

## ネットワークの形態的特性に基づく実都市道路網分析と一般的道路網の生成

熊本大学 学生会員 ○田中 大智, 正会員 安藤 宏恵, 正会員 柿本 竜治

### 1. はじめに

近年, グラフ理論やネットワークサイエンスの発展によって, ネットワークの分析手法が多岐にわたってきた. しかし, それらはインターネットや人間関係のような情報通信または社会的なネットワークがほとんどで, インフラ分野の分析は十分でない. また, これまで道路網の構造が性能に及ぼす影響について研究されてきたが, それらは次数分布や規則性などネットワークの接続構造が既知であることを前提としているものが多く, 実際の都市道路網をもっともらしく表現できているのか, 特性を定量化しているのか疑問が残る.

Steven ら<sup>1)</sup>は道路網構造が性能に与える影響について調査を行い, 既存研究から道路網構造が持つ供給システムの問題を述べた上で, 少数のパラメータによって幅広い構造特性を持つ平面的な道路網を生成する単純なモデルを提案している. しかし提案モデルでは実道路網のデータを用いていないうえに, 平面であることを限定しているため, 実際の都市道路網の供給構造の特徴を表しているとは言い難い.

これらの背景を踏まえ, 本研究では現実の都市道路網の特徴を踏まえた一般的道路網生成モデルを確立することを目的とする. これによりグラフ理論やネットワークサイエンス手法を用いた道路網解析の発展や, 機械学習の適用を見据えた学習データ収集に寄与する.

本研究では複数の実都市道路網データから指標値を算出し, クラスタリングによって共通した特徴を持つ都市にグループ分けを行う. その後, 一般化道路網生成モデルのインプットデータとなるノード数とリンク数を最適化問題によって求める.

### 2. 接続構造指標と実都市道路網データ

表-1 に本研究で用いた 9 つの指標をまとめる. これらの指標はノード数 $n$ , リンク数 $m$ , 道路長 $l$ , エリア面積 $S$ でネットワークの形態的特性を評価することができる. 紙面の都合上, 数式は省略する. 分析に用いる実都市道路網データは, 各都道府県の人口上位 3 都市, 計 141 都市の市役所を中心とする 3km 四方に含まれるノードデータとリンクデータをオープンストリートマッ

表-1 使用した指標一覧

指標名	評価項目 (値が大きいほど)	Input
NPL	リンク数の比率が大きい	$n, m$
GTP	正方格子状に近い	$n, m$
CF	疎な道路網	$n, S, l$
Meshedness	回遊性がある	$n, m$
$\gamma$ -index	完全グラフに近い	$n, m$
ノード密度	ノードが多い	$n, S$
道路密度	密な道路網	$S, l$
Circuitness	回路性がある	$n, m, S, l$
Average Dispersion	アクセス性が悪い	$n, m, S, l$

( $n$ :ノード数,  $m$ :リンク数,  $l$ :リンク長,  $S$ :エリア面積)

プから取得した.

### 3. クラスタリング結果

実都市道路網において算出された指標値に基づいて, 最も一般的な方法であるウォード法によりクラスタリングを行った結果を図-1 に示す. 以下, 特徴の異なる 4 つのグループに分けられた道路網の特徴について述べる. グループ 1 は正方格子状に最も近く, 回路性, アクセス性にも優れており密な道路網で, 札幌市, 名古屋市, 熊本市など, 各県の最も人口が多い都市が多く含まれていた. また, 北海道や愛知県, 福岡県は上位三都市すべてがこのクラスターに含まれていた. グループ 2 は回路性アクセス性ともに悪く, 疎な道路網で, 山口市, 今治市, 富士市などが含まれていた. グループ 3 は疎ではあるがアクセス性が良い道路網で八代市, 天草市, つくば市などが含まれていた. グループ 4 はノードの密度が高いため比較的密な道路網ではあるがアクセス性が優れていない道路網で, 八王子市, 東大阪市, 那覇市などが含まれていた.

### 4. 一般的道路網生成モデルの構築

クラスタリングによって特徴づけられた実都市道路網の構造的特性に基づいて, 一般的な道路網を生成するためのインプットデータとなるノード数とリンク数の最適解を探索する.

#### 4.1 目的関数

人工的に構築する一般化道路網における各指標値と、実都市道路網の指標値の差の合計が最も小さくなるようなノード数とリンク数をクラスターごとに求める。目的関数は式(1)に示すように指標値の差とし、 $Value^V$ は一般化道路網における指標値、 $Value^R$ は各クラスターの実道路網における指標値の平均値である。

$$y = \sum \left( 1 - \frac{Value^V}{Value^R} \right)^2 \quad (1)$$

ノード数  $n$ , リンク数  $m$ , エリア面積  $S$ , 最小ノード間距離  $d$  をインプットデータとする一般化道路網の生成手順は以下の通りである<sup>1)</sup>。

1. ノードを  $S \text{ km}^2$  の領域にランダムに散布する。ここでノード間は  $d \text{ m}$  離れていなければならない。
2. Step1 で生成したノード集合に対して、ネットワークのリンクの候補となる最小木(MST)とドロネーの三角形を作成。
3. 最初に MST の  $n - 1$  個のリンクを選択し、残りの  $m - (n - 1)$  個のリンクはドロネー三角形からランダムに選択する。

#### 4.2 ハーモニーサーチによる最適化

インプットデータにおける最適なノード数  $n$ , リンク数  $m$  を求める手法として、音楽家の即興演奏過程を模倣した最適解探索アルゴリズムであるハーモニーサーチを用いた。解候補をハーモニー、解候補集合をハーモニーメモリ (HM) と呼び、以下の3つの手法のいずれかにより新しいハーモニーを生成する。

1. HM から1つのハーモニーを選択する。
2. HM 内の1つのハーモニーを式(2)のように調整する。ここで  $B$  は1要素の範囲の10%とした。

$$x_i^{new} = x_i + B \times rand[-1,1] \quad (2)$$

3. 新しいハーモニーを制約条件下でランダムに生成する

最適化アルゴリズムには多様性と収束性が不可欠であるが、ハーモニーサーチではハーモニーの調整とランダム生成により多様性を維持し、HMにより収束性を保証する。ここでの終了条件は式(3)のように設定した。

$$\frac{|f(x_i) - f(x_{i+1})|}{|f(x_i)|} < 0.001 \quad (3)$$

#### 4.3 最適なノード数とリンク数

表-2 はハーモニーサーチのアルゴリズムにより求め

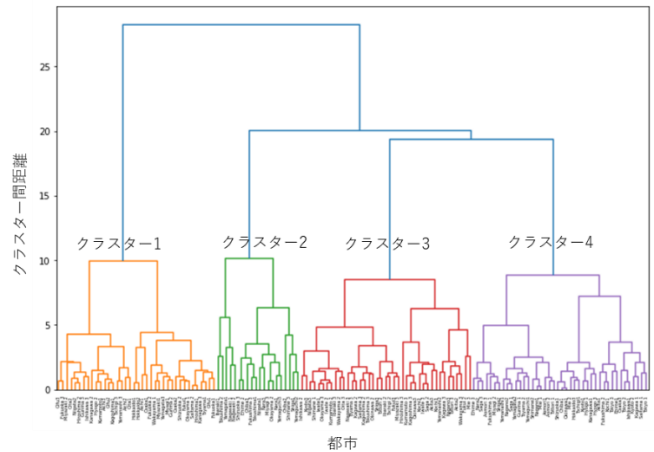


図-1 クラスタリング結果

表-2 最適化結果

クラスター	ノード数	リンク数	目的関数値
1	1491	2371	0.00246
2	1364	1884	0.0531
3	841	1230	0.0314
4	1817	2716	0.0265

た最適なノード数とリンク数、目的関数値を示す。指標値の差の合計はグループ1が最も小さく、グループ2が最も大きい。値が小さくならなかったという結果は、構築した一般化道路網が実道路網の特徴をうまく再現できていないと解釈できる。グループ2の特徴として回路性がないことが挙げられるが、行き止まり道路の数が多く、このような特徴を持つ道路網の構築は本研究で採用した道路網生成手順では難しいことが分かった。

#### 5. おわりに

本研究は、ネットワークの形態的特性を評価する指標を用いて、実都市の道路網データから特徴の異なるいくつかの人工的な道路網を構築した。しかし、これは平面的なネットワークを前提としているため、今後は構築した道路網を階層化し、道路網の性能を評価する指標を用いて実道路網との性能の違いを分析したい。

#### 参考文献

- 1) Steven J O'Hare, Richard D Connors, David P Watling, Using Ensemble Analysis to study effects of Network Topology on Performance in Urban Road Networks, Physics and Society, 2020
- 2) 大谷紀子, 杉木直, 宮本和明, 都市マイクロシミュレーションモデルを用いた多様な政策手段の組み合わせ選択, 第46回土木計画学研究発表会, 2012