

称号及び氏名	博士（工学） 井上 和重
学位授与の日付	平成 26 年 3 月 31 日
論 文 名	「包絡分析法における評価の深化に関する研究」
論文審査委員	主査 辻 洋
	副査 真嶋 由貴恵
	副査 本多 克宏

論 文 要 旨

情報技術が発展する中で、多様な経営データが取得、蓄積され、それらの分析に関して様々な研究が行われている。特に企業など、組織を評価する際には、個々を相対的に比較し、評価する尺度が必要であり、そのような手法として、包絡分析法(**Data Envelopment Analysis: DEA**)が開発された。

DEA では、評価対象である意思決定単位(**Decision Making Unit: DMU**)が、複数の入力項目から複数の出力項目を産出しているとし、その効率性を評価する。特徴としては、評価の際に各 **DMU** が自身の特徴を考慮した評価軸を採用すること、評価値は効率的とされた **DMU** 群によるフロンティアとの比較から算出されることが挙げられる。そのため、**DEA** は複数の項目を用いて **DMU** の特徴を相対的に考慮し、効率性を定量的に評価できる手法として、様々な現場に適用されてきた。

DEA をもとにした研究も多数なされており、大きく **2** つに分けることができる。1 つは、**DEA** の適用性を拡張することを目的とし、新たなデータセットに対するモデルの改良や、適用事例に対して考慮すべき概念を組み込んだモデルの構築を行う流れである。もう 1 つは、従来の **DEA** での評価やその要因をより詳細に分析することを目的とした研究の流れである。両者を厳密に区別することは難しいが、前者が新たな評価を行うことに主眼を置いている一方で、後者が行われた評価やそれに対する要因をより詳細に分析することに主眼を置いている点で異なっていると考えることができる。

一方で **PDCA** サイクルに代表されるように、社会においては評価が行われた後に、それをもとに改善することが多く、その際には、評価に影響している要因や、他の評価対象と比較した状況など、行われた評価に対してより詳細に分析することが重要であると考えられる。そのため **DEA** においても、上記で述べた後者のように、効率性を評価するだけでなく、算出された効率値に対して、各入出力項目の影響度や、対象以外の **DMU** との関係について分析することが重要であると考えられる。しかし従来では、分析者の主観的な情報を取り入れた手法などを用いて、頑健性の評価や順位付けを行うことが中心となっており、評価に対して要因となる入出力項目や他の **DMU** に対する状況について分析するには課題がある。

そこで本研究では、**DEA** やそれらを用いたモデルでの効率性に対する、評価に影響する入出力項目および評価対象以外の **DMU** との関係性という観点からの深化に着目する。ここでの深化とは、算出された効率性について、値からだけでは発見が困難な性質に関して

分析することを指す。特に 2 章および 3 章では入出力項目や周囲の DMU に対する主観的な情報を組み込んだ DEA モデルでの評価に対して、4 章および 5 章では、基本となる DEA モデルでの評価に対して、入出力項目や他の DMU に対する状況を分析し、評価を深化する手法について述べる。

まず 2 章では、入出力項目に関する重視度を考慮した DEA モデルにおける評価を、入出力項目の影響度について深化する方法について述べる。従来の DEA では、各 DMU は自身の最も特徴的な項目にウェイトをかけることにより評価を行っているため、分析者が考慮したい項目が、評価に影響しないケースが存在した。これに対して Thompson らにより、分析者の主観的な情報として入出力項目に対する重視度を、ウェイトに関する制約として組み込む、乗数制約法と呼ばれる手法を用いたアプローチが提案されたが、この手法では制約条件の設定が困難であり、実行不可能となるケースが存在した。そのため、項目間の重視度を考慮した評価に対して、要因となる項目について分析することは困難であった。そこで 2 章では、データ項目間に対する重視度を考慮した操作や調整を行う場合に、実行不可能となるケースが存在しないよう制約を加えるモデルを提案した。さらに、このモデルでパラメータを変化させていくことで、入出力項目に対する重視度を考慮した評価に対して、要因となる項目について分析することを可能とした。また、1 入力 3 出力 12DMU のデータを用いて数値実験を行った。そこでの結果から、提案モデルを用いて入出力項目に関する分析者の主観的な情報を考慮して分析した際に、実行不可能となるケースが存在せず、ウェイトの変化から評価に影響する入出力項目の動向を分析できることを検証した。

次に 3 章では、DMU の分布に関する主観的な情報を考慮した DEA モデルにおける評価を、影響している入出力項目や他の DMU との関係性について、深化する方法について述べる。効率的となるために特徴的な項目と、周囲の状況を考慮して優位となるために特徴的な項目が異なるように、DMU の分布を考慮した分析が必要となるケースも存在した。これに対して Doyle らは、評価対象以外の DMU の評価軸における効率値であるクロス効率値を用いて、対象以外の DMU との関係性を組み込んだ評価を行い、複数の評価軸における効率値の頑健性について分析していた。しかし、対象以外の個々の DMU との関係性など DMU の分布状況について分析することや、他の DMU に対して優位に立つなど、分布状況に関する分析者の主観的な情報を考慮した評価、およびその要因となる入出力項目について分析することはできなかった。そこで 3 章では、他の DMU の分布状況を「競合状態」と考え、2 つの Step からなる、競合状態を考慮した DEA 分析手法を提案した。提案手法では、対象以外の DMU との評価値の差を表す競合度を導入し、「競合状態」という観点を新たに取り入れた。まず Step 1 では、評価対象となる DMU にとっての競合状態を図示し、他の DMU の分布や関係性に関する分析を行った。Step 2 では、競合状態に関する主観的な情報を考慮した評価モデルを構築することで、新たに評価を行い、さらにその要因となっている項目について分析することを可能とした。また、3 入力 3 出力 14DMU のデータを用いて、数値実験を行った。考察を通して、提案手法により、競合状態を図示することで、DMU の分布を視覚的に分析できること、さらに競合状態に関する分析者の主観的な情報を組み込んだモデルから、競合状態を考慮した評価を行い、また要因となる項目について分析できることを検証した。

4 章では、従来の DEA モデルにおける評価を、評価観点での階層構造に関して、深化する方法について述べる。DEA では、効率値が等しく 1 となる効率的な DMU の差を分析することは困難であり、特に入出力項目数が増加した場合には効率的な DMU 数も増加し、より困難となった。それに対して Charnes らは、入出力項目数を変化させた場合などの効率値を用いた、感度分析アプローチを提案した。しかし、このアプローチでは複数の効率値を用いた頑健性評価や順位付けが中心であり、効率性に関する差がどの入出力項目にあるのか分析することは、依然困難であった。そこで 4 章では、3 つの Step からなる、評価観点での階層構造を用いた効率性に対する差を分析する手法を提案した。Step 1 では全体

の評価観点がより詳細な評価に分解されていくよう、評価観点からなる階層構造を構築し、各観点に対して、上位の評価観点を分析するための項目が、下位の観点を分析するための項目を含むように、入出力項目を割り当て、**Step 2**にて観点ごとに効率値を算出した。それにより、従来の**DEA**での全入出力項目を用いた評価が、各観点での効率性にどのように分解されていくのか分析することを可能とした。さらに**Step 3**にて、縦軸に効率値を、横軸に全**DMU**の平均との差をとり、各観点を2次元の図にプロットすることで、従来の**DEA**での効率性を各観点から分析できるだけでなく、他の**DMU**に対して優位にあるかどうかなど、対象以外の**DMU**に対する状況に関しても、視覚的に分析することを可能とした。また適用事例として日本の国公立大学評価を取り上げ、**6**入力**8**出力**31**大学のデータに対して提案手法を適用した。その結果から、従来では効率性の差を分析できなかった大学に対して、評価観点に対する階層構造を用いることで、差異のある入出力項目の組み合わせやその度合いに関して視覚的に分析できることを検証した。

さらに**5**章では、従来の**DEA**モデルでの評価を、効率性に影響する入出力項目の構造に関して、深化する手法について述べる。従来の**DEA**ではすべての入出力項目を用いて、効率値や最も効率性が高い項目の組み合わせを分析することができた。しかし、他の項目を含めた組み合わせの中で、どの項目の組み合わせが効率性に影響するのか、また各項目がどのような関係になるのかなど、効率性に対する入出力項目の構造を分析することはできなかった。それに対して、**4**章での階層的アプローチを用いることで、主観的に構築した階層構造からであれば部分的に分析することができたが、階層構造に含まれている項目の組み合わせ以外に効率値が高くなる組み合わせが存在する可能性があるなど、効率性に対する入出力項目の構造について、十分に分析できているわけではなかった。そこで**5**章では、**4**つの**Step**からなる、効率性に対する入出力項目の構造を分析する手法を提案した。まず**Step 1**では、全入出力項目の選択パターンをノードとして階層構造を構築し、**Step 2**にて、各ノードでの項目を用いた効率値を算出した。そして**Step 3**にて、各ノードでの効率値をもとにノードの統合を行い、**Step 4**にて、統合されたノードを効率値に応じてプロットし、**DEA**での評価に対する入出力項目の構造を図示した。提案手法を用いることで、効率性に対する入出力項目の構造について分析することができ、従来の**DEA**や階層的アプローチでは発見できなかった、**2**番目以降に効率的となる組み合わせや、組み合わせられることで効率性を改善する項目を発見することを可能とした。また**International Living**誌による住みやすい国ランキングでの**1**入力**5**出力**35DMU**からなるデータに提案手法を適用し、効率性に関する入出力項目の構造を視覚的に分析できることを検証した。

6章では、本研究で得られた結果を総括する。

審査結果の要旨

本論文は、包絡分析法**DEA(Data Envelopment Analysis)**に関するもので、特に効率性の評価方法に新しい考えを導入したものである。前半で、入出力項目や評価対象以外の**DMU**に関する先験的な知識を組み込んだ効率値算出のモデル式を提案し、後半で入出力項目をグルーピングして階層的に評価する手法や効率値の順序性（優位、劣位）に注目した評価手法を提案しており、それぞれについて提案内容の有用性を数値実験により示しており、次の成果を上げている。

(1) 複数ある入出力項目において、項目間の重視度合いを効率値算出のモデル式に組み込むことを提案し、従来実行不可能なケースが生じる乗数制約法の欠点を克服した。人為

的なデータに対する数値実験を通して、従来法を拡張したモデルになっていることを確認している。

(2) クロス効率値として知られていた評価対象以外の **DMU** の評価軸を用いた手法の限界を示し、評価対象である **DMU** 群の分布を競合状態と考え、それを先験的な知識として効率値算出のモデル式に組み込むことを提案した。数値実験を通して競合状態を図示化することで評価対象のポジショニングを明示し、さらに効率の差が出る要因となる項目を検出できることを示した。

(3) 効率値が等しく 1 となる評価対象群の差を示すために知られていた感度分析アプローチの限界を示し、評価観点の階層構造を導入することでその限界を克服する手法を提案した。そのための手順として 3 つのステップを規定し、日本の国公立大学のデータを用いて利用方法を述べている。

(4) 複数の入出力がある中、効率値を決定するうえで、影響する入出力項目を検出するために、全入出力項目の階層構造を機械的に構築し、その構造の各ノードでの効率値を比較する手法を提案した。さらに視覚的に分析する手順を示し、住みやすい国ランキングのデータを用いて、提案手法の有用性を示した。

以上の研究成果は、包絡分析法の評価方法に関して新しいアプローチを提示しており、知能情報工学分野の発展に貢献したと考えられる。また、申請者が自立して研究活動を行うに必要な能力と学識を有することを証したものである。本委員会は、本論文の審査および最終試験の結果から、申請者に対して博士（工学）の学位を授与することを適当と認める。