

# 線及び面を生成元とするネットワークボロノイ図を用いた解析ツールの開発

佐藤俊明（東京大学空間情報科学研究センター）

岡部篤行（東京大学空間情報科学研究センター）

## A tool development for spatial analysis with network Voronoi diagrams generated by lines and polygons

Toshiaki Satoh and Okabe Atsuyuki

**Abstract:** The purpose of this study is to propose the network Voronoi diagrams (NVDs) generated by lines and polygons, and to develop a tool for spatial analysis with these NVDs. First, the paper defines two types of the NVD which are called *line* NVD and *polygon* NVD. Next, the paper outlines the functions of the tool and the algorithm used in this tool. Third, the paper shows examples of the applications of these NVDs. Last, the paper shows an example of analysis for street burglaries by using this tool.

**Keywords:**線ネットワークボロノイ図 (line network Voronoi diagram), 面ネットワークボロノイ図 (polygon network Voronoi diagram), 方向付けネットワークボロノイ図 (directed network Voronoi diagram), モンテカルロシミュレーション (Monte Carlo simulation)

## 1. はじめに

店舗の立地計画の際、計画者は、アクセスビリティや集客面から人通りの多いメインストリート近辺に店舗の立地場所を選定することは大いにあり得ることである。また、路上犯罪では、犯罪者は逃走経路確保のため主要道路の近隣や逃げ隠れが可能な公園などの近辺を犯行現場として選定することがあると言われている。

このように都市の骨格を形成する道路や大きな公園などの基盤的施設は、店舗や犯罪地点などの非基盤的施設の分布に大きく影響を与える可能性があるため、基盤的施設の影響圏がどれくらいの領域なのか、その影響圏内にどのような非基盤的施設が存在するのかといったことを調べることは、空間解析において、重要な課題の一つといえる。

圏域解析を行うための最も代表的な手法の一つに、基盤的施設を生成元とするボロノイ図（以降、VD）の利用が挙げられる。従来のVDは生成元の幾何学的形状により分類でき、道路のような線の長さを持つ生成元に対しては線VD（Okabe et al., 2000 の § 3.5D）の利用が、また、公園などの面的広がりを持つ生成元に対しては面VD（Okabe et al., 2000 の § 3.6 を参照）の利用が有効である。

従来の線VDと面VDは平面空間上の直線距離を用いるものである。しかし、都市空間では人や物の移動は道路などのネットワーク空間に規定されるため、直線距離ではなく経路距離を用いた方が、より現実に即した圏域解析を行うことが可能な場合がある。

そこで本論文では、経路距離を用いた線を生成元とするネットワークボロノイ図（以降、線NVD）と、経路距離を用いた面を生成元とするネットワークボロノイ図（以降、面NVD）を提案し、これらを用いた解析

ツールの開発・提供を目的とする。

本稿では、第2章で線 NVD 及び面 NVD の定義を行い、第3章では本ツールの機能及び処理手順の概要を述べる。第4章で線 NVD 及び面 NVD の有効な利用例を述べ、第5章では実際のひたくり犯罪地点データを用いて本ツールによる解析事例を示す。最後に第6章としてまとめを述べることにする。

## 2. 線 NVD 及び面 NVD の定義

### 2.1. 線 NVD の定義

図1は線 NVD の基本的な考え方を例示したものである。線 NVD の生成元となる「線」は、図の太線  $B_1$  と  $B_2$  のような、解析対象ネットワークの一部を構成するサブネットワークで、ここではこのサブネットワークを母線と呼ぶこととする。図の二つの母線  $B_1$  と  $B_2$  のポロノイ領域は、その他のサブネットワーク（細線）との交差ノード（丸マーク）からの最短経路距離域で示される。

ここで線 NVD を以下のように定義する。なお、NVD の利点であるネットワークの方向付けを鑑み、本稿では方向付けを考慮した NVD として定義する。また、紙面の都合上、内向き NVD のみの定義を行う（外向き NVD に関しては、佐藤・岡部（2006）を参照されたい）。

今、方向付けネットワークを  $Net$ 、母線番号  $i$  で示されるサブネットワークを母線  $B_i$ 、 $B_i$  に含まれるノードの集合を  $\{N_{i1}, N_{i2}, \dots, N_{im_i}\}$ 、ポロノイ母線の集合を  $B = \bigcup_{i=1}^n B_i$  とする。

また、点  $p \in Net \setminus B$  且つ  $p$  から  $B_i$  へ向かう有向最短パスが存在する場合の経路距離を

$$d_{\text{Line}}(p, B_i) = \left[ \begin{array}{l} p \text{ から } B_i \text{ に含まれる } N_{i1}, N_{i2}, \dots, N_{im_i} \\ \text{への有向最短パスの中で、その経路距離} \\ \text{が一番短いもの} \end{array} \right],$$

$p \in Net \setminus B$  且つ  $p$  から  $B_i$  へ向かう有向最短パスが存在しない場合の経路距離を

$$d_{\text{Line}}(p, B_i) = \infty,$$

$p \in B_i$  の場合の経路距離を

$$d_{\text{Line}}(p, B_i) = 0$$

とし、 $I_n$  を 1 から  $n$  までの整数の集合とすると、 $B_i$  に対する内向きネットワークポロノイ領域  $V_i$  は、

$$V_i = \bigcap_{j \in I_n \setminus \{i\}} \{p \mid p \in Net, d_{\text{Line}}(p, B_i) \leq d_{\text{Line}}(p, B_j)\}$$

で与えられる。また方向付けを考慮した場合、到達不可能

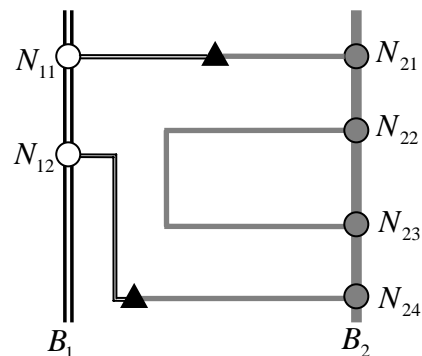


図1 線 NVD

な領域  $U_{\text{Line}}$  が存在することがあり(佐藤・岡部, 2006),

$$U_{\text{Line}} = \bigcap_{i \in I_n} \{p \mid p \in \text{Net}, d_{\text{Line}}(p, B_i) = \infty\}$$

で与えられる.

以上の定義により, 内向き線 NVD は  $\text{Net}$  を  $\{V_1, V_2, \dots, V_n, U_{\text{Line}}\}$  に分割したものとなる.

## 2.2. 面 NVD の定義

面 NVD の生成元となる「面」は, 図 2 の  $B_1$  と  $B_2$  で示すような, 解析対象ネットワークの一部を構成するサブネットワークで閉じられた領域である. よって, 面 NVD は面を構成するサブネットワークを母線とみなした線 NVD と同様な定義となり, 面 NVD は線 NVD の応用として扱える.

この他の応用として, 図 3 に示すような複数のポイント群を一つの生成元とみなした場合が考えられる. 具体的には, 複数の出入口が存在するようなデパートや駅で, それらの複数出入口地点を一つの母点とみなした場合である. この場合, 複数地点を一つの生成元とみなすのは, これらの地点は内部的につながりのあるもの同士(例えば, デパートであれば, これら複数の出入口は建物内の通路で結ばれている)と考えられるからである. このことから, それぞれの母点を仮想的なリンク(図 3 の  $B_1$  と  $B_2$ )で結び, このリンクを母線とみなすことによって, 複数点を一つの生成元とみなす NVD も, 線 NVD として扱うことが可能である.

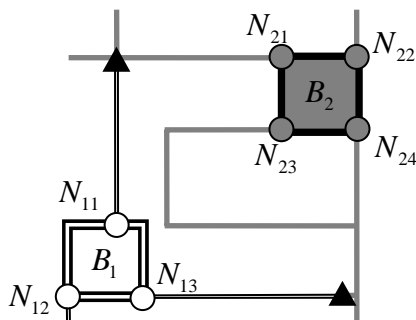


図 2 面 NVD

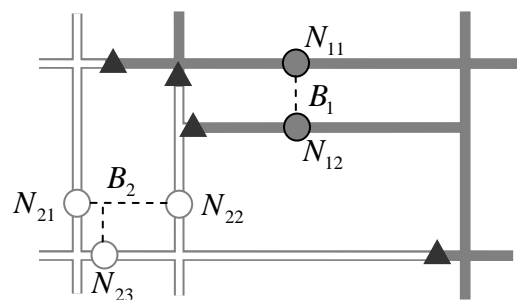


図 3 複数点の NVD

## 3. 線 NVD による解析ツールの開発

### 3.1. システム概要

第 2.2 節で示したように, 面 NVD は線 NVD と同一と解釈できるため, ツールとしては線 NVD に対応するものを開発すればよい.

NVD の生成処理等を行う主要なプログラムは, VC++ の ATL<sup>1)</sup> を用いたコンポーネントとして開発した. なお, 本コンポーネントは今後公開する予定であり, ユーザはこのコンポーネントを用いて, 独自のプログラムを作成することが可能となる. 本論文でもこのコンポーネントをベースに, ArcGIS Ver.9 の VBA を用いて解析ツールの開発を行った.

### 3.2. 機能概要

本ツールでは、主な機能として、「線 NVD 生成機能」、「地点計測機能」及び「モンテカルロシミュレーション機能」の3つを開発した。以降、それぞれの機能の概要を説明する。

#### 3.2.1. 線 NVD 生成機能

本機能は線 NVD を生成する機能である。入力データは、母線番号が付与されたサブネットワークを含むネットワークデータである。また一方通行を考慮した線 NVD を生成する場合、各リンクの方向付けの有無とリンク両端の始点と終点の情報が必要である。出力データは母線番号、リンクの両端点における母線からの最短経路距離及びリンク長をリンクの属性として持つネットワークデータである。

以下に本機能の処理手順の概要を示す。なお、基本的なアルゴリズムとして複数の母点から同時に最短距離木を生成していく、パラレル・ダイクストラ法 (Erwig, 2000) を利用した。

**前提** 以降の処理におけるネットワーク上の全ノードは、経路距離、母線番号、ラベル及びリンクを属性として保持することができるものとする。またネットワーク上の全リンクも同様に、始点ノード、終点ノード、リンク長及びラベルを属性として保持することができるものとする。

**Step1** 母線を構成する全ノード  $N_v$  の経路距離属性に 0 を、母線番号属性に入力データの母線番号を、リンク属性にダミーリンクを代入し、 $N_v$  を一時領域  $M$  に格納する。その他のノードの経路距離属性には  $\infty$  を、ラベル属性には未確定ラベルを代入する。また母線を構成する全てのリンクのラベル属性には永久ラベルを、その他のリンクのラベル属性には未確定ラベルを代入する。

**Step2** 以下の条件で処理する。

【 $M$  にノードが一つも存在しない場合】

処理を終了する。

【 $M$  にノードが存在する場合】

$M$  から経路距離属性が最小のノード  $N_{\min}$  を取り出し、 $N_{\min}$  及び  $N_{\min}$  のリンク属性  $L_{\text{prev}}$  のそれぞれのラベル属性に永久ラベルを代入する。また  $N_{\min}$  の母線番号属性を  $v_{\min}$  へ代入する。

**Step3**  $N_{\min}$  に接続されているリンクのうちラベル属性が永久ラベルではないものを探し、それらに対して一回ずつ以下の処理を行い、未処理のリンクがなくなれば Step2 へ進む。

$N_{\min}$  に接続され、永久ラベルの貼られていないリンク  $L_{\text{adja}}$  及びそのリンクの他端のノード  $N_{\text{next}}$  を見つける。 $N_{\min}$  の経路距離属性と  $L_{\text{adja}}$  のリンク長属性を足し合わせたものを  $d$ 、 $N_{\text{next}}$  における経路距離属性を  $d_{\text{next}}$  とし、以下の条件で処理を行う。

【 $d < d_{\text{next}}$  且つ  $N_{\text{next}} \in M$  の場合】

$N_{\text{next}}$  の経路距離属性に  $d_{\text{next}}$  を、母線番号属性に  $v_{\min}$  を、リンク属性に  $L_{\text{adja}}$  を代入する。

【 $d < d_{\text{next}}$  且つ  $N_{\text{next}} \notin M$  の場合】

$N_{\text{next}}$  の経路距離属性に  $d_{\text{next}}$  を、母線番号属性に  $v_{\min}$  を、リンク属性に  $L_{\text{adja}}$  を代入し、 $N_{\text{next}}$  を  $M$  へ格納する。

**Step4** 全リンクのラベル属性を調べ、未確定ラベルの場合、以下の条件で処理を行う。

【リンクが方向付けされていない場合】

リンク両端ノードの経路距離属性とリンク長属性から母線からの同一経路距離地点を求め、その地

点にノード及びそのノードと元のリンクの他端を接続するリンクを生成する。

【リンクが方向付けされている場合】

リンクの終点ノードを生成し、始点の経路距離属性とリンク長属性を足し、それを終点の経路距離属性に代入する。

なお、Erwig (2000)によると、リンク数を  $m$ 、ノード数を  $n$ 、母点数 (本稿では、母線とその他のネットワークが交差するノード数) を  $k$  とすると、パラレル・ダイクストラ法の計算量  $f(m, n, k)$  は、

$$f(m, n, k) = O(m + n + (n - k) \log(n - k))$$

で与えられる。

### 3.2.2. 地点計測機能

本機能は、複数の指定地点における母線からの経路距離を計測するものである。入力データは、第 3.2.1 節と同様なネットワークデータ、母線からの最短経路距離を計測したい地点の座標である。なお計測地点は必ずしもネットワーク上にある必要はなく、ネットワーク上にはない場合は、ネットワーク上の最近点  $p_{\text{near}}$  を求め、 $p_{\text{near}}$  における最短経路距離を計算する。出力データは、入力地点に対するネットワーク上の  $p_{\text{near}}$  の座標、 $p_{\text{near}}$  が含まれる母線番号、 $p_{\text{near}}$  における最短経路距離及び  $p_{\text{near}}$  と入力地点との直線距離である。

以下に本機能の処理手順の概要を示す。

**Step1** 第 3.2.1 節に従って線 NVD を生成する。

**Step2** Step3 及び Step4 の処理を計測地点の個数分繰り返す。

**Step3** 入力地点データに対するネットワーク上の  $p_{\text{near}}$  を計算する。

**Step4**  $p_{\text{near}}$  における最短経路距離を、 $p_{\text{near}}$  が存在するリンクの両端ノードにおける経路距離属性から計算する。

### 3.2.3. モンテカルロシミュレーション機能

本機能は、ネットワーク上に多数のランダム点  $p_{\text{random}}$  を生成する機能である。入力データは、第 3.2.1 節と同様なネットワークデータ、一回の試行に発生させるポイント数  $k$  及びこの試行回数  $l$  で、出力データは生成される  $k \times l$  個の  $p_{\text{random}}$  の座標、その点の属する母線番号及び母線からの最短経路距離である。

以下に本機能の処理手順の概要を示す。

**Step1** 第 3.2.1 節に従って線 NVD を生成する。

**Step2**  $k \times l$  回、以下の処理を繰り返し行う。

**Step3**  $p_{\text{random}}$  をネットワーク上に生成し、 $p_{\text{random}}$  の最短経路距離を、 $p_{\text{random}}$  が存在するリンクの両端ノードの経路距離属性から計算する。

### 3.3. 各機能を融合した解析

圏域解析において単に NVD を表示するだけなら「線 NVD 生成機能」だけがあれば十分である。しかし一般的に VD は様々な解析手法に応用される。例えば、条件付最近隣距離法 (Okabe and Miki, 1984) やクロスボロノイ K 関数法 (Okabe et al., 2006) などの統計的解析手法を用いるものが挙げられる。現在までに、線

NVD を生成するツールはあまり存在しないため、本ツールでこうした解析手法全てに対応することは理想的ではあるが、現実的には不可能である。そこで「地点計測機能」と「モンテカルロシミュレーション機能」を設け、ある程度の検定を解析者の工夫で行えるようにすることによって、本ツールの解析の多様性が高くなると考えた。実際に、本稿では、各機能の融合的な使用例として、第 5 章で条件付隣近距離法による解析例を示す。

#### 4. 線 NVD 及び面 NVD の有効な適用例

線 NVD 及び面 NVD の意義及びこれを用いた解析ツールの必要性をより明確するため、これらの NVD の有効な適用例を挙げる。

##### 4.1. 線 NVD の適用例

犯罪分析において、犯罪者は逃走経路確保するということから主要道路と犯罪地点との関係を調べることは重要である。小宮（2005）は、イギリスやアメリカでの犯罪は、幹線道路から一本後ろ側に入った裏通りで発生しているという研究報告がある、と述べている。また小出（2005）も東京 23 区における住宅侵入盗の多発地点が幹線道路に接続する道路の近傍で発生していると述べている。これらのことから犯罪地点がどの幹線道路圏域内に多く存在するかなどを導き出し、重点的なパトロール計画を立てることは重要なことである。特に、ひたたくり犯罪は、犯行手段としてバイクなどが多く用いられることから、一方通行などの道路規制の影響を受けることとなる。この場合、幹線道路を生成元とする一方通行を考慮した NVD の利用が有効である。

樋口・貞広（2004）は、流行店の発生・拡大には核となる道路の存在が大きく関係していると述べており、このことから道路と店舗の位置関係を調べることは、マーケティング分析などにおいては重要なことであるといえる。この場合、メインストリートを生成元とした NVD を生成すれば、道路の影響を考慮した圏域解析を行うといったことが可能となる。

##### 4.2. 面 NVD の適用例

大きな公園や学校は、災害時における避難場所に指定されていることが多い。公園や学校は面積が広く、また被災者は道路網を通過してその避難場所へ移動することを考えると、面 NVD を用いて、避難所の圏域を抽出し、この結果と人口分布データなどを用いて圏域内人口を算出し、その避難所の収容可能人数と対比するなどして、事前に避難計画を立てておくことは重要なことであろう。

以上に述べてきたように、線 NVD 及び面 NVD の適用には、様々なものがあり、これらの NVD を用いた解析ツールの必要性は高いといえる。

#### 5. 本ツールを用いたひたたくり犯罪の分析例

小宮（2005）と小出（2005）によれば、犯罪は、幹線道路近辺で発生しているとの報告がある。そこで本章では、実際のひたたくり犯罪データに対し、本ツールの機能を用いて、この報告内容を確認してみることとする。

### 5.1. 分析に利用するデータ

国土地理院の『数値地図 2500 (空間データ基盤)』の道路データと昭文社の『詳細地図 (1/6,000)』を用いて、一方通行の情報を一部に含む、京都市中心部の道路データを作成したものを図 4 に示す。なお、図 4 の矢印は一方通行区間を、矢印のないものは一方通行ではない区間を示している。

解析対象エリアの総道路長は 312,996m で、一方通行区間長の合計は 122,622m であり、総道路長に対する割合は約 40% である。

図 4 の色付き実線は、『詳細地図 (1/6,000)』で示されていた主要道路を示し、以降の解析には、この主要道路を母線として用いる。この母線には『詳細地図 (1/6,000)』に示されている路線名称毎に母線番号を与えた。

また図 4 の黒点は、京都府警察ホームページ (URL <http://www.pref.kyoto.jp/fukei/hanjou/index.html> 2005 年 12 月現在) に掲載された情報を元に作成したひたくり犯罪地点 (140 箇所) を示す。

### 5.2. 解析方法

解析方法としては条件付最近隣距離法 (Okabe and Miki, 1984) を用い、実際のひたくり地点が均等ランダム分布に比べて主要道路に近いかどうかを判別することとした。解析に必要な VD として、線 VD、方向付けなし NVD、外向き線 NVD 及び内向き線 NVD を生成し、これらに対して条件付最近隣距離法を適用し、その結果を比較することとした。

条件付最近隣距離法では、基盤的施設 (本節では主要道路) から実際の観測点 (本節ではひたくり地点) までの平均距離 (ここでは観測値と呼ぶ) と均等ランダム点への距離の期待値を求める必要がある。観測値は「地点計測機能」の計算結果から求めることが可能である。期待値に関しては、平面空間上では Okabe and Fujii (1984) により線 VD を用いることによって理論的に求まることが述べられているが、ネットワーク空間における理論的解法の提案はなされていない。そこで本稿では「モンテカルロシミュレーション機能」の計算結果から期待値を求めることとした。「モンテカルロシミュレーション機能」による具体的な期待値の求め方は次に示すとおりである。ひたくり犯罪地点と同数 (140 点) のランダム地点の生成を 10,000 回繰り返す、この出力データの最短経路距離の中央値を求め、これを期待値の代わりとした。

また平均差による検定では、ランダム地点 140 個毎の経路距離の平均値の計算を 10,000 回行い、平均値の小さいほうから 500 番目の値 (棄却域が片側 5% に相当) を下限値とした。帰無仮説としては、「 $H_0$ : ひたくり地点は母線からの平均距離が均等ランダム分布の場合のそれと同じである」、対立仮説としては、



図 4 ネットワークデータとひたくり地点

「 $H_1$ : ひたくり地点は、均等ランダム分布に比べて母線から平均的に近接している」とした。

### 5.3. 結果

まず表 1 の観測値と期待値を比較すると、外向き線 NVD は観測値の方が期待値より大きく、線 VD、方向付けなし線 NVD 及び内向き線 NVD は、観測値の方が期待値より小さいという結果を得た。

次に、平均差による検定では、内向き線 NVD の下限値は、117.35m であり、観測値は 116.83m であることから対立仮説  $H_1$  が採択され、既往の報告が示すように、ひたくり犯罪地点は主要道路近辺で有意に発生するのという結果を得た。一方、線 VD、方向付けなし線 NVD 及び外向き線 NVD は帰無仮説  $H_0$  が採択され、均等ランダム分布と有意な差が認められず、既往の報告には反する結果を得た。特に線 VD の観測値は下限値よりも期待値寄りの値を示すことから、ランダム点の分布性状と同等である傾向はより顕著に現れていると言える。方向付けなし線 NVD に関しては、帰無仮説  $H_0$  が採択されているものの、観測値はやや下限値寄りの値を示しており、線 VD ほど期待値に近いわけではないことがわかる。

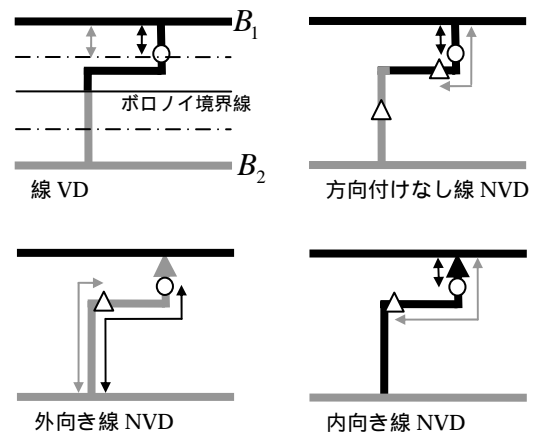
### 5.4. 考察

前節のような結果が算出された原因は、図 5 に示すような模式図を用いると考えやすい。図 5 は、全て同じネットワークで、母線  $B_1$ 、 $B_2$  に対する線 VD、方向付けなし線 NVD、外向き線 NVD 及び内向き線 NVD を示したものである。ネットワーク上の白マークは、母線  $B_1$  へ向かう側の近辺に、観測点が一点あることを示している。また三角マーク及び一点鎖線はそれぞれランダム点の期待値を示している。なお、観測点は一点しか存在しないので母線から観測点への距離が観測値を示すことに注意する。

まず図 5 の期待値に注目してみると、期待値が一番小さいのは、で、二番目が、三番目はとである。が一番小さくなるのは、平面空間上の直線距離を用いているため、期待値が過小評価されるためである。そのため期待値と観測値の差が小さくなる場合があり、場合によっては、前節の解析結果のように期待値と観測値に有意な差がなくなることがある。

また に関して、期待値が と に比べて小さくなることがわかる。これは と に比べて、ポロノイ領域内の最短経路距離の最大値が小さくなり、期待値もそれに従って小さくなるためである。このことは前節の解析結果でも同様なことが言える。

次に、 と の観測値に注目すると、 の観測値は大きく、 の観測値は小さいことがわかる。これは方向付けの非対称性によるもので、 の場合、その観測点はポロノイ境界近辺に位置するため、観測値が大き



\* 大矢印は一方通行の進行可能方向を、色分けはポロノイ領域を示す。  
 ←→ は観測値を示す。  
 ←→ は期待値を示す。

図 5 線 VD 及び各線 NVD による観測点の平均値とランダム点の期待値との関係

表 1 線 VD、方向付けなし線 NVD、外向き線 NVD 及び内向き NVD を用いた解析結果の比較

|     | 線VD   | 方向付けなし線 NVD | 外向き線 NVD | 内向き線 NVD |
|-----|-------|-------------|----------|----------|
| 下限値 | 73.71 | 89.14       | 116.59   | 117.35   |
| 期待値 | 84.96 | 102.01      | 132.62   | 134.24   |
| 観測値 | 80.13 | 93.38       | 138.62   | 116.83   |

単位：m



くなる．このことも前節の解析で同様な傾向が示されているといえる．

以上のように，従来の線 VD による解析だけでは，現実と異なる結果を導き出してしまいう危険性があるが，線 NVD を用いることによって，より現実に即した解析結果を得ることが可能であることを示した．このことから，こうした解析を可能とする本ツールは有効であると考えられる．

## 6. おわりに

本論文では，線 NVD 及び面 NVD の提案とそれによる解析ツールの開発を行った．

まず線 NVD 及び面 NVD の定義を示した．なお，この際，NVD の利点の一つである方向付けネットワークを考慮し，内向き線 NVD の定義を行った．また面 NVD に関しては，面を構成する外側の辺を母線とした線 NVD とみなすことが可能で，その定義は線 NVD と同一として示せることを述べた．

次に本ツールの機能及び処理方法の概要を述べた．

また線 NVD 及び面 NVD の適用例を示した．

実際の解析事例としては、『数値地図 2500 (空間データ基盤)』の道路データと『詳細地図(1/6,000)』の一方通行情報をベースに作成された道路データを用いて，線 VD，方向付けなし線 NVD，外向き線 NVD 及び内向き線 NVD を生成した．これらの VD と京都府警察のホームページから作成したひたくり地点データを用いて，母線に対するひたくり地点の分布性状に関する解析を行った．解析方法は，本ツールの「地点計測機能」及び「モンテカルロシミュレーション機能」を用いて条件付最近隣距離法による検定を行った．その結果，従来の線 VD による結果からは，既往の研究で報告されている主要道路付近で犯罪が発生するというのを確かめることはできなかったが，本ツールによる方向付けを考慮した線 NVD の場合には主要道路付近で犯罪が発生していることを計量的に示すことができ，本ツールの有効性を示した．

## 謝辞

本研究を進めるにあたって，貴重なコメントをいただいた名古屋大学の奥貫圭一氏に，ここで感謝の意を表す．また，本研究の一部はセコム科学技術振興財団の助成金制度による成果である．

なお，本論文で開発した線 NVD による解析ツールは，今後，公開する予定である．

## 注

1) ATL COM とは，Microsoft 社が提唱する COM (Component Object Model) と呼ばれる部品化されたプログラムを，ATL を用いて開発することである．ATL (Active Template Library) とは，Microsoft 社の Visual C++ で提供される雛形ライブラリのことである．この技術により，プログラムを部品化し，これらの部品を組み合わせることで容易にアプリケーション開発が可能となる．

## 参考文献

北村賢之・岡部篤行 (1995) 道路ネットワーク上における商圈確定法．「GIS-理論と応用」, 3(1), 17-24 .  
小出治 (2005) 都市の防犯性能を高める．「ベース設計資料 (建築編)」, 125, 16-19  
小宮信夫 (2005) 犯罪機会論による犯罪抑止．「JUSRI リポート」, 32, 5-38 .  
佐藤俊明・岡部篤行 (2006) 一方通行を含むネットワークボロノイダイアグラム生成ツールの開発．「GIS-理論と応用」, 14(1), 1-8 .

- 樋口大樹・貞広幸雄 (2004) 都市における流行現象の分析 - ファッション雑誌掲載店舗の変遷 - .「地理情報システム学会講演論文集」, 13, 147-150 .
- Erwig, M. (2000) The Graph Voronoi Diagram with Applications. *Networks*, 36(3), 156-163.
- Okabe, A., Boots, B., Sugihara, K. and Chiu, S. N. (2000) Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams. *John Wiley & Sons Inc.*
- Okabe, A., Boots, B. and Satoh, T. (2006) A class of local and global K-functions and cross K-functions, *2006 Annual Meeting, Chicago, Illinois.*
- Okabe, A. and Fujii, A. (1984) The statistical analysis through a computational method of a distribution of points in relation to its surrounding network. *Environment and Planning A*, 16, 107-114
- Okabe, A. and Miki, F. (1984) A conditional nearest neighbor spatial association measure for the analysis of conditional location interdependence. *Environment and Planning A*, 16, 163-171
- Okabe, A. and Satoh, T. (2005) Uniform network transformation for point pattern analysis on a non-uniform network. *Journal of Geographical Systems*, 8(1), 25-37.