

地下鉄駅の類型化に基づく避難行動シミュレーション

A study on simulation of evacuation behaviors using typified model of subway station

松田 泰治¹・後藤 辰徳²・有岡 自然³

Tajji MAZDA・Tatsunori GOTO・Jinen ARIOKA

A overcrowding in urban cities is one of urban problems in the present society. In order to solve this problem, we need to utilize urban space highly efficiently. Especially positive development and use of underground space are expected as effective measures to solve this problem. On the other hand, underground space is closed space. So, to keep safety of the space is one of the most important issues. The purpose of this study is to support disaster prevention planning in subway station by simulation of human behaviors during evacuation in a disaster. This study adopted Cellular automata (CA) as the technique analyzing evacuation behaviors. In this study, subway stations in Fukuoka city were typified and applicability of the simulation system to classified subway models was confirmed.

Key Words: cellular automate, disaster prevention, evacuation behaviors, patterning, subway station

1. 序論

近年、都市部では構造物の過密化、高層化が進んでいる。その対策のひとつとして地下空間を有効に利用しようという動きが活発化している。また景観の観点からも、電力やガス等の社会基盤施設が地下に移設されており、地下空間の有効利用の重要性は高まっている。地下空間は自動車をはじめとする人以外の交通の影響を受けず、天候の変化にも左右されない快適な空間であり、地下鉄・地下街・地下駐車場・食糧貯蔵庫など様々な用途で利用されている。それに伴い地下空間の利用人口も増加しており、今以上に地下空間の利用が多様化すると考えられる。利用方法が多様化すると、それに伴いリスクも多様化・複雑化し、防災に関してもこれまで以上に慎重な対応が求められる。特に、地下空間は地上に比べて閉鎖性があり、初めて通過する人々にとっては迷路のようにも感じられる。したがって、ひとたび災害が発生すると人間はパニック状態に陥りやすく、大惨事になりかねない。そのため、地下空間の防災対策には、構造的補強等のハード面からの対策のみならず人間の災害時の行動を予測したソフト面からの対策が必要不可欠と考えられる。本研究では、福岡市の地下鉄駅群の類型化に基づき代表的なモデルを作成した。それらを用いた避難行動シミュレーションにより、多層平面における群集の避難行動評価を試みた。

2. セルオートマトン法

セルオートマトン法¹⁾は、米国の数学者ノイマン(J. Neumann)によって考案された離散的な状態がある決まった規則に従い離散時間で変化する数理モデルである。今日では、物理・化学現象、材料・交通・電子回路特性、社会・経済現象などに幅広く適用されている。セルオートマトン法では、まず空間を一様に格子状に分割する。そして、それぞれの格子点に有限の状態量を持つセルを配置し、空間をモデル化する。各セルの次の状態量は、対象のセルに隣接するセルとそれ自身の状態量から決定される。このような局所的な相互作用(局所近傍則)を積み重ね、空間全体の組織を形成していくことが、セルオートマトン法の計算手法である。

セルオートマトン法による解析手順を図-2.1に示す。セルオートマトン法の特徴は、この簡単なセル間の局所的相互作用から複雑な現象を再現できることである。すなわち、セルオートマトン法は、従来の数学モデルを用いた現象を微分方程式等でマクロに捉えるトップダウン的な解明ではなく、ミクロの段階から局所的相互作用を積み重ね、ボトムアップ的に複雑現象を解明するものである。

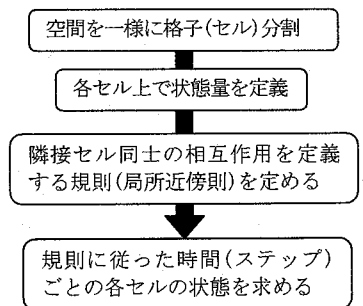


図-2.1 セルオートマトン法の解析手順

キーワード：セルオートマトン、防災、避難行動、類型化、地下鉄駅

¹正会員 熊本大学大学院教授 自然科学研究科

²正会員 株式会社 奥村組

³学正会員 熊本大学大学院 自然科学研究科

3. 避難行動シミュレーション手法^{1) ~5)}

(1) 対象空間のモデル化

(2) 人間の避難行動シミュレーション手法

本研究で用いた人間の避難行動を再現する方法は、人間の避難行動に影響する諸要因を状態量として考慮することで人間の避難行動を表現する方法と諸要因を人間の避難行動に対してあるルールに基づく制限を与えることで表現する方法である。

まず、人間の避難行動に影響する諸要因を状態量

として考慮することで人間の避難行動を表現する方法を以下に述べる。人間は次のステップに移動するセルを、周囲と自身が位置するセルを含む9セルから選択する。そのセルの選択方法は、以下の通りである。まず、各セルに対して人間の避難行動に影響する諸要因をそれぞれ状態量として計算する。計算した状態量に係数を乗じた総和を求める。人間は状態量の総和が最も小さいセルに移動すると考える(図-3.2)。本研究で用いた人間の避難行動の諸要因としては、「出口までの距離」、「障害物周り」、「堂々巡りを防ぐ」、「周囲の環境を表す」、「誘導灯」、「出火点までの距離」、「階段部分での移動速度の制限」、「階段部分での位置高さの認識」である。次に、人間の避難行動に対して制限を与えるルールとして「人間の占有面積」を考慮した。また、既往の研究により人間の基本的な歩行速度が1.0m/s~2.0m/sであることがわかっている。¹⁾ 本研究ではセルオートマトンの有効性を確認するための検証用のデータとして、平均値である1.5m/sと仮定した。今回の研究では、対象空間を一边0.5mの正方形セルで表現していることから、人間の次のセルに移動する1ステップの移動距離は0.5mであり、1秒間で移動するステップ数は3ステップとなる。また、既往研究^{1)~5)}では通路にいる人間は出口に向かって避難を行い、店舗内にいる人間は店舗からの脱出が優先となるため、まず店舗の出入口に向かって避難を行い、その後、出口に向かって避難を行うと仮定した。今回のシステムでは通路にいる人間は出口に向かう前に、まず階段の入口に向かって避難を行うと仮定した。

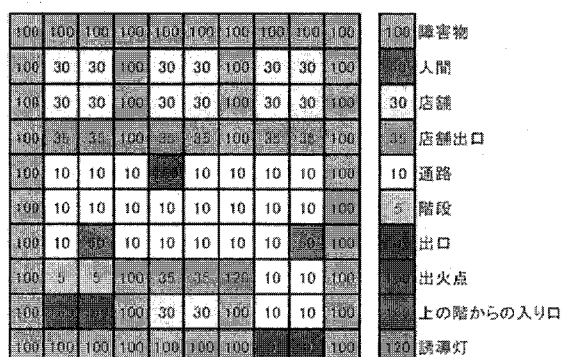
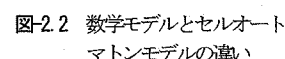


図-3.1 セルの分類と状態量

$$\alpha \times \begin{bmatrix} 2.5 & 3.6 & 4.2 \\ 4.1 & \text{elephant} & 6.5 \\ 6.2 & 7.8 & 8 \end{bmatrix} + \beta \times \begin{bmatrix} 0 & 2 & 2 \\ 0 & \text{elephant} & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \dots + \gamma \times \begin{bmatrix} 8.9 & 7.6 & 5.7 \\ 9 & \text{elephant} & 7.1 \\ 10 & 9.2 & 9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 & 10 & 8.3 \\ 7.8 & \text{elephant} & 5.9 \\ 9.2 & 6.5 & 4.8 \end{bmatrix}$$

図-3.2 状態量の総和の計算手法

a) 基本行動要因

本研究における基本行動とは、避難時において人間がパニックに陥らず冷静な状態で、目標とする出口までの最短経路に沿って避難する行動である。その行動を表現する要因は、「出口までの距離」、「障害物周り」、「堂々巡りを防ぐ」、「周囲の環境を表す」、「位置高さを表す」、「速度制限」の6つの要因である。

・出口までの距離の状態量

既存のシステムでは、避難する際の目標とする出口は、その人間にとって、障害が少なく近い出口を選定するものとなっていた。選定方法は、まず、対象空間のすべての出口とその人間までの距離を計算し、1番近い出口と2番目に近い出口を選定する。次に、1番近い出口と2番目に近い出口との距離の差が2割以下の場合、それぞれの出口に対して、人間の通過領域の障害物の割合から移動の困難さを表す壁率 W の計算を行う。その壁率 W が小さい出口をその人間が目標とする出口と決定する。式(3.1)に壁率 W を示す。ここで通過領域とは、人間(状態量50)と対象とする出口(状態量0)を対角とする長方形領域である。

$$W = \frac{\text{通過領域にある障害物セルの数}}{\text{通過領域にあるセルの総数}} \quad (3.1)$$

一方、1番近い出口と2番目に近い出口との距離の差が2割より大きい場合は、人間が目標とする出口は、1番目に近い出口とする。「出口までの距離の状態量」は、人間の目標とする出口と人間の周囲8セルからの距離を対象空間の縦・横の長さの長い値で除して無次元化したものである。これは、人間が避難時において、出口に向かって最短の方向を選択しながら移動することを表現したものである。そして、この状態量に正の係数 α を乗じて状態量の総和に加える。

しかし、既存のシステムでは迷路性の高い閉鎖空間においては、人間が直線的に出口を認識しているために、迂回するのに時間を要し、最悪の場合、出口に到達できない恐れがある。よって、本研究では、上下の移動を行う際には、通路にいる人間は出口に向かう前にまず階段の入り口に向かって避難するものとした。(図-3.3)。

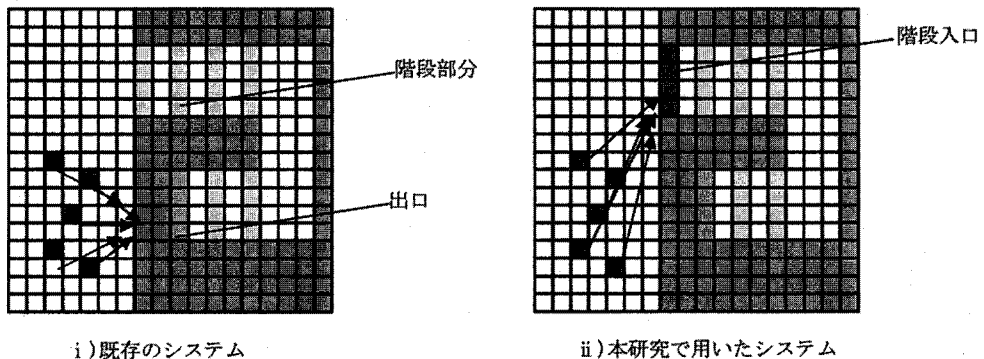


図-3.3 出口の認識

・障害物周りの状態量

一般的に、人間は災害発生後の避難の場合、壁等の障害物の多い空間からより広い空間に向かって移動すると考えられる。そこで、このようなことを表現するために、「障害物周りの状態量」は、障害物の回りに5、角(コーナー)には2の値を与え、その人間の周囲8セルが障害物周りの場合、正の係数 β を乗じて状態量の総和に加える。これにより、障害物に近いセルは状態量が大きくなり、人間が近づきにくくなる。ここで、数値そのものの絶対量は問題ではなく、状態量に相対的な差異をつけることによって、避難行動を表現している。

・堂々巡りを防ぐ状態量

一般的に、人間は一度通過した場所は記憶に残るため、必要がなければ再度通過しないと考えられる。そこで、その表現を行うため、「堂々巡りを防ぐ状態量」は、その人間が一度通過したことのあるセルを再び通過するたびに、状態量10を与え、その人間の周囲8セルが一度以上通過したセルであった場合、正の係数 γ を乗じて状態量の総和に加える。

・周囲の環境を表す状態量

人間は、周囲の状況を見て、障害物の方向へは移動しないと考えられる。そこで「周囲の環境を表す状態量」を考慮した。まず、その人間が2ステップで移動可能なセルに対して、セル自身を含む周囲9セルの状態量の総和を求め、それを2ステップ先のセルの環境の状態量とする。そして、人間から1ステップ先の対象セ

ルに対して、2ステップ先のセルの環境の状態量と1ステップ先の自身を含む周囲9セルの状態量の総和を求める。この総和が「周囲の環境を表す状態量」である。状態量の総和には、正の係数 η を乗じて加える(図-3.4)。

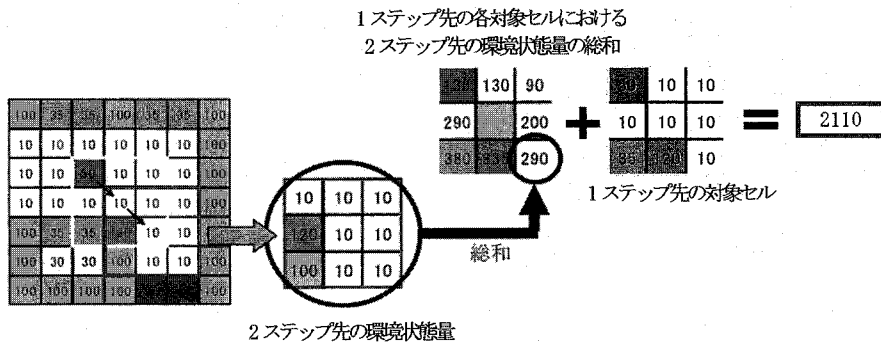


図-3.4 「周囲の環境を表す状態量」の計算手順

・位置高さを表す状態量

地下空間内部の人間は階段部分において上下方向を認識し、上方向に向かって避難すると考えられる。実際、地下鉄駅は避難通路の地上までの延長をできるだけ短く、原則としてホームから上方向の空間への移動のみで地上に到達できるように設計されている。そこで、「位置高さを表す状態量」を考慮した。その方法は、まず対象空間における通路・階段・店舗内などの人間が移動可能なセル全てに各階の基準高さからの相対高さを認識させる。1セルの大きさは0.5m四方の正方形であるので、階段部分において上り方向に1セル進むごとにセルに1を与え、下り方向に進むごとにセルに-1を与えるものとする。次に、人間のいるセル自身を含む周囲9セルの状態量の総和に、位置高さを表す状態量に負の係数 ι を乗じたものを加える。この結果、人間を含む周囲9セルが同じ高さであった場合はこの状態量の影響は現れないが、周囲9セルの中に位置高さが異なるセルがある場合には位置高さが高い方へと移動しやすくなる。

・速度制限

一般的には階段部分において移動速度は低下するものと考えられる。そこで、階段における移動速度の低下を表現するため「速度制限セル」を導入した。通常のセル上では人間は1セルの移動を1ステップで行う。速度制限セル上では移動速度が通常セルの半分となるように1セル移動するのに2ステップを要するものとする。そして、階段部分のように通路の幅が狭く人間の移動方向がほぼ一定となる場所に速度制限セルを用いることで移動速度の低下を表現した。

b) 外的要因

火災や地震等の災害は、避難の要因となることに加えて、火災から発生する炎・煙、地震による構造物の倒壊からの瓦礫等によって避難中の人間に大きく影響を与える。また、避難を迅速に安全に行えるよう、地下鉄駅や地下街などの地下空間には避難誘導灯が多数設置されており、避難者にとってその影響は大きいものと考えられる。そこで、避難している人間へ影響を与える外的要因として避難誘導灯の効果を表現した「誘導灯の状態量」、火災の影響を表現した「出火点の状態量」を考慮している。

・誘導灯の状態量

一般的に災害時に人間は心理状態が不安定となり、通常時には容易であった袋小路等からの脱出が困難になると考えられる。そのため、出口への道のりを示す役割と出口の場所を示す役割を持つ避難誘導灯が地下空間には多数設置されている。この避難誘導灯を表現するため、「誘導灯の状態量」では、対象となる人間と直線距離が人間の目視距離を仮定した20m(40セル)以内にある最も近い誘導灯を選出し、その誘導灯が指す方向(誘導灯が右を指している場合は、右上・右・右下)に20の値を与える。そして、その状態量に負の係数 ϕ を乗じて状態量の総和に加える。こうすることで、誘導灯の指す方向の状態量の総和が小さくなり、人間が誘導灯の指す方向に進みやすくなる。

・出火点までの距離の状態量

本研究では、災害の一つである火災による人間の避難行動への影響の表現を行った。一般的に、人間は火が存在するとそこを避けるようにして避難行動をとると考えられる。そこで、「出火点までの距離の状態量」は、その人間に最も近い出火している地点(出火点)を考慮して、人間の周囲8セルから出火点までの距離を対象空間の縦・横の長さの長い値で除して無次元化した値である。状態量の総和には、この値に負の係数 ϕ を乗じたものを加える。負の係数を乗ずることで、「出火点までの距離の状態量」が大きい値、つまり、出火点から遠いセルの状態量の総和が小さくなり、人間が出火点を避けるよう行動する。

c) 人間の個体差に関する要因

人間には個体差があり、地下空間における全体的な避難傾向には、人間の個体差が大きく影響すると思われる。そこでその人間の個体差を表現するものとして、「人間の占有面積」の表現を行っている。

・人間の占有面積の表現

人間は、約40cm×60cmの幅を持つ。また、本研究では、対象空間を一边0.5mの正方形セルで表現している。このことから、1つのセルには1人の人間が占有することでほぼ限度となる。そこで、状態量の総和による移動セルの決定で1つのセルに複数の人間が移動しようとしてきた場合、以下に述べる優先順位からそのセルに移動することができる人間を選出し、それ以外の人間は、現ステップのセルに留まるものとする。1つのセルに1人の人間のみが占有する表現を行った。

- ・優先順位第1位 そのセルに元々留まっていた人間
- ・優先順位第2位 そのセルに移動しようとするそれぞれの人間が用いた状態量の総和の比較を行い、その値が最も小さい人間
- ・優先順位第3位 第1位、第2位の優先順位でも複数の人間がいる場合、それぞれの人間が現ステップにいるセルからその人間が目標とする出口までの距離を算出し、その値が最も小さい人間

4. 福岡市地下鉄駅群の類型化に基づく避難行動シミュレーション

これまでの研究では、天神地下街や箱崎九大前駅を対象にシミュレーションを行ってきた^{1)~5)}。本研究では福岡市地下鉄駅群を参考に類型化を行い、代表的な地下鉄駅の形式に対して適用性の確認をするため、対象空間で火災が起きた場合の群集の避難行動シミュレーションを実施した。

(1) 福岡市地下鉄駅群の類型化

福岡市の地下鉄⁹⁾は、昭和56年7月に室見～天神間で開業し、その後、順次延伸を重ね、平成5年3月に博多～福岡空港間が開業したことにより、空港線・箱崎線の全線17.8kmが開業した。また、今年平成17年2月3日には七隈線(天神南～橋本、12km)が開業し、さらに利用が増える予想される。本研究では、七隈線が開業する前の姪浜と貝塚を除く17駅を対象として調査した。調査結果を表-4.1に示す。ホームの形式には主に島式と相対式があり、駅の内部構造についてはホームの形式(島式、相対式)の違い以外は類似した構造が多い。そこでホームの構造以外は福岡市地下鉄駅群の中で利用者が多い、西新・赤坂・天神・博多・福岡空港の各駅を参考にした。類型化を行うにあたって、次のことを考慮した。

- ・ 出口の数、位置
- ・ 通路、階段の幅
- ・ 人間が集まりやすい場所(改札口など)周辺

表-4.1 調査結果

ホーム形式	島式(14駅、相対式(3駅)
階層の数	地下2階(12駅、地下3階(5駅)
ホーム～コンコース間の通路	約3箇所
コンコース～地上間の通路	約5箇所

a) 島式ホームの駅の類型化

出口の数は表-4.1よりホーム～コンコース間が約3箇所、コンコース～地上間が約5箇所の場合が多く見られた。出口の位置は、ホームでは中央に2箇所、端に非常階段が1箇所。コンコースでは、改札口周辺に2～3箇所、駅の両端に1箇所ずつ配置されている場合が多く見られた。そして、多くの駅に、改札口前には幅10m前後の空間が広がっていた。これらを基に作成したモデルが図-4.1である。また、地下1階の大きさは205m×46m。地下2階の大きさは、158m×9m。通路、階段の幅は3m～5mと設定した。

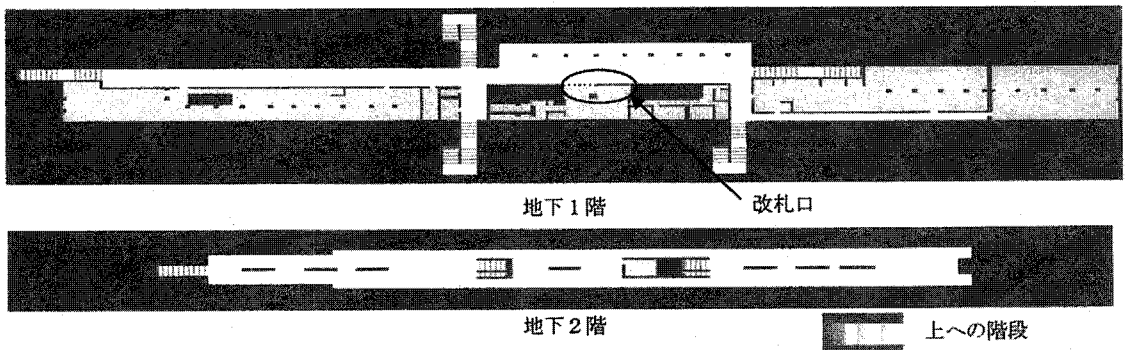


図-4.1 島式モデル図

b) 相対式ホームの駅の類型化

地下1階の構造は改札口内の構造以外は島式ホームの駅と同様とした。ホーム～コンコース間の出口は、中央に2箇所、端に非常階段が1箇所配置されている場合が多く見られた。これらを基に作成したモデルが図-4.2である。また、地下1階の大きさは205m×46m、地下2階の大きさは、150m×22m、通路、階段の幅は3m～5mと設定した。

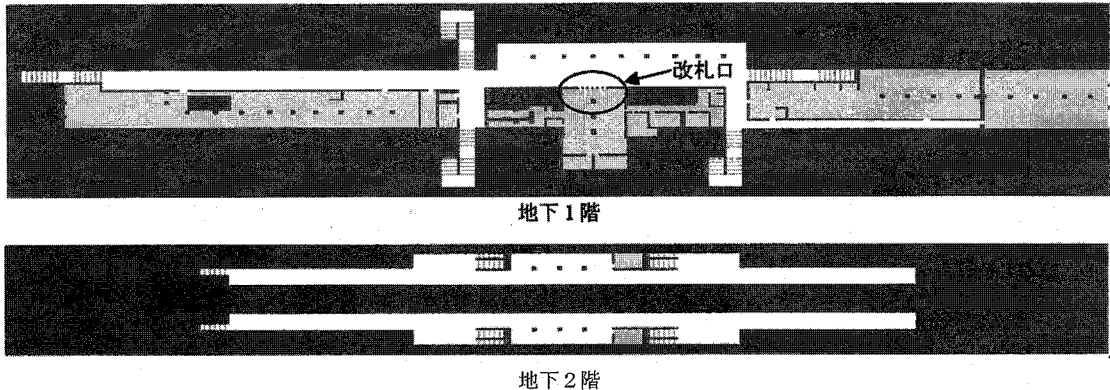


図 - 4.2 相対式モデル図

(2) 類型化に基づく避難行動シミュレーション

福岡市地下鉄駅群を類型化したモデルを用い、既存のシステムと新たに階段の入口を認識させることを付け加えた本システムの比較を行う。次にコンコース部分から出火した場合、ホーム部分から出火した場合、出火点がない場合の避難行動シミュレーションを行い、「新・建築防災計画指針」¹³⁾での避難計算の結果との比較を行う。避難する人間は280人、560人、750人、1500人の場合とした。この人数の設定は西新・赤坂・天神・博多・福岡空港の各一日平均乗降人員⁸⁾の平均を時間帯別乗降人員のモデル⁹⁾を基に、通常時の場合とラッシュ時(午前8時～午前9時)の場合を想定し、その10分間あたりと5分間あたりの人数としたものである。10分間あたりのラッシュ時の人数が1500人、通常時の人数が560人、5分間あたりのラッシュ時の人数が750人、通常時の人数が280人である。さらに、この人数を、各階の人間が通行可能な空間に一様にランダム配置した。本シミュレーションでは、「出口までの距離」、「障害物周り」、「堂々巡りを防ぐ」、「周囲の環境を表す」、「炎までの距離」、「誘導灯」、「位置高さ」の状態量を用い、それらに用いる係数は、 $\alpha=800$ 、 $\beta=0.5$ 、 $\gamma=14$ 、 $\delta=0.001$ 、 $\phi=770$ 、 $\phi=0.5$ 、 $\iota=10$ とした。これらの係数の決定にあたっては、数ケースのシミュレーション結果に基づき、人間が、火に接近する、出口から遠ざかるなど、避難行動を行うに当たって不自然な動きをしないように設定した。また「人間の占有面積」を考慮し、対象空間にいる人間は、同時に避難を開始するものと仮定した。

a) 「新・建築防災計画指針」¹⁰⁾に基づく避難時間の評価方法

ここでは、現在の建築物の防火・避難計画の解説書として取り扱われている「新・建築防災計画指針」について述べる。「新・建築防災計画指針」は、大規模建築物を対象に防災・避難上の安全性の観点から建築物の防災計画を立てる際の基本的考え方や原則および一般的に用いられる防災の手法・技術等を示した安全な建築物を計画・設計するための指針である。この書では、避難上の安全性を評価する手法に避難計算を用いている。避難計算は、建築物のある階を出火階とみなし、その階にいる人間全員が階段室内まで避難する状況を「居室避難時間」、「廊下避難時間」、「階避難時間」の3種類の避難時間を求めることで予測し、建築物の避難安全性を検討評価する。居室避難時間 T_1 は、火災が発生した場合にその居室内の人間全員が室外に避難を完了するまでの時間を表し、次の3つの式から算出する。

$$T_1 = \max(t_{11}, t_{12}) \quad t_{11} = \frac{P}{1.5 \sum W} \quad t_{12} = \frac{L_{x+y}}{V}$$

t_{11} : P人が出口を通過するのに要する時間(sec) t_{12} : 最後の避難者が出口に到着する時間(sec)

P: 避難人数(人) W: 避難扉幅(m) L_{x+y} : 室内歩行距離(m) V: 歩行速度(m/sec)

ここで L_{x+y} とは、出口から最も遠い場所からの直角歩行距離である。その際、居室に二つ以上の出口があった場合、一つの出口は使用不可とする。

階避難評価では、対象階の一つの居室を「出火室」、その他の居室を「非出火室」として、廊下避難時間 T_2 (sec) と階避難時間 T_3 (sec) を求め、それぞれの許容時間と比較評価する。ここで、廊下避難時間はその階の廊下

に最初の避難者が入ってから最後の避難者が階段室あるいは附室に到着するまでの時間を表す。出火室とする居室は、その階の厨房もしくは全体的に見て最も不利と思われる居室を想定する。また、居室から廊下に出た避難者は最も近い階段に向かうとする。

b) 既存の避難行動シミュレーションシステムとの比較

出火点なし、避難人数 560 人の設定で既存のシステムとの比較を行った。本システムには前述したように、通路にいる人間は出口を認識する前に、まず階段入口を認識するようになっている。図 - 4.3 に既存のシステムと本システムの避難率の結果を示す。本システムでは 500 ステップあたりで全員が避難を完了しているが、既存のシステムでは全体の 60% 程度の避難が完了した後、まったく避難ができていない。これは、既存のシステムを用いたシミュレーション結果では壁の向こう側の出口を直線的に認識しているの、実際には滞留が起こると考えにくい場所で滞留が起こっているからである。一方、本システムを用いたシミュレーション結果は滞留することなく、階段へ避難しているのがわかる。このことより、既存のシステムの改善が確認された。また、ここで用いている避難率とは、そのステップまでに地下と地上とを結ぶ出口に到達して避難を完了した累積人数を対象空間に初期状態で存在する人間の総数で割って百分率で表示したものである。

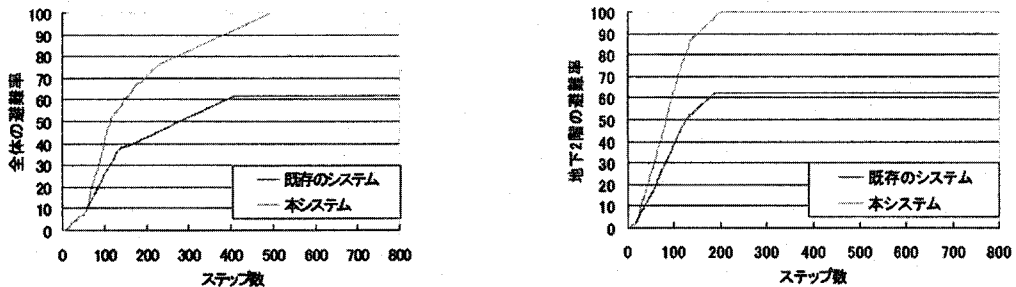


図-4.3 避難率の比較

c) 類型化に基づく避難行動シミュレーション

i) 島式モデルの場合

出火点は地下 1 階の場合は改札口を出て左側、地下 2 階の場合は中央 2 つのうちの 1 つの出口付近に配置している。まず、避難人数の違いから比較を行う。それぞれの避難率のグラフ (図-4.4 ~ 図-4.6) より、避難人数が多くなるほど避難が完了する時間を多く要していることがわかる。これは主に地下 2 階の階段出口付近で避難人数が多くなるにつれて人間が滞留するようになるためだと考えられる。地下 2 階は地下 1 階に比べて人間が移動できる空間が狭く、短時間の間に大勢の人間が避難行動をとる場合にこのような滞留が生じる。

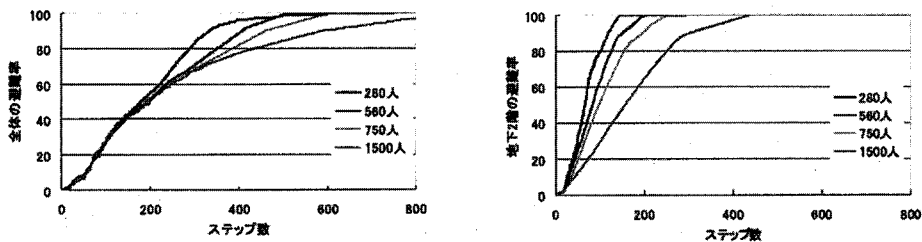


図 - 4.4 コンコース (地下 1 階) 部分から出火した場合

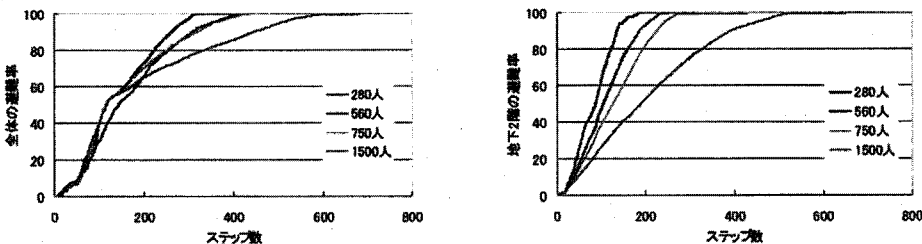


図 - 4.5 ホーム (地下 2 階) 部分から出火した場合

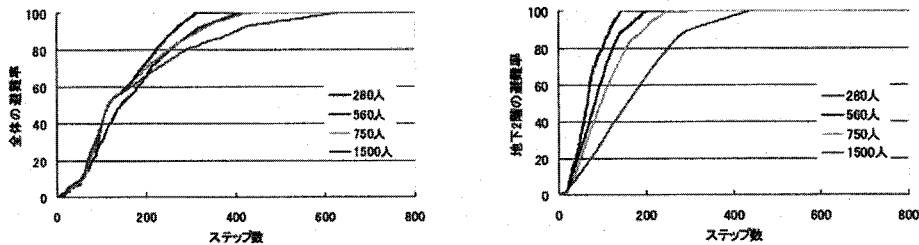


図 - 4.6 出火点がない場合

次に出火点の場所の違いからの比較を行う。3つのパターン(地下1階部分から出火の場合、地下2階部分から出火の場合、出火点がない場合)で一番避難を完了するのが早かったのは出火点がない場合である。次に地下2階部分から出火した場合で、一番避難を完了するのが遅かったのは地下1階部分から出火した場合となった。これは、出火点の影響によりその人間が一番近い出口に向かって避難行動をとることができずに、別の出口に向かって避難行動をとるためだと考えられる。特に、地下1階部分から出火した場合にその傾向が顕著に見られる。

ii) 相対式モデルの場合

出火点は地下1階の場合は改札口を出て左側、地下2階の場合は片方のホーム側の中央2つのうちの1つの出口付近に配置している。まず、避難人数の違いの比較では、島式モデルと同様に避難人数が多くなるにつれて避難完了までに時間を多く要している。次に出火点の場所の違いからの比較を行う。3つのパターンを比較すると、地下1階部分から出火した場合が避難行動を完了するのが一番早かった。これは、出火点の影響のために改札口を出た人間は避難経路が左右の両方に分断されているが、他の2つのパターンにおいては、一番近い改札口を出て左側の階段出口を目指して避難行動をとっているため、階段付近で滞留が生じており、そのため避難行動に遅れが生じているためと考えられる。

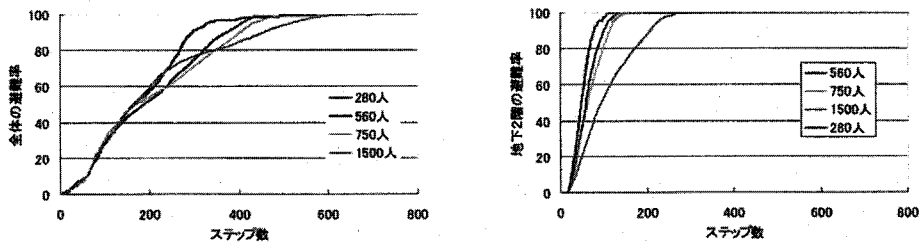


図 - 4.7 コンコース(地下1階)部分から出火した場合

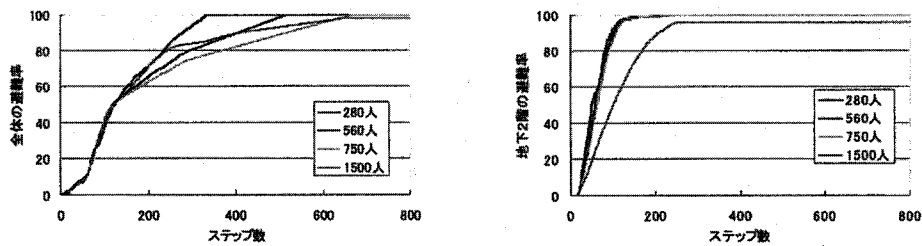


図 - 4.8 ホーム(地下2階)部分から出火した場合

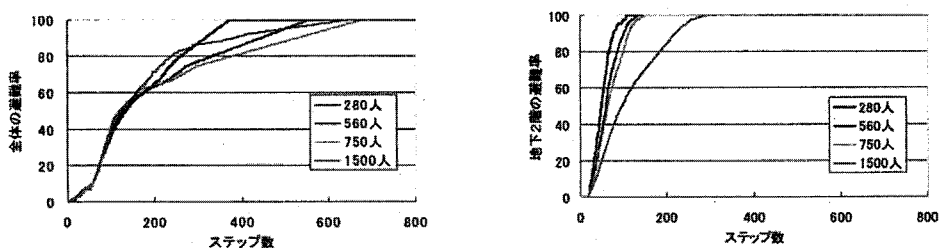


図 - 4.9 出火点がない場合

iii) 島式モデルと相対式モデルの比較

ここでは、地下1階部分から出火した場合と出火点がない場合の島式モデルと相対式モデルの比較を行う。図-4.10、図-4.11は避難人数1500人の2つのパターンの全体の避難率と地下2階の避難率を島式モデルと相対式モデルとで比較したものである。まず、それぞれの地下2階の避難率のグラフを見ると、約100ステップ(約33秒)程度相対式モデルの方が避難を完了するのが早い。これは、相対式モデルはホームが2つあり、出口の数が島式モデルの2倍あるからである。しかし、図-4.11の全体の避難率を見ると避難を完了するのにほぼ同じ時間を要している。これは相対式モデルの改札口を出て左の階段出口で滞留が生じていることが原因であると考えられる。この滞留が起こる原因としては、出火点が地下1階にない場合、改札口を出た人間が一番近い左の階段出口に向かって避難行動を行うが、相対式モデルでは地下2階での避難行動が島式に比べて早い分、その分、短期間の間に多くの人間が地下1階に流れ込んでくるということが考えられる。すなわち、階段数等の構造上の差異が要因となって、避難率に差が生じている。この傾向は避難人数が多くなるほど顕著に現れていた。

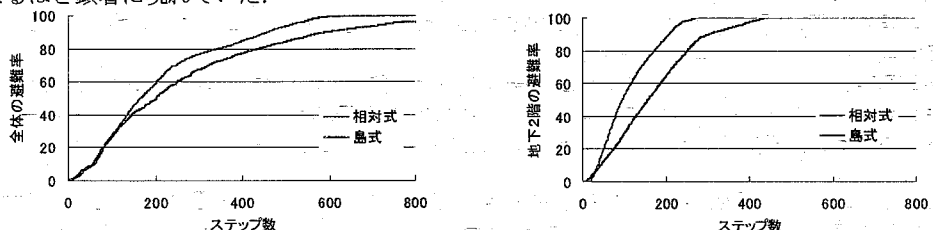


図-4.10 コンコース(地下1階)部分から出火した場合

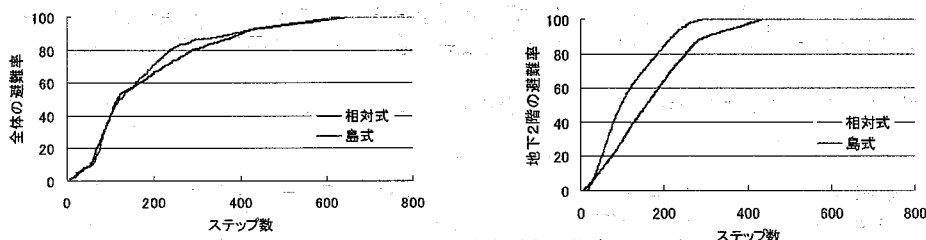


図-4.11 出火点がない場合

iv) 「新・建築防災計画指針」に基づく避難時間の評価方法との比較

表-4.2、表-4.3は前述した「新・建築防災計画指針」に基づく計算式を用いた人数別、各階毎の避難時間の計算結果である。表-4.2、表-4.3の地下2階の避難時間をi)、ii)の地下2階の避難率のグラフと比較してみると、単一平面ではほぼ同程度の結果が出ているパターンがあることも確認できる。この計算方法では、簡単な計算式で避難時間を求めることができる。しかし、この方法では出火点の配置がある程度限定されてしまい、セルオートマトン法を用いた避難行動シミュレーションのように任意に出火点を配置した場合の避難時間の計算を行うことや、本研究で行っている地下鉄駅等の多層平面における避難時間の計算を行うことは困難である。よって、多層平面での火災等の災害の場合、セルオートマトン法を用いた避難行動シミュレーションが有効であると考えられる。

表-4.2 島式モデルの避難時間

避難人数(地下1階, 地下2階)	地下1階の避難時間	地下2階の避難時間
1500人(800人, 700人)	103秒(309ステップ)	116秒(348ステップ)
750人(404人, 346人)	85秒(255ステップ)	91秒(273ステップ)
560人(300人, 260人)	80秒(240ステップ)	85秒(255ステップ)
280人(151人, 129人)	74秒(222ステップ)	76秒(228ステップ)

表-4.3 相対式モデルの避難時間

避難人数(地下1階, 地下2階)	地下1階の避難時間	地下2階の避難時間
1500人(800人, 700人)	103秒(309ステップ)	52秒(156ステップ)
750人(404人, 346人)	85秒(255ステップ)	45秒(135ステップ)
560人(300人, 260人)	80秒(240ステップ)	43秒(129ステップ)
280人(151人, 129人)	74秒(222ステップ)	40秒(120ステップ)

5. まとめ

本研究は、福岡市地下鉄駅群の類型化を行い、それを基に避難行動シミュレーションを行うことで代表的地下鉄駅に対しての適用性の確認を試み、防災対策の一助とすることを目的としたものである。以下に今回得られた知見について示す。

- ①福岡市地下鉄駅群を基に、島式モデルと相対式モデルの2つを作成し、地下鉄駅の類型化を行った。
- ②福岡市地下鉄駅群の一日平均乗降人員と時間帯別乗降人員のモデルを基に平常時とラッシュ時の地下鉄駅利用者数を想定し、現実に近い条件で避難行動シミュレーションを行い、平常時とラッシュ時の避難時間の比較を行った。
- ③店舗出口(改札口)を出た人間に最終出口ではなく、まず階段入口を認識させることによって、出口へ向かう避難行動をより精度良く再現することが可能となった。
- ④類型化した島式モデルと相対式モデルを用いて避難行動シミュレーションを行い、島式ホームの駅と相対式ホームの駅の避難時間を検討することで安全性を評価した。その結果、島式ホームが相対式ホームに比べて避難に時間を要することが明らかとなった。
- ⑤「新・建築防災計画指針」に基づく避難時間の評価方法と比較することで、「新・建築防災計画指針」に基づく避難時間の評価方法では評価が困難である多層平面での避難時間の計算・出火点の影響を、セルオートマトン法を用いた避難行動シミュレーションで評価可能であることを示した。

今後の課題としては、より現実に近い避難行動を表現するために人間の視界の概念を導入し、避難時に向かう出口の決定と関連付けること、一平面を対象とした解析においてはすでに導入されている避難時の他人の影響を、多層平面を対象とした避難行動シミュレーションに組み込み、避難開始時刻伝播や、他人に追従する動きを表現すること、避難の原因である火災の時間的変化・それに伴う人間の避難行動の変化を表現すること、また人間が避難行動時に陥りやすいパニック状態を考慮した心理的要因などを取り込むことなどが考えられる。

また、本研究はメトロ文化財団の研究助成による成果の一部である。

参考文献

- 1) 松田泰治, 大塚久哲, 樗木武, 内田広明: セルオートマトン法を用いた地下街の避難行動シミュレーションに関する一考察, 地域安全学会論文集, No. 2, 2000.
- 2) 内田広明, 松田泰治, 大塚久哲, 樗木武: セルオートマトン法を用いた地下街の避難行動シミュレーションに関する研究, 土木学会西部支部研究発表会, 第2分冊 pp. 328~329, 2001.
- 3) 内田広明, 松田泰治, 大塚久哲, 樗木武: セルオートマトン法を用いた天神地下街の避難行動シミュレーションに関する研究, 土木学会第56回学術講演会, CS4-001, pp. 200~201, 2001.
- 4) 松田泰治, 大塚久哲, 樗木武, 大野勝: 天神地下街における人間の個体差及び相互作用を考慮した群集の避難行動シミュレーションに関する研究, 地下空間シンポジウム論文, 報告集第8巻, pp. 19~28, 2003.
- 5) 松田泰治, 大塚久哲, 山田昌平: セルオートマトン法による地下鉄箱崎駅を対象とした避難行動シミュレーションに関する一考察, 土木学会西部支部研究発表会, 第2分冊 336~337, 2004.
- 6) 加藤恭義他: セルオートマトン法-複雑系の自己組織化と超並列処理-, 森北出版, 1998.
- 7) 伊東永樹, 中山晴幸: 歩行者の歩行挙動とその分析, 土木学会第47回学術講演会, IV-272, pp. 588~589, 1992.
- 8) 福岡市交通局ホームページ: <http://subway.city.fukuoka.jp/index.html>
- 9) 社団法人 日本民営鉄道協会ホームページ: <http://www.mintetsu.or.jp/>
- 10) 財団法人 日本建築センター: 新建築防災計画指針-建築物の防火, 避難計画の解説書-, 1995.