

大規模地震発生直後の交通需要の推計と 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 Immediately after Earthquake Disaster

安隆浩¹・孫若晨²・塚口博司³・小川圭一⁴

Yoongho Ahn, Ruochen Sun, Hiroshi Tsukaguchi and Keichi Ogawa

¹立命館大学特任助教 理工学部都市システム工学科 (T525-8577滋賀県草津市野路東1-1-1)

Associate Professor, Ritsumeikan University, Graduate School of Science and Engineering

²立命館大学大学院 理工学研究科環境都市専攻 (T525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

Graduate Student, Ritsumeikan University, Dept. of Civil Engineering

³立命館大学教授 理工学部都市システム工学科 (T525-8577滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil Engineering

⁴立命館大学准教授 理工学部都市システム工学科 (T525-8577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 and 50 million tourists and more a year have visited in Kyoto. There are many active faults, such as a Hanaore fault in this area. If a disaster occurs, an emergency vehicle may be unable to pass smoothly. Therefore, it is indispensable to implement measures, such as traffic management, after a seismic hazard. In this research, the traffic demand 3 hours after a disaster is predicted, and the road situation is predicted by a simulation. As a result, traffic congestion can be improved by restricting traffic inflow into Kyoto.

Keywords : *traffic demand just after an earthquake, traffic management, historical city*

1. はじめに

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。兵庫県南部地震の際には道路の損傷あるいは沿道構造物の倒壊等により、道路網の交通処理能力が大きく低下した。機能障害を受けた道路が、災害時特有の交通行動によって発生した交通を処理しなくなっただけでなく、これらの交通需要は道路に残された交通処理能力を上回るものであったため、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も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、被害の大きかった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生じた。

将来、京都市においても同様の事態が発生すれば、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における交通状況を予測し、平常時に必要な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検討しておく必要がある。

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するとともに、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。松本ら²⁾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た。塚口ら³⁾、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⁴⁾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。安ら⁵⁾は震災時における道路モニタリングシステムの導入効果を把握するために、ミクロシミュレーションを用いて、システムの概要、設定条件について検討した。

以上の研究は、いずれも地震発生後の3日後程度の時点に焦点を当てている。そこで、本研究では、京都市において大規模地震が発生した場合を想定し、災害発生のおよそ3時間後の交通需要を推計するとともに、当該時点で必要となる交通マネジメントについて検討することを目的とする。

京都市において、災害発生直後における交通状況を予測するための適切なデータは存在しないが、本研究では、他地域における既存データを利用するとともに、京都市民に対するアンケート調査結果も用いて、震災時に京都市における交通行動を推測した。なお、発災直後の交通状況ならびにその後(当日)の交通対策は、地震の発生時刻帯やその他諸条件によって大きく異なると考えられる。このため、本研究では、いくつかのシナリオを設定して論じることとしたい。

2. 対象地域

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⁶⁾ことから、これら4区を対象地域として選定した。また、対象4区は、2005年度の小学校区38ゾーンに分割し、各ゾーンのセントロイドは小学校の位置とした。4区内の38ゾーンと道路ネットワークのみでは対象地域外から流出入する交通量が把握できないため、4区の周辺には、13個のダミーゾーンを設け、道路ネットワークは、4区内のネットワークよりも一回り大きいものと設定した。

3. 平常時の交通需要推計

地震の発生は事前に予測できないため、災害発生時には平常時の交通行動が行われていることになる。このため、発災直後の交通状況を推定するには、平常時の交通行動がベースとなる。

(1) 平常時配分交通量の算出

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、2000年に実施された第4回京阪神都市圏パーソントリップ調査結果⁷⁾を基礎データとし、本研究の目的に合致するようにゾーン分割を行った。なお、2010年の第5回京阪神都市圏パーソントリップ調査結果⁸⁾（以下、PT調査）も公表されているが、滋賀県を除いて各府県および政令指定市ともにトリップ生成量が第4回の結果よりも減少する傾向にあった。このため、第4回PT調査の結果を使う方が、より厳しい状況下の安全策を検討できると考えた。発災直後の交通状況を推定する場合には、発災時刻帯が非常に大きく影響する。本研究では後述するように、11時に地震が発生するというシナリオの下で議論を進めたため、配分を行う時刻帯はその3時間後の14時台とした。

(2) 平常時の配分結果

対象地域の交通量を把握するためには、道路ネットワークにおける交通量調査が必要となるが、本研究ではPT調査データを活用して4段階推定手法を利用し、交通量推定を行った。4段階推定手法の中、交通量配分段階を経て各道路区間の交通量が推定される。交通量配分手法は一般的にFrank-Wolfe法が利用されていて非線形最適化問題を解くアルゴリズムが利用された方法である。本研究では基本的にはFrank-Wolfe法を用いて配分計算を行った。しかし、この方法では道路上交通量のOD内訳が分からなくなるため、各リンクのOD内訳を求める際には分割配分法⁹⁾を使用した。分割配分法では分割回数は10回とした。なお、PT調査では営業車両が含まれていないので、道路交通センサスにおける車種構成比を用いて求めた補正係数を乗じて営業車両を考慮して14時台の分布交通量とした。

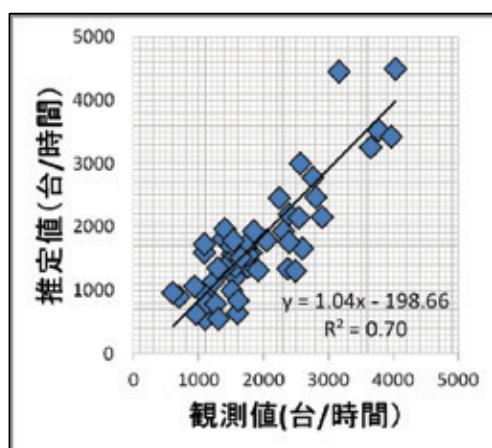


図1 実測値とFrank-Wolfe法による推定値の比較

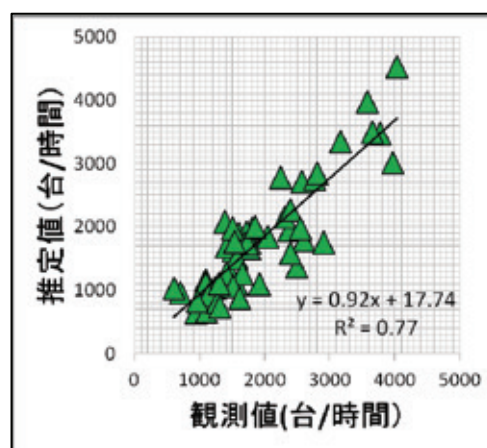


図2 実測値と分割配分法による推定値の比較

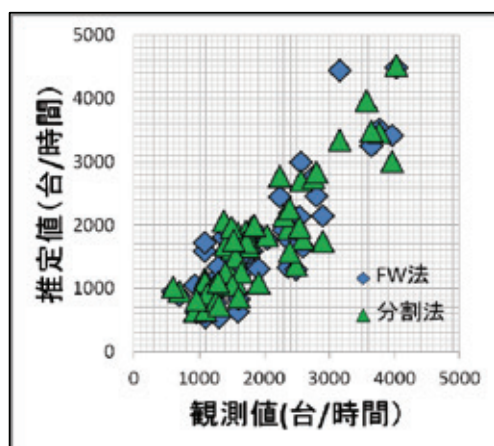


図3 Frank-Wolfe法と分割配分法の比較

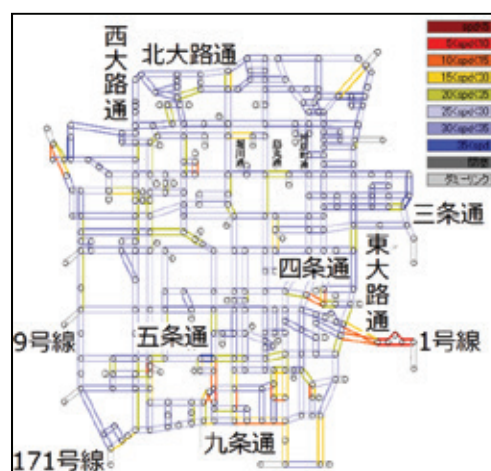


図4 平常時14時台における旅行速度図

配分交通量を算出した後、観測値である2005年度道路交通センサス⁸⁾の調査地点交通量と比較した。配分結果と上記の実測値を比較した結果をFrank-Wolfe法、分割配分法のそれぞれについて図1、図2に示す。また、二つの推定結果を比較し図3に示す。図1と図2では、各配分方法の推定値と観測値の相関係数が0.84、0.88とかなり高く関係していることを示している。また、Frank-Wolfe法と分割配分法の推定値間の相関係数は0.92と計算され、さらに高い関係があることが分かった。そして、各道路区間データは各配分方法の結果データとしか関連していないので、同一検定を行うにはデータ数が足りない。そのため、相関係数を見た結果だけで考えると各配分方法結果は大きな差異が認められず、各配分方法結果と観測値との適合性はあると言える。図4は平常時14時台におけるFrank-Wolfe法の配分結果を用いて渋滞箇所を示す。

ここでは、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⁾を参照し、旅行速度が10km/h以下のリンクを渋滞リンク、20km/h以下のリンクを混雑リンクとした。その結果、渋滞リンクは19リンク、混雑リンクは98リンクであった。

4. 災害発生直後の交通需要の推計

(1) 災害発生直後の交通需要の推計の考え方

災害発生直後の交通需要を予測する場合には、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ので、災害発生時刻ごとに災害時交通需要の推定方法も異なると考えられる。災害発生直後に関しては、災害の規模、災害発生時刻によって自動車交通状況は様々であろうから、自動車交通需要の予測には何らかのシナリオが必要である。そこで本研究では、発災時刻を11時に設定し、その3時間後の14時台の災害時交通需要を算出することとした。地震発生から3時間後には、余震が治まり、市民もある程度の状況把握ができる状態と想定した。なお、14時台は一般に買物、営業などの通行目的で自

自動車利用が多くなる時刻帯である。以下、災害時自動車交通需要を推定する方法でより詳細なデータを利用して説明する。

（２）平常時の自動車利用者による災害時自動車交通需要

地震発生時には、安否確認、被害状況の確認あるいは再避難などのために、平常時には存在しない新たな交通需要が発生することは、阪神・淡路大震災等における知見から認められる事象である。そこで、発災当日の14時台自動車交通需要の推計手法としては、久下ら⁴⁾の先行研究と類似した手法を用いた。久下らは8時台の交通量を推計したため、同時刻帯に多い通勤目的の自動車交通をベースとしていた。しかし、平常時14時台における自動車交通の出勤目的の割合は3%にも満たさないため、出勤目的に基づいて災害時交通需要を求めることは適切でないと考えられる。そこで、本研究ではPT調査結果をベースとするものの、阪神・淡路大震災の発災当日における被害者アンケート¹²⁾、兵庫県南部地震の実態調査¹³⁾の結果に安否確認等の目的の交通を加えて修正し、災害時の自動車交通量を推定した。その推定手順を図5に示す。

（３）平常時の鉄道利用者による災害時自動車交通需要

地震発生当日には、上記の自動車交通需要の他に、通常は鉄道等の公共交通手段の利用者の一部も自動車利用を余儀なくされると思われる。「阪神・淡路大震災調査報告」¹⁰⁾によれば、地震発生と同時に、鉄道の運転が停止状態になり、短時間で復旧し、運転再開されることはほぼ不可能であると考えられる。このため、地震発生以降に鉄道利用予定者は交通行動自体が行えないか、あるいは、行動を思い止まらざるを得ないであろうから、本研究では検討対象外とする。しかし、地震発生時刻帯に鉄道で移動中の人々に対しては考慮する必要がある。

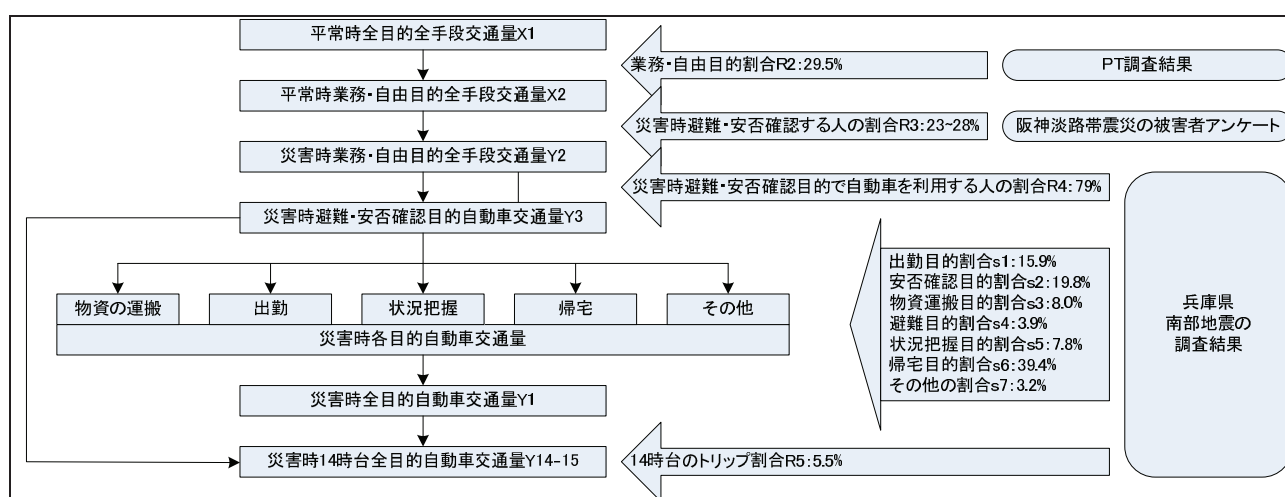


図5 平常時の自動車利用者による災害時自動車交通需要の算出フロー

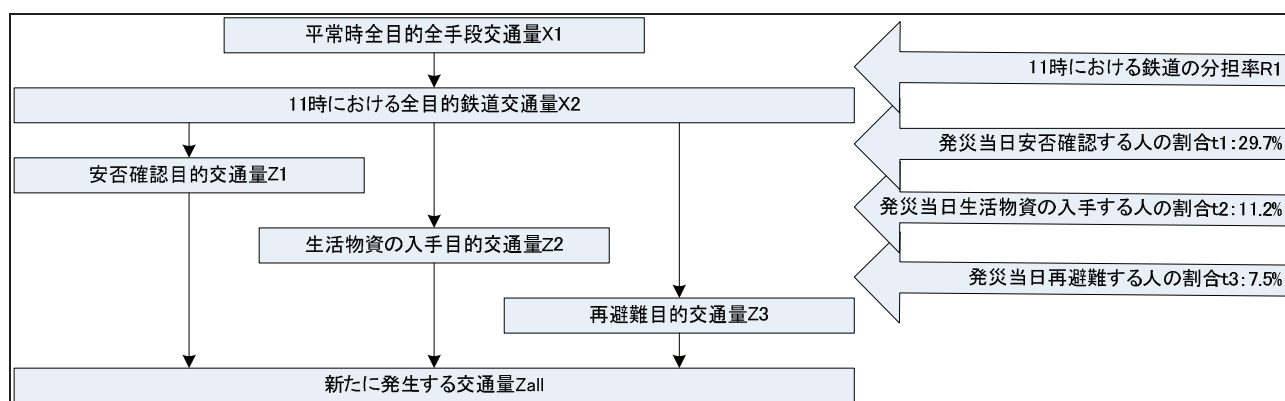


図6 平常時の鉄道利用者による災害時自動車交通需要の算出フロー

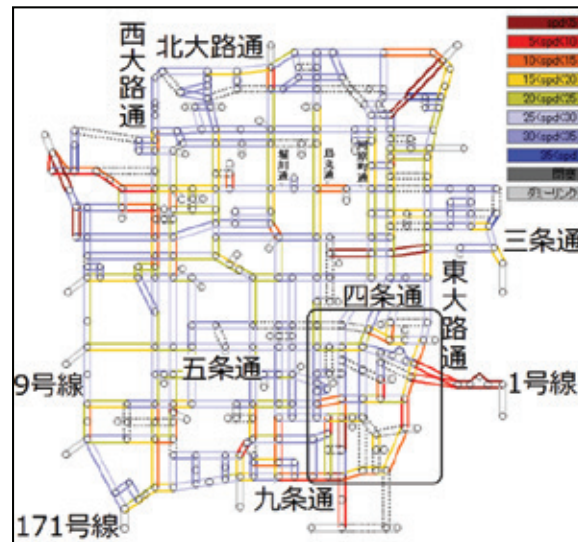


図7 災害時14時台における旅行速度図

そこで、図6に示す手順でこのような交通需要を推定することとした。まず、対象地域における時刻帯別交通手段分担率¹¹⁾を用いて、11時における全目的鉄道利用者数を求めた。これらの鉄道利用者による安否確認目的交通需要、生活物資入手等のための交通需要、避難目的交通需要を求めた。

災害発生当日の14時台における災害時自動車交通量は、図5による算出結果と図6による結果を合計して求めた。その結果、災害時14時台における交通量は、平常時8時台における自動車交通量の約82%となった。

(4) 災害時道路ネットワーク

災害時においては、沿道建物や道路付属物、道路占用物の倒壊、ならびに道路の破損などにより、多くの場所で道路機能障害が発生し、利用できる道路ネットワークが限られることになる。本研究は先行研究から求めた通行可能率³⁾に基づき、閉塞リンクを選定した。本研究では道路へのダメージが比較的小さいと考えられる、通行可能率が0.5以上のリンクは通行でき、0.5以下のリンクは通行不可と考えることとした。また、緊急車両の優先走行が担保できるように、京都市が指定している緊急輸送道路に関しては、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行われたとし、この緊急輸送道路にあたる道路は1車線分の交通容量を削減した。

この条件に基づいて構成されたネットワークに災害時交通配分を行った。配分方法は平常時と同様の方法を利用した。その旅行速度を図7に示す。域内における渋滞リンクは54個があり、混雑リンクは279個があった。また、国宝や重要文化財などが多数点在している東山区では、特に渋滞、混雑リンクが多く発生することが分かった。

5. ダメージを受けた道路ネットワークにおける発災当日の道路状況予測

(1) 対象地域の再選定

ダメージを受けた道路ネットワークにおける道路状況を推定するには、ミクロシミュレーションが適している。しかし、本研究で取上げた4区全体は、ミクロシミュレーションを用いて道路状況を推定する範囲としてはやや広いと思われる。そこで本章では東山区を対象とすることにしたい。東山区は京都市の中でも歴史的建造物が多く存在し、歴史的な価値が高い。また木造住宅密集地域でもあることから道路ネットワークは脆弱であると考えられる。そのために、また、文化遺産防災のためにも、災害が起きた後の状況を予測する必要性が高いと言える。

(2) 本研究で用いるシミュレーションソフト

本研究の対象範囲は東西約400m×南北約1700mの道路ネットワークであり、再現すべき交差点は十数個

である。この条件を考慮し、Kyoto University & Newjec Simulation Assistant of traffic Kinetics for Urban Road network Assessment（以下、KUNJ-Sakura）を用いることとした。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』の略称であり、十数km²程度の区域における数十カ所の交差点を持つネットワークに対し、追従モデル等を利用して車両1台1台の挙動を把握し、ネットワーク内の動的な交通流の状況が把握可能なミクロシミュレーションソフトであり、本研究の範囲に適切に利用できる交通流シミュレーションソフトである。

（３）災害時シナリオ

大規模な地震が都市を襲った時には、機能障害が生じた道路網に安否確認の車両や、緊急輸送および救援活動の車両等が入り混じり、混乱した状況となるであろう。このような状態に対処できるような対応策が求められているが、災害発生直後の道路交通状況や交通需要を一意的に求めることは難しい。そのため、車両に与える影響が大きいと思われる事象を抽出し、各事象の変化を組み合わせることで複数の災害時のシナリオを想定することとした。そして、想定したシナリオにおいて、ミクロシミュレーションを行い、災害時における道路交通状況を予測した。

本研究で基本としたシナリオは、①冬季の11時に花折断層を震源とする地震が発生した。②東山区の震度は7であり、余震は発生していない。③3時間後の14時には、発災直後の戸惑い状態からある程度回復しつつある。④観光客は少なかった。以上の条件に基づき、通行不可区間の有無、信号の被害状況、橋の損害状況、鉄道の被害状況など、各事象の変化を組み合わせることで複数の災害時のシナリオを作成した。①～④の条件はシミュレーションの初期状態を調節することによって表現した。地震が発生して影響された道路ネットワークは通行可能率を利用して閉塞した道路区間として設定した。そして、余震がないと想定し、そのネットワークに変化がないと設定した。③の条件は大きな振動等で、運転手は最初運転をやめ、車を止め、様子を見ながら状況を少しずつ把握する行動をとると想定した。そして、ほとんどの車両が再び動き始める時間を3時間程度に想定し、14時台の交通流状況を表現することとした。観光バスなどの挙動に関しては把握できなかったため、観光客の影響はほぼないことと想定した。以下、これ以外の条件に関してケースごとに説明する。

a) 五条大橋の被害状況を考慮する場合(ケースⅠ)

阪神・淡路大震災においては、橋梁（高架構造物を含む）への損傷が大きいことが記録されている。東山区においても、地震が発生した場合、橋梁の損傷による交通への影響を考慮する必要がある。特に、五条通は都市中心部を貫く国道1号線であり、下京区と東山区の境界に位置する五条大橋は対象地区周辺の道路ネットワークの要である。そのため、五条大橋が機能障害を起こし通行不可となれば、その影響は非常に大きいと思われる。そこで、五条大橋が通行不能となった場合をケース1とした。ケース1におけるその他の条件は表1に示すとおりである。しかし、ケース1では信号の被害がないことと想定している。一般的に震度7クラスの地震では、橋が被害を受けると、信号も被害を受けることになると思われるが、本研究においては、橋の被害による災害時交通状況と信号の被害による災害時交通状況を区別するために、あえてケース1では信号の被害がないことと想定した。

ケース1のシミュレーション結果を図8に示す。その結果、五条大橋が地震により通行不可の状態になった場合、五条通からの流入交通車両は河原町五条交差点で四条通と七条通に迂回し、次第に四条通と七条通に渋滞が発生する可能性が非常に高いことが予想される。道路交通が極度に混乱し、緊急・救援車両も通行できない状態になる可能性もある。

表1 被害状況の予測 ケースⅠ

被災状況の予測	通行不可空間	緊急道路確保	高速道路の被害	鴨川に架ける橋の被害	信号の被害	鉄道の被害
有	○	○		○		○
無			○		○	

表2 被害状況の予測 ケースⅡ

被災状況の予測	通行不可空間	緊急道路確保	高速道路の被害	鴨川に架ける橋の被害	信号の被害	鉄道の被害
有	○	○			○	○
無			○	○		



図8 ケースⅠによる14時台東山区の渋滞箇所



図9 ケースⅡによる14時台東山区の渋滞箇所

b)信号被害を考慮する場合（ケースⅡ）

地震による発電所の送電停止、鉄塔の倒壊、電柱の倒壊などによって、道路上の信号機が機能を失う可能性が大きい。そこで、東山区にあるすべての信号機が停止する場合を想定した。具体的には、ミクロシミュレーションにおいて、すべての交差点を信号が設置されていない交差点として扱った。この状況をシナリオのケースⅡとし、詳細な条件は表2に示す。そして、この状況下の旅行速度は図9に示す。

その結果、各交差点で大規模な渋滞が発生し、特に三条通、四条通、五条通、および五条通とクロスする東大路通では極度に混雑し、救出・救援活動や消防活動に支障を生じることも予想される。

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

災害時においては、道路交通が極度に混乱し、緊急・救援車両も走行できない状況となる恐れがある。本研究は、域外ゾーンからの流入に対して規制を行い、流入交通量を削減することで渋滞を緩和させるマネジメントについて検討する。

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、自動車における交通需要の抑制として対象地域外からの流入交通を規制することが考えられる。また、すべての主要流入部において域外からの流入交通を抑制することも検討する。

（2）主要流入部における交通量抑制の効果

まず、4区を中心とした配分結果における渋滞リンク数については、三条通と五条通りからの一般車両の流入交通を一時的に閉鎖することによって、全域に渡り災害時と比べ、53.7%（54個→25個）減少した。その近辺だけでなく、4区全体で渋滞が緩和された可能性がある。また、主要流入部のすべてにおいて域外からの流入交通量を半減させることによって、渋滞リンク数は68.5%（54個→17個）減少され、ほぼ平常時の状態に戻ったと思われる。

7. 終わりに

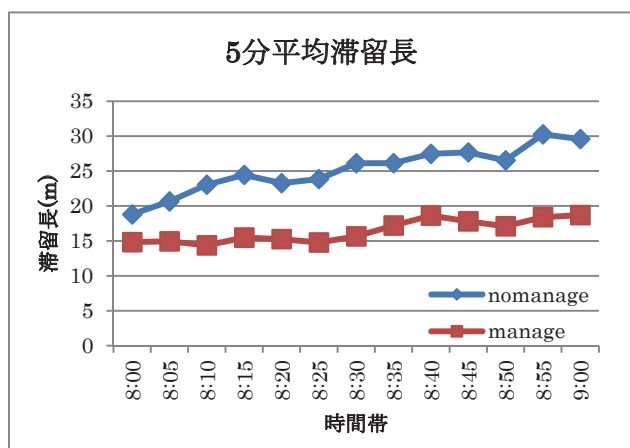


図10 マネジメント有無による平均滞留長

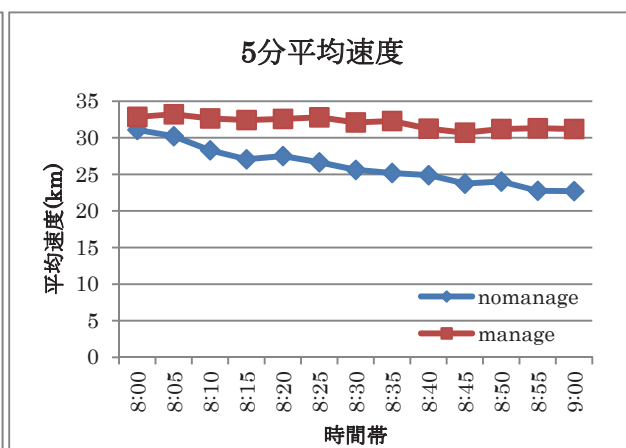


図11 マネジメント有無による平均速度

本研究では発災直後の交通需要を推計するとともに、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、災害時における自動車交通量および渋滞箇所を把握した。さらに、ミクロシミュレーションを用いて、ダメージを受けた道路ネットワークにおける災害発生当日の道路交通状況を検討した。シミュレーションにおける災害条件としては、五条大橋の倒壊、および全交通信号の機能停止の2つのシナリオを設定した。

その結果、いずれの場合にも道路の処理能力を低下するに大きな影響が生じることが確認された。減災のための対策としては、これらの事態が生じないように橋梁の耐震性強化や交通信号の強靱化が望まれるが、これを完全に実施することは困難である。このため、災害時を想定した交通マネジメントが重要となる。京都市における災害時の交通マネジメントとしては、主要流入部における流入交通量の削減が有効であると考えられる結果となった。

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) 松本誠・小谷通泰・帕尾哲哉：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) 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) 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
- 5) 安隆浩・塚口博司・久下紗緒里・小川圭一：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、歴史都市防災論文集、vol. 6、pp. 281-288、2012
- 6) 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>
- 7) 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.
- 8) 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/trafnpolicy/census/index.html>>
- 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/kihonnstekikanngaekata.pdf>>
- 10) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告—交通施設と農業施設の被害と復旧—p. 13-24
- 11) 八木昭憲：「文化遺産防災のための災害時交通マネジメントに関する研究」立命館大学修士論文 2008年2月
- 12) 木村玲欧・林春男・立木茂雄・浦田康幸「阪神・淡路大震災の被災者の移動と住まいの決定に関する研究」『地域安全学会論文集 No. 1』pp. 93-102、1999年11月
- 13) 松本誠・小谷通泰・帕尾哲哉・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