【土木学会論文集　第395号／IV-9　1988年7月】

マイクロシミュレーションとランダム効用モデルを応用した世帯のライフサイクル-住宅立地-人口属性構成予測モデル

A MODEL FOR ZONAL FORECAST OF LIFE CYCLE PROGRESS, RESIDENTIAL LOCATION AND POPULATION ATTRIBUTES USING RANDOM UTILITY MODELS AND A MICRO-SIMULATION TECHNIQUE

林　良嗣*・冨田安夫**

By Yoshitsugu HAYASHI and Yasuo TOMITA

This study is an attempt to develop a forecasting method of population attributes by zone in a metropolitan area. Random utility models are used to formulate each event of household related to individual's life cycle and residential relocations. As the forecasting method, a micro-simulation technique, which can chase individuals' behaviours and can provide flexible aggregation, is employed. The validity test and policy tests proved the advantages of the model, compared with existing models.

Keywords : *life cycle, residential location, micro simulation, random utility model*

1. はじめに

この10年来，わが国における土地利用・交通分析の分野では，特に住宅立地を中心として，欧米で開発されてきたモデルとは異なった独自のモデルが開発され，地価をはじめとするわが国特有の局地的な土地条件に支配された土地利用および人口等の分布の形成をかなりの精度で表現できるようになってきた[1)~6)]．また，一方では，土地利用分析および交通分析の双方において，個人あるいは世帯の行動に基づいた，いわゆる非集計行動モデルの開発も進められてきており，特に交通手段選択や住宅タイプの選択等に関しては，集計的分析では十分に扱えないような現象を巧みに表現できることが示されてきた[7)~9)]．

こうしたモデルは，従来における現象の記述の段階から，最近では実際の交通施設計画等における効果予測分析や，他の都市施設の整備計画への情報提供という応用の段階に差しかかっているといえる．たとえば，郊外鉄道整備の自治体への影響分析においては，どのような年齢層の人口が増えるかによって，小学校あるいは老人ホームといった施設需要が異なることから，その財政への影響も違ったものとなる．このように，人口の量的な空間分布のみでは実際の施設計画に役立つ情報としては不十分なことが多い．また一方で，こうした人口の属性に応じた交通や立地の行動の違いを表現しようとしたのが非集計行動モデルであるが，これを将来予測に応用するためには，その入力情報として，将来の地区ごとの人口属性構成が必要となる．

以上に述べたように，将来の地区別の人口属性構成の情報に対する要求は強くなってきている．しかし，これを求める方法についての研究は，従来，ごく少数に限られている．その中で，たとえば，非集計行動モデルのための入力変数としての将来の地区別世帯属性構成を，それが現在と同様のパターンであるとの仮定の下に推計する方法が提案されている[10)]．この種の方法は，人口の移動が微少な地区には適用可能であるが，新しい交通施設の整備された地区など立地移動の多い地区には適用が困難であり，適用範囲が限定される．

そこで，本研究では，都市圏内の各地区ごとの人口属性構成を一般的に表現するモデルの構築を試みるものである．地区の人口属性構成の変化は，出生，就学・就職，結婚，死亡等による個人自身のライフサイクルにかかわ

* 正会員　工博　名古屋大学助教授　工学部土木工学科
（〒464　名古屋市千種区不老町）
** 正会員　工修　(財)計量計画研究所研究員
（〒162　新宿区市ヶ谷本村町 2-9）

る属性変化と，世帯の立地移動との両方に起因して生じる．これらおのおのの事象のモデル化には，ランダム効用モデルを応用するが，予測方法としては従来の非集計分析とは異なった方法として，本分析にとって種々の利点をもたらすマイクロシミュレーションを応用した方法を用いる．

2. モデルの全体構成および予測方法

（1） モデルの全体構成

図―1 は，モデルの全体構成を示したものである．住宅需要は，世帯の意志決定により生じるものであり，まず世帯の意志決定の原因となる世帯のライフサイクル変化をモデル化し，次いでその変化によって生じる住み替え需要の顕在化を表現する．さらに，住み替え先の立地が，各地区で得られる立地余剰[3]の大きさと，選択肢として認識される住宅供給量の大きさに基づいて決定される．立地の進行によって，地価が上昇し立地余剰が減少することから，しだいに立地が抑制され，やがて均衡状態に近づく．一方，住宅供給量は，住み替えによって生じた空き家と，新規住宅供給量により与えられる．

以上がモデルの全体構成であるが，モデルの外生変数としては，地価モデルに対して地区ごとの交通改善などの土地条件変化，また，住宅需要の顕在化および住宅タイプ選択モデルに対して金融条件（住宅ローン金利），さらに，住宅需要・立地モデルに対して大規模住宅団地等の地区別の建設計画などが新規供給量として与えられる．これ以外に，所得や地価の上昇等の変化を外生的に与えることも可能である．

以上により，種々の経済・社会環境の変化および政策が，都市圏内各地区の住宅立地および人口属性構成に及ぼす影響を予測分析することができる．

（2） 予 測 方 法

a） 非集計行動モデルを用いた予測上の問題点

本研究においては，個人・世帯の行動に関する意思決定行動を明示的にモデル化でき，かつ，多くの政策変数を容易に内生化できることから，非集計行動モデルを中心としたモデル構築を行っている．

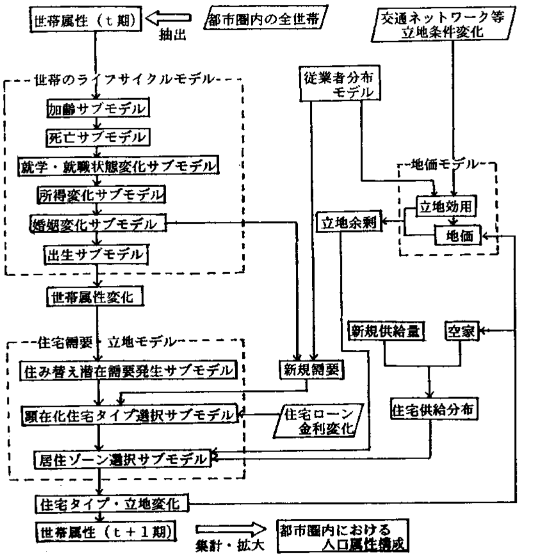
しかし，非集計行動モデルを予測分析に適用するためには，その入力データとなる個人・世帯属性の将来値を与えることが必要となるが，従来は，このための方法がないことから短期予測に限定されていた．

そこで，本研究においては，モデルの全体構成において述べたように，個人・世帯属性変化自体をもモデルに内生化している．内性化にあたっては，多くの属性を扱い，かつ，ダイナミックなモデル化が必要であることから，従来より非集計行動モデルの予測方法として用いられているような平均値法や分類法[11,12]では限界がある．また，従来の方法の場合には予測結果に集計バイアス[13]が生じる等の問題が残されている．

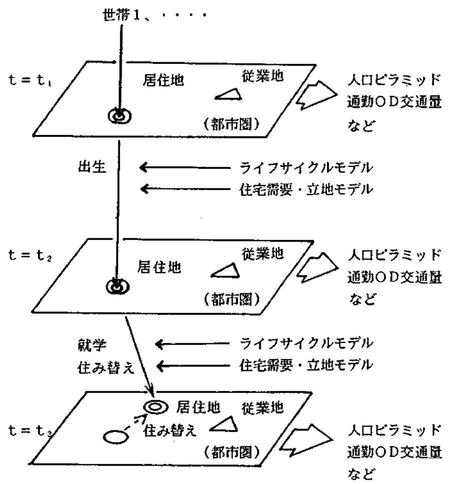
b） マイクロシミュレーションとその適用例

以上の問題点を踏まえて，本研究においてはマイクロシミュレーションによる予測方法を採用する．マイクロシミュレーションとは，最小分析単位である個人・世帯など個々の行動主体を分析単位としたシミュレーションのことである．そのシミュレーション技法としては，個人の行動を確率的に扱うことが必要であることからモンテカルロシミュレーションを用い，また，データの保存方法としては，個人・世帯のデータをそのままリストとして保存する方法（List-Processing）を用いる[14]．

以上のようなマイクロシミュレーションの方法は，そ



図―1 モデルの全体構成



図―2 マイクロシミュレーションの概念図

の応用の初期段階では人口統計学[15]の分野で用いられ，最近においては交通分析および土地利用分析への応用も試みられるようになってきている．たとえば，Wegener[16]は住宅市場における需給の調整過程に，Bonsall[17]はカープールの分析にマイクロシミュレーションを適用している．

また，Mackett[18]およびわが国の熊田[19]，岡部[20]，小栗[21]によって住宅立地モデルにも応用されているが，Mackettでは世帯の住み替えおよび立地行動は規範的に与えられているにすぎず，さらに，日本のモデルでは世帯のライフサイクル等の考慮もなされていない．

c）本研究の予測方法

本研究においてはマイクロシミュレーションを用いて以下のように予測する．たとえば，図—2は，その予測方法を概念的に示したものである．都市圏より分析に必要な数の世帯を抽出し，それぞれの世帯についてライフサイクルモデルおよび住宅需要・立地モデルによって，世帯の時間的な変化を追跡する．図—2では，ある世帯が，$t=t_1$から$t=t_2$の間に子供を出生し，$t=t_2$から$t=t_3$の間に子供が成長し就学し，その結果として，世帯と住宅との不適合の増大から新たな居住地へ住み替えたという結果を示している．このように個々の世帯単位の変化を追跡していく方法がマイクロシミュレーションである．なお，各世帯のデータは表—1に示すような属性について個人・世帯属性リストとして保存されており，各世帯のシミュレーションの結果を各時点ごとに集計することにより人口ピラミッドや通勤OD交通量などが得られる．

d）本方法の特徴

本方法は，以上のようなマイクロシミュレーションを用いることによって次のような特徴を有している．

1）モデルの出力情報である人口ピラミッドおよび通勤OD交通量を任意の時点で，任意の人口属性グループ単位および空間単位で集計できる．

2）個人の行動モデルを組み込んだ予測方法として適しており，従来，交通および土地利用の分野で開発されてきている非集計行動モデルを有効に活用できる．そのため外的条件の変化に対して感度がよい[22]．

3）従来の非集計行動モデルの集計化方法として主に用いられている平均値法，分類法に比べて，モデル変数としてかなり多くの属性を組み込んでも集計化が容易である．

4）個人データを集計せずにそのまま用いるので，集計することによる情報の損失がなく，集計バイアスも軽減される．また，データの効率的な保存も可能である[注1)]．

表—1　個人・世帯属性リスト項目

世帯属性	世帯人員，夫婦の組数
個人属性	年齢，性別，就学・就職状態，従業地，年収，婚姻状態
住宅属性	居住地，住宅の建て方，所有形態，地価，家賃・住宅ローン，住宅の広さ

3.　世帯のライフサイクルモデル[23]

（1）考え方および定式化

世帯の属性には種々のものがあるが，本研究では，住宅需要発生および住宅立地に影響を及ぼす属性，すなわち世帯主年齢，世帯人員，世帯構成員の年齢構成，所得について，その将来変化を期を追って疑似動学的に予測する．そのために世帯のライフサイクルモデルを，①加齢，②死亡，③就学・就職，④所得変化，⑤婚姻状態変化，⑥出生の6つのサブモデルより構成する．

各サブモデルの順序としては，まず，加齢サブモデルにより期初において年齢を更新する．次に，個人が死亡する場合には，他の属性の変化を予測する必要がなくなるため，まず，死亡サブモデルにより生死を判定し，その後に一般的な個人のライフサイクルの因果関係に従って，就学・就職，所得変化，婚姻状態変化，出生の各サブモデルの順にシミュレーションを行う．

ここで，上記①～⑥の個人の各事象に対して，その生起確率を求める方法を考える．生起確率は，年齢等の個人属性のみならず，時代によっても変化していくものであり，たとえば，死亡率は，性別，年齢等の個人属性はもちろんであるが，医学の進歩等のために時代の推移によっても変化していく．また，婚姻率についても，性別，年齢のみならず，時代によっても変化する．

そこで，本研究では，個人属性および時代という要因が，事象の生起確率に及ぼす影響は互いに独立であると仮定して，これらの生起確率を次式のロジットモデルにより定式化する．

$$\ln\{P_{ij}/(1-P_{ij})\}=\mu+\mu_i^A+\mu_j^P$$
$$\sum_i \mu_i^A=1,\ \sum_j \mu_j^P=1 \cdots\cdots\cdots (1)$$

ここで，P_{ij}：属性i，時代jに対する事象の生起確率，μ：定数，μ_i^A：属性iのパラメーター，μ_j^P：時代jのパ

注1）たとえば，分類法を用いるために個人をタイプ別に集計したデータを保存する場合を考えよう．タイプ分類のための属性項目数をn個，属性項目iのカテゴリー数をl_iとすると，クロスの属性データ量（総タイプ数）としては$\prod_{i=1}^{n} l_i$となる．一方，個人データリストの場合，属性項目数をn，個人数をQとすると，データ量としてはnQである．これより，属性項目数nおよびカテゴリー数l_iが多数の場合には，$\prod_{i=1}^{n} l_i > nQ$となり，個人データリストによる方が効率的である．

たとえば，$Q=5\,000$，$n=10$，l_iの平均値$=5$とすると，$\prod_{i=1}^{n} l_i=5^{10}=9\,765\,625 \gg nQ=50\,000$となる．

ラメーター

以上のように算定される事象の生起確率 (P_{ij}) をもとにして，モンテカルロシミュレーションを用いて個人の属性変化を追跡する．**図—3** は，一例として婚姻状態変化サブモデルのフローを示したものである．個人の属性（年齢，性別，時代）に応じて式（1）により婚姻率を求め，これと0から1の一様乱数とを比較し，結婚するか否かを決定する．結婚する場合には，これが新規住宅需要となるか否かを決定するために，世帯の独立確率をもとに独立か同居かが決定されることとなる．

出生，死亡，就学・就職の各サブモデルも同様なモデル化を行っている．また所得サブモデルでは年齢階層別の所得の平均値および分散をもとにモンテカルロシミュレーションにより世帯の所得を決定している．

なお，世帯人員の変化は，以上の各事象の結果として表現され，世帯構成員の年齢は期初での年齢に経過年数を加齢することにより与えられる．

（2）推定結果

6つの各事象ごとに，昭和30～55年の国勢調査および人口動態調査の全国値などのデータを用いて，式（1）のロジットモデルを最尤推定法により推定する．昭和55年時点での実績値と推定値の相関関係により，推定結果の適合度をみると，どの推定結果も相関係数が0.98以上であり，良好な結果が得られている．

ここで，推定結果の一例として，男子婚姻率の推定結果を図—4および5に示す．**図—4** の年齢パラメーターの推定値をみると，25才から35才において最も大きな値を示しており，この年齢において最も結婚しやすいことを示している．また，**図—5** に示す時代パラメーターの推定値をみると，昭和45年以降パラメーター値は低下しており，同一年齢の婚姻率が時間経過とともに低下していくことを示している．次に，昭和55年から昭和60年を予測することによりモデルの予測能力をみると，**図—6** に示すように相関係数は0.998であり，きわめて良好な結果であるといえる．

4. 住宅需要・立地モデル[24)]

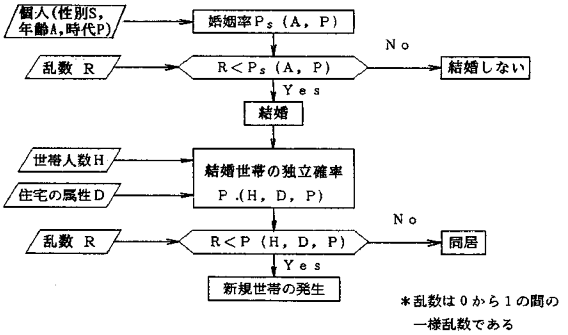
（1）モデル化の基本的考え方

本研究では，個人・世帯を追跡するマイクロシミュレーションを用いることを前提としていることから，住宅需要の発生および立地のモデル化には非集計行動モデルを用いることとする．

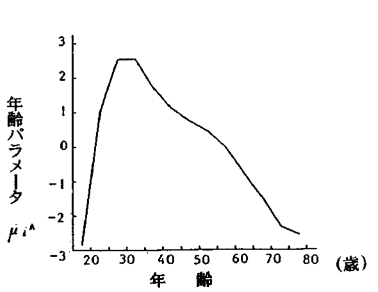
住宅需要に関する従来の研究としては，住宅タイプごとの需要推計に関して，山田[25)]，宮本・宮地[26)]，林・磯部・冨田[27)]，枝村・川井・橋本[28)]，Anas[29)] らがあり，Wrigley and Longley[30)]，宮本・安藤・清水[10)]は，それらの中でも総括的な論文であるとみられる．また，最近においては，戸田・天野・西村[31)]では潜在需要とその顕在化を区別しており，同一モデル構造ながらパラメーターを違えるといった考慮も加えられている．

また，立地に関する研究としては，上記の研究においても，都心，近郊，郊外といった程度の概略的な立地選択については定式化されているが，林・冨田[32)]は，世帯にとっての住宅供給量の認知の程度を考慮することにより，ゾーン単位での詳細な立地選択をモデル化している．また，Anas[29)]，森杉・大野[33)]では，地代，地価を内生化している．

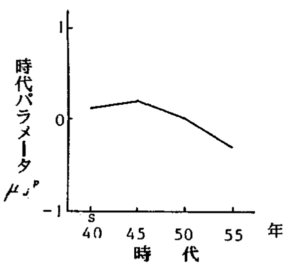
これらの成果を踏まえて，本研究では，住宅の潜在需要の発生段階から，顕在化，立地選択にいたる一連の過



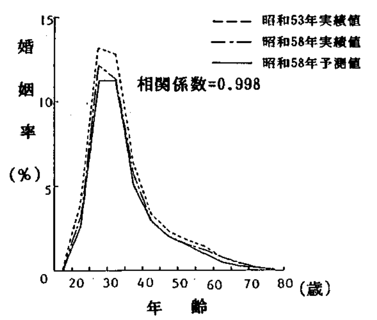
図—3 婚姻状態変化サブモデル



図—4 男子婚姻率の年齢パラメーター



図—5 男子婚姻率の時代パラメーター



図—6 男子婚姻率の予測値と実績値の比較

程を非集計行動モデルにより統一的に表現することを試みるものであり，これは従来のモデルにない特徴であるといえる．

住み替えに関する意志決定のモデル化にあたって，住み替えの意志決定プロセスを，図—7に示すように，住み替え潜在需要の発生と，住み替え需要の顕在化の2段階に整理し，世帯の住み替え行動をモデル化する．住み替え潜在需要の発生段階（Step 1）とは，前節においてモデル化されている世帯のライフステージの進行により，世帯の属性と住宅ストックの間に不適合が生じ，その結果，その世帯が住宅を探索しようとする段階である．また，住み替え需要の顕在化の段階（Step 2）とは，世帯が，新たなライフステージに適合し経済的に負担可能な住宅タイプ（広さ，価格，家賃など）および居住ゾーンを見出すことによって，住み替え需要が顕在化する段階である．

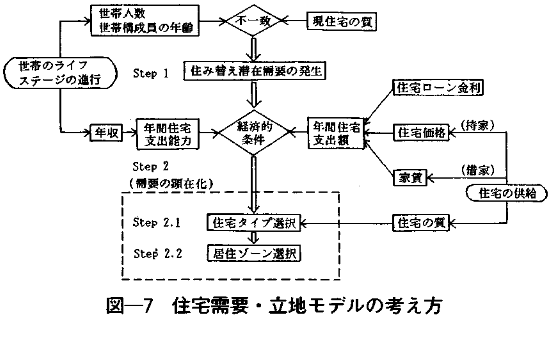
（2） 住み替え潜在需要発生モデル（Step 1）

本モデルは，住み替え潜在需要を現在の居住住宅に不満足な世帯であると定義し，この不満足な世帯の発生量を与えるものである．ここで，不満足な世帯は現在の住宅より効用の高い住宅が見出されれば，住み替えを希望する世帯であり，一方，満足な世帯とは，このような住宅の存在にかかわらず住み替えの意志のない世帯である．この両者を区別することにより，いわゆる選択層と非選択層を分離することができ，より予測精度の高いモデルが期待できる．また，不満足な世帯の総量を把握しておくことは住宅政策の評価のうえでも有効な情報であると考えられる．

いま，世帯 h は，居住住宅 d に対する効用 U_{hd} によって，満足あるいは不満足を判断しているものと仮定する．そして，この不満足である確率 P を次式のように非集計ロジットモデルによって定式化する．

$$P=1/\{1+\exp(V_{hd})\} \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

ここで，V_{hd} は U_{hd} のうち観測可能な変数により説明される部分である．観測可能な効用 V_{hd} の説明変数としては，世帯のライフステージを表わす世帯属性変数および住宅属性変数を用いる．



図—7　住宅需要・立地モデルの考え方

（3） 需要の顕在化，住宅タイプ選択，および居住ゾーン選択モデル（Step 2）

以下のモデルによって，住み替え潜在需要が顕在化するか否か，また，顕在化するとすれば，どの住宅タイプおよび居住ゾーンを選択するかが順次決定される．これらの世帯の意志決定は相互依存的な関係にあり，これをモデル化するためにネスティドロジットモデルを用いている．

a） 需要の顕在化および住宅タイプ選択モデル

4.（2）のモデルより求められる住み替え潜在需要世帯は，住み替え先の住宅タイプ d の効用 U_d が，現在の住宅の効用 U_{d_0} に比べて，ある一定値（移転抵抗）より大きい場合に住み替えが顕在化するものと仮定する．これを，非集計ロジットモデルにより定式化すると，住み替えの顕在化しない確率 P_0，あるいは，住宅タイプ d を選択する確率 P_d は次式で表わされる．

$$P_d=\exp(V_d)\Big/\sum_{d=0}^{n}\exp(V_d) \quad (d=0,1,\cdots,n) \cdots\cdots (3)$$

ここで，V_d：U_d のうち観測可能な変数により説明される部分

n：住宅タイプの数

住み替え需要の顕在化においては，特に経済的な制約が重要であり，本研究では，世帯にとっての住宅支払の難易度を，世帯の住宅支出能力に対する年間住宅支出額の割合として指標化する．年間住宅支出額としては，借家の場合は年間家賃を，持家の場合は次式により得られる年間返済額 r を用いる．

$$r=(c-c_0)\{i(1+i)^T\}/\{(1+i)^T-1\} \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

すなわち，年間返済額 r は，住宅ローン金利 i のもとで，住宅価格 c から自己資金 c_0 を差し引いた金額を T 年間で均等返済するものとして求めた金額とする．自己資金 c_0 の中には貯蓄額，現有物件の処分額，臨時の入金等が含まれる．また，年間住宅支出能力は所得ランクごとの年間平均住宅支出額を用いる．

b） 居住ゾーン選択モデル

世帯は，居住ゾーンの選択にあたって，次のような規範に従うものと仮定する．

① 世帯は可能な限り立地効用が大きく，立地費用の小さい居住ゾーン，すなわち立地余剰[3]（＝立地効用－地価）が最も大きいゾーンを選択する．

② 立地余剰に差がない場合は，供給される住宅戸数の多いゾーンほど選択されやすい．

③ さらに，この供給量は，現居住地から遠くなるに従って，世帯がそれを認知する確率が低下する．

以上の選択行動規範を非集計ロジットモデルにより定式化すると，次式のようになる．

$$P_{ji_0i}=A_{i_0i}\cdot\exp(\gamma X_{ji})\Big/\sum_{i=1}^{n}A_{i_0i}\cdot\exp(\gamma X_{ji})\cdots\cdots\cdots(5)$$

ここで，

P_{ji_0i}：従業ゾーン j，現居住ゾーン i_0 の世帯が，新居住ゾーン i を選択する確率

X_{ji}：従業ゾーン j に通勤する世帯主をもつ世帯にとっての新居住ゾーン i に対する立地余剰

A_{i_0i}：居住ゾーンにおける住宅の供給量のうち，選択肢として認知される量（選択肢の大きさ）

なお，選択肢に対する認知の程度は現居住ゾーンからの時間距離により逓減するものと仮定し，A_{i_0i} を次式で表わす．

$$A_{i_0i}=(S_i)^{\alpha}\cdot\exp(\beta t_{i_0i})\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

ここで，

S_i：新居住ゾーン i における住宅供給量

t_{i_0i}：現居住ゾーン i_0 から新居住ゾーン i までの時間距離

なお，立地余剰は，5. の地価モデルにより計算される．

（4） 推 定 結 果

以上の住宅需要・立地サブモデルを，図—8に示す名古屋都市圏を対象地域として，昭和53年住宅需要実態調査のデータを用いて推定する．なお，対象地域を14のゾーンに分割しており，必要に応じて各ゾーンを都心，近郊，郊外に区分している．

a） 住み替え潜在需要発生モデル

推定の結果，表—2のような結果が得られた．変数の符号条件，t 値，的中率をみると，比較的良好な結果が得られたといえる．パラメーターは値が小さいほど不満足であることを表わしているが，推定結果は，他の条件が同一ならば，世帯人員一人当たりの広さが狭いほど，世帯主年齢が高いほど，また，持家に比べて借家の方が不満率が高いことなどを示している．

b） 需要顕在化および住宅タイプ選択モデル

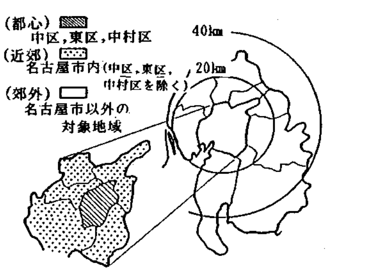
推定結果は，表—3に示されるように，変数の符号条件，t 値，尤度比，的中率をみると，比較的良好な結果が得られたといえる．パラメーターの値は，大きいほどその選択肢を選びやすいことを表わしている．これより，持家・戸建に居住している場合が最も移転抵抗が大きく，借家・中高層の場合が最も移転抵抗が小さいことを示している．また，現居住場所の立地余剰が大きいほど移転しにくく，一方，一人当たりの広さが大きく，また，年間住宅支出能力に対して年間住宅支出額が小さい住宅タイプほど選択されやすいことを意味している．

c） 居住ゾーン選択モデル

希望する住宅タイプによって居住ゾーンの選択特性が異なると考えられることから，住宅タイプ別にモデルを推定した．なお，モデル構造としては，図—8に示す14ゾーンの同時選択モデルとなっている．また，内々所要時間としては，各ゾーンに含まれる市区町村間の所要時間と，市区町村内々の所要時間（パーソントリップデータによる）を，住み替え件数で重みづけ平均した値を用いている．

推定結果は表—4に示すように，移転前後のゾーンペアの的中率としては41％～57％と十分に高いとはいえないが，移転後のゾーン別立地量の相関係数でみると，0.82～0.90と比較的高い値が得られている．

立地余剰 (X_{ji}) の係数をみると，借家モデル (model-3, model-4) に比べて，持家モデル (model-1, model-2) の方が大きな値となっている．これは，立地余剰という指標が地価負担を反映したものであるのに対し，借家にとっての負担は地代（家賃）であり，それは地価に比してゾーン間較差が小さいため，立地余剰による説明力が比較的小さいと考えられる．また，住み替え前後の居住地の時間距離 (t_{i_0i}) は，いずれのモデルでも最も有意な変数であり，その係数をみると，model-4の係数が最も大きく，借家・中高層を選ぶ世帯では，現居住地の近くに移転する傾向が比較的強いことを示している．



図—8 対象地域と地区区分

表—2 潜在需要発生モデルのパラメーター推定結果

説明変数		係数
広さ（畳数）/世帯人数		0.09(7.48)
建築後年数		-0.01(3.86)
世帯主年齢	50才～	-0.85(3.54)
	30才～50才	-0.60(2.58)
	～30才	−
持家・戸建ダミー		0.65(6.14)
持家・中高層ダミー		0.99(2.54)
借家ダミー		−
定数項		2.36(10.0)
サンプル数		2434
尤度比		0.27
的中率		70%

（ ）内：t値

表—3 需要の顕在化・住宅タイプ選択モデルのパラメーター推定結果

説明変数		現住宅タイプ	移転先住宅タイプ
広さ（畳数）/世帯人数		0.03(2.01)	
年間住宅支出額/年間住宅支出能力		−	-0.68(4.50)
現居住住宅の立地余剰		0.96(4.72)	−
移転抵抗	持家・戸建	9.17(12.75)	−
	持家・中高層	6.98(7.80)	−
	借家・戸建	7.40(10.33)	−
	借家・中高層	6.25(8.77)	−
log-sum変数	持家・戸建	−	0.60(4.17)
	持家・中高層	−	0.82(2.29)
	借家・戸建	−	0.25(1.97)
	借家・中高層	−	0.46(2.83)
供給量 ln N		−	0.78(5.11)
サンプル数		1620	
尤度比		0.47	
的中率		73%	

（ ）内：t値

表—4　居住ゾーン選択モデルのパラメーター推定結果

説明変数	model-1 持家・戸建	model-2 持家・中高層	model-3 借家・戸建	model-4 借家・中高層
ln Si(α)	0.41(3.40)	−	0.30(2.29)	0.41(2.03)
tioi(β)	-0.04(14.3)	-0.03(4.91)	-0.03(7.44)	-0.06(10.6)
Xji (γ)	2.47(9.62)	2.39(4.30)	1.50(4.96)	0.78(2.09)
サンプル数	239	41	93	126
尤度比	0.54	0.42	0.43	0.46
的中率	57%	41%	45%	53%
相関係数	0.90	0.84	0.82	0.88

(　)内：t値

5.　地価モデル

(1)　モデルの考え方

地価モデルには，ランダム付け値モデル[34]を用いている．これによれば，世帯主が従業地 j へ通勤する世帯の居住地 i に提示する付け値を b_{ji}，その世帯数を N_{ji} とすれば，居住地 i の地価は次式となる．

$$P_i=(1/\omega)\ln\sum_j \exp(\omega b_{ji}+\ln N_{ji})\cdots\cdots(7)$$

ここで，$b_{ji}=\sum_k \alpha_k z_{ki}$

(α_k：パラメーター，z_{ki}：居住地 i の k 番目の土地条件)

以上により，立地余剰は $X_{ji}=b_{ji}-P_i$ として求められる．

なお，付け値世帯数 N_{ji} としては，立地世帯数を用いており，これにより立地の進行により地価が上昇する構造となっている．

(2)　推 定 結 果

以上の地価モデルを，名古屋都市圏の昭和55年公示地価データ520サンプルを用いて最尤推定法により推定した結果を表—5に示す．

6.　モデルの検証と政策テスト

(1)　モデルの検証

以上で構築したモデルを用いて，名古屋都市圏を対象として，昭和53年を基準年として昭和58年を事後的に予測し，この予測結果と昭和58年の実績値とを比較することにより，モデルの検証を行う．検証のためのデータは，昭和58年住宅需要実態調査を用いている．

a)　住み替え潜在需要および住宅タイプ別住み替え世帯数の予測精度の検討

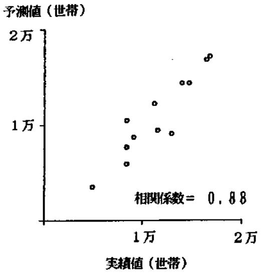
表—5　地価モデルのパラメーター

説明変数		係数
α_1	通勤一般化費用（千円）	-1.49 (-6.54)
α_2	最寄駅距離（km）	-1.10 (-4.06)
α_3	都市ガス・ダミー（有=1、無=0）	1.50 (7.17)
α_4	下水道・ダミー（有=1、無=0）	2.38 (12.2)
α_5	市街化調整区域・ダミー（区域内=1、区域外=0）	-2.05 (-5.39)
ω	分散パラメータ	0.542 (24.8)
重相関係数		0.87
サンプル数		520

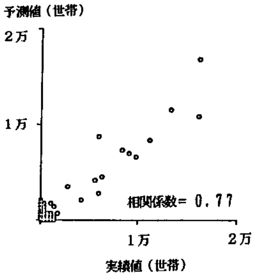
(　)内：t値

表—6　住み替え潜在需要・住宅タイプ別住み替え世帯数の実績値と予測値の比較

		実績値（千世帯）	予測値（千世帯）	誤差率（%）
住み替え潜在需要		767	789	2.9
顕在化世帯需	持家・戸建	80	85	6.3
	持家・中高層	28	22	-21.4
	借家・戸建	32	33	3.1
	借家・中高層	70	77	10.0



図—9　ゾーン別立地世帯数の実績値と予測値の比較



図—10　住み替え前後のゾーンペアごとの住み替え世帯数の実績値と予測値の比較

事後予測結果を誤差率で示したものが表—6であり，これより比較的良好な結果が得られたといえる．ただし，持家・中高層についてはサンプル数の関係もあってやや精度が落ちる．

b)　住宅立地量および住み替えの空間パターンの予測精度の検討

ゾーン別立地世帯数の予測値と実績値の相関係数は，0.88（図—9）という良好な結果が得られた．また，この立地世帯数を移転前後のゾーンペア別にみても，その相関係数は0.77（図—10）であり比較的良好な結果であるといえる．

このように移転前後のゾーンペア別にモデル精度を検討した例は，従来の研究ではみられなかったと思われる．これは，従来のほとんどのモデルでは，従業地からの距離が同じゾーンならば，移転先として無差別となっていたために，従業地に対して現居住地と同じ方面に移転しやすいという現実の傾向をモデル化していなかったためであると考えられる．以上の考慮により，本モデルでは，住み替えによる通勤OD交通量の変化量を，かなり良い精度で予測できるようになった．

c)　人口属性構成の予測精度の検討

次に，世帯属性の1つである世帯主年齢について，その予測精度を検証した．図—11，図—12は，都心地区および近郊地区から選ばれたゾーンでの予測値と実績値の比較であり，相関係数はそれぞれ0.96，0.98という良好な結果である．両ゾーンとも世帯主年齢50才以上に

おいて過大推計となっているが，これは退職等に伴う世帯主の移行が，データの制約のため考慮されていないことによると考えられる．なお，他のゾーンにおいても同程度の予測精度が得られている．

（2） 政策テスト

本モデルは，6. でまとめるように，かなりの種類の政策や社会・経済環境の変化の効果影響を分析することができるように設計されている．ここでは，そのいくつかの典型的な例について名古屋都市圏を対象に政策テストを行った結果を示す．なお，以下の政策テストは次の設定条件に基づくものである．

① シミュレーションの基準年は，昭和53年とする．

② 経年的分析は，5年ごとの疑似動学的（繰り返し）シミュレーションによる．

③ 都市圏内と外での人口移動はないものと仮定する．したがって本分析では，都市圏内の居住者のライフサイクルの進行の影響および都市圏内での住み替えの影響をみていることとなる．

④ 都市圏内の新規住宅供給量の総量は需要に対して弾力的に与えられるものとする．

a） 世帯のライフサイクルの進行の影響

ⅰ） 年齢構成の推移

高齢化の進展によって，将来の人口構成に占める高齢者の割合は増加するものと予想される．これを本モデルを用いて，ゾーン別に昭和53年から昭和73年まで予測した結果を図—13に示す．これによれば，都心地区のゾーンでは急激に高齢化が進行し，近郊地区および郊外地区のゾーンでは高齢化は進行するものの，都心地区に比べればかなり緩やかであることがわかる．このように高齢化問題は，都心地区の若い世帯が近郊・郊外地区へ住み替えることから都市圏全体というよりも局地的に起こってくるものであることが定量的に把握され，これは都市政策上重要な情報ともなる．

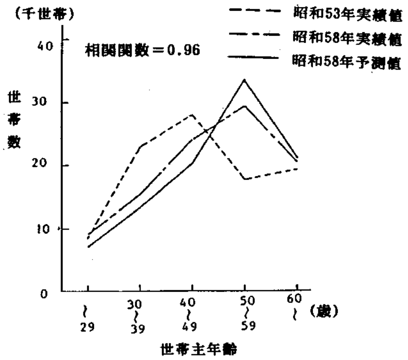
ⅱ） 住宅タイプ別住宅需要量の推移

図—14に示すように，都市圏全体の住宅需要量は昭和58～62年にやや減少した後に徐々に増大していく傾向にあり，これを住宅タイプ別にみると，持家・戸建の需要量は他のタイプに比べて増加傾向が顕著である．これは，人口ピラミッドで最も多い人口の年齢階層の世代（昭和21年～25年生まれ）が，ライフステージの進行とともにやがて所得も上昇し，持家・戸建を取得しやすい年齢層となるためであると考えられる．

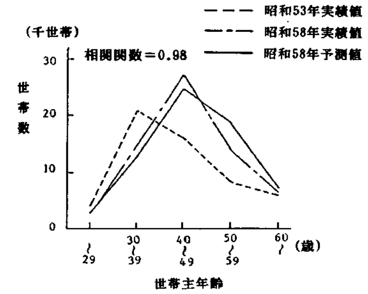
b） 経済環境変化の影響

ⅰ） 住宅ローン利子率の変化の影響

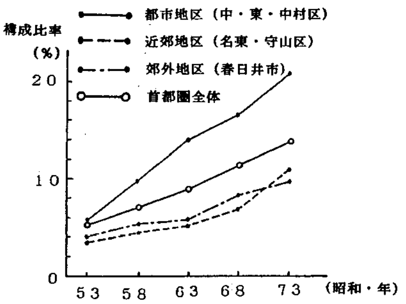
近年，住宅ローン利子率が引き下げられ，住宅需要が増大している．ここでは，利子率の変化による住宅需要・立地への影響をモデルによって，どの程度とらえること



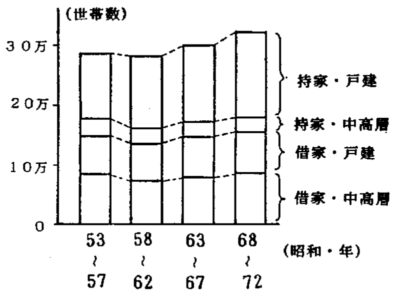
図—11 都心地区の世帯主年齢別世帯数の予測値と実績値の比較



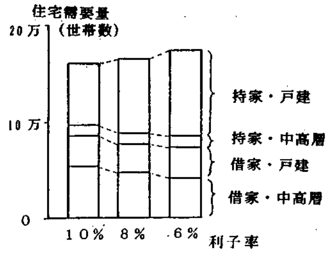
図—12 郊外地区の世帯主年齢別世帯数の予測値と実績値の比較



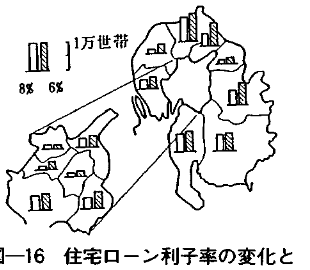
図—13 65才以上人口の構成比率の推移



図—14 住宅タイプ別住み替え世帯数の推移



図—15 住宅ローン利子率の変化と住宅タイプ別住宅需要量の関係



図—16 住宅ローン利子率の変化と持家・戸建の地区別立地量の関係

ができるかについて考察する.

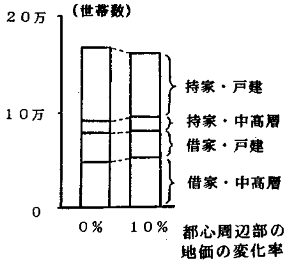
たとえば，利子率を10％から4％まで2％ごと低下させて，住み替え世帯を住み替え後の住宅タイプ別にみてみると，図—15, 16のような結果が得られた．これは，利子率の低下に伴って，年間住宅支出額が低下し，その結果，住み替え世帯の総数が増大することを示している．これを，住宅タイプ別にみると，住宅ローン金利に依存するのは持家であること，また，持家・戸建の住宅の質が他のタイプと比べて高いことによって，持家・戸建の需要量の増大が比較的顕著となっている．逆に，借家・中高層の需要量は利子率の低下に伴って減少している．ただし，本テストでは，金利は供給側には影響しないものとしている.

ii）所得の変化の影響

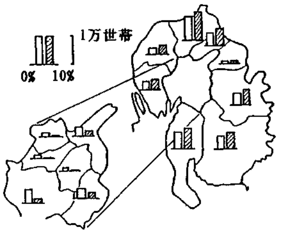
所得上昇は，年間住宅支出能力を増す．この例では，住宅ローン利子率低下による年間住宅支出額の低下と同様の効果が得られた．そのため，結果の詳細は省略する.

c）土地条件の変化の影響

土地条件として地価をとりあげ，近年，大都市圏等で起こっている都心およびその周辺部での住宅地地価が上昇する場合を想定する．ここでは，中心都市である名古屋市域内において住宅地地価が変化しない場合，および10％上昇する場合について，住宅需要の現われ方について検討した結果，図—17, 18のように都心および都心周辺部の地価の上昇は，全体の住宅需要量を減少させ，一方では，人口の郊外化を促進させる傾向を示した.



図—17 都心周辺部の地価の変化と住宅タイプ別住宅需要量の関係



図—18 都心周辺部の地価の変化と持家・戸建の地区別立地量の関係

7. まとめ

本研究では，個人属性の変化および住宅立地に関する意志決定を確率的にモデル化し，これらのモデルを用いた予測方法として，個人を追跡する方法であるマイクロシミュレーションを用いることにより，多くの個人属性を考慮した将来予測分析をすることを可能にした．そして，このモデルを名古屋都市圏へ適用した結果，比較的良好な再現性が得られることがわかった．この予測シミュレーションに必要なCPU時間は，名古屋大学大型計算機センターのFACOM M-382システムを用いた場合，5年1期当たり17秒と比較的短い時間であった.

本研究におけるモデルの第1の特徴は，非集計行動モデルを応用して，住み替え需要の発生から住宅タイプ選択，そして居住地選択に至るまでの世帯の意志決定を一貫してモデル化したことである．特に，本研究における特徴は，潜在住宅需要と顕在化住宅需要を区別したこと，また，現居住地からの距離に応じて住宅供給に対する認知の程度が異なることを明示的に考慮したことによって，住み替え先ゾーンの予測精度が向上し，通勤OD交通量の変化分の予測精度が向上したことである.

第2の特徴は，政策テストにおいても示したように，交通施設整備等に伴う土地条件変化の影響分析のみならず，世帯のライフサイクルの進行や，住宅ローン利子率・所得・地価上昇等の経済環境の変化，あるいは住宅供給政策等の影響分析が可能であり，従来のモデルに比べて，かなり広範な政策分析が可能となったことである.

第3の特徴は，モデルの出力情報の詳細化・柔軟化である．すなわち，ゾーン別の人口の量のみならず，転出・転入ゾーン別・属性別の住み替え世帯数・人口が比較的精度よく得られた．また，ゾーン別人口・世帯属性構成とその推移（たとえばゾーン別年齢別人口の推移）が得られた．この情報は，地区ごとに老齢化が進行したり，若年層が転入するといった傾向を定量的に示し得るものであり，これに対応した都市基盤施設・住宅等を供給するうえで有効なものである．また，これらの出力情報を，マイクロシミュレーションの長所により，任意の時点，任意の人口属性グループ単位および空間単位で集計して示すことが可能であることも本モデルの大きな特徴である.

第4の特徴は，本モデルにより，交通および土地利用の分野においてすでに開発されている多くの非集計行動モデルに対して，予測分析上必要不可欠な地区ごとの個人属性データの将来変化を与えることを可能としたことである．これにより，これまで短期予測に限られていた非集計行動モデルを用いた予測に対して，中長期への適用の可能性を高めた.

最後に，本研究を進めるに際しては，名古屋大学の河上省吾教授をはじめとする交通問題研究会のメンバー，および査読者の方々より貴重なコメントを頂戴した．また，膨大な計算作業に対して，大学院生の奥田隆明君，小出和昭君の多大な協力を得，その過程で出された種々の工夫がモデルに生かされている．以上，ここに記して深く感謝の意を表する．

参考文献

1) 青山：土地利用モデルの歴史と概念，土木学会論文集，第347号／IV-1，pp.19～28，1984.
2) Webster, F.V., et al. ed.：Urban Land-use and Transport Interaction—Policies and Models, Gower 1988.
3) 中村・林・宮本：都市近郊地域の土地利用モデル，土木学会論文報告集，第309号，pp.103～112，1981.
4) 中村・林・宮本：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，第335号，pp.141～153，1983.
5) 阿部・天野・戸田：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，No.6，pp.149～154，1984.
6) 天野・阿部：広域都市圏を対象とした活動立地モデルに関する研究，土木計画学研究・論文集，No.2，pp.165～172，1985.
7) 屋井：非集計行動モデルとその実用性，土木計画学研究・論文集，No.3，pp.23～39，1986.
8) 原田：非集計行動モデルによる多次元選択行動の分析，土木計画学研究・論文集，No.4，pp.15～27，1986.
9) 宮本：立地選択モデル，非集計行動モデルの理論と実際，土木計画学講習会テキスト，土木学会編，pp.161～174，1984.
10) 宮本・安藤・清水：非集計行動分析に基づく都市圏住宅需要モデル，土木学会論文集，第365号，pp.79～88，1986.
11) Koppelman, F.S.：Prediction with Disaggregate Models：The Aggregation Issue, Transportation Research Record, Vol.527, pp.73～80, 1974.
12) 森地：非集計行動モデルによる予測，非集計行動モデルの理論と実際，土木計画学講習会テキスト，土木学会編，pp.121～148，1984.
13) 桐越・浅野・塚本：非集計ロジットモデルの集計バイアスに関する研究，土木計画学研究・論文集，No.1，pp.107～114，1984.
14) Clarke, M., et al.：Micro-Simulation, Quantitative Geography in Britain, pp.248～256, 1982.
15) Orcutt, G.H., et al.：Microanalysis of Socioeconomic Systems, A Simulation Study, Harper and Brothers, New York, 1961.
16) Wegener, M.：A Multilevel Economic-Demographic Model for Dortmund Region, Sistemi Urbani, pp.371～401, 1982.
17) Bonsall, P.：Microsimulation of mode choice：a model of organized car sharing, PTRC proceedings, 1979.
18) Mackett, R.：Forecasting the Long Term Effects of Increase in the Cost of Travel, Simposium on New Derections in Urban Modelling, 1983.
19) 熊田ほか：住宅立地シミュレーションモデル，住宅，Vol.17，No.11，pp.22～35，1968.
20) 岡部：住宅立地・住宅地計画シミュレーションモデルおよびそれによる若干の考察，住宅，Vol.20，No.8，pp.18～36，1971.
21) 小栗：大都市圏住宅住み替えモデルにおける住宅・居住地探索ルーチンの設計，都市計画別冊，pp.151～156，1979.
22) 柏谷：住宅立地シミュレーションモデル，天野編「計量都市計画」第5章，pp.129～132，1984.
23) 林・富田・小出：世帯のライフサイクルに伴う属性変化のモデル化の一方法，第42回土木学会年次講演会概要集，pp.486～487，1987.
24) 林・富田・奥田：住み替え潜在需要・顕在化・住宅タイプ選択・居住ゾーン選択のプロセスを組み込んだ住宅需要・立地分析モデル，土木計画学研究・講演集，No.10，pp.259～266，1987.
25) 山田ほか：東京大都市圏における住宅市場の計量分析，経済企画庁経済研究所，1976.
26) 宮本・宮地：非集計型住宅タイプ選好モデル，都市計画別冊，pp.139～144，1982.
27) 林・磯部・富田：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・講演集，No.5，pp.547～555，1983.
28) 枝村・川井・橋本：阪神臨海地域における転居世帯の行動分析について，土木計画学研究・講演集，No.5，pp.556～564，1983.
29) Anas, A.：Dynamic Forecasting of Travel Demand, Residential Location and Land Development, International Symposium on New Directions in Urban Modelling, 1983.
30) Wrigley, N. and Longley, P.A.：Discrete Choice Modelling in Urban Analysis, Geography and Urban Environment Progress in Research and Applications, D.T. Herbert et al. ed., John Wiley & Sons Ltd., 1984.
31) 戸田・天野・西村：居住環境の改善を目的とする住み替え発生の要因分析，第41回土木学会年次講演会概要集，pp.159～160，1986.
32) 林・富田：住宅立地の動的予測方法に関する研究，土木計画学研究・講演集，No.9，pp.115～122，1986.
33) 森杉・大野：地価を内生化した居住地選択モデル，土木計画学研究・講演集，No.8，pp.453～459，1986.
34) 林・中村・富田：土地利用交通モデルを用いた郊外鉄道新線の効果分析の試み，土木計画学研究・講演集，No.6，pp.163～170，1984.

(1988.1.11・受付)