

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  
 - 非常灯及び火災を考慮した場合の群衆の避難行動 -

九州大学 学生会員 磯部淳志 九州大学大学院 学生会員 大野 勝  
 九州大学大学院 正会員 松田泰治 九州大学大学院 フェロー 大塚久哲

1. はじめに

本研究の目的は、地下街を対象に災害等による緊急時の避難行動シミュレーションシステムの構築を行い、防災対策の一助とすることである。これまでの研究<sup>1)</sup>では、局所近傍則に基づく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システムの構築を行い、天神地下街全体モデルを用いた避難行動シミュレーションを行っている。本研究では、さらにシミュレーションを現実の避難行動に近づけるために、人間の「火災による影響」・「非常灯の認識」・「店舗の出口の認識」を加えたシステムの改良とそのシステムを用いた天神地下街全体モデルの避難行動シミュレーションを行った。

2. 新しい状態量の追加

本システムにおける人間の行動は、まず一辺1mの正方形セルで表現された対象空間において人間の存在するセルの周囲8セルについて、様々な状態量の計算を行う。そして、状態量の計算で算出された値に係数を乗じたものの総和を求め、その値が周囲8セル内で最も小さい値を持つセルに人間が移動するものである。これまでは、「出口までの距離」・「障害物周り」・「堂々巡りを防ぐ」・「環境を表す」の4つの状態量を用いていた。本研究では、更に「火災の影響」・「非常灯の示す順路」・「非常灯までの距離」・「店舗の出口までの距離」の4つの状態量を加え、システムの高度化を図った。

2.1 火災の影響の表現

地下空間における代表的な災害として火災が挙げられる。一般的に人間は、火が存在するとそこを避けるような避難行動をとる。そのため、火災が存在しない場合に比べて避難に時間がかかると考えられる。本研究では、その影響を避難行動に取り込むために「火災の影響の状態量」の追加を行った。まず人間セルから最も近い出火している地点(出火点)の選定を行う。次に式(1)で計算した「火災の影響の状態量」に、負の係数 $\psi$ を乗じたものを状態量の総和に加える。この「火災の影響の状態量」を追加したシステムを用いて解析した結果を図1に示す。

ここで係数 $\psi$ の絶対値が小さいほど、人間は迂回時に出火点により接近し、絶対値が大きいほど出火点からより遠ざかって迂回することが確認できた。数ケースのシミュレーション結果に基づいて図-1の解析空間の場合では $\psi = -45$ とした。

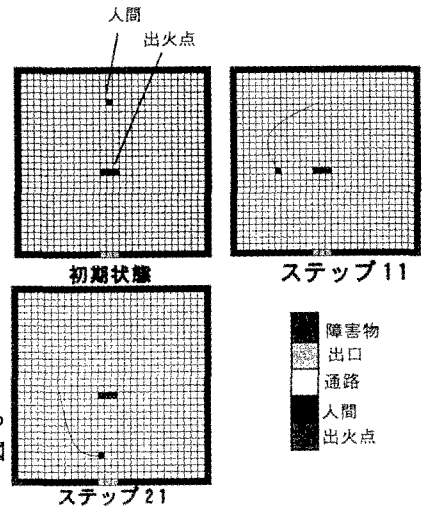


図-1 火災の影響の表現

$$\text{火災の影響の状態量} = \frac{\text{人間セルから出火点までの距離}}{\text{対象空間の縦、横方向の長さで大きい方の値}} \quad (1)$$

2.2 非常灯の影響の表現

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店舗や袋小路からの脱出が困難となる。そのため地下街には多数の非常灯が存在する。また、非常灯は出口への道筋を示す役割と出口の場所を示す役割を持つ。本研究では、非常灯がもたらす避難行動への影響を表現するために「非常灯の示す順路の状態量」と「非常灯までの距離の状態量」の追加を行った。「非常灯の示す順路の状態量」では、その人間が選定した非常灯が出口への道筋を示すものであって人間と選定した非常灯の距離がある一定以下の場合、その非常灯が示す3方向(非常灯が上を指している場合、左上・上・右上の方向)に「非常灯の示す順路の状態量」として20を与える。そして、この値に負の係数 $\phi$ を乗じたものを状態量の総和に加える。一方、「非常灯までの距離の状態量」では、その人間が選定した非常灯が出口の場所を示すものであった場合、式(2)で計算した「非常灯までの距離の状態量」に、正の係数 $\theta$ を乗じたものを状態量の総和に加える。「非常灯の示す順路の状態量」と「非常灯までの距離の状態量」を追加したシステムでの解析結果を図2に示す。図2において、非常

灯は、左側に設置されているものは下向き、右側に設置されているものは、上向きを指している。

$$\text{距離の状態量} = \frac{\text{人間セルから非常灯までの距離}}{\text{対象空間の縦、横方向の長さで大きい方の値}} \quad (2)$$

非常灯が存在する場合は24ステップで避難完了するが、非常灯が存在しない場合は避難完了に90ステップかかる。これは人間セルから出口までの直線状に壁が存在することが原因である。人間セルは出口へ直線的に移動しようとするが、壁が存在するために堂々回りを繰り返す。よって最適に避難させる為には非常灯により下向きの状態量を減らすことで壁を上手く迂回させることが必要となってくるのである。非常灯の示す順路状態量の係数については図-2の解析空間の場合、係数 $\phi = -0.45$ 程度で無駄なく避難する。

### 2.3 店舗の出口の認識について

これまでの避難行動シミュレーションにおいて、の堂々巡りは主に店舗内で発生した。これは、これまでのシステムが人間の避難行動において人間が店舗内に存在していても地下街の出口へ向かう傾向を大きくしているためである。本研究では、人間が通路にいる場合は、これまでのように地下街の出口へ向かう傾向を大きくし、店舗内にいる場合は店舗を脱出する傾向を強めることを意図した状態量の総和の計算方法の変更を行った。人間が店舗内にいる場合は、式(3)から得られた「店舗の出口までの距離の状態量」に正の係数 $\eta$ を乗じたものを状態量の総和に加える。ただしこの場合「(地下街からの) 出口までの距離の状態量」は値として加えない。

$$\text{距離の状態量} = \frac{\text{店舗の出口までの人間セルから店舗の出口までの距離}}{\text{対象空間の縦、横方向の長さで大きい方の値}} \quad (3)$$

### 3. 天神地下街全体モデルの避難行動シミュレーション

改良したシステムを用いて天神地下街全体モデル(図-3)を用いて避難行動シミュレーションを行った。それぞれの状態量の係数は、 $\alpha$  (出口までの距離) = 600,  $\beta$  (障害物周り) = 0.1,  $\gamma$  (堂々巡りを防ぐ) = 1.8,  $\delta$  (環境を表す) = 0.001,  $\psi$  (火災の影響) = -45,  $\phi$  (非常灯の矢印) = -0.1,  $\theta$  (非常灯までの距離) = 150,  $\eta$  (店舗の出口までの距離) = 600である。解析条件は、次の3ケースを想定した。非常灯が存在し店舗の出口を認識させた場合(ケース1)、非常灯は存在せず店舗の出口を認識させた場合(ケース2)、非常灯は存在せず店舗の出口も認識させない場合(ケース3)である。避難完了ステップは、ケース1・ケース2・ケース3でそれぞれ245・318・280ステップであった。ケース2の避難完了ステップがケース3よりも遅いのは、店舗の出口の認識により店舗の出口付近での混雑が生じた為、店舗内の人間の店舗の出口付近での堂々巡りを防ぐ状態量が増加して避難しにくくなったものだと考える。つまり店舗の出口の認識により地下街の構造や人間の配置状況によっては避難が早くなり、逆に天神地下街の様に混雑現象が生じて避難が遅くなることもあり得る。

### 4. 今後の課題

今回のシミュレーションでは、3ケースとも100ステップを超えたあたりからの少人数の避難に時間がかかっており、これを解決することが今後の課題である。また、今回はケース1, 2では店舗の内部からは地下街からの出口を認識させないという方法により、視界の概念を多少取り入れたが今後は更なる視界の概念を取り入れることによって、より現実的な避難行動シミュレーションプログラムを構築することが課題である。

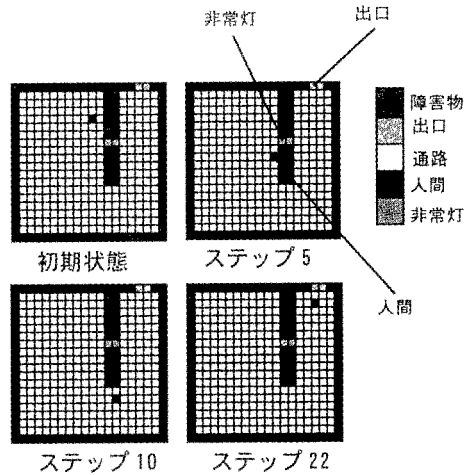


図-2 非常灯の影響



図-3 天神地下街地下1階平面図(上)、モデル図

#### <参考文献>

- 1) 松田、大塚、樺木、内田：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, pp. 95-100, 2000.