

歴史都市における災害時交通マネジメントに関する一考察

久下 紗緒里¹・塚口 博司²・小川 圭一³・安 隆浩⁴

¹学生員 立命館大学大学院 理工学研究科 (〒525-8577 草津市野路東一丁目1-1)

E-mail:rd003071@ed.ritsumei.ac.jp

²フェロー会員 立命館大学教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 草津市野路東一丁目1-1)

E-mail: tsukaguc@se.ritsumei.ac.jp

³正会員 立命館大学准教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 草津市野路東一丁目1-1)

E-mail: kogawa@se.ritsumei.ac.jp

⁴正会員 立命館大学助手 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 草津市野路東1-1-1)

E-mail: ahnyh@fc.ritsumei.ac.jp

数多くの文化遺産が点在する京都市には花折断層など多くの断層が存在し、今後地震による被害が懸念されている。災害時には道路の処理能力が低下し、それを上回る交通量が発生することで大規模な渋滞が発生し、緊急車両が円滑に通行できない事態が生じる恐れがある。京都市においてこのような事態が生じれば、多大な損害を被ることが予想される。そのため発災後に適切に交通管理を行うなどの対策を講じる必要がある。そこで本研究では、災害時の交通需要を推計し、これを災害時ネットワークに配分することによって災害時の交通状況を把握するとともに、兵庫県南部地震と京都市の道路状況をもとに求めた通行可能率を用いた試算から、交通マネジメントを行うことで災害時の交通状況にどのような変化をもたらすかについて検討する。

Key Words : traffic management, travel demand, disaster mitigation, historical city

1. はじめに

本研究で対象地域として取り上げた京都市は、観光客が年間5000万人を超える国内有数の観光都市である。その一方で、京都市には花折断層などの多くの活断層が存在し、将来的に大規模な地震が発生することが予想されている。また、京都市は、多くの文化遺産が市街地に点在しているから、市街地が被害を蒙れば、その被害が文化遺産に及ぶ可能性が高い。観光都市である京都において、文化遺産の消失による影響は多大な損害をもたらすが、数多くの文化遺産が点在する歴史都市において災害が発生した場合、これらの文化遺産と周辺住民および地域とを一体として守ることが必要である。

兵庫県南部地震の際には道路が損傷し沿道の構造物が倒壊することにより、道路の交通処理能力が低下した。また、災害時特有の交通行動の発生により、機能障害を少なからず受けている災害時の道路の処理能力を上回る交通量が発生したから、大規模な渋滞が発生した。その結果、緊急車両などの優先順位の高い車両の通行が円滑に処理できない事態が発生した。このように、将来京都

市においても同様の渋滞が発生すれば、文化遺産をはじめ周辺住民や観光客が多大な損害を被ることが予想される。そのため事前に災害時交通マネジメント計画などを作成し、備えておく必要がある。

災害時の交通に関する既往研究では、本田ら¹⁾(1996)は兵庫県南部地震の影響調査を行い、地震発生時刻が異なれば道路混雑や被害の様相が異なると述べている。また、松本ら²⁾(1996)は兵庫県南部地震の被災地の住民を対象にアンケート調査を実施・分析し、震災から3日間における交通行動について明らかにしている。中村ら³⁾(2005)は各文化遺産について消防署からの最短経路をもとに重要リンクを抽出し、重要リンクは上京区、東山区に多く分布していることを明らかにしている。さらに、塚口ら⁴⁾(2008)は兵庫県南部地震における道路幅員ごとの道路閉塞がポアソン分布に従うことを示し、これを用いて京都市内の通行可能率が算出している。

本研究では、災害時の道路利用状況を推定したのち、交通マネジメントを行うことによって、災害時の交通状況にどのような効果が生じるかを検討する。

2. 対象道路ネットワーク

本研究では上京区、中京区、東山区、下京区の4区(以下:4区)を対象地域とした。4区における対象道路は京都市の主要幹線道路とする。また、4区における域内ゾーンは平成17年度の小学校区として合計38ゾーンを設定し、交通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。図-1に4区における域内ゾーン及びセントロイドの位置を、図-2に対象道路ネットワークおよびダミーリンクの位置を示す。

3. 平常時の道路状況

平常時における分布交通量は、第四回京阪神都市圏パーソントリップ調査結果⁵⁾(以下:PT調査)を用い、本研究の目的に合うようにゾーン分割を行った上で求めた。配分を行う時刻帯は、自動車による移動主体が全時刻帯内で最も多い8時台とした。配分方法はダイクストラ法による最短経路探索とFrank-Wolfe法を使った⁶⁾。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」⁷⁾を参照し、旅行速度が10km/h以下のリンクを渋滞、20km/h以下のリンクを混雑と定義すると、域内の渋滞リンクは19リンク、混雑リンクは107リンクであった。

4. 通行可能率を考慮した災害時の渋滞個所の把握⁸⁾

(1) 災害時における交通需要推計

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⁹⁾および兵

庫県南部地震の実態調査¹⁰⁾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。災害時における自動車交通量の算出フローを図-3に示す。

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。

(2) モンテカルロシミュレーションを用いた閉塞箇所の選定

京都市内の災害時における道路ネットワークは通行可能率を考慮して作成した。本研究では、モンテカルロシ

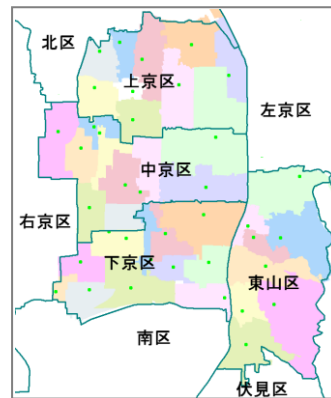


図-1 京都市4区

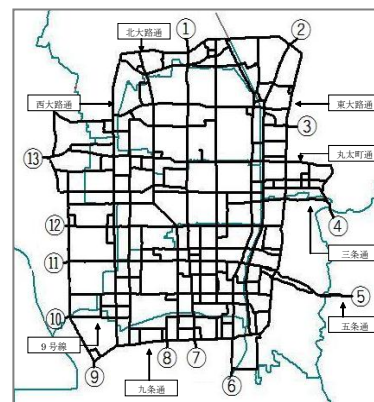


図-2 対象道路

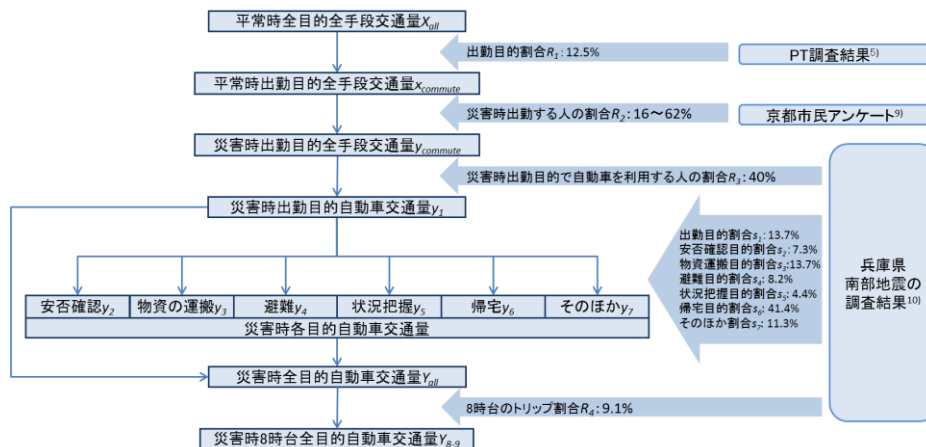


図-3 災害時自動車交通量の算出フロー

シミュレーションを用いて閉塞するリンクを推定し、さまざまな状況における渋滞箇所を把握した。各リンクの通行可否の組み合わせが異なる20ケースのネットワークを作成したのち、それぞれのケースについて配分交通量を算出した。なお、閉塞リンク数が全リンク数の約11.0%から約14.5%の間であり、平均値と比較してもバランスよく分布していることから、これら20ケースのネットワークを用いた。

(3) 災害時の道路状況

災害時交通需要および災害時道路ネットワークを用いて20ケースの配分を行った。20ケースの平均値は、閉塞リンクが127.6リンク、渋滞リンクが56.3リンク、混雑リンクが167.1リンクであった。

それぞれのリンクにおいて、20ケース中に渋滞する回数を図4に示した。これより、渋滞リンクは対象地域の外周部に比較的多く存在することが分かる。特に、山科区や滋賀県からの流出入のため、平常時でも交通量が非常に多く、渋滞している三条通および五条通においては、他に迂回する道路もないことから、災害時にはさらなる混乱が生じることが予想される。また、三条通および五条通周辺には、清水寺や知恩院など多くの文化遺産が存在している。このため、緊急車両などを円滑に処理するために災害時交通マネジメントを検討する必要がある。

また、配分の結果、閉塞リンク数、渋滞リンク数、混雑リンク数は図5のようになった。ケース2のように、閉塞リンク数が少なくても渋滞リンク数が平均より上回るケースも存在した。このことから、閉塞リンク数が必ずしも渋滞または混雑リンク数の上昇または減少につながるわけではないと考えられるため、特定の道路を整備し、安全性を高めておくことで渋滞または混雑を緩和できるのではないかと考えられる。

5. 災害時交通マネジメント

(1) 災害時交通マネジメントの考え方

災害時における交通マネジメントでは、機能が低下した道路ネットワークを効率的に使用するための施策が必要となる。このためには、交通需要を区分し、優先性の高い交通から通行させることが求められる。災害時に優先されるべき交通は、救助、救援活動等、緊急性の高い交通であることは言うまでもないが、これらの交通を定量的に推定することは別途に設定される研究課題でもある。そこで、本研究では、正しい情報が伝えることにより抑制される交通需要の推定、および災害時の交通がどの程度削減されれば、どの程度の効果が生じるかについて検討することにした。

まず、正しい情報の伝達による自動車利用行動の抑制について考慮する。これは、兵庫県南部地震の調査結果^{10) 11)}より、電話などで連絡が取ることができれば移動しなかったという人の行動が抑制できる可能性を考慮した

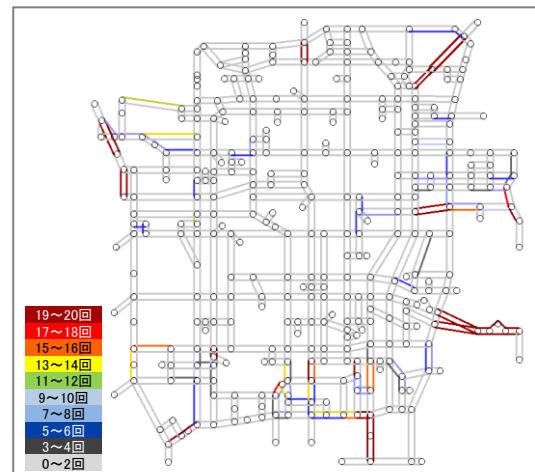


図4 20ケース配分した場合の各リンクの渋滞回数

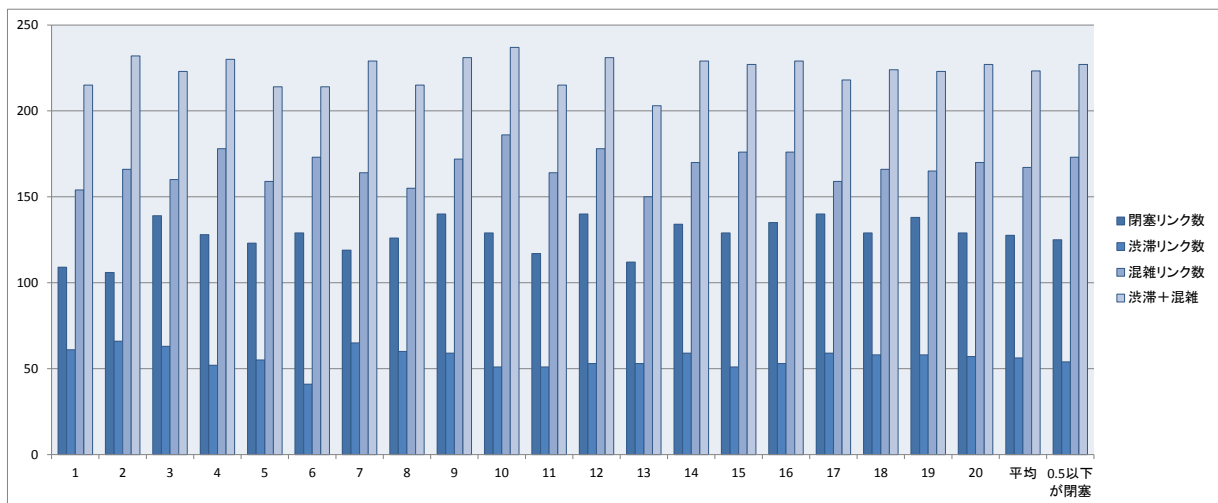


図5 各ケースごとの閉塞および渋滞、混雑リンク数の比較

ものである。兵庫県南部地震の調査結果では、連絡が取れれば移動しなかった人が、安否確認目的で約30%、状況把握で54%、出勤・登校目的で約22%であった。これらの人は連絡が取れれば行動を控えると考えられることから、本研究ではこれらの自動車利用を抑制する。

第4章で示した災害時自動車交通量の算出フローをもとに、災害時8時台全目的自動車交通量 $Z_{8,9}$ を算出する。そこで、情報伝達により自動車利用を控える人の割合を抑制割合と呼ぶこととする。災害時出勤目的自動車交通量 y_1 、災害時安否確認目的自動車交通量 y_2 、災害時状況把握目的自動車交通量 y_3 は次式により求める。

$$z_i = (1 - t_i) \times s_i \times y_i$$

z_i : 抑制後の災害時各目的自動車交通量

t_i : 抑制割合

s_i : 各目的の割合

y_i : 災害時各目的自動車交通量

また、これらの交通量が抑制されることにより、帰宅目的自動車交通量 y_6 も抑制されると考えられる。そこで、抑制された交通量3つの合計を災害時における帰宅目的以外の自動車交通量で割った割合と考えた。これに従い、抑制割合 t_6 を求めた結果、抑制割合 t_6 は約30%となった。

表-1に抑制割合と各目的の割合の値を示す。抑制後の帰宅目的自動車交通量 z_6 も同様に計算し、抑制後の災害時8時台全目的自動車交通量 $Z_{8,9}$ を次式により算出した。

$$Z_{8,9} = \sum_{i=1}^7 z_i \times R_4$$

$Z_{8,9}$: 抑制後の災害時8時台全目的自動車交通量

z_i : 抑制後の災害時各目的自動車交通量

R_4 : 8時台のトリップ割合

抑制後の災害時8時台全目的自動車交通量 $Z_{8,9}$ は、災害時8時台全目的自動車交通量 $Y_{8,9}$ の約79.8%となった。

また、4章で述べたように、平常時だけでなく災害時にも渋滞する可能性の高い三条通、五条通周辺の渋滞を緩和するための災害時交通マネジメントを取り上げる。

三条通および五条通周辺の自動車交通を円滑に処理するには、自動車の交通需要の抑制として対象地域外からの流入交通の規制が考えられる。そこで、三条通および五条通に流入するダミーリンク④およびダミーリンク⑤からの流入交通を3分の2に抑制した場合、2分の1に抑制した場合の2ケースの規制を実施した場合について検討する。なお、抑制された交通需要は災害時における全目的自動車交通量の約5.0%、約7.5%であった。

本研究では、情報伝達による自動車利用の抑制効果、三条通および五条通に流入する交通を3分の2に抑制した場合、2分の1に抑制した場合、さらに情報伝達による自動車利用の抑制と主要流入部における抑制を組み合わせた場合の計5ケースについて、4章と同様に20ケースの配分計算を行った。

(2) 情報伝達による自動車利用の抑制効果

渋滞リンク数は29.6リンク、混雑リンクは80リンクとなり、マネジメントをしなかった場合と比較してそれぞれ約52.5%、約47.9%まで減少した。情報伝達による自動車利用を抑制した場合の各リンクの渋滞回数を図-6に示す。マネジメント実施前と比較して、渋滞・混雑リンクは域内全体で大きく減少しているが、平常時でも交通量が多く、清水寺などの文化遺産が多く存在している五条通ではあまり改善が見られなかった。自動車利用の抑制によって削減された交通量は約20.2%であるが、走行速度が20km/h以下のリンクが50%以上削減された。

(3) 主要流入部における交通量抑制の効果

渋滞リンク数は、流入交通を3分の2に抑制した場合には51.2リンク、2分の1に抑制した場合には47.0リンクとなり、マネジメントをしなかった場合と比較してそれぞれ約82%、約75%まで減少した。また、混雑リンク数は、流入交通を3分の2に抑制した場合には148.8リンク、2分の1に抑制した場合には145.4リンクであった。こちらも、マネジメントを実施しなかった場合と比較してそれぞれ約90%、約88%まで減少した。

ダミーリンク④およびダミーリンク⑤からの流入を、3分の2に抑制した場合の各リンクの渋滞回数を図-7に、2分の1に抑制した場合の各リンクの渋滞回数を図-8に示す。災害時交通マネジメント実施前と同様、対象地域の外周部に渋滞が多く発生している箇所が見られるが、全

表-1 抑制割合と各目的の割合の値

	抑制前の割合 s_i	抑制割合 t_i	抑制後の割合 $(1-t_i) \cdot s_i$
出勤目的(i=1)	13.7%	22%	10.7%
安否確認目的(i=2)	7.3%	30%	5.1%
物資の運搬目的(i=3)	13.7%		13.7%
避難目的(i=4)	8.2%		8.2%
状況把握目的(i=5)	4.4%	54%	2.0%
帰宅目的(i=6)	41.4%	30%	28.8%
その他(i=7)	11.3%		11.3%
合計	100.0%		79.8%

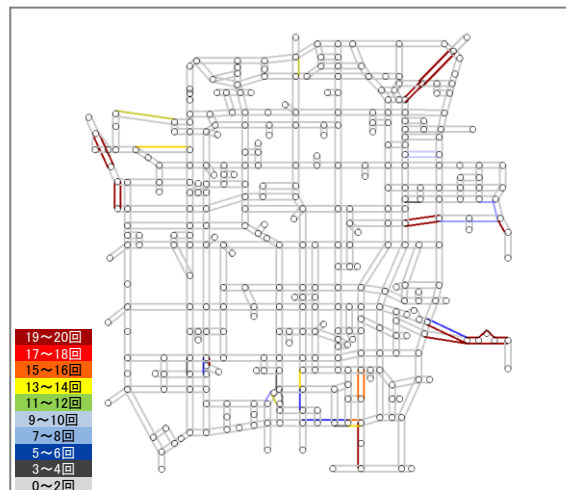


図-6 自動車利用を抑制した場合の各リンクの渋滞回数

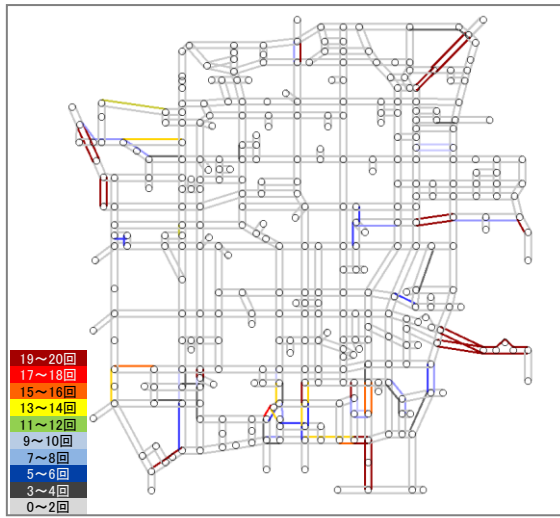


図7 ダミーリンク④・⑤からの流入交通を3分の2に抑制した場合の各リンクの渋滞回数

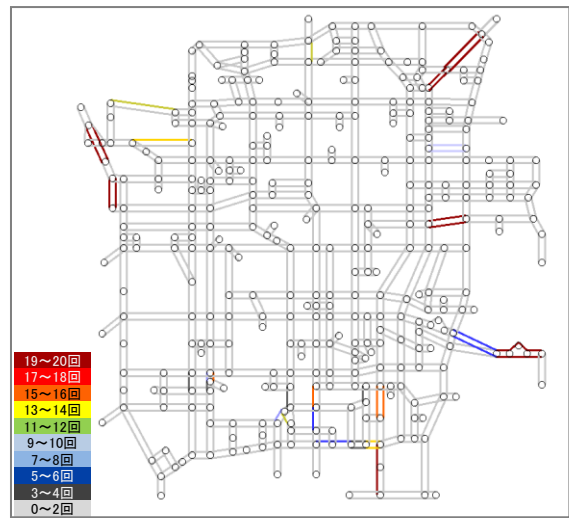


図10 情報伝達による抑制と流入交通の抑制（2分の1）を組み合わせ合わせた場合の各リンクの渋滞回数

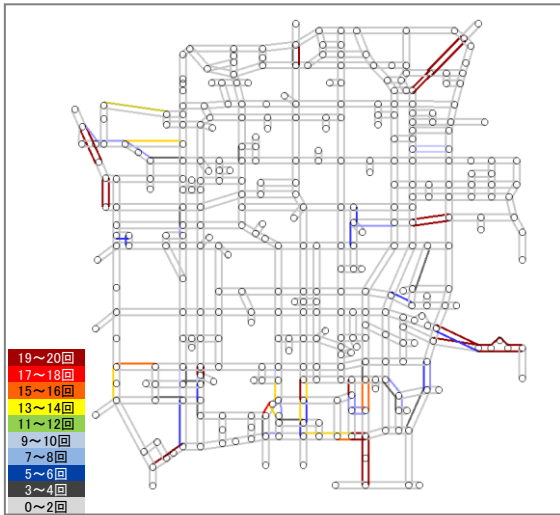


図8 ダミーリンク④・⑤からの流入交通を2分の1に抑制した場合の各リンクの渋滞回数

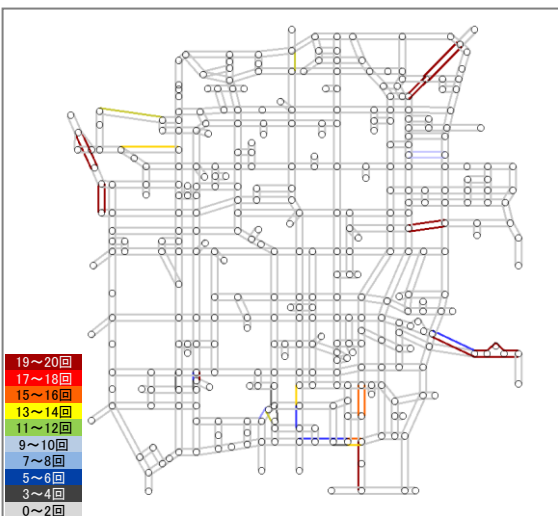


図9 情報伝達による抑制と流入交通の抑制（3分の2）を組み合わせ合わせた場合の各リンクの渋滞回数

体的に渋滞回数は減少している。流入交通を3分の2にまで抑制した場合は三条通での渋滞緩和がみられるが、五条通では大きな変化は見られなかった。しかし、流入交通を2分の1にまで抑制すると、五条通でも渋滞がある程度緩和されると考えられる。

(4) 情報伝達による自動車利用の抑制と主要流入部における交通量抑制を組み合わせ合わせた場合の効果

渋滞リンク数は、流入抑制を3分の2に抑制した場合と組み合わせたときは26.6リンク、2分の1に抑制した場合と組み合わせたときには25.5リンクとなり、マネジメントをしなかった場合と比較してそれぞれ約47.3%、約45.5%まで減少した。また、混雑リンク数は、流入交通を3分の2に抑制した場合と組み合わせたときには65.9リンク、2分の1に抑制した場合と組み合わせたときには62.9リンクとなり、マネジメントをしなかった場合と比較してそれぞれ約39.4%、約37.6%まで減少した。流入交通量を3分の2に抑制した場合、および2分の1に抑制した場合と組み合わせたときの各リンクの渋滞回数をそれぞれ図9および図10に示す。これより、情報伝達による自動車利用の抑制の場合と、主要流入部における交通量抑制の場合の双方の特徴が現れ、域内全体、および三条通・五条通での渋滞緩和が見られる。それぞれの効果を高めあうような効果は確認できなかったが、自動車利用の抑制だけでは改善できなかった五条通の渋滞について、五条通の流入交通を抑制したことにより改善している。

6. おわりに

本研究では災害時の交通需要を推計した後、これを災害時道路ネットワークに配分することによって、災害時

の自動車交通量および渋滞箇所を把握した。具体的には、通行可能率に基づいて確率論的に閉塞リンクを推定して、複数のケースについて渋滞リンク数や渋滞箇所を把握し、渋滞する可能性の高いリンクを示すことができた。さらに、これらのリンクについて、自動車利用の抑制、域内への流入交通量の抑制、およびそれらを組み合わせた場合の災害時交通マネジメントによって、どの程度渋滞が緩和されるかを検討した。

平成23年に発生した東北地方太平洋沖地震では、TwitterやFacebookなどのソーシャルメディアが災害の最中の情報伝達に威力を発揮した¹²⁾。本研究では、兵庫県南部地震の調査結果から電話などで連絡を取ることができれば移動しなかったという人の最大値を情報伝達による自動車利用の抑制効果として扱ったが、これらのソーシャルメディアが発達し、多くの人に浸透している現在では、災害時に情報を適切に伝えることも容易になっているため、災害時の自動車利用の抑制効果が期待できるだろう。しかし、その一方でインターネットを介したデマ情報が数多く広まるなどの危険性もあることから、利用者側のリテラシー向上のための呼び掛けや情報教育も必要不可欠である。

また、本研究で対象とした京都の市街地の場合、災害時の通勤時間帯に渋滞が発生しやすい箇所は、域外からの流入部であることが確認されたため、この流入交通量の削減が域内の交通状況に与える影響について分析した。ここでは、交通需要の具体的な抑制策については議論していないから、災害時において交通需要を抑制するための具体的な案については、今後の課題とせざるを得ないが、一般論として、行政による画一的な交通量削減策は、緊急時において新たな問題を引き起こす恐れが強い。このため、災害時における市民の交通行動のあり方、市民の視点からみて優先されるべき交通等に関する合意形成について、平常時から適切に議論しておくことが望まれる。

また、災害時に交通マネジメントを効果的に行うには、単に流入交通量の抑制や平準化だけでは十分でない場合もある。つまり、緊急車両等の通行する可能性の高い道路や、平常時から交通量の多い道路で閉塞する可能性の高い道路等をネットワーク上で明らかにし、平常時に予め整備しておく、あるいは災害時に機能障害が発生した場合に優先的に復旧させるといった施策も重要である。本研究で検討した災害時の交通状況の推定作業は、このような対策を検討する際にも利用できると思われる。

なお、本研究では代表的な歴史都市として京都市を対

象としているが、そのほかの歴史都市もそれぞれ固有の特色を持っている。そこで、本研究の知見をベースとしてそれぞれの歴史都市の特色を考慮に入れることで、さらにほかの歴史都市にも適用できると考えられる。

参考文献

- 1) 本田武志・谷垣博司・飯田祐三・岸野啓一：震災の影響調査に対する京阪神都市圏での取り組み，土木計画学研究・講演集 No.19(2)，pp.311～314，1996.
- 2) 松本誠・小谷通泰・嶋尾哲哉：震災後の被災地内におけるマイカー利用の実態分析，土木計画学研究・講演集 No.19(2)，pp.327～330，1996.
- 3) 中村真幸・本郷伸和・塚口博司・小川圭一：文化遺産防災における道路モニタリングシステムの提案～京都市における事例研究～，平成17年度土木学会関西支部年次学術講演概要，pp.IV-18，2005.
- 4) 塚口博司・小川圭一・本郷伸和：大震災時における道路の通行可能確率の推定，歴史都市防災論文集 Vol.2，2008.
- 5) 京阪神都市圏交通計画協議会：第4回京阪神圏パーストリップ調査
<<http://www.keihanshin-pt.com/index.html>>
- 6) 鈴木慧・塚口博司・小川圭一・安隆浩：大規模震災に対応する京都における交通マネジメントに関する一考察，平成22年度学術研究発表会講演論文集，大阪交通科学研究会，pp.21-22，2010.
- 7) 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
<http://www.npa.go.jp/koutsuu/jouhou/kihonntekikanngae_kata.pdf>
- 8) 久下紗緒里・塚口博司・小川圭一・安隆浩：れきしとしにおける災害時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.6，2012.
- 9) 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，pp.513～520，1997.
- 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) 味沢慎吾・家田仁・加藤浩徳：阪神大震災における被災者の生活と交通需要実態，土木学会第51回年次学術講演会，pp.64-65，1996.
- 12) 吉次由美：東日本大震災に見る大災害時のソーシャルメディアの役割～ツイッターを中心に～，放送研究と調査2011年7月号，pp.16～23，2011.