

## 論文の内容の要旨

論文題目 都市内の移動と集積から導かれる容量制約付き職住形態の数理的研究

氏名 宗政 由桐

### - 概要 -

本研究は、都市における職住分布の配置を、容量制約を付した都市モデルにおいて収束解を導出する数理モデルを独自の方法で構築し、都市内の移動と集積から導かれる職住形態を議論するものである。都市における最適な施設配置という問題は、建築計画・都市計画を策定するにあたり大変重要な問題であり、また、とりわけ職住分布は都市を構成する要素として基本的なものである。職住分布は各都市において様々な形態をとっており、またその土地の環境に適した地域社会が形成されていると考えられるため、職住分布を一括りにして記述することは困難を伴う。しかしながら都市を構成する要素以上に、社会を構成する重要な要素であることもまた自明であり、都市の発展を考えるにあたって、今一度深く議論する必要があると考えられる。

すでにわが国では少子高齢化社会に突入しており、すべての圏域で都市の人口減少が起きると推定されている。三大都市圏に占める人口比率は50%を超える一方、今後35年で過疎化が進む地域の人口は61%減少するとも言われており、持続可能な地域発展の検討は今後ますます大きな課題となるであろう。このような諸問題を解決する一つの手法として、都市のコンパクトシティ型への移行施策が検討されているが、既存の都市構造を大きく変化させる手法には中長期的な視点を伴った計画が不可欠であり、変化させた場合における影響を多いに考慮しなければならない。また既存の都市で生活を行っている人々に与える影響を考えると、極めて困難であり、その手法の具体化が課題となっている。本研究で議論するモデルは、都市内の移動と集積によって求められるコストの配分法の違いによって職住形態が変化することに着目し、人口変動や都市の縮小化に伴う収束的な職住形態を導出するものである。

本研究では、都市内の移動による移動コストと、都市内の集積から生じる不快感コスト、およ

び建物の規模によって定まる容量制約に着目する。従来の職住分布を求める移動コストの定式化は、本質的には通勤移動コストのみを考慮したものであり、業務移動コストなどの施設相互作用コストを明示的に考慮したものではない。そこでまず、都市内の移動コストとして業務移動コストを加えて考慮した数理モデルを構築するとともに、そのモデルの含意を明確にする。次にこのモデルにおいて考えられている建物ノード間のコストに加え、建物ノード自体が負担する不快感コストを付加した一般的な都市のコストへと拡張する。建物ノード自体が負担するコストは容量制約に依存するコストであり、実空間都市分析への応用を念頭に付した独自の理論である。

職住分布を導出するにあたって、都市内における総コストを最小化するモデルであるか、あるいは都市内に住まう人々が負担するコストを等しくなるよう分配するのか、という都市のコストの配分法について議論する。前者はシステム最適配分と呼ばれ、都市全体のコストを最小化するためのモデルであり、後者は利用者均衡配分と呼ばれ、都市内の人々が負担するコストを等しくするためのモデルである。都市計画を策定する上ではシステム最適化が望ましいものの、現実的には利用者が各々の利益に従って行動し利用者均衡状態に収束していると考えられるため、双方のモデルにおいて仮想都市モデルを用いた実証分析を行い、その差異をパラメータによって明らかにする。

最後に、全国の実空間データを用いて都市分析へと展開し、本モデルの有用性を検証する。東京都特別区や三大都市圏における職住形態に関する研究は盛んに行われているものの、地方都市における職住分布配置に関する実証的研究は少ないのが現状であり、また今後の都市構造の変化を記述する上でも地方都市の職住分布の最適配置を導出することは非常に重要だと考えられる。各都市の実空間データによる現状の職住分布形態を、利用者均衡配分モデルを用いて業務移動コストや不快感コストのパラメータを推定し、そのパラメータをもってシステム最適配分法による最適配置を導出した上で、都市間の比較・分析を試みる。また、現状を表していると推察されるパラメータを変動させることにより、都市の安定性や変動を記述する。

本研究で構築する数理モデルは職住分布のみに適応されるものではなく、関係性が生じる施設間の配置問題一般について応用が可能であり、緊急性が高く相互連携が必要な主要公共施設などにも拡張が可能である。例として、警察・消防・病院といった施設を配置する際に、施設間の移動コストや利用者間によるコスト負担の大小を軽減することが追求でき、また建物内の配置問題に関しても効果を発揮すると考えられ、都市空間の施設配置問題への寄与が大きいと考えられる。

## - 構成 -

本論文は第I部：序論、第II部：仮想都市モデルを用いた実証分析、第III部：実空間データを用いた実証分析の3部、全7章により構成される。各章の概説は以下の通りである。

第1章：本研究の目的と背景および概要を述べ、位置づけを明確にした上で、本論で頻出する用語と記法についてまとめている。

第2章: 職住分布を導出するための既往の研究の中で、本論文と関係が深い既往研究を三つに大別して記述している。第一は職住分布配置に関する研究であり、施設配置問題と空間相互作用モデルの系譜について述べている。第二は都市内のコスト配分法に関する研究であり、システム最適配分と利用者均衡配分について記述し、その定式化と特徴を明らかにしている。第三は距離の導出を中心に概観する。

第3章: 容量制約を付した都市モデルにおいて業務移動を考慮した移動コストを独自の方法で構築している。都市モデルにおける総移動コストを最小化するシステム最適配分の原則に基づき、ある都市モデルにおける移動コストを算出可能な数理モデルを構築する。移動コストをモデル化する際に、定数ベクトル、変数ベクトル、正方行列を用いて2次計画問題へと帰着させるが、導入する正方行列には距離行列が含まれているため、一般的に半正定値性をみとせず非凸2次計画問題になることを明らかにする。非凸型では最適解が複数存在すると考えられるため、線形緩和法を用いて非凸型を凸型へと緩和し、線型計画問題へ応用可能であることを記述する。数値解析例として線形都市および平面都市における職住分布の最適配置を導出している。また、都市人口と業務移動頻度のパラメータの設定により、都市の広がりや発展が記述出来ることを明らかにしている。

第4章: 第3章において建物ノード間の移動コストの定式化が可能となったが、都市モデルを発展させ、容量制約により建物ノード自体がもつコストを考慮した新しい都市モデルを構築する。システム最適配分の原則には従ったまま、建物ノードが包含する人口によって不快感コストが算出される概念を導入し、建物ノード間の距離によって導出されていたコストに密度によって導出されるコストを付加することで、多様なコストの導入が可能となるモデルの一般型を導出する。不快感コストは就業・居住密度から導出されるが、建物ノードが持つ独自のコストであるため、選択可能なコストとして定義され、ここで導出される結果は第5章における利用者均衡配分によるモデル構築とその分析に供されている。

第5章: 都市内の人々はシステム最適化を考慮することなく、各々が負担するコストを低減するよう職住地を選択すると考えられるため、その職住分布配置を利用者均衡配分に基づいて導出する。第4章で構築した移動コストと不快感コストを考慮した都市モデルにおいて、それらを均衡配分する数理モデルを提案し、これまで導出されてこなかった容量制約付き職住分布の均衡配置をモデル化する。コストの均衡配分とは、都市モデルにおける人々がそれぞれ負担するコストをみな等しくなるよう配分する概念であり、各建物ノードの容量に達した場合にはペナルティコストを与えることにより、職住分布は均衡状態に落ち着くことが予想される。与える条件から均衡条件式、容量制限式、ペナルティコストに関する条件式などの条件式が導かれるが、Karush-Kuhn-Tucker条件を援用することで数理計画問題と等価になることを明らかにする。数理

計画問題の求解にあたっては線型計画問題を緩和することで解の導出を行っているが、容量制約に関する条件式を明示的に付与した双対問題を与え、そのラグランジュ乗数値を求めることで職住分布の均衡配置を導出し、パラメータの特性を明らかにしている。

第6章:第5章で構築した数理モデルを用いて現状の都市の職住形態を再現するパラメータを推定し、そのパラメータを用いて各都市の最適配置を導出している。第4章および第5章の配分法を用いることで、利用者と都市全体の双方の最適化を行うことが可能となり、また各都市間で導出されたパラメータからその特性を記述することが可能となる。現実の10都市において、就業地・居住地の総延床面積から容量制約を決定し、領域間の統合においては領域間距離と領域内の円盤上の距離分布を導出して分析を行っている。利用者均衡配分モデルから移動頻度や不快感パラメータを推定し、パラメータの散布図や三角座標による都市の大局的構造を捉え、また各都市における総コスト分析を行うことにより、都市の規模や人口と、移動頻度や不快感コストがどのような関係にあるか実証分析を通じて明らかにしている。また、パラメータを変動させることで今後の都市の動態を予測し、今後の都市のあり方について考察している。

第7章:本研究の成果をまとめ、今後の課題と展望について記述する。

以上が本論の構成とその主たる内容の概説である。