

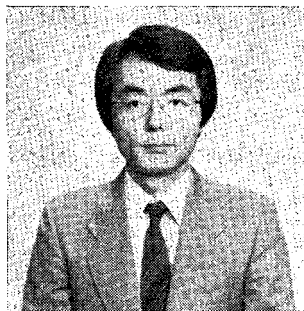
# 招待論文

## 土地利用モデルの歴史と概念

### A HISTORICAL REVIEW AND CONCEPTS OF LAND USE MODELS

青山吉隆\*

By Yoshitaka AOYAMA



#### 1. 序 論

20世紀の前半までに、すでに都市地理学、土地経済学あるいは都市生態学の分野では都市空間における地価や人口、土地利用などの分布とその動態についての多くの知識が蓄積されていた。やがてこれらの知見は計量的に表現されるようになり、その後のモデル化へとつながっていくのであるが、特に Reilly<sup>1)</sup>、Zipf<sup>2)</sup>、Clark<sup>3)</sup> は都市における社会現象の法則性を数式によって表現し、計量的アプローチの端緒となったという点で重要であろう。

さて1940年代から1950年代にかけて北アメリカでは自動車が急速に普及した。この新しいモビリティに対処するために道路計画を立案することが必要となり、そのために非常に政策指向的な交通モデルが開発された。発生交通、分布交通といった基礎的な交通モデルは1950年代までに確立されたが、機関分担、ネットワーク配分といったモデルの実用化は1950年代以後のコンピュータの普及を待たなければならなかった。標準的な4段階の需要予測手法が実用化されたのは1960年代になってからである。

さらに1960年代に入って、交通モデルの発展と並行する形で、近代的な都市経済学が急速に発達した。都市経済学は成長理論と似ているが、都市空間を媒体として理論を展開しているのが特徴である。Wingo<sup>4)</sup> は土地経済学を発展させ、土地市場モデルを開発した。Alonso<sup>5),6)</sup> の付け値理論は都市経済学の基盤となり、それ以後さらに、Muth<sup>7)</sup>、Mills<sup>8)</sup>、Beckmann<sup>9)</sup> と発展し、MillsとMackinnon<sup>10)</sup> はこの分野を新都市経済学と称した<sup>11)</sup>。新都市経済学はBeckmann以後1970年代に入って急速に発達した。新都市経済学において発展した多くの理論仮説は後に分析するように都市モデルの開発に多くの示唆を与えてきた。たとえば地代、付け値、地価、効用、均衡など多くの概念が若干のタイムラグを経て都市モデルに利用されている。結局、都市地理学、土地経済学、都市生態学を都市モデルにとっての教養と位置づけられ、新都市経済学は基礎科学と位置づけられる。そして都市モデルはこれらの周辺諸科学から多くの知見を吸収しながら発展した。

一方アメリカで開発された交通モデルはその後他の多くの国へ広がり、たとえばイギリスでは1960年代後半から1970年代初めにかけて大部分の交通モデルが完成した。ところがこれらの交通モデルはいずれも交通が土地利用に及ぼす重大な影響を無視しており、土地利用と

\* 正会員 工博 徳島大学助教授 工学部建設工学科  
(〒770 徳島市南常三島町2-1)

交通との間の相互作用は考慮していなかった。そして土地利用へのフィードバックを無視して交通計画を立案することの問題が明らかとなり、そこから交通施設整備による土地利用へのインパクトを予測する土地利用モデルが必要となった。こうして土地利用モデルは、交通計画を交通モデルとともに補完し、支援するために、非常に政策指向的なモデルとして誕生したのである。

こうした背景を考えると、交通モデルと土地利用モデルの開発の根底には、都市という社会現象を計画的に制御したいというシステムズ・アプローチの思想があることは明らかである。すなわち、都市を1つの制御可能なシステムとして認識し、このシステムを数学的モデルとして表現しようとするアプローチである。そして都市システムの認識の仕方に応じて、土地利用モデルは多様な系譜をたどることになった。

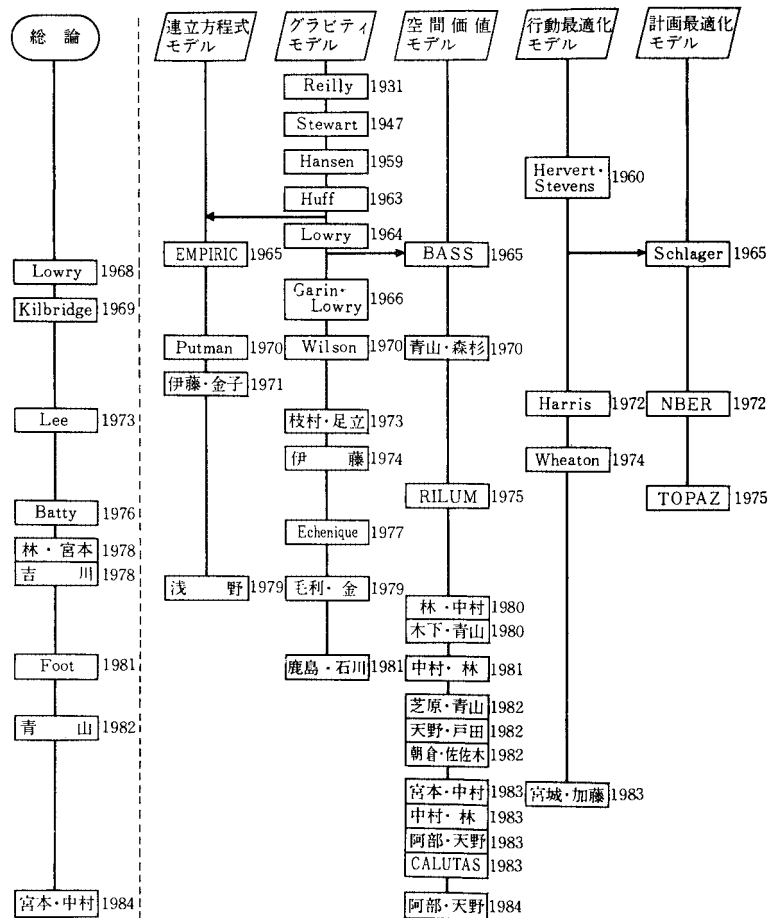
## 2. モデルの系譜

いわゆる標準的な交通需要予測モデルは1970年代までにほとんど確立されたといっ  
てよいが、すでに述べたように、交通計画のためには、さらに土地利用予測モデルの確立が必要であった。1960年代から現在までに多数の土地利用モデルが開発されており、さらにすでにKilbridge<sup>12)</sup>、Lowry<sup>13)</sup>、Batty<sup>14)</sup>、Foot<sup>15)</sup>など多くのレビューが主にアメリカ、イギリスのモデルを中心に行われている。またわが国でも、吉川<sup>16)</sup>、林・宮本<sup>17)</sup>、青山<sup>18)</sup>、宮本・中村・清水<sup>19)</sup>などによって総括されている。

さて、すでに述べたように土地利用モデルの主な目的は都市活動の都市内部への分布を予測することであるから、都市内部の空間が相互にどのように作用し合っているかを表現することが必要となり、この空間相互作用への計量的アプローチがモデルの骨格を決定する。そこで本研究では都市活動の配分の考え方に重点を置いてモデルの系譜を明らかにするとともに、特にわが国で開発されたモデルの位置づけに焦点を当てる。図一にモデルの系譜を示す。

### (1) グラビティ・モデル

土地利用モデルの誕生前に、すでに空間相互作用に関する先駆的な研究があったことは広く知られている。Reilly<sup>11)</sup>は小売取引モデルの中で、都市の買物センターの魅力が人口に比例し、距離の2乗に反比例することを明らかにし、空間距離が社会学上の力を減少させるという経験法則を計量的に表現した。Stewart<sup>20)</sup>はニュートン物理学に従って、都市間の人口学上のグラビティ・モデルを提案し、さらにStewart<sup>21)</sup>は1つの都市に対する他都市の全人口による引力の積分をポテンシャルと定義した。Hansen<sup>22)</sup>はこの人口ポテンシャルの概念をもっと一般的に都市活動に置き換え、他都市の都市活動から受ける引力の和をアクセシビリティと定義した。Huff<sup>23)</sup>は小売買物モデルにおいて、消費者がある買物センターを選択する確率が、いわゆる単一制約型のグラビティ・モデルによって表わされることを明らかにした。グラビティ・モデルによる空間相互作用の表現は交通モデルにおいて急速に発達し、1960以後には2重制約型のグラ



図一 土地利用モデルの系譜

ビティ・モデルへと発展した。グラビティ・モデルは明らかに経験法則であり、理論的根拠に欠けていることが弱点であったが、Wilson<sup>24)</sup>は単一制約あるいは2重制約と総交通費用一定の条件の下でエントロピーを最大にすることによって、すべてのタイプのグラビティ・モデルを誘導できることを明らかにした。エントロピー最大化モデルはその後Wilson<sup>25), 26)</sup>によって、多くのモデルへと拡張されたが、特にこのモデルの特徴は種々の条件を追加することによって活動を非集計化 disaggregate することが可能なことである。グラビティ・モデルによる空間相互作用はこの時期に確立され、それ以後現在まで活動の非集計化が進行している。またグラビティ・モデルが交通モデルの中に応用されるに従って空間の尺度としては、初期の空間距離から、時間距離、交通費用関数、一般化費用へと進化し、時間価値の理論とも結びついた。空間相互作用のモデルは都市という複雑な現象の部分モデルの1つにすぎないが、土地利用モデルにとってはそれ以後最も重要な役割を果たすことになる。

## (2) ローリー・モデル

空間相互作用がグラビティ・モデルによって最初に計量化されたことも影響して、土地利用モデルの配分もグラビティ・モデルとその改良型が非常に多い。有名なLowryモデルはReilly以来のグラビティ・モデルの嫡子とあってよいが、それ以後の土地利用モデルの基本的構造を設定したという歴史的な意義をもっており、土地利用モデルの源流を形成することになる。Lowryモデル<sup>27)</sup>はピッツバーグの総合開発計画の一部として開発され、RANDから発表された。Garin-Lowryモデル<sup>28)</sup>はLowryモデルをGarinが再構成したもので、配分関数を単一制約型のグラビティ・モデルとするとともに、モデル体系を行列によって表現した。Garin-Lowryモデルの設定した基本的構造はすでに広く知られているが、ここでまとめると次の3つになる。第1に、活動を基幹的雇用と非基幹的雇用に分け、前者はsite-orientedな立地特性をもつと仮定して外生的に立地を決定し、後者はmarket-orientedな立地特性をもつと仮定して前者に従属して位置が決定されるという構造になっている。こうしたいわゆる立地序列は都市活動間の競合という複雑な問題を回避し、時系列上の一種の逐次体系として処理する現実的な方法として普及することになる。第2に、すでに述べたように活動の配分を単一制約型のグラビティ・モデルで行う構造になっており、操作性に優れていた。第3に、サービス雇用と人口との間の相乗効果を等比級数の和という簡単な、しかし興味深い数式で表現する構造になっている。この数式は経済学でいう投資乗数の理論的に類似しており、乗数効果とよばれるようになる。以上3つの基本的構造、すなわち、立地序列、グ

ラビティ・モデルによる配分、乗数効果のすべてを具備しているモデルはGarin-Lowryモデルの直系の子孫とよぶことができる。またそのうちの1, 2の構造を具備しているモデルまでを含めてLowry-Typeモデルとよばれることもある。すでにGoldner<sup>29)</sup>によって、主にアメリカとイギリスのLowry-Typeモデルが整理されているので、ここではそれ以後のモデルおよびわが国で開発されたモデルに重点を置いてLowry-Typeモデルの系譜を追うことにする。

Leedsモデル<sup>30)</sup>はWilsonによって開発されたLowry-Typeモデルであり、活動に立地序列を与え、配分にはグラビティ・モデルを用いているが、すでに述べたようにエントロピー最大化法によってグラビティ・モデルを誘導しているのが著しい特徴である。Echeniqueモデル<sup>31)</sup>はGarin-Lowryモデルを改良した総合的な土地利用—交通モデルであり、主に南米の各都市に適用されている。このモデルの特徴は都市活動を従来の雇用ではなく床面積を単位として扱い、また土地市場における床面積の供給行動をモデル化していることである。さらに交通モデルとの総合化を意図し、複数の交通手段を考慮するなど総合モデルとよぶにふさわしい。

わが国でもLowry-Typeモデルがいくつか適用され、改良されている。伊藤<sup>32)</sup>は都市活動を基幹産業と非基幹産業と住宅に分類し、実質的な立地序列を採用し、またグラビティ・モデルによる配分を行っている。このモデルは交通モデルを土地利用モデルと連結したわが国最初のものである。枝村・足立<sup>33)</sup>はGarin-Lowryの3つの基本的構造を具備した典型的なGarin-Lowryモデルである。このモデルの特徴はグラビティ・モデルとしてWilsonのエントロピー最大化法による2重制約型のパラシニング・ファクターを用いていることであり、わが国で最初のエントロピー型グラビティ・モデルによる土地利用モデルである。毛利・金<sup>34)</sup>も3つの基本的構造を具備したGarin-Lowryモデルであるが、このモデルではアクセシビリティを重視し、交通インピーダンスという概念を用いている。またGarin-Rogersによるモデル体系の行列による表現を採用しているのも特徴である。鹿島・石川・知花<sup>35)</sup>は活動の立地序列、グラビティ・モデルによる配分を行っている。このモデルは住宅の住み替えを考慮していることと、時間距離関数に重点を置いているのが特徴である。

## (3) 空間価値モデル

Garin-Lowryモデルの3つの基本的構造の中の1, 2を備えながら、ここから多くの示唆を得て新しいモデルの系譜が誕生している。BASS<sup>36)</sup>はGoldnerによればLowry-Typeモデルに属しているが、その他に次のような特徴をもっている。まず雇用と人口の予測にはマク

口計量経済学的手法を用いていること、雇用を産業グループに分類し、各グループごとに立地スコアを計算して、このスコアの高い順に立地配分していること、さらに住宅のフィルタリングという概念を導入していることなどである。特に立地スコアという概念は多分に主観的な方法によるものではあるが、各活動にとっての立地条件を多くの要因を考慮して総合的に計量化した新しい考え方であり、この概念は特にわが国の土地利用モデルにとって重要であった。わが国の都市の大部分は古くから発達した集積地域であり、多くの文化的、経済的施設が散在し、また多様な土地資質の差異によって土地利用状況が変化しており、特に小ゾーン単位で土地利用モデルを開発する場合には、アクセシビリティ以外にも考慮すべき多くの要因が存在している。そこでわが国では各活動にとっての都市空間の利用価値を多くの要因から総合的に計量化するというモデルが、Garin-Lowry モデルの基本的構造を部分的に踏襲しながら、しかしグラビティ・モデルとは別の系譜として派生し、発展した。この新しい系譜をここでは空間価値モデルと定義するが、これについては早川<sup>37)</sup>の空間価値論とともに後で考察する。

青山・森杉<sup>38)</sup>は都市圏内部の小ゾーンの空間価値を多くの要因を用いて多変量解析手法によって計量化した。都市圏商業、内陸性工業、住宅および生活圏商業の3つの活動にとっての利用価値を数量化理論Ⅱ類によって推定し、その求めた数値を適地度と定義した。これは、BASS モデルの立地スコアの内容と同じ種類のものと考えられる。さらに地価も同じ要因を用いてダミー変数による重回帰モデルによって推定し、適地度と地価の両者から各活動の立地傾向を分析し、多変量解析手法による土地利用モデルの開発の可能性を示唆した。RILUM<sup>39)</sup>は活動に立地順序を設け、配分に立地ポテンシャルを用いている点ではLowry-Type モデルに属するが、産業を詳細に分類して収益力や土地の物理的性格や労働供給力を考慮するという独自の工夫がされている。さらに住宅立地についてはフィルタリングの概念を導入し、また各ゾーンの利用価値を居住選好関数によって表現するなどBASSに類似している。中村・林・宮本<sup>40)</sup>は1km<sup>2</sup>のメッシュを対象とする住宅、商業、工業の予測モデルである。このモデルは計画型土地利用、競合立地型土地利用、付随立地型土地利用という分類によって立地順序を設けているが、その他のGarin-Lowry構造はもっていない。このモデルの著しい特徴は競合立地型土地利用の配分のために立地余剰という新しい概念を設けたことである。この立地余剰はある1つの活動による都市内各ゾーンの選好とある1つのゾーンにおける複数の活動による競合を同時に処理することを可

能にした。まず地価を交通条件や土地資質などの多くの要因によって説明し、その関数を数量化理論Ⅰ類で推定する。この方法は青山・森杉<sup>38)</sup>と同じであるが、この地価関数を利用して各活動のいわば付け値を期待効用値として求め、次にこの期待効用値と地価との差によって各活動の立地余剰を定義するという点が独創的である。このように地価を媒体として空間価値の一種である立地余剰を貨幣単位で計量することによって、相異なる活動間の競合を処理することを可能にしたという点で画期的である。また予測の段階では、立地余剰の真値は推定値を平均値とする正規分布に従う確率変数であると仮定し、推定に基づく不確実性を考慮するとともに、各活動は他との競合がなければ立地余剰が最大のゾーンから立地し、1つのゾーンで複数の活動が競合する場合には立地余剰が大きい活動から立地するという実用的な方法を行っている。このようにこのモデルには独創的な概念も多いが、空間価値モデルの系譜に含めるのが適切であろう。中村・林・宮本<sup>41),42)</sup>は市区町村単位の土地利用予測を目的とした広域モデルであり、局地立地モデルの上位に位置づけられる。このモデルでも同じ立地順序が設けられているが、配分モデルは各活動によって異なっている。工業はアンケート調査データから数量化理論Ⅱ類によって立地選好指数を求め、この指数によって各工業団地の選好比率を推定しており空間価値モデルといえる。商業はアクセシビリティ・モデルの改良型であり、また乗数効果的な方法も考慮したLowry-Typeモデルである。住宅は局地立地モデルと同じで空間価値モデルである。全体モデルは空間価値モデルとLowry-Typeモデルのhybridである。特に中村・林・宮本<sup>43)</sup>は広域モデルと局地立地モデルおよび交通モデルという3つのセクターによる構成を明示し、かつコンピュータ支援システムまでも具備したわが国で初めての包括的な実用モデルであり、その後CALUTAS<sup>44)</sup>(Computer Aided Land-Use and Transport Analysis System)として統合されている。木下・青山<sup>45)</sup>、芝原・青山<sup>46)</sup>は用途別床面積の予測にエントロピー最大化を適用したモデルである。Wilsonのエントロピーと異なり、総費用制約条件にあたる1つの制約条件を目的関数の中に組み込み、トレードオフパラメーターによって制約値を内生化しているのが特徴である。手法としてはエントロピー法によるグラビティ・モデルであるが、各活動にとっての各ゾーンの効用を多くの要因によって計量化していることから空間価値モデルに属する。朝倉・佐佐木<sup>47),48)</sup>は1つのゾーンにおける都市活動間の競合問題をゲームの理論によって解明する試みである。ゲームの理論を応用する場合には各活動主体の利得関数を計量化することが必要となり、結局、空間価値モデルになる。このモデルではまずアク

アクセシビリティを説明変数として地価関数を推定し、この関数によって得られる推定値を立地ポテンシャルと定義する。そしてこの立地ポテンシャルから中村らの立地余剰と同じ方法で相対ポテンシャルを求め、これを利得関数として用いている。天野・戸田・阿部<sup>49)~51)</sup>も活動間の競合に重点を置いたモデルである。まず活動にとっての各ゾーンの利用価値を評価値と定義し、これを多くの要因の一次式で仮定する。そしてこの関数をアンケート調査データから数量化理論Ⅱ類で推定し、さらに推定された評価値の関数として各活動の付け値を求める。立地競合はこの付け値が最大となる活動が立地するという付け値競争の原理を仮定している。ただし中村らと同様にこの付け値の真値を確率変数と仮定し、活動の立地は確率的に決定している。具体的には正規乱数によるモンテカルロシミュレーションによって立地競合を表現している。また地主もその所有地に対して付け値を行うという仮定をし、これによって土地供給を明示的に考慮し、土地の用途転換を予測できるのが特徴である。さらにその後の研究において実用性を増すために地価から付け値を推計するように改良されており、本モデルも評価値という概念から空間価値モデルに属している。

#### (4) 連立方程式モデル

多くの変数間の相互作用を表現する古典的な方法は同時体系である。1つの活動の状態を被説明変数とし、他の活動の状態およびその他の外生変数とを説明変数とする構造方程式によって活動間の相互作用や競合関係を表現するもので、すべての活動の状態は連立方程式体系となる。これは周知のように計量経済学の連立方程式モデルであるが、土地利用モデルにおける連立方程式モデルの特徴は、都市内部の各ゾーンの空間価値を表わす要因を必ず重要な外生変数の1つとして含んでいることである。ただし、同時体系としての表現に重点が置かれ、空間価値の計量化は空間価値モデルと異なり簡単なアクセシビリティモデルが多い。

最初に開発された大規模な連立方程式モデルはEMPIRIC<sup>52)</sup>である。これは人口と従業者とを各ゾーンに配分するためのモデルで、空間価値としては人口と従業者に対するすべての交通機関によるアクセシビリティが用いられている。Putman<sup>53)</sup>は同じく連立方程式モデルであるが、通常の単一方程式モデルをも含んだ複雑なモデルである。変数や空間価値についてはEMPIRICと同じであるが、従業者を基幹産業と非基幹産業に分類していること、個人の所得水準および土地利用活動水準を予測する単一方程式モデルを備えている点が異なっている。特に、まず基幹産業を予測し、次にこの予測値を外生変数とする連立方程式を解いて非基幹産業と人口を予測し、さらにこの予測値を外生的に与えて個人所得と

土地利用活動を予測するという3段階の予測システムが設けられているのが特徴であり、この方法はGarin-Lowryの立地序列の概念に類似している。伊藤<sup>54)</sup>は連立方程式による計量経済モデルと土地利用・交通計画モデルの2セクターから構成されている。後者は連立方程式モデルではなく、多くの単一方程式から構成された計量モデルである。浅野<sup>55)</sup>はわが国における数少ない連立方程式モデルの1つである。その基本的な構造はEMPIRICと同じであるが、いくつかの改良が行われている。EMPIRICでは活動の状態を各ゾーンの対全域シェアの変化によって表わしているが、活動量の増減とシェアの増減とは必ずしも一致しない点を考慮して、活動の状態を密度の変化によって表わしている。空間価値はアクセシビリティによって計量化されているが、その計量化に必要な時間距離を交通モデルから算定し、交通モデルと土地利用モデルの結合を計っている。

#### (5) 最適化モデル

すでに述べたように土地利用モデルの主な目的は予測することであり、これまでに考察したモデルはすべて予測モデルである。一方、これから考慮する最適化モデルはある1つの視点から土地利用を評価した場合の最適解を求めることを目的としている。当然のことであるが、予測モデルの開発過程においては、常に現実をより正しく再現できるようにパラメーター推定や変数選択あるいは関数形の選択が行われるが、最適化モデルの開発過程にはそうしたキャリブレーションの段階が含まれないから、モデルに採用された目的関数や制約条件を議論する普遍的な尺度は存在しない。これが最適化モデルの著しい特徴である。これまでに開発された最適化モデルはさらに2つの系譜に分類され、ここではこれらを行動最適化モデルと計画最適化モデルと定義する。

行動最適化モデルの先駆はHerbert-Stevens<sup>56)</sup>である。このモデルはLowryモデルより以前に開発されており、Penn-Jersey Resional Growth Modelの中の住宅配分モデルである。簡単にいえば、各ゾーンの利用可能面積と住宅タイプ別の総消費者数を制約条件とし、総地代最大を目的関数とし、各ゾーンの立地者数を未知数とする線形計画問題である。このモデルはさらにHarris<sup>57)</sup>、Wheaton<sup>58)</sup>によって非線形計画問題へと拡張されている。最適化モデルとはいっても、もしその目的関数が消費者の行動原理を適切に表現しているのであれば、最適解は多くの要因を捨象してはいるが、現実起こり得る行動の1つとして解釈することができる。こうしたモデルはむしろ都市経済学的なアプローチに近いというべきであろう。藤田・柏谷<sup>59)</sup>はこうした最適化問題の解と経済学的な立地均衡との関係について理論的に明らかにしている。宮城・渡部・加藤<sup>60)</sup>はGarin-Lowry

の基本的構造を踏まえ、個人の効用最大化行動から土地利用—交通モデルを演繹することを意図している。まだ基礎的理論展開の段階であるが、立地余剰や交通余剰の概念の整理、その関数形や最大化問題としての展開は重要である。こうした行動最適化モデルはランダム効用理論の普及とともに、いわゆる非集計モデルとして部分モデルに適用されているが、これについては後で考察する。

計画最適化モデルはある立場からみた最適な土地利用を求めるものであり、Schlager<sup>61)</sup>がその先駆である。このモデルは各ゾーンの土地需要、土地供給などを制約条件として開発費用を最小とするようなゾーン別の開発量を線形計画法によって求めたものである。NBER<sup>62)</sup>の中の価格形成セクターの市場清算サブモデルは世帯タイプ別の立地者数と各ゾーンの住宅ストックを制約条件とし、通勤費用最小を目的関数とし、各ゾーンの世帯タイプ別の立地者数を未知数とする線形計画問題である。TOPAZ<sup>63)</sup>は開発費用と交通費用の和を最小とすることを目的とし、各ゾーンの開発量とゾーン間トリップ数とを未知数とする非線形計画問題である。このモデルの特徴はトリップ数を2重制約型のグラビティ・モデルによって仮定することによって、開発量を未知数とする2次計画問題として定式化し、交通トリップに関して予測モデルとしての性格をもっている点である。わが国では、計画最適化モデルの系譜に属すると考えられるモデルはほとんどみられない。

(6) 部分モデル

土地利用モデルが都市活動の各ゾーンへの分布を予測するという目的を達成するためには、上位モデルとして都市全体の活動量を予測するマクロモデルを必要とし、またすでに考察したように個別の活動に重点を置いた部分モデルを必要としている。こうしたマクロモデルや唯一つの活動の分布にだけに特化した部分モデルも多数開発されているが、紙面の都合で詳細に考察できないのは残念である。これらのモデルには、活動を1種類に限定しているだけに、モデル展開には論理性を深く追究する余裕があり、示唆に富むものが多い。

最も早い時期に開発された部分モデルは人口分布モデルであり、多くの研究が蓄積されているがここでは省略する。天野・木村・安藤<sup>64)</sup>は産業連関表を応用した広域の活動分析モデルである。柏谷<sup>65)</sup>は住宅の住み換えに着目したマクロな住宅需要供給モデルである。住宅需要および住宅立地モデルとしては、斉藤<sup>66)</sup>、松

浦<sup>67-69)</sup>、宮本・安藤・清水<sup>70)</sup>、林・磯部・富田<sup>71)</sup>、森杉・岩瀬<sup>72)</sup>などがあり、住宅タイプの選択モデルとしては青山<sup>73)</sup>、宮本・宮地<sup>74)</sup>、宮本・安藤・清水<sup>70)</sup>がある。また工業立地モデルとしては林・磯部<sup>75)</sup>、商業立地モデルとしては西井・近藤<sup>76)</sup>、宮本・中村・林・山中・斉藤<sup>77)</sup>がある。

3. モデル化の概念

Reilly モデルから 50 年余、Lowry モデルから 20 年を経て、土地利用モデルの発展過程の中でさまざまな概念が誕生し、あるものは衰退し、あるものは進化し、あるものは依然として生命力を保持している。最近よく使われるパラダイムというほどの広がりはないが、しかしとにかわれわれの土地利用モデルもパラダイムに似た思想体系をもち始めていると思われる。体系化はまだ十分ではないが、ここでその全体を総括する。

図-2 に示すように、モデルは計量経済モデルと新都市経済学の間位置づけられ、前者から後者へ向かって、細分化、非集計化されている。連立方程式モデルはアクセシビリティが外生変数として用いられていることを除けば計量経済モデルそのものである。Garin-Lowry-モデルの3つの基本的構造は依然として広域的なモデルの基盤である。空間価値とは早川<sup>37)</sup>の定義によるもので土地の利用価値を意味している。立地スコア、適地度、立地余剰へと進化してきた概念を空間価値とよぶことに対しては批判があるかもしれない。この概念の計量化では立地余剰で示されるように地価、効用、付け値が重要な意味をもってくる。むしろ立地余剰モデル、効用モデル、付け値モデルの方が妥当かもしれないが、これにつ

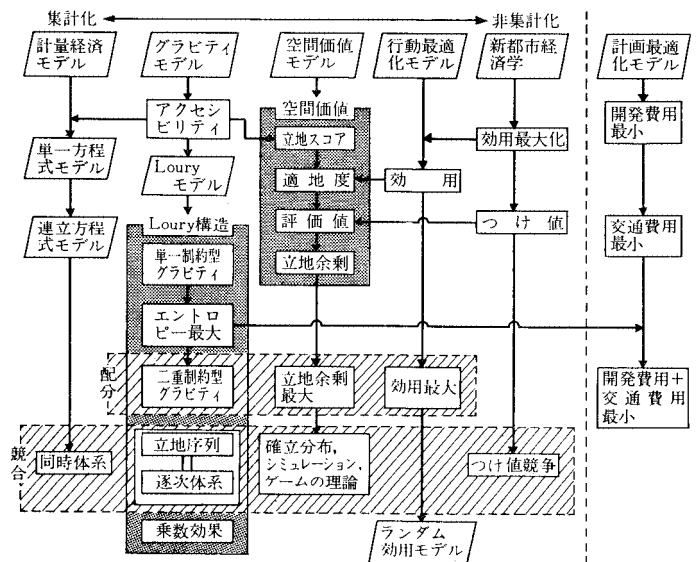


図-2 モデル化の概念

いては批判を待ちたい。行動最適化モデルは新都市経済学に近い、論理性に優れたモデルであるが、予測モデルとしてはまだ問題が残っており、これについては後で再び考察する。計画最適化モデルはこれらの予測モデルとは異種のものであり、わが国ではほとんど評価されそうにない。これはアメリカやオーストラリアにおける都市とわが国の都市との社会的文脈の相違によるものといえよう。社会的文脈の視点からすれば、Garin-Lowryモデルの基本的構造も重要ではあるが、わが国の都市に最も適しているのは空間価値モデルであると思われる。活動の配分に焦点を置くと、2重制約型のグラビティ・モデルは実用性に優れており、また立地余剰最大化は小ゾーン単位では最もふさわしい。立地競合に焦点を置くと、立地序列はここでも実用性に優れている。同時方程式はまさに競合の表現としては理想的であるが、小ゾーン単位のキャリブレーションに問題がある。空間価値モデルにおける確率論的方法是現実的手法であり、ゲームの理論も今後の展開が期待できる。行動最適化モデルはまだ競合の処置を明示していない。これから開発されるモデルが継承し、発展させなくてはならない概念は、空間価値（効用、地価、付け値を含む）、配分、競合、乗数効果、均衡および動学化などであろう。

これらの概念への計量的アプローチに際して、これまで新しい理論や手法が積極的に導入されてきた。しかしすでに1973年にLee<sup>78)</sup>がその有名なレクイエムにおいて指摘しているように、他分野における理論や手法をうまく活用しなければモデル化が進展しないし、逆に無批判な導入はモデル化の継続性のある発展を阻害するであろう。

#### 4. 今後の展望

土地利用モデルと交通モデルとはともに補完しながら、都市の現象を記述し、予測するために開発された。ここでは少なくともこの土地利用モデルと交通モデルの2つのセクターから構成されるモデルの全体を都市モデル Operational Urban Model<sup>15)</sup>と定義する。もちろんより包括的な都市モデルはさらに多くのセクターから構成されると考えられるが、ここでは少なくともこれら2つのモデルを含むモデルと定義しておく。各モデルはさやに非集計化されたモデルから構成されている。たとえば交通モデルは発生・集中モデル、分布モデル、配分モデルなどを含み、土地利用モデルは住宅立地モデル、商業立地モデル、工業立地モデルなどを含む。われわれはすでに述べたようにこれらの非集計化されたモデルを部分モデル partial model と定義し、これに対して土地利用モデルや交通モデルを総合モデル general model と定義する。そして土地利用モデルの歴史はすでにみたよう

に部分モデルへの非集計化とそれらの再統合の歴史であったといえよう。

都市モデルは経済学でいう巨視的分析と微視的分析の中間に位置づけることができる。巨視的分析は個々の企業や消費者の所得や投資などの集計量を対象とすることにより、比較的少数の変数によって現象を記述できるという操作性をもつが、一方で個々の主体の経済行動と集計量との結びつきが不明であるという、いわゆる「集計の問題」をかかえている<sup>79)</sup>。微視的分析は理論的に精密であるという論理性が何よりの特徴であるが、現実から乖離して空疎な理論になりがちであるという問題をかかえている。計量経済モデルは前者に、新都市経済学は後者に位置づけられ、都市モデルはその中間に位置づけられる。都市モデルは巨視的分析を空間や活動によって非集計化し、各主体の行動原理をより明確にして、集計の問題を解決することを意図してきた。したがって都市モデルが巨視的分析から微視的分析へ向かう方向性をもって非集計化の発展を続けてきたのは必然であった。

しかし都市モデルは操作的でなければならないという命題のもとでは、微視的分析のように個々の企業や家計の行動を効用最大化の原理に基づいてすべて記述することはできないし、その必要もない<sup>80)</sup>。したがって新都市経済学のアプローチは都市モデルにとって発展の方向を示す目標ではあっても、決して目的地とはならないと思われる。ただこれまで都市モデルは微視的分析から多くの概念を学んできた。特に経済主体の効用最大化という行動仮説は立地モデルの中に暗黙のうちに、あるいは明示的に取り入れられている。もちろん都市モデルは集計モデルであるから、個々の企業や家計の行動ではなく、それを集計した商業という立地主体、住宅という立地主体の存在を仮定することによって、効用最大化の原理を適用している。つまり商業や住宅という個体の集合をあたかも1つの独立した行動主体のように擬人化することによって行動モデルの型をとっているのである。このため都市モデルには集合の擬人化にまつわる不確実性が常に存在し、キャリブレーションの段階では統計的な検定が必要であり、予測の段階では確率論的な処置が必要となる。一方最近モデル化の段階で各個人の多様性を前提として、ランダム効用理論に基づく立地モデルが開発されている。先述の林・磯部・富田<sup>71)</sup>、林・磯部<sup>75)</sup>、森杉・岩瀬<sup>72)</sup>などがその適用例であり、最尤法の普及とともに交通モデルでは非常に多くの適用例がみられる。土地利用モデルにおいては、あくまで商業、工業、住宅という擬人化された集合の行動モデルであるが、各世帯や各企業の個々のデータからロジットモデルとしてモデル化するという意味において非集計モデルとよばれている。この非集計モデル disaggregate model と先に述べた巨視

的分析から微視的分析へと発展していった非集計化 disaggregation の過程とは別の概念である。後者は歴史的な都市モデルの発展の流れであり、前者は巨視的分析と微視的分析の線上に位置する1つのモデルである。非集計モデルは効用最大化という1つの原理を明示し、巨視的分析の集計の問題を解決する可能性をもっている。特に、森杉・岩瀬<sup>72)</sup>は制約条件下の効用最大化原理という消費者行動の均衡を計量化した点が評価される。現在のところこうした非集計モデルは最尤法による効用関数の推定に重点を置く解析にとどまっている。しかし非集計モデルを予測モデルとして利用する場合には、いずれ新しい問題が発生するであろう。第1に求められた効用関数から将来予測を行う場合に、その効用関数への外生変数の推定には、集計モデルに比較してかなり大きな不確実性が発生するだろう。また予測値を操作可能な型に集計する方法が十分確立されているとはいえない。こうした問題は非集計データを利用することから生じたものであり、巨視的分析の集計の問題と対比して、「非集計の問題」とよぶべきであろう。第2は動学化の問題である。都市モデルは予測モデルであるから必ず動学的でなければならないが、操作性を考慮してほとんどのモデルにおいて、時間軸は離散的であり、比較静的な扱いをしている。計量経済モデルではタイムラグ変数を用いることにより容易に動学化が可能であるが、モデルを非集計化するほど動学的な処置は複雑となって操作性を失う。たとえば新都市経済学では最適制御理論を適用するために、空間を距離の連続関数として1次元化することが通常のやり方であるが、これをさらに時間軸を含む2次元空間とした場合、理論展開は急速に複雑になるといわれている<sup>81)</sup>。都市モデルが巨視的分析のもつ集計の問題を解決し、微視的分析のような地価あるいは地代による価格のパラメーター機能による需要供給の均衡をモデル化できれば理想的であるが、そのために非集計の問題が生じて予測が困難になったり、あるいは動学化が複雑になることは実用的ではない。都市モデルが巨視的分析から微視的分析へと向かう非集計化の歴史をたどってきたのは、明らかに操作主義<sup>82)</sup> operationism に基づいてモデルが開発されてきたからである。つまり観測値をより矛盾なく説明できるようにモデルの仮説が改良されてきたためである。しかしこの巨視的分析と微視的分析の間どの座標で都市モデルを開発するのが妥当であるかについては、モデル化それ自体の進歩からだけでは解答を得ることは難しい。都市モデルは計画システムの中の予測機能を担当する1つのサブシステムである。したがってその時代の計画システム全体が予測システムに要求する機能が、都市モデルの最適な座標を決定する。明らかに操作主義的なモデルの自己発展が計画システムとしての

最適なモデルに到達するという保証はない。モデル開発においては常に実際の計画システムを意識しておくことが必要となるゆえである。

## 5. 結 び

歴史という表題のついた論文を書いたのはこれが始めてであり、膨大な研究論文を読む機会を与えられたことを感謝している。イギリスやアメリカにおけるレビュー論文の内容の深さと豊富さには比べようもないが、世界的な流れの中で、わが国の論文を位置づけ、今後を展望することを試みたつもりであり、今後の土地利用モデルの発展に少しでも貢献できれば幸いである。

残念なことは、紙面の都合により、従来の研究論文のすべてを紹介できなかったことである。焦点を絞って、できるだけ客観的に論文を選択したつもりであるが、結果として主観が入っていることは認めざるを得ない。ひるがえって、主観的であることが、こうしたレビュー論文の本質であるのかもしれない。ご批判とご叱正を仰ぐ次第である。

謝 辞：この論文を結ぶにあたって、まず天野光三京都大学教授と中村英夫東京大学教授に心から感謝の意を表したい。わが国では比較的早い時期に著者が土地利用の研究を始め、今こうして展望をまとめることができるのは、恩師である天野教授の適切なお指導の賜である。中村教授は論文集編集委員会の小委員長として、創刊号の招待論文という重責を未熟な著者に依頼するという危険を冒された。この榮譽に報いるために、できるだけ努力をしたつもりであるが、その危険を回避し得たかどうかは確かではない。この両先生を始めとする土地利用分科会における討論はこの論文をまとめるにあたって有益な示唆に富むものであった。林良嗣名古屋大学助教授と宮本和明東京大学講師からは現在のモデル化の世界的情勢について貴重な情報を得た。イギリス留学から帰国されたばかりの戸田常一京都大学講師からはイギリスを中心とした多数の貴重な文献を提供していただくとともに、有益な助言を受けた。新都市経済学や計量経済学については森杉壽芳岐阜大学教授、柏谷増男愛媛大学助教授、安藤朝夫熊本大学講師との討議が有益であった。非集計モデルについては黒川洗筑波大学助教授と森地茂東京工業大学助教授から提供された非集計モデル分科会の討議資料が参考になった。多数の文献の収集と整理については大橋健一明石高専助教授と近藤光男徳島大学助手の協力を得た。以上の方々のご支援によってはじめて本論を完成することができたことを記し、ここに感謝の意を表する次第である。



## 参考文献

- 1) Reilly, W. J. : The Law of Retail Gravitation, New York, Knickerbocker, 1931.
- 2) Zipf, G. K. : Human Behavior and the Principle of Least Effort, Cambridge, Addison-Wesley, 1949.
- 3) Clark, C. : Urban population densities, Journal of the Royal Statistical Society, Series A, 114, 1951.
- 4) Wingo, L. : Transportation and Urban Land, Resources for the Future Inc., Washington, D. C., 1961.
- 5) Alonso, W. : A General theory of the urban land market, Papers and Proceedings of the Resional Science Association, 6, 1960.
- 6) Alonso, W. : Location and Land Use, Cambridge, Harbard University Press, 1964.
- 7) Muth, R. F. : Cities and Housing, Chicago Press, 1969.
- 8) Mills, E. S. : An aggregate model of resource allocation in a metropolitan area, American Economic Review, Vol. 57, No. 2, 1967.
- 9) Beckmann, M. J. : On the distribution of urban rent and residential density, Journal of Economic Theory, 1, 1969.
- 10) Mills, E. S. and Mackinnon, J. : Notes on the new urban economics, The Bell Journal of Economics and Management Science, Vol. 4, No. 2, 1973.
- 11) Richardson, H. W. : The New Urban Economics and Alternatives, London, Pion, 1977.
- 12) Kilbridge, M. D., O'Block, R. P. and Teiplitz, P. V. : A conceptual framework for urban planning models, Management Science, 15, 1969.
- 13) Lowry, I. S. : Seven models of urban development, in Hemmens, G. (ed), Urban Development Models, Special Report 97, Washinton, D. C., H. R. B., 1968.
- 14) Batty, M. : Urban Modelling, Cambridge, Cambridge University Press, 1967.
- 15) Foot, D. : Operational Urban Models, London, Methuen, 1981.
- 16) 吉川和広 : 地域計画の手順と方法, 森北出版, 1978.
- 17) 林 良嗣・宮本和明 : 既存土地利用モデルの概観, 都市計画, 104, 1978.
- 18) 青山吉隆 : 土地利用システム, 天野光三編, 計量都市計画, 丸善, 1982.
- 19) 宮本和明・中村英夫・清水英範 : 土地利用交通モデルの比較研究, 土木計画学研究発表会講演集, 6, 1984.
- 20) Stewart, J. Q. : Empirical mathematical rules concerning the distributin and equilibrium of population, Geographical Review, Vol. XXXVII, 1947.
- 21) Stewart, J. Q. : The development of social physics, American Journal of Physics, 18, 1950.
- 22) Hansen, W. G. : How accessibility shapes land use, Journal of the American Institute of Planners, 25, 1959.
- 23) Huff, D. L. : A probabilistic analysis of shopping center trade areas, Land Economics, 39, 1963.
- 24) Wilson, A. G. : A statistical theory of spatial distribution models, Transportation Research, 1, 1967.
- 25) Wilson, A. G. : Entropy in Urban and Regional Modelling, London, Pion, 1970.
- 26) Wilson, A. G. : Urban and Regional Models in Geography and Planning, London, Wiley, 1974.
- 27) Lowry, I. S. : A model of metropolis, RM-4053-RC, RAND Corporation, Santa Monica, California, 1964.
- 28) Garin, R. A. : A Matrix formulation of the Lowry model for inter-metropolitan activity location, Journal of the American Institute of Planners, 32, 1966.
- 29) Goldner, W. : The Lowry model heritage, Journal of the American Institute of Planners, 37, 1971.
- 30) Willson, A. G., Rees, P. H. and Leigh, C. M. (eds) : Models of Cities and Regions : Theoretical and Empirical Developments, Chichester, Wiley, 1978.
- 31) Echenique, M. : An integrated land use and transport models, Transactions of the Martin Center, 2, 1977.
- 32) 伊藤 滋 : 計量的土地利用計画, 江沢譲治, 金子敬生編, 地域政策の計画と適用, 勁草書房, 1974.
- 33) 枝村俊郎・足立吉之 : エントロピー型アーバンシミュレーションモデルの適用, 都市計画学術研究発表会論文集, 8, 1973.
- 34) 毛利正光・金 大雄 : アクセシビリティ概念に基づく都市活動のインパクト・アナリシス, 土木計画学研究発表会講演集, 1, 1979.
- 35) 鹿島 茂・石川和夫・知花秀治 : 都市内高速道路建設効果計測用土地利用モデルの開発, 土木計画学研究発表会講演集, 3, 1981.
- 36) Goldner, W. and Graybeal, R. S. : The Bay Area Simulation Study : Pilot Model of Santa Clara Country and Some Applications, Center for Real Estate and Urban Economics, Univ. of California, 1965.
- 37) 早川和男 : 空間価値論, 勁草書房, 1973.
- 38) 青山吉隆・森杉寿芳 : 都市の土地利用構造に関する研究, 地域学研究, 1, 1970.
- 39) 野村総合研究所 : 産業構造と土地利用モデル, 1975.
- 40) 中村英夫・林 良嗣・宮本和明 : 都市近郊地域の土地利用モデル, 土木学会論文集報告集, 309, 1981.
- 41) 林 良嗣・中村英夫, 松江昭夫, 山中芳郎 : 広域都市圏土地利用モデル, 土木計画学研究発表会講演集, 2, 1980.
- 42) 宮本和明・中村英夫・林 良嗣 : 広域都市圏土地利用モデル, 土木学会論文集報告集, 339, 1983.
- 43) 中村英夫・林 良嗣・宮本和明 : 広域都市圏土地利用交通分析システム, 土木学会論文報告集, 335, 1983.
- 44) Nakamura, H., Hayashi, Y. and Miyamoto, K. : A land use transport model for metropolitan areas, Papers of the Resional Science Association, 51, 1983.
- 45) 木下久昭・青山吉隆・大谷 博・芝原靖典 : エントロピー法による土地利用の予測モデルに関する研究, 都市計画学術研究発表会論文集, 15, 1980.
- 46) 芝原靖典・青山吉隆・大谷 博 : 交通施設整備を考慮した土地利用—交通モデル, 土木計画学研究発表会講演集, 4, 1982.
- 47) 朝倉康夫・佐佐木綱 : 大都市における土地利用の変動過程に関する一考察, 土木計画学研究発表会講演集, 4, 1982.
- 48) 朝倉康夫・佐佐木綱 : 土地利用主体間の立地競合問題に

- 対するゲームの理論の適用，土木計画学研究発表会講演集，5，1983.
- 49) 天野光三・戸田常一・阿部宏史：立地主体の競合を考慮した土地利用予測モデルに関する研究，土木計画学研究発表会講演集，4，1982.
- 50) 阿部宏史・天野光三・戸田常一：立地競争による土地の需給を考慮した土地利用予測モデル，土木計画学研究発表会講演集，5，1983.
- 51) 阿部宏史・天野光三・戸田常一：つけ値概念を用いた土地利用変動メカニズムの考察とそのモデル化について，土木計画学研究発表会講演集，6，1984.
- 52) Hill, D. M. : A growth allocation model for the Boston Region, *Journal of the American Institute of Planners*, 31, 1965.
- 53) Putman, S. H. : Developing and testing an intraregional model, *Regional Studies*, 4, 1970.
- 54) 伊藤 滋・金子敬生・井上三芳：地域開発モデルの一試案，都市計画，68，1971.
- 55) 浅野光行：都市における交通一活動分布モデルに関する基礎的研究，土木学会論文報告集，285，1979.
- 56) Herbert, J. D. and Stevens, B. H. : A model for the distribution of residential activity in urban area, *Journal of Regional Science*, 2, 1960.
- 57) Harris, B. : A model of household locational preferences, in Funk, R. (ed), *Recent Developments in Regional Science*, London, Pion, 1972.
- 58) Wheaton, W. : Linear programming and location equilibrium : The Herbert Stevens model revisited, *Journal of Urban Economics*, 1, 1974.
- 59) 藤田昌久・柏谷増男：住宅立地論へのプログラミングアプローチ，地域学研究，5，1976.
- 60) 宮城俊彦・渡部正樹・加藤 晃：土地利用一交通総合モデルへの確率選択理論の応用，都市計画学術研究発表会論文集，18，1983.
- 61) Schlager, K. J. : A land use plan design model, *Journal of the American Institute of Planners*, 31, 1965.
- 62) Ingram, G. K., Kain, J. F. and Ginn, J. R. : The Detroit Prototype of the NBER Urban Simulation Model, New York, National Bureau of Economic Research, 1972.
- 63) Brotchie, J. F. and Sharpe, R. : A general land use allocation model : applications to Australian cities, in Baxter, R., Echenique, M and Owers, J. (eds), *Urban Development Model*, Lancaster, Construction. 1975.
- 64) 天野光三・木村東一・安藤朝夫：An activity analysis model in a metropolitan area, 土木学会論文報告集，274，1978.
- 65) 柏谷増男：大都市圏の住宅需給モデルに関する研究，土木学会論文報告集，227，1974.
- 66) 斉藤達三：住宅立地選好の計量化に関する基礎的研究，都市計画学術研究発表会論文集，11，1976.
- 67) 松浦義満：住宅需給メカニズムに関する考察，土木計画学研究発表会講演集，3，1981.
- 68) 松浦義満：通勤交通と住宅需給の関連について，土木計画学研究発表会講演集，4，1982.
- 69) 松浦義満：交通網の改善による交通摩擦費用の低下が住宅の立地点と規模の決定に及ぼす影響，土木計画学研究発表会講演集，6，1983.
- 70) 宮本和明・安藤 淳・清水英範：都市圏住宅立地需要予測モデル，土木計画学研究発表会講演集，5，1983.
- 71) 林 良嗣・磯部友彦・富田安夫：非集計手法を用いた住宅需要分析モデル，土木計画学研究発表会講演集，5，1983.
- 72) 森杉寿芳・岩瀬 広：住宅立地行動の予測と住宅環境の便益評価の統合手法の提案，土木計画学研究論文集，1，1984.
- 73) 青山吉隆：都市勤労者世帯の住宅需要構造の研究，都市計画，58，59，1969.
- 74) 宮本和明・宮地淳夫：非集計型住宅タイプ選好モデル，都市計画学術研究発表会論文集，17，1982.
- 75) 林 良嗣・磯部友彦：非集計手法を用いた工業立地のモデル化の一方法，土木計画学研究論文集，1，1984.
- 76) 西井和夫・近藤勝直：企業規模を考慮した商業立地モデル，土木計画学研究発表会講演集，2，1980.
- 77) 宮本和明・中村英夫・林 良嗣・山中芳郎・斉藤俊樹：大都市における商業業務活動予測モデル，土木計画学研究発表会講演集，3，1981.
- 78) Lee, D. B. : Requiem for large scale models, *Journal of the American Institute of Planners*, 39, 1973.
- 79) 長谷田彰彦：経済学事典，富士書店，1973.
- 80) 青山吉隆：都市計画への数理的アプローチ，経営科学，14，1971.
- 81) 河野博忠・永鉋揚四郎：日本における地域学：展望Ⅱ，地域学研究，11，1980.
- 82) 森口親司：計量経済学，岩波書店，1974.

(1984. 3. 16・受付)