

# 歴史都市の防災・景観保全を対象とした空間的マイクロシミュレーション研究 Spatial Microsimulation Studies for Disaster Mitigation and Landscape Protection of a Historical City

花岡 和聖・中谷 友樹・亀井 千尋

Kazumasa HANAOKA, Tomoki NAKAYA, Chihiro KAMEI

## 1. はじめに

近年、社会科学分野において、シミュレーションを用いた分析が行われるようになってきた。シミュレーションとは、現実世界を模したモデルを作成し、仮想実験を行うことである。シミュレーションは、解析的な手法で解くことが困難な、動的で非線形の関連性がみられる社会経済現象を理解する上で有効な手段とされる(Gilbert and Troitzsch 1999)。

さらに、大規模なマイクロデータの整備や計算機の処理能力の向上、オブジェクト指向言語の登場によって、個人や世帯、企業等の意思決定主体に基づく非集計レベルでのシミュレーションモデルの構築が可能になりつつある。その一つに空間的マイクロシミュレーション(以下、空間的MS)があり、これまでに詳細な空間単位での地域的差異の解明に利用されてきた。

空間的MSの特色は、複数のマクロな統計資料や地理情報、入手可能なマイクロデータを駆使して、個人属性と空間属性の両面で詳細な属性を有した合成マイクロデータ(synthetic microdata)を生成できる点、マイクロデータをベースとすることで、個人や世帯単位に政策がもたらす結果の差異を明らかにできる点にある(Ballas and Clarke 2001)。これによって、大規模なマイクロデータが得られない場合においても、非集計レベルでのシミュレーションモデルの構築が可能になり、その結果として、多様な社会経済現象を対象にした分析が可能になる。

そこで、本研究では、空間的MSの枠組みを採用し、歴史都市の防災及び景観保全を対象に、マイクロデータを用いたシミュレーションを行う。花折断層による道路閉塞と人的被害、京町家の取壊しを予測することで、歴史都市の地震防災や景観保全政策の立案において「将来」に関する定量的な情報を提供できると期待できる。なお本研究は、亀井ほか(2009)と花岡(2009)、花岡ほか(2009)の研究成果に基づく報告である。

## 2. 研究方法

### (1) モデル枠組み

空間的MSの枠組みを図1に示す。モデルの構築手順は、まず人口と建物の合成マイクロデータを生成する。次に、地震と道路閉塞、人的被害、町家の4つのプロセスモデルを用意し、合成マイクロデータに適用する。地震モデルは地震動と建物倒壊の推定、道路閉塞モデルは道路閉塞の推定、人的被害モデルは建物倒壊に伴う死亡者数の推定、町家モデルは京町家居住者と京町家の合成マイクロデータを利用して、京町家の取壊しを予測するプロセスモデルである。

## (2) 合成マイクロデータの生成

空間的 MS 研究では、合成マイクロデータの生成方法として、モンテカルロ法または組合せ最適化アルゴリズムが知られる。本研究では、組合せ最適化アルゴリズムのうち焼きなまし法を用いた人口の合成マイクロデータ生成、モンテカルロ法を用いた建物の合成マイクロデータ生成を行う。

人口の合成マイクロデータの生成には、焼きなまし法を利用する(図 2)。使用するデータは、『京阪神都市圏パーソントリップ調査』(PT 調査)のサンプルをマイクロデータとして、『国勢調査・小地域集計』の統計表を制約条件として利用する。この方法では、①PT 調査サンプルから初期の合成マイクロデータセット作成する。次に、②PT 調査のサンプルと合成マイクロデータのサンプルを置換し、制約条件である国勢調査小地域集計との整合性(TAE)を計算する。もしサンプルの置換によって、この整合性が改善するならば、サンプルの交換を確定する。そうでない場合は、合成マイクロデータを置換前の状態に戻す。③このサンプルの置換を繰り返すことで、徐々に国勢調査と整合する合成マイクロデータを生成できる。ただし、焼きなまし法では、整合性が改悪するサンプルの置換を一定割合、受け入れることで、局所解からの脱出を図る。この焼きなまし法を、国勢調査の町丁・字ごとに適用することで、PT 調査の空間単位を町丁・字単位に細分化した、人口に関する合成マイクロデータを生成できた。制約条件である国勢調査小地域集計との整合性は、大半の町丁・字において 10 度数未満であり、高い値を示した。

建物の合成マイクロデータの生成には、モンテカルロ法を用いる。まずゼンリン住宅地図『Zmap-TOWNII』の建物データに『MAPCUBE』の建物の高さ情報を空間結合する。次に、建物構造・建築年代が既知の範囲を対象に、建物面積・高さ別に建物構造・建築年代別確率を算出する。この条件付き確率を用いて、ゼンリン住宅地図の建物データに建築年代・建築構造を割り当て、建物の合成マイクロデータを生成した。

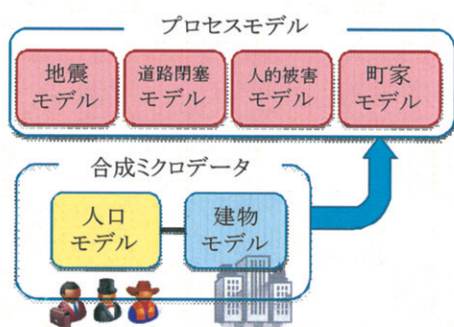


図1 モデル枠組み

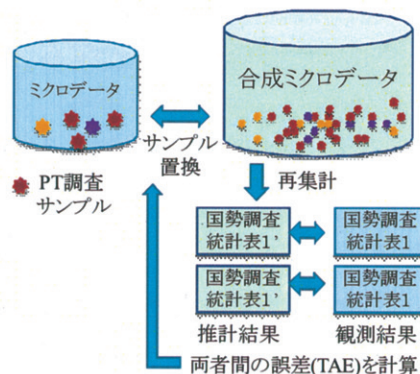


図2 焼きなまし法による合成マイクロデータの生成

## 3. 震災時の道路閉塞状況からみた文化財の危険度評価

文化財は、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。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。

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。

そこで、京都市全域を対象に、建物の合成マイクロデータに道路閉塞モデルを適用し、地震による道路閉塞状況における文化財の危険度評価を行った。道路閉塞モデルでは、建物の高さHの4分1(=B)幅を瓦礫として建物周囲に発生させ、それが道路中心線と交差するかを判定した。さらに、ArcGISのNetwork Analystを用いて、道路閉塞データ25セットに対する消防署から文化財までの到達可能性を7段階で評価した(図3)。

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。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3からわかる文化財の周辺地域は、木造密集地域と空間的に重複する 경우가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。

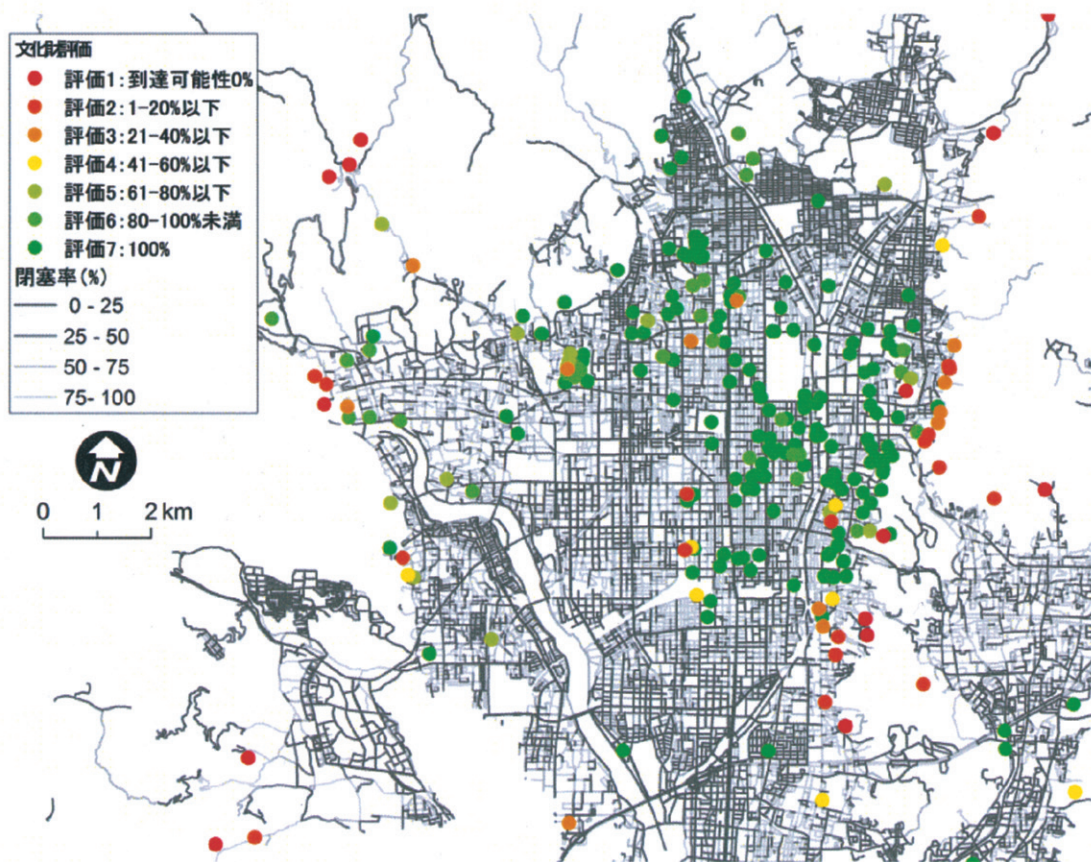


図3 道路閉塞状況における文化財の危険度評価

#### 4. 地震による人的・経済的被害予測

内閣府(2000)によると、1995年の阪神淡路大震災では、高齢の女性や大学生、外国人、低所得者層、木造密集地域に被害が集中したことが指摘された。歴史都市である京都においては、第二次世界大戦期に空襲の被害が軽微であったため、都心部に耐震・耐火に弱い戦前の木造家屋が多く残る。また都市部では高齢者比率も高く、地震被害を増幅する可能性が高い。

地方自治体が整備する地震災害想定は死亡者や避難者の総数が報告されるが、その人口構成にまで言及されていない。しかし、医療資源や避難備品の効果的な配分には、被災者の人口構成をあらかじめ把握しておく必要がある。さらに災害から復興段階では、産業別の経済的損失を建物や設備の物理的資源ばかりでなく、人的資源の側面からも計測する必要もある。そこで、本研究では、花折断層に伴う人的被害、特に雇用者の死亡数を推定し、死亡者の人口構成及び京都市経済への影響を推定した。具体的には、生成した人口と建物の合成マイクロデータに対して地震モデルを適用することで、人的被害の予測を行った。なお建物倒壊と死亡率との関連は、内閣府作成の『地震被害想定支援マニュアル』を参考にした。

現段階では試行的な分析結果であるが、京都市の死亡者数は7,941人と推定された。さらに地震による死亡者数を求めるばかりでなく、町丁目別や産業別、性別年齢階級別や産業別死亡者数(図4・5)を推定できる。死亡者数は若年層で高く、また建設業やサービス業に従事する雇用者で死亡率が高い。この結果の背景には、所得水準と居住する建物の建築構造とに関連性があること、大学や産業の立地によって、緩やかであるが居住分化が存在することが背景として推測できる。花折断層地震の経済的損失については、雇用者の死亡による所得損失を求めると約160億円となり、京都市の市民所得全体の0.6%が失われると試算された。

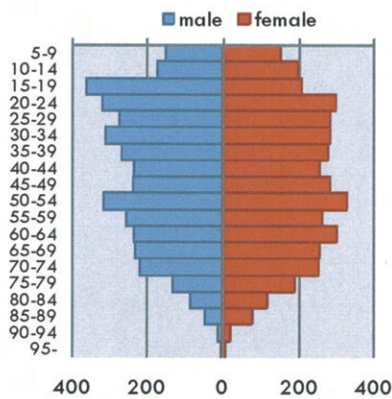


図4 性別年齢階級別死亡者数

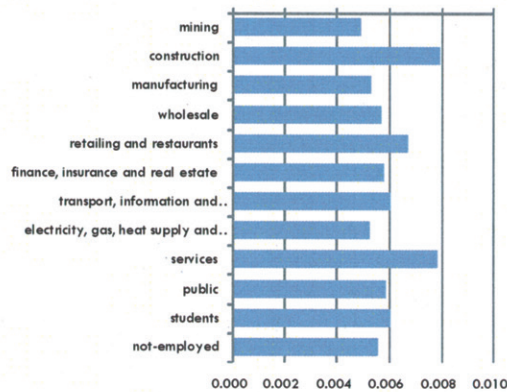


図5 産業別死亡率

#### 5. 京町家の取り壊しの将来予測

京町家は、歴史的町並みの景観構成要素であり、京都市都心部では職住が近接した地区を形成する。しかし、京町家は、高度経済成長期から継続して取り壊されてきた(河角ほか 2003)。さらに西陣地区では1998年から2004年にかけての京町家外観調査では、京都市都心部の京町家うち14%が取り壊されたことが明らかにされた(花岡 2009)。現在、京町家保全に対する取り組みが本格的に進められつつあるが、その基礎情報となる京町家の将来的動向に関する定量的評価が示されていない。そこで、町家モデルを用いて、京町家とその居住世帯の動態から、京町家

の取壊しを将来的に予測し、町家の保全政策の効果を測定する。町家モデルは、オブジェクト指向に基づき構築することで、現実で認識するのと同様に、京町家と世帯、個人の振る舞いや、京町家と世帯、個人間の階層関係、近隣の京町家同士の相互作用をモデリングした。

上記の分析の結果、京町家の現状での取壊し状態を維持した場合、2004年から15年後までに、現存する京町家のうち約30%が取り壊され、残存率は67.3%と予想された。一方で、修繕費助成や空家への入居者斡旋、高度規制の強化を組合せた包括的な京町家の保全政策を実施した場合、京町家の残存率を82.5%にまで高められることがわかった。加えて、分析結果はマイクロデータ形式で提供されるため、京町家の外観特性別に残存数や居住世帯の年齢構成等の推移を把握できる。その結果を分析することで、京町家の保全政策が京町家の外観特性や居住世帯の構成に与える影響を測定でき、京町家の取壊しの因果関係について示唆的な結果が得られた。

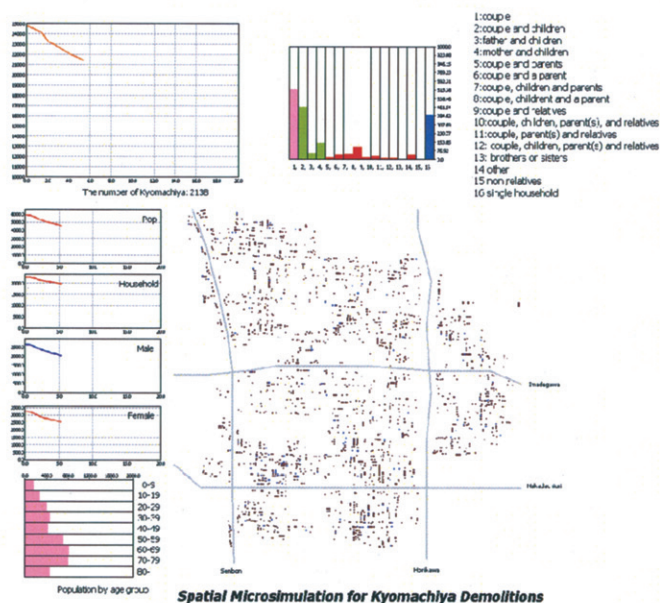


図6 シミュレーション画面

表1 シナリオ別の京町家残存件数

シナリオ	残存数	残存率	A: 現状維持との比率
A: 現状維持	1,667	67.3%	100.0%
B: 修繕率の上昇 (低率)	1,738	70.1%	104.2%
C: 修繕率の上昇 (高率)	1,845	74.4%	110.7%
D: 入居率の上昇 (低率)	1,679	67.7%	100.7%
E: 入居率の上昇 (高率)	1,687	68.1%	101.2%
F: 高度規制の強化	1,886	76.1%	113.1%
G: シナリオCとE、Fの組合せ	2,045	82.5%	122.7%

残存率=残存数/第II期の軒数 (=2,478軒) × 100.

## 6. おわりに

本研究では、空間的MSの枠組みを採用し、地震被害と歴史景観保全を目的としたシミュレーションを行った。その研究成果は以下のように整理できる。

第一に、空間的MSの枠組みを採用し、国勢調査やPT調査、京町家まちづくり調査、ゼンリン住宅地などのマクロな統計資料やマイクロデータを駆使することで、京都市全域を対象に人口と建物の合成マイクロデータを生成できた。また人口と建物の合成マイクロデータは、既存の統計資料とも高い精度で整合した。

第二に、合成マイクロデータを利用することで、歴史都市の防災及び景観保全を対象とした分析に、詳細な個人属性と空間単位を同時に考慮できる。本研究では①建物の建築年代と建築構造を踏まえた建物倒壊と道路閉塞の予測と②個人の人口学的、社会経済的属性別の地震被害の分析、③京町家居住者と京町家の建物変化とをリンクさせた分析ができた。このように空間的 MS の枠組みは、従来、データの制約が大きい分野でも詳細な分析を実現できると考える。

第三に、町家モデルでみたように、政策シナリオの下でモデルを実行することで、京町家の残存軒数や人口変化等の多面的な点から政策が及ぼす影響を推定でき、政策分析ツールとしての空間的 MS の有用性を確認できた。本研究で示した居住世帯と京町家との相互作用を考慮した動的なシミュレーションは、政策分析を目的とした実用的な社会シミュレーションとして汎用的な利用も可能である。

以上、本研究では、空間的 MS の枠組みを採用することで、歴史都市防災及び景観保全を対象に、これまで以上に微視的な分析を実現できた。今後の課題として、合成マイクロデータの生成方法の改良と推計結果の精度評価指標の作成が指摘できる。また地震被害予測での有効性を確認するため、阪神淡路大震災を事例としたシミュレーションを行い、推計結果の妥当性を検討する必要もあろう。こうした研究蓄積によって、歴史都市防災や景観保全において、マクロな統計資料だけではなく、マイクロデータを利用したシミュレーション技法の有用性を示すことができた。これらの資料は、地震防災計画策定において、「将来」の動向を踏まえた判断を可能にする。

## 参考文献

亀井千尋・花岡和聖・中谷友樹「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－」、GIS－理論と応用、17、pp.73-82、

2009 (URL: <http://www.gisa-japan.org/dl/17-1PDF/17-1-73.pdf>)

河角龍典・矢野桂司・河原 大・井上 学・岩切 賢「空中写真を利用した京町家時・空間データベースの構築」、人文科学とコンピュータシンポジウム論文集 21、pp.111-118、2003

内閣府『阪神・淡路大震災教訓情報資料集』、2000、

(URL: [http://www.bousai.go.jp/1info/kyoukun/hanshin\\_awaji/about/index.html](http://www.bousai.go.jp/1info/kyoukun/hanshin_awaji/about/index.html))

内閣府『内閣府地震被害想定支援マニュアル』、2000、

(URL: <http://www.bousai.go.jp/manual/index.htm>)

花岡和聖「動的な空間的マイクロシミュレーションモデルを用いた社会シミュレーション－京町家の取壊し分析を事例に－」、地学雑誌、118、pp.646-664、2009

(URL: <http://www.geog.or.jp/journal/back/pdf/118-4/p646-664.pdf>)

花岡和聖・中谷友樹・矢野桂司・磯田 弦「京都市西陣地区における京町家の建て替えの要因分析」、地理学評論 82、pp.227-242、2009

Ballas, D. and Clarke, G.P.: The local implications of major job transformations in the city: A spatial microsimulation approach. *Geographical Analysis*, 31, pp.291-311, 2001.

Gilbert, N. and Troitzsch, K.: *Simulation for Social Scientist*. Open University Press, 1999.