

## - 2 緊急時の効果的な避難のための

## シミュレーションデータベースの構築

## Construction of simulation database for effective evacuation in emergency

有友春樹<sup>1</sup>・白木渡<sup>2</sup>・井面仁志<sup>3</sup>・荒川雅生<sup>3</sup>

Haruki Aritomo, Wataru Shiraki, Hitoshi Inomo and Masao Arakawa

**抄録:**近年,防災においてハード防災のみならずソフト防災の重要性が指摘されている.本研究では,避難に関するシミュレーションデータベースを構築し,それを活用したソフト防災システムを提案している.具体的には,複雑系のシミュレーションを得意とするセルオートマトンを使用して避難シミュレーションを行い,ニューラルネットワークを使用して,その結果を学習・蓄積したシミュレーションデータベースを構築する.さらに,データベースから必要に応じてデータを検索・抽出可能で,建物の管理者や利用者が効果的な避難対策に活用できるシステム開発を提案する.

**Abstract:** In recent years, it is placed a special emphasis on the soft disaster prevention approach as well as the hard disaster prevention approach in considering disaster prevention countermeasures. In this study, a computer simulation system for evacuation as a practical system for soft disaster prevention countermeasure is proposed using a simulation database stored various evacuation cases. Concretely, various types of evacuation simulations are carried out using the cellular automata approach that is skillful in the simulation for complex system, and the simulation results are leaned and stored in the database by the use of a neural network. An efficient system utilizing as a countermeasure is developed, and then it is convenient for a manager as well as users of the building to search and extract required data easily.

**キーワード:** 緊急時避難, 防災教育, シミュレーションデータベース, セルオートマトン, ライブデザイン

**Keywords:** Evacuation in emergency, Education for disaster prevention, Simulation data base, Cellular automata, Live Design

## 1. はじめに

近年,地球規模の異常気象が原因とされる台風が多発し,それに伴って想定外の大規模な豪雨災害や土砂災害が発生し,各地に大きな被害をもたらしている.また,日本列島が地震の活動期に入ったことを裏付けるかのように,兵庫県南部地震発生以降も各地で大規模な地震が頻発している.地震は突発的に発生することもあり,台風災害に比べて発生直後に効果的な防災・減災対応がとりにくいという問題がある.

このように,想定外の規模で突発的に発生する大規模地震に対しては,従来のハード対策だけに頼る防災対策でなく,ソフトとハードが一体となった対策が必要である.ソフト的な防災対策とは,情報伝

達体制の充実,防災意識の啓発,災害危険場所の周知,避難訓練など様々な対策をいい,事前防災・減災対策として最近重要視されてきている.その中でも,避難に関する対策は重要であり,事前に災害発生時にどのような事態が起こるかを想定し,想定した様々な事態に対して避難シミュレーションを実施し,効果的な避難を行うための手段を検討しておく必要がある.

災害時避難シミュレーションに関する研究は,様々な手法を用いて行われている<sup>1)-6)</sup>.例えば,片田らの災害総合シナリオ・シミュレーションでは広域な範囲で災害とその発生時間を考慮し,より現実に近いシナリオ形の避難シミュレーションを実現している<sup>7)</sup>.堀らはマルチエージェントシステムを用いて高層ビルや大規模地下街での緊急避難行動を予

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, E-mail : s06d451@stmail.eng.kagawa-u.ac.jp)

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)

測している<sup>9)</sup>。このように、避難シミュレーションは様々な手法を用いて開発され、実用化に向けて進化を続けている。

著者らも、避難行動のような複雑な現象を市販のパソコン上で比較的簡単に再現することが可能なセルオートマトン法(以下CAと略す)を用いて参加型避難シミュレーションシステムを開発している<sup>9)</sup>。この避難シミュレーションでは、実行途中で条件を変更しても解析が可能であるというCAの特徴を生かし、災害時に想定される様々な状況を参加者の意見をもとにその場で再現し、臨場感を保ちながらシミュレーションが実行可能なように工夫している。そのため、時間の経過とともに被害状況が激しく変化する緊急時を想定した避難シミュレーションが実現可能で、効果的な防災教育・訓練用のツールとして活用できる。

しかし、災害発生直後の様々な状況を想定してシミュレーションしておくといっても、実際にシミュレーションを実行可能なケース数は限定される。そこで本論文では、さらに効果的な避難を実現するために、限定された数ではあるが、発生の可能性が高い災害状況を想定した避難シミュレーションケースを実行して、それらを学習してデータベース化して活用するシステムを提案する。そうすれば、データベース化されたシミュレーションケースに合致していなくとも、必要な条件に近いシミュレーションケースを検索・抽出し、それを活用すれば災害時に想定される災害状況に応じた、人々の避難行動の予測、避難路の確保並びに避難路への誘導、避難を妨げる災害環境の改善等、事前防災教育が可能になる。

## 2. 災害時におけるLive Designの考え方

これまでの防災の考え方は、大地震のように予想困難な大災害に対し、主として建物や構造物自体の耐震性能を向上させて被害の軽減を図るという耐震設計の考え方が採られてきた。しかし、アメリカ・ニューヨークで発生した同時多発テロに見られるように、最新の防災設備が整っているはずの世界貿易センタービルにおいてさえ多数の死者が発生することを防げなかった。そこで、米国コロンビア大学のDasgupta教授により、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なく、災害発生時にIT技術を効果的に活用し、Live(リアルタイム)で情報収集を行い、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の考え方が提唱された<sup>10)</sup>。

Live Designによる防災の主な観点としては、

①災害時の安全性の確保

②災害時の情報伝達方法の検討

③事前防災教育の実施

が挙げられる。これらを考慮しハード防災だけでなく減災というソフト防災の観点からも構造物の設計、維持、管理の在り方を考えるのがLive Designである。

本研究で提案するシミュレーションデータベースにおいても、このLive Designの概念を導入し構築を行う。

## 3. シミュレーションデータベースのコンセプト

Live Designの概念は、公共施設や商業施設などの不特定多数の人々が利用し、時間帯や季節により利用者の属性、施設の利用状況等が大きく変化する施設の防災対策を考える上において非常に重要である。その様な施設において災害が発生した場合、施設の利用状況に応じ危険度や危険箇所も異なってくる。施設管理者は、平常時からこの危険度や危険箇所の検討結果をもとに防災計画の立案、職員に対する防災教育・訓練および災害時の適切な避難誘導を行う必要がある。

そこで、本研究で提案するシミュレーションデータベースの構築に際しては、著者らが開発を行ってきたCAによる参加型避難シミュレーションシステムを使用し、様々な災害状況を想定し避難状況のシミュレーションを行う。CAによる避難シミュレーションシステムは、従来の微分方程式モデルによるシミュレーションと違い、シミュレーションの実行途中において、施設管理者、防災専門家、職員など様々な立場の人の意見を再現することが可能なシミュレーションシステムであり、想定外の事態の発生を予め予測して、災害の発生及び効果的な避難をリアルタイム(Live)に実施できるシミュレーションシステムである。

様々な災害状況下で行った避難のシミュレーション結果を動画データもしくは避難の特徴的なシーンの静止画データなどを避難状況データとしてデータベースへ蓄積する。施設管理者は、平常時からデータ蓄積を行うことにより、災害の発生時または避難訓練・防災教育の際に、施設の利用状況に近い状況をデータベースから検索・抽出し、的確な避難誘導を行うことが可能となる。図-1に本研究で提案するシミュレーションデータベースの概念図を示す。

想定外の災害を想定内の災害にするためには、様々な状況におけるシミュレーションデータを準備する必要がある。しかし、すべての状況を再現することは不可能である。そこで、本研究では発生する可能性が高い災害状況を想定してシミュレーションを実施し、その結果を学習しておき、ユーザーが必要とする災害発生時の状況と類似したシミュレーションデータを抽出するための学習・検索エンジンとしてニューラルネッ

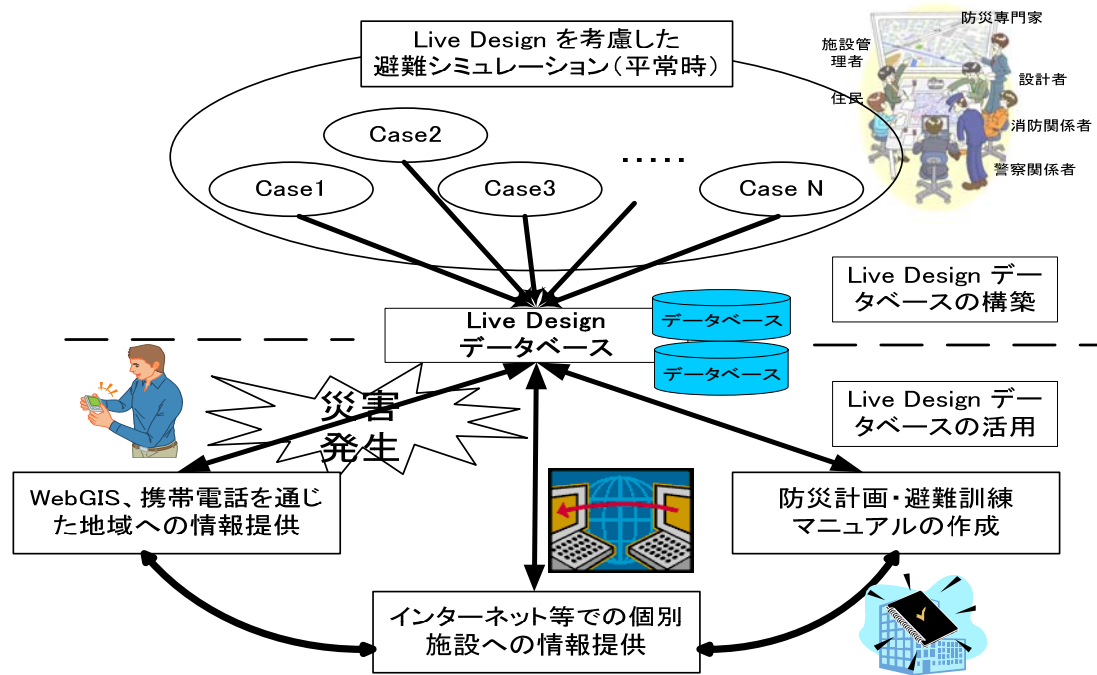


図-1 シミュレーションシステムの概念図

トワークの一種である自己組織化マップ (SOM : Self-Organizing-Map,以下 SOM と略す)<sup>11)</sup>を用いて、データの検索を行う。

本研究で提案するシミュレーションデータベースを構築・活用することにより、以下に示す効果が考えられる。

1) 想定外の災害を想定内に

緊急時に起こりうる事象は従来の経験からもあらかじめ想定することは可能である。例えば、出火の可能性の高い箇所、防災上問題となりそうな箇所などは過去の事例からも判断することは可能である。しかし、実際に災害が発生した時に、個々の事象が避難にどう影響するかについては複雑すぎて想像することが難しい。

そこで、避難シミュレーションデータベースから参照したい避難状況を検索・抽出し、完全に合致していても想定している状況に近い避難シミュレーション結果を参照することにより、従来想定していなかった事象を発見・検討することが可能となり、より具体的な避難計画の立案、より効果的な避難誘導が実施可能になる。

2) 避難する上での新たな危険場所発見

従来安全であると考えられていた箇所においても、災害の発生・進行の状況の変化により緊急時避難の時には危険となる可能性がある。このような、災害状況の変化による新たな危険箇所の発見は、防災上非常に重要であると考えられる。

3) 被害の最小化

施設の管理者は、シミュレーションデータベースに

蓄積された結果を利用すれば、想定状況に近い避難状況の把握が可能になり、その結果をもとにより効果的な避難計画を立案することが可能になる。また、災害発生時に視覚的に避難状況を把握することにより、効果的な避難誘導が実施でき被害を最小限に抑えることが可能となる。さらに、このデータベースを管理者だけでなく利用者や消防関係者などと情報共有しておくことにより、防災力の向上に寄与すると考えられる。

4. シミュレーションデータベースの概要

(1) 避難シミュレーション

本研究では、著者らが開発した参避難シミュレーションシステムを使用する<sup>9)</sup>。本システムは緊急時の避難行動を、CAを使用して再現している。CAとは簡単な遷移規則に従ってセル間の局所的な相互作用から複雑な現象を作り出すものである<sup>12)13)</sup>。避難シミュレーションでは、現実の空間を1辺が均等な空間格子をとる2次元CAを用いてモデル化を行い、セルが取りうる状態として避難者、障害物、歩行可能空間、ハザードの4種類を設定した。このように現実の空間をセルの内部状態として再現することにより、様々な状況を再現することが可能である。なお、避難シミュレーションにおける基本的な原則を以下に示す。

- ・空間：平面の2次元空間を想定し、階段等での上下への移動は考慮しない。
- ・避難者：全ての避難者は局所的な決められた遷移規則に従って行動する。
- ・避難者の目的：全ての避難者は、避難者が存在する

空間からの脱出を目的とする。

- 避難者の移動：避難者は、時間  $t+1$  時間後において、時間  $t$  において存在するセルに隣接する 8 個のセルから 1 つのセルを選択して移動する。

さらに、避難者の属性、避難行動、ハザードの遷移規則などそれぞれの特性により簡単なルールを設定することにより、避難状況のシミュレーションを再現可能としている。なお、具体的な避難行動における CA の遷移規則については、参考文献<sup>9)</sup>を参照していただ

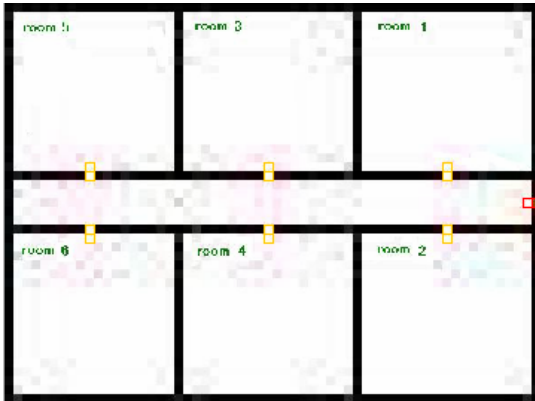


図-2 オフィスフロア例

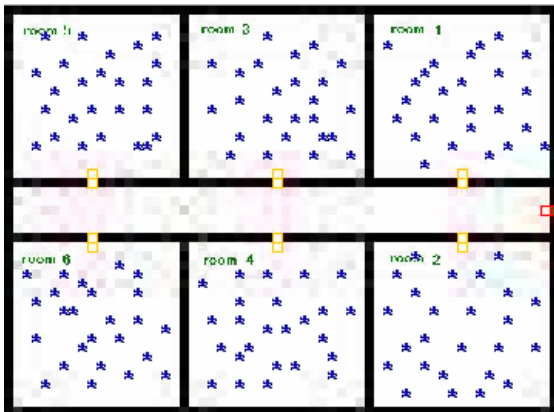


図-3 (a) 利用者の多い状況

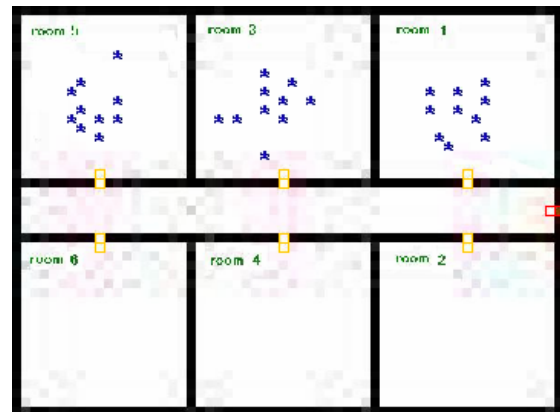


図-3 (b) 利用者の少ない状況

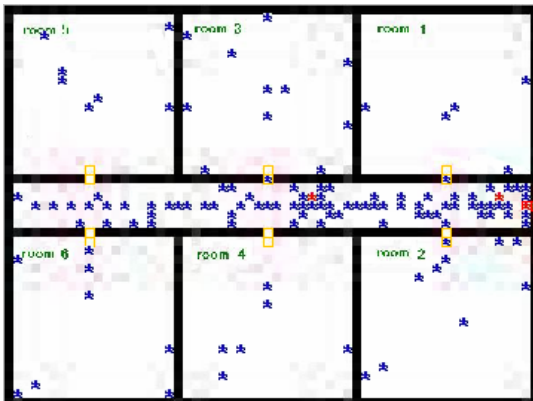


図-4 (a) 50step のシミュレーション状況  
(利用者が多い場合)

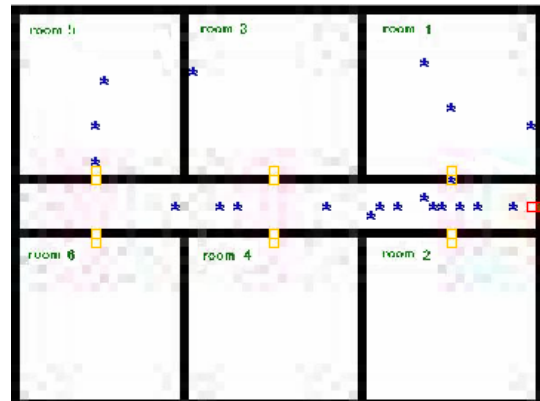


図-4 (b) 50step のシミュレーション状況  
(利用者が少ない場合)

きたい。また、避難シミュレーションの主な特徴を以下に示す。

- シミュレーションの可視化：避難の状態を可視化することにより、避難状況の把握が簡単に行える。また、言語に JAVA を用いることにより、市販の PC で実行可能としている。
- CA を用いることにより、シミュレーションの途中で障害物、避難者等を追加し、状況を変化させることが可能であるため、参加者の意見をシミュレーションの途中においても、反映することが可能である。また、Live Design の考え方をすぐにシミュレーションに反映することが可能である。
- 避難状況を数字でも判断することができる。
- 操作は、マウス操作のみで行う。
- 使用する地図を変えるだけで、建物から地域に至るまで、様々なエリアを再現できる。

本研究では、図-2 に示す一般的なオフィスフロアにおける避難を想定した避難状況の避難シミュレーションについて検討する。図-2 から分かるようにこのフロアは、1 つの廊下を挟んで部屋の出口が 1 箇所の同じタイプの部屋が 3 室ずつ配置され、フロアからの出口が 1 箇所のフロアを想定している。

一例として、オフィスフロアにおける利用者の状況

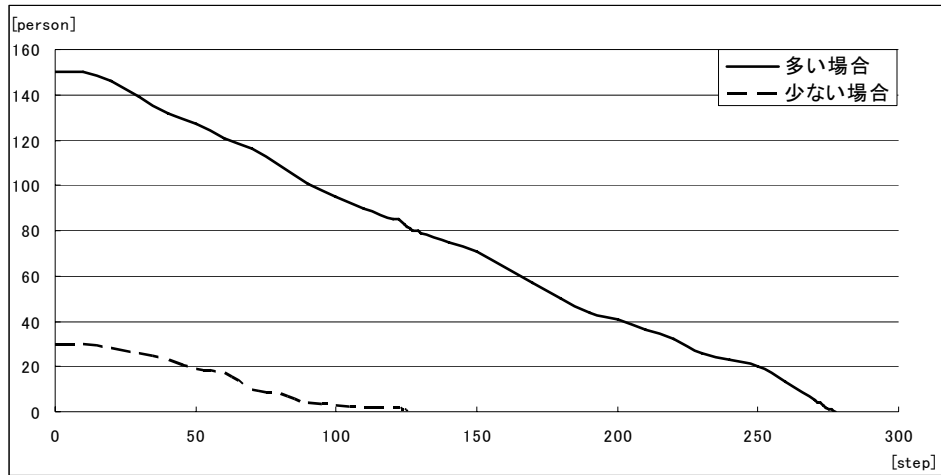


図-5 シミュレーション結果(経過ステップにおける利用者の避難者数)

表-1 シミュレーションデータベース例

	room1 (人)	room2 (人)	room3 (人)	room4 (人)	room5 (人)	room6 (人)	合計 (人)	避難時間 (step)
case1	25	25	25	25	25	25	150	267
case2	25	0	0	0	0	0	25	147
case3	25	25	25	50	25	25	175	327
case4	0	0	0	0	25	10	35	152
case5	30	25	25	30	30	25	165	311
case6	10	0	10	0	10	0	30	116
case7	0	0	40	25	0	0	65	145
case8	35	30	25	25	25	25	165	364
case9	15	5	0	15	10	5	50	161
case10	5	10	5	10	5	10	45	130
case11	0	0	10	10	0	0	20	115
case12	10	20	0	0	0	0	30	124
case13	0	0	0	0	25	25	50	186
case14	10	0	20	0	0	20	50	129
case15	25	25	25	25	25	50	175	327

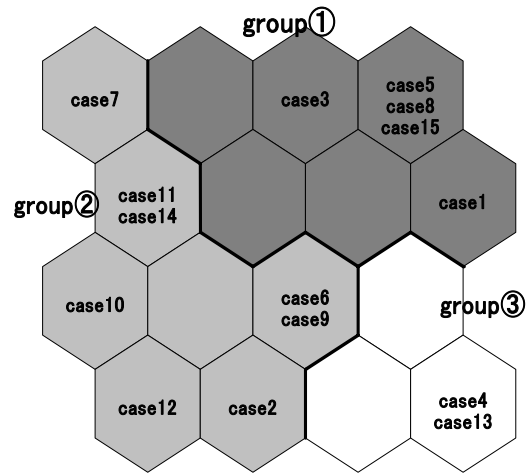


図-6 SOMによる解析結果

の違い(利用者数の変化)を考慮した事例を考える。**図-3 (a)**にフロアの利用状況が多い場合の初期状態、**図-3 (b)**にフロアの利用状況が少ない場合の初期状態、**図-4 (a)**に利用者の多い場合の避難状況、**図-4 (b)**に利用者が少ない場合の避難状況、**図-5**にシミュレーションステップにおける避難者数のシミュレーション結果を示す。シミュレーション結果は横軸に避難ステップ数、縦軸に利用者の避難者数を示す。シミュレーションの結果よりフロアの利用状況の違いにより避難状況・避難時間に大きな違いがある。このように、施設の利用状況が異なるだけでも大きく避難状況が変化することがわかる。また、避難状況を可視化することにより、避難状況の特徴を容易に把握することが可能となり、災害発生時に効果的な避難誘導を行うことが可能となる。

以上示した避難シミュレーションの結果は、実際の災害時における避難者の行動を正確に反映したものではなく、本研究で用いたCAでの遷移規則は一般的に避難者が行うであろう行動を推定して設定したものであ

る。災害時には、被害の進展状況や避難者の人数等により避難状況が想像したものとは異なる変化をすることが予想される。従って、本研究で示したシミュレーション結果は、災害時に通常予想される状況を反映したものにはなっているが、現実の避難状況を正確に反映した高い精度を有しているとは言い難い。より現実に近い状況を反映した精度の高いシミュレーションを実行するためには、避難実験を実施して定量的な精度の確認が必要である。現在、災害時をできるだけ忠実に反映した避難実験を実施し、避難者の行動を定量化することを検討中である。今後、避難行動実験で得られる定量化データを避難シミュレーションの遷移規則に組み込み、シミュレーションの高精度化を図る予定である。

## (2) シミュレーションデータの格納

想定される様々なケースについて避難シミュレーションを行い、データベースにシミュレーションの結果を動画もしくは避難状況の特徴を捉えている場面の静

表-2 検索データ1解析結果

	検索データ1	case1	case5	case8	case3	case15	case9	case10	case13	case14	case6
距離		0	0.26	0.345	0.525	0.525	1.335	1.382	1.504	1.505	1.539
縦		1	0	0	0	0	2	2	3	1	2
横		3	3	3	2	3	2	0	3	0	2
room1(人)	25	25	30	35	25	25	15	5	0	10	10
room2(人)	25	25	25	30	25	25	5	10	0	0	0
room3(人)	25	25	25	25	25	25	0	5	0	20	10
room4(人)	25	25	30	25	50	25	15	10	0	0	0
room5(人)	25	25	30	25	25	25	10	5	25	0	10
room6(人)	25	25	25	25	25	50	5	10	25	20	0
合計(人)	150	150	165	165	175	175	50	45	50	50	30
避難時間(step)		267	311	364	327	327	161	130	186	129	116

表-3 検索データ2解析結果

	検索データ2	case13	case4	case9	case6	case10	case14	case1	case15	case11	case5
距離		0.614	0.833	1.352	1.374	1.4	1.519	1.546	1.585	1.634	1.638
縦		3	3	2	2	2	1	1	0	1	0
横		3	3	2	2	0	0	3	3	0	3
room1(人)	0	0	0	15	10	5	10	25	25	0	30
room2(人)	0	0	0	5	0	10	0	25	25	0	25
room3(人)	0	0	0	0	10	5	20	25	25	10	25
room4(人)	0	0	0	15	0	10	0	25	25	10	30
room5(人)	40	25	25	10	10	5	0	25	25	0	30
room6(人)	40	25	10	5	0	10	20	25	50	0	25
合計(人)	80	50	35	50	30	45	50	150	175	20	165
避難時間(step)		186	152	161	116	130	129	267	327	115	311

止画をシミュレーションデータベースに格納していく。  
データベースに格納されるデータは、シミュレーションを実施対象フィールドの、初期避難者の配置位置情報、災害発生情報、避難誘導情報などの初期データおよび避難シミュレーション画像情報に加えて避難時間や避難危険度・危険場所のデータをデータベースとして格納する。

### (3) シミュレーションデータベースの検索

災害発生時には、リアルタイムで多種多様なシミュレーション結果を学習し、その中から災害発生状況と最も類似したシミュレーション結果を抽出する必要がある。そこで本研究では、シミュレーション結果の学習及びデータベース検索エンジンとして SOM を用いる。SOM とは、1981 年ごろ Kohonen によって提唱された教師なし学習のことであり、ニューラルネットへの任意の入力それぞれに対する出力目標が決まっていない学習を行うニューラルネットワークである<sup>11)</sup>。SOM の大量で複雑な情報に対して、似ている情報を自ら集める(自己組織化する)特徴を用い、その結果をマップ形式で出力することによりデータ間の関係を可視化することが可能であり、シミュレーションデータを効果的に抽出し、避難シミュレーションの類似性を視覚的に容

易に判断することが可能となる。

## 5. シミュレーションデータベースの活用事例

本章では、シミュレーションデータベースの活用事例を、**図-2**に示したオフィスフロアを対象とし各部屋の利用人数のみが違う簡単な例で示す。シミュレーションデータベースには、**表-1**に示す 15 ケースのフロア利用状況における避難シミュレーション結果が格納されているものとする。これら 15 ケースの避難シミュレーションデータの特徴を、SOM を用いてグループ化した結果を**図-6**に示す。なお、SOM の学習条件は次の通りである。ネットワーク構造として入力層 8、競合層 4×4 とした。学習パラメータとして初期学習率 0.2、最終学習率 0.0、初期近傍領域 2、最終近傍領域 0、シグモイド関数の勾配 1.0、学習回数 500 で学習を行った。

**図-6**より group①：フロアの利用人数が多くすべての部屋に利用者がいるグループ、group②：利用人数が少なく避難に時間を要さないグループ、group③：利用人数が少ないが避難に時間を要するグループに分類される。このように SOM を利用することで多次元のデータベース情報を分類し可視化することにより避難状

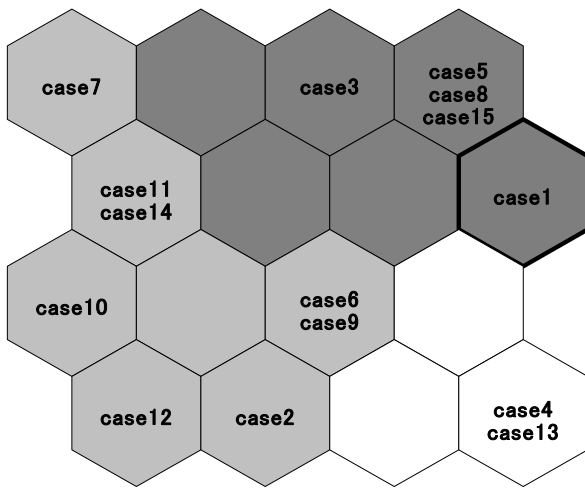


図-7 SOMによる検索結果(検索データ1)

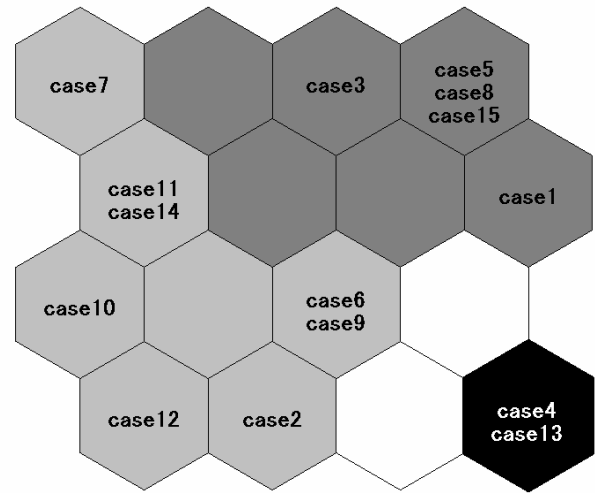


図-8 SOMによる検索結果(検索データ2)

況の特徴を容易に把握することが可能である。

実際に災害が発生し施設利用者がシミュレーションデータベースを利用し、データの検索を行う事例として以下の2種類の利用状況を示す。

- 1) 検索データ1: room1 から room6 の全ての部屋に25人ずつ合計150人が利用している場合。(シミュレーションデータベースのcase1と同じ状況)
- 2) 検索データ2: room5 と room6 に40人ずつ在室し、他の部屋は全て利用していない合計80人が利用している場合

検索データ1の状況においてSOMを用いてデータベースを検索した結果を表-2に示す。表-2には、検索データ1とデータベース内のデータを比較し類似度の高い順(距離の近い順)に上位10ケースが選択されている。検索データ1を入力データとした際、シミュレーションデータベース内に検索データ1と同じ条件のデータが存在するため距離が0でcase1を検索することができる。この結果を可視化したマップを図-7に示す。

同様に検索データ2を入力データとしてデータベースを検索した結果を表-3に示す。検索データ2の場合シミュレーションデータベース内に同じ条件のデータはないため完全一致するデータは検索されない。しかし、SOMのニューロン間の類似度により、データ間の距離の近いものが類似データであると判断し、最も類似するケースはcase13という検索を行う。同時に図-8に示すようマップ上にも同様な結果が示されている。

このように、本研究で提案しているシミュレーションデータベースは、データベースに準備されていないケースにおいても近似したデータを検索し、現状と近い避難シミュレーションの状況を再現することが可能

となる。その結果、従来のように、最悪のケースのみを考慮した防災対策では災害時に起こりうる状況に柔軟に対応することが困難であったが、本研究で提案しているシミュレーションデータベースを事前防災教育・訓練に活用することにより、災害発生時に効果的な防災・減災対応が可能になり、実際の災害時に効果的な避難誘導が行われ、被害の低減が期待できる。

## 6. おわりに

本論文では、避難シミュレーションを用いて緊急時の避難に効果的なシミュレーションデータベースの構築の提案を行った。緊急時に想定される様々な避難に関する事柄をあらかじめ想定してシミュレーションデータベースを構築して防災教育や訓練並びに避難誘導対策に活用することで、緊急時のいざというときに役に立つと考えている。このシミュレーションデータベースを管理者の立場から利用することにより施設における防災上の計画を具体的かつ効果的に準備することが可能である。さらに、平常時からこのシミュレーションデータベースの情報を施設の利用者に伝えておくことにより利用者の防災意識の向上と施設の安全性の向上につながるものと考えられる。

今回示したシミュレーションデータベース例は、施設の利用状況を想定しただけの簡単なものであるが、実際の緊急時に想定される状況は災害発生状況、要救助者の有無、避難誘導、障害物の有無など非常に複雑な状況が発生する。今後、それらを想定しシミュレーションデータベースに付加していく予定である。

一方、シミュレーションデータベースの情報が増えれば増えるほどデータの検索・解析は難しいものとなるが、今回提案したニューラルネットワーク技術を応

用することで容易にデータの検索が可能となり視覚的にデータの類似度を確認することができる。

### 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, 地域安全学会論文集, 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, 2006年11月.
- 10)<http://www.columbia.edu/~gd18/livedesign/index.html>.
- 11) 徳高平蔵, 岸田悟, 藤村喜久郎:自己組織化マップの応用, 海文堂, 1999年.
- 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 Hachinski: Cellula Automata - A Discrete Universe, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2001.

(2007.5.18受付)