

福山大学工学部紀要  
第2号 1980年3月

## ローリー型人口配置モデルの諸改良\*

近藤 勝直\*\* . 米谷 栄二\*\*

### Possible Improvements of the Lowry-Type Activity Allocation Model

Katsunao KONDO & Eiji KOMETANI

#### ABSTRACT

This paper is concerned with possible improvements of the so-called Lowry Model. Original Lowry Model has been recognized as a transport-related land-use model and therefore has been often used in transportation planning. However, the equations and causal structure of his model are now fairly biased from the present urban activity pattern. Therefore we discuss the way of improvement from the several points of view as follows: (1) concepts of potential and equilibrium of locations, (2) entropy-maximizing residential location model, (3) concept of intra-zonal distance, (4) iterative process of calculation, and (5) time-lag model of retail allocation.

#### 1. はじめに

都市圏における交通計画の策定にあたっては適確な交通需要予測が前提となるが、このためには、まずもって対象都市圏の将来の諸活動の水準、すなわち夜間人口や従業者の配置などの諸量を予測する必要がある。通称ローリーモデ

ルは、こうした交通体系を組込んだ土地利用モデル (Transport Related Land-Use Model)

＊本研究は昭和54年度文部省科学研究費の補助を受けている研究課題「都市高速道路の経済効果と便益帰属に関する研究」の成果の一部である。

の代表的なものとして従来から認識されてきている。簡明なる因果構造を骨組みに持つこのモデルは、その理解容易性と操作性の点で広く応用されてきているのであるが、当初 Ira. S. Lowryが対象とした米国ピッツバーグ都市圏の都市構造と今日のそれ、そして特に日本の都市構造とは大いに差異があり、この状況を反映すべく、いままでにも多くの改良がなされてきている。本稿ではそれらをふり返りながら、同時に残されたあり得べき改良点について考察を加えるものである。まず最初に Original なモデルにおける基本的概念についてレビューし、次いで可能な改良方法について検討を加えてみたい。なお、ローリーモデルの概略は本稿末尾の Appendix を参照されたい。

本稿の構成は以下のとおりである。

1. はじめに
2. ポテンシャルと立地均衡
3. 世帯配置式の再検討
4. 内々距離算定法
5. 収束プロセスと収束回数
6. 企業規模と商業立地パターン
7. おわりに

Appendix : ローリーモデルの基本的構造

## 2. ポテンシャルと立地均衡

ローリーモデルの根幹をなす概念が「ポテンシャル」概念と、各活動主体の立地行動がいずれ「均衡」という均衡概念である。この両者は実は切っても切れない深い関係にあるのであるが、いままではこのことについては余り多くが語られて来なかった。上記2概念は何の疑問もなく、いわば自然に受け入れられてきたように思われるのである。この両概念は本節の後段で連結されることになるが、まず最初は、ポテンシャルの概念について検討を加えてみたい。

ポテンシャルの概念、これはローリーモデルにおいて世帯や従業者を各ゾーンに配置させる役割を担っているのであるが、従来から万有引力公式へのアナロジーから誘導したもの、あるいはその改良形などが用いられてきている。ここでは、まず最も基本に立ち返り、ニュートン力学の万有引力場の「ポテンシャル」の紹介か

ら始める。

質量  $m_1$  の質点と質量  $m_2$  の質点に作用する万有引力は

$$F = -k \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.1)$$

ここに、 $r$  は2点間距離、 $k$  は比例定数である。定義により

$F = -\text{grad } U = -\text{grad } U(r)$  (2.2) を満足するスカラー関数  $U = U(r)$  がポテンシャル (potential) であるから、

$$\frac{\partial U}{\partial r} = \frac{dU}{dr} = k \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

となる。上式を積分して、 $r = \infty$  で  $U = 0$  となるようにポテンシャルの基準を定めると、ポテンシャルは

$$U = -k \frac{m_1 m_2}{r} \quad (2.3)$$

と求められる。そして、これはエネルギーの単位を持っている。

いま、我々が対象としている都市平面上の立地パターンの諸変量は離散的に取扱ってよいから、例えば、 $i$  ゾーンのアクティビティ量を  $A_i$ 、 $j$  ゾーンのアクティビティ量を  $A_j$ 、 $i-j$  間距離を  $t_{ij}$  とする時、そして、各アクティビティは各ゾーンの中心に集中しているものとの仮

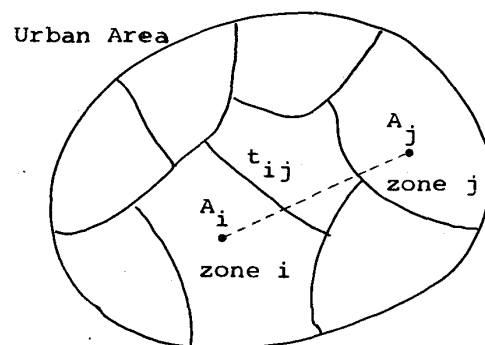


Fig. 2-1 : Zoning, Activities and Distance in Urban Space

定を置けば、(2.3)式のスレートなアナロジーにより、ポテンシャルは

$$U_{ij} = k \frac{A_i A_j}{t_{ij}} \quad (2.4)$$

と計算されよう。負符号は省略、 $k$ は比例定数 (unknown)。

いまゾーン数を  $n$  とすれば、 $i$  ゾーンに関連するポテンシャルの合計は

$$U_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n U_{ij} = k A_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{A_j}{t_{ij}} \quad (2.5)$$

となる。この (2.5) 式は、従来まで紹介されてきたものと少し違う。それは  $A_i$  項を含んでいることと、シグマ記号の中には  $i$  ゾーンは加算されていないことである。この方式によれば、後節 4. で議論する内々距離の問題は避けて通ることができる。従来のモデルでは自ゾーンの影響を考慮する為に無理矢理  $t_{ii}$  を定義したり、又は、全く自ゾーンを省略するといった暴挙も存在したものであった。蛇足ながらローリーモデルのポテンシャル式は以下のとおりである。

$$U_i = k \sum_{j=1}^n \frac{A_j}{t_{ij}} \quad (2.6)$$

(2.5) 式を少しく拡張してみると、各変数に「べき数」を付けることは許されよう。厳密な力学モデルに制約される必然性はないし、何よりも実証的テストが可能となるようなフレキシブルなモデルの方がベターであるからである。すれば (2.5) 式は

$$U_i = k A_i^\alpha \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{A_j^\beta}{t_{ij}^\gamma} \quad (2.7)$$

ここに  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  は実証的に定めるパラメータ、主として規模の効果を表現するパラメータである。 $k$  は  $\sum_{i=1}^n U_i = 1$  を保証する役目。(2.6)

式と (2.7) 式のいずれがベターであるかは勿論、実証的に比較検討されなければならないが、(2.6) では内々距離を内包している点、(2.7) では  $A_i^\alpha$  が積の形で入っていることの利害得失が、それぞれ適用対象に応じてまた予測ツールとして用いる時には、将来の傾向を先取りする能力があるか否か等々が問題とされなければならないであろう。(2.7) 式

を用いる場合に注意すべき事項は、 $A_i$  項が積の形で内包されている点であり、もし従業者数が  $A_i = 0$  であるようなゾーン  $i$  があれば (それは純住宅地域などの場合)、ポテンシャル  $U_i$  は 0 となり、実情にそぐわないものとなる。実際は世帯数が 0 であるようなゾーン (例: 埋立工業地帯など) は存在しても、 $A_i = 0$  となるようなゾーンは、よほどゾーニングを細かくしないかぎり生起し得ないから問題とはならないが、理論的には問題が残るであろう。また、もう 1 つ注意する必要がある点は、 $A_i$  が極度に大きい値を持つゾーンであるにもかかわらず、実際に世帯立地量が極めて少ないゾーンである。大都市の CBD 地区などがそのケースに相当するが、昼間の従業者数は他のゾーンより大きく抜きんでているにもかかわらず、夜間人口は極度に減少するといった、職住分離度のはげしいゾーンでは、 $A_i$  項が積の形で入っているため、ポテンシャル  $U_i$  は非常に大きく算定されてしまう。この点の改良がなされれば実用に耐え得るモデルになろう。

ここで気付いた点を列挙してみると、まず (2.7) 式で  $A_i = 1$ 、すなわちポテンシャルを求めたいゾーンのアクティビティ量を unity (一種の単位質量に相当) と置いてみると、これはハンセンのポテンシャル概念に一致する。また (2.7) 式においては「規模の効果」を減殺させる、すなわち規模による通減効果を、 $A_i^\alpha$  に期待するために  $0 < \alpha < 1$  のように  $\alpha$  値をセットすることも考えられよう。また、(2.7) 式を回帰分析にかけて、パラメータ  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  を決定することも考えられる。ここでは以上の諸点を提起するとどめ、分析は別の機会にゆずりたい。

さて、ポテンシャルの概念は上のように理解されるにしても、均衡概念についてはやや事情を異にしている。ローリーモデルでは、Appendix や第 5 節で紹介するように、Basic Employment の配置量を与件として、以下の収束過程に連動され、そのプロセスが均衡したところでモデル計算は終了する仕組みである。したがって、Basic Employment 配置時点を 0 とし、均衡時を収束回数  $k$  で表わすとき、モデル上では  $k$  回

の収束計算に対応する“時間”がもし分れば、現実との対応がつくことになるが、それでも実際には、Basic雇用量も毎年変化しているので問題は一層複雑である。というのは、このモデルを実績データで検証するとき、実績データの時制と計算値の時制を、いかなる根拠で、どのように一致させるか、ということが本来は非常に注意深く検討されなければならない。しかしローリーのオリジナルなモデルにおいては、この均衡は瞬時に達成されることが仮定されている。しかし、先述したようにこの仮定は、現実からは乖離しているのであるから、この仮定をゆるめた何らかの改良が考えられないであろうか。しかし、この収束過程に“時間”を導入することは本質的に困難であろう。そこで本稿では次のような一つの試案を提示するにとどめたい。

ローリーのオリジナルなモデルでは、Retail Employmentを派生させて従業者数を算定する際、常に総従業者数という形での取扱いがなされてきたのに対し、一方で増分の雇用量だけを漸次配置させてゆくという方法もあり得る。この両法のちがいを図2-2(a), (b)に示す。

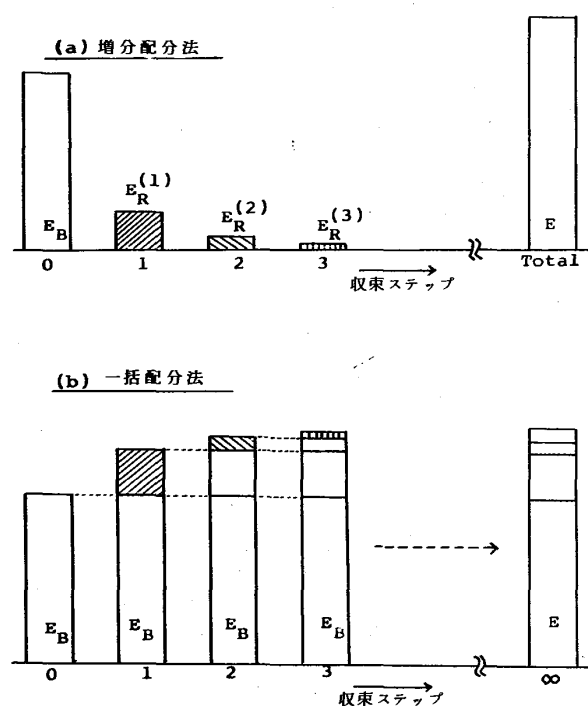


図2-2：収束過程と派生雇用量

ところが、ポテンシャル式として、いかなる式を想定するにせよ、実績値を均衡値（又は収束値）としてみなして、それとモデル値（計算値）とを適合させる方法によってしか、形を特定できない以上、そうして特定化した式は、本来かなり収束値の近傍の、換言すれば、かなりハイ・オーダーの雇用量に対し、フィットするように求められたものである。したがってロー・オーダーの値に対して、これを用いると当然バイアスが生ずるということである。その意味では、一括配分（ケース(b)）の方がバイアスが小さいものと想定される。一方、ケース(a)の場合は、その考え方に合理性はあるものの、反復計算の過程でバイアスを生じることは避けられない。ケース(a)については、どのステップでもバイアスを生じないような、例えば全ステップ共通のポテンシャル関数、又はステップの進行につれて配置量の規模が小さくなってゆくのであるから、その進行度に応じて規模の効果を減殺させるような方式のポテンシャル関数が想定されれば好ましいであろう。

### 3. 世帯配置式の再検討

ローリーモデルの世帯配置式は非常に簡単な構造を有しており、使い易さという利点はあるものの、とても現在の複雑な住宅立地行動を反映しているとはいえない。これを改良する方法はいくつもある。例えば第2節(2・7)式で紹介したように分母子に沢山のパラメータを用意しておき、これらを実証的に決定するのも一法である。こうすれば現況再現の精度は向上するであろう。しかし、これでは余りに説得性を欠く。何か理論的裏付けの確かな方法が必要である。なんとなれば将来予測が目的であって、現況再現の精度向上はいつてみれば第2義的な事柄に属するからである。もともと、このモデルは1960年代初頭の米国ピッツバーグ都市圏に適用すべく開発されたのであって、当時は1点集中の単純な求心構造を説明できれば十分であった。しかし今日ではドーナツ化、郊外化という現象に加え、副都心も形成され、広域的には多極型の都市構造が現出しつつある。従来の一点集中型モデルではもはや対応しきれなく

なっているのである。本節では、とりわけ「通勤ODパターン」をうまく反映するような居住立地モデルを考えてみることにする。

いま既知の情報は、総人口  $N$ 、ゾーン  $j$  の従業者数  $E_j$ 、ゾーン間距離  $t_{ij}$ 、そして距離パラメータ  $r$  としよう。以上はローリーモデルの前提と同じである。ここで、さらに追加的な情報として、ゾーン  $i$  の居住魅力度なる概念を導入し、これを  $w_i$  と表わす。これはゾーン  $i$  の居住容量、可住面積、可住住宅数、可住部屋数等を含む概念であるとしておく。この時、我々はゾーン  $i$  からゾーン  $j$  へ通勤するトリップの先験確率を次のような重力型式に仮定することができよう。

$$P'_{ij} = a w_i E_j t_{ij}^{-r} \quad (3.1)$$

(ここに  $\sum_{ij} P'_{ij} = 1$ )

この時、確率的にみて最も生起し易いトリップの分布パターンは、エントロピー法の考え方から、次の問題の解で与えられる。

$$\text{Max } \frac{E!}{\prod X_{ij}!} \prod (P'_{ij})^{X_{ij}}$$

$$\text{Sub. to } \sum_i X_{ij} = E_j$$

ここに  $\sum E_j = E$ 。  $X_{ij}$  は  $i$  から  $j$  への通勤トリップ数、いい替えれば、ゾーン  $i$  に住んでゾーン  $j$  で働いている人の数である。この問題の解は、

$$X_{ij} = E_j \frac{w_i t_{ij}^{-r}}{\sum_k w_k t_{kj}^{-r}} \quad (3.2)$$

で与えられる。交通研究者にとってはなじみのある型である。この (3.2) 式を用いて我々はゾーン  $i$  の就業者数を計算できる。すなわち  $L_i$  を就業者数として

$$L_i = \sum_j X_{ij} = \sum_j \left( E_j \frac{w_i t_{ij}^{-r}}{\sum_k w_k t_{kj}^{-r}} \right) \quad (3.3)$$

さらに世帯数は扶養率 (就業者 1 人当り世帯数)  $f$  を乗ずれば求められる。 ( $N_i = f L_i$ )。

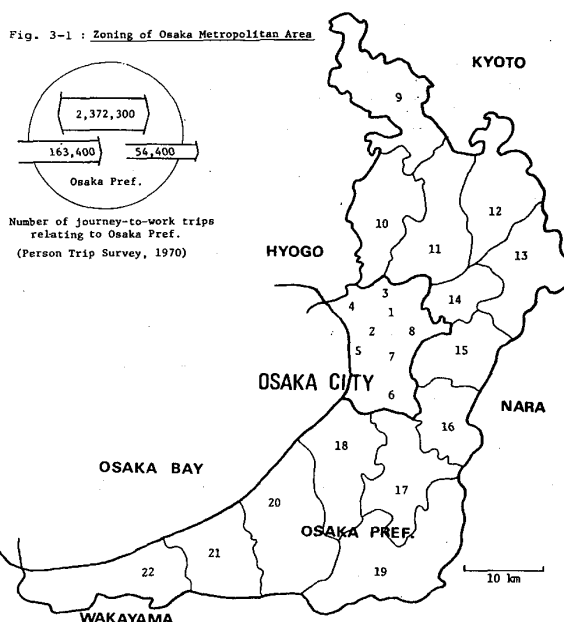
したがって、我々は各ゾーンの居住魅力度  $w_i$  を決定できれば、通勤のODパターンを反映した世帯立地量を計算できることになる。現況の居住魅力度  $w_i$  の値は、(3.3) 式の左辺の  $L_i$  に現況値を代入し、次のように変形を加え、これを  $w_i$  に関する連立方程式とみなして、繰返し計算で求めればよい。

$$w_i = L_i / \sum_j \left( E_j \frac{t_{ij}^{-r}}{\sum_k w_k t_{kj}^{-r}} \right) \quad (3.4)$$

大阪府 22 ゾーンについて居住魅力度の計算値  $w_i^*$  と可住部屋数  $C_i^*$  との相関 (線型回帰) を調べたところ、1965 年で  $r = 0.95$ 、1970 年で  $r = 0.94$ 、1975 年で  $r = 0.95$ 、と良好な結果を得ている。

Fig. 3-1 に大阪府のゾーニング図を、Fig. 3-2(a), (b), (c) に回帰分析の結果を示す。(ただし図 3-2 における  $w_i^*$ ,  $C_i^*$  の値は全ゾーンの平均値が 1 となるように、それぞれ基準化されている。)

したがって、将来の住宅量、団地計画などが所与となれば、回帰式より  $w_i$  を決定し、(3.3) 式をローリーモデルに組込むことによって、より精度の高い世帯配置量を計算できるものと思われる。



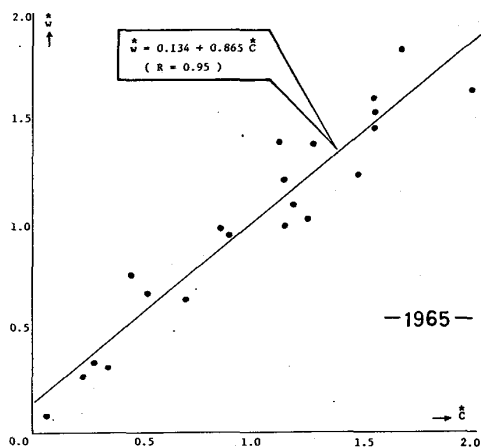


Fig. 3-2(a) : Correlation between  $\hat{w}$  and  $\hat{c}$

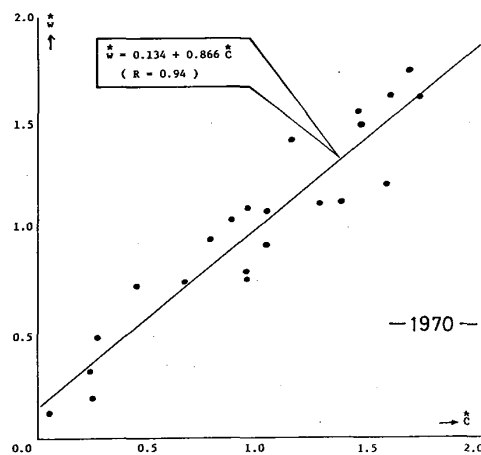


Fig. 3-2(b) : Correlation between  $\hat{w}$  and  $\hat{c}$

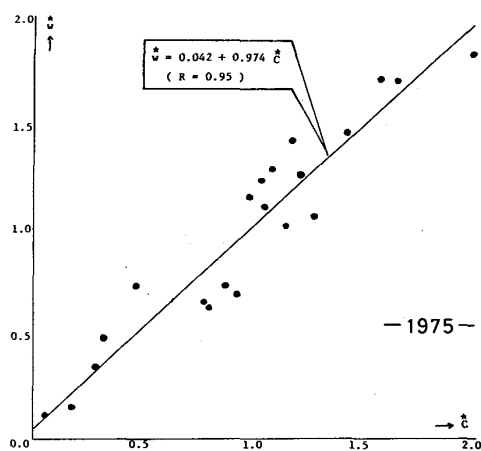


Fig. 3-2(c) : Correlation between  $\hat{w}$  and  $\hat{c}$

#### 4. 内々距離算定法

ローリーモデルをはじめとするアクセシビリティ型の人口配分モデルないしは分布交通量推計におけるゾーン内々交通量の推計にあたっては、何らかの方法でゾーン内々距離を決定する必要に迫られる。ゾーン内々距離の算定および計測についてはいくつかの定義式があるもののどれもみな明確な理論的根拠に乏しいように思われる。たとえば  $t_{ii} = (1/3) \times \text{Min}\{t_{ij}\}$  なる方法や、また実際のトリップデータからその平均トリップ長を計算してみるのも1法であろう。しかし、後者の方法では莫大なトリップ調査費用を要するのに加え、そのようにして求められた  $t_{ii}$  が人口配置モデルの内々距離に対応するかどうかは一考を要しよう。精度を上げ得る保証もない。

一方で、アクセシビリティ式に自ゾーンの影響を考慮しない方法（ハンセンのアクセシビリティ）、したがって内々距離を用いずにすむやり方や、分布モデルについては、内々交通量を内々距離以外の変量で説明する方法なども存在する。後者の観点は目下の対象外であるが、前者については、自ゾーンの影響を全く考慮に入れないというのは少しく無理であろう。職住遠隔化の傾向がみうけられるにしても、内々交通量のウェイトの大きさから判断すると、やはり何らかの形で、“内々距離”に相当する概念を作成する必要に迫られるのである。本節では、とくにローリーモデルの世帯配置式を対象にして、内々距離なる概念について考察してみたい。

周知のようにオリジナルなローリーの世帯配置式は

$$N_i = g \sum_j E_j / t_{ij} \quad (4.1)$$

で表わされる。ここに  $N_i$  は第  $i$  ゾーン人口、 $E_j$  は第  $j$  ゾーン従業者数、 $t_{ij}$  は  $(i, j)$  間距離である。パラメータ  $g$  は  $\sum_i N_i = N$  (総人口) を保証する。

したがって、より実用的に書くと

$$N_i = N \frac{\sum_j E_j / t_{ij}}{\sum_k \sum_j E_j / t_{kj}} \quad (4.2)$$

となる。以下では距離パラメータとしての  $\gamma$  を導入し、次のように書くことにする。

表4-1 備後都市圏各都市の内々距離

$$N_i = N \frac{\sum_j E_j / t_{ij}^\gamma}{\sum_k \sum_j E_j / t_{kj}^\gamma} \quad (4.3)$$

$t_{ii}$	1.福山市	2.井原市	3.笠岡市	4.府中市	5.神辺町	6.新市町	7.尾道市	8.向島町	9.三原市	10.御調郡	11.沼隈郡
0.75	.7901	1.8671	.5987	1.1622	.5939	1.1352	.7337	1.1283	.72	1.107	1.746
1.00	.7709	1.444	.4604	1.0214	.557	1.0135	.676	.921	1.155	.700	1.116
1.25	.7264	.8037	.377	1.039	.455	.861	.637	.72	.74	.575	.836
1.50	.641	.544	.291	.923	.204	.576	.37	.314	.46	.25	.36

さて、もし (4.3) 式が現況の人口分布  $N_1, N_2, \dots, N_n$  ( $n$ : ゾーン数) を完全に説明しているとするならば、 $N_i, N$  に現況値 (実績値) を代入し、かつ簡単のために  $P_i = N_i / N$  なる配分率を使って、(4.3) 式は内々距離  $t_{ii}$  のみに関する連立方程式として取扱うことができる。もちろん、 $t_{ij}$  ( $j \neq i$ ) なるゾーン間距離は、ゾーン中心間距離等の方法でもって計測済みであるとする。(4.3) 式について、 $t_{ii}$  を明示的に分離して書くと、

$$\begin{aligned} E_i / t_{ii}^\gamma + \sum_{j \neq i} E_j / t_{ij}^\gamma \\ = P_i \left( \sum_{k \neq i} \sum_j E_j / t_{kj}^\gamma + \sum_j E_j / t_{jj}^\gamma \right) \end{aligned} \quad (4.4)$$

したがって、(4.4) 式は  $t_{ii}$  に関する連立方程式となるので、これを解くために次のように変形し、繰返し計算によって求めることになる。

$$t_{ii} = \sqrt[\gamma]{E_i / \{ P_i (\sum_{k \neq i} \sum_j E_j / t_{kj}^\gamma + \sum_j E_j / t_{jj}^\gamma) \}} \quad (4.5)$$

収束判定は次式により行なう。

$$\begin{aligned} |t_{ii}^{(l)} - t_{ii}^{(l-1)}| / t_{ii}^{(l-1)} \leq \epsilon \\ \text{for all } i \end{aligned} \quad (4.6)$$

以上の算定式を用いて、実際に備後都市圏の市町村を対象として、内々距離を算定してみた。ゾーン間距離としてはゾーン中心 (市町村役場) 間主要道路距離を用いた。 $\gamma$  については 0.25 ~ 3.0 について 0.25 きざみで計算を行った。

この表からわかる主要なことは、まず、①行政上の「市」であるゾーン 1, 2, 3, 4, 7, 9 については  $\gamma = 1.00$  のところで  $t_{ii}$  がピーク値をもっていること、②他の「町」や「郡」では  $\gamma$  が大きくなるにつれて  $t_{ii}$  の値が減少してゆくこと、などである。そして大勢としては  $\gamma$  が大きくなるにつれて  $t_{ii}$  は減少してゆくようである。これらの特徴をいかに解釈すべきであろうか。すなわち、 $\gamma$  が大きいということは、空間的な行動が距離に対して鋭敏であること、いいかえると距離抵抗を負担に感ずるわけであるから、「内々距離」という通常「短い」距離がより短く評価されて算出されてきたということになる。一方、行政上の「市」は  $\gamma = 1.00$  でピークに達するが、他はそうではない。これに対し早急な結論を出すのは差し控えるべきであろう。同一都市圏での時系列データについての検証、また他都市圏との比較検討をまっしてから判断されう。さらにこの計算内々距離がどういう要因で説明可能なのかということもまた今後の課題である。ゾーン間距離については従来の方法で問題はないものと思われるが、内々距離については、モデルの精度の死活を握っているとも言えるほどに鋭敏な影響をアクセシビリティに与えるので、この面での改良は、土地利用モデルに限らず、OD分布モデルにおいても見逃されてはならないだろう。土地利用モデルにおいて「内々距離」の持っている意味は「職場と同じゾーンに住むことの抵抗感を表すメジャー」なのであるから、これを念頭に置いた要因分析から出発するのが自然であろう。

なお、大阪府 22 ゾーン (Fig. 3-1 参照) を対象として、本計算法により内々距離を逆算した結果を Table 4-2 に示す。

Table 4-2 : Intra-zonal Distance and Household Location

(Osaka Pref., 1975)

zone	(A)	(B)	(C)	(D)
1	687,357	10.30	23,116	74,925
2	470,246	6.21	118,366	95,587
3	231,710	6.10	118,780	101,587
4	194,028	4.44	75,969	69,653
5	159,708	3.40	94,874	89,857
6	162,030	2.22	177,134	169,176
7	307,235	3.59	150,752	128,733
8	178,601	2.83	147,602	134,659
9	3,385	2.75	3,901	10,012
10	142,912	2.14	184,149	185,938
11	166,530	2.30	179,177	175,455
12	79,274	2.10	100,119	112,041
13	84,777	2.00	114,981	131,010
14	190,046	2.43	182,075	170,195
15	253,792	2.68	195,074	179,828
16	119,652	2.44	110,443	116,861
17	77,760	1.99	105,621	125,119
18	233,581	2.40	221,599	208,511
19	19,641	2.34	23,787	38,327
20	141,277	2.47	121,609	119,978
21	61,006	2.64	47,516	51,150
22	31,021	2.34	30,559	38,552
Total	3,995,569	-	2,527,203	2,527,203

Note : (A) Actual Distribution of Employments  
(B) Calculated Intra-zonal Time Distance  
(C) Actual Distribution of Households  
(D) Calculated Distribution of Households

距離にかかるパラメータは  $\gamma = 2.0$  を想定している。さらに Table 4-2 には、使用したデータのうち、昭和 50 年度大阪府各ゾーンの従業者数、実績世帯数、そして計算内々距離を用いた場合の計算世帯数が一括して掲げられている。本来ならば、実績値＝計算値となるべきところであるが、大阪市内 C B D ゾーンは昼夜の流入差が極端に大きく、モデルの要求する「職住近接の構造」にフィットしないため、連立方程式を満足する正の解がなく、止むなく近似解を用いる結果となったことによる。市内ゾーン、とくに Zone 1, 2, 3 などはいかなるモデルでもその乖離を説明することは容易でないだろう。人口が減少している特異なゾーンであるからである。これは今後の大きな課題の 1 つである。規模の効果を減殺させる方法、制約条件で上限をセットする方法、等々バラエティのあるアプローチが待たれるところである。実用的には、過大評価分を他のゾーンに再配分するのが安全であるだろう。（なお上記大阪府のケースにつ

いては、大阪府全域を closed urban system として取扱っている。したがって、実績世帯数は実績雇用量に対応するものとみなしている。）

## 5. 収束プロセスと収束回数

ローリーモデルは、まず都市圏全域での Basic Sector 雇用者数  $B$  を与件とし、その世帯が空間的に配置され、それに応じて Retail Sector の雇用  $R$  が派生するというサイクリックな因果構造を有している。したがって、ゾーン別の配置量を捨象すれば、全域での雇用量、世帯数は前もって計算することができる。

いま、収束計算のステップを  $l$  で表わすと、第  $l$  ステップ目の総従業者数、総世帯数、Retail Sector 第  $k$  グループ総従業者数などは次のように書くことができる。

$$E(l) = R(l) + B \quad (5.1)$$

$$N(l+1) = f \cdot E(l) \quad (5.2)$$

$$R(l+1) = e \cdot N(l+1) \quad (5.3)$$

$$R^k(l+1) = e^k \cdot N(l+1) \quad (5.4)$$

ここに  $f$  は扶養率 ( $f = N/E$ )、 $e^k$  は Retail Sector 第  $k$  グループの雇用率 ( $e^k = R^k/N$ )、 $e = \sum e^k$  である。いま (5.1) ~ (5.4) 式を級数として取扱えば、

$$\begin{aligned} E(l) &= B \{ 1 + cf + e^2 f^2 + \dots + e^l f^l \} \\ &= B \frac{1 - e^l f^l}{1 - ef} \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$N(l) = B \frac{1 - e^l f^l}{1 - ef} f \quad (5.6)$$

$$R^k(l) = B \frac{1 - e^l f^l}{1 - ef} f e^k \quad (5.7)$$

ここで定義により  $ef < 1$  であるから

$$\begin{aligned} (\because ef &= (\sum e^k) \cdot f = \frac{R}{N} \cdot \frac{N}{E} = \frac{R}{E} \\ &= \frac{E - B}{E} < 1) \end{aligned}$$

(5.5) ~ (5.7) 式はいずれも  $l \rightarrow \infty$  で収束し、次のように求められる。

$$E = \frac{B}{1 - ef} \quad (5.8)$$

$$N = \frac{Bf}{1 - ef} \quad (5.9)$$

$$R^k = \frac{B f e^k}{1 - ef} \quad (5.10)$$

ところで、実際にモデルを稼働させる場合には



計算過程が繰返し計算となるため、適当なところで収束判定を行って、計算を打切る必要がある。では一体、どれくらい収束回数を繰返せばよいであろうか。ここでは、総従業者数  $E$  についての増分がある値以下となれば、それ以降の増分をゼロと見なし得ると考えて、収束回数を求めてみよう。

その場合、まず次のことに留意する必要がある。

- 〔1〕絶対誤差で考える場合：許容誤差を  $\varepsilon a$  とする。
  - 〔2〕相対誤差で考える場合：許容誤差を  $\varepsilon r$  とする。
  - 〔3〕 $\Delta E(l) = E(l) - E(l-1)$  について判定する場合。
  - 〔4〕均衡値  $E^q$  との乖離、すなわち  $\Delta E^q(l) = E^q - E(l)$  について判定する場合。
- 以上の4条件を組み合わせてみると、表5-1のような4ケースを調べれば十分である。

表5-1：検討する4ケース

	$E(l)_{vs} E(l-1)$	$E^q_{vs} E(l)$
絶対誤差 $\varepsilon a$	ケース (i)	ケース (iii)
相対誤差 $\varepsilon r$	ケース (ii)	ケース (iv)

ケース (i) :

$$\Delta E(l) = E(l) - E(l-1) = B e^{l f} l \leq \varepsilon a \quad (5.11)$$

$$\therefore l \geq \frac{\log(\varepsilon a / B)}{\log ef} \quad (5.12)$$

ケース (ii) :

$$\frac{\Delta E(l)}{E(l-1)} = \frac{B e^{l f} l}{B(1 - e^{l-1 f} l - 1)/(1 - ef)} \leq \varepsilon r \quad (5.13)$$

ここで  $e^{l-1 f} l - 1 = x$ ,  $ef = g$  とおけば (5.13) 式は

$$\frac{g^x}{(1-x)/(1-g)} = \frac{g^x(1-g)}{1-x} \leq \varepsilon r$$

したがって、これを整理すれば、

$$(\varepsilon r + g - g^2) x \leq \varepsilon r$$

さらに

$$x = g^{l-1} \leq \frac{\varepsilon r}{\varepsilon r + g - g^2}$$

となり、結局

$$l \geq \log\left(\frac{\varepsilon r}{\varepsilon r + g - g^2}\right) / \log g + 1 \quad (5.14)$$

ケース (iii) :

$$\Delta E^q(l) = E^q - E(l) = \frac{B e^{l f} l}{1 - ef} \leq \varepsilon a \quad (5.15)$$

$$\therefore l \geq \log \varepsilon a B(1 - ef) / \log ef \quad (5.16)$$

ケース (iv) :

$$\frac{\Delta E^q(l)}{E^q} = e^{l f} l \leq \varepsilon r \quad (5.17)$$

$$\therefore l \geq \log \varepsilon r / \log ef \quad (5.18)$$

以上を整理すると、各ケースの最低収束計算回数はそれぞれ表5-2のようになる。

表5-2：収束計算の最低回数

$(l \geq)$	$E(l)_{vs} E(l-1)$	$E^q_{vs} E(l)$
絶対誤差 $\varepsilon a$	$\frac{\log(\varepsilon a / B)}{\log g}$	$\frac{\log \varepsilon a B(1 - g)}{\log g}$
相対誤差 $\varepsilon r$	$\frac{\log\left(\frac{\varepsilon r}{\varepsilon r + g - g^2}\right)}{\log g} + 1$	$\frac{\log \varepsilon r}{\log g}$

(ここに  $g = ef$ .)

いま、最も簡単なケース (iv) について、阪神地区のデータで試算してみると、

$$B = 3,330,122 \text{ (人)}$$

$$g = ef = \frac{E - B}{E} = \frac{1,709,978}{5,040,100} = 0.33927$$

を用いて

$$\varepsilon r = 1/100 \text{ (1\%の誤差)} \text{ で } l \geq 5$$

$$\varepsilon r = 1/1,000 \text{ (0.1\%)} \text{ で } l \geq 7$$

$$\varepsilon r = 1/10,000 \text{ (0.01\%)} \text{ で } l \geq 9$$

$$\varepsilon r = 1/100,000 \text{ (0.001\%)} \text{ で } l \geq 11$$

となる。したがって10回も計算を繰返せば、ほぼ収束したと判断してよいことがわかる。これは非常に有益な情報である。なぜなら、プログラム上では10回程度の計算ループを設定しておけば良いことはもちろんのこと、Retail Sectorの派及効果が10回ほどで終焉するこ

とを意味しているからである。次節でも考察するように、Retail Sectorの立地について、タイムラグを考える際の目安に出来るわけである。

## 6. 企業規模と商業立地パターン

Retail Sectorは通常、対象都市圏における立地パターンの差異を考慮して、複数のグループに分けられている。しかし、同一のグループの中でも企業規模によっても立地パターンが異なるであろう。本節では、企業規模（正確には事業所規模）に着目して、立地のタイムラグを考慮に入れようとするものである。

いま、都市域に商業部門が立地する際、企業規模が異なることによって、立地プロセスの各段階で配置されていく量が異なるであろうと考え、立地プロセスの進行度に応じた各企業規模の構成率を決める方法を考えてみよう。立地プロセスの初期の段階、すなわち各ゾーンとも従業者ならびに世帯の配置量が少ないときには、主として零細・小規模の商業主体が立地し、次第に都市が発展し、人口密度が増えていくにつれ、中・大規模の商業主体の参入を招き、結果として零細・小規模の構成比は減少してゆくであろう。この関係をモデルに組込むことができれば、よりダイナミックな商業動態、商業再編成を反映した立地モデルを構築できるであろう。

そこで、各ゾーンごとの企業規模別構成比を縦軸に、従業者密度を横軸に描いた図が図6-1である。対象都市圏は大阪府全域と兵庫県臨

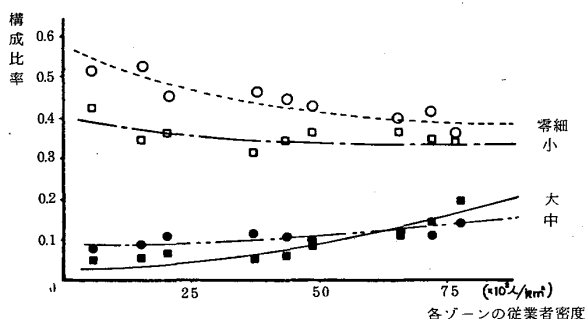


図6-1：グループ1の  
企業規模構成比率

海部である。これをみると明らかなように、従業者密度が小さいゾーンでは零細・小規模企業の構成比が高く、密度が大きくなるにつれ大・

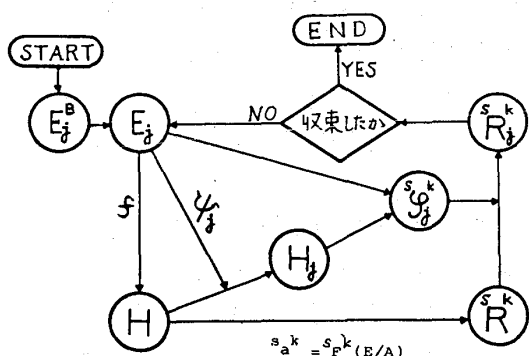
中規模の比重が漸増してきていることが分る。ここで用いた企業規模分類は、0～4人を零細、5～29人を小、30～99人を中、100人以上を大規模としている。なお以下の分析で用いる業種分類は入手データの制約から、産業大分類によるものとし、グループ1には卸売・小売業、グループ2には金融・保険・不動産業・運輸・通信業、グループ3にはサービス業がそれぞれ含まれている。

図6-1のような企業規模別構成比曲線を各グループ各規模について曲線回帰した結果が表6-1に示されている。各グループとも規模の

表6-1：グループ別・企業規模別  
構成比曲線の最良回帰式

1 零細	$Y = 0.4369 e^{-0.0028 X}$
1 小	$Y = 0.1141 X^{-0.5} + 0.3426$
1 中	$Y = 0.0002 X + 0.0956$
1 大	$Y = 0.0006 X + 0.0693$
2 零細	$Y = 0.1005 X^{-0.5} + 0.0757$
2 小	$Y = 0.3106 X^{-0.2} + 0.2000$
2 中	$Y = -0.04925 X^{-1.3} + 0.2931$
2 大	$Y = -0.2747 X^{-0.3} + 0.4388$
3 零細	$Y = 0.2952 e^{-0.0014 X}$
3 小	$Y = -0.0246 X^{-0.3} + 0.3535$
3 中	$Y = 0.0803 X^{-0.4} + 0.1614$
3 大	$Y = 0.0003 X + 0.1633$

小さいときには曲線回帰となっているが、規模が上昇するにつれ直線回帰へと移行していることがよくわかる。Fig. 6-2には上記の構成比曲線をローリーモデルに組み込んだ場合の各変量の因果関係、計算のプロセスが示されている。関数Fは具体的には表6-1のように各グループ、各規模に対して定義される。また雇用率 $s_a^k$ については、各規模のシェアの合計が1になるように調整したものを用いる仕組みになっている。さらに表6-2には構成比曲線導入前後のモデル計算値の現況実績値との適合度が検討されている。



where  $E^B$ : basic employment,  $E$ : total employment,  
 $H$ : household,  $S_R^k$ : retail employment of  
 group-k/size-s,  $\psi_j$ : potential of household,  
 $S_j^k$ : market potential of group-k/size-s in  
 retail sector,  $s_{rk}^k$ : ratio of retail employment  
 to households,  $s_{rk}^k$ : share-density function,  
 and  $j$  denotes zone number.

Fig. 6-2: Causal and Iterative Structure of the  
 Improved Lowry Model including Establishment  
 Size-Share Function

表 6-2: モデルの適合度の検討

注) 各欄上段 相関係数 下段 残差平方和

	導入前	導入後
世帯部門	0.9234 $0.1485 \times 10^{-2}$	0.9311 $0.1342 \times 10^{-2}$
グループ1	0.8555 $0.8532 \times 10^{-2}$	0.9001 $0.6124 \times 10^{-2}$
グループ2	0.8171 $0.1558 \times 10^{-1}$	0.8567 $0.1239 \times 10^{-1}$
グループ3	0.8948 $0.4546 \times 10^{-2}$	0.9075 $0.4002 \times 10^{-2}$

世帯部門についてはさほど改善されたとは言いがたいが、Retail Sectorについては明確な改善効果が現われている。しかし、全体的にみてまだまだ改良の必要性がありそうである。前節までに紹介してきたように、世帯部門については種々の改良方式が検討されているが、このRetail Sectorについてはまだかなりの改善策があり得るであろう。今回は省略したが産業分類の問題、すなわち立地パターンに応じた業種分類の在り方、企業の系列化と事業所の関係、商業再編成、各種店舗規制法、生産機能と管理

機能の分離、Basic産業との区別等々、産業組織論や経済構造論の分野からのアプローチの援軍を得て、よりダイナミックなモデルが追求されることが期待される。また、よりミクロにはゾーン間距離(とくに内々距離)などは世帯部門と同じものである必要は全くないので、これも検討の余地があろう。

## 7. おわりに

ローリーモデルは因果構造の簡明さと、その操作性の点で、この種のモデルとしては最もポピュラーなものとなっているが、それだけにさまざまな改良や修正が加えられてきている。今回は言及しなかったが、ローリーモデルには数本の制約条件がセットされており、それらを修正しようとする試みもいくつか存在する。しかし、筆者らは、制約条件はローリーモデルにとって本質的なものとは考えないという立場に立つがゆえに、主としてポテンシャル概念や、収束計算プロセスの方に重きを置いた改良を加えてきた。考えられるいくつかの改良方式の中には全て同時に適用可能というわけに行かないものもある。対象地域、予測期間等々、ケース・バイ・ケースで使い分けられるべきであろう。しかし何といたってもモデルの生命は、第2節や第3節で紹介したポテンシャルに基づく人口配置式にあることは間違いなく、これについての理論的かつ実証的なアプローチがさらに期待される。

最後に、本研究の遂行に際し、阪神高速道路公団：道路経済効果研究会主査 佐佐木教授(京大)、小野助教授(大阪府立大)、西井助手(京大)の諸先生から有益な刺激を受けた。ここに記して謝したい。

## 《参考文献》

- Lowry, I. S.: A Model of Metropolis, RAND Corporation RM-4035-RC, 1964.
- 西本勝之: 「一般力学」, 森北出版, 昭和37年.
- Wilson, A. G.: Generalising the Lowry Model, paper in Urban and Regional Planning, ed. by A. G. Wilson, Pion, 1971.

4. Hansen, W. G. : How Accessibility Shapes Land Use, Jour. of Ame. Inst. of Planners, May 1959.
5. Kondo, K. and Sasaki, T. : Some Aspects of Entropy—Maximizing Distribution Model and its Application to Land—Use Model, Proc. of the ITE Conference in Tel Aviv, Dec. 1978.
6. 近藤・門田：アクセシビリティ型人口配分モデルの内々距離算定法，土木学会年講概要集（Ⅳ—118），昭和54年10月。
7. 阪神高速道路公団経済効果研究会：昭和52年度報告書，昭和53年度報告書，昭和54年度報告書（近刊）。
8. 西井和夫・近藤勝直：企業規模を考慮した商業立地モデル，土木学会土木計画学研究発表会論文集，昭和55年1月。

#### Appendix : ローリーモデルの基本的構造

ローリーモデルは原則的に域外との交流はない地域，つまり閉じた都市圏を対象とする。そして圏域内での活動する様々な主体を

- (1) 基礎的産業部門 (Basic Sector)
- (2) 非基礎的産業部門 (Retail Sector)
- (3) 世帯部門 (Household)

の3主体に統合し代表させそれぞれの立地選定行動をつうじて，都市内の土地利用パターンを分析する。このモデルは，都市内各ゾーンにおける土地利用パターンを決定するために必要な世帯及び従業者の分布を表現する。つまり，ローリーモデルにおいては各ゾーンの活動水準は世帯数と従業者数によることになる。

(1)の基礎的産業部門はモデルにおける対象圏域の社会的経済的規模のみによって決定されるのではなく，地方的あるいは国家的なより広い地域の活動水準によって規定されてくる産業部門である。具体的には製造業，卸売業，中央行政官庁，大病院などがあげられる。

非基礎的産業部門は地域産業部門 (Retail Sector)ともよばれ，地域住民に第一義的に関係する産業によって構成される。

同じ非基礎的産業部門に含まれるものでも，立地に際しては異なる行動をとるものがあるの

で，一般にいくつかのグループに分類して扱われる。実際にあてはまる業種としては，各種小売業，および各種サービス業が考えられる。この部門の立地場所，立地量はモデルにおいて基礎的産業部門，世帯部門に依存して内生的に決められる。

世帯部門は基礎的産業部門および非基礎的産業部門に雇用された従業者と世帯をさしている。またこの部門は非基礎的産業部門への需要をつくり出す部門でもある。世帯の立地選定行動は従業地へのアクセスのみを要因としてモデル内で決定される。

実際にローリーモデルを適用する場合，各部門の立地に対する論理的因果関係を以下に示す。

(1) 都市地域をいかなる活動主体も存在しない“空”なる所とみなす。

(2) 都市地域を地方的・国家的なトータルな社会・経済システムのサブシステムと考えトータルなシステムにおいて決定された規模で基礎的産業部門の，従業者および面積を都市地域をいくつかに分割したゾーンに先験的に与える。

(以下，従業者，世帯の分布はゾーンに対して考える。)

(3) 基礎的産業部門の従業者が，各々の職場の周辺に分布し，その産業への労働力を供給する。

(4) 基礎的産業部門の従業者および世帯の需要に応じて，非基礎的産業部門の立地が派生し，さらにその従業者が各ゾーンに配置される。

(5) 非基礎的産業部門の従業者の世帯が，各々の職場の位置に応じて地域に分布する。

(6) 非基礎的産業部門の世帯のいわば付加的な世帯の分布によって世帯部門の総数と分布状態が変化し，それによって新たに必要となる非基礎産業部門の従業者が分布する。

(7)，(5)と(6)の繰り返しによって非基礎的産業と世帯の分布と規模が安定するまで行なう。

(1)～(7)の関係を図A-1に示す。

ローリーモデルは11の連立方程式と3つの不等式で構成される。

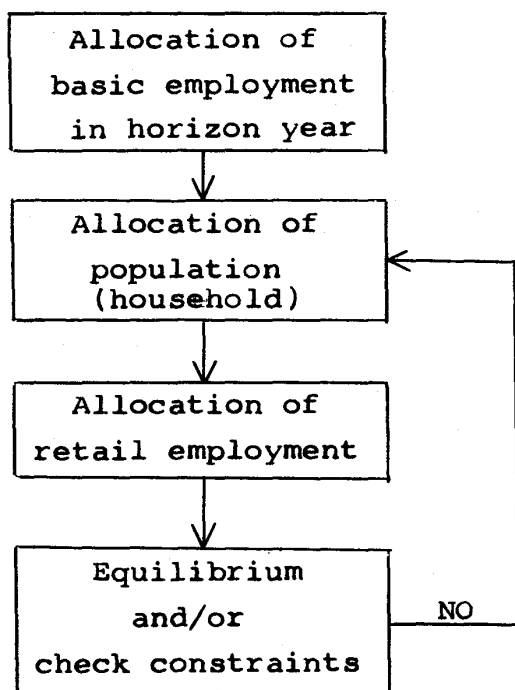


Fig. A-1 : Causal Structure of the Lowry Model

全世帯数  $N$  が与えられれば非基礎的産業第  $K$  グループに必要な従業者数は,

$$E^k = a^k \cdot N \quad (A.1)$$

で与えられる。  $a^k$  は非基礎的産業第  $K$  グループの 1 世帯あたり必要な従業者数であって雇用率ともよばれる。

「市場としての可能性の強さ」を表わす指標としてマーケットポテンシャルを導入し、各ゾーンのグループ  $K$  のマーケットポテンシャルを次のように定義する。

$$\phi_j^k = b^k \left[ \sum_{i=1}^m \frac{x^k N_i}{D_{ij}^{\alpha_k}} + y^k E_j \right] \quad (A.2)$$

$$\sum_{j=1}^n \phi_j^k = 1 \quad (A.3)$$

ゾーン  $i$  がゾーン  $j$  のマーケットポテンシャルに与える影響はゾーン  $i$  の世帯数  $N_i$  とゾーン  $j$  に職場をもつ従業員数  $E_j$  とゾーン  $i, j$  間の時間距離  $D_{ij}$  によって決定される。  $x^k, y^k$  は世帯数と従業員数との相対的重みであり、全

ゾーンに関して一定とする。

各ゾーンの非基礎的産業部門グループ  $k$  の従業者数  $E_j^k$  は全従業者  $E^k$  をこのマーケットポテンシャルの比で分けることによって求められる。

$$E_j^k = \phi_j^k E^k \quad (A.4)$$

式 (A.1) ~ (A.4) は  $m$  個のグループについて計算され、ゾーン  $j$  の総従業者数  $E_j$  は基礎的産業部門と非基礎的産業部門の従業者数の和となり,

$$E_j = E_j^B + \sum_{k=1}^m E_j^k \quad (A.5)$$

で表わされる。

都市地域の全世帯数  $N$  は、全従業者数の  $f$  倍とすれば,

$$N = f \sum_{j=1}^n E_j \quad (A.6)$$

となる。(  $f$  は扶養率ともよばれ、従業者ひとりあたり何世帯を扶養するかを表わす。 )

この世帯数を各ゾーンに振り分けるために世帯ポテンシャルを定義する。

$$\phi_j = g \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{D_{ij}^{\beta}}$$

$$\sum_{j=1}^n \phi_j = 1 \quad (A.7)$$

各ゾーンにおける世帯数  $N_j$  は式 (A.7) を用いて,

$$N_j = \phi_j \cdot N \quad (A.8)$$

で決定される。

( 以上では、本質的でない方程式や不等式は省略している。 )