

ツリー構造を用いた緊急時の多重性のある道路網の探索法の研究

九州大学 学生会員 新垣 孝宗

正会員 外井 哲志

九州大学 正会員 大枝 良直

1. 背景

災害発生時に道路が被災・寸断・通行不可能になった場合、道路網には代替経路による緊急輸送路の確保が求められる。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ており、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、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）の考え方をういた道路網そのものを評価する手法¹⁾が提案されてきた。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²⁾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や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. 木

2-1. 木構造

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。木とは閉路の無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を全域木、また図-1 のように ノードの部分集合(重要ノードの集合)を全て繋ぐ木はシュタイナー木と呼ばれる。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

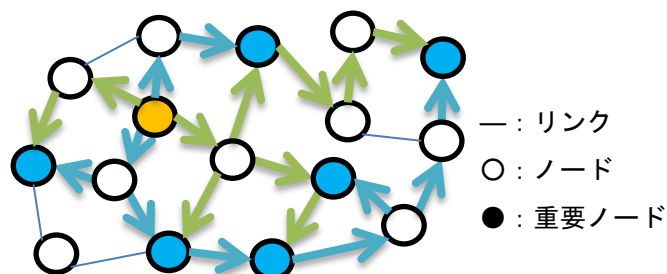


図-1 辺素な2本のシュタイナー木

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、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、地方整備局等である。

2-2. 辺素なシュタイナー木

災害時の道路網の多重性を木を用いて考える際に、リンクを共有しない2本のシュタイナー木のことを辺素なシュタイナー木(図-1)という。辺素なシュタイナー木を求めることにより、片方のシュタイナー木において、あるリンクが途絶した際に、残ったシュタイナー木と組み合わせることで重要ノードへのリンクが必ず存在することが保障される。また、道路網全体に対する評価である為、被災箇所やの予測が難しい地震のような災害にも効果的であると考えられる。

3. 研究の方法

3-1. 整数計画法によるシュタイナー木の探索

LINGO（数理計画ソフトウェア）を用いて最短の辺素なシュタイナー木の組合せを求める方法の1つは以下の通りである。2本のシュタイナー木の総走行距離を最小にする目的関数を基に、重要ノードの連結、全てのノード毎の連結条件、ループ禁止の3種の制約条件を用いて計算することで、最短のシュタイナー木の組合せを見つけることができる。実際にノード数25、リンク数33、重要ノード数7のネットワークに対して距離を与え、計算した際に得られた最短の辺素なシュタイナー木の組合せの概略図が図-1である(図示用に末端

ノードの削除済み)。しかし、災害直後の道路網においては走行時間の最小化よりも道路網の接続性の確保を優先すべきである為、目的関数の条件の設定は、辺素なシュタイナー木の組合せを見つけることより重要度が低い。また、膨大な整数処理を必要とするこの方法は実在するネットワークに対して最短の辺素なシュタイナー木の組合せを求めることに現実性がない。

3-2. プリム法を応用したシュタイナー木の探索

最小全域木を求めるために開発されたプリム法の考え方をを用いたシュタイナー木の求め方の概要は以下の通りである。

1. 任意の重要ノード A を選び、隣接リンクからランダムに 1 つのノードを選択する。ノード B とする。
2. ノード A または B の隣接リンクからランダムに 1 つのノードを選択する。
3. 同様にして繰り返し、全ての重要ノードを選択し終わったら終了する。
4. 重要ノードでなく、リンクの接続数（ノード次数）が 1 以下となる末端ノードへのリンクを削除し、完成。
5. 上記の試行を繰り返し行うことで得られた数多のシュタイナー木から、辺素な組合せを算出する。

より具体的な求め方を図-2 にフローチャートとして示す。図-1 のネットワークに対して 10000 回の試行した結果、1013 本のシュタイナー木と 48 組の辺素な組み合わせを得ることができた。また、対象を拡大し、熊本県のネットワークに対して行った結果シュタイナー木を生成することが可能であることを確認できた。

4. おわりに

今回は図-1 のネットワークに対して 2 通りの方法で辺素なシュタイナー木の探索を試みた。LINGO を用いた方法においてネットワークの大きさに限界があった。その一方で、プリム法を応用した方法においては、辺素なシュタイナー木の算出が可能であるということが判明した。今後は、実在のネットワークである熊本県を対象に、辺素な組み合わせを求める必要があり、計算速度の改善、プリム法を応用しランダムに経路を選択する方法以外に辺素な組み合わせを得ることのできる考え方の模索、得られた辺素なシュタイナー木同士の比較をすることで、更なる発展を図りたい。

5. 参考文献

- 1) 倉内文孝、宇野伸宏、夏皓清、葉光毅：「台湾道

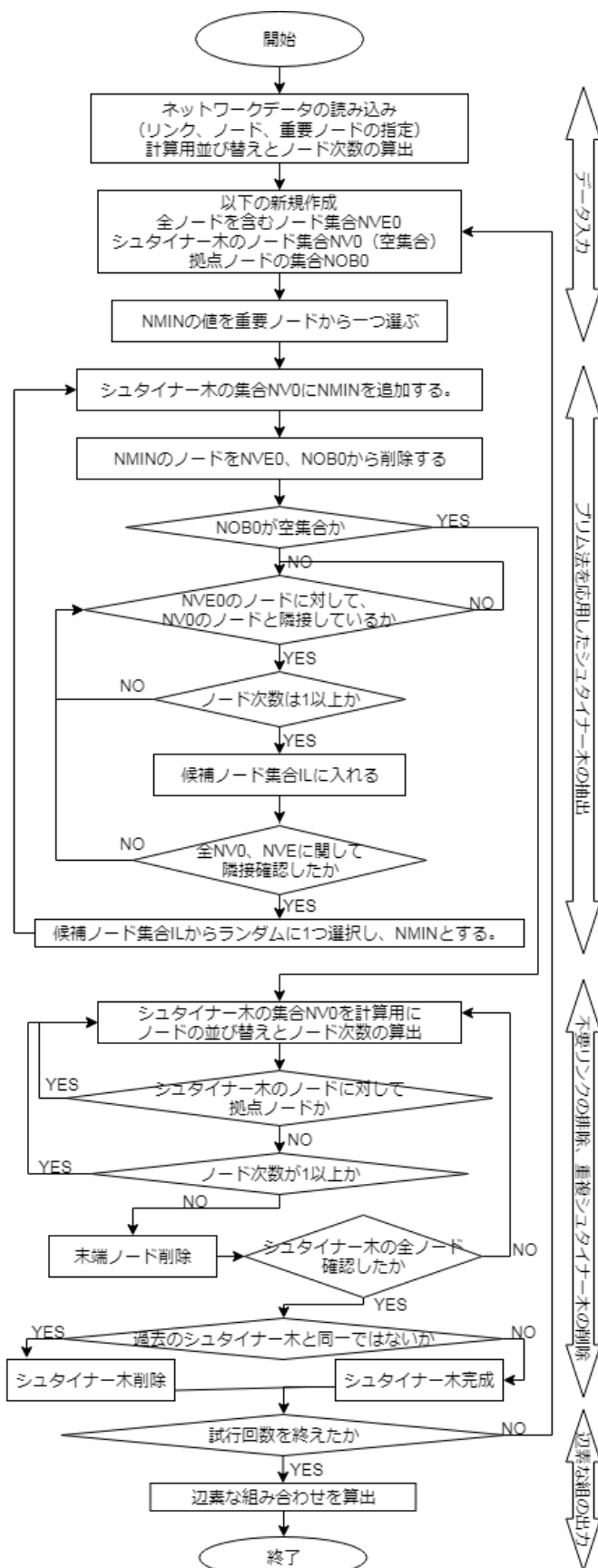


図-2 プリム法を応用した探索のフローチャート

路ネットワークにおける接続脆弱性解析とその活用」
2) 南正昭、高野伸栄、佐藤馨一：「道路網における代替ルートの整備水準の一評価法に関する研究」