

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04982

研究課題名(和文) 世界で初の焦点決定理論 更なる拡張と応用

研究課題名(英文) Theoretical Extension and Application of Focus Theory of Choice

研究代表者

郭 昌俊(郭沛俊)(Kaku (Guo), Masatoshi (Peijun))

横浜国立大学・大学院国際社会科学研究院・教授

研究者番号：60325313

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：焦点決定理論に基づいた焦点計画法を提案した。焦点計画法は、期待効用理論に基づく2段階確率計画法や確率制約条件計画法などの既存のアプローチとは異なり、どの解の焦点が最も好ましいかによって最適解が決定される。不確実性下のマルチステージ意思決定問題に対して、焦点意思決定理論に基づき、動的焦点計画法を提案した。すべての選択肢(パス)は初期段階から最終段階までの決定シーケンスとその関連する状態で構成される。どの初期決定の焦点パスが最も好ましいかによって最適解初期決定と関連パスが決定される。提案したアプローチを用いて、革新的な製品に関する生産計画問題、入札意思決定問題、新聞売れ子問題などへ適用した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

提案した焦点計画法と動的焦点計画法は、ビジネス、経済学、社会システムによくある確率最適化問題の更なる研究のための新しい理論的基盤を提供している。提案した焦点計画法モデルは特別な2レベル数理計画問題(BLPP)で、上位レベルと下位レベル最適化問題は非平滑、場合によって非凸である。既存の最適化アプローチが適用できない。本研究では、従来解決できなかった最適化問題を解く方法を提案しており、最適化理論において、重要な貢献である。

研究成果の概要(英文)：Static stochastic optimization problems are formulated with the focus theory of choice where the optimal solution is determined as per which solution's focus (the most salient realization of a random vector) is the most preferred. The new formulation that we call the focus programming is a bi-level programming approach in which the lower level program is used to choose the focus of each feasible solution and the upper level program is to determine the optimal solution.

A new approach to sequential decision problems under uncertainty named dynamic focus programming is proposed with the focus theory of choice. Different from stochastic dynamic programming that is based on the expected utility theory, dynamic focus programming determines the optimal decision rule according to which initial decision's focus path is the most preferred.

The proposed approaches have been applied for a production planning problem, a real bidding decision-making problem and a newsvendor problem.

研究分野：社会工学

キーワード：焦点決定理論 焦点計画法 動的焦点計画法 2レベル数理計画問題 生産計画問題 新聞売れ子問題

1. 研究開始当初の背景

von Neumann と Morgenstern によって公理化された期待効用理論、および Savage によって公理化された主観的期待効用理論は、リスクと不確実性下の意思決定活動を分析する基礎となっている。しかしながら、Allais と Ellsberg の研究で、人々の意思決定活動は von Neumann と Morgenstern 及び Savage によって提案された公理に反することが発見された。その発見以来、Allais と Ellsberg のパラドックスは、意思決定理論の妥当性を確認する試金石となっている。過去 30 年間にわたり、これらの問題を解決するために新たに数多くの理論が提案された。新しい理論の誕生は、それらの妥当性を確認するための新しい実証的研究を引き起こし、それに応じて新しいパラドックスを生み出した。特に、2002 年度のノーベル経済学賞を受賞した Kahneman 教授らによって提案されたプロスペクト理論はサンクトペテルブルクのパラドックス (18 世紀に Daniel Bernoulli が効用関数を導入することによって解決した) を解決できないことを明らかにされた。いまだにサンクトペテルブルク、Allais、Ellsberg のパラドックスを同時に解決できる意思決定理論はないのが現状である。

申請者は焦点決定理論 (Focus Theory of Choice) を提案した。この理論は決定プロセスの合理性 (procedural rationality) を公理化し、無知 (ignorance) 或いは不確実性 (risk or uncertainty) 或いは曖昧さ (ambiguity) の下の意思決定問題を統一的な枠組みで分析することができ、サンクトペテルブルク、Allais、Ellsberg のパラドックスなど世界的な難問の解決に成功した。この研究は 2019 年、オペレーションズ・リサーチとマネジメント分野で高名な国際学術ジャーナル European Journal of Operational Research に、レフェリーらから高い評価を受け、論文が採択された。

2. 研究の目的

不確実性下の多段階意思決定問題及び確率計画問題において、期待効用理論をベースにしたモデルがほとんどだが、数多くの心理学実験と実証研究により、期待効用理論に基づいたモデルは必ずしも意思決定者の実際の行動を説明できないことがわかっている。しかし、「最も注目される基本事象を有する選択肢は意思決定者に選ばれた最適選択肢である」という焦点決定理論の根幹的な主張は、多くのアイトラッキングによる心理学実験から得られた発見、例えば、「一番時間をかけて見る選択肢は選ばれた選択肢である」と合致している。

焦点決定理論は制約条件なしのシングルステージ意思決定問題に適しているが、不確実性下の多段階意思決定問題及び確率計画問題にも適するためには、焦点決定理論のシングルステージからマルチステージへ、制約条件なしから制約条件付きへと理論的な拡張を必要とする。本研究では、不確実性下の多段階意思決定問題及び確率計画問題において、焦点決定理論を理論的に拡張させ、拡張した理論を用いて、実際の経営意思決定問題へ適用し、意思決定者の実際の行動を説明できるか、予測できるか、どのような経営洞察が得られるか、納得できる最適意思決定を提供できるかを問う。

3. 研究の方法

サーベイ、新しい理論の提案、基本性質の調査、応用、検証という順に研究を進めてきた。詳細は以下のようになっている。

- (1) 不確実性下の多段階意思決定問題と確率計画問題において、現存している期待効用理論をベースにするアプローチの問題点を明らかにした。
- (2) これらの問題を克服するため、意思決定問題の一回性を反映できる焦点決定理論をベースにする動的焦点計画法と焦点計画法を提案した。
- (3) 提案した動的焦点計画法と焦点計画法は現存している最適化方法で最適解を求めることができないので、新たな最適化方法を提案し、方法の基本的な性質を調べた。
- (4) 提案した動的焦点計画法と焦点計画法を用いて、入札参加問題、ライフサイクルの短い製品の生産計画問題、新聞売り子問題などへ適用し、従来のモデルと比較することによって、提案した数理モデルの有効性を確認することができた。

4. 研究成果

- (1) 焦点決定理論に基づいた焦点計画法を提案した。焦点計画法は、期待効用理論に基づく 2 段階確率計画法や確率制約条件計画法などの既存のアプローチとは異なり、どの解の焦点 (確率ベクトルの最も顕著な実現) が最も好ましいかによって最適解が決定される。焦点計画法は上位レベル最適化問題と下位レベル最適化問題からなり、下位レベル最適化問題では、制約条件を満たす実行可能解ごとに確率変数の全ての実現値から、この実行可能解の焦点事象 (最も注目すべき実現値) を選べる。上位レベル最適化問題では、下位レベル最適化問題

で求められた各実行可能解の焦点事象に基づき、最適解を求めることができる。焦点計画法は意思決定問題の背景、意思決定者の性格特性などさまざまな考え方に対応できる。ポジティブ評価システムの下での焦点計画法モデルは、楽観的な意思決定者の行動を記述し、ポジティブに記述されている意思決定問題に対応する。逆に、ネガティブ評価システムの下での焦点計画法モデルは、悲観的な意思決定者の行動を記述し、ネガティブに記述されている意思決定問題に対応する。焦点計画法モデルは、最適解を見つけるだけでなく、なぜこれが最適解かという説明も最適解の焦点によって示される。

焦点計画法モデルは特別な 2 レベル数理計画問題 (BLPP) で、上位レベルと下位レベル最適化問題は非平滑、場合によって非凸である。既存の制約付き最適化問題は通常凸関数あるいは平滑関数で表されるので、既存の最適化アプローチが適用できない。本研究はポジティブ評価システムの下で、焦点計画法モデルを、消失制約付き最適化問題 (mathematical programs with vanishing constraints, MPVC) という単一レベルの最適化問題に変換することができる。これは、特定の条件下で BLPP と MPVC の等価関係を示した初めての論文である。更に、確率ベクトルを離散化したうえで、ポジティブ評価システムおよびネガティブ評価システムの下で焦点計画法モデルを平衡制約付き数理計画法 (MPEC) に変換することができる。

提案したアプローチを用いて、ライフサイクルの短い革新的な製品に関する生産計画問題へ適応し、既存のアプローチと比較することにより新たな経営洞察が得られ、焦点計画法の有効性が確認された。

本研究は、確率最適化問題と行動心理学の間のつながりを提供し、確率最適化理論と 2 レベル数理計画法に大きく貢献した。焦点計画法は、ビジネス、経済学、社会システムによくある確率最適化問題の更なる研究のための新しい理論的基盤を提供している。

(2) 不確実性下のマルチステージ意思決定問題に対して、焦点意思決定理論に基づき、動的焦点計画法を提案した。動的焦点計画法には、ポジティブとネガティブの 2 つの異なる評価システムがある。すべての選択肢 (パス) は初期段階から最終段階までの決定シーケンスとその関連する状態で構成される。ポジティブ評価システムでは、初期段階の各決定について、そこから始まるパスが比較的高い確率で比較的低い総コストをもたらすなら、このパスがこの初期決定のポジティブ焦点パスとして選択される。ネガティブ評価システムでは、初期段階の各決定について、そこから始まるパスが比較的高い確率で比較的高い総コストをもたらすなら、このパスがこの初期決定のネガティブ焦点パスとして選択される。一つのマルチステージ意思決定問題では一つのシステムのみが機能するが、どちらが機能するかは、意思決定者の性格とフレーミングにより変わる。

動的焦点計画法を実際の入札意思決定問題に適用して最適な意思決定ルールを取得し、意思決定者の行動に関する洞察を取得した。

- (3) 新聞売り子問題は、典型的な一回限りの決定問題であり、次の三つの特徴を有する。(1) 製品の需要が不確実である (2) 調達リードタイムが販売シーズンより長い (3) 過剰在庫も不足在庫も両方とも経済的損失をもたらす。既存の新聞売り子モデルは主に期待効用理論をベースにしたもので、意思決定の一回性を反映したものにはなり得なかった。

本研究は「最も注目される基本事象を有する選択肢は意思決定者に選ばれた最適選択肢である」という根幹的な主張を持つ焦点決定理論によって、新聞売り子問題を再分析した。小売業者の意思決定を 2 段階の手順として想定している。第一段階では、各需要の発生する確率と、その需要が実現したときに得られる発注量ごとの利得に対する満足度に基づき、小売業者の焦点需要に対する選好によって、すべての可能な需要の中から最も顕著な需要が一つ選ばれる。選ばれた需要をこの発注量の焦点需要とする。第二段階では、小売業者は、すべての注文数量の焦点需要をベースにして、最適な注文数量を選択する。このような意思決定プロセスは 2 レベルの最適化によって定式化した。第一段階での意思決定は下位レベルのプログラムと対応し、第二段階での意思決定は上位レベルのプログラムと対応する。この新しいフレームワークの下で最適な注文量を導き出し、最適解の数学的特性を分析した。

焦点決定理論を用いて提案した新聞売り子モデルは、小売業者の注文決定の背後にある心理的な要素を洞察することが可能になる。

下位レベル最適化問題は制約のないマキシミン問題で、微分不可能であるため、既存の最適化アプローチが適用できない。本研究では、従来解決できなかった最適化問題を解く方法を提案しており、最適化理論において、重要な貢献である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Peijun Guo, Xide Zhu	4. 巻 30
2. 論文標題 Focus programming: a bi-level programming approach to static stochastic optimization problems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Transactions in Operational Research	6. 最初と最後の頁 3833-3862
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/itor.13322	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhu, X., Li, K.W., Guo, P.	4. 巻 21
2. 論文標題 A bilevel optimization model for the newsvendor problem with the focus theory of choice	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 4OR-Q J Oper Res	6. 最初と最後の頁 471-489
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10288-022-00520-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Peijun Guo	4. 巻 303
2. 論文標題 Dynamic focus programming: A new approach to sequential decision problems under uncertainty	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 European Journal of Operational Research	6. 最初と最後の頁 328-336
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ejor.2022.02.044	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Peijun Guo, Xide Zhu	4. 巻 -
2. 論文標題 Focus Programming Model: The Formulation of Static Stochastic Optimization Problems by Bilevel Programming Approaches	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SSRN (Elsevier)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Xide Zhu, Kevin W. Li, Peijun Guo	4. 巻 -
2. 論文標題 Solving Newsvendor Problems with the Focus Theory of Choice	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 SSRN (Elsevier)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計2件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 P. Guo
2. 発表標題 Dynamic focus programming: A new approach to sequential decision problems under uncertainty
3. 学会等名 Bellingham Symposium on Modeling and Data Analytics 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 P. Guo
2. 発表標題 Focus programming: an alterative bi-level programming approach to static stochastic optimization problems
3. 学会等名 Bellingham Symposium on Modeling and Data Analytics 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

https://er-web.ynu.ac.jp/html/GU0_Peijun/ja.html

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
中国		Shanghai University	
カナダ		University of Windsor	