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

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

1. はじめに

本研究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を目的としている. これまでの研究[1)]では, 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った. そして, そのシステムを用いた天神地下街全体の避難行動シミュレーションを行うことで, 群衆の避難行動のモデル化の可能性を示した. ここでは, これまでの研究で考慮できなかった「人間の移動速度」・「出口付近等での人間の滞留」・「他の人間の向きの影響」・「火災による影響」・「誘導灯の認識」に着目し, それらを考慮したシステムの高度化を図った. これまでのシステムは, 人間が出口に向かうことを避難行動の基本とし, 一辺1.0 mの正方形セルで表現された対象空間において人間を表すセルの周囲8セルについて,「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つの状態量の計算を行った. 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としたものである.

2.「人間の移動速度」の表現

既往研究での避難行動の表現は, 人間が出口に向かって行動する単純なものであった. 一方, 実際の人間の避難行動は, 様々な人間が持つ独自の身長・視界・思考・移動速度などの要素に大きく影響を受けると考えられる. そこで, 本研究では, 人間を大人・老人・子供の3種類とした「人間の移動速度」の表現を行った. 人間の移動速度は, 大人を1.5 m/s, 老人・子供を1.0 m/sとした. また, 一辺0.5 mの正方形セルとし, 1回（1ステップ）の移動を0.5 m/sとした. そして, 大人が3回移動を行う際, 老人・子供は2回移動を行い1回移動を行わないとすることで,「人間の移動速度」の差別化を図った. 図1は, 大人と老人・子供の移動速度の違いを表したものである.

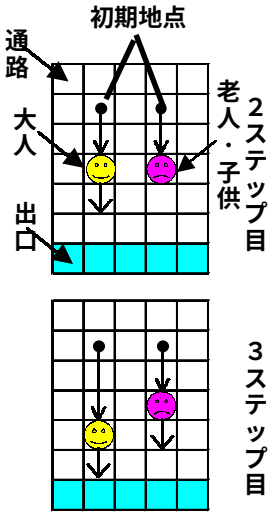

図1　人間の移動速度の表現

3.「出口付近等での人間の滞留」の表現

これまでのシステムでは, 人間の行動を周囲8セルにおいて状態量の総和が最も小さいセルに移動することで表現し, 1つのセルに複数の人間が留まることを許容していた. そのため, 実際では起こりうる出口付近等での滞留により避難に時間を要するような現象を表現できないシステムであった. 本研究では, この「出口付近等での人間の滞留」を優先順位による留まる人間の選出を行い, 1つのセルに留まる人間が1人とする制限を設けることで表現した. その優先順位は, 第1に次のステップでも現ステップにいるセルに留まらざるをえない人間, 第2にそのセルに向かおうとするそれぞれの人間で状態量の総和の値が最も小さい人間, 第3に第2の選出でも複数の人間が留まる場合, その残っている全ての人間について, その人間が現ステップにいるセルから目標としている出口までの直線距離を算出し, その値が最も小さい人間とした. 一方, 優先順位により選出されなかった人間は, 現ステップのセルに留まるものとした. 図2に, 1辺20セルの正方形の対象空間において, 出口付近での120人の人間の避難行動シミュレーションを行った結果を示す. ケース1は, 既往のシステム, ケース2は, 改良したシステムによる結果である. ケース1は, 1つのセルに複数の人間が留まることができるため, 人間の滞留が発生することなく避難がステップ10で終了した. 一方, ケース2は, 1つのセルに1人の人間だけ留まる処理により, 人間の滞留が起こり, 避難がステップ31で終了した.

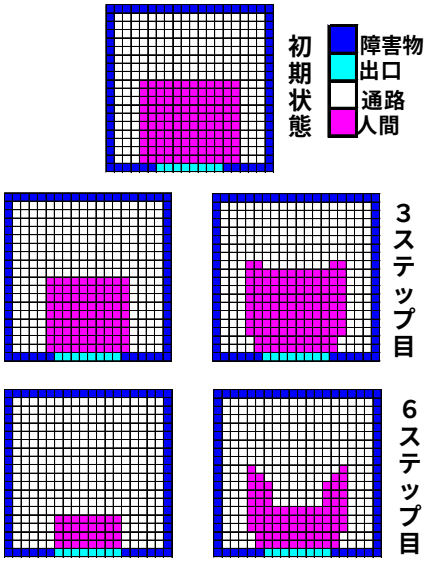

図2　人間の滞留の影響の表現

4.「他の人間の向きの影響」の表現

一般的に人間の行動は, 周囲の自分以外の人間の影響を大きく受ける. このため, 避難行動時は, 自己で判断し目標とした出口に向かう傾向以外に, 周囲の人間が移動する方向へ向かう傾向を示すと考えられる. 本研究では, この「他の人間の向きの影響」を考慮するため,「他の人間の向きの影響」の状態量を状態量の総和に追加した. それは, 対象とする人間の周囲にいる他の人間の向きを調

キーワード：地下街, 避難行動, セルオートマトン法
連絡先：〒812－8581　福岡県福岡市東区箱崎6－10－1　TEL(092)642-3267

べ，その向きの人数を使用して，式(1)から算出される値に正の係数を乗じて状態量の総和に加えるといったものである．図3は，「他の人間の向きの影響」の表現についてシミュレーションを行った結果を示したものである．ケース1は，既往のシステム，ケース2は改良したシステムによる結果である．ケース1は，これまでのシステムが出口に向かうことを基本とするため，それぞれの人間にとって，最も近い出口に向かって，避難行動を行っている．一方，ケース2は，A群の人数が4人であるのに対してB群の人数が13人であるため，A群の人間は，B群の人間が向かう方向の影響を受け，B群の人間と同じ方向へ行動している．

$$\text{「他の人間の向きの影響」の状態量} = 1 - \frac{\text{その向きの人数}}{\text{範囲内にいる総人数}} \quad (1)$$

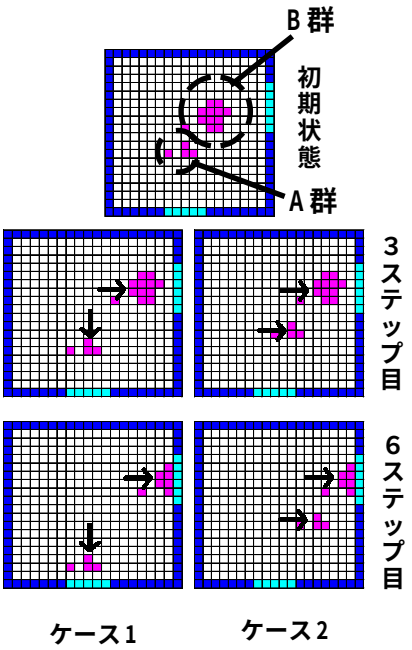

図3　他の人間の影響の表現

5 「火災による影響」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．また，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と考えられる．本研究では，この火災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．それは，対象とする人間に最も近い出火している地点（出火点）を使用して，式(2)から算出される値に負の係数を乗じて状態量の総和に加えるといったものである．図4は，「火災による影響」の表現についてシミュレーションを行った結果を示したものである．

$$\text{火災の影響の状態量} = \frac{\text{人間セルから出火点までの距離}}{\text{対象空間の縦，横方向の長さで大きい方の値}} \quad (2)$$

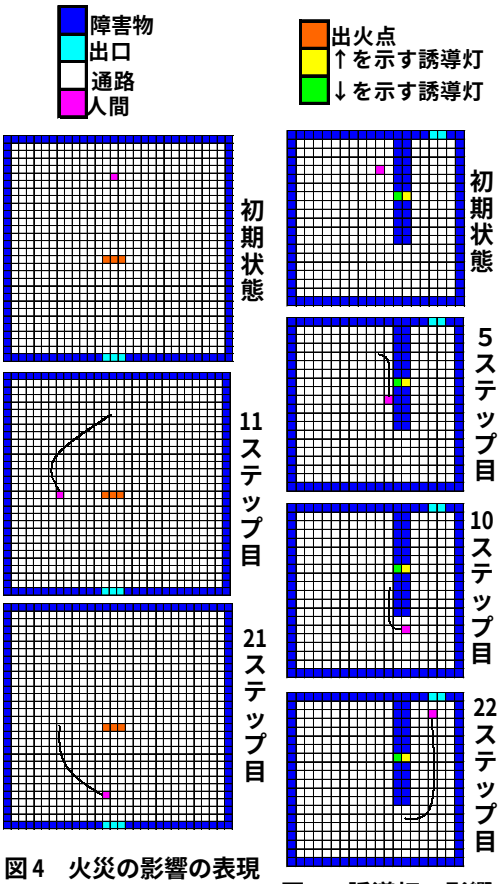

図4　火災の影響の表現

6 「誘導灯の影響」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と考えられる．そのため，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誘導灯が地下街には多数存在する．本研究では，誘導灯がもたらす避難行動への影響を表現するために近くの誘導灯の影響を考慮した「誘導灯の示す順路の状態量」の追加を行った．それは，その人間が選定した非常灯が示す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20を与え，負の係数を乗じて状態量の総和に加えるといったものである．図5は，「誘導灯の影響」の表現についてシミュレーションを行った結果を示したものである．図5に示す対象空間において，誘導灯が存在しない場合は避難完了が90ステップとなった．一方，誘導灯が存在する場合は，人間が誘導灯が示す方向へ誘導されるように避難行動をとるため，24ステップで避難完了した．

図5　誘導灯の影響

8．まとめ

本研究は，「人間の移動速度」・「出口付近等での人間の滞留」・「他の人間の向きの影響」・「火災による影響」・「誘導灯の認識」表現を行うためのシステムの改良を行った．この他にも本システムでは，「店舗の出口の認識」の追加を行っている．これにより，より現実的な避難行動表現が可能となった．今後は，本研究で作成したシステムを用いて天神地下街全体の群集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」により算出される避難時間との比較を行う予定である．また，システムとしては，避難に影響を与える人間の「視界」・「思考」などを要素として取り入れた改良を行う必要がある．

＜参考文献＞

1)松田，大塚，樗木，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．

2)磯部，松田，大塚，大野：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 -，平成13年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，第2分冊，B-298，2001

3)大野，松田，大塚，樗木：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―人間の移動速度・滞留等を考慮した群衆の避難行動のモデル化―，平成13年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，第2分冊，B-296，2001