

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18510114

研究課題名（和文）

数理生態学の手法を応用した都市成長の数理モデルの開発

研究課題名（英文）

Development of Urban Growth Models Applying Mathematical Ecology

研究代表者

鈴木 勉（SUZUKI TSUTOMU）

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・教授

研究者番号：00282327

研究成果の概要：

鉄道ターミナルや商業中心地などの拠点と、都市内の流動を支える交通ネットワークは、相互に影響を及ぼし合いながら形成され、都市全体の空間構造を規定していくものと考えられる。本研究では、拠点配置とネットワーク構造の同時決定モデルの開発を行い、点と線で構成される成熟都市および成長都市における都市空間構造の形成プロセスを記述する施設立地モデルとネットワーク設計の統合モデルを開発した。これにより、交通ネットワークの成長パターンを解明し、交通輸送性能の高度化を経るプロセスを内包した階層構造を有する交通ネットワーク形態の発現メカニズムを捉えることが可能となった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,200,000	0	1,200,000
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	450,000	3,150,000

研究分野：都市工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学—社会システム工学・安全システム

キーワード：都市工学，交通，成長，ネットワーク，配置，設計，形態，数理生態学

1. 研究開始当初の背景

(1) 地球環境問題への対応に対する研究，実践両面での様々な取り組みが行われているが，対策の一つとして都市計画的手法による都市構造の改変も真剣に議論されるようになってきた。モータリゼーションの進展は，都市の平面的拡大をもたらし，郊外居住者は快適な居住環境を手に入れることができたが，一方で自動車に依存した生活は，環境に

大きな負荷を与えている。このような中，都市の形態をもっと集約させたコンパクトシティが注目を浴びている。

(2) しかし，都市はそれぞれ固有の歴史を有し，その空間的構造や形態にもその都市の発展の経緯が埋め込まれている。モータリゼーションという大きな条件変化は確かに都市形態に大きな影響をもたらしたが，河川・山といった自然地形や道路・鉄道などの交通基

盤などは歴史的遺構として後々の都市形態をも規定している場合がほとんどである。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、都市の歴史性を踏まえながら、都市の成長により形成される空間形態がどのようなものになるかについて、数理生態学の手法を応用した都市成長の数理モデルを構築して解析することを考える。そして、鉄道ターミナルや商業中心地などの拠点配置および鉄道・道路などの交通ネットワーク形態の両者に着目しながら、都市の成長過程を規範的に記述し、その動学的成長プロセスを明らかにすることを目的とする。

(2) 本研究は大きく分けて次の4つの部分から構成される。

- ① 第一は、拠点配置とネットワーク構造の同時決定モデルのフレーム構築である。鉄道ターミナルや商業中心地などの拠点と、都市内の流動を支える交通ネットワークは、相互に影響を及ぼし合いながら形成され、都市全体の空間構造を規定していくものと考えられる。そこで、点と線で構成される都市空間構造の形成プロセスを、施設立地モデルとネットワーク設計の統合モデルとして捉え、モデルの構築を行っていく。
- ② 第二は、成熟都市および成長都市における拠点配置とネットワーク成長のモデル化である。人口の安定している先進国の大都市を想定した成熟都市および人口集中の続く発展途上国の大都市を想定した成長都市の両者を対象として、セルオートマトンやマルチエージェントシステム等の数理生態学的手法や、生命現象を扱う手法のアナロジーを用いながら、都市成長のモデル化を行い、拠点および交通ネットワークのパターンとその形成過程を解析する。
- ③ 第三は、成長過程の違いによる都市空間構造形成過程の差異の分析である。都市の成長により形成される空間形態は、交通技術や人口増加の条件の違いによって影響を受けるものと考えられる。そこで、人口増加が外生的に与えられる場合や交通条件の変化に依存する場合などを含めて、様々な条件下での結果の比較を通して、その影響の度合いを明らかにする。
- ④ そして第四に、高度交通技術の進歩を考慮した階層構造を有する交通ネットワーク形態の発現と発展のメカニズム解明である。現実の都市には、鉄道、公共バス、自動車、自転車、二輪車、徒歩などの様々な交通手段によるネットワークが形成されており、それぞれに都市空間構造における骨格の役割を担っている。そこで、こうした交通ネットワークの階層構造を

明示的に取り入れ、交通量の増大に伴って交通輸送性能の高度化を経るプロセスを内包したモデルへと深化させていく。

3. 研究の方法

(1) 拠点配置モデルとネットワーク設計モデルの統合モデルの開発

拠点配置とネットワーク設計の統合モデルとしては、その前提条件として大別して次の2種類のもので考えられる。第一の条件は、成熟都市、すなわち都市全体の人口（需要）を一定とするものである。現実の問題としては、先進国の成熟都市における都市空間構造の整備の問題に対応する。第二の条件は、成長都市、すなわち都市全体の人口（需要）が増加するものである。現実の問題としては、発展途上国の成長都市における都市空間構造の整備の問題に対応する。

まず、拠点配置とネットワーク成長を同時に考慮した都市成長のモデル化について、モデルの基本的フレームについて検討した後、前者の成熟都市における問題のモデル化を進める。具体的には、以下の2つのサブテーマについて研究を進めていくこととする。

① 拠点配置とネットワーク構造の同時決定モデルのフレーム構築

拠点配置のモデルとしては、都市内の2地点間の流動を需要とするフロー需要型施設配置モデルを用いる。初期の拠点配置が決定された後、より高速で移動するための交通ネットワークが敷設されると考えるが、その方式として

(a) 近接性により決定されるもの（原始的原理）

(b) 最適性により決定されるもの（近代的原理）

の2種類を考える。後者はさらに、

(b-1) 全ての流動の総所要時間が最小になるように敷設される場合

(b-2) 最大所要時間となる流動の所要時間が少なくなるように敷設される場合

の2通りに分けられる。新たに交通ネットワークが敷設されると、それに伴って流動パターンが変化し、これにしたがって拠点配置の更新が行われるとする。以上の過程を繰り返すことによって、拠点配置とネットワーク形状の決定過程をシミュレートするためのモデルのフレームを構築する。仮想都市空間としては、セルに分割された格子状都市や放射環状都市、任意のトポロジーを持ち、隣接関係のみが定義されたネットワーク空間などを検討する。

② 人口一定下の成熟都市における拠点配置とネットワーク成長のモデル化

人口分布および交通需要を与件とした上で、上述の同時決定モデルの具体的定式化を行う。拠点配置とネットワーク形状は、

(a)拠点数

(b)交通技術水準

(c)その進歩の速度等の条件上の違い

によって影響を受けるものと考えられる。そこで、これらの条件の多様な組合せについてシミュレーションを行い、結果として組織化、形成される都市空間構造のどのような違いが生じるかを分析する。

③人口成長下の成長都市における拠点配置とネットワーク成長のモデル化

人口分布および交通需要の増大を仮定した上で、上述の同時決定モデルの具体的定式化を行う。拠点配置とネットワーク形状は、

(a)拠点数

(b)交通技術水準

(c)その進歩速度等の条件

(d)人口増大プロセスの仮定

に依存するものと考えられる。そこで、いくつかの人口増加ルールを設定し、条件の多様な組合せについてシミュレーションを行い、結果として組織化、形成される都市空間構造のどのような違いが生じるかを分析する。

④成長過程の違いによる都市空間構造の形成過程の差異の分析

具体的には、(a)交通条件とは無関係に（外生的に）人口が一定の法則で増加していく場合、および(b)交通条件の変化に依存してその場所の利便性の向上を介して人口増加が決定される場合に分けて分析を行う。

(2) 高速交通技術進歩を考慮した階層構造を有する交通ネットワーク形態の発現メカニズムの解明

①交通技術の性能と交通需要の関係に関する研究

交通量に応じて交通輸送能力の水準がどのように充足されてきたかを、現実の都市における経緯を調査することにより実証的に把握する。そして、モデルにおけるパラメータに反映させる方法を検討する。

②階層構造を有する交通ネットワーク発展のモデル化

多段階の交通機関を仮定し、交通量が多くなると交通輸送性能の向上により交通ネットワークが高度化する過程をモデルに取り入れ、都市における交通軸による骨格形成のメカニズムを再現するモデルを開発する。そして最後に、3ヶ年の研究成果をとりまとめ、都市拡大・成長の経緯を再現する数理モデルを完成する。

4. 研究成果

(1) 拠点配置モデルとネットワーク設計モデルの統合モデルの開発

拠点配置のモデルとしては、都市内の2地点間の流動を需要とするフロー需要型施設

配置モデルを用いた。幾つかの種類の高速ネットワークが与えられたとき、拠点配置がどのように影響を受けるかについて分析を行った。その結果、

① 高速交通路は施設を引き付けるが、高速交通路上の移動速度が高速になるとその近辺の施設密度は減少すること

② 中央の施設ほど多くの需要を獲得すること

③ 放射状交通路ではセクターの後背地が扇状になるため、郊外に中央の施設に次ぐ副次的拠点が形成され、全体として施設の階層構造が生じること

④ 格子状交通路や環状交通路の存在は、中央の施設への需要の集中を緩和する効果を持つこと

などが明らかとなった。

(2) 成熟都市、すなわち都市全体の人口（需要）を一定とした場合の拠点配置とネットワーク成長のモデル化

人口分布および交通需要を与件とした上で、同時決定モデルの具体的定式化を行い、交通技術水準、およびその進歩の速度等の条件上の違いによってどのような影響を受けるかについて、条件の多様な組合せについてシミュレーションを行い、結果として形成される都市空間構造のどのような違いが生じるかを分析した。

その結果、

① 初期に敷設されたリンクの方向に合わせてある一定の長さまでネットワークが成長すること

② 最終形が優れているものでも途中段階の成長が常に優れているわけではないこと

③ 交通路の速度の違いは平均所要時間の減少に効果を与える地域の違いとなり、速度が遅いときは中央に近いところから整備され街区の大きさが小さい傾向があるが、速くなるとまず中心から縁辺部に至るルートが優先され、形成される街区の大きさも大きくなるといったように成長パターンを変化させることがわかった。

(3) 人口成長下の成長都市における拠点配置とネットワーク成長のモデル化

人口分布および交通需要の増大を仮定した上で、上述の同時決定モデルの具体的定式化を行った。拠点配置とネットワーク形状は、

(a)拠点数

(b)交通技術水準

(c)その進歩速度等の条件

(d)人口増大プロセスの仮定

に依存するものと考えられる。そこで、いくつかの人口増加ルールを設定し、条件の多様な組合せについてシミュレーションを行い、

結果として組織化、形成される都市空間構造のどのような違いが生じるかを分析した。さらに、④成長過程の違いによる都市空間構造の形成過程の差異の分析を行った。具体的には、

(a) 交通条件とは無関係に（外生的に）人口が一定の法則で増加していく場合

(b) 交通条件の変化に依存してその場所の利便性の向上を介して人口増加が決定される場合

に分けて分析を行った。

その結果、

- ① 初期に敷設されたネットワークの方向に成長する傾向があること
 - ② 最終形が優れているものでも途中段階の成長が常に優れているわけではないこと
 - ③ 交通路の速度の違いは平均所要時間の減少に効果を与える地域の違いとなり成長パターンを変化させること
 - ④ 速度が速い場合のネットワークは放射状に分岐しながら成長する傾向にある一方で、遅い場合のネットワークはある一方方向に成長する傾向があること
- などの基本的特性が明らかとなった。

(4) 高速交通の技術進歩を考慮した階層構造を有する交通ネットワーク形態の発現メカニズムの解明

まず、交通技術の性能と交通需要の関係に関する検討を行った。交通量に応じて交通輸送能力の水準がどのように充足されてきたかを、現実の都市における経緯を調査することにより実証的に把握し、モデルにおけるパラメータに反映させる方法を検討した。

また、階層構造を有する交通ネットワーク発展のモデル化を行った。多段階の交通機能を仮定し、交通量が多くなると交通輸送性能の向上により交通ネットワークが高度化する過程をモデルに取り入れ、都市における交通軸による骨格形成のメカニズムを再現するモデルを開発した。

その結果、

- ① 交通ネットワークが遍く充足しないうちに、特定の位置に存在する交通リンクが高度化すること
- ② 交通ネットワークの階層構造が構築される現象が再現され、交通ネットワークにおける階層構造の合理性が検証されることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 5 件）

- ① 渡辺泰弘・鈴木 勉：「復旧優先度指標による震後復旧優先道路形状に関する数理的研究」、『都市計画論文集』, Vol.44, No.1, pp.30-37, 2009.（査読有）
- ② Tsutomu Suzuki and Yasuhiro Watanabe: "Growth and Shape of Transportation Networks," *FORMA*, Vol.23, pp.59-71, 2009.（査読有）
- ③ 武末裕樹・鈴木 勉・糸井川栄一：「地震火災リスクを考慮した避難危険性の評価に関する研究」、『都市計画論文集』, Vol.43, No.3, pp.25-30, 2008.（査読有）
- ④ 鈴木 勉：「高速交通路が都市空間構造に与える影響について—逐次型施設配置モデルを用いた分析—」、『都市計画論文集』, Vol.41, No.3, pp.181-186, 2006.（査読有）
- ⑤ 鈴木 勉：「直交格子型道路網都市における斜線道路の距離短縮効果について—斜線型道路網における距離分布・流動量分布の分析—」、『都市計画論文集』, Vol.41, No.2, pp.57-64, 2006.（査読有）

〔学会発表〕（計 6 件）

- ① 渡辺泰弘・鈴木 勉：「都市の形状と交通ネットワークの敷設過程」、『日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集』, pp.184-185, 2007.9.28.政策研究大学院大学.
- ② Hiroki Takematsu and Tsutomu Suzuki: "Estimating Evacuation Ratio in the Great Hanshin-Awaji Earthquake," presented at ESRI International User Conference 2007, San Diego, June 20, 2007.
- ③ 鈴木 勉：「格子状交通ネットワークの発展成長モデル」、『形の科学会誌（第63回形の科学シンポジウム予稿）』, Vol.22, No.1, pp.45-46, 2007.6.16.東京理科大学.
- ④ 渡辺泰弘・鈴木 勉：「交通ネットワークの形状と敷設順序に関する考察」、『日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集』, pp.96-97, 2007.3.29.鳥取大学.
- ⑤ 鈴木 勉：「斜線型道路網の流動量分布」、『日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集』, pp.316-317, 2006.9.13.愛知大学.
- ⑥ 武末裕樹・鈴木 勉：「火災や建物倒壊の影響を考慮した避難場所への割当」、『日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集』, pp.16-17, 2006.9.12.愛知大学.

〔図書〕（計 2 件）

- ① 鈴木 勉：学芸出版社、「コンパクトシティの理念的モデル」, 都市科学叢書 第2巻 『コンパクトシティ再考～理論的検証から都市像の探求へ』(玉川英則編), 2008,

pp. 24-50.

- ② 鈴木 勉：宣伝会議,「歩行者本位のまちづくり」,『成熟都市のクリエイティブなまちづくり—大学・地域・企業等の連携・協働と実践の記録—』(井口典夫編),第6章,2007,pp.203-237.

6. 研究組織

(1)研究代表者

鈴木 勉 (SUZUKI TSUTOMU)
筑波大学・大学院システム情報工学研究科・
教授
研究者番号：00282327

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし