地震防災におけるGISの活用

工学院大学建築学科　久田嘉章、村上正浩、柴山明寛

１．はじめに

著者らが行っている事前・事後の地震防災研究を、GIS の活用事例を交えて紹介する。地震防災の事前対策には長期的な災害予防策と地震予知を前提とした直前の災害対策があるが、ここでは長期の予防対策として定と防災まちづくり支援ツールを紹介する。一方、震災の事後対策としては、震災直後の対応策としてのリアルタイム地震被害推定と地震被害収集システムの事例を紹介する。

２．地震災害の事前対策におけるGIS活用事例

２．１　地震被害想定とリスクマネージメント

大規模な地震が発生した場合、木造家屋が密集する大都市地域では、建物の倒壊による１次災害に加え、火災の発生による２次災害が危惧されている。このため国や都・県レベルでは直下型地震などを想定した地震被害想定が行われている。しかしながら、その情報が個人や地域（丁目・自治会レベル）で活用され、耐震性や防災性の向上に役立っているとは言えないのが現状である。その原因として、実際に大規模な地震が発生した場合、自分の住む家やまちに何が起こり、どう対応したらよいか、具体的なイメージが掴めないこと考えられる。一方、近年、企業では様々なリスク対策としてリスクマネージメント手法が発展し、想定される地震被害の軽減・転嫁・保有などの具体的な地震地震対策の意思決定手段として活用されてきている。さらに近年では強震動地震学の進展に加え、地域の詳細な地盤情報（例えば [1)]）が整備され、精度の高い地震被害想定を行うことが可能になりつつある。以上のことから、著者らは個人や自治会レベルで使用できる地震被害想定ソフトと地震対策のためのリスクマネージメントソフトを開発し、実際に個人や自治会の地域レベルで適用して、有用性や問題点を調べている。図１に示すように、地震被害想定ではまず震源から工学的基盤までの地震動を計算し、地域の地盤情報を用いて地表面での地震動を推定する。さらに地域の建物や人口データを用い、物的・人的・金銭的被害を計算する。さらにまだ開発中であるが、リスクマネージメントソフトでは地震被害は確率論で評価され、地震保険や耐震補強、防災まちづくりなどの遂行による費用対効果などが行われる。

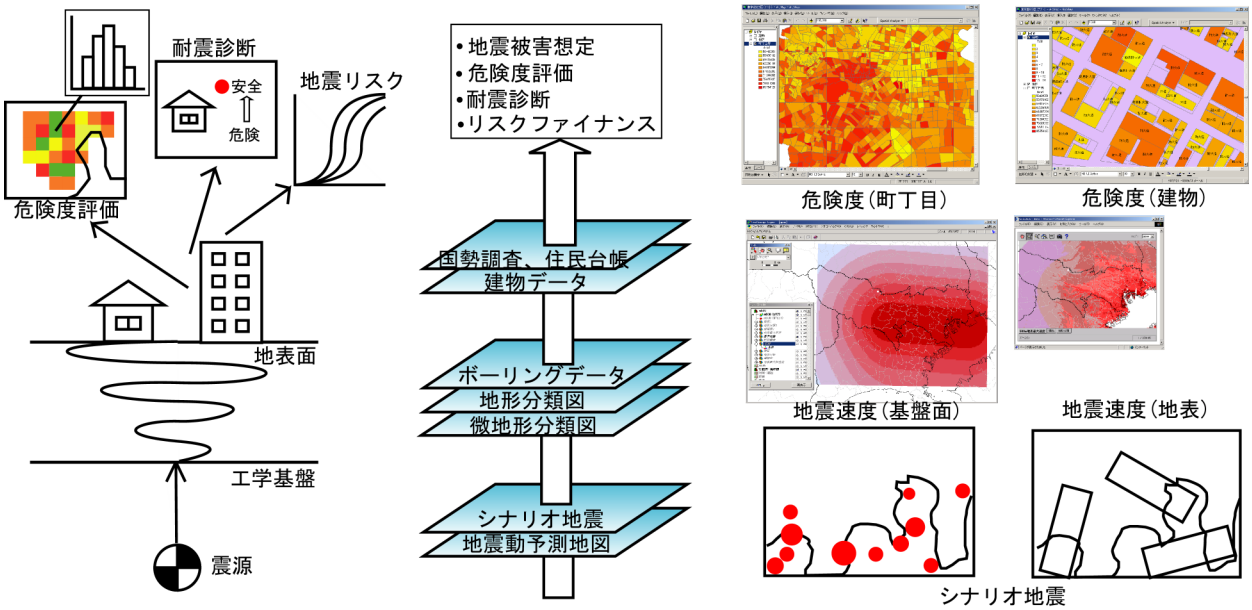


図１　地震被害想定と地震リスクマネージメントシステムの説明図

（１）地震被害想定手法

地震被害想定の手順は、図１に示すように震源から工学的基盤までの地震動を計算し、地域の地盤情報を用いて地表面での地震動を推定する。さらに地域の建物や人口データを用い、物的・人的・金銭的被害を計算することになる。地震被害想定の手法には様々なものがあるが、ここではその代表の一つである内閣府・地震被害想定支援マニュアル[2)]に準拠したソフトを紹介する。

工学的基盤における地震動推定：想定される地震（東京都の２３区部直下型地震など）から工学的基盤（表層 30mより深い地盤、通常はせん断波速度が 400m/s 程度以上の地盤）までの地震動（最大速度値など）を、距離減衰式を用いて計算する。代表的な距離減衰式として司・翠川式[3)]がある。

$$\log V = b - \log(X + c) - k * X$$
$$c = 0.0028 * 10^{0.50 * Mw}$$
$$b = a * Mw + h * D + \sum di * Si + e \qquad (1)$$
$$k = 0.002$$

ここで、Vは最大速度値(cm/s)、Xは断層面からの最短距離(km)、kは粘性減衰係数、Mw はモーメントマグニチュード、D は震源深さ(km)、a, h, di, e は表１より求まる係数である。Si はダミー変数で、断層タイプから決まる係数であり、断層のタイプは、地殻内地震、プレート間地震、プレート内地震と分類されている。(3)式は同じ距離にある場合、プレート間地震、地殻内地震、プレート内地震の順番で最大速度値が大きくなる特徴がある。

表１：司・翠川式におけるパラメータ

a	h	d			e
		crustal	inter-plate	intra-plate	
0.58	0.0038	0	-0.02	0.12	-1.29

表層地盤による地震動の増幅率：工学的で得られた地震動（最大速度値）に、表層地盤の増幅率を乗じて地表での地震動が推定される。被害想定支援マニュアルでは増幅率の評価に松岡・翠川の方法[4)]を用いている。この方法は地形分類図と標高データを用いた経験的増幅率であるが、簡便さから、全国を対象とした地震動評価法として多用されている（地震調査研究推進本部による地震動予測地図の簡略法や、内閣府の被害想定マニュアルなど)。工学的基盤での最大速度は、地表から 30m程度の表層地盤で増幅されるとし、その増幅率に次式を用いる。

$$\log ARV = 1.83 - 0.66 \log AVS_{30} \pm 0.16$$
$$(100 < AVS < 1500 \quad m/s) \qquad (2)$$

ここで、ARV は最大速度の表層地盤による増幅率、AVS_{30} は地表から深さ 30m までの平均 S 波速度(m/s)、0.16 は標準偏差である。さらに AVS_{30} は地形分類と標高より次の経験式で評価する。

$$\log AVS_{30} = a + b \log H + c \log D \pm \sigma \qquad (3)$$

ここで H は標高（m)、a、b、c は地形分類により決まる係数、σ は標準偏差である。また D は主要河川からの距離（km）で、三角州・後背湿地の場合にのみ用いられる。ちなみに内閣府のマニュアル[7)]では D の平均距離として 2 km を用いており、表２にこの場合の係数 a、b の値を示す。

ここで地形分類とは、高度、傾斜や谷密度等の地形に加え、その形成過程を考慮して分類した地図で、一般に山地、台地、扇状地、自然堤防、砂州、谷底平野、三角州、旧河道、埋立地などに分類されている。一般に公開されている地形分類図として「土地分類図」と「土地条件図」がある。「土地分類図」は、土地分類基本調査により作成され、土地の自然条件や利用現況に関する調査が

行われる。

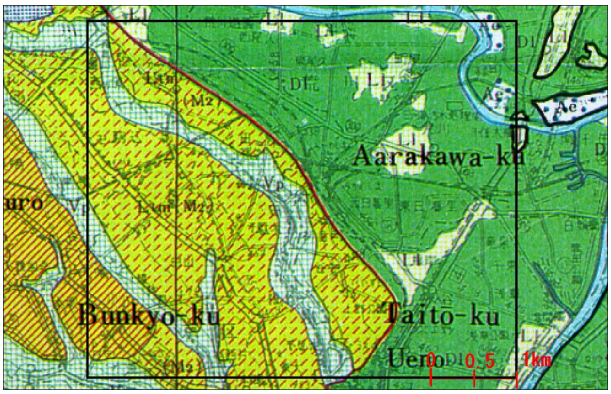
表２　松岡・翠川（1994）による地形分類と(2)式の係数の関係（係数 c、D に関しては被害想定マニュアルに習い、D=2、C=0.25 で計算している）

classifications	classification code	coefficient		the extent of hight	
		a	*b*	lower	upper
Mountain	1	2.64	0	-	-
Plateau	2	2	0.28	10m	400m
Alluvial fan	3	1.83	0.36	15m	200m
Natural levee	4	1.94	0.32	5m	30m
Sand bar	5	2.29	0	-	-
Valley plain	6	2.07	0.15	10m	500m
Delta	7	2.34	0	-	-
Reclaimed land	8	2.23	0	-	-
River,others	0	-	-	-	-

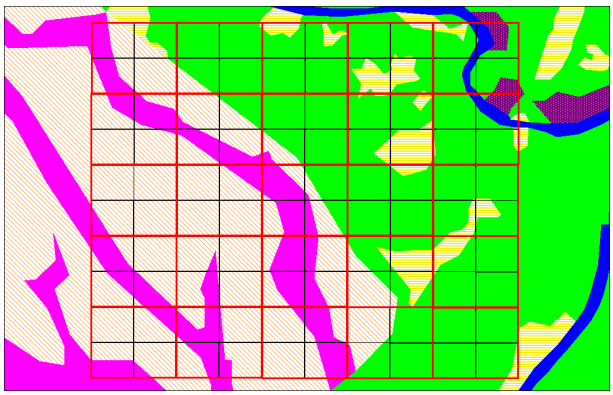
表層地盤情報のデータベース化：高精度な地震被害想定を行うには、詳細かつ広域な地盤情報（この場合は地形分類図を増幅率）が必要となる。地震被害想定支援マニュアルでは国土数値情報を用いているが、これはメッシュサイズが 1 km であり、地域の詳細な地震想定を行うにはかなり粗いメッシュである。そこで著者らは全国地形分類図（日本地図センター発行、20 万分の１または 10 万分の１）を用いて 500m メッシュのデジタル地図を作成した。作成は以下のように行う(図２)。まず県別の地形分類図をスキャナーによりパソコンに取り込む(図２a)。次に地理情報システム(GIS)を用いて地形分類図を緯度経度系に合わせ、２分の１地域メッシュ(500m メッシュ)と重ねる(図２b)。さらに各メッシュの代表点(中心点)から地形分類を読み取り(図２c)、500m メッシュの地形分類図を作成する(図２d)。但し、ここでは地形分類図において自然堤防・砂州となっている場合は自然堤防としている。図２e には比較のため国土数値情報の 1km メッシュの地形分類図を示しているが、図２a の地形分類図や Fig.1d の 500m メッシュ地図に見られる沖積谷や埋立地などの微細な地形が表現できていないことが分かる。但し、ここで作成した 500m メッシュの地形分類図では、代表点としてメッシュ中心点を用いているため、図２d に見られるように例えば中心点が河川である場合、メッシュ全体を河川として評価してしまう。従ってメッシュ内での地形分類図の面積比を考慮して代表点を決定するなどの改善の余地がある。同様な作業を全国の地形分類図に対して行い、500m メッシュの地形分類図、さらには図３に示すように式(2)、(3)を用い 500m メッシュの速度増幅度マップを作成した。地震動推定の例として図４に、2000 年６月の千葉県北東部の地震を対象とし、距離減衰式を用いた工学的基盤における最大速度分布、及び、地表における最大速度分布を示す。K-net などの観測記録に比べ、推定結果は良い対応を示すことを確認している[1)]。

一方、著者らは自治体の協力を頂き、自治体の持つボーリングデータ、PS 検層、強震記録データなどを活用したより詳細な表層地盤データを作成している。図５は上記の地形分類図・地盤増幅率と、東京都土木技術研究所より提供して頂いたボーリングデータをもとにした地形分類図から 100 mメッシュでデジタル化したデータと、それを用いた地盤増幅率の比較を示している。100 mメッシュでは下町の旧河川や台地の細かな谷底平野などが表現されていることが確認できる。なお、ここで得られた 100 mメッシュの地盤増幅率と、1923 年関東地震における木造家屋被害率の分布とは非常に良く対応することが確認されている。

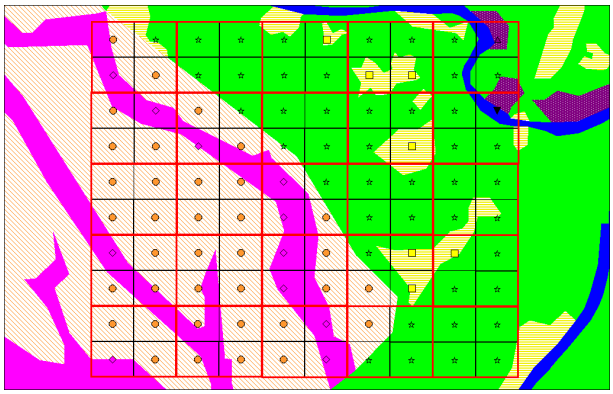
(a) Original map



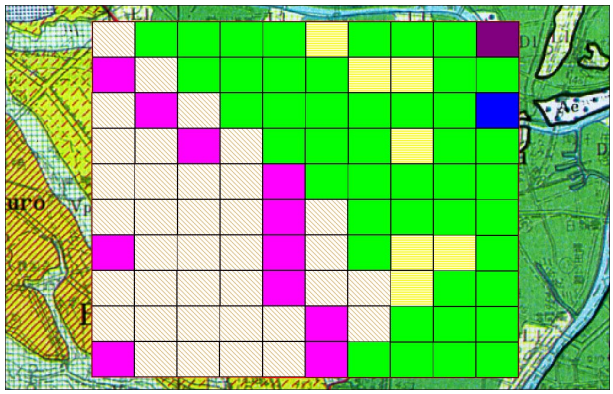
(b) Digitized map and 500 m mesh



(c) Centers of 500 m meshes



(d) Geomorphological land classification by 500 m mesh



(e) Geomorphological land classification by 1 km mesh

Classifications	Original map	Mesh
Plateau		
Delta		
Natural levee Sand bar		
Valley plain		
Reclaimed		
Rivers		

図２　全国地形分類図のデジタル化作業　(a) オリジナル地図、(b) 地形分類境界線のポリゴン化 (c) 500 m メッシュ点への落とし込み、(d) 地形分類化、(e) 国土数値情報（1 km メッシュ）との比較

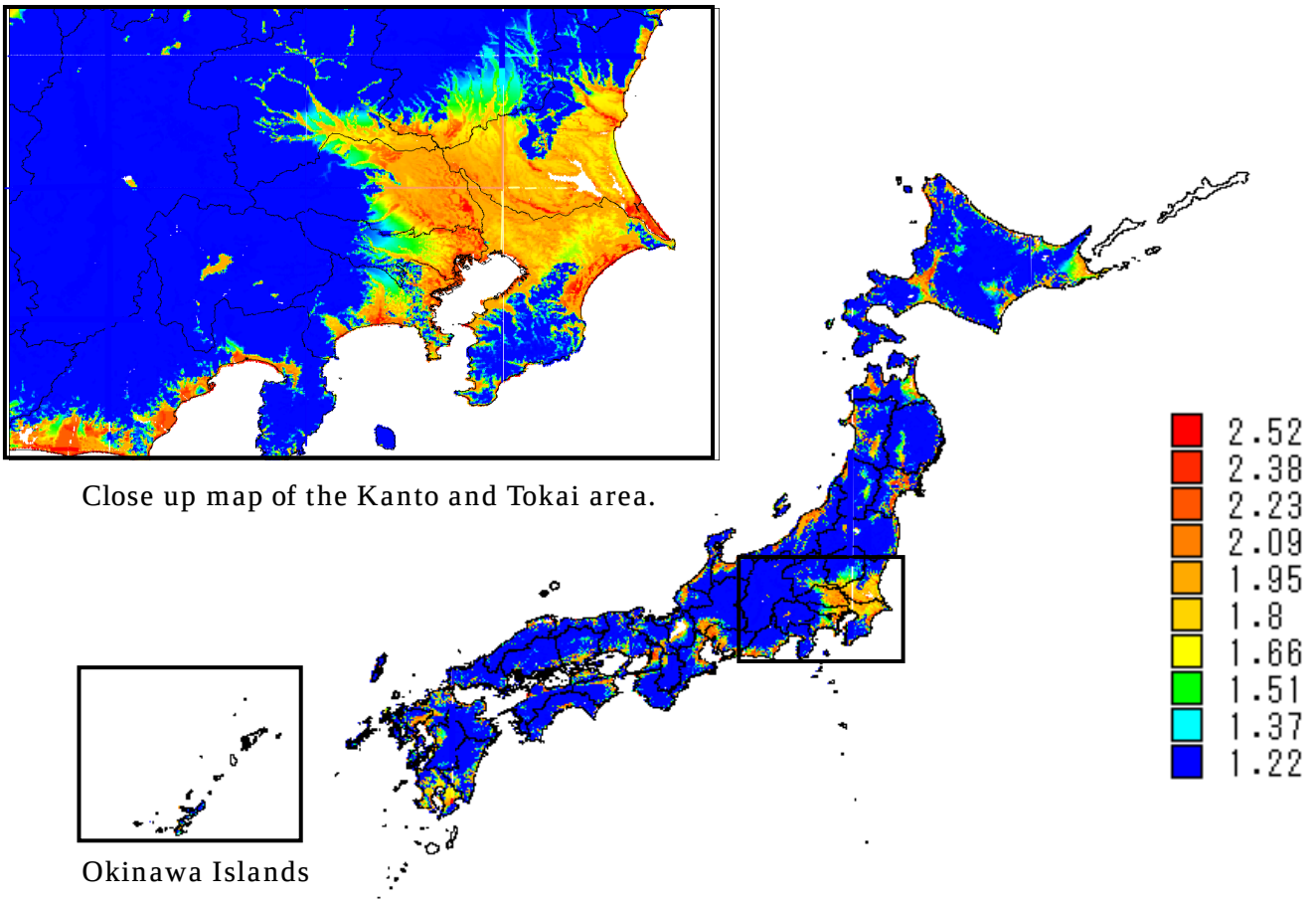


図３　全国でデジタル化した地形分類図（500 m メッシュ）を用いた表層地盤による増幅率

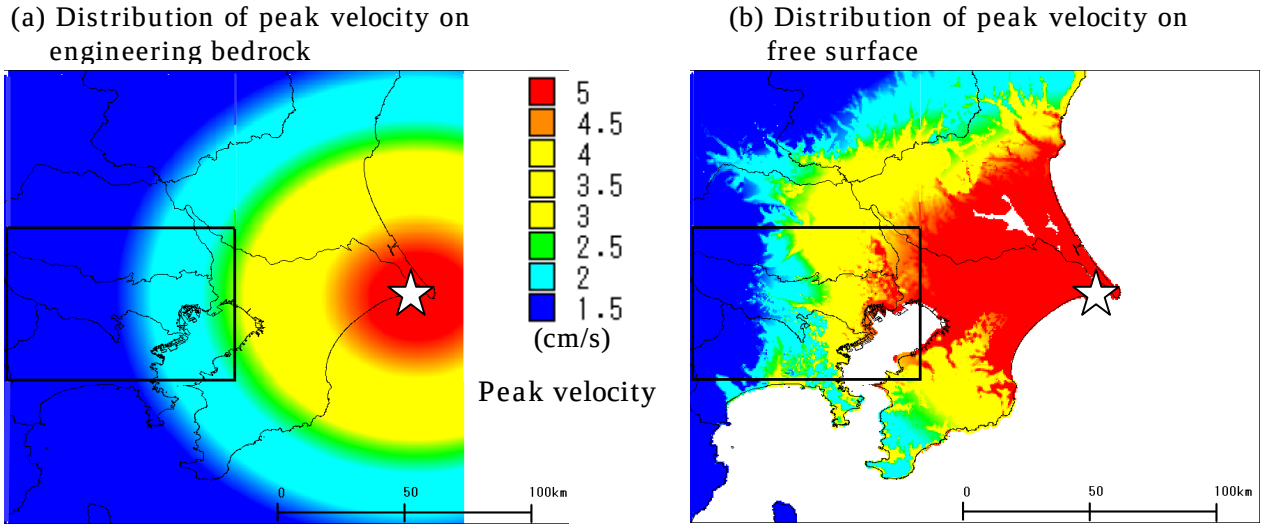
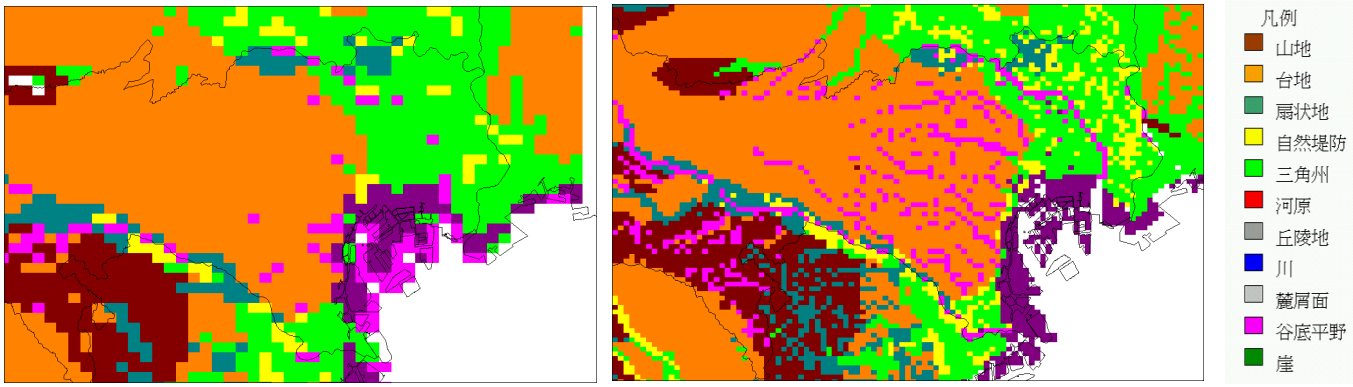
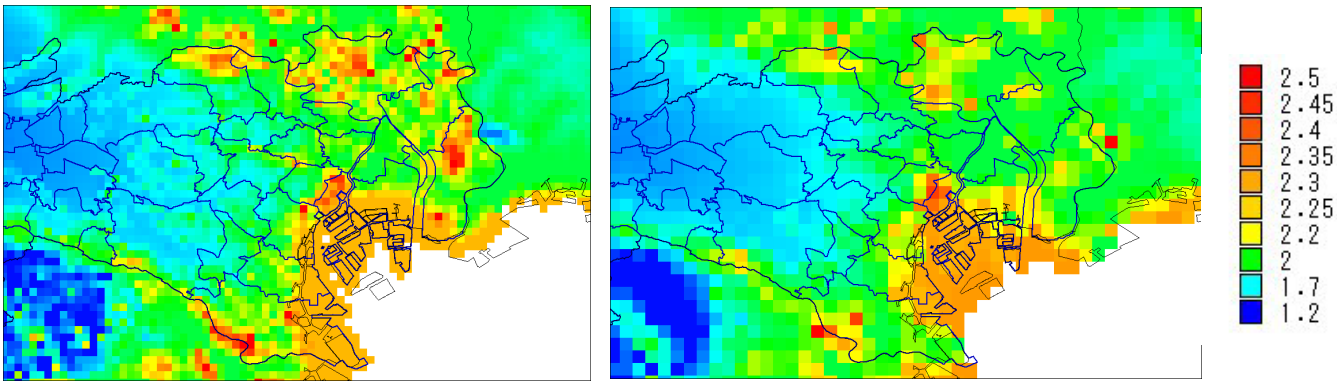


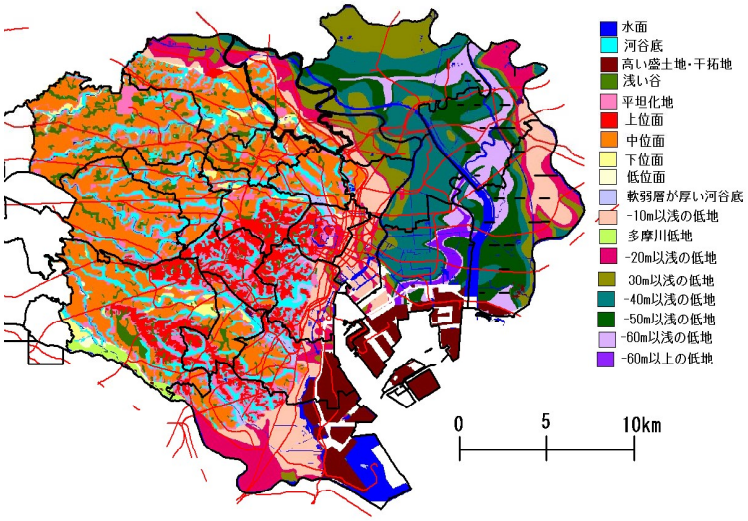
図４　2000 年６月の千葉県北東部地震による　(a) 距離減衰式を用いた工学的基盤における最大速度分布、及び、(b) 地表における最大速度分布



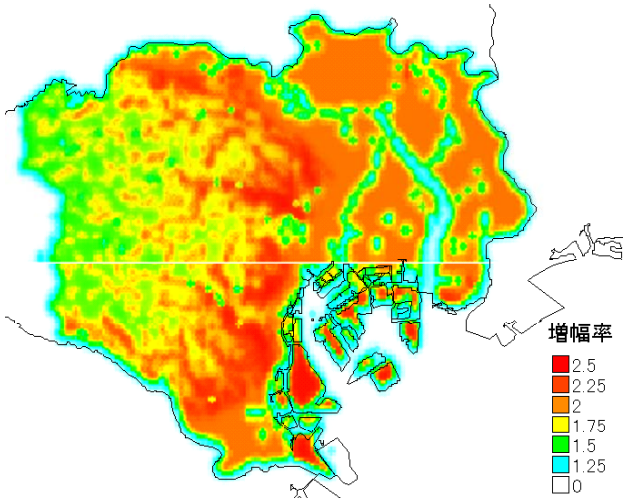
(a) 地形分類図（国土数値情報 [13]：1 km メッシュ）　(b) 地形分類図（久保他 [13]：0.5 km メッシュ）



(c) 地盤増幅率（国土数値情報 [13]：1 km メッシュ）　(d) 地盤地形分類図（久保他 [13]：0.5 km メッシュ）



(e) 東京都土木技術研究所による地形分類図



(f) 同地盤増幅率（0.1 km メッシュ）

図５　各種地形分類図と地盤増幅率の比較

地震被害推定：上で得られた地表の地震動結果と各種建物の被害関数を組み合わせて建物の被害率を計算し、それに各地域での存在建物数を乗じて建物の被害棟数が求まる。建物の被害関数は、建設された年、構造によって地震に対する強度が異なる。そのため、建物を木造建物と非木造建物に分け、それぞれの建物の建設年を地区別に調査する必要がある。建築基準法の改定に準じ、木造建物の場合は昭和 47 年及び昭和 57 年、非木造建物の場合は昭和 57 年を境にして建物強度が統計的に変化していると考えられている。一方、建物被害の度合を表す表現は「全壊・半壊・一部損壊」、「大破・中破・小破」、「全損」、「倒壊」など、目的により定義が変わる。さらに、その定義は震災時に建物被害調査を行う主体によって異なり、表現も統一されていない。地震被害想定支援マニュアルでは、単に損壊度合の大きいものだけでなく、被害額の大きいものも含めた場合を「全壊」、被害額の大きさを考慮せずに損壊度合の大きいものだけを指す場合を「全壊」と定義している。「全壊」は「大破＋倒壊」に相当する。そして地区別の建物被害の程度を表す指標として、「全損率」と「全壊率」を求め、それらに各建築年建物を乗じて「全損数」と「全壊数」を算出する。

被害関数の一例として、木造建物全壊率の式を紹介する [2)]。式中に用いられるパラメータと標準偏差を表 3 に、式(4)を用いた被害関数のグラフを図 6 に示す。図の曲線が(4)式のオリジナルの関数で、階段状の線は地震被害想定支援マニュアルによる被害率一覧表の値である。オリジナルの関数と比べ、一覧表を用いると被害率が大きめに評価されることに注意を要する。特に地表最大速度値が小さい場合には相対的な差が大きくなる。

$$Vr(V) = 1\Big/\sqrt{2\pi\sigma}\int_{-\infty}^{v} EXP\{-(\log V' - \log V_0)^2 / 2\sigma^2\} d(\log V') \qquad (4)$$

Vr(V)：最大地表速度 V での被害率
σ：標準偏差
logVo：被害率が 50%になるときの最大地表速度の対数値

表３　木造建物全壊率の被害関数パラメータ

建築年代	logVo	σ
～1974	2.18	0.242
1975～1984	2.30	0.256
1985～	2.55	0.283

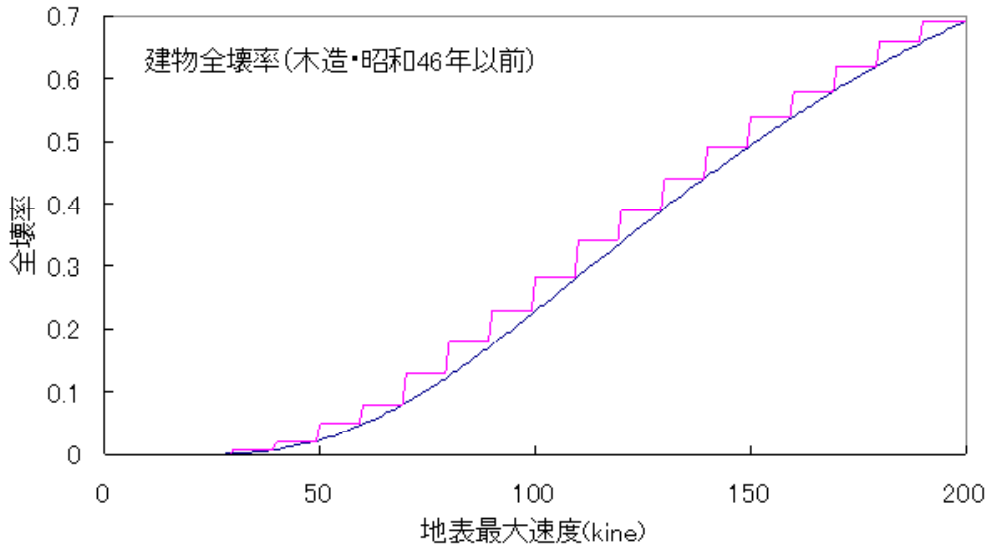


図６　建物全壊率の被害関数の例（昭和４６年以前の木造）

同様にして非木造建物（RC・S 造）の被害率が求まり、建物数を乗じることで各地域の被害棟数が求まる。さらに建物被害数をもとに、焼失棟数（季節と風速を考慮)、人的被害（死者・負傷者数・重傷者数・重篤者数・避難者数など)、復興対策関連の被害（被害額、瓦礫量など）を評価する。詳細は地震被害想定支援マニュアル[2)]を参照されたい。

（２）地震被害推定ソフトの作成

上記の地盤データベースと東京都都市計画局による町丁目別の建物・人口データを用いて東京都を対象とした地震被害推定ソフトを作成した。ソフトは一般配布を目的とした Visual Basic による簡易地震被害推定ソフト（２３区版）と、GIS によるリスクマネージメントまでの拡張を想定したソフト（全東京都版）を開発している。

簡易地震被害推定ソフトを起動すると入力設定のメニュー画面が現れる。使用したデータは表示データボタンを押すと確認でき、図７に示すように、100 m メッシュの地形分類図、標高、地盤増幅率、昼間・夜間人口、木造建物数（S46 以前と S47 以降)、非木造建物数（S56 以前と S57 以降）などである。さらに被害推定ボタンを押すと、震源や使用する距離減衰式、発災日、風速の設定メニューが現れる。まず震源は東京都の地震被害想定で用いられている区部直下型地震や関東地震などが選択可能なのに加え、任意なマグニチュードや震源位置・深さなどが設定可能である。さらに地震動推定に用いる距離減衰式は、山崎・安中式（1997）や司・翠川式（1999）などから選択できる。決定ボタンを押すと、地震動・被害推定結果の表示選択メニューが現れる。まず地震動の大きさを確認するため、例として東京区部直下型地震を選択し、基準地盤最大速度ボタンを押すと、工学的基盤の最大速度分布が現れ、地表最大値ボタンを押すと地表面での最大速度値の分布が現れる。一方、選択画面から建物被害メニューや火災・人的被害メニューに切り替えられる。例として、図７に木造家屋全壊数を表示するが、この他、負傷者数なども表示される。ちなみに得られた結果の全てテキストデータ（CSV 形式）や図として出力可能である。

一方、地域の被害を知る上では 100 m メッシュよりも町丁目の方が優れている。そこで GIS ソフトを用いて、東京都全域を対象とした町丁目単位の地震被害推定ソフトも開発している。先のソフトと同様に、まず被害想定データの入力画面があり、震源パラメータでは東京直下型地震や南関東地震などのデフォルト値も用意している。例として図８～１１に地形分類図、想定直下型地震を用いた地表での最大速度分布、木造・非木造の全壊棟数の分布を示す。震源は２３区部直下に想定しているため、図から分かるように区部で大きな速度分布を示しており、さらに軟弱な表層地盤の大きな増幅率により下町や河川沿いの谷底平野部などで大きな地震動を示している。木造全壊棟数の分布では下町や多摩川の下流を中心とした軟弱地盤で大きな被害棟数を示している。同様に非木造建物の全壊棟数分布も軟弱地盤沿いに大きな被害棟数が見られる。現在の試作版は歴史地震による被害分布との比較、強震観測記録との比較などの精度チェックを行った後、耐震補強の実施や地震保険の加入などによる費用対効果を考慮した地震リスクマネージメントシステムに発展させる予定である。

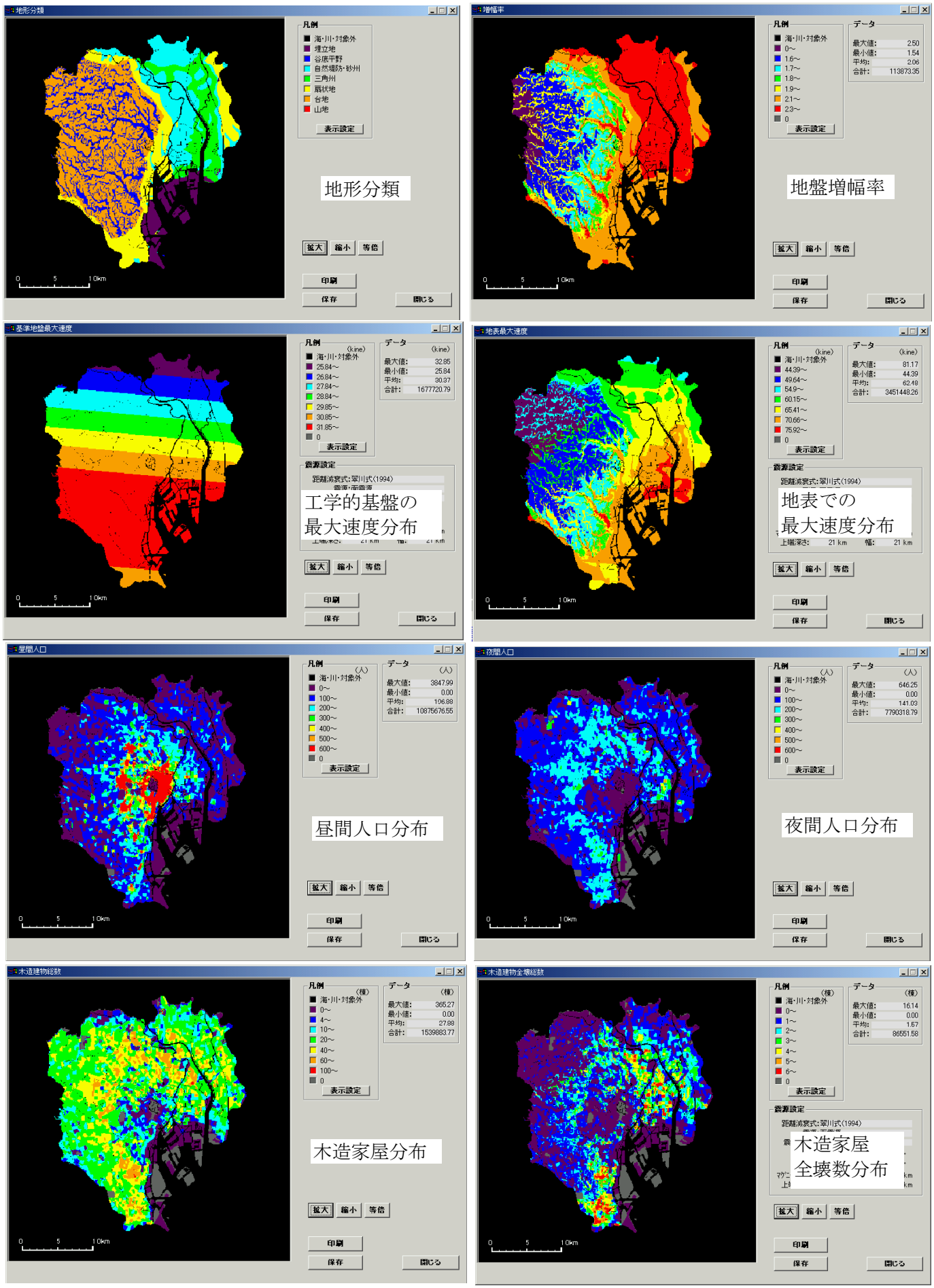


図７　簡易地震被害推定ソフトの出力例（東京都２３区、100m メッシュ）

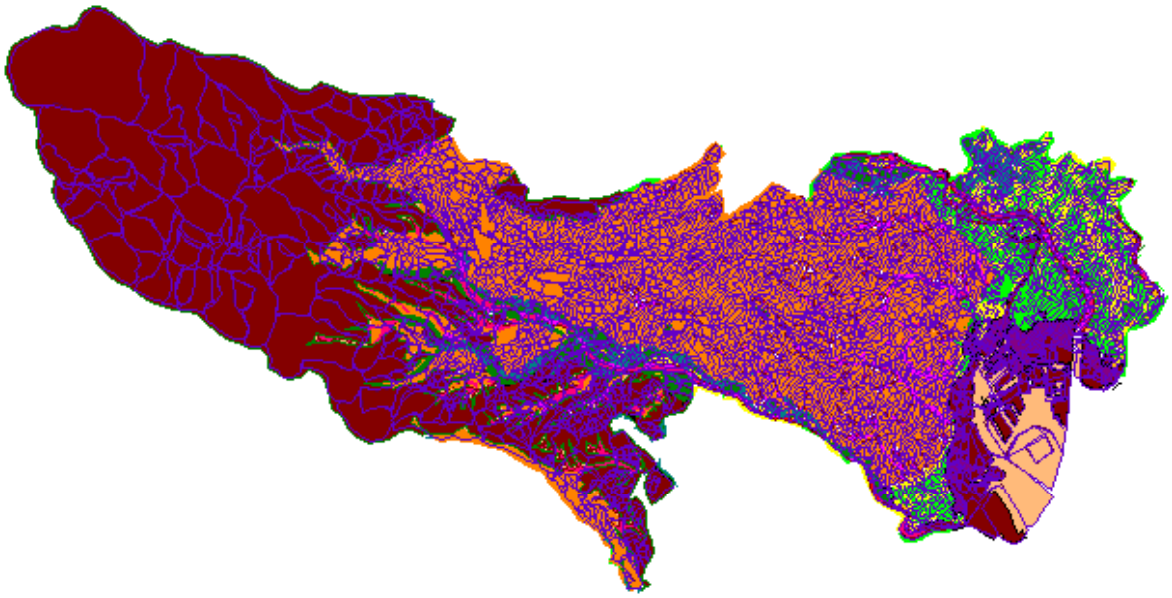


図８　東京都全域の地形分類データ（町丁目メッシュ）

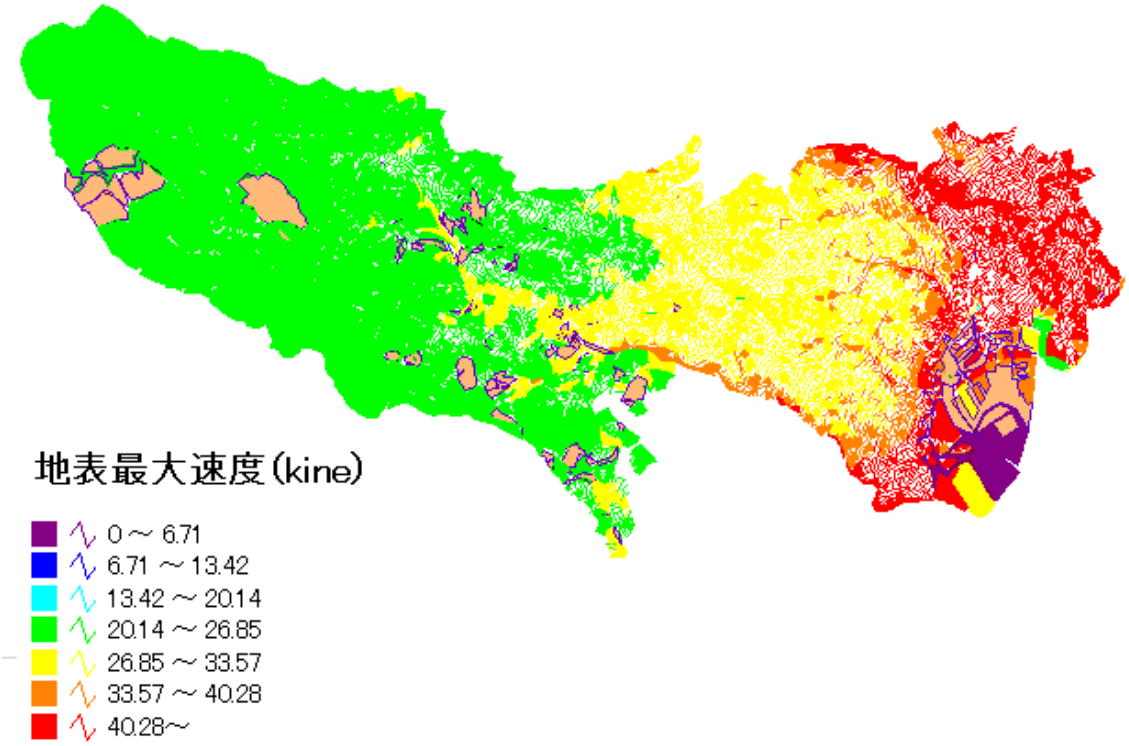


図９　地表速度値の分布の例（町丁目単位、想定東京都直下地震）

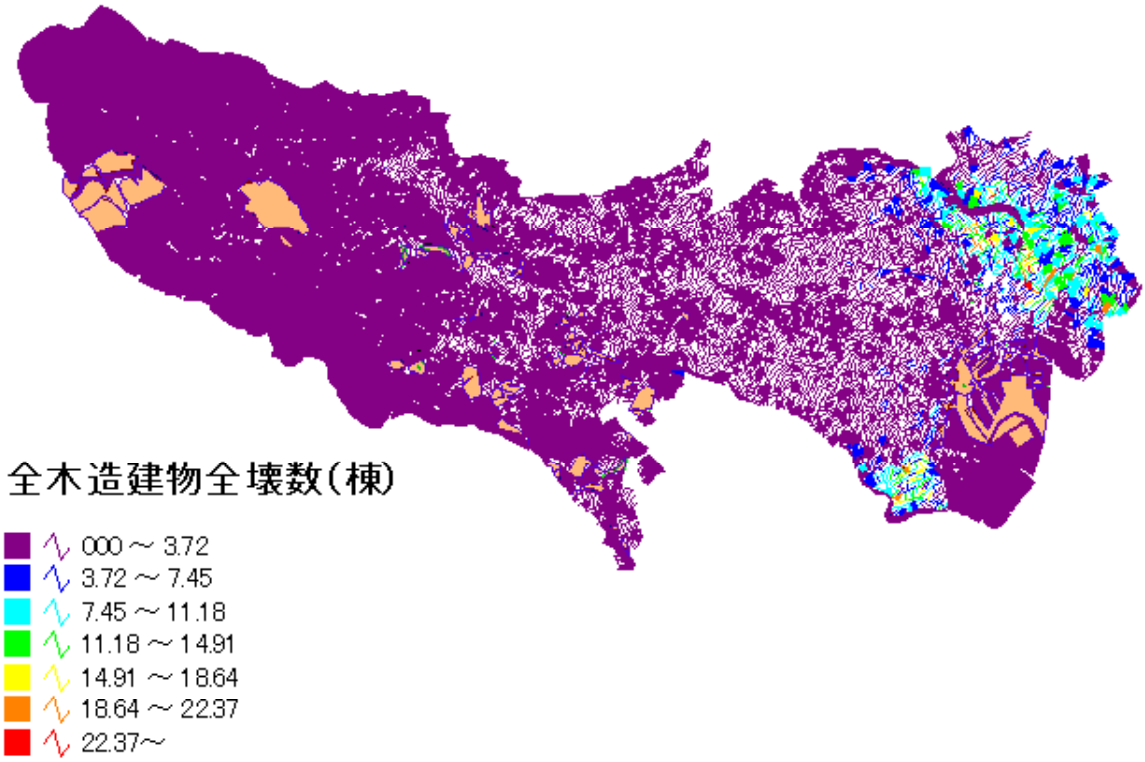


図 10　木造建物全壊数の分布の例（町丁目単位、想定東京都直下地震）

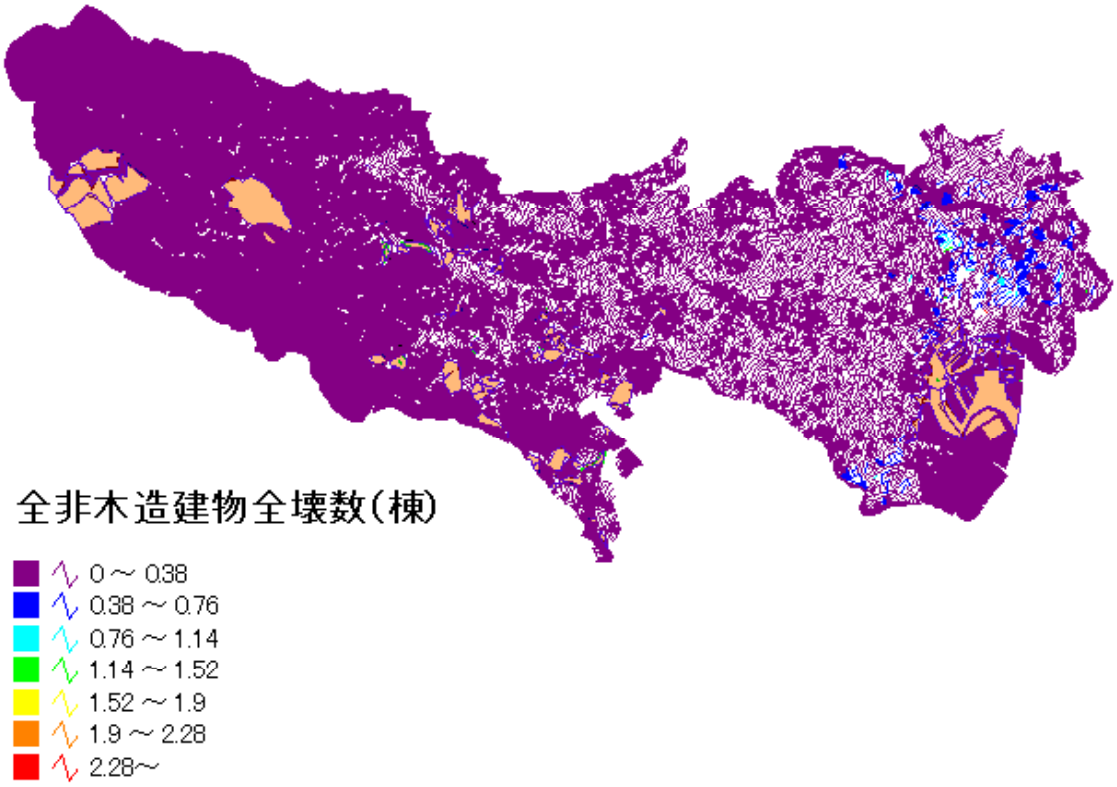


図 11　非木造建物全壊数の分布の例（町丁目単位、想定東京都直下地震）

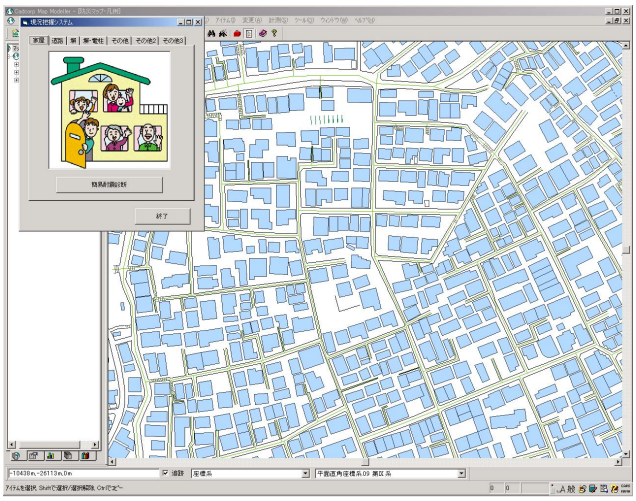
２．２　防災まちづくり支援 GIS ツール

上で開発している地震被害想定ソフトによる結果を活用し、地域のリスクマネージメントのため防災まちづくり支援ツールを開発している。ツールはまだ試作段階であるが、マウスによる容易な操作で，建物単位での簡易耐震診断（木造・RC 造）や地域の防災マップが作成でき，さらに簡易耐震診断の結果及び防災マップ作成時に収集した詳細な地区情報を効率良くデータベース化して，そのデータベースを基に，地震時に避難困難となる道路や緊急車両等の通行困難となる道路を道路単位で即座に把握することができる。

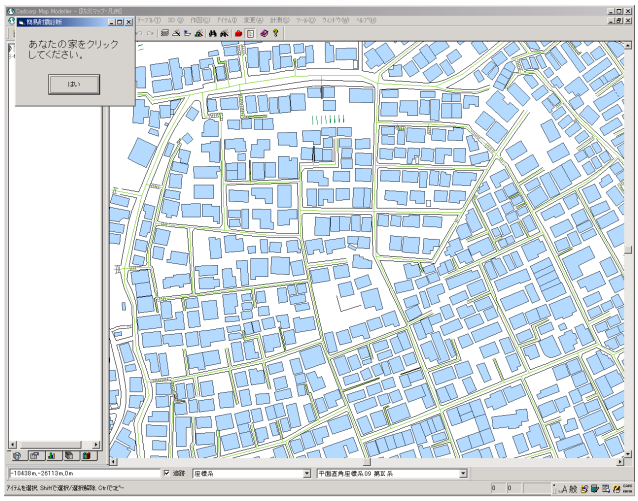
本支援ツールを起動すると，最初に建物単位での簡易耐震診断（木造・RC 造）及び地域の防災マップを作成するパネルが現れる（図 12(a)）。簡易耐震診断（木造・RC 造）については，住民が自分の住宅をクリックすると（図 12(b)），建物構造・建物階数に関する質問パネルが表示される（図 12(c)）。回答後，簡易耐震診断に関する質問パネルが表示され，質問に答えていくと（図 12(d)），簡易耐震診断の結果が提供される（図 12(e)）。こうした建物構造，建物階数，簡易耐震診断の結果は，建物の属性情報として自動的に追加され（図 12(f)），地震時の道路閉塞の評価に活用される。また防災マップの作成については，住民が地図上に追加したい項目を選択して，地図上をクリックしていくことで，容易に防災マップを作成していくことができる（図 12(g)）。防災マップに使用できる項目は，道路幅員に関するもの，塀・電柱に関するもの，避難場所や消火器などに関するものである（図 12(h)）。作成した防災マップは，プリンタで印刷して防災訓練や地区内の危険箇所の点検などに利用される。また住民が収集した詳細な地区情報は，地図上に追加されると，上記の建物情報と同様に，自動的にデータベース化され，地震時の道路閉塞の評価に活用される。

住民らが，地区内の建物情報や市街地情報を入力し終えると，それらの情報を基にして，地震時に避難困難となる道路や緊急車両等の通行困難となる道路を道路単位で評価するパネルが現れる（図 12(i)）。まず，入力した情報をボタン操作で自動的に取得して地区内の道路閉塞状況を評価する（図 12(j),(k),(l)）[17]。次に，表示ボタンをクリックすると，評価結果を基に地震時に避難困難となる道路や緊急車両等の通行困難となる道路が道路単位で自動的に表示される(図 12(m),(n))。これらの情報は，防災訓練時の避難ルートの検討などに利用される。

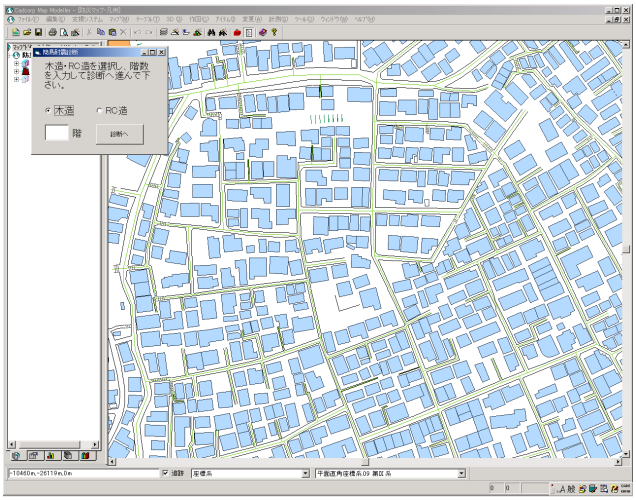
以上のように，本支援ツールを活用することで，建物や道路，沿道工作物といった細かな単位での効率的な情報収集及びデータベース構築が可能となり，さらにそれを基にして，地震時の住民の安全確保や応急対応活動支援のための情報を視覚的に理解しやすい形で提供することが可能となった。今後は,防災まちづくりのための PDCA サイクル(計画(Plan)を実行(Do)し、評価(Check)して改善（Act)）における住民の合意形成を総合的に支援する GIS ツールへの発展させる予定である。



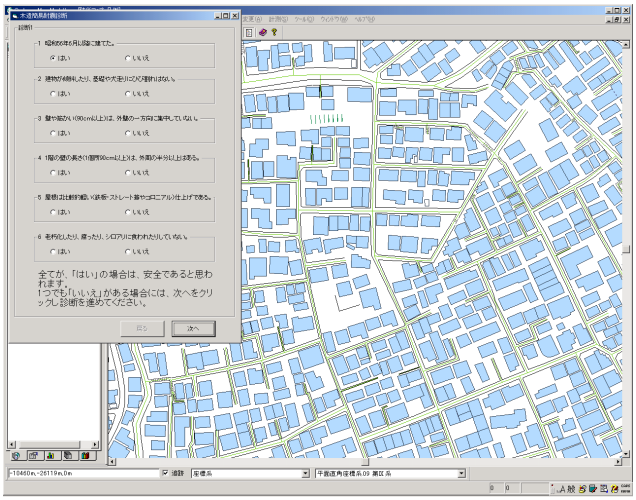
(a) 簡易耐震診断及び防災マップ作成の画面



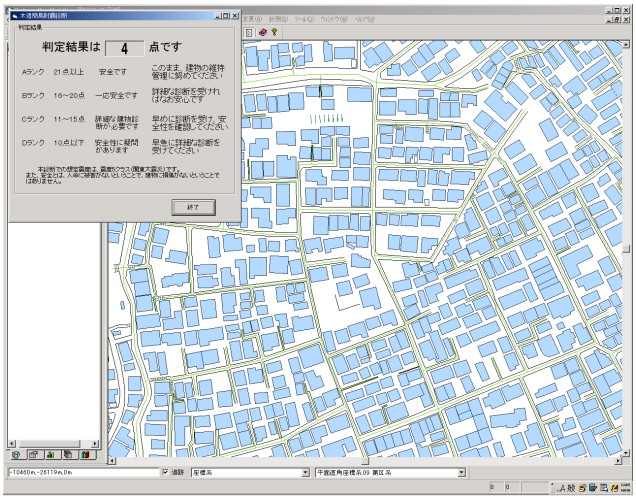
(b) 家屋選択の要求の画面



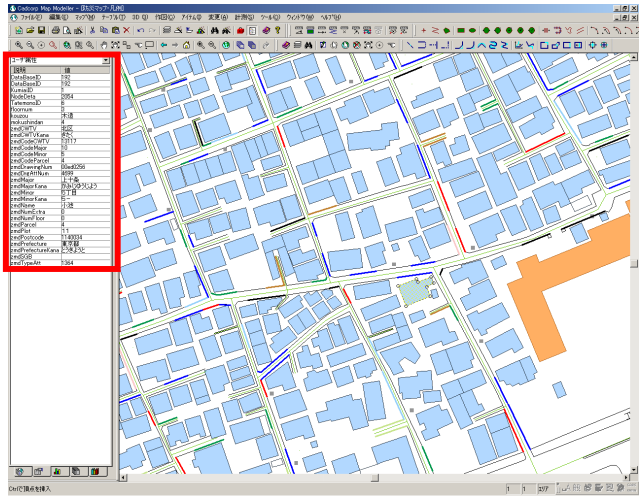
(c) 建物構造の選択及び建物階数の入力の画面



(d) 簡易耐震診断の質問項目の画面

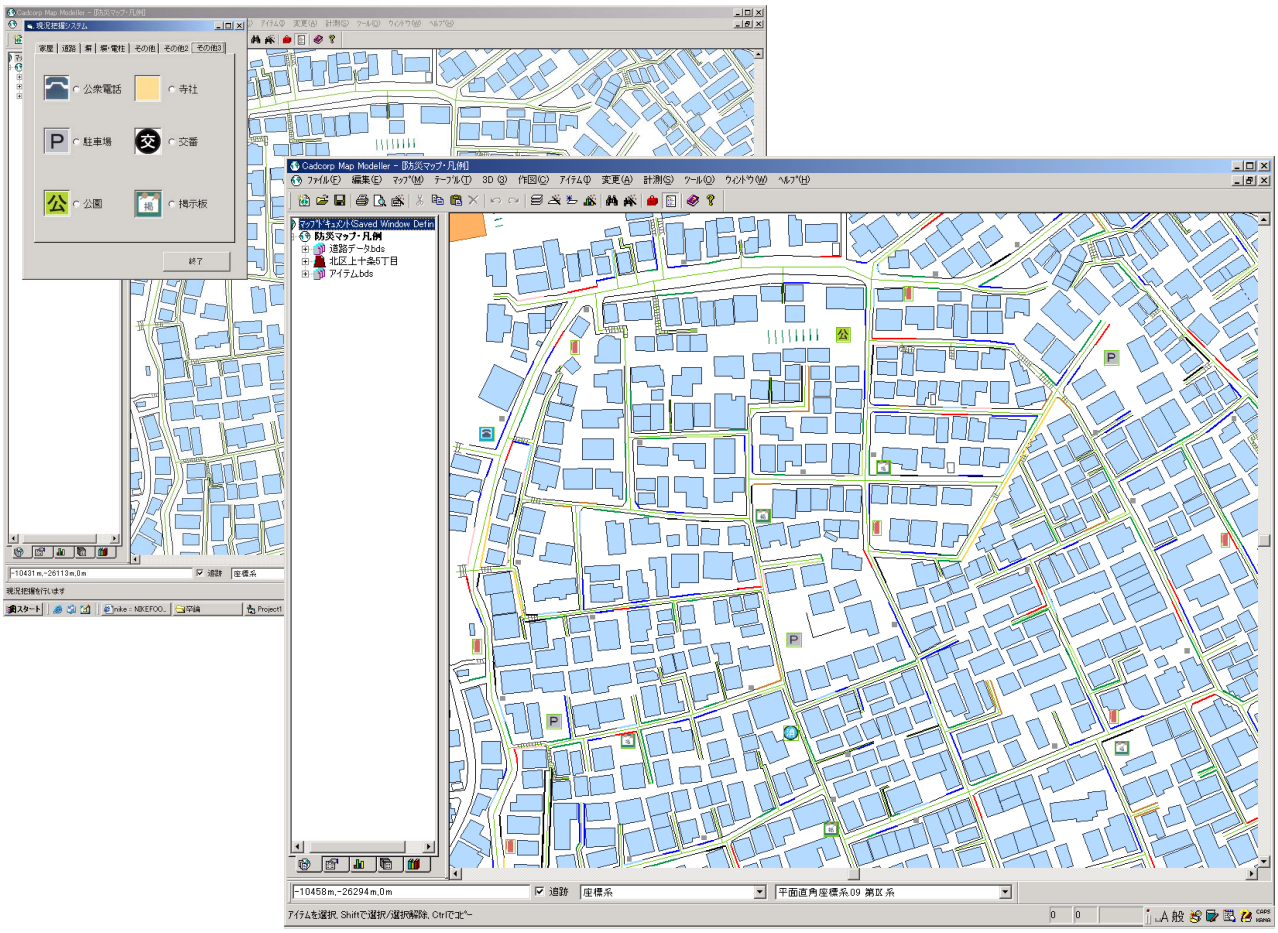


(e) 簡易耐震診断結果の表示の画面

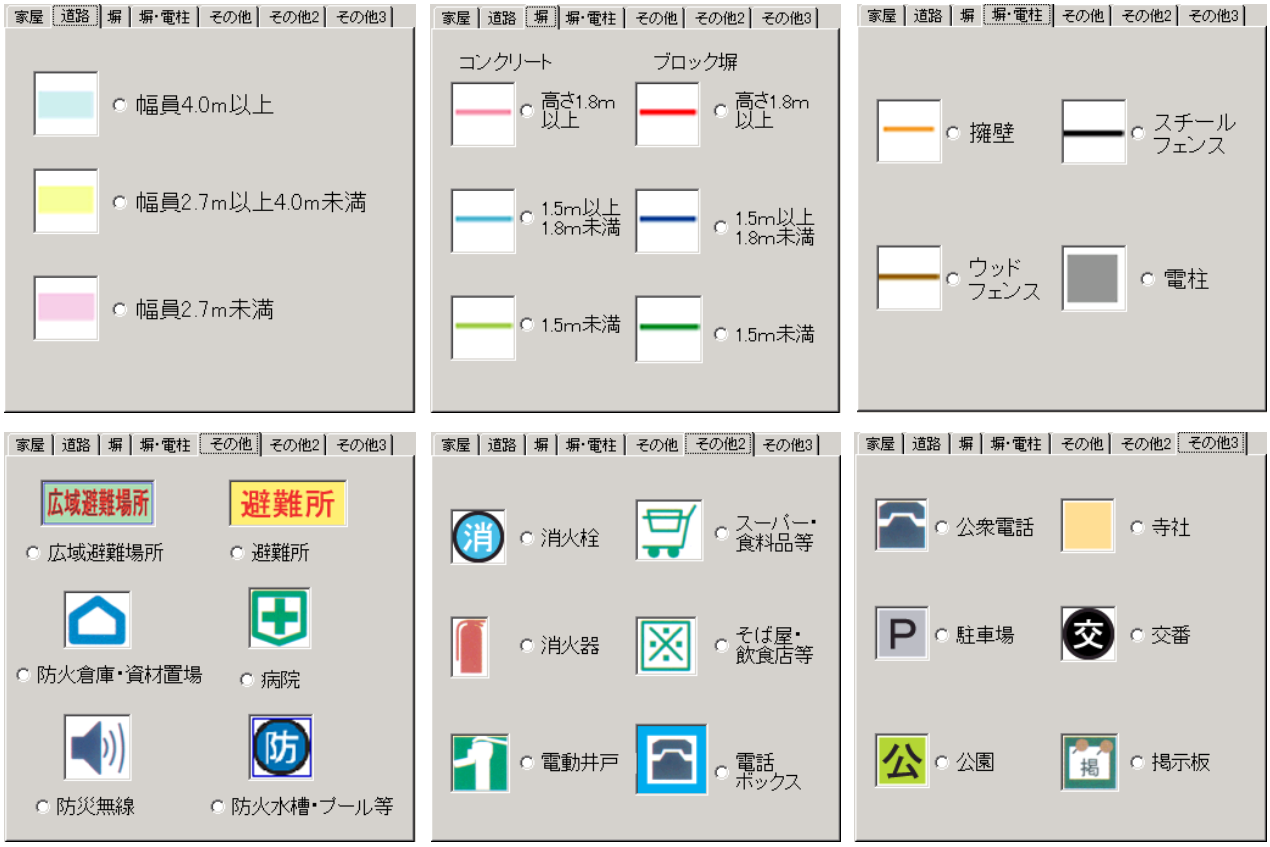


(f) 家屋の属性情報への診断結果の追加

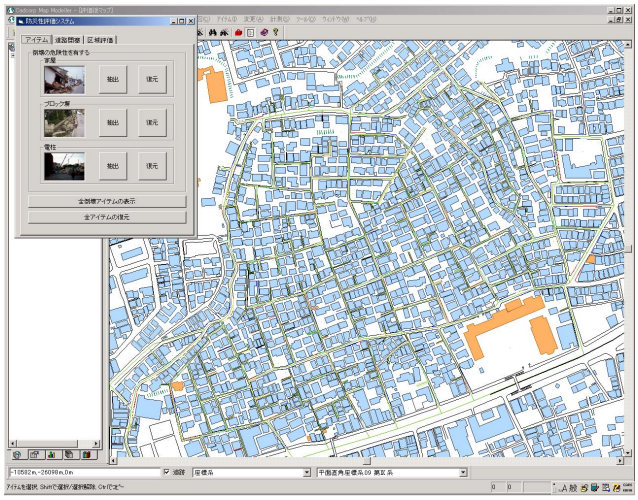
図 12　防災まちづくり支援ツールの操作画面



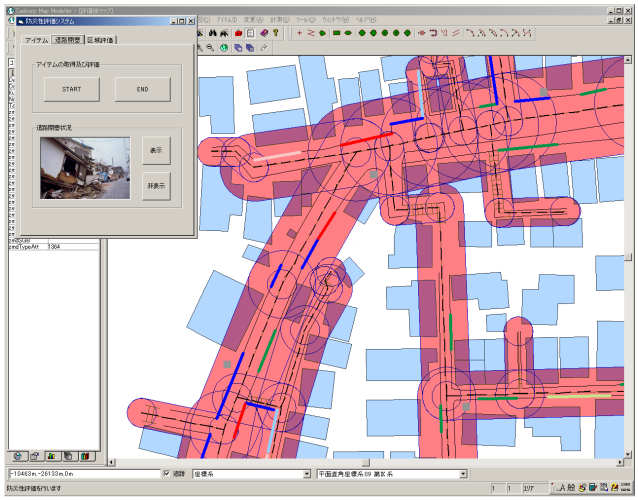
(g)　防災マップの作成の画面



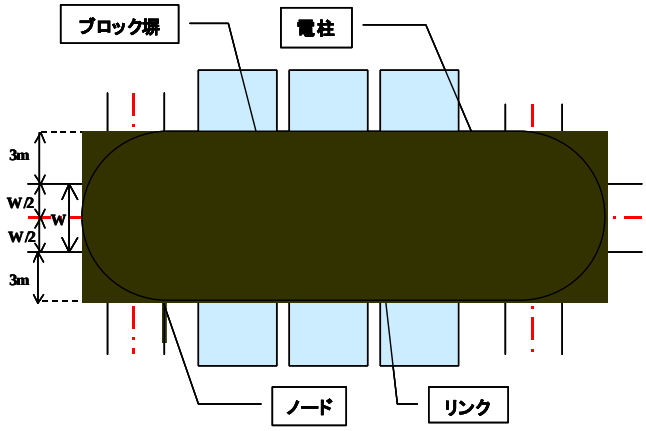
(h)　防災マップに使用できる項目



(i)　道路閉塞状況の評価の画面



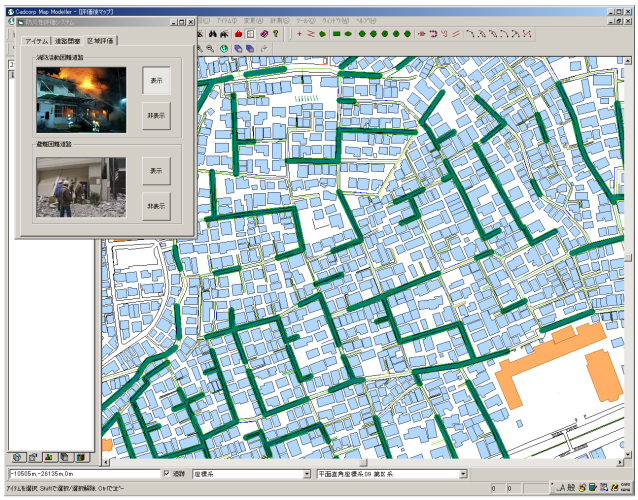
(j)　入力情報の取得の画面



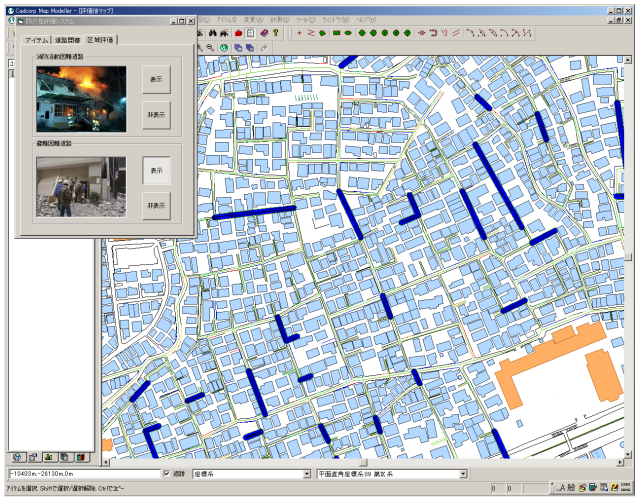
(k)　入力情報の取得のしかた

道路閉塞状況	通行条件	車両	歩行者
2m以上	ガレキ等の堆積の無い部分の幅員が2m以上の場合	○	○
2m未満	ガレキ等の堆積の無い部分の幅員が2m未満の場合	×	○
2m以上	倒壊後の道路に電柱がある場合	×	○
0.6m未満	ガレキ等の堆積の無い部分の幅員が0.6m未満の場合	×	×

(h)　道路閉塞の考え方



(l)　緊急車両等の通行困難道路の表示の画面



(m)　避難困難道路の表示の画面

図 12　防災まちづくり支援ツールの操作画面（つづき）

３．地震災害の事後対策における GIS 活用事例

３．１　即時地震被害推定システム

1995年の阪神淡路大震災以降、横浜市のREADYやJRのUrEDAS、気象庁の気象庁計測震度やナウキャスト、東京ガスのSUPREME、内閣府のEESなど様々な地震防災システムが開発されている。これらのシステムでは地震後速やかに地震動や被害を推定し、初動体制の確立に役立てることを目的としている。著者らも独立行政法人・防災科学技術研究所に協力し、上記の地震被害推定システムのうち、地震動推定システムを活用したリアルタイム地震動システムを開発している（ROSE; Real-Time Operation System for Earthquake）[5)]。地震動の予測手法は気象庁発表の震源データを用いて、上で説明した距離減衰式と地盤増幅率によるものに加え、K-netとKiK-netの強震記録データを用いて面的な地震動の補間を行う推定法も用いている。推定精度は地震記録を用いた後者の方の値が、即時性では前者の方が優れており、両者を加え合わせたシステムになっている。詳細は文献など[1)]を参照されたい。

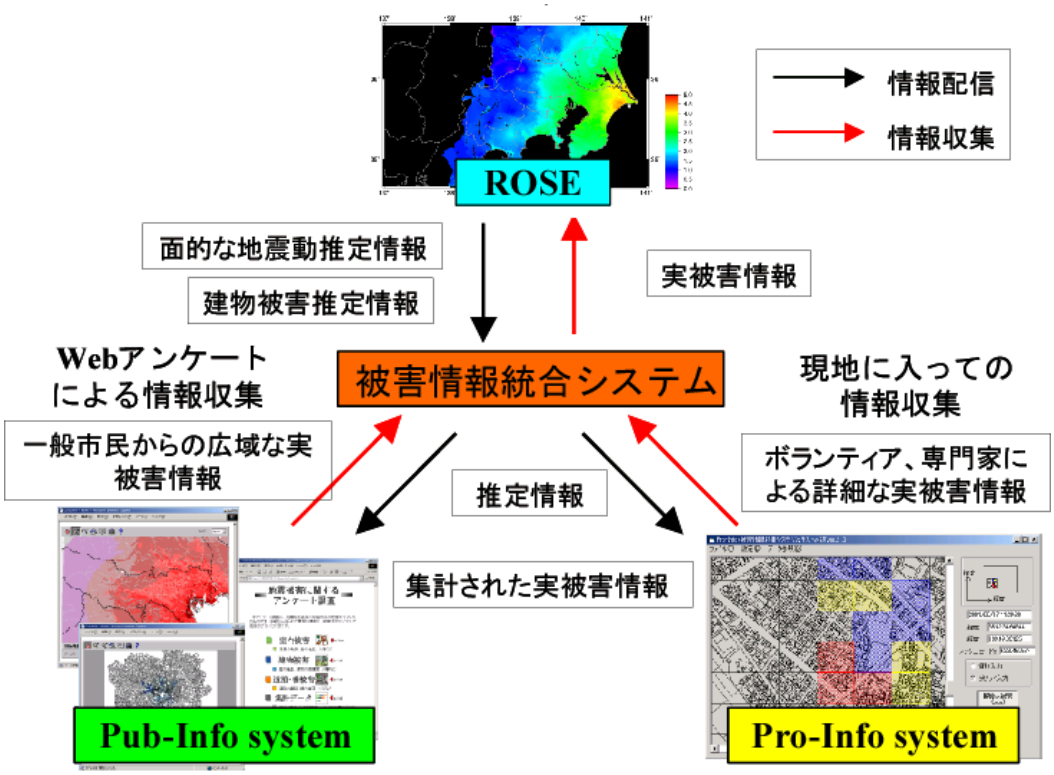


図 13 被害推定システム（ROSE）を基礎とした２種の被害情報収集システムの説明図

３．２　地震被害収集システム

地震動・地震被害推定システムは簡易な経験式が用いらており、2000年鳥取県西部地震のEESで見られたように、推定被害と実際の被害とには大きな差異が生じる場合がある。このため実際に広域な大規模地震災害が発生した場合、多くの自治体の救援要請で人材が不足し、実際に必要とされる被災地には救援を送れなくなる可能性が危惧される。従って被災地から実際の被害情報を効率的に収集するシステムの開発が望まれる。実被害の情報収集を行うシステムとして代表的なものとしては消防庁・消防研究所の消防活動支援情報システムや名古屋大学の安震君などがある。両システムとも被災地域の自治会などが被害収集用の端末を持ち、現地で被害情報を収集するものである。しかしながら収集担当者や担当場所をあらかじめ決めており、大量に人員を動因することは前提とし

ていない。また担当者が被災者になり身動きがとれなくなる可能性もあり、さらにお年寄りや主婦などが中心となる　一般市民が簡単に使いこなせるシステムとは言えない。

以上の背景を鑑み、図１３に示すように震災直後の地震推定結果（地震情報伝達システム：ROSE[5]など）を活用し、専門家から一般市民までが参加し、効率的に被害情報を収集する２つのシステムの試作版を開発している[6]。はじめのシステムはPCや携帯電話のウェブページによるイラスト型アンケート調査方法を用いた広域な地域を対象とした被害情報の収集システムである（Pub-Infoシステム）。このシステムでは一般の市民やボランティアなどから、被災地域やその周辺から被害情報の発信を期待している。２番目のシステムは甚大な被害が予想される地域で、地元または周辺地域の防災専門家やボランティアが被災地に入り、収集端末を用いて実際の被害情報を効率的に行うシステムである（Pro-Infoシステム）。震災直後の早期の初動調査から学術調査、復旧復興期における応急危険度判定、被災区分判定など、様々な状況に応じた被害情報を速やかに収集する早期被害情報把握システムである。これまで両システムの試作版を作成し、様々な実験により有効性を検証している。

（１）　被災地における実被害情報収集システム（Pro-Info システム）の開発と実験

現在、様々な機関で起動している地震被害推定システムは、広範囲な情報収集が期待できるが、精度や信頼性に劣り、被災地からの情報入手は期待できない。従って正確な実被災情報は現地から速やかに収集する必要がある。一方、必要となる情報には、地震直後における簡易な初動調査から応急危険度判定の調査、学会などの学術調査、復旧・復興期の被災度区分判定の調査など時間とともに変化する。以上のことから、図 14 に示すようにノート PC や GPS、デジカメ、携帯電話など様々なモバイルツールと簡易 GIS による地図情報を活用し、誰でも簡単に使用でき、かつ初動調査から被災度区分判定など様々な情報収集にも対応できる実被害情報収集システム（Pro-Info system）を開発している。

システム構成と特徴：実被害情報収集システム（Pro-Info システム）の構成と特徴を説明する[6]。本システムはノート PC や GPS、デジカメ、携帯電話など様々なモバイルツールと簡易 GIS による地図情報を活用し、誰でも簡単に使用でき、かつ初動調査から被災度区分判定など様々な情報収集にも対応できる汎用性のあるものを目している。図 14 に示すように、本システムの基本構成はノート PC（またはパーム PC）や GPS、デジカメ、携帯電話・PHS、無線 LAN などから構成される（このうち PC 以外は全てオプションで、PC 単体でも使用可能）。本システムの特徴は以下の通りである。

図 14 現地被害情報収集システム（Pro-Info システム）の機器構成（右）と使用方法（左）

①被害収集に特化した簡易型 GIS（地理情報システム）
②災害時期に応じた調査項目の変更が可能
③収集・集計などの用途に応じた使い分けが可能
④地図と連動した GPS ナビゲーションが可能
⑤汎用地図(ベクトル、ラスタ)の利用が可能
⑥特殊機器を用いることなく汎用パソコンで使用が可能
⑦操作はマウス、タブレット、キーボードで可能
⑧プログラムがオープンソースであり、利用者が独自に修正・改良することが可能
⑨商用目的以外はライセンスフリーでソフト配布が自由

特に本システムは、GIS 画面で現在位置が確認できるため、土地感のない外部の人間でも道に迷うことなく使用可能なこと、ライセンスフリーで使用法が簡単であるため、地震災害時にはボランティアによる調査員の大量動員が可能であること、などが最大の特徴である。アプリケーション本体は、Microsoft Visual Basic 6.0 SP5 を用いて開発を行った。パソコンは一般的に市販されているデスクトップ型、ノートブック型、タブレット型で使用可能である。地図データは、ベクトル・ラスタデータの両方の使用が可能で、ベクトルデータとしては、国土地理院発行の数値地図 2500、もしくは MapInfo Corporation 社の MapInfo アウトプット形式に対応している。一方、ラスタデータは、Windows の BMP 形式、JPEG 形式、GIF 形式に対応している。

［領域入力］　建物や街区など線で囲まれている領域を塗りつぶし情報を付加する入力方法。

［任意位置入力］　数値地図2500など建物や街区など線データがない場合に用いる入力方法である。

［メッシュ入力］　地震災害などである一定区域で同様な被害の場合などに用いる入力方法である（50m、100m、250m）。

位置情報に関する各種入力方法（左：建物・街区単位、中：任意ポイント、右：メッシュ）

［メイン画面］

［補助画面］
地図全体でどの場所を表示しているかを表している。ポインタ位置を緯度経度、及び国土地理院が定めるメッシュコードを表示。

［入力方法選択画面］
入力方法・データ編集をする画面。入力方法は領域入力、任意位置入力、メッシュ入力の3つの方法がある。（図？）

［状況情報の入力］
対象物の種類、建物の構造種別、被害程度、メモなど選択方式及び書き込みによる状況情報の入力

［ポインタ］
パソコンのキーボードによる位置決定のためのポインタ。

［サブ画面］

［入力された情報の参照画面］
入力された情報を参照する画面。項目は、データ入力時刻、入力方法、調査項目、緯度経度などが参照できる。また、入力履歴も参照ができる。

(b) メイン画面（左）と補助画面（右）

図 15 現地被害情報収集システムの各種入力法（上）と画面構成（下）

本システムは状況に応じて様々な機器と連携が可能である。まず情報の相互交換を行うための携帯電話、PHS、無線 LAN もしくは有線 LAN などの様々な通信機器との接続が可能であり、さらに被災地での調査員の位置把握を行うための GPS（Global Positioning System）の使用できる。GPS 端末に関しては、現在では GARMIN 社製のハンドヘルド GPS 端末に対応している。さらに被害状況を撮影するためのデジタルカメラも使用可能である。

システムの使用方法：被害情報は、被災対象物の規模、位置情報、被害状況の情報の順に入力を行う。まず被災対象物の入力単位は、図 15(a)に示すように目的用途によって使い分け、初動調査など緊急を要する場合や被災状況がある地域で一様な場合などはメッシュ単位（50m、100m、250mなど）で入力する。また建物全数調査や街区単位で調査を行う場合は、建物・街区単位(住宅地図等の建物または街区の形状が地図上に描かれているものに限る)で行い、対象物が小規模の場合や、地図上に建物形状等がない場合などはポイント単位で決定する。位置情報はアプリケーションの地図上で目標対象物が位置する場所でマウスポインタを合わせクリックすることにより位置が決定される。決定された位置情報は、プログラム内部の X,Y 座標を地図の緯度経度に変換を行い保存される（図 15(b)）。

次に被害状況の情報は、図 16 に示すように一問一答形式で入力する。設問及び設問数に関しては、予めよく使用されると思われる調査項目に関してはシステムに用意されており、また、自由に変更を可能にするためにカスタマイズ機能も設けてある。被害情報の入力としてのハードウェアデバイス（ポインティングデバイス）は、マウス、タブレットからの入力だけではなく、図 14 に示されるようにキーボードによる入力方法もサポートしている。キーボード入力は、A4、B5 サイズもしくはそれ以下のサイズのノートパソコンを災害現場に持ち出し、両手で持ちながら被害情報を入力操作する。キーボードの操作配列は、図 14 に示すとおりで、キーボードの左右外側で操作ができるように配列を行っている。

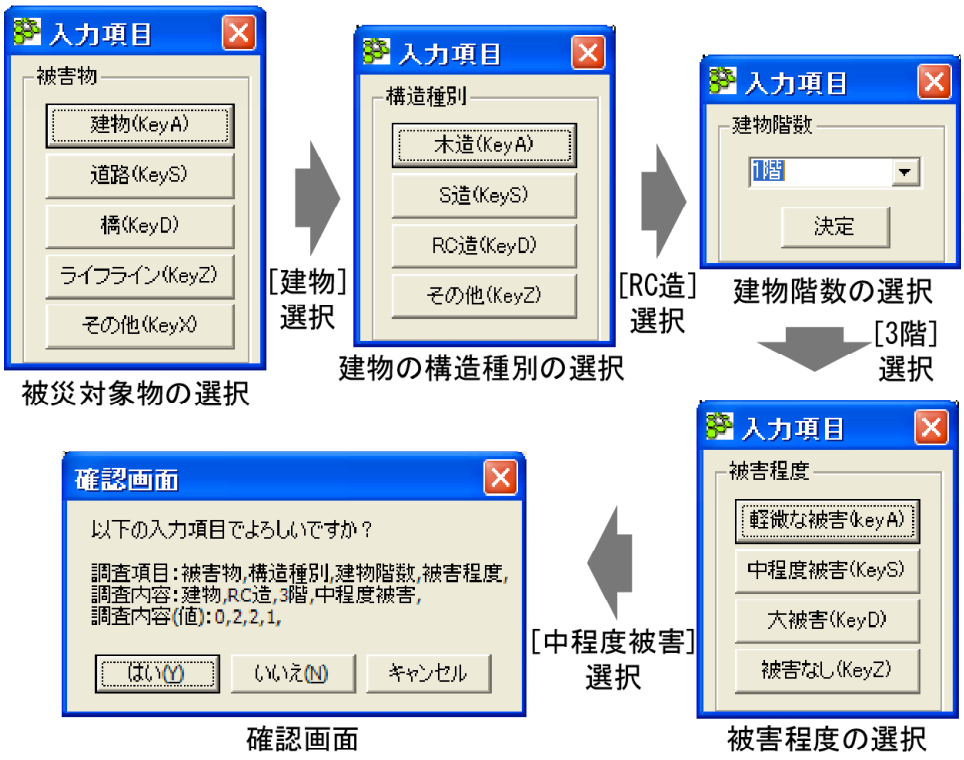


図 16 初動調査を想定した被害情報のデータ入力画面

最後に被害状況の情報は、震災時期及び調査目的により変化する。そのため本システムでは、震災直後の初動調査から震災復興の応急危険度判定、被災度区分判定の調査など、震災時期に応じた被害情報の調査項目の変更を可能にした。地震発生初期の調査として簡易調査や詳細調査などがある。簡易調査用は、地震発生直後の早期被害把握を目的としたもので、図 16 に初動調査を想定した調査項目の入力例である。まず調査対象物として「建物」「道路」「ライフライン」などがあり、次には調査対象物に応じた設問があり、「建物」の場合は構造種別、建物階数、被害程度などを入力する。被害程度としては、「被害なし」「軽微な被害」「中程度な被害」「大被害」から選択する。一方、詳細調査用としては、建物被害の場合、は岡田・高井の建物破壊パターン、及び建物沈下被害は小檜山他のイラストを用いて作成を行った。その他の調査対象物は独自に作成を行った。一方、応急危険度判定は、図 17 に示すように日本建築防災協会の「被災建築物応急危険度判定マニュアル」の応急危険度判定用の調査表をプログラム上に表現した。分類は鉄筋コンクリート造、鉄骨造、木造、項目内容はマニュアルに準じている。また、危険度判定、総合判定はすべての項目を埋めると自動的に判定結果が表示されるようになっている。

収集された被害情報は集計処理され、速やかに他の防災システムに使用が可能なように地図画像と ASCII データとして出力が可能である。地図画像は被害情報が付加された状態での画像保存が可能で、Windows の BMP 形式で保存される。収集された被害情報は、調査日時、調査対象物の緯度経度、調査項目などの情報が出力され、汎用フォーマットである CSV 形式（Comma Separated Value）や TXT 形式の ASCII データとして保存される。従ってこれらの保存したデータは、現在市販されているほとんどの GIS ソフトで読込むことが可能である。

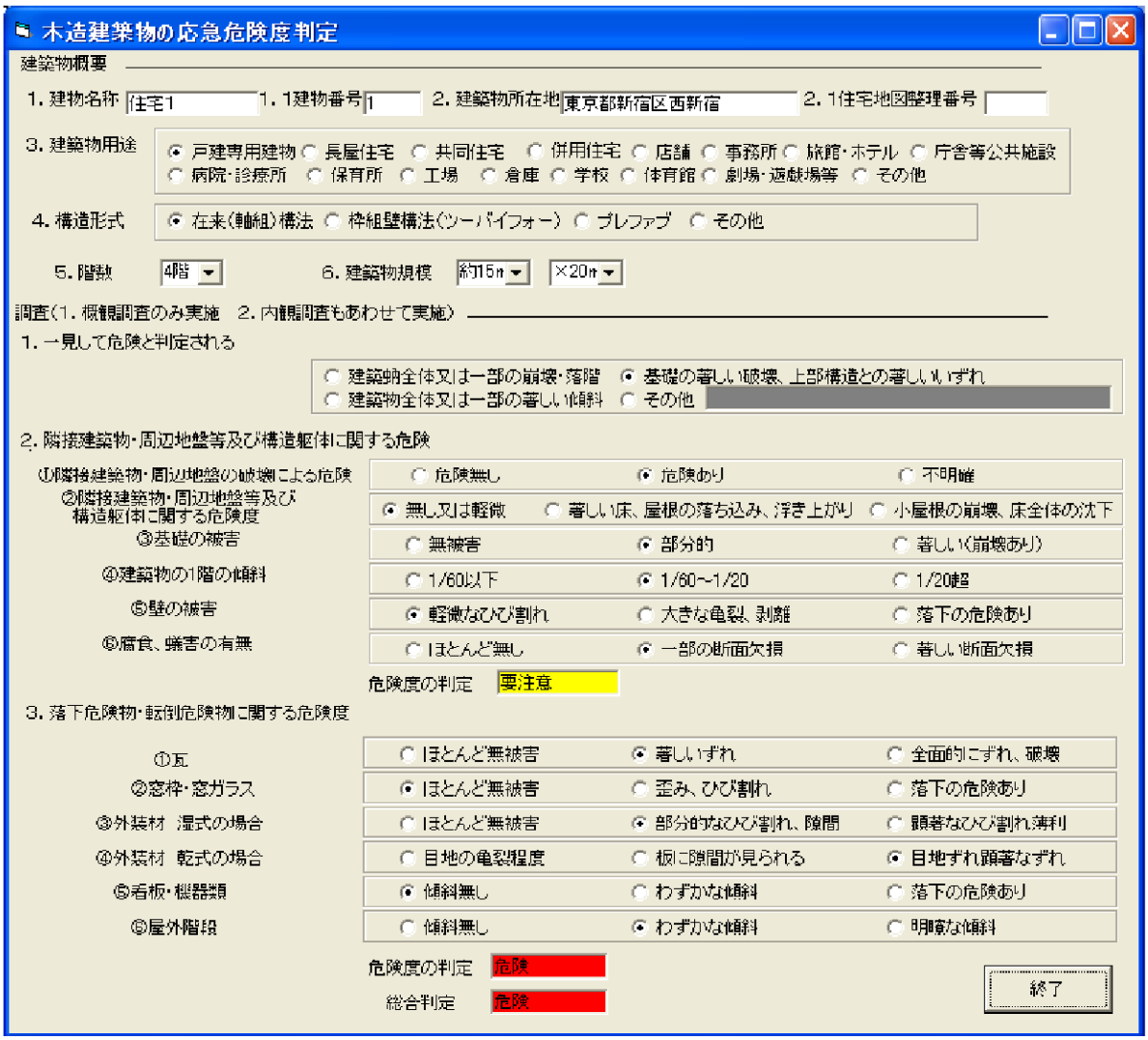


図 17 応急危険度判定を想定した被害情報のデータ入力画面

本システムを用いた路上実験：現地被害情報収集システムの有効性や問題点を調べるため、地震災害を想定した初動調査を模擬した実証実験を行った。本実験は図 18 に示す東京都北区上十条五丁目(面積約 0.15km^2、人口約 3700 人、約 1500 世帯)にて、当該自治会の協力を頂き、2003 年 8 月 31 日に防災訓練に連携して行った。

被害収集実験の目的は、初動調査を想定したもので、調査員が時間内に被害を探して来るものである。被害情報の目標物は、写真 1 に示すように「火災」「倒壊」「要求助」を各 15 個(計 45 個)の A2 サイズの看板と、発見の困難な赤いビニルテープを 42 箇所の電柱に取り付け、目標物をランダムに設置した。目標物の設置個所及び調査地域を図 18 に示す通りである。調査員は現地を全く知らない工学院大学学生であり、その構成は、現地被害情報収集システムを 2 人 1 組で 2 班、従来の紙地図による情報収集も同様に 2 人 1 組で 2 班とした。一方、同じ条件で独立行政法人消防研究所は当研究所の被害収集システムの PC 版、PDA 版を用い、2 人 1 組で各 1 班を構成し、実験に参加した。実験条件として、当日の実験開始前に現地被害情報収集システムの使用法を説明し、調査範囲を上十条 5 丁目内として、午前 9 時になる防災サイレンを合図に 2 時間で行った。また、調査ルートは予め指定せずに各班に任せ、調査時に目標物の写真を撮影するようにした。

制限時間である２時間で調査範囲を廻りきれたのは 6 班中 2 班であり、本システムを使用していた２班のうち１班は、調査終了後にデータがすべて消えるアクシデントがあった。その原因は電池切れの際、バックアップ機能が働かなかったことである。その他の４班は、調査途中で調査時間が終了した。

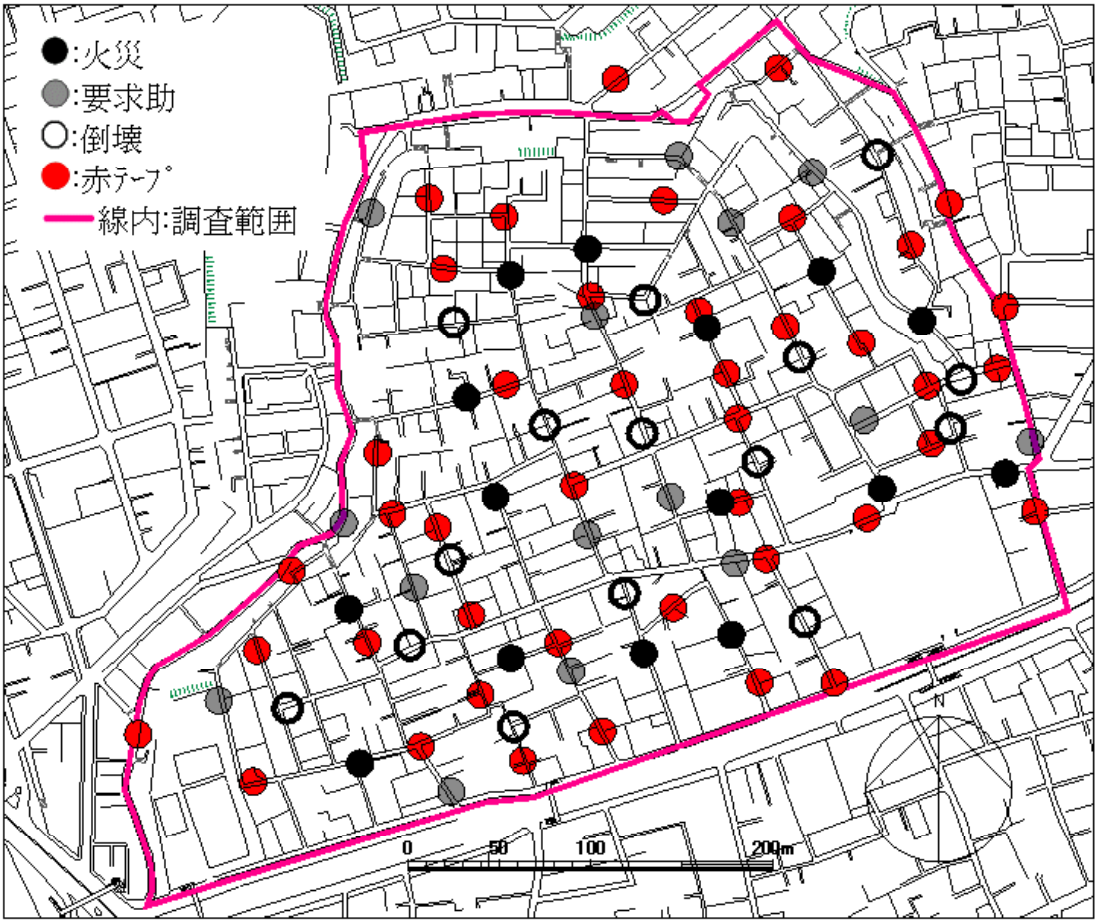


図 18　現地被害情報収集システムの路上実験の調査範囲及び目標設置個所

火災看板（４５箇所）

要救助看板（４５箇所）

倒壊看板（４５箇所）

赤テープ（４２箇所）

写真１　現地被害情報収集システムの路上実験の調査対象物

表１　各班の目標別発見個数及び発見率

目標物	現地被害収集システムTT班		紙地図TS班		紙地図KS班		消防研究所PDA班		消防研究所PC班	
種類	個数	発見率	個数	発見率	個数	発見率	個数	発見率	個数	発見率
火災	14	93%	15	100%	11	73%	10	67%	8	53%
要求助	15	100%	12	80%	10	67%	10	67%	9	60%
倒壊	16	106%	15	100%	12	80%	11	73%	12	80%
赤テープ	38	88%	42	98%	32	74%	31	74%	22	52%
発見目標物合計	83	94%	84	95%	65	74%	62	71%	51	59%

結果をまとめると、表１に示されるように各システム及び各班の目標物の発見率では消防研究所の PC 版を除いて 7 割程度以上であった。消防研究所 PC 版の発見率の低さに関しては、システムの不具合により調査開始が遅れたことと、被害の入力方法がデスクトップでの使用を目的としているため両手に PC を持った状態では入力に時間がかかり調査時間がかかったものだと思われる。現地被害収集システムの TT 班と紙地図 TS 班は 9 割程度の発見率、紙地図 KS 班と消防研究所 PDA 班は 7 割程度の発見率と結果に違いがある。これは紙地図同士の違いから明らかなように各班の地理的な空間把握能力の違いからくるもので、システムの優劣ではないと考えられる。先行実験では 2 時間半で町内を廻りきれる結果であった [6)]。このことから本システムと紙地図による調査、消防研究所の PDA 版に関してはほぼ同じ調査時間で調査できることが分かった。従って本システムと消防研究所の PDA 版にでは、得られたデータは既にデジタル情報であるため、そのまま GIS に移行が可能であるのに対し、紙地図の調査の場合は、デジタル化作業ののち、GIS への入力作業がかかることから本システムと消防研究所の PDA 版の方が優れたシステムであると言える。一方、本実験を通して、コンピュータによる調査には電源の確保、データバックアップ機能の確保などの改善点があり、さらに表示する地図の縮尺によっては調査目標物の入力位置が多少ずれるという問題があった。

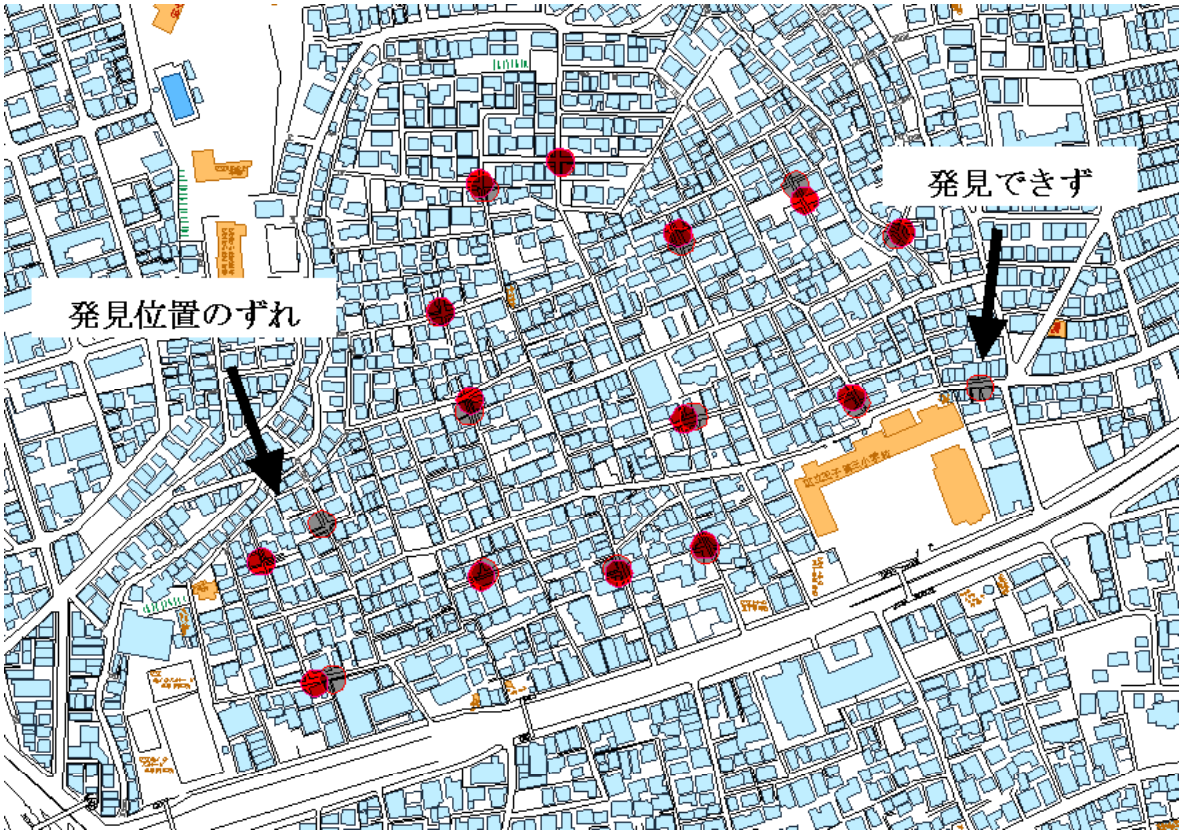


図 19　現地被害収集システム TT 班の火災の発見個数（赤）と正解地点（灰色）

（２）　地域住民による防災マップの作成と効率的な地震被害収集の実験

1995 年阪神・淡路大震災の教訓の一つは、地域の自主防災組織の重要性である。特に大規模災害時には，被災地の警察職員，消防職員・団員も被災者となり，被災者の数も膨大となることが予想される。大規模災害が発生した場合、真っ先に被害情報を把握できるのは地域住民である。このため、上で説明した被害情報収集実験と同時並行して、地域住民自らによる被害情報の収集とマッピングの実験を実施した。現地にて建物や道路幅員、ブロック塀、消火器・消火栓などの消火施設、標高等の地盤情報などの位置を記したデータを収集し、地震防災のための防災マップ

を作成しており（図 22)、今回はこれを利用してマッピングを行った。以下、実験概要と成果を説明する。従って警察・消防等だけでの防災活動・救助活動は困難であり、地域住民自らが被害の情報収集を行い，被災マップを作成し，消防活動等緊急・応急対応することが求められている。このように，自治会，町内会などを単位とする地域住民による共助の防災活動の充実強化が非常に重要である。そこで地域住民自らによる被害情報収集実験を行った。

実験対象は東京都北区上十条５丁目であり、地域の防災訓練の際に行われた。情報収集する対象物は上の実験と同じ厚紙で作られた看板であり、これを電柱に設置する。看板は３種類（火災・要救助・倒壊）あり、１５の部会に３個所づつ、計４５箇所である。看板の設置は訓練開始に先立つ１時間前に行われた。情報収集担当者は、町内会で予め決められた１２名であり、うち８名（防災課から部長１名，部員３名，文化部から部長１名，部員３名）は町内会の住宅地図を持ち，予め決められた経路（火の用心のための経路）に沿って調査目標物を探しながら回る。そして，残る点線部分以外の経路を，他の情報収集担当者４名（婦人部の防火部から部員４名）が調査目標物を探しながら回る。調査目標物を見つけた場合に町内会マップに書き込みを行う。すべての経路を回り終わったら，部員は各部，各課ごとに部長に収集した情報を報告し，報告を受けた部長は，避難場所（王子第三小学校）に設置した災害対策本部に戻り報告を行う。婦人部の防火部の部員については，各個人が自ら本部に報告を行う。報告は本部に用意されている大きさ A1 の防災マップに赤（火災），青（倒壊），緑（要救助）のシールを貼り付ける方法で行った。

町内会住民による被害情報収集実験は以下のように行われた。まず情報収集する対象物は写真６に示す厚紙で作られた看板（42cm×60cm の４面折り）を電柱に設置する。看板は３種類（火災・要救助・倒壊）あり、図 18，20 に示すように１５の部会に３個所づつ、計４５箇所に設置した。看板の設置は訓練開始に先立つ１時間前に行われた。情報収集担当者は、町内会で予め決められた１２名であり、うち８名（防災課から部長１名，部員３名，文化部から部長１名，部員３名）は町内会の図 21 の住宅地図を持ち，図に示す点線部分（火の用心の経路）に沿って調査目標物を探しながら回る。そして，残る点線部分以外の経路を，他の情報収集担当者４名（婦人部の防火部から部員４名）が調査目標物を探しながら回る。調査目標物を見つけた場合には図 21 の町内会マップに書き込みを行う。すべての経路を回り終わったら，部員は各部，各課ごとに部長に収集した情報を報告し，報告を受けた部長は，避難場所（王子第三小学校）に設置した災害対策本部に戻り報告を行う。婦人部の防火部の部員については，各個人が自ら本部に報告を行う。報告は本部に用意されている大きさ A1 の防災マップ（図 22）に赤（火災），青（倒壊），緑（要救助）のシールを貼り付ける方法で行う（写真 2)。

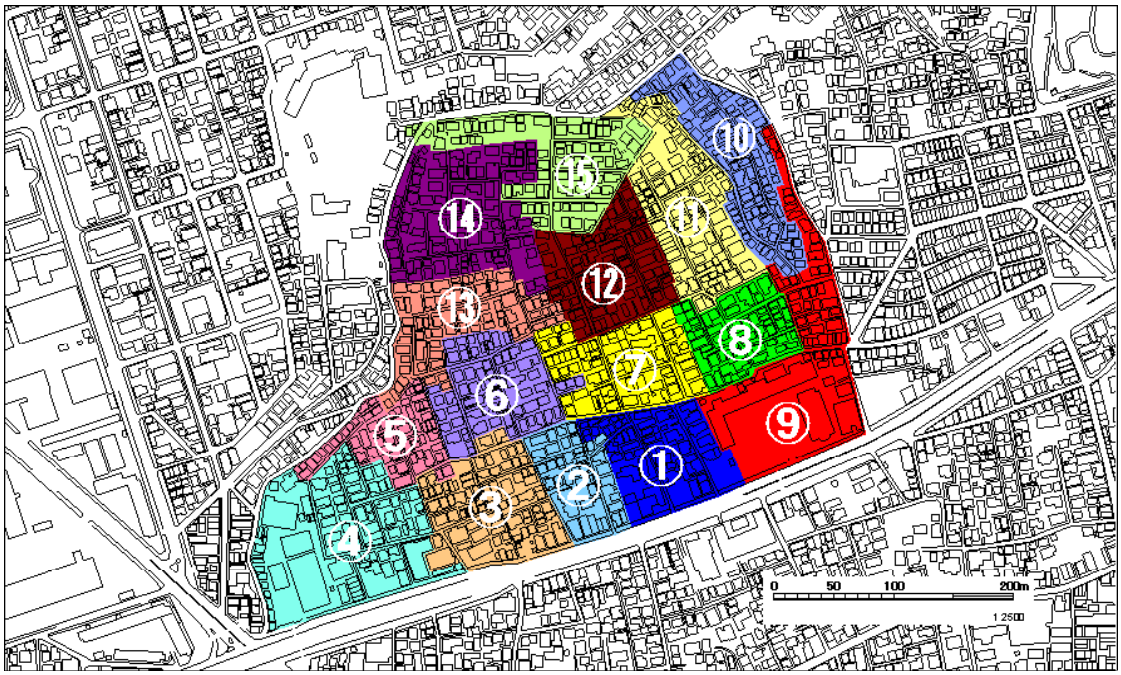


図 20　東京都北区 5 丁目内と部会の配置図

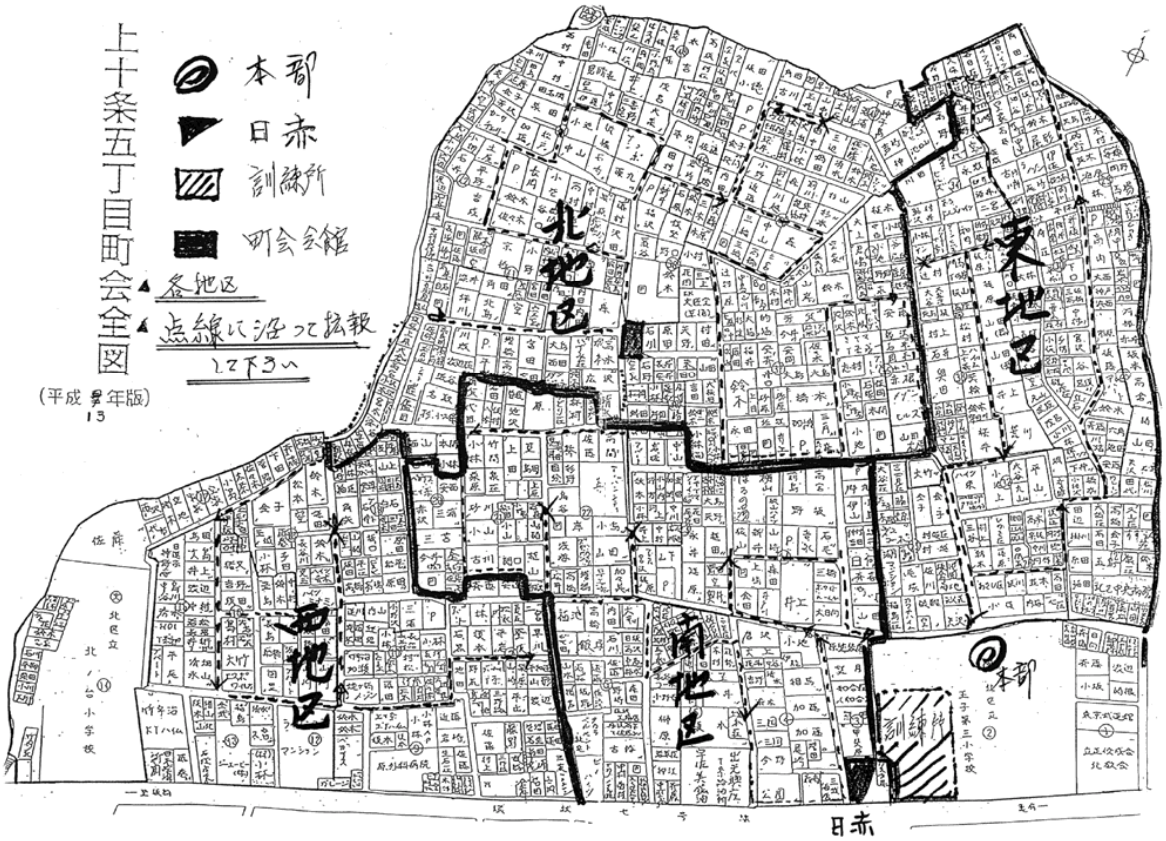


図 21　被害情報収集時に住民が使用した町内会マップ

図 22　避難場所（王子第三小学校）に設置された災害対策本部に用意された防災マップ

写真２　災害対策本部にて収集した被害情報を報告している様子

実験準備は 2003 年 8 月 31 日 AM 7:00，東京都北区上十条５丁目に集合し，被害情報収集実験についてミーティングを行った。AM 7:30 より調査目標物となる火災，倒壊，要救助の看板の取り付けを開始した。取り付けには，2 人 1 組で 5 組，合計 10 人で行われた。取り付け時間は，1 時間で AM 8:30 までとなっていたが，定刻の AM 8:30 を過ぎても戻らない組も見られた。

AM9:00，防災サイレンと共に，被害情報収集実験を開始した。しかし，AM9:00 防災サイレンが鳴る前に，情報収集を始めてしまっていた収集担当者の方もいた。調査目標物を発見したら，持っている町内会マップに発見地点を記入する。この時，調査目標物の位置をマップ上で把握するのではなく，〇〇さんの家の横など家主名で把握している人や、町内会マップを使用せず住所をメモしてきた人などが見受けられた。

避難訓練による住民の集合は AM9:15 には終了していた。被害情報収集担当者は担当した地域を回り終わったあと，避難場所（王子第三小学校）に設置された災害対策本部に戻り，用意されている大きさＡ1 の防災マップに集めた情報を記載する（写真 2)。最初に報告に来られた担当者は AM9:06 で収集を終えていた。最後の報告も AM9:27 となっており，収集時間は 27 分間とかなり早い時間で情報収集を行うことが出来た。

表３　被害情報収集の防災マップへの報告結果　（単位：箇所）

	火災	倒壊	要救助	合計
5m未満の誤差	5	7	5	17
5m以上、10m未満の誤差	2	4	1	7
10m以上、20m未満の誤差	5	1	6	12
20m以上の誤差	2	2	1	5
発見できていない	1	1	1	3
発見ミス	1	0	0	1
報告ミス	0	0	1	1

発見ミス：調査目標物の設置されていない場所において、発見の報告をした場合。

報告ミス：調査目標物を発見していたと考えられるが、道を１本間違えるなど、報告時に報告ミスをしたと考えられる場合。

（防災マップ上の「５ｍ」は報告のシール１枚分の幅と同じ大きさである。）

防災マップへの被害状況報告の集計結果を表３に、火災の被害状況報告結果を図 23 に，倒壊の被害状況報告結果を図 24，要救助の被害状況報告結果要救助を図 25 に示す。火災，倒壊，要救助の調査目標物全体では，『5m未満の誤差』のほぼ正確に報告が出来ていた箇所が 17 箇所、『5m以上，10m未満の誤差』の報告時シールを貼る際に多少のズレが生じたと考えられる箇所が 7 箇所、『10m以上，20m未満の誤差』の報告時シールを貼る際に大きくズレが生じたと考えられる箇所が 12 箇所、『20m以上の誤差』の調査目標物を発見していると考えられるが，収集時に使用した町内会マップに発見地点の記入した際，ズレが生じたと考えられる箇所が 5 箇所、『発見できていない』については，火災，倒壊，要救助ともに 1 箇所ずつ 3 箇所あった。この項目については，9:00 前に情報収集を始めていた担当者が，設置される前に調査目標物設置予定の場所を通ってしまい，ないものと判断した可能性が考えられる。またはどの地点においても対象地域（上十条 5 丁目）の端のほうに位置し，避難経路から大きく外れた場所にあったため起きた可能性も考えられる。

図 23 にある『発見ミス』は、調査目標物の設置されていない場所において，発見の報告をした場合を意味し，火災のみに 1 箇所あった。報告された地点には火災看板は設置されておらず，この地点周辺にも火災看板は設置されていなかった。また，図にあるように『発見ミス』地点のすぐ近くには倒壊看板が設置されていたが，この倒壊地点については倒壊看板を発見したと，正しく報告を受けている。このことから，倒壊地点を報告した担当者とは別の担当者が，倒壊を火災と間違えて報告した可能性が考えられる。

一方、図 25 にある『報告ミス』は調査目標物を発見していたと考えられるが，報告時に報告ミスをしたと考えられる場合を意味し，要救助のみに 1 箇所あった。報告された地点には要救助看板は設置されていなかったが，報告を受けた通りの 1 本となりの通りの同じ様な位置に，要救助看板は設置されていた。

本実験をまとめると，住民による被害情報収集実験は、情報収集担当者が担当地区を分担し、かつ地元であるため、情報の収集時間は約 30 分と極めて短い時間で行うことができた。一方、防災マップへの報告の際，火災，倒壊，要救助ともに誤差が生じたこと原因の大きな理由は，情報収集時に使用した町内会マップ（図 21）と災害対策本部に用意した防災マップ（図 22）の差に起因した。ずなわち、町内会マップには家主名がデフォルメされて描かれているのに対し，防災マップは正確であるものの家主名が無い。このため多くの住民は発見場所を〇〇さん宅の家の前、などと記憶しており、防災マップに記述する際、街区や道路を間違うなどの問題を生じた。これについては，防災マップに家主名を記載するなど、できる限り日頃使い慣れた町内会地図に近づけることで解決できると考えられる。

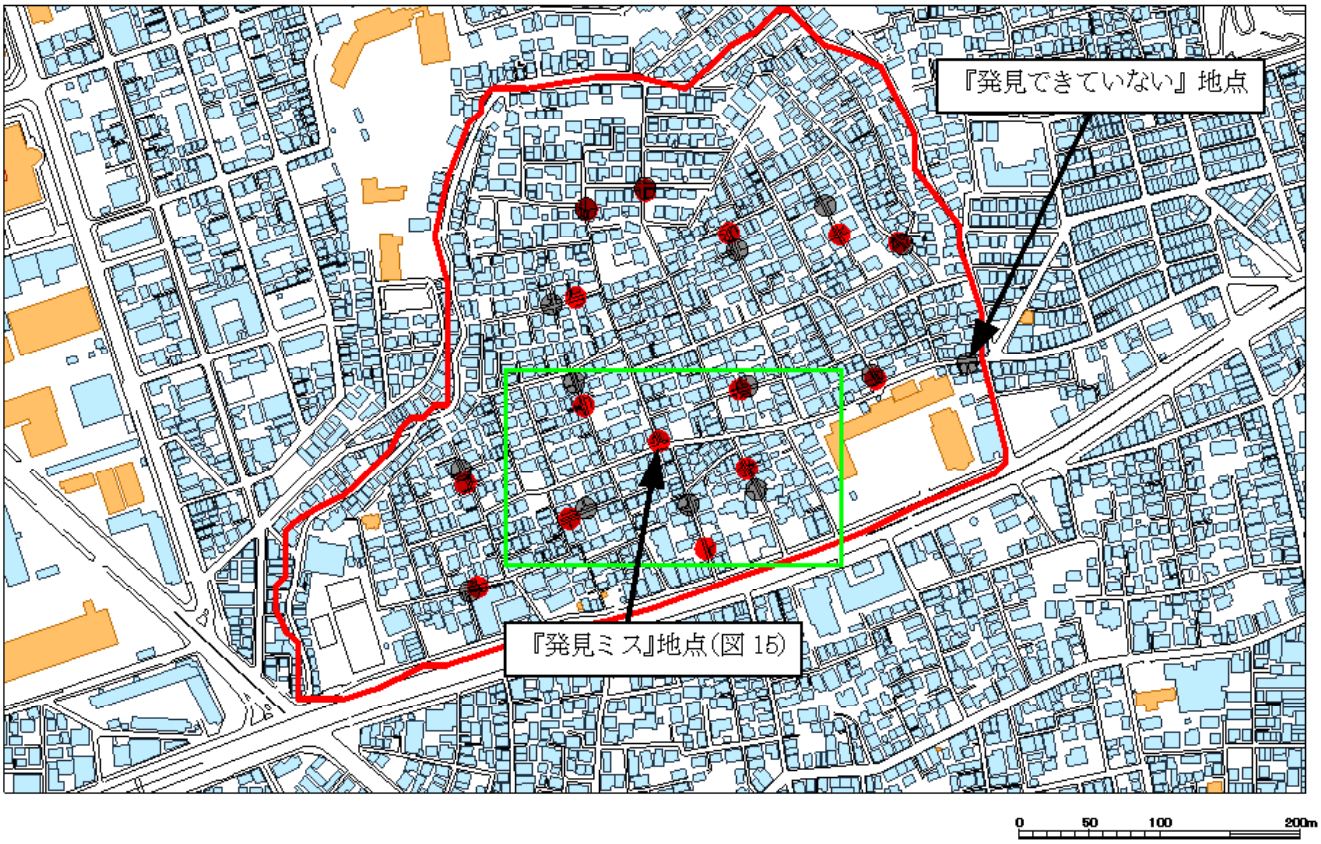


図 23　住民による被害情報収集データ〔火災〕　発見報告地点（黄色）／　正解地点（灰色）

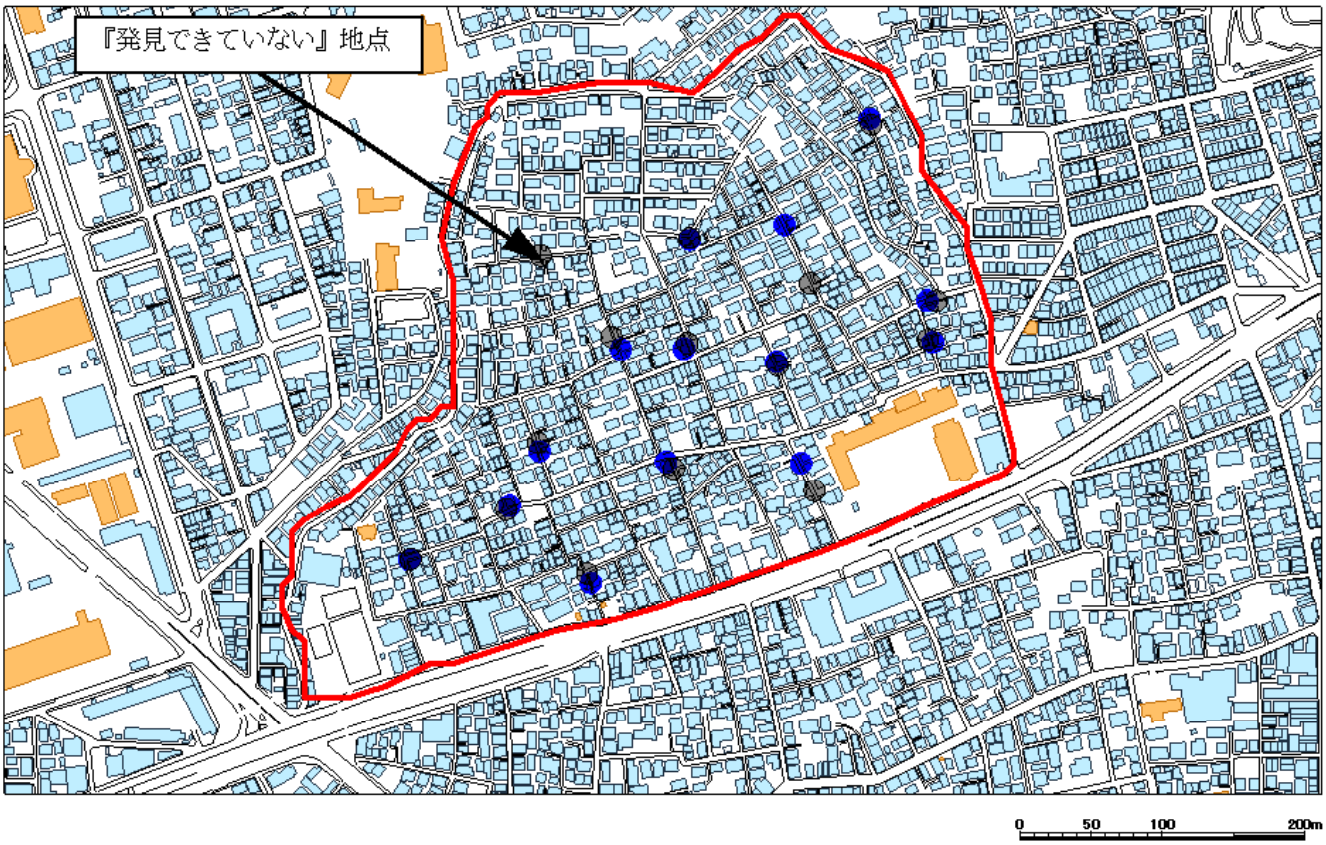


図 24　住民による被害情報収集データ〔倒壊〕　発見報告地点（黄色）／　正解地点（灰色）

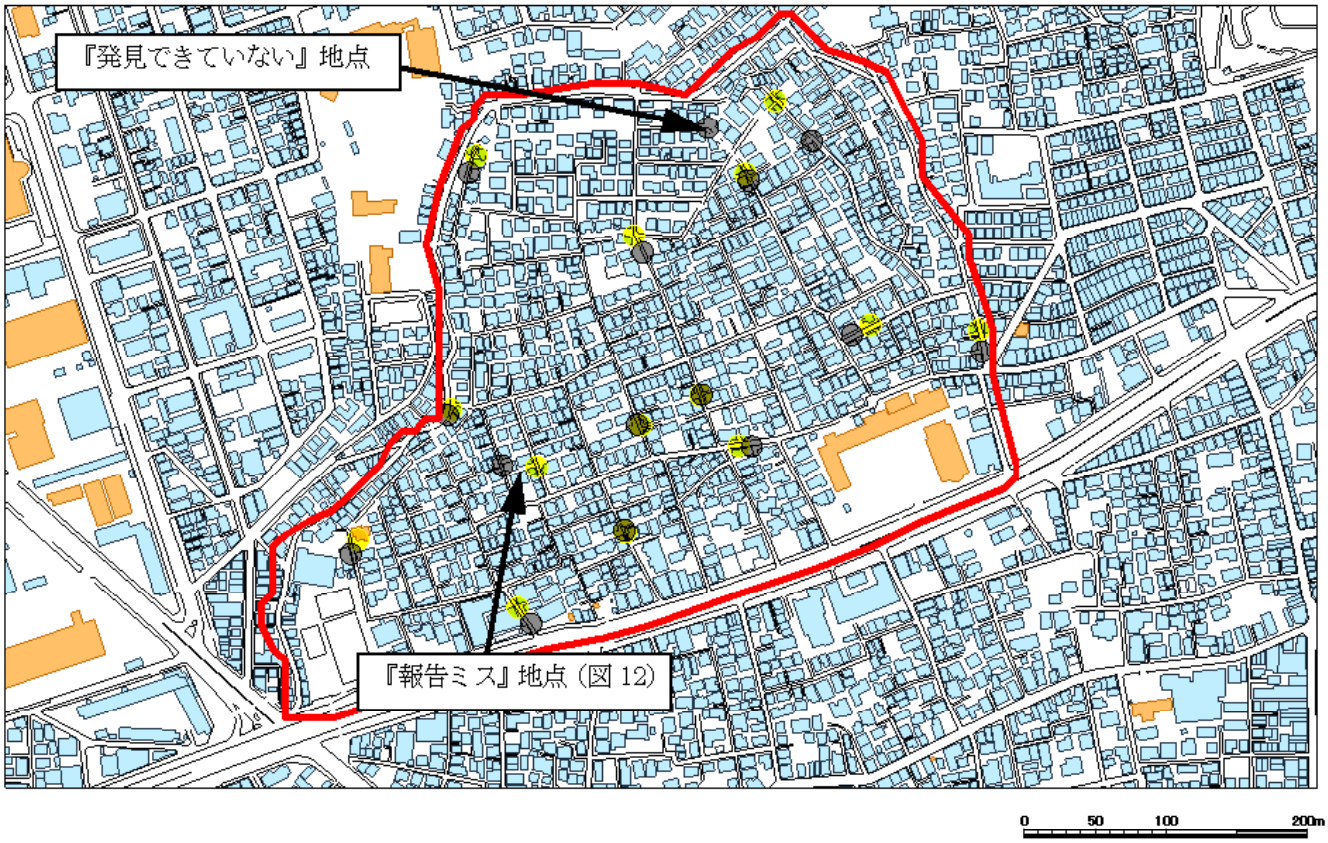


図 25　住民による被害情報収集データ〔要救助〕　発見報告地点（黄色）／　正解地点（灰色）

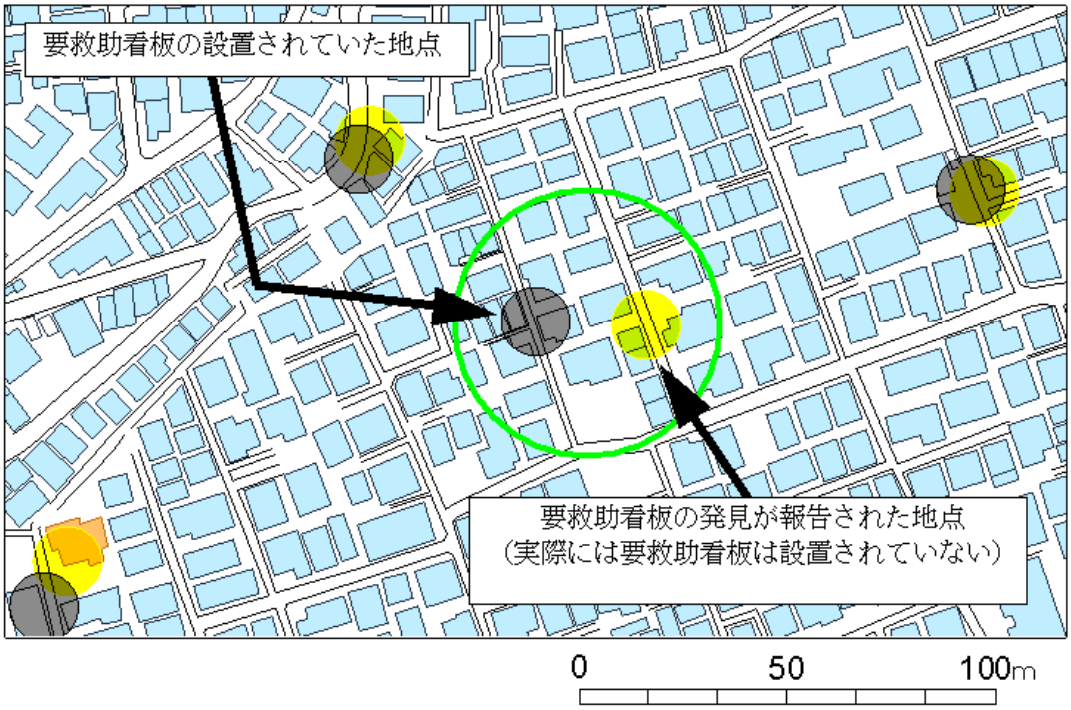


図 26　報告ミス地点　要救助報告地点（黄色）／　要救助正解地点（灰色）

（３） 準リアルタイム被害情報収集配信システムの開発と実験

大規模災害時は，現状の地上の通信網（電話回線等）では輻輳・断線などの障害により，現地の被害情報を円滑に災害対策本部に送られない可能性がある。従って情報収集システムの最も大きな課題の一つは通信手段の確保であるといえる。そこで本研究では衛星回線を使用した情報伝達に着目し，双方向の情報通信を行いながら，被害情報の収集配信のできる準リアルタイム被害情報収集配信システムの開発を行った。実際に 2003 年 12 月 26 日のイラン南東部ケルマン州で発生したバム地震において，イランと日本を衛星回線で結びながら，現地の被害情報を準リアルタイムで日本側の Web サーバに送り、情報収集配信と情報の Web による公開を行った。

準リアルタイム被害情報収集配信システム：本システムは，現地の被害情報を GPS 付デジタルカメラ（GPS：Global Positioning System）を用いて収集し，衛星回線を用いて被害情報統合端末に送り，その情報をインターネットで配信するシステムの総合名称である。準リアルタイム被害情報収集とは，現地の被害情報をリアルタイムに逐次情報を対策本部等に送るのではなく，ある一定量もしくはある一定時間の間に収集できた被害情報を対策本部等にまとめて送る方法である。

本システムの目的は，自治体などの初動調査や学会等の学術調査を補助することで，被害情報を地理的な位置情報とその位置の写真等から被害像の把握するものである。またインターネットで配信することにより，被害状況の情報を必要としている人への情報提供を可能とするものである。本システムの特徴を以下に示す。

①衛星回線を用いることにより，災害時に通信の輻輳・断線がなく，日本国内や海外の災害調査でも対応が可能

②被害情報の記録に GPS 付デジタルカメラを用いることにより，従来の文字だけの情報だけではなく，写真画像と位置情報が同時に記録が可能

③被害情報を蓄積するサーバを被災地外に持つことにより，災害対策本部などの意思決定が被災地外から可能

④被害情報と地図情報を照らし合わせながら被害情報の確認が可能

⑤GPS 機能を持ったカメラ付携帯電話を用いることにより，日本国内でも被害情報の収集が可能

本システムは，現地被害情報収集，被害情報の伝達，被害情報統合システム，被害情報の配信の4つの構成から成り立っている（図27）。

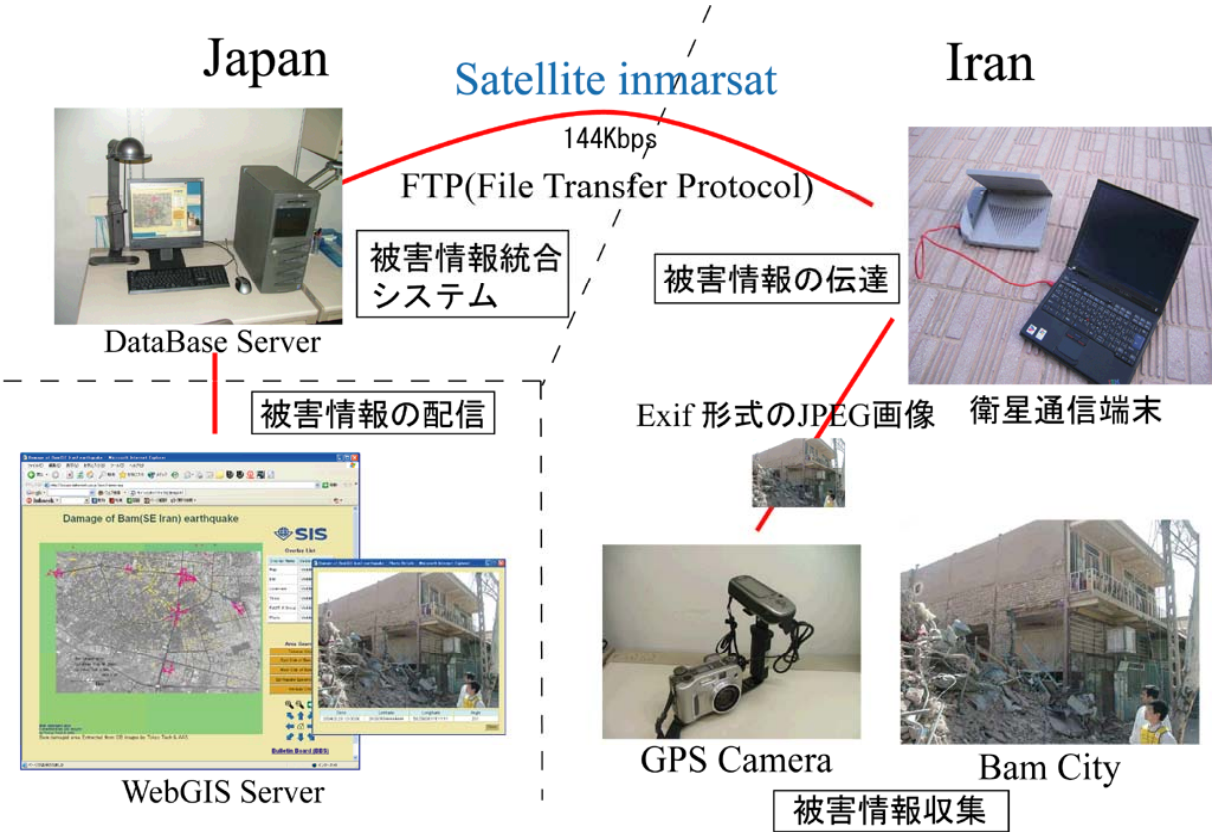


図 27　準リアルタイム被害情報収集配信システムのシステム構成及び流れ

本システムの被害情報収集から被害情報の配信までの流れを説明する（図27）。まず現地の被害情報収集は,GPS付デジタルカメラを用いて被害状況の写真画像,撮影位置,撮影方位を記録し,写真画像として被害情報の収集を行う。GPS付デジタルカメラで記録した写真画像は，撮影位置,撮影方位の内容をEXIFファイル形式の画像フォーマット形式（Exchangeable Image File Format）の一つであるJPEG画像（Joint Photographic Coding Experts Group）として保持される。次に,被害情報の伝達である被害情報の送信方法は，EXIFファイル形式のJPEG画像で保存された被害情報を，衛星回線を用いてインターネット回線網に繋ぎ，被害情報統合システムにFTP転送（File Transfer Protocol）をする。そして，被害情報統合システムに送られた被害情報は，EXIFファイル形式のJPEG画像の記録されている位置情報と撮影方位を読み出し，写真画像，撮影位置の緯度経度，撮影方位，調査時刻及び別途用意されている調査コメント等を半自動でデータベース化する。データベース化された被害情報は，自動的に被害情報の配信部分であるWebGISサーバに送られる。WebGISサーバでは，データベース上の緯度経度と撮影方位から地図上にポイントデータとして配置される。そのポイントデータは写真画像と連携しており，選択すると写真画像が表示される仕組みとなっている（図28）。WebGISサーバで生成された情報は，インターネット上に配信される。また，WebGISのWebページには，掲示板や電子メールを設けてあり，現地との情報相互交換が可能である。

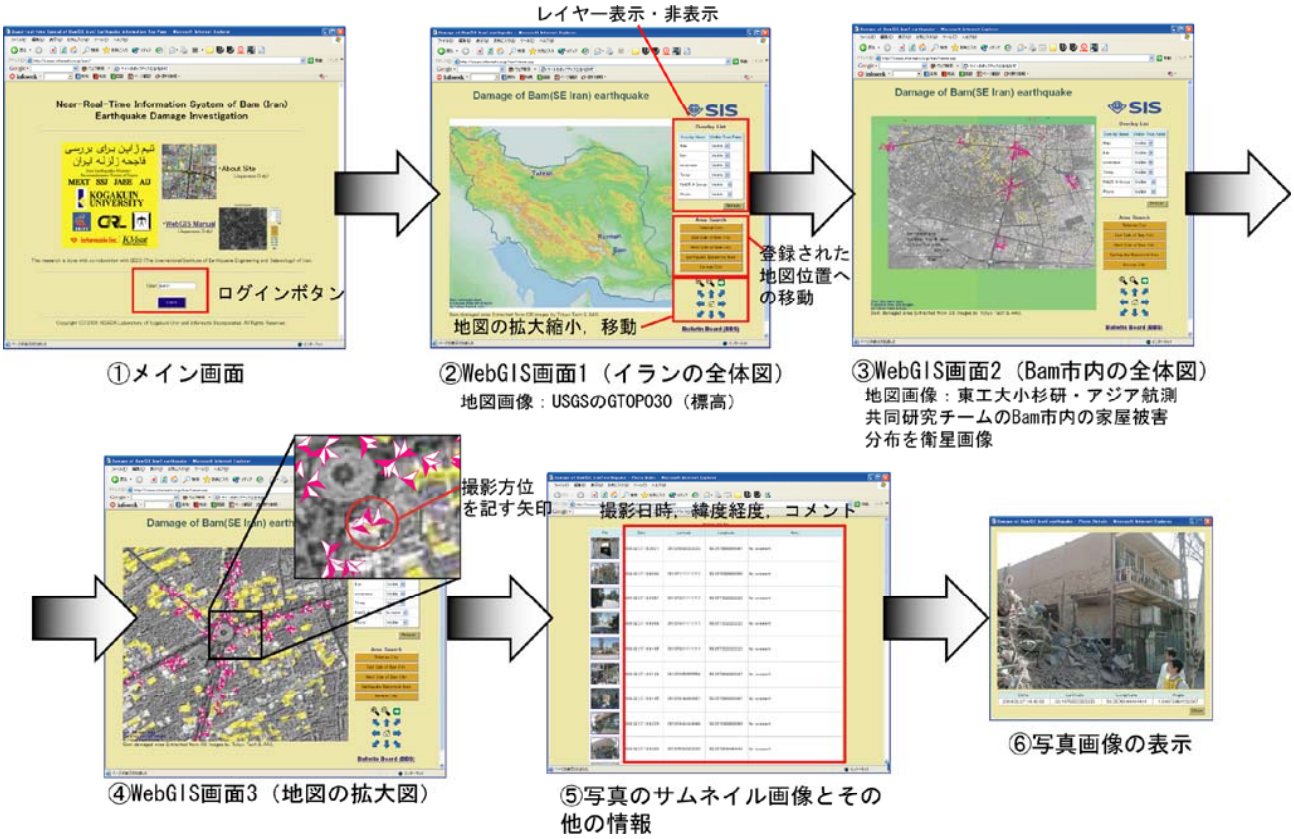


図 28　WebGIS を用いた被害情報の配信の流れ

イラン・バム地震の地震被害調査による実験：2003年イラン・バム地震の地震被害調査の際、イランのバム市内において，2004年3月26日～29日の4日間で被害情報収集及び被害情報の配信の実験を行った。図29に示すバム市内の８箇所で行い被害情報収集を行った。収集には三人体制で行い，一人はGPS付デジタルカメラで被害状況の撮影し，二人は建物被害のダメージグレードの判定及び記録を行った。被害建物の撮影は，調査建物の全景の写真を撮影し，被害状況によっては1棟に対して複数枚の撮影を行った。被害データの転送は，インマルサット静止衛星を利用した通信モデム端末を用いて，昼と夜の2回に分けてデータの送信を行った。被害情報の配信側のWebGISは，基本となる地図を衛星画像から抽出した建物被害推定データを用いた（東京工業大学小杉研

究室より提供）。

実証実験として，GPS 付デジタルカメラの位置情報，方位の精度の検証及び被害情報の伝達に用いた衛星通信に関する結果について述べる。GIS 上の集計にあたり，防災科学技術研究の角本氏が作成した Quick Bird 衛星画像からベクトルデータの抽出データを用いて行った。また，抽出された建物形状データが，一部の隣接した建物が一軒の建物として抽出がなされていたため，建物全数調査の調査結果から建物形状の修正を加えた。

GPS 付デジタルカメラで撮影された写真画像から位置情報を抽出した撮影位置を図 30 に示す。被害判定を行った調査建物総数は 839 棟であり，それに伴って撮影した写真総枚数は 1353 枚であった。調査建物総数と写真総枚数の 500 枚ほどの違いは，調査建物に対して複数枚撮影したことと，調査建物以外に道路やライフラインの写真を数十枚撮影したためである。写真総枚数 1353 枚中，位置情報が記録された写真枚数は 1243 枚であった。総撮影枚数と位置情報が記録された枚数の違いは，建物内で影した際に GPS が測位できず位置情報が記録されなかったためである。

図 29 の余震観測点 No.7 で位置情報が記録された写真枚数は 180 枚であった。写真撮影は，道路沿いに行い，一部敷地内に入り撮影を行った。撮影した位置と GPS の位置情報の誤差は，一部の箇所で 50m 程度ずれている箇所が数点存在するが，その他の箇所は十数m程度の範囲で収まっている。図 31 に撮影した方向と GPS の位置情報からの方位の誤差を示す。GPS の方位は，GPS 内臓の電子コンパスの方位を使用している。撮影した方向と GPS の位置情報からの方位の誤差判定は，写真画像からの建物位置関係と写真画像からわかる撮影方向，被災判定結果，撮影者本人（著者）の記憶から撮影方向の誤差を判定したものである。一部撮影者本人の記憶に頼るところもあるため，本報での方向の誤差集計結果は，明らかに違う場所のみをピックアップしている。結果は,180 枚中 40 枚に撮影方向の誤差が見られた。撮影枚数の 2 割程度に誤差が生じた理由として，GPS 付デジタルカメラの仕様上，正確な方位を計測するために 4 秒～8 秒の静止が必要であるが，撮影が 4 秒満たない間に撮影を行った，もしくは磁気の乱れによる誤差の可能性がある。

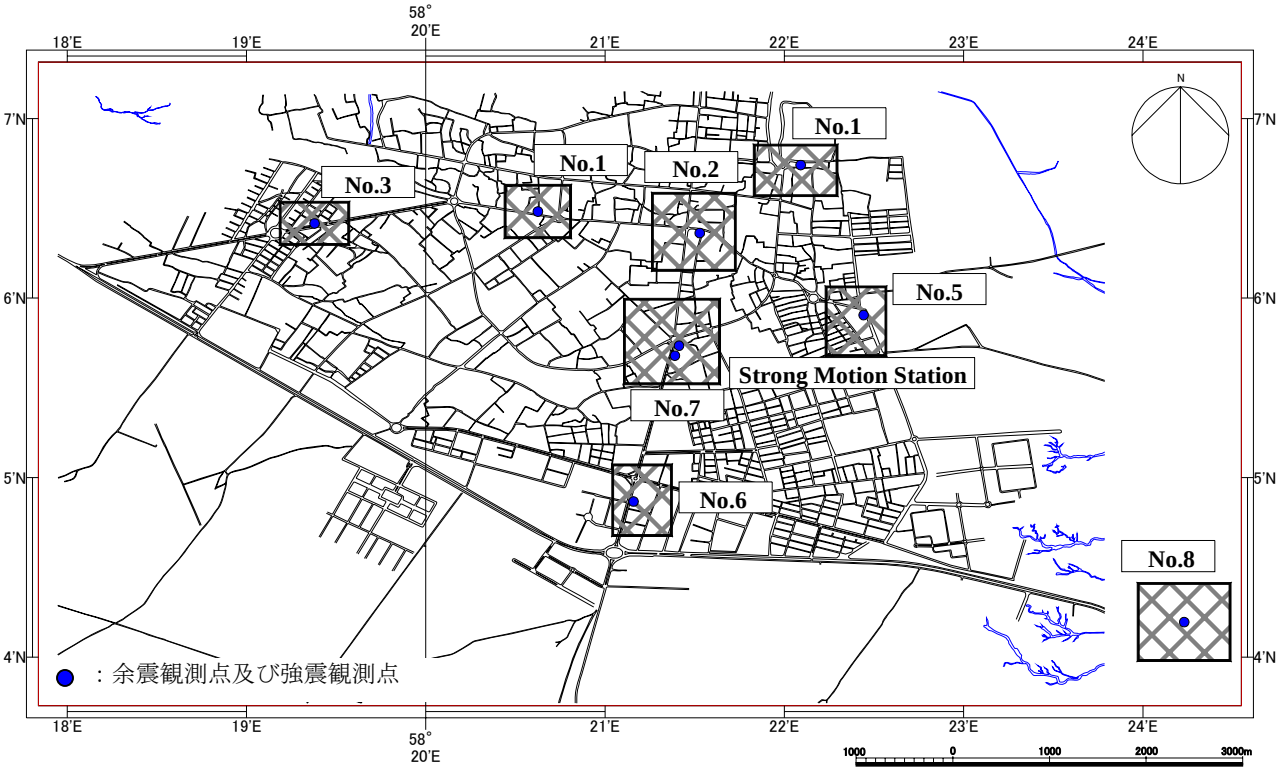


図 29　IIEES による余震観測点及び調査範囲

被害情報統合システムに送信したデータは，594 枚であった。位置情報が記録された写真画像の枚数の半分である。これは，通信費の関係で情報の送信を途中で諦めたためである。被害情報の送受信は，著者が通信機器の扱いに不慣れだったため，イランの Tehran においての通信テストでは問題があったものの，Bam 市内での送受信は問題なく，日本への通信が行えた。通信速度は，R-BGAN 通信端末の理論値は 144Kbps であったが，実測値は 3 日間の実験を通して 60Kbps～80Kbps 程度の通信速度であった。また，被害情報の配信部分である WebGIS の被害情報配信も問題なく配信がなされた。しかし，被害情報の配信する日本側のシステムで不具合が生じ，自動処理が行われず，一部の作業を人の手を介して行われた。

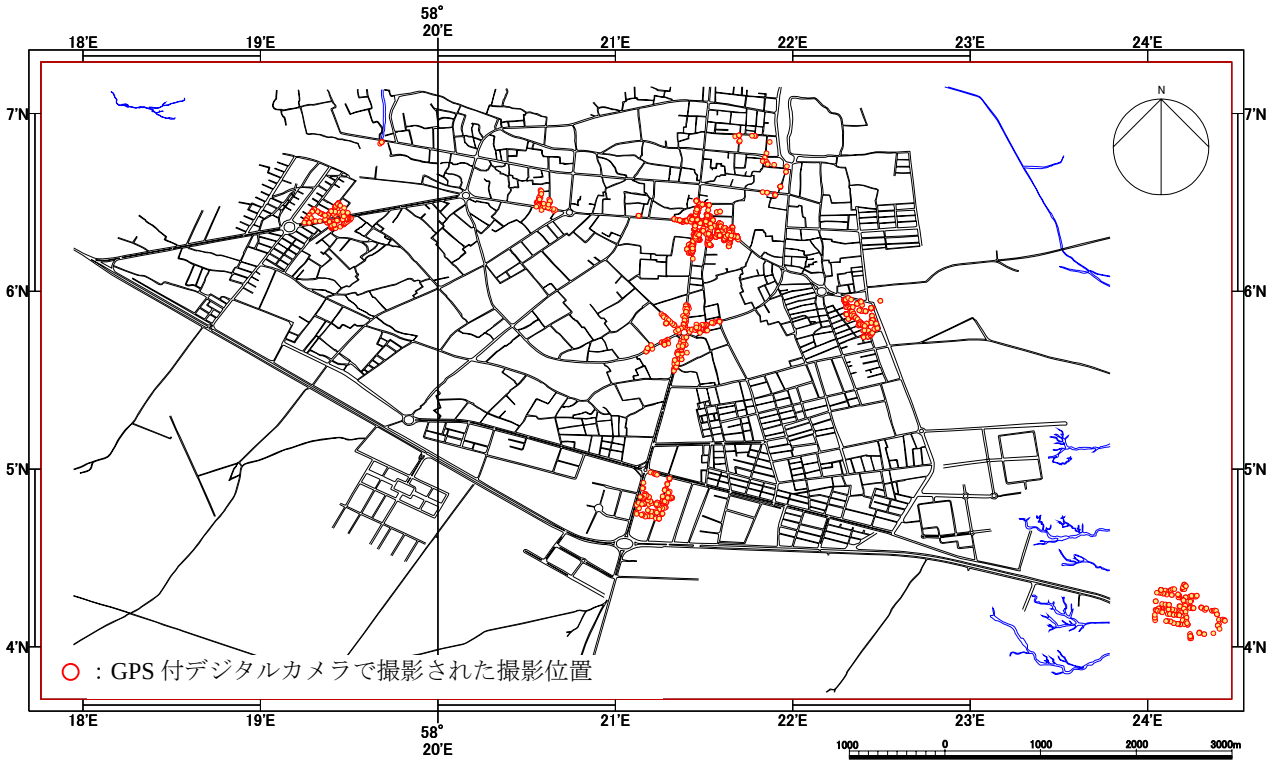


図 30　GPS 付デジタルカメラで撮影された写真画像から位置情報を抽出した撮影

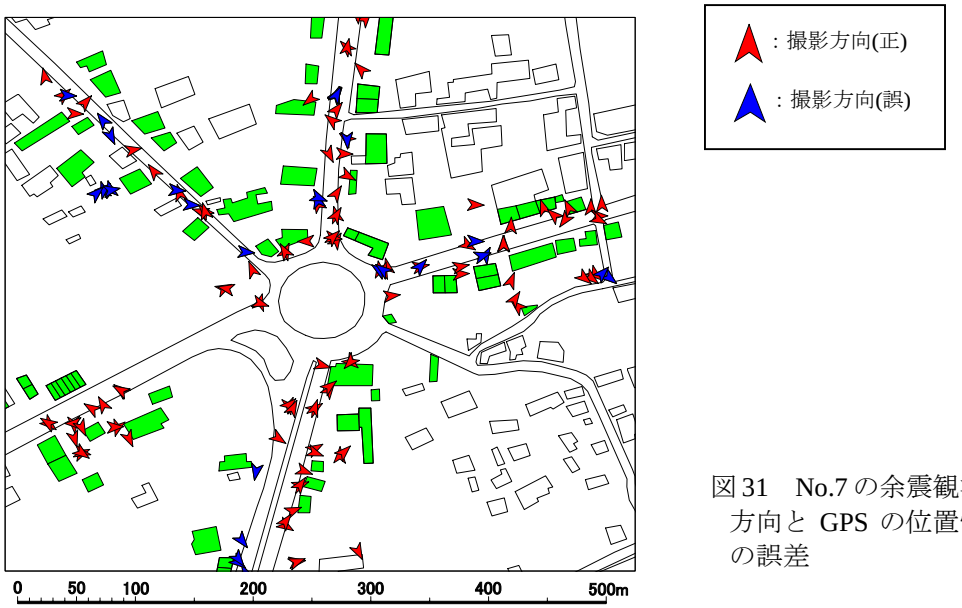


図 31　No.7 の余震観測点の撮影した方向と GPS の位置情報からの方位の誤差

以上のことから当実験では，GIS Web に速やかに災害情報を掲載する上で GPS 付デジタルカメラの有用性が確認され，また，衛星回線を使用した被害情報のデータ転送においては，通信が確保されていない場所においても情報の送受信が可能であり、本システムの有効性の確認ができた。

４．まとめと今後の課題

著者らが行っている事前・事後の地震防災研究を GIS の活用事例を交えて紹介した。事前対策では地震被害想定手法の概要を説明し、それを用いた地震被害想定ソフトウェアの紹介を行った。さらに地域レベルでは GIS を用いた事前対策の応用例として防災まちづくり支援ツールを紹介した。一方、地震事後の緊急・応急対策としてリアルタイム地震動・被害推定システムと、地震被害収集システム、及び準リアルタイム被害情報収集配信システムを紹介した。地震被害収集システムは、専門家による被害情報収集システムと、地域住民が行う被害情報収集システムを紹介し、双方の比較実験の紹介も行った。また準リアルタイム被害情報収集配信システムでは 2003 年イラン・バム地震の被害調査の際に Web GIS を用いた実験を行い、海外での情報発信にも有効に利用できることを確認した。今後の展開として、事前対策では GIS を用いて地震調査研究推進本部の地震動予測地図などの地震危険度（ハザード）解析を取り入れ、個々の建物や地域の情報を入力可能とする。そして地震保険や耐震診断、各種防災まちづくり、防災訓練などの評価を行い、耐震補強など各種防災対策の費用対効果を評価できるリスクマネージメントソフトの開発を予定している。さらにそれらの成果を事後の緊急・応急対策、復旧・復興対策への連携に応用させたいと考えている。ここで使われている個々のハード・ソフトは既存のものであり、目新しいものはあまり無いが、GIS を用いることで国・自治体の持つ貴重なハザードなどの各種情報や、大学の持つノウハウなどを組み合わせ、住民レベルまで有効に活用できる情報まで加工が可能になることを強調したい。

図 32　情報共有技術を生かした住民参加による地域防災力の向上（平成 16 年度の科学技術振興調整費「危機管理対応情報共有技術による減災対策（代表　片山恒雄、独立行政法人防災科学技術研究所）」より）

一方、東海・東南海・南海地震や内陸直下地震などの危険性も高まっており、地震防災に GIS をより有効に活用する必要があるが、いくつかの障害が指摘されている。最も大きな障害の一つは国・自治体など様々な機関がハードやソフト面で個別に地震防災の対応を進めているものの、それら機関の間での災害情報の共有化が進んでおらず，効果的な事前対策の展開や被災状況の全体的な掌握が必要な発災後の緊急対応に障害が生じることが懸念されていることである。さらに、それら機関と地域防災力を担う住民との間の災害情報の共有も不十分である。従って普遍的な情報共有プラットフォームを創設し，災害情報の共有を進めることが効果的な減災を実現する上で重要な課題となっている。これに関連する話題として、平成 16 年度の科学技術振興調整費・新規提案課題［重要課題解決型研究等の推進］の課題分類［減災対策技術の研究開発］に、課題名「危機管理対応情報共有技術による減災対策（代表　片山恒雄、独立行政法人防災科学技術研究所）」が採択されている。このプロジェクトの目的は IT、特に GIS を活用し，導入・更新が容易な危機管理対応災害情報共有プラットフォームを開発し，情報収集・利活用，被害推計・災害対応に携わる国・自治体・対応機関・住民の間のスムーズな情報共有と連携を可能にし，各機関・各階層が有機的に連携し最適に対応して減災を実現する環境を作ることにある。著者らも末端ながらこのプロジェクトで国・自治体と住民との橋渡しを行い、特に国・自治体も持つ情報をいかに住民が有効に活用し、自助による減災の実現化が期待されている。図 32 に示すような情報共有技術を生かした住民参加による地域防災力を向上させるためのシステム開発を行う予定であり、今後、機会があれば成果を紹介させて頂きたいと考えている。

謝辞

北区上十条五丁目町会（会長：望月祥男　氏）の住民の皆様には防災訓練の時の実験で御協力頂きました。またデータ作成や実験に際し、工学院大学の多くの学生の協力を頂きました。地震被害想定に用いる地盤データの作成に関しては東京都・土木技術研究所のご協力を頂きました。本実験で使用した地図は、東京都都市計画局の都市計画地理情報システム、及び日本地図センターの数値地図 2500（空間データ基盤）、ゼンリン Zmap（東京都北区、新宿区）を使用させて頂きました。本研究は文部科学省による「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」、及び、学術フロンティア事業である「工学院大学　地震防災・環境研究センター」による研究助成によって行われています。また 2003 年イラン・バム地震の被害調査は文部科学省・平成 15 年度科学研究費補助金「2003 年イラン南東部バム地震の総合調査研究（代表：九州大学　鈴木貞臣）」の助成を頂き、日本建築学会・日本地震工学会・土木学会の合同による調査で実施しました。また，調査に際して IIEES の M.R. Ghayamghamian 氏、G. R. Nouri 氏、M. M. Ahari 氏のご協力を頂きました。そして，システム開発にあたり，独立行政法人情報通信研究機構の滝澤氏，独立行政法人消防研究所，東京工業大学小杉研，株式会社インフォマティクス，株式会社 KDDI エムサットのご協力して頂きました。また本研究の GIS ソフトとして Informatix 社 の SIS、及び MapInfo 社の MapInfo を使用しました。

参考文献

1) 久保智弘、久田嘉章、柴山明寛、大井昌弘、石田瑞穂、藤原広行、中山圭子、全国地形分類図による表層地盤特性のデータベース化、及び、面的な早期地震動推定への適用、日本地震学会・地震、2003
2) 内閣府，内閣府地震被害想定支援マニュアル（2001 改訂版），2001
（ホームページ：http://www.bousai.go.jp/manual/manual.html）
3) 司 宏俊・翠川三郎，1999，断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文報告集，523，63-70, 1999
4) 松岡昌志・翠川三郎，国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング，第 22 回地盤震動シンポジウム，日本建築学会，23-34，1994
5) 石田瑞穂・大井昌弘、地震情報伝達システム ROSE の開発、災害部門パネルディスカッション「インフォメーションテクノロジーと地震防災」、2002 年日本建築学会大会（北陸）、pp5-10, 2002、（ホームページ：http://www.hinet.bosai.go.jp/rose/index.htm）
6) 柴山明寛、久田嘉章、地震災害時における効率的な現地被害情報収集システムの開発,地域安全学会論文,No.5,p.95-p.103,2003