

時空間地理情報システム DiMSIS の開発

畑山満則・松野文彦・角本 繁・亀田弘行

Development of Spatial Temporal Information System DiMSIS

Michinori HATAYAMA, Fumitoshi MATSUNO, Shigeru KAKUMOTO and Hiroyuki KAMEDA

Abstract: In this paper, we discuss the disaster response support system developed through experience with disaster and recovery support activities obtained as a result of the Great Hanshin-Awaji Earthquake Disaster. The information systems to be used in times of disaster must have the following three features: 1) continuity between normal times and times of emergency, 2) decentralized independence, and 3) integration of spatial and temporal information. To actualize these features, we have developed DiMSIS, as a prototype of a spatial temporal information system. The DiMSIS has a data structure without explicit topological relation among objects and the topological relation is generalized for each query in real time. This concept is far superior for constructing a decentralized system. It can easily integrate spatial and temporal information. Finally, we present effective examples of information processing in normal times and times of emergency to demonstrate the validity of the proposed system.

Keywords: 時空間地理情報システム (Spatial Temporal Information System).

阪神・淡路大震災 (The Great Hanshin-Awaji Earthquake Disaster).

リスク対応型地域空間情報システム (Risk-Adaptive Regional Management Spatial Information System)

1. 緒言

1995年1月17日、兵庫県南部を襲った阪神・淡路大震災は、被災地に大きな爪跡を残した。このような複合都市災害では、防災における物理的課題と社会的課題に加えて、情報課題が防災活動の要として重要であることが浮き彫りになった(亀田編, 1995)。このため、この震災を契機に、地理情報システム(GIS: Geographic Information System)を応用した防災システムや、災害対策支援システムが注

目を浴びている。これらのほとんどのシステムは平常時との連続性を考慮しない緊急時専用システムであり、消防や警察等のような緊急時専門機関では有効に利用できる。しかし、地方自治体のような緊急時が主体でない機関では、日常業務をベースにし、その延長線上で緊急対応を行なうことができなければ、災害緊急時に有効なシステムとはならない。

本論文では、阪神・淡路大震災における災害復旧支援活動従事者からの情報処理システムに対する要求を整理し、災害直後にも実運用可能なリスク対応型地域空間情報システム(RARMIS: Risk-Adaptive Regional Management Spatial Information System)の概念を示す。次に、このRARMIS概念の技術的特徴を実現するための基盤となる時空間地理情報システムの構築手法を提案し、そのプロトタイプシステムとして開発したDiMSISのデータベース構造と

畑山：〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259 橋地
東京工業大学大学院 総合理工学研究科/
日本学術振興会特別研究員
Tel:045-924-5530
Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology / JSPS Research Fellow 4259, Nagatsuta, Midori, 226-8502, Japan
E-mail: hatayama@cs.dis.titech.ac.jp

空間認識の方法について示す。最後に、DiMSISの平常業務での適用例と、その延長線上でのレスキュー活動支援の例を挙げ、提案システムの有効性を検証する。

2. リスク対応型地域空間情報システムの概念

2.1. 災害/平常時サイクルでの情報処理の変遷

災害発生時より時間の経過に従って情報処理に対する要求は変化する。この変化は、平常時を含めて以下の5つの段階に整理できる (Kakumoto et al., 1997)。この流れを図1に示す。



図1 災害発生時における情報処理の変遷

各段階において情報処理システムは、以下のような場面で有効に活用できると考えられる。

(1) 混乱期 (災害発生～数日間)

安否確認、救助支援、避難所の割り当てなど。

(2) 初動期 (混乱期後～数週間)

家屋・道路・ライフラインの被災状況の整理、ボランティアなどの支援体制の確立、復旧計画策定の支援など。

(3) 復旧期 (初動期後～数ヶ月)

収集された被災情報を基にした、罹災証明などの各種証明書の発行支援、ライフラインや道路の復旧状況のモニタリングと復旧計画の策定支援など。

(4) 復興期 (復旧期後～数年)

被災状況・復旧状況の整理分析、風土・地域の立地条件などによる災害分析や再開発計画立案の支援など。

(5) 平常時 (復興完了後)

住民移動の把握、家屋や土地などの固定資産管理、道路や公共施設の維持管理など。

これら5つの各段階において処理される情報は、それ単体で意味を成すのではなく、地域の中の場所(位置)と時間を対応させることでその価値を高め

る。このため、災害対策支援を行う情報処理システムは、位置と時間に付随した情報を管理することができる地理情報システムを基盤として構築することが期待される。

2.2. 災害対策支援システムへの要求

阪神・淡路大震災における災害復旧支援活動 (角本ほか, 1996; 亀田ほか, 1997) を通じて、混乱期・初動期に実際に役に立つシステムは、次の5つの条件を満たす必要があることが提示された。

- I) 平常時に使用していること
- II) 専門家でなくても使用できること
- III) 可搬型であること
- IV) 複数システム間での情報統合が可能であること
- V) 最新の地域データベースを構築できること

2.3. 災害対策支援システム構築へのアプローチ

混乱期・初動期での情報処理を行なう災害対策支援システムは、GISを基盤とし、2.2.で示した5つの要求I-Vを満たさなければならない。この5つの要求は、運用(システム)上の課題(I, II)と、技術課題(III-V)に大別することができる。まず、下に示す(1)の特徴をシステムに持たせることで、運用上の課題と考えられるI, IIを実現する。次に、技術課題と考えられるIII-Vのうち、下に示す(2)の特徴をシステムに持たせることでIII, IVを、(3)の特徴をシステムに持たせることでVを実現する。

(1) 災害発生時と平常時の連続性

平常時に使用しているシステムと、災害時に利用するシステムを別のシステムと考えるのではなく、情報課題を分析することで平常時に使用しているシステムの機能とデータを有効利用し、災害時の処理を行う。さらに、平常時における使用の際に、コンピュータに精通した人でなくても利用できるGUIを構築しておき、ボランティア支援者でも簡単に使えるようにしておく。

(2) 自立分散型システム

携帯型ノートパソコン単体に平常時を含むすべての情報を格納できるシステム構成にする。これにより、大規模な災害に弱いクライアントサーバ型のシステムではなく、自立型のシステム構築を

可能にする。また、相互のシステム間で変化情報の授受を行なうことで協調作業が可能なシステムを実現する。

(3) 空間情報と時間情報の統合

空間情報に時間軸を導入し、履歴情報を残すことにより、時々刻々と変化する状況を記述し、実時間でのデータ更新を実現する。これにより、常に最新の地理データを取り扱えるようになる。

これらの特徴を持つシステムを、「リスク対応型地域空間情報システム (RARMIS)」(亀田ほか, 1997; Hatayama et al., 1998) と呼び、そのシステムを災害時に応用したシステムを災害対策支援システムと位置付けることにする。さらに、災害対策支援システムは、混乱期・初動期の情報を管理・統括するレスキュー活動支援システムと、復旧期・復興期に利用する復旧・復興状況管理システムから構成される(図2)。なお、運用上の課題(1)に関しては、現在開発したシステムの利用実験による有効性の検証を行なっているが、本論文の主眼は技術課題の解決であるので、別の機会に改めて論じることとする。

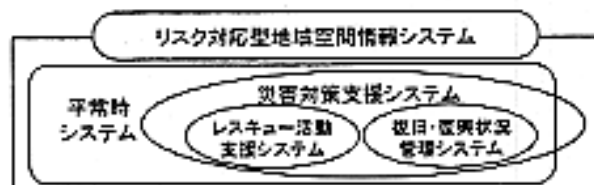


図2 RARMIS

3. 時空間地理情報システム形成におけるトポロジー構造の扱い

2. で述べたように RARMIS は、GIS を基盤として構築することが期待されるが、従来の GIS ではほとんど取り扱われていない時間情報の管理と分散型システムの構築を行わなければならない。そこで、この技術的特徴を実現するための方法について考察する(統計 GIS 研究会 編, 1998)。

3.1. トポロジー構造明示型の GIS

従来の GIS で多く採用されているトポロジー構造明示型の GIS では、2次元平面を点・線・面という基本的なトポロジー的概念を用いて分割し、各図

形要素(点・線・面)と属性情報を関連付けて地理データを管理している(伊理・腰塚, 1993)。このデータ構造は、各図形要素間の関係を記述しているデータの検索処理に優れる。反面、すべての関係を記述するとデータの記憶容量が大きくなる。そこで、使用目的に特化したデータ構造を構築することで、この問題を回避している。時間情報の管理に関しては、個々のオブジェクトごとの時間情報を管理しているものは、鳥海(1997)以外はほとんどない(飯村ほか, 1998)。これは、トポロジー構造の記述によりデータの記憶容量の問題がより深刻になるためと考えられる。また、分散した複数のシステム間でのデータの整合を取るためには、図形 ID を考慮した図形要素間の関係を記述する情報が必要となる。また、それらを統合するためには、与えられた情報を基にトポロジー構造を再構築することになる。この処理は非常に複雑になるため、複数システム間での変化情報の統合は困難であると考えられる。従って、トポロジー構造明示型システムは、大容量のサーバーにデータをおき、個々のクライアントがそのデータを共有するクライアントサーバ型のシステム構築に適している。

3.2. トポロジー構造算出型の GIS

3.1. の特徴をみると、トポロジー明示型の GIS は、RARMIS には適していないことがわかる。そこで、本研究では、トポロジー構造を明示しないデータ構造と、接続関係をリアルタイムで算出するデータ処理機構をもつ GIS を実現することで、問題点を解決する。トポロジー構造を明示しないデータ構造は、データ記述が単純なため、データの記憶容量がコンパクトに押さえられる。そのため自立型システムの構築にも適しており、各オブジェクトへの時間情報の付加も容易である。また、分散環境においても、初期データからの変化分だけを交換することでデータの整合を取ることができると、分散型システムの構築に優れる(岡本ほか, 1997)。大友ほか(1997)においても、トポロジー構造を明示しないデータ構造の重要性については指摘されている。欠点としては、データ検索が遅いことがあげられるが、これは、接続情報を算出するアルゴリズムを工

大することで、ある程度回避することができる、この可能性については、Kakumoto et al. (1990) で示されている。

4. プロトタイプシステム DiMSIS の構築

プロトタイプシステム DiMSIS は、阪神・淡路大震災直後から、GIS 学会防災 GIS 分科会 (1995 年発足、主査：亀田弘行) と京都大学防災研究所が中心となって、復旧支援活動システムとして、研究開発を開始した。その後、RARMIS 概念を実現する基盤システムとしての改良を行っている。

4.1. データベース構造

DiMSIS で取り扱うデータ構造は、全ての地理情報を、図形情報を形成する線分 (ベクトルエレメント) と属性情報を関連付ける代表点 (コネクタエレメント) で記述している。それぞれの要素は、位置情報に時間情報が統合された時空間情報を主として以下のような構成となる。

(1) ベクトルエレメント (以下 VE と記述する。)

VE を構成する要素は、レコード長 (2 byte)、エレメントの種類を表す種別識別子 (2 byte)、各種フラグ (4 byte: 時間要素 2 byte、その他 2 byte)、2次元の座標点列 ($4 \times i$ byte: 構成点数 i)、高さ情報 (4 byte) と生存期間 (8 byte) である。1レコードあたりのデータ量は、 $20 + 4 \times i$ [byte] となる。

(2) コネクタエレメント (以下 CE と記述する。)

CE を構成する要素は、レコード長 (2 byte)、エレメントの種類を表す種別識別子 (2 byte)、各種フラグ (4 byte: 時間要素 2 byte、その他 2 byte)、2次元の座標点 (4 byte)、高さ情報 (4 byte)、生存期間 (8 byte) と表示情報やグループ化情報などのキー情報 (j byte) で記述されている。1レコードあたりのデータ量は、 $24 + j$ [byte] となる。

4.2. 高さ要素の管理

VE, CE を構成する要素である高さ情報は、(1) 海拔高度、(2) オブジェクトの持つ高さからなる (図 3)。

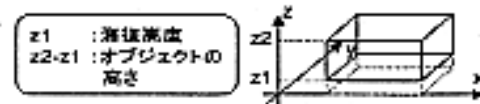


図 3 高さ情報

4.3. 時間要素の管理

VE, CE を構成する要素である生存期間は、(1) 発生開始: SS, (2) 発生確定: SE, (3) 消滅開始: ES, (4) 消滅確定: EE の 4 つの要素からなる。家を例に挙げると、発生開始=建築開始日、発生確定=建築完了日、消滅開始=解体開始日、消滅確定=解体完了日と意味付けることが出来る (図 4)。また、発生確定日や消滅確定日が特定できないとき、ある時間的誤差をこれらの要素を用いて表すことも可能である。

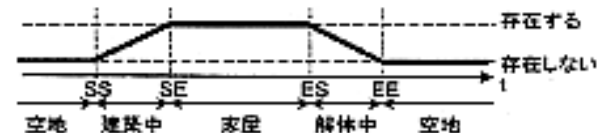


図 4 家屋情報の時間管理

4.4. オブジェクト間の関係表現

CE を構成する要素であるキー情報は、(1) キーコード、(2) キー属性からなる。この情報を用いてオブジェクトのグループ化を可能にしている。グループ化されたオブジェクト群を「オブジェクトグループ」と呼ぶ。オブジェクトグループは、構成する各 CE のキーコードに、グループ化を表わすコードを入れ、キー情報にグループ化する他の CE の座標情報を格納することで構成される。これにより、グループ化された CE をそれぞれ検索できるようになり、グループ処理が可能となる (図 5)。グルー

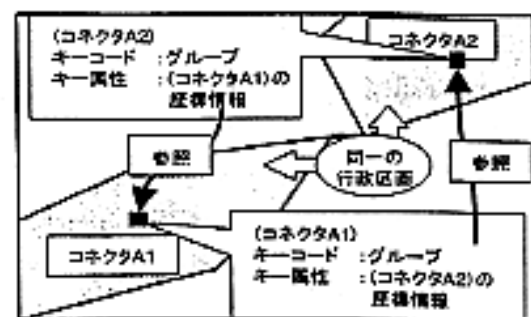


図 5 グループ化の例 (飛び地管理)

ブ化を行うことで、オブジェクト間の関係表現の記述ができるようになり、グループ処理と時空間解析を行うことで、飛び地やドーナツ型などのオブジェクトの管理が可能となる。

4.5. 時空間解析のための情報処理

4.5.1. 「空間」の概念

(1) 「種別群」の定義

VEの中で同じ種別識別子を持つもの、CEの中で同じ種別識別子を持つものは同種のもののみなし、これを「種別群」と呼ぶ。「種別群」は、1つの名称を持つ。

(2) 「空間」の定義

互いに相関関係のある複数のVE種別群と複数のCE種別群の集合として「空間」を構成する(図6)。

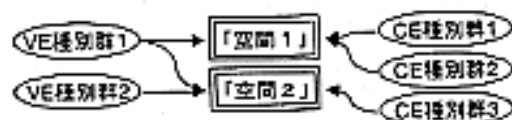


図6 空間の定義

「空間」は、構成するVE種別群、CE種別群を総称する名称を持ち、時空間解析を行なう上での意味付けがなされている。任意の1つのVE種別群は、複数の「空間」に属することが出来るが、任意の1つのCE種別群は、ただ1つの「空間」にしか属す

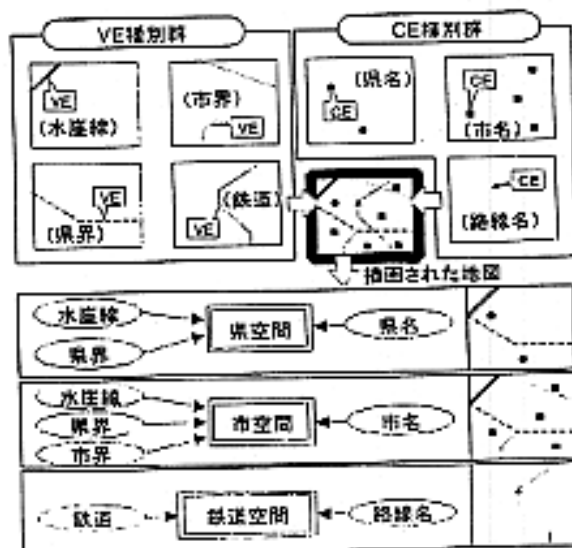


図7 空間の構成例

ることができない。「空間」の構成例を図7に示す。

4.5.2. 「空間」を用いた時空間解析

「空間」には、時空間解析を行なう上での物理的な意味付けとして、点空間・線空間・面空間・体空間の4種類がある。時空間解析は、この「空間」の中で、幾何学的な図形情報であるVEと、属性情報がリンクされているCEを関連付けすることで実現される。この関連付けは、処理要求が発生した時にリアルタイムに行われるため、従来のトポロジー構造を動的に補うことができる。関連付けの方法は、各空間で異なる。これらの空間の定義と関連付けの方法は以下ようになる(トポロジー構造を必要としない点空間については省略する)。

● 線空間

個々のVEが表す線分列そのものが幾何学的な図形情報として意味を持つ。このVE上に、CEが存在するかどうかで関連付けを行なう(図8)。この関連付けは、道路ネットワークと、そのネットワークに関する情報を管理する場合などに用いられる。

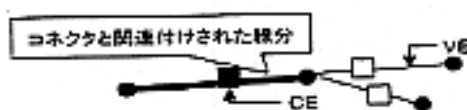


図8 線空間

● 面空間

面空間では、その空間に属する複数または、一つのVEが表す線分列を境界線とする閉領域を図形情報としてとらえる。この閉領域とCEの包含関係を用いて関連付けを行なう(図9)。この関連付けは、土地境界線と、その土地に関する情報を管理する場合などに用いられる。



図9 面空間

● 体空間

体空間では、その空間に属する複数または、一つのVEが表す線分列群を境界線とする閉領域で囲まれる立体を図形情報ととらえる。この閉領域とCEの包含関係を用いて関連付けを行なう(図10)。実

際にこの関連付けは、家枠と、その家に関する情報を管理する場合などに用いられる。

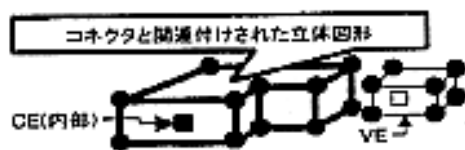


図 10 体空間

4. 6. 分散環境におけるデータ交換

DiMSIS は、単体でも利用可能であるが、複数端末を協調して利用することもできる。この際、各端末では、システム運用開始時点で、全端末に共通なベースデータを持ち、これを更新する際に、ローカルな変化情報を作成する。その後、利用形態に合わせたタイミングで、作成したローカルなデータを集め、統合することで、グローバルな最新情報へのデータのアップグレードを行なう(図 11)。これにより分散した端末での協調利用を実現する。この方式では、各端末はリアルタイムにグローバルな最新情報を得ることはできない。しかし、自治体などでの全庁的な利用を考えた場合、すべての部署の最新情報をリアルタイムに利用する要求はあまりない。また、災害発生時には、情報収集の要所となる災害対策本部、避難所、災害現場にシステムを配置し、それぞれの場所で情報処理を行なう必要がある。この時、リアルタイムにグローバルな最新情報を管理すること(リアルタイム性)と、できるだけ早くローカルな情報処理を開始すること(機敏性)はトレードオフの関係にある。前者では、サーバによるデータの一元管理と各端末間のネットワーク接続の確立を前提とするが、災害時にはこれらの保証がない。従って、システム稼働条件を整えるための時間が必要となる。阪神・淡路大震災以後、災害直後のレスキュー活動においては、機敏性の方が、リアルタイム性より優先され、グローバルな情報に関して



図 11 地図データを中心とした分散システムの構成

は、リアルタイムでなくとも生成可能であることが重要であると指摘されている(亀田編, 1995)。このような理由で、先に述べたデータ交換の方法を採用した。

4. 6. 1. ログ情報ファイル

各端末ではデータ更新時に、ログ情報ファイルを作成する。このファイルは、VE、CEの構成要素を記述したエレメント部分と記述されたエレメントに対して行なわれたタスク(追加・削除など)を表わすコードからなる。

4. 6. 2. データ交換

データ交換のタイミングは、利用する業務によって変わるため、規定しない。また、データ交換の手段も問わない。これは、緊急時に、稼働保証のある通信手段が確立できないことを想定している。携帯電話を用いたシリアルポート通信など利用できる通信手段があれば、それを用いて、ログ情報ファイルを伝送すればよいが、通信手段がなければ、フロッピーディスクにファイルを格納し、手渡しすることでも同様の処理ができる。平常時には、高速なデータ転送が可能な LAN などで行うこともできる。

4. 6. 3. データ統合

集められたログ情報ファイルは、エレメント部分の座標要素、時間要素などを用いた時空間解析により、同一データへの編集に関するチェックを行なう。この際、矛盾したデータが発見されると、正しいデータを担当者が選択することでデータの整合性を保つ。チェックが完了すると、各端末のログ情報ファイルを統合したログ情報ファイルを作成し、各端末に戻す。各端末では、受け取ったログ情報ファイルを、以前のローカルなログ情報ファイルに置きかえることで、端末間のデータ共有を実現する。すべての端末におけるデータ統合が完了すれば、グローバルな最新情報へのデータのアップグレードが完了する。この際、ログ情報ファイルの数や順番は、処理に影響しないため、利用業務に応じて決めることになる。図 12 に、3 端末を用いたシステムのデータ統合例を示す。この例では、端末 A、B を統合し、その統合ログ情報ファイルと、端末 C の情報を統合することでデータのアップグレードを実現している。

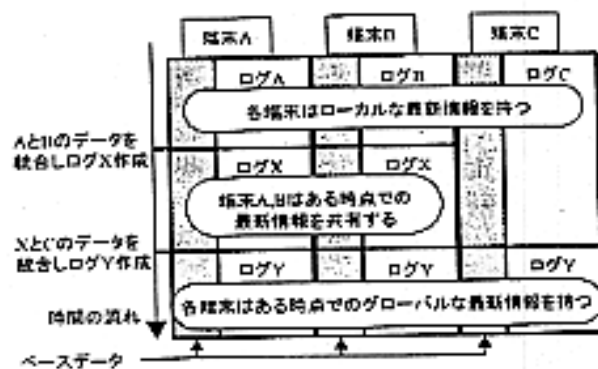


図 12 統合時のデータの変換

4.7. DiMSIS の構成

DiMSIS (単体) の構成を図 13 に示す。DiMSIS は、(1) 時空間情報で定義される VE, CE からの地理データ、(2) 地理データの管理・描画・検索を行うコア部分、(3) 属性データベースの参照・更新、ユーザに対する GUI を構築するアプリケーション部分、(4) 属性データベースで構成される。

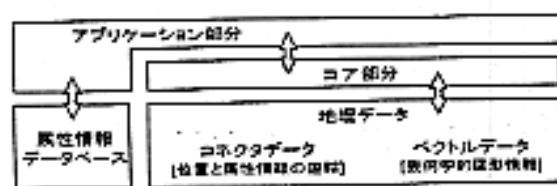


図 13 DiMSIS の構成

このうち、(1) の地理データと、(2) のコア部分により、RARMIS 概念の技術的特徴を実現している。全体のシステムは、Microsoft Windows 95 及び 98 上で稼動する。コア部分は、Microsoft Visual C++ 5.0 を用いて開発し、COM (Component Object Model) テクノロジーに準拠した OCX (OLE Custom Control) として汎用化している。これにより、Basic のような簡易な環境から、C++ のような高度な環境まで様々な開発環境での、アプリケーション開発を可能にしている。

5. 適用事例

時空間地理情報システム DiMSIS の効果的な適用事例を紹介する。

5.1. 行政区画管理

時間情報の管理を効果的に示す一例として、行政

区画の管理がある。DiMSIS では、空間情報を指定した時間に生存しているデータを用いて作成する。このため、行政区画の変更は、不要になった VE への時間情報の付加と、新しい境界線の付加のみで簡単に行うことができる (図 14)。

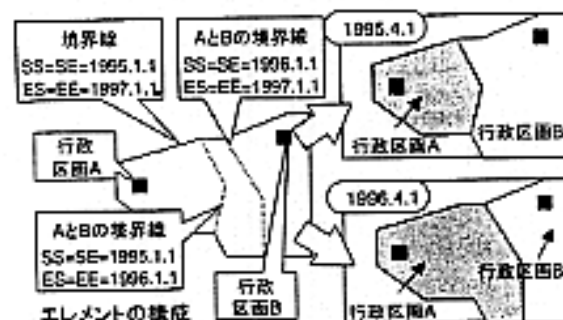


図 14 時間管理を応用した合成区画管理例

5.2. 住民管理

平常時と災害時の連続性の効果を表わす一例として、住民情報の管理がある。住民 1 人 1 人をそれぞれ CE に対応させ、発生開始、発生確定を出生日または転入日、消滅開始、消滅確定を死亡日または転出日とする。転入元、転出先がある場合は、キー情報にそれぞれのコネクタ座標情報を入れることで、人の流れを追うことができる。これにより、平常時の住民管理を可能にする (図 15)。災害発生時には、この住民情報を利用して、避難所での避難者の確認を容易に行うことができる。データ操作の方法は、平常時と同じである。避難所に存在しているデータと、移動元の座標を利用することで、避難所名簿を容易に自動作成することができる。また、未確認者を直ちに特定し、レスキュー活動を支援する情報を提供できる (図 16)。

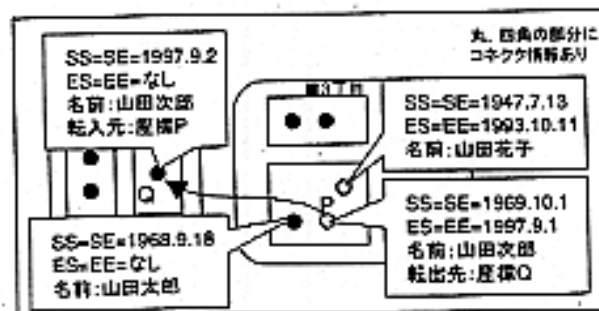


図 15 平常時の住民管理

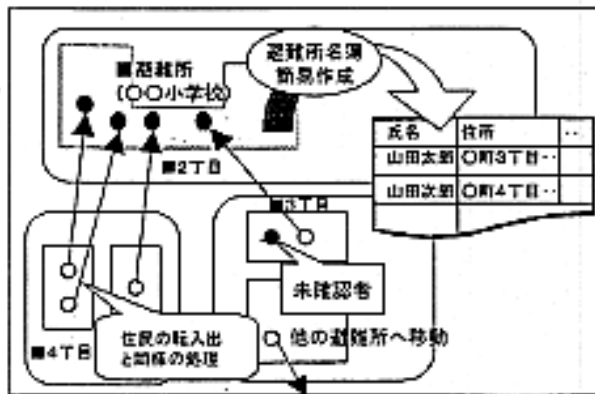


図 16 災害発生時の避難者管理

6. 結言

実運用性を考慮した自治体における災害対策支援システムの構築に向けて、リスク対応型地域空間情報システムの概念を提案し、これについて検討した。このシステムを実現するためのポイントは、地理情報システムを基盤とすることであり、(1) 災害発生時と平常時の連続性を考えて設計すること、(2) 自立分散システムとして構築すること、(3) 空間情報と時間情報を統合することである。このうち技術的特徴である (2)、(3) を満たすプロトタイプシステムとして、DiMSIS を開発し、適用事例を用いてその有効性を示した。運用上の課題と考えられる (1) については、実稼用アプリケーションを構築し、現在、神戸市長田区をはじめとする複数の自治体で、利用実験による有効性の検証を行なっている。

阪神・淡路大震災発生後、地方自治体では防災 GIS の導入が盛んであるが、そのほとんどが防災専用目的であり、日常業務との連続性が欠如していて、広範な災害緊急対応を有効に支援するシステムとはなり得ない。こうした問題を解決するためには、データ構造を含むシステム設計そのものから革新する技術過程が必要であることは本文で論じたとおりである。本論で論じた DiMSIS は、このような要請を満たすシステムとして重要であると考えられるものである。

謝辞

本研究は、文部省科学研究費、基盤研究(B)(1) 課題番号 10558063、東京工業大学 COE 形成基礎研究

費スーパーメカノシステム及び、特別研究員奨励費課題番号 100225 による。本研究に際し、神戸市長のご理解のもと、研究の場を提供し、災害時での情報処理のあり方を一緒に検討して頂いた神戸市役所、特に神戸市長田区役所まちづくり推進課、長田消防署の皆様には深い感謝の意を表します。また、災害復旧支援活動で協力して頂いた (株) 日立製作所、(株) 日立システムテクノロジーの各社、さらにその後の DiMSIS 開発まで協力を頂いた INS エンジニアリング (株)、(株) Dawn、(株) 日立情報システムズ、アジア航測 (株)、ヨシダ印刷 (株) のコンソーシアム各社にも深い感謝の意を表します。

最後に、貴重なご意見を頂いた査読者に感謝いたします。

参考文献

- 坂村 威・高澤信司・久保紀重・平井政二・大友真吾・荒井徹哉 (1998) 空間情報と時系列情報の統合化に関する研究—土地・建物情報管理のためのプロトタイプ—, 『地理情報システム学会講演論文集』, 7, 113-117.
- 伊理正夫 監修・櫻塚武志 編集 (1993) 『計算幾何学と地理情報処理 (第2版)』, 共立出版.
- 大友真吾・大沢裕 (1997) 位相構造を持たない地理情報システムに関する考察, 『第8回機能図形情報システムシンポジウム講演論文集』, 27-32.
- 岡本茂明・滝野秀一・谷口時寛・畑山満則・亀田弘行 (1997) 多次元 GIS のソフトウェア部品の開発—DiMSIS-Ex—, 『第8回機能図形情報システムシンポジウム講演論文集』, 19-26.
- 角本 繁・亀田弘行 (1996) 災害情報の特徴と管理方式についての考察—阪神・淡路大震災の経験から—, 『京都大学防災研究所年報』, 39B(2) 71-78.
- 亀田弘行 編集 (1995) 『文部省緊急プロジェクト「兵庫県南部地震をふまえた大都市災害に対する総合防災対策の研究」報告書』.
- 亀田弘行・角本 繁・大野茂樹・畑山満則・谷口時寛・岩井 哲 (1997) 阪神・淡路大震災下の長田区役所における行政対応の情報化作業とその効果分析—リスク対応型地域空間情報システムの提言—, 『京都大学防災研究所総合防災研究報告書』, 第1号.
- 島海重彦 (1997) 位相幾何学的構造を重視した多次元地理情報システムにおけるデータ構造, 『地理情報システム学会講演論文集』, 6, 111-114.
- 統計 GIS 研究会 編集 (1998) 『統計情報と空間情報処理—統計 GIS 研究会報告書—』, 72-75, 財団法人

統計情報研究開発センター.

- Hatayama, M., Matsuno, F., Kakumoto, S. and Kameda, H. (1998) Disaster Information Management based on Spatial Temporal Information System, *Proc. UM3 '98 International Workshop on Urban Multi-Media/3D Mapping*, 63-70.
- Kakumoto, S., Emura, M., and Iwamura, K. (1990) High Speed Analysis Method of Geographical Information using a N-Dimensional Table, *Proc. of 4th International Symposium on SPATIAL DATA HANDLING*, 12, 941-950.
- Kakumoto, S., Hatayama, M., Kameda, H. and Taniguchi, T. (1997) Development of Disaster Management Spatial Information System (DiMSIS), *Proc. GIS '97 Conf.*, 595-598.