

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K03599

研究課題名(和文) ワン・ショット意思決定理論に基づく革新的製品のサプライチェーンモデルとその実証

研究課題名(英文) Supply Chain Management for Innovative Products based on the One-Shot Decision Theory

研究代表者

郭 昌俊(郭沛俊)(GUO, 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) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では革新的製品のサプライチェーンにおける一回限りの経営意思決定に対して、ワン・ショット意思理論を用いて、定式化と数理分析を行った。具体的に、不確実性下の革新的な製品の生産計画問題において、ワン・ショット意思決定理論を用いて、行動科学的モデルを提案した。ワン・ショット・ゲーム・モデルを提案した。提案したモデルを用いて、一人のサプライヤーと二人のリテーラーの資源配分ゲームを分析し、実証研究で発見したアノマリーを解明することができ、新たな経営的な洞察も得られた。ワン・ショット意思理論をベースにした数理モデルは特殊なバイレベル最適化問題である。これらの問題に対して、最新の最適化方法を提案した。

研究成果の概要(英文)：We build production planning models for multiple innovative products with short life cycles based on the one-shot decision theory. The optimal production quantities of multiple innovative products are obtained based on some specific scenarios which are the most appropriate for the manufacturer. We utilize the one-shot decision theory to resolve the abnormalities observed in a simple capacity allocation game with two retailers and one supplier where the total demand of retailers exceeds the supplier's inventory and the limited capacity is allocated to each retailer proportional to his/her order quantity. We solve some special bilevel programming problems where the lower level programs are max-min optimization problems and the upper level programs have max-max or max-min objective functions. We build an auction model with the one-shot decision theory. We obtain the optimal bidding price and explain two common phenomena in auction markets: throwing away and overbidding.

研究分野：経営科学

キーワード：ワン・ショット意思決定理論 新聞売り子問題 アノマリー オークション バイレベル最適化問題

## 1. 研究開始当初の背景

革新的製品は、通常、リードタイムが販売期間より長い場合、製品の生産量や発注量を決めるチャンスは一回しかない。したがって、革新的製品に関する意思決定は、典型的なワン・ショット意思決定問題である。しかし、今までの革新的製品のサプライチェーン・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。

申請者は「繰り返せない一回限りの行動」をワン・ショット意思決定問題と名づけ、ワン・ショット意思決定理論を提案した。期待効用理論を含む現存の確率論に基礎を置く意思決定理論は、全てベルヌーイの加重平均フレームワークに従い、選択肢のすべての結果を考慮した「くじ」に基づく意思決定理論であるが、これに対して、ワン・ショット意思決定理論は焦点事象を選ぶところにその特徴がある。この理論は現存する理論の改良ではなく、根本的に新しい不確実性下の意思決定理論である。

新聞売り子問題 (Newsvendor Problems) は、サプライチェーン・マネジメントにおいて出発点となる基礎的かつ重要な問題と位置づけられている。Schweitzer 氏らは実験で現存する意思決定理論によって説明できない新聞売り子問題のアノマリーを確認した。これは、いまだに解決できない難問とされる。申請者は、ワン・ショット意思決定理論を用いて、革新的製品の新聞売り子問題に関する研究を行ってきた。その研究成果の一部は論文として、European Journal of Operational Research に収録され、この論文では、革新的製品の発注量を決める意思決定の一回性に着目し、ワン・ショット意思決定理論に基づく斬新なモデルを提案した。このモデルでは、各需要の発生する可能性と、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特定の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し、焦点需要がもたらす利得が最大となるように最適発注量が求められている。小売業者の焦点需要の選び方によって、楽観的、悲観的、大胆、不安の4タイプの小売業者に分類される。各タイプの小売業者の購買特性の数理分析を行い、(1) 楽観的な小売業者は最適な発注量とその発注量に対応する焦点需要が一致する、(2) 悲観的な小売業者は発注量より多い需要と少ない需要の二つに注目して、この二つの需要がもたらす満足度が等しくなるように最適発注量を決める、などの大変興味深い経営的洞察が得られている。

## 2. 研究の目的

競争の激しい市場で勝ち残るために、企業は不断に革新的製品を市場に送り出さな

ければならない。革新的製品には通常の製品と比べて、ライフサイクルが短いという特徴がある。革新的製品の生産・販売は典型的な「繰り返せない一回限りの行動」であり、確率論に基礎を置く意思決定理論では十分な分析ができないという問題がある。申請者は「繰り返せない一回限りの意思決定問題」に対する新しい意思決定理論として「ワン・ショット意思決定理論」を2011年に世界で初めて提案した。本研究課題は、このワン・ショット意思決定理論を用いて、革新的製品のサプライチェーン・マネジメントのための新たな数理モデルを提案するとともに、広範な実証研究によってそのモデルの有効性を検証し、革新的製品に対する最適なサプライチェーン戦略を提言する。

## 3. 研究の方法

サーベイ、新しいモデルの提案、基本性質の調べ、応用、検証、拡張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) 現存しているサプライチェーン数理モデルをサーベイした上で、革新的製品のサプライチェーンにおける意思決定問題に適用する時の問題点を明らかにする。
- (2) これらの問題を克服するため、「一回限りの意思決定問題」に対し、ワン・ショット意思決定理論を用いて、新たな数理モデルを提案する。
- (3) 提案した数理モデル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る。
- (4) 提案した数理モデルを用いて、従来のモデルで説明できないアノマリーを解明する。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る。

## 4. 研究成果

- (1) 不確実性下の革新的な製品の生産計画問題において、ワン・ショット意思決定理論を用いて、行動科学的モデルを提案した。提案したモデルは微分不可能非凸バイレベル最適化問題になり、従来の最適解法で最適解を求めることができないが、新しい最適解法を提案した。
- (2) プレーヤーの推論能力の限界とゲームの一回性に同時に着目し、ワン・ショット・ゲーム・モデルを提案した。提案したモデルでは、プレーヤーが2段階で意思決定を行う。第一段階で、相手の利得を考慮した上で、相手の行動に関する信念を構成する。第二段階では、プレーヤーが構成された信念に基づき、自分の最適選択肢を決める。自

分の選択肢ごとに、相手の各行動をとる確率とその行動をとったときの自分の利得を考慮して、相手のすべての行動から一つ選び、選ばれた行動を自分の選択肢の焦点行動とする。焦点行動にもたらされた利得を最大にするように最適な選択肢を求める。焦点行動の選び方によって、プレイヤーがアクティブとパッシブの2タイプに分類される。

(3) ワン・ショット・ゲーム・モデルに基づいて、一人のサプライヤーと二人のリテーラーの資源配分ゲームを分析した。このゲームでは、サプライヤーのキャパシティーは二人のリテーラーのデマンドの総和より少なく、各リテーラーへの配分量はこのリテーラーの発注量の占める割合によって決まるといって完備情報ゲームである。このゲームには唯一のナッシュ均衡が存在し、なおかつ利得関数のあらゆるパラメーターの値によらず、均衡のときには二人のリテーラーの発注量が発注量上限になっている。しかし、実証研究では以下の現象が確認された。

(I) リテーラーの発注量が購入価格の低いときは発注量の上限になるが、購入価格の高いときは発注量の上限より小さい。

(II) サプライヤーのキャパシティーの減少に伴い、リテーラーの発注量が増加する。

提案したモデルを資源配分ゲームに適用して数理分析を行い、以下の分析結果が得られた。

(I) アクティブなりテーラーの最適発注量が発注量上限である。

(II) パッシブなりテーラーの最適発注量が需要量より大きくかつ発注量上限より小さいとき、販売価格とデマンドが上昇すれば最適発注量が増加し、購入価格とサプライヤーのキャパシティーが増えれば最適発注量が減少する。

これにより、購入価格が低いとき、リテーラーがアクティブであり、購入価格が高いとき、リテーラーがパッシブとなるという2タイプのリテーラーの最適発注量を用いて、実証研究で発見したアノマリーを説明することができた。一方で、パッシブなりテーラーの最適発注量の性質により、新たな経営的な洞察も得られた。

(4) ワン・ショット・ゲーム・モデルに基づいて、非完備情報ゲームであるファースト・プライス・オークションを分析した。実証研究により、オークションの入札者は、ベイジアン・ナッシュ均衡に従わず、低い評価値をもっている入札者がランダムに値付けをし、高

い評価値をもっている入札者が均等入札価格より高値をつける、いわゆる throwing away と overbidding という現象が確認された。提案したモデルをファースト・プライス・オークションに適用し、数理分析を行ったところ、以下の分析結果が得られた。

(I) 評価値がある閾値以下であれば、入札者にとって、すべての入札価格が無差別で、この中の任意の一つは最適入札価格になる。

(II) 評価値がこの閾値より高いとき、入札者の最適入札価格が自分の勝敗についての後悔を重視する程度によって変動し、負けたときの後悔を重視すればするほど、入札価格が高くなる。

(III) 評価値がこの閾値より高いとき、入札者の人数が多くなると最終入札価格が高くなり、人数が無限に近づくとき、最終入札価格が評価値になる。これによって、提案したモデルではファースト・プライス・オークションの一般的な性質を説明できるだけでなく、ゲーム理論では説明できない overbidding と throwing away 現象を説明することもできた。特に throwing away 現象については、本研究が初めての理論的説明となる。

(5) ローワーレベル問題はマクシミン最適化問題であり、アッパーレベル問題はマクスマクスまたはマクシミンの目的関数を有するいくつかの特殊なバイレベル最適化問題を分析した。このような最適化問題は、ローワーレベル問題は非凸なおかつ微分不可能なので、最適解を求めるのは非常に難しいである。これらの問題の特徴を考慮し、いくつかの仮定によって、最大エントロピー関数族を用いて、マクス関数を近似する規則化方法を提案した。これによって、バイレベル最適化問題は一般的な単一レベル最適化問題に帰着することができた。さらに、提案された規則化方法の数理的な性質を調べたうえで、新聞売り子問題に適用し、方法の有効性を示した。

(6) 多段階ワン・ショット意思決定問題は多段階意思決定において、各段階に繰り返せない一回限りの意思決定を行う問題である。各意思決定段階においてワン・ショット意思決定理論を用いて、基本事象の起こりうる尤度と、もたらされる結果の満足度を選択要因とし、全ての基本事象から焦点事象を選別する。意思決定者の焦点需要の選び方によって、楽観的、悲観的、大胆、不安の4タイプの意思決定者に分類される。選別された焦点事象に基づき、最適選択肢の順列を決める。これは多段階ワン・ショット意思決定アプロー

チである。個人の多段階消費と投資問題において、各段階に消費、貯蓄と証券投資という三つの選択肢がある。多段階ワン・ショット意思決定アプローチを用いて、個人の多段階消費と投資問題を定式化し、4タイプの個人の行動を分析し、生涯における総消費量を最大にするための各段階の最適消費・投資戦略を求め、「楽観的な人は悲観的な人と比べ、より多く消費する、大胆な人は不安の人と比べ、より多く消費する」などの結論が得られた。

- (7) 合併する二つの企業は二つの異なる財を生産し、規模の経済性と製品の統合によるシナジー効果が得られると仮定する。二つの財の価格は二つの幾何ブラウン運動によって表し、合併問題は交換オプションと見なし、合併・買収の実施タイミング問題は最適停止問題に帰着させ、オプション理論を用いて、合併タイミングと契約条件を求めた。提案したモデルの仮定は現実に近いものであり、Lambrecht 氏のモデルは提案したモデルの特例である。二つの買収企業と一つのターゲット企業との合併ゲームにおいて、ゲーム理論を用いて、二つのナッシュ均衡が導かれ、競争が合併タイミングと契約条件に対して影響を分析した。M&Aにおける決定権と所有権の分離によって生じるエージェンシー問題を分析するため、モデルを提案した。合併により得られる利益に関する情報の非対称性から、三つの状況(I.株主はM&Aにより得られる利益に関する情報については未知である。II.株主は製品統合による得られる利益に関する情報のみを持つ。III.株主は製品統合により得られる利益と規模の経済性による便益に関する情報を有する。)に分けて、合併タイミングと契約条件を分析した。
- (8) 区間回帰モデルにおいて、外れ値を識別する方法を提案した。中国上海市の不動産データを用いて、提案した方法の妥当性を検証し、有益な経営洞察が得られた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

1. X. Zhu and P. Guo, Approaches to four types of bilevel programming problems with nonconvex nonsmooth lower level programs and their applications to newsvendor problems, *Mathematical Methods of Operations Research* (2017). doi:10.1007/s00186-017-0592-2 (査読付き)
2. C. Wang and P. Guo, Behavioral models for first-price sealed-bid auctions with the

one-shot decision theory, *European Journal of Operational Research* 261 (2017) 994-1000. (査読付き)

3. Y. Li, P. Guo, Possibilistic individual multi-period consumption-investment models, *Fuzzy Sets and Systems* 274 (2015) 47-61. (査読付き)
4. C. Wang, J. Li and P. Guo, The normalized interval regression model with outlier detection and its real-world application to house pricing problems, *Fuzzy Sets and Systems* 274 (2015) 109-123. (査読付き)
5. Y. Wang and P. Guo, Timings, Terms and Agency Problems in Mergers and Acquisitions, *International Journal of Information and Decision Sciences* 7(4) (2015) 287-311. (査読付き)

〔学会発表〕(計 5 件)

1. P. Guo and C. Wang, A Behavioral Game Model for Solving the Abnormality in the Capacity Allocation Game (Abstract). The Eighth POMS-HK International Conference, January 7-8, 2017.
2. X. Zhu and P. Guo, The One-Shot Decision Theory Based Production Planning Models, *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (2016), December 4-7, 2016, Bali, Indonesia.
3. P. Guo, Focus Theory of Choice and Its Application for Resolving St. Petersburg, Allais, Ellsberg and Other Paradoxes (Poster). Annual Meeting of The Society for Judgment and Decision Making, November 18-21, 2016, Boston, USA.
4. X. Zhu and P. Guo, Production planning problems under uncertainty with the one-shot decision theory (Abstract). The POMS 27th Annual Conference, Orlando, May 6-9, 2016.
5. X. Zhu and P. Guo, Solving the One-Shot Decision Theory Based Newsvendor Models, *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (2015), December 6-9, 2015, Singapore.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

郭昌俊

( GUO, 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