

増加交通配分法の実用化に関する研究

STUDY ON THE PRACTICAL INCREMENTAL ASSIGNMENT METHOD

杉 恵 頼 寧*

By Yoriyasu Sugie

1. はじめに

交通量の配分手法は大型電子計算機の導入によって飛躍的な発展をとげ、これまで多くの手法が提案されている。その中でいくつかの交通量配分手法の実用性が認められ、各地域の交通計画で定着しつつある。増加交通配分法 (Incremental Assignment Method) はアメリカの Martin 等によって提案された手法であり^{(1),(2)}、まだ実際の交通計画では用いられていないが、そのアイデアが興味深く、その実用化が望まれている。そこで、本論文は増加交通配分法の実用化を試み、さらにこの配分法の将来の発展性について検討しようとするものである。

2. 増加交通配分法の説明

従来の配分手法は分布モデルから得られたゾーン間交通量を一定とし、配分によって生じる道路網の混雑状態を考慮しないで、そのゾーン間交通量をすべて道路網に配分している。すなわち、グラビティモデル等の分布モデルにおいて、ゾーン間交通量はゾーン間の所要時間を変数としているが、道路網の各リンクの所要時間はリンクの交通量に基づいて定まるため、実際には交通量配分の前にゾーン間の所要時間を知ることはできない。そこで、各リンクの所要時間を想定してゾーン間の所要時間を計算し、ゾーン間交通量を求めている。その結果、ゾーン間交通量は分布モデルの性質上ゾーン間の所要時間の関数として表わされるにもかかわらず固定されてしまう問題点を有する。

これに対して、増加交通配分法は「発生率曲線 (Generation Rate Curve)」を導入し、ゾーン間交通量を一定とし、交通量配分後の道路網の混雑状態を考慮して、ゾーン間の配分対象交通量を決めようとする手法で

ある。この配分法には次の 5 種類のインプットデータが必要になる。

- ① 入力ゾーン間交通量 (Input Zonal Volume) 道路網の各リンクの交通量が 0 のときのゾーン間の所要時間を用いてグラビティモデル等の分布モデルによって算出しておいたゾーン間交通量である。
- ② 道路網表示——ノード番号、リンク長、各リンクの車線数、各リンクの規格。
- ③ 容量制限式——リンクの所要時間と交通量の間の関係式。
- ④ 増分交通量——プログラムの反復計算で配分される交通量で、入力ゾーン間交通量に対する割合 (たとえば 10%)、あるいは一定数 (たとえば 200 台) で示される。この増分交通量は少ない方が望ましいが、計算時間の関係から任意に定めればよい。
- ⑤ 発生率曲線——ゾーンペア間の最短経路の単位所要時間 (Unit Travel Time) を変数としてその需要量を表わした曲線であり、入力ゾーン間交通量に対する比率で示される。需要量とは任意の単位所要時間 (分/km) のとき、そのゾーン間の走行 (Travel) を希望する交通量である。

発生率曲線はトリップの属性、たとえばトリップ目的 A, B, C などによって異なり、その一般的な形は図-1 のように表わされる。これらの曲線は道路網が混雑してくると (ゾーン間の単位所要時間が長くなる)、ゾーン間交通の需要量が減少してくることを意味している。これはグラビティモデルから明らかである。この発生率曲線が与えられたとすると (この曲線についてはあとでくわしく述べる)、増加交通配分法の計算手順は次のようになる。

まず配分すべきゾーンペアをランダムに選ぶ。次に、リンクの交通量が 0 のときの所要時間を用いてそのゾーン間の最短経路 (Minimum Path) を決定し、その経路の単位所要時間を計算する。さらに、発生率曲線から入

* 正会員 工博 広島大学助教授 工学部土木工学科

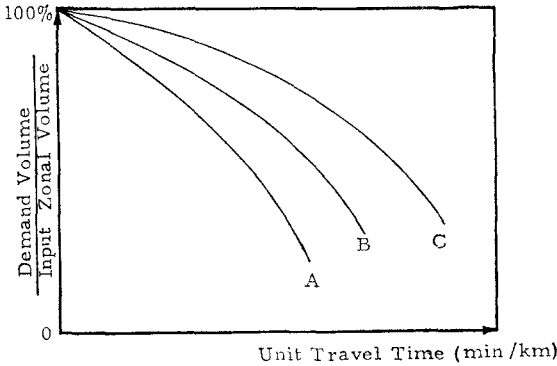


図-1 発生率曲線

力ゾーン間交通量に対する需要量の割合を求める。配分をはじめるときその割合は 100% である。もし入力ゾーン間交通量が 1000 トリップならば、1000 トリップがそのゾーンペアの需要量になる。次に、それまでの配分計算でそのゾーンペアに配分されたゾーン間交通量（配分済交通量）とこの需要量とを比較する。最初の計算では、配分済交通量は 0 であり、需要量の方が多いので、増分交通量をその最短経路に配分する。もし増分交通量が 10% ならば、100 トリップを配分する。もし一定数 200 トリップならば、200 トリップが配分される。増分交通量を最短経路に配分した後、容量制限式を用いて交通量を配分した最短経路のリンクの所要時間を修正する。

このようにして、ゾーンペアをランダムに選んで、そのゾーンペアの配分を何回かくり返すと道路網は少しずつ混雑し、ある任意のゾーンペアの需要量が発生率曲線より入力ゾーン間交通量の 95% になったとする。この例の場合は 950 トリップである。一方、それまでにそのゾーンペア間に配分されたトリップが 800 トリップであったとする。増分交通量が 10% ならば、100 トリップがそのゾーンペアの最短経路に配分される。増分交通量が 200 トリップならば、需要量と配分済交通量の差 150

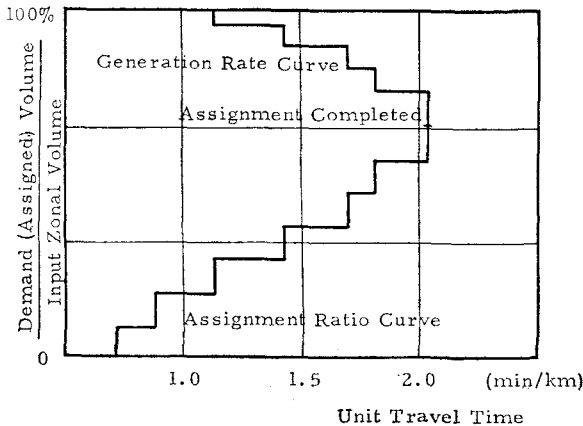


図-2 発生率曲線と配分率曲線

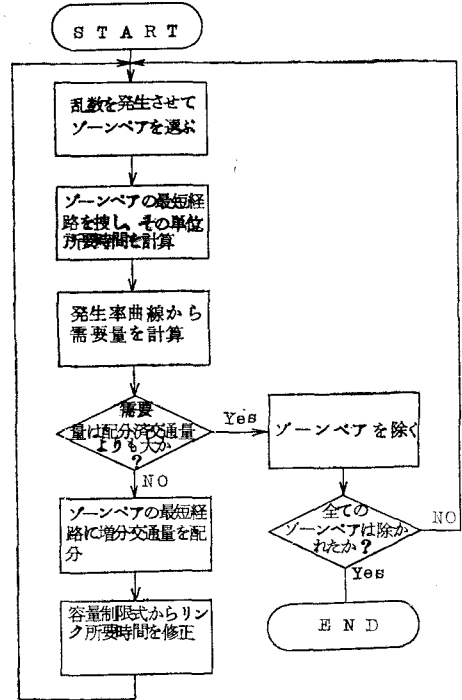


図-3 増加交通配分法の計算プロセス

トリップが配分される。このようにして、配分済交通量が需要量に等しくなったらそのゾーンペア間の配分は完了し、今後の配分計算の対象からそのゾーンペアを除く。これらの関係を表わしたのが図-2であり、ゾーン間の配分済交通量とその単位所要時間の関係を示した曲線を配分率曲線（Assignment Ratio Curve）と呼ぶことにする。図-2の両曲線とも配分プロセスの都合上階段状に変化し、両曲線の交点が求める均衡解である。

このようにして、すべてのゾーンペアで発生率曲線と配分率曲線が一致すると配分は完了することになる。この計算プロセスをフローチャートに示すと図-3のようになる。

増加交通配分法はこのように需要量を一定とみなさず、道路網の混雑の度合（単位所要時間）を変数として表わしており、非常に興味ある手法であるが、実際にはこの発生率曲線を知ることが非常にむずかしい。

3. 増加交通配分法の実用化

増加交通配分法の主な特色は「ゾーン間の自動車トリップの需要量はその単位所要時間の関数で表わされる」ことにある。しかし、一般に交通量配分の対象となる自動車トリップは一定であるため、現在のところこのアイデアは十分生かされているとはいいい難く、実用的な配分手法になっていない。そこで、ゾーン間交

通量が一定という前提のもとにこの特色を少し発展させ、次のような配分手法を考えてみた。

(1) 発生率曲線の応用

増加交通配分法の発生率曲線を実験的に知ることは非常にむずかしいが、次のような考え方でその曲線のアイデアを応用することが可能である³⁾。

現在実際の交通計画で用いられている配分手法は、運転者がすべて道路の混雑状態を示した道路網図を頭の中に描き、常に最短経路を探索してその経路を取ることを基本にしている場合が多い。しかし、現実には運転者が前もってすべての経路の混雑状態の情報を知ることは不可能で、まして刻々変化するリンクの所要時間を計算して経路を選ぶことは非現実的である。運転者はある混雑度に達するまでは出発時に考えた最短経路を取り、ある一定の混雑度に達してはじめてその混雑度を認識し、別の経路を捜すと考えた方がより現実的である。これに発生率曲線を応用することができる。ある一定の混雑度とは図-2の発生率曲線と配分率曲線の交点における単位所要時間とする。この単位所要時間に達するまでゾーン間の配分の対象となる経路は一定である。

発生率曲線は常に一定であるとは限らない。むしろ道路網全体の混雑度が大きくなると、運転者の心理として交通施設のサービスに対する期待を少し下げようになると考えられる。すなわち、これは1日の時間帯によるネットワーク全体の交通事情の変化に応じて、たとえ混雑度が同じであっても需要量が異なってくることを意味している。

このことは発生率曲線が図-4のように $c=1$ から $c=2$ に移行することに相当する。 c は発生率曲線が変化した回数を表わしており、計算プロセスでは反復計算の回数という意味している。図-4の $c=1$ は図-2に相当し、発生率曲線が一定ならば、前節で説明したように $c=1$ で配分が完了することになるが、発生率曲線が $c=2$ になるとゾーン間の需要量が配分済交通量よりも多くなる。

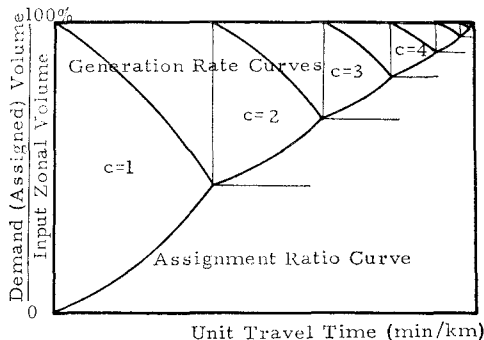


図-4 発生率曲線を用いた増加交通配分法の反復計算

このようにして、発生率曲線と配分率曲線が一致するたびにすべてのゾーンペアの最短経路を修正し、発生率曲線を移行させていくと与えられたゾーン間交通量をすべて配分することが可能になる。配分プロセスは基本的に増加交通配分法と同じであり、次のようなステップを踏む。

- ① すべてのゾーンペアの最短経路を決定する。
- ② 1ゾーンペアをランダムに選ぶ。
- ③ そのゾーンペアの最短経路の単位所要時間を計算する。
- ④ 発生率曲線からの需要量とそれまでの配分済交通量を比較する。もし需要量の方が大きければ⑥に進み、配分済交通量が需要量に等しいか、あるいはそれよりも大であれば、配分の対象となるゾーンペアを並べたゾーンペア表からそのゾーンペアを除いて②にもどる。
- ⑤ 与えられたゾーン間交通量の一定割合(増分交通量)を①で求めた最短経路に配分する。
- ⑥ 道路網のリンクの所要時間を容量制限式から修正して②に進む。

①—⑥の各ステップを続けていくと次第に需要量と配分済交通量が一致するゾーンペアが増え、ゾーンペア表から配分の対象となるゾーンペアが減少していく。ゾーンペア表からすべてのゾーンペアが除去されると、発生率曲線を図-4の $c=2$ のように修正し、改めてすべてのゾーンペアで $c=2$ の発生率曲線からの需要量と配分済交通量を比較すると需要量の方が大きくなる。需要量の方が大きいゾーンペアをゾーンペア表に並べ、さらにそのときのリンクの所要時間を用いてすべてのゾーンペアの最短経路を修正し、①—⑥のステップを続ける。発生率曲線が再び修正されるまではすべてのゾーンペアの経路は一定である。このようにして、発生率曲線を修正しながらこのプロセスを続けると与えられたゾーン間交通量がすべて配分されるゾーンペアがでてくる。このゾーンペアは配分が完了したことになり、すべてのゾーンペアで与えられたゾーン間交通量が配分されるとこの配分プロセスは完了することになる。

このプロセスで用いる発生率曲線は運転者の実際の需要量と必ずしも一致する必要はなく、単位所要時間が増えれば需要量が減少することを表わしていればよい。また発生率曲線の移行の割合も任意に定めればよく、札幌市の道路網への適用例では試行錯誤的に次のような直線式を用いた³⁾。

$$y = -1.0 \cdot x + 1.90 + 0.30 \cdot c \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 y : 交通量が0のときのゾーン間交通量に対する需要量の割合

x : 単位所要時間(分/km)

c ：反復計算の回数

この例では、単位所要時間が 2.2 分/km のとき、入力ゾーン間交通量に対する需要量の割合が 100% で、 x が大きくなるにつれてその需要量の割合は直線的に減少する。 y すなわち発生率曲線自体は反復計算ごとに c が 1 ずつ増え、需要量の割合が 30% ずつ増加していく。

この配分法は確かに与えられたゾーン間交通量をすべて配分する手法であるが、発生率曲線を修正するたびにゾーンペアごとの道路網によるサービス水準、すなわち道路網の交通量が 0 のときトリップを希望する交通量（入力ゾーン間交通量）に対して、その走行を満足させられた交通量（配分済交通量）の割合を知ることができる。この割合が小さいゾーンペアほど混雑している、発生率曲線からの需要量が少ないことを意味している。これによって、どのゾーンペアが特に混雑しているか大体の目安が付き、道路網の改良の資料とすることも可能である。

(2) 段階的増加交通配分法

発生率曲線を用いた増加交通配分法では「混雑度がある一定に達するまで運転者はゾーン間の経路を変えない」という考え方に発生率曲線を応用しており、本来の発生率曲線が持っている意味と少し異なってきている。そこで、この考え方をもっと明確にするために、発生率曲線を用いないで次のような配分法を考えたい⁴⁾。これを段階的増加交通配分法と呼ぶことにする。

基本的には前記の配分法とほとんど同じであるが、発生率曲線を用いないで、ある一定の混雑度というのを 1.5 分/km というように具体的に表わし、その混雑度限界に達するまで運転者はゾーン間の経路を変えないようにする。その混雑度に達してはじめて別のゾーン間の経路を捜し、さらに混雑度限界をたとえば 1.5 分/km から 2.0 分/km に修正し、この混雑度限界に達するまではその経路を変えない。

配分プロセスとしては最初にゾーンペアの最短経路を捜し、すべて記憶しておく。次にゾーンペアをランダムに選んでゾーン間交通量の一定割合ずつ配分していき、あるゾーンペアが一定の混雑度限界（一定の単位所要時間）に達すればそのゾーンペアを配分の対象から除く。すべてのゾーンペアが除かれたのち（第 1 回目の反復計算が完了）、そのときのリンクの所要時間を用いて新しい最短経路を捜し、混雑度限界を修正する。このプロセスを続けると、すべてのゾーン間交通量が配分される。これをフローチャートに示すと 図-5 のようになる。

この配分法を札幌市の道路網に適用したとき、混雑度限界は 試行錯誤的に $1.2c$ 、 $1.0c$ 、 $0.8c$ (分/km) の 3 式を用いた⁴⁾。 c は式 (1) のように反復回数を示してお

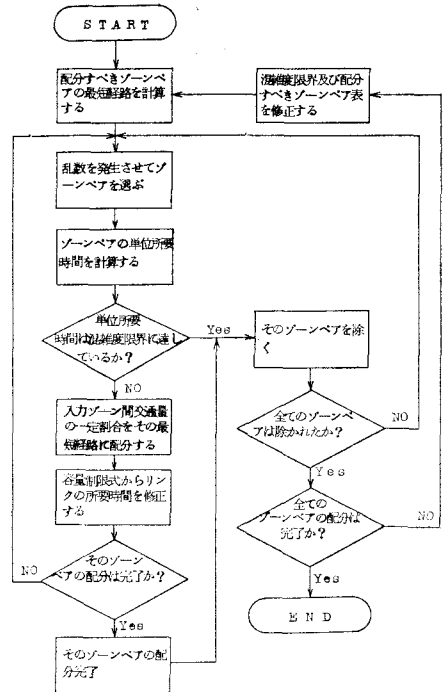


図-5 段階的増加交通配分法の計算プロセス

り、最初の例では反復回数がふえるごとに混雑度限界が 1.2 分/km ずつ増加していくことを意味している。

4. 交通機関別分担を取入れた増加交通配分法

前節では増加交通配分法の実用化を試みましたが、この配分法が本来持っている特色を十分生かしてきいていない。しかもこの問題は単一の交通機関、たとえば自動車トリップのみを対象にしていたのでは不十分で、他の競合交通手段の存在を考慮することが必要である。すなわち、道路が混雑してくれば、乗用車の需要が減少し、大量輸送機関の需要がふえてくる。これは結局交通機関の間の分担率を決める交通機関別分担 (Modal Split) の問題に帰着する。したがって、増加交通配分法をこれ以上発展させるには、交通機関別分担と配分交通を独立に扱うのではなく、何らかの形で連動させる必要がある。

交通機関別分担を求めるには「利用率曲線 (Modal Split Curve)」を用いる手法があり、この曲線は発生率曲線に類似している。そこで、利用率曲線を用いて発生率曲線のアイデアを生かし、さらに交通機関別分担と配分交通を関連づけることができるかどうか検討してみることにする。

利用率曲線は、ゾーンペアの総パーソントリップが与えられたとき、ゾーン間の交通機関別のサービス指標を変数として、各交通機関の分担率を決める曲線である。サービス指標としては、ゾーン間のコスト (時間+料

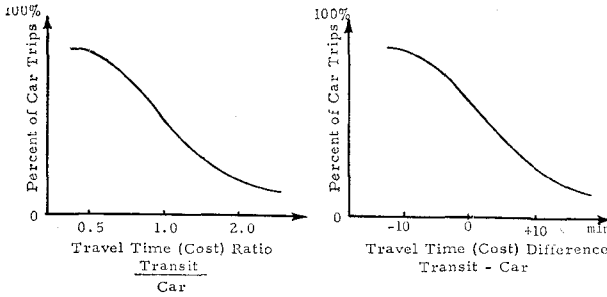


図-6 広島都市圏の総合的交通計画で用いられた利用率曲線

金), 時間が一般に用いられ, 機関別のコスト差, 時間差, コスト比, 時間比あるいはその組み合わせたものを変数として機関別の分担率を表わすことが多い。一例として, 広島都市圏の総合的交通計画で検討されたコスト(時間)比, コスト(時間)差を変数とした利用率曲線のパターンを示すと図-6 のようになる^{5), 6)}。これらの曲線はトリップの目的別, 乗用車の有無別に作成されている。

今かりに, 図-7 のようにゾーン i-j 間に大量輸送機関(鉄道+バス)と乗用車の両交通機関があって, 乗用車の所要時間を L_i^c , 大量輸送機関の所要時間を L_i^m とし, 両交通機関の時間比 R_i を次のように定義する。

$$R_i = \frac{L_i^c}{L_i^m} \dots \dots \dots (2)$$

道路が混雑すれば L_i^c が長くなるが, 大量輸送機関のルートに鉄道が含まれていると(大量輸送機関のルートがバスのみから構成されている場合は問題点としてあとで述べる), 鉄道の速度は交通量に関係なくほとんど一定と考えてよいので, L_i^m は L_i^c ほど長くない。そこで, R_i がしだいに大きくなり, 図-6 の時間比を

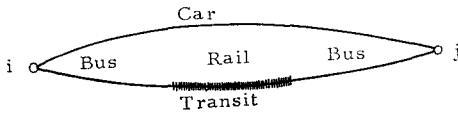


図-7 i-j 間の競合交通手段

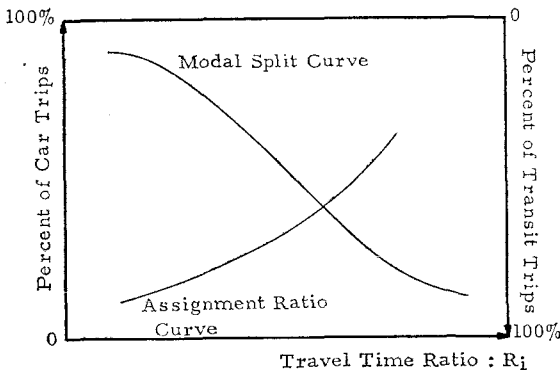


図-8 利用率曲線と配分率曲線

変数にした利用率曲線より, 乗用車の分担率が減少し, 逆に大量輸送機関の分担率がふえてくる。この関係は先に説明した発生率曲線に相当し, 利用率曲線は R_i を変数としたときのゾーン間の総パーソントリップに対する乗用車利用の需要量と同時に大量輸送機関利用の需要量の割合を表わしていることになる。この関係を示したのが図-8 の右下りの曲線である。

一方, 道路網に乗用車のトリップを一定割合ずつ配分していくと, 道路網の各リンクの所要時間と交通量の関係からゾーン間の所要時間が長くなり, 利用率曲線の場合と同じように R_i がしだいに大きくなって, 図-8 の右上りの曲線を描くことができる。この曲線は図-2 の配分率曲線に相当し, R_i を変数としたときのゾーン間の総パーソントリップに対する乗用車の配分済交通量の割合を表わしていることになる。

図-8 の関係は横軸の変数を R_i に取っただけで図-2 の関係と全く同じであり, 両曲線の交点で乗用車の需要量と配分済交通量が一致し, 利用率曲線の性質上乗用車の分担率の残りが大量輸送機関の分担率になるので, 乗用車と大量輸送機関の分担率を同時に求めることができる。

図-6 のように時間比以外に時間差, コスト差, コスト比を変数に取っても図-8 と同じような関係が成立する。すなわち, 図-8 の横軸の変数を時間差に取った場合, 乗用車の交通量がふえれば両交通機関の時間差は大きくなり, 図-8 の右上りの曲線を描くことができる。料金と所要時間を合成したコストを変数に取ると, 交通量がふえても料金はほとんど一定であると考えてもよいので, 時間を変数に取った場合と同じことがいえる。

このように, 利用率曲線を発生率曲線の一種と考えると, 乗用車のトリップは一定でなく, その所要時間を変数として表わされ, 第2節で紹介した増加交通配分法のアイディアを一步前進させたことになる。

このモデルとしては増加交通配分法を発展させた段階的増加交通配分法を一部修正して用いることができる。すなわち, 乗用車の需要量を一定としていたのを利用率曲線からその需要量を求め, 次のような考え方に基づいた大量輸送機関の配分プロセスをこのプログラムにつけ加えればよい。

図-8 から明らかなように, 配分率曲線に沿って乗用車の配分が進んで行けば R_i が大きくなり, 利用率曲線より乗用車の分担率は少なくなっていくが, 大量輸送機関の方は利用率曲線に沿ってしだいにその分担率が増えていく。したがって, 大量輸送機関の方は利用率曲線に沿って増加した分担量を乗用車の配分と同時に大量輸送機関網に配分して行けばよい。その結果, 乗用車の分担

率が均衡点に達した時点で、大量輸送機関の配分も完了していることになる。

計算手法としては、図-3 のフローチャートのステップ1で混雑度限界を修正して、道路の新しい最短経路を探索する前にその時の大量輸送機関の需要量を大量輸送機関のネットワークに配分し、大量輸送機関のバス台数と道路網の乗用車台数を合成すればよい。なお大量輸送機関のゾーン間の経路は一定とし、その経路にゾーン間の大量輸送機関の需要量をすべて配分する需要配分を行なう。

このような考えに基づいたモデルを INCREM (INCREMENTal Method) と呼び、その配分プロセスの前提を整理すると次のようになる。

- ① ゾーン間の目的別パーソントリップ OD 表 (PTOD 表) は一定である。
- ② 機関別分担は乗用車と大量輸送機関の間で行なう。
- ③ すべてのゾーンペアで必ず乗用車と大量輸送機関の両交通手段が利用できる。
- ④ 大量輸送機関は鉄道、バス、および両交通機関の間の乗換(徒歩)リンクから構成されている。
- ⑤ 乗用車の代替ルートは複数本あるが、大量輸送機関の経路は1本である。
- ⑥ 鉄道と徒歩の速度は一定である。
- ⑦ バスの速度は同リンクの乗用車の速度の関数である。
- ⑧ 道路網の各リンクの乗用車の速度はリンクの交通量の関数である。
- ⑨ 利用率曲線はトリップ目的別に作成される。
- ⑩ 利用率曲線は両交通機関のゾーン間の所要時間、あるいはコスト(料金と所要時間を合成したもの)の関数で表わされる。

これらの前提は取扱う対象範囲を特別に狭くしたというわけではなく、既存の需要推計で用いられている前提をまとめただけである⁷⁾。この前提に基づき、時間比を変数とした利用率曲線を用いると、INCREM の計算プロセスは図-9 のようになる。この計算プロセスでは利用率曲線と PTOD 表が目的別に与えられるので、目的別に需要量を計算し、それを全目的的需要量に合計してそれまでの配分済交通量と比較する。増分交通量は与えられた全目的 PTOD 表の一定割合とする。

この INCREM のシミュレーションが終了した時点で、すべてのゾーンペアで機関別の需要量と配分済交通量の均衡解が得られることになるが、次のような問題点を有する。

- ① 貨物車のトリップが無視されている。
- ② このシミュレーションでは、需要量と配分済交通

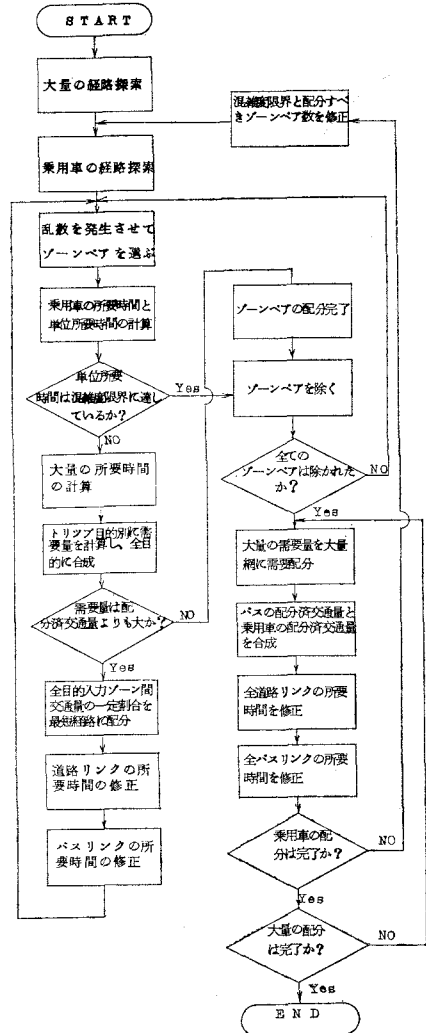


図-9 INCREM の計算プロセス

量が一致するゾーンペアから配分が完了して、配分プロセスから除かれることになるが、他のゾーンペアの配分が進むにしたがって、配分の完了したゾーンペアの所要時間が長くなり、すべてのゾーンペアの配分が完了した時点では、初期の段階で配分の完了したゾーンペアの均衡がくずれている恐れがある。

①の問題に対しては、貨物車の需要は道路の混雑度により影響を受けないでほとんど一定であり、機関別分担は行なわれなないので、乗用車の配分の前に貨物車の通る幹線ネットワークを指示して、あらかじめ配分しておけばよい。そのあと、リンクの所要時間を修正して乗用車の配分を行えば、この問題は解決することになる。

②の問題は非常に本質的である。すべてのゾーンペアで同時に配分が完了しない以上、均衡点がシフトすることはやむを得ないので、計算手法の一つの技法として、

図-9 のフローチャートの8番目のステップ「需要量は配分済交通量よりも大か？」で需要量と配分済交通量とを比較する場合、安全側をとって配分済交通量の方はそのときの増分交通量を含めることにした。この比較において、配分済交通量の方が需要量よりも多いとそのゾーンペアの配分は完了するわけであるが、その段階の増分交通量を含めているから、実際には配分済交通量の方が増分交通量以内の差で需要量よりも少なくなっている。これによって、ゾーンペアの配分の完了後、均衡点がある程度ずれても結果的には問題は少なくなると考えられる。

しかし、均衡点のシフトの仕方がまちまちであるため、完全にこの問題が解決するかどうか疑問であるので、従来の機関別分担と配分交通に分けて需要予測を行なう方法と比較し、INCREM の有効性と同時にこの問題点を検討してみる。この従来の手法に基づいた計算プログラムを TRADIT (TRADITional Method) と呼ぶことにする。

5. 従来の予測プロセス

TRADIT は機関別分担と配分交通が分離しているため、図-10 のように前者のアウトプットが後者のインプットになり、機関別分担の推計のとき用いたゾーン間のサービス指標 L_1 、たとえば所要時間等が配分交通のあとのゾーン間のサービス指標 L_2 と等しくなるか、あるいはその差が一定の許容差 Δ におさまるまでフィードバックが何回か必要になる。

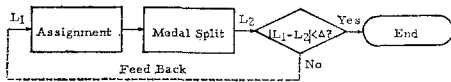


図-10 従来の予測プロセス

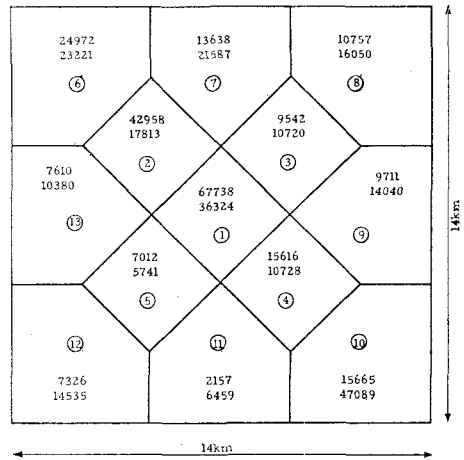
TRADIT も INCREM と全く同じ前提条件を必要とする。はじめに大量輸送機関と道路網の各リンクに任意の速度を与えてゾーン間の最短所要時間を計算し、両交通機関の所要時間の比から利用率曲線を用いて、ゾーンペアごとに両交通機関の分担率を計算する。その機関別 OD 表を用いて各交通機関別に交通量を配分する。そのときの各交通機関の需要量は一定である。道路網の配分手法は段階的増加交通配分法を用いることにし、大量輸送機関の方は需要配分を行なう。その配分結果から乗用車とバス台数を合成し、リンクの所要時間を修正して再び機関別分担を行ない、配分をくり返す。機関別分担の推計のとき用いたゾーン間のサービス指標と配分後のゾーン間のサービス指標との差がある一定の許容差に入れば、シミュレーションは完了することになる。

6. モデルの適用例

ここでは INCREM の有効性を検討するために、仮想都市を想定してシミュレーションを行ない、TRADIT の結果と比較してみる。

(1) 仮想都市

仮想都市は人口 234 700 人の都心集中型を取り上げることにした。市街地は 14×14 km の矩形形で図-11 のように 13 ゾーン間のゾーニングが行なわれている。昼間人口、夜間人口は同図に示したとおりである。トリップの目的を A と B の 2 種類に分け、目的 A の発生トリップは昼間人口、目的 B の発生トリップは夜間人口に依存し、トリップ目的別にパーソントリップ OD 表が存在する(表-1)。そのゾーン間の総パーソントリップは、430 410 トリップである。



Upper Figure : Population in the Daytime
Lower Figure : Population at Night
①-⑬ Zone Centroids

図-11 仮想都市のゾーニングと人口

交通機関は大量輸送機関と乗用車の2種とし、大量輸送機関は鉄道とバスから構成されている。両交通機関のネットワークを図に示すと図-12 のようになる(表-2)。鉄道は放射状に配置されており、道路はグリッドパターンである。道路はすべて4車線の平面交差で1日30 000 台の容量を有する。ゾーン間の大量輸送機関の経路を定める場合、バスは道路網のすべての区間を走ることができる。

交通機関の利用率曲線はトリップ目的別に図-13 のような直線式で表わされるとする。

大量輸送機関を利用する場合の経路は一定であり、その経路探索のときの鉄道の速度は 30 km/時、バスの速度は 15 km/時、徒歩の速度は 6 km/時とする。ゾーン

表-1 仮想都市の O D 表

	{ Trip Purpose A Trip Purpose B													計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	35 176 6 204	59 515 8 516	6 796 2 072	12 392 1 588	6 072 740	20 944 4 496	13 120 3 976	11 804 3 736	9 824 2 832	15 080 7 800	1 824 916	5 456 1 756	7 560 1 688	240 740 52 524
2		21 545 2 621	5 391 1 125	9 682 1 044	2 872 442	13 104 2 118	3 303 1 343	2 724 1 116	2 442 678	5 508 2 486	423 275	2 800 734	1 818 638	152 673 25 757
3			4 288 2 556	2 456 1 016	484 564	2 576 1 548	784 1 828	632 584	492 132	2 496 1 096	160 116	2 884 240	184 68	33 911 15 501
4				6 196 1 756	2 928 836	7 348 2 336	1 504 1 284	1 280 572	968 724	2 344 1 496	256 84	1 092 808	856 212	55 498 15 512
5					1 988 676	4 772 1 008	1 088 1 100	576 164	400 348	1 092 976	144 112	276 372	240 288	24 920 8 302
6						12 196 4 508	4 860 3 900	2 244 1 248	1 280 1 156	4 000 3 640	256 412	1 524 1 888	1 452 812	88 752 33 578
7							5 656 4 708	2 180 2 472	1 244 1 656	2 256 4 836	248 1 036	632 1 676	1 232 1 400	48 471 31 215
8								3 728 2 668	2 692 1 772	1 984 3 080	268 472	492 924	3 900 1 732	38 232 23 208
9									4 616 2 172	2 980 3 636	700 816	768 1 172	1 496 1 036	34 514 20 302
10										5 748 14 768	1 240 2 156	3 704 5 432	1 492 1 920	55 672 68 090
11											792 996	380 720	184 232	7 667 9 339
12												2 928 2 384	172 528	26 036 21 018
13													3 232 2 228	27 046 15 010
計														834 132 339 356

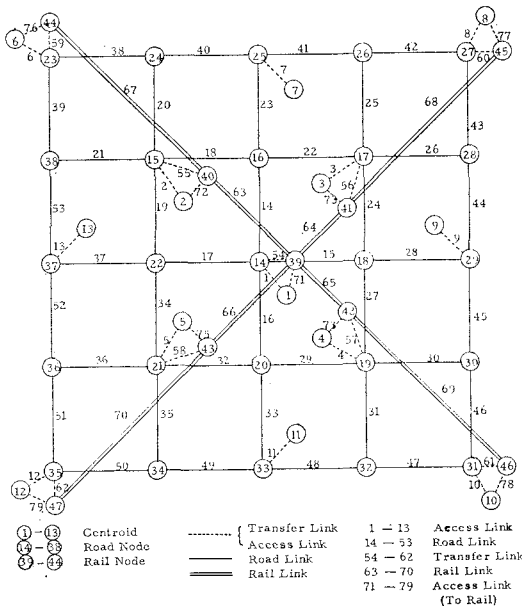


図-12 仮想都市の交通網

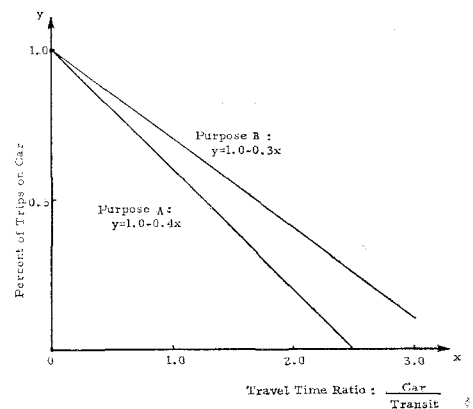


図-13 利用率曲線

間の所要時間を計算する場合の鉄道と徒歩の速度は一定で上記の値を用いることにし、各リンクのバスの速度は乗用車の速度の0.7倍とする。

乗用車の交通量が0のときの速度を40 km/時とし、容量制限式は次のような関数を用いる。

$$T = T_0 \cdot e^R \dots\dots\dots (3)$$

表-2 リンクテーブル

Link No.	A-Node	B-Node	Distance	Link No.	A-Node	B-Node	Distance
1	1	14	0	41	25	26	1.96
2	2	15	0	42	26	27	3.08
3	3	17	0	43	27	28	2.94
4	4	19	0	44	28	29	2.26
5	5	21	0	45	29	30	2.02
6	6	23	0	46	30	31	2.74
7	7	25	0	47	31	32	2.48
8	8	27	0	48	32	33	1.82
9	9	29	0	49	33	34	2.08
10	10	31	0	50	34	35	2.70
11	11	33	0	51	35	36	2.52
12	12	35	0	52	36	37	2.38
13	13	37	0	53	37	38	2.14
14	14	16	1.36	54	14	39	0.10
15	14	18	1.76	55	15	40	0.10
16	14	20	1.44	56	17	41	0.10
17	14	22	1.94	57	19	42	0.10
18	15	16	2.00	58	21	43	0.10
19	15	22	1.26	59	23	44	0.10
20	15	24	2.78	60	27	45	0.10
21	15	38	3.12	61	31	46	0.10
22	16	17	1.74	62	35	47	0.10
23	16	25	2.28	63	39	40	2.54
24	17	18	1.78	64	39	41	2.74
25	17	26	2.58	65	39	42	2.90
26	17	28	3.22	66	39	43	2.66
27	18	19	1.88	67	40	44	4.30
28	18	29	2.14	68	41	45	4.46
29	19	20	1.48	69	42	46	4.08
30	19	30	2.26	70	43	47	4.62
31	19	32	2.32	71	1	39	0
32	20	21	1.66	72	2	40	0
33	20	33	2.52	73	3	41	0
34	21	22	1.50	74	4	42	0
35	21	34	2.66	75	5	43	0
36	21	36	2.72	76	6	44	0
37	22	37	2.82	77	8	45	0
38	23	24	3.34	78	10	46	0
39	23	38	2.86	79	12	47	0
40	24	25	2.30				

ただし、 T : リンクの所要時間

T_0 : 交通量が0のときのリンクの所要時間

R : 容量に対する交通量の比

シミュレーションにおいてゾーン間交通量の一定割合を配分していく増分交通量はゾーン間の総パーソントリップの5%とする。乗用車の同乗率は1人/台、バスの平均乗車人数は20人/台とする。

混雑度限界の式は $1.5 + 0.5c$ を用いることにし、 $c = 1$ から出発して反復計算ごとに0.5分/kmずつ混雑度限界を増加させて修正する。第1回目の反復計算の混雑度限界は2.0分/kmである。

TRADITの初期のリンク速度は40km/時とし、機関別分担を行なうときの道路網のリンクの所要時間と配分結果のリンクの所要時間との差がすべて5%以内におさまるまでフィードバックを行なうことにする。もし収束しない場合、フィードバックは最大10回とする。

これらの条件に基づいて INCREM と TRADIT のシミュレーションを行ない、両モデルの結果の比較を行なう。

(2) シミュレーションの結果の検討

これらのモデルを評価する場合、与えられたOD表が同じであっても配分手法によって個々のリンクの配分結果も異なってくるし⁸⁾、段階的増加交通配分法においてゾーンペアの選び方(ランダムに選ぶとも)によって得られる結果が異なるので、一番基準となるものは、ゾーンペアの機関別分担が正確に行なわれているかどうかである。従来の手法である TRADIT の結果自体も必ずしも真の値に近いとは言えないが、現在の交通計画で一般に用いられているので、比較の都合上 TRADIT を基準にとって INCREM のゾーンペアの機関別分担と比べることにした。

表-3 交通機関別分担量

そこで、まず最初に乗用車と大量輸送機関の総トリップ数を比較すると表-3のように

Model	Car	Transit
INCREM	208 621	221 789
TRADIT	210 474	219 936

なる。ただし、TRADIT はフィードバックを10回行なっても収束しなかったため、10回目のフィードバックの結果を示してある。TRADIT を基準とした場合、INCREM との機関別トリップ数の差は非常にわずかであり、両モデルの結果にはほとんど差はない。

次に、ゾーンペアごとの分担率を示すと表-4のようになる。TRADIT は10回目のフィードバックの結果を示している。両モデルの最大の差は15%で、それも3ゾーンペアを数えるだけで、その他のゾーンペアはすべて10%以内の差である。このように、交通機関別の分担率の比較において、両モデルの間には大きな差はなく、INCREM の妥当性が一応評価されたと思われる。

なお78ゾーンペアの大量輸送機関の分担率のうち、47ゾーンペアでは INCREM の方が大きな値、22ゾーンペアでは同一、9ゾーンペアでは少ない値となっており、全般に INCREM の方が大量輸送機関の分担率が大きくなっている。これは第4節の2番目の問題点のところで述べたように、乗用車の配分済交通量をその需要量よりも増分交通量、すなわち全目的 PTOD 表の5%以内の差で少なくしたためと考えられる。その結果、INCREM では TRADIT に比べて乗用車の分担率が少なくなっており、大量輸送機関の分担率が大きくなっている。したがって、需要量と配分済交通量の均衡点のずれの問題については、結果的には大きな影響をおよぼさなかったことがわかる。その理由としては、配分プロセスにおいて混雑度限界を設け、混雑度限界ごとに反復計算をくり返し、その限界に達したゾーンペアは一時配分計

表-4 大量輸送機関の分担率

		INCREM TRADIT												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1			0.85 0.85	0.60* 0.75	0.65 0.65	0.65 0.75	0.75 0.75	0.30 0.25	0.60 0.60	0.30 0.25	0.65 0.60	0.30 0.25	0.55 0.55	0.30 0.25
2				0.30 0.40	0.65 0.70	0.35 0.35	0.65 0.65	0.30 0.20	0.40 0.40	0.40 0.35	0.65 0.60	0.40 0.30	0.40 0.35	0.30 0.25
3					0.25 0.30	0.65 0.65	0.40 0.50	0.30 0.20	0.40 0.45	0.30 0.25	0.40 0.40	0.40 0.30	0.55 0.55	0.35 0.35
4						0.40 0.35	0.65 0.65	0.40* 0.25	0.35 0.35	0.30 0.20	0.50 0.55	0.30 0.20	0.35 0.35	0.35 0.30
5							0.50 0.45	0.40* 0.25	0.60 0.55	0.35 0.30	0.40 0.40	0.30 0.20	0.40 0.40	0.30 0.20
6								0.30 0.25	0.35 0.35	0.45 0.40	0.55 0.60	0.45 0.35	0.25 0.25	0.30 0.25
7									0.30 0.25	0.30 0.20	0.40 0.30	0.25 0.20	0.40 0.30	0.30 0.20
8										0.30 0.25	0.25 0.30	0.45 0.30	0.50 0.45	0.40 0.35
9											0.30 0.25	0.25 0.20	0.35 0.30	0.30 0.25
10												0.30 0.25	0.25 0.25	0.35 0.35
11													0.30 0.25	0.30 0.20
12														0.25 0.20
13														

* 15% Difference

算を中止したのでそれが結果的に各ゾーンペアがばらばらに均衡点に達するのを防ぐ役目を果たしたためと考えられる。

次に INCREM の任意のゾーンペア①-⑫を選んで利用率曲線と配分率曲線の関係を示す。このゾーンペアの乗用車の競合交通手段は鉄道であり、乗用車の分担率は 45%、大量輸送機関の分担率は 55% になっている。ゾーン間①-⑫では目的 A, B のトリップがそれぞれ 5456, 1756 トリップなので、図-13 の目的別利用率曲線をこれらのトリップで重みづけを行なうと図-14 の利用率曲線が求まる。

この例では、 $c=1$ の混雑度限界が 2.0 分/km であるため、そのときの時間比は 1.145 となっている。この時

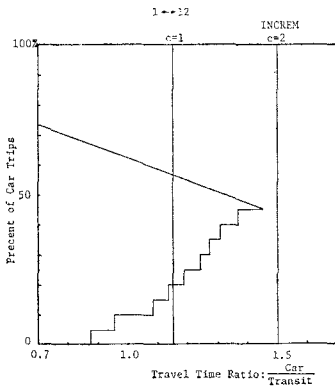


図-14 利用率曲線と配分率曲線の一例

このゾーンペアの乗用車の競合交通手段は鉄道であり、乗用車の分担率は 45%、大量輸送機関の分担率は 55% になっている。ゾーン間①-⑫では目的 A, B のトリップがそれぞれ 5456, 1756 トリップなので、図-13 の目的別利用率曲線をこれらのトリップで重みづけを行なうと図-14 の利用率曲線が求まる。

この例では、 $c=1$ の混雑度限界が 2.0 分/km であるため、そのときの時間比は 1.145 となっている。この時

間比に達するまで最初に求めた最短経路に入力ゾーン間交通量、すなわち 7212 トリップの 5% ずつを道路網に配分していく。時間比が $c=1$ に達すると大量輸送機関の需要量、この例では入力ゾーン間交通量の 43%、すなわち 3100 トリップを鉄道網に配分する。次に、ゾーン間の最短経路を修正して、乗用車のトリップを時間比が $c=2$ になるまで配分する。このゾーンペアでは、混雑度限界が $c=2$ に達する前に均衡解が得られた。大量輸送機関の方はそのときの需要量 55% から $c=1$ のときの需要量を差引いた残り 12% をすべてのゾーンペアの混雑度限界が $c=2$ に達したとき鉄道網に配分する。

これまで乱数の発生順序の違いによるシミュレーションの結果への影響について言及しなかったが、最後に INCREM の乱数発生順序を変えてシミュレーションを行ない、この問題について検討してみることにする。そこで、両者のゾーンペアの分担率を比較すると、すべて 5% 以内の差におさまり、78 ゾーンペアのうち 20 ペアが 5% の差で、その他のゾーンペアはすべて同じ分担率であっ

た。その結果、乱数発生の違いによる機関別分担への影響はあまり大きくないことがわかる。

以上のシミュレーションには東京大学大型計算機センターの HITAC 5020 E を用いた。INCREM の全計算時間は 210 秒でそのうち純粋な計算時間は 27 秒であった。同じく TRADIT の全計算時間は 1154 秒でそのうち 207 秒が純粋な計算時間であった。これらのモデルは段階的增加交通配分法を基本にしているため、シミュレーションの過程においてゾーン間の最短経路を記憶しておく必要があり、その経路の記憶には非常に多くの記憶容量を必要とするのでコアではなく、外部記憶装置のドラムを用いた。ゾーンペアをランダムに選ぶたびに最短経路をドラムから取出し、その出入れに時間を要したため、全計算時間が純粋な計算時間よりかなり長くなっている。

TRADIT に比べて INCREM の計算時間ははるかに短くなっているのは、INCREM は結局シミュレーションの反復計算の過程に TRADIT のフィードバックを組入れたモデルであり、TRADIT のようにフィードバックを必要としないためである。

従来のような予測方式では、ほとんど TRADIT のよ

うなフィードバックを行なわないのが普通であり、これでは第2節で説明したように、道路の混雑度に関係なくゾーン間交通量が一定となる矛盾を有している。この問題を解決するために、フィードバックという概念が一般に取り入れられているが、このフィードバックが収束する保証は全然なく、かつ非常に長時間の計算を必要とする。ところが、INCREM は交通機関別の分担率の比較において、TRADIT の結果とそれほど大きな差はなく、計算時間ははるかに短くて済み、実用的である。さらに、段階的増加交通配分法を基礎としているため、従来の配分手法に比べて論理的に優れているといえる。

7. まとめと今後の発展

本論文は増加交通配分法の特色を生かし、機関別分担を配分交通に組み入れた配分手法に発展させた。これによって、ゾーン間の交通機関別の需要量を一定として固定する必要はなく、ゾーン間のサービス指標を変数として表わされることができ、発生率曲線のアイデアを一步前進させることができた。

この新しい配分手法の妥当性を検討するために、簡単な仮想都市を想定し、従来の機関別分担と配分交通を分離して予測する方法と比較した。その結果、簡単な事例ではあるが、両モデルの結果には大きな差はなく、計算時間が従来の方法に比べてはるかに短く、この新しい手法の有効性が一応評価できた。

しかし、発生率曲線のかわりに用いた利用率曲線は、もともとゾーン間の総パーソントリップを一定として機関別の分担率を決める曲線であるため、この配分手法においてもゾーン間の総パーソントリップは一定であるという前提を設けざるを得なかった。その結果、乗用車の競合交通手段がバスのみで両交通機関が同ルートの場合、時間比を変数にした利用率曲線を用いると、両交通機関の速度(時間)比は一定となり、機関別の需要量が一定になってしまう問題点が生じた。本来パーソントリップも一定でなく、ゾーン間の所要時間等のサービス指標を変数として表わされるはずである。そのためには、従来の予測プロセスの発生交通、分布交通、機関別分担

を一つにまとめた需要モデルが必要になる。

この需要モデルはゾーン間のサービス指標、各ゾーンの土地利用のアクティビティ特性を変数として機関別の需要の絶対量を表わした曲線になり、これが本来の発生率曲線である。このような需要モデルは都市間の需要量を予測するモデルとして、Baumol や Quandt 等によっていくつか提案されているが⁹⁾、都市内の予測モデルとしてはまだ実用的なものは提案されていない。

しかし、このようなモデルが実用化されると、増加交通配分法は従来の発生交通から配分交通までの4段階方式の需要予測プロセスを一つにまとめたものになり、モデルとして完成することになる。なお、配分交通に機関別分担を組入れる基本的な考え方は、広島都市高速鉄道計画の需要予測で実際に採用していただいた¹⁰⁾。

最後に、この論文の研究に際し東京大学都市工学科 井上孝教授、新谷洋二助教授のご指導を受け、さらに同学科 山川仁助手、建設省建築研究所 黒川洸研究員に貴重な助言をいただいたことを感謝いたします。

参考文献

- 1) Martin, B.V. and Manheim, M.L.: A Research Program for Comparison of Traffic Assignment Techniques, HRB Record No. 88, pp. 69-84, 1965.
- 2) Martin, B.V.: A Computer Program for Traffic Assignment Research, MIT Report, 1964.
- 3) 井上 孝・杉恵頼寧: 発生率曲線による増加交通配分法, 第23回土木学会学術講演会IV, pp. 425-426, 1968.
- 4) 杉恵頼寧: 増加交通配分法の研究, 道路, pp. 40-47, 1971. 1.
- 5) 広島都市交通問題懇談会: 広島都市圏における総合的交通計画, 都市計画 63号, pp. 2-34, 1970. 7.
- 6) 広島都市交通研究会: 交通機関別分担の実態とその計量, Technical Report No. 6, 1971. 7.
- 7) 広島都市交通研究会: 交通量の路線配分の検討, Technical Report No. 2, 1970. 4.
- 8) 井上 孝・杉恵頼寧: 都市道路網の配分交通に関する基礎的研究, 日本都市計画学会第3回学術講演会論文集, pp. 25-34, 1968.
- 9) Quandt, R.E. and Baumol, W.L.: The Demand for Abstract Transport Method: Theory and Measurement, Journal of Regional Science, Vol. 6, No. 2, Winter, pp. 13-26, 1966.
- 10) 広島都市交通研究会: 広島都市高速鉄道計画 No. 1, pp. 13-35, 1971.

(1971. 6. 14・受付)
(1971. 11. 8・再受付)