

水害リスクコミュニケーションの地域展開を支援する地域防災学習システムの開発*

Development of learning tools for flood risk communication to support the expansion of areas*

柿本竜治**・山田文彦**・森俊勝***・安重晃***・坂上裕信***

By Ryuji KAKIMOTO**・Fumihiko YAMADA**・Toshikatsu MORI***・Akira ANJU***・Hironobu SAKAJO***

1. はじめに

地域住民との水害リスクコミュニケーションを継続的に発展させていく中で、氾濫シミュレーションや避難行動シミュレーションは、住民の理解を深める学習支援ツールとして効果的である^{1)~5)}。しかしながら、水害リスクコミュニケーションを地域展開していく場合に、地域毎の氾濫解析や避難行動シミュレーションを行っていくのは、かなり負荷が多い。また、氾濫解析や避難行動シミュレーションが可能な人材に限られている。そのため、氾濫解析や避難行動シミュレーションを用いたリスクコミュニケーションの地域展開は容易ではない。

そのため、高い汎用性と操作性を持つ氾濫解析システムとその結果を反映できる避難行動シミュレータの必要性は高いであろう。また、解析上の汎用性の問題が解決されても氾濫解析や避難行動シミュレータの操作性を高めるためには、それらのシステムに入力するデータの整理が簡易できる必要がある。そこで、本研究では、図-1に示すように、一般に公開されているデータを入力すれば、洪水避難行動シミュレーションが容易に実行できるシステムを構築する。構築するシステムは、氾濫解析や避難行動シミュレーションに必要なデータを自動生成するデータ作成ツール、氾濫解析システム、および避難行動シミュレータで構成されている。

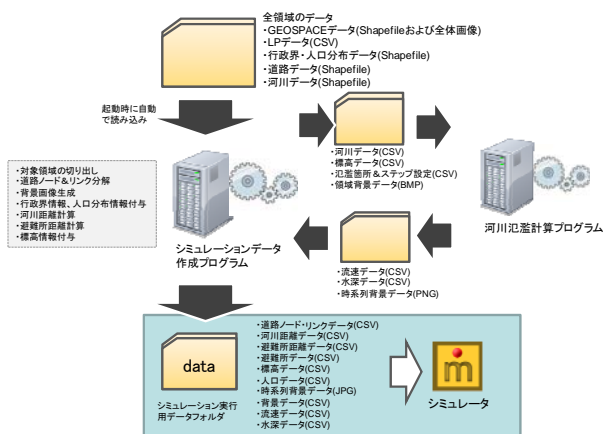


図-1 シミュレーションデータの作成フロー

*キーワード：防災学習支援、シミュレーション、汎用化
**正員，博士（学術），熊本大学大学院自然科学研究科
（熊本市黒髪2-39-1, TEL:096-342-3537, E-mail:kakimoto@kumamoto-u.ac.jp)
***非会員，株式会社 構造計画研究所

2. シミュレーションデータ作成ツール

(1) 用意するデータ

データ作成ツールは、シミュレーション条件をGUIで設定し、必要なシミュレーション用データを一括作成するものである。データ作成ツールは、あらかじめ用意された対象となる可能性のある地域全体のデータから、シミュレーションのシナリオに応じた領域、避難所および氾濫箇所をGUIで指定し、シミュレーションに必要なデータを一括して作成する。あらかじめ用意すべきデータは、以下の5種類である。

① 道路データ

シミュレータ上で道路情報を認識する必要があるため、ベクターデータである必要がある。また、徒歩での避難を想定しているため細街路情報が必要である。今回は国土地理院発行の数値地図を利用する。国土地理院発行数値地図は、独自のフォーマットを利用しているため、GISで一般的なShapefileに変換したものを利用する。

② 河川データ

河川からの距離の計算および河川氾濫計算時の河川位置の認識のために、河川データを利用する。特に、氾濫計算時の河川位置の認識のために河川のベクトル情報が必要である。今回は国土地理院発行の数値地図に含まれる河川の中心線情報を利用する。国土地理院発行数値地図は独自のフォーマットを利用しているため、GISで一般的なShapefile形式に変換したものを利用する。

③ 領域データ

領域データは、シミュレータ上で扱う道路の属する領域情報の付加および町丁目単位での世帯数を指定するためポリゴンデータである必要がある。今回は、総務省統計局の統計GISのホームページより取得可能なGISデータ（町丁目境界ポリゴンShapefile）を利用する。領域データの属性情報として、領域面積、市・郡・町名、人口、県名、KEYCODE、字名、世帯数が必要がある。

④ 標高データ

今回は、標高データとして航空機レーザー測量により取得された高精度なレーザプロファイラーデータ（LPデータ）を利用する。シミュレータ上では、この標高データを避難経路の選択の指標のひとつとして利用する。LPデータは、スペース区切りのCSVファイル

に、(X座標, Y座標, 標高)のデータが格納されている必要がある。

⑤ 背景画像作成用データ

切り出す領域の精細な背景画像を作成するために、全領域の各地図情報(河川, 道路, 駅, 駅名, 公園など)の形状および文字情報のデータを用意する必要がある。今回は, NTT-ME社の「電子地図基盤データ GEOSPACE」を利用する。データ形式は, Shapefileである。

(2) シミュレーション用データの作成

図-2に示すデータ作成ツールを利用して, 前項に示したデータからシミュレーション用データを作成する手順を以下に示す。

① 対象領域の指定

データ作成ツールの設定モードを「対象地域設定」に設定する。マップ画面上で, 左クリックすることで対象領域の始点を設定し, 次にマップ画面上の別の地点までマウスを移動させ左クリックすることで終点を設定する。対象領域は基本的に矩形となり, 選択された領域は, 赤線で囲まれる。

② 避難所の位置・名称の設定

データ作成ツールの設定モードを「避難所配置設定」に設定する。避難所は道路上のみ配置可能であり, マップ画面上で避難所を配置する位置を左クリックすることで配置することが出来る。なお, 避難所は複数箇所設定することができる。また, 配置位置をクリック時に「避難所登録ダイアログ(図-3)」が表示され, 「避難所名」を指定することができる。

③ 氾濫箇所・流量の設定

河川の氾濫箇所およびその流量を設定する。データ作成ツールの設定モードを「氾濫箇所設定」に設定する。マップ画面上で氾濫箇所として, 指定する位置を左クリ

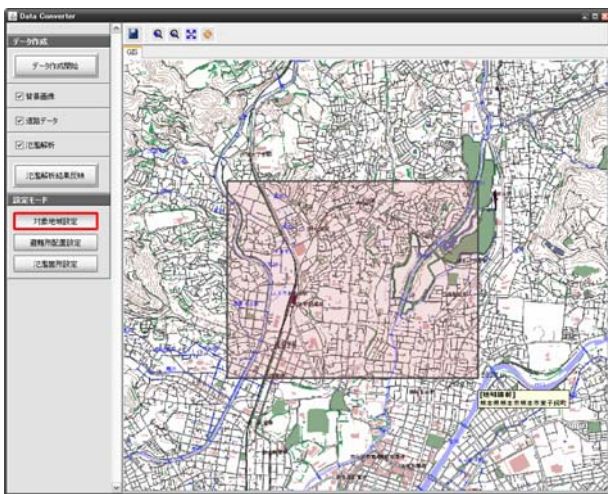


図-2 データ作成ツールの画面

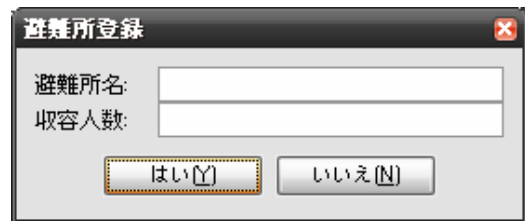


図-3 避難所登録ダイアログ



図-4 氾濫箇所登録ダイアログ

ックする。氾濫位置をクリック時に「氾濫箇所登録ダイアログ(図-3)」が表示されるので, 「氾濫流量(m³/s)」を指定する。

以上の設定内容については, データ作成ツールの「保存」ボタンをクリックすることで保存される。保存内容は, ツールと同じフォルダ上の「.data.cf」ファイルに書き込まれる。この保存ファイルは, 次回以降ツールを起動した際に自動的に読み込まれ, 保存内容が設定される。

④ シミュレーション用データの作成

データ作成ツールの「データ作成開始」ボタンをクリックすることで, 対象領域設定, 避難所設定, 氾濫箇所設定の各設定内容が反映されたシミュレーション用データの作成が開始される。作成される順番は, 下記の通りである。なお, 括弧内はデータ作成モードを示す。

1. 各背景描画用データを描画し背景画像作成 (背景画像)
2. 道路リンク・ノードの作成 (道路データ)
3. 河川データ出力 (道路データ)
4. 地域世帯数データの作成 (道路データ)
5. 標高データ作成 (道路データ)
6. 避難所データの作成 (道路データ)
7. 各道路ノードから避難所・河川までの距離データ作成 (道路データ)
8. 氾濫計算用標高データ作成 (氾濫計算)
9. 氾濫計算用各種パラメータファイル出力 (氾濫計算)
10. 氾濫計算プログラムの実行 (氾濫計算)

データの作成には, 非常に時間がかかるためデータ作成モードを利用し, 必要に応じてデータの作成が出来る。上記1~10の作成項目は, 「背景画像」, 「道路データ」, 「氾濫解析」の3つのデータ作成モードに分類され, チェックを入れたモードの項目のみ作成することができる。「氾濫解析」にチェックを入れている場合, 指定した領域の氾濫解析が行なわれる。外部の氾濫解析プログラムの実行に必要な設定ファイルを生成後, 氾濫解析プログラム実行バッチファイルが作成され, 自動的にバッチファイルが実行される。

⑤ 氾濫解析結果の反映

氾濫解析実行後は、氾濫解析結果をシミュレーション用データに反映する必要がある。そのため、氾濫解析プログラムの終了後に「氾濫解析結果反映ボタン」を押下すと、次の操作が実行される。

1. 各道路ノードへの時系列の流速・水深の割り当て
2. 流速・水深データの出力
3. 時系列の背景画像データを BMP 形式から PNG 形式に変換
4. 背景画像ファイル時系列リストデータを出力

3. 水害避難行動シミュレータ

(1) 氾濫解析部の概要

水害避難行動シミュレータは、「氾濫解析」と「避難シミュレーション」の2種類のプログラムの連携によって実現される。ここでは、「氾濫解析」の概要について説明する。

氾濫解析では、洪水氾濫の現象を下記に示す2次元の長波方程式を差分法で離散化し、計算する。

X方向運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} + gh \frac{\partial(h+z)}{\partial x} = -g \frac{n^2 M \sqrt{M^2 + N^2}}{h^{7/3}} \quad (1)$$

Y方向運動方程式

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} + gh \frac{\partial(h+z)}{\partial x} = -g \frac{n^2 N \sqrt{M^2 + N^2}}{h^{7/3}} \quad (2)$$

連続方程式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

ここで、M : X 方向流量(m³/s), N : Y 方向流量(m³/s), u : X 方向速度(m/s), Y 方向速度(m/s), h : 水深(m), z : 標高(m), n : 粗度係数, g : 重力加速度, である。

図-5 に示すように、浸水深や流速といった氾濫解析の計算結果を出力するだけでなく、それらの出力データから避難シミュレーションの時系列背景画像を作成する機能も備えている。なお、時系列背景画像の出力時間間隔は、任意に調整できる。

氾濫解析プログラムは、LP データを元にして洪水の発生条件を指定して、氾濫解析を行うプログラムであるが、氾濫解析に必要なデータは、データ作成ツールが自動的に作成するため利用者は設定する必要はない。なお、オプション機能として、内水氾濫の設定や道路・市街地の粗度係数の指定が出来る。熊本市壺川校区の坪井川が氾濫することを想定し、氾濫解析した結果を図-6 に示す。氾濫解析を行うにあたり、設定した条件は、図-6 に示す氾濫開始点、氾濫流量 600m³/s, 内水氾濫無し, 時間増分 0.1 秒, メッシュ間隔 5 m, 計算時間 1 時間, 粗度係数 0.1 (陸上), 0.03 (河川) である。

(2) 避難シミュレータの概要

本研究では、水害避難行動シミュレータにはマルチエ

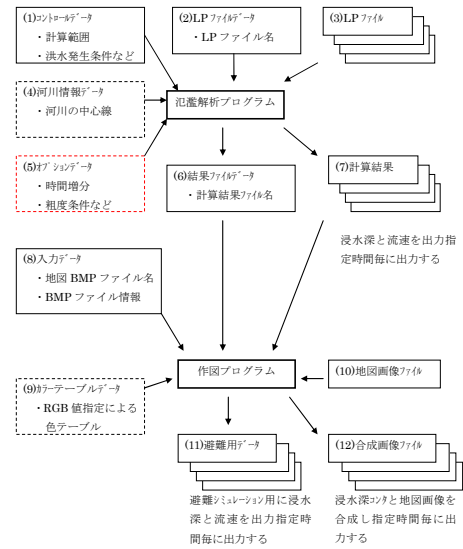


図-5 氾濫解析プログラムのシステム構成
(5分後) (30分後)



図-6 氾濫解析結果の図化

ージェントモデル^⑩を用いる。マルチエージェントシミュレーションには、エージェントに様々な変数を持たせることができ、さらに同一空間上に性質の異なる複数のエージェントを配置できるという特徴がある。

図-7 に示す本水害避難行動シミュレータは、起動時にデータ作成ツールによって作成されたデータを読み込み、その他シミュレーションに必要な条件については、コントロールパネルにて設定できる。

本シミュレータの避難者エージェントは、初期座標、現在位置、歩行速度、避難開始時間、避難訓練フラグを

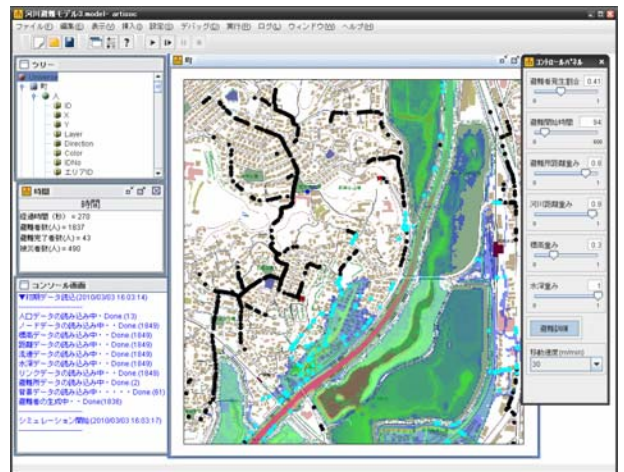


図-7 水害避難行動シミュレータの画面

属性として持っている。避難者エージェントは、人口分布データに従ってシミュレーション開始時に、初期位置としての道路ノードに一様分布で配置する。設定された人口データに対して避難者として発生させる割合は、シミュレータのコントロールパネルの「避難者発生割合」にて設定できる。避難者エージェントは、避難時間に達したら道路リンク上を移動し避難を開始する。避難者は、経路を次の条件に従って避難所まで移動する。避難者は各道路ノードに到達した時点で次に移動するノードを決定する。その地点から最短避難所までの距離の方向、川から離れていく方向、標高の高い方向、ある一定の浸水条件下を回避する方向といった条件をもとに次に向かう方向を決定する。どれを重視するかについては、シミュレータのコントロールパネルにて設定できるようになっている。また、避難訓練を受けているかどうかの設定を行うこともできる。避難訓練を受けた避難者エージェントは、最寄りの避難所の場所を知っているものとする。一方で、避難訓練を行っていないエージェントは、避難所の場所は避難所から 250m 以内に近づかないと分からず、それ以上の距離にいる場合は上記経路の選択条件情報をもとに避難するものとする。避難訓練の有無についての切替は、コントロールパネルの「避難訓練」ボタンにて設定できる。避難者エージェントの被災条件は、移動中の道路ノードの単位幅比力が次式に示す閾値以上の場合とする 7)。

$$u^2 h / g + h^2 / 2 > 0.125 m^2 \quad (4)$$

ここで、 u ：流速(m/s)、 h ：水深(m)、 g ：重力加速度である。そして、本シミュレータの出力項目は、経過時間(秒)、避難者数、避難完了者数、被災者数である。本シミュレータは、シミュレーション途中で、ユーザが指定した属性の避難者「ユーザ設定避難者エージェント」を発生させる機能も持つ。避難者の属性は「ユーザ歩行速度」とし、コントロールパネル上で 10(m/min)～50(m/min)まで 10 刻みでプルダウン設定可能である。ここで設定された歩行速度は、ユーザ設定避難者エージェントのみに適用され、その他一般の避難者の属性は従来通りとなる。

4. おわりに

本研究では、簡易で汎用性の高い氾濫解析システムと避難行動シミュレータを構築した。また、データ作成ツールの開発により、入力データの作成負荷を大幅に軽減することができた。必要な入力データを揃えれば、簡単に洪水時の氾濫状況や避難状況をシミュレーションできたため、水害リスクコミュニケーションを地域展開する上での有力なツールとなろう。

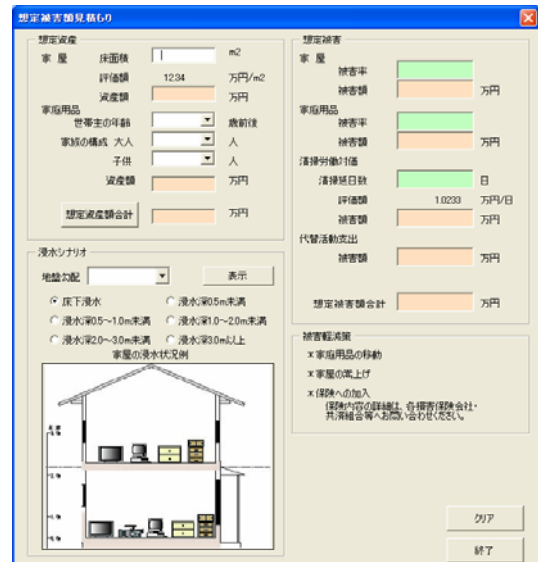


図-8 水害による被害算定システム

図-8に治水経済マニュアルに基づいて構築した水害時の被害算定システムを示す。水害時の被害算定システムは、氾濫解析システムから出力された自宅の周辺の浸水状況を見て、家族属性や自宅の浸水深を入力すると、被害額が算出されるシステムである。我々が提案する地域防災学習支援システムは、氾濫解析システム、避難行動シミュレータ、および被害算定システムで構成される。今後は、構築した地域防災学習支援システムを行政や地域の防災リーダーに実際に使ってもらい、その操作性を検証する必要がある。一方で、洪水等の現象についてあまり知識がなくても簡単にシミュレーションが出来るため、運用者が適当な条件設定をしますと、地域住民に誤解を与える恐れもある。如何にしてシミュレーションの設定条件を決めるかなどについて、地域防災学習支援システムの運用者は、事前に学習する必要がある。

謝辞：本研究は文部科学省「安全・安心科学技術プロジェクト」による研究の一部であることを付記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 川島健一, 多々納裕一, 畑山満則: 自立的避難のための水害リスクコミュニケーション支援システムの開発, 土木計画学研究・論文集, No.23, no.2, pp.309-318, 2006.
- 2) 片田敏孝, 桑沢敬行: 津波に関する危機管理と防災教育のための津波災害総合シナリオ・シミュレータの開発, 土木学会論文集D, Vol.62, No.3, pp.250-261, 2006.
- 3) 飯田進史, 他6名: 水害時の避難誘導システムの構築と危機管理対応支援への適応性検討, 河川技術論文集, Vol.8, 2002.
- 4) 桑沢敬行, 片田敏孝: 災害総合シナリオ・シミュレータを用いた洪水避難のシナリオ分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.33, CD-ROM(269), 2006.
- 5) 桑沢敬行, 片田敏孝他2名: 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.
- 6) 柿本竜治, 山田文彦他2名: リスクコミュニケーションを通じた実践的水害避難訓練に基づく避難行動シミュレータの構築, 土木計画学研究・論文集, Vol.26, pp.113-122, 2009.
- 7) 大西良純, 石垣泰輔他2名: 地下空間浸水時における避難困難度指標とその適用, 水工学論文集, Vol.52, pp.841-846, 2008.