

## 多項分布による敷地土地利用転換モデルに関する考察

1. はじめに
2. 敷地土地利用転換モデル
3. 敷地土地利用転換モデルの多項分布の確率ベクトル関数の推定
4. 確率に影響を与える敷地属性の選択
5. 確率ベクトルの推定に必要なデータ
6. 計算可能なデータ
7. 土地利用データ
8. おわりに

吉川 徹\*

### 要 約

本稿では、都市の土地利用変化をミクロに分析するための道具立てとして、敷地の土地利用転換を多項分布によってモデル化する方法について検討する。

このために、まず、敷地土地利用転換モデルを定式化する。続いて、このモデルの多項分布確率を推定する方法として、連続量である属性を離散化する離散化法と、筆者らの提案による土地利用構成比関数の推定手法を援用した構成比関数法を提案する。多項分布確率の推定にあたっては、重要な敷地属性を選択する必要がある。このための方法としては、離散化法において、赤池情報量基準に基づいた選択手法を定式化する。さらに、実際のデータから多項分布確率を計算する手法について検討する。最後に、敷地の土地利用が転換される前の土地利用が把握困難であることから、そのような土地利用データを使用した修正モデルについて検討する。

### 1. はじめに

本稿では、都市の土地利用変化をミクロに分析するための道具立てとして、敷地の土地利用の転換を多項分布によってモデル化する方法について述べる。なお、本稿は、岡部篤行（東京大学工学部都市工学科教授）と著者の共同研究のうち、著者の担当部分をまとめたものであり、吉川（1993b、1993c）、吉川（1994）の内容を加筆修

正したうえで、さらに新たな検討を加えたものである。

都市の土地利用変化の把握は、都市計画研究にとって大きな課題のひとつである。その例として、用途地域制による建物用途の制限が土地利用に及ぼす影響の研究が挙げられる（既往研究の詳細については吉川、1992によるレビューを参照されたい）。また、建蔽率規制、容積率規制、形態規制などの土地利用への影響や、区画整理などの都市基盤整備が行われた地域とそうでない地域とのそ

\* 東京都立大学工学部建築学科

の後の市街化過程の違いの研究も行われている（たとえば佐藤、1987）。

したがって、都市の土地利用変化をモデル化することには大きな意義があると考えられる。このための研究の代表例としては、地域全体のマクロな土地利用比率の変化をマルコフ過程としてモデル化する研究が挙げられる（たとえば、金ほか、1991、石坂、1992a、石坂、1992b、青木ほか、1994）。

一方、都市のマクロな土地利用比率の変化を引き起こす基本は敷地単位の土地利用の転換である。したがって、都市の土地利用変化のモデル化のためには、敷地の土地利用転換のモデル化が有用である。以降では、このモデルを敷地土地利用転換モデルと呼ぶ。

このための研究の先駆的な例として、大山（1989）の研究が挙げられる。この研究は、敷地単位の土地利用転換を個人データなしにシミュレートすることを目的としている。このため、渋谷区神山町を対象地域として、1967、1978、1988年の住宅地図をデータ化し、建物おのにおに建築面積、用途、近隣関係、街区内位置のデータを与えた。さらに1967-1978、1978-1988の2期間について、変化前と変化後の建物利用と変化前の属性データを分類し、その出現可能性などを加味しながら約20の変化のルールを作成した。そして、このルールを用いてシミュレーションを行なっている。大山（1989）は、この方法の問題点として、マイクロコンピュータによるデータ処理の限界、ルールの作成を人手に頼ることの限界を指摘している。

そこで、本論では、ルール作成によるのではなく、敷地の土地利用転換が多項分布確率に従っているとモデル化することによって、敷地土地利用転換モデルを作成することを検討する。

## 2. 敷地土地利用転換モデル

市街地がいったん形成されると、土地利用の転換は敷地を単位として行われる。これは、敷地そのものの変更（合併と分割）と、敷地の土地利用の転換に分けられる。まず、敷地そのものの変更

がないとして議論を進めよう。

おのおの敷地はその土地利用、規模、交通利便性、環境、都市計画規制、所有者の属性などのさまざまな属性を持っている。ここで、敷地*i*の時点*t*での土地利用以外の種類*j*の属性（たとえば最寄り駅までの距離）を $x(t, i, j)$ 、それをまとめた属性ベクトルを $\mathbf{x}(t, i)$ とする。また時点*t*での敷地*i*の土地利用を $U(t, i)$ としよう。この敷地が時点*t*以降のある時点*t'*にどのような土地利用を持っているかはあらかじめ予測できない。そこで、同じ条件の敷地を多く集めてきた場合には、その敷地はある確率で別の土地利用に転換されると考えてみよう。たとえば、時点*t*での土地利用が住宅であり、敷地面積が150m<sup>2</sup>程度、最寄り駅までの距離が450m程度、容積率が100%、建蔽率が50%の敷地を集めたとしよう。時点*t'*において、これらの敷地が確率85%で住宅のまま、確率10%で商店、確率5%で工場に転換されると考えるわけである（図1）。これは、敷地*i*の時点*t'*での土地利用が多項分布で決定されると仮定し、その確率ベクトルはその敷地の時点*t*での土地利用およびそのほかの属性の関数であると想定することに等しい。

このモデルでは、時点*t*で土地利用がuで他の属性ベクトルが $\mathbf{x}$ である敷地が時点*t'*には土地利用がu'になる確率を $p(u, u', t, t', \mathbf{x})$ と書けば、敷地*i*の時点*t'*での土地利用がu'になる確率は $p(U(t, i), u', t, t', \mathbf{x}(t, i))$ となる。これが敷地*i*

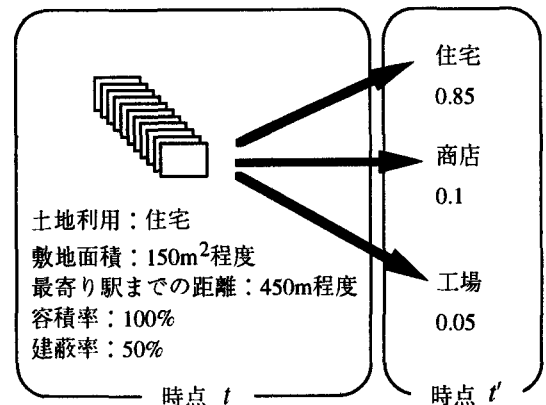


図1 多項分布による敷地土地利用転換モデル

の時点 $t'$ での土地利用を決定する多項分布の確率ベクトルの第 $w'$ 要素となる。

敷地が合併あるいは分割されることを考慮に入れた場合には、モデルを修正する必要がある。このうち、敷地の分割は比較的容易にモデルに組み入れ可能である。このためには敷地 $i$ の時点 $t$ での属性ごとに、時点 $t'$ においてその敷地が分割される確率および分割後の敷地の土地利用が $w'$ になる確率を与えればよい。一方、敷地の合併は、どの敷地とどの敷地が合併される可能性があるかが敷地の隣接関係（隣り合っているかどうか、合併後の敷地の形状が使い易いかどうかなど）に左右されると考えられるため、きわめてモデル化が困難である。ただし、一般的には既成市街地においては敷地の合併は分割に比較してまれであると予想されるので、分析目的によっては無視してもよいと考えられる。

### 3. 敷地土地利用転換モデルの多項分布の確率ベクトル関数の推定

敷地土地利用転換モデルの多項分布の確率ベクトル関数は、実際の対象地域での観測データから推定する必要がある。そこで推定方法について検討しよう。ここでは、土地利用区分として住宅、商店、工場の3種類があり、土地利用以外の敷地属性として、敷地面積、最寄り駅までの距離という連続量の属性と、用途地域、容積率、建蔽率という離散量の属性を考慮すると想定しよう。

推定方法としてまず考えられるのは、多項分布の確率ベクトルの属性に対する関数形を仮定して、そのパラメータを実際のデータから推定することである。たとえば、上記の属性リストのうち、連続量の属性の軸には指数関数などの連続関数形を仮定して、また離散量の属性の軸には何らかの離散関数形を仮定する。そして実際の観測データからその関数のパラメータを推定できれば、多項分布確率ベクトルの関数を推定できる。しかし、この関数形として妥当なものを仮定することはきわめて困難である。

したがって、関数形を仮定しない方が適切である。この方法として考えられるものは次のふたつ

である。第一は、面積などの連続量の属性を適当な境界値で区切って離散量の属性とする方法（以下では離散化法と呼ぶ）である。第二は著者らの提案した土地利用構成比関数の推定法（吉川、1993a）を修正適用する方法（以下では構成比関数法と呼ぶ）である。ここではこの両者の特質を比較しよう。

#### 3. 1 離散化法

離散化法による確率ベクトル関数の推定法は以下のとおりまとめられる。

連続量の属性の軸を適当な境界値で区切って離散量の属性にすれば、対象地域のすべての敷地は、時点 $t$ と $t'$ の土地利用と、そのほかの離散的な属性を持っていることになる。たとえばある敷地は、時点 $t$ の土地利用が住宅、時点 $t'$ の土地利用が商店、敷地面積が100~200 $m^2$ 、最寄り駅までの距離が400~600m、容積率が100%、建蔽率が50%という属性を持っている。

このとき、これらの敷地を、時点 $t'$ での土地利用以外の属性によるクロス表に分類しよう。たとえば、時点 $t$ の敷地属性が上記のとおりである敷地は、時点 $t'$ の土地利用にかかわらずこのクロス表のひとつの欄に分類される（図2）。こ

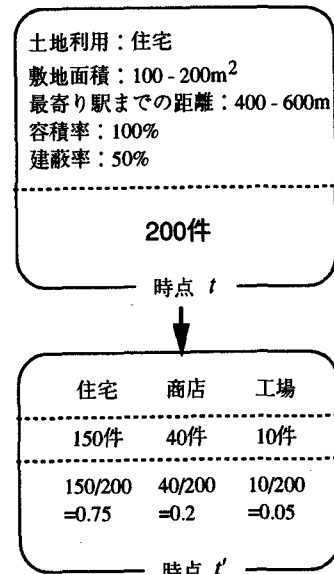


図2 離散化法による多項分布確率ベクトルの推定

の結果、この欄内の敷地の総数が200件となり、そのなかで時点 $t$ の土地利用が住宅のままであった敷地が150件、商店に転換された敷地が40件、工場に転換された敷地が10件であったとしよう。このとき、これらの件数を欄内の総件数で割った値をこの欄での敷地土地利用転換モデルの多項分布の確率ベクトルの推定値とみなすのが自然である。この例では確率ベクトル（住宅、商店、工場）は（0.75、0.2、0.05）となる（図2）。

### 3. 2 構成比関数法

構成比関数法による確率ベクトルの推定は以下のとおりにまとめられる。

まずはじめに対象地域の全敷地を時点 $t$ の土地利用を除く離散的な属性ごとに分類する。さらに、各々の分類内の敷地を連続的な属性を軸とした多次元グラフ上にプロットする。このとき、時点 $t$ の属性がわかるようにプロットの記号を変えておく（図3）。この図の例は、住居地域（容積率200%、建蔽率80%）の用途地域指定がなさ

れている地区で時点 $t$ での土地利用が住宅である敷地が時点 $t$ でどの土地利用を持っているかを、最寄り駅までの距離と敷地面積別に表示したものになっている。多項分布の確率ベクトルは、この図のあらゆる点に対して定義されている。

このベクトルを実際の点データから推定する方法としては、次のものが考えられる。たとえば、図3の点Aでの確率ベクトルの値を推定しよう。この時には、点Aの近くでは確率ベクトルの値は似ていると考えられるので、点Aでの確率ベクトルとして、その周囲にプロットされた敷地の時点 $t$ での土地利用の比率をとることが考えられる。このためには、点Aを中心にある半径の円を描き、円内（図3の影の部分）の敷地の土地利用構成比を確率ベクトルの推定値にすればよい。なお、連続量である属性の種類が多い場合には、円ではなく多次元超球を描くことになる。この方法は、前述のように土地利用構成比関数の援用になっているので、半径の決定の方法などについては（吉川、1993a）を参照されたい。

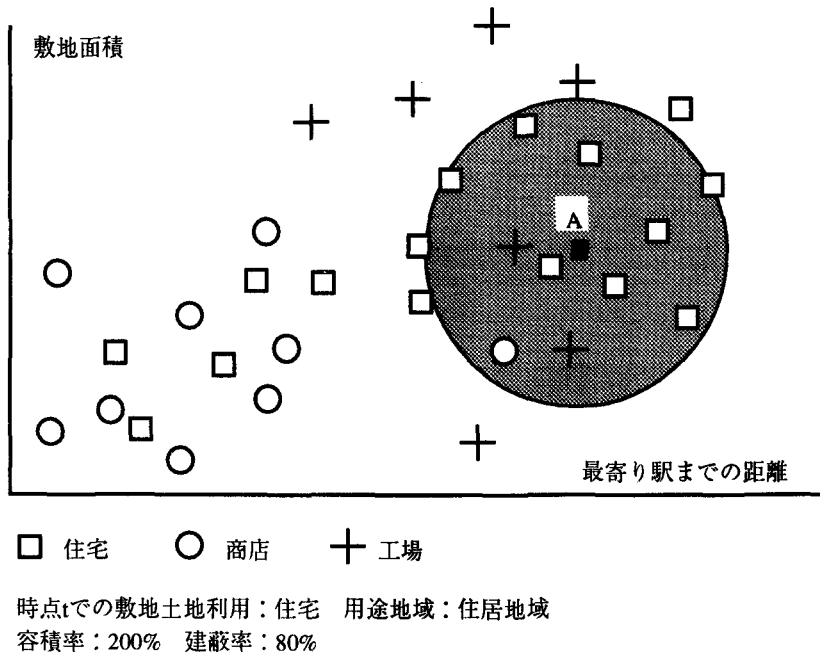


図3 構成比関数法による多項分布の確率ベクトルの推定

#### 4. 確率に影響を与える敷地属性の選択

多項分布の確率に影響を与える敷地属性としては、時点 $t$ での土地利用、敷地面積、最寄り駅までの距離、用途地域、容積率、建蔽率などのさまざまな候補が考えられる。実際にはそのうちのいくつかが重要であり、ほかのものはあまり影響を及ぼしていないであろう。したがって、多くの敷地属性の中から重要なものを選択する必要がある。このための方法を検討しよう。

上記3. 1の離散化法については、赤池情報量基準（坂元ほか、1983、p.92）を使用することによって重要な敷地属性が選択できる。

たとえば、前面道路幅員を敷地属性として採用すべきかどうかを検討しよう。検討法としては、前面道路幅員を考慮した確率ベクトルの推定値と、考慮しない推定値を両方とも計算して比較することが考えられる。後者は、前者のクロス表を前面道路幅員に関して集計して、より小さなクロス表を作成して、これから確率ベクトルを推定することによって得られる。実際のデータから両方の推定値を求めて、どちらがより良いかを判定できればよい。この問題は、多項分布確率を推定する際の分布の同一性の判定に帰着されるので、赤池情報量基準で判定できる。以上の議論を一般化すれば、離散化法において、確率ベクトルに影響を及ぼす敷地属性の候補のうち重要な属性を赤池情報量基準で選択できる。

ただし、この方法で判定できるのは、あくまで「ここで候補として挙げた敷地属性の範囲内で確率ベクトルを説明しようとするときに、どの属性を採用すべきか」である。たとえば、前面道路幅員が採用されたとしても、これが因果関係の存在を意味するものではない。また、時点 $t$ での土地利用、敷地面積、前面道路幅員という敷地属性候補群の中で前面道路幅員が採用されたとしても、建蔽率や容積率を含めるなど候補群を変えれば前面道路幅員が採用されないこともあることに注意しなければならない。

#### 5. 確率ベクトルの推定に必要なデータ

上記の敷地土地利用転換モデルの多項分布確率を実際のデータから推定するためには、対象とする市街地の敷地について、二時点 $t$ 、 $t'$ における土地利用のデータと、敷地土地利用転換に関連すると予想される敷地属性のデータが必要である。この敷地属性のデータとしては、用途地域、容積率、建蔽率（以上はゾーニングとしてまとめられる）、最寄りの基盤施設までの距離、前面道路幅員などが挙げられる。

#### 6. 計算可能なデータ

これらのうち、ゾーニングおよび最寄りの都市基盤施設までの距離は、地理情報システムなどを使用すれば次の方法で計算できる。

##### 6. 1 ゾーニング

各敷地のゾーニングの決定は、ゾーンの境界線と敷地の代表点のデータが与えられれば、計算幾何学での平面描画グラフに対する点位置決定問題に帰着され、効率よく計算できる（伊理、1993、p.88）。

##### 6. 2 最寄りの基盤施設までの距離

この計算方法は、基盤施設の地図上の形態によって異なる。

駅のように点で表される基盤施設の場合には、その基盤施設を母点としたボロノイ線図を構成することによって6. 1のゾーニングの決定と似た点位置決定問題に帰着できる（吉川ほか、1988）。このようなボロノイ線図に関する点位置決定問題の解法は岡部ら（1992、p.35）の記述を参照されたい。

幹線道路のように線で表される基盤施設までの距離は、基盤施設を線分の集合としてデータ化したうえで、線分に対するボロノイ線図を構成すれば、やはり点位置決定問題に帰着できる。ただし、線分に対するボロノイ線図は直線だけでなく放物

線を含むため(小久保、1985)、点位置決定アルゴリズムに工夫が必要である。簡明な方法としては、線分のポロノイ線図から放物線を取り除いた平面描画グラフに対して上記の点に対するポロノイ線図と同様に点位置決定を行い、当該敷地が放物線を取り除くことによって合併された領域内にあることがわかった場合にのみ、さらにその敷地が放物線のどちら側にあるかを判別する方法が考えられる。この判別は放物線をはさむふたつの基盤施設までの距離を計算すれば可能であるので、定数時間の時間で計算できる。したがってこの方法によれば点位置決定問題と同じ時間で計算が可能である。

公園などの面で表される基盤施設の場合には、その境界線を線的な基盤施設であると見なして計算すればよい。

## 7. 土地利用データ

一方、土地利用のデータは既存のものを使用するのが実際的である。しかし、敷地単位の土地利用データの入手は比較的困難であり、特に土地利用が転換される前の土地利用(従前土地利用)のデータを入手することは難しい。敷地土地利用転換モデルでは、住宅、商店などの従前土地利用ごとに敷地土地利用転換の多項分布確率を求めるが、入手の容易な土地利用データでは従前土地利用別に敷地を分類できないので、モデルの修正が必要になる。

そこで、比較的入手が容易な二種類の土地利用データについて、それを使用して敷地土地利用転換モデルを修正したモデルに基づいて分析する方法を検討しよう。

### 7.1 建築確認申請にもとづく分析法

建築確認申請はこれまでも敷地の土地利用転換の分析に使用されてきた(たとえば横屋ほか、1984)。このデータは敷地や新規立地建築物の属性が詳しくわかる利点がある。しかし、敷地土地利用転換モデルの計算にあたっては、従前土地利用がわからないという問題点と、調査期間中に

新・改・増築が行われなかった敷地の情報がわからないという問題点がある。2.の敷地土地利用転換モデルでは多項分布確率を推定するためにすべての敷地のうち調査期間中に土地利用が変化したものの比率を求める必要があるため、建築確認申請のデータからは確率を推定できない。このため、建築確認申請からモデルを構築するには2.のモデルを修正する必要がある。

修正モデルとしては、新規立地建築物がどの土地利用になるかが多項分布で決定され、その確率が敷地属性の関数になっていると想定するものが考えられる。このモデルでは、新規立地建築物の土地利用構成比が多項分布確率の推定値になるので、これが敷地の諸属性と関連があるかどうかを赤池情報量基準で調べればよい。

ただしこの方法は、変化しない敷地を無視するため、次の問題点が発生する(表1)。ある属性(たとえば敷地面積が150~200㎡、最寄り駅までの距離が400~600m、前面道路幅員が4~6m)を持った敷地が、第二種低層住居専用地域(二種低層)と第二種中高層住居専用地域(二種中高層)におのおの500件づつあったとしよう。このとき、二種低層の当該の敷地のうち20件に住宅、5件に商店が新規立地し、一方で二種中高層の該当の敷地のうち200件に住宅、50件に商店が新規立地したとする。この時、新規立地件数のうちの住宅と商店の占める割合は、おのおの0.8、0.2で両用途地域で等しい。したがって上記の修正された手法では多項分布確率の値は等しいと判断される。し

表1 建築確認申請にもとづく分析法の問題点の例

敷地属性 面積：150~200㎡  
最寄り駅までの距離：400~600m  
前面道路幅員：4~6m

二種低層：敷地総数500件	
新規立地住宅：20件	$20/(20+5)=0.8$
新規立地商店：5件	$5/(20+5)=0.2$
二種中高層：敷地総数500件	
新規立地住宅：200件	$200/(200+50)=0.8$
新規立地商店：50件	$50/(200+50)=0.2$

かし、当該敷地の総数に対する新規立地の割合は二種低層の方がはるかに低いので、変化しなかった敷地まで勘案すれば、二種低層の方が土地利用が転換されにくいと判断される。変化しなかった敷地が把握できない限りこの問題は解決できない。

## 7. 2 現存建築物の建築年次データによる分析法

地方自治体の中には、固定資産税課税のデータベースとして現存建築物とその建築年次のデータを保持しているところがある。このようなデータベースにおいても、現存建築物が建築される前の土地利用はわからないが、変化の生じなかった敷地の把握がある程度可能であるので、7. 1 に示した建築確認申請にもとづく分析方法より2. の敷地土地利用転換モデルに近い分析が可能である。この場合には、次のモデルによる分析が考えられる。

実際の敷地土地利用の転換は図4のようであったとしよう。この時、現存建築物とその建築年次がわかっているならば、図4の各敷地の土地利用に関する履歴のうち、図5に示す部分が把握できる。したがって、現在空地になっている敷地を除けば、すべての敷地を把握することが可能になる。ただし、期末 $t'$ 以降に土地利用転換があった敷地に

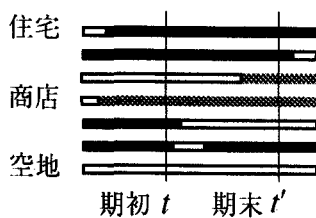


図4 敷地の土地利用の履歴

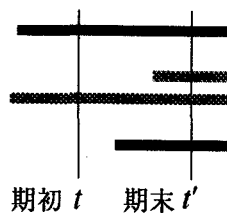


図5 把握可能な敷地の履歴

については、敷地の存在は把握できるが、期初と期末の土地利用は把握できない。

現存建築物とその建築年次のデータベースから多項分布確率を推定するためには、期末 $t'$ での建築物の総数に対する期初 $t$ から期末 $t'$ の間に立地したおのおのの土地利用の建築物の割合を、多項分布確率の推定値とすることが考えられる。

## 8. おわりに

本稿では、都市の土地利用変化をマイクロに分析するための道具立てとして、敷地の土地利用の転換を多項分布によってモデル化する方法（敷地土地利用転換モデル）について考察した。将来への課題としては、まず、構成比関数法における重要な敷地属性の選択手法の開発が挙げられる。また、7. 2 で述べた、現存建築物とその建築年次のデータベースから多項分布確率を推定する方法では、現時点で空地になっている敷地は把握できないので、2. のモデルに比べて、確率が若干過大になっていると予想される。この問題の解決も将来への課題である。

## 参考文献

- 1) 青木義次・永井朋子・大佛俊泰 (1994) 「遷移確率行列を用いた土地利用分析における誤差評価」、『日本建築学会計画系論文集』456、171-177。
- 2) 伊理正夫監修 (1993) 『計算幾何学と地理情報処理 第2版』共立出版、東京
- 3) 石坂公一 (1992a) 「土地利用遷移行列の分析手法に関する考察」、『日本建築学会計画系論文集』436、59-69。
- 4) 石坂公一 (1992b) 「首都圏における距離帯別の土地利用変化動向」、『日本建築学会計画系論文集』442、97-106。
- 5) 金俊栄・萩島哲・大貝彰・岩尾襄 (1991) 「土地利用遷移行列による都市の土地利用用途転換の分析」、『日本建築学会計画系論文集』424、69-78。
- 6) 小久保岩生 (1985) 『一般化 Voronoi 線図の構成算法の研究—特に線分の Voronoi 線図について』東京大学大学院計数工学専門課程修士論文
- 7) 岡部篤行・鈴木敦夫 (1992) 『最適配置の数理』朝倉書店
- 8) 大山俊雄 (1989) 「土地利用変化モデルに関する基礎的研究」、『日本建築学会大会学術講演会梗概集』F分冊、255-256。

- 9) 坂元慶行・石黒真木夫・北川源四郎 (1983) 『情報量統計学』、共立出版、東京
- 10) 佐藤宜秀 (1987) 「東京都区部における容積率規制の状況と都市基盤施設が及ぼす効果についての研究」、『日本都市計画学会学術研究論文集』22、451-456.
- 11) 横屋克昌・光吉健次・萩島哲・金南瑛 (1984) 「新建築物の立地動向からみた用途地域指定の効果に関する研究」、『日本都市計画学会学術研究論文集』19、427-432.
- 12) 吉川徹 (1992) 「ゾーニング規制の効果分析法」、『住宅政策理論と都市計画理論の連携のための基礎的研究 (日本建築学会建築経済委員会住宅問題小委員会平成3年度研究報告書)』43-53.
- 13) 吉川徹 (1993a) 「土地利用構成比関数：ミクロな土地利用混合を把握する一手法」、『GIS—理論と応用』1、109-119.
- 14) 吉川徹 (1993b) 「敷地単位の土地利用転換に着目したゾーニングの効果分析法」、『住宅政策理論と都市計画理論の連携のための基礎的研究—そのII (日本建築学会建築経済委員会住宅問題小委員会平成4年度研究報告書)』7-15.
- 15) 吉川徹 (1993c) 「敷地土地利用転換モデルによるゾーニングの土地利用規制効果分析法」、『日本建築学会大会学術講演会梗概集』F分冊、777-778.
- 16) 吉川徹 (1994) 「敷地土地利用転換モデルによるゾーニングの土地利用規制効果分析法—2. 敷地データと計算手法について」、『日本建築学会大会学術講演会梗概集』F分冊、543-544.
- 17) 吉川徹・岡部篤行・藤井明・及川清昭 (1988) 「基盤施設が都市活動の分布に与える影響を分析するための統計的手法」、『日本都市計画学会学術研究論文集』22、241-246.

#### Key Words (キーワード)

**Land Use** (土地利用)、**Lot Land Use Transition** (敷地土地利用転換)、**Multinomial Distribution** (多項分布)、**Akaike Information Criterion** (赤池情報量基準)



## A Stochastic Model of Lot Land Use Transition Based on Multinomial Probability Distribution

Tohru Yoshikawa\*

\*Department of Architecture and Building Science, Tokyo Metropolitan University  
*Comprehensive Urban Studies*, No.53, 1994, pp.113-121

The objective of this article is to propose a stochastic model of lot land use transition in order to analyze closely urban land use change. First, lot land use transition model is formulated based on multinomial distribution. In this model, the probability vector of the distribution is a function of various characteristics of lots, for example, zoning, area, the distance from the nearest railway station and so forth. Secondly, two estimation methods of the probability vector are formulated. Thirdly, a statistical method is proposed to select important lot characteristics among various ones based on Akaike Information Criterion. Fourthly, methods are formulated to calculate the characteristics of each lot with geographical information systems using algorithms of computational geometry. Lastly, a method is proposed to carry out the analysis based on imperfect land use information which lacks the preceding land use.