

避難シミュレーションとバーチャルリアリティ実験の連携による地下街の修正避難行動モデルの開発

東京理科大学 ○田中 俊成\*1  
東京理科大学 水野 雅之\*2

火災時の避難行動 経路選択 地下街  
避難シミュレーション VR

研究の目的

本研究は、火災時の避難行動における出口選択を、バーチャルリアリティ（以下、VR）技術を用いた被験者実験を通して調査するものである。火災時の行動特性としては、「火災から遠ざかる」「まず火災の状況を確認に行く」「開放的な方向へ行く」「前の人に続く」「周囲の人と同じ方向に行く」「より空いている出口を探す」など様々である。こうした出口選択に関わる行動特性やその行動をとった要因を分析するには、実空間を利用した被験者実験は、空間条件は実態に即しているものの、大規模避難を再現する被験者の確保の問題や地下街を使用して実験を実施することは難しい。VR技術を用いた被験者実験は、場所の制約や被験者確保の問題もクリアでき、避難行動分析ツールとしての可能性がある。本研究では、こうした背景を踏まえ、地下街火災時の避難行動特性の把握を目的とし、避難開始時の位置や向き、他の避難者の移動状態（群集密度や移動速度）が被験者の避難行動に及ぼす影響を分析した。また、実験の結果から、人間の心理状況を考慮した新たな避難者モデルを提案する。

研究の内容

ゲームエンジンUnityを用いて地下街空間をVRとして再現した。実験対象の地下街を図1に示す。空間全体の規模は、173.5m×19.5mで、天井高を3mとし、6.5m幅の通路の両側に店舗を配置した。また、避難階段は、その通路の片側に3か所配置され、その前に天井から避難誘導灯を吊り下げ設置した。

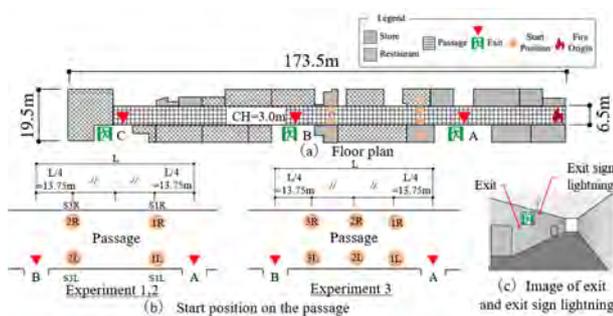


図. 1 空間条件

集団で避難する状況を再現するため予め避難シミュレーションを使用して対象空間の避難性状を解析した。解析対象空間における群集避難の解析後、各避難者の位置

座標を抽出し、VR空間に他の避難者として配置し、指定した時刻から一斉に避難を開始する仕様とした。避難を開始する位置（開始位置）を通路に6箇所設け、店舗からの避難を想定し店舗内に4箇所の避難開始位置を設けた。開始位置には、火災方向を向くように迂回して入る方法と進行方向のまま入る方法の2通りとした。

(1) 実験1

被験者には、10ケースの実験に参加してもらった。在館者密度の設定は、高密度の数値を避難安全検証法に基づき、通路部を0.25人/m<sup>2</sup>、物販店舗を0.5人/m<sup>2</sup>、飲食店舗を0.7人/m<sup>2</sup>とした。また、これを基準に中と低は、それぞれ高密度の1/2と1/4とした。Case1は在館者密度を中とし開始位置を4箇所(3L~1R)、避難開始時の向きは火災方向を向くシナリオとした。Case2は開始位置をExitBに近い2箇所(3L, 3R)、在館者密度を低、中、高の3水準、避難開始時の向きは火災方向とは逆を向くシナリオとした。実験の結果、火災方向を向いて避難を開始したCase1の火災側に最寄りの出口のある避難開始位置1L,1Rでは直近の出口を選択する被験者に比べ火災から離れるように遠く離れたExitB,Cを選択した被験者の割合が高かった。Case2では、在館者密度が高い条件ではExitBを通り過ぎExitCに向かった被験者の割合が高くなった。

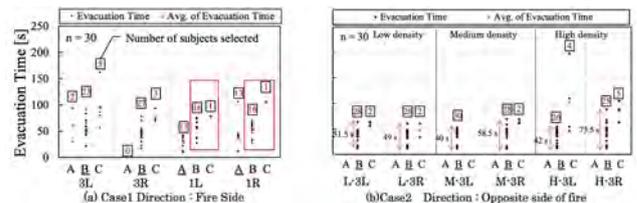


図2 実験1の各被験者の出口選択者数と避難時間

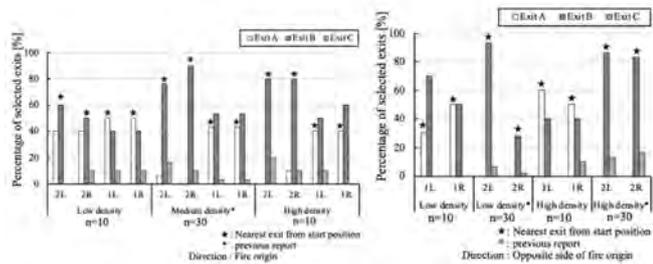
(2) 実験2

実験2では、10名の被験者を対象に、実験1の比較条件として表4に示す4ケースの実験に参加してもらった。実験空間は実験1同様で、開始位置は、通路部の4箇所に加えて、店舗内にS3L,S3R,S1L,S1Rの4箇所を追加した。

表1 実験条件 (実験2)

Case	Case 1		Case 2		Case 3		Case 4					
Start direction	Direction to fire origin		Direction to fire origin		Opposite direction to fire origin		Passage					
Occupant density	L (Low)		H (High)		L (Low)	H (High)	H (High)					
Start position	3L	3R	1L	1R	3L	3R	1L	1R	S3L	S3R	S1L	S1R

火災方向を向いた状態で避難開始位置(3L,3R)から避難を開始した場合、在館者密度が中程度以上になると、最も近い出口を選択する被験者の割合が10%~20%増加した。避難開始位置(3L,3R)から避難を開始した場合、在館者密度が低い場合は、在館者密度が高い場合よりも最寄りのExit Aを選択する割合が高かったが、在館者密度が高い場合は、火災に近いExit Aを選択する割合が高かった。一方、在館者密度が高くなるほど、避難開始位置から遠い出口を選択する被験者の割合が増加した。これは、在館者密度が高くなると、他避難者からの圧迫感から被験者が群衆の流れに追従する傾向があったからと考えられる。



(a) Relationship exit selection and occupant density (b) Relationship exit selection and start position

図3 実験2の全ケースの出口選択者数

(3) 実験3

実験1および2では、空間内に配置された他の避難者の移動速度は一律で画一的な動きとしたため、実験3においては、移動速度の異なるNPCを混在させ、避難群衆の流れを制御した。具体的には、移動速度の異なる3種類の避難者属性として健常者1.3m/s、子供1.0m/s、高齢者0.5m/sを設け、それらの混在比率によって避難群衆の移動速度を3水準(速, 中, 遅)を設定した。健常者:子供:高齢者の混在比率が6:2:2の場合を速い条件、4:4:2を中程度の条件、2:2:6を遅い条件とした。

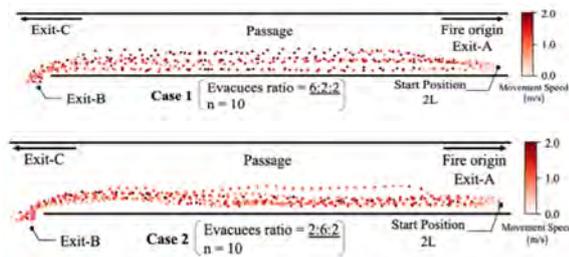


図4 全避難者の移動軌跡と移動速度 (Case1,2)

群衆避難速度が速い条件(図4上段)と遅い条件(図4下段)では出口選択への影響は見られなかったが、速い条件では避難開始位置から出口までの区間でプロットの間隔が広く速度が速いのに対し、遅い条件ではプロットの間隔狭く速度が遅い傾向にあった。また、移動経路は速い条件の方が横に広がっていた。つまり、群衆の流れ

が速い条件では速く移動できたが、群衆の流れが遅い条件では遅い他の避難者の後ろを追従した傾向があったため、被験者の経路が横に広がらなかったと考えられる。

(4) 避難シミュレーションの改良方針

実験では、出口が混雑している場合に、一部の被験者はその出口を選択せずに他の出口を探索する傾向が見られた。従って、他の避難者の出口選択についてもばらつきを与えるような改善が必要であると考えられる。その対応には、避難シミュレーションを実行する上で、避難者を異なるポテンシャル分布に従って避難させる方法が考えられる。具体的には、複数の出口のうちそれぞれの避難口に避難するように計算されたポテンシャル分布があり、各エージェントの出口からの距離や初期条件としての移動方向の設定に応じて、どのポテンシャル分布に従って避難するかを割り当てを確率的な試行に基づいて設定する方法である。

研究の成果、新知見

本研究では、地下街をVR空間として制作し、同空間を対象に避難シミュレーションを用いて避難者の動きをVR空間に取り込むことでVR避難シミュレーターを開発した。実験の結果、以下のような避難行動の傾向が見られた。

- ・非火災方向を向いている条件に比べ、火災方向を向いて避難を開始した条件では出口選択にばらつきがあった。
- ・在館者密度が高い場合、混雑を回避するように遠く離れた出口を選択する傾向。
- ・群衆の移動速度の速い条件では、移動ルートにばらつきがあり、遅い条件ではNPCを追従する傾向

以上の傾向から、在館者密度や避難開始時に向いている方向によって出口選択が変わる傾向があることが明らかになった。また、実験結果から出口選択にばらつきのある避難シミュレーションモデルの改良方針を提案した。

今後の予定

現在開発中であるマルチレイヤーポテンシャルモデルの避難シミュレーションの計算結果をVR避難シミュレーション内に反映し、他避難者の出口選択行動にばらつきがある場合における避難者の避難行動の影響がどのようなものであるか調査する予定である。また、その結果に基づき避難者シミュレーションにフィードバックすることで、人の心理状況を考慮した避難者モデルが構築できると考えている。

謝辞

本研究は、一般財団法人大成学術財団の助成を受けて実施された。また本研究の実施に際しては、被験者や実験補助者として多くの方々からの協力を得た。ここに記し謝意を表します。

\*1 東京理科大学大学院理工学研究科・大学院生(博士課程)

\*2 同・准教授

\* Tokyo university of science, Graduate school of science and technology