

# SCMのための統合モデリング

松尾 博文

サプライチェーンマネジメント (SCM) は需要サイドのマーケティングと供給サイドのオペレーション管理の統合を目指す。本論文では、最初に、サプライチェーン戦略の解説をする。次に、マーケティングとオペレーション管理を統合するOM/M-統合モデリングを提唱する。OM/M-統合モデリングでは、従来、個別に扱われてきたマーケティングとオペレーション管理の種々の最適化問題を、需要ダイナミクスを通じて連結する。最後に、パーソナルコンピュータの直販ビジネスモデルの事例と鮮度商品のSCMの事例をもとにOM/M-統合モデリングを解説する。

キーワード：SCM, 在庫管理, 需要予測, マーケティング・サイエンス

## 1. サプライチェーン戦略

本論文では、サプライチェーンマネジメント (SCM) の適用範囲として、商品開発, 原材料調達, 加工, 配送, マーケティングからなる一連の業務を考える。SCMはハード面では、施設, 設備, 情報通信ネットワーク, レイアウト等の決定にかかわる。ソフト面では、運用手続き・手法, 人的管理, 組織の構成, 財務・会計管理システムにかかわる。

図1において、企業本部レベルでの企業戦略は、事業部 (strategic business unit) ごとのビジネス戦略を決める指針となる。そのビジネス戦略は、オペレーション戦略, マーケティング戦略等の機能別戦略に分割される。マーケティング戦略では需要を創出し、商品と顧客の整合性を図る需要管理を行う。一方、オペレーション戦略では商品とプロセスの整合性を図る供給管理を行う。サプライチェーン戦略は、オペレーション戦略とマーケティング戦略を別々に扱わず、その機能を統合することを目指す。日本の大企業では、従来、企業レベルの活動を即、製造部門と販売部門に分割し、種々の事業部が製造部門の下に入る組織構造を持つ会社が多かった。しかしながら、現在、商品カテゴリごとに事業部を構成する図1のような戦略の階層構造に移行している。

商品寿命の短期化, 技術革新の加速化, 製造業者主導から消費者主導の経済への移行, グローバルレベルでの企業間競争というビジネス環境のもとでは、図1のように商品カテゴリごとに製販統合し、顧客のニー

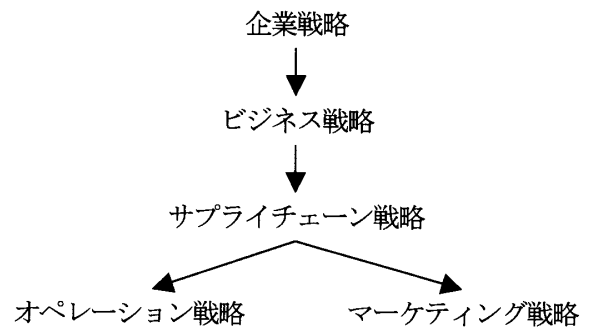


図1 戦略の階層

ズへの対応を迅速化, 効率化することは必須となる。

需要を創出し、需要と供給を合致させるために、SCMは需要管理と供給管理より構成されている。需要管理には、マーケティングの一部の特に物流に関する分野であり、チャンネル管理, 顧客管理, 需要予測, 注文情報管理より構成される。供給管理は、ベンダ管理, 生産管理, 流通管理, 運送管理より構成される。

需要と供給を合致させるという観点から、需要の特徴として、需要パターン (パターン, 期間, 量, 不確実性), 顧客セグメント, 価格弾力性, 購買のタイミング, チャンネル等を把握する必要がある。供給面の特徴としては、在庫 (保持コスト, 価値損失, 死に在庫), 再納入可能性, 生産コスト構造 (固定, 変動, 規模), 流通コスト構造, 供給者管理, 外注, コラボレーションのあり方について考慮すべきである。

サプライチェーンを構築するにあたり、対象とする顧客, 商品, プロセスの違いにより、それに適合した形態は異なったものとなる。その考察においては、次の四つの基本的なコンセプトが重要である。整合性 (Fit), 絞込み (Focus), 可変性 (Flexibility), 適応性 (Adaptability)。

まつお ひろふみ

筑波大学 社会工学系

〒305-8573 つくば市天王台1-1-1

整合性とは顧客、商品、プロセスの整合性を意味する。絞込みとは、対象とする顧客セグメントを絞り込み、そのセグメントに適した商品に適したプロセスで供給することである[1]。可変性とはプロセスの状態 (state) を変える能力のことをいう。その意味で flexibility を柔軟性と訳さずに可変性と呼ぶ。適応性とはプロセスの状態 (state) は与件として、プロセスを改善することを意味する[2]。

SCM が対象とする顧客と商品が短期間に変化していく場合、需要サイドと供給サイドの管理を統合して、変化に迅速に効率的に対応していく仕組みづくりが求められる。その目的で、次節では、オペレーション管理とマーケティングを統合する、OM/M-統合モデリングの構造を導入する。OM/M-統合モデリングの構造を、節3ではパーソナルコンピュータの直販ビジネスの事例をもとに解説し、節4では鮮度食品のSCMの事例をもとに解説する。節5では本論文のまとめを述べる。

## 2. オペレーション管理 (OM) とマーケティングを統合する OM/M-統合モデリング

従来のオペレーション管理の文献では、需要は与件となる。需要を満たすことを制約式として、供給サイドの変数をコスト最小化、あるいは、利益最大化するように決定する最適化問題が広く研究されている[3]。これは、供給サイドのオペレーションの問題を需要サイドのマーケティングと分割して考える立場である。本節では、製販統合を目指したSCMの観点から、オペレーション管理とマーケティングを一つの枠組みでとらえる図2のOM/M-統合モデリングの構造を考える。

オペレーション管理、あるいは、マーケティング・サイエンスの分野では、次のような個別の最適化問題がオペレーションズ・リサーチの問題として定式化され、広く研究されている[3, 4]。ここで、①、②等は図2中の番号に対応する。

**需要予測問題 (①→②)：**①需要ダイナミクスを過去の需要のデータを分析することにより明らかにする②需要予測の問題。

**生産キャパシティの計画問題 (②→③→⑤)：**②需要予測値を与件として、需要を満たすような③生産キャパシティの計画問題。結果として、⑤商品 Availability を決める。ここで、商品 Availability とは、商

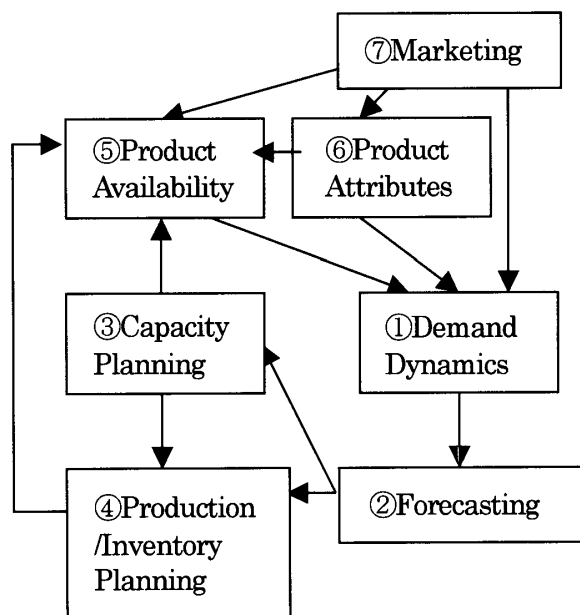


図2 OM/M-統合モデリングの構造

品がいつ、どれだけ、どこで購入可能であるかということを示す。

**在庫・生産計画問題 (②③→④→⑤)：**②需要予測値と③生産キャパシティ値を与件として、需要を満たすコスト最小化を目標関数とした④在庫・生産計画問題。結果として、⑤商品 Availability を決める。

**商品企画・開発問題 (⑦→⑥→①)：**⑦マーケティング活動では、目標顧客セグメントを定め、新商品の⑥商品属性を決める。新商品の属性はその①需要ダイナミクスに影響を与える。

**市場参入問題 (⑦⑥→⑤→①)：**⑦マーケティング活動では、目標顧客セグメントと⑥商品属性を決め、⑤商品 Availability, 特に、そのタイミングと場所を計画する。その決定は、①需要ダイナミクスに影響を与える。

**価格付け、販促問題 (⑦→①)：**⑦マーケティング活動では、店頭における価格付け、販促、品揃え、棚割等の決定を通じて、直接、①需要ダイナミクスに影響を与える。

近年では、商品寿命の短期化とSKU (Stock Keeping Unit) の数の増加に伴い、上記のような問題を個別に扱くと、顧客と商品の変化に対応が遅れ、売り上げ機会の損失、死に在庫コストの増加に繋がるようになってきた。節3, 4では、パーソナルコンピュータの直販とグローサリー産業の事例をもとに、OM/M-統合モデリングを解説する。ここで、マーケティングの問題 (⑥, ⑦) とオペレーション管理の間

題(②~④)が図2の①需要ダイナミクスで結合されていることに注目する。

### 3. パーソナルコンピュータ(PC)の直販ビジネスモデル

#### 3.1 PCのビジネス環境

PC等のハイテク商品のサプライチェーンを構築するにあたり、商品寿命の短期化ということに特に着目しなければならない。PCビジネスの特徴として次の7点が挙げられる。

- (1) 商品寿命は3ヶ月から24ヶ月、
- (2) 部品の納入期間は比較的長い、
- (3) 商品の顧客への納期は短い、
- (4) 需要は不確実、
- (5) 死に在庫コストは高い、
- (6) 部品コストは急速に下降する、
- (7) 商品価格も急速に下降する。

図3に見られるように、PCの部品コストは、1年の間に急速に下降する。市場での価格競争は激しいので、PCの消費者価格もそれに従い急速に下降する。PCの組み立て会社が、図3のAのように、部品を納入後、すぐに組み立て、販売できれば利益は出る。しかし、BあるいはCのように、部品の購入から、PCの販売までに、一定以上の時間が経過すれば、利益はなくなるか、損失にさえなる。PCの部品を一年間、在庫として保持した後に売却したとする。この場合、通常の在庫理論における在庫保持コストが部品の調達コストの20%、部品コストの下落に伴う価値損失が60%、死に在庫コストが20%として、在庫関連コストの合計は、元の部品調達コストの約100%にも達する。したがって、ハイテク産業では、サプライチェーンの構築にあたり、いかに在庫関連のリスクを最小化

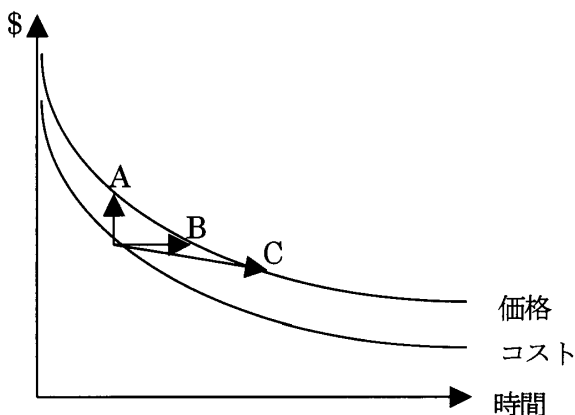


図3 PCの価格とコスト減少のパターン

するかということが最重要課題になる。

#### 3.2 PCの直販ビジネスモデル

米国のPC直販会社の事例を見るとそのサプライチェーンは、表1のようにまとめられる。需要管理面では、電話、インターネットを介して、一般消費者から商品に関する質問、注文を直接受けるチャンネルと並列して、企業、病院・学校・官庁ごとに直接販売するチャンネルを設けている。目標顧客セグメントはPCを過去に購買した経験のあるセグメントで、注文を受けてから組み立てるマスカスタマイゼーションを採用している。もちろん、電話、インターネットを介してPCを購入するのはPCの使用経験のある者に限られる。しかしながら、目標顧客セグメントを明確に認識することは、需要を創出できる商品を開発し、効果的なサプライチェーンを構築するためには不可欠である。一言で言えば、顧客、商品、プロセスの整合性がとられているのである。

#### 3.3 PCのOM/M-統合モデル

上記のPC直販会社のSCMに関して、以下の最適化問題が定式化できる。

**需要予測問題(①→②)**: PCの在庫・生産計画問題においては、需要に対応する確率変数はiid (independent identically distributed) ではない。文献[5]によると、PCの需要は時間とともに上昇し、その後下降する。需要は、次の(1)式の山型のロジスティクス曲線(Bass Model[6])に従い、チャンネルごとに予測可能な季節性を持つ。PCの需要予測は困難といわれるが、需要にはそのようなパターンが存在し、それを需要予測に利用することは精度の向上に繋がる。

表1 PCの直販ビジネスモデル

| 需要管理  |                             |
|-------|-----------------------------|
| チャンネル | ダイレクト、フォーチュン500、電話、インターネット  |
| 顧客    | コンピュータ経験の有るセグメント、カスタマイゼーション |
| パターン  | 山型、チャンネルごとの季節性              |
| 注文情報  | 顧客情報管理                      |
| 供給管理  |                             |
| ベンダ   | 最適の部品、コスト、供給の柔軟性            |
| 生産    | 在庫の最小化、顧客志向の技術              |
| 流通    | 外注                          |
| 運送    | 外注                          |

$$\begin{aligned} dN(t)/d(t) \\ = p(m - N(t)) + qN(t)(m - N(t))\alpha_t, \end{aligned} \quad (1)$$

$$N(0) = 0.$$

ここで、

$N(t)$  = 時刻  $t$  までの累積需要量

$m$  = 無限時間後の累積需要量

$p, q$  = スカラー係数

$\alpha_t$  = 時刻  $t$  における季節性

$\alpha_t = 1$  for any  $t$  の場合は、通常の Bass Model に帰結する。PC の需要は短期間で、季節性が強いので、このパラメータは重要である。

Bass Model は、あるカテゴリの耐久消費財が市場に投入されてから、その需要が長年にわたり産業レベルでどのように推移するかを表すモデルである。しかし、ここでは、ある企業の特定機種の商品の需要が、他の企業、他の機種の動向にあまり影響を受けないときは、同様なモデルで表現できることを示している。

Bass Model では、(1)式の第1項はその商品を既に購買した消費者に購買の決定を左右されない消費者による購買のレート、第2項は、既に購買した消費者の口コミ情報に影響を受ける消費者による購買のレートと解釈されている。このことは Bass Model の Behavior Interpretation と呼ばれる。

**在庫・生産計画問題 (②→④→⑤) :** 供給面では、この PC 直販会社は製品の開発と最終組み立てのみを行い、他の作業は外注によって処理する。したがって、必要な部品を適時調達することが重要になる。しかし、部品調達のリードタイムは比較的長く、需要予測に従い調達計画を立てる必要がある。需要が(1)式に従い不確実性をもつとき、利益の期待値の最大化をはかるような部品在庫の調達方法は文献[7]で明らかにされている。最適解は、時刻0より、需要レートより多く調達していき、ある時点で調達を止めるという、Bang-bang 制御タイプの調達になる。文献[8]も参照のこと。

**市場参入問題 (⑦→⑤→①) :** PC の市場への投入が遅れると、需要が低いレベルで、推移することがある。図4において、上部の曲線は商品が  $t=0$  で投入されたときの(1)式に対応する需要を表す。もし、投入が  $t=4$  まで遅れたとすると、Bass Model の Behavior Interpretation が成り立つとして、需要は図4の下部の曲線に従うことが示せる。これは、早期にこの製品を採用した人が、投入の遅れのために少なくなるので、口コミによる(1)式の第2項が小さくなり、相乗的に需要が伸びないということに起因する[9]。図4

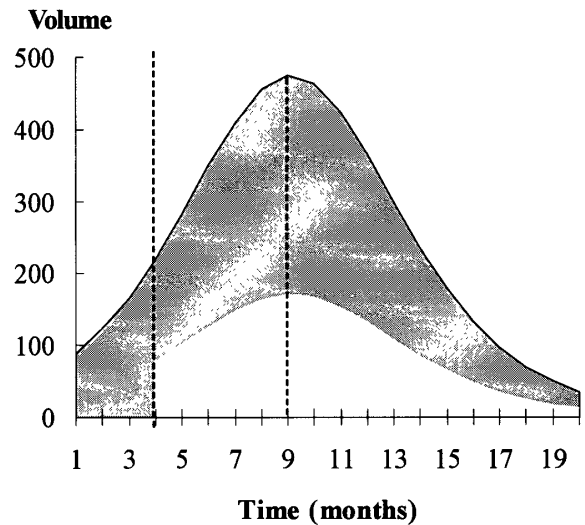


図4 PC 需要の投入遅延モデル

の斜線部分は、投入の遅れに起因する販売損失に対応する。

**統合モデル/市場参入時期と在庫・生産計画問題 (⑦→⑤→①→②→④→⑤) :** 市場への製品の投入の時期を決めるとき、投入を延期すると、採用者の口コミの形成量が減少し、需要曲線が下降する。それを考慮して、部品調達と生産調整する必要がある。

**統合モデル/早逃げ戦略 (⑦→⑤→①→②→④→⑤) :** 上記の在庫・生産計画問題では、最適化は、一世代の製品について考えられている。さらに、需要を形成する顧客セグメントは一様と仮定している。しかしながら、PC の購買者は、製品のライフサイクルにおける購買時期でセグメント化できる。特に、ライフサイクル後半で購買する者は laggard と呼ばれる。laggard を自分の会社の目標顧客セグメントから切り捨てるというマーケティングの計画を立て、商品 Availability を早々に意図的になくし、需要を意図的に発生させなくする。こうすることにより、PC の過剰在庫の廃棄コストの期待値を大幅に減少させることができる。ここでは、廃棄コストを減少させるために、laggard のカテゴリの顧客とその売上を失ったのであるが、結果として、期待利益を増加させることが示せる[10]。このような早逃げ戦略をとらずに、次世代の製品を早い時期に投入すると、前世代の製品に対する需要は次世代製品に共食い (cannibalization) されてしまうことにも注目する必要がある。

**統合モデル/在庫処理のための価格付け問題 (⑦→①→②→④→⑤) :** 商品寿命の終期において、消費者価値が低下した在庫が多数残った場合、価格を動的に低下させることにより、利益を最大化することを目指す

す。例えば、文献[11]を参照のこと。

## 4. 鮮度商品の SCM

### 4.1 鮮度商品のビジネス環境

グローサリー産業の特徴は多数で異種の商品群を低いマージンで多量に販売するところにある。本節では、日米の鮮度が大切な食品の SCM の事例を考える。

米国では、ポテトチップを製造販売する大規模な会社が存在する。ポテトチップはポテトを油で揚げた商品で、味と食感は時間とともに劣化する鮮度商品である。この会社の場合、全米に多数の工場、倉庫、流通拠点を保有しており、ポテトを調達し、加工し、小売店の商品棚に置くまでを 10 日以内でこなす。また、多数の販売員を抱え、スーパー、コンビニ等の商品棚の管理を自社の社員で受け持つ。

ポテトチップは日常の、又はパーティのスナックとして楽しまれている。こうしたパッケージド食品の需要は商品棚における商品のフェーシング数（客に向けた商品の面数）に比例してある程度まで増加することが知られている。

### 4.2 ポテトチップ製造販売のビジネスモデル

ポテトチップを袋詰にすると、その袋の体積は大きくなる。その結果、輸送、倉庫、ハンドリングコスト、商品棚の占有コストは高くなる。そこで、サプライチェーンの設計において、いかに商品の回転率を高めるか、言い換えれば、在庫量をいかに最小にするかということが課題となる。商品の需要パターンは、休日等のパーティが行われるときを除き、年間を通じてほぼ一定である。したがって、PC の場合と異なり、内製率を高めても、需要と供給を合致させることは容易で

ある。そして、全米にわたる供給ネットワークを構築することにより、商品棚の占有による売上高の増大とブランドの確立、それにあわせて、生産、流通、販売における規模の経済を実現し、コストを減少させ、利益を増大させている。この会社のサプライチェーンの枠組みについては、表 2 を参照のこと。

### 4.3 24 時間商品のビジネスモデル

日本では米国に比べ、消費者は鮮度により敏感であると思われる。24 時間商品とは、消費者が鮮度に価値を見出す商品で、収穫あるいは製造されてから 24 時間以内に消費されるべき商品のことである。文献[12]は、セブン・イレブンの焼きたてパンとヨークマートの朝採り野菜等の 24 時間商品の SCM の事例を調査し、鮮度志向型 ECR (ECRFF) というサプライチェーンの形態としてまとめている。

鮮度商品を販売する難しさとして次のことが挙げられる。

(1) 鮮度商品は消費者が店頭で商品をより分けるので、店頭では商品在庫は先入後出の規則に従い動き、結果として、値引き・廃棄コストが高くなりやすい。

(2) 鮮度商品は腐りやすいので、店頭への配送回数を増やさなければならない。焼きたてパンの場合は一日 3 回、朝採り野菜の場合は一日 2 回の配送が行われている。したがって、配送コストとハンドリングコストは増加しやすい。

(3) 多数で小規模な調達先から生鮮食品を調達する場合、天候等の理由により、調達価格と調達量は不安定となる。さらに、多数で小規模な調達先を扱うので、調達コストとハンドリングコストは増加しやすい。

鮮度商品の SCM では、以上のような特異性と困難さを考慮した統合モデルの構築が必要である。

### 4.4 鮮度商品の OM/M-統合モデル

上記の鮮度商品の SCM に関して、次のような最適化問題が定式化されている。

**棚割問題 (⑦→①) :** グローサリー産業では、商品棚における商品のフェーシング数は需要量を決める重要な要因である。商品棚のスペースは限られており、商品の SKU 数は一つのカテゴリをとっても非常に多いので、棚に置く SKU を選択し、それぞれの SKU についてフェーシング数を利益が最大になるように設定する必要がある[13]。

**統合モデル/棚割と在庫問題 (⑦→①→②→④→⑤) :** 上記の棚割問題は、主にマーケティングの視点で定式化されているが、在庫コストも厳密に評価した

表 2 ポテトチップの会社のビジネスモデル

| 需要管理  |                       |
|-------|-----------------------|
| チャンネル | スーパー、コンビニ、自販機         |
| 顧客    | 楽しみ、パーティ、衝動買い         |
| パターン  | 基本的には一定               |
| 注文情報  | 商品売却速度による             |
| 供給管理  |                       |
| ベンダ   | ジャガイモ、さとうきび、油、プラスチック  |
| 生産    | 工場のネットワーク             |
| 流通    | 倉庫のネットワーク、ストアへの直送と棚管理 |
| 運送    | 自社のトラック               |

定式化が文献[14]で提唱されている。

**統合モデル/販促と在庫問題** (⑦→①→②→④→⑤)：在庫量が多い商品を販促することは、現場ではよく用いられている。また販促に応じて、在庫・生産量が計画される。

24時間商品のSCMについては、特に、統合モデルと最適化のアプローチが肝要であると思われるが、ここでは、ECRFF(鮮度志向のECR)の枠組みを紹介する。詳細は文献[12]を参照のこと。

#### 統合モデル/ECRFF：

ECRFF 1：鮮度感とサプライチェーンの整合性

ECRFF 2：時間単位のロジスティクス管理

ECRFF 3：厳密なコスト削減手法

ECRFF 3.1：多頻度発注と配送による値引きと廃棄コストの削減

ECRFF 3.2：多頻度配送による棚スペース・コストの削減

ECRFF 3.3：高密度・集中型の店舗分布

ECRFF 3.4：4種類の温度帯別の混載配送トラックとDC

ECRFF 4：One-to-oneの調達管理

ECRFF 5：Revenue Management

ECRFF 6：厳密なコラボレーション(チーム・メーカーチャンダイジング)

## 5. まとめ

本論文では、サプライチェーン戦略をオペレーション戦略とマーケティング戦略を統合するものとして位置づけ、サプライチェーン戦略の助けとなることを目的とした、OM/M-統合モデリングを提唱した。PCの事例と鮮度商品の事例を用い、従来、研究されてきた個別の最適化問題に対して、どのような統合最適化モデルが考えられるかを解説した。特に、需要サイドのマーケティングモデルと供給サイドのオペレーション管理モデルは需要ダイナミクスを通じて結合されることに注目することが統合モデリングの第一ステップになる。

#### 参考文献

- [1] Hayes, R. H., and Wheelwright, S. C.: *Restoring Competitive Edge: Competing through Manufacturing*, John Wiley & Sons, Inc., 1984.
- [2] Bordoloi, S. K., Cooper, W. W., and Matsuo, H.: Flexibility, Adaptability, and Efficiency in Manufacturing Systems, *Production and Operations Management*, Vol. 8, No. 2, 133-150, 1999.
- [3] Graves, S. C., Rinnooy Kan, A. H. G., and Zipkin, P. H., eds: *Logistics of Production and Inventory, Handbooks in Operations Research and Management Science*, Vol. 4, Elsevier Science B. V., 1993.
- [4] Lilien, G. L., Kotler, P., and Moorthy, K. S.: *Marketing Models*, Prentice-Hall, Inc., 1992.
- [5] Kurawarwala, A. A., and Matsuo, H.: Product Growth Models for Medium-Term Forecasting of Short Life Cycle Products, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 57, 1998, 169-196; Vol. 2, No. 2, 17-27, 2002.
- [6] Mahajan, V., Muller, E., and Bass, F. M.: New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research, *Journal of Marketing*, Vol. 54, No. 1, 1-26, 1990.
- [7] Kurawarwala, A. A., and Matsuo, H.: Forecasting and Inventory Management of Short Life Cycle Products, *Operations Research*, Vol. 44, No. 1, 131-150, 1996.
- [8] Cohen, M. A., Ho, T. H., and Matsuo, H.: Operations Planning in the Presence of Innovation Diffusion Dynamics, Chapter 10 in *New-Product Diffusion Models*, edited by Mahajan, Muller, E., and Wind, J., Kluwer Academic Publishers, 237-259, 2000.
- [9] Kurawarwala, A. A., and Matsuo, H.: Costs of Delay in Time to Market and Capacity Restriction, Working Paper, IC<sup>2</sup> Institute, The University of Texas at Austin, 1993.
- [10] Jain, N., Mahajan, V., and Matsuo, H.: When Should You Not Target the Entire Potential Market of a High Technology Product with a Short Life Cycle?, Working Paper, Department of Management, The University of Texas at Austin, 1999.
- [11] Bitran, G., and Caldentey, R.: An Overview of Pricing Models for Revenue Management, *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol. 5, No. 3, 203-229, 2003.
- [12] Takeda, Y., and Matsuo, H.: ECR: a 'Fresh' Look from Japan, *ECR Journal*, Vol. 2, No. 2, 17-27, 2002.
- [13] Bultez, A., and Naert, P.: SH. A. R. P.: Shelf Allocation for Retailer's Profit, *Marketing Science*, Vol. 7, No. 3, 211-231, 1988.
- [14] Freund, R. B., and Matsuo, H.: Retail Inventory and Shelf Space Allocation, Working Paper, Department of Management, The University of Texas at Austin, 1997.