

商品の流れとサプライチェーンモデルの関係

M2004MM029 森 雅俊

指導教員 澤木 勝茂

1 はじめに

私たち消費者は、スーパーや電気店において、様々な商品が売られているのを見かけるが、これらの商品はどのような道筋を経て消費者の元に届くのだろうか。本論文の目的は、それらの商品の流れをサプライチェーンの観点から論じ、それらの流れの中で働いているサプライチェーンは何かについての論述やサプライチェーンについての論述、在庫圧縮についての論述を通して、スーパーや電気店の商品が売り場に出されていく経緯や、それらの商品がどのようにして圧縮されていくのかを調査することである。また、この論文を通して、サプライチェーンについての知識を深めるのもこの論文の目的である。

2 サプライチェーン・マネジメントについての概要と役割、目的、課題

典型的サプライチェーン・マネジメントは、顧客価値創造のためのマネジメント・テクノロジーの総称で、原材料の購入から始まり、一ヶ所または複数ヶ所の工場で製品を生産し、倉庫へ出荷して中間在庫となり、小売または消費者へ納入する流れを含んでいる。サプライチェーンは、各拠点間を流れる原材料、仕掛け在庫、最終製品、供給業者、製造施設、倉庫、物流センター、特約小売店などによって構成される。よって、サプライチェーンマネジメントは供給、生産、倉庫、店舗を効果的に統合するための一連の方法であり、適正な量を適正な場所へ、適正な時期に生産、配送し、要求されるサービスレベルを満足させつつ、システム全体の費用を最小化することを目的としている。

サプライチェーンの役割は、顧客の要求に適合する製品を作ることと、供給業者や製造業者の拠点から、倉庫(工場)や物流業者を経て、卸売業者や店舗(小売業者)まで全てを考慮に入れることの2つである。サプライチェーンの目的は、サプライチェーンネットワーク全体を効率よくすることと、輸送や配送の方法、原材料、仕掛品、製品在庫といった全体の費用を最小化することである。サプライチェーンの課題はストラテジックレベル、タクティカルレベル、オペレーショナルレベルといった3つのレベルの統合である。ストラテジックレベルは企業に長期に渡って継続的に影響する意志決定の領域、タクティカルレベルは一般に四半期から年に一度更新する意志決定の領域、オペレーショナルレベルはスケジューリング、リードタイム見積、配送計画、積荷計画などの日常的な意志決定の領域のことをいう。

3 サプライチェーンモデルの内容と最適化

3.1 店の種類と弧

サプライチェーンモデルには、在庫が1つの在庫保管設備を蓄える在庫配置の $S(\text{店}) = \{1, 2, \dots, S\}$ の集合からなる。店には入庫店と出庫店の二種類がある。上流店の供給者から受け取る部品の異なるタイプ of 在庫を入庫店といい、その敷地で完成在庫品を蓄える在庫を出庫店という。これら2つの店はともに少なくとも1つの入庫店、0またはそれ以上の出庫店から成る。

モデル内にある店がサプライチェーンを通じて商品の流れとしてつながっているものを弧という。入庫店 i から出庫店 j を結ぶ弧に関わりのあるもの(処理数)を u_{ij} とする。これは、サプライ・チェーンの在庫の価値の推測に使われる。入庫店から出庫店をつなぐ弧は、処理数と共に出庫店のためのシングルレベルBOM(原料明細)を設置し、また出庫店から入庫店をつなぐ弧は、出庫店が、特定の下流出庫店へ補充物を供給することを表す。

3.2 補充サイクル時間

互いの店を関係づけるものとして、補充サイクルタイム(計画リードタイム)があり、それはその店内の在庫配置設備の補充を得ることを要求する時間をいう。計画リードタイムは出庫店の場合、対応する原料入庫店から出庫店内の在庫配置設備を作ることを要求する製造時間のことをいい、入庫店の場合、次から次へと製品を移動させることを要求する転送または通過時間のことをいう。

3.3 在庫管理

その店での在庫配置を最初に特定したとき、多くの店、すなわち入庫店か出庫店のどちらかで、いま在庫内にある多量の在庫配置設備がいつでも存在する。この量において、店での物理的に引き渡されないものを除いた上流供給者から注文された補充在庫の総量を定義する特定の量の未払い注文(オン・オーダー量)と、最終的にいっばいでないものを除いた下流消費者により注文されたこの店からの特定の量の在庫配置設備(バック・オーダー量)がある。

3.4 補充の実行

店が注文を受け入れるときに、注文がいっばいになっている店の手持ち在庫で十分である場合、注文はいっばいになる。もし注文でいっばいになっている店の手持ち在庫以外にも手持ち在庫がある場合、先入れ先受けの注文待ちの列が配置される。注文中の在庫が店に着いたり、手持ち在庫になった場合、注文待ちの列は止まり、できるだけ多くの注文でいっばいになる。出庫店におけるこのような注文は、注文中の下流客または下流店に送られる。もし、

注文が1種類以上の在庫配置設備を含む原料明細を持つ
出庫店により左右された場合、全ての入力在庫配置設備
の量が十分あるときしか組み立てが進行しないため、十分
な原料が全入庫店に与えられるまで組み立てが開始し
なくなってしまう。

3.5 製品需要についての記号の説明

- M : モデル内の一組の全顧客の需要の流れ
- $str(m)$: 商品を含む需要の流れからの出庫店
- $\{D(m, 1), D(m, 2), \dots\}$: 独立変数の結果の形式で
の需要の予想
- T_m : 運送または配達時間
- W_m : 顧客の流れ から典型的注文を受け入れるた
めの待ち時間
- $P[W_m \leq \beta_m] \geq \alpha_m$: クラスの流れ m のための
サービスレベルの要求
- β_m : クラス m の注文における満期
- α_m : 満期の前にいっぱいになるクラス m の注文
の一部

(β_m 、 α_m : 入力パラメータ)

3.6 定式化

記号の意味を以下に示す。

- I_i : 手持ち在庫のレベル
- B_i : 店 i での注文待ちの数
- N_i : 集合関数
- R_i : 店 i でのベースストックレベル
- f_i : 店 i へ到着する注文満足率
- p_i : 出荷確率
- $E[I_i]$: 店 i での平均在庫品レベル
- $E[N_i]$: 平均オン・オーダーレベル
- $E[B_i]$: 平均バックオーダーレベル

N_i は平均 μ_i 分散 σ_i^2 の正規分布

$$N_i = \mu_i + \sigma_i Z \quad (1)$$

(Z は標準正規分布に従う確率変数) と以下の関係になっ
ている。

$$I_i = [R_i - N_i]^+, \quad B_i = [N_i - R_i]^+ \quad (2)$$

また式 (1)、式 (2) より、

$$R_i = \mu_i + k_i \sigma_i \quad (3)$$

と書ける。(k_i は安全因数)。また、式 (3) より、 k_i と R_i
が互いに関係しているときから、どちらの値もベースス
tockレベルを特定できないことから、

$$\begin{aligned} E[B_i] &= E[N_i - R_i]^+ = \sigma_i E[Z - k_i]^+ \\ &= \sigma_i \int_{k_i}^{\infty} (z - k_i) \phi(z) dz \end{aligned} \quad (4)$$

が成立する。ただし、 $E[B_i]$ は平均注文待ちレベルとする。

$$G(k_i) := \int_{k_i}^{\infty} (z - k_i) \phi(z) dz \quad (5)$$

から、

$$E(B_i) = \sigma_i G(k_i)$$

が得られる。同様に、

$$H(k_i) := k_i + G(k_i) = \int_{-\infty}^{k_i} (k_i - z) \phi(z) dz \quad (6)$$

から

$$E(I_i) = \sigma_i H(k_i)$$

が得られる。ただし、 $E(I_i)$ は店での平均在庫レベルと
し、 $\phi(z) = \exp(-z^2/2)/\sqrt{2\pi}$ は Z の密度関数とする。
顧客の流れ m が形式 $P[W_m \leq \beta_m] \geq \alpha_m$ 内で特定され
た目標または望まれたサービスレベルをもつとき答える
行動分析モジュールがこの顧客の流れへのサービスレ
ベルをサプライチェーンが引き出せるかどうかは、最初にい
つ店での手持ち在庫から、顧客の流れ m からの注文品が
いっぱいになるかを理解できるかどうかにかかっており、
その遅れは、店から顧客への通過時間 T_m を単一化して
いる。手持ち在庫がない場合、例えば出庫状態が存在する
とき、追加遅延は τ_i だけこうむる。よって、以下の式が
導かれる。

$$P[W_m \leq \beta_m] = f_i P[T_m \leq \beta_m] + (1 - f_i) P[T_m + \tau_i \leq \beta_m] \quad (7)$$

もし、式 (7) の右辺が要求 α_m をこえる値をもつとき、
要求されたサービスレベルを満たしていることを述べら
れている。

店 i での手持ち在庫を $E[I_i] = c_i \sigma_i H(k_i)$ として見積も
るとき、 c_i が店 i での在庫配置設備あたりの費用として
の入力である場合、店 i における手持ち在庫の金銭価値
は $c_i \sigma_i H(k_i)$ になる。プロセス内の仕事を評価するた
めに店の上流部門のプロセス内の仕事1組の金銭価値の入
力データとして挙げるか、あるいはデータ入力の負荷を
少なくするかのどちらかが可能になる。よって、入庫店の
費用の総計や出庫店内の在庫配置設備に基づく平均費用
は以下の様になる。

$$\hat{c}_i := \frac{1}{2} (c_i + \sum_{j \in S_{>i}} c_j u_{ji})$$

店 i のすぐ上流部門の在庫配置施設の金銭価値は
 $\hat{c}_i E[N_i] = \hat{c}_i \mu_i$ と推測される。本店では上流部門店が
ないため、 $\hat{c}_i \equiv c_i$ か、 $\hat{c}_i \equiv 0$ のどちらかを定義するこ
とができる。外部供給者をモデルとした店では、在庫の価値
はネットワーク内の在庫の見積もりを含んでいるかもしれ
ないしそうでないかもしれない。いずれの場合も選

扱は明らかな応用に依存している。よって、サプライチェーン内の在庫の総金銭価値 C は以下の様になる。

$$C = \sum_{j \in S} [\hat{c}_j \mu_j + c_j \sigma_j H(k_j)] \quad (8)$$

よって、 C は、ちょうど互いの店の在庫管理設備と互いの店の完成品の合計である。

3.7 サプライチェーンモデルの最適化

サプライチェーンの背景で 2 種類の最適化問題が定式化できる。1 つは記述された一つの顧客サービスレベルをサポートする必要がある在庫の最小費用を見つけることである。もう 1 つは全体在庫投資の予算上の制限に屈する顧客に提供するサービスレベルを最大限に評価することである。

互いの小売店での全顧客の流れが満足する必要がある最小満足率の最初の発見を実行するために互いの顧客の流れが必要としている満足率 f_m を決める必要がある。(7) 式を変形させると、以下の式が導き出される。

$$f_m \equiv \frac{\alpha_m - P[T_m + \tau_i \leq \beta_m]}{P[T_m \leq \beta_m] - P[T_m + \tau_i \leq \beta_m]} \quad (9)$$

ただし、 τ_i は店 i での追加遅延時間とする。また、小売店 i での最小及び必要満足率 f_i^r を定義する。

$$f_i^r \equiv \max_{m \in: str(m)=1} f_m \quad (10)$$

k はサプライチェーンモデルにおける安全因数のベクトルとする。よって、最適化問題の公式は以下ようになる。

$$\max_k C(k)$$

subject to:

$$f_i^r \geq f_i \quad \forall i \in S_0$$

目標満足率から小売店での満足率の最大偏差の最適化を試みるミニマックス公式を使う。ミニマックス公式は以下の通りである。

$$\min \max_{i \in S_0} |f_i^r - f_i|$$

subject to:

$$C(k) \leq B$$

4 延期・投機戦略

4.1 説明・効果

最終製品の需要予測を行い、実需が確定する以前に計画的に最終製品の生産と物流を行うやり方を投機戦略、最終製品としての特徴を付加する時期をできるだけ遅らせるやり方を延期戦略という。投機戦略は、見込み生産の形態をとるため大量生産による規模の経済性を確保しやすい、顧客に製品を納入するためリードタイムが短くてす

む反面、予測と実需が乖離したときに、製品ライフサイクルが短い製品において、製品在庫がデッドストックとなる危険性が高い。延期戦略は、受注生産の形態をとるため売れ残りによるロスや欠品による機会損失は高くなる反面、一般的に納入リードタイムは短くなる。

これら 2 つの戦略は対極的な関係にあるため、多くの製造業は、部品や中間製品は見込み生産を、最終製品は受注生産をそれぞれ採用している。このように、サプライチェーン上における投機と延期の分岐点をデ・カップリングポイントという。原則として、カスタマイゼーションに要する時間が顧客からの要求納期に等しいか短くなる在庫ポイントをサプライチェーン上で見つけることによりデ・カップリングポイントを設定する。このような延期戦略と投機戦略を融合した戦略を延期・投機戦略という。デ・カップリングポイントを最終製品に設定した場合、流行に左右されやすい色の決定が生産プロセスの上流で行われているため、完全な投機戦略で顧客に対応している。

4.2 在庫量の計算

データに基づいて在庫量を計算する場合、以下の式を前提にして在庫量を解く。

$$S = L \times D + \alpha \times \sqrt{L} \times \sigma \quad (11)$$

記号は以下の通りである。

S	: 安全在庫量
L	: リードタイム
α	: 安全係数
D	: 需要量の平均
σ	: 需要量の標準偏差

4.3 モデルの内容

表 1 は、原材料が 1 種類、中間製品が 1 種類、最終製品が 4 種類であり、原材料～中間製品、中間製品～最終製品のリードタイムをそれぞれ 3 日、2 日、最終製品に対する顧客の要求納期が 3 日とし、各製品の需要量に関するデータが一週間分である場合の需要量のデータについて書かれている。表 2 は、製品 A、B における中間製品 A と製品 C、D における中間製品 B を設定した場合の需要量のデータについて書かれている。ただし、投機戦略の場合の在庫量は各製品の在庫量とし、延期・投機戦略の場合の在庫量は中間製品の在庫量とする。表 3 は、1 週間の前半 (1 日目から 4 日目まで) の需要量と、1 週間の後半 (5 日目から 7 日目まで) の需要量について書かれている。ただし、表 1～3 全てにおいて安全係数を 1.96 として計算し、 σ/D は標準偏差とする。安全係数を 1.96 にしたのは、正規分布での欠品率を 5% に抑えるためである。

表1 各製品の一週間分の需要量データ

	A	B	C	D	中間製品
需要量 (1日)	14	8	53	24	99
需要量 (2日)	9	3	36	15	63
需要量 (3日)	16	34	28	13	101
需要量 (4日)	12	17	3	7	39
需要量 (5日)	1	2	28	20	51
需要量 (6日)	26	5	0	19	50
需要量 (7日)	18	12	2	10	42
D	13.7	11.67	21.4	15.4	63.6
σ	7.21	10.34	18.82	5.60	24.03
σ/D	0.53	0.89	0.88	0.36	0.38
S	100	103	158	102	272

表2 中間製品が2つあるときの需要量データ

	A	B	中製 A	C	D	中製 B
D	13.7	11.6	25.3	21.4	15.4	38.3
σ	7.21	10.34	13.93	18.82	5.60	23.21
σ/D	0.53	0.89	0.55	0.88	0.36	0.61
S	100	103	123.1	158	102	194

(中製は中間製品の略称)

表3 週の前半と後半のの需要量データ

	A	B	C	D	中間製品
D (前)	12.8	15.5	30	14.8	75.5
σ (前)	2.32	11.8	18.01	3.97	25.94
σ/D (前)	0.18	0.76	0.60	0.27	0.34
S (前)	74	129	229	91	491
D (後)	15	6.3	10	16.3	47.8
σ (後)	10.39	4.23	12.76	4.62	1.87
σ/D (後)	0.69	0.67	1.28	0.28	0.039
S (後)	121	50	106	102	247

4.4 数値計算の結果と考察

表1において、中間製品における需要量の標準偏差は、4つの最終製品の需要量の標準偏差より大きい。また需要量の変動係数は製品Dよりは大きいものの、低い値になっている。また、在庫量も、中間製品の方が4つの最終製品と比較して多くなっている。表2から、2つの中間製品を比較して在庫量の多い最終製品Cの原料製品である中間製品Bのほうが多い結果となった。表3から、在庫量は1週間の前半の中間製品のほうが後半の中間製品より多い結果となった。また、週の前半に中間製品の集中出荷があることがこの表でわかった。また、全般で見ると、週の前半の中間製品の在庫量が多いという結果になった。

今回の研究の結果から、需要量の変動係数が比較的低い値であるのは中間製品の需要量が比較的安定しているた

めで、中間在庫の在庫量が4つの最終製品と比較して大きい値であるため在庫が大幅に圧縮されること、中間製品を2つに分けるよりも1つにまとめたほうが在庫が圧縮されること、1週間を前半と後半に分けたとき、前半のほうが後半よりも在庫が圧縮されることがわかった。

このように延期・延期戦略は、中間製品へのデカップリングポイントの設定や最終製品に共通する中間製品の定義により、顧客への即応性、需要の質的变化への柔軟性、企業における収益性を同時に実現することができるため、経営のスピード化、マス・カスタマイゼーションとコスト削減の両立などの課題の解決のための有効な考え方であることがわかった。この結果を踏まえて、延期・投機戦略の有効性をサプライチェーン全体に適用すれば、サプライチェーン・ロジスティクスを最適にする最も有効な方法になる可能性もありうる。それは、デ・カップリングポイントの位置が工場以外の物流センター、卸売、小売にあったときに、そこで顧客の要求に適合した製品に仕立てて出荷することによって、サプライチェーン上に滞留する無駄な在庫を圧縮することができることを表している。

5 おわりに

今回、本研究にあたって、スーパーの商品がいかにしてスーパーに置かれていくのか、その流れにはどのサプライ・チェーンマネジメントがどのような働きで働いているのか、そしてサプライ・チェーンマネジメントを最適にするのはどの方法か、さらに延期・投機戦略はどの方法なのかを研究した。

これらの研究において、どの最適化手法がスーパーの商品の在庫が早く圧縮されるかという研究に力を入れた。また、さらなる最適化問題を探することはできなかったものの、サプライチェーンモデルの最適化法の1つ、延期・投機戦略についての研究に専念した。この研究を教訓に、将来のサプライチェーンモデルの最適化における研究に役立てて欲しい。

参考文献

- [1] 久保幹雄監修, 伊佐田文彦, 佐藤泰現, 田熊博志, 宮本裕一郎訳: サプライ・チェーンの設計と管理 コンセプト戦略、事例, 朝倉書店, 2002.
- [2] 竹田賢: 延期・投機戦略とサプライチェーンの最適化, ロジスティクスレビュー (サカタグループ) <http://www.sakata.co.jp/>.
- [3] Sridhar Thayer, Ram Gamesman, Michael Magazine: *Quantitative of models for supply chain management*, Academic Publishers, pp.765-787 (1999).
- [4] 前田久喜: 在庫圧縮の進め方 在庫圧縮 50% を実現する新手法 MIP, 日本能率協会マネジメントセンター, 1998.
- [5] 小和田正, 加藤豊: OR 入門 意志決定の基礎, 実教出版, 1984.