

# 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

Study of Estimation of Travel demand and Traffic Management Under Disaster Situation in Historical City

久下紗緒里<sup>1</sup>・塚口博司<sup>2</sup>・小川圭一<sup>3</sup>・安隆浩<sup>4</sup>

Saori Kuge, Hiroshi Tsukaguchi, Keiichi Ogawa and Yoongho Ahn

<sup>1</sup>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)

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

<sup>2</sup>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

<sup>3</sup>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

<sup>4</sup>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

There are many historical heritages and over 50 million tourists a year have been visited in Kyoto. But, there are many faults, such as a Hanaore fault. If a disaster occurs, an emergency vehicle may be unable to pass smoothly. Therefore, it is necessary to implement measures, such as traffic management, after a seismic hazard. In this research, traffic situation during disasters is estimated by person trip survey data and questionnaire data about traffic behaviors on disasters. And the network is presumed by using the probability which cars can pass during disasters. As a result, traffic congestion is improved by restricting inflow traffic into Kyoto.

**Keywords :** *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、古くから伝えられている伝統家屋が多く、そのほとんどが木造建物である。さらに京都市は、多くの文化遺産が市街地と一体となって存在していることから、これら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。文化遺産は人命と並ぶ貴重な財産である。したがって、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<sup>1)</sup>(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<sup>2)</sup>(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<sup>3)</sup>(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<sup>4)</sup>(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、災害時の交通需要を推計し、これを通行可能率に基づいて設定した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個所を把握することを目的とする。さらに、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って、災害時の交通状況にどのような変化がもたらされるかを検討する。

## 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。これら4区のうち上京区、中京区、下京区は京都市の中央に位置しており、産業・経済活動の中心地であると言え、人の流れも大きい。また、文化財数が全国に占める割合の大きい京都市の中でも、最も文化財が多く存在するのは東山区である<sup>5)</sup>ことから、東山区は歴史的に価値が高いものが多く存在する地域であるといえる。以上の理由からこれら4区を対象地域として選定した。

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、域外と域内を接続するために設定したダミーリンクが4区での配分結果に悪影響を及ぼさないよう、これら4区より一回り大きく道路ネットワークを設けた。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り、それらの地域を各ダミーゾーンに振り分ける方法は、その地域の位置からもっとも近い道路を利用して対象地域へ流入・流出するとし、振り分けた。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示し、図2に対象道路ネットワーク及びダミーリンクの位置を示す。

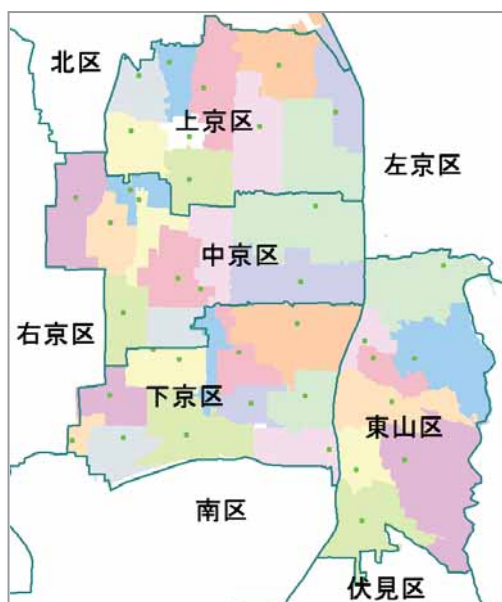


図1 京都市4区

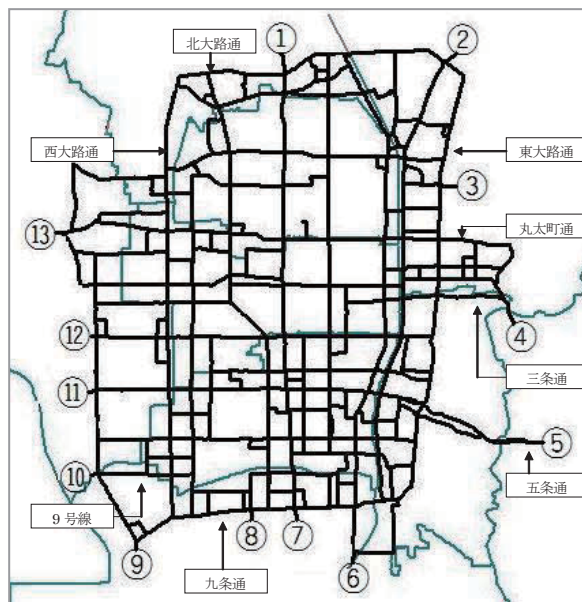


図2 対象道路

## 3. 平常時の交通需要推計

### (1) 平常時配分交通量の算出

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<sup>6)</sup>(以下:PT調査)をもとに本研究のゾー

ンに合うよう修正した。すなわち、PT調査より得られた発生・集中交通量は行政区単位のものであり、本研究のゾーンに対応した発生集中交通量は別途求めなければならない。そこで、本研究では行政区の人口と各域内ゾーンの人口の比によりPT調査の発生集中交通量を分割した。

対象地域内における分布交通量は、重力型モデルを用いて推定した。さらに、ゾーン間の結びつきの程度を考慮し、各ゾーンの成長率で補正する方法であるフレータ法を用いて、トリップエンド条件を考慮し、修正した。なお、フレータ法による収束計算は対象地域全体で行うのではなく、行政区単位で行うことで精度の向上を図った。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。

## (2) 実測値と推計値の比較

配分交通量を算出した後、実測値である平成17年度道路交通センサスの調査区間交通量<sup>7)</sup>と比較した。しかし、道路交通センサスではトラックなどの営業車両が含まれているのに対し、PT調査では営業車両が含まれていない。そこで実測値との整合性を取るために営業車両の混入率がどの程度であるか検討したところ、8時台における貨物車の混入率は約20%であった。全交通量に対する20%が貨物車類であることから、8時台の分布交通量を1.25倍したものを営業車両を考慮した8時台分布交通量とした。この分布交通量を用いて配分した結果と実測値とを比較した結果を図3に示す。

推定値と実測値を比較すると、交通量が多い箇所ではやや過大評価となっているが、全体的に実測値に近い値となっており、8時台における貨物車類の混入率を20%としたことが大きな間違いではないと考えられる。また、決定係数が0.744となり、ある程度の再現性が確保されていると言える。

## (3) 平常時の道路状況

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<sup>8)</sup>。ここでの収束条件は誤差が0.002%以下とした。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」<sup>9)</sup>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。図4では走行速度によって道路リンクの色を変え、渋滞箇所を示している。

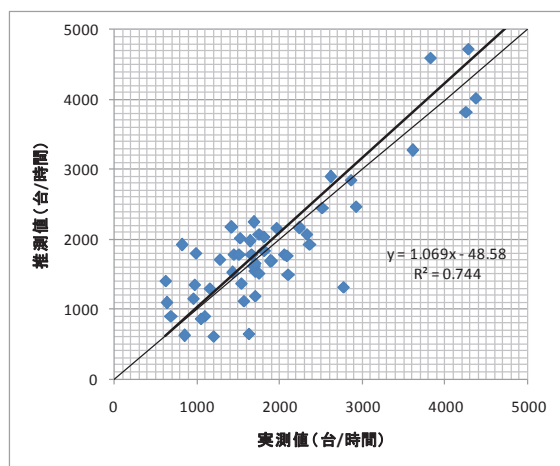


図3 実測値と推計値の比較

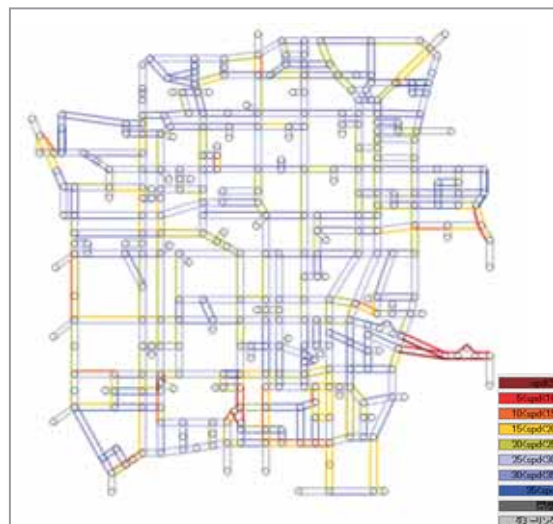


図4 平常時8時台における旅行速度図

## 4. 災害時における交通需要推計

### (1) 災害時における交通需要推計の考え方

災害時における交通需要推計は、平常時と同様にPT調査をベースとするが、PT調査には災害時の行動に関する調査項目がない。また、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に十分留意しておく必要がある。震災直後に関しては、震災直前にどの地域にどの程度の人数が滞留しているかが交通需要推定に決定的な影響を及ぼすから、発災時刻等に関する種々の条件



設定が必要である。本研究ではできるだけ震災発生から近い時期であり、かつ交通マネジメントを本格的に実施すべきと考えられる震災発生から2日後程度の時期を取り上げることとした。

手順としては、まず兵庫県南部地震の実態調査および京都市民アンケート調査のデータ結果を用いて震災2日後程度における交通需要を予測し、災害時自動車分布交通量を推計する。次に、この交通需要を災害時の道路ネットワークに配分することで、各リンクの震災2日後における自動車交通量及び渋滞箇所等を把握する。

## (2) 災害時自動車交通量の算出

災害時自動車交通量の算出手順を図5に示す。

兵庫県南部地震の実態調査<sup>10)</sup>により得られたデータから、平常時に行われている目的行動が災害時であっても継続されたものは出勤目的にほぼ限られることが把握されている。そこで、はじめに災害時出勤目的自動車交通量 $y_1$ を算出し、その結果をもとに災害時の他目的の自動車交通量 $y_i$  ( $2 \leq i \leq 7$ ) を算出することとした。

災害時出勤目的自動車交通量 $y_1$ の算出のために、まず、PT調査結果を用いて平常時の出勤目的の割合 $R_1$ を算出し、これを平常時全目的全手段交通量 $X_{all}$ にかけて平常時出勤目的全手段交通量 $x_{commute}$ を求めた。

次に、京都市民10000名を対象とした災害時の行動に関するアンケート調査<sup>11)</sup>を用いて、災害時に通勤する意思のある人の割合 $R_2$ を求めた。京都市民アンケート調査では災害時に必ず出勤しようと考えている人の割合は約16%、自宅周辺の状況に問題がなければ出勤しようと考えている人の割合は約46%であった。このため、災害時出勤目的全手段交通量 $y_{commute}$ は平常時出勤目的交通量 $x_{commute}$ の16%~62%の範囲で発生すると考えられる。

さらに、兵庫県南部地震の実態調査から、震災2日後において出勤目的で自動車を利用した人の割合 $R_3$ は約40%であったことから、災害時出勤目的全手段交通量 $y_{commute}$ にこの割合を掛け、災害時出勤目的自動車交通量 $y_1$ を算出した。

そして、同調査の災害時における自動車利用目的割合から、出勤目的とそのほかの目的の利用割合 $s_i$  ( $1 \leq i \leq 7$ ) の比率を算出し、災害時出勤目的自動車交通量 $y_1$ に掛けることで出勤目的以外の災害時各目的自動車交通量 $y_i$  ( $2 \leq i \leq 7$ ) を算出した。震災2日目における災害時全目的自動車交通量 $Y_{all}$ は、平常時全目的全手段交通量 $X_{all}$ の5.8%~22.6%の範囲となる。最後に、同調査の自動車による発生および滞留トリップ数から、全時間帯に対する8時台の発生トリップ数の割合 $R_4$ は9.1%であることから、震災2日目における災害時8時台全目的自動車交通量 $Y_{8-9}$ は、平常時全目的全手段交通量 $X_{all}$ の0.53%~2.06%の範囲になると考えられる。

これらをまとめると、震災2日目における災害時8時台全目的自動車交通量は、次式のように算出される。

$$Y_{8-9} = X_{all} \times R_1 \times R_2 \times R_3 \times \frac{\sum_{i=2}^7 s_i}{s_1} \times R_4 \quad (1)$$

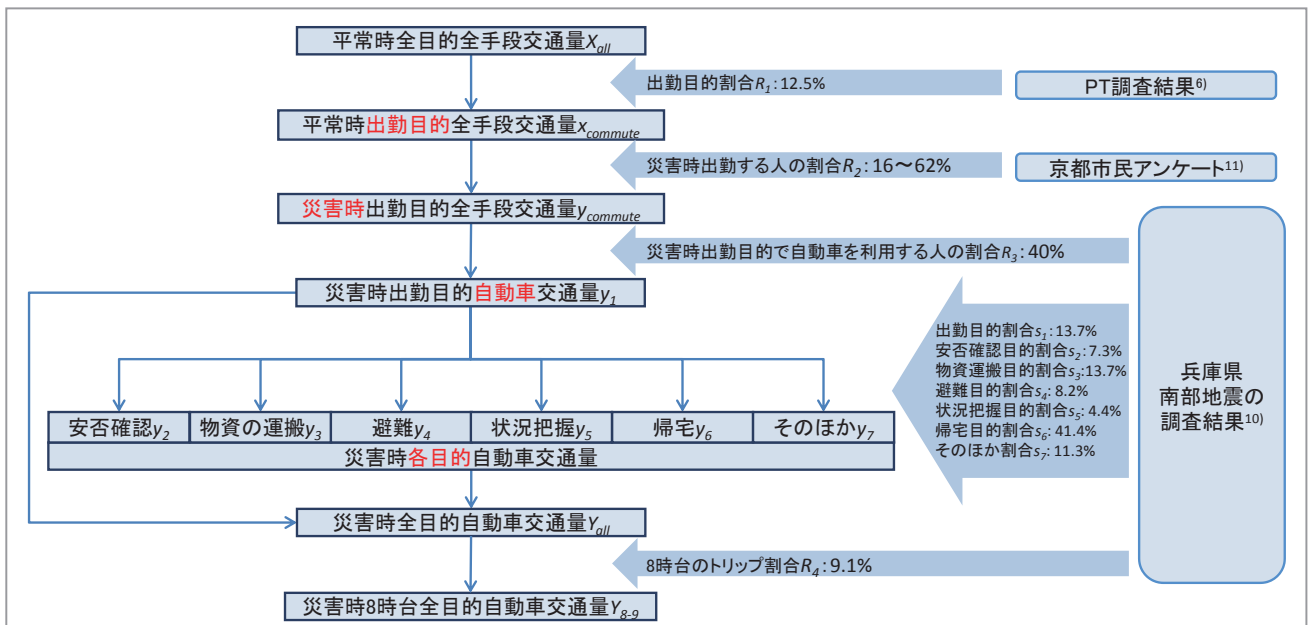


図5 災害時自動車交通量の算出フローチャート図

京都市民アンケートにおいて、通勤意思は、自宅周辺での被害が大きいほど減退し、その結果、全目的交通手段交通量が減少することがわかる。一方、被害が小さいほど全目的交通量は増大する。ここで、自宅周辺の状況に問題がなければ出勤する意思のある人の半分が出勤したと仮定した。このような状況においては、道路ネットワークへの被害が存在するが、トリップ数もある程度多くなると考えられる。このとき、先に求めた割合は 1.30%となる。この値を用いて災害時 8 時台の自動車交通量を求めたところ、平常時の自動車交通量の約 73%となった。そこで、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。

## 5. 通行可能率を考慮した災害時の渋滞個所の把握

### (1) 災害時道路ネットワークの考え方

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する。本研究において用いる通行可能率は、震度 7 を想定して求められた通行可能率である。算出に当たっては、幅員別の道路閉塞推計モデルを用いて、京都市内の道路閉塞率を算出する。なお、筆者らは先に、道路幅員と沿道建物の状況の双方を考慮した道路閉塞推計モデルを作成しているが<sup>12)</sup>、道路幅員が 8m 程度以上の場合には両者に大差が見られない。本研究では幹線性の高い道路を対象としており、幅員は 8m 以上の場合がほとんどであるから、簡便な幅員別モデルを用いた。

また、災害時には緊急車両が優先的に走行できるように京都市が緊急輸送道路を確保し、一般交通に規制がかけられる<sup>13)</sup>。この状態を再現するため、本研究では第 1 次緊急輸送道路および第 2 次緊急輸送道路に規制がかかったとし、この緊急輸送道路にあたる道路の交通容量からは 1 車線分の容量を減じた。

### (2) 通行可能率が 0.5 以上のリンクのみで構成される災害時道路ネットワーク

本研究では、まず、通行可能率が 0.5 以上のリンクのみで構成されるネットワークにおける災害時交通配分を行った<sup>14)</sup>。このとき、域内の閉塞リンク数は 125 リンクであった。東山区全域及び下京区の東山区に近い地域において閉塞リンクが密集して発生するのに対し、上京区及び中京区では閉塞リンクは比較的少ない。通行可能率は道路の幅員や沿道建物の状況などによって決まる。文化遺産が多く存在し、歴史的な町並みが多く残る東山区周辺では通行可能率が比較的 low、市街化された市内中心部においては道路や沿道建物が整備されているため通行可能率が比較的高くなっているためと考えられる。

以上の条件のもとで、平常時と同様の配分方法を用いて災害時自動車分布交通量の配分計算を行った。域内における渋滞リンク数は平常時と比べ 41 リンク増え、60 リンクであった。また混雑リンク数は平常時と比べ 189 リンク増え、296 リンクであった。ネットワークの内部よりも外周部において渋滞が多く発生していることが分かる。また、国宝・重要文化財などが多く存在する東山区において渋滞リンクが多数発生していることがわかる。

### (3) 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

前項では通行可能率が 0.5 以下のリンクが一様に閉塞するとして災害時道路ネットワークを設定した。しかし、通行可能率はあくまでも確率であり、一定の確率以下のリンクがすべて閉塞するというのは現実的ではないと考えられる。そこで、モンテカルロ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することにした。

閉塞箇所を推定するために、リンクごとに 0~1 の実数の乱数を発生させた。これを元の通行可能率と比較し、発生させた乱数の方が大きければ閉塞、小さければ通行可能とした。乱数の初期値を変化させて、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。

なお、本研究ではダミーゾーン④およびダミーゾーン⑤へ流入する 5 リンクは通行可能率が 1 未満であるが、閉塞しないものとして災害時道路ネットワークを設定した。これは、当該リンクにつながるダミーリンクからの流入が非常に多く、また、これらのリンクのいずれかが閉塞するとほかに迂回できるリンクがないためである。

### (4) モンテカルロシミュレーションを用いた場合の災害時の道路状況

20 ケースのネットワークについて配分計算を行った。これら 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62.3リンク、混雑リンクが165リンクであった。通行可能率0.5以下のリンクがすべて閉塞するケースと比較すると、閉塞リンク、渋滞リンク、混雑リンクはそれぞれ+2.6リンク、+2.3リンク、-6リンクとなっている。

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6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や混雑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と考えられる。また、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7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。また、通行可能率0.5以下がすべて閉塞するケースと比較してみても、渋滞箇所には大きな違いは見られなかった。特に、山科区や滋賀県からの流入のため、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。

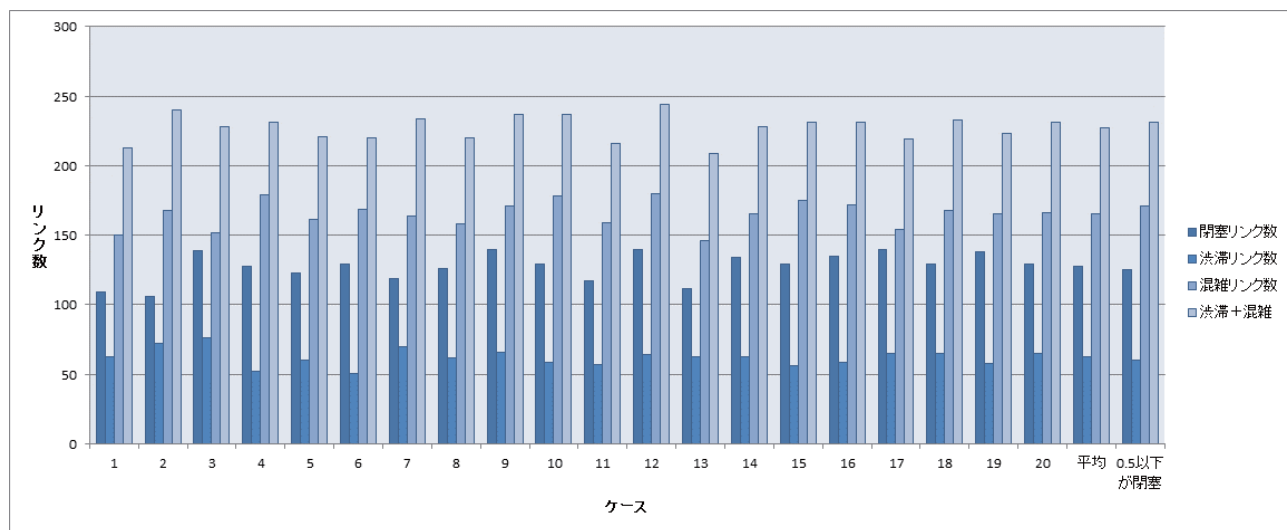


図6 各ケースごとの閉塞および渋滞、混雑リンク数の比較



図7 20ケース配分した場合の各リンクの渋滞回数

## 6. 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、災害時の交通需要を推定し、それ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。

本研究では、5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について取り上げることとする。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、5章と同様に20ケースの配分計算を行った。

### (2) 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8に、2分の1に抑制した場合の各リンクの渋滞回数を図9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。



図8 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9 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

## 7. 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、域内への流入交通量を抑制する災害時交通マネジメントを行うことによって、どの程度渋滞が緩和されるかを検討した。

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個所は、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考えられる。

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汎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) 京都市消防局防災危機管理室：京都市第3次地震被害想定  
<[http://www.city.kyoto.lg.jp/gyozai/cmsfiles/contents/0000015/15600/1\\_2.pdf](http://www.city.kyoto.lg.jp/gyozai/cmsfiles/contents/0000015/15600/1_2.pdf)>
- 6) 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  
<<http://www.keihanshin-pt.com/index.html>>
- 7) 京都市都市計画局交通政策室：平成17年度全国道路交通情勢調査（道路交通センサス）  
<<http://www.city.kyoto.jp/tokei/trafficpolicy/census/index.html>>
- 8) 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.
- 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  
<<http://www.npa.go.jp/koutsuu/jouhou/kihonttekikanngaekata.pdf>>
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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
- 13) 京都市：地域防災計画 ー震災対策編ー，pp. 258～263
- 14) 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.