

# オープン系ライブラリを用いた GIS で利用可能な 線分ボロノイ生成ツールの試作

佐藤俊明・奥貫圭一

Toshiaki SATOH and Kei-ichi OKUNUKI

## Prototype of Line Segment Voronoi Diagram Tool for GIS with Open Source Library

**Abstract:** Considering people move along road networks, there should be more spatial analysis methods based on road networks. In this paper, introducing the concept of roadside density, the method of calculating the roadside density on the nearest area along the road networks is proposed. To calculate the roadside density, the nearest area along road networks needs to be detected. One of the detecting methods is line segment Voronoi generating. However, there is few tools of generating line segment Voronoi for GIS data. Thus, an attempt is made to implement a prototype tool for the line segment Voronoi generator using the Boost polygon library, which is an open source library.

**Keywords:** 線分ボロノイ図( line segment Voronoi diagram ), オープンソース( open source ), 沿道密度( roadside density )

### 1. はじめに

社会システム工学では、ある地域や地区の人口密度や建物密度がしばしば研究の対象として取り上げられてきた。その際、密度は市町村や町丁目といった地域ごとに求められることが多く、沿道の密度が考えられることはほとんどなかった。一方、日常生活における行動を考えてみると、人々は道路網に沿って移動しており、これを踏まえるならば、1本1本の道路にどれほどの人口密度や建物密度が付されるか、という観点からの解析手段もあって然るべきである。なお、本稿では、このような道路に付される密度を沿道密度と呼ぶこととする。

沿道密度を求める方法はいくつか考えられる

---

佐藤俊明

東京工業大学環境・社会理工学院建築学系

satoh.t.ad@m.titech.ac.jp

が、本稿では、道路網を生成元とするボロノイ領域を求め、その領域を対象とした密度を求める場合を考える。ここで課題となるのは、現在、GIS上で線分を生成元とするボロノイ領域(線分ボロノイ領域)を得るためのツールがあまり存在しないことである。

そこで、本稿では、オープン系ライブラリを用いて、GISで利用可能な道路網を生成元とした線分ボロノイ領域を得るツールの試作を行い、オープン系ライブラリの検証および課題抽出を行うことを目的とする。

### 2. 沿道密度と線分ボロノイ領域

#### 2.1 沿道密度

本稿における沿道密度は、GISで利用する道路網データの構成要素である線分一つ一つに対し、ある影響圏域を生成し、その影響圏域内に存在す

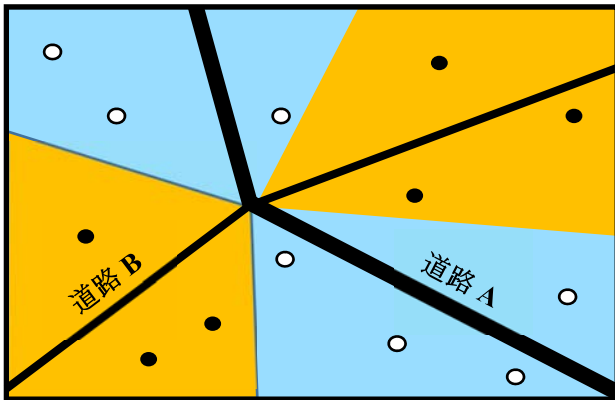


図-1 沿道密度（点密度）

る事象数や統計数値などを抽出し、その数値を影響圏域の面積で除したものとする。例えば、図1に示すような二つの道路A、Bが交差し、その影響圏域がそれぞれ水色と黄色であるときを考える。それぞれの領域には、ある点事象が発生しており、これら点事象の総数をそれぞれの領域の面積で除したものが、沿道密度（この場合点密度）となる。

## 2.2 線分ポロノイ領域

前節で述べた影響圏域の一つとして線分に対する最短距離圏域が考えられるが、この最短距離圏として、道路網を生成元とした線分ポロノイ領域を用いることができる。この線分ポロノイ領域は、以下のように定義される。

平面上に $n$ 個の線分 $L_i (i = 1, \dots, n)$ が与えられたとき、線分 $L_i$ の最短距離圏域 $V_i(L_i)$ は、

$$V_i(L_i) = \bigcap_{j \neq i} \{P | d_{nearest}(P, L_i) < d_{nearest}(P, L_j)\}$$

で示される。ただし、 $d_{nearest}(P, L)$ は点 $P$ と線分 $L$ の最短距離を示す。線分ポロノイ領域は、図2で示されるように、点を生成元とするポロノイ領域とは異なって必ずしも凸包になるわけではなく、また境界も線分だけではなく二次曲線になる場合がある。なお、本稿では、生成元である線分が交差しな場合を考える。また、GISで利用する道路網などは線分の端点同士を接続することによる線分の連続で形成されている。そのため、隣接する線分同士の重なり合う端点において、最短

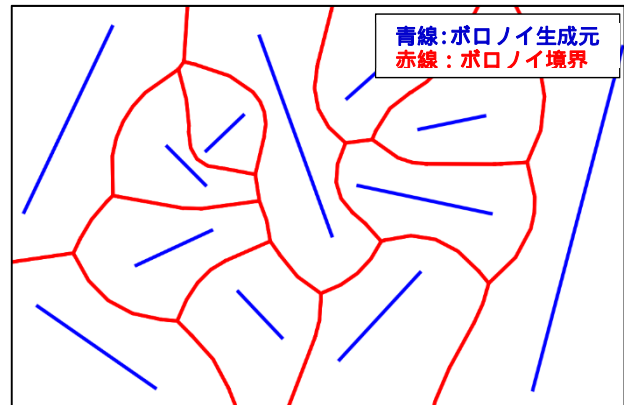


図-2 線分ポロノイ

距離圏域が同一になるが、これは特殊ケースとして対処すれば良い。

## 3. 線分ポロノイ領域を得る算法とオープン系ライブラリ

### 3.1 線分ポロノイ領域を得る算法

線分ポロノイ領域を得る算法には、まず、厳密に二次曲線を求めてポロノイ領域分割する方法（本節では、線分ポロノイ領域分割と呼ぶ）がある。この方法では処理が非常に複雑でプログラム作製が実際上難しい。そのため近似算法が提案されており、その方法では、ランダム点を線分上に無数生成して、その一点一点の点ポロノイ領域分割を行い、同一の線分上にある母点のポロノイ領域を統合する。この近似算法は比較的容易に実装可能であるものの、ランダム点の生成状況により結果が異なってしまうという頑健性の問題が生じる。そこで本稿では、プログラム作製の困難さを線分ポロノイ領域分割のオープン系ライブラリの利用によって克服し、近似算法によらない実装を試みる。

### 3.2 線分ポロノイ分割オープン系ライブラリ

ここでは、二次曲線を求めて分割することが可能な線分ポロノイ領域分割のオープン系ライブラリをいくつか挙げる。

大山(2010)は、様々なポロノイ分割プログラムを開発し、ホームページ上で公開している。その中で、線分ポロノイ領域分割プログラムも公開

している。本プログラムは、Java および Visual Basic Ver.6 により開発されている。ライセンス形態は、特定のものを採用しているわけではない。

Panagiotis et al. (2019)は、CGAL<sup>1)</sup>内で、線分ポロノイ領域分割のライブラリを開発している。本ライブラリは、C 言語 (Python からのインポートも可能) で開発されたものである。ライセンス形態は LGPL および QPL で、商用利用でもライセンスを販売している。

Lucanus and Andrii(2010)は、Boost<sup>2)</sup>内でポロノイ分割のためのライブラリを開発している。本ライブラリも C 言語を用いて開発されている。ライセンス形態は、Boost Software License で商用、非商用を問わず利用可能である。

以上の3つのライブラリのうち、本稿では、汎用性が高く、ライセンスについては商用、非商用でも利用可能な Boost のライブラリを用いることとする。

#### 4. プログラム試作

##### 4.1 開発環境と方針

近年オープンソフトである QGIS (<https://www.qgis.org/ja/site/>) が普及してきており、将来的に QGIS への実装を考えると、QGIS のツール開発が可能な Qt (<https://www.qt.io/jp/>) で実装することが望ましいと考えた。なお、開発に用いる言語は C++ である。

線分データの入力データ形式および線分ポロノイ領域の出力データ形式は共に Shapefile 形式とする。Shapefile の読み書きには、Shapelib (<http://shapelib.maptools.org/>) を利用した。

なお、Boost 内の線分ポロノイ領域分割ライブラリは、座標値として整数型しか扱えないため、GIS データをそのまま入力すると小数点以下が考慮されなくなる。そこで、小数点の有効桁数  $n$  を指定し、 $10^n$  を座標に掛け合わせた後にライブラリに入力することとした。計算結果の位も入力データの位と同じになるため、最終的な座標値を

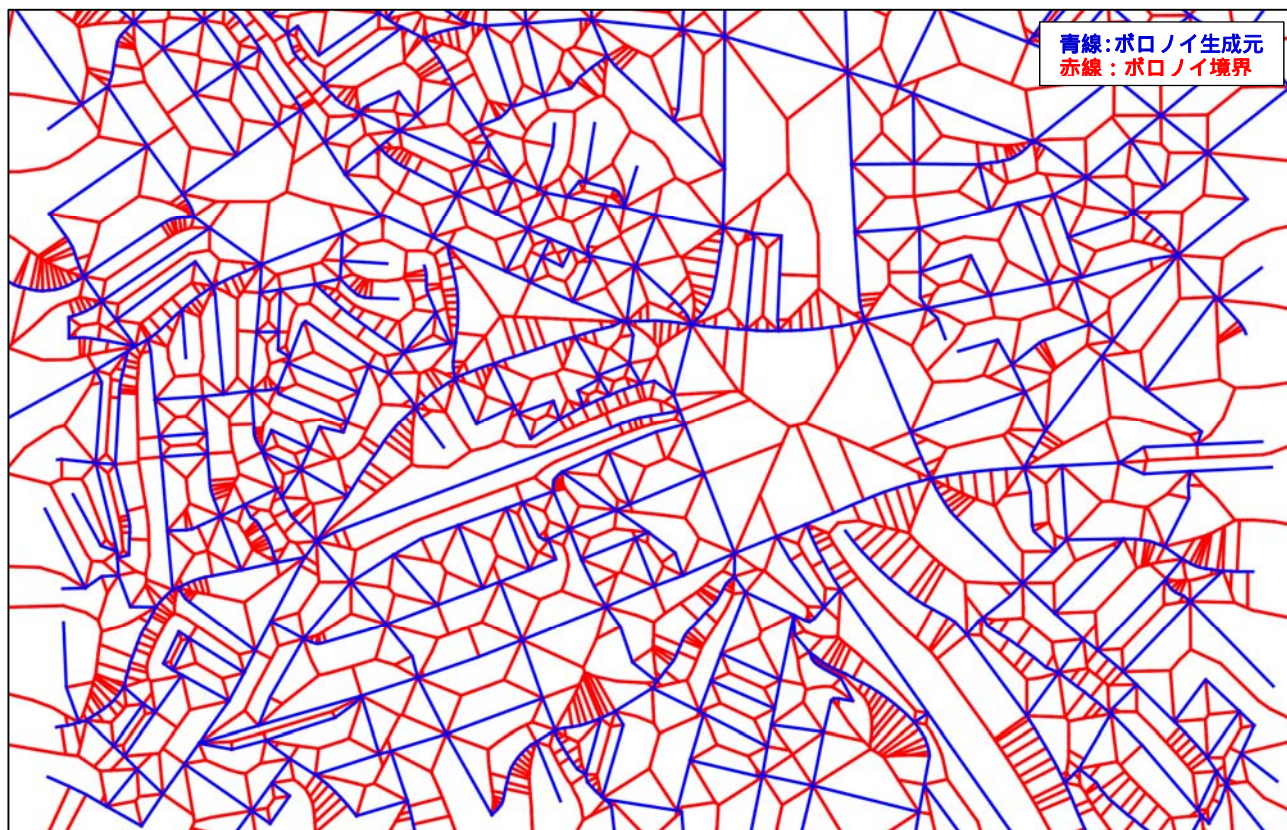


図-3 試作プログラムによる線分ポロノイ

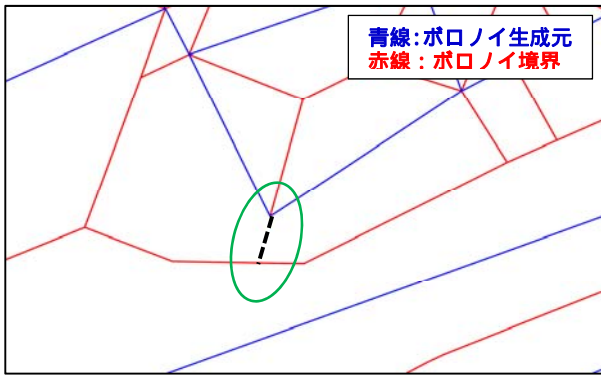


図-4 生成されないボロノイ境界線

10<sup>n</sup>で除して元の位に戻す必要がある。また、ライブラリを用いて線分ボロノイ領域分割プログラムは、Boost のホームページ内にある [https://www.boost.org/doc/libs/1\\_63\\_0/boost/polygon/voronoi\\_diagram.hpp](https://www.boost.org/doc/libs/1_63_0/boost/polygon/voronoi_diagram.hpp) を参考にした。

#### 4.2 実行結果

図 3 は、試作したプログラムを用いて実際の道路網を生成元とした線分ボロノイ領域分割を実行した結果である。青線は生成元で、赤線は線分ボロノイ領域である。生成元とする線分は約 2,000 本である。

#### 4.3 課題

Boost のサイトにあるサンプルプログラムベースに試作を行ったため、現状では以下のような課題が存在することを確認した。

- ・線分が交差したり、重なったりしている場合、計算結果が返ってこなくなる、
- ・図 4 に示すような凸をなす連続する線分（緑枠内の青線）で、凸の外側にボロノイ境界線（緑枠内の点線）が出力されない、
- ・ボロノイ境界は単なるラインとして出力され、ポリゴンとして出力されない。

#### 5. おわりに

本稿では、沿道密度を計算する際に利用可能な線分ボロノイ領域分割プログラムの試作を、オープン系ライブラリである Boost 内にある線分ボロノイ領域分割ライブラリを用いて行い、その課題

抽出を行った。

その結果、生成元である線分の交差や重なりがある場合、本ライブラリではボロノイ領域が得られないこと、ボロノイ境界線が出力されない部分があることなどが明らかになった。

今後、抽出された課題を解決し、GIS データの実用に耐えうる線分ボロノイ領域分割プログラムの開発を行う予定である。

#### 謝辞

本稿は、科学研究費補助金（17K01252、代表：奥貫圭一）の助成を受けたものである。

#### 注

- 1) CGAL(Computational Geometry Algorithms Library)(<https://www.cgal.org/index.html>)は、計算幾何学分野における様々なアルゴリズムを提供するライブラリで、空間インデクス、凸包解析、幾何学的最適化、幾何的補間、ボロノイ分割などが存在する。
- 2) Boost(<https://www.boost.org/>)は、C++を用いて開発された様々なライブラリの集合体である。Boost のコミュニティは C++標準化委員会の委員により設立されており、C++11 規格の標準ライブラリにも Boost のライブラリは多く採用されている。

#### 参考文献

- 大山崇, 2010, <http://www.nirarebakun.com/voro/segvoro.html>
- Panagiotis C., Sandeep K. D., Evanthia P., 2019, [https://doc.cgal.org/latest/Segment\\_Delaunay\\_graph\\_Linf\\_2/index.html#Chapter\\_L\\_Infinity\\_Segment\\_Delaunay\\_Graphs](https://doc.cgal.org/latest/Segment_Delaunay_graph_Linf_2/index.html#Chapter_L_Infinity_Segment_Delaunay_Graphs)
- Lucanus S, Andrii S, 2010, [https://www.boost.org/doc/libs/1\\_59\\_0/libs/polygon/doc/index.htm](https://www.boost.org/doc/libs/1_59_0/libs/polygon/doc/index.htm)