

都市域の道路形状特性に着目した道路中心線の自動生成について

首都大学東京	都市環境科学研究科	学生員	○萩原	陽一
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	天口	英雄
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	河村	明
首都大学東京	都市環境科学研究科	学生員	田内	裕人

1. はじめに

道路中心線の利用は、カーナビゲーションシステムの経路検索¹⁾や交通シミュレーションモデルの構築²⁾、さらには氾濫シミュレーションモデルの構築³⁾など多岐にわたるため、道路中心線を用いた道路ネットワークデータ（以下道路 NWD）の自動構築手法に関する研究が数多く行われている。例えば糸永ら⁴⁾は紙地図のようなアナログデータしか入手できない地域を対象に、地図画像から道路抽出、細線化・折れ線近似処理による道路中心線の作成と交差点付近でのひずみ修正により、精度の高い道路 NWD を作成している。また近年配備が進む数値地図 2500⁵⁾などのデジタルデータに対しては、道路縁上に数メートルの短い間隔で発生させたポイントを用い、汎用的に利用されている不正三角形網あるいはボロノイ図などを、道路中心線の作成に応用した手法が提案されている^{6) 7)}。汎用的な手法を用いた場合、複雑形状の交差点や道路幅が局所的に変化する単路などでは道路中心線にひずみが発生するので、道路の直進性が失われることが報告されている⁶⁾。道路形状が複雑となる都市部では複雑形状の交差点や道路幅の局所的な変化が多いので、道路中心線の自動構築には道路形状特性を考慮することが有効であろう。本研究では、ポリゴン型の連続したデジタルデータの道路を入力として、ひずみが少なく道路の直進性を維持した道路中心線の自動構築手法を提案し、道路幅員情報を取得する。また本手法を実際に道路形状が複雑な都市域に適用し、道路中心線のひずみと直進性を確認するとともに、先行研究で紹介された自動作成手法による道路中心線との比較を行うことで本手法の有用性を検証する。

2. 都市域の道路形状特性と道路中心線

都市域では図-1a) に示すように、これらの道路が互いに交差点により接続し、巨大なネットワークを形成している。交差点の種類は道路の枝数、交差角度および導流路の有無により、丁字路、十字路など比較的単純なものから、食い違い交差点、拡幅交差点などさまざまであり、さらに隅切りをもつ交差点と持たない交差点が混在しているため、交差点の形状は多岐にわたっている。また交差点以外の道路でも、中央帯により車道の往復方向が分離されている高規格道路や、垂直に近い角度で道路が折れ曲がる屈曲部などが存在し、複雑な形状をなしている。しかしながら、こうした都市流域の複雑な道路においても、図-1b) に示すように交差部と単路部に分離することで単純形状の要素の集まりとして扱うことが可能である。

(1) 交差部・単路部の分離

本研究で提案する自動構築手法では、図-2 のフローチャートに従い、まず 1 つの連続したポリゴンで表現され

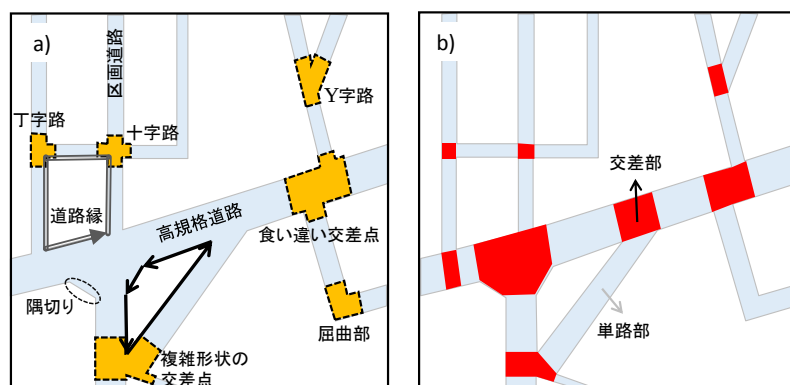


図-1 都市域の道路と交差部・単路部への分離

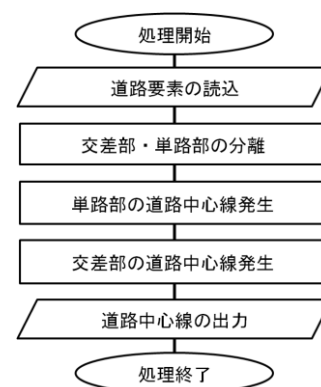


図-2 道路中心線発生フローチャート

キーワード 都市域、地物データ GIS、道路形状、道路中心線、数値地図 2500

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 E-mail: tanouchi-hiroto@ed.tmu.ac.jp

た道路を交差部・単路部に分離し、次いで単路部・交差部それぞれにおいて異なる処理で道路中心線を発生させ、最後に作成した道路中心線を連結する。

図-3 には交差部・単路部分離の具体的な流れを示す。まず、交差部付近には道路縁の屈曲角度(図-3 a)の θ_0 が 180 度よりも大きな凹点が集中する特徴があるため、凹点を抽出し、近傍(図-3 a)の距離 L_0 以内)の凹点をまとめることで隅切りを抽出する。ここで距離 L_0 は建築基準法で隅切りの最小長さが 4m とされていること、および凹点間の距離が 6m 以上となると、2 つの凹点が異なる交差部を構成している場合が多かったことを考慮し、6m を設定した。次いで隅切りの端となる凹点から、図-3 b)のように道路を横切る方向に検索範囲を設定し、道路を挟んで向き合う道路縁を検索する。図中の検索角度 θ_1 は少なくとも 30 度を設定すれば、交差部・単路部の分離を精度良く行うことができることを確認している。次に検索した道路縁の端点に向け、検索範囲を設定した凹点から線分を発生させ(図-3 c))、この線分で交差部と単路部を分離し、分割された道路要素を得る(図-3 d))。

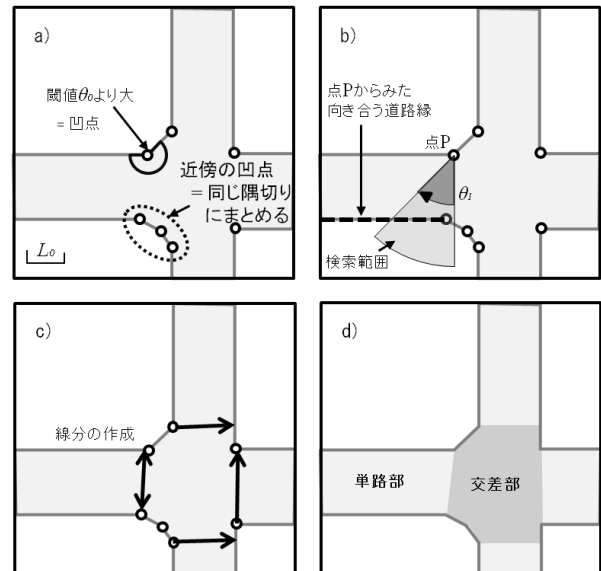


図-3 交差部・単路部分離

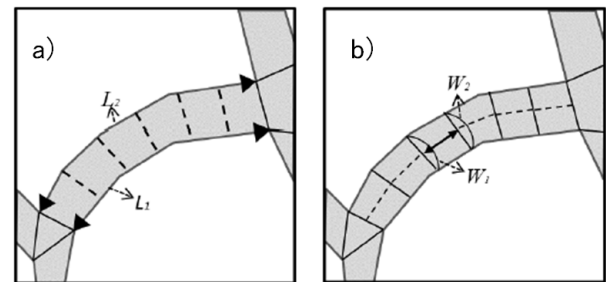


図-4 単路部の道路中心線の発生

a) 道路進行方向への分割, b)道路進行方向への分割

3. 道路中心線の発生

(1)単路部における道路中心線発生

図-4 には単路部において道路中心線を発生させる具体的な流れを示す。本研究ではまず、ラグランジュ補完法の概念を用いて、図-4a)のような単路部について道路進行方向に N 等分する線分を発生させる。 N は同図の L_1 , L_2 を用いて以下の式(1)で計算する。

$$N = \text{Round}\left(\frac{L_1 + L_2}{2L_{div}}\right) \quad (1)$$

ここで **Round** は四捨五入を示す関数である。また L_{div} は線分の発生間隔を制御するパラメータであり、道路幅に対して十分に小さな値を設定することで単路部の線形を忠実に再現した道路中心線の発生が可能となる。

次いで図-4c)のように、隣接する線分の中点を結ぶ線を発生させ連結することで道路中心線を作成する。この際に作成した道路中心線には、各単路部における道路延長として中心線長さを、また平均道路幅として N 等分する際に用いた線分長さ(図-4c)の W_1 , W_2 の平均値をそれぞれ道路幅員情報として与える。

(2)交差部における道路中心線発生

図-5 は交差部において道路中心線を発生させる具体的な流れを示している。本研究では交差部を直進する道路をその交差部における主軸道路として抽出し、主軸道路の道路中心線を優先し作成することで道路の直進性を維持する。

まず、 n 差路の交差部に接続する単路部の方向として、図-5a)のように単路部道路中心線の方向 $t_1, t_2 \dots t_n$ を計算し、単路部の平均道路幅 $w_1, w_2 \dots w_n$ とともに交差部ポリゴンの属性として取得する。次いで、図-5b)における c_{ij} のように、単路部 i, j の組み合わせに対する中心線間を結ぶ線分を発生させ、線分と単路部の中心線間とでなす角度(図中の θ_1, θ_2 など)を計算し、角度の平均値 $\theta_{12} = (\theta_1 + \theta_2) / 2$ を求める。この計算を交差部に接続する単路部のすべての組み合わせで行い、各 θ_{ij} を求める。 θ_{ij} は交差部を介しての道路の湾曲度合を示すパラメータであり、180 度に近いほど交差部をまっすぐ通過する道路であるといえる。また同様に、単路部のすべての組み合わせにおいて、単路部平均道路幅の比(c_{ij} においては、 $R_{ij} = w_i / w_j$)を計算しておく。ただし、 R_{ij} は以上の値をとる実数とし、 R_{ij} が計算上 1 以下となる場合には逆数をとる。すなわち R_{ij} は交差部に接続する単路部道路幅の比を表すパラ

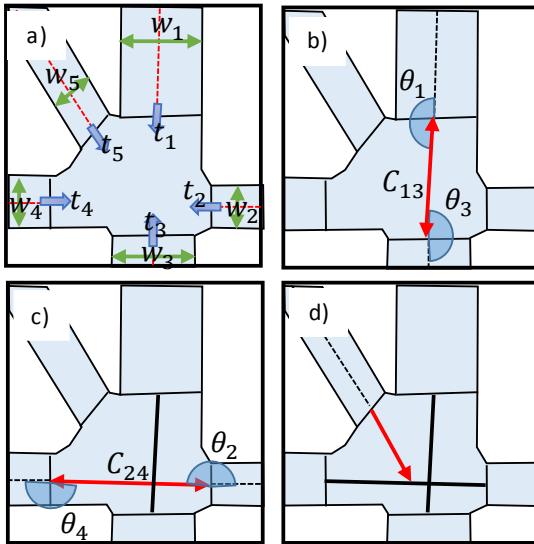


図-5 交差点における道路中心線の発生

a) 交差点の例と接続する単路部の方向・道路幅, b) 主軸の道路中心線発生, c) 複数の主軸の道路中心線発生, d) 主軸以外からの道路中心線延長

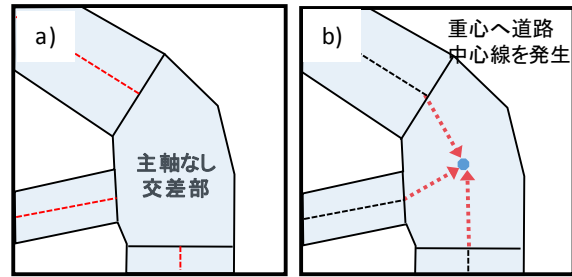


図-6 主軸を持たない交差点での道路中心線の発生

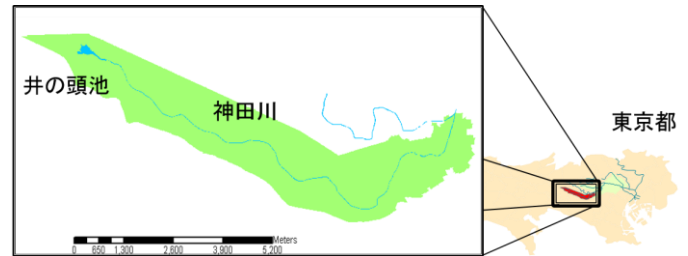


図-7 本研究での道路中心線自動作成対象領域

メータであり、これが 1 に近いほど交差点を介しての道路幅の変化が小さく交差点の主軸となる道路であると考えられる。次に、 R_{ij} が閾値 R_c 以下を満たし、 θ_{ij} が閾値 θ_c よりも大きくかつ最も 180 度に近い線分を、主軸の道路中心線として抽出する。次いで、主軸として選ばれた単路部 i, j を除いた交差点を考え、同様の手法で他の主軸を抽出する操作を逐次繰り返す。すなわち図-5c)のように、交差点によっては 2 本以上の主軸の道路中心線が得られる場合がある。この繰り返しを主軸の中心線が発生しなくなるまで繰り返し、交差点における主軸の道路中心線を得る。上記処理にて主軸として検出されなかった単路部については、単路部の道路中心線を延長することで交差点内における道路中心線とする。図-5d)に示すように、主軸以外の単路部について道路中心線を徐々に延長し、これが先に作成していた交差点内の道路中心線と交差するのであれば、その交差点を终点とする道路中心線を作成する。なお主軸が 1 本でも検出されなかった交差点は、図-6a)のように交差点をまっすぐ通過する道路がないと考えられるので、交差点の重心を発生させ、各単路部の中心線を重心まで延長することで道路中心線とする(図-6b))。最後に、交差点内の道路中心線について、発生させた道路中心線の交点および始点・終点を単路部の道路中心線と接合する。

4. 都市域への適用と検証

本研究では図-7 に示すように神田川上流域を対象領域とする。神田川は東京都三鷹市井の頭恩賜公園の井の頭池にその源を発し、新宿区に流入する一級河川であり、早くから都市化が進行した地域であるため、同図の小領域に示すような錯雑な道路網を形成する地域となっている。本研究では井の頭池から善福寺川合流点までの上流域 11.5 km² (うち道路面積は 1.79 km²) を対象流域に設定し、数値地図 2500『基盤地図情報』の道路縁・道路構成線から作成したポリゴン型の道路要素から、道路中心線の自動構築を行った。

本手法の実装と適用は、CPU に Intel(R) XEON(R) CPU5520 (2.27GHz) を用いた環境下で、GIS ソフトの ArcGIS Ver. 9 に付随する共通基盤コンポーネントである ArcObjects の Visual Basic for Applications (VBA) を用いて行った。本手法での神田川上流域の道路中心線作成には、交差点・単路部の分離に約 4 時間、単路部および交差点の道路中心線発生にそれぞれ 0.5 時間、そして道路中心線の接続に 0.5 時間、合計で 6 時間程度を要した。

本研究で提案した手法により作成した道路中心線について、ティーセン分割法により自動構築した道路中心線データ (以下ティーセンデータ) および TIN を用いて自動構築した道路中心線データ (以下 TIN データと呼ぶ) と比較し、本手法の有効性を検証する。図-8 では、神田川上流域の一部における道路中心線、ティーセンデータおよび TIN データを示している。この図より、例えば図中の A 領域のような単純形状の単路部では各データに大きな差は見られないものの、単路部で道路幅が変化する B 領域においては、本手法のデータでは他の手法とは異なり不要な中心線が発生していない。また隅切りがあり形状が複雑な交差点 (C 領域) に注目すると、ティーセ

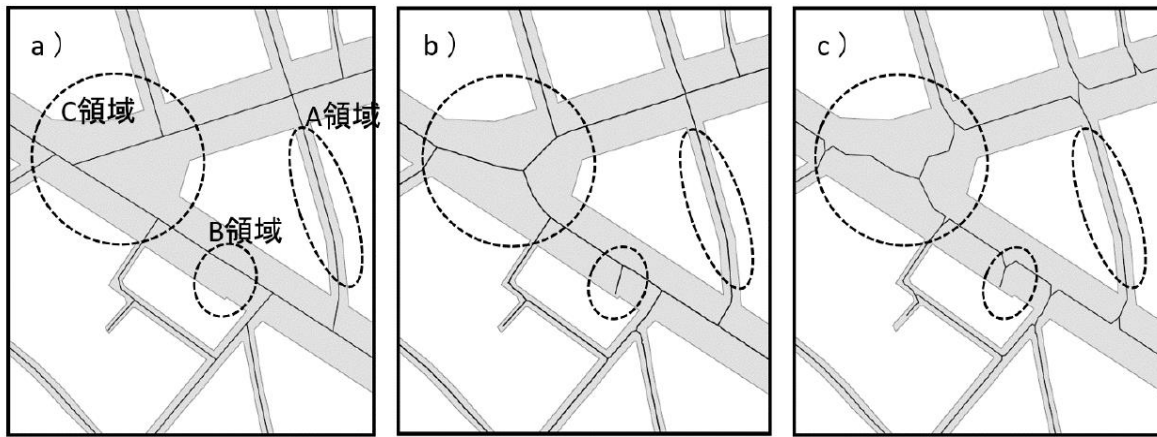


図-8 神田川上流域における a)本手法による道路中心線, b)ティーセンデータおよび c)TIN データ.

ンデータおよび TIN データではひずみが発生し道路の直進性が明瞭となっており, 道路の直進が明確となっている. これは, このような複雑な交差点においても交差点と単路部が適切に分離され, 道路進行方向が正確に設定されているためと考えられる.

5. むすび

本研究では, カーナビゲーションシステムの設計や交通・氾濫シミュレーションモデルの構築など多様な用途を持つ道路中心線を自動構築するシステムについて開発を試みた. 本手法では, まず都市域の複雑な道路形状特性に着目して単純形状の交差点と単路部に分離し, 次いで交差点と単路部で異なる手法を用いて道路中心線を発生させ, 最後に道路中心線を連結し, ひずみが少ない道路の直進性を維持した道路中心線を自動生成し, 単路部の道路幅員情報を取得した. 本手法を実際の都市域である神田川上流域に適用し検証を行った結果, 道路の幅員が変化する領域や交差点など複雑形状の領域においても道路の直進性を維持した形状で道路中心線を作成できることが示された. 今後の展望としては, 中央分離帯などで分離されている道路など, 往復車線を異なる道路として道路中心線を抽出することが望ましい道路において, 道路中心線を自動作成する手法を開発する予定である.

参考文献

- 1) 大沢裕, 藤野和久: 前処理を必要としない道路ネットワーク上での最短寄り道経路探索アルゴリズム, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J93-D, No. 3, pp. 203-210, 2010.
- 2) 花房比佐友, 小林正人, 小出勝亮, 堀口良太, 大口敬: 市街地道路交通を対象としたナウキャストシミュレーションシステムの構築, 東京大学生産技術研究所研究解説, Vol.65, No. 2, pp. 105-110, 2013.
- 3) 鈴木久美子, 安原一哉, 村上哲, 小峰秀雄: 非構造格子モデルを用いた氾濫解析における GIS の利用, 土木情報利用技術論文集, Vol.17, pp. 243-24, 2008.
- 4) 糸永航, 松田一郎, 米山範隆, 伊藤晋: 地図画像からの道路ネットワークの自動抽出, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J82-D-II, No. 11, pp. 1990-1999, 1999.
- 5) 国土地理院: 数値地図 2500 (空間データ基盤), < <http://www.gsi.go.jp/geoinfo/dmap/dm2500sdf/>>, (2015.1.13 参照).
- 6) Huseyin Z.S. I., Oztug B. and Mehmet Y. : Triangulation Method for Area-Line Geometry-type Changes in Map Generalisation, Cartographic Journal, Vol.47. No. 2, pp. 157-163, 2010.
- 7) 奥秋恵子: 道路形状ポリゴンを用いた, 道路幅員ネットワークデータの自動生成, 地理情報システム学会講演論文集(CD-ROM), Vol.21, pp. ROMBUNNO. D-1-4, 2012.