

# 地下鉄駅構内における避難シミュレーションモデルの構築

東京理科大学 理工学部 経営工学科 宇田川金幸, 増田浩通, 新井健

## 1 はじめに

日本は、狭い国土にもかかわらず、世界で起る地震の70%を占めている震災国である。地震に付随して、火災が発生する事も、先の阪神淡路大震災で再認識することができた。

また、2003年、2月に起った韓国での地下鉄火災は非常に多大な被害をもたらした事も記憶に新しい。この火災では、煙が瞬くまに広がり、視界が狭くなったことも被害を大きくした要因の一つである[1][2]。

このような火災が、日本の地下鉄駅構内で起きる可能性も否定はできない。地下鉄駅構内は、毎日多くの人々が利用している都市生活の社会基盤の一つである。公共性の高い地下鉄駅構内での災害時の対策をたてるためにも、歩行者の振る舞いを把握する事が必要となる。

避難行動について、避難人員、避難経路、避難時間の点に着目してセルオートマトンを利用した歩行シミュレーションモデル[3]や、個別要素法を用いた避難行動シミュレーション[4]など多くの研究がなされている。

しかし、これらの研究では災害時の内部空間の変化について、避難行動に影響を与える研究はあまり行われていない。

本研究では、避難行動に与える様々な要素をエージェントとして捉えモデルを構築する。

研究の特徴として、地下鉄の特性としての煙に注目し、煙の視野に与える影響を考える。そして地下鉄駅構内での、火災が発生した際の人々の振る舞いを把握するモデルの構築が目的である

## 2 研究の方法

### 2.1 KK-MAS (Multi-Agent-Simulator)

個々の要素をエージェントとしてとらえ、エージェント間の相互作用を考慮するマルチエージェントシミュレーションを行う。エージェントとは、自立的に環境に適應させていく行動主体と定義する。

本研究では、構造計画研究所が開発した

VBA(Visual Basic for Application editor)に準じた言語で記述される KK-MAS(Multi-Agent Simulator)を用いる。

### 2.2 対象とする空間

MAS によって地下鉄駅構内を表現する。図1、図2及び図3は、千代田線町屋駅の間取りを参考に空間を構築したモデルの出力画面である。1セルは50cmでモデル化され、ホーム、地下通路、階段を表現している。ホームは4m×120mである。階段は地下三階と地下二階をつないでいる。

この駅は、地下2階が上り列車のホーム地下3階が下り列車のホームになっており、改札は前後の階段から上った地下一階にそれぞれ設置されている。階段の幅は2.5mである。



図1 地下三階

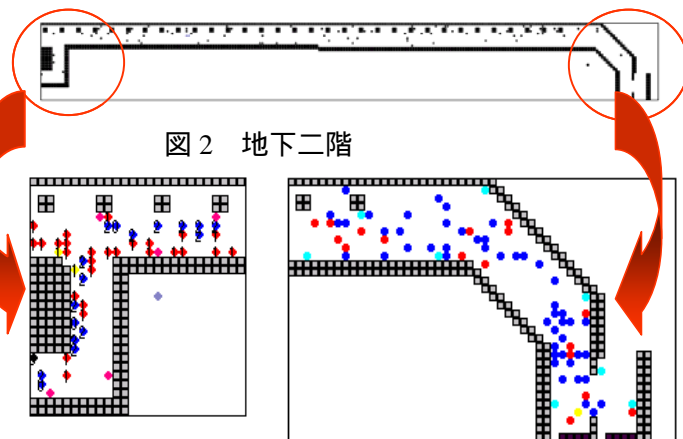


図2 地下二階



図3 拡大図

## 3 避難モデル

### 3.1 構成要素

本モデルの構成要素は 避難者、 通路、 階段、 煙、 標識、 出口である。

避難者は、駅構内において避難開始時に自ら周りを検索し、目的地を決定する。そして避難行動を開始する。移動中に煙や、標識を認識すると、それらから情報を獲得し、避難行動に影響を与えるものとした。避難行動中にある一定の群集密度を超えた場合及び、階段を移動時には、歩行速度を変化するものとする。 通路は、避難者が移動する空間である。 階段は地下三階から、地下二階へ、避難者エージェントを移動させるものとする。 煙は有害性であり、視野を遮るものとする。 標識は出口までの情報を避難者に与えるものとする。標識は図4のように2種類あることが、現場を調査してわかった。本研究では、図4左側の一方を表示する標識を採用する。 出口は、この場所に避難者エージェントの最終目的地であり、到達すると避難完了である。



図 4-1 標識(一方向)



図 4-2 標識(二方向)

### 3.2 時間のモデル化

1ステップを0.4秒でモデル化する。この時、1秒間の平均移動距離は、1.25mとなる。自由歩行速度の最低限である0.75m/秒は上回っており、自由歩行速度の範囲内に含まれる[3]。

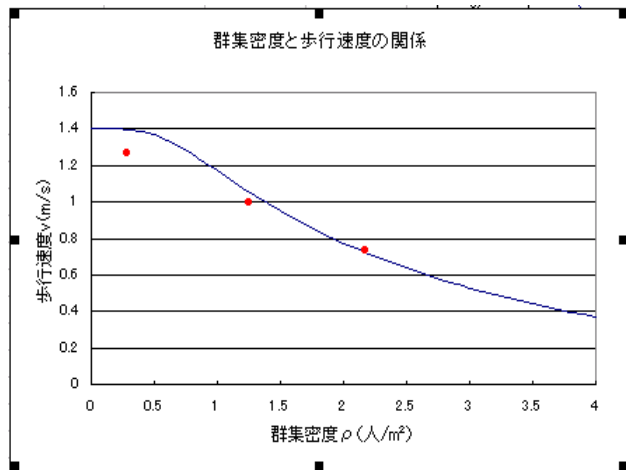


図 5 群集密度と歩行速度の関係

### 3.3 目的地設定アルゴリズム

避難者は避難開始と共に、周りを探索し目的地を決定する。最大視野を27mに設定した[3]。また最大視野は、シミュレーションによって変化させる事ができる。階段を発見したら目的地を階段に設定する。煙を発見したら回避行動に入る。

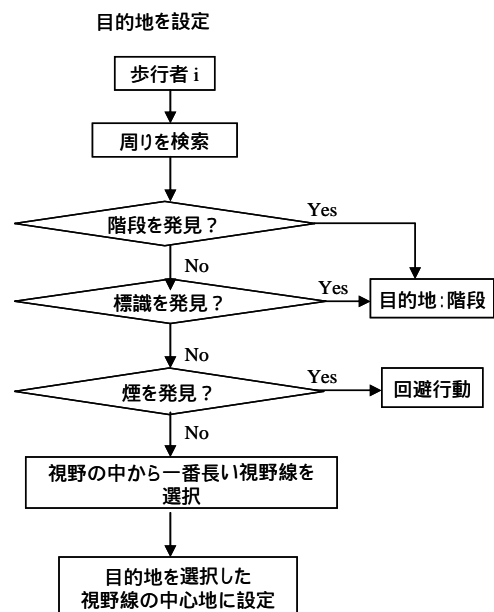


図 6 目的地設定アルゴリズム

### 3.4 移動アルゴリズム

避難行動中に煙を発見すると、回避行動をとる。緊急時には、短期的な目標を設定して行動する。具体的には、煙とは反対方向に移動することや、人の後を追従する行動である。本研究の避難者のモデルは、煙を視認すると情報を獲得し回避行動に移るものとする。

また、標識によって、階段の場所の情報を獲得すると階段まで最短経路で進むとする。避難行動中に他者と接触すると、その避難者にも煙、標識の情報が伝わるとする。避難者は以上のように自分が得た情報によって行動を変えるものとする。本モデルでは、情報は駅構内での放送により避難者に与えることも可能にする。

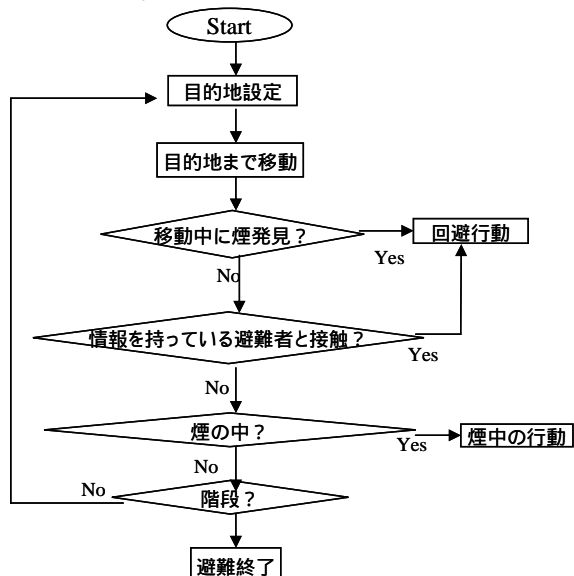


図 7 移動アルゴリズム

## 4．シミュレーション

### 4.1 シナリオ

煙の影を見るために、視野を確保した状態で避難を行う。そして、煙を発生させ、視野を狭めた場合のシミュレーション結果と比較する。各シナリオは5回ずつ行いその平均値を表す。

#### < 前提条件 >

火災が発生し、電力供給が止まり、非常電力に切り替わる。そして非常電力と煙の流入により視野が狭くなるものとする。更に、煙が流入してくることによって視野が変化するものとする。

人数の設定は、各シナリオとも地下2階300人、地下3階300人とする。煙は、約60秒でフロアー内を伝播するものとする。

#### < 基本シナリオ >

視野が確保されている状態で、避難を行う。煙の流入はない。

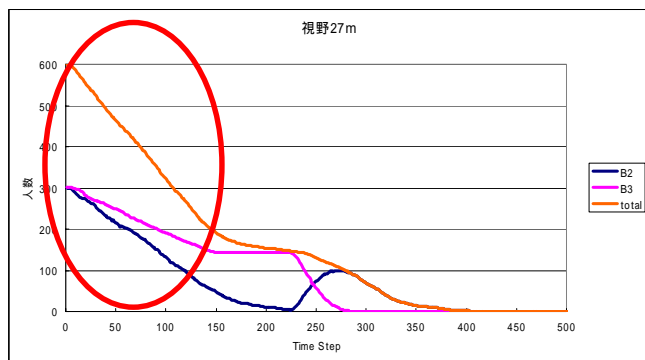


図8 基本シナリオの残留避難者の推移

このグラフから、避難開始初期から150ステップあたりまで比較的急に減少していることがわかる。これは、避難開始初期の段階に、階段や、標識のそばにいた避難者が階段を見つけ、速やかに避難していることを表している。

避難完了ステップは、155.2秒である。

#### < シナリオ >

非常電源に切り替わり、煙の流入がある。視野を2.5mに設定する。煙は階段2の方向から流入してくると設定する。

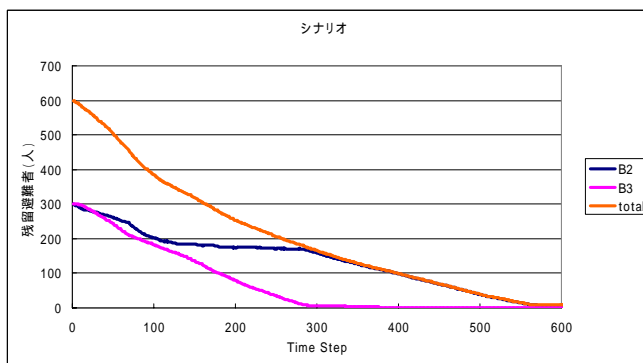


図9 シナリオ の残留避難者の推移

この時の避難完了時間は228.0秒である。基本シナリオと同じように、避難開始直後の残留避難者の減少が大きい。だが、基本シナリオに比べると傾きはなだらかである。開始直後に視野が狭いために、階段を見つけた避難者、標識を見つけた避難者が少ないことがわかる。

#### < シナリオ >

シナリオ と同様な設定で、視野を5mに設定してシミュレーションを行う。

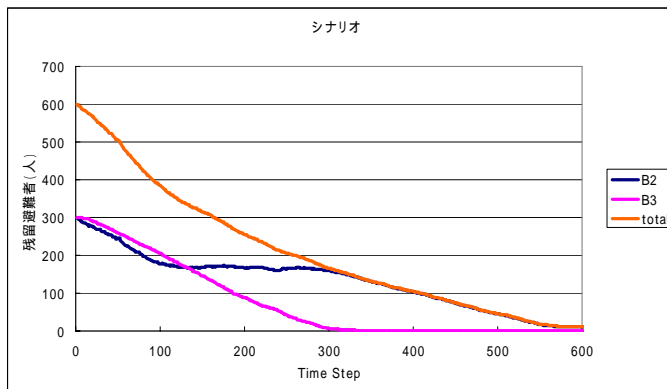


図10 シナリオ の残留避難者の推移

シナリオ と同様な変化を示している。ただ、避難初期から、残留避難者の減少がなだらかになるまでの間がシナリオ1に比べて長いことがわかる。避難完了時間は、221.6秒である。

#### < シナリオ >

シナリオ の条件に標識による情報を与える。標識による情報により、初期状態から150ステップあたりまで、比較的減少が効率よく行われている。

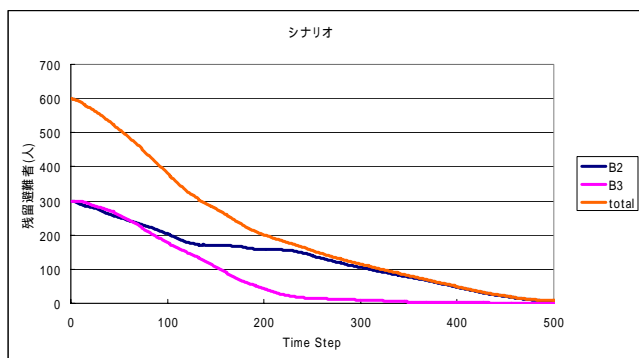


図 11 シナリオ の残留避難者の推移  
避難完了時間は、198.8 秒である。

#### <シナリオ>

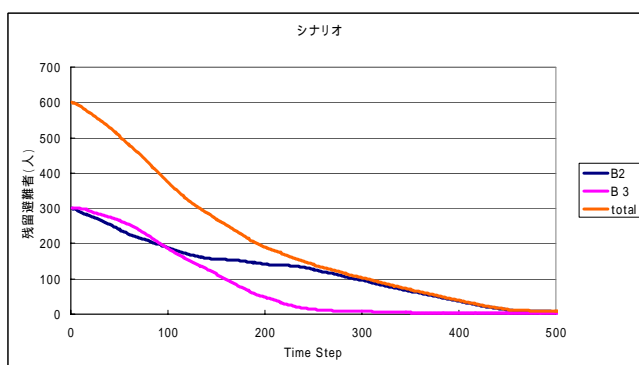


図 12 シナリオ の残留避難者の推移  
避難完了時間は 183.2 秒である。シナリオ、  
とも、標識による情報によって効率的に避難することが出来たことを表している。

## 5. 結果と今後の課題

今回のシミュレーションで、視野に注目し、災害時の一要因として煙を考慮した避難モデルを構築することができた。また、KK - MAS を用いることにより、避難者の視野の違い、情報による避難行動の違いを視覚的に捉えることができた。この事により災害時の状況の変化に対応した、避難者の振る舞いを把握することができる。本モデル煙エージェントを応用し、その他の、災害時の要因を表すことは可能である。

本モデルでは、情報を、駅内の放送や、煙および標識、避難者を認識した時点で与えている。そのため、地下鉄駅構内を事前に利用したことがあり避難経路などを熟知している人や、避難訓練などによって避難経路を知っている人は考慮していない。また、高齢者や、車イス利用者などの個人差も今回は考慮していない。だが実際には、地下鉄駅は様々な人物が利用する空間である。また、本研究でモデルとし

た駅がホームの前後に階段があるというシンプルな構造でもあった。煙については、発生源によって一酸化炭素や、有機系化合物などが発生することもありえる。

以上の点をふまえ、今後の課題としては、災害時に防災意識の高い人低い人、知識の有無などの個人差を反映させることが必要であり、より複雑な構造の駅に適用させていくことが挙げられる。

## 参考文献

- [1] 韓国大邱テグ市地下鉄火災の調査結果概要  
<http://www.fdma.go.jp/ugoki/h1505/5.pdf>
- [2] 中澤一彦（東京消防庁）「韓国の地下鉄火災について」 2003 年 10 月 31 日 第一回リスク工学講演会
- [3] 近田康夫 廣瀬智士 城戸隆良 「CA を用いた歩行シミュレーションモデルの構築」土木情報システム論文集 Volumu.9 2000 pages19-30
- [4] 清野純史 三浦房紀 八木宏晃 「個別要素法を用いた被災時の避難行動シミュレーション」土木学会論文集 No.591 1998,4 pages365-378
- [5] Nikos Zarboutis & Nicolas Marmaras “searching Efficient Plans for Emergency Rescue through Simulation: The Case of a Metro Fire” Submitted for publication in “Cognition, Technology & Work”
- [6] 落合哲郎 「災害弱者を考慮したマルチエージェント避難シミュレーションモデル」 東京理科大学修士論文、2003
- [7] 岡田光正 「建築人間工学 空間のデザインの原点」 pages159-168
- [8] 吉松慶 「マルチエージェントシミュレーターによる避難時安全性検証」 構造計画研究所防災セミナー2003 年 10 月