

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19510145  
 研究課題名（和文） 流通価格を考慮したサプライチェーン最適化数理モデルの構築と解析  
 研究課題名（英文） Analysis of Mathematical Models of Supply Chains with Wholesale and Retail Prices  
 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

研究成果の概要： 販売価格により需要が変動するサプライチェーン最適化モデルの解析を中心におこなった。商品の供給者と、複数の販売者が存在して競合する場合、それぞれが最適な卸売価格、販売価格、仕入れ量を設定する場合の最適化モデルの構築をおこない、全体最適にこれらの値を設定した場合との差異について、数値計算を通して考察を行った。またサプライチェーン、生産・在庫・販売システムの最適化に関連して、生産システムの最適化モデルやサービス施設、作業者の配置問題にも言及している。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,400,000	420,000	1,820,000

研究分野： オペレーションズ・リサーチ，経営工学  
 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： サプライチェーン，最適化，販売価格，卸売価格，新聞売り子問題，ゲーム理論，全体最適，最適配置

## 1. 研究開始当初の背景

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の実現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。オペレーションズ・リサーチ，経営工学の分野においても，工学的な立場から生産システムを数理モデル化し，解析する論文は数多い。

これらの研究を含め，これまでの生産シ

ステムの数理モデル解析において，生産指示の各種方策を制御の対象とし，在庫量，スループット，納期遅れといった値が評価関数となっている。一方で，販売価格や卸売価格，物流価格といったものは与えられているとしていた。しかし，実際には，これらの価格が生産者，販売者の利益に与える影響は非常に大きい。これらの価格の設定と生産・販売システムの関係性を数理的に明らかにする必要がある。特に，サプライチェーンにおいて，

生産と販売、また販売者間の競合が、全体最適に対しどのような影響を与えるか、需要変動などの様々な要因がどのように価格設定や利益に影響を与えるかを調べることは大変重要となる。

## 2. 研究の目的

本研究では、1で述べた点に注目して、どのように流通価格を設定すれば各企業にとって利益を確保しながら、全体のシステムとして在庫・品切れなどの費用に関して最適、あるいは最適に近いサプライチェーンとなるか、一方で競合によりそれらの価格がどのように変化し、その結果全体最適と比べてどの程度の利益を確保するかについて、理論的な数理モデルを構築し、その解析を理論的、また数値計算によりおこなう。

例えば、基本的なモデルとしてよく知られている新聞売り子問題(newsvendor problem)を考えよう。仕入れ値、販売価格、需要分布が与えられており、リテイラーである新聞売り子は新聞社からある量の新聞を買い取るとする。売り切れると販売の機会損失となり、売れ残りは捨てられるものとするとき、新聞売り子はいくつ仕入れればよいかという問題である。この問題にはバリエーションがありいくつか研究がなされている。最近の論文では、新聞社が仕入れ値を設定し、売り子側はその仕入れ価格にもとづき上記の問題の最適解にあたる量だけ仕入れるという前提のもとで、新聞社側はその仕入れ価格をいくらにすれば新聞社側の利益が最大になるかという問題を理論的に扱っている。

この問題において、売り子側が販売価格も設定できるとしよう。販売価格を高くすれば、需要も減る。販売価格を下げれば需要も高くなるが、利益としては下がる可能性がある。このことを考えながら、売り子側は自分の利益を最大にするように、仕入れ量と販売価格を同時に設定することが可能である。さらに、売り子側がこのように振る舞うという前提で、生産者側が自己の利益を最大にするように販売価格を設定することも可能である。この問題では、たとえば全体最適化の観点から販売、小売りの価格を設定する場合も考えられ、その結果と上記において設定した価格との関係を調べることにより重要な洞察を得ることが可能となる。

本研究では特に、販売者が複数存在し、互いに競合している場合を考察する。販売者が競合する場合、互いに販売価格の設定を下げるを得なくなる。このことが販売側、また

生産者の価格設定にどのような影響を与えるかを調べる。

また、本研究では、生産・在庫・販売システムの最適化という観点から、これらのシステムに関連する問題も取り上げる。具体的には、サービスする販売者の最適配置、ならびに窓口の最適数、作業者が複数存在するシステムの最適配置、事前需要情報を考慮した直列型生産ラインの最適発注方策に関するものである。これらの解析と、生産・販売・顧客の価格の設定とあわせて考えていくことで、全体最適なシステムの構築につながっていくものと考えられる。

## 3. 研究の方法

本研究では、上記で述べた新聞売り子問題のような生産、販売の問題について、価格設定も考慮した個々の企業の最適化、あるいは全体の最適化問題を数理モデルとして定式化し、解析することから開始した。また、販売者が複数存在するモデルについて、そのモデル化と、個々の最適化と全体最適化との関係、需要分布や価格と需要の関係が最適な販売価格、卸売価格にどのように影響を与えるかを考察する。

解析手法として、理論解析では、在庫理論、待ち行列理論、ゲーム理論などを、また数値計算では非線形最適化といった各種のオペレーションズ・リサーチ(OR)手法を組み合わせ用いる。

また、上記に関連し、生産・在庫・販売システムの最適化に関連するモデルについても、待ち行列理論、組み合わせ最適化、シミュレーション手法などのOR手法を用いて解析した。

## 4. 研究成果

生産と販売が競合するサプライチェーンを考察する。生産者は卸売価格と引き取り価格を決定する。販売者はその価格を知った上で自己の利益を最適にするように販売価格、仕入れ量を決定する。生産者は販売者側のこの行動を知った上で自己の利益を最大にするように卸売価格等を決定する。このモデルで引き取ったものを処理する価格が0の場合、全体の利益と、全体最適化のときの総利益の比は、需要が需要価格関数と分布にしたがう確率変数の積の形式で定まる場合、需要価格関数のみに依存し、需要分布にはよらないことが近年の研究で示されてきた。しかしながら

，本研究の数値計算の結果，処理価格が正の場合，この比率は，需要分布に依存することが数値実験を通して示された。

次に，販売者が複数存在する場合を考える．販売者間は互いに競合するため，販売価格はある均衡価格になることが近年知られている．本研究では，その均衡価格が唯一存在するための条件について，これまで知られている結果を拡張するとともに，数値計算により，処理価格，需要分布が変動するときの均衡価格や生産側の設定価格の変動を考察した．この結果，需要分布の分散が変化したとき，販売側の販売価格や仕入れ量は大きく変動するのに対し，生産側の最適な設定価格は需要分布によってわずかに変動するものの，頑健であることが示された．生産側は，販売価格の変化による需要の期待値の変動のみに注意して販売価格を決定すればよいことを意味している．また，販売者間の競合により販売価格が低下することにより，全体最適となるような販売価格に近づくため，結果として生産，販売の利益の総和は，販売者が一人の時に比べて全体最適のときの総期待利益に近づくことが示された．

さらに，顧客がある販売店に行って売り切れた場合，他の販売店に行くモデルにおいても，均衡価格が存在することを示すとともに，販売店を変える顧客の割合や，需要と販売価格の関係が均衡価格等に及ぼす影響などを数値例を通して議論した．例えば，在庫切れのときに他の販売店に行く場合確率が高い場合，販売者は仕入れ量を高くしてしまい，結果として販売者の利益を下げ，一方生産側の利益はかわらないことが示された．また価格競争力が激しい場合も，販売者側の利益が下がる（販売価格が低下することによる）一方で，全体の売り上げ増加と卸売り価格の変動の少なさから生産側の利益は伸びることが示されている．

また，サプライチェーン最適化モデルに関連して，例えば顧客がより施設の近い方を利用するとしたときの施設の配置が，需要等によどのような影響を与えるかという問題を解析した．特に顧客は施設での利用待ち時間が短い方がのぞましい．このような待ち時間を考慮した施設配置問題を扱った．結果として，対象なモデルはまた，この研究では，顧客に対応する窓口の数の最適化も考慮している．地域の人口分布がメッシュで分かれているものとして，待ち行列理論を用いてモデル化し数値実験をおこなった．結果として，仮に地域で需要が一様に分布している場合であっても，最適な配置や，最適な窓口の配置は対称にはならないことがあることが示さ

れた．このモデルは，販売者の需要関数の設定とも関係づけられるため，今後，サプライチェーン全体の最適化につながることを期待される．

さらに，生産システム自体の最適化に関連して，多能工をもつ生産ラインの多能工の配置が生産率に及ぼす影響，また，事前に需要に関する情報が与えられているときの生産指示の方策について議論している．前者については，巡回型のラインであっても，作業者の配置が生産率に影響をもたらすことを示した．後者については，在庫をもつか否か，また需要情報が得られたときすぐに生産することが妥当かどうかを理論的に研究している．結果として，保管費用や受注残費用により，在庫を持つことが最適な場合，在庫を持たずに需要情報のしばらく後に発注することが最適な場合が存在することが明らかになった．このことは多工程システムのモデル，あるいはさらにサプライチェーン全体の生産指示や各工程での在庫のあり方につながる．

#### 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 3 件）

① Mikihiko Hiraiwa and Koichi Nakade, Analysis of a Single Stage Production/Inventory System with Advance Demand Information, 日本経営工学会誌, Vol. 59 No. 6, 477-486, 2009, 査読有.

② Koichi Nakade and Rei Nishiwaki, Optimal Allocation of Heterogeneous Workers in a U-shaped Production Line, Computers & Industrial Engineering, Vol. 54, pp. 432-440, 2008, 査読有.

③ Mikihiko Hiraiwa and Koichi Nakade, Base Stock Policy in a Join-Type Production Line with Advanced Demand Information, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing, Vol. 1, pp. 399-407, 2007, 査読有.

〔学会発表〕（計 8 件）

① Ibitinen Sediri and Koichi Nakade, Numerical Analysis of a Contract Model

with a Supplier, Multiple Retailers, Price and Safety Stock-Dependent Demand, 4th International Symposium on Scheduling, July 4-6, Nagoya Institute of Technology, Nagoya, 2009.

② Koichi Nakade and Toru Shiraki, Facility Location Models with Multiple Servers under Stable Regions, 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, June 3-5, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, 2009.

③ Koichi Nakade, Satoshi Tsubouchi and Ibtinen Sediri, Properties of Nash Equilibrium Retail Prices in Contract Model with a Supplier, Multiple Retailers and Price-dependent Demand, 38th International Conference on Computers and Industrial Engineering 2008. 11. 2, 北京航空航天大学 (中国)

④ Mikihiko Hiraiwa and Koichi Nakade, Periodicity of Cycle Time in a U-shaped Production Line with Heterogeneous Workers 38th International Conference on Computers and Industrial Engineering 2008. 11. 1, 北京航空航天大学 (中国)

⑤ 平岩幹彦, 中出康一, 事前需要情報を持つ単一工程生産在庫モデルの解析, 20 年度日本経営工学会春季研究発表会, 2008. 5. 11, 電気通信大学

⑥ 中出康一, 坪内哲士, 複数の販売者からなる生産・販売契約モデルの解析 20 年度日本 OR 学会春季研究発表会, 2008. 3. 26, 京都コンピュータ学院

⑦ 中出康一, 販売価格による需要変動を考慮した生産・販売価格契約モデル 日本機械学会 生産システム部門講演会 2007, 2007. 7. 13, 名古屋市工業研究所

⑧ 中出康一, 生産-販売価格契約モデルとその解析について OR 学会待ち行列研究部会, 2007. 5. 19, 東京工業大学

[図書] (計 2 件)

① 中出康一(翻訳) 「サプライチェーンマネジメントにおける戦術的計画モデル」(第 8 章 pp. 397-425) サプライチェーンハンドブック, 黒田充, 大野勝久監訳, 朝倉書店, 2008.

② 中出康一(翻訳) 「サプライチェーンの運用 II : 受注組み立て生産システム」(第 11 章 pp. 526-558) サプライチェーンハンドブック, 黒田充, 大野勝久監訳, 朝倉書店, 2008.

## 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  
研究社番号 : 50207825

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし