

# 集中豪雨浸水シミュレーションを用いた防災教育教材の開発

## 香川大学危機管理研究センター

### 1. はじめに

近年、局地的な大雨が全国で多発している。これらの大雨は“ゲリラ豪雨”や“局所的集中豪雨”と呼ばれ、半径 10km ほどの局地的な場所に雨を降らせる現象である。降水量が非常に多く時間雨量 50mm を超える場合がほとんどである。局所的集中豪雨は、台風などと違い突発的に発生するので、被害が深刻化してしまうケースが多く、地球温暖化等の環境の変化にともない、発生頻度も多くなる傾向がある。

集中豪雨等に対する対策としては、排水施設の整備、地下貯留設備等のハード対策が検討・実施されているが、ハード対策には、長い期間と膨大な費用が必要である。従って、比較的少ない費用で短期間に実施可能な対策である、防災教育や防災訓練等のソフト防災対策の実施が注目されている。

本研究では、集中豪雨による浸水被害を予測・再現可能なシミュレーションシステムを開発し、地域の脆弱性、危険箇所、被災パターンを確認して、防災・減災対策が検討可能な教材の開発を行う。さらに、小中学校の児童・生徒全体が、集中豪雨の定義、発生原因、発生の仕組み、浸水被害シミュレーションによる被害の特徴、防災対策手段・技術に関する基礎知識を、教室において分かり易く学ぶことができる学習教材の開発を行う。

具体的には、複雑系のシミュレーションに有効なセルオートマトン (CA) 法<sup>1)</sup>を用いて、高松市二番丁地区を対象として、集中豪雨浸水シミュレーションを開発する。そして、このシミュレーションを時間雨量 50mm と 100mm の集中豪雨が降った場合に適用して、浸水被害拡散状況の把握並びに危険箇所を確認し、そのシステムを活用して突発的に発生する集中豪雨の危険性を伝え、人的被害を軽減するための防災教育教材への活用を検討する。さらに、既存の集中豪雨災害資料をもとに、パワーポイントの音声・アニメーション機能を活用して、集中豪雨の定義、発生メカニズム、被害の特徴、貯水施設(遊水池、地下貯水槽等)や排水施設・設備(下水道、ポンプ等)等の防災施設の役割、降雨量と被害の関係等の防災基礎知識、さらに堤防、止水板、土嚢、排水ポンプ等による防災対策技術について、分かり易くかつ簡単に最新情報への更新が可能となるデジタル化された教材開発を行う。デジタル化した教材を活用する事により、集中豪雨に対する防災意識の向上を図る。

### 2. 集中豪雨浸水シミュレーション

#### 2.1 セルオートマトン法<sup>1)</sup>

セルオートマトン法とは、ジョン・フォン・ノイマン

の有限オートマトン理論を起源に持つシミュレーション手法の一つであり、格子状のセルと単純な規則からなる、離散型計算モデルである。特徴としては簡単なセル間での相互作用により複雑な現象を再現できる。また、無限に広がる格子状のセルで構成され、各セルは有限種類の内部状態を持ち時間が進むと共に内部状態が変化する。

本研究では、二次元セルオートマトン法を用いて浸水被害拡散シミュレーションの開発を行った。二次元セルオートマトン法の場合、無限の平面ではなく有限の四角形で表せる格子で表現される。降雨の拡散を精度良くシミュレーションするために、ムーア近傍型を使用する。

#### 2.2 シミュレーション条件の設定

セルオートマトン法を用い集中豪雨シミュレーションシステムを構築するには、まず雨が降る地上空間のモデル化と降った雨が時間の経過とともに地上空間を拡散していくルールの設定が必要である。以下、空間のモデル化、時間のモデル化、セルの状態設定に関して概説する。

##### (1) 空間及び時間のモデル化

本研究では、レーザー計測により得られた 4m メッシュの標高データを使用するため、対象地域を 4m メッシュで分割して空間モデルを作成する。

シミュレーションの時間のモデル化にあたり、シミュレーションの 1 step を実時間で何秒に相当するかを決定する必要があるが、実際の降雨被害のデータがないため、過去の高潮災害のシミュレーションを参考にシミュレーションの 1step を実時間の 1.67 秒と設定した。

##### (2) セルの状態

各セルは以下の 3 つの内部状態を持つ。セルのサイズは入手した標高データの縮尺によって変化する。本研究では、4m メッシュの標高データを用いるので、1セルは 4m×4m の正方格子である。

###### (a) 標高

標高データは、国土地理院等の JPGIS 準拠データ<sup>2)</sup>などから標高データを抜き取って作成する。なお、本研究で開発する高松市二番丁のシミュレーションシステムでは、上述したようにレーザー計測によって得られた 4m メッシュの標高データを使用している。

###### (b) 水深

雨水は予め設定したルールに従って移動拡散させるが、その移動拡散による浸水箇所の水深量を可視化するために、水深量に応じて 6 色の色分けを行った(図-1 参照)。

					
5cm~9cm	10cm~24cm	25cm~49cm	50cm~99cm	100cm~124cm	125cm~

図-1 水深の配色

### (c) 土囊

集中豪雨シミュレーションでは、シミュレーション実行中に任意の場所に土囊を設置可能で、設置された土囊の量により、3色に色分けをされる(図-2参照)。

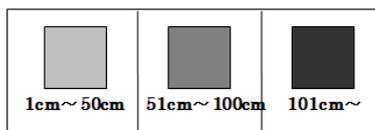


図-2 土囊の配色

### (3) 水の移動法則

#### a) 水の拡散法則

水の移動法則は、水の拡散方向、移動量の二つの要素で移動する方向と量を決定する。水の拡散方向は、周囲8セルの内部状態の合計値の比較により決定する。内部状態の合計値は、各セルそれぞれ標高、水深、土囊の高さの値を有しているため、その値の合計値を意味している。まず、周囲8セルの合計値を比較し最も合計値の低いセルを決定する。この時、最も低いセルが1つしかない場合、最も低いセルに水を移動させる。また、最も低いセルが2つ以上ある場合、ランダムに1方向を選択して水を移動させる。ただし、中心のセルの合計値が周囲の8セルのどの合計値よりも内部状態が低い場合は、水は移動しないものとする。

#### b) 水の移動量の決定

水の移動量を決定する際、中心のセルの合計値と移動先のセルの合計値との差が中心のセルの水深の2倍以上の場合と、2倍以下の場合との2種類存在する。差が2倍以上ある場合は、中心のセルから水が移動先のセルに全て移動する。また、差が2倍未満の場合は、中心のセルの合計値と移動先のセルの合計値が等しくなるように水を移動させる(図-3参照)。

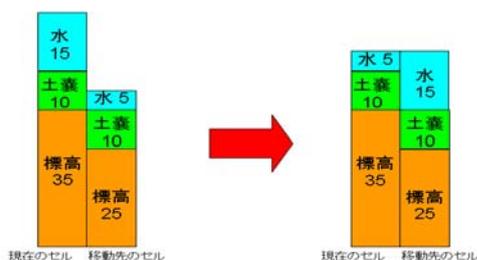


図-3 水の移動量(差が2倍以下の場合)

### (4) 集中豪雨シミュレーションの構築

集中豪雨は半径10km程度の狭い範囲に時間雨量50mm以上の雨が降る現象とされていることを踏まえて、本研究では、時間雨量50mmと時間雨量100mmの雨を想定したシミュレーションを構築する。

#### a) 集中豪雨の降水方法

本研究では、時間雨量50mmと100mmが対象地域全域に集中的に降った場合を想定してシミュレーションするため、シミュレーション範囲内全てのセルに同量の降水量を同時に降水追加している。そのため、1step毎に全て

のセルの内部状態の水深に一定量を追加していくことになる。具体的には、以下のように1stepに1セルへの降水量を決定する。

- ・時間雨量 50mmの場合：  
 $50\text{mm} \times 1.67 \text{ 秒} \div 3600 \text{ 秒} = 0.0232 \text{ mm}$
- ・時間雨量 100mmの場合：  
 $100\text{mm} \times 1.67 \text{ 秒} \div 3600 \text{ 秒} = 0.0464 \text{ mm}$

上述した水深分を1step毎に各セルに付加した後に、(3)b)で述べた水の移動ルールにより、降った雨水が移動拡散する様子を再現する。

#### b) ハード防災対策機能の設定

本シミュレーションでは、集中豪雨による浸水災害を軽減するためのハード防災対策機能として、土囊、排水ポンプ機能、雨水を排水する排水溝が設定されている。画面上の任意の箇所をマウスでクリックすることによりこれらのハード防災設備を設置可能にしている。ただし、ハード防災対策としての土囊、排水ポンプ及び排水溝による防災対策機能の設定は、各セル単位すなわち4mメッシュで実施している。土囊や排水ポンプや排水溝による排水機能として4mメッシュはサイズの的には現実的ではないが、本研究では、ハード防災機能として土囊による止水効果、排水ポンプや排水溝による排水効果を確認することに重点を置いており、シミュレーションは4mメッシュで実施している。

##### ・土囊による防災機能の設定

土囊を設置することにより、設置したセルの内部状態の合計値に土囊の値が加算され、設置したセルの合計値を増すことができる。

##### ・排水ポンプによる防災機能の設定

本システムでは、排水ポンプの機能がよく分かるように、排水能力が150 m<sup>3</sup>/minである排水ポンプを想定した。150 m<sup>3</sup>/minの排水を行うために、1stepで水深を約0.26m減少させることになる。また、排水ポンプは周辺の水を吸い寄せて排水するイメージから、1つのセルから26cmを減らすのではなく周囲8セル全てから少しずつ水深を減少させるようにルール化した。減少させる割合は、中心セルからが最も多く6cm、周囲8セルからは2.5cmずつとした。

##### ・排水溝による防災機能の設定

排水溝を設置すると、設置したセルの内部状態の合計値が0となる。予め、排水溝をセル上に設置した状態でシミュレーションを行うことで、排水設備の設置場所の違いによる被害の減少効果が検討可能になる。

### 2.3 シミュレーション結果の検証

シミュレーション結果を検証するために、シミュレーション範囲のどの部分が低い標高になっているのかを示す3Dマップと比較して検証を行う。図-4にシミュレーション結果、図-5に実際の標高を表した3Dマップを示す。なお、図-5の3Dマップにおいて、凹凸は標高の高

低を示している。3D マップの丸で囲んである部分が極端に低い標高となっており、シミュレーション結果でも 3D マップと同じ箇所に水がたまっていることが確認できる。図-4 のシミュレーション結果から、図-1 に示す水深の配色図から丸印の部分は 125cm 以上の浸水になっていることが分かる。この 2 箇所はいずれもアンダーパスの箇所であり、過去の集中豪雨災害が発生した際通行不可となっている。どちらのアンダーパスも交通量が多く、通行不可となった場合、速やかに進入禁止の措置を実施しなければ被害が発生しやすいと考えられる。シミュレーション結果を活用すれば、速やかな対応が可能になる。



図-4 シミュレーション結果

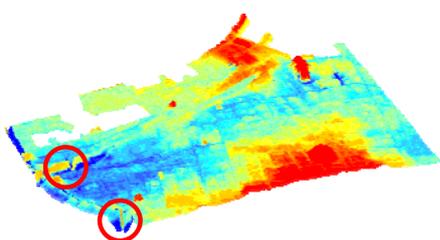


図-5 標高の 3D マップ

### 3. 集中豪雨シミュレーションを用いた防災教育教材の開発

全国的に多発した局地的な豪雨により、集中豪雨への意識が高まり、その対策や予備知識を身につけるための学習が求められている<sup>3), 4)</sup>。本章では、2 章で開発した集中豪雨シミュレーションシステムを活用して、より理解しやすい防災学習を行う教育支援ツールを開発する。ここでは、主に小学校、中学校の教育現場での活用を目的とした防災教育支援ツールを開発する。

#### 3.1 集中豪雨防災教育教材の開発

##### (1) マルチメディア教材の開発

教材は絵や写真、パワーポイントの音声、アニメーション機能を活用して、集中豪雨の定義や発生原因、発生

的知識を説明する教材を作成する。これらの説明は、文章だけでは理解しにくいので、絵や写真をパワーポイントのアニメーションや音声機能を活用することで、理解しやすいように工夫している。

図-7 はパワーポイントのアニメーション機能を使用した教材の一例である。積乱雲の発生方法を述べた教材であるが、実際に目に見ることのできない気流の動き等を図とアニメーションを使い表現し、積乱雲の発生メカニズムを分かりやすく説明しており、積乱雲の発生メカニズムを理解することができる。また、音声による説明も付加しており、教材を使用する際は、音声とアニメーションが自動的に再生される。このように、音声の説明を付加することにより、さらに教材に対する理解度が高まると考えられる。



(a) 発生の仕組み(1)



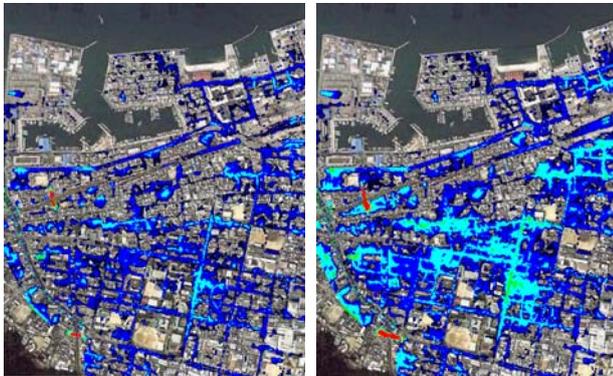
(b) 発生の仕組み(2)

図-7 アニメーションによる説明  
(イメージ図)

##### (2) 集中豪雨シミュレーションシステムを活用した教材の開発

2 章で開発した集中豪雨シミュレーションシステムを防災教育教材に活用する。集中豪雨シミュレーションでは、実際に集中豪雨が発生した際、自分たちの居住地域においてどのように雨水が拡散浸水していくのかパソコンの画面で確認できる。その結果、どのような場所が浸水し易く、危険なのか等の地域特性を理解することができる。また、災害時の避難開始時期の判断、避難場所や避難ルートを確認ができるので、災害発生時にとるべき避難行動を事前に検討することができ、ソフト防災教育教材として活用できる。さらに、2.2 で示したハード防災対策効果の確認機能を活用すれば、ハード並びにソフト両面を考えた防災・減災の大切さを効果的に教育できる教材開発が可能になる。

集中豪雨シミュレーションシステムを活用すれば、図-8(a)と図-8(b)の示すように時間経過毎のシミュレーション結果を表示することができる。そのため、アニメーション機能を使用しシミュレーション結果の画像を切り換えることにより、時間経過毎の浸水状況を比較することができる。



(a)シミュレーション 30分 (b)シミュレーション 60分

図-8 時間経過による浸水状況の変化

### (3) 身近な地域の情報を取り入れた教材の開発

児童生徒が居住している身近な地域の情報を教材の中に取り入れることにより、災害に関する興味関心を高めることができる。また、身近な地域の過去に起きた災害の状況等を掲載することで、被害を想像しやすくし、集中豪雨の危険性や防災対策の重要性をより理解しやすることができる。本研究では、香川県を対象とした教材を作成するため、実際に県内で発生した災害の画像を掲載し、豪雨災害に対する危険性をイメージできる教材の開発を目指している。

香川県坂出市が浸水した時の実際の様子を、図-9(a)と図-9(b)に示す。このように、普段の様子と災害が発生した後の様子を比較することで、災害の危険性や実際の様子が理解しやすくなり、地域における集中豪雨発生時の危険箇所が理解できる。また、集中豪雨シミュレーションと併用して活用することで、シミュレーション上で浸水している部分が実際にはどのような場所なのかを把握させることができる。

### (4) Flash Video を用いた教材の開発

本研究では、パワーポイントで作られた教材に加え、Flash Videoで作成されたFLVファイルの動画教材を作成する。この動画教材は、パワーポイントが利用できない場合、もしくは使いこなせない場合に利用することのための教材である。教材内容は、パワーポイントで作成した教材とほぼ同じである。ただし、パワーポイント教材と違い、容易に教材の一部を切り取って使用する事はできない。そのため、シークバーを操作して、指定した時間から再生する必要がある。ただし、任意のタイミングで再生を一時停止できるので、補足説明等を追加する場合には非常に有効である。

FLVファイルは、始めにキャプチャソフトを使用しパワーポイント教材のアニメーションを録画する。次に、録音した音声ファイルとキャプチャーした動画を合成し、一つのWindows Media Videoファイルとする。最後に、



(a) 浸水前



(b) 浸水後

図-9 身近な地域の様子(写真提供:坂出市)

ファイル変換ソフトを用い FLV ファイルにエンコードし変換する。

### (5) 降水車による豪雨体験動画

集中豪雨とは、時間雨量 50mm を超える大雨が局地的な地域に急激に降り出す現象である。しかし、通常の雨で時間雨量 50mm を超えることは滅多にない。そのため、文章や図で説明しても時間雨量 50mm を超える雨の強さや怖さなどを理解することは難しい。そこで、降水車による豪雨体験を撮影したものを教材に取り入れる。この動画を教材に取り入れる事により、実際の豪雨がどのようなものなのかをイメージできる。また、集中豪雨の危険性や怖さを理解することにより、より防災に対する意識を高めることが可能になると考えられる。豪雨体験動画では時間雨量 10mm, 30mm, 100mm, 180mm の雨の順に紹介されている。これらの雨の強さは、一般的に強雨や豪雨と呼ばれる雨である。

豪雨体験動画の再生方法は、上述した動画の再生と同様である。図-10 に豪雨体験動画の再生画面を示す。この再生画面は時間雨量 180mm を体験している場面である。視界が白くなるほどの大雨が降っている様子が見取れる。そのため、動画を用いて実際の豪雨を見ることで集中豪雨時の雨の降り方を理解することができると考えられる。



図-10 豪雨体験動画の再生画面

### 3.2 防災教育システムの構築

#### (1) HTML による教育システムの構築

本研究では、防災教育教材をインターネット上から利用可能とするためのホームページを作成し、3.1 で作成したパワーポイントにリンクし、ブラウザ上で表示できるようにする。実行画面のイメージを図-11 に示す。

本ホームページでは、画面を左右に2分割し、左フレームには各教材の題名を表示し、さらに教材の内容が分かるように表示している。そして、左フレームで選択された教材のページが右フレームに表示されるようにしている。選択された教材には、パワーポイントファイルと動画ファイルが存在するので、教材を閲覧する際にどちらかを選択することになる。教材の閲覧を終了する場合は、ブラウザの戻るボタン、もしくは左フレームの各教材の題名をクリックすることで閲覧を終了し、選択画面に戻ることができる。また、パワーポイント教材の場合、実際に Microsoft Office Power Point のスライドショーを実行しているように操作することができる。パワーポイント教材を選択した場合のイメージ図を図-12 に示す。

#### (2) 動画教材ファイルの再生

本システムでは、FLV 動画を web ブラウザに植え込み再生するため、FLV 読み込み用の SWF ファイルを使用する。この SWF ファイルは、指定した FLV ファイルから動画を読み込み、対象の html ファイルに Flash Video Player を植え込み、読み込んだ FLV ファイルの動画を再生する機能を持っている。このファイルを使用し、各教



図-11 防災教育教材の HP のイメージ図

材の動画を閲覧できるようにリンクする。動画教材を選択した場合、パワーポイント教材と同様に、右フレームに選択した教材が表示される。動画教材の場合、Flash Video Player が表示されるのでプレイヤーの再生ボタンをクリックすることで、動画教材が再生される。また、全画面表示にしたい場合、プレイヤー右下の全画面ボタンをクリックするとディスプレイ全体で動画を試聴することができる。終了したい場合は、エスケープキーを押すことで全画面表示を終了することができる。教材をプロジェクター等で表示させる場合に非常に有効である。動画教材ファイルの実行のイメージ図を図-13 に示す。



図-12 パワーポイント教材実行画面イメージ



図-13 動画教材実行画面のイメージ

## 4. おわりに

平成 21 年 7 月の中国・九州北部豪雨災害、同年 8 月の兵庫県西・北部の豪雨災害と毎年のように台風および前線による豪雨災害が発生している。また、地球温暖化が一因とも言われている局地的集中豪雨(通称ゲリラ豪雨)による災害が各地で発生しており、今後も増加する可能性が高い。被害の特徴をみると、避難所への避難途中で増水した川や側溝に流され死亡に至る事故が発生している。また、避難所が低い地形のところにあり避難所が危険な場所になっており被害が拡大したケース、自分の住んでいるところが地形的に土石流や土砂災害の被害を受け易い場所であることを知らず被害が拡大したケース等が報告されている。最近の豪雨災害を見ると、災害発生時の避難の在り方とともに常日頃から災害特性、災害に

対する地域特性を把握して対応方法を地域で検討しておくことの重要性を再認識させられる。また、防災教育の重要性が改めて認識される。

本研究では、CA法を用いて集中豪雨による浸水被害を予測・再現可能なシミュレーションシステムの開発を行った。CA法を用いることにより、シミュレーションの途中で、土嚢や排水ポンプの設置等の防災・減災対策を行いその効果を確認することを可能にした。その結果、学習者自身が事前に防災・減災対策を検討することが可能となった。さらに、本研究ではこのシミュレーション機能を教材に取り入れ、学習者自身で地域の脆弱性、危険箇所、被災パターンを確認し、防災・減災対策が検討可能な教材の開発を行った。また、小中学校の児童・生徒が、集中豪雨の定義、発生原因、発生の仕組み、浸水被害シミュレーションによる地域の被害の特徴、防災対策手段・技術に関する基礎知識を、パワーポイントのアニメーション機能、動画、地域の写真等を利用し、教室で分かり易く学ぶことができる学習教材の開発を行った。

地域の防災力の向上を図るためには、本研究で開発したシミュレーションシステム並びに防災教育用教材の充実が急務であり、各地においてこれらの教材を活用した防災教育の実施が望まれる。

## 謝辞

本研究は、平成20～21年度文部科学省防災教育推進事業に採択され実施したものである。研究を実施するに当たり、防災教育推進委員会の委員の皆様方には貴重な情報提供を頂くとともに、有益な助言を賜った。関係各位に御礼申し上げる。

## 参考文献

- 1) 加藤恭義・光成友考・築山洋：セルオートマトン法 — 複雑系の自己組織化と超並列処理 —, 森北出版株式会社, 1998年.
- 2) 国土交通省国土計画局：国土数値情報, 国土交通省国土計画局 GIS ホームページ, 入手先 <http://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/gis/index.html>
- 3) 木谷要治・加藤裕之：理科で防災をどう教えるか, 東洋館出版社, 1990年.
- 4) 矢守克也・諏訪清二・船木伸江：夢みる防災教育, 晃洋書房, 2007年.
- 5) 木村龍治監修：よくわかる気象・天気図の読み方・楽しみ方, 成美堂出版, 2006年.