

3D 都市モデルを活用した GIS 教育の試行

Leveraging 3D City Models to Update GIS Education

渡辺 俊^{*1}
Shun Watanabe^{*1}

*1 筑波大学 システム情報系 教授 博士(工学)

Professor, Faculty of Engineering, Informaion and Systems, University of Tsukuba, Ph.D.

キーワード：空間情報科学、Python、プロジェクト PLATEAU、天空率、オンライン
Keywords : Spatial Information Science, Python, Project PLATEAU, Sky Factor, Online

1. はじめに

建築実務の世界において BIM の普及が加速しており、設計教育の中に 3D モデル (BIM) を取り入れる大学も増えてきている。学生は主流の BIM ソフトウェアを無償で使えるばかりでなく、YouTube にアップされた多数のオンライン教材などで自習することもできる。一方で、国土交通省がプロジェクト PLATEAU として 3D 都市モデルの無償提供を始めたことで、都市計画分野においても、GIS 教育に 3D を取り入れる環境が整いつつある。そこで本稿では、筆者がこれまで実践してきた GIS 教育を振り返るとともに、新たに演習課題に組み込んだ 3D 都市モデル (PLATEAU) の活用について報告する。

2. GIS 教育のこれまで

筑波大学では、科学研究費基盤研究 (A) : 地理情報科学の教授法の確立—大学でいかに効果的に GIS を教えるか— (2005 ~ 2008 年度) において、ArcGIS のキャンパスサイトライセンスを取得して以来、ArcGIS Desktop を都市計画専攻の教育で活用してきた。筆者は、その中でも主に学部 2 年を対象とした「都市計画情報演習」および修士 1 年の学生を対象とした「空間情報科学」という科目を担当している。特に後者は、10 の課題 (図 1) を通じて GIS を用いた空間分析の基礎理論および Python によるプログラミングの修得を目指した内容である。

第 1 課題は、GIS で計算した市区町村面積と国土地理院が公表している面積とを比較する課題である。GIS を使いこなす上で最初のハードルが座標系 (測地系、投影法) の理解であろう。扱っているデータ自体の座標系と画面表示で用いている座標系の違いを意識しないと、正しい空間分析を行うことはできない。しかし、緯度・経度のデータで面積を計算してしまうなど、毎年、まずここで躓く学生が多い。

第 2 課題は、GIS におけるグラフィックスの操作を、複数のデータソース (基盤地図情報、国土数値情報) を用いたジオプロセッシング処理を通じて概観する課題である。同じ地物でもソースによって異なるデータ形式 (ポイント・ライン・ポリゴン) を採用しており、適切な形

式を選択しないと空間分析の目的を達成できない。また、公的な地図や統計データを効率よく活用するには、それらがどのような空間区分 (標準地域メッシュ、国土基本図図郭) やコード体系で整備されてきているのかの理解も不可欠であろう。

第 3 課題は、GIS におけるデータベースの構造を、国土数値情報の都道府県地価調査データベースに対する様々なテーブル操作を通じて理解を深めるための課題である。特に、空間的な結合は通常のリレーショナル・データベースには無い GIS 特有の機能であり、データベースの正規化はグラフィックスにおけるトポロジーにも通じる考え方であろう。さらに複雑な空間情報の取り扱いに向けて、オブジェクト指向の考え方についても解説している。

第 4 課題は、GIS/GPS を活用した空間データの取得法を、フィールドワークを通じて体験する課題である。オープンデータ活用が加速する中で、与えられたデータを鵜呑みにしてデータの諸元を確認せず、ツールに頼った分析をするだけだと誤った結論を導く危険性がある。自らデータを収集することで研究に必要な現場感覚や批判的視点を養うことを意図した課題である。

第 5 課題は、課題 3 のデータを利用して GIS で計測した東京中心部からの距離と土地価格の間の相関係数や回帰式を計算する課題である。ここでは、Python によるプログラミングの手始めとして、統計的な指標 (平均や分散) 計算のプログラムを実際に入力しながら、ArcGIS のデータベースにアクセスするための手続き的アルゴリズムの基本構造についての理解を促している。

第 6 課題は、履修者自身の地元を対象として最近隣小学校による学区割と実際の小学校区を比較する施設立地分析の課題である。ここでは、最近傍探索を代表するアルゴリズムとして線形探索と kd-tree のプログラムを入力し、探索速度に大きな違いが出ることを体験する。特に kd-tree のための空間分割や深さ優先探索の手続きは再帰的アルゴリズムで記述されるため、丁寧な説明を心がけているが、プログラミングに馴染みのない学生には難解かもしれない。また、最近傍探索の結果はボロノイ

図に一致するが、ボロノイを描くアルゴリズムはあまりに複雑であるため、具体的なプログラムを紹介するだけに留めている。

第7課題は、同様に履修者自身の地元を対象に、グラビディモデルによる都市公園へのアクセシビリティに基づき施設の利用圏を分析する課題である。グラビディモデルを計算するアルゴリズムの基本構造に線形探索と類似しているが、さらに計算時間がかかるため、処理速度の改善する方法や ArcGIS 自体にツールとして組み込む方法を紹介している。また、より効率的なプログラムの記述に向けて、オブジェクト指向におけるクラス定義やポリモルフィズムが Python においてどのように実現されているのかを学習する。また、分析範囲の設定に注意しないとエッジ効果により誤った結論を導く危険性があることを確認させている。

第8課題は、国勢調査などの小地域データを用いてクラスタリング手法の中でも代表的な k-means 法により地域分類を行うジオデモグラフィックスの課題である。k-means 法におけるグルーピングの計算は最近傍探索そのものであり第6課題で定義した関数が再利用可能であること、また分類に用いる指標は事前に正規化・標準化する必要があるが、第5課題で計算した統計的な指標(平均や分散)も Python では内包表記を用いれば1行で記述できることなどを学習する。なお、k-means 法によるグルーピングが、グループの中心座標を母点としたボロノイ図となることは、興味深い結果であろう。

第9課題は、国土数値情報の土地利用メッシュデータについて都市区域別に面積のクロス集計をする課題である。かつて正規化されたラスター形式の土地利用メッシュデータも、今日では標準地域メッシュをベクトル化することで、様々な地図データや国勢調査など多くの社会調査のデータと重ね合わせができるようになった。一方で、メッシュデータは空間的な分布を客観的に表現できるように見えても、実はメッシュの配置やサイズに依存しているなど集計データの問題点は理解しておく必要がある。

第10課題は、ネットワーク分析のための ArcGIS の拡張機能 (Network Analysis) を利用して救急医療のアクセシビリティを評価する課題である。最短経路探索に関して最も基本的なダイクストラ法のアルゴリズムを確認することから始め、建築計画・都市計画の分野で広く普及している SpaceSyntax の Axial Map 分析も最短経路探索の応用に位置づけられること、また Python では外部のライブラリ (networkx) を使うことで様々なネットワーク分析を簡便に実行できることを体験させている。ネットワーク分析のアルゴリズムが正しく理解されていないと、なぜ Network Analysis では事前に network dataset への変換が必要になるのか分からないであろう。

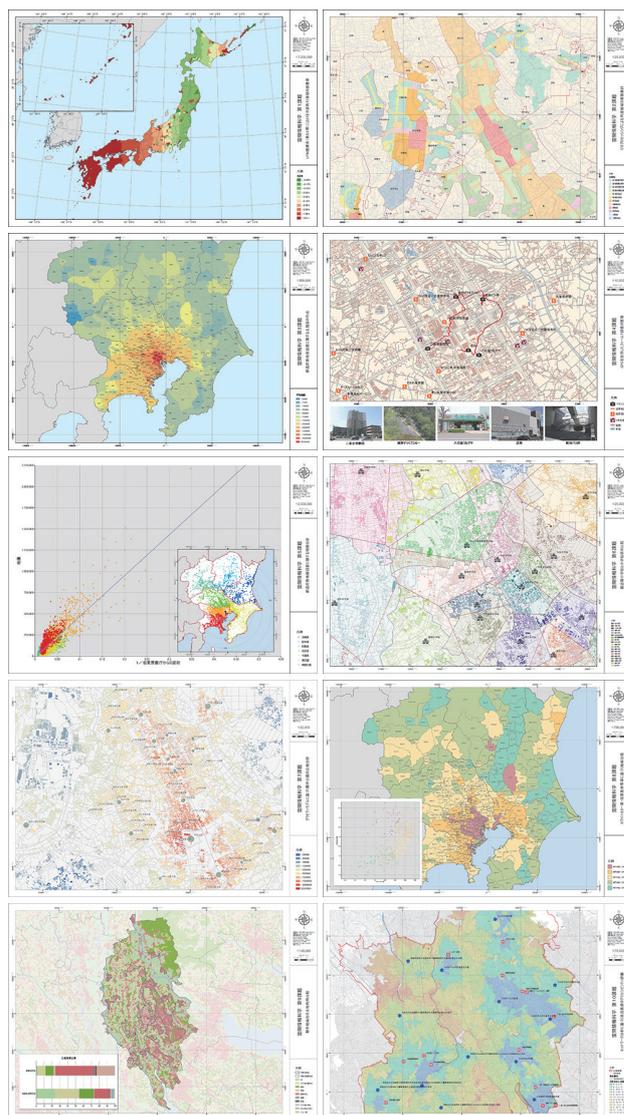


図1 空間情報科学の10課題

一方、コロナ禍でフィールドワークの実施が困難となり2019年度から第4課題は中止せざるを得なくなったため、これを機会にプロジェクト PLATEAU の3D都市モデルを活用した新たな課題を準備することにした。

3. 3D都市モデルの活用

これまで、簡便な箱モデルであればゼンリン Z-map のデータを建物階数に応じて引き伸ばすなどで、一見それらしい3D都市モデルを生成することが可能ではあった(図2)。しかし、この方法では建物が単なる柱状体にならず、全ての階数データが整っている訳ではない上に実際は建物ごとに階高も異なるので、生成された建物形状はかなりいいかげんな物であったと言わざるを得ない。最近では点群データから生成した3D都市モデルなども普及しているが、ブロック単位で連続した面として構成されているため、そのままでは建物やその他の地物を区別することも部分的に変更することもできな



図2 Z-map による箱モデル (2004 年作成)

い。空間分析のためには、建物の形状が個別のオブジェクトとしてある程度正確に再現された 3D 都市モデルが必要である。

PLATEAU の CityGML データは、ファイルネームに付加された EPSG コード (6697) が示す様に、水平方向は日本測地系 2011 に基づく緯度・経度 (degree) を、高さ方向は東京湾平均海水面を基準とする標高 (m) を採用している。ArcGIS Desktop では CityGML データを直接読み込むことはできず Geodatabase 形式に変換する必要があるが、ArcGIS Desktop の拡張機能 (Interoperability) による CityGML の変換では、degree と m が混在した尺度を峻別して処理していないため、変換された Geodatabase では高さ方向が大きく歪んでおり、平面直角座標系への投影法変換も不可能であった。

PLATEAU が提供する「3D 都市モデルのデータ変換マニュアル」には、FME Workbench を利用して CityGML から OBJ・FBX・IFC 形式への変換実例が示されているが、FME Workbench は ArcGIS Pro の Interoperability 環境でないと実行できない。一方、東京 23 区のデータでは、3 次メッシュ単位で既に平面直角座標系 (EPSG:6677) に変換済みの OBJ 形式によるデータが提供されていた

め、春学期の授業開始に間に合わせるために、とりあえず 2021 年度の課題では OBJ ファイルを使うことにした。

CityGML は、単にオブジェクトの形状情報だけでなく、セマンティック情報まで扱えることが売りである。しかし、OBJ ファイルには CityGML が持っていた建物 1 棟毎のセマンティック情報は含まれておらず、3 次メッシュ内の建物データは全て 1 つの MultiPatch オブジェクト (形状情報のみ) に変換されるため、実は点群データの場合と大きく変わらず、現状では個別の建物を区別する必要がない課題内容としなければならない。

ArcGIS の 3 次元処理は拡張機能 (3D Analyst) で提供されており、その中のスカイライン (Skyline) ツールは天空図 (図 3) とその元になる水平角・天頂角のテーブルまでを得ることができる。そこで履修者の最終的なプログラミングの修得レベルを確かめる課題として、LOD2 の建物データを用いて測定した天空図から天空率を計算するプログラムを自力で書けるかどうか挑戦させることにした。なお、厳密に言えばスカイラインを構成する頂点間を結ぶ線については極方程式を考える必要があるが、極座標データだけでは推定困難であり、LOD2 のデータを用いたことで点の密度が十分であることから、直線と見做して良いとした。

4. オンライン化の影響

一昨年までは、学生は講義を受けた後、基本的に大学の端末室でホームページ上のインストラクションに従って課題に取り組み、操作に迷った場合には直接 TA のサポートを受けることができた。しかし、コロナ禍で授業のオンライン化が要請され TA によるサポートが不可能になったために、講義内容と課題の操作手順を全てオンデマンドのビデオとして準備し、学生は自宅のパソコンに ArcGIS Desktop をインストールしてビデオを見ながら授業を履修することになった。

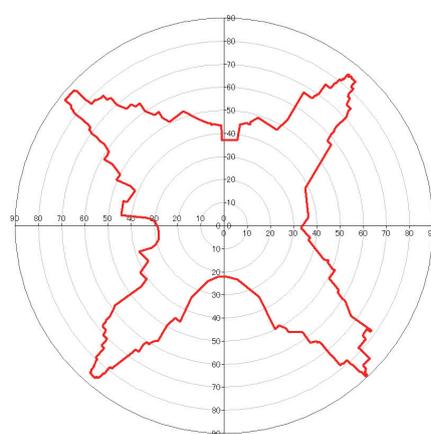
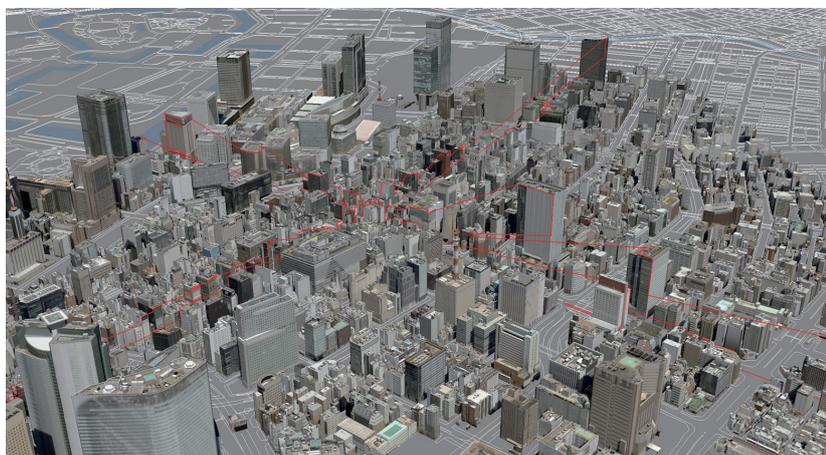


図3 3D 都市モデル (PLATEAU) を活用した天空率の計算課題

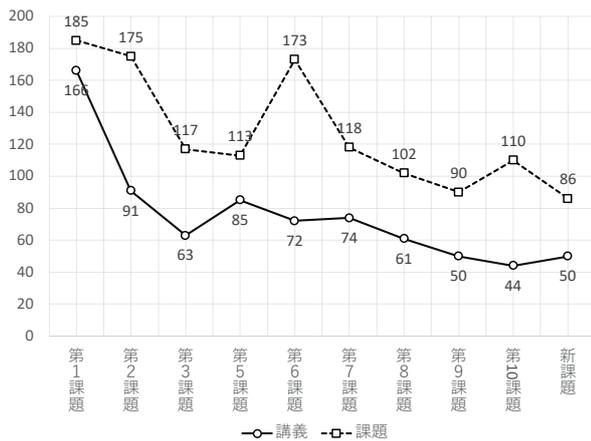


図4 ビデオ視聴回数の推移

2021年度の空間情報科学の履修者は56名である。図4は講義と課題ビデオの視聴回数の推移を示しているが、一般的に講義より課題のビデオの方が多く視聴されており、課題の操作手順を繰り返し視聴している様子が窺える。特に第6課題の視聴回数が多いのは二つの最短経路探索を試させたことが要因と思われるが、講義・課題ともに回を追う毎に視聴回数は減り続け、終盤には講義は見ずに課題のビデオだけを見て作業をしたと思われる学生がいたことも確認できる。

一方で、ビデオを繰り返し視聴できたことで、学習効果が上がったかと言えば、必ずしもそうとは言い切れない。ホームページだと自分なりに作業手順を読みこなす必要があるが、ビデオでは頭を使わなくても見た通りに操作するだけでも作業を進めることができってしまう。実際、天空率を計算するプログラムは、それまでの課題のプログラムの内容が理解できていればさほど難しくはないはずであるが、最終的にPythonで正しく書けた学生は3名のみで、テーブルをExcelで読み込んでExcelで計算した学生が4名、残りの学生は天空率を計算することが出来なかった。



図5 セマンティック情報を活用したReachの計算例

GISの機能はブラックボックス化が進み、専門知識が無くとも誰でも使えるようになってきている。ツールの中身を理解していなくても、分析結果らしきアウトプットを得ることができてしまう。実は、大半の課題もPythonでプログラミングする必要はなく、ArcGISに組み込まれたツールだけで実行可能である。誤った結論を導かないためにも、背後でどのような処理が行われているのかについての正しい理解が重要である。

5. GIS教育のこれから

2021年5月より、CityGMLからGeodatabaseに直接変換するためのツールがGitHubからダウンロードできるようになった。G空間情報センターのポータルサイトでもデータをGeodatabase形式で提供する様になり、ArcGISでも3D都市モデルを活用する環境が整いつつある。これにより、建物1棟毎のセマンティックを活用した課題を考えることができるであろう。

例えば、都市構造評価手法であるUrban Network Analysisでは指定された探索半径(距離)内にある建物の棟数あるいは総容積をReachと定義し、それを基準にBetweenness(媒介中心性)やCloseness(近接中心性)などのネットワーク指標を再定義している。PLATEAUのデータには詳細に計測された高さデータが含まれているので、これまで不可能だった容積を用いた分析が可能となるが(図5)、使えるセマンティック情報はまだ限られているので、今後さらなる充実を期待したい。

本学では、これまで学生にArcGIS Proを利用させるには、一人一人クラウド(ArcGIS Online)にアカウント登録して個別認証させる必要があったが、2021年10月よりシボレスにより大学の統一認証と連携させたことで、いつでも自由にArcGIS Proを使える環境を整えた。加えてArcGIS Desktopの開発が終了することがアナウンスされ、ArcGIS Proへ移行を迫られており、これまで蓄積してきた教育コンテンツをArcGIS Pro向けに作り替えることが、まずは当面の課題である。

本研究は、科学研究費補助金 挑戦的研究(萌芽)「コンパクトシティを目指した都市デザイン戦略のための都市構造評価指標の探究」の支援を得て行われた。

[参考文献]

- 1) 渡辺俊：GIS教育のためのE-Learningシステムの開発と実践列、第17回地理情報システム学会講演論文集/17/p.513-518, 2008年10月
- 2) 国土交通省：3D都市モデルのデータ変換マニュアル、<https://www.mlit.go.jp/plateau/libraries/>、2021年9月21日アクセス
- 3) Andres Sevtsuk, Michael Mekonnen：Urban network analysis, A new toolbox for ArcGIS, <https://cityform.mit.edu/projects/urban-network-analysis.html>, 2021年9月21日アクセス