

# 大型商業施設における避難誘導に関する危機管理対策の検討

A study on emergency management measures for evacuation guidance system for large-scale commercial facilities

有友春樹\*, 白木渡\*\*, 井面仁志\*\*\*

Haruki Aritomo, Wataru Shiraki, Hitoshi Inomo

\*香川大学大学院, 信頼性情報システム工学専攻(〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

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

\*\*\* 博(工) 香川大学准教授, 信頼性情報システム工学科 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

Recently, large-scale commercial facilities are constructed in the city suburbs. A lot of stores exist in large commercial facilities and it is a place in which many and the general public people gather. When the disaster occurs, people get very confused trying to evacuate, and then it causes extensive damage for human loss. Therefore, it is necessary to forecast people's evacuation behavior at the disaster beforehand, and to examine the measures for effective evacuation guidance system. In this study, when the disaster occurs at large-scale commercial facilities, an effective evacuation simulation system that can reproduce a complex evacuation behavior of people is developed. Using this developed system, people's evacuation behavior in un-assumed disaster situations when the earthquake occurs is reproduced. Effective evacuation guidance system is examined for emergency management for large commercial facilities.

*Keywords: evacuation simulation system, emergency management, large-scale commercial facilities*

キーワード: 避難シミュレーションシステム, 危機管理, 大型商業施設

## 1. はじめに

近年, 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50%以上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。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。大規模震災への対応としては, 時間経過順に「緊急対応」, 「応急対応」, 「復旧・復興」の3段階に分類されることが多く, 一般市民が対象の場合, 各段階での対応の中身は, 先ず「生命の安全確保」, 次に「被災生活の保全と向上」, さらに「人生や地域の再建」という対応が行われることになる<sup>1)</sup>。

地震発生時の緊急対応策として, 昨年10月1日から一般向けを含めて本格的に緊急地震速報システムのサービスが開始されている。このサービスによって地震時における人的被害の軽減が期待されている。しかし, このサービスが受信される場所や状況によっては, 必ずしも被害の軽減につながらず, 場合によってはパニックになり

むしろ被害が拡大する場合も考えられる。緊急地震速報を効果的に活用するためには, 受信者側においてその知らせを受けたときにとるべき行動を事前に検討しておく必要がある。

本研究では, ここ数年四国各地で都市郊外に建設が進められている大型商業施設に注目し, 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。大型商業施設においては, 日曜祭日を問わず多くの人々が集まる場所であり出入り口が多く存在するため, 緊急地震速報を活用した避難誘導方法を検討し, 事前防災教育・訓練を実施しておかなければ甚大な被害を被ることになる。しかし, 大型商業施設に買物に来ている人々は常に入れ替わり, さらに商品の配置等も日々変化しているため, 避難対策を立てることは困難である。そこで本研究では, 著者らが研究開発した参加型避難シミュレーションシステム<sup>2)</sup>を使用して, 様々な条件下での大型商業施設における人々の避難行動を再現し, そのシステムを大型商業施設における効果的な避難に関する危機管理対策に活用することを提案する。

## 2. 参加型避難シミュレーションシステム

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>2)</sup><sup>9)</sup>。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、市販されているパソコンで手軽に利用できる避難シミュレーションシステムを開発した<sup>10)</sup>。

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>11)</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>12)</sup><sup>13)</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、1セルを1人の人間が占めるものとする。サイズは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辺を0.5mとする。

#### (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、様々な立場の人々が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ったソフト防災の考え方である。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、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、マウスクリックによりシミュレーション状況の追加・変更が可能のように工夫をしている。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、動きの遅い避難者、パニックになる避難者、救助の必要な避難者の5種類：今回は冷静な避難者のみを考慮)、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。

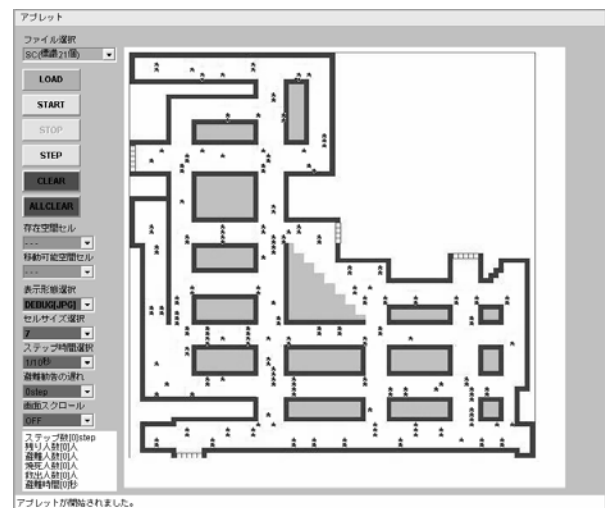


図-1 システム実行画面

## 3. 大型商業施設における避難誘導シミュレーション

ここでは、大型商業施設として郊外型の大規模ショッピングセンターをモデルとして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。シヨ

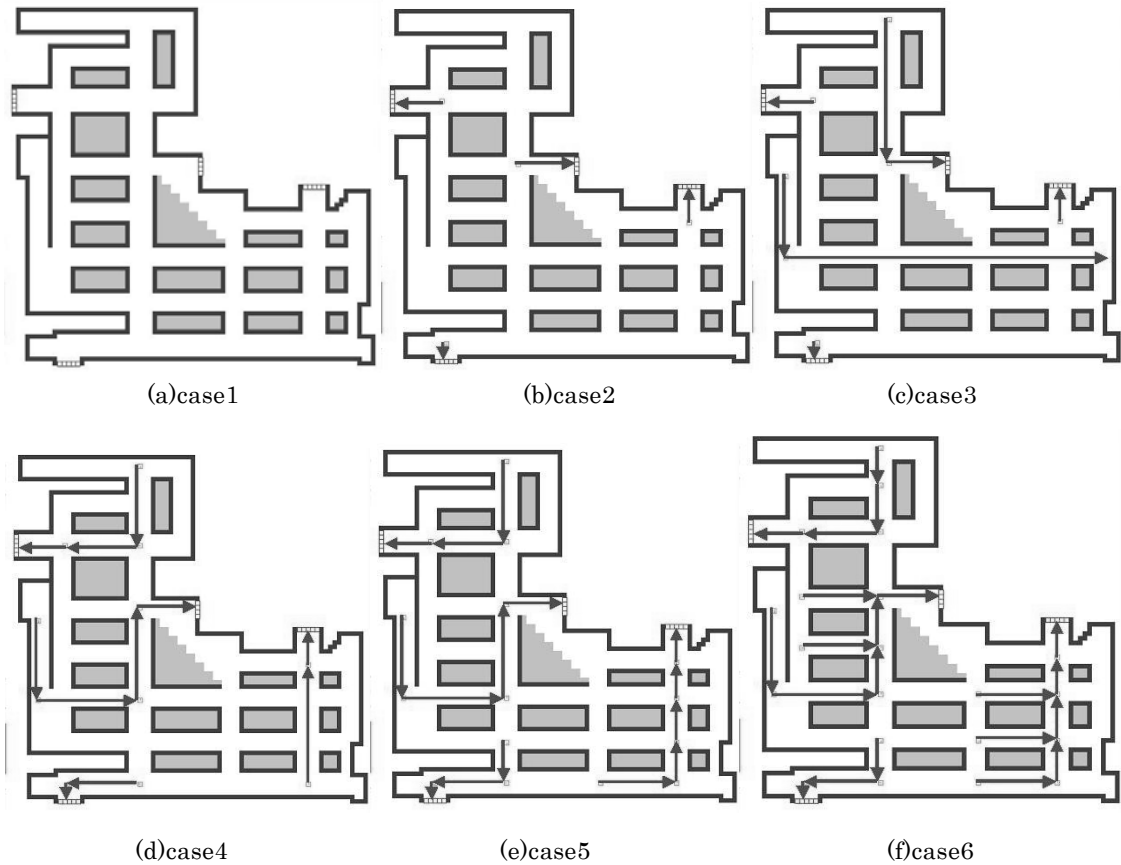


図 - 2 標識の配置の異なるマップ

ショッピングセンターは、不特定多数の人が集まる代表的な場所であり、また、催し物ごとに売り場のレイアウトを変更する場合がございます。また、日曜祝日には日頃来店しない遠方からの客も多く、店舗のレイアウトに馴染みのない人達が多いのも特徴である。このような状況下で地震のような突発的な災害が発生した場合、パニック的な混乱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。

### 3.1 標識配置の検討

まず、出口が多く通路が入り組んでいる郊外型の大規模ショッピングセンター1階をイメージしたマップ(縦横 40m×40m)を用い、標識の配置を変えてシミュレーションを行った。マップの十字路やT字路に出口の位置や標識の位置を指し示す標識を設置し、標識の配置の違いにより避難時間にどの程度の差が生ずるかを比較検討した。

図 - 2 に標識の配置の異なるショッピングセンターのマップを示す。図 - 2(a)case1 は標識がない場合、図 - 2 (b)case2 は標識を 4 個設置し出口の直前に標識を配置した場合、図 - 2(c)case3 は標識を 7 個設置し case2 の状態からさらに袋小路からの誘導標識を設置した場合、

図 - 2(d)case4 は標識を 11 個設置し case3 の状態からさらに出口直前の標識に誘導する標識を設置した場合、図 - 2(e)case5 は標識を 15 個設置し case4 からさらにメインロードの交差点すべてに標識を設置した場合、図 - 2(f)case6 は標識を 21 個設置し case6 からさらにすべての交差点に標識を設置した場合である。なお、避難者の人数はウイークデーにおけるショッピング中の来客者を想定して 200 人とした。各マップにおいて 10 回のシミュレーションを行い、その平均避難ステップ数と残り避難者数を図 - 3 に示す。また、平均避難ステップ数から避難時間を計算した結果を表 - 1 に示す。避難シミュレーションの設定により想定される避難時間は、早足で歩行する人の速度を平均 5km/時とした場合、1 セルが 1 辺 0.5m の格子モデルとしているので、避難ステップ数 1 ステップあたり 0.36 秒として計算している。

表 - 1 避難時間の算出(1)

	平均避難ステップ数	避難時間
(a)case1	2034.3step	732.3秒
(b)case2	1015.6step	365.6秒
(c)case3	997.4step	359.1秒
(d)case4	245.0step	88.2秒
(e)case5	202.5step	72.9秒
(f)case6	147.2step	53.0秒

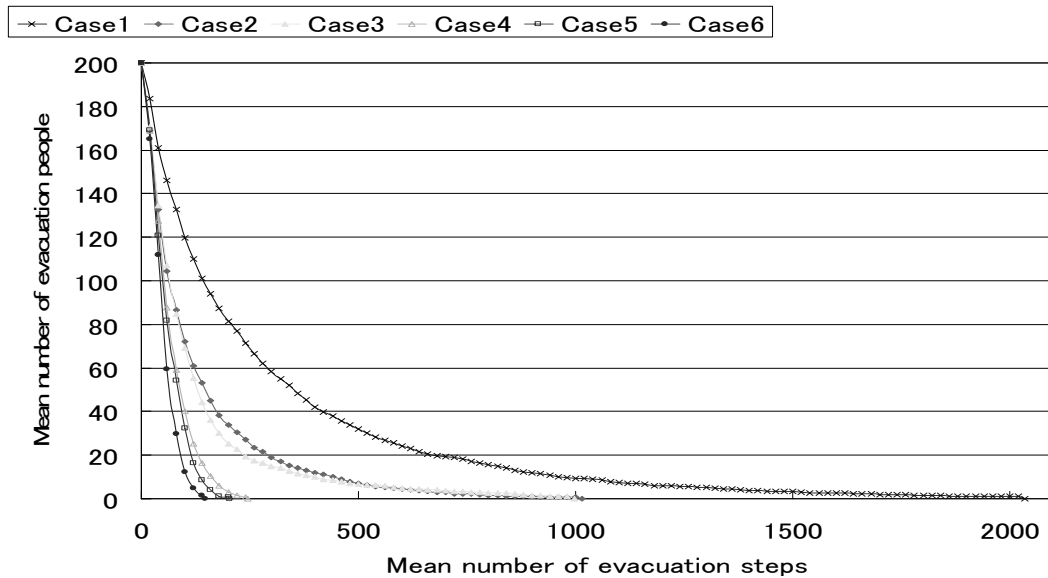


図 - 3 避難ステップ数と避難者数(1)

表 - 1 及び図-3 から明らかなように、Case1(標識のなし)と case6(標識 21 個配置)とでは、空間の大きさは縦横 40m の建物にすぎないが、679. 3 秒の差、約 11 分 30 秒もの違いがみられた。標識がないことによって避難時間が大幅に遅れることが分かる。避難時間が遅れば遅れるほど被害が拡大していくと考えられ、適切な標識の数の再検討が必要になる。ここで検討した標識なしとは、災害発生時に当然設置されている標識が混乱した状況で認識されない場合、また煙等の発生で見えなくなった場合を想定している。表 - 1 に示す避難ステップ数を見ると、[case1]のグループと[case2, case3]のグループ、[case4, case5, case6]のグループに分けることができる。これは、標識を配置する場所により避難時間が大幅に変わってくることを意味している。このグループの大きな違いは標識の誘導範囲(図-2 に示す矢印の範囲)の違い

である。[case1]のグループでは、標識がないため避難者はただランダムに動いているだけで、避難時間が一番多くかかっている。[case2, case3]のグループでは、標識があるものの出口まで案内してくれる標識が出口手前になく遠くから出口に誘導されないため避難時間が大幅にかかっている。特に、このマップでは右下あたりのエリアで標識による出口までの誘導が不十分になることが分かる。[case4, case5, case6]のグループでは、マップの隅まで出口を誘導する標識が存在しているために避難時間の短縮につながったためと考えられる。しかし、標識を 11 個から 21 個に増やしたところで避難時間にさほどの変化がなかったため、標識を闇雲にたくさん設置するのではなく必要なおくことが大切となってくる。このように、本シミュレーションでは避難状況を視覚的確認しながら、標識の必要性を認識し

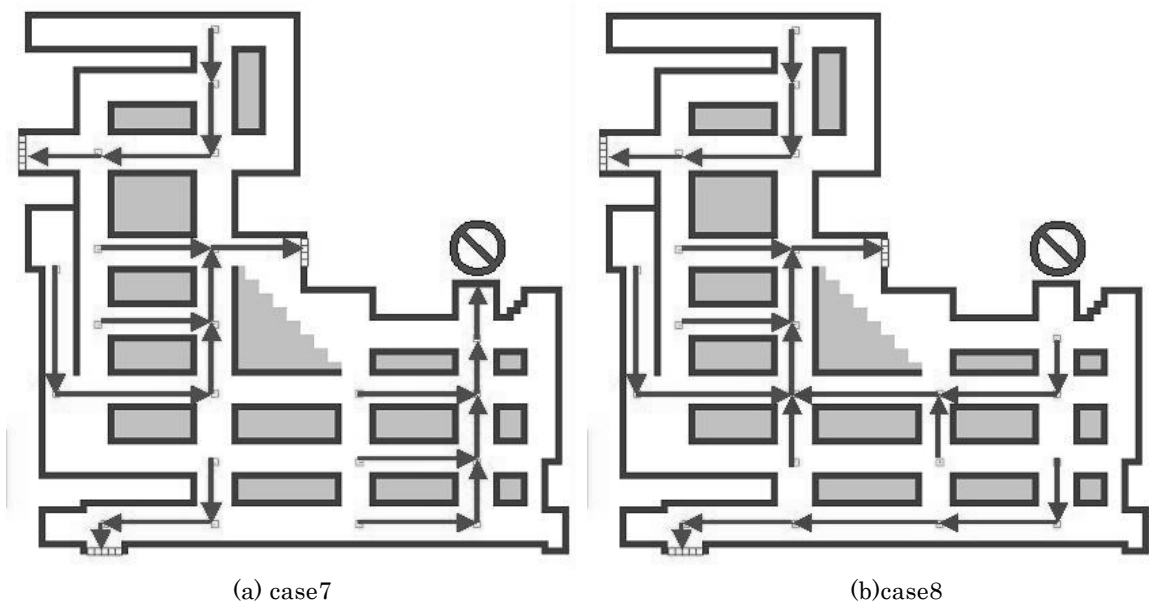


図 - 4 避難誘導の異なるマップ

最適な設置場所を検討することが出来る。

災害発生時には、このような状況が起こりうるので、施設管理者は従業員が標識の役割を果たし来店者を適切に避難誘導するために、本研究で提案している避難シミュレーションシステムを活用して事前防災教育・訓練を実施しておくことが重要である。また、災害時に標識が識別されないことを想定して、音声等による避難誘導方法についても検討しておくことが危機管理上必要と思われる。

### 3.2 想定外の事態に対する効果的な避難誘導の検討

ここでは、3.1 節で示したシミュレーションで避難時間の最も早かった case6 のマップを対象として、想定外の事態に対して効果的な避難誘導方法について検討する。具体的には、想定外の事態の例として地震時に出入り口が破損して通行できない状況を想定し、その対応について検討する。

まず、図 - 4 に示す(a)case7 の避難誘導について考える。この図は、図 - 2(f)case6 の状態でシミュレーションを実行する場合である。この例では、20 ステップ経過後に右上の出口が破損して通行できない状態を想定した場合の避難状況を検討する。出口が閉鎖されたことを従業員あるいは監視カメラ等で感知し、その情報をもとに別の出口への避難誘導を検討する場合である。次に、図-4 の(b)case8 について考える。この場合も 20 ステップ経過後に出口が閉鎖されることは同じであるが、その事実を知らずに別の出口への避難誘導を行わない場合である。

この Case7, Case8 について 10 回のシミュレーションを行い、平均避難ステップ数と残り避難者数を計算した結果を図-5 に示す。また、平均避難ステップ数から避

難時間を計算した結果を表 - 2 に示す。

表-2 避難時間の算出(2)

	平均避難ステップ数	避難時間
(a)case7	190.8step	67.7秒
(b)case8	未完了	未完了

Case7 では避難者は避難誘導により別の出口へ誘導されているので 67.7 秒経過後には避難が完了している。一方, Case8 では避難誘導を適切に行われなかった結果、避難者が別の出口へと誘導されず避難に遅れが生じ、避難が完了せず避難時間が未完了となっている。図-6 に (a)case7 と (b)case8 の 50 ステップ後の避難状況の違いを視覚化した図を示す。これらの図を比較すれば明らかのように、避難誘導が適切に行われなかった(b)case8 では、通行できない出入り口付近で避難者が殺到している状況を確認できる。このことから、時々刻々と変化する被災状況に対応して効果的な避難誘導を実施すれば、避難時間の大幅な短縮に結びつくことが分かる。

以上のように、本シミュレーションシステムを活用すれば、想定外の事態発生を事前にシミュレーションにより想定内にすることが可能になる。また、建物内における避難の状況を視覚的に把握することが可能となり、施設の管理者、利用者等に対する防災に関する認識・危機管理対応能力を高めることが期待できる。

今後、緊急地震速報サービスが様々な施設で積極的に活用されるようになれば、いつでもどこにいても地震発生までの時間が分かることになる。この情報をもとに、本シミュレーションシステムを活用して事前に与えられた時間内に効果的な避難対策を検討しておけば、効果的な防災対策が検討できる。

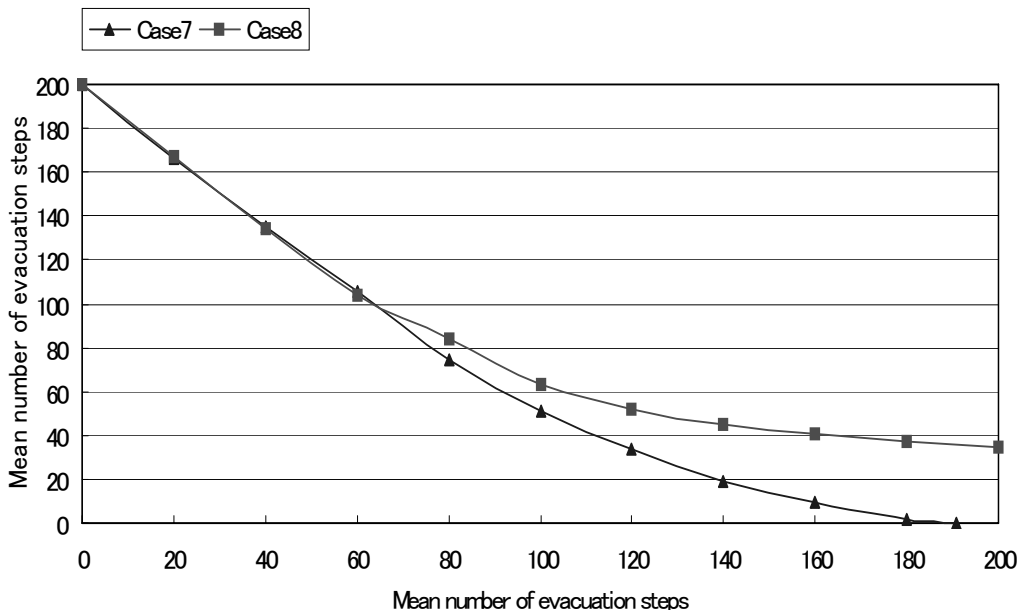


図 - 5 避難ステップ数と避難者数(2)



図 - 6 避難状況の違い(シミュレーション開始 50 ステップ後)

#### 4. おわりに

大規模地震の発生が非常に高い確率で想定されている状況において、人が多く集まる施設では地震発生時の効果的な避難誘導対策が施設管理者に求められている。また、昨年 10 月 1 日から緊急地震速報サービスが一般向けにも実施される状況にあり、その情報を活用した効果的な緊急避難対策の検討が求められている。しかし、現状においてはその対策が十分とはいえない状況にある。

本研究では、郊外型の大規模商業施設を対象として、参加型避難シミュレーションシステムを用いた地震時避難に関する危機管理対応方法について提案した。そして、実際にシステムの構築を行い、危機管理対策の一環である避難誘導対策における避難標識配置の検討や避難誘導方法の検討を行った。その結果、危機管理対策のツールとして本システムが有効に活用できることを示した。本システムを活用すれば防災教育・避難訓練だけでなく、施設内のレイアウトや防災設備の配置等の防災・減災計画に活用できると考えている。

今回の適応例で使用したシミュレーション用のマップは、架空の大型ショッピングセンターを想定したものであるが、今後は現実に存在する施設を使用して具体的な避難対策を考えていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 橋本佳代子, 大町達夫, 井上修作: 学校震災のフェーズ 0 における緊急対応戦略, 安全問題研究論文集, 土木学会, Vol.1, pp. 13-18, 2006 年 11 月.
- 2) 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.
- 3) 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.

- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) <http://www.columbia.edu/~gd18/livedesign/index.html>.
- 12) 森下信: セルオートマトン複雑系の具象化, 養賢堂, 2003 年.
- 13) Andrew Ilachinski: Cellula Automata- A Discrete Universe, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2001.

(2008 年 8 月 22 日受付)