

空間分布適合度指標 SFI を用いた 土地利用モデルの性能評価方法

A PERFORMANCE EVALUATION SYSTEM FOR OPERATIONAL LANDUSE MODELS
USING SPATIAL FIT INDICATOR (SFI)

宮本和明*、橋詰勝彦**、後藤敏男***

by Kazuaki MIYAMOTO, Katsuhiko HASIDUME and Toshio GOTO

There have been many operational landuse models developed for urban and regional planning, but no evaluation method has been established for comparing them from a view point of quantitative performances. The aim of the present study is to set up a methodology to evaluate performances of operational landuse models in order to support model selection decision when introducing quantitative landuse analysis in planning processes. At first, an indicator to represent spatial fit between two distributions, Spatial Fit Indicator (SFI), is devised and tested its property in comparison with existing indicators. Secondary, a method is presented to produce test cities for pilot model simulations according to the purpose of application. Finally, an evaluation system is built based on the above-mentioned for making a comparison between candidate models, and a case study is conducted to compare performances of an aggregate model with those of disaggregate one.

1. はじめに

地域および都市に関する各種計画の有力な分析手段として、都市活動の空間分布を計量的に予測するモデル、すなわち土地利用モデルが、従来から数多く開発されてきている。実際の計画分析に用いる実用的な土地利用モデルの作成には、必要データの収集およびモデルパラメーターの推定等に多大の経費と時間を要するため、一つの計画策定に際して複数の本格モデルが用意されることはほとんどない。そのため、実用モデルの作成に際しては、その利用目的と対象地域の特性を踏まえた科学的な判断を行う必要がある。しかるに、実際には、その選択は、単

にモデル構築の利便性のみや、モデル作成者の主観的な判断によっているのが現実であり、客観的な評価方法は存在しない。

本研究の目的は、各種の土地利用モデルの実用モデルとしての性能比較を行うための評価方法を作成することである。言い換えれば、計画の分析に際して、その目的および対象地域に最も適した土地利用モデルのタイプを選択するための判断資料を提供する方法を作成することである。

そのために本研究では、まず、土地利用モデルの計量モデルとしての評価指標について検討を行っている。すなわち、土地利用モデルは本質的に空間分布の計量予測を行うものであるから、予測分布と実分布の空間的な適合度を示す指標が必要である。しかるに既存の指標の中にはそれを的確に表現するものは存在しない。そのため、本研究では、新しい指標である SFI (Spatial Fit Indicator) を作成し、既存指標との比較を通して、その有用性についての

* 正会員 工博 横浜国立大学助教授 工学部建設学科 (〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台156)

** 正会員 工修 西武鉄道

*** 正会員 工修 大成建設

検討を行っている。さらに、土地利用モデルの計量モデルとしてのパフォーマンスをシミュレーションするための、いわばテストピースに相当するモデルテスト都市の作成方法について検討を行っている。このテスト都市は、土地利用モデルの適用対象に合わせて作成するものである。本研究では、このテスト都市に基づき、検討対象の土地利用モデルのパイロットモデルを作成し、それらの計量モデルとしての性能を比較評価するシステムを構築している。そして最後に、以上で作成した土地利用モデルの評価システムを用いて、「札幌都市圏において土地利用モデルを作成するとした場合」をケーススタディとして、集計型と非集計型の両モデルの比較を行い、評価システムの現実問題への適用可能性について検討を行っている。

2. 土地利用モデルの評価の視点

土地利用モデルの評価の視点としては大きく、その理論的な整合性と、計量モデルとしての量的予測の有用性があげられる。ここでは、計量モデルとしての土地利用モデルを考え、理論的な比較については行わない。実用モデルとしては、たとえブラックボックスであっても、その計量モデルとしての精度が重要な評価指標となる。このような実用モデルとしての評価がモデル理論の改良や再解釈につながることも考えられる。

土地利用変化は一般的な都市経済法則のもとに、都市の特性に依存してその量が決定される。そのため、土地利用モデルの実際問題への適用に際しては、都市の特性にあったモデル選択が必要となる。

一方、モデルの利用目的によって、たとえば交通需要予測に用いる場合と土地利用計画に用いる場合、あるいは両者を統合して考える場合において、土地利用モデルから得ることを期待する情報も異なってくる。単なる傾向変動のみを知りたいのであれば、計量モデルとしての精度はそれほど問う必要はないと考えられる。また、たとえば最大値あるいは最小値といった特異値、あるいは、特定のゾーンのみの結果を知りたい場合においても、その評価の視点は異なるであろう。ここでは、それらについては個々に判断することとし、土地利用モデルが本来有している空間分布予測モデルとしての機能から、全体パ

ターンの再現精度という観点を中心に議論している。

なお、土地利用モデルのパフォーマンスの比較研究としては、ISGLUIT¹⁾の研究があげられる。この研究では、まず、いくつかのモデルのパフォーマンスをそれぞれがもともと構築された地域においてシミュレートし、その結果を比較する「phase 1」を実施している。この場合、いくつかの基本的なケースを設定し、都心、近郊、郊外の3地域におけるモデル変数の変化を求めている。さらに、いくつかの都市の組み合わせに対し、適用都市を交換することによりそれぞれのパフォーマンスの比較を「phase 1」と同様に行う「phase 2」も実施している。これは土地利用モデルのパフォーマンスの比較としてはほとんど唯一の比較研究であり、高い評価をえているものである。ただ、対象地域がモデルの適用地域に限られているため、たとえば、それ以外の都市において適用した場合のパフォーマンスに関する情報といったものについては自ずから限度がある。

3. 空間分布適合度指標SFIの提案

(1) 空間分布の適合度指標の必要性

土地利用モデルをはじめとする地域および都市計画のための計量分析モデルは、地域空間における「量」の分布を予測することを目的としている。そのため、それらのモデルの性能評価は、予測量の空間分布に基づいてなされるべきものである。しかるに従来のこれらのモデルの評価のほとんどは、分析対象地域内の各分析単位（以下ゾーンと呼ぶ）における予測値と実際値との相関係数に基づいてなされており、ゾーン間の位置関係に関する考慮がほとんどの場合なされていない。そのことは、空間分布の適合度を示す適切な指標が存在していないことに起因するといえよう。本研究においては、空間分布の適合度を示す新しい指標を提案し、その特性を調べることにより、土地利用モデルをはじめとする空間分布を分析対象とする各種計量モデルの性能評価に用いている。

(2) 既存の適合度指標の問題点

相関係数に代表される既存の適合度指標は、(1)ゾーンの個々の位置、および(2)個々のゾーン間の位置関係に関する情報はまったく考慮されない。そのため、実際値が大きなゾーンの予測値が大きければ、

一般に高い相関係数となる。しかるに、その高い予測値が、例えば、隣のゾーンとなった場合は、相関係数はかなり低くなることが考えられる。このように相関係数は、当然のことながら、空間分布の適合度のごくわずかな側面を示すに過ぎない。空間分布の適合度の評価に着目した研究としては、清水ら²⁾の研究があげられる。これは相関係数に「融通性」の概念を導入することにより位置情報を加味した評価を可能にするという新しい考え方を作り上げたものである。しかし、単一の指標値を与えるものではないことから、必ずしもそれを用いた評価が容易なものとはなっていない。本研究においては、2つの空間分布間の適合度を示す単一の指標値を提案することにより、評価をより容易にすることをめざしている。

(3) 空間分布適合度指標 (SFI)

本研究で提案する空間分布適合度指標を SFI (Spatial Fit Indicator) と呼ぶことにする。この指標は、一つの基準分布が与えられたときの、ある分布のそれに対する適合度を示すものである。ここではそれらの分布を、説明用に実際値分布と予測値分布と呼ぶことにする。本研究では2つの分布が適合している度合を、予測値分布の各ゾーンの誤差を移動させて実際値の分布に等しくする場合の、誤差の絶対値と輸送距離の積の総和、いいかえると総輸送費用、の最小値を用いて表すことを考える。

すなわち、ゾーン数を n とし、過大予測ゾーン i の過大量を a_i とする。そして、過小予測ゾーン j の過小量を b_j とする。ここで、過大予測ゾーン数と過小予測ゾーン数をそれぞれ l , m とする。さらに、過大予測ゾーンを供給地、過小予測ゾーンを需要地とみなすことにより、供給地 i から需要地 j への輸送量を x_{ij} とすれば、最適輸送量を求める問題は、次のような線形計画の輸送問題として定式化できる。

$$(\text{供給制約}) \quad x_{ij} \leq a_i \quad (1)$$

$$(\text{需要制約}) \quad x_{ij} \geq b_j \quad (2)$$

$$(\text{非負条件}) \quad x_{ij} \geq 0 \quad (i=1, \dots, l; j=1, \dots, m) \quad (3)$$

そして、ゾーン i からゾーン j への輸送費用をゾーン間の距離の関数 d_{ij} で表すと、総輸送費用を表す目的関数 P は、

$$P = \sum_{ij} d_{ij} x_{ij} \quad (4)$$

となり、この総輸送費用 P の最小値を線形計画法の輸送問題として求め、その値を Y とする。距離関数は一般にはゾーン中心間の空間距離を用いる。

そして、各ゾーンは一般には面積が異なることから、それを考慮した比較対象基準分布を用意する。それには、モデルを用いない単純予測とみなせるものとして、ゾーン面積に比例するように予測値を配分した分布を用いる。この基準分布の場合の輸送費用 Y_0 を求め、これを用いて指標を基準化する。ただし、空間分布を決定するモデルのパラメーターが意味を持たなくなる $Y_0 = 0$ の場合を除いて考えることとする。すなわち、SFI は、

$$SFI = 1 - Y/Y_0. \quad (\text{ただし、} Y_0 \neq 0) \quad (5)$$

として与えられる。

つまり、この SFI は、ゾーン面積に予測値が比例するように配分した場合、すなわちモデルを使用しないで予測した場合から、土地利用モデルを用いて予測した場合の予測値が、どの程度改善されているかをあらわした指標となる。また、SFI は最大 1、基準分布と同じ場合に 0 に基準化されている。また、SFI が負の場合は比較検討の対象以下と考えられる。なお、SFI の値とその意味するものの関係についてはさらに深く検討する必要がある。

(4) SFI の特性テスト

SFI の特性を調べるために、 5×5 の等方なテストゾーンを用いてのシミュレーションを行った。このゾーンでは、辺を境にして接するゾーンの中心間距離を 1 とし、輸送費用は距離に比例するとしている。そして、各ゾーンごとに 1 から 25 までの値をランダムに与えたものを実際値の分布とした。そして、この分布からランダムにゾーンの値を入れ換えて予測値の分布として、計算機シミュレーションを実施し、それぞれの場合の、実際値分布に対する予測値分布の SFI と両分布間の相関係数 (R) を求めた。その結果をプロットしたものが図 1 である。

この図を見ると相関係数が 0.8 の場合でも SFI が 0 の場合もあることがわかる。従来、相関係数が 0.8 以上の場合一応の説明力があるとされる場合も多かったが、SFI からみると、モデルを使用せず

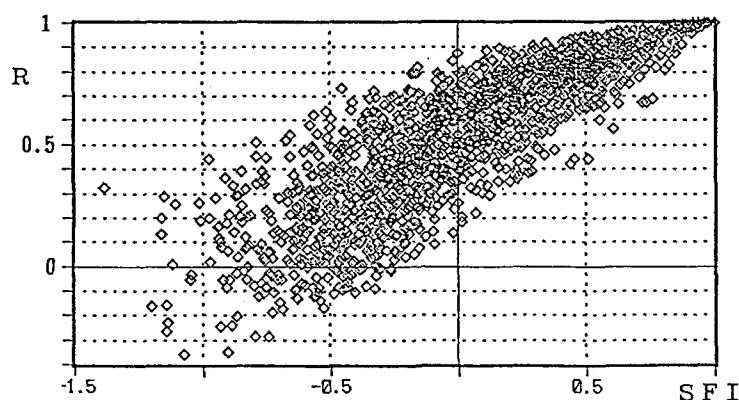


図1 SFIと相関係数(R)

に予測した場合と適合度から見るとそれ程かわらない場合があることを示している。そして、相関係数の各値に対するSFIの値の幅と、逆に、SFIの各値に対する相関係数の幅を比較すると、前者の方が小さいことが分かる。このことから、SFIの方が相関係数より感度が高いと判断することができる。さらに、 10×10 のテストゾーンを作成して、視覚による類似度とSFIの関係についても調べている。この場合、評価は多分に主観的で容易ではないが、相関係数よりもSFIの方が、類似性をよく表していると判断できるケースの方が逆のケースよりもかなり多いことが分かった。

以上本研究においては、2つの空間分布間の適合度を示す新しい指標SFIを提案し、SFIが従来の指標より優れた特性を有する可能性が高いことが示された。しかし、行った特性比較は十分なものとはいえず、さらなる検討が必要である。

4. モデルテスト都市の作成方法

(1) モデルテスト都市データの作成方法

土地利用分析では住宅立地が中心となることが多いことから、本研究においては、まず、住宅立地モデルのパフォーマンス評価のためのテスト都市を作成している。言い替えると、各世帯の必要情報はすべて既知であるモデルテスト都市を作成する。そして、商業業務立地に関しては、ほぼ同様の取扱いができると考えられる。しかし、工業立地等に関しては、その希少性と特殊性からこのような取扱いは困難である。また、それゆえに、候補モデルも限られることから、わざわざこのようなアプローチをとる必然

性も少ないと考えられる³⁾。

モデルテスト都市作成の基本的な考え方は以下の通りである。

モデルテスト都市は、ある都市圏域を設定し、その中における都市活動の行動主体に関する空間的な分布を与えることにより作成する。その際、当然のことながら、モデルテスト都市を実際の都市と比べどのように抽象化するかが問題となる。テスト都市は、土地利用モデルの適

用目的に対する適性のみを判断するためのものであることから、それを表現するために必要最小限の特性を与えれば十分である。その選択に関しては、適用する目的に合わせて定性的に説明因子を検討することが必要である。テスト都市の作成においては、各特性に対する設定値におけるモデルのパフォーマンスが確認される。そのため、実際値に近いものを想定すれば、実際の適用におけるパフォーマンスを十分に類推することが可能である。そのため、特性値の設定は、その近似値を与えるだけで十分である。また、特定都市が存在しない場合は、構造試験におけるテストピースのように、完全な抽象都市をいく種類か必要数だけ作成すればよい。

都市活動の分布は、一般に何らかの中心地からの距離により、主として規定されていることから、土地利用モデルのほとんどは、距離抵抗関数に基づく広い意味での重力型モデルである。また、実用モデルは実データに基づく統計処理によりモデルパラメータを決定している。そして、それらのモデルの一般的な前提は、実際の都市においても十分満足されていると考えられる。このことから、本研究においては、非集計モデルを用いて以下のようにモデルテスト都市を作成している。

そのため、本研究においては、全世帯数を与件とし、まず、行動主体である個々の世帯について特性を与えることとする。一方、分析ゾーンに対して、その立地条件を与える。世帯特性とゾーンの立地条件は必要十分な項目に限定されている。そして、それに基づく世帯の居住ゾーンおよび住み替え行動は、先の実際の都市における考察から、非集計モデルを

用いて確率的に配分することにより、テスト都市における居住パターンを与える。非集計モデルは、利用可能なものがあればそれを、また無い場合においては簡単な調査に基づいて作成する。

本研究では、後に示すとおり、札幌市における適用を想定してのケーススタディを行っている。その際の世帯の非集計行動モデルは、初期値としての住宅分布を与える居住ゾーンモデル、そして、住み替え決定モデルと住み替えた場合の新しい居住ゾーン決定モデル、の3つである。モデルは、各々単純なロジットモデルであり、札幌市の住宅需要実態調査に基づいたパラメーターを用いている。説明変数を表1に示す。この際モデルは、簡単化のため、ネストを構成していない。

表1 テスト都市作成に用いた
ロジットモデルの説明変数

変数名	変 数 内 容
(住み替え選択モデル)	
IN	$10 \times \text{Ln}(10000/\text{年収}(\text{万円}))$
T1	$10 \times \text{Ln}(\text{通勤時間}(\text{分}))$
MB	$10 \times \text{世帯人員}(\text{人})$
AG	世帯主年齢(才) - 35才
(住み替え地域選択モデル)	
T2	通勤時間(分)
KI	$10 \times \text{Ln}(10 \times \text{地価}(\text{万円}/\text{㎡}) / \text{年収}(\text{万円}))$
SM	$10 \times \text{Ln}(\text{住宅面積}(\text{㎡}) / \text{人員}(\text{人}))$
ZD	前住地ダミー (10 or 0)

(2) 世帯特性およびゾーン特性の与え方

表1の説明変数にふくまれる世帯特性はテスト都市内の個々の世帯に対して与えている。また、世帯特性およびゾーン特性の与え方を以下に述べる。なお、ケーススタディでは70ゾーンを設定している。世帯特性およびゾーン条件および従業者分布は、共に参照都市である札幌市のデータを基に作成している。

なお、変数間に相関があると考えられる場合は、以下の説明にある通り、2つの正規分布を用いてそ

れを表現している。

- 世帯主年齢：世帯主年齢データは、年齢階層によって世帯数が異なるので年齢階層毎に世帯数を設定し、階層内で世帯主年齢を乱数発生させる。
- 世帯年収：世帯年収分布は、世帯主年齢階層によって異なるので、世帯年収データは世帯主階層毎に階層別平均世帯年収と分散を与え、正規分布に基づいて世帯年収を乱数発生させる。
- 世帯人員：世帯人員分布は世帯主年齢階層によって異なるため、年齢階層別に世帯人員別世帯比率を与え、世帯人員を離散型乱数として、1名から7名までの中で発生させる。
- 通勤時間：通勤時間は従業地ごとに、その従業地に対する居住ゾーン別平均通勤時間と分散を与え、ゾーン毎に正規分布によって乱数発生させて通勤時間データを作成する。
- 住宅地価：住宅地価データは、ゾーン別平均住宅地価と分散を与え、ゾーン毎に正規分布に従って乱数発生させて作成する。

また、今回作成したテスト都市では、1万世帯のみの都市としたため、参照都市である札幌市の約1/50であることから、分散も同様に小さく設定している。なお、世帯のゾーンへの配分においては、ゾーンの可住地面積の大きさを考慮したロジットモデルを用いて、選択確率に基づいてモンテカルロシミュレーションにより行っている。モデルテスト都市の作成手順とそれを用いたシミュレーションについて、図2に示す。

6. 非集計型モデルと集計型モデルの比較への適用

(1) ケーススタディの概要

モデルテスト用都市を用いたケーススタディとして、集計モデルと非集計モデルのパフォーマンスを比較する。類似の研究としては、非集計行動モデルの集計バイアスに関する研究⁴⁾があげられる。また、土地利用モデルの両タイプの予測精度に関しては、実測値

を基に行った研究はある⁵⁾。しかし、その際、実都市における比較では、全世帯の個々の特性をはじめとする「真値」についての情報は十分ではないことから、比較対象自体が曖昧である。ここでは、テスト都市として、その情報に関しては完全な都市を対

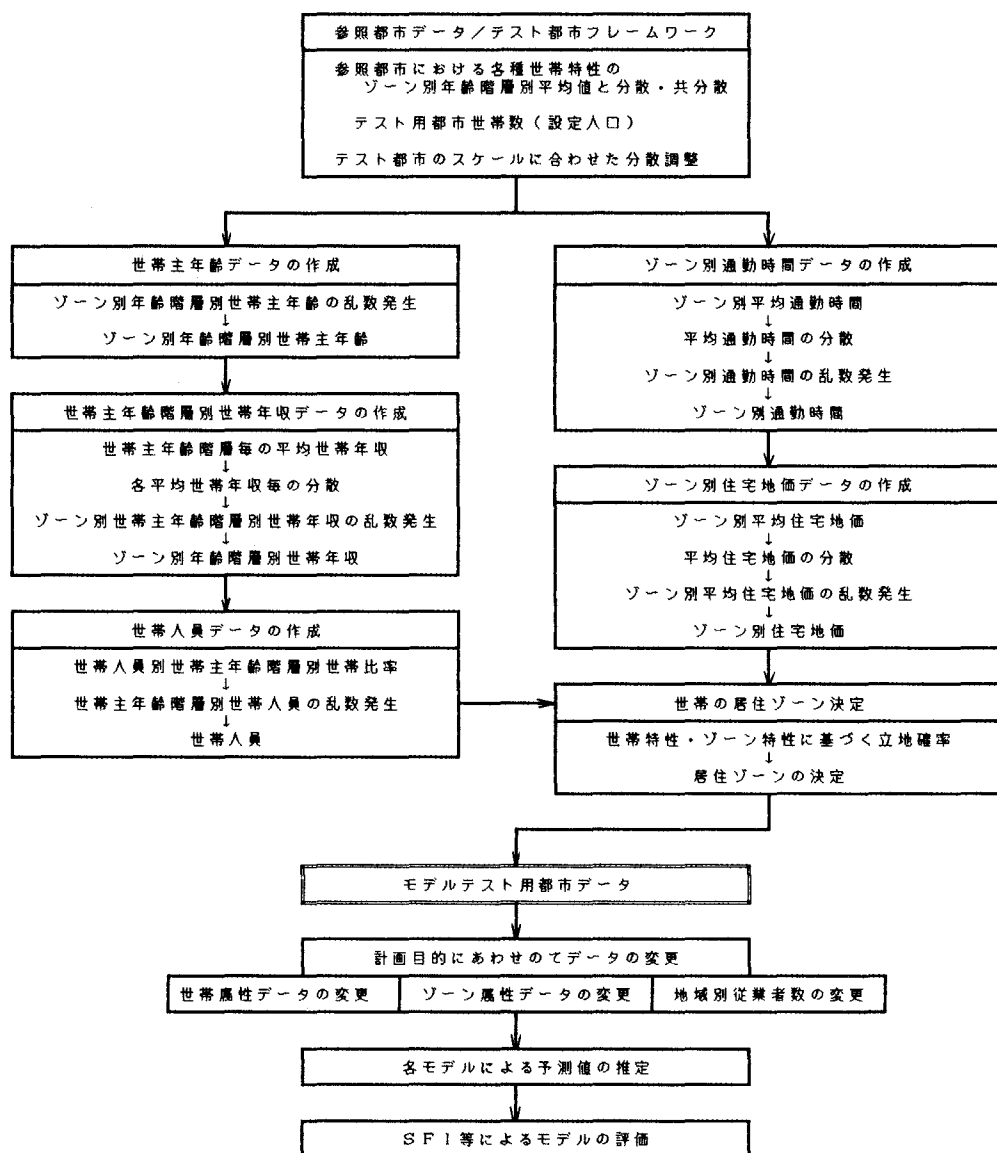


図2 モデルテスト都市の作成とそれを用いた土地利用モデルの評価方法

象としていることから、いくつものケースについての比較が可能となる。たとえば、モデルテスト都市はその時系列変化を住み替えモデルを用いて作成できることから、それらの将来予測への適用性についての比較も可能である。なお、集計モデルは全数データを用いて分析を行うが、非集計モデルはモデルテスト用都市データからサンプリングシミュレーション

を実施して分析を行う。非集計モデルはサンプリング方法、サンプル数によって精度が異なるので、それらが、非集計モデルの精度に与える感度も分析している。

(2) 比較モデルの概要

集計モデルとしては、簡単な重力型のモデルを対数線形にした式(6)を用いる。

$$\ln(P_{ij}) = a \ln(E_i) + b \ln(S_i) - c \ln(TM_{ij}) \quad (6)$$

P_{ij} : i ゾーンに居住し j ゾーンに就業する人口

E_j : j ゾーンの従業者数

TM_{ij} : i ゾーンから j ゾーンへの通勤時間

S_j : i ゾーンの面積

a, b, c : パラメータ

非集計モデルは、基本的には先に示した配分の際用いたモデルを用いるが、集計予測方法については、参考文献⁶⁾⁷⁾の方法を用いている。

(3) モデルのパラメータ推定

非集計モデルにおいては、サンプル数を100、200、400、800と変化させて、ランダムサンプリングによりパラメータを推定した。その際、就業中心を4つ設定している。住み替えモデルについて、サンプル数とパラメータ値、 t 値、尤度比、的中率の推定結果を表2に示す。

表2 非集計型住み替えモデルのパラメータ推定シミュレーション結果

	サ ン プ ル 数				テスト都市設定値
	100	200	400	800	
T2	-0.272 (-4.83)	-0.289 (-7.00)	-0.300 (-10.1)	-0.285 (-14.4)	-0.282
KI	-0.527 (-4.10)	-0.549 (-5.81)	-0.629 (-9.00)	-0.598 (-12.6)	-0.370
SM	2.40 (3.79)	2.22 (4.84)	2.59 (7.40)	2.52 (10.5)	0.109
ZD	0.351 (5.76)	0.398 (8.24)	0.369 (10.28)	0.366 (14.35)	0.359
尤度比	0.736	0.733	0.788	0.778	
的中率	92.6	86.3	94.6	94.9	

この場合、サンプリング方法の違いによる比較等も行えるが、作成データがもともとランダム配置されていることから、必ずしも実際都市の場合の比較とは一致しない。表2から判断すると、本テスト都市の規模と分散においては、100程度のサンプル数で一応の結果が得られることがわかる。しかし、

相関を設定したKIとSMの両変数では、パラメータの推定値がかなり設定値と異なることがわかる。この点についてはさらに検討する必要がある。

集計モデルのパラメータ推定においては、非集計モデルの場合と同様に4つの就業地を設定し、それぞれにおいて回帰式を求めた。その結果、テスト都市の特徴を再現できる重力型の式が高い精度で推定されている。

(4) 現状再現性の比較

以上求めた両モデルを用いて人口の現状分布の再現性を比較した結果を表3に示す。

表3 モデルの現状再現性の比較

	非集計型 (サンプル数)				集計型
	100	200	400	800	
相関係数	0.464	0.492	0.497	0.510	0.674
SFI	0.285	0.352	0.338	0.377	0.150

その結果、相関係数で比較する場合は、集計モデルの方が再現性がよいが、SFIで比較すると、非集計モデルの方が再現性がよいと逆の判断ができる。また、非集計モデルの適用において、本ケースでは200程度以上になると追加サンプルは余り精度向上に貢献しないと見ることができよう。

(5) 将来予測性能の比較

モデルの将来予測性能をモデルテスト用都市を用いて比較する。様々なケースが想定できるがここでは、対象地域内に高速道路が建設されると仮定したときの将来のゾーン別世帯分布がどの様に変化するかを集計モデルと非集計モデルで予測し、両モデルの予測性能を比較する。

予測シミュレーション期間内の、テスト都市における住み替え世帯は1万世帯中1698世帯であった。この1698世帯の変化による人口変化の予測精度を、集計モデルと非集計モデルについて比較する。シミュレーションによるゾーンごとの予測結果に関する比較を表4に示す。

集計型モデルはストック量を予測するタイプであることから、増減変化に対しては一般に説明力が高

くないことから、この比較は必ずしも適切なものとは言えない。この場合も増減を被説明変数とする集計型モデルを用いればもう少しよい結果がでると思われる。また、この集計型の予測結果は、相関係数では0.5ぐらいと高くはないが説明力が幾分あるように見えるが、SFIで見るとまったく説明力がないことがわかる。非集計型モデルの結果は、この例でみる限り、相関係数とSFIはほぼ対応している。また、非集計モデルの説明変数は通勤時間以外に、年収や年齢も変化させているのに対して、集計モデルは、通勤時間のみしか説明変数に含まれないことから、自ずから説明力に限界があるといえよう。ただしこの結果は、非集計モデルの集計方法に工夫があるからであり、単にロジットモデルのみによるものではない。

表4 モデルの人口増減値予測結果の比較

	非集計型（サンプル数）				集計型
	100	200	400	800	
相関係数	0.926	0.910	0.919	0.927	0.500
SFI	0.812	0.755	0.795	0.820	-0.030

7. おわりに

土地利用モデルの多くは計量予測を主目的としながら、実際にはその計量モデルとしての評価はほとんど行われていなかった。しかし、特に需要予測に用いられる土地利用モデルは、その予測量の精度からみた評価が重要であることは言を待たない。本研究は、土地利用モデルの計量モデルとしての評価を行う場合の一つのアプローチを示したものである。

本研究で提案した、モデルテスト都市は、構造実験におけるテストピースであり実験モデルに相当する。本来実験が不可能な計画分野の対象に対して、本研究の提案するモデルテスト都市は一つの取り得るアプローチであろう。このモデル都市作成手法をさらに発展させ、いくつかの実験都市を作り上げ、単に土地利用モデルのみでなく、各種の計量予測モデルのパフォーマンスのテストを行うことにより、モデルの比較のみではなく、各モデルの改良にも寄与

するものと思われる。

さらに、本研究で提案した、空間分布の適合度を示す指標であるSFIについては、その特性をさらに検討する必要性が残されているが、従来から行われている、空間位置情報を無視した評価指標よりは、より適切な評価に資するものと思われる。交通需要をはじめとする空間分布を取り扱う問題においても適用可能性があると思われる。

従来、このような視点に立った研究がほとんど行われていなかったことから、本研究は十分に問題点を検討しているとは言えない。今後、研究の全体的な考え方をはじめ、各部分における考え方と手法に改良を加えていく予定である。

参考文献

- 1) Webster, F. V., BLY, P. H. and Paulley N. J. : Urban Land-use and Transport Interaction - Report of the ISGLUTI, Avebury, 1988
- 2) 清水英範、森山誠二、中村英夫：推定値の位置的ずれを考慮した土地利用モデルの適合度評価方法、土木学会第41回年次講演会概要集、1986
- 3) 宮本和明、中村英夫、八木茂樹：非集計行動モデルを用いた工業立地分析、地域学研究、第16巻、1986
- 4) 宮本和明、増田博行、八木茂樹：土地利用予測における非集計モデルの適用性の検討、土木学会第40回年次学術講演会概要集、1985
- 5) 桐越信、浅野光行、塚本直幸：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、1、1984
- 6) 宮本和明、安藤淳、清水英範：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、No. 365/IV-4、1986
- 7) Miyamoto, K., Nakamura, H. and Shimizu, E. : A Land Use Model Based on Disaggregate Behavioral Analyses, Selected Proceedings of the Forth World Conference on Transport Research, 1986