

【原著論文】

DEA と Inverted DEA のノンパラメトリック検定を用いた JR 本州 3 社と JR 3 島会社の事業活動効率に対する 大手私鉄との比較検証

杉山 学

経営管理研究室

The relative efficiency evaluation for the JR's Honshu 3-companies and the JR's 3-islands companies with Japan's major private railway companies by using the nonparametric test of DEA and Inverted DEA

Manabu SUGIYAMA

Management and Decision Science

Abstract

This study evaluates the relative efficiencies of Japan Railway companies (hereinafter “JR’s”) and Japan's major private railway companies (hereinafter “Private Railways”), using various types of DEA (Data Envelopment Analysis). As the ninth report, this paper verifies the effects on the privatization and separation of JNR (Japan National Railways) to the relative efficiency and inefficiency of JR’s and Private Railways by using the parametric and nonparametric test of DEA and Inverted DEA (Inverted Data Envelopment Analysis). More specifically, in this paper, the first step of the evaluation of the relative efficiencies and inefficiencies to the productivity and others of each JR and Private Railways for a total of 19 years after the privatization and separation of JNR by using DEA and Inverted DEA. The second step of the verification of the effects on the privatization and separation of JNR to the productivity and others of the JR's Honshu 3-companies (East Japan Railway, Central Japan Railway and West Japan Railway) and Private Railways by using the parametric and nonparametric test of DEA and Inverted DEA are clarified. The third step of the verification of the effects on the privatization and separation of JNR to the productivity and others of the JR's 3-islands companies (Hokkaido Railway, Shikoku Railway and Kyushu Railway) and Private Railways, by using the parametric and nonparametric test of DEA and Inverted DEA are clarified. The verification of the effects on the privatization and separation of JNR of the productivity and others of the JR's Honshu 3-companies and the JR's 3-islands

companies were identified statistically.

キーワード : JR(JR 旅客各社), JR 本州 3 社, JR 3 島会社, 大手私鉄(大手民鉄), 相対的効率性評価, DEA, Inverted DEA, ノンパラメトリック検定, パラメトリック検定

1. はじめに

1987 年(昭和 62)4 月に「国鉄の分割・民営化」は行われ、国鉄から JR という企業体集合(以下「JR グループ」)にかわった。この分割・民営化後 2020 年(令和 2)4 月で 33 年が経過するが、JR グループは度重なる地震などの自然災害やバブル経済の崩壊などの外的要因から様々影響を受ける中、大手私鉄並みの事業活動の効率改善が追及されてきた。本研究の目的は「本当に JR は国鉄時代の事業活動から、大手私鉄並みの事業活動に改善されたか」を、改善効果が純粋に検証可能であろう 20 年間程度(正確には 1987 年度(昭和 62)から 2005 年度(平成 17)までの計 19 年間)のデータに基づき、データ包絡分析法(DEA : Data Envelopment Analysis)[5]の諸手法[6,7,15,22,36,37]を用いて実証的に検証、評価することである。今回の論文では「JR 本州 3 社(JR 東日本, JR 東海, JR 西日本)と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か」「JR 3 島会社(JR 北海道, JR 四国, JR 九州)と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か」を統計学的に検証することを目的とする。本研究は、国鉄の分割・民営化に対する当初の目的が達成されたのか、そして、一連の政策決定が妥当であったかを議論する上で、重要な資料を提示するものである。

国鉄の分割・民営化という重要な政策決定を議論するため、本研究は非常に多くのデータを扱い、様々な DEA の諸手法を用いて実証的に様々検証する必要がある。そのために、数本の論文に分けて段階的に研究成果を発表せざるをえない。本論文はその第 9 報である。なお本研究の評価対象は、JR グループ 7 社のうち JR 旅客 6 社を対象とし、JR 貨物(日本貨物輸送)は取り扱っていない。そして、JR 旅客 6 社と比較するのは大手私鉄(大手民鉄)15 社であり、事業規模は大きいが地下鉄などの異なる性質の事業者は比較対象としていない。

本研究の部分的な成果は既に数本の論文[20,21,23,24,25,26,29,31]で段階的に公表されており、第 8 報までの内容が公表済みである。改めてこれらの内容を踏まえる目的で、論文[26,29,31]の記載内容を引用しながら、繰り返しになるが当該内容を以下に簡潔に再記する。まず、本研究の第 1 報の論文[20]では DEA による本格的な分析に入る前段階として、JR グループの経緯を踏まえ、JR と大手私鉄を比較した既存研究[11,13,17]の研究結果を整理した。その上で、鉄道事業者の事業活動に対する効率性評価の枠組みを改めて定義し、本研究で使用する各種業績データに関して JR 旅客各社の推移を分析の前段階としてまとめ、考察を行った。

本研究では第 1 報の論文[20]で定義した鉄道事業者の事業活動に対する効率性評価の枠組みを用い、第 2 報の論文[21]において JR 旅客各社と大手私鉄の事業活動の企業的側面である「効率性の追求」の面を、DEA の時系列分析モデルである DEA/ウィンドー分析(DEA/Window Analysis)[4,6,36,37]を用い

て時系列的に評価した。そして第 3 報の論文[23]において JR 旅客各社と大手私鉄の事業活動の公共的側面である「非効率性の改善」の面を、著者らが提案した Inverted DEA (Inverted Data Envelopment Analysis : インバーテド DEA) [18,19,22,23,34,40,41]の時系列分析モデルである Inverted DEA/ウィンドー分析(Inverted DEA/Window Analysis) [18,19,23,24,25,27,28]を用いて時系列的に評価した。加えて、これら第 2 報[21]と第 3 報[23]では JR 旅客各社の効率性と非効率性のそれぞれの推移に関して取り上げて実証的に検証, 考察を行った。

本研究の第 4 報の論文[24]では, 第 2 報[21]と第 3 報[23]での分析の際に, 既に分析済みであったが, ページの制限により掲載できなかった大手私鉄の中でも東日本で事業活動している鉄道事業者 8 社に関して, そして, 第 5 報の論文[25]では, 大手私鉄の中でも西日本で事業活動している鉄道事業者 7 社に関して, それぞれ企業的側面である「効率性の追求」の面から評価した DEA/ウィンドー分析の結果と, 公共的側面である「非効率性の改善」の面から評価した Inverted DEA/ウィンドー分析の結果を報告し, 考察を行った。

本研究の第 6 報の論文[26]では, JR 旅客各社と大手私鉄に関する分析結果の第 2 報[21]から第 5 報[25]に対し, 総合的な分析・評価の第 1 段として, 鉄道事業者の分析結果を全体的に整理し, 考察を行った。その際に DEA/ウィンドー分析と Inverted DEA/ウィンドー分析に関する分析の数値結果を, 直感的に把握し易い方法として「ローソク足(Candlestick)」[12]という, 株価などの相場の値動きを時系列の要素を組込んで数値結果を視覚的に表現する手法を新たに提案した。そして, 第 7 報の論文[29]では, 第 6 報[26]に続き総合的な分析・評価の第 2 段として, JR 旅客各社の分析結果に絞り, 事業活動ごとの時系列的な推移に関して実証的な検証結果を整理し, 考察を行った。これら分析の数値結果を直感的に把握し易くする方法として, 第 6 報[26]にて提案したローソク足を用いたグラフ化表現に対し, 論文[27,28]を参考としてローソク足の設定を変更し, 新たなグラフ化表現を行った。加えて, 事業体の分類法[22,40,41]に基づいた JR 旅客各社の推移のグラフ化表現[27,28]も行った。

本研究の第 8 報[31]では, 総合的な分析・評価の第 3 段として, 第 6 報[26]と第 7 報[29]とは別の統計学的アプローチを行った。具体的には DEA と Inverted DEA の各効率値に対するそれぞれの推移結果に関して, JR 旅客 6 社が大手私鉄 15 社と比較して事業活動に明らかな差があるか否か, そして, JR 本州 3 社と JR 3 島会社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か, について著者の論文[29]と同様に DEA と Inverted DEA のパラメトリック検定[15,17,30]とノンパラメトリック検定[15,30]の両者をそれぞれ適用し, 統計学的に検証した。

以上を踏まえ第 9 報の本論文では総合的な分析・評価の第 4 段として, 第 8 報[31]と同様の統計学的アプローチである DEA と Inverted DEA のパラメトリック検定とノンパラメトリック検定の両者を適用し, 事業活動の 4 つの効率性(コスト性, 生産性, 収益性, 企業性)に関する DEA と Inverted DEA の各効率値の推移結果に対して, JR 本州 3 社と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か, そして, JR 3 島会社と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か, それぞれを統計学的に検証することを目的とする。なお, 鉄道事業者の事業活動に対する総合的な分

析・評価は、次回以降の論文でも詳しく報告する予定である。

本論文の構成は次のようにまとめることができる。まず、2節では鉄道事業者の事業活動に対する効率性評価に用いる分析モデルと評価の枠組みについて改めて簡潔に再記し、本研究で用いる仮説検定の手法についての概要も簡潔に再記する。3節では鉄道事業の4つの効率性に関する仮説検定の設定について示す。4節では分析結果を示し、これらの結果をもとに国鉄の分割・民営化に対する当初の目的が達成され、「JR本州3社と大手私鉄15社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か」と「JR3島会社と大手私鉄15社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か」を統計学的に有意であるかを検定し、考察を行う。5節では本研究をまとめ、将来の研究課題を検討する。

2. 鉄道事業に対する効率性評価の分析モデルと本研究で用いる統計検定

鉄道事業者の事業活動に対する効率性評価の分析モデルと評価の枠組みは、著者の一連の研究[20,21,23,24,25,26,29,31]で用いられた枠組みを踏襲し、改めて以下の2.1節にその概要を再記する。そして、本研究で用いる仮説検定については、著者の論文[30,31]で記載された内容について改めて以下の2.2節に概要を再記する。なお、本章におけるこれらの再記は、本論文のみで本研究に関するある程度内容を理解できるようにする目的で行うものである。

2.1. 鉄道事業者の事業活動に対する4つの効率性評価で用いる分析手法とデータ

本研究の第1報[20]において鉄道事業者の事業活動を詳しく記述し、効率性評価の枠組みを改めて定義した。この中で記述されているように、鉄道事業者の事業活動は公共的側面と企業的側面の両面を持ち合わせており、鉄道事業者の事業活動を効率性評価に当てはめるならば、公共的側面の追求とは「非効率性の改善」となり非効率性を測定できる Inverted DEA が適しており、企業的側面の追求とは「効率性の追求」となり効率性を測定できる DEA が適している。

そこで本研究では、鉄道事業者を多入力多出力システムである事業体(DMU : Decision Making Unit)ととらえ、第2報[21]では鉄道事業者の事業活動に対する「効率性の追求」の面(企業的側面)の分析を DEA で行い、第3報[23]では鉄道事業者の事業活動に対する「非効率性の改善」の面(公共的側面)の分析を Inverted DEA で行った。なお、本研究では第1報から第5報の論文[20,21,23,24,25]において記述したように、DEA と Inverted DEA とともに規模に関する収穫一定(constant returns to scale)の CCR モデル(Charnes-Cooper-Rhodes model : 比率形式モデル)を使用し、そして、時系列的に効率測定ができるそれぞれのウィンドー分析を使用した。加えて、DEA に関する記述[32,33,35]は様々あるが本論文では論文[21,22]の記述に、Inverted DEA に関する記述は論文[22,23]の記述に、それぞれ従うものとする。

次に、本研究では日本の第3セクター鉄道の効率性を分析した坂元の論文[14]で用いられている分析の枠組みを基本的に採用し、効率性分析を行っている。改めて簡潔に再記するならば、鉄道産業の活動を、費用、作業、事業、効果という4つの活動局面に区分し、それぞれが代表する項目は表1の内容としている。そして、これらの4つの活動局面をそれぞれ入出力項目とし、表2で示された4つの効率性の定義を用い、分析を行うものである。

表1：各活動局面を代表する項目

活動局面	代表する項目	データの種類
費用	人件費, 人件費外営業経費	金銭的データ
作業量	職員数, 車両数	数量的データ
事業量	旅客車両キロ, 輸送人員数	数量的データ
効果量	営業収入	金銭的データ

表2：4つの効率性の定義とその入出力項目

効率性	入力項目	出力項目
コスト性	費用【人件費, 人件費外営業経費】	作業量【職員数, 車両数】
生産性	作業量【職員数, 車両数】	事業量【旅客車両キロ, 輸送人員数】
収益性	事業量【旅客車両キロ, 輸送人員数】	効果量【営業収入】
企業性	費用【人件費, 人件費外営業経費】	効果量【営業収入】

本研究の公表済み論文[20,21,23,24,25,26,29,31]と本論文の1章にも記載したが、本研究の評価対象となる事業体は、JR 貨物を除く JR 旅客 6 社と大手私鉄(大手民鉄)15 社の計 21 社とし、各鉄道会社の入出力のデータは、1987 年度(昭和 62)から 2005 年度(平成 17)の計 19 年間である。なお、本研究で使用されたデータの出所は鉄道統計年報の当該年度版[9,39]からである。

2.2. 本研究で用いる仮説検定の解説

本論文では本研究の第 8 報[31]と同様、DEA に関する仮説検定を適用する。したがって、本節では DEA に関する仮説検定の内容を記述した文献[15,17]を参考に、DEA と Inverted DEA に適用するための仮説検定について著者の論文[30,31]の内容を再記し、改めて以下に再解説する。

統計的仮説検定は一般にパラメトリック検定とノンパラメトリック検定に大別されるが、これら 2 つの違いは、解析のもととなる母数(本研究では、DEA 効率値 θ_o^* や IDEA 非効率値 ϕ_o^*)が、ある特定の母集団分布に基づいていると仮定するか否かである。本節では DEA と Inverted DEA に適用可能なパラメトリック検定としての最尤推定法と、ノンパラメトリック検定としてのマン・ホイットニーの U 検定(Mann-Whitney's U Test)[10,15]について次に簡潔に記述する。加えて、それぞれを適用する際の注意点を新たに記述する。

2.2.1. 最尤推定法

DEA で用いる母数の最尤推定法は、Banker[1]や Banker and Maindiratta[2]によって提案された仮説検定法である。ここでは 2 グループ、A グループと B グループの場合を考え、それぞれのグループには、 n_1 個と n_2 個の事業体が属しているとする。この 2 グループの効率値の間に違いがあるかどうかを検定するために、次の統計量を調べる。

$$\frac{\sum_{o \in A} (\phi_o^* - 1) / n_1}{\sum_{o \in B} (\phi_o^* - 1) / n_2}, \tag{1}$$

この統計量は、DEA の出力指向型 CCR モデル(Output-oriented CCR model)の効率値 ϕ_o^* ($=1/\theta_o^*$) が、それぞれ平均 $1+\sigma_1, 1+\sigma_2$ の指数分布に従うと仮定すると、自由度 $(2n_1, 2n_2)$ の F 分布に従う。ここで、 σ_1 と σ_2 はそれぞれのグループにおける DEA の効率値 ϕ_o^* の標準偏差である。

帰無仮説 $H_0: \sigma_1 = \sigma_2$ A グループと B グループは同一分布に従う(平均と標準偏差が等しい)

対立仮説 $H_1: \sigma_1 > \sigma_2$ A グループの効率値の方が B グループの効率値よりも大きい

であることを示す。

次に、効率値 ϕ_o^* の分布に関する仮定を指数分布から半正規分布に変えることにより、次の統計量

$$\frac{\sum_{o \in A} (\phi_o^* - 1)^2 / n_1}{\sum_{o \in B} (\phi_o^* - 1)^2 / n_2}, \quad (2)$$

を得る。この統計量は自由度 (n_1, n_2) の F 分布に従う。上記の 2 つの検定は、Inverted DEA に対してもそのまま適用可能である。

これらの検定では、統計量が指数分布、半正規分布のもとで、最尤推定量になることが証明されているのが長所である。しかし現実の DEA 効率値や IDEA 非効率値がいずれかの分布に従う保証はないとの指摘がある。

2.2.2. マン・ホイットニーの U 検定

次に、マン・ホイットニーの U 検定[10,15](ウィルコクソンの順位和検定と呼ばれるものと実質的に同じ方法)というノンパラメトリック検定がどのように DEA の仮説検定に組み入れられるかについて示す。なお、この検定(順位和検定)を最初に DEA に応用したのは Brockett and Golany[3]である。

この検定は、互いに独立な 2 つのグループが同じ母集団からサンプルされたものであるかどうかを検定するのに用いられる。この検定の特徴はその検出力の高さにあり、順位和を計算するだけで簡単に求められ、DEA 効率値の分布や IDEA 非効率値の分布においても、あまり多くの仮定を必要とせず、かなり実用性の高い検定手法と考えられている。

マン・ホイットニーの U 検定を DEA に応用するために、分析対象となる事業体群を 2 グループとし、A グループと B グループとする。ここで、

帰無仮説 H_0 : A グループと B グループは DEA 効率値において同一分布に従う

対立仮説 H_1 : A グループと B グループは DEA 効率値において同一分布に従わない

であることを示している。

ここで、マン・ホイットニーの U 検定を行うために、次の U 統計量を求めることにする。

(1) U 統計量の計算

A グループと B グループにそれぞれ n_1 と n_2 個の事業体が属しているとする。 n_1 と n_2 が十分大きな値のとき ($n_1, n_2 \geq 20$) , 2 つのグループを 1 つにまとめ同一グループとし、DEA 分析を行う。得られた DEA 効率値の中で最も小さい値に 1 という順位を割り当て、その次に小さいものに 2 という順位を割り当てていく。なお順位の取り方は逆にしてもかまわない。この順位から統計量 U_1, U_2 の値は、

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - W_1, \quad (3)$$

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - W_2, \quad (4)$$

として計算され、 U_1 と U_2 の小さい値を U 統計量とする。ここで、 W_1 と W_2 はそれぞれ A グループと B グループに割り当てられた順位和である。

U の標本分布は、 $n_1, n_2 \geq 20$ の場合、

$$\text{平均: } E(U) = \frac{n_1 n_2}{2}, \quad (5)$$

$$\text{分散: } V(U) = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}, \quad (6)$$

の正規分布に近似されることがわかっている。実際に仮説検定を行う場合は、 U 値を正規化した値

$$Z = \frac{|U - E(U)|}{\sqrt{V(U)}} = \frac{|U - n_1 n_2 / 2|}{\sqrt{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1) / 12}}, \quad (7)$$

と、標準正規分布 $N(0,1)$ との比較で行われる。なお、事業体の数が小さいときは、 U の分布を直接計算して求められた統計数値表を使うのが一般的である。

(2) 効率値が同値の場合への対応

ここまではマン・ホイットニーの U 検定を DEA の分析結果に当てはめる場合、DEA 効率値が連続的な分布を持つものとして、すなわち、同じ効率値が存在しない(したがって、同順位が存在しない)ことを仮定している。しかしながら、その仮定にはかなりの無理があり、通常 DEA では、DEA 効率値が 1 となり効率的と判定される事業体が複数存在することが知られている。このように効率的な事業体数が多い場合には、乗数制約法などによって事業体数を減少させるなどして、効率的な事業体の再評価を行い、その結果に基づき順序化する対応が考えられる。

このような対応を行わず、事業体の同順位を許容する場合には、マン・ホイットニーの U 検定で一般的に行われる同順位に対して行われる、下記の分散の修正を適用することが考えられる。

$$V(U) = \left(\frac{n_1 n_2}{n(n-1)} \right) \left(\frac{n^3 - n}{12} - \sum_{i=1}^k \frac{(c_i^3 - c_i)}{12} \right) = \frac{n_1 n_2}{12(n^2 - n)} \left(n^3 - n - \sum_{i=1}^k (c_i^3 - c_i) \right), \quad (8)$$

ここで、 $n = n_1 + n_2$ であり、 c_i は i 番目の同順位の事業体数である。効率値が同値、すなわち、同順位に対する修正を U 値の正規化の際に用いると次の式となる。

$$Z^c = \frac{|U - n_1 n_2 / 2|}{\sqrt{\left(\frac{n_1 n_2}{n(n-1)} \right) \left(\frac{n^3 - n}{12} - \sum_{i=1}^k \frac{(c_i^3 - c_i)}{12} \right)}}. \quad (9)$$

また上記の手順とは別に文献[15]の 138 ページにある記述のように、「効率値に関して同じ値をとる場合には、同順位としてその平均順位を用いる」という簡易的な処理に基づく対応なども実用上考えられる。なお、上記のマン・ホイットニーの U 検定は、Inverted DEA に対してもそのまま適用可能である。

2.2.3. 最尤推定法とマン・ホイットニーの U 検定に関するグループ設定の注意点

最尤推定法に関する本論文の 2.2.1 の解説内容から、対立仮説 H_1 の内容は A グループと B グループを比較した際、A グループの方が「効率値が低い(DEA の場合は効率が悪い、Inverted DEA の場合は効率が良い)」ことを仮定して検定を行っていることになる。したがって、最尤推定法の適用の際にはグループ設定に関して注意を払う必要がある。

これに対し、マン・ホイットニーの U 検定に関する本論文の 2.2.3 の解説内容からは最尤推定法とは異なり、帰無仮説 H_0 と対立仮説 H_1 の内容から、A グループと B グループを比較した際、いずれかのグループの方が「効率値が高い低い」を仮定していない。したがって、マン・ホイットニーの U 検定の適用の際にはグループ設定に関して、いずれかのグループにしなければならないというような注意を払う必要はない。

以上から、本研究で取り扱うようなどちらかのグループが事前に想定可能な場合でない検証内容に関しては、特に最尤推定法の適用時、グループ設定の際には注意を払わなければならない。

3. 鉄道事業者の事業活動に対する効率性評価とその仮説検定

本研究の一連の分析結果[20,21,23,24,25,26,29,31]、さらに各年度の運輸白書[38]や国土交通白書[8]にも記述があるように、JR 本州 3 社については、三大都市圏の路線及び発足当初から新幹線を有していることから、大手私鉄と相対的に比較しても、概ね順調な経営を続けていると指摘されている。これに対し、JR 3 島会社については、発足当初より厳しい経営状況が続いていると指摘されている。

このように JR 旅客各社の中でも経営状況が大きく異なることから、本論文では大手私鉄と比較する際、本研究の第 8 報[31]のように JR 旅客 6 社を一まとまりとして分析するのではなく、分析対象期間の計 19 年間に新幹線を保有していた「JR 本州 3 社」の JR 東日本、JR 東海、JR 西日本と、新幹線を保有していなかった「JR 3 島会社と」の JR 北海道、JR 四国、JR 九州に 2 分割し、分析を行うこととする。したがって本論文では次の 2 つの仮説検定を行う。まず 1 つ目の仮説検定としては、「JR 本州 3 社と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か」を検証する。次に 2 つ目の仮説検定としては、「JR 3 島会社と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か」を検証する。次節以降、これらの設定を具体的に記述し、2 つの仮説検定の設定を具体的に挙げる。

加えて、本研究の第 8 報[31]において示した、「JR 旅客 6 社全体が大手私鉄 15 社と比較して事業活動に明らかな差があるか否か」と「JR 本州 3 社と JR 3 島会社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か」を統計学的に検証した際、パラメトリック検定の適用に関して本論文の 2.2.3 で示したグループ設定の注意点を考慮した結果を新たに示し、追加の考察を行う。

3.1. JR 本州 3 社と大手私鉄に対する 4 つの効率性の仮説検定

「JR 本州 3 社と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か」の検証として、事業活動を 4 つの効率性(コスト性、生産性、収益性、企業性)と捉え、それぞれ仮説検定を行うこととする。各々の効率性評価において、19 年間の鉄道事業者各社を分析対象とするため、DMU の総数

は $n=399$ ($=21 \times 19$) とし、DEA と Inverted DEA によりそれぞれ分析する。なお、この分析では第 8 報[31]の結果として与えられているので、それらを利用する。

そして、JR 本州 3 社を A グループ、大手私鉄 15 社を B グループとして 2 グループに設定する。したがって、A グループに属する DMU の総数は $n_1=57$ ($=3 \times 19$) となり、B グループに属する DMU の総数は $n_2=285$ ($=15 \times 19$) となる。これらに対してパラメトリック検定としての最尤推定法と、ノンパラメトリック検定としてのマン・ホイットニーの U 検定を適用し、事業活動の差の仮説検定を行う。

ただし、最尤推定法におけるグループ設定においては、本論文の 2.2.3 で指摘した最尤推定法におけるグループ設定の注意点に従い、DEA と Inverted DEA のそれぞれにおいて平均効率値の高いグループを A グループとし、平均効率値の低いグループを B グループとして仮説検定を行うこととする。すなわち、上記では「A グループを JR 本州 3 社、B グループを大手私鉄 15 社」と仮に設定したが、JR 本州 3 社グループの平均効率値が高い場合には、「A グループを大手私鉄 15 社、B グループを JR 本州 3 社」と適宜変更して本論文では検定を行うこととする。

3.2. JR 3 島会社と大手私鉄に対する 4 つの効率性の仮説検定

「JR 3 島会社と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か」の検証として、ここでも事業活動を 4 つの効率性(コスト性、生産性、収益性、企業性)と捉え、それぞれ仮説検定を行うこととする。各々の効率性評価において、19 年間の鉄道事業者各社を分析対象とするため、DMU の総数は $n=399$ ($=21 \times 19$) とし、DEA と Inverted DEA によりそれぞれ分析する。なお、この分析では第 8 報[31]の結果として与えられているので、前節と同様にそれらを利用する。

そして、JR 3 島会社を A グループ、大手私鉄 15 社を B グループとして 2 グループに設定する。したがって、A グループに属する DMU の総数は $n_1=57$ ($=3 \times 19$) となり、B グループに属する DMU の総数は $n_2=285$ ($=15 \times 19$) となる。これらに対してパラメトリック検定としての最尤推定法と、ノンパラメトリック検定としてのマン・ホイットニーの U 検定を適用し、事業活動の差の仮説検定を行う。

ただし、ここでも最尤推定法におけるグループ設定においては、前節同様に本論文の 2.2.3 で指摘した最尤推定法におけるグループ設定の注意点に従い、DEA と Inverted DEA のそれぞれにおいて平均効率値の高いグループを A グループとし、平均効率値の低いグループを B グループとして仮説検定を行うこととする。すなわち、上記では「A グループを JR 3 島会社、B グループを大手私鉄 15 社」と仮に設定したが、JR 3 島会社グループの平均効率値が高い場合には、「A グループを大手私鉄 15 社、B グループを JR 3 島会社」と適宜変更して本論文では検定を行うこととする。

3.3. 本研究の第 8 報におけるパラメトリック検定の適用時のグループ設定変更の結果

本研究の第 8 報[31]において示した、「JR 旅客 6 社全体が大手私鉄 15 社と比較して事業活動に明らかな差があるか否か」の分析の際には、JR 旅客 6 社全体を A グループ、大手私鉄 15 社を B グループとして 2 グループに固定化して設定し、そして「JR 本州 3 社と JR 3 島会社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か」の分析の際には、JR 本州 3 社を A グループ、JR 3 島会社を B グループとして 2 グループに固定化して設定し、これらに対してパラメトリック検定としての最尤推定法と、ノ

ンパラメトリック検定としてのマン・ホイットニーの U 検定を適用し、事業活動の差の仮説検定を行った。

しかし、本研究の第 8 報[31]の 2 つの仮説検定のグループ設定においても前節同様に本論文の 2.2.3 で示した最尤推定法におけるグループ設定の注意点に従い、DEA と Inverted DEA のそれぞれにおいて平均効率値の高いグループを A グループとし、平均効率値の低いグループを B グループとして改めて仮説検定を行う必要があると考えた。すなわち、「JR 旅客 6 社全体が大手私鉄 15 社と比較して事業活動に明らかな差があるか否か」の分析の場合では「A グループを JR 旅客 6 社全体、B グループを大手私鉄 15 社」と固定化して設定したが、JR 旅客 6 社全体グループの平均効率値の方が高い場合には、「A グループを大手私鉄 15 社、B グループを JR 旅客 6 社全体」などとして適宜グループの設定を変更し、改めて検証結果を本論文において示すこととする。

4. 分析結果と考察

4.1. 事業活動に対する 4 つの効率性に関する DEA と Inverted DEA の結果

本論文では、第 8 報[31]と同様に JR 旅客 6 社と大手私鉄 15 社の計 21 社、19 年間の事業活動を分析対象とするため、まず、DMU の総数 $n=399$ ($=21 \times 19$) に対して、4 つの効率性(コスト性、生産性、収益性、企業性)それぞれに関して、DEA と Inverted DEA によりそれぞれ分析する。したがって、企業の側面である「効率性の追求」の面を評価した DEA の結果は第 8 報[31]の表 3 から表 6 であり、公共的側面である「非効率性の改善」の面を評価した Inverted DEA の結果は第 8 報[31]の表 7 から表 10 であるので、本論文では改めて分析せず、それぞれ示されたものをそのまま利用する。

4.2. JR 本州 3 社と大手私鉄に対する 4 つの効率性の仮説検定に関する結果と考察

本研究の第 8 報[31]の表 3 から表 10 の結果に基づいて、「JR 本州 3 社と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か」の検証をするために 3.1 節において設定した分析の枠組みで、パラメトリック検定としての最尤推定法と、ノンパラメトリック検定としてのマン・ホイットニーの U 検定を適用した結果が、それぞれ表 3 と表 4 である。

表 3： JR 本州 3 社と大手私鉄に対する 4 つの効率性に関する DEA の検定結果

	最尤推定量				マン・ホイットニーのU検定		
	統計量		平均DEA効率値		統計量	平均順位(効率値の小さい順)	
	指数分布：式(1)	半正規分布：式(2)	JR本州3社	大手私鉄	z値：式(9)	A：JR本州3社	B：大手私鉄
コスト性	1.7401 **	2.8644 **	A：0.6563	B：0.7654	6.9663 **	88.211	188.158
生産性	1.1274	1.2555	A：0.7659	B：0.7870	1.2540	156.500	174.500
収益性	2.1857 **	3.5379 **	B：0.7180	A：0.5044	9.1074 **	280.386	149.723
企業性	1.0168	0.8606	B：0.8491	A：0.8417	0.8394	161.456	173.509

注) * : $P < 0.05$ ** : $P < 0.01$

表 4： JR 本州 3 社と大手私鉄に対する 4 つの効率性に関する Inverted DEA の検定結果

	最尤推定量				マン・ホイットニーのU検定		
	統計量		平均IDEA非効率値		統計量	平均順位(非効率値の小さい順)	
	指数分布：式(1)	半正規分布：式(2)	JR本州3社	大手私鉄	z値：式(9)	A：JR本州3社	B：大手私鉄
コスト性	2.1444 **	2.6683 **	B：0.8707	A：0.7444	6.9333 **	254.395	154.921
生産性	1.8395 **	2.9508 **	A：0.4988	B：0.6579	10.3754 **	47.456	196.309
収益性	3.4269 **	10.7750 **	A：0.5048	B：0.7746	11.6184 **	32.596	199.281
企業性	1.3311 *	1.7373 **	B：0.5995	A：0.5263	8.3252 **	271.035	151.593

注) *：P<0.05 **：P<0.01

表 3 の検定結果から、企業的側面である「効率性の追求」の面を分析した DEA の結果は、コスト性と収益性が、各々の分布を仮定した最尤推定法において、有意水準 1% で帰無仮説 H_0 が棄却される結果となった。そして、検出力が高いとされるマン・ホイットニーの U 検定においても、コスト性と収益性に関して、有意水準 1% で帰無仮説 H_0 が棄却され、「A グループ(JR 本州 3 社)と B グループ(大手私鉄 15 社)は DEA 効率値において同一分布に従わない」結果となった。すなわち、分布を仮定する場合も仮定しない場合も、企業的側面においては同様にコスト性と収益性に関して「JR 本州 3 社と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差がある」ことが統計的に確認できた。しかし、生産性と企業性に関しては明らかな差は確認できなかった(すなわち同程度)。コスト性と収益性に関して JR 本州 3 社と大手私鉄 15 社の両者の優劣に関して、DEA 効率値に対する両者の平均値と平均順位から判断すると、コスト性においては JR 本州 3 社が劣っており、収益性においては JR 本州 3 社が優れている結果となった。

表 4 の検定結果から、公共的側面である「非効率性の改善」の面を分析した Inverted DEA の結果は、4 つの効率性のすべてで最尤推定法において、有意水準 1% (指数分布を仮定の企業性のみ有意水準 5%) で帰無仮説 H_0 が棄却される結果となった。そして、マン・ホイットニーの U 検定においては、4 つの効率性のすべてに関して、有意水準 1% で帰無仮説 H_0 が棄却され、「A グループ(JR 本州 3 社)と B グループ(大手私鉄 15 社)は IDEA 非効率値において同一分布に従わない」結果となった。すなわち、分布を仮定する場合も仮定しない場合も、公共的側面においては同様に 4 つの効率性のすべてに関して「JR 本州 3 社と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差がある」ことが統計的に確認できた。4 つの効率性のすべてに関して JR 本州 3 社と大手私鉄 15 社の両者の優劣に関して、IDEA 非効率値に対する両者の平均値と平均順位から判断すると、コスト性と企業性においては JR 本州 3 社が劣っており、生産性と収益性においては JR 本州 3 社が優れている結果となった。

これらの結果から、最尤推定法はマン・ホイットニーの U 検定とほぼ同様の検出力であったことが確認できた。これらを踏まえ、表 3 の企業的側面と表 4 の公共的側面の両面の検定結果をまとめるならば、コスト性と収益性に関して「JR 本州 3 社と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差がある」ことが統計的に確認される結果となった。そして、コスト性においては JR 本州 3 社が明らかに劣っており、収益性においては JR 本州 3 社が明らかに優れていると判断できる結果となった。加えて、生産性においては、JR 本州 3 社は大手私鉄 15 社と比較して同程度ないしは優れており、企業性においては、JR 本州 3 社は大手私鉄 15 社と比較して同程度ないしは劣っていると言えるだろう。

4.3. JR 3 島会社と大手私鉄に対する 4 つの効率性の仮説検定に関する結果と考察

本研究の第 8 報[31]の表 3 から表 10 の結果に基づいて、「JR 3 島会社と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か」の検証をするために 3.2 節において設定した分析の枠組みで、パラメトリック検定としての最尤推定法と、ノンパラメトリック検定としてのマン・ホイットニーの U 検定を適用した結果が、それぞれ表 5 と表 6 である。

表 5： JR 3 島会社と大手私鉄に対する 4 つの効率性に関する DEA の検定結果

	最尤推定量				マン・ホイットニーのU検定		
	統計量		平均DEA効率値		統計量	平均順位(効率値の小さい順)	
	指数分布：式(1)	半正規分布：式(2)	JR 3島会社	大手私鉄	z値：式(9)	A：JR3島会社	B：大手私鉄
コスト性	1.1208	1.1883	B： 0.7879	A： 0.7654	1.0581	184.158	168.968
生産性	4.3335 **	16.5447 **	A： 0.4583	B： 0.7870	11.9119 **	29.088	199.982
収益性	1.2597 *	1.4587 *	A： 0.4344	B： 0.5044	6.0168 **	99.561	185.888
企業性	4.0186 **	15.5569 **	A： 0.5732	B： 0.8417	11.9148 **	29.053	199.989

注) *：P<0.05 **：P<0.01

表 6： JR 3 島会社と大手私鉄に対する 4 つの効率性に関する Inverted DEA の検定結果

	最尤推定量				マン・ホイットニーのU検定		
	統計量		平均IDEA非効率値		統計量	平均順位(非効率値の小さい順)	
	指数分布：式(1)	半正規分布：式(2)	JR 3島会社	大手私鉄	z値：式(9)	A：JR3島会社	B：大手私鉄
コスト性	1.6328 **	2.3303 **	B： 0.8264	A： 0.7444	5.2919 **	234.772	158.846
生産性	1.0420	1.0903	B： 0.6684	A： 0.6579	0.0514	170.877	171.625
収益性	1.0694	1.0771	A： 0.7592	B： 0.7746	0.5533	164.877	172.825
企業性	2.7076 **	6.0437 **	B： 0.7609	A： 0.5263	11.8678 **	313.386	143.123

注) *：P<0.05 **：P<0.01

表 5 の検定結果から、企業的側面である「効率性の追求」の面を分析した DEA の結果は、生産性、収益性と企業性が、各々の分布を仮定した最尤推定法において、有意水準 1% (両分布の仮定の収益性のみ有意水準 5%) で帰無仮説 H_0 が棄却される結果となった。そして、検出力が高いとされるマン・ホイットニーの U 検定においても、生産性、収益性と企業性に関して、有意水準 1% で帰無仮説 H_0 が棄却され、「A グループ(JR 3 島会社)と B グループ(大手私鉄 15 社)は DEA 効率値において同一分布に従わない」結果となった。すなわち、分布を仮定する場合も仮定しない場合も、企業的側面においては同様に生産性、収益性と企業性に関して「JR 3 島会社と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差がある」ことが統計的に確認できた。しかし、コスト性に関しては明らかな差は確認できなかった(すなわち同程度)。生産性、収益性と企業性に関して JR 3 島会社と大手私鉄 15 社の両者の優劣に関して、DEA 効率値に対する両者の平均値と平均順位から判断すると、いずれにおいても JR 3 島会社が劣っている結果となった。

表 6 の検定結果から、公共的側面である「非効率性の改善」の面を分析した Inverted DEA の結果は、コスト性と企業性が、各々の分布を仮定した最尤推定法において、有意水準 1% で帰無仮説 H_0 が棄却される結果となった。そして、マン・ホイットニーの U 検定においては、コスト性と企業性に関して、有意水準 1% で帰無仮説 H_0 が棄却され、「A グループ(JR 3 島会社)と B グループ(大手私鉄 15 社)は IDEA

非効率値において同一分布に従わない」結果となった。すなわち、分布を仮定する場合も仮定しない場合も、公共的側面においては同様にコスト性と企業性に関して「JR 3 島会社と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差がある」ことが統計的に確認できた。しかし、生産性と収益性に関しては明らかな差は確認できなかつた(すなわち同程度)。コスト性と企業性に関して JR 3 島会社と大手私鉄 15 社の両者の優劣に関して、IDEA 非効率値に対する両者の平均値と平均順位から判断すると、コスト性と企業性においては JR 3 島会社が劣っている結果となった。

これらの結果から、最尤推定法はマン・ホイットニーの U 検定とほぼ同様の検出力であったことが確認できた。これらを踏まえ、表 5 の企業的側面と表 6 の公共的側面の両面の検定結果をまとめるならば、企業性に関して「JR 3 島会社と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差がある」ことが統計的に確認される結果となった。そして、企業性においては JR 3 島会社が明らかに劣っていると判断できる結果となった。加えて、コスト性、生産性と収益性においては、JR 3 島会社は大手私鉄 15 社と比較して同程度ないしは劣っていると言えるだろう。

4.4. 本研究の第 8 報におけるパラメトリック検定の適用時のグループ設定変更の結果と考察

本研究の第 8 報[31]の表 11 から表 14 の結果に関して、本論文の 3.4 節において示したように最尤推定法における A グループと B グループのグループ設定を適宜変更し、パラメトリック検定としての最尤推定法と、ノンパラメトリック検定としてのマン・ホイットニーの U 検定を適用したそれぞれの結果(変更版)が表 7 から表 10 である。

表 7: JR 旅客 6 社全体と大手私鉄に対する 4 つの効率性に関する DEA の検定結果

	最尤推定量				マン・ホイットニーのU検定		
	統計量		平均DEA効率値		統計量 z値:式(9)	平均順位(効率値の小さい順)	
	指数分布:式(1)	半正規分布:式(2)	JR旅客6社全体	大手私鉄		A:JR旅客6社全体	B:大手私鉄
コスト性	1.3161 **	1.8530 **	A: 0.7221	B: 0.7654	3.8682 **	164.684	214.126
生産性	2.7304 **	8.9001 **	A: 0.6121	B: 0.7870	8.6213 **	121.294	231.482
収益性	1.1647	1.1485	B: 0.5762	A: 0.5044	2.0232 *	218.474	192.611
企業性	2.5010 **	8.3595 **	A: 0.7111	B: 0.8417	8.3518 **	123.754	230.498

注) *: P<0.05 ** : P<0.01 【変更版:最尤推定量】

表 8: JR 旅客 6 社全体と大手私鉄に対する 4 つの効率性に関する Inverted DEA の検定結果

	最尤推定量				マン・ホイットニーのU検定		
	統計量		平均IDEA非効率値		統計量 z値:式(9)	平均順位(非効率値の小さい順)	
	指数分布:式(1)	半正規分布:式(2)	JR旅客6社全体	大手私鉄		A:JR旅客6社全体	B:大手私鉄
コスト性	1.8540 **	2.4879 **	B: 0.8486	A: 0.7444	8.0054 **	273.083	170.767
生産性	1.3996 **	1.9340 **	A: 0.5836	B: 0.6579	6.8278 **	137.667	224.933
収益性	2.2481 **	5.9261 **	A: 0.6320	B: 0.7746	7.9703 **	127.237	229.105
企業性	1.7848 **	2.6988 **	B: 0.6802	A: 0.5263	13.2227 **	320.711	151.716

注) *: P<0.05 ** : P<0.01 【変更版:最尤推定量】

表 9: JR 旅客の本州 3 社 と 3 島会社に対する 4 つの効率性に関する DEA の検定結果

	最尤推定量				マン・ホイットニーのU検定		
	統計量		平均DEA効率値		統計量 z値:式(9)	平均順位(効率値の小さい順)	
	指数分布:式(1)	半正規分布:式(2)	3島会社	本州3社		A:3島会社	B:本州3社
コスト性	1.9502 **	3.4039 **	B: 0.7879	A: 0.6563	5.8202 **	75.526	39.474
生産性	3.8440 **	13.1781 **	A: 0.4583	B: 0.7659	9.1298 **	29.228	85.772
収益性	2.7533 **	5.1606 **	A: 0.4344	B: 0.7180	8.8975 **	29.947	85.053
企業性	4.0862 **	13.3882 **	A: 0.5732	B: 0.8491	9.2035 **	29.000	86.000

注) *: P<0.05 ** : P<0.01 【変更版:最尤推定量】

表 10： JR 旅客の本州 3 社と 3 島会社に対する 4 つの効率性に関する Inverted DEA の検定結果

	最尤推定量				マン・ホイットニーのU検定		
	統計量		平均IDEA非効率値		統計量	平均順位(非効率値の小さい順)	
	指数分布：式(1)	半正規分布：式(2)	3島会社	本州3社	z値：式(9)	A：3島会社	B：本州3社
コスト性	1.3133	1.1450	A：0.8264	B：0.8707	2.8733 **	48.596	66.404
生産性	1.9167 **	3.2174 **	B：0.6684	A：0.4988	8.6141 **	84.175	30.825
収益性	3.2046 **	10.0034 **	B：0.7592	A：0.5048	8.8918 **	85.035	29.965
企業性	2.0341 **	3.4788 **	B：0.7609	A：0.5995	8.1381 **	82.702	32.298

注) * : P<0.05 ** : P<0.01 【変更版：最尤推定量】

表 7 から表 10 の検定結果より、これらにおいても最尤推定法とマン・ホイットニーの U 検定の結果がほぼ一致することとなった。これらの結果は本研究の第 8 報[31]の表 11 から表 14 の結果と比較してだいぶ異なる状況となった。言い換えるならば、最尤推定法においては適切にグループ設定を行うことでマン・ホイットニーの U 検定の検定結果がほとんど違いのない結果を導くことができるといえ、いずれの方法も検出力という点において甲乙つけがたいとも言えるだろう。

なお、本研究の第 8 報[31]の表 13 は印刷編集過程においてミスがあり、表 12 の内容が表 13 として二重掲載となってしまったので、以下に本来の表 13 の結果を示す。ただし、論文[31]における表 13 の結果に関する考察は本来の以下の表に基づくものであり、記載内容には誤りはない。

表 11： JR 旅客の本州 3 社と 3 島会社に対する 4 つの効率性に関する DEA の検定結果

	最尤推定量				マン・ホイットニーのU検定		
	統計量		平均DEA効率値		統計量	平均順位	
	指数分布：式(1)	半正規分布：式(2)	A：3島会社	B：本州3社	z値：式(9)	A：3島会社	B：本州3社
コスト性	0.5128	0.2938	0.7879	0.6563	5.8202 **	75.526	39.474
生産性	3.8440 **	13.1781 **	0.4583	0.7659	9.1298 **	29.228	85.772
収益性	2.7533 **	5.1606 **	0.4344	0.7180	8.8975 **	29.947	85.053
企業性	4.0862 **	13.3882 **	0.5732	0.8491	9.2035 **	29.000	86.000

注) * : P<0.05 ** : P<0.01 (【論文[31]の訂正版】表13：JR旅客の本州3社と3島会社に対する4つの効率性に関するDEAの検定結果)

5. おわりに

本研究の目的は、「国鉄の分割・民営化」から約 33 年が経過し、「本当に JR は国鉄時代の事業活動から、大手私鉄並みの事業活動に改善されたか」を、改善効果が純粋に検証可能であろう 20 年間程度(正確には計 19 年間)のデータに基づき、DEA の諸手法を用いて実証的に検証、評価することである。そして、第 9 報である本論文では、一連の本研究[20,21,23,24,25,26,29,31]を踏まえ、総合的な分析・評価を行った第 4 段である。具体的に記述するならば、第 8 報[31]における分析の枠組みを踏襲し、国鉄の分割・民営化後 19 年を対象に、4 つの効率性(コスト性、生産性、収益性、企業性)に関する DEA と Inverted DEA の各効率値の推移結果に対して、4.2 節では「JR 本州 3 社(JR 東日本、JR 東海、JR 西日本)と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か」に関して、そして、4.3 節では「JR 3 島会社(JR 北海道、JR 四国、JR 九州)と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差があるか否か」に関して統計学的に仮説検定を行い、その考察を行った。

論文[29,31]の記述にもあるように、そもそも JR 旅客各社は発足の当初から、地元地域の公共交通を

維持するため採算性の悪いローカル線を多く抱え、すぐには廃止できない状況であるから、大手私鉄のようなレベルの効率的な事業活動は無理である、という指摘もある。しかし、本研究の一連の分析結果[20,21,23,24,25,26,29,31]、さらに各年度の運輸白書[38]や国土交通白書[8]にも記述があるように、JR 本州 3 社については、三大都市圏の路線及び新幹線を有していることから、大手私鉄と相対的に比較しても、概ね順調な経営を続けていると指摘されている。加えて、JR 3 島会社については、発足当初より厳しい経営状況が続いていると指摘されている。これら実際の状況と本論文の 4 章の検定結果を照し合せると、「JR 本州 3 社と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差がある」ことはコスト性と収益性に関してのみ統計的に確認でき、コスト性においては JR 本州 3 社が明らかに劣っているが、収益性においては JR 本州 3 社が明らかに優れていると判断できた。生産性においては、JR 本州 3 社は同程度ないしは優れており、企業性においては、JR 本州 3 社は同程度ないしは劣っていると判断できるだろう。そして、「JR 3 島会社と大手私鉄 15 社とを比較して事業活動に明らかな差がある」ことは企業性に関してのみ統計的に確認でき、企業性においては JR 3 島会社が明らかに劣っていると判断できた。コスト性、生産性と収益性においては、JR 3 島会社は同程度ないしは劣っていると判断できるだろう。

これらをまとめると、JR 本州 3 社については、ローカル線を多く抱えているが三大都市圏の路線及び新幹線を保有していることから、コスト性においては明らかに大手私鉄に及ばないが、収益性においては明らかに大手私鉄よりも優れていると言え、生産性においては同等ないしは優れており、企業性においては同等ないしは劣っていることが言えるだろう。また、JR 3 島会社については、ローカル線を多く抱えており、三大都市圏の路線及び新幹線を保有していないので、企業性において明らかに大手私鉄に及ばないと言え、コスト性、生産性と収益性に関しては同等ないしは劣っていることが言えるだろう。これらの点が本論文によって検証できたことは、国鉄の分割・民営化という政策決定が妥当であったかを議論する上で、重要な資料を提示できたと考える。なお鉄道事業者の事業活動に対する総合的な分析・評価は、次回以降の論文においても詳しく報告する予定である。

最後に本論文では、パラメトリック検定としての最尤推定法とノンパラメトリック検定としてのマン・ホイットニーの U 検定の検出力について新たな見解を導く結果となった。詳しく述べるならば、本論文の 3.4 節において示したようにパラメトリック検定としての最尤推定法における A グループと B グループのグループ設定を適宜変更した検定結果である表 3 から表 6 によれば、パラメトリック検定としての最尤推定法とノンパラメトリック検定としてのマン・ホイットニーの U 検定の結果がほぼ一致することとなった。一般的にマン・ホイットニーの U 検定の検出力は他と比べて高いとされているが、これらの結果は 4.4 節でも記述したが第 8 報[31]の表 11 から表 14 の結果と比較してだいぶ異なる状況となった。言い換えるならば、最尤推定法においては適切にグループ設定を行うことでマン・ホイットニーの U 検定の検定結果がほとんど変わらない結果を導くことができるといえ、いずれの方法も検出力という点において甲乙つけがたいとも言えるだろう。ただ、検出力が同等だとしてもマン・ホイットニーの U 検定は、最尤推定法のように効率値の分布において指数分布や半正規分布などの仮

定を必要としないので現実的であるとも言え、実用性の高さが利点であると考え。

謝辞

本論文の査読者の方々からは大変有益なコメントと指摘をいただきました。ここに心から感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Banker,R.D. : Maximum Likelihood, Consistency and Data Envelopment Analysis : A Statistical Foundation, *Management Science*, Vol.39 (1993), 1265-1273.
- [2] Banker,R.D. and Maindiratta,A. : Maximum Likelihood Estimation of Monotone and Concave Production Frontiers, *The Journal of Productivity Analysis*, Vol.3 (1992), 401-425.
- [3] Brockett,P.L. and Golany,B. : Using Rank Statistic or Determining Programmatic Efficiency Differences in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, Vol.42 (1996), 466-472.
- [4] Charnes,A., Clark,T., Cooper,W.W. and Golany,B. : A Developmental Study of Data Envelopment Analysis in Measuring the Efficiency of Maintenance Units in the U.S. Air Force, Thompson,R.G. and Thrall,R.M. (eds.), *Annals of Operations Research*, Vol.2 (1985), 95-112.
- [5] Charnes,A., Cooper,W.W. and Rhodes,E. : Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, Vol.2 (1978), 429-444.
- [6] Cooper,W.W., Seiford,L.M. and Tone,K. : *Data Envelopment Analysis : A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [7] Cooper,W.W., 刀根薫, 高森寛, 末吉俊幸 : DEA の解釈と展望 その 1-3, *オペレーションズ・リサーチ*, Vol.39 (1994), 419-425, 480-485 and 547-555.
- [8] 国土交通省 : 国土交通白書 各年度, 財務省印刷局, 2002~2007.
- [9] 国土交通省鉄道局 : 鉄道統計年報 各年度, 政府資料等普及調査会, 2002~2007.
- [10] 栗原伸一 : 入門統計学 — 検定から多変量解析・実験計画法まで —, オーム社, 2011.
- [11] 中島隆信, 福井義高 : 日本の鉄道事業の全要素生産性, *運輸と経済*, Vol.56 (1996), 32-40.
- [12] 野坂晃一, 増田克実 : 移動平均線の新しい読み方, かんき出版, 2010.
- [13] 織田恭司, 大坪嘉章 : 国鉄民営化以降の鉄道事業の全要素生産性, *運輸と経済*, Vol.60 (2000), 52-60.
- [14] 坂元純一 : DEA を用いた第三セクター鉄道の効率性, *オペレーションズ・リサーチ*, Vol.42 (1997), 488-492.
- [15] 末吉俊幸 : DEA — 経営効率分析法 —, 朝倉書店, 2001.
- [16] Sueyoshi,T., Goto,M. and Sugiyama,M. : DEA window analysis for environmental assessment in a dynamic time shift: Performance assessment of U.S. coal-fired power plants, *Energy Economics*, Vol.40 (2013), 845-857.
- [17] 末吉俊幸, 町田浩, 杉山学, 新井健, 山田善靖 : 国鉄の分割・民営化とその企業効率変化 : DEA 時系列分析による実証研究, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol.40 (1997), 186-205.
- [18] 杉山学 : 事業体の総合評価手法 — 電力事業体の効率性評価の事例 —, *経営システム*, Vol.15 (2005), 239-244.
- [19] 杉山学 : 電力自由化後の電力各社の生産性推移, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.14 (2007), 131-153.
- [20] 杉山学 : データ包絡分析法による JR と大手私鉄の事業活動効率比較のための時系列業績データ基礎分析 — 各種業績データに基づく JR 旅客各社の推移 —, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.15 (2008), 53-70.

- [21] 杉山学：データ包絡分析法による JR と大手私鉄の事業活動効率比較 — DEA/ウィンドー分析による JR 旅客各社の推移 —, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.16 (2009), 61-82.
- [22] 杉山学：経営効率分析のための DEA と Inverted DEA — 基本概念と方法論から、主観的な判断を加味できる応用モデルまで —, 静岡学術出版, 2010.
- [23] 杉山学：データ包絡分析法による JR と大手私鉄の事業活動効率比較 — Inverted DEA/ウィンドー分析による JR 旅客各社の推移 —, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.17 (2010), 47-69.
- [24] 杉山学：データ包絡分析法による JR と大手私鉄の事業活動効率比較 — DEA と Inverted DEA のウィンドー分析による大手私鉄各社(在東日本)の推移 —, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.18 (2011), 67-96.
- [25] 杉山学：データ包絡分析法による JR と大手私鉄の事業活動効率比較 — DEA と Inverted DEA のウィンドー分析による大手私鉄各社(在西日本)の推移 —, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.19 (2012), 17-45.
- [26] 杉山学：データ包絡分析法による JR と大手私鉄の事業活動効率比較 — ウィンドー分析の結果に対するローソク足を用いたグラフ化の提案と鉄道各社の比較結果 —, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.20 (2013), 33-48.
- [27] 杉山学：わが国の電力各社の生産性に対する DEA と Inverted DEA を用いた時系列評価 — 電力自由化前後の計 21 年間の推移 —, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.22 (2015), 39-55.
- [28] 杉山学：電力自由化後の電力各社の生産性に対する DEA と Inverted DEA を用いた時系列評価, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.23 (2016), 33-54.
- [29] 杉山学：データ包絡分析法による JR と大手私鉄の事業活動効率比較 — 国鉄の分割・民営化後 19 年間の JR 旅客各社の推移に対するグラフ化表現を用いた時系列評価 —, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.24 (2017), 33-53.
- [30] 杉山学：DEA と Inverted DEA のノンパラメトリック検定を用いたわが国の電力各社の生産性に対する電力自由化の効果検証, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.25 (2018), 59-69.
- [31] 杉山学：JR と大手私鉄の事業活動効率に対する DEA と Inverted DEA のノンパラメトリック検定を用いた比較検証, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.26 (2019), 55-71.
- [32] Sugiyama,M. and Sueyoshi,T. : Finding a Common Weight Vector of Data Envelopment Analysis Based upon Bargaining Game, *Studies in Engineering and Technology*, Vol.1 (2014), 13-21.
- [33] 杉山学, 山田善靖 : 事業体間の相互評価情報を用いた調和的な効率性評価法, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol.39 (1996), 159-175.
- [34] Sugiyama,M. and Yamada,Y. : Data Envelopment Analysis Using Virtual DMU as Intermediates : An Application to Business Analysis of Japan's Automobile Manufactures, *Journal of Japan Industrial Management Association*, Vol.50 (2000), 341-354.
- [35] 杉山学, 山田善靖 : DEA と合意形成, *オペレーションズ・リサーチ*, Vol.46 (2001), 284-289.
- [36] 刀根薫 : 経営効率性の測定と改善 — 包絡分析法 DEA による —, 日科技連, 1993.
- [37] 刀根薫, 上田徹 監訳 : 経営効率評価ハンドブック — 包絡分析法の理論と応用 —, 朝倉書店, 2000.
- [38] 運輸省 : 運輸白書 各年度, 大蔵省印刷局, 1986~2001.
- [39] 運輸省交通局 : 鉄道統計年報 各年度, 政府資料等普及調査会, 1987~2001.
- [40] 山田善靖, 松井知己, 杉山学 : DEA モデルに基づく新たな経営効率性分析法の提案, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol.37 (1994), 158-168.
- [41] 山田善靖, 末吉俊幸, 杉山学, 貫名忠好, 牧野智謙 : 日本的経営の為の DEA 法 : 日本経済に果たす公共事業投資の役割, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol.38 (1995), 381-397.