

「問題解決型授業」の考察

—ゼミ学生の企業分析と就活支援—

新 村 秀 一

1. はじめに

本学の教育改革の一環として「問題解決型授業」が取り上げられている。筆者の企業人時代からの主張は、「使いやすい統計ソフトや数理計画法ソフトを使いこなせば、分析したい対象がデータや数式で捉えることができる現実の問題を、誰でも簡単に解決できる」という点である。

本稿では、ゼミ学生が数理計画法のLINGOで新村（2011a）が準備した企業の経営効率性分析手法のDEA法の汎用モデルを用いて作成したレポートの概要を紹介する。学生がテーマを決めてExcelにデータを集めた時点でデータを提出させ、学生指導のため事前に分析し指導を行っている。本稿はその概略である。DEA法は統計分析と異なり、効率的な企業と非効率な企業をDEA効率値という指標で教えてくれる。その結果は何故か、あるいは正しいのか否かを具体的な事実と紐付け、場合によっては従来のDEA研究を否定あるいは改善していく必要がある。そこでDEAの結果が正しいか否かを、2014年度からの学生に統計ソフトのJMP [8] で分析することを要求した。JMPを用いた統計実習は2012年より授業で行っていないので躊躇していたが、使いやすいので少しの説明で私が開発した分析手順を理解し分析してくれた。それをレポートにまとめて提出し、ゼミ発表してもらうことを25回繰り返した。学生の提出レポートの改定は池田君が11版、石塚くんが9版になった。これは過去の修士の吉田君の卒業論文の15版に次ぐ実績で、岡野さんの6版を越える結果になった。学生には「レポートは見てくれが重要。汚いレポートは内容が良くても、企業では誰も見てくれない」と指導している。手間がかかるが、まともなレポートも書けない学生を卒業させれば、多くの卒業生は一生書けないであろう。以上のように、1) テーマを決め、2) データを集め、3) 正しい分析を行い、4) 分析結果の正しい解釈とそれが現実を説明できるかどうかを具体的事実で検証し、5) 読めるレポートを作成する問題解決型の授業は大変であるが、ゼミなどで経験させる必要がある。しかし2012年から始めたが、テーマを企業評価に絞ったのは2013年からである。就職希望業種に絞れば、学生にとっても企業研究の一助になるからと漸くたどり着いた。また学生が希望すれば、学会発表のためPower Pointでの発表も指導しているが、今年のゼミ生はクラブ活動が重要であると最初から断りが入った。

ここでとりあげる統計と数理計画法は旧態依然とした座学での統計学や数理計画法とは

一線を画している。それらは、一部の研究者や専門家養成の学部/学科あるいは大学院で行えばよい。例えば大学の研究者であっても、研究成果を統計分析や最適化ソフトで分析したい人は、「学生と同じく世界最高水準で使いやすい統計ソフトや数理計画法ソフトに習熟し活用すれば、知的生産性を高めることができる」。即ち、統計や数理計画法の「専門家」と、その成果を利用し問題解決を図りたい「賢いユーザー」は、その教育や学習法は分けて考える必要がある。

2. 専門家教育からユーザー教育の独立の必要性

2.1 ICTの中核は統計ソフトと数理計画法ソフトによる問題解決学の繰り返し実体験である

近年注目を集めているICT活用の源流は、コンピュータをプラットフォームとした情報処理技術である。この歴史は『意思決定支援システムの鍵 (新村, 1993)』に詳しい。即ち、コンピュータは真空管・トランジスタ・半導体といった技術の進歩に伴い、個人がその恩恵を享受できるPCにたどりついた。コンピュータ言語も第1世代の機械語、第2世代のアsembler、第3世代のFortran, Basic, COBOL, Cといった高水準言語と発展してきた。その上で便利で使いやすいエンドユーザー言語が現われ、筆者は「これからは第3世代言語のFortranやCやBasicに代わって第4世代言語を大学で教育する時代である」と主張した。その上で、第4世代言語の代表として統計ソフトのSASと数理計画法ソフトのLINDOを取り上げたが、現在は学生でもそれほど勉強せずに使いこなせるJMP(Sall他, 2004)とLINGO(Schrage, 2003)になった。コンピュータは人間の頭脳を外延化した機械であり、基本は人間の能力をはるかに超えた数値計算能力にある。このため、数学を基礎とする統計や数理計画法といった分析系のソフトが応用ソフトとしていち早く開発された。その後、扱えるbitが8bit, 16bit, 32bit, 64bitに拡大するにつれ文字や音声あるいは画像の処理が容易になり、応用ソフトの分野も広がってきた。統計ソフトの近縁にある会計ソフトや設計に使われるCADシステムを例にとれば、便利な応用ソフトが開発された分野は、仕事の仕方が大きく影響を受ける。即ち、頭脳の機能が多少劣っていても、便利で高機能なソフトを使いこなせれば、そのソフトの対象とする分野の理論だけを勉強した聡明な研究者や古いタイプの専門家より、学生でも実際の難解な問題が容易に解決できる。例えば高校数学で一番ウエイトの大きい微分であるが、専門教育を受けた者でも少し複雑な関数の微分はお手上げである。しかも、「微分は真の最大/最小値を求めるのではなく、単に極大/極小値を求めるだけである」という事実の重要さに気づいていない。しかし2000年以降、一部の数理計画法ソフトで複雑な非線形方程式の最大値/最小値が簡単に求まるようになった。これによって、学生でも関数をLINGOに与えるだけで最適解(最大値/最小値)が簡単に求まる。以上の事実を踏まえて教育を再構築する必要がある。例えば新村(2009)で紹介したように、べき乗と等比級数の和で、複利計算とロ

ーンの公式が導かれ数学ソフトのSpeakeasyやLINGOで簡単にローン計算ができる。ローン計算を自分で計算した人は日本の社会にほとんどいないことの問題が分かっていない。私もローンが必要な時点で、分析ソフトの利用を思いつかなかった。多くの学生や研究者は、微分や統計や数理計画法といった数学をベースにおく学問の学習法をユーザー教育に変更する必要がある。なぜなら現代人は多くの過去の成果に囲まれ活用する必要がある。それを実現するのは、現代制御理論の成果である「入力と出力の関係を正しく理解すれば、機能の直接的理解の必要性は少なくなる」というブラックボックス理論である。学生に入門的な統計手法をつまみ食いで教えても仕方がない。筆者が分類した重要な統計手法全て利用するのに、それほど時間は必要としない。なぜならデータを入力し、出てきた出力結果を正しく解釈することに、機能即ち手法のアルゴリズムの理解はほとんど必要としない。これまでの教育は、「車という足を外延化した自動車で遠くへ行きたいユーザーに、車を使うのであれば車のメカニズムを勉強しなさい」といっているようなものだ。それが必要なのは車の設計・製造に関わる技術者と整備士であることが明確に意識されていない。

2.2 ICT技術の大学での位置づけ

最近、「一部の大学を除いて職業訓練大学にすればよい」という大学教育に対してラジカルな意見も活字に目立つ。しかし工学はすでに製造業などに直接役立っている。一般教養や人文社会科学は、工学ほど直接的に明確でないが、より複雑な社会の効率的な運営に役立っているはずである。その上で、使いやすい統計ソフトや数理計画法ソフトで、「文科系の学生が短時間で問題解決できる方法」を身につければ、このような暴論を跳ね返すことができる。本稿で紹介する卒業研究のゼミ生は、2011年に筆者の統計入門を取った（評価はAとB）後、授業科目を2科目と3科目、そして上級演習と卒業研究を取り4年間付き合った初めての学生である。評価Bの学生が2年次で3教科受講しているので、「なぜ？」と聞いたところ、「クラブ活動があり、私の取れる授業を全て取った方が少ない勉強時間で単位が取り易い」というので、「君の判断は正しい」といった記憶がある。多くの学生が統計や数理計画法を使いこなせるわけではないが、短い説明で理解し上手く使いこなせた。

社会人を対象にしたビジネス大学院を経営する大前健一氏は、企業人として必要な技能として外国語、ICT技術、会計を取り上げている。一般的にいうと、ICT技術は脳を外延化したPCがインターネットと結びつくことで、世界と通信し、新しいインターネット・ビジネスが生まれた。このため古色蒼然とした分析技術は、インターネットやOffice教育の陰に隠れ大学教育で影が薄くなっている。しかし社会人になって自分で習得できるものより、ある程度体系的に教える必要があり学問としても大きな成果のある統計と数理計画法を大学で教えないと、種々の分野の高度なユーザーや専門家の質も向上しない。

ある元首相は、「私はスタンフォード大学でORの学位をとった問題解決学の専門家である」と主張した。しかし東電の事故を考えると、多くの人が毎日のように大本営発表のような停電の地区割りの発表に一喜一憂した。しかし、数理計画法で病院など停電すると困る地域を避けるようにした「割り当て問題」を解けばすむ問題である。またこのような計画は、事故を想定し事前に準備すべきである。その上で、停電をお願いする地域には、他の民間企業が行うように料金割引などを事前に合意しておくべきであろう。それに対して意図的であったかどうかは別として、東電広報の戦略の勝利である。関東圏全域が、大本営発表に一喜一憂し、ばばに当たらないことで毎朝ほっとしたわけである。このような計画は数理計画法ソフトで事前に簡単に準備できる。そして、事故対策の多くはこのように簡単にできるものは技術者に任せ、首相などはもっと困難な問題解決をすべきという「質の異なった問題解決のきりわけ」が日本社会にできていないのは大学教育にも責任があろう。

2.3 良い統計ソフトとは

筆者は1968年水泳部の部活動に時間を割いていて、大学院に落ちて当時できたばかりのソフト会社に1期生で入社した。研修中に大阪府立成人病センターに向向になり、判別分析で「心電図の自動診断論理」の開発を行ったが、医師の開発した「枝分かれ論理」にかなわなかった。これが「一生の研究テーマである数理計画法を用いた最適線形判別関数の研究の動機」である (Shinmura, 2014a; 2014b; 2015)。当初筆者の統計の知識が低いので枝分かれ論理に負けたいと思ひ、統計書を片っ端から100冊ほど読破した。大体が同じ内容で重なりが多いが、どこまで言っても達成感はない。そこで28歳の時、当時普及しだした汎用統計ソフトのSPSS(3000社程度)を会社に導入し、統計の勉強に活用しようと考えた。しかし当時全世界で660社しかいないSASのコンセプトに触れ、SASを導入し日本の社会に講演と出版を通して啓蒙普及してきた。世界最高水準の統計ソフトを使うことで、その出力の意味を理解しレポートを作成すれば良いということが分かった。また、理解不十分な理論は簡単なデータを入れて、その結果と手計算を突き合わせて理解が深まった。即ち、SASが自分で独習できる最高の個人家庭教師になった。そして製薬企業32社に販売し、日本最強の統計解析の研究集団の誕生に幾ばくかの貢献をした。どのような分野にSASが使われてきたかはSASテクニカルニュース(新村, 2012)の4回のシリーズに詳しい。企業人の時代、解説書で重要な統計手法の体系化を提案し、問題解決はユーザー任せで良いと考えていた。1998年に成蹊大学に奉職しSASを用いた統計実習を行った。当時多くの大学は、ステータスのためにSASを入れているところが多かったが十分教育に役立っていたとは思わない。筆者は「重要な統計手法の一つのデータで小説を読むように教え、学生には自分でデータを集めさせ、分析結果をWordに貼り付けて20頁以上のレポートを課した」。中には表彰したいレベルのものもあった。SASは単年度

レンタルで料金が米国の物価指数の上昇に合わせて更改されるので大学でのシェアを落としていった。成蹊大学でも Windows 版の SPSS に切り替えた。CUI の SAS より GUI の SPSS の方が確かに多くの学生に使いやすかった。しかし統計手法が整理されていず、オプションの利用が難しいので、筆者の解説書でも操作法の説明が統計量の説明より多いという問題に悩まされた。他大学の教員の一部の発表や書籍で、クリックすれば何がしかの結果が出てくるので使いやすいと勘違いしている教員もいるのに驚いたが、正しいオプションの選択は相当の統計学の知識が要る。2003 年にウイーンに在外研究し、研究の合間に JMP の開発者の J.Sall 副社長らの解説書の日本語訳を校正した (Sall 他, 2004)。イギリス在住の日本人女性らが翻訳したものを受け取り校正し返した。それと平行して JMP を用いたユーザーのためのテキストを上梓した (新村, 2004)。そして JMP/Ver.5 の評価版を添付する許可を得た。2013 年に「Microsoft が XP のサポートを打ち切るので、対応を打ち切りたい」と JMP からいわれた。しかし、稼働確認すると最新 OS で稼働するので学生にはこれを利用させている。JMP は変数の名義尺度、順序尺度と連続尺度を作成時に決める。これによって、統計学で重要な手法が分析したい変数を指定するだけで行える。例えば 1 変数のプラット・ホーム (舞台に見立てている) で分析したい変数を選べば、1 変数の統計量と必要なグラフが全て出力されるので、使用法の習得が容易である。また個人利用は永久ライセンスであるが、大学では全学の年間ライセンス (Win/Mac 両方を含む) は 60 万円程度である。筆者のアドバイスで大学での利用と教職員が自宅でも利用できる契約形態をとっている。大学の研究者の中には B 級グルメならず B 級ソフトの愛好家が意外と多い。良いソフトの 3 条件は次のとおりである。

1. 操作法が初心者にとって容易であること。JMP はメニューがシンプルである。1 変量、2 変量などのプラット・ホームで分析したい変数を指定するだけで必要な統計量からグラフまでが一度に出力される。どの出力が重要かを筆者が決め、その選択を最初に行っておけば重要な出力が選別して得られる。これに対して JMP 以前の統計ソフトは、相当な知識を前提にオプションをこまめに指定する必要がある。GUI であればクリックすれば良いと考えている人も多いが、正しい統計オプションの選択は高度な統計の知識と経験が求められる。
2. 大量の作業であっても少ない作業とほぼ同程度の作業量で行えること。例えば Excel でクロス集計を行おうとすれば、作業量は出力の表数にほぼ比例する。例えば新村 (2004) では「学生データ」を用いて評価版の JMP で分析している。Excel で統計教育を主張するのであれば、同じ内容のテキストを世に問うべきであるといってきたが、誰も実現していない。
3. そして、専門家が必要とする重要な手法が全て利用できること。これができないと、複数のソフトを使い分けなければいけなくなる。この点で、JMP は少し問題がある。SAS と

のすみ分けのため、クロス集計は2変数まで、クラスター分析や因子分析はSASが提供する一部しかサポートしていない。しかし、JMPを利用してこれらがサポートされていないことで困ったことは少ない。

4. 汎用統計ソフトは当初高かった。しかし、汎用機からミニコンそしてPCへとダウンサイジングし、これらのコンピューターの費用が下がりユーザー数が増えるにつけて分析ソフトの価格も激減した。その上、LINDO製品は古くから無償の評価版、JMPはそれに加えて筆者のアドバイスで大学や学部のサイトライセンスで、教職員と学生が自宅でも利用可能な契約を行っている。価格や更新料も含め、この点も重要である。

3. 問題解決型授業のために

3.1 まず教職員が実践すべき

問題解決型授業を成功させるために、まず教職員が実践する姿を学生に見せれば効果的である。全国の大学には学生に関するデータがたくさんあるのにその分析を行っている大学は少ない。例えば一般入試のデータを県別や高校別で分析して図4.2の「層別箱ひげ図」で表示すれば、注目すべき県や高校が特定できる。そして、卒業時点の成績と就職の結果と合わせて分析すれば、どの入試経路に良い学生が多いかも分析できる。

また大学のかかなりの予算を使っていると思われるソフトも、導入時に議論が紛糾することが多い。しかし、いったん導入したソフトが効果的に使われているか否かは、使用ログを分析すればすぐに解決できるが、成果の評価が行われていない。

研究費の不正使用の防止に多大な労力が割かれている。本稿で取り上げるDEAで使用研究費を入力とし研究成果を出力として分析すれば、効率値が例えば0.9以下であれば、1割以上の無駄使いか預け金をしているかが分かる。ただし研究成果は研究分野ごとに異なるので、何度か多くの研究者に納得いくまで分析し直す必要がある。その場合は当然であるが、定額の個人研究費だけの教員は対象外である。授業評価のアンケートにしても、少ない受講生の授業まで行って意味がないのと同じである。

3.2 問題解決型教育としてのゼミ学生による企業評価の試み

(1) 良い数理計画法ソフトとは

数理計画法の授業に当初シカゴ大学のビジネススクールのLinus教授が開発したLINDOを使っていた。最適化したい関数と制約式を数式通りに記述すれば良いので分かりやすい。しかし、教えたことを企業などで実施しようとすれば変数や制約式が増え、授業で教えたことがすぐに使えない。それがExcel上のアドインとしてWhat'sBest!が開発された。Excelのコピー機能を使えば、多くの数理計画法モデルは構造の似た制約式が多いので容易に大規模なモ

デルも作成できる。筆者の研究でも1万程度の制約式があり、対応してきた。しかし「LINGOはLINDOと同じ自然表記と、配列や行列で記述する集合表記がある」ので、後者を使えば学生でも実社会の大規模な問題を分析できる。例えば1000銘柄の株の分散共分散行列があれば、サイズの変更に関係なく汎用のPort FolioモデルにExcelから分散共分散行列を読み込み、分析し効率フロンティアも描ける。そして、線形計画法、2次計画法、整数計画法、非線形計画法、確率計画法の必要な最適化技法の違いを意識するの必要なく使える。また局大値/局小値でなく最大値/最小値を求める機能もある。

そこで新村(2011a)は、高校数学で習う「関数の最小/最大問題と領域の最大/最小問題」を記述したあと、配合問題などの各種応用問題、ローン計算などの汎用モデルとExcelデータを添付した解説を上梓した。これによって、テキストで説明している問題のExcelファイルをLINGOで実行すれば、最適解が出てくる。変数の最適解の値で目的とする関数が最適化できるという単純な出力結果なので、統計と異なり解釈も容易である。

3.3 DEAによる問題解決型授業

数理計画法の基本は、売り上げや利益を表す関数と、資源制約が線形式で表される線形計画法が基本である。このアルゴリズムは高校数学で習う「領域の最大最小問題」である。そして出力は資源制約の中で関数を最大/最小にする各変数値が求まるだけである。制約式の有無にかかわらず、複雑な関数の最適解も簡単に求まる。しかし学生には統計より人気がない。関数の最大/最小値を求めることが実社会で役立つが、高校数学を前提にしていることの忌避感が強いのであろう。また、配合問題は石油や化学や食品産業で、組み立て問題は電気や自動車や機械産業で、ナップザック問題は航空や船による貨物積み込みなど、社会経験のない学生に種々の産業紹介を兼ねて行っているが、特定産業に特化している点が学生にとってピンとあっていないと考えた。そこで、企業人になろうが公務員になろうが組織に属する限りは評価がつき物である。一般に評価は上司の専権事項であるが、企業がグローバル化すれば評価の可視化が必要になる。しかも評価対象を総合化された入力変数(経営資源)と出力変数(経営成果)の比で考え、評価対象を一番良くする重みを求めて評価する。ただし、その重みを他の評価対象にも適用し1を超えないようにする。このため、DEA効率値は0から1になるが、1になるものは効率的、1未満は非効率であり評価対象に最適な重みで他の評価対象が1になる。このため学生にとって、統計の出力の解釈より容易になる。そして、その結果が正しいことを調査して示す問題解決型の教育を簡単に行うことができる。

このためテキストではCCRモデルで得られた一般的な知識とLINGOによる汎用CCRモデルと、東京都23区の2入力2出力(蔵書数、職員数、貸出数、登録者数)とスポーツ選手の年俸データのExcelデータを添付した。しかし、2012年の卒業研究で黒岩さんが東京都の24

市の市立図書館, 上級演習の江頭さんが23区の区立図書館の分析を行い, CCRモデルには種々の欠陥があることが分った。その問題点を改良しながらゼミを行った。その改善成果は新村(2013a)にまとめた。そして黒岩さんは計算機統計学会と, 江頭さんと共同で日本OR学会のDEA研究会で発表した。2013年には江頭さんにSASユーザー会で発表を考えたが, 就活のため断念した。2014年の大きな改善点は新村(2014a; 2014b)で発表した。p入力q出力の場合に(p+q)個の元の変数と2個の効率値とp*q個の1入力1出力の比尺度を, SCOREとSCORE2で作成した4分類で一元配置の分散分析を行いDEAの結果と比較し, その後クラスター分析を行い主成分分析で両効率値と元の変数と比尺度の関係を因子負荷量とスコアプロットで検討することを課した。これによって, 元データを統計で分析した従来の一般的な理解と, DEA法は比率尺度による異なった結果が得られることが多いということを理解させるためである。効率値の重回帰分析は要求しなかった。以下が改善概要である。

- 1) CCRモデルでDEA効率的な評価対象を特定する。
- 2) 杉山(2010)が開発したInverted DEAでDEA非効率値の一番大きな評価対象をとりあえず改善目標とする。
- 3) クロス効率値からDEAクラスターを作成し, CCRモデルのDEA効率的の問題点を理解する。
- 4) 1入力固定改善法で問題点を発見する。
- 5) 各種の情報の調査を行い, その問題点を解明する。
- 6) 統計手法の箱ひげ図で, 元の変数と比尺度の与える情報の違いを理解する。そしてクラスター分析と主成分分析で, 統計手法で得られる結果を検証する。

2014年の卒業研究は, 上級演習からラグビー部の2名とテニスサークルの1名が受講した。ラグビーの2名は, クラブ活動が最優先であり, 成績は努力すればできるのに単位がとれれば良いという主義と上級演習で理解できた。しかし, 4月の授業が始まる時点で2人とも内定をもらい, 残す卒業単位は池田君が卒業演習と残り2単位, 石塚君は12単位であり, ゼミは毎週やってほしいという。恐らく大学に入って初めて真剣に学修に目覚めたようなので, 修士論文並みの50頁を目標にすることに決めた。

4. 鉄道18社の分析 (2013年上級演習: 石塚君)

2013年の上級演習で石塚君は大手鉄道会社18社をDEA法で営業効率性の比較を行った。この時点では, 就職先を決めていなかったなのでこのテーマを選んだと思われる。池田君は, 結局東急電鉄(株)に就職したので, 良いコンビネーションといえる。両名は, 上級演習受講生に対する筆者の希望を守り「経営科学」を受講してくれた。

他の学生はゼミの主要テーマである授業もとらず, 結局は単位を取れなかった。その中のI

君は、テーマとして「携帯電話の評価」を選んだ。暫くして「データを集めにくい」というので、例えば「PCのようにカタログに必要な情報が全て載っているものに変更を勧めた」が、上級演習のレポートが作成できなかった。この反省を踏まえ、DEA法は企業評価だけでなく新村(2013b)で示した製品評価などの種々の評価に適用できるという筆者の思いは、学生のテーマ選択のバイアスになるので断念することにした。自分で適切なテーマを設定できない学生には、就職希望業種の企業評価を指導するようになり、2014年の上級演習以降、それに限定するようにした。またゼミが必修化された場合、本人の能力と希望を勘案しDEA分析以外の自由テーマなども認める必要があるだろう。

石塚君は卒業研究では、就職先を電力あるいはエネルギー関連の的を絞り、「電力会社10社の経営効率性の分析」に決めた。筆者の「分析は比較評価が重要(改善点1)」という注意を守り、東京電力(株)の原発事故に注目し、その前後の2010年と2012年の比較を行なうことにした。着想は非常に良いのだが、上級演習に比べ難渋している。就職希望業種に合わせてガソリンスタンドで月200時間のバイトなどを行い、ラグビーに疲れているのかゼミでは居眠りが大きいだけが理由でないことを5章で述べる。

4.1 鉄道会社18社のDEA法による分析

上級演習で対象にした鉄道会社は、JR本州3社(JR東日本、JR西日本、JR東海)、私鉄鉄道会社15社(東武鉄道、西武鉄道、京成電鉄、京王電鉄、東京急行電鉄(東急)、小田急電鉄(小田急)、京浜急行電鉄、相模鉄道、名古屋鉄道、近畿日本鉄道(近鉄)、南海電気鉄道(南海)、京阪電気鉄道(京阪)、阪急電鉄(阪急)、阪神電気鉄道(阪神)、西日本鉄道)である。データは平成12年度の「鉄道統計年報」を用い、入力と出力から効率性を分析するDEA法を用いて各鉄道会社の効率性を比較した。入力変数は営業キロ(千km)、従業員数(万人)、車両台数(万両)、営業費用(兆円)で、出力変数は、旅客輸送人キロ(億人キロ)、旅客運輸収入(兆円)である。この4入力2出力モデルのデータとCCRモデルで求めたDEA効率値($0.766 \leq \text{SCORE} \leq 1$)とInverted DEAのDEA非効率値($1 \leq \text{SCORE2} \leq 1.214$)を表4.1に示す。入出力変数を、各変数の最大値が1以上10未満に単位変換してある。これによって得られた重みの解釈と比較が容易になる点と、数理計画法は膨大な繰り返し計算が行われデータの最大値と最小値の比が大きいと計算上のトラブルを起こすという筆者の経験を元にこの点を指導している(改善点2)。

表4.1 大手鉄道のデータとDEA効率値とDEA非効率値

SN	事業体名	営業 キロ	従業員 数	車両 台数	営業 費用	旅客輸送 人キロ	旅客運輸 収入	SCORE	SCORE2	G
1	東武鉄道	0.463	0.707	0.195	0.123	0.130	0.144	0.937	1.096	c
2	西武鉄道	0.177	0.352	0.124	0.084	0.088	0.092	0.880	1.052	c
3	京成電鉄	0.102	0.210	0.051	0.045	0.035	0.049	0.844	1.068	c
4	京王電鉄	0.085	0.235	0.084	0.060	0.069	0.072	0.996	<u>1.174</u>	c
5	東京急行電鉄	0.102	0.311	0.110	0.096	0.089	0.114	1.000	<u>1.167</u>	a
6	小田急電鉄	0.121	0.352	0.104	0.086	0.104	0.107	1.000	<u>1.214</u>	a
7	京浜急行電鉄	0.087	0.239	0.076	0.058	0.061	0.070	0.964	1.171	c
8	相模鉄道	0.036	0.114	0.044	0.028	0.027	0.032	0.946	1.104	c
9	名古屋鉄道	0.533	0.430	0.121	0.074	0.064	0.080	0.842	1.000	d
10	近畿日本鉄道	0.594	0.991	0.208	0.159	0.132	0.175	0.856	1.000	d
11	南海電気鉄道	0.172	0.312	0.072	0.058	0.043	0.060	0.809	1.000	d
12	京阪電気鉄道	0.088	0.252	0.076	0.048	0.046	0.055	0.909	1.088	c
13	阪急電鉄	0.147	0.332	0.132	0.085	0.093	0.097	0.944	1.092	c
14	阪神電気鉄道	0.045	0.123	0.031	0.024	0.018	0.025	0.816	1.000	d
15	西日本鉄道	0.116	0.103	0.037	0.022	0.019	0.023	0.827	1.000	d
16	JR東日本鉄道	7.538	6.082	1.250	1.573	1.253	1.681	0.885	1.073	c
17	JR東海鉄道	1.978	2.092	0.335	0.775	0.487	1.041	<u>1.000</u>	<u>1.000</u>	b
18	JR西日本鉄道	5.078	3.811	0.638	0.776	0.526	0.773	<u>0.766</u>	1.000	d

CCRモデルの分析でDEA効率になったのは東急、小田急、JR東海の3社である。0.766の西日本が最も非効率である。通常のDEA研究ではこれらの3社を手本に改善することを提案している。しかし、具体的な改善目標の決定とどれ位の改善を行えばよいかが研究されていない。そこで、新村(2011b)は表4.2のクロス効率値から表4.3のDEAクラスターを提案した。同じDEAクラスターに属する評価対象(DMU)は、当初そのDEAクラスターと関連づけられた手本を参考にすればよいと考えた(改善点3)。しかし3社が手本になれば、最大7個のDEAクラスターができる。実際に改善活動を考えた場合、実際は5個しかないがそれでも18社が5個のDEAクラスターに分かれて改善活動するのは現実的でない。そこで注目したのが、Inverted DEA法である(改善点4)。筆者は当初「逆CCR」などと紹介してきたが、杉山学氏が提案した手法であり、メールでテキサス大学にいた同氏に筆者の不勉強をわびた。DEA非効率値(SCORE2)は小田急が1.214と一番大きい。CCRモデルはDEA法の創始者が提案したモデルであり、多くの研究論文では必ず紹介されている。しかし、杉山氏のメールにも「若手の日本人の研究は評価されない」と指摘があるが、実はCCRモデルの欠点を補足する重要な手法である。

1) 改善活動は、原則SCORE2が最大の小田急を手本にして行うべきである。その後で更に改

善を行いたい場合、DEAクラスターを参考に改善目標を適宜選んで行えばよい。

- 2) DEA効率的な東急は1.167であり、効率的でない京王電鉄の1.174より小さい。京王電鉄は、小田急に抑えられてCCRモデルで効率的にならなかった。これはCCRモデルではDEA効率的な3社を手本にするという方針の欠点を示す。
- 3) JR東海は、CCRモデルでDEA効率的であり、Inverted DEAで非効率と判断された。これについては杉山氏も指摘しているが、これ以降ゼミの主要な関心事になった。新村(2011b)で「学生の成績データ」を用いて、勉強時間が少ないのに60点取っている学生がこのタイプに属することを指摘した。教育関係者は馬鹿げた主張と考えたかもしれないが、一連の研究で色々な産業セクターでこのことが観測され、その意味付けに成功している。また卒業ゼミの2名がこれに相当する。クラブ活動が最優先であり、学業はやれば良くできるのに単位が取れば良いという主義である。このような学生を見分け、ゼミだけでも能力を開花させることが必要である。今回は、JR東海は他の鉄道会社に比べ、あまりにも経営環境が恵まれていて、他社の追従を許さないというのが上級演習での結論である。池田君は、日本の空港28社を選んだが、羽田空港がこれに該当するが、負債があまりにも大きいためであることがほぼ確定している。

そこで、SCOREとSCORE2で分析対象をグループ化することを考えた。G列に示すようにSCOREだけが1をa、両効率値が1で特異的なものをb、SCORE2だけが1をd、それ以外をcと4分類した。分類dは非効率な企業で、分類cは一般的な企業と考えられる。そして、卒業研究ではJMPを用いて、一元配置の分散分析のグラフ表現である層別箱ひげ図で検討することに決めた(改善点5)。また、クラスター分析で4分類し、それを主成分分析でDEA分析の結果と比較評価することにした。統計手法は数値の大きなものを際立たせるが、入出力の数値が小さなものを注目しない欠点がある。DEA法は比率尺度を用いていて総合化された比に注目するので、数値の小さなものも評価してくれる。学生にはDEAを社会人になって使う場合、事前に「業界トップ企業や看板事業部が選ばれないことがある」といって、実施前に説明するよう指導している。例えばJR東日本の各駅をある視点で評価した場合、東京駅や新宿駅がDEAで効率的にならず、思っても見ない駅が選ばれるかもしれない。そのなぜかを検討の出発点としてDEA分析の結果を用い「ホワイトカラーの改善活動の道具になってくれれば良いが、その前に将来経営トップになる可能性が高い東京駅の駅長らにつぶされる可能性がある」ためである。

4.2 クロス効率値とDEAクラスター

表4.2はクロス効率値の出力でDEA効率値が1になるDEA効率的な企業の行だけを示す。S1列は、東武鉄道の重みで18社の効率値を求めた値である。この値を1以下に制約している

ため、東武鉄道は小田急とJR東海が先に1になるために0.937に押しえられる。DEA法で東武鉄道を一番良く評価する重みを探したのに、その重みで小田急とJR東海が1になるので、この2社に比べて経営資源を多く使っているか経営成果が出ていないことを示す。そして、この2社が入出力の値で優れているので、この2社を参考に改善をすればよい。「1入力固定改善法」は、改善すべき項目とその量が簡単に分かる。

表4.2 クロス効率値の出力でDEA効率値が1になる県

SN	事業体名	SCORE	S1	S4	S5	S6	S17
5	東京急行電鉄	1	0.929	1	1	1	0.884
6	小田急電鉄	1	1	1	0.796	1	0.924
17	JR東海鉄道	1	1	0.916	0.473	1	1

表4.3はDEAクラスターである。作成法は簡単である。東武鉄道の重みでは、表4.2のS1列に示すとおり小田急とJR東海が手本になることが分かった。残りのS2からS18列でこのパターンを示す表の12個がDEAクラスターS1の構成員である。これら12社は手本の小田急とJR東海を参考に1入力固定改善法で改善点を探せばよい。結局5個のDEAクラスターに分かれた。しかし、それに含まれるのは3社と、1社だけになる3個のDEAクラスターができた。この結果から、CCRモデルでDEA効率的になるものが全て改善目標であるということは現実的でないことが自然と分かる（CCRモデルの欠点）。例えば東急やJR東海は自身が改善目標であり、改善の必要がないとCCRモデルでは結論付けているが、小田急との比較が必要である。

表4.3のDEAクラスター

	手 本	数	構 成 員
S1	小田急, 東海	12	<u>1</u> -3, 7, 9-12, 14-16, 18
S4	東急, 小田急	3	<u>4</u> , 8, 13
S5	東急, 小田急	1	<u>5</u>
S6	小田急, 東急, 東海	1	<u>6</u>
S17	東海	1	<u>17</u>

4.3 重みに関して

表4.4はCCRモデルとInverted DEAの重みである。改善1で、重みの比較が容易になる。多くのDEA研究では、重みやクロス効率値の分析が十分に行われていないし、筆者も今後の課題である。しかし「入力で0になる重みに対応する入力変数は、原則他の入力変数に比べて経営資源として使いすぎである。また複数の出力変数で0になる重みの変数は正になる出力変数に比べて原則経営成果が伴っていないことを解釈の基準にする」よう指導した（改善

点6)。JR東海を例とすれば、営業キロ数と従業員数と車両台数は営業費用と比較して多く使っていて、旅客輸送人キロ（人キロ）より旅客運輸収入（収入）の成果がより大きいことを示す。長距離旅客から高い単価の収入を得ている結果で、これが両効率値が1になる理由である。

東急、小田急、京浜、相模、阪神、JR東海は旅客輸送人キロと比較して旅客運輸収入が多いことが分かる。JR東日本はJR東海に比べて旅客輸送人キロが多くその割りに旅客運輸収入が少ない。

表4.4 CCRモデルの重み（左）とInverted DEAの重み（右）

SN	事業体名	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W21	W22	W23	W24	W25	W26
1	東武鉄道	0	0	0	8.16	0.98	5.62	0	0.55	0.15	4.77	0	7.61
2	西武鉄道	0	0	0	11.96	1.44	8.23	0	0	0.79	10.78	0	11.48
3	京成電鉄	0	0	0	22.30	2.68	15.35	0	0	2.84	19.08	9.24	15.23
4	京王電鉄	0	4.26	0	0	12.16	2.16	0	0	1.12	15.21	0	16.20
5	東京急行電鉄	9.79	0	0	0	0	8.80	0	0	0.71	9.64	0	10.27
6	小田急電鉄	1.36	0	0.78	8.78	0	9.37	0	0	0.78	10.68	0	11.37
7	京浜急行電鉄	1.23	0	0	15.45	0	13.83	0	0	1.16	15.78	0	16.80
8	相模鉄道	4.69	0	0	29.91	0	29.39	0	0	2.36	32.22	0	34.31
9	名古屋鉄道	0	0	0	13.43	1.61	9.24	0.36	0	6.68	0	15.56	0
10	近畿日本鉄道	0	0	0	6.27	0.75	4.32	0	1.01	0	0	7.59	0
11	南海電気鉄道	0	0	0	17.33	2.09	11.93	0	1.74	6.34	0	23.51	0
12	京阪電気鉄道	0	0	0	20.84	2.51	14.34	0	0.41	1.48	16.37	0	19.65
13	阪急電鉄	0	3.01	0	0	8.60	1.53	0	0	0.77	10.55	0	11.24
14	阪神電気鉄道	2.88	0	0	36.17	0	32.39	0	0	7.40	31.91	56.10	0
15	西日本鉄道	0	0	0	45.30	5.45	31.17	0.43	0	11.08	24.42	53.66	0
16	JR東日本鉄道	0	0	0.53	0.21	0.71	0	0	0	0	0.64	0	0.64
17	JR東海鉄道	0	0	0	1.29	0	0.96	0	0	0	1.29	2.05	0
18	JR西日本鉄道	0	0	0	1.29	0.15	0.89	0.20	0	0	0	1.90	0

4.4 1入力固定改善法

表4.5は「1入力固定改善法」である。小田急を改善目標と考えた場合、小田急の4入力2出力の変数値の構成比に他の17社がなれば、「小田急基準でDEA効率的」になる。このため各社の経営資源の入力変数の一つを固定する。表では営業費用を固定した例である。表4.1の実際の値から、営業費用だけを固定して他の5変数を小田急の構成比になるように修正したものが最初の6変数である。17社がこの値を実現できていれば、小田急基準でDEA効率的になる。表4.1からこの値を引いたものが、右の改善量を表している。固定した営業費用の列と、

小田急の行が0になる。出力の2変数はJR東海の運輸収入以外全て負になっている。この点で、JR東海は他の17社が追従できない特異的な鉄道であることが分かる。原則出力が正になるのは、DEA効率的な2社だけである。JR東海の営業キロ数が正で、小田急より大きい。しかし従業員数や車両台数が負で少ない。これは、他の鉄道会社と異なった恵まれた経営環境にあることを示し、SCORE=SCORE2=1になる理由と考えられる。東急は小田急と比べて少ない経営資源のため、成果も少ないことが分かる。

「1入力固定改善法」は、DEAの研究者に批判された。左の改善目標がDEAの効率フロンティアをはみ出して現実には違反することがあるという指摘である。たまたま、2012年にゼミ生の江頭さんが上級演習で行った「東京都23区の公立図書館」の発表であったのが幸いした。1986年時点で、千代田区のSCOREは0.19と最悪であり、世田谷区と杉並区が手本になった。しかし、世田谷区を手本に床面積を固定すると、杉並区を含む22区全ての床面積が2倍以上過剰である。即ち完全にDEA効率フロンティアの外に来て、箱物行政の典型である。どう改善すべきかゼミのテーマにした。最初は「建物を小さくする」などの頓珍漢なアイデアが出てきたが、無駄な金がかかるといえば、「すぐに余分な床を貸し会議室などの他目的に利用する」という結論が導き出された。2011年には千代田区は効率値が1になり、大きく改善されている。これは土光臨調で三公社五現業に代表される問題が指摘され、主として経済人が大鉦を振るった。国鉄の民営化などの成果に隠れて見過ごされてきたが、都立図書館は自ら改革を行った成果である。ここ数年、農協や非効率的な制度に政府の意を受けて経済人が活躍している。残念なことに大学もその渦中にあり、農業セクターと同列に見られていることに大学人は発奮しなければいけないであろう。横道にそれたが、効率フロンティアからはみ出す場合、床面積が不必要に過剰という分かりやすい問題を抱えていて改善しやすいのである。公立図書館は、独自の中央図書館から、千代田区は区庁のビルに移転し、足立区では放送大学やその他の複合施設に入居という改善を行った。

表4.5 「1入力固定改善法」

SN	営業 キロ	従業 員数	車両 台数	営業 費用	輸 送 人キロ	運輸 収入	営業 キロ	従業 員数	車両 台数	営業 費用	輸 送 人キロ	運輸 収入
1	0.17	0.5	0.15	0.12	0.15	0.15	0.29	0.2	0.046	0	-0.02	-0.01
2	0.12	0.34	0.1	0.08	0.1	0.1	0.06	0.01	0.022	0	-0.01	-0.01
3	0.06	0.18	0.05	0.05	0.05	0.06	0.04	0.03	-0	0	-0.02	-0.01
4	0.08	0.25	0.07	0.06	0.07	0.07	0	-0	0.011	0	-0	-0
5	0.14	0.39	0.12	0.1	0.12	0.12	-0	-0.1	-0.01	0	-0.03	-0.01
6	0.12	0.35	0.1	0.09	0.1	0.11	0	0	0	0	0	0
7	0.08	0.24	0.07	0.06	0.07	0.07	0.01	0	0.006	0	-0.01	-0

8	0.04	0.11	0.03	0.03	0.03	0.03	-0	-0	0.01	0	-0.01	-0
9	0.1	0.3	0.09	0.07	0.09	0.09	0.43	0.13	0.032	0	-0.03	-0.01
10	0.22	0.65	0.19	0.16	0.19	0.2	0.37	0.34	0.016	0	-0.06	-0.02
11	0.08	0.24	0.07	0.06	0.07	0.07	0.09	0.07	0.002	0	-0.03	-0.01
12	0.07	0.2	0.06	0.05	0.06	0.06	0.02	0.06	0.018	0	-0.01	-0
13	0.12	0.35	0.1	0.09	0.1	0.11	0.03	-0	0.029	0	-0.01	-0.01
14	0.03	0.1	0.03	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	0.002	0	-0.01	-0
15	0.03	0.09	0.03	0.02	0.03	0.03	0.09	0.01	0.01	0	-0.01	-0
16	2.21	6.44	1.9	1.57	1.9	1.96	5.32	-0.4	-0.65	0	-0.65	-0.28
17	1.09	3.17	0.94	0.78	0.94	0.96	0.89	-1.1	-0.6	0	-0.45	0.077
18	1.09	3.18	0.94	0.78	0.94	0.97	3.99	0.63	-0.3	0	-0.41	-0.19

4.5 統計分析によるDEA分析の検討

DEAの分析結果を統計分析で比較評価することは課題であった。しかし、統計と経営科学を両方受講する学生は不思議なことに少ない。また2012年は、そこまで要求できる水準にある学生は卒業研究の黒岩さんと、上級演習の江頭さんの女子学生しかいなかった。両名ともまじめなので対応するであろうが、他への悪影響が心配された。しかし2013年は上級演習のゼミ生の対象の2名はラグビー所属で、ハードルを挙げても精神面でバランスを崩すことはないと判断した。そこで本節で述べる、 p 個の入力変数と q 個の出力変数とそこから得られる $p \times q$ 個の1入力1出力の比率尺度の変数を作成し、その後で元の変数と2個の効率値と $p \times q$ 個の比尺度を一元配置の分散分析で調べた後でクラスター分析して主成分分析を行うよう指導した。しかし、実際には卒業ゼミに持ち越すことになった。

(1) DEA効率値

図4.1はSCOREをX軸に、SCORE2をY軸にとった散布図である。CCRモデルの問題点がこの散布図に表れている。もしCCRモデルというDEA効率値に意味があれば、図のほぼ直線上に全社がきてInverted DEAの価値は少なくなる。しかしグループCの企業だけがほぼこの直線で表される。AとBはSCORE=1の垂線上にくるが、Aはほぼ直線上に、BはSCORE=SCORE2=1にきて分離している。鉄道ではJR東海があまりにも経営環境が恵まれているためにBになった。空港では羽田が異常に負債が多いという特異的な企業であることが分かった。グループDは、SCORE2=1上に並び非効率な企業群と定義できる。即ち、A,B,Dという3つのタイプの企業群がCCRモデルで発見できないことが分かった。

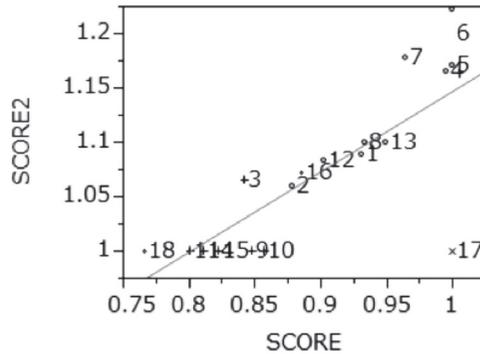
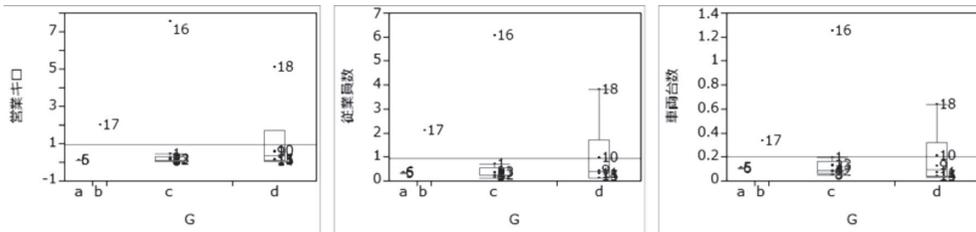
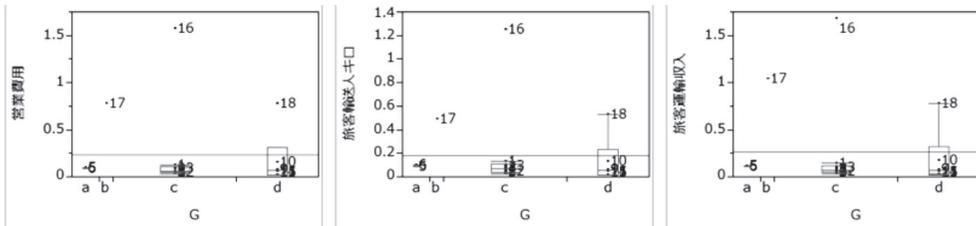


図4.1 SCOREをX軸に、SCORE2をY軸にとった散布図

図4.2の (i) と (ii) は、元データの一元配置の分析である。規模では旧JR 3社が私鉄を圧倒していることが分かる。学生は作業すべきバランスが分からないので、取り合えず重要なポイント1点に絞っていいと指導した。JR西日本は、営業キロ、従業員数、車両台数でJR東日本より多い。しかし、営業費用と輸送人キロでは同じであるが、輸送収入では少ないことが分かる。



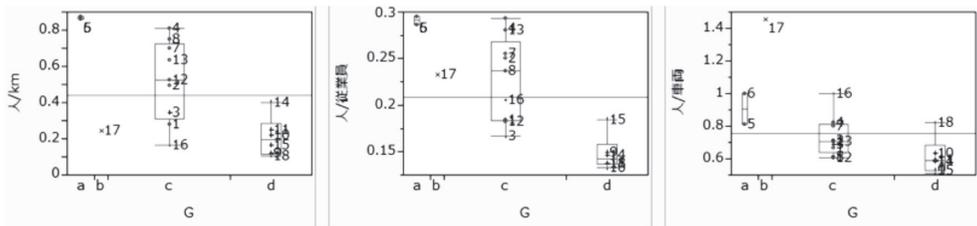
(i) : 左から営業キロ、従業員数、車両台数



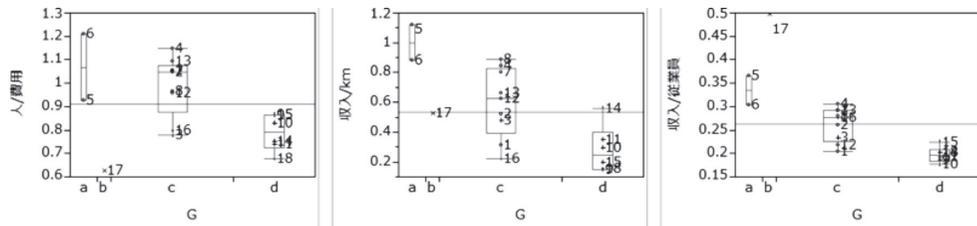
(ii) : 左から営業費用、旅客輸送人キロ、旅客輸送収入

図4.2 元データの一元配置の分析

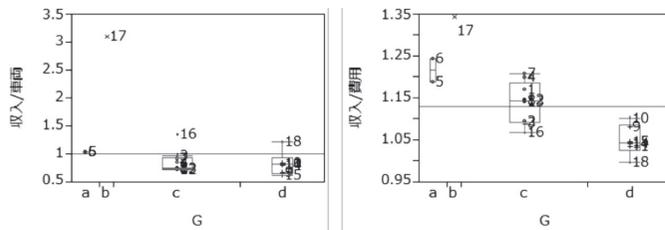
図4.3は、8個の比データの一元配置の分析である。旅客輸送人キロ/営業キロと旅客輸送人キロ/従業員では、A群の小田急と東急が大きい。これに対しJR東海は小さいことを示す。C群は大きな幅があり、SCORE2が1のD群はC群の中央値より最大値が小さいのが非効率な1つの理由であろう。旅客輸送人キロ/車両台数ではJR東海が最も効率的で、旅客輸送人キロ/営業費用は逆に最低である。これは、キロ当たり運賃が高く、乗車率が良いことを示す。旅客輸送収入/営業キロでは小田急と東急が高速鉄道のJR東海より優れ、旅客輸送収入/従業員では逆の関係になる。旅客輸送収入/車両台数では圧倒的にJR東海が優れ、旅客輸送収入/営業費用ではJR東海のB群、A群、C群、D群の順である。輸送距離/車両、収入/車両、収入/費用でJR東海が圧倒的に経営努力でなく効率的な経営環境にある。JR各社に分割する際にDEAによる分析が考慮されたほうが良かったであろう。



(i) : 旅客輸送人キロ/営業キロ, 旅客輸送人キロ/従業員, 旅客輸送人キロ/車両台数



(ii) : 旅客輸送人キロ/営業費用, 旅客輸送収入/営業キロ, 旅客輸送収入/従業員



(iii) : 旅客輸送収入/車両台数, 旅客輸送収入/営業費用

図4.3 DEA効率値と非効率値で比データを4群に分けた一元配置

(2) クラスタ分析

図4.4はクラスタ分析の結果である。DEAと同じく4群に分けた。しかし、一番下の×であらわされるJR東海、菱形のJR2社、+で表される京成、名古屋、近鉄、南海、阪神、西日本という広域をカバーする鉄道と、○で表される京成以外の関東7社と京阪と阪急の関西2社の人口密集地域を結ぶ鉄道、に分かれた。確かに常識に合ったグループに分けてくれたが、DEAの結果と比べて物足りない感じがする。変数のクラスタでは、左から6変数は元データと人/車両、収入/車両、収入/従業員数が大きなクラスターになり、SCOREと収入/費用と、SCORE2と他の4個の比尺度のクラスターに分かれた。

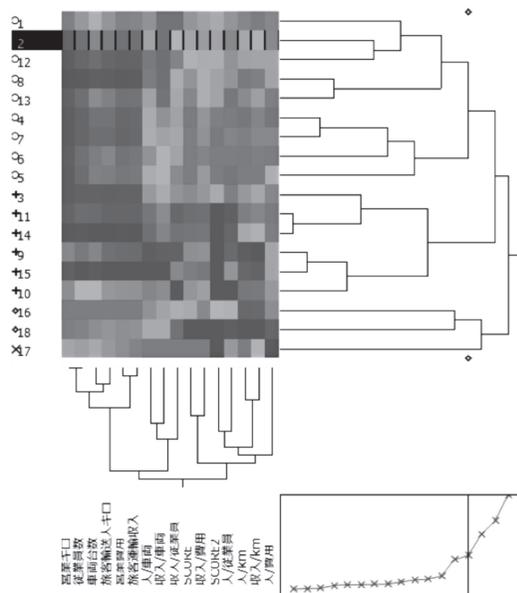


図4.4 クラスタ分析

(3) 主成分分析

図4.5は6個の元データと2個の効率値の計8個の主成分分析の結果である。固有値が1以上は8個の変数に対し2個である。因子負荷プロットから、6個の元データはほぼ第1主成分と1に近い相関、両効率値は第2主成分と1に近い相関があり、DEAの表す情報は元データと無相関であることが分かる。スコアプロットから、第1主成分の大きい方から小さい方に向け、JR東海、JR東日本とJR西日本、私鉄各社が雁行型になっていて、私鉄各社は第2主成分上でばらつきが大きいことが分かる。

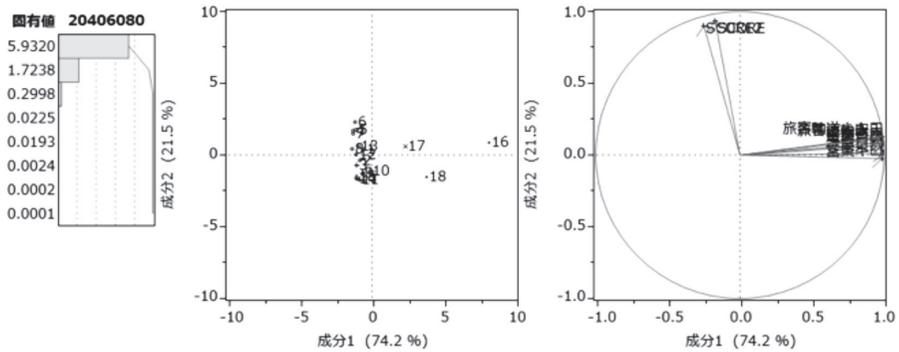


図4.5 元データと両効率値の主成分分析

図4.6は元データと両効率値に8個の比データを加えた主成分分析の結果である。固有値が1以上は16個の変数に対し3個である。第1主成分と第2主成分上のスコアプロットから2象限から4象限に私鉄が並び、経営効率のと考えられる小田急、東急、京王からSCORE2が1の近鉄（10）が並んでいる。DEA分析によって、入出力の比を考えることで、これまでの統計分析で得られない知見が得られた。一方、JR3社は1象限の方向に私鉄と異なって布置しているが、これは私鉄と異なり経営規模の大きさを表すと解釈できる。

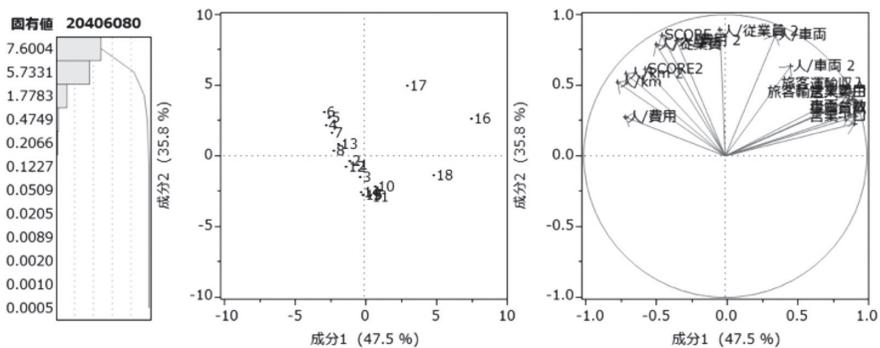


図4.6 元データ、非データと両効率値の主成分分析の結果

右の因子負荷プロットは重なりのために良く識別できない。表4.6の因子負荷量と対応させて考えると、2象限にSCOREとSCORE2と輸送人キロ/営業キロ、輸送人キロ/従業員、輸送人キロ/営業費用、収入/営業キロ、収入/従業員、収入/営業費用が関係している。輸送人キロ/車両と収入/車両は1象限に布置しJR3社を特徴付けている。このような明確に解釈が行え

る例は少ない。

表4.6 因子負荷量

行	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4	象限
営業キロ	0.91	0.23	0.31	0.06	1
従業員数	0.92	0.28	0.27	0.03	1
車両台数	0.88	0.29	0.36	-0.01	1
営業費用	0.90	0.40	0.16	0.02	1
旅客輸送人キロ	0.88	0.40	0.26	0.00	1
旅客運輸収入	0.89	0.45	0.07	0.00	1
SCORE	-0.45	0.85	0.00	-0.17	2
SCORE2	-0.57	0.61	0.48	0.01	2
輸送人キロ/営業キロ	-0.76	0.52	0.27	0.27	2
輸送人キロ/従業員	-0.49	0.79	0.23	0.01	2
輸送人キロ/車両	0.35	0.85	-0.30	-0.05	1
輸送人キロ/営業費用	-0.70	0.27	0.53	-0.36	2
収入/営業キロ	-0.70	0.58	0.08	0.39	2
収入/従業員	-0.04	0.89	-0.38	0.12	2
収入/車両	0.46	0.63	-0.62	0.01	1
収入/営業費用	-0.34	0.82	-0.34	-0.26	2

(4) 回帰分析

図4.7は、SCOREを元データと比尺度で変数増加法を行いAIC最小の5変数が選ばれた。決定係数は0.99である。輸送人キロだけが元の変数であり、SCOREは他の4個の比尺度と関係している。

パラメータ推定値				
項	推定値	標準誤差	t値	p値(Prob> t)
切片	-0.139876	0.052032	-2.69	0.0197*
旅客輸送人キロ(千人キロ)	0.063669	0.010491	6.07	<.0001*
輸送客/従業員	0.5390562	0.07196	7.49	<.0001*
輸送距離/費用	-0.163621	0.041436	-3.95	0.0019*
収入/車両	-0.091983	0.014131	-6.51	<.0001*
収入/費用	1.0214298	0.077014	13.26	<.0001*

図4.7 SCOREを元データと比尺度で変数増加法

図4.8は、SCORE2を元データと比尺度で変数増加法を行いAIC最小の3変数が選ばれた。決定係数は0.88である。元の変数の車両台数と2個の比の変数が選ばれた。

パラメータ推定値				
項	推定値	標準誤差	t値	p値(Prob> t)
切片	0.8305371	0.044259	18.77	<.0001*
車両台数(両)	0.067113	0.024473	2.74	0.0159*
輸送客/キロ	0.1901967	0.037613	5.06	0.0002*
輸送距離/費用	0.1582537	0.057819	2.74	0.0160*

図4.8 SCORE2を元データと比尺度で変数増加法

以上から、これまで重回帰分析や判別分析などで因果関係を表す統計分析において、元データだけを用い、1入力1出力の比を考えてこなかった。しかし、比尺度を加えることでより解釈が明確になることが期待できる。

5. 日本の10電力のDEA分析（2014年卒業ゼミ：石塚君）

5.1 データと客観的な事実に基づく問題解決とは

石塚君は、エネルギー関連の業種に就職先を絞った。最悪の場合、石油販売でも良いということで、ガソリンスタンドでアルバイトを行い、オーナーとも懇意になり万が一の場合引き取ってもらう手はずを整えた。最終的には出光と三菱商事の合併企業のアストモスエネルギー(株)に決まった。そこで卒業研究は、日本の10電力の2010年と2012年のデータを集め原発の事故前と事故後を比較することにした。上級演習はすばやく対応したのに、5月になってもなかなか報告をしない。問い詰めると「10電力のうち、事故後に非効率になったのは東京電力でなく、九州電力であり、想定外の結果で別のテーマにしようか迷っている」ということである。

学生は、ありがたいことに教師が教えることが正しいものと信じ、それに反する結果になると何か間違っていると考えるようだ。当事者の私は、決してDEAによる分析や統計分析を信じきっているわけではない。「統計や数理計画法を用いれば、データや客観的な事実に基づいて問題解決が簡単かつ迅速にできることが多い。浮いた時間は、科学的と呼ばれる手法で解決できないより難しい問題を考える時間にあてるべきだ」と考えている。

5.2 2010年の分析

石塚君の卒業研究は、東日本大震災前後の電力会社10社（北海道電力、東北電力、北陸電力、東京電力、中部電力、関西電力、中国電力、四国電力、九州電力、沖縄電力）の経営効率を比較することで、震災が電力業界に与えた影響を考察することである。作業仮説としては、原子力発電に重きを置いていた東京電力や関西電力が経営効率値を悪くし、比較的震災

の影響を受けていないと思われる四国電力や沖縄電力の経営効率値が上がると考えた。

そして電力事業連合会が公表している、「電力統計情報」より震災前の2010年度のデータと、震災後の2012年度のデータを用い、「発電電力 (MWh)」、「架線総延長 (km)」、「発電所数 (所)」、「営業費用 (百万円)」を入力とし、「営業利益 (百万円)」、「契約口数 (口)」、「販売電力 (MWh)」を出力とする、4入力3出力のDEAモデルを作成し、分析した。

(1) 効率値から総括原価方式の影響を読み解く

2010年度のデータをDEAで分析した結果が表5.1である。ここでは計算結果をより簡素にするために、筆者の教えた通り変数の最大値が1以上10未満になるよう単位を変換して分析した。変換した単位は発電電力 (億MWh)、架線総延長 (万km)、発電所数 (百所)、営業費用 (兆円)、営業利益 (兆円)、契約口数 (千万口)、販売電力 (億MWh) である。

彼が間違ったテーマを選んだと考えたのは、DEA効率値を示すSCOREは、東北電力と中部電力を除く8社が最大値1であり、Inverted DEAのDEA非効率値 (SCORE2) が1と非効率な電力会社は、東電、中部電力、関西電力と四国電力を除く6社である点である。そして両効率値の範囲が、 $0.98 \leq \text{SCORE} \leq 1$ と $1 \leq \text{SCORE2} \leq 1.04$ で企業間の違いがこれまでのゼミ生の他業種の結果と大きく異なっていた。そこで、私は「世間で言われている経済上のある重要な概念が、数値として明確に出ている面白い結果であり、やめてはいけない」といって、それをテーマにして議論させ次の結論を得た。

- 1) 総括原価方式に守られて10社の経営に大きな違いは事故前も事故後も出てこない。
- 2) SCOREが1にならなかった東北電力と中部電力の理由は、仮説として東北電力は太平洋と日本海側にまたがる県を営業エリアとするため、山間部を含む架線の総延長が比較的長く無駄なことから、両電力ともに原子力発電の比重が少なく、小規模な発電所数が多いことなどを挙げた。これは一元配置の分散分析で確認することにした。
- 3) しかし、料金改定のずれという可能性もあるので、値上げ時点の比較表にまとめることにしたがまとめ切れなかった。
- 4) 関西電力のSCORE2が1.04と僅かであるが改善の手本になる。これは間違いなく原発の比率が高いためであろう。しかし原子力発電で効率的に大量の発電を行っても、僅かに他社より効率的であるにすぎない。

彼は差が小さいのでSCOREとSCORE2の組み合わせで4分類することをすっかり忘れていた。Aになるのは業界トップの東京電力と、2位の関西電力だけである。Bになるのは、北海道電力、水力発電の比率の高い北陸電力、中国電力、九州電力と沖縄電力の5社である。一般的なCは中部電力だけで他産業に比べて著しく少ない。Dは非効率な東北電力である。図4.1のようなSCOREとSCORE2の散布図を省くが、DとBはSCORE2=1の直線上に、BとAはSCORE=1の直線上に、Cの中部電力だけが異なっている。また電力料金の値上げ時期によっ

て効率性は大きく影響を受けると考えられるので、それを調べることを前期に話し合った。しかしインターネットで調べても難しいという報告が続いた。1月になって筆者が「電気事業連合会」を調べると単年度ごとの報告書が見つかった。確認すると各社のHPを調べていたということで、指導ミスである。

表 5.1 2010年度CCRモデル分析結果

SN	事業所	発電電力	架線総	発電所数	営業費用	営業利益	契約口数	販売電力	SCORE	SCORE2	G
1	北海道	0.33	0.80	0.66	0.51	0.55	0.40	0.32	1.00	1.00	B
2	東北	0.73	1.44	2.28	1.45	1.55	0.74	0.83	0.98	1.00	D
3	東京	2.64	1.49	1.92	4.79	5.15	2.87	2.93	1.00	1.01	A
4	中部	1.24	1.09	1.97	2.02	2.18	1.05	1.31	0.99	1.01	C
5	北陸	0.35	0.32	1.38	0.44	0.48	0.21	0.30	1.00	1.00	B
6	関西	1.32	1.41	1.65	2.25	2.48	1.35	1.51	1.00	1.04	A
7	中国	0.45	0.78	1.10	0.99	1.03	0.52	0.62	1.00	1.00	B
8	四国	0.29	0.33	0.65	0.48	0.53	0.28	0.29	1.00	1.02	A
9	九州	0.81	0.97	1.94	1.30	1.39	0.85	0.87	1.00	1.00	B
10	沖縄	0.07	0.08	0.22	0.14	0.15	0.08	0.08	1.00	1.00	B

(2) DEAクラスター

表5.2のDEAクラスターもこれまでのDEA分析と大きく異なっている。この点でも、石塚君が報告をためらった点でもある。関西電力と事業規模の小さい北陸電力が一つのDEAクラスターになり、残りの8社は構成員数1の8個の異なったDEAクラスターになる。この理由は比較的容易に次の作業仮説にたどり着いた。

5) 電力会社は、DEA効率値や非効率値に大きな違いはないが、経営環境に大きな違いがあり、9個のDEAクラスターになったと考えられる。発電形態一つとっても、沖縄電力は火力一辺倒、関西電力は原発、北陸電力は水力の比重が高いなど異なっている。架線総キロ数や発電所数にそれが反映されている。

折角考え付いたDEAクラスターであるが、これまで学生にはCCRモデルは、入出力変数が増えるとDEAクラスターが増えてDMUが細分化され、改善活動に不適切であるという説明に用いてきた。しかしこのテーマで初めて経営環境の違いという積極的な解釈に役に立った。

表5.2 DEAクラスターによる分析

手本	構成員数	構成員
S1, S3, S10	1	S1
S6, S7, S10	1	S2
S1,S3	1	S3
S3,S6	1	S4

5.3 2012年度の分析

表5.3は2012年度の分析結果である。2010年に比べて逆にSCOREを落とした九州電力は、販売電力が減少したにも関わらず営業費用が増加していることから営業的に苦戦していると考えられる。一方、DEA非効率値は中国電力と四国電力を除く8社が非効率になった。両効率値が1にならないのは、中国電力と四国電力と九州電力だけで、残り7社は特異的になった。2010年の特異的になった5社が、原発が止まることで7社に増えた説明は今のところ分からないが、原発が止まることで各社の発電形態の違いが鮮明になったと考えられる。G列のグループ分けは、スラッシュの左が2010年、右が2012年、変わらなければ一文字で示した。AからBに悪くなったのは、東京電力と関西電力で、やはり事故の影響が関係しているようだ。地震と津波の被害にあった東北電力は、各年度の相対評価であるがDからBに改善している。原発の被害がなかったためかと考えられる。これに対して中国電力はBからAに相対的に評価が上がり、逆に九州電力はBからDに評価を下げている。北海道電力、北陸電力、沖縄電力はBのままである。新聞報道などで、北海道電力は電力料金の再々値上げの窮状などが報じられていたが、データを集めた2013年と時間差が有るか調べる必要がある。また電力会社の効率性は、電気料金値上げ時期に大きく影響されるが、これに関しては検討していない。

表5.3 2012年度のDEAによる分析

SN	事業所	発電電力	架線総	発電所数	営業費用	営業利益	契約口数	販売電力	SCORE	SCORE2	G
1	北海道	0.29	0.80	0.69	0.68	0.56	0.40	0.31	1.00	1.00	B
2	東北	0.60	1.46	2.30	1.64	1.59	0.77	0.78	1.00	1.00	D/B
3	東京	2.41	1.48	1.97	6.03	5.77	2.89	2.69	1.00	1.00	A/B
4	中部	1.31	1.09	1.99	2.51	2.49	1.05	1.27	1.00	1.00	C/B
5	北陸	0.30	0.32	1.43	0.47	0.48	0.21	0.28	1.00	1.00	B
6	関西	1.15	1.42	1.67	2.88	2.52	1.36	1.42	1.00	1.00	A/B
7	中国	0.44	0.78	1.11	1.15	1.13	0.52	0.59	<u>1.00</u>	<u>1.01</u>	B/A
8	四国	0.20	0.33	0.65	0.56	0.50	0.28	0.27	<u>1.00</u>	<u>1.03</u>	A
9	九州	0.67	0.99	1.96	1.75	1.45	0.86	0.84	<u>0.97</u>	<u>1.00</u>	B/D
10	沖縄	0.07	0.08	0.23	0.15	0.16	0.09	0.07	1.00	1.00	B

表5.4に示すとおり、DEAクラスターは10社に分かれた。例えば、北海道電力は、北海道電力と東京電力と沖縄電力を手本とするクラスターになる。きっと会計の専門家であれば、この3社の値に何か共通する関連があることを説明できると思われるが、そこまで分析を行っていない。九州電力だけが手本に含まれず、残り9社は属するDEAクラスターの手本に含まれている。2010年からわずか1個の増加であるが、発電電力量の大きな原発がとまることで、各社の火力、水力、地熱、風力などの経営環境の違いが影響した可能性が考えられる。

表5.4 2012年度DEAクラスターによる分析

手本	構成員数	構成員
S1, S3, S10	1	S1
S2, S7	1	S2
S3	1	S3
S3, S4, S5	1	S4
S4, S5, S7	1	S5
S4, S6, S7	1	S6
S3, S7, S10	1	S7
S2, S7, S8	1	S8
S5, S6, S7, S8, S10	1	S9
S3, S10	1	S10

5.4 両年度を同時に20社として分析

石塚くんは、以上の結果に満足して12月まで次に進まない。4年になって卒業単位をわずかに残しているのではじっと我慢していた。試験が終わってすぐに呼び出し、新村（2013a）を参考に最後の詰めを迫った。1986年と2011年の東京都23区の公立図書館を46個のDMUとして一度に分析し、土光臨調を受けて区立図書館は2011年に全て経営効率を改善した事例である。以下がそれを応用した概略である。

表5.5は、年度の1から10は2010年度、11から20は2012年度、その下は2012年から2010年を引いた値である。発電電力では中部電力（と沖縄電力）を除く9社は減少している。中部電力は、中京地区の工場が震災復興に増産したのかその理由を調べる必要があるが、行っていない。販売電力は10社とも減少している。これに対して、架線総延長距離は東電だけが事故のために減少し、営業利益では四国電力だけが減少している。普通の産業であれば経営に大きなダメージを受けた後でこのように9社の営業利益が増える結果にならないが、総括原価方式による事故後の電気料金の値上げのためであろう。20社で分析したことで、 $0.925 \leq \text{SCORE} \leq 1$ と $1 \leq \text{SCORE2} \leq 1.163$ と単年度の分析より多少範囲が大きくなった。グループ分けは、2010年度と2012年度の各単年度の評価を左に、20社にまとめた分析の評価を右に記し

た。中国電力と九州電力と沖縄電力は2010年単年度のbから20社にまとめることでaに評価を上げたのは、相対的に事故後の10社と比較すると2010年は良かったのであろう。2012年度は、中部電力と北陸電力が2012年単年度のbから20社にまとめることでdと悪くなり、関西電力がbからaと良くなっている。関西電力は、原発の依存度が高く、原発停止の影響が多いというのが共通認識であり、この比較方法による判断は間違っているか否かは分からない。

表5.5 2010年度と2012年度をあわせた分析

SN	事業所	発電電力	架線総	発電所数	営業費用	営業利益	契約口数	販売電力	SCORE	SCORE2	G
1	北海道	0.33	0.80	0.66	0.51	0.55	0.40	0.32	1	1	b
2	東北	0.73	1.44	2.28	1.45	1.55	0.74	0.83	0.996	1	d
3	東京	2.64	1.49	1.92	4.79	5.15	2.87	2.93	1	1.151	a
4	中部	1.24	1.09	1.97	2.02	2.18	1.05	1.31	0.991	1.097	c
5	北陸	0.35	0.32	1.38	0.44	0.48	0.21	0.30	1	1	b
6	関西	1.32	1.41	1.65	2.25	2.48	1.35	1.51	1	1.163	a
7	中国	0.45	0.78	1.10	0.99	1.03	0.52	0.62	1	1.101	b/a
8	四国	0.29	0.33	0.65	0.48	0.53	0.28	0.29	1	1.079	a
9	九州	0.81	0.97	1.94	1.30	1.39	0.85	0.87	1	1.107	b/a
10	沖縄	0.07	0.08	0.22	0.14	0.15	0.08	0.08	1	1.131	b/a
11	北海2	0.29	0.80	0.69	0.68	0.56	0.40	0.31	1	1	b
12	東北2	0.60	1.46	2.30	1.64	1.59	0.77	0.78	1	1	b
13	東京2	2.41	1.48	1.97	6.03	5.77	2.89	2.69	1	1	b
14	中部2	1.31	1.09	1.99	2.51	2.49	1.05	1.27	0.925	1	b/d
15	北陸2	0.30	0.32	1.43	0.47	0.48	0.21	0.28	0.926	1	b/d
16	関西2	1.15	1.42	1.67	2.88	2.52	1.36	1.42	1	1.002	b/a
17	中国2	0.44	0.78	1.11	1.15	1.13	0.52	0.59	1	1.009	a
18	四国2	0.20	0.33	0.65	0.56	0.50	0.28	0.27	1	1.015	a
19	九州2	0.67	0.99	1.96	1.75	1.45	0.86	0.84	0.958	1	d
20	沖縄2	0.07	0.08	0.23	0.15	0.16	0.09	0.07	1	1	b
差1	北海3	-0.04	0.00	0.03	0.17	0.01	0.00	-0.01			
差2	東北3	-0.13	0.02	0.02	0.19	0.04	0.03	-0.05			
差3	東京3	-0.23	-0.01	0.05	1.24	0.62	0.02	-0.24			
差4	中部3	0.07	0.00	0.02	0.49	0.31	0.00	-0.04			
差5	北陸3	-0.05	0.00	0.05	0.03	0.00	0.00	-0.02			
差6	関西3	-0.17	0.01	0.02	0.63	0.04	0.01	-0.09			
差7	中国3	-0.01	0.00	0.01	0.16	0.10	0.00	-0.03			
差8	四国3	-0.09	0.00	0.00	0.08	-0.03	0.00	-0.02			
差9	九州3	-0.14	0.02	0.02	0.45	0.06	0.01	-0.03			
差10	沖縄3	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	-0.01			

5.5 統計分析

試験終了後に石塚君は丁寧に7個の元変数と2個の効率値、そして12個の比尺度を作成し、一元配置の分析を行い、DEAの結果と比較したが省略する。またクラスター分析の結果も省いて、3つの主成分分析の比較を示す。

(1) 2010年の主成分分析

2010年度の図5.1に示すスコアプロットから、東電を先頭に、関西電力と中部電力の2番手、そして残り7社が雁行状に広がっている。

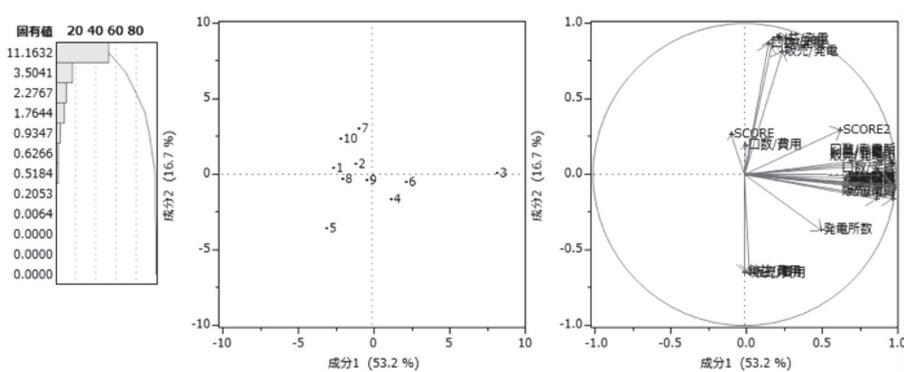


図5.1 主成分分析

因子負荷プロットから、第4象限の発電所数から第1象限のSCORE2の間にあるのは、表5.6の因子負荷行列から、7個の第4象限にある元の変数と第1象限にある架線と発電所数を入力とする6個の比の計13個である。SCORE2とSCOREの間にあるのは、第1象限にある発電電力を入力とする3個の比と口数/費用の計4個の比である。第3のグループは、第2主成分と-0.65の負の相関を取る費用を入力とし出力が利益と販売の2個の比に分かれた。最初の13個の変数は東電、関電、中部電力といった規模の大きな3電力で、どちらかといえばSCORE2も大きく、次の4個は第2象限に布置する中国電力と沖縄電力の2電力は発電電力に対する利益、口数、販売が良くどちらかといえばSCORE2が高いことを示す。最後の2個の比に北陸電力と中部電力が対応し、費用に対する利益や販売の経営成果がわずかに良いと言える。残りの4社の北海道電力、東北電力、四国電力、九州電力は原点の近くにある。

表5.6 2010年の因子負荷行列

変数	主成分1	主成分2	象限
発電電力 (発電)	0.98	-0.16	4
架線総キロ (架線)	0.70	-0.03	4
発電所数 (発電所)	0.51	-0.37	4
営業費用 (費用)	0.98	-0.08	4
営業利益 (利益)	0.98	-0.09	4
契約口数 (口数)	0.99	-0.07	4
販売電力 (販売)	0.99	-0.10	4
SCORE	-0.09	0.26	2
SCORE2	0.63	0.30	1
利益/発電電力	0.19	0.89	1
口数/発電電力	0.16	0.87	1
販売/発電電力	0.25	0.81	1
利益/架線	0.86	-0.09	4
口数/架線	0.89	-0.01	4
販売/架線	0.87	-0.16	4
利益/発電所	0.97	0.09	1
口数/発電所	0.93	0.11	1
販売/発電所	0.97	0.07	1
利益/費用	0.00	-0.65	4
口数/費用	0.01	0.20	1
販売/費用	0.03	-0.65	4

(2) 2012年の主成分分析

2012年度の図5.2に示すサンプルスコアから、2010年から2012年の年次変化として、1/2象限と3/4象限の間に上下の移動があったことが分る。例えば、関西電力が第4象限から第1象限、四国電力と北海道電力が第2象限で上方移動、沖縄電力が下方移動していることが分かる。これらから、上方移動は事故の影響を受け、下方移動は受けていないと考えられる。因子負荷量からSCORE2が第1象限から第2象限、SCOREが第2象限から第1象限に移動している。

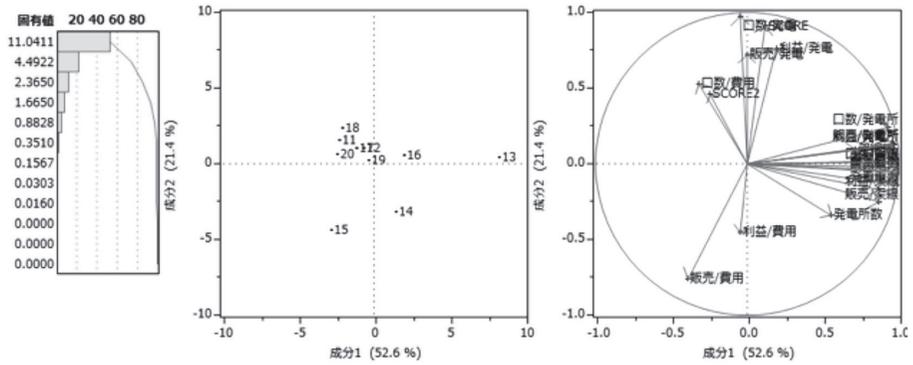


図5.2 主成分分析

表5.7は因子負荷行列である。象限の左の数字は2010年の象限で、右の数字は2012年の象限である。4象限から1象限に動いたのは3変数、4象限から3象限に動いたのは2変数、1象限から2象限に動いたのは3変数である。この検討は、優先順位を下げて検討しないことにした。

表5.7 2012年の因子負荷行列

変数	主成分1	主成分2	象限
発電電力	0.98	-0.14	4
架線総キロ	0.71	0.09	4/1
発電所数	0.55	-0.34	4
営業費用	1.00	-0.02	4
営業利益	0.99	-0.05	4
契約口数	0.99	0.02	4/1
販売電力	0.99	-0.06	4
SCORE	0.12	0.91	2/1
SCORE2	-0.24	0.46	1/2
利益/発電	0.19	0.76	1
口数/発電	-0.05	0.97	1/2
販売/発電	0.00	0.72	1
利益/架線	0.86	-0.17	4
口数/架線	0.84	0.01	4/1
販売/架線	0.87	-0.25	4
利益/発電所	0.97	0.13	1
口数/発電所	0.93	0.24	1
販売/発電所	0.96	0.13	1

利益/費用	-0.05	-0.45	4/3
口数/費用	-0.32	0.53	1/2
販売/費用	-0.39	-0.76	4/3

(3) 20社の分析

図5.3は、2010年と2012年度を合わせた主成分分析である。サンプルスコアから、東電（3から13）が原発事故で1象限から4象限に下の方に移動している。同じく関西電力（6から16）、九州電力（9から19）、四国電力（8から18）と北海道電力（1から11）が大きく下の方に移動している。これに対して、中部電力（4から14）、北陸電力（5から15）と沖縄電力（10から20）の移動距離は小さい。すなわち、主成分分析は下方移動の大きさが事故の影響どの大きさを表しているようだ。

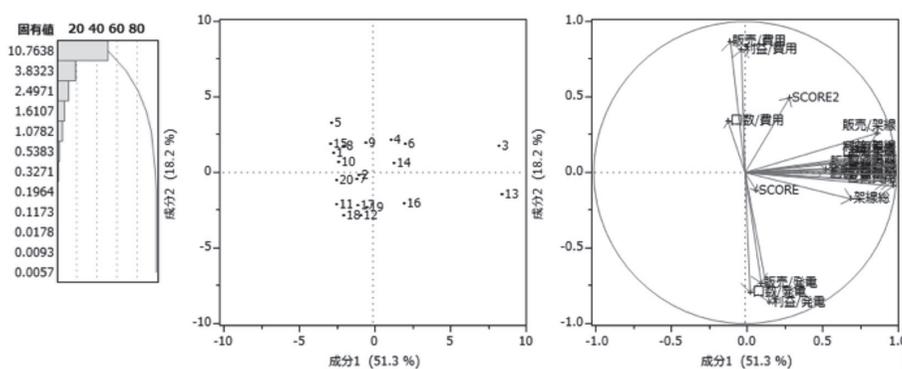


図5.3 主成分分析の散布図

表5.8は因子負荷行列である。4個の元の変数と SCOREと5個の比率は、第1主成分と0.51以上の相関で第2主成分は負の相関であり、第4象限に布置する。この値の大きなのは2012年度の東電と関電である。発電電力、発電所数と販売電力の元の3変数と SCORE2と4個の比率尺度が第1象限に布置し、2010年度の東電、中部電力、関電と2012年の中部電力が対応している。

表5.8 2012年の因子負荷行列

変数	主成分1	主成分2	象限
発電電力	0.98	0.11	1
架線総キ口	0.70	-0.18	4
発電所数	0.53	0.02	1

営業費用	0.98	-0.09	4
営業利益	0.99	-0.01	4
契約口数	0.99	-0.01	4
販売電力	0.99	0.05	1
SCORE	0.07	-0.12	4
SCORE2	0.29	0.49	1
利益/発電	0.16	-0.86	4
口数/発電	0.03	-0.79	4
販売/発電	0.11	-0.73	4
利益/架線	0.86	0.12	1
口数/架線	0.87	0.09	1
販売/架線	0.87	0.26	1
利益/発電所	0.97	-0.06	4
口数/発電所	0.93	-0.06	4
販売/発電所	0.96	0.02	1
利益/費用	-0.02	0.81	2
口数/費用	-0.11	0.34	2
販売/費用	-0.10	0.87	2

5.6 まとめ

本テーマは、研究者といえどもCCRモデルだけで分析に成功したとは考えられない。SCOREの範囲が0.925から1の範囲である。SCORE2と組み合わせることで両効率値が1になる企業が異常に他の産業の分析事例に比べて多いことが分かった。これからすぐに総括原価方式の影響に結びついた。また、DEA分析だけでなく、統計の一元配置の分散分析で変数の詳細な分析と、主成分分析で事故の前後の動きが分かった。東京都23区の23年間の違いを前年に主成分分析で行っていたことが幸いした。

2010年と2012年更に両年を合わせた主成分分析のスコアプロットから、東電を先頭に、関電と中部電力を2番手とし、残り7社が雁行状態のしんがりを勤めるという構造は変わらない。しかし、事故の影響は、関電や九電が大きく影響を受けたようだ。

6. 全国26空港の効率性分析（2014年度卒業研究：池田君）

池田君は上級演習で北海学園大学工学部社会環境工学科の伊藤彰宏と指導教授の鈴木聡士教授（2009）が行った「DEAによる空港経営の効率性評価」に掲載のデータを用いて分析した。伊藤君はその後大学院に進み研究を継続している。2013年度まで、テーマを決める一つの手段として、Googleで“DEA PDF”でDEAに関する論文を検索し、データが掲載されていて自分で興味を持って分析できる場合はそれを薦めていた。そこで彼はこのテーマを選ん

だ。上級演習を終え、卒業研究のテーマを話し合ったとき、引き続きこれをテーマとしたいという。4月中旬に東急電鉄(株)に就職が決まったので、石塚君のテーマを引き継いで本稿で述べた統計分析などで拡充してはどうかとアドバイスしたが、自分で追加したい変数があるという。そこで上級演習で扱った3入力1出力を「モデル1」とし、追加した変数のモデルをモデル2、モデル3と発展させていくことであればと了解した。

モデル1は、彼らの結果とゼミで学習した「Inverted DEAモデル」と「一入力固定改善法」を使い、「経営効率性」の観点から26空港を評価する。入出力項目として、国土交通省が公表している「平成18年度空港別収支の試算結果について [21]」をもとに、入力項目を「人件費 (十億円)」、「人件費を除く営業費用 (百億円)」、「負債 (千億円)」とし、出力項目を「営業利益 (百億円)」とする3入力1出力による経営効率性の評価である。さらに、今回自分なりに同じ年度の「空港の面積 (千ha)」、「滑走路の長さ (km)」、「運用時間 (十時間)」といった空港の規模と利用状況といった3変数を加えた、6入力1出力の分析を「モデル2」とした。その分析結果をゼミで検討し終えたのは11月ごろなので、更に発展させるように指導した [20-22]。そこで出てきたのが、出力に空港の規模に対応した着陸収入、旅客数、貨物数の3出力を加えた6入力4出力の「モデル3」である。ラグビーの2回目の負傷で手術入院していた東京医科歯科大学にPCを持ち込み分析を行った。そして「ほとんどがDEA効率的になって、どうしましょう」とメールしてきた。自分で対策を考えさせ、1月になって「モデル3」から「モデル1」で検討した変数を省いて「モデル4」として分析することにした。

6.1 モデル1の分析結果

(1) 効率値の検討

表6.1がモデル1の結果であり、効率値は $0.07 \leq \text{SCORE} \leq 1$ と $1 \leq \text{SCORE2} \leq 14.16$ になる。電力会社の結果と異なり、空港間の格差が大きい。この理由をゼミで取り上げて得られた結論は次の通りである。

- 1) 空港はどの空港経営でも乗降客数、貨物、空港テナント料と同じ商品を扱っていて、経営環境として雪や台風などの影響を受け欠航が多いなどの空港もあるが、他産業より経営環境は同質であろう。しかし、SCOREとSCORE2に大きな差がでる。この結果は考えさせられる結果である。空港経営は、需要の見込める大都会ほど適切に規模を大きくすることでより効率的になる。空港と似た事例で、港湾整備で需要のないところは磯釣りに目的外に転用されていることを話した。また空港の場合、需要が小さくても離島など社会インフラとして必要なことも話し合った。
- 2) 東京と大阪が効率的になるのは分かるが、小松がDEA効率的になる理由を次の課題とした。
- 3) 次の週、「空港は国管理、民間企業に移行した空港、自衛隊と共用空港などがあり、小松

は美保空港、徳島空港、三沢と同じ共用空港であるため建設費などが安くて済む。そのため、4つの共用空港全ての負債は0.001ととても少なくなっている。しかし、小松空港の負債にかかっている重みは990.10と2番目に大きな重みの徳島空港の0.93に比べて圧倒的に大きい。更に、営業利益が他の共用空港と比べて高いのに（2番目の徳島は0.049、小松は0.143）、負債は同じ0.001である。そのため、効率値を大きくするために990.10という大きな重みが負債にかかっているのだろう。それに加えて、小松空港は小松市・金沢市・福井市をはじめ、石川県南部（加賀地方）及び福井県北部（嶺北地方）へのアクセス拠点になっているため、効率的な運営ができていたのだろう」と報告があった。学生は、具体的な数字を引用しない傾向があるので、本文中に引用した数字を明記するよう指導した。

- 4) 一方、羽田空港の両効率値が1と特異的になった。鉄道と異なり空港経営は等質と考えられ、JR東海のように経営内容的に他社より有意な点が認められない。入力負債が他空港に比べて異常に大きいことが原因であり、1入力固定改善法でもこの事実が確認された。

表6.1 効率値

	空港名	人件費	営業費用	負債	営業利益	SCORE	SCORE2	G
1	東京	1.615	5.135	<u>8.978</u>	5.095	1.00	1.00	B
2	大阪	0.693	1.041	0.011	1.544	1.00	<u>14.16</u>	A
3	新千歳	0.700	0.714	0.013	0.951	0.90	<u>12.63</u>	C
4	福岡	0.722	1.672	0.013	1.073	0.60	<u>6.13</u>	C
5	那覇	0.598	0.826	0.012	0.339	0.28	3.91	C
6	稚内	0.100	0.096	0.002	0.010	0.07	1.00	D
7	釧路	0.177	0.202	0.003	0.038	0.13	1.79	C
8	函館	0.139	0.213	0.003	0.090	0.29	4.01	C
9	仙台	0.319	0.247	0.006	0.181	0.49	<u>5.55</u>	C
10	新潟	0.135	0.288	0.008	0.071	0.22	2.24	C
11	広島	0.161	0.204	0.003	0.175	0.58	<u>8.19</u>	C
12	高松	0.086	0.117	0.002	0.075	0.43	<u>6.15</u>	C
13	松山	0.120	0.142	0.002	0.128	0.61	<u>8.65</u>	C
14	高知	0.139	0.125	0.002	0.063	0.34	4.54	C
15	北九州	0.162	0.212	0.003	0.075	0.24	3.39	C
16	長崎	0.119	0.144	0.002	0.134	0.63	<u>8.91</u>	C
17	熊本	0.140	0.126	0.003	0.159	0.85	<u>11.12</u>	C
18	大分	0.102	0.136	0.002	0.096	0.48	<u>6.75</u>	C
19	宮崎	0.127	0.189	0.002	0.147	0.53	<u>7.44</u>	C
20	鹿児島	0.399	0.180	0.008	0.241	0.90	<u>5.87</u>	C
21	八尾	0.049	0.059	0.001	0.011	0.12	1.71	C
22	丘珠	0.052	0.054	0.001	0.006	0.08	1.07	C

23	小松 (共)	0.039	0.250	<u>0.001</u>	<u>0.143</u>	1.00	<u>5.46</u>	A
24	美保 (共)	0.048	0.084	<u>0.001</u>	0.023	0.21	2.64	C
25	徳島 (共)	0.032	0.095	<u>0.001</u>	0.049	0.58	4.93	C
26	三沢 (共)	0.055	0.027	<u>0.001</u>	0.016	0.38	2.80	C

(2) DEA クラスタ

表6.2はDEAクラスタである。東京はDEAクラスタ1 (DC1) に含まれ、東京と小松を手本とするが、構成員は東京だけである。大阪はDC2の唯一の構成員で大阪と小松を手本としている。大阪のみを手本とするDC3には18空港が含まれる。池田君はDEAクラスタの表記に構成と同じ記号を使う私のやり方はおかしいと言って、表のような表記を用いている。

表6.2 DEA クラスタ

DEA クラスタ	手本	企業数	構成
DEA クラスタ1	東京と小松	1	<u>S1</u>
DEA クラスタ2	大阪と小松	1	<u>S2</u>
DEA クラスタ3	大阪	18	S3, S5-S7, S9, S11-S22, S26
DEA クラスタ4	東京と大阪と小松	5	S4,S8,S10,S24,S25
DEA クラスタ5	小松	1	<u>S23</u>

6.2 新しい変数の追加 (モデル2)

(1) 両効率値

論文掲載のデータの他に、入出力項目として国土交通省の公表資料 [23] をもとに、空港の面積 (面積, 千ha), 滑走路の長さ (滑計, m), 運用時間 (運計, 十時間) を加えた6入力1出力による経営効率性を評価する。経理的なもの他に空港の規模に関わる入力変数を増やした。出力変数として乗客数と貨物数なども集めていたが、入出力変数が増えると比率尺度の作成個数が増えるので避けたいのかと内心思ったが、本人は解釈の容易さのためだと主張するので意思を尊重した。表6.3がその結果である。効率値は、 $0.07 \leq \text{SCORE} \leq 1$ と $1 \leq \text{SCORE2} \leq 14.16$ と、区立図書館以上に違いが大きい。東京、大阪、小松のほかにも福岡がDEA効率的になった。そして東京だけが両効率値が1と変わらない。福岡空港は新千歳空港に比べて空港のキャパシティが小さくDEA効率的になった。

表6.3 6入力1出力モデルの効率値

	空港名	面積	滑計	運計	人件費	営業費用	負債	営業利益	SCORE	SCORE2	G
1	東京	1.271	8.500	2.400	1.615	5.135	8.978	5.095	1.00	1.00	D
2	大阪	0.311	4.800	1.400	0.693	1.041	0.011	1.544	1.00	14.16	A
3	新千歳	0.719	6.000	2.400	0.700	0.714	0.013	0.951	0.90	12.62	C
4	福岡	0.353	2.800	1.500	0.722	1.672	0.013	1.073	1.00	6.13	A
5	那覇	0.327	3.000	2.400	0.598	0.826	0.012	0.339	0.34	3.91	C
6	稚内	0.096	2.000	1.400	0.100	0.096	0.002	0.010	0.07	1.00	D
7	釧路	0.160	2.500	1.300	0.177	0.202	0.003	0.038	0.13	1.79	C
8	函館	0.164	3.000	1.300	0.139	0.213	0.003	0.090	0.29	4.01	C
9	仙台	0.239	4.200	1.400	0.319	0.247	0.006	0.181	0.49	5.55	C
10	新潟	0.197	3.800	1.300	0.135	0.288	0.008	0.071	0.22	2.24	C
11	広島	0.198	3.000	1.400	0.161	0.204	0.003	0.175	0.58	8.19	C
12	高松	0.154	2.500	1.400	0.086	0.117	0.002	0.075	0.43	5.99	C
13	松山	0.135	2.500	1.400	0.120	0.142	0.002	0.128	0.61	8.65	C
14	高知	0.141	2.500	1.400	0.139	0.125	0.002	0.063	0.34	4.49	C
15	北九州	0.159	2.500	2.400	0.162	0.212	0.003	0.075	0.24	3.39	C
16	長崎	0.200	4.200	1.500	0.119	0.144	0.002	0.134	0.63	7.88	C
17	熊本	0.150	3.000	1.400	0.140	0.126	0.003	0.159	0.85	10.81	C
18	大分	0.148	3.000	1.400	0.102	0.136	0.002	0.096	0.48	6.68	C
19	宮崎	0.177	2.500	1.400	0.127	0.189	0.002	0.147	0.53	7.44	C
20	鹿児島	0.182	3.000	1.400	0.399	0.180	0.008	0.241	0.90	5.87	C
21	八尾	0.070	2.700	1.150	0.049	0.059	0.001	0.011	0.12	1.00	D
22	丘珠	0.103	1.500	1.300	0.052	0.054	0.001	0.006	0.08	1.00	D
23	小松(共)	0.448	2.700	1.400	0.039	0.250	0.001	0.143	1.00	5.12	A
24	美保(共)	0.235	2.000	1.500	0.048	0.084	0.001	0.023	0.21	1.66	C
25	徳島(共)	0.191	2.000	1.350	0.032	0.095	0.001	0.049	0.58	4.33	C
26	三沢(共)	0.010	3.000	1.150	0.055	0.027	0.001	0.016	0.38	1.33	C

(2) DEAクラスター

表6.4はDEAクラスターである。DC2に大阪を含む18空港含まれ、大阪が手本になる。DC3には那覇空港だけが含まれる。DC5には小松を含む5空港が含まれている。各DEAクラスターに含まれる空港に入れ替えが起き、羽田、福岡、那覇が単独で、大阪と新千歳がDC2に含まれた。

表6.4 DEAクラスター

DEAクラスター	手本	個数	構成
DEAクラスター1	東京と大阪	1	<u>S1</u>
DEAクラスター2	大阪	18	<u>S2</u> , S3, S6, S7, S9, S11-S22, S26
DEAクラスター3	東京と福岡	1	<u>S4</u>
DEAクラスター4	東京と大阪と福岡	1	S5
DEAクラスター5	東京と大阪と小松	5	S8, S10, <u>S23</u> , S24, S25

6.3 出力変数を追加 (モデル3)

(1) 両効率値

モデル2で追加した3変数の空港の面積, 滑走路の長さ, 運用時間の他に, 出力項目として追加した入力に対応した3出力の着陸収入, 利用者数(千万人), 貨物取扱量(十万トン)を加えて6入力4出力による経営効率性を評価する。表6.5は両効率値で, 範囲は $0.21 \leq \text{SCORE} \leq 1$ で $1 \leq \text{SCORE2} \leq 4.79$ になった。12空港がDEA効率的になった。両効率値が1になるのは東京空港だけであるが, SCORE2が最大になるのは4.47の大阪の代わりに大分空港が4.79になった。明らかに大分が空港の規模が小さいのでSCORE2が最大になった。

表6.5 両効率値

SN	空港名	面積	滑計	運計	人件費	営業費用	負債	営業利益	着陸収入	利用者数	貨物計	SCORE	SCORE2	G
1	東京	1.271	8.5	2.4	1.615	5.135	8.978	5.095	3.828	6.688	7.067	1.00	1.00	B
2	大阪	0.311	4.8	1.4	0.693	1.041	0.011	1.544	1.382	1.684	1.420	1.00	<u>4.47</u>	A
3	新千歳	0.719	6.0	2.4	0.700	0.714	0.013	0.951	0.881	1.854	2.184	1.00	4.63	A
4	福岡	0.353	2.8	1.5	0.722	1.672	0.013	1.073	0.851	1.812	2.619	1.00	3.96	A
5	那覇	0.327	3.0	2.4	0.598	0.826	0.012	0.339	0.228	1.450	1.806	1.00	3.37	A
6	稚内	0.096	2.0	1.4	0.100	0.096	0.002	0.010	0.010	0.023	0.005	<u>1.00</u>	2.33	A
7	釧路	0.160	2.5	1.3	0.177	0.202	0.003	0.038	0.036	0.088	0.060	0.99	4.73	C
8	函館	0.164	3.0	1.3	0.139	0.213	0.003	0.090	0.082	0.201	0.171	0.97	4.55	C
9	仙台	0.239	4.2	1.4	0.319	0.247	0.006	0.181	0.159	0.339	0.186	0.93	4.41	C
10	新潟	0.197	3.8	1.3	0.135	0.288	0.008	0.071	0.057	0.126	0.025	0.84	3.83	C
11	広島	0.198	3.0	1.4	0.161	0.204	0.003	0.175	0.163	0.334	0.258	0.99	4.65	C
12	高松	0.154	2.5	1.4	0.086	0.117	0.002	0.075	0.070	0.152	0.129	0.98	4.62	C
13	松山	0.135	2.5	1.4	0.120	0.142	0.002	0.128	0.114	0.275	0.105	0.98	4.45	C
14	高知	0.141	2.5	1.4	0.139	0.125	0.002	0.063	0.053	0.149	0.047	0.91	4.21	C
15	北九州	0.159	2.5	2.4	0.162	0.212	0.003	0.075	0.066	0.127	0.048	0.92	4.41	C
16	長崎	0.200	4.2	1.5	0.119	0.144	0.002	0.134	0.125	0.267	0.182	1.00	4.64	A
17	熊本	0.150	3.0	1.4	0.140	0.126	0.003	0.159	0.150	0.317	0.306	1.00	4.71	A

18	大分	0.148	3.0	1.4	0.102	0.136	0.002	0.096	0.092	0.188	0.140	1.00	4.79	A
19	宮崎	0.177	2.5	1.4	0.127	0.189	0.002	0.147	0.131	0.308	0.143	0.98	4.44	C
20	鹿児島	0.182	3.0	1.4	0.399	0.180	0.008	0.241	0.228	0.571	0.412	1.00	4.74	A
21	八尾	0.070	2.7	1.2	0.049	0.059	0.001	0.011	0.002	0.000	0.000	0.21	1.00	D
22	丘珠	0.103	1.5	1.3	0.052	0.054	0.001	0.006	0.004	0.038	0.000	1.00	1.26	A
23	小松(共)	0.448	2.7	1.4	0.039	0.250	0.001	0.143	0.131	0.256	0.244	1.00	4.59	A
24	美保(共)	0.235	2.0	1.5	0.048	0.084	0.001	0.023	0.020	0.050	0.017	0.93	2.89	C
25	徳島(共)	0.191	2.0	1.4	0.032	0.095	0.001	0.049	0.040	0.087	0.040	0.88	4.04	C
26	三沢(共)	0.010	3.0	1.2	0.055	0.027	0.001	0.016	0.014	0.032	0.009	0.97	4.55	C

(2) DEAクラスター

今回はCCRモデルでSCOREが1となった空港が多かった為に最大で2047 (=2の11乗-1)通りのクラスターが出てくる可能性があるが26個のDMUの上限に近い23個のDEAクラスターができた。同じクラスターを手本とするものは最大で2つで非常にばらけている事が分かる。この場合DEAクラスターの分析にあまり効果を感じない。しかし、小松空港(DC21)だけが自分自身を手本として構成員も自身という特異な空港になった。いづれにしてもこの結果は重要な意味がない。今後どう対応するかは、学生には難しい課題であった。

表6.6 DEAクラスター

DEA	手本	個数	構成
DEAクラスター 1	1, 2, 3, 11	1	S1
DEAクラスター 2	2, 4, 11	1	S2
DEAクラスター 3	2, 3	1	S3
DEAクラスター 4	3, 4, 5	1	S4
DEAクラスター 5	3, 5, 20	1	S5
DEAクラスター 6	6, 22	1	S6
DEAクラスター 7	6, 17, 20	1	S7
DEAクラスター 8	3, 5, 17, 20	1	S8
DEAクラスター 9	18, 20	1	S9
DEAクラスター 10	6, 18, 20	2	S10, S24
DEAクラスター 11	3, 18, 23	1	S11
DEAクラスター 12	6, 17, 18, 20	1	S12
DEAクラスター 13	3, 5, 17, 23	2	S13, S19
DEAクラスター 14	5, 20, 22	1	S14
DEAクラスター 15	6, 18	2	S15, S21
DEAクラスター 16	5, 17, 18, 23	1	S16
DEAクラスター 17	3, 7, 20	1	S17
DEAクラスター 18	2, 3, 18, 23	1	S18

DEAクラスター 19	2, 20	1	S20
DEAクラスター 20	5, 6, 20, 22	1	S22
DEAクラスター 21	<u>23</u>	1	S23
DEAクラスター 22	5, 17, 123	1	S25
DEAクラスター 23	2, 5, 20	1	S26

6.4 モデル4

学生は一般的にあって、教えられたことの枠内で考えてしまう。特に分析系の理論であれば科学的という言葉に惑わされてなおさらである。現実に応用して、上手いかなければ教えられたことを疑い、自分で試行錯誤するよう指導する必要がある。池田君が退院後の1月にどうすれば良いか打ち合わせた。もちろんすでに私は、モデル1に用いた3入力の変数を省いた空港の規模とその成果である「モデル4」を分析してみて上手くいくことを確認済みである。もしこれなしで、学生と議論すると間違った方向性を示すかもしれない。限られた時間制約で、学生が壁にぶち当たって挫折してしまうことに気をつけなければいけない。

「モデル2」で追加した3変数の空港の面積、滑走路の長さ、運用時間を3入力とし、出力変数として「営業利益」、「利用者数（千万人）」、「貨物取扱量（十万トン）」を加えて3入力3出力による経営効率性を評価する。ただし、八尾空港は遊覧飛行が中心であり丘珠空港とともに貨物の扱いはないので省いて24空港で分析する。表6.7は両効率値で、 $0.04 \leq \text{SCORE} \leq 1$ で $1 \leq \text{SCORE2} \leq 24.73$ になった。DEA効率的な東京、大阪、福岡の3空港はSCORE2も23.77以上で4位の鹿児島島の12.99より大きい。SCORE2が1の稚内、三保、三沢の3空港は非効率であることは常識に合致する。負債を省いているため、両効率値が1になる空港はなく、残り18空港の評価も妥当である。

表6.7 両効率値

	空港名	面積	滑計	運計	営業利益	利用者数	貨物計	SORE	SCORE2	G
1	東京	1.271	8.5	2.4	5.095	6.688	7.067	1	<u>24.73</u>	a
2	大阪	0.311	4.8	1.4	1.544	1.684	1.42	1	23.77	a
3	新千歳	0.719	6	2.4	0.951	1.854	2.184	0.49	12.12	c
4	福岡	0.353	2.8	1.5	1.073	1.812	2.619	1	24.13	a
5	那覇	0.327	3	2.4	0.339	1.45	1.806	0.85	10.51	c
6	稚内	0.096	2	1.4	0.01	0.023	0.005	0.04	1	d
7	釧路	0.16	2.5	1.3	0.038	0.088	0.06	0.1	2.34	c
8	函館	0.164	3	1.3	0.09	0.201	0.171	0.23	5.236	c
9	仙台	0.239	4.2	1.4	0.181	0.339	0.186	0.26	6.101	c

10	新潟	0.197	3.8	1.3	0.071	0.126	0.025	0.12	2.437	c
11	広島	0.198	3	1.4	0.175	0.334	0.258	0.31	7.424	c
12	高松	0.154	2.5	1.4	0.075	0.152	0.129	0.18	4.299	c
13	松山	0.135	2.5	1.4	0.128	0.275	0.105	0.38	8.685	c
14	高知	0.141	2.5	1.4	0.063	0.149	0.047	0.2	4.356	c
15	北九州	0.159	2.5	2.4	0.075	0.127	0.048	0.15	3.221	c
16	長崎	0.2	4.2	1.5	0.134	0.267	0.182	0.25	5.531	c
17	熊本	0.15	3	1.4	0.159	0.317	0.306	0.39	8.888	c
18	大分	0.148	3	1.4	0.096	0.188	0.14	0.23	5.329	c
19	宮崎	0.177	2.5	1.4	0.147	0.308	0.143	0.32	7.734	c
20	鹿児島	0.182	3	1.4	0.241	0.571	0.412	0.58	12.99	c
23	小松(共)	0.448	2.7	1.4	0.143	0.256	0.244	0.12	2.686	c
24	美保(共)	0.235	2	1.5	0.023	0.05	0.017	0.04	1	d
25	徳島(共)	0.191	2	1.4	0.049	0.087	0.04	0.09	2.099	c
26	三沢(共)	0.01	3	1.2	0.016	0.032	0.009	0.59	1	d

図6.1はSCOREとSCORE2の散布図である。グループcが多いので、ほぼ対角線上に並び、SCOREが1の3空港は直線上の予測値より少し大きなSCORE2の値を取っている。3の札幌と20の鹿児島はほぼ直線上に、5の那覇は予測値を下回っている。これら3空港は、JRなどの他輸送機関と競合が少なく、観光客も多いと思われる。26の三沢空港は共用空港で、著しく非効率である。これ以外の19空港はほぼ直線上にあり、空港経営効率のランキングを表していると考えてよいであろう。すなわちCCRモデルによる効率値単独で経営効率を考えるのではなく、Inverted DEAと合わせて考え、かつ多くのDMUを回帰する直線で評価するのが適している。しかし、他の分析事例では、回帰直線の下に多くのDMUがくる傾向がある。

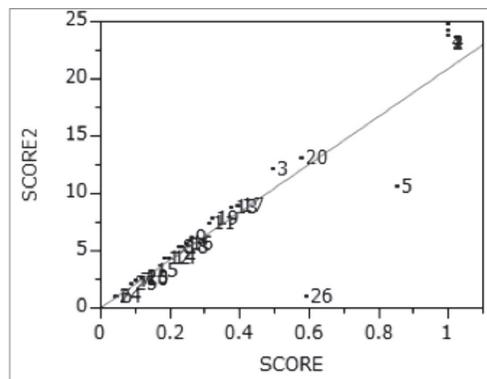


図6.1 SCOREとSCORE2の散布図

6.5 統計手法を使った分析

池田君は、10個の変数と2個の効率値と24個の比率尺度で一元配置の分散分析のグラフ表現を全ての変数で行っているが省く。またクラスター分析も図が大きいので省く。図6.2は主成分分析の結果である。東京が4象限、大阪(2)と新千歳(3)と福岡(4)と那覇(5)と小松(23)が残りの空港と分離して、モデル3で注目した大分は目立たない。どうも日本の空港はこの結果で考えたほうが良いであろう。

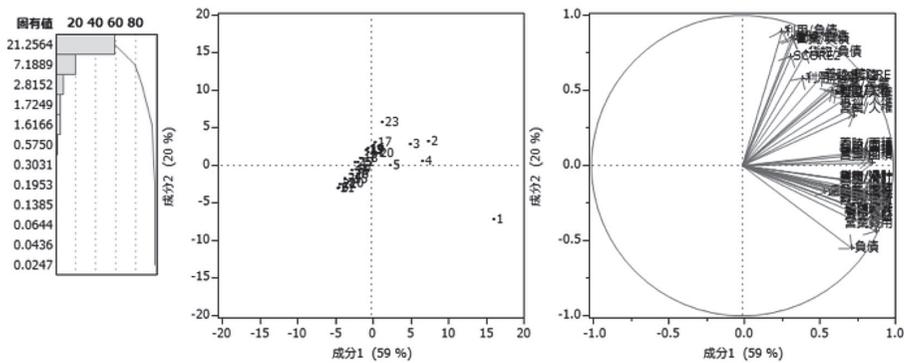


図6.2 主成分分析の結果

表6.8は因子負荷量である。元の変数と8個の比尺度は4象限、両効率値と残りの比尺度は1象限になった。羽田は全ての元の変数の値が大きく4象限、那覇空港をのぞく4空港がどちらかといえは効率的な空港であり、2象限と3象限に布置する空港は元の変数と比尺度の小さな効率的でない空港といえる。

表6.8 因子負荷量

列1	主成分1	主成分2	象限
面積	0.87	-0.21	4
滑計	0.82	-0.19	4
運計	0.55	-0.18	4
人件費	0.94	-0.28	4
営業費用	0.89	-0.43	4
負債	0.72	-0.55	4
営業利益	0.90	-0.38	4
着陸収入	0.92	-0.34	4
利用者数	0.93	-0.35	4
貨物計	0.92	-0.35	4

SCORE	0.70	0.60	1
SCORE2	0.32	0.73	1
営業/面積	0.86	0.02	1
営業/滑計	0.96	-0.19	4
営業/運計	0.93	-0.28	4
営業/人権	0.74	0.34	1
営業/営業	0.61	0.55	1
営業/負債	0.34	0.84	1
着陸/面積	0.82	0.09	1
着陸/滑計	0.96	-0.13	4
着陸/運計	0.94	-0.22	4
着陸/人権	0.68	0.44	1
着陸/着陸	0.53	0.60	1
着陸/負債	0.33	0.86	1
利用/面積	0.84	0.08	1
利用/滑計	0.92	-0.13	4
利用/運計	0.97	-0.25	4
利用/人権	0.62	0.49	1
利用/利用	0.40	0.58	1
利用/負債	0.26	0.90	1
貨物/面積	0.84	0.04	1
貨物/滑計	0.85	-0.12	4
貨物/運計	0.95	-0.26	4
貨物/人権	0.73	0.38	1
貨物/貨物	0.59	0.50	1
貨物/負債	0.42	0.75	1

6.6 日本の空港のまとめ

日本の空港は、四季の多様な日本列島で南の台風や北の積雪で空港運営に影響は出るが、扱い商品は乗客と貨物と空港施設の賃貸料などの扱い商品が限られている。一方、日本の10電力会社は電力の提供というより単一の商品を扱っていて総括原価方式に守られて経営効率性から金太郎飴ではあるが、経営環境が異なりDEAクラスターがほぼ各電力会社に分かれるという結果になり好対照になった。

7. まとめ

本研究では、2012年度から上級演習と卒業研究で始めた評価の可視化を行うDEA法を用いた企業評価の取り組みのうち、2014年度卒業生のラグビー部主務の石塚君と主将の池田君のゼミレポートの概要を筆者が事前に行った分析を中心に紹介した。以前は、統計ソフトを用いて自分でテーマを決めてデータを集めて20頁以上の統計レポートを課していた。これに比べて、DEAによる企業評価は、社会を知らない学生に就活と企業人になってからの物の見方

と考え方を議論できる。また本学のみならず、多くの大学で昨今取り上げる「問題解決型授業」は私が28歳の企業人であったころから取り組んできた統計ソフトのSASや数理計画法のLINDOの日本社会への普及の評語であり次の主張であった。

1) 統計は、分析対象がデータで表された場合の問題が容易に解決できる。数理計画法は、分析対象が数式で表される問題が容易に解決できる。

2) これらの2分野は便利で高性能な分析ソフトを使うことで、統計や数理計画法の研究者養成の教育とは別の「高度なユーザー教育を独立」させて行うべきで。

しかし大学教員からは、分析系のソフトを使った教育は「たたき大工の教育」と揶揄されたこともあった。確かに分析系ソフトのメニューのクリック操作を教えていれば揶揄されても仕方がない。しかし1) 自分でテーマを決め、2) 分析を行い、3) 結論を導き、4) レポートにまとめる、ということをして「高度なユーザー教育」といつている。学生が希望すれば、SASユーザー会で30分PowerPointで発表も準備しているが、彼らは試合のほうが重要ということで行っていない。

ICT教育で例えばExcelの授業を考えてみよう。「10件掛ける2変数ぐらいの数値データを入力させ、2変数の相関を求める計算式をExcelの関数を用いなくて求める。そして、別のデータにも簡単に適用できるようにする。」というような簡単な課題でも学生は実に種々のレベルで壁にぶち当たる。

1) まず数値と文字の違いを踏まえて正しく入力できない、あるいは入力できたとしても企業の資本金などの単位を考えず円で入力する学生がいる。

2) 相関係数は単に四則演算であるが、相対参照と絶対参照の使い分けができないとパニックになる。

3) 一度10件で作成してしまえば、別の件数の異なるデータに使い回しができるということは、多くの学生にとって意外な盲点である。

4) そして、散布図に回帰式を書き込み、それらをWordやPowerPointに貼り付けレポートや発表資料を作るという一つの作業を完結させることが重要と考える。

5) その上で、Excelでは大量の同じ作業をやる場合、作業量は出力する表や図に比例するが、便利な統計ソフトを使えば少ない分析でも大量の分析でもほぼ作業量は変わらないことを教えるべきである。

6) 以上のように、単に操作法でなく、一連の完成された作業として教えたほうが良いであろう。

さらに「問題解決型の授業」を教える場合、教員自身がそれを実践している姿を示す必要がある。幸いにも2章で述べたとおり、DEAを現実に適用した場合に種々の問題があり、新村(2009)に紹介した内容に付け加えていった。2012年度と2013年度の卒業ゼミで行った修

正改良点は新村（2013a）にまとめた。本年度は、ラグビー部員であり多少のハードルを高くしても大丈夫であることを確信した上で、DEAの分析結果を統計分析で評価することを課した。DEAはデータを集めさえすれば、筆者がLINGOで作成した汎用モデルを流せば、すぐに効率的な企業と非効率な企業が表示される。それでレポートを作成させれば、学生はDEAを盲信し企業でその通り行い現状にあわないで挫折するであろう。これを避ける意味で、学生がテーマを決めてデータを集め終わった後、データを提出させ筆者が先回りして分析しゼミに望んで問題点を改善してきた。ある場合、学生の間違った方向でやらせてみた後で、修正を繰り返した。あまり公言すべきではないが、インターネット上に公開されているDEA研究の論文に比べても、遜色のない内容である。2014年の11月26日から「最適線形判別関数」の2014年に発表した英語論文3編を中心にResearch Gateを通して世界に情報発信することにした。2015年の1月時点で800ダウンロードを越えて夏前には1000を超える予測していたが、2月21日の朝に1000ダウンロードを超えた。ダウンロード数以外、閲覧数、論文引用数などが自動的に表示され、研究支援として役に立つので、多くの研究者に利用を勧めた。そこでDEAに関する日本語を8月以降Uploadしても、筆者の一生の研究テーマの普及に悪影響を及ぼさないと考えている。本稿と、学生のレポートをResearch Gateで広く紹介しようと考えている。

（成蹊大学経済学部教授）

参考文献

- [1] J.P.Sall, L.Creighton & A.Lehman (2004). 『JMPを用いた統計およびデータ分析入門』（第3版）. SAS Institute Japan (株). [新村秀一監修].
- [2] L.Schrage (2003). *Optimizer Modeling with LINGO*. LINDO Systems Inc.
- [3] S. Shinmura (2014a). *Comparison of Linear Discriminant Functions by K-fold Cross Validation*. Data Analytic 2014, 1-6.
- [4] S. Shinmura (2014b). *End of Discriminant Functions Based on Variance Covariance Matrices*. 2014 ICORE, 5-16.
- [5] S. Shinmura (2015). The 95% confidence intervals of error rates and discriminant coefficients. STATISTICS, OPTIMIZATION AND INFORMATION COMPUTING, 3, 66-78.
- [6] 伊東彰宏 (2009) 「DEAによる空港経営の効率性評価」, 『北海学園大学論文報告集』66号: 部門D
- [7] 新村秀一 (1993). 『意思決定支援システムの鍵』. 講談社.
- [8] _____ (2004). 『JMP活用 統計学とおき勉強法』. 講談社.
- [9] _____ (2007). 『ExcelとLINGOで学ぶ数理計画法』. 丸善.

- [10] _____ (2009). 「数学のできる問題解決学」. 『成蹊大学一般研究報告』, 42/4, 1-52.
- [11] _____ (2011a). 『数理計画法による問題解決法』. 日科技連出版社
- [12] _____ (2011b). 「DEAによる回帰型データのクラスター分析」, 『成蹊大学一般研究報告』, 45/3,1-37.
- [13] _____ (2012). 「SAS/JMPとの歩み」. *STN* (SAS Technical News) 春号～冬号.
- [14] _____ (2013a). 「DEA利用のための実践的な解説書」. 『成蹊大学経済学部論集』, 44/1, 15-41.
- [15] _____ (2013b). 「製品の価格性能比の考察—日本車44車種のDEA法と統計手法による分析—」. 『成蹊大学経済学部論集』, 44/2,1-30.
- [16] _____ (2014a). 「DEAによる47都道府県の観光業に関する分析」. 1-10.
- [17] _____ (2014b). 「東京都23区の公立図書館の比較評価—DEAと統計の共生—」. SASユーザー会, 1-16.
- [18] 杉山学 (2010). 『経営効率分析のためのDEAとinverted DEA』. 静岡学術出版.
- [19] 刀根薫(1993). 『経営効率性の測定と改善—抱絡分析法DEAによる—』. 日科技連出版社.
- [20] 国土交通省航空局監修:「航空需要予測」. http://www.mlit.go.jp/koku/02_topics/01_juyou/index.html
- [21] 国土交通省監修:「平成18年度空港別収支の試算結果について」. http://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000181.html
- [22] 国土交通省監修:「年度別空港管理状況」. <http://www.mlit.go.jp/common/000030477.pdf>
- [23] 国土交通省監修:「全国空港配置図」. http://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000310.html
- [24] 電気事業連合会:電力統計情報 <http://www5.fepc.or.jp/tok-bin/kensaku.cgi>
- DEAに関する論文は成蹊大学レポジトリ (<http://repository.seikei.ac.jp/>) に論文が掲載されています.