都市政策・地域経済ワークショップⅡ 第2回講義録

【テーマ】空間情報科学の展開と教育（含マーケティング、ドローン）

【日時】2022年10月21日（金）18時30分～21時20分

【場所】大阪公立大学大学院 梅田サテライト 101教室

【講師】東京大学 空間情報科学研究センター

空間情報解析研究部門 教授 小口 高氏

1. 空間情報科学(GIS)の概念

- ・ 空間情報科学は新しい学問で、地理情報科学（以下「GIS」：Geographic Information Science）とほぼ同義となる。GIS はもともと地理情報システム（Geographic Information Systems：コンピューターで地図の情報を扱うシステム）の意味で使用されていたが、今では科学分野の名称にもなっている。
- ・ GIS の基となる紙面の地図は、エジプトのパピルスがある時代から存在し、紙が発明される以前の地図は石を刻んだり建物の壁を削ったりして作成され、人間の生活活動の基盤となってきた。近年、地図は紙媒体からデジタル情報に変化しており、その原動力になったのが GIS である。
- ・ GIS の言葉・概念を創ったのは、カナダ人のロジャー・トムリンソン（3年前に死去）である。トムリンソンは、カナダ政府で森林や地方創生の部門に勤めていた。1960年代のカナダでは都市化が進み、地方から若者が流出し地方経済の先行きが危ぶまれるようになった。そこで、課題のある地域を明らかにして改善策を講じていくために地図が必要になってきた。
- ・ 当時は、コンピューターが徐々に発達してきた時代であり、トムリンソンは、将来的にコンピューターで地図を扱う時代が来ることを予測して GIS を考案し設計図を描いた。そしてその設計図に対して GIS（Geographic Information Systems）の名称を付与した。

2. GIS の二つの機能

- ・ 地理上の様々な建物や道路等の位置情報は、XY 座標を多数設定することで幾何学的に表現できる。これを幾何情報と呼ぶ。この幾何情報と実際の建物等の名称などの情報を同時に持つことができる点が GIS の利点となる。

(1) データベース機能

- ・ 紙の地図に掲載できる情報には限界があるが、GIS の場合は地理上に存在する物の全ての情報を入力・保存し、データベースから必要な情報を抽出することができる。PC ソフトで例えると Microsoft 社の Access のようなイメージとなる。

(2) レイヤー・オーバーレイ機能

- ・ GIS は、地理上の様々な幾何情報を Illustrator のように多層的なレイヤーで保有している。
- ・ トムリンソンは、地理情報を電子化する際に、様々な幾何情報を分類し属性別にファイル化にすることを考案した。道路や建物、緯度或いは土地利用のファイルなど多数のファイルを作成し、それらを定位置で重ね合わせ出来るレイヤー・オーバーレイの仕組みが GIS の重要な機能となった。
- ・ GIS のレイヤー機能はカーナビゲーションなどにも利用されている。

3. デジタル化による地図製作のメリット

(1) 製作面

- ・ 紙媒体の地図は、製作する際に地形などの形状に合わせた色別のシートを切って、オフセット印刷

の原版を作成して印刷・製作されており、熟練した作業員による手作業が必要とされていた。デジタル化により地図がコンピューター上で製作できるようになった。

(2) 情報更新・変更面

- ・ 紙の地図では、地図情報を更新する際に最初から作り直しとなるため、更新できるタイミングが限られていた。コンピューター地図では更新箇所の情報のみメンテナンスすればよく、背景や色なども瞬時に変更することができる。

(3) 情報提供・利用面

- ・ 紙の時代は（書店等で販売するために）地図そのものを運搬する必要があった。地図がデジタル情報になると、完成すればどこからでもダウンロードして利用することができるようになった。

4. コンピューターの発達と GIS の普及

(1) コンピューターの性能向上

- ・ GIS が考案された頃のコンピューターは、パンチカードを記録媒体として使用し、ディスプレイも無く、メモリーは 64~128KB 程度しかなかったため、GIS で想定した機能が余り実現できなかった。ただ IBM は GIS のアイデアを評価し、将来的な実現可能性を見越して自社のコンピューターをトムリンソンに無償で使用させていた。
- ・ 1980 年代頃からコンピューターがコンパクトなサイズとなり、価格はまだ 1 台 500 万円程度と高価なものでメモリーも 16MB 程度であったが、トムリンソンが構想してきた GIS の機能が実現できるようになり GIS の実用化が進んでいった。
- ・ 1990 年代に Windows が普及し、一般にも 128MB 程度の性能を持つパーソナルコンピューターが普及していったことで、GIS も本格的に普及していった。

(2) インターネットの発達と GIS

- ・ GIS の普及と重なってインターネットが普及してきた。1993 年にアメリカのイリノイ大学で、世界初のインターネット・ブラウザができ、その後、Netscape や Internet Explorer、Chrome、Edge など多様なブラウザが開発され、ブラウザと GIS を組み合わせて利用できるようになった。
- ・ ブラウザの中で地図の縮尺ができたり検索ができたり様々なことができるようになり、これをまとめて Web・GIS と呼んでいるが、この地図情報サービスの背後で GIS が機能している。
- ・ 大学でも GIS が使用され、地理情報の客観的、統計的な分析ができるようになった。空間の位置が定まり、そこにある様々なものの情報（建物等の不動産、自然環境、地形などの数量的な特徴など）が確認できるため、GIS が多様な分析に利用できる。
- ・ コンピューターや GIS の普及により、GIS の価格が低下する一方で GIS の機能は増加していき、GIS の使用環境も向上している。

5. 地理情報の開放化

(1) 米国における大統領令と地理情報のインフラ整備

- ・ GIS の普及により、GIS のデータを幅広く利用できるようにする動きも始まった。歴史的に重要なのは、1994 年の米国・クリントン大統領の大統領令である。この大統領令で、地理データを国家として取得・整備して、誰もがアクセスできるようにするという目標が掲げられた。
- ・ 空間データのインフラストラクチャー (NSDI) を構築するという米国の方針は、当時としては画期的で、電子情報、デジタル情報が国にとって重要な資産と位置付ける考え方も画期的であった。
- ・ インターネットや電子情報に対して、当時は懐疑的な見方も多かったが、米国の大統領令以降、様々な国が地理情報のデータを作成し、誰でもデータをダウンロードし使用できる時代が到来した。

(2) 日本における GIS の普及と地理データの開放化

① 阪神淡路大震災以降の GIS の普及

- ・ 日本、阪神淡路大震災がきっかけとなり GIS が本格的に普及していった。それまでは、個々の地理情報のデータはあったものの、統合されておらず効率的に利用できなかった。
- ・ 震災後の復興を検討していく際に、各地域の被災の状況や復興の計画などを地図上で共有し、復興の進捗状況をアップデートして都度検討していく進め方が重要となった。また、震災後に海外からの救助隊などが GIS を駆使している様子を見て、日本でも GIS の必要性が認識されてきた。
- ・ 1995 年の 9 月に GIS に関する関係省庁の連絡会議が設置されて、国を挙げて GIS の整備に取り組むようになった。

<参考> 碓氷照子・小長谷一之「阪神淡路大震災における道路交通損傷の地域的パターン」(1995)

- ・ 本論文の研究は、阪神淡路大震災後に GIS を駆使して被災地の状況を把握、分析することを学術として取り組んだ先進事例となる（当時の調査結果は、日本地理学会のサイトで閲覧できる）。
- ・ 1995 年 1 月の震災発生後、2~3 月にすでに現地調査に入り、4 月に論文がまとめられ 2 か月後に受理されている。調査から発表まで短期間で進めることができたのは、研究の重要性と迅速性が考慮されたことによるものと思われる。このような学術研究も GIS の普及に影響を与えた。

② 地理データの開放化

- ・ 1990 年代の日本では、国土地理院も GIS の到来を見越してデータを整備していたが、データ自体は販売されていた。ゼンリンも地図データを高価格で販売するなど、地図産業が進化していた。
- ・ しかしながら、2005 年にグーグルマップやグーグルアースが登場し、地図データ販売の妨げになってきたことや、海外の先進国が、地理情報の無料・オープン化にシフトしていく潮流があったため、国や国土地理院は 2007 年に「地理空間情報活用推進基本法」を制定して、地理情報を広く共有し活用していく方針に転換した。
- ・ 日本では、米国の GPS を基盤にしつつ、国土が狭いことなどから、測位を非常に細かく詳細に設定することを重視し、人工衛星（「みちびき」）と組み合わせることで誤差も少なくしていった。

6. 学術分野における GIS

(1) 地理情報科学(空間情報科学)の起源

- ・ 情報学のルーツを辿ると米国の国勢調査となる。19 世紀当時の米国は人口が拡大している最中で、国勢調査データはすでに膨大なデータ量となっており、国土も広いため集計に 6 年の歳月を要していた。
- ・ この国勢調査の集計作業を迅速に行うため、米国政府の役人で技術者だったハーマン・ホレリスがパンチカードを使用した集計システムを発明し、集計作業を 6 年から 1 年に大幅短縮化した。ホレリスは役人を退職して会社（タビュレーティング・マシン社）を設立し、国勢調査の集計業務を行うようになった。会社名は変更されていき、1924 年にはインターナショナル・ビジネスマシンズ社となり、これが現在の IBM の前身となる。
- ・ 情報学は国勢調査という地理情報の処理から始まった学問となり、情報学と地理学の結びつきは歴史的必然となる。GIS は地理学と情報学の両分野を近代的な視点で結び付け社会に貢献する役割を担っている。

(2) システムから科学へ

- ・ 学問の分野では、1987 年に世界初の GIS の学術雑誌となる「INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS」が発行された。この雑誌は 10 年後に名称を「INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SCIENCE」に変更し、

システムから科学に変わっていった一つの象徴となる。コンピューターの進化・普及・低価格化により、ハードウェアやソフトウェアなどのシステム重視から、地理情報で科学していこうといった考え方の変化が背景にある。

(3) 日本における研究機関の設立

- ・ 1988 年に日本学術会議が総理大臣に対して、国立地図学博物館の建設を勧告した。当時の勧告では、国立歴史博物館や民族博物館のような巨大な施設を建設し、博物館内に地図・画像情報の専門的な研究機関を設置することが計画されていた。
- ・ 国立地図学博物館の建設は、1990 年代のバブル経済の崩壊等により頓挫したが、研究センターのみ 1998 年に「東京大学 空間情報科学研究センター」として開設した。当時の東京大学における地理関係や都市工学、土木の先生が協力して開設にこぎつけた経緯がある。
- ・ 同センターは全国共同利用の研究拠点となっており、センターで管理する空間データは全国の大学の教員や学生などが共同で利用できる。センターの役割として、研究を行うことと併せて、ゼンリンなどが販売されている地図情報を共同利用できるように取得することも行われている。修士論文などの資料で詳細な地図が必要な場合は、同センターに申請すると利用できるようになっている。

7. 日本における GIS の普及・利活用

(1) 「天六ガス爆発事故」を契機とした GIS の導入

- ・ 1970 年に大阪市北区で「天六ガス爆発事故」が発生し 79 人が死亡する惨事となった。地下鉄工事で地面を掘削中にガス管が出てきて宙づりとなり、その継ぎ目が破損してガスが漏れ引火し事故となった。当時、大阪ガスはガス管配置図を持っていたが正確なものではなかった。
- ・ 事故の反省から、ガス管の正確な配置データを電子化し管理するようになった。当時は、設備管理と電子地図を組み合わせて構成する AM (Automated Mapping) / FM (Facilities Mapping) の考え方でガス会社や電力会社等の公益企業で導入が進んでいった。これが日本の民間企業における GIS の奔りとなった。現在、大阪ガスは GIS の世界最大企業である ESRI の日本支社 ESRI ジャパンと連携したシステムを構築し、ガス管を管理している。
- ・ AM/FM のシステムは、もともと災害対策から開発されてきたものであるが、自社の設備のメンテナンスや、また、各家庭に繋がるガス器具の情報などもシステムで連携できるようになったため、一般顧客向けサービスの提供やガス器具の販売などにもデータを活用できるようになった。
- ・ 電力会社も漏電対策などの目的で GIS システムを運用している。東京電力のシステムは、地理情報や建物、構築物等のレイヤーが 43 もあり、建物の形の詳しさはゼンリンの地図を超えている。

(2) 一般企業の導入事例(日本マクドナルド)

- ・ 施設管理目的ではなく、一般企業で最初に GIS を使用し、先端的な取組みを行ったのは日本マクドナルドとなる。同社は、1996 年頃から 16 レイヤーの情報を持つ GIS を使用して出店の効果を予測し出店計画を立てていた。
- ・ マクドナルドは 1995 年から 2000 年の間に店舗数を大幅に増加し売上が急拡大させていったが、その背景には GIS に基づいた出店戦略があった。人流等も含めた GIS のデータから、既存店舗と比較的近接している場所に新店舗を出店しても相当の売上を確保できる目途が立ち、GIS を活用して、確実に売上が確保できる場所に次々と出店し、収益を拡大させていった。
- ・ マクドナルドでは、当初は店舗数の拡大のために GIS を利用していたが、途中から目的を店舗の選択に切り替えていった。マクドナルドにおける GIS の活用は広く知られることになり、ライバルチェーンも GIS を使用し始めたので、マクドナルドの独り勝ちはなくなったが、GIS を使用しなければ競争に劣後するため、一般企業でも GIS の重要性が非常に高まってきた。

(3) GIS の人材育成

- ・ GIS の普及に伴い、GIS を使用し事業等に活用できる人材育成が必要になってきた。
- ・ 2022 年度から高校で「地理総合」が必修科目となり、その科目で GIS の学習が重視されている。空間情報科学研究センターでは、無料のソフトウェア (QGIS、GRASS 等) を用いた GIS の学習教材となる「GIS 学習オープン教材」を無料で一般に公開している。教材の内容は「GIS スタダード」に準拠しており、大学生の 3~4 年生を念頭においた難易度になっているが、公開すると学校だけでなく行政、企業など様々な方面からアクセスしていただきご利用いただいている。
- ・ GIS とドローンとの関係及び制等に関する動画や、GIS のプログラミングなどやや高度なものも内容に含まれている。

8. 航空測量の開発・進化

(1) 19 世紀までの地図

- ・ 19 世紀初頭に伊能忠敬が測量して作成した地図には、海岸線の位置や街道の位置などは反映されているが、高さの情報が入っていなかった。

(2) 航空測量の開発・活用

- ・ 第一次世界大戦時に航空測量の技術が発達した。飛行機などから同じ撮影対象を異なる位置から撮影した写真を幾何学的に計算することにより、高度が測定できるようになった。1909 年にドイツやオーストリアでは、空中写真から高度を測定する機器が開発され、等高線を表示する地図が作成されていった。
- ・ 山岳地の等高線の情報は、地上で測量すると測定するのが非常に困難だが、空中撮影することで測定が可能となり、20 世紀中ごろから等高線を表示する地図が標準的になっていった。
- ・ 1950 年代からは、等高線の地図に格子をかけて、格子のデータを読むことでデータの精度を高めるデジタルエレベーションモデル (DEM) が普及していった。日本の国土地理院で、1997 年に 50m 間隔だった DEM の地理情報が 2009 年には 10m 間隔となり、2022 年では日本の約 7 割が 5m 間隔で計測され地図になっている。

(3) 航空測量の進化

- ・ 現在の航空測量は、飛行機からレーザーを発射して戻るまでの時間で高さを計測する航空レーザー測量に進化し高精度化が可能となった。
- ・ 近年発生している都市型水害の対策などには、微妙な地形の情報が必要となり、レーザー測量の測定値が活用されている。また、地形に関する詳細な情報が得られるようになったため、地形そのものを楽しむための書籍なども発行されるようになり、テレビ番組でも取り上げられるようになった。
- ・ 2000 年に打ち上げられたスペースシャトルには、日本人宇宙飛行士の毛利衛さんが搭乗していたが、このスペースシャトルで電波を使用して宇宙空間から世界中の測量を行った。この研究調査 (SRTM: シャトル・レーダ・トポグラフィ・ミッション) で測定された 30m 単位の地形データは世界中の研究者が利用している。

9. ドローンによる測量と活用事例

(1) ドローンで地形データを計測

- ・ SfM (Structure from Motion) は航空測量の新しい技術で、同じ場所を様々な視点で撮影された多量の写真データの中から共通のポイントを見出し自動的に計測して、三次元データなどを復元できるようになった。
- ・ また、AI の進化により画像認識に強い AI の特長を活用して、地形などの複雑な対象も計測できるようになった。AI を使用することで数十 cm 単位の計測も可能となり、ドローン・SfM・AI により

測量に革命が起きた。

(2) 撮影データの VR 活用

- ・ 千葉県屏風ヶ浦の地形について、波浪などで地形が侵食されている状況を定期的にドローンで計測し台風の影響など測定している。
- ・ 屏風ヶ浦では VR の研究のために「VR 屏風ヶ浦」を設立。ゴーグルをつけて、アバターになって仮想空間のジオラマを俯瞰し、海の上に設定されたバーチャルな博物館の中から屏風ヶ浦を見ることがや、博物館を出て海の上を歩くことなどができる。
- ・ 現状は娯楽として利用しているが、VR は学習にも利用できると思われる。地形の特徴などについて、その場に行かなくても疑似的に体験することが可能となり、教育の発展にも貢献できるのではないかと考える。

(3) その他の活用事例

① 熱海土石流災害における原因調査

2021 年に熱海で発生した土石流災害についても、盛り土が原因であることが数日で判明したのは、複数人がドローンで現地を撮影し、Zoom など議論する中で原因が究明されていった経緯がある。

② 農業での活用

農業への活用事例：ドローンで上空から赤外線撮影をすることで作物の状態を観測する手法も生み出されてきた。光合成に使われる光を測定して植物の育成状況 (NDVI) を観測し、ドローンを利用して必要な箇所にピンポイントで上空から施肥を実施することもできるようになった。

③ 警備業務における活用

スカイツリーではドローンを活用した警備システムの実証実験が行われた。従来警備員が目視確認していた箇所をチェックポイントとして設定し、ドローンがチェックポイントを巡回してドローンポートに帰還し自動充電するまでが一連の実験内容となる。

④ 施設・設備検査における活用

ドローンと AI を活用して、様々な施設・設備を撮影し、腐食や劣化の状態などを三次元で調査することも行われている。保守や点検箇所をより詳細かつ正確に特定することができる。

⑤ 施設・設備検査における活用

レーザー測量については、以前はセスナ機を使用して撮影されていたが、最近ではレーザースキャナを搭載したドローンで地形を撮影・計測できるようになってきている。

(4) ドローンに関する規制

- ・ 以前は、どのようなドローン機材も場所を問わず撮影等に活用することができたが、現在はサイズや重量などで撮影等に利用できる機材の規制が設けられている。

10. GIS に必要な 4 つのウエア

- ・ GIS には、①ソフトウェア、②ハードウェア (コンピューター、ドローンなど)、③ヒューマンウエア、④ソーシャルウエアの 4 つが必要となる。
- ・ ヒューマンウエアは GIS を操作するオペレーターのこと、オペレーターに能力がなければ GIS も最大限活用することができない。
- ・ また GIS は、単独ではなくコミュニティで活用していくことが重要で、例えばソフトの使用で躓いたときに誰かのサポートが得られるような環境にしておくことが望ましい。熱海の土石流災害の原因調査でも、行政や民間企業、役者など様々な人が協同して原因究明を行った。オープンソースの GIS の利用者が集まることでソーシャルウエアとなり、そこで GIS における産官学の連携が自然に生まれてくると考えられる。

以上

質疑応答

Q ドローンが、橋脚の点検や土砂崩れの撮影などで有効なツールとなっていることは理解できたが、現状では社会実装の機会がそれほど劇的に増えていないと感じられる。例えば「4つのウエア」の考え方に照らし何が原因になっていると考えられるか。

A ドローンの規制が厳しくなってきたことが原因としてあげられる。軽量機材でも利用できない場合があり、使用者を特定するために個々の機体の ID 取得が必要となり、ID 登録済みの機材は従来製品より高額となる。また、ドローン機材は中国メーカーのシェアが非常に高くなっているが、米国が中国製品離れをする中で、日本も調達する米国の動向を意識している。ドローンに興味がある人は多いものの、実際に使用する人が増えていないことも一因となる。

しかしながら、施設や設備などを面的に調査するコストを考えると、ドローンの活用はメリットがあると思われる。

Q ドローンの活用事例は素晴らしいが、ドローンが軍事目的やテロへ応用されることが危惧される。現時点でどのような懸念があると思われるか。

A ウクライナ戦争を見てドローンは完全な兵器であると感じた。人工衛星を利用したリモートセンシングなどは明らかに軍事目的で開発され進化してきた経緯があり、一方で科学者はその恩恵を受けているという非常に複雑な面がある。米国では米軍の予算で研究をしている研究者もいるような状況である。日本は非軍事を徹底しているので貫徹してほしいと思う。

技術は進化していくので人間がいかに良識をもっていくかが重要となる。

Q 教育面において、これから情報活用ができる人材を育成しようとしていくなかで、例えば、単に GIS を使用することができるだけでなく、どのような人材が必要になってくると思われるか。

A GIS は現実の分析はできるがシミュレーションが得意ではない。GIS を利用できる人も増えやすべきと思うが、GIS と関連する異なる技術を持っている人材と協同して、より高度なことを行っていくことが重要であると考えます。

Q 認知症の高齢者の徘徊問題などで、GPS や QR コードをつけるもなかなか見つからない状況も発生する中で、ドローンなどを使用して確認するようなことなどはできるのか。

A 防犯管理のドローンなどを応用することになるのではないかと。徘徊者のモニタリングには GPS が有効と思われるが、例えば GPS が徘徊者の動きが止まったと覚知されたときに、ドローンで偵察するようなこともできるのではないかと。

以上