

平成 24 年度卒業論文

災害発生時の安全な避難のための
エージェントシミュレーションに関する研究

情報工学科 山端一生

指導教員

情報システム工学科 高橋晶子

仙台高等専門学校

目次

第1章	はじめに	1
1.1.	背景	1
1.2.	研究概要	1
1.3.	本論文の構成	2
第2章	関連技術	3
2.1.	エージェント	3
2.2.	エージェントシミュレーション	4
第3章	シミュレーションの設計	5
3.1.	エージェントシミュレータ artisoc	5
3.2.	シミュレーションの概要	6
3.3.	エージェントの設計	7
3.3.1.	人エージェント	7
3.3.2.	避難開始地点エージェント	8
3.3.3.	集合場所エージェント	9
3.3.4.	中継地点エージェント	9
3.3.5.	位置修正エージェント	11
第4章	実装と評価	12
4.1.	実装	12
4.2.	評価	13
4.2.1.	実験1 移動教室を考慮しない場合	13
4.2.2.	実験2 移動教室を考慮した場合	15
4.3.	考察	17
第5章	おわりに	19
謝辞	20
参考文献	21

図目次

図 1	エージェントの基本モデル.....	3
図 2	自然渋滞発生シミュレーション.....	5
図 3	本校の避難経路.....	6
図 4	人エージェントのルールの流れ.....	8
図 5	コントロールパネルによる人数の設定.....	8
図 6	避難開始地点エージェントのルールの流れ.....	9
図 7	中継地点エージェントの設置個所と避難経路形成の例.....	10
図 8	中継地点エージェントのルールの流れ.....	10
図 9	位置修正エージェントのルールの流れ.....	11
図 10	シミュレーション実行画面.....	13
図 11	実験 1 におけるヒストグラム.....	15
図 12	実験 2 におけるヒストグラム.....	17
図 13	詰まる可能性がある箇所.....	17
図 14	4 号棟の出入り口.....	18

表目次

表 1	移動教室を考慮しない場合の各棟の人数.....	14
表 2	実験 1 におけるシミュレーション結果.....	14
表 3	移動教室を考慮する場合の各棟の人数.....	16
表 4	実験 2 におけるシミュレーション結果.....	16

第1章 はじめに

1.1. 背景

日本は地震大国と呼ばれており、地震が頻繁に発生している。特に、近年は、震度 5 のような非常に大きい地震が毎年のように発生しており、2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では最大震度 7 を観測した。

このように、頻繁に発生する大型地震の影響により、以前よりも地震に対する関心が高まっている。例えば、自宅では、食器棚や冷蔵庫などの転倒を防ぐ補強やライフラインが断たれた際の非常食の確保などが行われている。また、学校や企業などでは、定期的に避難訓練が行われている。このような地震に対する対策は東日本大震災の発生によって、発生以前よりも頻繁に行われている傾向にある。また、東海地震や首都圏の直下型地震などが今後発生する可能性が高く、地震に対する危険意識も高まっている。

そこで本研究では、仙台高等専門学校広瀬キャンパス(以降、本校と記述)における災害発生時の避難経路をエージェントシミュレータを用いてシミュレーションを行い、可視化することによって、避難経路の安全性を確認することを目指す。

1.2. 研究概要

学校や企業が災害発生時における避難経路の安全性を確認するためにはいくつか問題がある。それは、災害発生時における避難などの実際の人間行動について実験を行う場合、学校や企業の一部だけで行っても十分な実験はできず、全体で行う必要があるが、規模が大きいため困難である。また、少数で行っても信頼できるデータが得られないため、避難訓練のようにある程度の大人数で行う必要がある。この問題に対し、本研究では、一定のルールが与えられたときに、それに基づいて自律的に行動するエージェントと呼ばれる技術を用いる。それらのエージェント一つを一人の人間として捉えることで、地震などの災害発生時の実際の人間行動を再現し、本校における避難経路のシミュレーションを行う。エージェントを利用することによって、規模が大きいため困難という問題点、大人数で行う必要があるという問題点を解決する。また、シミュレーションは、実際に実験を行うことが困難、または危険がある事柄を実験する際に有効である。本校における避難経路のシミュレーション時のエージェントの振る舞いを可視化し、本校において災害が発生した際に安全に避難できるように、現実に近い環境下での安全性を確認することを目的とし、その際の人間行動を評価することで実際の災害時の避難への対策などへの利用を検討する。

1.3. 本論文の構成

本論文は全 5 章で構成される．第 1 章では本研究の背景とその概要について述べた．第 2 章では本研究の関連技術であるエージェント及びエージェントシミュレーションについて述べる．第 3 章では本研究で行うシミュレーションで用いるシミュレータの説明，シミュレーションの概要説明及びシステムの設計を行う．第 4 章ではシミュレーションの実装と，実装したシミュレーションを用いて実験を行い評価，考察を行う．最後に，第 5 章では本研究のまとめを述べる．

第2章 関連技術

2.1. エージェント

エージェント(Agent)とは、代理人という意味があり、その言葉通り、ユーザの代わりにユーザの目標を実現するシステムである。エージェントは、基本的な性質として主に以下の性質を持つ。本研究では主に、“集合場所まで避難する”という目標を持つエージェントが、自律性、協調性を持ち、避難を行う。

- 自律性
自らの目標を達成するために、エージェント自身がルールに基づいて行動する。
- 協調性
共通の目標を達成するために、個々に独立したエージェント同士が互いに協力、相互作用する。
- 移動性
ネットワーク上のホスト間やシステム内を空間的に移動し処理を行う。

エージェントの基本モデルを図 1 に示す。エージェントは、外部環境を認識し、認識した外部環境によって自らの動作を意思決定機構により決定し、行う動作を決定する。そして、意思決定機構によって決定した動作を外部環境に働きかける。また、ほかのエージェントと通信を行い、協調し合う。

エージェントが、ある目標を達成するために組織された場合、その組織全体をエージェントシステムと呼ぶ。エージェントシステムは、ある目標を達成するための役割を持つエージェントで構成される。さらに、単一のエージェントでは達成できない目標や困難な問題を達成するために、様々な役割を持つ複数のエージェントが協調、相互作用して解決しようとするシステムをマルチエージェントシステムと呼ぶ。

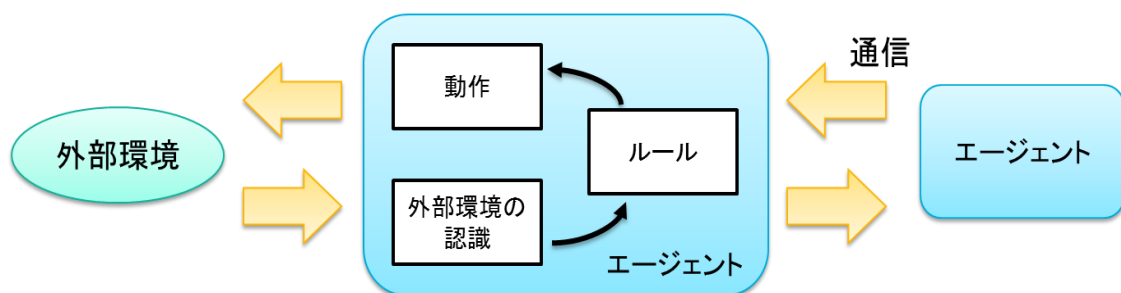


図 1 エージェントの基本モデル

2.2. エージェントシミュレーション

シミュレーションは、実際に実験を行うことが困難、又は危険がある現象を実験する際に用いられる技術であり、コンピュータ上の仮想環境での物理現象の再現や、飛行機などのフライトの模擬実験などがある。特に、人間社会を対象とし、社会がどのように変化するかなどの社会現象の発生メカニズムを、エージェントを用いて再現するシミュレーションがエージェントシミュレーションである。

エージェントシミュレーションとは、一定のルールが与えられたときに、それに基づいて自律的に行動するエージェントを基本的な構成要素として、1つのエージェントを1人の人として表現することにより、それらのエージェントが相互作用することであられる複雑な現象を分析するシミュレーションである。その例として、交通渋滞の発生、外国為替市場や口コミによる市場の変化、また最近では津波からの避難シミュレーションが盛んに研究されている。

第3章 シミュレーションの設計

1.2 節で述べたように，本研究では本校における災害発生時の避難経路のシミュレーションを行う．そこで本章では，シミュレーションで用いるシミュレータについて，シミュレーションの概要説明及びシステム設計を行う．

3.1. エージェントシミュレータ artisoc

本研究で行うシミュレーションで用いるシミュレータとして，(株)構造計画研究所が開発した artisoc [1]を用いる．artisoc は，人間同士の相互作用をコンピュータ上で誰もが簡単に再現することができ，常に変化する社会現象を分析することができるマルチエージェントシミュレータである．artisoc での人口社会モデルの基本的な構成要素として，以下の 4 つがある．

- 自律的に行動する意思決定主体である“エージェント”
- エージェントが行動する“空間”
- エージェントが行動するための“ルール”
- エージェントやモデルに関わる“変数”

エージェントが行動するためのルールは，VisualBasic に準拠したルール書式で書かれ，artisoc の実行単位である STEP において，毎 STEP 実行される．実装例として，図 2 に示す交通渋滞の発生[1]や災害時の避難などのシミュレーションがある．図 2 では，“エージェント”は人が運転する車，エージェントが行動する“空間”はテストコースそのものとして実装している．

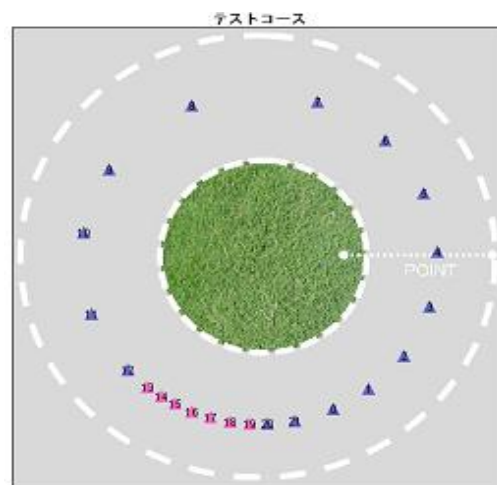


図 2 自然渋滞発生シミュレーション

3.2. シミュレーションの概要

本研究では、本校における災害発生時の避難経路のシミュレーションを行う。

まず、本校のホームページにおいて指定された災害発生時の避難経路は、図 3 のような経路となっており、この避難経路を“空間”として実装しシミュレーションを行う。その際、本校における避難訓練での集合場所はグラウンドではないが、図 3 と同じグラウンドを集合場所とする。

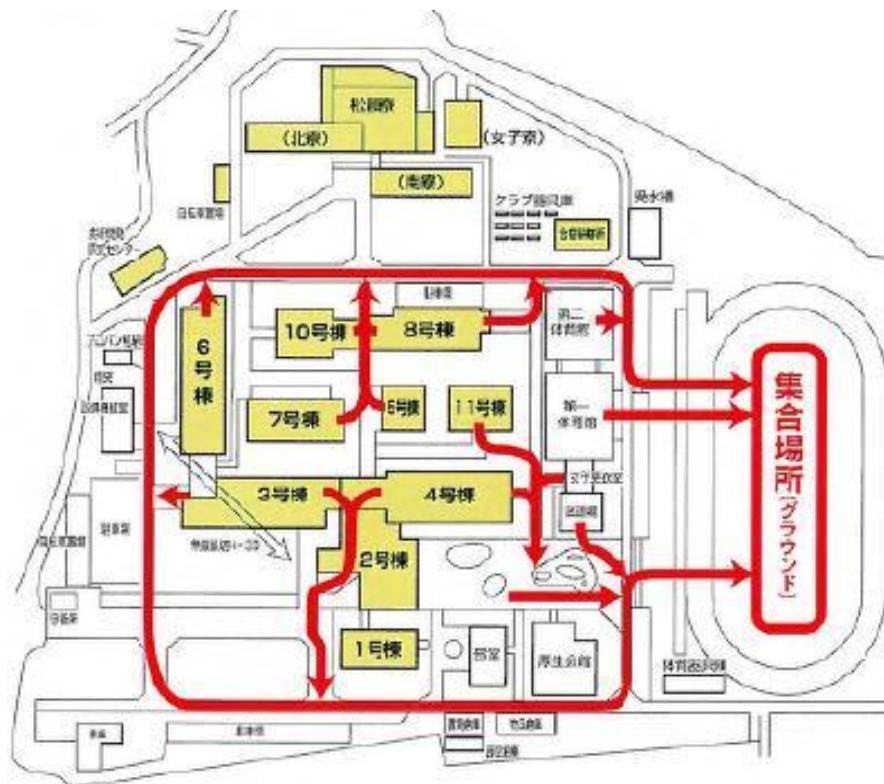


図 3 本校の避難経路

本研究では、最も多くの学生に関連のある平日の授業中に災害が発生したという状況を想定してシミュレーションを行うこととする。本校では高専生が、1-5 年生まで在籍し、1-3 年生は 3 学科、4, 5 年生は 4 学科となっている。各クラスは 40 人で、合計で約 680 人の学生が在学しており、主に 4 号棟と 8 号棟の教室で授業が行われている。ただし、学年が上がるにつれて移動教室による授業も増加するため、それらについても考慮する。なお、授業中に災害が発生した時を想定してシミュレーションを行うため、寮に学生はいないこととする。

3.3. エージェントの設計

本研究では避難シミュレーションにおいて、以下の 5 種類のエージェントを設計する。本節では、各エージェントの概要及びルールの流れを示す。各エージェントのルールの流れは 1STEP で行う処理であり、毎 STEP 実行される。

- 人エージェント
- 避難開始地点エージェント
- 集合場所エージェント
- 中継地点エージェント
- 位置修正エージェント

3.3.1. 人エージェント

人(human)エージェントは、集合地点まで避難するエージェントであり、1 つのエージェントを 1 人の人として実装する。人エージェントのルールの流れを図 4 に示す。まず、自分の位置によって速度を設定し、次に向かう目的地が未設定なら設定を行う。次に設定した目的地の方向を算出し、前方に他の人エージェントが存在するかどうかをチェックする。前方に他の人エージェントが存在しない場合はそのままの速度で進むが、存在する場合は右前方と左前方をチェックし、存在しない方向に少し速度を落として移動する。3 方向全てに人エージェントが存在する場合は、速度を落としてそのまま進む。集合場所に着くまで以上の処理を繰り返すことで避難を行う。

人エージェントは避難の際、図 3 における赤い矢印で示されている経路のみを移動できる。artisoc では実行単位である STEP を繰り返してシミュレーションを行うため、3STEP を 1 秒として表現する。人エージェントの移動速度は参考文献[2][3]に基づいて、障害物のない通路や屋外などは 1.2m/s、階段では 0.6m/s とする。

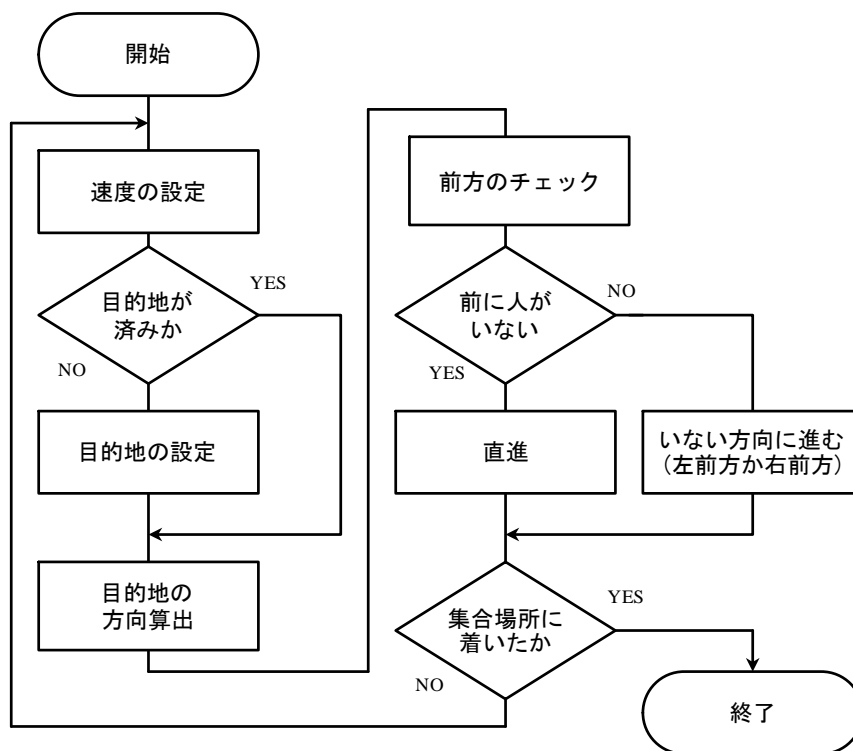


図 4 人エージェントのルールの流れ

3.3.2. 避難開始地点エージェント

避難開始地点(start)エージェントは、各棟の出入り口にあたる箇所に設置されており、指定された人数の人エージェントを生成するエージェントである。避難開始地点エージェントのルールの流れを図 6 に示す。各棟から避難する人エージェントの数の設定は、図 5 で示す artisoc のコントロールパネルで設定することにより行う。これにより、指定の教室に移動して授業を受ける場合に各棟の人数が変わることがあっても、柔軟にシミュレーションの状況を変えることができる。

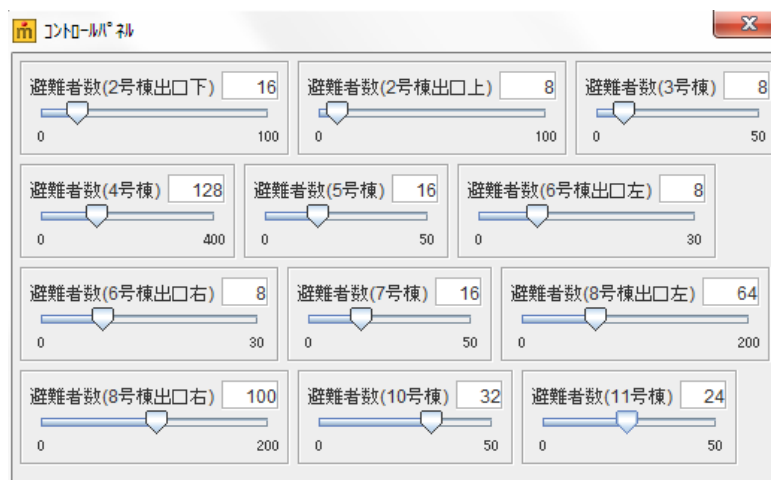


図 5 コントロールパネルによる人数の設定

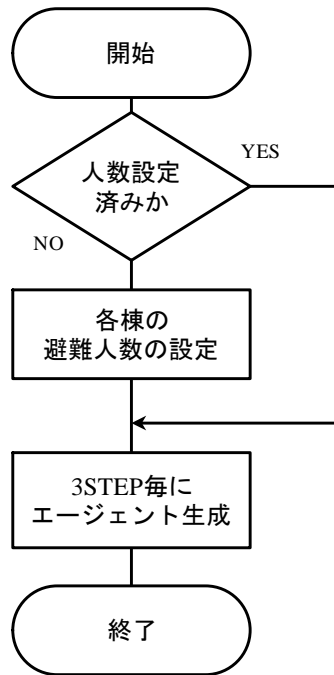


図 6 避難開始地点エージェントの規則の流れ

3.3.3. 集合場所エージェント

集合場所(goal)エージェントは、特に決まった規則を持たず、人エージェントの最終的な目的地となるエージェントである。人エージェントが集合場所エージェントまで辿り着いた場合、人エージェントを削除し、避難完了者数をカウントする。

3.3.4. 中継地点エージェント

中継地点(checkpoint)エージェントは、人エージェントを次の中継地点エージェント又は集合場所まで導くエージェントである。人エージェントは避難開始地点から直接集合場所まで移動することができないため、それぞれの避難経路の特定の地点に、中継地点エージェントを設置する。中継地点エージェントの規則の流れを図 8 に示す。中継地点 1-5 まであり、一時的に人エージェントの目的地を中継地点エージェントにすることで、通過した際に避難を開始した棟に応じて、次の中継地点を決定する。これにより、本校の避難経路を形成し、人エージェントは次の中継地点エージェント又は集合地点まで移動できる。図 7 に中継地点エージェントの設置箇所及び避難経路形成の例を示す。避難経路形成の際、中継地点が 5 つも必要ない場合は 8 号棟からの避難のように 4 つの中継地点で集合場所まで避難できる経路が形成される。



図 7 中継地点エージェントの設置個所と避難経路形成の例

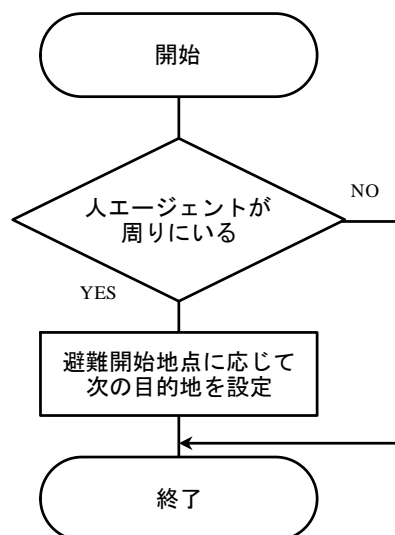


図 8 中継地点エージェントのルールの流れ

3.3.5. 位置修正エージェント

位置修正(rectify)エージェントは, 人エージェントの位置を修正するエージェントである. 図 9 に位置修正エージェントのルールの流れを示す. 人エージェントがある地点などに多く集まってしまった場合, エージェントが移動できると設定した範囲の外に押し出されて, 動けなくなる場合がある. その際に, 位置修正エージェントが, 動けなくなった人エージェントを一つ前の中継地点の座標まで戻すことで解決する.

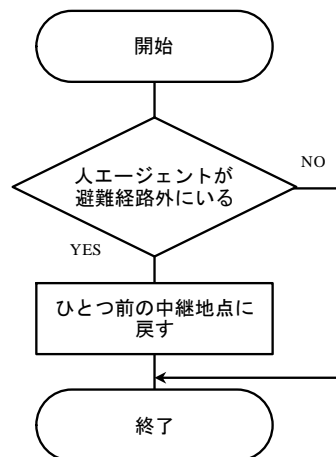


図 9 位置修正エージェントのルールの流れ

第4章 実装と評価

4.1. 実装

前章で行った設計を基に, `artisoc` を用いてエージェント及びシミュレーションの実装を行った. 3.1 節で述べた `artisoc` の 4 つの構成要素として, 本研究では以下のように実装した.

エージェント

3.3 節で設計した 5 種類のエージェントを実装した. これらのエージェントは, シミュレーションが開始されると自らのルールに従って自律的に行動する.

空間

本校の見取り図をエージェントが行動する空間として実装した. 人エージェントは図 3 に示した避難経路に沿ってこの空間を集合場所まで避難する.

ルール

各エージェントのルールは, 3.3 節で示したルールの流れの図に従う.

変数

人エージェントには, 避難する速度, 何号棟から避難開始したか, 各中継地点を通過したかどうか, 次に向かう目的地の座標などを格納する変数を実装した. 避難開始地点エージェントには, 何人の人エージェントを生成するか, 何号棟の避難開始地点エージェントなのかを格納する変数を実装した.

シミュレーションの実行画面を図 10 に示す. 図 10 において, 主に 4 号棟や 8 号棟から出ている, 列をなしている赤い点が人エージェントである. 人エージェントは, 右側のオレンジのラインで表示されている集合場所エージェントに向かって移動し, このラインに到達することで避難完了となる. 各棟に隣接している緑の点が避難開始地点エージェントで, その棟の出入り口となっており, 人エージェントはこの地点で生成され, 避難を開始する. 中継地点エージェント及び位置修正エージェントは表示を行わない.

予備実験としてシミュレーションを実行すると, 各棟から人エージェントが指定の避難経路に従って, 集合場所に向かって避難することを確認した. また, これにより, 実装した 5 種類のエージェントがうまく動作し, 正しくシミュレーションが実行されることを確認した.

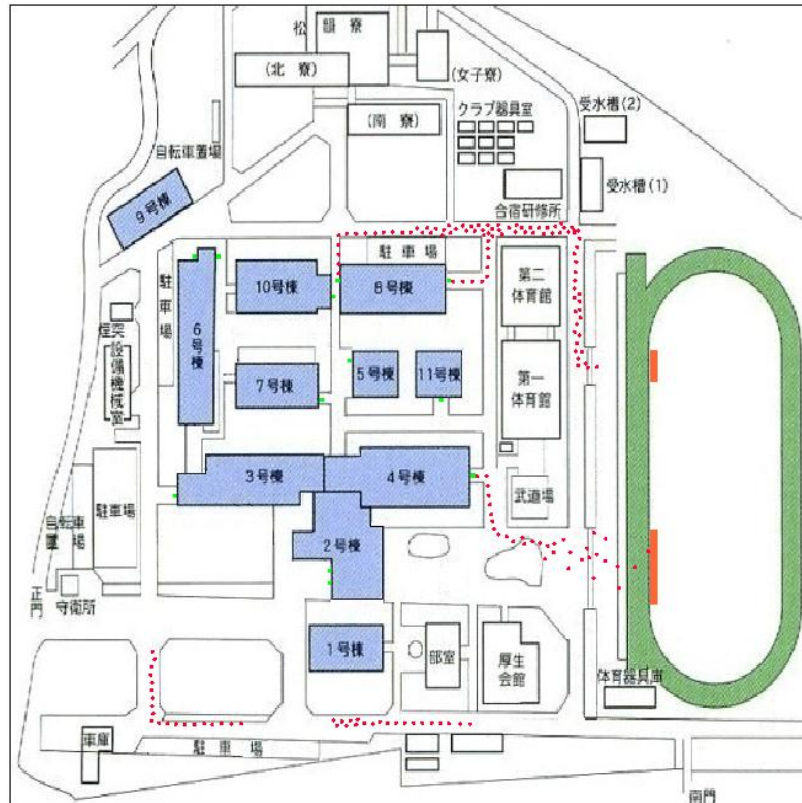


図 10 シミュレーション実行画面

4.2. 評価

2つの状況を想定して実際にシミュレーションを行った。各シミュレーションでは、避難完了までにかかった時間を計測し、評価及び考察を行った。

4.2.1. 実験 1 移動教室を考慮しない場合

実験概要

実際に本校の避難経路のシミュレーションを行った。想定する状況として、3.1節で示した通り、平日の授業中を想定した。その際、移動教室を考慮せずに、全ての学生は自分の学年指定の教室にいるものとした。

シミュレーションを行うに当たって、各棟の人数を表1に示す。表1からわかるように、学生の教室がある4号棟及び8号棟は人数が多く、それ以外の棟は少なくなっている。表1における各棟の人数の内訳は、4号棟及び8号棟は主に学生約680人、それ以外の棟では教員や事務員が数名いるとした。評価方法については、シミュレーションを100回行い、避難完了までにかかった時間やその平均、一番早かった時間や一番遅かった時間により評価した。

表 1 移動教室を考慮しない場合の各棟の人数

棟	人数
2号棟	10
3号棟	10
4号棟	400
5号棟	5
6号棟	10
7号棟	5
8号棟	280
10号棟	5
11号棟	5
合計	730

表 2 実験 1 におけるシミュレーション結果

				単位：秒
854	852	851	851	852
853	852	851	854	854
851	851	853	851	853
854	851	855	852	852
854	853	855	854	853
852	855	853	852	853
852	851	854	853	852
851	851	852	854	852
854	852	851	852	853
853	851	851	854	851
852	854	852	853	851
853	853	854	853	851
851	854	856	853	854
852	851	853	851	852
856	853	854	851	852
853	852	852	851	852
851	851	855	852	853
855	852	851	853	853
853	851	852	853	852
853	852	854	853	851
		平均	最大	最小
		853	856	851

結果

実際にシミュレーションを 100 回行い、避難開始から終了までにかかった時間を表にまとめたものを表 2 に示す。

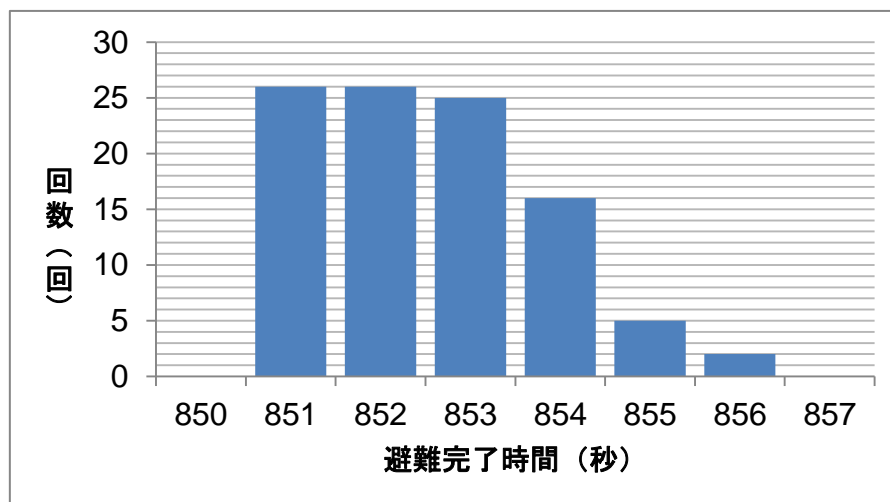


図 11 実験 1 におけるヒストグラム

表 2 より、シミュレーションを 100 回行った結果、避難完了までにかかった時間は、最大で 856 秒、最小で 851 秒となった。また、これらの結果を平均すると 853 秒となり、平均 853 秒で避難が完了することがわかった。表 2 を基に、シミュレーションを 100 回行った際の 851~856 秒の避難完了までの各時間が計測された回数をヒストグラムとして表したものを図 11 に示す。図 11 より、避難完了までの時間が 856 秒や 855 秒だった回数は少なく、逆に 851~853 秒は多くなっており、結果として 851~853 秒の区間に偏っていることがわかった。

4.2.2. 実験 2 移動教室を考慮した場合

実験概要

実験 1 と同じ状況を想定し、本校の避難経路のシミュレーションを行った。ただし、実験 1 とは違い、移動教室を考慮した状況でシミュレーションを行った。

移動教室を考慮した場合の各棟の人数を表 3 に示す。表 3 では表 1 と比べて、移動教室を考慮した分、4 号棟と 8 号棟の人数は減っており、それ以外の棟では全体的に増えている。また、評価方法は実験 1 と同じように、シミュレーションを 100 回行い、避難にかかった時間や平均などにより評価した。

表 3 移動教室を考慮する場合の各棟の人数

棟	人数
2号棟	10
3号棟	50
4号棟	240
5号棟	45
6号棟	60
7号棟	20
8号棟	240
10号棟	15
11号棟	50
合計	730

表 4 実験 2 におけるシミュレーション結果

				単位：秒
550	546	544	545	545
546	548	546	546	547
546	543	545	543	542
547	544	550	548	547
543	546	548	546	542
547	546	548	544	545
548	543	547	548	547
549	545	543	547	546
546	549	546	547	543
546	548	549	547	546
543	551	545	549	543
546	546	546	543	546
548	547	546	546	546
545	549	549	545	547
548	550	547	546	544
549	547	548	547	548
546	546	549	545	548
547	545	546	549	546
545	547	545	548	547
545	545	541	550	545
		平均	最大	最小
		546	551	541

結果

実際にシミュレーションを 100 回行い、避難開始から終了までにかかった時間を表にまとめたものを表 4 に示す。

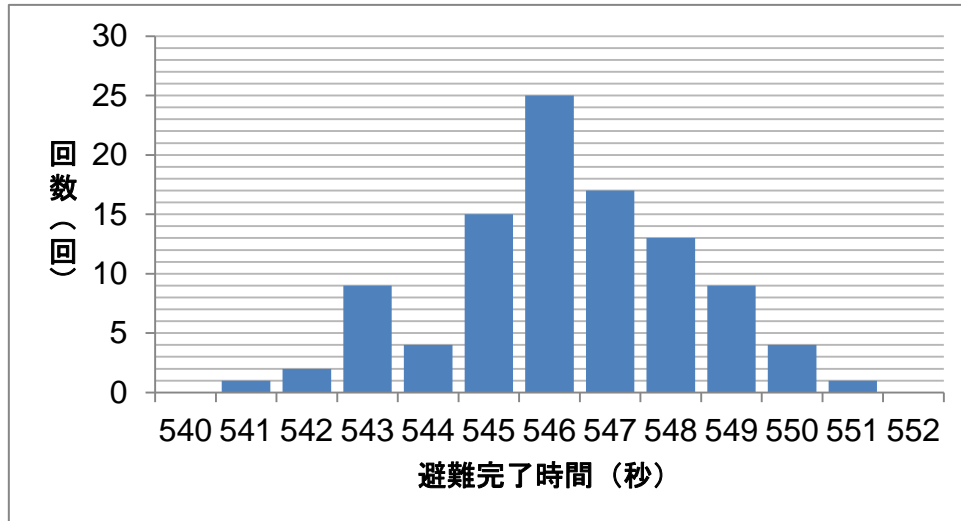


図 12 実験 2 におけるヒストグラム

表 4 より、シミュレーションを 100 回行った結果、避難完了までにかかった時間は、最大で 551 秒、最小で 541 秒となった。また、これらの結果を平均すると 546 秒となり、平均 546 秒で避難が完了することがわかった。表 4 を基に、シミュレーションを 100 回行った際の 541~551 秒の避難完了までの各時間が計測された回数をヒストグラムとして表したものを図 12 に示す。図 12 より、ヒストグラムはほぼ対象で山の形になっており、その中心は表 4 より求めた 546 秒となった。

4.3. 考察

実際にシミュレーションを実装し、実験を行った結果より、人の流れが多く、人の流れが詰まる可能性がある経路を、図 13 に示す。図 13 より、8 号棟右上から集合場所にかけての経路が人の流れが詰まる場所として挙げられる。原因として、この経路は 5 号棟、6 号棟、7 号棟、8 号棟、10 号棟の 5 つの棟からの避難者が通る経路であることが考えられる。そのため、災害発生時のような、学生が一斉に避難する場合などはこの箇所で詰まる可能性があるということが、シミュレーションにより示唆された。



図 13 詰まる可能性がある箇所

実験 1 と実験 2 の結果を比較すると、実験 1 では最小で 851 秒、実験 2 では最小で 541 秒と約 300 秒の差が出ている。考えられる理由として、4 号棟から避難する人数が挙げられる。4 号棟の人数は実験 1 では 400 人、実験 2 では 240 人となっており、4 号棟からの避難者は、図 14 に示す 4 号棟の出入り口から避難を行う。400 人が 1 つの出口から避難をするのは時間がかかるために、約 300 秒もの差がついてしまったと考えられる。

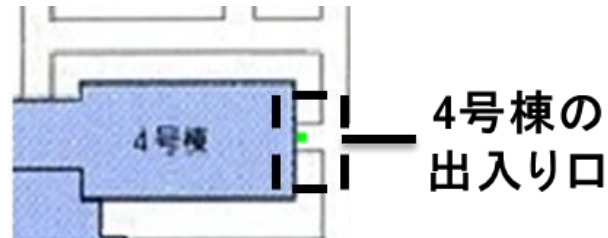


図 14 4号棟の出入り口

また、平成 24 年 5 月 7 日に行った本校の避難訓練の結果とシミュレーションの結果との比較を行った。実際の避難訓練において、避難完了までにかかった時間は早いクラスで約 5 分、遅いクラスで約 9 分となっている。シミュレーションでは学生全員が避難完了するまでの時間を計測したため、遅いクラスの時間と比較する。本研究で行った実験において避難完了までにかかった時間は、実験 1 では最大で 856 秒(約 14 分)、実験 2 では最大で 551 秒(約 9 分)となっている。実験 2 では、避難訓練の際の時間とほぼ同じ結果が出たが、実験 1 では避難訓練の際の時間と約 5 分の差が出てしまっている。避難訓練との集合場所が異なることを考慮しても、時間がかかっている。実験 1 と実験 2 の比較でも述べたが、この場合も 4 号棟の避難人数に影響されていると考えられる。

シミュレーションによる実験、実際の避難訓練との比較から、主に 4 号棟と 8 号棟の避難経路が避難完了までの時間に影響することが分かった。このことから、4 号棟と 8 号棟の避難経路の見直しが必要だと考えられる。

第5章 おわりに

本研究では、本校における災害発生時の避難経路のシミュレーションを行い、実際の避難の際の人間行動の可視化を実現した。また、1.2 節で述べたエージェントを用いたことによる問題点の解決は、エージェントを一人の学生として捉え、*artisoc* のコントロールパネルで避難人数を変更可能にすることで達成できた。それにより、避難経路の見直しの必要性や、災害発生時の避難の際に詰まる可能性がある経路があることを指摘した。しかし、シミュレーション結果と、実際の避難訓練との比較では、4.3 節で述べたとおり、最大で約 5 分という大きな差が出ている。そのため、今後の課題として、プログラムの改良などを行い、さらなるシミュレーションの妥当性の向上を図ることが挙げられる。

本研究で実装したシミュレーションの拡張性として、本校の避難経路の妥当性の検討や、ある個所が通ることができなくなった場合などのような、様々な状況を想定してシミュレーションを行うことが挙げられる。また、屋外だけでなく、屋内の状況を考慮することで、より現実に近い環境を再現することができ、信頼性の高いシミュレーションを行うことができると思われる。

謝辞

本研究を行うにあたり、(株)構造計画研究所が開発したシミュレータである `artisoc` を無償で利用させて頂きました。また、指導教員である情報システム工学科 高橋晶子 助教から多大なご指導、ご助言を頂きました。この場を借りて深くお礼申し上げます。

参考文献

- [1] MASコミュニティ : < <http://mas.kke.co.jp> >
(アクセス 2013/2/11)
- [2] 山影進 (2008) 『人口社会構築指南』 書籍工房早山
- [3] 兼田敏之 (2010) 『artisocで始める歩行者エージェントシミュレーション』
構造計画研究所, 書籍工房早山