3次元地図を利用した災害情報の視覚化システム

桑田喜隆*・大谷尚通・井上 潮**

Information Visualization System for Disaster Information with 3D Map

Yoshitaka KUWATA, Hisamichi OHTANI and Ushio INOUE

Abstract: From the lessons learned in Great Hanshin-Awaji Earthquake, the importance of collection and usage of the disaster information is widely recognized. Most of Japanese local governments have disaster information systems include helicopters with live camera, surveillance camera on top of the building, and so forth. The role of decision support function in disaster information systems will be more important, as the amount of information collected in these systems becomes huge and hard to understand. The authors propose an information visualization system for disaster information, which helps humans to analyze and understand situations from collected data. A prototype system is built and the usability of the system is confirmed with experiments.

Keywords: 災害情報システム (Disaster Information System), 情報視覚化 (Information Visualization), 3次元地図 (Three Dimensional Map), 意思決定支援システム (Decision Support System)

1. はじめに

平成7年1月17日の阪神淡路大震災での教訓の一つが、大規模災害における災害情報収集の重要性和難しさである。大震災のような広域災害においては、複数の地方自治体にまたがるほど被害が広範囲に及ぶため、その全体状況を迅速に把握し適切な対応を行うことが非常に難しい。

例えば、通常の災害に対しては市民からの電話による通報を主な情報収集手段としている。しかし、広域災害時には多数の市民からの通報により電話の受付業務が錯綜し、電話そのものが不通になることが考えられるため、通報のみから全体像を把握することは困難である。結果として、被害状況全体の把

握が遅れ、初動体制に影響を与える可能性も指摘される。

これらの教訓を基に自治省を中心に各自治体での災害情報収集の仕組みの整備が進められている。各都道府県、政令指定都市にはヘリ搭載カメラによる画像撮影と画像伝送システムによる災害情報収集体制が整備された。また、携帯電話の普及や情報処理技術の進展を背景に、情報通信技術を活用した災害情報収集の手段が普及することが予想される。今後、災害情報を収集し活用することはますます重要になると考えられる。本稿では災害に関する情報の種類を以下の用語で定義する。

- ・被害情報：災害時に得られる被害の情報（家屋の被害や道路の倒壊状況など）と災害そのものの情報（震源地や震度など）
- ・災害対応情報：災害対応のための必要となる情報（被災者情報や被災地の地理データなど）
- ・災害情報：被害情報と災害対応情報の総称

* 桑田喜隆：東京都中央区新川 1-21-2
株式会社NTTデータ 技術開発本部
Tel 03-3523-8080
E-mail kuwatay@nttdata.co.jp
** 井上 潮：東京都千代田区神田錦町 2-2
東京電機大学 工学部情報通信工学科
Tel 03-5280-3331
E-mail inoue@c.dendai.ac.jp

本稿では、まず、災害情報を中心とした災害情報システムのワークフロー分析について述べる。次に、意思決定フェーズを支援するための情報の整理および提示方式に着目し、地図を基礎としたリアルタイム・インタラクティブ・シミュレーション(RTIS)技術を応用することを提案する。RTISの特長およびRTIS応用に当たっての課題について述べた後、試作システムにおける解決方法について述べる。最後に有効性の検証のために、試作システムを使った評価実験の結果について述べる。

2. 問題点及びこれまでの研究成果

2. 1 災害情報システムのワークフローモデル

筆者らは災害情報システムの構築にあたり、地震および地震による火災を代表とする広域災害を対象とし、ワークフローのモデル化をおこなった。(桑田ほか, 2002)

災害情報を中心とした処理フローは以下の4つのフェーズから構成される。

(1) 災害情報の収集フェーズ

災害情報を収集するフェーズでは広域にわたる被害を迅速に把握する必要がある。このため、ヘリや高所カメラ、携帯端末などを活用し能動的に情報を収集する方法を確立する必要がある。

(2) 情報の加工・分析フェーズ

収集した一次情報を加工し、意思決定に利用できる形式とするフェーズ。例えば、ヘリ画像は一連の動画であるため、そのままでは利用が困難であるが、モザイク処理¹を行い、一枚の静止画とすることで、GISと関連付けて被害範囲等の解析が可能となる。

(3) 意思決定フェーズ

分析結果を基に災害対応リソースの配分やスケジュールを決定するフェーズ。不確定な情報を基に、最適な計画を立案するためには、さまざまな情報源からの情報を正確に理解し、シミュレーション等による予測結果を利用した意思決定が必要となる。

(4) 指揮管制フェーズ

意思決定結果を受けて、災害対応現場に指令を

伝え、立案した対応計画を実行するフェーズ。指令内容は具体的かつ正確に現場に伝える必要があり、音声伝達以外に画像や地図等の利用が期待される。また、現場からの情報を集めることで次のサイクルに反映することが可能となる。

図1 災害情報を中心とした処理フロー

2. 2 これまでの研究開発と本研究の位置付け

広域災害に対応した災害情報の収集手段の整備が進められつつある。前述のヘリ搭載カメラは総合防災情報システムの中心的な役割を担う(総務庁行政監察局, 1998)。更に、例えば、兵庫県防災情報システム(フェニックス防災システム)(兵庫県企画管理部防災局, 1998)では地震計や気象観測情報等の各種の災害情報収集のための情報網を持ち、収集情報を基に被害予測等を行うことで、意思決定の支援を行う仕組みを実現している。

一方、畑山らは時空間管理機能を持つ地理情報システムDiMSISを提案しており、日常の業務で利用可能なシステムを作成することで、災害時に役に立てることが必要であるとしている。(畑山ほか, 1999)

これら情報収集手段の整備が進められる一方で、これまでより膨大な情報が短時間に収集可能となり、その利用方法に工夫が必要となる。情報を体系的に整理するメカニズムなしには、ますますの混乱が予想されるため、収集された膨大な情報の処理方法に関する研究開発が期待される。

本稿では、特に前節(3)意思決定フェーズに着目し、意思決定支援のための災害情報システムについて論じる。本稿で提案する枠組みは災害一般を対

象とするが、評価のために試作したシステムは主に地震災害を対象とし、災害対策本部等での災害対応活動の指令業務に対する意思決定の支援を行うものである。また、本稿では意思決定支援のための災害情報の視覚化方法および対話的な操作を行う方法を新たに提案し、その評価を実施した。

災害情報を即時に収集し対応のための意思決定を行う枠組みとして、リアルタイム防災情報システムがある。例えば、横浜市のリアルタイム地震防災システム（阿部ほか，1999）では、収集した情報を基に道路啓開活動の支援を行うシステムについて検討が行われている。本稿で扱う災害情報システムはリアルタイム防災情報システムで収集した情報を有効活用するための視覚化システムとして位置づけられる。また、本稿と同じく意思決定のための視覚化を扱ったシステムとしては、崖災害対応の視覚化（川崎ほか，2001）があるが、避難のための意思決定に重点が置かれており、本システムとは対象が異なる。

2. 3 意思決定フェーズにおける課題

意思決定フェーズにおける災害情報システムの主な課題を以下にあげる。

（1）意思決定に必要な情報の提示

意思決定に必要な情報が過不足なく提供されることが必要である。また、災害対応時には迅速な判断が要求されることから、必要な情報を表示して、なおかつ情報を理解のために必要な時間が短いことが要求される。そのため、状況が一目で分かる表示方法が望ましい。

（2）時系列情報を含む地理情報の表示

災害情報システムでは、状況の時間変化が重要な意味を持つため、時系列情報の扱いが必須となる。このため、支援システムでも、時空間データを効率良く表現する必要がある。

（3）操作容易性

災害対応時に利用されることを前提としているため、誰にでも操作が容易であることが必要とされる。

（4）保守性

非常時に利用するためには平常時からデータの

整備や利用を行う必要がある。このため、初期コストばかりでなく、システムの運用コストも大きな要因となる。

なお、システムの基礎となるデータ管理およびそのアーキテクチャに関しては（桑田ほか，2002）で論じたので、ここでは意思決定のための視覚化に着目して論じることとする。

3. 課題と解決方針

ここでは、前章で述べた課題の詳細化と解決方針を示す。なお、各項目の具体的な実現方法については、4章で述べる。

3. 1 意思決定に必要な情報の提示

前述の課題（1）を解決するために、3次元地図図を利用した災害情報の視覚化システムを提案する。提案システムでは、収集した情報を地理情報システム（GIS: Geographic Information System）上で統合管理する仕組みを実現し、情報活用のための視覚化方法として3次元地図図を利用する。

統合管理システムに格納された収集情報を利用し意思決定を行うためには、状況を素早く的確に理解することが重要である。このためには、情報視覚化技術の応用が有効であると考えられるが、ここではGIS分野で都市景観シミュレーション等に利用される3次元地図図を用いた視覚化手法を応用する（例えば、田島，1997）。この手法は、一般にはコンピュータグラフィックス（CG）と呼ばれるが、本稿ではCGの中でも特に操作者との対話（インタラクション）によりシステム側で視点や表示時刻等の表示情報を変化させる、リアルタイム・インタラクティブ・シミュレーション（RTIS）技術を応用することを提案する。

3. 1. 1 RTISによる3次元災害情報の表示

災害情報システムでは3次元による情報の理解が重要な要素となる。例えば、火災延焼状況把握のためには家屋の密集度や空き地の有無、建物の高さや体積等から総合的な判断をする必要がある。2次元地図図に記載された数値情報などから前述の情報を把

握するためには、数値情報を基に状況を頭の中で思い描く必要がある。これに対し、RTISにおいては3次元地図上で対話的に視点を変更することで任意の視点からの確認が可能となり、前述の情報を直観的に把握することができる。

また、外見からはわかりにくい判断のために重要な情報を表現するために、表現の工夫をすることが可能となる。例えば、建物の色を変更することで延焼状況を示したり、耐火・非耐火建物の区別を表現するために、切り妻屋根・平屋根といった形状の違いを付けるといった、表現の工夫が可能である。

3. 1. 2 現場撮影画像との比較

現場状況の理解のために、生の現場災害映像を利用することも可能である。図2に市街地火災の現場撮影画像の例を、図3に3次元地図による火災の表示例をそれぞれ示す。

図2 市街地火災の現場撮影画像例

(阪神・淡路大震災 航空写真撮影・編集グループ, 1995)

図3 3次元地図による市街地火災の表示例

意思決定の支援を目的とした災害情報システムでは、意思決定のために必要な情報のみを抽象化して表示を行うことが可能である。例えば、図2の現場撮影画像では煙の向こう側がどうなっているか分からないが、図3の3次元地図による表示では、煙の表示は行わないため、全域を見渡すことが可能である。また、必要に応じて対話性を利用して建物の裏側に回り込み、その様子を確認することも可能である。

3. 2 空間データの時系列情報の表現

課題(2)の時系列情報の表示には複数の方法が考えられる。空間データの時系列表示に標準的な方法はないが、一般的な方法としては、複数の年代の異なる地図を並記することで、時間的変化を表現する方法がとられる。この他にも用途に応じて様々な工夫が行われる。

例えば、空間情報の時系列変化を表現する方法として、情報の鮮度(新しさ)の表現に透明度を変化させる方法がある(若松ほか, 1997)。同方法によると、古い情報ほど色が薄くなり、直感的に情報の新鮮さを理解することが可能である。

本稿では3次元表示を前提としているため、RTISの対話性を利用して、時系列情報の表示方法にユーザからの要求に応じたアニメーション表示をとることを提案する。

3. 3 操作性(視点移動方法)

課題(3)の操作性は、RTISにおいてはシステム全体の有用性を左右するほど重要である。特に、3次元システムの操作性で最も重要な項目の一つが、視点移動方法である。従って、ここでは視点移動に着目して論じる。

3次元空間において任意の視点を得るためには、3次元座標位置と、視線の方向を指定する必要がある。従って、3次元座標上を自由に移動し、任意の方向を見るためには、前後・上下・左右への移動と、Roll・Pitch・Yawの視点方向の6変数の値を決めることが必要である。

これらの情報を対話的に入力する方法としては、

一般的にマウスが使われることが多い。しかし、マウスを利用してこれらすべての値を決める操作系を設計することは難しい。また、操作系に標準が無いため、利用者は操作系ごとに異なる操作方法を、その都度学習することが必要となる。

本稿ではマウスに代わって、磁気センサを用いて白地図上の任意の視点を入力することで、上記6変数を対話的に入力する方法を提案する。

3. 4 保守性（3次元データの作成）

課題(4)の保守性の中で最も手間とコストのかかる点が3次元データの作成と更新である。ここでは、3次元データの作成について論じる。

建物の形状を表す建物形状モデルの作成方法は、一般的に以下の四つの方法が考えられる。

(A) 手動モデリング

空中写真を基にして、手動でモデリングを行い、3次元建物形状を作成する方法。人手による作業を伴うため、作成に手間と時間がかかるという欠点がある。

(B) ステレオマッチングによる形状抽出

空中写真のステレオマッチングにより3次元建物形状を抽出し、自動的にモデルを作成する方法。

(A)と比較して形状データの作成処理の手間を短縮することが可能である。

(C) レーザレンジファインダ(LRF)による高さ測定

航空機搭載のLRFにより取得した高さ情報とデジタル地図を組み合わせることで3次元建物形状を作成する方法。一般に(B)より高精度のモデルを作成出来るが、データ取得の手間とその後の処理量が膨大である。

(D) 簡易3次元地図

デジタル地図の建物平面形状と建物の高さ情報（または階数情報）を利用することで、簡易3次元建物形状を作成する方法。細かな建物形状まで表現することは出来ないが、デジタル地図のみで処理が可能であるため、手間と時間がかからない。本稿では地理データの入手性とコストの観点から(D)の方法を採用する方針とした²。

4. 試作システムにおける課題の解決

本章では、前章で述べた方針に従って試作した災害情報の視覚化システムの具体的な実現方法を述べる。なお、試作システムは、主に災害対策本部などでの地震災害への対応業務を対象として設計した。災害対応業務の中心は、災害対応リソースの割当指示や必要に応じた支援の要請である。このため災害状況の全体像の把握、災害の進行予測、被害の予測・推定、災害対応状況の理解などが重要な判断材料となる。

4. 1 直感的に理解できるデータの表現

情報の表示のためにRTISを採用したが、意思決定支援のために必要な情報を直感的に理解するため、表現方法に工夫を行った。

(1) 建物材質の表現

延焼状況を判断する場合に、建物材質は重要な判断材料である。形状を変えることで、建物材質が一目で分かるように工夫した。

- ・2階建て以下の一般家屋は切妻屋根（非耐火建造物）
- ・それ以外のビルなどの建物は平屋根（耐火建造物）

(2) 火災延焼状況の表現

火災延焼状況は、建物の色で表現することとした。延焼状態によって、黄色－橙－赤－茶色－黒と直感的に分かり易い配色とした。

(3) 動的オブジェクトの表現

本システムでは、現場撮影画像やメッセージ、車輛および隊員位置などが時空間情報として動的に管理される。動的オブジェクトは3次元地図上の対応位置にアイコンとして表示することとした。図4に静止画を3次元アイコンの例を示す。

図4 アイコン化した静止画とその表示方法

3次元アイコンをマウスで指定することで、そのアイコンの示すオブジェクトの情報を別ウィンドウで表示する。このウィンドウには、静止画の撮影日時、場所などの情報も表示される。静止画と3次元地図を見比べることにより、現場の状況がより把握し易くなる。車輛位置や隊員位置なども同様であるが、情報の種類を示すため、異なる形状のアイコンを用いた。

(4) 重要情報の表現

消火栓や消防車の位置といった重要情報は常に把握する必要がある。そこで、3次元地図上では、その情報を示す位置の上方に標識を設置し、Billboard機能³を用いて標識を常に視点と正対させる。さらに、遠方の標識の可読性を高めるため、常に見かけの大きさを一定にして視認性を損なわないようにした。その建物の属性情報(名称や住所など)は、マウスで建物を指定することでダイアログボックスに表示する(図5)。

図5 属性情報の表示例

(5) 情報のフィルタリング

3次元地図を用いた場合、重要な建物が手前の建物の影に入り、視界から外れることがしばしば発生する。特に、図6(左)のような低い視点では顕著である。

本システムでは、注目したい建物のみを選択表示するフィルタ機能を設けることによって解決することとした。図6(右)は、延焼中の建物に注目してフィルタ表示を行った場合の表示例である。

図6 フィルタ処理の例
(左:フィルタ前, 右:フィルタ後)

4. 2 時系列情報の表現

時系列情報の表示方法については、対話性を利用して、アニメーション表示を採用した。即ち、画面にはある時刻の状況のみを表示するが、ユーザからの要求に応じて任意の時刻の状態を計算し、瞬時に表示を変えることが可能である。

図7にアニメーションによる災害情報の経過表示例を示す。ユーザによるスライダーの操作を受けて、火災延焼が時間経過に応じて図の上段から中段、下段へと拡がる様子が分かる。

図7 災害情報の経過表示例
(実際には1画面に表示される)

4. 3 視点移動

初心者にも視点移動が容易に行えるように、マウスに代わって磁気センサを使った3次元地図インタフェースを新たに考案した。

磁気センサは微弱な磁界を使用して原点（トランスミッタ）と、測定位置（センサ）の相対的な距離と姿勢を算出することが可能である。リアルタイムに3次元位置と視点方向をミリ単位精度で測定可能であることから、人間の姿勢などをリアルタイムに追尾する装置として利用されている。

図8 磁気センサの操作の様子

本システムにおいては、対象とする3次元地図と同地域の白地図を用意し、3次元地図上の視点位置と白地図上のセンサ位置を対応させた。即ち、磁気センサを使い、白地図上で位置及び方向を指定することで、その位置からの視点が視覚化システム上に表示される。

操作の様子を図8に示す。図の様にセンサを手で動かすことにより、3次元地図上の視点位置が直感的に指定できる。

4. 4 3次元地図の作成

災害対策本部などの意思決定支援においては、大域的な被害状況の理解が重要であり、リアルな情報表示のためのテキスト情報や建物などの正確な表示のための地図の精度等は比較的重要ではないと筆者らは考えた。このため、今回の試作にあたっては、既存デジタル地図から簡易に作成する方法をとることとした。

本システムにおける3次元地図の自動作成の手順

を図9に示す。

3次元地図作成には、建物形状モデルと地形モデルを個別に作成し、重ね合わせる方法を用いた。建物形状モデルの作成には住宅地図⁴を利用し、建物の属性情報から建物の特徴を抽出し、その特徴に合わせて自動作成を行った。また、地形モデルの生成には、数値地図⁵を利用した。

図9 3次元地図の自動作成処理フロー

5. 評価

試作システムの評価のため、主観評価実験および操作性の定量評価実験を実施した。なお、主観評価実験は課題(1)から(3)全てを包含し、定量評価実験は主に課題(3)に対応する。

主観評価では、被験者として非専門家である一般市民による評価を行った。本システムは災害対策本部での意思決定に利用されることを想定しており、非専門家を対象としたものではない。しかしながら、本システムの想定利用者である自治体の職員等も一般にはITの専門家ではないことから、本評価結果は有効であると考えられる。

他方、定量評価においてはITを使い慣れているが3次元システムの操作経験のない会社員を対象にしている。これは、想定利用者が本システムの利用に慣れた場合どの程度の効果があるかを計る目安となると考えられる。

5. 1 主観評価実験

本評価では、岐阜県主催の防災実証実験である「次世代携帯電話等の防災システム利用実験」に3次元災害情報システムを持ち込み、実際に被験者にシステムを触ってもらう事で、利用者の立場から意見をもらう事ができた。

以下に主観評価実験の概要を示す。

表 1：主観評価実験の概要

項目	設定
日時	平成15年3月9日
場所	岐阜県中津川市 ふれあいセンター
実験方法	利用実験の参加者の中から希望者にシステムを自由に利用してもらう(各5分程度)
評価方法	無記名式アンケート(14項目)
被験者	一般市民(20代～60代)
被験者数	18名(アンケート回収実績)

主観評価結果の分析

(1) 有効性評価結果

アンケートより有効性評価項目の5段階評価による集計結果を図10に示す。被験者の約80%が3次元災害情報システムの必要性を認識しており、同数が2次元の地図に比べて分かり易いことを指摘している(各項目の平均はそれぞれ4.11, 4.39)。

図10 有効性に関するアンケート結果

(2) 操作性に関する主観評価結果

アンケートの操作性評価項目の5段階評価による集計結果を図11に示す。操作性に関して被験者の約半数がどちらかというと思うと操作しやすく、視点移動が自由に出来たと答えていることから本システムが有効であることが分かる(各項目の平均はそれぞれ3.35, 3.33, 3.82)。

図11 操作性に関するアンケート結果

5. 2 定量評価実験

磁気センサの導入による操作性の向上を定量的に測定するため、定量評価実験を行った。表2に定量評価実験の概要を示す。

表 2：定量評価実験の概要

項目	設定
日時	平成15年8月
場所	東京都内のオフィス
比較条件	(1) マウス (1回目) (2) マウス (2回目) (3) 磁気センサ
設定タスク	(A) ポイント (B) ウォークスルー (C) ラウンド
測定方法	・ 処理時間の測定 ・ 操作性に関するアンケート
被験者	社員(20代～40代)
被験者数	9名

なお、本実験の被験者は普段からパソコンを使い仕事を行っており、マウスの操作に精通している。ただし、本システムのように3次元の操作を行うシ

ステムの利用経験はない。

比較条件としては、マウス操作（1回目）、マウス操作（2回目）、磁気センサの3条件とし、被験者ごとにマウスと磁気センサの実験順序を変えた。予備実験から、マウスは学習効果が期待されることから2度繰り返して同じ操作を行ってもらった。また、磁気センサについては学習効果が少ないことが確認されていたため一度の操作のみとした。

以下の3個のタスクを順番に実施してもらい、操作が完了するまでの時間を測定した。

(A) ポイントタスク

3次元地図上のある位置まで視点を移動する。
(地図上に立てられた旗の根元が見える位置)

(B) ウォークスルータスク

3次元地図上の大通りに沿って端から端まで視点を移動する。

(C) ラウンドタスク

3次元地図上の1つの建物を一周し、建物の各側面の状態を確認する。

なお、上記3タスクは3次元システムを操作する上で最も基本となる操作である。また、(A)、(B)、(C)の順番に難しくなることが予備実験で確認されている。

5. 2. 1 処理時間の分析

タスク毎の処理時間の平均を図12に示す。

図12 定量評価結果（処理時間）

(1) 磁気センサの処理効率

磁気センサによる処理は、マウス操作2回の平均に比べ約25%の時間で処理が完了していることが分かる。言い換えると、磁気センサはマウスに比べて4倍効率が良いことになる。

(2) マウスの学習効果

1回目に比べて2回目のマウス操作では、タスク(B)、(C)について70%程度の処理時間で、タスクが完了していることから、学習効果が確認される。また、最も簡単なタスク(A)については、約30%程度の時間で終了しているが、これは1回目のタスク(A)は被験者が最初にマウス操作を行ったタスクであり、学習効果が高いためであると思われる。

5. 2. 2 処理時間の分散分析

個人により処理時間にばらつきがあるかどうか調べるため、処理時間の分散分析を行った。タスク毎の処理時間の標準偏差を図13に示す。

磁気センサによる処理は各タスクとも個人によるばらつきが少ないことが分かる。本分析から、磁気センサは誰が使っても短時間に処理を完了することが予測される。

図13 定量評価結果（標準偏差）

6. まとめ

本稿では、災害対応活動のワークフロー分析結果を基に、意思決定支援のための災害情報システムの提案を行なった。提案に基づき、RTIS技術を応用した災害情報の視覚化システムの試作を行い、その評価を行った。

非専門家を対象とした実証評価実験において、3次元表示を行うRTISの有効性および磁気センサの操作性について有効性が確認された。

今後、現場でシステムを利用する可能性のある専門家による評価を行うことが課題である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、実証実験に協力頂いた、国際情報科学芸術アカデミーの神成淳司先生、吉田茂樹先生にお礼申し上げます。また、実証実験の場を提供して頂きました岐阜県中津川市の中津川まちづくり推進部および岐阜県の職員のかたがた、ならびに実験に参加して頂きました中津川市民の皆様にご感謝いたします。

註

- 1 動画像から切り出した複数の静止画像を張り合わせる処理
- 2 地理データ整備が進むに従い、安価な3次元地図が手に入ることも考えられるため、実際の応用にあたっては、その時点での調査が必要である。
- 3 Billboard:標識等を自動的に常に視点と正対させる機能。いつも正面を向いているため、3次元オブジェクトとする必要がないため、一般に処理効率が良い。
- 4 ㈱ゼンリン Zmap Town II
- 5 国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)

参考文献

- 阿部進・鈴木誠・島村秀樹・飯澤清典(1999), GISを活用した横浜市リアルタイム地震防災システムの構築, 地理情報システム学会講演論文集Vol.8, 1999, pp.169-174.
- 川崎昭如・服部一樹・浦川豪・中島徹也・佐土原聡(2001), 崖災害対応へのGISの活用—崖およびその被災危険地域の抽出と雨量による崩壊危険区域の公開—, GIS-理論と応用2001, Vol.9 No.2, pp.25-32.
- 桑田喜隆・神成淳司・大谷尚通・井上潮(2002)地理情報に基づく防災情報のリアルタイム共有システム. 情報処理学会論文誌 Vol.43, No.11, pp.3419-3428.
- 総務庁行政監察局(1998)震災対策の充実のために 阪神・淡路大震災の教訓を踏まえて, 大蔵省印刷局.
- 田島進(1997), 3次元都市地図の可能性を探る, 日経CG.
- 畑山満則・松野文俊・角本繁・亀田弘行(1999) 時空間地理情報システムDiMSISの開発, GIS-理論と応用1999, Vol.7 No.2, pp.25-33.
- 阪神・淡路大震災 航空写真撮影・編集グループ(1995)阪神・淡路大震災 航空写真集, アジア航測株式会社, p383.
- 兵庫県企画管理部防災局 防災企画課・消防課(1998), フェニックス防災システム, <http://web.pref.hyogo.jp/syoubou/phoenix/index.html>
- 若松健司・橋場一郎・岩城修(1997) Dusk View: 透明度を用いた属性情報表現, 日本ソフトウェア科学会 WISS'97, インタラクティブシステムとソフトウェア V, 近代科学社, pp.107-112.