

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

A Study of Traffic Management for Disaster Mitigation of Heritages in 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 G-COE ポスドク研究員 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

G-COE PD Research Fellow, 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 traffic management in a network near Kennin temple. We found traffic congestion was improved by restricting inflow traffic into Kyoto.

Keywords : *traffic management, disaster mitigation, heritages, historical city*

1. はじめに

本研究では、数多くの文化財を有する歴史都市、京都市を対象として、災害時交通マネジメントに関する検討をおこなう。これは防災の様々な側面の一つである文化遺産防災に着目しているためである。また、京都市は年間5000万人の観光客が訪れる観光都市でもある。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、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。そして、幅員が狭い道路も多く残されているため、災害が発生すれば多大な被害が予想される。さらに、国宝や重要文化財のような文化遺産が失われる恐れもある。

本研究の目的は、災害時に文化遺産の被害を最小限に収めるための交通マネジメントに関して検討することである。その方法として、災害時交通需要とネットワークの状態を推定して災害時における交通状況を把握し、渋滞が起こった箇所の交通マネジメントに関して考察する。

2. 対象地域と対象道路ネットワーク

(1) 対象地域

表1 京都市内の文化財数（国宝、重要文化財のみ）

行政区	北区	上京区	左京区	中京区	東山区	山科区	下京区	南区	右京区	西京区	伏見区
国宝	5	2	4	1	8	-	5	5	3	-	7
重要文化財	23	8	19	3	45	2	9	9	21	3	16

本研究では、図1に示す上京区、中京区、下京区、東山区の4区をより精緻な交通状況把握のために選択している。このうち、上京区、中京区、下京区は京都市の中心部に位置しており、経済活動が活発に行われる市内中心地として機能している。これら3区は京都市の都市活動の中心地であり、オフィス、商店街、飲食店などが集中しており、一方で観光客で賑わう場所でもある。また、表1¹⁾に示したように、東山区には国宝、重要文化財等といった文化遺産が数多く位置している。本研究において、上記のような4区の災害時交通状況を把握することにより、人が集まるところと文化遺産が密集しているところの防災を同時に考慮することができると考えられる。

(2) 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。

(3) 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、閉塞してしまう道路区間をこれら既往研究の中、道路幅員のみ考慮した通行可能率を用いている。それは、2. (2)で重要道路区間として抽出された道路における道路幅員が12m以下の狭い道路は比較的少なく、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。

(4) 対象ネットワーク

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。一

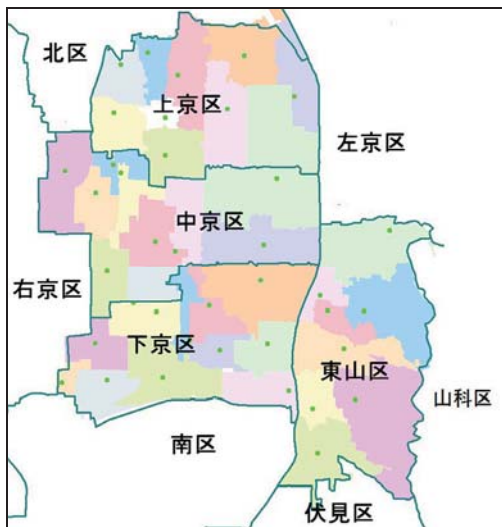


図1 京都市4区

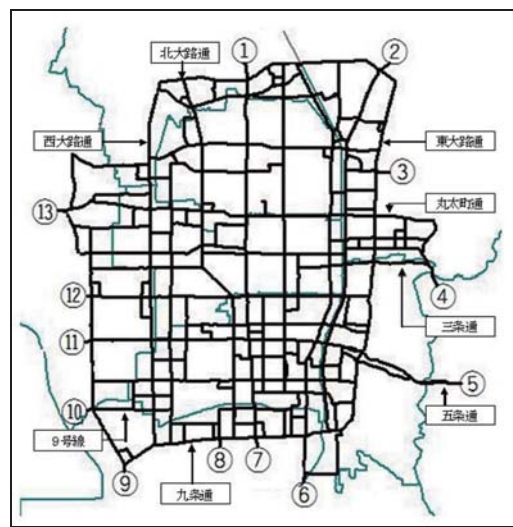


図2 対象地域ネットワーク

一般的に、対象地域外に位置している道路リンクはダミーリンクとして扱うが、対象地域外の交通需要がネットワークに直接つながっている時、悪影響を最小限に収めるため、交通配分を行う際、これらリンクを実リンクとして扱っている（以下、このネットワークを全域と呼ぶ）。

そして、域内ゾーンは平成17年度の小学校区とし、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13個のダミーゾーンに分けている。図2には対象地域ネットワークを示す。平常時にはこのネットワークすべての道路区間が利用されるが、災害時には道路通行可能率を用いて閉塞される道路を考慮するとともに、緊急車両用の道路を確保するため、緊急輸送道路の容量を調節した（詳細は後述する）。

3. 平常時における交通需要推定

(1) 交通需要推定方法

本研究においては、平常時の交通需要推定方法として広範囲で一般的に利用されている4段階交通需要推定方法を使用する。なお、平常時の交通需要を推定する際に必要な基本データは第4回京阪神都市圏パーソントリップ調査（以下PT調査）データ⁵⁾を活用している。交通需要を推定する時間帯は通勤・通学が多い時間を想定して8時台と設定する。また、分析の精緻化を図るために利用した分布交通量と配分交通量に関する推計方法に関して説明を追加する。

a) 分布交通量

対象地域内における分布交通量は、回帰分析を用いて式1に示した重力モデルのパラメータ（ k 、 α 、 β 、 γ ）を推定した後、その式を用いて求める。さらに、トリップエンド条件が合わない場合を考慮し、フレータ法⁶⁾を用いて修正を行う。ただし、フレータ法は対象地域全域で行うのではなく、行政区単位で行うことにより、精度の向上を図った。

$$X_{ij} = \frac{k \cdot G_i^\alpha A_j^\beta}{t_{ij}^\gamma} \quad \text{式1}$$

b) 配分交通量

本研究において、配分交通量は利用者均衡配分になるようにFrank-Wolfe法⁷⁾（以下FW法）を使う。FW法は使用される経路は皆所要時間が同じになり、遅い経路は利用しないように配分する方法である。そのため、収束した結果は利用者均衡状態を満たすことができ、比較的精度が良いといわれている。収束条件は全てのリンクにおける総交通量に対する前回の交通量と今回の交通量との絶対値誤差（便宜上二乗の平方根を使用）の合計値の比率が0.002%以下であることとする。式2に収束条件を示す。また、方向別リンクを区別して配分を行うこととする。

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i,j} \sqrt{(Volume_t^{i,j} - Volume_{t-1}^{i,j})^2}}{\sum_{i,j} Volume_t^{i,j}} \leq 0.002\% \quad \text{式2}$$

(2) 平常時配分交通量の推定結果

配分交通量を算出した結果が実際の交通状況をよく再現しているかを検討するために、実測値である平成17年度道路交通センサスの区間交通量⁸⁾と比較する。しかし、道路交通センサスデータでは、タクシー、トラック等の営業車両が含まれているのに対し、PT調査データには営業車両が含まれていない。そのため、両データを直接比較することはできない。そこで、実測値との整合性を取るため、道路交通センサスデータを用いて、ピーク時の乗用車両と貨物車両の台数を比較することにより、営業車両の混合率を検討した結果、配分時間帯である8時台における貨物車の混合率は20%程度であった。すなわち、全交通量に対して、20%が貨物車両であったので、8時台のOD交通量を1.25倍したものを、営業車両を含めた8時台推定値と想定し、実測値と比較した。その結果を図3に示す。

図3を見ればわかるように、全体的に実測値に近い結果となった。営業車両の混合率が20%程度であることが確認された。また、相関係数は0.744となり、ある程度、実際ネットワークの交通状況を再現していると言える。

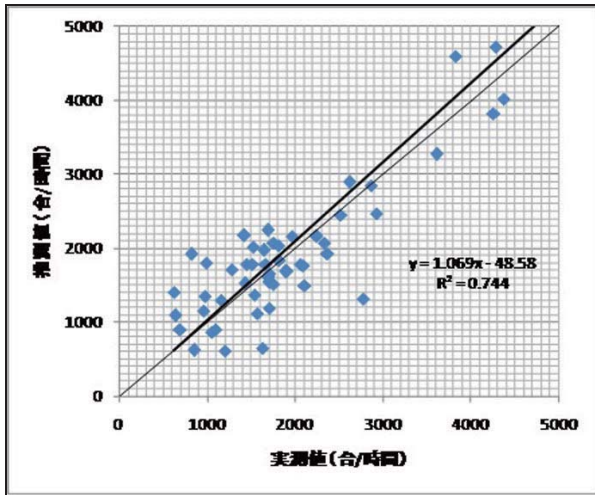


図3 実測値と推定値の比較

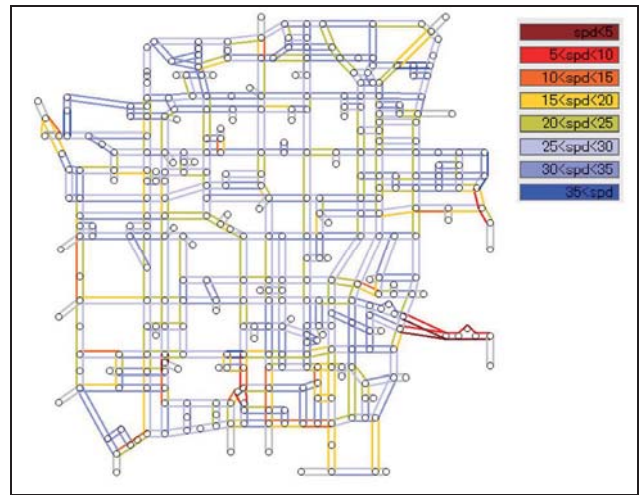


図4 平常時8時台における旅行速度

図4には、推定した平常時配分交通量に対するネットワークの区間速度を示している。警察庁およ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⁾より旅行速度が10km/h以下のリンクを渋滞、20km/h以下を混雑と定義し、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。結果として、4区渋滞リンクは9か所、混雑リンクは33か所あった。

4. 災害時における交通需要推定

(1) 災害時交通需要推定の流れ

災害時における交通需要の推定は、概ね平常時と同様にPT調査データと対象地域ネットワークを利用するが、災害時の交通需要は平常時と異なることが容易に想像される。また、ネットワークも沿道建物の倒壊等によりある区間が断絶したりすることがある。したがって、閉鎖される道路区間を考慮したネットワークを想定し、配分交通量を求めなければならない。

災害時交通需要推定の流れとしては、まず、震災発生後における交通需要を予測し、災害時自動車分布交通量を把握する。次に、設定した災害時の道路ネットワークにおいて配分計算を行うことで、災害時における自動車交通量及び渋滞箇所等を把握する。

a) 災害時交通需要

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、震災前にと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。災害時の交通行動に関しては、阪神・淡路大震災の実態調査¹⁰⁾と京都市民アンケート調査の結果を参考¹¹⁾とした。災害時の自動車交通行動として考えられるのは、避難・安否確認・状況把握等の交通量が増加することが予想される。一方、観光・買い物等の交通量は減少することが予想される。

b) 災害時道路ネットワーク

災害時には建物や道路構造物の倒壊、道路自体の損壊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2. (3)で前述した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。

(2) 災害時自動車交通量の算出

阪神・淡路大震災の実態調査により得られたデータから、平常時に行われている行動目的のうち、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明らかにされている。そこで、PT 調査データを用いて出勤目的の全交通手段交通量を求める。その後、阪神・淡路大震災の実態調査¹⁾及び京都市民アンケートによって得られた結果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る。

その結果、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%の範囲となることがわかった。さらに、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行意思を調べると、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った。同様に、被害が小さいほど通勤トリップは増大し、全目的交通量は増大する。ここで、災害発生時においては、道路ネットワークへの被害がある程度存在すると思えるが、どの自宅周辺の状況が問題に直面するかわからないので、3 節で記述する道路閉塞基準である確率 0.5 を用いて、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。その結果、震災 2 日目の 8 時台における自動車分布交通量の割合は 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。したがって、災害時 8 時台自動車分布交通量は平常時 8 時台自動車分布交通量の 73%であると設定し、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

災害時の京都市内における道路ネットワークの被害状況の設定には通行可能率を使う。本研究において用いている通行可能率は、花折断層地震が京都市消防局の設定した震度 7 になる場合を想定して求められた通行可能率である。

この通行可能率を京都市における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選定することとする。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 以上のリンクのみで構成されるネットワークで災害時交通配分を行うこととする。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。また、「京都市の主な社会基盤」¹⁾によれば、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、一般交通に規制をかける。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は 1 車線分の交通容量を削除した。

(4) 配分交通量の推定結果

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 5 に示す。閉塞リンクは点線で表示し、平常時と同様に色で旅行速度を表した。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。図 5 によれば、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分かる。

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

本研究において、対象地域の全域に対して交通マネジメントを行うのは現実的に困難である。メディアを通じて交通需要の抑制を促すことは可能ではあろうが、京都市における帰宅困難者や安否確認交通をすべて統制することは難しい。また、本研究の目的で述べたように、文化遺産を守るという観点から交通マネジメントを行わなければならない。

そのため、本研究で交通マネジメントを行う対象地域は災害時交通需要を推定する時の対象地域より狭める必要があると考えた。しかし、本研究では、交通需要を調節することによって交通マネジメントを行うが、その影響は全体ネットワークに及ぶと予想される。したがって、対象地域そのものを狭めるということよりは重点的に観察する場所を狭めたといえる。

(2) 対象地域

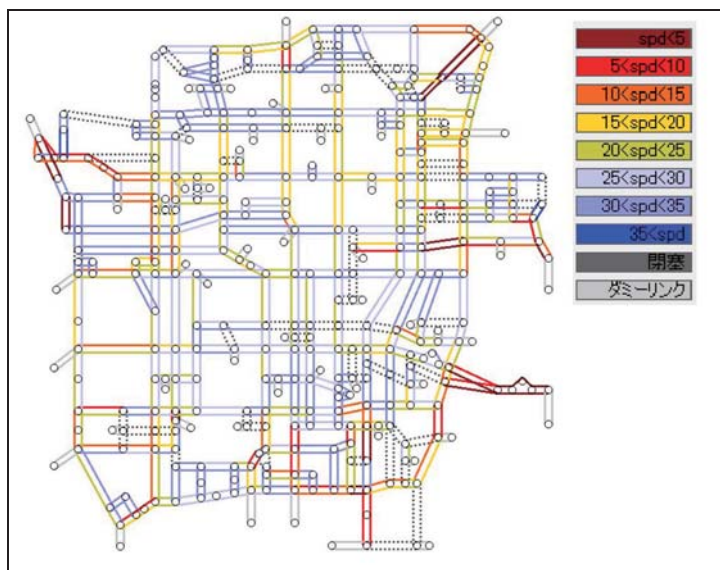


図5 災害時8時台における旅行速度

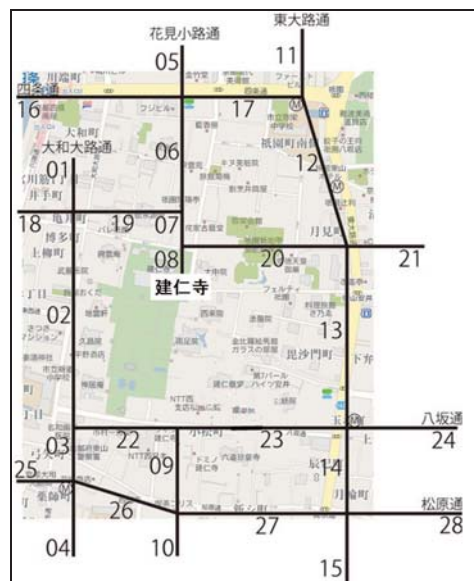


図6 対象ネットワークとリンク番号

a) 概要

対象ネットワークは建仁寺周辺の重要道路区間と建仁寺につながっている街路により構成されている。図6にその位置関係とリンク番号を示す。四条通と東大路通、八坂通、松原通、大和大路通は重要道路区間に属しているが、6番、7番、8番、9番と19番、20番は重要道路区間に属していない。これらのリンクは道路幅員が狭く、沿道建物の状況により通行が困難になる場合が生じる。そのため、2. (3)で記述した道路幅員のみ考慮した通行可能率ではなく、沿道建物の状況も考慮した通行可能率を計算する必要がある。しかし、4区内すべての沿道建物の状況を把握することは困難なため、上京区を対象地域とした塚口・小川³⁾の研究を参考にして、通行可能率を設定した。また、重要道路区間ではないリンクは交通配分計算ができないが、通行可能率を低くするという仮定下、閉塞リンク化させて交通配分計算には影響を与えないよう設定した。

b) 道路通行可能率

対象地域における道路通行可能率は、第2章で説明した重要道路区間の道路通行可能率を利用する。しかし、上記したように、重要道路区間ではないリンクに関しては、塚口・小川³⁾の研究を参考にして通行可能率を設定した。その研究では、道路幅員が4m以下道路の通行可能率は0.2以下であったため、その数値を参考にして、それより低い数値に設定した。表2に道路リンク番号と通行可能率を示す。

c) 閉塞リンク

災害時閉塞されるリンクは道路通行可能率が0.6以下と設定した。その結果、四条通、東大路通を除いた全てのリンクが閉塞する結果となった。そのため、建仁寺に直接行ける経路はなくなってしまい、交通需要を調節することより閉塞された道路区間の復旧が最大の課題になることがわかった。もし、通行可能率が

表2 道路リンク番号と通行可能率

リンク番号	通行可能率	リンク番号	通行可能率
2	0.51	15	0.98
3	0.51	16	1.00
6	0.10	17	1.00
7	0.10	19	0.10
8	0.10	20	0.10
9	0.10	22	0.15
11	0.95	23	0.15
12	1.00	26	0.59
13	0.98	27	0.56
14	0.97	-	-

0.5以下であるリンクが閉塞されるように設定すれば、大和大路通と松原通が残るが、いずれにせよ、建仁寺には行けない。本研究では、交通マネジメントに関して検討を行っているので、より厳しい災害状況を表す通行可能率0.6以下が閉塞するネットワークを用いて交通マネジメントに関して検討する。

d) 交通量配分の結果

本研究では、交通量配分方法を利用して、対象地域における災害時交通状況を把握する。したがって、第4章で求めた災害時交通需要を上記の閉塞リンクを除いたネットワークに配分して、災害時交通状況を再現する。図7aに配分結果を示す。

図7aを見ればわかるように、建仁寺周辺のリンクはすべてが途絶されている。直接ではないが、四条通、東大路通は無事であり、渋滞も混雑もない状態になっている。しかし、五条通と清水寺に入る入口付近の南側は混雑が発生している。災害により、交通需要が3割程度減少しているにもかかわらず、山科区方面に向かう交通が集中する五条通（国道1号）では渋滞が発生している。また、東山消防署が混雑が発生している15番リンク区間にあるため、ここの渋滞に対して交通マネジメントが必要となる。

(2) 交通マネジメント

a) 対象地域の交通マネジメント

対象地域における災害時交通マネジメントとして問題点となるのは、建仁寺周辺における地震による連結路の途絶である。もちろん、文化遺産を守ることより、建仁寺を訪ねた観光客や近傍に住む住民を最優先的に守らないといけないが、本研究における研究目標はできれば同時に両方が守れるようにすることである。そのため、対象地域ネットワークの中で、閉塞している道路を復旧することは大事である。閉塞していた道路が通行可能になることによって、観光客、あるいは、住民は広域避難所に退避することができる。また、建仁寺そのものの被害も、例えば、火災による建物の延焼や地震の揺れによる建物の倒壊などが挙げられるが、早い段階で修復することができる。

しかし、閉塞している道路を復旧するにも、建仁寺中の火災や倒壊を修復するにも、そこまで到達する必要があるが、図7aを見ればわかるように、東山消防署はリンク番号15番より南に位置しており、消防署から閉塞している道路の入り口付近まで緊急車両が行こうとしても混雑が起きていることが確認できる。したがって、15番リンクの混雑を減らす交通マネジメントが必要である。第4章で推定した災害時交通需要のままでは、混雑は減らないので、本研究では15番リンクの交通量を減らす交通マネジメントとして、3つのケースを検討することとする。

ケース1では、対象地域北側の三条通と南側の五条通が混んでいることから京都市中心部と山科区方面との間で流出入する交通に交通規制をかけたOD分布交通量を想定して交通配分を行う。ケース2では、観光客および山科区以東の住民など、帰宅困難者らは自宅に帰れるよう、京都市中心部から山科区方面に流出する交通は許可し、山科区方面から京都市中心部に流入する交通は規制するOD分布交通量を想定して交通配分を行う。ケース3は五条通より南側にも混雑が見られたことにより、ケース2に大阪方面から京都市中心部に流入する交通も規制したOD分布交通量を用いて交通配分を行う。図2の対象地域のダミーゾーン番号で表すと、ケース1は4番と5番の流出入交通量を両方規制し、ケース2は流入交通量のみ規制する。また、ケース3はケース2に加え、6番の流入交通量も規制することとする。

b) 各ケースの配分結果

図7b～dに各ケースの配分結果を示す。ケース1では、京都市中心部と山科区方面とを結ぶ五条通の東西区間の交通量が劇的に減少していることが確認できる。しかし、京都市中心部から山科区方面に行く帰宅困難者の経路も交通規制しているので、ここまで交通マネジメントができないかもしれない。また、15番リンクの混雑は解決できていない。ケース2でも同じ結果となり、五条通の東西区間の流入区間は交通状況が改善されているが、東大路通の15番リンクは混雑している。

一方、ケース3では、五条通の東西区間と東大路通の15番リンクの両方が改善されていることが確認できる。すなわち、域外から京都市中心部に流入する交通量を抑制する交通マネジメントをすることにより、建仁寺周辺の交通状況は良くなることがわかった。また、東山消防署がある15番リンクの交通状態を改善する

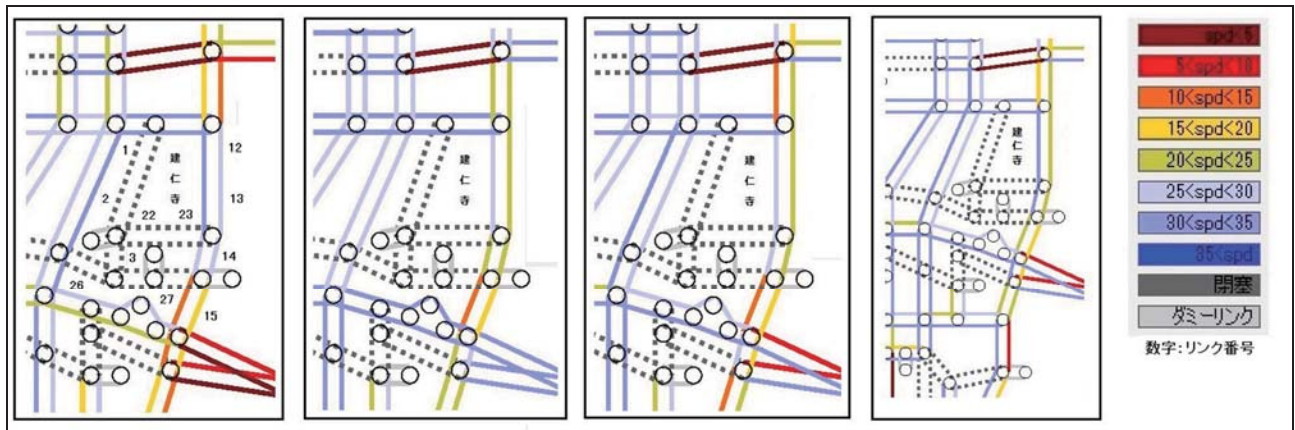


図7 a. 災害時交通状況、b. ケース1の配分結果、c. ケース2の配分結果、d. ケース3の配分結果

ためには、大阪方面からの流入交通量を抑制する交通マネジメントをしなければならないことが示唆された。

6. まとめ

本研究はPT調査データと道路通行可能率を用いて交通量配分を行い、災害時の交通状況を把握した。また、建仁寺を対象文化遺産として設定し、その周辺における交通状況の問題点を検討し、交通規制による交通マネジメントを行ってその改善効果を把握した。その結果として、京都市中心部に流入する交通量を抑制することにより、東山消防署から建仁寺までの区間における交通状況が多少改善することがわかった。

今後の課題としては、今回の交通マネジメントは交通需要を抑制する交通規制を行ったが、大阪方面と山科区方面から流入する交通量を規制したため、建仁寺周辺のネットワーク以外にもその影響が及ぼしたと考えられる。したがって、対象地域周辺のみを規制するなど、より狭い範囲で行える交通マネジメントに関する検討を必要とする。

参考文献

- 1) 京都市消防局：京都市の主な社会基盤、2003（参考：<http://www.city.kyoto.lg.jp/shobo/page/0000015600.html>）
- 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) 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-pt.com/index.html>）
- 6) 新谷洋二編著・技報堂出版：都市交通計画（第2版）、2003
- 7) 佐佐木綱監修・飯田恭敬編著・国民科学社：交通工学、1992
- 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）、2005（参考：<http://www.city.kyoto.jp/tokei/trafficpolicy/census/index.html>）
- 9) 警察庁：道路交通情報の提供の在り方に関する基本的考え方、2002（参考：<http://www.npa.go.jp/koutsuu/jouhou/kihontekikanngaekata.pdf>）
- 10) 松本 誠・小谷通泰・峠尾哲哉・今井秀幸：災害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・淡路打診細に関する学術講演会論文集、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、2007.9
- 12) 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