解　説

観光客を対象とする減災情報システム

仲谷　善雄*

1. はじめに

本解説では，これまでほとんど考慮されてこなかった観光客の災害対策の研究例を紹介する．

京都，奈良，東京，大阪，神戸など，日本には観光地が多く存在する．たとえば京都には年間5,000万人（うち外国からの観光客94万人，修学旅行生101万人．2008年度数値）もの観光客が訪れる．一方で東海・東南海・南海地震の今後50年間の発生確率が60%を超え，その警戒地域には関東から九州に至る広範囲が含まれ，上記の観光都市も含まれる．ほかにも京都では花折断層地震や琵琶湖西岸断層系地震，首都圏では首都直下型地震，大阪では上町断層地震などの危険性も指摘されている．ところがこれまでの国・自治体の防災・減災対策は住民を主対象に進められてきており，観光客を対象とした対策は検討すらほとんど行われてこなかったといってよい．わずかに三重県で津波対策として検討された程度である[1]．最近では状況も変化しつつあり，帰宅困難者という括りで通勤者とともに検討の俎上に乗せられるようになった．しかし遠距離を家族と離れて移動してくる観光客は土地不案内者であり，通勤者とは異なる物理・心理状態にある．また帰宅を促そうにも，南海・東南海地震などの広域災害では，広域にわたる交通網の遮断により移動が難しい場合も少なくない．観光地に緊急滞在することもありうる点を考慮し，近距離に住む帰宅困難者とは別に，特別な対策を検討するべきであろう．外国人や障害者の支援も当然検討されなければならない．京都府・京都市でもようやく2009年4月に，5年間の防災計画の中で観光客の帰宅支援を検討することを表明した[2]．

筆者らはこれまでに，観光客の意思決定モデルに基づいた避難誘導の枠組みとシステム化を実施しているほか，東京マラソン開催時に地震が発生した場合の避難誘導の問題点を検討するためのシミュレーションシステム，留守宅と家族との連絡支援，聴覚障害者とボランティアのコミュニケーション支援などのシステム検討・開発を行ってきた．以下でその代表例を紹介する．既存研究例は少なく，本稿をこの分野の重要性を広く知っていただくための貴重な機会としたい．

* 立命館大学　情報理工学部

Key Words: disaster mitigation and information systems, visitors, evacuation, difficulty in going home.

なおここで紹介するわれわれの研究は，文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業「防災と安全のための複合大規模センサシステムおよびロバストネットワークの構築」（代表：児島孝之），セコム科学技術振興財団補助「広域災害のためのシナジェティックインタフェースの提案と構築」（代表：西田正吾），および京都市防災危機管理対策調査研究助成事業「京都市における災害・有事の危機管理対策に関する研究」（代表：仲谷）の補助を得て実施したものである．

2. 三重県の観光客防災

三重県は観光立県として，観光客防災に積極的に取り組んできた．中でも特筆すべきものとして，2003年度から取り組んでいる地震時の観光客の避難誘導に関する検討がある[1]．観光客の防災に関するまとまった検討としては，全国で最初の試みといえる．そこでは観光地を，大規模宿泊施設（長島温泉，志摩スペイン村），観光事業者の多い地域（鳥羽駅周辺など），地域住民による支援が可能な海水浴場の3種類に分けたうえで，観光関連施設の地震対策，避難誘導体制の確立，安全・安心情報の提供，帰宅・滞在支援の観点から検討している．東海地震の予測が前提で，警戒情報に基づいて観光事業者や地元が責任を持って避難誘導し，基本的には帰宅させる．たとえば，長島温泉には4万人が3日間宿泊できるだけの施設と食料があるが，宿泊は一斉の帰宅による混乱を避けたり，逃げ遅れた場合の補助的手段という位置づけである．

三重県では「観光地を地震・津波から守るために」というパンフレットを防災危機管理部が公表するなど，先進的に観光客防災に取り組んでいる[3]．しかし年間700万人の参拝者が訪れる伊勢神宮が検討対象外である[1]．地震によって伊勢神宮および周辺地域が被害を受ける可能性がある．また，熊野市の海岸で毎年8月に開催される花火大会（2007年度の人出19万人）の開催時に東南海地震が発生した場合の津波避難も検討が必要であろう．水門を閉鎖すれば内水域は安全になるが，津波襲来が予想される15分程度で多くの人を水門内に収容することは難しい．三重県は今後も検討を継続する計画である．

3. 観光客の避難誘導枠組み

3.1 システムの概要

三重県の検討では，警戒情報に基づいて観光事業者などが避難誘導を行うが，突然の地震時に地域全体の被災状況を把握したうえで誘導することは難しい．情報システムによる何らかの支援が必要とされる．筆者らは観光客や出張者を安全に避難誘導するための仕組みとして，マルチエージェントシステムによる避難誘導支援システムを構築する研究を行っている．土地不案内者を安全に避難させるには，避難の時期，場所，方法などについて彼らが納得のいく説明・誘導を行う必要がある．本研究では，そのような避難誘導を実現するための第1歩として，被災時の観光客意思決定モデルに基づく提供情報の検討と，マルチエージェントシステムを用いてそのような情報を提供し誘導する枠組みを提案している．

3.2 広域大規模避難誘導

広域を対象とした大規模避難誘導に関する研究として，京都大学によるメガナビゲーションがある[4]．

管制官とよばれる超越的な位置にいる避難誘導責任者が，GPS（Global Positioning System）付き携帯電話を持つ避難者の位置情報を管理・把握し，広域的な判断を行い，エリアごとの避難誘導先を決定し，それぞれの人に対して個別の誘導情報を提供する．以下で紹介する研究は，エージェントが管制官の役割を代行する，あるいは管制官を補助するものと位置づけられる．

3.3 避難誘導枠組み

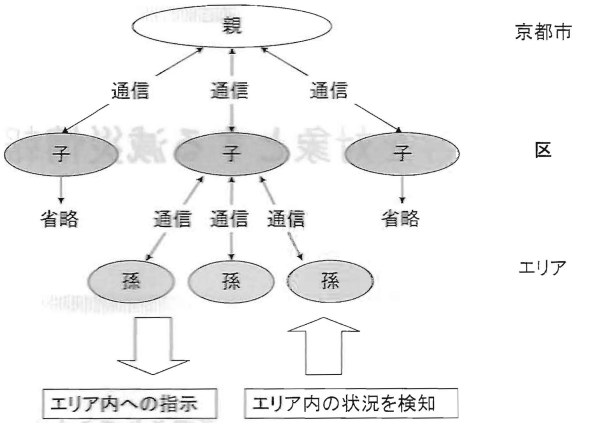
観光客の避難支援についての検討は，まだ緒についたばかりといえる．そこで検討しなければならないおもな事項は下記の通りである．

① 観光客にとって素直に従える誘導方法とは何か．
② 観光客の動きを検知して，適切な誘導方法を決定し，伝達する仕組みとは何か．
③ 避難誘導をどのように伝達すればよいか．

3.4 階層型マルチエージェントによる避難誘導

説明の順序として最初に，観光客の動きを検知して，適切な誘導方法を決定し，伝達する仕組みとして本研究で採用する階層型マルチエージェントシステムについて説明する．第1図にその概要を示す．

① 京都レベルの町の規模を想定して，システムを3階層からなるソフトウェアエージェントで構成した．階層は，比較的小さなエリア（寺社，特定の街区など）を管理する孫エージェント，孫エージェントを中規模の地域（区）で統括する子エージェント，市レベルで子エージェントを統括する親エージェントからなる．
② 各エージェントは「IF…THEN～」形式の避難誘導知識をもつ．親や子は比較的に抽象的な知識で，孫エージェントは管理エリアに密着した具体的な知識をもつ．たとえば親エージェントは「地震が発生し，広域避難所に大きな被害がなければ，広域避難所への避難を指示する」という知識をもつ．東山区を管理する子エージェントは「地震が発生し，親エージェントから避難誘導指示が出された場合は，円山公園への避難指示を出す」という知識をもつ．清水寺を管理する孫エージェントは「地震が発生し，子エージェントから円山公園への避難誘導指示が出された場合は，清水坂への避難誘導を行う」という知識をもつ．



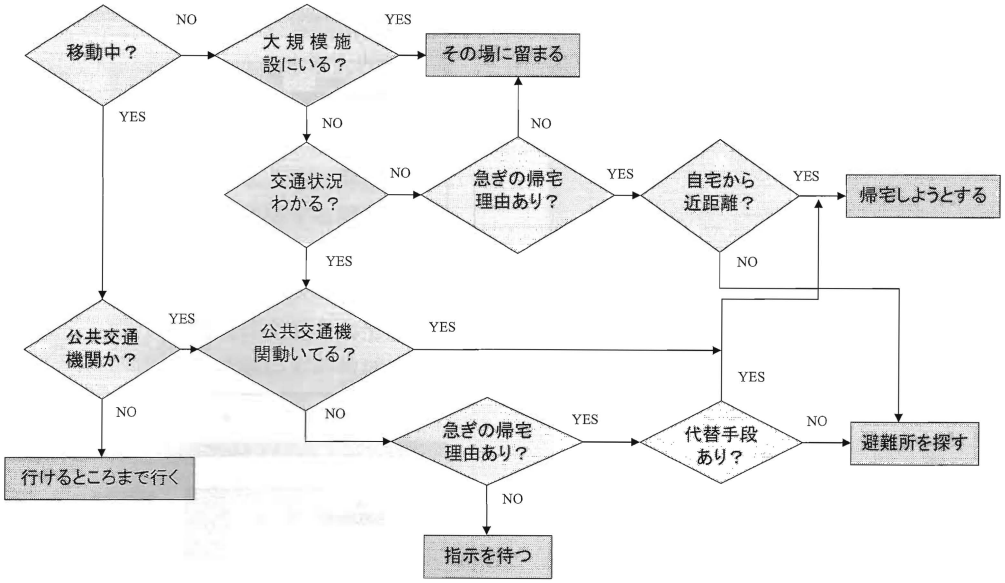
第1図 階層型マルチエージェントシステム

③ 孫エージェントは様々なセンサを用いて管理地域の被災状況や被災者の動向を検知する．本研究ではセンサそのものの開発はせず，既存技術を使用するものとする．孫エージェントは検知内容を子エージェントに報告する．
④ 子エージェントは統括する孫エージェントの情報を整理し，その結果を親エージェントに報告する．
⑤ 親エージェントは子エージェントの報告を整理し，市としての方針を市役所担当者に提案する．たとえば，広域避難所への避難を指示したり，市中央の駅周辺が混乱していれば，周辺地域には現場での待機を命じたりする．
⑥ 子エージェント，孫エージェントは親エージェントの概括的な指示をそれぞれの管理地域の現状を考慮して具体化し，避難誘導を行う．
⑦ 常に状況を監視している孫エージェントからの報告から，状況が変化したと子，親エージェントが判断した場合には，方針を変更する．

3.5 観光客が納得する避難誘導

住民にとっては，家屋や家財道具などの財産を置いて避難所に避難することは大きな決断である．観光客の場合は，財産の心配はないが，不慣れな土地であるため，避難所の場所や様子，滞在期間と滞在への準備状況，遠く離れた家族との連絡などの不安を抱える．安心して避難生活を送るには，これらの不安を払拭するような施策を実行し，情報を提供することが必要不可欠となる．

本システムでは，第2図に示すような，観光客がどの



第 2 図　観光客の意思決定モデル

ような状況でどのような意思決定を行うかに関するモデルを構築し，これに基づいて，意思決定に役立つ情報提供内容や指示を決定している．寺社などの施設にいるとき，徒歩移動時，鉄道利用時，自動車による道路走行時などの状況に応じて，特定の寺社，鉄道，道路などを管理する孫エージェントが指示内容を決定する．たとえば郊外の寺にいる場合には，交通状況がわかるかどうかで判断が変わるので，中心街にある駅周辺の状況を知りたいはずである．そこで，鉄道の駅周辺の被害状況などの情報を重点的に提供する．

3.6　情報提供手段

従来の現場での避難誘導方法は，一斉放送や拡声マイクなどを用いたものである．しかしこの方法では，避難者にとっては一般的な指示でしかないため，自分は具体的にどうすればよいのかを自分で判断する必要があり，土地勘のない観光客にとっては難しい判断を要求される．たとえば「○○駅の方に避難してください」と言われた場合，その駅までの距離，方向，駅の様子などがわからないため，意思決定を逡巡することがあるだろう．

そこで本研究では，より限定されたエリアにのみ情報を音声で伝達できる超指向性音響システムを利用する [5]．超指向性音響システムは，超音波を搬送波にして，水平/垂直方向に約 20 度の角度の限られた範囲にのみ音声を出すことができるシステムである．音源の方向を特定しやすい，雑踏の中でも音（とくに人間の声）を聞き取りやすいという特徴をもつ．これらの特徴は，多くの人で混雑が予想される避難現場において有効な手段である．もちろん，たとえば清水寺全体への指示も必要となるため，一斉放送は残し，より限定された地域での指示のために超指向性音響システムを使う．

超指向性音響システムのスピーカの設置場所については，避難者が方向を迷うような道路の分岐点や，直進が長く続いて避難者が不安になるような道路の途中などが考えられる．

このほかに，個人向けの情報提供手段として，片眼用ウェアラブルディスプレイを持った情報端末の利用も検討している [6]．街角のホットスポットから無線LAN経由で，通常時は観光情報を提供し，災害時には避難指示や災害情報提供などを行う．

3.7　システムの構成

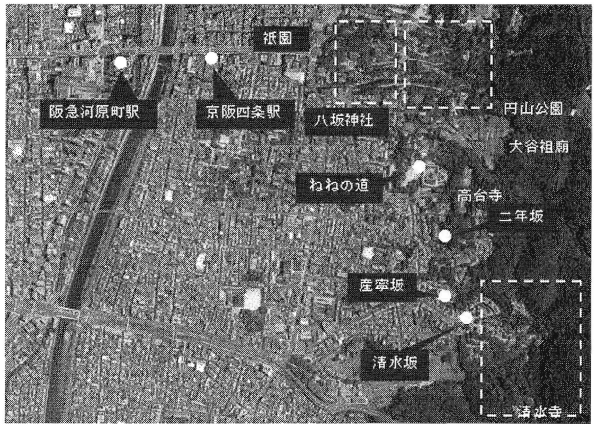
現在，上記のようなシステムを Windows XP 上で Java を用いて構築している．実際に市内に配備される場合には，親エージェントを市役所や都道府県庁，子エージェントを区役所，孫エージェントを各管理エリアの拠点に置くことになる．エージェント間の通信は，災害時にも断線することが少ないという実績から，インターネットを想定している．

3.8　シミュレーションによる評価

本システムが稼動したときの効果を検証するために，京都を対象として計算機シミュレーションを実施した．

対象地域としては，観光客の多い京都市，とくに細い街路に多くの国内外の人が集まる清水寺界隈を選んだ．この地域の広域避難所は円山公園である．孫エージェントの管理するエリアを，清水寺，清水坂，産寧坂，二年坂，ねねの道，円山公園の六つとした．第 3 図にこの地域の航空写真を示す．

シミュレーションでは，孫エージェントの管理エリアをひとつのブロックとし，ブロック間で観光客が移動するマクロなモデルとした．各ブロックには初期値として，祝日の現地調査に基づいて滞在観光客数を設定した（たとえば清水寺は 12,000 人）．観光客は清水寺から円山公園まで誘導される．移動に要する時間は，祝日の混雑時に現地調査を行い，各ブロック間の移動に要する時間を設定した（たとえば産寧坂から二年坂への移動は 10 分）．



第 3 図 清水寺界隈

それぞれのブロックには許容限界人数を設定し，ひとつ先のブロックにいる観光客数が許容限界人数に達していなければ，その人数分だけ移動する．この計算を 5 分単位で実行する．許容限界人数は，円山公園については，京都市が定める広域避難場所一覧表より設定した．清水坂，産寧坂，二年坂，ねねの道については，道幅と道の長さから面積を算出し，移動という状況を考慮して，ラッシュ時の電車内の混雑度（5.7 人/m^2）より少ない 4 人/m^2 を越えると危険であるとして，許容限界人数を設定した．

孫エージェントは，道路が災害によって通行不能となる，人が密集しすぎて避難者の流入は危険などの状況によっては，避難を止める，避難する速度を抑える，迂回路を指示するなどの規制を行う．このような指示の判断を行うため孫エージェントは，子エージェントから隣接ブロックの現在の避難者数の報告を常に受け，現在の避難を継続した場合の 5 分後の隣接ブロックの避難者数を予想している．

超指向性スピーカを，清水寺の山門，清水坂から産寧坂などに分岐する変形十字路の手前，二年坂，ねねの道，円山公園の入り口に設置することとした．

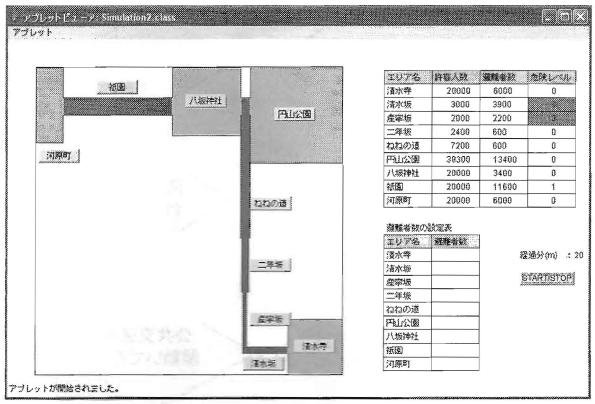
第 4 図にシミュレーション結果を表示する．各ブロックの混雑度を 4 ランクで色分けして表示している．図の (a) は一斉放送のみの場合で，避難開始 20 分後には清水坂や産寧坂で許容避難者数を越える混雑が発生した．

図の (b) は本枠組みによる避難誘導を実施した場合で，混雑は発生しているが，ひどいものではない．各ブロックの避難完了時間も 20 分～35 分短縮されるとの予想を得た（たとえばねねの道で 135 分が 100 分になる）．

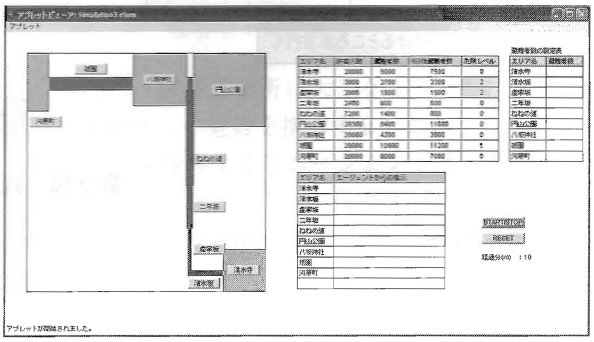
現時点ではまだシミュレーションによる評価だけであり，今後，小規模な避難誘導実験を実施したい．

4. 広域大規模イベント時の避難誘導支援

多数の観光客がいるイベント会場で地震が起こればどのように対応すればよいかという，非日常的な状況を想定した対策や訓練はほとんどされていないのが現状である．イベント主催者側にとって，防災措置を検討したものの，指示に従わない観光客が他の人たちに及ぼす影響や，同時に避難する住民の行動と観光客の行動の相互作用など，予測できない要因が少なくない．本研究では，広域に広がって開催される大規模なイベント開催時の避難状況のシミュレーションを試み，対策立案の支援を行う．具体的なイベントとして東京マラソンを取り上げた．



(a) 一斉放送のみの場合



(b) 誘導のある場合

第 4 図 シミュレーション結果

4.1 東京マラソン

東京マラソンは，2007 年に第 1 回大会が開催された新しいイベントである．10km マラソンとフルマラソンが行われており，2007 年は，フルマラソンの参加者数は 26,058 人，全競技者数は 30,870 人であった [7]．大会を支えるボランティアも 1 万人以上となった．都内の各所において「東京大マラソン祭り」が計画されたこともあって，沿道の応援と合わせて 180 万人もの人出となった．

コースは，新宿都庁前を北に出発したあと，靖国通りを東に進み，5km を過ぎた飯田橋で東南に曲がって皇居東側を走り，10km 地点の日比谷公園から日比谷通りに入って南下し，15km 過ぎの品川で折り返し，10km 地点に戻るとそこが中間点となる．銀座四丁目から隅田川西岸を北上，28km 地点の浅草で折り返して同じコースを再び銀座に戻り，さらに 35km 地点の築地から東南に向かって，有明の東京ビッグサイトでゴールとなる．

4.2 人の移動のモデル

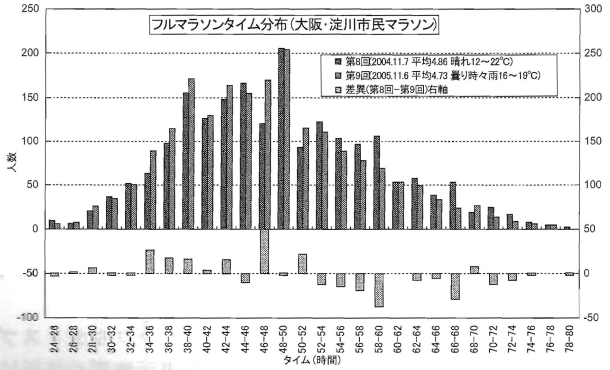
本システムは，東京マラソン開催時に地震が発生し，津波の到来が予想される場合に，ランナー，観覧者，住

民の行動を模擬して，指定されている避難場所の混雑状況，帰宅しようとする人と避難しようとする人との衝突，津波の危険性によって河川沿いの避難場所が使えない場合の混雑状況などを評価できる．

本システムでは，個々の人の動きよりも，群集としての動きを把握することにより，避難に関する問題をマクロに把握する．ランナーと観覧者の人数については，マラソン開始後のランナーの位置を走行モデルに基づいて推定し，観覧者が代表的な観覧場所に先回りして移動するというモデルを用いて，特定の時刻にどの地域にどれだけのランナーと観覧者がいるかを推定する．

(1)　ランナーの走行モデル

ランナーの走行モデルとして第8回大阪淀川マラソンのフルマラソンタイム分布（第5図）を用いた．ランナーのタイムごとのゴール者数の予測に基づいて，各地点での各時間帯の通過ランナー数の想定を行う．フルマラソン参加者の予測ゴール時間と人数を，淀川マラソンの結果に基づいて推定した結果を第1表に示す．同様にして，たとえばスタートから2時間後に何人のランナーがコース上のどの位置に分布しているかを推定できる．



第5図　マラソンの走行モデル

第1表　東京マラソンでの時間ごとの予測ゴール者数

ゴール時間	比率	人数
スタート～3時間	26,000×0.02	約520人
3時間～4時間	26,000×0.23	約5,980人
4時間～5時間	26,000×0.41	約10,660人
5時間～6時間	26,000×0.23	約5,980人
6時間～終了内	26,000×0.11	約2,860人

(2)　観覧者数の推定

以下のように観覧者数を想定することにする．ただしこれらの想定は，天候などの条件を考慮して変えられるようにしている．また観覧者数を想定する場所として，スタート地点付近，日比谷地点，銀座付近，浅草付近，ゴール地点の計5か所を選んだ．この5か所は，第1回マラソンのときにもっとも混雑した箇所であり，混雑による問題がもっとも発生しやすいと考えたことによる．

① スタート地点付近

スタート地点には関係者をあわせてランナー数の3倍ほどの人出があると仮定し，ピーク時に10万人ほどの観覧者がいると想定する．

② 10km付近

日比谷地点では拠点イベントが行われている．また，10kmマラソンのゴールでもある．そこでピーク時に20万人ほどの観覧者がいると想定する．

③ 銀座付近

銀座は，日本を代表する繁華街のひとつであり，沿道の人出も多いと仮定し，ピーク時に20万人ほどの観覧者がいると想定する．

④ 浅草付近

浅草は有名な観光名所であり，普段から観光の人出でにぎわっている．そこで休日の人出である10万人の2倍を想定して，ピーク時に20万人ほどの観覧者がいると想定する．

⑤ ゴール地点付近

ゴール地点では拠点イベントが行われている．また，ゴールしたランナーとその家族が滞留すると考えられる．そこで他地点より多くの人出があると仮定し，ピーク時に30万人ほどの観覧者がいると想定する．

以上の5地点で100万人の観覧者数となる．ただし，マラソン中を通してこの人数がいるわけではないので，マラソンの進行に伴って増減するモデルを使用している．

(3)　住民および避難場所の収容人数

行政は災害規模を想定して地域の住民を収容できる数量だけの避難場所を指定する．ただし観光客や出張者などの外部からの流入人口は想定されていないか，想定が不十分である．したがって，東京マラソンのように大規模なイベント時に多数の群衆をすべて収容できる避難場所は確保されていないといってよい．

本システムでは，地域の避難所に住民だけでなくランナーや観覧者が収容できるのか，収容できないとすれば何人程度が道路に滞留することになるのかをシミュレーションできる．住民の人数は，各地域の世帯数や，人口統計を用いて推定する．避難場所の容量を超えると判断する基準は，避難所の設置基準より，ひとり当たりの有効面積が$1m^2$を切る時点とした[8]．避難所へ移動する歩行速度は時速5kmとした．

4.3　シミュレーション例

上記のモデルに基づいて浅草周辺を対象に計算機シミュレーションを実施した．広域避難場所に指定されている場所は両国地区，隅田公園，墨田区役所・隅田公園自由広場一帯の3か所があげられる．両国地区の収容人数の容量は約$88,400m^2$，隅田地区は約$77,000m^2$，墨田区役所・隅田公園自由広場一帯は$35,500m^2$である．浅草橋から広域避難場所への距離はそれぞれ650m，2km，2.5kmである．浅草の中心地から各避難所までの移動時間としては約8分，約24分，約30分である．住民数は浅

草橋を中心として半径1km以内に1万8千世帯，34,000人である．

シミュレーションでは，スタートから2時間前後に避難指示が発令されたと仮定した．3時間～4時間でゴールするランナーがちょうどこの地域を通過する時間帯に相当する．9時にスタートしたとすると昼前となり観覧者が急激に増加すると考えられる．モデルからはランナーと観覧者の合計は20万人と推定された．住民と合わせた周辺の総人口は234,000人と算出できた．

両国地区，隅田公園，墨田区役所・隅田公園自由広場一帯の広域避難場所の収容容量を合わせても20万人であり，住民数に相当する34,000人があふれ出てしまうことになる．この状況を改善するため，近隣の広域避難場所である都営文花一丁目住宅一帯へ誘導することが考えられる．この都営文花一丁目住宅一帯の容量は57,700人である．墨田区内はこのほかにも広域避難場所があるため，墨田区内の協力を得て誘導することは効果があると思われる．ただ距離が遠くなるため，土地不案内者をそれらの避難場所に誘導するための支援が必要となる．

5. 家族との安否連絡支援

家族と離れて被災した観光客は，家族と何とか連絡を取ろうとする．電話は一般的に通話規制により使えないので，携帯電話メールなどが使われる．最近では，携帯電話会社が災害用伝言板サービスを行っており，安否情報を特定の相手に伝えることが可能である．しかしとくに外出している側の家族（外出家族）がバッテリー切れなどで携帯電話を使えない場合には，留守宅は相手の安否を知る方法がなく，自治体などに問合せが殺到して問題になることがある．

そこで，多くの観光客の情報を用いて安否を推定できるように，以下のような仕組みを構築している．

① 携帯電話に，家族向けの安否情報送信機能を持たせる．安否を選択式で回答するとともに，周辺の状況を文章と写真で報告し，GPSデータとともに家族に送る．このデータは本システムの管理センターにも送られる．家族も同様のメールを送ることができる．

② 管理センターでは利用者の情報を集約し，GIS（地図情報システム）上で統合管理する．安否情報と周辺状況の公開に同意する利用者の情報を，氏名なしの事例情報としてWeb上に公開する．GIS上では，安否状況（無事，けが，など）に応じた色の付いた点がGPSデータに基づく送信位置に表示される．

③ 留守家族は，外出している家族がいる場所の情報をGISベースで参照でき，外出家族のメール通りの状況であるかどうかを確認できる．家族からメールが届いていない場合でも，外出家族がいるであろう場所が推定できれば，その場所を表示し，地図上のほかの人の安否状況から安否を推定できる．

④ 在宅家族からメールがこない場合に，外出家族が在宅家族の安否を知りたい場合には，自宅周辺のほかの在宅家族が外出家族に向けて発信した安否情報を携帯電話で取得できる．自宅周辺からの情報が少ない場合でも，自宅周辺の地理条件（山際，川沿いなど）と似たほかの場所の情報をシステムが提示するので，それによって推定が可能である．

6. おわりに

観光客を対象にした災害時支援システムの事例を紹介した．この分野の研究例はまだ少ないが，重要なテーマであることに間違いはない．本稿を契機として研究例が増え，知見が蓄積されることを期待したい．

(2009年7月29日受付)

参考文献

[1] 京都市防災危機管理対策調査研究助成事業報告書：緊急時における住民以外の人々の避難誘導のあり方に関する研究 (2006)
[2] 京都府防災会議：京都府戦略的地震防災対策指針 (2009)
[3] 三重県防災危機管理部:観光地を地震･津波から守るために, http://www.pref.mie.jp/WKENMIN/HP/document/kankochi.pdf.
[4] 山根，石田：大規模マルチエージェントシステムのためのメタレベル制御機構；情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. 5 (2006)
[5] 酒井，吉田，矢島，鎌倉：超指向性スピーカーシステム；MEEエンジニア，No. 46，pp. 38–41 (2002)
[6] 岡本，平澤，蒔田：高指向性単眼ウェアラブルディスプレイ；システム/制御/情報，<特集>表示装置の最新技術と応用，Vol.49，No.9，pp. 357–362 (2005)
[7] 谷中：走決算！データで振り返る東京マラソン，http://allabout.co.jp/sports/jogging/closeup/CU20070228A/index.htm.
[8] 東京都：防災都市づくり推進計画，pp. 123–125 (2004)

著者略歴

仲谷 善雄（なかたに よしお）

1958年7月24日生．1981年大阪大学人間科学部卒業．同年三菱電機（株）入社．中央研究所，産業システム研究所にて人工知能，ヒューマンインタフェース技術などの研究開発に従事．1991～92年米国スタンフォード大学言語情報研究センター客員研究員．1998年（株）ドーシスに出向，2001年に出向解除，防災や公共システムなどのソリューションビジネスに従事．2004年4月より立命館大学情報理工学部教授．学術博士．本学会，情報処理学会，計測自動制御学会，人工知能学会などの会誌・論文誌編集委員を歴任．現在はヒューマンインタフェース学会理事（監事）．