

# デフォルメ地図の自動生成手法と その適用システム

山守 一徳

店案内によく使われるデフォルメ地図を自動生成する3つの手法について述べる。基本的には、道路の2次元的な繋がりを維持したまま直線化や水平垂直化の変形を行う手法であり、線分を選択しつつ逐次的に変形する方法とすべての線分を徐々に並列的に変形させる方法とがある。それら道路に対する手法を鉄道の路線図に対して応用した手法についても紹介し、さらに、電子地図データを用いて任意の地点のデフォルメ地図を出力するシステムへの取組みについても述べる。

キーワード：略地図、デフォルメ、電子地図、自動生成、GIS

## 1. はじめに

パンフレットや広告の中の場所案内用の地図ではデフォルメ変形された地図がよく使われている。これらの地図は限られた紙面内で描かなければならないという制約から変形されているだけでなく、見やすさや分かりやすさを求め変形が行われている。また、不動産物件の販売用等では交通の便に対して特に意図的な変形が加えられている場合もある。

これらデフォルメ地図は至る所で見受けられるが、手作業で作成されているのが現状である。その理由は、現在のところ位置関係に矛盾が生じない範囲で道路等を変形させる有効な手法は確立されていない上に、地図の見やすさや美しさの基準は人間の主観によるところが大きいためである。

一方、電子地図の普及と共に、地理情報システムやカーナビゲーションシステムを始めインターネット経由の地図利用サービス等、地図を用いるシステムが急速に広まりつつある。

その中で、手作業でしか作成されていないデフォルメ地図を自動で作成することができれば、デフォルメ地図の使い方がさらに拡大することと思われる。

これまで、道路の2次元的な繋がりを保ったまま道路の直線化や交差点の直交化等の変形を行う手法について研究を進めてきており、本文では、まず3つの道路変形の基本手法を紹介する。(1)逐次型道路変形手法

[1]、(2)エッジ単位の変形に基づく並列型道路変形手法[2]、(3)ストリート単位の変形に基づく並列型道路変形手法[3]である。さらに、道路変形手法を鉄道の路線図へ応用したデフォルメ路線図の自動生成手法[4, 5]を紹介する。また、電子地図データを用いて任意の地点のデフォルメ地図を出力するシステムへの取組み[6-8]についても述べる。

道案内用地図を生成する類似の研究として、出発地から目的地への経路を主とした略地図を生成させる研究[9]が行われているが、本研究のように、道路の2次元的な接続関係をすべて保持したまま変形させようとするものではない。また、日立製作所中央研究所にて「地図の自動要約化技術」の研究[10]が行われているが、手法は公開されていない。

## 2. 逐次型道路変形手法

交差点の交差角度が直角でなくても、人間はそれを直角と見なす傾向があり、認知心理学の分野で交差点の直交化現象として知られている。そこで、道路の位相構造が壊れないようにしながら、交差点の接続角度を45度単位の方法に量子化すると同時に、道路を直線状に整形する。この時、一般に全体の図形要素を並列的に変形する方法と個々の要素を逐次的に変形する方法が考えられるが、人間がデフォルメ地図を描く場合には、道路全体のバランスを見ながら、基本的には個々の道路を適当な優先順位を付けながら逐次的に変形していると考えられる。ここでの逐次的道路変形手法は、人間の逐次的な道路変形過程に基づいて道路変形を行うものである。

やまもり かずのり

三重大学 教育学部情報教育

〒514-8507 津市栗真町屋町 1577

## 2.1 変形の手順

大まかな道路変形手順は以下のとおりである。

(1) 前処理：道路がなるべく水平垂直になるように地図全体を回転させる。

(2) 節点分類とセグメント化：道路の節点（ノード）を交差点、端点、関節点、曲り角、その他に分類し、その結果を用いて直線的に繋がる線分列（セグメント）を求める。

(3) 方向量子化：各セグメントを直線化し、1本ずつ45度単位の量子化方向に回転させる。

方向量子化を行うセグメントの順番は、各セグメントごとに求めた移動のしやすさを示す評価値の順に行う。セグメントを1つずつ位相構造に矛盾が生じない範囲で順に動かしていき、動かせなくなった場合にはバックトラックしつつ全体の変形を行う。なお、セグメントは他のセグメントとの接続条件により45度単位以外の方向も最後に許して直線化している。

## 2.2 実験結果

本手法は斜めの道路があまり含まれていない場合に、数十本程度から成る道路に対しては人間が作成したものと非常に近いデフォルメ地図が生成できる。しかし、道路と道路の接近の程度は評価していないため、道路の長さを相対的に保存することができていない。特に斜めの道路の存在により、道路線分の長さが短くあるいは長くなりすぎる事が起きる。

## 3. エッジ並列型道路変形

逐次型道路変形手法では、最後の方で変形される道路は変形移動できる範囲が限られ、結果として局所的に交差点間の距離が大きく変化するという問題があった。この問題を解決するため、各道路線分にかかる複数の力の合力に基づいて道路全体を反復並列的に変形させることによって、交差点間の相対的距離のずれを抑えつつ道路の直線化と直交化を実現させることを目指したのが並列型変形手法である。

ここでの並列型変形手法は、道路線分であるエッジを単位として変形を施すため、次節のストリート単位の道路変形に基づく並列型変形手法（ストリート並列型道路変形手法）と区別するために、エッジ並列型道路変形手法と呼ぶことにする。

エッジ並列型道路変形手法は、各エッジに対し力が加えられ、その力に従って各ノードが移動するものである。一度のノードの移動はわずかであるが、すべてのノードが同時に移動し、移動後に力は再計算される。移動は繰返し行われ、力の平衡状態に落ち着くと繰返しが停止する。逐次型道路変形手法と比べ、並列型道路変形手法は道路全体をバランス良く変形できる。

### 3.1 各エッジに加える仮想的な力

各エッジに加える仮想的な力として、次の4つ；(1)エッジの方向量子化力、(2)エッジの長さ保存力、(3)エッジ間の反発力、及び、(4)エッジ間の直線化力、を考える。エッジの方向量子化力は、エッジの中心を中心にして、量子化方向にエッジを回転させるための力である。エッジの長さ保存力は、各エッジが元の長さとは比べて伸びていれば縮む方向へ、縮んでいれば伸びる方向へ向かわせる力である。この力によって、交差点間の相対的距離のずれを抑えることができる。エッジ間の反発力は、交差点で2本の道路が狭い角度で接続している場合、方向量子化によってそれらが重なってしまうのを防ぐための力である。エッジ間の直線化力は、各エッジが、その隣のエッジと一直線になる方向に揃うようにするための力である。

### 3.2 実験結果

実験結果の例を図1に示す。本手法では、交差点間の相対的距離のずれを抑えた変形結果が良好に得られる。一方、本手法は逐次型道路変形手法よりも道路を直線化しにくくなっているが、被験者による実験より、直線性よりも交差点間の相対的距離のずれを抑えることの方がデフォルメ地図として望ましいという評価が得られている。

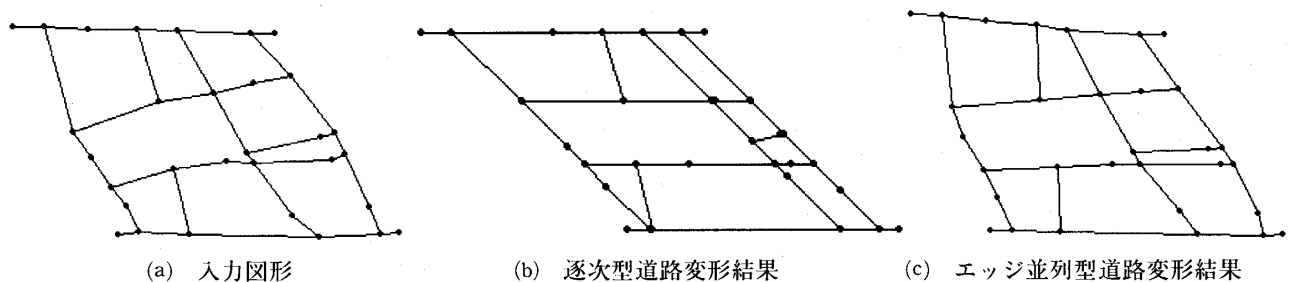


図1 逐次型とエッジ並列型の比較例

## 4. ストリート並列型道路変形

エッジ並列型変形手法では、隣合うエッジ同士はお互いに関連して変形が行われるが、長く繋がったエッジをひとまとまりにして変形を行うことができないため、変形が局所的であり大局的に必ずしもうまく変形されるとは限らなかった。そこで、ストリート単位に道路変形することによって、長く繋がったエッジをひとまとまりにして変形をするのが、この手法である。以後、ストリート並列型道路変形手法と呼ぶ。

ここで扱うストリートは、大まかにいえば直線的に繋がっているエッジ列のことを指し、行政上登記されている“通り”、あるいは地元住民が慣習上使用している“通り”と必ずしも一致するとは限らない。ストリートとは、以下の3つの条件；a)エッジ間の偏角が閾値以内であること、b)分岐点において直線性が最も優れているエッジ列であること、c)エッジを共有しないこと、から成るエッジまたはエッジ列である。エッジ間の偏角が閾値以内で繋がるなめらかな曲線も抽出される。本手法では、ストリートに対して仮想的な力を掛ける。その力からストリートの中に含まれる各エッジごとに掛けられる力を算出し、それによって各ノードを移動させる。特に、エッジ並列型道路変形手法では各エッジに均等に力を掛けていたが、本手法ではストリートの方向や形状から区別されるストリートの種類によって異なる力を作用させるのが特徴である。

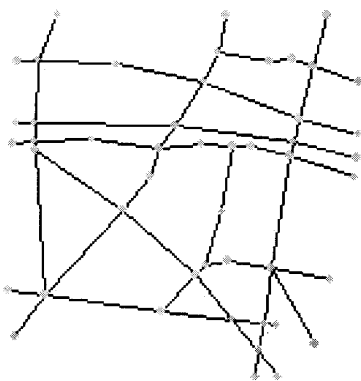
### 4.1 変形方法

ストリートの長い直線やなめらかな曲線は、その地図の中で特徴的なエッジ列である。それらの特徴的なエッジ列は、変形においても直線性や曲線性を維持して変形を行うのが望ましい。

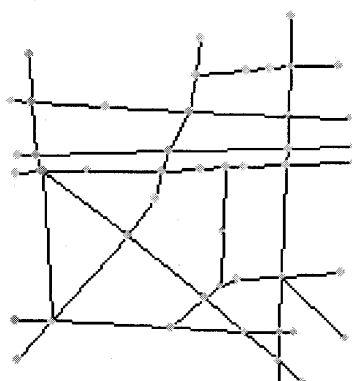
人間がデフォルメ地図を生成するときには、ある程度直線に近い通りはよりまっすぐな直線に、曲線はよりなめらかな曲線に、ある程度水平垂直に近い直線は完全な水平垂直に変形していると思われる。その手法を模倣するために、ストリートの形状ごとに力の掛け方を変えて変形を施す。

直線に近いストリートは完全な直線に、曲線のストリートはなめらかな曲線に、水平垂直に近い直線のストリートは完全な水平垂直に変形させる。ストリートを直線化させるには、各エッジがストリートの主軸の向きに揃うように、各エッジの midpoint を回転中心とし、エッジを回転させるように力を掛ける。また、直線に近いストリートは、ストリートの主軸の向きが、量子化方向へ向かうように、ストリート全体を回転させるように力を掛ける。ここでストリートの主軸とは、ストリートを構成するノードの重心を通り、各ノードからの垂線の足の長さの2乗和が最小になる方向を持つ直線である。

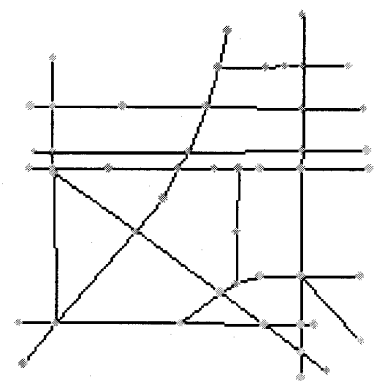
なお、ストリートを用いる場合の問題として、エッジの接続角度の許容範囲をどの程度まで許してエッジ列を抽出するかというストリート抽出問題がある。この問題に対しては、許容範囲に幅を持たせて抽出することを考える。許容範囲をできるだけ広げて捉えたときのストリートと、許容範囲をできるだけ絞って捉えたときのストリートの2つを用いることにする。抽出されるストリートの直線性の強弱から、前者を弱ストリート、後者を強ストリートと呼ぶことにする。そして、弱ストリートと強ストリートの2種類を交互に使って変形を行う。これは、弱ストリートを使って、まず比較的長いストリートを量子化方向へ回転させるとともにゆっくりと直線化させ、次に強ストリートを使って、比較的短いストリートを直線性を良くする変形



(a) 入力図形



(b) エッジ並列型道路変形結果



(c) ストリート並列型道路変形結果

図2 エッジ並列型とストリート並列型の比較例

を行わせるためである。

#### 4.2 実験結果

実験結果の例を図2に示す。エッジ並列型道路変形手法では、方向量子化力を強くして水平垂直にしようとしても周りのエッジからの拘束を受け達成が困難であった。ストリート並列型道路変形手法では、ストリートを単位にして強い力を掛けることができるので達成することができる。また、ストリート並列型道路変形手法では、ストリアットの形状に合わせた変形を行うことができる。例えば、円弧の部分がなめらかな曲線として維持できたり、屈折を一つ持つエッジ列の場合、2本の強ストリートから成る1本の弱ストリートとして捉えることができ、その屈折を維持することができる。

このストリート並列型道路変形手法は、エッジ並列型道路変形手法よりもエッジ列をまとめて変形することができ、その結果、大局的な変形が達成できる。

### 5. デフォルメ路線図生成への応用

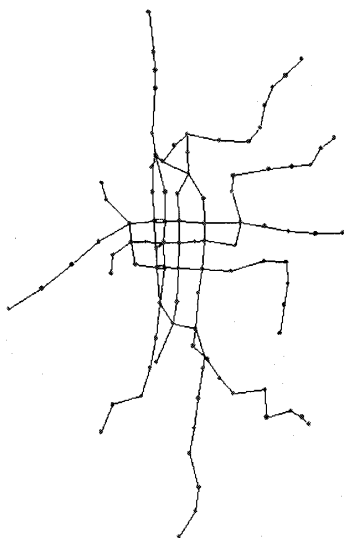
前節までの道路に対する変形手法を路線図へ応用することができる。駅の切符売り場などで見かける鉄道の路線図は、基本的には乗り降りする駅をすばやく見つけられるように元の形状をできるだけ維持し、かつ簡略化が施されている。デフォルメ路線図の中には表示領域の制約からさまざまな変形がなされているものがあるが、列車の扉の上などで見かけられる横長の表示領域のデフォルメ路線図の生成に対して取り組んだ手法を紹介する。

#### 5.1 処理の流れ

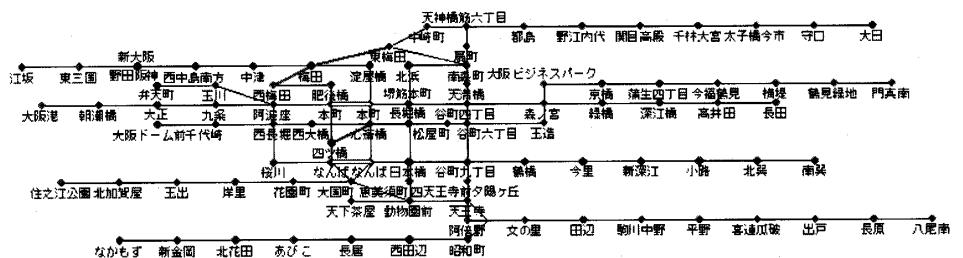
処理の基本部分では、駅間の線分であるエッジに対して力を作用させ、エッジを反復並列的にゆっくり移動させる並列型変形を行う。しかしこれだけでは縦方向に圧縮された路線図を得ることができないため、この後に(1)格子点化、(2)真横化、(3)縦方向圧縮、(4)駅名再配置を行う。格子点化では、駅の位置であるノードを格子点上へ移動させる。真横化は、端点から分岐点までのエッジ列を真横に変形する。縦方向圧縮は位相構造が変化しない範囲で、ノード位置を縦方向に格子サイズの整数倍分移動させる。駅名再配置では、最も拡大率を抑える条件の下ですべての駅名を重ならないように配置させることを行う。

#### 5.2 並列型変形

駅をノード、駅間をエッジとして表し、直線的に繋がるエッジ列をセグメントとして抽出する。抽出したセグメントは、形状によって直線セグメントと曲線セグメントに分類する。変形の基本は、エッジごとに力を加えて反復並列的に変形を行うことであるが、縦方向に圧縮されたデフォルメ路線図を目指しているため、分岐点と連結点を両端に持つすべてのエッジの連結点側ノードにおいて、セグメントを強制的に分割させることにする。その分割位置におけるエッジ間では直線化力を作用させないようにする。基本的に各エッジには、(1)方向量子化力、(2)直線化力、(3)長さ保存力、(4)移動系反発力、(5)回転系反発力を働かせるが、直線セグメントは曲線セグメントよりも強い力で直線化力を働かせることにする。ここで移動系反発力は、ノード



(a) 入力データ (大阪地下鉄：駅名は表示省略)



(b) 出力結果

図3 路線図変形結果の例

がエッジに近づき過ぎた場合に位相構造が壊れたかのように見えるため、ある程度はノードをエッジから遠ざけておくための力である。また、回転系反発力は、1つのノードに繋がる2本のエッジ間の角度が小さくなり過ぎないように加える力である。

以上までの手法[4]で十分に縦方向に圧縮された結果が得られているが、乗換え可能駅を近くに配置させる等のより実用的な変形結果に近付けるために、各エッジに(6)同一駅間ノード接近力、(7)乗換可能駅間ノード接近力を追加して働かせる。ここで同一駅間ノード接近力とは、大型駅を複数ノードを使って表現する場合にそれらのノードを近くに配置させるための力である。さらに、強く直線化させるためにストリート並列型道路変形手法で用いた弱ストリートと強ストリートの2種類を交互に使う変形を行う手法[5]を適用させる。

### 5.3 実験結果

地下鉄、JR、私鉄などの路線図16例のデータを用い実験を行った。その結果、東京の地下鉄路線図を除きほぼ満足する結果が得られている。その中で大阪の地下鉄の路線図を用いた結果を図3に示す。大国町駅となんば駅間に2本の路線（御堂筋線と四ツ橋線）が通っており、それら南北の路線を垂直に描くことができている。四ツ橋駅と心斎橋駅間、および梅田駅と東梅田駅と西梅田駅間は乗換え可能であり、それらに配慮した結果が得られている。変形目標であった縦方向にも十分に圧縮された変形も達成されている。

## 6. 電子地図の利用

前節までの入力データは地図上でノード位置をプロット入力して作成した実験用データであったが、三重県全域の電子地図データ（三重県GISオリジナルマップ（GOMファイル））を三重県が提供しており、そのデータを用いて三重県内任意の地点のデフォルメ地図を生成することができる[6]。このGOMファイルは市町村別にフォルダに分かれ、各市町村フォルダでは、レイヤ構造別にファイルが複数存在する。各レイヤは、シェープファイル形式のファイルから成る。道路中心線を示すレイヤが存在し、折れ線近似の屈折点の集合で表現されている。国道・県道を示すそれぞれのレイヤも存在し、道路内部を囲む多角形の集合で表現されている。そこで、その多角形内にある割合以上で道路中心線が存在すれば、その道路中心線は国道または県道に属すると判断し、道路中心線を道路種別で分類して利用することができる。

### 6.1 変形手法

国道・県道等の主要道路を直線化や水平垂直化によって変形させ、その他道路をベクトルモーフィング手法[1]を用いて相対的に移動させ、その後、その他道路を直線化させる。高速化のため、逐次型道路変形手法を用いている。なお、文字列等のランドマークもベクトルモーフィング手法を用いて相対的に移動させる。

### 6.2 実験結果

実験結果の例を図4に示す。太い線は主要道路を示し、それらは直線化・水平垂直化が達成されている。この後、道路の表示本数を減らせばより見やすい地図

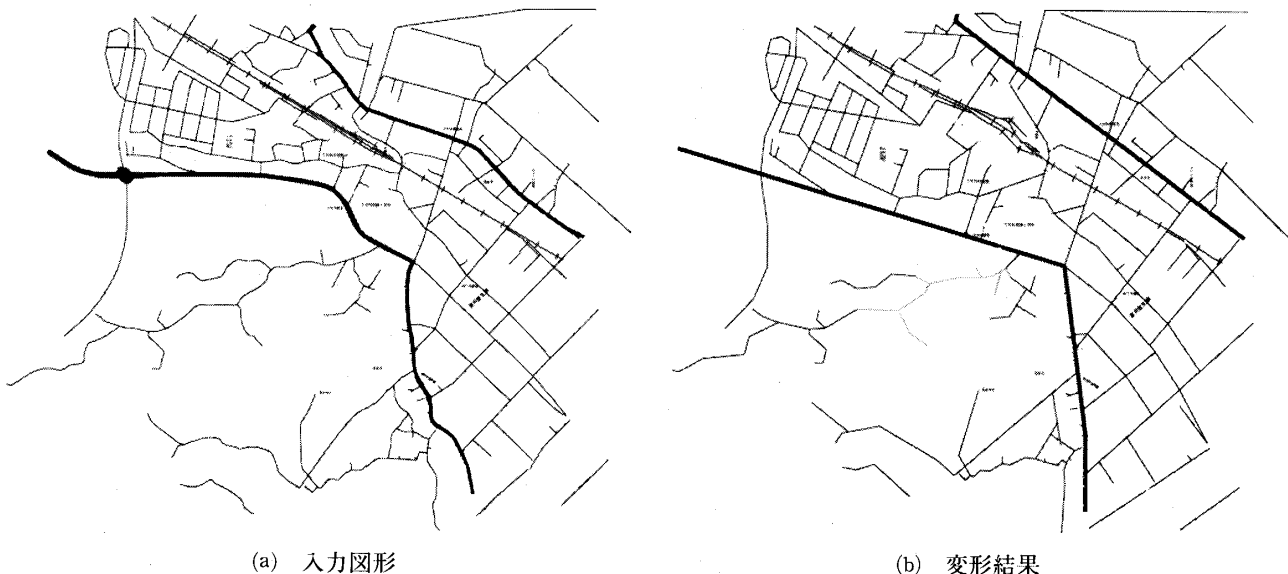


図4 電子地図を用いた変形結果の例

になると思われる。主要道路を表示しその他道路を非表示にするだけでは、適切な道路表示本数にならないため、直線的に長く繋がる道路の線分を見つけ、細い道路でも表示させる等、道路の取捨選択機能[7]も自動で行う。

GOM ファイル以外に、カーナビゲーションで広く用いられている KIWI ファイル[11]を用いる手法も考えられる。KIWI ファイルは、道路種別が細かく分類されており、その種別を道路の表示・非表示の判断に有効に活用することができる。ただし、中央分離帯のある道路において上り下り 2 本の線がほぼ平行に記述されているため、変形する時においても 2 本の線を 1 体として変形させることが必要となる。

### 6.3 利用方法

Web ブラウザを用いる地理情報システム (Web-GIS) の形式でデフォルメ地図を利用できるシステム [8] を Java サブレットを用いて構築した。三重県全域の地図上で目的地をクリックしてデフォルメ開始ボタンを押すとデフォルメ変形前の地図と変形後の地図が表示される。これ以外にも MapServer を用いたアジア航測(株)製デフォルメ地図生成配信システムも開発しており、その中では goSVG 形式の地図ファイルを入力しデフォルメ変形結果を goSVG 形式のファイルで出力している。goSVG 形式を用いるのは、g コンテンツ (POI データ) も同時に表示することができるからである。

## 7. まとめ

道路を変形するための基本手法として(1)逐次型道路変形手法、(2)エッジ並列型道路変形手法、(3)ストリート並列型道路変形手法を紹介した。また、道路変形手法を鉄道の路線図へ応用したデフォルメ路線図の生成手法を紹介し、さらに、電子地図データを用いて任意の地点のデフォルメ地図を表示させるシステムへの取り組みについても述べた。

ストリート並列型道路変形手法が最も安定した結果を生成することができるが、WebGIS の形態で使う場合には高速性が求められ、その場合には逐次型道路変形手法が適している。

今後は携帯電話の小さな画面にデフォルメ地図を表

示させることが考えられる。その場合には、さらなる見やすさが求められる。歩行をしながら携帯電話内の地図を見る場面が想定され、一瞬にして記憶可能な情報量のみを提示しないと目線が歩行先に向かず危険となると思われるからである。よりシンプルな形状への変形機能、表示情報の自動取捨選択機能については今後の課題である。

### 参考文献

- [1] 梶田健史, 山守一徳, 長谷川純一: “デフォルメ地図自動生成システムの開発”, 情報処理学会論文誌, Vol. 37 (No. 9), pp. 1736-1744 (Sep 1996).
- [2] 山守一徳, 本田宏, 長谷川純一: “並列型変形による道路地図の自動デフォルメ”, 形の科学会誌, Vol. 15 (No. 3), pp. 137-145 (Mar 2001).
- [3] 山守一徳, 本田宏, 長谷川純一: “ストリート単位の変形に基づく道路網の整形手法”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J 84-D-II (No. 9), pp. 2058-2069 (Sep 2001).
- [4] 山守一徳, 海野祐史, 河合敦夫, 椎野努: “デフォルメ路線図のインタラクティブ生成システムの開発”, 情報処理学会論文誌, Vol. 43 (No. 9), pp. 2928-2938 (Sep 2002).
- [5] 山守一徳, 長谷重和, 河合敦夫: “強弱セグメントを用いた路線図の自動デフォルメ”, 形の科学会誌, Vol. 18 (No. 3), pp. 243-254 (Mar 2004).
- [6] 山守一徳: “デフォルメ地図自動生成アルゴリズムの開発”, 三重県 GIS 実証実験報告会 (平成 16 年度実験分), pp. 25-32, 三重県 GIS 協議会・三重県 (Jun 2005).
- [7] 豊村昌克, 山守一徳: “携帯電話向けデフォルメ地図の自動生成”, 平成 17 年度電気関係学会東海支部連合大会, O-376 (Sep 2005).
- [8] 福西千晴, 山守一徳: “デフォルメ地図を出力する WebGIS の実現”, 平成 17 年度電気関係学会東海支部連合大会, O-375 (Sep 2005).
- [9] 馬場口登, 堀江政彦, 上田俊弘, 淡誠一郎, 北橋忠宏: “経路理解支援のための略地図とその案内文の生成システム”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J 80-D-II (No. 3), pp. 791-800 (Mar 1997).
- [10] 小林亜令, 高木悟, 井ノ上直己: “モバイル・地図へと広がる Web グラフィックス標準規格”, 情報処理学会誌, Vol. 43 (No. 9), pp. 988-994 (Sep 2002).
- [11] 角本繁: “カーナビゲーションシステム—公開型データ構造 KIWI とその利用方法”, 共立出版 (2003).