

## 行動分析に基づいた地震災害時の避難計画に関する一考察 Refuge Planning based on analysis of Behavior in Times of Disasters

塚口博司<sup>1</sup>・松田 有史<sup>2</sup>・小川圭一<sup>3</sup>・安隆浩<sup>4</sup>

Hiroshi Tsukaguchi, Yuji Matsuda, Keiichi Ogawa, and Yoongho Ahn

<sup>1</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>2</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, Advanced Industrial Technology

<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>立命館大学研究員 立命館グローバル・イノベーション研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Post Doctoral Fellow, Ritsumeikan Global Innovation Research Organization, Ritsumeikan University

Evacuation planning plays a quite important role in times of large disasters in order to decrease damage as small as possible. This study discusses how to guide citizens to refuges based on two surveys. One is a questionnaire survey in which characteristics of citizens in Kyoto in disaster times, especially the feature of route choice behavior to refuges are investigated. The other is an experiment of route choice behavior to refuges using GPS equipment. Analyzing route choice behavior and comparing the results of the surveys, this study identifies the characteristics which recommended routes to refuges should have in a historical city Kyoto.

*Key Words: Evacuation planning, Route choice behavior, Disaster mitigation*

### 1. はじめに

地震多発地域である日本では、古くから甚大な被害を受けてきた。特に本研究の対象地である京都は木造住宅が多く、高齢者人口比率も高いという地域特性から、自然災害の影響を受けやすい都市である。また複数の活断層が存在しており、近い将来、大地震の発生が危惧されている。このため、平常時から実効性ある避難計画を立案し、適切な避難場所、避難経路ならびに誘導方法等の検討を十分に行っておくことが必要である。本研究では、避難場所への経路について検討する。

地震発生直後の市街地の状況は様々である。地震の規模による都市インフラの被災状況だけでなく、避難計画を考える場合、人の避難行動は発災時刻等にも大きく左右されるからである。このため、緊急時に必要となる避難計画を一義的に決定することは必ずしも適切ではない。しかしながら、必要が生じた場合、市民をどの広域避難場所に、どの経路を通して誘導するかを予め検討しておくことは重要である。

京都市では 68 カ所の広域避難場所が設定されている。これらの避難場所に市民を誘導する場合の考え方として、何らかの規範に基づいて推奨経路を求める方法と、市民の行動特性の分析結果に基づいて推奨経路を求める方法があろう。本研究では、後者の方法によることにしたい。

緊急時に要避難者がどのような経路を選択するかについて、既往災害のデータに基づいて把握することは容易でない。そこで、本研究では京都市民に対して実施した災害時の行動調査に含まれる広域避難場所と避難経路に関するアンケート調査結果をベースとすることにした。そして、ここで認められる選択特性が、別途実施した平常時の歩行者の経路選択行動特性とどのような関係にあるかを検討し、緊急時に市民に推奨すべき経路の特性を明らかにすることにした。

緊急時における行動は平常時と同一ではないであろう。しかしながら、平常時に全く見られない行動が緊急時に突然現れ、これがスムーズに行われるとも考えにくい。避難経路として望ましい経路を予め設定する場合には、平常時の経路選択行動を反映したものとすることが妥当であろうと考える。

なお、本研究では広域避難場所への行動を対象としている。発災直後にすべての市民が広域避難場所に移動するわけではない。避難が必要となったとしても、一旦、一時避難場所に避難し、その後に広域避難場所に移動する場合も少なくない。しかし、一時避難場所は市民の自宅近傍に存在するから、上記のことが広域避難場所への誘導について検討することの必要性を低めるものではない。

## 2. 研究の手法

本稿では、京都市民を対象としたアンケート調査結果から得られる広域避難場所と経路の選択傾向を把握し、これが平常時における経路選択特性とどのような関係にあるかを分析することによって、緊急時に歩行者を誘導する経路が有すべき望ましい特性を明確にすることにした。本研究の進め方を図1に示す。

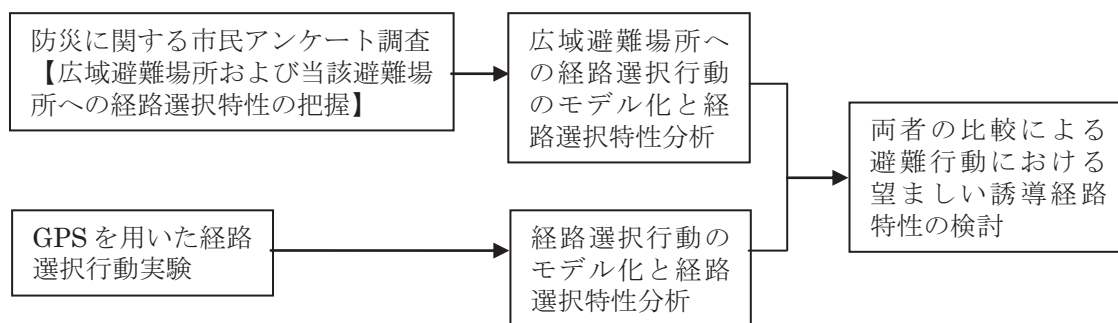


図1 研究の進め方

上記の調査は、緊急時の市民の行動特性を把握するために実施するものであるが、このようなアンケート調査結果は、回答者が緊急時に自らがどのように行動するかを平常時に考えたものであり、これが実際の行動となるかはわからない。しかし、市民の災害時の行動意識が平常時のどのような行動と類似しているかを検討し、これに基づいて、緊急時に効果的と考えられる誘導経路を検討しておくことは意味がある。

図1の中央に位置する経路選択行動のモデル化に当たっては、筆者らが提案している目的地指向性と方向保持性に注目した<sup>1)</sup>。目的地指向性とは、「歩行者は目的地の方向の経路へ進む」という特性であり、方向保持性とは、「歩行者は現在進行している状態を維持する」という特性である。歩行者が通過した経路選択機会のある全ノードのうち、最短経路に対する迂回経路の目的地までの迂回率が0.2以下のノードのみを分析対象ノードとした。既往の研究から、迂回率がこれ以上の経路は選択されにくいことが分かっているためである<sup>1)</sup>。目的地指向性は「目的地方向角度」(図2の挟角 $\alpha$ 、 $\beta$ )、方向保持性は「進入方向角度」(図2の挟角 $\gamma$ 、 $\delta$ )の大きさによって表すことができる。なお、図中のS点は、歩行者が経路選択を行う点を表している。

## 3. 住民の避難行動調査

筆者らは2004年11月に京都市民1万人に対する「大規模地震災害への対応と地震発生時における行動に

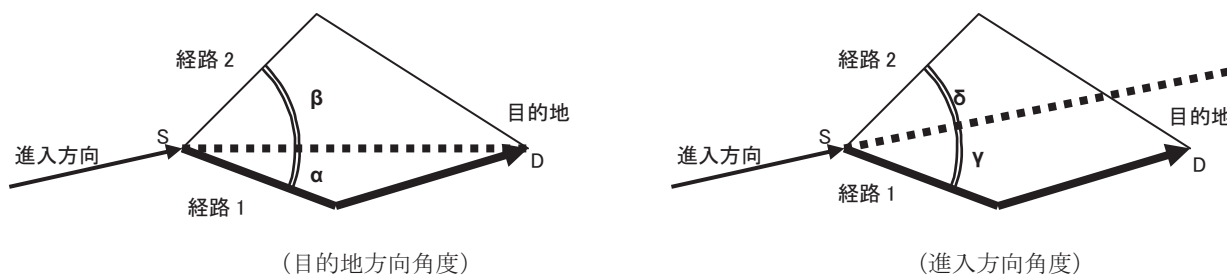


図 2 目的地方向角度および進入方向角度

関する市民の意識調査」を実施した<sup>2)</sup>。設問の内容としては、①防災に関する一般的な考え方、②平常時の交通行動、③大規模地震が発生したと仮定した場合の交通行動である。本稿では、③に含まれる広域避難場所とそこに至る経路に関する調査結果を用いることにした。広域避難場所是要避難市民が発災後に自宅から直接向う施設とは限らないが、市民は自分が利用する広域避難場所と経路を十分に認識しておくことが必要である。

この調査結果に基づいて、各広域避難場所の利用圏(選択結果)を求めている。調査結果を整理するに当たっては、回答者がそれぞれ選択した避難場所と経路を図示するとともに、ボロノイ分割によって、各避難場所が担当する範囲の境界を示した。上記の調査によって京都市全域における避難場所と経路の選択結果が得られているが、本稿では図 3 に上京区、中京区、および左京区における結果を示している。本研究では、これら 3 区の中で、主として格子状街路網を有する地区として、上京区の二条城を広域避難場所とする地区および下京区の梅小路公園周辺を広域避難場所とする地区、ならびに不整形な街路網を有する地区として、左京区の宝が池公園を広域避難場所とする地区を取り上げた。

広域避難場所の選択結果ならびにその至る経路を示した図 3 に基づいて考察すると、各広域避難場所は市民によって概ねバランスよく利用される可能性が高いことがわかる。次に広域避難場所に至る経路の特性に関しては、図 3 から直接に傾向を見出すことは困難である。そこで、2 章で述べたように、筆者らが提案している歩行者の経路選択行動の分析手法を用いて、二項選択ロジットモデルを作成し、結果を表 1 に示す。

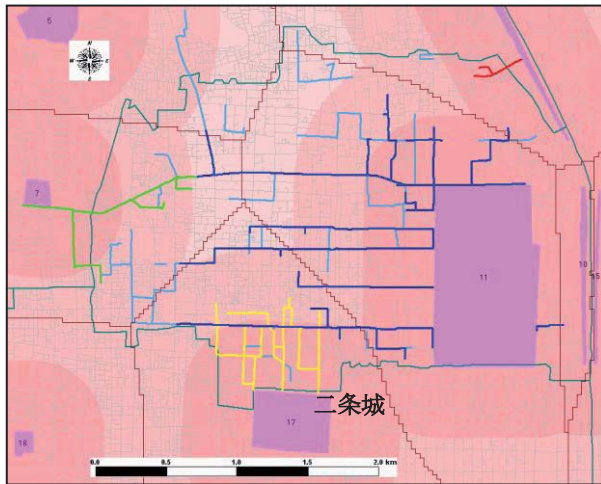
表 1 パラメータ推定結果

	二条城周辺	梅小路公園周辺	宝が池公園周辺
目的地方向角度(°) ( $\alpha$ および $\beta$ )	0.0136 (-2.193)	0.00634 (-1.119)	0.0131 (-2.495)
進入方向角度(°) ( $\gamma$ および $\delta$ )	0.0226 (-7.121)	0.0211 (-8.805)	0.0162 (-5.443)
尤度比	0.431	0.418	0.250
的中率(%)	86.7	86.1	74.8
パラメータ比 (目的地/進入)	0.602	0.300	0.807

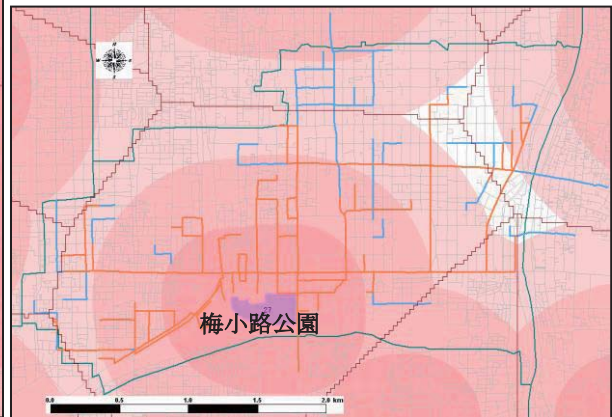
注) ( )は t 値

上記のモデルの説明変数は、方向保持性を表す進入方向角度および目的地指向性を表す目的地方向角度である。進入方向角度に関しては、3 地区ともに 1%有意であるが、目的地方向角度に関しては、二条城周辺地区と宝が池周辺地区では 5%有意であるが、梅小路公園周辺地区では有意な変数とはなっていない。このことから、方向保持性が優位であることがうかがえる。また、表 1 には進入方向角度と目的地方向角度のパラメータ比(目的地方向角度 / 進入方向角度)を示してある。このパラメータ比が大きいほど目的地指向性

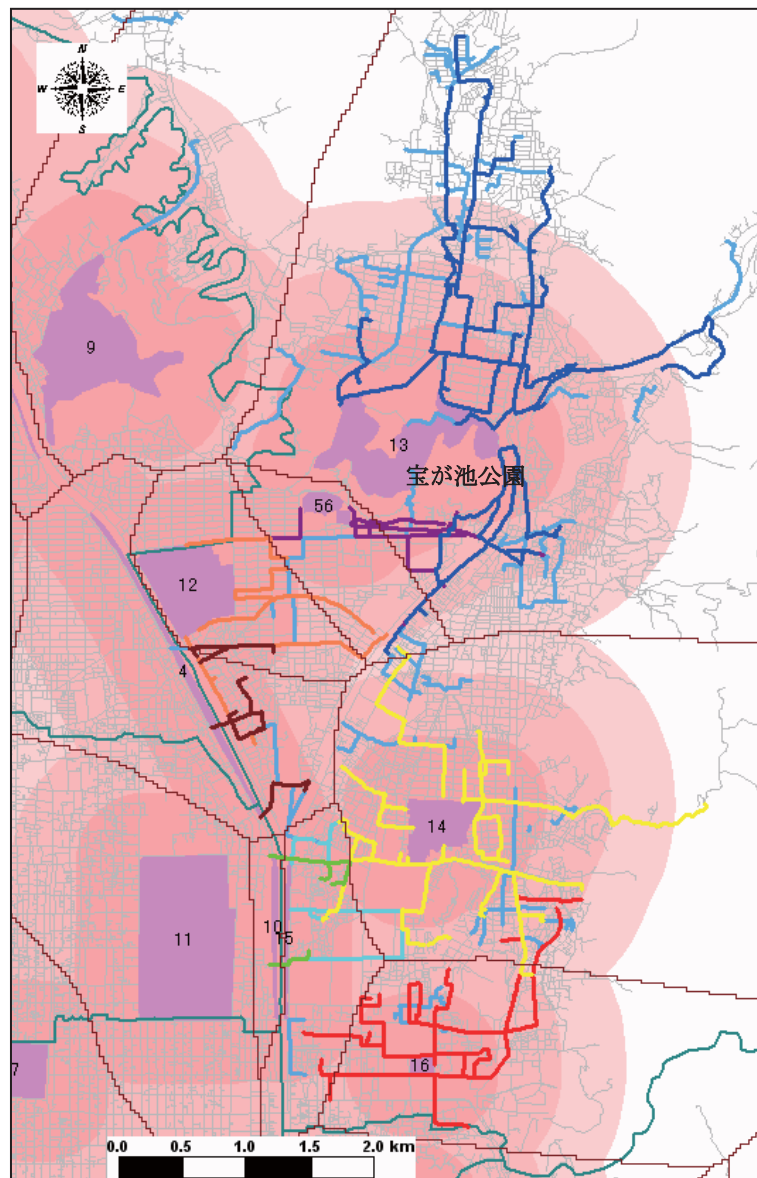
注1) ボロノイ分割は、隣り合う 2 点(ここでは広域避難場所)を結ぶ直線に垂直二等分線を引き、各点の隣接領域を分割したもの。



二条城周辺地区(上京区)  
 ・二条城への経路は黄色で示す



梅小路公園周辺地区(下京区)  
 ・梅小路公園への経路はオレンジ色で示す



宝が池公園周辺地区(左京区)  
 ・宝が池公園への経路は青色で示す



図3 広域避難場所および避難経路の選択状況



の影響が強く、小さいほど方向保持性の影響が強いことを表している。表 1 に示す値はいずれも 1.0 以下であり、避難時の経路選択行動においては、目的地指向性よりも方向保持性が優先されるのではないかと考えられる。

#### 4. 広域避難場所までの避難行動実験

##### (1) 実験の目的

3 章で作成した市民アンケート調査に基づいた経路選択モデルと比較検討し、避難者の経路選択特性についてさらに考察するために、GPS を用いて広域避難場所までの経路を把握する実験を行った。緊急時を想定して把握されている緊急時の避難場所への経路選択行動と、平常時におけるどのような場合の経路選択行動と類似しているかを明らかにすることが本実験の目的である。なお、一般市民に対して GPS を用いた実験を一定の条件の下で実施することは容易でないため、被験者には立命館大学の学生を用いた。

##### (2) 実験方法

実験場所は、3 章で対象とした 3 地区の一つである京都市上京区二条城周辺地区であり、図 4 に起点と終点（二条城）を示す。災害はいつ何時起こるか分からないため、昼間と夜間における経路選択行動の差異を調べるために、実験は昼間と夜間の 2 回実施した。具体的には、夜間→昼間の順で実験を行うグループ 1、昼間→夜間の順で実験を行うグループ 2 に分けて実施した。

出発地点は被験者ごとに与えており、1 回目は地図無しで（目的地のおおよその方向は伝えている）、2 回目は地図を持った状態で二条城へ向かわせた。各被験者の 1 回目と 2 回目では出発地点が異なっている。なお、被験者に出発地点が特定しにくいようにするために、タクシーに乗車させ、できるだけ外を見ないように指示した上で現地へ向かわせた。

本実験は 2009 年 12 月と、2010 年 11 月に行っており、被験者数はいずれも 16 名ずつであった。2009 年と 2010 年の被験者は別人である。

表 2 2009 年度実験パラメータ推計結果

	昼間	夜間
目的地方向角度(°) ( $\alpha$ および $\beta$ )	0.0140 (-3.249)	0.00813 (-1.605)
進入方向角度(°) ( $\gamma$ および $\delta$ )	0.0129 (-5.901)	0.0231 (-8.544)
尤度比	0.250	0.480
的中率(%)	74.4	87.2
パラメータ比 (目的地/進入)	1.087	0.352

注) ( ) は t 値

##### (3) 分析結果

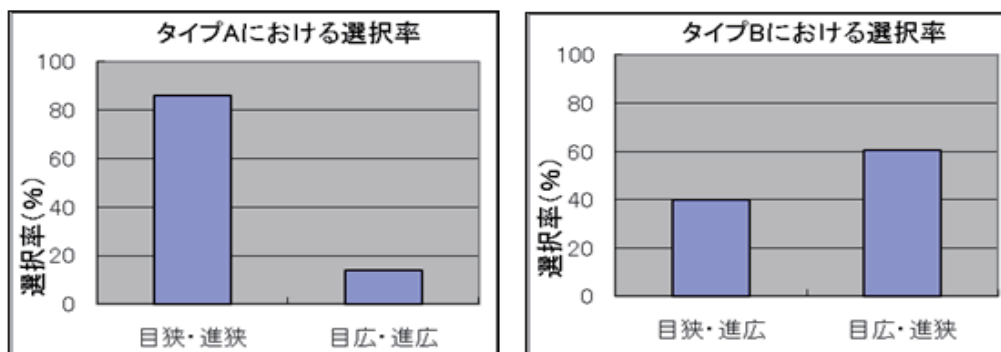
上記の実験で得られたデータをもとに、2 肢選択ロジットモデルを構築した。本稿では 2009 年の実験データに基づいた選択モデルを表 2 に示す。進入方向角度は昼間・夜間ともに 1% 有意であるが、目的地方向角度に関しては、昼間は 1% 有意であるが、夜間は 10% 有意に留まっている。パラメータ比でも、昼間は目的地指向性、夜間は方向保持性が優位であることがわかる。表 1 に示す市民アンケート調査結果と比較すると、方向保持性が優位であるという点で、避難時の市民の行動は夜間の実験結果に近いのではないかと推察される。なお、昼間と夜間以外の実験条件の影響は特に認められなかった。

以上で述べた方向保持性と目的地指向性の関係について、両者の組合せタイプ別に経路選択率を示しておきたい。2 つの選択可能経路に関して、一方の経路の進入方向角度と目的地方向角度がともに小さい場合を A



図4 避難行動実験実施地区

昼間



夜間

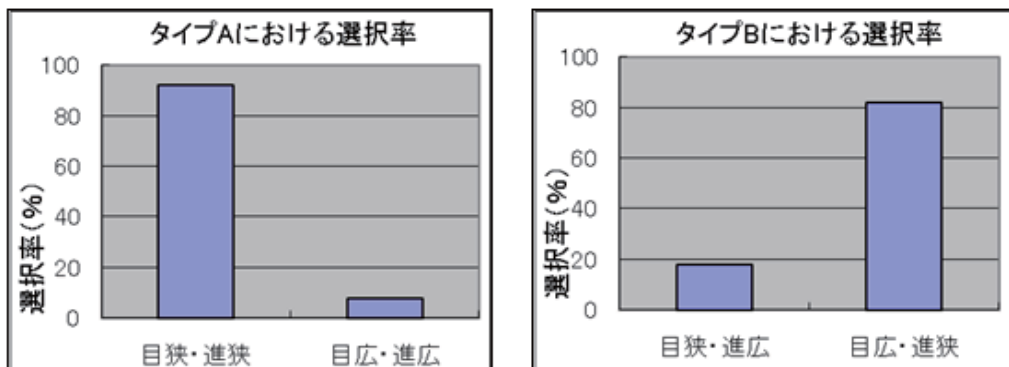


図5 タイプ別経路選択率

注)「目狭」は目的地方向角度が小さいこと、「進狭」は進入方向角度が小さいことを示し、横軸の「目狭・進狭」は目的地方向角度および進入方向角度がともに小さい経路を表す。

タイプ、進入方向角度と目的地方向角度の大小が異なる場合をタイプ B とする。図 5 に示すように、タイプ A の場合には、進入方向角度および目的地方向角度が小さい経路が昼間では 80 数%、夜間では約 90%、選択

されている。これより目的地指向性と方向保持性の両方が満足されている経路が選択されやすいことが確認できる。一方、両者の大小が異なる場合には、進入方向角度が小さい経路が選択されている。特に夜間にはこの傾向が強いようであり、夜間は、進入方向角度が小さい経路の選択率が高く、方向保持性が優位であることが窺える。

#### (4) 避難流動図の作成

表 2 に示すモデルを用いて、昼間と夜間における避難流動図を作成した（図 6）。昼間時には、右左折を含んだ多様な経路が使用されているが、夜間にはできるだけ右左折回数が少なくなるような経路選択が行われ、特定の経路に集中する傾向が強いようである。なお、図 6 では市民一人一人の自宅を起点として経路を推定するのではなく、全体的な傾向を見るために、地区内に位置する 3 小学校を起点として動線を推定した。



図 6 避難流動図

## 5. 広域避難場所への誘導経路の選定

本研究では、京都市民に対して緊急時を想定して回答を求めた避難行動に関するアンケート調査と、GPSを用いて実施した行動実験(平常時)に基づいて、経路選択モデルを構築した。後者においては昼間と夜間におけるモデルを構築した。その結果は表3のように整理することができる。市民の緊急時における経路選択行動は平常時の夜間における行動に類似していると考えられる。

表3 経路選択要因の影響

	緊急時を想定した 市民の避難行動調査	GPSを用いた行動実験	
		昼間	夜間
方向保持性	大	小	大
目的地指向性	小	大	小

この結果は緊急時に誘導経路として採用すべき経路の特徴を直接示すものではない。しかしながら、方向確認が相対的に困難になる夜間において、右左折の回数を減らし広幅員道路を多く使用するという行動は自然であり、この特性は緊急時の避難にも妥当ではないかと思われる。したがって、緊急時の避難経路の設定に当たっては、右左折の回数が少なく、比較的広幅員の道路から成る経路を選定することが妥当であると考えられる。

## 6. おわりに

本研究では、緊急時に市民を誘導する経路が備えるべき特徴について論じた。本研究では、2009年と2010年に調査を実施したが、2010年データは分析中であるため、本稿では2009年データのみを用いた。今後、2010年データも加えてモデルを精緻化していく必要がある。また、本研究では実験の被験者として一般市民ではなく学生を用いた。このため、本研究の考え方に基づいて提案される誘導経路の妥当性について、改めて市民に評価を求めることが望ましいであろう。

今後、道路構造ならびに道路沿道の条件等に基づいて推定した道路の通行可能確率<sup>3)</sup>と組合せて、具体的な避難経路の設定と避難誘導方法について検討していきたい。

## 参考文献

- 1) 竹上直也・塚口博司:空間的定位に基づいた歩行者の経路選択行動モデルの構、土木学会論文集、No.807,77-86,2006.
- 2) 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62回年次学術講演会講演概要集、IV-193、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) 松田有史・塚口博司・小川圭一:歴史都市における徒歩による避難行動分析と避難計画に関する研究、土木学会第67回年次学術講演会講演集、2011.