

# 歴史都市における災害時の交通需要推計と 道路ネットワークの防災性向上に関する一考察

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>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>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

<sup>3</sup>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

<sup>4</sup>正会員 立命館大学研究員 立命館大学グローバル・イノベーション研究機構 (〒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。そのため事前に道路整備を行うとともに、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、道路整備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 :** *disaster, historical city, travel demand, road improvement, traffic management*

## 1. はじめに

平成 23 年 3 月、太平洋三陸沖を震源に国内観測史上最大であるマグニチュード 9.0 を記録した東北地方太平洋沖地震が発生した。津波や火災で多数の死傷者が発生し、国民の防災・減災に対する関心が飛躍的に高まった。さらに今後も、東海、東南海、南海地震発生が危惧されており、これとともに、様々な方面から防災に関する研究が進められている。

本研究で対象地域として取り上げた京都市は、平安京が 794 年に遷都されて以来、都として長い歴史をもち、国宝・重要文化財の宝庫である歴史都市である。また、海外からの外国人観光客も含めると、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、京都市には北東に花折断層、南東に桃山断層、南西に樫原断層と多くの活断層が存在し、これらの活断層が今後 50 年間は活動期に入るといわれているから、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。古い町並みが残されており、戦前木造住宅の割合が全国平均の 5 倍弱ある京都市では、これらの災害に対する意

識や対策は十分であるとは言い難い。平成 7 年に発生した兵庫県南部地震の経験から、都市直下型地震が発生した場合、広範囲にわたる建造物の倒壊、焼失などの被害が懸念される。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。また、東北地方太平洋沖地震では被害の大きい東北地方だけでなく首都圏でも交通網が麻痺し、多数の帰宅困難者が発生するとともに、道路

では大規模な渋滞に見舞われる事態が発生した。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。そのため事前に道路整備を行うとともに、災害時交通マネジメント計画を作成する必要がある。

本研究では災害時の交通需要を推計し、これを災害時道路ネットワークに配分することで災害時の自動車交通量及び渋滞箇所を把握することを目的とする。また、兵庫県南部地震の被害状況と京都市の道路現況をもとに求めた通行可能率に基づいて災害時の道路利用状況を推定し、道路整備を行うことで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、東山区は京都市の中でも国宝、重要文化財など歴史的に価値が高いものが多く存在する。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、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、その地域がどこに位置し、どの道路を利用し、流入・流出するかによって判断した。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。

## 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>1)</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。しかし、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、回帰分析を用いて重力モデル式のパラメータを推定して求めた。さらにトリップエンド条件を考慮しフレータ法を用いて修正した。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。

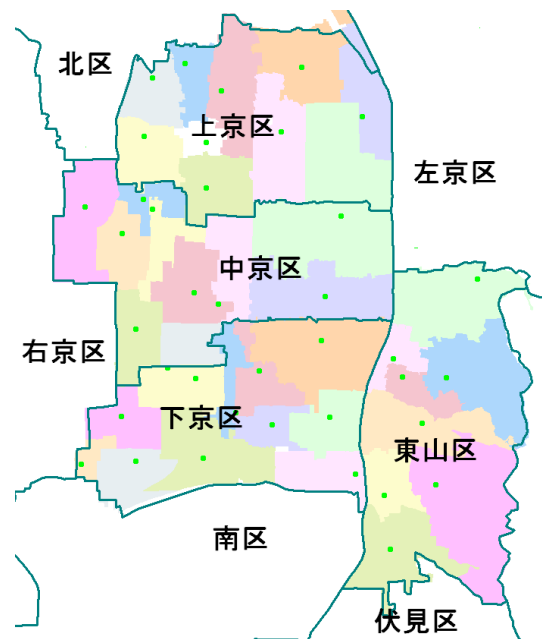


図-1 京都市4区

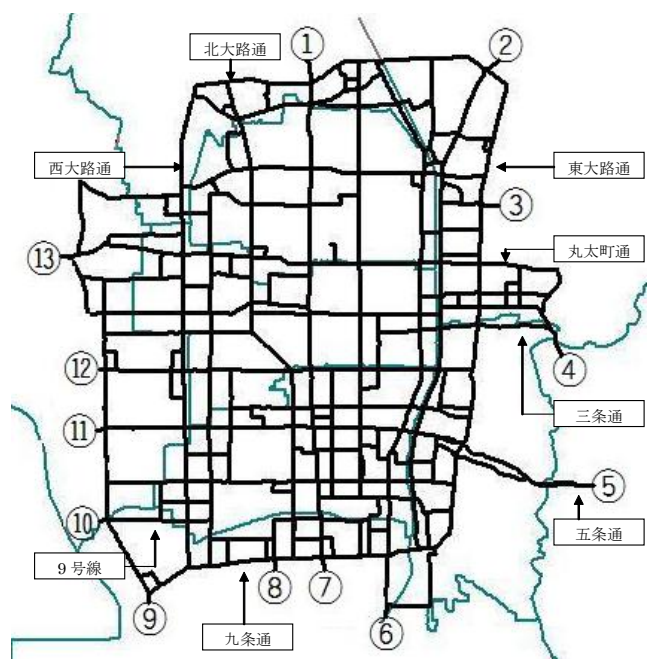


図-2 対象道路

## (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>2)</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ことが分かる。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) 配分結果

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>3)</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>4)</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、4 区の渋滞リンクは 9 リンク、混雑リンクは 33 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。

## 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及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

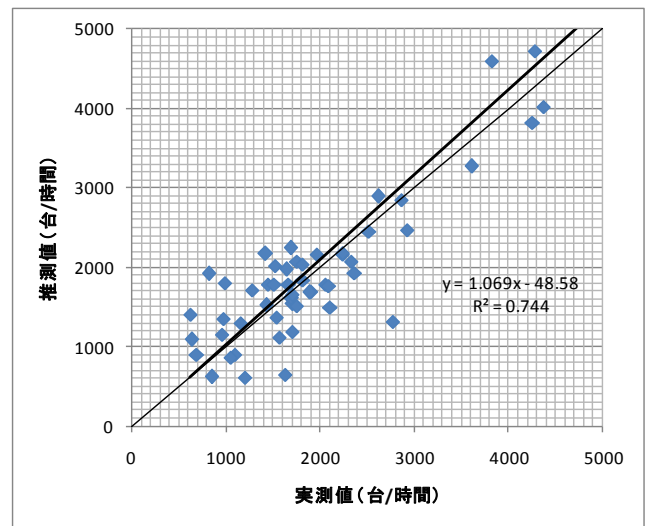


図-3 実測値と推計値の比較

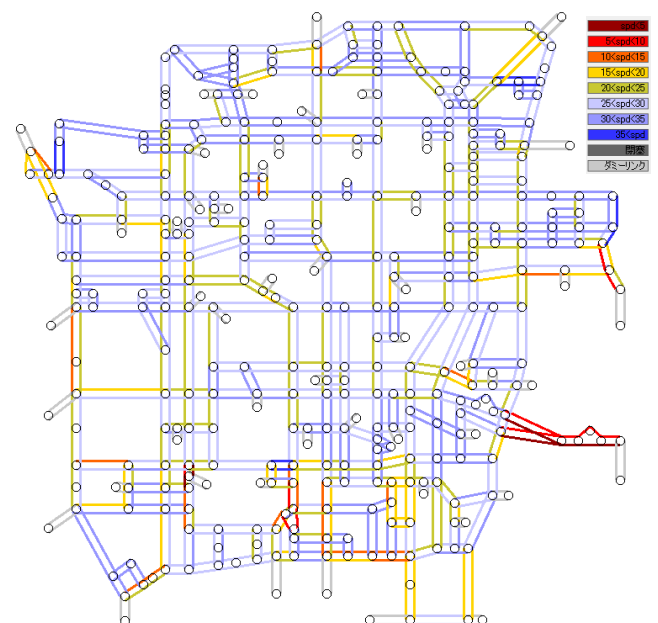


図-4 平常時8時台における旅行速度図

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

兵庫県南部地震の実態調査<sup>5)</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、PT 調査結果を用いて出勤目的の全交通手段交通量を求めた。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>6)</sup>及び兵庫県南部地震の実態調査によって得られたデータを用い

て、震災2日目における時刻帯別自動車分布交通量を求めたところ、震災2日目における自動車分布交通量は平常時における全目的全交通手段交通量の5.8%~22.6%の範囲となることから、震災2日目の8時台における自動車分布交通量は、平常時における全目的全交通手段交通量の0.53%~2.06%の範囲になると考えられる。

京都市民アンケートにおいて通勤意思を調べると、自宅周辺での被害が大きいほど通勤トリップは減少し、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約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ある程度存在するが、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。

### (3) 災害時道路ネットワーク

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<sup>7)</sup>に基づいて作成する。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。

算出方法としては、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と仮定し、京都市内の道路閉塞率を算出する。この結果を兵庫県南部地震の実態調査結果をもとに $\chi$ 二乗検定し妥当性を示した。さらに、建物倒壊は建物の耐震設計基準に関係すると考え、住宅統計調査データをもとに京都市と神戸市灘区の耐震設計基準改正前、改正後の住宅戸数を比較し、現在の京都市の方が安全であり、兵庫県南部地震の評価を使っても過大評価にならないことを示す。この通行可能率を京都市の各リンクの道路幅員によって割り当て、災害時に閉塞するリンクを抽出することとする。

本研究では通行可能率が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。道路ネットワークを図-5に示す。このとき、閉塞リンク数は全域で127リンク、4区で68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低く、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。

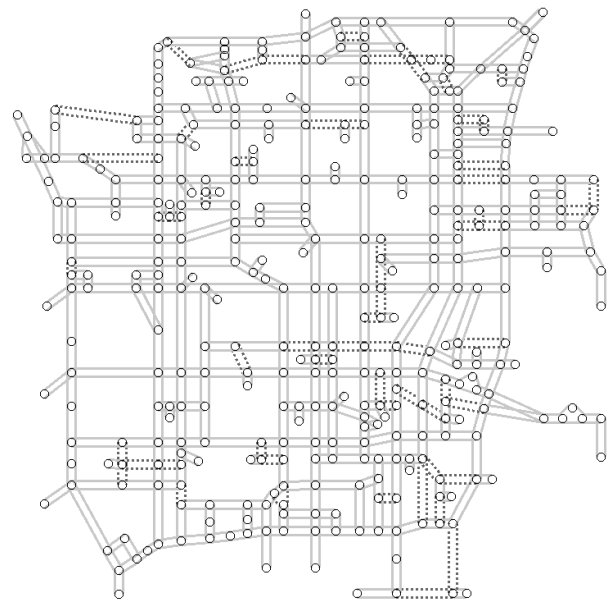


図-5 災害時ネットワーク (通行可能率0.5)

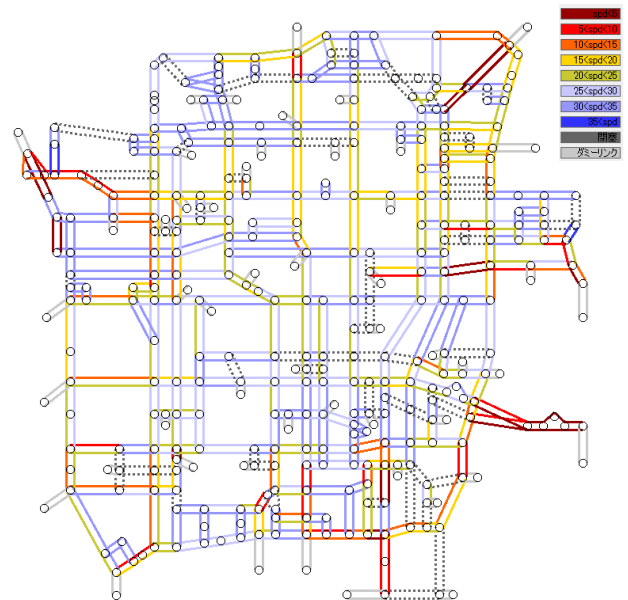


図-6 災害時8時台における旅行速度図

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>8)</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。

### (4) 配分結果

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。旅行速度の算出結果を図-6に示す。4区における渋滞リンク数は平常時と比べ5リンク増え、14リンクであった。ま

た混雑リンク数は平常時と比べ 27 リンク増え、60 リンクであった。ネットワークの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生じていることがわかる。

## 5. 道路整備の影響

### (1) 道路整備と道路ネットワークの混雑状況

本稿では道路整備によってどの程度渋滞を緩和させることができるか検討するために、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の場合を基準とし、通行可能率の下限が異なるネットワークとの比較を行う。以下では、2 段階の被害状況に応じて 2 ケースのネットワークを設定した。なお、ここでは前章と同様に通行可能率が 0.5 以上のリンクは通行できると考えている。

**CASE1** 通行可能率 0.2 以上のリンクは通行可能であり、これらのリンクで構成されるネットワーク

**CASE2** 通行可能率 0.4 以上のリンクは通行可能であり、これらのリンクで構成されるネットワーク

**CASE1** は通行可能率 0.2 以上 0.5 以下のリンクを整備した結果、通行可能率 0.5 以上に改善され、現在通行可能率 0.2 以上のリンクが災害時も通行可能になった場合である。同様に、**CASE2** は通行可能率 0.4 以上 0.5 以下のリンクを整備した結果、通行可能率 0.5 以上に改善され、現在通行可能率 0.4 以上のリンクが災害時も通行可能になった場合である。

平常時(現状のネットワーク)、**CASE1**、**CASE2** 及び通行可能率 0.5 以上のリンクで構成されるネットワーク(前章のネットワーク)の配分結果を図-7 にまとめた。道路整備をすることにより、混雑リンク数に関しては改善が見られたが、渋滞リンク数に関してはほとんど変化が見られなかった。しかし、閉塞していない、つまり通行可能なリンクに対する渋滞リンクの割合は、道路整備することにより確実に減少していると言える。

以上のことを踏まえて、文化遺産が数多く存在し、かつ閉塞リンクの多い東山区周辺の道路状況を改善するためには、どのようなリンクに対し整備を行えばよいかを考える。4 章で述べたように通行可能率 0.5 以下のリンクが閉塞している状態を災害時道路ネットワークの基準とする。東山区では通行可能率 0.2 から 0.4 の間のリンクが多数存在しているため、これらのリンクを整備すべきであると考えられる。また、実際は比較的通行可能率が高いリンクよりも通行可能率が低く、閉塞する可能性の高い危険な箇所こそ先に整備されるべきであると考えられる。そこで、通行可能率 0.2 以下のリンクも整備

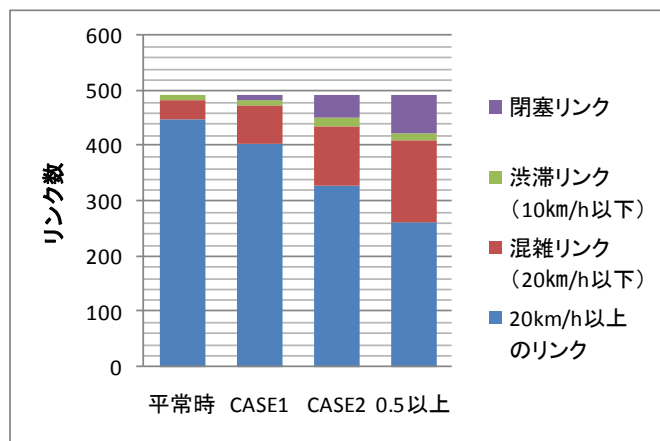


図-7 通行可能率の変化と旅行速度の比較



図-8 CASE3における道路ネットワーク

することとした。以上のことから、通行可能率0.4以下の道路を整備した結果、通行可能率が0.5以上に改善されたとして、通行可能率0.4以上0.5以下のリンクを除いたリンクで構成される道路ネットワーク (CASE3) を設定した。図-8にCASE3における道路ネットワークを示す。

### (2) 通行可能率が低いリンクの整備効果

**CASE3** では、40 リンクに道路整備が実施されている。混雑リンクは 56 リンクで改善がみられ、20 km/h 以上で走行できるリンクが 95 箇所増加した。平常時と比較するとまだ2倍から3倍程度のリンクで渋滞や混雑が発生しているが、東山区については、七条通周辺や東大路通に関して渋滞及び混雑の改善が見られたことなどから、ある程度の効果があると言えよう。配分結果の旅行速度図を図-9に示す。

## 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で災害時の自動車交通量及び渋滞箇所を把握した。また、通行可能率に基づいて災害時の道路利用状況を推定し、道路整備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を検討した。

本研究では道路整備を検討する際、通行可能率が一定以下のリンクを全て整備するとして配分を行った。しかし、本来は平常時でも混雑し、災害時において重要であると考えられる道路を選定し、重点的に整備を行うことが必要である。また、道路整備を行うと閉塞リンク数及び混雑リンク数が減少し、20km/h以上で走行できるリンクが増加したほか、東山区東大路通り周辺などのリンクで渋滞が緩和された。一方で、渋滞リンク数そのものの削減に対してはあまり効果が見られないことが分かった。しかし、これについても通行可能率により一様に整備を行うのではなく、渋滞するであろうリンクを重点的に整備することで、渋滞リンク数の削減にも効果が見られる可能性がある。これらのことから、今後は道路幅員や文化遺産との距離、沿道建物の状況などを考慮した上で整備する道路を選定する必要があると考えられる。また、本研究では何らかの方法で道路の整備を行い、通行可能率を高めたとして計算を行ったが、その整備内容に関しては考慮していない。通行可能率を高めるためには沿道建物の整備及び道路幅員の拡張などが考えられるが、その場合、交通容量などにも変化があると考えられる。これにより交通容量が増大すれば、さらに渋滞及び混雑が緩和される可能性があると言える。

また、今後は道路整備だけでなく、対象地域に対して効果の高い交通マネジメントを検討する必要がある。人命に関わる様々な目的の緊急車両等を迅速かつ円滑に処理するためには、地域内における交通規制及び対象地域外からの流入交通の規制が考えられる。災害時交通マネジメントは、双方を組み合わせて実施して初めて効果的であり、この場合において緊急車両等を迅速かつ円滑に処理でき、地域住民の自動車交通も円滑に処理することができると考えられる。もっとも、震災後においてはこのような交通規制を実施したとしても限界があり、地域住民に自動車利用を控えてもらうことも必要であるとともに、必要不可欠な道路整備を中長期施策として併せて計画していくことが必要であろう。道路整備と交通マネジメントを併用するうえで、より効果を高めるためには双方の利点を明確にし、それらを互いに高めあう施策を考える必要がある。したがって、今後は双方を別個にではなく、併せて検討する必要があると考えられる。

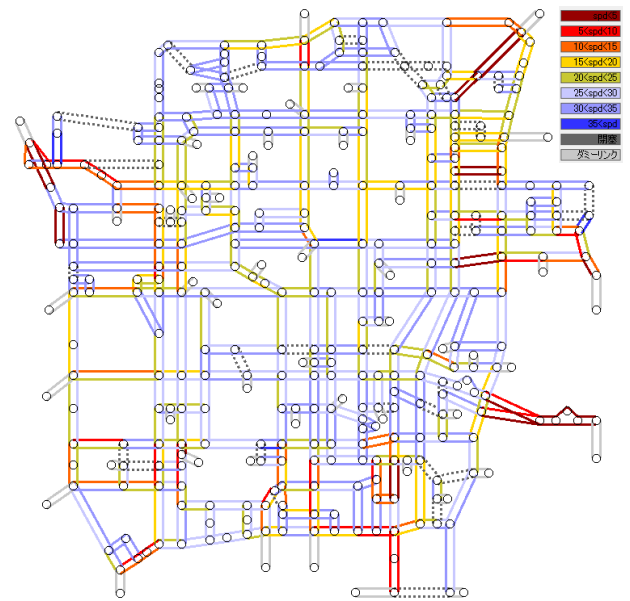


図-9 CASE3における旅行速度図

### 参考文献

- 1) 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>>
- 2) 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>>
- 3) 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.21-22，2010.12.
- 4) 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/kihonttekikanngae\\_kata.pdf](http://www.npa.go.jp/koutsuu/jouhou/kihonttekikanngae_kata.pdf)>
- 5) 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年1月
- 6) 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-155，2007.9
- 7) 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率の推定，歴史都市防災論文集 Vol.2，2008年10月
- 8) 京都市消防局：地域防災計画 一震災対策編一，pp.258～263