

3次元GIS実現のためのDB構造と処理方式に関する検討†

奥原厚* 松本圭司* 川越恭二*

*立命館大学大学院理工学研究科 *立命館大学理工学部

Database structure and processing for realization of new concept of 3D-GIS

Atsushi Okuhara, Keiji Matsumoto, Kyoji Kawagoe

Ritsumeikan University

地理情報システム(GIS)の可能性が広がり、環境、景観等の様々な応用で活用されている。しかし、GISの応用をさらに拡大し効率的実現を行うためには、3次元空間処理およびそのデータ管理をより効率的に行う方法が必要であると考えられる。このため、本稿では、点データとその属性を基本図形とし、その基本図形から他の図形の生成、合成演算、表示処理等を行う方法を提案する。本方法に基づくシステムを点ベースGISと呼び、その基本機能、データ構造とその処理方式について説明する。

Geographic Information System, called GIS is recently applied to many practical fields. This paper shows the current GIS problems and a new GIS concept, called Point Based GIS in order to process and manage 3-dimensional GIS data more efficiently. The Point based GIS is based on the single geometrical object type, Point and from a set of points and their attributes are generated other geometric objects and some maps for planning and design applications. In this paper, the overview, functions, the basic data structures and fundamental processings, such as compaction and displaying, on this point-based GIS are generated.

1 はじめに

地図描画法の研究と並行して、地図を計算機の上で表示するという試みがなされたのが地理情報システム(GIS)の始まりである。様々な実験研究により、1960年代頃からGISが実際に活用され始めた。その当時は計算機の性能や、計算機に格納するデータの量及び品質ともに貧弱なものであったため、作成された地図データを大規模な分析に活用することや、広範な地域をリアルタイムに処理するなどの活用に耐えうる段階にはなかった。しかし、計算機の性能が飛躍的に向上し高性能な計算機を誰でも安価に手に入れることができるようになってきた現在、GISを用いて高度な分析処理を行うことが可能となっている。しかし、GISを実現するための基本的な考え方及び利用目的はGISが考

案されてきた頃とあまり変化はない。

本稿では、現状の地理情報システムの問題について述べ、次に、この問題を解決するために提案する点ベースGISの基本的考え方、構成、基本機能、データ構造について説明する。さらに、点ベースGISを実現する上で重要な基本処理である表示方法、検索方法、圧縮方法について概略を説明する。

2 地理情報システムの特徴とその問題点

一般的なGISについて、特徴及びデータ形式・3次元表示についてを中心に以下に述べる。

2.1 一般的なGISのデータ構造

従来のGISの一般的な利用目的を達成するために、GISは幾何学的に異なるデータ構造を複

数保持している。そのデータ構造は主に2種類に分類できる¹⁾。

[1] ラスタデータ

地図を等間隔にサンプリングし、個々のサンプリング地点の状態を属性値としてデータ化する方法である。配列構造で表現する方法であり地図上の各地点の属性データを記述するのに適している。しかし、データ量が多くなるという問題がある。

[2] ベクタデータ

地図データをその特性から点・線分・面に分類し、属性に対応した起点・結節点・終点を構造化した形で記述する方法である。幾何情報を扱うため、地理データの幾何学的な分析に適している。しかし、複雑なデータが混在している、いわば込み入っている状態での記述には適していないという問題がある。

一般的に、「これらのデータはあらかじめまとめて保有しておき、利用するときに必要なに応じて各々のデータを活用する」、という方針が取られて GIS としてのデータが実現されている。このため、一つの地図データに対して複数の異なる構造のデータを持つことになり、地図データを管理するための容量が増加したり、管理が複雑になるという問題が発生する。

2.2 保持する地図データの縮尺

GIS では通常、その利用目的に応じて適切な地図を提供できるように、多種類の縮尺図の地図データを用意している。例えば、2万5千分の1等の大縮尺地図は住宅図や道路図等に利用されることが多い。一方、100万分の1等の小縮尺地図は、広範な領域を表示することができるため、土地利用図や植生の分布図等に利用されることが多い。このように、縮尺ごとに地図をあらかじめ用意しておき、必要に応じてデータを使い分ける、という管理方法がとられている。このため、管理するデータの種類の増加、すなわち管理対象となるデータの増加や管理の複雑さの問題が発生している。

2.3 地図の3次元処理

地図を3次元表示する主な目的は、対象となる空間の視覚的な理解を助けるという点である。

地図を3次元表示するときを使用される一般的な手法は、標高データが記述されているラスタデータを用意し、各地点ごとの標高値をもとに3次元に見せる、という処理である¹⁾。他の手法には等高線データを用いた手法や不規則三角形により地形の表面を生成して3次元に見せる手法が提案されている¹⁾。これらの2つの方法は、ともにベクタデータを基本として3次元表示する方法であるが、他の地図データ、特にラスタデータとの重ねあわせを行う場合には、複雑な幾何変換処理を行う必要があり、処理時間の増加という問題が発生する可能性がある。

この結果、3次元的な表示や分析が容易に行える標高ラスタデータを用いる方法が妥当であり3次元 GIS での利用が考えられる。しかし、標高ラスタデータは座標平面上の1つの点に対して、標高値は1つしか対応させることができないという問題がある。

2.4 GIS 利用のための初期データ

GIS ではデジタル化地図を保存し様々な条件での検索を行えるようにすることで効果を発揮する。GIS のデジタル化地図の対象となるオブジェクトは、森林や河川等の自然環境及び、住宅地や道路などの建造物等である。利用者は、これら保存されたデータをもとに各オブジェクト間の位相構造や領域を算出して新しいデータを生成し、様々な分析評価を行うことが可能となる。この初期データの登録作業には金銭的・人的に多くのコストがかかるという問題がある。このため、効率よく初期データを登録できるようにするツールも必要であるが、効率よいデータ登録を可能とする基本構造も必要と考えられる。

3 点ベース GIS の提案

上記で記述した GIS の抱えている問題点を解決するために点ベース GIS を提案する。その概要を以下に示す。

3.1 基本的考え方

提案する点ベース GIS とは、先の章で述べた一般的な GIS のデータ構造・縮尺・3次元表示の際に発生する問題点の軽減を目的とするシステムである。

主な考え方を以下に列挙する。

- ・データ形式としてラスタデータを利用

先に述べたように、ベクタデータは道路網や河川網などの線データを表現するのに適しており、最短経路探索や経路距離測定などの分析が簡単にかつ精密に行える。反面、特定領域内にある線分の抽出や位置関係の解析などの処理には複雑な処理を要する。多くの GIS が主に土地評価や地域の将来予測等に利用される点を考慮すると、汎用性を高めるためにラスタデータを用いる方が妥当であると判断し、本システムではラスタデータのみを活用する方針を採用する。このラスタデータは図形要素としては点を意味するため、この考え方の GIS を点ベース GIS と名づけることとする。

- ・詳細の記述が可能な大縮尺図をデータとして持つ

縮尺に関しては、複数の縮尺図を用いてもディスプレイの解像度には限界があるため、詳細な図を用いても表示の際にはあまり意味をなさない可能性がある。このため、利用に耐えうる程度の詳細な最小限の縮尺地図を用意し、それをもとに他の縮尺図を生成することが妥当であると考えられる。

- ・3次元空間の処理ができるように、標高値をデータとして最初から持つておく

地図の3次元表示を行うためには、標高データを属性の1つとして捉えて利用するのが一般的な利用法となっているが、この方法では直角以上の段差や崖の表現ができない。1つの地点において複数箇所の標高値に対する属性値を格納できるように、初期データの座標値に標高値を加えることで対応する。表示以外にも地中深くのオブジェクトの位置を示したり他の統計データとの合成も必要となる応用も存在する。こ

のため、点ベース GIS では点の情報に高さ・深さの情報を有することを前提とする。

以上のことから、提案する点ベース GIS は詳細な縮尺図をもとに生成した x, y, z 軸方向の座標値を持つラスタデータ（点データ）を持つシステムとなっている。

3.2 機能

提案する点ベース GIS は、従来の2次元ラスタデータを用いた GIS で行える操作をそのまま活用できることを考えている。また、同じ経緯度で標高に応じた属性を持てるため、地表面に対して垂直方向への分析も可能となる。以下に、基本的な処理及び、本システムにより拡張可能とする代表的処理の例について記述する。

「基本処理機能」

- 検索機能：指定領域内の、特定の条件を満たす属性値集合を検索する機能
- 合成機能：複数の3次元地図データを重ね合わせる機能
- 幾何演算機能：経路距離算出等の幾何計算機能
- 統計演算機能：指定属性値の総面積算出等の統計処理機能

「拡張機能」

- 空間分析：農薬分布の範囲調査等を実現するための3次元空間内でのデータ表示機能

3.3 構成

本システムは図1のような構成とする。

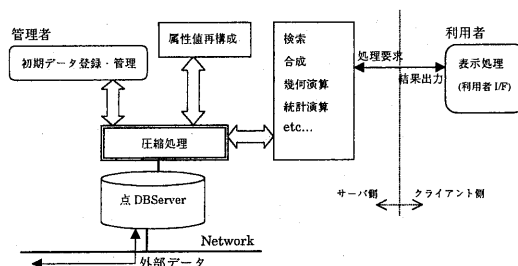


図1 点ベース GIS の基本構成図

3.4 内部処理の流れ

本システムの利用者は、大きく分けてシステム管理者、一般利用者の2種類の利用者を想定

する。さらに、地図データを管理し処理するサーバプログラムと一般利用者側で利用者との対話処理を行うクライアントプログラムから構成する。以下におのおのの利用者に対する提供機能とその処理の流れの概略を説明する。

システム管理者は、利用者が実際に利用するための初期データを登録し、また利用者が生成したデータの管理作業を行う。

サーバ側プログラムでは以下の処理を行う。

- ・一般利用者の出した各種要求を受けて処理を行い、結果のデータを返す。
- ・データ圧縮・展開処理を行う。
- ・一般利用者によるデータ更新処理をもとに、データの再構成処理を行う。
- ・ネットワークに繋がれている、外部からの統計データや最新データなどをもとに、データの更新を行う。

一般利用者は、自分が利用している端末からサーバ側に置かれているデータを取り出し、各種処理要求を出す。この時、クライアントプログラムは一般利用者との対話制御および一般利用者へ地図表示のための処理を行う。

3.5 データ構造

本システムでは以下に示す形式を基本的なデータ形式とする。

$$p(x, y, h, a_1, a_2, \dots, a_\alpha)$$

p は点、 x, y, h はデータの座標値、 $a_1 \sim a_\alpha$ は点 (x, y, h) における属性を示す(図2)。この属性は更新の際に適宜追加や削除を行うため、 α の値は不定とする。また、属性ごとの値に関する登録、参照、削除、更新も適宜行える。この点データが平面上に等間隔に配置された状態で、まとまった地図データを形成することになる。

一般に GIS で利用するデータは、属性値により分けられる特性(レイヤ)ごと、また、扱う地図の縮尺ごとに持っている。これらのデータを活用する際には、それらを重ね合わせたり幾何学的な解析を行うなどにより目的のデータを生成する。この際に複数の地図を別々に持つのは、生成するためのデータ量の増加と、重ねあ

わせの際の処理の負荷が高まる傾向にある。保有するデータを1つにまとめる方が、データ管理が容易である。これが、上記のデータ構造を採用することとした理由である。

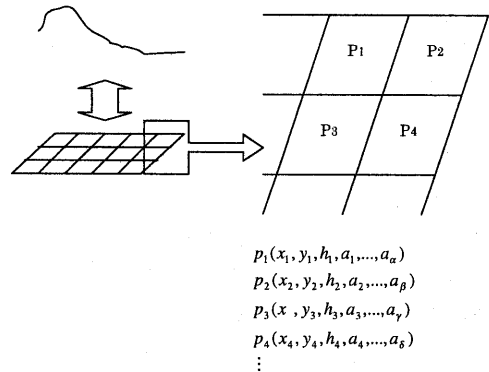


図2 点データと属性値

4 基本処理方式

提案する本システムの基本的な処理方式のうち、表示・検索・圧縮の各機能についてその方法の概略を以下に示す。

4.1 表示方式

本システムでは、先に述べたように保有する最初の地図データは大縮尺のラスタデータ1種類のみとしている。これから小縮尺の地図を生成・表示する際には倍率圧縮(後述)およびサンプリングで行う方式²を用いる。一方、実際に保持しているデータよりも大縮尺の地図を生

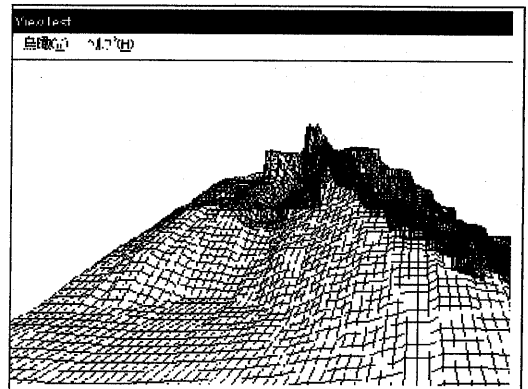


図3 線形補間の結果表示

成・表示する際にはデータ間の値を補間する方法を用いる。このときに使用する補間方法には、直線近似による線形補間、曲線近似による2次・3次ベジエ曲線補間などの方法が考えられる。これらを用いて比較検討を行った結果、図3に示す線形補間形式が実世界の地形に近いことが判明し、線形補間を用いるのが妥当という結論に至った²。

4.2 検索方式

ラスターデータにおいて特定の属性に関する条件を与えた検索を行う場合、指定領域内の膨大な点の属性の値を総当たりで検索するには処理時間が非常にかかるという問題がある。そこで、頻繁に指定される属性をインデックス属性とし、この属性と領域が条件として指定された場合に効率よく条件を満たす点の集合を取り出すことが可能となる二次索引の方法を考える。この二次索引のインデックス属性以外の属性は個別に索引ファイルを生成して検索処理の高速化を図る。前者の、二次索引のための構造をビット埋

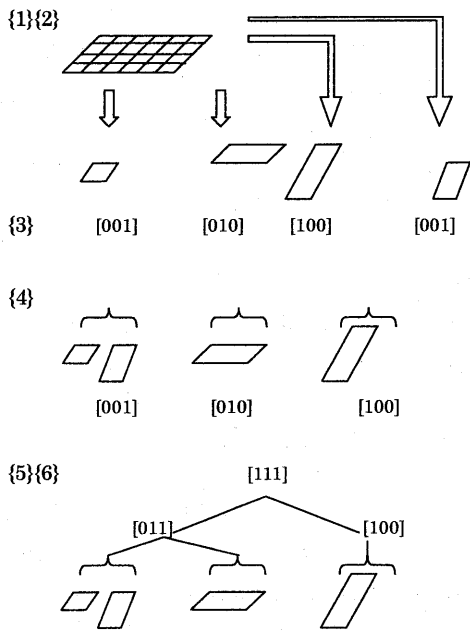


図4 ビット埋め込みR木

め込みR木(Bit Embedded R-tree)と呼び、以下にその内容を説明する。なお、インデックス属性の取りうる値はコード化しビット列の特定のビットに個々の値を対応させるように表現できるものとする。

ビット埋め込みR木は図4に示すように、R木と同様に長方形や仮想長方形(MBR: Minimum Bounded Rectangular)の領域を木構造として階層化する多次元データ構造である。長方形あるいは仮想長方形にインデックス属性のビットを埋め込み、上位の仮想長方形に設定されたビット列を、それ以下の長方形の持つビットのOR演算の値とする点に特徴がある。具体的には以下の方法で索引データを作成する。

- {1}コロニーを形成した状態になっている属性値の集まりを囲む、最小の長方形を生成
- {2}{1}を全ての属性値の集まりに対して実行
- {3}属性値の種類ごとに対応したビットを、囲んだ最小長方形に付加
- {4}同じ属性値をまとめた木構造を形成
- {5}近い属性値を持つ木構造の「根」同士を、生成したビットのOR演算と共に、上位の木の葉として生成
- {6}全ての木が1つにまとめられるまで{5}を繰り返す

このような木構造をあらかじめ生成しておくことで、領域とインデックス属性を条件とする複雑な検索要求に対して高速な応答が期待できる。

4.3 データ圧縮方式

本システムにおける基本方式の1つであるデータ圧縮に関して説明する。目的に応じて2種類の形式からなるデータ圧縮方法を用いる。

4.3.1 倍率圧縮方式

本方式は、複数の縮尺データを縮尺ごとに持つのではなく、1つの属性値の中に詳細な縮尺のデータを収めて、データの統一化を行うことを目的とする方法である。

データの圧縮を行う際、例えば縮尺2.5万分の1の地図Aと、Aよりも小縮尺な5万分の1地図Bとの比により求められる数値(=地図間

の拡大率：この場合は2)をもとに、地図の領域を等間隔で圧縮する。このとき、指定した領域内の点における属性値の最頻値を、縮尺Bの対応する点の属性値として生成する。また、この属性データの終端に先ほど圧縮を行ったデータを付加する(図5における属性値Cに相当)。

実際の属性圧縮を実現するために、辞書ファイルを用いた圧縮方式を使用することにする。これは、対象となるデータは値が限られている(属性値はパターンが大体決まっている)という特性を利用するためである。

この方法を用いることにより、

- ・圧縮したデータを上位の縮尺図データにおける属性値の1つとみなすことができる
 - ・大縮尺の地図全体を読み込むのではなく、更新対象の領域の目的データ更新が行える
- といった効果が期待できる。

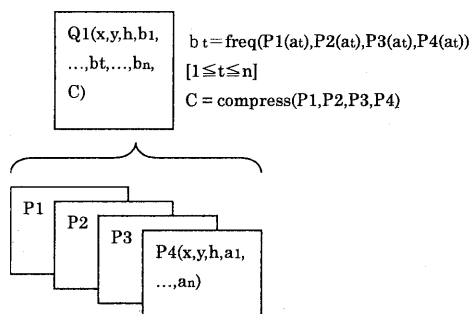


図5 倍率圧縮のイメージ

4.3.2 属性値圧縮方式

この方法は、倍率圧縮をより効果的に行う事を目的とする圧縮方法である。属性値を圧縮する際、倍率圧縮時に求める最頻値が領域内のどの点の属性とも一致する場合、データ圧縮を行うのではなく、属性値をそのまま上位の縮尺図の属性として保持させ、属性の末尾にフラグのみを付加する方法である。この操作を行うことで、指定領域の圧縮を行う場合よりもデータ量が少なく済む効果が得られる。

倍率圧縮方式が等縮尺面における「横方向の」圧縮の方法と考えると、属性値圧縮方式は異縮尺間における「縦方向の」圧縮と言える。

4.4 更新の反映

異縮尺間の属性値の一貫性を保つ必要がある。小縮尺図の各種操作によりデータ更新がなされた場合、地図データの一貫性を保つためには大縮尺図のデータ、つまり圧縮されているデータにも更新を反映させる必要性が生じてくる場合がある。このため、ラスタデータの属性値の終端値により2通りの処理に分けて更新を行う。

- ・フラグがついている場合

下位の縮尺図データの属性値を上位のものと同じ値にする

- ・圧縮データがついている場合

一旦、下位の縮尺図データを展開し、上位の属性値をもとに下位の属性値を更新し再び圧縮をかける

この操作により、異縮尺間におけるデータの不整合が回避できると考えられる。

5 おわりに

今回、3次元空間での地図データの処理を効率良くおこなうための点ベースGISの提案とその基本法方法を説明した。また、データの表示方法、検索方法、圧縮方法に関して具体的な方法の提案を行った。今後は、記述しきれなかった部分の機能における実現方法の提案とともに、各方法の評価を行い、点GISの実現に向けて研究を続けていく予定である。

参考文献

- [1] 矢野桂司 地理情報システムの世界 ニュートプレス(1999)
- [2] 奥原厚, 川越恭二 ポイントベースGISの提案とその表示形式の評価 情処第57回全国大会, 5H-1(1998)
- [3] 野中秀樹, 大沢裕 暗示的なトポロジー記述を持つGISにおける処理速度 <http://www.mm.ics.saitama-u.ac.jp/~vcgis/vcgis99/contents/nonaka.html> (1999)
- [4] 古本幸彦 R-treeによる効率的な空間検索手法の研究 (1996)