

# 防災地理情報システムによる訓練シミュレータ開発に関する基礎的検討

## A Basic Study on the Development of Training Simulator Using Disaster Prevention Geographic Information System

林 敬三\*・田中 祐苗\*・菅井 径世\*・  
森 保宏\*\*・野中 直樹\*\*\*・高橋 洸人\*\*\*

LIN Jinsan\*, TANAKA Yuna\*, SUGAI Michiyo\*,  
MORI Yasuhiro\*\*, NONAKA Naoki\*\*\* and TAKAHASHI Hiroto\*\*\*

\*名古屋産業大学・\*\*名古屋大学大学院・\*\*\*株式会社プランクユニット

\*Nagoya Sangyo University, \*\*Nagoya University Graduate School, \*\*\*Planck Units corporation

**Abstract:** The present paper is a Basic Study on the Development of Training Simulator Using Disaster Prevention Geographic Information System. The purpose of this research is to develop software that can experience training simulation so that you can think about what kind of action is desirable in the event of a disaster. Systematizing and programming the seismic motion estimation method, it can be predicted that the time required from earthquake detection to safety confirmation and the completion of search activities can be greatly reduced.

**Key Words:** disaster information system seismic hazard; risk analysis, program control, training simulators (被害情報システム、地震ハザード、リスク、プログラム制御、訓練シミュレータ)

### 1 はじめに

本報告の目的は災害発生時にどのような行動をとることが望ましいかを考えられるよう訓練シミュレーション体験ができるソフトを開発することを最終目標に、そのための課題をひとつひとつ検討していくことにある。

本学では、地震災害情報システムに関して最先端の研究が進められており、建物毎の被害推定が可能となっている。建物毎での被害リスクを推定することが可能となれば、この方法で想定されるさまざまな震源状況に対応させれば、モンテカルロシミュレーションによって多様な被害状況を「発生」させることができる。

一方、本学でも、スマホアプリを利用したゲームソフトの開発は学生の間においても身近なスキルとなってきている。

そこで、本学においてシミュレーション論を担当

する研究代表者の指導のもと、スマホ、PCアプリの開発に興味を持つ学生が中心となり医療機関・消防機関、一般市民、学生も興味を持てるゲーム形式のソフト開発に着手した。

本報告では、本学で構築しつつある地震災害情報システムで利用可能とする予定の機能を示し、中核となる地震災害推定システムについて説明する。また、この災害推定システムによる訓練シミュレーションのための計算事例について紹介する。

### 2 訓練シミュレータで利用するシステム機能

図1に本学で構築しつつある地震災害情報システムの機能の概要を示す。

近年、地震が発生した直後には、図1の中央上にあるJアラートが地震警報を発するようになっている。構築する災害システムにおいては、このJアラートの警報、あるいは設置されている既存の地震観測網

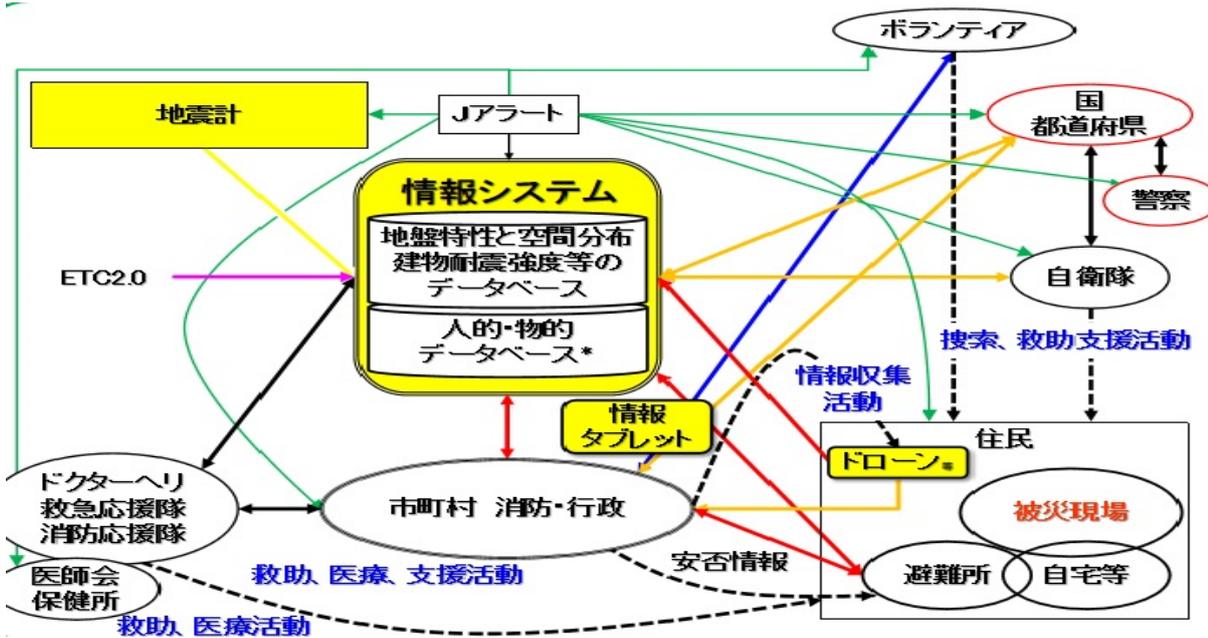


図1 災害情報システムの全体図

からのデータ送信を受けその後、直ちに地震被害想定を開始する。最初に、地震計で観測された地震波を解析し、建物ごとに地震動を計算し、建物の耐震性に関するデータベースを利用して建物被害の程度を、確率値を用いて推定する。その後、建物被害状況から人的被害も推定する。以上が、本報告で用いる訓練シミュレータで地震被害想定をする際に利用するシステムの中核となる。

その後、被害情報システムは、推定した被害状況を地方行政、消防等に送付し、捜索活動など、被害状況を把握する重要情報として提供する。この情報により、効率的かつ迅速な被害状況の把握に役立たせる。また、初動時の被害状況の把握や救出、救急医療、避難活動の中で得られた情報は、直ちに災害情報システムに反映可能となるようにして、さらに緊急活動の効率化、迅速化に役立たせる。ドローンの活用や、国や県が進めている ETC2.0 などにより収集した情報もシステムに反映させる。同時並行で、被害情報は EMIS をとおし、ドクターヘリや、救急医療活動にあたる部隊、医師会、保健所等とも共有する。この災害情報システムは市町村といった、より詳細な災害情報が必要な地方行政で利用することを想定しているが、地震発生直後の推定被害情報や、刻々と更新される被害情報は、都道府県や、国、さらには、これらをおして必要に応じ自衛隊などとも共有できる機能を付帯させる。また、情報内容に

よっては、災害ボランティアとも共有することも可能とする。情報更新は、復旧、復興まで継続され、その後、蓄積された情報は、次に発生する地震の事前対策に利用される。

### 3 地震被害推定システムの基本フロー

図1に示した地震被害推定システムは、常時活動あるいは待機状態であることを前提としている。図2に、システムの中央部分の「情報システム」部分のフローを示す。

環境経営研究所年報第21号(林ら, 2022)<sup>[1]</sup>において筆者らは、この地震被害想定システムの基本フロー(図2)を示し、フロー各所における課題について考察した。また、システム仕様について、国、県、市町村、自衛隊および消防など、災害における支援者と、避難者のための情報システム機能を持たせる必要性を指摘した。

Jアラートなどにより地震波を検知すると、直ちに建物地点ごとに地震動を推定し、建物被害の推定値を計算する。計算結果は、サーバーに送られ、被害情報マップとして表示されると同時に、被害の統計値などについてもマップ画面上などに並列して表示される。この情報は、サーバーに保存することにより、過去の地震データを基にした訓練シミュレータを作成する際に使用される。地震情報などをパッ

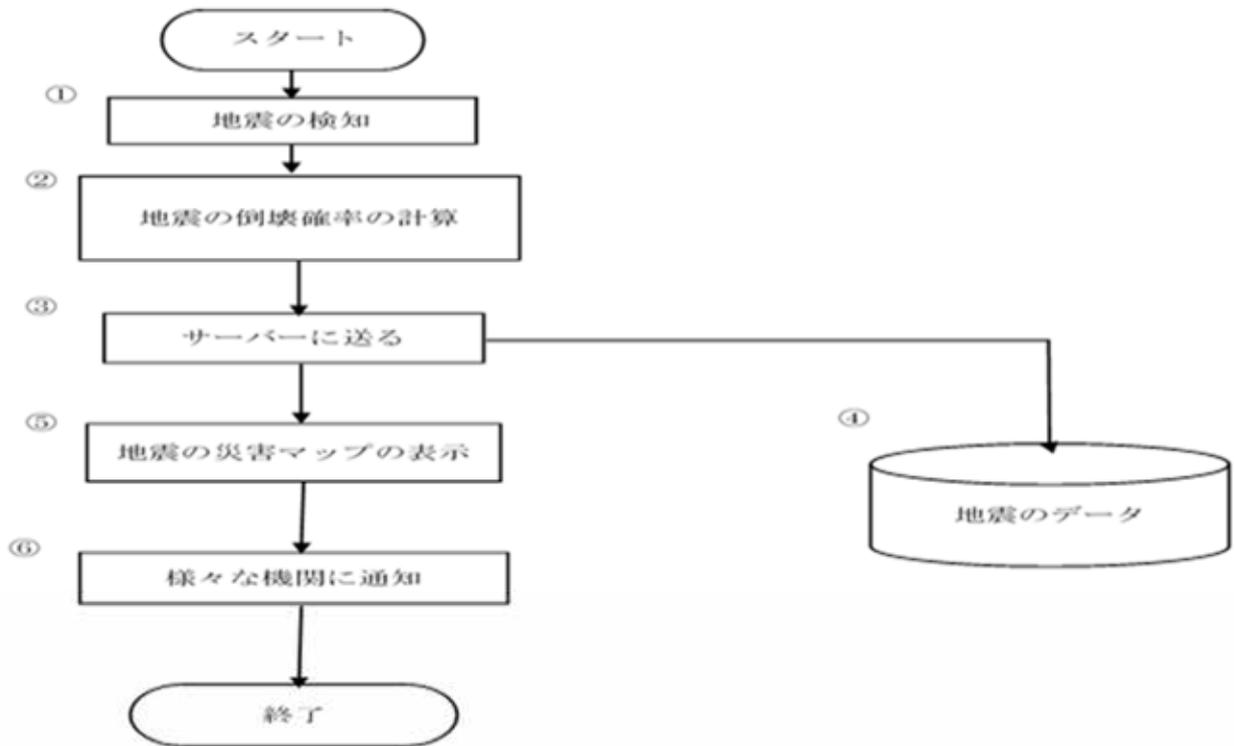


図2 構築するリアルタイム地震被害想定システムのフロー

クアップデートータとしてサーバーに保存すると同時に、地方行政、消防等に送付される。

ここで、一旦、「情報システム」による地震被害推定作業は終了するが、その後の搜索活動や安否確認活動、他の機関との連携により、収集されたデータは、図の2のシステムの中で、地図情報、統計情報として表示され、これらの情報は随時更新され続けることになる。

また、以上のすべての時点での情報は蓄積され、次の地震対策へと引き継がれ利用されることとなる。

#### 4 システムに用いた被害推定法

図1に示したリアルタイム地震被害想定システムのフローの中で建物ごとに地震動強さ、被害リスクを推定する方法は以下のようにして開発されたものである。

本研究では、水谷らが開発したリアルタイム地震被害推定法を利用する。水谷らは、地震被害想定に利用することができる固有依存型 SI 値の観測記録と、推定値の比較をもとに、想定震源による地震動に対しても、リアルタイムに観測された振動に対しても、リアルタイムに観測された振動に対しても、適切な地震計の配置により、精度よく地震動を推

定できることを証明し、日本建築学会構造系論文集において公表している（水谷ら、2019）<sup>[2]</sup>。

この方法では、予め地震計設置地点と推定する任意地点での伝達関数を求めデータベース化しておくことが必要となる。水谷らは、このデータベースを構築するために、まずボーリング地点での伝達関数

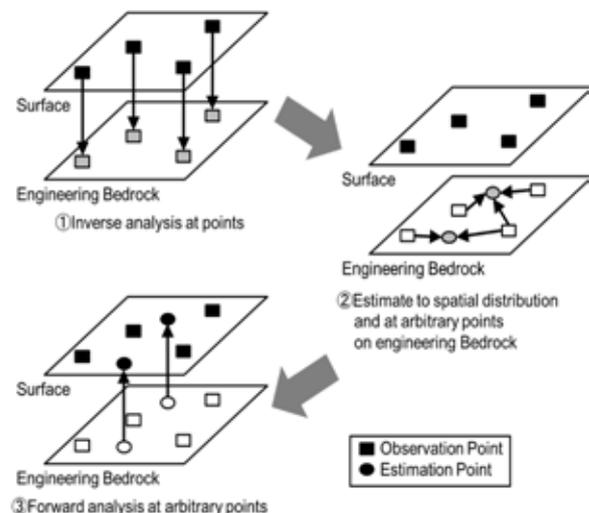


図3 任意地点の計測方法

を同定し、これをもとに伝達関数の空間分布を推定している。推定には拡張クリギング法を用いている[3]。

以上により、建物地点あるいは地震計設置点における伝達関数のデータベースが構築され、利用可能となると、図3左上図に示すように、地表面に設置された地震計から得られた地震波を用いて、伝達関数による逆解析（増幅率の逆数を乗ずる）により、同地点における工学的基盤面における地震動強さを推定することができる。続いて、図3の右図に示すように工学的基盤面における任意地点での地震動強さの空間分布局面を最小二乗法で近似することができる。以上によって得られた地震動強さの近似局面から工学的基盤面上の任意地点の地震動強さを計算することができる。この工学的基盤面上の任意地点の地震動強さとこの地点における伝達関数から順解析によりこの地点での地表の地震動強さを推定できる[4]。

## 5 シミュレーション事例とその検討

### 5.1 概要

4に示した方法により計算した地震動強さと建物の耐震性能などから、当該建物の様々な地震被害リスクを計算することが可能である。本報告では、地震動強さとして建物にかかる最大速度を利用する場合について計算を進める。地震災害リスクとして建物が全壊する確率を「全壊リスク」、建物が半壊する確率を「半壊リスク」と呼ぶこととする。

訓練シミュレータでは、上記のリスク（確率値）に対して0から1までの一様乱数を発生させ、乱数の値が各種の確率値より大きい場合に、「全壊した」

あるいは「半壊した」とシミュレートすることにした。

実在する都市の実際のデータを利用するシミュレーションは、個人情報を利用できる行政等限られた機関では可能であるが、一般には、住宅の耐震性などの個人情報は利用できない。そこで、本報告では実際には存在しない仮想都市を作成してシミュレーションを行った。また、地震動については2014年に愛知県が想定した東海・東南海連動地震による尾張旭市付近における地震動強さを参考にして発生させた疑似地震動強さを用いることとする。

### 5.2 シミュレーションの前提条件の設定

#### 5.2.1 仮想都市と建物の構造種別分布

図4にシミュレーションで用いた仮想都市を示す。この地図内には6764棟の建物がある。図4における建物の各種リスクを計算する際には、最初に、図中の建物を、木造、非木造（鉄筋コンクリート造、鉄骨造、軽量鉄骨造）と分けた。また、各建物の耐震評点は、尾張旭市が公表している統計データに基づいて、著者らが乱数などを用いてランダムに設定した。図6に建物の構造種別の分類結果をしめす。茶色が木造、緑色が非木造の建物である。木造建築が多く非木造の建物が少ない想定となった。また、各建物の耐震評点は、尾張旭市が公表している統計データに基づいて、著者らが乱数などを用いてランダムに設定した。

#### 5.2.2 地震動強さの分布

地震動強さの分布は、想定震源である東海・東南海連動地震から想定した。想定した地震動強さは最大速度（PGV）であり、図6のように設定した。この



図4 仮想都市

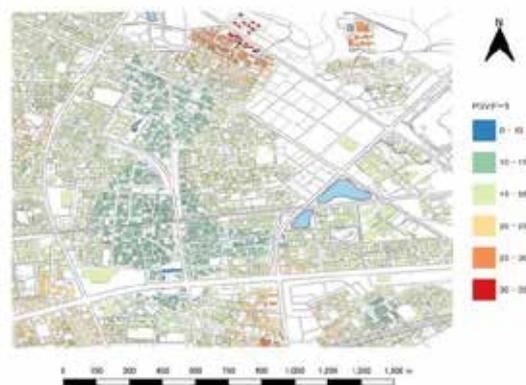


図6 想定地震動強さ（最大速度：PGV）の分布



図5 建物の構造種別分布

図では地図の北部と南部で地震動が大きく、地図中心では地震動が小さいケースである。

### 5.2.3 建物倒壊リスク分布

図6の地震動強さと、建物の耐震性能より、建物の半壊リスク（確率値）、全壊リスク（確率値）を計算することができる。リスク分布については2つのケースを設定した。

図7は事例①の半壊リスク（確率値）を示す。半壊リスク（確率値）は青色に半壊するリスク（確率値）が低く、赤色に近づくほど半壊するリスク（確率値）が高くなる。

図8では事例②の半壊リスク（確率値）を示す。図7と同様に青色では半壊リスク（確率値）が低く赤色では半壊リスク（確率値）が高くなる。

図9は事例①の建物の全壊リスク（確率値）を示す。色分けは半壊リスクと同じように青色が全壊する建物（確率値）が低く、赤色に近づくほど全壊するリスク（確率値）が高くなる。

図10では事例②の全壊リスク（確率値）を示す。図9と同様に青色に近いほど全壊するリスク（確率値）が低く、赤色に近いほど全壊するリスク（確率値）が高くなる。

図8の半壊リスク事例②と図10の全壊リスク事例②は図7の半壊リスク事例①と図9の全壊リスク事例②の地図南部のみ被害リスク（確率値）を上げた。

図7の半壊リスク事例①と図9の全壊リスク事例①を比べてみると図7の半壊リスク（確率値）では半壊リスクが地図中に広がっているが図9の全壊リ

スク（確率値）では地図中心に集中した。これは耐震評点の低い住宅が密集していることが考えられる。

図8の半壊リスク事例②と図10の全壊リスク事例②を比較してみると図10の全壊リスク（確率値）の南部に橙色や赤色で示された確率値の高い建物が確認できる。

図7の半壊リスク事例①と図8の地図南部のみ被害リスクを上げた半壊リスク事例②を比較してみるとこの二つの図では大きな違いは見られない。図8の半壊リスク事例②の半壊リスク（確率値）を上げ違いがみられないのは図7の半壊リスク事例①の地図南部のリスク（確率値）が高いからだと考えられる。

同じように図9の全壊リスク事例①と図10の全壊リスク事例②を比べると全壊リスク（確率値）では地図南部に違いがある。これは元の図である図9の全壊リスク事例①では地図南部の全壊するリスク（確率値）が低いため全壊リスク（確率値）を上げたことがそのまま反映されたと考えている。

被害事例では半壊リスク（確率値）と全壊リスク（確率値）に一樣乱数を生成し、生成した乱数が半壊リスク（確率値）より大きいときその建物が半壊とする。同じように生成した乱数が全壊リスク（確率値）より大きいときその建物が全壊とする。乱数が被害リスクより小さいとき被害がないこととする。

### 5.3 地震被害シミュレート結果

図11は、図7、図9の半壊リスク（確率値）と全壊リスク（確率値）を用い、任意地点の建物に対し発生させた一樣乱数によって、各建物で「全壊したか」、「半壊したか」をシミュレートした結果の1例を示したものである。

地図を見ると被害事例①のシミュレート結果では半壊した建物が多くを占めており、全壊した建物が少ない。しかし被害が地図中に広がっており搜索、救助活動の配分が容易ではないケースとなると考えられる。

図12の被害事例②は、被害リスク（確率値）を図8及び図10の事例②に変えシミュレートした結果になる。地図を見ると南部に全壊した建物が集中しており被害が大きいことが分かる。

図11の全体に被害が広がっているシミュレート結果と比べると搜索・救助活動の配分は比較的集中的なものとなると考えられる。

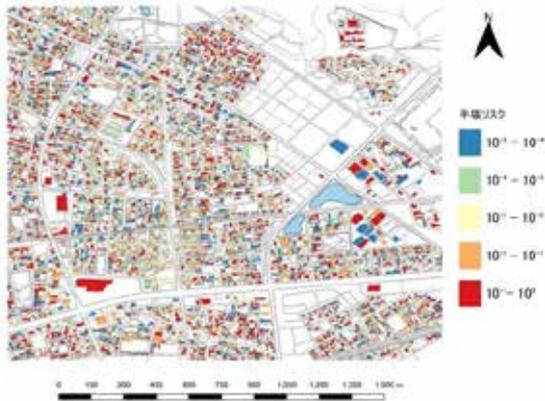


図7 半壊リスク (被害事例①)

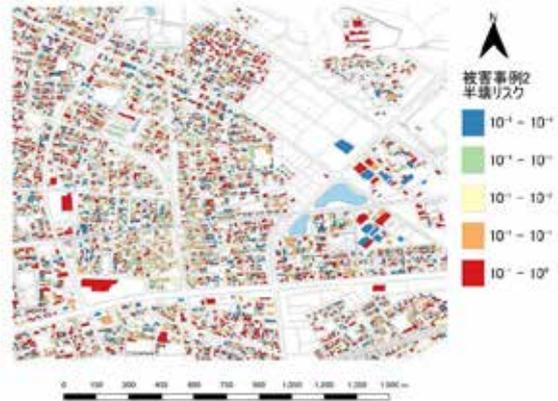


図8 半壊リスク (被害事例②)

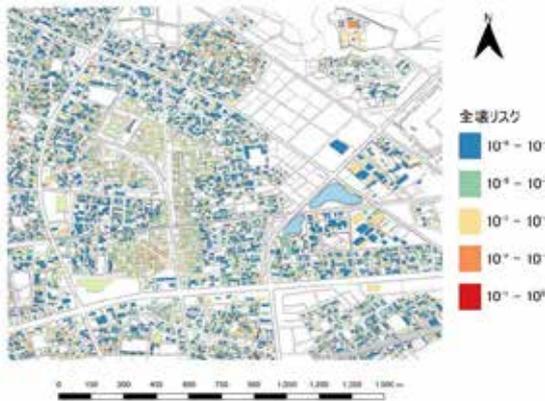


図9 全壊リスク (被害事例①)

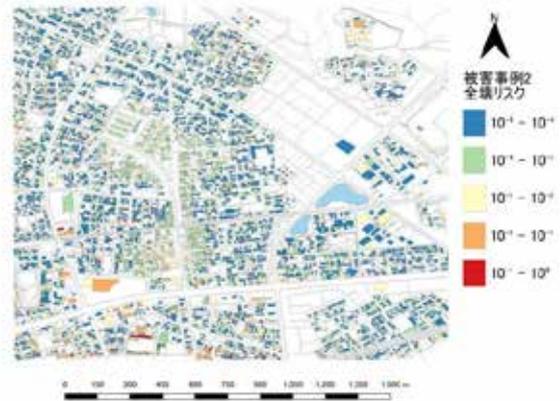


図10 全壊リスク (被害事例②)

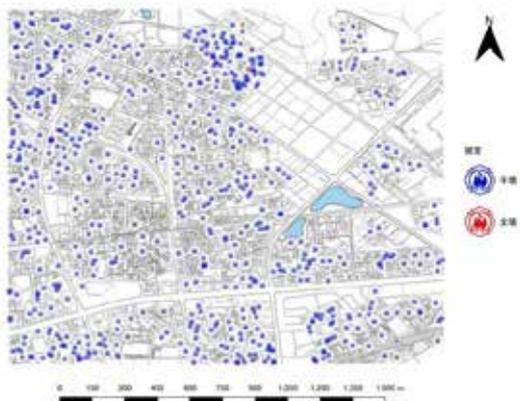


図11 被害事例①

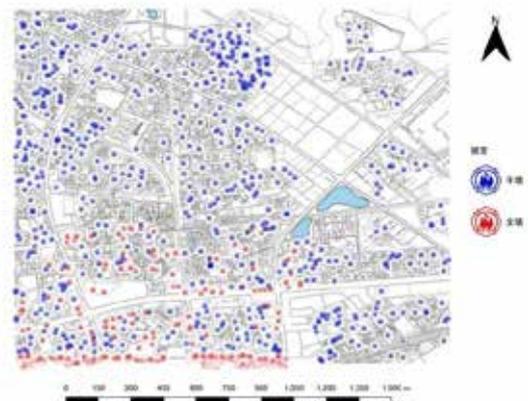


図12 被害事例②

実際に図12のような地図の南部に被害が集中する要因としては2点考えられる。

1つ目に地震動が地図南部に大きく、建物が揺れに耐えられず倒壊した場合に起こる。2つ目に地図の南部に耐震評点の低い住宅等が密集している場合集中的に被害が起こる。

#### 5.4 地震被害対策の想定

図13は図11の被害事例①に、図14は図12の被害事例②に、それぞれ災害対策重要拠点の位置を合わせた図になる。

災害時には避難所、消防署、医療機関等その他の

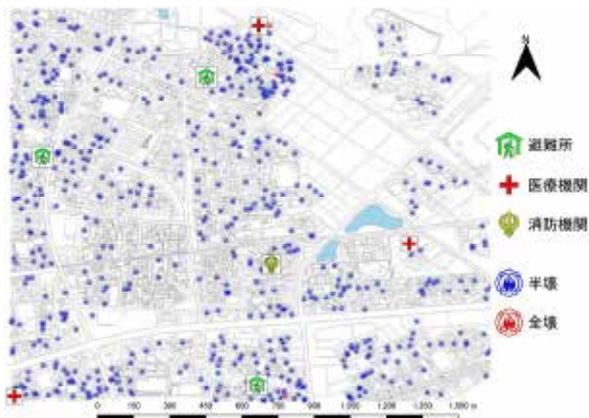


図 13 対策のためのシミュレーションイメージ図 事例①

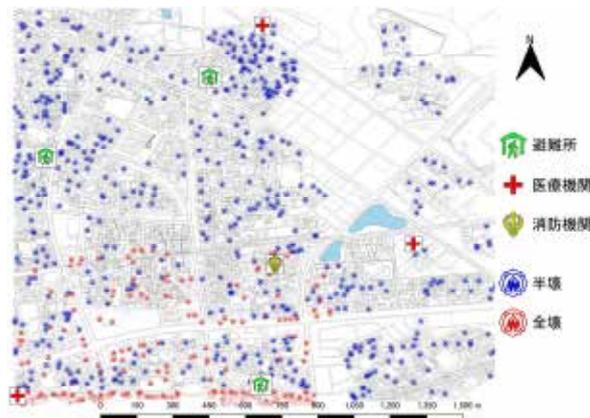


図 14 対策のためのシミュレーションイメージ図 事例②

拠点が重要となってくるが、本報告では3つを取り上げて被害想定した。

図 13 の事例①では全壊した建物が少ないため死亡者がほとんどおらず建物の下敷きになる状況も少ないと想定できる。医療機関は仮想都市に3箇所あるのでそれぞれ三分割して最寄りの医療機関に負傷者を運ぶ想定ができる。この場合捜索・救助活動をする消防隊員が地図全域を避難所にいる住民と協力する想定ができる。

一方、図14の事例②では南部に全壊した建物が集中しており死傷者も多数いると想定できるが、この図から、近くの医療機関までの道路の確保や消防署からの捜索・救助活動、避難所までの安全な道のりを確認ができる。

仮想都市には医療機関は3つあるが地図左下の医療機関は周囲に全壊した建物が多くあり道路にがれきなどがあることが想定されるため事例②では残りの2つの医療機関で医療処置をする。2つの医療機関で負傷者を処置しなければならないが地図の上部にある医療機関は全壊した建物がなく、訪れる負傷者は軽傷者が多く、地図中央右側にある医療機関に重傷者が多く運ばれると考えられる。

限られた人員と時間で捜索・救助活動をするには地図南部にある全壊した建物が密集した地点の捜索を断念し助かる命を優先して救助するという判断もあり得るかもしれない。

訓練では図13、14のような被害想定を作成し、様々な状況下にて適切な判断ができるよう訓練を積むことによって、実際に地震が起こった際に迅速な行動がとれると考えている。

実際に訓練シミュレータを作成する際には図2のイメージ図に示す様々な災害対策拠点を防災マップに反映させ訓練することが必要になる。実際の地震災害では建物が倒壊したり道路が破壊されたりと、道路の確保ができないと災害重要拠点まで避難できず時間に遅れが生じる。そのため事前対策をする目的でも災害重要拠点の周りの道路を事前補修し災害時に利用できるようにすることは、シミュレーション以前の問題として指摘できる。

## 6 おわりに

本報告では、地震動推定法をシステム化し、プログラム制御することにより、地震の検知から安否確認、捜索活動終了までの所要時間が大幅に減らせることが予測できるようになった。さらに、各防災機関と連携することにより迅速な行動や正確な被害状況の確認ができるため被害を大幅に減少出来るのではないかと考えられる。

建物ごとの被害リスクに一樣乱数で被害状況を作成したが、この方法では生成された乱数によって被害状況を変えることができるため、1つの地震波でも様々な被害状況が作成できる。

今後は各種リスクに応じたモンテカルロシミュレーションにより、基本的な訓練システムから、より、実際のシステムへと、繰り返し、バージョンアップを図っていくことにより、優れた訓練システムとしていく。

## 謝辞

本報告を挙げるにあたり、尾張旭市からボーリン

データの提供のほか、力強いご支援を賜りました。  
ここに記して深甚なる謝意を表します。

#### 参考文献

- [1] 林 敬三, 巢 宇燕, 太田 好規, 漁 夏輝, 中村 和稔, 菅井 径世, 森 保宏 : 拡張クリギング法による建物毎の地震被害想定システムの開発に関する基礎的研究, 環境経営研究所年報, 21号, p. 24-30, 2022. 12
- [2] 水谷由香里, 菅井 径世, 森 保宏, 野津 厚, 水戸部 茂樹 : 拡張クリギング法による表層地盤における伝達関数の空間分布を用いた任意地点での加速度フーリエ振幅スペクトル評価法, 日本建築学会構造系論文集, 日本建築学会技術報告集 84 巻 758 号 p. 459-467, 2019 年
- [3] 菅井径世, 森 保宏, 小川克郎 : クリギング法による地震動分布推定の実用化に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No. 707, pp.39-46, 2015.1.
- [4] 菅井 径世, 水谷由香里, 森保宏 : クリギング法を用いた建物ごとの地震ハザード推定の実用化, 日本建築学会技術報告集 第22巻 第51号, 447-452, 2016.6