

IC カードデータを用いた包絡分析法 によるバス路線の効率性評価

細川 壮司¹・西内 裕晶²

¹学生会員 高知工科大学大学院 工学研究科基盤工学専攻

(〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185)

E-mail:215060q@gs.kochi-tech.ac.jp

²正会員 高知工科大学講師 システム工学群 (〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185)

E-mail: nishiuchi.hiroaki@kochi-tech.ac.jp

本研究は、地方都市における公共交通網再編の検討に資するためのICカードデータを用いたバス路線の効率性の評価手法を提案する。具体的には包絡分析法（DEA手法）を用いてバス路線の評価を経営的視点から行う。更にICカードから得られる利用者の乗継履歴データより明らかとなる、利用者行動特性を加味し、サービス変化が利用者にとどのような影響を与えているかを分析することで、多角的視点からバス路線の評価を行う。

Key Words: smart card data, public transportation, evaluating efficiency, data envelopment, bus line

1. はじめに

近年、地方都市における公共交通機関の経営状況は厳しさを増している。しかし、都市部と中山間地域を結ぶ路線バスは中山間地域の人々にとって、重要な役割を担っている。そこで路線バスを持続可能なものとするため、運行事業者はより効率的な経営を求められており、バス路線網やサービスの改定を行っている。しかし、その多くが経営的視点からのみ判断されたものであり、利用者の行動特性が加味されていない。

そこで、本研究では既に提案されている路線バスの効率性評価手法を用いて、高知県における路線バスの効率性を経営的視点から評価する。また、これらの手法に加え、料金支払いに利用可能なICカード（ですか）から得られる利用者の路線バス利用履歴より、利用者の行動特性を明らかにすることで、より具体的な改善案の検討が可能になると考える。また、利用者の行動履歴と過去のサービスの変化を照らし合わせることで、サービス変化における利用者の感度が分析可能となる。

路線バスの評価を多角的視点から行うことで、より利用者から需要があるサービスの特定を行い、事業者が本研究を活用したサービス変化を行えることを目的とする。

さらに、上記の手法に将来予測データを用いることで、先見的な事業を展開することが可能になる。

2. 包絡分析法（DEA）の概要

本研究ではバス路線の効率性評価の手法として包絡分析法（以下、DEA）を用いる。DEAとは、入力を出力に変化する過程からその効率性を測定する手法であり、評価対象である意思決定主体（以下、DMU）の効率性を測定するために、出力／入力という比率尺度を用いる。同様の出力と入力を持つDMUが複数個ある場合、比率尺度による効率性の値の大小によって相対比較することが可能である。

DEAは、従来の効率性評価手法である回帰分析法などによる平均に基づいた分析手法ではなく、最も効率的であるDMUが形成する包絡面を基準とすることが特徴である。

DEAの最も基本的なモデルとして、BCCモデルが存在し、少ない入力で大きな出力を得ることができれば、効率的であるとする。

式（1）にBCCモデルのモデル式を示す。¹⁾

$$\text{目的関数 } \max \theta = \frac{u_1 y_{1o} + \dots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + \dots + v_m x_{mo}} \quad (1)$$

$$\text{制約式 } \frac{u_1 y_{1j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + \dots + v_m x_{mj}} \leq 1 (j=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$\text{出力値へのウエイト } v_1, \dots, v_m \geq 0 \quad (3)$$

$$\text{入力値へのウエイト } u_1, \dots, u_s \geq 0 \quad (4)$$

3. 研究概要

(1)DEA 手法に用いる評価指標の設定

本研究では東本ら²⁾により提案されているバス路線の評価手法を高知県のバス路線網の評価に適用する。具体的な指標の設定は表-1 に示す。なお、入出力項目は全路線とも共通とし、バス路線網の効率性評価する。

効率値は、より少ない入力値で多くの出力値が得られれば効率的であると評価されるため、入力項目には少ない方がよいもの、出力項目には多い方がよいものを扱う必要がある。

分析に用いたデータのうち、沿線人口、バス停数、沿線長は「国土数値情報」より得た。

表-1 DEA 手法に用いる評価指標の設定

指標	入力値	出力値	効率値の意味
路線位置効率	バス停数, 路線長	路線人口	路線がどれだけ人口の多い地域を走っているか
経営効率	人件費, 運営費	乗車料収入	どれだけ効率よく収入を得ているか
運行効率	人件費, 運営費	延運行時間	どれだけ効率よくバスを運行しているか
乗車効率	延運行時間	乗車人員	どれだけ効率よく乗車人員を獲得しているか
集客効率	路線人口	乗車人員	沿線人口からどれだけ効率よく乗車人員を獲得しているか
運賃収入効率	乗車人員	乗車料収入	乗車人員が支払う運賃をどれだけ効率よく収入として変換しているか
高頻度利用率	人件費, 運営費	高頻度利用者数	費用に対してどれだけ効率よく高頻度利用者を獲得しているか

(2)沿線人口の設定

沿線人口の設定は、杉尾ら³⁾によるボロノイ図を用いたバス路線ポテンシャルの算出方法を参考とした。

隣り合ったバス停との境界を設定するため、QGIS 上にバス停位置情報を重ね合わせ、ボロノイ分割によりバス停ごとのボロノイ領域を求める。さらに、各バス停を中心とした半径 500m の円領域を合成し、バス停勢力圏を形成する。これらの領域内に存在する人口を沿線人口とする。高知市中心のバス停勢力圏を図-1 に示す。赤色が濃い部分ほど人口が集中していることを示す。

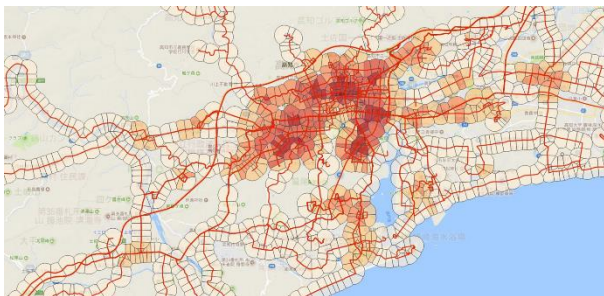


図-1 バス停勢力圏

4. 路線位置効率の分析

(1)路線位置効率の概要

路線位置効率とは、バス路線がどれだけ人口の多

い地域を走っているかを評価する指標である。入力値は各路線に配置しているバス停数と路線長とし、出力値にバス停勢力圏から得た沿線人口とする 2 入力 1 出力の DEA にて効率性を求めた。

本指標では、事業者が配置している入力値を削減することで、包絡線上に移動することを検討するため、入力値を減少させることで効率的にする入力指向型にて分析を行った。

(2)分析結果

路線位置効率が最も高い路線は、比島・竹島線となった。その他の路線は、具体的な削減案が提示されている。このように具体的な削減案を提示されることが DEA の特徴である。具体的な結果は表-2 に示す。

今回の分析により、効率値が極めて低い値を示すものは改善案に示されている減少量と入力値が同等になっており、現状では路線廃止となる。しかし、中山間地域と都市部では人口の偏りがあるため、これらを考慮する手法を検討する必要がある。

表-2 路線位置効率の分析結果

路線名	効率値	入力値		出力値		効率値となるための改善案	
		沿線人口(人)	バス停数(箇所)	路線長(km)	入力指向型 バス停数(箇所)	路線長(km)	
オフィスパーク	0.638	90823	83	23	-30	-12	
トーマン団地	0.835	83011	58	13	-10	-3	
みませ	0.565	110338	114	33	-50	-20	
リハビリセンター	0.658	109354	97	29	-33	-16	
旭駅構内	0.859	55378	40	8	-8	-1	
宇佐	0.428	108662	148	46	-85	-33	
蒲原	0.677	82447	71	19	-23	-9	
親月坂団地	0.723	136360	110	32	-30	-16	
吉野	0.66	106376	94	25	-32	-12	
桂浜	0.596	194217	190	59	-77	-36	
県庁前	0.799	93157	68	16	-14	-5	
高岡	0.498	151936	178	57	-89	-39	
高岡(土佐道路)	0.592	158291	156	44	-64	-25	
高知	0.333	6843	12	6	-8	-5	
高知リハビリ	0.575	87729	89	26	-38	-15	
市野々	0.418	143215	200	70	-116	-53	
春野役場	0.597	78767	77	22	-31	-13	
仁野	0.535	126593	138	42	-64	-27	
須崎	0.481	112059	136	44	-71	-30	
西の宮	0.785	79369	59	14	-13	-5	
西高枝	0.642	80379	73	20	-26	-11	
船岡南団地	0.855	74749	51	11	-7	-2	
大杉	0.081	5548	40	18	-37	-17	
長谷	0.429	36798	50	16	-29	-11	
長浜	0.704	156842	130	34	-39	-15	
鳥越	0.609	192127	184	56	-72	-33	
天王ニュータウン	0.745	181324	142	37	-36	-15	
田井	0.307	67958	129	57	-89	-49	
土佐塾校	0.611	142344	136	44	-53	-27	
東高枝	0.673	115395	100	29	-33	-15	
東団地	0.753	76203	59	16	-15	-7	
奈路	0.043	811	11	4	-11	-4	
南ニュータウン	0.751	36051	28	9	-7	-5	
平和団地	0.557	39124	41	13	-18	-8	
鎭石	0.564	51228	53	14	-23	-8	
歴史資料館	0.725	80757	65	18	-18	-8	
孕橋	0.909	69725	49	9	-8	-1	
イオン線	0.976	83650	50	11	-1	-1	
安芸線	0.469	98000	122	45	-65	-33	
医療センター・十津	0.818	78508	56	12	-10	-3	
医療センター女子大	0.715	84629	69	17	-20	-7	
宇津野線	0.966	122557	74	16	-3	-1	
久枝線	0.22	19623	52	17	-41	-15	
高知医大線	0.921	126316	80	21	-6	-6	
十市・後免線	0.669	143291	125	34	-41	-17	
十津団地線	0.721	56894	46	11	-13	-5	
植田線	0.176	14758	49	18	-40	-17	
西バイパス線	0.868	77366	52	15	-7	-5	
比島・竹島線	1	111428	65	13	0	0	
伊野・岩目地・駅	0.651	112792	101	28	-35	-14	
山田・龍河洞線	0.251	10746	25	8	-19	-7	
車庫線	0.808	20771	15	3	-3	-1	
種崎線	0.752	124990	97	25	-24	-10	
神母木線	0.559	71874	75	21	-33	-13	
前浜・パークタウン	0.57	84050	86	23	-37	-13	
潮見台線	0.824	145528	103	26	-18	-8	
車庫線	0.808	20771	15	3	-3	-1	

5. 今後の展望

(1) 経営的視点からのバス路線評価

とさでん交通株式会社より提供して頂いている人件費と運営費のデータを用いて、東本ら²⁾が提案している手法を高知県に適用する。これにより、経営的視点から効率的な路線を明らかにし、非効率路線の具体的な解決案を提示する。また、人口など偏りが大きくあるとされる部分においては、分類を行ったのちに再評価し、達成可能な改善案の提示に向けて発展させる必要がある。

(2) 利用者行動特性を用いた指標の提案

本研究では利用者の行動特性を加味するため、ICカードデータの活用を新たに提案している。筆者らにより、ICカードデータから利用者特性の把握を進めている。

a) 本研究で用いる IC カードデータ

IC カードですかは、2009 年 1 月 25 日より利用が開始され、高知県内の路線バスや路面電車などで利用可能である。特徴として、料金収受のタイミングが乗降車時に行われるため、乗車時刻や降車時刻を判明させることが可能である。本研究で使用するですかデータの概要を表-3 に示す。

b) 利用間隔の分析

筆者ら⁴⁾により、公共交通機関利用日の間隔を分析する研究が行われている。各利用者がある日に出現したかを判定し、その前後の利用間隔の変化を把握した。クラスター分析により表-4 のような利用者が存在することが明らかとなっている。

具体的には、利用が増加傾向にある利用者層、利用が減少傾向にある利用者層(図-2)、利用が密にある高頻度利用者層(図-3)、利用日間隔が広い低頻度利用者層、利用頻度に規則性が見られないランダムな利用者層である。赤く示した部分は利用した日を現している。

本研究では、各クラスターの利用者に対し、どのようなサービス変化が影響を及ぼしているかを分析する。

具体的には、表-4 に示す利用者像がサービス変化が発生した際に、どのような利用間隔の差が発生しているかを分析する。これにより、サービス変化がもたらす影響がより詳細に判明されることを目的とする。

表-3 ですかデータの概要

項目	内容
データ取得期間	2009年1月25日～2017年3月31日(8年分)
データ内容	年月日,カードID,券種, 利用公共交通機関 乗車時刻, 降車時刻, 乗車停留所 降車停留所, 利用区分, 料金, 距離など
交通機関	とさでん交通(旧土佐電気交通, 旧高知県交通バス), 県交北部交通, 高知県東部交通, 高知県西南交通など

表-4 利用者像の分析

	人数(人)	備考
Cluster1	2206	利用増加
Cluster2	2470	利用減少
Cluster3	5080	高頻度利用者
Cluster4	7855	低頻度利用者
Cluster5	38171	ランダムな利用
総数	55782	



図-2 利用減少する利用者層

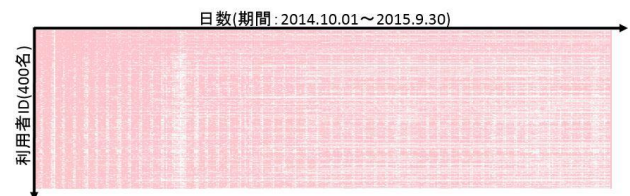


図-3 高頻度利用者層

6. おわりに

本研究では、経営的視点から見た路線バスの効率性の評価に加え、利用者行動特性を加味することで、より多角的視点から路線バスの評価が可能となる。

高知県における路線位置効率性は、市街地を通過する路線に効率的な路線が多く見られた。また、具体的な解決案を示すことが可能となった。しかし、中山間地域を主とする路線では、経営的視点からのみでは、削減すべきという結論となったが、今後の展望に示した内容を実行することで、存続に向けた提案が期待される。

本研究にて示した指標には、国勢調査等により推定された、将来予測データと同一の項目が存在する。評価手法は同様とし、使用データを将来予測データにすることで、現状のサービスにおける将来の効率性を判明させることが可能となる。従って、事業者の事前対策に寄与する可能性がある。

今後は 5 章に示した内容で研究を行い、事業者や公共交通利用者に理解されやすいバス路線の評価手法の検討を進める必要がある。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、とさでん交通株式会社様には大変貴重なデータをご提供いただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 末吉俊幸：DEA-経営効率分析法-, pp.9-53, 株式会社朝倉書店, 2001
- 2) 東本靖史, 岸邦宏, 佐藤馨一：包絡分析法を用いたバス路線の総合効率性評価に関する研究-札幌市バス路線を事例として-, (社)日本都市計画学会, 都市計画論文集, No.40-3, pp.379-384, 2005
- 3) 杉尾恵太, 磯部友彦, 竹内伝史：GIS を用いたバス路線網計画支援システムの構築-潜在需要の把握による路線評価について-, 土木計画研究・論文集, Vol.18 No.4, pp.617-626, 2001
- 4) 西内裕晶, 力石真, 兵頭知, 轟朝幸：IC カードデータを活用した公共交通利用者の利用間隔の変化に関する基礎分析, 土木計画学研究発表会・講演集, 2017