

地理情報システムの都市地震防災への応用

山崎 文雄

Application of GIS to Urban Earthquake Disaster Mitigation

Fumio YAMAZAKI

Abstract: Application of geographic information system (GIS) to urban earthquake disaster mitigation is highlighted. Development of early earthquake alert system for a city gas network, a study on effects of power outage to urban society, and development of earthquake scenario using microscopic GIS data are presented as examples of use of GIS. Recent trends of use of GIS for early earthquake damage estimation systems in Japan and USA are also presented together with the roles of GIS after the Great Hanshin Earthquake on January 17, 1995.

Keywords: 都市防災、GIS、地震、被害予測

1. はじめに

地理情報システム(GIS)は、最近、急激にいろいろな分野に浸透しつつある。GISの都市防災分野における普及に火を付けたのが阪神・淡路大震災である。震災後、被害の様子を記録したり復興計画を立案する上で、GISは非常に大きな役割を果たしている。しかし、本格的な出番はこれからと思われる。

防災と地図とはもともと関係が深い。災害に関する情報を整理し表現するには、空間的および時系列的な捉えかたが不可欠となってくる。災害の一部の様相を表示するだけならば、コピーした地図の上に必要事項を書き加えることでも対処できようが、多くの被害項目を同時に考慮する場合、地域の詳細情報を使う場合、さらに時間を追ってデータの追加や変更が必要な場合には、作業量は膨大なものになる。このような場合、地図をコンピュータに登録し、その上に必要な情報を選択して描く方が、最初は時間を要するが、将来的な発展性はあるし結果的

に得策である。

最近のコンピュータのハードおよびソフトの飛躍的な発展と、各種情報の数値データベース化の動きに支えられ、デジタル・マッピング技術とそれを応用した地理情報システムは、今、色々な分野において利用が急激に広がろうとしている。都市防災は、その中でも有効な利用が大いに期待される分野である。本文では、最近数年にわたって筆者らが試みている、都市防災分野におけるGISの利用例を紹介するとともに、最近の動向と今後の展望について解説する。

2. 都市ガスの地震時警報システムの開発

地理情報システムの都市防災の利用例として、まず、都市ガス供給網の地震時警報システムの開発(山崎他、1995)について紹介する。

都市ガスにとって、地震防災対策は極めて重要な課題である。わが国の大規模都市ガス供給システムでは、過去の地震災害の経験も活かして、いろいろなレベルで供給を停止する仕組みを構築している。東京ガスを例にとると、需要家レベルではマイコンメータによって、震度5程度以上の揺れに対しガス供給を自動停止する。また低圧導管網は、需要家3

山崎：〒106 東京都港区六本木7-22-1
東京大学生産技術研究所 Tel.. 03-3402-6231
Institute of Industrial Science,
The University of Tokyo
7-22-1 Roppongi, Minato-ku, Tokyo 106, Japan.
E-mail: yamazaki@iis.u-tokyo.ac.jp

万～10万件を単位として常時ブロックを形成し、地区ガバナに取り付けられたSIセンサーが一定の揺れを感知すると供給を自動遮断する。さらに中圧導管網については、数十万件の需要家を含む大きな地域で、ブロック化と供給停止が行えるようになっている。この中圧ブロックの供給停止は、これまで中圧導管網の被害確認情報に基づき判断し、本社からの遠隔操作で行うことになっていた。しかし、被害確認に時間を要する恐れがあり、地震動モニタリング結果から中圧ブロックの地震被害を推定し、緊急措置判断を支援するようなシステムの開発が急務となり、最近、SIGNAL (Seismic Information Gathering and Network Alert system)と呼ぶ早期警報システムが開発された。

地震動モニタリングの中核をなすものは、全地域で331箇所の観測点を有するSIセンサーである。このSIセンサーは、地震が発生すると地震動のSI値と最大加速度を観測し本社へ無線送信する。また、地震の震源やマグニチュードを独自に迅速に推定することを主たる目的として、供給エリアの外周部に5箇所、地表および地中の地震計を設置している。さらに、液状化の危険性の高い地区には液状化センサーを20箇所程度設置し、水位上昇量によって液状化発生の有無を無線で知らせる。これらの地震動リアルタイム・モニタリングシステムは、計器の設置と無線システムの構築が終了し、1994年6月より運用が開始された。

埋設管や需要家建物の被害推定を行うには、地盤や構造物などのデータを事前に準備しておく必要がある。しかし、需要家数が約800万件という広大な地域をカバーするには、それらの情報処理を効率的に行う必要があり、ワークステーション上でGISを用いることにした。東京ガスには施設管理用のGISがあるが、この緊急遮断システムは、目的も異なるし個々の埋設管の位置情報までは必要としないので、別システムとして開発が進められた。しかし、埋設管延長や需要家件数などの統合データを利用するため、単位メッシュは縦350m×横250mと共通のものを用いている。しかしこのメッシュの大きさでは、地盤条件を均一と見なすには大きすぎるので、

SIGNALではこれを2つに分けた縦175m×横250mを単位メッシュとしている。

地震動強さは地盤条件に大きく左右されることから、基本方針として、各SIセンサーの観測値は、センサー近傍の同種の地盤での地震動強さを代表すると考えた。したがって、事前に対象区域全域の地盤ゾーニングをメッシュ単位で行い、各SIセンサーの分担区域を定めた。地盤分類は、地形により台地と沖積低地の2つに分類したあと、沖積低地についてはさらに固有周期により2つに区分し、計4通りの地盤分類とした(図1)。またボーリング柱状図に基づき、観測SI値と液状化層厚の関係を地図として準備した。各SIセンサー分担区域における被害推定の基本データとして、埋設管については中圧導管と低圧導管の延長(図2)、管種、管径などを、また建物については軒数、構造形式などを準備する。

このようなGISデータに基づいて、地震動情報が無線で送られてくれば、被害推定、震源推定、スペクトル評価、意志決定の4つのサブシステムが起動するようなシステムの開発を行った。今後、阪神・淡路大震災の被害データなどを考慮して、システムの実証性を高めていきたい。

3. 停電の都市生活への影響の研究

近年、各種の都市機能や都市生活における電力依存度が高まってきている。しかし、停電に対する備えは脆弱で、一度、台風や地震などの自然災害によって停電が発生すれば、社会に大きな混乱をもたらすことは、台風19号(1991年)や阪神・淡路大震災の例を見れば明らかであろう。このような観点から筆者らは、停電の都市機能・都市生活への影響を調べるため、東京23区を例に、電力需要特性と地域特性の関係をGISを用いて検討している(目黒他、1995)。

まず、一般に公開されている地図情報・国勢調査データを用いて、GISソフトARC/INFO上に地域・住民特性のデータベースを構築した。地形、標高、土地利用、道路等などの地域特性に関する地図情報データとしては、国土地理院によって作成された国土数値情報、細密数値情報、さらには民間の住宅地

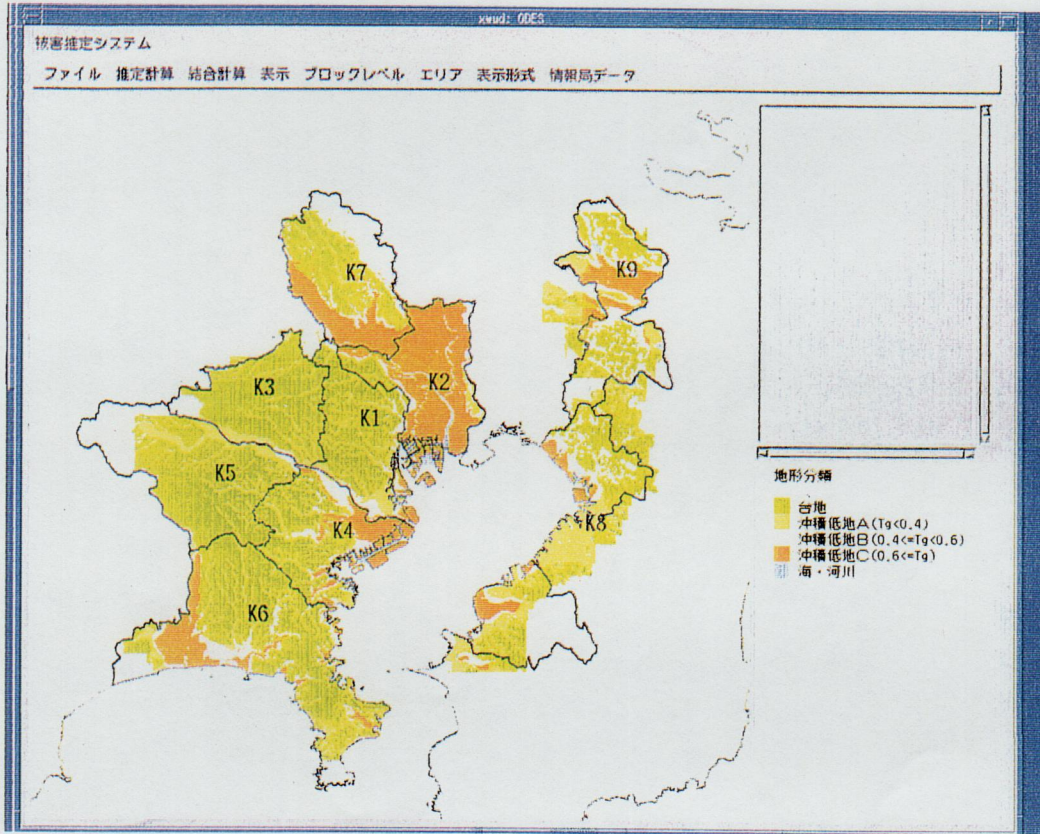


図1 都市ガス供給エリアの地形分類

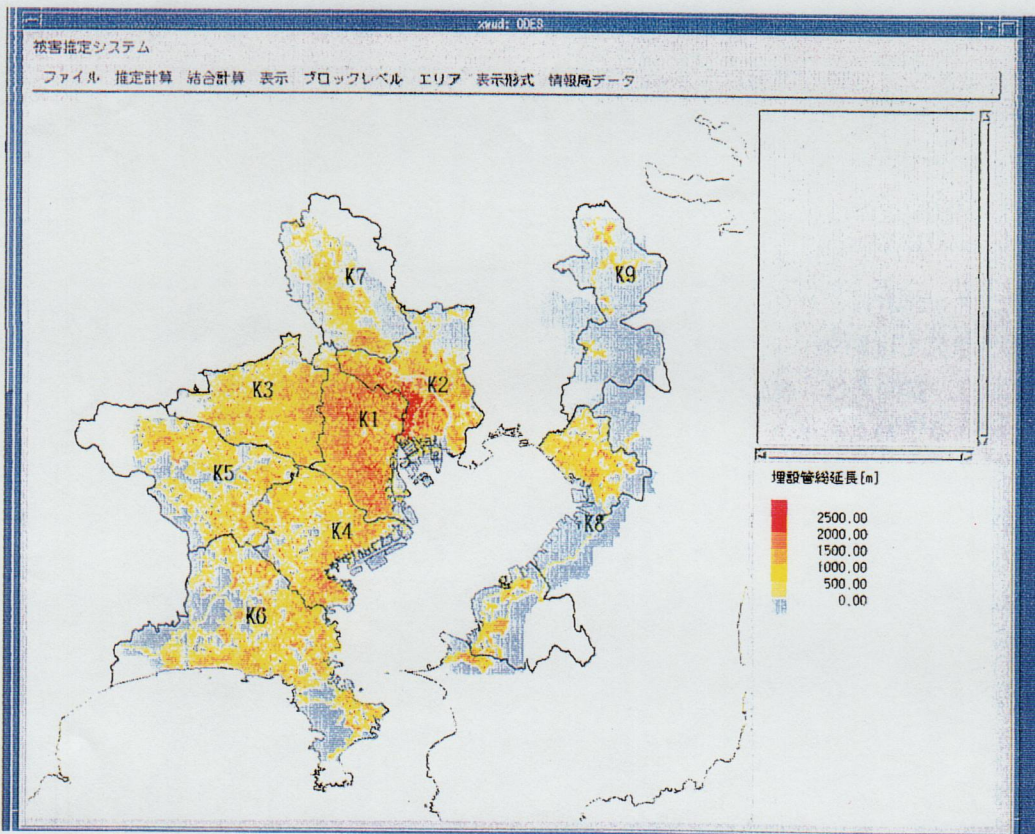


図2 都市ガス供給エリアのメッシュ単位での埋設管延長

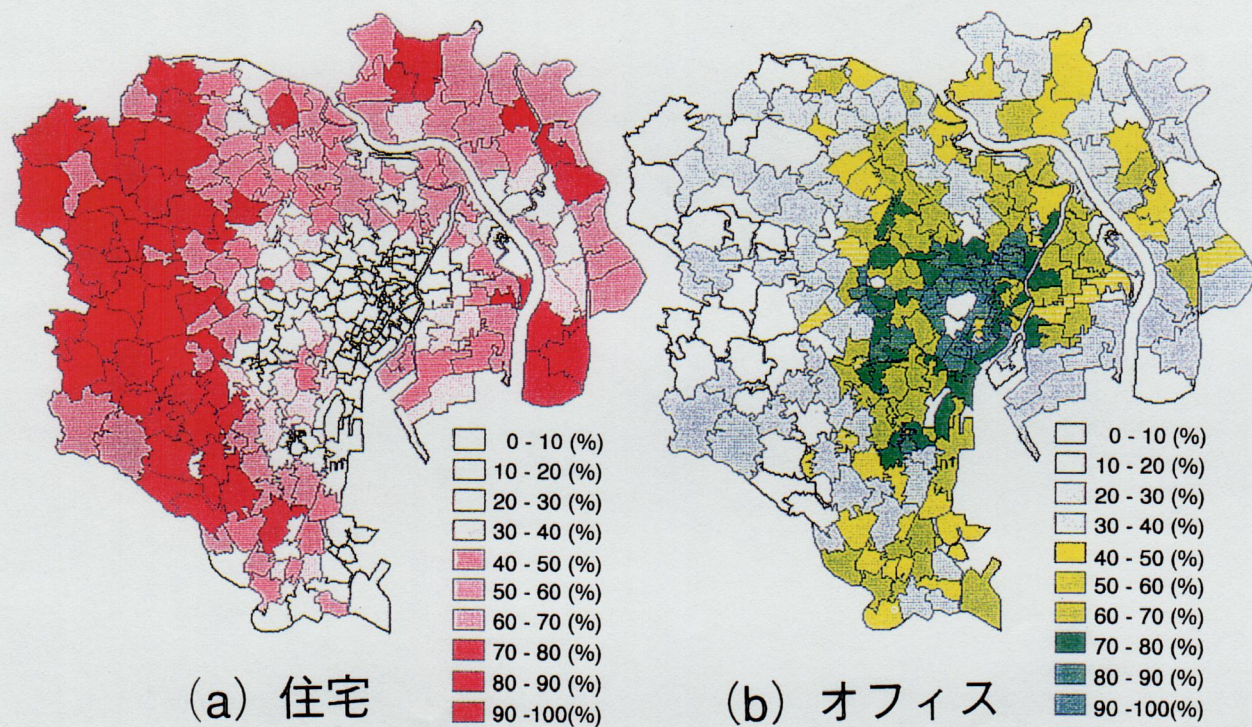


図3 住宅とオフィスの電力消費における寄与率

図が利用可能である。このうち細密数値情報は、土地利用・地形・土地規制などが10mと100mメッシュ単位のラスターデータで構成され、配電用変電所の分担エリアの地域特性を適切な解像度で表現できることから利用することにした。住民特性データについては、平成2年度国勢調査の地域メッシュ統計、平成3年事業所統計調査の地域メッシュ統計、および両調査結果のリンクによる地域メッシュ統計を用いた。地域メッシュ統計は、基準メッシュが約1km四方、人口集中地区では約500m四方の1/2地域メッシュを用いており、昼間人口、夜間人口、地域内事業所数などのデータが得られる。

つぎに、季節・時間ごとの電力消費データを、配電用変電所(東京23区で314箇所)単位で収集した。このような電力消費データと地域特性データは地区分割が異なるが、ここではGISにより、電力消費データを地域特性のメッシュに変換し検討に用いた。このような電力消費データを時刻と季節の関数として眺めて見ると、住宅、オフィス、工場、店舗・飲食店の4つの構成要素により、地域の電力需要が特徴づけられていることが分かった。そこで、電力消費データと地域データを用いた回帰分析により、4つ

の構成要素の平均的な電力消費の時間曲線を求めた。さらにこの結果を用いて、各配電エリアにおける4つの構成要素の電力消費における割合(寄与率)を最小自乗法で求めた。このようにして求めた東京23区の電力消費から見た住宅、オフィス、工場、店舗・飲食店の寄与率分布のうち、前2者を図3に示す。現在この研究を発展させて、国民生活動態調査や電気機器の普及率のデータを収集し、各電気機器が使えないときの困惑度などを定量化して、停電の発生時刻、季節、継続時間を考慮した地域の停電影響度評価を行っている。

4. ミクロな地震被害想定

これまで自治体等で数多く行われてきた地震被害想定や地震危険度調査の多くは、対象地域を500mや1kmのメッシュに分割し、想定地震に対するメッシュごとの被害建物数、焼失建物数、各種ライフラインの被災箇所数、さらに死傷者数などを算定し、これらを積み上げて全地域の被害総量を求めていた。しかしこれでは、被害イメージを住民が自分のものとしては捉えにくい。そこで筆者らは、比較的狭い都市地域を前提として、1つ1つの建物や1本

1本の道路が識別できるデジタルマップを構築し、これを活用して地域の地震危険度を目で見える形で表そうと試みている(片山他、1992；南部他、1995)。

対象地域としては、東京の港区元麻布・南麻布、墨田区墨田・東向島、世田谷区弦巻・桜新町の3地区を選定した。まず最初に、地域の住民、建物、土地利用、地盤などの地図と対応したデータの収集を行いARC/INFOに取り込んだ。居住者特性に関する最も詳しいデータは国勢調査の調査区別集計で、地区の平均的な世帯状況を把握するのに有用である。

地震動は地盤条件の影響を強く受けることから、ミクロな地震危険度評価に際しては、ミクロな地盤モデルの構築が必要となる。あいにく現在、すぐ使えるような地盤地図データベースは存在していない。国土数値情報にも表層地質や地形分類などの項目があるが、約1km四方のラスターデータでありミクロな評価には粗すぎる。そこで東京都地盤地質図(1969)に示された地盤高、地形分類、地盤地質などをGISに入力した(図4)。またボーリング柱状図もできるかぎり収集した。このようにして作成した地形分類の図から、地盤卓越周期の面的分布などを計算した。現状でミクロな地震被害想定を行う場合、地盤データの収集と入力が一番問題と思われる。

つぎに対象地区の個々の建物について、底面座標、構造種別、階数、用途種別をデータベース化することにした。建物座標は、市販の数値住宅地図(ゼンリンZmap-TOWN)から求め、構造・階数・用途に関しては、各区が発行する土地利用現況図を読み取って入力した。なお土地利用現況図の作成時点から数年経過しているため、対象地域の現地調査も行っている。図5はこのようにして作成した建物構造種別(耐火造、簡易耐火造、防火木造、木造)の地区内分布である。このようなコンピュータ地図で3地域を比較すると、地盤特性、建物特性、居住者特性などに大きな地域差がみられ、1キロ四方程度の地域内でもこれらが均一に分布していないことが明らかになった。

これらの基礎データに基づいて、工学的基盤面に共通の地震入射波を考え、地表面における地震動分

布を予測した(図6)。この地震動分布を用いて、地区内および地区間の地震被害の比較を行った。木造系建物の地震被害は、その塑性率(最大応答変位/弾性限界変位)の大きさによるものとし、加速度応答スペクトルを用いて弾塑性モデルでの最大応答変位を略算した。この研究ではこの他に、非木造建物の地震被害、建物からの出火確率、屋内収容物の転倒確率など、通常の被害想定のみならず視点をミクロにして行った。まだ出火点を仮定した延焼シミュレーションも行った。このようにGISを駆使した検討によって、街区レベルでの地震被害シナリオを描き、都市防災に役立てたいと考えている。

5. 米国と日本における早期震後被害予測システム

最近、リアルタイム地震(工)学が、日本および米国でホットな技術テーマとなっている(野田・目黒、1994；土岐、1995)。その先駆となったのがJRのユレダス(中村、1994)と呼ばれる震源推定システムであり、地震動のうち最初に到達するP波を検知して、列車を安全に停止させようというものである。また、ヘラスと呼ばれる被害推定・復旧支援のシステムも用意されている。2.で紹介した東京ガスのSIGNALも、震源推定と被害推定の両方を統合したシステムになっていることと、鉄道と都市ガスの違いはあるが、地震発生後に緊急対応を取るための情報を提供する点では共通である。他のライフライン事業者においても、同様の早期緊急対応システムの検討をしているところは多い。

米国では、ノースリッジ地震において、CUBEという震源推定システムが注目を集めた。CUBEは、南カリフォルニアの200余りの地震観測点からの地震動をテレメーター、電話回線、無線などで集め、即時に震源位置とマグニチュードの計算を行う。この震源情報は、ライフライン事業者や州緊急対策本部などのCUBEの契約者にポケットベルで連絡される。ノースリッジ地震の本震の際、CUBEは必ずしも予定どおりには動作しなかったが、余震情報は適切に知らせその有効性が高く評価された。

またカリフォルニア州政府では、地震直後に構造



- 河谷底
- 斜面
- 豊島台
- 淀橋台・荏原台

図4 弦巻地区の地形分類



- 耐火造
- 簡易耐火造
- 防火造
- 木造

図5 弦巻地区における建物構造種別の分布



- <400gal
- 400-450
- 450-500
- 500<=

図6 想定地震による弦巻地区の加速度分布

物やライフラインの被害、それに人的被害などを迅速に推定することを目的とした、EPEDATというシステムの開発を進めている。これは、CUBEで推定された震源位置とマグニチュードから、破壊の生じた断層面を特定し、地震動の強さ(例えばMM震度階)の分布を予測する(図7)。この際、事前に地盤特性などをGISデータとして準備しておき、表層地盤による地震動の増幅なども考慮する。また、建物、ガス、水道、高速道路などのデータもGIS上に準備しておき、リアルタイムの被害量の推定を行う。EPEDATの特色は、包括的な被害予測を地震発生後数分から数時間で行おうという点にある。州政府がこのようなシステムを持つ利点は、被害地域や被害程度を特定し、救助や緊急支援、それに復旧活動の立案に用いるほか、被害額までの集計を行い連邦政府に求める緊急援助額の根拠とする点が挙げられる。ノースリッジ地震の際も、地震翌日には大まかな被害総額が、州政府の委託を受けたEQE社によって発表されている。また地震直後から、壊れた建物などの実被害データが次々とGISに入力・表示され、米国ではすでにGISが都市防災の重要な実務

ツールとなっているとの印象を受けた。鉄道と都市ガスの早期警報システムでは先鞭をつけた日本ではあるが、このようなトータルな被害推定システムの開発が早急の課題といえよう。

市レベルの被害推定・震後対応のシステムとしては、川崎市の開発したシステムは、震度や液状化予測から、建物、道路、ライフラインの被害推定、さらには対策本部設置や職員動員までの予測を行うトータルなもので非常に先駆的といえよう。このシステムでは、地震情報を得るため各区に地震計を設置する予定となっている。

また、火災や救急・救命に関する被害推定を即時に行うものとして、東京消防庁の開発したシステムも、早期に出動準備を行うためには非常に有効である。このシステムは、これまで気象庁発表のマグニチュードと震源位置から、距離減衰式で地震動を予測していた。しかし、現在、都内の各消防署に地震計の設置を進めており、3年後には東京都が各市区町村に設置する地震計と合わせて約100台で地震動をモニタリングする。これに応じて、このシステムも広範な被害予測を行うものへと発展していくことになる。

この他、埼玉県、小田原市などはすでに地震被害予測システムを導入しているし、非常に多くの自治体が同様のシステムの導入を検討している。

国のレベルでも幾つかの早期被害予測システムの開発の動きが見られる。国土庁は、平成7年度より、GISに基づく汎用の地震防災システム(DIS)の開発に着手した。このシステムは、事前対策のサブシステム(地震被害想定、図上訓練、地震防災施設等整備計画支援)と発災後対策のサブシステム(地震被害早期評価、地震被害情報、応急対策支援、復旧・復興支援)から構成され、基本的には国土庁の地震防災活動に利用されるが、他の省庁や自治体との連携も予定している。このシステムの地震情報としては、気象庁が平成7年度末までに全国で574台設置する計測震度計を利用する。このほか、自治省消防庁、科学技術庁、建設省、通商産業省なども、地震計の全国ネットワークとその利用システムの計画を進めている。震災後、急速予算がついたという

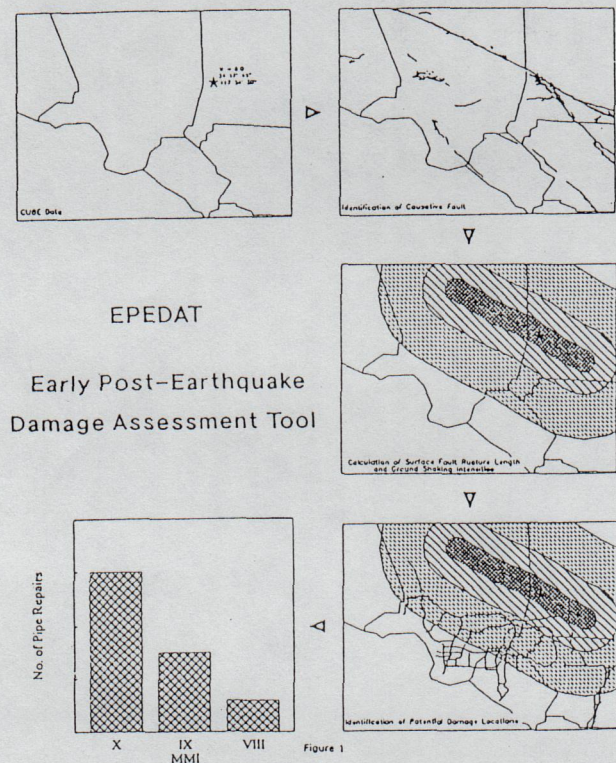


図7 CUBEとEPEDATの概念(Eguchi et al., 1994)

ことで、これらの計画がかなり独自に進んでいるようで、早期に、各省庁、自治体、消防、警察、自衛隊、ライフライン事業者などの防災関係機関が集まって、日本の地震情報システムについて調整と相互利用の話し合いが必要と思われる。

6. 阪神大震災とGIS

阪神・淡路大震災に関する地理情報データベースの構築は、いろいろな組織の人達が同時多発的に活動を開始し、現在も多種多様の動きがある。このため、全てを網羅するのは到底不可能であるが、ここでは筆者の知り得た範囲でのGISを利用した活動の概要について記す。この震災は被害が広域かつ膨大で、被害状況の表示や復旧・復興計画の立案のため、地図の利用が不可欠である。地震直後に先行したのは被災度調査で、行政や学会などのグループがそれぞれ独自に行っている。このうち、一般の建築物や住宅については、行政のほかに、1) 神戸大学土木系教室、2) 建築学会近畿支部(構造系)、3) 震災復興都市づくり特別委員会の3者が、建物のほぼ全数調査を行っている。

神戸大学土木系教室(1995)は、淡路島を除く兵庫県の被災地ほぼ全域に対して、目視調査結果に基づく建物被災地図を作成した。ベースマップは1/2500ラスター地図を用い、被災建物などのベクトル化を行った。地盤災害やライフライン被害については、順次GISのデータ入力を進めている。

建築学会近畿支部(構造系)も、震災直後の1月24日から3日間、阪神地域を中心とする建物被害の初動調査を実施した(建築学会、1995)。調査対象は全ての建物であるが、実際は、コンクリート系建物と鉄骨造建物については1棟ずつの全数調査を行い、木造家屋については可能な限り街区ブロックごとの被害率を調べている。この結果は、京都大学防災研究所で数値化作業が行われている。

「震災復興都市づくり特別委員会(1995)」の調査は、都市計画学会関西支部と建築学会近畿支部都市計画部会を中心に、関西の大学が主体となって、全国からの多数のボランティアの協力を得て、2月上旬に目視による全建物の被災度評価調査を行った。

その成果は3月末には印刷され市販された。同委員会による地図は、縮尺1/5,000(B3版120頁：兵庫県下8市1町)のものが最も詳しい。これらの地図の数値化作業は建設省建築研究所で進められている(寺木他、1995)。

このほかGISに関連した活動としては、GIS学会が被災地域の数値ベースマップをさまざまな機関から提供を受けて、東大生産技術研究所よりCD-ROMによる提供を行っている(地理情報システム学会、1995)。また、京都大学防災研究所や奈良大学は、瓦礫撤去に関するさまざまな調査やパソコンGISによる行政支援に従事し、それらのデータの数値地図化を進めている(碓井他、1995)。さらに都市ガス、水道、道路などの地震被害は、それぞれの事業者や業界団体が数値地図化の作業を進めている(日本水道協会、1995)。このほか、液状化と地盤変位の地図(Hamada et al, 1995)などについても、今後GIS化が望まれる。これらのすべての数値地図の共有化は、今後の大きな課題であるが容易ではない。

7. おわりに

地理情報システムの、都市防災分野への応用について解説した。実用例として、都市ガスの地震時警報システムの開発、停電の都市生活への影響の研究、ミクロな地震被害想定の研究について、筆者らの最近の試みを紹介した。さらに、米国と日本における早期震後被害予測システムに関する最近の動向、および、阪神・淡路大震災に関するさまざまな地理情報システム化の動きについて解説した。都市防災分野の実務や研究において、地理情報システムの利用はまだ始まったばかりである。基図の整備やデータの共有化などいろいろと課題も多いが、今後、ますますその利用が広がるものと思われる。

参考文献

- 碓井照子・亀田弘行・角本繁(1995) 阪神・淡路大震災の復興過程におけるがれき撤去状況調査からみた神戸市長田区における防災GIS導入効果の分析、「地理情報システム学会講演論文集」、Vol. 4, 39-42.

- 片山恒雄・長谷川朋弘・永田茂・山崎文雄 (1992) 微視的地域情報を用いた地震被害ポテンシャルの定量的評価に関する研究—その1 被害想定 of 考え方と具体例—、「生産研究」、44(3).
- 神戸大学土木系教室 (1995) 兵庫県南部地震緊急被害調査報告書(第2報).
- 震災復興都市づくり特別委員会 (1995) 阪神・淡路大震災被害実態緊急調査 被災度別建物分布状況図集.
- 地理情報システム学会 (1995) GISニューズレター、No. 13.
- 寺木彰浩・岩田司・糸井川栄一他 (1995) 兵庫県南部地震の被災地域における復興都市計画支援情報システムの検討、「GIS—理論と応用」、3(2).
- 東京都土木技術研究所 (1969) 東京都地盤地質図—東京都地質図集2—.
- 土岐憲三 (1995) 大都市における地震災害のリアルタイム制御—リアルタイム地震防災をめざして—、自然災害と地域社会の防災、第9回「大学と科学」公開シンポジウム組織委員会編、90-100、クバプロ.
- 中村豊 (1994) リアルタイム地震防災システム：「ユレダス」・「ヘラス」、第22回地盤震動シンポジウム、73-84、日本建築学会.
- 南部世紀夫・山崎文雄・加藤孝明・斎藤裕美・野竹宏彰・片山恒雄 (1995) 大縮尺のGISを用いた微視的地震被害想定、「地理情報システム学会講演論文集」、4、17-20.
- 日本建築学会 (1995) 1995年兵庫県南部地震災害調査速報.
- 日本水道協会 (1995) 阪神・淡路大震災水道管路被害の概要.
- 野田茂・目黒公郎 (1994) リアルタイム地震工学を目指して、第22回地盤震動シンポジウム、95-112、日本建築学会.
- 目黒公郎・副島紀代・山崎文雄・片山恒雄 (1995) 電力需要特性から見た都市の地域分類、「土木学会論文集」、No. 507、255-263.
- 山崎文雄・片山恒雄・野田茂・吉川洋一・大谷泰昭 (1995) 大規模都市ガス導管網の地震時警報システムの開発、「土木学会論文集」、No. 525、331-340.
- Eguchi, R., Goltz, J.D., Seligson, H., and Heaton, T.H., (1994) Real-time Earthquake hazard Assessment in California: the Early Post-earthquake Damage Assessment Tool and the Caltech-USGS Broadcast of Earthquakes, *the 5th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Vol. II, 55-63.
- Hamada, M., Isoyama, R., and Wakamatsu, K., (1995) The 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake: Liquefaction, Ground Displacement and Soil Condition in Hanshin Area, ADEP.