

分担・配分統合モデルの改良と名古屋市鉄道計画の評価に関する研究

Study on Improvement of a Combined Model and Evaluating the Railway Plans in Nagoya City

河上省吾* 石 京** 藤田 仁***

Shogo KAWAKAMI, Jing SHI & Hitoshi FUJITA

1. はじめに

近年、都市部への人口集中に伴う交通需要の増加速度に交通施設の供給速度が十分追いつかず、交通混雑や騒音、大気汚染などの都市交通問題が生じている。これを解決するためには一層の交通施設の整備が必要となる。ただし大都市圏では道路の拡張・新設は物理的に難しいことが多い。そこでいかに限られた空間の中で多くの交通需要を処理するかが大切になる。そのため一般に都市では輸送力の大きい鉄道やバスなどの公共交通機関が交通政策の中心として考えられている。

そこで、本研究では需要変動型交通均衡理論に基づいて、名古屋市の交通ネットワークを対象に都市高速鉄道（地下鉄等）の整備を中心に輸送計画を考慮した中・短期の交通需要予測を行い、その政策の是非について評価する。本研究は大都市圏におけるマストラの輸送計画は勿論、道路網計画の際の資料ともなりうるものである。

交通需要の予測は交通計画を策定するために不可欠のものである。予測モデルは一般に集計モデルと非集計モデルに分類される。しかし、現時点においては、非集計モデルは交通需要予測をトータルで行おうとするときには、まだ実用的とはいえない。一方、従来の集計モデルも順次改良が進められ実用レベルでは四段階推定法が主流となっている。しかし、各過程間の理論的背景、説明変数、予測値の整合性を取りづらいことや、それぞれの段階が明確な行動理論に基づいていないという問題点が指摘されており、その各過程間の不整合性を解消するための様々な統合モデルが提案されている。

Beckmannモデルは、Wardrop均衡という明確な行動

キーワード：統合モデル、ネットワーク、一般化費用、費用・便益分析

* 正会員 工博 名古屋大学工学部土木工学科教授

** 学生員 工修 名古屋大学大学院工学研究科修士課程

*** 学生員 工学 名古屋大学大学院工学研究科修士課程

〒464 名古屋市千種区不老町 Tel: (052)-789-4636 Fax: (052)-789-3738

理論に基づいている点から現在最も主流となっている需要変動型均衡モデルである。Beckmannモデルの交通均衡では「利用者はいつも最短経路を選択する」という前提で均衡条件式を誘導し、それを数理最適化問題としたものといえる。本研究で用いた手段分担、配分統合モデルはBeckmannモデルを基に改良したものである。

2. 手段分担・配分統合モデルの改良

本研究のように都市全体の交通体系における交通政策の是非を扱う場合は多経路選択にも適用可能な集計型交通均衡モデルを用いるのが合理的である。ここで従来の需要変動型交通均衡モデルに分担の段階を加え、実用的な変動需要型利用者均衡統合モデルを作成している。具体的には、利用者の選択行動を正確に表すために交通手段選択・経路選択の両方に、車とバス、鉄道(地下鉄を含む)などの公共交通機関におけるそれぞれの時間価値とマストラを利用する際の利用者の徒歩及び待ち時間の時間価値を区別した一般化費用の概念を採り入れて、かつ車と同じ道路を利用するバスの間の相互影響をある程度考慮できるようにモデルを改良している。

目的関数は式(1)のようであり、全交通システムの利用者の一般化費用(非効用)を最小にすることを表している。式の右辺第1項は車利用者による交通抵抗、第2項はマストラ利用者による交通抵抗、第3項は分担需要変動項である。なお、交通機関選択に関しては費用だけで表現できない要因が多いので個人の行動のばらつきを確率的に表現したロジットモデルを用い、経路選択に関してはピーク時すなわち混雑時を考えるため、個人の知覚費用のばらつきを考慮する場合としない場合に配分結果に差が少ないと考えられるから、ここでは各ODペア・各交通手段別の利用者の知覚費用のランダム性を考慮しない

従来の利用者均衡モデルを用いた。

$$\min Z = \sum_i \int_a U_a^C(v) dv + \sum_i Y_i^M U_i^M - \sum_{ij} T_{ij} \int_a^{\theta_{ij}^C} g^{-1}(t) dt \dots (1)$$

subject to

$$v_a = \sum_i \Delta_{a,i} f_{i(s)} \gamma + \sum_{ij} \delta_{a,ij} h_{k,ij}^C \dots (2)$$

$$X_{ij}^C = \sum_k h_{k,ij}^C \dots (3)$$

$$X_{ij}^C + X_{ij}^M = T_{ij} \dots (4)$$

$$h_{kij}^C \geq 0 \quad X_{ij}^C \geq 0 \quad X_{ij}^M \geq 0 \dots (5)$$

ただし、一般化費用等の計算には下の式を用いる。

車リンク一般化費用：

$$U_a^C(v_a) = C_a^C + \lambda^C t_a^C(v_a) \dots (6)$$

マストラリンクの一般化費用は4種類に分けている。

$$\text{鉄道リンク： } U_i^M = \lambda^R t_i^R \dots (7.1)$$

$$\text{バスリンク： } U_i^M = \lambda^B t_i^B(v) \dots (7.2)$$

$$\text{乗車リンク： } U_i^M = \lambda^F (t_i^F + t_i^W(f_{i(s)})) \dots (7.3)$$

$$\text{下車リンク： } U_i^M = \lambda^F (t_i^F + t_i^W(f_{i(s)})) + CF \dots (7.4)$$

車のODペア(i,j)間の一般化費用：

$$U_{ij}^C(V) = \sum_a \delta_{a,ij} U_a^C(V) \dots (8)$$

マストラのODペア(i,j)間の一般化費用：

$$U_{ij}^M(V, C) = \sum_s \delta_{s,ij} U_s^M \dots (9)$$

車の交通需要の逆需要関数は車とマストラとの手段間一般化費用差と定義し、ロジットモデルにより導いたものである。

$$g^{-1}(\theta_{ij}^C) = \frac{1}{a} \ln \frac{1 - \theta_{ij}^C}{\theta_{ij}^C} - \frac{b}{a} \dots (10)$$

$g^{-1}(t), a, b$ ：手段分担率関数の逆関数、パラメータ

$X_{ij}^C, X_{ij}^M, \theta_{ij}^C, T_{ij}$ ：ODペア i j 間の車・マストラの分担交通量、車分担率、全交通量

$U_{ij}^C, U_{ij}^M, U_a^C, U_s^M$ ：ODペア i j 間の車・マストラの一般化費用、車リンク a マストラリンク s の一般化費用
 $\lambda^C, \lambda^R, \lambda^B, \lambda^F$ ：車・鉄道・バスの乗車時間と徒歩(及び待ち)時間の時間価値

C_a^C, t_a^C, Y_a^C ：リンク a の走行費用、所要時間、容量
 $t_s^R, t_s^B, t_s^F, t_s^W$ ：鉄道・バスの乗車と徒歩及び待ち時間

h_{kij}^C ：ODペア i j 間の車の経路 k の交通量
 δ_{akij} ：リンク a が OD ペア i j 間の車の経路 k に含まれるとき1、その他0

CF ：鉄道・バスの運賃
 $f_{i(s)}$ ：マストラリンク s を使うバス路線 l の運行頻度

δ_{sij} ：マストラリンク s が OD ペア i j 間の経路に含まれるとき1、その他0

$\Delta_{a,s}$ ：バスリンク s が道路リンク a を使う時1その他0

3. 名古屋圏への適用可能性の検証

(1) 交通ネットワークの設定とデータの集計

名古屋市交通ネットワークは、道路網とマストラ網に分けて設定した。マストラ部分については路線別の運賃・運行回数を考慮できるようにしたものである。マストラ網は、JR線、名鉄線、近鉄線など6路線、地下鉄4路線、及び並行路線を統合した名古屋市市営バス25路線によって構成される。(図1参照)

代表交通手段別OD交通量の実績データは、平成3年の中京都市圏パーソントリップ調査を基に名古屋市16区について集計したものを用いた。また、交通渋滞等の問題の多いピーク時を扱うために以下の処理方法を用いた。ピーク時OD交通量は、交通手段別ODペア毎に時間的にも均一と仮定して、日OD交通量に交通網全体でのピーク率(車10.9%、バス・鉄道19.4%)を乗じて求め、それを配分した結果をピーク時リンク交通量とみなした。

バスリンクの所要時間は、バスのゾーン間所要時間のアンケート結果及び平均走行速度調査結果によって、対応する車リンクの1.5倍になるように設定した。一方、車ネットワークにおいてBPR型パフォーマンス関数を用いる。車リンクの規格は交通容量を750台/時・車線として、道路規格に基づいて初期速度45、50、55km/時間等を考慮して7種類にまとめ、車の平均乗車人員は、パーソントリップ調査の平均値である1.3人/台とした。また、一般化費用としてマストラは総所要時間(乗車時間、待ち時間、乗り換え・徒歩時間)と普通運賃を、車は所要時間と走行費用(33.0円/km・人)を考えた。

(2) モデルパラメータの推定

一般化費用を考慮にいたしたモデルを実際の都市交通ネットワークに適用し将来予測をするためには、分担率パラメータ a, b 及び時間価値 λ^C 、 λ^R 、 λ^B 、 λ^F の値が必要である。ここでは、中・短期の交通需要予測であるから、対象地域の交通網利用者の平均所得等の平均的な社会経済特性の変動は少ないとみなし、現在と予測時の時間価値は等しいと仮定する。現況が利用者均衡状態にあると仮定して、交通需要予測モデルから得られた手段別各OD交通量の予測値 X_{ij}^C が実績値 $\bar{X}_{ij}^C$ に最も近づくように、パラメータを推定する。

本研究では、1981年と1991年のP Tデータを用いてパラメータを推定した(表1参照)。両時点による時間移転性の分析により10年から15年間の予測には、本モデルは適用できる。表2から本モデルが予測過程において適合度が高く、実用に耐えうるといえる。

表1 昭和58年と平成3年の推定結果

年代	パラメータ		時間価値 (円/分)			
	a	b	λ^C	λ^R	λ^B	λ^F
1981	0.00185	0.838	20.52	7.88	12.92	14.25
1991	0.00219	0.948	22.30	8.54	10.56	15.26

表2 モデルの適用可能性の検討結果

年代	相関係数			RMS		
	車OD	マストラOD	車リンク	車OD	マストラOD	車リンク
1981	0.943	0.981	0.620	32.47	23.30	30.32
1991*	0.905	0.967		41.85	32.04	

* 1981年のパラメータで1991年を予測

従来のモデルと比較して、利用者の多種の時間価値が得られて、実績値と予測値の良い相関関係が得られたことは、モデルを改良した効果といえる。

4. 名古屋圏の鉄道網計画の評価

交通計画代替案を評価するためには、評価主体の立場に立った評価項目を設定しなければならない。つまり、社会的便益として計上される利用者便益と供給者便益、及び交通サービス供給のための社会的費用を計測する必要がある。ここでは鉄道網計画の評価項目として、時間・費用節約等の利用者便益、事業主体にとっての経費節約・利潤増大等の供給者便益、環境影響等の社会的費用を以下に示す方法で算定する。

利用者便益は伝統的なマーシャルの消費者余剰の変化をホテリング拡張した半分式によって計算する。

$$B^U = \frac{1}{2} \sum_y \left\{ (x_y^C + \bar{x}_y^C) (U_y^C - \bar{U}_y^C) + (x_y^R + \bar{x}_y^R) (U_y^R - \bar{U}_y^R) \right\} \dots\dots (11)$$
ここに、 B^U は利用者便益であり、 x_y^C 、 x_y^R は車・マストラそれぞれのOD交通量を表す。 $\bar{}$ は平成3年の現況値を表す。

運営者の評価項目のうち最も重要視されるのは収益性であるので、本研究では鉄道サービス水準が変化する前後の総利潤(収入-コスト)の差を供給者便益と定義した。計算式は以下のように表される。

$$B^R = \left(\sum_y x_y^R C_y^R - \sum_l D_l^R F_l^R L_l^R - \sum_k R^R \right) - \left(\sum_y \bar{x}_y^R \bar{C}_y^R - \sum_l \bar{D}_l^R \bar{F}_l^R \bar{L}_l^R - \sum_k \bar{R}^R \right) \dots\dots (12)$$

ここに、 B^R は鉄道運営者の便益、 C_y^R は鉄道OD間

最短経路の運賃、 D_k^R は鉄道系統kの運行距離、 F_k^R は鉄道系統kの運行回数、 L^R は鉄道1列車・1kmの運営費用、 R^R は建設費である。なお、運営費用として、JR 4830円/1列車・1km、名鉄3240円/1列車・1km、地下鉄11530円/1列車・1km、市バス640円/1車両・1kmとした。

本研究は中・短期の政策分析であるため収入と支出に時間的なずれが極めて少なく割引率による調整は必要がないと仮定した。また、新設の場合に建設費を以下の計算式を用いて求めた。

1km・1時間当りの建設費Rは、次式で求められる。

$$R = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \times \frac{C}{T} \dots\dots (13)$$

ここに、nは耐用年数、iは利率率、Cは1km当たりの建設費、Tは年間運営時間数である。そして1時間当たりの路線別の総建設費用は、 $R^R = (\text{路線長}) \times R$ で求められる。

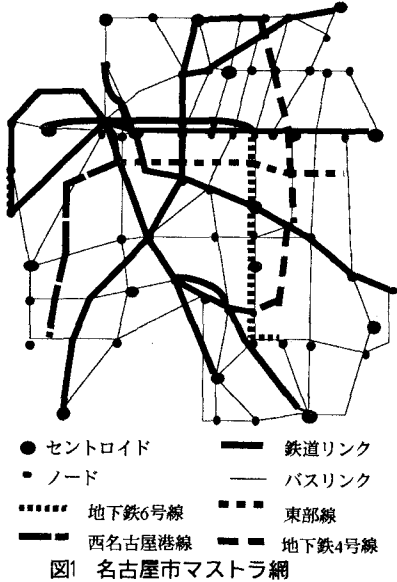


図1 名古屋市マストラ網

本研究では、前節で評価主体ごとに設定した各評価項目を用いて、鉄道網の輸送計画を評価する。今回検討する路線は、平成4年1月に答申された運輸政策審議会の交通網計画のうち今後20年間に整備予定の路線を対象とする。今回検討する路線網のパターンを以下に示す。1) 4号線及び6号線の完成…従来のものに4号線(大曾根-新瑞橋)と6号線(今池-野並)を加える。2) 東部線及び西名古屋港線の完成…1)に東部線と西名古屋港線を加える。また、この2つの

路線が相互直通運転をした場合についても検討する。

5. 鉄道網計画に関する分析

(1) ケース1：4号線及び8号線の完成

表3 ケース1とケース2の場合の評価値

ケース	1	2
利用者便益（万円）	460.8	918.9
供給者便益（万円）	-411.0	-813.8
和（万円）	49.8	105.1
車の走行万人・km変化	-9.0	-23
現況より車の分担率変化	-1.2%	-2.1%

需要予測結果によれば、地下鉄の乗客数が増加しバスは逆に減少しており、地下鉄の整備効果が表れている。一般道路での混合交通の中で運行されるバスは自家用車よりも速度が遅く、従来のバス利用者が鉄道に転換したためであろう。また、道路リンクの交通量の変化をみると全体的に交通量は減少しており、特に4号線により環状線を形成しその近辺及び都心の車リンクの交通量の減少が顕著である。次に、便益・車の分担率などを試算したものは表3のようになっている。利用者便益から判断すると、利用者にとってこの路線整備はかなり有効である。しかし、供給者便益がマイナスとなっている。この供給者便益には多額の建設費が含まれており、マイナスのうちその占める割合はかなり大きくなっている。また、利用者がより最短経路を通ることも原因の一つであろう。なお、地下鉄の建設費は1km200億円、耐用年数は35年、利子率は6%とした。

(2) ケース2：東部線及び西名古屋港線の完成

ケース1と同じように需要予測、便益などの試算を試みた。また、車リンクの交通量の変化をみると、西名古屋港線近辺の車リンクの交通量が減少しており同路線への車からマストラへの転換が大きいことがわかる。これは、公共交通の不便な地域の利便性が一気に高まったことによる効果といえる。

ここでは、この2路線が相互直通運転をする場合としない場合との比較を行う。便益の比較は表3に示すとおりであり、利用者便益と供給者便益との和に約30万円の差がでることがわかる。

相互乗り入れした場合、供給者便益はほとんど変わらないが、乗り換え回数の減少・待ち時間の節約などによって利用者便益が増加するので政策意義があるといえる。また、輸送密度の変化からみても2路

線とも相互乗り入れした方が利用者数は増え、相互乗り入れはあまり費用のかからない効果のある方策であるといえる。

表4 相互乗り入れによる便益の比較

	相互乗り入れする場合	相互乗り入れしない場合
利用者便益（万円）	968.0	918.9
供給者便益（万円）	-833.6	-813.8
和（万円）	134.4	105.1

鉄道網整備が行われた時の車の分担率及び走行人・kmの変化を表3に示す。路線整備が行われるにしたがって車の分担率は徐々に減少しているのが分かる。

車の走行人・kmの変化をみても、路線の整備により車が走りやすくなり移動時間や化石エネルギーの無駄が減っているのが分かる。これらの効果は鉄道の新線を計画する上で目標とされていることであり、計画されている鉄道路線整備は有効であると考えられる。

6. 研究の成果

本研究で得られた結果を以下に列挙する。

(1) 交通手段選択・経路選択の両方に車とマストラの中のバス・鉄道及び徒歩の時間価値を区別した一般化費用の概念を採り入れて、同じ道路を利用する車とバスの相互影響をある程度考慮に入れるモデルを用い、平成3年の実績データを使用して名古屋圏のネットワークに適用した結果、このモデルの適用可能性が高いことを示した。

(2) このモデルを用いて名古屋圏の鉄道網計画の効果を段階的に検討した結果、路線整備を進めていくことで総合的に都市の交通状況が改善されていくことが分かり、特に公共交通の少ない地域との相互乗り入れは効果が高いことが分かった。

(3) 評価主体ごとに鉄道網計画の便益を計測し、利用者と運営者の便益の和と社会的費用から鉄道網計画を評価した。

参考文献

- 1)河上省吾・石 京：多手段均衡モデルを用いた都市バス輸送計画の策定法に関する研究、交通工学、Vol. 4, pp. 29-39, 1993.9
- 2)Shogo Kawakami & Jing Shi: A Study on Formulation of a Combined Modal Split and Assignment Equilibrium Model, 7th Symposium on Transportation System, IFAC, Preprint, Vol. 2, pp.569-574, Tianjin, China, 1994.8