

札幌駅前通地下歩行空間における避難行動マルチエージェントシミュレーション Agent-based evacuation simulation in the Sapporo Underground Passage

高橋 尚人[†]
Naoto Takahashi

1. はじめに

札幌駅前通地下歩行空間(チ・カ・ホ)は、札幌市営地下鉄さっぽろ駅と大通駅を結ぶ延長約 520m の地下歩行者専用道路である。冬期には1日に約20万人がチ・カ・ホを利用し、札幌都心エリアのネットワークの一部として重要な役割を果たしている。地下歩行空間などの地下空間は、気密性が高く出入口も限られていることから、災害等が発生した場合には速やかに地下空間外に避難することが求められるが、現実に避難実験を行うことは困難である。

本研究では、チ・カ・ホの防災機能向上に資するため、チ・カ・ホを対象としたマルチエージェントシミュレーションモデルを構築し、災害等発生時の避難行動シミュレーションを行った。

2. チ・カ・ホの概要

チ・カ・ホは、札幌市営地下鉄南北線さっぽろ駅と大通駅を結ぶ地下歩行者専用道路で、2011年3月に供用開始した。チ・カ・ホの完成により、1年の半分を雪が覆う札幌の都心を、四季を通じて安全・快適に歩くことができるようになり、札幌都心エリアのネットワークの一部として重要な役割を果たしている。

チ・カ・ホの延長は約520mで、幅約20mの地下通路とイベント等にも利用可能な広場空間およびチ・カ・ホに接続する出入口から構成される。チ・カ・ホの出入口は、地下鉄さっぽろ駅および大通駅との接続部、1番～14番の出入口、隣接施設に接続する出入口、および北1条地下駐車場へ接続する出入口があり、チ・カ・ホへの(または、チ・カ・ホからの)アクセスが可能になっている(図1)。

3. 地下空間における災害の発生

3.1 チ・カ・ホにおける災害の発生

供用開始以来、チ・カ・ホでの災害発生事例はないが、2015年2月10日に、チ・カ・ホに接続するビルで火災が発生した事例がある。この火災では、ビルの地下にある飲食店が火元になり、防火シャッターが作動しなかったため、煙がチ・カ・ホに流れ込む事故が発生した。

この火災を踏まえ、関係者の防災に関する意識が高まり、2015年3月24日に札幌駅前通地区防災協議会が立ち上げられた。防災に関するマニュアル策定や避難訓練を実施するなど防災機能の向上に努めている。

3.2 チ・カ・ホ以外の地下空間における災害の発生

3.2.1 日本国内の地下空間における災害の発生

日本国内の地下空間の災害発生については、総務省が実態調査を行っている[1]。調査対象期間は平成21年度から平成25年度までで、当該期間に27件の火災と13件の浸水があったことが報告されている。調査結果を踏まえ、情報伝達訓練の結果等の検証を踏まえた連絡体制の見直し、効果的な避難訓練等の実施について勧告があった[2]。

3.2.2 海外の地下空間における災害の発生

海外では、地下空間で発生した火災により多くの方が亡くなった事例がある。1987年、ロンドンの地下鉄キングスクロス駅で火災が発生し、31名が死亡した[3]。火のついたマッチが木製のエスカレーターの間隙に落ち、下にあったごみと潤滑油に火がついたことが火災の原因だった。

韓国では、2003年に大邱(テグ)市都心の地下鉄中央路駅構内で火災が発生した[4]。火災の原因は地下鉄車両への放火による出火で、複数の人為的ミスも重なり、火災による死者は197名、負傷者は147名に達した。

4. チ・カ・ホにおける避難行動マルチエージェントシミュレーション

先に紹介したように、今までチ・カ・ホでの災害の発生はないが、チ・カ・ホで災害が発生した場合を想定し、防災対策を事前に検討しておくことは危機管理上非常に有意義である。しかし、チ・カ・ホで災害を想定した避難実験を行うのは困難なため、チ・カ・ホを対象としたマルチエージェントシミュレーションモデルの構築と、災害時の避難行動シミュレーションを行った。

本研究では、マルチエージェントシミュレーションソフトウェアとして、The AnyLogic Companyによって開発されたAnyLogicを使用した。AnyLogicは様々なモデル開発が可能であるとともに、構築したモデルの視覚化が可能であり、シミュレーション結果の理解を容易にしている。

4.1 チ・カ・ホを対象としたマルチエージェントシミュレーションモデルの構築

チ・カ・ホは壁面に囲まれており、複数の出入口を有している。また、チ・カ・ホには複数の柱があり、ベンチ等が置かれて歩行できない空間もある。チ・カ・ホの構造を正しく再現するため、札幌市から提供いただいたCADデータの利用に加え、現地踏査で詳細を確認した。



図1 チ・カ・ホ平面図

[†] 札幌市立大学 Sapporo City University

チ・カ・ホの人流の再現には、人流センサーのデータを用いた。チ・カ・ホでは、図1に示すJ1~J5に人流センサーを設置して、さっぽろ駅から大通駅に向かう方向、大通駅からさっぽろ駅に向かう方向の人流を計測し、15分ごとに集計している。

シミュレーションの実施にあたっては、対象日時を決め、AnyLogicのキャリブレーション機能を利用し、対象日時の人流センサーでの測定値と合致するように各出入口で発生するエージェント数、エージェントが各出入口から出ていく確率を設定した。

4.2 避難行動シミュレーションの実施

4.2.1 災害シナリオの設定

本研究では、以下の2ケースの災害シナリオを設定した。

CASE.1 災害等が発生し、災害等の発生時点でチ・カ・ホにいるエージェントは、チ・カ・ホの全ての出入口から避難する（全ての出入口が使用可能）

CASE.2 災害等が発生し、一部の出入口が使用不能になる。災害等の発生時点でチ・カ・ホにいるエージェントは、使用可能な出入口から避難する

エージェントは、使用可能な出入口のうち一番距離が近い出入口を選択し、避難行動を開始する。実際の避難行動では、方向を見失うなどにより直ちに避難を開始できない人が一定割合いると考えられるため、発災から避難を開始するまでの時間を確率分布で与えた。

4.2.2 避難行動シミュレーションの実施

本研究では、チ・カ・ホの利用者が多い場面での避難行動シミュレーションを行うこととし、冬の平日朝の通勤時間帯（2019年1月18日（金）の7時~10時まで）の人流を再現し、発災時刻を7時半に設定した。

シミュレーション実行結果を図2、図3に示す。結果は、各条件で3回シミュレーションを行い、平均値を採用している。また、CASE.2では、出入口1番から4番までを使用

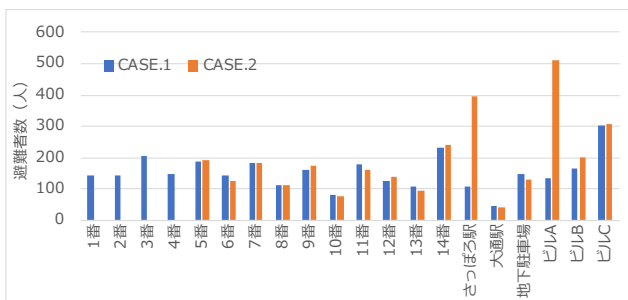


図2 シミュレーション結果（各出入口の避難者数）

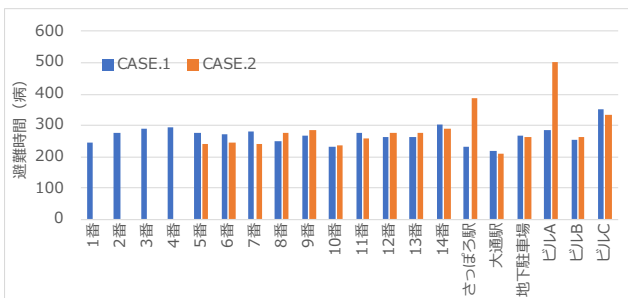


図3 シミュレーション結果（各出入口の避難時間）

不能な出入口として設定した。

CASE.1（全出入口から避難可能）では、避難者数は3,037人で、避難に要した時間は376秒だった。出入口別では、ビルCからの避難者数が303人、避難に要する時間が349秒と最も避難に時間を要した。最も早く避難が終わった大通駅と比較すると、避難時間で2分12秒、避難者数で256人の差があった。混雑していない出入口に避難者を誘導することができれば、各出入口からの避難者数が平準化し、より短い時間で避難できると考えられる。

CASE.2（出入口1番から4番までが使用不能）では、避難者数は3,076人でCASE.1と同程度だったが、避難に要する時間は503秒で、CASE.1より4分以上避難に要する時間が長くなった。出入口別では、さっぽろ駅とビルAの避難者数・避難時間が大幅に増えた。さっぽろ駅とビルAは使用不能になる1番~4番出入口に近く、1番~4番出入口から避難できないエージェントがさっぽろ駅とビルAに集中したためと考えられる。避難状況を視覚化したところ、使用できない出入口の近くにある出入口にエージェントが集中し、避難順番を待って滞留していることが確認できた（図4）。情報提供等を行うことで、空いている使用可能な出入口に誘導し、速やかな避難を可能にする支援策が必要と考えられる。



図4 CASE.2での避難状況

5. おわりに

本研究では、チ・カ・ホで災害が発生した場合の避難行動シミュレーションを行い、各出入口の避難人数、避難に要する時間を得た。

本研究では、避難開始までの時間を確率分布で与えたが、方向を見失わないような支援策があれば、避難行動の開始を早めることが可能になる。また、避難行動シミュレーションでは、エージェントが特定の出入口に集中し、避難に時間を要する状況が見られた。混雑していない出入口に誘導する情報提供等の対策を講じることができれば、より短い時間で避難が可能になると考えられる。

様々な人流条件、災害シナリオで実験を行うとともに、情報提供等の避難支援策の効果の検証を行い、チ・カ・ホの防災機能の向上に役立てていきたい。

参考文献

- [1] 総務省行政評価局，“地下街等地下空間利用施設の安全対策等に関する実態調査”（2016）。
- [2] 総務省，“地下街等地下空間利用施設の安全対策等に関する実態調査結果に基づく勧告（2016）。
- [3] LONDON FIRE BRIGADE, “The King's Cross fire”, <https://www.london-fire.gov.uk/museum/history-and-stories/historical-fires-and-incidents/the-kings-cross-fire-1987/> (accessed 2021.3.23)
- [4] 日本建築学会防火委員会，“韓国大邱(テグ)市で発生した地下鉄火災について(第2報)”（2003）。