

# 鉄道サービスの質的評価に基づいた都市通勤輸送における ハイグレードカーの導入可能性に関する研究

## AN ECONOMIC EVALUATION OF THE INTRODUCTION OF HIGH-GRADED TRAIN FOR COMMUTER SERVICE IN TOKYO METROPOLITAN REGION

肥田野 登\*・篠原 穰\*\*

By Noboru HIDANO and Yutaka SHINOHARA

Large cities face the serious congestion problem of urban mass transportation, e. g. over 250 % in the rush hour. An offer of good service such as the introduction of the train of the good quality is considered as an urgent necessity. Thus the purpose of this paper is threefold; 1) to estimate the users willingness to pay for high quality services, 2) to find the choice behavior of high-graded train and ordinal train by constructing the discrete choice model based upon the stated preference data and 3) to estimate the social surplus taking account of the cost for the introduction of this new service. The study finds that the introduction of the service with the price of 600 yen per trip generates considerable social benefit.

*Keywords* : commuter railway service, discrete choice model based upon stated preference data, willingness to pay, cost-benefit analysis

### 1. はじめに

わが国の大都市における通勤輸送は、高度成長時代以降、激しい混雑がほとんど改善されないで放置されてきたといっても過言ではない。中でも東京圏においては、一点集中型の都市形態と居住地域の拡大のため、鉄道を利用して都心へ向かう通勤者の数はきわめて多くなっており、朝夕のラッシュ時には各鉄道とも激しい混雑に加えて、過密ダイヤのためスピードダウンも強いられている。

こうした混雑度の高さや所要時間の増大は、利用者の体力の消耗や時間の有効利用の阻害といった点だけみても社会的に大きな損失になっている。このことは大都市圏の交通全体から考えてみると、道路混雑を一層激化させている原因の1つにもなっているといえよう。加えて現在の異常なラッシュは、社会的弱者の利用をも事実上拒んでおり、今後の社会の高齢化といった背景を考えたとき、何らかの対策を早急に講ずる必要がある。

このようなラッシュの問題に対する鉄道側の解決策と

しては、複々線化等の輸送力増強工事の完成が挙げられる。しかし、全体の混雑率を大幅に下げるとの輸送力増強は、現行制度のもとでは資金調達を運賃値上げに頼らざるを得ず、利用者全体に高運賃を強いることになる。また地価の高騰をはじめとする種々の事情により、工事はなかなかかどらず、この問題の解決にはきわめて長い時間が必要である。

一方、従来の大都市内の鉄道の通勤輸送においては、列車種別を除いては画一的なサービスが提供されているが、混雑を我慢しても安く、あるいは早く行きたい人や、追加料金を支払っても楽に行きたい人など、利用者のニーズは多様化の傾向にある。より多くの人のニーズを満たすことは、公共交通機関にとって必要なことであり、これからは通勤輸送に対してもサービスの多様化が考えられるべきである。加えてこのサービスの多様化により、特別なサービスに対する利用者の高い支払意思額を内部化し、資金調達につなげていくことも可能であり、ラッシュの問題解決への1つの手がかりを提供していると考えられる。ところが、サービスの多様化に対して実際にどの程度のニーズがあるか、あるいはそれがどれだけの実現可能性を有しているかといったことは今までにほとんど明らかにされていない。

そこで本研究では、鉄道サービスの多様化を図るため

\* 正会員 工博 東京工業大学助教授 工学部社会学科 (〒152 目黒区大岡山 2-12-1)

\*\* 正会員 工修 東日本旅客鉄道株式会社 開発事業本部 (〒100 千代田区丸の内 1-6-5)

の方策を考える第一歩として、第1に、一般的に最も実現が難しいと考えられるラッシュ時を取り上げ、交通の質的サービスに対する評価を行い、第2に、ラッシュ時において必ず座れる定員制の有料の車両をハイグレードカーと名付け、その導入可能性を利用者および事業者の両方の立場から明らかにすることを目的としている。まず3.では、鉄道サービスの質に対する利用者の支払意思額を求め、ハイグレードカーに対する意識を明らかにし、4.で利用者のこうしたサービスに対する選択行動を明らかにする。そして、5.では鉄道利用者全体の余剰および鉄道事業者の余剰を計測し、実際にハイグレードカーの導入が可能か否かについて、西武池袋線の池袋～飯能間を対象として、検討することとする。

## 2. 従来の研究

このような問題に対する先行研究は、次の3つに分けることができる。第1は交通サービスの質の評価に関する研究、第2は交通サービスの質と需要の関係に関する研究、第3は交通サービスの供給に関する研究である。

第1の研究については、まず運輸経済研究センターによる研究<sup>1)</sup>が挙げられる。これは意識調査および実験によって交通の質を構成する項目の定量的な評価を試みている。しかし交通サービスの質的側面に関する先駆的な研究であるため、たとえば混雑度に対してはその限界値を求めるといった分析にとどまっており、実際に利用者の立場に立った評価はなされていない。次に利用者の満足度からアプローチしたものが挙げられる。この種の先行研究は安山ら<sup>2)</sup>をはじめ数多く行われている。しかし、これらもいずれも満足度というあいまいな概念の数字であり、各研究で調査の対象とした限られた交通サービスの項目間の比較には良いが、絶対的な評価値として扱えないという問題がある。また、家田<sup>3)</sup>、美谷ら<sup>4)</sup>は行動データを用いて着席効用や混雑費用を時間価値により定量化を試みているが、現状のような激しい混雑のもとでは物理的限界等から行動を制約されることも多く、また対象とした項目がきわめて限定されており、乗り換えや待ち時間などの総合的な質の評価が行われていないということにも問題を残している。

第2の研究については阿部ら<sup>5)</sup>による研究のほかはほとんどない。阿部は、ラッシュ時におけるサービスに限定し、現行車両の座席を有料にして支払意思のある者が着席できるようなサービスを想定し、そのサービスに対するコストと利用者の支払意思を意識データから明らかにした。しかし一般車両の全座席に対し料金を課すことは利用者のコンセンサスを獲得するのが難しく、また座席ごとにカードリーダーを設置したり、駅ごとに1両ずつ客扱いをする車両を増やす「順次解放方式」をとることは

実現可能性が低い。さらに中間駅での下車を考慮していない点に問題を残している。

第3の研究については曾根ら<sup>6),7)</sup>による研究以外ほとんどなく、これについてもダイヤ改善による輸送力増強を扱っているだけであり、コスト分析等の経済的視点からの検討はなされていない。

以上のように、ラッシュ時における鉄道サービスの研究は、部分的なものはいくつかみられるが、利用者のニーズを客観的にとらえ、それに応じた施設の整備方を提案し、その妥当性を検証するという総合的な研究を行ったものはないのが現状である。これらに対し本研究では、利用者のサービスに対する評価値を、意識データを用いてマネータームで表わすと同時に、線増のような大規模な設備投資を必要としないソフト面の改良により多様なサービスを提供する場合の各主体の余剰の計画を行うことで、こうした問題点を解決することとする。

## 3. 鉄道サービスの質の評価と利用者の意向

### (1) 鉄道サービスの質に対する評価

まず第1の目的に対して、通勤時における鉄道の質に対する利用者の支払意思額を求めするために、ここでは以下のように利用者に対して意識調査を行った。評価を行う項目は、鉄道サービスの中でも鉄道事業者による整備効果という点から考えて最も代表的と思われる乗り換え・冷房・着席・エスカレーター・混雑度・待ち時間の6項目とした。

調査の方法としては、行動分析では質を構成する各種の項目の効果の大きさを判断するのに十分なデータを入力することが困難なため意識分析によることとし、また意識調査は実際のケースではなく仮想の状況によることとした。これは、実際のケースでは調査結果が鉄道サービスの項目以外の影響も受けることを考慮したためである。なお設定した状況は、東京近郊で多く想定され得るものとした。さらに通勤者を対象としているので、基準となる運賃は雇用者側が支払うものとし、個人はその増分だけを支払うものとしている。

質問形式は、各サービス項目の効用を明確化するため、1項目ごとにサービス水準の異なる2つの経路を示し、他の項目は同条件とした状況を設定し、サービス水準の高い経路をとる限度となる運賃を選択肢により回答してもらう方式とした。調査表の例は図—1、また調査の概要は表—1のとおりである。

支払意思額の推定にあたっては、サービス1項目と運賃で構成される線形の効用関数を設定し、次の式による非集計ロジットモデルを用いて最尤推定によりパラメーターを推定した。

$$P_{in} = \frac{e^{V_{in}}}{e^{V_{in}} + e^{V_{2n}}}$$

その確定項は次の式で表わされる。

$$V_{in} = \theta_1 X_{i1} + \theta_2 X_{i2}$$

ここに、 $\theta$ ：パラメーター、 $X_{i1}$ ： $i$ 経路の運賃（円）、

$X_{i2}$ ： $i$ 経路のサービス（ただしサービスは1-0変数）。

このとき、効用の全微分は

$$dV = \frac{\partial V}{\partial X_1} dX_1 + \frac{\partial V}{\partial X_2} dX_2$$

と表わされる。サービスに対する評価額を求めることは、サービスの微小変化に対する運賃の微小変化の割合を求めることであるから、総効用は変化しないとして両者の関係を求めればよいことになる。すると、 $dV=0$ より

$$\frac{dX_1}{dX_2} = -\frac{\partial V / \partial X_2}{\partial V / \partial X_1}$$

なお分析にあたっては、意識調査の回答値を両方の経路の運賃とサービスの均衡点と考え、基準値（210円）と（意識調査の平均+2 $\sigma$ ）の間にサンプルが存在すると仮定し、この区間に比較する経路の運賃を一様分布で発生させこの値と回答値から選択結果を得て先に示した非集計ロジットモデルでパラメーターの推定を行った。この結果は、表-2に示すとおりである。

「乗り換え」・「混雑度の違い」・「待ち時間の長さ」に関しては適当に条件を与えたため、単純に項目間で比較することはできないが、この条件のもとでの支払意思額の違いについて考察を行う。

同一ホームでの乗り換えは、乗り換えの中では最も便利なケースだが、それでも乗り換えのない方が40円弱も評価されていることから、この金額が乗り換えという行動自体に対する最低額と考えられる。これに対して、乗り換えの際に階段2階分の上り下りを必要とする場合は、同一ホームのときと比較して10円弱高くなっており、乗り換えの際階段2階分の抵抗は10円弱であると考えられる。

「冷房の有無」は50円前後、「着席の可否」と、混雑度を150%と250%に設定した「混雑度の違い」に対しては、いずれも40~50円の評価が得られている。運賃水準に比べると比較的高い値となっており、こうしたサービスに対する支払意思をもったニーズはかなり高いものと考えられる。

(2) ハイグレードカーに対する利用者の意識

ハイグレードカーに類するサービスは近年注目されつつあり、JRのホームライナー等しだいに増えつつある

問2. 乗り換えの有無（その2）

次のような条件のとき、A線の運賃がいくらまでならB線を利用しますか。  
①~④の番号でお答え下さい。

- ・混みくあいはいは、どちらもちょうど金額がつり度につかまれる程度
- ・B線、C線の乗り換えは、下の図のように階段を2階分上り下りする必要がある。
- ・B線のホームからC線のホームへ移動する時間は約5分
- ・B線、C線回りの運賃は210円で、切符を買いかえる必要はない
- ・H駅でC線を待つ時間は5分

210円

H駅  
乗り換えは、階段2階分上り下りし、ホームを移動するのに5分かかる待ち時間は5分

・A線の運賃  
① 210円まで ② 230円まで ③ 250円まで ④ 270円まで ⑤ 290円まで  
⑥ 310円まで ⑦ 310円以上

回答( )

図-1 鉄道の質に関する調査表（例）

表-1 調査の概要

対象地域	山手線沿線及びその内側（事業所）
対象者	対象地域に位置する事業所の電車通勤者
調査日	1986年 1月13日~1月27日
調査方法	事業所単位の訪問留置または郵送
配布数	148
有効回収数	137
有効回収率	92.6%

表-2 ロジットモデルによる分析結果

	同一ホームでの乗り換え (有り、無し)	階段2階分歩く乗り換え (有り、無し)	冷房 (有り、無し)	着席 (有り、無し)	エスカレーター (有り、無し)	混雑度 (250%, 150%)	最大待ち時間 (8分, 4分)
説明変数							
サービス (7値)	-0.0816 (-5.1)	-0.0708 (-5.6)	-0.0535 (-4.7)	-0.0660 (-5.2)	-0.163 (-5.3)	-0.0571 (-5.2)	-0.0909 (-5.6)
運賃 (7値)	3.07 (6.6)	3.27 (8.4)	2.77 (5.1)	2.82 (5.3)	4.58 (5.9)	2.52 (5.3)	3.58 (6.1)
尤度比	0.38	0.40	0.20	0.30	0.59	0.25	0.43
サンプル数	137	136	123	123	136	128	132
支払意思額	37.7円	46.1円	51.7円	42.8円	28.0円	44.1円	39.4円
適中率	83.2%	83.8%	75.0%	71.5%	90.4%	73.4%	81.8%

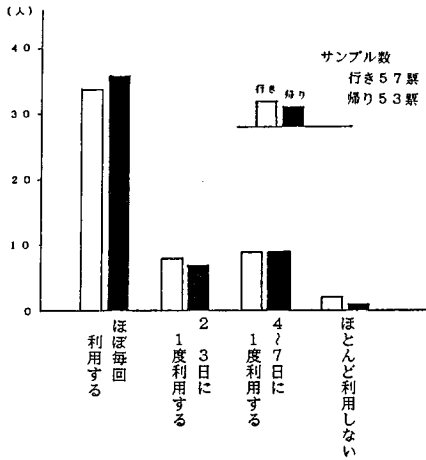


図-2 レッドアロー号の利用頻度

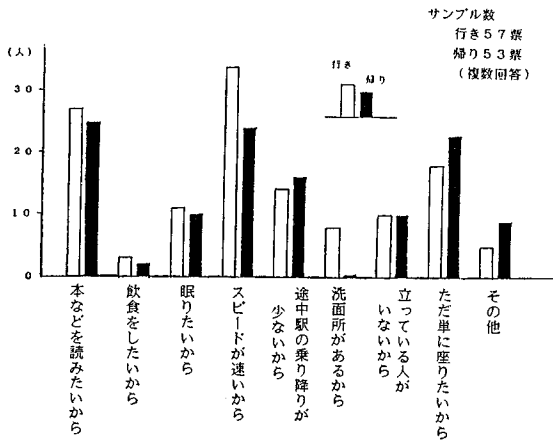


図-3 レッドアロー号を利用する理由

が、その実数はまだあまり多くない。また、実際に導入されているところでも、観光特急の片手間といった感じのものが多く、通勤輸送を主目的としたものはない。そこで、ハイグレードカーに対する見解を、利用者、鉄道事業者および監督官庁に分けて明らかにした。

まず利用者の実態と考え方を明らかにするため、本研究においてハイグレードカーとよべるサービスを提供している西武池袋線の特急レッドアロー号の車内において意識調査を実施した。調査は車内に調査員が乗り込み、列車発車時に調査用紙を配布し、到着前に回収する方法で行った。その概要を表-3に、また集計結果を図-2、図-3に示す。これより、利用者は全般的に利用頻度が高いこと、また利用する理由では「スピードの速さ」、「読書等ができる」といった、時間の有効利用に関するものを挙げている割合が高いことがわかった。さらに、自由回答では特急の座席数や列車数の増加を望む声

表-3 調査の概要

調査日	1987年 11月17日(火)	
調査列車	むさし6号	むさし27号
調査区間	所沢 8:56 ↓ 池袋 9:18	池袋 18:08 ↓ 所沢 18:31 (飯能行 18:48着)
調査車両	1号車	6号車
サンプル数	57票	53票

表-4 ハイグレードカーに対する鉄道事業者および監督官庁の見解

鉄道事業者	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ニーズに対するアンケート等は行っていないが、特に要望等は出ていない</li> <li>・30分に1本程度が、一般の利用者が許容する限界ではないか</li> <li>・なるべく安く利用してほしい</li> <li>・有料の列車を導入して格差をつけたくない</li> <li>・現状以上の増結は困難であり、ダイヤにも余裕がない。ダイヤに余裕の出来る時間帯にはすいてくるので、ニーズも少ないはずである</li> <li>・ハイグレードカーのようなものは専用車としては考えていない</li> </ul>
運輸省	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事業者からの届け出のあったものについて認可の検討をする</li> <li>・事業者に対して奨励等はしていない</li> </ul>

が多かった。これとは別に、レッドアロー号や小田急の特急、JRの各ホームライナーの切符の発売状況を観察したが、発車時間の20分以上も前に売り切れになったり、キャンセル待ちで並ぶ人が大勢いることなどがわかった。以上の点から、こうしたサービスに対する潜在需要はかなりあることが推察された。

一方、関東の大手私鉄および監督官庁である運輸省に対してヒアリングを行った結果を表-4にまとめて示す。運輸省としては全体の混雑度を下げる方針で考えているため、また鉄道事業者としては利用者のニーズが明らかでないことから、いずれもハイグレードカーの導入に対しては消極的になっていることがわかった。また、鉄道事業法第16条には、料金認可の際の基準として適正利潤を含むものであり、特定の旅客に不当な差別的取扱いをするものでないことと定められている。したがって事業者がサービスの多様化に対して工夫をこらしても、適正利潤以上の利潤を認められないことや、「不当な差別的扱い」をめぐる解釈の問題があるため、事業者のインセンティブが働きにくくなっているといったことも考えられる。

以上から、ハイグレードカーに対する利用者のニーズの高さを考えれば、鉄道事業者や監督官庁の見解をふまえながらも、その導入に対して積極的な方策を検討していくことは、社会的に必要であると考えられる。

#### 4. ハイグレードカーの選択行動の推定

日常の利用者がハイグレードカーを選択する行動を推

定するため、本研究では定期券利用者を対象として意識調査を行った。意識データを用いる理由としては、対象線区では多くの列車が満員になっており、行動データが必ずしもニーズを反映していないのに対し、意識データは潜在需要を含めた全体のニーズを明らかにすることが挙げられる。さらに、意識データは条件をさまざまに変化させることにより、より多くのケースの推定が行えるといった利点も挙げられる。

(1) 調査の概要

調査の概要は、表-5のとおりである。調査は熟練した調査員による面接方式で行い、朝の上りと夕方の下りの2つのケースを想定して行った。説明変数は、所要時間、運転間隔、料金とし、ODに応じてそれぞれ2~4通りの条件を用意した。通常は、これらすべての条件を組み合わせる調査を行うこととなるが、その数は32通りになり、これを調査することは被験者に調査疲れを起すおそれがある。そこで今回は実験計画法によるL<sub>8</sub>の割り付け表を利用し、ハイグレードカーに関する条件の組合せを8通りに絞ったうえ、これらと一般車の現状の条件との間で一対比較をし、ハイグレードカーを利用する頻度を答えてもらう方式とした。

(2) 分析方法

分析にあたっては次の式で表わされる非集計ロジットモデルを用いることとし、効用関数の説明変数にはさきに述べた3項目にハイグレードカーのダミー変数と、個人属性として年齢および年収を加え、これらを組み合わせて分析を行った。

$$P_{in} = \frac{e^{v_{in}}}{e^{v_{in}} + e^{v_{2n}}}$$

表-5 調査の概要

調査日	1987年11月27日(金) 30日(月) 12月1日(火)
調査時間	16:30~20:30
調査場所	西武池袋駅地下定期券発売所前
調査対象	石神井公園より先までの定期券購入者
回収数	309票

表-6 パラメーター推定結果(ケース1)

	朝(上り)		夕方(下り)	
	パラメーター	料金代替率	パラメーター	料金代替率
所要時間(分)	-0.038 (-3.21)	-1.81	-0.040 (-3.62)	-2.00
運転間隔(分)	-0.042 (-3.81)	-2.00	-0.049 (-5.95)	-2.45
料金(円)	-0.021 (-11.0)		-0.020 (-11.4)	
年齢(10歳)	-0.28 (-4.65)	-13.3	-0.24 (-4.41)	-12.0
ハイグレードカー(ダミー)	0.92 (2.67)	43.8	1.10 (3.87)	55.0
尤度比	0.13		0.14	
カイ2乗値	241.6		279.2	
適中率	87.9		85.8	
サンプル数	309		309	

( )はt値

効用関数の確定項は次の式で表わされるものとする。

$$V_1 = \theta_1 T_1 + \theta_2 t_1 + \theta_3 F + \theta X + \theta_4 D$$

$$V_2 = \theta_1 T_2 + \theta_2 t_2$$

ここに、T:列車iの所要時間

t:列車iの運転間隔

F:ハイグレードカーの料金

D:ハイグレードカーダミー

X:個人属性のベクトル

$\theta_1 \sim \theta_4, \theta$ :パラメーター

(3) 推定結果および考察

t値および尤度比を検討し、有効と思われるケースのパラメーターの推定結果は表-6から表-9のようになった。なお、料金代替率とは、ある変数の1単位をマネータームに換算したもので、これがそのサービス1単位に対する利用者の支払意思額になる。たとえば表-9における夕方のハイグレードカーダミー変数の158とは、ハイグレードカーサービス自体に対し平均して約

表-7 パラメーター推定結果(ケース2)

	朝(上り)		夕方(下り)	
	パラメーター	料金代替率	パラメーター	料金代替率
所要時間(分)	-0.041 (-3.13)	-5.32	-0.038 (-3.16)	-5.00
運転間隔(分)	-0.042 (-3.48)	-5.45	-0.061 (-6.78)	-8.03
料金(円)	-0.0077 (-12.6)		-0.0076 (-13.1)	
年収(100万円)	0.097 (3.32)	12.6	0.098 (3.41)	12.9
ハイグレードカー(ダミー)	0.24 (0.79)	31.2	0.68 (2.66)	89.5
尤度比	0.19		0.20	
カイ2乗値	328.5		375.8	
適中率	87.9		87.1	
サンプル数	309		309	

( )はt値

表-8 パラメーター推定結果(ケース3)

	朝(上り)		夕方(下り)	
	パラメーター	料金代替率	パラメーター	料金代替率
所要時間(分)	-0.036 (-2.93)	-1.71	-0.042 (-3.76)	-2.10
運転間隔(分)	-0.044 (-3.84)	-2.10	-0.051 (-6.07)	-2.55
料金/年収(円/100万円)	-0.021 (-10.8)		-0.020 (-11.1)	
年齢(10歳)	-0.28 (-4.78)	-13.3	-0.27 (-4.62)	-13.5
ハイグレードカー(ダミー)	0.94 (2.64)	44.8	1.12 (3.79)	56.0
尤度比	0.14		0.15	
カイ2乗値	235.6		272.3	
適中率	87.6		85.7	
サンプル数	309		309	

( )はt値

表-9 パラメーター推定結果(ケース4)

	朝(上り)		夕方(下り)	
	パラメーター	料金代替率	パラメーター	料金代替率
所要時間(分)	-0.045 (-3.43)	-5.8	-0.035 (-2.96)	-4.6
運転間隔(分)	-0.042 (-3.44)	-5.5	-0.064 (-7.10)	-8.4
料金(円)	-0.0077 (-12.5)		-0.0076 (-13.1)	
ハイグレードカー(ダミー)	0.67 (2.43)	87.0	1.2 (5.71)	158
尤度比	0.18		0.20	
カイ2乗値	329		322	
適中率	87.9		86.8	
サンプル数	309		309	

( )はt値

160円の価値を利用者が認めているということになる。結果については、 $t$ 値、尤度比、カイ二乗値とも比較的高い値が得られており、かなり信頼できる結果が得られている。

全体的な傾向として、所要時間、運転間隔、料金については往復とも比較的近い数値が得られているが、ハイグレードカーダミーの項については他の項目に比べて著しく高い数値が得られており、この項目に対する評価はかなり高いことがわかる。また、同じハイグレードカーダミーの項でも夕方の下りの値がかなり高くなっている。これは、朝の上りよりも夕方の下りの方がゆったりとしたサービスに対する評価が高いことのほか、帰りは全員が発列車を利用することになるため、一般の車両に比べて質的な面の評価のウエイトが高くなっているものと考えられる。また、料金の $t$ 値がかなり大きくなっており、料金の項目が効いていることがわかる。そして、運賃水準に比べハイグレードカーダミー変数の料金代替率が高いことから、この効用関数においては料金の弾力性がかかなり高いといえる。さらに、表一七に現われているように、年収に関しても $t$ 値は十分な値を得ており、ハイグレードカーのようなサービスを望んでいる人の中でも年収の高い人のニーズがとりわけ大きいことが読み取れる。

## 5. 導入可能性の検討

### (1) 導入可能性の検討方針と対象の選定

本研究ではハイグレードカーの導入可能性を利用者および事業者の両方の立場から明らかにすることを目的としている。その際の考え方は以下のとおりである。利用者に関しては、利用者全体の余剰が増加することが必要である。ただし、余剰が負になるような利用者が生じることは好ましくないため各利用者のサービスレベルは少なくとも現行の水準から低下しないようにすることが大切である。事業者に関しては、新サービスの導入によりコストは増加するが、それにより経営が圧迫されないよう、料金収入が少なくともコストをまかなえることが必要である。そして、利用者と事業者の余剰の和を社会的余剰とし、この大きさについても検討することとする。

またここでは対象をラッシュ時に限定しているが、朝と夕方ではその性格を異にしている。夕方はピーク集中度率はやや低く、幅広い時間帯に利用者が分散しているが、朝は比較的短い時間帯に利用者が集中しているので混雑も激しくなっており、社会的弱者などの存在を考えると公共交通機関としては朝の方がハイグレードカーのようなサービスの必要性が高く、かつ実現が難しいと考えられる。したがってここでは、西武池袋線を対象として朝のラッシュ時における導入可能性を検討することとする。

る。

### (2) 導入条件の検討

導入にあたっては次の条件を満たすこととした。

- ① 現行のサービスレベルは極力低下させない
- ② 線増や信号改良といった、大規模なシステムの変更は行わない

新たなサービスを導入する場合でも、現行のサービスレベルを低下させてしまうと当該利用者のコンセンサスを得にくくなることは明らかである。特にこうしたサービスについては特別料金を必要とする列車への置き換えとするのではなく、選択の幅を広げることが目的であるので、①のような条件を設けた。サービスレベルをみる項目としては平均総所要時間および混雑度を取り上げた。平均総所要時間は以下の式で表わされるものとする。

$$AT = \sum_{i=1}^L P_i (T_i + I_i)$$

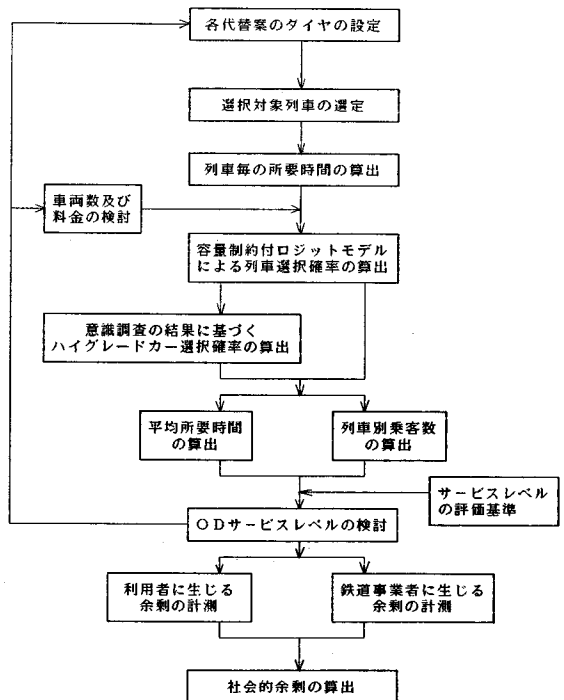
ここに、 $L$ ：当該ODで選択可能な列車（ハイグレードカーと一般車を分離する）の本数

$P_i$ ： $i$ 列車の選択確率

$T_i$ ： $i$ 列車の所要時間

$I_i$ ： $i$ 列車の平均待ち時間

なお、全員に対してサービスレベルを低下させないことは難しいので、もし低下が生じた場合には負の効果として計測することとした。また②については、これらの



図一四 導入可能性の検討のフロー

設備の変更には多額の資金と長い時間を必要とするため、実際の導入が容易に行えるように設けたものである。

(3) 導入可能性の検討方法

さきに述べたように本研究では利用者と事業者の両方の立場をふまえたうえで社会的余剰を計測し、ハイグレードカーの導入可能性について検討を行うこととしている。そこで、検討のフローを図-4のようにした。

上に述べた条件を満たすために、代替案では輸送力増強型のダイヤを設定し、そのダイヤに基づいてODごとに利用の対象となり得る列車および乗継ぎのパターンを抽出し、その所要時間および乗り換えの待ち時間を求める。ここで、ハイグレードカーの車両数や料金を検討し、容量制約付きのロジックモデルによって列車選択確率を求める。さらに、ハイグレードカーの選択可能なODに関しては、先の意識調査で得られたパラメーターを用いて、ハイグレードカーの選択確率を求める。そしてそれらから平均所要時間および列車別の乗客数を求める。これらを用いて、OD サービスレベルの検討を行い、サービスレベルが著しく低下した場合は再度ダイヤを検討する。また、サービスレベルが上がっている場合には利用者と鉄道事業者の余剰の計測を行うこととした。

(4) 輸送力増強型ダイヤの検討

ハイグレードカーはラッシュ時の一般車に比べて1両当たりに乗車できる人数は5分の1以下であり、一般車の利用者のサービスレベルを低下させることなくハイグ

レードカーを導入するためには輸送力の増強は不可欠である。ところが、今の輸送形態では輸送力はほぼ限界となっており、これ以上の増強は難しい。そこで、ここではラッシュ時、上り列車のみ、列車の停車パターン的大幅な変更を行うことにより、輸送力を増強することを考えた。

一般に列車密度は、停車駅に影響されることがわかっている。同じ駅に停車する列車が続くと運転間隔は開かざるを得ない。また待避駅が少ないと優等列車(急行など)は各駅停車のため速度が低下する。そこで今回取り上げたのは、各駅停車をなくしスピードの遅い優等列車と合わせて、2~3駅ごとに停車する列車の組合せに再編成するものである。これに、余裕時分の切り詰めによる車頭間隔の短縮を合わせることで、輸送力増強型のダイヤを作成した。停車パターンを図-5に、また、それに基づくダイヤを図-6に挙げた。現行の15分サイクルのパターンダイヤを12分パターンダイヤに変えることにより、池袋口において1時間当たり14両分の輸送力の増強が可能になった。なお、ハイグレードカーは、停車パターンと考え合わせた結果、図-5の1, 2, 5の

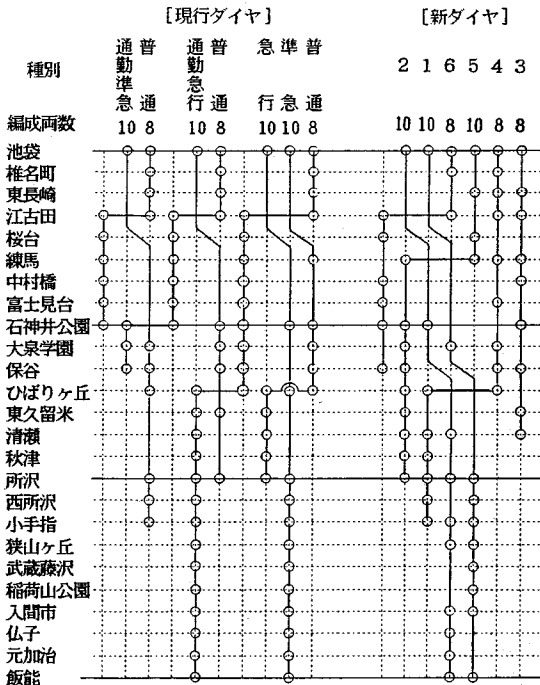


図-5 新ダイヤと現行ダイヤの停車駅比較

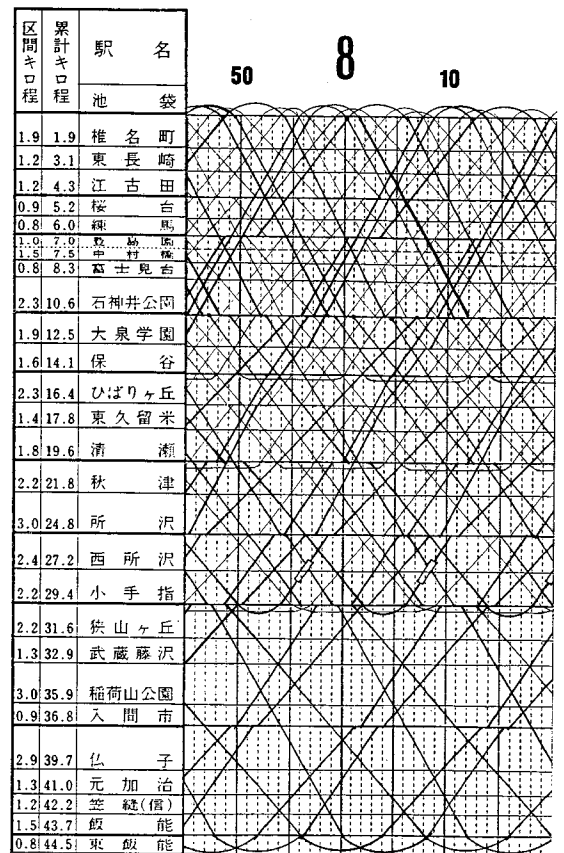


図-6 新ダイヤ (横軸1目盛は1分)

列車に連結することとした（図-6では太線で示す）。

(5) 列車選択行動の推定

輸送計画をたてるうえで、どの列車にどのくらいの利用者がいるかを知ることが必要である。ここでは利用者は、列車を選択する際に個人の効用が最も高くなるような列車を選ぶものと考え、列車選択行動を推定する。

本研究では、ハイグレードカーの利用者を含めた全体の選択行動を図-7のような構造とした。一般車しか利用できないODについては、一般車における列車間の選択のみが行われるものとした。列車間の選択に関しては、まずODごとに利用者が利用の対象とすると考えられる列車をいくつか選定し、そのおのおのについて乗車時間、乗り換え時間、乗り換え待ち時間を求めた。そしてそれらを説明変数とし、大都市交通センサスの集計データから集計ロジットモデルにより求められるパラメーター<sup>8)</sup>（表-10）を利用して、またハイグレードカーと一般車の選択については前述した調査から求めたパラメーターを用いておのおのロジットモデルにより選択確率を求めた。ただし、利用者全体の年齢・所得分布が明らかでなくまた適中率・尤度比がモデルによって大きな差がないので、集計時におけるバイアスを防ぐため、ここでは変数から年齢・所得といった個人属性を除いた表

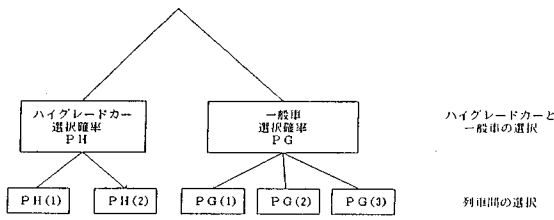


図-7 列車選択の構造

表-10 推定モデルで用いたパラメーター

	パラメータ	t値
乗車時間 (分)	-0.080	-3.11
乗り換え時間 (分)	-0.14	-3.51
待ち時間 (分)	-0.0031	-0.02
費用 (円)	-0.00017	-1.97
ターミナルダミー	0.64	1.80
尤度比	0.10	
カイ2乗値	34.43	

(昭和60年大都市交通センサスによる)

表-11 列車選択モデルの推定結果と実態の比較

列車種別	通勤急行	普通	急行	準急	普通	通勤準急	普通
a 推定値	3880	2610	4220	3800	2530	4010	2680
b 実観値	3750	2180	4210	4380	2810	4010	2710
a/b(%)	103	120	100	87	90	100	99

—9のパラメーターを用いた。

このモデル全体の妥当性を検証するために、現行ダイヤでの池袋口における実際のピーク時1サイクルの乗車人員と推定結果を示したものが表-11である。なお、今回の効用関数には混雑度が入っていないが、特定の列車に容量を越えて集中することもあるため、一般車については容量制約付きのモデル ( $P_i = M_i \exp(V_i) / \sum M_j \exp(V_j)$ ,  $M_i$ は容量) とすることで混雑度を入れる代わりとした。この表から、このモデルはかなりよく適合しているといえる。そこで、新ダイヤによる説明変数を用いて、各列車ごとの利用者数を求めた。ただし、ハイグレードカーに関しては、都心から遠いところから乗る人や早く切符を買った人が優先されるのではなく、ある条件で利用したい人は全員が利用できることが望ましいと考え、需要が増強された輸送力に合うように料金を変化させたところ、600円のときに需要と供給のバランスがとれることがわかった。そこで以下では、料金を600

表-12 代替案一覧表

	ケース		
	① 現行	② ハイグレードカー無し	③ ハイグレードカー600
トレインアワー	29時間31分	34時間23分	34時間23分
カーアワー	276時間45分	316時間0分	316時間0分
最大使用本数	41本	44本	44本
最大使用車両数 (内ハイグレードカー)	37両 (0両)	40両 (0両)	39両 (3両)

(全て池袋～飯能の池袋線でのラッシュ1時間50分の数値)

表-13 各駅間ごとの平均混雑度

駅名	平均混雑度		
	① 実態 (昭和61年11月)	② 新ダイヤ ハイグレードカーなし	③ 新ダイヤ ハイグレードカー600
飯能	33.8%	24.6%	27.1%
元加治	41.8%	30.8%	33.9%
仏子	57.4%	42.5%	46.8%
入間市	78.3%	57.6%	63.4%
稲荷山公園	79.9%	58.9%	64.6%
武蔵藤沢	109%	79.8%	87.6%
狭山ヶ丘	148%	108%	119%
小手指	125%	101%	108%
西所沢	155%	125%	133%
所沢	113%	121%	123%
秋津	117%	125%	127%
清瀬	142%	124%	125%
東久留米	165%	145%	146%
ひばりヶ丘	193%	169%	170%
保谷	216%	157%	161%
大泉学園	251%	186%	187%
石神井公園	241%	208%	209%
富士見台	250%	216%	217%
中村橋	256%	221%	222%
練馬	237%	234%	235%
桜台	243%	239%	241%
江古田	248%	244%	246%
東長崎	258%	254%	256%
椎名町	265%	261%	262%
池袋			





表—15 20年間に生じる余剰の比較

	③-①	②-①	③-②
利用者余剰	762億円	748億円	14億円
事業者余剰	6億円	-29億円	35億円
社会的余剰	768億円	719億円	49億円

- ① 現行  
 ② 新ダイヤ（ハイグレードカーなし）  
 ③ 新ダイヤ（ハイグレードカーあり）

ここで  $C_1^*$  はプロジェクトを実施しない場合でのハイグレードカーを選択した一般化費用である。しかし、そういうケースは存在しないので、ここでは選択確率  $P_1^*$  が十分小さくなるようなコストをもって  $C_1^*$  とすることとした。そこで、一般化費用を構成している料金  $F$  と  $P$  の関係を検討した結果、 $F=1000$  で近似しても差し支えないと判断したのでその値を用いた。さらに、 $Q$  は各 OD 交通量に各列車タイプの選択確率を掛けて求めた。なお、一本の列車に連結される一般車とハイグレードカーは、別個の列車とみなして扱い計算した。

鉄道事業者の余剰については、プロジェクトを通じて得られる追加収入から追加コストを引くことにより求めた。プロジェクト期間は車両の耐用年数等を考慮し、20年とした。なお、コストについてはデータの都合上、ここでは車両費・人件費・電力費・整備費を対象とし、平均費用の積み上げ方式とした。

以上により求めた余剰を、社会的割引率を5%とし、現時点でプロジェクトが実現されたと考え、今後20年間で比較したのが表—15である。この結果から明らかのようにハイグレードカーの導入は利用者および事業者に大きな便益をもたらす、社会的にも有益であることがわかった。

## 6. 結 論

本研究では、都市鉄道の通勤輸送において、交通の質についての評価を行い、乗り換え、冷房、着席、エスカレーター、混雑度、待ち時間というサービスに対して利

用者は高い支払意思額を有していることを示した。また、ハイグレードカーの利用についての意識調査を行い、利用者の選択行動の特性を明らかにした。さらに、ハイグレードカー導入にかかわる純便益の計測を主体別に行い、適切な料金を設定した場合には、こうしたサービスが独立採算であっても導入可能であることを示すと同時に、ハイグレードカーの導入が社会的にみて大きな効果をもつことを明らかにした。

なお、本研究を進めるにあたって、西武鉄道株式会社には意識調査の実施に際し多大な協力をいただき、また中川 大助手（現・京都大学）から貴重なコメントをいただいた。ここに記して感謝の意を表したい。

## 参 考 文 献

- 1) 運輸経済研究センター：交通の質 I, II, 1977.
- 2) 安山信雄・藤目節夫・大橋健一：公共交通機関のサービスレベルと利用者満足度に関する基礎的研究，都市計画学会学術研究発表会論文集，第9号，pp.169~174, 1974.
- 3) 家田 仁・松本嘉司：列車選択行動における着席効用度の定量的評価，土木学会論文集，第365号，pp.69~78, 1986.
- 4) 美谷邦章・家田 仁・畠中秀人：乗車位置選択モデルを用いた混雑費用の定量的評価法，土木計画学研究・論文集，No.5，pp.139~146, 1987.
- 5) 阿部 等・新谷洋二・太田勝敏：大都市放射型鉄道の朝ピークにおける高サービス提供の可能性，土木学会第42回年次学術講演会，pp.270~271, 1987.
- 6) 曾根 悟：新しい鉄道システム，オーム社，pp.65~73, 1987.
- 7) 曾根 悟・松下 泉：地域分離型ダイヤ採用による速達性と着席率向上を目指した通勤輸送改善案，電気学会全国大会，p.1100, 1986.
- 8) 運輸省：昭和60年大都市交通センサス解析調査報告書，p.115, 1988.
- 9) 土木学会編：海外交通プロジェクトの評価，鹿島出版会，pp.98~101, 1986.
- 10) 土木学会：非集計行動モデルの理論と実際，土木計画学講習会テキスト，1984.
- 11) 田口玄一：実験計画法（上），丸善，pp.160~180, 1976.
- 12) 岡野行秀・山田浩之編：交通経済学講義，青林書院，1974. (1989.2.10・受付)