

# 広域避難誘導方法の評価支援システム

## Evaluation Support System of Large Area Tourist Evacuation Guidance

衣笠 成輝†  
Seiki Kinugasa

仲谷 善雄‡  
Yoshio Nakatani

### 1 はじめに

我が国では、東南海地震や南海地震、首都圏直下地震など近い将来に大規模な地震災害が発生することが懸念されており、行政を中心にさまざまな対策がとられている。また東北地方太平洋沖地震、福島第一原発事故の発生により、地震対策に対する社会的な関心も高まってきている。

一方、我が国では観光立国を目指しており、2007年に観光立国推進基本法が施行され、観光客の増加による経済活性化を目指しており、今後ますます観光客が増加することが考えられる[1]。

しかし、多くの地震対策は住民に対するものであり、観光客や通勤通学者などの非住人に対する対策はほとんどないのが現状である。都道府県レベルでの地域防災計画を調査すると、観光客、旅行者に関する記述があるのは、30府県中 11 府県に留まった。またそのほとんどが数行程度の記述である。

世界的に災害の多い日本で観光客の安全に注力することは、住民と比べて物理的、心理的に大きな被害を受けやすい観光客を守るということだけでなく、世界に向けてのアピールにもなる。災害対策をアピールすることで逆に観光地が危険であると思われるのではないかと根拠のない危惧が一部には根強いのも事実である。しかし災害対策は観光客にとってだけではなく、観光地の側にとっても非常に重要なことである。なぜなら、災害によって観光地に多数の被害が発生することは、観光客離れの大きな原因に繋がるからである。観光客を災害から守ることは、観光立国としての評価を上げることができるとともに、観光客だけではなく、観光地の住民の生活も守ることができるのである。このような BCM\*の観点からも、観光客の防災は重要と考えられる。

以下に一般的な観光客の特徴を示し、避難誘導の重要性について述べる。

- 土地勘がなく、避難場所、方向、どのような場所などの見当をつけることが難しく、不安感を持ちやすい。
- 家族と離れている場合には、家族と連絡をとろうとする。
- 基本的には家に帰ろうとする。このため、鉄道の駅の周辺などに集まる傾向にある。
- その土地の災害の特性についての知識が乏しく、危機感を持ちにくいいため避難勧告・指示を無視する傾向にある。
- 情報入手手段が十分ではないため、不安感を持ちやすい。
- 観光客対象であるため、道具や設備を持っていない。
- 非常に多数の他の観光客と一緒に行動せざるをえないため、精神的なストレスを感じやすい。また、肉

体的にも疲労がたまりやすい。

- 外国人の場合には、上記の問題が極端に出るとともに、言語の問題が大きな壁となる。

以上より、観光地では地震発生時、国内外から訪問している土地勘のない観光客が多数いるため大きな混乱が発生することが考えられる。災害による 2 次被害の発生は、災害の発生規模や防災施設の整備状況だけでなく、避難状況によっても大きな差が生じる。危険が予想される状況で避難勧告や避難指示に観光客が従わなければ大きな被害に結び付く可能性がある。そのため地域の防災対策を検討する上では、従来のハード施設の整備に加えて、被害情報の収集と災害情報の伝達、および避難誘導を的確かつ迅速に行うことが重要となる。したがって、適切な避難誘導方法をあらかじめ検討し、判断のためのガイドラインを設計しておくことが重要となる。

本研究は、このような問題に対応するため、広範囲に分布する観光客に対してどのような方針や方法で安全かつ早く目的地まで観光客を誘導できるかを計算機上で検討できる環境を行政などに対して提供することを目的としている。災害時には観光客だけでなく、住民も避難する可能性がある。鉄道、バスなどの交通機関の運行状況、多数の避難者の徒歩での移動を妨げる道路の渋滞状況、山沿いの土砂災害の危険性、雨天・風速・気温などの気象条件など、様々な状況を考慮して、多数の観光客の避難誘導方法を検討する必要がある。

### 2 広域避難誘導方法

ここで土地勘のない観光客などを対象とした広域避難誘導に関する従来の研究について述べる。

#### 2.1 超越的避難誘導方法と動的避難誘導方法

京都大学の石田らが提案した避難誘導システム[2]は GPS 付き携帯電話と FreeWalk と呼ばれる仮想都市空間を使って、避難誘導を担当するエージェントがそれを観察して現地にいる避難者の携帯電話に避難指示を送信する。

和歌山大学の野崎らが提案した避難誘導システム[3]は、街角の至る所に無線情報機器を設置し、災害発生時、それらに携帯電話から災害情報を入力することにより安全な避難誘導を提供するものである。

これらは全避難者が携帯電話を保有していることが前提で、かつ規模の制約が大きいという課題がある。

#### 2.2 段階的避難誘導方法

立命館大学の仲谷らが提案した避難誘導方法は、時差を設けながら順番に避難させていく方法である[4]。時差を作るため観光客を一時的に退避させるバッファとして防災中継拠点を設けているところに特徴がある。

防災中継拠点は観光客が一斉に中央部に移動しようとす

†‡Graduate school of Ritsumeikan university Science and Engineering

\* Business Continuity Management

るのを防ぐ役割と、危険な観光地から早く移動させる役割がある。防災中継拠点の有力候補は、現段階では京都市内に点在する大学キャンパスだと思われる。もちろん、観光地でもある神社仏閣自身も、災害によって損害を被っていない限りはバッファとしての役割を果たす。

この方法は各観光地の現場協力者から現場の状況情報を伝達してもらい、その情報から誘導方法を決定し、その内容を現場協力者に伝達するものである。現場協力者は随時避難状況を伝達し、それに応じて誘導方法の変更などを行っていく。避難者各人にGPS付携帯を持たせるというような制限がないため実用的であると言える。実システムによる検証は行われておらず、京都の清水寺周辺を舞台に計算機シミュレーションを用いて仮想的に検証されている。東日本大震災での首都圏周辺の帰宅困難者の再現シミュレーションによると、一斉に帰宅を開始した人は多くなく、結果的に時差をつけた帰宅となったために、混乱の発生度合いは小さかったとしている[5]。

以下は本誘導方法のアルゴリズムである。

#### Step1：災害情報、被災情報の収集。

現場の協力者からの報告を収集し、分析して、現場の状況の把握をする。

#### Step2：誘導方針、誘導方法の決定。

現場の状況の分析に基づいて、どの観光地の観光客をどの防災中継拠点にいつ移動を開始させるか、などの決定を行う。

#### Step3：現場協力者への誘導方法の伝達

決定された誘導方法を現場協力者へ伝達し、現場協力者はその内容を観光客へ伝達する。

#### Step4：状況に応じた誘導の変更

現場協力者は継続的に避難状況を報告する。混雑が大きくなった場合や、避難路が使えなかったことが後から判明した場合など、状況に応じて随時誘導方法を決定し現場協力者への伝達を行う。

#### Step5：防災中継拠点での管理

防災中継拠点に集まった観光客の物資・情報の支援を行う。

#### Step6：中央部の状況の判断

中央部の状況に応じて防災中継拠点から観光客を移動させるかどうか決定を行う。

#### Step7：防災中継拠点間の優先度の判断

中央部の状況、避難途中の状況からどの防災中継拠点から避難を開始させるか判断する。

#### Step8：中央部への段階的な誘導

Step7の判断から順番に移動を開始する。

### 3 システム内容

#### 3.1 提案の基本方針

観光客など非住民はほとんど土地勘がなく、的確な避難誘導がなければ安全な避難は困難である。そのため現場状況を迅速に把握し、それに基づいて的確な判断で避難誘導を行うことが求められる。ただし人海戦術でこのような情報収集、意思決定、避難誘導の伝達を行うことは、広域に広がる自治体管理地域に対して自治体職員数に限度があることから、困難である。このような活動を支援するための災害時情報システムが必要であると考えられる。これは非住民だけでなく、住民の避難に対しても必要である。

多様な避難誘導システムや避難誘導方法が提案されてい

る中で、どのような方法が望ましいのか、どの方法やシステムを用いると観光客はどのように移動するのかは、避難誘導システムや避難誘導方法を決定する上で把握しておかねばならない事項である。しかし大規模な避難誘導実験を実施することは現実的ではなく、有効なデータ収集方法として計算機シミュレーションが考えられる。

計算機を用いて人間の避難行動をシミュレートする試みはこれまでも数多く行われてきた[6]。しかし、観光客対象の避難誘導方法の有効性を検証できるシステムはない。本研究では、様々な避難誘導方法や避難誘導システムを用いたときに、観光客がどのように移動するのかを模擬し、それによって有効性の評価を行うためのデータを提出するシステムの構築を目指す。ここで要求される機能としては以下のものが挙げられる。

- 観光客の移動が時間を追って地図上で視覚的に明確に把握できること。
- 避難誘導の内容を反映する形で、観光客が通過すべき経路を指定できること。また状況の変化に応じて経路の変更を容易に指示できること。
- 道路の幅、自動車交通量、道路周辺の建物などの損壊状況、天候などの諸要因が観光客の移動に与える影響を模擬でき、定量的に計測（移動速度、避難に要する時間など）できること。
- 住民もまた避難する場合の、観光客の避難に対する影響を評価できること。例えば、避難所に観光客が移動しようとしたときに、すでに近くの住民が多数避難しているために避難所に入り切れない観光客の数を把握できること。
- 防災中継拠点をを用いた避難のように、避難が複数の段階で行われる場合の避難の状況も模擬し評価できること。
- 場合によっては、広い道路をも避難所とする場合も模擬し評価できること。

#### 3.2 開発環境

本システムを、JavaScriptを用いてWindows PC上に実装した。地図管理システムとしてGoogle Maps APIを使用した。Google Maps APIはGoogle社が提供する地図情報サービスであるGoogle Maps（グーグルマップ）の持つ機能を、インターネットを介して外部から利用するための手続きをまとめたAPIである。

#### 3.3 システム構成

画面例を用いてシステムの仕様について説明する（図1）。

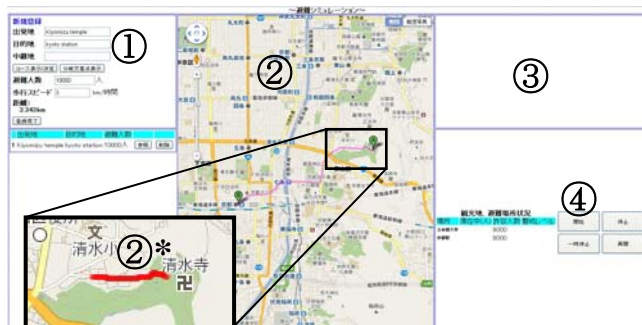


図1 システム画面

データ入力画面①は、避難誘導方法の設定を行う。ここで入力する内容を表1にまとめた。ユーザは「入力名」ごとに「入力内容」のいずれかを入力しなければならない。

表1 データ入力項目

入力名	入力内容
出発地	住所 or 経度・緯度
経由地	住所 or 経度・緯度 or なし
防災中継拠点	住所 or 経度・緯度 or なし
目的地	住所 or 経度・緯度
避難人数	出発地にいる避難者数

「出発地」は避難開始場所、「目的地」は避難終了場所、「経由地」は避難ルート、「防災中継拠点」は2.2で示した一時待機場所のことを表している。これを1セットとして、複数の出発地—経由地—目的地の設定が可能である。これは、目的地ごとにどのルートを通してどこに避難するのかを指定していることに相当する。設定されたルートは地図画面②の地図上で色を変えて表示される。図1の②はその時の様子である。本システムは、全避難者がこの避難誘導に従って避難するとしている。

シミュレーション開始後、画面①で登録されたデータを基に画面②に②\*のような避難者の具体的な避難行動の様子を表示する。「経由地」「防災中継拠点」に入力がなければ、出発地から目的地に向けて最短経路で避難を行う。

「経由地」に入力があれば、そこを経由した最短経路で目的地に避難を行う。複数入力があれば、それだけ経由する数も増え、複雑なルート変更が可能である。「防災中継拠点」に入力があれば、出発した避難者は目的地には向かわず、そちらに最短経路で避難を行う。同時にここで待機する時間を入力する。待機時間が1時間の場合、防災中継拠点に全員の避難が完了した後、1時間後に防災中継拠点を出発し目的地に移動を開始する。待機時間が0時間の場合、中継拠点に全員の避難が完了した直後に目的地への移動を開始する。「経由地」「防災中継拠点」両方に入力がある場合、出発地—防災中継拠点、防災中継拠点—目的地の避難ルートの変更が可能である。避難者の移動途中の列はルート上で濃い線として表示される。描かれる避難者列の長さは避難人数に応じて変化する。出発地から避難者が出ている時、歩行スピードと経過時間に応じて出発地から順に線を描き、列を作る。目的地又は防災中継拠点に先頭者が到着したとき、同様に順に線を消していき、避難者が入っていく様子を表す。

移動途中、場所によっては避難者が密集する。本システムで避難者の群集密度の変化が発生するのは合流時と道幅の変化の時である。密集すると移動の列は滞留、場合によっては停滞する。

避難状況画面③は、具体的な避難状況を数値で可視化する。具体的には、ある時刻の出発地、防災中継拠点、目的地の避難者数、どの場所で停滞又は滞留が発生しているかを表示し、避難誘導方法の検討の支援を行う。

操作ボタン④は、シミュレーションの開始、停止、一時停止、再開を行う。

### 3.4 システム動作

シミュレーション開始後のシステムの内部動作について説明する。図2はシミュレーション開始後のフローチャートである。「歩行速度変化」は図3に結びつく。

「群集の移動」とは群集の先頭者から最後尾までが次のステップに移動することである。ステップとは出発地から

目的地までの経路情報の最小単位のこと、次ステップの場所(経度、緯度)、次ステップまでの距離と道幅の情報が含まれている。移動処理はこの情報を基に前ステップにいた群集を次ステップへ、前々ステップの群集を前ステップへ、という処理を行い、群集全体を移動させる。描画レベルでは前ステップから次ステップまでを直線で濃くし、群集全体を濃く表示する。群集の描画スピードは歩行速度に比例する。

避難途中で歩行速度が変化することがある。歩行速度は群集密度に応じて変化する。群集密度は、ステップの道幅、距離と内にいる避難者数に基づいて計算される。1㎡当たりの密度が高くなると自然に歩行速度は落ち、滞留が生じる。東京理科大学の戸川は、密度と歩行速度の関係を示している。Fruinは、4人/㎡になると急激に速度が落ちると指摘している[7]。本システムの歩行速度はこのような知見から式(1)のように計算される。

$$V(\rho) = 1.1\rho^{-0.7954} \quad (1)$$

$\rho$ : 群集密度 (人/㎡)

$v$ : 歩行速度 (meter/second)

本システムで歩行速度が変化するのは、道幅の変化または群集の合流が発生したときである(図3)。道幅が変化したとき、ステップ内の面積が変化し、ステップ内にいる避難者の数は変化しないため群集密度は上昇する。合流が発生したとき、ステップ内の避難者の数が変化し、面積が変化しないために群集密度は上昇する。群集密度が4人/㎡までは式1に従って群集の歩行速度が計算され、4人/㎡を超えると速度は0.3652 (meter/second) に保たれる。これは群集密度を4人/㎡に保つことを意味する。ステップ内の面積は変化しないので、それに伴って群集の列の長さが増える。これは群集密度が限度を超えると後方に群集が溜まっていくことを表す。

現バージョンのシステムでは合流の処理、道幅変化の処理が完全には実装されていない。合流が発生すると、何も処理はされず群集は重なって表示される。道幅の変化については、シミュレーション途中で道幅が変化しても群集の長さは変化しない。合流、道幅の処理の実装は正確なシミュレーション結果が得られると考えられ、今後開発を進める。

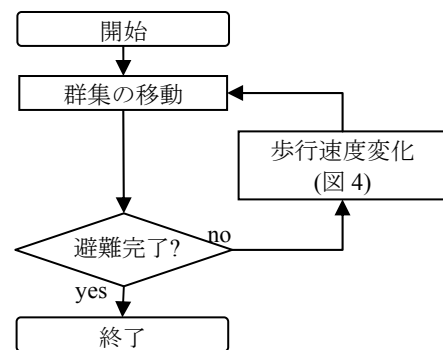


図2 シミュレーション開始後のフローチャート

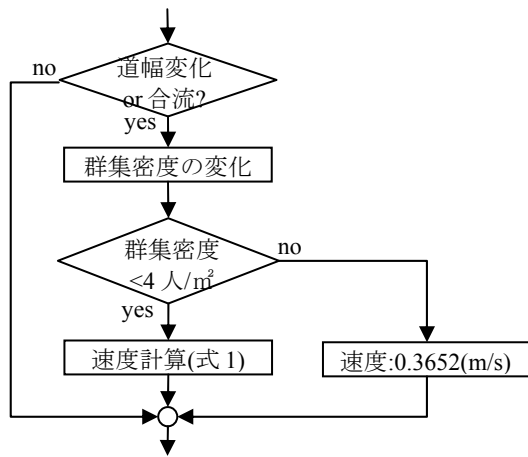


図3 歩行速度変化のフローチャート

## 4 システムの評価

本システムの有効性を検証するために、日本最大の観光都市である京都市を対象とした実験を行う。京都市の観光客避難誘導については、仲谷が段階的避難誘導方法を提案している。そこで検証のために、この段階的避難誘導方法の有効性を本システムを用いて模擬し、その結果を専門家に評価してもらった。3.4でも述べたように、本システムはすべての機能が実装されている訳ではないが、専門家の評価に耐えうるレベルであると考えた。以下では京都の特徴について述べ、それを考慮したシミュレーション条件を示し、評価を行う。

### 4.1 京都の観光客

京都は年間 5,021 万人（2008 年）の観光客が訪れる、世界的に見ても代表的な国際観光都市である。東京ディズニーランドとディズニーシーの年間来場者数が約 2,700 万人ということから考えると、いかに京都に多くの観光客が訪れているかがわかる。月別では、紅葉シーズンである 11 月に訪れる観光客が最も多く 659 万人である。以下は京都を訪れる観光客の特徴をまとめたものである[8]。

- 女性が多い：64.7%は女性
- 年配の方が多い：63.7%は 40 歳以上
- 近畿地方からの観光客が多い：
  - 近畿地方：60.5%（内京都府域 10.5%）
  - 関東地方：14.4%
- 団体よりも個人が多い：団体は 9.8%。他個人。
- 鉄道利用者が多い：34.5%は JR、26.3%は私鉄。

### 4.2 京都で想定される地震と被害

京都では地震災害の発生が危惧されている。2010 年に発表された政府の地震調査研究推進本部の地震調査委員会の報告書[9]によると、今後 30 年間に京都市で震度 6 以上の地震の影響を受ける可能性は 3%以上とされている。もっとも重要視されている花折断層地震は、想定される規模は M7.4 で、直下型のために震度 7 の激震が京都市東部を襲うと考えられている。今後 30 年間の発生確率はほぼ 0~0.6%と見積もられており、我が国の活断層の中ではやや高いグループに属する。南海トラフが関係している東南海・南海地震の今後 30 年間の発生確率はそれぞれ 60%、55%と他の断層帯に比べても極めて高く、京都市は震度 6 弱と予想されている[10]。

東北地方太平洋沖地震では、関東一帯で震度 5 強から 6 弱を観測し、ほぼ全線が運転を見合わせ多数の帰宅困難者が出た。首都圏の帰宅困難者についての調査結果によると、地震発生後 6 時間後に鉄道が復旧し始め、9 時間後にはおよそ 9 割が復旧している[11]。

東南海・南海地震発生時には、近畿一帯で同様の事態が発生すると考えられ、さまざまな事態を想定し対応しなければならない。関西大学の河田らは東日本大震災と同じ M9.0 級の南海地震が発生した場合、大阪府内の平野部の大半が津波によって水没する恐れがあると試算を出し、JR 大阪駅、新大阪駅が利用できなくなることを示唆している[12]。この場合、大阪方面への帰宅は困難であり、兵庫、和歌山方面への帰宅者は別の路線を使う必要がある。余震による運行中断が発生した場合、駅に向けて移動を開始した避難者を再び中継拠点に戻す、又は別の近くの中継拠点に留めておくなどの誘導も考えられる。震度 7 を越えるような激震が京都を襲った場合、鉄道がすぐには復旧しないと考えられ、また多数の観光客に長い距離を移動させることは返って危険である。そのためむやみに移動させることはせず、防災中継拠点などに留まらせておく必要がある。避難ルートの被害については、木造家屋・電信柱の倒壊、液状化、火災などによる道の断絶、また大通りでは渋滞が発生し、避難の妨げになることも考えられる[13]。

### 4.3 シミュレーション条件

以上の条件を踏まえて表 2、3 の条件の下、シミュレーションを行う。

表2 シミュレーション環境

避難誘導目的	観光客の帰宅、被災地からの離脱。
対象観光都市	京都
時期	11 月の土、日曜の昼頃
想定される地震	花折断層地震、東南海・南海地震
想定される震度	震度 5 強~6 弱
鉄道運行状況	6 時間後に JR の運転再開
避難誘導方法	段階的避難誘導方法

表 3 はシミュレーションに用いる出発点となる観光地、そこにいる避難者数、避難に使う防災中継拠点、目的地、避難中の歩行スピード、避難ルートの道幅を表す。目的地、歩行スピード、道幅は共通事項なのでまとめて表記している。防災中継拠点での待機時間、避難ルートに関しては後述する。図 4 は各観光地、防災中継拠点、目的地の位置を示す。表 3 と図 4 から東側に多くの観光客が集中していることがわかる。

出発地は京都で観光客の最も多い観光地ベスト 10 である。観光客数は、清水寺については、2010 年 11 月の土曜日、日曜日の混雑時に清水寺で実際にカウントした単位時間当たりの人数を用い、清水寺以外については、この清水寺の人数をベースにして、観光客全体に占める清水寺訪問者の比率と各観光地の訪問者比率の比から算出した。

防災中継拠点の候補地として、京都市が一時避難場所として設けている広域避難場所とした[14]。ここで示す防災中継拠点は観光地からの距離、収容人数から仮に示したものである。

道幅は最小のものにあわせて 4（メートル）に、歩行速度は 3（km/時間）に統一した。

目的地は、観光客の鉄道利用者が多いことから JR 京都駅とした。一定の収容量もあり、ある程度避難者が押し寄

せても留めておくことが可能である。

表3 シミュレーションの避難条件

No.	出発地	防災中継拠点	避難者数(人)
1	清水寺(n)	円山公園(k)	12,000
2	嵐山(a)	嵐山東公園(b)	9,500
3	金閣寺(e)	立命館大学(d)	6,700
4	銀閣寺(g)	岡崎公園(i)	5,500
5	南禅寺(j)	岡崎公園(i)	5,300
6	八坂神社(l)	円山公園(k)	4,200
7	高台寺(m)	円山公園(k)	4,100
8	二条城(f)	なし	4,000
9	平安神宮(h)	岡崎公園(i)	3,200
10	龍安寺(c)	立命館大学(d)	1,700

目的地 J R 京都駅(o)  
歩行スピード 3 (km/時間)  
道幅 4 (メートル)



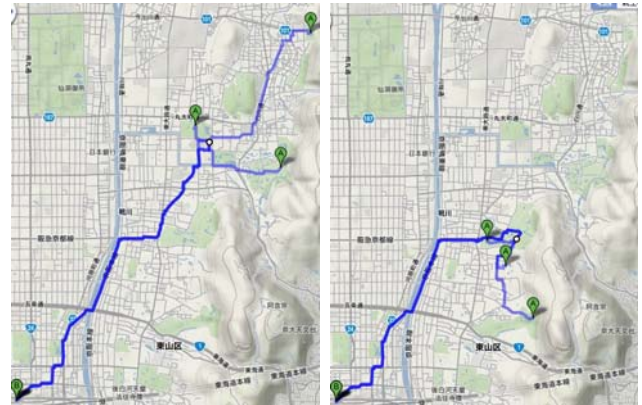
図4 各観光地、防災中継拠点の位置

シミュレーションで扱うルートについて説明する。No.4、5、9のルートは評価用に二つのルートを用意し、図5(a)は経由地をなし、図5(d)は岡崎公園一京都駅に丸太町を経由するよう設定したルートである。それ以外の避難ルートの経由地は全てなしとしている。そのため、図5(d)を除いて出発地—防災中継拠点、防災中継拠点—目的地の各最短ルート、又は出発地—目的地の最短ルートに設定されている。道幅の狭いところでは地震直後に通行不能となることもありえるが、今回のシミュレーションでは考慮に入れないものとする。図5は下記で説明する各ルートを示している。

避難者集団1、6、7のルート図5(b)は清水寺、八坂神社、高台寺を出発地、円山公園を防災中継拠点とし、京都駅を目的地とする。出発地の清水寺は京都で最も観光客の多い観光地である。防災中継拠点の円山公園は広域避難場所に指定されている。清水寺から円山公園までのルートは産寧坂や二年坂を通る経路とした。実際には、このルートは非常に道幅が狭く、坂道も多く、また木造家屋も多いために建物の倒壊による通行不能の可能性もあり、避難ルートには適さない。ただ円山公園を防災中継拠点とする場合には、このルートか、車の通行量の多い東大路通りしかなく、車の通行規制が実現可能かどうか不明な現時点では、車の通らないこのルートを設定した。今後の課題としたい。

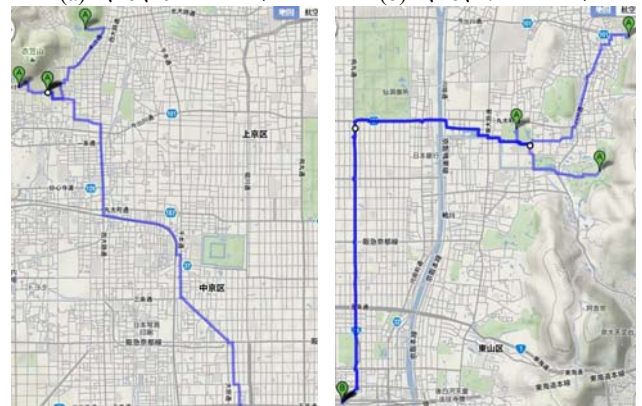
避難者集団3、10のルート図5(c)は金閣寺、龍安寺を出発地、防災中継拠点は立命館大学とし、京都駅を目的地とする。

避難者集団4、5、9のルート図5(a)は銀閣寺、南禅寺、平安神宮を出発地、岡崎公園を防災中継拠点とするルートである。円山公園からの避難者と合流しないように通るルートが図5(d)である。



(a) 4、5、9のルート

(b) 1、6、7のルート



(c) 3、10のルート

(d) 4、5、9のルート\*

図5 避難経路

以上の条件の下、以下の3つの条件で、防災中継拠点の待機時間と避難ルートを設定した。AはJRが復旧したという情報が入ってから互いに情報のやりとりをせず、一斉に避難を開始したことを想定している。Bは円山公園からの避難者と岡崎公園からの避難者が互いに最短ルートを通った場合、避難者が密集する恐れのあることから、円山公園からの避難が完了したという情報が入ってから、岡崎公園の避難を開始することを想定している。Cも同様に合流の恐れを避けるために、迂回路図5(d)を通して、一斉に避難開始を行うことを想定している。

- A : JR が復旧した直後、同時に防災中継拠点又は、観光地から京都駅に移動を開始する。
- B : JR が復旧した直後、岡崎公園からの避難者を除いて、同時に京都駅に移動を開始し、円山公園からの避難者の全員の避難を確認した直後、岡崎公園から移動を開始する。
- C : JR が復旧した直後、同時に京都駅に移動を開始するが、岡崎公園から京都駅に向けてのルートを丸太町通り、烏丸通りを通るルートに変更し、移動する(図5、d)。

以上の条件でシミュレーションを行い、避難の様子、道路状況、京都駅の様子を観察し、評価を行った。

#### 4.4 シミュレーション結果

シミュレーションの結果を表 4、5 にまとめた。表 4 は評価条件 A で、各観光地にいた避難者の出発地から防災中継拠点までの移動時間、避難開始の誘導があるまでの防災中継拠点での待機時間、防災中継拠点から目的地（京都駅）までの経過時間を各々表す。移動時間は最初の一人（先頭者）が避難を開始してから、最後の一人（最後尾）が到着するまでの時間である。合計は出発地から避難開始し、目的地に最後の一人が目的地に到着するまでの総経過時間を表す。表 5 は評価条件別の各経過時間の違いを表している。条件を変えた岡崎公園を防災中継拠点とする避難者のみを表している。これ以外の経過時間は表 4 と違いはない。表 4、5 の「合計」の最大値は全員の避難完了を意味する。評価条件 A と C は、全員の避難が完了するまで 590 分、B は 628 分かかる。防災中継拠点で待機時間が最も長いのは A、C の場合、二条城の避難者 360 分、B は平安神宮の避難者 432 分である。

表 4 中継拠点の待機時間と各移動時間（単位：分）

出発地	中継拠点 までの 移動時間	中継拠点 での 待機時間	中継拠点 からの 移動時間	合計
清水寺	93	267		
八坂神社	26	339	202	562
高台寺	21	334		
嵐山	66	294	230	590
金閣寺	68	292		
龍安寺	19	341	204	564
銀閣寺	78	282		
南禅寺	51	309	178	538
平安神宮	18	342		
二条城	0	360	103	463

表 5 各評価条件の経過時間（単位：分）

条件	出発地	中継拠点 での 待機時間	中継拠点 からの 移動時間	合計
A	銀閣寺	282		
	南禅寺	309	178	538
	平安神宮	342		
B	銀閣寺	372		
	南禅寺	399	178	628
	平安神宮	432		
C	銀閣寺	282		
	南禅寺	309	212	572
	平安神宮	342		

図 6(a)、(b)、(c) は評価条件 A の避難開始 13、374、395 分後のシミュレーション画面である。図 6(b)、(c)、(d) は同じエリア、縮尺で表している。図の下部に濃く描かれている部分は京都駅である。図 6(b)の太枠内は図 6(a)を表す。図 6(a)は清水寺、八坂神社、高台寺から円山公園に向かって避難する様子で、防災中継拠点に集まる避難者数が最も多いエリアである。円山公園に多くの避難者が移動している所に、清水寺からの避難者が円山公園に向かって様子が見える。図 6(b)は二条城、岡崎公園、円山公園から同時に避難開始した直後の画面である。図 6(c)はそれから 21 分後の画面で、岡崎公園からの避難者が円山公園からの避

難者と八坂神社祇園交差点前で合流している様子がわかる。図 6(d)は迂回路を設けた評価条件 C の図 6(c)と同じ避難開始 395 分後の画面である。

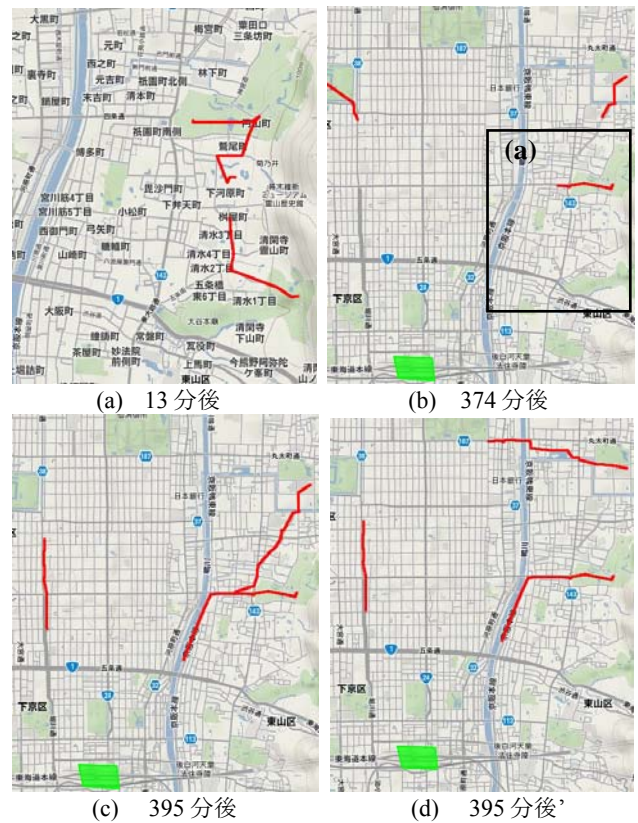


図 6 シミュレーション中の画面

図 7 は評価条件 A、B、C 各々の京都駅に到着する避難者数の推移である。最初の避難者が到着（436 分後）してから最後の避難者が到着（696 分後）するまでの 10 分間毎の到着避難者数を表している。例えば値 0 の場合、10 分間に京都駅に押し寄せる避難者数は 0 人であることを意味する。最初の避難者が到着してから評価条件 A、B、C 共に急激に増加し、441～450 分で A は増加傾向、B、C は減少傾向に移り、481～490 分で C は A と同じレベルにまで増加し、531～540 分に A は減少傾向に移り、再び B のレベルにまで戻る。551～560 分に C は最も多い到着避難者数を示し、その後は A、B、C 共に急激に減少する。571～590 分までは A、B、C は同じレベルを維持し、A、C の避難は完了、B は低レベルの値を維持しながら 700 分後までに避難は完了する。

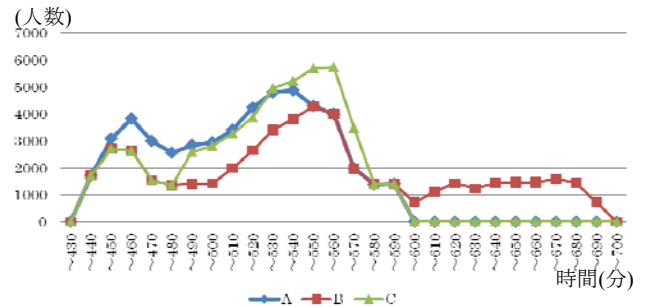


図 7 京都駅の到着避難者数の推移

## 5 考察

シミュレーションの結果から下記のようなことが考えられる。経過時間、合流、京都駅到着者数の観点から各々考察する。

### 5.1 経過時間

全員が到着するまで A、C は 9 時間 50 分、B は 10 時間 28 分かかる。移動時間だけをみると A、B、C 共通して嵐山からの避難者の 4 時間 56 分が最も長く、歩行者にかかる負担の差はあまりない。広域避難場所から京都駅までの歩く時間はほとんどが 3~4 時間であり、高齢の女性を中心とする京都市の観光客にとって現実的に難しい。途中でさらにもう一度、防災中継拠点で休憩することや、災害時帰宅支援ステーション[15]の利用などの処置を考える必要がある。防災中継拠点での待機時間はほとんどが 5~6 時間となっている。これだけの時間、大量の観光客を留めておくだけの設備が必要である。鉄道の復旧する時間が遅ればそれだけ待機時間は延びる。

### 5.2 合流

八坂神社祇園交差点前付近で、避難している円山公園からの群集に岡崎公園から避難してきた群集が合流する。これは避難の妨げになるだけでなく、群集災害発生リスクを高める。

群集災害は通常の状態なら特にリスクは発生しないが、いくつかの条件が重なったとき、突発的に顕在化する特徴がある。例えば心理面では、危険に巻き込まれるかもしれないという不安感がある、長時間緊張を強いられるなど精神的疲労がある、これに加えて異質群集、異方向の流れが混じわるとさらにリスクは増す[16]。群集密度と流速にも関係しており、合流が発生すると群集密度は高くなるため群集災害のリスクは増す。

地震災害は広域であり、さまざまな事態が発生するため避難者の安全な誘導には合流を発生させないことが懸命である。合流が必要な誘導方法の場合には、リスクコミュニケーションの上手くとれた合流方法が必要である。

### 5.3 京都駅到着者数

電車の運行状況は一定であり、また群集災害を避けるためにも駅には安定的に避難者が到着することが求められる。図 7 のグラフから最も安定的なのは B であるが、8 時間 20 分~9 時間 30 分後にかけては高く、安定的とは言えない。9 時間 31 分後以降は比較的安定した到着者数を保っている。これは嵐山からの避難者が到着を完了した直後に、遅延していた岡崎公園からの避難者の先頭がタイミングよく到着したためである。駅の処理能力の限界を上回らず安定的に避難者を到着させるには、的確な避難状況を把握しタイミングよく防災中継拠点に留まらせておくことが有効であることがわかる。それを配慮しつつ、防災中継拠点での待機や、移動中に避難者に負担をかけない効率の良い避難方法が求められる。

### 5.4 段階的避難誘導方法の効果

以上から、本システムを用いてわかった段階的避難誘導方法の効果は以下の点があげられる。

- 目的地に安定的に避難者を誘導できる。
- 群集災害の危険性を軽減する。

- 防災中継拠点や避難経路に十分な備えが必要である。

## 6 専門家の意見

シミュレーション内容を京都市消防局の 2 名に見てもらい、地震などの災害発生時に広域な被災地で観光客を避難誘導する適切な方法を検討するためのツールとして有効かどうか意見を聞いた。その結果、今後も開発を進めてほしいという意見を頂き、このシステムが有効であることを確認することをできた。表 3 は、本システムと避難誘導について指摘された点をまとめたものである。

表 6：京都市消防局の意見

①	地域防災対策として、移動経路の指定はされていない。
②	緊急輸送路を使って避難するという方法が考えられる。
③	道路に 6m 幅がないと滞留してしまうのではないかと。最短経路優先だけでなく、道路幅を考慮した誘導経路の選択が検討できるとよい。
④	震度に応じて、使える道路、使えない道路を指定できるとよい。

①について、地震発生時、どこで何が起こるのか予想することが難しいために具体的な避難経路を事前に決めることが困難である。そのため状況に応じて具体的な避難経路を検討できるシステムにする必要がある。

②については、事前に避難者用の輸送路を確保しておく、緊急時に利用する考えである。これは次の③とも関係する。

③について、避難には、混乱を避けるために 6 m 以上の道幅が必要である。本システムでは道幅が最低でも 6m 以上の道を選択するよう実装されなければならない。

④について、どの経路が使えなくなるとどれくらい避難に要する時間が増えるのか、どのようなことが起こるのか考慮可能なシステムが良いということである

## 7 今後の展望

認識している未実装の部分、シミュレーション結果、専門家の意見を踏まえて本システムの今後の展望を以下のようまとめた。

- 避難に十分な道幅（6m 以上）で最短経路を求め、最適な避難経路を決めるアルゴリズムを検討する。
- 震度に応じて、使える道路、使えない道路などを指定できる機能を追加する。
- 避難中の停滞、滞留、避難者の合流を実装する。
- 入力した避難誘導方法が適切かどうかを可視化する。例えば、駅に安定的避難者が到着しているか、合流が発生していないかなどを見せる。

以上の機能を今後実装することにより、より正確な避難シミュレーションをモデル化することができ、広域な被災地で観光客を避難誘導する適切な方法を検討するためのツールとして最適なシステムに近づくと考えられる。

## 8 あとがき

観光防災の重要性を示し、広域な被災地で観光客を避難誘導する適切な方法を検討するためのシステムの必要性を

整理し、方法を提案するとともに、評価について説明した。本システムは、群集災害などの2次被害を防ぐために安全な避難経路を確保する方法と、観光客が安全に避難できる避難誘導方法の検討を支援するものである。今後は、心理的要素も考慮してより詳細なモデル化、シミュレーション状況を数値で可視化することにより、利用者がより避難誘導を検討しやすい環境を目指す。また、専門家らと意見交換を行い本システムの開発・評価を行いたい。本システムは京都市だけでなく、他の観光都市にも活用できるよう汎用性の高いシステムとなっているが、まずは京都市への適用を考えたい。

## 参考文献

- [1] 観光庁：観光立国推進基本計画、2007.6.
- [2] 伊藤英明・中西英之・小泉智史・石田亨：超越型コミュニケーション：大規模公共空間のための位置依存型誘導法、情報処理学会論文誌、Vol.47、No.2、pp.547-554、2006.
- [3] 野崎浩平ほか：災害発生時における動的な避難誘導システムの提案、情報処理学会研究報告2007-DBS-141(29)、pp.185-190、2007.
- [4] 仲谷善雄：平成21年度京都市防災危機管理対策調査研究に係る助成金報告書、2010.
- [5] 株式会社三菱総合研究所：東日本大震災における首都圏の帰宅困難状況を踏まえた今後の帰宅困難者対策のあり方～再現シミュレーションから見えてきた現状と課題～、pp.4-6、2011.6.13.  
[http://www.mri.co.jp/NEWS/press/2011/\\_icsFiles/afieldfile/2011/06/13/nr20110613\\_ssu02.pdf](http://www.mri.co.jp/NEWS/press/2011/_icsFiles/afieldfile/2011/06/13/nr20110613_ssu02.pdf) (参照 2011-7-21)
- [6] 太田正幸・野田五十樹：大規模災害時の避難効率に対するインタラクションの影響、第19回人工知能学会全国大会論文集、Vol.JSAI05、pp.208-210、2005.
- [7] John J. Fruin：Pedestrian planning and design、pp.39-43、1971.
- [8] 京都市産業観光局：京都市観光調査年報、2009.
- [9] 地震調査研究推進本部事務局：「全国地震動予測地図」2010年版、地震調査委員会関係報告書、2010.
- [10] 林春男：京都府戦略的地震防災対策指針の策定について、2009.4.
- [11] 廣井悠：東日本大震災における首都圏の帰宅困難者について -社会調査と分析-、  
<http://www.fse.t.u-tokyo.ac.jp/hiro/hiro20110527.pdf> (参照 2011-7-21)
- [12] 日本経済新聞：東南海・南海地震M9なら、「大阪湾津波5メートル超」復興会議委員の河田氏、地方経済面 近畿B、2011.6.18.
- [13] 内閣府：平成20年版防災白書、2008.
- [14] 京都市市民防災センター：広域避難場所一覧表
- [15] 京都市・関西広域機構：災害時帰宅支援ステーションハンドブック、2010.3.  
<http://www.city.kyoto.lg.jp/shobo/cmsfiles/contents/0000076/76886/kitakushienhandbook.pdf> (参照 2011-1-18)
- [16] 三島和子：災害の心理学、pp22-26、2001.  
<http://www.secu-forum.info/bunken/shinri.pdf> (参照 2011-7-21).