

地理情報システムの動向

久保 幸夫

慶応義塾大学環境情報学部

地理情報システムは、この数年、急速な普及をみせてきた。国家機関、地方自治体、国際機関、研究機関、民間、さらに軍隊など多方面で利用されている。この背景には、環境問題、資源問題など空間的な分析を必要とするニーズの顕在化が一方にあり、また、ワークステーション、コンピュータグラフィックス、大規模データベースの発展などの技術的な進歩がある。マルチメディア、多次元情報処理、リアルタイム化など多くの課題が発生しているが、この背景には、地理情報のモデルをめぐる問題がある。今後の社会では、コミュニティーや地域、さらに地球全体を運営、管理、計画してゆくためのソーシャルウェアという概念が必要であり、地理情報システムはその方向に進化してゆくべきであろう。

RECENT TRENDS IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Sachio Kubo

Faculty of Environmental Information, Keio University

5322 Endo, Fujisawa, Kanagawa 255 Japan

In these years, Geographic Information Systems have rapidly become commonly used in various fields (e.g. national and local governments, international organizations, scientific researches, private sectors, defence forces). On one hand, requirements for spatial analysis have become obvious in many applications (e.g. environmental issues, resourcemanagement), and on the other hand, technological development in computer science (e.g. faster and smaller computers, computer graphics, very large data base systems) enabled developing GIS. Multimedia, multi-dimensional, intelligent and real-time GIS are recent hot topics. Concepts and modelling paradigm for geographic information are underlying problems.

Socialware, which manages, controls and plans communities, regions and globe itself is required in the complex, borderless post-modern society. GIS should be directed to realize socialware.

1. はじめに

地理情報システム (Geographic Information System=GIS)は、地図などの空間データと、統計などの非空間データを統合して利用する情報システムである。

地理情報システムには、環境管理、都市計画支援、資源管理など、地理的な応用に利用される情報システムという狭義の意味と、空間的な情報を処理する情報システム一般という広義の意味と2つある。アプリケーションとして地理情報システムという場合には、狭義で使われることが多いが、理論やシステム構造の議論では、広義で用いられることが多い。後者の場合、空間参照システム(spatial reference system)、空間情報システム(spatial information system)などと呼ぶこともあるが、あまり一般的ではない。

地理情報システムは、地図情報システム、コンピュータ・マッピング、都市情報システム、土地情報システムなどと呼ばれることもある。地図情報システムという呼称は、現在の地理情報システムが必ずしも地図だけを扱うわけではないので、適切とは言にくい。コンピュータ・マッピングは、文字どおりコンピュータによる地図作製という意味である。初期の地理情報システムにおいては、地図作製自体が大きな目的であったし、また現在でも、地図による情報の可視化は地理情報システムの重要な要素の1つではある。だが、現在の地理情報システムは情報の分析により大きな意味があり、またこれも適切な呼称ではない。施設管理システム、都市情報システム、土地情報システムは、それぞれ、地理情報システムの応用である。なお、一般には地理情報システムには含まれていないが、ナビゲーションシステムやロケーションシステムも、位置認識や通信などの要素が加えられているが、原理的には地理情報システムに近いものである。

このため、最近では、空間データの処理をおこなうGISカーネルと、アプリケーション層に分けて議論する場合もある。

地理情報システムが最初に登場したのは、1960年代初頭である。現在までの30年間において、基本的な考え方には大きな変化は見られないが、初期のシステムが地図の処理に大きなウェイトをおいていたのに対し、最近のシステムでは、分析機能に重点が置かれている。

地理情報システムは、1980年代半ばから欧米を中心として急速に普及を始めた。この背景には、環境問題、資源問題など空間的な事象を扱うニーズが増加したこと、コンピュータの小型化、高性能化、コンピュータグラフィックスの進歩、データベースを中心とするソフトウェア技術の進歩などがあったことがあげられる。

しかし、普及の一方で、座標系、データネットワーク、データ互換性などの問題が発生してきた。これは、地理情報がどのようなモデルを取ってきたのかということに密接に関連する。また、最近では、マルチメディア化、リアルタイム化、ネットワーク化、多次元化など、他の情報システムやCADにおいて起きていると同様な課題を抱えている。また、技術者養成も大きな課題である。

2. 地理情報の概念の変化

この数年、地理情報に関する概念が急速に変化してきた。先述したように、長らく、地理情報=地図と理解されてきたが、それに対する疑問が生じてきたためである。

近代地図が登場したのは、1740年代である。フランスのカッシーニ父子が作製した地図が近代地図の始めと考えられている。それまでの地図と近代地図の違いは、モデルの違いである。絵図に代表される古地図は、測量されたものでないため縮尺が不正確であり、記載

内容もルールに基づいて選択されたものではない。したがって、個人的かつ直感的なモデル化が行われており、古地図からは現実性の復元は困難である。これに対して、近代地図では、空間的な位置関係、記載内容に関して、モデル化のルールがある程度決まっており、このモデルの逆関数を用いれば、現実性の復元が可能である。従来、地図学の授業では「読図」の訓練を行ってきたが、これは、地図の記載に対して、逆関数をどう当てはめるかである。しかし、読図が訓練と慣れを要するのは、モデルが完全に定式化されておらず、随所にフレキシブルなモデル化がなされているからである。

空間的なモデルに関しては、地球形状の定義（回転楕円体として）による緯度・経度モデル、ジオイド面の定義による標高の定義がある。測量は、このモデルに現実の地形、地物を当てはめる操作であるといえる。さらに、地図を作成するには、投影法を定義し、球面の平面化が行われる。

また、現実に存在する実体は、分類、抽象化され、記号化されて地図に記載される。このとき、省略、簡略化、転移、誇張などの操作も行われる。このプロセスの多くは、地図の縮尺に応じたルールによって行われる（これを図式という）。その理由は、サンプリング精度（すなわち、測量の精度）と、記載可能情報量の制約である。地図が紙という媒体を利用しているため、単位面積あたりの情報の容量は判読性、印刷技術などによって制約があるため、縮尺によって記載できる情報量は変化する。また、省略、転移（地図上で記載する位置を移動して情報の空間的重複を避け、可読性を高めること）や誇張などの操作も縮尺に応じて行われる。従って、地図の空間的精度も、また記載内容も縮尺に依存することになる。したがって、地図モデルは、縮尺によって異なっていると言える。

紙という媒体では、1点には原則的には1つの情報しか記載できない。異なる色彩を用いることで同じ平面位置に関して複数の情報を記載する（例えば等高線と土地利用）ことも行われるが、同一種別の実体が同一平面位置に存在する場合（例えば道路の立体交差、ビル内のフロアごとの利用）は、記載することが困難になる。つまり、従来の地図モデルにおいては、「地表は平面である」ということが原則になっている。

しかし、このモデルに対して疑問が生じてきた。従来のモデルでは、記載可能情報量の制約から、1次データの品質をあえて下げることになる（例えば、農村部では各戸を表示できるのに都市部では総描になる）。この制約は、紙という媒体に依拠するものであり、デジタル地図においては受けない。したがって、デジタル地図を紙地図と同じモデルで作るのは無意味である。また、紙地図からデジタル化した地図データは、必ずしもコンピュータ処理に適したモデルではない。しかし、現実には、ほとんどの地理情報システムで用いられているデジタル地図は紙地図をマニュアルで、あるいはスキャナーでデジタル化したものであり、従来のモデルの制約をそのまま受け継いでいることになる。この結果、デジタル化のメリットがかなりの部分で打ち消されている。

それでは、デジタル地図における最適なモデルとはどのようなものか。いくつかの面から考察したい。

3. データモデル

従来、地理情報システムのデータモデルとして、レイヤー構造が取られてきた。レイヤー構造とは、同種の情報をレイヤーとして一まとめにするもので、レイヤーは、点、線、面などのオブジェクトの集合として記述されている（レイヤーがサブレイヤーに分かれて

いる場合もあるが)。オブジェクトには、ID番号が付き、このIDで属性が検索できる。このようなレイヤー構造は、紙地図の構造に近いとも言える。例えば、日本の地形図では、水部は青で、等高線は茶色で、土地利用は緑で、その他の記載は黒（墨）で印刷されている。これは、一種のレイヤー構造である。土地利用図や地質図では、さらに多くの色が用いられており、多数のレイヤーに分類されている。このようなレイヤー構造は、ある種類の地物（例えば道路）に注目する場合は扱い易い。該当するレイヤーだけを表示する、あるいは、他のレイヤーは背景情報として扱うことが容易であるからだ。レイヤー構造は、CADでも用いられている。しかし、レイヤー構造には、弱点もある。

例えば、レイヤー構造では、基本的に時間によって変化する実体を取り扱うことはできない。時間によって異なるレイヤーを用意する（すなわち、タイムスライス）ことは、可能であるが、連続的に変化する事象を記述するのは不可能である。

また、従来のレイヤー構造では、3次元物体の記述には問題を生ずる。レイヤーそのものが、データベースの単位であると同時に、表示プレーンでもあるので、3次元物体の記述においては、一旦、2次元化し、z方向を属性化することになる。

さらに、従来のように単一の測量から地図データを作成するのではなく、実体単位で計測、デジタル化されたデータを扱うことになれば、さまざまなモデルが混在する危険性もある。これを防止するには、新しい包括的なデジタル地図のモデルを提起するか、特徴（フィーチャー）を単位としてモデル、精度などをデータとカプセル化するような構造が必要となる。

このような問題解決の方法として、オブジェクト指向データモデルの採用が注目されて

いる。オブジェクト指向データモデルでは、連続時間、任意の次元、異なる種類のデータなどのハンドリングが可能になる。その反面、データ処理速度、地図化などの負荷が大きくなる。

4. 縮尺と精度

先述したように、紙地図においては、精度と縮尺とは密接な関係にあった。しかし、デジタル地図においては、記載量の物理的な制約のありかたは、紙地図とは異なる。紙地図においては、単位面積あたりの情報量で規制されるのに、デジタル地図においては、総量の情報量によって規制される。つまり、紙地図では、最悪のケース（都市の密集地）で精度が決定されるのに対し、デジタル地図では、平均値で決定されることになる。

また、従来の地図の精度概念は、タイムスライスされた情報に対する幾何的精度が中心であった。しかし、現実世界は刻々と変化しており、地図作成時点からの経時変化も精度として考慮しなくては行けない。従来の地図においては、地図作成自体がタイムスライス化であったが、デジタル地図では、トランザクション型の情報の更新がおこなわれることになる（これが不可能ならば、コンピュータで情報を管理する意味がない）。

このトランザクション型の更新においても、異なったソース、異なった幾何精度で更新が行われることになる。例えば、ある更新は地上測量からのデータを元にし、他の更新は、CADデータを用いる、ということは十分に有り得る。

したがって、「精度」という概念は、従来では縮尺と同一であったが、縮尺と切り離された異なった概念が必要となる。

5. データ取得技術

トランザクション型のデータ更新が可能に

なってきた背景には、データ取得が従来の測量（写真測量、地上測量）だけからでなく、新しい測量方法や他の情報システム（特にCAD）や他の地理情報システムからのデータの輸入がある。

この一つがGPS(Global Positioning System)である。GPSは、アメリカ国防省が打ち上げている周回軌道人工衛星からの電波の到達時間から、位置を計算する測位システムである。GPSの特徴は、絶対位置が即時に求められることである。従来の測量が基準点からの相対的位置をベースにしているのに対し、絶対位置が求められるということは、「地球そのものがデジタル化」ということで、オブジェクト単位での測位が可能となる。

GPSの精度は、軍事用のPモードでは数メートル、民間用のC/Aモードでは数十メートルであるが、複数のレシーバーを用いるデファレンシャル法、キネマチック法などでは、数センチの精度まで向上する。また、搬送波の位相を用いれば、10センチの精度でリアルタイムで測位できるという報告もある。z方向の精度は、x yの精度よりも悪いが、従来の気圧計を用いた計測よりも精度は良い。

GPSは、精度をさほど要求されない森林管理用の地理情報システムなどでは、位置データの取得に利用されている。また、ナビゲーションシステムでも移動物体の測位に利用されている。当研究室でも、GPSと環境計測機器を組み合わせて移動計測車からリアルタイムで環境情報を取得するシステムを作成している。

GPSの利用において生じている問題点は、(1)経緯度の基準がWGSであり、現在、日本国内で用いられている回転楕円体（ベッセル）と異なることである。このため、経緯度、標高の表示に差が生ずる。世界基準としては、WGSが用いられており、それへの移行が国際的に行われつつあるが、従来の経緯度を全て

換算する必要があり、移行には多くの費用と手間を要する。すでにWGSに移行したアメリカでも、これは多くの問題となった。WGSの提唱そのものが、従来、国家単位で作成されてきた測地モデルをグローバルなものとすることにあり、現在の国際情勢と技術から見て、必要なものと言えよう。つぎに、(2)GPSが米軍の管理下にあるため、軍事的な都合で精度が変更されるという問題がある。事実、湾岸戦争時にはGPS精度はしばしば変更された。GPSのようなインフラストラクチャが1国、しかも、軍事目的のために運用されていること自体が問題である。

衛星を利用するシステムではこの他、リモートセンシングがある。リモートセンシングは、従来は精度が悪いということから、測量にはあまり用いられなかったが、最近、変化が見られる。その背景として、(1)TM、SPOTなど、解像度が高い衛星画像が増えてきたこと、(2)地球環境のように、大地域を対象とする問題がクローズアップされてきたこと、(3)リモートセンシングデータと地図データを統合して扱えるシステムが登場したこと、などがあげられる。衛星画像解像度は、センサーと、送信の両者によって制約されるが、高密度センサーの開発、リレー衛星の採用などで、解像度は向上している。また、地図データとしては十分な解像度がなくとも、変化の有無を捕捉して、変化が生じた地域だけ他の高解像度センサーや空中写真、地上測量で計測するなどハイブリッド法が実用化されつつある。地球環境問題の解明においては、地球レベルでデータを取得する必要があるが、これには、衛星画像はコスト、均質性、即時性などで有利である。

リモートセンシングが見直されてきた結果、1980年代以降、ベクトル記述が中心であった地理情報システムのデータモデルにおいても、変化が生じている。データ圧縮技術を用いて、

従来のラスター型の欠点であるデータ量の増大の問題を解消したシステムがいくつか登場している。また、ラスター／ベクターを統合したシステムも増加してきた。

6. データ交換・データ提供

複数の地理情報システムが同一地域で利用されるようになり、また、異なる地域で同一事象を対象とするシステムが存在するようになると、データ交換は大きな課題となる。地理情報システムのデータフォーマットに関する議論は、アメリカ政府内でデータの有効利用ということから発生した。このデータフォーマットに関する議論は、当初は物理的な交換フォーマットの作成であったが、データモデルの統一、あるいは最低限モデルの明示化の方法へと移行してきた。さらに、データだけでなく、モデルの相互変換の議論も行われている。

データを複数の利用者が共同で作成しようという、マルチパーティシパンスシステムも増えてきた。この場合、利用者によって、要求精度、必要項目などが異なるため、調整が問題になる。

民間業者や公的機関によるデータのCD-ROMによる提供も増加している。これらの動きはデータの公共財化といえる。データがシステムの附属物であることから、システムから独立した存在であるというコンセプトの確立が必要である。

7. マルチメディア

地理情報システムのデータは、従来、地図データと統計データからなっていた。しかし、よりリアリティーが要求されるようになったため、マルチメディア化が進展しつつある。静止画像や動画、音声などをデータとして扱うことは、技術的には可能になっており、土地情報システムや教育用のシステムではすで

に利用されている。環境モニタリングなどの用途では、今後多用されてくるであろう。マルチメディア化を行う場合、従来のレーヤー構造では困難であり、オブジェクト指向型の構造が中心になると考えられる。今までは、ハードウェアが高価でネックとなっていたが、マルチメディア志向のパソコンが市場にでてきており、今後普及すると考えられる。

しかし、画像データや、動画データは、地図データベースよりさらに入手が困難であり、データサービスなどが必要である。

8. 多次元データ、ファジー

データモデルの論議で、最近増加してきたのが、多次元データモデルである。3次元モデルは、地下資源、大気汚染や航空機騒音などの大気モデル、さらには、高層ビル、地下街など、従来の2次元地理情報システムでは記述や分析が不可能な現象が増大したために、必要性が増大してきた。

3次元地理情報システムにおいては、いうまでもなく、紙地図以来の平面としての地図の概念を改めなくてはならない。3次元データの扱いにおいて、CADなどとは異なるのは、 x y 方向の精度と、 z 方向の精度に差がある場合が多いことである。例えば、都市内の建築物を対象とするとき、対象地域の x y 方向の大きさは数キロメートルに及ぶのに、 z 方向（建物の高さ）はせいぜい200メートルである。あるいは、石油井戸の場合は、 x y 方向は小さいのに、 z 方向は数百～数千メートルになる。地球規模の大気、海洋を含めた地理情報システムの構築などが考えられているが、 z 方向をどのように扱うのが最適であるのか、検討する必要がある。

さらに、時間を含めた4次元地理情報システムの論議がある。大気汚染シミュレーションなどは、4次元の現象であり、今後の開発が要求される。このためには、時空間連続体

(space-time continuum)の概念を詰めていく必要がある。

多くの地表上の現象はファジー境界を持つ。例えば、熱帯と亜熱帯の境界は、明確な1本の線で示されるようなものではない。時空間的にファジーな現象を扱う必要は増大しているが、このためのモデルと地理情報システムは、とりわけ、環境問題への対応で必要になっている。

9. 教育、トレーニング、研究

地理情報システムの教育、トレーニングは大きな課題である。アメリカでは、近年、年間1000システムの新規導入があると推定され、それに要する人材も3000~5000人になる。このため、人材確保、養成が急務となっている。日本国内では、年間20~50システム程度の導入なので、必要な人材も60~100人と比較的少ない。しかし、アメリカでは、すでに100を越える大学が地理情報システムの講義を開講しているのに、日本国内では、現在のところ、3大学にすぎない。

アメリカにおいては、国立地理情報分析センター(NCGIA)が、地理情報システムの教育システムを構築しており、その成果の1部分は、GIS Core Curriculumとして出版されている。このGIS Core Curriculumは、教師用の講義ノート、実習教材、教師のための訓練コースからなっている。このような教育システムを日本国内でも作成することは必要である。

(当研究室では、NCGIA GIS Core Curriculumの日本語化をおこなっており、1学期分の講義ノートがすでに出版されている)

地理情報システムの研究においても、日本での立ち後れは目立っている。アメリカでは、NCGIAをはじめとして、DOE,DARPA,NASA傘下の研究所において、基礎研究が行われている。イギリスでは、国内9ヶ所に設置された地域研究施設(Reginal Research Laboratory)と

コンピュータ教育研究施設で地理情報システムの研究が行われている。中国においては、中国科学院に資源環境情報システム研究所が設置されている。このような状況と比較すると、日本では、専門の研究機関はおろか、国立の研究所で専門のチームを持っているところもない。また、大学における研究も活発といえる状況ではない。

民間における研究開発もアプリケーションの開発が中心であり、新技術や新しい概念構築まで到底、手がまわらないのが現状である。

国立の地理情報研究施設を作ることは、すでに学術会議の勧告として出されているが、この早い時期の実現を期待したい。

10. ソーシャルウェアとしての地理情報システム

現在の社会は、ポストモダンソサエティー、あるいは、情報化社会としばしば呼ばれる。工業生産に依拠した近代社会はすでに解体過程にあるが、今後の社会を運営するためのシステムやそれを支える情報システムははなはだ心許ない。現在の社会の運営システム、情報システムは、近代社会成立とともに形成されてきた。先述したように、社会の基盤的な情報システムである、地図や統計も今から、200年前に成立している。あるいは、行政の構造や、計画の方法も同様である。近代都市計画のルーツは、いまから約200年前のワシントンDCの都市計画にある。

これらのシステムが現在の社会とマッチしていないことは、明白であるのだが、今後の社会において、どのような管理運営を行って行くのかはまだ、ほとんど論議されていない。

少なくとも、現代社会、あるいは今後の社会の管理運営を行うためには、オープンでフレキシブルな情報システムが必要である。このようなソーシャルウェアとしての地理情報システムは発展してゆくべきであろう。