

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

A Study on the Planning Methods for Identification of Evacuation Routes for Tourists
in Historical Cities

小川圭一¹・前川貴哉²・松野真樹³・塚口博司⁴・安隆浩⁵

Keiichi Ogawa, Takaya Maegawa, Naoki Matsuno, 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.

³ジオスター株式会社 (〒113-0024 東京都文京区西片 1-17-8)
GEOSTR Corporation

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立命館大学助手 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)
Research Assistant, Department of Civil Engineering, College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

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

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

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。また、観光客の非定期的な交通行動を捉えるのは困難であることから、計画策定の基礎となる有効な統計データも不足している。

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¹⁻⁴⁾。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をおこなっている⁵⁻⁷⁾。

本研究ではこれらをもとに、文化遺産所在地からの想定される避難経路の抽出方法とその特性について分析をおこなうことにより、観光客に対する適切な避難経路の設定方法について検討する。具体的には、抽出された避難経路に対して、距離、到達可能率、リンク数といった指標によって評価をおこなう。これらにより、現状の避難場所の指定や避難経路について、課題点や改善策を検討することを目的とする。

2. 避難経路の抽出方法とその特性の分析

(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。

そこで本研究では、京都市の道路ネットワークを表現した GIS を用いて、複数の評価指標にもとづく避難経路の抽出をおこなう。避難経路の抽出にあたっては、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 つの評価指標のもとでおこない、相互に比較することとする。なお、この GIS は既存研究において、文化遺産防災のための重要道路リンクの抽出や各文化遺産の安全性評価のために構築したものであり、京都市内の道路ネットワークについて各道路リンクの幅員、リンク長と、文化遺産、消防施設の位置をデータベース化したものである⁸⁾。ここでの道路リンクとは、道路ネットワークをノード（交差点）とリンク（交差点間の単路部）によって構成されるネットワークモデルとして表現した場合における、個々のリンク（交差点間の単路部）を指している。

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、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。

いずれの評価指標のもとで求めた経路に対しても、距離、到達可能率、リンク数の値をそれぞれ算定し、相互に比較することによってその特徴を検討することとする。

(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。

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^{9,10)}。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⁸⁻¹⁰⁾。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）⁹⁾

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) 避難経路の抽出とその特性の分析

京都市東山区に存在する 52 箇所の文化遺産所在地について、最寄りの避難場所までの避難経路を、上述の評価指標により抽出した。なお、ここでの避難場所とは、行政によって指定された避難場所を指している。

各評価指標により抽出された避難経路の距離、リンク数、到達可能率の平均を表2に示す。また、道路ネットワークの形状による比較をおこなうため、比較対象として京都市上京区においても同様の方法による避難経路の抽出をおこなった。上京区の抽出結果による距離、リンク数、到達可能率の平均を表3に示す。なお、東山区、上京区内の文化遺産所在地の分布状況と道路ネットワークの形状、避難場所の配置状況については、紙面の都合上、参考文献を参照されたい^{8,11)}。

表2 抽出経路に対する各指標の平均値（東山区）

経路抽出方法	評価指標の平均値		
	距離 (m)	到達可能率	リンク数
距離最小化	697.79	0.413	16.4
到達可能率最大化	884.15	0.519	19.1
リンク数最小化	862.02	0.371	12.8

表3 抽出経路に対する各指標の平均値（上京区）

経路抽出方法	評価指標の平均値		
	距離 (m)	到達可能率	リンク数
距離最小化	966.12	0.299	20.0
到達可能率最大化	1550.64	0.602	26.7
リンク数最小化	1073.91	0.360	15.6

東山区は京都市外縁部の山麓近くに位置し、東側を東山山麓、西側を鴨川に挟まれているため、道路ネットワークは全体として南北に細長い形状になっている。また東側に向かうほど山麓近くになるため、道路ネットワークが少なく、かつ幅員の小さい道路が多いという特徴を有している。一方、観光スポットとなる文化遺産所在地は、山麓近くに存在しているものが多い状況にある。

一方、上京区は京都市の中心部に位置し、京都市の特徴である碁盤の目状の道路ネットワークをもつ地域である。幹線道路は大きい幅員を有しているが、その他の細街路には幅員の小さい道路も多くなっている。ただし碁盤の目状であることから、東山区に比較すると災害時に道路閉塞があっても代替経路は確保しやすいものと思われる。また、観光スポットとなる文化遺産所在地は、市街地内に点在している状況にある。

東山区と上京区の結果を比較すると、東山区の方が全体として平均距離が短いことがわかる。また、到達可能率を抽出方法とすることにより上京区は距離が大幅に長くなっているが、東山区は距離の差が小さいことがわかる。ただし、上京区では距離が長くなっている一方で、到達可能率の値も大幅に向上しているが、東山区ではあまり到達可能率が向上していないことがわかる。

これは東山区と上京区の道路ネットワーク形状の違いによるものであると考えられる。山麓にある東山区は道路リンク数も少なく、道路ネットワーク形状が複雑で規則性がないため、到達可能率の大きい経路に迂回する場合の選択肢が少ないのに対し、上京区は京都市特有の碁盤の目状の道路ネットワークになっていることにより、到達可能率の大きい経路に迂回する場合の選択肢が豊富にあるためと考えられる。

3. 避難経路の実用性に関する評価

(1) 避難経路の評価指標

つぎに、観光客の避難を想定した避難経路の実用性に関する分析として、抽出された経路について「避難場所までの距離を考慮した到達可能率」と「経路中に含まれる右左折回数」の2つの評価指標を用いて、その評価をおこなう。

避難場所までの距離を考慮した到達可能率は、既存研究により得られている自宅から避難場所までの所要時間と距離感（歩行に対して苦痛であると感じる程度）との関係をもとに、苦痛であると感ぜない確率を到達可能率に乗じた値である。すなわち、避難場所までの距離が大きくなるほど避難場所まで到達できない避難者が多くなるという仮定にもとづいている。苦痛であると感ぜない確率の値は、既存研究を参考として表4の値を用いた¹²⁾。なお、避難者の歩行速度は、既存研究を参考として66.75[m/分]とした^{13,14)}。

経路中に含まれる右左折回数は、経路中の交差点における流入リンク・流出リンク間の角度によって右左折か否かを判断し、経路中の右左折回数を計測する。これは、右左折回数が大きくなるほど地理不案内な観光客にとっては迷いやすく、避難場所まで到達できない避難者が多くなるという仮定にもとづいている。

表4 所要時間と距離感の関係¹²⁾

所要時間	距離感（苦痛であると感しない確率）
1～5分	0.91
6～10分	0.81
11～15分	0.68
16～20分	0.60
20～30分	0.45

(2) 避難経路の評価結果

東山区に存在する文化遺産所在地について、3種の評価指標による経路を抽出し、各々について所要時間、避難場所までの距離を考慮した到達可能率、経路中に含まれる右左折回数を算定した。また比較対象として、上京区に存在する文化遺産所在地についても同様に、所要時間、避難場所までの距離を考慮した到達可能率、経路中に含まれる右左折回数を算定した。これらをもとに、所要時間別の到達可能率、右左折回数の平均値を算定したものを図1～図4に示す。

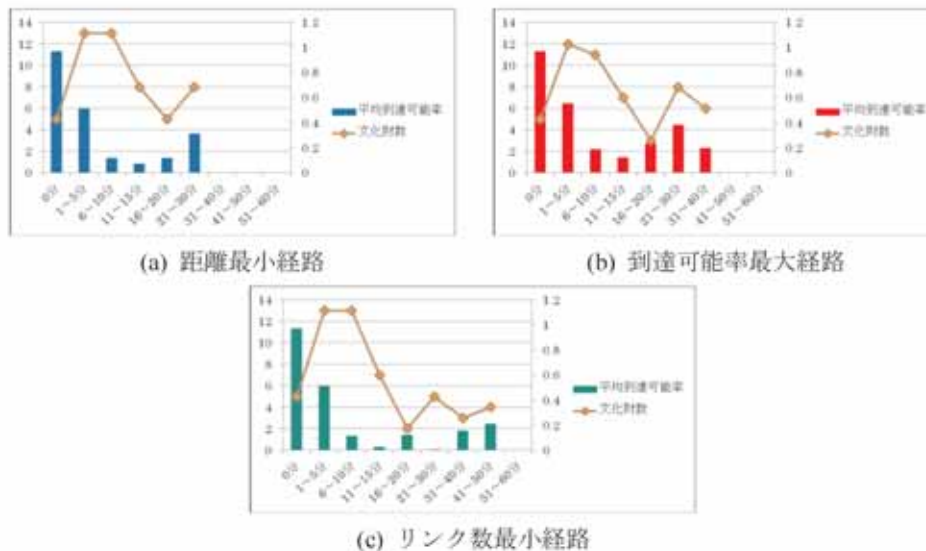


図1 所要時間別の「避難場所までの距離を考慮した到達可能率」の平均値（東山区）

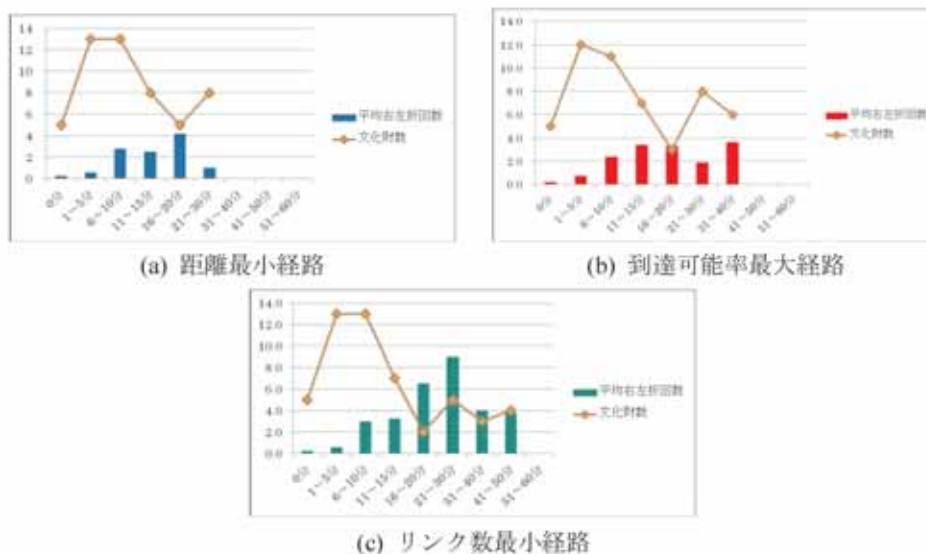


図2 所要時間別の「経路中に含まれる右左折回数」の平均値（東山区）

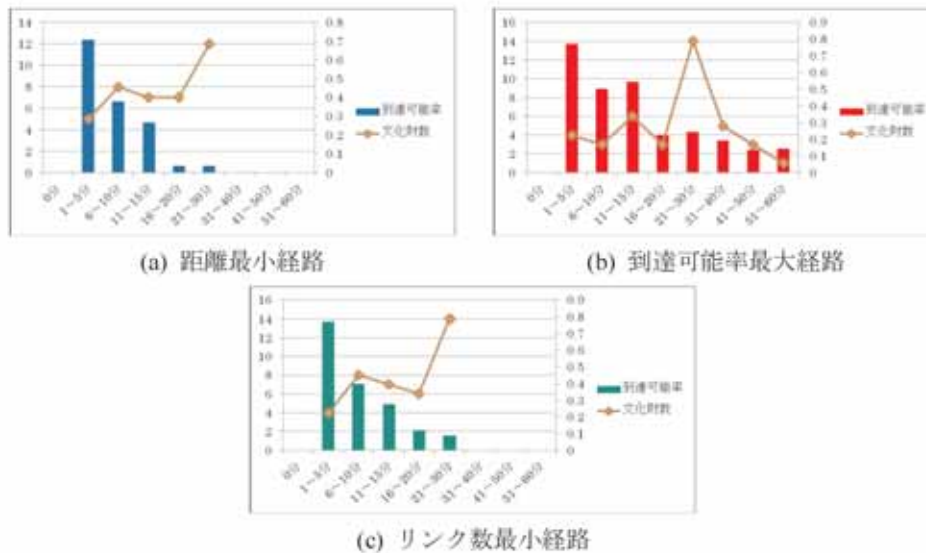


図3 所要時間別の「避難場所までの距離を考慮した到達可能率」の平均値（上京区）

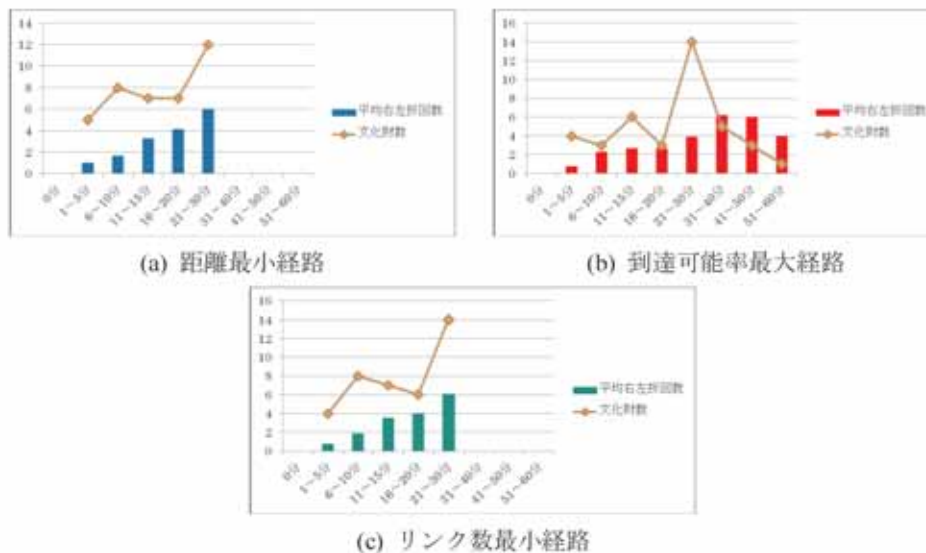


図4 所要時間別の「経路中に含まれる右左折回数」の平均値（上京区）

東山区に存在する文化遺産所在地について、所要時間ごとに避難場所までの距離を考慮した到達可能率を比較すると、到達可能率最大経路の平均到達可能率が比較的大きい値を示している。また、経路中に含まれる右左折回数をみると、リンク数最小経路の右左折回数が比較的大きくなっていることがわかる。一方、距離最小経路ではいずれの文化遺産も所要時間が30分以内であるのに対し、到達可能率最大経路では30～40分、リンク数最小経路では30～50分となる文化遺産も存在しており、避難に要する所要時間はやや増加することがわかる。

一方、上京区に存在する文化遺産所在地についてみると、同様に到達可能率最大経路の平均到達可能率が大きい値を示している。また、距離最小経路とリンク数最小経路においては、所要時間が増加するにしたがって右左折回数も増加傾向にあることがわかる。一方、距離最小経路では東山区と同様に所要時間が30分以内であるのに対し、到達可能率最大経路では30～60分となる文化遺産も存在しており、避難に要する所要時間はかなり増加することがわかる。

これらをもとに、東山区と上京区の比較をおこなうため、3種の評価指標による経路の各々について、所要時間、避難場所までの距離を考慮した到達可能率、経路中に含まれる右左折回数の平均値を算定した。

東山区の評価結果を表5に示す。距離を考慮した到達可能率をみると、到達可能率最大経路がもっとも大きい値を示しているが、所要時間に大きな差はないことがわかる。また、右左折回数は比較的小さい値となっているが、リンク数最小経路の右左折回数が他の経路と比較して大きいことがわかる。リンク数最小経路

は交差点数をもっとも少なく、観光客にとって迷いにくい経路と考えられるが、東山区のような不整形の道路ネットワークの場合には、右左折回数が大きくなるためにかえって迷いやすくなることが示唆される。

一方、上京区の評価結果を表6に示す。距離を考慮した到達可能率をみると、到達可能率最大経路がもっとも大きい値を示している。また、右左折回数をみると、3種の避難経路にあまり差はみられないことがわかる。しかしながら、文化遺産から避難場所までの距離が大きく、所要時間が大きくなる場合には、到達可能率最大経路の右左折回数が他の経路と比較して小さくなる傾向にあることがわかった。

表5 東山区の評価結果

	平均所要時間	平均到達可能率（距離考慮）	平均右左折回数
最短経路	10分	0.322	1.8回
到達可能率最大経路	13分	0.372	2.1回
リンク数最小経路	13分	0.286	3.0回

表6 上京区の評価結果

	平均所要時間	平均到達可能率（距離考慮）	平均右左折回数
最短経路	14分	0.233	3.6回
到達可能率最大経路	23分	0.346	3.6回
リンク数最小経路	16分	0.256	3.9回

4. 避難場所の位置に関する検討

(1) 避難経路の迂回率に関する検討

避難経路の到達可能率に影響を及ぼす重要な要素として、避難場所の位置がある。とくに東山区は山麓に近づくほど道路ネットワークが少なくなるという特徴があり、避難場所が山麓に近いかが非常に重要なものとなる。東山区では北側と南側で避難場所の位置の違いがあることにより避難経路の特徴に大きく差が表れている。東山区における避難場所の配置状況を図5に示す。

これを各避難場所への経路における迂回率をもとにみることにする。迂回率とは到達可能率により抽出された経路が最短経路に対してどのくらい迂回しているかを示す値であり、以下の式により算定する。

$$\text{迂回率} = \frac{\text{到達可能率により抽出された経路の距離} - \text{最短経路の距離}}{\text{最短経路の距離}}$$

東山区における各避難場所への迂回率の平均を表7に示す。東山区で北側にある円山公園は入口が山麓から離れた場所にあるために周辺の道路ネットワークも多く、ここに避難する場合には代替経路が多く存在する。これに対し、南側にある他の3箇所の避難場所はいずれも山麓に近い場所にあることから、避難する際には山麓側に近づいていくことになる。3箇所の避難場所はいずれも迂回率が非常に小さな値となっているが、これは最短経路となる経路で道路閉塞が発生した場合、代替経路がほとんどないことに起因している。とくに日吉ヶ丘高校グラウンドは15箇所の文化遺産所在地からの避難場所となっているが、周辺は道路ネットワークが少なく、避難経路が限定され迂回することができない。このような代替経路のない場所で道路閉塞が発生すれば十分な避難ができず、孤立する可能性もある。

また、東山区の北側と南側における違いとして、避難場所が幅員8m以上の道路に面しているか否かという点がある。円山公園は複数の入口の中の1箇所が幅員8m以上の道路に面している。表1に示すように、幅員8m以上の道路リンクは災害時においても徒歩であれば通行可能であるため、幅員8m以上の道路に面している避難場所へは、いったん幅員8m以上の道路に出ることができれば、幅員の大きい道路を利用しての避難が可能になる。また避難後の救援物資などの輸送をおこなう際、幅員の大きい道路に面していることにより効率的におこなえることから重要である。山麓に近い場所に避難場所が集中している南側ではいずれの避難場所も幅員8m以上の道路に面していないため、狭幅員の道路を利用しての避難が必要となる。

この影響が顕著に表れているのが、比較対象地域として分析をおこなった上京区である。そこで、上京区における各避難場所への迂回率の平均を表8に示す。幅員8m以上の道路に面した避難場所である二条城、

京都御苑、立命館大学グラウンドは迂回率が小さい値を示しているのに対して、面していない他の2箇所は大きい値を示している。東山区の場合と異なり、上京区では碁盤の目状の道路ネットワークであることから代替経路が多く存在し、道路閉塞が発生した場合においても到達可能な代替経路が存在する可能性が大きい。その場合には迂回によって避難距離が大幅に増大する可能性があることがわかる。このように幅員の大きな道路に面していることは、避難場所として非常に重要な要素の1つであるといえる。

表7 各避難場所への避難経路の迂回率（東山区）

避難場所	対象文化遺産数	迂回率
円山公園	33	0.347
日吉ヶ丘高校グラウンド	15	0.035
泉涌寺	3	0.000
月輪中学校グラウンド	1	0.000

表8 各避難場所への避難経路の迂回率（上京区）

避難場所	対象文化遺産数	迂回率
二条城	3	0.173
京都御苑	20	0.230
立命館大学グラウンド	1	0.722
洛星高校グラウンド	10	1.168



図5 東山区の指定避難場所

(2) 避難場所の指定に関する検討

上述のように、道路ネットワークの形状によって代替経路の有無に差があることから、東山区のような地域においては道路閉塞時の代替経路が少ないことを前提とした避難場所の配置や経路誘導をおこなう必要があると考えられる。たとえば、東山区の南側では山麓から離れた場所を避難場所として利用できれば、災害時の到達可能率を向上させることが可能である。

改善案として、山麓近くに位置する日吉ヶ丘高校グラウンド、月輪中学校グラウンドの2箇所を替えて、図5に示すように、新たに3箇所の避難場所を指定することを考える。新しく提案する①東福寺、②智積院、③京都国立博物館の3箇所は山麓から少し離れた場所にあること、比較的大きなスペースをもっていることから選定をおこなった。また②智積院、③京都国立博物館に関しては幅員8m以上の道路に面している。

改善案での各文化遺産から避難場所への避難経路の抽出結果について、距離、リンク数、到達可能率の平均を表9に示す。表2と比較すると距離やリンク数は大幅に改善され、到達可能率も大きい値となっている。このように、山麓から離れた位置で幅員の大きい道路に面した場所を避難場所に加えることにより、安全性の向上、避難時間の短縮などが可能になることがわかる。このように災害時を想定した複数の指標値を用いることにより、より安全な避難場所の選定をおこなうことができることがわかる。

表9 改善後の抽出経路に対する各指標の平均値（東山区）

経路抽出方法	評価指標の平均値		
	距離 (m)	到達可能率	リンク数
距離最小化	386.20	0.536	7.4
到達可能率最大化	470.65	0.579	8.6
リンク数最小化	400.04	0.533	6.6

5. おわりに

本研究では代表的な歴史都市であり、多くの観光客が訪れる京都市東山区を対象として、文化遺産所在地からの想定される避難経路の抽出方法とその特性について分析をおこなうことにより、観光客に対する適切な避難経路の設定方法について検討をおこなった。これらにより、避難場所までの避難経路に対して距離、到達可能率、リンク数といった指標によって評価をおこなうことにより、現状の避難場所の指定や避難経路についての課題点や改善策を検討できることが示された。

今後の課題としては、避難場所までの距離が大きくなることによる到達可能率の減少や、経路中に含まれる交差点数、右左折回数が大きくなることによる迷いやすきの増大をより具体的、定量的に評価し、これらを統合した経路抽出方法を提案することが挙げられる。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。

また、本研究では代表的な歴史都市、観光都市として京都市東山区を対象に分析をおこなっているが、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。これにより、より汎用性のある歴史都市の防災対策パッケージの作成に向けた方法論の構築が必要であると考えられる。

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) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 安陸浩, 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.
- 5) 前川貴哉, 小川圭一, 塚口博司, 安陸浩: 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.
- 6) 前川貴哉, 乾晶彦, 小川圭一, 塚口博司, 安陸浩: 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.
- 7) 小川圭一, 乾晶彦, 前川貴哉, 塚口博司, 安陸浩: 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 京都市: 京都市広域避難場所・避難救助拠点一覧図, 2010.
- 12) 松江正彦, 田中隆, 野島義照, 藤原宣夫, 若生謙二: 阪神・淡路大震災における避難者の避難所と自宅との往復行動, 日本造園学会誌 ランドスケープ研究 研究発表論文集 15, Vol.60, No.5, pp.659-662, 1997.
- 13) 仙田満, 矢田努, 富田昌志, 原博: 歩行線形による通路空間の形状に関する研究 小学校廊下の実態調査および実物大模型による歩行実験にもとづく曲がり角隅切処理の提案, 日本建築学会計画系論文報告集, No.455, pp.109-118, 1994.
- 14) 仙田満, 矢田努, 大越英俊: 歩行線形による屋外通路空間の形状に関する研究 近道行動における歩行線形のビデオ解析と裸地出現率の検討にもとづく曲がり角隅切処理の提案, 日本建築学会計画系論文報告集, No.479, pp.131-138, 1996.