

GISと生活行動シミュレータPCATSを利用した消防防災拠点の評価^{*1}

*Evaluation of Allocation of Fire Station using GIS and PCATS^{*1}*

菊池輝^{*2}, 藤井聡^{*3}, 北村隆一^{*4}

By Akira KIKUCHI^{*2}, Satoshi FUJII^{*3}, Ryuichi KITAMURA^{*4}

1. はじめに

災害時に被害の拡大を最小限に食い止めるためには、災害発生時点でいち早く被害状況を把握し、速やかに避難誘導や、消防・救助活動を行うことが肝要である。そのためには、単にこれまでの防災対策の見直しにとどまらず、災害状況の想定やそれぞれの対応策の有効性を含めた防災計画が不可欠である。特に、人口が集中する大都市においては、地震発生の時間帯やその時間帯における人口の地域的分布、さらに消防署などの防災拠点や、学校や公園などの避難地域の都市内における分布状況が、災害発生後の被害の拡大に大きく影響することになるため、その防災計画には多角的な検討が不可欠である。

本研究では、こうした多角的検討を行うために、まず、生活行動シミュレータPCATS¹⁾を用いて災害発生発生時点の人々の滞在場所の地理的分布の把握を試みた。そのために、今回の分析では人々の活動地点を直交座標系で再現する²⁾様に改良したものをを用いた。改良にあたっては、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (Markov Chain Monte Carlo Algorithms : 以下、MCMC法)³⁾を用いて膨大な活動地点の選択肢集合からの選択を効率的に再現し、計算時間を大幅に短縮した⁴⁾。それに続いて、地理情報システム (以下、GIS) を利用し、防災拠点や避難場所の空間的分布を視覚的に把握し、各防災拠点・各避難場所から滞留人口集中地域への直線距離とそこまでの移動時間を指標として、現状の防災拠点・避難場所と滞留人口集中地域との空間的関係を検討した。移動時間に関しては、任意の地点の移動機関別移動時間を算定できるシステムを用いており、座標間の詳細な移動

時間を算出することが可能である。

本稿では、シミュレーションモデルの概要を述べた後、京都市中心部を対象として上記の分析を行うことにより、京都市における防災対策検討のための基礎的な資料を提供することを目指す。

2. シミュレーションモデルの概要

(1) 生活行動シミュレータPCATS

PCATSは、一日は個人の自由意思で決定可能な自由時間帯と、時間利用形態が先決されている固定時間帯から構成されるという仮定に基づいている (以下、自由時間帯における活動を自由活動、固定時間帯における活動を固定活動と表記する)。この前提の下で、PCATSは個人データ (年齢、性別、当日の全固定活動の場所、開始・終了時刻、内容等) と、活動を実行する可能性のある地域の全ての土地利用データ (人口、サービス事業所数等)、ならびにOD間の移動抵抗データ (機関別OD所要時間・費用等) に基づいて、自由時間帯での個人の行動パターンを逐次的・段階的に再現するマイクロシミュレータである。

生活パターンの生成にあたっては、逐次的、段階的な意思決定過程を想定する一方で、個々の意思決定の局面を、Hazard-Based Duration モデルに基づいた活動時間分布モデル、Nested Logit モデルに基づいた活動内容選択モデルと、活動場所・交通機関選択モデルの3つのサブモデルを組み合わせて用いることで再現する。

PCATSの最大の特徴は、ある個人が実行する各々のトリップに関する情報を全て含む形で、一日の「生活パターン」全体を再現するという点である。これにより、各種交通施策が生活行動に与える影響を再現し、活動の変化に伴い生じる、トリップ生成、

^{*1} キーワーズ：防災計画、GIS、シミュレーション

^{*2} 正員、工博、京都大学工学研究科土木システム工学専攻

^{*3} 正員、工博、京都大学工学研究科土木システム工学専攻

^{*4} 正員、Ph.D、京都大学工学研究科土木システム工学専攻
(京都市左京区吉田本町、TEL075-753-5136、FAX075-5916)

個々のトリップの機関選択，目的地選択，出発時刻選択，あるいは，トリップチェーン形態等の二次的，三次的变化を総合的に把握，分析することが可能となる．なお，詳細は参考文献1) を参照されたい．

(2) 座標システムの導入

本研究ではPCATS内のサブモデルの一つである交通機関・目的地選択モデルを，座標システムを利用したモデルに変更する．その際，従来のPCATS内の空間表現はゾーンシステムであるため，これを座標システムに対応させる必要性が出てくる．すなわち，PCATSに導入されている制約条件や計算方法，入出力データの形態をゾーンシステムから座標システムに変更する必要がある．また，空間表現手法を座標システムに移行した場合，選択肢集合が膨大になり計算コストが長大となってしまう．そこで目的地点選択行動の再現には，近年になって広い範囲での応用が注目されているMCMC法によるサンプリングを適用する．以上のような改良をPCATSに加え，個人の一日の生活行動を座標システム上で再現し，詳細な交通行動を取り扱えるモデルに発展させる．なお，モデル改良の詳細は参考文献4) を参照されたい．

3. 京都市都心部における滞留人口分布

(1) 分析に用いたデータの概要

a) 対象地域

分析対象とする地域を京都市中心部の矩形領域（東西13km，南北11km）に設定し，目的地点は10m単位の直交座標で表現させる．対象地域内の地点数は約140万個となるが，このうち明らかに活動を実施することが不可能な点（河川等の水域や鉄道敷領域・道路領域等）を除いた約74万地点をあらかじめ抽出した．

b) 個人データ

平成2年京阪神パーソントリップ調査データ（以下PTデータ）より，すべての固定活動を対象地域内で行った個人を抽出し，トリップの起終点等ゾーン単位で表現されている情報は座標に変換した⁴⁾．

c) その他のデータ

個人データ以外で，シミュレーションの実行に必

要なデータに土地利用データ，交通機関別の移動抵抗データがあるが，そのうち土地利用データは，町字単位で集計されている調査データ（平成7年国勢調査，平成8年事業所・企業統計調査）から得られる，人口，世帯数，事業所数，従業員数をデータ項目とし，GISを用いて加工した．任意の地点間の移動抵抗データは，道路交通・公共交通シミュレーションモデル⁵⁾およびGISを用いて算定することにした．以上のデータの詳細については，参考文献2) を参照されたい．

さらに，PCATSを構成する3つのサブモデルのうち交通機関・目的地点選択モデルのパラメータは菊池らの研究²⁾で推定されている値を利用した．

(2) 滞留人口分布

シミュレーションの出力結果より京都市都心部の滞留人口分布の時間変動を，活動中（自宅活動・それ以外）か移動中かに分け，集計した結果を図-1に示す．

昼間滞留人口の方が夜間滞留人口より多く，滞留の増加は午前7時から始まり，午後9時頃まで続くことが示されている．さらに昼間では，自宅活動を行っている人口よりも自宅外で活動を行っている人口の方が多くなっており，さらに移動中の人口は約10%程度であることが示されている．また最も滞留人口が多いのは午後3時頃であり，この時間に災害が発生した場合に，最も避難を行う人口が多く，被害が大きくなる可能性があることが予想される．

午後3時における人口分布を，GISを用いて表現したものを図-2に示す．円の半径が大きい場所ほど滞留人口が多いことを意味する．まず図の中央付近に集中している様子が伺える．この付近は京都市内のオフィス街でもあり，就業先にて活動を行っている人が多いことを反映している．次に川沿いの商業施設が多い地域に集中している様子が伺える．これらの地域には買い物等の活動を行っている人が集中していると思われる．

(3) 都心部における避難行動の分析

午後3時における，都心部に滞留している人々の避難時間や避難距離を分析する．ここで避難場所として設定したのはGISより抽出した学校，公園，

各個人の自宅である^[注]。また避難方法は、

①午後3時の時点で何らかの活動を行っている場合
すべての避難場所のうち、直線距離で最も近い場所へ徒歩で避難する。すでに避難場所にいる場合、避難活動は行わない。

②午後3時の時点で移動中の場合

全ての避難場所のうち直線距離で最も近い場所へ避難する。自動車を利用していた人は自動車で、自動車以外で移動していた人は徒歩で避難する。と仮定した。各滞留地点から各々の避難場所までの直線距離の分布を図-3に、避難時間の分布を図-4に示す。全ての滞留地点において、1,000m以内に避難場所が存在し、200m付近に存在する人口が最も多い。また避難時間に関しても、10分以内のところに避難場所が存在していることが分かる。これらの値は大きいものではなく、人々に避難施設に

関する地理的な認知があり、適切な避難誘導を行えば、被害の拡大を防ぐことが可能であると言える。

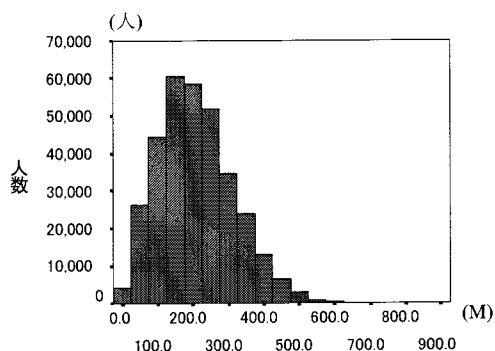


図-3 避難場所までの直線距離の分布

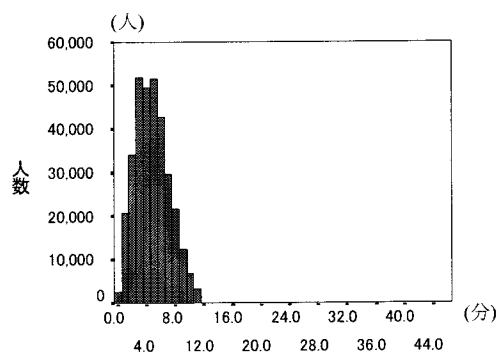


図-4 避難場所までの移動時間の分布

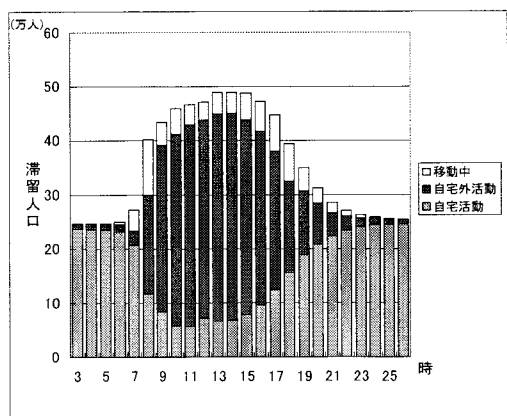


図-1 時間帯別人口滞留分布

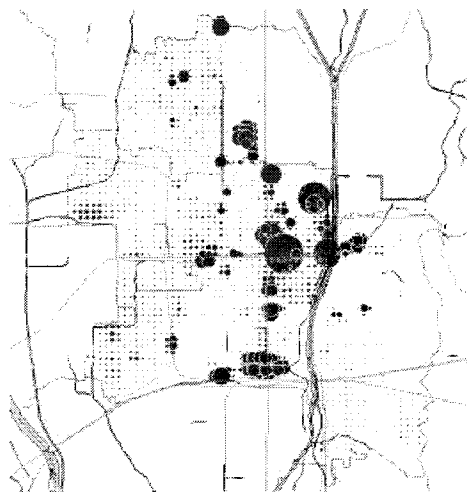


図-2 午後3時における滞留人口の空間分布

4. 防災拠点の施設配置評価

災害が発生した場合、防災拠点から迅速に災害発生地点へ救助活動に向かう必要がある。そこで滞留人口の集中地域にて救助活動を行う場合を想定し、その移動にどれほどの時間を要することになるのかを分析した。ここで防災拠点としては、京都市内の47箇所の消防署・消防署分署・消防出張所を設定した。また最も近い場所にある防災拠点から出動すると仮定して、各防災拠点が抱えることになる都心部の滞留人口の分布を、防災拠点からの直線距離および移動時間で集計を行った(表-1)。このとき分署・出張所の活動範囲は、本署の活動範囲の半分であると仮定している。また図-5に各防災拠点の滞留人口負担を示す。約1,300mの範囲内に95%の滞留人口が存在し、移動時間は最大でも8分程度である。また防災拠点の活動範囲を設定したため、本

署の負担が大きく、分署・出張所の負担が小さくなっていることがわかる。しかし中京消防署（図－5の中央）の負担が非常に大きくなっており、これは図－2の結果より、中京消防署周辺に滞留人口が集中していることが一番の原因であるが、大きな災害が発生した場合を想定すると、過度の負担が中京消防署にかかることになる。

そこで本研究では、新たに防災拠点を建設する代替案を設定し、施設配置評価を行うことにする。新設するのは消防出張所Aであり、都心部に存在する4つの消防署を頂点とする四角形の重心点の座標とする。この場合の、各防災拠点が抱えることになる都心部の滞留人口の分布を、防災拠点からの直線距離および移動時間で集計した結果を表－2に、各防災拠点の滞留人口負担を図－6に示す。直線距離、移動時間ともに現状に比べて小さくなっており、この施設配置が防災活動を支援する案であることが分かる。しかし中京消防署の負担が小さくなった分、新設した出張所の負担が非常に大きく、すべての防災拠点の中で一番大きくなってしまった。

表－1 現状での消防署からの直線距離と移動時間

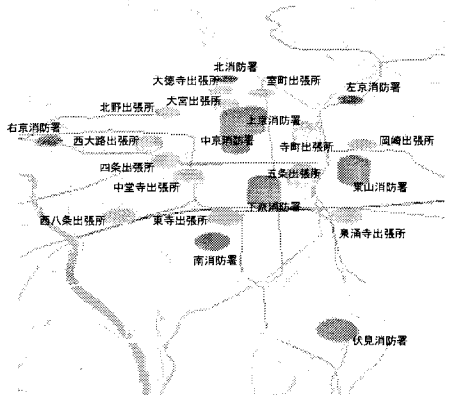
	直線距離(m)	移動時間(分)
平均値	640.9	5.5
パーセンタイル値(90)	1203.8	7.6
パーセンタイル値(95)	1316.7	8.2

表－2 代替案時の消防署からの直線距離と移動時間

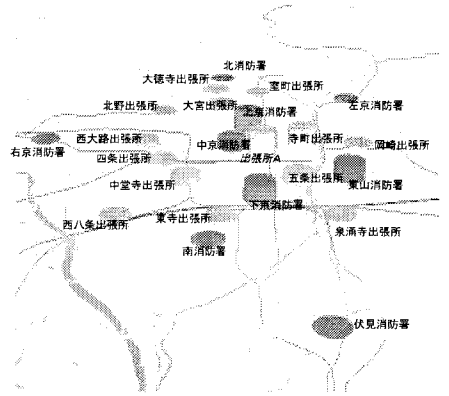
	直線距離(m)	移動時間(分)
平均値	522.7	5.3
パーセンタイル値(90)	956.0	7.6
パーセンタイル値(95)	1189.2	8.1

5. おわりに

本研究は、災害時の救助活動を速やかに行うための防災拠点整備を目的とした、シミュレーションモデルとGISの適用可能性を示したものである。今後は、避難時における道路網の渋滞が避難行動に及ぼす影響や、避難施設の容量等を考慮しなければならない。また将来交通計画を考慮し、道路ネットワークの施策案とともに防災上の視点から交通計画を評価する必要性もあると思われる。



図－5 各消防署の滞留人口負担



図－6 代替案時の各消防署の滞留人口負担

謝辞

本研究は京都市消防局防災対策室の全面的な協力を得た。ここに記して、深謝の意を表します。

注：避難行動調査において約 53%が自宅あるいは最寄りの避難所へ向かうと回答している⁶⁾。

参考文献：

1) 藤井 聡, 大塚祐一郎, 北村隆一, 門間俊幸: 時間的空間的制約を考慮した生活行動軌跡を再現するための行動シミュレーションの構築, 土木計画学研究・論文集 No.14, pp643-652, 1997.
2) 菊池輝, 小畑篤史, 藤井 聡, 北村隆一: GISを用いた交通機関・目的地点選択モデル:ゾーンシステムから座標システムへの地理空間表現手法の移行に向けて, 土木計画学研究・論文集, 17, pp. 605-612, 2000.
3) 伊庭幸人: マルコフ連鎖モンテカルロ法とその統計学への応用, 統計数理, 第 44 巻第 1 号, pp49-84, 1996.
4) 菊池輝, 藤井聡, 北村隆一: 座標システムを導入した生活行動シミュレーションモデルによる交通政策評価, 第 36 回日本都市計画学会・学術研究発表会, 投稿中.
5) 西尾健司, 中川大, 松中亮治, 伊藤雅: 共通運賃精度の導入による所要時間短縮効果に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No. 21(2), pp.293-296, 1998.
6) 岸野啓一, 本田武志: 震災後の交通行動に関する考察, 阪神・淡路大震災調査研究論文集, pp.333-338, 1997.