

東京圏鉄道旅客流動予測システムの開発とその適用 -乗降駅選択及び経路・列車種別選択モデル-

A Simulation Model of Commuter Railway Passenger Transport for Tokyo Metropolitan Area and its Applications*

家田 仁**・加藤浩徳***・城石典明†・梅崎昌彦††・石丸浩司†††

By IEDA, H.**, KATO, H.***, SHIROISHI, F.†, UMESAKI, M.†† and ISHIMARU, K.†††

1. はじめに

東京圏では、朝夕ラッシュ時の鉄道混雑が慢性化し、深刻な社会問題となって久しい。これに対し、従来より一層の鉄道交通の整備が望まれてきており、特に近年は、新たな鉄道ネットワーク整備計画の策定ニーズが高まりつつある。

一方で、鉄道利用者の行動環境には近年様々な変化が見られる。まず、鉄道経路の選択においては、着々と進められつつある鉄道ネットワークの整備に伴い経路選択の範囲が広がっていることに加え、速達性重視の観点より各鉄道事業者が快速急行運行の導入を進めたこと等から列車種別も多様化してきている。乗車駅・降車駅の選択についても、都心部では鉄道駅の密度が向上している一方で、郊外部ではアクセス手段が多様化してきており、利用者の乗降駅選択の幅が広がりつつある。したがって、鉄道ネットワーク整備を計画する上で、これらの利用者の選択範囲の拡大を無視することは難しくなっている。

こうした社会的なニーズや交通環境の変化に対し、精度の高い通勤鉄道需要予測手法の開発が強く望まれ

ているのは言うまでもない。実際、従来より東京圏を対象とした数多くの鉄道利用者の需要予測モデルが開発されてきた¹⁾。そのうち特に経路選択の部分に着目すると、近年、非集計データに基づく離散選択型モデルは、個人選択行動理論に基づくために論理性が高いことやモデル作成のデータが比較的少量ですむといった利点から、多くのモデルで採用されてきている²⁾。しかし、こうしたいわゆる非集計モデルは、パラメータの推定には有用な手法であるものの、経路選択への適用においては選択肢を明示・列挙する必要があることから、多大な労力を要するといった問題点を持っている。また、実際にはフローに依存する混雑効果を外生的にしか与えることができないため、フローパターンが大きく変化するときなどはその適用が困難である。

そこで、本研究では、東京圏を対象地域とし、利用者の乗降駅及び経路・列車種別の選択を混雑回避を考慮に入れた上で表現でき、しかも実際の鉄道輸送改善施策の効果把握にも耐えうる実用的な需要予測システムの構築を行う。本システムの特徴をまとめると以下の通りである。

①経路列挙の必要のないネットワーク配分法を用いている

②経路選択において、東京圏では不可欠といえる混雑の影響を考慮してコストをフローディペンデントなものとして扱っている

③複数の列車種別（急行と緩行など）を表現できる

④乗降駅の選択において、経路の情報を加味することにより、乗降駅と経路の擬似的な同時選択を表現可能としている

さらに、本システムを実際の東京圏の鉄道網における2つの輸送改善施策案に適用し、それらの事例について予測・評価を行う。

* キーワーズ：経路選択，公共交通需要，公共交通計画

** 正員，工博，東京大学工学部土木工学科教授（〒113 東京都文京区本郷7-3-1，TEL:03-3812-2111 ext. 6119，FAX:03-5800-6868，E-mail:ieda@trip.t.u-tokyo.ac.jp）

*** 正員，工修，東京大学工学部土木工学科助手（〒113 東京都文京区本郷7-3-1，TEL:03-3812-2111 ext.6135，FAX:03-5800-6868，E-mail:kato@trip.t.u-tokyo.ac.jp）

† 正員，M.S.，東京急行電鉄（株）工務部土木課（〒150 東京都渋谷区南平台町2-17日交南平台ビル7F，TEL: 03-3477-6322，FAX:03-3477-6266）

†† 正員，工修，関西電力（株）奥多々良木発電所増設工事建設準備所（〒679-34 兵庫県朝来郡朝来町多々良木字小倉740-1，TEL:0796-78-1460）

††† 正員，工修，首都高速道路公団第2建設部設計課（〒100 東京都渋谷区代々木2-1-1，TEL:03-5352-8631，FAX:03-5352-8644）

2. 本システムの概要

本システムは、四段階推定法のうちいわゆる経路選択モデルに対応する。すなわち、代表交通手段を鉄道とする利用者のゾーン間OD量を入力とし、最終的に各駅間の列車種別々断面交通量や乗換客数を求めるものである。

本システムでは、鉄道利用客の行動を図1に示すように二段階に分けて考える。まず第一段階は、居住地ゾーンと目的地ゾーンを与件としたうえで、駅へのアクセス・イグレス条件や途中経路の概括的情報から、乗車駅と降車駅を決定する乗降駅選択サブモデルであり、ゾーン間OD表を乗降駅間OD表に変換する。第二段階は、途中経路の詳細な情報をもとに、列車種別選択も含めて、乗車駅と降車駅間の経路を決定する経路選択サブモデルであり、最終的に列車種別々に駅間断面交通量が出力される。

システムを二段階にしているのは、計算機の容量上の問題を回避するのが最大の理由である。本システムでは、東京圏の鉄道ネットワークを詳細に表現していることから、もし厳密に乗降駅選択と経路選択を同時に行うと、かなり大規模なネットワーク構造となり、相当の記憶容量と計算時間を必要とする。そこで、ここでは交通量配分の計算を効率的に実行するために、乗降駅選択サブモデルにおいてはアクセス・イグレスリンクと簡略化された鉄道リンクから成るネットワークを、また経路選択サブモデルにおいては列車種別を考慮した詳細な鉄道ネット

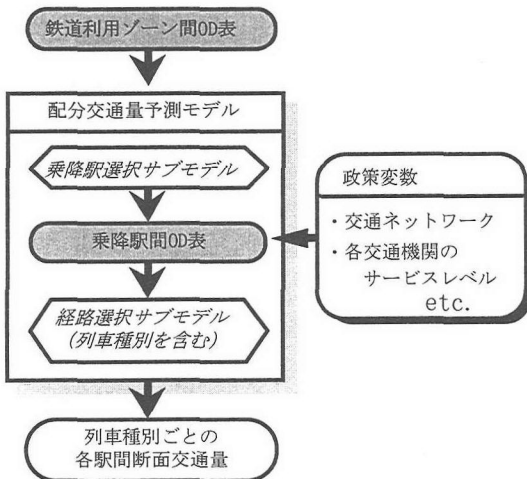


図1 東京圏旅客流動予測システムの全体構成

ワークをそれぞれ用い、ネットワークを階層化することによって簡略化を図っている。

3. 乗降駅選択サブモデルの構築と推定

(1)乗降駅選択サブモデルの概要

乗降駅選択サブモデルは、鉄道利用者のゾーン間OD表を入力し、駅間OD表を出力するものである。すなわち、居住地と目的地を与えられた鉄道利用客の駅選択行動をモデル化したものである。

乗降駅選択サブモデルのネットワーク模式図を図2に示す。まず、対象エリアをゾーンに分割し、ゾーンを表した地理平面と鉄道ネットワーク平面を考え、鉄道ネットワーク平面には簡略化した路線ネットワークを張る。簡略化したネットワークを用いるのは計算上の問題が理由であるが、実際にも利用者は利用駅選択の際、必ずしも列車種別や乗換に関する詳細な情報を考慮しているとは言えないことから妥当な方法であると思われる。ここで簡略化したネットワークとは、列車種別・系統、乗換によらず鉄道駅を1つのノードとして捉え、また駅間に方向別に1本ずつのリンクを張ったものを指す。

なお、ゾーンとしては、国土数値情報における標準地域メッシュの第4次区画(約500m四方)を用いている。

次に、ゾーン内の1つのノードと近隣の鉄道駅とを手段ごとにアクセス・イグレスリンクでつないだ。手段別にリンクを張ることによって、手段によって異なるリンクコスト関数を取り込むことができる。なお、ここではアクセス手段として、バスとバス以外の2手段を扱うこととする。すなわち、主に駅までの距離に依存すると考えられる徒歩、自転車、自家用車(キス

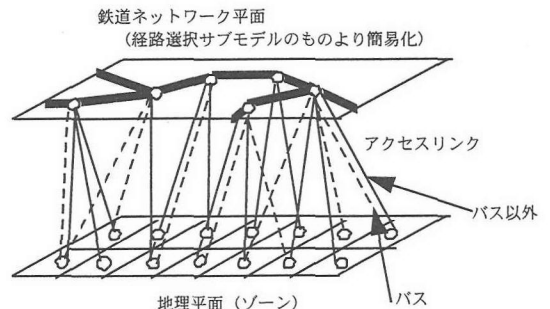


図2 乗降駅選択サブモデルのネットワーク模式図

アンドライド、パークアンドライド)を一つのグループにまとめ「バス以外」とし、アクセス手段の中で唯一公共交通機関と考えられるバスをもう一つの選択肢として扱う。イグレス手段としては徒歩のみのリンクを張っている。

以上のようなリンクに対し、ゾーン間OD交通量を最小コスト経路探索を行うことによって最小コストの経路に100%配分し、いわゆるAll-or-Nothing法により乗降駅間OD交通量を算出する。All-or-Nothing法を用いるのは、使用しているゾーンのサイズが十分に小さいことからゾーン内の鉄道利用者の行動を一様とみなすことができると考えたためである。

(2)効用関数の設定及びその推定

前述のネットワークに、適当なリンクコストを設定するため、多摩ニュータウン地区で乗車駅選択行動に関するアンケート調査を行い、非集計ロジットモデルによってパラメータの推定を行った³⁾。

効用関数型は、次のように仮定する。

$$V_{xy,m,p}^r = \alpha \cdot tline_{xy,p}^r + \beta \cdot distance_x^r + \gamma \cdot \ln(busfreq_{xm}^r + 1) + \lambda \cdot busstop^r \tag{1}$$

ただし、

$V_{xy,m,p}^r$: ゾーン r を発地とし、手段 m で発駅 x にアクセスし、鉄道によって着駅 y に至る p 番目経路の効用

$tline_{xy,p}^r$: 発駅 x 着駅 y 間の p 番目経路の鉄道乗車時間(分)

$distance_x^r$: ゾーン r の中心から駅 x までの直線距離(km)

$busfreq_{xm}^r$: ゾーン r から駅 x までのバス運転頻度(本/時間)ただし、手段が「バス以外」の時にはゼロ。

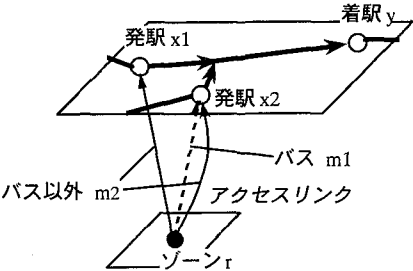


図3 乗降駅選択サブモデルの効用関数の推定における経路の一例

$busstop^r$: ゾーン r の中心から最寄りのバス停までの直線距離 (m)

である。

式[1]のうち、第3項のバス運転頻度に関する項が、バス路線の有無によって効用を変化させるために導入された項である。すなわち、バス路線が存在し、さらに運転頻度が高いほど、その駅の効用が上がるようになっている。ここで、自然対数を採用した理由は、バス運転頻度が増加するにつれて、その限界効用が逓減すると考えたためである。

有効サンプル323票を用いて、晴天時の選択結果をもとにパラメータを推定した結果が表1である。

全ての変数についてt値は有意であり、モデルの適合度を表す指標の尤度比もよい結果が得られている。

表1 乗降駅選択サブモデルのパラメータ推定結果

特性変数	パラメータ	パラメータ値	t値
鉄道乗車時間 (分)	α	-0.2952	-8.25
駅までの距離(km)	β	-2.122	-9.14
バスの本数 (本/時)	γ	0.3885	2.01
バス停までの距離(m)	λ	-0.001733	-4.81
			的中率 63.6%
			尤度比 0.643

(3)ネットワークへの配分と駅間OD表の作成

(2)の結果をもとにリンクコスト t_{ij} を以下のように設定した。

i)リンク $i \rightarrow j$ が鉄道リンクのとき

$$t_{ij} = \alpha \cdot rail_{ij} \tag{2}$$

ii)リンク $i \rightarrow j$ がアクセスリンク (バス) のとき

$$t_{ij} = \beta \cdot dist_{ij} + \gamma \cdot \log(bfreq_{ij} + 1) + \lambda \cdot bstop_i \tag{3}$$

iii)リンク $i \rightarrow j$ がアクセスリンク (バス以外) のとき

$$t_{ij} = \beta \cdot dist_{ij} + \lambda \cdot bstop_i \tag{4}$$

iv)リンク $i \rightarrow j$ がイグレスリンクのとき

$$t_{ij} = \beta \cdot dist_{ij} \tag{5}$$

ここで、

$rail_{ij}$: リンク $i \rightarrow j$ 間の鉄道所要時間 (分)

$dist_{ij}$: リンク $i \rightarrow j$ 間直線距離 (m)

$bfreq_{ij}$: リンク $i \rightarrow j$ 間のバス運行頻度 (本/時間)

$bstop_i$: ノード i から最近隣のバス停までの直線距離 (m)

である。

アクセスリンクについては、実際の配分計算では、

一つのゾーンから最大7駅（距離の短い順に3駅とバスの行き先駅別に最大4駅）に対して設定している。イグレスリンクについては、バス以外のリンクのみを最大3駅設定した。

その上で、先に設定したリンクコストにより最小コスト経路探索を行う。なお、本システムでは、最小コスト経路探索のアルゴリズムとしてラベル修正法を用いている。また、本サブモデルでは容量の制約を考慮していない。

最後にアクセスリンクのうち交通量の配分されているものを探し、その対応する駅から乗降駅間OD表を作成する。

(4)現状再現状況の確認

モデルの妥当性を確認するため、前節で推定されたパラメータを用い、現状再現状況を調べる。

今回、作業量の都合上から対象地域を限定した。平成2年大都市交通センサス⁴⁾の鉄道定期券利用者調査において、表2に示す地域を発着とするものを検証用として用いた。これは、これらの地域が第5章で行う輸送改善施策の適用の対象地であるため、高い再現性を確認する必要があるためである。ここで、別途の調査を参考に、大都市交通センサスの基本ゾーン単位の鉄道利用者のOD表を国土数値情報における標準地域メッシュの第4次区画（約500m四方）単位のOD表に変換をおこなっている。

表2 現状再現状況確認における対象ODペア

○側：川崎市

中原区、高津区、多摩区、宮前区、
麻生区の一部

D側：東京都

千代田区、中央区、港区、新宿区、文京区、
台東区、品川区、渋谷区、豊島区

○側のエリアには、京王相模原線、小田急小田原線、東急田園都市線・東横線、JR南武線が含まれる。また、D側はほぼ山手線内に対応する。

なお、ネットワーク規模はリンク数は約4,000、ノード数は約2,000であり、約37,000のODペアが存在する。

川崎市側の駅別乗車人員を図4に示す。図中の実績値は、各々の駅を発地とし、午前8時台に最終降車駅に到着する利用客の乗車人数を示している。

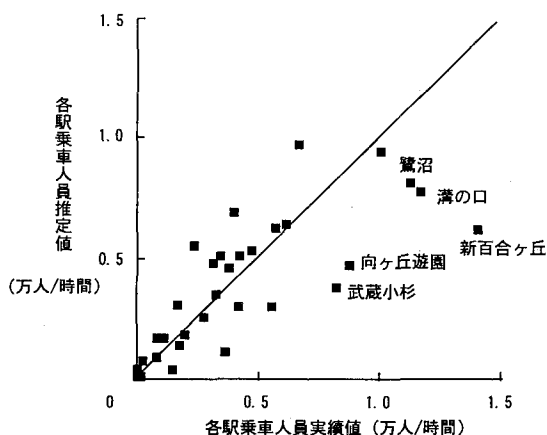


図4 各駅の乗車人員の検証（川崎市側）

実績値と推定値との相関係数は0.791であり、まずまずの再現結果と言えよう。ただし、乗降人員の多い一部の駅、例えば新百合ヶ丘や鷺沼といった駅で過小推計をする傾向にある。これは、乗降人員の多い駅が、式[1]の効用関数で取り込まれている変数以外の要因を有しているためと考えられる。例えば、本モデルでは朝の通勤・通学時に関する効用のみを考慮しているが、実際には利用者は帰宅時に関する効用をも考慮して定期券を購入していると考えられる。従って、背後に大規模な繁華街やショッピングセンターを抱える駅の実際の効用については、本サブモデルでは過小推定する傾向にあると思われる。

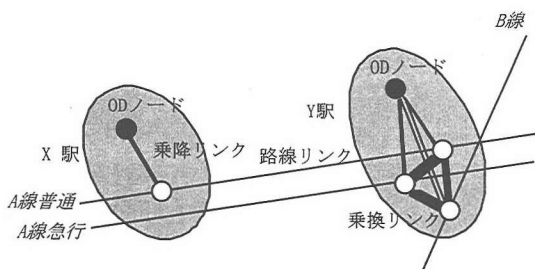
4. 経路選択サブモデルの構築と推定

(1)経路選択サブモデルの概要

経路選択サブモデルは、乗降駅選択サブモデルより出力された乗降駅間OD表を入力とし、これを鉄道ネットワークに配分し、各駅間の断面通過人員を求めるものである。すなわち、乗車駅と降車駅を決定した鉄道利用客の、その間の経路を決定する過程をモデル化したものである。

本サブモデルでは、経路列挙の必要がなく、また混雑の影響を取り入れるため、利用者均衡配分法を用いている。

経路選択サブモデルのネットワーク模式図を図5に示す。この経路選択サブモデルでは、鉄道に関する幅広い輸送改善施策の評価が可能なようにネットワークを構成している。まず、路線リンクは、同一路線の複数の列車種別に対応するように設定されており、例え



注) 簡単のため上り、下りを省略 (モデルでは実在)

図5 経路選択サブモデルのネットワーク模式図

ば、ある路線に急行や快速などの速達列車と普通列車がある場合、急行リンクと普通リンクを各々設定できる。また、地下鉄などへの直通運転系統がある場合、それも別の運転系統として表現することが出来る。従って、運転系統の再編に関する種々の施策の評価が可能となる。また、乗換駅では各運転系統相互に乗換リンクを設定しており、そのリンクコストを変化させることによって同一ホーム乗換と異ホーム乗換の影響評価なども可能である。

(2) 効用関数の設定及びその推定

前述の鉄道ネットワーク上のリンクコストを設定するため、昭和60年大都市交通センサスの鉄道定期券調査のデータを利用して、非集計ロジットモデルによってパラメータの推定を行った⁵⁾。

効用関数型は、次のように仮定する。

$$V_{xy,p} = \rho \cdot (tline_{xy,p} + cong_{xy,p}) + \sigma \cdot vm_{xy,p} + \tau \cdot trans_{xy,p} \quad [6]$$

ただし、

$V_{xy,p}$: ODペア xy の p 番目経路の効用

$tline_{xy,p}$: ODペア xy の p 番目経路の鉄道乗車時間と平均待ち時間の総和 (分)

$vm_{xy,p}$: ODペア xy の p 番目経路の運賃 (円)

大人一ヶ月普通定期券運賃を40 (=月平均通勤日数20日×往復) で割り、さらに固定部分と距離比例部分に分離する。ただし、遠距離通減制や区間割りなどは無視している。

$trans_{xy,p}$: ODペア xy の p 番目経路の乗換抵抗

$cong_{xy,p}$: ODペア xy 間の p 番目経路の混雑による不効用 (分)

である。

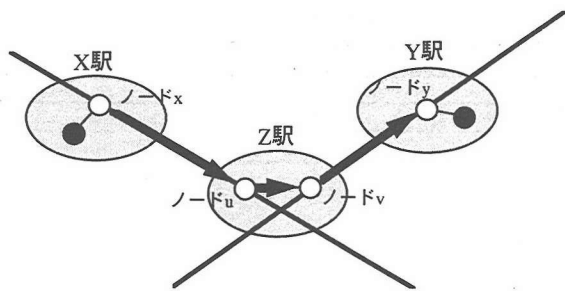


図6 経路選択サブモデルの効用関数の推定における経路の一例

なお、式[6]中の乗換抵抗 $trans_{xy,p}$ は式[7]で定義される。

$$trans_{xy,p} = \sum_{ij} transfer_{ij} \cdot \delta_{xy,p}^{ij} \quad [7]$$

ここで、

$\delta_{xy,p}^{ij} : = 1$ リンク $i \rightarrow j$ がODペア xy の p 番目経路上にあるとき

$= 0$ そうでないとき

$transfer_{ij}$: リンク $i \rightarrow j$ の乗換抵抗。式[8]で定義するエネルギー消費量をもとに算出される乗換抵抗を表す指標⁶⁾

$$transfer_{ij} = dh_{ij} + 1.418 \cdot ustep_{ij} + 0.831 \cdot dstep_{ij} + 0.564 \cdot escalator_{ij} \quad [8]$$

ただし、

dh_{ij} : リンク $i \rightarrow j$ の水平移動距離 (m)

$ustep_{ij}$: リンク $i \rightarrow j$ の上り階段段数 (段)

$dstep_{ij}$: リンク $i \rightarrow j$ の下り階段段数 (段)

$escalator_{ij}$: リンク $i \rightarrow j$ のエスカレータ段数 (段)

である。ただし、主要なターミナル駅 (乗換人数の特に多い駅) 以外については標準的な数値を入力した。

また同様に、式[6]中の混雑不効用 $cong_{xy,p}$ は式[9]で表される。

$$cong_{xy,p} = \sum_{ij} congest_{ij} \cdot rail_{ij} \cdot \delta_{xy,p}^{ij} \quad [9]$$

ここで、

$rail_{ij}$: リンク $i \rightarrow j$ 間の鉄道所要時間 (分)

$congest_{ij}$: リンク $i \rightarrow j$ の混雑不効用を示す指標。式[10]で表される⁷⁾

$$congest_{ij} = 0.01 \cdot \left(\exp \left[\frac{1.97 \cdot x_{ij}}{cap_{ij}} \right] - 1 \right) \quad [10]$$

表3 経路選択サブモデルのパラメータ推定結果

特性変数	パラメータ	パラメータ値	t値
鉄道乗車時間(分)	ρ	-0.1181	-4.95
運賃(円)	σ	-0.002183	-4.23
乗換抵抗	τ	-0.02749	-4.57

的中率 69.1%
尤度比 0.274

ただし、

x_{ij} : リンク $i \rightarrow j$ の1時間当たりの乗車人員(人/時間)

cap_{ij} : リンク $i \rightarrow j$ の1時間当たりの定員(人/時間)

である。

このとき、昭和60年大都市交通センサスの鉄道定期券調査から、通勤・通学の定期券利用者のうち、

■明らかに代替経路が設定できない

■アクセス・イグレスの影響を受けうる

■通勤通学以外の目的に利用していると思われる

等といったサンプルを取り除き、最終的に401サンプルを抽出し、パラメータを推定した結果が表3である。全ての変数についてt値は有意であり、尤度比も問題ないモデルが得られた。

(3)ネットワークへの配分

(2)の結果をもとにリンクコスト t_{ij} を以下のように設定した。なお、異事業者の路線への乗換リンクと発駅での乗車リンクについては、初乗り運賃にあたる金額を、待ち時間や乗換コストに加えて固定費用として与えることとした。

i) リンク $i \rightarrow j$ が鉄道リンクのとき

$$t_{ij}(x_{ij}) = \rho \cdot rail_{ij} \{1 + congest_{ij}(x_{ij})\} + \sigma \cdot vvm_{ij} \quad [11]$$

ii) リンク $i \rightarrow j$ が乗換リンク(乗換先が同一事業者の路線)のとき

$$t_{ij}(x_{ij}) = \rho \cdot twait_{ij} + \tau \cdot transfer_{ij} \quad [12]$$

iii) リンク $i \rightarrow j$ が乗換リンク(乗換先が異事業者の路線)のとき

$$t_{ij}(x_{ij}) = \rho \cdot twait_{ij} + \sigma \cdot fvm_{ij} + \tau \cdot transfer_{ij} \quad [13]$$

iv) リンク $i \rightarrow j$ が乗車リンクのとき(降車リンクの時はゼロ)

$$t_{ij}(x_{ij}) = \rho \cdot twait_{ij} + \sigma \cdot fvm_{ij} \quad [14]$$

ここで、

$rail_{ij}$: リンク $i \rightarrow j$ 間の鉄道所要時間(分)

$twait_{ij}$: リンク $i \rightarrow j$ 間の平均待ち時間(分)。ここでは運行間隔の半分を用いている

$congest_{ij}(x_{ij})$: リンク $i \rightarrow j$ 間に x_{ij} の交通量があるときの混雑不効用指標。式[10]で定義される。

$transfer_{ij}$: リンク $i \rightarrow j$ 間の乗換不効用。式[8]で定義される。

vvm_{ij} : リンク $i \rightarrow j$ 間の運賃のうち距離に比例する部分(円)

fvm_{ij} : リンク $i \rightarrow j$ 間の運賃のうち固定部分(円)。初乗り運賃を用いる。

である。

本サブモデルでは、OD需要固定型の利用者均衡配分問題を取り扱っており、ここではこの問題をFrank-Wolfeのアルゴリズム(凸結合法)を用いて繰り返し収束計算にて解いている。その際、一次元探索の手法としては黄金分割法を使用した。

(4)現状再現状況の確認

乗降駅選択サブモデルと同様に、前節で推定されたパラメータを用い、現状再現状況を調べる。

駅間OD表は、平成2年大都市交通センサスの鉄道定期券利用者調査のうち、午前8時台に最終降車駅に到着するものを用いる。

ネットワーク規模は、リンク数は約24,000、ノード数は約7,000である。

まず、主要区間における1時間当たりの駅間断面交通量の推定値と実績値の比較を図7に示す。この主要区間とは、東京圏の代表的路線の最混雑区間である。相関係数は0.951と、高い再現性を示してい

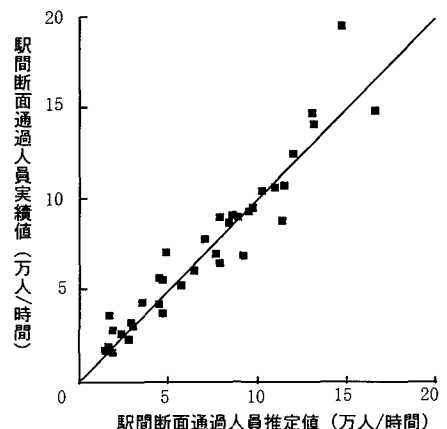


図7 代表的駅間での検証結果

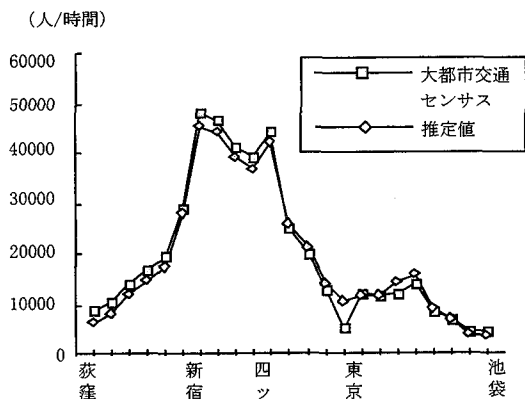


図8 丸ノ内線（荻窪→池袋）での断面通過人員の検証結果

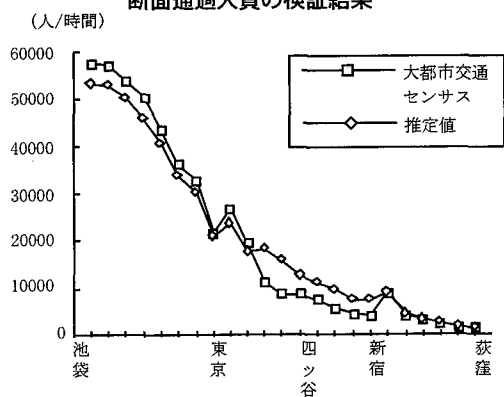


図9 丸ノ内線（池袋→荻窪）での断面通過人員の検証結果

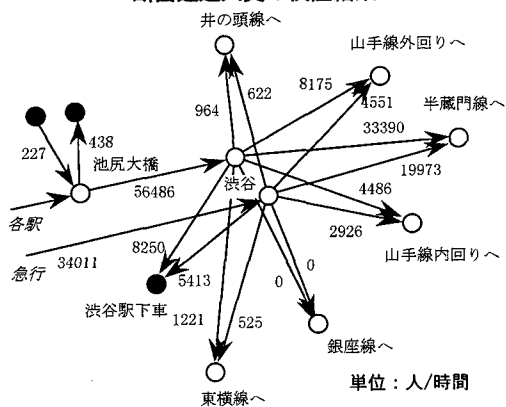


図10 東急新玉川線渋谷駅での乗換状況

る。

次に、路線単位での検証を行う。ここでは、他線区からの乗換客が多く利用者の出入りが激しい丸ノ内線について、図8、図9に示す。このように、路線単位でも高い現状再現性を示した。

また、経路選択サブモデルでは、図10のように駅での乗換状況について詳細に把握できる。なお、銀

座線への乗換客が生じていないが、これは新玉川線が半蔵門線と直通運転を行っており、次の表参道駅で同一ホームで半蔵門線から銀座線へ乗換が可能のためであると考えられる。

5. 実際の輸送改善施策への適用例⁸⁾

東京圏鉄道旅客流動予測システムでは、ハード面からソフト面まで、長期的なものから短期的なものまで、広範な施策の評価が可能となっている。本章では、東京圏鉄道旅客流動予測システムを、東京圏の実際の鉄道ネットワークに適用し、いくつかの輸送改善施策が旅客流動に及ぼす影響を予測する。

現在、東急電鉄の新玉川線（渋谷～二子玉川園）、田園都市線（二子玉川園～中央林間）の混雑が深刻となっており、また今後もさらに需要が増加することが予想されている。このため、短期的あるいは長期的に見てインフラの改善や運行の改善等の様々な対応策が考えられる。そこで以下では、各種の施策の中から例として、短期的・中期的な2つの方策案を取り上げて、それらの効果を検討することにする。

(1) 運転系統変更による影響の予測(Case1)

① 対象となる政策の概要

田園都市線の二子玉川園～鷺沼間は近々、複々線化されることが予定されている。そこでここでは、短期的な改善案の1つとして、大井町線（大井町～二子玉川園）に田園都市線から直通する急行を設定し、新玉川線経由で都心に向かう乗客の流れを、大井町線経由にシフトさせようとする方策を想定することとする（図11）。現在、大井町線には各駅停車が1時間当たり20本運転され、所要時間は25分であ

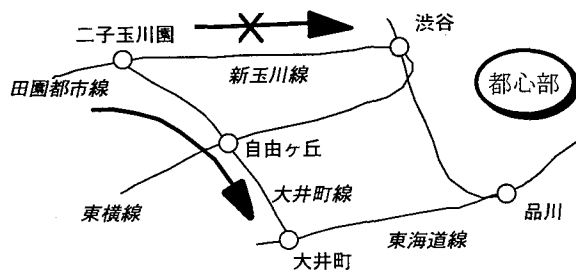


図11 対象となる施策の概要 (Case1)

るが、新しい計画では、1時間当たり急行、各駅停車が各12本運転され、急行の所要時間は13分であるものとする。なお、二子玉川園～渋谷間のダイヤパターンは施策実施後も実施前と同一であるものとする。

ゾーン間のODパターンは変わらないものとして、各駅間OD表の推定を行う。また、ゾーン間OD表からの分析は前章の対象地域（川崎市→東京都）のみに限定し、その他の地域は乗降駅間OD表から分析を始める。

②乗車駅の選択状況

乗降駅選択サブモデルによって得られる駅別の乗車人員の施策導入前後の増減について検証する。図12

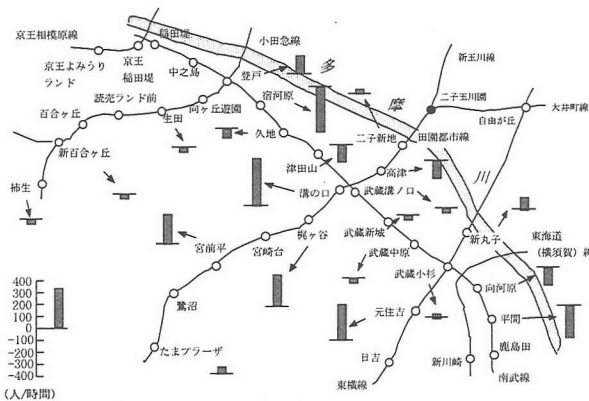


図12 施策実施前後の駅別乗車人員増減（Case1）

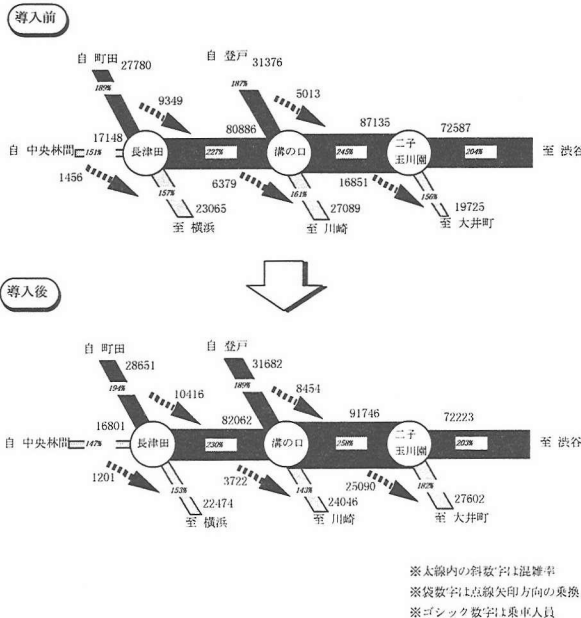


図13 施策実施前後の新玉川線・田園都市線
旅客流動状況（Case1）

によれば、大井町線の速達化にともない、大井町線に直接乗り継ぐことができる田園都市線の駅を選択する利用者が增多していることが分かる。また、南武線の平間、向河原各駅の利用者は減少が目につくが、これは大井町線と自由が丘で接続する東横線の駅にシフトしているためである。

③経路の選択状況

乗降駅選択サブモデルによって、対象地域のゾーン間OD表から得た一部地域駅間OD表と、既存の全体駅間OD表を合成し、鉄道ネットワークに配分した結果を、図13に示す。

この施策に関しては、興味深い結果が得られた。すなわち、大井町線の速達化は新玉川線の混雑緩和のために計画されたが、その導入意図とは異なり、新玉川線の混雑は緩和されることが分かる。一方、大井町線には、約1.5倍の乗客が流れる。これは、政策施策前に横浜線あるいは南武線から東海道線を経由して都心に向かっていった乗客が、田園都市線から大井町線経由で都心へ向かうようになるためである。この結果、田園都市線の二子玉川園口での混雑率が増し、新玉川線内ではあまり変化がない。

(2) 新線開通と運転系統改編による既存路線への影響の予測（Case2）

①対象となる施策の概要

営団南北線の駒込～目黒間および都営三田線の三田～清正公前間は、近々開業することが予定されている。

（以下、これらをまとめて都心線と呼ぶことにする。）またそれと同時に、都心線は現在の東急目蒲線と直通運転することも計画されている。そこで、Case1と同様に新玉川線の混雑緩和を主目的として以下のような施策が行われるものと想定し、これらが実施されたときの東急沿線への影響を分析することとする。

a) 新たに設定する運転系統

南北線の新設駅及び以下の運転系統を新たにデータとして入力した。

■東横・目蒲・南北線直通急行（日吉～目黒～都心）

所要時間：17分

運行頻度：8本/時

停車駅：武蔵小杉、田園調布、大岡山、武蔵小

山

■東横・目蒲・南北線直通緩行（日吉～目黒～都心）

所要時間：22分

運行頻度：8本/時

■田園都市・大井町・目蒲・南北・三田線直通急行（多摩プラーザ～目黒～都心）

所要時間：34分

運行頻度：8本/時

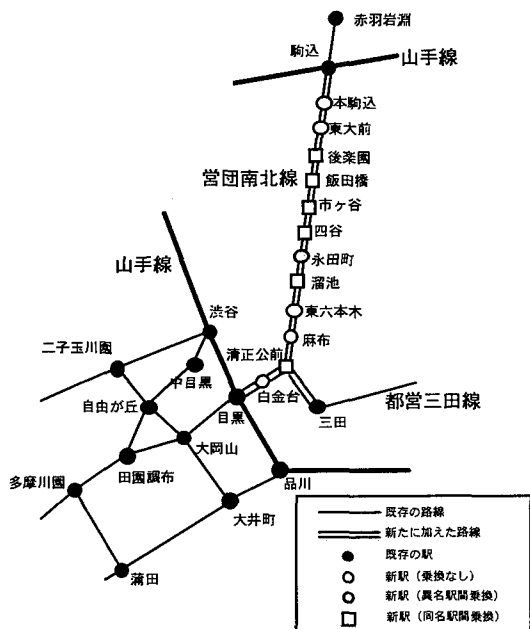


図14 都心線の駅の設定（Case2）

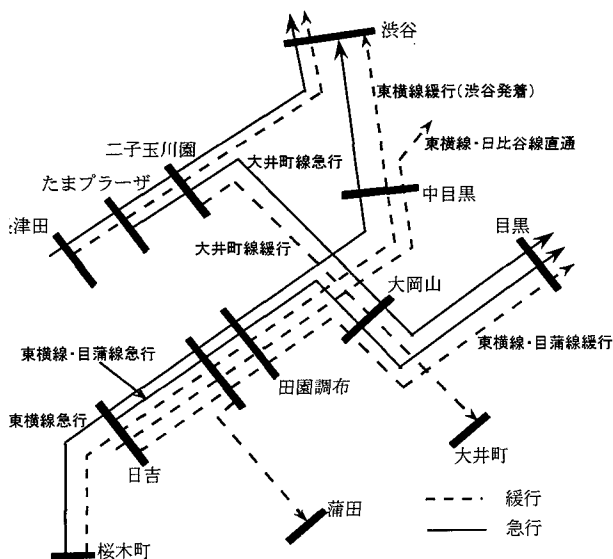


図15 設定した東急の運転系統（Case2）

停車駅：二子玉川園、自由が丘、大岡山、大井町線内以外は各駅停車

b) 特性を変更した運転系統

また、以下の運転系統について所要時間、運行頻度、運行区間を変更した。

■東横線急行

所要時間：全体で2分短縮

運行頻度：7本/時→8本/時

■東横線緩行

所要時間：全体で2分短縮

運行頻度：14本/時→12本/時

■東横・日比谷直通緩行

所要時間：全体で2分短縮

運行頻度：7本/時→4本/時

■大井町線（緩行）

運行頻度：18本/時→16本/時

■目蒲線

蒲田～多摩川園の区間運転に変更

なお、Case2で新たに設定した駅および設定されている東急の運転系統はそれぞれ図14、図15の通りである。

②乗降駅間OD表の推定

本来であれば、乗降駅選択サブモデルを東京圏全域に対して適用し、新駅を含めた全駅間OD表を求めるべきであるが、本ケースでは作業上の制約と、対象としている施策の目的を鑑みて、以下のステップにより簡便に乗降駅OD表を推定することとする。

Step1：第3章の対象地域（川崎市→東京都）に対してゾーン間OD表から施策実施後の乗降駅間OD表を、乗降駅選択サブモデルによって計算する

Step2：Step1の結果を用いて、横浜市、町田市及び大和市に属する駅を発駅とし、東京都側に属する駅を着駅とする駅間OD交通量の推定を行う

Step3：その他の地域は不変とし、既存の駅間OD表とStep1,2の結果を合成する

なお、ここでは、施策実施による新たな需要の喚起は起こらないものとし、また、朝ラッシュ時を想定していることから、都心側の新駅を発駅とするODペアのフローについては無視することとする。

Step2の具体的な推定手順は以下の通りである。

- 1) Step1で求められたOD交通量から、東京都（新駅を含む）に属する各駅について、川崎市に属する駅を発駅とするOD交通量の和（集中量）を求め、その駅間分布を求める
 - 2) 施策実施以前における、横浜市・町田市・大和市を発駅とし東京都に着駅とするOD交通量の総和を求め、この総和を1)で求めた駅間分布に従って、東京都の各駅に対して配分する（＝施策実施後の集中量）
 - 3) 施策実施以前について、横浜市・町田市・大和市に属する各駅に対して、東京都に着駅とするOD交通量の和（発生量）を求め、その駅間の分布を求める
 - 4) 2)で求められた東京都に属する各駅の集中量を、3)で求めた駅間分布に従って配分する（＝施策実施後の推定OD交通量）
- 以上の手順によって推定されるOD交通量は、式[15]で求められるものと同値である。

$$t_{mn} = \frac{\left(\sum_{j \in T} t_{mj}^* \right) \cdot \left(\sum_{i \in K} t_{in} \right)}{\sum_{i \in K} \sum_{j \in T} t_{ij}^*} \quad \text{for } m \in Y, n \in T \quad [15]$$

ただし、

t_{ij} : 施策実施前における駅*i*を発駅とし駅*j*に着駅とするOD交通量

t_{ij}^* : 施策実施後における駅*i*を発駅とし駅*j*に着駅とするOD交通量

K : 川崎市に属する駅の集合

Y : 横浜市・町田市・大和市に属する駅の集合

T : 施策実施前の東京都に属する駅の集合

T' : 施策実施後の東京都に属する駅の集合（新駅を含む）

である。

③推定結果

朝ラッシュ時の上り方向の通過人員の変化を東急沿線について示したものが図16である。

まず、新玉川線の二子玉川園～渋谷において通過人員が約6,700人（約7%）減少しており、当初の目的であったこの区間の混雑緩和は成功している。

次に東横線目蒲線直通の効果であるが、不動前・目蒲間で約35,000人（約170%）の利用者増が見られた。これは第1に、東横線から目黒方向に約24,500人が流入（約180%の増加）し、そのまま都心線へ流入したためである。第2に、田園都市線からは二子玉

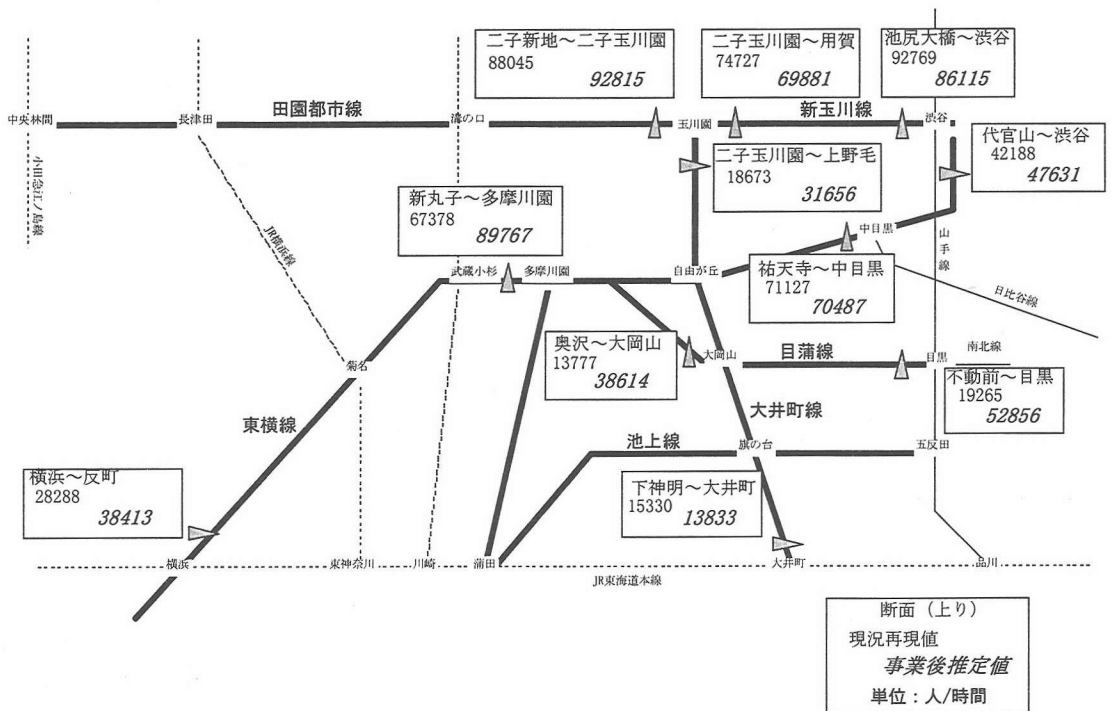


図16 Case2における朝上り方向の断面通過人員の変化（東急沿線のみ）

川園を経由して大井町線に約13,000人が流入（約70%の増加）する一方で、大井町線で大井町まで直通する乗客は約1,500人（約10%）減少しており、その結果約11,500人が都心線へ流入していると考えられるためである。

また、横浜から東横線への流入が約10,000人増加しているが、これは従来までJR東海道線等で品川経由で都心に流入していた乗客が、都心に直通する東横線に移転したためと考えられる。

注目すべき点は、東横線の祐天寺～中目黒において通過人員が約600人（約1%）減少しているにもかかわらず、東横線で渋谷に到着する乗客が約5,000人（約13%）増加していることである。これは、東横・目蒲・南北線直通が急行と緩行を合わせて16（本/時）新設されたのに加えて、東横・日比谷線直通緩行の運行本数が減少（7本/時→4本/時）し、待ち時間の増加（約3.2分増加）が所要時間の短縮効果（全体で2分減少）を上回ったため、従来まで中目黒経由で日比谷線に流入していた乗客が目黒経由の都心線へ移転したためと考えられる。

6. おわりに

本研究では、東京圏を対象に朝ラッシュ時における鉄道需要予測のためのシステムを構築した。本研究をまとめると以下の通りである。

- ①東京圏鉄道旅客流動予測システムは、代表交通機関を鉄道とする利用者のゾーン間OD分布量を所与とし、各駅間の断面交通量を求めることのできる、四段階推定法という広義の経路選択モデルである。
- ②鉄道利用者の行動を、乗降駅の選択と乗車駅・降車駅間の経路の選択との2段階プロセスに分け、前者を乗降駅選択サブモデルによって、後者を経路選択サブモデルによって表現した。
- ③乗降駅選択サブモデルは、ゾーン間OD分布交通量を所与として、乗降駅間OD交通量を出力する。その際、駅へのアクセス・イグレス条件と簡略化した鉄道ネットワークを用い、最小コスト経路配分法によって駅選択行動を表現している。
- ④経路選択サブモデルは乗降駅選択サブモデルより出力された乗降駅間OD表を入力とし、列車種別々

の各駅間の断面通過人員を出力する。ここでは、各路線の運転系統ごとの乗車時間や、運賃、乗換抵抗に加え、混雑による不効用を取り込むことによって、フローディペンデントな利用者均衡配分法により、交通量を計算している。

- ⑤両サブモデルの現状再現性の確認を行った。経路選択サブモデルは、高精度で現状を再現可能であり、混雑の経路選択に与える影響を再確認した。また、乗降駅選択サブモデルでは、アクセス手段をバスとバス以外の2種類に大別することによってモデルの簡略化を図り、十分な精度を持つモデルが構築できた。
- ⑥さらに、完成したシステムを実際の東京圏の鉄道ネットワークに適用し、短期的及び中期的の2つの輸送改善施策ケースについて需要の予測と評価を行った。まず、比較的短期的な政策として、東急電鉄の運転系統の再編を取り上げその影響を評価した。次に、新線が開通した場合の既存路線への影響分析を、営団南北線及び都営三田線が開通したときの東急沿線への影響を予測することによって行った。
- ⑦本モデルではサブモデル毎の現状再現状況の確認は行ったもののモデル全体としての精度検証は行っていない。今後、各サブモデルの改良により精度向上を目指すとともに、モデル全体の精度確認も行うことが課題と考える。

最後に、本研究を進めるにあたり、東京急行電鉄（株）の島村祐司氏、及び東京大学交通研究室の岡村敏之氏、堀口竜也氏には多大なご協力をいただいた。また、京都大学の中川 大先生、九州大学の角 知憲先生、愛媛大学の柏谷増男先生には貴重なコメントを頂いた。ここに記し、感謝する次第である。

参考文献

- 1)例えば、運輸政策審議会第7号答申の際用いられたTRAM(Tokyo Metropolitan Railway Masterplan)における交通需要予測モデル等
- 2)例えば、土居厚司・遠藤弘太郎・杉山茂雄・小坂彰洋、「鉄道を利用した通勤トリップの経路選択特性の分析について」、土木計画学研究・講演集、No.16(1), pp.327-334, 1993.12

- 3)石丸浩司,「通勤客の駅選択確率を考慮した鉄道路線利用客予測モデルの開発」, 東京大学卒業論文, 1993.3
- 4)運輸省・(財)運輸経済研究センター,「平成2年大都市交通センサス首都圏報告集総集編」, 1992.3
- 5)梅崎昌彦,「都市圏公共交通流動予測・政策評価システムのための基礎研究」, 東京大学卒業論文, 1992.3
- 6)(社)日本鉄道技術協会,「鉄道相互間の乗り継ぎ施設の適正化の研究報告書」, 1988
- 7)志田州弘・古川 敦・赤松 隆・家田 仁,「通勤鉄道利用者の不効用関数パラメータの移転性に関する研究」, 土木計画学研究・講演集, No.12, pp.512-525, 1989.12
- 8)家田 仁・加藤浩徳・岡村敏之・城石典明,「東京圏鉄道旅客流動予測システムを用いた輸送改善施策の効果予測事例に関する研究」, 土木計画学研究・講演集No18(1), pp.99-102, 1995.12
- 9)梅崎昌彦,「首都圏旅客流動予測システムに関する研究」, 東京大学修士論文, 1994.3
- 10)(財)運輸経済研究センター,「大都市交通網の整備に関わる調査研究報告書」, 1985.3
- 11)(財)運輸経済研究センター,「平成4年版都市交通年報」, 1994
- 12)土木学会土木計画学研究委員会,「第18回土木計画学講習会テキスト 交通ネットワークの分析と計画:最新の理論と応用」, 土木学会, 1987.11
- 13)Sheffi, Y., 'Urban Transportation Networks', Prentice-Hall, INC., Englewood Cliffe, New Jersey, 1985
- 14)赤松 隆,「確率的均衡アプローチによる交通ネットワーク統合モデル」, 東京大学博士論文, 1990
- 15)土木学会,「非集計行動モデルの理論と実際」, 1995.5
- 16)河上省吾・高田 篤,「都市圏における公共輸送機関の料金システムおよび輸送計画の評価に関する研究」, 土木学会論文集, No.431/4-15, pp77-86, 1991.7
- 17)吉田 勝・高野和一・杉山茂雄・伊東 誠・森地 茂,「都営地下鉄における需要予測システムとその予測例」, 土木計画学研究・講演集, No.15(1), pp.533-540, 1992.11
- 18)蝦名邦晴・岩田 宰・中嶋純治・小泉 啓,「名古屋圏鉄道網整備計画における需要予測手法について」, 土木計画学研究・講演集, No.15(1), pp.541-548, 1992.11
- 19)堀江雅直・家田 仁・永井邦彦・志田州弘,「鉄道通勤旅客の経路選択のフロー依存性」, 土木学会第46回年次学術講演集第4部, pp.384-385, 1991.9

東京圏鉄道旅客流動予測システムの開発とその適用 -乗降駅選択及び経路・列車種別選択モデル-

家田 仁・加藤浩徳・城石典明・梅崎昌彦・石丸浩司

本研究では、東京圏を対象地域とし、利用者の乗降駅及び経路・列車種別の選択を混雑回避を考慮に入れた上で表現でき、しかも実際の鉄道輸送改善施策の効果把握にも耐えうる実用的な需要予測システムの構築を行った。本システムの特徴をまとめると①経路列挙の必要のないネットワーク配分法を用いている、②経路選択において、混雑の影響を考慮してコストをフローディペンデントなものとして扱っている、③複数の列車種別を表現できる、④乗降駅の選択において乗降駅と経路の擬似的な同時選択を表現可能としている、といった点である。さらに、本システムを東京圏における2つの輸送改善施策に適用し、その効果を予測・評価した。

A Simulation Model of Commuter Railway Passenger Transport for Tokyo Metropolitan Area and its Applications
By IEDA, H., KATO, H., SHIROISHI, F., UMESAKI, M. and ISHIMARU, K.

In this paper, we developed a simulation model of commuter railway passenger transport for Tokyo Metropolitan Area which can simulate the railway passenger's behavior, origin/destination station choice, railway route choice, and train operation type (e.g. express train or local train). Because the model is based on the network theory, this can express the effect of congestion in the route choice by flow-dependent link cost function. We also simulate the railway passenger's flow pattern in two plans by this model.