震災時の道路閉塞状況からみた文化財の危険度評価

－建物の建築年代・建築構造に着目したシミュレーション－

亀井千尋・花岡和聖・中谷友樹

Accessibility to cultural heritages in road blockade conditions caused by earthquakes

－ Road blockade simulations based on estimated age and structure of buildings －

Chihiro KAMEI, Kazumasa HANAOKA and Tomoki NAKAYA

Abstract: The purpose of this study is to evaluate accessibility to cultural heritages in road blockade caused by earthquakes in Kyoto City. In order to predict accurate road blockade distributions, we construct a simulation model to estimate detailed attributes of each building by combining multiple data sets and thereafter simulate the collapses based on them. As a result, 8% of cultural heritages cannot be reached at all and another 8% at only 20% due to the blockade. These results suggest approximately 20% of cultural heritages are at high risk of being burned out by fire disasters and therefore, disaster mitigation strategies such as on-site fire extinguishers are needed.

Keywords: 文化財 (cultural heritage), 地震 (earthquake), 道路閉塞 (road blockade), シミュレーション (simulation), 京都市 (Kyoto City)

1. はじめに

大規模な地震被害は、人命ばかりでなく、建物やライフラインなどの財産にまで及ぶ。とりわけ文化財は、その他の財産とは異なり、一度破壊もしくは焼失すると修復不可能となり、代替も効かない特殊な財産である（土岐2005）。このような文化財の価値と特殊性を鑑みれば、文化財に対する被害リスクを見積もり、適切な防災対策を講じる必要がある。

大規模な地震災害時には、兵庫県南部地震と同様に大規模かつ同時多発的な火災が生じる可能性が高く、その延焼に文化財が巻き込まれる可能性が高い。そのため、文化財の地震防災を考えた場合、消

防施設から文化財までの経路の確保が問題となる。

この点に関して、塚口・小川（2008）は、平常時における消防施設から文化財に至る経路を抽出し、そのうち使用頻度が高い道路リンクに対する災害時の交通マネジメントの必要性に言及した。しかし、文化財は、地震に対して脆弱な木造建築物が密集する市街地に位置する場合も多く、地震発生時にそれらが倒壊し大量の瓦礫を発生させ、大規模な道路閉塞に至る事態が想定される。それ故、文化財が被害に遭ったとしても、文化財の地点にまで消防部隊が到達できない可能性がある。

地震災害に伴う道路閉塞に関する研究は、兵庫県南部地震を対象とした実証研究（碓井・小長谷, 1995；家田ほか, 1997；赤倉ほか, 1999）に始まり、分析に使用する地区単位の細分化や建物の建築年代・建築構造に着目した精緻な道路閉塞の推定（今

花岡：〒603-8577 京都市北区等持院北町56-1
立命館大学文学部人文学科地理学専攻
Department of Geography, Ritsumeikan University
56-1, Toji-in Kita-machi, Kita-ku, Kyoto, 603-8577, Japan
Email: kht27176@fc.ritsumeikan.ac.jp

表1 データ一覧

手順	内容	データ名	作成主体
①	建物の位置、面積、階数 年代別構造別建物戸数 町家の位置 建物構造	『Z-map TOWN II』 『土地利用現況調査資料』 『京町家まちづくり調査』 『京都市建物実態調査』	株式会社ゼンリン 京都市都市計画局都市計画課 京都市、市民ボランティア、立命館大学 京都市、立命館大学
②③	地形分類 標高 花折断層	『数値地図25000(土地条件)』 『数値地図50mメッシュ(標高)』 『活断層詳細デジタルマップ』	国土地理院 国土地理院 中田高・今泉俊文(2002)、東京大学出版会
④	建物の高さ	『MAPCUBE』	インクリメントP株式会社、株式会社パスコ、株式会社キャドセンター
⑤	道路ネットワーク 消防施設の位置 文化財の位置	『GISMAP for Road』 消防署および消防出張所の位置データ 国・府・市指定登録建造物文化財の位置データ	北海道地図株式会社 著者作成 著者作成

泉・浅見, 2000; 久貝ほか, 2001) が目指されてきた。さらに、近年では、GIS 処理機能の高度化や空間情報の整備、高速な演算処理が可能な計算機の登場によって、建物単位での倒壊予測と道路閉塞のシミュレーション研究(市川ほか, 2004) もみられる。

しかし、既往研究は、都市内の一部地域のみを対象としているため、広範囲に被害を及ぼす地震災害に対して、都市全体での道路閉塞の影響を評価できていない。京都のように文化財が広範囲に点在する地域で文化財の危険度を評価する場合、地域内部の建物配置や建物構造、被災状況などの詳細な状況に加えて、地域全体の被災状況を見渡す視点を同時に考慮しなければ、地震災害に伴う同時多発的な倒壊被害や火災被害に対して、文化財の危険度を適切に評価できないことになる。この点に関して、今泉・浅見(2000)による道路閉塞推定の確率モデルは広範囲での道路閉塞の可能性を検討できるが、町丁目単位での推定に留まる。そのため、文化財の立地点まで通行可能なルートが存在するかどうかにまで言及できない。しかし、こうした詳細な道路閉塞の予測には、建物構造に関わる詳細な個票データを広範囲で入手しなければならないが、そうしたデータの入手は容易ではない。

そこで、本研究では、入手可能なデータを複数利用することで、建物単位での建築年代・構造の推定方法を新規に提案する。これを利用することで、都市全域を対象に、地震発生時における建物単位の建物倒壊、道路リンク単位での閉塞状況を推定し、文化財への通行可能ルートの有無を予測可能とする。その結果により、地震災害時における文化財の孤立

性を定量的に把握でき、地震災害時における消火活動の配置計画ばかりでなく、耐火・消火設備の必要性や重点対策箇所の特定などの事前対策を検討する上で、基礎的な知見を提供できると考えられる。なお、研究対象地域は、数多くの文化財が存在し大規模な地震災害が想定される京都市(旧京北町を除く)とした。

2. 研究方法

文化財の危険度評価は、①建物の建築年代・建築構造の推定、②花折断層帯の地震動予測、③建物倒壊確率の推定、④建物倒壊予測、⑤道路閉塞予測の順で行う。手順別に使用するデータを表1に示す。

まず、『Z-map TOWN II』(株式会社ゼンリン)は、京都市内の建物の位置と面積、階数の把握に使用する。本研究では、住宅地図の建物を表すポリゴンを「建物ポリゴン」と呼ぶことにする。対象地域内には524,523件の建物ポリゴンが存在する。

次に、『土地利用現況調査資料』(京都市都市計画局都市計画課, 2005)からは、京都市を509地区に区分した調査地区ごとに、建物の建築年代や建築構造別に件数や延床面積を把握できる。『京町家まちづくり調査』とは、都心4区(上京区・中京区・下京区・東山区)を対象に、京都市と市民、立命館大学が実施した京町家調査のGISデータである。『京都市建物実態調査』とは、京都市と立命館大学が上京区と東山区を対象に実施した建物の建築構造等に関する調査結果のGISデータである。

地盤データとして、国土地理院発行の数値地図25000(土地条件)と『数値地図50mメッシュ(標

高)』を用いる。『MAPCUBE』(インクリメントP株式会社, 株式会社パスコ, 株式会社キャドセンター作成)とは, 航空レーザ測量によって得られた建物の高さデータであり, 『GISMAP for Road』(北海道地図株式会社作成)は自動車が通行可能な道路ネットワークのGISデータである。

最後に, 京都市内に存在する世界遺産と国宝, 重要文化財, 国登録文化財, 府指定文化財, 府登録文化財, 市指定文化財, 市登録文化財のうち建造物の文化財と消防施設(消防署と消防出張所)の地点をGISデータ化したものを使用する。対象地域内の文化財と消防施設の位置を図1に示す。文化財は, 主に京都市都心部の木造密集市街地に密に分布するが, 一部は山間部や市街地と山麓の境界領域にも分布することがわかる。

図1 文化財と消防施設の分布

3. 建物倒壊予測

3.1 建築年代・建築構造推定モデル

地震による建物倒壊予測には, 建物の建築年代と建築構造を詳細に知る必要があるが, 一般に公開される建物データでは, 空間的にも属性的内容的にも, その詳細が限定される。かかる課題に対して, 長谷川・翠川(1997)は, 地域メッシュ統計の国勢

調査データを用いて, 詳細なメッシュ単位での建築年代・建築構造別建物件数の推定方法を提案した。本研究では, モンテカルロ・シミュレーションを用いて, 調査地区での統計上の建物件数を制約として, 建物単位での建築年代と建築構造を推定することで, 建物の個票データを作成する手法を提案する(図2)。長谷川・翠川(1997)と比較して, 同手法は, 確率モデルであるため複数回の試行が必要となるが, 個々の建物単位での建築年代と建築構造を把握できる点で優れる。

図2 建築年代・建築構造の推定方法

はじめに, 建築年代と建築構造の区分に関して, 『土地利用現況調査資料』を参考に, 建築構造を「木造」と「非木造」に, 建築年代を「戦前」(1944年以前)と「戦後」(1945年 - 1974年), 「近年」(1975年以降)に区分する。建築年代の区分は, 1950年と1971年, 1981年に建築基準法が制定もしくは大幅に改正され, 建物の耐震規制が強化された時期にほぼ対応する。

次に, 制約として, 『土地利用現況調査資料』から, 調査地区の建築年代・建築構造別総戸数を推定する。調査区 m における建築年代 t 別建物構造・用途 s の建物件数 X_{mts} を, 式(1)で求める。

$$X_{mts} = A_{mts} / (A_{m+s} / X_{m+s}) \quad (1)$$

ここで, A_{mts} は, 地区 m における建築年代 t 別建物構造・用途 s 別の延床面積である。添え字の $+$ は, 該当する項目を集計した値であることを示す。資料からは, X_{mts} を把握できないため, 年代別に集計された延床面積を建物構造・用途別の建物一件あたりの平均床面積で除し, 建物件数を推定する。

建物構造・用途 s に関して、「農家」と「戸建木造」、「共同建木造」、「併用住宅」、「小規模な工場」を「木造」に、「戸建非木造」と「共同建非木造」、「百貨」、「店舗」、「業務」、「サービス」、「大規模な工場」、「医療」、「その他」を「非木造」に再区分する。さらに、調査区の建物ポリゴン数と建物件数が一致するよう比率調整を行う。

次に、建物ポリゴンが、建築年代・建築構造の6区分のうち、どの項目である可能性が高いか、その確率を求める必要がある。そこで、建物ポリゴンの面積を求め9区分にする。次に建物ポリゴンと建物の高さ（『MAPCUBE』）、建物構造・建築年代（『京都市建物実態調査』）のGISデータを空間結合し、建物の高さ（7区分）別建物面積（9区分）別に、建築年代 t （3区分）別建築構造 s （2区分）別確率 P_{ts} を得た。この結果を、対象地域全域に適用し、全建物ポリゴンの P_{ts} を推定する。ただし、『京町家まちづくり調査』で京町家と確認された建物は、京町家が戦前に建築された木造の建築物であることから、あ

らかじめ「戦前木造」に分類した。

その上で、図3に従い、建物ポリゴンに建築年代・建築構造を割り当てる。具体的に、まず調査区内の建物ポリゴン1つを無作為に選択する。その建物ポリゴンの P_{ts} を読み込む。続いて、モンテカルロ・シミュレーションを使用して、 P_{ts} の累積確率をもとに建築年代・建築構造の項目一つを選択する。その項目の戸数が、調査区内の該当する項目の戸数よりも少ない場合、その項目を建物ポリゴンに割り当てる。そうでなければ、乱数を再び発生させ、いずれかの項目が割り当てられるまで処理を繰り返す。最

P_{ts} : 建築年代 t 別建築構造 s 別確率

X_{mts} : 『土地現況調査資料』からわかる建物件数

E_{mts} : 推計された建物件数

図3 建築年代・建築構造の割り当て

図4 建築年代・建築構造の推定結果
(拡大範囲A・B・C)

最終的に、推定された建築年代・建築構造別の建物件数 E_{mts} が、統計上の戸数 X_{mts} と一致した時点、または最大反復回数に達した時点で割り当てを終了する。

上記の建築年代・建築構造の推定を5回実施した、その結果の一事例を図4に示す。戦前木造は、都心中心部に多く分布すること、戦後木造は、都心周辺部の住宅地に、近年木造は、郊外住宅地に広く分布することがわかる。一方、戦前に分類される非木造は少なく、近年に建築されたものが、都心中心部(拡大図B)や郊外住宅地(拡大図C)に集中し、建築年代と建築構造に地域的差異がみられる。拡大図Aをみると、四条烏丸付近の商業・オフィスビルが卓越する地域で、大規模な敷地の建物が近年非木造と推定された。この空間的分布をみる限り、推定結果は妥当であると考えられる。

より詳細に推定精度を検証するため、木造と非木造の区別に関して、『京都市建物実態調査』と推定結果を建物単位で比較した。その結果、全建物件数のうち建築構造が正しく分類された建物件数の比率(Overall classification accuracy)は、5事例の平均で76%と比較的良好な結果を示した。したがって、全体として、建物構造の空間的分布と分類精度はおおむね妥当であると言える。

3.2 建物倒壊の予測

建物倒壊の予測は、内閣府の『地震被害想定マニュアル』(2001)の手順に従い行う。『京都市第3次地震被害想定』で想定される花折断層帯による地震に基づき地震動を予測する。土地条件の把握には、『数値地図25000(土地条件)』と『数値地図50mメッシュ(標高)』を用いる。

地表面上での揺れの強度を表わす地表最大速度の推定結果を図5に示す。この結果と建物ポリゴンとを空間結合し、建物に地表最大速度を付与する。そして、『地震被害想定マニュアル』を参考に、建物ポリゴンの建築年代と建築構造、地表最大速度から建物の全壊率を求めた(図6)。全壊率は、戦前の木造建築物の密集地域が広がる中心部や花折断層に近接する地域、京都市西部から南部にかけての軟弱な地

図5 地表最大速度

図6 全壊率の推定結果

盤地域で高いことが確認できる。

最後に、モンテカルロ・シミュレーションを用いて、建物全壊率に基づき地震発生時における建物の「全壊」または「被害なし」を予測した。これを、建物の建築年代・建築構造の推定結果5事例に対して5回ずつ行い、計25事例の建物倒壊のシミュレーション結果を得た。25事例で、倒壊した建物件数は平均で123,240件（全建物ポリゴンに占める割合23.50%）であった。京都市消防局（2007）で花折断層に伴って全壊すると想定される家屋棟数は117,800件であり、上記の推計結果とほぼ整合する。

4. 建物倒壊に基づく道路閉塞の推定

道路閉塞の予測モデルを構築し、倒壊した建物から発生した瓦礫が道路に及ぼす影響を予測する。道路閉塞の予測において、倒壊した建物から発生した瓦礫流出幅と流出方向、道路閉塞と瓦礫流出幅との関係を設定する必要がある。しかし、地震動と建物の倒壊方向などについて、その関係性は十分に解明されていない。そこで、本研究では、市川ほか（2004）と同様に、建物から等方向に瓦礫が流出すると想定する（図7）。

建物ポリゴンに瓦礫流出を見立てたバッファを発生させ、それらが道路の中心線を分断するならば、その道路は閉塞状況にあると判断する。これは道路の片側1車線以上が通行不可能な状況である。

この判定では片側2車線以上ある広幅員の道路では過大評価を招くが、この点に関して、使用した道路データでは道路幅員が13m以上ある堀川通や烏丸通等の道路では片側車線別に道路リンクが存在する。そのため、別個に道路閉塞が判定され、この過大評価のリスクを軽減できる。これ以外にも市川（2004）が提示するような両側からの瓦礫による道路閉塞の可能性も考えられるが、それには道路リンク別に精密な道路幅員の判定処理が繁雑になるため、モデルの操作性を考慮して、道路中心線による道路閉塞モデルを採用した。

次に、瓦礫流出幅に関して、建物と瓦礫流出幅との関連性も、既往研究で明らかにされていない。そこで市川ほか（2004）の建物倒壊モデルを参考に、

図7 道路閉塞モデル

瓦礫流出幅を建物の高さ H をパラメータ B で除して推定する。本研究では、 B を1, 2, 4, 8として建物倒壊に伴う道路閉塞を予測し、家田ほか（1997）の阪神淡路大震災における実態調査と比較検討によって、最適な B を決定する。

建物推定の1事例をベースに、 B を変化させて道路閉塞のシミュレーションを5回行った結果を表3に示す。瓦礫幅が建物の高さと同じ場合（ $B=1$ ）、閉塞リンク数は16,492、リンク別にみた閉塞率は63%であった。 B の値が大きくなるに従い、閉塞道路リンク数の比率も低下する。 $B=4$ の場合で、全道路リンク数26,268のうち閉塞道路リンク数は9,179であり、リンク別にみた閉塞率は35%であった。またリンク別にみた閉塞率は、幅員13.0m以上で7%、5.5m-13.0mで25%、3.0m-5.5mで48%であった。

道路閉塞を直接検証可能な資料がないため、本研究では、花折断層の地震動によって兵庫県南部地震と同程度の道路閉塞被害が生じると仮定する。家田ほか（1997）によれば、兵庫県南部地震による神戸市内の道路閉塞は、幅員4-6mの街路で約30%、幅員6-8mの街路で15%、幅員8-12mの街路で3%である。これらと比較すると、 $B=4$ または8が妥当である。本研究では、京都市における戦前の低層木造の割合が高いことを考慮して、 $B=4$ を採用する。

上記の道路閉塞の予測モデルを、建物倒壊の推定結果25事例に適用し、道路閉塞の推定を行った。リンク別に、25事例のうち道路閉塞が生じた回数の比

表3 リンク別にみた道路閉塞率（5回平均）

B	5.5m未満	5.5以上 13m未満	13m以上	全体	閉塞道路 リンク数
1	73%	55%	38%	63%	16,492
2	60%	36%	16%	47%	12,262
4	48%	25%	7%	35%	9,179
8	40%	20%	5%	29%	7,556

総リンク数:26,268

率を求め、閉塞率とした(図8)。

その結果をみると、道路閉塞によって、都心部に通行可能な道路に接続しない孤立地域が生じる。特に、主要道路網の内部では、孤立地域が発生しやすいことが見て取れる。これは、主要道路網の内部で戦前木造が多く倒壊確率が高いのに対して、京都市の主要道路沿いでは近年非木造が多く建物全壊率が低いことが要因として考えられる。ただし、京都市内では高さ規制もあり、B=4の条件下では、広幅員の道路を閉塞させるほどに沿道の建物の高さが高くないことも影響していると考えられる。

図8 道路閉塞率(%)

5. 文化財の危険度評価

本章では、震災時の道路閉塞状況の予測結果に基づき、震災時における到達可能性の点から、文化財の危険度評価を試みる。

危険度評価の前提として、市内の消防施設を災害時の消防部隊の派遣元になると仮定する。消防部隊は、車両を利用し、消防施設から文化財の立地点まで、道路閉塞のある箇所を避けて、最短経路を移動すると想定する。その際、到達地点は、文化財の周囲80m以内と設定する。これは、消防車がホース車を接続し通常放水に対応できる範囲であり、この地点に到達できれば正常な活動ができると考え

られる。最短経路探索には、ArcGIS 9.2の Network Analyst を使用する。

分析の結果、25事例のうち、到達不可能な文化財が最も多い事例では、対象とする全文化財(285件)の約29%に当たる83件の文化財が到達できないと判断された。一方、到達不能な文化財が最も少ない事例では、全文化財の約21%に当たる59件の文化財が到達できないと判断された。25事例全体の平均では約69件、全文化財の約24%の文化財が道路閉塞により孤立しやすい地域に立地すると判断された。

次に、25事例を通して文化財に到達できた割合から、文化財の危険度を以下の7段階に区分し、消防施設から文化財までの到達可能性を評価する。その結果を、表4および図9に示す。

評価1：到達不可能な文化財(到達可能性0%)。

評価2：到達可能性1-20%以下の文化財。

評価3：到達可能性21-40%以下の文化財。

評価4：到達可能性41-60%以下の文化財。

評価5：到達可能性61-80%以下の文化財。

評価6：到達可能性81-100%未満の文化財。

評価7：到達可能性100%の文化財。

表4 文化財の危険度評価

評価	文化財件数	比率	累積比率
1	24	8%	8%
2	24	8%	17%
3	13	5%	21%
4	10	4%	25%
5	15	5%	30%
6	36	13%	43%
7	163	57%	100%
合計	285		

全事例で消防部隊が到達できる可能性が0%と判断された評価1の文化財は24件、評価2が24件と、約20%の文化財に高い確率で到達できないことが示された。

全事例で到達不可能と判断された文化財(評価1)の分布をみると、市街地と山麓の境界領域に位置するものが多いことが確認できる。こうした地域では、文化財までの経路が限定され、幅員の確保も難

図9 文化財危険度評価

しく、沿道の建物が少しでも倒壊すると道路閉塞が生じやすいためと考えられる。また、都心中心部にも、評価3以下の文化財が確認できる。都心部は相対的に道路網が密な地域であるが、戦前の木造建築物が密集するため、一部の地域が孤立する可能性がある。

次に、文化財の立地と道路閉塞状況とを詳細にみる(図10)。まず、世界遺産の慈照寺(銀閣)が評価3と判断された。慈照寺は、平常時における最近隣の消防施設からの最短経路距離が670mであるが、狭小な道路のみが接続し、それに沿って戦前の木造建築物が密集するため、地震発生時に迂回路もなく孤立しやすくなる。さらに最寄りの消防施設周辺の道路も閉塞しており、他の消防施設を利用しなければならない可能性も高い。

さらに、道路網の端点に位置する文化財、つまり、行き止まり点に位置する文化財も到達不可能になりやすい。その代表例として、世界遺産に指定されている清水寺が挙げられる。清水寺への経路は、清水坂と清水新道に依存する。清水坂は清水寺に近づくにつれ幅員が狭くなり、寺近くの5.5m未満の幅員部分では沿道に多くの建物が密集する。他方、清水

図10 文化財と道路閉塞率(%)

新道は幅員が5.5m以上であるが、清水坂と同様に沿道に戦前に建築された木造建築物が密集し、倒壊率が高く、道路閉塞の危険性が高い。

最後に、全25事例で、100%到達可能(評価7)の文化財は163件であった。これは、全文化財の約57%である。こうした文化財でも、平常時と地震災害時における、最近隣の消防施設までの最短距離の平均値を比較すると、地震災害時の距離が平常時の約1.62倍となる。つまり、到達可能と評価された文

化財でも、道路閉塞による影響を受け、平常時と同様に迅速に消火活動を行える可能性は低いと考えられる。

6. おわりに

本研究では、京都市内の建物の建築年代・建築構造の推定を基にした道路閉塞予測から、震災時の文化財の危険度を検討した。そこで得られた結果は以下のようにまとめられる。

1) 建物単位での建築年代・建築構造の推定モデルによって、広範囲を対象にした詳細な建物倒壊の予測が可能となり、道路閉塞の精緻な予測を基に、震災時の文化財の危険度をはじめて定量的に明らかにできた。文化財までの到達可能性の分析からは、消防部隊が約1割の文化財に全く到達できない、さらに約1割の文化財に20%の確率でしか到達できないことが示された。その中には、世界遺産や国宝に指定される文化財も存在する。

2) 到達困難な文化財は、文化財周辺の道路閉塞被害が甚大であることに加え、最寄りの消防施設周辺部でも道路閉塞被害を受けた結果、文化財が孤立することで生じる。また市街地と山麓の境界領域に位置する清水寺等の文化財は、文化財が道路リンクの端点、つまり行き止まりに位置し、迂回路もない。さらに、幅員の狭い道路沿いに建物が密集するため、道路閉塞が高い確率で生じ、それが文化財への到達を困難なものとしている。

3) 文化財の危険度評価において、到達が不可能であると判断された文化財に関しては、震災時に消防車等による消火活動をほとんど見込めない。さらに図1からわかる文化財の周辺地域は、図4に示されるように木造密集地域と空間的に重複する場合が多く、そこでは地震災害時における出火確率と類焼被害の可能性が共に高い。よって、文化財の敷地内に大規模火災に独自に対応可能な防災設備を配置させるとともに、周辺地域の道路閉塞を最小化させるために、建物の耐震補強や迂回路の設置、近隣住民と協力した対策が急務の課題である。既存の道路閉塞推定手法の手法と比較して、建物単位での倒壊から道路閉塞状況を詳細に推定できる本手法は、既存手

法を補うものといえる。これを、本研究では、震災時の到達可能性からみた文化財の危険性を確認する方法として提案できた。

ただし、今後の課題として、上記のように、実際に震災時において、消防施設との接続性が問われるのは、火災発生時の類焼被害によるものが大きいと考えられる。そのためには、地域別の出火確率や建築物の類焼の危険性とを考慮した文化財の危険度評価方法を検討する必要がある。

また、技術的課題として、本研究でのシミュレーションには過大・過小評価をもたらす諸要因が含まれる。市川(2004)と同様に、建物から全方向に瓦礫が発生するとしたが、これは推定結果に過大評価をもたらすと考えられ、有方向の建物倒壊モデルが必要である。瓦礫幅は、「建物の高さ/4」としたが、これも過去の震災の経験を踏まえた検討が求められる。また、倒壊率や建築年代は、内閣府のマニュアルに基づき算出したが、町家の耐震性評価などを含め、さらなる精緻化が必要であろう。これには、現地調査データの利用が求められる。それとともに、より入手が容易なデータのみから、建物単位での道路閉塞を予測する方法を検討し、地震災害時における文化財の危険度評価の汎用的な手法の構築も考えられる。

地震災害時における文化財の危険度評価においても、こうした定量的な分析結果を基礎にすることで、今後、増加すると予測される地震災害に対する文化財の耐震・防火対策の必要性や重点的に対策を講じるべき文化財を適切に把握できるであろう。

謝辞

京町家データベースを利用させて頂いた京都市都市計画局都市企画部都市づくり推進課、特定非営利活動法人京町家再生研究会に記して感謝致します。なお、本研究は、立命館大学大学院文学研究科に提出した修士論文を骨子とし、加筆・修正を加えたものである。研究の推進にあたっては、文部科学省学術フロンティア推進事業「文化遺産と芸術作品を自然災害から防御するための学理の構築」(研究代表者：土岐憲三)に基づく支援を受けた。

参考文献

- 赤倉康寛・高橋宏直・中本隆 (1999) 大規模地震による街路閉塞予測シミュレーションの構築. 「土木学会論文集」, **632**, 77-92.
- 家田仁・上西周子・猪股隆行・鈴木忠徳 (1997) 阪神・淡路大震災における「街路閉塞現象」に着目した街路網の機能的障害とその影響. 「土木学会論文集」, **576**, 69-82.
- 市川総子・阪田知彦・吉川徹 (2004) 建物倒壊および道路閉塞のモデル化による避難経路の危険度を考慮した避難地への到達可能性に関する研究. 「GIS－理論と応用」, **12**(1), 47-56.
- 今泉恭一・浅見泰司 (2000) 震災時の道路閉塞推定に関する研究－防災街づくりのための密集住宅市街地整備方策の定量的比較分析. 「日本建築学会計画系論文集」, **529**, 225-231.
- 碓井照子・小長谷一之 (1995) 阪神・淡路大震災における道路交通損傷の地域的パターン GIS による分析. 「地理学評論」, **68**(9), 621-633.
- 京都市消防局 (2007) 京都市第3次地震被害想定. <<http://www.city.kyoto.lg.jp/shobo/page/0000015600.html>>.
- 京都市都市計画局都市計画課 (2005) 『土地利用現況調査資料』, 京都市.
- 塚口博司・小川圭一 (2008) 文化遺産防災と都市交通計画. (立命館大学文化遺産防災学「ことはじめ」篇出版委員会編), 『文化遺産防災学「ことはじめ」篇』, アドスリー, 134-144.
- 土岐憲三 (2005) 文化遺産と地震対策. (NPO 災害から文化財を守る会監修・国土文化研究所編), 『日本の心と文化財－災害から守り, 未来へつなぐー』, アドスリー, 1-13.
- 内閣府 (2001) 内閣府地震被害想定支援マニュアル. <<http://www.bousai.go.jp/manual/index.htm>>.
- 中田高・今泉俊文 (2002) 『活断層詳細デジタルマップ』, 東京大学出版会.
- 長谷川浩一・翠川三郎 (1997) 地域メッシュ統計を利用した広域での木造建築物群の震害予測－その1 建築年代別の木造建築物棟数の推定－. 「日本建築学会構造系論文報告集」, **497**, 75-80.
- 久貝寿之・加藤孝明・小出治 (2001) パーコレーション理論に基づいた地区レベル道路網の防災性能評価に関する基礎研究. 「日本建築学会計画系論文集」, **549**, 231-237.
- (2008年9月8日原稿受理, 2009年4月21日採用決定, 2009年6月8日デジタルライブラリ掲載)