

地域ベースのベータをネットワークベースのデータに GIS 環境下で 変換する手法とその適用例

森岡 渉・岡部 篤行

A GIS-based method for converting area-based data to network-based data and its application

Wataru MORIOKA and Atsuyuki OKABE

Abstract: This paper first proposes a GIS-based method for converting *area-based data* (a set of attribute values aggregated over subareas of an area) to *network-based data* (a set of attribute values of point-like and line-like events on a network). Second, the paper illustrates how the conversion method can be applied to an actual problem: estimating the number of refugees who would walk to their nearest shelters following a large earthquake that occurs on a particular day at a specific time.

Keywords: データ変換 (data conversion), ネットワーク空間分析 (network spatial analysis), ネットワークボロノイ図 (network Voronoi diagram), GIS, 地震 (earthquake)

1. はじめに

これまでの空間分析の多くは、メッシュや行政区といった地域単位で集計されたデータを平面上の直線距離で分析してきた。これを本稿では平面空間分析と呼ぶ。初期の有名な平面空間分析研究には、Park *et al.* (1925) ほか 1920 年代のシカゴ学派の一連の研究が挙げられ、以後、平面空間分析は社会学、人文地理学、空間経済学、都市工学など多くの分野で研究されてきた。最近においても平面空間分析が多岐にわたり頻繁に利用されているのは、地域単位で集計されたデータは膨大な蓄積量があり、手軽に広く入手出来るためであ

ろう。さらに、地域単位で集計されたデータは回帰分析等の基礎統計手法が適応しやすい。

しかし近年では、平面空間分析が適さないケースが出てきた。ジオセンサーやスマートフォンの GPS 通信といったデータ取得技術の革新により、個別の地物に関する詳細情報が入手可能となって来た。例えば、市街地における個人のコンビニへの移動データなどである。この場合、ネットワーク上あるいはネットワーク沿いで起きる事象を経路距離に基づいて空間分析するのが適切となる。これを本稿ではネットワーク空間分析と呼ぶ。Okabe and Sugihara(2012) によれば、2つの分析手法から得られる結果は異なり、ネットワーク空間分析の方が従来の平面空間分析よりも詳細かつ正確な情報を提供する。しかし、地域単位で集計されたデータを直接ネットワーク空間分析

森岡：〒150-8366 東京都渋谷区渋谷 4-4-25 3214 号室

青山学院大学総合文化政策学部総合文化政策学科

Phone: 03-3409-6162(岡部研究室)

E-mail: a7110242@aoyama.jp

に用いることは出来ず、現時点ではネットワーク空間分析用データの蓄積も乏しい。そこで本研究では、従来の地域単位で集計された空間情報をネットワーク空間分析で使用するための“実用的”な変換手法を提案する。ここでの“実用的”とはGIS環境下で容易に実行できるという意味である。

本稿の構成は以下の通りである。続く第2章では、地区単位集計データをネットワーク空間分析に用いるための変換手法について説明する。第3章では、事例研究として、青山学院大学周辺における震災時の避難者概数推定への適用例を紹介する。最後に、第4章で結論を述べる。

2. ネットワーク空間分析用データへの変換手法

本章では、地域単位で集計されたデータをネットワーク空間分析に用いるための変換方法について述べる。前提として、地区 S_1, \dots, S_n に区切られた領域 A を考える。領域 A 内の各地区は互いに重ならず、すべてがいずれかの区域に属するものとする。つまり $A = S_1 \cup \dots \cup S_n$, $S_i \cap S_j = \emptyset$, $i \neq j$ と換言できる(図-1)。さらに、領域 A にはノード $V = \{v_1, \dots, v_{n_v}\}$ とリンク $L = \{l_1, \dots, l_{n_l}\}$ を持つネットワーク $N = N(V, L)$ がある(図-2)。 S_i の属性値を x_i とする。例えば行政区ごとの人口値である。以上の前提のもと、各地区で集計された属性値 $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ をネットワーク $N = N(V, L)$ の各リンク $L = \{l_1, \dots, l_{n_l}\}$ をベースとした値に変換したい。

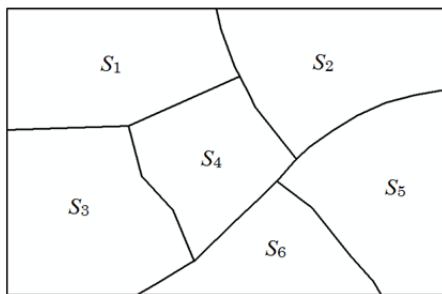


図-1 S_1, \dots, S_n で区切られた領域 A

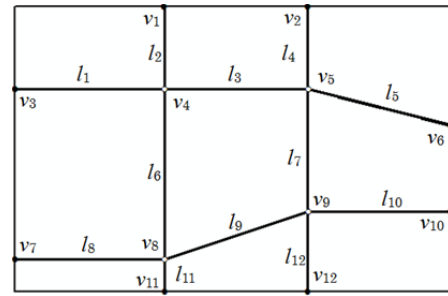


図-2 領域 A 内のネットワーク $N = N(V, L)$ と、各ノード $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ 、各リンク $L = \{l_1, \dots, l_n\}$

詳しい変換手法を述べる前に、まず属性値を持つポリゴンを対象としたネットワーク空間分析について述べる。

世帯人員数を属性値に持つ家屋のポリゴンを図-3に示した。もし、それぞれの家屋の門扉の位置を把握しているならば、住人は門扉から出入りするので、ポリゴンを門扉のポイントデータに変換することができる(図-3 白丸)。もし門扉が不明な場合は家屋内に代表点を設け(黒丸)、ネットワークへの最近接点(白丸)のデータに変換する。以上の手順でネットワークに沿った空間分析が可能になり、必要に応じてそれぞれのリンクごとに集計した人口値も得ることができる。

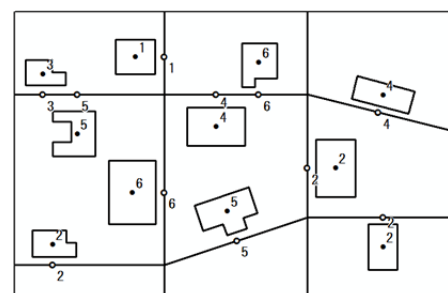


図-3 各家屋の属性値をネットワーク上の点に割り当てる様子

次に、詳しい変換手法について述べる。操作は以下の3つの工程を踏む。

Step1. 領域 A にグリッド点 q_1, \dots, q_{n_g} を発生させ、各地区 S_i に含まれるグリッド点の総数 $n(S_i)$ を計算する(図-4)。 $S_i, i = 1, \dots, n$ に含まれ

るグリッド点 q_j の j の集合を $I_G(S_i)$ とする。

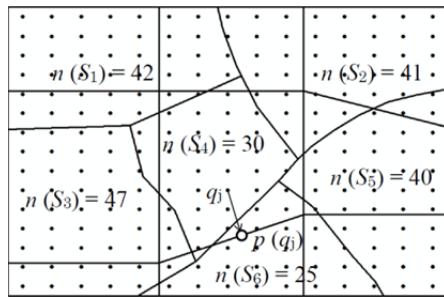


図-4 地域→ネットワークデータ変換

Step2. 地区 S_i 内のグリッド点 q_j に対して $x(q_j) = x_i/n(S_i)$ という値を追加する。すなわち、 $j \in I_G(S_i)$ で、グリッド点 q_j の属性値 $x(q_j)$ を作成する。これを全てのグリッド点 q_1, \dots, q_{n_G} に施す。

Step3. グリッド点 q_j におけるネットワーク $N = N(V, L)$ の最近接点を検索する。最近接点を $p(q_j)$ とし、これをグリッド点 q_j のアクセス点とする。 $q_j \in I_G(S_i)$ であり $x(p(q_j)) = x_i/n(S_i)$ という条件から $p(q_j)$ の属性値を求める。

以上の工程から、地区 S_1, \dots, S_n の属性値 x_1, \dots, x_n をネットワーク $N = N(V, L)$ のアクセス点 $p(q_1), \dots, p(q_{n_G})$ に基づく属性値 $x(p(q_1)), \dots, x(p(q_{n_G}))$ に変換でき、上述の家屋のケースと同様、必要に応じてリンクごとに属性値を集計することも出来る。本手法の特徴は、以上の作業を標準装備のGISソフトウェアで可能な点である。

3. 事例研究

本手法を用いて実際の事例に適用する。本稿では、特定の曜日、特定の時間帯（例：4月8日14時台）に首都圏直下型の大地震が発生した場合、帰宅困難者施設への避難者数は何人程度になるか推定をする。ここでは、領域内にいる来街者が最寄りの帰宅困難者支援施設へ徒歩で向かうと仮定し、各施設への避難者数を割り出す。この推

定は想定する避難者数を受け入れ可能かの判定や、食糧の備蓄といった点で防災計画の一助となる。

対象領域は、青山学院大学青山キャンパスを中心に1km圏内を覆う108個の250mメッシュ(図-5)とし、各メッシュを S_i とみなす。時間別の人口動態データに関してはゼンリンデータコム提供の流動人口統計データを用いる。本データは自宅人口、勤務地人口、流動人口から構成されており、ここでは帰宅困難者数を推定するので、流動人口のみを対象とする。データは、2011年4月1日～2012年3月31日の1時間おきのデータである。また、ネットワーク及び街区データについては数値地図2500シリーズを使用し、ArcGIS10.1 for Desktop advancedでこれらのデータを扱う。

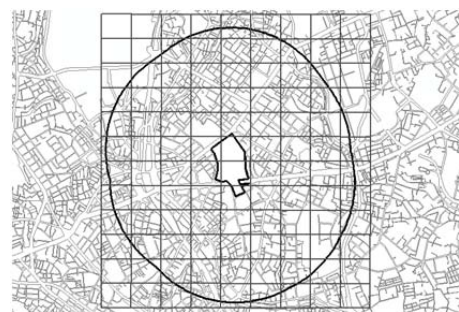


図-5 本事例における対象領域

3.1 アニメーションによる人口動態の可視化

直感的に対象領域の時間別人口動態を理解するためには、ArcSceneを用いた3次元アニメーションが有効である。ArcSceneとは3次元可視化するESRI社発売のGISソフトウェアである。所持している946,080レコードの人口値(108メッシュ×24時間×365日)を、以下の手順でアニメーション化した。

まず、ゼンリンデータコム提供のフォーマットをExcel VBAを用いてArcGISのタイムアニメーション表示に適した形式に変換する。次に Turbo Delphi で記述したプログラムを使用し1か月ごとに分断されていた2011年4月～2012年3月までの1年分のデータを1ファイルに連結する。さ

らに Python で記述したプログラムを使用し、メッシュの図形データと属性データを一致させる。最後に ArcScene 内の表示設定を整える。以上より、図-6 のような 3 次元表示が可能となる。

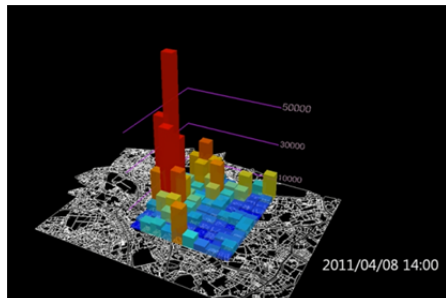


図-6 2011 年 4 月 8 日 14 時台の青山学院大学周辺地域の人口分布

3.2 各支援施設の避難者概数推定

第 3.1 節の可視化から、青山学院大学周辺は流動人口の値が非常に高いことが把握でき、大地震の際には大勢の帰宅困難者の発生が予想される。そこで最寄りの支援施設まで歩く、人口動態は 1 年で変化はしない、という仮定のもとで、各帰宅困難者支援施設への避難者概数を ArcGIS で次の 5 つの手順から推定する。なお、青山学院大学周辺の帰宅困難者支援施設は図-7 に黒丸で示してある。

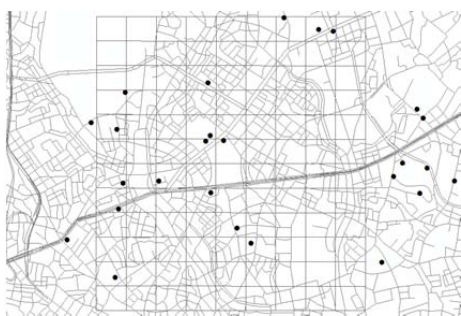


図-7 青学周辺の帰宅困難者支援施設

手順 1. グリッド点の発生

以下の 5 工程より 108 メッシュ S_1, \dots, S_{108} から成る青学周辺地域にグリッド点 q_1, \dots, q_{n_G} を発生させる。

Step1. グリッド点の発生数を決める。今回は出力

結果がおよそ 5m おき、各 250m メッシュでの発生数が 2,500 点、になるよう 27 万点 ($2,500 \times 108$) とした。

Step2. ArcToolbox 内の[フィッシュネットの作成]ツールを起動する。([] は ArcToolbox のツール名を指す)

Step3. 発生間隔を設定する。

Step4. ツールを実行する。発生したグリッド点の集合を $Q = \{q_1, \dots, q_{n_G}\}$ とする。

Step5. [空間結合]ツールを起動し ターゲットフィーチャに $Q = \{q_1, \dots, q_{n_G}\}$, 結合フィーチャに $S = \{S_1, \dots, S_n\}$ をセットしマッチオプションを WITHIN に設定後ツールを実行する。以上より所属する地区 S_i の ID を各グリッド点の集合 $Q = \{q_1, \dots, q_{n_G}\}$ の属性値として付加する。

空間分析では、上記のようにしばしば複数のツールを続けて実行する。連続してツールを実行するための機能として ArcGIS では ModelBuilder と呼ばれるモデル作成アプリケーションを提供している。

手順 2. グリッド点の人口値を計算

第 2 章で述べたとおり、手順 2 では各メッシュ S_1, \dots, S_n の人口値 x_1, \dots, x_n から、各グリッド点 q_1, \dots, q_{n_G} の人口値 $x(q_1), \dots, x(q_{n_G})$ を求める。工程は以下の通りである。

Step1. 手順 1 で発生させたグリッド点 q_j

($j = 1, \dots, n_G$) に、所属するメッシュ S_1, \dots, S_n の推定したい時間帯の人口値 x_1, \dots, x_n を付加する。

Step2. 各メッシュ S_i が包含するポイント数 $n(S_i)$ を数える。

Step3. 各メッシュ S_i の人口値 x_i を包含するポイント数 $n(S_i)$ で除し、各ポイント $q_i (j \in I_G(S_i))$ にポイントの人口値 $x(q_i)$ として割り当てる。すなわち $x(q_i) = x_i / n(S_i)$ である。この作業を全メッシュ $i = 1, \dots, n$ に施す。

手順 3. ネットワークボロノイ図の生成

効率的にネットワーク距離に基づき最寄りの施設を見つけるには, Hakimi(1965), Hakimi *et al.*(1992), Okabe and Kitamura(1996), で述べられているように, ネットワークボロノイ図が有効である. 具体的には, ネットワーク $N = N(V, L)$ 上に母点 $P = \{p_1, \dots, p_{n_p}\}$ があり, 任意の点 p から母点 p_i の最短経路距離を $d_s(p, p_i)$ とする. そして $V(p_i)$ は $N = N(V, L)$ の部分集合であるとき,

$$V(p_i) = \{p | d_s(p, p_i) \leq d_s(p, p_j), j \neq i, j = 1, \dots, n_p\}$$

という式が成り立つ. 生成された集合 $\{V(p_1), \dots, V(p_{n_p})\}$ は P を母点とするネットワークボロノイ図, 各集合 $V(p_i)$ は母点 p_i のボロノイサブネットワークと呼ばれる. ネットワークボロノイ図の全体的な特性については, Okabe *et al.*(2000) の第 3 章 8 節, Okabe and Sugihara (2012) の第 4 章を参照されたい. それらによれば, ネットワークボロノイ図は平面に対して定義された通常のボロノイ図の簡単な拡張であるとされるが, ネットワークボロノイ図のためのツールは, 残念ながら標準的な GIS 製品には, ほぼ未搭載である. そこで本研究では ArcGIS の拡張ツールであるネットワーク空間分析ツールの SANET を使用する. 幸いにも, SANET には, ネットワークボロノイ図作成ツールを含む, 多くのネットワーク空間分析ツールが搭載されており, 研究目的であれば無料で利用できる. SANET の各ツールに関する詳しい説明は Okabe *et al.*(2006a;2000b), Okabe and Satoh (2009) や Okabe and Sugihara (2012) を参照いただきたい. ちなみに SANET は, SANET の web サイト <http://sanet.csis.u-tokyo.ac.jp/index.html> からダウンロードできる.

ネットワークボロノイ図を生成するための工程は以下の通りである.

Step1. SANET ツールボックスの[Voronoi diagram]ツールを起動する.

Step2. ネットワーク $N = N(V, L)$ と対応する母点 $P = \{p_1, \dots, p_{n_p}\}$ (ここでは帰宅困難者支援

施設) をセットする.

Step3. [Voronoi diagram]ツールを実行しネットワークボロノイ図 $\{V(p_1), \dots, V(p_{n_p})\}$ を作成する (図-8) .

以上のステップより, ボロノイサブネットワーク $V(p_i), i = 1, \dots, n_p$ を形成するリンクの集合 L_i が作成される. 結果として, 各リンク l_j は元のネットワーク $N = N(V, L)$ のリンクの集合 L_1, \dots, L_{n_p} の一部と言える.



図-8 支援施設を母点とするネットワークボロノイ図

手順 4. 各グリッド点の最近接ネットワークの検索

手順 1 で発生させたグリッド点 q_1, \dots, q_{n_g} における, ネットワーク $N = N(V, L)$ への最近接点 $p(q_j)$ を求める. 工程は以下の通りである.

Step1. ArcToolbox 内の[最近接]ツールを起動する.

Step2. 入力フィーチャにグリッド点の集合

$$Q = \{q_1, \dots, q_{n_g}\}$$

を, ターゲットフィーチャに手順 3 で作成したリンクの集合

L_1, \dots, L_{n_p} をセットし, 座標値の出力にチェックを付ける.

Step3. [最近接]ツールを実行しグリッド点 q_j におけるリンク L_1, \dots, L_{n_p} への最近接点 $p(q_j)$ を求める.

以上からネットワークへのアクセス点 $p(q_j)$ が得られる.

手順 5. 施設ごとの避難者数推定

これまでの操作から, 2 つのテーブルを得ている. ①手順 2 で得た人口値 $x(q_j), j = 1, \dots, n_g$ を

属性値に持つグリッド点 q_j のテーブル, ②手順 4 で得たネットワーク点最近接の座標値を持ったアクセス点 $p(q_j)$ とボロノイサブネットワーク L_k を属性値に持つグリッド点 q_j のテーブルである。まずこれらのテーブルに対し $j = 1, \dots, n_G$ をキーに結合する。そして, ボロノイサブネットワーク L_k ごとに人口値 $x(p(q_i))$ を集計することで, 最寄りの支援施設 p_k に徒歩で避難した際の避難者概数が得られる。工程は以下の通りである。

Step1. [テーブル結合] ツールを起動する。

Step2. テーブル①, テーブル②をセット。

Step3. ボロノイサブネットワーク L_k ごとにグリッド点 q_i の人口値 $x(p(q_i))$ を合計する。

以上から, 特定の時間帯における避難者数の概数を予測することができる。

4. おわりに

本研究では, 地区単位で集計されたデータをネットワーク空間分析用に変換する実用的手法を提案した。本手法は標準装備の GIS 環境下で可能な手法であり, 必ずしも専門的なコンピュータプログラミング技術を持ち合わせていない GIS 関係者に合ったモデルと言える。本手法を通してネットワーク空間分析においても地区単位で集計されたデータの使用が可能となり, 分析の幅の拡大につながる。本稿では事例研究として, 首都圏直下型の大地震が発生し, 来街者が最寄りの帰宅困難者支援施設まで徒歩で避難すると仮定した場合の避難者概数予測の推定法を述べた。

謝辞

本研究は, 青山学院大学社会学連携研究センターの防災研究プロジェクトの一環である。研究費の支援をいただいた上記センターおよび 流動人口統計データを提供していただいたゼンリンデータコムに記して感謝の意を表する。

参考文献

- Drysdale, R.L. and D.T. Lee (1978) Generalized Voronoi diagram in the plane, *Proceedings of the 16th Annual Allerton Conference on Communications, Control and Computing*, 833-842.
- Hakimi, S.L. (1965) Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems. *Operations Research*, 13 (3), 462-475.
- Hakimi, S.L., Labbe, M., and Schmeichel, E. (1992) The Voronoi partition of a network and its implications in location theory. *ORSA Journal on Computing*, 4 (4), 412-417.
- Imai, T. and K. Sugihara (1994), A failure-free algorithm for constructing the Voronoi diagrams of line segments, *Transactions of the Information Processing Society of Japan*, 35, 1966-1977.
- Okabe, A., B. Boots, K. Sugihara and S.N. Chiu (2000), *Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams*, Chichester: John Wiley.
- Okabe, A., and Kitamura, M. (1996). A computational method for market area analysis on a network, *Geographical Analysis*, 28 (4), 330-349.
- Okabe, A., Okunuki, K., and Shiode, S. (2006a) SANET: A toolbox for spatial analysis on a network, *Geographical Analysis*, 38 (1), 57-66.
- Okabe, A., Okunuki, K., and Shiode, S. (2006b) The SANET toolbox: new methods for network spatial analysis, *Transaction in GIS*, 10 (4), 535-550.
- Okabe, A. and Satoh, T. (2009) Spatial analysis on a network, in *SAGE Handbook of Spatial Analysis*, eds A.S. Fotheringham and P.A. Rogerson, London: SAGE Publications, pp. 443-464.
- Okabe, A and K. Sugihara (2012), *Spatial Analysis along Networks*, Chichester: John Wiley.
- Park, R., E. Burgess and R. McKenzie (1925) *The City*, Chicago: University Chicago Press.