

CA による避難行動シミュレーション

Evacuation Behaviour Simulation by CA

近田康夫, 廣岡 淳

Yasuo CHIKATA and Atsushi HIROOKA

Disaster prevention planning in a confined space must be a plan to suppress damage to the minimum as opposed to a calamity. But because the refuge experiment in an emergency is very dangerous so it is popular that evacuation simulation execute on a computer.

In this study, to solve issues of existing simulation system modeled by cellular automaton(CA), try to build an evacuation simulation system by adding functions that are not made consideration in existing simulation system.

Key Words : Cellular-Automaton, Evacuation simulation system

キーワード: セルラーオートマトン, 避難シミュレーションシステム

1. 緒言

近年, 構造物は安全性, 経済性, 施工性ととともに, 使いやすさ, 環境の調和などの点にも重点がおかれるようになった。歩行者によって利用される構造物ならば, 歩行行動が快適かつ安全な空間を有する必要がある, 特に不特定多数の人が利用する場合, 混雑時にはできるだけ問題の生じないように, また緊急時や災害時には, その被害を最小限に抑えるようにしなければならない。

1995 年の阪神大震災以降, 緊急時の避難行動については特に注目が集まっており, 構造物の耐震性, 免震性, 耐火性などに加え, 災害時の避難計画などを構造物の防災性と関連付けて総合的に検討すべきであるということが強く認識されるようになった。この防災対策や計画を立案するうえで, 災害時の人間の行動を予測しておくことは極めて重要なことである。しかし, 設計段階で人の動きを実際に検証することは不可能であり, また災害時の避難行動などは実際に検証するには危険を伴う。そこで, 人間の歩行行動をシミュレーションする試みがなされている。例えば, 清野らの個別要素法を用いた被災時の避難行動シミュレーション¹⁾, 堀内らの火災時の延焼を考慮したシミュレーション²⁾, 瀧本らの防災要員と避難者間の情報伝達を考慮した避難行動シミュレーション³⁾, 位寄らの人間の主体性を考慮したシミュレーションモデルの開発⁴⁾等をあげることができる。これらの研究を通して, 避難時行動の詳細な再現を行う努力がなされている。

近年のコンピュータの発展により, 様々なシミュレーションが容易かつ高速で計算できるようになってきた。人間の歩行行動は, 心理状態や環境など, 非常に多くの要素を含み, 様々なパラメータを考慮する必要がある。避難を考慮したシミュレーションは, 上記にも示したように, 数多く報告されているが, 本論ではセルラーオートマトン (Cellular-Automaton 以下 CA) を用い, 歩行者個人個人に歩行のための規則を適用させ, その相互作用として群集歩行行動のシミュレーションモデルを構築する。これは群集を群集としてではな

く, 歩行者の集合としてとらえる方法であり, より現実に則したシミュレーションモデルが構築できる。

廣瀬⁵⁾は, 清野らの研究¹⁾を基に, CA を用いた群集歩行シミュレーションモデルを構築し, CA の特徴である「簡単なセル間の局所的相互作用から, 人の群集行動のような複雑な現象を再現」しようと試みた。さらに, 浅地⁶⁾は, 廣瀬⁵⁾の研究で作成されたシミュレーションモデルに, 『通路誘導灯 (以下 誘導標識) の設置』『対人回避行動の変更』『速度属性』の改良を加え, より現実に則したシミュレーションシステムを開発した。

CA を用いた避難シミュレーションモデルでは,

- 人の行動のモデル化の精緻化
- 避難を円滑に行わせるための構造の検討

という 2 つのアプローチが考えられる。本論ではそのうち『人の行動のモデル化の精緻化』に焦点を絞り, 浅地の研究⁶⁾で開発されたシミュレーションシステム (以下 既存シミュレーションシステム) から以下の 3 点の改良を施す。

1. 歩行者が自らの位置から出口等の目的地までの距離を計算し, 最短距離を進めるようにする
 2. 既存シミュレーションシステムではモデル化されていない, 誘導標識の方向指示をモデル化する
 3. 速度属性の見直し, および, 構成の見直し
1. により, 歩行者が近くに出口があるにも関わらず, 遠い出口へ向かうことを防ぎ, 結果的に歩行者の脱出効率が向上することが期待できる。2. により, 歩行者が出口を発見できず, 誘導標識を頼りに移動する場合, 到達した誘導標識から, 次の目的地となるべき場所が発見できない場合に, 無限ループに陥ることを防ぐことが期待できる。3. は, 既存シミュレーションシステムで加えられた速度属性『速い (1Step1 歩), 普通 (2Step1 歩), 遅い (3Step1 歩)』および構成比『速い:普通:遅い = 1:1:1』を, 清野らの調査結果⁷⁾に基づいて, 現実に沿った属性 (『普通 (1Step1 歩), 遅い (2Step1 歩)』) および構成比 (『普通:遅い = 75%:25%』) に変更するものである。この変更を施す前後で, 既存シミュレーショ

ンシステムで見られた『遅い歩行者が通路上で移動障害物となる』現象や『遅い歩行者が追い抜かれる』現象が再現できるかを検証する。

2. CA

CA は、同一にプログラムされ、他と相互作用するオートマトン (automaton) を細胞上 (cellular) に配列されたものであり、この配列されたオートマトンのことをセル (cell:細胞) と呼ぶ。

CA は本質的には次にあげる 3 つの要素を有する。状態 (state)

実現可能な値の有限な数の集合に属する値をとる変数であり、その応用に依存した解釈が与えられる性質。本論で言えば、歩行者、障害物 (構造物)、歩行可能空間などにそれぞれ、例えば、1,2,3... と数値を割り当てることに相当する。

近傍 (neighborhood)

注目しているセルの周辺のセルの集合。

遷移規則 (transition rules)

あるセルの現在の状態とその近傍の状態をもとにそのセルの状態を変化させるための規則。

CA は空間、時間、および状態が離散的な活動的システムである。規則的な空間格子状のセルは、有限な状態の 1 つを有し、以前の時間ステップにおける状態と近傍の状態、ならびに局所的ルール (遷移規則) によってその状態を変化させる。全てのセルは同期して変化するため、全体は離散的な時間刻みで変化する。

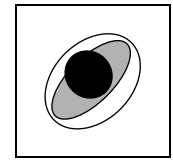
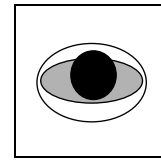
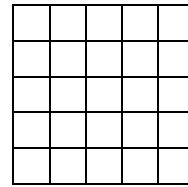
3. 歩行者空間とそのモデル化

3.1 空間のモデル化

シミュレーションモデルを構築するにあたり対象とする空間をモデル化する必要がある。本論では 2 次元 CA モデルを採用し、空間格子としてもっとも代表的である図 - 1 のような空間格子をとるものとした。このメッシュ構造で分割されたそれぞれの要素をセルと呼ぶ。

3.2 歩行者のモデル化

既存シミュレーションシステム⁶⁾では、図 - 1 の空間格子の 1 つのセルに歩行者を配置するとき、人体楕円と呼ばれる楕円を 1 つのセルに配置することを想定した。人体楕円とは、人体を平面図で表したときの楕円であり、そのサイズは、45cm×60cm(縦×横)である。この楕円を図 - 1 の 1 つのセルに配置する場合、セルの 1 辺は 50cm が妥当であるとしていた。しかし、本論は歩行シミュレーションモデルであり、歩行を第一に考えるべきである。そこで、本論では、後述する清野らの調査結果⁷⁾から、普通の人歩行速度は約 1.0m/sec であるとし、図 - 1 の空間格子のセルの 1 辺長を 1.0m とした。セルの 1 辺長を 1.0m としたときの人体楕円の配置を図 - 2 に示す。



(a) 前向き

(b) 斜め向き

図-1 採用する空間格 図-2 セルの 1 辺長を 1.0m としたときの人体楕円配置

3.3 セルのとりうる状態

セルのとりうる状態は、以下のものがあげられる。

- (a) 歩行者
- (b) 障害物 (構造物)
- (c) 歩行可能空間
- (d) 標識 (出口・出口標識・誘導標識)



(a) 歩行者

(b) 障害物(壁)

(c) 歩行可能空間

(d) 標識

図-3 セルのとりうる状態

特に (d) のうち、誘導標識にある矢印は本論で付け加えたものである。前述のとおり、通路誘導灯にある矢印をモデル化したものであり、歩行者は誘導標識から次の目的地を定めることができない場合、この矢印の指し示す方向へ移動する。

4. 既存シミュレーションシステムの改良

4.1 MAP.txt の読み込み

既存シミュレーションシステムでは、MAP の広さや歩行者の位置を示す情報をプログラムソース中に直接記述していたが、作業が非常に面倒であることや、プログラム開発環境が整っていなければ MAP の記述ができないという問題点を抱えていた。そこで、Microsoft Excel(以下 Excel) を用いて視覚的に MAP を描き、その情報を txt ファイルとして保存し、シミュレーターに読み込ませることにした。図 - 4 が Excel での記述例、図 - 5 がその MAP を読み込ませた結果である。これにより、MAP をビジュアルに描くことが可能となり、同時に MAP の作成を容易に行えるようになった。

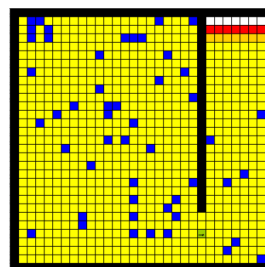


図-4 Excel での記述例

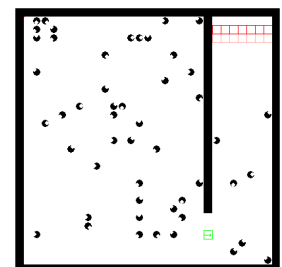


図-5 読み込み結果

4.2 各標識までの距離計算

既存シミュレーションシステムでは、以下の方法で具体的な目的地を決定していた。

1. 真正面を見る。(標識がある?)
Y: そこへ向かう。
N: 次へ。
2. 右 90 度内を見る。(標識がある?)
Y: そこへ向かう。
N: 次へ。
3. 左 90 度内を見る。(標識がある?)
Y: そこへ向かう。
N: 適当な空間へ。

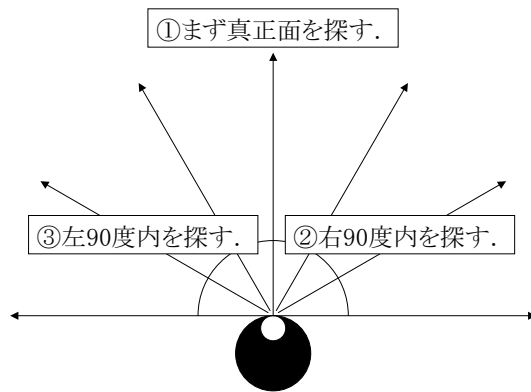


図-6 歩行者の目的地決定手順

ここで問題となるのは、歩行者が真正面に出口を発見した場合、右視野内もしくは左視野内により近い出口があったとしても、そちらには向かわず、真正面の出口を目指してしまうということである。つまり、『近くに出口があるにも関わらず、遠くの出口を目指して動く』という現象が発生し、現実的ではない。

そこで、歩行者の目的地を決定する際に、真正面・右 90 度の視野内・左 90 度の視野内をすべて探索したあとに、発見した標識までの距離を計算し、もっとも近い距離にある標識へと向かうよう、目的地決定の手続きを以下のように変更した。これにより、『近くに出口があるにも関わらず、遠くの出口を目指して動く』という問題点は解決できた。

1. 真正面を見る。(標識がある?)
Y: 標識までの距離を計算し、次へ。
N: 次へ。
2. 右 90 度内を見る。(標識がある?)
Y: 標識までの距離を計算し、次へ。
N: 次へ。
3. 左 90 度内を見る。(標識がある?)
Y: そこへ向かう。
N: 適当な空間へ。
4. 1. 2. 3. で標識があった場合、見つかった標識までの距離を比較する。
5. 4. でもっとも近い位置にある標識を目的地として設定する。

また、上記の方法で決定した標識に向かう途中も標識探索を行い、現在の目的地よりもさらに近い標識を発見した場合は、新たに発見した標識へ向かう。

図 - 7 と図 - 8 を見比べると、その差は明らかである。図 - 7 の距離計算をしない場合では、真正面に出口標識を見つけたため、右視野内にさらに近い出口が

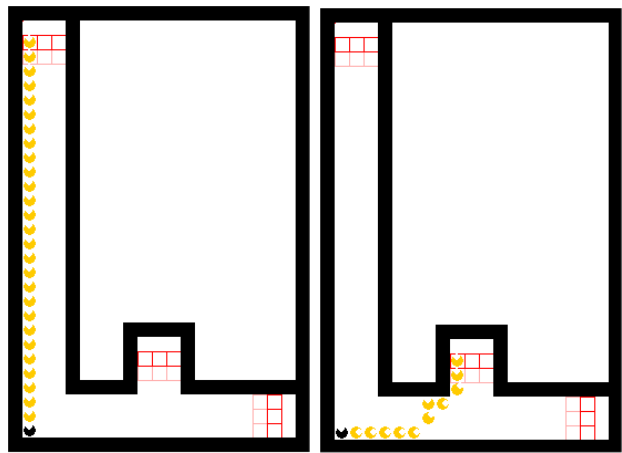


図-7 距離計算をしない場合 図-8 距離計算をした場合

あるにも関わらず、真正面の標識へ向かっている。対して図 - 8 の距離計算をした場合では、真正面の出口標識を見つけたが、右視野内にさらに近い出口標識があるため、右視野内にある標識へ向かっている。さらに、その標識へ向かう途中、今度は左視野内にさらに近い出口標識を発見したため、方向転換してそちらの標識へ向かっている。

4.3 誘導標識の方向指示

浅地の研究⁶⁾で新たに設置された誘導標識は、通路誘導灯をモデル化したものである。この誘導標識のモデル化により、歩行者が遠くの出口へ向かわずに、自身の死角にある出口標識へ向かうという行動が再現できた。しかし、『誘導標識から次の目的地となる場所が定まらない場合、誘導標識の周りをうろうろする無限ループが発生する』という問題点も発生した。

そこでさらに現実に則したシミュレーションシステムの構築のために、通路誘導灯には必ず記載されている「→」や「←」といった、歩行者に「矢印の方向へ向かえ」という指示(図 - 9 の赤丸で囲んだもの)もモデル化する。この方向指示をモデル化することにより、『誘導標識から次の目的地となる場所が定まらない場合、誘導標識の周りをうろうろする無限ループが発生する』という問題点は解決できた。



図-9 一般的な通路誘導灯

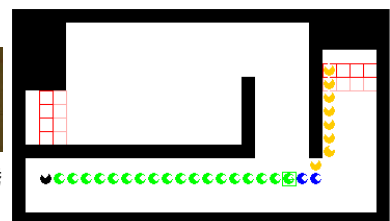


図-10 方向指示を適用した結果

図 - 10 は、誘導標識に方向指示を与えた場合のシミュレーション結果である。初期状態で歩行者はどの出口も発見できない場所にいる。そのため、歩行者は、自分のいる位置から見える誘導標識を目的地として動き始めた。しかし、到達した誘導標識からは、次の目的地となるべき出口標識や誘導標識が見えない。そこで、歩行者は到達した誘導標識にある「→」の指示に

従い、右方向へ移動した．すると、出口標識が発見され、脱出している．

4.4 速度属性および構成の見直し

浅地⁶⁾は、歩行者に『速い(1Stepに1歩)・普通(2Stepに1歩)・遅い(3Stepに1歩)』という速度差をつけ、MAP上に『速い:普通:遅い=1:1:1』で等分布させたシミュレーションを行った．その結果、『速度の遅い歩行者が通路上で移動障害物になる』という現象や、『速度の速い歩行者が速度の遅い歩行者を追い抜く』という現象が発生した．しかし、歩行速度の『速い』と『遅い』が3倍の速度差であるという点、さらに1:1:1の等分布という点は現実離れしているのではないか．実際、清野らの調査¹⁾では、滞人口に占める各属性の比率および歩行速度を以下のように示している．

表-1 属性の分類とその歩行速度

属性	速度(男性) m/sec	速度(女性) m/sec
乳幼児+保護者	0.88	
小学生以下	1.02	1.09
中高生~50歳	1.45	1.23
50~70歳	1.19	1.04
70歳~	0.99	0.89
車椅子	0.75	

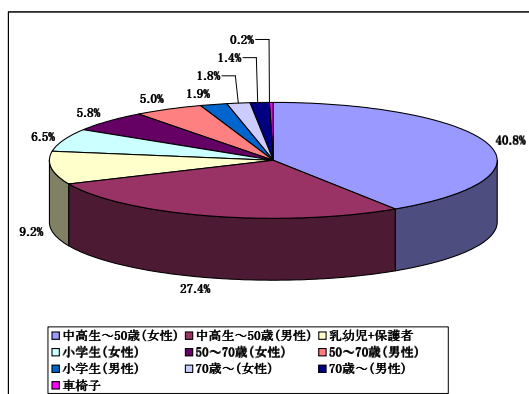


図-11 滞人口に占める各属性の比率

この調査はあくまで一調査例だが、表-1の結果を見ても、もっとも遅い属性である車椅子で0.75m/sec、もっとも速い属性の中高生~50歳(男性)で1.45m/secであり、この最大差でも約2倍の速度差である．この調査結果を参考にすると、シミュレーションでは人の歩行速度を『普通(1Stepに1歩)・遅い(2Stepに1歩)』の2種類にする方が、より現実的であると考えられる．このとき、どの部分を境界線にするかだが、本論では1.1m/sec以上の属性を普通、1.1m/sec以下の属性を遅いとした．次に、この普通と遅いの構成を考えると、図-11を参考にすると、普通とした1.1m/sec以上の構成は、中高生~50歳(男性)、中高生~50歳(女性)、50~70歳(男性)を合わせ、約75%となる．このことから、構成を『普通:遅い=75%:25%』とするのが適当である．こ

れら、速度属性および構成の変更に加え、前述した2点の改良『各標識までの距離計算』『誘導標識の方向指示』を加えたシミュレーションにおいて、浅地のシミュレーションでも見られた、『遅いセルが通路上で移動障害物になる』という現象や『速度の速い歩行者が速度の遅い歩行者を追い抜く』という現象を確認する．

5. シミュレーション結果および考察

5.1 シミュレーションにおける歩行ルール

- 歩行者の目的は空間からの脱出である．
- 障害物を超えることはできない．
- 歩行者の目的地は一番近い出口標識である．
- 出口標識が見つからない場合は、一番近い誘導標識である．
- 誘導標識の方向指示に従う．
- 火災や煙等の環境的要因は考慮しない．
- 全ての歩行者は初期状態で出口の場所を知らない．
- 全ての歩行者は同一のルールによって動く．

5.2 MAPの設定

シミュレーションは金沢駅構内および金沢百番街全域を対象に行う．配置する歩行者の人数は500人である．シミュレーションは原則としてすべての歩行者は普通の速度(1Step1歩)で行うが、速度属性および構成の見直しでのシミュレーションでは、普通の速度の歩行者と遅い速度(2Step1歩)の歩行者を混在させる．MAPの全体図を図-12に示す．このMAPには、出口が14ヶ所あり、誘導標識は30ヶ所設置した．

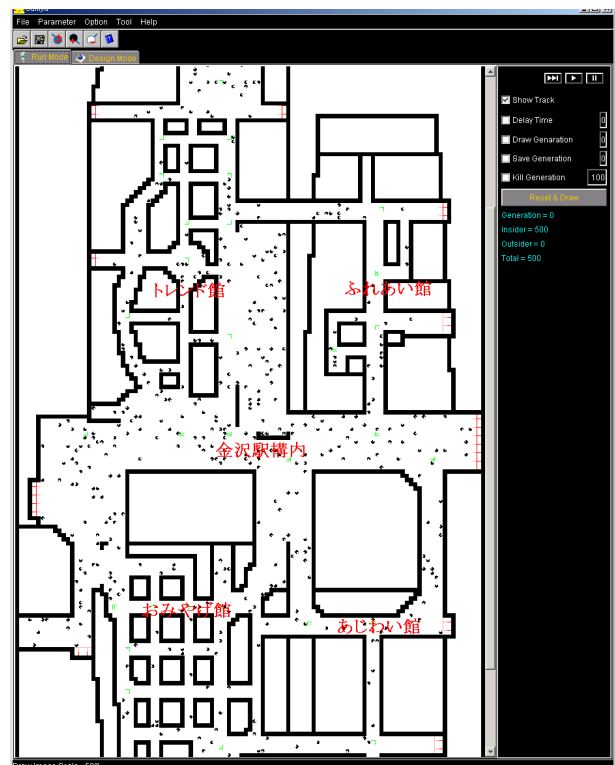


図-12 金沢駅構内および金沢百番街全体図

5.3 各標識までの距離計算による効果検証

改良前と改良後のシミュレーション結果を比較し、改良による効果を検証する。以下に、改良による効果が顕著に表れている部分をピックアップする。

(1) トレンド館



図-13 改良後のシミュレーション 図-14 改良前のシミュレーション

図-13が改良後のシミュレーションである。図-14の改良前のシミュレーションでは、ほとんどの歩行者が右側にある出口へ集中しているのに対し、改良後のシミュレーションでは、右側にある出口へ向かう途中に、歩行者の右視野内にさらに近い出口を発見したため、より近い出口を目指して、すべての歩行者が右折している様子が見てとれる。

(2) おみやげ館

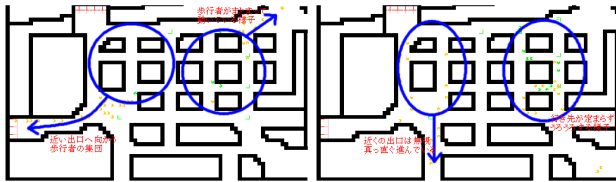


図-15 改良後のシミュレーション 図-16 改良前のシミュレーション

図-15のMAP左側の歩行者の集団は、このMAPの下方に配置されているあじわい館にある出口を目指して進んでいたが、途中で右側により近い出口を発見し、そちらの方向へと方向転換して進んでいる様子が見て取れる。また、このシミュレーションでは、歩行者が群れを成して動くというプログラムを用意していないが、図にあるようにあたかも群れを成して動いているようにも見える。これはCAの基本原則である「局所的相互作用から群集のような複雑な現象が再現でき」といえよう。対して、図-16では、トレンド館のときと同様、一度あじわい館にある出口を目的地に設定してしまうと、途中で方向転換を行わないため、図のように近くに出口があるにも関わらず真っ直ぐ進んでしまっている。さらに、MAPの右側に注目すると、図-15では、左側の歩行者と同様にあたかも群れを成して進んでいるようにも見える。対して図-16では、行き先が一点に定まらず、通路の中をうろろうとしている歩行者の集団が見てとれる。

(3) あじわい館

図-17の改良後のシミュレーションでは、シミュレーション開始時に青丸で囲まれた場所にいた歩行者は、MAP左端にある出口へ向かう途中、左視野内により近い出口を発見し、左折する様子が見て取れる。これにより、歩行者が脱出する出口を分散し、効率の良い脱出がなされている。対して、図-18では、同様に青丸で囲まれた部分にいた歩行者は、左側により近い

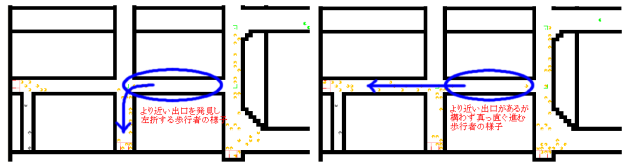


図-17 改良後のシミュレーション 図-18 改良前のシミュレーション

出口があるにも関わらず、正面の出口へ真っ直ぐ進んでいる。そのため、そちらの出口に歩行者が集中し、脱出の効率を悪くしている。このMAPでは、『歩行者が自らの場所から最も近い場所を選ぶことによって、歩行者が分散し、脱出効率が向上する』ということも確認できた。

(4) 金沢駅構内



図-19 改良後のシミュレーション 図-20 改良前のシミュレーション

図-19では、MAPの中心から右側に配置された歩行者は右側の出口に、左側に配置された歩行者は左側の出口にうまく分散して脱出している様子が見て取れる。このMAPにはこの2つの出口しかないので、このように中心で分かれて脱出する方法が最も効率が良い。また、このMAPでもおみやげ館のシミュレーションと同様に、自然に群集が形成されており、さらに効率のよい脱出がなされている。一方、図-20では、ほとんどの歩行者が右側の出口に集中し、脱出速度を低下させている。

(5) 全体の考察

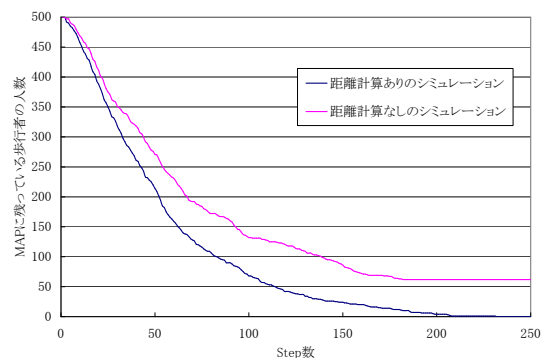


図-21 改良前後の比較グラフ

図-21は改良前後の比較を示すグラフである。シミュレーション開始直後から改良による効果が、歩行者の脱出速度が速いことから、表れているといえる。改良前のシミュレーションでは、最終的に約60人の歩行者がMAP内に残っているが、これは距離計算を行わないことで遠くの出口へ向かうが、途中で出口標識が死角に入るなどして、また誘導標識に戻るなどの無限ループが発生し、脱出できなくなっている歩行者がいることを示している。

5.4 誘導標識の方向指示による効果検証

改良前と改良後のシミュレーション結果を比較し、改良による効果を検証する。以下に、改良による効果が顕著に表れている部分をピックアップする。

(1) ふれあい館

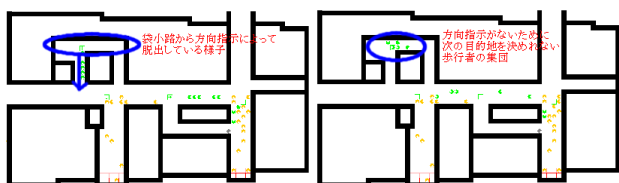


図-22 改良後のシミュレーション 図-23 改良前のシミュレーション

ともに青丸で囲まれた部分を見ると、図 - 22 では、誘導標識に『(MAP の) 下方向へ向かえ』という方向指示があるために、そこにいた歩行者はそれに従ってうまく脱出することができている。一方、図 - 23 には、そのような方向指示がないために、誘導標識にたどり着いてもその次の目的地を定められずに同じ場所であらうろちしてしまっている。

(2) おみやげ館



図-24 改良後のシミュレーション 図-25 改良前のシミュレーション

おみやげ館におけるシミュレーションでは、『複雑なMAPでの方向指示の役割は、歩行者をスムーズに脱出させること』であるということが確認できた。図 - 24 と図 - 25 を見比べてもそれは明らかであり、図 - 24 では、MAP 右上の誘導標識が『(MAP の) 右方向へ向かえ』という方向指示があるために、歩行者が順序良く脱出している。一方、図 - 25 では、その誘導標識から次の目的地となるべき標識が発見できないため、その場所で混在してしまっている。

(3) 全体の考察

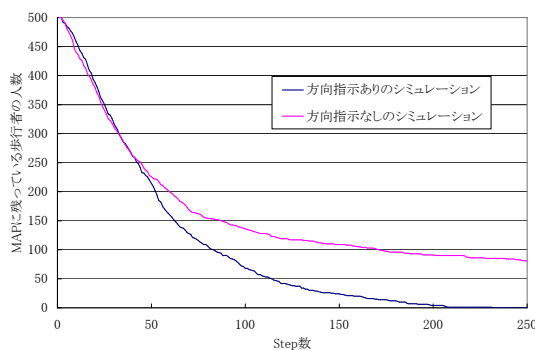


図-26 改良前後の比較グラフ

図 - 26 は改良前後の比較を示すグラフである。Step50 あたりまで、改良前後で大きな差は見られな

い。これは、上記に示した特に改良による効果が顕著に表れている『ふれあい館』と『おみやげ館』以外の場所では、歩行者がどこに配置されてもすぐに出口を発見できるような、見通しの良いMAPでは、この誘導標識の方向指示による効果があまり表れなかった、つまり改良前後で歩行者の動きに大差はなかったことが原因である。この改良は、前述の各標識までの距離計算と違い、歩行者の動き自体に変化を及ぼすものではなく、ある特定の条件下(前述したとおり、到達した誘導標識から次の目的地となる場所を特定できない場合)にのみ効果を発揮するものである。本論で期待した効果は、図 - 22 のような動きを歩行者に与えるというものであったが、図 - 24 で示したような、歩行者がスムーズに脱出するというにも効果を与えた。そのことがグラフにも表れており、Step50 を過ぎてからの、MAP 内に残っている歩行者の数の減り方が、改良前後で大きく異なっている。改良前のシミュレーションでは、最終的に、誘導標識のある場所で無限ループにおちいる歩行者がいるために、約 60 人の歩行者が脱出不可能となっている。

5.5 速度属性および構成の見直しを行ったシミュレーション

速度属性および構成を変更した場合のシミュレーションを、速度属性なし(すべての歩行者が同一の速度で動く)の場合との比較で、『遅い歩行者が移動障害物になる現象』『遅い歩行者が追い抜かれる現象』が、既存シミュレーションシステム⁶⁾と同様に見られるかを検証する。このとき、シミュレーションは前述した2点の改良(『各標識までの距離計算』および『誘導標識の方向指示』)を施して行う。以下に、現象が顕著に表れている部分をピックアップする。

(1) トレンド館

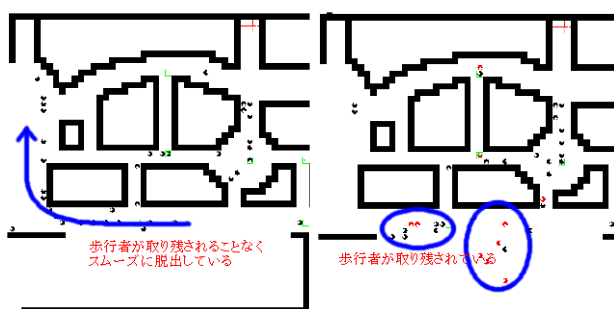


図-27 速度属性なしのシミュレーション 図-28 速度属性ありのシミュレーション

図 - 27 では、すべての歩行者が同じ速度で歩くため、きれいに一列になって脱出している様子が見て取れる。一方、図 - 28 では、普通の速度の歩行者と遅い速度の歩行者は混在しているため、隊列が乱れ、取り残される歩行者が見てとれる。また、このMAPでは、図 - 29 に示すような、遅い歩行者が移動障害物になっている現象も見えてとれた。

図 - 29 では、速度の遅い歩行者がいるために、普通の速度の歩行者は、遅い速度の歩行者を追い抜くために大回りをしなければいけない状況になっている。

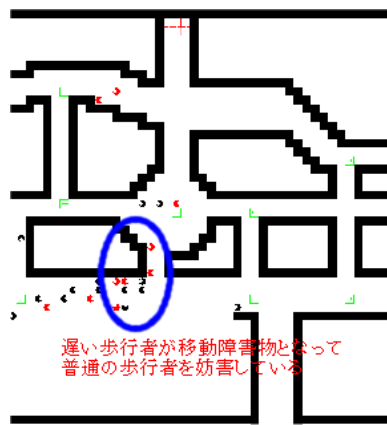


図-29 遅い歩行者が移動障害物となっている様子

(2) ふれあい館

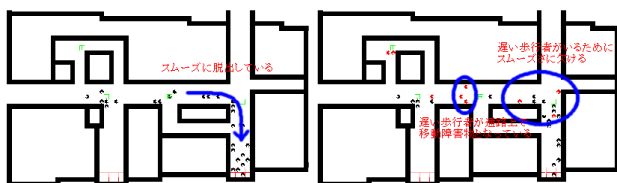


図-30 スムーズに脱出している様子 図-31 スムーズさに欠ける様子

図 - 30 のシミュレーションでは、上記トレンド館のときと同様に、すべての歩行者が同じ速度で歩いているため、脱出がスムーズである。一方、図 - 31 のシミュレーションでは、青丸で囲った部分にいる 3 人の速度の遅い歩行者のために、普通の速度の歩行者がそれらを追い抜くために大回りをしている様子が見てとれる。そのために、図 - 30 のようなきれいな隊列にはならず、スムーズさに欠けているようにも見える。また、全体を通して、やはり遅いセルは取り残されている。また、図 - 31 では、遅い歩行者が通路上で移動障害物となる現象も見られた。

(3) 全体の考察

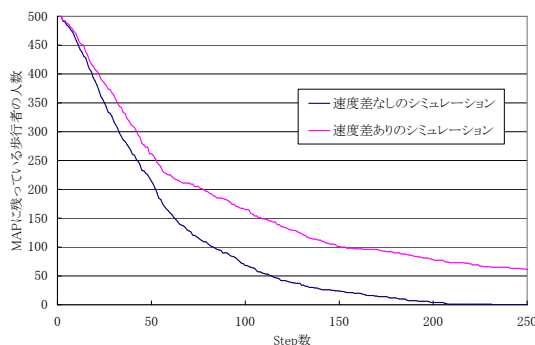


図-32 速度差の有無の比較

速度差をつけたシミュレーションでは、Step350 を過ぎたあたりから脱出速度が遅くなっている。これは、速度の遅い歩行者が通路上で移動障害物になるなどし、速い歩行者の歩行を妨げているためである。また、金

沢駅構内など広い MAP では、速い速度の歩行者が遅い速度の歩行者を追い抜くことが容易であるため、目立った渋滞などは発生しなかった。このシミュレーションから、速度属性を現地調査を行った結果を参考にして変更し、さらに各標識までの距離計算を行うこと、および、誘導標識に方向指示を施した場合のシミュレーションでも、既存シミュレーションシステムと同様に、『遅い歩行者が移動障害物になる現象』『遅い歩行者が追い抜かれる現象』は見てとれた。

6. 結論

本論では、以下の 3 点の改良を施すことで、既存シミュレーションシステムをより現実的なシミュレーションが可能なシミュレーションシステムへと改良した。

- 各標識までの距離計算を行うこと
 - － 各標識までの距離を計算することで、歩行者が遅い場所にある出口へ向かうことを防ぎ、結果的に歩行者の脱出効率向上につながった。
- 誘導標識の方向指示の設置
 - － 誘導標識 (通路誘導灯) には元来あるべきはずの方向指示を付け加えることで、歩行者の脱出に効果があることを確認した。
- 速度属性および構成の見直し
 - － 速度属性や構成の変更に加え、上記 2 点の改良を施したシミュレーションでも、『遅い歩行者が通路上で移動障害物になる』『速い歩行者が遅い歩行者を追い抜く (遅い歩行者が取り残される)』という現象が再現できた。

また、MAP 作成が容易に行えることで、既存施設だけでなく、今後計画される地下空間やショッピングモールなどの防災計画策定時に、安全性を評価するツールの 1 つとして有用と考えられる。

6.1 課題

本シミュレーションシステムをさらに現実に則した形でシミュレーションができるようにするためには、主に以下の 3 点の改良が必要である。

- 火災・煙などの環境的要因の追加
 - － 火災による延焼や、火災発生場所からの煙などによる通路遮断の再現。
- 群集心理の取り組み
 - － 歩行者が同じ出口に向かうことで自然に発生する群集ではなく、意図的に群れをなし、あたかも 1 人の歩行者のように目的地へ向かう現象の再現。
- 個性の導入
 - － 他の歩行者を先導する役割の歩行者やパニック状態に陥っている歩行者のモデル化や、避難誘導員・警備員のモデル化など。

これら 3 点の課題は、冒頭で述べた避難シミュレーションモデルの命題のうちの『人の行動の精緻化』に分類されるものである。上記以外にも内在する課題は多くあるだろうが、それらの課題を解決した後、もう 1 つの命題である『避難を円滑に行わせるための構造の検討』へフィードバックする必要がある。

参考文献

- 1) 清野純史・三浦房紀・八木宏晃：個別要素法を用いた被災時の避難行動シミュレーション，土木学会論文集 No.591/I-43，pp.365-378，1998
- 2) 堀内三郎，小林正美：都市防災計画のシステム化に関する研究 (II) - 防災システムのシミュレーション - ，日本建築学会論文報告集第 258 号，pp.123-129，1975
- 3) 瀧本浩一，三浦房紀，清野純史：防災要因と避難者の間の情報の伝達を考慮に入れた避難行動シミュレーション，土木学会論文集 No.537/I-35，pp.257-265，1996
- 4) 位寄和久，池原義郎，中島高史，中村良三，宇土正浩，渡辺仁史：人間 - 空間系の研究
- 5) 廣瀬智士・近田康夫・城戸隆良：CA を用いた歩行シミュレーションモデルの構築，土木情報システム論文集，Vol.9，pp.19-30，2000.10
- 6) 浅地剛成・近田康夫・城戸隆良：CA を用いた避難シミュレーションシステムの構築，金沢大学平成 13 年度学位学士論文，2002.3
- 7) 清野純史・土岐憲三・犬飼信広・竹内徹：避難行動シミュレーションに基づく地下街の安全性評価，土木学会論文集 No.689 / I-57，pp.31-43，2001.10