

リンク生成によるネットワーク性能の最大化 Maximization of Network Performance by k -links creation

望月 成一郎[†]
Seiichiro Mochizuki

齊藤 和巳[†]
Kazumi Saito

1. はじめに

特に静岡県では、南海トラフ地震など想定される災害に備え、防災・減災対策の高度化が極めて重要な課題となっている。大規模災害では、一般に、交通網が複数個所で寸断され、多数の孤立地域が発生し深刻な事態が起こることも危惧され、多数の専門家や研究者らが同時に指摘するように、道路網の連結信頼性を考慮した研究は、防災・減災において極めて重要な役割を果たす。自然災害発生時に一部の道路リンクが切断され道路網が複数のサブネットワークに分断されたとき、サブネットワーク内には住民の一時避難所や物資蓄積庫が存在することが必須であり、また、サブネットワーク内の一時避難所への到達時間や物資蓄積庫間の輸送時間は短い必要がある。

本研究では、ネットワーク上での影響最大化問題 [1] と、中心性分析問題 [2] に基づくアプローチを採用する。具体的には、従来の近接中心性の概念 [2] を拡張した重み付きグループ近接中心性を考え、この拡張中心性に基づき、避難地へ到達するまでの平均時間を最小にするように、道路網 (ネットワーク) に新たな道 (リンク) を追加する問題について考える。本実験では、静岡県にある三つの主要都市、浜松市、沼津市、及び、静岡市に着目し、生成可能なリンクの距離に制限を与えたときの特性について評価した結果を示す。

2. 分析法

多数の移動主体 (住民など) が起点から目的地 (避難地など) に移動する基本行動モデルを定義する。 $G = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$ を道路網の無向グラフ構造とし、 $\mathcal{V} = \{u, v, w, \dots\}$ は交差点に対応するノードの集合、 $\mathcal{E} = \{e = (u, v), \dots\}$ は交差点間の道となるリンクの集合を表すとする。また、 \mathcal{D} を目的地の集合とし、便宜上、それぞれを最寄りのノード (交差点) に対応させ $\mathcal{D} \subset \mathcal{V}$ であるとする。同様に、移動主体の起点もノードに対応させ、ノード u が起点の主体数を $n(u)$ とし、その総数を $N = \sum_{u \in \mathcal{V}} n(u)$ とする。一方、各リンク $e = (u, v)$ に対し、ノード間距離 $d_G(u, v)$ が付与されているとする。任意のノードペア u と w の間での移動時間 $d_G(u, w)$ は、これらをつぶ任意の経路上の距離の総和を考え、その最小値 (測地距離) として定義する。このとき、起点から目的地までの移動に必要な最短距離の平均 $C_G(\mathcal{D})$ は次式で与えられる。

$$C_G(\mathcal{D}) = \frac{1}{N} \sum_{u \in \mathcal{V}} n(u) \min_{w \in \mathcal{D}} d_G(u, w) \quad (1)$$

ここで、式 (1) は、重み付きグループ近接中心性 (weighted group closeness centrality) と見なすことが

できる。

いま、道路網 $G = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$ に対し、リンク集合 (新たな道) $\mathcal{R} \subset \mathcal{V} \times \mathcal{V}$ を追加 (建設) し、構成される道路網を $G(\mathcal{R}) = (\mathcal{V}, \mathcal{E} \cup \mathcal{R})$ で表す。明かに、式 (1) の起点から目的地までの移動に必要な最短時間の平均を、より小さくするリンク集合の追加 (新たな道の建設) が望まれる。しかしながら、一般に、非常に距離の長いリンク (道) を建設するのは困難な場合も想定される。よって本研究では、追加できるリンクの距離上限が Δ として与えられているとすし、この制約を満たすリンク集合 $\mathcal{H}(\Delta)$ を次式で定義する。

$$\mathcal{H}(\Delta) = \{(u, w) \in \mathcal{V} \times \mathcal{V} \mid d_G(u, w) \leq \Delta\}.$$

また、追加できるリンク本数は k とする。すなわち、 $|\mathcal{R}| = k$ である。したがって、本研究でのリンク生成問題は、次式を最大にするリンク集合 \mathcal{R} を求める問題となる。

$$f(\mathcal{R}) = \arg \max_{\mathcal{R} \subset \mathcal{H}(\Delta), |\mathcal{R}|=k} \{C_G(\mathcal{D}) - C_{G(\mathcal{R})}(\mathcal{D})\} \quad (2)$$

本実験では、与えられた Δ と k に対し、 $f(\mathcal{R})$ を最大化する近似解 \mathcal{R}_k を以下の貪欲法で求める。

1. 反復制御変数を $h = 0$ とし、結果を格納する集合を空 $\mathcal{R}_0 = \emptyset$ に初期化;
2. 集合 \mathcal{R}_h を固定し、 $\mathcal{H}(\Delta)$ から最良要素 $e_{h+1} = \arg \max_{e \in \mathcal{H}(\Delta)} \{f(\mathcal{R}_h \cup \{e\}) - f(\mathcal{R}_h)\}$ を計算;
3. 最良要素 e_{h+1} を追加 $\mathcal{R}_{h+1} \leftarrow \mathcal{R}_h \cup \{e_{h+1}\}$ し、 $h = h + 1$ に設定;
4. $h = k$ ならば \mathcal{R}_k を出力し終了、さもなければステップ 2. へ戻る。

3. 実験による評価

本研究では、静岡県の三つの主要都市である浜松市、沼津市、静岡市に着目し、OSM (OpenStreetMap) データ [3] を元に道路網の構造 $G = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$ を求めた。表 3 に実験で用いた各都市の道路網のノード数とリンク数、避難地数を示す。ここで、避難地とは、静岡県の指定

表 1: 道路網データの概要

	ノード数	リンク数	避難地数
浜松	104,813	255,296	432
沼津	44,980	97,098	232
静岡	53,903	132,888	363

する避難地または一時避難地とした。また、以下の実

[†]静岡県立大学 経営情報学部

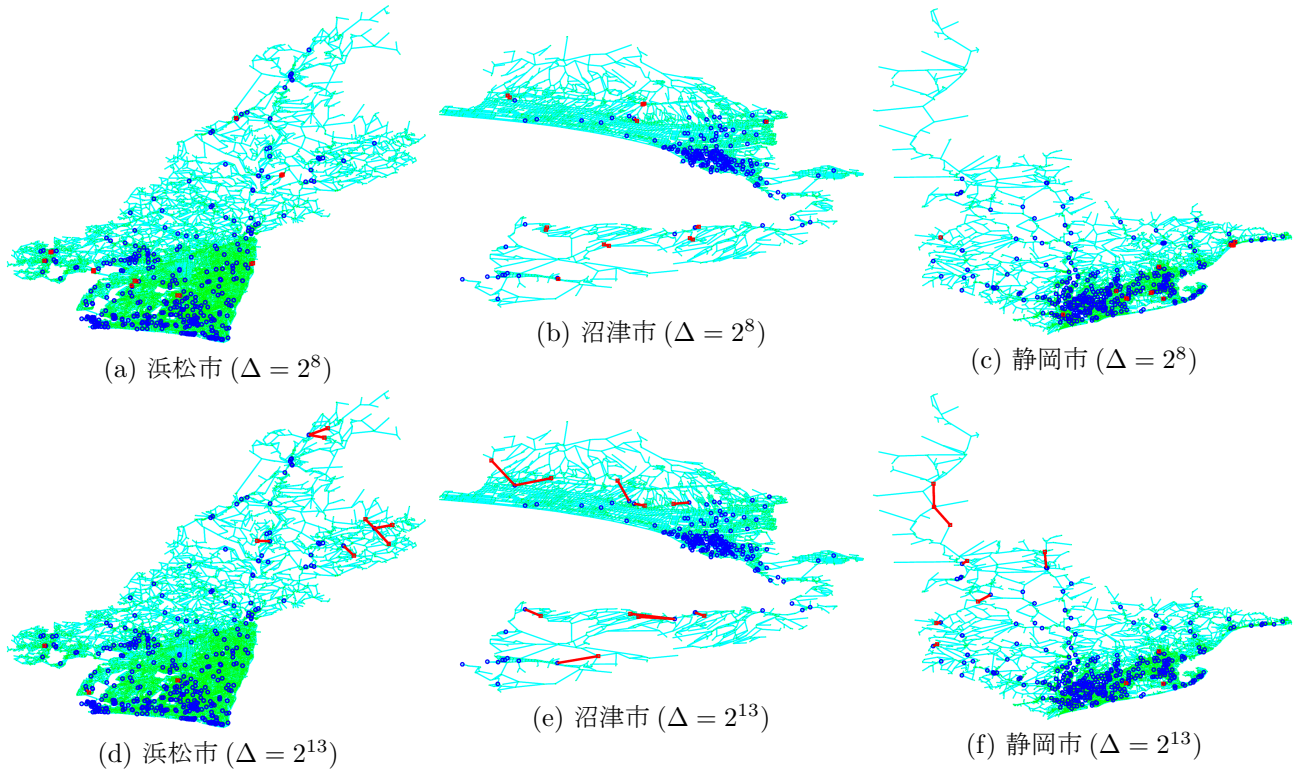


図 1: 生成したリンクの可視化による評価

験では、基本性能を確認するために、全ての $u \in \mathcal{V}$ で $n(u) = 1$ とした。

図 3 に、 $\Delta = 2^8$ とし、 $k = 10$ に設定して求めた \mathcal{R} の浜松市、沼津市、及び、静岡市での可視化結果を示す。ここで、一般の交差点と道は緑の点とシアン色の線で示し、避難地を青の点とし、結果 \mathcal{R} として選ばれた生成リンクを赤い線で示している。また、図 1 に、 $\Delta = 2^{13}$ とし、 $k = 10$ に設定して求めた \mathcal{R} の可視化結果を示す。

本実験より、各都市のノード数、リンク数、避難地数、さらに都市の形状など大幅に異なるものの、 $\Delta = 2^8$ と $\Delta = 2^{13}$ のそれぞれで比較的類似した傾向を示す実験結果が得られたことが分かる。具体的には、形成できる道の長さが短いときは、市街に作ったほうが有効であり、長いときは山間部に作ったほうが有効であることがわかる。また、道路の長さが違う場合でも、比較的同地点に形成される道がある。このような道は他の道と比べて重要度が高いということが読み取れる。静岡と浜松にもその傾向が見られるが、沼津においてはより顕著である。

4. おわりに

本研究では、従来の近接中心性の概念を拡張した重み付きグループ近接中心性を考え、この拡張中心性に基づき、避難地へ到達するまでの平均時間を最小にするように、道路網(ネットワーク)に新たな道(リンク)を追加する問題を対象とした。特に本実験では、静岡県にある三つの主要都市、浜松市、沼津市、及び、静岡市に着目し、生成可能なリンクの距離に制限を与え

たときの特性について評価した結果を示した。その結果、都市に依存しない、共通な特性などが観測されることが分かった。今後は、さらに多様なデータでの評価実験などを進める。

謝辞 本研究は、科学研究費補助金基盤研究(C)(No.17H01826)の助成を受けた。

参考文献

- [1] D.Kempe, J.Kleinberg, and E.Tardos “Maximizing the spread of influence through a social network” *Theory of Computation*, vol.11, pp.105-147, 2015.
- [2] M.E.J.Newman “*Networks: An Introduction*” Oxford University Press, 2010.
- [3] Open Street Map, www.openstreetmap.org