

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18923

研究課題名（和文）資源の融通を考慮した協調的生産モデルの有効性評価

研究課題名（英文）Evaluation for effectiveness of cooperative production model with resource pooling

研究代表者

西崎 一郎（Nishizaki, Ichiro）

広島大学・先進理工系科学研究科（工）・教授

研究者番号：80231504

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、複数の企業が調達した資源の一部を互いに融通し合う協調的生産計画モデルを考察する。このモデルは、各企業は資源を融通するという意味では協調的であるが、各企業は自社の利益を最大化することが目的であるため、独自に意思決定するという協力と非協力の両方の側面をもつモデルである。確率的需要を考慮した2段階モデルとして定式化し、2段階目の共同生産に関して、協力ゲームにおける安定な解の集合であるコアに属する配分を仮定した上で、その配分を含む各企業の利益を最大化するNash均衡点を計算する方法を提案する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年頻発する大規模な災害にも対応しうるように、特定の製造業界では、各社独自の事業継続計画の策定から、業界全体で危機に取り組めるような体制を整え、業界全体での事業継続計画の策定を目指している。本研究課題の成果は、このような要求に対応できるような協調的サプライチェーン構築に資するものであり、事業の継続性、システム運営の効率化、サプライチェーン全体の利益の増加あるいはコストの削減等に対する数量的評価に対して、提案するモデルの効果が期待できる。

研究成果の概要（英文）：We consider a cooperative production planning model where some of the resources owned by multiple firms are pooling and they can use these resources by each other. All the firms are cooperative in the sense of sharing the resources, but they are noncooperative because they independently make their own decisions to maximize their own profits. We formulate a two-stage model with stochastic demands, and propose a computational method for obtaining a Nash equilibrium point under the assumption that the total profit at the second stage is allocated to all the firms by using a core allocation which is a stable solution concept in cooperative game theory.

研究分野：意思決定，ゲーム理論

キーワード：協調的生産モデル 非協力ゲーム 協力ゲーム サプライチェーン

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

東日本大震災や熊本地震では多くの企業の工場が被災し、生産を一時停止した。生産設備の微調整やクリーンルームなど特殊な環境が必要な半導体製造は、震災などで被災すると生産再開まで時間を要するのが課題だった。こうした課題解決に向け、各社独自の事業継続計画から一歩踏み込む必要があると判断し、業界全体で危機に取り組む体制を整えることを目指している。このような背景を踏まえ、本研究では、複数の製造業者が独自性を維持しつつ、資源を融通し合う生産モデルを考察する。

### 2. 研究の目的

本研究では、先進的で協調の度合いが高いサプライチェーン構築に向けて、非協力ゲームと協力ゲームに基づいて、協調的サプライチェーンを数理的にモデル化する。さらに数理モデルの補完として、エージェントベースのシミュレーションを実施する。提案するモデルとその手法により、協調的サプライチェーン構築による事業の継続性、システム運営の効率化、サプライチェーン全体の収益の増加あるいはコストの削減等の効果を数量的に明確化する。

### 3. 研究の方法

最も基本的なモデルとして、各企業が定められた予算制約のもとで資源を購入し、複数の資源制約のもとで利益を最大化する生産モデルを取り上げる。ここで、予算制約、資源制約、利益関数は線形であることを仮定する。各企業は購入した資源の一部を融通できるとして、自己の利益(目的関数)を最大化するが、他企業と資源の融通があるため、単一の企業独自の最適化はできない。したがって、複数の企業の非協力ゲームとして定式化し、複数企業の利益最大化に関する Nash 均衡解を求める数理モデルを考える。さらに、資源を融通することによって得られる追加的な利益の分配に対して、協力ゲームの解を適用する。

- (1) 最初に、この数理モデルの解を計算し、企業間の資源の融通の有効性について分析する。
- (2) 数理モデルでは、一般に企業の行動は最適に反応することを仮定しているが、むしろ、試行錯誤を繰り返した適応的な行動をとることを仮定して、強化学習などを基礎としたエージェントベースのシミュレーションを実施し、同様に企業間の資源の融通に関する分析を行う。
- (1)に対して、古典的な線形生産計画問題を基礎に、複数企業間での資源の融通を考慮した数理モデルを構築し、融通の程度をパラメータとして分析する。さらに、複数の企業の Nash 均衡解を求める計算方法では、過去に電力システムでの数理分析で用いた手法を採用し、拡張していく。
- (2)に対して、企業の最適反応を仮定せず、繰り返し行うことで適応的に学習していく企業の決定を強化学習などの機械学習を基礎としたエージェントベースのシミュレーションを実施する。

### 4. 研究成果

(1) 複数の企業が調達した資源の一部を互いに融通し合う協調的生産計画において、各企業は資源を融通するという意味では協調的であるが、各企業の目的は自社の利益を最大化することであり、独自に決定するモデルを考察した。協力的側面としての資源の共同利用を前提として、独自生産の均衡モデルを考察した。すなわち、各企業が予算制約の下で資源を購入し、その資源を一定の範囲で他企業と融通し合うことを前提に自社の利益を最大化する協調的生産計画モデルを考察した。各企業の問題では、自社の資源の購入量、製品の生産量、共通在庫からの資源の融通量が決定変数となり、他社の資源の購入量と製品の生産量はパラメータとなる。したがって、自社の利益を最大化する上で他社の決定変数が影響するので、非協力ゲームとして表現し、すべての企業の利益の和が最大となる Nash 均衡点を求めた。さらに、各企業が単独生産によって得られる利益の総和よりも、資源の融通を考慮した協調生産モデルでの総利益の方がより多くの利益をもたらすので、協力ゲームを定式化し、その解を用いて総利益を各企業へ割当てた。

(2) 上記(1)の協調的生産計画モデルに対して、確率的需要を考慮した 2 段階モデルに拡張した。このモデルにおいて、資源の融通のみならず、最終製品の輸送と技術移転を導入したうえで、2 段階目の共同生産に関する協力ゲームを定式化し、安定な解の集合であるコアに属する配分を求めることができることを示した。その配分を含む各企業の Nash 均衡点を計算する方式を提案した。

(3) Anupindi et al. (2001) は確率的な需要のもとで、複数の小売り業者が単一の商品取り扱う 2 段階モデルを考察したが、我々は需要を離散的確率分布で表現されることを仮定したうえで、2 段階目の商品の輸送に関する協力ゲームを定式化し、コアに属する配分を示し、小売り業者間の Nash 均衡点の計算方法を提案した。

(4) 上記(3)のモデルに対して、小売業者のリスク態度を考慮したフラクティルモデル(Geoffrion, 1967; Kataoka, 1967)も考察した。フラクティルモデルでは、小売業者の利益を目標変数よりも大きくする確率を小売業者が指定する保証確率水準よりも大きくするという制約のもとで、代理となる目的関数を最大化する。小売業者は確率的な需要の変動性と自身のリスクに対する態度を考慮して、保証確率水準を設定することになる。このようにフラクティルモデルでは、保証確

率水準を設定することで、それぞれ異なるリスクに対する態度を有する小売業者をモデルに組み込むことができる。

(5) 期待値モデル(3)とフラクタイルモデル(4)では、すべての小売業者が常に最適な行動をとると考えていた。しかし、現実の人間の行動は、必ずしも厳密に利益を最大化の行動選択にしたがっているわけではなく、自分の過去の行動の結果から、自らの意思決定を修正しながら行動決定を行う。この行動の分析のためにエージェントシミュレーションシステムを用いて、過去の行動に基づきながら行動を行う小売業者の決定を分析した。それにより、数理モデルでは Nash 均衡点が求められるが、シミュレーションを用いることでエージェントが獲得する結果の中に均衡点ではないパレート最適解が含まれていることが分かった。

(6) 配送業者、製造業者、小売業者を含むサプライチェーンの計画問題に対して、Calvete et al. (2014)のモデルを基礎に、サプライチェーンにおける不確実性と協力を考慮したモデルを考察した。Calvete et al.のモデルでは、需要は既知であったが、本研究では確率変数とし、それゆえに需要確定後生じる製品の過剰在庫と残存需要を小売業者間で再輸送することによって、できるだけ需給のギャップを相殺するモデルを考えた。特に、需要が離散確率変数で表現されると仮定することにより、計算の観点から取り扱いやすい問題を定式化した。さらに、複数の配送業者が共同配送するモデルへと拡張し、協力ゲームを用いた利益の割当てを考察した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 西崎 一郎, 林田智弘, 関崎真也, 古見 耕次郎	4. 巻 31
2. 論文標題 資源の融通を考慮した協調的線形生産計画	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 システム制御情報学会誌	6. 最初と最後の頁 295-304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5687/iscie.31.137	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 西崎 一郎, 林田 智弘, 関崎 真也, 大久保 和樹	4. 巻 33
2. 論文標題 不確実性下の配送ネットワークに対する協力的2段階モデル	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 システム制御情報学会誌	6. 最初と最後の頁 293-302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5687/iscie.33.293	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 Hitoshi Yano, and Ichiro Nishizaki	4. 巻 online
2. 論文標題 Multiobjective two-level simple recourse programming problems with discrete random variables	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optimization and Engineering	6. 最初と最後の頁 online
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11081-020-09532-9	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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大久保 和樹, 西崎 一郎, 林田 智弘, 関崎 真也
2. 発表標題 不確実性下の配送ネットワークに対する協力的2段階モデル
3. 学会等名 2019年 日本オペレーションズ・リサーチ学会 中国・四国地区 SSOR アブストラクト集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷 直道, 西崎 一郎, 林田 智弘, 関崎 真也
2. 発表標題 分散的流通におけるフラクタイル2段階確率最適化
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会・2019年秋季研究発表会アブストラクト集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷 直道, 西崎 一郎, 林田 智弘, 関崎 真也
2. 発表標題 分散流通システムにおける2段階ゲームの解に対する計算方法
3. 学会等名 2018年 日本オペレーションズ・リサーチ学会 中国・四国地区 SSOR
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡部 純也, 西崎 一郎, 林田 智弘, 関崎 真也
2. 発表標題 2レベル生産輸送計画問題に対するDEAアプローチ
3. 学会等名 2020年 日本オペレーションズ・リサーチ学会 中国・四国地区 SSOR
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

広島大学大学院工学研究科 社会情報学研究室 (西崎・林田・関崎研究室)  
<http://www.hil.hiroshima-u.ac.jp/index.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
研究分担者	高橋 勝彦  (Takahashi Katsuhiko)  (00187999)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授    (15401)	
研究分担者	林田 智弘  (Tomohiro Hayashida)  (20432685)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・准教授    (15401)	
研究分担者	関崎 真也  (Sekizaki Shinya)  (70724897)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教    (15401)	

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