

2次ネットワークボロノイ分割による瀬戸市消防管区分けについて

2001MM067 太田 正和

2001MM100 山路 真弘

指導教員 鈴木 敦夫

1 はじめに

1.1 背景

今日、ボロノイ図を使った分割の手法が数理工学の分野においてさまざまな場面で利用されている。しかしながらそのほとんどは平面におけることを前提として考えられている。平面のボロノイ分割でも十分強力なものであるが、もう少し地形制約を考慮できないだろうか。そこで本研究においては平面より強力な正確なボロノイ分割、すなわち道路ネットワークについてボロノイ分割を提案したい。さらに考案した算法を瀬戸市の道路ネットワークに適用し、消防署の管区分けを行い現状との比較をし、改善をしていくことが本研究の目的である。

1.2 アプローチ

現在、瀬戸市には3つの消防署が存在し、瀬戸市を町丁目別で6つのグループに分けて管区を定めている。現状の管区の見直しをはかる手法として、2次ネットワークボロノイ分割の構成算法を考案する。次に、瀬戸市の道路ネットワークを作成し、先程の構成算法を用いて管区分けを行う。最後に、現在の瀬戸市消防管区と構成算法を用いて得られた結果を比較し、改善の余地がある点を示唆する。

2 2次ネットワークボロノイ分割

2.1 2次ネットワークボロノイ分割について

2.1.1 概要

ネットワークボロノイ分割とは、ネットワーク上にある点の集合(母点)のどれに1番近いかによってネットワークを分割したものである。2次ネットワークボロノイ分割とは、普通のネットワークボロノイ分割を拡張して、ネットワーク上にある母点のどれに近いかを2番目まで明らかにしたものである。

2.1.2 利点

平面のボロノイ分割ではすべての地形制約は考慮できないが、ネットワークボロノイ分割では山や川などの地形制約を考慮できる。

2次ネットワークボロノイ分割は、母点から2番目に近いのはどこかという情報がわかるため、消防署の管区分けなどに適している。消防署の管区分けの際、道路

ネットワークを用いる。道路ネットワークは、道路状況によって距離を変えることにより、より正確なネットワーク領域の分割ができるメリットがある。

2.2 3つの母点を持つ2次ネットワークボロノイ分割のアルゴリズム

- Step ① ダミーノードを作成し、すべての母点と距離ゼロで結び、母点番号を振り分ける。以後、振り分けられた番号を母点番号と呼ぶ。
- Step ② ダミーノードを始点とし、ダイクストラ法を使って最短路木を作る。
- Step ③ ダミーノードと母点へのアークを削除し、各ノードの根にある母点と同じ母点番号を振り分ける。
- Step ④ 元のネットワーク上で、Step ②のダイクストラ法で使われていないすべてのアークに対し、異なる母点番号のノードを結んでいる場合は、それぞれの母点からの中間点を求めて記憶し、Step ⑤で解除する母点番号を1つ指定する。
- Step ⑤ 指定された母点番号を解除し、ダミーノードを作成し、解除されていない2つの母点に距離ゼロで結ぶ。
- Step ⑥ ダミーノードを始点とし、ダイクストラ法を使って最短路木を作る。その際、初期化するのは解除されたノードに対して行うだけで、残りの部分はStep ②で求めたデータを用いる。
- Step ⑦ ダミーノードと母点へのアークを削除し、各ノードの根にある母点と同じ母点番号を振り分ける。
- Step ⑧ 解除された母点番号のノードから出ているすべてのアークの中で、Step ⑥のダイクストラ法で使われていないすべてのアークに対し、異なる母点番号のノードを結んでいる場合は、それぞれの母点からの中間点を求めて記憶する。
- Step ⑨ すべての母点番号を解除したのであれば終了し、そうでなければStep ③で得られた母点番号を用いて、今まで選択していない母点番号を指定してStep ⑤に戻る。

Step ④で記憶したものが1次のネットワークボロノイ分割の境界点となり、Step ⑧で記憶したものが2次のネットワークボロノイ分割の境界点となる。
--

2.3 考察

2.2 節で記述したアルゴリズムでは、2 回目以降のダイクストラ法の計算時間を短くするため、1 回目で計算されたデータの再利用を行い、実行時間が早くなるように工夫されている。だが、中間点を求めるのに必要のない部分まで計算されているため、必要のある部分のみ計算させる方法があれば、高速化が可能になる。アルゴリズムの評価は 3.4.2 節を参照していただきたい。

今後の課題として、無駄な計算を省く方法を考案することにより、アルゴリズムの高速化を行うことが考えられる。このアルゴリズムで 2 次ネットワークポロノイ分割を行った出力図は境界点のみしか表示されておらず、領域を線でうまく区切るのは手作業となる。ネットワークポロノイ領域の境界線を滑らかに引けるようなアルゴリズムを考案することにより、見やすさが大きく向上する。

3 瀬戸市道路ネットワークへの適用

3.1 道路ネットワーク作成の過程

まず、以下の流れでネットワーク作成を行った。

- 手順 1 瀬戸市の道路データは国土地理院の Web ページから数値地図 2500(空間データ基盤)[3] をダウンロードする。
- 手順 2 道路データを解析しやすくするため必要なファイル群を選択し結合させる。
- 手順 3 手順 2 で結合させたファイル群を解析し、道路ネットワークを構成する。

国土地理院から提供されているデータは縦 1500m、横 2000m 四方を 1 メッシュとして区切られて管理されておりデータ基盤は構造化されたデータの集合体である。その中で必要な項目は道路ネットワークのみである。

手順 2 においては数値データのメッシュごとのディレクトリの下にある road ディレクトリから roadntwk.arc, roadntwk.nod, roadntwk.tie ファイルを結合し、メッシュ番号.dat として出力するバッチファイルを作成した。

手順 3 においては手順 2 で作成したデータファイルをもとに瀬戸市全体の道路ネットワークをプログラミング言語 Perl を用いて作成する。その際、留意する点が 3 つある。

1 つ目は、メッシュごとにノード・アーク番号が 1 から順に割り当てられているので瀬戸市全体のネットワークに対して一意に番号を割り当てる。

2 つ目は、ノード・アークの座標値はそれぞれのメッシュの左下角を (0, 0) とした相対値で表されているので

実際の座標に変換をしなければならない。各ファイルのヘッダ情報にメッシュの左下角の実際の座標が表記されているので、相対値の座標とメッシュの左下角の実際の座標を加算することにより変換を行う。

3 つ目は、メッシュ境界線上にあるノードというのはまたいでいるメッシュそれぞれに番号が割り当てられている。この間のノードを接続しなければならないので、ノードの座標をキー・ノード番号を値としハッシュを生成しておき随時ハッシュのキーが重複していないかをチェックし、重複していた場合はキーに対応する値をノード番号として割り当てる。

3.2 2 次ネットワークポロノイ分割の適用

3.2.1 概要

3.1 節において構成した道路ネットワークを用いて 2 次ネットワークポロノイ分割を行う。

瀬戸市は 3 つの消防署(本署, 東分署, 南分署)がある。これらを母点とするのだが、消防署は道路ネットワーク上には存在しない。母点の位置を正確に把握するのが最も適切であるが、本研究においては母点の位置を各消防署に最も近いノードとした。

3.2.2 実行結果

総ノード数 11382 個, 総アーク数 15316 本で中間点の総数は 149 個であった。出力図は図 1 であり、1 次の境界点が濃く小さな点, 2 次の境界点が薄く小さな点, 大きな点が消防署の位置である。計算時間に関しては 3.4.2 節で述べる。

3.3 現在の消防管区との比較

瀬戸市は 3 つの消防署に対して 6 つの消防管区がある。これらにはそれぞれ出動優先順位が以下のように決まっている。

管区 \ 優先順位	1	2	3
第 1 管区	本署	南分署	東分署
第 2 管区	本署	東分署	南分署
第 3 管区	東分署	本署	南分署
第 4 管区	東分署	南分署	本署
第 5 管区	南分署	東分署	本署
第 6 管区	南分署	本署	東分署

次に 3.2.2 節の結果を用いて現在の消防管区を比較する。そのために国土地理院のデータ基盤から、行政区域・海岸線の項目データを用いて第 1 管区から第 6 管区を色分けして表示した。

現在の消防管区は図 2 であり、右上の最大の領域が第 3 管区, そこから時計回りに第 4 管区, 第 5 管区, 第 6 管区, 第 1 管区, 第 2 管区となっている。

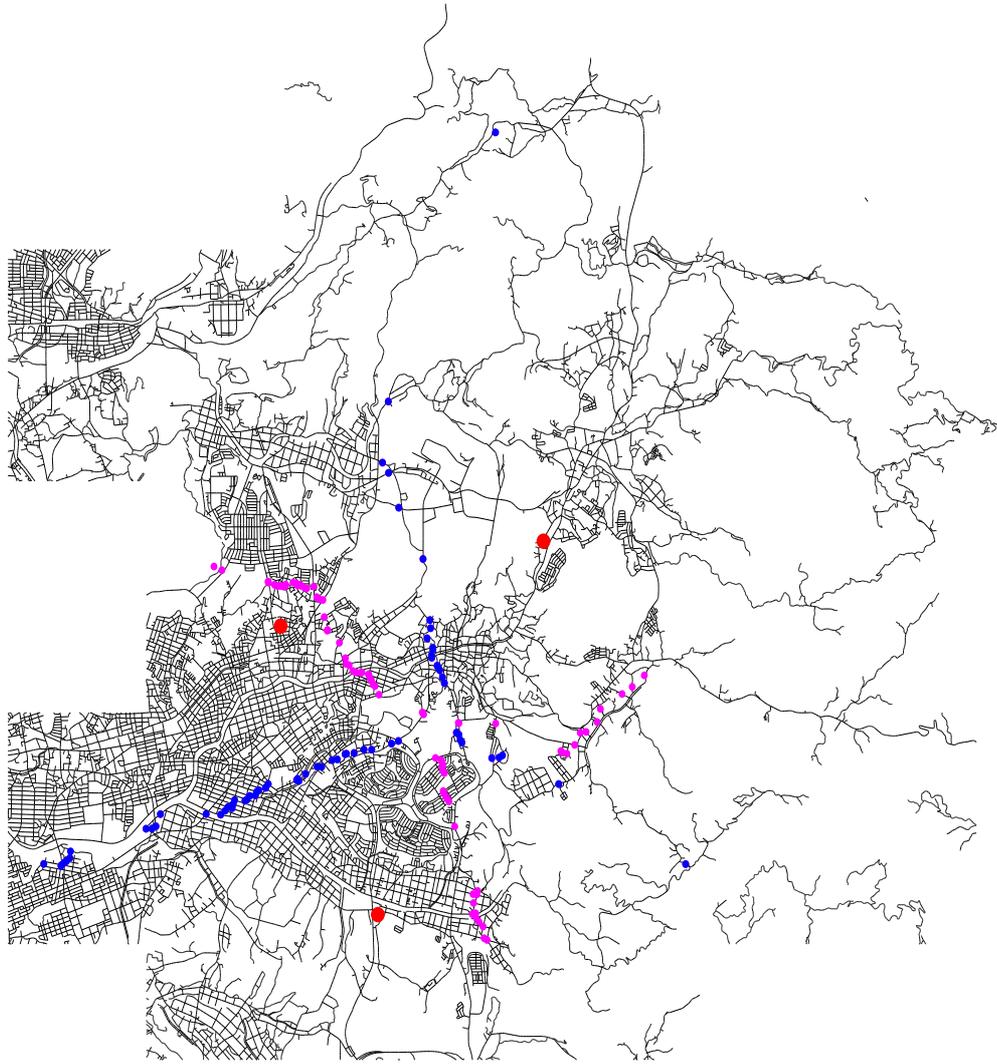


図1 瀬戸市道路に対する2次ネットワークポロノイ分割

3.4 考察

3.4.1 3.1節について

道路ネットワーク作成の際の留意点の3つ目について重複するノードを検索するためにすべてのノードに対してハッシュを生成した。もし重複するノードが存在せず総ノード数分のハッシュを作ってしまったら無意味となる。国土地理院のデータファイル内にはメッシュの境界のノードであることを示すタグが含まれている。これを上手く利用すれば効率が上がる。

3.4.2 3.2節について

2次のネットワークポロノイ分割のプログラムは第2章で説明した構成算法とは少々異なる。2.2節のStep⑥を適用せず、すべて初期化してダイクストラ法を用いた。実装をしなかった理由としては一部を初期化した後にダイクストラ法を適用する際の初期点の設定と一部初期化した部分のラベリングが難しいからである。

ネットワークポロノイ分割の計算量について、ダイクストラ法に最も時間を要するのでこの部分を評価する。

- 記号の定義

- n : ノード数, m : アーク数
- P_i ($i = 1, \dots, n$) : 頂点 i を選択しているときの次の頂点の候補となるものの集合

- ダイクストラ法の計算量

- P_i をソートする : $O\left(\sum_{i=1}^n |P_i| \cdot \log |P_i|\right)$

- P_i から最小の要素を取り除く :

$$O\left(\sum_{i=1}^n 1\right) = O(n)$$

- 最短路更新の判断 : $O(2m)$

以上から、計算量は $O\left(\sum_{i=1}^n |P_i| \cdot \log |P_i|\right)$ となる。

ネットワークポロノイ分割の実行時間について、本

研究においてはプログラム作成に関しては Perl を用いて処理した。Perl はインタプリタ言語であるため実際 C や JAVA よりは実行時間が遅い上にまちまちなので 10 回動かして検証する。なお検証した動作環境は機種は EPSON DIRECT Endeavor NT2600 で、CPU は Mobile Intel(R) Celeron(R) CPU 2.20GHz、メモリ 512MB、OS は Microsoft Windows XP Home Edition である。実行時間は平均 377.77 秒である。

3.4.3 3.3 節について

図 1 と図 2 の比較により、管区を改善する余地がある地域が 81 箇所見られた。改善する余地がある地域に対して、新たに管区を割り当てた結果が図 3 である。また、ネットワークボロノイ分割の境界点が町丁目の中にある場合、その管区の占める道路の総距離が最も長い管区を新たな管区とした。

本研究で求めた管区により、割り当てる消防隊員の数を厳密に考える必要がある。その要因として、第 4 管区の極端な町丁目の少なさからうかがえる。改善のある町丁目は手作業で管区を割り当てていたが、各町丁目の 2 次ネットワークボロノイ領域における道路ネットワークの総距離を比較し、最大の領域がその町丁目を担当するようアルゴリズムを考案すれば、効率と精度の向上が期待できる。現在瀬戸市は各町丁目で管区分けを行っているが、各道路で管区分けを行うことが可能になれば、現場までの到達時間をより短くすることができる。

4 おわりに

本研究の主旨はネットワークボロノイ分割の提案し、瀬戸市道路ネットワークに適用し現在の消防管区と比

較・考察を行うことである。前者は 2 次までしか提案できなかったが瀬戸市の事例には対応できたのでよかった。しかし実用性を考えれば n 次までできるようにすべきである。また、プログラムに関しては提案した理論に基づいて実装ができればもっと使えるものになる。

本研究においては道路ネットワークに基準を置いて消防管区について考えたが、人口など他の要素などを加え多角的な視点で考察すれば、より良い結果が得ることができるであろう。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご多忙の中、有用な情報・助言を頂きました南山大学数理情報学部数理科学科の鈴木敦夫教授に深く感謝致します。また、研究を共にし、大切な事を分かち合った鈴木研究室の皆様、及び伏見研究室 4 年生の方々、有難うございました。

参考文献

- [1] Adobe Systems Incorporated: *Postscript language tutorial and cookbook*, Addison-Wesley Publishing Company (1985).
- [2] アンドリュー・L・ジョンソン著, 星睦訳: プログラミング言語 Perl マスターコース, ピアソン・エデュケーション (2000).
- [3] 国土地理院: 数値地図 (空間データ基盤) <http://sdf.gsi.go.jp/>
- [4] 戸内順一: はじめての Perl 入門, 日本理工出版会 (2001).

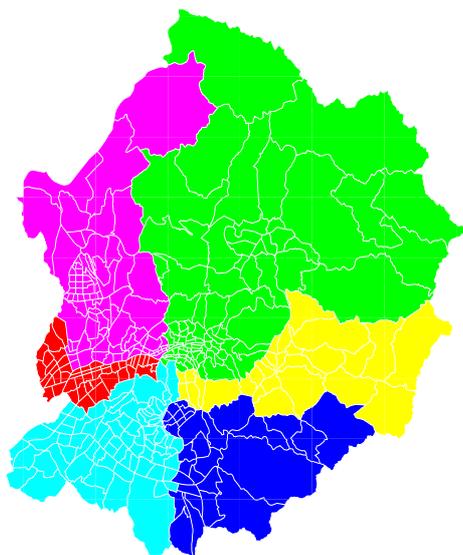


図 2 現在の消防管区

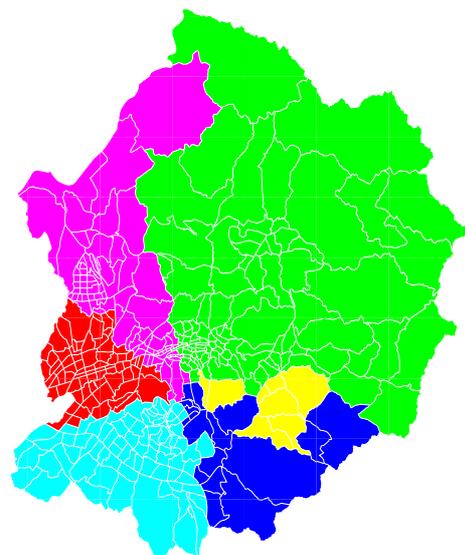


図 3 2 次ネットワークボロノイ分割による消防管区