

## 地下鉄構内における行動シミュレーション

九州大学工学部 学生会員○大石 一裕 九州大学大学院 フェロー会員 善 功企  
九州大学大学院 正会員 陳 光斉 九州大学大学院 正会員 笠間 清伸

### 1. 背景

地下の大規模利用や大型ビルの高層化に伴って、緊急時にそれを利用する者の避難行動や、混雑時における人間の安全などは極めて重要な課題である。平常時や緊急時の人の流れが正確にシミュレーションできれば、災害時や緊急時における避難計画などの検討に極めて有効である。そこで、本研究では、人間行動をマニフォールドメソッド(MM)でモデル化し、避難行動をより現実的にシミュレーションできる数値解析システムの開発を目的としている。本報では、福岡市営地下鉄箱崎九大前駅に着目して、地下鉄の利用状況を調査し、特に改札付近の混雑をビデオカメラで撮影することで、把握した。その結果を用いて、地下鉄構内の効率的な利用者の行動を再現することを目的として、主に利用者同士の混雑・速度減少を含めた人間の行動を数値シミュレーションした。さらに、人の動きを撮影したビデオと比較することで、そのシミュレーションの適用性について検討した。

### 2. 内容

#### 2.1 動力学モデル

MMに基づく、人間行動のモデル化では平常環境で人間が全力前進する場合、速度の変化パターンは図-1(a)のように、加速期・全速期・減速期に分けられる。一般的に避難時間は長くないため、減速期を除くと、人間固有の能動力 $F$ と速度に比例する抵抗係数 $k$ の導入によって、式(1)のような動力学微分方程式で表現することができる。

$$m \frac{d^2 \bar{u}}{dt^2} + k \frac{d \bar{u}}{dt} = \bar{F} \quad (1)$$

初期条件,  $t=0$ ;  $v=0$  の下で式(1)を解くと,

$$v = v_{\max} (1 - \exp(-\frac{k}{m}t)) \quad (2)$$

また, 条件,  $t \rightarrow \infty$ ;  $v = v_{\max}$  において,

$$k = \frac{F}{v_{\max}} \quad (3)$$

ここで,  $m$ : 質量(kg)  $k$ : 抵抗係数(kg/s)  $F$ : 能動力(kg・m/s<sup>2</sup>)

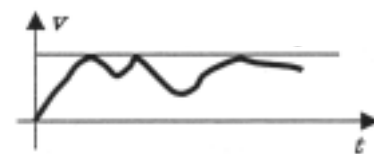
一方、避難環境における走行速度の変化パターンは、避難経路中にある障害及び周囲の避難者からの影響等により、図-1(b)のように複雑な曲線になる。この複雑な速度変化を表す影響要因を抵抗力 $\bar{f}_k(t)$ として、それを式(4)に示す運動微分方程式に導入して表現する。

$$m \frac{d^2 \bar{u}}{dt^2} + k \frac{d \bar{u}}{dt} = \bar{F} + \sum_k \bar{f}_k(t) \quad (4)$$

式(4)において、能動力 $F$ 及び抵抗係数 $k$ のほか、避難行動の抵抗力 $\bar{f}_k(t)$ を導入することにより、避難行動を動力的にモデル化できる。地下鉄構内の利用者の行動シミュレーションでは、利用者を円形でモデル化し、利用者同士の混雑をばね定数を入れるこ



(a) 平常環境での速度変化



(b) 避難環境での速度変化

図-1 速度の変化パターン

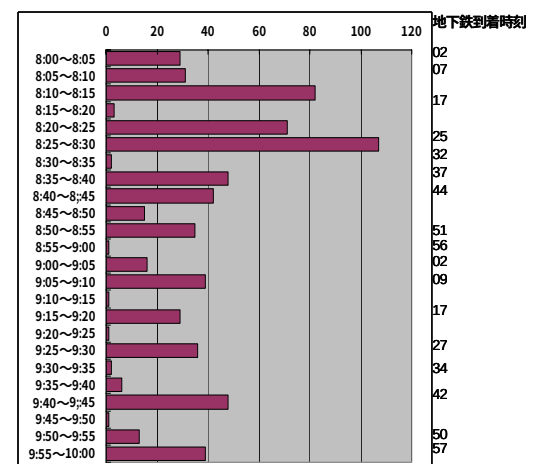


図-2 時間別利用者人数

とで考慮している。

## 2.2. 解析概要

地下鉄箱崎九大前駅を利用する利用者の人数の調査結果を表-1 に示す。一日の平均利用者は、3000 人で、週末に減少する傾向にあった。利用者のピークが、午前中であつたことから、午前 8 時から午前 10 時まで、地下鉄改札および出口付近のビデオ撮影を行った。撮影結果から、人々が改札口を通過するのにかかる時間および速度を算出した。ビデオ撮影から、一番利用者が多いときで、約 100 人が改札口に殺到し、予想したとおり改札付近の混雑が一番激しく、利用者の中には改札口を通るのに約 4 秒が必要であつた。一方、出口付近の混雑はみられなかった。

図-2 に今回解析対象とした、地下鉄箱崎九大前駅のモデル図を示す。図-2 中の数字は、地下鉄駅からの出口(3 ヵ所)を示している。避難人数は、グラフより最も多いときで 100 人程度であつたので、これをパラメータとし、属性を考慮してシミュレーションを行った。ここでいう属性とは、性別および年齢に関して、避難速度を基準に分類したものを指す。図中の円要素が、利用者を表し、改札口に向かって右側と左側に均等に配置した。上部の利用者は、エスカレータを利用する人であり、下部の利用者は、階段を使って改札に行く人である。解析では、階段を利用する人を多く設定した。

## 2 避難者の属性別割合

対象とした箱崎九大前駅について、利用客の属性調査を行った結果、利用者の属性が、表-2 のように分類される。駅が大学の目新ということもあり、中高生～50 代の割合が高く、これに基づいて属性の設定をし、解析を行った。

## 3. 解析結果及び考察

箱崎九大前駅では 2 番出口の利用率が非常に高く、シミュレーションでも大部分の人が 2 番出口から出て行くものとした。今回は下車人数を 20 人の場合と 100 人の場合を比較した。その際に最初の客と最後の客が出口を出終わるまでにかかった時間を図-3 に示してある。最初の人が出て行く時間は 32.8 秒と同じだったが、最後の人が出て行く時間は 20 人の場合が 39.1 秒、100 人の場合が 46.6 秒かかった。これは図に示すような改札口付近に人が多く密集することで、一人一人の速度が落ちることが大きく影響している。

今後は、箱崎九大前駅の利用者が最も多いセンター試験時の利用状況をシミュレーションし、さらに火災や地震などの災害が起きた状況を取り入れた解析を行っていく予定である。

《参考文献》 1) 清野純史ら:避難行動シミュレーションに基づく地下街の安全性評価, 土木学会論文集, No.689/ I -57, pp.31-43, 2001. 2) 新・建築防災計画指針—建築物の防火・避難計画の解説書—, 日本建築センター, 1995. 3) 井上裕章ら:階層構造物における動力学モデルに基づいた避難行動実験, 土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集, DISC2/pp.609-610, 2002. 4) 岡田光正ら: 建築と都市の人間工学, pp.36-37, 鹿島出版会, 1977. 5) 福岡の地下空間の利用に関する研究—報告書—, 財団法人 福岡都市科学研究所, 2001.

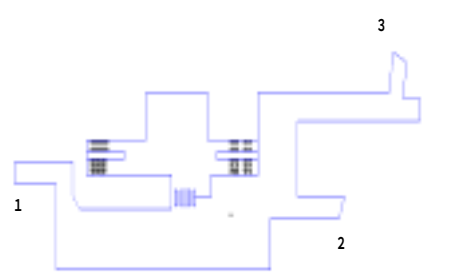


図-3 解析対象-地下鉄箱崎九大前駅-のモデル

表-2 利用客の者の属性別人数

| 属性      | 男性 |       | 女性 |       |
|---------|----|-------|----|-------|
| 小学生以下   | ①  | 0     | ②  | 0     |
| 中高生～50代 | ③  | 0.592 | ④  | 0.369 |
| 60代以上   | ⑤  | 0.028 | ⑥  | 0.01  |

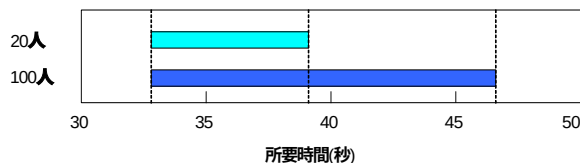


図-4 利用客の人数別所要時間

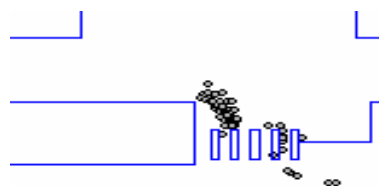


図-5 ピーク時における改札口付近の様子