

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 学生員 内田広明 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 九州大学大学院 フェロー 樗木 武

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。まずその第一段階として、天神地下街を例にとり、出口に向かう人間の行動を人工生命体の一つであるセルオートマトン法を用いてシミュレーションした。

2. セルオートマトン法 (CA法)¹⁾

2.1 基本概念

空間を一樣に格子分割し、各格子点に有限の状態を持つセルを配置する。そしてこのセルが局所的な相互作用を積み重ねていくうちに組織が自然に形作られる。このような局所的な相互作用の原理に基づく計算手法をCA法という。CA法は簡単なモデルで複雑な現象を不規則性を含めて自己組織化させることができるので、避難行動などの複雑現象を解明する手法として有望と考えられている。

2.2 CA法による解析手順

(i)空間を一樣に格子分割(セル)。 (ii)各セル上で状態量を定義。 (iii)セル同士の相互作用を定義する局所近傍則を定める。 (iv)局所近傍則に従い、時間(ステップ)の経過に伴った状態量の推移を求める。

3. 避難行動シミュレーション手法

3.1 空間のモデル化

検討対象とした天神地下街は南北方向に約363m、東西方向に約50m、地下2階からなる大規模な地下空間である。地下1階を検討対象とし363×50の二次元セル(1辺:約1m)に分割した。各セルにつき「障害物」「通路」「人間」「出口」という4つの状態を定義し、それぞれの状態量を「100」「10」「50」「0」とした。これは状態量が多いセルに対して移動が困難になるという行動ルール²⁾を考慮したものである。初期状態において、「人間」はランダムに1500人配置し、避難開始時点からのシミュレーションとして新たに人間が流入しないと仮定した。今回の検討では、浸水、出火、構造物の倒壊等の特定の危険については考慮していない。天神地下街地下1階の

平面図とモデル図を図-1に示す。

3.2 行動ルール

「人間」の行動ルールは、局所的近傍則に基づいており、自分から見て進みや早く一番近い出口を判断し、それに向かって状態量の総和が一番低いセルに移動する。移動可能な領域は「障害物」を除く周囲8セルである。移動のフローを図-2に示す。

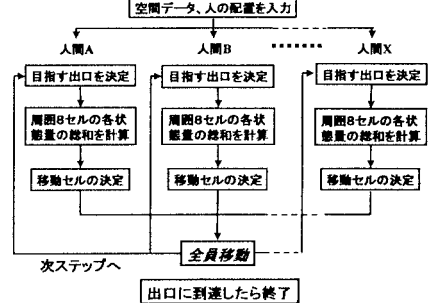


図-2 移動フロー

(a)出口の選定: 出口選定のフローを図-3に示す。ここで壁率というのは、人間がその出口に向かうにあたり通過するであろうと考えられる領域にどれだけ障害物が存在するかを表す指標

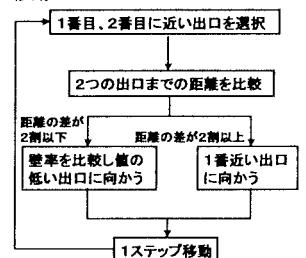


図-3 出口選定フロー

であり、移動の困難さを表す。壁率は次式で定義する。

$$(\text{壁率}) = (\text{状態が障害物のセル数}) / (\text{通過領域の総セル数})$$

通過領域は人間と出口を対角とした四角形の領域で定義する。

(b)局所近傍則に従った状態量の総和: 本研究では、出

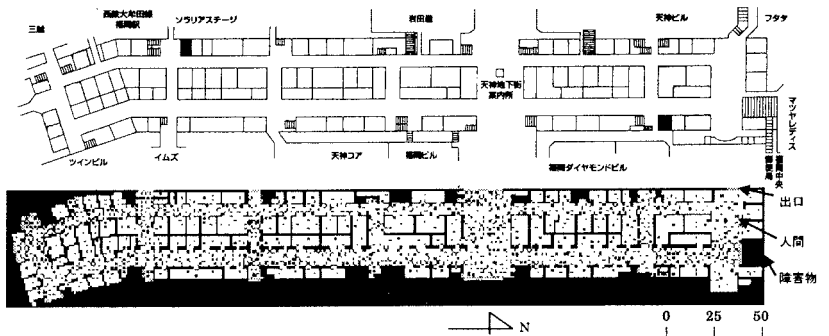


図-1 天神地下街地下1階平面図(上)、モデル図(下)

口までの距離状態量、障害物周りの状態量、堂々回りを防ぐ状態量、環境を表す状態量の四つの状態量を定義し、その状態量を「人間」のいる当刻セルの周囲8セルについてそれぞれ算出する。そしてそれらの総和が一番低いセルに移動する。

(i) 出口までの距離状態量：最短の道筋で移動するという考えから出口までの直線距離を対象空間の縦、横方向長さで値の大きい方で除し、無次元化した値を状態量として与えた。

(ii) 壁周りの状態量：障害物近傍における自由度の制約を考慮して、状態量を障害物に接するセルに+5、障害物の端点(コーナー)に+2として与えた。

(iii) 堂々回りを防ぐ状態量：一度通過した場所は記憶して、堂々回りは生じにくいと判断し、通過したセルに+10の状態量を与え、通過する度に+10と状態量を加算した。

(iv) 環境を表す状態量：周囲の状況を見て、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、それに応じた状態量を算出した。

以上の4つの状態量にそれぞれ係数 α 、 β 、 γ 、 δ を乗じ、その和が状態量の総和である。次式で表す。

$$(\text{状態量の総和}) = \alpha (\text{出口までの距離状態量}) + \beta (\text{壁周りの状態量}) + \gamma (\text{堂々回りを防ぐ状態量}) + \delta (\text{環境を表す状態量})$$

α は出口に向かい直進する傾向、 β は細い通路を避ける傾向、 γ は堂々回りを防ぐ傾向、 δ は障害物を避ける傾向の強弱を決定する係数である。数ケースのシミュレーション結果に基づき、本研究では $\alpha=600$ 、 $\beta=0.1$ 、 $\gamma=1.8$ 、 $\delta=0.001$ を採用した。

4. 計算結果

天神地下街を対象空間にし、前章に述べた行動ルールに従ってシミュレーションを行った。各ステップごとの状態と避難率を図-4に示す。避難率とは避難完了した人数を初期状態の人数1500人で除した値である。図を見るとステップ20まではスムーズに動き、避難率は80%を超えている。しかし、1セルに収容可能な人数の制限等の人間相互の影響などを考慮すれば、群集流動において特有である出口付近での滞留現象が表現可能になり、さらに避難は遅れると考えられる。ステップ20後、袋小路に迷い込むケースがあり、ステップ359で避難完了となった。この不自然な行動は、 α の値が大きいため出口へ直進する傾向が強くなったことが原因の一つとして考えられる。今後、更なる状態量の検討が必要と考えられる。

5. まとめ

今回構築したCA法を用いたプログラムによって出口に向かう人間の行動をある程度表現できる可能性を明らかにした。本研究においては、出口に向かう人間の行動を簡易に表現しているだけであり、不自然な行動も存在する。災害、心理等の新たな状態量、人間相互の影響、視野や歩行速度など時間の概念を導入して、過去の研究成果や観測事実と比較検討を行い、複雑で妥当な人間行動を表現することが課題である。

<参考文献>

- 1) 加藤、光成、築山(1998)、「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
- 2) 横山、目黒、片山(1995)、避難行動へのポテンシャルモデルの応用、土木学会論文集No. 513/I-31、225-232

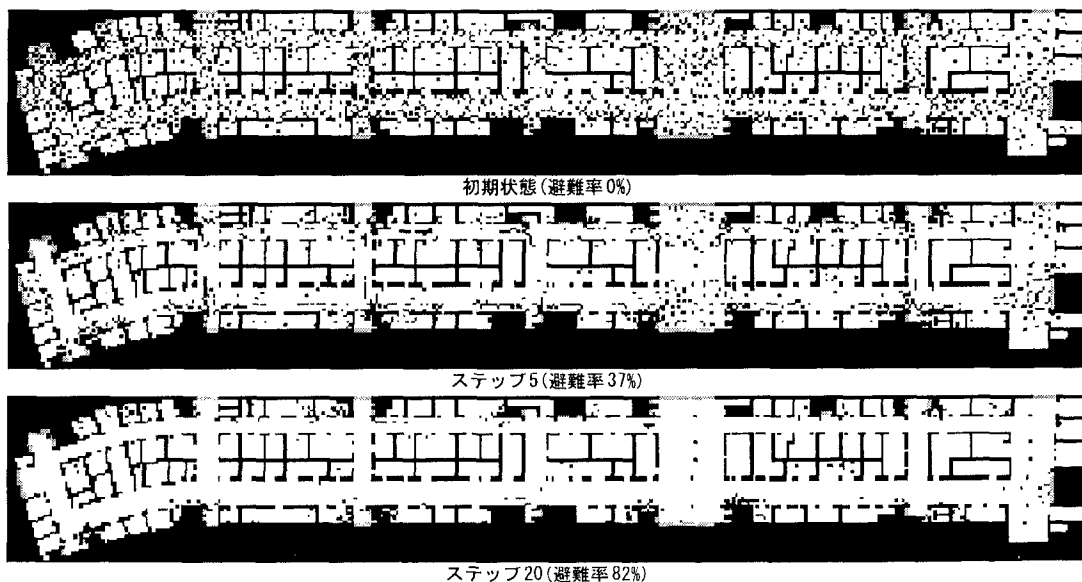


図-4 各ステップにおける「人間」の分布状態