

大都市近郊地域の交通需要予測手法に関する考察

埼玉大学工学部 正 員 東 原 紘 道

埼玉大学工学部 学生員 竹 田 敏 昭

埼玉大学工学部 正 員 八十島 義之助

現在の大都市近郊地域の交通計画に要求される土地利用と交通の総合的な考察の試みの第一歩として、逐次近似計算手法によって、交通ネットワーク均衡解を基礎にした交通配分手法を、手段分担の決定にまで拡張する方法を検討する。その前提となるネットワーク均衡解の決定プログラムの演算性能を吟味すると共に、実測例と照合して計算の適合性を検討する。

1 はじめに一大都市近郊地域の交通の特徴

最近までの我国における交通計画、すなわち経済成長が圧倒的な強さで進行している時期の交通計画は、まず交通の需要を推定し、これにもとずいて交通施設の所要能力を決定することを内容とするものであった。このうち交通の需要は社会経済的な要因によってほぼ決定された。需要は交通計画にとっては強度に外因的であったわけで、そうであればこそ大都市近郊地域のスプロール化が生じたと言うことができる。

しかしこのような簡潔な理論構造をもった交通計画手法が良い精度では成立しない状況が次第にふえている。このことは大都市近郊地域の交通計画において特に痛感される。これには多くの原因が挙げられうるが、そのうちの主要な事項は次の2点に集約される。

第一にこの地域では既に渋滞が慢性化していることである。これは大都市の高い経済成長がもたらしたひずみと称されることが多いが、このひずみは近郊地域に集中しているのである。この渋滞は厄介なものである。それは広域的な連関を有している。渋滞が局所的に集中しているならば、その解消は比較的容易である。一般に流れの場が1次元的なものであれば、渋滞はネックとして明確に定まり、必ず局所的である。しかしこれが2次元以上の広がりをもつときは、もはやネックが定義されえず、渋滞の因果関係が単純でなくなり、特定の地点での流れの容量の改善の効果が判別しにくくなる。大都市近郊地域はその交通需要との対比で相対的には交通施設の能力が不足しているが、絶対的には充実した交通網を有しているので、渋滞の解消の方向が捉えにくいのである。

しかも渋滞に適応した交通行動が定着してしまっている。このため従来の計画のフレームを与えた交通施設の所要能力という概念そのものが成立しなくなっている。かつて所要能力を算定する際には2次的効果として無視された、交通施設の能力の制約の交通需要への反作用が、現在では主要な要因として働いているのである。こうして交通施設の能力の不足が面的に拡散され、しかも交通の適応行動が定着してしまうと、所要能力の不足という説明は、経済活動の低成長への移動期における圧迫された財政資源の少なからぬ部分を投入するに足らず、説得力に乏しいものとならざるを得ない。とにかく社会経済活動は維持されているからである。

第二に云ゆる低成長時代への移行に伴ない交通活動に大きな変化の兆しが認められることである。この変化はとりわけ個人もしくは世帯の立地行動に顕著に認められる。大都市近郊地域における不動産の最終取引（現実に居住する者による購入）の著しい停滞と、これに伴う人口の社会増の急速な減少がそれである。大都市近郊地域にとって、低成長時代は、高度成長時代のひずみを是正する時でもある。しかし有効な交通政策の実行によって、当該地域の穏やかな経済成長とりわけ居住人口のある程度の増加は不可欠である。さもないと交通政策は、採算の面から大きく制約される。

このように交通需要の伸びにトレンド推定が適合しなくなっただけでなく、立地行動が抑制気味で不安定となり、しかも立地者の選別行動がきめ細かいものになると、交通の需要は交通政策と強く相互作用をするようになる。事実、大都市近郊地域の交通計画の担当者は、個々の計画の需要へのフィードバックを、当該計画

の実現可能性の死活を制する要素として重視するとともに、他方では土地利用行動の誘導のきめてとして大きな期待をかけているのである。

以上のように、近年の我国の大都市近郊地域の交通計画においては、交通需要の予測と交通政策の決定の間の相互作用を無視することができず、したがってこれらを各別にシーケンス的に処理することができない点に特徴を見ることができる。この相互作用の計画理論上の重要性はかねてより識者によって指摘されてきたところであるが、大都市近郊地域においては特に実用的意義を増したと言えよう。もちろん理論上はこの相互作用は従来も存在していたものである。ただ高度成長時代においては需要の伸びに強い自律性があり、それとの対比では、言わばノイズとして、相互作用の効果が無視されても、需要の推定値は第1次近似としての意味はもちえたのである。

したがって大都市近郊地域の交通計画は土地利用計画と統一的に立案され運用される必要が特に強い。この実務上の要求に応える理論は基本的には土地利用問題の研究に基礎を求めるべきであると考えられる。しかしその他のアプローチももちろん意義をもちうる。例えば交通配分理論を基礎としたアプローチは適切に応用されるならば、これまでに蓄積された豊富な理論的成果とデータを援用できるという点で、実用的に有力な1つの試みと言えよう。本研究ではこの観点から交通需要予測手法の考察を行なう。これは土地利用理論からの接近を補完することが期待される。

2 相互作用へのアプローチ

交通需要予測の理論的基礎は社会経済的な条件とそのもとで実現される交通とを関係づける手法であって、例えば4段階推定手法はその標準的なものとされる。すなわち社会経済的条件から各種の人口その他の需要の発生源とみられる諸量を求め、これから各地域に起終点を有する交通量の総体を推定する。以下OD交通量・手段別分担交通量・経路別交通量が推定される。この方法の実用上の特色はこれらのデータ処理の過程がシーケンス的に実行されうることである。これは計算の面から見て大きなメリットである。しかもこの方法は、前章で述べた従来の交通計画問題、すなわち交通需要の伸びが強い自律性をもっているような経済成長の速度の大きい社会に対しては、相応の成果をあげたのであり、対費用効果の高いモデルと言わなければならない。

現在の大都市近郊地域の交通の特徴を、前章のように、交通の需要と交通サービスの水準の相互作用に求めるならば、この4段階推定手法はそのままでは適用することができないのは明らかである。各種人口から手段別分担交通量までの推定に、処理の最終過程の出力である経路別交通量もしくは、それによって定まる交通サービス水準の情報が要求されるからである。換言すれば推定計算を行なうためには予め何らかの交通サービス水準を想定しなければならないが、推定結果として得られるサービス水準は想定値と異なるのがふつうであり、したがって4段階推定手法の出力は斉合性を欠くものとなる。

この問題は、計画の純粋に技術的観念からは、出力結果のフィードバックによって克服される可能性がある。換言すればデータの処理の過程は逐次近似の反復として構成されるものとなる。これは発想としては素朴であって、腕力＝計算機の能力にものを言わせるやり方ではあるが、とにかく解を見出すことができるので、発見的な方法としては、実にタフで頼りになる手法である。この手法の作成初期のものは元のモデルに比して遥かに膨大な計算量を要することが多い。しかし試算をくり返すうちにアルゴリズムは洗練される。さらに重要なことは新たに拡張された場での法則性もしくは傾向が把握されることである。これによって新しい問題に真に適合的なモデルが見出されうる。したがって逐次近似の反復手法は交通推定のメカニズムの中の相互作用をモデルに取り入れる1つの組織的な手段を与える。つまり逐次近似のループは原理的には何重にも設定できるものであるから、相互作用をフィードバックループとして定式化する際にループの階層関係（包含関係と呼んでもよい）さえ誤りなく記述しておけば、相当に複雑な相互作用をも表現することができる。

4段階推定手法を前提とする場合、演算過程の最下流部にネットワーク均衡解を定める計算ループが存在する。

そこでこれを基礎にして逐次上流側の演算過程を取り込んでいくのが適当である。本研究はこの作業の第1段すなわち手段別分担交通量と経路別交通量との相互作用の導入を試みる。またその前提としてネットワーク均衡解の解法の演算性能と適合性について必要な検討を行なう。なお一般論として、上流側演算過程への遡上を1段階行なう毎に、1段階拡張した均衡条件の定式化か交通主体の選択行動に関する経験則を添加する必要がある。理論の明快さにおいては前者が勝っている。特に等質な交通単位から成るネットワーク均衡問題では等時間則が存在し、現状再現性も悪くない。しかし、より上流側の過程の選択行動では多数の異質な選択肢が競合するので、均衡条件を見出すことは至難のわざと予想される。したがって経験則の利用が必要になる。この経験則は多くの場合に選択確率の形をとると考えられる。近年、非集計手法の名のもとに、種々の選択行動が計測され、また選択確率が同定されている。この分析の思想が本研究を進めるうえで不可欠なことは明らかである。また選択確率の表示の態様、とりわけ説明変数および選択肢の与え方は、直ちに反復計算のアルゴリズムに影響し、その演算性能を大きく左右する。したがって本研究においては選択確率の表示型式の選択にあたって、それを組み込んだ演算ループの構造も配慮しなければならないのである。

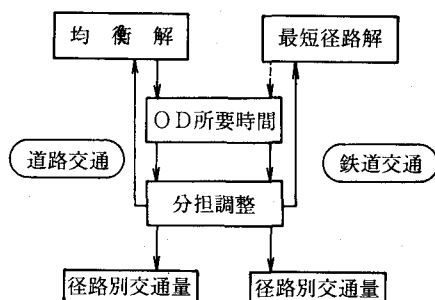
3 解析の方法

大都市近郊地域の特徴の1つは、面的に相当に発達した道路網と鉄道網が存在し、両者の競合関係を核として交通の体系が形成されていることである。これを考慮して経路別交通量の推定にあたって両者の相互作用を明示的に許容する。そのためには適当に分割された地域相互にOD交通量が与えられるならば、経路別交通量およびそれによって定まる交通サービスの水準と手段および経路の選択が斉合するように交通量が決定されなければならない。

道路および鉄道の各々の内部ではネットワーク均衡解として経路別交通量を指定する。この均衡条件を、微視的レベルすなわち個々のトリップでの最適化行動条件として与える。この際交通サービス供給者など利害の相反する主体の適応行動は考慮しないとする。適応行動を定める目的関数は交通量に対してconvexであればよい。特に目的関数として所要時間を用いる等時間配分則は道路交通に対しては実用的に十分な適合性をもつことが後述の試算によって判る。鉄道にも等時間配分則を忠実に適用するとこの場合には目的関数は交通量によらず一定である。

両者を統一的に扱うとしても、同一のネットワークで扱う方法と、両者を各別に計算して仮の均衡解を求めて調整する過程を反復する方法がある。前者ではネットワークの規模が大きくなるが、処理手続は簡明になる。後者は調整の逐次計算の収束が問題になるが、各ステップの解の動きが解釈しやすい。演算性能の点では一長一短があり優劣はつけがたい。しかし前者は上述のような忠実な等時間配分則とは適合せず、しばしば非現実的な解を与える。これは鉄道の目的関数=非効用が、どんなに交通量が膨張しても、不変に留まるとしたためである。現実の手段選択行動はもちろんこのようにはならない。すなわち鉄道交通については所要時間以外の非効用は無視できない。したがって道路と鉄道を同一ネットワークで扱うためには、特に鉄道交通の目的関数を所要時間よりも拡張することが不可欠である。しかしこの観点から依拠しうるデータは現在のところ皆無に近い。そこで本研究ではさしあたって第2の方法に依ることにする。この方法によると鉄道交通の目的関数は所要時間と与えられる。そして鉄道交通の他の種々の効用の要因は、道路交通の種々の効用の要因ともども、両種の交通の選択確率として表現されることになる。この方法でも利用可能なデータは少ないが、行動モデルを用いれば、比較的測定しやすいと考えられる。

Fig. 1 解析の手順



解析の手順を Fig1 に示す。目的関数を所要時間とした場合、鉄道交通の OD 所要時間は交通量と無関係であるから、図中の破線部分は最初の 1 回で確定し、以後鉄道交通の反復計算ループは切断される。

分担調整は OD 別の所要時間差の関数として、上述のように選択確率で与える。もし道路交通と鉄道交通の間のバランスが等時間配分則に従うならば、この選択確率の累積曲線は所要時間 0 のところでのみジャンプする階段関数になる筈である。しかし同定された例を見ると、これはかなり穏やかにしか変化しない。

鉄道交通は一般にアクセスのための道路交通を伴う。道路交通と鉄道交通を截然と区別し、その選択行動を確率法則で記述するという本研究の立場では、この交通トリップに一般の道路交通トリップのような経路選択を許すことはできない。すなわち鉄道の線上にない交通の発生・集中点に対してはアプリオリにアクセスの経路を指定しなければならない。このアクセス経路を複数個許すことは、若干の演算量の増加を許せば可能である。この扱いはモデルの使用目的に応じて異なる。広域のおおまかな交通の分布を求める場合には、アクセス交通を粗い近似度で扱うのが適当である。

4 プログラムの作成

(1) 経路別交通量の決定

道路交通の均衡解は LeBlanc らの手法を応用し、Dijkstra 法と Newton-Raphson 法の組み合わせの逐次近似計算によって求める。後者は 1 次元探索過程であるが、与えられた線分上に最小解が唯一存在するという特別な条件があるので、N. R 法が簡便で高速である。目的関数である所要時間は経路交通量の 5 次多項式としたが、これの選択には多分に任意性がある。¹⁾

鉄道交通は Dijkstra 法によって定められ、OD の所要時間を定める第 1 回ループと、最終回ループの演算のみが実行される。

(2) 分担調整

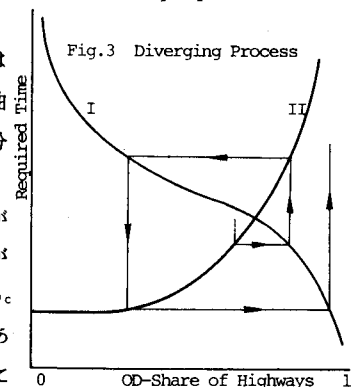
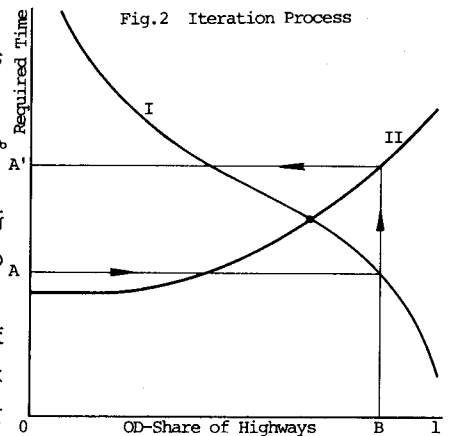
道路交通の均衡解は convex な問題であり、解の存在と唯一性および反復計算の収束性と単調性があるので、計算は容易である。

しかし分担調整の反復計算には後 2 者が欠けているので注意を要する。

ある OD 交通に対して、道路と鉄道の選択確率（累積曲線）が、Fig. 2 の曲線 I で与えられているものとする。縦軸の道路交通の所要時間が与えられると曲線 I は道路交通の分担率を横軸に与えるものである。したがって曲線 I は右下りの単調な曲線である。

他方で OD 交通量が指定されると、均衡解の計算によって経路別交通量が定まり、同時に道路交通の OD 所要時間も定まる。この関係は演算の過程では表面には出ることがないが、概念として曲線 II として表わすことができる（この曲線は全ネットワークの交通量分布に依存するので、反復計算の各ステップで変化する）。横軸の道路交通量が与えられると曲線 II は OD 所要時間を縦軸に与える。これは右上りの単調な曲線である。したがって曲線 I と II は唯一の交点をもち、この点が当該 OD の道路交通と鉄道交通の均衡分担の解に他ならない。

反復計算の初期条件としては、渋滞なしの状態の所要時間が用いられることが多い。いま所要時間が Fig2 の A 点で与えられたとすると曲線 I によって B 点が決まる。すると曲線 II によって点 A が定められ、逐次近似過程 $A \rightarrow A'$ が完了する。この処理過程は図中では必ず反時計回りに進行し、逆向きの演算は不可能である。このため演算の収束性に問題が生じうる。例えば道路と鉄道の交通量が共に



大きな場合にはFig 3のように反復計算は発散的になる。これに対する自然な収束アルゴリズムは見出されていないので、強制的に収束させる必要がある。

本研究では単純な移動平均による緩和法を用いる。今までのところこれで制御できない事例は生じていない。

5 計算例

埼玉県を例にとり、昭和53年度に実施された東京都市圏パーソントリップ調査結果をOD交通量として採用し、一日交通量を計算する。

(1) ゾーン区分

前掲のパーソントリップ調査に対応して埼玉県内を96ゾーンに区分する。県外との交通を考慮するために東京2ゾーンと栃木・群馬・千葉の各県に1ゾーン配して合計101ゾーンとする。各ゾーン中の適当な1ノードで交通の発生・集中を代表させる。特に以下ではゾーン内の主要鉄道駅を代表点とし、鉄道のないゾーンでは主要道路と集落位置を勘案して選ぶ。

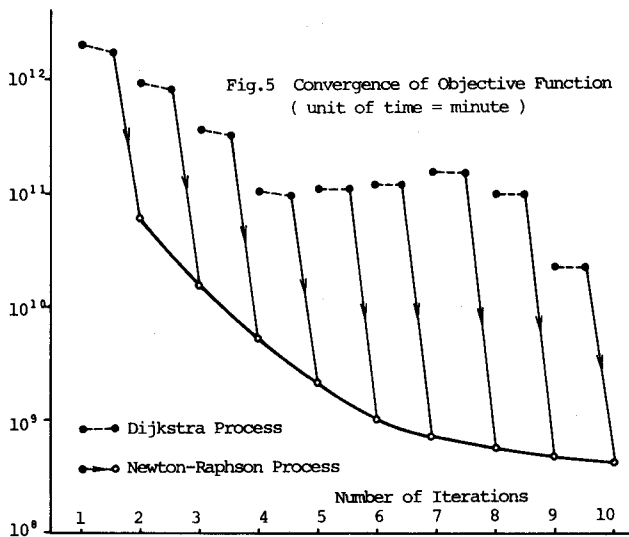
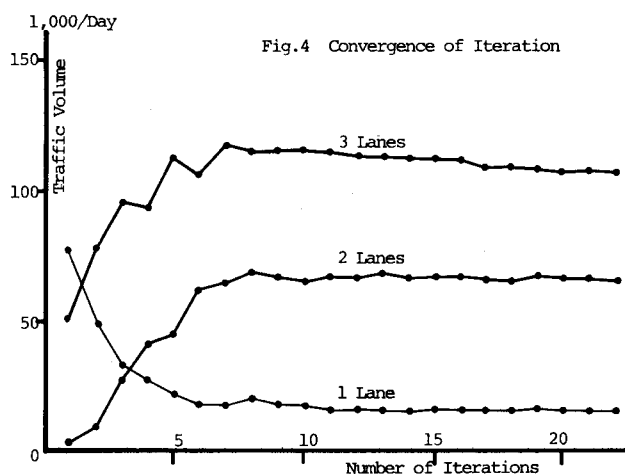
(2) ネットワークの構成

現存する道路のうち国道および県道を以て道路ネットワークとする。その結果として372ノード、1426リンクのネットワークが得られる。鉄道ネットワークでも現存路線を用いる。ただしゾーン区分の結果として乗降客数が意味を失う駅は省略して、106ノード、292リンクが得られる。急行列車などの等級の区分はしない。これはネットワークの若干の拡大によって容易に対応できる。

(3) 道路の均衡計算の収束性

道路の規模別に代表的なリンクを選びその交通量の収束状況をFig 4に示す。演算の第1ステップではリンクの容量が作用しないので、多くの場合1車線道路は過大な配分を受け、2車線以上では過少になる。第2ステップ以降で渋滞による再配分がなされる。少数のリンクでは最初の2～3ステップで顕著な振動が見られるが、もちろん発散に至ることはなく、以後の収束は穏やかである。

次に目的関数の変化をFig. 5で示す。これは個々のリンク交通量よりも速やかに収束する。均衡解を求める最適化操作は目的関数を指針として進められるものであるから、たとえ個々のリンク交通量の収束が不十分であっても、目的関数が収束してしまうと、以後の反復計算の1ステップあたりの改善は著しく小さくなる。本研究の



対象程度の規模のネットワークの均衡計算は10ステップ程度で打ち切るのが実用的には賢明である。

なお計算は東京大学大型計算機センターのM 200 H によった。1 ステップの所要CPU 時間は約105 秒で、そのほとんどはDijkstra 法に費されている。

(4) 道路の均衡交通量の適合性

道路交通のみのOD 交通量を用いて均衡解を求め、それを実測値と対照したものがFig. 6 である。適合性は概ね良好である。しかし偏差の著しいリンクについてはその原因を検討する必要がある。

(5) 鉄道の配分交通量の適合性

計算値と実測値の対照をFig. 7 に示す。図中の丸印は大都市交通センサスのデータの昭和50年と昭和55年の数値を内挿して昭和53年の実測値としたものである。²⁾また印は都市交通年報のデータである。³⁾すなわち実測データと入力されたOD データは必ずしも斉合していないことに注意を要する。のみならず実測データ相互に相当に差がある。この点を考えれば、計算値の適合性を承認できると考えられる。

(6) 分担調整の手続

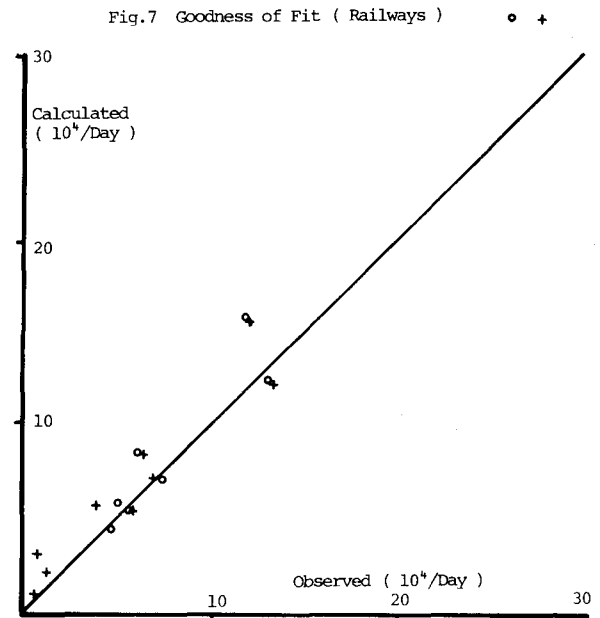
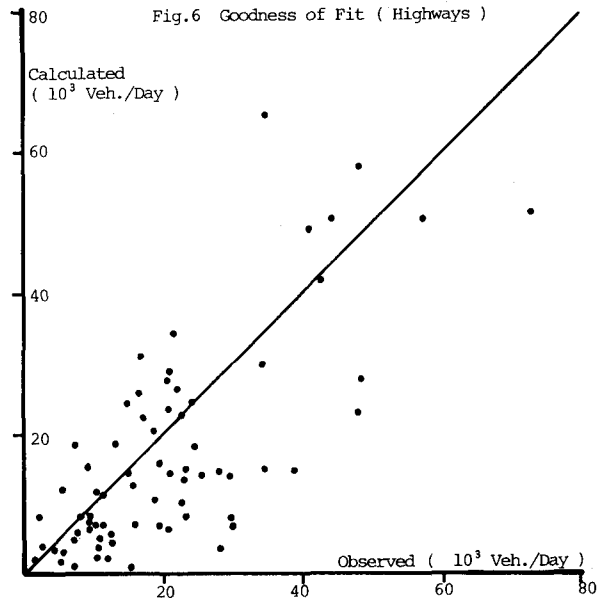
分担調整に用いられる選択確率は本来は非集計的手法によって構成され固定されるべきものである。しかしこの作業は本研究で開発された解析システムによる試算を要するので、本研究ではさしあたっては集計データによって同定された選択率を用いる。窪田・伝谷らは既に埼玉県交通分析して選択率を提案しているので、⁴⁾これを利用する。

(7) 分担調整演算の収束性

分担調整の反復計算における道路のOD 分担量の変化をFig. 8 に示す。これは単純平均(すなわち緩和係数0.5)の場合である。

概ね5~6 回で変化は小さくなっている。図中の一部のOD ではなお振動が残っているが、この振動は発散的でないで、1 ステップ前の解との適当な重みつき平均で解を求めるのが賢明である。また緩和係数0.5 には変更の余地があり、その最適値はやや小さめであると推測される。

同じ収束性を代表的なリンク交通について見たものがFig. 9 である。これも6 回の反復程度では振動は残っているが、これは減衰的かつ定期的な振動であり、上述の重みつき平均を取ることにすれば、4 回の反復でほぼ



正解が得られる。図中のリンク I の振動状況は、Fig.3 のパターンであると推測できる。すなわち本来もつ発散性が緩和法によって抑制されていると考えられる。

(8) 分担調整の適合性

分担調整の適合性を見るために、(4)および(5)で用いたデータによって、実測値と計算値との対照を行なう。ここでは道路交通と鉄道交通を区別しないトータルのODが入力として与えられたものである。Fig.10は鉄道交通, Fig.11は道路交通を示す。

一見して明かなように、計算値は鉄道においては過小評価を与え、道路においては過大評価を与えている。

ここで用いた選択率の同定の際、その適合性が良くなり、相関係数も0.65程度であったと報告されている。そこでのパラメータ推定は形式的には不偏推定であるが、データのばらつきのため推定の精度が大巾に低下し、実質的に偏りが生じたのではないと思われる。この現象は同定作業に集計済みデータを用いる場合によく生じるもので、この点是非集計データによる同定が望まれる。

謝辞：本研究に対して、埼玉県企画財政部交通対策課よりデータの供与のほか多くの助言をいただいた。また埼玉大学工学部の窪田陽一博士は多くの有益な意見を出された。末語ながら特記して深甚の謝意を表わしたい。

6 参考文献

- 1) Le Blanc, L. J. et al.: An Efficient Approach to Solving the Road Network Equilibrium Traffic Assignment Problem, Transpn. Res., Vol. 9, p. 309 - 318, 1975.
- 2) 運輸省：昭和55年度大都市交通センサス報告書，昭和57年3月
- 3) (財)運輸経済研究センター：昭和55年都市交通年報，昭和55年6月
- 4) 八十島，窪田，伝谷：アクセス交通を考慮した交通手段分担に関する研究，土木学会年講IV-192，昭和57年10月

