

暗示（算出）型位相記述による時空間管理手法を用いた 随時データ更新と防災GISの実現 ——リスク対応型地域空間情報システム（RARMIS）の実現に向けて——

角本 繁*・畑山 満則**・亀田 弘行***

*京都大学防災研究所(非常勤講師)/(株)日立製作所中央研究所

**東京工業大学大学院総合理工学研究科

***京都大学防災研究所

要旨

阪神・淡路大震災の経験からも、被災直後からめまぐるしく変化する災害情報を記述するためには時空間の情報管理が必要であることが明らかになった。住所氏名の情報だけでは倒壊家屋の正確な把握ができず、地図が必要になった。また、地図の情報を管理する地理情報システム（GIS）には、時間変化の記述が求められた。従来から用いられてきた位相記述を前提にしたデータ構造では、情報の時間変化に伴って空間データの構造が変化してしまう。そこで、時空間管理を実現するために、位相構造を算出するデータ構造を提案する。

キーワード：地理情報システム、時空間管理、リスク対応型地域空間情報システム（RARMIS）、暗示（算出）型位相記述

1. はじめに

兵庫県南部地震を契機に、災害緊急対策応用の情報処理システムとして地理情報システム（GIS）は普及の兆しを見せている。大規模な都市災害において、物的要件と社会的要件をつなぐインターフェースとして情報の要件が重要であることが明らかになった。災害緊急対策の中では、関連情報の空間的な位置・加えて、時間的な推移を多元的に把握し、分析するための手段としてGISに期待が寄せられ、自治体、官公庁ではシステムの導入が検討されている。

しかし、本格的な展開が進んでいるGISとしてカーナビゲーションシステムは、全体的には例外的な存在であるのが現状である。自治体では紙地図を使って行ってきた地域管理を、GISで効率向上を図る試みがなされているが、実際に導入しても長続きをしているシステムは少ないのが現状である。その原因の中に

は、過去の経験が開発技術に反映されていない側面があると思われる。地理データの更新、統合化、データセットの併用などの必要性は明らかにされていたが、この課題は解決されているとは言えない。

従来の業務手順に比べて、対費用効果を高めるGISが求められることは言うまでもない。GISの実用化に向けた課題整理には、過去のプロジェクトの分析を行った。さらに、阪神・淡路大震災の復興支援として神戸市長田区役所でGISを災害管理に適用してきた経験を基に自治体GISの課題を分析した。

災害によって、時々刻々変化する状況の情報も記述・整理できる情報基盤として、時空間情報の処理を前提にした次世代型時空間GISが必要になる。災害分析で要求される図形データの位置関係の解析を含めて防災情報処理に使えるGISを提案する。

防災的観点から、この情報基盤には、平常時に都市の安全診断・対策に使われる情報は被災時の情報が有

効で、緊急時には平常時の情報が対策支援に使われるという情報の輪廻があると見ることができる。そこで、緊急時の情報基盤となるGISを普及させるためには経済性を考慮した条件で地理データベースが供給される必要がある。ここで、地域の地理データは主に該当地域で使用され、変化情報は各地域で収集しやすいという特徴を有する。地方自治体では地域管理のために地域の測量を行い、地図を業務に使用している。このことを考慮すれば、データベースの作成と管理は各地域の自治体に期待することが現実的といえる。

本報告では、①災害情報システムとしてのGISの概念、②ファジーデータの取り扱いを中心に開発された時空間管理のできるGISの実現、②都市計画図と道路台帳図などを統合した地理データベースの構築、などに関して得られた知見と今後の研究課題を中心に報告する。

2. リスク対応型地域空間情報システム(RARMIS)の概念

神戸市長田区役所で被災家屋の解体撤去業務における情報処理の支援活動と、その後のシステム展開の経験から、日常業務と緊急時の活動で共用できる情報システムを日頃から整備しておくことの重要性を認識した。緊急用に用意された情報システムは、たとえ効果的なシステムであっても使用できる担当者が少なかったり、データベースが更新されていなかったりして、实际的に使われることは少ない。それに対して、緊急時にも平常時に使いなれている情報処理システムが使用され、処理内容が異なっても業務手順は基本的に平常時のものと差がなかった。この経験から、緊急時の

業務を平常時の業務と対応づけて、日常業務システムの中に災害業務機能を組み込んだ「RARMIS」(Risk-Adaptive Regional Management Information System)の概念を提唱するに至った。

消防などの緊急対応の専門機関は、平常業務として緊急時の対応をしているが、この専門機関が被災していないことを前提にしている。自治体では日常の行政サービスと緊急時の業務には共通性はないようにも見えるが、対象地域、処理対象は類似であり、使用するデータベースも共通である。業務が異なってみるのは、業務内容、処理量、業務の優先順位が異なり、行政担当者自信が被災者であることである。

こうした観点から提唱するのがRARMISであり、図1に自治体の事例として概念を示す。基本機能は以下の3点である。

(1) 平常時の機能と災害時の機能の連携

平常時に使用されているシステムの中に災害対応機能が組み込まれていることが重要である。これは、平常時と災害時の活動の共通基盤を常に利用可能として、緊急時には平常時に使用しているシステムの機能を限定したり優先度を切り替えて使用できるようにすることで実現される。

(2) 空間データベースの時間管理

従来は、自治体の行政データの多くは住所と氏名を中心にしたテキスト形式で管理されてきた。この方式は平常時の情報管理には十分でも、現場で住所から場所を特定することも困難で状況が時々刻々変化するような災害時には対応できない。そこで、関連行政データがデジタル地図と関連付けられた時空間管理情報として管理することが必要になる。

(3) 行政部署を横断するデータの相互参照

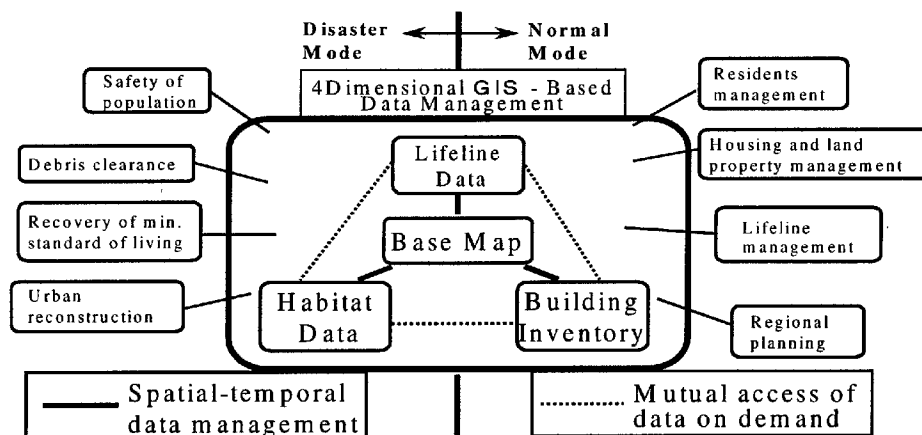


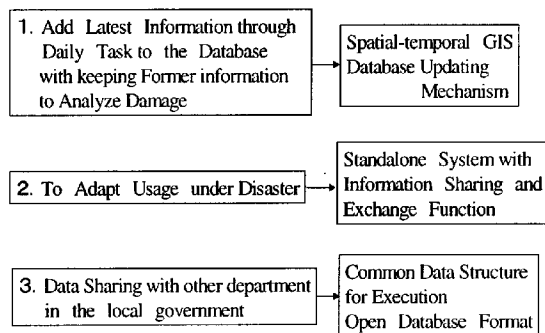
Fig. 1 Concept of 'RARMIS' Risk-Adaptive Regional Management Information System

プライバシーの保護などの観点から平常時には制限が必要な場合もある部署間のデータ相互参照が災害時には必要になる。情報の集約が必要になる場合に、この要求を満たすためには、データを同一の時空間軸で管理する必要がある。

3. 自治体における情報管理の問題と RARMIS コンセプトの実現

RARMIS コンセプトを実現するためには、表 1 に示すように、①地理データ管理と時空間管理 GIS、②システム構成と情報伝送、③地理データベースの統合と共有、などの課題がある。ここでは、①と③の課題を中心に言及する。

Table 1 Requirements for Realizing RARMIS



(1) 空間オブジェクトの時間管理

自治体では、道路の新設や家屋の新築などの変更が起こると、その更新情報を紙地図に書き込んで地域の最新の状況を把握できるようにしている。しかし、多くの GIS では、更新機能はあっても現実的には、日常業務の中で自治体担当者がデータベースを更新できない。また、データベースの更新ができて、更新をすると更新前のデータが再現できなくなるシステムがほとんどである。これでは、GIS 上で、地域の最新

作業が必要になり、時間と共に未登録の更新情報が増加するため GIS は使われなくなる。図 2 に示すようにデータベースの定期更新では、紙地図に登録されてきた変化データを電子化するのに経費をかけているに過ぎない。

この問題を解決するために、家屋などのオブジェクトを単位とした時間管理を行う。つまり、 $\Sigma [(X, Y, Z)]$ で現されるオブジェクトに時間情報を追加して管理する。ここでは、記号「 $\Sigma []$ 」で、同種のデータが複数個連なっていることを表す。時間情報としては、オブジェクトの生成、消滅をその過渡的な状況を含めて記述する。従って、オブジェクトは以下の表現で現される。

$$\Sigma [(X, Y, Z)] + \Sigma [(T)]$$

従来の多くのシステムではデータとし記述してきたオブジェクト間の位相関係は時間推移とともに変化するようになる。そこで、明示的な記述は避けて暗示的な記述をして、必要に応じて計算する方式をとることで、動的な変化の記述と位相情報に対する要求を満たすことができる。

(2) 属性データの管理

従来の自治体の業務では、家屋や土地などのデータは、リストデータである住所を中心にした情報として管理されてきた。GIS においても地図に書かれた図形データに住所データを結合して、その住所の属性データとして地物の情報を関係付けてきた。テキスト管理の利便性もあるが、各種の情報に同一の住所が付与されていなければ関係付けができない問題もある。震災後の神戸市で、倒壊家屋を解体するために住所をもとに対象家屋を特定しようとしたが、現地では表札や住所表示板が無くなっており、その特定が困難である場合が多々みられた。また、特定の住所の土地が分割されたり、同一住所に複数の家屋が建設された時にも混乱が起こる。

属性データは、すべて時空間の位置 (X, Y, Z,

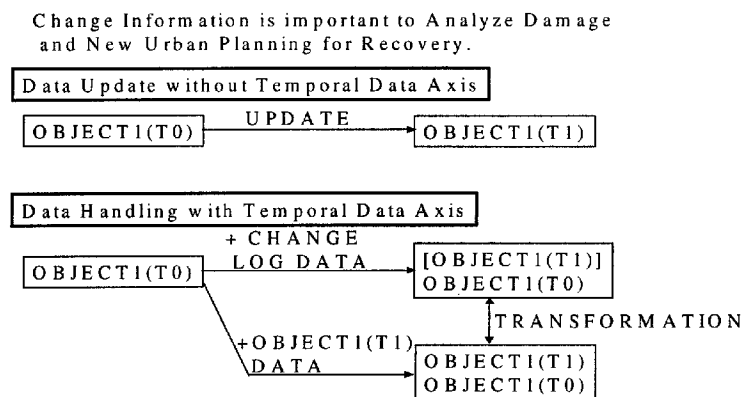


Fig. 2 Temporal Data Handling

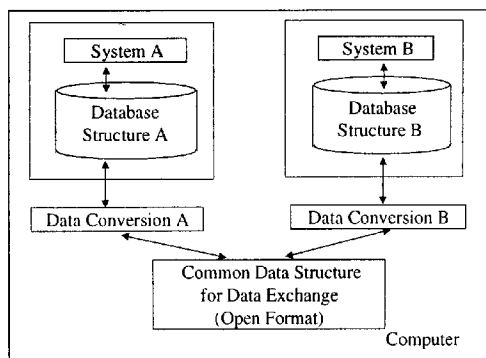


Fig. 3-1 Data Reference via Data Exchange Format

Σ [(T)]) に対応づけて管理することができる。住所属性情報の1つとして管理すれば、たとえ、変更になっても新住所を追加することで対処できる。

(3) データの相互参照

多くのGISはシステムごとに非公開のデータベース構造を採用している。そのため、異なるGISの間でデータ交換をする場合には公開されている交換形式に変換する必要がある。このことは、複数のGISを導入する場合に、同じ情報を重複して記述することを強いる結果になる。処理結果をシステム間で変換しながら共用するのは能率が悪く現実的でない。この状況を図3-1に示す。他システムのデータを直接参照できる仕掛けでもデータの更新と時間管理を保証することが難しい。

それに対して、図3-2に示すような、実行形式のデータ構造を公開すればこの問題は解決できる。後から導入されるシステムで、それまでに導入されているデータ構造を考慮したデータ参照を保証することによって、共通のデータを直接参照することができる。

(4) 統合データベースの構築

地図データベースは、従来の紙地図をディジタル化して作成する場合が多い。ここで、入力する紙地図が異なれば同じ地物が異なった表現になる。同じ縮尺の紙地図でも、同一の地物が同じに記述されない場合が多い。ここで、データベースを縮尺毎に整備して利用目的に応じてデータベースを使い分けるのでは、データの統合化が図れない。結果的には、データ管理が複雑になり、しかも不整合が避けられないため、データベースの利用効果は上がらず、維持コストだけが上がる。

建物や道路などの各オブジェクトについて全種類の地図データから最高精度の情報を集めることによって同じオブジェクトの重複した記述を避けることができ、結果的にデータの統合化が図れる。ここで、各オブジ

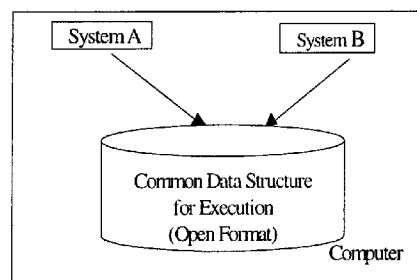


Fig 3-2 Data Sharing via Common Database (Open Executable Data Format)

ェクトについて相互の位置関係の不整合をなくすように補正する必要がある。

統合化した地図データでは、地図の表示やプロット出力において拡大率や表示項目の選択は自由である。従って、異なった位置精度で記述されたデータであっても、オブジェクト毎に要求精度を満たしていれば、統合することによって自由に目的別の地図を作ることができる。

4. 地理データと曖昧性

地理データベースで記述すべき現実世界は時時刻刻変化しているが、データベースは時間を固定して作成されるためデータベースの完成時には現実の状況を表していない。また、その現実世界の測量も許容精度を持つ。家屋、道路など地理データとして表されるオブジェクトは空間的な広がりを持つ。そこで、GISには地理データの曖昧性ないしファジー状態の考慮が必要であると言える。

地理データベースで、考慮すべき曖昧性には少なくとも次の点がある。

(1) 時間的な変化

時間推移に伴って実世界のオブジェクトの変化するため、データベースとの不整合が生じる。随時データの更新ができ、かつ過去の情報も保持するためには、データの変更があっても既存データに影響しない構造が求められる。ここで、位相構造の補償が課題になる。

(2) 位置的な許容範囲

境界線で囲まれる領域は均質とみなせるため、その内部にある点情報は点の座標が異なっても関連を持つ。従来の多くのシステムでは、情報の関係付けにユニークなインデックスが用いられているが、データ更新を含めた管理が複雑になる問題がある。ここでは、同一領域に関係付けられた複数の属性データを相互に関係

付ける仕組みが求められる。

(3) 位置的なずれ

同一地域の複数の電子地図データでは拡大率を合わせても、図形は重ならない場合が多い。領域の境界線は一致しなくても、測量の許容範囲の2倍以上はずれないと推測される。このずれを考慮した属性データの整合が求められる。

5. 時空間管理データベースの構築

RARMISコンセプトを実現するための地理データベースは時空間管理が前提になる。従来の3次元空間までの記述に時間の記述を追加するためには、上記の課題を解決する必要がある。

5.1 位相構造記述の課題

一般に、多くのGISで使われているデータ構造は、図形データを構成する図形要素の空間的な位置と接続関係を記述するデータと、図形要素と図形の種別を関係づけるデータを基本にしている。言い換えれば、位相構造と図形要素を一体化して記述し、それぞれの図形要素に種別を与え、さらに属性を付与する構造（「明示型位相記述」と呼ぶ。1例を図4に示す。）である。この方法では次の問題がある。

(1) 時間的に変化する図形を記述すると時間的には同時に存在しないが位置的に交差する線、面についても交点の登録と位相関係の記述が必要になるため、位相関係の記述が複雑になり、結果的に時間推移の記述が困難になる。

(2) 図形要素の関係は一様に記述されるため、解析に必要な関係の記述が多い反面、接点の無い図形

の関係などは必要でもあらかじめ記述されない場合があるため、結果的に補足的な記述を必要とする。この事は、データ容量を大幅に増加させることになり、防災応用で要求される小型パソコンで処理をする場合の障害になる。また、必要以上の記述に及ぶ図形関係に矛盾のない事を保証する必要があるため、データ更新が複雑になる。

これらの問題は、位相を明示的に記述するために生じる。そこで、図形の解析結果として算出できる図形関係は、必要なときに計算で求める位相記述（「暗示型位相記述」、または「算出型位相記述」と呼ぶ。）によって、この問題を回避できる。

5.2 暗示(算出)型位相記述の提案

地図に記載される線は、性質の異なる領域間の境界線を表していると同時に、その境界線は領域(ポリゴン)を表す。この事は、境界線の情報があれば、領域の代表点と輪郭を構成する境界線の種類から領域の形状は算出できることを意味する。

家屋や行政区などの領域はその情報が必要ときに算出できる。

カーナビゲーションシステムでは、右折禁止のような交通規制などのリンク間の関係も必要な交差点だけに情報を付加すれば良い。

従って、境界線情報(ベクトル)と点情報(コネクター)だけを明示的に記述することで、地図上に記述されるオブジェクトは意味情報を含めて記述出来ることになる。図5に構成を示す。ここで、領域間の相互関係の分析やルート計算などに応用する場合に必要な空間オブジェクトの検索は、一時的に生成する補助テーブルを用いる事によって高速化が出来る。

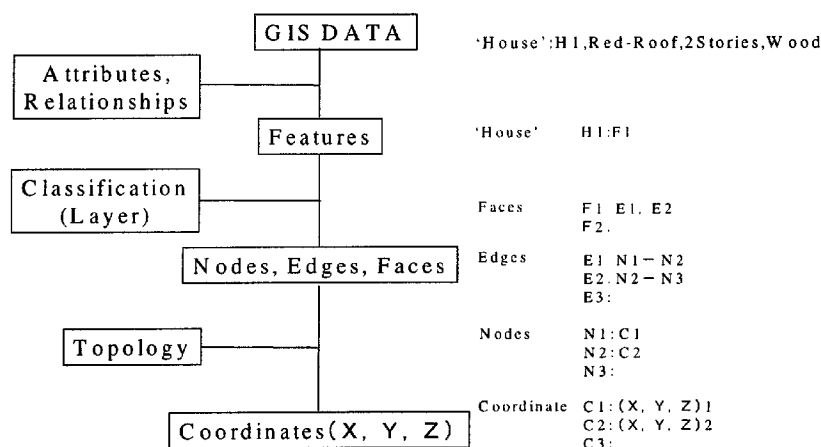


Fig. 4 Explicit Topology Data Description(ETDD)

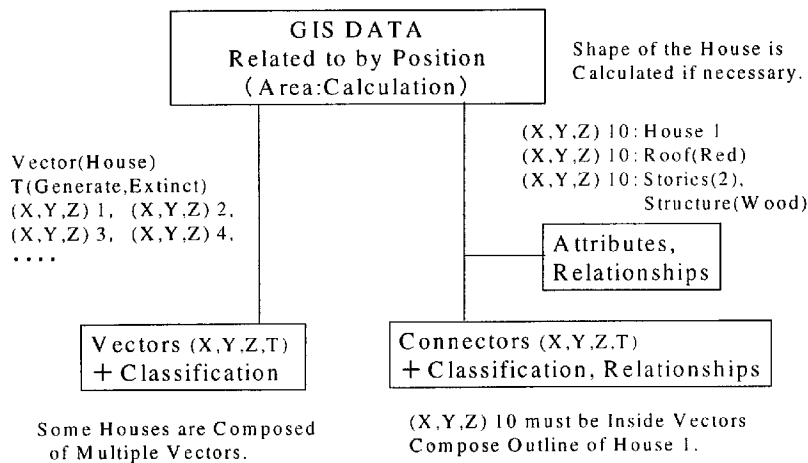


Fig. 5 Implicit Topology Data Description(ITDD)

5.3 マルチリンク表現によるベクトル表現

ポリゴンの定義をするために、境界線情報にはリンク単位の記述が求められた。そのために、同一の境界線がリンク単位に寸断され、さらに同一の属性を与えるために関係付けの記述が必要となった。それに対して、暗示的位相記述では、境界線の情報が関係付けの情報から独立するために、同一のリンクを接続することが許されることになる。連続した同一種別のリンクを接続したリンク群であるマルチリンクを構成することによって属性の関係付けが容易になると同時に、隣接関係の位相が暗示的に表現される。データ構造として、複数の線が交差するノードと線の交差のない形状点を識別できるようにすることで、領域などの算出やネットワーク計算は高速化できる。さらに、座標列は連続した記述になるため、描画などの高速化やデータ量の削減などでも有利になる。

5.4 空間キーによる属性管理

従来の多くのシステムでは、属性データを図形に関係付けられたユニークインデックスを介して結合していた。住所情報なども、領域情報に結合し、さらにその住所情報に詳細な属性情報が結合されていた。このような、ユニークインデックスは、情報が固定されている場合には問題なくとも、住所が変化する場合には特殊な例外処理をしないと破綻をきたす危険があった。上記のコネクタで属性を結合する場合には、座標に直接、属性情報を関係付けることができる。したがって、住所や従来のユニークインデックスもコネクタを介して場所に関係付けた属性情報とみなすことができる。ここで、住所が変化しても同一領域に新たな住所を関係付けるだけで整合をとることが可能になる。

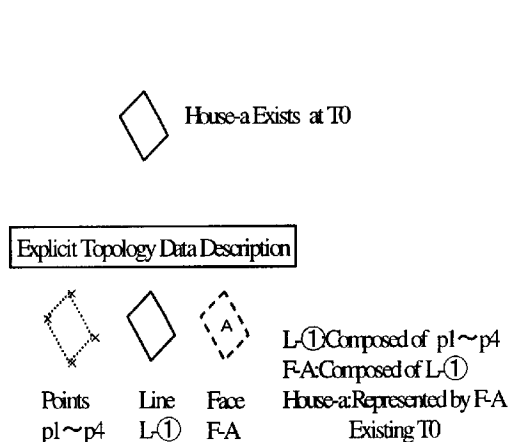


Fig. 6-1 Description of Objects (House) at T0

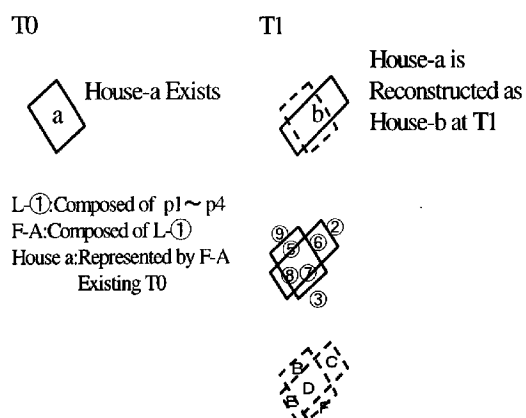


Fig. 6-2 Objects(House) Described by Explicit Topology Data Description(ETDD)

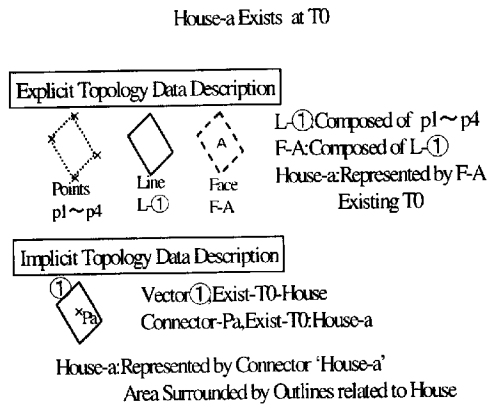


Fig. 6-3 Description of Objects(House) at T0

5.5 間記述と地理データのファジー管理

上記のマルチリンクとコネクタの表現によって、時間的な変化と空間的な許容範囲の処理が実現できる。時間管理としては、マルチリンクとコネクタに時間軸の記述を可能にすればよい。図6に家屋の撤去と新築の状況を示す。ここでは、日時 T1 で建て替えが起こったことを表すが、本提案方法では家屋 A のデータ構造が変わらない。時間的に共存しない家屋 B の情報と家屋 A の消滅情報の追加で状態の記述できる。家屋 A の情報が保持されることは T0 の状況も再現できることを意味する。ここで、時間管理としては、図7に示すように曖昧性の記述を可能にする。そのために、時間情報としては、各オブジェクトの生成と消滅の時間を記述し、さらに、生成と消滅について、それぞれの開始と完了の2つの時間を記述する。従って、各オブジェクトには、4つの時間が付与されことになる。

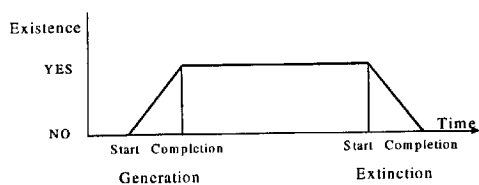


Fig. 7 Time Management of each Object

空間的な曖昧性については、領域内に配置されたコネクタの位置関係を算出することで求めることができる。ここで、曖昧性の応じて境界線情報を考慮する必要がある。境界線もコネクタを時間的な存在期間から、時間と図形の位置関係を算出することも可能になる。また、時間を固定すれば、その時の空間的な図形の位相関係が算出できる。

図8に、神戸市長田区における家屋の変化を時系列データとして管理している事例を示す。時空間管理機

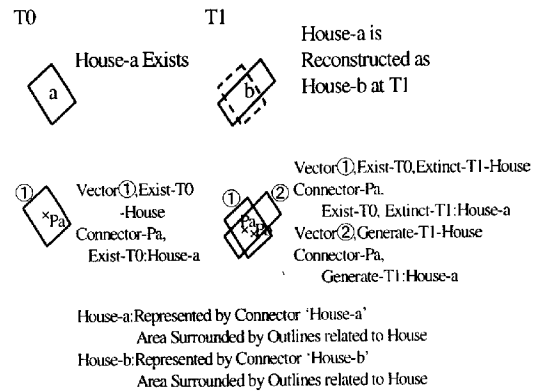


Fig.6-4 Objects(House) Described by Implicit Topology Data Description(ITDD)

能によって指定日時の状況を同じデータから再現できる。

6. 地理データベースの統合

複数の異なる地理データベースを統合して利用する場合、原理的には同一の対象を表す図形については精度の高いオブジェクトを選択すれば、統合した後のデータベースの質は向上することになる。測量データでも許容精度が補償されているば、自動的にオブジェクトの選択ができるはずであるが、実際のデータでは、測量日時の差などの要素が加わるため、この整合の自動化には課題が残るが、対話処理を用いることで解決ができる。この課題と解決については、具体的な事例で実証がほぼ完了しているので、別途報告する。

複数データの整合では、異なる地理データベースに関係付けられた属性データの統合がある。阪神淡路大震災の事例では、倒壊家屋の位置を家屋に居住者名の登録した住宅地図データベース上で入力した。復興のための地域分析は都市計画図で行ったため、入力された倒壊家屋情報は都市計画図データベースに統合する必要が生じた。コネクタによって位置に関係付けられた属性データは、容易に別なデータセットに受け渡しができる。データの許容誤差の範囲で家屋が記述されていれば、大部分の家屋の中に置かれたコネクタは対応する家屋の中に入る。同一家屋に複数のコネクタが入ったり、家屋の外にはみ出したコネクタは自動抽出できるため、誤り確認も可能である。

基盤になる地図データが同一であれば、この整合は取り易くなる。現実的には、データベースを供給している組織も最初の測量から個別に行っている事例は少なく、地方自治体が販売している地図から電子データを作成している場合が多い。しかし、同じ自治体の中では、部署によって異なる地図を作成してきた場合もあるが、各部署の要求を満たせる統合データベースが

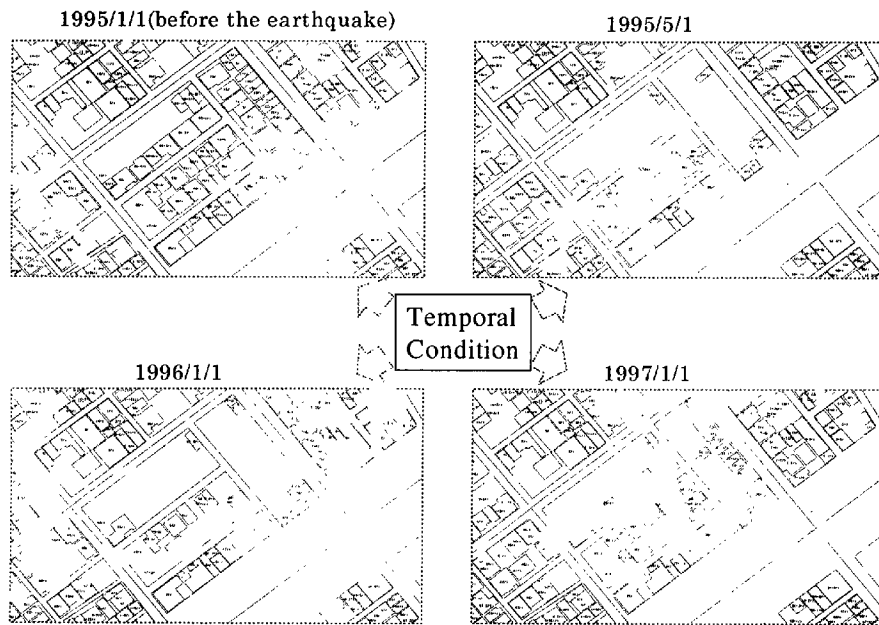


Fig. 8 Examples of Temporal Data

作れることは、実際の自治体のデータベース構築で実証されてきた。自治体から電子データとして提供されるデータを利用するようになれば、データベース作成の経費削減とデータ整合の向上との両方が実現できる。

7. おわりに（今後の展開）

RARMISコンセプトの実現のためには、自治体レベルで緊急時にも本格使用できる平常時システムの構築と空間データベース整備を実現する必要がある。

位相記述に拘束されない地理データベースを構築し、位相は必要に応じて算出する方法によって、地理データベースの統合、随時更新が可能になる。この随時更新は、地方自治体の窓口業務で得られた最新情報を地理データに反映させることを可能にする。常に最新の情報が、GISで見られる状況が実現できれば、自治体の平常業務にGISが取り込まれることになる。

GISは操作が容易で、小さなパソコンでも稼動するものであることと、データの交換性の良いものであることが望まれる。

ここで構築される地理データベースを実運用に使える公開型形式で自治体から公開し、逐次内部使用のために更新されるデータをさらに公開、提供することが望まれる。自治体から電子データとして地理データが配布されれば、地域での有効活用が期待できる。従来、紙地図の大部分は地域の関係者が購入していたことから、電子データも地域で使われることが予想される。データ提供は、プロット図と電子媒体を選べるように

して比較的安価な価格設定をすれば、地域住民の利用も促進される。利用が増えれば、データの誤りも指摘され、質的な向上も図られる。自治体から提供される地理データを基に必要な人が属性データを登録して利用したり、共通に使える情報を結合して再販することは、地域の活性化につながる。リセラーに有償で、販売を認めれば、付加価値データの作成も進む。しかも、データソースは共通になるため、整合もとれる。

カーナビゲーションシステムは、普及しそこで使用している地図データの高度化も進んでいる。これらの既存のデータベースと自治体で作成されるデータベースの融合も双方の利点につながる。この点では、ISO/TC204で、カーナビゲーション関連メーカーが実運用形式のデータ形式の標準化を進めているので、期待が持てる。構造の公開型されたデータとそれを使用できるGISの供給によって、この融合は加速度的に進むと考える。さらに、データベースが統合されることで、作成・更新の重複が回避できるため、関連経費の削減が期待できる。

参考文献

- 角本 繁・畑山満則・亀田弘行(1998)：空間データベースから時空間データベースへの転換と総合防災情報システムの構築、地理情報システム学会講演論文集、Vol. 7, pp33-36.
- 角本 繁・畑山満則・亀田弘行(1999)：暗示(算出)型位相記述による時空間管理手法を用いた随時データ更新と複数データ整合方法、機能図形情報シス

テムシンポジウム講演論文集、Vol.10, pp13-19.
亀田弘行・角本 繁・畑山満則(1998): 災害緊急時と
平常時の連携による総合防災情報システムの構築、
地理情報システム学会講演論文集、Vol.7, pp29-32.
畑山満則・角本 繁・亀田弘行 (1998): GIS を応用
した総合防災情報システムの地域防災活動への導
入、地理情報システム学会講演論文集、Vol.7,
pp37-40.
Hatayama, M., Matsuno, F., Kakumoto, S. and

Kameda, H. (1999): Development of Rescue Support
System and its Application to Disaster Drill in
Nagata Ward, Kobe City, Proc. GIS'99
Conf., pp175-178.
Kakumoto, S., Hatayama, M. and Kameda, H. (1999):
Disaster Management through Normal-Service GIS
based on Spatial-Temporal Database, Proc. GIS'99
Conf., pp179-182.

**Disaster Management by Normal Service GIS based on
Spatial-Temporal Database with Implicit Topology Description
—For Realizing Risk-Adaptive Regional Management Information System—**

Shigeru KAKUMOTO*, Michinori HATAYAMA**, Hiroyuki KAMEDA***

* Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University/Hitachi, Ltd., Central Research Laboratory

**Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

*** Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Synopsis

Spatial Database based on urban design map has been developed as national infrastructure. GIS seemed to be used for ordinary duty at local government. But if the problems which block practical use of systems developed under conventional projects, is not solved yet, we might be involved in same failure or trap. To solve the problems spatial-temporal database is proposed instead of simple spatial database. Problems for local government to use GIS are also analyzed and way to realizing RARMIS(Risk-Adaptive Regional Management Information System) for ordinary services and emergency duties of local government is proposed.

Keywords: Geographic Information System(GIS), spatial-temporal data handling, Risk-Adaptive Regional Management Information System(RARMIS), implicit topology description