

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

東京理科大学大学院 理工学研究科 国際火災科学専攻  
博士後期課程 田中 俊成



目次

1. 研究背景・目的
2. 実験1 -在館者密度が避難行動に与える影響-
3. 実験2 -異なる移動速度の避難者の構成比率の影響-
4. VR実験における避難行動傾向に基づく避難者行動モデルの開発
5. 総括・今後の展望



研究背景・目的

写真引用元  
写真1: URL (<https://www.hhp.co.jp/services/shopping/>)  
写真2: URL (<https://bluestyle.livedoor.biz/archives/52454435.html>)  
写真3: URL (<https://www.constnews.com/?p=6754>)

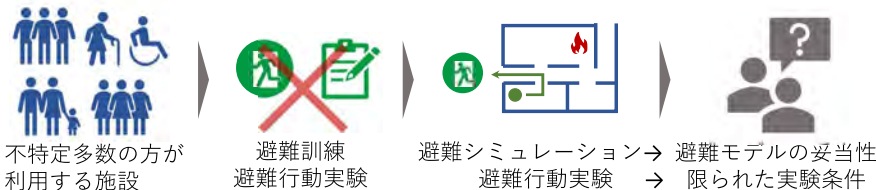


写真.1 ショッピングモール

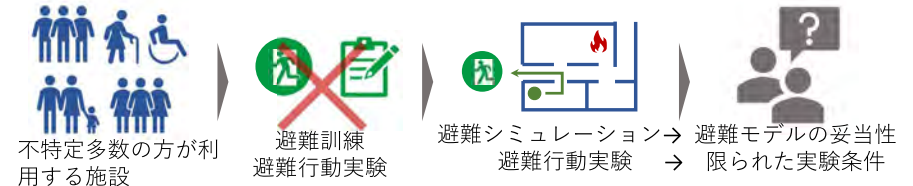
写真.2 駅舎

写真.3 地下街

不特定多数の人が利用する施設では、管理者やスタッフを対象とした避難訓練は可能だが、一般利用者を対象とした避難訓練は容易ではない。

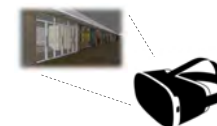


研究背景・目的



これまでに、不特定多数の利用者が利用する地下街やターミナル駅、ショッピングモールなどで火災が発生した場合の避難行動の特徴を分析した研究があるが、いずれも限定的な実験条件、大規模な避難を想定した実験は行われていない。

VRを  
防災分野に応用



避難行動分析実験

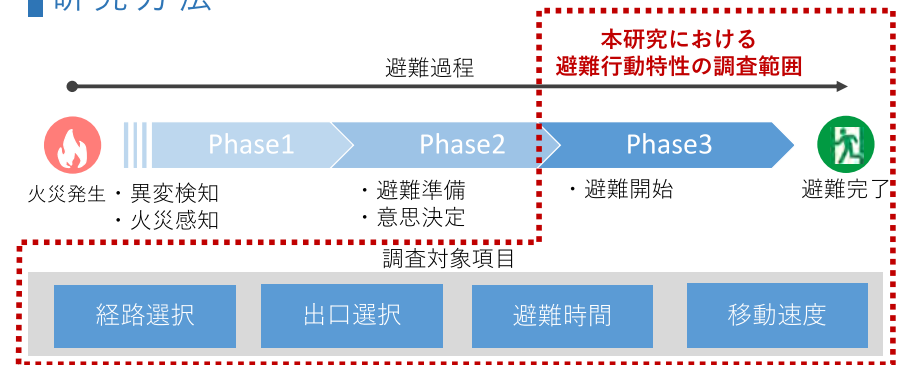
VR実験に得た避難行動傾向に  
基づく避難者行動モデルを提案



## 実験 1 VR技術を用いた地下街火災時の避難行動分析

～在館者密度の影響～

## 研究方法



本研究では・・・

1. 他避難者の行動を考慮した大規模避難時の避難行動の分析  
在館者密度, 他の避難者の移動速度
2. 避難開始時の位置と出口との位置関係や  
避難開始時に向いている方向による出口選択の影響

## 研究方法

VR化までの流れ

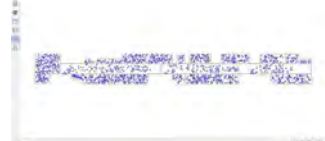
実験空間 (3DCG)



実験対象施設のモデリング  
BIMソフト等

他避難者 (NPC)

火災避難シミュレーションEVATUS



避難者の座標を取得

VRモデル



ハードウェア:  
HTC VIVE PRO

HTC VIVE PRO	
重量	765 g
視野角	110°
リフレッシュ	90 Hz
解像度	2880 × 1600 dpi

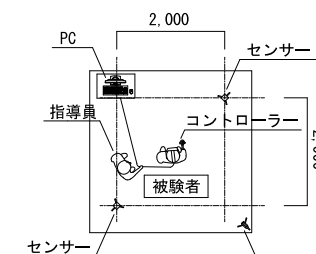


避難者の座標にNPCを配置

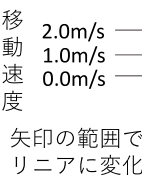
組合せ次第で様々な  
シナリオで実験が可能

## 研究方法

VR空間の操作 (移動方法)



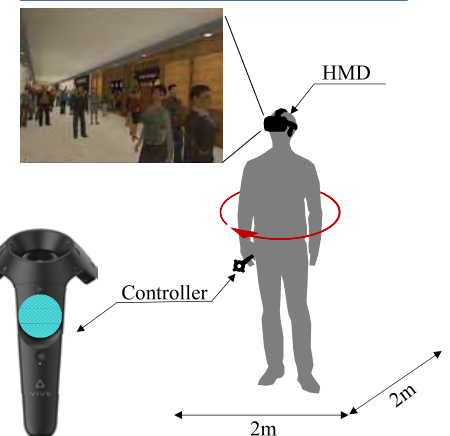
移動  
速度



矢印の範囲で  
リニアに変化

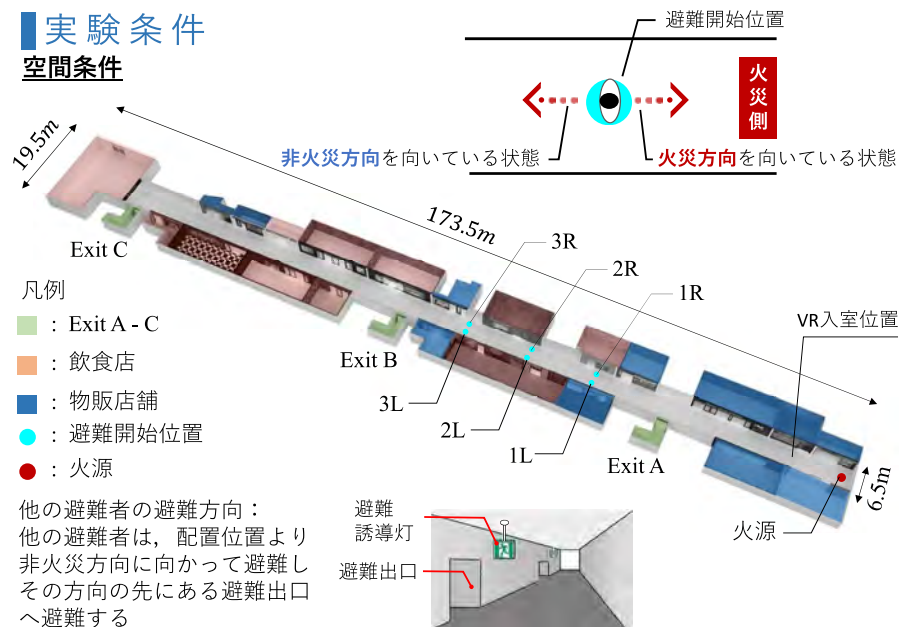
HMDを装着しVR空間を見ながら視野の向きや高さは実際の体位を反映し,  
コントローラーを使って視界方向に進進する

最大で10m×10mの範囲で歩行が可能  
→本研究では、その範囲を超えるため  
コントローラーによる移動方法を採用



## 実験条件

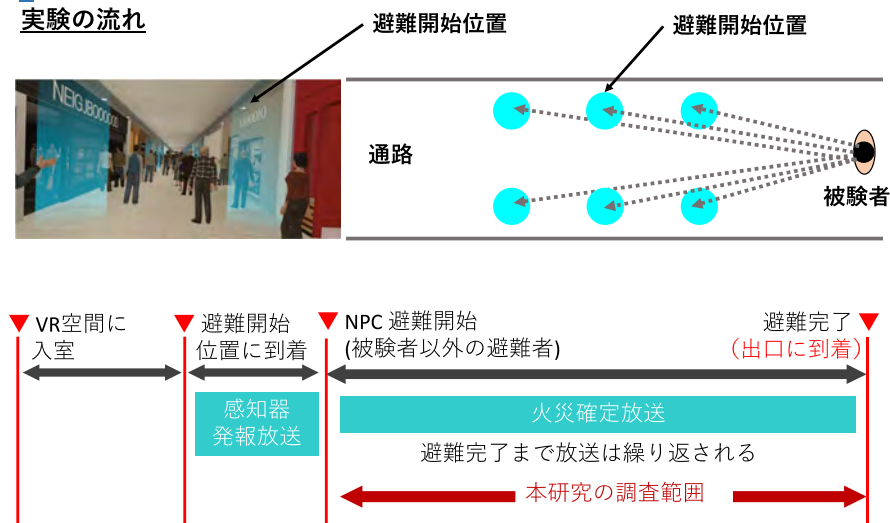
### 空間条件



9

## 実験条件

### 実験の流れ



10

## 実験条件

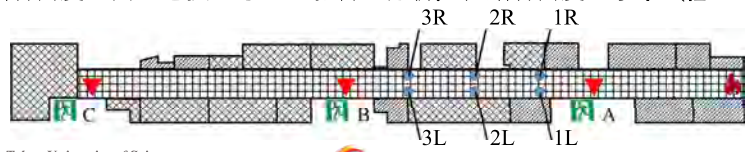
### 実験条件

避難者人数設定 (NPC)

被験者	通路	物販店	飲食店	合計
30名 男性：25名 女性：5名	低密度 0.06人/m <sup>2</sup>	0.125人/m <sup>2</sup>	0.175人/m <sup>2</sup>	248人
	中程度 0.125人/m <sup>2</sup>	0.25人/m <sup>2</sup>	0.35人/m <sup>2</sup>	603人
	高密度 0.25人/m <sup>2</sup>	0.5人/m <sup>2</sup>	0.7人/m <sup>2</sup>	1213人

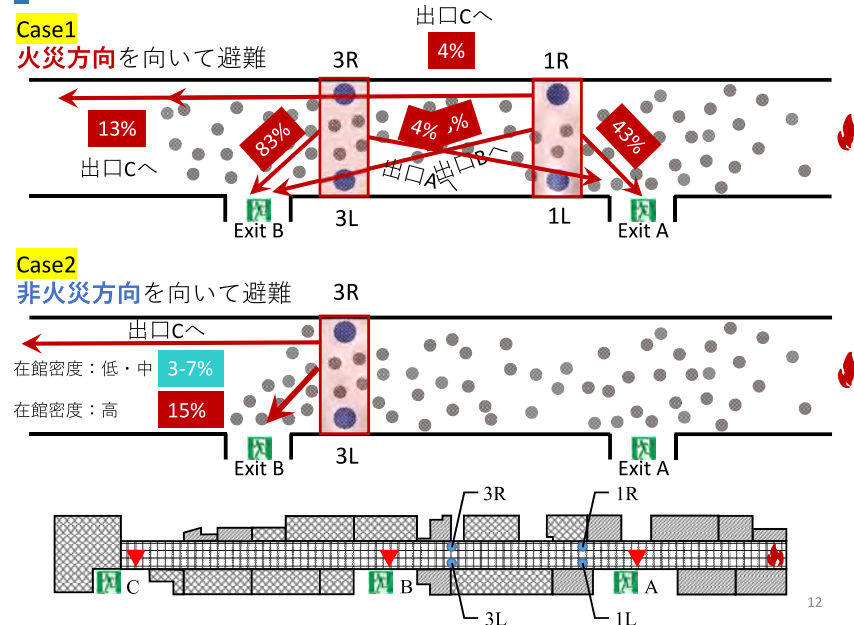
### 実験条件

- Case1  
4箇所 (1L,1R,3L,3R) の避難開始位置から火災方向を向いた状態で避難をする条件の避難行動を分析
- Case2  
2箇所 (3L,3R) の避難開始位置から非火災方向を向いた状態で避難する条件の避難行動を分析  
在館者密度が出口選択に与える影響を分析。在館者密度3水準 (低・中・高)



11

## 実験結果



12

## 実験結果

出口選択にばらつきがあったケース

在館者密度 : 中程度 (NPC : 603人)

避難開始時の向き : 火源側

13人 / 30人中

(43.3%)

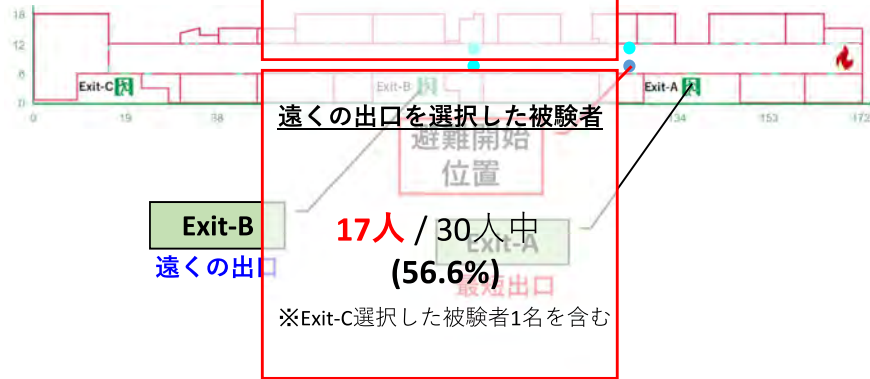
最短出口を選択した被験者

遠くの出口を選択した被験者

17人 / 30人中

(56.6%)

※Exit-C選択した被験者1名を含む



## 実験2

VR技術を用いた地下街火災時の避難行動分析

～異なる移動速度の避難者の構成比率の影響～

## 実験概要

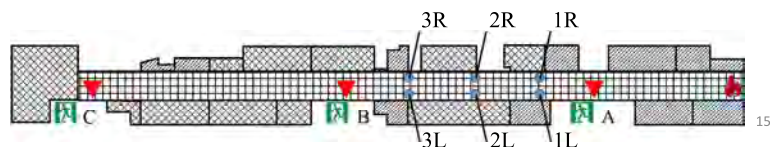
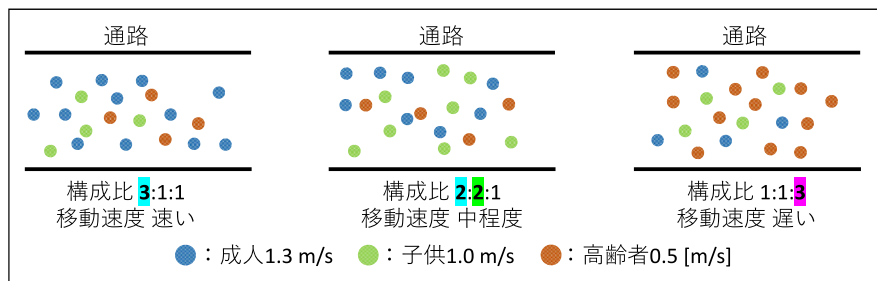
[目的]

異なる避難群集の移動速度が避難行動に与える影響を分析

NPCの設定条件

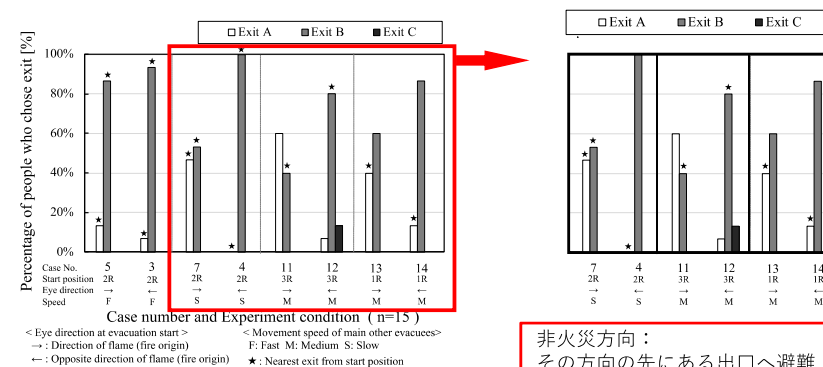
移動速度 : 成人1.3 m/s : 子供1.0 m/s : 高齢者0.5 m/s

構成比率 : 3:1:1を速い条件, 2:2:1を中程度, 1:1:3を遅い条件



## 実験結果

出口選択の傾向

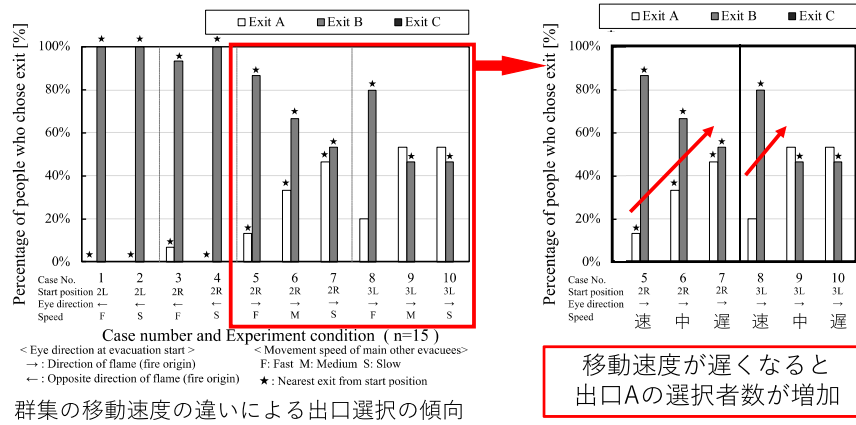


避難開始時の方向の違いによる出口選択の傾向

実験1と同様の出口選択傾向

## 実験結果

### 出口選択の傾向



移動速度が速いと避難群集の流れに追従するように避難する傾向

## 実験結果

### 実験映像



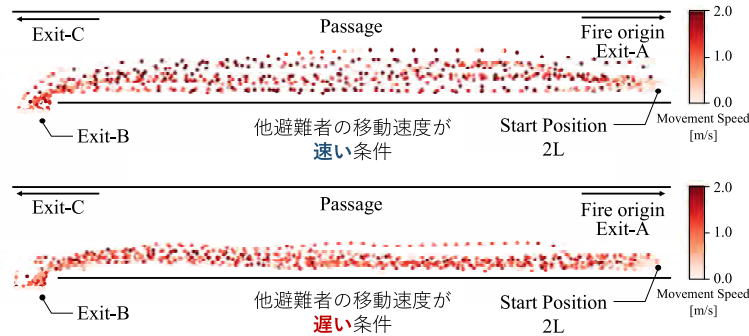
避難者間の空間が広い  
・その間を縫うように避難した傾向があった



避難者間の空間が狭い  
・他避難者に追従するように避難した傾向があった

## 実験結果

### 実験結果-移動軌跡と移動速度



#### 他避難者の移動速度が速い条件

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移動速度が速い他避難者を追い抜くように避難

#### 他避難者の移動速度が遅い条件

プロットの間隔が狭く移動速度は遅い。前の避難者に追従する傾向

VR実験での避難行動傾向に基づく  
避難者行動モデルの開発

VR実験での避難行動傾向に  
基づく避難者行動モデルの開発

VR避難シミュレータを用いた避難行動分析によって

実験1 避難開始時の位置と方向、在館者密度が避難行動へ及ぼす影響

- ◆ 在館者密度が高くなると、より離れた出口を選択する人が増加
- ◆ 避難開始時の向いている方向によって出口選択にばらつきがあったことを確認した

実験2 避難開始時の位置と方向、他避難者の群集速度が避難行動へ及ぼす影響

- ◆ 群集の移動速度によって選択する出口が異なる
- ◆ 非火災方向を向いて避難した人は最短経路で避難した

状況によって出口選択行動にばらつきがあることを確認した

従来の避難シミュレーションモデル

避難シミュレーションの多くは危険回避を基本とし最短距離や最小コスト選択などに基づく経路選択が採用

出口選択にばらつきを与えた避難者行動モデルを提案

VR実験での避難行動傾向に  
基づく避難者行動モデルの開発

避難者行動モデルの改良（マルチレイヤーポテンシャルの導入）

ポテンシャル法：避難の際により危険度の少ない方向に移動することを前提とし、空間内の危険度をポテンシャルとして表現し、避難者を前提に基づいてポテンシャルが低くなる方向に移動させて避難状況を推定する方法

現行の避難シミュレーションモデルは経路選択に関し、以下の仮定を行なっている。

1. 全ての避難者は、全ての避難出口を把握している。
2. 全ての避難者は、全ての避難出口を利用可能である。
3. 全ての避難者は、現在地より安全な場所に移動し続けることで避難出口に到達する



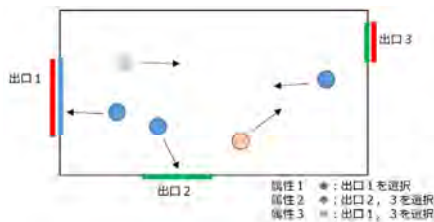
現行の避難シミュレーションにおける避難出口の選択

VR実験での避難行動傾向に  
基づく避難者行動モデルの開発

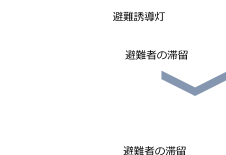
避難者行動モデルの改良（マルチレイヤーポテンシャルの導入）

エージェントによって異なるポテンシャルレイヤーを設定し、同一解析空間内に生成される複数のポテンシャルレイヤーをマルチレイヤーポテンシャルと定義。エージェントの避難経路選択に関し、以下の仮定を行う。

1. 避難者が認識している避難出口は完全に一致しないことが考えられる。
2. 避難者が選択する避難出口は、各避難者の属性に依存する。
3. 全ての避難者は、現在地より安全な場所に移動し続けることで避難出口に到達。
4. 避難出口の選択において、一定条件の成立をもって選択出口を変更する。
5. 移動先に他の避難者が存在する場合、最適なポテンシャル値以外で干渉を避けられる場所を選択する。



マルチレイヤーポテンシャルの考え方



状況に応じた避難出口の変更  
上段：誘導等による出口選択の変更  
下段：誘導等による出口選択の変更後

総括・今後の展望

本研究では、没入感のあるVRを用いて地下街における火災時の避難行動を分析した

避難行動分析手法としての適用可能性  
様々なシナリオで避難行動の特徴を把握  
出口選択にばらつきを与えた避難シミュレーションモデルの開発

今後の展望

複雑な平面計画での避難行動の分析

改良した避難シミュレーションの結果をVR避難シミュレーターに反映

VR実験で得た避難行動傾向に基づく避難者行動モデルの開発

## ■ 本研究成果に関わる業績

### 査読付論文

1. VR 技術を用いた避難訓練ツールの可能性～ 仮想地下街での火災避難における出口選択傾向の分析～ 田中俊成、朴聖經、水野雅之、ライフサポート 第32巻 第3号 90-96頁 (2020年5月)
2. VR技術を用いた地下街火災時における避難行動の分析 - Playerの避難開始時の位置や向きと異なる移動速度の避難者の構成比率の影響 - 田中俊成、水野雅之  
日本火災学会論文集 投稿済, 査読中
3. Study on Exit Choice using VR Simulator of Underground Mall Fire, Toshinari Tanaka, Masayuki Mizuno, AOSFST 2021, アブストラクト 審査採択, Full paper 投稿中

### 学会発表

1. VR システムを用いた地下街火災避難における出口選択傾向の分析, 田中 俊成,水野 雅之, 日本建築学会関東支部研究発表会, 2020年3月 【口頭発表】
2. Toshinari Tanaka,Seong Kyung Park,Masayuki Mizuno, Experimental Study on Exit Selection using Virtual Reality in Case of Underground Mall Fire, 13<sup>th</sup> IAFSS, Canada, 2021 【Poster session】

25

## ■ 謝辞

本研究は、一般財団法人 大成学術財団の研究助成を受けて実施しました。  
ここに記して感謝を申し上げます。

26

ご清聴ありがとうございました

---

27