

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510188

研究課題名(和文) 災害への頑健性を考慮したサプライチェーンシステムの最適設計に関する研究

研究課題名(英文) Study on optimal design of supply chain system considering robustness against disaster

研究代表者

小島 貢利 (KOJIMA, Mitsutoshi)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20273310

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：需要が確率的なサプライチェーン問題を解析対象として取り扱った。近似的ダイナミックプログラミングを適用し、サプライチェーンの最適配送計画の解を求め、近似的ダイナミックプログラミングが確率的なサプライチェーンシステムを最適化する上で効率的な解法である可能性を示した。また、グローバルなサプライチェーンシステムの信頼性に関して、システム全体の可動率に着目し、災害のような突発的な長期間にわたる停止に備えて、工程間に余分な在庫を常々保持することは、大きな効果をもたらさないことを数式で示した。さらに、前後の工程間における停止の同期率と工程単体の可動率が、システム全体の可動率に与える影響を数値例で与えた。

研究成果の概要(英文)：The supply chain problem under stochastic demand was handled as an analytical target. An approximate-dynamic programming was applied, and the sub-optimal solution of supply chain problem was obtained. It was shown that approximate-dynamic programming was an efficient method to optimize the supply chain system under stochastic demand. The researcher paid attention to the operation availability of the entire system for the reliability of a global supply chain system. By the formula, always maintaining an extra stock between the processes in preparation for the sudden and long stop like the disaster did not show that a big effect was brought. In addition, an synchronous rate of the stop between the adjoining processes and the operation availability of the process unit gave the influence on the operation availability of the entire system by the numerical example.

研究分野：経営工学

キーワード：サプライチェーン 生産・物流 リスクマネジメント

1. 研究開始当初の背景

新興国の世界経済への貢献度が高くなる一方、円高が進むにつれ、海外と比較して国内の生産コストの上昇に伴い、グローバル生産が益々加速している。また、国内においても地方自治体の企業誘致策等により、製造拠点が各地域に分散し、部品供給や組立拠点としての重要性を増している。国内外に生産・物流拠点を分散し、それらを結合したサプライチェーンシステムを構築・運用することは、一見、用地代や労働者コストの観点で、製造コストを下げる大きな効果がある。しかし、各地に散らばる製造・物流拠点が高い信頼性を持つ大前提で、物資の生産・運搬を頻繁かつ効率的に行うことで、システムの生産性を上げてきた、従来技術の単純な応用では、今世紀の巨大なサプライチェーンシステム全体を、高信頼かつ低コストで運用することが困難となりつつある。

例えば、東日本大震災においては、東北地方を中心とした生産拠点が壊滅的なダメージを受けたことにより、そこから部品供給を受けていた西日本の各地の工場までもが停止することになった。在庫を極限まで減らし、製造コストの低減を単純に志向したサプライチェーンシステムの脆弱さを露呈することとなった。また、地震、洪水、内戦、デモなど、世界各所の不確定要因の悪影響が、サプライチェーンシステム全体に波及することになり、システム全体の稼働率や運用コストの面で、度々問題が発生している。

2. 研究の目的

本研究ではサプライチェーンシステムにおける、重大な災害内容や影響度、その復旧の容易性、取扱い品種数、需要量、在庫量、加工時間、運搬頻度等の実データを収集し、各種災害の確率的な特徴を確率統計的手法を用いて明らかにする。次に、サプライチェーンシステムの設計を、システム全体の稼働率や運用コストなどを評価関数とした数理最適化問題として定式化する。さらに、定式化した数理モデルの理論的性質も考慮し、近年、生産・物流管理への応用が注目されているニューロ・ダイナミックプログラミング (Bertsekas and Tsitsiklis, Neuro-Dynamic Programming, (1996)) や数理計画問題の各種手法等を応用することによって、効率的な最適化アルゴリズムを考案する。また、突発的な災害の発生やそれに伴う復旧停止をサプライチェーンシステムの数理モデルに与え、稼働率等の時系列的な変化を観察し、生産・物流計画の修正を指示し、環境変化に自動的に適応する機能をシステムに導入する。

3. 研究の方法

サプライチェーンシステムを実際に稼働している工場を調査し、その生産・物流環境に関する情報収集を行う。特に、サプライチェーンシステムにおける、重大な災害内容や影響度、その復旧の容易性、取扱い品種数、需

要量、在庫量、加工時間、運搬頻度等の実データを収集する。また、サプライチェーンシステムの費用項目、システム設計および運用方策の現状を現地調査により把握する。現地調査で明らかになった現状のサプライチェーンシステムの各種条件を設定し、システム全体の稼働率や運用コストなどをシミュレーション実験において明らかにする。また、災害の発生頻度や同時発生確率等を変化させた際の感度分析を行い、現状システムの災害に対する頑健性を評価する。

(2) サプライチェーンシステムの生産拠点数、生産品目の各拠点への割当て、生産箇所の冗長性、最大在庫量等の決定に関して、ニューロ・ダイナミックプログラミング、数理計画問題の各種手法等を応用することによって、効率的な最適設計アルゴリズムを考案する。数理モデルの特性上、厳密な最適化計算が困難であった場合は、モデルの特性を考慮した、準最適解が得られる効率的な近似解法の構築も検討する。突発的な災害の発生やそれに伴う復旧停止をサプライチェーンシステムの数理モデルに与え、稼働率等の時系列的な変化を観察し、生産・物流計画の修正を指示するための特性値の抽出などを行い、環境変化に適応する機能をシステムに実装する。

4. 研究成果

(1) 当該研究の基礎的な研究として、サプライチェーンシステムを実際に稼働している工場を調査し、その生産・物流環境に関する情報収集を行った。具体的には、中部地区に本社を持ち、グローバル生産・物流システムを展開するメーカーの東南アジアの現地法人を見学し、生産・物流活動の実態を調査した。調査の結果、東南アジアの各国からの部品を集約して生産する工場は、国内工場と比較して不確定要因が多いため、多品種の部品の在庫量の制御が困難であり、欠品で生産に支障を来すリスクを避けるため、過剰な在庫を抱えている現状が現場調査や現地スタッフへのインタビュー等によって明らかになった。

(2) サプライチェーンの数理的モデルの一例として、需要が確率的な自販機サプライチェーン問題を解析対象として取り扱った。本研究では、各自販機への需要量は配送車両が現地に行くまでは不明で、当該自販機への補充をした後、次の目的地 (自販機または製品補充のためのデポ帰還) を決める動的な配送計画問題として定式化を行った。このモデルに対して、確率的モデルの効率的な解法として近年注目されている、近似的ダイナミックプログラミング (SBMPIM) を適用し、自販機サプライチェーンの最適配送計画の解を求め、需要が確定的なモデルとの比較を行った。その結果、自販機の配置や需要量が同一であっても、需要が確定的な場合と確率的な場合では最適経路が異なることが実験的に示された。さらに、数値例の計算のために必要な

各自販機の在庫量に関する状態数を、約2垓(がい)状態から80万状態以下に劇的に削減できることを実証した。これらの結果より、SBMPIMが確率的なサプライチェーンシステムを最適化する上で有効な解法である可能性を示した。

(3) グローバルなサプライチェーンシステムにおいて、為替変動の変動を考慮した海外生産比率に関する研究を行った。代表例として自動車メーカーを取り上げ、為替変動が輸出企業の利益率に与える影響を分析し、海外生産を進めた企業は、営業利益率において為替変動を受けにくいことを相関分析で明らかにした。2002年～2013年までの売上高営業利益率とドル円レートの相関係数を表1に示す。

表1 売上高営業利益率とドル円レート

企業	トヨタ	日産	マツダ
相関係数	0.764**	0.549	0.715**
p値	0.0038	0.0645	0.0090

海外生産を他社より早く進めた日産が、良くも(円高時)悪くも(円安時)為替変動の影響を受けにくい事が示されている。さらに、経済性分析モデルを考え、為替レートや変動費の連動性が損益に与える影響を評価した。評価結果より、生産拠点のグローバル展開が必ずしも企業収益にとってメリットばかりではなく、むしろ今後円安のリスクを負い、増収のチャンスを失うことを数値例等で示した。

(4) グローバルなサプライチェーンシステムが遭遇する各種の災害に関して分析を行った。国内においては、地震や津波等による電源喪失による生産停止が大きなリスクとして存在し、2000年以降の震度6以上の地震の発生頻度を調査しても時系列的な傾向は推定できなかった。国外においてはタイにおける大洪水や他国の各種のリスク等が存在し、企業の永続的な生産・物流活動に悪影響を及ぼしている事を言及した。また、サプライチェーンシステムの信頼性に関して、システム全体の可動率に着目し、簡単な数理モデルを用いて解析を行い、災害のような突発的な長期間にわたる停止に備えて、工程間に余分な在庫を常々保持することは、在庫保管コストだけでなく、部品・製品野在庫切れ抑制の観点においても、大きな効果をもたらさないことを数式で示した。さらに、前後の工程間における停止の同期率と工程単体の可動率が、システム全体の可動率に与える影響を数値例(図1)で与えた。

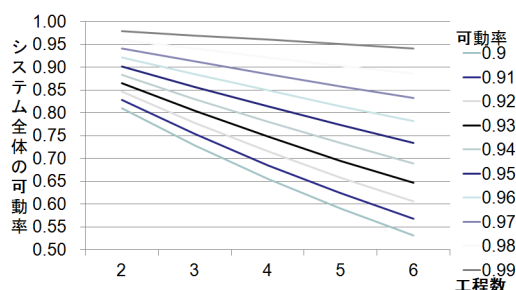


図1 システム全体の可動率(同期率=0の場合)

図1より、工程間の停止の同期率が低い(一般に各工程が世界各地に分散している)とシステム全体の可動率が著しく低下する事が示された。生産管理において、従来から重要視されている生産の同期化のみならず、信頼性の高いサプライチェーンの構築においては、“停止の同期化”に関しても重要視すべきであると、本研究で新たに提案した。

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)

小島真利、田村隆善、為替変動を考慮した海外生産比率に関する研究、日本経営診断学会第47回全国大会報告論旨集、査読無、2014年、139-142

田村隆善、小島真利、事前需要情報をもつ生産システムにおける生産平準化とその有効性、査読有、Vol.13、2013年、82-87
<http://doi.org/10.11287/jmda.13.82>

小島真利、中島健一、サプライチェーンの信頼性に関する一考察、第5回横幹連合コンファレンス予稿集、査読無、2013年、62-63

小島真利、大野勝久、田村隆善、自販機サプライチェーンに対する多品種配送計画問題、数理解析研究所講究録、査読無、第1864巻、2013年、110-118

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009659090>

Kenichi Nakashima、Mitsutoshi Kojima、Surendra M. Gupta、Management of a Disassembly Line using Two Types of Kanbans, International Journal of Supply Chain Management, 査読有、2012年、Vol.1, 2012年、11-19

[学会発表](計8件)

小島真利、田村隆善、為替変動を考慮した海外生産比率に関する研究、日本経営診断学会第47回全国大会、2014年11月9日、東京都千代田区

小島真利、中島健一、サプライチェーンの信頼性に関する一考察、第5回横幹連合コンファレンス、2013年12月21日、高松市

小島貢利、大野勝久、田村隆善、自販機
サプライチェーンに対する多品種配送計
画問題、数理解析研究所共同研究集会
(RIMS 2012)、2012年11月19日、京
都市

Kenichi NAKASHIMA, Mitsutoshi
KOJIMA, Operations Management using
Two Types of Kanbans in a Disassembly
Line, IIE Asian Conference 2012, 2012年
6月28日, シンガポール

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小島貢利 (KOJIMA Mitsutoshi)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教
授

研究者番号: 20273310

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: