

自治体職員の水害対応演習のための マルチシナリオ・タイムライン・シミュレータ の開発

片田 敏孝¹・桑沢 敬行²・児玉 真³

¹正会員 東京大学大学院情報学環特任教授（〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1）

E-mail: t-katada@iii.u-tokyo.ac.jp

²正会員 株式会社アイ・ディー・エー 社会技術研究所（〒376-0023 群馬県桐生市錦町3-2-28 1F）

E-mail: kuwasawa@ida-web.jp

³正会員 株式会社アイ・ディー・エー 社会技術研究所（〒376-0023 群馬県桐生市錦町3-2-28 1F）

E-mail: kodama@ida-web.jp

不測の事態である災害は、事前に最適な対応を検討することが困難であることから、人的被害の最小化を実現するためには、単一の想定シナリオに縛られることのない臨機応変な対応が求められる。本研究では、この課題に向けて、市町村職員による避難誘導を主とした防災機関の水害時の対応判断に関する演習を行うためのシステムを開発している。このシステムは、水害時の地域状況を総合的に表現するシミュレーションモデルを基本としており、多様なシナリオに基づく被災時の状況や防災対応を仮想的に体験することができる。また、複数の機関が同時並行で活動する状況を表現できることに加えて、その活動による結果を人的被害規模などの指標によって具体的に評価できる特徴を持つ。

Key Words: flood, crisis management exercise, disaster timeline, disaster prevention plan, simulator

1. はじめに

全国的にみると水害は毎年のように発生しており、平成24年7月九州北部豪雨の白川、平成27年9月関東・東北豪雨の鬼怒川など、一級河川の治水レベルを超える大規模な水害の発生も後を絶たない。しかし、特定の地域や個人に限定してみた場合、治水施設の整備が進展した現代において、避難などの対応が求められるような水害は、一生に一度経験するかしないかの稀な出来事であり、ましてや複数の被災経験を持つ人はごく少数に限られている。この様な稀な出来事であるが故に、経験による能力の蓄積が困難であることが水害への対応を難しくしている。この問題については、住民の防災意識や避難に着目した指摘がみられるが¹⁾²⁾³⁾、避難を誘導する役割を担う市町村にとっても重大な課題である。市町村の職員は、危機的事態の発生により平常心を保つことすら困難な中で、人命に関わる不慣れた対応を迫られる非常に厳しい立場に置かれる。市町村には、有事に備えた地域防災計画が定められているものの、その多くは概略計画であり、

実際に発生した個々の事態に適した具体的な対応までを示すものではない。また、近年、水害を対象としたタイムラインと呼ばれる事前防災行動計画⁴⁾の検討やそれに基づく机上訓練が推進されているが、その多くは、あくまで単一の被災シナリオを前提として、防災機関の対応事項を確認したり、整理したりすることを目的としており、防災対応の最終的な目的である人的被害の最小化に向けて、シナリオの変化による被害への影響を把握したり、多様なシナリオに対して有効な被害低減策を具体的に検討したりするなど、不測の事態における対応能力の向上を目指すものではない。加えて、タイムラインとして具体化された対応は、想定と大きく異なる事態に対しても適切であるとは限らず、シナリオを固定化することによる弊害が生じる危険性もある。

本研究では、この様な行政機関の防災対応やその検討に関する問題意識を踏まえて、主として市町村の防災担当者を対象として、人的被害の最小化に向けて様々な水害シナリオに対する避難誘導等の対応判断に関する演習を行うシミュレーションシステムを開発している。地域

の避難計画の検討や防災教育を対象にシミュレーション技術を活用している研究は数多く行われているが^{5),6),7),8)}、行政職員の防災教育を対象としたものは限られている。特に、行政の危機管理対応の訓練を対象としたシステム開発に関する既往研究は、秦ら^{9),10)}による地方自治体職員の災害対応能力の向上を目的とした災害対応演習システムの開発など、一般的なロールプレイング型の机上訓練のシナリオの作成や運営支援を目的としているものが多い^{11),12),13)}。また、東田ら^{14),15)}は、本研究と同様に自治体の防災担当者を対象とした独自の災害対応シミュレータの開発を進めているが、避難情報の発表に限定したプロトタイプの開発に留まっている。

本研究で開発しているシステムは、水害時の地域状況を総合的に表現するシミュレーションモデルを用いることによって、災害規模や発災箇所などの基本的なシナリオに加えて、警報の発表や道路閉塞の発生等のイベントを動的に発生させるなど、多様な被災シナリオを表現できる。また、シミュレーションの進展を随時提示することに加えて、その中における情報収集、避難所の開設、避難情報の発表、救助等の防災対応を外部からリアルタイムに操作できるようにすることで、被災時に行政の防災担当者が置かれる状況やその際の対応を仮想的に体験できる。さらに、行政対応の影響を踏まえて、住民避難や人的被害の発生までを表現することにより、参加者の対応や判断を人的被害の規模といった指標によって定量的に評価できる特徴を有している。本論文では、本研究の問題意識とそれに対応することを目的に開発したシステムの機能や特徴について示す。そして、行政の防災担当者に参加いただき試行した本システムを用いた演習について概説し、その結果や今後の方向性について述べる。

2. シミュレーションシステムの検討

本研究の目的は、主として市町村の防災担当者を対象として、水害時における人的被害の最小化を目的とした避難誘導等の対応判断に関する演習を行うシミュレーションシステム（以下、単にシステムと呼ぶ）を開発することである。まず、開発するシステムのあり方について検討するために、水害時における行政対応の理想像やその実現に向けて担当者が身に付けるべき能力について整理することで、システムの開発方針の具体化を図った。また、既存の行政機関の防災対応を対象とした演習手法について、本研究の目的からみた課題について整理した。

(1) 市町村の防災対応に求められる能力と演習の目的

災害対策基本法において市町村は、災害からの住民の生命等の保護に向けて、防災に関する計画を作成し、実

施することが求められている。しかし、防災対応の目標を「計画に示された役割を忠実に果たすこと」ではなく、「人的被害の最小化を達成すること」に置くのであれば、事前に作成される防災計画やマニュアルに基づいて対処可能な対応は限られており、その範囲に留まらない即時的な判断や対応が重要となる。本研究では、この考えに基づき、システムにより実現する演習の目標を「マニュアルに忠実な対応を遂行できるようにすること」ではなく、「人的被害の低減に向けて、防災機関の対応を適切に判断できるようにすること」とし、演習を通して次段以降に示す能力を向上させることについても考慮することとした。そして、本章(3)で後述する様にシステムの構築方針を定めた。なお、この目標は、実務としては組織の管理者や責任者が対象となる内容であるが、一般職員においても局所的には同様の判断が求められることから、防災対応に係る行政職員全般を対象とした目標として位置付けられる。

俯瞰的視点：断片的にもたらされる情報に基づいた場当たり的な対応では、地域全体に対して最適な対応が行えないことから、各情報を総合的に判断した上で、俯瞰的な視点から対応を検討していく必要がある。

情報処理能力：市町村には、住民からの通報や現場職員からの報告、他機関からの通知等の膨大な情報が集まり、その処理に忙殺される（例えば、常総市の対応¹⁶⁾）。適切な対応を行うためには、各種情報の重要度を的確に判断し、取捨選択して整理するとともに、優先順位を踏まえて同時並行的に処理していく能力が求められる。

先見性：目下の事態や頻発する些細な出来事に全力投入した場合、その後に起こるより重大な事態において不十分な対応を余儀なくされ、結果的に被害が拡大することもある。現状を適切に把握するとともに、今後起こり得る事態を見据えた対応が求められる。

リソースの考慮：巡視、広報、避難所対応等、様々な対応を実施する必要がある一方で、人員や車両には限りがある。人的・物的リソースの制約を踏まえて、最大の結果を生む効果的な活動を判断する必要がある。

他機関との連携：適切な判断や対応を実施するためには、気象や河川などを担当する指定行政機関、消防や自衛隊などの実動機関、近隣の自治体など、複数の機関との連携が有効かつ円滑に行われることが重要となる。

時間の考慮：被災時には、緊急の対応が求められる一方で、通行不能箇所の発生により通常の倍の移動時間を要するなど、普段よりも対応に時間がかかる場合もある。時々刻々と進展する事態に対して、時間に対する的確な感覚やコスト意識を持った対応が重要となる。

地域への精通：水害対応は、重要水防箇所や低平地等、被害低減の観点から特に注意すべき地域が存在する。また、各種対応を効率的に行うには、地形や道路、施設配

置等の空間的な特性についても精通している必要がある。

(2) 既往の演習手法の適用性

災害時における行政機関の防災対応を対象とした演習手法としては、ロールプレイング型の机上訓練である図上シミュレーション訓練が開発されており、数多く実施されている。この演習手法は、災害対策本部の運営員が参加者となり、様々な方法で与えられる災害状況を収集して分析した上で、マニュアル等を踏まえて対応を判断していくものである。実体験することが稀な災害対応について実践的に演習することで、マニュアルを読んだだけでは学べない対応の流れを身に付けられることに加えて、関係組織間の連携強化が図れること、さらに、マニュアルの問題が抽出できるなどの効果が期待されている¹⁷⁾。図上シミュレーション訓練は、市町村の防災対応を対象とした適用事例もあるが、本研究の目的に向けた適用を考えた場合、いくつかの問題や課題がある。

一つ目の問題は、演習の目的が職員個々のマニュアルに沿った対応を訓練することに重きが置かれている点である。この演習では、マニュアルに示される対応の習熟度や全体の流れの効率性について評価することはできるものの、対応による被害低減を把握するなど、仮想的なシナリオに基づく減災効果を評価するものではない。

二つ目は、シナリオ表現に関する制約である。演習において提示されるシナリオは、事前に準備された一次的なものが主であり、それに対する参加者の反応をフィードバックさせた二次的、三次的なシナリオを提示することが困難である。具体的には、「避難所の規模を上回る人が避難したため、避難所に入れない人が発生した」、「避難情報の発表タイミングが遅れたため、多数の孤立者が発生してしまった」など、参加者の対応によって生じる新たな問題にまで及んだシナリオ表現である。勿論、運営側が様々な事態を想定してシナリオを準備しておくことも不可能ではないが、その範囲には限度がある。

三つ目は、地形や社会の特性に関する表現の限界である。防災対応は、対象地域の特性を踏まえることが非常に重要となることから、実践的な演習とするためには、地形や道路網、住民分布、行政側のリソースといった地域特性を具体的に考慮する必要がある。災害図上訓練の一種であるDIG (Disaster Imagination Game)¹⁸⁾では、地域の地図を用いて対応を議論することで、地域の地理的な特性を考慮した演習を実現しているが、移動時間や地形を踏まえた氾濫の発生、さらに時間的な進展に伴う状況の変化などを具体的に表現するには限界がある。

(3) システムの構築方針

災害時における対応能力を高めるためには、単一のシナリオにとらわれずに多様な事態に対する対応を経験す

ることで、即時的な判断能力を身に付けることや様々なシナリオに共通して有効となる対応策を会得することが重要である。筆者らは、この様な本研究の目的とする演習を実現させるためには、水害時の地域状況や防災担当者が置かれる状況とその進展について、極力具体的に提示できるようにすること。また、多様なシナリオを表現できる環境を整えること。そして、参加者による対応の判断を具体的に評価するために、行政機関の対応による人的被害の発生規模への影響を定量的に表現することが必要であると考えた。そこで本研究では、災害時の地域状況を総合的に表現するシミュレーションモデルを用いることを基本として、次の機能を持つシステムを構築することとした。

マルチシナリオ：災害の規模や住民の避難対応等の基本的な条件を自由に設定できる。さらに、演習の進展状況に応じて、演習中においても一部のシナリオを操作できるなど、シナリオを自由に変えられる環境を整える。

具体的かつ詳細な地域表現：実践的な演習とするため、対象とする地域の地形的な特徴や防災施設の配置、住民分布などの特性を具体的に表現することに加えて、地形に基づく氾濫域、道路網や避難所の配置を踏まえた避難者の分布などについて、詳細な空間表現を行う。

時間の制約：災害の進展、各種対応による消費時間など、時間経過を考慮した展開を具体的に表現する。時間の進展は運営側でのみ操作できるものとし、参加者の各種対応により時間が消費される状況表現する。

情報の制約：参加者が収集活動を行わずに把握できる情報は、雨量や水位などの基本的なもののみに制限する。シミュレーションにおいて発生したイベントなど、それ以外の情報については、各種対応を通じて収集した情報しか参照できない仕組みとする。

マルチプレイヤー：防災機関同士の連携についても演習の対象に含めるため、単一の防災機関だけでなく、複数の機関が同一の地域や事象を対象に活動を展開する状況を表現する。

定量的な評価：仮想的に設定されたシナリオに対するシミュレーション結果を避難完了者や救助が求められる人などの人数によって定量的に評価する。なお、これらの結果は、参加者による各種対応の有無や実施タイミングを考慮して変化させる。

3. システムの構築

前章の方針を踏まえて構築したシステムの詳細について示す。なお、以降では、システムの管理を含む演習の運営や進行を行う役割を持つ人をコントローラー、システムを利用した演習に参加する人をプレイヤーと呼ぶ。

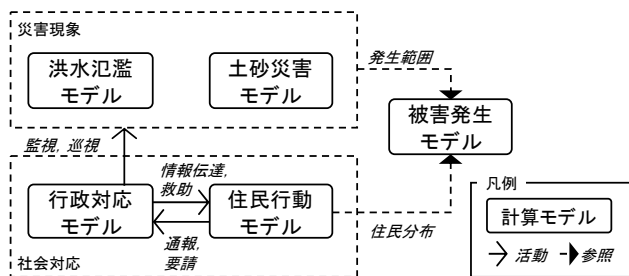


図-1 シミュレーションモデルの構成

(1) シミュレーションモデルの構築

前章で示したシステムの構築方針に基づく機能を実現するために、システムの基幹部となる水害時の地域状況を総合的に表現するシミュレーションモデルを構築した。

a) シミュレーションモデルの基本構成

構築したシミュレーションモデルは、災害現象を表現する洪水氾濫モデルと土砂災害モデル、被災時の社会的な対応を表現する行政対応モデルと住民行動モデル、そしてこれらのモデルに基づく災害の発生範囲と住民分布から人的被害の発生状況を表現する被害発生モデルで構成される（図-1参照）。これらは、筆者らが開発している災害総合シナリオ・シミュレータを基本として構築したものである。このシミュレータは、イベント駆動型のシミュレーションシステムであり、時間経過に伴う各構成モデルの挙動や相互作用を表現することができる。これによって、種々のシナリオに基づく、氾濫などの災害現象に加えて、災害情報の伝達やそれに基づく住民の避難行動、そして人的被害の発生といった被災時の一連の地域状況を表現するものである。本シミュレータの詳細については、桑沢ら¹⁹⁾、片田ら²⁰⁾を参照されたい。

b) 災害現象モデル（洪水氾濫モデル、土砂災害モデル）

洪水氾濫モデルは、河道内や堤内地における洪水と氾濫の様子を表現する。一般的には、河道内と堤内地は別々のモデルにより計算されるが、詳細な地形データはあるものの、河道測量までは実施されていない地域での適用を念頭に、河道内も含めた全体を二次元不定流で計算するモデルを構築した。なお、堤防は盛土として表現しており、シナリオで設定されたタイミングや水位に応じて、盛土を取り除くことによって破堤を表現する。

土砂災害モデルは、累積雨量と土砂災害発生に関わる過去の事例などから設定された時間帯毎の発生確率分布に基づいて、予め設定した場所の中から土砂災害の発生を表現する。また、発生範囲が道路と重なっていた場合には、該当する道路を通行止めにすることによって、道路閉塞を表現する。

c) 住民行動モデル

住民行動モデルは、避難に関する住民の意思決定と避難行動を表現する。意思決定の対象は、避難勧告などの情報の取得状況や自宅浸水などの周辺状況に基づく避難

表-1 シミュレーションにおいて発生するイベント

分類	内容	発生条件
住民通報	避難所開設	避難した避難所が未開設だった
	孤立	自宅が浸水して避難不能
	要救助	自身が浸水していて避難不能
	土砂災害	土砂災害に巻き込まれた
	道路閉塞	通行不能な道路に遭遇した
	土嚢配布	設定条件に応じて発生
職員報告	要救助者発見	要救助者を発見した
	孤立者発見	孤立者を発見した
	土砂災害発見	土砂災害発生箇所を発見した
	浸水箇所発見	活動中に浸水箇所を発見した
	活動報告	指示された活動を完了した
他	警報等	シナリオのタイミングで発生

表-2 行政対応モデルの活動

活動	概要
避難所運営	避難所を開設して避難者を受け入れる
巡視	災害や人的被害の発生状況を把握する
広報	避難情報を住民に周知する
救助	要救助者や孤立者を発見して救助する
道路啓開	閉塞している道路を啓開する
土嚢配布	要請を受けた住民に土嚢を配布する

の決意、避難準備に要する時間、避難手段であり、住民を対象とした災害時の行動意向に関するアンケート調査の結果などを反映して設定する。また、避難行動は、基本的に自宅から最寄りの避難所までの最短経路を徒歩または車により移動する様子を表現する¹⁹⁾。

なお、住民行動モデルは、避難した先の避難所が閉鎖されていた場合、行政対応モデルに対して避難所の開設を要請する。この他、住民行動モデルは、浸水で孤立した場合の救助要請、氾濫や土砂災害により被災した場合の救助要請、道路閉塞の通報、土嚢要請を行う（表-1参照）。なお、これらの通報の実施率は、コントローラーが任意に設定できる。

d) 行政対応モデル

行政対応モデルは、水害時における行政機関の対応を表現する。このモデルには、行政機関に所属する職員や車両数が設定された役所、事務所、支所などの拠点に関する情報を登録することが可能であり、対象地域の市町村や河川管理者など、演習に参加するそれぞれのプレイヤーに対応する機関を表現する。

本モデルで表現できる対応には、避難所運営、巡視、広報、救助、道路啓開、土嚢配付の6種類があり（表-2参照）、プレイヤーの役割に応じて予め選択できる対応を設定しておく。各活動には、初期条件として、最低必要人員と所要時間が設定されており、プレイヤーが対応の開始を指示する際には、出動拠点、出動車両と職員数、そして活動範囲や移動経路を指定する。本モデルでは、

これらの情報に基づいて、指示を受けた職員による拠点から活動地点までの移動、対象となる活動の実施、拠点への帰還の各行動を表現する。そして、拠点においては、指示を受けた職員の活動時間中、待機職員数と車両数を減らすことによって、保有リソースに応じた活動量の制約を表現する。

なお、巡視中の職員などが周辺イベントを発見する条件は、発生箇所までの距離と発見確率によって設定することができる。また、この条件に基づいて職員が要救助者や孤立者、土砂災害、浸水箇所を発見した場合や各種活動を完了した場合には報告が行われる（表-1参照）。

e) システムにおけるシミュレーションモデルの扱い

プレイヤーは、以上のモデル群により表現される被災状況や住民避難の進展などの情報について自動的に知ることができないようにしている。そして、住民行動モデルからの通報や、行政対応モデルの巡視活動等による報告を通じてのみ把握できるようにすることによって、システムの構築方針である情報の制約を表現した。

また、行政対応モデルは、初期条件の設定だけでなく、シミュレーション実行中においても外部からプレイヤーが随時操作できるようにすることで、プレイヤーの即時的な判断に基づく行政対応を表現できるようにしている。例えば、プレイヤーは、収集した情報などに基づいて任意のタイミングで避難勧告を発令することが可能であり、住民行動モデルでは、そのタイミングに基づいて情報を取得した住民による避難行動を表現する。そして、洪水氾濫等が発生した場合には、被害発生モデルにおいて、その時点の住民分布と発災エリアから人的被害の発生が表現されるため、プレイヤーの判断によって被害の状況が変化する様子が表現されることとなる。本システムは、このような仕組みにより、プレイヤーの対応を人的被害規模などにより定量的に評価することを可能としている。なお、本システムでは、この仕組みを実現するために、シミュレーションモデルによる計算を演習時にリアルタイムで実施する仕様としているが、洪水氾濫モデルについては、計算負荷が大きすぎるという理由から、現状では事前に計算した結果を読み込む形式をとっている。したがって、氾濫に関するシナリオについては、動的に変更することができない制約がある。

(2) システムの構成

本システムは、シミュレーションの計算を行うサーバと、コントローラーとプレイヤーが利用するクライアント端末とをLANで接続したクライアントサーバ型のシステムとして構築した（図-2参照）。

a) サーバ

サーバでは、シミュレーションモデルの計算プログラムの他に、クライアントと通信し、プレイヤーからの指

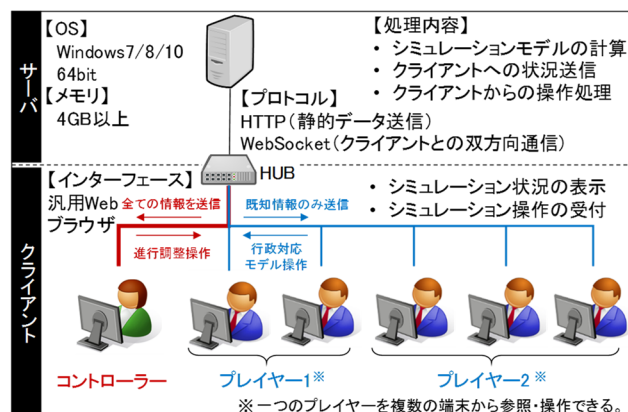


図-2 システムの構成

示を受け付けたり、現時点の計算状況をクライアントに送信したりする機能を持つサーバプログラムが動作する。サーバプログラムは、時間経過を軸にシミュレーションを構成する各モデルの動きを計算する。この時、全体の計算は初期条件やコントローラーからの指示を反映する。また、行政対応モデルに関する計算については、プレイヤーからの指示を反映する。さらに、シミュレーション上での単位時間毎に、実時間の経過についても確認し、進行が早過ぎる場合はシミュレーションの計算処理を一時待機させることで、コントローラーによって設定された進行速度が保たれるように調整する。

なお、クライアント側は、Webブラウザを通してシステムにアクセスすることを想定しており、サーバには、クライアントにインターフェースやプログラムなどの静的なデータを送信する手段としてHTTP、またクライアントとの双方向通信を実現する手段としてWebsocketを処理する機能を持たせた。

b) クライアント

クライアントは、プレイヤーからの指示を受け付けて、サーバに伝えるとともに、その活動に応じてサーバで計算されているシミュレーションモデルの状況をプレイヤーに提示する役割を担う。なお、コントローラーについても、条件設定や進行の調整、シミュレーションの全貌が把握できる特別なクライアントに位置付けられる。

クライアントは、端末機器の制約を最小限に抑えること、またインストール作業を省き演習の準備作業を軽減させることを目的として、前述の通りWebブラウザベースのシステムとして構築した。シミュレーション開始時においては、クライアント上で汎用的なWebブラウザを起動し、サーバにアクセスすることで、クライアント用のプログラムがダウンロードされ起動する仕組みとなっている。

なお、単一の防災機関の活動について、情報の確認・整理、職員への活動指示、避難情報の発表など、役割を分けて複数人で操作することも想定されるため、単一の

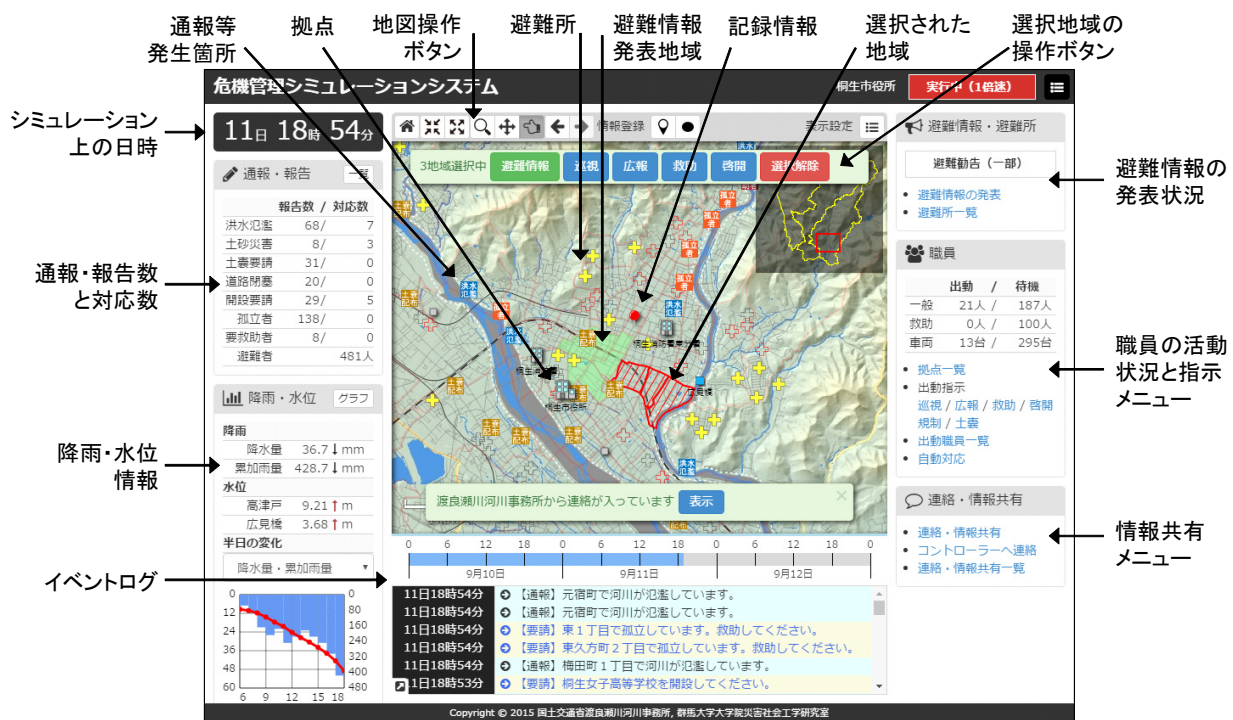


図-3 プレイヤー画面

図-4 職員への指示の設定画面

プレイヤーに対して複数のクライアント端末を登録できるようにした (図-2参照)。

(3) システムの特徴

a) 基本的な情報と操作

プレイヤーが参照する画面では、基本的な操作として、基本情報の参照、避難情報の発表、職員への活動指示を行うことができる (図-3, 図-4参照)。

基本情報の参照としては、シミュレーション上の時刻に加えて、観測地点の雨量や水位を数値やグラフで確認することができる。また、警報等の発表や行政対応モデ

ルへの通報や報告があった場合には、その旨が時刻と合わせてログ表示される。さらに、対応の必要がある通報や報告については、その総数と対応済みの件数が種別ごとにカウントアップされる。

避難勧告などの避難情報の発表状況については、地図や地域の一覧から把握することができる。避難情報を発表する場合は、ここから対象地域を町丁目単位で選択し、発令する避難情報の種別を選択する。地域に避難情報が発表されると、当該地域に対する広報活動により伝達される情報が変化する。そして、避難を決意した住民が行動を開始する状況が住民行動モデルによって表現される。

拠点を地図や一覧から選択すると、待機中の職員数と活動中の職員数を参照できることに加えて、待機職員に対して活動を指示することができる。また、活動中の職員を一覧表示することも可能であり、現在地の確認や指示内容の変更、拠点への帰還を指示することができる。

b) 情報の不完全性の表現と情報の記録

シミュレーションで表現される洪水氾濫や土砂災害の発生、住民避難といった状況は、情報収集を行わない限り、一切把握できない仕組みとなっている。この制約は、活動中の職員の状況についても同様であり、職員から報告を受けたり、連絡を取ったりしない限り現在地や活動状況を把握できない。ただし、コントローラーの画面は特別であり、これらの全貌を把握した上で、シミュレーションのシナリオや進行を操作できる (図-5参照)。

プレイヤーが収集した情報を記録するために、地図上の任意の場所にピンを立てたり、エリアを指定したりして、位置情報と合わせて情報を保存する機能がある。な



図-5 コントローラー画面

お、職員からの災害の発見報告や同様な住民通報があった場合は、この機能によって自動的に情報が記録される。

c) 時間の制約

時間の制約について表現するため、プレイヤーからはシミュレーションを意図的に遅延させたり停止させたりできない仕組みとした。例えば、プレイヤーが雨量のグラフを表示して参照している時や、職員へ指示するために活動範囲を地図上で選択している時などにおいても進行を継続させる。ただし、システム上のトラブルに対応するため、端末との通信が切損した状況などにおいては、シミュレーションの進行を停止させる。

d) プレイヤー間の情報共有

シミュレーションには、異なる防災機関を担当する複数のプレイヤーが同時に参加することができる。そして、各プレイヤーは、システム上に実装された電子メールによって他のプレイヤーに対してテキストメッセージを送信することができる。この機能は、洪水や土砂災害に関連する警報の発表や他機関への活動要請、問い合わせ、情報共有といった防災機関同士の連携対応を表現するために用いるものである。なお、メッセージには、地図上に記録した位置情報を添付することも可能であり、活動を要請する範囲などを具体的に提示することができる。

(4) システムを用いた演習の流れ

本システムを利用した演習は、同じシナリオによるシミュレーションを二回実施する流れを基本として考えている。一回目は、プレイヤーに予備知識を与えない状態でシミュレーションを行う。この結果、多くの場合、対応が上手いかずに大きな被害が生じることが想定されるが、この経験を通じて日常では体験することができない災害対応の雰囲気や困難さを実感してもらうことが狙いとなる。二回目のシミュレーションは、一回目の問題点や改善策について相談した上で実施する。そして、最後に改善策の効果やさらなる対応の改善について確認す

表-3 シミュレーションの基本条件

分類	項目	設定内容	参考
氾濫	規模	1000年確率洪水	大規模水害
	破堤箇所	5箇所	カスリーン台風実績
土砂災害	土石流等	160箇所	土砂災害危険箇所、平成23年9月台風12号能野川流域実績
桐生市	拠点	6箇所	市資料
	職員	308名	市資料
	人口	120,539人	平成25年統計
	避難所	124箇所	市資料
みどり市	拠点	7箇所	市資料
	職員	167名	市資料
	人口	52,199人	平成25年統計
	避難所	71箇所	市資料
渡良瀬川 河川事務所	拠点	3箇所	事務所資料
	職員	27名	事務所資料

ることによって、適切な災害対応について理解を深めることが狙いとなる。

一回目において問題が生じない場合などでは、二回目で災害の規模や発生タイミングなどを変化させたシナリオを設定することも考えられる。これは、ある状況において適切な対応でも、別の状況においては問題が生じる可能性があることに気づかせることを意図したものであり、的確な情報収集と判断に基づく柔軟な対応の重要性の理解を促進させるものである。

4. 演習の試行

1947年のカスリーン台風による渡良瀬川の氾濫によって甚大な被害を受けた桐生市とみどり市を対象として、本システムによる大規模水害の発生を想定した防災対応の演習を試行した。なお、この試行は、一般の行政職員を対象に演習を行う場合のシステムや運営上の課題を把握することを目的とした簡易的なものであり、前章(4)で示した流れを満たしていない。本研究で開発したシステムを用いた演習による行政職員の各種能力(2章(1)参照)の向上を定量的に評価するなど、システムを用いた演習の効果を検証することについては、今後の重要な課題に位置付けられる。

(1) シナリオ設定

a) 災害現象シナリオ

水害シナリオとしては、両市を跨ぐ広域的な対応が求められる大規模水害として、1,000年確率規模に相当する洪水と土砂災害の発生を表現した(表-3参照)。

シナリオとして表現した降雨とそれに伴う渡良瀬川と桐生川の水位変化を図-6に示す。また、図-7は、同洪水に対してカスリーン台風時の決壊地点を参考に設定した

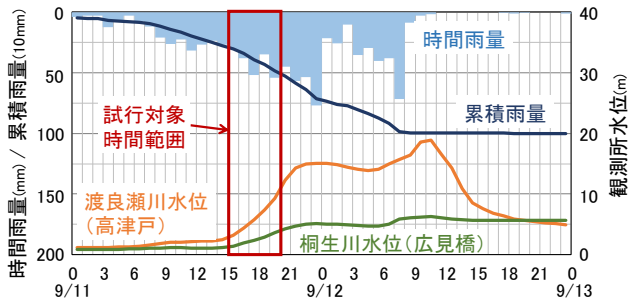


図-6 降雨と水位の変化

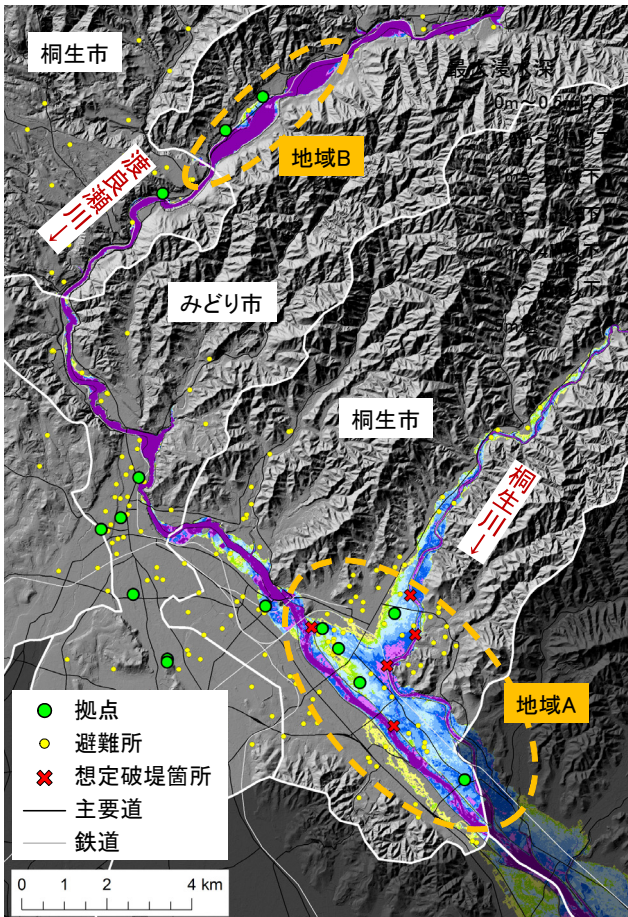


図-7 対象地域と浸水範囲

5箇所における破堤を想定した場合の最大浸水深を示している。破堤箇所を設定した桐生市の市街地においては、渡良瀬川と桐生川からの氾濫が合流して下流部が広く浸水している状況がみられる（図-7地域A）。また、峡谷である渡良瀬川の上流部においては、狭窄部で洪水が滞留することによって、その上流で道路や家屋にまで川幅が広がる様子が把握できる（図-7地域B）。

土砂災害については、対象地域の土砂災害危険箇所の一部において土砂災害が発生する状況を想定した。災害現象モデルの条件となる土砂災害が発生する割合とタイミングは、平成23年台風12号により熊野川流域で発生した土砂災害²¹⁾と同地域の土砂災害危険箇所数の比、累積雨量と発生時刻の関係を参考にして表現した。

表-4 警報等の発表シナリオ（9月11日）

時刻	内容（対象地域）
9:00	強風注意報（桐生市、みどり市）
11:00	大雨・洪水注意報（みどり市平野部）
12:00	暴風警報（桐生市、みどり市）
15:10	はん濫注意情報（渡良瀬川）
15:10	大雨・洪水注意報（桐生市、みどり市全域）
15:58	はん濫警戒情報（渡良瀬川）
15:58	大雨・洪水警報（桐生市、みどり市）
16:04	はん濫注意情報（桐生川）
16:28	はん濫危険情報（渡良瀬川）
16:50	土砂災害警戒情報（全域）
17:30	はん濫発生情報（桐生川）
18:00	大雨特別警報（全域）
18:10	はん濫発生情報（渡良瀬川）

b) 社会シナリオ

災害現象シナリオと対象地域の警報等の発表基準に基づき、表-4に示す警報等の発表シナリオを設定した。また、地域の社会特性を表現するために、人口統計や住宅地図などを参考として道路網や住民分布を再現した。なお、住民行動モデルの条件となる住民の避難行動に関する意向は、該当地域の既往調査の結果²²⁾を反映した。

桐生市役所とみどり市役所、渡良瀬川河川事務所をプレイヤーとすることとし、各機関の本庁舎や支所を拠点として設定した（表-3、図-7参照）。また、2市については、水害を対象とした避難施設とその収容人数を設定した。なお、救助活動などを担当する桐生消防については、単独のプレイヤーとしてではなく、市役所の一部として位置付けた。また、桐生消防は、両市を管轄する広域消防の体制が取られているため、消防署の位置に応じて所属する市を設定した。

(2) 演習の試行

プレイヤーとして各機関の防災担当者（桐生市6名、みどり市4名、渡良瀬川河川事務所5名）、オブザーバーとして群馬県の防災担当者（6名）に参加いただき試行を行った。この試行では、時間の制約からシミュレーション一回のみに短縮した構成を用いた。この短縮版の構成では、まず冒頭で被災シナリオの内容までを含めて説明した上で、各プレイヤーが対応を相談する時間を設けた。そして、警報などが発表され始める9月11日の15時から氾濫による被害が一部生じる同日20時までの5時間を対象としてシミュレーションを実施した（図-6、写真-1参照）。なお、シミュレーションの進行速度は、進行が緩慢にならず、かつ操作に支障をきたさない速さとして実時間の5倍速（実施時間60分）とした。そして、最後に結果の説明と意見交換を行った。

シミュレーション結果からは、想定した大規模水害で



写真-1 シミュレーションの実施風景

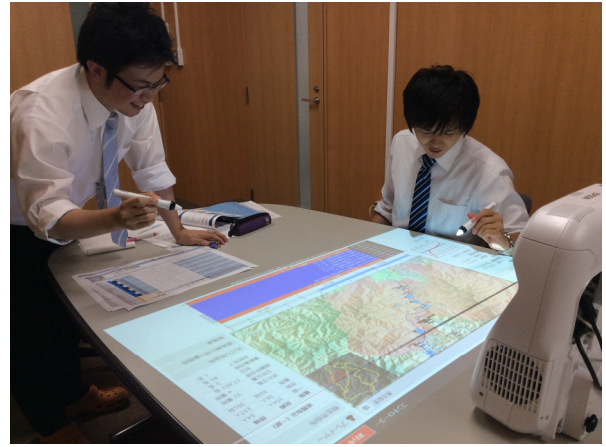


写真-2 インタラクティブプロジェクタによる操作イメージ

は、特に下流部の市街地において甚大な被害が発生することや、一部で対応職員の不足が深刻化するなどの問題が確認された。また、参加者からは、「1,000年確率洪水をイメージすることができた」、「避難勧告を早めに出すことの重要性が認識できた」、「早期避難勧告の発令等、大規模水害時の対応の困難さが実感できた」といった意見が出され、演習を通じて大規模水害時の状況や適切な対応についての認識が得られた様子を確認することができた。また、オブザーバーとして参加した県職員からは「大規模水害時における市役所の対応が把握できた。県から市へ情報を収集に行くなどの対応の必要性が見えた」など、被災時における他機関との連携のあり方が明確化されたという意見が出された。

(3) 試行から得られた課題

参加者から最も多く出された改善意見は、シミュレーションによる表現内容の拡充である。具体的には、ハザード（内水氾濫）、住民対応（住民による避難所開設、土嚢の受取）、行政対応（浸水前の拠点等の移設、自宅待避の指示、救出者の搬送）、災害情報（土砂災害警戒情報）などについての表現が要望として寄せられた。

また、参加者自らがプレイヤーを操作したのは一機関に留まり、他の二機関はコントローラー側のスタッフが参加者の意向を聞きながら行った。システムの普及に向けては、若干の事前説明だけで利用できる程度に操作性を向上させる必要がある。

その他、シナリオ終盤の氾濫発生後においては、対応できる事がほとんど無くなり、各プレイヤーの活動や議論が停滞する状況が見られた。演習をより有意義なものにするためには、行政による避難開始などの判断が被害に対して特に大きな影響を与える発災前の段階に限定したり、発災後の対応不能の状況においてはシミュレーションの進展速度を速めたりするなど、演習の対象時間の範囲の設定や演習中の進行管理において工夫する必要があることが把握された。

5. おわりに

不測の事態に陥ることが災害であり、その対応を事前に検討しておくことには限界がある。したがって、人的被害の最小化を実現するためには、計画やマニュアルを遂行することだけでなく、発生した事態に対して臨機応変に判断し、対応していく能力が求められる。本研究では、このような課題に対して、様々な被災シナリオにおける地域状況や行政対応を仮想的に体験することができ、行政対応による被害の変化やシナリオによる適切な対応の相違を具体的に理解することを目的とするシミュレーションシステムを開発した。

本システムを用いた演習の試行からは、実用性を向上させるために改良の継続が必要であることが把握された。特に、シミュレーションの表現内容の拡充とシステムの操作性の改善は大きな課題である。操作性の向上については、インタラクティブプロジェクタを用いて、ペンなどによって複数の人が同時に操作できる環境を整えることを検討している（写真-2参照）。また、その他の改善の方向性としては、氾濫モデルをリアルタイムに計算することにより、水防対応等も演習対象とすること。また、インターネットを介してシステムに接続できるようにすることによって、実践しながら各機関がそれぞれの拠点から参加できるようにすることを考えている。ただし、今回の試行からも明らかとなったように、各機関が一堂に会して演習することは、他機関の防災対応の把握やその状況の理解にもつながるため、この利点が損なわれないような配慮が求められる。

また、本システムを用いた演習による学習効果について、具体的に評価していくことも重要な課題である。シナリオが自由に表現できるということは、逆に言えば、コントローラーに対して、適切に使いこなすだけの高い能力が求められるということである。システムの検証作業を通して、より高い効果を得るための活用方法やシナリオのあり方を検討していく必要がある。

謝辞：本研究は、国土交通省関東地方整備局渡良瀬川河川事務所の協力のもとに実施されたものである。また、演習の試行においては、桐生市役所、みどり市役所、群馬県庁の方々にもご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 河田恵昭, 玉井佐一, 松田誠祐：水害常襲地域における災害文化の育成と衰退, 京都大学防災研究所年報, 第 36 号 B-2, pp.615-643, 1993.
- 2) 片田敏孝, 及川康, 児玉真：治水施設整備の進展が洪水に対する住民意識に与える影響に関する研究, 水工学論文集, Vol.43, pp.169-174, 1999.
- 3) 国土交通省：新たなステージに対応した防災・減災のあり方, 2015.
- 4) 松尾一郎, CeMI タイムライン研究会：タイムライン～日本の防災対策が変わる～, 日刊建設工業新聞社, 2016.
- 5) 飯田進史, 館健一郎, 武富一秀, 川本一喜, 金木誠, 平川了治, 谷岡康：水害時の避難解析システムの構築と危機管理対応支援への適用性検討, 河川技術論文集, 第 8 巻, pp. 139-144, 2002.
- 6) 藤田雅久, 高山純一, 中山晶一朗, 牛場高志：原子力発電所災害における避難計画策定のための支援システム開発, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 67, No. 5, pp. I 25-I34, 2011.
- 7) 大山俊之, 山本祐輔, 豊田政史, 小山茂：マルチエージェントモデルを用いた河川氾濫時の避難行動シミュレーション, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol. 70, No. 2, pp. I 123-I 128, 2014.
- 8) 有友春樹, 井面仁志, 白木渡：災害時のレジリエントな対応力向上のための参加型避難シミュレーションの活用, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol. 71, No. 2, pp. I 27-I32, 2015.
- 9) 秦康範, 河田恵昭, 坂本朗一：災害対応演習システムの開発に向けたシナリオ構築, 土木学会地震工学論文集, Vol.27, pp.1-8, 2003.
- 10) 秦康範, 河田恵昭, 坂本朗一, 高梨成子：災害対応演習システムの開発, 地域安全学会論文集, No.6, 2004.
- 11) 小林一郎, 菊池良介, 橋本淳也, 星野裕司, 高口友久：自然災害における危機管理模擬訓練システムの構築に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.18, No.2, pp.245-254, 2001.
- 12) 小林一郎, 橋本淳也, 菊池良介：無線 LAN を用いた自然災害危機管理模擬訓練システムの構築, 土木計画学研究・講演集, No.26 (CD-ROM), 2002.
- 13) 麻生英輝, 松本健悟, 木本朋秀：組織的な災害対応能力を高める危機管理教育・訓練支援システム, 環境と消防, Vol.5, pp.9-12, 2014.
- 14) 東田光裕, 牧紀男, 林春男：災害対応シミュレータの概念設計, 地域安全学会論文集, No.4, pp.41-48, 2002.
- 15) 東田光裕, 林春男, 斉藤俊一, 北野哲人：水害を対象とした災害対応シミュレータ (プロトタイプ) の開発, 地域安全学会論文集, No.6, pp.51-58, 2004.
- 16) 常総市水害対策検証委員会：平成 27 年常総市鬼怒川水害対応に関する検証報告書ーわがこととして災害に備えるためにー, 2016.
- 17) 生嶋隆造, 鈴木裕三：ロールプレイング危機管理演習の課題と改善策, 平成 18 年度 河川情報シンポジウム講演集, pp.8_1-8_12, 2006.
- 18) 図上型防災訓練マニュアル研究会：市町村による図上型防災訓練の実施支援マニュアル, 2008.
- 19) 桑沢敬行, 片田敏孝, 及川康, 児玉真：洪水を対象とした災害総合シナリオ・シミュレータの開発とその防災教育への適用, 土木学会論文集 D, Vol.64, No.3, pp.354-366, 2008.
- 20) 片田敏孝, 桑沢敬行, 信田智, 小島優：大都市大規模水害を対象とした避難対策に関するシナリオ分析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.69, No.1, pp.71-82, 2013.
- 21) 国土地理院：災害情報共有マップ 平成 23 年 9 月台風 12 号による豪雨災害, <<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h23-taihu12-index.html>>, (入手 2013.10.21) .
- 22) 桐生地区水害に強いまちづくり研究会：桐生地区における住民意識調査結果ー水害に関するアンケート, 2010.

(2016. 9. 13 受付)

DEVELOPMENT OF MULTI-SCENARIO TIMELINE SIMULATOR FOR DECISION EXERCISES IN CORRESPONDING TO FLOOD BY MUNICIPAL STAFF

Toshitaka KATADA, Noriyuki KUWASAWA and Makoto KODAMA

It is difficult to consider in advance the optimal response of disaster. Therefore, in order to minimize the damage, it is necessary to resourceful response in the event of disaster. In this study, we developed a practice system, which was mainly the evacuation guidance by municipal staff at the time of flood disasters. This system has been developed based on the simulator to express situation at the time of flood. Therefore, it is possible to experience the disaster response by various scenarios. Addition, this system can represent activity by multiple administrative agencies. Furthermore, this system is able to specifically evaluate the results of disaster response on a scale of casualty.