

IC カードデータを用いた
包絡分析法によるバス路線評価

Bus route evaluation by
data envelop analysis using
smart card data

高知工科大学大学院
工学研究科基盤工学専攻
社会システム工学コース
西内研究室 1215060
細川 壮司
指導教員 西内裕晶
副指導教員 高木方隆

2019 年 1 月 9 日

研究要旨

地方都市におけるバス路線は人口減少やモビリティの進化に伴う自家用車の普及が進行したことより、経営状況は厳しさを増している。これに伴い、事業者は事業の縮小をせざるを得ない状況である。これらはスパイラル的に繰り返されることが懸念されており、公共交通機関を展開する事業者の経営状況はさらに厳しさを増すことが予想される。しかし、バス路線は高齢者や子供などの自動車免許がない世代においては必要不可欠な移動手段であるため、一部の利用者は存続を希望している状況である。自治体が運行するデマンドバスやコミュニティバスも普及しつつあるが、地域間の移動は困難である。従って、事業者は効率的な経営を行うことが求められている。しかし、事業者は単一な期間の費用に関するデータを用いての分析しか行われていない。高知県のバス路線においても、上記のような現状である。

そこで、包絡分析法（以下、DEA）による路線の評価を実施する。DEAとは、複数の事業体（路線）を相対比較する方法である。回帰分析のような平均値を用いる手法ではなく、DEAは、最も効率的な意思決定主体（以下、DMU）を基準にする分析方法である。本研究においては、DMUを高知県にて高知市を中心とした路線を運行している「とさでん交通株式会社」が運行する路線とする。

DEAによるバス路線評価に関する研究は複数存在する。東本ら^[2]は札幌市におけるバス路線の評価を行っており、指標の提案も行っている。これらの指標は損益算定から得られる費用的なデータと国土数値情報などから得られる地理的なデータを組み合わせ、事業者側と利用者側の両視点からの分析が行われている。東本ら^[2]の手法を参考に高知県のバス路線に適応したが、効率値が0.9以上の差が発生する場合があり、DEAの特徴でもある改善案の提案ができない状況であった。

そこで、本研究ではICカードデータから付与される利用者行動特性を分析し、DEAの指標を構成するパラメータに活用することを考案する。ICカードの分析としては、西内ら^[15]によって提案されている利用間隔の変化に関する分析を行い、バス利用者の利用者像を判明させた。そして、利用者増のひとつである、高頻度利用者数を路線毎に算出し、指標の考案時のパラメータとして活用し、総合的なバス路線評価を行う指標を提案し、分析を行った。

その結果として、DEAにより算出される効率値は向上し、それぞれのパラメータでの改善案の提案が可能となった。また、総合的なバス路線評価に用いた指標から、パラメータを入れ替え、それぞれのパラメータが効率値に与える影響を分析した。

地方都市におけるバス路線事業が社会に与える影響は多岐に渡るため、費用に関するデータのみでは実態の分析には繋がっていなかった。しかし、ICカードデータの活用により、利用者側の視点は、実際に人々の移動により蓄積されたデータであるため、より実際の行動に近い分析を可能とする。

Abstract

The bus route in local cities has become severe due to the progress of popularization of private cars accompanying the declining population and the evolution of mobility. Along with this, business need to shrink it. It is concerned that these will be repeated spirally, and the business situation of public transportation operators will be expected to further increase the severity. However, bus routes are indispensable means of transportation for elderly people, children and other generations without a driver's license, so some users want to leave. Demand buses and community buses operated by local governments are also spreading, but it is difficult to move between areas. Therefore, business are required to perform efficient management. However, business are only analyzed using data on expenses for a single period. Also on the bus route in Kochi prefecture, it is like the above situation.

Therefore, the evaluation of routes by data envelop analysis (DEA) will be carried out. DEA is a method of comparing multiple business (bus routes) relative. Instead of a method using average values like regression analysis, DEA is an analysis method based on the most efficient decision-making entity (DMU) below. In this research, DMU will be service by "Tosaden Koutsuu Co., Ltd." operating Kochi city center line in Kochi prefecture.

Higashimoto^[2] and his colleagues are evaluating bus routes in Sapporo City, and they also propose indicators. These indicators combine cost data obtained from profit and loss calculation and geography data obtained from national land information and the like, and analyzed from both the business side and the user side. Although it adapted to the bus route of Kochi prefecture by referring to the method of Higashimoto ^[2]and his, there was a case here a difference of efficiency value of 0.9 or more occurred, and it was a situation where it was not possible to propose an improvement proposal which is characteristic of DEA.

Therefore, in this research, we analyze user behavior characteristics given from smart card data and devise to utilize it as smart a parameter constituting DEA index. As an analysis of the smart card, we analyzed the change of usage interval suggested by Nishiuchi^[15] and his. And found the user image of the bus user. Next, the number of high frequency users, which is one of the users' increase, was calculated for each route, and used as a parameter at the time of devising the indicator, and proposed and analyzed indices for comprehensive bus route evaluation.

As a result, the efficiency value calculated by DEA is improved, and it is possible to propose an improvement plan with each parameter. In addition, parameters were replaced from the index used for overall bus route evaluation, and the influence of each parameter on the efficiency value was analyzed.

Because the influence of bus route business in local cities on society varies widely, data on costs alone did not lead to an analysis of the actual situation. However, by utilizing the IC card data, since the viewpoint of the user side is data actually accumulated by movement of people, analysis close to the actual behavior is made possible.

目次

研究要旨	2
Abstract.....	3
目次.....	4
図表目次	6
1. 序論	1
1.1. 高知市を中心とする路線バスの現状について	1
1.2. 研究背景.....	2
1.3. 研究目的.....	4
1.4. 研究フロー	6
2. 分析手法.....	7
2.1. DEA の概要 [16][17]	7
2.2. IC カード「ですか」の概要	9
3. 経営的データを活用した路線バス評価.....	10
3.1 評価指標の設定	10
3.2. 指標に用いられるパラメータの導出方法.....	12
3.3. DEA に用いる指標により算出される効率値の意味	13
3.4. 分析結果.....	14
3.5. 考察	21
4. 指標に用いるパラメータの統合.....	22
4.1. パラメータ統合の背景	22
4.2. 指標の作成	23
4.3. 分析結果.....	24
4.4. 考察	27
5. IC カードデータを活用した路線バス評価.....	28
5.1. IC カードデータを用いる経緯.....	28
5.2. 本研究で用いる IC カードデータ	28
5.3. 利用間隔に関する分析	29
5.4. 総合経営効率に高頻度利用者の追加した分析.....	36
5.4. IC カードデータを活用した指標の提案	39
5.5. 分析手法.....	40
5.6. 分析結果.....	42
5.7. 考察	49
6. 将来推計人口を活用した分析.....	50
6.1. 将来推計人口データの活用背景.....	50
6.2. 2045 年の沿線人口	50
6.3. 総合経営効率への将来推計人口の反映.....	50
7. 結論.....	52

謝辭.....	53
参考文献	54

図表目次

図 1 公共交通機関における負のスパイラル	3
図 2 研究のフロー図	6
図 3 DEA の概念図	8
図 4 IC カードですか	9
図 5 バス停勢力圏	12
図 6 各 DMU における各指標の効率値	15
図 7 総合経営効率を構成するパラメータ	23
図 8 効率値の変化傾向	26
図 9 エルボー法によるクラスター数の決定	30
図 10 高頻度利用者を示すクラスター	31
図 11 低頻度利用者を示すクラスター	32
図 12 利用増加を示すクラスター	33
図 13 利用減少を示すクラスター	34
図 14 ランダムな利用者を示すクラスター	35
図 15 総合経営効率のパラメータに高頻度利用者を追加	36
図 16 総合経営効率に高頻度利用者を追加した際の効率値の変化	38
図 17 各 DMU における IC カードデータを活用した指標の効率値	44
表 1 本研究で取り扱うバス路線	11
表 2 経営的データを活用した指標	11
表 3 パラメータの引用元	12
表 4 経営効率値と各パラメータの既存値と改善案	16
表 5 乗車効率値と各パラメータの既存値と改善案	17
表 6 路線位置効率値と各パラメータの既存値と改善案	18
表 7 集客効率値と各パラメータの既存値と改善案	19
表 8 運賃収入効率値と各パラメータの既存値と改善案	20
表 9 総合経営効率値と各パラメータの既存値と改善案	25
表 10 IC カード「ですか」の保有するデータ内容	28
表 11 クラスター内訳	30
表 12 総合経営効率値に高頻度利用者を追加した際の各パラメータの既存値と改善案	37
表 13 本研究で提案する指標	41
表 14 各路線の IC カードデータを活用した指標の効率値	43
表 15 DEA-0 の効率値と各パラメータの既存値と改善案	45
表 16 DEA-1 の効率値と各パラメータの既存値と改善案	46
表 17 DEA-S の効率値と各パラメータの既存値と改善案	47

表 18 DEA-P の効率値と各パラメータの既存値と改善案..... 48

表 19 2045 年推計人口を活用した総合経営効率の結果 51

1. 序論

1.1. 高知市を中心とする路線バスの現状について

2014 年 10 月 1 日より、高知市を中心に県内外に軌道事業・乗合バス事業・貸切バス事業を行っていた、土佐電気鉄道株式会社・高知県交通株式会社・土佐電ドリームサービス株式会社の 3 社の経営統合にてとさでん交通株式会社が設立された。とさでん交通株式会社は経営統合前に実施されていた事業を引き継ぎ、営業を開始した。

経営統合の背景として、乗車率の低さによる経営難等を理由に 2014 年 1 月より検討が開始された。同年 7 月 16 日に土佐電気鉄道株式会社と高知県交通株式会社が新会社設立委員会を設置し、統合への動きを本格化させ、とさでん交通株式会社の設立となった。現在では、高知市と各地方を繋ぐバス路線の運行はとさでん交通株式会社を中心に展開されている。

1.2. 研究背景

近年、高知県を含めた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おり、事業の縮小が進行している。背景として、自家用車の普及により個々人の自由な移動が可能になっていることや、地方における人口減少の進行で公共交通機関の利用者は加速度的に減少している。そのような背景を受け、地方における路線バスは、路線の短縮や便数の減少、さらには路線の廃止等の検討が行われている。しかし、路線バスは各地域間を結び人々の移動を支える重要な役割を担っている。一例として、高齢者の自動車運転による事故が多発し、免許返納が求められている昨今であるが、公共交通機関が充実している東京都や大阪府などの都市では高齢者ドライバーの比率が低いのに対し、高知県は高齢者ドライバーの比率が全国トップである¹⁾。このように公共交通機関に依存できない地域に生活拠点のある高齢者は自動車運転を返納すると、日々の生活に影響を及ぼす可能性があるため、免許返納を行うことができない¹⁾。このような現状に対して住民の移動手段を確保するために、地方自治体は独自にデマンドバス等の運行を開始し、地域内の交通手段の確保に努めているが、自治体ごとに取り組みには違いがある。例として路線を決定し、定時運行を行うコミュニティバスや、予約を必要とし、必要な時間のみで利用するデマンドバス、また、その両方を活用している自治体が存在するなど様々である。また、デマンドバスのみでは自治体間の移動ができない場合が多いため、補助金等を活用し、路線バスの維持を事業者と共に目指している。

しかし、少子高齢社会等の影響による人口減少が進行する現代において、公共交通機関の利用者はさらに減少する可能性がある。それに伴い、事業者はサービスの縮小をせざるを得ない可能性があり、これらはスパイラル的に繰り返されることが懸念される。(図1) さらに、人口減少に伴い、バス路線の利用者が減少した場合においても、人々の居住地に変化がないため、求められる路線の展開範囲は現状とほぼ変わらないことも予測される。

上記のような社会的に解決すべき課題を受け、事業者は利用者数の拡大や経費の削減等、効率的な運営を行い、公共交通機関を維持することを求められている。しかし、事業者は収益を主とする情報にてサービスの改定や路線網再編の検討を行っているが、路線毎に利用者像が異なることや、収益性のみを考慮して配置されていない現状から、現在の分析手法では多面的な路線網の存在価値を有するバス路線においては十分な評価がなされているとは言い難い。そこで地方都市において持続可能な路線バスを維持したり検討したりするための基本的な知見を整理するため、事業者が使用可能な多角的視点からの分析方法が求められる。

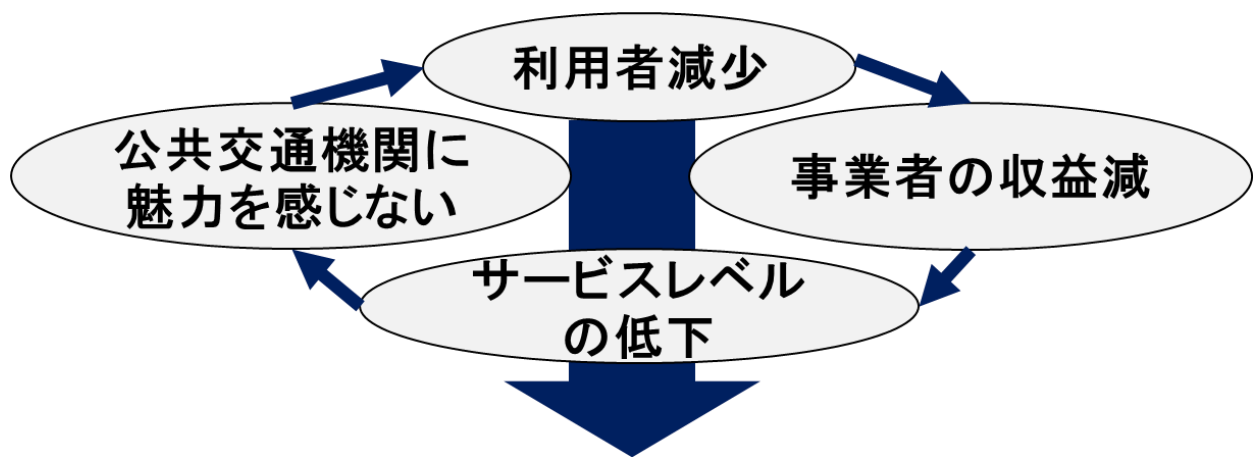


図 1 公共交通機関における負のスパイラル

1.3. 研究目的

本研究では包絡分析法（以下、DEA（Data Envelopment Analysis））を活用した路線バスの効率性評価を高知県の路線バスにて行う。

バス事業にDEAを活用している事例としては、東本ら^[2]は札幌市のバス路線を対象に路線毎の評価を実施している。特徴として、路線が持つ特色を明らかにするために、バス事業者とバス利用者の両視点から分析を行っている。また、同じく東本ら^[3]はPT調査による帰宅交通の特性を分析し、バス事業の効率性を事業者の視点から行っており、DEAの改良型window法を用いている。

平井ら^[4]は公営バス事業の効率性を評価している。それぞれの都市で運行されている公営バスを分析対象とし、DEAにより相対比較している。多角的な分析を実現するため、生産面・経営面・サービス水準の3視点から評価を行っており、それぞれの視点において効率値の比較を行っている。

折田ら^[5]は秋田市マイタウンバスを対象に分析を行っている。これらの路線は路線系統の統廃合や路線の延伸等の施策を実行した路線であり、民間事業者に運営を委託されている路線である。東本らの研究と同様に路線毎の評価を実施している。バス事業の効率性評価として、4つの指標が提案されており、ウインドー分析により時系列変化を考慮した評価を行っている。

轟ら^[6]は千葉県の自治体が運営するコミュニティバスを対象に分析を行っている。特徴として、運営を行う自治体側と利用者側の双方に指標を設け分析を行っており、二次元の散布図によりそれぞれの自治体の効率値を示している。

宮良ら^[7]は公営バスの経営効率を分析しており、その分析対象は全国の48の公営バスである。また、複数モデルの選択による効率値の変化を分析しており、モデルの違いによる効率値の変化を分析している。さらに、非効率の要因を順位プロビット・モデルから分析を行っている。

高野ら^[8]はDEAを用いて路面電車事業の評価を実施した。分析対象は全国に存在する路面電車を運行する20の事業者である。生産面・経営面・サービス水準・環境配慮面の4つの視点より分析を行っている。

以上のように、バス路線に対してDEAを活用した事例は複数存在する。分析対象は事業者毎の比較、もしくは路線毎の比較となる。また、指標の考案に関しては経営上集計されるデータもしくは、国土数値情報等の基礎的な情報を用いて考案されている。

公共交通機関利用時にICカードを用いた料金収受が可能になった現代において、それらにより取得されたデータは蓄積を続けている。今井ら^{[9][10]}は蓄積されるデータの種類、保管状況や社内での活用状況を全国の事業体にてアンケート調査を用いて把握し、ICカードデータの可能性を示している。さらに角野ら^[11]はICカードデータを活用している事業者の特徴を明らかにするため、ロジスティック回帰を用いた分析を行っており、データの蓄積と活用には関係性があることを示している。また、絹田ら^[12]により、ICカードデータから取得されるデータの加工方法やデータベース構成が検討されている。

実際に路線の分析に活用している事例として、轟ら^[13]はICカードデータの特徴である利用実態を把握できる点を用いて、重複バス路線の存在する都市部においてODパターンの分析を行った。また、同じく轟ら^[14]は、高知市における乗り換えの利用実態を分析しており、路面電車とバ

スのあり方を提案している．さらに，西内ら^[15]はICカードデータをDEAの指標提案におけるパラメータとして活用し，乗り継ぎ結節点の評価手法を提案している．本研究において，DEAにICカードデータを付与するという視点は，西内ら^[15]の研究を参考にした．

現状の事業者による評価手法は 事業者が把握している費用に関するデータのみの活用であるが，これらは利用者の視点が加味されないため，サービスの変化や料金の変化などを行っても経営状況の改善には繋がらない．また，背景で述べたように地方都市に展開される路線が与える社会的な便益は多岐に渡るため単一的な視点では評価できない可能性が危惧される．そこで，複数入出力が任意に設定可能なDEAの使用が望ましいと考え，東本ら^[12]によって提案されている手法を高知県のバス路線に適応する．東本ら^[12]は，DEAを用いたバス路線の分析を都市部において実行しており，DEAで用いられる指標の提案も行われている．指標作成において使用されているデータは国土数値情報により取得されるデータや，事業者が把握している費用に関するデータなどが含まれる経営的データによって構成されるものである．東本ら^[12]は利用者の視点を加味した指標作成に努めているものの，実際の利用者行動が分析されたものではない．従って，地方都市のバス路線を評価には経営的データの影響を受けることが予測される．

そこで，高知県にて使用可能なICカード「ですか」の蓄積データを分析し，パラメータとして活用する．先行研究でも示されているように，ICカードデータは利用者の行動履歴が示されている．従って，利用者行動特性の把握に活用可能であると考えられる．また，このようなDEAにICカードデータを活用したバス路線の評価は先行研究にほぼ存在しないため，本研究により提案し，多角的視点からのバス路線分析を行い，経営的データのみでは潜在的であった要素を明らかにすることを目的とする．

1.4. 研究フロー

研究のフローを図2に示す．はじめに東本ら^[2]の研究を参考にDEA分析を高知県の路線を対象に行い，高知県におけるバス路線を経営的視点から再評価し，東本ら^[2]によって提案されている指標においてどのような効率値と改善案が示されるかを考察する．続いて，ICカードデータから付与されるデータを用いた利用者の利用間隔に関する分析を行い，利用者行動特性を明らかにし，バス路線利用者の利用者像を判明する．さらに判明された利用者像に所属する人数をパラメータとして使用し，指標を作成する．その後，提案した指標にて分析を行う流れとなる．

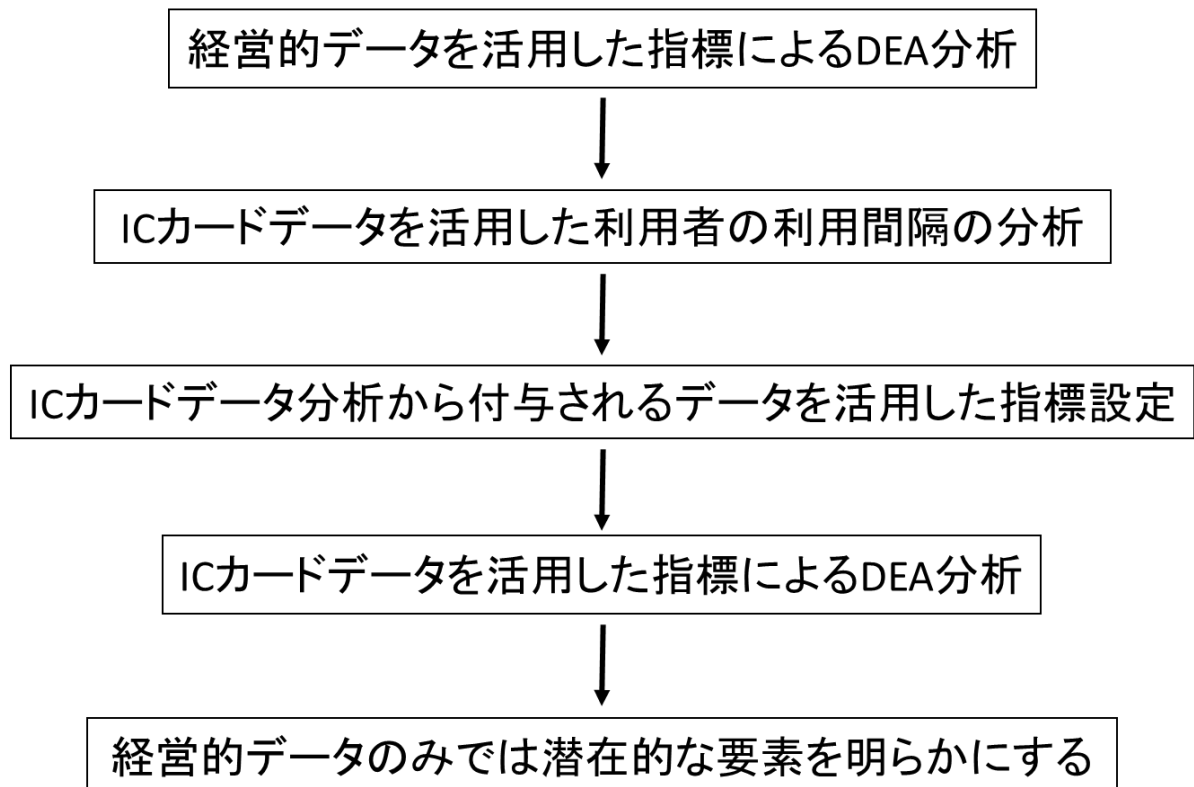


図 2 研究のフロー図

2. 分析手法

2.1. DEAの概要 [16][17]

本研究ではバス路線の効率性評価の手法として DEA を用いる。DEA とは、線形計画モデルの一種であり、1978 年にテキサス大学チャーンズ教授とクーパー教授により提唱された経営分析手法である。特徴として、「最も効率的な意思決定主体 (DMU) をベンチマークとする」ことが挙げられる。回帰分析法などの平均値を用いる手法では、平均的な値を目指す経営改善案のみの提案となる。

近年では、DEA を用いて同業他社の企業間の比較する際等に用いられるようになりつつある。本研究では、企業間の比較ではなく、DMU を路線とすることで、路線間の相対比較を行い、最も効率的とされる DMU を目指すことで、経営改善を目指すための提案が事業者自らで分析可能であると考える。

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。(図 3)

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 (効率的フロンティア) を基準とすることが特徴である。また、複数入力、複数出力の設定が可能であり、それらに加重を加え、仮想的総出力／仮想的総入力に変換することで、計算を行う。

DEA の最も基本的なモデルとして、CCR モデルが存在する。制約式(2)によって仮想的に考えられた総入力と総出力の比を全ての事業体の生産活動にて、1 以下の値にて示されるようモデル化されている。そのうえで、効率値 θ を最大化するよう重みを決定している。CCR モデルは次式に示す分数計画問題に定式化される。一般には与えられた入力データ X 、出力データ Y について (1)～(4)に示す線形計画問題を解くことにより、最適解を求める。

また、モデルには入力指向型と出力指向型が存在する。これらの違いとして、入力値を最小化して包絡面を目指すのか、出力値を最大化して包絡面を目指すのかという違いである。入力値を削減し包絡面を目指す場合は入力指向型を用いる。反対に、出力値を増加させ包絡面を目指す場合は出力指向型を用いる。本研究においては入力値の最小化を目指す入力指向型を使用するが、入力値に事業者が可変でないパラメータが含まれる場合は出力指向型を使用する。例として、沿線人口は事業者により操作することが困難である。従って、沿線人口を含まないパラメータを変化させるように指向型を変更する。

DEA の特徴として、非効率と判定された DMU においては、包絡面までの距離が算出できる。指定された指向型の方向に移動すれば、包絡面にたどり着くことになる。例として、図に示す DMU[B]は非効率な DMU であるが、入力指向型による入力値の削減量が決定され、水平移動を行うことで、包絡面にたどり着く。従って、包絡面に存在する効率的な DMU となるためには、どのパラメータをどれだけ変化させると良いかが提案される。これは DEA のひとつの特徴である。

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

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

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

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

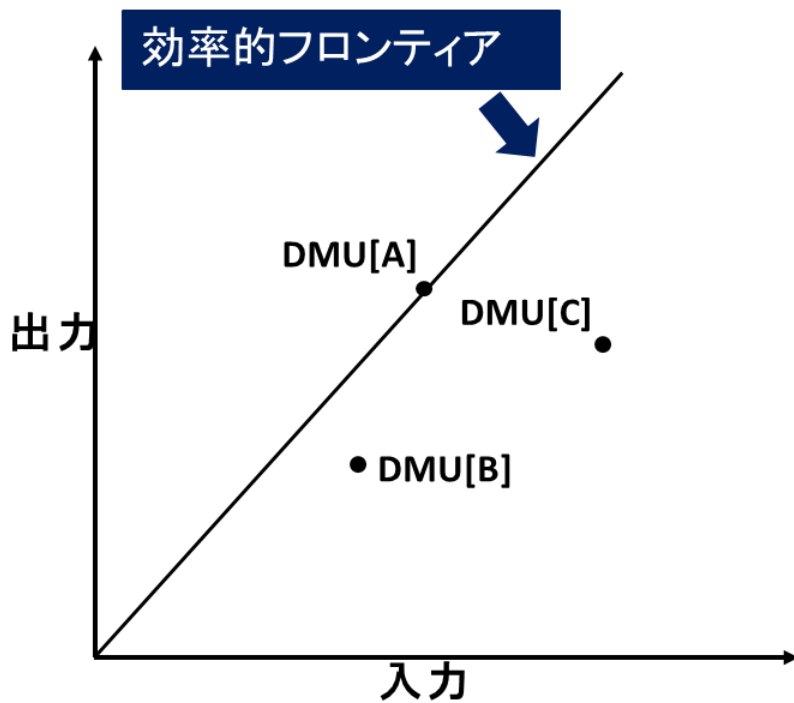


図 3 DEA の概念図

2.2. ICカード「ですか」の概要

ICカード「ですか」(図4)は、平成21年1月25日より利用が開始されており、とさでん交通株式会社が運行する路線バスにおいても利用可能である。2019年1月現在、とさでん交通、県交北部交通、高知東部交通、高知西南交通、高知高陵交通、高知駅前観光、ジェイアール四国バス、四万十交通、いの町役場 総合政策課(町営バス)土佐市(ドラゴンバス)にて利用可能である。各事業者の窓口やバスや路面電車の車内で購入可能である。また、窓口や自動チャージ機にてチャージ可能である。

カードには大人用、小児用(12歳4月1日までの利用可能)、ナイスエイジ用(65歳以上対象)があり、それぞれにチャージ料金を自由に利用する記名式と、定期券区間の設定が可能な定期券の設定がある。また、大人用のみ無記名式の設定が存在するが、紛失時の再発行対応は不可である。さらに、身障者用のカードとその同行者用のカードも存在する。これらのカードは全て、発行を行った本人のみが利用可能とされている。

利用にあたり、メリットも多数存在する。利用額に応じて還元される「ですかポイント」や指定された乗り継ぎポイントで乗り継ぐと運賃が割引かれる制度などが存在する。

「ですか」によって付与されるデータとその分析方法については次章にて紹介する。



図4 ICカードですか

3. 経営的データを活用した路線バス評価

3.1 評価指標の設定

本研究では 49 路線を取り扱うこととし、その路線名は表 1 に示す。また、高知県と各都市を繋ぐ高速路線も共同運行事業者と共に展開されている。

経営的データとは損益算定に示される費用に関するデータを示す。これらは、事業者によって提供された経済活動の結果、獲得された利益を表している。これらのデータは事業者の意思決定により、操作する事が可能である。

本研究では平成27年10月から平成28年9月までの一年間の経営的データを活用し、指標作成を行っている東本らの研究を高知県の路線バスに適用する。具体的な指標の設定は表2に示す。これらは経営的データに加え、国土数値情報より取得可能なデータも使用している。各パラメータの導出方法は次節で紹介する。なお、入出力項目は全路線とも共通とし、路線バスの効率性評価する。

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。

表 1 本研究で取り扱うバス路線

潮見台線	桂浜
県庁前～イオン～一宮営業所線	観月坂団地
前浜・パークタウン線	県庁前
種崎線	高知
学芸高校線	須崎
イオンモール高知線	田井
車庫線	高岡
神母木・龍河洞線	高岡(土佐道路)
安芸線	天王ニュータウン
前浜～JA高知病院線	トーマン団地
植田～JA高知病院線	土佐塾校
高知医大～久枝線	鳥越
みづき～医大病院線	長浜
みづき～棧橋線	土佐市ドラゴンバス
鳥越～十市後免線	春野役場
十津団地線	東団地
鳥越～西孕線	船岡南団地
宇津野線	平和団地
竹島～比島～入明線	南ニュータウン
イオン線	みませ
高知県立大学・医療センター線	横浜ニュータウン
高知駅～棧橋線	吉野
宇佐	リハビリセンター
大杉	領石
オフィスパーク	

表 2 経営的データを活用した指標

指標	入力値	出力値	効率値の意味
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
乗車効率	総走行距離	乗車人員	どれだけ効率よく乗車人員を獲得しているか
路線位置効率	バス停数, 路線長	沿線人口	路線がどれだけ人口の多い地域を走っているか
集客効率	沿線人口	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

3.2. 指標に用いられるパラメータの導出方法

損益算定から得られる費用に関するデータである，経営的データから引用可能なパラメータは表3経営的データの列に示される．これらは事業者が経営状況を把握するために管理しているデータであり，本研究においては，とさでん交通株式会社よりご提供頂いた．

また，国土数値情報より引用したデータは表3国土数値情報の列に示される．国土数値情報とは，国土利用計画の策定の推進のために無料にて提供されているGISデータである．バス停数と路線長はGIS上に示されるバス路線とバス停の情報を元に引用した値である．

沿線人口の設定は，国土数値情報より取得した路線長，バス停位置，人口分布を用いて杉尾ら^[18]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．路線上に配置されるバス停を中心に円形のバッファを半径500mと設定し構成する．重なり合う部分はボロノイ分割により境界を決定することで，バス停勢力圏を形成する．人口分布データより，バッファ内に含まれる人口を算出する．その人口を沿線人口として取り扱う．高知市中心のバス停勢力圏を図5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．

表 3 パラメータの引用元

経営的データ	国土数値情報
人権費 運営費 乗車料収入 走行距離 乗車人員 乗車料収入	バス停数 路線長 沿線人口

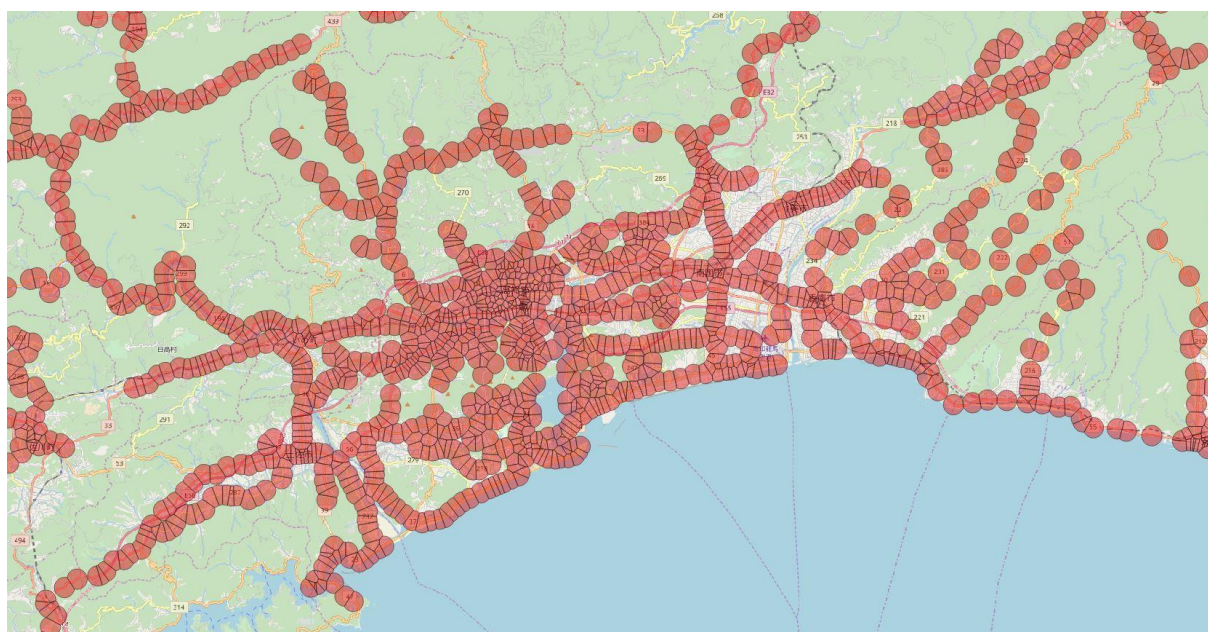


図 5 バス停勢力圏

3.3. DEA に用いる指標により算出される効率値の意味

分析にあたり、決定された指標を1節にて示した。これらの指標を用いてDEAを行うが、各指標により見られる現象が異なる。従って、本節にて指標を構成するパラメータとそれにより算出される効率値の意味を説明する。

経営効率とは、入力値に事業展開において投資された金額を示す人件費、運営費とする。出力値は乗客より得た収益を示す乗車料収入とする。効率値は、投資に対してどれだけ他の路線より効率良く収益を得ているかを示す。金銭的なデータのみを使用し考案された指標であり、経営状況を主とした指標である。

乗車効率は、入力値にバスの運行させた距離の合計となる総走行距離とし、出力値にバスを利用した総人員数を示す乗車人員とする。効率値はバスの運行に対してどれだけ他の路線より効率良く乗車人員を獲得したかを示す。

路線位置効率は、入力値に国土数値情報より得られるバス停数と路線長とする。出力値は前節で設定した沿線人口とする。効率値は、路線が他の路線よりどれだけ人口の多い地域を通っているかを示す。事業者によって設定される路線やバス停は、人口の多い地域に対して提供を行った方が集客の可能性を有する。本指標では、その集客の可能性を分析可能である。

集客効率は入力値に沿線人口、出力値に乗車人員とする。効率値は、沿線人口からどれだけ他の路線より効率良く乗車人員を獲得しているかを示す。路線周辺の人口はバス利用の可能性を有する人々である。これらの人々がどれだけ利用をしているかを示すものである。

運賃収入効率は入力値に乗車人員、出力値に乗車料収入とする。効率値は、乗車人員一人当たりからどれだけ効率よく収益を得ているかを示す。乗車人員一人当たりの金額は利用された距離により、上昇する。つまり、一人当たりの支払い額が多い路線は、利用される区間が長い場合、自治体間の移動等、長距離の移動において、路線バスに依存する利用者が存在することを表す。また、他の競合となる移動手段が少ないことも考えられる。

以上の5つの指標は経営データから得られるデータと一般公開されている国土数値情報等のデータを使用した指標であり、事業者側と利用者側の両視点から分析するために考案されている。高知県においても本指標にてバス路線の分析を行う。

3.4. 分析結果

前節にて経営的データを活用し、設定した指標を高知県の路線バスに適応した。効率値と削減目標値、増加目標値を指標ごとに表 4、表 5、表 6、表 7、表 8 で示す。また、レーダーチャートにて効率値を図 6 に示す。

表 4 では経営効率を示し、観月坂団地線が最も効率的な路線となる。続いて効率値 0.86 の竹島線が効率的な路線となる。竹島線に続く効率的な路線は東団地線であるが、効率値が 0.39 と大幅に減少する。また、効率値が 0.1 以下の路線が約 9 割を占めており、観月坂団地線、竹島線と比較すると効率的でないことがわかる。

DEA の特徴のひとつとして、改善案の提案が可能であるという点である。表内の「効率的になるための改善案」は各項目の目標値を示している。これらを達成するとベンチマークとされた高効率な路線と同等の効率性を得ることが可能となる。現在の人件費と運営費と「効率的になるための改善案」が同値を示している路線もあり、路線廃止が提案されたこととなる。この結果は、高知県における路線バスは不採算路線が主となる現状が表されている。

表 5 では乗車効率を示す。竹島線が最も効率的な路線となり、本指標においても、効率値が 0.1 以下の路線が約 4 割を占めている。つまり、乗客が少ない状態で運行している状況が長く続いていることが本指標により説明される。

表 6 では路線位置効率である。県庁前線が最も効率的であり、続いて学芸高校線が効率値 0.71 となる。図 3.1 に示すように、本指標は効率値が他の指標と比較し、大きな差が見られない。特徴として、住宅地となる団地を通る路線が比較的高効率な値を示しているが、地方に向かう路線では低効率を示す傾向がある。つまり、集客を目指す際に乗客となりうる人口がそもそも少ない地域でサービスを展開している現状が示される。

表 7 では集客効率を示す。土佐塾校線が最も効率的である。ここでは、路線位置効率で示された県庁前線が低効率である。つまり、人口の多い地域にてサービスを展開した場合でも、利用者増加には寄与できていないことが示された。また、地方路線において高効率を示す宇佐線等の存在により、地方から高知市への移動において路線バスを利用する層がいることを示している。

表 8 は運賃収入効率を示す。最も効率的である路線は大杉線である。ここまでの分析結果においては効率値が低い状況であったが、本指標においては効率的なフロンティアを形成するベンチマークとなる。従って、利用者数は多いとはいえないものの、自治体間などの長距離移動は路線バスを利用する人々が存在する事となる。

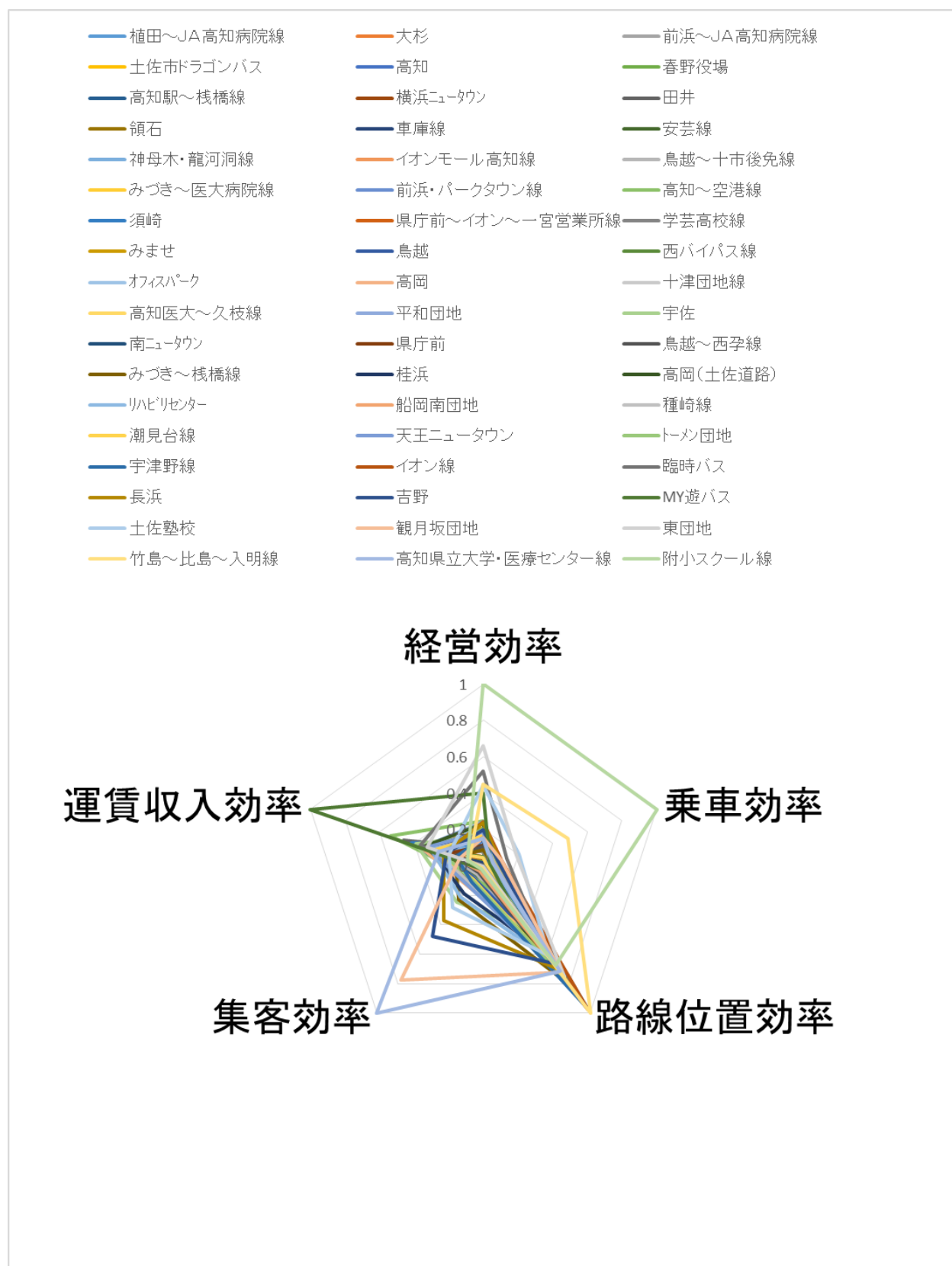


図 6 各 DMU における各指標の効率値

表 4 経営効率値と各パラメータの既存値と改善案

路線名	効率値	入力値		出力値	効率的になるための改善案	
		人件費	運営費	乗車料収入	入力指向型	
					人件費	運営費
潮見台線	0.01	18022934	23563399	32541542	248580	325113
県庁前～イオン～一宮	0.01	641045	838109	662799	5063	6622
前浜・パークタウン線	0.01	23166241	30308739	35405738	270459	353728
種崎線	0.01	27311885	35707883	53298106	407137	532486
学芸高校線	0.01	1364056	1783383	1135500	8674	11344
イオンモール高知線	0.01	11067224	14469421	13476977	102949	134644
車庫線	0.00	4877068	6376337	1203403	9193	12023
神母木・龍河洞線	0.01	20028644	26881490	21179557	161788	211599
安芸線	0.01	43503271	57769272	40840790	311977	408028
前浜～ＪＡ高知病院線	0.00	6052705	7918708	1355118	10352	13539
植田～ＪＡ高知病院線	0.00	7372007	9638250	2798802	21380	27962
高知医大～久枝線	0.00	8295877	10929666	4386182	33505	43821
みづき～医大病院線	0.01	10705444	13996425	13341011	101910	133286
みづき～棧橋線	0.01	5398587	7058177	5939824	45373	59343
鳥越～十市後免線	0.01	18885034	25319964	19663145	150204	196449
十津団地線	0.01	2469055	3228072	4651209	35530	46469
鳥越～西孕線	0.01	7788364	10443491	10403139	79468	103935
宇津野線	0.00	16205512	21187279	4252327	32483	42484
竹島～比島～入明線	0.86	256798	335741	28758523	219682	287318
イオン線	0.02	471077	615892	1162286	8879	11612
高知県立大学・医療セ	0.00	12140806	15873035	1423024	10870	14217
高知駅～棧橋線	0.04	3866129	5054623	20118064	153679	200994
宇佐	0.00	50780442	67029403	527225	4027	5267
大杉	0.30	2337794	3355881	93108200	711240	930217
ワイパーク	0.23	1830078	2437169	55428000	423407	553765
桂浜	0.00	25440890	35807668	660862	5048	6602
観月坂団地	1.00	696936	911508	91235606	696936	911508
県庁前	0.00	11380642	15033742	1381555	10554	13803
高知	0.08	391453	511790	4313119	32947	43091
須崎	0.00	25902144	41735264	1274441	9735	12733
田井	0.00	28772701	41302944	14751326	112683	147376
高岡	0.00	27410474	38683615	316877	2421	3166
高岡（土佐道路）	0.00	20265628	29527100	1401489	10706	14002
天王ニュータウン	0.01	29383428	39112773	34598105	264290	345659
トヨタ団地	0.02	11795613	15443018	29132458	222539	291054
土佐塾校	0.03	14080623	18510506	49841341	380731	497950
鳥越	0.06	6832706	9162041	54668567	417606	546178
長浜	0.04	13339782	18506676	61352335	468662	612953
土佐市ドラゴンバス	0.01	23482204	33158961	28362930	216660	283366
春野役場	0.28	1979527	2678586	71496283	546150	714298
東団地	0.39	274090	370883	14021962	107112	140089
船岡南団地	0.09	2875887	3760291	33768566	257953	337372
平和団地	0.09	1040707	1360633	12075512	92243	120643
南ニュータウン	0.00	2073790	2711298	700035	5347	6994
みませ	0.00	6590990	8857331	2442809	18660	24405
横浜ニュータウン	0.10	471077	615892	6420937	49049	64150
吉野	0.00	8890232	11631506	2664841	20356	26624
リハビリセンター	0.00	11497551	15032035	3199669	24442	31967
領石	0.11	1205990	1581399	17018452	130002	170026

表 5 乗車効率値と各パラメータの既存値と改善案

路線名	効率値	入力値	出力値	効率となるための改善案
		総走行距離	乗車人員	入力指向型 総走行距離
潮見台線	0.13	150817000	111175	19259579
県庁前～イオン～一宮	0.13	5364000	3907	676835
前浜・パークタウン線	0.11	193857000	120598	20891987
種崎線	0.14	228548000	180191	31215676
学芸高校線	0.06	11415000	4137	716680
イオンモール高知線	0.14	92611000	76500	13252600
車庫線	0.03	40812000	7013	1214908
神母木・龍河洞線	0.07	167601000	63771	11047471
安芸線	0.05	364038000	99329	17207418
前浜～ＪＡ高知病院線	0.02	50649000	5979	1035782
植田～ＪＡ高知病院線	0.03	61689000	11971	2073815
高知医大～久枝線	0.04	69420000	16490	2856672
みづき～医大病院線	0.12	89584000	61325	10623734
みづき～棧橋線	0.13	45176000	34600	5993986
鳥越～十市後免線	0.09	158031000	84345	14611641
十津団地線	0.11	20661000	13514	2341119
鳥越～西孕線	0.15	65174000	56347	9761363
宇津野線	0.23	135609000	177172	30692675
竹島～比島～入明線	1.00	2149000	12405	2149000
イオン線	0.27	3942000	6141	1063846
高知県立大学・医療セ	0.13	101595000	74416	12891575
高知駅～棧橋線	0.02	32352000	3144	544656
宇佐	0.09	424934000	222117	38478793
大杉	0.03	19563000	3181	551066
ワイスパーク	0.18	15314000	15796	2736445
桂浜	0.13	212891000	161447	27968529
観月坂団地	0.26	5832000	8714	1509584
県庁前	0.12	95234000	64990	11258647
高知	0.05	3276000	942	163189
須崎	0.06	216751000	76757	13297122
田井	0.04	240772000	61875	10719015
高岡	0.10	229373000	126486	21912004
高岡（土佐道路）	0.16	169584000	155075	26864665
天王ニュータウン	0.13	245882000	185295	32099875
トコ団地	0.20	98706000	111169	19258539
土佐塾校	0.49	117828000	333758	57819101
鳥越	0.21	57177000	68170	11809539
長浜	0.20	111628000	130650	22633362
土佐市ドラゴンバス	0.05	196501000	56987	9872234
春野役場	0.05	16565000	4446	770210
東団地	0.52	2294000	6916	1198104
船岡南団地	0.19	24066000	26338	4562706
平和団地	0.15	8709000	7574	1312094
南ニュータウン	0.09	17354000	9373	1623747
みませ	0.16	55154000	50501	8748621
横浜ニュータウン	0.02	3942000	526	91122
吉野	0.20	74394000	86081	14912380
リハビリセンター	0.10	96212000	56897	9856643
領石	0.07	10092000	3836	664536

表 6 路線位置効率値と各パラメータの既存値と改善案

路線名	効率値	入力値		出力値	効率的となるための改善案	
		バス停数	路線長	人口	入力指向型	
					バス停数	路線長
潮見台線	0.52	103	25754	145528	54	7953
県庁前～イオン～一宮	1.00	33	4899	89641	33	4899
前浜・パークタウン線	0.36	86	23034	84050	31	4593
種崎線	0.47	97	24925	124990	46	6831
学芸高校線	0.71	55	10128	105963	39	5791
イオンモール高知線	0.60	25	6388	41014	15	2241
車庫線	0.51	15	3160	20771	8	1135
神母木・龍河洞線	0.30	100	29444	82620	30	4515
安芸線	0.30	122	45019	98000	36	5356
前浜～ＪＡ高知病院線	0.11	50	10661	15106	6	826
植田～ＪＡ高知病院線	0.11	49	18328	14758	5	807
高知医大～久枝線	0.09	48	13569	12096	4	661
みづき～医大病院線	0.58	80	20727	126316	47	6903
みづき～棧橋線	0.48	39	8834	50987	19	2787
鳥越～十市後免線	0.31	157	30902	130546	48	7135
十津団地線	0.46	46	11372	56894	21	3109
鳥越～西孕線	0.44	59	10285	70954	26	3878
宇津野線	0.61	74	15634	122557	45	6698
竹島～比島～入明線	0.63	65	13357	111428	41	6090
イオン線	0.62	25	5400	42026	15	2297
高知県立大学・医療セン	0.45	69	16708	84629	31	4625
高知駅～棧橋線	0.58	20	3200	31563	12	1725
宇佐	0.27	148	46430	108662	40	5939
大杉	0.05	40	17681	5548	2	303
ワイルドパーク	0.40	83	22525	90823	33	4964
桂浜	0.38	190	59320	194217	71	10614
観月坂団地	0.46	110	32108	136360	50	7452
県庁前	0.50	68	16368	93157	34	5091
高知	0.21	12	6069	6843	3	374
須崎	0.30	136	43769	112059	41	6124
田井	0.19	129	57498	67958	25	3714
高岡	0.31	178	57493	151936	56	8304
高岡（土佐道路）	0.37	156	44265	158291	58	8651
天王ニュータウン	0.47	142	36737	181324	67	9910
トヨタ団地	0.53	58	13063	83011	31	4537
土佐塾校	0.39	136	44160	142344	52	7779
鳥越	0.38	184	56060	192127	71	10500
長浜	0.44	130	34071	156842	58	8572
土佐市ドラゴンバス	0.47	145	47741	185563	68	10141
春野役場	0.38	77	22395	78767	29	4305
東団地	0.48	59	15636	76203	28	4165
船岡南団地	0.54	51	10531	74749	28	4085
平和団地	0.35	41	12637	39124	14	2138
南ニュータウン	0.47	28	9031	36051	13	1970
みませ	0.36	114	32768	110338	41	6030
横浜ニュータウン	0.56	70	10800	105681	39	5776
吉野	0.42	94	25166	106376	39	5814
リハビリセンター	0.42	97	29435	109354	40	5976
領石	0.36	53	14496	51228	19	2800

表 7 集客効率値と各パラメータの既存値と改善案

路線名	効率値	入力値	出力値	効率的となるための改善案
		人口	乗車人員	入力指向型 乗車人員
潮見台線	0.33	145528	111175	341224
県庁前～イオン～一宮	0.02	89641	3907	210184
前浜・パークタウン線	0.61	84050	120598	197074
種崎線	0.61	124990	180191	293068
学芸高校線	0.02	105963	4137	248454
イオンモール高知線	0.80	41014	76500	96167
車庫線	0.14	20771	7013	48702
神母木・龍河洞線	0.33	82620	63771	193721
安芸線	0.43	98000	99329	229783
前浜～J A 高知病院線	0.17	15106	5979	35419
植田～J A 高知病院線	0.35	14758	11971	34603
高知医大～久枝線	0.58	12096	16490	28362
みづき～医大病院線	0.21	126316	61325	296177
みづき～棧橋線	0.29	50987	34600	119551
鳥越～十市後免線	0.28	130546	84345	306095
十津団地線	0.10	56894	13514	133401
鳥越～西孕線	0.34	70954	56347	166368
宇津野線	0.62	122557	177172	287363
竹島～比島～入明線	0.05	111428	12405	261268
イオン線	0.06	42026	6141	98540
高知県立大学・医療セ	0.38	84629	74416	198432
高知駅～棧橋線	0.04	31563	3144	74007
宇佐	0.87	108662	222117	254783
大杉	0.24	5548	3181	13009
オフィスパーク	0.07	90823	15796	212955
桂浜	0.35	194217	161447	455386
観月坂団地	0.03	136360	8714	319727
県庁前	0.30	93157	64990	218428
高知	0.06	6843	942	16045
須崎	0.29	112059	76757	262748
田井	0.39	67958	61875	159343
高岡	0.36	151936	126486	356249
高岡（土佐道路）	0.42	158291	155075	371149
天王ニュータウン	0.44	181324	185295	425156
トマン団地	0.57	83011	111169	194638
土佐塾校	1.00	142344	333758	333758
鳥越	0.15	192127	68170	450486
長浜	0.36	156842	130650	367752
土佐市ドラゴンバス	0.13	185563	56987	435095
春野役場	0.02	78767	4446	184687
東団地	0.04	76203	6916	178675
船岡南団地	0.15	74749	26338	175266
平和団地	0.08	39124	7574	91735
南ニュータウン	0.11	36051	9373	84530
みませ	0.20	110338	50501	258713
横浜ニュータウン	0.00	105681	526	247793
吉野	0.35	106376	86081	249423
リハビリセンター	0.22	109354	56897	256405
領石	0.03	51228	3836	120116

表 8 運賃収入効率値と各パラメータの既存値と改善案

路線名	効率値	入力値	出力値	効率的となるための改善案
		乗車人員	乗車料収入	入力指向型 乗車料収入
潮見台線	0.01	111175	32541542	3254103783
県庁前～イオン～一宮	0.01	3907	662799	114358295
前浜・パークタウン線	0.01	120598	35405738	3529915971
種崎線	0.01	180191	53298106	5274209263
学芸高校線	0.01	4137	1135500	121090419
イオンモール高知線	0.01	76500	13476977	2239162936
車庫線	0.01	7013	1203403	205271238
神母木・龍河洞線	0.01	63771	21179557	1866583786
安芸線	0.01	99329	40840790	2907370134
前浜～J A 高知病院線	0.01	5979	1355118	175005950
植田～J A 高知病院線	0.01	11971	2798802	350392412
高知医大～久枝線	0.01	16490	4386182	482664011
みづき～医大病院線	0.01	61325	13341011	1794989112
みづき～棧橋線	0.01	34600	5939824	1012745589
鳥越～十市後免線	0.01	84345	19663145	2468786900
十津団地線	0.01	13514	4651209	395556182
鳥越～西孕線	0.01	56347	10403139	1649282535
宇津野線	0.00	177172	4252327	5185842820
竹島～比島～入明線	0.08	12405	28758523	363095637
イオン線	0.01	6141	1162286	179747707
高知県立大学・医療センター	0.00	74416	1423024	2178164040
高知駅～棧橋線	0.22	3144	20118064	92025206
宇佐	0.00	222117	527225	6501387633
大杉	1.00	3181	93108200	93108200
オフィスパーク	0.12	15796	55428000	462350559
桂浜	0.00	161447	660862	4725570439
観月坂団地	0.36	8714	91235606	255059684
県庁前	0.00	64990	1381555	1902264042
高知	0.16	942	4313119	27572438
須崎	0.00	76757	1274441	2246685353
田井	0.01	61875	14751326	1811087669
高岡	0.00	126486	316877	3702258342
高岡（土佐道路）	0.00	155075	1401489	4539061338
天王ニュータウン	0.01	185295	34598105	5423603873
トマン団地	0.01	111169	29132458	3253928163
土佐塾校	0.01	333758	49841341	9769131284
鳥越	0.03	68170	54668567	1995342972
長浜	0.02	130650	61352335	3824139054
土佐市ドラゴンバス	0.02	56987	28362930	1668015402
春野役場	0.55	4446	71496283	130134881
東団地	0.07	6916	14021962	202432037
船岡南団地	0.04	26338	33768566	770915992
平和団地	0.05	7574	12075512	221691766
南ニュータウン	0.00	9373	700035	274348682
みませ	0.00	50501	2442809	1478169509
横浜ニュータウン	0.42	526	6420937	15396075
吉野	0.00	86081	2664841	2519599800
リハビリセンター	0.00	56897	3199669	1665381093
領石	0.15	3836	17018452	112280118

3.5. 考察

経営的データの活用により、考案された指標を用いた分析結果から、高知県におけるバス路線の評価を行った。各指標において効率的とされた DMU はその指標が示す意味においては、相対的に優れていることが示された。例として、経営効率は効率値が全体の約 9 割 0.1 以下であったのに対し、観月坂団地線は効率的であると判断された。観月坂団地線においては、経営効率が重要なパラメータであることが経営効率より示されたこととなる。

乗車効率においては竹島～比島～入明線、路線位置効率においては県庁前～イオン～一宮営業所線、集客効率は土佐塾校線、運賃収入効率は大杉線が効率的であると判断された。それぞれの指標が示す意味において、これらの路線はそのパラメータの影響を大きく受けることとなり、これらは路線の特徴を示している。

しかし、本分析においては効率値同士の差が大きくある。従って、路線の廃止が最善の案であると示されることが多々存在する。高知県における公共交通機関は、不採算路線が多く、経営データなどの費用等のデータにより構成される指標のみでは、十分な分析と改善案の提案に至らないことが示された。背景でも述べたように、地方における路線バス事業が社会に与える影響は多岐に渡るため、費用に関するデータでは路線の価値を判断するのは困難であることが考えられる。従って、費用に関するデータに加え、利用者行動に基づく利用実態の把握と、それらを加味した指標の提案が求められる。

4. 指標に用いるパラメータの統合

4.1. パラメータ統合の背景

前節で紹介した分析では、複数の指標を設定し、それらに関わるパラメータを選択することで分析を実施していた。しかし、バス路線は複数の要素が重なり合い運行しているため、細分化された指標では表しきれない状態があると考ええる。

そこで、現在保有するパラメータを統合し、指標作成する。これは DEA の特徴でもある複数入出力の設定が可能であるという点を活かした指標設定である。また、経営状態全体を把握するためにも、パラメータを統合し、指標を作成する。

このように複数の入出力を設定し、組み合わせを変えることで効率値の変化を分析する手法として Merkert^[19]らの研究が挙げられる。Markert らの手法を参考に、基となる指標の作成を現在保有する経営的データを用いて構成することを目指したものが本章で紹介する指標である。

4.2. 指標の作成

保有するパラメータは3章で紹介した8つである。入力値と出力値の両方に使用されているパラメータも存在する。投資と便益の関係から以下の図7のように設定する。本研究ではこれらを総合経営効率として取り扱う。

$$\text{総合経営効率} = \frac{\text{出力値(乗車料収入, 乗車人員, 沿線人口)}}{\text{入力値(人件費, 運営費, 路線長, バス停数, 総走行距離)}}$$

図7 総合経営効率を構成するパラメータ

4.3. 分析結果

総合経営効率を DEA にて分析した結果を表 9 に示す。また、経営効率との効率値の差を示す図を図 8 に示す。図 8 では横軸に経営効率値、縦軸に総合経営効率値を示す。結果に示されるように、プロットが総合経営効率値側に示されている。これは、経営効率値に対して、総合経営効率値の方が効率値の向上が見られることを示している。直線上にプロットされる場合は、効率値の変化がないことを示している。改善案も示されているが、経営効率に対して現実的な値を示す結果となった。

表 9 総合経営効率値と各パラメータの既存値と改善案

DMU Name	効率値	入力値					出力値			効率値となるための改善案						
		人件費	運営費	路線長	バス停数	総走行距離	乗車料収入	沿線人口	乗車人員	入力指向型						
										人件費	運営費	路線長	バス停数	総走行距離		
潮見台線	0.74	18022934	23563399	25754	103	150817000	32541542	145528	111175	13373827	17538782	17967	77	111912562		
黒川前～イオン～宮前	1.00	641045	836109	4899	33	5364000	662793	86641	3907	641045	838109	4899	33	5364000		
前浜・パークタウン線	0.65	23166241	30308739	23034	86	193857000	35405738	84050	120588	15083174	19772337	15027	56	126216633		
種崎線	0.86	27311885	35707833	24925	97	228548000	53298106	124990	180191	23464439	30746674	21462	84	196351341		
学芸高校線	0.71	1364056	1783383	10128	55	11415000	1135500	105963	4630	766460	1003211	5857	39	6413426		
イオンモール高知線	1.00	11067224	14469421	6388	25	92611000	13476977	41014	76500	11067224	14469421	6388	25	92611000		
車庫線	0.56	4877068	6376337	3160	15	40812000	1230524	20771	7013	1029301	1345720	1474	8	8613175		
神母木・龍河河線	0.43	20028644	26881490	29444	100	167601000	21179557	82620	63771	8697823	11408617	10158	43	72783635		
安芸線	0.48	43503271	57768272	45019	122	364038000	40840790	98000	99329	14881619	19531967	14976	58	124529937		
前浜～JIA高知病院線	0.13	6052705	7918708	10661	50	50649000	1355118	15106	5979	787685	1031176	1232	7	6691342		
種田～JIA高知病院線	0.16	7372007	9638250	18328	49	61689000	2798802	14758	11971	1191166	1561739	1892	8	9967711		
高知医大～久枝線	0.18	8296877	10929666	13569	48	69420000	4386182	12096	16490	1455447	1911284	2381	8	12179253		
みづき～匠大橋院線	0.71	10705444	13996425	20727	80	88584000	13341011	126316	61325	7586211	9932039	11308	57	63481460		
みづき～棧橋線	0.64	5398587	7058177	8834	39	46176000	5939824	50987	34600	3460102	4529328	5474	25	28954201		
鳥越～十市後免線	0.44	18885034	25319964	30902	157	158031000	19663145	130546	84345	8337897	10917252	13643	68	69771561		
十津団地線	0.53	2469055	3228072	11372	46	20661000	4651209	56894	13514	1296400	1705189	4584	24	10848187		
鳥越～西孕線	0.74	7788364	10443491	10285	59	65174000	10403139	70954	56347	5783983	7569216	7638	38	48400509		
宇津野線	1.00	16205512	21187279	15634	74	136609000	4252327	122557	177172	16205512	21187279	15634	74	136609000		
竹島～比島～入明線	1.00	266798	335741	13357	65	2149000	28758523	111428	12405	256798	335741	13357	65	2149000		
イオン線	0.78	471077	615892	5400	25	3942000	4386114	42026	6146	364677	477817	3599	19	3051567		
高知県立大学・医療センター～棧橋線	0.62	12140806	15873035	16708	69	101595000	3690064	84629	74416	7506326	9813860	8341	43	62813343		
宇佐	1.00	3866129	5054623	3200	20	32352000	20118064	31563	3144	3866129	5054623	3200	20	32352000		
大杉	0.52	50780442	67029403	46430	148	424934000	37640069	112955	222117	26442758	34588437	21258	77	221274243		
わいパル	1.00	2337794	3355881	17681	40	19563000	93108200	5548	3161	2337794	3355881	17681	40	19563000		
桂浜	0.53	25440890	36807668	59320	190	212891000	8702437	194217	161447	13403012	17533501	20526	100	112157155		
観音坂団地	1.00	696936	911508	32108	110	5832000	91236606	67958	61875	7981228	10451379	8332	36	66787167		
黒川前	0.64	11380642	15033742	16368	68	95234000	5354487	93157	64990	7321614	9572365	8337	44	61267536		
須崎	0.38	391453	511790	6069	12	3276000	4313119	6843	942	141077	196166	1245	5	1180539		
田井	0.28	2872701	41302944	57498	129	240772000	14751326	67958	61875	7981228	10451379	8332	36	66787167		
高岡 (土佐道路)	0.43	27410474	3868615	57493	178	229373000	3589430	151936	126486	11729416	15335492	14597	76	98152440		
天王ニュータウン	0.57	20266628	28527100	44265	156	169584000	11624230	158291	156075	11467246	15010496	19809	88	95958614		
土佐団地	0.70	29383428	39112773	36737	142	245882000	34599105	181324	185295	20544034	26890357	23849	99	171913204		
土佐塾校	1.00	11796613	15443018	13063	58	98706000	29132458	83011	111169	11796613	15443018	13063	58	98706000		
鳥越	1.00	14080623	18510506	44160	136	117828000	49841341	142344	333758	14080623	18510506	44160	136	117828000		
長浜	0.59	6832706	9162041	56060	184	57177000	5466567	192127	68170	4064599	5431022	26053	109	34012635		
土佐市ボラゴンバス	0.79	13399782	18506676	34071	130	111628000	61352335	156842	130650	10590721	13992827	27050	103	88623491		
春野役場	0.57	23482204	33158961	47741	145	196501000	28362930	78767	56987	8750533	11499977	16272	82	7324362		
栗田	0.85	1979527	2678586	22395	77	16565000	71496283	18563	8815	1601223	2263841	18927	65	13399239		
船岡南団地	0.73	274090	370883	15636	59	2294000	18342796	76203	8126	201224	263083	8790	43	1683899		
平和団地	1.00	2875887	3760291	10531	51	24066000	3376566	74749	26338	2875887	3760291	10531	51	24066000		
南ニカラ	0.54	1040707	1360633	12637	41	8709000	12075512	39124	7574	541700	731401	5031	22	4532947		
みませ	0.52	2073790	2711298	9031	28	17354000	762164	36051	9373	1074304	1404557	2384	15	8889739		
横浜ニカラ	0.45	6590990	8857331	32768	114	56154000	6641821	110338	50501	2984528	3913801	10658	52	24974482		
吉野	0.93	471077	615892	10800	70	3942000	17203392	105661	9044	438270	572999	10048	53	3667391		
リハ・リバー	0.61	8890232	11631506	25166	94	74394000	9201670	106376	86081	5424498	7108370	13164	57	45392447		
磯石	0.50	11497551	15032035	12945	97	96212000	3199669	109354	56897	5791138	7571806	8792	49	48460397		
磯石	0.52	1205990	1581399	2496	53	10092000	17018452	51228	3836	597632	821515	6219	28	5000952		

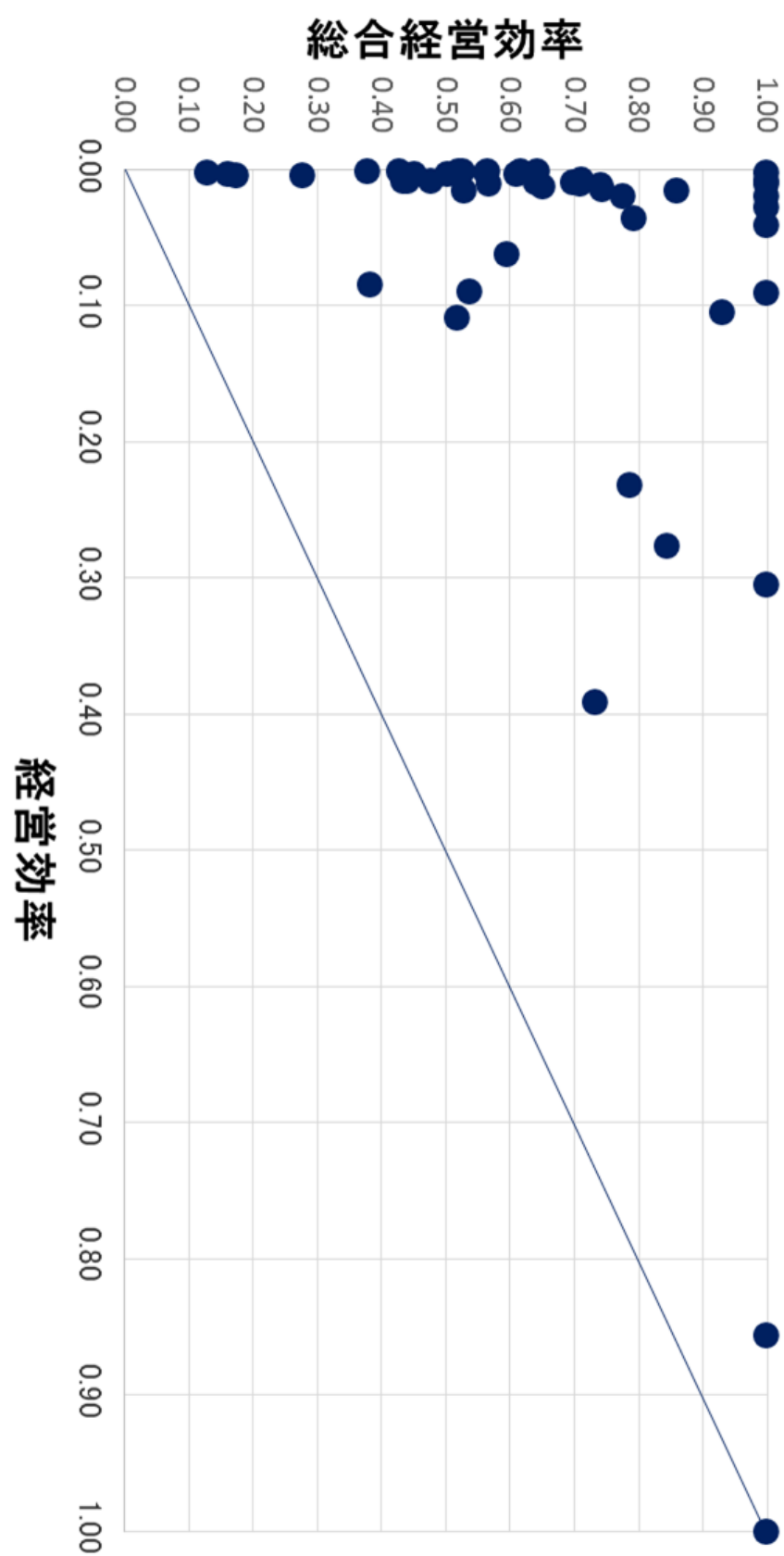


図 8 効率値の変化傾向

4.4. 考察

パラメータを統合させたことにより、効率値の増加が全体に見られた。また、経営効率にて高効率と判定された DMU は総合経営効率でも高効率と判定され、ベンチマークされた。バス路線の経営状態は、費用以外の投資や投資による出力が影響を与えることが本指標により示された。また、効率値の増加量は DMU ごとに大きく異なるが、総合経営効率にて高効率な値を示した DMU は費用に関するパラメータ以外が示す現象の改善を行うことで、経営状態が大きく改善することが分かる。次章では、IC カードデータを活用したパラメータを追加することで、現在までの分析では潜在的であった要素を顕在化することを目指す。

5. IC カードデータを活用した路線バス評価

5.1. IC カードデータを用いる経緯

3 章の考察にて示されたように、経営的データからでは高知県におけるバス路線の評価は困難であった。従って、IC カードデータに付与される利用実態のデータを基に、利用者行動特性の把握を行う。また、それらの結果をパラメータとして活用し、利用者行動特性に基づいた評価を行う必要があると考える。また、それらのパラメータがどのような影響を与えているかを考察すべきである。

5.2. 本研究で用いる IC カードデータ

2 章にて紹介した IC カード「ですか」は表 9 のようなデータを有する。取得期間は 8 年間であるが、経営的データと統一期間とするため、2016 年 10 月 1 日～2017 年 9 月 30 日までの 1 年間のデータとする。また、利用可能な事業者は複数あるが、本研究ではとさでん交通株式会社が運行する路線の利用データのみを使用する。

表 10 IC カード「ですか」の保有するデータ内容

	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
総利用者数	55,782人(2017.3.31時点)

5.3. 利用間隔に関する分析

IC カードによる取得されるデータより、利用の実態を把握する必要がある。本研究では、利用者がどのような利用頻度で利用をするのかを把握するために、西内らによって提案されている手法を用いて、バス路線の利用者像を判明させる。

IC カードに付与される、カード ID と利用された年月日、利用路線のデータを用いて、利用者がどのような周期でどの路線バスを利用しているかを把握し、その利用周期を分析した。分析手法としては西内らによって提案されている手法を、とさでん交通株式会社が運行する路線バスを利用した利用者のみを対象に行った。

分析にあたり、ある日に出現する ID を判定し、その前後の利用間隔を把握する。そして、利用の有無をグループ化するため、クラスター分析を行う。クラスター分析とは、異なるものが混ざり合う集団から似たものを集めて集落（クラスター）を作り、分類する分析手法である。クラスター数の決定は図 7 に示すエルボー法の結果より 5 つとした。エルボー法とはクラスター内誤差平方和をプロットした図より、クラスター内誤差平方和の変化量が大きいクラスター数が最適とする手法である。

これらにより判明した利用者像は図 8、図 9、図 10、図 11、図 12 に示す。これらは、横軸に期間（1 年間）、縦軸に利用者 ID を示す。利用された日は赤く示している。従って、赤く示されている部分の間隔を見ることで利用者の利用間隔わかる。今回の結果より、5 つの利用傾向であると分析した。1 つ目は高頻度利用者である。高頻度利用者とは、利用が密にあり、通勤等で周期的に利用する利用者像であると推察される。2 つ目は低頻度利用者である。低頻度利用者とは、利用が密ではないものの、その利用には周期が伺える。週末の移動手段としている等であると推察される。3 つ目は利用増加である。利用増加とは、利用間隔が分析開始時より密になる利用者を示す。生活の変化における利用間隔の変化が伺える。4 月からの利用が変化する人々が多いことも特徴として挙げられる。4 つ目は利用減少である。利用減少とは、利用増加と対になる利用者像であり、ある日を境に利用間隔が広くなる利用者像を示す。5 つ目はランダムな利用者である。ランダムな利用者とは、利用間隔に周期性が見られず、単発的な利用を行う利用者のことである。このように、それぞれの利用者像には特徴的な利用間隔のパターンがある。以上の結果より 5 つのクラスターによって示された利用者像は、利用傾向から表のように分類した。

事業者にとって、利用が密である利用者は継続的な利用が見込まれる。また、路線に依存している人々が多く存在することが考えられるため、高頻度利用者数は DEA による分析においては、重要なパラメータになり得ると考える。

そこで、路線毎に高頻度利用者数を把握する必要がある。従って、高頻度利用者の ID がどの路線に存在するかを対象に、使用した路線をカウントする。同日に複数路線を利用する可能性もあるため、主として利用される路線となる代表路線の検討は行わず、高頻度利用者が料金収受を行った全てのデータを路線毎に集計する。

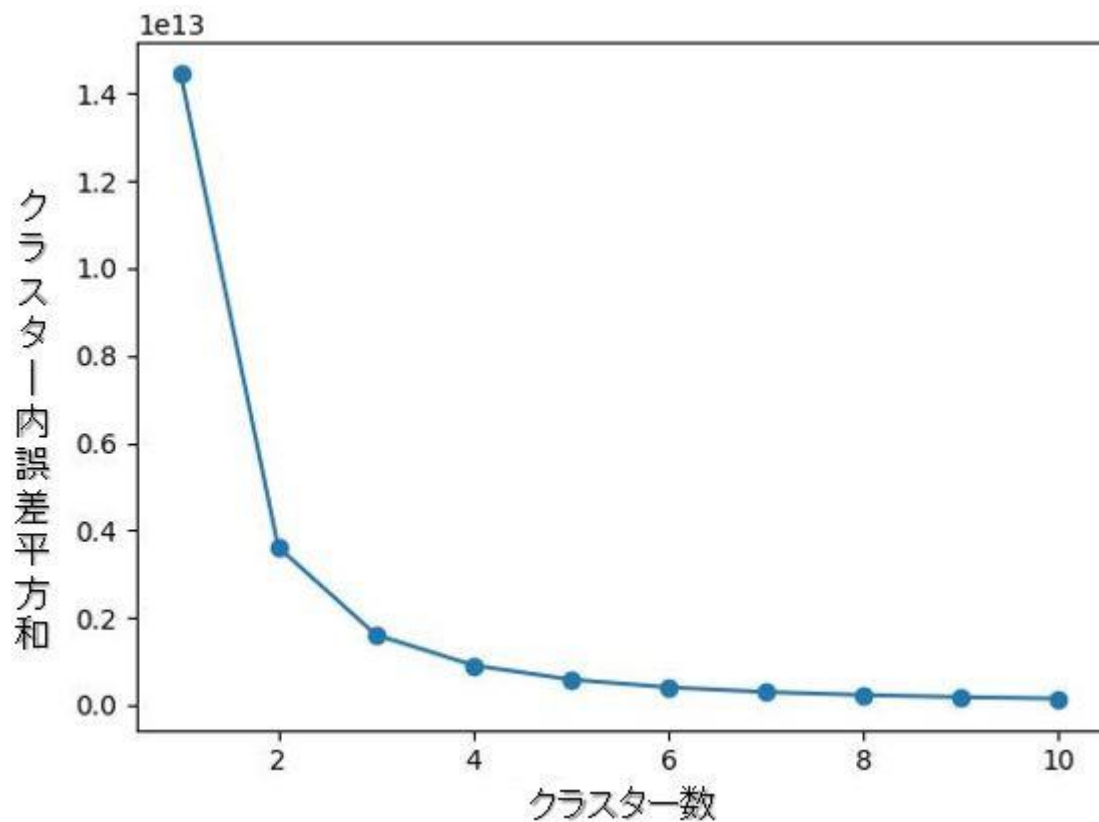


図 9 エルボー法によるクラスター数の決定

表 11 クラスター内訳

	人数(人)	備考
Cluster1	466	利用増加
Cluster2	588	利用減少
Cluster3	834	高頻度利用者
Cluster4	1322	低頻度利用者
Cluster5	2824	ランダムな利用

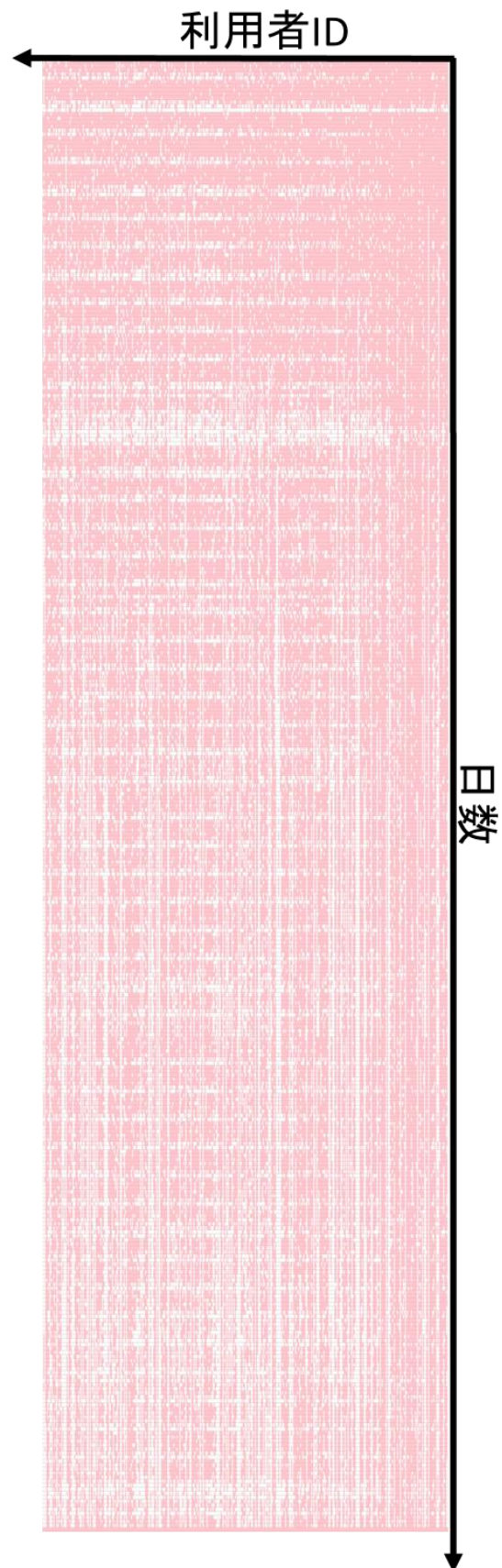


図 10 高頻度利用者を示すクラスター

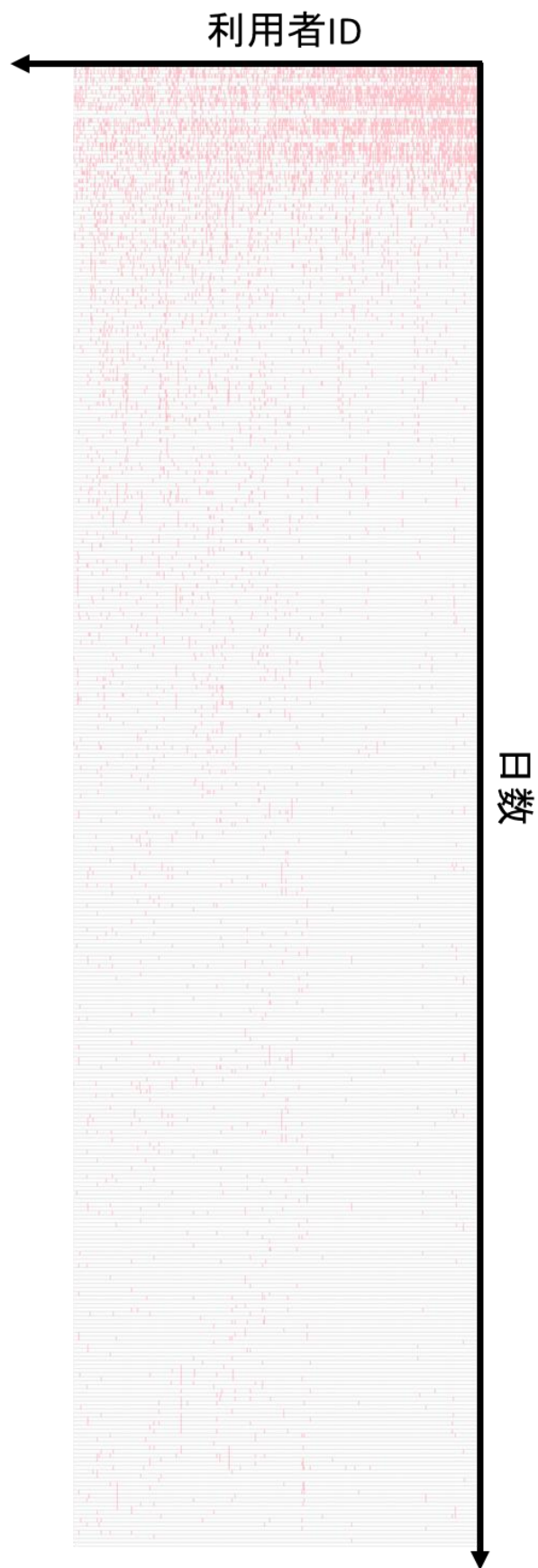


図 11 低頻度利用者を示すクラスター



図 12 利用増加を示すクラスター

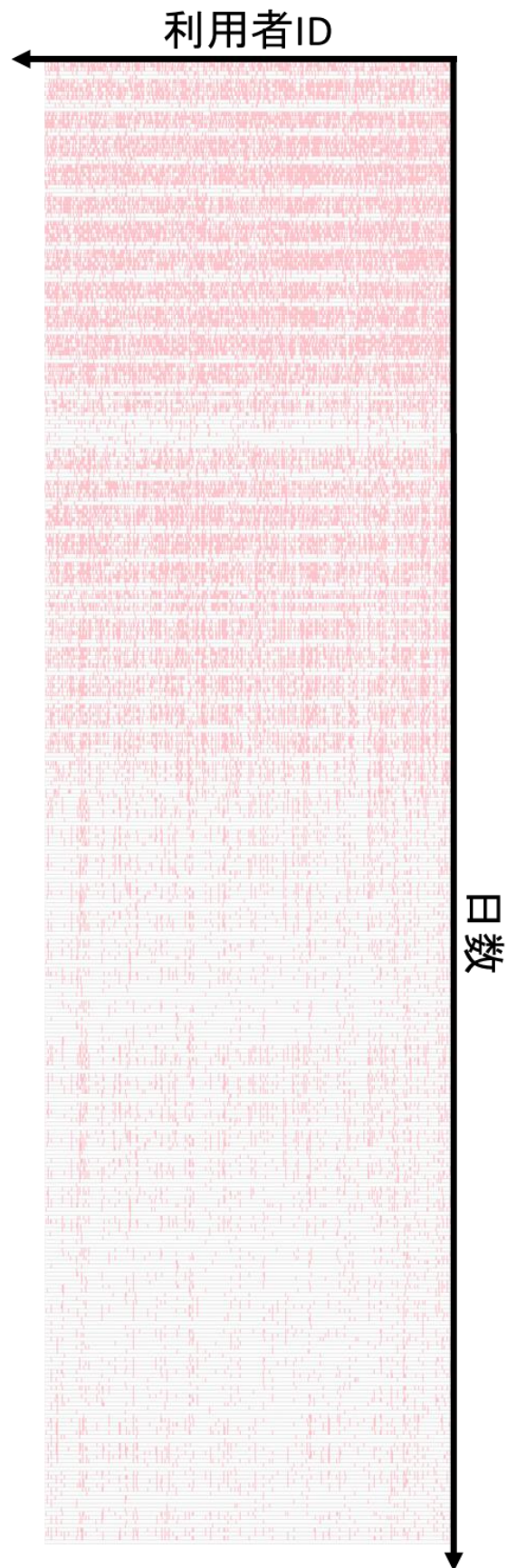


図 13 利用減少を示すクラスター

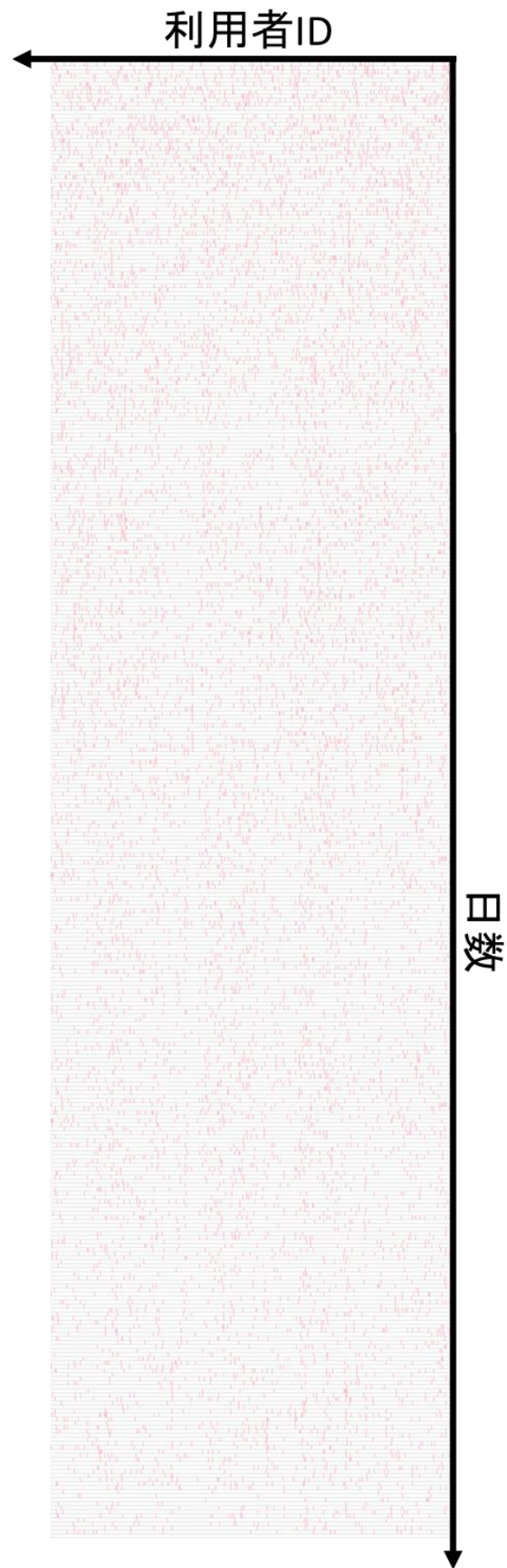


図 14 ランダムな利用者を示すクラスター

5.4. 総合経営効率に高頻度利用者の追加した分析

前章にて分析を行った総合経営効率に前節にて判明した高頻度利用者数を追加する。総合経営効率では分析が困難であった利用者行動特性を加味するためである。実際の分析に用いたパラメータの組み合わせは図 15 に示す。また、分析結果は表 12 に示し、図 16 には総合経営効率値と本効率値の変化を示した図である。

図 16 にも示された通り、高頻度利用者の追加によって、効率値の上昇が見られた路線が存在する。これらは定期的な利用者を増加させることにより、経営効率の改善に寄与する路線である。従って、これらの路線には定期的な利用を促進させるためのサービスの変化が望まれる。また、路線毎の個性を見出すことにより、サービス変化を行うべき路線を判明させることが可能となった。これらは、サービス変化に伴う過剰な割引サービスや適当でないサービスの変化を防止することにも繋がる。

$$\text{総合経営効率} + \text{高頻度利用者} = \frac{\text{出力値(乗車料収入, 乗車人員, 沿線人口, 高頻度利用者)}}{\text{入力値(人件費, 運営費, 路線長, バス停数, 総走行距離)}}$$

図 15 総合経営効率のパラメータに高頻度利用者を追加

表 12 総合経営効率値に高頻度利用者を追加した際の各パラメータの既存値と改善案

路線名	効率値	入力値					出力値					効率値となるための改善案				
		路線長	便数	総走行距離	人件費	運営費	バス停数	沿線人口	利用距離	乗車人員	高頻度利用者	乗車料収入	利用距離	乗車人員	高頻度利用者	乗車料収入
蒲島台線	0.58	25754	12181	149981019	17445060	22899229	100	127984	3179	111175	644	32541542	5889	192445	1115	56329789
黒川前～イオン～営業所線	0.85	4899	531	5236888	625815	838109	16	1697	140	3907	44	662739	189	6225	52	4823540
黒川前～パークタウン線	1.00	23034	10229	193857000	23166241	30308739	86	84050	8928	120598	1306	35405738	8928	120598	1306	35405738
種崎線	0.99	24360	17548	191006373	22825681	29903866	97	124990	6789	180191	1371	53298106	6874	182435	1388	53961916
学芸高校線	0.28	10128	1005	11338266	1354923	1783383	39	49944	136	4137	30	1135500	494	15056	109	10788268
イオンモール高知線	1.00	6388	14497	92611000	11067224	14469421	25	41014	1106	76500	386	13476977	1106	76500	386	13476977
車庫線	0.22	3160	4384	33916730	4053129	5301903	13	20176	78	7013	46	1203403	31904	789	209	687320
神母木・龍河洞線	0.56	29444	5602	160054456	19126607	25534802	94	82620	3072	63771	430	21179557	6231	113065	762	37550874
安芸線	1.00	45019	8772	364038000	43503271	57769272	122	98000	14934	99329	1179	40840790	14934	99329	1179	40840790
前庄～J.A高知病院線	0.19	6698	1548	42308083	5055895	6686275	20	15106	192	5979	36	1365118	1608	32035	193	7260535
高知市～J.A高知病院線	0.38	6496	1506	39730108	4747822	6279287	20	14758	443	11971	69	2798002	1501	31446	181	7351999
高知市～西大病院線	0.65	5617	1256	35609146	4255360	5630669	17	12096	613	16490	105	4386182	1358	25381	162	6751023
みづき～匠大病院線	0.73	20722	4874	83296311	9954087	13996425	78	90221	1785	61325	482	13341011	3707	85820	675	18307937
鳥越～十市後免線	0.80	30902	5114	156393927	18689373	25319964	110	115715	2837	84345	655	16663145	6458	105685	821	24638155
鳥越～十市後免線	0.96	11372	1196	20600845	2461810	3228072	43	53014	926	13514	141	4651209	968	16582	147	11780569
鳥越～西大線	0.96	10285	5579	65173260	7788364	10204071	43	59740	1855	56347	587	10403139	2700	73531	614	20529053
宇津野線	1.00	15634	7065	135609000	16205512	21187279	74	122557	6847	177172	1	4252327	6847	177172	1	4252327
伊予～比島～入明線	1.00	13357	247	2149000	256798	335741	65	111428	4	12405	22	28758523	4	12405	22	28758523
伊予線	0.67	5400	381	3925299	469074	615892	24	37125	88	6141	22	1162286	131	9144	33	9323710
高知県立大学・医療センター線	0.54	16708	8495	101331022	12109281	15873035	65	84629	2126	74416	395	1423024	3907	136741	726	26146816
高知市～桂橋線	1.00	3200	10110	32352000	3866129	5054623	20	31563	42	3144	28	20118064	42	3144	28	20118064
宇佐	1.00	66430	11450	424934000	50780442	67029403	148	108662	17015	222117	1944	527225	17015	222117	1944	527225
大杉	1.00	17681	1214	195633000	2337798	3358881	40	5548	335	3181	44	93108200	335	3181	44	93108200
大杉～カ	1.00	22525	730	15314000	1830078	2437169	83	90823	352	15796	81	55428000	352	15796	81	55428000
桂坂	0.86	48254	11676	212890727	25440890	35807668	177	194217	8440	161447	1441	660862	9853	205237	1682	22904664
観月坂団地	1.00	32108	486	5832000	689836	911508	110	136360	27	8714	7	91235606	27	8714	7	91235606
黒川前	0.63	16368	8179	95233569	11380642	14916541	68	91273	1974	64990	567	1381555	3935	107551	898	51479542
須崎	0.79	1751	255	3238641	387025	511790	6	6843	95	942	20	4313119	121	3203	25	5479542
田井	0.88	22317	5110	196142157	23439374	30997972	68	50986	6969	76757	646	1274441	7914	87167	815	7063096
高岡 (土佐道路)	0.72	23126	4385	153530785	18347226	24217169	76	67958	4429	61875	421	14751326	6160	86061	668	20517507
高岡 (土佐道路)	1.00	41852	10357	229372771	27410474	37733834	150	151936	7765	126486	1071	316877	10721	174181	1475	19951396
天王ニータウン	0.90	36737	11206	245892000	29383391	38804767	122	115015	6793	185295	1230	34598105	9567	205150	1362	38305376
トノ西地	1.00	13063	8398	98706000	11795613	15443018	58	83011	4106	111169	929	29132458	4106	111169	929	29132458
土佐豊校	1.00	44160	12907	117828000	14080623	18510506	136	142344	3129	333758	590	49841341	3129	333758	590	49841341
鳥越	1.00	56060	5849	57177000	6832706	9162041	184	192127	2042	68170	565	5468567	2042	68170	565	5468567
土佐市ドラゴンバス	1.00	34071	7796	111628000	13393782	18506676	130	156642	4375	130650	956	61362335	4375	130650	956	61362335
東田地	0.57	36252	4116	84060421	10045387	13980511	144	185365	2158	56987	233	28362930	3781	99851	408	4969880
東田地	1.00	22395	1022	15769103	1884421	2675686	64	50792	48	4446	13	71496283	248	5811	36	93450292
黒岡南団地	1.00	15638	244	2294000	274090	370883	59	76203	148	6916	25	14021962	148	6916	25	14021962
黒岡南団地	1.00	10531	2314	24066000	2875887	3760291	51	74749	879	26338	204	33768566	879	26338	204	33768566
南ニータウン	1.00	12637	609	8709000	1040707	1360633	41	39124	435	7574	60	12075512	435	7574	60	12075512
みませ	0.29	6087	1635	17304634	2067938	2711298	25	36051	176	9373	40	700035	612	31831	136	10831907
黒川ニータウン	0.99	31841	3812	55154000	6590953	8857331	108	110338	2499	50501	438	2442809	2534	54157	444	3127127
黒川ニータウン	0.38	10800	293	3919862	468410	615892	38	45632	67	526	8	6420937	176	5480	21	16829759
吉野	0.97	15187	6365	74343008	8884169	11631506	69	106376	2569	86081	677	2664841	3050	88723	698	33231713
川口ニータウン	0.67	22804	5970	94946471	11346263	15032035	89	109354	2870	56897	459	3199669	4313	85512	690	26678125
徳石	0.58	11213	731	9834722	1175271	1581399	40	51228	175	3836	43	17018452	360	11628	74	29204984

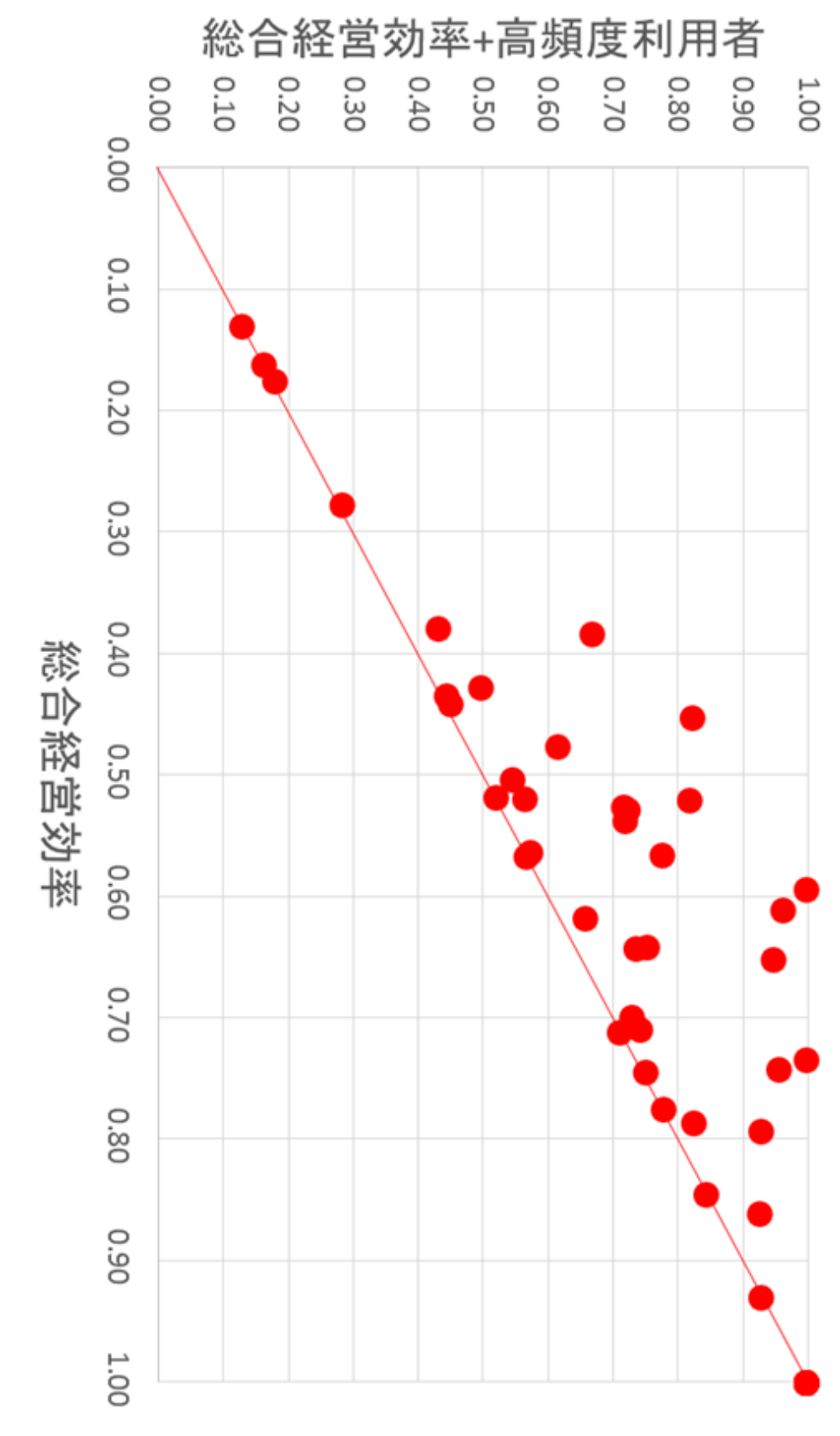


図 16 総合経営効率に高頻度利用者を追加した際の効率値の変化

5.4. IC カードデータを活用した指標の提案

3 章の考察より、経営効率は改善案の提案には繋がらない状況であり、経営的データのような費用に関するデータのみでは、高知県のバス路線は十分に評価できないことが述べられた。そこで、IC カードデータの分析により判明した、高頻度利用者数や路線のポテンシャルを示すバス停数や沿線人口、さらには費用に関するデータと現在、保有するデータを活用した指標を DEA-0 として考案する。DEA の特徴でもある複数の入出力値が設定可能である点を活用した。実現象は様々な要素が起因するため、多面的な視点からの評価を行うためにも、DEA-0 を作成した。DEA-0 は経営効率を基に、運行に関するパラメータ（路線長・便数・総走行距離）、路線のポテンシャルに関するパラメータ（バス停数・沿線人口）、IC カードデータより判明するパラメータ（利用距離・高頻度利用者）を組み合わせた指標とし、総合的なバス路線評価として提案する。効率値の意味としては、バス路線のサービスにおいてどれだけ効率良く、利用者を獲得し、収益を上げているかを分析する。

DEA-1 では DEA-0 から経営効率で用いられたパラメータを除く。地方都市における公共交通機関は不採算路線が多数存在するため、費用によるパラメータの影響が大きく反映されることは 3 章の経営効率の考察により示した。さらに、これらの改善案の提示は困難であることから、費用を含めた指標において高効率を目指すことを考慮しないこととする。そこで、費用に関するデータを除くことで、第 2 に影響するパラメータの分析を行う。さらに、パラメータの違いにおける効率値の変化を分析する事で、除かれたパラメータの影響を把握することが可能となる。

DEA-S では DEA-1 から高頻度利用者を除く。これは IC カードの分析により判明した高頻度利用者が与える影響を分析する。本指標により、DEA-1 と効率値の変化が生まれる DMU は IC カードデータにより分析されたパラメータが影響することを表す。

DEA-P では DEA-1 から路線のポテンシャルに関するデータを除く。これは路線のポテンシャルに関するパラメータの影響を分析するために作成した指標である。

5.5. 分析手法

3章同様に全指標において DEA を実行し、効率値と改善案の提案を行う。(表 11) DEA-0 における分析では、経営効率を基に作成しているが、費用のみのパラメータで分析を行った経営効率では、影響が出なかった路線においても、総合的な指標で分析を行うと変化がある可能性がある。

DEA-1 においては DEA-0 との効率値の変化を分析する。これは費用における影響を除いた状況でどのような影響が効率値に示されるかを分析するためである。

DEA-S においては、DEA-1 から高頻度利用者を除いた指標である。従って、効率値の差を分析することで、高頻度利用者の影響が分析可能となる。

DEA-P では DEA-1 から路線のポテンシャルを示すデータを除いた指標である。従って、DEA-S 同様に路線のポテンシャルの影響が分析可能となる。

以上のような、効率値の変化を分析する手法にて本研究を行う。

表 13 本研究で提案する指標

	Inputs							Outputs			
	路線長	便数	総走行距離	人件費	運営費	バス停数	沿線人口	利用距離	乗車人員	高頻度利用者	乗車料収入
DEA-0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
DEA-1	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
DEA-S	✓	✓	✓				✓	✓	✓		
DEA-P	✓	✓	✓					✓	✓	✓	

5.6. 分析結果

分析結果から得られた効率値をまとめたものを表に示す。また、レーダーチャートにまとめたものを図に示す。さらに、各入出力値と改善目標値を表に示す。DEA-0ではベンチマークとされる高効率な路線は18路線となった。また、全体的に効率値は経営効率と比較すると向上している。これは、総合的な評価にしたことにより、効率値に影響を与えるパラメータが出現したことが効率値を向上させた要因である。

DEA-1では経営効率で使用したパラメータを除いている。これにより、効率値に大幅な減少傾向が見られたのは栈橋線である。効率値は0.87の減少となった。栈橋線はDEA-0では高効率路線の1つであった。しかし、本指標では大幅な減少となった。本指標により明らかとなった高効率な路線数は12路線となった。

DEA-SではDEA-1で用いたパラメータから高頻度利用者を除いている。DEA-Sにおいて効率的と判定された路線は9路線である。また、DEA-1と効率値の変化が大きく見られたのは、県庁前～イオン～一宮営業所線（以下、一宮営業所線）であり、0.33の効率値が低下した。

DEA-Pにおいては、DEA-1で用いたパラメータからバス停数と沿線人口を除いている。DEA-Pにおいて効率的と判定された路線は11路線である。また、DEA-1と効率値の変化が大きく見られたのは、高知医大～久枝線（以下、久枝線）となる。久枝線は、路線のポテンシャルに関するデータを除くことで効率値が0.44降下したことから、路線のポテンシャルに示されるバス停数と沿線人口の影響を受けやすい傾向が示された。これらは、効率値において減少量の多い路線は除いたパラメータが影響を及ぼしていることとなるが、反対に減少量の少ない路線ではそれらの影響が少ないことを示している。

表 14 各路線の IC カードデータを活用した指標の効率値

路線名	DEA-0	DEA-1	DEA-S	DEA-P
潮見台線	0.58	0.55	0.46	0.55
県庁前～イオン～一宮営業所線	0.85	0.83	0.50	0.83
前浜・パークタウン線	1.00	1.00	1.00	1.00
種崎線	0.99	0.94	0.84	0.84
学芸高校線	0.28	0.27	0.23	0.27
イオンモール高知線	1.00	1.00	1.00	1.00
車庫線	0.22	0.22	0.19	0.22
神母木・龍河洞線	0.56	0.52	0.49	0.51
安芸線	1.00	1.00	1.00	1.00
前浜～JA高知病院線	0.19	0.18	0.18	0.09
植田～JA高知病院線	0.38	0.38	0.37	0.16
高知医大～久枝線	0.65	0.64	0.62	0.20
みづき～医大病院線	0.73	0.69	0.49	0.69
みづき～棧橋線	0.75	0.75	0.50	0.75
鳥越～十市後免線	0.80	0.75	0.64	0.75
十津団地線	0.96	0.91	0.87	0.91
鳥越～西孕線	0.96	0.96	0.59	0.96
宇津野線	1.00	1.00	1.00	1.00
竹島～比島～入明線	1.00	1.00	1.00	1.00
イオン線	0.67	0.67	0.60	0.67
高知県立大学・医療センター線	0.54	0.54	0.50	0.52
高知駅～棧橋線	1.00	0.13	0.09	0.13
宇佐	1.00	1.00	1.00	1.00
大杉	1.00	0.46	0.41	0.34
オフィスパーク	1.00	0.75	0.69	0.73
桂浜	0.86	0.85	0.79	0.85
観月坂団地	1.00	0.44	0.44	0.38
県庁前	0.63	0.63	0.44	0.63
高知	0.79	0.67	0.57	0.62
須崎	0.88	0.88	0.88	0.88
田井	0.72	0.70	0.70	0.70
高岡	0.73	0.73	0.72	0.70
高岡(土佐道路)	1.00	1.00	1.00	1.00
天王ニュータウン	0.90	0.88	0.67	0.88
トーマン団地	1.00	1.00	0.87	1.00
土佐塾校	1.00	1.00	1.00	1.00
鳥越	1.00	1.00	0.73	1.00
長浜	1.00	1.00	0.80	1.00
土佐市ドラゴンバス	0.57	0.55	0.53	0.52
春野役場	0.77	0.11	0.09	0.10
東団地	1.00	1.00	1.00	1.00
船岡南団地	1.00	0.89	0.74	0.89
平和団地	1.00	0.99	0.96	0.97
南ニュータウン	0.29	0.29	0.26	0.29
みませ	0.99	0.97	0.89	0.96
横浜ニュータウン	0.38	0.31	0.30	0.31
吉野	0.97	0.97	0.74	0.96
リハビリセンター	0.67	0.63	0.59	0.63
領石	0.58	0.48	0.33	0.48

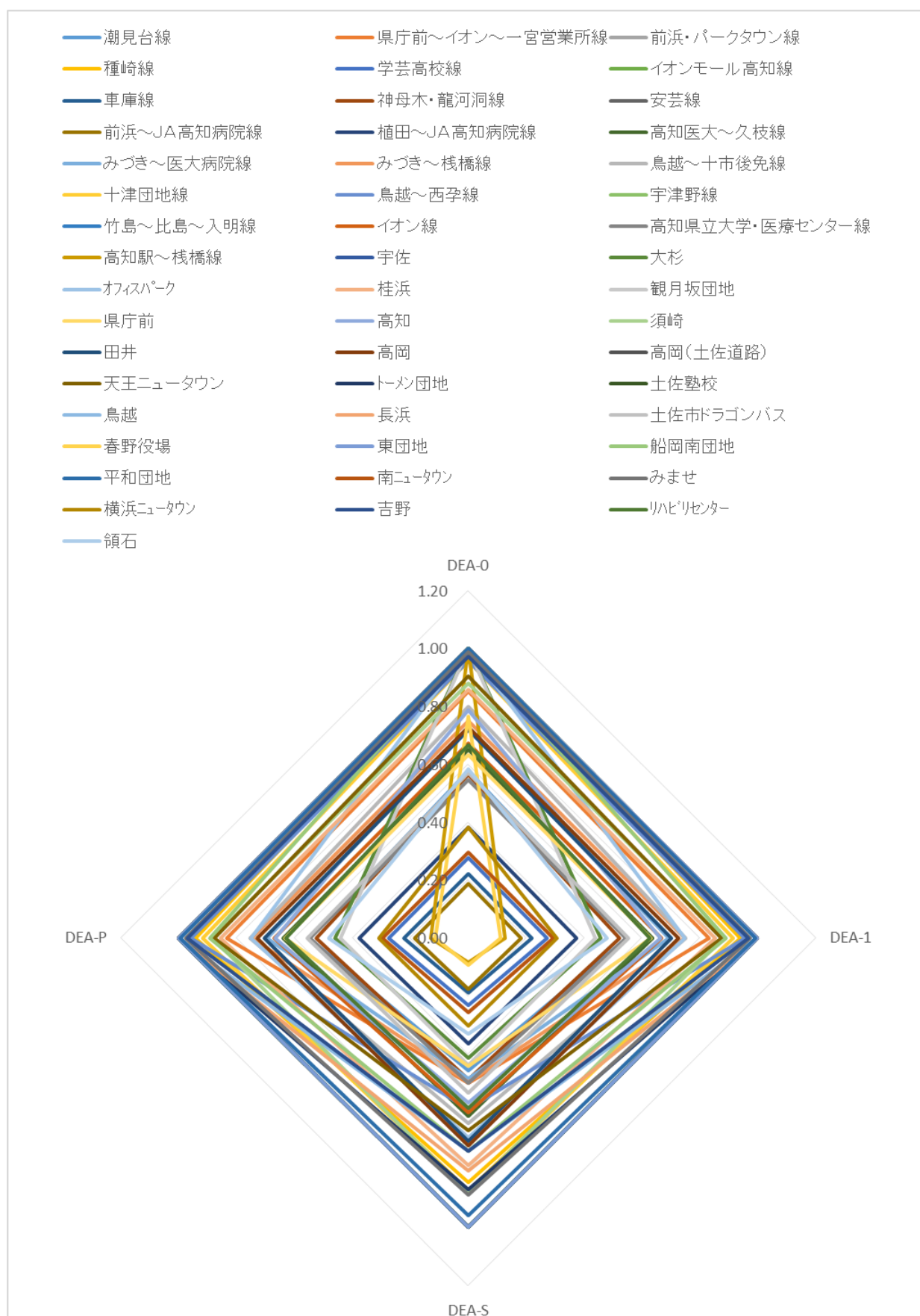


図 17 各 DMU における IC カードデータを活用した指標の効率値

表 1515 DEA-0 の効率値と各パラメータの既存値と改善案

路線名	効率値	入力値					出力値					効率的となるための改善案				
		路線長	便数	総走行距離	人件費	運営費	バス停数	沿線人口	利用距離	乗車人員	高頻度利用者	乗車料収入	出力指向型			
													利用距離	乗車人員	高頻度利用者	乗車料収入
蒲島台線	0.58	25754	12181	145981019	17445060	22889229	100	127984	3179	111175	644	32541542	5889	192445	1115	56329789
県庁前～イオン～営業所線	0.85	4899	531	5236888	625815	838109	16	18497	140	3907	44	662799	189	6225	52	4823540
前浜～パナソニック線	1.00	23034	10229	193857000	23166241	30308739	86	86050	8928	120598	1306	35405738	8928	120598	1306	53961916
津崎線	0.99	24360	17548	191006373	22825681	29903856	97	124990	6789	180191	1371	53298106	6874	182435	1388	10788268
学芸高校線	0.28	10128	1005	11338286	1354823	1783383	39	49944	136	4137	30	1135500	494	15036	109	10788268
イオンモール高知線	1.00	6388	14497	12611000	10677224	14469421	25	41014	1106	76500	386	13476977	1106	76500	386	13476977
車庫線	0.22	3160	4384	33916730	4053129	5301903	13	20176	78	7013	46	1203403	789	31904	209	6873120
神母木・龍河洞線	0.56	29444	5602	16005456	19126807	25534802	94	86620	3072	6371	430	21179557	6231	113065	762	37550874
安基線	1.00	45019	8772	364038000	43503271	57769272	122	98000	14934	99329	1179	40840790	14934	99329	1179	40840790
前浜～J/A高知病院線	0.19	6698	1548	42308083	5055895	6686275	20	15106	192	5979	36	1355118	1608	32025	193	7260555
種田～J/A高知病院線	0.38	6496	1506	39730108	4747822	6279287	20	14758	443	11971	69	2798802	1501	31446	181	751999
高知匠大～久枝線	0.65	5617	1256	36609146	4255360	5630669	17	12096	613	16480	105	4386182	1358	25381	162	6751023
みづき～医大病院線	0.73	20727	4874	83296311	9954087	13996425	78	90221	1785	61325	492	13341011	3707	88820	675	18307997
みづき～津橋線	0.75	8834	3890	45031231	5381339	7058177	35	46409	1060	34600	319	5939824	1853	50941	425	15530896
鳥越～十市後免線	0.80	30902	5114	156393927	18689373	25319964	110	115715	2837	84345	655	19663145	6458	106685	821	24638155
十津田地線	0.96	11372	1196	20600845	2461810	3228072	43	53014	926	13514	141	4651209	968	16582	147	11780569
鳥越～西丹線	0.96	10285	5579	65173260	7788364	10204071	43	59740	1855	56347	587	10403139	2700	73531	614	20590053
宇津野線	1.00	15634	7065	135609000	16205512	21187279	74	122557	6947	177172	1	4253227	6847	177172	1	4253227
竹島～比島～入明線	1.00	13357	247	2149000	256798	335741	65	111428	4	12405	22	28758523	4	12405	22	28758523
イオン線	0.67	5400	381	3925299	469074	615892	24	37125	88	6141	22	1162286	131	9144	33	9323710
高知県立大学・医療センター線	0.54	16708	8495	101331022	12109281	15873035	65	84629	2126	74416	395	1423064	3907	136741	726	26146816
高知駅～津橋線	1.00	3200	10110	323832000	3866129	5054623	20	31563	42	3144	29	20118064	42	3144	29	20118064
宇佐	1.00	46430	11450	424934000	50780442	67029403	148	108662	17015	222117	1944	527225	17015	222117	1944	527225
大杉	1.00	17681	1214	19563000	2337794	3355881	40	5548	335	3181	44	93108200	335	3181	44	93108200
ワタナベ	1.00	22525	730	15314000	1830078	2437169	83	90883	352	15796	81	55428000	352	15796	81	55428000
桂屋	0.86	48254	11676	212890727	25440890	35807668	177	194217	8440	161447	1441	660862	9853	205237	1682	22904664
鶴岡坂団地	1.00	32108	486	5832000	696936	911508	110	136360	27	8710	7	91235606	27	8710	7	91235606
県庁前	0.63	16388	8179	95233569	11380642	14916541	68	91273	1974	64990	567	1381555	3935	107551	898	31041500
須崎	0.88	22317	5110	196142157	23439374	30997972	68	50986	6869	76757	646	1274441	7914	87167	815	7063086
田井	0.72	23126	4385	153530785	18347226	24217169	76	67958	4429	61875	421	14751326	6160	86061	668	29517507
高岡 (土佐道路)	1.00	44265	7066	169584000	20265628	29627100	156	158291	8189	155075	1242	1401489	8189	155075	1242	1401489
天王ニュータウン	0.90	36737	11206	245882000	29383391	38804767	122	115015	6793	185295	1230	34598105	9567	205150	1362	36305376
トビ団地	1.00	13063	8398	98706000	11795613	15443018	58	83011	4106	111169	929	29132458	4106	111169	929	29132458
土佐陵校	1.00	44160	12907	117828000	14080623	18510506	136	142344	3129	333758	590	49841341	3129	333758	590	49841341
鳥越	1.00	56060	5849	57177000	6832706	9162041	184	192127	2042	68170	565	54668567	2042	68170	565	54668567
長浜	0.57	36252	4116	11628000	13339782	18506676	130	158842	4375	130650	956	61352335	4375	130650	956	61352335
土佐市ドラゴンバス	0.77	22385	1022	15789103	1884421	2678886	64	50792	48	4446	13	71496283	248	5811	36	83450282
香野牧場	1.00	15636	244	2294000	274090	370883	59	76203	148	6916	25	14021962	148	6916	25	14021962
船岡南団地	1.00	10531	2314	24066000	2875887	3760291	51	74749	879	26338	204	33768566	879	26338	204	33768566
平和団地	1.00	12637	609	8709000	1040707	1360633	41	39124	435	7574	60	12075512	435	7574	60	12075512
南ニュータウン	0.29	6087	1635	17304634	2067938	2711298	25	36051	176	9373	40	700035	612	31831	136	10831907
みませ	0.98	31841	3812	55154000	6590953	8857331	108	110338	2499	50501	438	2442809	2534	54157	444	33213173
横浜ニュータウン	0.38	10800	293	3919882	468410	615892	38	46532	67	526	8	6420937	176	5480	21	16829759
吉野	0.97	15187	6365	74343008	8884169	11631506	69	106376	2569	86081	677	2664841	3050	88723	698	33213173
川口リレー	0.67	22804	5970	94946471	11346263	15032035	89	109354	2870	56897	459	3199669	4313	85512	690	26678125
鶴石	0.58	11213	731	9834722	1175271	1581399	40	51228	175	3836	43	17018452	360	11628	74	29204984

表 16 DEA-1 の効率値と各パラメータの既存値と改善案

路線名	効率値	入力値					出力値					効率値となるための改善案				
		路線長	便数	総走行距離	バス停車数	沿線人口	利用距離	乗車人員	高頻度利用者	入力指向型						
										路線長	便数	総走行距離	バス停車数	沿線人口		
潮見台線	0.55	25754	12181	150817000	103	145528	3224	111175	644	14121	6679	82693243	54	68425		
県庁前～イオン～一宮営業所線	0.83	4899	1095	5364000	33	89641	162	5306	44	4082	451	4469547	13	14127		
前浜・パークタウン線	1.00	23034	10229	193857000	86	84050	8928	120598	1306	23034	10229	193857000	86	84050		
種崎線	0.94	24925	17548	228548000	97	124980	6987	180191	1371	22961	16521	200077910	91	117676		
宇芸高校線	0.27	10128	1127	11415000	55	105963	136	4145	30	2772	277	3124722	11	13680		
イオンモール高知線	1.00	6388	14497	92611000	25	41014	1106	76500	386	6388	14497	92611000	25	41014		
車庫線	0.22	3160	12541	40812000	15	20771	173	7013	46	695	964	7455396	3	4435		
神母木・龍河洞線	0.52	29444	5602	167601000	100	82620	3241	63771	430	14009	2937	77261705	47	43320		
安芸線	1.00	45019	8772	364038000	122	98000	14934	99329	1179	45019	8772	364038000	122	98000		
前浜～J/A高知病院線	0.18	10661	4751	50649000	50	15106	301	5979	36	1070	278	7791124	3	2778		
植田～J/A高知病院線	0.38	18328	4751	61689000	49	14758	573	11971	69	2109	551	14911606	7	5535		
高知医大～久枝線	0.64	13569	5116	69420000	48	12096	885	16490	105	3015	778	22763787	10	7714		
みづき～医大病院線	0.69	20727	4874	89584000	80	126316	2860	61325	492	14377	3381	62137951	53	58294		
みづき～榑橋線	0.75	8834	5114	45176000	39	50987	1390	38198	319	6603	2916	33768050	26	34738		
鳥越～十市後免線	0.75	30902	5114	158031000	157	130546	4383	84345	655	23207	3840	92627135	81	81813		
十津田地線	0.91	11372	2071	20661000	46	56894	926	19050	141	10399	842	18893422	38	44598		
鳥越～西孕線	0.96	10285	6337	65174000	59	70954	2580	70262	587	9828	5331	62275253	42	57084		
宇津野線	1.00	15634	7065	135609000	74	122557	6847	177172	1	15634	7065	135609000	74	122557		
竹島～比島～入明線	1.00	13357	247	2149000	65	111428	4	12405	22	13357	247	2149000	65	111428		
イオン線	0.67	5400	730	3942000	25	42026	88	6141	22	3613	256	2637616	16	24857		
高知県立大学・医療センター線	0.54	16708	10839	101595000	69	84629	2126	74416	395	9089	4642	55269389	35	46040		
高知駅～榑橋線	0.13	3200	10110	32352000	20	31563	128	3470	29	408	262	3081242	2	2591		
宇佐	1.00	46430	11450	424934000	148	108662	17015	222117	1944	46430	11450	424934000	148	108662		
大杉	0.46	17681	1214	19563000	40	5548	367	4820	44	992	278	8954416	3	2539		
ワタナベ	0.75	22525	730	15314000	83	90823	458	15796	81	9592	546	10689098	43	67963		
桂浜	0.85	59320	14619	212891000	190	194217	8440	177436	1441	41014	9835	181956960	151	165996		
観月坂団地	0.44	32108	486	5832000	110	136360	27	8714	15	7354	214	1962242	35	60004		
県庁前	0.63	16368	13892	95234000	68	93157	2484	67878	567	10330	5162	60103766	43	57604		
高知	0.67	6069	537	3276000	12	6843	95	2548	20	888	173	2184906	3	4564		
須崎	0.88	43769	5110	216751000	136	112059	6969	76757	718	19651	4500	172717367	59	44896		
田井	0.70	57498	4385	240772000	129	67958	4429	61875	491	14111	3078	110079721	49	47703		
高岡	0.73	57493	10357	229373000	178	151936	7785	126486	1071	30392	7521	166565055	109	110332		
高岡（土佐道路）	1.00	44265	7066	169584000	156	158291	8189	155075	1242	44265	7066	169584000	156	158291		
天王ニュータウン	0.88	36737	11206	245882000	142	181324	8591	185295	1230	32165	9811	215278212	110	107778		
トマリ団地	1.00	13063	8398	98706000	58	83011	4106	111169	929	13063	8398	98706000	58	83011		
土佐塾校	1.00	44160	12907	117828000	136	142344	3129	333758	590	44160	12907	117828000	136	142344		
鳥越	1.00	56060	5849	57177000	184	192127	2042	68170	565	56060	5849	57177000	184	192127		
長浜	1.00	34071	7796	111628000	130	156842	4375	130650	956	34071	7796	111628000	130	156842		
土佐市ドラゴンバス	0.55	47741	4116	196501000	145	185563	2158	56987	233	17166	2281	46034482	72	102825		
香野役場	0.11	22395	2436	16565000	77	78767	56	4446	13	1309	186	1847049	6	8783		
栗田	1.00	15636	244	2294000	59	76203	148	6916	25	15636	244	2294000	59	76203		
船岡南団地	0.89	10531	2314	24066000	51	74749	879	26338	204	9392	1884	21462397	38	51352		
平和団地	0.99	12637	609	8709000	41	39124	435	10270	60	8376	432	8645802	31	38840		
南ニカラ	0.29	9031	1752	17354000	28	36051	180	9373	40	1789	482	5096167	7	10587		
みませ	0.97	32768	6575	55154000	114	110338	2499	56813	438	23625	3152	53680413	89	107390		
横浜ニカラ	0.31	10800	365	3942000	70	105681	67	2229	8	3328	84	1214548	13	16202		
吉野	0.97	25166	7044	74394000	94	106376	2959	86081	677	14727	6176	72130761	67	103140		
川ノノケ	0.63	29435	5970	96212000	97	109354	2870	57465	459	16860	2863	60371335	61	65562		
領石	0.48	14496	731	10092000	53	51228	228	6288	43	5072	351	4851323	19	24626		

表 17 DEA-S の効率値と各パラメータの既存値と改善案

路線名	効率値	入力値				出力値			効率的となるための改善案				
		路線長	便数	総走行距離	バス停数	沿線人口	利用距離	乗車人員	路線長	便数	総走行距離	バス停数	沿線人口
潮見台線	0.46	25754	12181	150817000	103	145528	3179	111175	11521	4387	69348615	46	66917
県庁前～イオン～宮営業所線	0.50	4899	1095	5364000	33	89641	140	4053	2451	157	2683993	10	12755
前浜・パークタウン線	1.00	23034	10229	193857000	86	84050	8828	120598	23034	10229	193857000	86	84050
種崎線	0.84	24925	17548	228548000	97	124990	6789	180191	21019	14140	192733766	80	105404
学芸高校線	0.23	10128	11927	11415000	55	105963	136	4137	2357	160	2656301	9	12196
イオンモール高知線	1.00	6388	14497	92611000	25	41014	1106	76500	6388	14497	92611000	25	41014
車庫線	0.19	3160	12541	40812000	15	20771	132	7013	600	1105	7753553	2	3946
神母木・龍河洞線	0.49	29444	5602	167601000	100	82620	3072	63771	7717	2739	67718601	31	40391
安芸線	1.00	45019	8772	364038000	122	98000	14934	99329	45019	8772	364038000	122	98000
前浜～ＪＡ高知病院線	0.18	10661	4751	50649000	50	15106	192	5979	946	257	5265496	3	2677
種田～ＪＡ高知病院線	0.37	18328	4751	61689000	49	14758	443	11971	1961	526	11901877	6	5414
高知匠大～久枝線	0.62	13569	5116	69420000	48	12096	613	16490	2705	726	16459050	8	7460
みづき～匠大病院線	0.49	20727	4874	89584000	80	126316	1785	61325	8889	2370	38551733	39	61220
みづき～榑橋線	0.50	8834	5114	45176000	39	50987	1060	34600	4285	1367	22506167	17	25401
鳥越～十市榑橋線	0.64	30902	5114	158031000	157	130546	2837	84345	11237	3284	58427406	51	83821
十津田地線	0.87	11372	2071	20661000	46	56894	926	25352	9006	997	18052910	36	49712
鳥越～西牟線	0.59	10285	6337	65174000	59	70954	1855	56347	6080	2233	38528501	26	39093
宇津野線	1.00	15634	7065	135609000	74	122557	6847	177172	15634	7065	135609000	74	122557
竹島～比島～入明線	1.00	13357	247	2149000	65	111428	4	12405	13357	247	2149000	65	111428
イオン線	0.60	5400	730	3942000	25	42026	88	6141	3254	234	2375617	12	15043
高知県立大学・医療センター線	0.50	16708	10839	101595000	69	84629	2126	74416	8378	3338	50943746	32	42436
高知駅～榑橋線	0.09	3200	10110	32352000	20	31563	102	3144	274	246	2766137	1	2049
宇佐	1.00	46430	11450	424934000	148	108662	17015	222117	46430	11450	424934000	148	108662
大杉	0.41	17681	1214	19663000	40	5548	335	3181	962	229	8114734	3	2301
わいふの	0.69	22525	730	15314000	83	90823	352	15796	7615	504	8121793	37	62710
桂浜	0.79	59320	14619	212891000	190	194217	8440	218452	19566	8710	167147076	92	152486
龍月坂団地	0.44	32108	486	5832000	110	136360	27	8714	7354	214	1962242	35	60004
県庁前	0.44	16368	13892	95234000	68	93157	1974	64990	6779	2569	42149173	28	41230
高知	0.57	6069	537	3276000	12	6843	95	2550	672	101	1862559	3	3891
須崎	0.88	43769	5110	216751000	136	112059	6969	76757	19651	4500	172717367	59	44896
田井	0.70	57498	4385	240772000	129	67958	4429	61875	14111	3078	110078721	49	47703
高岡	0.72	57493	10357	229373000	178	151936	7785	152530	19408	7426	164462617	78	108940
高岡(土佐道路)	1.00	44265	7066	169584000	156	158291	8189	155075	44265	7066	169584000	156	158291
天王ニュータウン	0.67	36737	11206	245882000	142	181324	6793	185295	18290	7452	141413965	79	120588
トウ団地	0.87	13063	8398	98706000	58	83011	4106	111169	11351	4668	85771533	48	72133
土佐塾校	1.00	44160	12907	117828000	136	142344	3129	333758	44160	12907	117828000	136	142344
鳥越	0.73	56060	5849	57177000	184	192127	2042	68170	27265	2657	42021721	105	141202
長浜	0.80	34071	7796	111628000	130	156842	4375	130650	21108	5167	89742679	87	126092
土佐市ドラゴンバス	0.53	47741	4116	166501000	145	185663	2158	56987	13054	2199	46444869	61	99123
香野役場	0.09	22395	2436	16565000	77	78767	48	4446	1697	170	1559243	6	7414
東団地	1.00	15636	244	2294000	59	76203	148	6916	15636	244	2294000	59	76203
船岡南団地	0.74	10531	2314	24066000	51	74749	879	26338	7762	1035	17738425	31	42496
平和団地	0.96	12637	609	8709000	41	39124	435	12505	7183	486	8357622	28	37545
南ニュータウン	0.26	9031	1752	17354000	28	36051	176	9973	1997	364	4471502	7	9140
みませ	0.89	32768	6575	55154000	114	110338	2499	66903	16804	2645	49031934	69	98091
榑橋ニュータウン	0.30	10800	365	3942000	70	106681	67	2364	3279	88	1196771	12	16228
吉野	0.74	25166	7044	74394000	94	106376	2569	86081	13980	3392	54746809	56	78282
リビリティ	0.59	29435	5970	96212000	97	108354	2870	74814	9279	2978	56728551	41	64477
鶴石	0.33	14496	731	10092000	53	51228	175	5110	3281	198	3345974	13	16985

表 18 DEA-P の効率値と各パラメータの既存値と改善案

路線名	効率値	入力値			出力値			効率的なための改善案		
		路線長	便数	総走行距離	利用距離	乗車人員	高頻度利用者	入力指向型		
								路線長	便数	総走行距離
潮見台線	0.55	25754	12181	150817000	3224	111175	644	14121	6679	82693243
県庁前～イオン～一宮営業所線	0.83	4899	1095	5364000	162	5306	44	4082	451	4469547
前浜・パークタウン線	1.00	23034	10229	193857000	8928	120598	1306	23034	10229	193857000
種崎線	0.84	24925	17548	228548000	6789	180191	1371	20884	13033	159940473
宇釜高校線	0.27	10128	1127	11415000	136	4145	30	2772	277	3124722
イオンモール高知線	1.00	6388	14497	92611000	1106	76500	386	6388	14497	92611000
車庫線	0.22	3160	12541	40812000	173	7013	46	695	964	7455396
神母木・龍河洞線	0.51	29444	5602	167601000	3072	63771	430	15136	2880	69331781
安芸線	1.00	45019	8772	364038000	14934	99329	1179	45019	8772	364038000
前浜～JIA 高知病院線	0.09	10661	4751	50649000	192	5979	36	965	335	4582678
植田～JIA 高知病院線	0.16	18328	4751	61689000	443	11971	69	2927	519	9852650
高知医大～久枝線	0.20	13569	5116	69420000	613	16490	105	2733	946	13980964
みづき～医大病院線	0.69	20727	4874	89584000	2860	61325	492	14377	3381	62137951
みづき～棧橋線	0.75	8834	5114	45176000	1390	38198	319	6603	2916	33768050
鳥越～十市後免線	0.75	30902	5114	158031000	4383	84345	655	23207	3840	92627135
十津団地線	0.91	11372	2071	20661000	926	19050	141	10399	842	18893422
鳥越～西孕線	0.96	10285	6337	65174000	2580	70262	587	9828	5331	62275253
宇津野線	1.00	16634	7065	135609000	6847	177172	1	15634	7065	135609000
竹島～比島～入明線	1.00	13357	247	21499000	4	12405	22	13357	247	21499000
イオン線	0.67	5400	730	3942000	88	6141	22	3613	256	2637616
高知県立大学・医療センター線	0.52	16708	10839	101595000	2172	74416	395	8766	4465	53302331
高知駅～棧橋線	0.13	3200	10110	32352000	128	3470	29	408	262	3081242
宇佐	1.00	46430	11450	424934000	17015	222117	1944	46430	11450	424934000
大杉	0.34	17681	1214	19653000	335	7901	44	6024	332	6665346
ワグバール	0.73	22525	730	15314000	451	15796	81	10284	533	10556837
桂浜	0.85	58320	14619	212891000	8440	179886	1441	50543	9883	181391510
観月坂団地	0.38	32108	486	5832000	27	8714	18	9108	184	2061328
県庁前	0.63	16368	13892	95234000	2484	67878	567	10330	5162	60103766
高知	0.62	6069	537	3276000	95	3249	20	3773	187	2036382
須崎	0.88	43769	5110	216751000	6969	76757	718	19651	4500	172717367
田井	0.70	57498	4385	240772000	4429	61875	513	16470	3061	111283357
高岡	0.70	57493	10357	229373000	7785	152570	1071	40240	6843	160541306
高岡（土佐道路）	1.00	44265	7066	169584000	8189	155075	1242	44265	7066	169584000
天王ニュータウン	0.88	36737	11206	245882000	8591	185295	1230	32165	9811	215278212
トマリ団地	1.00	13063	8398	98706000	4106	111169	929	13063	8398	98706000
土佐塾校	1.00	44160	12907	117828000	3129	333758	590	44160	12907	117828000
鳥越	1.00	56060	5849	57177000	2042	68170	565	56060	5849	57177000
長浜	1.00	34071	7796	111628000	4375	130650	956	34071	7796	111628000
土佐市ドラゴンバス	0.52	47741	4116	196501000	2158	56987	233	24933	2150	49720573
春野役場	0.10	22395	2436	16565000	48	4446	13	2264	168	1674647
栗団地	1.00	15636	244	2294000	148	6916	25	15636	244	2294000
船岡南団地	0.89	10531	2314	24066000	879	26338	204	9392	1884	21462397
平和団地	0.97	12637	609	8709000	435	11378	60	12247	463	8439961
南ニュータウン	0.29	9031	1752	17354000	176	9373	40	2590	470	4977526
みませ	0.96	32768	6575	55154000	2499	58867	438	31611	3192	53206510
横浜ニュータウン	0.31	10800	365	3942000	67	2229	8	3328	84	1214548
吉野	0.96	25166	7044	74394000	2869	86081	677	24140	6267	71361845
リハビリセンター	0.63	29435	5970	96212000	2870	57871	459	18441	2871	60277473
鶴石	0.48	14496	731	10092000	234	6769	43	6947	350	4836698

5.7. 考察

DEA-0にて経営効率のみでの分析時点より遥かに効率的な路線が増加した。地方都市における公共交通の分析においては、経営効率のような費用のみのパラメータのみでは分析が困難であることが示された。本指標内には様々な特徴を持つパラメータを活用しているので、以後の指標結果の分析を行うことで、どのパラメータが影響を与えているかを分析する。今回は、最も反応した路線のみを対象に考察する。

DEA-0において高効率であり、ベンチマークとされていた栈橋線であるが、DEA-1においては効率値が0.13となった。値が変化しないDMUも存在する中で、栈橋線は大幅な減少となった。つまり、栈橋線においては経営効率が影響を及ぼすパラメータであることが分かる。従って、人件費・運営費を最小化し、収入を増加させる必要があることが本指標より示された。また、他の指標の変化における変化量は比較的少ない。このように費用のパラメータが効果を持つ路線も存在する。

一宮営業所線は、高頻度利用者を除くことで、効率値が0.33降下した。一宮営業所線は高頻度利用者の影響を受けやすい傾向があることが示された。高知市中心部に存在する高知県庁から、北部に向かって沿線が続く路線であり、高知市中心部への通勤通学等での密な利用があることが推察される。詳細な分析を行うために、地理的なデータを含めた分析が必要である。

久枝線は高知龍馬空港周辺と高知大学医学部附属病院を結ぶ路線である。発着点が公共性の高い施設であることから、それらの施設利用者が増減することによって効率値に影響を与えると推察される。

本研究により提案したICカードデータを活用した指標により、経営的データのみでは表せない潜在的な路線の特徴を判明させた。高頻度利用者による影響をDEA-SとDEA-1の比較により述べた。このように、高頻度利用者が路線によっては影響を持つ路線も存在している。従って、本研究により、潜在的な要素を示すことができた。現状においてはICカードデータの活用内容は少量ではあるが、バス路線の評価にICカードデータを活用し、潜在的な要素を明確化させる目的は達成できた。

6. 将来推計人口を活用した分析

6.1. 将来推計人口データの活用背景

本研究に使用したデータの沿線人口は 3 章で紹介した手法を用いて、高知県の人口データを基に作成している。人口に関するデータは農林水産省^[20]より、将来推計データが公表されている。このデータは、人口減少が続く我が国において注目されているデータであるが、その推計は実現象とほぼ合致しており、精度の高い予測である。本研究でもその減少率を反映させることで、将来の沿線人口を予測可能であると考え、将来の予測が可能になれば、事業者は事前に対策を検討可能になる。また、DEA による効率値の変動を分析可能になるのではないかと考える。

6.2. 2045 年の沿線人口

現在の高知県の人口は高知県庁^[21]の報告によると 703,534 人である。2045 年の推計人口は農林水産省の報告では、498,460 人である。その減少率は 0.71 である。

各バス停の勢力圏内に存在する沿線人口に減少率をかけたものを 2045 年の沿線人口として取り扱う。

6.3. 総合経営効率への将来推計人口の反映

総合経営効率のパラメータのひとつである沿線人口を 2045 年の推計値から算出した沿線人口を使用する。結果は表 19 に示す通りとなる。

結果として、効率値の変化が見られなかった。従って、現在のバス路線において、沿線人口が効率値への影響は大きくないことが示された。将来推計データを加味した DEA による効率値の変化を本研究では分析することができなかったため、これらは今後の課題となる。課題解決に向けて、IC カードデータの分析を進め、将来予測が可能となる必要があると考える。

表 19 2045 年推計人口を活用した総合経営効率の結果

路線名	効率値	入力値					出力値					効率値となるための改善案				
		人件費	運営費	路線長	バス停数	総走行距離	乗車料収入	沿線人口	乗車人員	入力指向型						
										人件費	運営費	路線長	バス停数	総走行距離		
湖皇台線	0.74	18022934	23563399	25754	103	150817000	32541542	103325	111175	13373827	17538782	17967	77	111912562		
県庁前～イオン～宮前	1.00	641045	838109	4899	33	5364000	662799	63645	3907	641045	838109	4899	33	5364000		
前浜・パークタウン線	0.65	23166241	30308739	23034	86	193857000	35405738	59676	120598	15083174	19772337	15027	56	126216633		
種崎線	0.86	27311885	35707883	24925	97	228548000	53298106	88743	180191	23464439	30746574	21462	84	196351341		
学芸高校線	0.71	1364056	1783383	10128	55	11415000	1135500	75234	4137	766460	1003211	5857	39	6413426		
イオンモール高知線	1.00	11067224	14469421	6388	25	92611000	13478977	29120	76500	11067224	14469421	6388	25	92611000		
車庫線	0.56	4877068	6376337	3160	15	40812000	1203403	14747	7013	1029301	1345720	1474	8	8613175		
神母木・龍河洞線	0.43	20028644	26881490	29444	100	167601000	21179557	58660	63771	8697823	11406817	10158	43	72783635		
安芸線	0.48	43503271	57769272	45019	122	364038000	40840790	69580	99329	14881619	19531867	14976	58	124529397		
前浜～ＪＡ高知病院線	0.13	6052705	7918708	10661	50	50649000	1355118	10725	5979	787685	1031176	1232	7	6591342		
種田～ＪＡ高知病院線	0.16	7372007	9638250	18328	49	61689000	2798802	10478	11971	1191166	1561739	1892	8	9967711		
高知医大～久枝線	0.18	8295877	10929666	13569	48	69420000	4386182	8588	16490	1455447	1911284	2381	8	12179253		
みづき～医大病院線	0.71	10705444	13996425	20727	80	89584000	13341011	89684	61325	7586211	9932039	11308	57	63481460		
みづき～榑橋線	0.64	5395887	7068177	8834	39	45176000	5939824	36201	34600	3460102	4529328	5474	25	28954201		
鳥越～十市後免線	0.44	18885034	25319964	30902	157	158031000	19663145	92688	84345	8337897	10917252	13643	68	69771561		
十津田地線	0.53	2469055	3228072	11372	46	20661000	4651209	40395	13514	1296400	1705189	4584	24	10848187		
鳥越～西孕線	0.74	7788364	10443491	10285	59	65174000	10403139	50377	56347	5783983	7569216	7638	38	48400509		
宇津野線	1.00	1620512	21187279	15634	74	135609000	4252327	87015	177172	1620512	21187279	15634	74	135609000		
竹島～比島～入明線	1.00	256798	335741	13357	65	2149000	28758523	79114	12405	256798	335741	13357	65	2149000		
イオン線	0.78	471077	615892	5400	25	3942000	1162286	29838	6141	364677	478717	3599	19	3051567		
高知県立大学・医療セー	0.62	12140806	15873035	16708	69	101595000	1423024	60087	74416	7506326	9813860	8341	43	62813343		
高知駅～榑橋線	1.00	3866129	5054623	3200	20	32352000	2018064	22410	3144	3866129	5054623	3200	20	32352000		
宇佐	0.52	50780442	67029403	46430	148	424934000	527225	77150	222117	26442758	34588437	21258	77	221274243		
大杉	1.00	2337794	3355881	17681	40	19563000	93108200	3939	3181	2337794	3355881	17681	40	19563000		
桂江	0.79	1830078	2437169	22525	83	15314000	55428000	64484	15796	1379438	1918278	17038	65	11543332		
桂江坂	0.53	25440890	35807688	59320	190	212891000	660862	137894	161447	13403012	17533501	20526	100	112157155		
親月坂田地	1.00	696936	911508	32108	110	5832000	91235606	96816	8714	696936	911508	32108	110	5832000		
県庁前	0.64	11380642	15033742	16368	68	95234000	1381555	66141	64990	7321614	9572365	8337	44	61267536		
須崎	0.38	391453	511790	6069	12	3276000	4313119	4859	942	141077	196166	1245	5	1180539		
須崎	0.38	25902144	41735264	43769	136	216751000	1274441	79562	76757	9834904	12858271	10029	52	82298756		
田井	0.28	28772701	41302944	57498	129	240772000	14751326	48250	61875	7981228	10451379	8332	36	66787167		
高岡	0.43	27410474	38683615	57493	178	229373000	316877	107875	126486	11729416	15335492	14597	76	98152440		
高岡（土佐道路）	0.57	20266628	29527100	44265	156	169584000	1401489	112387	155075	11467246	15010496	19809	88	95958614		
天王ニュータウン	0.70	29383428	39112773	36737	142	245882000	34598105	128740	185295	20544034	26890357	23849	99	171913204		
トシ団地	1.00	11795613	15443018	13063	58	98706000	29132458	58938	111169	11795613	15443018	13063	58	98706000		
土佐塾校	1.00	14080623	18510506	44160	136	117828000	49841341	101064	333758	14080623	18510506	44160	136	117828000		
鳥越	0.59	6832706	9162041	56060	184	57177000	5466567	136410	68170	4064599	5431022	26053	109	34012635		
長浜	0.79	13339782	18506676	34071	130	111628000	61352335	111358	130650	10590721	13992827	27050	103	88623491		
土佐市ドラゴンバス	0.57	23482204	33158961	47741	145	196501000	28362930	131750	56987	8750533	11499977	16272	82	73224362		
春野役場	0.85	1979527	2678586	22395	77	16656000	71496283	55925	4446	1601223	2263841	18927	65	13399239		
東団地	0.73	274090	370883	15636	59	2294000	14021962	54104	6916	201224	263083	8790	43	1683899		
船岡南団地	1.00	2875887	3760291	10531	51	24066000	33768566	53072	26338	2875887	3760291	10531	51	24066000		
平和団地	0.54	1040707	1360633	12637	41	8709000	12075512	25578	7574	541700	731401	5031	22	4532947		
南ニヤッ	0.52	2073790	2711298	9031	28	17354000	700035	25666	9373	1074304	1404557	2384	15	8989739		
みませ	0.45	6590990	8857331	32768	114	55154000	2442809	78340	50501	2984528	3913801	10658	52	24974482		
横浜ニヤッ	0.93	471077	615892	10800	70	3942000	6420937	75034	526	438270	572999	10048	53	3667391		
吉野	0.61	8890232	11631506	25166	94	74394000	2664841	75527	86081	5424498	7108370	13164	57	45392447		
川ノ上ヒヤ	0.50	11497551	15032035	29435	97	96212000	3199669	77641	56897	5791138	7571806	8792	49	48460397		
鶴石	0.52	1205990	1581399	14496	53	10092000	17018452	36372	3836	597632	821515	6219	28	5000952		

7. 結論

本研究では DEA を用いた路線効率性の評価を高知県のバス路線に適応した。経営的データを活用した DEA による路線評価では、効率的な路線を示すことが可能となった。従って、指標から得られる効率値の意味を解釈することによって、ベンチマークされた路線はその特徴を示すことが可能となった。しかし、経営的データの活用のみでは、効率値に大きな差が見られた。従って、非効率な路線に対して提案される改善案の提示は可能であるが、現状の路線をほぼ廃止するという結果に至った。従って、地方都市の不採算路線においては、先行研究に手法では十分な評価には至らない結果となり、地方都市におけるバス路線事業は、経営的データを用いたパラメータだけでは表現できない潜在的な価値が含まれている可能性が示された。

そこで、本研究では、IC カードデータより付与される利用者行動特性に基づいた分析結果を活用することで、潜在的に影響を与えている要因を明確にすることを目指した。

利用者の利用間隔に着目し、高知県のバス路線を利用する人々の利用者像を分析した。エルボー法によるクラスター数の検討を行った後、クラスター分析を行った。すると、高頻度利用者・低頻度利用者・利用増加・利用減少・ランダムな利用者の 5 つのクラスターに分類が可能となった。そこで、公共交通機関を周期的に活用している利用者増である高頻度利用者を DEA のパラメータとして活用した。高頻度利用者は事業者にとって増加させたい利用者像である。また、それらの人々が路線の効率性にどのような影響を与えているかを分析するために、本研究では路線毎に高頻度利用者を集計し、それらの値をパラメータとして活用することで、IC カードデータから得られる情報を DEA に活用した。

結果として、効率値の変化が生まれている路線が登場した。従って、IC カードデータを使用することで、使用前には表現することができなかった高頻度利用者が路線に与える影響を分析可能とした。

また、2045 年の推計人口の活用により、将来予測データの活用の可能性を示すことが可能となった。今回は効率値の変化がなかったことから、将来予測データの使用方法は再検討する必要がある。

今後の展望として、IC カードデータの分析を進める必要がある。パラメータを増加させることにより、潜在的な要素をさらに分析可能とする。また、モデル作成等が進み、将来推計データが今後より取得しやすくなれば、事業者が事前に対応可能になると考える。

謝辞

終始熱心なご指導頂きました高知工科大学の西内裕晶先生，高木方隆先生，赤塚慎先生に感謝の意を表します．

また，本研究の遂行にあたり，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頂きました．このような貴重なデータを研究の意図を理解していただき，ご提供いただけたことを心より感謝いたします．

本学の修士 2 年生の藤原匠君には，本研究の遂行にあたり，貴重な提案を頂きました．また，同研究室の修士 1 年生，学部 4 年生，3 年生には研究の進行にご協力いただけたことを感謝致します．

参考文献

- [1] 警察庁 運転免許統計 <https://www.npa.go.jp/publications/statistics/koutsuu/menkyo.html>
(取得日 2019 年 01 月 05 日)
- [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-札幌市の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 2005
- [3] 東本靖史・岸邦宏・劉志鋼・佐藤馨一,「帰宅交通の特性分析とバス事業の効率性評価に関する研究」土木計画学研究・講演集 30, CD-ROM(2004)
- [4] 平井健二・小池順司・喜多秀行,「DEA 手法による公営バス事業の効率性分析」土木計画学研究・論文集 26(0), 133-140, 2009
- [5] 折田有二・鈴木雄・日野智・木村一裕,「包絡分析法を用いた都市郊外部における路線バス事業による公益バス事業の効率性分析評価に関する研究」土木学会東北支部技術研究発表会, 2012
- [6] 轟朝幸・一條友希,「自治体側・利用者側からみたコミュニティバスサービスの効率に関する分析」日本大学理工学部社会交通工学科 卒業論文概要集, 2007
- [7] 宮良いずみ・福重元嗣,「公営バス事業の効率性評価」会計検査研究(26), 25-43, 2009
- [8] 高野流行・佐尾博志・大西暁生「日本の路面電車事業に対する多角的視点による評一包絡分析法を用いて一」公益社団法人日本都市計画学会 都市計画報告集 No.14, 2015
- [9] 今井龍一・井星雄貴・中村俊之・森尾淳・牧村和彦・濱田俊一「交通系 IC カードから取得できる動線データの活用に向けた考察～全国交通系 IC カード取扱事業者への実態調査から得た知見～」土木計画学研究発表会, 2012
- [10] 今井龍一・井星雄貴・濱田俊一「全国交通系 IC カードのデータ収集・蓄積・活用状況」土木技術資料 55-5, 2013
- [11] 角野惇・猪井博登・山室良徳・田中徳人・舘秀央・土井健司「路線バス事業者における交通系 IC カードデータの利用意向と路線バスの利用変動分析」第 53 回土木計画学研究発表会・講演集, 2016
- [12] 絹田裕一・矢部努・中嶋康博・牧村和彦・齋藤健・田中倫英「バス IC カードデータから商用時間及び移動履歴へのデータ変換方法に関する検討」土木計画学研究・講演集, 2008
- [13] 轟朝幸・西内裕晶・廣畑翔介「IC カードデータを用いたバス利用者の OD パターン分析」日本大学理工学部社会交通工学科 卒業論文概要集, 2010
- [14] 轟朝幸・西内裕晶・新井和雅「IC カードデータを用いた公共交通の乗り換え利用実態分析—高知都市圏を事例として—」日本大学理工学部社会交通工学科 卒業論文概要集, 2010
- [15] 西内裕晶・岸悠介・轟朝幸「公共交通系 IC カードデータを用いた包絡分析法による乗り継ぎ結節点評価に関する基礎的研究」土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.69, No.5 (土木計画学研究・論文集第 30 巻), I_725-I_734, 2013
- [16] 末吉俊幸「DEA—経営効率分析法—」朝倉書店, 2001
- [17] Wade D. Cook and Joe Zhu 森田浩(訳)「データ包絡分析法 DEA」株式会社 ITSC, 2014

- [18] 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—」土木計画学論文集 VoL.18
- [19] Rico Merkert・Andrew S.J. Smith & Chris A. Nash「Benchmarking of train operating firms – a transaction cost efficiency analysis」Transportation Planning and Technology, Vol33, No.1, February 2010, 35-53
- [20] 農林水産省 将来推計人口
http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/shuraku_data/2015/sc/index.html (2019.2.20 取得)
- [21] 高知県庁 高知県の推計人口
<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/111901/files/2014021401751/h3102.pdf> (2019.2.20 取得)