



## 耐震化を促進するための地域防災力向上シミュレータ

福和伸夫<sup>1)</sup>、坂上寛之<sup>2)</sup>、花井勉<sup>3)</sup>、

高橋広人<sup>4)</sup>、飛田潤<sup>5)</sup>、鈴木康弘<sup>6)</sup>

1)正会員 名古屋大学大学院環境学研究科、教授 工博

e-mail:fukuwa@sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp

2)非会員 (株) ファルコン、修士（文学）

e-mail:h-saka@fal.co.jp

3)正会員 (株) えびす建築研究所、代表、博士（工学）

hanai@ebi-ken.co.jp

4) 正会員 応用地質（株）、博士（工学）

e-mail: takahashi-hiroto@oyonet.oyo.co.jp

5) 正会員 名古屋大学大学院環境学研究科、准教授 工博

e-mail:tobita@sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp

6) 正会員 名古屋大学大学院環境学研究科、教授 理博

e-mail:suzuki@seis.nagoya-u.ac.jp

### 要 約

地域の防災力を向上するための支援シミュレータの概念を新たに提示し、それを構成する一連のサブシステムの意義と技術背景および開発結果を通して、全体システムの有効性と将来展望を論じる。具体的には、WebGIS 上で、我が家の地盤の過去からの変遷を戦前・戦後・現在の空中写真から知る 3 次元バードビューシステム、高解像度の地盤モデルを自動生成することによる地震動シミュレーション、自宅の簡易地震応答シミュレーション、家具の転倒シミュレーション、豊富な振動実験映像資料などを利用して、自宅の危険度を真に「気づかせ」、耐震診断・耐震補強、家具固定へと誘導する。さらに、自然言語を用いた会話型教材や講演を録画した e ラーニング、Wiki を利用した防災知識ベースなどを備えることにより「学び」へと誘導する。そして、Web 上での DIG 機能や防災マイマップ作成機能を備えることにより、地域での防災活動を支援する。以上により、本システムは、建物耐震化と地域防災力の真の向上に向けた活動の活性化と実践への誘導を目指す。

キーワード：地域防災、地震動予測、耐震化、意識啓発、WebGIS、e ラーニング

### 1. はじめに

政府の地震被害予測によれば、今世紀前半に甚大な地震被害が懸念されている。これらの被害を抜

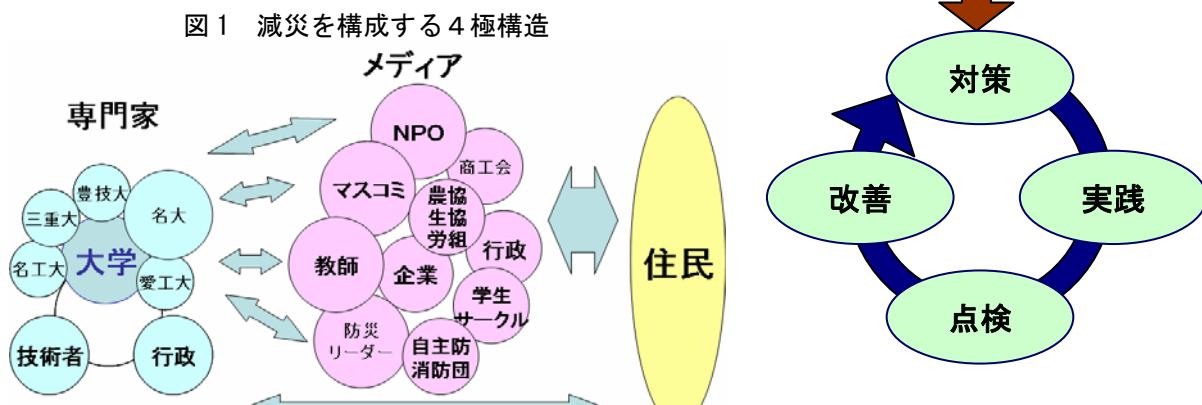
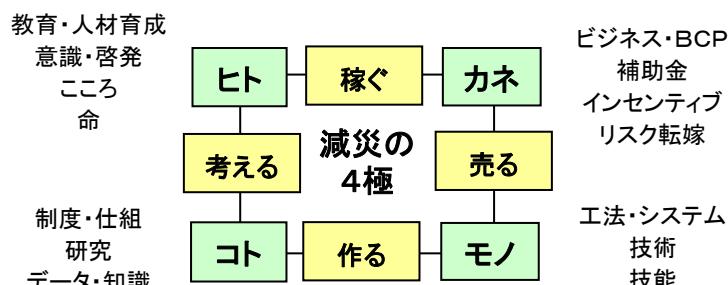
本的に軽減しなければ、次の世代や国際社会への影響は計り知れない。予見できる災害を軽減することは私たち現役世代の責務もあり、とくに地震工学研究者の役割は大きい。被害の最大の原因是建物の損壊であり、早期の耐震化が必要である。しかし、家屋は個人財産であり、耐震化の成否は、国民一人一人の意識に依存し、その集積が、地域の防災力向上に繋がる。

図1に示すように、ヒト・コト・モノ・カネの4極は、物事を考える際に有用である。例えば、大学で有れば、教育、研究、社会貢献、研究費に対応し、企業で有れば、人材、情報、資機材、資金に対応する。耐震化の推進の場合には、住民の意識啓発、耐震化を促進する法・制度の整備、安価で効果的な補強工法の開発、補助制度を含む経済的なインセンティブ作りなどに対応すると考えられる。この4極の中で、最も重要なのは「意識」の問題である。人々が耐震化の大変さを認識すれば、自ずと制度整備、工法開発は進むと思われる。

意識啓発のためには、啓発の担い手作り（ヒト）、効果的な啓発手法の開発や防災教育（コト）、啓発のための教材作り（モノ）、経済的なお得感（カネ）がポイントとなる。

一般に、防災担当者・研究者の数は限られており、住民一人一人を直接的に啓発することは難しい。建物の耐震化について考えると、一級建築士は30万人強、建築学会員は3万人強、建築構造士は3千人弱である。このため、住民一人一人に至る啓発を行うには、図2に示すように、専門家の連携・努力に加え、住民と接する機会の多い媒介者（マスメディア、消防団や自主防、防災リーダー、教師、農協や生協、商工会や労組、学生サークル）の役割に期待することになる。例えば、小中高等学校の教師は、全国に100万人弱居る。これら媒介者の人たちに、防災活動に参画してもらうには、まず、媒介者の意識を啓発し、次に、媒介者の人たちが住民を啓発するために必要となる環境を整える必要がある。啓発用の支援教材作りは、環境作りの一つの手段となる。

中央防災会議の「災害被害を軽減する国民運動の推進に関する基本方針」（2006年4月）や「災害被害を軽減する国民運動の具体化に向けた取組について」（2006年12月）でも指摘されているように、住民が防災活動を始めるには、地震災害に対する真の「気づき」が必要となる。真に「気づけ」ば、自ら「学び」、災害発生の原因を理解し、回避の方法を考えることができるようになる。ここまで来れば、ほぼ成功である。地域の防災リーダーであれば、周辺の住民を巻き込み、互いに「対策」を



考え「実践」が始まる。その際に、ワークショップが役に立つ。後は、産業界が慣れ親しんだ TQC (Total Quality Control) のように、「対策」→「実践」→「点検」→「改善」の PDCA (Plan, Do, Check, Act) のサイクルを地域の中で回せば良い（図 3 参照）<sup>1)</sup>。一般個人の場合には、各家庭の中で、「対策」→「実践」→「点検」→「改善」の PDCA を回すことになる。

問題は、住民に真に「気づかせる」ための環境整備である。真に「気づく」には、気づかせ役の「人」と、よいコンテンツ「教材」が不可欠である。「学び」や「実践」の段階に誘導する「人」作りと、「気づき」と「学び」を促進する「モノ」作りが一体で動く必要がある。これによって、「気づき」「学び」と「実践」との溝を埋めることができる。筆者らも、東海地域を対象として、防災を担う人作りと人の連携を推進するために、「中京圏地震防災ホームドクター計画」と称した活動を継続的に進めてきた<sup>2)</sup>。さらに、耐震化の大切さを分かりやすく伝えるために様々な振動実験教材を開発し<sup>3)</sup>、啓発活動を実践してきた。これらの成果は、近年の東海地域における耐震診断や耐震改修の進捗率の高さとして、効果が実証されつつある。また、図 4 に示すように、効果的な啓発活動と耐震診断申込用紙のダイレクトメール・回覧・全戸配布などを組み合わせると、耐震診断の申込みが増えることも実証できている。しかし、人の連携や、模型実験を用いた啓発は、人の数や、時間と場所などの面で制約がある。

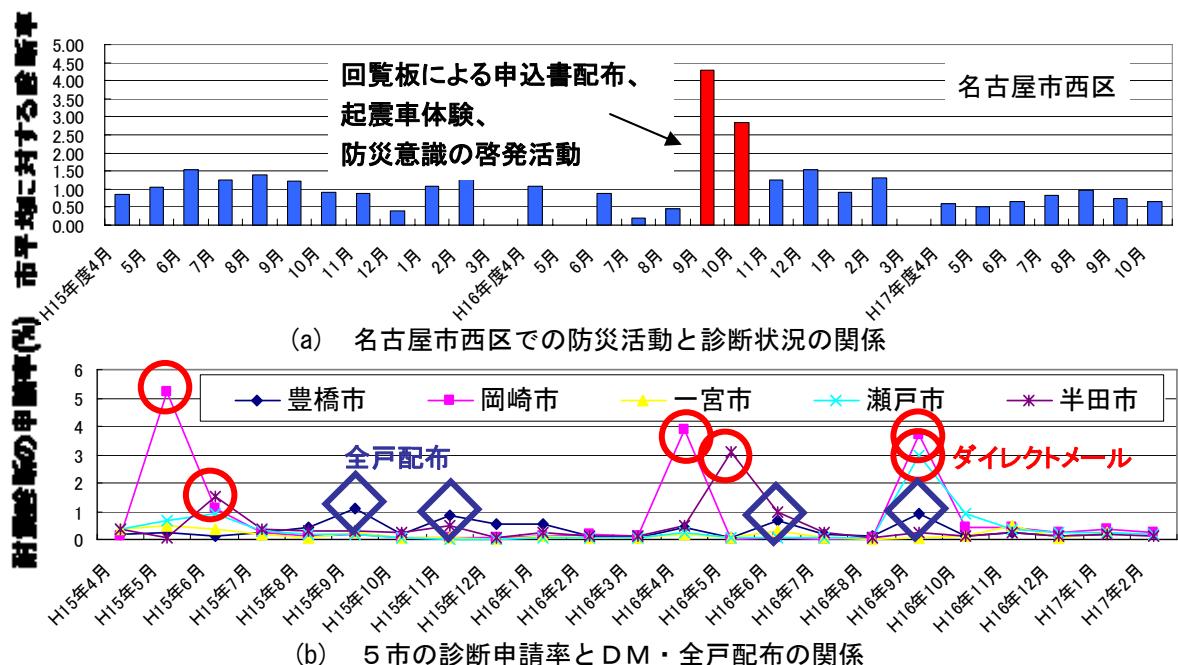


図 4 愛知県下での木造住宅無料耐震診断の申込み状況

そこで、人・時間・場所の制約を持たないインターネットを活用した啓発ツールを新たに開発することにした。本論で提案するシステム「地域防災力向上シミュレータ」は、従来から開発してきた体感型の振動実験教材と相互補完するシステムであり、住民個人が、インターネット上で、地震に対する備えの必要性について「気づき」、「学ぶ」ことを支援すると共に、ファシリテーターが防災まち作りに参画するときに必要な環境を提供することを意図している。できるだけ身近な問題について、実感を持って考えるきっかけを作り、アウトプットされた結果の原因を納得できるような学習素材を提供して、対策としての防災行動に誘導するようしている。

このシステムでは、WebGIS の利用を前提に、我が家の地盤の過去からの変遷を戦前・戦後・現在の空中写真から知る 3 次元バードビューシステム、高解像度の地盤モデルを用いた地震動シミュレーション、自宅の特性を簡易入力することによる家屋の倒壊シミュレーション、室内の家具の転倒シミュレーション、さらには、豊富な振動実験映像資料やリンク集を用意している。これらを用いて、住民に自宅の危険度を「気づかせ」、耐震診断・耐震補強、家具固定へと誘導する。さらに、自然言語を用

いた会話型教材や、防災講演を録画したEラーニング、Wikiを利用した防災辞書の機能などを備えることにより、時間や場所の制約を受けない「学び」の場を作っている。その上で、学んだ人間が、地域での防災活動を実践する際に利用できるような工夫もしており、Web上でのDIG機能や防災マイマップ作成機能を備えている。

なお、同様の試みとして、東京大学・目黒公郎研究室の「危機管理/防災情報ステーション」<sup>4)</sup>などで精力的に取り組まれた事例<sup>5)</sup>もある。この種の試みが、今後、各地で行われていくことが望まれる。

## 2. 地域防災力向上シミュレータの概要

図5～6に、本論で提示する「地域防災力向上シミュレータ」の流れを示す。図5は入り口のナビゲーションパネル、図6は全体の概要である。図6のように、本システムは住民個人の立場に立って、地震に対する不安への答えを用意し、地震時の自宅の被災イメージを伝えた上で、被災理由を解説し、備えの行動へと誘導するものとなっている。さらに、防災活動に興味を持つ住民には、防災活動の支援ツールも用意している。

入り口のページの一つとして、図5に示すように、このシステムが提供する様々なコンテンツを概観できるナビゲーションパネルを用意している。左のナマズの絵から大項目を選び、右の矢印を選択すると小項目の内容が右下の箱の中に解説され、主な出力画面が右上に例示される。右矢印を連続的にクリックすることにより、提供される情報の全体概要を容易に知ることができ、必要とする情報に容易に達することができる。この他にも、シナリオ型の専門家向け・初心者向けの入り口、FLASHを用いたインタラクティブな入り口を用意し、人別にシステム利用を誘導する入り口を設けている。



図5 地震防災力向上シミュレータの入り口となるナビゲーションパネル

シナリオ型の利用では、図6に示すように、まず、地域の特徴と災害危険度を住民に知らせることから始める。行政が実施した被害予測結果を参照しながら、揺れや液状化の危険度を知らせ、災害危険度と地盤との関係に気づいてもらう。次に、自分の住む家の地盤の変化状況を、戦前・戦後及び現在の空中写真を通して知り、何故、揺れや液状化の危険度が高いのかの原因を知る。揺れの「気づき」と「学び」へのステップである。

次は、わが家の安全性についての「気づき」と「学び」の段階である。住民に自宅の家屋・家具情報を直接入力してもらい、家屋の倒壊状況、家具の転倒状況を、応答シミュレータで予測する。その上で、耐震診断、耐震補強、家具固定の方法を解説し、わが家の安全性向上のための「実践」へと誘導する。

耐震化の重要性に気づき、学習意欲のある人たち向けには、実験ビデオ、体感教材、会話型の相談システム、ビデオ講義教材、知識ベースなどの多数の学習ツールを用意し、知的好奇心を満足するようにしている。



図 6 地域防災力向上シミュレータの概要

さらに「学んだ」成果を生かし、地域の防災活動をリードしようする意欲ある人たちには、活動を支援するツールとして、Web 上での災害図上訓練や地域ごとの防災マップ作成が可能な WebGIS などを用意している。

本システムは、インターネット環境での利用を前提にしており、GIS 上での情報提供を基本としている。これに加え、地盤、建物、家具の応答解析シミュレータや、耐震改修効果や家具転倒防止効果を示す各種振動実験ビデオ、振動実験教材や、予測した振動応答を実際に体感できる装置などの体感型教材を揃えている。さらに、会話型の知識処理システムや、e ラーニング講義資料、Wiki を用いた知識ベースなどの学習用ツールを用意している。GIS の基本となる地図情報は、愛知県情報企画課が整備した数値地図であり、愛知県のサーバーから自動的にデータを取り込んでいる。このため、地図データの改変に即応できるシステムとなっている。

### 3. 地域特性と地盤改変を知る「気づき」と「学び」のツール

地域防災の出発点は、自分の住む地域はどんなところかを知ることから始まる。図 7 左上に示すように、WebGIS 上で、地図を参照しながら、知りたい情報を画面左のメニューから選択する。地図の縮尺は画面中央下から選択し、マウス操作により画面を自由に移動する。例えば、自分の住む場所をクリックすると、住所を自動表示すると共に、当該地域の震度予測や液状化危険度、地形や地盤の特性、産業・商業・住宅の特徴、建物の特性、住民の年齢構成などが解説される。さらに、詳細な情報へのリンクも張っている。初期状態では、筆者らが、基本的な地域特性データを入力しているが、各地域でも地域特性データを充実していける枠組みになっている。



図 7 WebGIS を用いた地域特性情報の取得

このシステムでは、愛知県や名古屋市で実施した地震被害予測結果<sup>6)7)</sup>を閲覧できる。図8に示すように、左右に2つの地図を同時表示し、それぞれの地図で、左側のメニューから表示項目を選択する。左右の地図の移動・拡大縮小機能は連動しているので、様々な被害予測結果を、空中写真や地形データと対比しながら分析できる。(a)は名古屋市内の50mメッシュ震度予測結果<sup>7)</sup>を空中写真と対比して示した結果、(b)は50mメッシュの液状化予測結果<sup>7)</sup>と地形分類図とを対比した結果、(c)は小縮尺で広範囲を表示した結果である。当該地域は、谷と尾根が交錯した丘陵地に位置しており、比較的地盤の硬い尾根筋の揺れが小さく、地盤の軟らかい谷筋で液状化危険度が大きくなっている。住民は、(a)から我が家を意識した震度を実感し、(b)や(c)から揺れや液状化危険度と地形との関係に気づくことができる。

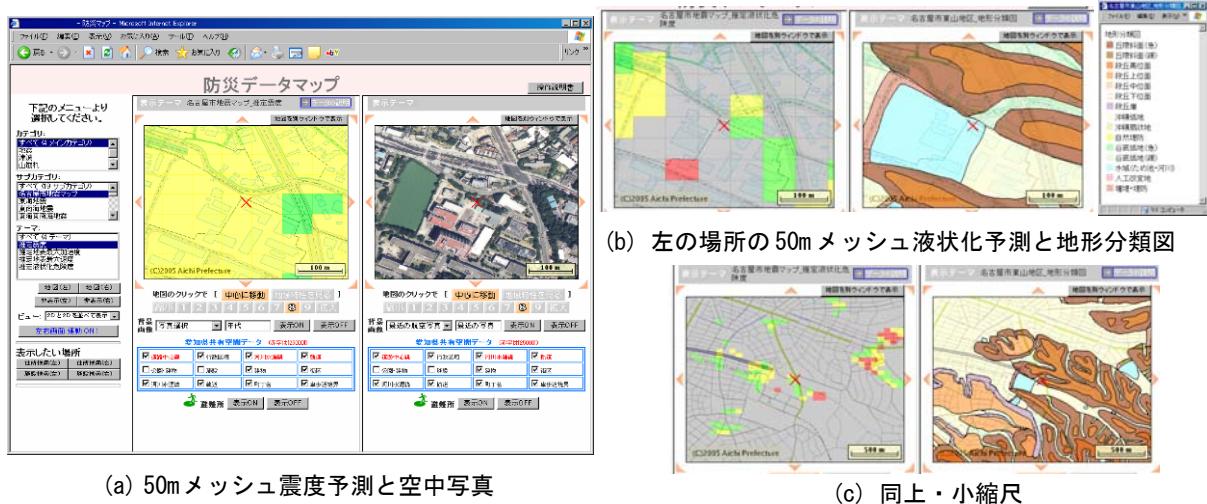


図8 2画面GISを用いた地震被害予測結果と各種データとの対比

図8に示した地形分類図は、戦前（旧日本陸軍撮影）と戦後（GHQ撮影）の空中写真（図9）を実体視判読し、図10のように地形改変前の地形を復元したものである。このため、従前の土地条件図と比べ格段に解像度の高いものとなっている。さらに、新旧の都市計画図から標高データを読みとったり、古い空中写真を航測図化することによって標高データをデジタル化し、空中写真と重ね合わせることで、標高情報をもつた3次元の鳥瞰画像や、切土・盛土分布（土地改変）データを生成し、表示できるようにしている。

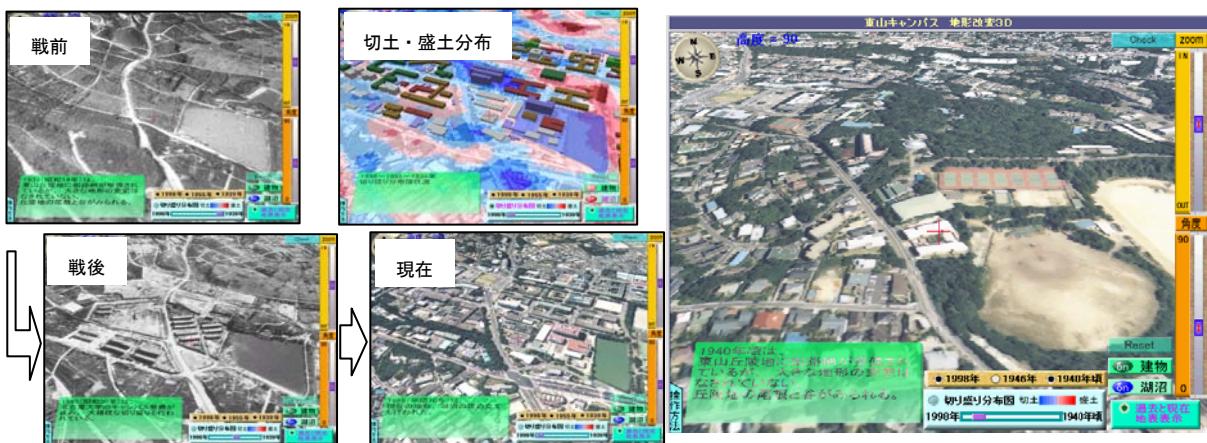
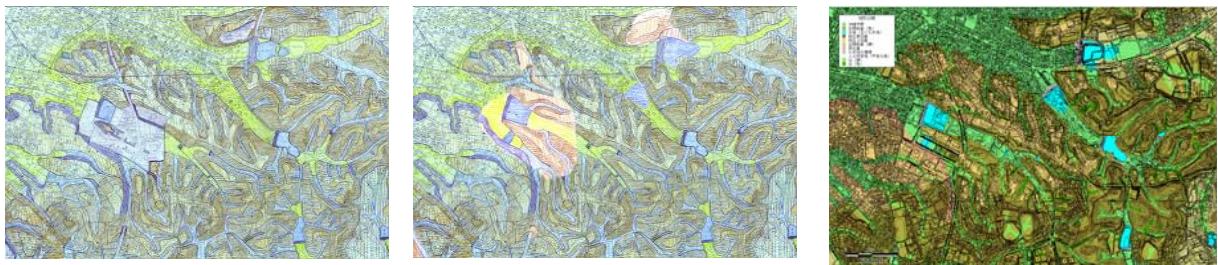


図9 地形改変を知る3次元WebGIS



(a) 戦後（左）と戦前（右）の空中写真から判読した地形分類図 (b) 高解像度デジタル地形分類図

図 10 戦前・戦後の空中写真から判読した高解像度デジタル地形分類図

これらのデータと、3D コンテンツを再生する MatrixEngine®を用いて、地形変更を実感できるバードビューシステムを試作した。図 9 に示すように、マウスクリック操作により表示切替をし、マウスドラッグにより移動・回転・視点の変更・ズームなどの位置変更をすることが可能である。また、時間バーをドラッグすることにより、過去にタイムスリップしたりすることも可能である。我が家の中の地形の変遷を立体的な空中写真から実感できるため、図 8 に示した揺れと地形との関係についてさらに理解を深めることができる。ちなみに、クライアント側 PC では特別なソフトウェアを必要とせず、一般的なウェブブラウザでアクセスし、簡単な操作でプラグインをインストール（初回のみ）すればシステムを利用できる。

#### 4. 我家の安全性をチェックし耐震対策に誘導する「気づき」と「学び」のツール

##### 4.1 自宅敷地の揺れのシミュレータ

筆者等は、名古屋市内を対象に、約 40,000 本のボーリングデータを空間補間することにより、任意地点での工学的基盤以浅の地盤速度構造を推定するアルゴリズムを構築してきた<sup>8)</sup>。また、名古屋市の「あなたの街の地震マップ」<sup>7)</sup>を作成する際に、名古屋市内任意地点で、東海・東南海地震に対する工学的基盤位置の地震動を統計的グリーン関数法によって予測している。愛知県下に関しても、500m メッシュで同様のデータを構築している<sup>6)</sup>。

そこで、これらのデータを用い、さらに、図 9～10 で作成した切盛情報および沖積谷底における推定冲積層厚を付加することにより、任意地点の表層地盤構造を推定し、さらに地震応答シミュレーションを行うシステムを構築した。将来、異なる想定地震に対する工学的基盤位置の地震動が新たに推定されれば、それらの結果も容易に組み込むことができる。また、地盤のモデル化方法は、N 値の空間補間による方法を用いているので、将来、ボーリングデータが追加されれば、地盤モデルも半自動的に更新できるようにしている。



図 11 任意地点の表層地盤の地震応答シミュレーション

図 11 のように、GIS 上で評価地点をクリックすると、その地点の地盤モデルを推定し、さらに、地盤応答計算ボタンを選択することにより、右図のように地盤の応答シミュレーションをアニメーション表示する。これによって、住民は、自宅の揺れを見たり、地盤の硬軟による地盤の揺れやすさを実感できるようになり、行政が作成するハザードマップの説明性を増すことができる。

#### 4.2 自宅の倒壊シミュレータ・家具転倒シミュレータと耐震診断・改修と家具固定の誘導

我が家の耐震性について簡易的にチェックするために、戸建て木造住宅を対象に、簡易な応答・倒壊シミュレーションツールを用意している。ここでは、図 12~13 に示すように、2 階建ての木造戸建て住宅を対象に、3 種類の入力方法を準備している。一つ目は、木造耐震診断結果を用いる方法、二つ目は方向毎に壁種毎の壁長さを入力させる方法、そして三つ目は、簡易な質問・回答で建物特性を概ね推定し予め用意してある計算例を 3 次元的に見せる方法である。

第 1 の方法の場合には、耐震診断指標と 2 つ割筋かいの壁量との関係を設定し、第 2 の方法の場合には、文献<sup>9)</sup>を参考に壁種別毎にバイリニア＋スリップ型の復元力特性を設定している。質量は各階面積から推定し、建築年に応じた劣化係数を設定し復元力特性を補正し、また、壁バランスに応じて偏心率を設定して応答を割増している。このようにして簡易的に自動生成した 2 質点系の地震応答解析モデルを用い、図 11 で求めた地表地震動を入力地震動として、時刻歴弾塑性地震応答解析を行い、結果をリアルタイムにアニメーション表示する。この解析は、解析モデルを簡易的に設定しているため、住民に我が家の耐震性を考えさせるきっかけ作りのための参考解析であるが、当該敷地の想定地震動と、各住宅の入力データに基づいて解析をしているので、リアリティはある。さらに予測した地盤や建物の揺れは、この揺れを自動的に再現できる振動再現装置<sup>10)</sup>を用いて、住民に体感してもらうことができるようしている。

**(a) 木造家屋データ簡易入力画面**

**(b) 木造家屋の倒壊シミュレータ**

**(c) 家具の転倒シミュレータ**

図 12 木造 2 階建て家屋の倒壊シミュレータと家具転倒シミュレータ

家屋が倒壊した場合には、図 12 中下のように、早急に耐震診断をする必要がある旨表示すると共に、「静岡県の耐震ナビ：わが家の耐震診断」に誘導して簡易耐震診断を試してもらい、さらに愛知県建

建築物地震対策推進協議会のホームページを介して、市町村毎の無料耐震診断申込み窓口を教示するようしている。また、耐震補強についても、静岡県の「耐震ナビ：耐震補強方法ナビゲーション」や、名古屋大学・名古屋工業大学・豊橋技術科学大学が愛知県・名古屋市とが共同で取り組んでいる「愛知建築地震災害軽減システム研究協議会」の廉価耐震化工法のホームページを参照できるようにしている。このようにして、診断から補強への流れを住民に促すようにしている。

一方、家屋が倒壊しない場合には、室内の安全点検に誘導する。家具の転倒シミュレータを起動し、家具の設置階、家具の寸法や、重量、床面仕上の種別などを入力すれば、家屋の応答波形を入力として、剛体とノンテンションバネを用いた応答解析を行い、その結果をアニメーション表示する。単純な家具転倒シミュレーションであるが、様々な家具について、床面仕上を考慮した解析が可能である。家具が転倒した場合には、愛知県防災局の「家具転倒防止について」に誘導する。

第3の方法では、図13に示すように、建物に関する簡単な質問に答えてもらう形で建物の概要を把握し、それに基づいて、木造耐震診断結果を簡易推定し、予め計算をしてある診断結果毎の3次元立体フレームモデルによる解析結果の中から、最も適合する解析モデルを自動選択し、建物の倒壊シミュレーション結果を動画表示する。ここでは、データや解析結果の精度を犠牲にしながら、リアリティのある3次元倒壊シミュレーションの結果を見せてることで、より詳細な解析（方法1や方法2）や、耐震診断・耐震改修のステップへと誘導することを意図している。

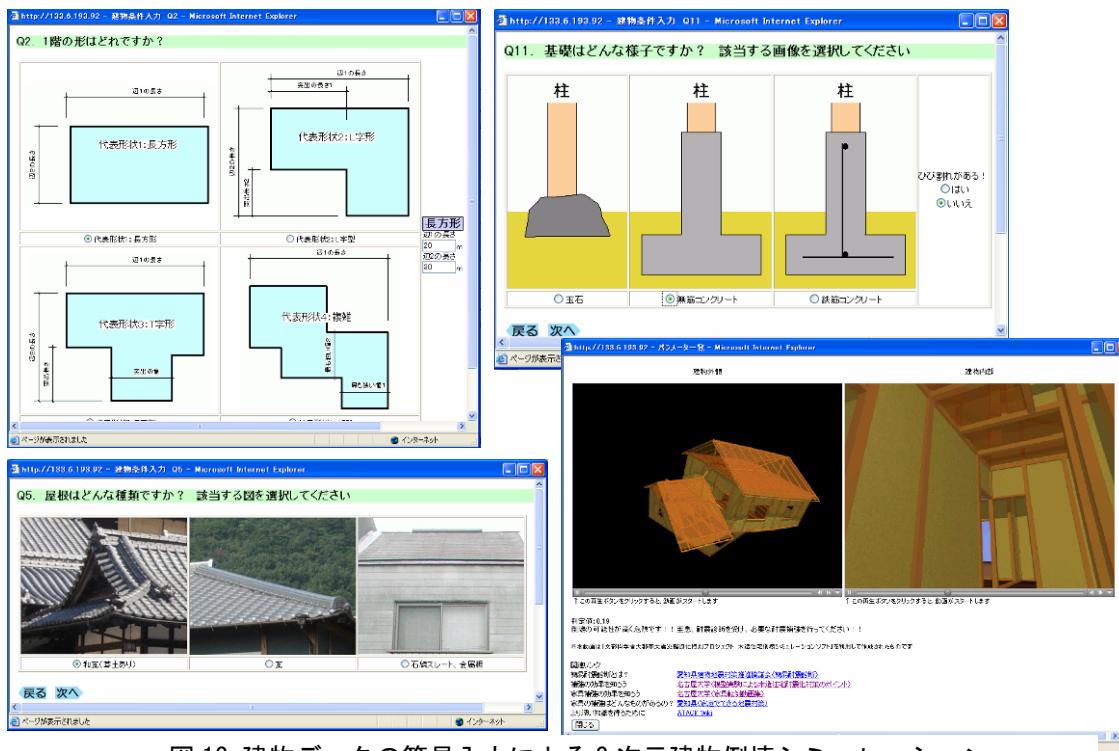


図13 建物データの簡易入力による3次元建物倒壊シミュレーション

## 5. 防災まち作りや耐震化に興味を持った人への様々な「学び」のツール

耐震化や室内安全の重要性に気づいた住民への次のステップは、「学び」である。本システムでは、住民が受動的に「学ぶ」ツールに加え、主体的に「学ぶ」ツールを目的に応じて各種準備している。

### 5.1 耐震補強効果と家具の転倒防止効果を実感する体感型学習ツール

耐震診断や補強についての重要性を理解した住民に対して、耐震化の要点を理解してもらうために、

「学び」のためのツールを幾つか用意している。図 14 左上は、筆者等が継続的に開発してきた振動実験教材「ぶるる」<sup>3)</sup>のトップページである。ここから例えば、上段中のような、2 階建てのシミュレータに行くことができる。ここでは、2 自由度系の応答計算を一般の住民に分かりやすい形で表現するよう工夫している。予め用意してある質点モデルを利用するなどを前提としているが、専門家向けには建物の重さや剛性、減衰定数を自由に変更できるシステムも用意している。マウスの動きを地動として与えることで、ウェブ上で建物を揺する仮想体験でき、共振や搖れのモードを実感しながら、屋根の重さや 1 階と 2 階の剛性バランスが揺れ方に与える影響の大きさを理解できる。

また、左下のように、2 階建て木造家屋の模型を用いて耐震改修効果を比較実験した動画を用意することにより、各耐震改修項目の効果を実感できるようにしている<sup>11)</sup>。これらのシミュレータや映像を介して、耐震化の必要性とその要点を理解してもらう。なお、この倒壊実験結果は、動画として提供するだけでなく、PC やインターネット環境のないところでも利用してもらえるように、パラパラ漫画を作ることのできる PDF データも用意している。利用者は、PDF データを厚紙に印刷しカットすることでパラパラ写真を容易に作ることができる。

さらに、耐震化の重要性を修得した住民が、周辺の人たちにその重要性を伝える道具として、紙製の 2 階建て模型キットとその利用マニュアルを用意している<sup>3)</sup>。ホームページからダウンロードして厚紙に印刷することにより簡単に紙製模型を作ることができ、屋根の重さや、筋かいの効果、壁のバランスの大切さなどを、解説する道具を手にすることができる。

(a) ぶるるのトップページ

(b) 2自由度系の振動シミュレータ

(c) 木造家屋の耐震化対策効果の模型実験映像

(d) 2階建て建物のペーパーキット

(e) 振動台実験による家具の転倒防止効果の映像

図 14 シミュレータを補完する体感型学習教材

また、家具の転倒防止の効果を見せるために、各種の家具に対して、様々な家具転倒防止法の比較振動台実験を行った実験映像をウェブ上で閲覧できるようにもしている。これにより、家具の転倒防止効果を容易に確認できる。

これらの体感型教材は、バーチャルな情報システムを補完する意味で効果的である。

## 5.2 会話型の「学び」の入門ツール

地震や耐震などについて学んでみようとする住民（生徒）に対して、物知りの先生がマンツーマンで受け答えする相談システムを試作した。これは、自然言語を解する CAIWA<sup>12)</sup>と呼ばれる知識処理エンジンを活用したシステムであり、地震や耐震に関する知識ベースをルールベースで構築したものである。このシステムでは、図 15 に示すように、生徒が自然言語で質問をすると、先生が自然言語で答え、同時に、参考となる関連ウェブサイトを自動的に立ち上げてくれる。

このため、問題の構造を十分に知らない初学者が学び始める際には、良い相談相手になる。現状は、知識がやや不十分ではあるが、自然言語を理解することができるので、将来は、音声認識システムと組み合わせれば言葉で会話するシステムに発展し、自動翻訳システムと組み合わせれば外国人向けのシステムにも発展できる。これが実現できれば、文字認識が困難な災害弱者に対する有効な支援ツールにもなり得る。



図 15 自然言語を解する会話型知識処理システムを用いた「学び」のツール

## 5.3 講演・講義の e ラーニング教材化

東海地域では、防災意識の高まりを受けて、あちこちで防災講演会が開催されている。筆者等の周辺でも、研究者向けの安全安心基礎セミナーと、広く市民を対象とした防災アカデミーを名古屋大学

でそれぞれ月 1 回開催している。また、愛知県では、防災リーダー養成のための「あいち防災カレッジ」を毎年開講している。

これらの講義・講演を一過性のものにせずに、より多くの市民に聞いてもらう環境を整えるため、講演者の了解が得られた講演について、講演ビデオをパワーポイントファイルと連動させてウェブ上で閲覧できるシステム（図 16）を作成した。これにより、講演会場と同様の環境をインターネット上で作り出すことができ、ウェブ上で、興味を持った講義を、場所・時間の制約を受けずに選択して受講できる e ラーニングカリキュラムができる。2006 年度の「あいち防災カレッジ」では、講師の了解を得られた講義について、カレッジ受講者に限定してこのシステムを利用した。欠席した受講生向けであったが、極めて好評であった。今後、様々な講演会の場で、講演者の理解を得て、徐々に講義数を増やし、防災 e ラーニング講義のカリキュラムを整備して行きたいと考えている。

このようなシステムを整備することにより、上に述べた会話システムで興味を持った住民が、自分が興味を持つ課題について講義を聞くチャンスを持つことができる。さらに、e ラーニング講義で興味を持てば、実際に防災講演会に出かける行動へと繋がっていく。

#### 5.4 Wiki を用いた防災関連知識ベースの蓄積

ここまで述べてきた学習ツールは、予め用意してある学習コンテンツを住民が受動的に用いるものである。これに対し、以下に示すものは、住民が主導的に知識を探したり、知識を増やしたりする学習ツールである。ここでは、近年注目されている Web コンテンツ管理システムである Wiki（ウィキ）を利用して、専門家の持つ情報を効率的に蓄積していく枠組みを構築した。Wiki はウェブブラウザにより容易にコンテンツを作成・編集・管理できるシステムであり、複数の人間が連携してコンテンツを構築するのに適している。Wikipedia<sup>13)</sup>はこうして発展を続けている電子百科事典の一つであり、地震防災関係の項目も既に相当に充実した内容になっている。

筆者等は、大学内の理系・工系・文系の多くの研究者が協力して地域の防災力向上のための研究プロジェクトを進めており、各研究者が有する知識を共有化し、社会に役立つ形でシステム化するには、Wiki が最適であると考えた。構築したシステムの実行例を、図 17 に示す。

現在は、基本システムの構築を終え、ベースとなる用語集を作成すると共に、一部の研究者の研究資料を Wiki 上に構築し終えた段階である。また、筆者等も協力して作成しているラジオ防災番組の原稿をアップすることにより、知識ベースを充実させている。

図 17 の右上は、著者の一人が作成した地震被害に関する研究資料である。ここから「地震災害と建物」を選択し、「台地上の崖地形、地形改変」の項目を閲覧すると、そこに、「盛土」というキーワードが見つかる。そこで、「盛土」を選択し盛土の意味を調べ、さらに「盛土」に起因する現象である「不同沈下」を調べることができる。このように、関連知識を興味のおもむくまま、次から次へと学習することができる。

左下の「東海ラジオ地震啓発番組アーカイブ」の場合には、例えば「2005 年 4 月 6 日」放送の番組の原稿を閲覧すると、そこに、「東南海地震」や「津波」などのキーワードがある。原稿を読み終えた後、さらに学習したければ、「東南海地震」を選択して、東南海地震に関わるリンク集を参照したり、さらに Wikipedia の記事を参照したりすれば、より多くのことを学べる。また、「津波」のように用語

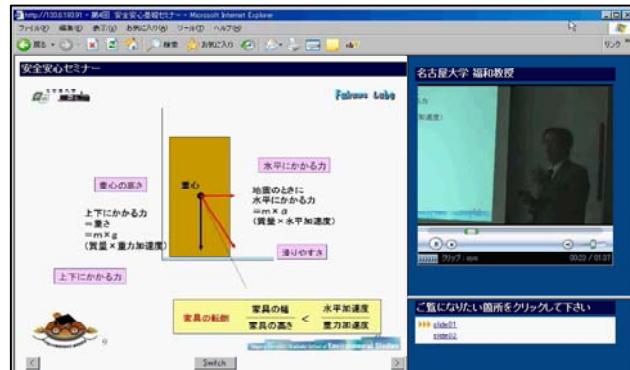


図 16 講演会のビデオとパワーポイント資料を連動させた防災 e ラーニング講義システム

集に定義してあるキーワードであれば、用語の意味を簡潔に知ることができる。

今後、共通性の高い基礎的な知識は大学等の研究者が構築し、一方で技術者、教育者、ボランティアなどがそれぞれの立場で有するノウハウ的知識を構築することで、基礎から応用、実践に繋がるシームレスな知識ベースが構築していく。防災の担い手の協働の中で、成長するシステムと言える。

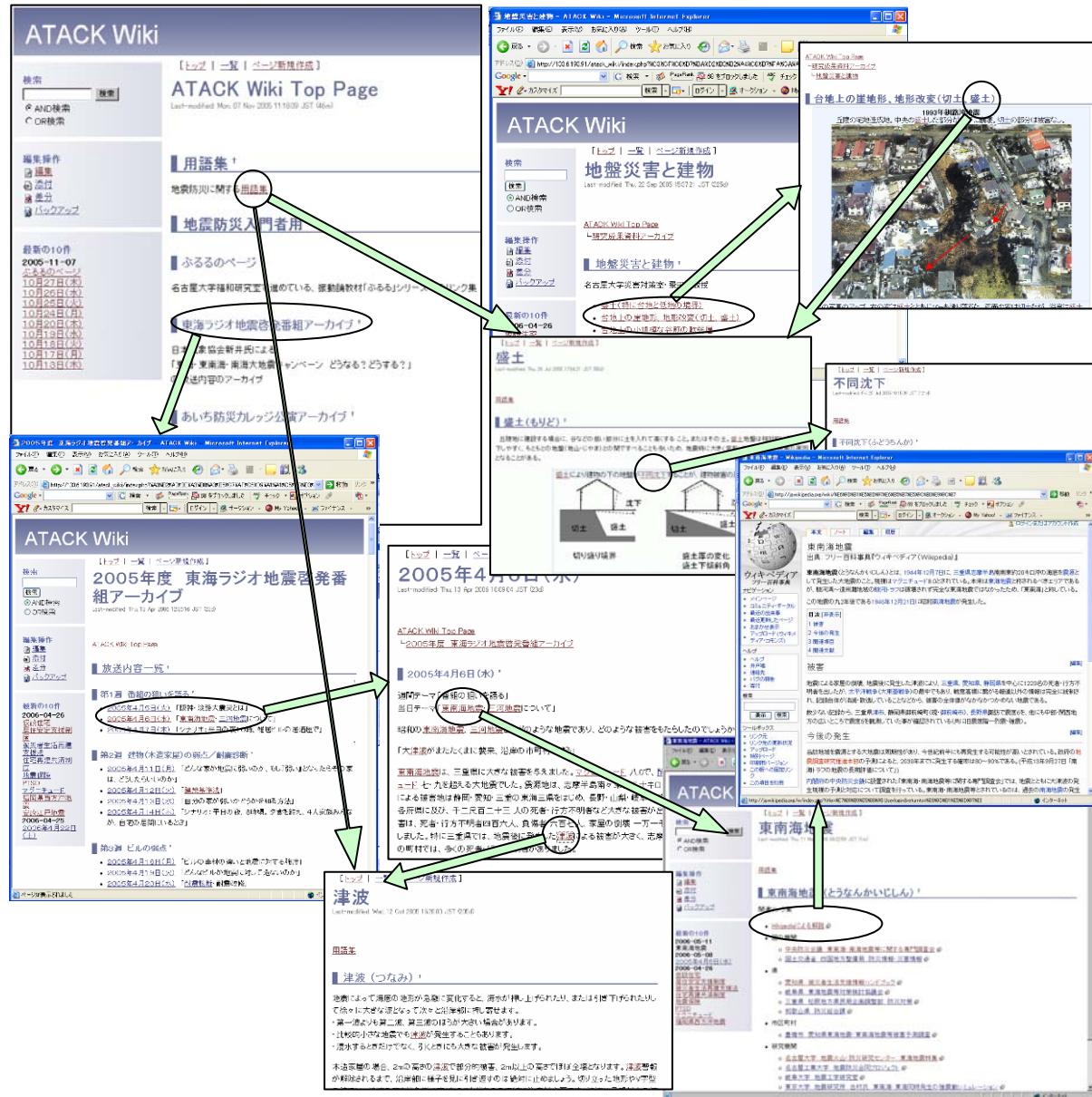


図 17 Wiki を利用した知識ベース構築・利用システム

## 6. 地域での防災活動に活用する支援ツールとボトムアップ型の安全・危険情報の蓄積

本論で提示するシステムは、住民一人一人を防災行動に誘導するための「気づき」と「学び」のシステムであると同時に、地域で防災活動をリードする人たちを支援するシステムでもある。また、地域住民が自発的・ボトムアップ的に安全・危険情報を収集・活用するシステムでもある。

そこで、地域住民が土地勘を持ってデータ構築をするために、WebGIS と WebLog を組み合わせたシ

システムを構築した。WebLog（ウェブログ、ブログ）はウェブ上の日誌であり、情報コンテンツを頻繁に更新しつつ、時系列やカテゴリー別に整理・蓄積・公開するのに適している。近年、WebLogのユーザーは急増しているので、住民の中にはWebLogのインターフェースに慣れ親しんだ人も多いと思われる。ここでは、WebLogで入力した情報を、WebGIS上で相互参照できるようすることで、地域での情報共有化を促進しようと意図している。

図18にシステムの動作の様子を示す。図中左上に示すWebGIS上で、地域ごとに設定したID・Passwordを入力することにより、地域固有のデータを追加できるようになる。地図上で入力地点をクリックし、適切なアイコンを選択すると、左下の入力画面となる。この画面から、関連する情報をリンクしながら防災情報を入力する。防災情報はWebLogにより記事として入力し、入力した結果は、右上の図のように地図上にアイコン付きの情報として反映される。コメントには図や写真・WebGISと連携した地図なども入力できる。標準的なWebLogの機能に準拠しているので、他の住民がコメントを加えたり、 トラックバックの機能を用いることも容易である。

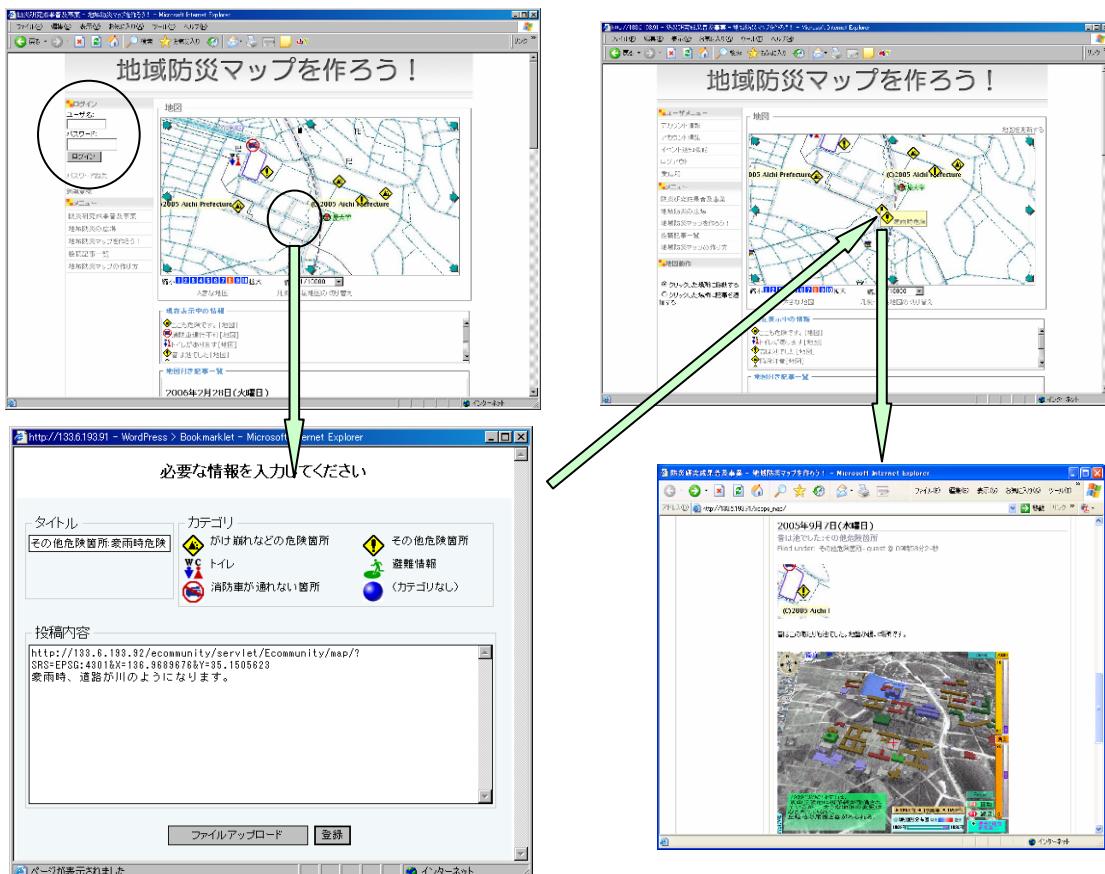


図18 WebGISとWebLogを利用した防災活動支援システム

このシステムは、平時には、地域の危険情報や安心情報を蓄積するが、発災時には、携帯電話経由で送信される写真付きメールを利用することにより、被災情報を共有化することができる。

平時の利用としては、2つの利用形態を想定している。一つは、ワークショップなどの場での利用である。ワークショップ参加者がパソコンを持ち寄り、Internet環境の中でWebGISを起動して、地点毎に情報を入力していく。参加者は、WebGIS上で随時更新されていく情報を、プロジェクターで投影した地図を見ながら相互に確認して、各人の情報を共有化して議論を進めていく。参加者全員がパソコンを持ち寄れない場合には、代表者が入力役を分担することも可能である。入力したデータは、電子情報化されるので、地域に根付いた防災情報を蓄積していくことになる。また、ワークショッ

プリント後に、大型プリンターで地図を出力すれば、地域固有の地域防災マップが作成される。防災タウンウォッチングや災害図上訓練（DIG : Disaster Imagination Game）、小中学校での地域学習などに利用することを想定している。これまでに、ワークショップでの利用を前提に、ファシリテータへの利用研修を行うと共に、特定の地域でワークショップを試行するなどの実績を積んできた。さらに、これに基づいて、使い勝手などの問題点を改善したり、機能の拡張を行ってきたりした。

もう一つの利用形態は、町内会や自主防災組織における利用である。防災のみならず、日常的に行っている防犯・環境・福祉などの地域活動の支援ツールとしての利用が想定される。防災に関しては、地域の安全・危険情報を常時チェックすると共に、家屋の耐震化や家具の固定状況、災害時要援護者の情報などを構築することにより、重点的に活動する地域や重点活動項目を考えたり、防災活動の効果を常時モニタリングすることができる。地域住民が、日常的にまちの危険情報や、まちの変化を日誌的に記録することにより、日々、まちの防災情報が蓄積・更新されていく。

WebLogによる記事は時系列で保管されるとともに、WebGISを組み合わせることで地図上の位置や内容に応じた整理もなされる。地図情報と記事が相互に連携をもち、時系列の変化（改善）がわかる形で日々継続的に情報が蓄積されることになる。防災力向上のプロセスが時系列で記録されるので防災活動へのインセンティブにもなる。また、ここで記録された成果は、他地域での防災活動のモデルとして参照されることも可能になる。

## 7. 結論

本論では、インターネット環境を利用した地域防災力向上のための支援システムの開発事例を紹介した。地域防災力の根幹は、地域に存在する脆弱な家屋の耐震化と家具固定の促進にある。本論で提示したシステムは、個々の住民が自発的に耐震化や家具固定に取り組むように誘導することを目的と共に、様々なグループ（自主防災会やボランティア、防災リーダーなど）が行う耐震化や家具固定の啓発活動を支援することを目的に開発を行ってきた。

そこで、地域での自主的な活動を促すための、「気づき」と「学び」を重視したツールを提供すると共に、実践への誘導を重視したシステム作りを目指した。すでに特定地域でのワークショップでの利用を通して、各地域で「対策」→「実践」→「点検」→「改善」のPDCAサイクルを回す際の支援ツールとなることを確認している。

本論で構築したシステムの特徴は下記のように要約することができる。

- 1) WebGISを用いて、行政が作成したハザードマップを地図ベースで利用することにより、住民が、身近に地域の地震危険度を把握することができる。また、行政が日常的に管理している数値地図を活用することにより地図更新も自動的に行えるようにしている。
- 2) 過去の空中写真や地形図をデジタル化すると共に、地盤データや観測データを電子化することにより、ハザードマップの説明性を増している。また、3次元WebGISや、同時に2面の地図を参照できるWebGISを用いることにより、各種の分析を容易にできるようにしている。
- 3) 地盤、家屋、家具の地震応答シミュレータを活用することにより、自宅の危険度を実感させると共に、耐震診断・改修、家具固定の方法を解説することにより、わが家の安全対策を誘導するようにしている。
- 4) 住民が自主的に学習するために、振動実験映像、体感型教材、eラーニング講演資料、会話型の相談システムやWikiを利用した知識ベースシステムなどを試作し、目的に応じた学習システムを用意している。
- 5) 防災活動の意欲のある人を支援するために、WebLog環境を利用して地域情報を双方向で入出力できるWebGISを用意している。

本システムを構成する各サブシステムはそれぞれユニークなものであり、それだけで十分に新規性、独創性、有用性を有している。これらのサブシステムを、WebGISという共通フレームの上で有機的に

連携しあつスムーズに相互活用できる実用システムとして完成させることにより、有用性が更に増している。また、ワークショップでの試用により、十分な信頼性も確認している。既に、このシミュレータの試験運用の中で、住民や防災リーダーの意見を聴取して、システムの改善も終えている。さらに、システム自体に、利用者によるデータ入力機能なども加えているため、システム自体の発展性も高い。

2006年度末には愛知県下の市町村にシステムが公開され、2007年度には県下の市町村の幾つかで運用が予定されている。愛知県で共通のシステムとサーバーを用意することで、各市町村では市町村独自のデータを追加するだけで利用が可能になっている。さらに、一部の市町村では、このシステムの利用を前提とした防災教育センターの開設も予定されている。

本システムの耐震化誘導効果の検証については、定性的には効果が十分に確認され、それ故に市町村でも導入されることになった。しかし、定量的な検証についてはシステムが本格運用されるのを待つ必要がある。2007年度以降に各市町村での利用が始まった段階で、耐震診断・改修の進捗状況をモニタリングすることによって効果を測定して行きたいと考えている。

## 謝 辞

本論の成果は、文部科学省が実施する防災研究成果普及事業「行政・住民のための地域ハザード受容最適化モデル創出事業」の一環として実施したものであり、名古屋大学大学院環境学研究科が、愛知県防災局、名古屋市消防局、応用地質（株）、（株）ファルコン、（株）日本システム設計、NPO法人のレスキューストックヤードとNPO 愛知ネットなどの協力を得ながら行ってきたものである。関係各位に深甚の謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 愛知県：防災まち作りマネジメントシステム、愛知県建設部建築指導課、2006.3
- 2) 福和伸夫、飛田潤、鈴木康弘：中京圏における地震防災力向上のための大学研究者による実践研究、地域安全学会論文集、No.6, pp.223-232, 2004.11
- 3) 福和伸夫、原徹夫、小出栄治、倉田和己、鶴田庸介：建物耐震化促進のための振動実験教材の開発、地域安全学会論文集 No.7, pp.23-34、2005.11
- 4) 東京大学生産技術研究所・目黒公郎研究室のホームページ：<http://risk-mg.iis.u-tokyo.ac.jp/index2.htm>
- 5) 社会技術研究ミッション・プログラム I 地震防災研究グループ（代表・清野純史）最終成果報告書：地震リスクの明示と地震被害戦略の策定、社会技術研究開発センター、2006.3
- 6) 愛知県：平成14年度愛知県東海地震東南海地震等被害予測調査報告書、2003.3
- 7) 名古屋市：あなたの街の地震マップ、広報なごや特集号、2003.8
- 8) 高橋広人、福和伸夫：地震動予測のための表層地盤のモデル化手法の提案と検証、日本建築学会構造系論文集、No.599、pp.51-59、2006.1
- 9) 国土交通省建築研究所：改正建築基準法の構造関連規定の技術的背景、ぎょうせい、p.53、2001.3
- 10) 福和伸夫、佐武直紀、原徹夫、太田賢治、飯沼博幸、鶴田庸介、飛田潤：長周期構造物の応答を再現するロングストローク簡易振動台の開発、日本建築学会技術報告集、第25号、pp.55-58、2007.6
- 11) 福和伸夫、花井勉、石井渉、鶴田庸介、倉田和己、小出栄治：耐震化促進のための木造建物倒壊実験教材の開発、日本建築学会技術報告集、第22号、pp.99-102、2005.12
- 12) <http://www.ptopa.com/tech/caiwa.html>
- 13) Wikipedia : <http://ja.wikipedia.org/wiki/>

(受理：2006年6月6日)  
(掲載決定：2007年4月17日)

# **Development of Simulator for Increasing Regional Disaster Mitigation Ability to Promote Seismic Retrofitting**

FUKUWA Nobuo<sup>1)</sup>, SAKAUE Hiroyuki<sup>2)</sup>, HANAI Tsutomu<sup>3)</sup>,  
TAKAHASHI Hirohito<sup>4)</sup>, TOBITA Jun<sup>5)</sup> and SUZUKI Yasuhiro<sup>6)</sup>

1) Member, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Dr. Eng.

2) Falcon, M. Litt.

3) Member, Ebisu Building Laboratory, Dr.Eng.

4) Member, Oyo Corporation, Dr. Eng.

5) Member, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Dr. Eng.

6) Member, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Dr. Sci.

## **ABSTRACT**

In order to improve the regional response ability to the earthquake and to mitigate the amount of damage, the simulator system to promote seismic retrofitting is developed. The system intends to make people aware the importance of preparedness for the coming destructive earthquakes and to learn the reason why damage occur and people die during earthquakes. The system guides people to retrofit their house and to fix furniture in their house. The system is composed of web-based geographic information system combined with various simulators such as seismic ground motion, building collapse and furniture toppling over, the shaking table tests images of building and furniture, the e-learning system, the knowledge base system using Wiki and the artificial intelligence CAIWA system and WebLog system.

*Key Words:* *Regional Disaster Mitigation, Seismic Ground Motion Estimation, Seismic Retrofitting, Dissemination, Web Based Geographic Information System, e-Learning*