

バス路線の特性基準値による路線分類と営業係数改善方策の検討

Classification of city-bus routes by their features
and investigation of plan to improve the cost-revenue ratio

神谷孝弘* 竹内伝史** 磯部友彦***

By Takahiro KAMIYA * Denshi TAKEUCHI ** Tomohiko ISOBE ***

1、はじめに

今日、都市のバス事業は、様々な環境の変化による悪影響を受け、非常に厳しい赤字経営となっている。しかし、今後の高齢化社会での市民モビリティ確保や、モータリゼーションに依存しない公共的輸送サービス確立の観点などから、その必要性は非常に高い。したがって、簡単にバス事業を廃止または縮小することはできず、この様な情勢の中でも、できる限り、現在の都市バスの経営水準を維持し続けるための、抜本的見直しが必要である。現状において、大規模な都市バスの各路線は必ずしも同じ様な機能を持っているわけではない。にもかかわらず、その運営は、全路線について画一的な方針で行われている。それゆえに、まず都市内のバス路線の機能分化を明確にすることによって、個々のバス路線の役割分担をはっきりさせ、そのそれぞれの機能に見合った柔軟なサービス供給と経営方針を確立することが必要であろう。そこで、本研究では、表1に示した路線のサービス水準、路線形態、運行、路線沿線の情報等の諸特性データによって路線分類を試みた。以上のように、バス路線を特性変数で設定した基準値により分類し、その類型ごとの性格を把握し、それぞれの類型にふさわしい路線計画と運営方針の策定を追求することを目的とする。分類は、まず得られたすべての特性値を用いて、主成分分析を行い、その結果を参考にして分類の概略の姿とその基準となる特性値を定め、それによって路線を分類する2段階の作業で行った。

Key Word 公共交通計画 バス政策
*学生員 中部大学大学院 工学研究科 建設工学専攻
**正員 工博 中部大学工学部教授
***正員 工博 中部大学工学部助教授
(愛知県春日井市松本町1200 TEL 0568-51-1111
FAX 0568-52-0134)

2、主成分分析によるバス路線分類

(1)主成分分析に用いるデータ

主成分分析に用いた変数は、表1に示すサービス、路線、運行、勢力圏の各種特性変数20個で、平成6年度の名古屋市営バス路線(117路線)について整理したものである。

表1 諸特性データ一覧表

サービス 特性データ	1)運行回数, 2)法定速度, 3)バス専用区間距離 4)バスレーン階級(0:なし, 1:7~9時優先, 2:7~9時専用, 3:7~9・17~19時専用), 5)始発時刻, 6)終発時刻
路線 特性データ	7)実質系統長, 8)接続駅数, 9)都心直心性(0:その他, 1:都心行き), 10)昼夜間人口差, 11)競合率
運行 特性データ	12)午前ピーク率, 13)片荷輸送率, 14)運行効率
路線勢力圏 データ	15)居住人口, 16)業務人口, 17)郊外人口, 18)生徒数, 19)病床数, 20)ターミナルP.

※個々のデータについての説明は、【注記】に示す。

【注記】

1)運行回数:一日にその路線で運行されているバスの回数; 2)法定速度:走行キロ/走行時分; 3)バス専用区間距離:バスレーンの設置されている隣接バス停留間の区間数; 4)バスレーン階級:バスレーンを、無し、7~9時優先、7~9時専用、7~9・17~19時専用の速いで階級付けたもの; 5)始発時刻:路線の始発時刻を表す; 6)終発時刻:路線の終発時刻を表す; 7)実質系統長:走行キロ/運行回数; 8)接続駅数:路線が接続している駅の総数; 9)都心直心性:都心を名古屋・栄とし都心が起終点のものを1それ以外を0としたもの; 10)昼夜間差:バス路線の停留所での昼夜間人口比率の最大のものと最小のもの之差; 11)競合率:バス路線同士の競合を表す; 12)午前ピーク率:午前7~11時の間の最もピークなどところの構成比; 13)片荷輸送率:午前7~11時の路線の片方向輸送を(往路・復路のどちらか大きい輸送人員)/(往路輸送人員+復路輸送人員); 14)運行効率:乗車人員/運行回数; 15)居住人口:路線勢力圏内の人口の総数; 16)業務人口:路線勢力圏内の第3次従業者数の総数; 17)郊外人口:名古屋市の路線勢力圏内の人口の総数; 18)生徒数:路線勢力圏内の大学、専門学校、高等学校の生徒数の総数; 19)病床数:路線勢力圏内の病院のベッド数の総数; 20)ターミナルP(ターミナルポテンシャル):鉄道からの乗り換え人数

(2)主成分分析によるバス路線の分類

主成分分析の結果、表2に示す主成分が得られた。

表2 主成分分析結果

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分	第5主成分
因子	運行回数	始発時刻	系統長	生徒数P	郊外人口
大きい	ターミナルP		都心直行		片荷輸送
負	居住人口		昼夜間差		ピーク率
荷		法定速度	郊外人口	都心直行	
要		専用距離		片荷輸送	
因		終発時刻		昼夜間差	
量の					
寄与率	22.3	16.2	11.7	9.2	6.9
累積寄与率	22.3	38.5	50.2	59.4	66.3

量の大きい要因を表している。第1~3主成分までの累積寄与率は50.2%で、約半分の変動を表現して

いる。寄与率を見ると、第4主成分以降は10%以下にとどまっている。このことから、寄与率の高い第3主成分までを分類に用いる対象指標とした。以下に、その主成分に付けた名称とその解釈を述べる。

- ・第1主成分:幹線性・潜在需要大、高頻度運行なこと
- ・第2主成分:悪走行環境性・道路走行環境の悪いこと
- ・第3主成分:都心直結性・都心方面へ路線が行くこと

第1、2、3主成分スコアをそれぞれ横軸、縦軸、奥行きにとって、図1を描くことができる。この図に分布した各路線のかたまりを分析することにより、①基幹(9路線)、②幹線(13路線)、③補助幹線(22路線)、④フィーダー(33路線)、⑤補完(28路線)、⑥特定(12路線)の6グループに分類できた。ここで、各グループに付けた名称は、以下に示す分析結果を勘案して後に名付けたものである。

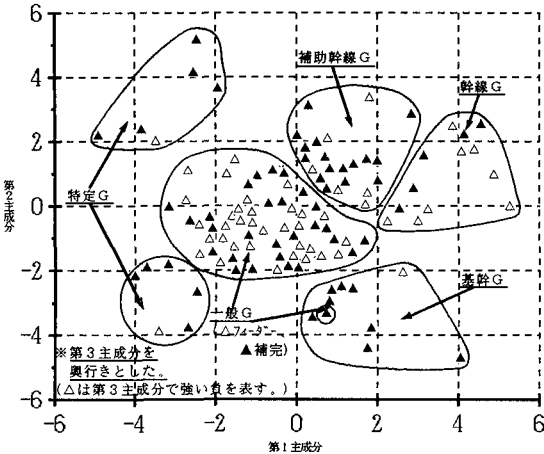


図1 1、2、3主成分を用いた路線分類

表3 一元配置分散分析と平均値(6分類)

	F値	分類要因										目的変数	
		運行回数	系統長	表定速度	運行効率	居住人口	昼夜間差	競合率	営業係数	乗車人員			
検定結果		1%有意	1%有意	1%有意	1%有意	1%有意	1%有意	1%有意	1%有意	1%有意	1%有意	1%有意	1%有意
① 基幹	270	9.35	14.07	53.72	6324	543.13	0.16	101	14483				
② 幹線	227	6.35	11.48	38.76	7757	1495.80	0.31	112	8676				
③ 補助	114	7.73	11.51	26.49	5783	1591.32	0.5	197	3390				
④ フィーダー	112	7.85	13.12	25.72	5118	160.19	0.55	195	3230				
⑤ 補完	101	9.71	13.15	34.56	4431	921.64	0.56	184	3811				
⑥ 特定	29	8.93	12.96	18.43	3501	539.64	0.82	323	572				

この分類にしたがって、一元配置分散分析を用い、各特性指標について、グループ間の平均値の有意な差の検定を行った。表3に示すようにすべての変数において有意水準1%で、十分に有意な差が見られた。平均値を見ると、①は、運行回数、系統長、表定速度、運行効率と、どれも非常に高サービス・高効率である。②は、①と基本的に同じであるが、系統長、表定速度が小さく、昼夜間差が大きい点が①

と異なる。③は、②が低運行回数・低効率となったもの。④⑤は、表定速度が高いのが特徴である。⑥は、超低運行回数・超低効率で、乗客が少なく、営業係数がグループ中最も低い経営の厳しいグループである。以上、各グループごとにかなり異なった特徴が見られる。そこで、この様にはっきりと異なった特徴が見られた特性値によって、分類を試みる。

3、主成分分類を考慮した特性基準値による分類

(1)特性基準値による分類

主成分分類では、分類基準が明確な形で示されておらず、本研究の主旨に十分合致していない。そこで、主成分分類の際に影響を及ぼした要因である特性変数による分類のための基準値を定め、これによって、新たに路線の機能分類を定義した。ここでの分類の定義に使う特性値には、先の分析で平均値がグループ間でかなり異なっていた居住人口と競合率、主成分分析の第2主成分で影響の大きい表定速度に係わってくるバス専用区間距離、地図上より得られた郊外での鉄道との競合とした。これらの特性値の基準によって分類を試みたところ、主成分の6グループには分類することができず、大まかな①基幹+幹線(22路線)、②補助+フィーダー+補完(71路線)、③特定(24路線)の3グループとなった。特性値の各グループ基準は、表4の様になっている。

表4 基準値による定義

基幹+幹線	・専用区間が10区間以上のもの ・居住人口：6000人/km以上、競合率：30%以下、都心から5 km圏外で、JR、名鉄、近鉄と競合しないもの
補助+フィーダー+補完	・基幹+幹線、特定に該当しないもの
特定	・居住人口：4500人/km以下、競合率：55%以上のもの ・居住人口：6000人/km以下、競合率：100%のもの

(2)主成分分類との比較

2、で得られた主成分分類の結果と、基準値分類との間での路線の相違を比較した。

表5 主成分分類と基準値分類結果との比較

主成分	基幹	幹線	小計	補助	フィーダー	補完	小計	特定	合計
特性基準									
基幹+幹線	9	8	17	3	1	1	5	0	22
補助+フィーダー+補完	0	5	5	17	26	22	65	1	71
特定	0	0	0	2	6	5	13	11	24
合計	9	13	22	22	33	28	83	12	117

枠内は全て路線数

表5の網掛け箇所を中心に両分類間の一致率を見た。

- ・基幹＋幹線：17/22＝77%
- ・補助＋フィーダー＋補完：65/71＝92%
- ・特定：11/24＝46%

全体で70%以上の一致率がある。基幹＋幹線、補助＋フィーダー＋補完では、かなり高い一致率がある。そして、特定では非常に低い一致率ではあるが、主成分での特定12路線の内11路線(92%)は、基準値分類での特定に入っており、主成分の特定にその他の路線を加えた形で、基準値分類の特定グループが形成されている。これから、大きく3分類にまとめれば、表4の基準値によって概ね主成分による分類結果を定義することができたと言える。

(3)各グループ間の有意差の検定と平均値

基準値分類結果にしたがって、一元配置分散分析を用い、各特性指標についてグループ間の平均値の有意な差の検定を行った。表6に示したように、系統長、表定速度で有意な差が見られず、平均値を見てもそれらは各グループでほとんど違いが見られない事が判る。それ以外の変数では、いずれも有意水準1%で、十分に有意な差が見られる。これは、分類の基準値に用いた特性値に系統長や表定速度に関するものが含まれていないことを反映している。この事を、今後表の上2グループの細分類を考える時には、留意しておかなければならない。

表6 一元配置分散分析と平均値(3分類)

	諸特性変数								目的変数	
	運行回数	系統長	表定速度	運行効率	居住人口	競合率	営業係数	乗車人員		
F値	7.27	1.65	1.25	30.04	34.88	42.19	23.98	83.96		
検定結果	1%有意	有意無	有意無	1%有意	1%有意	1%有意	1%有意	1%有意		
平基幹＋幹線	251	8.03	12.63	45.99	7100	0.14	119	11459		
均補助＋フィーダー＋補	114	8.22	12.57	30.39	5363	0.54	179	3676		
値特 定	46	8.94	13.16	20.10	3457	0.76	281	1032		
全 路 線	126	8.33	12.70	31.21	5298	0.51	189	4597		

(4)営業係数説明モデルの開発

各グループごとに、営業係数説明モデルを重回帰分析(総当たり法による)で作成した。その結果を表7に示す。網掛け部分は、モデル内で強い影響力のある変数を表す。自由度調整済み決定係数を見ると、特定グループは全路線のそれより大きく、他のグループは全路線モデルと比べて向上が見られない。そこで、得られた各グループのモデル式を用いて、各路線ごとの営業係数を推計し、その実績値との相関を取ったもの(r=0.988)と、全路線でのその相関(r

=0.981)と比較すると、分類した方が高い。これより、分類したことによって、モデルの説明力は向上しているものとする。

表7 全路線・各グループ別営業係数説明モデル

グループ	基幹＋幹線 22路線	補助＋フィーダー＋補完 71路線	特定 24路線	全路線 117路線
乗車人員	-0.19(-1.89*)	—	—	—
系統長	1.21(14.24**)	0.40(14.24**)	0.21(4.66**)	0.33(15.33**)
表定速度	-0.54(-6.27**)	-0.15(-4.64**)	-0.22(-4.11**)	-0.17(-7.11**)
走行キロ	—	-0.14(-4.38**)	—	-0.08(-3.64**)
乗務時分	-0.19(-2.19*)	-0.16(-5.61**)	-0.11(-2.40*)	-0.12(-5.38**)
回送キロ	0.31(5.16**)	0.08(3.17**)	0.30(6.33**)	0.15(7.45**)
運行効率	-1.07(-11.64**)	—	—	—
運行回数/千人	—	0.95(33.44**)	0.75(18.64**)	0.90(44.72**)
決定係数	0.958	0.956	0.976	0.962
(自由度調整)	(0.942)	(0.952)	(0.970)	(0.959)

枠内：標準偏 回帰係数 (t 値 **1%有意 *5%有意)

各モデルの影響要因を見ると、基幹＋幹線では、系統長はむやみに長くせず、乗車人員を増やして運行効率を上げ、営業係数を良くする。他の2グループは、千人当たり運行回数を少なくすることで、営業係数を良くする。さらに、補助＋フィーダー＋補完グループは、系統長を短くする等も、営業係数良くするには影響が大きいことが判る。

(5)営業係数の改善要因

基幹＋幹線グループは、乗客増によって収入を増やす政策をとり、営業係数を改善させる。そして、その他の2グループは、千人当たりの運行回数のできる限りの削減、系統長を短くするなど、基幹＋幹線のそれとは逆に、できる限りの費用削減、路線再編等を重点的とした政策により営業係数を改善させる方が良いことが判った。以上のように、各グループ毎で営業係数に影響を及ぼす要因が異なっている。

4、感度分析

営業係数改善の際に、路線性格ごとで行うべき改善作業が、大まかにではあるが把握できた。そこで、ここでは基準値分類によって得られた営業係数説明モデルを用い、営業係数の改善のための感度分析を行った。感度分析を始めるにあたり、Case1：個々のグループで、変動係数によって各説明変数間のばらつき具合を比較し、その比率による各説明変数の改善を設定したケース、Case2：営業係数を100にするために必要な各説明変数の改善率、Case3、4：比較的効率の良い具体的路線を例に取り説明変数を

組み合わせで営業係数を改善したケースを表8のよう
に作成した。

表8 感度分析結果

(説明変数単独改善)

A、基幹+幹線グループ					
基本ケース	変動係数	改善率	Case1	Case2	
乗車人員	11459	42.6	8.7%	109	92.0%
系統長	8.03	27.8	5.7%	104	9.1%
表定速	12.63	15.4	3.2%	108	10.8%
乗務時	383	8.1	1.7%	110	17.5%
回送キ	0.76	97.4	20.0%	109	
運行効	45.99	30.2	6.2%	103	10.9%
B、補助+フィーダー+補完					
基本ケース	変動係数	改善率	Case1	Case2	
系統長	8.22	22.7	3.9%	174	51.3%
表定速	12.57	9.6	1.7%	177	59.1%
走行キ	111.5	31.8	5.5%	177	213.9%
乗務時	400	8.2	1.4%	177	47.5%
回送キ	0.77	87.0	15.0%	178	
運行回	38.52	43.8	7.6%	165	48.0%
C、特定					
基本ケース	変動係数	改善率	Case1	Case2	
系統長	8.94	18.1	2.1%	288	
表定速	13.2	16.9	1.9%	287	104.5%
乗務時	393	8.3	1.0%	289	111.2%
回送キ	1.182	87.1	10.0%	288	
運行回	56.8	40.5	4.6%	279	77.1%

※運行回数:運行回数/千人 ×は実現不可能

(組み合わせ改善)

A、基幹+幹線グループ					
基本ケース	Case3	Case4			
乗車人員	11459		13750		
系統長	8.03	6			
表定速	12.63	18	18		
乗務時	383				
回送キ	0.76	0.6			
運行効	45.99		50		
営業係数	111	80	63		
B、補助+フィーダー+補完					
基本ケース	Case3	Case4			
系統長	8.22	8	5		
表定速	12.57	13.5	13		
走行キ	111.5	110			
乗務時	400	370	410		
回送キ	0.77	0.7	0.2		
運行回数	38.52	25			
営業係数	179	113	105		
C、特定					
基本ケース	Case3	Case4			
系統長	8.94	7.5			
表定速	13.2	15			
乗務時	393				
回送キ	1.182	0.8			
運行回数	56.8		30		
営業係数	291	226	173		

※運行回数:運行回数/千人
空欄は基本ケースと 同様

乗務時分や表定速度の変動係数は、他の変数に比べて低く、なかなか改善しにくい変数と言え、逆に回送キロの変動係数は高く、改善しやすい変数だと言える。営業係数の改善効果を見ると、どのグループも回送キロの変動係数は大きく、逆に乗務時分は変動係数が小さいが、双方とも同じように営業係数の改善効果は低い。これは、回送キロはかなり改善しないとその効果は期待できず、乗務時分については、それ自体も大きな改善はできず、それほど大きな営業係数改善は見込まれないことを意味する。改善効果の高いものは、基幹+幹線で運行効率、補助+フィーダー+補完、特定で、千人当たり運行回数となっている。1変数単独の改善で、営業係数が100を切る実現性は、基幹+幹線グループでは、乗車人員、乗務時分を除けば、100を切る実現性は高い。その他のグループでは、どの変数でも大きな改善率が必要であり、100を切ることは困難であると言える。組み合わせケースでも、基幹+幹線は、100を切る実現性はかなり高いが、補助+フィーダー+補完は、かなり頑張っても100に近づけるのがやっとであり、特定に関してはほとんど実現不可能であると言える。以上の結果より、いずれのグループも、乗車人員と運行回数の関係を適正にし、少しでも経営改善をしていくことが望ましい。

5、まとめ

特性基準値による分類は、主成分分類との比較を見てかなりの一致率があったこと等から、今回の分類基準で大きくこの3つに分けられることに間違いはないようである。特に特定グループは、主成分分類での特定路線が特性基準の特定にほとんど組み込まれていたことと、営業係数説明モデルもかなりの説明力向上があったことから、このグループは、1グループとして取り扱うことが可能であろう。しかし、基幹+幹線、補助+フィーダー+補完グループでは、グループ内かなりの性格相違路線が混在していると言える。よって、基幹+幹線に関しては、基幹、幹線の2グループに分けて議論を進めなければいけないかもしれない。補助+フィーダー+補完に関しても、内部にかなり特性の異なった路線が含まれていることがうかがわれることから、主成分分類とクラスター分類*との相違をも勘案しつつ、このグループを更に細かいいくつかの分類に分けていくことが今後必要であろう。営業係数改善の操作要因は、乗車人員と運行回数の適正化をはかることが、重要であることが判った。各グループの具体的な政策としては、基幹+幹線は高いサービス供給を目指し、乗客を誘致し、同時に経営努力を行うことによって、バス路線網の柱となるグループとする必要がある。補完+フィーダー+補助と特定は、路線の単純集約化、乗客に見合った運行本数供給というサービス提供量の適正化等を行い、できるだけ100に近づけることが必要である。このような路線性格に見合った政策により、個々の路線の役割分担をし、魅力ある路線を育て、営業係数改善作業を行っていくことが望ましい。今後、さらなる経営確立にむけ、バス事業の柱となるべき路線網の策定と、どの程度のサービス供給が必要であるかの検討をしていきたい。最後に本研究を行うにあたりデータを提供していただいた名古屋市交通局に感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1)名古屋市交通問題調査会ワーキンググループ、「交通問題調査会00試料」1994～2)名古屋市交通局、「交通事業の現状と課題」1996.6 3)神谷・竹内・磯部「市内バス路線特性による分類とその類型化」第51回土木学会年次学術講演概要集、1996.9 4)竹内・磯部・神谷「都市における公共交通機関バス交通の計画課題」2.バス事業経営改善-名古屋のバス計画学会・講演概要集No18 2000年、1995.12 5)名古屋市、「基幹バス運行効果測定調査報告書」、1986.3

※名古屋市の交通問題調査会ワーキンググループで、行われたクラスター分析(特性変数:キロ当たり乗車人員、運行回数、実質系統長)によるバス路線分類