

京都駅前地下街における浸水災害時の避難シミュレーション -断面通行量調査とマルチエージェント解析を用いた群衆密度の検証-

末廣 愛¹

Ai Suehiro

¹立命館大学 理工学部建築都市デザイン学科 4 回生 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

キーワード：防災計画，地下街避難シミュレーション，緊急避難，マルチエージェント，

Keywords : *Disaster prevention planning, Underground, Evacuation simulation, Emergency evacuation, Multi agent , Crowd accident*

1. はじめに

現在，我が国の大きな都市では，土地の地下利用が増え，地下駅・地下道・地下街などの地下施設が数多く存在しする。その中には，地下空間の深層化・複合化によって形成された大規模な事例も複数存在している。地下利用により利便性が向上する一方で，地下空間の安全性の確保には複数の課題が存在する。火災・爆発，地震，浸水，停電，救急・救助活動，犯罪防止などが挙げられ，対策を講じる必要がある。その中でも，近年では，都市型の集中豪雨発生に起因する浸水災害が懸念されている。浸水災害においては，浸水自体による被害だけでなく，避難時における避難経路の集中化や人々のパニック行動による2次災害が懸念されており，人災事故は災害そのものによる被害を上回る可能性があるとも指摘されている。そのため，地下空間における浸水時の避難安全性を予め評価し，ハード的施策とソフト的施策を立案することが重要である。避難安全性の評価方法の一つに，マルチエージェントシステムを利用した避難シミュレーションがある。マルチエージェントシミュレーションは，個人の避難行動をモデルとして再現することで，全体の挙動を検証する事が可能な評価方法であり，火災に対する避難を代表に避難シミュレーションモデルが開発が行われている。マルチエージェントシステムを用いた評価を行うには，要避難人として，地下街利用者の量的および質的な特性を把握する必要がある。しかし，公表されている資料の限りではあるが，不特定多数が利用する地下街の要避難人口を十分に調査出来ていない現状も見受けられる。そこで，本研究では，京都駅前の大規模地下街を事例に現状調査を行い，マルチエージェントを用いた避難シミュレーションによって地下空間の安全性を検証を行う。

2. 研究概要

研究対象は，大規模な地下街であり都市の重要な交通拠点に接する，JR京都駅地下改札から地下鉄線京都駅改札をつなぐ地下道などを中心とした大規模なショッピングモールを含む京都府内最大規模の地下街とする。研究では，はじめに，滞留人口調査により地下街の詳細な人口分布や属性などの現状把握を行う。次に，マルチエージェントシステムを用いた浸水災害時を想定した避難シミュレーション解析を行い，群集密度に着目し現状の避難時の安全性を検証する。なお本研究では，マルチエージェントシステム用プログラミングツールとして，artisoc(構造計画研究所)を採用した。

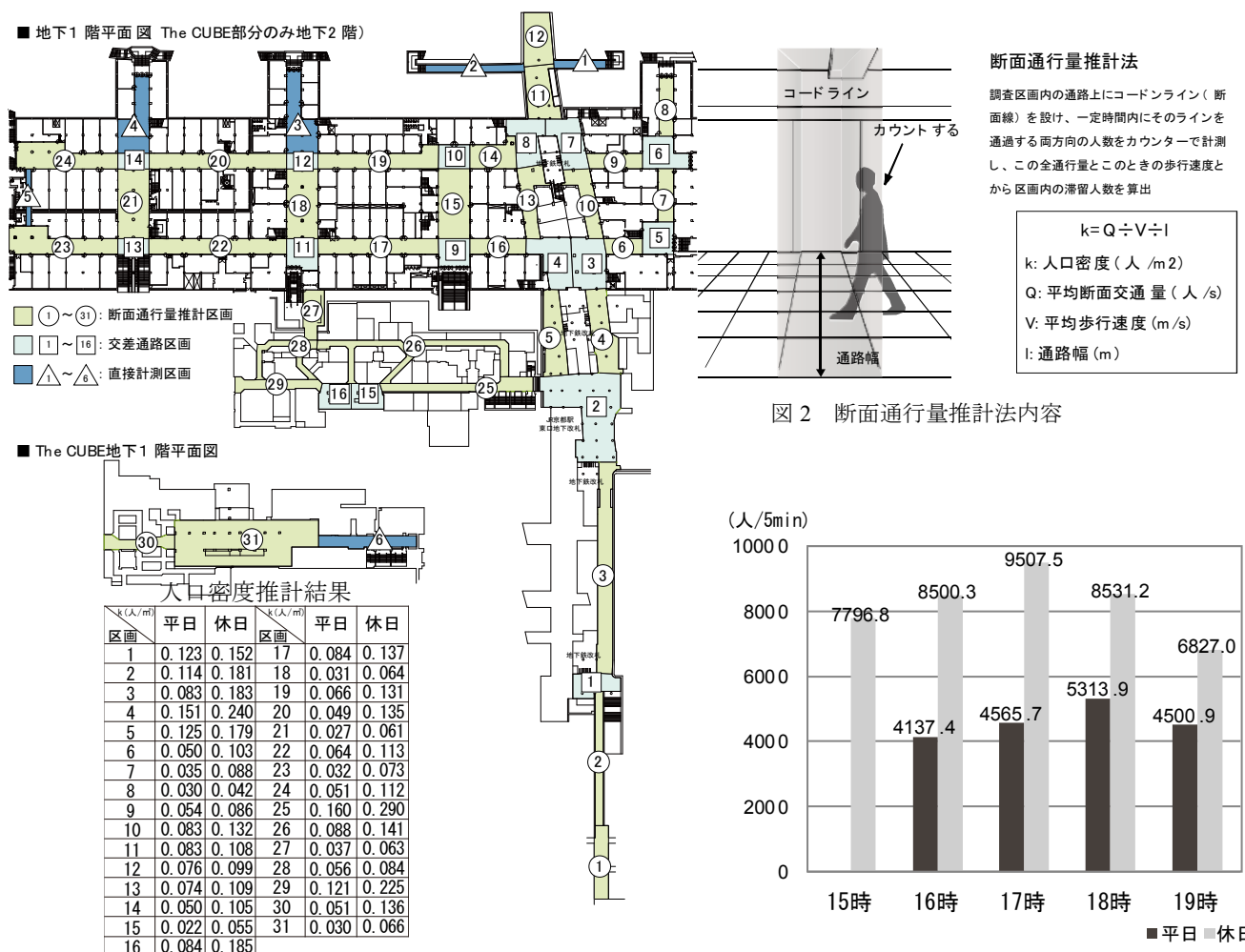
3. 滞留人口調査

(1) 調査概要

調査対象範囲について、図1のように人の流れが変わる交差点で区画分けし、店舗内や人通りの少ない通路については直接計測法、人通りの多い通路は断面通行量推計法、人の流れが複雑な通路の交差部分は標本密度推計法とし、計測方法を場所に応じて採用した。断面通行量推計法を用いる計31箇所の指定区画では、図2のように断面通行量を各計測時刻前後20分の中で1回5分間計測とした。その他の直接計測法、標本密度推計法を用いる区画での調査内容については、各計測時刻の前後20分間で撮影した画像・映像を基に、人数を目視で数える形式とした。なお、京都駅前地下街の人の属性分布に基づいたシミュレーションを行うための調査とするために、子供・若年・中年・壮年の男女と属性別¹⁾に分けて計測を行い、要介助者と大きな荷物所持者の計測も行った。計測日時については、人の流れが異なる平日・休日に分けて実施し、平日においては、長期休暇時期を避け、通勤・通学に該当する時間帯に計測を行った。休日においては、年間で最も混雑す紅葉時期に計測を行った。また、既往研究²⁾から京都駅は夕方に通混雑ピークを迎えるが、混雑時の山は非常になだらかであることから、平日は16時～19時の一時間おきで4時間帯、休日は15時～19時の一時間おきで5時間帯を計測時間帯とし、一日の中での最大滞留人口時を把握した。(なお具体的な日については記述を控えている)

(2) 調査結果とシミュレーションへの適用

平日3日分、休日2日分の調査を行った結果、断面通行量は図3の様に、平日は17時、休日は18時に最大となった。これらの時間帯の滞留人口をシミュレーションに適用する。またこれらの区画において、特に断面通行量が多かったJR線と市営地下鉄線を繋ぐ区画を中心にシミュレーション対象区画とした。

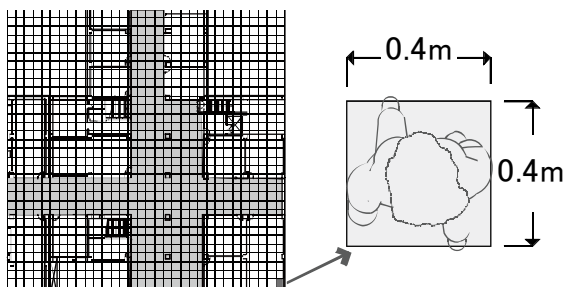


4. 避難シミュレーション

(1) シミュレーション設定

設定においてはまず、シミュレーション対象範囲を図1とし、人間1人分に近似な1セル $0.4 \times 0.4\text{m}$ メッシュに分割した。これは障害物などをモデルに反映させるためである。次に、図5のように経路に沿った避難が行われるよう避難者エージェントを誘導するために、交差区域・各店舗前などにWayPointを設定した。なお、WayPointにはGIS上で行った最短経路探索の結果が入力されており、避難エージェントは浸水災害避難時の出口までの最短経路を探索して避難する形式とした。具体的なWayPointの配置は、各交差区域の中心や、経路が複雑となる箇所とし、図6のように配置した。次に、区画毎に滞留人口調査結果に基づき避難者エージェントを配置し、浸水避難時ガイドラインによる避難出口を目標出口とし、図7のようなアルゴリズムに従って避難者エージェントを避難させた。なお過程の歩行速度については、既往研究³⁾を参考に、障害物や階段に接触した際には歩行速度を落とすような設定とした。そして、上記のシミュレーションを行った上で混雑箇所を目視で確認し、群集密度を計測するためのCounterエージェントを配置した。

本研究では、以上の設定でシミュレーションを行ったが、これは、避難者全員が最短経路を巡って出口まで避難するという避難の形式である。これは、避難が比較的合理性の高い形式で行われた場合でも、群衆密度が危険水準に達する範囲が生じるが否かを確認するためである。



1 セルを1 人分の面積と考える

図4 セルの設定

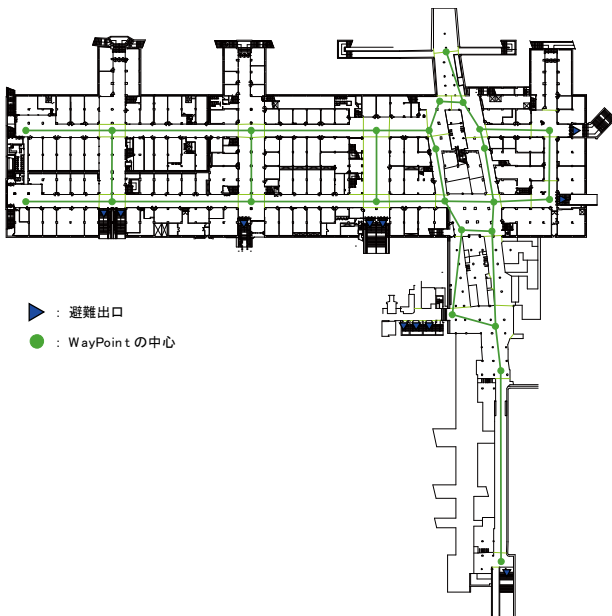


図6 WayPointと避難出口位置

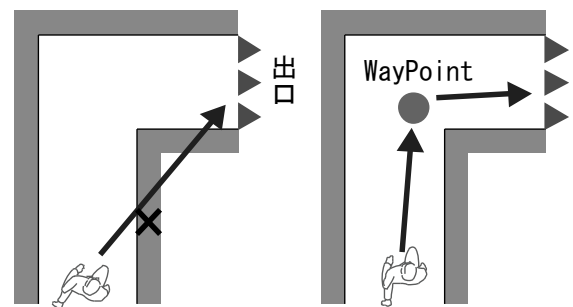
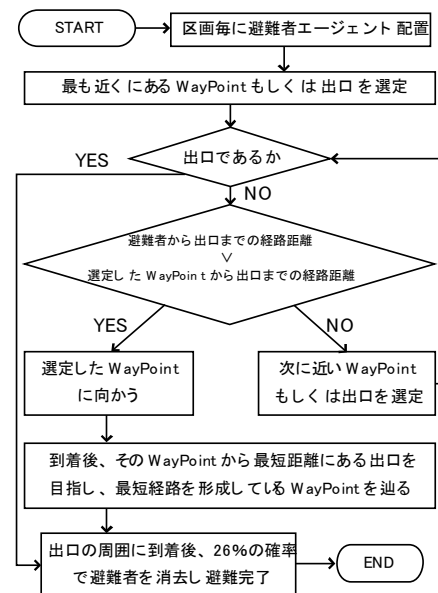


図5 WayPointの設定



出口の流動係数 1セルの出口 A_{gt} につき
 1.3 人/ms \longleftrightarrow 0.26 人/step 避難

図7 避難行動フロー

(2) シミュレーション結果

平日・休日各50回ずつシミュレーションを行った。各時間帯の平均から、Counterエージェントが計測した群集密度の最大値を抽出し、シミュレーション対象に地点と色で表現したのが図8である。図8から、避難出口付近の群集密度が高く、最大交通量1.1を超えている範囲が平日・休日においてそれぞれ1箇所あることが分かる。この地点は、JR改札から地下鉄改札への動線上にあり人口密度が高い上に、避難出口前・足元の段差などの影響を受けたと考えられる。図9から群集密度の時系変化みると、群衆密度が1.1を超えるのは、シミュレーションの20step及び80step付近であることが分かる。これは、滞留人口が高い範囲に位置する避難出口であるため、近傍の避難エージェントが集まり比較的初期に群衆密度が高まった後に、再び周辺の避難エージェントが集まったためであると考えられる。

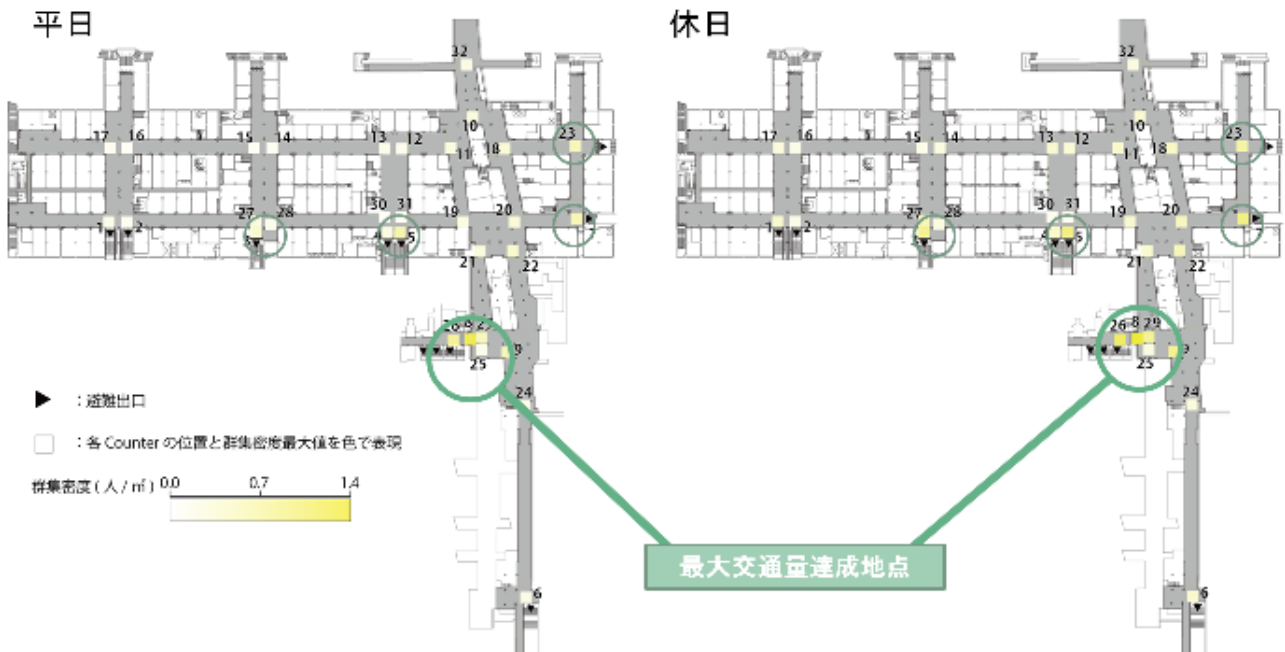


図8 各Counterエージェント配置図兼群集密度階級図

歩行者密度の評価表 ※文4)より抜粋

サービス水準	A	B	C
密度(人/m²)	0.3未満	0.3~0.45	0.45~0.7
交通量(一方 向流の場合)	最大交通量の 20%以下	最大交通量の 20%~50%	最大交通量の 50%~65%
	D	E	F
	0.7~1.1	1.1~2.0	2.0以上
	最大交通量の 65%~80%	最大交通量達成	流動は制御不能で 麻痺状態、あるいは停止

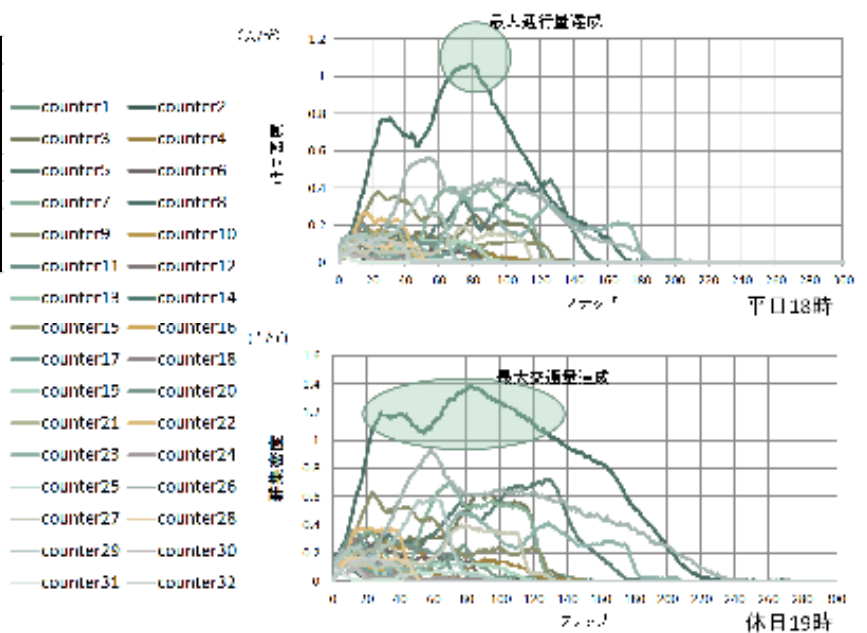


図9 WayPointと避難出口位置

5. まとめ

本研究で地下街で浸水災害時の避難シミュレーションを行い、群集密度の推移を分析することで避難時の安全性の検証を行った。その結果、群衆密度が高くなる範囲を1か所確認した。また、群衆密度が高まる時間帯が2つあることを確認した。避難誘導員の配置など、避難計画のソフト面において、該当箇所の初期段階の避難を円滑にする計画が重要であると考えられる。なお、本研究のシミュレーション設定は、前述のように、避難者が最短経路を辿り出口に迷うことなく避難するといった比較的合理性の高い避難を想定した形式を採用した。そのため、非常時の非合理的な避難行動を加味すると、群集密度が高まる可能性がある。今後は、属性別に把握した滞留人口をシミュレーションに反映することで、観光客などの地理不安な人々の行動である帰巣行動や追従行動、通勤・通学者の日常動線への回帰、付和雷同などをモデル化したシミュレーションを行う予定である。

謝辞：この研究を卒業論文として形にすることが出来たのは、担当して頂いた山田悟史先生の熱心なご指導や、通行量調査許可・地下街図面提供などの京都ステーションセンター株式会社の方々による調査協力、株式会社構造計画研究所によるartisocソフトを無償提供などのおかげです。協力していただいた皆様へ心から感謝の気持ちと御礼を申し上げ、謝辞にかえさせていただきます。

参考文献

- 1) 松本直司・清田真也・伊藤美穂：街路空間特性と歩行速度の関係, 日本建築学会計画系論文集 第640号, p1371, 2009年6月
- 2) 辻正矩, 佐橋純：地下街の防災・避難計画に関する研究（その9）, 日本建築学会計画系論文報告集 第425号, 1991年7月
- 3) 城田拓耶：マルチエージェントによる避難計画を踏まえた教室配置の検証～芝浦工業大学大宮キャンパス新2号館対象～, 2011年2月
- 4) 岡田光正：「群集安全工学」, 鹿島出版会, 2011年
- 5) 兼田敏之：「artisocで始める歩行者エージェントシミュレーション」
- 6) 安福健祐, 阿部浩和, 山内一晃, 吉田勝行：メッシュモデルによる避難シミュレーションシステムの開発と地下空間浸水時の避難に対する適用性, 日本建築学会計画系論文集 第589号, pp123-128, 2005年3月