

リモートセンシングと地理情報システム(GIS)の統合的利用の現状

須崎 純一* 原 慶太郎**

ABSTRACT

Remote sensing technique using Earth observation satellites provides atmospheric, oceanic and terrain data, which are now inevitable in Earth sciences. On the other hand, Geographical Information Systems (GIS) supports to efficiently handle various spatial data in planning and management. For this decade, combining of remote sensing with GIS has been focused on because it has been expected to enable more effective spatial analysis for not only scientific but commercial purposes. In this article, authors summarize integration of remote sensing and GIS.

1. はじめに

大気や陸域、水域などの広域の自然環境を定期的にもモニタリングする場合、衛星を活用するリモートセンシングが非常に有効であり、リモートセンシングは環境情報を効果的に提供してくれるデータソースとしての役割が高まりつつある。一方、地理情報を統合的に処理するシステムである地理情報システム (Geographical Information Systems : GIS) は、行政区界ごとの統計データや現地調査結果などのベクターデータを中心に扱ってきたが、近年ラスターデータであるリモートセンシングデータも取り込み、さらにリモートセンシングソフトに搭載される画像処理機能もそろえた統合型GISが提唱され、統合型GISを活用した研究も盛んに行われている。本論文では、リモートセンシングとGISの統合的活用に関する研究の現状について報告する。

2. リモートセンシング

リモートセンシングは対象物に触れることなく遠隔地から対象物の特徴量を検知する技術の総称であり、特に1972年のLandsat衛星の打ち上げに端を発する衛星リモートセンシングは世界中の様々な分野の研究者が注目している。一般的にリモートセンシングと表現されると衛星リモートセンシングを指す場合がほとんどであり、本論文でもこの意味においてリモートセンシングという用語を使用する。リモートセンシングの特長を列挙すると以下のように整理される。

- ・ 広域性
- ・ 同時性
- ・ 同質性
- ・ 高頻度性

リモートセンシングの歴史は短いにもかかわらず、これまでに地球環境の観測を目的とした様々

*東京情報大学総合情報学部環境情報学科講師

**東京情報大学総合情報学部環境情報学科教授

な衛星が打ち上げられてきた。センサの時間分解能（撮影頻度）と空間分解能（画像の解像度）はトレードオフの関係にあり、現在では観測目的と対象に応じた様々なセンサが設計されている。種々の代表的なセンサに関して以下概説する。

主に可視・赤外領域の電磁波を計測する光学センサの中で、空間分解能を優先したセンサには、米国のLandsat衛星に搭載されたMSS（Multispectral Scanner System）やTM（Thematic Mapper）、フランスのSPOT（Système Probatoire d'Observation de la Terre）衛星のHRV（High Resolution Visible imaging system）などが挙げられる。一方、時間分解能を重視したセンサとしては、米国海洋大気局（National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA）が運用しているNOAA衛星に搭載されたAVHRR（Advanced Very High Resolution Radiometer）が代表的である。AVHRRセンサの直下視の空間分解能は1.1kmと低いが、1日経つと地球上の緯度が同じで経度が少しずれた位置の上空に移動し（太陽同期準回帰軌道と呼ばれる）、毎日しかも地球上ではほぼ定時にデータを取得可能となる。また、現在は1999年12月に打ち上げられたEOS AM-1衛星（通称Terra衛星）に搭載されたMODIS（Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer）は毎日データを取得可能という点ではAVHRRと同じだが、直下視250m、500m、1kmと3種類の空間分解能を有し、特に植生の活性度を調べるのに有効な波長帯域では250mの分解能で2バンド割り当てて計測するため、AVHRRより詳細なデータが入手されると大きな期待が寄せられている。

一方、マイクロ波センサの利用も進んでいる。光学センサが雲やエアロゾルなどの大気の影響を受けるのに対し、マイクロ波センサは天候に関係なくデータを収集可能である。降雨の推定のためにAVHRRセンサの熱赤外領域のチャンネル4・5のデータが活用される場合があるが、よく発達して雲頂高度が高い積乱雲は降雨強度も大きいという経験的關係を利用しているのであり、直接降雨を測定しているわけではない。現在のところ、日米共同のプロジェクトとして打ち上げられたTRMM（Tropical Rainfall Measuring Mission）衛星のPR（Precipitation Radar）センサやTMI（TRMM Microwave Imager）センサデータが熱帯降雨の研究に利用されている。また、土壌水分の推定などには、センサ自らがレーダを放射するアクティブマイクロ波センサが使用され、その代表例としては日本が打ち上げたJERS-1（Japanese Earth Resources Satellite）やヨーロッパのERS-1（Earth Resources Satellite）、カナダのRADARSATなどに搭載されている合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar: SAR）が挙げられる。

3. 地理情報システム(GIS)

GISは、一般的には複数の地理情報を統合して処理・解析するシステムそのものを指し、1) 計算機のハードウェア、2) 地理情報をデータベース化したり、種々の検索・解析処理を行うソフトウェア、3) 地図をデジタル化するデジタイザなどのデータの入出力機器、を中心に構成される¹⁾。複数の地理情報はデータベース上に蓄積され必要に応じて読み出され、統計的な推定モデルなどのモデル群も取り込まれ、処理・解析を通して、現状分析や将来予測などの結果が表示される。GISは、各々の地理情報単独では有意な情報が少なくても、空間的な位置を介して相互を有機的に結びつけることで高い付加価値を生み出すシステムとも言える。

地理情報が他の情報と一線を画す特徴は、それらが単独かつ相互に空間的な位置と関連付けられていることである。したがって、実世界の地理情報を抽象化して記録する際にも位置の情報を明示的に扱うことが重要となる。一般にGISの分野では、位置およびそのつながりとしての形状を表す

情報を幾何（図形）情報、その位置がどのような内容、状態であるかを表す情報を属性情報として区別し、これらの組合せで地理情報を表現する[1]

図1にGISの進化してきた様子が模式化されている[2]。GISの初期は、属性データを処理するデータベースマネジメントシステム（Data Base Management System: DBMS）と、図形データの処理とが完全に分離していた（図1a）。その後、データのインポート・エクスポートが可能となり（図1b）、1つのユーザーインターフェースでデータ処理が可能となるが（図1c）、DBMSの機能と図形作成処理機能はやはり別個の機能のまま存在していた。最終的に、図形データも属性データも処理可能な機能を有するシステムが登場した（図1d）。

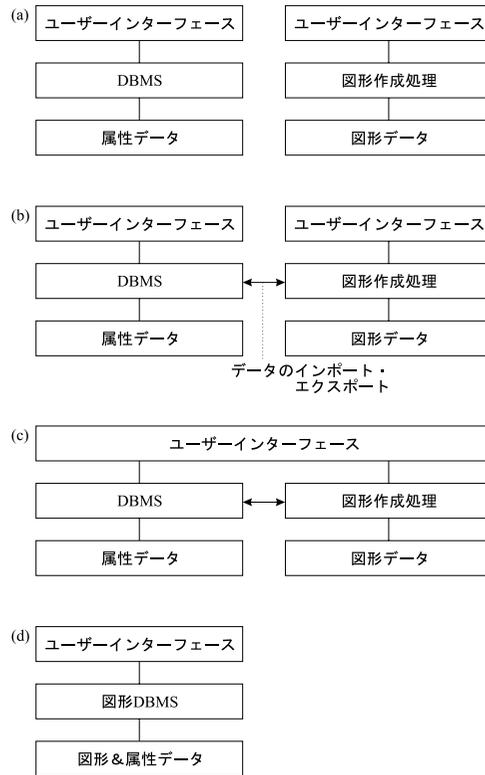


図1：GISの進化[2]

((a)はタンドム状態の2つのソフトウェア、(b)は(a)にデータのインポート・エクスポート機能が追加、(c)は共通のインターフェースを有する2つのソフトウェア、(d)は複合型の処理が可能な1つのソフトウェア)

GISの利点に、空間解析および複数の地理情報の効果的な可視化が挙げられる。現在普及が進むカーナビゲーションシステムは、GPS（Global Positioning System）衛星から取得された現在の位置を地図の上に表示し、運転者に目的地への最適な進路方向を教えてくれるが、代表的なGISのアプリケーションの一つと言える。次世代の交通システムであるITS（Intelligent Transport Systems）においても、カーナビのように手元に全地理情報を保有するのではなく、データセンターと双方向通信を行い交通渋滞情報などのリアルタイム情報を表示するVICS（Vehicle

Information and Communication System) は、自動操舵システムを支えるなど重要な役割を果たすと考えられている。

また、解析のやり直しがGIS上では迅速に実現できる。GISが確立する以前、例えば都市計画においては、用途指定地図などの複数の主題図を人間が比較しながら1枚の紙地図の上に計画案をプロットしていた。その場合、解析の途中段階でのパラメータを修正する場合、それ以降の手続きもすべて人間が手作業でやり直さなくてはならず、結果的に多数の分析結果を比較・検討することは不可能であった。それがGISによる作業の効率化の結果、より透明性や満足度が高い計画策定が可能となった。

その他にもエリアマーケティングにGISが積極的に導入されるなど、地理情報を扱う様々な分野でGISに類する研究開発は盛んに行われており、GISの必要性は今後ますます高まるものと予想される。

4. リモートセンシングデータとGISの統合的利用分野

第2節で述べたように、リモートセンシングによって、比較的安価な広域データが従来の現地調査よりも短時間で入手可能となった。そのため、GISを用いた解析でも他の統計データと同様、重要な入力データとして活用され始めており、リモートセンシングデータのようなラスタデータも取り扱えるようなGISは統合型GISと呼ばれ[3][4]、リモートセンシングデータをGIS上で使用する研究では「リモートセンシングとGISの統合(Integration of remote sensing and (with) GIS)」というタイトルが使われることが多い。Ehlersらは、リモートセンシングとGISの統合の基礎的な概念を示している[2]。初期の頃は両者の機能はデータのインポート・エクスポート以外には特に接点がなく、GISのインターフェースではリモートセンシング画像用の画像処理機能は使用できないという状況であった(図2a)。次の段階で、同一のインターフェースでGISの機能もリモートセンシング画像用の機能も扱えるようになったが、それはインターフェース上はあたかも統合しているように見えるだけで、背後ではやはり別個の機能として存在していた(図2b)。そして、属性データやベクター・ラスタデータなどのデータの種類に関係なく処理を実現する完全な統合型のGISに至った(図2c)。

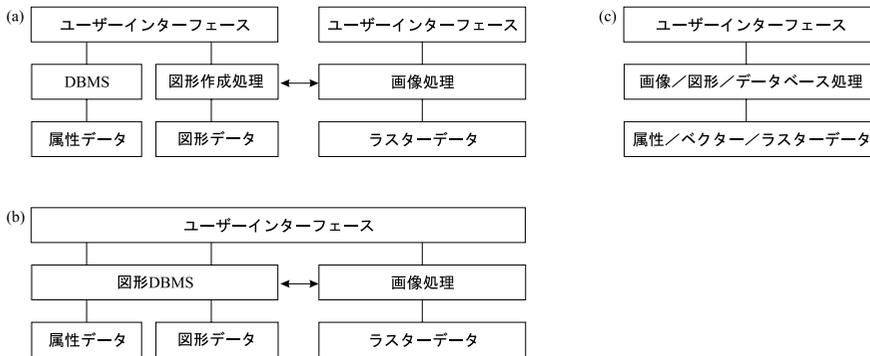


図2：画像解析とGISとの統合〔2〕

((a)はデータフォーマット交換の部分のみでつながった2つのソフトウェア、(b)は共通のインターフェースを有し同時表示可能な2つのソフトウェア、(c)は複合型の処理が可能な1つのソフトウェア；画像処理とGISとの完全な統合)

リモートセンシングとGISの統合的利用の研究は、地図作成〔5〕、農業〔6〕〔7〕、都市計画〔8〕、防災〔9〕、生態学〔10〕〔11〕など地理情報を取り扱う広範な分野にまたがる。ここで地図更新と生態学の分野の研究を取り上げて報告する。

GIS上での単なる複数の地理情報の重ね合わせであれば比較的簡単に実現できるが、特徴量の空間分布や空間的な属性の解析を行う場合、複雑な機能が要求され、非常に高価なシステムとなってしまう。Chagarlamudiらは、PCベースで、リモートセンシングデータを処理するDigital Image Analysis System (DIAS)とGISを統合した安価なシステムを構築したと報告している。DIASは幾何補正や、スペクトルや空間的な特徴量の強調、マルチスペクトルデータの自動分類などの、リモートセンシングデータ解析で頻繁に使用される画像処理機能を搭載している。そして4つの地図作成の応用例（既存の地図の更新、ステレオ画像からのデジタル標高モデル (Digital Elevation Model) の作成、穀物状態の評価、植生分布図）を紹介している〔5〕。

Veitechらは保全すべきヒースランドの分布把握のために、リモートセンシングデータとGISを活用している。南イギリスのDorset地方では、この2世紀にわたる土地利用変化により、ヒースランドの断片化が進んだ。従来の環境保全の戦略は対象地域内の多様性を議論するだけだったものの、Gilpinらがメタ個体群理論を提唱した後は、ハビタットとピオトープ間のネットワークの確立と運用が着目されるようになった。そのため、ヒースランドの総面積を増加させるだけでなく、ヒースランドの孤立や断片化を減少するためにVeitechらは研究に取り組んだ。従来は、現地調査結果や主題図というアナログデータが総合的に解析されてきたが、彼らはリモートセンシングデータもデータの一つとして取り込み、GIS上で解析を行った。リモートセンシングデータとしてLandsat TMを使用して現在の土地被覆を推定する一方、1811、1896、1962年の3年代の土壌分布図を使用しヒースランドのピオトープ分布を把握し、土地利用の変化を定量的に解析した〔10〕。

生態系の保全を議論するためには、現状の動植物の分布とそれらの生育環境との関係の把握がまず求められる。現地調査によるデータ収集は行われても、数年に一度程度であり現状を把握するには時間差が大きすぎる。そこで即時性にすぐれたリモートセンシングデータをデータソースとして

GIS上に取り組む研究がなされている。動物は一定の範囲を活動するため、エコトープと呼ばれる自然環境の最小単位に着目した、動物の生育分布の把握には限界が生じる。そこで複数のエコトープから構成されるランドスケープが生育分布把握、つまり生態系の把握、環境影響評価に対しても適していると報告があり、リモートセンシング画像から空間的なつながりを考慮してランドスケープを抽出し、その他の地理情報と統合した解析手法が研究されている。

一方、ランドスケープの分類に関しては、地形的要因と土地被覆をその分類基準とするが、ここでもGISとリモートセンシングデータの利用によって客観的な分類が可能になる。Takahashiらは、DEMとLandsat TMデータから得られた土地被覆などのデータを用いることによって、ランドスケープ分類の標準化を検討し、GISとリモートセンシングの統合的利用の有効性を明らかにした[12]。

上述のように、例えば環境モニタリングにおいてもより詳細にモニタリングする場合、周期的に時系列でデータが必要とされ、リモートセンシングデータが必要不可欠となっている。データソースとしてのリモートセンシングは今後もその価値が高まるものと考えられる。

5. リモートセンシングとGISの統合における問題点

本稿では「リモートセンシングとGISの統合」に関する研究の現状を検討してきたが、ここではリモートセンシングデータと地理情報の統合の問題点を整理したい。筆者らは下記の3点が重要であると考えている。

1. リモートセンシングデータからの特定対象物の効果的な抽出
2. データの縮尺や空間分解能の違い
3. データの計測、作成時期の違い

1はリモートセンシングデータの利用につきまとう問題点でもある。例えば、光学センサの赤バンドや近赤外バンドの分光特性は植生の活性状態に密接な関係がある。リモートセンシングデータから特定の対象物を抽出する場合に土地被覆分類が行われることが多いが、単純に赤バンドや近赤外バンドを利用した土地被覆分類では、植生以外の人工構造物などが含まれるような誤分類も生じる。そのような誤分類を避けるために、事前に大まかな土地被覆分類を行い、植生に関係のない土地被覆を除外するようなマスク処理を行う場合もある。

また、例えば森林の樹冠と影のパターンや、畑の畝のパターンなど、画一的な大きさとは限らなくても繰り返し現れるパターンに対する人間の認識能力は高い。土地被覆に固有なパターンはテクスチャ(texture)と呼ばれているが、テクスチャに基づく領域分割をコンピュータに行わせるのは現段階では非常に難しい。従来、テクスチャを用いた土地被覆を判別する研究がなされてきたが、テクスチャを表現するには、1) 生起確率行列から計算される統計的指標、2) フラクタル次元のような非統計的指標、3) ニューラルネットワークのような人工知能技術などに基づく。しかしながら、テクスチャ適用のための最適な空間スケールは土地被覆によって変化し、上述の手法を一様に適用できるわけではない[13][14][15][16][17]。したがって、現時点では全ての土地被覆に効果的なテクスチャ抽出手法は存在せず、各土地被覆ごとにテクスチャ抽出用のモデルを構築する手法が効果的と考えられる。

現段階でのリモートセンシングデータを用いた土地被覆分類は、自動的に行われると精度が不十分であり、目視判読で総合的に行われると非常に時間がかかる上に主観的な結果に陥りやすい。テクスチャを活用する方法にせよ、特定の土地被覆ならびにその特徴量のパターンが与えられると、

高い精度でリモートセンシングデータから情報を抽出できるような仕組みの確立が望まれている。このような仕組みを利用することで、リモートセンシングデータの広域性や周期性、等質性といった特長がより生かされる。例えば、森林なら森林だけの分布をリモートセンシングデータから特定し、標高データや動植物分布データなどの地理情報と重ねあわせて解析する場合に、周期的にリモートセンシングデータを活用し、動植物のダイナミックな行動・成長モデルに入力することで、時間的な変化を追った生態学的な解析も一層効果的になると考えられる。

2・3に関しては、リモートセンシングデータと地理情報の統合においてだけでなく、異なるリモートセンシングデータ同士の統合、あるいは異なる地理情報同士の統合においても不可避な問題点である。まず、2について用語の定義から行くと、縮尺とは地図や写真上の長さとして地上での実際の長さとの比である。一方、空間分解能とは、リモートセンシングデータ(画像)でよく用いられる表現であり、 $\sqrt{\text{面積}/\text{該当するピクセル数}}$ で表される。リモートセンシングデータと地理情報を統合して解析する場合には、ほとんど全ての場合においてこの縮尺や空間分解能が異なっていると考えられる。単純な方法としては、最も粗い空間分解能または小縮尺に合わせてデータを集計する方法がある。また、逆に、細かい空間分解能または大縮尺レベルを基準にして、その基準より空間スケールの粗いデータを内挿する方法も利用される。例えば環境保全の分野では、断片化した森林を抽出するのに最低限必要な空間スケールの議論、整理が必要であり、その要請に合わせて解析上の空間スケールを決定しなくてはならない。つまり、どの空間スケールで解析を行っていくのか、内挿手法を利用するにしてもどの程度の信頼性を有するのか、正しく確認、認識した上で解析していく必要がある。

3については、地理情報の更新頻度は1年や数年単位であることが多く、航空写真や高空間分解能画像などのリモートセンシングデータが地理情報の更新に利用される場合がある。例えば、現地調査に基づく建物情報と現地調査以降に撮影された航空写真を比較する場合、取り壊されて写真上には存在しなかったり、逆に新たに建造されて写真上で確認されたりする建物が発生する。地理情報の更新においては最新取得データを信頼して作業を進められるものの、リモートセンシングデータと地理情報を統合した解析においては、データ取得日の違いを埋める推定の仕組みを、地物などの解析対象の特性を考慮して決定する必要がある。地理情報における時間の重要性や時間を考慮したモデルの必要性は以前から指摘されており[18]、最近では、概念データモデルを構築し、ダイナミックに変化する事象のふるまいを複数の時空間データから最尤推定する枠組みが提案されているが[19]、実利用での検証が待たれている。

6. 結論

本論文では、リモートセンシングとGISの概説をそれぞれ行った後、両者の統合的利用の現状と問題点を報告した。GISを利用する者にとって、ラスタデータやベクターデータのような違いを解析作業上強く認識する必要はないはずである。またリモートセンシングデータの処理もGIS上での処理も空間解析という観点からは同一であり、完全に統合的な処理が可能となるのが本来望ましい姿である。リモートセンシングやGISも包含される学際的な空間情報学(Geoinformatics)の社会的な貢献、影響力は今後も増大する一方であり、近い将来、研究者だけでなく一般的な利用者にとっても気軽に利用できるように統合的な処理システムの実現が望まれる。

参考文献

- [1] 日本リモートセンシング研究会, リモートセンシング通論, 2000
 - [2] Ehlers, M., Edwards, G., and Bedard, Y., "Integration of remote sensing with Geographic Information Systems: a necessary evolution", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55, pp.1619-1627, 1989
 - [3] Wilkinson, G. G., "A review of current issues in the integration of GIS and remote sensing data", *{Int. J. of Geographical Information Systems*, 10, pp.85-101, 1996
 - [4] Hinton, J. C., "GIS and remote sensing integration for environmental applications", *Int. J. of Geographical Information Systems*, 10, pp.877-890, 1996
 - [5] Chagarlamudi, P., and Plunkett, G. W., "Mapping applications for low-cost remote sensing and geographic information systems", *Int. J. of Remote Sensing*, 14, pp.3181-3190, 1993
 - [6] Thenkabail, P. S. Nolte, C., and John G. L., "Remote sensing and GIS modeling for selection of a benchmark research area in the Inland valley agroecosystems of west central Africa", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66, pp.755-768, 2000
 - [7] McCracken, S. D., Brondizio, E. S., Nelson, D., Moran, E. F., Siqueira, A. D., and Rodriguez-Pedraza, C., "Remote sensing and GIS at farm property level: demography and deforestation in the Brazilian Amazon", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65, pp.1311-1320, 1999
 - [8] Chen, S., Zheng, S., and Xie, C., "Remote sensing and GIS for urban growth analysis in China", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66, pp.593-598, 2000
 - [9] Ambrosia, V. G., Vuechel, S. W., Brass, J. A., Peterson, J. R., Davies, R. H., Kane, R. J., Spain, S., "An integration of remote sensing, GIS, and information distribution for wildfire detection and management", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64, pp.977-985, 1998
 - [10] Veitech, N., Webb, N. R., and Wyatt, B. K., "The application of geographic information systems and remotely sensed data to the conservation of heathland fragments", *Biological Conservation*, 72, pp.91-97, 1995
 - [11] Debinski, D. M. Kindscher, K. Jakubauskas, M. E., "A remote sensing and GIS-based model of habitats and biodiversity in the Greater Yellowstone Ecosystem", *Int. J. of Remote Sensing*, 20, pp.3281-3291, 1999
 - [12] Takahashi, K. and Hara, K. "Application of GIS and remote sensing to analysis landscape structure" *Proc. 21th Asian Conference on Remote Sensing*, pp.1081-1086, Taipei, 2000
 - [13] Agbu, P. A. and Nizeyimana, E., "Comparisons between spectral mapping units derived from SPOT image texture and field soil map units", *Photog. Eng. Remote Sensing*, vol.57, no.4, pp.397-405, 1991
 - [14] Conners, R. W., Trivedi, M. M. and Harlow, C. A., "Segmenatation of a high-resolution urban scene using texture operators", *Comp. Vision, Graphics, and Img. Processing*, vol.25, pp.273-310, 1984
 - [15] Jensen, L. M., "Knowledge-based classification of an urban area using texture and context information in Landsat-TM imagery", *Photog. Eng. Remote Sensing*, vol.13, no.6, pp.429-441, 1990
 - [16] Kushwaha, S. P. S., Kuntz, S. and Oesten, G., "Applications of image texture in forest classification", *Int. J. Remote Sensing*, vol.15, no.11, pp.2273-2284, 1994
 - [17] Moller-Jensen, L., "Knowledge-based classification of an urban area using texture and context information in Landsat-TM imagery", *Photog. Eng. Remote Sensing*, vol.56, no.6, pp.899-904, 1990
 - [18] 久保幸夫, "新しい地理情報技術", 古今書院, 1996
 - [19] 関本義秀, 柴崎亮介, "時空間データベースのダイナミックな更新を目指した概念データモデルの提案", *GIS - 理論と応用*, vol.8, no.1, pp.63-73, 2000
-