

京都大学大学院 学生員○山中 英生

京都大学工学部 正員 天野 光三

京都大学工学部 正員 小谷 通泰

1 はじめに 筆者らは、従来より電算機を援用したバス系統網計画システムについて研究を進めており、その概要は既に発表している。本報では、本計画システムの拡充をはかるため、バス・地下鉄利用者を対象とした非集計型の経路選択モデルを構築するとともに、モデルを用いてバス系統網の路線改善案の効果予測を試みている。

2 モデルの作成 本研究で作成するモデルは、表-1に示す内容のものであり、図-1に示すフローに従って作成した。

〈基礎調査〉 基礎調査として、定期券の購入申請書を用いて、利用経路および個人属性のデータを得た。(サンプル数は2654) また、各利用者の代替経路を設定するため、市内14か所のバス停周辺の住民を対象にアンケートを行ない、指定した目的地へ行く際に思いつく代替経路を列挙してもらった。アンケートの回収数は322であった。

〈代替経路の設定〉 モデル推定に際しては、各利用者が選択の対象としうるような経路を代替経路として設定する必要がある。ここでは、アンケート結果を用いて、代替経路のサービス特性の許容範囲を分析し設定基準を求めた。すなわち、アンケート被験者のOD間を連結している1回乗り換えまでの経路(これを連結経路と呼ぶ)を全て列挙し、このうち被験者が想起した経路と、想起しなかった経路とのサービス特性の違いを判別分析し、得られた合成変数を用いて代替経路の設定基準を作成した。作成した基準を表-2に示す。

〈モデル式の推定〉 定期券調査より得た各人の利用経路に対して、他の連結経路を列挙し、上記の基準を用いて代替経路を設定した上で最尤法によりモデルのキャリブレーションを行なった。この結果を表-3に示す。モデル中の変数は、サービス特性に関しては、運行ダイヤなどから推定し、関連分析により相互に独立な変数を選び、また個人属性については、利用形態とのクロス分析により選定した。表中には、変数の組み合わせのうち、パラメータの符号、t値、およびp値で有意性の高いモデルを示しているが、p値、過中率から見てT-3のモデルが最も有意と思われる。また、コストの変数に関しては、定期運賃制度の特異性(バス同士の乗り継ぎは同一運賃)のため、有意なパラメータ

表-1 バス地下鉄利用に関する経路選択モデル
モデル式 $P_{ik}(i) = \frac{\exp(V_{ik})}{\sum_{k \in A_{ik}} \exp(V_{ik})} \quad V_{ik} = \sum_{n=1}^N \beta_n X_{ikn}$

$P_{ik}(i)$: 個人*i*が経路*k*を選択する確率 V_{ik} : 個人*i*の経路の効用
 A_{ik} : 個人*i*の代替経路集合 β_n : パラメータ
 X_{ikn} : 経路*k*のサービス特性・個人*i*の属性

モデルの内容

- 対象利用形態 1. 直通バス 2. バス地下鉄乗り換え
- トリップ目的 通勤・通学
- トリップ内容 自宅最寄バス停 → 目的地バス停 (利用交通機関・ルート)

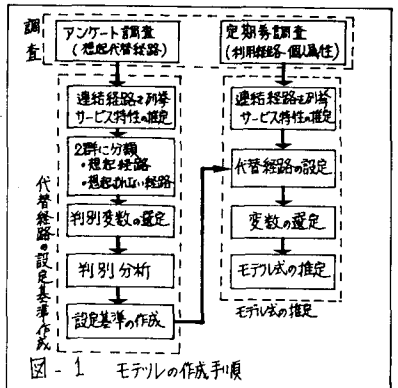


表-2 代替経路の設定基準

連結経路の中で合成変数が以下の基準を有するものを代替経路とする。

$$L > -4.4$$

$$L = -1.37 \times (\text{乗り換え回数差}) - 0.29 \times (\text{所要時間差}) \\ - 0.19 \times (\text{待ち時間率の差}) - 0.14 \times (\text{附加回回数差}) \\ - 2.36 \times (\text{バス/バス乗り換え差})$$

(差とは2つの指標間の差、連結経路中での最大値に) 対する差と比を算出する。

表-3 モデル式の推定結果

変数	単位	種類	パラメータ (β _n)				() 内は t 値	
			所要時間	非所要時間率を用いたモデル	T-1	T-2	T-3	T-4
所要時間	分	共通	-0.2820 (17.2)	-0.3055 (17.6)	-0.3070 (17.2)	-0.3096 (17.7)		
乗車時間	分	共通						-0.2957 (15.9)
待ち時間	分	共通						-0.3628 (12.7)
非所要時間率	%	共通		-0.0503 (5.8)	-0.0472 (6.9)	-0.0567 (6.9)		
乗車運賃	円	共通	0.01795 (9.2)	0.00588 (2.7)	0.00468 (2.1)	0.00349 (1.5)	0.01353 (6.5)	0.00494 (2.2)
乗り換え回数	回	共通	-2.2690 (19.1)	-3.0278 (4.5)	-3.1822 (16.0)	-3.0812 (0.4)	-2.9091 (20.9)	-4.0333 (14.9)
折れ曲り回数	回	共通			-0.1348 (4.0)			-0.1417 (4.2)
地下鉄利用有無		地域別		2.1664 (11.7)	2.3999 (12.3)	2.9844 (11.4)		1.8307 (10.0)
年齢 (10歳単位)		地域別				-0.8493 (1.7)		
通勤目的有無 (通勤)		地域別				-0.8536 (4.5)		
変数数			3	5	6	7	4	6
R ² (最大値)			0.4719	0.5027	0.5055	0.5062	0.4817	0.4946
過中率 (最大値)			70.3	71.9	72.9	72.2	71.3	69.8

ーが推定できなかった。T-3のモデルでは、全体の通中率が72.9%となっているが、このモデルの現状再現性を利用形態別に示したのが表-4である。これによると、シェアの低いバス+バス乗り換え経路では、モデルにより推定されたルート(最大確率の経路)が、実際の利用ルートと一致しているサンプルが50%とやや低い。他については比較的高い通中率を得ている。

表-4 モデルT-3の現状再現性

利用形態	推定 利用割合	推定 利用割合	推定 利用割合	推定 利用割合	推定 利用割合	推定 利用割合
直通バス	47.1 (68.9)	107 (15.6)	106 (15.5)	0 (0.0)	684 (100)	
バス+地下鉄	146 (14.2)	810 (78.7)	66 (6.4)	6 (0.6)	1028 (100)	
バス+バス	4 (2.6)	49 (32.2)	76 (50.0)	23 (15.1)	152 (100)	
推定利用総数	738	1031	105	1864		

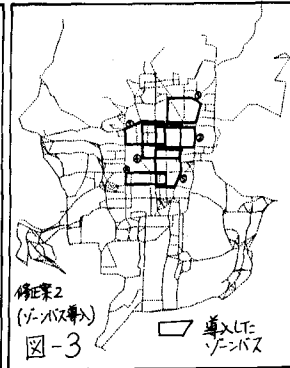
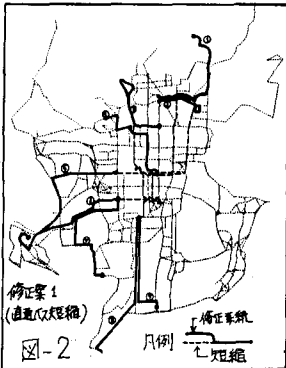
□ は利用形態別ルートに推定が異なる場合のサンプル数 ()内は全体の通中率 (47.1 + 810 + 76) / 1864 = 72.9%

3 バス系統網修正案の効果予測 作成したモデルにより

京都市の現行バス系統網を対象として、路線改善策として2つの修正案を考える。それらの効果を予測した。

〈修正案の概要〉 現行バス系統網の修正方針として次の2種を設定し、これに従って代替案を作成した。

①郊外より市内中心部へ向かう低乗車効率のバス系統網を、地下鉄・循環バス系統へ連絡して、系統長を短縮し、かつ運行回数を増やし、乗り換え利用を促進する。(図-2) ②市内中心部、特に地下鉄駅間のバス停でのフィーダーサービス向上のためゾーンバスを導入する。(図-3) 以後、①を修正案1、②を修正案2とする。



〈交通流動の推計〉 現行および修正案1、2について、表-3に示したT-3のモデルを用いて利用者の経路選択確率を推定し、バス停間の交通量データをもとに京都市全域で集計して交通流動を算出した。この結果より、表-5に示すような利用形態別シェアの推定値が得られたが、これによると ①修正案1では、現行に比べ直通バスの利用が減少し、バス+地下鉄やバス+バスの利用が増加する。②修正案2では、バス+地下鉄の利用が減り、直通バス利用が増加し、バス+バスの利用もわずかながら増加している。

〈修正案の比較検討〉 交通流動の推計結果をもとに、現行と修正案について、利用者側・運営者側の評価指標値を算定した結果が表-6である。これによると、①利用者側指標では、修正案1が現行に比べ、全ての指標値で悪化傾向が見られ、逆に修正案2では改善傾向が見られる。②運営者側指標では、修正案1が現行に比べ、必要台数の減少とともに乗車効率なども改善しているが、逆に修正案2では運営効率は低下傾向が見られる。すなわち、2つの修正案では、現行に比べ利用者の利便性向上と運営効率向上に関して、相反する効果が示されている。なお図-4は、この様子を所要時間と乗車効率の2つの指標について図示したものである。

4 おわりに 今回のモデルでは、モデル作成時において、類似経路の取り扱いを省略した代替経路の設定方法や、モデルへ導入する変数の選択方法などに問題点が残されており、また、モデルの適用にあたっては、全域への拡大の妥当性検証が必要と考えられる。これらについては今後の課題としたい。なお、適用結果については、上記のような全域指標だけでなく、バス停別などの詳細な評価情報を電算機により図化出力できるが、これらについては講演時に示すことにする。

参考文献 1) 天野、小谷、山中「電算機支援システムによるバス系統網計画」の評価に関する研究 第4回 土木計画学委員会

表-5 利用形態別シェア

利用形態	現行 (%)	修正案1 (%)	修正案2 (%)
直通バス	52.03	51.32 ▼	52.19 ▲
直通地下鉄	3.69	3.69	3.69
バス+地下鉄乗り換え	9.44	9.51 ▲	9.26 ▼
バス+バス乗り換え	34.84	35.48 ▲	34.87 ▲

表-6 評価指標値の算定結果

指標	現行	修正案1	修正案2
平均所要時間 (分)	25.89	26.14 ▲	25.85 ▼
平均乗り換え回数	0.443	0.450 ▲	0.441 ▼
平均運賃 (円)	181.48	181.75 ▲	180.97 ▼
平均非乗車時間 (分)	4.476	4.464 ▲	4.442 ▼
運行1km当り乗客数	6.19	6.33 ▲	6.02 ▼
平均乗車効率 (%)	29.87	31.21 ▲	28.72 ▼
必要台数 (台)	746	713 ▼	777 ▲

算定方法
・乗車効率: $\frac{\text{乗客数}}{\text{必要台数}} \times 100$
・必要台数: $\frac{\text{運行所要時間}}{\text{系統運行所要時間} \times \text{時間} \times \text{運行回数}}$

