医療機関を対象とした避難シミュレーション

システムの開発と被害軽減対策への活用

Development of Evacuation simulation system for medical institution and its application to damage reduction measures

有友春樹¹・白木渡²・井面仁志³

Haruki Aritomo, Wataru Shiraki, Hitoshi Inomo

抄録: 本研究では、医療機関における迅速な避難を実現するためのツールとして、避難シミュレーションシステムを開発する。システム開発には、CA(セルオートマトン)法を用いて避難行動を再現している。また、様々な移動方法について速度計測実験を行い、その結果から移動確率を決定してシミュレーションに反映させることでシステムの精度を高めている。そして、開発したシステムを用いて医療機関におけるシミュレーションを行い、防災マニュアルに則した災害発生時の迅速かつ適切な被害軽減対策や避難誘導について検討している。

Abstract: In this study, an evacuation simulation system is developed to materialize a speedy evacuation in medical facilities. In development of the system, evacuation actions of people are reproduced by using CA (Cellular Automaton) method. To improve the reality of the system, the experiments on movement speed for various movement means are carried out and decided the movement probability in simulation. And then, by using this developed system, simulations are carried out for a medical facility, and it examines quickly and appropriately contingency planning and evacuation planning that follows disaster prevention manual.

キーワード: セルオートマトン, 医療機関, 避難シミュレーション, 被害軽減

Keywords: Cellular automaton, Medical institution, Evacuating simulation, Damage mitigation

1. はじめに

近年、地震や豪雨などの自然災害、また火災などによる被害が各地で多発している。四国においても南海地震・東南海地震がここ 30 年の間に 50%を超える高い確率で発生すると予想されており、地震時における災害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、人々が混乱を起し避難が遅れる可能性が高い。

特に、体の不自由な人・高齢者・子供は健常者に比べ避難は容易ではない。このような災害弱者と呼ばれる高齢者・身体障害者の人達が数多く利用する施設の1つとして医療機関が挙げられる。そのため、医療機関では災害時の被害軽減のための事前の防災対策・避難対策が重要となってくる。

現在、医療機関では災害発生時の非常事態に備えるために、災害対策マニュアル^{1),2)}を作成している。この災害

対策マニュアルでは非常時の際に必要な人員や施設職員の役割等を定めている。しかし、例えば、災害が夜間に発生した時にはマニュアルに記述されている必要な人員が確保できない場合が考えられる。さらに、避難の助けがいる患者の配置や人数も日々の業務の中で絶えず変化するため施設職員による役割も日々変化することが予想される。そのため、災害対策マニュアル通りに非常時対応をとることは困難であると考えられる。

本研究では、病院の入院病棟を対象として、まず災害対策マニュアルでは想定できない災害発生時の状況を、避難シミュレーションシステムを活用することで想定可能にし、災害時に実施すべき効果的な被害軽減対策について検討する。活用する避難シミュレーションシステムの開発に際して、シミュレーション手法としては局所的なルールを設定するだけで複雑な現象を再現できるセルオートマトン^{3),4)}を用い、人の行動などの局所的な状態変化の組み合わせで病棟での避難状況の変化を再現する。セルオート

1 : 学生会員 工修 香川大学大学院工学研究科 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, Tel :087-864-2243)

2 : 正会員 工博 香川大学工学部 教授 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

3 : 正会員 工博 香川大学工学部 准教授 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

マトンを用いた避難シミュレーションシステム開発に関する研究は数多くなされており⁵⁾⁻¹⁶⁾、災害時における緊急対応、防災対策、防災教育・訓練手法の開発に活用され効果が期待されている。

入院患者の避難誘導を考えた場合、重症患者など施設職員の救助が必要で、その際車椅子や担架での搬送が想定される。実際の避難状況をより精度良く再現するためには、入院患者の傷害や病状の程度により避難誘導時の移動方法や移動速度が異なるという実態を、シミュレーションに反映させる必要がある。そこで、本研究では様々な移動手段別に移動速度計測を行い、その結果をもとにして、健常者が一人で普通に走って避難する場合の移動速度に対する速度比を求め、シミュレーションに反映させることを考える。

最終的には、病院の災害対策マニュアルに従って現在検討されている災害対策とシミュレーション結果を対応させて、様々な災害状況に応じた最適な施設職員の人数や誘導方法と避難時間との関係を明らかにし、医療機関における緊急時の適切な避難誘導の在り方を検討する。

2. 災害対策マニュアルの現状と課題

避難シミュレーションシステムを活用して入院病棟の避難誘導の在り方を検討するに当たり、まず病院の既存の災害対策マニュアルの現状と課題を考察する。

2. 1 災害対策マニュアルの現状

災害対策マニュアルでは、病棟勤務者は、災害発生時には、不特定多数の人に対して的確な指示を出すことが求められる。特に避難を行う際には、避難誘導や要救助者の介助などを迅速に行わなければならないと定められている。そこで各病院では、災害対策の中でも特に入院

患者避難対策(主に震災の場合)について、詳細なマニュアルを作成している。その一例を以下に示す¹⁾。

(1) 病棟倒壊の危険が迫った場合の対応

1) 入院患者の避難を指示する基準: 窓枠が歪み、窓ガラスが次々と壊れる状況、又は院内放送で避難指示が出たときにはそれに従う。(前者の状況判断は、各病棟の責任者に任せる。)

2) 避難場所: 中央診療棟及び外来診療棟の安全性が高いので、避難場所は下記の通りである。

a) 第1次避難場所: 中央診療棟エレベータ前フロア

b) 第2次避難場所: 病院正面 玄関ロビー

c) 第3次避難場所: 病院前ロータリー、体育館(特に火災発生時)

そして、患者を軽症・重症に分けて下記の2段階で行う。

a) 第1段階: 軽症患者を病棟の各階から中央診療棟へ連絡している通路へ誘導し、とりあえず中央診療棟に移動させる。その後、中央診療棟を抜けて外来診療棟1階及び2階の外来フロアに避難、待機させる。

b) 第2段階: 各階の入院中の重症患者及び歩行不能患者については担架で搬送させる。

また、避難の順序と誘導人員の確保は下記の通りである。

a) 独歩者は 10～12 人の小グループとし、1～2 人の看護師又は医師が付き添う。

b) 護送者は 1 人の患者に看護師又は医師が 1 人付き添う。

c) 担送者は 1 人の患者に 2～4 人が対応する。

d) 独歩者である軽症患者から避難させる。

3) 避難経路: 避難経路の一例を図-1に示す。図中の四角で囲った避難場所へ誘導を行うが、必要に応じて避難

図-1 避難経路の一例(3階平面図)

経路を矢印や立札等でわかり易く表示し、また患者にも周知を徹底させる。

4) 要員確保: 病棟の要員として、医師、看護師、事務系職員が挙げられる。

a) 医師: 当分の間、各病棟に 1 名ずつ責任者を置き、緊急時対応に備えて万全を期す。

b) 看護師: 緊急時対応できる要員(看護師宿舎の看護師等)を確保する。

c) 事務系職員: 避難場所への患者の誘導を手伝う。

5) 必要器具の点検: 担架、懐中電灯、ヘルメット等

(2) 火災発生時の対応

病棟 5, 6, 7 階で階下への避難困難時には各西病棟に備えてある避難用救助袋を用いて避難する。重症患者は担架を用いて東西両端にある階段を利用して搬送する。

医療施設である病院では、上記で示したような災害対策マニュアルが整備されており、災害発生時に備えている。また事前対策には、災害対策マニュアルを整備するだけでなく、災害時を想定して行う防災訓練もある。防災訓練は、医師・看護師・事務スタッフを含め病院一体となつて行うこととし、特に消防計画に基づく自衛消防隊員を中心として組織的に行う。そして、可能な限り実体験・参加型訓練を継続的にを行い、病院全体また各セクションで、年に最低 1~2 回実施することが望ましい。

2. 2 災害対策マニュアルの課題

過去の災害では、事前対策・教育訓練が不十分で効果的な避難誘導が行われず被害が拡大したという報告がなされている。このようなことを二度と起こさないようにするためには、どのような事前対策・教育訓練を実施しておくべきか再検討する必要がある。

(1) 災害の種類別における対策の明確な表示

災害には地震や火災などがあり、それぞれ被害状況が異なるためその対応方法も異なる。従って、対策マニュアルにも様々な状況を想定した内容を表示しておくべきである。特に火災発生時については、消火を優先すべきなのか避難を優先すべきなのか判断が難しい場合も考えられ、判断を誤れば被害が拡大してしまう。そこで、災害別の対応方法をマニュアルに示し事前に様々な状況を想定しておくことで、実際に災害が発生した場合に適切な対応が行える。

(2) 施設職員の適切な対応方法

病院には災害対策に関するマニュアルが整備されているが、実際に災害が発生した場合に落ち着いてマニュアルどおりに行動することは容易ではない。特に、突然の出来事にパニックを起こしてしまう人も存在し、施設職員はそれらの人を適切に誘導しなければならない立場である。そ

こで、どのような状況でも適切な対応が行えるよう、事前に様々な状況を想定してその対応を検討する作業を繰り返し行い、その結果をもとに防災訓練や避難訓練を実施することで施設職員の災害対策に関する意識を深めることが重要である。

上記のような災害対策マニュアルの課題をふまえ、災害対策マニュアルによる問題点への対応を考慮したシミュレーションを行い、最適な避難方法について検討する。そして、その結果をもとに災害対策マニュアルの充実を図り、被害軽減のための効果的な事前対策・教育訓練を実施する。

3. 医療機関における各種移動手段による移動速度の測定

医療機関、特に対象としている入院病棟では、フロア全体で避難の実証実験を行うことは困難である。そこで本研究では、開発する避難シミュレーションシステムが現実の避難状況をより精緻に再現できるようにするために、シミュレーションを構成する避難者の行動特性を精確に把握することを考えた。具体的には、災害時に医療機関で行われる様々な移動手段による避難時の移動速度を精確に計測し、その結果をシミュレーションに反映することにした。

3. 1 避難者の移動速度計測方法

測定方法として、まず医療機関において用いられる多様な移動方法により一定区間移動し、カメラで撮影する。撮影した動画をもとに 3 次元運動解析システム¹⁷⁾を用いて移動速度を解析し計測する。測定された速度データをもとに移動の速度比を求め、避難シミュレーションに反映させることで、シミュレーションの高精度化を図る。

3 次元運動解析システム¹⁷⁾を用いた計測手順を以下に示す。

- 1) 計測を行う空間すべてが撮影できる位置にカメラを 2 台以上設置する。
- 2) 3 次元空間のキャリブレーションを行うための基準座標を撮影する。
- 3) 手順 2) で撮影した画像を用いて基本座標値を入力し、キャリブレーションデータを作成する。
- 4) 実験の様子を撮影してキャリブレーションを行い、計測データを求める。

図-2 は、上記手順 2) で撮影するキャリブレーション用の画像の例で、今回の実験では 12 個のポイントをとり、各点に位置を示す座標を入力することにより、実際の空間との位置関係が一致するようにしている。また、手順 4) で行う実験の様子の一例を図-3 に示す。

図-2 キャリブレーション画面

図-3 実験の様子

本研究では、以下に示す 2 種類の速度計測を行う。

(1) 避難方法の違いによる速度計測

基本となる移動速度を得るために、以下に示す 5 種類の移動方法について速度計測を行う。

- 1) 走って移動する場合
- 2) 人を背負って移動する場合
- 3) 車いすを用いて自力で移動する場合
- 4) 人が車いすを押して移動する場合
- 5) 担架を用いて搬送する場合

計測は、障害物などのない平面を直進して行い、5回測定して平均速度を求める。

(2) 避難領域の違いによる速度計測

領域における速度変化を調べるため、ドア付近における速度計測を行う。今回は閉めた状態のドアに入る動作を計測する。5回測定して平均速度を求め、ドア付近の速度変化を調べる。

3. 2 計測結果

(1) 避難方法の違いによる速度計測結果

移動距離に対する速度変化を図-4に示す。図-4より、多少の速度変化はあるものの、通常は一定の速度で移動していることが分かる。これらの各移動方法の平均速度を求めた結果を表-1に示す。表-1より、1) 走るでは、2.681(m/s)、2) 背負うでは、1.330(m/s)、3) 車いす(自力)では、0.690(m/s)、4) 車いす(他力)では、1.021(m/s)、5) 担架では、1.174(m/s)となった。このことから移動方法の違いによる避難に対する移動速度にかなりの差があることが明らかである。この差を考慮することが避難シミュレーションの高精度化には欠かせない。なお、移動による速度変化の標準偏差を確認したところ非常に小さく、速度変化はほぼ一定であることが確認されたため、各移動手段ごとに速度の平均値を求めそれを各移動方法の速度とした。

健常者が避難を行う際は走って移動する状況が想定されるため 1) 走るという移動方法における平均速度を基準値として速度比を求めた。5種類の移動方法における計測結果に加えて速度比についても表-1に示す。

図-4 各動作の速度変化図

表-1 各動作の平均速度と速度比

移動方法	平均速度(m/s)	速度比
1) 走る	2.681	1.000
2) 背負う	1.330	0.496
3) 車いす(自力)	0.690	0.257
4) 車いす(他力)	1.021	0.381
5) 担架	1.174	0.438

(2) 避難領域の違いによる速度計測結果

ドア付近における速度変化の計測結果を図5に示す。今回の設定ではドアが閉まった状態で実施しており、ドアを開けるという動作は移動距離が約 3.8mの部分で行われている。図-5から、速度はドアの約 1m手前から減速を始め、最初の移動速度の約半分まで減速していることが分かる。

図-5 ドア付近での速度変化

計測実験(1)で、数種類の移動方法の速度データを得ることができ、計測実験(2)でドア付近の速度変化の様子を見ることができた。これらの計測実験で得られたデータをもとに、避難時の速度比や避難領域における速度変化を避難シミュレーションシステム開発において考慮し、現実に近い高精度のシミュレーションの実現を目指す。

4. 医療機関を対象とした避難シミュレーションシステムの開発

シミュレーション手法としては、局所的なルールを設定するだけで複雑な現象を再現できる CA^{3),4)}を用い、人の行動などの局所的な状態変化の組み合わせで病棟での避難状況を再現する。

4. 1 CAによる対象空間のモデル化

CA は空間的なセルの離散的な格子で構成されており、各セルは有限な状態の 1 つを有し、現時点から1つ前の時間ステップにおける状態とその近傍の状態、ならびに遷移規則によってその状態を変化させ、全体としての現象を表現する手法である。このモデル化手法の特徴は、解析対象の支配方程式を求める必要がなく、すべての計算が整数演算であることにあり、現象だけがコンピュータ画面上にクローズアップされることである。

シミュレーションモデルを構築するにあたり、本研究では2次元 CA モデルを採用し、空間は2次元の格子状のセルに分割する。各セルのサイズは避難者1人の大きさを考慮して1辺を40cm と設定する。

セルの状態としては、以下の4種類の状態を設定する。

1) **避難者**: 避難者は、セルの取りうる状態の1つとして設定する。人体の平面図は人間楕円と呼ばれる楕円で表されるが、セルは正方形の格子状で表現するため一辺の寸法を 40cm とモデル化した。また、避難者には歩行が不自由な人を背負って移動する人や車いすを用いて移動する人などが存在する。人を背負った場合は、1 人の

場合よりも前後に少し場所をとると考えられるため、寸法を縦 80cm×横 40cm と想定しモデル化した。また、車いすの寸法は平均として全長約 100cm、全幅約 60cm なので、シミュレーションにおける寸法を一辺 80cm でモデル化し、担架は全長約 200cm、全幅約 50cm なので、200cm×40cm でモデル化する。

避難者の視野は向いている方向の前方をホームベース型にセルを詮索するように設定している。範囲は 40 セルで 16m 先までの目的物を検索する。

- 2) **壁**: 避難者はこのセルへの移動は不可能であり、避難者の視野が妨げられる空間を表す。
- 3) **障害物**: 避難者はこのセルへ移動することは不可能であるが、避難者の視野が妨げられない空間を表している。
- 4) **歩行可能空間**: 歩行可能空間は、障害物等が何も存在しない空間、扉、階段などの避難者が移動可能な空間を表している。なお、避難誘導のための標識は歩行可能空間内に指定している。標識は通常、避難者の歩行の妨げとなる位置に設置されていないため、標識のあるセルも歩行可能空間とする。本研究では平面空間だけを想定しているので、セルの状態として階段などは想定していない。なお、1 個のセルには上述した状態のいずれか 1 つの状態しか存在しないものとする。

4. 2 時間のモデル化

避難者は時間 t から $t+1$ に移動する間に、周りの 8 セルのいずれかに移動するか、またはその場に留まるという動作を行う。その時間間隔を 1 ステップと置くならば、避難者は 1 ステップに一步移動する状態になる。一般の避難者の速度を基本とするので、その速度は 3 章で求めた実験結果から秒速 2.681m となる。本研究では 1 セルが一辺 40cm なので、一步移動するのにかかる時間は 1 ステップ 0.149 秒ということになる。シミュレーションでは、この時間ステップごとにデータを取得し結果を表示するため、シミュレーション結果はこの時間モデルに従って表示することになる。

4. 3 避難者行動の基本ルール

(1) 避難者の目的行動

避難者は周りの状況に応じて動く方向に違いが生じる。そこで、避難者に視野を設定し、避難者が自らの視野の中に目的物を確認した場合に目的物に応じた目的行動をとる。以下に目的行動の定義を示す。

- a) 視野の中に出口を発見すると出口に近づく。
- b) 視野の中に指定された部屋の入口を発見すると、その入口に近づく。
- c) 視野の中に要救助者を発見すると救助を行う。
- d) 視野の中に車いすを用いて自力で移動している人を発見すると介助する。

- e)視野の中に標識を発見すると標識に従う.
- f)視野の中に救助者ルートを発見するとルートに従う.
- g)視野の中に人を発見すると人に追従する.
- h)視野の中に何もなければ向いている方向に進む.

(2) 避難者の回避行動

避難者の目的行動で決定された次に移動するセルが歩行可能空間セルならばそのまま移動する.しかし、次に移動するセルに他の避難者や障害物が存在している場合に、避難者は回避行動を行う.図-6の中央のセルに避難者が存在し矢印の方向に進む場合、障害物がない場合には①のセルに移動を行うが、障害物がある場合、図中の①～④の順に障害物を検索し、回避行動を行う.

図-6 避難者の回避行動

車椅子や担架については、決定した移動方向において占有面積の中に障害物がある場合には、移動せずにその場に留まる.

4. 4 避難者の種類

本研究では、災害時に予想される人間の避難行動をもとに、以下に示す5つのパターンの避難者を設定する.避難者の種類は、表-2に示す10パターンを設定した.

表-2 避難者の種類と行動規則

避難者の種類	行動規則
1)健常者	行動に支障のない患者(軽症患者)や見舞いの人を想定
2)健常者(誘)	施設職員に誘導される人を想定
3)要救助者	重症患者で動けない人を想定
4)背負う	人を背負って移動する人を想定
5)車椅子(自力)	車いすを用いて自力で行動する人を想定
6)車椅子(他力)	車いすを用いて他人の力で行動する人を想定
7)担架	担架を用いての搬送を想定
8)介助者	背負う、車いす(他力)や担架での避難を助ける人を想定
9)施設職員	医師・看護師などを想定

表-2に示す避難者の種類ごとの目的行動について、以下に示す.

- 1) **健常者**: 行動に支障のない患者(軽症患者)や見舞いの人の行動を想定している. 冷静に周囲の様子を把握でき、視野の中の目的物に適した行動をとる. 目的行動の優先順位は c)→d)→a)→e)→h)である. なお、要救助者を発見した時、健常者は介助者となる.
- 2) **健常者(誘)**: 施設職員に誘導されて動く人を想定している. 目的行動の優先順位は c)→d)→a) →g)→e)→h)である.
- 3) **要救助者**: 重症患者を想定している. 自力での移動は困難で、健常者または施設職員に救助されるまでは全く動かない.
- 4) **背負う**: 人を背負って移動する人を想定している. 移動速度は、健常者の約 50%に減速する. 目的行動は健常者と同様である.
- 5) **車椅子(自力)**: 車いすを用いて自力で移動する人を想定している. 移動速度は、健常者の約 25%に減速する. 目的行動の優先順位は a)→e)→h)である.
- 6) **車椅子(他力)**: 車いすを用いて他人の力で移動する人を想定している. 移動速度は、健常者の約 40%に減速する. 目的行動は車椅子(自力)と同様である.
- 7) **担架**: 担架を用いて要救助者を搬送する場合を想定している. 移動速度は、健常者の約 45%に減速する. 目的行動は車椅子(自力)と同様である.
- 8) **介助者**: 人を背負ったり車いすを押したり担架を押す人を想定している. 常に各救助者のすぐ後ろに存在し同時に移動するので、介助者自身に目的行動はない.
- 9) **施設職員**: 医師・看護師の行動を想定している. 指定された部屋に要救助者が存在する場合は、避難よりも救助活動を優先する. 指定された部屋に要救助者がいなくなれば、通常型の避難者と同じ行動をとる. 目的行動の優先順位は b)→c)→b)→f)→a)→h)となる.

4. 5 システム画面

本研究で構築した避難シミュレーションシステムの画面を図-7に示す.

本研究では、このシステムを活用して入院病棟を対象として、災害発生時における避難状況を再現したシミュレーションを実施する. 具体的な活用方法としては、防災訓練のように、災害時に起こりうる様々な状況を想定し避難状況を再現し、その状況を目で見て体験することにより、避難時に取るべき行動、事前に教育・訓練しておくべき事項等について検討が可能になる. また、避難を想定した状況で繰り返しシミュレーションすることで、避難の傾向や特徴の把握が可能になりどのような対策が有効かを検討する事ができる. さらに、初期値やシミュレーションの途中で条件変更が可能なセルオートマトンモデルの長所を生かして、実施に災害現場にいるような臨場感を持って避難時間の差や混雑具合などを観察し、最適な避難方法を探ることができる.

図-7 システム画面

5. 災害対策マニュアルに則したシミュレーションの実行

災害対策マニュアルに則した災害時対応を実施した場合の避難誘導効果を検証するために、まず既存のマニュアルをもとに避難シミュレーションシステムの設定を行う。以下の状況下での避難を想定する。

- 1) 対象: 図-1 に示した入院病棟 3 階の 1 フロア
- 2) 状況: 大地震が発生した場合を想定
- 3) 人数: 施設職員(6 人), 健常者(誘)(90 人), 車椅子(自力)(2 人), 車椅子(他力)2 組(4 人), 要救助者(8 人)の計 110 人
- 4) セルサイズ: 1 セルを 40cm 四方と設定
- 5) シミュレーション回数: 各場合 5 回ずつ

災害マニュアルに則したシミュレーション設定をいかに示す。

- 1) 中央診療棟へ避難: 中央棟へ目指すよう中央棟への標識を多く設置する。また誘導者に中央棟へ誘導させる。

- 2) 避難の順番: 軽症患者等の移動に支障のない患者を優先させるため、軽症患者が避難の間、要救助者はその場に待たせる。

- 3) 避難誘導: 施設職員により健常者(誘)に避難誘導を行う。

- 4) 窓ガラスが割れた状況: 窓ガラスが割れた状況を再現するため障害物を設置する。設置場所は各シナリオに従う。

(1) 地震の規模の違いによる避難状況の検討

地震が発生すると窓ガラスが散らばり避難が困難となる場合が考えられる。地震の規模の違いにより破損状態が変わり避難行動にも影響を及ぼす。そこで、窓ガラスの割れ具合による避難行動の違いを見るため、以下の 4 つの場合についてシミュレーションを行った。

Case1-1: 窓ガラスが割れていない状況

Case1-2: フロア西側の窓ガラスが割れている状況
西側の窓ガラスが割れている状況を図-8 に示す。

Case1-3: フロア東側の窓ガラスが割れている状況
東側の窓ガラスが割れている状況を図-9 に示す。

図-8 フロア西側の窓ガラスが割れている状況

図-9 フロア東側の窓ガラスが割れている状況

Case1-4:フロア全体の窓ガラスが割れている状況

西側と東側の両方の窓ガラスが割れている状況である。

その結果を表-3 及び図-10 に示す。表-3 を見ると、Case1-1 が一番早く避難が終了している。図-10 を見ると、Case1-1 とCase1-4 では、200～400step の時点で避難人数に20 人ほど差が出ているが、case1-4 では避難者の移動が障害物である窓ガラスに遮られて制限されていることがわかる。

また、シミュレーション実行時の様子を見ると、Case1-1 の状況では、施設職員の避難誘導により、避難者は中央診療棟へ迷わず移動できる。また、Case1-2～Case1-4 の状況では、障害物により移動を制限され、障害物を避けて通るために同じ場所を通ろうとして混雑が起き、その際に施設職員から離れてしまう者もいる。そして、Case1-1～Case1-4 のどの場合においても、避難経路を中央診療棟への移動のみとしているため、中央診療棟への通路が大変混雑し、移動が困難である様子が見られた。そのため、施設職員は避難者が付いて来ているかよく後ろを確認し、安全なルートを選んで進む必要がある。

表-3 避難時間(1)

case	平均ステップ数[step]	避難時間[秒]
1-1	1054.4	157.1
1-2	1071.6	159.6
1-3	1113.4	165.8
1-4	1148.8	171.1

(2) 防災マニュアルに従わない場合の避難状況の検討

次に、災害対策マニュアルに従わない場合について避難状況にどれほど影響を及ぼすか検討する。以下の3つ

の場合についてシミュレーションを行った。

Case2-1:施設職員が避難誘導を行わない状況

災害対策マニュアルには施設職員が避難誘導することが定められているが、これを行わないときどのようなことが起きるか調べる。健常者(誘)を健常者に変更する。

Case2-2:避難箇所を中央診療棟以外にも指定する状況

災害対策マニュアルでは中央棟への避難が呼びかけられているが、それ以外の出口から出た場合どうなるかを調べる。出口は中央診療棟以外に西側の管理棟への出口と東側の出口を使用できるとする。

Case2-3:軽症患者と重症患者を同時に避難させる状況

災害対策マニュアルには軽症患者の避難の後に重症患者の避難を行うが、一斉に避難を始めた場合どのようなかを調べる。

シミュレーション結果を表-4及び図-11 に示す。表-4を見ると、避難時間が短いのは、Case2-3 の一斉に避難させる時で、他の場合では大きな差は見られない。

図-11 を見ると、Case2-2 の場合は早い段階で避難が進んでおり、200～300 ステップ付近で避難に時間がかかる要救助者等を除いてはほぼ避難が完了している。

また、シミュレーション実行時の様子を見ると、Case2-1 の時は、通路に混雑が起きた。Case2-2 の出口を中央診療棟だけとするのではなく東西の出口も使用する時は、早期に避難者の避難が可能であり、人が分散されるのであまり混雑することなく避難が行われることが確認できた。Case2-3 の時は、早期に救助に時間のかかる要救助者の避難を開始させるため避難時間は早いですが、移動の際に幅を取り移動に時間のかかる担架や車椅子が道を塞いでしまう事もあった。

図-10 残り人数の推移(1)

図-11 残り人数の推移(2)

表-4 避難時間(2)

case	平均ステップ数[step]	避難時間[秒]
1-1	1054.4	157.1
2-1	1076.8	160.4
2-2	1044.0	155.5
2-3	930.0	138.5

以上の結果より、避難者の移動を円滑に行うためには施設職員による避難誘導が大切であることが分かる。また、軽症患者や重症患者が同時に避難を始めると通路が混雑しスムーズな避難の支障になることが確認された。また施設職員の数が要救助者の数より少ない時は、避難誘導が困難になり、さらに混雑の原因となることも確認された。

火事や倒壊の危険などがある場合を除いては、既存の災害対策マニュアルのように軽症患者や重症患者を分けて避難させたほうがスムーズに避難ができと思われる。中央診療棟のみへの避難に関しては、東西の出口も使用するとした方が早い段階で避難が完了し、人が分散するので出口付近での混雑が緩和されることが確認できた。そのため倒壊や火事により、通行できない場合を除いては、出口を複数にした方が混雑を緩和できる。

6. おわりに

本研究では、医療機関を対象とした避難シミュレーションシステムを開発した。3次元解析運動システムを用いて医療機関における様々な移動手段の速度計測を行うことで個々の移動手段の速度を正確に測定することができた。そして、その測定結果を用いることにより、避難シミュレーションシステムにより実行した避難状況をより現実近づけることができた。さらに、施設職員をモデル化することによって要救助者を車椅子や担架での避難行動を再現することができ、既存の災害対策マニュアルに記述されている避難行動を実施した場合、現実起こりうる状況に近い避難状況を再現することができたものと考えている。

そして、開発した避難シミュレーションシステムを活用して、医療機関における災害対策マニュアルの現状と課題を考察した。まず現在医療機関で作成されている災害対策マニュアルに則して避難行動を再現するとともに、災害対策マニュアルでは記述されておらず想定困難な避難状況を再現し、それらのシミュレーション状況をもとに関係者参加の下で議論することにより事前防災対策の充実を図ることができることを確認した。

避難シミュレーションシステムを活用して得られた結果をもとに、災害対策マニュアルの追加事項や改訂

を考慮することができ、より現実に則した事前防災対策が可能になると考えている。

今後の研究課題としては、施設利用者の年齢や性別の違いによる避難速度を考慮すること、施設職員による誘導をシミュレーション上で再現すること等が挙げられる。今後はこれらの課題を解決し、シミュレーションをより現実に近いものにしていく必要がある。また、病院同様に災害弱者といわれる高齢者の利用頻度が高い福祉施設についても本システムを適用し、効果的な避難対策について検討していきたいと考えている。さらに、より使いやすいシステムにするため、インターフェイスや精度の向上などを行っていきたいと考えている。

参考文献

- 1)香川大学医学部, 国立大学法人香川大学医学部災害対策マニュアル, 香川大学医学部, 2006
- 2)石原哲:病院防災ガイドブック-災害発生時における病院防災対策のあり方-,真興交易(株)医書出版部, 2001,2.
- 3)森下信:セルオートマトン複雑系の具象化, 養賢堂,2003 年.
- 4)Andrew Ilachinski:Cellula Automata - A Discrete Universe,World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2001.
- 5)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, 地域安全学会論文集, No.2, pp.95-100, 2000 年.
- 6)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.
- 7)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.
- 8)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.
- 9)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.
- 10)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.
- 11)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.
- 12)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.
- 13) Shiraki, W., Inomo, H., Yasuda, K. and Aritomo, H.: Simulation of pedestrian dynamics at occurrence of disaster using CA-model, Proc. of the 2004 International Conference on Intelligent Mechatronics and Automation (ICIMA2004), IEEE, pp.191-195, 2004-8.
- 14) Shiraki, W., Inomo, H., Ishikawa, H. and Aritomo, H.: Simulation of pedestrian dynamics in emergency for live design of buildings, Proc. of 9th International Conference On Structural Safety And Reliability (ICOSSAR2005), Millpress, CD-ROM, pp.823-829, 2005-6.
- 15) Shiraki, W., Inomo, H., Ishikawa, H., Yasuda, K., Aritomo, H., Simulation of Pedestrian Dynamics in Emergency for Live Design of Community, The 8th IASRED International Conference on INTELLIGENT SYSTEMS AND CONTROL -ISC2005-, 2005-11
- 16) 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, 2006 年 11 月.
- 17) <http://www.library-inc.co.jp/products/nanohana/01.htm>, 2/3 次元運動解析「Carrot」, 株式会社ライブラリー.