

# コミュニティ分割手法の道路ネットワークへの適用に関する基礎的検討

A basic study on the application of community partitioning methods to road networks

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生員 江端隼斗 (Hayato Ebata)  
北海道大学大学院工学研究院 正員 杉浦聡志 (Satoshi Sugiura)

## 1. はじめに

ネットワーク科学の分野では、ネットワーク内でリンクが密に結びついている部分のことをコミュニティと呼び、与えられたネットワークを複数のコミュニティに分割するための様々なアルゴリズムが提案されてきた<sup>1)</sup>。一方で、コミュニティの具体的な定義や抽出方法はアルゴリズムによって多岐に渡り、得られる分割結果もそれぞれに異なる。そのため、様々な手法の中から目的に応じたものを選択するには難しさがある。

本研究では、道路ネットワーク上のコミュニティに着目する。道路ネットワークは交通需要に対応するよう整備されてきたものであり、ネットワークの疎密な構造と人口の分布の間には何らかの関連があると考えられる。仮に密に人が暮らす場所に密に道路が整備されてきたとすれば、道路ネットワークから人々の暮らしに対応する密なコミュニティ構造(生活圏)を抽出できる可能性がある。この形状を明らかにすることは、災害時の避難場所とそこに避難する範囲、いわゆるロックダウン時の行動可能範囲の設定など、地域に何らかの区分を与えたいときの参考になるのではないかと考えている。このような施策の多くは都道府県や市町村といった行政区分に基づいて行われるが、コミュニティ構造を知ることにより生活の実態に即した区分を与えられる可能性がある。

以上より、本研究は、密に人が暮らしてきた場所に密に道路ネットワークが整備されてきたのではないかとする仮説の下、既存のコミュニティ分割手法の適用によりその検証を試みる。

## 2. 既往研究の整理

### 2.1 コミュニティ分割結果の評価指標

コミュニティ分割結果の定量的な評価指標として、モジュラリティ $Q$ <sup>3)</sup>がしばしば用いられる。定義は式(1)のようになり、コミュニティ内のリンクが密に、コミュニティ間のリンクが疎になるような分割に対して大きな値を取る。コミュニティ分割はこの $Q$ の最大化問題として捉えることができ、この値によって複数手法を評価できる。

$$Q = \sum_{i \in C} \left[ \frac{l_i}{m} - \left( \frac{d_i}{2m} \right)^2 \right] \quad (1)$$

ここで、 $m$  : ネットワーク内のリンクの総数、 $l_i$  : コミュニティ $i$ 内のノードを結ぶリンクの数、 $d_i$  : コミュニティ $i$ 内のノードの次数の和である。

### 2.2 コミュニティ分割手法の分類

コミュニティ分割手法は多岐に渡り、その分類方法も様々である。ここでは、(1)トップダウン型、(2)ボトムアップ型と大別して、代表的な手法を整理する。どちらとも言えない手法や、さらに詳細な分類が存在するが、最も基本的な分類であるとしてまずは着目することとした。詳細な分類は Fortunato, S.<sup>1)</sup> に詳しい。また、概説として村田<sup>2)</sup> がある。

#### (1) トップダウン型

分割手順の初期段階では与えられたネットワーク全体を1つのコミュニティと見なし、それを分割することで徐々に複数のコミュニティを形成していく方法。ネットワークから媒介中心性の高いリンクを繰り返し取り除くことで複数のコミュニティを得る Girvan-Newman 法<sup>4)</sup> や、コミュニティ間が疎、コミュニティ内が密になるような二分法を繰り返すような方法として、Min-max cut 法<sup>5)</sup> や Normalized cut 法<sup>6)</sup> などがある。

#### (2) ボトムアップ型

分割手順の初期段階では個々のノードが別々のコミュニティに属するものとし、徐々に複数のノードを組み合わせることでコミュニティを形成していく方法。前述のモジュラリティ $Q$ を大きくするような分割を考える。同一のコミュニティに属したとき $Q$ が大きくなるノードのペアを探し組み合わせるような Newman 法<sup>7)</sup> やその改良手法である CNM 法<sup>8)</sup>、さらに計算量が少なく高速な手法として知られる Louvain 法<sup>9)</sup> などがある。

## 3. コミュニティ分割手法の道路網への適用

既往のコミュニティ分割手法を大別したグループそれぞれから北海道の道路ネットワークに適用する。ネットワークはいずれの手法においても無向グラフとする。本稿では、ネットワークデータは DRM の全道路データ (地域: 北海道全域, ノード数: 約 31 万, リンク数: 約 46 万, 重みは全てのリンクで 1 としている) をテストネットワークとして利用する。

図-1~図-3 には、挙動確認のため、ボトムアップ型の手法のうち Louvain 法を上記のテストネットワークに適用し、結果から一部を抜き出したものを示す。黒の太線は行政境界を、黒の細線は道路を表し、同じコミュニティに属する道路上の点(ノード)が同じ色で表されている。北海道全体では 269 個のコミュニティに分割された。都市部では、幹線道路や川、JR の路線を境界とするようなコミュニティが多く、1つの行政区域内で複数の

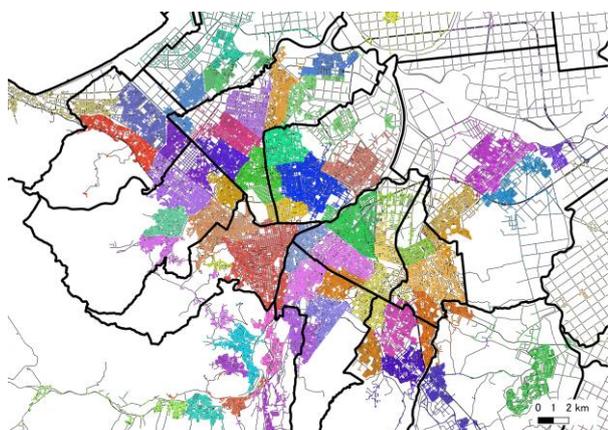


図-1 Louvain 法による北海道の道路ネットワークの分割 (札幌市の一部とその周辺)

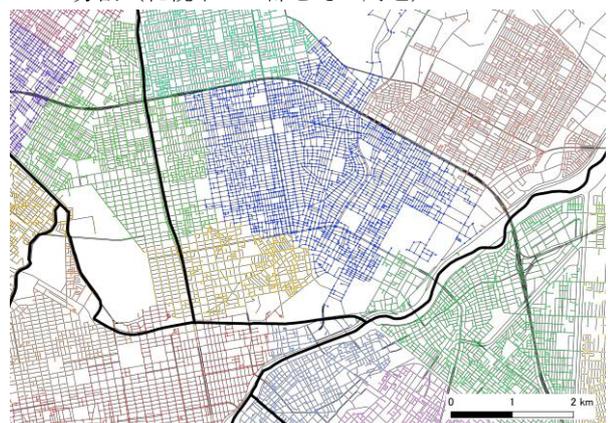


図-2 Louvain 法による北海道の道路ネットワークの分割 (札幌市内の一部)

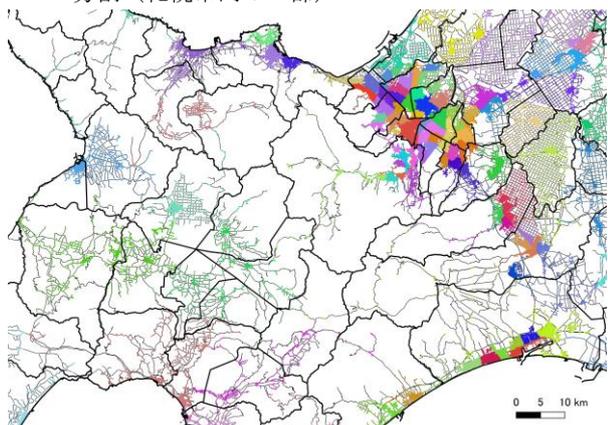


図-3 Louvain 法による北海道の道路ネットワークの分割 (札幌市や後志地方など)

コミュニティが得られている。一方、地方部では都市部に比べてコミュニティが広域に渡り、複数の行政境界を跨ぐようなコミュニティも見られた。図-4 には、コミュニティに含まれるノードの個数の分布を示す。1000 個前後のノードを含むコミュニティが多いが、中には 3000 個近くのノードを含むものも少数あることがわかる。これらのコミュニティに含まれるノードの数がどのような空間的特性によって生じているのか詳細な分析が今後必要となろう。以上の結果は入力したリンクの重みをすべて 1 としているため、道路の疎密によりコミュニティ境界が生じていると考えられる。この試算結果のみではコミ

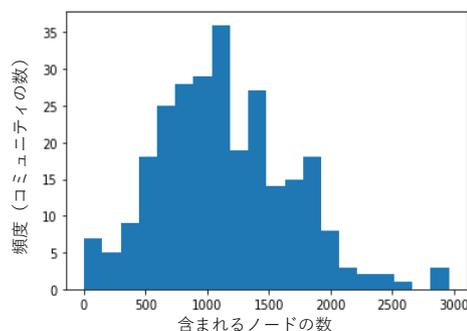


図-4 各コミュニティに含まれるノードの個数の分布

ュニティ, またはコミュニティ間の境界特性が生活圏等の空間的な解釈が可能であるかは議論できない。したがって、人口や交通流動など他のデータとの比較によりこの分割結果がどのように解釈可能であるか、考察する必要がある。

#### 4. おわりに

現時点では、ボトムアップ型の手法のうち計算が高速な Louvain 法をテストネットワークへ適用したのみであるが、講演時にはいくつかの手法から得られた分割結果を比較し、相互の特徴を整理する。また、それぞれの分割結果について、コミュニティ内の人口や交通流動について分析し、各分割手法が与える結果がどのような特性、および空間的な解釈を与えるのかを整理し、報告することとしたい。

#### 参考文献

- 1) Fortunato, S.: Community detection in graphs, Physics Reports 486, pp.75-174, 2010.
- 2) 村田剛志: ネットワークからのコミュニティ抽出, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌) Vol.21, No.4, pp.500-508, 2009.
- 3) Newman, M.E.J. and Girvan, M.: Finding and evaluating community structure in networks. Physical review E, Vol. 69, No. 2, p. 026113, 2004.
- 4) Girvan, M., and Newman, M.E.J.: Community structure in social and biological networks, Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), Vol.99, No.12, pp.7821-7826, 2002.
- 5) Ding, C. H. Q., He, X., Zha, H., Gu, M. and Simon, H. D.: A min-max cut algorithm for graph partitioning and data clustering, Proc. IEEE. 2001.
- 6) Shi, J. and Malik, J.: Normalized cuts and image segmentation, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., Vol. 22, No. 8, pp. 888-905. 2000.
- 7) Newman, M.E.J.: Physical Review E, Vol.69, article No.066133, 2004.
- 8) Clauset, A., Newman, M.E.J., Moore, C.: Physical Review E, Vol.70, articleNo.066111, 2004.
- 9) Blondel, Vincent D., et al. "Fast unfolding of communities in large networks." Journal of statistical mechanics: theory and experiment.10 P10008. 2008.