

歴史都市における災害時交通マネジメントのための 道路モニタリングシステムの活用に関する研究

A Study of Road Monitoring System for Traffic Management on Disaster at 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立命館大学助手 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)

Research Assistant, 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立命館大学大学院 理工学研究科創造理工学専攻 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Master Student, Ritsumeikan University, Graduate School of Science and Engineering

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. Therefore heritage mitigation in this city is needed. We estimated traffic situation during disasters by person trip survey data and questionnaire data about traffic behaviors on disasters. And we studied the effect of road monitoring system in a network near Kennin temple and sanjyusangendo. We found traffic situation was getting better when road monitoring system was working by using a traffic simulation.

Keywords : *traffic management, road monitoring system, disaster mitigation, heritages, 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、南西に檜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。また、京都市には 国宝や重要文化財のような文化遺産が広く散在しており、それらが失われる恐れがある。したがって、災害発生時、京都市及び市内の文化遺産を守るためには、災害時の交通状況を把握することが重要となる。災害時には、建物の転倒や道路の途絶などによりネットワークが閉塞されると予想されるため、災害発生後には些細な交通状況を把握することは困難である。しかし、重要な道路区間に道路モニタリング用のカメラを設置して交通管制機関に災害時交通状況に関する情報が提供されれば、災害時交通状況をより把握しやすくなると期待される。しかも、平常時の交通状況を把握することにも役に立つと思われる。したがって、本研究の目的は災害時交通状況を把握し、災害時道路モニタリングシステムを利用した交通マネジメントの効果に関して検討し、災害時道路モニタリングシステムを評価することである。

日本では、文化遺産防災に関する研究は徐々に進行されてきている状況である。文化遺産防災とは、災害時住民と生活空間を災害から守りながら、歴史的に価値が高い文化遺産を同時に守ることをいう。

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して分析を行った。

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用いて、京都市重要道路区間に関する通行可能率を算定した。中村ら⁵⁾と林ら⁶⁾は、災害時道路モニタリングシステムに関する枠組みに関して研究している。モニタリングカメラを設置する地点の選定方法や災害時交通行動に関して分析されている。さらに、塚口ら⁷⁾、小川⁸⁾らは、道路モニタリングカメラのより効果的な配置計画に関する研究をした。

2. 研究の方法

(1) 研究の流れ

まだ起こっていない災害状況を把握するためには、災害時状況を予想して再現しなければならない。実際災害が発生しなければ災害時データを得ることができないが、平常時の交通状況から災害時起こり得る状況を作り出すことは可能である。たとえば、災害時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被害データから脆弱な道路の性質を把握し、京都市ネットワークの脆弱な面を予測すること等が可能であろう。本研究は災害時交通状況を把握するため、第4回パーソントリップ調査（以下PT調査）データ⁹⁾を用いて、平常時の京都市の交通状況を把握する。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把握する。同時に、阪神・淡路大震災のデータを参照し、災害時の道路区間の通行可能率を計算する。その可能率を用いて、京都市における災害時交通ネットワークを再現する。

京都市における災害時交通状況が推定されれば、その後は道路モニタリングシステムの効果を検討しなければならない。道路モニタリングシステムの効果を把握するために、京都市全体にこのシステムを設置することは困難であり、塚口ら⁷⁾、小川⁸⁾らの配置計画の結果、選択されたカメラ設置地点に絞って、交通シミュレーターを用いてモニタリングシステムに関して検討を行う。

(2) 対象範囲

本研究では災害時交通状況を把握する必要がある。その理由は、本研究の目的が災害時交通マネジメントとして道路モニタリングシステムを活用することができるかを検討することであり、災害時道路モニタリングシステムの効果を把握するためには、災害時の交通需要や交通ネットワークの状態、そして交通量と言った交通状況を基本データとして利用しなければならないためである。

災害時交通状況を基本データとして把握した上で、モニタリングシステムを施行した場合とそうではない場合を比較することによって、災害時道路モニタリングシステムの効果が評価できると考えられる。しかし、モニタリングカメラが設置された全区域を評価することは困難なため、道路モニタリングシステムを検討する時は、対象地域をより狭く制限する必要がある。その対象地域に関しては、道路モニタリングシステムの部分でより詳細に説明する。災害時交通状況を把握するためには、京都市の上京区、中京区、下京区、東山区の4区を対象地域と想定している。

(3) 重要道路区間の抽出

京都市に存在するすべての道路における交通状況を把握することは困難であるため、本研究では、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、京都市内の文化遺産防災上の重要道路区間を抽出した。

(4) 災害時道路通行可能率

塚口・小川ら³⁾は、道路幅員からみた通行可能率と沿道建物の倒壊を考慮した通行可能率の算定方法に関して研究を行った。さらに、安・塚口ら⁴⁾は、上記の条件の上に、沿道建物の延焼状況を考慮した通行可能率を算定している。しかしながら、本研究では、災害が発生した時に閉塞してしまう道路区間を、これら既往研究の中から、道路幅員のみを考慮した通行可能率を用いて設定している。それは、2. (3)で重要道路区間として抽出された道路においては道路幅員が12m以下の狭い道路は比較的になく、塚口・小川³⁾らの研究によれば、道路幅員が12m以上の道路では、道路幅員のみ考慮した通行可能率と、道路幅員と沿道建物を考慮した通行可能率に大きな差が見られなかったためである。



図-1 対象ネットワーク

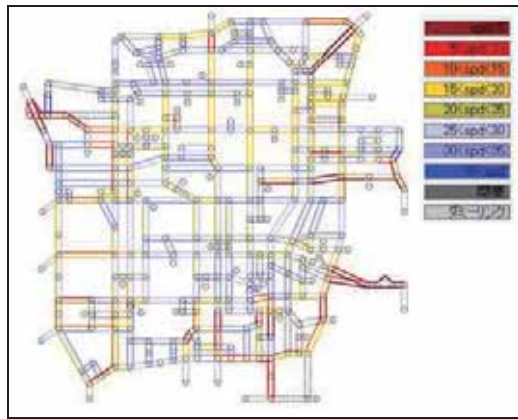


図-2 災害時交通混雑状況

(5) 対象ネットワーク

災害時交通状況が把握できる対象ネットワークとしては、上記の4区の重要道路区間を取り上げた。ただし、対象地域外の発生集中交通量を考慮するために、4区の境界線より外側の地域にあるリンク一つ分の重要道路区間を含めている。図-1に対象地域ネットワークを示す。そして、城内ゾーンは平成17年度の小学校校区とし、合計38ゾーンを設定した。セントロイドは小学校に位置する。さらに、4区以外は域外ゾーンとして13個のダミーゾーンに分けている。

3. 災害時交通状況の再現

(1) 平常時の交通状況

災害時の交通状況を把握するためには、基本となる交通状況が必要となる。本研究では、平成12年に実施された第4回PT調査データより得られた発生・集中交通量を利用して、平常時の交通需要配分を行った。交通配分法には等時間配分法（Frank-Wolfe法、以下：FW法）を用いて配分計算を行った。その結果は紙面の関係上、安ら¹⁰⁾を参考にしてほしい。

(2) 災害時交通需要の推定

災害時の交通需要を予測するには災害発生からの時間経過とともに人々のニーズが変化し、これに伴って交通行動が変化することを十分留意しておく必要がある。しかし、震災直後に関しては、震災前にどの地域にどの程度の人数が滞留していたかに関してしか把握できず、自動車交通需要がどのような状況となるかに関しては予測ができない。そこで、本研究ではできるだけ震災発生から近い時期であり、かつ自動車交通需要が予測できる震災発生から2日後程度に関して取り上げることとする。

塚口ら¹⁾の研究によれば、災害発生3日目までの災害直後に状況を把握することは非常に困難であり、また、災害発生2日目から復旧作業などが行われることに着目してその時から平常時の交通活動が徐々に現れ始めると予測している。また、災害の被害を受けた文化遺産を修復するために、復旧作業のための車両が文化遺産までに行く時、交通状況に影響されるかどうかを考慮する必要がある。したがって、本研究では、災害発生後2日目の交通状況を推定することとする。災害時交通需要の設定方法に関しては安ら¹⁰⁾の研究を参考にしてほしい。結果として、平常時8時台自動車交通量の73%が災害時8時台自動車交通量であるとして配分交通量を求めることとする。

(3) 災害時交通ネットワーク

災害時においては建物や道路構造物の倒壊、道路自体の破損等により至る所で被災した状態となり、利用できる道路ネットワークが限られると考えられる。そのため、本研究では、道路通行可能率を用いて、道路閉塞箇所を考慮した災害時の道路ネットワークを設定する。

道路通行可能率は塚口ら³⁾の研究で、京都市を対象に構築された道路幅員を考慮したモデルを利用する。本研究において用いる通行可能率は、震度6強を想定して求められた通行可能率である。対象地域ネットワ

ークの中、道路通行可能率が 0.5 以下のリンクを閉塞リンクと設定し、そのリンクが途絶されたと仮定し、災害時ネットワークを構成した。

(4) 災害時交通状況

配分方法は平常時と同様に、FW 法を用いて推定を行った。その結果を図-2 に示す。閉塞リンクは点線で表示し、20km/h 以下は混雑と 10km/h 以下は渋滞と定義して 4 区交通状況を色で表現している。色が赤くなるほど速度は低く、一方、青くなるほど速度は高くなる。4 区における渋滞リンク数は平常時と比べ 5 個増え、14 個であった。また混雑リンク数は平常時と比べ 115 個増え、148 個であった。

4. 道路モニタリングシステム

(1) 道路モニタリングシステムの考え方

京都市には文化遺産防災の上で重要な道路区間であっても、災害時には建物の倒壊などによる道路閉塞が生じる可能性が高い道路区間が存在する。そして、文化遺産と消防署を結ぶ重要道路区間がどの程度機能障害を起こしており、どの程度混雑しているのかといった道路状況を早急に把握しなくてはならない。そのため、重要道路区間の被害状況をリアルタイムで把握するシステムとして、監視カメラを用いた道路モニタリングシステムを構築することが効果的であると考えられる。災害が発生した直後から消防車をはじめとする緊急車両を迅速に文化遺産区域に行かすべきであり、道路モニタリングシステムから得られた重要道路区間の機能障害情報はそれなりの効果を果たすだろう。しかし、実際には、その効果を正確に把握することは難しい。それは、災害発生直後の避難者の交通行動が精緻に把握しきれていなく、そのため、交通状況を予想することが難しくなるためである。交通量を排除して災害時に起点から終点までのネットワークが連結されているかという連結信頼性の観点からは予想できるかもしれない。どこがつながっていないと少し遠回りしなければならないという情報を先に知って平常時の最短経路ではなく、少々迂回する方が、閉塞されている道路区間を避けていけるため、所要時間が短縮できるといった把握は可能だと考えられる。

したがって、本研究では、災害時発生 2 日後を想定して道路モニタリングシステムを利用して交通マネジメントを行い、緊急車両が文化遺産まで迅速に到着するようにできるかに関して把握することとする。その中で、本研究で想定している道路モニタリングシステムとは、前述したように、道路状況を迅速に把握することを目的に、道路に設置したカメラによって道路の状況を監視する体制を構築することである。そこに、道路状況を迅速に把握することによって、閉塞によって混雑が発生している道路を避けるように車両の誘導をすることや、不必要な車両発生を抑制することなどの交通マネジメントを含んでいるシステムである。加えて、平常時においても、交通状況の把握、交通管理などへの応用が期待でき、非常に有用なシステムであると言える。

(2) 道路モニタリングシステムの検討方法

(a) 対象地域

本研究では、道路モニタリングシステムが災害時交通マネジメントに与える影響を検証するために、道路モニタリングシステムが展開している場合と展開していない場合を比較して、道路モニタリングシステムにより交通マネジメントの効率が向上しているかを検証する。

しかしながら、災害の発生やその時の交通流動を実際に再現することは危険かつ困難であり、実現は限りなく不可能に近いだろう。そのため、交通シミュレーターを用いて、有効性の検証を行う。交通シミュレーションソフトを用いると容易に道路ネットワークを形成し交通流動を再現することができる。また、コンピュータの持つ演算能力の高さを活かすことにより、総当たりの繰り返し計算が可能であり、道路モニタリングシステムの有効性を検証するために、交通シミュレーションソフトを用いて、誘導時と非誘導時の比較を行うことは効果的だと考えられる。

対象地域としては、京都市東山区の建仁寺、三十三間堂の 2 つの文化遺産が含まれているネットワークを想定している。図-3 に対象地域のネットワーク、そして、道路モニタリングカメラの設置地点を示している。災害時ネットワークの表現は通行可能率が 0.5 以下の道路を閉塞リンクとした。



図-3 対象地域とモニタリングカメラの設置地点

(b) 災害時シナリオ

今回、使用する交通シミュレーションソフトはマイクロシミュレーションに適しており、あまり広い範囲の交通状況には適していない。そのため、ある特定地域を選定して、災害時シナリオの想定を必要とする。本研究では、以下の通りシナリオを設定し、京都市東山区にある建仁寺と三十三間堂と東山消防署が含まれている南北 1700m、東西 400m の道路ネットワークを対象地域と設定した。災害時シナリオは以下に示す。

- － 2 日前に花折断層を震源とする地震が発生した。東山区の震度は 6 強であった。
- － 地震発生後起こった余震によるネットワークに対する動的変化はないと仮定する。
- － 午前 8:00～9:00 の 1 時間をマネジメントする。
- － 通行可能率 0.5 以下のリンクをすべて閉塞区間と指定する。
- － モニタリングカメラ設置点から 300m 以内の交通状況を把握し、リンクが閉塞されているかを確認した後、その情報に基づいて交通マネジメントを行う。

このようなシナリオを基本として、モニタリングシステムの有効性を検証する。実際には、地震発生後、余震による被害がネットワークの状態を悪くすることがあるかもしれないが、本研究では、道路区間閉塞状況を通行可能率という確率値で計算を行っているため、その確率値に余震による道路倒壊も含まれていると見ることとする。

(c) 交通シミュレーターの設定

交通シミュレーションソフトと言ってもシミュレーションの使用目的は多種多様であり、目的に応じて適切にソフトを使い分けることが望ましい。例えば、局所的な道路構造の改変に伴う影響を調べるなど、特定区間について詳細な検討を行う場合には、詳細な車両挙動を記述するソフトが望まれる。大規模ネットワークに適用する場合にはシンプルさや計算の高速性が、個人の生活及び交通行動に着目した場合には選択行動に関する深い分析が可能であるソフトが求められるであろう。

本検証において、対象範囲は約 1700m×約 400m の都市道路ネットワークであり、再現すべき交差点は数十ヶ所以内であると思われる。この条件を考慮し、Kyoto University & New Jec Simulation Assistant of traffic Kinetics for Urban Road network Assessment (以下、KUNJ-Sakura) を用いる。KUNJ-Sakura は『都市道路ネットワーク評価のための交通動態に関するシミュレーションアシスタント』と訳され、十数 km 程度の区域における数十カ所以内の交差点数を持つネットワークに対し詳細な検討を行えるソフトである。しかしながら、地震発生後余震により、道路閉塞状況が増えるような動的な交通状況を把握することには適していない。前述したよう、道路閉塞状況は道路通行可能率といった確率値で計算しているため、動的に変化しないことを仮定している本研究に関しては、この交通シミュレーションソフトの利用は適切だと考えられる。次は道路モニタリングシステムを利用してその情報が提供され、交通マネジメントを行う場合とそうではない場合に対する設定を説明する。

- －非誘導時：災害が発生した後、道路モニタリングシステムがなく車両が誘導されていない時、ドライバは閉塞していることを知らず、閉塞している道路区間へ進入する。しかし、道路区間中央で閉塞していることに気づき、Uターンし別経路で目的地へ向かう。これを再現するため、KUNJ-Sakura では閉塞しているリンクの中央部分を寸断し、寸断部に仮想ダミーリンクを作り、Uターンが行われるように設定する。寸断部を図-4に示す。また、閉塞リンクに流入する交通量は平常時そのリンクを通過した交通量から算出した。

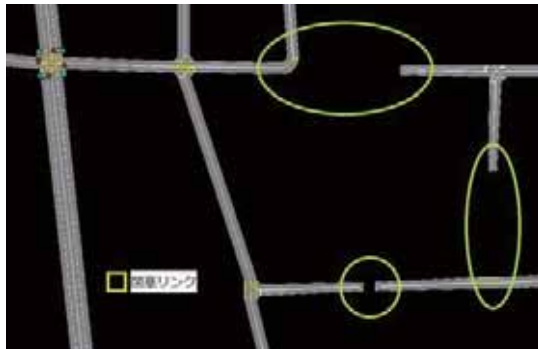


図-4 災害時寸断された部分（寸断部が長いのは一方通行）

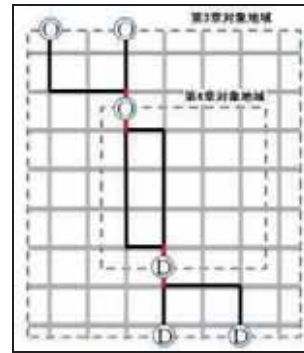


図-5 対象地域内の交通需要推計方法

一誘導時：道路モニタリングシステムが構築されている場合、交通管理者は閉塞されている道路区間を把握している可能性が高い。したがって、本研究では誘導されている車両は閉塞リンクがどこにあるか知っており、そのリンクが含まれていない経路を利用すると仮定する。それは、全てのOD交通量の中、閉塞リンクを通過しようとする交通量を算出する必要がないことを意味する。なぜなら、実際災害が発生すれば、どの車両が閉塞リンクを通過するかを知ることは非常に困難であり、閉塞リンク情報を知らすために、交通制御側としては対象地域内に入出入りする全ての車両に閉塞リンク情報を提供する方法しかないためである。すなわち、誘導時の交通状況は、平常時ネットワークにおいて、閉塞されているリンクを除いたネットワークを想定して、そこに、災害時OD交通量が走った結果となる。そこで、経路選択行動はKUNJ-Sakuraの選択モデルを利用する。

一シミュレーション用の災害時交通需要設定：京都市4区の災害時交通状況を前述したように把握しているが、シミュレーション上で使用する対象地域ネットワークには適していない。そのため、シミュレーション用の対象地域における境界線にまたがっている域外交通量から逆算しなければならない。図-5に示したように、第3章の配分交通量と同一ODを持っている配分交通量の中、本章における対象地域を通過する、あるいは、目的地が対象地域内にあるOD交通量を求める必要がある。その方法としては、各経路交通量が分かる分割配分法を用いて交通量配分を行い、その配分交通量結果から上記の条件に合うOD交通量を抽出し、この地域における災害時交通需要と想定する。今回の交通シミュレーションでは、対象地域の域外から域外に通過する交通量と、域外から域内に流入する、あるいは、その逆に流出する交通量を交通需要、すなわち、OD交通量として扱う。

5. 道路モニタリングシステム有無の比較結果

(1) 交通シミュレーターの結果データ

最初に、平常時における交通状況をKUNJ-Sakura上でシミュレーションを行った結果、交通配分結果と大きく差は見えなかった。配分交通量結果とシミュレーション結果を比較したのを図-6に示す。R2は0.859になり、良好な結果となった。

(2) 平均旅行速度

誘導時と非誘導時の平均速度を比較してみると、図-7を見ればわかるように、誘導時が、非誘導時より平均速度が少し早い結果となった。モニタリングシステムを施行することにより、ドライバーは閉塞リンクに入って、閉塞箇所を確認し、また戻るといった無駄な挙動が少なくなる。そのため、閉塞されていないリンクの交通状況が同一であったとしても、少し平均速度に差が出たと考えられる。

(3) 平均滞留長

図-8には平均滞留長を示す。滞留長も平均旅行速度と同じく、誘導時が非誘導時より少し滞留長が短い結果となった。非誘導時には、無駄な挙動が多くなる。また、閉塞リンクは幅員が狭く、車線数が少ない。そのため、閉塞リンクに流入すると戻って流出する時、滞留してしまう可能性が高い。今回のシミュレーションではそのようなことが見えたと言える。

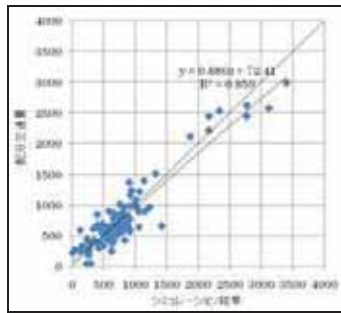


図-6 リンク交通量の比較

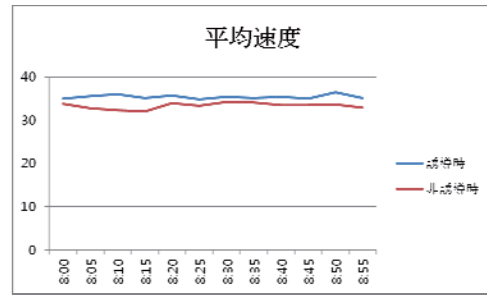


図-7 平均速度

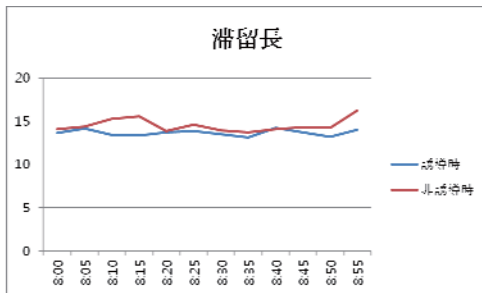


図-8 滞留長

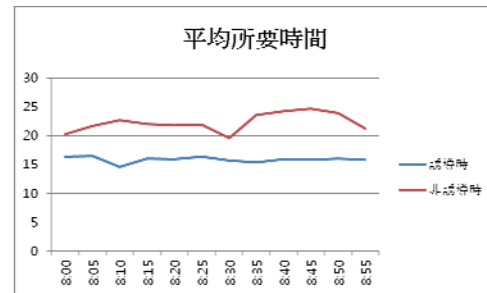


図-9 平均所要時間

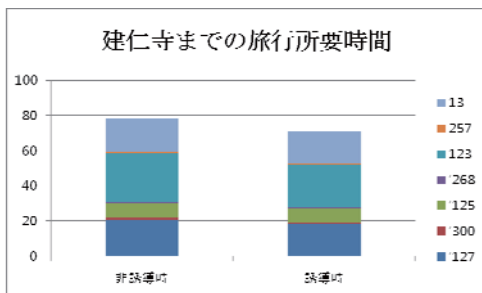


図-10 緊急車両到達時間(建仁寺まで)

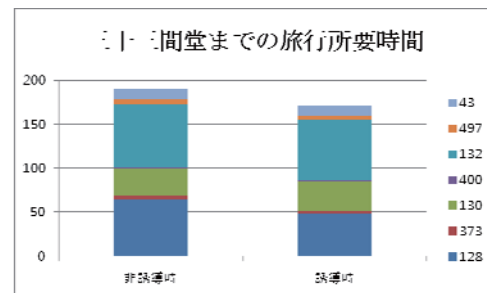


図-11 緊急車両到達時間(三十三間堂まで)

(4) 平均所要時間

図-9に示したように、平均所要時間は誘導時が非誘導時より短い結果となった。ここで、平均所要時間は各リンクの通過所要時間と通過台数を掛けた値の総合値を総台数で除した値である。そのため、各リンク長によって所要時間が異なり、その総合値である、全てのリンクの平均所要時間の値には意味が薄い。誘導時と非誘導時を比較するために、このような方法で計算を行った。実際、OD交通量が異なるケースにおける所要時間比較は各々リンクの所要時間を比較することが望ましい。結果として、誘導時の方が短かったが、8時45分ごろ、誘導時・非誘導時両方とも滞留長は増加しているにもかかわらず、平均所要時間は誘導時はあまり変化がない一方、非誘導時は所要時間が短縮している。この結果は各リンクの所要時間のより精密な検討を必要とする。

(5) 緊急車両到達所要時間

図-10と図-11では、緊急車両における消防署から文化遺産までの到達所要時間を比較している。建仁寺までは、非誘導時78秒、誘導時72秒かかった。三十三間堂までは、非誘導時190秒、誘導時172秒かかった。建仁寺の場合、消防署が比較的に近いところにあり、あまり差が出なかったが、三十三間堂の場合、約20秒程度の差が出た。しかし、この差は、災害時に文化遺産を守るか否かを決定する差ほどではないと考えられる。このような、所要時間の差があまり大きくない原因としては、建仁寺の場合はやはり消防署が近くに位置していたことと三十三間堂の場合、三十三間堂が比較的に広い幹線道路に面していて、建仁寺に比べて閉塞されるリンクが少なかったことが考えられる。また、対象地域全体のシミュレーション結果からわかることは、災害時交通渋滞が河原町通や川端通の方が深刻に発生し、東大路通りは比較的に渋滞が少なかったことが挙げられる。これは、災害時実際東大路通りの渋滞が少ないかもしれないが、第4章の対象地域ネ

ットワークでは、交通状況をマクロな観点から捉えて東山区に流入するOD交通量を三条通と五条通を中心に京都に出入りするよう設定したためかもしれない。今回のシミュレーションでは、よりミクロな観点から交通量を把握する必要があったものの、東山区以東のOD交通量を些細に考慮することができず、東大路通りの正確な交通状況が把握しきれなかったかもしれない。

7. まとめ

本研究では、道路モニタリングシステムの効果を検討するために、既往研究の災害時交通状況データを用いて、文化遺産近傍のネットワークに交通シミュレーションを行った。結果として、道路モニタリングシステムを活用して災害時交通誘導を行えば平均速度、滞留長、平均所要時間が良くなることがわかった。また、緊急車両の文化遺産までの到達所要時間も少し短縮されることが把握できた。しかし、今回は、道路モニタリングカメラからの情報を交通管制側が把握し、ドライバーに閉塞リンク情報を提供し、事前に閉塞リンクに行かないよう全体的に誘導したことになる。実際車両を誘導する時は、閉塞リンク情報を知らないドライバーが多い可能性があり、その車両をうまく誘導することは難しいかもしれない。したがって、閉塞リンク周辺にある車両に対してより細かい誘導や制御を行う必要がある。今後、今回の交通シミュレーション結果をより詳細に分析して、閉塞リンク周辺の交通状況を把握したい。

謝辞

本研究で利用した KUNJ-Sakura は京都大学大学院と株式会社ニュージェックが開発した交通シミュレーションであります。ここに感謝の意を表します。

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、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、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、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, 2011
- 5) 中村真幸・塚口博司・小川圭一・本郷伸和・山内健次・東郷真也：文化遺産防災における重要道路区間の抽出と道路モニタリングシステムに関する一考察、土木計画学研究・講演集、Vol.32、No.39、2005
- 6) 林雄一・塚口博司・小川圭一・中村真幸：文化遺産の防災性向上のための道路モニタリングシステムに関する研究、土木計画学研究、講演集、Vol.34、No.70、2006
- 7) 塚口博司・小川圭一・安隆浩：文化遺産防災のための道路モニタリング地点の優先性評価に関する研究、歴史都市防災論文集、Vol.4、2010
- 8) 小川圭一・塚口博司・安隆浩：文化遺産防災のための道路モニタリングシステムにおける監視カメラの効果的な配置計画に関する研究、歴史都市防災論文集、Vol.4、2010
- 9) 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（参考：<http://www.keihanshin-t.com/index.html>）
- 10) 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、2011
- 11) 川合誠・牧野淳・野口拓：アドホックネットワークを利用した防災情報システム、歴史都市防災論文集、Vol.1、2007
- 12) 安隆浩、塚口博司、小川圭一、堀尚哉、鈴木慧：歴史都市における災害時交通マネジメントと道路モニタリングに関する研究—京都市東山区を中心として—、土木計画学研究・講演集、Vol.41、CD-ROM、No.338、2010