

GIS とは何か？

—仕組み・特徴・使いこなし方—

薄井 宏行

本稿では、GIS とは何か、その仕組みがよくわからない方々（GIS ビギナーズ）を対象に、GIS の仕組み・特徴・統計ソフトウェア（Excel など）との相違点に着目して解説する。「GIS とは何か？」という問いに対する著者なりの回答は、「地図を構成するさまざまな地物とその属性情報を位置情報に基づいて分析するシステム」である。この回答を構成する主要な用語について概説し、GIS ビギナーズが GIS を理解するための筋道を示す。また、GIS ビギナーズが GIS を使いこなすうえで最大の難所である、測地系・座標系についても解説する。

キーワード：地理情報システム、地理情報科学、GIS、GIS 教育

1. はじめに

本特集のテーマは「はじめよう GIS」です。本稿をこれから読もうとしている学生や実務者のみなさま、GIS という単語をご存知でしょうか。過去に GIS を使用したことはあるでしょうか。GIS とは、geographic information system のことです。日本語訳は、「地理情報システム」です。GIS という単語を聞いたことはなくても、実は多くの方々は日常生活のさまざまな場面においてすでに GIS を使用しているかもしれません。たとえば、スマートフォンの地図アプリ（Google Maps など）を使用して目当ての店の所在地を検索する場面や、現在地から最寄りのカフェを検索する場面です。

本稿が対象とする読者は、GIS という単語を聞いたことがない方々、あるいは、単語を聞いたことはあるものの、GIS とは何なのか、その仕組みがよくわからない方々です。以降、両者の方々を「GIS ビギナーズ」と記します。著者は、毎年 12 月から翌年 1 月にかけて、東京大学工学部都市工学科にて、学部二年生を対象に GIS の演習を担当しています。毎年 9 月末に、約 50 名の学部二年生向けのガイダンスにて、「GIS という単語を知っているか？」と質問します。2016 年 9 月末では、GIS という単語を知っている学生は数名程度でした。2019 年 9 月末では、10 名程度でした。実際にはもう少し多くの学生が GIS という単語を知っていたかもしれません。それでも、GIS という単語の認知

度は高々 10/50 であり、40/50 の学生は GIS という単語を知らないかもしれないという状況であり、ほぼ全員が GIS ビギナーズです。

上述のように、著者は学部二年生を対象に GIS 演習を担当しており、GIS ビギナーズを対象に「GIS とは？」と題して講義をしてきました。本稿では、その内容に基づいて、「GIS とは？」という質問に回答します。2 節では、「GIS とは？」という問いに対する、著者なりの回答を簡潔に示します。その後、回答を構成する主要な用語、GIS の仕組みと特徴を概説します。そして、GIS には二つの意味があることを述べます。3 節では GIS ビギナーズにとっての難所である、GIS データと測地系・座標系についてやや詳しく説明します。4 節では、GIS のソフトウェアとその使用方法について概説します。5 節では、GIS についてさらに勉強したい方々を対象に文献を紹介します。

2. GIS とは？

「GIS とは何か？」という問いに簡潔に答えることは実は難しいです。この問いに対して著者なりにかみ砕いた回答は、「地図を構成するさまざまな地物とその属性情報を位置情報に基づいて分析するシステム」です。以降、下線を施した用語について概説し、GIS の仕組みと特徴を概説します。

2.1 地図

地図は読者のみなさまにとって馴染みあるものかと思いますが。たとえば、紙面に描かれた道路地図（紙地図）を広げてみると、道路網や鉄道網は線で描かれています。沿道の建物や鉄道駅などは点や多角形で描かれています。市区町村の範囲は多角形で描かれます。加えて、地図上の 1 cm が何 km に対応するのかを示す

うすい ひろゆき
 東京大学大学院工学系研究科
 〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1
 usui@ua.t.u-tokyo.ac.jp

「スケールバー」、上述の点・線・多角形がそれぞれ何を表すのかを示す「凡例」、そして「方位記号」を記載することで、馴染みのある地図と呼ぶことができます。

2.2 地物

地物とは、上述の点・線分・多角形のように、地図を構成する個々の図形のことです。図1上は、東京都文京区千駄木周辺における土地利用（住居・商業・工業・道路など）を表す地物を例示したものです。たとえば、曲がりくねった道路の場合、多数の短い線分の集合として描かれます。GISにおいて、点・線分・多角形それぞれの地物は、図形に関する電子ファイルとして整備されます。図1上のように、土地利用別に色分けをしないと、土地利用の分布状況はわかりません。そこで、図1中のように、土地利用別に地物を着色することもできます。このためには、次節で説明する「属性情報」が必要です。

2.3 属性情報と属性検索

紙地図の場合、たとえば鉄道駅名のように、地物とともに、地物が何を表すのか文字で記載されます。また、上述の土地利用や市区町村の面積・人口については、地物に着色することで示すこともあります。GISにおいて、これらの情報は地物の「属性情報」として扱います。地物の属性情報は、Excelシートのようなデータベース形式の電子ファイルとして整備されます。データベースの行と列は、それぞれ地物の固有番号(ID)と属性の種類(地物の名称、面積、人口など)に対応します。つまり、属性情報とは、地物に紐づけされた情報のことです。行の数は地物の総数、列の数は属性の種類数の総数となります。

属性情報をデータベース形式で整備しますと、たとえば、人口10,000人以上の市区町村を表す地物を検索することができます。このように、地物の属性に基づいて検索する機能を「属性検索」といいます。たとえば、目当ての店の所在地を検索する場面では、店名やその所在地を「属性検索」します。また、データベース上において、人口を面積で割る演算をすれば、人口密度の属性を新たに追加することもできます。

2.4 位置情報と空間検索・空間分析

位置情報とは、地物の位置を表す情報のことです。地球上における地物の位置は、緯度、経度、標高が定まると一意に定まります。地物が点の場合、点の緯度、経度、標高が地物の位置情報です。地物が線分の場合、線分の両端点の緯度、経度、標高が位置情報です。地物が多角形の場合、多角形の各頂点の緯度、経度、標高が位置情報です。GISでは、これらの情報は地物の

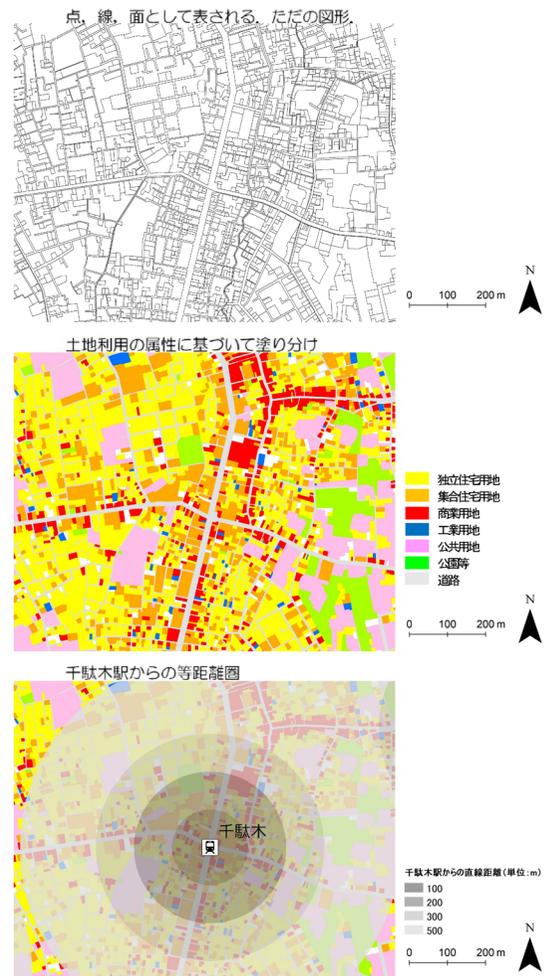


図1 地図を構成する地物と属性検索・空間分析

位置情報に関する電子ファイルとして整備されます。

このように、地物の位置情報が定まると、線分の長さ、多角形の各辺の長さや面積をGISで計算することができます。また、地物の位置情報に基づいて、ある市内(多角形)のコンビニエンスストア(点)を検索することができます。このように、地物の位置情報に基づいて検索する機能を「空間検索」といいます。

空間検索の利点は何でしょうか。もし、コンビニエンスストアを表す地物の属性情報として市区町村名がある場合、コンビニエンスストアの空間検索した結果は属性検索と同じとなります。ところが、現在地から最寄りのカフェを検索する場合、属性検索ではたいてい解決しません。現在地(点)の位置情報とカフェ(点)の位置情報に基づいて、現在地とカフェの位置の二点間の距離を計測し、その距離が最短となるカフェを検索する必要があるためです。このように、地物の位置情

報に基づいて、二点間の距離を計測し、最寄りのカフェを検索できることは空間検索の大きな利点の一つです。また、現在地から異なる半径をもつ同心円を描くことで、最寄りのカフェを把握しやすくなります(図1下)。さらに、各カフェが最寄りとなる範囲(商圏)を描くことで、現在地との位置関係から最寄りのカフェを把握することもできます。このように、地物の位置情報に基づいて、同心円を描くこと、商圏を描くことを、一般に「空間分析」といいます。同心円や商圏は、空間分析のほんの一例にすぎません。

2.5 システムとGISデータ

本節の冒頭において、GISとは、「地図を構成するさまざまな地物とその属性情報を位置情報に基づいて分析するシステム」であると記しました。「システム」とは、何かを体系化したものという意味をもちます。「何か」に対応するのは、地物を表す図形に関する情報(電子ファイル拡張子は.shp)、属性情報(電子ファイル拡張子は.dbfなど)、位置情報(電子ファイル拡張子は.prj)に加えて、これら三種類の情報を紐づけするための情報(電子ファイル拡張子は.shx)も必須です。以降、これら4種類の情報(電子ファイル)一式をまとめて「GISデータ」と記します。

たとえば、コンビニエンスストア(電子ファイル名はstoreとします)のGISデータの場合、

- store.shp
- store.dbf
- store.prj
- store.shx

のように、名前は同じで拡張子は異なる複数の電子ファイル一式が揃ってはじめてGISデータとなります。これはGISの仕組みの際立った特徴の一つであるといえます。もし、store.dbfが欠けていると、地物の属性情報を表示したり属性検索を行うことはできません。store.prjが欠けていると、空間検索や空間分析を行うことはできません。特に、地物の位置情報が定義されていない場合は少なくありません。こうした場合、GISデータのデータ(「メタデータ」といいます)を参照し、地物の位置情報を定義する必要があります(後述)。

GISデータとともに、GISデータを地図として可視化するための機能、属性検索、空間検索、空間分析などのさまざまな機能を合わせて体系化しパッケージ化したもの、それがGIS(地理情報システム)です。前述のように、スマートフォンの地図アプリ(Google Mapsなど)はGISの一例です。確かに、属性検索や空間検索はできるものの、GISの機能としては限定的です。

統計学	地理情報科学 (GIScience)
理論	理論(計量地理学など)の蓄積 膨大な量(特に図形)のデータ処理が必要 計算機の処理能力向上が必要
Excelなど	Geographical Information Systems
.xlsx	.dbf(属性), .shp(図形), .prj(位置)
データの可視化ツール (棒グラフ、円グラフなど)	データの可視化ツール (主題図など)
回帰分析	位置情報に基づく空間分析 など
仮説検定	仮説検定

図2 統計学と地理情報科学との相違点

GISのさまざまな機能を本格的に使いこなすためには、GISソフトウェアをダウンロードし[1]、パソコンにインストールする必要があります。主なGISソフトウェアとして、ArcGISとQuantum GIS(QGIS)があります。QGISの使用方法については4節において概説します。

2.6 二つのGIS(GISystemとGIScience)

図2のように、GISには実は二つの意味があります。一つは、前述のように、geographic information system(地理情報システム)という意味であり、GISデータとともに、属性検索、空間検索、空間分析などのさまざまな機能も合わせて体系化したものです。端的にいうと、GISソフトウェアです。もう一つは、geographical information science(地理情報科学)という学問分野を意味します。両者の違いは、systemとscienceです。両者の違いを明確にする必要がある場合は、前者はGISystem、後者はGIScienceと記載することもあります。以降、本稿では、GISの意味は地理情報システムに限定します。

2.7 “地理情報科学と地理情報システムの関係”と“統計学と統計ソフトウェアの関係”との相違点

図2のように、地理情報科学と地理情報システムの関係は、統計学と統計ソフトウェア(ExcelやRなど)の関係と似ています。統計学の場合、データ分析方法や各種検定方法が研究開発され続けています。理論的には分析可能であっても、膨大なデータを分析するためには、コンピューターの処理能力向上や実用的には統計ソフトウェアの開発は不可欠です。

同様に、地理情報科学の場合、GISデータの分析方法が研究開発され続けています。特に、(1)コンピューター上で図形を扱うための基礎理論と応用(計算幾何学)、(2)GISデータの処理方法、(3)空間分析手法の基礎理論と応用に関する研究は不可欠です。とりわけ、(1)と(2)はGISの仕組みの際立った特徴です。前述

のように、GIS データの際立った特徴の一つは、名前は同じで拡張子は異なる複数の電子ファイル一式で構成されている点です。

さらに、空間検索や空間分析を行う場合、一つの GIS データだけではなく、複数の GIS データを同時に処理します。たとえば、ある市内に立地するコンビニエンスストアを空間検索するためには、コンビニエンスストア（点）と市区町村（多角形）に関する GIS データを同時に処理します。そのためには、複数の GIS データとその分析および結果を管理・記録するための新たな仕組みが必要です。QGIS の場合、この仕組みのことを「プロジェクト（電子ファイル拡張子は.qgs）」といいます。プロジェクトは、QGIS を起動すると表示されるウィンドウとして表示されます（4 節参照）。

統計ソフトウェア (Excel) と比較してみましょう。Excel の場合、プロジェクトに対応する電子ファイルと GIS データに対応する電子ファイルの区別はなく、拡張子.xlsx の電子ファイルをクリックすれば十分です。ところが、GIS の場合、プロジェクトの電子ファイルと GIS データを構成する電子ファイル一式のように、膨大なデータで構成される複数の電子ファイルを同時に扱わなければなりません。複数の GIS データとその分析および結果を管理・記録するための仕組みの構築に加えて、コンピューターの処理能力の向上には、長い時間を要しました。このため、GIS ソフトウェアの普及は統計ソフトウェアと比較すると時間を要しました。

最近では、GIS に関する上述の課題は解消しつつあります。計算処理能力の高い laptop は廉価で入手できるようになりました。加えて、QGIS のように、オープンソースのフリーソフトウェアも充実してきました。さらに重要なこととして、GIS データのオープンデータ化も進みました。

このように、GIS のさまざまな機能を本格的に使いこなすための環境は整っています。ところが、上述のように、Excel などの統計ソフトウェアの仕組みや操作方法と比較しますと、GIS の仕組みや操作方はやはり複雑です。特に、GIS ビギナーズにとっては、克服すべき難所が複数あります。このうち、次節では、GIS データと測地系・座標系について、やや詳しく説明します。

3. GIS データと測地系・座標系

GIS データについては、2.5 節にて概説いたしました。今後、GIS のさまざまな機能を本格的に使いこなすためには、オープンデータとして提供されている GIS

データの入手とその下処理は最重要であるといっても過言ではありません。ところが、GIS データの複雑な構成と測地系・座標系の理解は、GIS を使いこなすうえで最大の難所です。測地系・座標系を制するものは GIS を制するともいえるだろう。

本節では、測地系と座標系について説明します。そして、オープンデータとして提供されている GIS データを例に、測地系と座標系の確認方法について説明します。

3.1 測地系・座標系

座標系であれば、数学の授業で x - y 平面直角座標系という用語を通じて馴染みのある方もいるかもしれませんが。では、測地系はどうでしょう。なかなかイメージしにくいのではないのでしょうか。

国土交通省国土地理院の Web サイトでは、中学生向けに測地系について解説しています [2]。引用しますと、「測地系は準拠する楕円体と座標系で構成」とあります。「準拠する楕円体」とは、地球を表す球体のことです。注意すべきは、地球は完全な球体ではなく、地軸方向につぶれた楕円体（地軸を中心に楕円を回転させたもの）となります。

実は、かつては各国で異なる測地系が採用されておりました。日本では、「日本測地系」という独自の測地系が採用されていました。準拠する楕円体も各国で異なっていたため、地球上における地物の位置は、国によって異なっていました。

現在では、世界共通の測地系である「世界測地系」が定義され、日本においても、地物の位置を表す基準として世界測地系が採用されています。図 3 は世界測地系（地心直交座標系）の模式図です。原点は地球の重心 O 、 x 軸はロンドンをとる子午線と赤道との交点の方向、 y 軸は東経 90 度の方向、 z 軸は北極（地軸の

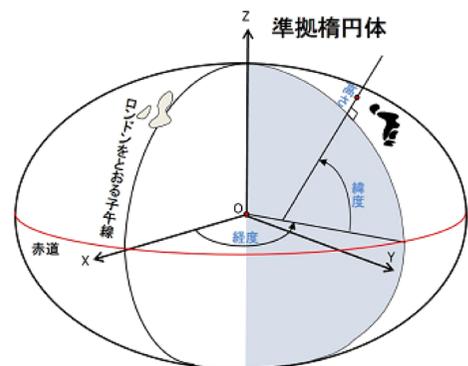


図 3 世界測地系（地心直交座標系） [2]

日本の平面直角座標系

この図は、座標補正ソフトウェア“PatchJGD”利用者等のために、平面直角座標系をわかりやすく表現したものです。一部不正確な可能性があります。正確さが求められる場合には、平成14年国土交通省告示第九号をご利用下さい。十字マークの中心が、各座標系の原点を表します。 国土地理院

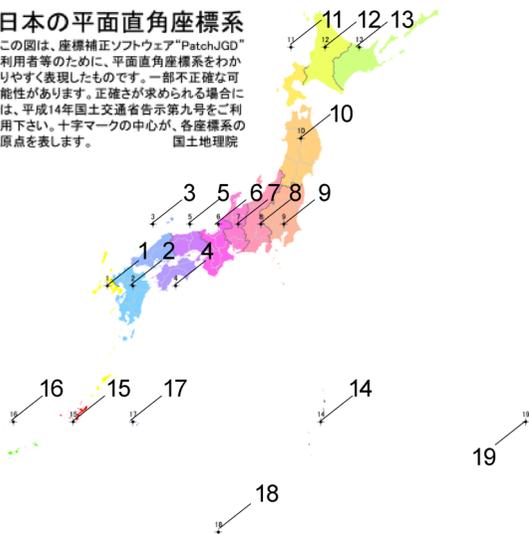


図4 日本の平面直角座標系 [3]

北端)の方向にとるものとして定義されています。また、標高の基準は、日本測地系と同様、東京湾の平均海面です。

3.2 地理座標系と投影座標系(平面直角座標系)

地物の位置を表す基準が世界測地系として定まると、地球上の任意の地点は緯度・経度の組合せによって一意に定まります。これを「地理座標系」といいます。地物間の距離や地物の面積を計算する場合、厳密には、楕円体の曲面上での距離や面積を計算する必要があります。

ところが、曲面上での距離や面積の計算は非常に複雑です。このため、地球を表す楕円体の重心に光源を置き、楕円体上の任意の経線で接するような円筒を考え、円筒の表面上に地物を投影します。このとき、円筒と接する経線上の任意の地点を原点とする平面直角座標系(単位は長さ(メートルなど))に基づいて、地物の位置を近似的に与えることができます。このような座標系を「投影座標系(平面直角座標系)」といいます。平面直角座標系の場合、地物間の距離や地物の面積を計算することも容易です。

図4は、日本における平面直角座標系を明示したものです[3]。日本では、19の平面直角座標系が国土交通省の告示によって定義されています。たとえば、東京都(島しょ部を除く)の場合、千葉県野田市付近を原点とし、x軸は真北方向、y軸は真東方向とする平面直角座標系(第9系)の区域に含まれます。接平面の考え方から明らかなように、接点から遠いほど、地物の位置の近似精度は低下します。このため、日本全

図5 国土数値情報(バス停留所データ)のメタデータ [4]

図6 統計GIS(小地域)のデータ選択画面 [5]

国を一つの平面直角座標系のみで定義するのではなく、実務的に許容できる近似精度を保てるように、19の平面直角座標系が定義されています。

3.3 GISデータの測地系・座標系を確認する

オープンデータとして提供されているGISデータの例に、測地系と座標系を確認してみましょう。本稿では、国土交通省の「国土数値情報ダウンロード」[4]からバス停留所のGISデータ(点)を、総務省統計局の「地図で見る統計(統計GIS)」[5]から小地域(町丁・字等別)のGISデータ(多角形)を事例として確認します。

図5は、国土数値情報(バス停留所データ)のダウンロードサイトにおけるメタデータを一部拡大したもの

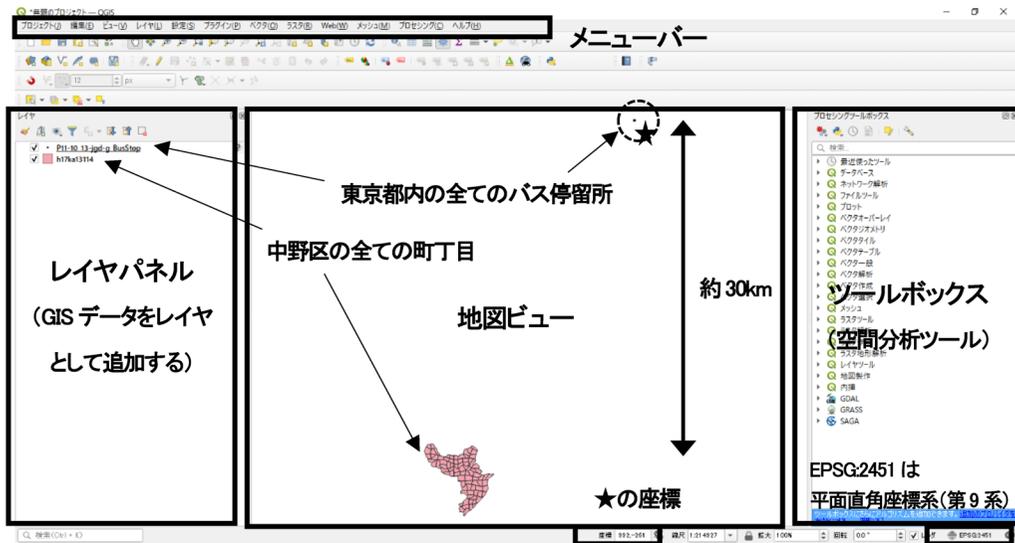


図7 QGISのプロジェクトウィンドウ

です。国土数値情報の場合、GISデータをダウンロードすると、位置情報（電子ファイル拡張子は.prj）がないこともあります。こうした場合、図5のメタデータにおいて、「座標系」を確認すると、「JGD2000」と記載されています。JGD2000とは、地物の位置情報は世界測地系を基準とする地理座標系であることを意味します。このため、ダウンロード後に、GISソフトウェア上において、地理座標系を定義し、地理座標系から平面直角座標系へ座標系を変換する必要があります。

図6は、統計GIS（小地域）のデータ選択画面を一部拡大したものです。すべて世界測地系であり、地理座標系（緯度経度）か平面直角座標系の位置情報をもつGISデータをダウンロードすることができます。国土数値情報と比較しますと、座標系を変換する手間はありません。

4. GISのソフトウェアとその使用方法

早速、QGISを起動してみましょう。起動しますと、図7のようなウィンドウが表示されます。初期状態ですと、「レイヤパネル」や「ツールボックス」のパネルは表示されません。メニューバーにある「ビュー」をクリックし、「パネル」欄に適宜チェックをいれることで、レイヤパネルを表示できます。ツールボックスは、メニューバーの「プロセッシング」をクリックすると表示できます。

図7では、二つのGISデータがレイヤとして追加されています。一つは東京都内のすべてのバス停留所（点）、もう一つは東京都中野区の町丁目（多角形）で

す。平面直角座標系（第9系）の原点（千葉県野田市付近）は地図ビューの「★」付近にあります。後者と原点の位置関係は適切です。ところが、前者と後者の位置関係は明らかに適切ではなく、前者は原点付近に集中しています。原因は、前者の位置情報は世界測地系を基準とする地理座標系であり、緯度・経度となっているためです。つまり、北緯35度・東経139度という位置情報は、平面直角座標系（第9系）において、原点から真東方向に35m、真北方向に139mの位置情報として、地図ビューに表示されていることとなります。このため、地理座標系から平面直角座標系へ座標系を変換する必要があります。

5. おわりに

本稿では、主にGISビギナーズを対象に、「GISとは？」という質問について、GISの仕組みと特徴、統計ソフトウェア（Excelなど）との相違点に着目して回答いたしました。著者の経験では、(1)測地系・座標系という概念を理解する難しさ、(2)QGISなどのGISソフトウェアにおいて、GISデータの座標系を適切に設定する難しさ、この両者の難しさが相まって、GISを使いこなすことを困難にしているように思われます。4節において既述しましたように、座標系を不適切に設定すると、どのような問題が生じてしまうのか、失敗を恐れずに試行錯誤してみることが、GISを使いこなすための近道であると思います。最後に、GISについてさらに勉強したい方々を対象に文献を紹介します。文献[6]は、大学学部生向けのGISと地理情報科学の

標準的な教科書です。文献 [7] は、QGIS の入門書として最適です。特に、上述の (2) について、わかりやすい説明がなされています。

謝辞 図 1 は、東京都都市計画地理情報システムデータと国土数値情報を使用して作成しました。

参考文献

- [1] 自分の環境にあった QGIS のダウンロード, <https://qgis.org/ja/site/forusers/download.html> (2021 年 7 月 31 日閲覧)
- [2] 国土交通省国土地理院, 「世界測地系」, <https://www.gsi.go.jp/KIDS/KIDS13.html> (2021 年 7 月 31 日閲覧)
- [3] 国土交通省国土地理院, 「わかりやすい平面直角座標系」, <https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/jpc.html> (2021 年 7 月 31 日閲覧)
- [4] 国土交通省, 「国土数値情報ダウンロード (バス停留所データ)」, <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P11.html> (2021 年 7 月 31 日閲覧)
- [5] 総務省統計局, 「地図で見る統計 (統計 GIS) 境界データダウンロード」, <https://www.e-stat.go.jp/gis/statmap-search?type=2> (2021 年 7 月 31 日閲覧)
- [6] 浅見泰司, 矢野桂司, 貞広幸雄, 湯田ミノリ (編著), 『地理情報科学 GIS スタンダード』, 古今書院, 2015.
- [7] 今木洋大, 岡安利治 (編著), 『QGIS 入門【第 2 版】』, 古今書院, 2015.