは，情報提供内容の充実度に応じて路上待機者が減少し，駅周辺の混雑状況が緩和することが把握された．一時滞在施設の空き情報を提供することが可能になれば，一時滞在施設を利用する人は全体の 9 割を上回ると見込まれることが示唆された．一方で，豊洲エリアにて情報提供内容の充実度を向上させたとしても路上待機者は約 330 人発生すると試算された．

(2)　今後の課題

今後の課題について以下に整理する．

まず，情報を取得しても一時滞在施設を探索しない人への対策検討及び，シミュレーションでの対策効果検証が必要である．

また，移動可能距離が短く一時滞在施設まで移動することができなかった人については，自動運転車両やシェアモビリティ等の新しいモビリティを活用して搬送することも考えられるため，平常時における活用を想定してまちづくりと一体となった検討が必要である．

さらに，来訪者の出発時間分布では，災害に関する文献が不足しており，災害以外の文献からパラメータ設定したため，その精査が必要である．

(3)　今後の展開

今後の展開として想定される事項を以下に整理する．

まず，本論のシミュレーションでは，携帯端末で情報取得可能という理想的な状況を想定している．携帯端末を保有していないことや災害による通信障害の発生等，個人の携帯端末から情報取得ができないことも想定されるため，民間施設や公共施設等に設置されているデジタルサイネージから情報確認ができると想定したケースを実施し，その効果検証や新設の配置検討を行うことが考えられる．

また，「交通防災拠点」の導入が検討される他地域への人流シミュレーションモデルの横展開も考えられることに加え，「シェアモビリティ等を活用した輸送機能」に関する派生分析として，避難の効率化（移動時間の短縮，徒歩移動距離の短縮）に関する人流シミュレーションを実施することも考えられる．その際，人流シミュレーションによって推定された一時滞在施設の利用人数と備蓄品の量のバランスを考慮した物資等の輸送（配分）方法の検討を行うことも考えられる．

さらに，本論の人流シミュレーションモデルはオープンソースソフトから構築されていることから，横展開のコストが抑制されるとともに，大学等での更なるモデルの高度化が図られることが考えられる．

謝辞：今回の人流シミュレーション構築及び社会実験型避難訓練は，東京大学の羽藤先生及び福田先生，東京理科大学の栁沼先生，清水建設株式会社，豊洲スマートシティ推進協議会のご意見・ご協力を賜り実施できたものである．ここに記して感謝の意を表する．

NOTES

注1) 国土交通省：令和 3 年 2 月 13 日 23 時 07 分の福島県沖の地震による東北新幹線の不通に伴う代替輸送の実施状況について（2 月 17 日 13：00 時点）
https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001387398.pdp（2023/10 閲覧）

注2) 国土交通省：令和 4 年 3 月 16 日 23 時 36 分頃の福島県沖を震源とする地震による東北新幹線の不通に伴う代替輸送の実施状況について（3 月 19 日 11:00 時点）
https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001471507.pdf（2023/10 閲覧）

注3) 国土交通省：交通拠点の機能強化に関する計画ガイドライン
https://www.mlit.go.jp/road/busterminal/pdf/s_01.pdf（2023/10 閲覧）

注4) 清水建設：豊洲 MiCHi の駅
https://www.shimz.co.jp/toyosu/concept/michinoeki/（2023/10 閲覧）

注5) EclipseFoundation，Inc：https://www.eclipse.org/sumo/ (2023/10 閲覧)

注6) 中央防災会議：帰宅困難者に係る用語の定義について
https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutohinan/6/pdf/shiryou_4.pdf（2023/10 閲覧）

注7) 内閣府：帰宅困難者対策の実態調査結果について～3 月 11 日の対応とその後の取組～
https://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/kitaku/2/pdf/4.pdf（2023/10 閲覧）

注8) 山下倫央，大西正輝：オリンピックのための情報処理 2 オリンピックにおける人の流れの解析，情報処理，55(11)，1189-1195，8，2014

注9) 江東区：https://www.city.koto.lg.jp/057101/bosai/bosai-top/taiou/map_7077_6000.html (2022/09 閲覧)

注10)モリカトロン AI ラボ：
https://morikatron.ai/2022/07/jsai2022_paas/ (2023/10 閲覧)

REFERENCES

1) 大佛俊泰，中曽根翼：徒歩帰宅者シミュレーションに基づく大地震発生時における帰宅困難者対策施設の混雑度分析，日本建築学会計画系論文集，82(741)，2897-2905，2017. [Toshihiro OSARAGI and Tsubasa NAKASONE: Analysis of crowding of support facilities for people who have difficulty returning home after a large earthquake based on simulations of people traveling on foot, Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ), Volume 82 Issue 741 2897-2905, 2017.]

2) 廣井悠，大森高樹，新海仁：大都市避難シミュレーションの構築と混雑危険度の提案，日本地震工学会論文集，16(5)，5_111-5_126，2016. [U HIROI, Takaki OOMORI and Hitoshi SHINKAI: Evacuation Simulation in Metropolitan Area and Risk Maps of Heavy Traffic and Crowd in Catastrophic Disaster, Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, Volume 16 Issue 5 5_111-5_126, 2016.]

3) 下原祥平，渡邉泰史，島崎敏一，金子雄一郎：地震発生時における東京都内滞在者の帰宅行動モデル，社会技術研究論文集，7，45-53，2010. [Shohei SHIMOHARA, Yasushi WATANABE, Toshikazu SHIMAZAKI and Yuichiro KANEKO: Behavior Model for Return Home after Devastating Earthquake in the Tokyo Metropolitan Area, SOCIOTECHNICA, Volume 7 45-53, 2010.]

4) 牧野浩志，岸浩二，松本章宏，三好孝明，萬沙織：ITS を活用した耐災交通拠点のあり方について生産研究，64(2)，151-154，2012.

5) 高田和幸，杉山茂樹，藤生慎：東北地方太平洋沖地震により生じた首都圏の帰宅困難者の行動特性分析−首都圏における鉄道通勤者を対象として，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，68(4)，I_976-I_983，2012. [Kazuyuki TAKADA, Shigeki SUGIYAMA and Makoto FUJIU: Analysis of travel behavior of the commuters suffered from the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. A1, Volume 68 Issue 4 I_976-I_983, 2012.]

6) 羽藤英二，朝倉康夫，喜村祐二：移動体通信システムを用いた大規模イベント時の交通行動分析，土木計画学研究講演集，(22)，1，9，1999.

7) ユルマズジハット，藤田素弘，市川貴也：スポーツイベント時の交通実態と P&BR の満足度意識評価に関する研究，土木計画学研究・論文集，20，895-902，2003. [Cihat Yilmaz, Motohiro Fujita and Takaya Ichikawa: Study on Park & Bus Ride System in a Sports Event, INFRASTRUCTURE PLANNING REVIEW, Volume 20 895-902, 2003.]

(Received October 13, 2023)
(Accepted October 13, 2023)

STUDY ON THE ROLE OF DISASTER-PREVENTIVE TRANSPORTATION HUB USING PEOPLE FLOW SIMULATION AND SOCIAL EXPERIMENT-TYPE EVACUATION TRAINING

Atsushi TOMIZAWA, Yoshihumi MORIYAMA, Katsunori MATSUMOTO, Takaaki EBATO, Wakitaka KOIKE, Shinji YAMASHITA, Das RUBEL, Itaru MORITA, Tatsuya SUZUKI and Yuki OYAMA

In the Great East Japan Earthquake, roads were jammed, sidewalks were overflowing with people who had difficulty returning home, and train stations were crowded with people, paralyzing the transportation function.

Recently, there has been much discussion about the role of "disaster-preventive transportation hubs" with functions such as temporary stay, information provision, and arrival/departure of alternative means of transportation, because it is necessary to develop hubs that can function even in the event of a disaster.

In this paper, we construct a people flow simulation model using open-source software that can evaluate the functions of "disaster-preventive transportation hubs". Focusing on the relationship between the information provision and changes in the behavior of people who have difficulty returning home, we verified what kind of content of the information provided contributes to relieving crowd around stations and promotes the use of temporary stay facilities. To determine the relationship between the content of the information provided and the intention to use temporary stay facilities, we conducted a social experiment.

As a result, the number of people waiting on the street decreased when the information provided was enhanced, but a certain number of people still remained, suggesting the need for further countermeasures.