

# 歴史都市における災害時交通マネジメントと道路モニタリングに関する研究

## —京都市東山区を中心として—

Traffic management and road monitoring for disaster mitigation in historical cities\*

安 隆浩\*\*・塚口博司\*<sup>3</sup>・小川圭一\*<sup>4</sup>・堀 尚哉 \*<sup>5</sup>・鈴木 慧\*<sup>6</sup>

By Yoongho AHN\*\*・Hiroshi TUKAGUCHI\*<sup>3</sup>・Keiichi OGAWA\*<sup>4</sup>・Naoya HORI\*<sup>5</sup>・Kei SUZUKI\*<sup>6</sup>

### 1. はじめに

近年、阪神・淡路大震災、ハイチ地震など大規模な自然災害が世界中で多発している。その中、近い将来起こるとされている南海地震をはじめとする大規模な地震被害への対応が準備されつつある。その準備の一環として、防災研究が盛んに行われているものの、その研究の多くは人命に対するものであり、文化遺産を対象としたものは少ないのが現状である。立命館大学では、G-COEプログラム、歴史都市を守る「文化遺産防災学」推進拠点として、文化遺産防災の観点から積極的に研究を進めている。本研究は、災害時における京都市ネットワーク交通量を推定する。なお、災害時交通マネジメントを実施するためには、道路状況を迅速かつ的確に把握するよう、道路モニタリングが必要になるが、今回は交通シミュレーションを用いて、災害時道路モニタリングシステムを評価する。

### 2. 対象地域

#### (1) 京都市

本研究の対象地域として考慮することはその地域に文化遺産がたくさん存在し、地震・火災などの災害から守らなければならないことである。そして、京都市は以下の理由から適切な地域だと考えられる。詳細な交通状況を把握するため、東山区を中心に対象として想定する。

— 京都市は794年の平安遷都以来、都として長い歴史を持ち、戦災を免れたこともあり、古い町並みや多くの文

化遺産を擁する寺社仏閣などが高密度に集積している。京都市内には、国内の19.8%の国宝、13.7%の重要文化財が存在しており、重要な文化遺産が京都に集中していることがわかる。各区別の文化遺産の分布状況をみると、東山区が89と最も多く、次いで左京区71、右京区57となっている。

— 京都市は戦前からの木造建物が多く建築基準法により定められた耐震基準を満たしていない建物が多く存在する。京都市全域の木造建物比率は67.8%であり、東山区は75.2%、全国は58.0%である。東山区には全国平均の1.30倍の割合で木造建物が存在しており、非木造建物と比較し倒壊する可能性が高い建物が多く危険な地域と言える。

#### (2) 重要道路区間の設定

大きな地震が発生した時には、京都市内各地で同時多発型の火災が発生すると予測されている。また過去に京都市で大地震が発生した際、市内中心部に存在した文化遺産の多くは火災により焼失したという歴史的事実がある。したがって、消防車などの緊急車両の通行を出来る限り円滑化し、文化遺産周辺までの到達時間を早めることも重要である。

到達時間を早めるために、適切な経路情報を緊急車両に与えることや、一般車両の通行規制を行なうことが考えられるが、そのためには緊急車両にとって重要である道路区間を災害発生時に把握しておくことが必要である。林ら<sup>1)</sup>は、消防署および文化遺産の分布状況とそれらを接続する道路ネットワークから、文化遺産防災上の重要道路区間を導いた。その結果のうち東山区周辺部分を図-1に示す。

### 3. モニタリングシステム

#### (1) 概要

京都市には文化遺産防災の上で重要な道路区間であっても、災害時には建物の倒壊などによる道路閉塞が生

\*キーワード：歴史都市防災、災害時交通マネジメント、モニタリングシステム

\*\*正員、博士(工学)、立命館大学G-COEポスドク研究員

\*<sup>3</sup>正員、工博、立命館大学理工学部都市システム学科

\*<sup>4</sup>正員、博士(工学)、立命館大学理工学部都市システム学科

\*<sup>5</sup>社会人、大成建設株式会社

\*<sup>6</sup>学生員、学生、立命館大学大学院

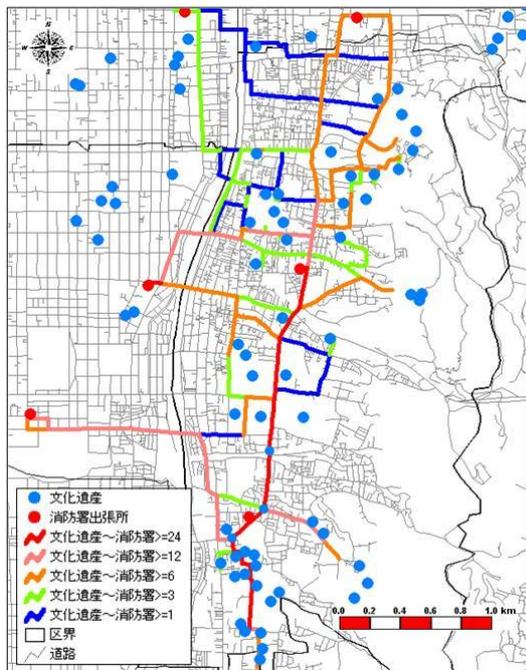


図-1 重要道路区間

じる可能性が高い道路区間が存在する。消防車をはじめとする緊急車両が迅速に目的地に到着するためには、文化遺産と消防署を結ぶ重要道路区間がどの程度機能障害を起こしており、どの程度混雑しているのかといった道路状況を早急に把握しなくてはならない。そのためには、重要道路区間の被害状況をリアルタイムで把握するシステムとして、監視カメラを用いた道路モニタリングシステムを構築することが効果的であると考えられる。

道路モニタリングシステムとは、道路状況を迅速に把握することを目的に、道路に設置したカメラによって道路の状況を監視する体制を構築することである。道路状況を迅速に把握することによって、閉塞・混雑している道路を避けた車両の誘導することや、不必要な車両発生を抑制することなどが可能となる。加えて、道路上における交通渋滞情報、閉塞状況、建物倒壊状況などの道路状況情報を防災情報・被害情報として、広域応援要請や自衛隊災害派遣要請の意思決定などの行動判断に活用することもできる。また、平常時においても、交通状況の把握、交通管理などへの応用が期待でき、非常に有用なシステムであると言える。

### (2) 通信可能距離

本研究では、川合ら<sup>2)</sup>が構築したPDAとWebカメラをアドホックネットワークで接続したモニタリングシステムを用いて研究を進める。システムの概略図を図-2に示す。

川合らは、Wi-Fiで構築されたアドホックネットワークのマルチホップでのデータ転送実験を実施した。この

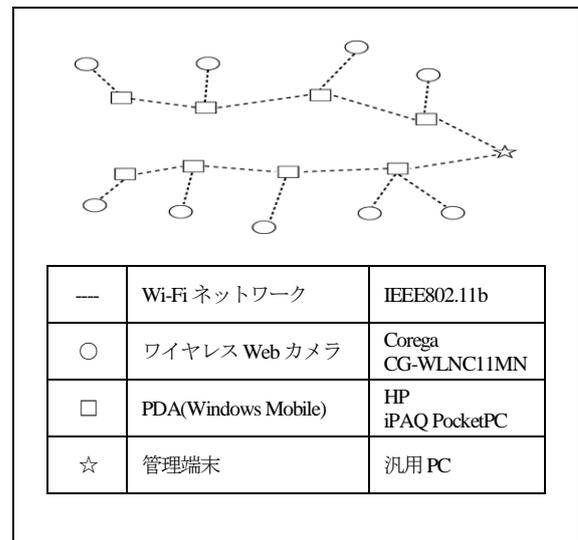


図-2 モニタリングシステム概略図

実験結果によると、5 ホップまでのデータ転送環境下において、10KB のデータ転送速度は 550~600kbps であり、理論的には 1 秒で約 65~70KB のデータ転送が可能である。また、異なるホップ数での転送速度の関係ことから、10 ホップまでは転送速度が大きく低下しないことが予想される。

消防署を基点として 100m を 10 ホップ、1000m の範囲にモニタリングシステムを展開すると仮定し、消防署を中心に半径 1000m の円の内側をモニタリングシステム展開可能範囲とする。その結果、林らが対象とした 271 件の文化財のうち 215 の件は範囲内に存在し、京都市内の 8 割を超える道路区間が範囲内となる。多くの道路がモニタリングできると予想され、Wi-Fi でのアドホックネットワーク構築が、道路モニタリングシステムに有効であると考えられる。

### (3) モニタリング設置地点

本節では、モニタリングカメラの設置地点を定める。モニタリングカメラの設置地点を選定する際、消防署や文化遺産の位置、それらを結ぶ道路区間など、様々な位置情報を分析しなければならない。地理情報を分析する手段の 1 つに GIS がある。GIS では、位置に関する情報を持ったデータを総合的に管理・加工し、それを視覚的に表示できる。また、高度な分析が可能で、迅速な判断を可能にする技術である。しかしながら、GIS は道路ネットワークの形状をノードとリンクにより簡略化して表現しているため、個々の道路の幅員や線形の詳細を考慮していない。また、地形の標高や建造物の高さなどが考慮されていないため、建造物や街路樹などの視界を遮るものによる見通し距離が不明である。このような GIS が抱える問題を解決する手段に、3 次元 CG システムが存在する。

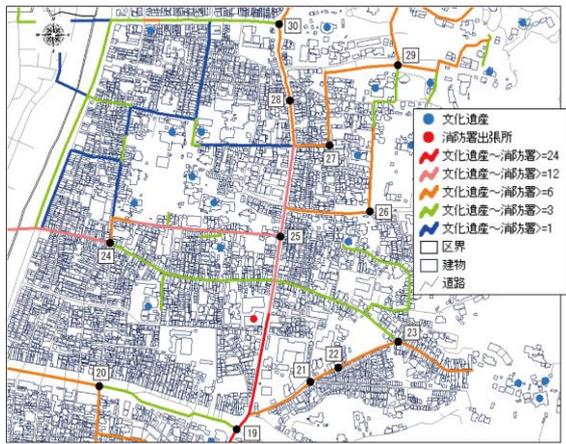


図-3 モニタリングカメラ設置地点の一部

3次元CGシステムはGISのように2次元の地理情報でなく、建造物や街路樹の有無を考慮した見通し距離を用いて、より現実的な地理的情報を把握できる。そのため、視点場を自由に変えることにより最適なモニタリング地点の発見が可能で、都市の動向に応じて更新が可能である。また、看板や街路樹にいくつかのパターンを設けることで、視野を遮るものの影響を考慮することができる。

これらの利点を踏まえ、直線道路区間の道路上には監視カメラの視界を遮るものは存在せず、地上から高さ5mの位置に視認限界距離は500mのカメラを設置するとして、林ら<sup>1)</sup>はモニタリングカメラ設置地の選定を行った。本研究ではその結果を用いる。図-3にモニタリングカメラ設置地点の一部(東山区)を示す。

#### 4. 災害時交通量推定

##### (1) 平常時京都市の交通量推定

研究平成12年に実施された第4回京阪神都市圏パーソントリップ調査(以下:PT調査)より得られた発生・集中交通量を利用して、平常時の交通需要配分を行った。ここでは、小学校区を基本としてゾーニングを行い、対象地区にはダミーノードを適切に配置した。配分法には当初は分割配分法を用いたが、精度向上を図るため、等時間配分法(Frank-Wolfe法、以下:FW法)を用いて配分計算を行った。対象地区は上京区、中京区、下京区、東山区の4区である。平成17年度道路交通センサスによる調査区間交通量と配分交通量を比較した結果、相関係数が0.833になり、精度が向上されたことが確認された。

##### (2) 災害時の交通量推定

災害時の交通量は重要道路区間の閉塞確率(あるいは、通過可能率)がある一定水準以下になった場合を想定し、そのネットワーク上における交通量を推定した。そこで、

表-1 閉塞されたリンク数

	全リンク数	閉塞リンク数
全域	968	73
4区	492	36

田中ら<sup>3)</sup>は、道路区間の幅員だけでなく、沿道建物の条件をも考慮して道路区間の閉塞確率を算出した。閉塞確率が50%以上である道路リンクを除外し、FW法を利用して交通配分を行った。表-1に田中ら<sup>3)</sup>によって計算された閉塞確率が50%以上になる京都市全域と4区の閉塞リンク数を示す。

#### 5. 交通シミュレーションによるモニタリングシステムの検証

##### (1) 概要

本研究では、道路モニタリングシステムが災害時交通マネジメントに与える影響を検証するために、道路モニタリングシステムが展開している場合と展開していない場合を比較して、道路モニタリングシステムにより交通マネジメントの効率が向上しているかを検証する。

しかしながら、災害の発生やその時の交通流動を実際に再現することは危険かつ困難であり、実現は限りなく不可能に近いだろう。そのため、シミュレーションを用いて、有効性の検証を行う。シミュレーションでは、シミュレーションソフトを用いると容易に道路ネットワークを形成し交通流動を再現することができる。また、コンピュータの持つ演算能力の高さを活かすことにより、総当たりの繰り返し計算が可能であり、道路モニタリングシステムの有効性を検証するために、交通シミュレーションソフトを用いて、誘導時と非誘導時の比較を行う。

##### (2) 災害時のシナリオ

今回、使用する交通シミュレーションソフトはマイクロシミュレーションに適しており、あまり広い範囲の交通状況は把握できない。そのため、ある特定地域を選定して、災害時シナリオの想定を必要とする。本研究では、以下の通りシナリオを設定し、京都市東山区にある健仁寺と東山消防署が含まれている南北800m、東西500mの道路ネットワークを対象地域と設定した。

- 午前7時台に花折断層を震源とする地震が発生し、東山区の震度は6強である。
- 午前8:00~9:00の1時間をマネジメントする。
- 八坂通(東大路の西寄り区間)が閉塞し、それ以外に閉塞区間は存在しない。
- 四条通から松原通、大和大路通りから東大路の範囲内で考える。

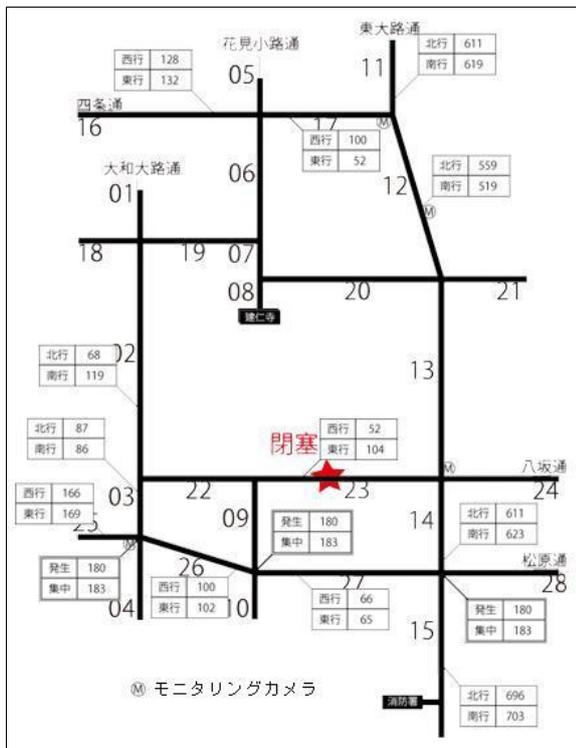


図-4 シミュレーション分析対象地域と交通量

— モニタリングカメラ設置点から 300m 以内の交通状況を 10 分おきに集計し、直後の 10 分間のマネジメントに活用する。

この対象地域では、道路幅員 4m 以上の道路を用いて、極端に遠回りのものを除いても東山消防署から建仁時へ 5 通りのルートが設計できる。また、4ヶ所のモニタリングカメラ設置地点を含み、モニタリングシステムの有効性を十分に検証できると考えられる。図-4に対象地域と 4 章で推定された災害時交通量を示す。

### (3) 交通シミュレーション

シミュレーションソフトと言ってもシミュレーションの使用目的は多種多様であり、目的に応じて適切にソフトを使い分けることが望ましい。例えば、局所的な道路構造の改変に伴う影響を調べるなど、特定区間について詳細な検討を行う場合には、詳細な車両挙動を記述するソフトが望まれる。大規模ネットワークに適用する場合にはシンプルさや計算の高速性が、個人の生活及び交通行動に着目した場合には選択行動に関する深い分析が可能であるソフトが求められるであろう。また、都市における道路ネットワークを要素であろう。

本検証において、対象範囲は約 800m×約 500m の都市道路ネットワークであり、再現すべき交差点は十数個であると思われる。この条件を考慮し、Kyoto University & New Jec Simulation Assistant of traffic Kinetics for Urban Road network Assessment (以下、KUNJ-Sakura) を用い

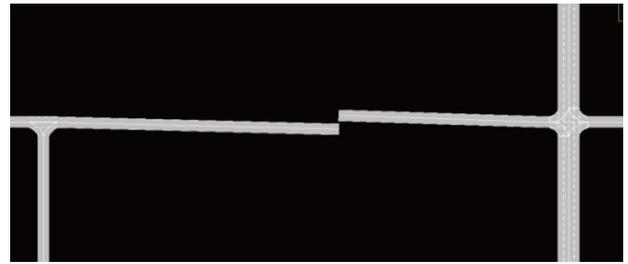


図-5 閉塞した道路の表現

る。KUNJ-Sakura は『都市道路ネットワーク評価のための交通動態に関するシミュレーションアシスタント』と訳され、十数 km 程度の区域における数十カ所以内の交差点数を持つネットワークに対し詳細な検討を行えるソフトであり、本検証に適切である。

### (4) 非誘導時

非誘導時には、車両は閉塞していることを知らず、閉塞している道路区間へ進入する。しかし、道路区間中央において閉塞していることに気づき、U ターンし別経路で目的地へ向かう。これを再現するため、KUNJ-Sakura では 23 番道路を中央で寸断し、寸断部を架空の交通発生・集中点とする。そして、『出発地→U ターン→目的地』という車両の流れを、『出発地→寸断部のダミーノード』と『寸断部のダミーノード→目的地』の 2 段階に分けて発生させる。寸断部の様子を、図-5に示す。

### (5) 誘導時

誘導時には、23番道路が寸断されても、寸断されていない 4 章の OD 交通量データを使用する。ただし、10 分おきにモニタリングカメラ設置点から半径 300m 範囲の道路状況を集計し、直後 10 分間の交通マネジメントに活用する。前述の通りのマネジメント手段で、23 番道路を経路として選択しようとする車両を 2, 19, 20 や 27 番道路へ混雑度に反比例させて迂回させる。

### (6) 非誘導時と誘導時の比較

#### a) 平均旅行速度

シミュレーションの結果、平均旅行速度の平均は、非誘導時には 34.1km/h だったが、誘導すると 47.0km/h と 40% 近い上昇が確認できた。時間帯別に見ても全ての時間帯で改善が確認でき、モニタリングシステムを活用した誘導の効果であると言える。図-7に時間帯別の平均旅行速度を示す。

#### b) 平均渋滞長

平均滞留長は、非誘導時の平均滞留長は合計 1340.8m であったのに対し、誘導時は合計 1205.5m という結果

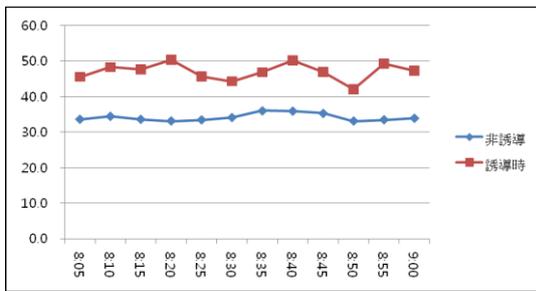


図-7 平均旅行速度の比較

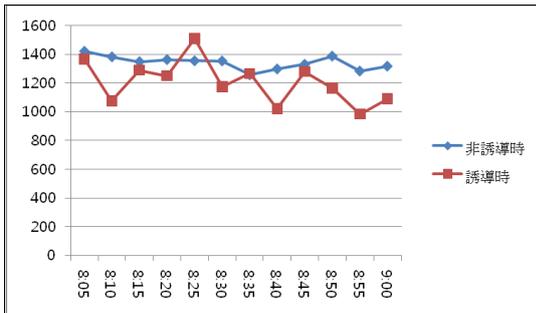


図-8 平均渋滞長の比較

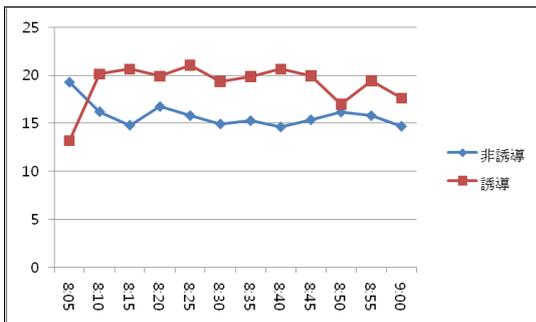


図-9 総所要時間の比較

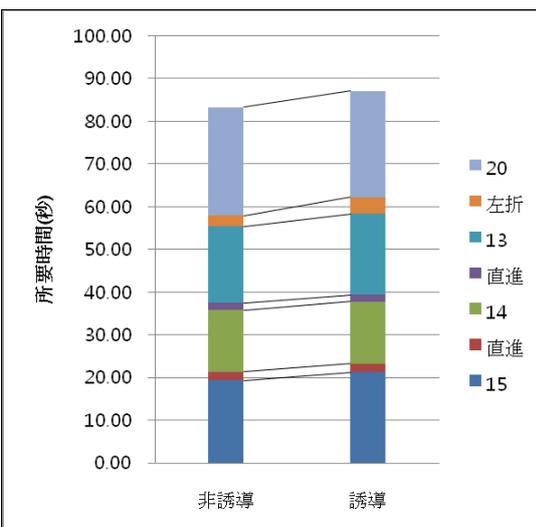


図-10 緊急車両到達所要時間の比較

が算出された。誘導により、渋滞が減少しており、モニタリングシステムを活用した誘導の効果が確認できた。図-8に時間帯別平均渋滞長を示す。

#### c) 総所要時間

総所要時間は、非誘導時には 189.7 時・千台であったが、誘導を実施すると 228.7 時・千台に、約 20%の増加が確認できる。迂回路へと誘導したことによって、実験で再現した道路網内に多くの車が存在した。その結果、総所要時間における台数が大きく増えたことに起因すると考えられる。図-9に時間帯別総所要時間を示す。

#### d) 緊急車両到達所要時間

緊急車両が到着するまでに必要とする時間は、非誘導時の 83.31 秒から、87.12 秒へと約 5%の増加が確認できる。この原因は緊急車両を考慮した誘導手段ではなく、一般車両を閉塞地点に行かないよう誘導したことであると推定できる。図-10には誘導時・非誘導時の緊急車両到達所要時間を比較した。

## 6. おわりに

本研究は、文化遺産防災の一環として、災害時交通マネジメントを行う時に利用される道路モニタリングシステムに関して検討した。

まず、PT データを利用し、平常時・災害時の交通量を推定し、交通シミュレーションの入力データとして利用した。そして、交通シミュレーションを用いてモニタリングシステムの効果を検証した。

結果として、モニタリングシステムにより誘導された時の平均旅行速度と平均渋滞長が非誘導された時より改善されたことが確認できた。モニタリングシステムを利用することにより、一般車両に対する交通マネジメントに効果がある可能性が高いと考えられる。しかしながら、総所要時間と緊急車両到達所要時間の項目では少々悪化された結果となった。

今後の課題として、災害時交通量の推定するとき、閉塞区間を除外して推定したが、安否確認、救助活動といった避難行動による交通需要を考慮していない、今後より正確な災害時交通量を推定するためには、このような交通需要を予測して考慮しなければならない。

また、一つのリンクが寸断されたシナリオを想定し、シミュレーションを行ったが、より多様なシナリオを設定し、モニタリングシステムを検証する必要がある。本稿では、緊急車両を優先的に誘導する方法をとっていないので、優先性を考慮した誘導を行うように改善する余地がある。

## 謝辞

本研究で利用した KUNJ-Sakura は京都大学大学院と株式会社ニュージェックが開発した交通シミュレーションであります。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 林雄一・塚口博司・小川圭一：「文化遺産の防災性向上のための道路モニタリングシステムに関する研究」土木計画学研究, 講演集, Vol..37, 2008.
- 2) 川合誠・牧野淳・野口拓：「アドホックネットワークを利用した防災情報システム」歴史都市防災論文集, Vol..1, 2007
- 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.