

論文要旨と審査結果

Egoist's Dilemma: A DEA Game Solution

学位申請者氏名：中林 健

I. 論文要旨

本論文では、一定量の利益や負担を複数の主体の間で配分・分担しなければならない問題を数理的に考察している。この古典的な問題に対しては、これまで様々な数理的アプローチが提案されてきたが、そのいずれもが次のいずれかの前提を置いてきた。

- 上位に客観的な唯一の評価基準が存在する。
- 全ての参加主体は安定的な選好を持つ。

本論文では、独自の立場として、これらの前提に基づかないアプローチを試みている。オペレーションズ・リサーチ (OR) の代表的な二つの手法である包絡分析法 (DEA: Data Envelopment Analysis) と協力ゲーム理論を組み合わせ、これまでにない視点から配分問題を捉えなおし、新たな理論的枠組みを提示し、さらにその枠組みの中で協力ゲームの解概念 (公平性を達成するための筋の通った配分解の考え方) を提案している。

本論文の構成は以下のようになっている。

Chapter 1: Introduction

Chapter 2: The Egoist's Dilemma

Chapter 3: A DEA Game

Chapter 4: Solution Concepts of the DEA Game

Chapter 5: Extensions of the Basic Model

Chapter 6: An Application to the NATO's Problem

Chapter 7: A Case Study: The IFORS Problem

Chapter 8: Summary and Future Research Subjects

Appendix

References

Index

以下、本論文の構成にしたがって要旨を述べることとする。

Chapter 1 の最初で、著者は、国連の分担金問題など幾つかの実例を挙げながら、配分問題について次のような提起を行う。実際の場合では、客観的な最適解のようなもので配分が決定されるというよりむしろ、配分の仕方についての様々な基準や考え方に対して多数のプレイヤーが異なる意見を持ち合う中で、合意形成を図りながら落とし所を模索していくプロセスを辿る場合が多い。すなわち著者は、配分という問題を多基準の環境下で捉えて、最適性だけではなく、適切でないし公平性の問題として議論することを試みる。

次に著者は、H.P.Young 著“Equity: In Theory and Practice”を引用しながら、多基準型の配分問題の構造を論理的に解明し、解法に向けての理論的アプローチについて次のように整理する。多基準型の配分問題において実際に配分を決定するためには、二つ以上の基準の間でウェイトを設定しなければならない。プレイヤー間で公平性を担保しながらウェイトを決めようとするならば、全てのプレイヤーの意見を取り入れることが求められ、さらに多種多様な意見の中から“公平な均衡 (equitable balance)”を見出せるような手順が必要となる。これは意見集約あるいは社会選択と呼ばれる問題であり、決して容易な問題ではない。

本論文は、DEA と協力ゲーム理論という二つの手法を組み合わせ、多基準型の配分問題の理論的解法を考案することを目的とする。

Chapter 2 では、問題を数理的に考察していくためのモデルを構築する。その際に著者は、対象とする配分問題を概略的に次のように捉える。問題に直面するプレイヤーは皆が同じ組織ないしコミュニティに所属しており、配分決定に向けての提案や議論のプロセスを経て、候補となる幾種類かの配分の仕方が表出するようになる。全てのプレイヤーはこれら候補となる一揃いの配分法によって枠づけられるが、互いの意見に食い違いが生じて最終的な決定になかなか到達できない。

問題の定式化に当たっては、先ず、一揃いの配分をスコア行列で表現する。そして、スコア行列によって枠づけられたプレイヤーの意思決定行動については次のような前提を設定する。

利益配分問題（あるいは、費用分担問題）において各々のプレイヤーは、一揃いの配分の中から自己のシェアが最大（あるいは、最小）になるような基準ないしウェイトを選択する。

このようなプレイヤーの行動が実際の問題の中でもしばしば観察されることを、著者は Chapter 1 の中で既に例示している。そして、DEA の「可変ウェイト」の概念を利用することによって、プレイヤーの利己的なウェイト選択行動を線形計画問題として数学的に記述できる。

以上の定式化の結果、“配分決定を巡ってプレイヤー間の意見調整が難航する状況”を“1からの乖離”という定量的な問題として表現することが可能となる。このように確立された

理念型に対して、著者は新たに“Egoist’s Dilemma”という固有の名称を付けて呼ぶ。一般に広く知られる“囚人のジレンマ (Prisoner’s Dilemma)”では、行為の選択肢を「協力」か「非協力」の二者択一と見做したのちに、プレイヤーの利得（選好の序列）を割り振って問題を表現する。対して、著者が見出した Egoist’s Dilemma では、全てのプレイヤーは目的を等しくする組織ないしコミュニティに所属しており、「非協力」者やフリーライダーは存在しない。にもかかわらず、プレイヤーが個別に異なる基準を持ち合うことによって難問が発生する状況が表現される。この二つは、どちらかが正しくてどちらかが誤りという訳ではなく、そもそもの問題の捉え方が全く異なるものである。例え同じ問題を対象としたとしても、どちらの概念レンズを通して現象を観察するかによってその見え方が大きく違ってくるのである。

Chapter 3 では、Egoist’s Dilemma の問題から特性関数を具体的に作り、本論文における提携形ゲームを構築する。ゲーム理論が世に出て以来、著名なゲーム理論家たちが提携形ゲームの上で様々な解概念（コア、仁、シャープレイ値など）を提案してきた。多基準型の配分問題をこのフレームワーク上に載せることによって、先人達による優れた功績を現実の問題に応用できる可能性が広がるわけである。特に DEA とゲーム理論を利用することから、著者は本論文において構築するゲームを“DEA ゲーム”と呼ぶ。これまで一般の提携形ゲームでは、主として経済的な効率性を目指す結合のみを「協力」として扱ってきたが、DEA ゲームでは、複数のプレイヤーが集団として集団全体の価値基準を選択するような「協力」が表現される。プレイヤーが持つ基準や選好を「固定」して考える従来の理論に対して、DEA ゲームは、プレイヤーが持つウェイトを「可変」として扱う世界で初めてのゲームである。

DEA ゲームでは、一つのスコア行列の下で最大化 (max) と最小化 (min) の両側より異なる二種類のゲームが作られる。スコア行列によって枠づけられたプレイヤーの選好は、最大化と最小化の間のどこかに位置するはずであると理論的に解釈できる。すなわち、プレイヤーがとり得る選好可能領域の上限と下限でもって理論を組み立てようと試みた結果、考え出されたのが max と min から成る DEA ゲームである。DEA min ゲームは優加法性を満たし、DEA max ゲームは劣加法性を満たすことが証明される。そして、全体提携の特性関数の値が両方のゲームとも等しく 1 になることから、協力ゲームの解概念をそのまま配分率として利用できる。

Chapter 4 では、DEA ゲームの解概念について調べた結果、DEA min ゲームは平衡ゲームであり必ず非空のコアが存在することがわかる。さらに面白い性質として、如何なるスコア行列においても、DEA min ゲームと DEA max ゲームの二つのシャープレイ値が完全に一致することが数学的に証明される（仁のケースでは必ずしも一致するとは限らない）。

Chapter 5 では、基本モデルの展開形を紹介する。基本モデルでは非常に緩い条件の下で各プレイヤーに自由なウェイト選択が許されているが、問題によってはウェイト選択をある程度制限する必要があるが出てくる。そのような場合、DEA の手法である“領域限定法”を適用

することで対処できる。また、基本モデルでは全て正の値としてスコア行列を扱っているが、負の値として解釈すべき基準項目が混在するようなケースもある。この場合には、便宜的な方法として、Benefits-Costs (=Merit) という差の形式を導入することで対処できる。

続いて基準項目数が二個の特別なケースを解析した結果、如何なるスコア行列においても、各々の基準項目に基づく二案を「足して二で割る」解とゲームの解（シャープレイ値、仁）が等しくなる。換言すれば、OR の代表的手法を利用し、あらゆるプレイヤー間の提携を考慮した上で算出した均衡解が、「足して二で割る」解と理論的に一致することが証明されるのである。なお、基準項目数が三個以上のときには必ずしもそのようにならない。

さらに著者は、Chapter 5 の最後において DEA ゲームのアプリケーションとしての利用手順を紹介する。特に著者は、問題解決ツールとして利用可能な計算ソフトを独自に開発している。

Chapter 6 と Chapter 7 はケース・スタディに充てられ、北大西洋条約機構（NATO）の防衛分担問題と国際 OR 学会（IFORS）の分担金問題を扱う。例えば後者の問題では、50 カ国近い OR 学会によって構成される IFORS の運営費は参加国の拠出金によって賄われており、各学会の会員数のみに応じて各国の分担金が定められている。しかし考えてみれば、所得の低い国のメンバーが裕福なメンバーと全く同じ金額を負担することは必ずしも公平であるとは言い難い。そこで著者は、新たに平均所得額を基準に加えて、多基準の環境下で問題を考えることを提案する。容易でないこの問題に対して、DEA ゲームは一つの筋の通った決め方を提供できる。

Chapter 8 で論文は締めくくられる。ゲーム理論が 1944 年に誕生して以来、社会科学の諸分野、中でもとりわけ経済学分野において、多大な貢献を成してきたことは衆知の通りである。その後 1978 年に DEA が誕生して以来、少なからずの研究者が DEA をゲーム理論のスキームで再解釈しようと努力してきた。この流れに対して、本論文では、DEA の本質的部分を構成する概念を用いて、オリジナルな協力ゲームを多基準の環境下で再解釈してみた。その意味で本論文は、より広範な社会科学の分野に寄与する可能性を持つ。

II. 審査結果報告

審査委員：主査 刀根 薫

委員 渡邊 昭夫（(財) 平和・安全保障研究所）

委員 岡田 章（京都大学経済研究所）

委員 森田 浩（大阪大学大学院情報科学研究科）

委員 畠中 薫里

委員 大山 達雄

本論文の審査要旨を学術的貢献と政策面での貢献とに分けて述べる。

II.1 学術的貢献

多基準型意思決定方法に属する包絡分析法 (DEA) と協力ゲーム理論を組み合わせた新しい意思決定法を提案した点で貢献が認められる。両手法を用いたこれまでの先行研究は、DEA をゲーム理論のスキームで再解釈したものに止まっており、本論文は全く新しい試みである。

Chapter 2 において DEA の基本概念である可変ウェイトに着目して *Egoist's Dilemma* という新しい社会的ジレンマを導出している。本来 DEA は多入力、多出力系の企業体 (プレイヤー) の相対的効率性を比率尺度によって計測する手法であるが、その際、被評価者にとって最も都合のよいウェイト選択を許すことを前提としている。したがって、ウェイトはプレイヤー毎に異なってもよいとする。いま、入力が1つで値1をもつ特殊な系を考察した場合、DEA による評価は多出力のスコアのうち相対的に最も優位なものを選択することに帰着する。そしてそのような選択を各プレイヤーが取るならば、配分問題において全体としてジレンマに陥ることを本論文は指摘している。このような新しい視点の発見は本論文によって初めてなされたものであり、独創性が高くまた学術的な貢献は大である。現実の社会的配分問題において決定が難航するのはこのようなジレンマの存在に由来する場合が多いからである。

次に Chapter 3 においてこのようなジレンマを解決するための「DEA ゲーム」という提携形ゲームを構築する。提携の特性関数を定義するにあたり、DEA の特徴である多基準への可変ウェイトという方針を採用している。プレイヤーの「提携」を前提としたこの特性関数の定義は本論文の骨子をなす部分である。さらに、この DEA ゲームには、分担金配分と利得配分に応じて \min ゲームと \max ゲームが存在することを示し、前者の場合ゲームが優加法性をもち、後者の場合ゲームが劣加法性を有することを証明している。また、プレイヤーが3人の \max ゲームは *concave* ゲームであり、 \min ゲームは *convex* ゲームであることを証明している。しかしながらプレイヤーが4人以上の場合 \max ゲームがかならずしも *concave* ゲームでないことを反例を用いて示している。すなわち、提携形ゲームの枠組みの中で DEA ゲームの性質を精査している。

Chapter 4 は本論文の核心の部分である。まず、DEA ゲームが *balanced game* であることから、そのコアが非空であることを示すと同時に、ゲームの代表的な解としてシャープレイ値と仁を求める。さらに、 \min ゲームのシャープレイ値と \max ゲームのシャープレイ値が一致することを証明している。このことは本論文の成果の一つである。仁では必ずしも両者は一致しないことも例示している。

Chapter 5 では DEA の領域限定法を導入することにより、非現実的なウェイト選択を防止する方法を述べている。このことにより DEA ゲームの実用性が強化される。また領域限

定法の下でも min ゲームのシャープレイ値と max ゲームのシャープレイ値が一致することを証明している。これも成果の一つである。さらにスコア行列の一部に負の値があるような Benefits-Costs ゲームを展開し、その解法を述べている。現実の多くの問題はこの形で現れることから、この展開は重要である。この章では 2 基準型の問題の解（シャープレイ値と仁）が「足して二で割る」ことによって簡単に求められることを証明しているが、これは大変便利でかつ実用的な解法である。古くからあるこの解決法が 2 基準問題に対しては提携形ゲームの理論解となっているという発見は興味ある事実である。またこの章で紹介している DEA ゲームの解法ソフトの開発はこの手法の普及に貢献するであろう。

II.2 政策面での貢献

本論文の Chapter 6 と Chapter 7 はケーススタディにあてられている。

Chapter 6 では NATO の防衛費分担問題(burden sharing)というホットな案件を取り上げ、DEA ゲームによる分析を試みている。この問題をめぐっては DEA による（ゲーム理論ではない）先行研究が 2, 3 なされているが、そこでは加盟国間の提携という重要な要素が見落とされている。本論文によって初めて提携が導入され、DEA ゲームとしての具体的な試算がなされたことになる。モデルとしては、Benefits-Costs ゲームを用い、領域限定法を採用している。この方面の研究にブレークスルーをもたらすもので政策面での貢献が大である。

Chapter 7 では国際 OR 学会(IFORS)の費用分担問題を取り上げ、現行の単一基準（会員数）による分担率の不合理性を指摘した上で、2 基準（会員数、GNI）による DEA ゲーム解を算出している。同様な問題は国際連合をはじめとする各国際機関にも発生しており、本論文の政策面での活用が期待される。

III. 結論

以上の審査要旨から理解されたとおり、本論文は高度の学術的水準を保持するもので本学が要求する次の基準を満たしている。

- (i) policy-relevancy を有するものであること
- (ii) 国の内外の当該学術分野の研究動向や先行研究を踏まえ、かつオリジナリティーを有するものであること
- (iii) 査読制を有する学術誌に掲載が予定されていること（Omega (International Journal of Management Science)に採択済み）

よって理論および政策分析の双方において博士論文にふさわしい学問的業績であると考

える。審査委員会は、本論文の査読及び発表会での報告と質疑応答のすべてに鑑みて、博士（政策研究）の学位を授与することが妥当であると結論する。