

ツリーの概念を用いた道路網の多重性の評価に関する研究

九州大学工学部 地球環境工学科 学生会員 横江れんげ
九州大学大学院 工学研究院 正会員 外井 哲志
九州大学大学院 工学研究院 正会員 大枝 良直
九州大学大学院 工学研究院 正会員 松永 千晶

1. はじめに

2011年の東日本大震災では、太平洋側の高速道路の利用が制限され、その代替路として日本海側の幹線道路網が輸送ルートとして機能した。このように災害発生時でも、任意の発着点を繋ぐ経路が確保されていることが道路網には求められおり、以前から自然災害発生時の道路網の接続性の評価に関する研究が多く行われてきた。

従来の道路網の接続性評価に関する研究では、ノード間が繋がっている確率、リンクが走行可能な確率を推定して、もしくは既知として理論を展開していたが、^{1) 2)} それらの確率が不確かであれば、得られた評価の信頼性が損なわれる。そこで、災害発生確率や、被害の状況に依存しない手法として、非重複経路（多重性）の考え方をを用いた道路網そのものを評価する手法が提案されてきた。^{3) 4)} しかし、これらの道路網の接続性評価に関する既存の研究では、特定のOD間の評価に関するものが多く、任意の発着点を繋ぐ経路の確保のための道路網全体の繋がりの評価に関する研究はほとんどない。

本研究では以上を踏まえ、災害発生時の道路の繋がりを、道路網全体の多重性の視点から評価する手法を提案する。

2. 道路網の多重性評価の方法

2-1. 想定する状況

災害発生から復興までの間、時間の経過とともに道路網に求められるものは変化する。災害発生直後には、救助・救援活動や緊急物資の輸送のための緊急輸送路が確保されていること（連結性）が求められるが、発災から一定の時間が経つと、通常時に近い所要時間で移動できること（時間信頼性）が求められるようになる。

本研究では、連結性が求められる災害発生直後から応急復旧前を想定し、都市内の主要拠点間の交通路が確保された状態（主要拠点間が繋がっている状態）を、都市の機能が維持できる必要最低限の道路網が確保されている状態と考える。

2-2. 評価の方法

主要拠点間の交通路が確保されているためには、それらを結ぶ木（ツリー）構造の道路網が最低限必要である。このため本研究では、道路網における木構造に着目した。

木とは閉路のない連結なグラフであり、そのうち全ノードを繋いでいる木は全域木、また図-1のようにノードの部分集合 T を全て繋ぐ木はシュタイナー木と呼ばれる。

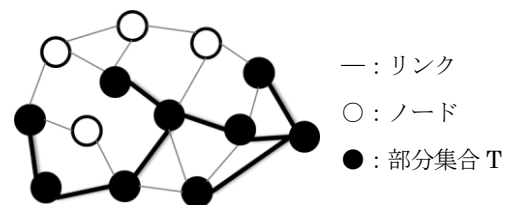


図-1 シュタイナー木

本研究では、災害発生直後に繋ぐべき主要拠点を表すノード（以下重要ノード）をすべて含むシュタイナー木を求める問題を考える。すなわち、シュタイナー木が主要拠点間の交通路を確保する必要最低限の道路網を表すといえる。

ここで、各自治体が地域防災計画において定義した拠点を重要ノードとする。例えば、避難所、空港、港湾、自衛隊、県庁、警察署、防災倉庫（備蓄庫）、救援物資集積所、災害拠点病院、基幹災害医療センター、地域災害医療センター、ヘリポート、地方整備局などである。

2-3. シュタイナー木を求める方法

ネットワークに1本でもリンクが残っている場合の組み合わせを全て出し（総リンク数 L 本のネットワークの場合、 $2^L - 1$ 通り）、条件から外れる組み合わせを消去していく。最後まで残ったものが、重要ノードを全て含むシュタイナー木である。

条件は以下の通り。

- (1) ノード数-リンク数=1である
- (2) 連結である
- (3) 重要ノードを全て含む
- (4) 1次（接続するリンクの数が1）のノードが全て重要ノードである

(1) (2) は木であるための条件、(4) は余計な枝を含まないための条件である。

例えば、図-2はノード数4、リンク数2であるため(1)を満たさない。図-3はノード数5、リンク数4で(1)は満たしているが、連結でないため(2)を満たさない。図-4は重要ノードでないノードが1次である(左上のノード)ので(4)を満たさない。(図-4から余分な枝を消去すると、図-5となる。)

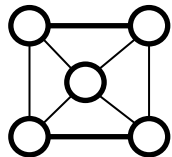


図-2 消去される組み合わせ例1

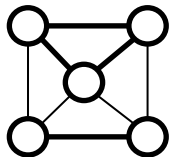


図-3 消去される組み合わせ例2

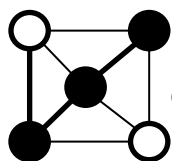


図-4 消去される組み合わせ例3

● : 重要ノード

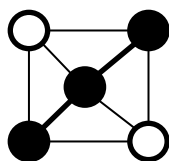


図-5 図-4から余計な枝を除いたシュタイナー木

2-4. 計算例

図-6に示す、リンク13本、ノード9個、重要ノード3個のネットワークを対象として分析する。このネットワークでは、●の重要ノードを結ぶシュタイナー木は31種類あることが分かった。(表-1)

これらの中には、互いに素な(非重複:同一リンクを含まない)2組のシュタイナー木の組み合わせが50種類存在した。互いに素な2組のシュタイナー木があれば、重要ノード間に常に2組の非重複経路が存在する。この場合、一方のシュタイナー木の任意のリンクが途絶しても、全ての重要ノード間に経路が存在する。一般的には、互いに素なシュタイナー木がn組存在すると、重要ノード間にn組の非重複経路が存在し、n-1組のシュタイナー木のリンクが途絶しても重要ノード間の接続性を保有しているといえる。つまり、nが大きければ大きいほど、多重性が大きいといえる。

また、50種類の互いに素な2組のシュタイナー木の組み合わせにおいて、使用される回数はシュタイナー木ごとに異なった。使用される回数が多いシュタイナー木は、より多くの組み合わせに対応できる経路である。一般的に、非重複なシュタイナー木の組み合わせに、含まれる回数が多いシュタイナー木は、重要ノード間を繋ぐのに重要な経路であるといえる。つまり、災害に備えて優先して整備すべき経路といえる。

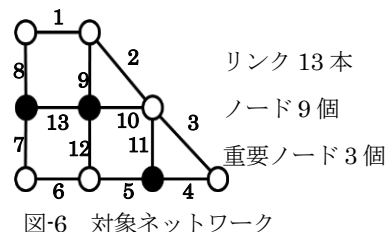


図-6 対象ネットワーク

表-1 シュタイナー木一覧

リンク	リンク												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
2	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
3	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
4	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0
5	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
6	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
7	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0
8	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0
9	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
10	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0
11	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
12	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
13	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0
14	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0
15	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0
16	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0
17	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
18	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0
19	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0
20	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0
21	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0
22	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0
23	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0
24	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1
25	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1
26	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
27	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
28	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
29	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
31	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1

※0:リンク無し、1:リンク有り

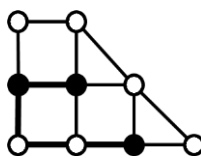


図-7 24番のシュタイナー木

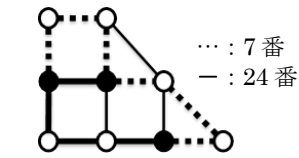


図-8 互いに素な2組のシュタイナー木

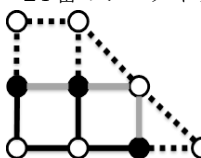


図-9 互いに素な3組のシュタイナー木

3. 終わりに

本研究では、災害発生時の道路の繋がりを、グラフ理論の木の概念を用いて道路網の多重性の視点から評価する手法を提案した。非重複なシュタイナー木をとることで、その道路網の多重性の大きさや優先して整備すべきネットワークが分かった。今後は、より現実に近いネットワークを想定して手法の改善を図る必要がある。

参考文献

- 1) 飯田恭敬,若林拓史,福島博:道路網信頼性の近似解析方法の比較研究:土木学会論文集,第407号,1989
- 2)中山晶一郎:ネットワークレベルでの道路交通の信頼性研究の諸相・展望とその便益評価の一考察:土木学会論文集D3(土木計画学),vol.67, No.2, 147-166, 2011
- 3) 瀬戸裕美子,宇野伸宏,塩見康博:非重複経路を考慮したアクセシビリティ評価指標に基づく医師配置計画モデルの構築:都市計画論文集, No. 45-3 (82), pp.487-492, 2010
- 4) 倉内文孝,宇野伸宏,夏 皓清,葉光毅:台湾道路ネットワークにおける接続脆弱性解析とその活用,第42回土木計画学研究発表会講演集