

ネットワーク空間上の空間的解析ツールの開発

佐藤 俊明 (株式会社パスコ)

1. はじめに

本論文の目的は、交通事故やひったくり犯罪などの道路網上で発生するような点的事象の分布パターン解析や密度解析などを可能とするネットワーク空間解析ツールの開発である。

ネットワーク空間上での解析手法の意義は、Okabe and Satoh⁸⁾、奥貫ほか¹⁾などで述べられているように、従来の平面空間上の解析手法で用いる直線距離より経路距離を用いた方がより現実世界に沿った解析が可能になる点である。また、Okabe *et al.*⁹⁾は、従来の平面空間上のカーネル密度法をネットワーク空間上の事象に適用すると交差点付近で誤差を生じることを指摘し(図1参照)、このような事象に対してはネットワーク空間上の密度解析手法が必要であることを述べている。こうした背景からこれまでに様々なネットワーク空間上の解析手法が提案されてきた^{3) 4)}。

一方、これらの解析手法を利用するためには、最短経路距離などの複雑な計算を必要とするため、コンピュータによる処理が必要である。しかし、この場合、経路距離などを導くためには複雑なプログラムを作成する必要があり、このような手法を用いた解析を行うとする解析者にとっては利用しづらい手法となりうる。

このようなことからOkabe *et al.*⁶⁾、奥貫ほか¹⁾は、これまでにネットワーク空間上の解析ツールであるSANETを開発し、解析者に配布を行ってきている。しかし、このツールも扱えるネットワーク数や点数に限りがあり、解析対象が限定されるという問題があった。

そこで本論文では、SANETの後継にあたるツールを開発し、それを教育機関関係者向けに公開することとした。なお、このツールは、ユーザインターフェースからプログラムの内部処理にいたるまで新たな思想で開発さ

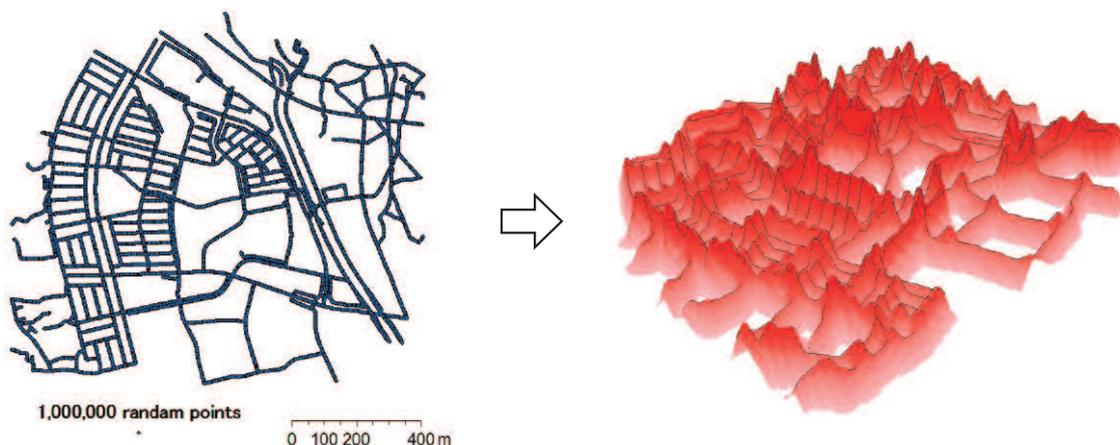


図1 ネットワーク空間上の事象に対する従来のカーネル密度推計の適用例
 上左図のネットワーク上に対してランダム点を生成し、平面空間上のカーネル密度推計を適用した。生成した点はネットワーク上でその出現率が一定となるようなランダム点で、その数は100万点と膨大な数である。そのため、予想では密度値がネットワーク上のどこの地点でも一定値を示すと考えられた。しかし、その結果は上右図に示すように、交差点近辺の密度値が高くなってしまい、誤差が生じることとなった。この理論的証明は、Okabe *et al.*⁹⁾を参照されたい。

れたものであり、解析対象の扱えるデータ量も多くし、ユーザにとって利用しやすいものとした。以降、本ツールに関して、ツールの構成、機能概要、利用方法を述べることにする。

2. ネットワーク空間解析ツールの構成

本ツールは、ESRI社のArcMap (ArcGIS Ver. ³⁾ の拡張機能として開発を行った。プログラムは、解析処理を行うコア部分と、ArcMapから起動されるグラフィックユーザインターフェース (以下「GUI」という) 部分の大きく二つに分かれて開発されている。コア部分の開発言語はMicrosoft社のVisual C++ 2008を用いて開発しており、Microsoft .Net Frameworkとして開発を行った。そのためコア部分はArcMapに限らず様々なプログラムに応用が可能である。またGUIの開発言語は同じくMicrosoft社のVisual C# 2008を用いた。また、関数法などのグラフ表示が必要な部分では、R言語 ¹⁰⁾ のRコード形式で出力を行い、それをR言語から読み込むことによりグラフ表示を可能とした。

本ツールでは、基本的にひとつの解析機能に対してひとつのダイアログボックス (図2 (a)、図3 (a)、図6 (a)、図7 (a)) が表示され、そのダイアログボックス上で必要最小限のパラメータを指定し、解析を実行すること

によって結果を得る、という単純な操作方法となるようにすべての解析機能を設計した。

3. ネットワーク空間解析ツールの機能

本ツールでは、ネットワークボロノイ領域生成、ネットワークカーネル密度推計、ネットワーク点分布パターン解析、ネットワーク補間機能、ネットワークドロネー図生成、ポイント間経路距離マトリクス出力機能および隣接ノード関係テーブル出力機能がある (表1)。以降に主要機能の概要を述べる。

3.1 ネットワークボロノイ領域生成機能

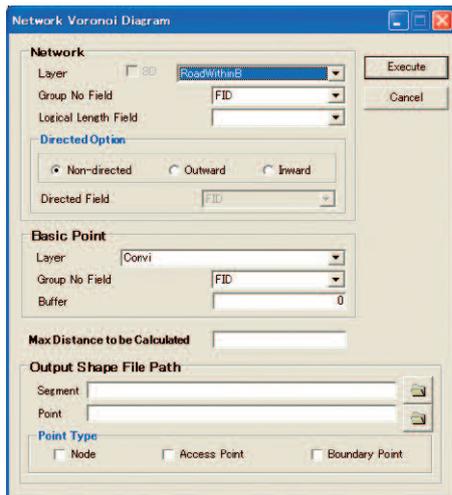
ネットワークボロノイ領域とは、ネットワーク空間上の点分布に対して最短経路距離圏を示すものである。

本ツールでは、図2 (a) に示すようなダイアログボックス上で、解析対象ネットワーク情報 (Network)、ボロノイ母点情報 (Basic Point)、解析結果表示のためのラインシェープファイルおよびポイントシェープファイルの出力先 (Output Shape File Path) を指定するだけで、ボロノイ領域を生成することができる。

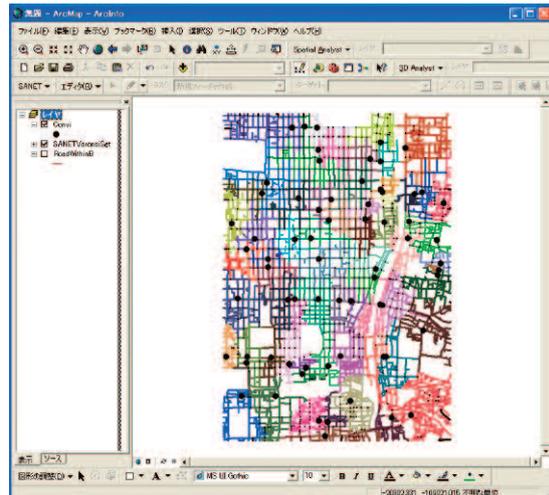
図2 (b) はその出力例を示す。黒丸が解析対象となる点で、この地点をボロノイ母点としたネットワークボロノイ領域図を色分け表示したものである。

表1 機能名称と概要説明

機能名称	概要説明
ネットワークボロノイ領域生成	ネットワーク空間上の複数の点から最短距離圏域を生成する機能
ネットワークカーネル密度推計	ネットワーク空間上に存在する点の密集度を推計する機能
ネットワーク点分布パターン解析	ネットワーク空間上に存在する点の分布形態を凝集型、ランダム型、均等型に分類する機能
ネットワーク補間機能	ネットワーク空間上に点在する地点の値を用いて、ネットワーク上すべての地点における補間値を求める機能
ネットワークドロネー図生成	ネットワーク空間上に分布する点を対象とし、ネットワークを介して隣接する点同士を結ぶ経路のうち、最も経路距離が短い経路を生成する機能
ポイント間経路距離マトリクス出力機能	ネットワーク空間上に分布する点同士のすべての最短経路距離マトリクスを出力する機能
隣接ノード関係テーブル出力機能	ネットワークを構成するノードとセグメントの隣接テーブルを出力する機能

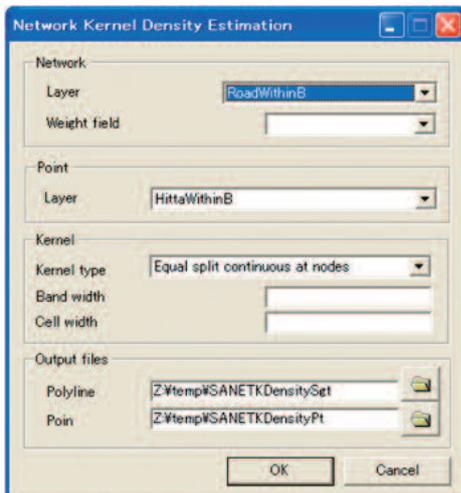


(a) ネットワークボロノイ領域生成画面

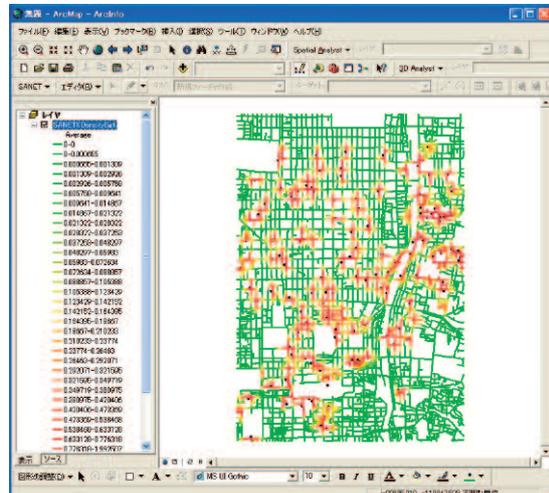


(b) ネットワークボロノイ領域生成結果

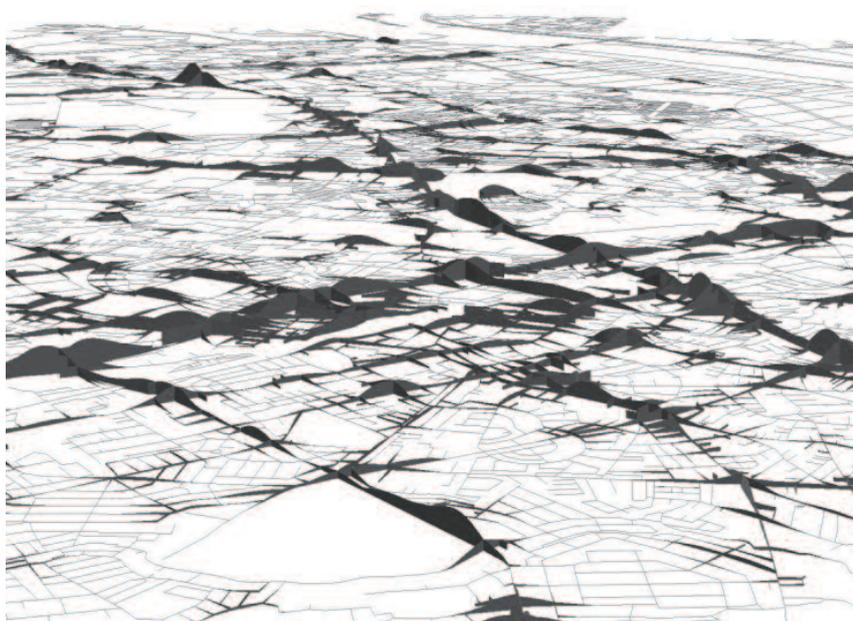
図2 ネットワークボロノイ領域生成機能



(a) ネットワークカーネル密度推計画面



(b) ネットワークカーネル密度推計結果



(c) ネットワークカーネル密度推計結果の3次元表示

図3 ネットワークカーネル密度推計機能

3.2 ネットワークカーネル密度推計

ネットワークカーネル密度推計⁹⁾とは、ネットワーク空間上に分布する点的事象がどのあたりで多発しているかを密度として地図上に表示する方法である。本ツールでは、図3 (a) に示すようなダイアログボックス上で、解析対象ネットワーク情報 (Network)、解析対象となる点情報 (Point)、カーネルタイプ (Kernel type)、カーネルバンド幅 (Band width)、密度を表示するためのセル幅 (Cell width) および解析結果表示のためのラインシェープファイルおよびポイントシェープファイルの出力先 (Output files) を指定することにより解析が可能となる。このセル幅とは、解析結果を格納・表示するための便宜的なセグメント長のことで、指定されたセル幅以下に対象ネットワークを分断し、そのセグ

メントの両端点に計算結果の値を格納するものである。GIS上で結果を表示する場合は、このセグメントの両端点に格納された結果を用いることになる。また、本ツールで利用可能なカーネルタイプとしては、図4に示すようなEqual split continuous at nodesとEqual split discontinuous at nodesの二つの選択が可能である。詳細はOkabe et al.⁹⁾を参照されたい。

図3 (b) は解析結果の一例である。密度値が高い方 (赤色) から低い方 (緑色) へのグラデーションで表示されている。なお、解析結果のラインシェープファイルは3Dに対応しており、ArcGIS 3D Analysisの機能を利用すれば3次元表示 (図3 (c)) も可能となっている。また、図5は、図1のランダム点に対する解析結果を示したもので、平面空間上の解析



図4 ネットワークカーネルタイプ

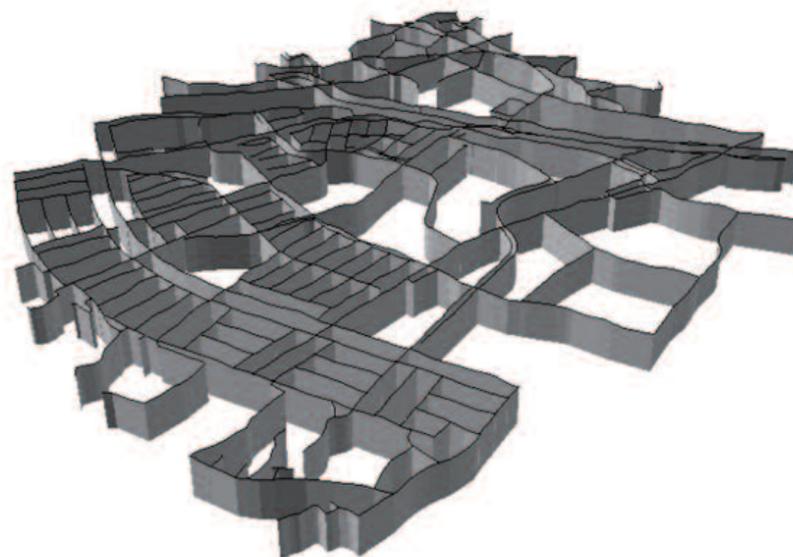


図5 100万ランダム点に対するネットワークカーネル密度推計結果

手法の結果とは異なり、ネットワーク上で均一な密度を示していることが分かる。

3.3 点分布パターン解析機能

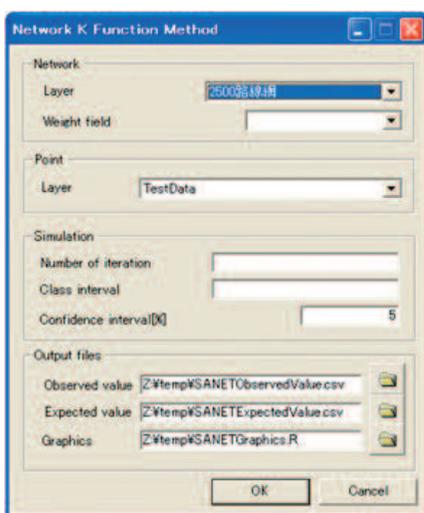
本ツールでは、点分布パターン解析手法として、最近隣距離法⁵⁾、条件付き最近隣距離法⁷⁾、関数法およびクロス関数法⁴⁾、ポロノイクロス関数法²⁾を利用することが可能である。これらのツールはネットワーク空間上で点分布パターンを凝集型、ランダム型、均等型に分類することが可能なものである。

図6 (a) はネットワーク関数法用のダイアログボックスで、解析対象ネットワーク情報 (Network)、解析対象となる観測点 (Point)、

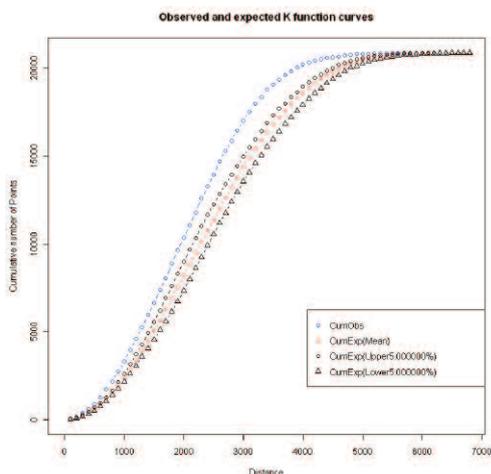
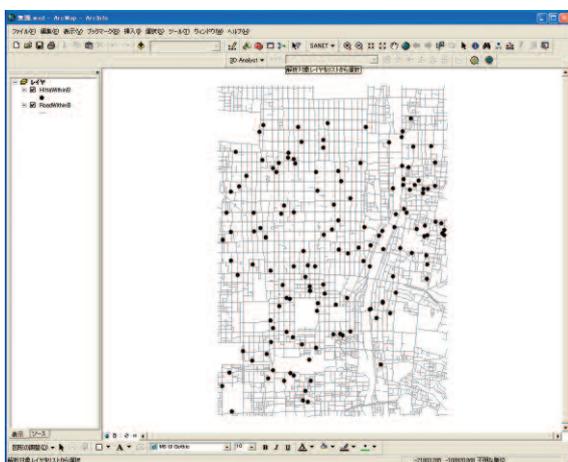
ランダム点数 (Number of iteration)、累積グラフ横軸の集計間隔 (Class interval)、棄却域 (Confidence interval)、シミュレーションにより求められる期待値と観測値のCSVファイル (Observed valueおよびExpected value) およびグラフ出力のためのRコードの出力先 (Graphics) を指定することにより解析が可能となる。

図6 (b) 上段はひたたくり地点を黒丸で表示したもので、この地点の分布パターン解析をネットワーク関数法により解析した結果が図6 (b) 下段のグラフである。グラフの赤点は期待値を、その上下にある黒点と黒三角はそれぞれ棄却域の上限と下限を、また、青点は上段図の観測値を示す。このグラフの横軸は経路距離を示し、縦軸は関数値を示す。関数法は、この期待値、棄却域 (5%)、観測値を比較することによって、経路距離ごとの点分布パターンを示すことになる。観測値が期待値より高い場合は凝集型、期待値と同じ場合はランダム型、低い場合は均等型を示す。

図6 (b) 下段では経路距離全域にわたって、観測値が期待値より高く、しかも棄却域よりも高いことから極めて凝集型を示していることになる。



(a) ネットワーク関数法画面

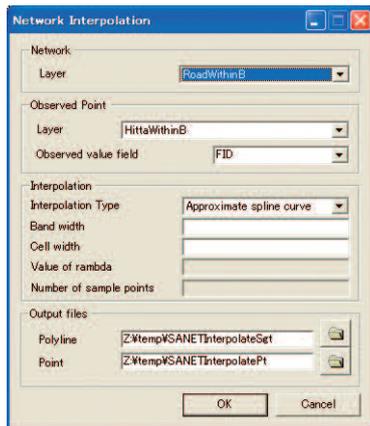


ネットワーク関数法の適用データ (上段) とその解析結果 (下段)

図6 ネットワーク関数法機能

3.4 ネットワーク補間機能

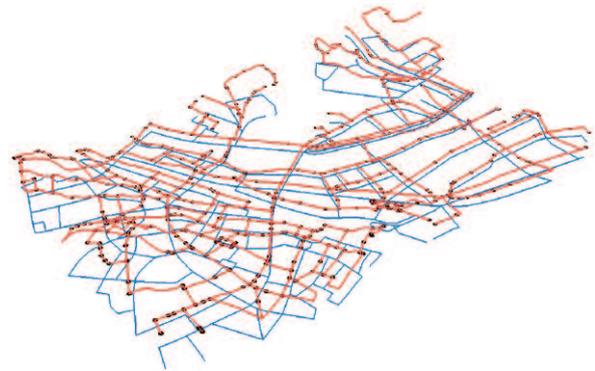
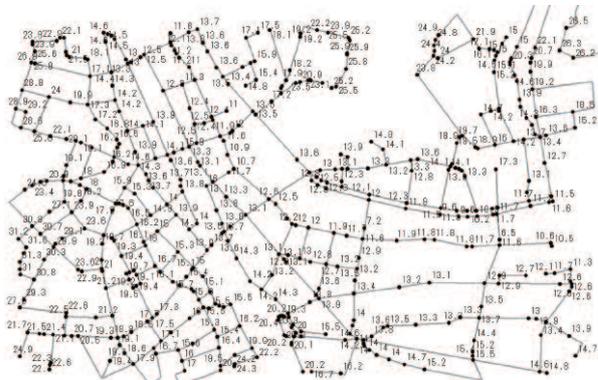
空間補間をネットワーク空間上で行うツールである。観測地点で得られている観測値を用いて、ネットワーク空間上の地点全体もしくは値が未知である地点の推定値を求めることが可能となる。補間タイプとしては、スプライン補間、スプライン近似、逆距離加重法³⁾の3種類を選択することが可能である。



(a) ネットワーク補間機能画面

図7 (a) のようなダイアログボックス上で、解析対象ネットワーク、観測地点およびその観測値、補間タイプ、バンド幅、推定値表示のためのセル幅および解析結果表示のためのラインシェープファイルおよびポイントシェープファイルの出力先を指定することにより解析が可能となる。また、解析結果はカーネル密度推計と同様に3Dシェープファイルで出力される。

図7 (b) 上段の黒丸は観測地点を示し、数字はその観測値（標高）を示す。この観測値をもとにネットワーク上の他の地点（3.2節のカーネル密度推計機能と同様に、セル幅で分断されたセグメントの端点）を、逆距離加重法を用いて補間することにより標高を求め、それを3D表示したのが図7 (b) 下段である。青線は平面的なネットワークを示し、赤線は補間後のネットワークを示す。



ネットワーク補間の適用データ（上段）とその解析結果（下段）

図7 ネットワーク補間機能



図8 SANETホームページ

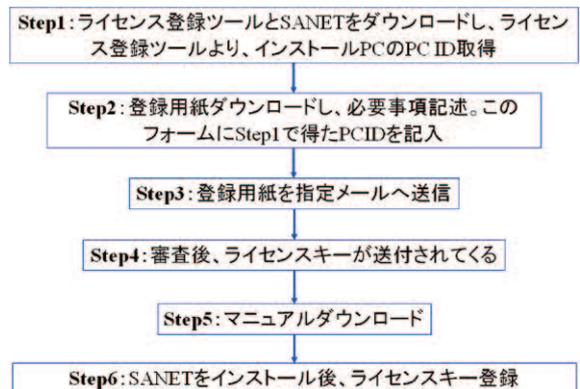


図9 申請手続きフロー

4. 利用方法

本ツールは、SANETのホームページ¹¹⁾ (図8)へ移動し、そこからダウンロードが可能である。利用条件は原則として大学などの教育機関に所属する者を対象に無償で提供している。申請手続きは、図9のフローチャートに示すとおりである。

5. おわりに

本論文では、ネットワーク空間上の解析ツールを開発し、その機能の概要を示した。本ツールは、教育機関に所属する者に対して、所定の手続きを経て無償で利用が可能である。

発表日2009年6月19日

■謝辞

本開発を進めるにあたって、貴重なコメントをいただいた青山学院大学の岡部篤行教授、名古屋大学の奥貫圭一准教授、法政大学の岡部佳世氏、明治大学の杉原厚吉教授にここで感謝の意を表す。

■参考文献

- 1) 奥貫圭一・塩出志乃・岡部篤行・岡野京子・金子忠明：ネットワーク上の空間分析のためのソフトウェアSANET第3版の開発、地理情報システム学会講演論文集、Vol.14, pp. 337-340, 2005
- 2) 佐藤俊明・岡部篤行：ネットワークポロノイクロス関数法の提案とそのツール開発、GIS－理論と応用、Vol.14 (2), pp. 53-62, 2006
- 3) 塩出志乃：逆距離加重法によるネットワーク空間上での点補間に関する研究、GIS－理論と応用、Vol.13 (1), pp. 33-41, 2005
- 4) 山田育穂・岡部篤行：ネットワーク空間における関数法、GIS－理論と応用、8 (1), pp.75-82, 2000
- 5) 四茂野英彦：ネットワーク上での最近接距離分布の計算可能性、GIS－理論と応用、Vol.1, pp.47-56, 1993
- 6) Okabe, A., Okunuki, K. and Shiode, S., SANET : A Toolbox for Spatial Analysis on a Network, Geographical Analysis, Vol.38, pp.57-66,2006
- 7) Okabe, A. and Miki, F.: A conditional nearest-neighbor spatial association measure for the analysis of conditional locational interdependence, Environment and Planning A, Vol.16, pp.163-171, 1984
- 8) Okabe, A. and Satoh, T.: Spatial Analysis on a Network, In A.Stewart Fotheringham and Peter A. Rogerson. eds, The SAGE Handbook of Spatial Analysis, Los Angeles·London·New Delhi · Singapore: SAGE, pp.443-464, 2009
- 9) Okabe, A., Satoh, T. and Sugihara, K.:A kernel density estimation method for networks, its computational method and a GIS-based tool, International Journal of Geographical Information Science, Vol.23 (1), pp.7-32, 2009
- 10) <http://www.r-project.org/> (2010年現在)
- 11) <http://sanet.csis.u-tokyo.ac.jp/> (2010年現在)

■発表者

佐藤俊明 (さとう としあき)
株式会社パスコ 研究開発センター

