2007年度卒業研究概要

在庫量変動と発注量変動に基づく サプライチェーンモデルの分析に関する研究

後藤　正幸　研究室
0432198　峯尾　佳宏

1.研究の背景と目的

近年、輸送や配送の方法から、供給、製造、倉庫、店舗まで、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方法としてサプライチェーン･マネジメントが注目されている。しかし、問題点として顧客の需要量や調達期間の不確実性により、上流工程へ至るほど発注量が増幅してしまうという"鞭効果"が指摘されている。鞭効果の対策の1つに、需要量や供給能力、配送計画などの情報の共有化ということが挙げられているが、実際にはステークホルダー全体での最適な制御は容易ではなく、単独で意思決定がなされている現状がある。

一方、鞭効果を制御するには発注量を制御する方法もあり、その方式としてG型定期発注方式がある。この方式は標準定期発注方式により求められた発注量と需要量期待値との差にパラメータGを乗じて発注量を安定化させようとするものである。本研究では、市場の需要を各プロセスが情報共有していない場合を想定し、G型定期発注方式を多段階のサプライチェーンモデルに適応する。その上で適切なパラメータGの設定方法を示し、鞭効果を軽減可能であることを実験的に明らかにすることを目的とする。

2.研究方法

本研究では、図1に示す5段階のサプライチェーンモデルについて、シミュレーションを行い、評価関数を用いて比較を行う。各プロセスの発注は、定期発注法で行われるものとし、本研究では標準定期発注方式とG型定期発注方式の2通りの発注方式を比較検討する。その結果に基づき、適切なパラメータGの算出を行う。

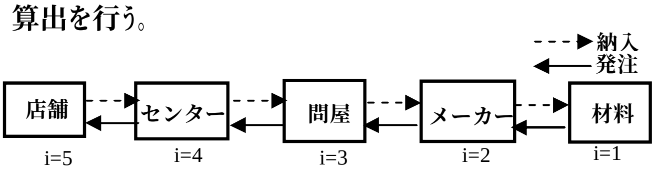

図1.5段階のサプライチェーンモデル

3.モデルの設定

3.1 モデルの前提条件

①期末発注、期首納入の定期発注方式を採用する。
②市場の需要系列は定常時系列とする。
③市場の需要を各工程間で情報共有していない。
④品切れが生じた場合は受注残となり、形式上は期末在庫量が負になることも許される。
⑤一回分の発注量に制限はない。
⑥単一品目を扱う。
⑦リードタイムは全工程ともに1とする。

3.2 在庫モデル

第j工程のt期の需要量を$D_j(t)$、発注量を$O_j(t)$とし、t期の期末在庫は(1)式で表される。

$$I_j(t)=I_j(t-1)+O_j(t-2)-D_j(t) \quad ・・・(1)$$

ただし、最終工程以外の需要$D_j(t)$は(2)式によって与えられる。

$$D_j(t)=O_{j+1}(t-2) \quad ・・・(2)$$

3.3 需要系列

市場の需要系列は指数型自己相関を持つ定常時系列(1次のARモデル)で与えられるものとする。ここで、t期における、需要の期待値をμ_D、需要自己相関係数をλ $(0\leqq\lambda<1)$とする需要系列は(3)式で表される。ただし、$V(t)$は$N(0,\sigma^2)$に従う確率変数(ホワイトノイズ)とする。

$$D(t+1)-\mu_D=\lambda\{D(t)-\mu_D\}+V(t) \quad ・・・(3)$$

3.4 発注方式モデル

予測方式は、需要の自己相関の度合を考慮し、(4)式に示す予測を行う方式を取る。

$$\tilde{D}_j(t)=\mu+\lambda(D_j(t)-\mu) \quad ・・・(4)$$

発注量は、以下に示す標準定期発注方式と、G型定期発注方式により求める。ここでSを安全在庫とし、μは需要量の期待値であるが、実用上は期毎の需要量平均値を求めて用いることになる。

3.4.1 標準定期発注方式

$$O_j(t)=\tilde{D}_j(t+2)+\tilde{D}_j(t+1)-I_j(t)-O_j(t-1)+S \quad ・・・(5)$$

3.4.2 G型定期発注方式

$$O_j(t)=\mu_D+G_j\{\tilde{D}_j(t+2)+\tilde{D}_j(t+1)-I_j(t)-O_j(t-1)-\mu_D\}+S \quad ・・・(6)$$

3.5 評価関数

本研究では、多段階に適用できる評価関数として、図2に示す安全在庫の考え方に基づき、安全在庫保管費用(以下、在庫費用)を各工程で算出し、その和である(7)式を評価関数とする。ここで、単位数量あたり在庫費用をa、安全係数をα、第j工程の在庫量分散を$V_j(I)$、総費用をC_{total}とする。

$$C_{total}=\sum_{j=1}^{5}a\times\alpha\sqrt{V_j(I)} \quad ・・・(7)$$

単一工程を扱っている従来研究[1],[2]では在庫量分散と発注量分散の和を評価関数としているのに対し、本研究では全工程の在庫費用和を用いる。多段階のサプライチェーンにおいては、ある工程の発注量分散の増加は、前工程の在庫量分散の増加として解釈される。すなわち、従来研究の評価関数と(7)式による評価関数は本質的に同等である。ただし、本研究では現実的なモデルを考え、在庫量分散ではなく、在庫費用としての最小化を行った。

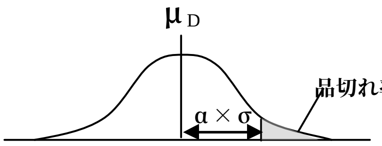

図 2.安全在庫の考え方

4.シミュレーション実験

4.1 シミュレーション条件

μ_D=100,標準偏差を σ=10 という需要形態をとり、単位あたり在庫保管費用を 10 とし、100,000 期間のシミュレーションを行った。適切なパラメータ G を算出するために、標準定期発注方式とパラメータ G を以下の 3 つのパターンで設定する G 型定期発注方式で比較を行った。

①文献[2]などにおいて、リードタイム 0 の時に最適とされるパラメータ G=0.618 を全工程で用いる。

②全工程で統一のパラメータ G を用い、λ ごとに最適なパラメータ G を用いる。

③工程ごとに最適なパラメータ G を用いる。

4.2 定期発注方式の λ による C_{total} の変動

図 3 より、標準定期発注方式は上流工程に行くほど在庫量分散が大きくなり、安全在庫保管費用がかかることを示している。この状態を鞭効果といい、需要の自己相関が大きくなるに従って上流工程の在庫量分散は増加する。λ=0～0.2 までは 5 段階の安全在庫費用に大きな違いが見られなかったが、λ=0.3～0.9 にかけては、安全在庫保管費用が上流工程に行くほど増加する傾向が強まる。メーカーからサプライヤーの 2 段階にかけて、急激に安全在庫保管費用が増加する。つまり、5 段階のサプライチェーンモデルでは上流工程で特に在庫量分散を制御する必要性が見られる。

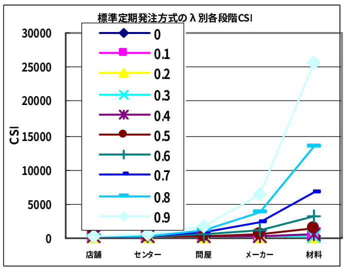

図 3.標準定期発注方式λ別各段階 CSI

4.3 標準型と G 型の各パターンの比較

表 1 より①、②、③の各パターンは標準定期発注方式より低い C_{total} を示した。最も低い C_{total} を示したのは③であり、リードタイムが 0 で無いときは G=0.618 ではなく、工程ごとにパラメータ G を設定する必要があることが明確となった。工程ごとに適応させたパラメータ G を表 2 に示す。λ=0～0.3 まではパラメータ G は同じ値をとっており、問屋から上流工程へいくほど高いパラメータ G を設定する必要があることを示している。また、センターからサプライヤーまでの 4 段階はいずれも 0.9 以上のため、自己相関が弱い時は店舗のみ低い値に設定し、他 4 段階は標準定期発注方式に近い状態が良いと考えられる。λ=0.5～0.9 にかけては、上流工程に行くほどパラメータ G が低く設定される傾向が見られた。このようにパラメータ G を設定して制御していけば C_{total} は低く抑えることができるが、図 4 に示す通り C_{total} を抑えると店舗の在庫費用が大きくなる。しかし、鞭効果に関しては λ=0.9 を除き、全体として解消傾向にあると言える。

表 1.各パターンの C_{total} 比較

λ	標準定期発注	パターン①	パターン②	パターン③
0	1196.33	973.00	970.15	734.38
0.1	1196.04	1011.36	1011.44	773.16
0.2	1240.87	1052.51	1047.41	820.19
0.3	1431.33	1098.41	1077.10	877.22
0.4	1969.16	1151.41	1115.65	945.77
0.5	3187.96	1214.88	1175.92	1046.13
0.6	5665.28	1295.46	1264.87	1171.56
0.7	10404.08	1409.95	1396.98	1338.18
0.8	19084.88	1604.63	1604.49	1566.48
0.9	34420.44	2012.73	2002.64	1955.72

表 2.工程ごと適応させたパラメータ G

λ	店舗	センター	問屋	メーカ	材料
0	0.15	0.96	0.93	0.96	0.97
0.1	0.15	0.96	0.93	0.96	0.97
0.2	0.15	0.96	0.93	0.96	0.97
0.3	0.15	0.96	0.93	0.96	0.97
0.4	0.20	0.96	0.93	0.91	0.93
0.5	0.20	0.96	0.97	0.82	0.77
0.6	0.30	0.92	0.86	0.79	0.68
0.7	0.37	0.80	0.81	0.67	0.65
0.8	0.51	0.69	0.63	0.67	0.57
0.9	0.50	0.70	0.67	0.60	0.58

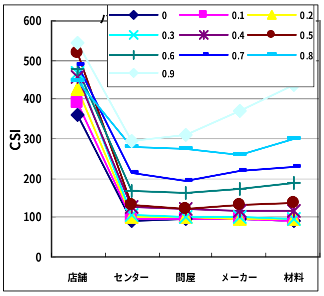

図 4.パターン③の工程別在庫コスト

5.考察

図 4 の結果より、C_{total} を最小化しようとすると、店舗の在庫費用が他にくらべてかなり大きくなる。そのため、店舗のみが多大な損失となるので、店舗の在庫費用も抑えて全体としてバランスよく制御を行う場合には C_{total} を最小化せずにパラメータ G の値を設定する必要があると考えられる。また、鞭効果が完全に解消されているとは言えないことから、λ が大きい場合には上流工程に別の制御方式を導入するなど、さらに検討していく余地があると考えられる。

6.結論と今後の課題

本研究では、鞭効果の軽減を目的とし、G 型定期発注方式を用いたサプライチェーンモデルについてシミュレーションを行い評価した。その結果、全工程でパラメータ G を統一せず、工程ごとに適切に設定した方が C_{total} はより抑えられることが明らかになり、最適なパラメータ G の傾向も示された。

しかし、シミュレーション条件は各工程間のリードタイムが固定であったため、今後はリードタイムが各工程で異なった場合を含めて検討することも必要である。

参考文献

[1] 俵信彦:"発注量変動の制御に関する研究",数理解析研究所講究録 1207 巻,pp33-40,(2001)

[2] 後藤正幸,内園みどり,俵信彦:"FK 型発注システムによる定期発注システムの統一的考察",日本経営工学会誌 Vol.46, No.6, pp565-572,(1996)