

避難時の交通容量を考慮した 歴史都市における観光客の避難経路に関する検討

A Study on the Evacuation Routes for Tourists in Historical Cities Considering Traffic Capacity

小川圭一¹・南和憲²・前川貴哉³・塚口博司⁴・安隆浩⁵

Keiichi Ogawa, Kazunori Minami, Takaya Maegawa, Hiroshi Tsukaguchi and Yoongho Ahn

¹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, Department of Civil Engineering, College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

²奈良県 (〒630-8501 奈良県奈良市登大路町 30)
Nara Prefectural Office

³阪急不動産株式会社 (〒530-0017 大阪府大阪市北区角田町 1-1)
Hankyu Realty Co., Ltd.

⁴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, Department of Civil Engineering, College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

⁵立命館大学特任助教 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)
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

In this paper, evacuation routes for tourists from cultural heritage as sightseeing spots to evacuation sites are identified and analyzed in Higashiyama Ward in Kyoto City, which is a typical historical city in Japan. Evacuation routes from cultural heritage to evacuation sites are identified from the viewpoints of distances, reachability rates in disaster situation and numbers of links. Then, problems of current situations in identified evacuation routes are evaluated from the viewpoints of traffic capacity.

Key Words: *cultural heritage disaster mitigation, historical city, tourist, evacuation planning, traffic capacity*

1. はじめに

数多くの文化遺産を有する歴史都市は、多くの観光客が訪れる観光都市でもある。そのため、歴史都市の防災においては、一般的な都市防災に加えて、地理不案内な観光客の避難誘導についても計画をおこなう必要がある。しかしながら、実際の地域防災計画では観光客に対して避難場所を周知するのみに留まっており、具体的な避難誘導方策は示されていないのが現状である。

筆者らはこれまで、文化遺産を数多く有する歴史都市の防災計画に対して、おもに交通計画の視点から研究をおこなってきた。このうち災害時の避難に関する研究としては、代表的な歴史都市である京都市の市民を対象にアンケート調査をおこない、大規模災害時に想定される避難行動を含めた交通行動について分析するとともに、これらにもとづく災害時の交通需要の推計や、文化遺産防災を考慮した交通マネジメントのあり方について検討をおこなっている¹⁻⁸⁾。また、歴史都市、観光都市の特徴である観光客の避難行動や避難計画に関する研究としては、京都市の中でもとくに多くの観光客が訪れる東山区において、観光客を対象としたアンケート調査をおこない、東山区内における観光客の交通行動について分析をおこなうとともに、東山区内の各地域における観光客の時間帯別滞留状況の推計や、観光スポットから避難場所までの想定される避難経路の抽出方法とその特性の分析をおこなっている⁹⁻¹³⁾。

本研究ではこれらをもとに、既存研究において距離、到達可能率、リンク数といった評価指標によって抽出された観光スポットから避難場所までの避難経路を対象として、避難時における避難経路の交通容量について検討し、迅速な避難のための観光客の避難経路に関する検討をおこなうこととする。

対象地域としては、代表的な歴史都市であり、多数の観光客が訪れる京都市東山区を取り上げる。具体的には、東山区の中でも多数の観光客が訪れている清水寺、高台寺、京都国立博物館、三十三間堂の4箇所の観光スポットを対象とする。これらの観光スポットからもっとも近い広域避難場所は、4箇所ともに円山公園である¹⁴⁾。このため、各観光スポットから避難場所に向かう避難経路が重複した場合、混雑によって避難に要する時間が大きくなることが考えられる。このため、避難時における避難経路の交通容量について検討し、必要に応じて避難経路を分散させることが必要であると考えられる。

2. 避難経路の抽出方法と道路リンクの交通容量

(1) 避難経路の抽出方法

観光客の避難を考える上では、避難場所までの距離や避難容量のみでなく、地理不案内な観光客にとってもわかりやすい避難経路を考える必要がある。また、災害時には幅員の小さい道路は沿道建造物の倒壊や路面の損傷によって通行できない可能性も存在することから、災害時にもできるだけ通行できる可能性の大きい経路に誘導することも必要である。

そこで筆者らは既存研究において、京都市の道路ネットワーク形状にもとづき、複数の評価指標にもとづく避難経路の抽出をおこなった^{10,11,13)}。具体的には、距離最小化、到達可能率最大化、リンク数最小化という避難経路に必要となる3種の評価指標を用いることとする。

距離による抽出は、単純にもっとも距離の短い経路の抽出となる。到達可能率による抽出は、後述する各リンクにおける災害時の通行可能率の積により避難経路全体の到達可能率を算定し、その値がもっとも大きい経路の抽出をおこなう。リンク数による抽出は、道路リンクが交差点間の単路部であることから、交差点の数がもっとも少ない経路の抽出となる。これは経路中に含まれる交差点数を少なくすることにより、観光客が避難経路から逸脱する可能性がある箇所を減少させ、地理不案内な観光客に対してわかりやすい経路誘導ができるという仮定にもとづいている。

なお、現実的には観光マップにおける記載の有無などにより、観光客にとってのわかりやすさの差異が存在すると想定されるが、本研究では距離、到達可能率、リンク数の3種の評価指標のみを考慮し、その他の条件は考慮していない。今後は、これらの条件も考慮した評価指標の統合が必要であると考えられる。

(2) 通行可能率の設定方法

本研究で取り扱う道路リンクの通行可能率とは、地震発生時にその道路が通行可能である確率を、幅員とリンク長に応じて設定した値である¹⁵⁻¹⁷⁾。

既存研究において、阪神・淡路大震災時の神戸市における道路閉塞状況のデータをもとに、道路幅員別のリンク長100mあたりの通行可能率が表1のように示されている^{18,19)}。これをもとに、道路閉塞がポアソン分布にしたがうと仮定して、幅員とリンク長に応じて各リンクの通行可能率を設定している。なお、本研究では震度6の地震の場合を想定した通行可能率を用いている。

表1 道路延長100mあたりの通行可能率(震度6)^{18,19)}

道路幅員 (m)	通行可能率 (歩行)
~4	0.579
4~6	0.630
6~8	0.716
8~	1.000

(3) 道路リンクの避難者数の設定方法

道路リンクを通行する避難者数は、京都市による統計調査と筆者らによる観光客へのアンケート調査にも

とづき、既存研究によって推定された各観光スポットの滞留人数にもとづいて算定する。

本研究では、同一の観光スポットからの避難者はすべて同一の避難経路を使用するものとして、推定された各観光スポットの滞留人数が、上述の3種の評価指標によって抽出された避難経路上の道路リンクを通行するものと仮定する。また、複数の観光スポットからの避難経路に含まれる道路リンクに対しては、すべての観光スポットの滞留人数をあわせた避難者数が、当該道路リンクを通行するものと仮定する。

具体的な各観光スポットの滞留人数の算定方法については、筆者らの既存研究を参照されたい¹²⁾。ここでは、観光客のもっとも多い11月の昼間時(12時)における観光客数を用いることとした。既存研究によって推定された各観光スポットの滞留人数と、観光スポットや主要駅の間を移動している観光客数は図1、図2のようになっている。なお、観光スポットや主要駅の間を移動している観光客数は、各観光スポット、主要駅間の移動交通量を個別に推計した上で、主要な幹線道路や、観光マップなどに記載された道路区間上を移動しているものと想定し、移動経路として想定される主要道路区間ごとに集計した値を示している。

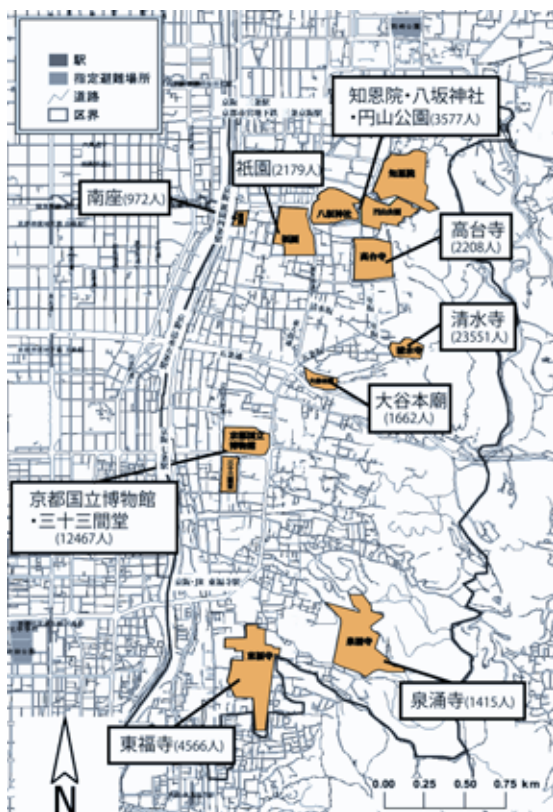


図1 各観光スポットにおける観光客数(12時)¹²⁾



図2 各観光スポット間を移動する観光客数(12時)¹²⁾

(4) 道路リンクの交通容量の設定方法

避難経路に含まれる道路リンクの交通容量は、「都市防災実務ハンドブック」の記載内容にもとづき、避難時における1人当たりの占有面積(1m²/人)と歩行速度(2km/h)から、避難場所まで2時間以内で到達できる人数と仮定している²⁰⁾。

これによると、避難経路上の道路リンクにおいて必要な道路幅員は以下のように表される。

避難に必要な幅員 (m)

$$= \text{避難者数 (人)} / \text{避難歩行密度 (1人/m}^2\text{)} / \text{歩行速度 (2km/h)} / \text{総避難時間 (2h)}$$

これが震災時に利用可能と考えられる道路幅員(現況の道路幅員から、地震による建物倒壊や落下物等による閉塞、駐車・放置車両による閉塞により使用できない幅員を減じて求めた、避難のために利用できる幅員)よりも小さければ、避難に必要な交通容量が満たされていると考えることができる。一方、これが震災時に利用可能と考えられる道路幅員よりも大きければ、避難場所まで2時間以内で到達できないことになり、

避難に必要な交通容量が満たされていないと考えることができる。

3. 避難経路の交通容量の検討結果

前章の方法にもとづき、清水寺、高台寺、京都国立博物館、三十三間堂の4箇所の観光スポットから、最寄りの広域避難場所である円山公園までの避難経路について、距離、到達可能率、リンク数による避難経路の抽出をおこない、各道路リンクを通行する避難者数を算定する。なお、これら4箇所の観光スポットの周辺には円山公園以外の広域避難場所も存在するため、複数の広域避難場所に分散させて避難することも考えられるが、現実的な避難誘導をおこなう上では同一の観光スポットから複数の広域避難場所に分散させて誘導することは困難であると考え、ここでは最寄りの広域避難場所である円山公園のみを避難場所として想定することとした。

距離、到達可能率、リンク数による避難経路の抽出結果について、それぞれ図3～図5に示す。各々の避難経路には多数の道路リンクが含まれるが、ここでは避難者数が同一となる区間ごとにこれを区分し、それぞれ区間E1～E7、区間A1～A7、区間C1～C7として表示している。

これをもとに、避難経路に含まれる各道路リンクについて、避難者数にもとづく「避難に必要な幅員」と、実際の道路リンクにおける「利用可能な幅員」とを比較する。ここで、上述の区間E1～E7、区間A1～A7、区間C1～C7では、それぞれ避難者数および避難に必要な幅員は同一であるため、各々の区間の中で利用可能な幅員がもっとも小さい箇所がボトルネックとなる。このため、区間E1～E7、区間A1～A7、区間C1～C7の各々について、避難者数にもとづく「避難に必要な幅員」と、実際の道路リンクにおける「利用可能な幅員」とを比較すれば良い。この結果を表2～表4に示す。

表2～表4をみると、距離によって抽出された避難経路では、多数の観光客が存在する清水寺からの避難経路となっている区間E6で、幅員が大幅に不足していることがわかる。すなわち、清水寺からの避難者は2時間以内に避難が完了できないということになる。一方、複数の観光スポットからの避難経路の重複区間(E1、E2、E3、E4)においては、いずれも避難に必要な幅員を満たしており、避難経路の変更による観光客の分散の必要性は少ないことがわかる。この区間の終端である区間E1は清水寺、京都国立博物館、三十三間堂からの避難経路となっているが、高台寺からの避難経路は区間E1を経由せず、円山公園の他の入口を利用している。すなわち、避難場所の複数の入口に分散して避難しているため、多数の観光客が1箇所に集中するといった状況が生まれなかったためであると考えられる。



図3 距離による避難経路の抽出結果

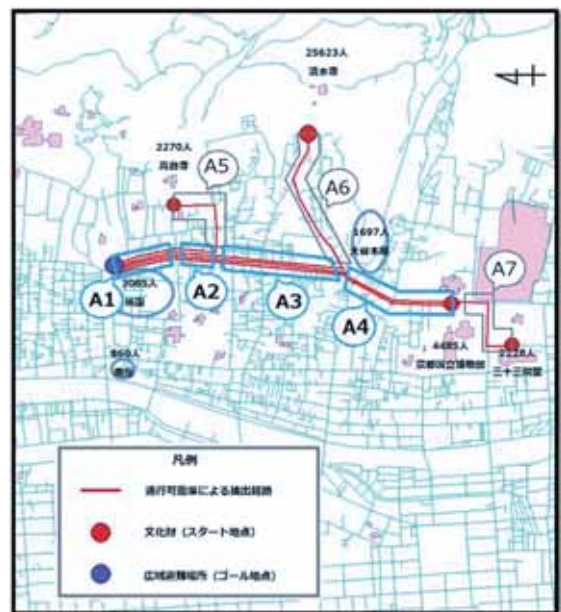


図4 到達可能率による避難経路の抽出結果



図5 リンク数による避難経路の抽出結果

表2 距離による避難経路の道路幅員

区間	避難に必要な幅員 (m)	利用可能な幅員 (m)
E1	8.9	9.5
E2	2.5	8.1
E3	2.1	7.4
E4	1.7	6.9
E5	0.6	2.5
E6	6.4	0.9
E7	0.6	2.1

表3 到達可能率による避難経路の道路幅員

区間	避難に必要な幅員 (m)	利用可能な幅員 (m)
A1	9.5	8.1
A2	9.1	7.9
A3	8.5	7.4
A4	1.7	6.9
A5	0.6	2.5
A6	6.4	2.5
A7	0.6	2.1

表4 リンク数による避難経路の道路幅員

区間	避難に必要な幅員 (m)	利用可能な幅員 (m)
C1	7.0	2.5
C2	2.3	13.4
C3	1.9	14.3
C4	1.7	8.7
C5	6.4	1.0
C6	1.1	8.4
C7	0.6	2.1

一方、到達可能率およびリンク数によって抽出された避難経路においては、清水寺からの避難経路となっている区間 A6、C5 とともに、複数の観光スポットからの避難経路の重複区間 (A1、A2、A3、C1) においても避難に必要な幅員が満たされておらず、複数の観光スポットからの避難者が2時間以内に避難が完了できないという結果が得られた。到達可能率によって抽出された避難経路は比較的広い幅員を持つ経路であるにもかかわらず必要な幅員が満たされていないのは、多数の観光客が同じ避難経路を利用していることが理由として考えられる。また、リンク数によって抽出された避難経路では、比較的狭い道路幅員のリンクのみが、観光客数の多い清水寺からの避難経路になっていることがわかる。

複数の観光スポットからの避難経路の重複区間において避難に必要な幅員が満たされていないことから、到達可能率およびリンク数によって抽出された避難経路においては、出発地となる観光スポットごとに避難

経路の変更による観光客の分散をおこなうことにより、避難に要する時間を短縮する方策を考える余地があると考えられる。

4. 避難経路の変更による観光客の分散の検討

前章の結果をもとに、到達可能率およびリンク数によって抽出された避難経路に対して、避難経路の変更による観光客の分散をおこない、避難に要する時間を短縮する方策を考える。

避難経路の変更方法にはさまざまな可能性が考えられるが、ここでは複数の観光スポットからの避難経路の重複区間（A1、A2、A3、C1）において避難に必要な幅員が満たされていないことから、これらの区間の避難者数を減少させることを考えた。具体的には、当該区間を利用する観光スポットからの避難経路について、これらの区間を通過しないことを条件とした代替経路の抽出をおこない、これらの組み合わせの中から当該区間が避難に必要な幅員を満たすものを採用することとした。なお、比較対象として、当該区間が避難に必要な幅員を満たさない場合であっても、すべての観光スポットからの避難が完了する総避難時間が小さくなるものもあわせて抽出した。

到達可能率およびリンク数によって抽出された避難経路について、変更後の避難経路を図 6、図 7 に示す。到達可能率による避難経路については、清水寺からの避難経路を変更し、図 4 の区間 A1、A2、A3 を経由しない避難経路とした。また、リンク数による避難経路についても、清水寺からの避難経路を変更し、図 5 の区間 C1 を経由しない避難経路とした。前章と同様に、図 6、図 7 では避難者数が同一となる区間ごとに避難経路を区分し、それぞれ区間 B1～B11、区間 D1～D7 として表示している。またこれをもとに、区間ごとの避難者数にもとづく「避難に必要な幅員」と、実際の道路リンクにおける「利用可能な幅員」との比較を表 5、表 6 に示す。これを見ると、区間 B3、B4、B5、D4 のいずれも、利用可能な幅員が避難に必要な幅員を上回っていることがわかる。

到達可能率による避難経路を変更する場合、高台寺、京都国立博物館、三十三間堂からの避難時間の短縮を図るためには清水寺からの避難経路を変更することが必要となるが、もっとも観光客数の多い清水寺からの避難経路の距離が大きくなるため、すべての観光スポットからの避難が完了する総避難時間が大きくなってしまふ。総避難時間の増加を避けるためには、三十三間堂または京都国立博物館の避難経路を変更することが適していることがわかった。しかしながら、この場合には避難時間に 2 時間以上を要する観光スポットが増えてしまうという結果が得られた。

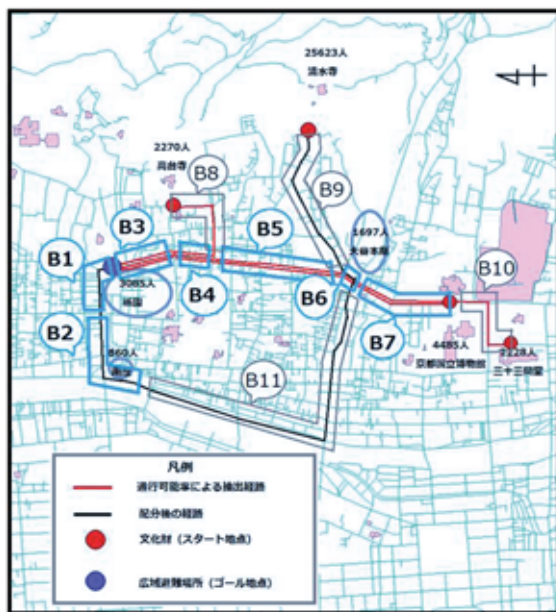


図 6 到達可能率による避難経路の抽出結果（変更後）

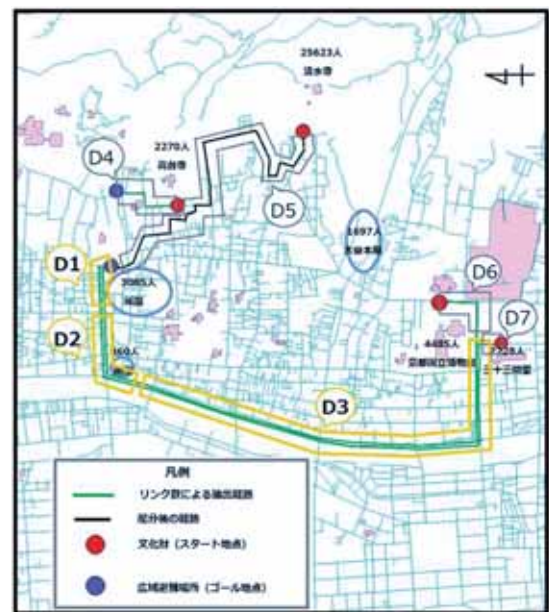


図 7 リンク数による避難経路の抽出結果（変更後）

表5 到達可能率による避難経路の道路幅員（変更後）

区間	避難に必要な幅員 (m)	利用可能な幅員 (m)
B1	7.0	13.4
B2	6.6	14.3
B3	3.1	8.1
B4	2.7	7.9
B5	2.1	7.4
B6	8.1	22.0
B7	1.7	6.9
B8	0.6	2.5
B9	6.4	2.5
B10	0.6	2.1
B11	6.4	8.7

表6 リンク数による避難経路の道路幅員（変更後）

区間	避難に必要な幅員 (m)	利用可能な幅員 (m)
D1	2.3	13.4
D2	1.9	14.3
D3	1.7	8.7
D4	0.6	2.5
D5	6.4	1.0
D6	1.1	8.4
D7	0.6	2.1

また、リンク数による避難経路を変更する場合、清水寺からの避難経路を変更することによって高台寺からの避難時間を短縮することができるが、清水寺からの避難経路の距離が大きくなることによって総避難時間が大きくなってしまふ。そのため総避難時間の増加を避けるためには、高台寺からの避難時間に2時間以上を要するという結果が得られた。

5. おわりに

本研究では、既存研究による評価指標によって抽出された観光スポットから避難場所までの避難経路をもとに、避難経路の交通容量について検討し、迅速な避難のための観光客の避難経路の検討をおこなった。

これにより、到達可能率およびリンク数によって抽出された避難経路においては、複数の観光スポットからの避難経路の重複区間において避難に必要な幅員が満たされていないことから、出発地となる観光スポットごとに避難経路の変更による観光客の分散をおこなうことにより、避難に要する時間を短縮する方策を考える余地があることがわかった。また、避難経路の変更の検討においては、観光客数の多い清水寺からの避難経路を変更することによってその他の観光スポットからの避難時間を短縮することはできるが、もっとも観光客数の多い清水寺からの避難経路の距離が大きくなるため、すべての観光スポットからの避難が完了する総避難時間が大きくなってしまふということがわかった。

今後の課題としては、避難経路の抽出において距離、到達可能率、リンク数といった評価指標を個別に考慮するだけでなく、複数の評価指標を統合することが必要であると考えられる。また、現実的には観光マップにおける記載の有無などにより、観光客にとってのわかりやすさの差異が存在すると想定されるため、これらの条件も考慮した評価指標の統合をおこなうことが必要であると考えられる。

また、多数の観光客が滞留する観光スポットからの避難経路を考える際には、複数の経路を利用するなどして観光客を分散させて避難させることを検討する必要があると考えられる。また、時間帯や季節によって異なる観光客数の変動に対応できる適切な避難場所や避難経路の選定方法の検討、観光客の避難と地域住民の避難との両者をあわせた検討も必要であると考えられる。

さらには、同様の課題をもつ他の歴史都市、観光都市にも適用できるよう、道路ネットワークの特性や観光スポットの分布状況に応じた方法の分類をおこない、他の歴史都市、観光都市にも適用できる一般性をもった方法を検討する必要があると考えられる。

謝辞：本研究は、立命館大学21世紀COEプログラム「文化遺産を核とした歴史都市の防災研究拠点」およびグローバルCOEプログラム「歴史都市を守る「文化遺産防災学」推進拠点」における研究成果の一部である。関係各位に感謝の意を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 本郷伸和, 山内健次, 塚口博司, 小川圭一: 文化遺産防災のための災害時交通行動に関する市民意識の分析, 土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集, CD-ROM, 第IV部門, IV-025, 2005.
- 2) 八木昭憲, 塚口博司, 小川圭一: 歴史都市における市民の地震災害時避難行動に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, Vol.33, CD-ROM, No.277, 2006.
- 3) 八木昭憲, 塚口博司, 小川圭一: 大規模地震災害後における交通行動 — 京都市におけるアンケート調査より —, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集 CD-ROM, 第IV部門, IV-193, 2006.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) Yoongho Ahn, Hiroshi Tsukaguchi, Keiichi Ogawa, Kota Tanaka: Study on Disaster Risk Assessment of Cultural Heritage and Road Network Improvement in Historical City, Journal of Disaster Research, Vol.6, No.1, pp.119-131, 2011.
- 7) 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, pp.37-44, 2011.
- 8) 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.
- 9) 乾晶彦, 小川圭一, 塚口博司: 京都市東山区を訪れる観光客の交通行動に関する研究, 平成 21 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, CD-ROM, 第IV部門, IV-36, 2009.
- 10) 前川貴哉, 小川圭一, 塚口博司, 安隆浩: 歴史都市における災害時の効果的な避難誘導経路の抽出方法に関する研究, 平成 22 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, CD-ROM, 第IV部門, IV-70, 2010.
- 11) 前川貴哉, 乾晶彦, 小川圭一, 塚口博司, 安隆浩: 歴史都市における観光客の行動分析に基づく災害時避難に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.41, CD-ROM, No.329, 2010.
- 12) 小川圭一, 乾晶彦, 前川貴哉, 塚口博司, 安隆浩: 歴史都市における避難計画のための観光客の交通行動と滞留状況の推計に関する研究, 歴史都市防災論文集, Vol.5, pp.61-68, 2011.
- 13) 小川圭一, 前川貴哉, 松野真樹, 塚口博司, 安隆浩: 歴史都市における観光客のための避難経路の抽出方法とその特性に関する研究, 歴史都市防災論文集, Vol.6, pp.265-272, 2012.
- 14) 京都市: 京都市広域避難場所・避難救助拠点一覧図, 2010.
- 15) 小川圭一, 塚口博司, 本郷伸和, 中村真幸: 緊急時のアクセス性を考慮した文化遺産防災に関する研究, 交通科学, Vol.36, No.1, pp.49-58, 2005.
- 16) 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, Vol.23, No.2, pp.253-264, 2006.
- 17) 小川圭一, 塚口博司: 道路ネットワークを考慮した文化遺産の安全性評価, 歴史都市防災論文集, Vol.1, pp.305-312, 2007.
- 18) 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, pp.43-48, 2008.
- 19) 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.
- 20) 都市防災実務ハンドブック編集委員会 編: 改訂 都市防災実務ハンドブック 震災に強い都市づくり・地区まちづくりの手引, ぎょうせい, 2005.