

背景地図画像と中間媒介図形を用いた 地理情報システム TOGIS

坂内 正夫 ・ 大沢 裕

(東京大学 生産技術研究所)

1. はじめに

近年、図面管理の効率化や各種の地理関連情報の高度な利用・管理を目的に、計算機を中心とする地理情報システムが注目されている⁽¹⁾。その中核となるのは、地図及びそれに関連するデータの表現・結合方式であって、従来幾つかのアプローチがある。地図情報のトポロジカルな側面を抽象化する表現(Shapiro⁽²⁾等)や、地図を線図形としてそのまま構造化して表現する方向(DIME 構造, CHODIG 構造等)⁽³⁾。更には地図を画像としてとらえていく方向⁽⁴⁾等がその例であり、地理関連情報管理・検索の面からはそれぞれ特徴あるシステムが生まれうる。それらの1つに属するものとして、背景地図と中間媒介画像の階層をもうけた表現を採用した筆者らが開発中の地理情報システム、TOGISがある⁽⁵⁾。TOGISでは、システム利用者に(背景)地図を提示して「思考空間」を形成させ、そこで考えながらの会話的操作によって、各種の空間・地理関連データの検索・管理や、地理幾何学的な演算を実行するタイプの利用を対象としている。近連で、複雑な地理操作を可能とし、しかも地図データ入力・保守作業の効率化をめざすものとして採用した中間媒介画像(データ圧縮画像)(町丁界、土地利用、線属性等)は、陰に背景図に重畳され、各種の地理関連データと背景図の両者を結合する。

以下、このTOGISについて、システム構成、地理関連検索、媒介画像の構造等について概要を述べる。

図1にTOGISの検索・データ構造の概念図を示す。基本構造は、背景地図平面、中間媒介画像群(領域図及び一部線図形)及び各種空間関連情報の(文字・数値型)データベースの3階層から成っている。

背景地図平面は、抽象化されていない「画像」としての地図を利用者に表示し、そこに情報検索のための思考空間(メンタルマップとのリンク)を形成するためのものであり、例えば、地形図等が利用できる。この背景地図は、ドラムスキャナ、Fax、又はビデオ入力されたものをデータ圧縮(通常方式)し、蓄積、表示する。

空間関連情報(属性データ)領域は、行政データ、統計データ、資源管理データ、ネットワーク情報等抽象レベルの高い情報について、地図上に関連づけるための項目(オーナー項目と呼ぶ)をキーとして含む形で、通常の文字・数値データベースを形成するもの

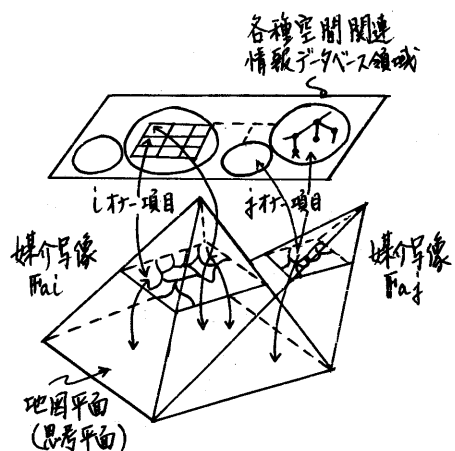


図1. TOGISの検索構造

2. TOGIS の概要

2. 1. TOGIS の構造

である。データベース自身は関係形式ネットワーク形式等任意の構造でよい。(試作実施例では、関係表をベースにしている。) オナー項目はアプリケーションによって変化する。代表例としては、街区界、町丁界、土地利用区分、主要河川線分、道路セグメント等がある。

中間媒介画像群は、背景地図座標上でオナー項目がもっている空間的ひろがり(幾何学的形状等)を表現し、抽象レベルの低い背景地図、既知、利用者の思考平面と、それが高い関連情報データベースとの結合を行なう。画像は、領域を表現するものと一部線図形を表現するものがあり、基本的にはオナー項目の数だけ(幾何学的に独立なもの数だけ)用意される。

以上の3階層により、TOGISでは、利用者が地図をみながら考え、検索し、管理する地理情報システム、即ち、関連情報データベースから地図上に表記するタイプの情報抽出、地図上での点、点群、線、面指示、から関連情報データベースに至り、あるいは更に地図上に戻るタイプの情報抽出等が可能となる。

典型的な応用としては、自治体における地域主題図作成や操作、各種計画や、地図を背景とする資源(エネルギー供給網等)管理が考えられる。

2. 2. TOGIS の目標と特徴

上記の構造をベースに、TOGISでは次の諸項を目標に考えている。

(1) 会話的な主題図管理はもとより、更に一般的な地理情報検索を可能とするため、各種の複雑で効率のよい幾何的演算、画面検索操作機能をもたせる。

(2) 従来の地理情報システムのネットワークである地図の抽象化、入力プロセスの作業を自動化、低減し、実

用性を高める。

(3) システム全体の保守性、拡張性をよくする。そのために、背景地図のエディティング、中間媒介図の保守性を考慮したデータ表現を導入、更に3階層間にはできる限り分離・独立化し、特に、関連情報データベースは通常の文字・数値データベースの流用も可能なよう考慮する。

これらを実現するためのTOGISの特徴(構成上の工夫)の主なものは次の諸点である。

(1) 前記の3階層のうち、中間媒介図は陽な画像として扱われ、複雑な幾何的演算を可能化もしくは、高速化する。

(2) 中間媒介図のモデル化は、トレース画についての画像処理の導入により自動化を企てる。

(3) 中間画の精度を画面上での操作もしくは思考に必要な程度(操作解像度; 実空間で数 $m \sim 10$ 数 m)に設定、背景地図の解像度(記号・文字等を表現するために $5 \sim 10$ 画素/mm程度は必要)の1桁下で扱う。これにより、中間画像のデータ量と、入力時(トレース)の作業量を緩和する。

(4) モデル化された中間媒介画像のデータ表現・検索機構に、画像処理を介在させる特殊な変換を行ない、「陽の画像性」を保つためのデータ圧縮($1/10$ 程度)を施す。

(3)と(4)により、中間媒介画像(領域)のオーバーヘッドは、画像1枚につき数%程度におさめることが可能になる。例えば、

10km x 10km の領域を $1/5000$ の背景図、10mの操作解像度で扱って、背景図約4MB、中間画像1枚、約130KB程度となる。)

3. TOGIS における地理的検索

TOGIS における情報検索 (の一面) をシナリオ風に書いてみよう。

「利用者は、ディスプレイされた広域の背景地図あるいは、その広域地図上でジョイスティックを用いて点指示した狭域の地図をみながら、CRT 端末から検索したい関連情報データベース (以下、ODB と略記) をよび出す。所定の属性をもった領域を検索し、それをディスプレイ上の背景地図に重畳表示させる。次に、画面上で、何らかの空間操作指示 (例えば、「この中で」) を施すことによって別の属性をもった領域をさがし、例えば両者の論理積をみだす領域を形成し、思考をつづける。更に例えば、計画道路案として入力した線図形が、それら領域と交わる長さを計算し、そして現画面につづく背景地図にうつりたければその旨指示する。…」

このような使用を想定した、TOGIS における主な検索機能を表 1 に示す。

(但し、現時点で、implement された動作中なのは、この一部である。) これらは、2. で述べた構造により可能となり、もしくは、高能率化されている。

「指示操作 (地図上)」は、利用者が参照している地図上で、ジョイスティック位置指示と操作修飾によって、種々の空間的操作を可能にする。

この操作は、その時、「管理対象指定」陽又は陰に指定されている中間媒介画像内の 2 値画像演算に分解される。例えば、Line 指示 (Intersect) では、中間媒介図上での領域のくりめき操作、中間線画面での展開等が行われる。

point, point 群, zone 空間操作がオーナー項目とリンクされるのは、4. で後述する変換による【点→オーナー項目 (領域等) 画像】が基本となっている。

指示操作	地図上	空間操作	point, point 群, line, zone, 地図面切替
		操作修飾	～の中で、～に交わる、～に一致する、～から～方向、～から～m以内、～の近くにある、等
管理対象指定	ODB上	抽象名 (地理名)	
		condition // Table 属性実現値, Table 属性条件 上記の論理結合	
対象属性指定	領域, 点, 線, 混合	中間媒介図指定 : explicit ODB上のTable指定 : implicit	
検索操作	• GET 対象名 (ID等) • GET " on condition • GET Table 属性 where 「指示」 • 地図上表示 // • 複数領域・ライン、ノード間の集合演算・幾何的演算 • 中間媒介画像上での幾何操作 (面積, 長さ, 距離等) • Table 応用的関係指定 (オペランド「地図上指示」) // • 上述ノード操作, 最小コスト (距離) travel 等		
更新操作	領域の分裂, 結合, 中間媒介図変更 ODB更新		

表1. TOGIS における主な検索機能

対象属性が領域の場合は、2.で既述の構造から直接的に検索可能である。

検索対象が点的情報の場合は、【指示→基本領域図(例えば 街区界)の包含領域→ODB上のTable・属性を、given条件・領域名の下に探査】という動作を介在させる。このため、点的情報の属性として、包含領域各と、点の実座標値を保持する。(これらの属性値は、媒介機構を逆行する操作(領域ID(オーナー項目)から領域表示をする等)のときに、(中間媒介図で、領域めりつぶしの始点を与えているという意味で)高能率化の手段としても有用となる。

線的属性の検索は、ODB上のネットワーク(ロード、リンク表現)としてとらえ、【指示(→基本領域図)→ロード→ODB上でのネットワーク探査】型の検索手順で処理している。しかし、より詳細な位置精度を要する場合、あるいは「ロード設定」に適合しない線データの場合等には、2.で述べた中間媒介図としての線画表現上での操作を利用する。線図形の表現手法としては、現在のところ筆者らが開発した「ストリング状態設定による高能率表現方式」⁽⁴⁾を採用している。(線的情報操作は更に拡張を考えている。)

中間媒介図の更新操作は、4.で述べるデータ構造から、局所的な変更で比較的簡単に実施できる。

TOGISにおけるこのような検索をサポートするために必要な具体的な中間媒介図は、数枚～10数枚が考えられる。併行してすすめているTOGISの応用例(市域情報システム)では、領域図として「街区」、「町丁界」、「学校区」、「都市計画」、「土地区画整理」、「等高度域」、「緑地総括図」、「災害危険域」等を、線図としては「河川」、

「配水管」等を取り上げている。

4. 中間媒介画像

TOGISにおける中間媒介画像では(特に領域図において)データ量がオーバーヘッドとなる。そこで陽な画像性を保持し検索が高能率な中間媒介図のデータ圧縮が必要であり、それが本システムの1つの特徴となっている。

以下データ圧縮された領域型中間媒介画像について述べる。

4. 1. データ表現

3.で述べた 中間媒介図を用いる地図上指示操作(point, point群, zone, line)は、基本的には地図上に指示された任意点をオーナー項目に変換する地点名探査に帰着できる。また、検索操作、地図上指示操作修飾、更新等を用いる各種の幾何学的操作は、中間媒介図が「画像」であれば高能率である。

これらの中間媒介図の要件を満足するprimitiveなデータ表現は、現在考えている 地域ブロック内の各オーナー項目(N個)に、(地域ブロック番号)+(地域内番号)を付し、地域内番号として一義的になるよう $\lceil \log_2 N \rceil$ ($\lceil x \rceil$ はxより小さくない最小の整数)ビットのデータ割当てを行ったオーナー領域画像を形成することである。しかし、ブロック内オーナー数として、数100～数1000を想定する本システムでは、この構造ではデータ量が膨大となる。

幾つか考えられる圧縮方式から、データ圧縮量が大きく、検索・演算の高速性が保てること、他、広面積操作が可能で、陽な画像性(2次元性)が保持でき、ブロックの接合部の処理が容易なことを考慮して採用した方式は、本来幅のない境界をもつ領域を、所定の基準で幅1の境界を設定した境界画で表現するものである。(4. 2

で述べる変換によって、オーナーIDが復元される。)

具体的な境界画は領域画 m の各画素 $m[i, j]$ に対し全ての i, j について次の演算を施し作製される。

```
if ( $m[i, j] = m[i, j+1]$  &  $m[i, j] = m[i+1, j]$ )
  then  $m[i, j] := \text{INSIDE}$ 
  else  $m[i, j] := \text{BOUND}$  (1)
```

すなわち、図2に示すように、右隣りおよび下の画素が、現在の画素と同じ領域内であれば、作製される領域画の画素の値をINSIDE(0)とし、少なくとも一方が異なれば境界として値をBOUND(1)にする操作により作製される。この操作により、 N 個の異なる領域を含む領域画のデータ量は、primitiveな表現に比して $1/\log_2 N$ に圧縮される。

この場合、この境界画を元の領域画に復元可能かが先ず問題である。

境界線外(INSIDE)は完全復元可である。境界線上の画素(BOUND)についても基本的には上記方の逆変換を行えばよい。しかし交叉部分の一部については、いずれの領域に属していたのかの判定が不可能な画素が存在する。

図3の○印及び◎印はこのような画素の例を示している。例えば◎印で示した画素は、領域図と(1)式の生成ア

a	a	a	a	a	a
a	a	a	a	a	b
a	a	a	a	b	b
a	a	a	b	b	b
a	a	a	b	b	b
a	a	b	b	b	b

図2. 領域画の形成

a	a	a	a	b	b
a	a	a	a	b	b
a	a	a	◎	b	b
a	a	○	c	◎	d
a	c	c	c	c	d
c	c	c	c	c	d

図3. 復元不能境界画

アルゴリズムからは、 a, b, c いずれの領域に含まれていたものとみなしても矛盾は生じない。これは、(1)の処理が多対1対応となっていることに起因する。

しかし、このような決定不能な点は予備実験の結果1領域60~100画素から成る行政区分領域で全体の1.5~3%程度の低確率であり、領域の大きさが増大すれば更に低下する。また判定不能点もその画素が隣接するいずれかの領域に本来含まれていたものである為、機械的に近接領域に併合しても、ここで発生する誤差が、地点指示分解能に比して大きくなければ、さほど問題はないものと考えられる。(このような、あいまい性のない表現も考えているが、データ量の点及び、1ビット表現である点が並列化に有効なこともあって、TOGISではあいまい性を許容している。)

4. 2. 識別名探査

データ圧縮されたため境界画で表現されている各領域名を知るためには、別途写像が必要である。

TOGISでは、先ず後述の第1写像によるオーナー項目ID探査を行ない、これに失敗した場合第2写像を補助的に用いる複合的探査方式を用いている。

第1画像; 粗いメッシュの格子点の領域ID表

第1の構造は、境界画面上に粗いメッシュ(k の倍数の格子点のみ) を重畳し、そのメッシュの全格子点の領域ID表(粗画像である表A) を作製し、記憶するものである。指示点の領域id は指示された点と同一領域内にある格子点の座標を求め、表中でこの座標の属す領域id を得ることにより求める。この構造に要するデータ量は、primitive な表現の $1/k^2$ 、1画素(メッシュ) 当り $\lceil \log_2 N \rceil / k^2$ (ビット) と

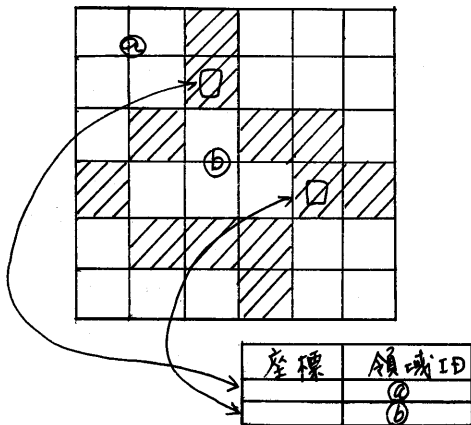


図5. 第2画像の例

なる。

この画像はサーチが直接的で高速性が期待できる反面、不完全さをもっている。つまり、この構造のみでは、小さな領域、あるいは細長い領域等で、領域内に格子点を1つも含まない場合が生ずる誤である。これを、定量的に把握するために、町丁界画像についての算定を行なっている。図4は格子点間隔(k) と、内に格子点を持つ領域の割合との関係を表わしたものである。格子点間隔の拡大により、内部に格子点を持たない領域の数は増え、このような領域id を求める他の構造が必要となる。

第2画像; 領域内の代表点(一義点)の領域id表

第2の構造は各領域に代表点を定め、その点の領域id表(表B)を作製しておくものである。代表点には、デジタル画面上での一義性と、サーチの高速性を勘案して、図5に示すように領域の最右端のもののうち最下端の画素を定めている。表Aに表われない領域について、領域代表点对領域id表を作製する。(つまり、第2画像は、完全さをもっている。)

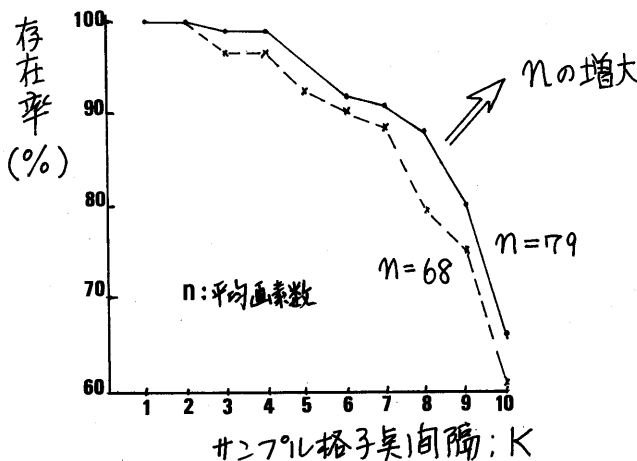


図4. 領域内格子点存在率(平均値)

	第1画像	第2画像
1指示点 検索時間(秒)	0.106	0.629

表2. 領域ID探索時間比較

表2は1点が指示され、その点の含まれる領域idを求める処理に要する時間(Σ-80(4MHz)使用のマイコン)を求めたものである。但し、領域の平均画素数は60、第1画像の格子点間隔7の場合で200回試行の平均値である。この結果から第1画像は方式bの1/6程度の時間で処理を行なうことができ、平均検索時間は領域の大きさに依存しないという特徴を有する。

また第2画像も周長の短い領域では比較的高速であることを考慮すると、第1画像を主とし、補助的に第2画像を用いる本システムの方針が得られる。

これらの画像を実施する場合の具体的処理は次の通りである。

第1画像;

第1画像では境界図に粗い格子を重ね、その全ての格子点について、格子点の属する領域のIDを記憶する。従って指示点と同一領域中に存在する格子点を1つ検出すれば、この領域のIDを得ることができる。境界画は8隣接で連結しているため、任意の2点が同一領域内に存在するか否かの判定は、この2点の4隣接での連結性を調べる問題となる。ここでは領域内の格子点が1つ求まればよく、そこで指示点に4隣接で連結する点から格子点を併合するまで繰り返す方法を適用する。即ち、図6(a)において△印で格子点を表わし、1の点を指示点とすると

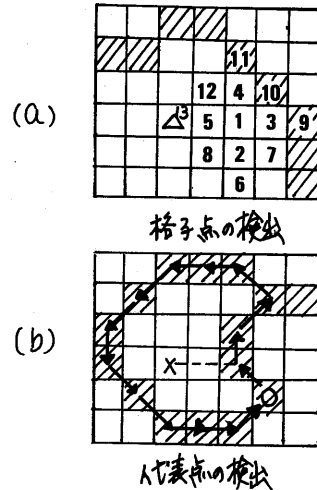


図6. 画像の具体的処理

まず指示点の4隣接点を調べ格子点でない場合は、以後この4点について同様に4隣接点を調べる。さらに格子点が発見された順で調査領域をひし型に拡大して行く。境界線に出合ったときは、その画素の含まれる領域の判定を行ない、これが格子点でなければ以後この画素の4隣接点についての判定は行なわない。

第2画像;

第2画像は、領域代表点による画像である。この代表点は領域中右端の画素のうち下端の点であり、この点は必ず境界線上に存在する。従ってこの点を検出する為には指示点の含まれる領域の境界線をさがし、境界線上を8連結のフリーマンコードで1周し、このうち最右、最下の点を求める。図6(b)においてX印が指示点、O印が代表点である。

5. おわりに

以上、背景地図と特殊な変換を伴なう中間媒介図との階層をもたせた実用的な地理情報システム TOGIS について、その概要と、地理検索、中間媒介画像を中心に述べた。

現在、TOGIS は ECLIPSE AP 130-マイクコン複合系の下で、基本部分の試作システムが実行中である。(写真1に、基本的な検索出力例を示す。)

この試作例、更に幾つかの具体的問題へのアプリケーション、及び、背景地図の分割、背景画と中間画との位置合せ方式、中間画入力方式、保守方式、ODB とのリンク方式等については、別の機会にゆずる。

TOGIS は、中間画としてモデル化する精度に限界はあるが、カバーできる用途はかなり広い。今後は、背景地図の保守方式の開発、操作言語の整備等をすすめていく予定である。

最後に、日頃御指導・御討論いただく本学尾上教授、高羽教授、高木教授をはじめ関連研究室諸氏に感謝します。

信越支部大会(予定), 1981, (09).

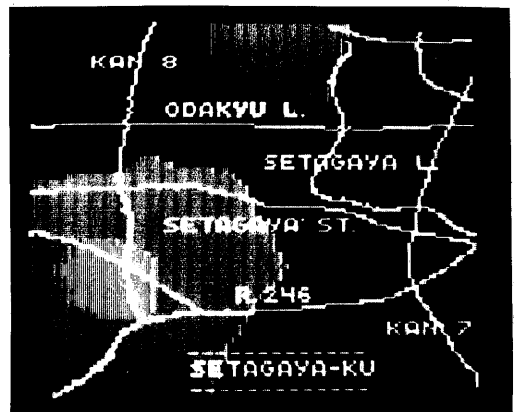


写真1. TOGIS の動作例

文献

- (1) 例えば、Harvard Library of Computer Graphics 1979 Mapping Library. の各文献
- (2) 例えば、L.G. Shapiro: IEEE Computer Society No. 78. CH1318 (1978)
- (3) N. Nagy, S. Wagle: "Geographic Data Processing" ACM Computing Surveys, vol. 11, No. 2, pp. 139-182
- (4) 若菜地; "国土画像情報管理実験システムの検討" 情報処理学会コンピュータビジョン研究会、本会資料
- (5) 坂内, 大沢; "支配領域画群を基礎とする地図情報システム(TOGIS)の構成" 地, 昭和56年信学全大1181~1183, 1981
- (6) 大沢, 坂内; "多様なデジタル線図形を忠実に表現しうる高効率符号化", 昭和56年度信学