

B208 セル上に配置されたマルチエージェントによる 群集行動分析の一手法

A Method of Analyzing Crowd Behavior by Using Multi-Agent Located on Cells

○ 濱上知樹, 小坪成一, 平田廣則 (千葉大)

TOMOKI HAMAGAMI, SEIICHI KOAKUTSU, HIRONORI HIRATA
Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi

In this report, we describe the new crowd behavior analysis method which combines the multi-agent(MA) with the cellular automata(CA). The features of our simulation method are that the behavior of a crowd is formed by autonomous action of heterogeneous agents, and that the action is interrupted by asynchronous intervention from environment. A crowd behavior is a kind of the complex system by which an unexpected behavior emerges. The behavior is caused by interaction between each agent. Behavior of disorder crowd causes big unexpected accidents frequently. In order to cope with this problem, several precedence researches have performed the simulation of the crowd behavior, and have tried to demonstrate its interesting phenomenon. These researches results have been expected to be useful for planning of a safety building design or security management. However, the conventional methods are not enough to simulate complicated real world's behavior. For example, the following two processes were not considered sufficiently by conventional researches. (a) An autonomous action process of heterogeneous agents. (b) An interruption process of a asynchronous intervention from the environment. In order to add these process to a crowd behavior model, we consider the multi-agent system put on the cell. To realize process (a), we introduce agent attribute parameters such as a physique which affect the behavior of each agent. Next, to realize process (b), we divide agent behavior into autonomous behavior and passive one. The autonomous behavior of each agent is controlled by "action determination processing," and "interruption processing using CA" interrupts that behavior asynchronously. In this model, each agent is located on a continuous plane, and its position is represented by coordinate of real number. Based on agent attribute parameters, which are different in every agent, and mutual position relations with other agents at that moment, an agent begins to move on the continuous plane. On the other hand, a cellular plane is an aggregation of cell which the continuous plane was divided into in 1 square meter unit. Each agent belongs to one of cell which corresponds spatially, then each cell has state condition which is determined by the attribute parameters and the number of agents who belong in that cell. When a value calculated from this state satisfies certain conditions, an interruption processing to the agent belonging to the cell occurs. We develop the simulator based on these techniques, and analyze crowd behaviors, in particular, collided crowds ones. By simulation experiments, the following results are obtained. (1) When agents don't have personal variety, "whirlpools" and the "waves" are observed, and walking speed of agents becomes slow. (2) When agents have personal variety, the crowd constructs "platoons," and flows smoothly. (3) Moreover, the behavior changes with the ranges of a agent's view. (4) The interruption processing generated by change of a cell state is effective in reappearance of actual crowd behavior. It thus is concluded that using the simulation system implemented by this method, the interesting behavior of the movement of the actual crowd behavior can be reproduced. Furthermore, because our model has separately an autonomous behavior process and an interference process, it is expected to be useful for combining this model with the building design models such as IFC(Industry Foundation Classes).

Key Words : Multi-Agent, Cellular Automata, Crowd Behavior.

1 まえがき

群集行動は、個々の行動が互いに影響し合い、全体として予期せぬ振舞いを創発する複雑系の一種である。統制されていない群集の行動は、しばしば予想を越えた大きな事故の原因になる。このような事故を未然に防ぐため、社会心理学や建築学の分野を中心に、群集の流動現象についての分析が多く行われてきた^{1)~3)}。また、近年の計算機ハードウェアの進歩に伴い、単なる現象の説明に留まらない計算機シミュレーションによる分析も進められている^{4)~7)}。

一方、これらの群集行動のシミュレーションでは、群集を構成している要素の動きを、ある単純な振舞い規則に従わせたものが多い。しかし、多様な個体により作られる群集の行動は、一様な規則から作られる振舞いに比べ、はるかに複雑になると予想される。また、従来のシミュレーション環境では、すべての個体の行動は同期的かつ能動的に起こることを前提とするものが多い。しかし、実環境では、個体の意志決定にもとづく行動タイミングとは別に、環境からの干渉が非同期かつ並列に発生

しうる。このような系は、同期的な系に比べ、様々な現象を創発すると予想される。

群集行動シミュレーションを、安全な建造物設計や警備計画の立案に応用していくためには、以上で述べたような、より現実に近い条件を計算機上に設定できることが望ましい。以上のような背景にもとづき、本稿では、マルチエージェント(MA)とセルオートマトン(CA)を組合わせた、新しい群集行動分析の手法について述べる。

2 セル上に配置されたMAによる群集モデル

本稿では、(1)エージェントの多様性(2)環境からの非同期的な干渉という、従来の群集行動シミュレーションでは十分な考慮がなされていなかった2つの要素をモデルに加える。そのために、セルオートマトン(CA)上に配置されたマルチエージェント(MA)系で群集行動を考える。

Figure 1 に、セル上に配置されたMAによる群集行動

モデルを示す。各エージェントは、連続平面上に存在し、実数座標によりその空間位置が決定される。エージェントは、この連続平面上を、当該エージェントの持つ属性パラメータと、他のエージェントとの位置関係にもとづいて移動する。実際に移動を計画し、行動を起こす処理を「行動決定処理」と呼ぶ。一方、セル平面は連続平面を1平方メートルの単位で区切った離散平面である。各セルは、当該セルに属するエージェント数や各エージェントの属性パラメータに応じた状態値をもつ。この状態値から計算される条件に応じて、当該セルに属するエージェントの「行動決定処理」への干渉が生じる。これを「割り込み処理」と呼ぶ。

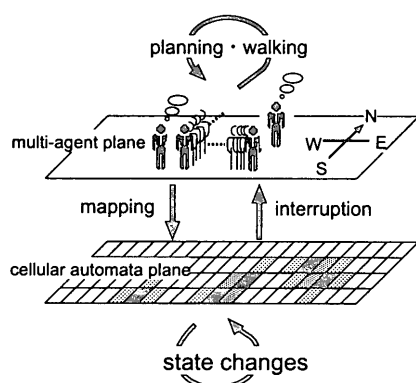


Figure 1: The crowd behavior model by the multi-agent which is located on cells.

3 MAによる行動決定処理とセル状態にもとづく割り込み処理

3.1 処理の概要

すべての処理は、微小な基本処理ステップ: τ_0 [s] の離散時間幅の単位で行われる。ただし、エージェントの行動決定処理は、各エージェント毎に決められている固有の周期で行動を決定する。この周期は τ_0 の整数倍の値をとり、次回に行動を決定するまでの間は、最後に決めた行動を繰り返す。一方、CAは、 τ_0 毎に状態を再計算し、必要に応じてエージェントの行動に割り込む。行動に割り込まれたエージェントは、行動決定処理をリセットし、その時点からエージェント固有の周期が経過するまで行動を停止する。

以下、エージェントの行動決定処理と、CAの状態にもとづく割り込み処理について、それぞれ詳しく説明する。

3.2 MAによる行動決定処理

エージェントは実数連続平面上に位置し、人間の肩幅に相当する空間を占める。ここでは、フルーインが定義した人体楕円モデル⁸⁾にもとづき、長径60cm、短径45cmの空間を占めることにする。エージェントの座標は、楕円の中心であり、頭部が占める面積は考慮しない。

各エージェントは、当該エージェントの特質を表すいくつかの属性パラメータを持つ。Table 1に、その概要を示す。ここで方向に関する属性パラメータは、北を0 [rad] として、時計回りを正、反時計回りを負とした場合の角度を指す。ただし、角度は $-\pi$ 以上 π 未満とする。各エー

Table 1: Agent attribute parameters.

目標座標	P_i	エージェント i が移動目標としている座標。
現座標	$Q_i(t)$	エージェント i が現在存在する座標。
目標方向	$\Theta_i(t)$	Q_i からみた P_i の存在する角度。
単位目標ベクトル	$p_i(t)$	$[\sin \Theta_i(t), \cos \Theta_i(t)]$ で表されるベクトル。
向き	$\Phi_i(t)$	エージェント i が向いている方向。最も最近に移動した時の移動方向となる。
移動周期	τ_i	エージェントが1回の行動決定に要する時間。基本処理ステップ τ_0 の整数倍の離散時間をとる。
最大移動幅	δ_i	エージェントが1移動周期で移動できる最大距離。
体格	w_i	エージェントが他のエージェントに与える影響力。
視界	v_i	エージェントが他のエージェントを意識し、ストレスを感じる空間範囲。
体力	e_i	物理的な圧力に対する効力。

ジェントは、自身の属性パラメータにもとづいた行動をとる。

エージェント i は、 τ_i の周期でプランニングを行い、その時点での移動ベクトル $q_i(t)$ を決定する。時刻 t における座標を $Q_i(t)$ とすると、 n 基本処理ステップ ($n = 1, 2, \dots, \tau_i/\tau_0$) 後の座標 $Q_i(t + n\tau_0)$ は、式(1)のように表される。

$$Q_i(t + n\tau_0) = Q_i(t) + \frac{n\tau_0}{\tau_i} q_i(t) \quad (1)$$

$$q_i(t) = \delta_i(p_i(t) + S_i(t)) \quad (2)$$

P_i が、無限遠点にある場合、 $p_i(t)$ は、定数ベクトルとなる。

エージェント i は、時刻 t において、 $Q_i(t)$ を中心に、視界距離 v_i 内に存在する他のエージェント j から、ストレスベクトル: $s_{i,j}(t)$ を受ける。すべての j について $s_{i,j}(t)$ を平面上で合成し、 $S_i(t)$ を得る。

$$S_i(t) = \sum_{j \in \text{scope}(v_i)} s_{i,j}(t) \quad (3)$$

$$\text{scope}(v_i) = \{j \mid d_{i,j} \leq v_i, j \neq i\} \quad (4)$$

ここで、 $d_{i,j}(t)$ はエージェント i とエージェント j との連続平面上の距離である。 $s_{i,j}(t)$ を、以下のように定義する。

$$s_{i,j}(t) = \frac{w_j}{w_i} D_{i,j}(t) [\sin \omega_{i,j}(t), \cos \omega_{i,j}(t)] \quad (5)$$

$$D_{i,j}(t) = \frac{(1 + \cos \theta_{i,j}(t))(1 - \cos \phi_{i,j}(t))}{4d_{i,j}(t)} \quad (6)$$

$$\theta_{i,j}(t) = \omega_{i,j}(t) - \Theta_i(t) \quad (7)$$

$$\phi_{i,j}(t) = \omega_{i,j}(t) - \Phi_j(t) \quad (8)$$

ここで、 $\theta_{i,j}(t)$ は、エージェント i からみたエージェント j の角度: $\omega_{i,j}(t)$ と、エージェント i の目標方向: $\Theta_i(t)$ とのずれである。また、 $\phi_{i,j}(t)$ は $\omega_{i,j}(t)$ とエージェント j の向き: $\Phi_j(t)$ とのずれである。

Fig.2に、エージェント間で生じるストレス導出の方法を示す。

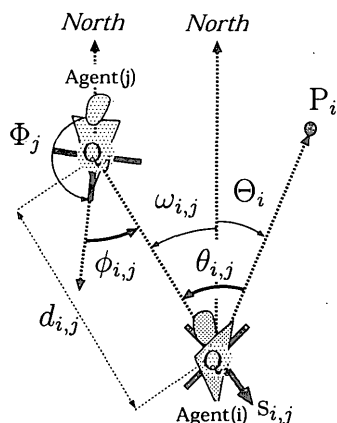


Figure 2: Calculating of the stress vector : $s_{i,j}(t)$ between agents.

3.3 セル状態にもとづく割込み処理

以下、西東方向に x 番目、北南方向に y 番目に位置するセルを $C_{x,y}$ と表す。ただし、 $0 \leq x < X$, $0 \leq y < Y$ である。セル平面: $\{C_{x,y}\}$ 上では、各エージェントに対し、 τ_0 毎に下記の処理 (a)~(c) を行う。

- $C_{x,y}$ に属する座標に位置するエージェントについて、体格: w_i を合計し、これを現状態値とする。
- 各セルに対し、 $L \times L$ の空間平滑フィルタを施し、新たな状態値: $W'_{x,y}$ を求める。
- フィルタをかける前のセル状態: $W_{x,y}$ とかけた後のセル状態: $W'_{x,y}$ との差分: $dW_{x,y}$ を求める。

次に、 $dW_{x,y} \geq 2$ となるセルについて、以下に示す割込み処理 (d)~(i) を行う。ここで、割込みとは、エージェントの移動周期やプランニング行動とは別に、任意のタイミングでエージェントに強制的な行動を起こさせる処理である。

- 当該セル中に存在するエージェントのうち、最も体力: e_i が小さなエージェントを選択する。
- 当該セルの周囲 8 セルのうち、差分値が負になっているセルを選び、移動先候補リストをつくる。
- (e) でつくられた移動先候補リストから、移動先を選択する。このとき、移動先セルにおける差分値の絶対値に比例するようなルーレット選択が行われる。
- (d) で選択されたエージェントを、(f) で選択されたセル中のランダムな位置に強制移動させる。
- 移動させられたエージェントの体格値を、移動前の当該セルの差分値から差し引く。
- 当該セル差分値が、2 以上であれば (d) に戻る。

Figure 3 に、CA 平面に対する平滑フィルタリングと、割込み処理の様子 ($L = 3$) を示す。

4 シミュレーション実験

4.1 対抗流のある通路通行シミュレーション

前節までに述べた手法を実装することで、群集行動を可視化したシミュレーションを行うことができる。また、

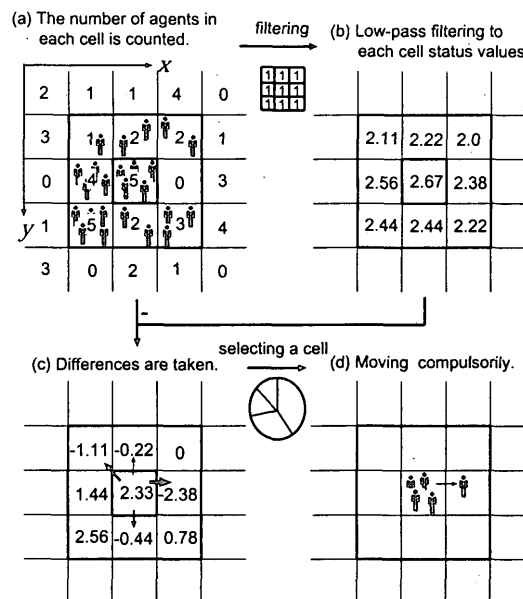


Figure 3: Filtering processing to the status value to select a cell to move. ($L = 3$)

エージェントの平均歩行速度（流速）及び単位時間あたりの CA からの割込み発生によるエージェントの移動数をリアルタイムで観察することができる。

本シミュレータを用い、3.2 で述べたエージェントの属性パラメータの多様性が、群集行動にどのように影響するのかを調べる。また、3.3 で述べた割込み処理の有無により、群集行動にどのような変化が生じるかを調べる。実験環境として、幅 25m、長さ 50m の通路の両側から、それぞれ 30 人/秒のエージェントがランダムな位置から流入する場合を想定する。

4.2 実験方法

エージェントの属性パラメータ多様性の有無、CA からの割込み処理の有無、視界距離をそれぞれ変えた場合に、群集行動がどのように変化するかを調べる。各設定を以下のように記号で表す。ここで、視界距離 (S/L) は、それぞれ 2.5m と 5.0m に対応している。

E [多様性有無 (1/0)][割込み有無 (1/0)][視界距離 (S/L)]

Table 2 に実験に用いたパラメータを示す。

基本処理ステップ: τ_0 は、0.5s とする。また、空間平滑フィルタの窓: L は 3 とする。合計 5 種 ($E11S$, $E11L$, $E01S$, $E01L$, $E10S$) のケースについて、1200 基本処理ステップ (10min) のシミュレーションを、それぞれ 10 回行う。これらのシミュレーションから群集行動の特徴的な振舞いと、エージェントの平均速度を分析する。

4.3 結果と考察

Figure 4 に、エージェントに多様性がない場合 ($E01S$) と、ある場合 ($E11S$) の、MA の振舞いを示す。エージェントの多様性がない場合、対抗するエージェントが衝突する場所に「渦」がつけられ、常に変化を繰り返す。

一方、各エージェントに多様性がある場合、視界距離の大きさにより振舞いに違いが生じる。視界距離が短い場合は、早い段階で隊列を形成し、その後も大きな変化

Table 2: The used agent parameters for the experiments.

パラメータ名	多様性なし	多様性あり
目標座標	それぞれ南北の無限遠点	
移動周期	1.0s 固定	0.5s~1.5s 間の 0.1 刻みのランダム値
最大移動幅	1.5 m 固定	0.5m/s~2.5m/s 間の 0.1 刻みのランダム値
体格	1.0 固定	0.5~1.5 間の 0.1 刻みのランダム値
体力	1 固定	0.5~1.5 間の 0.1 刻みのランダム値

はみられない。隊列は、大きな体格や移動距離をもつエージェントが、対抗するエージェント集団中に「すき間」を作り、これにいくつもの他のエージェントが追従することによって形成されていく。すなわち、エージェントの小集団による組織的な振舞いが、群集としての安定した振舞いに寄与するような現象が見られる。

一方、視界距離が長い場合 (E11L) も隊列は形成されるが、その幅は E11S に比べ太い。また、隊列が時間とともに東西方向に蛇行し、安定した流れにはならない。この現象は、組織の大きさと、個々のエージェントの意志決定に使われる情報空間の広さとの関連を探る上で興味深い。

また、CA からの割込みがある場合 (E11S) の方が、ない場合 (E10S) に比べ、隊列が乱れる傾向がある。一方、流速は割込みがある方がやや速くなる。体力別の流速を調べた結果を Figure 5 に示す。これより、割込みが発生する場合の方が、体力別の速度差が大きくなることがわかる。このような現象は、実際の群集行動にもみられるものである。これより、割込み処理は、現実に近い振舞いの再現に有効であることが示された。

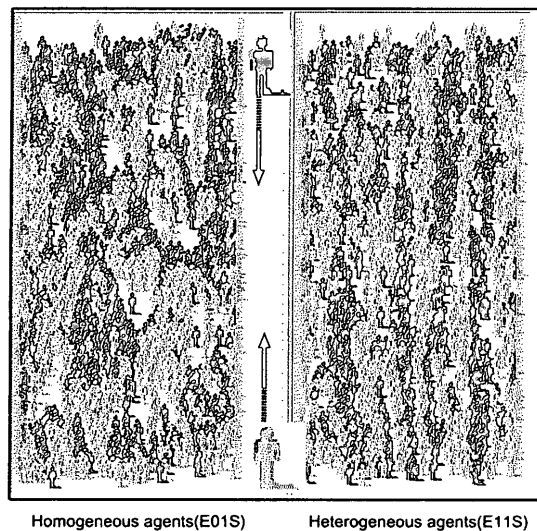


Figure 4: Examples of result of simulation (Agent plane and Agent graphics).

5 むすび

建造物設計や警備計画の立案に応用可能な群集行動分析の手法として、セル上に配置されたマルチエージェント

Table 3: Comparison of agents walk speed in each attribute parameter condition.

多様性	割込み	S(2.5m)	L(5.0m)
なし	あり	15.4	15.8
あり	あり	24.0	20.0
あり	なし	25.4	-

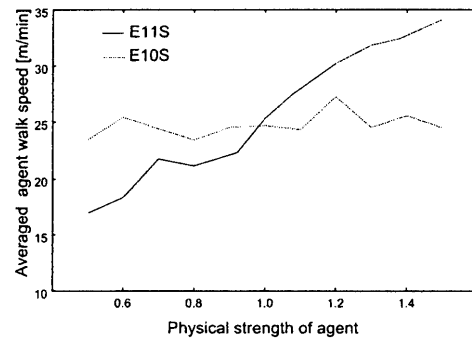


Figure 5: Changes in the average agent walk speed by the difference in the physical strength with (without) interrupting process.

トモデルを用いる方法を提案した。本手法の特徴は、群集を構成するエージェントの多様性と、群集密度が高くなったときに生じる物理的な干渉作用を、エージェント毎の行動決定処理と、環境からの非同期な割込み処理により実現した点である。

シミュレーション実験の結果、群集を構成するエージェントの多様性が、群集行動の振舞いに大きな影響を与えることが明らかになった。そして、セル状態の変化により発生する割込み処理が、より現実に近い群集行動の再現に、有効であることが明らかになった。

References

- [1] 安部北夫: 災害心理学序説, サイエンス社 (1992).
- [2] 乾正雄, 長田泰公, 渡辺仁史, 穂山貞登: 新建築学大系 11 環境心理, 彰国社 (1981).
- [3] Modelling the evolution of human trail systems, Dirk Helbing, Joachim Keltsch and Peter Molnar, *Nature*, Vol.388, No.3, pp.47-50 (1997).
- [4] 佐野友紀, 渡辺仁史: 空間-時間系モデルを用いた群衆歩行軌跡の可視化, 日本建築学会計画系論文集, No.479, pp. 125-130 (1996).
- [5] 佐野友紀, 高瀬大樹, 円満隆平, 渡辺仁史: 歩行車動線シミュレーションシステムの開発, 日本建築学会計画技術報告集 3, Vol.111, No.1399, pp. 263-267 (1996).
- [6] 森下 信, 山本 英臣, 中野孝昭: セルラオートマトン法による群集の流れ解析, 日本機械学会講演論文集 97-1, pp.394-395 (1997).
- [7] 山本 英臣, 森下 信, 中野孝昭: セルラオートマトン法による人の流れシミュレーション, 日本機械学会講演論文集 98-8I(B), pp. 261-264 (1998).
- [8] フルーイン, J.J. 長島正充訳: 歩行者の空間, 鹿島研究所出版会 (1974).