

京都市における交通手段分担影響要因の分析*

Analysis on Level of Service Factors Affecting Share by Modes of Urban Transportation in Kyoto*

須永孝隆**,

曾根英樹***

Yoshitaka SUNAGA**,

Hideki SONE***

1. はじめに

地球温暖化を防止し持続可能な社会を構築するために、長期的には世界の温室効果ガスの排出量を1990年レベルの1/3程度以下に削減する必要があると予測され、CO₂排出量の削減が緊急の課題となっている[1]。

地球温暖化対策として運輸部門のCO₂排出量の大部分を占める自動車交通を抑制し、CO₂排出量の少ないLRTを導入し、徒歩・自転車と鉄道などの交通手段と有機的に連携して、都市計画と統合した交通計画によって都市公共交通システムの利便性・快適性を向上させ、自動車交通からの転換を誘導する施策が、世界各国で実施されている。

今後の環境制約下の社会では、LRTなどの環境負荷が小さい交通システムの利便性・快適性を高めると同時に、この特性が十分発揮できるように自動車交通需要を抑制または連携を強化することによって、環境負荷の低減と都市交通全体としての利便性・快適性の向上とを両立させるという視点、すなわち交通需要を調整・誘導する視点(交通需要マネジメント)からの対策効果の予測手法が必要になる。

本研究では、持続可能な都市づくりを目指してLRT導入構想が検討されている京都市を対象にして、鉄道、バス、および自家用車のサービスレベルと交通手段分担との関係について分析を行った。

* キーワード：地球環境問題、交通手段選択、公共交通需要

** 正会員、工博、(財)電力中央研究所狛江研究所
(〒201-8511 東京都狛江市岩戸北 2-11-1)

TEL: 03-3480-2111、E-mail: sunaga@criepi.denken.or.jp

*** 湘南工科大学工学部

2. 分析対象と分析方法

(1) 分析対象

京都市への通勤通学者の割合が20%以上の京都市府内市区町村(対象地域を図1に示す)と京都市との間のOD別全目的トリップ数データを使用して、交通手段選択に対する鉄道・バス・自家用車のサービス要因の影響について重回帰分析によるパラメータ推定を行った。ただし、京北町は大都市交通センサスの対象地区に含まれていないため対象から除外した。

また、鉄道とバスとの乗り継ぎ利用トリップは鉄道に含め、バスには含めていないが、京都市内のトリップではバスを代表交通手段とするトリップは鉄道端末としてのトリップ数を上回っている。また、京都市においてバスを代表交通手段とする市内⇄市外のトリップは全体の1%程度で非常に少ないため、バス利用トリップの分析は京都市内のみについて行った。なお、徒歩、二輪は今回の分析対象には含めていない。

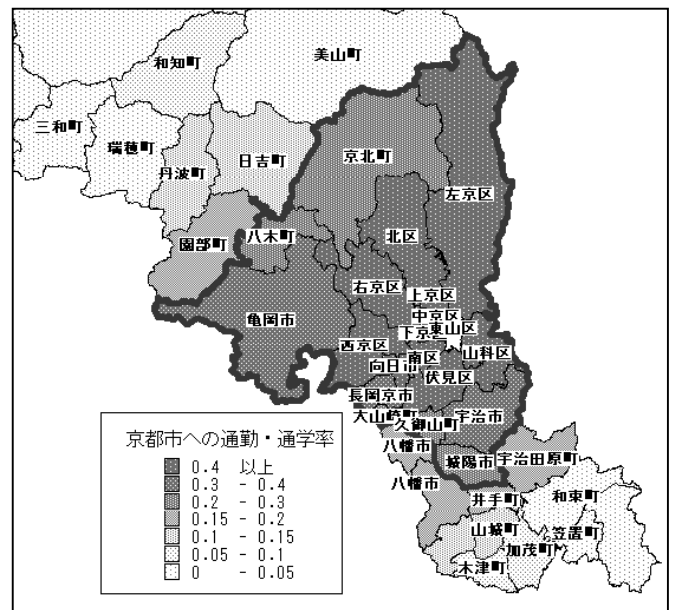


図1 京都市への通勤通学率と分析対象地域

(2) 分析手法

交通機関*i*における*k*番目の説明要因の値（所要時間や費用など）を X_{ik} 、交通機関*i*の効用を U_i とすると、ロジットモデルを用いた場合交通機関*i*の分担率（ P_i ）は、

$$P_i = \frac{\exp(U_i)}{\sum_j \exp(U_j)} = \frac{e^{U_i}}{\sum_j e^{U_j}}, 0 \leq P_i \leq 1 \quad (1)$$

$$U_j = \sum_k a_{kj} X_{kj} \quad (2)$$

となる。ただし、 a_k はパラメーターである。

鉄道－自家用車、バス－自家用車および鉄道－バスの各トリップ数比の対数をそれぞれ K_{CR} 、 K_{CB} 、および K_{BR} で表すと、それらは次式のようになる。

$$K_{CR} = \ln\left(\frac{P_C}{P_R}\right) = U_C - U_R = \sum_i a_{iC} X_{iC} - \sum_j a_{jR} X_{jR} \quad (3)$$

$$K_{CB} = \ln\left(\frac{P_C}{P_B}\right) = U_C - U_B = \sum_i a_{iC} X_{iC} - \sum_j a_{jB} X_{jB} \quad (4)$$

$$K_{BR} = \ln\left(\frac{P_B}{P_R}\right) = U_B - U_R = \sum_i a_{iB} X_{iB} - \sum_j a_{jR} X_{jR} \quad (5)$$

鉄道、バス、自家用車の分担率は以下となる。

$$\text{鉄道分担率 } P_R = \frac{1}{1 + \exp K_{CR} + \exp K_{BR}} \quad (6)$$

$$\text{バス分担率 } P_B = \frac{1}{1 + \exp K_{CB} + \exp K_{RB}} \quad (7)$$

$$\text{自家用車分担率 } P_C = \frac{1}{1 + \exp K_{RC} + \exp K_{BC}} \quad (8)$$

(3) 使用データ

分析では交通調査データとして、2000年京阪神都市圏パーソントリップ調査による代表交通手段別全目的OD別集計データと、2000年大都市交通センサスによる個人単位のトリップデータとして鉄道定期券利用者調査マスターデータ、バス・路面電車定期券利用者調査マスターデータを用いた。

自動車による所要時間や道路に沿った距離データおよび鉄道駅位置データとして、地理情報システムMapInfo用の道路地図データを用いた。時刻表や駅すぱ一とによる鉄道路線毎の列車運行本数、大都市交通センサスによるバス停毎の系統別運行本数、

その他各種ホームページに掲載されている運行時刻や運賃などの情報も用いた。

鉄道、バス、自家用車のサービスレベル関連説明要因は、表1に記している。利用鉄道事業者数は、事業者間の乗換抵抗の評価のため、同一ホームでの乗換のできない別事業者間の乗換だけをカウントしたものである。

列車運行本数は、乗車駅または降車駅を通過する列車も含め、利用線区を走行する列車の本数である。また途中で乗換がある場合は乗り継ぎ利用する線区の列車本数のうちで最も少ない本数の値を採用した。

鉄道運賃は乗車駅、降車駅間の普通乗車券の運賃で、乗継割引のある場合は割引運賃を採用した。

また、ここで用いたバス停密度は、大都市交通センサスのバス定期券利用者調査において利用者が1人でも存在するバス停数を出発地または目的地行政区面積で割った値である。

バス運行本数は、乗車停留所－降車停留所を通過する全系統のバス運行本数を合計した。バス運賃は乗車駅、降車駅間の普通乗車券の運賃で、乗継割引のある場合は割引運賃を採用した。

自家用車関連の指標としては、行政区代表地点間のピーク時最短所要時間、同ピーク時最短時間ルート距離、燃料費を採用した。ここでの最短ルートは、国勢調査小地域集計データを用いて町丁字レベルの自家用車利用者数を重み付け集計し、市区町村ごとに重心座標を求め、地理情報システムの道路地図と時間距離計算機能を用いて、市区町村の重心座標間の所要時間が最短となるルート上の距離と時間を求めたものである。

上記より求めた最短時間距離と平均速度を使用して燃料消費量[cc]と燃料費を計算したが、燃料費とピーク時最短時間距離との間に強い相関があること、燃料費はバス運賃に比べて小さく両者間の価格差が交通手段選択要因に対して影響を与えているとは考え難いため、「燃料費」は説明変数から除外して分析を行った。

(鉄道／自家用車)分担率比を目的変数とした分析((3)式)では、鉄道と自家用車関連指標を説明変数とし、(バス／自家用車)分担率比を目的変数とした分析((4)式)では、バスおよび自家用車関連指標を説明変数とした。

3. 分析結果

F値が2.0以上の説明変数のみを選定して変数増減法による重回帰分析を行った。結果を表1に示す。①は全説明変数の分析結果、②は変数増減法による分析結果である。

(a) 自家用車／鉄道利用トリップ比

自動車所要時間、鉄道運賃および目的地駅密度、出発地駅密度が有意な影響を持つことが分かったが、

表1 交通手段分担影響要因の重回帰分析結果
(2000年 京阪神都市圏パーソントリップ調査)

目的変数:		ln(自家用車利用者数/鉄道利用者数)								
回帰係数表		①全説明変数				②変数増減法 F値=2以上				③変数増減法 F値=2以上
		重相関係数R		R ² 値		重相関係数R		R ² 値		重相関係数R
		修正R ² 値		修正R ² 値		修正R ² 値		修正R ² 値		修正R ² 値
説明変数	単相関係数	回帰係数	標準誤差	t値	回帰係数	標準誤差	t値	回帰係数	標準誤差	t値
自動車所要時間(分)	-0.598	-0.11116	0.02751	-4.04	-0.07727	0.00520	-14.86	-0.05875	0.00413	-14.22
最短時間道路距離(km)	-0.526	-0.11714	0.09025	1.30	-	-	-	-	-	-
自動車燃料費(円)	-0.556	-0.00159	0.01408	-0.11	-	-	-	-	-	-
自動車平均速度(km/h)	-0.097	-0.06442	0.03699	-1.74	-	-	-	-	-	-
鉄道運賃(円)	-0.227	0.00447	0.00113	3.94	0.00441	0.00071	6.22	-	-	-
鉄道移動時間(分)	-0.252	-0.01331	0.01250	-1.06	-	-	-	-	-	-
鉄道アクセス時間(分)	-0.156	-0.00557	0.02192	-0.25	-	-	-	-	-	-
鉄道イグレス時間(分)	-0.166	-0.00523	0.01712	-0.31	-	-	-	-	-	-
列車待ち時間(分)	-0.134	-0.02136	0.02841	-0.75	-	-	-	-	-	-
終日列車運行本数(本)	-0.108	-0.00177	0.00346	-0.51	-	-	-	-0.00304	0.00112	-2.72
ピーク時1時間列車運行本数(本)	-0.127	0.03240	0.06441	0.50	-	-	-	-	-	-
鉄道利用回数(回)	0.017	0.06947	0.20783	0.33	-	-	-	-	-	-
利用事業者数(社)	-0.016	0.14781	0.29448	0.50	-	-	-	0.63286	0.21700	2.92
駅密度(目的地)(個所/km ²)	-0.241	-0.82935	0.13353	-5.81	-0.72518	0.11759	-6.17	-0.72932	0.12450	-5.86
駅密度(出発地)(個所/km ²)	0.053	-0.79057	0.16626	-4.67	-0.69146	0.14939	-4.63	-0.68620	0.15801	-4.34
定数項		3.55212	0.99035		2.16887	0.21728		2.64711	0.38574	

(b) 自家用車とバス利用者との比

目的変数:		ln(自家用車利用者数/バス利用者数)								
回帰係数表		①全説明変数				②変数増減法 F値=2以上				
		重相関係数R		R ² 値		重相関係数R		R ² 値		重相関係数R
		修正R ² 値		修正R ² 値		修正R ² 値		修正R ² 値		修正R ² 値
説明変数	単相関係数	回帰係数	標準誤差	t値	回帰係数	標準誤差	t値	回帰係数	標準誤差	t値
自動車所要時間(分)	0.364	0.01223	0.06386	0.19	-0.01865	0.00990	-1.88	-	-	-
最短時間道路距離(km)	0.336	-0.36823	0.23261	-1.58	-	-	-	-	-	-
自動車燃料費(円)	0.405	0.03605	0.01808	1.99	-	-	-	-	-	-
自動車平均速度(km/h)	-0.300	-0.02508	0.06956	-0.36	-0.09953	0.03035	-3.28	-	-	-
バス運賃(円)	0.570	0.00606	0.00154	3.93	0.00709	0.00143	4.96	-	-	-
バス移動時間(分)	0.492	0.03042	0.00822	3.70	0.02924	0.00801	3.65	-	-	-
バスアクセス時間(分)	0.214	0.07620	0.02569	2.97	0.09129	0.02522	3.62	-	-	-
バスイグレス時間(分)	0.196	0.05569	0.01950	2.86	0.06595	0.01861	3.54	-	-	-
バス待ち時間(分)	0.145	0.06746	0.02483	2.72	0.07977	0.02510	3.18	-	-	-
終日バス運行本数(本)	-0.214	-0.00807	0.00360	-2.24	-	-	-	-	-	-
ピーク時1時間バス運行本数(本)	-0.107	-0.12030	0.04289	-2.80	0.03416	0.01552	2.20	-	-	-
バス利用回数(回)	0.270	-0.11148	0.27566	-0.40	-	-	-	-	-	-
バス停密度(目的地)(個所/km ²)	-0.200	-0.09147	0.05252	-1.74	-0.13282	0.04847	-2.74	-	-	-
バス停密度(出発地)(個所/km ²)	-0.274	-0.09739	0.05435	-1.79	-0.15294	0.04957	-3.09	-	-	-
定数項		-1.45346	1.67149		0.10735	0.82449				

(c) 鉄道とバス利用者との比

目的変数:		ln(鉄道利用者数/バス利用者数)								
回帰係数表		①全説明変数				②変数増減法 F値=2以上				
		重相関係数R		R ² 値		重相関係数R		R ² 値		重相関係数R
		修正R ² 値		修正R ² 値		修正R ² 値		修正R ² 値		修正R ² 値
説明変数	単相関係数	回帰係数	標準誤差	t値	回帰係数	標準誤差	t値	回帰係数	標準誤差	t値
鉄道運賃(円)	0.273	-0.00146	0.00361	-0.40	-	-	-	-	-	-
鉄道-バス移動時間差(分)	0.152	0.02465	0.00796	3.10	0.02673	0.00732	3.65	-	-	-
鉄道アクセス時間(分)	0.210	-0.00499	0.03781	-0.13	-	-	-	-	-	-
鉄道イグレス時間(分)	0.099	0.01423	0.03995	0.36	-	-	-	-	-	-
列車待ち時間(分)	0.261	0.05641	0.06018	0.94	-	-	-	-	-	-
終日列車運行本数(本)	0.113	0.00011	0.00736	0.01	-	-	-	-	-	-
ピーク時1時間列車運行本数(本)	0.110	0.01196	0.11155	0.11	-	-	-	-	-	-
鉄道利用回数(回)	0.118	0.02470	0.40887	0.06	-	-	-	-	-	-
利用事業者数(社)	0.083	-0.21035	0.76369	-0.28	-	-	-	-	-	-
鉄道駅密度(目的地)(個所/km ²)	-0.007	0.92743	0.32197	2.88	0.83895	0.21531	3.90	-	-	-
鉄道駅密度(出発地)(個所/km ²)	-0.020	0.69196	0.33166	2.09	0.45230	0.20792	2.18	-	-	-
バス運賃(円)	0.620	0.00935	0.00254	3.68	0.00864	0.00208	4.16	-	-	-
バス移動時間(分)	0.575	0.06432	0.01278	5.03	0.06571	0.01087	6.05	-	-	-
バスアクセス時間(分)	0.206	0.13359	0.03722	3.59	0.14322	0.03334	4.30	-	-	-
バスイグレス時間(分)	0.190	0.11168	0.02972	3.76	0.11463	0.02597	4.41	-	-	-
バス待ち時間(分)	0.097	0.05641	0.06018	0.94	0.07278	0.03573	2.04	-	-	-
終日バス運行本数(本)	-0.175	-0.00329	0.00573	-0.57	-	-	-	-	-	-
ピーク時1時間バス運行本数(本)	-0.088	0.09032	0.06708	1.35	0.03411	0.02057	1.66	-	-	-
バス利用回数(回)	0.265	-0.17548	0.46498	-0.38	-	-	-	-	-	-
バス停密度(目的地)(個所/km ²)	-0.103	-0.08836	0.09497	-0.93	-	-	-	-	-	-
バス停密度(出発地)(個所/km ²)	-0.074	-0.15410	0.10496	-1.47	-	-	-	-	-	-
定数項		-6.23648	1.26986		-6.28643	0.63520				

列車運行本数、列車乗換回数、利用鉄道事業者数および鉄道所要時間の影響は有意とならなかった。また、鉄道運賃と利用鉄道事業者数、自動車所要時間との間に相関が見られたため、鉄道運賃を除いて分析を行ったところ、同表③のように利用鉄道事業者数と列車運行本数が有意となった。R²値は0.556で②に比べ若干低下した。

以上より、利用鉄道事業者数と列車運行本数は鉄運賃の代理変数としての意味を持ち、異なる鉄道

事業者間の乗換を伴う場合や閑散線で運賃が割高になることと関係し

(b) 自家用車／バス利用トリップ比

自動車所要時間との相関が強い自動車燃料費、距離、バスのラッシュ時

運行本数との相関が強い終日運行本数を説明変数から除外して分析を行った結果、自動車所要時間、自動車平均速度、バス運賃およびバス停密度、バス移動時間、アクセス・イグレス時間、待ち時間、バス運行本数が有意な相関を持つことが分かった。バス乗換回数は有意ではなかった。

自動車平均速度が低くなると自家用車利用が増加することは、道路混雑が激しい地域ではバスは敬遠される傾向があることを示唆している。

(c) 鉄道／バス利用トリップ比
バス運賃、バス移動時間、バスのアクセス・イグレス時間、待ち時間、鉄道移動時間、出発地駅密度、目的地駅密度、ラッシュ時バス運行本数が有意な相関を持つことが分かった。鉄道運賃、列車バス運行本数、鉄道アクセス・イグレス時間、列車待ち時間、バス停密度は有意とならなかった。

4. 交通手段分担率推計式の現況再現性の検証

重回帰分析の結果得られた推計式を用いて、京都市内を目的地としたトリップの交通手段分担率の再現計算を行い、出発地、目的地行政区別に集計した結果、約5%以内で実績値と一致し、現況再現性が確認された。出発地別の結果を表2に示す。

一方、分担率のOD市区町村別にみた推計値と実績値との偏差(平均±標準偏差)は、自家用車(-1.7±12.8)%, 鉄道(0.2±12.9)%, バス(1.5±6.9)%となり、自家用車と鉄道分担率にやや大きな分散が発生した。この原因を考察するため、表2のうち、鉄道分担率の実績値と計算値との偏差(絶対値)が0.2を超えるケースをとりあげ、代表的な鉄道ルートの特徴を表3にまとめた。

表において、鉄道分担率を実績値より高く推定している例が10ケースあるが、いずれも列車が直通しているか、乗り継ぎ利便性の高いルートであった。実績値より低く評価している2例は左京区へのトリップで、鉄道・自動車トリップの目的地地点が離れており、代表地点の選定により大きな影響を受けている。

5. まとめ

鉄道/自動車分担率の分析結果より、鉄道運賃が安いほど、利用可能な鉄道駅が多数存在するほど、自動車での所要時間が長いほど鉄道利用の割合が高いことがわかった。また、駅密度の影響が抽出されたことは駅間距離が短く鉄道に比べ建設コストの安いLRTのニーズが高いことが示唆される。

鉄道運賃の代理変数として利用鉄道事業者数および列車運行本数が抽出されたことから、別会社線乗り継ぎの場合や運行本数の少ない中小私鉄で割高な運賃設定になっていることが示唆された。したがって、運賃の低廉化・一元化による都市全体の鉄道ネットワーク機能の強化およびバスとの機能分担の適正化が必要と考えられる。

一方、自動車所要時間の影響が大きいことは、LRTの導入等による軌道系公共交通の整備と同時に自動車交通の抑制施策を実施することが、環境負荷の小さい交通体系への転換を進めるために有効であることを示唆しているものと思われる。

本研究で使用した平成12年大都市交通センサス

データは、運輸政策研究機構により使用許可番号14754号を得たものであり、第4回京阪神都市圏パーソントリップ調査データは京阪神都市圏交通計画協議会より使用許可を得たものであります。運輸政策研究機構および京阪神都市圏交通計画協議会の関係各位にはここに深く謝意を表します。

<参考文献>

[1]電力中央研究所編著、「地球環境2002-03 地球温暖化の実態と対策」、2002、エネルギーフォーラム社

表2 出発地別交通手段分担率の推計値と実績値との比較

出発地	自家用車			鉄道			バス		
	実績値	推計値	推計誤差	実績値	推計値	推計誤差	実績値	推計値	推計誤差
北区	0.667	0.712	-0.045	0.121	0.151	-0.030	0.212	0.137	0.075
左京区	0.642	0.658	-0.016	0.164	0.149	0.015	0.195	0.194	0.001
上京区	0.584	0.620	-0.036	0.189	0.157	0.032	0.227	0.223	0.004
中京区	0.574	0.558	0.017	0.274	0.254	0.020	0.152	0.189	-0.037
下京区	0.506	0.471	0.035	0.301	0.341	-0.039	0.192	0.188	0.004
東山区	0.528	0.571	-0.043	0.269	0.284	-0.015	0.203	0.145	0.058
山科区	0.703	0.705	-0.001	0.219	0.182	0.038	0.077	0.114	-0.036
伏見区	0.674	0.703	-0.029	0.284	0.200	0.084	0.042	0.097	-0.056
南区	0.746	0.694	0.052	0.148	0.185	-0.036	0.106	0.122	-0.016
右京区	0.693	0.671	0.022	0.147	0.169	-0.023	0.160	0.159	0.001
西京区	0.710	0.686	0.025	0.185	0.210	-0.025	0.105	0.104	0.001
宇治市	0.506	0.538	-0.032	0.484	0.462	0.022	0.010	0.000	0.010
亀岡市	0.501	0.567	-0.065	0.460	0.433	0.027	0.039	0.000	0.039
城陽市	0.362	0.344	0.018	0.633	0.656	-0.023	0.005	0.000	0.005
向日市	0.604	0.673	-0.069	0.362	0.327	0.035	0.034	0.000	0.034
長岡京市	0.495	0.580	-0.085	0.478	0.420	0.058	0.027	0.000	0.027
大山崎町	0.498	0.434	0.064	0.479	0.566	-0.087	0.023	0.000	0.023
八木町	0.542	0.482	0.060	0.458	0.518	-0.060	0.000	0.000	0.000
久御山町	0.853	0.677	0.176	0.144	0.323	-0.180	0.004	0.000	0.004
平均値		-0.007			平均値	0.000		平均値	0.008
標準偏差		0.046			標準偏差	0.044		標準偏差	0.033

(分担率は自家用車+鉄道+バス合計に対する比)
平均値・標準偏差:久御山町を除いた平均

表3 分担率推計値と実績値の偏差が0.2以上のケース

出発地	目的地	自家用車分担率				鉄道分担率				備考
		実績値	推計値	目的地点変更	偏差	実績値	推計値	目的地点変更	偏差	
上京区	伏見区	0.387	0.584		-0.197	0.588	0.375		0.213	市営・近鉄直通
上京区	西京区	0.512	0.765		-0.253	0.479	0.235		0.244	市営・阪急乗換
中京区	山科区	0.373	0.527		-0.154	0.611	0.371		0.241	直通
東山区	伏見区	0.431	0.622		-0.190	0.559	0.329		0.230	直通
山科区	上京区	0.434	0.687		-0.252	0.507	0.292		0.215	市営乗換
山科区	中京区	0.368	0.515		-0.147	0.592	0.372		0.219	直通
伏見区	東山区	0.420	0.639		-0.219	0.561	0.304		0.257	直通2路線
西京区	上京区	0.492	0.740		-0.248	0.500	0.260		0.240	市営・阪急乗換
宇治市	上京区	0.135	0.452		-0.317	0.865	0.548		0.317	市営・近鉄直通
向日市	下京区	0.196	0.441		-0.245	0.804	0.559		0.245	直通
城陽市	左京区	0.586	0.207		0.379	0.414	0.793		-0.379	左京区南部市営または京阪線まで
				0.429	-0.157	0.414	0.571	-0.157	左京区自動車重心点至近宝ヶ池まで	
亀岡市	左京区	0.537	0.317		0.220	0.463	0.683		-0.220	左京区南部市営または京阪線まで
				0.828	-0.291	0.463	0.172	0.291	左京区自動車重心点至近宝ヶ池まで	