情報処理学会論文誌 Vol.59 No.2 341–350 (Feb. 2018)

歴史的境界の空間データの生成

加藤 常員[1,a)]

受付日 2017年5月8日, 採録日 2017年11月7日

概要：地理情報システム（GIS：Geographic Information System）は歴史研究の場で有効な研究ツールとして認識されつつある．歴史研究分野での GIS の利活用では旧国境，旧郡境，旧村境などの歴史的境界の空間データが不可欠である．歴史的境界は，時期や研究者の見解により異なる箇所やもともと判然としない箇所も多い．そのため近世以前の歴史的境界の空間データ化は進んでいない．歴史的境界線は地方史誌などに掲載されているが，それら地図の作成にあたっては現行の境界線や地形が参照されたと考えられ，現行の地勢図などが下図に使用されたと推定できる．本稿では，判然としない箇所を含む歴史的境界の空間データ化の手法を提案する．提案する手法は，求める境界にかかわる複数の領域（たとえば村）のおおよその形状データを与え，面を核とするボロノイ分割を活用して分割線を求める．求めた分割線に地勢図を参照して緯度・経度情報を付与し，空間データに仕立てる．提案手法は細密な境界線空間データの生成をめざすものではない．歴史的境界の特性をふまえた，大まかな境界線のデータ化をめざすものである．提案手法に従った歴史的境界線生成システムを試作し，境界線データの生成実験を行った結果を示す．

キーワード：歴史的境界線，空間データ，地理情報システム，ボロノイ分割

Generation of Spatial Data of Historical Boundary

Tsunekazu Kato[1,a)]

Received: May 8, 2017, Accepted: November 7, 2017

Abstract: Spatial data of historic geographical features boundaries between countries, counties or villages are required for using GIS (*Geographic Information System*) in the historical studies. However, such historical boundaries have often kinds of uncertainties; they depend on periods or researcher's opinions. Sometimes they include undefined parts. Therefore historical boundaries, especially those before Edo Period, have rarely been digitalized to spatial data. In this paper, a method for automatic generation of the boundary data using the Voronoi division is proposed. Where rough shapes of the core domain is initially given. Experimental comparison of the proposed method and an existing method is presented.

Keywords: Historical boundary, Spatial data, GIS (Geographic Information System), Voronoi division

1. はじめに

地理情報システム（GIS：Geographic Information System）は利活用される場面が飛躍的に拡大し，日常生活と深く関わるに至っている．歴史研究の分野においても GIS は有効な研究ツールとして認識されつつある [1], [2], [3]．GIS が扱う基盤的な情報の 1 つに各種の境界線情報がある．歴史研究分野での GIS の活用では旧国境，旧郡境，旧村境などの歴史的境界の空間データが不可欠である．わが国の歴史的境界の空間データは，たとえば，1995 年国勢調査の小地域統計町丁・字等別集計地図（境域）に基づき作成された明治初期から現在までの行政界データ [4]（筑波大学：「歴史地域統計データ・行政区画変遷 WebGIS」[5]）や『大和国条里復元図』[6] をもとに奈良盆地の小字界のデータ [7], [8]（奈良女子大学：「奈良盆地歴史地理データベース・小字データベース」[9]）などが作成されている．これらは，いずれも歴史的境界線が描かれた地図を原資料とし

[1] 大阪電気通信大学
Osaka Electro-Communication University, Neyagawa, Osaka 572–8530, Japan
[a)] kato@ktlab.osakac.ac.jp

© 2018 Information Processing Society of Japan

て，境界線をトレースする方法を基本にデータ化が行われてきた．しかしながらこの手法は多くの労力が必要となるとともに，当然ながら紙面に描かれていない境界線はデータ化できない．歴史上の境界線には，紙面に描かれていても曖昧なものや専門家による見解が異なる箇所も多い．また，時期により異なる箇所や漠然とした山岳帯や湿地帯などが境界域とされた場所など，不明確さをともなう箇所も多々存在する．そのため，まとまったトレースに耐えうる資料は少なく，近世以前の旧村境界レベルでの空間データ化は進んでいない．歴史研究者は必要に応じて，必要な地域や時期の境界線地図を現行の地勢図などを参照し，そのつど作成しているのが現状である．

本研究は歴史研究支援を目的として，必要に応じて歴史的境界の空間データ化を行い，2 次利用が可能な汎用的なデータ形式での蓄積を実現する方法の確立をめざすものである．従前，境界線データの作成には，上述のように描かれている境界線のトレースする方法や CAD を利用した方法が用いられてきた．提案する手法では，ボロノイ分割 [10] を用いた方法を提案する．ボロノイ分割は勢力圏などの分析ツールとして多くの GIS ソフトウェアに組み込まれているが，行政界などの境界線を生成には利用されていない．提案手法は，旧村などの領域の大まかな形状を入力し，補間により形状を調え，領域（面）を核（生成元）とするボロノイ分割により領域間の境界線を生成，生成した境界線を地勢図などと整合をとり，緯度・経度に付与，空間データに仕立てる．これは，紙面に描画された境界線の細密なデータ化をめざすものではない．境界線はある領域と他の領域との間にあることに着目した．複数の領域を与えることで境界線を決定する新たな視座に基づく手法である．本稿では歴史的境界を空間データ化する一連の手法について提案する．また，提案手法に従って歴史的境界線を半自動で空間データ化を行うプロトタイプシステムの構築 [11] について述べ，プロトタイプシステムを用いた実験によりトレースする入力方法に比べて作業量が大幅に軽減されることを示す．

2. 歴史的境界とその空間データ化

2.1 歴史的境界

歴史的境界は，現在の行政界などに比べはるかに曖昧であり，不安定な存在である．行政的旧境界には国境，郡境，村境，大字界，小字界，さらには屋敷境界までさまざまな階層のものがある．旧国境や旧郡境などの位置については，おおむね共通認識にあると思われる．一方，村境以下の大字界，小字界などにおいては，時期や研究者の見解により異なる箇所，もともと境界線が定められていなかった箇所，山や湿地帯などが漠然と境界域として認識された箇所など，不明確さをともなう場合も多い．地図に示される歴史的境界は，現行地図の境界線と同様に何らかの根拠に基づき細密に描かれもするが，不明確な箇所の存在などから比較的簡素に示されていることも多い．**図 1** のような地方史誌などに添付される地図が，その一例である．この種の地図をつぶさに観察すると，その主題にもよるが描き込まれている歴史的境界は，地勢図などを参考に現行境界線や地形などを勘案して描かれていることが示唆される．描かれている歴史的境界線は，位置関係を重視し，極端にデフォルメされることはないが，現行の境界線の描画に比べ平滑的に描かれる場合が多い．

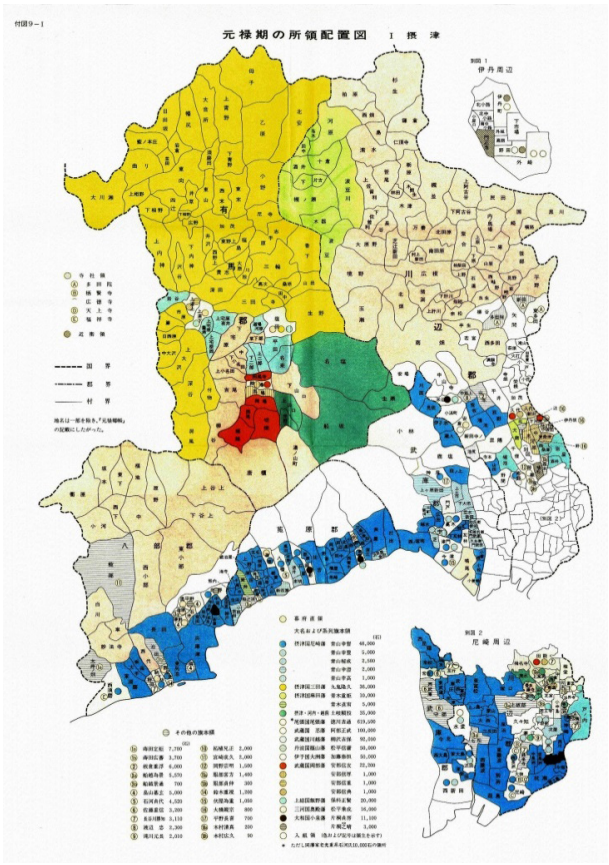


図 1 摂津国・所領配置図 （兵庫県史第四巻付図 9）
Fig. 1 Old boundary map in Settsu Province.

2.2 歴史的境界の空間データ化の方針

GIS での利用を前提とした歴史的境界線データは，連結した線分の集合（ポリゴンデータ）で表されている必要がある．線としてとらえにくい漠然とした境界部分においても便宜的に線分としてデータ化することが要求される．従前から行われてきた境界のデータ化は，地図に描かれている境界線を正確にトレースする手法であった．漠然と描かれた歴史的境界線に対し，正確にトレースするデータ化は，必ずしも賢明とはいえない．漠然とした境界線に見合った作業量でデータ化を行う方法の確立は意義があるといえる．

本研究がめざすデータ化は，境界線が紙媒体などに描かれていることを前提としない．境界線は，いうまでもなく複数の領域（たとえば村域）が接する線である．各領域の

© 2018 Information Processing Society of Japan

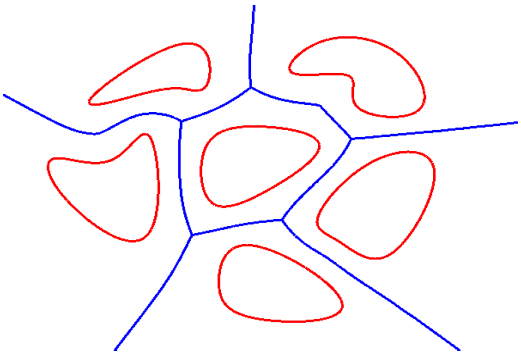


図 2 概形領域と境界線
Fig. 2 Roughly shaped areas and boundary.

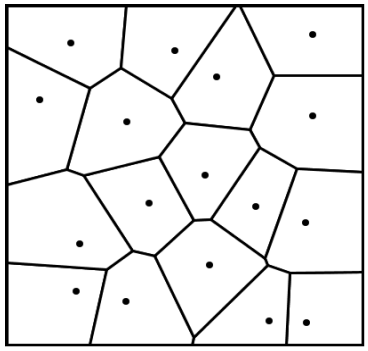


図 3 点を核とするボロノイ分割の一例
Fig. 3 Example of Voronoi division by using the disposed points.

主要部（たとえば村落部）を含む大まかな形状（概形領域）を設定できるとすると，境界線は概形領域の間に存在する（**図 2** 参照）．概形領域には，歴史的境界線の漠然とした存在を勘案すると，次の 3 つの要件が求められる．

① 概形領域は境界線で分割される本来の領域内に包含される．
② 概形領域間の相対的な形状や大きさが大きく異ならない．
③ 概形領域相互の位置関係は大きく変わらない．

この 3 つの要件をふまえた複数の概形領域の配置関係から境界線を推定し，ベクタデータ化を行う．境界線の推定には領域を核としたボロノイ分割を活用する．生成される境界線データは，境界線の明確，不明確の区別はされない．全体として平滑化された，漠然とした大まかな境界線データが得られる．

得られた境界線データは，原資料とした地図などの座標系での座標値の並びである．空間データ化には座標値を緯度経度座標値へ変換する必要がある．境界線の紙面描画の下図に地勢図などが用いられている場合は，境界線の計測座標値から下図の地図投影図法を勘案した座標変換が必要となる．

3. ボロノイ分割を用いた境界線の導出

概形領域をもとにした境界線の導出の肝となるボロノイ分割について述べる．ボロノイ分割の基本は，点を核とするボロノイ分割である．境界線の導出では，領域（面）を核とするボロノイ分割を用いる．面を核とするボロノイ分割の導入は，点を核とするボロノイ分割では以下の述べる［性質 1］から自由な曲線境界線が得られない点と，2.2 節で示した概形領域の 3 つの要件を直接反映させた入力が容易なためである．この導入により，2.1 節で述べた歴史的境界の曖昧性を許容し，大まかな境界線を得られる．

3.1 点を核とするボロノイ分割

点を核とするボロノイ分割（点ボロノイ分割）は，2 次元平面に複数の核となる点（母点）を配置し，平面を各母点の所属領域に分けることであり，以下のように定式化される．

$$\text{2 次元平面：} P = \{p\} \tag{1}$$

$$\text{母点の集合：} Q = \{q_1, q_2, q_3, \cdots, q_n\},\ Q \subset P \tag{2}$$

$$\text{点 } p,\ q \text{ 間の距離：} d(p, q) \tag{3}$$

q_i に所属する領域（ボロノイ領域）：

$$R_i = \{p_k \mid d(p_k, q_i) < d(p_k, q_j),\ p_k \in P,\ i \neq j\} \tag{4}$$

ボロノイ分割 ：

$$V = \{R_1, R_2, R_3, \cdots, R_n\}, \tag{5}$$

$$\bigcup_{i=1}^{n} R_i = P,\ R_i \cap R_j = \phi\ (i \neq j)$$

平面 P を分けるボロノイ分割 V の分割線（分割辺）はボロノイ辺と呼ばれ，ボロノイ辺の接続点はボロノイ点と呼ばれる．以上の定義から次の性質が成り立つ．

［性質 1］ボロノイ領域は平面を直線で分けてできる半平面の共通部分とあるため，凸領域となる（**図 3** 参照）．

［性質 2］ボロノイ分割はどの母点に最も近いかによって平面を分割したものであり，ボロノイ辺は両側の母点から等しい距離であるため，両側の母点を結ぶ線分の垂直二等分線の上にある．

［性質 3］［性質 2］からボロノイ点は周りの 3 つの母点から等しい距離にあり，その点を領域境界にもつ 3 つの母点を通る円の中心となる．その円の内部に他の母点は含まれない．例外的に 4 つ以上のボロノイ領域の共通のボロノイ点となる場合，それら領域の母点はボロノイ点を中心とする円周上に存在する．

3.2 一般図形を核とするボロノイ分割

ボロノイ分割における核を母点から線分や面の一般の図形に置き換えた，一般化したボロノイ分割が定義できる．先に示した点ボロノイ分割の定義の式 (2)，式 (3)，式 (4) を次の式 (2′)，式 (3′)，式 (4′) に拡張する．

© 2018 Information Processing Society of Japan

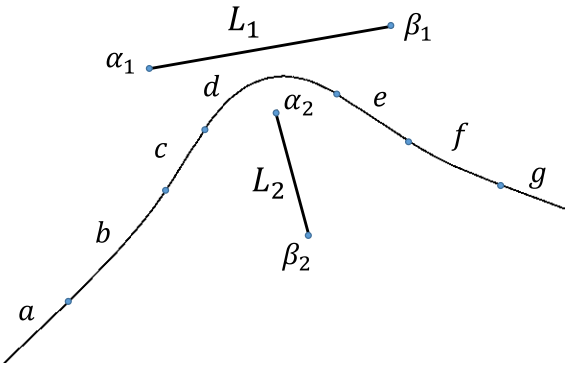


図 4 2 線分 L_1，L_2 間の線分ボロノイ分割の分割線
分割線は 7 つのセグメント $a \sim g$ で構成される．
a，c，e，g：直線セグメント．b，d，f：曲線セグメント．

Fig. 4 A dividing line of the Voronoi division between the two arranged straight lines L_1 and L_2.
A dividing line is composed of seven segments from a to g.
a, c, e, g: Straight line segment. b, d, f: Curve segment.

$$\text{核とする図形の集合：} S = \{g_1, g_2, g_3, \cdots, g_n\}. \quad (2')$$

$$g_i = \{q\},\ g_i \cap g_j = \phi\ (i \neq j),\ g_i \subset P$$

$$\text{点 } p \text{ と図形 } g_i \text{ との距離：} d(p, g_i) = \inf_{q \in g_i} d(p, q) \quad (3')$$

g_i に所属する領域（ボロノイ領域）：

$$R_i = \{p_k \mid d(p_k, g_i) < d(p_k, g_j),\ p_k \in P,\ i \neq j\} \quad (4')$$

ここでは図形 g_i は平面 P 上の連結な領域とする．式 (3′) は P 上の任意の点 p と，g_i を構成する点 q との距離の下限を表す．この下限（距離）によって，P 上の点 p を最も近い核図形 g_i（領域）へ所属させる平面分割となる．すなわち，分割は図形 g_i の輪郭線上で点 p に最も近い点 q と距離関係で決まる．これは点ボロノイ分割の［性質 2］を継承することを意味し，図形間に決定される分割線（ボロノイ分割線）は隣接する図形間に挟まれた領域の中心線（二等分線）となる．

線分を核とするボロノイ分割（線分ボロノイ分割）では，配置された複数の線分に対して，各線分に所属する領域を決定するものである．2 つの線分 L_1，L_2 を核とするボロノイ分割の分割線は，**図 4** に示すような a，c，e，g の 4 つの直線セグメントと b，d，f の 3 つの曲線セグメントから構成される．L_1 の端点を α_1，β_1，L_2 の端点を α_2，β_2 とすると，a は α_1 と β_2，b は α_1 と L_2，c は α_1 と α_2，d は L_1 と α_2，e は β_1 と α_2，f は β_1 と α_2，g は β_1 と β_2 間の分割線で決定されている．

具体的な線分ボロノイ分割の求め方は，配置する各線分を点の集合ととらえ，同一線分に属さない点間について点ボロノイ分割を適用することで得られる．すなわち，線分を構成する点の線分所属を区別せずに点ボロノイ分割を行い，同一線分に属する点を核とする領域を合併して得られる領域が，線分ボロノイ分割で得られる各ボロノイ領域となる．合併で得られた分割線（ボロノイ辺の集合）は必然的に，配置された線分間の二等分線となる．

線分ボロノイ分割については計算幾何学やアルゴリズム論的な立場から論じた多くの先行研究 [12], [13] があるが，次節以降で示すような実践的利活用を目的に，ボロノイ分割の応用が論じられたものは著者が知る限り見当たらない．

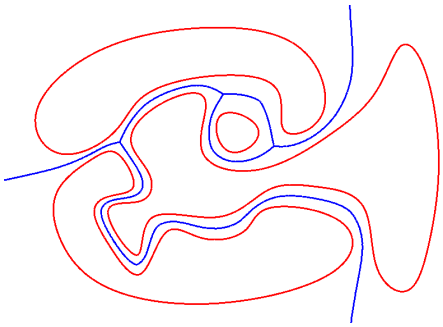


図 5 4 つの領域間の面ボロノイ分割の一例

Fig. 5 Example of the Voronoi division with four regions arranged.

3.3 面を核とするボロノイ分割線の導出

面積を持った一般図形を核とするボロノイ分割を，面を核とするボロノイ分割（面ボロノイ分割）と呼ぶ．歴史的境界線の導出では，面ボロノイ分割を活用する．具体的に扱う面は 2.2 節で述べた概形領域である．

面ボロノイ分割は 3.2 節の定義およびその議論より核とする図形（面）の輪郭線のみに着目すればよく，輪郭線で囲まれた内部については検討する必要はない．

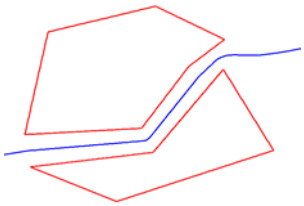
複数の面が配置された平面の面ボロノイ分割は，線分ボロノイ分割と同様に各面の輪郭線を点の集合ととらえ，同一輪郭線に属さない点間について点ボロノイ分割を適用することで得られる．**図 5** に 4 つの領域間の面ボロノイ分割の一例を示す．図 5 は凹凸の領域が入り組んだ箇所も領域間中心線を境界として分割されていることが確認できる．

実践的なボロノイ分割線の導出を行うためには，概形領域の輪郭線の与え方とその点列化，点列化された輪郭線に点ボロノイ分割を適用した際に発生する鋸歯状のボロノイ分割線への対処が必要となる．なお，内部に穴が開いた図形や 3.2 節の定義に反する図形が重なる配置など特殊な状況は扱わない．

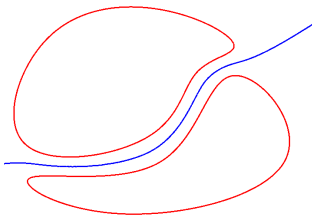
(1) 概形領域の形状

概形領域の形状は，その輪郭の要所要所の座標を指定し，これらを結んだ多角形として与えることができる．多角形を構成する頂点間に補間点を設けることにより各辺の点列化を実現できる．多角形の各辺の両端点を基準とする線形補間などを適応すると，自ずと導出されるボロノイ分割線（境界線）も直線的な要素が多くなり，曲線的要素は得にくい状況が生じる（**図 6** (a) 参照）．全体として直線的にデ

© 2018 Information Processing Society of Japan



(a) 多角形設定
(a) Setting polygon of the domain.



(b) 閉曲線設定
(b) Setting closed curve of the domain.

図 6 生成される境界線の差異.
赤線：指定領域，青線：生成境界線
Fig. 6 Difference of a generated boundary.
Red line: Domain, Blue line: Boundary.

フォルメされた印象を与えるボロノイ分割（境界線地図）ができあがる．曲線的なボロノイ分割線を得るためには，より多くの頂点を設定すればよいが，見かけ上の対策にすぎない．多くの頂点を設定すると導出されるボロノイ辺もそれに応じた変化となるが，漠然とした形状を示すものでなくなる傾向が現れる．この問題点の対応策として，概形領域の形状を図 6 (b) に示すような閉曲線により設定する方法を提案する．閉曲線領域の成形には，3 次の B-Spline 曲線を用いる．B-Spline 曲線を採用した理由は，曲線の定義が局所的に行われるため，生成される曲線が予測しやすく，修正による影響が限定されるという特徴を持つためである．

B-Spline 曲線は，制御点 $\{P_i\}$ とノットと呼ばれるパラメータ $\{t_0, t_1, t_2, \cdots, t_{m-1}\}$ によって定義されるパラメトリック曲線である．ノットの数 m は，生成する曲線の次数と制御点の数によって決定される．ノットを等間隔に設定したものを一様 B-Spline 曲線と呼ぶ．B-Spline 曲線の最小単位はセグメントと呼ばれる．n 個のセグメントからなる一様な 3 次の B-Spline 曲線 $S(t)$ は，

$$S(t) = \sum_{i=0}^{n+2} P_i N_i^3(t), \quad t \in [t_3, t_{n+3}) \tag{6}$$

と定義される．ここで，$N_i^3(t)$ は 3 次の B-Spline 基底関数と呼ばれる．一様な B-Spline 曲線の場合には $t_i + t_j = t_{i+j}$ が成り立つ．よって，

$$N_i^3(t) = N_0^3(t - t_i + t_0), \quad t \in [t_i, t_{i+1}) \tag{7}$$

ここでノット列を $t_i = i$（$i = 0, 1, 2, \cdots m-1$）と設定すると，$N_0^3(t)$ は次式で与えられる．

$$N_0^3(t) = \begin{cases} t^3/6 & t \in [0,1) \\ (-3t^3 + 12t^2 - 12t + 4)/6 & t \in [1,2) \\ (3t^3 - 24t^2 + 60t - 44)/6 & t \in [2,3) \\ -(t-4)^3/6 & t \in [3,4) \\ 0 & t \notin [0,4) \end{cases} \tag{8}$$

B-Spline 曲線を用いた概形領域の輪郭線の点列化は，輪郭線を設定する頂点座標列から B-Spline 曲線によって閉曲線領域を表現するものとし，その補間点は B-Spline 曲線のノット間のパラメータ t の刻み幅を 1 以下にすることで得る．ノット間のパラメータ t の刻み幅の逆数が入力点間の補間点数となる．これにより変化の激しいところには多く，そうでないところには少なく補間点を配置することが可能となる．

B-Spline 曲線は制御点を与えることで曲線が決定されるが，概形領域の輪郭線の入力時に制御点位置を求めるのは現実的でない．自然な入力としては，概形領域として想定する輪郭線上の点（通過点）であると思われる．入力される通過点の座標値から制御点の座標値の算出を行う．

以上の B-Spline 曲線に基づく補間では，凸的な部分では外側に膨らむ傾向があるため，設定する概形領域が近接している場合，補間により領域の重なりが生じることがある．この状況でも分割は実行されるが，分割線は重なった部分で乱れる．この問題は，概形領域を離して設定するか，概形の設定点を増やすことで回避できる．

また，得られるボロノイ分割線の分岐点（ボロノイ点）は，3.1 節で述べた点ボロノイ分割のボロノイ点についての［性質 3］を継承している．通常，分岐点にかかわる補間点は異なる 3 つの領域の各 1 点の補間点のみである．補間点は輪郭の諸設定により位置が異なると考えられるが，［性質 3］の継承からその影響はその設定の度合いに見合うものと考えられる．本手法では，4 つ以上の領域がかかわる分岐点は，まったくではないが，ほとんど生成されないと考察する．しかし現実的には 4 つ以上の領域がかかわる境界点が存在する．提案手法をそのような場合に適用すると，複数の 3 分岐（ボロノイ点）を短い分割線でつなげた分割が生成されると示唆される．

(2) 面ボロノイ分割における鋸歯状ボロノイ分割線の抑制

面ボロノイ分割の実践では，概形領域の輪郭線を有限個の補間点に置き換え分割処理を行うことになる．補間点を用いて面ボロノイ分割を行うと補間点の位置関係により**図 7** に示すような鋸歯状のボロノイ分割線が生じる．この現象は単純に補間点を十分に設ければ回避されるが，計算量の観点から現実的ではない．

鋸歯状のボロノイ分割線が生じる現象は，核とする線分相互間に対して分割に関与する補間点の位置関係が線分

© 2018 Information Processing Society of Japan

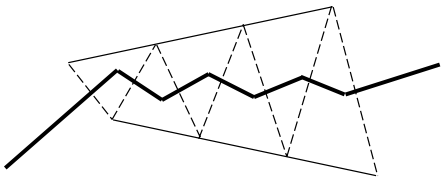


図 7 鋸歯状ボロノイ辺の一例
Fig. 7 Example of serrated Voronoi side.

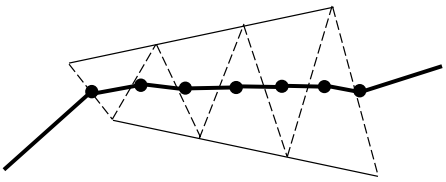


図 8 鋸歯状ボロノイ辺の抑制
Fig. 8 Restraint processing for the serrated Voronoi side.

に対して垂直にならないことに由来すると考えられる．本来，線分間の中間線であるべき分割線が，相互の補間点間を結ぶ線分の中点を通る垂直な線分がボロノイ辺として採用される結果であると示唆される．このことから鋸歯状ボロノイ分割線を抑制する方法として，まず，通常の手順で面ボロノイ分割を行い，鋸歯状ボロノイ分割線が生じた状態を得る．次に各ボロノイ点間に所属する（補間点についての）各ボロノイ辺について中点を求め，隣接する中点どうしを直線分で結ぶ．両端にあたる中点は，ボロノイ点と直線分で結ぶことで鋸歯状を抑制した分割線が得られる（**図 8** 参照）．

4. 緯度・経度座標の割付け

紙面から計測した境界線データを空間データ化するには，計測座標値を緯度・経度座標値に変換する必要がある．図 1 のような旧境界地図では，地図作成の際に下図となった地図との整合をとることにより，相対座標である計測座標値を絶対座標である緯度・経度座標値に変換することができる．下図となる紙媒体の地図として 20 万分の 1 地勢図が多く用いられていると推察される．

地勢図はおおむね 80 km 四方の広範囲が描かれた地図であり，実測図である 2 万 5 千分の 1 地形図を編集して作られている [14]．地勢図 1 枚は地形図を縦横 8 枚ずつ 64 枚に相当する．地形図，地勢図ともに現在はユニバーサル横メルカトル図法が採用されている．この図法での理論上の形状は各辺の長さが異なる互いに直交する曲線となるが，実際の地形図では等脚台形，地勢図では左右対称な扇形にほぼ等しいと観測される．**図 9** は国土地理院により画像化され，提供されている数値地図 200000（地図画像）の図幅名：京都及大阪の地勢図画像の図郭形状の概要図である．

地勢図の 4 隅の緯度・経度値は与えられるが，旧境界地図の計測座標値を地勢図の紙面上の座標値に対応させるだけでは，計測座標値を緯度・経度値に変換することはできない．計測座標値に地勢図上の対応点を確定し，その対応点が含まれる地形図の図郭を同定する必要がある．この同定には，地勢図の図郭領域を地形図の図郭に区割りする必要がある．区割りの 1 区画（地形図）の形状は等脚台形とし，地勢図の図郭（左右対称の扇形）を縦横 8 つずつ 64 区画に区割りする．各等脚台形状の区画の高さおよび底角が等しいとすると，地勢図の図郭 4 頂点の座標値から各区画（地形図）の 4 頂点の紙面上の座標値が以下のように導ける．

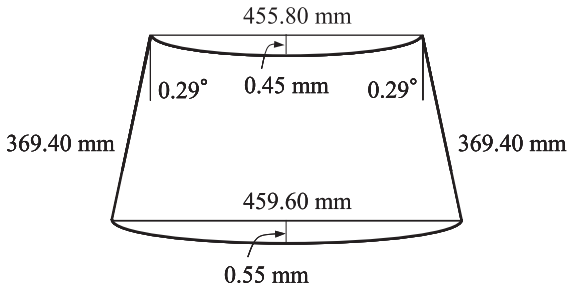


図 9 地勢図（京都及大阪）の図郭概要
Fig. 9 Map border size of the topographical map (Kyoto and Osaka).

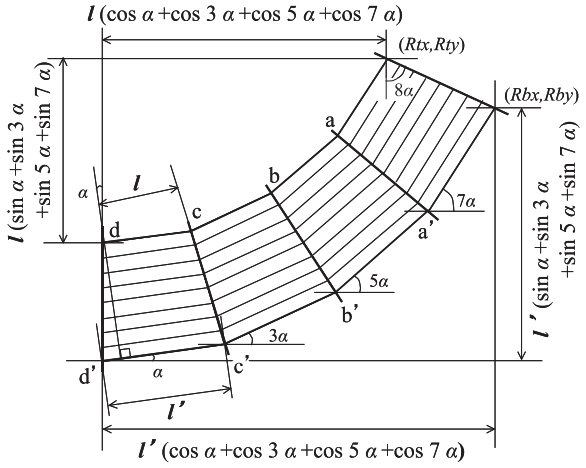


図 10 地勢図右半分の 32 区画の関係模式図
Fig. 10 Schematic view of the right half topographical map composed 32 divisions.

図 10 は，地勢図の右半分（32 区画）の模式図である．地勢図の左上隅座標 (L_{tx}, L_{ty})，左下隅座標 (L_{bx}, L_{by})，右上隅座標 (R_{tx}, R_{ty})，右下隅座標 (R_{bx}, R_{by})，分割後の上底の長さ l，下底の長さ l'，右辺が底辺と垂直な直線となす角を α とすると四隅の座標から

$$\alpha = \frac{1}{8}\arctan\left(\frac{R_{bx} - R_{tx}}{R_{ty} - R_{by}}\right) \tag{9}$$

$$l = \frac{R_{tx} - L_{tx}}{2\sum_{k=1}^{4}\cos(\alpha(2k-1))} \tag{10}$$

$$l' = \frac{R_{bx} - L_{bx}}{2\sum_{k=1}^{4}\cos(\alpha(2k-1))} \tag{11}$$

が求まる．これらの値から図 9 の a 点および a′ 点の座

© 2018 Information Processing Society of Japan

標は，

$$\mathrm{a}: (R_{tx} - l\cos 7\alpha, R_{ty} - l\sin 7\alpha) \tag{12}$$

$$\mathrm{a}': (R_{bx} - l'\cos 7\alpha, R_{by} - l'\sin 7\alpha) \tag{13}$$

と導ける．a 点と a′ 点を結ぶ直線分を 8 等分する点の各座標は，a 点と a′ 点の座標から内挿により

$$\left(\frac{1}{8}(n(R_{tx} - l\cos 7\alpha) + (8-n)(R_{bx} - l'\cos 7\alpha)),\right.$$
$$\left.\frac{1}{8}(n(R_{ty} - l\sin 7\alpha) + (8-n)(R_{by} - l'\sin 7\alpha))\right) \tag{14}$$

$$n = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$$

となる．同様にして点 b，c，d および点 b′，c′，d′ の座標も求まり，その直線分を 8 等分に内挿した点の座標も導ける．これにより地勢図右半分の 32 区画の座標が求まる．左半分については式 (9) の角度 α を

$$\alpha = \frac{1}{8}\arctan\left(\frac{L_{bx} - L_{tx}}{L_{ty} - L_{by}}\right) \tag{15}$$

に変えて右半分と同様にして左半分 32 区画の座標が求まり，都合 64 区画すべての四隅の 81 座標が導出できる．

以上のようにして導かれた地勢図紙面上の各区画の 4 頂点座標値に対応した緯度・経度値は，地勢図の図幅の緯度・経度値から容易に計算できる．旧境界地図の座標値に対応する地勢図紙面上の座標値を見定めれば，その座標が所属する区画内の内挿により緯度・経度座標値が得られる．座標を対応させるにあたっては，必要に応じて境界線（座標列全体）の回転，拡大・縮小の処理を行う．

5. 歴史的境界データの生成実験

5.1 歴史的境界の空間データ化の手順

歴史的境界の空間データ化は，2 章で述べた概形領域の 3 つの要件をふまえ，大まかに以下の 5 つの工程からなる．

(1) 概形領域の設定

求める境界線にかかわる複数の領域（たとえば旧村）の各主要部を含む概形領域を設定する．概形領域は，その輪郭線を指定する．輪郭線の指定は概形領域の形状が把握できる程度に近似した多角形頂点座標列によって与える．また，ある領域に対してすべての境界線を求める必要がない場合などは，求める境界線部分に関与しそうな範囲で概形領域の輪郭線の一部を与えればよく，必ずしも完結した閉じた輪郭線を設定する必要はない．

(2) 概形領域の補間データの生成

概形領域の輪郭線を設定した頂点座標列をもとに補間間隔を指定して，3.3 節 (1) で述べた B-Spline 曲線に基づく補間を行う．各輪郭線の頂点座標列および補間により生成した点座標列データに，所属する概形領域を識別する領域番号を属性として付与する．

(3) 概形領域間の境界線の導出

すべての概形領域の輪郭線の頂点および補間点座標列データに対して面ボロノイ分割を実施する．面ボロノイ分割は 3.2 節で述べたように実質的には点ボロノイ分割を行い，そこで得られた各ボロノイ辺に対し，相応する 2 点の領域番号が同じであれば当該のボロノイ辺を除外する．残されたボロノイ辺により領域間のボロノイ辺（境界線）は導出される．

(4) 境界線データの緯度・経度座標変換

(3) で得られる境界線データを 4 章で述べた 20 万分の 1 地勢図との整合をとることで座標値を緯度・経度値に変換する．地勢図との整合は個々の点をあわせるような局所的な対応を行うものではなく，境界線データ全体に対し回転，拡大・縮小などの操作を行う大局的な位置合わせである．

(5) 歴史的境界の空間データの構成

緯度・経度値に変換された境界線データを構成する分割辺には，異なる領域番号を持つ点データ間で得られたものである．各分割辺には 2 つの異なる領域番号を付与することができる．付与された領域番号が同じ分割辺の集合が，1 つの領域のポリゴンデータを構成する．1 つのボロノイ辺は，通常 2 つの領域のポリゴンデータの 1 辺に採択される．

5.2 歴史的境界線データ生成システム

前述した工程に従った歴史的境界の空間データを生成するプロトタイプシステムを構築した．システムは歴史的境界線データ生成システムと名付けた．システムの主な機能を以下に示す．

(1) 画像読み込み，表示機能

境界線を生成するにあたり，旧境界地図画像と地勢図画像をダイアログボックスにより選択させ，読み込み，システムの画面に表示する．画面より大きな画像は，スクロール表示に自動的に切り替わる．

(2) 概形領域の輪郭線の点列入力機能

画面上を 1 回マウスクリックすることで 1 点が取得される．取得された点には，領域番号が付与される．領域番号はニューメリックアップダウンコントロールの操作で設定する．設定が変更されない限り，同一領域の輪郭線の形状を構成する一連の入力点とする．入力点の座標値と領域番号は，リストボックスに登録・表示され，読み込んだ地図の表示領域にもその位置が描画される．

(3) 入力点の修正機能

輪郭線の設定後に形状を表す入力点の削除，挿入，移動が可能である．これらの修正操作はマウスにより行い，ただちに形状も再描画される．

(4) 補間点列データの生成機能

輪郭線を構成する一連の入力点間の補間点を，B-Spline 曲線に基づく補間により決定する．決定された補間点によって点座標列データを生成する．入力点間の補間点数は

© 2018 Information Processing Society of Japan

ニューメリックアップダウンコントロールの操作で設定する．

(5) 境界線データの導出，表示機能

(4) で生成された形状の点座標列データに対して面ボロノイ分割を行い，境界線データを導出する．導出された境界線形状が画面に表示される．

(6) 境界線データの緯度・経度値変換機能

地勢図画像を表示し，(5) で導出した境界線形状をスーパインポーズで描画する．描画は描画原点，形状の回転，拡大・縮小の設定が任意に行える．適切と思われる描画状態を視認で判定する．変換ボタンにより境界線データの点座標値が緯度・経度座標値に変換され，リストボックスに登録される．

(7) 空間データの構成機能

緯度・経度座標値に変換された境界線データに付与されている 2 つの領域番号を参照し，各領域を囲むボロノイ辺で形成されるポリゴンデータを構成する．結果は，ボロノイ辺単位の緯度・経度座標値列と各領域の境界線を形成するボロノイ辺番号列の 2 種類のデータを CSV ファイルに出力する．

(8) その他の機能

その他の機能として，表示画面の画像ファイル出力機能，座標値などのリストボックスへの登録情報の CSV ファイル出力機能および CSV ファイルから入力・登録・復元，初期化機能などの補助機能を備えている．

5.3 歴史的境界データ生成実験の概要

構築した歴史的境界線データ生成システムを用いて，歴史的境界線データの生成実験を行った．実験環境の仕様は，プロセッサ：Intel(R)Core(TM)i7-4770CPU@3.40 GHz, 実装メモリ (RAM)：16.0 GB，OS：Windows10Pro である．**図 11** はシステムの実行画面の一例である．

本システムは，歴史分野の専門家が地図上に境界線を描画する際に行う境界線の策定作業を想定している．実験においても，境界線が描かれていない地図を参照地図として使用すべきだが，得られた境界線の妥当性の確認のための何らかの方法が必要となる．そこで本実験では，得られる境界線の妥当性の確認を容易に行うために，境界線が描かれている地図を参照地図として使用する．生成される境界線を参照地図上に描くことにより，妥当性は容易に判断できる．具体的には，図 1 に示した「元禄期摂津国・所領配置図」を参照地図として採用し，描かれている 5 つの郡境のデータ化を試みる．参照地図の画像サイズは 2,031 × 2,899 ピクセルで，原寸のまま使用した．また，マウスクリックにより設定する概形領域については，各郡の形状を大雑把に入力することにした．本実験の目的は，提案した手順により 2 章で述べたような大まかな境界線データが生成されるか，また，従前のトレースする手法に比べ，作業量がどの程度軽減できるかの 2 点を確認することである．

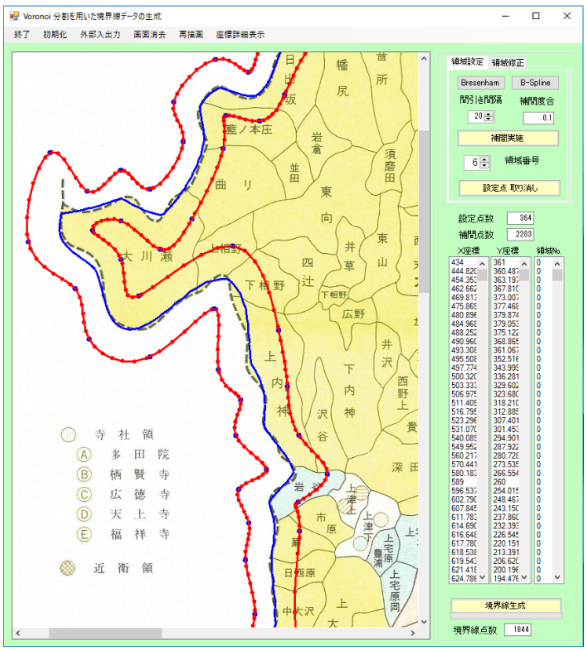


図 11 歴史的境界線データ生成システムの実行画面の一例

Fig. 11 Experiment example of the historic boundary data generation system.

今回は，「トレースに近い境界線」を得る実験と「大まかな境界線」を得る実験の 2 通りを行った．従前のトレースによる手法との比較を念頭に置き，マウスクリックによる概形領域の入力点数，補間点数，生成境界線を構成する点数をカウントした．また，実験にあたってはシステム操作の訓練を兼ねた試行を数回行った後，点数をカウントする実験を行った．

5.4 歴史的境界データ生成実験の結果

図 12 および**図 13** は，実験で生成された境界線の空間データにより郡境を描いた「トレースに近い境界線」および「大まかな境界線」の郡境界地図である．**図 14** は，参照地図として用いた図 1 に描かれている郡境界をトレースしたデータにより描かれた郡境界地図である．

図 12 は図 14 に比べ境界線の細部が簡略化されているものの，図 14 の形状との相似性が高い．図 12 に示す境界線を得るために設定した概形領域の入力点数は 410 点，補間点数は 2,416 点，生成された境界線を構成する点数は 1,950 点であった．一方，図 14 のトレースによる境界線を構成する点数は 2,040 点である．提案手法はトレースに近い状況の境界線を約 20%程度の入力点数で得られており，大幅な作業量の軽減となっている．手作業による概形領域の入力時間を除く，図 12 に示す境界線を得るに要した処理時間は約 2 時間 3 分であった．精密かつ詳細な境界線が要求される場合以外，従来よりも少ない作業量で同等の精度を持った，トレースに近い境界線を得られることが示唆

© 2018 Information Processing Society of Japan

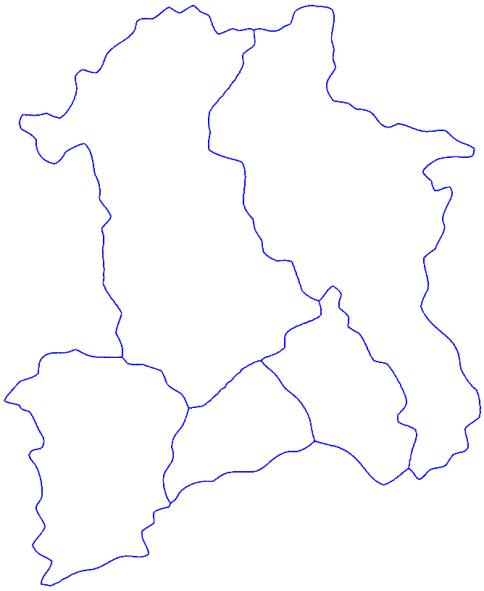


図 12 「トレースに近い境界線」の生成例
Fig. 12 Generation example of the trace-like boundary.

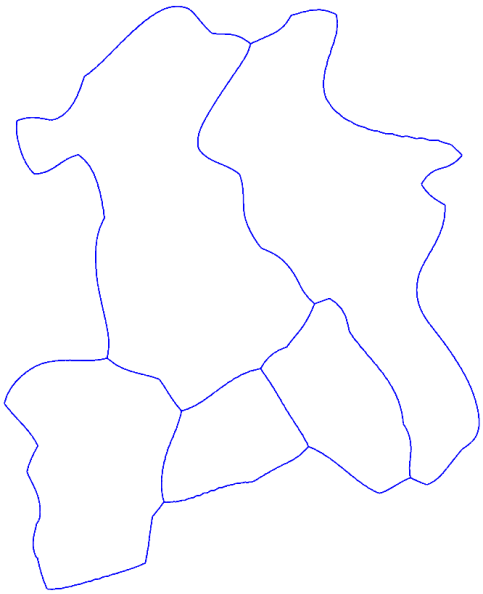


図 13 「大まかな境界線」の生成例
Fig. 13 Generation example of a rough boundary.

される．

一方，図 13 は図 14 に比べ概形的な境界線となっており，大まかな形状で位置関係や接続関係を表した地図となっている．これらから意図した結果が得られていると判断できる．図 13 では，概形領域の入力点数は 125 点，補間点数は 1,397 点，生成された境界線構成点数は 1,126 点であった．これは，トレースに対し約 6%程度の入力点数で概略的な境界線が得られており作業量が軽減の効果はきわめて大きい．外形領域の設定時間を除く，図 13 に示す境界線を得るに要した処理時間は約 12 分 54 秒であった．

作業量の削減比率については，対象により大きく異なる可能性も否定できないが，おおむね提案手法は，同種の空

図 14 トレースによる境界線の一例
Fig. 14 Example of the boundary line by the trace.

間データの作成方法として有効と考えられる．同じ作業量であれば，従来のトレースする方法よりもより良い境界線を得ることができると示唆される．これはトレースが境界線を直接計測するのに対し，提案手法では複数の領域を与えるため，より安定した状態の境界線が得られると考察される．

6. おわりに

本稿では，歴史研究における GIS を利活用に不可欠な歴史的境界の空間データの生成方法を提案した．提案方法は，マウスにより領域の概形輪郭線を入力し，入力した点をもとに B-Spline 曲線に基づく補間点を生成，面ボロノイ分割を適用して境界線データを生成，生成した境界線データを地勢図との整合をとり，緯度・経度座標値に変換，空間データに仕立てる．提案手法に従ったプロトタイプシステムを作成し，実験を行った．その結果，おおむね意図した境界線データが得られた．今回の実験では，提案手法は，トレースによる方法に比べ約 20%程度の作業量で済むことが示され，また約 6%程度の作業量で概略的な境界線データが生成でき，提案手法が有効であることが確認された．一方，外形領域の輪郭線の入力は，B-Spline 曲線による補間により，どのような形状になるかの類推が必要であり，多少の経験を要する．欲する状況の境界線を得るために必要な概形領域の輪郭線の入力度合いなどは分かっていない．

今後の課題としては，概形領域の設定度合いや適切な補間間隔の設定，面ボロノイ分割の処理時間の短縮などがあげられる．また，今後の展開にあたっては，歴史的境界線にかかわる分野の専門家による本システムの実践的使用を願い，所見をうかがうことが大切と考えている．

© 2018 Information Processing Society of Japan

謝辞 本研究を進めるにあたり，日頃よりご支援，ご教示を賜る帝塚山大学川口洋教授に深謝いたします．また，本研究の一部は，日本学術振興会・学術研究助成基金助成金（16K00470）および（16H02918）の助成を受けて実施したものである．

参考文献

[1] 川口 洋：歴史 GIS の展開—世界と日本，地理，Vol.59-9, pp.60–67, 古今書院 (2014).
[2] HGIS 研究協議会（編）：歴史 GIS の地平，p.262, 勉誠出版，東京 (2012).
[3] Gregory, I.N. and Ell, P.S.: Historical GIS, p.227, Cambridge University Press, Cambridge (2007).
[4] 上江洲朝彦，村山祐司，尾野久二：行政界変遷データベースの構築，1889 年（明治 22）から 2006 年（平成 18）まで，地理情報システム学会講演論文集, Vol.15, pp.185–188 (2006).
[5] 筑波大学村山村祐司研究室：歴史地域統計データ・行政区画変遷 WebGIS, 入手先 ⟨http://giswin2.geo.tsukuba.ac.jp:8081/teacher/murayama/boundary/⟩.
[6] 奈良県立橿原考古学研究所（編）：大和国条里復元図，p.117, 奈良教育委員会 (1981).
[7] 宮崎良美：古代を中心とした歴史データベースの試み，第 18 回公開シンポジウム「人文科学とデータベース」論文集，pp.33–42 (2012).
[8] 出田和久：奈良盆地歴史地理データベースの構築とその利用，歴史 GIS の地平，HGIS 研究協議会（編），pp.197–207, 勉誠出版，東京 (2012).
[9] 奈良女子大学古代学学術研究センター：奈良盆地歴史地理データベース・小字データベース, 入手先 ⟨http://koaza.nara-hgis.jp/⟩.
[10] Hurtado, et al.: The Weighted Farthest Color Voronoi Diagram on Trees and Graphs, *Computational Geometry: Theory and Applications*, pp.13–26 (2004).
[11] 加藤常員：歴史的境界線のデータ化，人文科学とコンピュータシンポジウム 2013 論文集，Vol.2013, No.4, pp.119–126, 情報処理学会 (2013).
[12] Gold, C.M., Remmele, P.R. and Roos, T.: Voronoi diagrams of line segments made easy, *Proc. 7th Canadian Conference on Computational Geometry*, pp.223–228 (1995).
[13] Papadopoulou, E. and Dey, S.K.: On the farthest line segment Voronoi diagram, *Proc. 23rd International Symposium on Algorithms and Computation*, pp.187–196 (2012).
[14] 政春尋志：日本の地形図等に用いられた多面体図法の投影原理，地理，Vol.49, No.2, pp.1–7, 古今書院 (2011).

加藤 常員 （正会員）

1982 年大阪電気通信大学工学部経営工学科卒業．1982～1984 年ミネベア（株）勤務．1989 年岡山理科大学理学研究科システム科学専攻博士後期課程修了．理学博士．1988～1990 年日本学術振興会特別研究員．1990 年大阪電気通信大学短期大学部講師．現在，大阪電気通信大学情報通信工学部情報工学科准教授．情報処理学会・人文科学とコンピュータ研究会幹事，主査，論文誌編集委員，論文誌シニア査読委員等を歴任．人文系データベース協議会副議長．情報処理技術の人文系への応用研究に従事．

© 2018 Information Processing Society of Japan