

セルオートマトンを用いた災害時の避難シミュレーション

鳥取大学大学院 正会員 松原雄平
鳥取大学大学院 正会員 黒岩正光
鳥取大学大学院 学生員 矢野祐季

1. はじめに

地震予知連絡会議の報告によれば近い将来、東海あるいは東南海域における大地震の発生が予見されており、それに伴って広域的な震災被害の発生が懸念されている。こうした震災から人的被害を最小限に抑えるには、事前の周到的な避難計画の策定と適切な避難誘導が必要である。

しかし、地震の規模や災害発生範囲などをあらかじめ想定した大規模実証実験を行うことは必ずしも容易ではないため、数値的に現象を模擬(数値シミュレーション)する方法が採られている。1)、2)

本研究では、セルオートマトン法により現実の避難行動を想定したシミュレーションモデルを構築することを目的とした。

2. セルオートマトン法

このセルオートマトン法は、人工生命体の一つで簡易な法則のみを使用し複雑系を解明するのに有効とされている手法である。ここでは、2次元セルを用いて、集客施設をモデル化しその中を避難者が移動する状況を追跡した。施設は2階建てとし、施設空間を一様に格子分割し、各格子点に有限の状態を持つセルを配置した。あるセルの状態は自身を含む周囲9セル(ムーア近傍)の状態によって定まるとした。このように局所的な相互作用に基づいて、自然と組織が形成されることを局所近傍則といい、この局所近傍則に基づいた計算手法をセルオートマトン法という。

3. 避難行動のシミュレーション手法

(1) 空間のモデル化 ; 図1のような100m×66mの1階と80m×40mの2階部を想定した多層集客施設のモデルとする。1階部と2階部はエスカレーターでのみ、移動可能とし、空間分割は人間1人の占

有面積や平均的な歩行速度等を考慮して1セルを1m×1mの正方形セルとし分割した。また、歩行速度の関係性から本研究では、1ステップの経過時間を1秒と定義した。また施設構内の各セルに「通路」、「人間」、「エスカレーター」、「1階には出口、2階には非常階段」、「店舗」、「壁」、「店舗出口」、「誘導塔」、「ソファ等の障害物」、「炎および出火点」の状態を定義する。出口、非常階段は、モデル領域外へと連結し、脱出していると想定している。

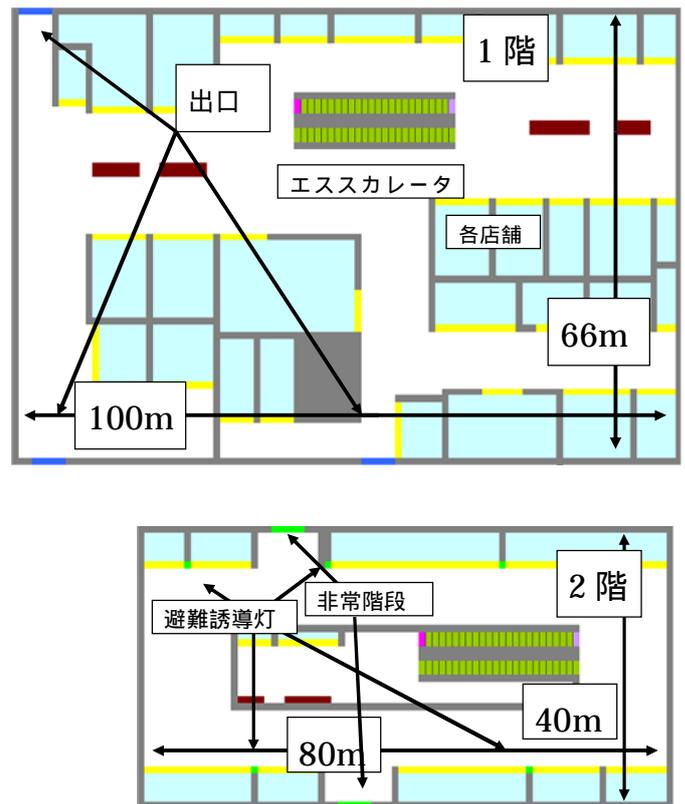


図1 空間モデル(上の図が1階部,下の図が2階部)

(2) 行動ルール ; 本研究で用いた行動ルールは、人間の行動決定の際に影響する要因である「状態量」と、それらの要因を組み合わせることでそのセルへの移動のしやすさを表した「状態量の総和」の計算によ

って規定される。まず「基本行動の状態量」として以下の4種類を与える。3)また、避難時における外的要因を取り入れた避難行動の再現のため「火災」、「避難誘導灯」を考慮した。

「基本行動の状態量」

- ・ 出口までの距離の状態量：避難者は最短経路で移動するという考えから、出口までの直線距離(最短ステップ数)を対象領域の縦、横方向距離の大きい値(本モデルでは100m)で除し、無次元化した値を状態量とする。

- ・ 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。この表現のため、状態量として障害物に接するセルの状態量に+0.5、障害物と端点で接するセルの状態量に+0.2を状態量に付加する。

- ・ 環境を表す状態量：障害物が多く存在する方向には移動しないという考えから、2ステップ先までの周囲8セルの状態を調べ、それぞれのセルの状態量の中で最も低い値のセルを選択するようにした。

- ・ 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、1度通過したセルに+10の状態量を付加し、再度同じセルを選択しないようにした。

「外的要因の状態量」

- ・ 火災の状態量：人間は、火災が存在するとその炎を避けるような避難行動をとると考えられる。この表現のため、炎に対して避難者がある距離内に入った時に、避難者の周囲8セルの中で1番近いセルを算定させ、そのセルの状態量に+8を、またそのセルの両端のセルの状態量にも+8を与えることで火災を迂回させることとした。また今回は、1階にのみ同じ場所に火災を発生させるとともに、時間の経

過とともに火災は低減しないこと、さらにまた延焼は生じないものとした。

- ・ 避難誘導灯：施設には出口など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多数設置されている。よって、この避難誘導灯がもたらず避難行動への影響を表現するために、誘導灯を認識する「視野」と「避難誘導灯が示す順路の状態量」を追加した。避難者の視野内に「避難誘導灯」が存在する場合、その誘導灯が示す3方向(誘導灯が左を指している場合、左上、左、左下の3方向)に8の状態量を減じる。これらの状態量の操作で誘導灯が示す方向へ移動しやすくなる。「視野」に関しては、避難者の前に壁などがある場合にはその先が見えないような死角をもうけた。また今回は、避難誘導灯は2階のみに設置した。それはエスカレーターで1階に降り、そこからまた出口を探し構内から脱出するより、2階の非常階段を使ってそのまま構内から脱出する方が効率がよい。そのため非常階段を使って避難するように促すため、今回の避難誘導灯は2階の非常階段までの順路を示すよう設定している。

(3)行動決定；上記の様々な環境条件から生まれる状態量を用いて最優先移動方向を決定する。すなわち、避難者の周囲8セル近傍の各セルに対して、上記の状態量に係数を乗じて状態量を調整し、各セルの状態量総和を求める。次に、周囲8近傍の中で最も状態量総和が低いセルを抽出し、該当セルを最優先移動方向とする。

避難者は1ステップに隣接セルへ1セルだけ進む。そして1ステップ移動した後、再び状態量総和の計算により最優先移動方向への移動を行う。この行動を繰り返すことで、人間の避難行動を再現し、1階では出口に、2階では非常階段に到達したら避難完了とする。

4. シミュレーションの実行

図1の空間の通常時の人数をおおよそで350人として、その避難者を空間内にランダムに配置する。またシミュレーション打ち切り時間を180ステップ

(約 3 分間)とする。これは空間の大きさと火災時の煙の広がる速さを考慮して算出したものである。また, 3.(2)で記述した状態量を組み合わせることで条件を変え, 3 つのケースを設けシミュレーションを行なった。その条件を表 1 に示す。なお, 各々の Case で 10 回行う。

図 2 - (A) ~ 2 - (B)は, Case3 の各時間ステップでの避難の状態を示したものである。

表 1 各 Case での条件

	シミュレーションに考慮する状態量
Case1	基本の状態量
Case2	基本の状態量 + 避難誘導灯の状態量
Case3	基本の状態量 + 避難誘導灯も状態量 + 火災の状態量

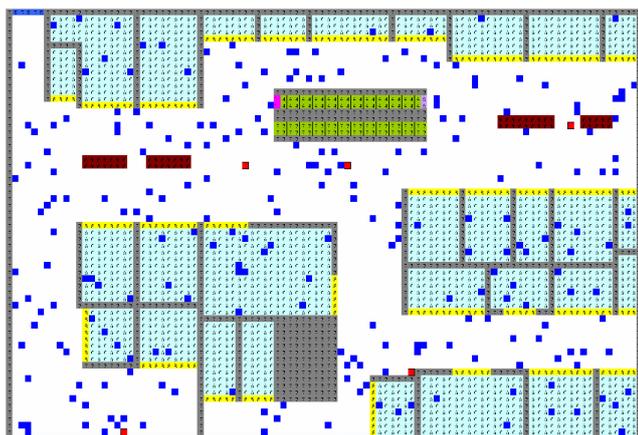


図 2 - (A) 初期配置状態

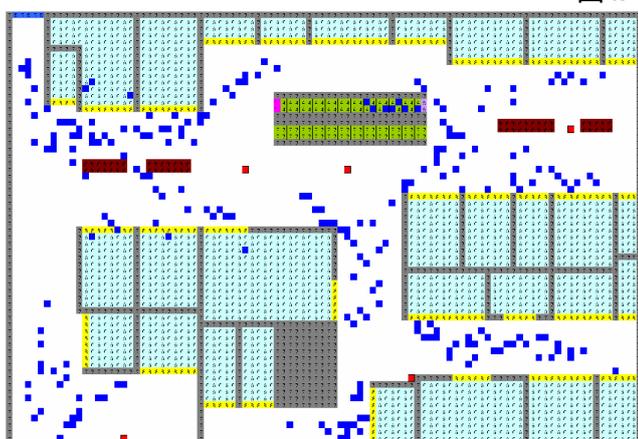
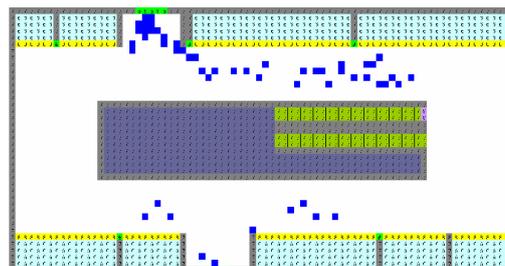


図 2 - (B) 10 ステップ後

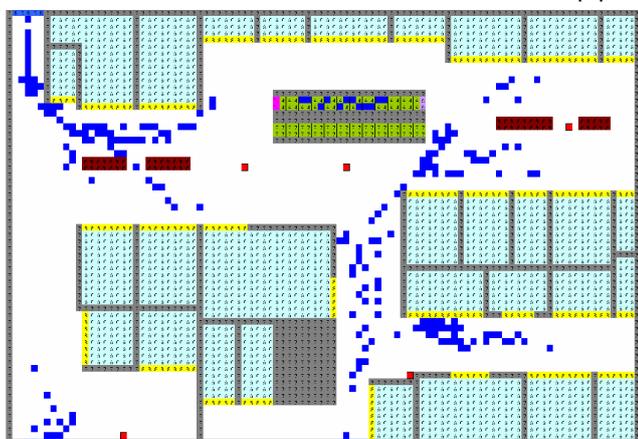
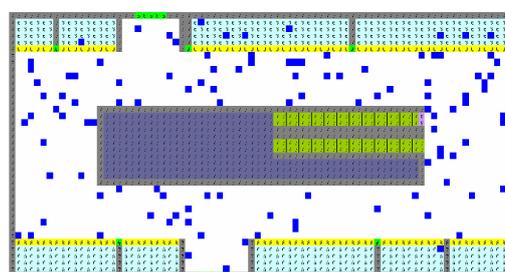
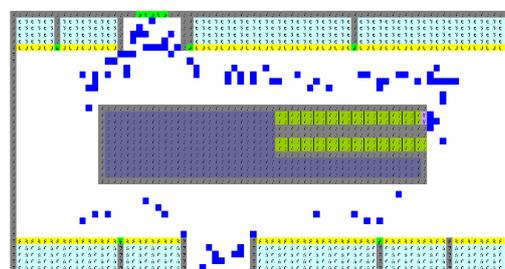


図 2 - (C) 20 ステップ後



5. シミュレーション実行結果

各々の Case の 5 秒毎のモデル内の残存人数とモデルからの避難成功者数をカウントした結果を図 3, 図 4 に示す.

まず Case1 と Case 2 で避難誘導灯の設置の有無で比較すると, 図 2 の結果より分かるように避難誘導灯を設けた Case 2 の方が, 構内から避難者全員が避難成功した避難完了時間は約 60 秒近く早く, 図 3 の結果の 5 ステップ毎の避難成功人数を見ても, Case 2 の避難完了時間の 20 秒前までは, Case1 に比べて大半で避難成功者数が多いことが分かる. この結果より避難誘導灯をもうけることで避難が迅速に行われたことが分かる.

次に, Case 2 の状態量に火災の状態量を加えた Case 3 とで比較をすると, 図 2 の結果より Case 2 の避難完了時間が 115 ステップに対し, Case 3 では 180 ステップ以内に避難できなかった避難者が 7.8 人となっている. また図 3 の結果より, Case3 の方が, 避難が遅れていることが分かる. この結果より火災発生時には迂回等により避難経路が複雑化することで避難は遅滞が生じることが表現されていると考えている.

6. おわりに

ここではセルオートマトン法を導入し状態量を複数組み合わせることで, 災害時の避難行動をモデル化した. 避難誘導灯が設置された場合における群集における群集の避難行動の表現, また, 火災の状態量を追加したシミュレーションの実行により火災時に炎を迂回して避難する人間の避難行動の表現をある程度可能とした. しかし, 今後, 避難行動の状態量の表現の高度化を図ることや, 新たに人間の心理などの状態量を追加すること. また, 様々なモデル空間や実在するモデル空間でシミュレーションを行うことが必要である. また避難訓練などの実験的なデータなどとの比較を行うことでより精度の高い避難行動シミュレーションが表現できると考える.

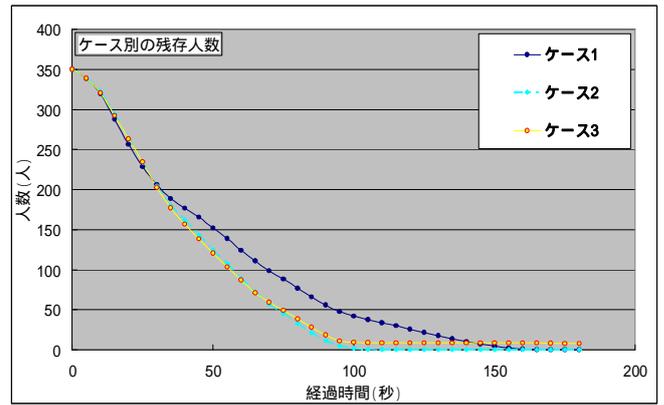


図 3 構内の残存人数

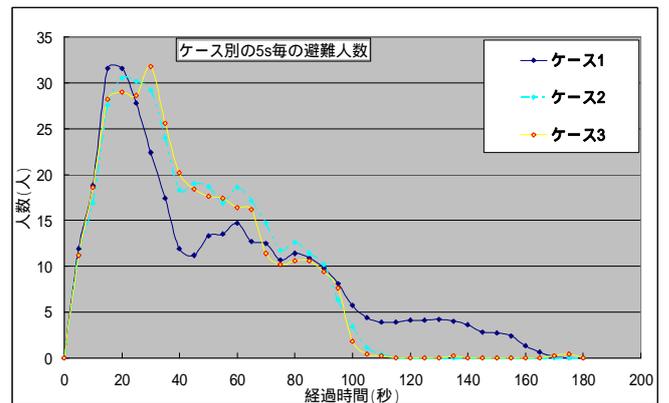


図 4 各 5 ステップ間における避難人数の変化

【参考文献】

- 1) 麻生稔彦・森下和久・松本頼一(2007): 避難過程の危険度を考慮した避難所最適配置に関する研究
- 2) 松本頼一・麻生稔彦(2007): リンクモデルとファジィ推論を用いた避難行動シミュレーション
- 3) 松田泰治・大塚久哲・樺木武・大野勝・磯部淳志(2002): 火災及び避難誘導灯を考慮した地下街における群衆の避難行動シミュレーションに関する研究, 平成 14 年度消研輯報
- 4) 押野麻由子(2005): マルチエージェントモデルを用いた避難行動のシミュレーション
- 5) 森下信(2003): セルオートマトン 複雑系の具象化