

歴史都市における減災計画のための 道路ネットワークの脆弱性把握方法に関する研究

A method for estimating a vulnerability of road network
in order to mitigate disaster in historical city

安 隆浩¹・塚口博司²・久下紗緒里³・小川圭一⁴

Yoongho Ahn, Hiroshi Tsukaguchi, Saori Kuge and Keiichi Ogawa

¹立命館大学特任助教 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Assistant Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil Engineering

²立命館大学教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil Engineering

³パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒206-8550 東京都多摩市関戸1-7-5)

Pacific Consultants Co., LTD

⁴立命館大学准教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Associate Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil Engineering

There are many historical heritages in Kyoto and over 50 million tourists a year have been visited in this sightseeing city. But, there are many active faults for example Hanaore fault. So many researchers expect a big earthquake will be happened in the near future. We estimated traffic situation during disasters by person trip survey data and questionnaire data about traffic behaviors on disasters. And we developed a method for estimating vulnerability of road network in order to mitigate disaster and compared estimated vulnerable area in this study with important road links to be estimated in former study. In the results, we found that isolated nodes and links might appear nearby important road links.

Keywords : *network vulnerability, important road links, isolated node, disaster mitigation, historical city*

1. はじめに

京都市は年間5000万人の観光客が訪れる観光都市であり、国宝や重要文化財等の様々な文化遺産が散在している長い歴史を持つ歴史都市である。しかし、京都市には東北に花折断層、南東に桃山断層、南西に榎原断層などの活断層が存在し、将来的に大規模な地震が発生する可能性が高い。したがって、歴史都市京都において、大規模地震に対して人命を守り、文化遺産を保護する災害防災対策が必要となる。一般的に災害防災対策として、避難所の整備、建物の耐震設備の検討、住民への災害時避難教育等が考えられる。しかし、災害が発生した時点では、道路に残っている車両により緊急車両の動きが妨げられたり、途中で車を止めて目的地に到着することが困難なドライバーが続出するといった混乱した状況となることが予想される。道路ネットワークが災害に強健で耐えきれるかどうかは災害発生後の復旧、復興活動に多大な影響を与えると考えられる。阪神・淡路大震災においては、沿道建物の倒壊や道路の陥没等による道路閉塞や阪神高速道路の倒壊等によって、大きな交通混乱が起こったことは記憶に新しい。この経験を踏まえれば、防災・減災対策として、道路ネットワークの頑健性を把握して災害時に機能障害が生じる確率が高い区間を平常時に予め整備しておくことが重要であろう。

道路ネットワークのロバストネス (Robustness : 頑健性) はどう把握することができるのか? 地震災害に対して道路区間の頑健さは周辺建物の状態やその区間の長さ等を用いて災害時に車両が通過できるかどうかを推測することによっておおよそ把握できるだろう。しかしながら、道路区間の集合体である道路ネットワ

ークの頑健さの程度は、道路区間の連結状況や、脆弱な道路区間の様々な位置に関係している。そのため、一概に判断することは困難であろう。一般的には、道路区間が断絶される確率を利用して、ネットワークの連結信頼性を計算し、道路ネットワークのロバストネスを検討している研究が多数存在する。本研究では、災害時ネットワークの頑健性を把握するために、表裏一体な概念である道路区間の脆弱性を把握する手法を検討し、災害時の被害を軽減するための道路整備方法に関して考察を行っている。

災害時の道路ネットワークを再現するためには実際被害を被った地域のデータが必要になるが、災害はよほど頻繁に起こる事態ではないので利用できる災害データは少ないのが現実である。そこで、既存データを最大限利用するとともに、既存データが得られない場合にはアンケート調査等によって、住民の行動を推測せざるを得ない。

塚口ら¹⁾は、災害時交通ネットワークに対する交通マネジメントの枠組みを構築し、京都市市民アンケート調査を行い、災害時における交通行動に関する分析を行った。小川ら²⁾は災害時の京都市における重要道路区間の抽出を行った。また、塚口ら³⁾、安ら⁴⁾は阪神・淡路大震災のデータをベースとして、京都市の道路の通行可能率を算定した。久下ら⁵⁾は、災害時交通マネジメントならびにこれを効率的に実施するために望まれる平常時における道路整備について検討した。亀井ら⁶⁾の研究では、道路の閉塞確率を直接求める方法ではなく、建物の転倒をモンテカルロ手法を利用して計算した後、その被害結果として道路が閉塞するのかを検討した。

2. 研究概要

(1) 研究の流れ

大規模地震等によって発生する災害被害を把握するためには、災害時における道路機能障害を推定し、災害時ネットワーク状況を再現することが不可欠である。実際の災害データは発生しないと得られないから、平常時の交通状況から災害時の交通状況を予測せざるを得ない。たとえば、災害時を想定した行動調査を通じて交通需要の変化を予測することや、他都市の災害データから脆弱な道路を把握し、これに基づいて対象都市道路ネットワークの頑健性を予測すること等が考えられる。本研究は先行研究^{3), 7)}から行われた災害時交通状況を把握する手法を利用する。例えば、平常時の交通状況を推定する方法や、京都市市民アンケート調査から得られたデータを利用した災害時交通需要予測方法、対象地域の災害時ネットワークを再現するために必要な通行可能率を推計する方法等である。以下、その内容に関して説明する。

災害時交通状況を把握するため、第4回京阪神都市圏パーソントリップ調査（以下PT調査）データ⁸⁾を用いて、4段階交通推定法に基づいてFrank-Wolfe法を利用した交通配分を行い、まず京都市における平常時の交通状況を把握した。そして、京都市市民アンケート調査から得られた災害時交通行動データ¹⁾を利用して、京都市における災害時交通需要を推定⁵⁾した。同時に、阪神・淡路大震災のデータを参照し、これに京都市の道路沿道状況を考慮して推定した、災害時の道路通行可能率を用いた⁷⁾。推計された通行可能率を用いて、京都市における災害時交通ネットワークを再現した。

ネットワークの脆弱性を把握するために先行研究で求められた通行可能率を利用するが、通行可能率というのは災害時道路区間が途絶される可能性を確率で表した指標である。したがって、確率が低いとその道路区間が脆弱であることが示せるが、その確率のみでネットワークの脆弱性を説明することは、適切ではない場合もあると考えられる。もっとも、ある道路区間が、通行可能率の低い道路区間近傍に位置していれば、その区間はネットワーク全体からみて災害に弱い部分と考えられよう。

先行研究⁷⁾では、道路ネットワークの道路区間における通行可能率を用いて、連結信頼性指標を作り、災害時ネットワークの脆弱性として表した。しかしながら、ネットワークの脆弱性を表わす通行可能率は、一般的に、発生する事象の平均的状況を表しているに過ぎない。災害のように、まれに大きな被害を発生する事象では、各々の事象はおおむね次の事象と独立であり、災害発生時の時間断面で見れば、どの道路区間であっても途絶される可能性がある。例えば、通行可能率が80%と推定された道路区間であっても、災害により途絶される可能性があるということであり、通行可能率80%というのは災害が10回発生すれば2回途絶する可能性があるという意味であり、あるケースで、その道路区間がたまたま途絶する2回に該当するかはわからない。そのため、本研究では、モンテカルロシミュレーションを用いて、様々な状況におけるネットワーク脆弱性を把握することとした。さらに、本研究で提案したネットワーク脆弱性の把握方法の妥当性を検討するために、先行研究で選定された京都市における重要道路区間との比較を行った。



図-1 対象ネットワーク

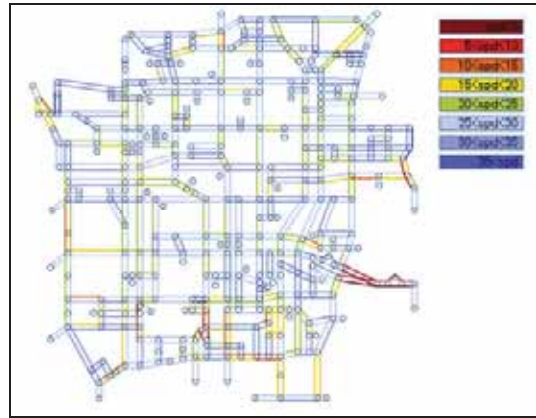


図-2 平常時交通混雑状況

(2) 対象地域

本研究では京都市における災害時交通状況を把握するために、上京区、中京区、東山区、下京区の4区（以下：4区）を対象地域とした。当該4区における対象道路は主要幹線道路とする。また、4区における域内ゾーンとしては、平成17年度の小学校区に基づいて合計38ゾーンを設定し、交通発生集中の起終点であるセントロイドは小学校の位置とした。さらに、4区以外は13個のダミーゾーンに分けた。ダミーゾーンに振り分けられた地域は行政区および行政区を分割した地域から成っている。そして、本研究で用いたネットワークの脆弱性を把握する手法の妥当性を検討するため、小川・塚口ら²⁾による京都市における文化遺産防災にとって重要な道路区間の抽出方法を利用して抽出した重要道路区間を対象地域のネットワークに加えた。対象地域のネットワーク図を図-1に示す。セントロイドとダミーゾーンの概念は4. (2)でより詳しく説明する。

(3) 災害時道路通行可能率

本研究では、主要幹線道路を対象としている。通行可能確率の算定に関しては、先行研究³⁾が、幅員の広い道路の場合には沿道建物の状況を考慮せずに道路幅員のみに基づいて算定しても大きな問題はないことを示しているから、「道路幅員のみを考慮した通行可能率」を用いた。

(4) 重要道路区間

本研究では、先行研究²⁾から選定された重要道路区間を利用する。重要道路区間は文化遺産と消防署の最短経路として利用される道路区間の中、その使用回数が一定値以上になる区間を表している。すなわち、本研究におけるネットワーク脆弱性手法から確認できた災害に脆弱な区域と重要道路区間を比較することによって重要道路区間周辺のネットワークが脆弱であるかどうかを把握することができると考えられる。

3. 災害時交通状況

(1) 平常時の交通状況

災害時の交通状況を推定するためには、基本となる平常時の交通状況の把握が必要となる。本研究では、第4回京阪神都市圏PT調査結果⁸⁾を基礎データとし、本研究の目的に合うようにゾーン分割を行って分布交通量を求めた。警察庁及び国土交通省による「道路交通情報の提供の在り方に関する基本的考え方」⁹⁾に示されている、「旅行速度10km/h以下が渋滞リンク」、「20km/h以下が混雑リンク」を採用すると、域内の渋滞リンクは19リンク、混雑リンクは107リンクとなった。図-2に京都市における平常時の交通状況を示す。その結果は紙面の都合上、安ら⁷⁾を参照されたい。

(2) 災害時交通需要の推計

災害時における交通需要推計は、平常時と同様にPT調査をベースとし、京都市民アンケート調査¹⁰⁾および兵庫県南部地震の実態調査¹¹⁾の結果を用いて震災2日後程度における交通需要を予測した。この結果、災害時8時台における自動車交通量は、平常時8時台における自動車交通量の約73%になることが分かった⁵⁾。

(3) 災害時交通ネットワーク

災害時には沿道建物や道路附属物・道路占用物件の倒壊、道路自体の破損等により、多くの地点で機能障害を起こした状態となり、利用できる道路ネットワークが限られると考えられる。本研究では、前述のように、道路通行可能率を用いて道路閉塞箇所を設定するとともに、モンテカルロ法を用いて、道路ネットワークに起こり得る様々な状況における交通状況を検討する。

4. 道路ネットワークの脆弱性把握方法

(1) モンテカルロ法

モンテカルロ法とは、数値計算を乱数を用いて繰り返し行う手法を言う。ネットワークの脆弱性を把握するネットワーク信頼性の研究においては、グラフ理論と最適化アルゴリズムを用いた研究が多数存在する。その中で、ミニマルパス・ミニマルカット手法¹²⁾は長い歴史を持ちながら改良され続けている手法である。しかし、交通ネットワークのような大規模ネットワークでは、厳密解を求めるのに時間が掛かり過ぎることから、ネットワークを単純化しながら計算を行う手法が開発されている。なお、ミニマルパス・カット手法は道路区間の頑健さを必要としており、その指標として道路閉塞率等を用いる場合が多い。本研究では道路区間の頑健さの指標として先行研究⁷⁾から推計された道路区間の通行可能率を利用しているため、ミニマルパス・カット手法が活用できる。しかしながら、本研究におけるネットワークのミニマルパス・カットを探索することは改良されたアルゴリズムを利用しても時間が非常に長くなる。

さらに、既存研究¹²⁾では、リンクの信頼度を各リンクの混雑率に反比例するように設定して、モンテカルロ法を行った。道路区間の脆弱性をリンクの信頼度のような指標で表し、その確率に合うようにネットワークにおけるリンクの途絶状況を作ってネットワークの連結信頼性を求めた。モンテカルロ法を用いて災害時ネットワーク状況を繰り返して作成すると、あるリンクの途絶回数はそのリンクの信頼度、すなわち、途絶する確率に従って途絶する回数に近似していく。しかしながら、前述のように、災害は頻繁に起こる事象ではなく、1回の災害で大きな被害を発生させる事象であるため、災害時ネットワークの脆弱性を確率値で表して防災対策に利用する時にはやや注意が必要である。例えば、リンクの信頼性は通行可能率が低い道路区間が多くつながっていれば低くなり、確率値として危険な区間と想定されるが、実際、その確率で起こり得る状態の1回の事象の中には、全てのリンクがつながっている時もあり得るためである。逆に、リンクの信頼度としての確率値では危険になっていない箇所が1回の事象ではリンクがつながっていないこともあり得る。また、通行可能率はその事象が数回起きれば相対的に危険かどうか把握できる数値であり、1回限りの事象に対して絶対的な意味を持っていないため、リンクの信頼度が0.2であっても、他の区間と比べて危険な区間であり、絶対的に危険であるかは保証できない。リンクの信頼度が0.7であっても、1回の災害によってノード間道路区間がつかないかもしれない。

上記したように、本研究における京都市4区のネットワークに対するネットワーク全体の脆弱性を把握するためには、改良された既存研究の手法であっても厳密解を求めるのに多大な時間がかかることが予想される。そのため、本研究では、道路機能障害状態として道路が途絶した状態をモンテカルロ法を利用して想定する。ただし、既存研究のように、繰り返し計算した結果の確率値に重点を置くのではなく、繰り返した1つ1つの災害時ネットワーク状態に着目することにした。すなわち、各道路区間の通行可能率の下で起こり得る状態を1回の災害状態と想定した。その状況を詳細に把握することによって、災害時に危険な区域を探してどこをどう整備すればいいのかを検討する。

本研究では、モンテカルロ法を用いて、京都市4区の道路区間における通行可能状況が異なる200ケースの災害時ネットワーク状態を作成した。各リンクの通行可能率は先行研究のデータを利用し、その確率に従うように乱数を発生してリンクの途絶を決定した。200ケースの中、各道路区間における通行可能回数は利用した通行可能率に従う通行可能回数に近似していることを確認した。

(2) 個別ノードの孤立

本研究では、道路ネットワークの脆弱性を把握するために、ノードの孤立を検討することとした。本研究におけるノードには、交通量が発生・集中する地点を表すセントロイドと、リンクとリンクの結節点を表す一般ノードがある。後者は一般的に交差点を意味する。前者のセントロイドとは周辺の交通量を代表している点であり、必ずしも特定の位置に決めなければならないルールはない。そのため、本研究におけるセント

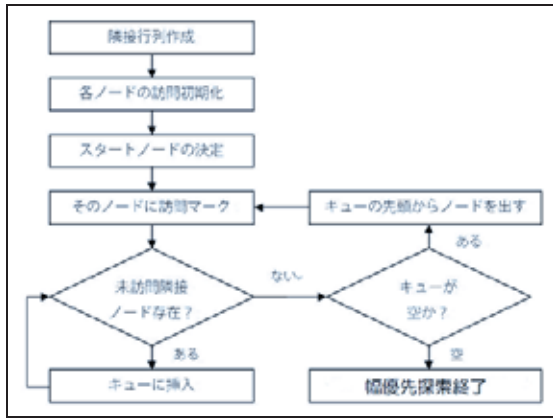


図-3 幅優先探索アルゴリズム

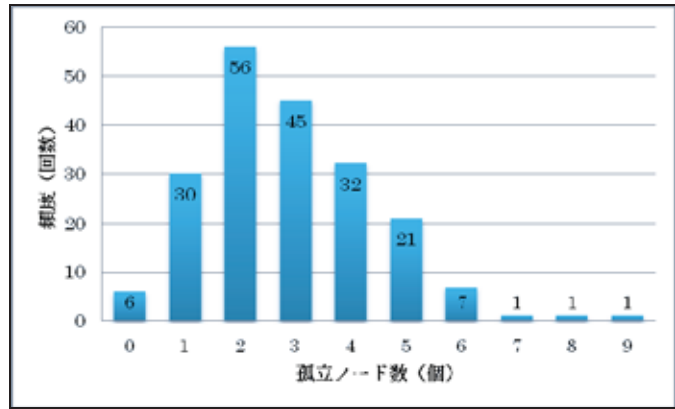


図-4 孤立ノードの発生頻度回数

ロイドは小学校と設定した。セントロイドからは交通が発生・集中するため、その点とネットワークのリンクはつながっていないなければならない。さらに、セントロイドから発生・集中しなければならないため、実リンクにつながったリンクには抵抗値を設定しない。距離を0としたダミーリンクとして設定する。そして、一般的に、対象地域外について詳細な分析をすることは難しく、域外ゾーンは適当な大きさでダミーゾーンとして分割される。ダミーゾーンには小学校が多数存在するため、任意の位置にセントロイドを設定し、そこから対象地域のネットワークまでは距離を持たないダミーリンクとして設定する。

ノードの孤立は、ノード周辺のリンクが全て途絶されて当該ノードに接近できなくなった状態を表す。したがって、孤立したノードが集まっていると人命救助作業や救援作業の緊急車両が進入しにくくなる恐れがある。ノードの孤立を探す手法は以下のように設定した。

最初に、全てのリンクがつながっているネットワークの構造を表す平常時ネットワークの接続行列をベースとして利用した。そこに、通行可能率に基づいてモンテカルロ法で計算した結果、途絶されるリンクはその接続行列から除外して災害時ネットワークの接続行列を作成した。そして、各ケースの途絶したリンクを存在しないリンクと想定し、あるノードに1つのリンクも接続されていなかったノードを孤立ノードとして設定した。接続行列とは、一般的な手法同様、縦軸にノード、横軸にリンクのID番号を示して、あるノードとリンクがつながっていればその位置に1を、そうでなければ0を入れた行列である。

一般ノードの孤立は、災害時交通需要に基づいて災害時交通状況を再現するとき、当該ノードを災害時ネットワークから除外することで問題なく処理できるが、セントロイドの孤立は対象とすべき災害時交通需要が減少することとなるので問題が発生する。セントロイドが孤立するということは、当該セントロイド関連の発生・集中交通量がネットワークから切り離されることを意味するが、実際にはセントロイドから当該ゾーンの全交通が発生・集中するのではなく、セントロイドを代表地点として仮定しているだけである。そこで、セントロイドが孤立した場合に備えて、ダミーリンクの位置を修正する。すなわち、セントロイドが孤立したケースではダミーリンクを途絶されていないリンクに連結するようにネットワークに修正を加えた。

(3) ノードとリンクの複合体の孤立 (島になっている孤立)

ネットワーク信頼性の研究では、ミニマルカットという概念がある。そのカットによって分離された部分グラフはある特定の出発地から目的地まで繋がっていないため到達できなくなるのである。すなわち、ネットワークが少なくとも2つのネットワークグループに分かれていて、あるグループに属しているノードから他のグループに属しているノードには行けなくなる。島になったような状態である。個別ノードの孤立と比較すると、ノードはより広い範囲に連結されているが、消防署、病院、避難所等の重要施設がそのグループネットワークに存在しない場合、その中に緊急車両が進入することは難しく、その区域は危険に冒される恐れがある。したがって、ネットワークに島になっている区域があるかを検討することは、ネットワークの脆弱性を把握する上で重要なこととなる。本研究では、グラフ理論の中で、幅優先探索アルゴリズムを利用して、各ケースにおけるネットワークに島ができていないかを検討した。

幅優先探索とは、あるノードから繋がっているノードを全部探索するアルゴリズムであり、もし幅優先探索を行った結果、始点ノードと繋がっていないノードが存在すれば、島があることが想定されるアルゴリズムである。もっとも、本研究においては、個別の孤立ノードが存在しているために、それを全体のノードから除いたノードが始点ノードに繋がっているかを判定する必要がある。言い換えれば、全ノード数から孤立

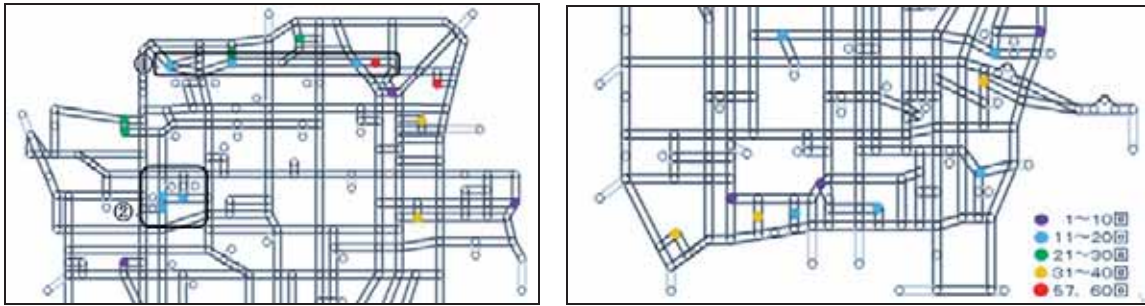


図-5 孤立ノードの発生地点の合計値（左：北部、右：南部）

したノード数を引いたノード数が繋がっているノード数になれば島は存在しないこととなる。幅優先探索のアルゴリズムは図-3に示す通りである。

5. ネットワーク脆弱性の把握結果

(1) 個別ノードの孤立から見た脆弱性

接続行列を利用して孤立ノードを調べた結果、リンクとリンクの結節点を表す一般ノードの孤立は200ケースのほとんどのケースにおいて確認された。図-4には孤立ノードの発生数を示している。孤立ノードは2個発生しているケースが56ケースで一番多く、3個、4個と順に多くのケースで現れている。また、9個の孤立ノードが発生しているケースもある。この場合には、孤立した9個のノードが広く分布していることが確認されているが、もし孤立ノードが狭い範囲で集まって発生したとすれば、その区域は災害発生時に生じる恐れのある最悪の事態を防ぐために道路整備を行う必要があったと考えられる。

次に、孤立ノードが発生した位置を図-5に整理した。京都市外周部にノードの孤立が比較的に多く発生している。①と②で囲った北大路通と西大路通周辺を見ると①には東西方向に長いリンクとつながっていたノードが孤立されている。これは比較的に広い範囲の道路が通行できないことであり、迂回道路を利用することになると考えられる。②には中京区の避難所として設定されている京都市立朱雀第二小学校、朱雀第四小学校、朱雀第六小学校といったセントロイドが密集しているところであり、ノードの孤立が発生するとそのノードの周辺の全リンクが途絶したことであり、避難所への避難行動と物資運搬に支障を与えるかもしれない。ノードの孤立が頻繁に起こる区域は周辺のノードと一緒に孤立しなくても、十分危険な事態が起こる可能性が高く、防災対策として道路整備区間と考慮する必要があると考えられる。

そして、平常時で行った交通配分法と同様に、先行研究で推計された災害時交通需要を用いて、ノードの孤立箇所が多い（6～9個）8ケースと少ない（1個、2個）16ケースにおける災害時ネットワークの交通状況を検討した。災害時ネットワークの脆弱性を正確に把握するためには、200ケース、全ケースの交通配分を行わなければならないが、比較的に孤立箇所が多いケースは合計8ケース出たので、それと比較できる孤立箇所が少ないケース（1個、2個）を任意で8ケースずつ選んだ。孤立が発生しなかったケースは除外した。ここで、孤立箇所が多い、少ないと表現しているのは200ケース中から出た結果の範囲で設定した程度であり、絶対的な意味は持っていない。図-6、図-7は配分結果を用いて8ケースの中で各リンクにおける渋滞回数を表している。図-6は相対的にノードの孤立箇所が多いケースの渋滞が発生した回数を示していて、京都駅、3条通、5条通などの平常時に渋滞が発生しているところに渋滞が多く発生していることが確認できる。それに加えて、北大路通や西大路通と今出川通に渋滞が1回発生しているリンクが見える。図-7は孤立箇所が2個あるケースの中で渋滞が発生した回数を示している。孤立箇所が多いケースのように、平常時に渋滞が発生したいたところは渋滞回数が多い。また、多いケースより渋滞回数が増している。しかし、西大路付近では渋滞回数が1回発生したリンクが減っている。孤立箇所の個数と渋滞回数の関係は明確ではないことが分かった。

(2) 島になっている孤立から見た脆弱性

幅優先探索アルゴリズムを利用して、孤立箇所の数から選定した24ケースにおける島になっている孤立箇所を検討した。その結果、先行研究の通行可能率を用いたネットワークでは、大きな島になって本体と分離



図-6 ノードの孤立数が多いケースの渋滞回数



図-7 ノードの孤立数が少ないケースの渋滞回数



図-8 島になっている孤立箇所



図-9 京都市北区、上京区の重要道路区間

した孤立箇所は発見されなかった。図-8に島になっている箇所を丸で囲って示している。図-8を見ると、京都市北西部や南東部に島になった孤立が発見できる。特徴としては、セントロイドとダミーリンクでつながっているノードが孤立するケースが多く、少しノード数が多い島となった孤立はそのノード周辺にリンク長が短いリンクがある場合に発生しているように見える。リンク長が短いリンクは主に細街路であり、本研究における通行可能率に従い途絶を発生したケースの中、その細街路が集まっているところでそれらのリンクが一緒に途絶するケースも起こりうることを把握できた。しかし、広い範囲で大きい島になって、その中に重要施設がなく、緊急車両が進入できない島は発生していない。小さい島となったケースは、上述したように、その周辺リンクが全て途絶されてセントロイドとノードがダミーリンクのみで繋がっている場合であり、セントロイドの位置を変更するか、ダミーリンクの接続部分を他のリンクに接続させなければならなかった。これで、交通発生・集中の問題は解決できるが、ノードの孤立を探す方法では発見できない孤立したノードであるため、災害時危険が増す恐れがある区域であると考えられる。そのために、この周辺における道路整備は必要となろう。

(3) 重要道路区間と比較

先行研究で選定された重要道路区間は文化遺産と消防署が最短経路でつながっている区間であり、またその経路に使用される回数が多い区間である。すなわち、緊急車両がよく使われる道路区間である。本研究におけるネットワーク脆弱性把握手法を用いて、個別ノードの孤立が多く発生している区域や、ノードとリンクの複合体で島のような孤立が発生している区域と重要道路区間を重ねて比較してみれば、より優先的に整備を行わなければならない区域が把握できると考えられる。今回は、個別ノードの孤立や島になっている孤立が多く発生した区域を中心に比較してみた。図-9に京都市北区、上京区の重要道路区間を示す。北区と上京区には文化遺産が多く散在していることが確認できる。しかし、西大路通付近には比較的文化的遺産が少

ないことが確認できる。個別ノードの孤立が多く発生した北大路通や西大路通周辺は重要道路区間が多く重なっている。特に、西大路通に個別ノードの孤立や、島になっている孤立が多く発生しているために、重要道路区間とネットワークの脆弱性として孤立という両方の指標から道路整備の必要性があると考えられる。

7. まとめ

本研究では、災害時ネットワークの脆弱性を把握する方法に関して検討した。既往研究における連結信頼性を把握する手法を利用して京都市4区ネットワークの脆弱性を把握することは容易でない。そこで、本研究では、モンテカルロ法を用いて200ケースの災害時ネットワークを作成した。そして、ネットワークの脆弱性を把握するために、各ケースにおける孤立ノードを把握した。さらに、ノードとリンクが複合的に連結され、本体と分離される島のような孤立を把握した。ノードの孤立はネットワークの構成行列である接続行列を利用して探し、島のような孤立はグラフ理論の幅優先探索アルゴリズムを利用した。結果として、ほぼすべてのケースでノードの孤立が発生した。1つのケースで最大9個のノードが孤立する場合もあった。

京都市北西部に頻繁に発生していることから道路整備の必要性があると考えられる。島になっている孤立については広い範囲に大きく島になっていたケースは発見されなかった。個別ノードの孤立と同様、北西部によく発生することが明らかになった。その中、セントロイドとリンクの複合体に孤立したケースが多く見られた。災害時交通状況の把握のために、セントロイドの交通量はダミーリンクの接続を修正することで確認できるが、実際、その区域はノードがダミーリンク以外、他のリンクとつながっていないことであり、孤立ノードよりやや広い範囲でノードの孤立が起こる恐れがある。したがって、個別ノードが孤立した区域のように道路整備を行わなければならないかもしれない。

本研究におけるネットワーク脆弱性把握手法としての孤立箇所と先行研究からの重要道路区間と比較した結果、京都市北区、上京区では、北大路通、西大路通周辺のノードの孤立や島になった孤立が多い区域と重要道路区間が重なる区域が把握できた。その区間をより優先的に整備する必要性があると考えられる。

本研究では、どのリンクを整備すればいいのか、道路整備を行ったあとの状況に関して検討していない。今後の課題として道路整備した後、災害時ネットワークの状況を把握する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 塚口博司・小川圭一・八木昭憲・駒井新人：歴史都市における災害時交通マネジメントの枠組み構築と交通分析、歴史都市防災論文集、vol.1、pp. 313-320、2007
- 2) 小川圭一・塚口博司・中村真幸・本郷伸和：歴史都市における文化遺産防災のための重要道路区間の抽出に関する研究、土木計画学研究・論文集、No.23、pp. 253-264、2006
- 3) 塚口博司・小川圭一・田中耕太・本郷伸和：歴史都市における道路機能障害の推定、歴史都市防災論文集、Vol.3、pp. 253-258、2009
- 4) Yoongho Ahn, Hiroshi Tsukaguchi, Keiichi Ogawa : Study on road network management and disaster risk assessment of cultural heritages in historical city, Journal of Disaster Research, vol.6, no.1, pp. 119-131, 2011
- 5) 久下紗緒里・塚口博司・小川圭一・安隆浩：歴史都市における災害時の交通需要推計と災害時交通マネジメントに関する一考察、歴史都市防災論文集、vol.6、pp. 273-280、2012
- 6) 亀井千尋・花岡和聖・中谷友樹：震災時の道路閉塞状況からみた文化財の危険度評価—建物の建築年代・建築構造に着目したシミュレーション—, GIS 理論と応用、17(1)、pp. 73-81、2009
- 7) 安隆浩・塚口博司・久下紗緒里・小川圭一：文化遺産防災のための歴史都市における災害時交通マネジメントに関する研究、歴史都市防災論文集、Vol.5、pp.37-44、2011
- 8) 京阪神都市圏交通計画協議会：第4回京阪神圏パーソントリップ調査、2000
- 9) 警察庁交通局・国土交通省道路局：道路交通情報の提供の在り方に関する基本的考え方
- 10) 八木昭憲・駒井新人・塚口博司・小川圭一：災害時における交通需要の予測のための交通行動の分析、土木学会第62回年次学術講演会講演概要集、CD-ROM、第IV部門、IV-155、2007
- 11) 松本誠・小谷通泰・嶋尾哲哉・今井秀幸：震災時におけるマイカーの利用に関する考察、土木学会第2回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、1997
- 12) 飯田恭典敬・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、No.407、IV-11、pp. 107-116、1989