

科学研究費補助金 基盤研究(A)「地理情報科学標準カリキュラムに基づく地理空間的思考の教育方法・教材開発研究」

地理情報科学の知識体系

Geographic Information Science Body of Knowledge

2012年6月版

貞広幸雄・太田守重・佐藤英人・奥貫圭一・森田 喬・高阪宏行 編

目次

序章 地理情報科学概論	1
1. 本カリキュラムの構成	1
2. 基本的な用語の定義	1
地理情報 (geographic information)	1
空間情報 (spatial information)	1
地理 (空間) データ (geographic data, spatial data)	1
地理 (空間) スキーマ (geographic schema, spatial schema)	1
地理 (空間) オブジェクト (geographic object, spatial object)	2
地理 (空間) 情報科学 (geographic information science, spatial information science)	2
地理 (空間) 情報システム (geographic information system, spatial information system, GIS)	2
3. GIS の構成要素	2
基本要素	2
4. GIS の基礎学問分野	2
地理学	2
地図学	2
情報科学	2
測量学	3
リモートセンシング (remote sensing)	3
認知心理学	3
5. GIS の応用分野	3
6. 世界の GIS の歴史	3
1950 年代	3
1960 年代	3
1970 年代	4
1980 年代	4
1990 年代	5
7. 日本の GIS の歴史	5
1970 年代	5
1980 年代	6
1990 年代	6
8. 空間的思考	7
空間的思考	7
空間的概念	7
空間的表現	7
空間的推論	8
Further readings	8
第 1 章 実世界のモデル化と形式化	9
1. モデルの形式表現	9
2. 一般地物モデルと応用スキーマ	10
3. 地物インスタンスの表現	10
4. 空間スキーマ	10
5. 時間スキーマ	11
6. 参照系	11
7. 被覆スキーマ	12
8. モデルの信頼性	12
Further readings	13
第 2 章 空間データの取得と作成	14
1. 測量	14

測量の定義	14
地上測量	14
写真測量	14
レーザー測量	14
衛星測位	15
2. リモートセンシング	15
リモートセンシングの定義	15
プラットフォーム	16
センサ	16
光学センサ	16
マイクロ波センサ	16
3. 主題属性の収集	17
現地調査	17
空中写真・衛星画像の利用	18
4. 既存データの地図データと属性データの利用例	18
紙地図の空間データ化	18
既存統計資料の空間データ化	19
既存空間データ（数値地図など）の取得	19
数値地図	19
細密数値情報（10m メッシュ土地利用）	20
国勢調査データ	20
国土数値情報	20
デジタル道路データベース	20
住宅地図（Zmap Town II）	20
5. 既存データの検索と取得	21
メタデータ	21
空間データクリアリングハウス	21
6. データの修正	21
接合（モザイク（mosaic））	21
ベクタ編集（エッジマッチングなど）	22
欠落情報の補足（統計的手法，補間の概念）	22
7. 空間データの品質	22
地理情報の品質	22
品質の評価	22
第3章 空間データの変換と管理	23
1. 空間データの変換	23
解像度・空間構成単位の変換	23
投影法変換	23
幾何補正	23
オルソ（Ortho）補正	24
2. ジオコーディング（Geocoding）	24
3. 空間データベース	24
空間データベースの基礎	24
空間検索と空間索引	24
空間データベース管理システム	24
空間データベース言語	24
4. ラスタ・ベクタ変換	25
ラスタ（raster）からベクタ（vector）へ	25
ベクタからラスタへ	25
第4章 空間解析	26
1. 基本的な空間解析	26

基本量の測定	26
空間検索, オーバーレイと幾何学的 (ブール (Boolean)) 論理演算	26
属性検索	26
2. ネットワーク分析	26
最短経路探索	26
最大流問題	27
ネットワーク構造の分析	27
3. 領域分析	27
バッファ (buffer) 処理	27
ボロノイ分割	27
4. 点データの分析	27
点分布パターンの分類と記述 (凝集型, 均等型, ランダム型)	27
可視化による分析	28
統計的手法による分析	28
5. ラスタ (リモセン) データの分析	28
画像強調	28
空間特徴抽出 (フィルタリング)	28
ラスタ演算	29
地形分析 (DEM/DTM)	29
差分解析	29
流域分析	29
可視領域分析	29
切り土・盛り土	29
コスト・パス解析	29
ラスタ分類	29
セルラ・オートマトン (cellular automaton) モデル	30
6. 傾向面分析	30
多項式関数の適合	30
残差解析	30
7. 空間的自己相関	30
空間的自己相関の統計量	30
バリオグラム	31
8. 空間補間 (応用)	31
クリギング	31
IDW	31
Triangulation	32
Radial-basis function (スプラインなど)	32
9. 空間相関分析	32
クロスバリオグラム	32
クロス相関	32
空間回帰分析	32
10. 空間分析におけるスケール	33
ローカルパターンとグローバルパターン	33
可変地区単位問題	33
第5章 空間データの視覚的伝達	34
1. 視覚的伝達	34
地図	34
視覚	34
情報伝達	34
伝達性の適切さ	34
2. 地図の表現モデル	34

表現モデル	35
基本図	35
主題図	35
主題図の表現方法	36
3. 地図のデザイン	37
表示範囲	38
背景図	38
地図記号の体系化	38
整飾の付与	39
レイアウト	39
可読性のチェック	40
4. 出力図の作成	40
画面出力	40
印刷図	40
5. 双方向環境のマッピング	40
ウェブ・マッピング	41
ユビキタス・マッピング	41
バーチャルマップ	41
第6章 GIS と社会	42
1. GIS の社会貢献	42
地図自動作成 (AM: automated mapping)	42
施設管理 (FM: facility management)	42
意思決定支援システム (DSS: decision support system)	42
空間決定支援システム (SDSS: spatial decision support system)	42
位置情報サービス (LBS: location-based service)	42
ナビゲーション	42
市民参加型 GIS	43
ジオデザイン (GeoDesign)	43
2. 空間データの流通と共有	43
インターオペラビリティと標準化	43
ISO/TC211	43
地理情報標準	44
OpenGIS	44
GML	44
インターネットと GIS	44
法的問題	45
3. 組織における GIS の導入と運用	45
企画 (目的, 業務分析)	45
設計 (概念設計, 詳細設計, 費用対効果分析)	46
導入	46
運用と管理 (人材育成, 実績評価)	46
評価	46
4. GIS と教育・人材育成	47
学校教育	47
生涯教育	47
国・地方自治体による人材育成	47
企業教育 (企業トレーニング)	47
研究機関	47
学協会	48
資格認定	48
5. GIS と未来社会	48

高度情報通信ネットワーク	48
ユビキタス情報社会	48
高度空間情報社会	48
参考文献	50

執筆者

序章	貞広幸雄 (東京大学)
	村山祐司 (筑波大学)
	若林芳樹 (首都大学東京)
	村越 真 (静岡大学)
第1章	太田守重 (国際航業)
	有川正俊 (東京大学)
	河端瑞貴 (東京大学)
第2章	佐藤英人 (帝京大学)
	米澤千夏 (東北大学)
第3章・第4章	奥貫圭一 (名古屋大学)
	高橋信人 (宮城大学)
第5章	森田 喬 (法政大学)
	石川 徹 (東京大学)
第6章	高阪宏行 (日本大学)
	今井 修 (東京大学)
	鈴木厚志 (立正大学)

序章 地理情報科学概論

1. 本カリキュラムの構成

本章では、地理情報科学コアカリキュラムの全体構成を概観し、各論で必要となる基礎知識について述べる。

第1章：実世界のモデル化と形式化

本章では、コンピュータ処理を念頭に置き、実世界を抽象して実世界の概念モデルを構築する方法を述べる。さらに、ある一定の方法で現実空間を体系的に概念化したモデルを、コンピュータで利用可能なデータを通して表現する原理と方法を述べる。

第2章：空間データの取得・作成

本章では、空間データを取得、作成する具体的な方法を述べる。

第3章：空間データの変換・管理

本章では、取得した空間データを変換、管理する具体的な方法を述べる。

第4章：空間解析

本章では、空間データを用いた分析の原理と方法を述べる。

第5章：空間データの視覚的伝達

本章では、空間データの表示に関する原理と方法を述べる。

第6章：地理情報科学と社会

本章では、地理情報科学に関わる社会的活動や問題を述べる。

2. 基本的な用語の定義

地理情報 (geographic information)

地名や住所、緯度・経度などの位置情報によって地理空間上の位置を定めるとき、その地点に観察される人間（社会・経済・文化等）及び自然環境に関する情報を地理情報と呼ぶ。

空間情報 (spatial information)

空間情報はその狭義の用語として地理情報を内包する。即ち、位置情報によって空間（高次元空間、仮想空間等を含む）中の位置を定めるとき、その地点に観察される人間（社会・経済・文化等）及び自然環境に関する情報を空間情報と呼ぶ。

地理（空間）データ (geographic data, spatial data)

データとは、情報をより抽象化かつ明示化した表現である。地理情報科学では、コンピュータ処理を前提とし、それに適した形で地理（空間）情報を表現したものをそれぞれ地理（空間）データと呼ぶ。

地理（空間）スキーマ (geographic schema, spatial schema)

コンピュータ処理を行うために、地理（空間）情報を地理（空間）データとして表現する際、データの具体的な構造を与える定義を地理（空間）スキーマと呼ぶ。

地理（空間）オブジェクト（geographic object, spatial object）

地理情報科学では、地理（空間）スキーマにおいて地理（空間）情報を地理（空間）データとして表現する際、地物の空間特性を表現するために用いる幾何オブジェクト（点、線、面等）と位相オブジェクト（ノード、エッジ、フェイス等）およびそれらの複体を地理（空間）オブジェクトと呼ぶ。

地理（空間）情報科学（geographic information science, spatial information science）

地理（空間）情報を系統的に取得・作成、変換・管理、解析、伝達する汎用的手法と、その手法を汎用的に適用する方法を提供する学問を地理（空間）情報科学と呼ぶ。以下、これを略して GIS とも記す。

地理（空間）情報システム（geographic information system, spatial information system, GIS）

地理（空間）情報を系統的に取得・作成、変換・管理、解析、伝達するためのコンピュータシステムを狭義の地理（空間）情報システム、これらの機能のうち一部を有しているものを広義の地理（空間）情報システムと呼ぶ。

3. GIS の構成要素

基本要素

地理情報システムとしての GIS は通常、コンピュータ、ソフトウェア、地理（空間）データから構成される。必要に応じて、デジタイザ、スキャナ、プリンタ等の周辺機器が加わる場合もある。

GIS を実現するには様々な方法があり、初期の GIS はスタンドアロン型のコンピュータ（ワークステーション、パーソナルコンピュータ）上で動作するものが主であった。その後、インターネットを始めとする通信手段の発達とともに、サーバ・クライアント型 GIS が急増した。このシステムでは、利用者は各種端末からサーバ上で動作する GIS に命令を送信し、送られてくる結果を端末上で可視化する。web GIS やモバイル GIS はいずれもこの範疇に含まれる。

4. GIS の基礎学問分野

地理学

地理空間及びそこで観察される現象を対象とする学問である。自ずと、GIS で扱う対象を定め、地理情報を取得・作成、変換・管理、解析、伝達する目的を示唆し、その手段を提供する。

地図学

地図を作成する方法を扱う学問である。GIS では主として、地理情報を取得・作成、変換、解析、伝達する手段を提供する。

情報科学

情報の取得、管理、伝達等を扱う学問である。GIS では主として、地理情報を取得・作成、変換・管理する手段を提供する。

測量学

地表面上の位置の相対的関係を定める方法を扱う学問である。GIS では主として、地理情報を取得・作成する手段を提供する。

リモートセンシング (remote sensing)

対象を遠隔より測定する方法を扱う学問である。GIS では主として、地理情報を取得・作成する手段を提供する。

認知心理学

生体の情報処理過程を明らかにする心理学の一分野で、空間認知がテーマの一つとなっている。

5. GIS の応用分野

GIS の応用分野は極めて多岐に渡る。例えば、我々の日常生活に極めて密接に関わる分野では、カーナビゲーションを始めとする交通案内システム、web 上で提供される各種の地図情報はいずれも GIS の応用によって成立している。また、犯罪分析、災害被害予測、都市計画立案など、日常生活の安全・快適を保障する目的で用いられる GIS も多い。さらには、生息地評価や森林計画など、自然環境の保全を目指すもの、立地分析や顧客管理など、経済活動の支援を行うもの、「わが町」地図のようにコミュニティ活動を補助するものなど、GIS の応用例には枚挙に暇がない。

6. 世界の GIS の歴史

1950 年代

計量革命 (quantitative revolution) : 数理・統計的な手法を用いて地理現象を分析し、系統的な法則性の発見や一般性の高い理論構築等を目指そうとする運動。1950 年代半ばより、それまでの叙述的な手法に対する批判としてワシントン大学を中心に起こり、後に世界的な広がりを見た。コンピュータの普及と同時代であったこと、数理・統計的な手法の持つ定型性などの理由により、のちの GIS の理論構築に大きく貢献している。

SAGE: 1950 年代、アメリカ空軍は敵軍爆撃機の追跡と防御のための自動制御システムである、SAGE (Semi-Automatic Ground Environment) を開発した。このシステムは GIS の起源とも言われており、1949 年より開発プロジェクト開始、1954 年には拠点が MIT のリンカーン研究所 (MIT Lincoln Laboratory) に移り、1958 年から IBM が生産を開始した。

1960 年代

Canada GIS : カナダ土地目録局 (Canada Land Inventory) のロジャー・トムリンソン (Roger Tomlinson) が開発した世界初の実用 GIS が、1964 年に稼働を開始した。このシステムはカナダ GIS と呼ばれ、農村地域の土地利用計画、特に、農地復興と開発適地の選定を目的としたものであった。

SYMAP : ハーバード大学のハワード・フィッシャー (Howard Fisher) は、1965年にハーバード大学でコンピュータ・グラフィクス・ラボラトリ (Computer Graphics Laboratory) を設立し、SYMAP (SYnagraphic MAPping) という GIS を開発した。コンピュータ・グラフィクス・ラボラトリは、1970年代まで GIS 研究に重要な役割を果たした。

1970年代

DIME : アメリカ統計局 (US Census Bureau) は、1970年国勢調査の空間データにおいて、1967年に開発された Dual Independent Map Encoding (DIME) と呼ばれるデータ構造を採用した。DIME は位相構造を有する本格的なベクタデータのデータ構造であり、のちの TIGER へと引き継がれる。

LANDSAT : アメリカ航空宇宙局 (NASA, National Aeronautics and Space Administration) は 1972年より、地球の画像を撮影する LANDSAT 衛星を打ち上げ、運用している。LANDSAT は、地表面からの太陽反射光を複数の波長帯に分けて観測、撮影しており、画像処理や GIS を用いて処理することで、土地被覆、温度分布などの情報を得ることができる。

ODYSSEY : 1970年代、ハーバード大学では世界で最初の本格的なベクタ型 GIS である ODYSSEY を開発した。

1980年代

NCGIA : 1988年、アメリカではアメリカ国立科学財団 (NSF, National Science Foundation) の研究基金により、GISの研究施設である国立地理情報分析センター (NCGIA, National Center for Geographic Information & Analysis) を設立した。このセンターはカリフォルニア大学サンタバーバラ校 (University of California, Santa Barbara) , ニューヨーク州立大学バッファロー校 (State University of New York at Buffalo) , メイン大学 (University of Maine) の3カ所に設置されている。

RRL : イギリスでは 1987-91年にかけて、経済社会研究会議 (ESRC: Economic and Social Research Council) の研究基金により、地域研究ラボラトリ (Regional Research Laboratory) を設立した。南東部にバークベックカレッジ (Birkbeck College) とロンドンスクールオブエコノミクス (London School of Economics) の2カ所、南西部にウェールズ大学 (University of Wales) , 科学技術工科大学 (Institutes of Science and Technology) , 南西地域コンピュータセンター (The South West Regional Computer Centre) の3カ所、北部にニューキャッスル大学 (Newcastle University) , ランカスター大学 (Lancaster University) の2カ所、スコットランドにエジンバラ大学 (Edinburgh University) の合計8カ所であった。

IJGIS : 1987年、テイラーアンドフランシス社 (Taylor & Francis) より、GISを専門とする学術雑誌 International Journal of Geographical Information Systems が創刊された。現在は International Journal of Geographical Information Science と名称を変えている。

ArcINFO : 1982年, アメリカのイーエスアールアイ社 (ESRI) は最初の商用 GIS である ARC/INFO を発表した. 当時は UNIX 上で動作するソフトウェアであったが, 1986年には PC で動作する PC ARC/INFO を発表した.

MapInfo : 1986年にアメリカで創立したマップインフォ社 (MapInfo) は, 翌1987年, デスクトップ GIS である MapInfo を発表した.

1990年代

GPSの民間利用 : アメリカ国防総省 (US Department of Defense) が主として軍事用に開発, 利用してきた全地球測位システム (GPS: Global Positioning System) は, 1993年に民間利用が認められた. この結果, 船舶や自動車, さらには歩行者も GPS を用いて自身の位置を知ることが可能となった.

NSDI : 1994年, アメリカのクリントン大統領は, 大統領令 12906 を通じて国土空間データ基盤 (NSDI: National Spatial Data Infrastructure) の整備を宣言した. NSDI とは, 政府, 民間, NGO, 研究のあらゆる機関で地理データを共有するための技術, 政策, 人材の総称であり, データ作成者と利用者がデータを共有するための基盤を提供するものである.

Web GIS : 1990年代に入り, 急速なインターネット利用の発達に伴い, Web 上で動作する WebGIS の開発が進んだ. WebGIS の場合, サーバの持つ GIS のソフトウェアとデータを, 通常のインターネット端末から利用することができるため, GIS の普及が大きく進展した.

7. 日本の GIS の歴史

1970年代

標準地域メッシュ : 1973年, 国勢調査を始めとする国の統計情報を地理データとして管理するために, 日本全国を約 1km 四方のメッシュで覆う標準地域メッシュが定められた. 東西 1 度, 南北 40 分の区画を第 1 次メッシュ, これを縦横ともに 8 等分したものを第 2 次メッシュ, さらに縦横ともに 10 等分したものを第 3 次メッシュと呼ぶ. 第 3 次メッシュでは縦横いずれも約 1km である.

地域メッシュ統計 : 国勢調査, 事業所・企業統計調査などの結果を標準地域メッシュの属性として割り当てて地理データ化したものを地域メッシュ統計と呼ぶ. 標準地域メッシュの制定後, 時期を遡って 1965 年国勢調査の結果が最初の地域メッシュ統計として整備された.

国土数値情報 : 1974年に国土庁が発足し, 同年, 国土計画業務のために用いる地理データとして国土数値情報の整備が開始された. 全国の地形, 土地利用, 行政区等を, ベクタ, ラスタの両方のデータ形式を用いて表現している.

都市情報システム (UIS) : 1973年より、建設省において都市計画支援を目的とした都市情報システム (UIS: Urban Information Systems) の開発研究が実施された。西宮市においてパイロットモデルの運用実験が行われたが、システムの実用化までは至らなかった。

ALIS : 1978年、久保幸夫と位寄和久により、都市計画支援のためのGISであるALIS (Area Land Information System) が開発された。メッシュデータとポリゴンデータの双方を扱うことが可能なシステムであり、ラインプリンタとドットプリンタによって地図出力を行っていた。

1980年代

AM/FM : 1980年代にはいると、公共団体や研究機関だけでなく、民間企業でもGISの開発研究が行われるようになった。自動地図作成・施設管理 (AM/FM: Automated Mapping and Facility Management) と呼ばれる、ライフラインや道路などの管理のための地図システムの開発が進み、1990年代以降は広く実用化されることになった。

海洋観測衛星「もも1号」 (MOS-1) : 1980年、日本初の海洋観測衛星「もも1号」 (MOS-1) の研究開発が開始された。1987年に打ち上げられ、さらに1990年には後継機「もも1号b」 (MOS-1b) も運用が始まった。

1990年代

数値地図 : 1993年より、国土地理院は数値地図の刊行を開始した。50mメッシュ (標高) , 250mメッシュ (標高) , 1kmメッシュ (標高) , 数値地図25000行政界・海岸線, 数値地図2500空間データ基盤から成り、数値地図についてはそれぞれ地形図, 都市基図をデジタル化したベクタデータであった。

地理情報システム学会 : 1991年、地理情報システムの理論的・応用的研究を推進することを目的として、地理情報システム学会が設立された。官民双方の研究機関, 自治体, 民間企業など様々な機関の関係者が参加し、分野横断的な研究活動を行っている。

東京大学空間情報科学研究センター : 1998年、東京大学に空間情報科学研究センター (CSIS: Center for Spatial Information Science) が設立された。空間情報科学の創生, 深化, 普及を主たる目的とし、それと同時に研究用空間データ基盤の整備と産官学共同研究の推進を実施している。

商用カーナビゲーションシステム (Commercial car navigation system) : 1990年、GPSを搭載した世界初の商用カーナビゲーションシステムが発表された。当初より車速パルス (speed pulse) , ジャイロセンサ (gyroscope) を組み合わせた自律航法 (INS: Inertial Navigation System) が実用化されており、その後はナビゲーション機能や地図データの向上が行われてきている。

8. 空間的思考

空間的思考

空間的思考 (spatial thinking) は、日常生活、仕事の場、研究活動など様々な場面で利用される思考様式で、心理学、教育学、地理情報科学などの分野にまたがる研究対象でもある。このため、その意味内容について明確なコンセンサスは得られていないが、NRC (2006: 25)によれば、空間的概念に基づいて、空間的表現ツールを駆使しながら行われる空間的推論の過程と定義される。つまり、空間的思考は空間的概念、空間的表現、空間的推論の3要素で構成されると考えられる。

空間的思考に関連する用語として、空間的リテラシー (spatial literacy)、空間的能力 (spatial abilities)、グラフィカシー (graphicacy) などがある。空間的リテラシーは、読み書き算盤に次ぐ4つめのリテラシーとして提示されたもので、空間的思考を適切な仕方で行うための能力や態度を指す。グラフィカシーは、Balchin and Coleman (1965)が読み書き算盤に次ぐ教育の基本事項として提示したもので、地図やグラフを理解して利用する能力を指すが、これは空間的リテラシーの一部に含まれる。空間的能力は、空間的思考の基礎となる認知的スキルで、視覚化、定位、空間的關係によって構成される (Golledge and Stimson 1997)。

空間的概念

空間的概念 (spatial concept) は、空間を対象化して理解することによって成立し、空間的思考の基礎をなす。その場合、空間はデータを統合し、関連づけ、構造化する概念的・分析的枠組みになる (NRC 2006: 25)。空間を構成する距離、座標系、次元といった幾何学的性質が違ふと異なる空間的概念が形成される。とくに GIS が対象にする地理的空間は、一目で見渡せない大規模な地表面であるという点で他の空間と区別される。そうした地理的空間を想定しながら Golledge et al. (2008) は、あらゆる空間的概念が導出される元になる空間的プリミティブ (spatial primitive) として、同一性、位置、大きさ、時間を挙げている。そして、人間の発達段階に対応させながら、空間的プリミティブから派生するより複雑な空間的概念を段階的に示している。

空間的表現

空間的表現 (spatial representation) とは、情報を貯蔵、分析、理解、伝達するために、空間的に構造化して内的・外的に表現したものである (NRC 2006: 25)。内的な空間的表現は、対象についての空間的イメージを形成し操作することを指す。その場合、情報の視覚化、空間内での定位、空間的關係の理解などに関わる空間的能力が必要になる。外的な空間的表現は、地図、写真、グラフなどを利用して情報を空間的に構造化し、理解し、伝達することである。したがって、地図作成や視覚化の技法は、外的な空間的表現の有効なツールになる。広義の空間的表現の対象には、地理的空間だけでなく非空間的な対象が含まれる。また、空間的表現は視覚的形態だけに限定されず、触覚、運動感覚、聴覚などの他の感覚様相による形態も含まれる。デジタル化が生み出したマルチメディア媒体は、こうした多様な形態をとる空間的表現を可能にしている。

空間的推論

空間的推論 (spatial reasoning) は、既存の情報から未知の事柄を推し量ることによる問題解決や意志決定のための高次の認知過程で、構造化された情報を操作し、解釈し、説明する方法を提供する (NRC 2006: 25)。一般的な推論・問題解決モデルには、演繹 (deduction) と帰納 (induction) とがあり、とくに GIS を用いた問題解決には、経験的データから仮説を構築するアブダクション (abduction; 仮説的推論) が用いられることが多い (Couclelis 2009)。これは、地理空間情報を対話的または視覚的に処理して、現実世界の問題の解決を可能にする GIS がアブダクションに適していると考えられるからである。GIS の様々な空間解析機能は、こうした空間的推論を支援するツールとしての役割を果たす。

Further readings

DeMers, M. N. 2002. *Fundamentals of GIS*. 2nd ed. Wiley & Sons.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. and Rhind, D. W. 2005. *Geographic Information Systems and Science*. 2nd ed. Wiley & Sons.

日本建設情報総合センター. GIS 用語集. http://www.gis.jacic.or.jp/gis/gakushu/yougo/j_a.html.

地理情報システム学会. GIS 用語集. <http://gisschool.csis.u-tokyo.ac.jp/gisa/index.php3>.

ESRI. GIS Dictionary. <http://support.esri.com/index.cfm?fa=knowledgebase.gisDictionary.gateway>.

GISdevelopment.net. GIS Glossary. <http://www.gisdevelopment.net/glossary/>.

地理情報システム学会編 2004. 『地理情報科学事典』朝倉書店.

McDonnell, R. and Kemp, K. 1996. *International GIS Dictionary*. Wiley & Sons.

岡部篤行 2008. 日本における 1970・80 年代の GIS 開発—日本の GIS の曙—. 地学雑誌. 117 (2), 312-323.

Foreman, T. 1997. *The History of GIS*. Prentice-Hall.

第1章 実世界のモデル化と形式化

本章では、コンピュータ処理を念頭に置き、実世界を抽象化して実世界の概念及び個々の物をモデル化する方法を述べる。

1. モデルの形式表現

実世界に生起消滅する現象（または事象）を記述するには知覚、認知、記憶、推論、そして表現の過程を経るが、他者がある意味を理解できるような表現は情報（information）と呼ばれる。情報は、符号化してコンピュータの記憶装置に格納したり、伝送したりすることができるが、その符号の列はデータ（data）と呼ばれる。特に空間上のデータは空間データ（spatial data）といわれる。対象となる空間が幾何空間の場合、そこに含まれる最も基本的な要素は、点、線、面、そして立体になる。また、我々は何ものとの間の隣接や包含の関係を記述することがあるが、幾何空間の中から、要素同士の関係のみを抜き出してできる空間は位相空間といわれ、その最も基本的な要素はノード、エッジ（リンクやアークとも言う）、フェイスそして位相立体といわれる。空間データというときは、これらの幾何要素や位相要素の集合を指すことが多いが、空間データを属性の一部とするデータは空間オブジェクトという。例えば新丸ビルの空間オブジェクトは、住所、床面積、高さ、階数、主な用途などの属性と共に、例えば底地の形状を面データとして保持するであろう。空間オブジェクトは、広義の意味で空間データといわれることもあるので、文脈に応じて解釈する必要がある。

ところで、実世界の現象を、完全に記述することは不可能だし、意味が無い。我々は、空間的思考によって現象をある目的に合致するように抽象化して、必要な情報のみを取り出す。実世界の現象を抽象化してその概念を記述した情報はモデル（model）と呼ばれる。しかし、その記述方法があいまいだと、モデルを厳密に理解することができなくなる。そこで、特にモデルを記述するために開発された言語を使って、意味の伝達が厳密にできるようにしたモデルの形式表現は、スキーマ（schema）と呼ばれる。その記述に使用する言語はスキーマ言語といい、実体-関連（E-R: Entity-Relationship）モデル、統一モデリング言語（UML: Unified Modeling Language）、そして W3C XML スキーマ（XML Schema）などがある。

さて、実世界の現象は概念として、またはその概念に当てはまる個物として抽象化することができる。例えば「川」は水源地から海に至る水の流れを示す概念であるし、「利根川」はその実例としての個物である。「川」や「利根川」は実世界の現象を抽象化した表現であり、地物（geographic feature、または略して feature）と呼ばれるが、前者はその「型（type）」、後者は「インスタンス（instance）」と呼ばれる。インスタンスはオブジェクトともいわれるが、空間データを含むインスタンスは空間オブジェクトともいわれる。

スキーマは、型及び型どうしの関係の記述である。型は、同種の性質をもつインスタンスの集合を指す言葉ともいえ、オブジェクト指向モデリングにおけるクラスと同じ意味をもつ。型は、その要素としてのインスタンスがおしなべてもつべき性質であるプロパティ（property）を定義の一部として含む。

プロパティには、属性、操作などがある。属性（attribute）とはその型固有の静的な性質のことであり、名称、色、寸法、材質などがあるが、地物が保持する空間データは空間属性（spatial attribute）、時間的な特性は時間属性（temporal attribute）といわれる。操作（operation）はその型がもつ機能、

もしくはそのもののプロパティを導出する推論手法のことである。例えば、建物が容積率を計算することができれば、都市計画法に照らして違法ではないか、推論することができる。なお、インスタンスの記述に使われる概念モデルはインスタンスモデル (instance model) といわれる。

2. 一般地物モデルと応用スキーマ

地物型の定義には、その型をとるインスタンスがもつべきプロパティの記述が含まれる。また、地物型どうしは、抽象度の違いによって、継承 (inheritance) の関係をもつ場合がある。例えば、「河岸段丘」はより抽象度の高い「段丘」のプロパティを継承する。さらに地物型どうしは、全体と部分の関係や対等な関係をもつこともある。このような、地物型がもつプロパティや地物型どうし関係を規定するスキーマを一般地物モデル (GFM: General Feature Model) という。その例として、国際標準化機構 (ISO: International Organization for Standardization) の中で地理情報に関する国際規格策定を担当している専門委員会 211 が定めた規格「ISO 19109・応用スキーマのための規則」に示されたものがある。ここで、応用スキーマ (application schema) とは、ある応用分野のために作られた、GFM に準拠するスキーマである。つまり、GFM は応用スキーマにとって、メタスキーマとなる。

3. 地物インスタンスの表現

一般地物モデルに従って応用スキーマを作成することができるが、応用スキーマは地物とその構造を示す概念的なモデルにはなっても、インスタンスの表現にはならない。インスタンスを記述するためには、例えば XML が使われる。XML (eXtensible Markup Language) は拡張可能なマーク付け言語と呼ばれ、自分自身の説明 (タグ) を含む「自己記述型言語」である。インスタンスは UML で記述された応用スキーマ及び、インスタンスの構造を規定するインスタンスモデルにしたがって、XML で記述する XML 文書として表現される。

4. 空間スキーマ

基本的な空間関係は位相的な関係、つまり隣接、包含、そして表裏等であるが、さらに距離と方向が加わることによって計量的な関係が出現する。地物どうしの空間関係は、地物をどのような空間に置くかで規定される。例えば、位相空間に置くとすれば、ノード、エッジ、フェイスといった位相属性を地物はもつことになり、それぞれの位相属性は隣接、包含等の関係をもつことになる。一方、地物を距離空間に置くとすれば、点、曲線、そして曲面といった幾何属性をもつことになり、位相的な関係のみならず、計量的な関係をもつことになる。

位相属性や幾何属性は、地物のプロパティの一つであり、空間属性 (spatial attribute) と呼ばれる。空間属性の内、それ以上不可分な幾何属性 (点、曲線、曲面、立体) のことを、幾何プリミティブ (geometric primitive) という。また、それ以上不可分な位相属性 (ノード、エッジ、フェイス、ソリッド) は位相プリミティブ (topological primitive) と呼ぶ。

従来、地図を描くためには、地物は点、線、面といった幾何図形で表現できることから、これらをベクタデータ (vector data) と呼んだ。また、その実世界における意味 (建物、行政界、植生など) をそのベクタデータがもつ属性と呼んできた。しかし、オブジェクト指向モデリングが普及するにつれて、上で述べたようにベクタデータは地物の空間属性の一部と認識されるようになった。

なお、空間属性の型は相互に関係をもち、その集まりは空間スキーマ (spatial schema) として表現される。

5. 時間スキーマ

地物が存在するところは座標や地理識別子だけではあらわすことはできない。それは、実世界の現象は生起し消滅する、つまり、時間と共に存在するものだからである。地物が存在する時点や期間は、地物のプロパティの一つであり、時間属性 (temporal attribute) と呼ばれる。時間は一次元空間なので、空間スキーマと同様に幾何属性 (瞬間, 期間) と位相属性 (時間ノード, 時間エッジ) を定義することができる。

しかし、記録の欠如などのために、順序はわかるが、計量的な時間はわからないという場合がある。このような時間は順序時間 (ordinal time) と呼ばれる。線形の順序時間は全順序 (totally ordered) 時間、部分的に順序が不明でネットワークになる順序時間は半順序 (partially ordered) 時間といわれる。ネットワークの一部に、エッジの分岐と結合によって閉路のように見える部分ができる場合があるが、これは閉路ではない。時は元には戻らないと考えられるので、ネットワークは非巡回 (acyclic) である。

ところで、地物は時間上の存在である。地物どうしの先と後の関係は、地物継起 (feature succession) と呼ばれる。地物の識別子を一つの軸とし、時間をもう一つの軸とすると、二次元の空間中に、地物継起を表現するネットワークが表現できる。

6. 参照系

計量的な空間の最小幾何プリミティブは点である。点は位置 (position) をもつが、それは座標 (coordinate) で示される。しかし、座標は、その基準となる座標系 (coordinate system) が定義されなければ、意味をもたない。地球上の水平位置の基準となる座標系は座標参照系 (coordinate reference system) と呼ばれるが、これは、測地原子 (geodetic datum) と座標系で定義できる。測地原子とは、地球の物理的な形状を回転楕円体で近似したときの、準拋楕円体 (reference ellipsoid) の長半径 (semi-major axis) 及び離心率 (eccentricity) (または短半径 (semi-minor axis)) のことである。また、座標系には、地球の重心を原点とする3次元直交座標系 (three dimensional orthogonal coordinate system) や、本初子午線 (prime meridian) 及び赤道を軸とする経緯度座標系 (longitude and latitude) などがある。地上の位置を図示するには、紙面や画面などの平面上に位置を投影する。投影の方法は「投影法」または「図法」と言われるが、その投影面上の座標系は投影座標参照系 (projected coordinate reference system) といわれる。例えば、地球の表面に局所的に円筒の表面をかぶせ、ある任意の点を原点として直交する座標軸を設定することができるが、その座標系を平面直角座標系 (plane rectangular coordinate system) と呼ぶ。円筒を開けば、平面になるので、こう呼ばれるようである。経緯度と平面座標の関係は、Gauss-Krüger 投影の式で説明することができる。日本全体を一つの円筒で覆うと、誤差が大きくなりすぎるので、縮尺 2500 分の 1 程度の地図では、日本を 19 の座標系に分割して、それぞれの座標系上の座標で表現することが行われている。その他、UTM (Universal Transverse Mercator, ユニバーサル横メルカトル) 座標系などがある。

さて、地球の形状は、ある地点の平均海水面 (mean sea level) における重力ポテンシャル (gravitation potential) と同一のポテンシャルをもつ曲面 (ジオイド (geoid)) で近似することができる。ジオイドから地表までの距離はジオイド高 (geoid height) といわれる。また、準拠楕円体からの高さは楕円体高 (ellipsoid height) という。一般に標高 (elevation) といえばジオイド高を指す。水平座標及び標高は地物の空間属性を構成する座標になる。

ところで、時間上の位置は、準拠する参照系が無ければ意味をもたない。通常はグレゴリオ暦 (Gregorian calendar) 及び協定世界時 (UTC: Universal Coordinated Time) が時間参照系 (temporal reference system) になることが多いが、元号を使う和暦のように、局所的な時間参照系もある。

さて、地球上の位置を直接記述するには、座標が使われるが、地名、住所、そして郵便番号などの識別子で、間接的に示すことも広く行われている。このような、地球上の位置を示す指標を地理識別子 (geographic identifier) という。地理識別子は、地球上の場所 (location) を示すので、地物の場所属性 (location attribute) とも呼ばれる。広い意味では座標も地理識別子であるが、一般には地名や地番など、その場所を一意に識別する符号を指す。地理識別子と、より共通的に使われる識別子の対を集めた一覧 (または辞書) は gazetteer (地名辞典又は地名一覧) と呼ぶ。識別子と別の識別子、例えば座標との対を使えば、地上の位置を指し示すことが可能になる。このような操作をジオコーディング (geo-coding) ということがある。Gazetteer は地理識別子による空間参照の仕組みなので、これ自体が空間参照系といえる。

7. 被覆スキーマ

地上をグリッド (grid) で区切り、その縦横の指標で、水平位置を表現することができるが、日本では標準地域メッシュが広く使われている。メッシュ (mesh) やグリッドと呼ばれる格子で地域を区切り、その中の性質と結びつけることによって、位置を指定し、その場所の性質を知ることができるようになる。この仕組みは、位置を独立変数、性質を従属変数とする関数に相当する。このような幾何図形と地域特性の対の集まりを、被覆 (coverage) という。ちなみに幾何図形が隣どうし互いに辺を共有する三角形の場合は、不規則三角網 (TIN: Triangulated Irregular Network) と呼ばれる。

被覆は、指定された位置の性質が求められれば、多角形の集まりでなくても良い。点の集まりや線の集まりであっても、内挿法を使うことによって、その位置の特性が求められれば被覆である。離散的な標高点の集合としての数値地形モデル (digital terrain model) や、等高線の集まりなどは典型的な被覆である。なお、内挿法が連続関数の場合は連続 (continuous) 被覆、離散的な関数の場合は離散 (discrete) 被覆という。

8. モデルの信頼性

空間モデルの信頼性は、スキーマレベル及びインスタンスレベルで評価される。スキーマレベルの信頼性は、形式的には GFM が示す規則に準拠しているか否かで評価できるが、型や型どうしの相互関係の定義については、そのスキーマに関係する者の合意が信頼性を保証する。インスタンスレベルの信頼性は、大きく 5 つに分類できる。それは完全性 (completeness)、位置正確度 (positional accuracy)、時間正確度 (temporal accuracy)、論理一貫性 (logical consistency)、及び主題正確度 (thematic accuracy) である。完全性とは、必要な数のインスタンスが存在するか否かの評価である。位置正確度は、空間属

性の位置のずれの量である。時間正確度は、時間属性の時間位置のずれの量である。論理一貫性は、地物及び属性の相互関係の正しさや、空間データの形式の正しさである。主題正確度は主題属性の正しさである。

Further readings

Worboys, M. and Duckham, M. 2004. *GIS: A Computing Perspective*, Second Edition, CRC Press.

Kresse, W. and Fadaie, K. 2004. *ISO Standards for Geographic Information*, Springer.

ファウラー, スコット著, 羽生田栄一訳 2000. 『UML モデリングのエッセンス第2版』 翔泳社.

真野正 2007. 『ER モデリング vs. UML モデリング, データベース概念設計』 ソフト・リサーチ・センター.

Vlist, E. 著, 田村健人ほか訳 2003. 『XML Schema』 オライリー・ジャパン.

Ray, E. 著, 宮下尚ほか役, 2004. 『入門 XML』 オライリー・ジャパン.

有川正俊, 太田守重監修 2007. 『GIS のためのモデリング入門』 ソフトバンククリエイティブ.

村山祐司, 柴崎亮介監修 2008. 『GIS の理論』 朝倉書店.

日本規格協会 2005. 『JIS X 7107:2005 地理情報—空間スキーマ』.

日本規格協会 2004. 『JIS X 7108:2004 地理情報—時間スキーマ』.

日本規格協会 2009. 『JIS X 7109:2009 地理情報—応用スキーマのための規則』.

日本規格協会 2004. 『JIS X 7111:2004 地理情報—座標による空間参照』.

日本規格協会 2006. 『JIS X 7112:2006 地理情報—地理識別子による空間参照』.

日本規格協会 2004. 『JIS X 7113:2004 地理情報—品質原理』.

第2章 空間データの取得と作成

1. 測量

測量の定義

「地表面上の地点の相互関係および位置を確立する科学技術」（日本測量協会創立30周年記念「現代測量学」出版委員会編1981）として定義される。

地上測量

地上で地点間の距離、角度、高低差を測定する方法には、三角測量、多角測量（トラバース測量）、水準測量がある。三角測量では、距離のわかっている2点をもとに、三角法によってあらたな地点の座標を求める。多角測量では、基点をもとに次の点までの距離と方位角を測定し、終点まで測定を繰り返す。水準測量では、各点の高低差を測定する。水準儀（レベル）と標尺から高低差を測定する直接水準測量と、2点間の距離と角度から間接的に求める間接水準測量がある。

平板測量では、三脚の上に水平に取り付けられた平板を利用して、目標への方向線を引きながら位置を決める。

トータルステーション（電子式測距測角儀）は、同時に測定した距離と鉛直角・水平角をデジタルデータとして記録する測量機器であり、ミリメートルの精度で計測することが可能である。トータルステーションとコンピュータシステムによる電子平板測量は、遺跡や宅地の調査などに用いられている。

なお、地上写真測量、地上レーザー測量、GPS測量も地上測量に含まれるが、別項目で取り上げる。

写真測量

カメラで撮影された写真より、対象物の物理量を測定する。特に、位置の情報を3次元座標として得るための手法として用いられる。カメラを地上に設置する地上写真測量と、航空機に搭載する空中（航空）写真測量がある。

被写体の3次元情報を得るためには、同じ対象物を異なる2方向から幾何的に精密なカメラで撮影するステレオ画像が用いられる。3方向から撮影するトリプレット画像が用いられることもある。日本の国土地理院発行2万5千分の1地形図は現在、空中写真測量をもとに作成されている。

レーザー測量

レーザー光線を対象物に照射し、反射されて戻ってくるまでの時間から、対象物と測定器の間の距離を計測する。レーザースカナ（レーザープロファイラ）は、レーザービームを1秒間に数千～数万回照射することで3次元座標を高速に取得する。地上設置型のレーザースカナでは数百メートル先の対象物を精度数センチメートルから数ミリメートルで計測でき、トンネルなどの土木建造物、災害被害箇所、遺跡・文化財などの計測に用いられる。

航空機搭載レーザースカナでは、航空機と対象物の距離を計測する。正確な航空機の位置と姿勢から、対象物の3次元座標を得る。航空レーザー測量では、建物の屋上や樹木の最上部の高さが得られる。森林では、レーザー光線が葉の間を通過できることから地表面の高さも同時に計測することができ、樹

高や樹冠の形状が得られる。日本の基盤地図情報における縮尺レベル 2500 分の 1 以上の標高点データは航空レーザー測量をもとに作成されている。

衛星測位

衛星からの信号を受信することによって、位置情報を得ることができる。

代表的な衛星測位システムが全地球測位システム (GPS: Global Positioning System) である。GPS は、もともとアメリカ合衆国の軍事用システムであったが、1990 年代に民間に利用が解放され、現在ではカーナビゲーションシステム、船舶用などに幅広く利用されている。GPS では、4 つ以上の GPS 衛星からの信号を受信し、時刻 t と位置座標 (x, y, z) を 4 つの未知数とする 4 つの連立方程式を解くことによって位置情報を得る。

衛星測位システムは、ヨーロッパのガリレオ計画、ロシアの GLONASS 計画など、世界数カ国で構築が計画されている。日本は準天頂衛星システムを開発中であり、2010 年には初号機が打ち上げられる予定である。準天頂衛星システムは、日本付近に常に 1 機の準天頂衛星がみえるように運用され、山間地や都心のビルの谷間でも位置がわかることを目指している。

GPS 測量では、複数の観測点で GPS 衛星からの信号を受信し、相対的な位置関係を求めることによってセンチメートル～ミリメートル単位で 3 次元座標を求める。測位方式のうち、スタティック測位 (静的干渉測位) では、30 分から数時間かけて観測点間の基線ベクトル (距離と方位) を測定する。実時間キネマティック測位 (RTK GPS: Real Time Kinematic GPS) では、固定点とする観測点と、移動点とする観測点で観測データを送受信し、観測点間の基線ベクトルを即時に解析することによって、10 秒程度の短時間で 3 次元座標を求める。

◇教授法のヒント

○映画『剣岳 点の記』

2009 年に公開された日本映画 (監督・木村大作)。原作は新田次郎の同名小説である。明治 39 年、陸軍参謀本部陸地測量部の測量手、柴崎芳太郎らによる三角測量のための三等三角点の剣岳への設置についての実話に基づく。国土交通省国土地理院、国土交通省国土地理院北陸地方測量部が撮影協力、日本地図センター、日本測量協会が資料提供をおこなっている。

2. リモートセンシング

リモートセンシングの定義

対象に触れずに形態や状態をしらべる技術の総称がリモートセンシングである。ただし狭義には、宇宙・上空から地表面付近を観測する技術を示す。ここでは特に地球観測衛星によるリモートセンシングについて記載する。

プラットフォーム

地理空間情報を取得するためのリモートセンシングにおいて観測センサを搭載する主なプラットフォーム（移動体）として、航空機と人工衛星が挙げられる。スペースシャトルや、ラジコン飛行機、気球、ヘリコプター、クレーン車などをプラットフォームとして用いることもある。

うち、人工衛星をプラットフォームとするリモートセンシングでは、広域を繰り返し観測することが可能である。人工衛星にはおもに地球のまわりを回っている周回軌道衛星と常に1点に静止している静止衛星がある。地球観測衛星は周回軌道を移動している。1972年に世界最初の地球観測衛星であるLANDSAT1号がアメリカによって打ち上げられ、以降ヨーロッパ、ソ連（ロシア）、インド、イスラエル、台湾、韓国など世界各国が地球観測衛星の打ち上げをおこなっている。日本は、1987年にMOS-1（もも1号）、1990年にMOS-1b（もも1号b）、1992年にJERS-1（ふよう1号）を打ち上げている。2006年1月に打ち上げられたALOS（だいち）は現在も稼働中である。「ひまわり」などの気象衛星は静止衛星である。

センサ

リモートセンシングでは、電磁波をプラットフォームに搭載されたセンサで観測することによって地表面の情報を取得する。キルヒホッフの法則（Kirchhoffsches Strahlungsgesetz）によると電磁波と物質の相互作用には、放射・吸収・透過がある。

地球観測衛星に搭載され、地表面の状態を地上分解能数十メートル以下で観測することができるセンサには、光学センサと合成開口レーダ（SAR: Synthetic Aperture Radar）がある。複数のセンサを搭載しているプラットフォームも多い。

光学センサ

可視光（波長 $0.4 \sim 0.7 \mu\text{m}$ ）～近赤外線（波長 $0.7 \sim 1.3 \mu\text{m}$ ）～短波長赤外線（波長 $1.3 \sim 3 \mu\text{m}$ ）～中間赤外線（波長 $3 \sim 8 \mu\text{m}$ ）～熱赤外線（波長 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ ）を観測する。光源は太陽光であり、受動型センサである。マルチスペクトルセンサとパングロマトチックセンサに大別される。マルチスペクトルセンサは可視光の波長帯を青、緑、赤に分割するなどして、複数の波長帯を一度に観測する。パングロマトチックセンサは単一の波長帯のみを観測する。マルチスペクトルセンサとパングロマトチックセンサによる同時観測がおこなわれる場合には、パングロマトチックセンサのほうが地上分解能は高いことが多い。

地表面からの放射では熱赤外帯でのエネルギーが大きくなる。熱赤外を観測することによって地表面の温度、海面水温、雲の分布などを知ることができる。中間赤外帯も放射によるエネルギーが大きくなる波長帯であり、また水の吸収波長帯にあたる。短波長赤外帯は地質調査に用いられている。

ハイパースペクトルセンサは、光学センサで観測する波長領域を、数 nm～数十 nm の高い波長分解能で観測するセンサである。マルチスペクトルセンサよりも詳細なスペクトル観測が期待されている。

マイクロ波センサ

波長 1mm から 1m までの電磁波をマイクロ波とよぶ。マイクロ波による観測は雲の影響を受けにくい。能動型のマイクロ波センサにはマイクロ波高度計や合成開口レーダがある。マイクロ波高度計では海面高度を測定することができる。合成開口レーダは、地表面を面的に観測することができる。マイク

ロ波の跳ね返りの振幅の大きさに基づく強度画像の利用のほか、位相情報を利用したインターフェロメトリック SAR (干渉 SAR) やポラリメトリック SAR (多偏波観測 SAR) , さらにポラリメトリック・インターフェロメトリック SAR の利用研究が進んでいる。インターフェロメトリック SAR では、地表面の高度や変動についての情報を得ることができる。ポラリメトリック SAR では、地表面でのマイクロ波の散乱の過程から、対象物の形状などを知ることができる。ポラリメトリック・インターフェロメトリック SAR は、樹高計測に期待されている。

受動型のマイクロ波センサには、マイクロ波放射計などがある。マイクロ波放射計では、水蒸気量、降水量などを観測することができる。

◇教授法のヒント

○リモートセンシングによる画像の提示

インターネット、書籍などから衛星画像、空中写真の例 (jpeg 等のフォーマットの閲覧用の画像) を入手して示すことができる。

さらに近年、インターネットを介して無料で入手できる空中写真や解析処理が可能な衛星画像が増えている。空中写真が無料入手できるサイトには、国土地理院の「国土変遷アーカイブ -空中写真閲覧-」などがある。アメリカ地質調査所 (USGS: United States Geological Survey) の *Earth Resources Observation and Science (EROS) Center* からは *LANDSAT* 衛星の画像などがダウンロード可能である。入手した衛星画像を表示・解析するフリーソフトも多数ある。カシミール 3D (ダン杉本氏) は *LANDSAT TM* に対応している。*Multispec* (アメリカ・パドゥー大学) のマニュアルは日本語に翻訳されている。*GIS* ソフト *GRASS* でもリモートセンシング画像の取り扱いが可能である。

3. 主題属性の収集

地物について、記述的特徴に関する情報を主題属性という。

現地調査

現地調査では、目的に応じた情報を対象地域に赴いて取得する。GIS は現地調査の結果を、主題属性として地理空間上で統合・整理するうえで有効なツールでもある。現地調査による主題属性の収集法には、1) 観察、2) 実測、3) 聞き取り調査、4) 試料採取とその分析が挙げられる。

現在では現地調査における位置情報を GPS で取得することができる。モバイル GIS は、可搬型コンピュータ (ノートパソコン) や PDA (Personal Digital Assistants) などによる GIS 上に、GPS で取得した位置情報を表示するシステムであり、現地調査によって収集したデータをその場で入力することも可能である。

現地調査では、デジタルカメラで現地の様子を記録することが多い。GPS を稼働させながらデジタルカメラによる撮影をおこなうと、デジタルカメラによって記録された撮影時刻を GPS の時刻とあわせることによって撮影場所の位置情報が得られ、画像ファイルに付属情報のひとつとして書き込むことが

できる。画像ファイルを記録するフォーマットとしては、Exif (Exchangeable File Image Format) がほとんどのデジタルカメラで使用されている。GPSをデジタルカメラに内蔵したGPSカメラや、GPSを直接接続するデジタルカメラもあるが、2010年現在ではGPS機能のないデジタルカメラのほうが普及している。

空中写真・衛星画像の利用

空中写真や衛星画像の利用によって、地表面の情報を面的に得ることができる。現地調査が不可能な場所の情報も得られる。また、過去に取得された写真や画像（アーカイブデータ）から、地物の時間属性を収集することも可能である。

目視判読では、土地被覆の様子がわかる。多時期に取得された画像の合成によって、土地被覆の変化を抽出することも可能である。また、ステレオ画像の判読では高さの情報が得られる。

光学センサ画像の土地被覆分類や植生指標の計算結果、地表面温度の分布などのリモートセンシングによる取得データの解析結果を主題属性として用いることもできる。光学センサ画像と合成開口レーダ画像などの合成画像も利用できる。

空中写真や衛星画像をGIS上で利用するためには、画像を地図に重ね合わせ、座標系を与える必要がある。空中写真や衛星画像はラスタデータであり、ベクタデータの背景として利用されることも多い。

4. 既存データの地図データと属性データの利用例

GISで利用できる空間データは、アナログ・デジタルともに、様々な機関から提供されている。紙地図などのアナログデータを扱う場合は、デジタル化などにより、デジタルデータに変換する必要がある。数値地図や国土数値情報などのデジタルデータの場合は、圧縮解凍処理やデータ形式変換などを実行することにより、直ちにGISでデータを展開することができる。デジタルデータは、CDやDVDなどの媒体で提供されていたり、サーバからダウンロードして入手することができる。なお、提供機関によっては、データが無償で入手できるものもあれば、有償で頒布されているものもある。GISの広範な普及を目指す観点からすれば、有用性の高いデータが無償もしくは廉価で、個人ユーザに提供されることが求められよう。

紙地図の空間データ化

紙地図の空間データ化は、デジタル化と呼ばれる手法が用いられる。ベクタ型データを取り込む場合は、オペレータによる手入力と大型スキャナによる自動入力 that 想定される。オペレータによる手入力（ハンドデジタル化法）では、デジタル化上に入力すべき図面を貼り付けて、カーソルまたはスタイラスペンを用いて図形の輪郭をトレースする。オペレータがすべての図面を目視して作業をするため、最も信頼性の高い入力手法であるが、多大な労力を要するという欠点がある。

大型スキャナによる自動入力（オートデジタル化法）では、完全自動で図面のスキャニングをする。入力に要する労力は、大幅に軽減されるが、不必要な情報（たとえば、文字やシンボルなど）も読み取ってしまうので、手動での調整が必要となる。

ラスタ型データを入力する場合は、目視判読による入力 that 用いられる。データの読み取りに必要な大きなグリッドを作成し、それを地図に被せて、目視による読み取りを行う。きわめて原始的な方法である

が、より確実で、簡便な方法といえる。また近年では、スキャナによる自動入力も普及しつつあり、図面をスキャニングし、その図形データを濃度や色などの情報からクラスタリング解析する方法もある（町田 2004）。

既存統計資料の空間データ化

国勢調査や企業・事業所統計調査等の既存統計資料は、人文社会科学で頻繁に利用される精度の高いデータである。近年、総務省統計局や統計情報研究開発センター等より、Excel-ready や GIS-ready のデジタルデータが、CD や DVD 等の媒体を通じて頒布されている。しかしながら、遡及データの多くは、依然として冊子体やマイクロフィルムによるアナログデータである。こうしたアナログデータの場合、基本的にはユーザ自らが Excel や Access 等を利用して手入力でデジタル化する必要がある。既存統計資料の利活用の観点から、政府統計の総合窓口（e-Stat）などのワンストップサービスの拡充が求められよう。

既存空間データ（数値地図など）の取得

空間データのデジタル化により、様々な空間データが、インターネットやメディア（CD・DVD等）を介して取得できるようになってきた。デジタル化された空間データの中には、無償で公開されているものもあるが、その多くは、有償で頒布されている。個人で利用する場合、有償のデータは非常に高価であることから、デジタル化された空間データが存在したとしても、実際には、利用できないことが少なくない。そこで、東京大学空間情報科学研究センターでは、共同研究を行うことで、希少価値の高い高価なデータを無償で利用できる取り組みが行われている¹。

数値地図

国土地理院が編纂しているデジタル化された地図である。国土の骨格や行政界、地形、標高などの基本的な情報が収録されており、空間解析を行う上でのベースマップとして頻繁に利用される。2009年11月現在、日本地図センターからCD媒体で頒布されている数値地図は、次の15種類である。1) 数値地図 25000（地図画像）、2) 数値地図 50000（地図画像）、3) 数値地図 200000（地図画像）、4) 数値地図 2500（空間データ基盤）、5) 数値地図 25000（空間データ基盤）、6) 数値地図 25000（行政界・海岸線）、7) 数値地図 25000（地名・公共施設）、8) 数値地図 500万（総合）、9) 数値地図 5mメッシュ（標高）、10) 数値地図 50mメッシュ（標高）、11) 数値地図 250mメッシュ（標高）、12) 数値地図 10mメッシュ（火山標高）、13) 数値地図 25000（土地条件）、14) 数値地図 5000（土地利用）、15) 日本国勢地図。なお、国土地理院が数値地図（空間データ基盤）の無料公開試験を実施していたが、2007年3月で終了した。

¹ ただし、利用条件には制限がある。東京大学空間情報科学研究センター「共同研究」（http://www.csis.u-tokyo.ac.jp/japanese/research_activities/joint-research.html）

細密数値情報（10m メッシュ土地利用）

宅地利用動向調査をもとに作成された土地利用に関するデータである。日本地図センターから10mメッシュデータが頒布されている。収録範囲は、首都圏・中部圏・近畿圏で、5年毎にデータが更新される。

国勢調査データ

総務省統計局が5年毎に実施している国勢調査のデジタルデータである。利用用途に応じて、各データがtxt形式、CSV形式、Excel形式、shape形式で、統計情報研究開発センター（Sinfonica）から頒布されている。人口に関するデータとしては、第1次基本集計（人口の男女・年齢・配偶関係、世帯の構成・住居の状態等）や、第2次基本集計（人口の労働力状態別構成及び就業者の産業（大分類）別構成等）、第3次基本集計（就業者の職業（大分類）別構成及び母子世帯・父子世帯数等）、従業地・通学地集計、小地域集計（町丁・字等（又は基本単位区）別集計）のデータが公開されている。

国土数値情報

当時の国土庁が全国総合開発計画等で利用する基礎的なデータ（地形、土地利用、公共施設、道路、鉄道等）を数値化したものである。2001年4月より、インターネットによる無償データダウンロードサービス²が開始された。提供されているデータ形式は、地理情報標準プロファイル（JPGIS）準拠データと国土数値情報統一フォーマットの2種類であり、用途に応じて選択することができる。また、地価データや土地利用データなどは、遡及データが充実しており、経年変化を分析することが可能である。

デジタル道路データベース

（財）日本デジタル道路地図協会が整備・提供しているデータであり、2万5千分の1地形図を基に、道路網が表現されている。国道、一般都道府県道と幅員3.0m以上の市区町村道がベクタ型データで収録しているのが特徴である。

住宅地図（Zmap Town II）

株式会社ゼンリンから頒布されている戸別の建物情報を収録した国内最大級のデータベースである。このデータベースの特徴は、調査員が個々の建物を調査し、道路、鉄道、建物、行政界、居住者名、事業所名などが詳細に収録されている点である。ベクタ型データとしてほぼ全国で整備されており、市区町村単位での利用が可能である。ただし、2カ所以上の市区町村で分析する場合、それぞれの図幅の調査年次（データの更新年次）が異なる場合があるので注意が必要である（原則的に、利用頻度の高い大都市圏の図幅は毎年、縁辺地域は数年毎に調査され、データが更新される）。

◇教授法のヒント

○国土数値情報を利用した地価、土地利用の経年分析

² 国土交通省「国土数値情報ダウンロードサービス」 (<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>)

インターネットが利用できる PC 環境であれば、デジタル化された空間データを容易にダウンロードして簡便な空間分析を試みることができる。ArcGIS などの GIS ソフトウェアがない場合でも、無償 GIS ソフト MANDARA を利用すれば、国土数値情報を可視化でき、基本的な空間分析が可能である。GIS 環境が未整備の研究室でも、初期投資なくして実習が行えるので、たいへん重宝である。

5. 既存データの検索と取得

メタデータ

GIS では多種多様な空間データを扱うため、データの情報源を整理し、利用する際にその内容や利用方法を理解しておく必要がある。この情報源がメタデータと呼ばれるものであり、メタデータは空間データそのものとは別に作成され、空間データを検索あるいは説明するための情報として用いられる。メタデータの項目には、参照系情報、識別情報、配布情報、品質情報などがある。参照系情報は、空間データで使用されている空間および時間参照系といった情報である。識別情報は、引用、要約、目的、著作権者、状態、問い合わせ先といった空間データを識別するための情報である。配布情報は、空間データの配布者および空間データの入手のための情報である。品質情報は、空間データの品質評価にあたっての適用範囲、リソースを作成する際の系譜 (Lineage information)、評価結果などの情報である (高橋ほか 2005; 有川・太田 2007; 国土地理院)。

空間データクリアリングハウス

クリアリングハウスとは、地理空間データをコンピュータネットワーク上で検索するシステムのことである。一般的にクリアリングハウスでは、空間データを検索し、その空間データがどこに、どのような形式で存在し、どのように利用できるのか、といったメタデータ情報を提供する。しかしながら、クリアリングハウスでは、検索で得られた空間データ自体をダウンロードさせて、直ちにユーザに空間データを提供することはできない。

こうした問題を是正するために、東京大学空間情報科学研究センター (CSIS) が、空間データの検索とダウンロードを一体的に運用するカタログサービス³を開発して、ユーザへの便宜を図っている (岡部ほか 2006)。

6. データの修正

デジタル化などの図形入力の際や、そもそも観察データに欠落があったり、未知のデータがあった場合には、統計的手法や空間補間などの概念を用いて既知のデータからデータを補足・修正することができる。

接合 (モザイク (mosaic))

広い地域を分析する場合、しばしば複数枚の空中写真や衛星画像を切り貼り・集成して、一枚の大きな画像データにする必要がある。この作業を接合 (モザイク) という (長谷川 1998)。

³ 東京大学空間情報科学研究センター「CSIS カタログサービス」 (<http://sdcs.csis.u-tokyo.ac.jp/catalog/index.jsp>)

ベクタ編集（エッジマッチングなど）

デジタル化などの図形入力の際に、アンダーシュート、オーバーシュート、スパイク、オーバーラップ、エッジアンマッチング、ポイントアンマッチングをはじめとした、ベクタ型データの入力ミス（誤り）が生じる場合がある。オペレータによって誤りと判断されたデータは、PC画面上で個別データごとに線分の削除、新しい点・線データの入力、あるいは、個別図形データそのものの削除、新しい図形データの追加などの修正を行う。こうした入力ミスの発見・修正には、基本的にオペレータ自身の目視による点検が必要となる（町田 2004）。

欠落情報の補足（統計的手法、補間の概念）

データに欠落があったり、未調査のデータがあったりする場合には、既知のデータからデータを補足することができる。とりわけ、空間データに関しては、クリギング（Kriging）などの補間法を利用して、欠落した点、線、面データを推測する。

7. 空間データの品質

国際標準化機構（ISO）が、1994年より地理情報に関する技術の標準化を図るために、211番目の専門委員会（TC211: Technical Committee）を設置して、品質原理（ISO19113）、品質評価手順（ISO19114）、データ品質指標（ISO19138）が議論されている。ISO/TC211における品質管理の考え方は、「地理情報ユーザは必要とする地理情報の仕様を示し、その結果、供給される地理情報がいかに、その仕様に合致しているのかを評価して、合致する度合いが高いほど高品質とする」というものである（地理情報システム学会 2004）。

地理情報の品質

地理情報標準（JSGI）が定めている地理情報の品質は、次のように分類される。定量的品質（定量的に測定可能な情報）としては、1) 完全性：地物、地物属性、地物間関係の存否に関するもの。2) 論理一貫性：データ構造、属性および関係に関する論理的規則への忠実度に関するもの。3) 位置正確度：地物の位置の正確度に関するもの。4) 時間正確度：地物の時間属性と時間関係の正確度に関するもの。5) 主題正確度：属性（定量的および非定量的）の正確さ、および地物の分類と地物間関係の正確性に関するもの。非定量的品質（定量的には測定できない情報）としては、1) 目的、2) 用法、3) 系譜、に分類される（地理情報システム学会 2004）。

品質の評価

品質評価方法には、直接評価法と間接評価法に大別される。直接評価法は、データ内部の情報に基づく内部法と、外部の参照情報との比較によって評価する外部法に分けられる。間接評価法は、データの作成手順や原資料に関するデータなどから推定する方法である。データの検査にあたっては、工業製品の検査と同様に、悉皆検査（完全検査）と抽出検査（サンプリング検査）の適用が検討されており、これらを必要に応じて使い分ける。これらの評価結果は、メタデータや品質評価報告書の形で公開される（地理情報システム学会 2004）。

第3章 空間データの変換と管理

この章では、取得した空間データを変換・管理する方法を扱う。

1. 空間データの変換

解像度・空間構成単位の変換

紙地図のスキヤニングにより得られた地図画像や空中写真、衛星画像などのラスタデータは、解像度 (resolution) が高すぎるとパソコン上でのファイルの読み込みに時間を要し、解像度が低すぎると輪郭が不明瞭になってしまう。このため、これらのデータは集成化 (aggregation)、単純化 (間引き)、補間などにより、分析に応じた解像度・空間構成単位に変換する必要がある。集成化は、ある領域内での均一性を仮定してデータを集成する変換であり、プライバシーの問題がある場合やデータ容量の制限がある場合になされる。単純化は、たとえば、ある複雑な形をした多角形があったとき、その多角形をより単純な形にするために、いくつかの頂点を取り除くような変換である。補間は、限られたサンプル地点で得られた空間情報からその他の地点の値を推測するものであり、ティーセン (Thiessen) 多角形 (ボロノイ (Voronoi) 多角形やディリクレ (Dirichlet) 多角形とも呼ばれる) を利用する方法、逆距離加重法 (IDW: Inverse Distance Weighted)、クリギング (Kriging) などの方法がある (Longley *et al.*, 2005)。

投影法変換

球形の地球を二次元の地図で表現する際に、測地系・座標系を定める必要がある。このため、異なる測地系・座標系の地図を用いて解析をおこなう時には、しばしば事前に片方あるいは双方の地図データを投影法変換し、共通の投影系・座標系の地図に加工する必要がある。地図投影法には、方位図法や円筒図法などいくつかの図法がある。方位図法は、地球表面に接する平面を想定してそこへ投影する図法であり、一方の円筒図法は、地球が内接する円筒を想定してその円筒の曲面に投影する図法である。一般に地球表面の任意の地点は、その緯度と経度が与えられれば、 $x=f(\text{緯度}, \text{経度})$ 、 $y=g(\text{緯度}, \text{経度})$ で直交座標に投影される。円筒図法の一つであるメルカトル (Mercator) 図法の場合、 $x=\text{経度}$ 、 $y=\ln\{\tan(\text{緯度}/2+\pi/4)\}$ である (高橋ほか 2005; Longley *et al.*, 2005)。

幾何補正

空中写真や衛星画像などの空間データは幾何学的な歪みを含んでいる。このため、これらの画像をそのまま地形図などと重ねても位置のずれる部分がある。そこでこの歪みを取り除くため、画像と画像、あるいは画像と地図座標を一致させる幾何補正が必要となる。多くの場合、双方で明瞭に位置を識別できる基準点 (GCP: Ground Control Point) を 3~10 点以上選び、変換式やラバーシーティング (ゴムシート処理、多点歪み補正) 法などを用いて座標値の補正をおこなう。補正後は、内挿および再配列された画像データにして利用される (長谷川 1998; 村井 2002)。

オルソ (Ortho) 補正

空中写真は有限の距離から撮影した中心投影であるため、地形の標高の影響により歪んだ形状で撮影される。これを、投影点を無限遠とした正射投影となるようにオルソ補正を施すことで、歪みが取り除かれた空中写真を地形図と同様に利用することができる (長澤ほか 2007)。

2. ジオコーディング (Geocoding)

住所などの文字列で記述された場所の情報を、その住所に対応する行政的な領域、または地理座標系で空間的範囲へ変換すること。アドレスマッチング (address matching) ともいう。「東京都千代田区」という住所から千代田区を表すポリゴンへ変換したり、「新宿区西新宿 2-8-1」という住所から北緯 35° 41' 41" 41. 13, 東経 139° 41' 41" 25. 13 に変換したりといった処理である (地理情報システム学会 2004)。

3. 空間データベース

空間データベースの基礎

実世界の空間をモデル化するにあたって、そのモデルには 2 種類ある。ひとつは、「山」や「建物」というような存在の概念であり、これを地物型と呼ぶ。もうひとつは、「山」や「建物」といった概念でくくられる個々の存在 (たとえば、「富士山」や「国立新美術館」など) の表現を地物インスタンスと呼ぶ。地物インスタンスは、地理オブジェクトや空間オブジェクトとも呼ばれ、地物の空間特性を表現するのに用いられる。空間データベースは、地物インスタンスを管理の単位とするデータベースである (有川・太田 2007)。

空間検索と空間索引

空間データベースでは、空間データを実世界上の位置をキーにして検索することが多く、位置をキーにする索引を空間索引と呼ぶ。空間索引は、空間データベースの特徴のひとつである。

空間データベース管理システム

データベース管理システムは、DBMS (DataBase Management System) と称され、データベースそのものとは別に、これを管理するための機能が備えられたソフトウェアである。DBMS で空間データを格納するためには、地物や属性のスキーマ (schema) がデータ辞書として登録されており、索引が用意されている必要がある。スキーマとは、データベースの性質、形式、他のデータとの関連などのデータについての定義の集合のことを言う (有川・太田 2007; 日本情報処理開発協会 1995)。

空間データベース言語

データベース言語は、データ定義言語 (DDL: Data Definition Language) とデータ操作言語 (DML: Data Manipulation Language) からなる。データ制御言語 (DCL: Data Control Language) を含めて言う場合もある。DDL はデータベースの構造および整合性制約を宣言する言語であり、DML は、DDL で定義したデータベースのデータを操作するための操作言語である。DML で行うことのできる基本的な操作としては、検索、挿入、更新、削除がある。DCL はデータベースへのアクセスを制御する言語

である。データベース言語の例として SQL がある。SQL は、関係データベース（表形式のデータによって構成されたデータベース）を処理するためのもので、規格化された国際標準のデータベース言語である（日本情報処理開発協会 1995）。

4. ラスタ・ベクタ変換

ラスタ (raster) からベクタ (vector) へ

ラスタデータからベクタデータへ変換する方法には、細線化や芯線化などがある。細線化は二値画像における黒領域の皮の部分にあたる黒画素を順次白画素に変更して剥いていくことで線画像を求める方法であり、芯線化は輪郭線を求めた上で中心線を求める方法である。輪郭線は、二値画像に限らず、画像の輝度差や輝度分布のパターンを利用して抽出されることもあり、その技術は特徴点抽出でも利用されている（高橋ほか 2005; 秋山 1996）。

ベクタからラスタへ

紙地図をスキャンすればラスタデータを生成することができる。これと同じ原理で、ベクタデータを指定した解像度のラスタデータに変換することができる。解像度を高く設定するほど画像は鮮明になるが、ファイル容量は大きくなり、読み取りや分析に時間を要する（高橋ほか 2005）。

第4章 空間解析

この章では、実世界のモデル化によって得られる空間データを使用し、実世界の空間特性を記述、抽出、分析する手法について説明する。

1. 基本的な空間解析

基本量の測定

空間オブジェクトのもつ特徴をとらえるにあたって、オブジェクトの幾何情報をもとに、距離、面積、体積などを測定する。距離には、2地点間のユークリッド距離（Euclidean distance）、線分あるいはポリゴンの一辺の長さなどがある。たとえば、ベクタデータの場合にポリゴンの周長を測るならば、そのポリゴンを構成する線分それぞれの両端点間ユークリッド距離を測り、それらを合計すればよい。地理情報システムでは、面積のある広がり部分をポリゴンで表現することが多く、この面積の測定は三角形の面積を算出する方法が基本となる。ポリゴンを三角形に分割し、分割された三角形すべての面積を測って合計すれば良い（Longley 2005）。

空間検索、オーバーレイと幾何学的（ブール（Boolean））論理演算

位置情報あるいは空間関係（位相関係）といった空間的特徴に基づいて空間オブジェクト（フィーチャ）を検索することであり、ある条件を満たす空間オブジェクトを選択する場合や新たな空間オブジェクトを抽出・生成する場合がある。たとえば2つのポリゴンがあったとき、その2つの空間関係には、重なる、接する、含む、などいくつかのタイプがある。そうした空間関係のタイプの違いに着目すれば、多数の空間オブジェクトから特定の空間関係を有するオブジェクトを選択することができる。また、論理演算（ブール演算）の考え方にに基づき、複数の空間オブジェクトの積集合（重なり部分）だけを抽出して新たな空間オブジェクトを生成するインターセクト（intersect）（および、空間オブジェクトの部分を保持する条件が加えられたアイデンティティ（identity））や、同じく和集合を抽出するユニオン（union）などの処理がある。こうした処理は複数のレイヤの間にも適用することができ、オーバーレイ（overlay）分析と呼ばれることもある（張 2001 など）。

属性検索

空間オブジェクトの属性値に基づいて検索することであり、分類、統合、集計、代数演算などの操作がある。一般に表形式のデータでは、横の行がレコード（record）、縦の列がフィールド（field）と呼ばれる。空間データの属性情報が表形式のデータで表現されているとき、空間オブジェクトがレコードに、属性項目がフィールドに対応する。代数演算の操作によって、複数のフィールドから新しいフィールドを生成することもできる。

2. ネットワーク分析

最短経路探索

道路網のようなネットワークにおいて、2つの地点を結ぶ経路のうち最短となるものを探索すること。ダイクストラ（Dijkstra）法は、ある地点を始点としたとき、他の任意の地点までの最短経路を求める

算法であり、ネットワーク上の各地点にラベルを用意し、そのラベルにその地点までの最短距離を順々に計算しながら更新していき、最終的に最適な経路を求める方法である。フロイド (Floyd) 法 (ワーシャルフロイド (Warshall-Floyd) 法) は、任意の 2 地点間の最短経路を算出する方法である (張 2001; 伊理・古林 1983)。

最大流問題

ネットワーク上のモノの流れを扱う最適化問題のうち代表的なもの。あるネットワークに、流れの入口と出口がそれぞれ 1 つだけあるとする。このネットワークのすべての枝について流れの容量がそれぞれ与えられているとき、入口から入る流れ (すなわち、出口から出る流れ) のうち最大であるもの (最大流) を求める問題を最大流問題と言う。

ネットワーク構造の分析

ネットワーク構造の分析には、ネットワーク上の個々の要素が互いにどのくらいの強さで結びついているかを考える連結性の分析、ネットワーク上の任意の 1 点とそのネットワークの中でどのような地位にあるかを考える近接性の分析などがある (奥野 1977)。

3. 領域分析

バッファ (buffer) 処理

特定の距離を定めたとき、ある地物からの距離がその距離以下であるような領域を求めること。その領域のことをバッファと呼び、点からのバッファ、線からのバッファ、ポリゴンからのバッファなど、あらゆる空間オブジェクトからのバッファを求めることができる。バッファは、通常、ポリゴンとして得られる。地物間の近隣関係を分析するのに有効である (高橋ほか 2005)。

ボロノイ分割

空間に複数の地物があったとき、各地物について、その地物までの距離が他のどの地物までの距離よりも小さい領域 (最近隣勢力圏) を求めることができる。この領域をボロノイ領域などと呼ぶ。すべての地物のボロノイ領域を求めて図示したときに得られる図をボロノイ図 (あるいはティーセン図) と呼ぶ。地物が点のとき、それぞれの点を母点と呼ぶ。ボロノイ図は、任意の 2 母点を結ぶ直線の垂直二等分線を順次引くことによって描くことができる。ボロノイ図を描くともとの空間が分割されるので、この処理をボロノイ分割 (ティーセン分割) と呼ぶ。ボロノイ分割は商圈分析などをおこなう際に有効である。一方、互いのボロノイ領域がその境界を共有するような母点どうしをすべて線で結ぶと網状の図形が得られる。これをドロネ (Delaunay) 三角形網と呼ぶ (中村ほか 1998)。

4. 点データの分析

点分布パターンの分類と記述 (凝集型, 均等型, ランダム型)

点の分布形態は、点がある一地域にかたまると凝集型、点が高い程度の間隔を保ちながら分布する均等型、各点が高いに他の点と無関係に、かつ、どの地域にも同じ確率で分布する (均一) ランダム型という 3 つの典型的な分布パターンに分けることができる (張 2001)。

可視化による分析

点分布パターンを読みとるひとつの方法に、可視化 (visualization) がある。点データの可視化には、密度に変換するラスタ画像化が一般的である。密度に変換する方法には、単位領域あたりの点の密度を求める方法のほか、点からの距離を変数とする関数を用いるカーネル (kernel) 法がある。

統計的手法による分析

点分布パターンを読みとる方法には、可視化によるものの他に、統計的手法によるものがある。その方法には、方格法 (区画法)、最近隣距離法、 K 関数法などがある。いずれの手法でも、まずは点分布がランダム分布か否かを測り、ランダム分布ではない場合には、さらに凝集型か均等型かの判断を統計的に下す。方格法は、点の分布領域を区画で分けし、それぞれの区画の中に含まれる点の数を調べる方法である。最近隣距離法は、各点について、その点から最も近い点までの距離に着目し、その距離の度数分布から、点分布の型を判断する。最近隣距離法が、最も近い点までの距離を見ているのに対して、 K 関数法は、ある点について、他のすべての点までの距離を見てパターンを判断する。

点分布の分析方法には、その他に、標準偏差楕円を用いる方法もある。ある点分布に対して求めた標準偏差楕円について、その重心から各点がどれほどズレているかによって点分布の歪みを、その楕円の大きさから点分布の広がり、それぞれ捉えることができる (張 2001)。

5. ラスタ (リモセン) データの分析

画像強調

画像を判読しやすくするための画像処理のこと。代表例として濃度変換とカラー合成がある。濃度変換では、画像の明るさやコントラストを変えて判読しやすい画像をつくる。変換操作は、画像のヒストグラム (画像を構成するすべてのピクセルの値の出現回数をグラフにしたもの) から読み取れる濃度分布の広がり・形状を参照しておこなわれることが多い (ヒストグラム解析)。カラー合成では、LANDSAT TM のように可視光域を青、緑、赤の3バンドに分けて記録した画像 (白黒) を合成表示することでカラー画像を得て、判読しやすい画像をつくる。

色を扱う場合、色空間と呼ばれる座標系を定めた上で、それぞれの色を座標上の数値で表現することがある。こうした色空間には、色の三原色である R (赤) G (緑) B (青) を3つの軸とする RGB 系や、Hue (色相)、Saturation (彩度)、Intensity (明度) を3つの軸とする HSI 系などがある。画像処理の過程では、こうした色空間を相互に変換する処理 (解析) がなされることがある。

空間特徴抽出 (フィルタリング)

画像に含まれる、対象物の大きさ、エッジ (輪郭)、断層や破碎帯を示すリアメント (線構造) などの空間情報を抽出・解析する操作のこと。具体的には、あるピクセルの出力値をその周囲の $n \times n$ ピクセルと $n \times n$ のマトリックス演算子 (オペレータともいう) を用いて算出する。主な空間フィルタ (3 × 3 ピクセルの演算子) として、ラプラシアン (線状物体の強調)、ハイパス (エッジの強調)、スムージング (画像の平滑化、雑音の除去) などがある (田中ほか 2007)。

ラスタ演算

リモートセンシングで取得されたデータでは、同一シーンの異なった時期の2つの画像を使って時間的変化を調べるマップ演算（画像間演算）や、比演算によって植生の活性度を求めるためにおこなうバンド間演算などのラスタ演算が可能である。特にNDVI（Normalized Differential Vegetation Index）は植生指標として広く使われている。これは植物の葉緑素が可視領域で太陽光を吸収し、近赤外領域で非常に強い反射を示すことを利用した演算である（長谷川 1998）。

地形分析（DEM/DTM）

数値標高モデル（DEM: Digital Elevation Model）や数値地形モデル（DTM: Digital Terrain Model）などの地形データをつかうと、以下のような数多くの地形学的分析が可能となる（地理情報システム学会 2004）。

差分解析

異なる時期のDEMの比較により、標高の変化量や地形変化が生じた地域の抽出・面積の算出などをおこなう解析のこと。

流域分析

流域の形状と流域内の水系網に関する定量的分析のこと。GISとDEMを利用することで、水系と流域の抽出を半自動的におこなうことができ、効率が顕著に向上する。

可視領域分析

地形をもとにある地点からの眺望を検討し、周辺の点との視界の可否や可視領域の比較をすること。

切り土・盛り土

異なる時期のDEMの比較により、切り土や盛り土などの土地改変がなされた地点や地域を知り、さらに、その改変に伴う面積や体積の変化量を計算して知ることができる。

コスト・パス解析

空間上である点からある点への移動に伴うコスト（時間、距離、困難さやリソースの費用など）を算出すること。しばしば、最小コスト・パスが求められ、分析に利用される。

ラスタ分類

リモートセンシングでは、しばしば画像データのピクセル値を使って、地表（の被覆）を市街地、農地、水域、裸地など、複数の領域に分類し、それぞれの領域に該当するポリゴンを生成する。分類の手法は大きく分けて2つある。一つは教師つき分類と呼ばれるもので、あらかじめ現地調査などで得た（グラントゥルースと呼ばれる）情報をもとに特定の地点の分類項目を設定し、各画素を各設定項目との類似度により振り分けてゆく方法である。この教師つき分類では、グラントゥルースの情報に対して最尤法などの方法で分類モデルをつくり、そのモデルにしたがって各ピクセルを分類する。分類方法の

もう一つは教師なし分類と呼ばれるもので、ピクセル値をもとに特徴が類似している画素を自動的にグループ化する方法である。この教師なし分類では、クラスタリングがなされる（長谷川 1998）。

セルラ・オートマトン（cellular automaton）モデル

複雑系のシミュレーションモデルの一つ。このモデルでは、空間をセルに分割して、各セルの状態が遷移していく様子をシミュレーションする。ひとつひとつのセルの状態は、その周囲のセルの状態と関連しながら相互作用の中で遷移していく。複雑系を単純モデルの組み合わせにより表現することができるので、土地利用変化の分析などに応用される（地理情報システム学会 2004）。

6. 傾向面分析

規則的あるいは不規則的に分布している n 個の観測点について、観測された値の分布をできる限り近似するサーフェスを回帰式によって数学的に求めるもの（張 2001; 奥野 1977; O'Sullivan and Unwin 2002）。

多項式関数の適合

サーフェスモデルを求める際、回帰式に多項式を用いる場合がある。

残差解析

サーフェス全体の分散を傾向（多項回帰式）と傾向からの残差に分け、そのうちの残差に注目し、その統計的性質をもとに多項回帰式の妥当性や外れ値の抽出などがおこなわれる。

7. 空間的自己相関

空間的自己相関は、空間オブジェクトの属性の類似性と空間的近接性の関係を表すものである。空間オブジェクトどうしが、空間的に近接するほど属性が類似しているならば、正の空間的自己相関があると言い、逆に、空間的に近接するほど属性が異なるならば、負の空間的自己相関があると言う（野上ほか 2001）。

空間的自己相関の統計量

空間的自己相関を分析するためにいくつかの統計量が提案されており、ジョイン（Join）統計量、モラン（Moran）の I 統計量、ギアリィ（Geary）の C 統計量、ゲティス（Getis）の G 統計量などがある（O'Sullivan and Unwin 2002; 野上ほか 2001; Rogerson and Yamada 2008）。

ジョイン統計量は、主に白黒 2 値のラスタデータについて用いられる。白と黒が隣接しているラスタ対の数をかぞえ、その数を、白と黒がランダムに分布している場合の期待値と比較するものである。ジョイン統計量が 1 より大きければ負の空間的自己相関、1 より小さければ正の空間的自己相関があると言える。

モランの I 統計量は、数値属性を持つ空間オブジェクト全般について、オブジェクト間の近接性が定義される場合に用いられる。空間オブジェクトが n 個あり、オブジェクト i の属性値を X_i 、空間オブジェクト i と j との間の空間的近接性を w_{ij} とすると、モランの I 統計量は、

$$I = \frac{n}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_i \sum_j w_{ij}}$$

と定義される。この値が1に近ければ正の空間的自己相関、つまり、属性値の似たオブジェクトどうしが集まる傾向があり、-1に近ければ負の空間的自己相関、つまり、属性値の似たオブジェクトどうしが避け合う傾向がある。0に近ければ空間的自己相関がなく、属性値の空間分布に明確なパターンが見られない。

ギアリーの C 統計量はモランの I 統計量とよく似たものである。 C 統計量は、

$$C = \frac{n}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (X_i - X_j)^2}{2 \sum_i \sum_j w_{ij}}$$

と定義される。この値が1より小さければ正の空間的自己相関、1より大きければ負の空間的自己相関、1に近ければ空間的自己相関がない。

ゲティスの G 統計量は、ある距離 d 以内にお互いが存在するような空間オブジェクトどうしについて、

$$G(d) = \frac{\sum_i \sum_j w_{ij}(d) X_i X_j}{\sum_i \sum_j X_i X_j}$$

と定義される。この値が大きければ、大きい属性値の空間オブジェクトどうしが集まっている傾向があり、値が小さければ小さい属性値の空間オブジェクトどうしが集まっている傾向がある。

バリオグラム

バリオグラム (variogram) は、空間的自己相関の数量的表現のひとつである。いま、ある領域 S 内で連続面 (サーフェス) を表す関数が位置ベクトル \mathbf{x} の関数 $f(\mathbf{x})$ と表されているとする。このときバリオグラムは、

$$\gamma(h) = \frac{\int_{\mathbf{x} \in S} \int_{\mathbf{t} \in S, |\mathbf{x}-\mathbf{t}|=h} \{f(\mathbf{x}) - f(\mathbf{t})\}^2 d\mathbf{t} d\mathbf{x}}{2 \int_{\mathbf{x} \in S} \int_{\mathbf{t} \in S, |\mathbf{x}-\mathbf{t}|=h} d\mathbf{t} d\mathbf{x}}$$

と定義される。この値は、位置が距離 h だけ離れたときに、 $f(\mathbf{x})$ という関数の値が平均的にどのくらい変化するかを表したものである。値が大きければ、距離 h に対して $f(\mathbf{x})$ の値が大きく変化することになり、空間的自己相関は小さい。反対に、この値が小さければ、 $f(\mathbf{x})$ の変化も小さく、空間的自己相関が大きいということになる (野上ほか 2001)。

8. 空間補間 (応用)

クリギング

ある地点の属性値を補間して求める内挿手法の1つ。補間の際、バリオグラムなどを用いて (属性値の分布がなす) サーフェスの特徴をつかんでおき、その特徴を踏まえて内挿地点周囲の (観測などによって既知である) 属性値に重み付けする。

IDW

ある地点の属性値を補間して求めるとき、その地点から属性値がわかっている各地点までの距離に着目して、その距離に応じて既知の属性値に重み付けした上で、その (重み付けした値の) 平均値を補間

値とする方法. 最も近い距離にある地点に最も大きな重みをつけ, 距離が遠くなるにつれて重みを小さくする (Longley *et al.* 2005) .

Triangulation

三角形分割のこと. いくつかの点が与えられたとき, それらの点を頂点とする三角形を互いに重ならないように可能な限りたくさん敷き詰める. このとき得られる図形が三角形分割の図である. 頂点における観測データから, 頂点以外の場所での値を補間するために利用できる (地理情報システム学会 2004) .

Radial-basis function (スプラインなど)

放射基底関数のこと. 放射基底関数とは, ある中心点からの距離のみに依存する関数で, ガウス関数やスプライン関数などがある. いくつかの放射基底関数を足し合わせて任意の関数を近似することができる.

9. 空間相関分析

クロスバリオグラム

多変量空間データに対して用いられる. バリオグラムが自己相関 (すなわち 1 つの変数についての空間的相関) を表現するものであるのに対して, クロスバリオグラムは, ある変数と別の変数との間の空間的相関として表現した場合のバリオグラムである (Cressie 1993) .

クロス相関

空間クロス相関 (spatial cross correlation) は, ある空間オブジェクトの属性 Y の値と, 別の空間オブジェクトの (Y とは異なる) 属性 X の値との間の相関 (Longley and Batty 1997) .

空間回帰分析

従来からある回帰モデルに対し, さまざまな形の空間的な展開がなされた新しいモデルを空間回帰モデルと呼ぶ. 空間回帰モデルには地理的加重回帰 (GWR: Geographically weighted regression) モデルや空間拡張モデル (spatial expansion model) がある. 地理的加重回帰モデルは, グローバルな視点ではなく, ローカルな視点で考えるモデルである. つまり, ある地点の分析を行って回帰係数を推定する際, その地点の近くで観測された値は, そこから遠くで観測された値よりも大きな影響を与えるものとして考える. 空間拡張モデルとは, ヘドニック (hedonic) モデルのような既存モデルのパラメータを拡張することによって, 空間的影響を取り扱えるようにしたものである. ヘドニックモデルは地価や住宅価格の分析でしばしば用いられており, 空間的な側面を考慮した空間拡張ヘドニックモデル (spatial expansion hedonic model) などが提案されている (村山 2004) .

10. 空間分析におけるスケール

ローカルパターンとグローバルパターン

過去の空間分析では、グローバル（大局的）なスケールで問題を考えることが多かった。しかし、地理的事象には、空間的非定常性（spatial non-stationarity）のある場合が少なくなく、ローカル（局所的）なスケールで考えなければならないことも多い。グローバルに見られるパターンが、ローカルに見ると変動していて別のパターンを見せることもある。そこで、多くの空間分析の方法が、ローカルなスケールに対応するように拡張されてきている。たとえば、空間的自己相関を分析する際に用いられるいくつかの統計量の場合、グローバル統計量が「どこに異常な現象があるのか」を発見することを目的としてないことに対して、ローカル統計量はその要求に応えることができる。

可変地区単位問題

集計データから個体の特徴を推測するとき生じる問題を、生態学的誤謬（ecological fallacy）と呼ぶ。空間的に集計されたデータの場合、生態学的誤謬は二つの影響に分割される。第一はスケールの影響であり、集計単位を、町丁目、市区町村、都道府県というようにスケールを変えることによって生じる分析の結果の変動として定義される。第二は集計の影響であり、同一のスケールであっても異なった地区境界の設定法によって生じる分析結果の変動として定義される。これら二つの影響を受けている空間的集計に固有の問題を可変地区単位問題（MAUP: modifiable areal unit problem）という。（村山 2004）。

第5章 空間データの視覚的伝達

1. 視覚的伝達

空間データはなぜ視覚的に表現するのが良いのだろうか。表現の仕方によって見やすさや分かりやすさが違うのはなぜだろうか。

空間データは、現実空間と対応づけられている位置情報を持つデータであるから、現実空間を縮小モデル化した地図と対応づけて表現するのが最も直截的である。特に、一連のデータの位置、つながり、広がりに関する相互関係は視覚を通して地図上に表すと分かりやすい。視覚は情報の採り入れ口である感覚器の中で最も空間を把握するのに適しており、視覚表現は視覚を通じた情報伝達の方法である。そのためにデータは視覚的に観察できるものに置き換える必要がある。これには図、文字、模型、写真などさまざまな方法がありさまざまな条件を選択することにより行われる。情報内容の伝達性の適切さの確保にはそこで一定の学習が必要となる。それは単に与えられたものの選択の学習に終わるのではなく伝達方法の可能性を探求し効果的な表現の創造へと導くものである。

地図

現実空間の縮小モデルであり、通常は図形として平面上に視覚的に表現する。立体的な地球儀や地形模型、特殊眼鏡利用による飛び出す3D表示、あるいは点字のように指で触って情報を得る触地図も存在しているが、空間の縮小モデルである事は共通している。

視覚

情報は、感覚器を通じて、視覚、聴覚、嗅覚、味覚、触覚として体内に取り込まれる。このうち視覚と聴覚は感覚器が2個あり、遠近や方向が分かる。特に視覚は、空間の広がりや直接観察でき、その縮小モデルである地図の観察に適している。

情報伝達

地図の作り手と読み手の間で地図を媒介として情報の伝達（コミュニケーション）が行われる。伝わりにくい、あるいは誤読される表現は避けたい。そのために効果的な地図デザインを考慮する必要がある。

伝達性の適切さ

意図した意味内容が誤りなく素早く伝達されれば良いが、内容が物理的に見にくい、あるいは一つの記号が複数の意味を持つように曖昧性があり、また主題に関係のない情報が多く含まれるなど読図に時間を要すれば伝達性に劣化が生じ、さらに誤読や意味不明の状況が生じれば伝達不能となる。

2. 地図の表現モデル

地図にはさまざまなタイプが見られるが、それらはどのように用いられどのように類型化されるのであろうか。

地理的空間スケールの現象の視覚表現には地図が用いられるが、地図は文字より古くから存在しており、これまでにさまざまな地図が作られてきた。現況を把握するために作られた地図も、時間が経てば過去の状況を表していることになる。一方、未来についても計画図やシミュレーション結果として予測値を示すことができる。従って、過去・現在・未来という時間軸上の位置づけを伴いながら利用目的に応じてさまざまな表現モデルが存在している。

地図は、基本図と主題図に大別される。基本図は地形の基本情報を測量により明らかにして作成された地図でありその種類は限定され、表現方法も図式規定により定められている。主題図は、地形の基本情報は基本図を利用し、その上にテーマに沿った空間データを表現するものであり、その種類は主題の数だけ存在しほとんど無限である。本カリキュラムで作成する地図は、主題図が主体となる。主題図の表現方法は、データの意図性、記号化の基本パターン、量的データの分類、誇張と省略の程度、および表現上の次元数、などにより幾つかの表現に類型化できる。

表現モデル

空間事象を視覚的に表現するには点、線、面を用いた幾何学モデルが基本となるが、立体表現には平面上への投影変換による疑似立体表現や視差を利用して形を直接的に飛び出させる方法がある。また、時間を表すには二時期を並べる、二時期の差分を表示、変化を動画表示する、などがある。

基本図

近代国家においては、国土安全・計画・管理に必要な陸域の地形図と海域の海図が、国の機関により測量を組織的に行うことにより基本図として作成されている。これらは国土空間の基本骨格を主要な事物と地図記号との対応関係として図式規定により縮尺に応じた表現方法により体系化されている。

種類：陸域については2万5千分の1地形図が国土全体を覆っている。都市部については2500分の1国土基本図があり、今後整備される電子国土基本図では、基盤地図情報と呼ぶ2500分の1レベルの13のデータ項目と従来の2万5千分の1地形図とを結合させたものとなる。海域については、沿岸部には5万分の1の海の基本図があり、印刷物およびデータとして提供されている。また関連して、基本図と重ね合わせることが出来る標準化された空中写真や標高データも存在している。

図式規定：全国を均質に覆っているから、図化・記号表現に当たっては標準的な規約が必要であり、図式規定が定められている。利用者側は凡例を通してその図式を理解することにより地図に画かれた内容を読みとる。

主題図

地理空間に関する質的あるいは量的な情報について、背景図との関係で特定の場所に関する情報、空間分布パターン、空間分布パターン相互の比較、それらの変化などを表示するものである。統計情報の表示は統計地図と呼ばれることもある。背景情報となる主要参照事物（鉄道、道路、河川、水涯線、など）、統計区（行政区界、標準メッシュ、国勢調査区、など）は、基本図や既存の資料を用いて予め作成される。

種類：主題図においても基本図と同様、公的機関が業務を遂行するために必要な基本となる主題図が各行政機関において作成されている。地質図、森林計画図、航空図、航海用海図、潮流図、地籍図、土地利用図、土地分類図、植生図、気象図、交通量図、人口分布図、など、その種類は多様である。それらの情報を編集し、あるいは関連統計データや独自のデータを取得することにより、研究、教育、観光、ビジネス、日常生活など、目的に応じた主題図が作成されている。人口密度図、最高気温分布図、ハザードマップ、ヒヤリマップ、地域環境図、地価分布図、商圈図、交通渋滞図、観光案内図、など、きわめて多様であり、しかし視覚化されず埋もれたままのデータも多く、今後の更なる主題図表現が期待される。

主題図の表現方法

データの意味性：主題図として表現するデータの意味性は、名義尺度 (nominal scale)、順序 (ordinal) 尺度、間隔 (interval) 尺度、比例 (ratio) 尺度の4つに分かれ、この順に情報量が増える。名義、順序は質的な意味であり、間隔、比例は量的な意味を持つ。

名義尺度：名前や番号などの識別子を与えることであり、それが他と区別できるような性質を持つこと。地名、施設名・番号、現象名、などである。位置や頻度に意味がある。

順序尺度：並べたときに相互の順序が分かること。明るさ、強さ、など、その程度により並べることが出来る。順序、等しさ、中央値に意味がある。

間隔尺度：比べたときに数値相互の差が分かること。気温、階数、など等間隔に数値が与えられる。差や平均に意味がある。

比例尺度：数量が与えられさまざまな演算ができる。距離、面積、人口、所得、など相互の比率が数値として把握できる。この尺度は情報量が最も多く、間隔、順序、名義の各尺度の意味性を併せ持つことが出来る。

記号化の基本パターン：データを地図記号に置き換えて主題図を作成するが、データの意味性を考慮して、基本パターンとして、(1) 点記号による位置図、点描図、比例記号図、(2) 線記号による位置図、等値線図、流線図、(3) 面記号による位置図、塗り分け図、段彩図、などがある。

位置図：点的・線的・面的記号により、質的意味を持つデータをしかるべき位置にプロットして示す。記号の形状は、幾何学図形、アイコン (類像)、シンボルのいずれでも凡例で規定すれば利用できる。例：公共施設の位置図

点描図：大きさが一定の点的記号をデータの位置にプロットさせたもの。ドットマップ。データの分布と密度が観察できる。例：小学校分布図

比例記号図：記号の大きさを数量に比例して与えプロットしたもの。例：地区別人口分布図

等値線図：同じ値のデータを線で結んでプロットしたもの。同じ値のデータのつながり方、および線密度によりデータの変化が大きいところ分かる。例：等高線図、気温分布図

流線図：起点終点間を線で結び、データの種類を線種や色で区別する。量的な意味を加えるには、区間の流動量を線の太さに比例させて示す。例：交通量図

塗り分け図：面分割されている対象の各々の面を質的に識別できるように濃淡、ハッチング、色彩により塗り分けて示す。例：方言分布図

段彩図：データに階級区分を明示的に与え、対応する色面に濃淡を割り振る、あるいは例えば平均値以上と以下を二つの異なる色相に割り当てることなどにより、量的な意味を持たせる。色面が格子状に区切られている場合はメッシュマップであり、等高線間を塗る場合は地形段彩図となる。

例：地区別人口密度分布図、カーネル密度分布図、メッシュマップ、地形段彩図

量的データの分類：量的データに階級区分を与えるには自然分類、等間隔分類、等量分類、標準偏差分類、などがある。

自然分類：頻度分布などにより分布に段差が生じている箇所を境としてグループを形成させ、各グループに階級区分を割り当てる。

等間隔分類：分割したい階級数で最大・最小値を除し（特異値を除き別に考慮する場合もある）、等しい間隔に階級区分を割り当てる。

等量分類：分割したい階級数の各階級に一例に並べたデータの端からデータ数が等しくなるように割り当てる。

標準偏差分類：平均値から標準偏差を加減し階級区分を作成する。

誇張と省略：主題図では、情報は網羅的ではなく主題というフィルタをかけ主題に関係のない情報は省略する一方で必要な情報はその特徴を明瞭に示すために記号を通して強調（誇張）表現がなされる。強調表現の一つとしてデフォルメがある。人が実感する空間は、伸びたり縮んだりしてデフォルメされるが、例えば、実距離に対して時間距離を用いて伸縮させた時間地図を作成すると、実感に近い地図が得られる場合がある。このようにデフォルメを再現可能な演算モデルとして定式化して作成した地図をカルトグラムと呼ぶ。

次元：地図は、二次元平面上に描かれるが、垂直投影の平面図、斜めの鳥瞰図、横からの側面景観図、など多様な角度からの描写がある。平面図以外は疑似立体表現となり、投影法上は3軸を持つ立体表現であるが、平面上で表示されるため2.5次元と呼ばれることもある。また、視差を作り出すことにより映像が飛び出す立体視の方法もある。これらに時間による変化を加えると動画（アニメーション）となり四次元となる。

3. 地図のデザイン

地図は、地図記号や文字を用いて表現されるが、主題図はどのような手順を踏んで作成すればよいのだろうか。

地図の作成に当たっては、まず、地図の表示面の物理的な大きさを考慮して表示範囲（縮尺、総描、投影法）を決める。つぎに、主題図情報を配置するために用いる背景図を平面図なのか高さ表現を行うのかを決めて作成する。そして、データのどのような意味性（性質）を表現したいのかにより適切な地図記号体系を構築しデータを視覚表現する。さらに、凡例、図名、注記、図郭線などの整飾要素を加えレイアウトを調節する。最後に、表示された主題図を、見やすさや誤読が生じる可能性など、可読性のチェックを行う。そして、問題があれば最初に戻り同じ手順を繰り返す。

表示範囲

どのような大きさの平面上に、どのような空間的広がりを持つ現象を、どのような大きさで表現するのかを決める。これが適切でないと、地図の持つ一覽性、変数相互の関係性、周辺部や背景との関係性、などの観察が困難となる。

縮尺：紙地図を基本とする場合は、情報を揃えるために縮尺を決めて重ね合わせることが行われてきたが、デジタル表示の場合は拡大縮小が容易であるから縮尺は情報の詳しさの目安（種類と精度）と見なすのが適当である。

総描：地図を単純に大幅に縮小すると記号が相互に接触し潰れてしまい見にくくなる。逆に拡大すると余白部分も拡大し間が抜けたものとなる。これを調整するために総描（generalization）が行われる。表示範囲に応じて縮小の場合は単純化が、拡大の場合は情報の追加を行う。

投影法：地図は、経緯度や平面直角座標系などを通じて均質空間を与える。地球は丸いから経緯度を平面上に表すには地図投影法により変換が必要である。距離、方位、面積を全て正しく変換する方法はなく、どれかを重視した投影法を選択する。2万5000分の1地形図ではUTM（ユニバーサル横メルカトル図法）座標系により経緯線を持ち、2500分の1国土基本図では平面直角座標系により距離方眼が用いられる。後者のように地球の丸さを気にしなくても良い範囲（半径約100km以内）のレベルになると、対象物の立体表現の問題となり、図学上の平行投影、中心投影、垂直投影、斜め投影などを目的に応じて用いる。通常の平面図は垂直・平行投影である。

背景図

主題情報に対して背景として位置的な骨格を与えるもので、統計区、行政区界などによる単純な白地図から、主要地名や交通網を入れたもの、更には地形図や航空写真など基本地形を与えるものなどがある。いずれの場合も、背景図であるから主題情報の読み取りを妨げるような表現は避けるべきである。

高さ表現：従来、高さは等高線による表示が基本であったが、より直観的に把握しやすい表現として標高データを用いて地形を立体表現する方法がある。垂直投影として地形に陰影（シェーディング）や地形段彩を加えて地形の凹凸（レリーフ）を表現し、さらに3Dモデルを用いて斜めからの俯瞰表現を行う場合もある。地形の変化が現象理解に役立つ場合は有効である。

地図記号の体系化

データを記号化するには、データの意味性と記号の種類・性質とを適合させる必要がある。この対応付けを確実に行うことが可読性の確保につながる。

記号の種類：

点：地図記号における点は、それを記号として認識できなければならないから小さくても面積を持っており、形や色などを通して位置と同時に各々の意味を表すことができる。

線：線により連続した位置を示す（従って形状や長さも）が、線種（実線、波線、など）や線号（太さ）、線の色などにより各々の線の意味を表すことができる。

面：面により拡がりを持つ領域を示す（従って形状や面積も）ことができるが、そこを塗りつぶす模様や色などを通して各々の面の意味を表すことができる。

文字：点記号の特徴を持っているが、文字としての形と配列規則により言葉としての意味を示すことができる。文字固有の操作として、フォント、サイズ、肉厚、直/斜体、下線、囲み線、網掛け、傍点、などの選択がある。

記号の性質：

視覚変数：地図記号は、点・線・面・文字などの種類に対して、それぞれ、「大小」、「濃淡」、「きめ」、「色」、「方向」、「形」、について変化させることにより視覚的な効果を制御することができる。このうち、「大小」と「濃淡」は量的データ、「色」、「方向」、「形」は質的データの表現に優れている。また、「濃淡」と「きめ」は順序の意味を表すのに適している。

大小：点記号の大きさ、線記号の巾、面記号（構成要素としての）の大きさの変化である。視覚への物理的な刺激が変化するので量的な変化を表すのに適している。

濃淡：グラデーションによる変化である。視覚への物理的な刺激が変化するので量や順序を表すのに適している。

きめ：テクスチャパターンを維持したまま拡大縮小を行う。決めが粗い・細かいが出現するが、面としての濃度は変わらない。順序を表すことができる。

色：色相を変化させる。色には濃度が関係しているため、モノクロコピーで区別できるかをチェックする（同じ濃さは色相が異なっても区別がしにくい）。色を通して相違が識別できる。

方向：角度の変化である。角度を通して相違が識別できる。

形：形の変化である。形を通して相違が識別できる。

立体表現：一定の方向（通常は左上から右下へ光を当てる）から陰をつけると記号や文字が立体的に見える。

複合表現：主題によってはこれらを組み合わせた表現が望ましい。但し、相乗効果のある組み合わせを用い、相殺に注意する。

凡例の作成：データ項目とそれに対応する記号の対応関係の規則性を図式として一覧表に示すものである。データの意味性や記号の種類により分類して示すと分かりやすくなる。距離尺や方位盤を含める場合もある。

整飾の付与

テーマや地名による図名、図歴、情報源、著作権などに関する注記、経緯度や距離による目盛り線、図の範囲を示す図郭線、などを入れて地図として独立させるために全体の体裁を整える。

レイアウト

整飾、凡例、地図記号で表現された地図の本体部分は、与えられたスペースの中に配置されて表現される。配置は位置と大きさで決まるが、1つの地図も順序を追って解読されるから、視線の動きが円滑につながるように配慮する。

可読性のチェック

可読性は、視覚への刺激の程度に関係する心理物理学的な読みとりやすさ（強さ、コントラスト）と、記述内容の意味と関わる特徴抽出（図と地の分離、視覚による地図記号の識別と分類）の行いやすさにかかわっているが、両者のバランスがとれていれば読図は短時間で確実に行われる。見づらく、また視線の動きが輻輳しゴチャゴチャ感が生じればデザインを再検討する必要がある。そのような図は、伝達効果が弱いのみならず読みとばされる可能性がある。また、色覚異常者用のチェック（チェック用眼鏡、ディスプレイ表示用フィルタ）も必要に応じて行う。

4. 出力図の作成

処理結果の出力には、PC操作によるディスプレイ上やさらにそれをプロジェクタで投影する画面出力（ソフトコピー）と、プリンタやプロッタを通じた印刷図（ハードコピー）がある。出力にあたっては目的に応じて各々の特徴を生かすように選択する。

画面出力

ディスプレイ上の表示画面は演算や検索結果の表示であってファイルとして保存しない場合は次の操作に移れば消えてしまう。この消えるという特徴を生かして次々に変化する画面を表示するとアニメーションが構築できる。再度表示するには物理的ファイルとしてIDをつけファイル形式を決めて保存する。また、試行錯誤途中の地図は整飾部分（図郭、図名、距離尺、方位盤、縮尺、経緯線、凡例、など）は省かれていることが多いから、最終版には整飾部分を必要に応じて追加して完成させる。プロジェクタを用いたプレゼンテーション画面では大きなスクリーンに投影するが、スクリーンまでの距離により視野角が狭まり、また解像度の減少により細部が読みにくくなる傾向があるので細かい文字および細い線の利用には注意する。

印刷図

印刷図の出力は、A3までのプリンタ出力と、それ以上の大判のプロッタ出力では用いる機器が異なり、品質や費用に相違が生じる。プリンタにはモノクロとカラーがあるが、原画がカラーであるものをモノクロ出力する場合は可読性のチェックを行い、誤読を防ぐ必要がある。プロッタ出力は、パネル展示やポスター発表などに用いられるが、用紙、トナー、インクの組み合わせで発色に相違があるので目的に応じて適切なものを選択する。

5. 双方向環境のマッピング

デジタル技術の進展により、ウェブ・マッピングやユビキタス・マッピングと呼ぶネットワークを利用した地図を自分で作って使う環境が発展しつつある。また、必要な地図をボランティアにより参加型の方法で構築する試みや、過去や未来を描写するバーチャルマップの構築も始まっている。

ウェブ・マッピング

GISソフトによりデスクトップ環境で作業を行うのはアプリケーションソフトの操作であるが、モバイル機器によりそれを必要な場所に持ち出して使う場合も同様である。これに対して、ネットワークを介してサーバ側に基本的な処理機能を与え、双方向機能により利用者が必要な指令を出しサーバが結果を送って利用者のディスプレイ上に地図を表示して使う、という方法が広まっている。ケータイ電話のナビシステムやグーグル・マップによるマイマップ作成、国土地理院の電子国土ポータルによる主題図作成、などが代表的な例である。これらは web マッピング、マッシュアップによるマッピングと呼ばれ、作図機能も向上しつつある。

ユビキタス・マッピング

利用者が、実空間における行動にもなつて生じる課題について地図を通じて解決策を図る場合がある。この状況では、実空間と背景図は接近し、場合によっては背景図は実空間そのものとなる。実空間画像の上に主題図データが重ね合わせられて表示される場合は、MR (Mixed Reality) や AR

(Augmented Reality) の概念にも近づく。そこでは、利用者の置かれているコンテキストへの対応が重要となり、ネットワーク環境下では、利用者のその時の行動目的やこれまでの行動履歴により、利用者の属性や現在位置などを基本パラメータとして与えることで適切な解決方略をサーバ側で見出して提案することができる。これは、いつでも、どこでも、だれでもが作って使う地図の一つの実用的なあり方を示している。そこにおけるインターフェースや地図の表現方法は、今後の大きな課題である。さらに、魅力的な表現の提供という観点で、アートの側面をどのように採り入れるかももう一つの古くて新しい課題である。

バーチャルマップ

過去や未来の空間は現時点では存在しないが、コンピュータ上に VR (Virtual Reality) 技術を用いて 3D の疑似空間を構築し、ウォークスルーやフライスルーによる疑似体験を可能とし、さらにそこをプラットフォームとしてさまざまな情報を蓄積・検索・表示する方法が提供されるようになっている。都市を対象とすればバーチャル・シティとなる。そこにおける空間表現は、写真的な精密な描写よりも、空間探索用のシミュレータ的な機能が目的であるから、操作性向上のために空間を分かりやすくモデル化し視覚的なノイズを除去した 3D 地図化した表現が基本となる。

第6章 GISと社会

1. GISの社会貢献

地図自動作成 (AM: automated mapping)

土地, 道路などの大縮尺の地図を自動作成するシステム. 機能は空間データの入力と更新 (updating) に特化する.

施設管理 (FM: facility management)

上下水道, ガス, 電力, 電話のような公益事業で維持する施設の図面を管理するシステム. 機能は検索機能 (query) に特化する.

意思決定支援システム (DSS: decision support system)

意思決定過程がアルゴリズムの形式で定式化できる定型の問題は自動化が可能なのに対し, データや知識が不足している, 計量化できない変数がある, あるいは, 複雑であるために定式化できない非定型の問題は, 人間-コンピュータ系の中で主に人間によって解かなければならない. DSSは, この非定型の問題の解決を支援するシステムである.

空間決定支援システム (SDSS: spatial decision support system)

都市計画, マーケティング, 防災など意思決定過程に空間的側面が関わる場合, 決定過程は地図上で行われ, 決定結果は地図上で表示される. このことから, 空間的非定型問題を解決するため, GISを利用した空間決定支援システムが構築されてきた.

位置情報サービス (LBS: location-based service)

携帯電話, PDA, ウェアラブルコンピュータのようなモバイル情報端末の利用者に, 位置している場所に関する情報や知識を提供するサービスである (Ahas and Mark 2005; Arai 2006; Gartner *et al.* 2007). LBSを成立させている地理情報技術は, 各種の位置センサ技術に基づいている. GPSセンサは, 少なくとも3つのGPS衛星からの電波を受信し, それらの到達時間差 (TDOA方式) により位置を特定している. 携帯電話では, 基地局から受信する電波強度 (RSST方式) に基づき近隣の3基地局に対する三辺測量 (trilateration) で位置を定めている. PHSでは, GSMネットワークにおいてどの基地局の電波到達圏にいるかに基づき, その識別コード (セルID方式) で位置を定めている (Mateos and Fisher 2006).

ナビゲーション

ナビゲーションにおいて要求される位置精度は, さまざまなアプリケーションによって異なる. セルID方式では, 都市地域で50m~100mの位置精度が得られ, 車両の運転手に「周辺の施設情報サービス」を提供する. 歩行者のナビゲーションになると少なくとも25mの精度が必要とされ, A-GPS (Assisted-GPS: 微弱なGPS電波を携帯電話基地局ネットワークで支援し精度を向上させた測位) で

の位置精度は、20m～25mといわれている。ILS (Indoor Location System) を用いた屋内ナビゲーションでは、より高い位置精度が要求される (Retscher 2007)。

市民参加型 GIS

市民参加型 GIS (PPGIS : Public Participation GIS) は、1996年の NCGIA (The National Center for Geographic Information and Analysis, 地理情報解析センター⁴) のワークショップにおいて、最初に使われた用語。今までは GIS と地図作成は学界を中心に行われてきたが、市民参加型 GIS では、コミュニティ計画などローカルなレベルをも巻き込んで知識を普及させることを企てる。この背景には、地理情報技術の教育や参加を通じて、社会から取り残された人口を組み込み強化する考えがある。

米国における参加型は、NCGIA の活動として、“Empowerment, Marginalization and Public Participation GIS” という事業が開始され、市民のエンパワーメント、情報アクセス、社会的ニーズへの対応、モニタリング等がテーマとして掲げられた。

日本は、阪神淡路大震災時に避難所のニーズを伝えた活動が初めてと思われる。近年は WebGIS の普及とともに災害時の被災状況把握、渋滞情報表示、各種生活情報の提供、さらには既存地図のメンテナンスなどにサイトを利用した個人の情報発信が日常的に行われることとなった。日本での市民参加型 GIS は、個々の収集した部分的で狭い範囲の空間情報を結合させて全体を示す地図を作成することが目的となる傾向があり、米国に見られるような市民の視点から地域の課題解決に GIS を使うといった事例は少ない。今後この方面に対する行政、研究機関の支援が必要である。また、誰でも参加が可能な地図であるため、信頼性確保とプライバシー保護への対応という課題も生じている。

ジオデザイン (GeoDesign)

イアン・マクハーグ (Ian McHarg) によって最初に提唱された概念であり、地理情報を獲得することによって、作業の流れを改善させるため、GIS と設計 (デザイン) を統合する。ジオデザインの技術によって、建造環境と自然環境の双方を統合した形で計画することが可能となる。

2. 空間データの流通と共有

インターオペラビリティと標準化

システム間の相互運用性をいい、手続きを意識させない透明な方法まで、さまざまなレベルがある。また、その相互接続性を保障するための手続き等が標準化される必要がある。

ISO/TC211

地理情報システム (GIS) の国際標準化を目的として、1994年4月に、ISO (国際標準化機構) の 211 番目の専門委員会として ISO/TC211 (地理情報/ジオマティクス) が設置 (議長国ノルウェー) され、地理情報に関する標準の検討を進めている。日本は、当初から投票権のある正式メンバーとして検討に参加しており、2つの作業項目についてはプロジェクトリーダーを担当した⁵。

⁴ NCGIA: <http://ncgia.ucsb.edu>

⁵ ISO/TC211: <http://www.isotc211.org/> (国土地理院 <http://www.gsi.go.jp/GSI/isotc211.html>)

地理情報標準

地理情報標準は、GISの基盤となる空間データを、異なるシステム間で相互利用する際の互換性の確保を主な目的に、データの設計、品質、記述方法、仕様の書き方等のルールを定めたもので、政府のGIS関係省庁連絡会議では政府の標準と位置づけ、率先して使用し、その普及をはかることとしている。

地理情報標準は、ISO/TC211（国際標準化機構の地理情報に関する専門委員会）で検討されている項目のうち、空間データの整備等に必要な基本項目について、ISO/TC211の国際標準（案）を基に、国土地理院と民間企業との官民共同研究により、平成11年3月に第1版、平成14年3月に第2版を作成した。地理情報標準は、基になった国際標準案が国際標準確定後、順次JIS（日本工業規格）にしている。平成17年3月にはJIS化された最新の地理情報標準と国際標準に準拠し、内容を実利用に即して絞り体系化した、より実用的な「地理情報標準プロファイル（JPGIS）」を作成した（国土地理院）。

OpenGIS

OpenGISは、GISソフトウェア間の相互運用性を確保するために1994年に設立されたOpen Geospatial Consortium, Inc. (OGC)が策定した、技術仕様の総称。技術仕様は、相互運用の点からメンバー全員の合意の元、実証されたものとして作成されており、その仕様は、ISO/TC211において、大きな影響を持つ⁶。

GML

OGCの技術仕様の一つとして開発された、位置情報を含む情報を転送、格納するためのXMLベースのマークアップ言語。GML 3.1は2007年国際標準化機構（ISO）ISO 19136として標準化された。日本で標準化が進められてきたG-XMLは、GMLと仕様の整合が図られた⁷。

インターネットとGIS

1995年ごろからインターネット上で地理情報を扱うソフトとしてWebGISと呼ばれるソフトが現れてきた。当初は、地図データをサーバ上に置くものが多く見られたが、その後2000年以降、分散された地理情報を扱うネットワーク型WebGISが現れた。2005年Google社の新しいサービスとして、Google Earth、Google Mapsという地理情報を扱うソフトが提供され、大きなインパクトを与えた。特にGoogle Earthは、地球全体の画像情報を3次元として表示し、いままで、一部の研究者しか利用できなかった、地球全体を検索し、詳細な画像を一般の利用者が見ることができるようで大きな衝撃を与えた。また、このサービスは、インターフェース仕様を公開したため、Google Earth、Google Mapsを使ったさまざまなアプリケーションが現れた。2007年頃より地上の画像を表すストリートビュー

（Street View）サービスは、目的地へ行くことや、観光などのサービスには大きな効果が期待できるものの、一般家庭の様子が撮影され、プライバシーの侵害に当たるのではないかという論争が、当サー

⁶ OGCの活動サイト <http://www.opengeospatial.org/>

⁷ 解説については、久保田：http://www.dpc.jpdec.or.jp/gxml/contents/shiryou/2007/19136gaisetsu/01_kubota.pdf

ビスが提供された世界各国で起こった。Google Earth, Google Maps 上で地理情報を扱う KML, KMZ 仕様も広く使われることとなり、国際標準となった。

法的問題

平成 19 年 5 月地理空間情報活用推進基本法（以下「基本法」と呼ぶ）が成立し、平成 20 年 4 月に基本法に基づく地理空間活用推進基本計画が策定された。基本計画では、誰もがいつでもどこでも必要な地理空間情報を使うことができ、さらに高度な分析により的確な情報を得る「地理空間情報高度活用社会」の実現を目指している。このような地理空間情報の提供、流通に関しては、その内容によって個人情報保護、知的財産の権利処理が発生する（国土交通省国土計画局 2009）。

情報公開：「行政機関の保有する情報の公開に関する法律」（平成 11 年 5 月）は、国民の知る権利を制度的に保障するとともに、行政機関などに情報の公開を義務つけるものである。「基本法」の「第 3 条 基本理念」に「地理空間情報の活用の推進は、……地理空間情報が国民生活の向上及び国民経済の健全な発展を図るための不可欠な基盤であることにかんがみ、これらの地理空間情報の電磁的方式による正確かつ適切な整備及びその提供、……等必要な体制の整備その他の施策を総合的かつ体系的に行うことを旨として行われなければならない」と示され、個人情報など不開示情報を除き、積極的な情報提供が期待される。

知的財産権：知的財産権は、知的な創作活動によって何かを作りだした人に付与される「他人に無断で利用されない」といった権利のことで、この権利を守るさまざまな法律の総称である。知的財産権の範囲を、著作権、産業財産権、その他に整理する。著作権は、国際的なルール（ベルヌ条約）に従い、著作者の権利として、著作人格権、著作権（財産権）を保護し、実演家等の権利として、実演家人格権、著作権隣接権（財産権）を保護している。産業財産権には、特許権、実用新案権、意匠権、商標権があり、それぞれの範囲の権利を保護している。その他には、種苗法の育成者権、不当競争防止法の営業秘密の権利などを保護している。地理空間情報との関係では、地図そのものではなく、地図の素材選択、配列、表現方法に創作性があるかが問われることになる。

個人情報保護：個人情報保護法では、生存する個人に関する情報であって、当該情報に含まれる氏名、生年月日その他の記述により「特定の個人が識別」することができるものをいう。地理空間情報における個人情報は、不動産登記情報や住宅地図の流通を前提に扱わなくてはならず、地番や住居番号がこれに相当すると考えられる。しかし、個人情報に該当しても直ちに利用・提供が不可能になるわけではなく、保有個人情報の利用目的外の利用・提供の判断による。この判断は、本人同意の原則や公益性の判断、本人の不利益の判断等がある。

3. 組織における GIS の導入と運用

企画（目的、業務分析）

GIS の導入計画で最も重要なことは、GIS の導入目的を明確にすること（ニーズの明確化）である。そのためには、業務分析を行い、GIS に求める機能を列挙する必要がある。GIS 機能には、基本機能と応用機能がある。例えば、店舗を赤色で表示するためには、建物用途の条件検索と検索結果の彩色表示

の2つの機能が必要である。さらに、GISを導入することで、どのような効果が期待されるかを検討する。導入の効果については、作業効率の向上、処理時間の短縮、サービスの質の向上などが挙げられる。導入効果は、人件費の削減などのように数字で表現すると理解されやすい。

設計（概念設計，詳細設計，費用対効果分析）

業務に導入するGISを構築するには、まず概念設計が行われる。「概念設計」とは、業務の構造や関係のあらましが分かるように設計図を作成し、目標となる機能を明確にする（要求仕様を作成する）ことである。次に、概念設計を実現するため実体設計を実施する。「実体設計」では、GISで取り扱うデータ項目などの実体に即した設計が行われる。概念設計では幹に近い部分の設計であるのに対し、詳細設計に至るにつれて、枝葉に展開されていくことになる。「詳細設計」では、GISに必要な画面や帳票などからデータ項目が一つずつ定義される。この段階は、「論理設計」ともよばれる。最後に、「物理設計」では、詳細設計が実装され、パフォーマンスやプログラムの処理観点から詳細設計の見直しが行われる。設計作業が終了すると、GIS構築に必要な費用を見積もることが可能となる。費用の中には、さらにGISを推進するプロジェクトチームの運用費用やGISの保守費用も含まれる。「費用対効果分析」では、GISの導入に伴う費用と効果を比較して、GISの導入を組織の経営的側面から評価する。

導入

このようにして構築されたGISは、GISを運用する現場に設置される。マニュアルは、管理者向けに技術指向のマニュアル、ユーザ向けにGISの操作法を中心に解説したマニュアルを用意する。GISがネットワーク型で、複数部門のユーザが存在する場合には、GISの推進組織が必要になる。推進組織では、ユーザ登録削除の手続き、データ利用制限、データの責任部門、運用時間帯、障害発生時の連絡先、問題点の提起と解決方法などの運用規則を策定しておくことが望ましい。

運用と管理（人材育成，実績評価）

このようにして構築されたGISは、業務に組み込まれ運用される。GISの運用上必要な人材は、管理レベルとユーザレベルに分けられる。管理レベルは、システム管理者、データベース管理者、GISサポート技術者である。ユーザレベルでは、GISを使いこなすスキルを身につけさせるための教育を実施する。

評価

GISを運用して1年が過ぎたならば、導入効果を把握したり、問題点を抽出するため、GISの実績評価を行う必要がある。システム運用に関する評価では、GISが、①計画どおりに運用されているか、②業務に要求どおり機能したか、③十分な応答性があり使いやすいかが挙げられる。さらに、④データベースは要求した項目を提供しているか、⑤マニュアルは使いやすいか、⑥サポート体制は機能しているかなども評価される。そのほかには、推進体制、運用規則、教育普及活動、費用などの諸側面も評価の対象になる。

4. GISと教育・人材育成

学校教育

初等教育：主として小学校での社会（含む郷土学習）と総合的学習の時間において扱われることの多い環境教育や遠足・修学旅行等の準備でGISが用いられることが多い。

中等教育：中学校においては、社会（含む郷土学習）、理科、技術家庭、総合的学習の時間において扱うことが想定される。総合的学習の時間や特別活動においては、地域の調べ学習や環境問題に加え、地域防災に関する内容での活用事例がみられる。中学校では、2008年3月に告示（2012年実施予定）された次期学習指導要領の解説編で、GISの活用についての記述がなされた。

高校においては、地理歴史、公民、理科、家庭、情報、総合的な学習の時間での利用が考えられる。特に総合的な学習の時間では、より広域を対象とした調査、環境問題や防災学習においてGISによる成果や空間データの使用が想定される。2009年3月に告示（2013年実施予定）された次期学習指導要領では、「地理A」と「地理B」におけるGISの活用が記載され、授業で取り上げることが決まった。

高等教育：大学・大学院においては、地理学系、情報系、工学系、農学系、生物・生態系、環境系、空間経済系の学部学科においてGISの基本と応用に関する講義と実習が開設される。一部の教育機関においては資格制度と連動したカリキュラム編成を行っている。

生涯教育

GISは生涯教育の場においても徐々に扱われつつある。内容は民間によるベンダーフォーラム、博物館や図書館をはじめとする生涯教育施設での利用と講習、NPO支援が主たるものである。大学においても‘GIS Day’に代表される講習、教育免許更新講習、自治体や生涯教育施設とのジョイントによる講習会等が開催されている。

国・地方自治体による人材育成

統合型GISやWebGISの普及に伴い、ベンダーによる自治体職員向け講習（統合型GISの運用を想定）の段階から、自治体職員による市民を対象とするGIS教育が行われている。

企業教育（企業トレーニング）

GISベンダー、航測会社、地図調製系の会社、建設コンサル系の企業に特化している。内容は、社員とクライアントを対象としたGISの操作研修と事例学習がその中心となることが多い。

研究機関

国、民間、公益法人等の研究機関に分類できる。国の研究機関としては、国土交通省、農水省、環境省、総務省、防衛省等において職員向けの教育が行われている。特に国土交通大学校においては独自のカリキュラムを編成し、GISの基本と測量技術教育を実施している。

学協会

おもに（社）地理情報システム学会をはじめ測量系や地理学・地図系の学会，（社）日本測量協会や（財）日本地図センターや（財）地図情報センター等の公益法人は GIS 関係者およびその教育に関心を寄せる者の研究集会と情報交換の場を担っている。その一部は，資格制度のための継続教育（CPD: Continuing Professional Development）の場にもなっている。公益法人は測量技術や空間データに関するイベントを定期的で開催し，産学官の交流の場を提供している。

資格認定

地理情報システムおよび地理情報科学の知識と技能向上を目的とし，（社）地理情報システム学会は 2006 年度から GIS 上級技術者を認定している。この資格制度は米国の GISCI（GIS Certification Institute）と共通の考え方にに基づき，教育と専門分野への貢献およびそれらの実務経験をポイント制にして運用している。また，（社）日本地理学会は GIS 教育を実施する実績証明団体を独自に認定し，GIS 学術士（学士レベル）と GIS 専門学術士（修士レベル）の資格認定を行っている。

5. GIS と未来社会

高度情報通信ネットワーク

2000 年 9 月，日本政府はすべての国民が情報通信技術の恩恵を最大限に享受できる地域創発型社会の実現に向けて e-Japan 構想の施策を示した。具体的には，高速で大容量のネットワーク網を整備し，これを使った電子商取引や電子政府の実現そして人材育成を重点政策とした。この時に目安となっていた通信速度は 30~100Mbps であった。日本政府は，こうしたネットワーク網に多くの国民が常時接続し，しかも低料金で利用できる社会に向けて，以後さまざまなプログラムを実施し，法律も整備した。今日，医療，食，生活，金融，就労，行政サービスといったさまざまな分野に情報通信技術は活用されている。国土交通省や総務省をはじめ，国や地方で整備した空間データや各種統計データもこうしたネットワーク環境の下で流通し，広くその活用が進んでいる。

ユビキタス情報社会

ユビキタス（ubiquitous）とは「神はあまねく存在する」というラテン語に由来し，今日ではコンピュータネットワークが社会のいたるところで自立的に作動して，人々の生活を支援し，利用できる環境を指す言葉として使用される。地理情報科学に関連する技術やサービスとしては，地域の情報提供サービス，カーナビゲーションと ITS（Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム）の融合，歩行者ナビゲーションなどがあり，すでに実現されている。こうした技術は，広く地域や人や産業へのサービスと支援，そしてよりよい社会の実現を目指している。

高度空間情報社会

2007 年 5 月，「地理空間情報活用推進基本法」は，いつでもどこでも誰でも位置や場所をリアルタイムに把握できる社会の構築を共通理念として成立した。その実現には，地理空間情報の整備と充実，そして衛星測位技術を安定的かつ持続的に利用できる環境が必要である。前者については「基盤地図情

報」や「電子国土」の整備と運用，後者についてはGPSや今後打ち上げが予定されている準天頂衛星システムによる支援が想定されている．こうした空間データや技術システムの高度な活用は，経済社会のあらゆるサービスに浸透し，国民が安心して豊かな生活を支える基盤となる．

参考文献

- Ahas, R. and Mark, U. 2005. Location based services: New challenges for planning and public administration?. *Futures*, 37: 547-561.
- Anson, R. and Ormeling, F. J. 1994. Basic cartography, volume 1, 2nd ed. International Cartographic Association.
- Anson, R and Ormeling, F. J. 1996. Basic cartography. volume 3. International Cartographic Association.
- Anson, R. and Ormeling, F. J. 2002. Basic cartography, volume 2, 2nd ed. International Cartographic Association.
- Arai, Y. 2006. Geolocation technology and local information: Case in Japan. *NETCOM*, 20(1-2): 9-25.
- Balchin, W.G.V. and Coleman, A. M. 1965. Graphicacy should be the fourth ace in the pack. *Times Educational Supplement* 5 November page 947.
- Bennet, B. 2008. Spatial Reasoning. *In: Kemp, K. K. ed. Encyclopedia of Geographic Information Science*. CA: SAGE, 426-432.
- Bertin, J. 1981. *Graphics and graphic information processing*. Walter de Gruyter.
- Bertin, J. 1999. *Semiologie graphique*. Edition EHESS.
- The British Cartographic Society eds. 2008. *Cartography: an introduction*. The British Cartographic Society.
- Chrisman, N. R. 1998. Rethinking levels of measurement for cartography. *Cartography and Geographic Information Science* 25(4), 231-242.
- Committee on the Support for the thinking spatially 2006. *Learning to think spatially: GIS as a support system in the K-12 curriculum*, The National Academy Press, 12-13.
- Couclelis, H. 2009. The abduction in Geographic Information Science: transporting spatial reasoning to the realm of purpose and design. *Lecture Notes in Computer Science* 5756: 342-356.
- Cressie, N. A. C. 1993. *Statistics for spatial data*. revised ed. Wiley.
- Demers, M. N. 2000. *Fundamentals of Geographic Information Systems*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Dykes, J., MacEachren, A. M. and Kraak, M.-J. 2005. *Exploring geovisualization*. Elsevier.
- Goodchild, M. F. 2004. Meaning of Spatial Thinking. Spatial Analysis and GIS for Undergraduate Course Enhancement in the Social Sciences August 2-6, 2004: San Diego, CA, http://www.csiss.org/SPACE/workshops/2004/SAG/files/goodchild_spatial.pdf
- Gatrell, A. C. 1991. Concepts of space and geographical data. *In: Maguire, D. J., Goodchild, M. F., and Rhind, D. W., eds. Geographic Information Systems*. 1, Essex: Longman. 119-134.
- Gartner, G. Cartwright, W. and Peterson M. eds. 2007. *Location Based Services and TeleCartography*. Springer.
- Golledge, R.G. and Stimson, R.J. 1997. *Spatial Behavior: A geographic perspective*. Guilford: New York.

- Golledge, R.G., Marsh, M. and Bettersby, S. 2008. A conceptual framework for facilitating geospatial thinking. *Annals of the Association of American Geographers* 98: 285-308.
- Imhof, E. 1982. *Cartographic relief presentation*. Walter de Gruyter.
- Jones, C. 1997. *Geographical information systems and computer cartography*. Longman.
- Kraak, M.-J. and Ormeling F. 2010. *Cartography: Visualization of geospatial data*. Prentice Hall.
- Krygier, J. and Wood, D. 2005. *Making MAPS*. The Guilford Press.
- Longley, P. and Batty, M. 1997. *Spatial analysis: modelling in a GIS environment*. Wiley.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. and Rhind, D. W. 2005. *Geographic Information Systems and Science*. 2nd ed. Wiley & Sons.
- MacEachren, A. M. 1995. *How maps work*. The Guilford Press.
- MacEachren, A. M. and Taylor, D. R. F. 1994. *Visualization in modern cartography*. Pergamon
- Mackness, W. A., Ruas, A. and Sarjakoski L. T. 2007. *Generalisation of geographic information*. Elsevier.
- Mateos, P. and Fisher, P. F. 2006. Spatiotemporal accuracy in mobile phone location: Assessing the new cellular geography. In: J. Drummond, R. Billen, E. Joao and D. Forrest, eds. *Dynamic and Mobile GIS*. CRC Press, 189-212.
- Moellering, H. eds. 2005. *World spatial metadata standards*. Elsevier.
- Monkhouse, F. J. and Wilkinson, H. R. 1971. *Maps and diagrams*. Methuen.
- NRC (National Research Council) 2006. *Learning to think spatially*. The National Academies Press: Washington D.C.
- Openshaw, S. 1991. Developing appropriate spatial analysis methods for GIS. In: Maguire, D. J., Goodchild, M. F., and Rhind, D. W., eds. *Geographic Information Systems*. 1, Essex: Longman, 389-402.
- O'Sullivan, D. and Unwin, D. 2002. *Geographic information analysis*. Wiley.
- Palsky, G. 1996. *Des chiffres et des cartes*. CTHS.
- Peterson, M. P. eds. 2003. *Maps and the Internet*. Elsevier.
- Peterson G. N. 2009. *GIS cartography*. CRC Press.
- Retscher, G. 2007. Altitude determination of a pedestrian in a multi-storey building. In: G. Gartner, W. Cartright and M.P. Peterson, eds. *Location Based Services and TeleCartography*. Springer, 119-130.
- Rimbert, S. 1990. *Carto-graphies*. Hermes.
- Robinson, A. H. 1982. *Early thematic mapping in the history of cartography*. The University of Chicago Press.
- Rogerson, P. and Yamada, I. 2008. *Statistical Detection and Surveillance of Geographic Clusters*. CRC Pr I Llc.
- Sinton, D. 2009. A College Class in Spatial Thinking. Annual Conference of the Association of American Geographers, March 2009. Abstract with Program. Las Vegas, Nevada.
<http://teachspatial.org/defining-spatial-thinking>

- Slocum, T. A., McMaster, R. B., Kessler, F. C. and Howard, H.H. 2005. Thematic cartography and geographic visualization. Pearson Prentice Hall.
- Stanley, S.S. 1946. On the theory of scales of measurement. Science 103 (2684): 677-680.
- Wallis, H. M., and Robinson, A. H. eds. 1987. Cartographic innovation. Map Collector Publication.
- Wood, C. H., and Keller, C. P. 1996. *Cartographic design : theoretical and practical perspectives*. Wiley.
- Worboys, M. and Duckham, M. 2004. *GIS A Computing Perspective Second Edition*. CRC Press.
- 秋山実 1996. 『地理情報の処理』山海堂.
- 安仁屋政武 1987. 『主題図作成の基礎』地人書房.
- 有川正俊・太田守重監修 2007. 『GISのためのモデリング入門』ソフトバンク・クリエイティブ.
- 伊理正夫・古林 隆 1983. 『ネットワーク理論』日科技連.
- 浮田典良・森三紀 2004. 『図表表現ガイドブック』ナカニシヤ出版.
- 岡部篤行・高橋昭子・白石陽・佐藤英人・山下亜紀郎・大橋智美 2006. 『空間情報カタログシステムの構築—東京大学空間情報科学研究センターの事例』財団法人統計情報研究開発センター.
- 奥野隆史 1977. 『計量地理学の基礎』大明堂.
- 川崎昭如・吉田聡 2006. 『図解！ArcGIS〈Part2〉GIS実践に向けてのステップアップ』古今書院.
- 国土交通省国土計画局 2009. 地理空間情報の提供・流通促進と法制度.http://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/gis/gis/seminar/h21_seminar/kyouzai.pdf
- 国土地理院. 地理情報基準関連. <http://www.gsi.go.jp/GIS/stdindex.html>
- 国土地理院. 地理情報標準第2版 (JSGI2.0) 付録 地理情報標準専門用語集 Ver.2. http://www.gsi.go.jp/GIS/stdind/jsGI_yogo_keyword.html
- 後藤真太郎・谷謙二・酒井聡一・加藤一郎 2007. 『MANDARAとEXCELによる市民のためのGIS講座—フリーソフトでここまで地図化できる』古今書院.
- 佐土原聡・川崎昭如・吉田聡・古屋貴司 2005. 『図解！ArcGIS—身近な事例で学ぼう』古今書院.
- 視覚デザイン研究所編 1981. 『図表・地図ハンドブック』視覚デザイン研究所.
- 柴崎亮介監修, 東京大学空間情報科学研究センター寄附研究部門「空間情報社会研究イニシアティブ」編著 2009. 『地理空間情報活用推進基本法入門』日本加除出版.
- 高橋重雄・三条和博・井上孝・高橋朋一 2005. 『事例で学ぶGISと地域分析—ArcGISを用いて』古今書院.
- 田中邦一・青島正和・山本哲司・磯部邦昭 2007. 『衛星画像解析の基礎』古今書院.
- 張 長平 2001. 『地理情報システムを用いた空間データ分析』古今書院.
- 地理情報システム学会編 2004. 『地理情報科学事典』朝倉書店.
- 長澤良太・原慶太郎・金子正美編 2007. 『自然環境解析のためのリモートセンシング・GIS ハンドブック』古今書院.
- 中村和郎・寄藤昂・村山祐司編 1998. 『地理情報システムを学ぶ』古今書院.
- 日本国際地図学会編 1998. 『地図学用語辞典』技法堂出版.
- 日本情報処理開発協会 1995. 『データベーススペシャリストテキスト』中央情報教育研究所.
- 日本測量協会創立30周年記念「現代測量学」出版委員会編 1981. 『現代測量学』日本測量協会.
- 日本リモートセンシング研究会編 2001. 『改訂版 図解リモートセンシング』日本測量協会.

- 野上道男・貞広幸雄・西川治・岡部篤行 2001.『地理情報科学入門』東京大学出版会.
- 長谷川均 1998.『リモートセンシングデータ解析の基礎』古今書院.
- 古田均・吉川眞・田中成典・北川悦司編著 2005.『基礎からわかるGIS』森北出版.
- ジャック・ベルタン著, 森田喬訳 1982.『図の記号学』平凡社.
- 町田聡 2004.『GIS・地理情報システム—入門&マスター』山海堂.
- 村井俊治 2002.『改訂版 空間情報工学』社団法人日本測量協会.
- 村井俊治監修 2008.『実務者向け地理空間情報の流通と利用』日本測量協会.
- 村山祐司編 2004.『地理情報システム』朝倉書店.
- アーサー・H・ロビンソン著, 永井信夫訳 1984.『地図学の基礎』帝国書院.

この『地理情報科学の知識体系 2011年3月版』は, 科学研究費補助金 基盤研究(A)「地理情報科学標準カリキュラムに基づく地理空間的思考の教育方法・教材開発研究」(研究代表者: 浅見泰司) のプロジェクトで制作されたものです.

地理情報科学の知識体系 2012年=月版

発行 2011年3月

編者 貞広幸雄・太田守重・佐藤英人・奥貫圭一・森田 喬・高阪宏行

URL <http://curricula.csis.u-tokyo.ac.jp/>