

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25870239

研究課題名(和文) 経営科学におけるロバストな数理計画問題に対する研究

研究課題名(英文) Studies on robust mathematical programming arising in management sciences

研究代表者

成島 康史 (Narushima, Yasushi)

横浜国立大学・大学院国際社会科学研究院・准教授

研究者番号：70453842

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：近年では情報伝達のスピードが加速度的に速くなっているため、情報の構造の変化スピードも速くなっている。このような状況下では不確実性に対して頑健な計画の立案が求められる。このような理由から、最悪の状況下での最良の戦略を立てる、いわゆるロバストな計画立案手法が注目されている。本研究では経営科学分野で生じるいくつかのロバストな数理計画問題に対する研究を行った。具体的には、ロバストな分散投資問題、サプライチェーンネットワークにおける均衡問題、価格競争や数量競争から生じる均衡問題に対して頑健なモデルを提案し、それらの分析を行った。

研究成果の概要(英文)：Recently, the change speed of the structure of the information has become fast, as speed of the communication has become fast. In such situations, it is important to form a plan which is robust for uncertainty. Therefore, the robust optimization techniques attract much attentions. In the robust optimization, we optimize costs or profits in the worst case. In this research, robust mathematical optimization problems arising in management sciences. Concretely, we propose robust optimization model in portfolio selections, robust equilibrium models in supply chain networks and robust equilibrium models arising price and quantity competitions.

研究分野：数理計画法

キーワード：数理最適化 ロバスト最適化 変分不等式問題 2次錐相補性問題

1. 研究開始当初の背景

数理計画法は限られた条件の下でコストを最小化(または利潤を最大化)する数理計画問題とその解法に関する数理学分野である。数理計画問題は実社会においてよく現れる非常に重要な問題の一つである。経営科学においても、従来は扱えなかった巨大データに基づく数理計画問題や複雑な数理計画問題も計算機とアルゴリズムの発展により扱えるようになってきているため、その重要性はますます大きくなってきている。一方、情報通信技術の発達により、情報伝達のスピードが従来とは比較にならないほど速くなった現在では、計画立案の基盤となるべきデータの構造が急激に変化してしまう可能性が高くなってきており、構造の変化に頑健でない計画を実行した場合には意図しない大きな損失につながる恐れがある。さらにそれが全体的な社会構造の変化に連鎖的につながり、例えばリーマンショックのように、社会全体の大きな損失を招きかねないような状況となってきている。そのため、上述したような不確実性に起因するリスクを考慮した計画立案のためのシステムの構築が急務であった。

経済学などでは古くから不確実性下での意思決定に対する研究が盛んであり、効用最大化におけるマキシミン戦略その代表的な例である。マキシミン戦略は「最悪の状況下での最良の戦略」と言い換えることができ、このような戦略を用いることで上述のリスクを避けることができる。しかしながら、数理計画法分野においては、「不確実性を考慮しなくとも十分な成果を上げることができた」と、「マキシミン問題のような問題は求解の難しい問題で、有効な数値解法がなかった」ことから、理論的な研究にとどまっていた。だが、上述した社会的要求と数理計画アルゴリズムの発展により、近年そのような、いわゆるロバストな数理計画問題が実用に向けて非常に注目を集めていた。

ロバストな数理計画問題は通常、(最大化問題に対しては)マキシミン問題となるが、近年、ある種の不確実性のもとでは二次錐計画問題または半正定値計画問題に帰着可能であることが分かり、盛んに研究されるようになった。しかしながら、具体的な問題に対してはそれぞれ定式化を構築しなおす必要があるため、発展途上であった。また、定式化された二次錐計画問題または半正定値計画問題が複雑な場合は、それらに対する数値解法の整備も十分とは言い難い状況であった。

2. 研究の目的

経営科学において現れるいくつかのロバストな数理計画問題に対する解法を構築し、それを活用することでロバストな計画立案のためのシステムの構築を目指す。本研究では経営科学に現れる問題として、ロバストポートフォリオ選択問題、不確実性に対して

頑健なサプライチェーンマネジメントに対する研究、不確実情報を含む経済均衡問題を研究対象とした。

3. 研究の方法

申請者は大規模な非線形最適化問題および二次錐相補性問題に対する数値解法の研究を行っており、それらを応用・拡張することで研究を行った。二次錐相補性問題は二次錐計画問題を含むような広いクラスの問題である。ロバストな数理計画問題を二次錐計画や二次錐相補性問題に帰着させるには、想定する不確実性集合が楕円である必要があり、また問題のどの部分に不確実性が含まれているかによっても扱いが異なる。一方、実際には不確実性の性質や、問題のどの部分の不確実性に着目すべきか、などは問題それぞれによって異なる。そのため、先述したそれぞれの問題に対して問題のどのような部分にどのような不確実性を仮定するのが妥当であるかを考慮しながら定式化をすすめた。また、定式化した問題を解く方法についても議論し、問題によっては新しいアルゴリズムを開発した。

4. 研究成果

既存のモデルの構造を解析し、不確実性を考慮したポートフォリオ選択問題を二次錐計画問題として定式化した。さらに応用例として GPIF の年金運用の事例に適用し、各モデルの有効性を検証した。また、ポートフォリオ選択問題は大規模な、最適化問題となるため、大規模な最適化問題に対する数値解法についても議論した。

1. 一つの製造業者と複数のサプライヤーが存在するようなネットワークを考え、上下流間で生じる競合を一般化ナッシュ均衡問題として定式化した。さらに、それを準変分不等式問題へと再定式化を行い、均衡解の存在性などの性質について議論した。また、数値実験を行い、提案したモデルの妥当性を検証するとともに、均衡解の数値的な振る舞いを分析した。
2. サプライヤー、製造業者、市場がそれぞれ複数存在するような3層構造のサプライチェーンネットワークを考え、その中で生じる競合状態の分析を行った。その中で、市場を除いた各プレイヤーは同じ層の他プレイヤーの戦略を正確に知ることができないとし、それぞれマキシミン戦略で意思決定を行った場合のモデル(ロバストサプライチェーンネットワークモデル, RSCNE)を定式化した。さらに、RSCNEモデル均衡解の性質を調べるため、同値な変分不等式問題へと定式化しなおし、その解の存在性や唯一性を証明した。また、数値実験を行い、不確実性の大きさとサプライチェーンネットワーク上の物流量の関係などを検証した。

寡占市場における価格競争(ベルトラン競争)に着目した。各プレイヤーが他プレイヤーの戦略を正確に知ることのできない状況で、マキシミン戦略で戦略を決定するような場合のベルトラン競争を2次錐相補性問題へと定式化した。さらに、その均衡解の一意性の条件を示した。また、数値実験を行い、不確か性の大きさと各プレイヤーの戦略の関係について検証した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 7 件)

1. 平野達也, 成島康史, サプライチェーンネットワークにおけるロバストな均衡モデルについて京都大学数理解析研究所 講究録, 採録決定 [査読なし]
2. Shumin Nakayama, Yasushi Narushima and Hiroshi Yabe, Global convergence of memoryless symmetric rank-one method for unconstrained optimization, 最適化: モデリングとアルゴリズム 28, 統計数理研究所共同研究レポート 387, 101-115, 2017 [査読なし]
3. 成島康史, 大谷亮介, 矢部博, 微分不可能な関数を含む非線形方程式系に対するPRP型平滑化スケール共役勾配法の大域的収束性について, Transactions of the Operations Research Society of Japan, 60 (2016), 160-183 [査読あり]
4. 成島康史, 平野達也, 価格競争におけるロバストナッシュ均衡問題について, 京都大学数理解析研究所 講究録 1981, 66-74. 2016 [査読なし]
5. 成島康史, 大規模無制約最適化問題に対する非線形共役勾配法とその周辺, 第 27 回 RAMP シンポジウム論文集, 171-184, 2015 [査読なし]
6. 成島康史, 大谷亮介, 矢部博, 微分不可能な方程式系に対するPRP型平滑化スケール共役勾配法について, 京都数理解析研究所 講究録 1931, 67-78, 2015 [査読なし]
7. Yasushi Narushima, Hideho Ogasawara, Shunsuke Hayashi, A smoothing method with appropriate parameter control based on Fischer-Burmeister function for second-order cone complementarity problems, Abstract and Applied Analysis, 2013 (2013), Article ID 830698 [査読あり]

[学会発表](計 12 件)

1. Tatsuya Hirano and Yasushi Narushima, A robust supply chain network equilibrium model and its analysis, SIAM Conference on Optimization,

- Vancouver (Canada), 2017 (発表予定).
2. Shumin Nakayama, Yasushi Narushima and Hiroshi Yabe, A memoryless sized symmetric rank-one method with sufficient descent property for unconstrained optimization, The Fifth International conference on Continuous Optimization, Tokyo (Japan), 2016.
3. Tatsuya Hirano and Yasushi Narushima, Multi-leader single-follower game between suppliers with a manufacturer, The Fifth International conference on Continuous Optimization, Tokyo (Japan), 2016.
4. 平野達也, 成島康史, 需要の不確か性を考慮したロバストサプライチェーンネットワーク均衡モデル, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2017 年春季研究発表会, 沖縄市町村自治会館, 2016 年
5. 平野達也, 成島康史, サプライチェーンネットワークにおけるロバストな均衡モデルの分析, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2016 年秋季研究発表会, 山形大学(小白川キャンパス), 2016 年
6. 平野達也, 成島康史, サプライヤーとマニファクチャラーによるマルチリーダー・ワンフォロワーゲームとその分析, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2016 年春季研究発表会, 慶応大学(矢上キャンパス), 2016 年
7. 成島康史, 大規模無制約最適化問題に対する非線形共役勾配法とその周辺, 第 27 回 RAMP シンポジウム, 静岡大学(浜松キャンパス), 2015 年(招待講演)
8. 成島康史, 平野達也, 価格競争におけるロバストナッシュ均衡問題について, 数理解析研究所研究集会, 「新時代を担う最適化: モデル化手法と数値計算」, 京都大学数理解析研究所, 2015 年
9. Yasushi Narushima, Hiroshi Yabe and Ryouzuke Ootani, Global Convergence of Smoothing and Scaling Conjugate Gradient Methods for Systems of Nonsmooth Equations, SIAM Conference on Optimization, San Diego (USA) 2014.
10. 成島康史, 矢部博, 分不可能な関数を含む非線形方程式系に対する平滑化スケール共役勾配法について, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2015 年春季研究発表会, 東京理科大学(神楽坂キャンパス), 2015 年
11. 成島康史, 矢部博, 大谷亮介, 微分不可能な関数を含む非線形方程式系に対する平滑化スケール共役勾配法について, 第 43 回数値解析シンポジウム(沖縄県石垣市), 2014 年 6 月
12. 成島康史, ロバストナッシュ均衡問題

に対する数値解法，岐阜数理科学研究
会，飛騨高山まちの博物館，2013年

〔その他〕

ホームページ等

<https://sites.google.com/site/narushimalab/research>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

成島 康史 (NARUSHIMA, Yaushi)

横浜国立大学・大学院国際社会科学研
究院・准教授

研究者番号：70453842

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

矢部 博 (YABE, Hiroshi)

小笠原 英穂 (OGASAWARA, Hideho)

林 俊介 (HAYASHI, Shunsuke)

平野 達也 (HIRANO, Tatsuya)

中山 舜民 (NAKAYAMA, Shummin)