

# 避難シミュレーションシステムを用いた 大規模公園における災害時の避難誘導に関する研究

Leadership for Evacuation for a Large-Sized Public Park in an Emergency  
Using Computer Evacuation Simulation System

伊藤 南\*, 井面仁志\*\*, 白木 渡\*\*\*  
Minami Ito, Hitoshi Inomo, Wataru Shiraki

\*学士 香川大学大学院, 工学研究科博士前期課程学生 (〒761-0396 高松市林町 2217-20)

\*\* 博士(工学) 香川大学教授, 工学部信頼性情報システム工学科 (〒761-0396 高松市林町 2217-20)

\*\*\* 工博 香川大学教授, 工学部信頼性情報システム工学科 (〒761-0396 高松市林町 2217-20)

In local areas in Japan, 17 large-sized public parks were constructed since 1978 to 2002 for leisure, health and safety area for people. However, severe damage due to big earthquakes will be feared if a big event is held in large-sized public parks. In this study, some effective leadership measures for evacuation are proposed for the managers of such large-sized leisure facilities using a computer simulation system in which the pedestrian dynamics in an emergency can be reproduced using the cellular automata. First, a simulation system which can be reproduced evacuation process of lots of people from a park under various disaster circumstances is developed. Next, some problems on the people's behavior and the leadership measures for evacuation is clarified, and finally effective countermeasures are proposed.

*Key Words: leadership for evacuation, a large-sized public parks, excuse from park, cellular automata, computer simulation system*

キーワード: 避難誘導, 大規模公園, 退園, セルオートマトン, コンピュータシミュレーション

## 1. はじめに

近年, わが国では毎年のように全国各地で地震や台風, 集中豪雨など大規模な自然災害に見舞われ, 大きな被害が発生している. 四国地域においても, 南海地震が 30 年以内に 60% の確率で発生すると予測されており, 緊急時の安全対策が急がれている. 大規模地震による災害は突然発生し被災状況が予測できないため, 人々が混乱を起こすことによって事故が発生したり怪我をしたりする可能性が高い. 緊急時の安全対策を効果的に実施するためには, 地震発生時に何をすべきか予め対応計画を検討しておく必要がある.

特に, 大規模公園では, 広大な敷地を利用して屋外イベントなどが開催されることがあり, その際には多くの

人々が来園する. このような場合に災害が発生すると予想外の事態が発生しやすいと考えられる. 地震や火災などの災害が発生すると, 大規模公園においては施設の倒壊, 延焼, 施設来園者が危険にさらされるといった二次災害が発生する. また, イベント時などで多くの来園者がある場合には人々の混乱による事故が起こる可能性も高くなる. このような場合にも, 施設管理者は二次災害を未然に防ぎ, 来園者の危険を最小限に抑える必要がある. そのためには, 施設管理者は施設全体の安全性や施設利用の状況が安全かどうかの確認はもちろん, 災害発生時に来園者を安全に退園させるための最適な方法を検討するとともに, 災害発生時に起こりうる施設内の問題点を把握して, その対応策を検討しておく必要がある.

様々な条件下での人々の避難行動パターンを把握して

効果的な避難誘導を実現できる方法として、最近、シミュレーション技術が用いられるようになってきている<sup>1)</sup>8)。しかし、それらの多くは、施設設備の補強や改修といったハード的な防災対策に対応するためのシミュレーション技術であり、人々の避難誘導というソフト的な防災対策への対応は十分とは言えない。また、膨大なデータ処理のもとに詳細なシミュレーションを行うため、処理能力の高いコンピュータを使用する必要があり、手軽に利用できる環境にはない。そこで、著者らは個人や地域コミュニティレベルでの防災教育や訓練に活用することを主目的として、関係者が参加して市販されているパソコンで手軽に利用できる参加型避難シミュレーションシステムを開発した<sup>9)</sup>。

本研究では、この参加型避難シミュレーションシステムを活用して、大規模公園での地震発生時における効果的な緊急対応について検討する。まず、避難シミュレーションシステムを使用して、様々な条件下での大規模公園における来園者の避難行動を再現し、避難安全上の問題点を明らかにする。この結果をもとに、災害時に施設来園者が最も安全に退園するための有効な退園方法を検討し、災害時の大規模公園における危機管理対策を提案する。

## 2. 参加型避難シミュレーションシステム

システムの開発に際しては、住民・施設管理者・行政・消防関係者・技術者等防災に携わる多様な主体が、様々な視点で避難に関しての意見交換・反映・設計が可能な機能を備える参加型システムとすることを条件とした。さらに、災害発生時において時々刻々と変化する被災状況に対してライブ（リアルタイム）に対応し、最適な避難を実現する Live Design<sup>10)</sup>の考え方のもと、迅速な避難を可能にする施設・設備の設計、避難計画等へ具現化させることを目指した。その結果、種々の場所において、様々な形の被害想定や災害環境変化を考慮したシミュレーションを可能にし、さらにシミュレーション実行中においても条件の変更・追加をその場で素早く実行（クイックレスポンス）可能なシステムを構築した。

### 2.1 システムの特徴

#### (1) CA モデルの採用

CA（セルオートマトン）<sup>11)、12)</sup>モデルでは、全体空間をセルに分割し空間全体の状態変化を各セルの局所的な状態変化の組み合わせで再現するため、様々な災害や人の複雑な避難行動等について局所的なルールを設定するだけで、シミュレーションが可能となり、様々な災害、人の避難行動が再現可能である。

なお、本研究では、全体空間を2次元で表現し格子状のセルに分割した2次元CAモデルを採用している。また、本研究における大規模公園のマップでは1セルを1

辺5m四方の正方形であると設定した。また、一般の成人の体格を0.4m×0.6mと設定しており、その占有面積から1セルに約30人程度が入ると想定する。

#### (2) JAVA を用いたシミュレーションの可視化

時々刻々と変化する災害状況、人の避難状況等について、時間ステップごとに可視化を行うことで、様々な立場の人々はその状況を見ながら意見交換をスムーズに行えるよう考慮している。また、シミュレーションの構築にJAVAを採用することにより、Webブラウザが利用可能なコンピュータ環境であれば、シミュレーションが利用可能である。

#### (3) Live Design の考え方を導入

テロや大地震のように予想困難な大災害に対しては、建物の被害軽減を図るハード面での対策だけではなく、災害発生時にIT技術を効果的に活用し、ライブ（リアルタイム）に情報収集を行い、その情報をもとに最適な避難経路の確保および避難経路への誘導を行って人的被害の軽減を図るというソフト防災、Live Designの考え方が必要である。本研究に用いているシミュレーションでは、マウス等の使用で、シミュレーションの条件をリアルタイムに変更することにより、実時間に合わせながら事前にシミュレーションを実行することができる。このLive Designの考え方のもと様々な立場の人の意見をその場で取り入れ、その効果を確認しながら参加者間の合意形成を図ることができる。

### 2.2 システム実行画面

図-1に避難シミュレーションの実行画面を示す。シミュレーション実行の基本的な動作として、①画面左側にLOAD(シミュレーションマップ読み込み)、START(シミュレーション実行)、STOP(シミュレーション停止)、STEP(シミュレーション1step実行)、CLEAR(シミュレーション変数初期化)がある。シミュレーション実行中にも避難ステップ数や残り避難者人数、脱出人数、焼死人数、救助人数が確認できるように画面に表示してある。さらに、②画面右側シミュレーション実行画面ではマウスクリックによりシミュレーション状況の追加・変更が可能となっている。追加・変更できる項目として、避難者のタイプ(冷静な避難者、冷静な避難者に追従する避難者、高齢者、家族連れ、退園規制を無視し行き止まりの道を通る避難者の5種類：今回は大人として冷静な避難者と家族連れの避難者を考慮する)、障害物の設置場所・数、火災の発生位置・消火、標識の設置数・位置などである。その他にも、マップサイズの拡大・縮小、マップ画面のスクロール、シミュレーションステップ時間の変更も可能である。

また、避難者の状態として、冷静な避難者などといったものとは別に、混雑者という状態を設けている。これは、避難時に、人同士で押しあつたりしてしまい危険になる状態を再現するため、周りのセルが移動不可能な場

所や人で囲まれ他の場所へ移動できない場合、人の表示を変更することで混雑者を表現するためである。

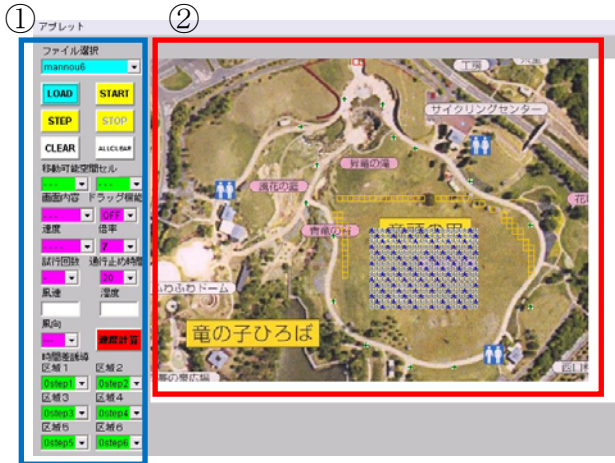


図-1 システム実行画面

動する時間を 2.25 秒とする。

人数：大人：2700 人，家族連れ：6300 人（1 セル約 30 人，合計 300 セル）

### 3.1 通行止めによる規制の有無を考慮した検討

施設は大規模であるため、災害発生時に出口の方向がわからずに迷う人や、違う出口を探す人などが存在する。来園者を自由に退園させた場合と、出口以外の道を一定時間後に塞いで出口までの道のみを残した場合(以後、退園規制と呼ぶ)をシミュレーションによって比較した。シミュレーション試行回数は、10 回(以後のシミュレーションも試行回数は 10 回とする)とし、退園時間、退園者数の平均を求めて比較した。

退園規制がない場合とある場合のシミュレーション前の状況を、それぞれ図-2、図-3 に示し、退園時間に対



図-2 退園規制がない場合



図-3 退園規制がある場合

### 3. 大規模公園における避難誘導シミュレーション

ここでは、大規模公園での地震時における避難誘導に関するシミュレーションシステムの構築を行う。大規模公園は、不特定多数の人が集まる場所であり、また、広大な敷地を有するために大きなライブやイベントなどが行われる際には日頃来園しない遠方からの客が多く、普段の園内と比べ想定外の事態が起こりやすいのも特徴である。このような状況下で地震のような突発的な事象が起こり災害が発生した場合、パニックが生じる恐れがある。従って、施設管理者は、災害時危機管理対応の一環として、災害発生時に予想される状況を事前に把握し、それに対応した避難誘導対策を検討しておくことが重要となってくる。

本研究では、香川県の国営公園まんのう公園を対象としてシミュレーションを行った。以下の状況下での避難を想定する。

場所：芝生広場のマップ(縦横 400m×300m)

状況：大地震が発生した場合を想定

時間：人が 5m 移動した状態を 1step とし、1step 移

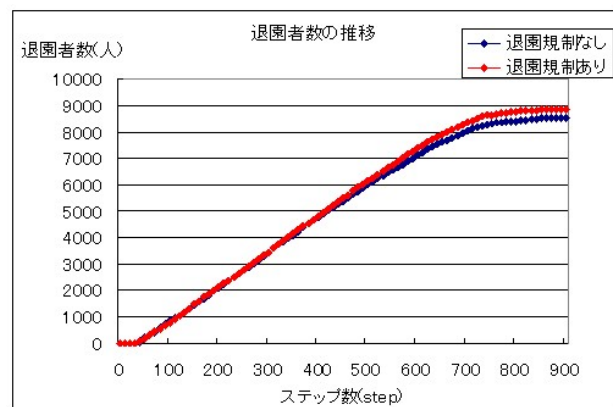


図-4 退園規制の有無による退園者数の推移の比較

する退園者数の推移を図-4 に示す。

図-3 からわかるように、退園規制がある場合は規制された区域は立ち入りを禁止されマップ内の右側上部、左側下部へは通行できないようになっておりマップの上側にある入り口まで退園するように促されるようになる。

また、図-4 からわかるように、退園規制を行ったほうが 500step (実時間：18 分 45 秒) 付近から退園者数



図-5 分岐がない場合の人の流れ



図-6 分岐がある場合の人の流れ

が多くなっていることがわかる。これは退園規制を行っているために退園者は誤った方向への移動が減り、まっすぐ出口に向かうようになったからであると考えられる。

このことから、災害時に管理者は、退園者が迷わず出口まで向かうことができ、危険な箇所や出口に向かわないように通路を封鎖し誘導する事が大切であることがわかる。封鎖区域に人が入る前に封鎖しなくてはならないので迅速な対応が必要となる。

### 3.2 退園路分岐誘導の有無を考慮した検討

施設管理者は、退園者を出口まで可能な限りスムーズに退園させるように誘導を行う必要がある。そのため、退園を退園者に任せるのではなく、誘導者の誘導の下で退園させることで混雑者の軽減を考慮する。そこで、出口までの退園路を管理者の誘導によって分岐誘導した場合としなかった場合のシミュレーションを行う。シミュレーション試行回数は10回とし、退園時間と退園者を比較する。

図-5 に退園路を分岐させなかった時の退園者の流れを示し、図-6 に退園路を分岐させた時の人の流れを示す。図-7、図-8 はそれぞれ、退園路分岐の有無による退園者数の推移の違いと、混雑者数の推移の違いを示している。矢印の方向は来園者の退園方向であり、矢印の太さは人の流れる量を表現している。

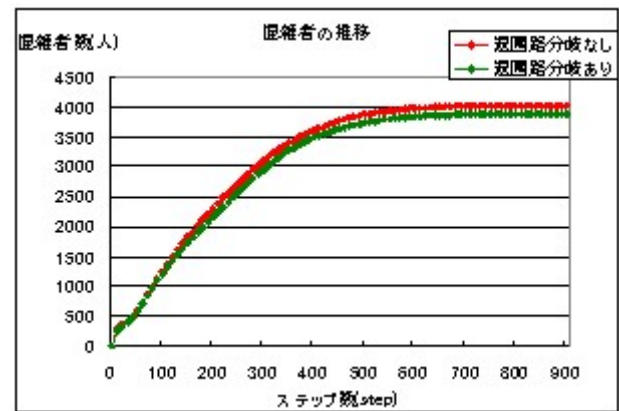


図-8 退園路分岐の有無による混雑者数の推移の違い

図-7 からわかるように、退園路を分岐させた方が分岐させなかった場合よりも退園が早く完了していることがわかる。また、図-8 の混雑者の推移を見ると、退園路を分岐させた方が混雑者の人数が少なくなっていることもわかる。退園路を分岐させることにより退園者が分散され、通路の混雑が緩和されることで結果的に退園時間が早くなり、また混雑が緩和されたために混雑者も少なくなっていることがわかる。

図-9 に避難のシミュレーションの状況を示すが、道が狭くなっているところでは人が殺到してしまい混雑が発生していることが確認できる。

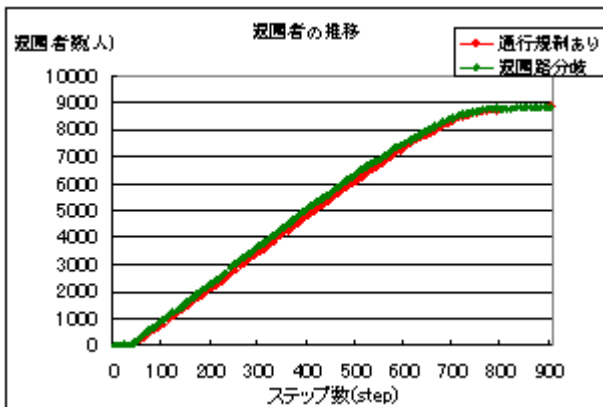


図-7 退園規制の有無による退園者数の推移の比較



図-9 道が狭い場所での混雑



と配置を考慮し、実際の状況に則した対策を行うことが必要であると考察する。

#### 4. おわりに

本研究では、大規模公園で災害が発生した場合に退園者がどのように退園を行えば安全で迅速な退園が可能なのか、CA法を用いた退園シミュレーションを実施して検討した。また、その結果をもとに、公園管理者がとるべき効果的な対策を検討した。

具体的には、退園規制の有無を考慮した退園の実施や時間差を考慮した退園をシミュレーションにより検討した。その結果、退園者数や状況に合わせて退園路を変化させ、管理者が誘導を行うことによって安全でスムーズな退園が行うことができることが確認できた。

本研究で提案した退園シミュレーション手法を用いれば、施設の規模が大きく来園者も多い大規模公園においても、災害時に起こりうる状況が確認可能であり、その起こりうる状況に応じた適切な退園誘導が検討可能であることを示した。

なお、本研究を実施するに当たり、国土交通省四国地方整備局国営まんのう公園事務所から貴重な資料の提供をいただくとともに、有益な助言を賜った。ここに記して関係者に御礼申し上げる次第である。

#### 参考文献

- 1) 松田泰治, 大塚久哲, 樗木武也: 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一考察, 地域安全学会論文, No.2, pp.95-100, 2000年.
- 2) 藤岡正樹, 石橋健一, 梶秀樹; マルチエージェント型避難モデルの特性評価, 地域安全学会論文集, No.4,

pp.57-64, 2002年.

- 3) 森下信, 中塚直希: セルオートマトンを用いた緊急避難時の群集流解析, 第52回理論応用力学講演会, pp.121-122, 2003年.
- 4) 近田康夫, 浅地剛成, 城戸隆良: CAを用いた避難シミュレーションに関する一考察, 構造工学論文集, Vol.49A, pp. 217-224, 2003年.
- 5) 熊谷兼太郎, 小田勝也, 土方聡, 岡秀行: 津波時の避難シミュレーションシステム及びモデル地域における構築, 土木計画学研究講演集, Vol.33, No.270, 2006年6月.
- 6) 近田康夫, 廣岡淳: CAによる避難行動シミュレーション, 第9回設計工学に関するシンポジウム講演論文集, pp.55-62, 2005年12月.
- 7) 桑沢敬行, 片田敏考, 金井昌信: 発災時刻別被災想定を可能にする災害総合シナリオ・シミュレーション, 土木情報利用技術論文集, Vol.15, pp.211-222, 2006年5月.
- 8) 堀宗朗, 犬飼洋平, 小国健二, 市村強: 地震時の緊急避難行動を予測するシミュレーション手法の開発に関する基礎的研究, 社会技術研究論文集, Vol.3, pp.138-145, 2005年11月.
- 9) 有友春樹, 白木渡, 井面仁志: Live Designによる参加型避難シミュレーションシステムの開発, 安全問題研究論文集, Vol.1, pp. 13-18, 2006年11月.
- 10) <http://www.columbia.edu/~gd18/livedesign/index.html>.
- 11) 森下信: セルオートマトン複雑系の具象化, 養賢堂, 2003年.
- 12) Andrew Ilachinski: *Cellula Automata- A Discrete Universe*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2001.

(2009年8月7日受付)