

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 1 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22510145

研究課題名（和文）在庫モデルを基礎とする生産・販売全体最適化システムの構築

研究課題名（英文）Supply chain optimization of manufacturer-retailer systems on the basis of inventory models

研究代表者

中出 康一 (NAKADE KOICHI)

名古屋工業大学・工学研究科・教授

研究者番号：50207825

研究成果の概要（和文）：生産、販売からなるもつサプライチェーンにおいて、生産側の費用最小化、販売側の利益最大化、顧客満足度の最大化のための生産指示、在庫保持、発注量、販売価格の設定に関する最適化について、在庫理論、ゲーム理論、マルコフ決定過程、待ち行列理論等の理論を用いながら理論的、数値的に幅広く解析した。生産・販売が個々に最適化する場合と、生産・販売全体の総利益を最大にするような設定との間の関係について、いくつかのモデルを設定して議論した。

研究成果の概要（英文）：In a supply chain with a manufacturer and a retailer, production and inventory policies are discussed theoretically and numerically as well as amounts of orders and retail prices on the basis of inventory theory, game theory, Markov decision process and queuing theory. Supply chain optimization is also discussed and compared with individual optimization.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，社会システム工学・安全システム

キーワード：在庫理論，マルコフ決定過程，待ち行列理論，ゲーム理論，サプライチェーン，最適化，生産システム

1. 研究開始当初の背景

生産・物流・在庫システムの効率的な運用については、かんぱん方式、在庫基点方式等さまざまな方策が研究されており、在庫費用、卸売価格、需要分布が所与のとき、最適な前工程への生産指示量等の最適化などがなされてきている。

一方、近年、原材料調達から生産、物流、販売までを効率的におこなう生産体制を意

味するサプライチェーン・マネジメント(SCM)の必要性が広く言われている。特に最近では基本的な在庫モデルとしてよく知られている新聞売り子問題(newsvendor problem)をもとに、販売側の仕入れ量、販売価格、生産側との間の卸売価格等を決定するモデルが盛んである。販売者(売り子)側は仕入れ価格が所与のとき自己の利益を最大にするように発注量や販売価格を決定する

(販売価格が高いほど期待需要量は減ると仮定する)。生産側はこのような販売側の行動を前提に、その仕入れ価格をいくらにすれば自己の利益が最大になるかという問題が研究されてきている。この問題は、販売側が最適になるようにふるまうという前提で生産者側が利益最大化を図るという極めて現実的な考え方に基づいており、興味深いモデルといえる。このモデルにおいて、全体の利益を最大にするように生産、販売が協調する場合も考えられている。また、近年、販売者側が複数いて販売価格等で競合するモデルも解析されてきた。

サプライチェーンの最適化には、様々な要因が考えられる。単に発注量、卸売価格等の最適化だけでなく、生産方式、スケジューリング等、生産ラインを含めた全体最適を構築する必要があると考えられる。しかしながら、先に示した生産システムの最適化、あるいは生産・販売間の最適化モデルはおこなわれているが、生産・卸売・販売全体を見通した最適化モデルの研究はほとんどなされていない。

2. 研究の目的

一つは、生産・販売間の競合モデルの発展である。例えば、販売者が複数存在するモデルでは、顧客側が販売価格だけでなく、顧客が店舗までの移動距離も考えて店を決めるといった点を考慮する必要がある。販売店舗が複数存在する場合、顧客は販売価格や移動距離を考慮しながら店舗を決める。場所によって土地の取得価格が異なるとき、どの地域に店舗を構え、仕入れ量や、販売価格をどのように決定すれば、(移動時間等の)顧客満足度を一定水準以上に保ちながら全体の利益を最大にするかといった問題が考えられる。需要変動や移動時間、待ち時間等確率的な要素を考慮した配置問題の解析配置問題に関する近年の成果を元にこのような問題にも取り組む。

もう一つは、販売側の行動をもとにした生産側の生産ラインの最適化モデル、ならびに協調して全体最適になるための生産・販売モデルである。生産側は、長期間平均利益が最大になるように、日々生産量を決定する必要がある。一方販売側は、その需要変動を考慮して販売価格等を決定する必要がある。生産側からの視点から最適な生産指示等を行うモデルに関する研究は数多いが、販売側との協調も考慮しつつ全体最適を目指すモデルは数少ない。このモデルには、需要が一定の場合と確率的な場合の2種類に大別される。需要が決定的、すなわち各期の需要量が一定の場合、販売側は経済性発注量(E₀Q)などにもとづき供給側に発注をすとしてしよう。生産側は、その条件を満たしながら、部品を

送付するために自社内での仕掛かり費用を最小にするように生産する必要があるであろう。そのため、ジョブショップスケジューリング等による最適化や、U字ラインやセル方式などの新しい仕組みが必要になるかもしれない。需要が確率的な場合は、上記の点に加え、安全在庫を保つことが必要である。販売側は、受注残あるいはロストセールにならないようにある程度の在庫を持ちながら発注をかける必要がある。一方、供給側は、後工程の発注量の変動を考慮しながら、受注残を起こさないように、かつ工程内在庫を減らすようなスケジューリングや生産ラインの構築が必要となるであろう。また、需要情報の生産・販売間の共有化が双方にさらなる利益を与えることになることも考えられる。自動車等の生産・販売では、日々定まる確定需要をもとに生産をしており、上記のようなモデルは基本的かつ重要である。このようなモデルについて、多期間問題として定式化し理論的にあるいはマルコフ決定過程や確率計画法を用いた数値的解析、ならびにシミュレーションによる政策・モデルの比較解析を行う。後者については、例えば生産設備の初期・中間投資をどの程度にすべきかといった問題も考えられる。

3. 研究の方法

生産者が仕入れ値を設定し、販売者側はその仕入れ価格にもとづき自己の利益を最大にするように最適な販売価格や仕入れ量を決定するという前提のもとで、生産者側はその仕入れ価格をいくらにすれば販売者側の利益が最大になるかというサプライチェーン最適化に関する最近の成果を参考にしつつ、つぎのような問題を考察する。販売者が複数存在する場合について、顧客は販売価格とともに移動距離なども考慮して行き先を決めるとする。この場合、売り切れているときにそのまま帰る場合と他方の店にある確率で行くという2通りのモデルが存在する。それぞれについて、まず顧客の行動を数理モデルとして定式化するとともに、均衡販売価格等を求める問題を考察し、均衡価格の唯一性などを検討する。また、理論的には限界があると思われるため、数値計算等を通して需要関数もたらす影響、需要分布に関する均衡価格等に関する依存性あるいは頑健性について考察した。次に、生産側が仕入れ価格や買い戻し価格について、自己の利益を最大にするように決定する問題を考察する。理論的性質と共に、数値計算によりこれらの価格に関する性質を見つけるとともに、販売者間の競合が全体の利益にもたらす影響についても考察する。また、顧客の移動距離と販売価格の関係が最適販売価格、仕入れ価格や生

産側、販売側の期待利益にどのような影響をもたらすかを考察した。

同時に、顧客の移動距離と販売価格を考慮した最適施設配置問題について最新の成果を調べるとともに、上記のモデルと最適配置問題をつなげるための足がかりを作る。

このモデルと平行して、販売側との協調を考慮した生産システムの最適化に関する問題を考察する。協調の一つには、需要が確率的な場合の需要情報の共有がある。販売側の需要は即座に生産側にも知らされ（事前需要情報）、生産側がこの需要を元に最適な生産指示方策をおこなう。このとき、需要が少ないという情報があれば、前工程ではあらかじめ生産量をおさえるといったことが可能である。前工程はマルコフ連鎖、確率過程、マルコフ決定過程の手法を用いて解析をおこなった。また、設備投資をどれだけ行えばよいかといった問題も考えられる。初めはある程度の設備投資を行い、その後需要が増加するときにはいつどれだけ設備投資を追加すればよいかといったことである。この解析でも、販売側の情報協力や、卸売り価格のあり方を考える必要も出てくる。

また、需要が一定の場合でも、販売側が望む引き取り間隔を考慮しながら、生産側はそれに合わせた生産工程のスケジューリングを行い、さらには全体の利益が最大になるように、生産・販売双方のパラメータ等を見なおすといったことができると思われる。これについては、スケジューリング手法や組み合わせ最適化の手法、ならびに在庫理論が用いられる。

さらに、上記のモデルをさらに進ませた。一つは、顧客が移動距離を考慮して購入先を決定する、生産者と複数の販売者からなるサプライチェーンモデルを定式化するとともに、最適施設配置問題の解析手法を組み込んで、店舗の設置と、顧客の定常的な需要や販売による利益等も考慮した販売店舗設置問題を考察する。生産側、販売側は個々で自己の利益を最大にするように行動するという前提で、どの施設に配置をした場合、それぞれの利益がどのようになるかを考える。さらに進んで、生産・販売がグループ企業の場合には、この前提のもとで全体の利益が最大になるようにはどのように施設を配置すればよいかという問題も考えられる。

販売側の行動を考慮した生産システムの最適化についても、生産システムを多段型ラインのみならず、U字ラインやセル生産ライン等、他のラインに関しても同様の最適な人の配置等を扱うと共に、販売側とも含めた全体最適につながるためには、どのような条件のもとではどのような生産ラインを用いればよいかということにも考察していきたい。

これらのモデルの解析と平行して、いくつ

かの要素を考慮した、より現実的な生産・販売全体最適化に向けたモデル構築をおこなう。これらの数値的、理論的解析をもとに、生産システムの生産指示方策やスケジューリング、店舗配置、販売価格戦略というものが全体最適という点から見て、数理的にどのような意味をもつかについても考察していきたい。もし、規模が大きすぎて全体の理論的な解析が難しい場合は、仮定をいくつか設けたうえでのシミュレーション実験などを通していくつかのモデルの比較検討を行うことで状況に応じた全体最適により近いシステムの構築に取り組んだ。

なお、数値計算プログラミング、シミュレーション実験、ならびに資料収集については、一部博士課程並びに修士課程の学生に依頼した。

4. 研究成果

2010年度、在庫やスケジューリング、最適配置を基礎とするサプライチェーン最適化に関するこれまでの研究や近年行われた国内外の研究を調査した。これまで、生産、販売業者が存在し、それぞれ発注量、卸売り・販売価格を自己の利益が最大にするように決定するモデルにおける均衡価格を理論的、数値的に求める問題は見られた。本研究ではさらに、リードタイムを導入し、その決定を生産、販売どちらが決定するかによる影響を考察し、全体利益を最大にする場合と比べてどの程度利益が減るかを考察した。また需要関数は線形、あるいは乗算形として与えられてきたが、実際にはそのような場合が当てはまらないと考えられる。そこで、線形的市場上で店舗までの距離や販売価格等の情報をもとに顧客が行動し、需要が確率的に発生するモデルの構築と理論的な解析をおこなった。このモデルは今後最適な販売価格等の決定、店舗配置等のモデルに拡張することを予定している。さらに、部品工場と完成品工場の引き取り間隔を調整して全体の利益が最大になるようにして、部品工場で生産スケジュールを決めるモデルの構築と解析もおこなった。また、多段生産システムにおいて、事前需要の情報を用いることにより、生産、販売にメリットが生じると考えられる。このようなモデルの定式化をおこなった。とくに、ポアソン到着、一定加工時間のモデルについて、これまでの論文出示された性質の誤りを示すと共に、到着率がリードタイムが長くなるとともに減少するモデルを構築し、最大利益を与える需要リードタイムについて理論的解析をおこなった。さらに、すぐに発注しないモデルについては、リリースリードタイムを導入することにより寄り利益が増えることがあることを示した。動的にリードタイ

ムを設定するモデルについては、マルコフ決定過程を用いて最適方策を導きその性質を導いた。

2011年度、在庫を基礎とするサプライチェーン最適化に関するこれまでの研究や近年行われた国内外の研究を調査した。昨年度、線の市場上で店舗までの距離や販売価格等の情報をもとに顧客が行動し、需要が確率的に発生するモデルの構築と理論的な解析をおこなった。しかし、線の市場は限定的なため、平面上のモデルを考え、店舗が配置され、顧客はある一定のコストまではどちらかの店舗に行くという前提のもとで最適な販売価格等の決定を行うモデルを構築し、解析をおこなった。今後、平面上での店舗配置や、販売価格等を変数とするサプライチェーン最適化のモデルに拡張することを予定している。さらに、部品工場と完成品工場の引き取り間隔を調整して全体の利益が最大になるようにして、部品工場生産スケジュールを決めるモデルの構築と解析もおこなった。また、多段生産システムにおいて、事前需要の情報を用いることにより、生産、販売にメリットが生じると考えられる。このようなモデルの定式化をおこなった。昨年度、ポアソン到着、一定加工時間のモデルについて解析をおこなったが、それを多段にした場合の最適な情報の利用と最適基点在庫亮について解析を進めている。また、基点在庫システムにおいて、販売側が予想リードタイムを顧客に提示し、客はその時間をもとに実際にサービスを受けるかどうかを決定するモデルを構築し、販売側の利益を最大にするリードタイム提示政策をマルコフ決定過程により求める一方、そのような政策では顧客の待ち時間を含めた満足度の高い効用がえられないことを数値的に示し、それらより効用が高く、またそれほど販売側の利益も低下しない場合を提示している。このことは、顧客満足度も考慮したサプライチェーン全体の最適化につながると考えられる。

2012年度、在庫を基礎とするサプライチェーン最適化に関する最新の国内外の研究を調査した。昨年度、平面上のモデルを考え、店舗が配置され、顧客はある一定のコストまではどちらかの店舗に行くという前提のもとで最適な販売価格等の決定を行うモデルを構築し、解析をおこなった。今年度、平面上での店舗配置や、販売価格等を変数とするサプライチェーン最適化のモデルに着手をしているがまだ完成には至っていない。また、販売者が複数有り、部品工場の引き取り量を考慮して、部品工場、生産の利益を最大にするような部品工場の動的生産スケジュールを決めるモデルの構築と解析もおこなった。また、複数の工程からなる多段生産システムにおいて、事前需要の情報を用いる

ことにより、生産者の利益が最大になるような生産政策の解析をマルコフ決定過程により定式化し最適政策をもとめた。さらに、需要情報が変化する場合についても解析をおこなった。一方連続的に需要が発生し、一定時間後に引き取るもでのについて、以前ポアソン到着、一定加工時間のモデルについて解析をおこなったが、それを多段にした場合の最適な情報の利用と最適基点在庫政策について待ち行列理論等を用いて理論的に解析をおこなった。そのほかにも、U字組み立てラインへの期間工の配置問題、多段工程のスケジューリングなど、さまざまな生産工程の解析をおこなった。

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5件)

横澤史織, 中出康一,
事前需要情報をもつM/D/1型基点生産在庫システムにおける最適需要リードタイムとリリースリードタイム
日本経営工学会論文誌, 41-49, Vol. 63, No. 2, 2012

Sediri, I. and Nakade, K. Impact of Lead-time Decision in a Decentralized Supply Chain under Price and Lead-time Sensitive Demand, Journal of Japan Industrial Management Association, 審査有, 2011. vol.62, 125-134

Hamaguchi, T. and Nakade, K. Nash Equilibrium Retail Prices in a Linear Duopoly Market
2011 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 審査有, 2011, 126-130

Hamaguchi, T. and Nakade, K. Optimal Location of Facilities on a Network in which Each Facility is Operating as an M/G/1 Queue, Journal of Service Science and Management, 査読有, 2010, vol.3, 287-297

Sediri, I. and Nakade, K. Competition in Decentralized Supply Chain Under Price and Safety Stock Sensitive Stochastic Demand and Buyback Contract, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing, 査読有, 2010, 627-636

[学会発表] (計15件)

横澤史織, 中出康一

事前需要情報をもつ2段生産在庫システムにおける最適基在庫量と最適リリースリードタイム

平成 25 年日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会,
pp.250-251, 東京大学, 2013 年 3 月 5,6 日
2011

大野勝久, 竹村亮祐, 中出康一, 田村隆善
サプライチェーンにおける各種プル方式の性能比較

平成 25 年日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会,
pp.258-259, 東京大学, 2013 年 3 月 5,6 日,

Koichi Nakade and Hayato Okada

Analysis and Optimization in an M/D/1 Base Stock System with Demand Requiring Multiple Products, Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems

Conference 2012, pp. 2022-2029, December 2-5, Phuket, Thailand, 2012.

竹村亮祐, 中出康一, 大野勝久,

事前需要情報を考慮した3工程生産・物流システムにおける生産指示方策に関する研究

pp. 62-63, 日本経営工学会秋季研究大会,
2012 年 11 月 17,18 日, 大阪工業大学, 2012.

横澤史織, 中出康一

事前需要情報をもつ2段生産在庫システムの最適化

pp.103-108, 2012 年 9 月 29-30 日, スケジュールリングシンポジウム 2012, 成蹊大学.

Koichi Nakade and Hiroki Niwa

Customer Satisfaction and Lead-Time Quotation in an M/M/1 base-stock System, 17th International Symposium on Inventories, August 20-24, Budapest, 2012.

中出康一

基在庫方式におけるリードタイム情報と待ち時間に関する顧客効用

OR 学会研究部会「確率最適化モデルとその応用」研究会(第7回)(2012年度第1回)

日時: 2012 年 6 月 9 日(土) 13:30~16:30

場所: 神奈川大学 KU ポートスクエア

丹羽宏樹, 中出康一 基在庫システムにおける動的予定リードタイムと顧客効用に関する研究

日本オペレーションズリサーチ学会第 39 回
中部支部研究発表会 2012 年 3 月 10
日 名古屋

金澤章, 中出康一 平面複占市場における販売価格のナッシュ均衡解

日本経営工学会秋季研究大会 2011 年 11 月
12 日 盛岡

Morita, N and Nakade, K. Analysis of Waiting Time of Demand Requiring Multiple Items Under A Base Stock Policy, 21st International Conference on Production Research 2011 年 7 月 31 日, シュツットガルト (ドイツ)

横澤史織, 中出康一. 事前需要情報をもつ M/D/1 型基在庫システムにおける最適需要リードタイム

日本オペレーションズリサーチ学会中部支部研究発表会, 2011 年 3 月 5 日, 名古屋

Koichi Nakade and Takeru Fukumoto, On Ordering Policies in a Manufacturer-Retailer Model with Advance Demand Information and Production Lead Time. POMS 21st Annual Conference, 2010 5/7-10, バンクーバー.

濱口知季, 中出康一. 線的複占市場における販売価格の Nash 均衡解に関する研究,

日本経営工学会中部支部研究発表会, 2011 年 2 月 23 日, 名古屋工業大学

Tetsuya Kanja and Koichi Nakade, Cyclic Scheduling in a Job shop with Multiple Assembly Firms, 2011 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2011, 1/24-26, Kuala Lumpur

Ibtinen Sediri, Koichi Nakade, Competing Suppliers under Sales-Rebate Contract and Price Sensitive Demand in a Decentralized Supply Chain, 2011 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2011, 1/24-26, Kuala Lumpur

〔図書〕(計2件)

中出康一

生産ラインの最適人員配置問題

26 章 生産の計画と管理 26.2 節, 進化技術ハンドブック 第3巻 応用編: 生産・物流システム, (社)電気学会 進化技術応用調査専門委員会 編 近代科学社, p.544-549, 2012 (978-4-7649-0426-2)

中出康一 在庫理論とサプライチェーンへの展開（「経営工学の新たなる挑戦」の一章）
2011.1 2 ページ，三恵社

〔産業財産権〕

○出願状況（計0 件）

○取得状況（計0 件）

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

中出 康一 (NAKADE KOICHI)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50207825