

非集計行動モデルに基づく土地利用モデルの構成*

—— 特に工業立地モデルを中心として ——

A Land Use Model Based on Disaggregate Behavioral Analysis
—— With emphasis on Industrial Location Model ——

宮本和明**・中村英夫***・増田博行****・清水英範*****

By Kazuaki MIYAMOTO, Hideo NAKAMURA, Hiroyuki MASUDA and Eihan SHIMIZU

A land use model is built for simple simulation with using personal computer. The model is mainly composed of three sub-models; industrial, residential and business location models. The former two are built based on disaggregate behavioral analyses according to their locational patterns. Their applicability in forecast of future land use change is debated by comparison with the aggregate model analysis. In this paper, the concept and estimation of the industrial location model is mainly described, and the results show good fitness.

1. はじめに

Lowry モデル以来、数多くの土地利用モデルが構築されてきているが、それらのほとんどは、いわゆる集計型のモデルである。一方、ここ数年、非集計行動モデルに基づく、住宅あるいは工業といった、個々の主体の立地を予測するモデル構築の試みがなされはじめている。しかし、このような土地利用予測における非集計行動モデルの適用可能性は、理論的にもまた実証的にもほとんど明らかにされていないのが現状である。そのため、非集計行動モデルに基づく都市的土地利用予測モデルに関しての、デー

タの入手可能性から予測精度に至る、一連の理論的また実証的な検討を行う必要がある。

また一方、従来の土地利用モデルのほとんどは、大型計算機によるシミュレーションを想定しているが、実際の都市における適用可能性、すなわち実行可能性を考えると、パーソナルコンピューター等の手近な計算機を用いたシミュレーションを可能にしておくことは重要である。特に、このことは、発展途上国において土地利用モデルを構築し、それを用いた政策評価シミュレーションを行うことを考えると、不可欠の条件と考えられる。そのためには簡潔なシミュレーションモデルの構築が必要であるが、非集計行動モデルは、モデルパラメーターの推定さえ行えば、後は、選択確率を用いての簡潔な予測モデルの構築が可能である。

以上のことから、本研究においては、非集計行動モデル、及びそのモデルを用いてのシミュレーションをパーソナルコンピューターにより行うシステム

*キーワード：土地利用モデル、非集計行動モデル、工業立地モデル

** 正会員 工博 東京大学講師 工学部土木工学科

*** 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科

**** 学生会員 東京大学大学院修士課程

***** 学生会員 工修 東京大学大学院博士課程

(〒113 文京区本郷7-3-1)

を実際に構築することにより、理論的また実証的にその適用可能性を検討することを目的としている。

なお、本研究は着手してから、まだ間もないことから、一応のモデル構築、及びその適用可能性の検討の枠組が出来ているに過ぎない。そのため、本稿においては、土地利用モデルの全体構成、及びそれを構成するサブモデルのうち、特に工業立地モデルを中心としたパラメータの推定結果と、さらに、非集計行動モデルの適用可能性の検討の枠組について報告するものである。

なお、本研究では、北海道開発庁の北海道総合開発計画における道央都市総合環境圏を対象地域としている。

2. 非集計行動モデルの適用上の問題と本研究における考え方

本研究においては、次節のモデルシステムの全体構成に示すように、工業、商業・業務、住宅の各立地サブモデルを構築している。そして、本研究においては、これらのサブモデルを以下のような考え方に基づいてそれぞれ構築している。まず、工業立地に関しては、その立地可能地が限定され、また、立地件数が少なく、いわゆる市場が成立しない立地パターンであることから、非集計型の分析が適していると考えられる。さらに、住宅立地に関しても、将来予測において世帯の構造変化が予測でき、それに伴う住宅選好が大きく変わることが予想されることから、それを表現できる非集計行動モデルに基づくモデルが適していると考えられる。また、以上の考察の他これらに関しては、必要なデータの入手が可能であることから、非集計行動モデルに基づいてモデル構築を行っている。それに対して、一般的に、商業あるいはサービスに対する需給関係から立地量が規定されるとみなせる商業業務立地に対しては、従来からの集計型のモデルを適用している。なお、広義には商業業務施設に分類される美術館等の公共施設や大学等の施設に関しては、本来は、工業立地と同様、非集計型の分析が適していると考えられるが、本研究においては、そのモデル化までは進めていない。

一方、非集計行動モデルを土地利用モデルに適用

する際の問題点はいくつか指摘されるが、その主なものは以下のようにあげられよう²⁾。

まず、第一に、膨大な選択肢が、しかも連続的な特性を有して分布し、また、その特性も極めて多様であるため、選択肢をいかに設定するかが問題となる。第二に、膨大な数の選択肢が存在し、それらの利用可能性に差が生じるため、選択肢集合の設定をいかに行うかが問題となる。第三に、選択肢間の類似度に大きな差があること、また、選択における識別が存在すること、さらに、選択構造に無視できない時間要素が存在すること等のため、選択確率の導出にそれらを考慮する必要がある。第四に、長期にわたる予測のための集計化方法、特に、将来の立地需要の社会経済特性別の予測や、立地用地の面積制約等を考慮した予測モデルの構築方法を作る必要がある。第五に、一般に土地利用分析の対象地域は広域にわたるため、データの入手可能性に問題があることから、その時間的、空間的移動可能性の検証が難しいことがあげられる。

これらのうち、第一から第三の問題に関しては、4. において、工業立地についての本研究での解決のための考え方を示している。また、第五に関しては、工業立地については、通産省の『工業立地動態調査』、住宅立地については、建設省の『住宅立地動向調査』を用いることから、原則として問題とならない。そこで、第四の問題点である集計化の問題を中心として、非集計行動モデルを用いた土地利用の将来予測における予測精度の問題についてここで触れることとする。

非集計行動モデルを用いた土地利用予測モデルのパラメータ推定から予測までの手順と、集計型モデルのそれを図1、図2に示す。これらの図から、非集計行動モデルの方が、誤差の生じる過程が明らかに多いことがわかる。これらの個々の誤差発生機構とその程度については、理論的、また、実証的に検討していかなければならない。ここで、言えることは、非集計行動モデルは、集計モデルに比べ多くの説明変数を取り込み、選択構造自体を明示していることでは、説明力が大きいはずであるが、その多くの説明変数がために、誤差の生じる過程が多くなるというトレードオフの関係が生じているということである。そのため、両モデルのどちらを適用するか

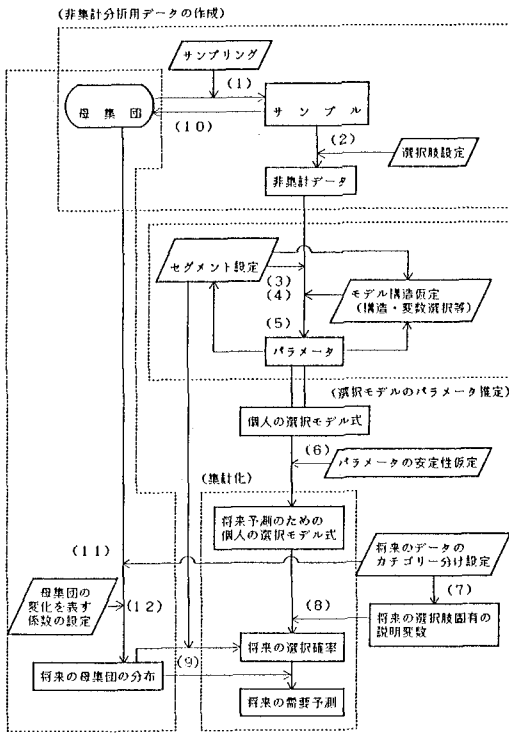


図1 非集計分析に基づく土地利用モデルによる予測のフローと発生し得る誤差

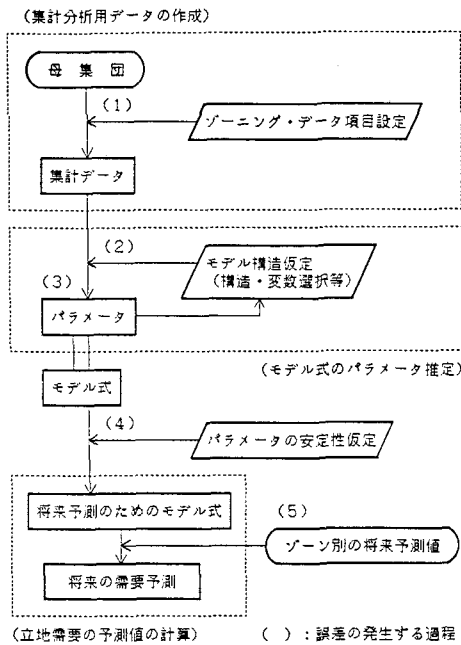


図2 集計分析に基づく土地利用モデルによる予測のフローと発生し得る誤差

は、先に述べた予測精度からの検討の他、モデルの利用目的を踏まえ、総合的に検討する必要がある。

本研究は、そのためのパイロットスタディーとしての目的を有しており、全体モデルの構築の後、これらの検討を行う予定である。

3. モデルシステムの全体構成

ここでは、対象地域内における将来の土地利用を予測するためのモデルシステムの全体構成について説明する。全体システムの構成は、図3に示すように、土地利用交通分析システム³⁾(CALUTAS)と基本的には同一であり、人口・生産額等の経済計画フレームや各種政策代替案を受けて、産業や住宅の市区町村程度のゾーンにおける立地を予測する『広域立地モデル』と、さらにその結果を受けて、各ゾーン内のメッシュ(約1km)における土地利用変化を予測する『局地立地モデル』から構成される。

広域立地モデルのためのゾーン分割としては、データの入手可能性とパラメータ推定のための必要サンプル数を考え、図4のように、対象地域の全ての行政区界による33市区町村を広域ゾーンとして設定している。なお、これらのゾーン面積は十分大きく、活動間の立地競争を明示的に考慮する必要はないと考えられる。そこで、全体モデルは、CALUTAS

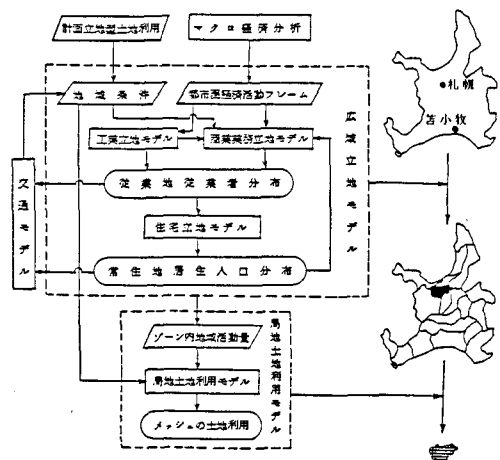


図3 全体システムの構成

4. 工業立地モデル

4. 1 モデル構築の考え方

ここでは、工業立地予測モデルの中心となる工業立地選好分析および、それに基づく将来予測の考え方を述べる。

本研究においては、基本的には、ネステッドロジットモデルによる分析に基づくモデルを構築しているが、将来予測においては、用地面積に基づく選択肢としての利用可能性或いは容量制約を、モデルに導入することを試みている。

工業立地をはじめとする土地利用の立地においては、交通機関選択問題等⁴⁾に比べ、選択肢の利用可能性或いは容量制約を明示的に考慮する必要がある。その一つの試みとして、効用のパラメータを推定する際に選択肢の利用可能確率をも同時に求める方法もあるが、数学的に非常に複雑となり実用性に問題がある。もう一つの試みは、林他のモデル⁵⁾による、立地可能用地の総面積の選択確率に及ぼす影響を考慮し、パラメータの推定においてはそれ自体を効用の説明要因のごとく扱う方法である。しかし、工場用地の面積は、将来予測における面積制約としては値が特定できるが、パラメータ推定時には、どれだけの利用可能面積があったのかを必要な精度内で把握することは、非常に困難である。そのため、本研究では、以下のようにモデル化を試みている⁶⁾。

まず、企業の工業立地選好の分析においては、分析に用いる選択肢の代替案として、その企業が確実に立地可能であった工業用地のみを取り上げ、用地面積の制約に基づく立地選好の歪みを取り除いている。そして、立地予測モデルにおいては、各工業用地の面積制約を明示的に取り入れて予測する方法を作り上げることにより、先に示した問題の解決を図っている。

また、工業立地選好のモデル化にあたっては、立地選択行動の違いに基づくセグメント分けによって別個の選択モデルを構築することが考えられる。しかし、ここでは、全ての業種の効用関数を一つの式で表現し、業種間の特性の差異をその式の中の説明変数によって表現することを試みている。これは、データ数が対象地域内で316件と少数であること

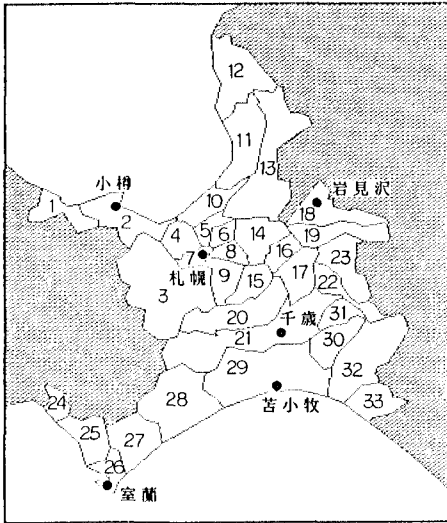


図4 対象地域のゾーン分割及びゾーン番号

と同様に、工業、住宅、商業・業務の各活動間にローリーモデル型の立地序列を仮定し、この仮定を繰り返すことにより、活動間の均衡した立地量を予測するシステムになっている。

ここで、立地序列の仮定は、均衡立地量を見出すための一つの計算手段ではあるが、一方、このようにサブモデルに分割し、モデル間のインターフェースを規格化しておくことにより、工業、住宅、商業・業務の各立地サブモデル単位に、他のモデルと交換することが可能となる。すなわち、各立地行動や都市形態、あるいは、モデルの利用目的に従って、それに適したモデルをサブモデル単位に変更することができるため、全体システムの他都市圏への適用可能性を高めるものと考えられる。本研究においても、工業および住宅立地モデルに関しては、非集計分析に基づく新しいモデルを構築しているが、住宅立地モデルについては、従来のモデルを簡略化したモデルも用意している。

局立地モデルについては、その性格上、活動間の立地競合が重要であり、これを考慮したモデル化手法を考えている。

このうち、広域立地モデルの各サブモデルが構築され、一応の再現性を確認しているが、本稿では特に工業立地モデルを中心として述べることにする。

から、セグメント分けが事実上困難であることによる。

業種分類は、CALUTAS と基本的に同様であり、計画的に立地すると考えられる基幹工業は分析対象から除外している。また、移転を伴わないで、増設を行った企業に関しては、立地選択行動が自由でないと考え、選好分析の対象から除外している。

なお、先に示した選択における識別の問題及び時間要素の問題については、ここでは期間内の需要が外生的に与えられるため、考慮していない。

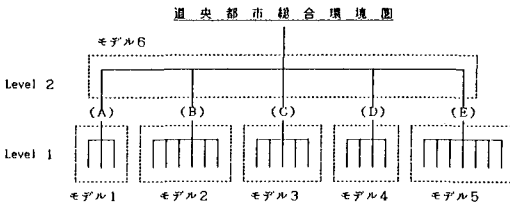


図5 設定した選択トリートリー

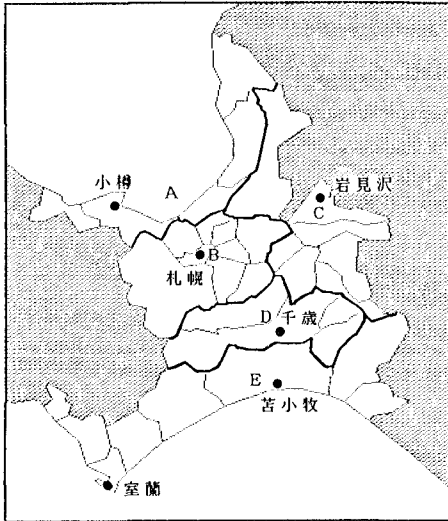


図6 対象地域の地域区分

表1 5地域の特性

地域名	地域特性
A	臨海型工業立地可能地域 小樽港・石狩湾新港を中心とする日本海沿岸地域
B	内陸地域 札幌市を中心とする市場近接地域
C	内陸地域 岩見沢市を中心とする産炭地周辺地域
D	内陸地域 千歳市を中心とする空港近接地域
E	臨海型工業立地可能地域 苫小牧港・室蘭港を中心とする太平洋沿岸地域

4. 2 選択モデル構造

非集計による工業立地選好分析用のモデルとしてはネステッドロジットモデルを用い、先に図4で示したゾーン区分に従って図5のような選択トリートリーを設定する。AからEの地域区分は図6に示す通りであり、各地域分割は、表1に示す特性を基準として行った。

4. 3 モデルの定式化

まず、以下のように記号を定義する。

k : 工場グループ (1, 2, ..., K-1)

i : 工業用地 (1, 2, ..., I)

Q_k : 1工場当たり敷地面積

D_k : 立地需要面積

N_k : 立地需要件数 ($N_k = D_k / Q_k$)

S_i : 工業立地が可能な部分の面積

π_{ki} : k の i の立地件数 ($\sum_i \pi_{ki} = N_k$)

P_{ki} : k が、用地制約のない場合において全ての工業用地の中から i を選択する確率。ネステッドロジットモデルを用いた立地選好分析から求められる。

$$(\sum_i \pi_{ki} = N_k)$$

そして、用地面積制約を考慮に入れるため $k = K$ として『空地』を工場グループの一つとして扱う。その際、他の制約がない場合『空地』が各工業用地に生ずる確率は、各工業用地の広さ S_i に比例すると仮定できることから、

$$P_{Ki} = S_i / \sum_i S_i \quad \text{----- (1)}$$

とおくことができる。また、『空地』の立地需要面積 D_K は、

$$D_K = \sum_i S_i - \sum_k \pi_{ki} Q_k \quad \text{----- (2)}$$

として求められ、その敷地面積 Q_K を単位面積とすることにより、

$$N_K = D_K / Q_K \quad \text{----- (3)}$$

となる。なお、各工業団地 i に対して

$$\sum_k \pi_{ki} Q_k = S_i \quad \text{----- (4)}$$

が成立し、これが用地面積の制約を明示的に表す式となる。

以上から、期間内で、最も生起し易い立地件数の組合わせ (π_{ki}) は、組合わせが生起する同時確率

を定義する(5)式を、用地面積制約を表す(6)式と立地需要件数を表す(7)式の二つの条件下に最大にするものと考えることができる。即ち、

$$L = \pi_k (N_k! \cdot \pi_l p_{kl}^{\pi_{kl}} / \pi_l \pi_{kl}!) \quad \text{----- (5)}$$

を、

$$S_l = \sum_{k=1}^K Q_k \pi_{kl} \quad \text{----- (6)}$$

$$N_k = \sum_{l=1}^L \pi_{kl} \quad \text{----- (7)}$$

の下に、最大にするものである。

4. 4 説明変数

モデルに用いる説明変数としては、工業立地動向の分析から表2に示す要因を採用する。即ち、まずAからEの5地域に配分するレベル2においては、レベル1の合成変数、域外市場への近接性、域内市場への近接性、地域間交通利便性、同業種集積度、及び地域指定を考える。次に市区町村単位のゾーンに配分するレベル1においては、現有労働力確保条件、地元性、地価負担力条件、用水条件、用地面積条件、高速道路への近接性、及び鉄道への近接性を考える。各々の要因を説明する変数としては表2に示したものを考え、分析による有意性の検討をおこなった。

4. 1で述べたような、業種間の特性の差を表現するために考慮した主な点は以下のとおりである。

レベル1

- 1) 地価負担力条件：単位面積当たりの業種別付加価値の導入により、地価負担力の差を表現する。
- 2) 用水条件：工業立地の予測の際に、業種別の平均用水量を用いることによって、用水量の差を表現する。
- 3) 用地面積条件：工業立地の予測の際に、業種別の平均敷地面積を用いることによって、用地面積の差を表現する。
- 4) 高速道路への近接性・鉄道への近接性：製品コストに占める輸送費用の割合による距離の重み付けにより、輸送費用負担力の差を表現する。また貨物駅への距離を、鉄道輸送依存率の高い業種にのみダミー的に入れることにより、鉄道輸送依存率型の条件の差を表現している。

表2 モデルに用いた要因及び説明変数

Level	要 因	説 明 変 数 (単位)	記号
1	現有労働力確保条件 地元性	移転元との距離 (道路時間距離) (分)	L
	地価負担力条件	地価/単位面積当たり付加価値額	C
	用水条件	用水量/未利用工業用水量	W
	用地面積条件	敷地面積-ゾーン別平均敷地面積 (ha)	G
	高速道路への近接性	高速道路I.C.への距離×輸送費用率 ¹⁾ (km)	T1
	鉄道への近接性	貨物駅への距離×輸送費用率 (km)	T2
2	レベル1の助用	合成変数 (A地域) " (B地域) " (C地域) " (D地域) " (E地域)	XA XB XC XD XE
	域外市場への近接性	重宝・特定重要港湾への距離×輸送費用率 (道路時間距離) (分)	T3
	域内市場への近接性	札幌市中央区への距離×輸送費用率 (道路時間距離) (分)	T4
	地域間交通利便性	空港への距離 (千歳市への道路時間距離) (分)	T5
	同業種集積度	業種特化率 ²⁾ (%)	GT
	地域指定	産業地域振興臨時措置法適用地域ダミー (適用地域に対して1, その他に対して0)	CD

1) 輸送費用率：製品輸送コストの製品コストに占める割合を%で表したものである

2) 業種特化率：次の式で定義する

$$GTn = Bn / \sum B_l$$

ここで

GTn : n業種のm地域における業種特化率

Bn : n業種のm地域における出荷額

$\sum B_l$: m地域における全業種の出荷額

レベル2

- 1) 域外市場への近接性・域内市場への近接性：レベル1と同様に、域外市場及び域内市場への距離に重み付けをすることにより、輸送費用負担力の差を表現する。
- 2) 同業種集積度：地域ごとの、業種による集積度の差を表現する。

4. 5 対象地域におけるパラメータ推定結果

分析には、昭和50年から57年に対象地域内に立地した工場、316件に関する工場立地動向調査票を用いている。

パラメータ推定の結果、説明変数としては、表2に示したもののうち、貨物駅への重み付き距離を除く全ての変数が有意であった。即ち、鉄道への近接性は大きな立地因子ではないと考えられる。

また、尤度比は6つのモデルに関して0.21～0.49であり、的中率は5.4% (6択)～8.9% (3択)であった。

推定結果の一例として、レベル1におけるB地域の結果及びレベル2の結果を、それぞれ表3、表4に示す。

4. 6 過去の工業立地の再現性の検討

以上で推定した選択確率をもとに、全サンプルの立地の再現性をテストした結果を図7に示す。この結果を見ると、かなりの程度、過去の立地行動を再現していると考えられる。

なお、テストの際には、工業立地の将来予測を行う場合を想定して、分析の際に用いた産業中分類の21業種分類を6業種分類に統合して行っているため、この結果には、その業種統合による誤差が含まれている。

表3 パラメータ推定結果（レベル1・B地域）

パラメータ	説明変数						推定値	t 値
	4 zone	6 zone	8 zone	9 zone	14 zone	15 zone		
A1	0	1	0	0	0	0	-2.291	-4.044
A2	0	0	1	0	0	0	-1.910	-3.471
A3	0	0	0	1	0	0	-3.183	-2.802
A4	0	0	0	0	1	0	1.277	1.693
A5	L	L	L	L	L	L	-0.097	-3.753
A6	C	C	C	C	C	C	-0.503	-1.739
A7	W	W	W	W	W	W	-39.488	-1.413
A8	G	G	G	G	G	G	-2.152	-4.223
A9	T1	T1	T1	T1	T1	T1	-0.019	-1.282

サンプル数 72：実際の地域別立地件数は、
4 zone (24), 6 zone (5), 8 zone (8)
9 zone (1), 14 zone (21), 15 zone (13)
尤度比 0.339
適中率 72.0%

表4 パラメータ推定結果（レベル2）

パラメータ	説明変数					推定値	t 値
	A地域	B地域	C地域	D地域	E地域		
A1	XA	0	0	0	0	0.058	2.735
A2	0	XB	0	0	0	0.037	1.606
A3	0	0	XC	0	0	0.260	2.886
A4	0	0	0	XD	0	0.091	0.508
A5	0	0	0	0	XE	0.012	1.011
A6	T3	T3	T3	T3	T3	-0.012	-9.508
A7	T4	T4	T4	T4	T4	-0.002	-2.424
A8	T5	T5	T5	T5	T5	-0.023	-5.075
A9	GT	GT	GT	GT	GT	0.017	1.988
A10	CD	CD	CD	CD	CD	1.463	5.680

サンプル数 316：実際の地域別立地件数は、
A地域 (105), B地域 (72), C地域 (50)
D地域 (42), E地域 (47)
尤度比 0.219
適中率 81.4%

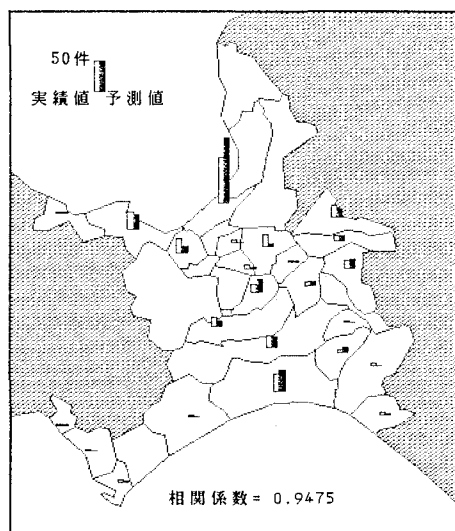


図7 立地再現性のテスト結果

4. 7 将来予測への適用の枠組

この選択確率をもとに、将来予測を行なう手順を図8に示す。図8の各原単位については、現在値あるいは各々に対する将来予測値を代入することになるが、それらの感度についても十分検討しておく必要がある。

5. おわりに

本稿は、非集計行動モデルに基づく土地利用モデルの構築及び、その適用性の検討、さらに、そのパーソナルコンピュータによる簡略なシミュレーションシステムの構築を目的に行っている研究の中間報告である。そのため、未だ、十分な結論が得られているとは言えないが、以上述べたように、工業立地モデルを中心とするサブモデルに関して、かなり再現性を有することが確認され、非集計行動モデルに基づく簡略な土地利用変化予測モデルの、一応の適用可能性が示されたと考えられる。1、2で述べた今後の研究、及び他のサブモデルに関しては、機会を見て報告していく予定である。

本研究は著者たちの他、東大大学院の佐田達典、八木茂樹両君との共同研究である。研究に際しての両君の貢献、特に工業立地モデルに関する八木君の

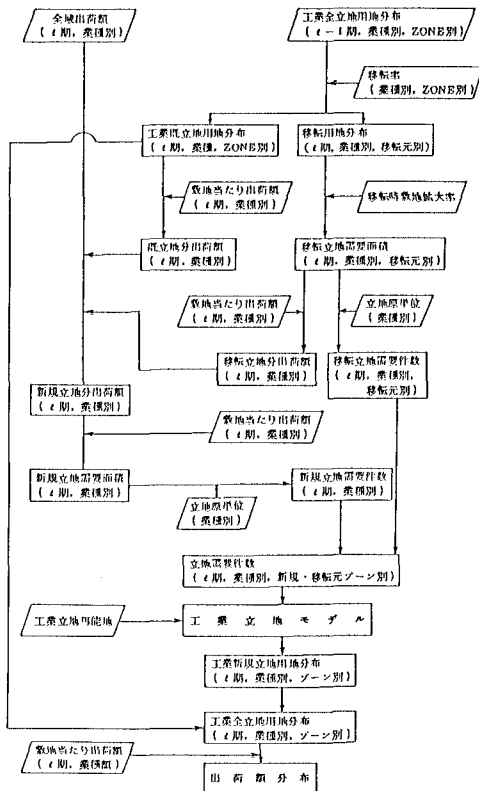


図8 非集計行動モデルに基づく
工業立地の将来予測のためのフロー

貴重な意見と計算処理に対して深謝の意を表する次第である。また、本研究は、中央大学鹿島研究室と共同で行っている研究の、我々の研究室分担分の報告である。研究に際しての鹿島茂助教授をはじめとする鹿島研究室諸氏の御協力に謝意を表する次第である。なお、データの入手に関しては、(財)産業研究所、建設省住宅局住宅政策課、通産省立地公害局立地指導課の御協力を頂いたことを記し、謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 北海道開発庁：新北海道総合開発計画, 1978年.
- 2) 宮本：土地利用モデルへの非集計分析手法の応用, 第18回土木計画シンポジウム, 1984年.
- 3) 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, No.335, 1983年.
- 4) 宮本・宮地：非集計型住宅タイプ選好モデル, 都市計画別冊, 17, 1982年.
- 5) 林・磯部：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, No.1, 1984年.
- 6) 宮本・松井：非集計分析に基づく工業立地予測モデル, 第39回土木学会年次学術講演会講演概要集, 1984年.