



Title	交通工学の研究とコンピューター利用について
Author(s)	三星, 昭宏; 嶋津, 吉秀
Citation	大阪大学大型計算機センターニュース. 1976, 21, p. 1-19
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/65303">https://hdl.handle.net/11094/65303</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 交通工学の研究とコンピューター利用について

三 星 昭 宏<sup>\*</sup>  
嶋 津 吉 秀<sup>\*\*</sup>

### 0. はじめに

交通工学は道路工学における道路技術の一環として成長し、土木計画学の進歩ともあいまって戦後急速に進展した専門分野である。

近年は都市計画と関連し、総合的な交通に関する施設と空間の計画と管理の技術や交通機関の運用技術の体系として重要な役割を負わされるようになってきている。

この分野でもその発展はコンピューターの発展に大きく依存しているといって過言ではない。

筆者らはここ数年阪大大型計算機センターを利用してきた。ここではコンピューターが交通工学分野に利用されている状況を紹介し、計算センターの今後の充実を願う点について御理解を頂こうとするものである。

### 1. 交通工学の課題

交通に関する技術は、1) 交通機関の開発、2) 交通施設の建設、3) それらの適切な運用、4) 都市計画・地域計画の一部としての交通計画、に関するものに大別される。

交通工学は1)と大きくかかわりながら、2)、3)、4)を主要課題とするものである。とくに大都市では限られた空間と、錯綜した都市機能の中で、他の機能と調和しながら効率的な交通機能を十分発揮させることが重要になってきている。そのためのフィジカルな空間と施設の計画・設計課題をハード、ソフト両面から検討してゆくのが交通工学の課題である。また交通は施設に派生して必然的に生ずる現象であるが、近年の交通問題をみても明らかなように、交通問題から逆に施設配置や都市構造のあり方を考える必要も大きい。その意味で交通工学は都市に関する「政策科学」の一部としての性格も近年強めてきていて、単に当面の交通問題に対処する技術を開発するだけでなく学際的協力により今後の都市を創造してゆく課題をも有している。

\* 近畿大学理工学部 土木工学科 講 師  
\*\* " " " 助 手

この分野の研究は、実際の交通現象のメカニズムをフィジカルな計画や設計の情報をえる立場から追求してゆく内容と、それらの情報をもとに、政策と対応させて具体的な計画や設計をいかに行なってゆくかを検討してゆく内容を有している。前者を「現象システム」の研究、後者を「計画システム」の研究と表現することもある。

## 2. 交通工学とコンピューター

このように幅広い内容を含み、多くの情報をデータとする交通工学分野ではコンピューターの利用は不可欠である。

コンピューターの利用内容を性格別にわけるとつきのようになる。

### 1) 情報処理

都市や交通に関するデータは幅広く、その収集、整理、記憶は、大量データであることが多くコンピューターが不可欠である。

### 2) 分析

えられた情報をもとに、一般性のある形で因果関係をモデル化したり、問題を整理したりする必要がある。現象が統計的バラツキを有することから、統計学、推計学的手法が多く用いられ、コンピューターが必要となる。また現象データがえられにくい場合で、内部メカニズムが整理されているときはモンテカルロシミュレーションにより分析を試みることもある。

### 3) 計画

一定の方針や原則にもとづいて計画作業を行なうさい、各種のデータをインプットとして計算を行なうためにコンピューターが必要となる。後述するように計画作業に複雑なモデルや手法が含まれることも多く、その多くはコンピューター利用を前提としている。

計画や設計の対象とする系が簡潔に定式化される場合はオペレーションズリサーチの手法が用いられる場合もあり、その場合コンピューター利用は不可欠である。

計画作業では大容量のコアを必要とする計算が多く、またシミュレートさせながら計画作業を行なう場合演算速度も問題となる。

### 4) その他

現場では専門的な用途でコンピューターが必要となることが多い。たとえば交通制御のソフトを専門家の協力をえて開発するのも重要な課題である。

このように多岐にわたるコンピューター利用について実例を交えながら以下で述べてゆく。

### 3. 交通計画過程における推計作業

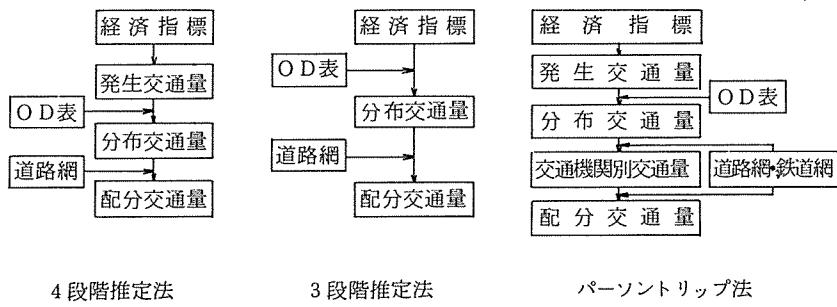
#### 3.1 交通推計の概要

交通計画の作業的部として量的な推計が大きな位置を占める。計画過程におけるコンピューターの利用はこの推計作業が中心となる。

コンピューターの役割を明らかにするため、従来の研究で明らかにされてきた内容を少し詳しく述べてみる。

従来、交通量は主として道路交通を対象として行なわれてきた。道路交通量を推定する方法としては、経済指標（常住地居住人口、従業地就業人口、工業出荷額、商品販売額、自動車保有台数、用途別土地面積、建物用途別床面積等）の推定を、第一段階の推定作業として行ない、つぎに発生交通量の推定、現在OD表を考慮して分布交通量の推定作業を行ない、最後にこれらの分布交通量を計画対象とされている道路網に配分交通量を推定するという、4段階の推定作業からなる4段階推定法がある。また、4段階推定法に対して、発生交通量の推定という手順を省略して、各地区の経済指標から直接に分布交通量を求め、ついで配分交通量を求める方法もある。これは3段階推定法といわれている。

最近の交通問題の深刻化とともに、道路交通のみを対象とした交通計画ではなく、鉄道等をも含めた、総合的な交通計画が必要とされている。そこで、パーソントリップ法とよばれる、1日の人の動きに着目して将来のパーソントリップの状態を推定する方法が近年広く行なわれている。この方法は前述の4段階推定法に、交通機関別分担率の推定という手順を加えた5段階の推定法である。図・1に、4段階推定法、3段階推定法およびパーソントリップ法の推定手順を示す。



図・1 将来交通量の推定法

### 3.2 発生交通量の推定

目標年次における各ゾーンの経済指標が推定されると、それをもとに、目標年次におけるゾーン別発生量、集中量を推定する。

ゾーン別発生量、集中量の予測モデルには大別して、伸び率法、原単位法、モデル法の3種がある。

#### a) 交通成長率法

ゾーンの現在の発生量（または集中量）に、経済指標である居住人口、自動車保有率等の伸び率より求められる交通成長率を乗じて、将来の発生量（あるいは集中量）を求める手法である。この手法は簡便であるが、性格が大きく変わるゾーンに対しては適切性を欠く。

#### b) 原単位法

用途別の土地面積あるいは床面積を原単位として、将来の用途別の土地面積あるいは床面積にこれを乗じ、その和をとって推定する手法である。

#### c) 関数モデル法

最も一般に用いられているのは、 $n$ 元一次の重回帰モデルである。ゾーン別発生量、集中量を被説明変数とし、説明変数としては、先に述べた経済指標のうち、各交通目的について重相関係数の高い変数を数個選ぶ。

### 3.3 分布交通量の推定

あるゾーンで発生した交通は、いずれかのゾーンに吸引される。このゾーン間の交通を分布交通といい、分布交通量をマトリックスで表示したものをOD表という。交通分布のパターンは、交通目的によって異なり、通常は、交通目的別に分布交通量は推定される。分布モデルは、現在パターン法とモデル法に大別される。

#### a) 現在パターン法

この方法は、将来の交通パターンは、現在のパターンと本質的には同じであると仮定している。したがって、各ゾーンにおける現在の発生量、集中量の将来への伸び率からゾーン間交通量を求める方法である。

現在パターン法には、均一成長率法、平均成長率法、デトロイト法、フレーター法などがあるが、現在一般的に用いられているフレーター法について簡単に述べる。 $G_i$ を $i$ ゾーンの発生交通量、 $A_j$ を $j$ ゾーンの集中交通量、 $T_{ij}$ を $i$ ゾーンから $j$ ゾーンへの分布交通量、 $n$ をゾーン数とし、大文字の $G, A, T$ を将来量、小文字の $g, a, t$ をそれに対応する現在量とすると、将来分布交通量は次式で表わされる。

$$T_{ij} = t_{ij} \cdot F_i F_j (L_i + L_j) / 2 \quad (1)$$

ここに、 $F_i = G_i / g_i$ ， $F_j = A_j / a_j$

$$L_i = \sum_{k=1}^n t_{ik} / \sum_{k=1}^n t_{ik} F_j, \quad L_j = \sum_{k=1}^n t_{kj} / \sum_{k=1}^n t_{kj} F_i$$

上式で求められた  $T_{ij}$  の行和列和は発生集中量に一致しないため、推定結果を現在系の諸量 ( $T_{ij}$  など) に代入して、次の推定を行ない、 $F_i$ ,  $F_j$  が 1 になるまで繰返し計算を行う。また、フレーター法は、モデル法による分布交通量の推定値の収束計算にもしばしば用いられる。

### b) モデル法

発生集中ゾーン間の距離抵抗を変数として、空間的隔りと交通との関係を表わすモデルである。距離抵抗には、直線距離、実距離、所要時間、所要費用などが用いられている。モデルとしては重力モデル、BPR (連邦道路局) タイプモデル、エントロピー・モデル、オポチュニティ・モデルなどがある。

重力モデルは、一般的には、

$$T_{ij} = k (G_i \cdot A_j)^\alpha / D_{ij}^\beta \quad (k, \alpha, \beta \text{ は定数}) \quad (2)$$

で表わされ、物理学における重力モデルの応用である。つまり、OD交通量は両端ゾーンのアクティビティに比例し、距離抵抗に反比例するという考え方である。

### 3.4 配分交通量の推定

推定されたゾーン間のOD交通量 (分布交通量) が、計画の対象である交通網 (道路網、鉄道網、バス網等) をどのように利用するかを推定するのがこの段階の作業である。ノードとリンクからなるネットワークにモデル化された交通網に、OD交通を配分するのであるが、配分の考え方には、最短経路法、時間比配分法、等時間配分法などがある。また、配分手法は、シミュレーション法、連立方程式法、Linear Programming による方法などに分けることができる。

最短距離は、OD間の距離 (走行距離、所要時間、所要費用など) が最も小さなルートにOD交通を配分する考え方であり、シミュレーション法、L.P. 法によって解かれる。とくにシミュレーション法は、ムーア (E.F.Moore) やダンツィッヒ (G.G.Dantzig) によって、最短経路探索のアルゴリズムが開発されて以来、コンピューターの発達とともに相まって大きく発展してきた。

時間比配分法は、利用すると思われるいくつかのルートに、その時間比に対応する配分率によってOD交通を配分する方法であり、等時間配分法は、速度と混雑率 (交通量 / 交通容量) の関係から、利用すると思われるいくつかのルートの所要時間が等しくなるようOD交通を配分する方法である。この2つの方法は、連立方程式を用いて解を得る。

### 3.5 交通機関別分担率の推定

これは、トリップにおいて利用する交通機関を推定し、鉄道、バス、自動車などの交通機関別の交通量を推定する作業である。従来の交通計画では、道路計画、鉄道計画のように交通機関別に独立した推定を行なってきたが、元来一体であるべきこれらを総合的に取り扱か

おうとするのが、近年の交通計画の大きな流れである。パーソントリップ調査の実施などにより、ここ数年間に大きく発展してきたが、交通機関の選択を決定する要因が多岐にわたり、しかもそれらの多くが定量的な取り扱いが困難なこともあります、交通計画の中でも最も遅れている分野の一である。

交通機関別分担率の推定モデルは、トリップエンド・モデルとトリップインターチェンジ・モデルの2つに大別される。トリップエンド・モデルは、各ゾーンの交通特性（自動車保有率、都心からの距離、鉄道へのアクセシビリティ、所得水準など）から、各ゾーンの発生集中交通の交通機関別分担率を推定するモデルであり、これにより推定した交通機関別発生集中交通量により、交通機関別分布交通量が推定される。一方、トリップインターチェンジ・モデルは、分布交通に対してゾーンペアごとに、各交通機関の特性（所要時間、所要費用、アクセシビリティ、快適性など）により交通機関別分担率を求めるモデルである。これらのモデルは、重回帰分析、利用率曲線、数量化分析、判別分析などを用いて説明されているものが多い。

トリップエンド・モデル、トリップインターチェンジ・モデルは、そのいずれか一つだけが用いられる場合もあるが、まずトリップエンド・モデルによって、大量輸送機関（鉄道、バス）を利用せざるを得ない人々を推定して、ついで、残りの部分についてトリップインターチェンジ・モデルを用いて大量輸送機関と自動車に配分するという2つのモデルを用いる場合もある。

### 3.6 交通計算へのコンピューターの利用

将来交通量を推定するには、前述のように3～5の段階の作業を必要とし、一つの段階の作業による出力情報は次の段階の入力情報になっている。推定作業をこのように合理的なプロセスに整理することは、コンピューターの効率的な利用を可能にする。

また、これらの推定作業は個々のプロセスは比較的単純な計算からなっているが、必要とされるデータは膨大な数になるため、コンピューターの利用は作業の能率化に大きく貢献する。一例をあげるなら、京阪神のパーソントリップ調査においては、近畿圏対象域内を大きく36ゾーン、それ以外を15ゾーンに分割し、それらをさらに市ないし区単位の2～6ゾーン（3桁ゾーンといわれている）に分割し、それをさらに4桁ゾーンといわれるゾーンに数個に分割されている。<sup>④</sup>分析に主として用いられる3桁ゾーンといわれる中ゾーンでも、域内で約120ゾーン以上あり、ODペアは15,000ペアを越える量となる。さらにこれらのODペアについて交通機関別分担率および配分経路を計算する作業があるため、人間の手作業で処理することは不可能といえよう。

また、コンピューターを利用するにしてもこのように多量のデータと計算量では通常の方法での処理は難かしく、データ入力、出力にも各種の工夫が行なわれ、計算も分割して行な

われているのが現状である。

#### 4. 分析過程における統計学・推計学

##### 4.1 統計学・推計学の応用

交通工学における推計学のウエートは極めて大きい。一般に工学の分野で必要とされるデータの処理や分析における統計字・推計学がこの分野でも必要とされると同時に、交通計画や対策の多くが個体のミクロな挙動ではなく、バラツキをもちつつも全体としての一定の法則性を持つ現象に焦点をあわせるため必然的に推計学のウエートが高くなるといえよう。

また、トリップ調査のように広域的で多くの母集団を有する調査対象の場合、経済的で簡便な方法を追求しなければ調査が不可能であり、市場調査等の「社会統計学」はすべて交通工学上の有効な武器となってくる。

それらを大別するとつぎのようになる。

1) 基本的な統計量の計算、2) 標本調査および推定・検定のための計算、3) 実験計画法・分散分析法の計算、4) 相関分析・回帰分析計算、5) 多変量解析計算(多重回帰・相関、線形判別関数、因子分析など)、6) 属性の変量解析計算(属性相関、クラスター分析、林の数量化理論など)、7) その他の確率・統計概念の応用等(マルコフ連鎖など)

極端な場合これらの全てを1研究プロジェクトで用いることもありうる。たとえば前述した京阪神のパーソントリップデータを用いた将来計画の検討の場合、パーソントリップ調査や車のO・D調査の前段階で標本設計を行ない、実施後に精度を求める。発生モデルや分布モデル作成で最小自乗法を用いたり、確率モデルを採用したりする。交通機関選択の機構解明においては個人属性等、量的にあらわされない変数を含むため属性相関や林の数量化理論が助けとなる。属性別のトリップ回数の差異などは分散分析が有効であろう。その他分析過程で推計学は必須的ともいえる。

これらのプログラムの多くは筆者も阪大大型計算機センターで使える形で保持しているが、パッケージ化されたものがライブラリーに登録されていると便利である。その点で、京都大学計算機センターではBMDおよびSPSSという2つのパッケージが登録され、汎用性の高いプログラムであることから筆者らも利用することが多い。BMDは工学系の研究者に利用性が高く、比較的知られている。SPSSは社会統計学などに含まれるプログラムが多く、文化系の研究者の利用性はかなり高いものであろう。三宅一郎教授(同志社大学)が米国スタンフォード大で登録されていたものを土台に作成および編集しなおし、京大センター・やメーカーの協力をえてSPSS言語(簡単で便利なもの)に対応するアセンブラーを作成したものである<sup>⑥</sup>。

一般的な推計学を用いた計算例は他分野にも共通するものであり、ここでは、林の数量化

理論を紹介してみる。

量で表現される多変数相互の関連は多重回帰や相関を用いて分析しうる。

それに対して分類(質)であらわされる変数を扱うのが林の数量化理論である。すなわち定性的属性の各テカゴリーに適当な数値を与えて定量的変数と同様に多変量解析を行なおうとするものである。このⅠ類は、独立変数が質、従属変数(外的基準)が量の場合、Ⅱ類はそれぞれ質と質の場合である。Ⅲ類・Ⅳ類は外的基準がない場合で、いわば質であらわされる変数の因子分析ともいえるものである。

ここではⅡ類の計算を略記する。

つきの合成変量  $\alpha_i$  を考える。

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^{R_i} \sum_{k=1}^{R_j} \delta_{i(jk)} X_{jk}$$

ただし、 $i$ ；個体、 $j$ ；属性の種類、

$k$ ； $i$ 個体が $j$ 属性について該当するカテゴリー、(たとえば $j$ は「性別」 $k$ は「男」のごとし)、 $R$ ；属性の数

$$\delta_{i(jk)} = \begin{cases} 1 & (k \text{ に該当したとき}) \\ 0 & (k \text{ に該当しないとき}) \end{cases}$$

$X_{jk}$ ； $jk$ カテゴリーに与える数値

この $\alpha$ を外的基準の分類別にわけ、相関比 $\eta^2$ が最大になるように $X_{jk}$ を決定すればそれが判別モデルをあらわすことになる。

$\eta^2$ は級間分散 $\delta_b^2$ を全分散 $\delta^2$ で除したものであり、 $\delta_b^2$ 、 $\delta^2$ はいずれも $\alpha$ を用いて表現しうるから $\eta^2$ 最大化のためにはそれを $X_{uv}$ で偏微分し、0とおけばよいことになる。

この計算は結局、独立変数相互間のクロス表と外的基準と独立変数間のクロス表を用いて誘導される正方行列 $H$ 、 $F$ により

$$HX = \eta^2 FX$$

ただし、 $X_i$ ； $X_{uv}$ をあらわす縦ベクトル

の $X$ を解く問題に帰結される。(証明略)

式は、 $|F^{-1} H - \eta^2 I| = 0$  を解いて $\eta^2$ の最大根を求め、対応する固有ベクトルを求めることによって解がえられる。

結局マトリックス演算と固有値、固有ベクトルの計算をすることになる。

#### 4.2 林の数量化理論Ⅱ類の適用例

計算例を1つ示してみる。幹線道路による地区分断の問題が近年大きくなっているが、その1つとして児童の公園利用における幹線道路横断の影響をみてみよう。

アンケート調査により、大阪市九条地区の児童がどの公園を利用するかというデータと、その児童の居

住地がデータとしてえられている。公園の利用に影響をおよぼす要因の主なものは、自宅とその公園との距離、公園の魅力、児童の属性であり、それに幹線道路の横断回数を加えて独立変数とし、その公園を児童が利用しているか否かを外的基準にして林の数量化理論Ⅱ類を適用する。とった変数はそれぞれ独立であることは明らかである。公園の魅力をあらわす指標を適切に設定するのは困難であるが、ここでは面積をとってみる。児童の属性は、性別と高中低学年別をとってみる。距離、面積は連続的な変数であり質的表現になおすため段階をつけて分類する。距離要因が強く効きすぎるので避けるため、公園と児童のペアは800m以下に限定してデータとする。

計算途中で用いる固有値と固有ベクトルは「科学計算用サブプログラム・ライブラリ」(大阪大学大型計算機センター・ニュース、No.8, 1972) のものである。

各カテゴリーに与える得点  $X_{ik}$  の計算結果を表1に示す。相関比は0.603とますますである。

表・1 数量化理論Ⅱ類による公園利用の計算結果

相 関 比 0.603

アイテム (i)	カテゴリー (j)	スコア $X_{ij}$	レンジ
学 年	1・2 年	0.000	0.043
	3・4 年	0.004	
	5・6 年	0.043	
性 別	男	0.000	0.038
	女	0.038	
公園面積	大	0.000	0.250
	小	-0.250	
自宅と公園 の 距 離	0 ~ 500	0.000	1.000
	500 ~ 1500	0.193	
	1500 ~ 2500	0.355	
	2500 ~ 5000	0.796	
	5000 ~ 8000	1.000	
幹線道路の 横断回数	横断なし	0.000	0.221
	1回	0.168	
	2回	0.221	

(ケース数 3,633)

各項目のカテゴリーに与えられる得点の最大値と最小値の差(レンジ)はそれぞれの項目が、児童の公園利用に与える影響の大きさを示すものと考えられる。この結果では、距離が最も大きな要因であり、ついで公園面積と横断回数が同程度のウェートを持っていることがわかる。学年、性別はそれにくらべると小さな値となっている。

このように属性要因のウェートは相対的に高くないことを確かめたうえで、この研究は公

園の利用率モデルに幹線道路の横断回数を組み込む作業へと発展しており、幹線道路の建設が周囲の生活環境におよぼす影響を予測するアセスメントの一部に用いられる形になってきている。

なお公園と児童のペアごとに上記の情報が与えられたとき、その児童にとってのその公園の利用性を示す尺度は前述の  $\delta_i(jk)$ 、すなわち表-1では各カテゴリーの和として簡単に求めることができる。

林の数量化理論I類に関する筆者らの適用例としてはたとえば、国道を一定の間隔で区切り、その交通事故率を外的基準とし、横断歩道の有無、追越禁止の有無など定性的変数を要因とした事故分析と危険度予測の例がある。

## 5. 交通量配分

### 5.1 概 説

交通量の配分手法は種々あるが、ここでは交通網がネットワークのかたちで与えられ、そのネットワーク上の2地点間の交通量(OD表)が与えられたとき、その交通量を所要時間が最小という原則に基づいて、一種のシミュレーションによりネットワークに配分する方法について説明する。

表・2 最短経路の計算表

(a)

ノード	ノード値				先行ノード			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	$\infty$	2			2	4		4
2	$\infty$	5	4		4	4	3	3
3	$\infty$	1			1	4		4
4	$\infty$							
5	$\infty$	8	7	7		2	2	2
6	$\infty$	7	6	6		2	2	2

(b)

起点からM1までの距離	M1	M2	段階
4		1○ 2○ 3○	1
	1	3 4	
	2	3 4 5○ 6○	
5		1 2○ 4	2
	3	1 2○ 4	
	5	2 4 6	
6		2 5	3
	6	2 5	
	7	3 4 5○ 6○	
7		2 4 6	4
	2	3 4 5○ 6○	
	5	2 4 6	
8		2 5	5
	6	2 5	
	7	2 5	

基本的な方法は、ノードとリンクの形にデータ化されたネットワークについて、各発ノードから着ノードまでの最短時間経路を求め、その経路に対するOD交通量を配分する。

この基本形を改良した、容量制約付分割配分法、容量制約付転換率曲線法などが実際に用いられている。また、これらの手法は元来道路網を対象として発展してきたが、鉄道網へも、駅へのアプローチリンク、乗り換え駅での乗り換えリンクなどのダミーリンクを与えることにより、応用されている。

## 5.2 容量制約付分割配分法

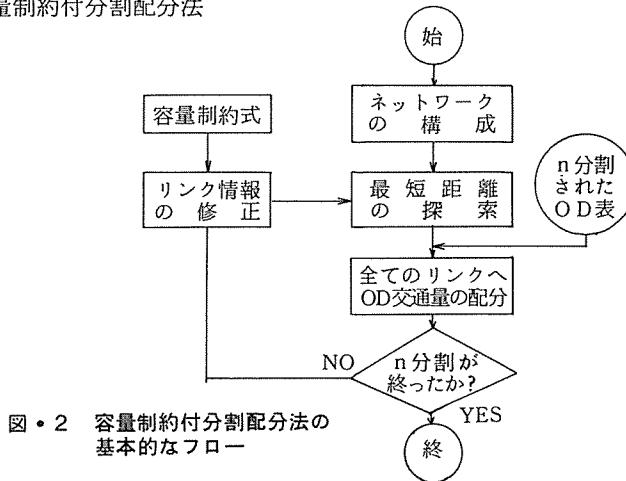


図2に示すように、配分対象のOD表をn分割し、最短経路を探索し、分割されたOD交通量を最短経路のリンクに配分し、そのときまでに配分されているリンク交通量と容量制約式( $Q-V$ 曲線)によって各リンクの走行距離(所要時間)を修正して、新たに最短経路の探索を行なうというプロセスを分割回数だけ繰り返す方法である。

OD表の分割方法には、等分割法、分割

比減少法(たとえば4分割の場合、0.4

0.3、0.2、0.1の順の分割比を与える)

などがある。容量制約式については、2次式、指数式を用いたものもあるが、一般に

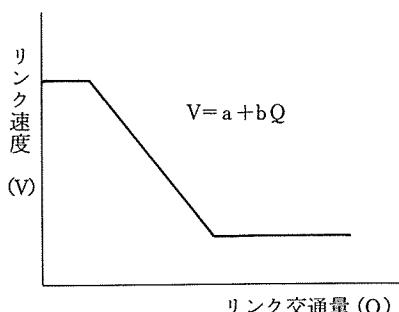
は図・3に示すような直線式の組み合せで

近似させたものが多く用いられている。容

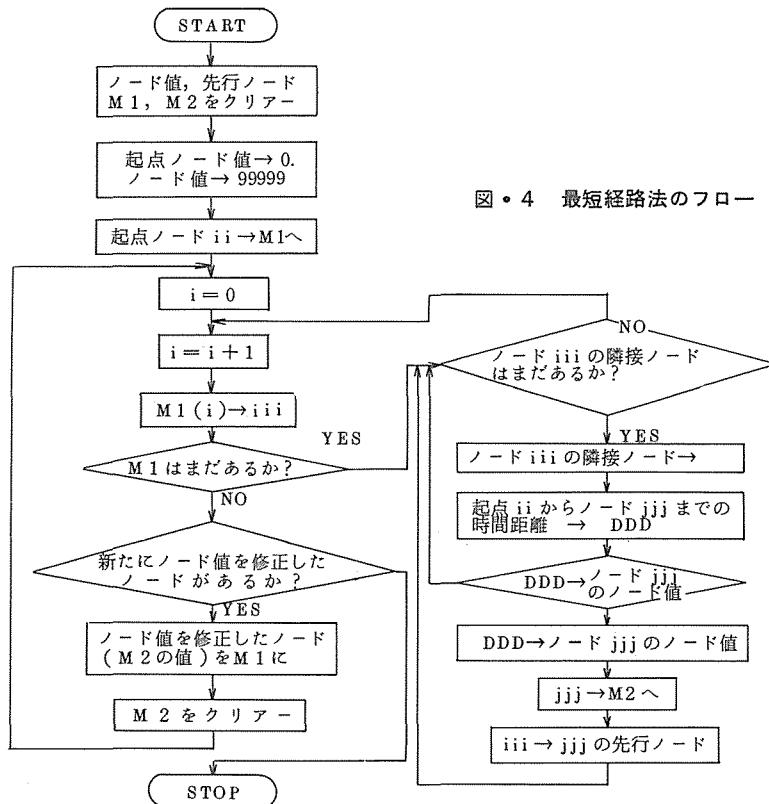
量制約式は、リンクに対応する道路の車線

数、規格によって、それぞれ異なったもの

が設定される。



### 5.3 最短経路探索のアルゴリズム

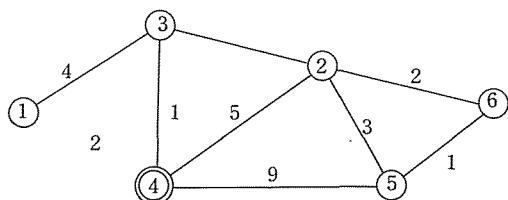


図・4 最短経路法のフロー

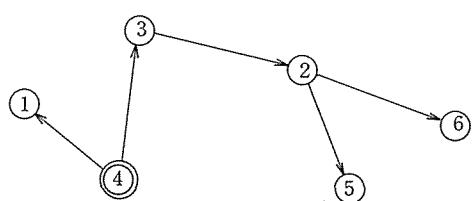
図・4 に示す手順は、Moore<sup>⑥</sup> の方法に基づいたものである。Moore の方法を簡単な計算法で示すと次のようになる。図・

5 のネットワークにおいて、○はノード、◎は起点、その中の数字はノード番号、リンク上の数字はノード間の距離をそれぞれ表わす。

最初、NODE 値をすべて $\infty$ におき、第1段階として起点ノードまでの距離を表・1 (a) のノード値に入れ、先行ノードに起点を入る。同時に表・2 (b) の M1 に起点ノードを入れ、M2 に隣接ノードを入れ、これらはノード値が書き換えられているから○印をつける。第2



図・5 ネットワーク例



図・6 最短経路

段階として、新たにノード値を書き換えたノード（M2欄○印）を起点として、同様の操作を繰り返す。M2欄に○印がなくなれば計算を終える。このようにして、図・6の最短ツリーが求められる。

#### 5.4 シミュレーション法の問題点

シミュレーション法は、交通配分に現在一般的に用いられている方法であるが、大規模なネットワークへの配分には実用上いくつかの問題がある。その最大の原因是、演算時間および必要コア数がほどノード数の2乗に比例することによる。

この問題の解決法として、ネットワークを数個のネットワークに分割する方法、あるいは密度の異なる数レベルのネットワークに分割する方法などが考えられている。これらの方法は、隣接ゾーン間の交通のように“足の短かい”トリップについては詳しい情報を望むが、府県間の交通のように比較的“足の長い”トリップについては幹線道路を利用するための概略的なルートさえ把握できればよいとする交通計画の考え方と一致する。

### 6. モンテカルロシミュレーション

#### 6.1 概 説

コンピューターによるシミュレーションは交通工学分野でも分析や計画の手段として多く用いられるようになっている。その理由は、1) 交通現象が決定論的な場ではとらえにくく、確率現象であるため、2) 実際の交通現象を調査または測定するには多大な経費と時間を要するとともに、測定不可能な場合もあるため、3) 交通現象に関連する要因が多く、所要のパラメータ値を適当な値で含む交通現象をえにくいためであり、乱数発生によるモンテカルロシミュレーションが用いられる。ただしその場合、シミュレートする事象の確率分布や因果律が必要な精度で得られていることが前提となる。そのためシミュレーションモデルを作るための調査・測定や計算後の値の妥当性に関するチェックが多くの場合必要となってくる。また発生した乱数の精度チェックも必要である。

シミュレーションが用いられる例を図・7に示す。

図・7

#### シミュレーションが用いられる場合の例

1. 交通機関の運行計画や阻害要因の除去の計画  
バス・デマントバスなどの配置や運行計画、バスレーン設置効果、鉄道のダイヤなど
2. 局所的な交通現象の円滑化や安全対策  
交差点の改良計画・安全対策など
3. 広域的な交通現象の対策  
広域交通制御、道路網への車の配分など
4. 交通需要構造や都市発展におけるインパクトスタディ、都市発展の予測（アーバンダイナミクス）など

シミュレーションは一般に、操作するパラメータを適宜変え、目的の変量や評価尺度の状況を調べることになる。たとえば広域的な街路網のネットワークを与え、信号を広域的にセットしたパターンを入力させ、一定の原則で車を走行させ、一定時間経過した後の車の総遅れ時間・台数などをチェックして最適な信号制御方法を見出そうとする具合である。このような技術をめぐって交通工学の分野では個別課題でのテクニックも多く議論されてきている。

## 6.2 計算例

シミュレーションの一例として筆者らが行なった地域内街路のアクセシビリティの検討について述べてみる。(アクセシビリティ:出入りしやすさ)

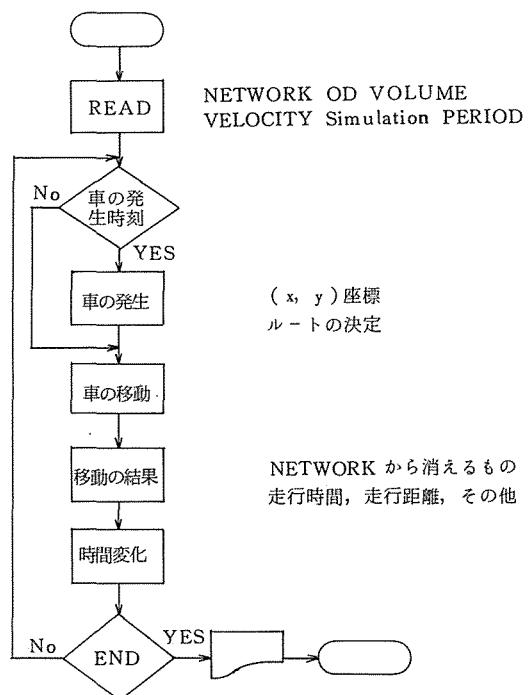
従来区画整理等の宅造で標準的に用いられている格子状の街路網パターンに対し、街路機能を3ランクにわけて機能的に編成したパターンおよび、安全性を考慮して作成したパターンが改良案として考えられる。ただし改良案はその地区に出入りする車には不便を強いるものとなるので、それがどの程度であるかを検討してみる。入力は、従来の街路網パターンと3つの改良パターン(街路の交差部約60コの結合状態と長さを示すマトリックス、および各街路のランク情報)、車の流出方向のパターン、発生交通量である。計算のフローチャートを図・8に示す。車の発生は全街路を

10mに区切り番号をつけ一様乱数で行なう。

経路選択は最短経路を選ぶものとし、ランクごとに速度の違いによる係数を距離に乘じて累加し、可能なルートすべての最小値を与えるルートをその車のルートとする。交差点の優先はランクの大きいものに与え停止損失は2秒とし、発進加速度を3km/時・秒とする。交差点での発進条件はランクの高い道路との交差点で右左折、直進ごとにある距離以内に車が接近していないこととし、その距離基準値は従来妥当と言われている値を採用した。

このような基準で1分単位に発生した車を走行させ、各時刻の車の位置をコア上に記憶させるとともに、各車の走行時間を累加する。1時間分の現象を再現して計算を打ち切り、走行時間の統計を得る。

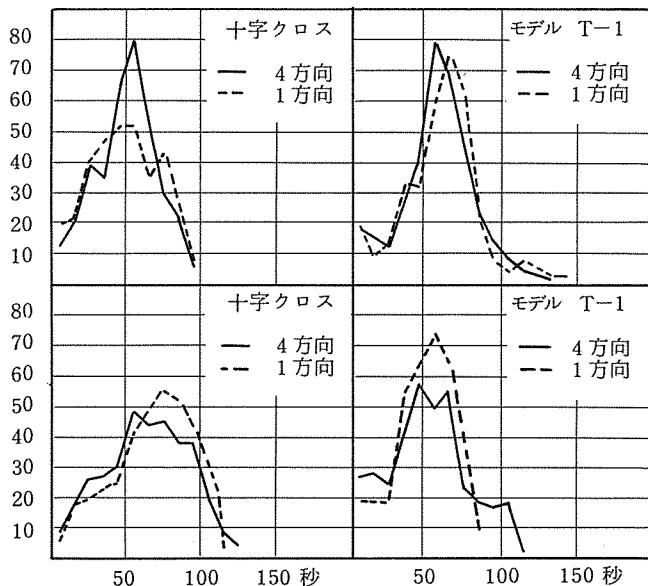
図・8 フローチャート



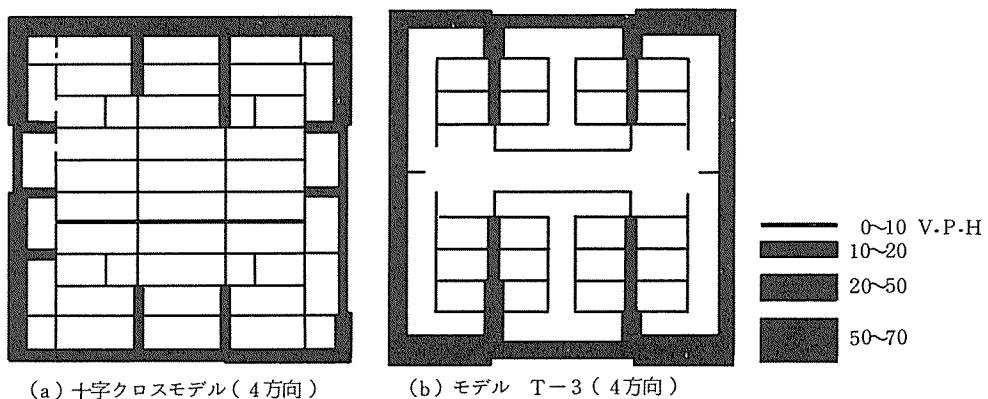
このモデルを構成する要素を整理すると、1) 街路網パターン、2) 街路のランク、3) 発生と流出方向、4) 経路選択の基準、5) 交通量、6) 速度、7) 交差点での優先権と発進基準などである。

結果の一例として 360 台 / 時の車を発生させた場合の車の走行時間の分布および各街路の交通量帯図を図・9、図・10に示す。なおこの街路パターンを図・11に示す。走行時間の平

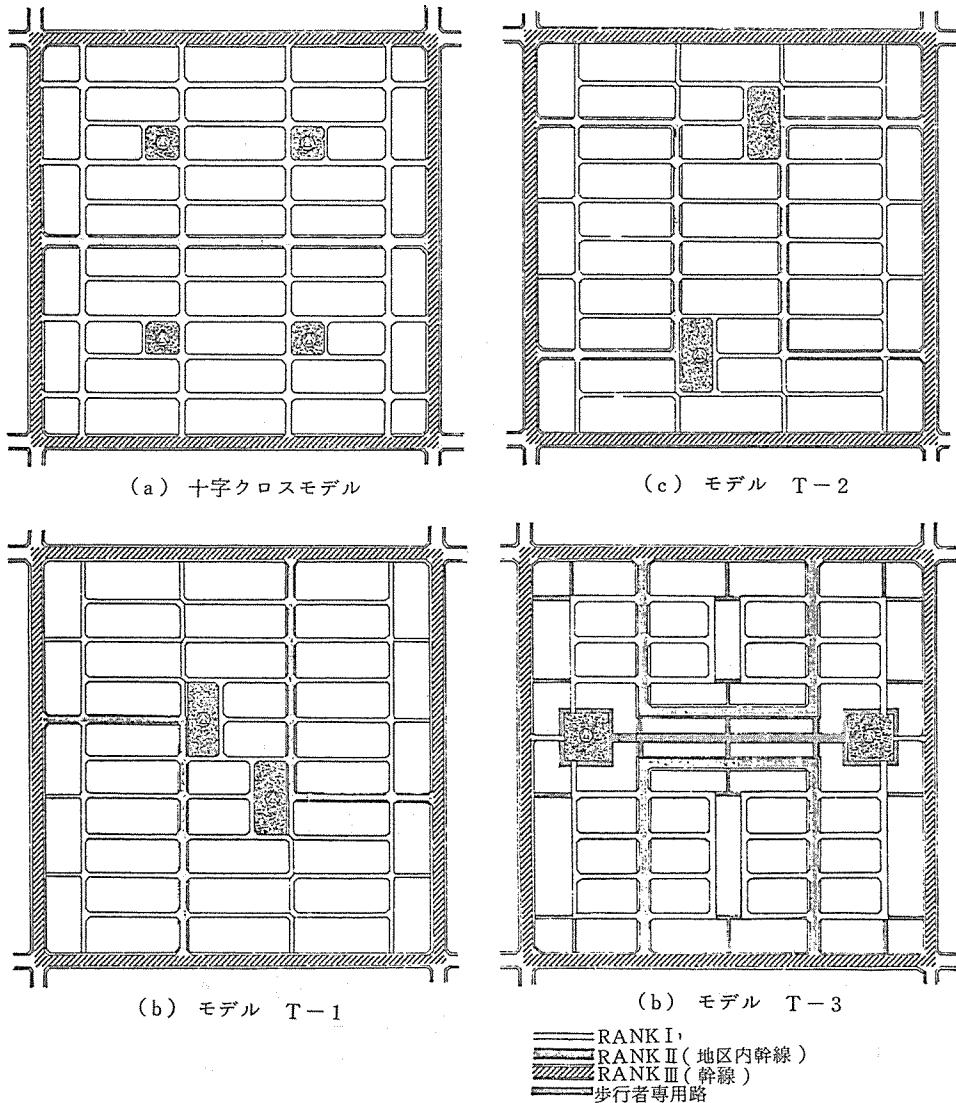
図・9 走行時間の分布



図・10 交通量帯図



図・11 街路網モデル



均値は、「十字クロス」が49秒、「T-1」、「T-2」、「T-3」がそれぞれ60秒、64秒、52秒で、改善案は1・2割程度増えることになる。その中でも「T-3」は走行時間数が少なく、またその分散が小さくて長時間トリップが少ない。なおこの「T-3」は安全等から推奨されるパターンでもある。交通量帯図からも、「T-3」が交通量とランクの対応において好ましいものと言えよう。

このモデルを総括するとつぎのようにまとめられる。

1) 街路網のアクセシビリティを評価するモデルとして使うことができるとともに、排

ガス量や濃度の計算が可能なモデルへと発展性を持っている。

2) 現象を比較的忠実に再現しようとしているため、演算時間が長く、コア量も大きい。大型計算機が無ければ計算することが出来ない。この点は今後改善の余地を十分残しており、最終的なアウトプットの利用に必要とされる精度からみてもっと簡略するための検討が必要である。なお交通量のみについて、確率を与えて配分する簡略な方法で別個に計算したところ必ずしも大きな相違はみられなかった。また計算テクニックの改善も余地があり今後の検討課題である。

このようにシミュレーションは計画や分析上の手段として有効なものではあるが、得られた結果の妥当性を実際の現象でチェックするのが困難なケースも多く、時として「勘」によるチェックが「落とし穴」を持つ点を十分考慮せねばならないだろう。その意味でシミュレーションのプログラム開発に多大な労力が必要とされる場合、研究組織構成上の工夫や、バランスのとれた労力配分が重要である。

## 7. オペレーションズリサーチ

交通計画問題は、定式化が可能ならばオペレーションズリサーチ (O・R) の問題とすることも可能である。

O・R手法は近年よく知られるようになってきている。主なものとして、線形計画法 (Linear Programming), 動的計画法 (Dynamic Programming), 待ち合わせ理論 (Queing Theory), ゲームの理論 (Gaming Theory), ネットワーク手法を用いた最適化手法などがある。交通量配分や交通制御において、目的関数や制約条件式に複雑な多次元の価値観を織り込む必要が無い場合に有効な手法となってくる。しかし実際の計画作業では、都市計画の一部としての交通計画でなければならず、量的に表現しにくい変数が多いためかなり制約された系における最適化手法という性格から出れない現状にある。近年大きな系における適用も理念的には提案されるようになってきており、適用上のテクニックも進歩をとげてきているようであるが、O・R手法がどこまで実際の計画作業で有効であるかは依然論議のあるところである。

いずれにせよ最適化手法が計画の武器として機能させてゆく努力は今後続けられてゆくだろう。

## 8. 情報処理

### 8.1 概 説

交通に関する情報の種類は大別するとつきのようになる。

#### 1) 都市情報

人口, 人口密度, 土地利用, 建物用途, 床面積, 車保有率など。

2) 経済情報

工業出荷額, 商品販売額など

3) 交通情報

交通量, O・D交通量, 速度, 渋滞度, 駐車量, 交通事故数, 交通規則など

4) 環境情報

騒音, 振動, 排気ガスなど

5) その他

住民意識, 災害など

これらはカードや磁気テープにファイリングして保存することになる。しかし全国的に統一されたファイリングフォームは少なく、またデータの原票自体が自治体等で統一されていないものが多く、研究の第1歩とも言うべきデータの入手と整理に多大な時間が消費されることが多い。とくに時系列的なデータが完備されているものが少なく、政令都市等で近年少しづつ整備されつつある現状である。

重要な統計は指定統計として規格されてきており、今後の充実が望まれている。

交通分野でよく使われる主な調査は、パーソントリップ調査（人の動きをとらえるこの調査は、大都市圏単位で近年行なわれるようになってきたが、多大な費用と人力が必要で、調査間隔は長くならざるをえない。なお過去1回実施されたデータが現在ある）、国勢調査、自動車O・D調査などである。いずれも大規模なファイリングシステムで管理されている。個人の秘密に関するものは調査目的外使用が禁止されている。

統一的な情報整備という点では近年全国をメッシュに区切り、メッシュ情報としてファイル化が試みられているのは今後期待される。

素データのファイルの充実という点では交通事故ファイルが充実しているが、路線別等の第2・第3ファイルの規格化という点で今後研究者の利用のさいの汎用性が高い方式を作り出してゆく必要があろう。

## 8.2 実例

情報の整理はファイリングテクニックとして個々のケースごとに検討されることになる。その検討は他稿に譲るとして、ここでは特殊な情報の整理例として、今後の交通工学や都市計画で重要な役割を果たしてゆくであろうと考えられる住民アンケートの例を述べてみる。

住民意識調査と分析は社会学等の分野で行なわれてきているが、住民生活を中心にすえた計画課題遂行の重要性という点だけでなく、新しい計画論理を構成する上で交通工学や都市計画分野でも重要なデータとなる。

調査用紙の設計、配布・回収、コーディング、パンチ、単純集計・クロス集計までの流れ

は一般的なものである。この作業を外注する場合は調査実施の管理にとくに注意する必要がある。

項目を逐一させる場合と、重複回答を許す場合とがあり、後者はコーディング時に0・1情報とするか（カラム数が多い）、数を制限して回答番号を情報とするか（カラムは節約される）を決めておく。

集計について筆者らは汎用クロス集計プログラムを作成している。項目番号のペアを入力して1ペアのクロス表を出力する場合と、クロスする項目番号を入力し、すべての項目とのクロス表を出力する場合を作った。いずれも、追加データは、各項目の最大値、情報のタイプの2つだけである。

集計表にはあわせてクラマーのコンティンジェンシー係数が計算されるようにサブルーチンが作られている。一般に3次元クロスもあわせると数百から千を越える表を基礎データとして出力して保管することが多いので、クラマーのコンティンジェンシー係数は参考になる。

大量のクロス集計は数万のメモリーを要する場合があるが、阪大のセンターでは出力用紙枚数と返却日数を考えて分割して計算依頼することが多い。

## 9. あとがき

巾広い内容を紹介したため冗長の感もあるが許されたい。ここではプログラムの具体例やセンターへの具体的要望を述べることができなかったが、このような分野でも大型センター無しには研究困難である点が御理解いただけたら幸いである。

グラフペンなど周辺機器に関連する計算内容を述べることができなかつたが、その充実をお願いして本稿を終える。

### 参考文献

- 1) 交通工学研究会編：交通工学ハンドブック，技報堂，1973.
- 2) 米谷栄二，渡辺新三，毛利正光：交通工学，国民科学社，1965.
- 3) 佐々木綱：都市交通計画，国民科学社，1974.
- 4) 京阪神都市圏パーソントリップ調査委員会：昭和45年度京阪神都市圏パーソントリップ調査報告書，1971.
- 5) E. F. Moore: The shortest Path Through a Maze, Proceedings of An International Symposium on The Theory of Switching, Harvard University Press, 1957.
- 6) 三宅一郎：社会科学のための統計パッケージ：東洋経済新報社
- 7) 安田三郎：社会統計学，丸善
- 8) 毛利，本多，三星，杉野：安全性を考慮した地区内街路網について，都市計画66
- 9) 林知己夫：市場調査の計画と実際，日刊工業新聞社，1973