

ネットワークデータを用いた空間分析のためのウェブ教材の開発

奥貫圭一・塩出志乃・岡部篤行

Developing a website for teaching spatial analysis on a network

Kei-ichi OKUNUKI, Shino SHIODE and Atsuyuki OKABE

Abstract: This article shows a website which is developed for teaching network spatial analysis using GIS-based toolbox called SANET(Spatial Analysis on a NETwork). SANET is a toolbox for analyzing spatial phenomena that occur on a network (e.g., traffic accidents). Through the website users can carry out 9 exercises to operate SANET. Through the exercises they can learn how to carry out network spatial analysis such as the network Voronoi diagram, the network nearest-neighbor distance methods and the network K -function methods.

Keywords: ウェブ教材 (Web-based tutorial), 空間分析 (Spatial analysis), ネットワークデータ (Network data)

1. はじめに

本稿では、研究プロジェクト「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—」の中で行われたウェブ教材開発について報告する。地理情報科学の教育をめぐることは、地理情報科学標準カリキュラムとそれに基づくシラバスの作成研究が進められている(小口ほか, 2008b)。これは米国の動きに追随するものである。米国では、1990年代から標準カリキュラムの策定に取りかかり、現在はそれを踏まえた実践的な教育システムが大学等で提供されるに至っている

(河端ほか, 2004; 河端ほか, 2006)。わが国でも、標準カリキュラムを作成するだけでなく、これを実際の教育に活かす仕組みをつくっていかねばならない。そうした事情を踏まえて、村山(2008)などが地理情報科学教育をどう実践していくかについて研究を進めている。その一連の教育実践研究のひとつとして、本稿で紹介するウェブ教材開発がある。

本稿で開発した教材は、道路網のようなネットワークの上での空間分析(以下、ネットワーク空間分析と呼ぶ)を教えるためのものである。空間分析を実践するためのソフトウェアにはGeoDa(Anselinほか, 2006)やSDAM(村山・尾野, 2003)があり、いずれも多く空間分析機能を持っている。とくに米国で開発されたGeoDaは、米国の

奥貫: 名古屋市千種区不老町 D2-1(510), 名古屋大学環境学研究科地理学教室, TEL:052(789)2233, nuki@lit.nagoya-u.ac.jp

GIS 教育で広く導入されているようで、GIS (とくに GIS をつかった空間分析) 教育において、今後、事実上の標準ソフトウェアになっていくかもしれない。一方の SDAM は、日本で開発された統合型空間分析ソフトウェアであり、日本の標準カリキュラムやシラバスに合致しやすいという長所を持っている。しかし、GeoDa にせよ SDAM にせよ、ネットワーク空間分析を実践する機能は持っていない。その機能に重点をおいて開発されたソフトウェアに SANET (Spatial Analysis on a NETwork) がある。SANET は、点分布パターン分析や勢力圏分析を道路網のようなネットワークの上で実践するためのソフトウェアであり、ArcGIS の拡張プログラムとして開発されたものである (奥貫ほか, 2006b)。近年、犯罪や交通事故がどこで発生しているのかその分布傾向を捉えたいといったネットワーク空間分析へのニーズが増えており、その実践を地理情報科学教育の中に位置づける意義は小さくない。

SANET の教育への活用については、この研究プロジェクトの中ですでに、奥貫 (2007) にて演習形式の進め方の提案が済んでいる。本稿では、この提案を踏まえたウェブ教材作成の試みについて述べるとともに、実際に学生が SANET を活用した事例を紹介する。

2. 空間分析演習のためのウェブ教材の意義

小口ほか (2008a) では、約 5 年間の議論の成果として「地理系 GIS コアカリキュラム」をまとめている。このコアカリキュラムは 8 つの章から構成されており、その第 7 章が「空間分析」の章である。そこであげられているキーワードを見ると、距離・面積・体積の測定、空間検索、主題属性に基づく分類・統合、集計・代数演算、バッファー、ポロノイ分割、ドロネ三角形分割、ネットワーク分析 (最短経路探索、最大流問題)、分布分析、といったものがある。これらの項目は実際の教育でどう扱われるだろうか。

コアカリキュラムにあがっているキーワードのすべてを実際の教育で取りあげるのは難しい。実際に授業を進めるには、コアカリキュラムをそのまま導入するのではなく、カリキュラムを踏まえたシラバスを作成する必要がある。そこで小口ほか (2008b) では、7 名の大学教員が実際の授業を想定し、シラバスの比較検討を行っている。この検討によれば、空間分析は、コアカリキュラムであげられた他の項目と比べ、シラバスに採用される優先順位が低い傾向にある。大学における現実を考えると、既存の授業に加えて追加的に GIS の授業時間を確保することは容易でない。限られた時間数で GIS を教えるとなると、空間分析が実際の授業や演習で扱われることは多くないはずで、どうしても後まわしにされてしまう。筆者の大学でも ArcGIS を活用した演習を半期または通年で行っているものの、空間分析のための時間数を十分に確保できているとは言えない。先にあげたキーワードのうち、距離・面積・体積の測定、空間検索、主題属性に基づく分類・統合、集計・代数演算、バッファー、ポロノイ分割を部分的に取り込んでいるものの、ネットワーク分析や分布分析については、ほぼそのすべてを扱っていない。

筆者が教えている名古屋大学地理学教室は文学部に所属しており、そのためか、空間分析 (を必要とする研究テーマ) に興味を抱く学生の割合は少ない。その上、上記のような時間制約の事情もあって、空間分析を正規の授業時間に習得する十分な機会は確保されていない。ところが、そうした状況にも関わらず、過去 5 年ほどの間に、個人実習や卒業研究を通して空間分析を実践した学部学生が少なからず現れた。とくに、授業で扱うことができなかったネットワーク分析や分布分析についても、これを自習・実践した例があった。その主なものの研究題目を紹介すると、

徒歩による避難を想定した水害時の道路網評価
ネットワークハフモデルを用いた小売商圈分析
バス交通のサービス水準に関する研究

岩国市におけるロードキルの分布パターンの分析

自動販売機の立地展開から見る小樽の都市空間である。これらの事例をふりかえってみると、学生たちに共通する要件として、

i) ArcGIS の演習を体験していること (ただし、ネットワーク分析や分布分析などの空間分析は演習していない)

ii) 教員や大学院生による個別の指導によって、空間分析の考え方とソフトウェアの操作を自習していること

の二つがある。授業時間を十分に確保できない実情を踏まえれば、空間分析を学生自身で習得してもらう形は (理想的とは言えないまでも) 現実的であろう。であれば、その自習を支援するツールを提供していくことが、空間分析の教育を進める最も効果的な手段であろう。

3. SANET の入手とネットワーク空間分析機能

SANET を利用するには、<http://ua.t.u-tokyo.ac.jp/okabelab/atsu/sanet/sanet-index3.html> (または <http://home.csis.u-tokyo.ac.jp/~atsu/sanet/index.html>) にある指示に従って利用登録申請をする必要がある。上記ウェブサイトから利用登録申請のための Word ファイル (図 1) がダウンロードできるので、これに氏名、所属、住所、メールアドレス、日付を記入した上で、メールで送信すれば良い。この利用登録書は、SANET 利用にあたっての注意事項を利用者が了解したことの証ともなっている。非営利目的の利用であれば利用登録書が受理されて、SANET プログラムがメールで送られてくるはずである。プログラムの現バージョンは第 3 版である。2009 年春には第 4 版がリリースされ、それに伴って上記ウェブサイトが大幅更新されることが計画されている。

SANET の準備については、奥貫 (2007) に明記されているので参照頂きたい。現行版の SANET (第 3 版) を利用するためには ArcGIS が必要で

あるので注意が必要である。SANET プログラムのインストールには、上記ウェブサイトからマニュアル (英語版) をダウンロードできるので、これに従って、あらかじめ ArcGIS がインストールされているマシンに SANET プログラムをインストールすれば良い。なお、次期バージョンの SANET 第 4 版では、ArcGIS の利用を前提としない独立した形が検討されている。

SANET の主な分析機能は、大きく分けて 2 つある。ひとつは点分布パターン分析のための機能であり、i) Clark and Evans (1954) の方法をネットワーク上へ拡張したネットワーク最近隣分析機能、ii) Okabe and Miki (1984) の方法をネットワーク上へ拡張したネットワーク条件付き最近隣分析機能、iii) Ripley (1981) の方法をネットワーク上へ拡張したネットワーク K 関数分析機能、および、iv) ネットワーククロス K 関数分析、などがある。

Registration Form

The authors of SANET distribute SANET only to those who agree on the following conditions.

1. The user will use SANET for nonprofit purposes only.
2. The authors will not bear responsibility for any trouble that the user may meet in the use of SANET.
3. When the user uses SANET, he/she will report to the authors his/her name, affiliation, address and e-mail address.
4. When the user publishes any results obtained by using SANET, he/she will explicitly state in the paper that he/she used SANET. Also, he/she will send a reprint of the paper to the authors.
5. The user will report to the authors any trouble he/she meets in the use of SANET.

If the user below agrees to these conditions, please fill out the followings and send this file to the authors : atsu@ua.t.u-tokyo.ac.jp

The user's Name: ここに名前を書く

Affiliation: ここに所属を書く

Address: ここに住所を書く

E-mail address: ここにメールアドレスを書く

Date: 日付

図 1 SANET 利用登録ファイルの内容

もうひとつは勢力圏分析のための機能であり、
i) ネットワークボロノイ分割機能、ii) 商圈分析で用いられるハフモデルをネットワーク上へ拡張したネットワークハフモデル分析機能、などがある。

SANET は、この他にも空間補間などいくつかの空間分析のための機能を持つ。さらに、こうした空間分析を実践するにあたって、あらかじめ空間データに施さなければならない処理のための機能も持っている。たとえば、ネットワークから飛び地になっている部分を取り除く機能や、点をネットワークのノードとして挿入する機能などがある。こうした処理は、空間分析の理論を理解する上で本質的なものとは言えない。しかし、実践にあつては、この操作が分析の成否を左右する。本稿で紹介するウェブ教材の作成にあたっては、実際の空間分析の手順を身につけることに主眼を置き、学習者がウェブを見ながら実習する形式とした。

4. ネットワーク空間分析のためのウェブ教材

ウェブ教材の開発にあたっては、ブログのサービスを利用した。そのアドレスは、<http://sanet.net>。

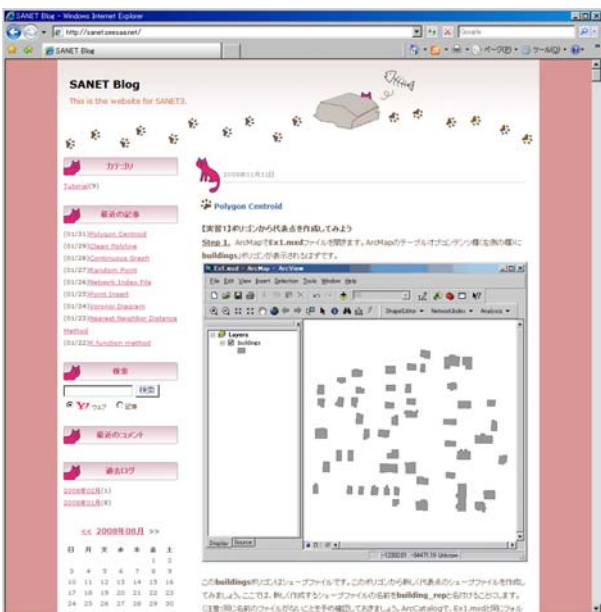


図2 ウェブ教材の画面

seesaa.net/ である (図2)。ブログであるので、閲覧者がコメントを書き込むことも可能である。

ウェブ教材では、マニュアルが SANET ウェブサイトで提供されていることを踏まえて、インストールまでの SANET 利用環境構築の手順説明を省いた。SANET 利用環境と分析データが揃っていることを前提に、実習用のデータを著者らが自ら作成して、次の9項目にしぼり、SANET の実習を提示した。

- 1) ポリゴンから代表点を作成
- 2) Polyline の各辺をひとつの Part に分割
- 3) ネットワークから飛び地を除去
- 4) ネットワーク上にランダム点分布生成
- 5) 隣接リスト生成
- 6) ネットワークに頂点ノードを挿入
- 7) ネットワークボロノイ作成
- 8) 最近隣距離法分析
- 9) K 関数法分析

上記のうち、1 から6までが空間分析に先立つ前処理にあたる作業であり、7から9が主要な空間分析にあたる作業である。前処理にあたる作業のうち、とくに5の作業は、シェープファイルからのファイル変換にあたるものである。SANET では、ネットワーク空間分析の計算のために、隣接リストと呼ばれる形式のファイルを採用しており、シェープファイルから隣接リストに変換する機能が提供されている。

実際の分析では、おおむねこの番号の順で操作を進めれば良い。たとえば、ネットワークボロノイ図を描く場合には、1, 2, 3, 5, 6の順に作業を進めて、7の作業を行う。この一連の作業について、ウェブ教材では、ネットワークに沿って3つの点がある実習用データを提示し、その3点を母点とするネットワークボロノイ図を作成する様子を紹介している。そこで示されている主な手順を作業の順番にしたがって簡単に述べると、
手順1) 3つの点をネットワークへ挿入
手順2) ネットワークボロノイ算出

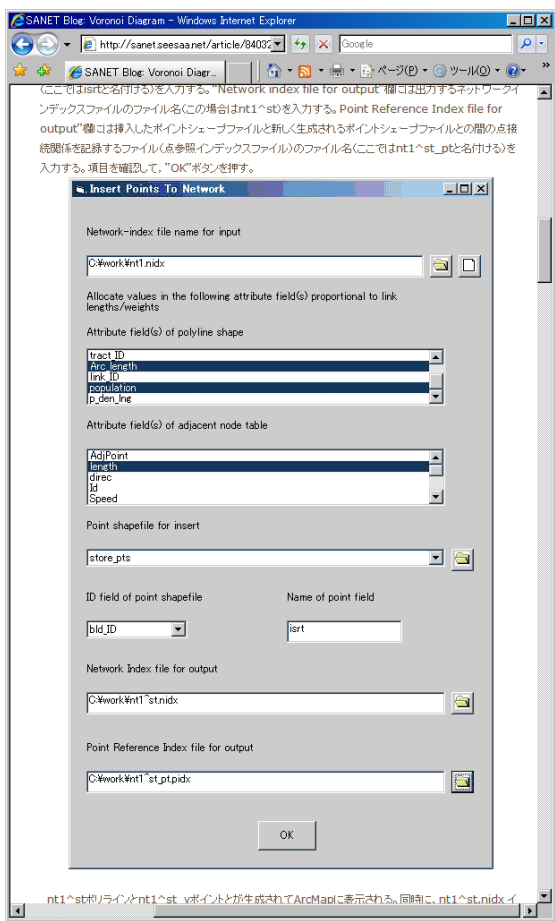


図3 ウェブ教材に示された操作画面の例

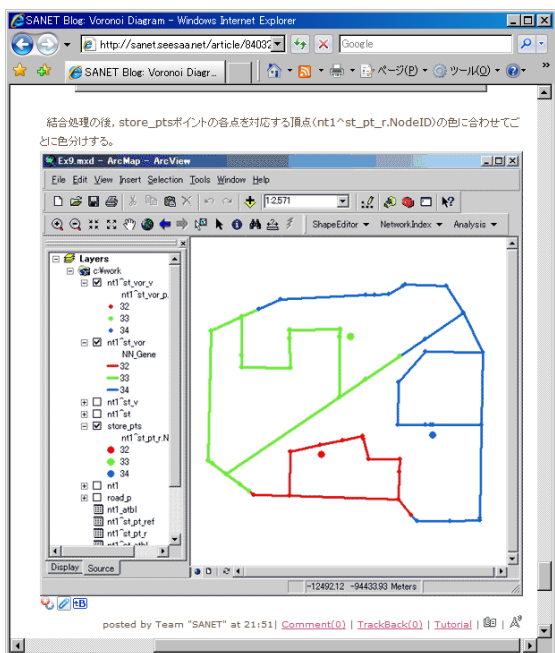


図4 ウェブ教材に示された分析例

手順3) 算出データをつかって描画

となる。手順1を実際にSANETで行うには、図3に示す操作画面でいくつかの項目を入力しなければならない。ウェブ教材では、各項目にどのような変数やファイルを定めれば良いのか、具体的に示している。手順2の算出に際しても、図3と同様の入力項目設定が求められる。これについても、ウェブ教材では、具体的な入力事例を示している。最後に、ArcGISをつかって、算出されたデータからネットワークボロノイ図を描画する手順を示している。図4は、ウェブ教材で、ボロノイ作成のすべての手順が完成したところを示した部分である。上記手順について、詳細は、ブログや奥貫(2007)などを参照されたい。

5. 学生によるSANET利用の事例

すでに述べたとおり、名古屋大学地理学教室では、実習や卒業研究で空間分析を実践する事例が現れている。そのうち2章で題目を掲げた5つの事例は、いずれもSANETを活用したものである。これらは本稿で紹介してきたウェブ教材の利用者ではないものの、だからこそ、このウェブ教材の効果を推し量る材料になると考え、その一部を、ネットワークボロノイ図を応用した事例、点分布パターン分析を実践した事例、さらに、最短経路距離算出機能を活用した事例の順に紹介してみたい。

5.1. ネットワークボロノイ図の応用事例

森田ほか(2006)は、ネットワークボロノイ図を応用して、新しい水害ハザードマップを提案している。

近年、多くの自治体が水害時の避難施設を指定した避難所マップの作成・配布を行なっている。避難所マップを見れば、最寄り避難所を事前に調べておくことができる。ところが、実際に水害が発生した場合を考えると、避難所までの経路の一部が膝や腰より上の高さまで浸水してしまい、

そこを迂回して避難せざるを得なくなることがある。水害対策のためには、この避難経路の浸水を想定した新たな避難所マップを考える必要がある。

そこで森田ほか（2006）は、自治体の提供する水害ハザードマップを基に、これを道路ネットワークとオーバーレイし、水害時に浸水する避難経路を抽出した。こうして水害時に通行できる経路だけからなる道路ネットワークデータを作成し、その上で、各避難所を母点とするネットワークボロノイ図（すなわち各避難所からの最短経路勢力圏図）を描いた。その結果、いずれの避難所にも到達できない孤立地区、経路浸水の影響で指定避難所までの到達経路距離が大きくなる地区、経路浸水の影響で指定避難所が最寄りの避難所とならない地区、の存在がそれぞれ確認された。

5.2. 点分布パターン分析を実践した事例

2章で掲げた事例のうち、ロードキル（すなわち動物の交通事故）の分布パターンを分析したものや、自動販売機の立地を分析したものは、いずれも点分布パターン分析を実践した事例であり、SANETのネットワークK関数分析機能をつかつ

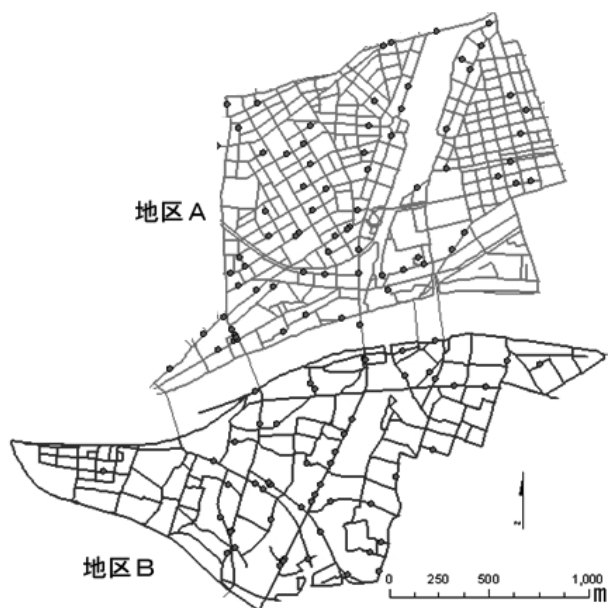
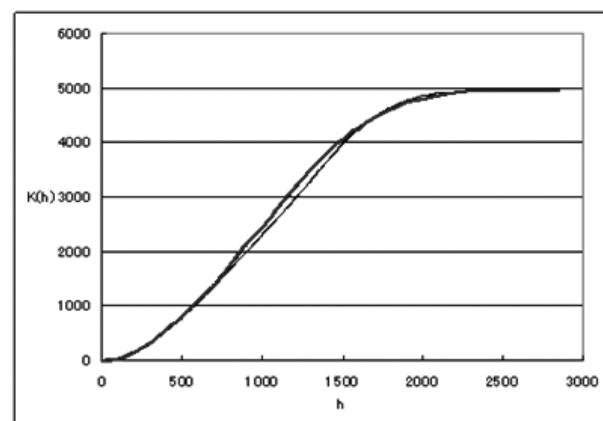


図5 隣り合う2地区におけるロードキル分布

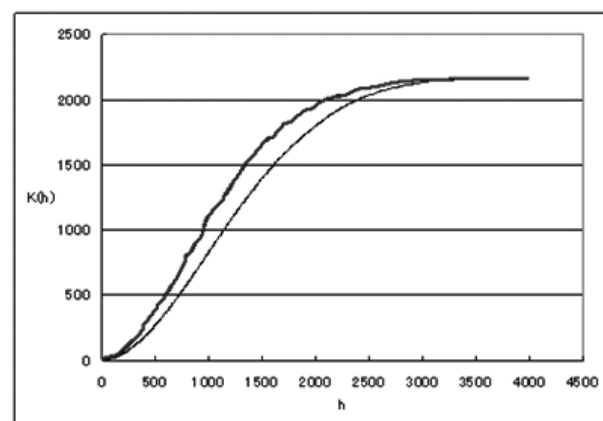
ている。このうち、ロードキルの分布を分析した事例を紹介しよう。

図5は、岩国市中心部の道路ネットワークとロードキルの分布を示したものである。黒い点がロードキルの発生地点を示す。この分布に対してネットワークK関数を求めたものが図6の二つのグラフである。図6aは、図5の地区Aのロードキル分布に対して求めたもの、図6bは、同じく地区Bのロードキル分布に対して求めたグラフである。いずれも太線（2本の曲線のうち上方に描かれているもの）が実際のロードキル分布に対応するネットワークK関数曲線である。このグラフをどのように解釈すれば良いのか、詳細は奥貫ほか（2006b）などを参照されたい。

図6を見ると、地区Aでは二つのK関数曲線が



a



b

図6 2つのロードキル分布に対するネットワークK関数グラフ

ほとんど重なって描かれており、ロードキルの分布がおおよそランダムであることがわかる。これはすなわち、地区Aにおいて、ロードキルが特定の場所で集中して発生する可能性を否定するものである。これに対して地区Bでは、実際のK関数曲線が他方の曲線より上方に描かれている。これはすなわち、地区Bにおいて、ロードキルが特定の場所に集中して発生している傾向を示している。実際、図5を見ると、地区Bの中央を南北に通る道路にロードキルが多く発生していることがわかる。この道路は国道であり交通量が比較的多い。こうして、隣り合う地区でありながら、ロードキルの分布傾向に違いのあることがわかった。

さて、もうひとつの事例として自動販売機の立地についても簡単に紹介する。ロードキル分布の分析と同様に、点分布のデータを準備すれば、ネットワークK関数分析によって分布傾向を判断することができる。自動販売機の場合、各飲料会社がそれぞれ自動販売機の立地展開をしている。各会社がどのような戦略で展開しているのか、実際の分布から分析することができる。

ここまで、名古屋大学地理学教室の学生実習での点分布パターン分析の事例を紹介した。自動販売機の分布については、SANETをつかった事例としてすでに加藤ほか(2003)がある。この他にも、SANETをつかった点分布パターン分析の事例は、犯罪発生地点の分布を分析した森口ほか(2007)がある。

5.3. 最短経路距離の算出機能を活用した事例

2章であげた事例のうち、バス交通の分析をした事例、および、商圈分析をした事例は、いずれもSANETが提供する最短経路距離算出機能を応用した事例である。この機能は、ウェブ教材で例題が提示されていないものの、学生からの利用希望が多い。

SANETのネットワークハフモデル分析ツールには、ネットワーク上の点群に対して、最短経路

距離行列を算出する機能がある。この機能は、商圈分析に活用できるだけでなく、多くの用途に利用できる。たとえば、権田・奥貫(2008)では、道路ネットワークとバスの時刻表データとを用意した上で、SANETをつかって、バス停間の最短経路距離と所要時間とを算出している。こうして算出した最短経路距離と所要時間との比較を通して、バス交通のサービス水準を評価してみせている。

また、奥貫ほか(2006a)では、最短経路距離を踏まえた商圈分析モデルの妥当性を検討している。商圈分析では、しばしばハフモデル(Huff 1962, Huff 1963, Huff 1964)が利用される。ハフモデルでは、消費者の店舗選択行動において、消費者から店舗までの距離が意志決定の材料になると考える。従来、ハフモデルをつかう場合、2点間の距離を直線距離で測ることが多かった。しかし、SANETをつかえば、ネットワークの最短経路距離を知ることができる。そこで奥貫ほか(2006a)では、実際の消費者行動データを用意して、これに、直線距離をつかったハフモデルと最短経路距離をつかったハフモデルとをそれぞれ当てはめ、いずれが説明力のあるモデルであるかを実証してみせている。そこでは、最短経路距離を採用した方が良いとの結果が得られている。

以上、ネットワーク上の最短経路距離を基にした分析事例を紹介した。この他にも、最短経路距離の算出を基礎にした研究には、内藤・大佛(2008)によるネットワーク空間相関分析の研究などがあり、今後も新たな研究の登場が期待できる。

6. おわりに

本稿では、道路網のようなネットワークの上での空間分析を実践するために開発されたウェブ教材を紹介した。ネットワーク空間分析を大学の授業時間内で扱うことは現実にはあまりないと予想している。多くの学生や研究者は独学で分析手順やソフトウェア操作を学んでいるであろう。そうした人々に対して、本稿で紹介したウェブ教材が役

立つであろうと期待している。

このウェブ教材はまだ完成されたものでなく、今後も更新していく予定である。実習にあたってどのような事例をとりあげて実習用データを準備すれば良いかといった課題もある。国内外で誰でも入手できるネットワークデータがあれば良いが、現状では適当なものが見あたらないので、図4で示しているとおり、ごく簡単なネットワークのデータを著者らが自ら作成して、これを実習用データとしている。将来的には、こうした課題を克服できればと考えている。

参考文献

- 小口 高・奥貫圭一・佐々木 緑・谷 謙二・村山祐司・森島 濟・米澤千夏・貞広幸雄・高橋昭子・河端瑞貴・岡部篤行 (2008a) 地理系地理情報科学標準カリキュラム案の策定。岡部篤行 (編) 「地理情報科学標準カリキュラム・コンテンツの持続協働型ウェブライブラリー開発研究」平成 17-19 年度文部科学省科学研究費補助金・基盤研究 (A) 研究成果報告書, 1-39.
- 小口 高・奥貫圭一・佐々木 緑・谷 謙二・村山祐司・森島 濟・米澤千夏 (2008b) 地理情報科学標準カリキュラムに基づくシラバス案の作成と比較, 「地理情報システム学会講演論文集」, 17, 377-382.
- 奥貫圭一 (2007) 空間分析演習の可能性—SANET 3 の利用を例に—, 村山祐司編: 『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— 平成 17-20 年度科学研究費補助金基盤研究 (A) 課題番号 17202023 研究成果中間報告書』, 80-85.
- 奥貫圭一・今井美緒・森田匡俊 (2006a) 直線距離と道路距離のハフモデルへの適用比較, 「地理情報システム学会講演論文集」, 15, 103-106.
- 奥貫圭一・塩出志乃・岡部篤行 (2006b) ネットワーク空間分析ソフトウェア SANET, 『GIS で空間分析』村山祐司・岡部篤行 (編), 142-182, 古今書院.
- 加藤琢麻・貞広幸雄・岡部篤行・塩出志乃 (2003) 都市における自動販売機の空間分布に関する分析, 「地理情報システム学会講演論文集」, 12, 355-358.
- 河端瑞貴・岩田 央・江崎亮介・倉田陽平・奈良 温・濱田由紀・山崎裕太郎 (2006) 北米大学 14 校の地理情報科学教育システム調査, 「GIS—理論と応用」, 14(2), 107-113.
- 河端瑞貴・小口 高・岡部篤行 (2004) 米国の代表的 GIS カリキュラムと英語 GIS テキストの調査, 「GIS—理論と応用」, 12(1), 81-89.
- 権田与志道・奥貫圭一 (2008) 近接性分析にもとづくバス交通のサービス水準に関する考察, 「地理情報システム学会講演論文集」, 17, 363-368.
- 内藤智之・大佛俊泰 (2008) 道路ネットワーク空間における空間相関分析, 「地理情報システム学会講演論文集」, 17, 107-110.
- 森口幸信・吉川 眞・田中一成 (2007) ひたくりのネットワーク空間分析, 「地理情報システム学会講演論文集」, 16, 343-346.
- 森田匡俊, 木野由利子, 奥貫圭一 (2006) 避難経路の浸水を考慮した避難所マップ作成の試み, 日本地理学会 2006 年度春期学術大会発表要旨集, p.260.
- 村山祐司 (2008) 地理情報科学の教授法の確立, 「地理情報システム学会講演論文集」, 17, 523-528.
- 村山祐司・尾野久二 (2003) オープンソースを利用した統合型空間分析システムの開発, 「人文地理学研究」, 27, 71-105.
- Anselin, L., Syabri, I. and Kho, Y. (2006) GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis *Geographical Analysis*, Vol.38: No.1, pp.5-22.
- Clark, P. J. and Evans, F. C. (1954) Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, Vol.35, pp.445-453.
- Huff, D.L. (1962) Determining of Intra-Urban Retail Trade Areas. Los Angeles: Real Estate Research Program, Univ. of California.
- Huff, D.L. (1963) A probabilistic analysis of shopping center trade areas. *Land Economics*, 39, pp.81-90.
- Huff, D.L. (1964) Defining and estimating a trade area. *Journal of Marketing*, 28, pp.34-38.
- Okabe, A. and Miki, F. (1984) A conditional nearest-neighbor spatial association measure for the analysis of conditional locational interdependence. *Environment and Planning A*, Vol.16, pp.163-171.
- Ripley, B.D. (1981) *Spatial Statistics*. New York: John Wiley & Sons.