

避難シミュレーションを活用した地域防災力向上への取り組み

Approach on improvement of community disaster preparedness using evacuation simulation system

磯打 千雅子*, 田中 秀宜*, 本多 隆範*, 白木 渡**, 井面 仁志**, 有友 春樹***

Chikako ISOUCHI* , Hidenori TANAKA* , Takanori HONDA* , Wataru SHIRAKI** , Hitoshi INOMO**
and Haruki ARITOMO***

* 日本ミクニヤ株式会社東京支店環境防災部 (〒213-0001 神奈川県川崎市高津区溝口 3-25-10)

** 香川大学工学部信頼性情報システム工学科 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

*** 香川大学大学院工学研究科 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

In this study, an application example using the participatory evacuation system that is developed by the authors to materialize a speedy evacuation in emergency is demonstrated. In development of the simulation system, a simple CA (Cellular Automaton)-model is used to grasp the pedestrian dynamics in emergency. Using this system as a platform, different persons concerned with disaster such as inhabitants, the person concerned with fire fighting, the facilities manager, the administrations, the experts and so on can exchange opinions about the circumstances of disaster prevention and mitigation in a regional community from a different point of view. The scope of improvement of community disaster preparedness is demonstrated.

Key Words: Live Design, evacuation simulation system, CA (Cellular Automata) model, Kansei Engineering

キーワード: ライブデザイン、避難シミュレーションシステム、セルオートマトン、感性工学

1. はじめに

わが国では、近年頻発する突発的な豪雨災害や、巨大地震発生の切迫性から、効果的かつ効率的な被害軽減対策を早期に実現することが求められている。被害軽減対策の実施に当たっては、産学官民の多様な主体の連携によるハード・ソフトが一体となった総合的な地域防災力の向上が不可欠である。ここでいう地域防災力とは、公助としての防災施設の整備のみならず、自助としての地域住民の防災意識や災害対応力の向上、事前対策の充実、共助としての地域における防災活動の取り組み強化を意味する。

セルオートマトン (CA) 等のシミュレーション技術を用いた避難シミュレーションのシステムの開発については、これまでも多くの研究が行われているが、防災にかかわる様々な主体が参加して、事前に防災・減災について検討するツールとして研究開発されたものはほとんどない。そこで、これまで著者らの研究グループでは、地域防災力の向上を目指して、「住民参加型感性工学手法」¹⁾と「Live Design (救命設計)」²⁾を融合し、避難シミュレーション^{3), 4)}を活用した「参加型救命設計システム」を提案している (図-1 参照)⁵⁾。このシステムは、第一に、参加型の手法として“人間の感性を設計要素へ翻訳する工学的手法”である「感性工学」を用いて、個々人をとりまく様々な防災

環境の関連づけ(意見抽出)を行う⁶⁾。次に、「Live Design (救命設計)」の概念のもと、得られた意見を整理し、施設・設備設計、避難計画等へ具現化させることにより、地域防災力の向上が図られると考える。

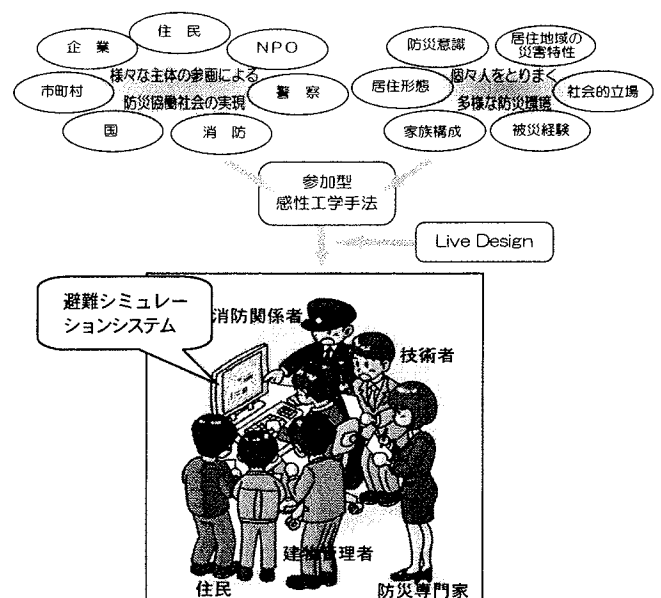


図-1 避難シミュレーション (参加型救命設計システム)

ここに、「Live Design (救命設計)」とは、2001年9月11日に発生したアメリカ・ニューヨークの同時多発テロを契機にして、コロンビア大学(米国)のG. Dasgupta 教授により提唱された新しい防災の考え方である。Live Design は、設計対象施設の供用にあたり、災害時等の異常時を想定した場合に、いかに迅速に人々を避難させるかを目的とした考え方である。

本論文では、著者らの研究グループが神奈川県川崎市高津区をフィールドとして実施した、避難シミュレーションシステムを活用した地域防災力向上ワークショップの開催結果を掲載するとともに、昨今の防災課題に対応した地域防災力の継続的な向上に参加型避難シミュレーションシステムが有効であることを示す。

2. 避難シミュレーションを活用した「参加型救命設計システム」の構築

「参加型救命設計システム」とは、避難シミュレーションをプラットフォームとして、住民、技術者、消防関係者、施設管理者、行政、専門家等防災に携わる多様な主体が、様々な視点で避難について意見交換・反映・設計が行える機能を備え、「Live Design(救命設計)」の考えのもと、迅速な避難の実現を目的としたシステムである。具体的には、想定被害や地域の状況等を、シミュレーション稼働中でもマウスクリック操作により、条件付加、変更をライブで対応可能とするものである。以降、システムの概要について述べる。

2.1 既往災害時における避難行動の特性分析

参加型救命設計システムの構築にあたり、災害種別毎の既往災害時における避難行動の特性分析を行った。対象とする災害は、地震・津波、風水害、火山災害、人的災害(テロ、事故、大規模火災等)とした。

(1) 避難行動に影響する要因整理

災害時の避難行動は、災害特性、災害情報特性、人間行動特性、地域特性の4要因が相互に影響しあって、避難行動を行う・行わないの判断、避難経路や避難方法の決定が行われる。また、これらの特性は、避難行動を促進する要因となり、また阻害する要因にもなる。図-2には既往文献^{7) - 10)}を整理し、避難行動における要因を示した。

(2) 災害ごとの要因分析

避難行動は、災害の種別・規模によって大きく左右される。例えば、台風などの豪雨災害時における避難は、台風接近から暴風域内に入るまで比較的時間の猶予があるといえるが、津波災害時における避難は、地震がおさまり次第、すぐさま避難行動を起こし高台などに避難する必要がある。

ここでは、災害ごとの避難行動を過去の災害事例から抽出し、避難行動の分析を行い、シミュレーションへの反映事項を検討した。

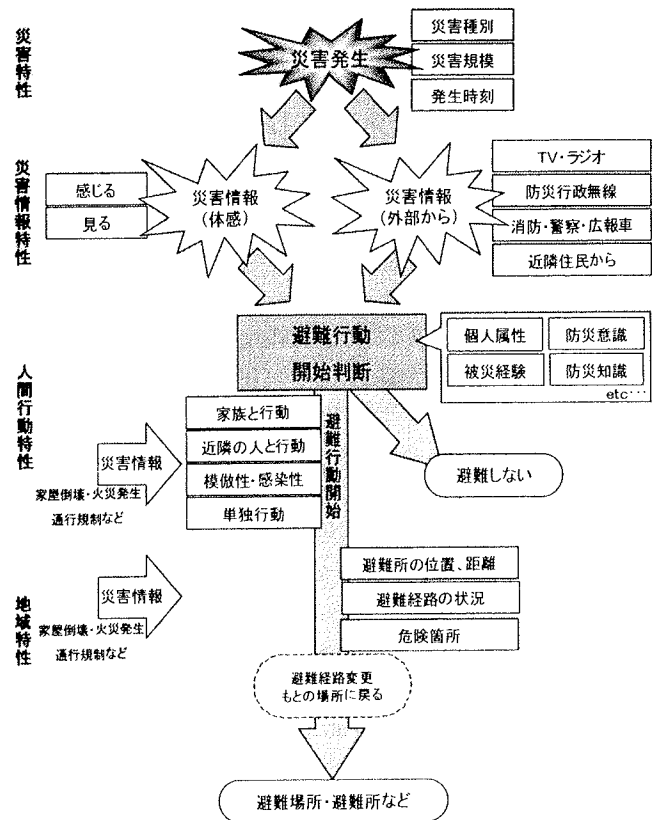


図-2 避難行動に影響する要因

本研究では、地震災害、火災における整理結果を示す。

1) 避難に関する行動整理

地震災害は、平成7年1月17日に発生した阪神・淡路大震災を題材とした。

地震の最中の行動としてこれまで震度5~6では、「屋外への飛び出し」の比率が高く、続いて「火の始末」、「じっとしていた」、「子供・老人の保護」、「物をおさえる」、「逃げ場の確保」等の行動が見られることが調査され、屋外への飛び出して窓ガラスの破片などが頭上へ落下することによる危険が指摘されてきた¹¹⁾。

しかし、震度7という激しい地震動となった阪神・淡路大震災の場合、ゆれている最中の人間がとった行動に関する調査によれば、多くの人は行動の自由を瞬時に失っており、4割近くの人には「何もできなかった」状態であった。つまり、地震の発生直後は、約4割の人が何もできず、約4割の人が家屋の中で何らかの対処をし、約1割の人が外に飛び出すこととなる。

また、阪神・淡路大震災規模の地震が発生した場合、被災地の人は強い揺れを五感により「体感」し、災害が発生したことを認識する。しかし、心理状態は、通常と違った極度の緊張状態にあり、正常性バイアスが働く可能性が強いといえる。また、緊張や焦りからアクション・スリップを引き起こす可能性も強い。これらの心理状態から抜け出し、避難行動を起こす判断を行った後は、家族や周囲の人々と共に行動することが想定される。

避難行動については、既存事例^{12) ~ 14)}を参考とした。屋内にいる場合、避難行動は、人から声をかけられ認知バイ

アスを抜け出した場合や身の危険に対する不安が高まったときに始まる。また、屋外に出た場合では、人から情報を得て避難行動を起こすきっかけとなる者もいるが、屋外に出て災害情報を感知しているにもかかわらず避難行動を起こさない者、周りの避難しない状況に同調する者も多い。このため、避難する時期は、人によりかなりの時間差が生まれる。避難開始後の行動は、地域に関する知識や避難中に得る災害情報に左右されることがわかった。

次に、火災による避難について以下に整理する。建物内の火災においては、利用客や従業員の動きのほかに、炎の動き（延焼、煙の発生）も考慮に入れることになる¹¹⁾。総避難時間は避難を開始するまでの時間（避難開始時間）と避難を開始してから避難を完了するまでの時間（避難行動時間）からなる。

火災が発生した場合、具体的な避難行動が始まるのは火災の発見後となる。炎上出火後すぐに発見できた場合は、消火などの対処ができるが、延焼拡大している段階で発見した場合は、消防に通報した上で利用客の避難誘導、従業員の避難となる。この際、適切な避難誘導及び避難行動が行われれば、利用客などの安全を確保することができるが、間違った情報が放送されたり情報がない場合、利用客及び従業員は集団同調性バイアス、正常性バイアスなどの認知バイアスに陥り、迅速な避難行動をとれないこととなる。火災の覚知がさらに遅れ、身の危険が迫っているおり、従業員の指示などもない場合は、利用客が出入り口に殺到するなどのパニックが発生する可能性もある。

また、内装が可燃である場合は、火災が壁や天井に達すると急激に燃焼が進行し大きな面積の燃焼となり、この燃焼面からの輻射熱によって床やその他の可燃物に着火する「フラッシュオーバー」が発生する。フラッシュオーバーに至ると、空間が危険限界に達する時間が極端に短くなり、パニックを引き起こす可能性が高くなる^{10), 15), 16)}。

2) 避難行動のシミュレーションへの反映

地震時の避難行動の場合、避難行動の判断をした後、避難所に関する知識がある者は避難所に向かうが、その避難経路は、通常良く歩く道や避難所に最も近い経路など様々である。しかし、避難は単独より集団性を伴うため、リーダー的存在に追従する形が最も多いと考えられる。また、避難所に関する知識がない者は、他の人に声をかけられた後に、追従して避難することとなる。

一方、火災が発生した場合、特に建物内からの避難においては、避難行動の判断をした後、情報の収集手段が、店内放送、従業員の指示、人伝手と限られるため、得られた情報をもとに出口に向かって避難行動を行う。しかし、店内放送などの情報がない場合や避難誘導がない場合、施設内の地理に詳しくないため皆が向かう方向に追従して避難することとなる。従業員は利用客の避難誘導等を行うため、避難が遅れることとなる。また、逃走型パニックが発生した場合は全員一方向に向かって殺到することとなる。

以降には、上述の整理結果をふまえて、本システムにお

ける避難行動タイプを示す。

避難者は周りのセルの状況に応じて動く方向に違いが生じる。そこで、避難者が自らの視野の中に目的物を確認した場合に各目的物に対応した目的行動を行うように設定した。目的行動は下記の通りである。

- (a) 視野の中に出口を確認すると出口に近づいて脱出する動き
- (b) 視野の中に要救助者（不動型の避難者）を確認すると要救助者を救助する動き
- (c) 視野の中に炎を確認すると炎を回避する動き
- (d) 視野の中に標識を確認すると標識に従う動き
- (e) 視野の中に通常型の避難者を確認すると通常型の避難者に追従する動き
- (f) 視野の中に何もなければ向いている方向に進む動き

シミュレーションにおける各避難者の行動については、以下の様な処理を行うことによって表現する。

①通常型

通常の人を想定しており、冷静に目的物を確認し、その目的物に適切に対応した行動をとる。通常型の目的行動の優先順位は(f)→(a)→(b)→(c)→(d)の順である。なお、要救助者を助ける動きを行った際には、要救助者を大人が担いでいるという想定で、通常型の避難者を遅延型に変更する。

②追従型

人に追従して動く人を想定している。目的物は標識や炎よりも通常型の避難者が優先となっており、避難者の視野の中に通常型の避難者が存在する場合は、最も近い通常型の避難者に近づくように行動する。目的行動の優先順位は(f)→(a)→(e)→(c)→(d)の順である。

③遅延型

子供やお年寄り等災害時要援護者となりうる方を想定している。これらの避難者は速度が遅いため、通常型の避難者に比べて半分の速度と設定した。そのため、半分の確率で通常型の避難者と同じ行動をとる（ただし、要援護者を救出する行動は行わない）か、現在いるセルに留まるかのどちらかの行動をとる。

④パニック型

パニックに陥った避難者を想定している。避難者はどこに向かうかわからないため、避難者が向いている方向における視野の中の目的物（標識・出口・炎・要救助者）の有無にかかわらず、一定の確率で、上下左右のセルに移動するか、現在いるセルに留まるかのいずれかの行動をとる。

⑤不動型

負傷者や病人を想定しており、まったく動かない避難者である。通常型の避難者に発見され、距離が1セル以内となった場合のみ、救助されて避難行動が行える。それ以外の場合では、現在いるセルに留まり続ける。また、救助された場合は、通常型の避難者に担いでもらったという想定のもと、その場からいなくなる処理を行う。

2.2 CA による避難シミュレーションの開発

災害時の人の避難行動は予測困難であり、複雑系として取り扱う必要がある。そこで、ソフトコンピューティング(人工生命技術)の1つであり、複雑系のモデル化、シミュレーションに有効なセルオートマトン(以下、CA と称する。)を用いて、災害時の人間行動・感性評価をもとに災害時の建物や施設における避難シミュレーションを開発した¹⁷⁾。

CA 法の大きな利点は、単に従来の微分方程式モデルを代替しているだけでなく、自然界の不規則性(複雑性)を再現できることにある。また、CA 法では、乱流遷移、地震、雪崩、火災などの臨界現象も、自己組織化により再現することができる。

微分方程式モデルでは、現象に関する素過程と相互関係が解明されないとモデル化できない。しかし、CA 法はより上流の単純なモデルから複雑な現象を自己組織化させる。そこで、必ずしも複雑な現象のレベルにおける情報や知識がなくても現象が再現される可能性があり、複雑な生命現象の解明に、違う角度からの知見が得られる可能性を有している。

CA の主な特徴を以下の①～⑧に示す¹⁸⁾。

- ①空間的に分散である：人間の1歩のサイズをもとに対象地域を分散的な格子(セル)に分割する。
- ②時間的に分散である：人間の各セルへの移動及び各セルの状態は分散時間1ステップごとに更新される。
- ③分散状態をとる：各セルは人間、建物、ハザード等有限個の状態をとる。
- ④セルの均一性：すべてのセルは同じ状態遷移則に従って更新される。
- ⑤同期的な状態更新：人間の任意のセルからの移動は、そのセルの周辺状態に依存して、同期的に行われる。
- ⑥決定論的な規則：各セルからの人間の移動は、予め定められた決定論的な規則に基づいて行われる。
- ⑦空間的に局所的な規則の適応：規則はその近傍の8セルの状態にのみ適応される。
- ⑧時間的に局所的な規則の適応：人間の移動あるいは状態の更新のための規則は、1つの時間ステップ間の状態のみに依存する。

また、通常の微分方程式モデルのシミュレーションでは、最終結果だけが示され、途中の実行過程がブラックボックスで何が行われているか不明である。そこで、Java プログラムを用いてシミュレーションを時間ステップごとに可視化し、実行段階においてパソコン画面上でシミュレーション条件の変更を可能にするシステムの開発を行った(図-3 参照)。このことにより、各参加者の意見をその場で反映させるとともに、その意見が防災上どのような効果をもたらすかについて検討が可能となった。

更に、本システムを活用して、円滑な意見交換を行うためには、提案された意見の結果を画面上に表示する必要がある。そのため、議論の対象となるラベルを準備し、意見交換が行われている最中に本システム上に反映すること

を可能とした。

具体的には、避難場所の検討や家屋倒壊の危険のある場所、通行不可能となりうる道路、消防自動車の配置場所、避難誘導員の必要性等、様々な意見に対してラベルを使用し、視覚的に議論の結果をわかりやすくした。図-3にラベルを反映した画面設計の一例を示す。

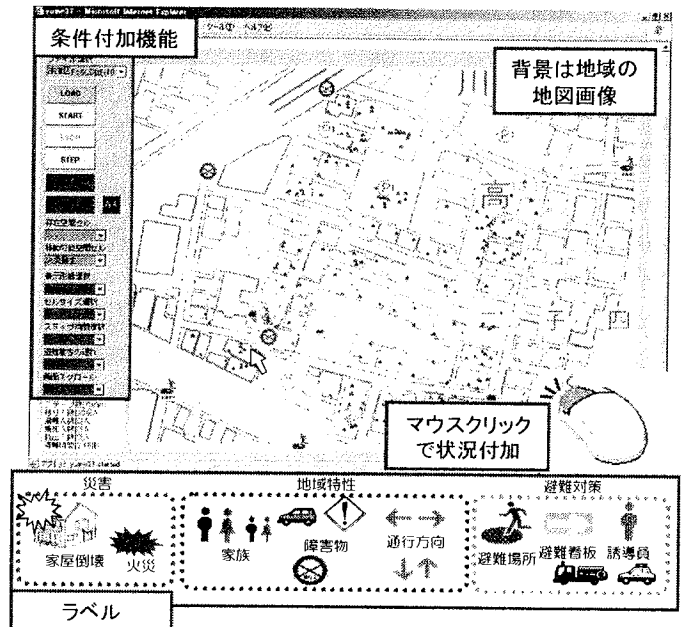


図-3 避難シミュレーション画面例

3. 避難シミュレーションを活用したワークショップの開催

3.1 ワークショップの開催

ここでは、本システムを用いて神奈川県川崎市高津区で行ったワークショップの開催結果について示す。

ワークショップは、高津区二子地区第一町会において、災害時における避難に関する防災啓発を目的として開催した。参加者は、高津区二子地区を管轄とする行政、防災専門家、消防機関、地域で活動するNPO、地域住民、企業、大学等、多様な主体の方々と、それぞれの立場、役割での視点から災害時(本ワークショップでは特に地震と火災)における避難についてディスカッションした。

3.2 ワークショップの進行

(1) 事前準備(現地踏査)

ワークショップでは、事前準備として地域の実態調査(現地踏査)を実施した(今回は、事務局にて実施したが、本来は、参加者が実施することを想定している)。

調査では、避難シミュレーションシステムの条件設定に必要十分な情報として、地区内での通行支障(ブロック塀、柵、車止め等の障害物の有無)、建物の出入口の位置、災害時に危険が想定される箇所を確認し、防災マップとして地図に整理するとともに写真撮影を行った。

(2) ワークショップ

ワークショップでは、二子地区で地震被害や火災が発生し、避難しなければいけない状況となった場合に、注意する点や何をすべきかといった点についてのディスカッショ

ンを目的とした。

ワークショップの進行では、「①二子地区の災害発生危険性」として、川崎市が実施した地震被害想定結果を題材に、二子地区でどのような災害が発生する可能性があるか、災害が発生した場合にどのような状況となるのかについて、阪神淡路大震災や中越地震等、既往災害時の写真や被害記録を用いて説明を行い、参加者に災害様相に対する共通認識をもって頂いた（災害シナリオを基にした災害認知）。

その後、事前の現地踏査結果（地図上ではわからない通行不能箇所等）を盛り込んだ避難シミュレーションシステムを稼働させ、災害が発生していない平常時の状態での人の動きについて参加者に確認してもらい、プロジェクタースクリーンに映しながら意見を得た（図-3、4参照）。



図-4 ワークショップ実施状況

得られた確認内容は、避難場所、避難にあたって生活習慣として利用している道路の主な通行方向、通行に支障となるような障害物、敷地内の通行可否（ブロック塀、柵の有無等）、等であった。さらに、参加者から得られた意見をその場でシミュレーションに反映させ、災害が発生していない状態として再現した。

ワークショップの進行では、「②想定災害時の状況」として、①での災害発生危険性に対する参加者での共通認識のもと、二子地区でどのような被害が起こるか、意見を求めた。その結果、高架橋の落橋、家屋倒壊、火災、家屋倒壊による道路閉塞等の意見を得た。これらの意見は、災害シナリオとして時系列を設定し、その場でシミュレーションに反映させた。この後、平常時の状態と災害発生時の状態で画面を二つ横並びにし、地域における行動状況を比較した。

これにより災害時には、当該地域がどのような状況になるのかが認識され、避難にあたって留意すべき事項についてディスカッションして頂くことができた。

今後は、地域における防災力向上に向け、行政、住民、NPO、企業等がそれぞれの立場での対策活動につながるような場を継続的に提供したいと考えている。

4. 継続的な地域防災力の向上に向けて

4.1 今後の課題

本避難シミュレーションシステムを活用すると、集落や自治会の班単位といった狭い地域において、あらゆる立場の参加者が同じ視点に立って、地域の避難を考えるための

場の提供が可能である。地域での活用にあたっては、ノートパソコンを使用し、特にシステムをインストールする必要もなくインターネットエクスプローラーで稼働可能であるため、地図画像さえあればどのような地域でも簡単に適用可能である。

ただし、システムの実践の中では、以下に示すような課題が挙げられた。

- ・あらゆる機関が一同に会する場の創出が必須である。
- ・複数の行政機関の支援・参画は不可欠である。
- ・災害様相や、消防器具の設置箇所の設定、情報伝達状況の設定、一時避難者と罹災者の避難設定など条件付加機能のバリエーションを豊富にする必要がある。
- ・住民などの利用者が、接しやすく触れやすいような画面設計に改良していく必要がある。
- ・ワークショップ実施時には、システムの機能説明に時間を割いてしまうため、参加者用に簡易な説明書を作成すべきである。
- ・意見交換の有効性は確認できたが、参加者へのアンケートを通して活動結果に関する防災力評価を定量的に示す必要がある。

4.2 地域における継続的な蓄積型ソフト防災力向上プログラムの提案

蓄積型防災力向上プログラムは、本システムを防災力向上プログラムの一貫として活用することにより、従来の防災講座や防災ワークショップとは異なり、継続的な危険箇所など防災情報や災害シナリオの蓄積、シミュレーションによる災害イメージの共有や仮想訓練が可能となるプログラムである（表-1参照）。

表-1 蓄積型ソフト防災力向上プログラムの基本メニュー

プログラム	内容	実施形式
1 基本知識	・災害に関する基礎知識、過去の災害事例、教訓などについて学ぶ	参加型講義
2 防災環境	・地震被害想定結果、ハザードマップなどを用いて身近な防災環境を知り、災害リスクを抽出する。 ・地域の白地図を用いたフィールドワークにより災害リスクを発掘し、防災マップを作成する。	ワークショップ 図上訓練
3 役割分担	・自助、共助、公助の概念のもと避難時における各人の立場・役割をディスカッションする。	ワークショップ 図上訓練
4 仮想訓練	・作成した防災マップや災害シナリオを避難シミュレーションに蓄積し仮想訓練を行う。	ワークショップ 図上訓練
5 実地訓練	・仮想訓練にて災害様相をイメージした後、実地訓練を行い行動時の課題を発掘する。	実動訓練

フィードバック

継続・改善

また、教育訓練の効果は、実施前の具体的な目標の設定、講義やワークショップの実施後のアンケートやチェックシートを通じて満足度を測定し、「満足度の向上」＝「ソフト防災力の向上」として捉え、防災力維持状況の監視を行うことが必要である。これにより、以下の効果が期待される。

- ・中長期的観点での活動目標を設定し、目標達成のためのアクションプランを作成することができる。
- ・プログラムの実施後に満足度をチェックすることにより防災力向上効果を確認することができる（図-5 参照）。
- ・参加型によるフィールドワークやディスカッションの内容を蓄積することにより、継続的に防災力向上を図ることができる。
- ・地域や企業、行政などが参加することにより、多様な主体の防災力を同じ尺度で評価し、それぞれの地域に合わせ、地域を一体的なものとして捉えた効率的な総合防災力向上プログラムを策定することができる。

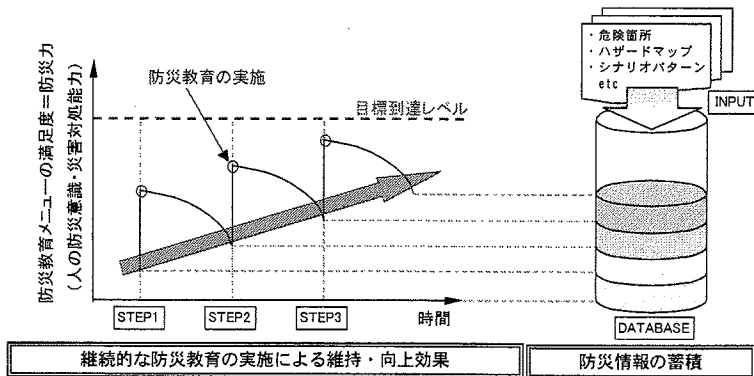


図-5 防災教育の実施と防災力向上の関係

上記の蓄積型防災力向上プログラムでは、以下の活用方法が考えられる。

- ・自治会単位での地域防災活動啓発ツール
- ・小学校等学校教育施設内における避難
- ・自治体や企業の事業継続計画（BCP）策定支援
- ・集客施設における避難誘導計画策定、職員教育の実施

本研究においては、参加型救命設計システムを構築し、多様な主体の参画によるシステムの実践を行うことにより、継続的な防災力向上に寄与する新しい防災システムを提案することができた。

本システムは本研究の成果のみならず、様々な活用・展開の可能性を有しており、今後もシステムの改善を行いながら効果的な救命設計・防災システムのあり方を模索し、継続的な地域防災力向上に資する研究成果を提供したいと考えている。

謝辞

ワークショップでは、川崎市高津区二子地区住民の皆様、NPO法人防犯ネットワーク、川崎市危機管理室、川崎市防災企画専門員、川崎市高津区役所、川崎市高津消防署の皆様にご多大なるご協力を頂きました。記して感謝致します。

また、本研究は、総務省消防庁平成16・17年度消防防災科学技術研究推進制度（競争的研究資金制度）研究助成対象課題で香川大学工学部信頼性情報システム工学科白木渡教授を研究代表者として行った。関係各位に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 井面仁志、白木渡、森下一男、長町三生：住民参加型感性工学に基づく合意形成プロセスの提案、JCOSSAR2003 論文集、材料学会、pp.809-816、2003.11.
- 2) <http://www.columbia.edu/~gd18/livedesign/index.html>.
- 3) 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 (ICIMA), IEEE, pp.191-195, 2004-8.
- 4) Shiraki, W., Inomo, H., Ishikawa, H. and Aritomo, H.: Simulation of pedestrian dynamics in emergency for live design of buildings, Proc. of ICOSSAR2005, Millpress, CD-ROM, pp.823-829, 2005-6.
- 5) 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、安全問題討論会 '06 論文集、土木学会、2006年11月（投稿中）。
- 6) 磯打千雅子、田中秀宜、白木渡：感性工学手法を取り入れた防災訓練の効果検証に関する考察、第6回日本感性工学会、p.114、2004年9月。
- 7) 広瀬弘忠：人はなぜ逃げおくれるのか—災害の心理学、集英社新書、2004年1月。
- 8) 財団法人消防庁科学総合センター：地域防災データ総覧—地域避難編—、1987年3月。
- 9) 山村武彦：人は皆「自分だけは死なない」と思っている、宝島社、2005年3月。
- 10) 菅原進一：雑居ビルのリスクマネジメント、フェスク、pp.4-18、2002年5月。
- 11) 北後明彦、萩原一郎：建築物における災害時の避難開始時間について、火災学会研究発表会概要集、1991年。
- 12) 鈴木成文ほか：1995 冬神戸 体験記録 阪神大震災時の行動・心理・思考、住宅総合研究財団、1996年1月。
- 13) 内閣府：阪神淡路大震災教訓情報資料集、内閣府、2004年。
- 14) 阪田弘一：震災時における避難者数推移および避難所選択行動の特性—地域防災計画における避難所の計画に関する研究、日本建築学会計画系論文集、No537、pp141-148、2000年11月
- 15) 菅原進一：雑居ビル火災の教え、建築防災、pp.66-72、2002年4月
- 16) 日本火災学会火災時の避難行動専門委員会：特集／歌舞伎町ビル火災によせて、火災、pp66-72、2002年8月。
- 17) 白木渡：「Live Design のための災害時避難シミュレーション」、土木学会安全問題研究委員会特別講演会、2005年1月。
- 18) 上田完次・下原勝憲・伊庭斉志：人工生命の方法—そのパラダイムと研究最前線—、第一資料印刷（株）、1995年。（2006年8月18日受付）