サプライチェーンにおける配送戦略の競合モデル

～製造業者が２社のケース～

1170392　一浦嗣雄

高知工科大学マネジメント学部

1．概要

流通市場の環境は、企業が提供する製品を消費者が選ぶ企業者主体の体制から消費者のニーズに応え企業が製品を提供する消費者主体の市場へ変化した。それに伴い、従来の市場分析では体制の変化に十分に対応できず、サプライチェーンマネジメントが注目されるようになった。このサプライチェーンマネジメントでは、値段設定などを戦略とみて、ゲーム理論的視点から研究をすることができる。本稿ではサプライチェーンマネジメントとゲーム理論を用いた先行研究を解説していくとともに、私が先行研究を理解する上で考えた本モデルの最小のケースについて提示し、数値実験を行い各プレイヤーの戦略について先行研究と比較していく。

2．先行研究について

2.1 先行研究

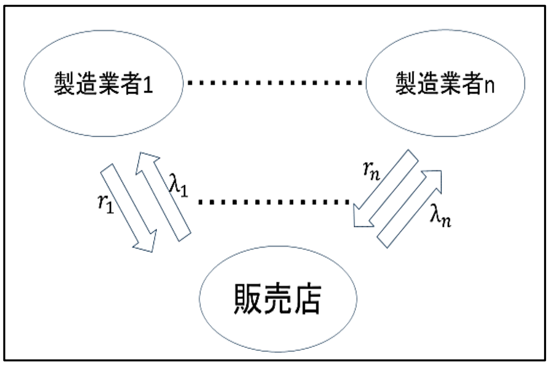
本稿では「サプライチェーンにおける配送戦略の競合モデル（2011 年 野田)」を先行研究とし、実際のモデルや定数・変数設定もこれに準ずるものとする。

2.2 先行研究のモデル

プレイヤーは販売店と製造業者の 2 種類存在し、ある製品について複数の製造業者が存在しその製品を取り扱う販売店を唯一とする。製造業者は収益の最大化、販売店はコストの最小化をそれぞれの目的とする。

問題モデル簡易化のため、製品の製造、発送及び配送は即時的に行われ、またそれらにかかる時間を考慮しない。各製造業者は在庫が０になってから製品の配送、発送を行う。販売店は在庫保管コスト、製造業者は発送、輸送コストを負担することとする。

製造業者の戦略を見てから、販売店が戦略を決定する形式とする。つまり、製造業者を上位、販売店を下位のプレイヤーとした階層型非協力ゲームに設定し（図①)、製造業者がどれくらいの頻度で製品を配送するかの値 r を決定することを第１ステージ、その後、販売店が需要全体のうちどれくらいを要求するかの値 λ を決定することを第２ステージと呼ぶ。また、簡易化された今回のモデルでは、各製造業者の戦略が他の製造業者の戦略に依存することから部分ゲーム完全均衡として定式化し、その均衡戦略を求めることで解くことができる。



（図①）簡易モデル説明

2.3 定数・変数の設定

定数

D（>0）：需要量
h_i（>0）：販売店の在庫保管コスト
p_i（>0）：製品 1 単位の価格
（ただし、$p_1 \leq p_2 \leq \cdots \leq p_n$）
c_i（>0）：製品 1 単位あたりの製造コスト
k_i（>0）：製品 1 単位あたりの輸送コスト
K_i（>0）：配送 1 回あたりの発送コスト

変数

λ_i（>0）：販売店の各製造業者に対する全体需要の配分の割合
（$\lambda_1+\lambda_2+\cdots+\lambda_n$=1）
r_i（>0）：製造業者の配送頻度

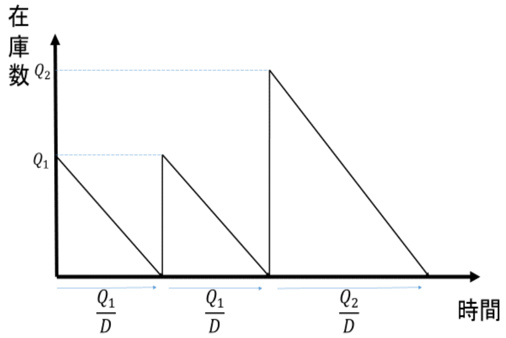
なお、想定する階層型非協力ゲームにおいて各プレイヤーの戦略を変数と設定する。

3. モデル解析

3.1 λ_iの最適解

先行研究をもとにモデルの研究を行う。今回は最小のモデルの製造業者が 2 社の場合を求める。ただし、2.3 の定数・変数設定からわかるように、各製造業者は商品の価格p_iではなく配送頻度r_iで競う。先に第 2 ステージの分析を行うが、以下の分析では第 1 ステージのr_iを所与とした上での分析とする。

配分率λ_i（以下要求配分率）を求める。販売店の在庫が 0 になってから製品が配送されるので、在庫の推移は次の図のように表される（図②）。以下の図は例として、製造業者 1, 2 の配送 1 回あたりの製品数をそれぞれQ_1, Q_2とおき、配送頻度r_1^*=2, r_2^*=1 と置いたときの在庫の推移を簡易的に表したものになる。



（図②）在庫の推移

一度の配送から在庫が 0 になるまでの在庫の総和は図②の三角形 1 つの面積と同じになる。各製造業者 1 回の配送から在庫が 0 になるまでの、のべ在庫数をS_iとおくと

$$S_i=\frac{Q_i^2}{2D}=\frac{\lambda_i^2 D}{2r_i^2}$$

となる。以上より販売店の負担するコストを C$(r,\ \lambda)$に関数化する。販売店側が負担するコストは、在庫保管コスト・発注コストの２つになるのでその和を各製造業者分合計したものになる。よって、関数 C(r, λ)（i=1, 2）は以下で表される。

$$C(r,\ \lambda)=\sum_{i=1}^{2}(p_i\lambda_i D+hr_iS_i)$$
$$=p_1\lambda_1+\frac{h\lambda_1^2}{2r_1}+p_2\lambda_2+\frac{h\lambda_2^2}{2r_2}$$

これを用いて販売店の目的であるコストの最小化を考える。C$(r,\ \lambda)$を販売店側のλのみを変数と考えるとλの二次関数になる。要求配分率は割合なので和が 1 になることを用いると

$$\lambda_2=1-\lambda_1$$

が分かるのでこれを代入し

$$C(r,\ \lambda)=p_1\lambda_1+\frac{h\lambda_1^2}{2r_1}+p_2(1-\lambda_1)+\frac{h(1-\lambda_1)^2}{2r_2}$$

が求まる。これをλ_1について微分して 0 になる点を求めると

$$\frac{\partial C(r,\lambda)}{\partial\lambda_1}=\frac{\delta}{\delta\lambda_1}(p_1\lambda_1+\frac{h\lambda_1^2}{2r_1}+p_2(1-\lambda_1)+\frac{h(1-\lambda_1)^2}{2r_2})=0$$

$$\lambda_1=\frac{r_1(h+p_2r_2-p_1r_2)}{h(r_1+r_2)}$$
$$\lambda_2=\frac{r_2(h+p_1r_1-p_2r_1)}{h(r_1+r_2)}$$

となり、2 社の場合の最適解λ_1^*、λ_2^*が分かる。

3.2　r_iの最適解

次に第 1 ステージの分析に移る。3.1 で求めた 2 社の場合の最適解λ_1^*、λ_2^*を所与として、製造業者 1，2 の収益の最大化を行う。製品販売における利益、製造・発送・配送のコストの 2 つを製造業者側は考えなければならない。定数・変数設定から、収益の計算は次の関数φ(r, λ)(i=1, 2)で表せる。

$$\varphi_1(r,\ \lambda)=(p_1-c_1-k_1)\lambda_1 D-r_1K_1$$
$$\varphi_2(r,\ \lambda)=(p_2-c_2-k_2)\lambda_2 D-r_2K_2$$

この式に先に求めたλ_1^*、λ_2^*を代入した$\varphi_1(r,\ \lambda_1^*)$と$\varphi_2(r,\ \lambda_1^*)$をそれぞれ最大化することで製造業者側の戦略である配送頻度の最適解r_1^*、r_2^*を求めることができる。今回このr_1^*、r_2^*を定式化するために計算を行ったが複雑になり、定式化することは困難だった。先行研究でも、この最適解r_i^*についての明確な式はなく、製造業者が 2 社の場合でも複雑だったため一般化されたr_i^*を定式化することも困難だった推測される。よって本稿でも、r_1^*、r_2^*の定式化についてはこれ以上言及せずに、具体的な数値例を用いた数値計算を次節で行う。

4. 数値実験

これまでの結果から、先行研究で設定されたモデルの解析が終了した。本節では先行研究で行われた 3 社での数値実験に基づき、2 社の場合での数値実験を行い各パラメータの変動に合わせて$\lambda_1^*, \lambda_2^*, r_1^*, r_2^*$がどのように変化するのかを実験し先行研究と比較する。また、これから行われる数値実験において以下の数値は統一とする。

$$\begin{cases} D = 1.0 \\ h = 1.0 \end{cases}$$

ケース 1：製品価格を変動

c_1=c_2=0.3, k_1=k_2=0.1, K_1=K_2=0.2 とし、(p_1, p_2)=(1.0, 1.0), (1.0, 1.1), (1.0, 1.2), (1.0, 1.3) と変動

ケース 2：製造・輸送コストを変動

p_1=p_2=1.0, K_1=K_2=0.2 とし、$(c_1 + k_1, c_2 + k_2)$=(0.4, 0.4), (0.4, 0.5), (0.4, 0.6), (0.4, 0.8) と変動

ケース 3：発送コストを変動

$p_1 = p_2 = 1.0$, c_1=c_2=0.3, k_1=k_2=0.1 とし、(k_1, k_2)=(0.2, 0.2), (0.2, 0.25), (0.2, 0.3), (o.2, 0.4) と変動

4.1 結果

ケース 1（表 1）

(p1, p2)	(1.0,1.0)	(1.0,1.1)	(1.0,1.2)	(1.0,1.3)
r_1^*	0.75	0.81	0.87	0.92
r_2^*	0.75	0.8	0.82	0.8
λ_1^*	0.5	0.54	0.6	0.66
λ_2^*	0.5	0.46	0.4	0.34

ケース 2（表 2）

(c1+k1,c2+k2)	(0.4,0.4)	(0.4,0.5)	(0.4,0.6)	(0.4,0.8)
r_1^*	0.75	0.74	0.72	0.56
r_2^*	0.75	0.61	0.48	0.18
λ_1^*	0.5	0.55	0.6	0.76
λ_2^*	0.5	0.45	0.4	0.24

ケース 3(表 3)

(K1,K2)	(0.2,0.2)	(0.2,0.25)	(0.2,0.3)	(0.2,0.4)
r_1^*	0.75	0.74	0.72	0.66
r_2^*	0.75	0.59	0.48	0.33
λ_1^*	0.5	0.56	0.6	0.67
λ_2^*	0.5	0.44	0.4	0.33

ケース 1 では製造業者 2 の製品価格が増加するにつれて要求配分率は減少し続け、ケース 2 でも製造業者 2 の製造・輸送コストが増加するにつれて減少をし続けた。ケース 3 の場合でも同様に、発送コストが増加し続けた製造業者 2 に対する要求配分率は減少一方であった。

これらに対して配送頻度は、ケース 1 では、製造業者 1 は増加一方であり、製造業者 2 の配送頻度は途中まで増加し、最後の(p_1, p_2)= (1.0, 1.3)の時だけ減少した。ケース 2, 3 では、2 社とも減少を続けている。

また、すべてのケースにおいて、与えられたパラメータがすべて同一の場合は配送頻度、要求配分率ともに同じ値を示した。さらに、常に高い配送頻度を出している製造業者 1 の方が要求配分率も高い数値を得られている。

4.2 先行研究と比較

ケース 1 では、要求配分率の変動は変わらなかったが、配送頻度に差異が生じた。2 社のモデルでは、(p_1, p_2)= (1.0, 1.2)までは製造業者 2 も増加していたが、先行研究では 3 社のうち製品価格が増加し続けた製造業者の配送頻度は減少一方だった。

ケース 2 では、製造・輸送コストが増加し続けた製造業者の配送頻度が減少し続けたことは同じだったが、先行研究の場合、パラメータが最も低く固定された製造業者 1 の配送頻度は増加した後減少している。また、要求配分率は 2 社のモデルと同様にもっともコストの低い製造業者が高く、最もコストの高い製造業者が低くなる変動を示した。

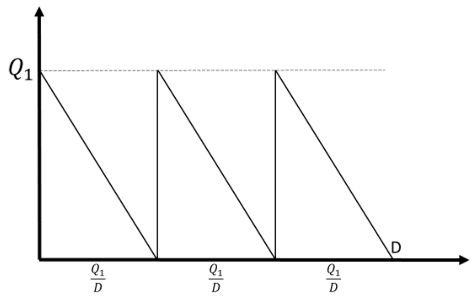
ケース 3 では、ケース 2 と同様に 3 社の場合では配送頻度は製造業者 1 が最も高い値を得られており、減少一方ではなく増加した後減少している。しかし、要求配分率は 2 社の場合と同様ではなく、3 社の場合、配送コストが最も低い製造業者 1 と最も高い製造業者 3 の平均のパラメータを与えられた製造業者 2 はその値に変化はなく、どのパラメータ変動の

時でも一律であった。

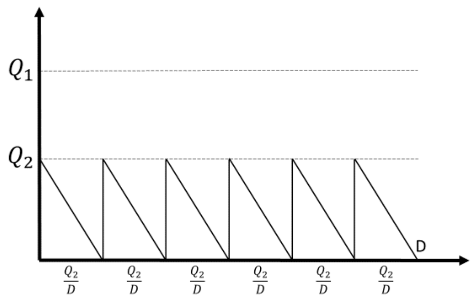
また、先行研究でも同様にすべてのパラメータが同一の場合、得られる配送頻度、要求配分率は同じ値になり、高い配送頻度を得ている製造業者ほど高い要求配分率を得られている。

5. 実験結果の考察

高い配送頻度の製造業者ほど高い要求配分率を得られているのは、販売店側の負担する在庫保管コストを緩和するためである。これは、配送頻度の高い業者ほど配送 1 回あたりの製品数が少ないため、在庫が 0 になるまでの在庫保管コストが抑えられるからだと考えられる。つまり、極端に書いてしまえば図③、④の比較と同様になる。この場合、のべ在庫数は図④の方が少なくなることは自明である。



（図③）配送頻度の低い例



（図④）配送頻度の高い例

このことから、配送頻度を高く設定することでより高い要求配分率を得られるはずだが、実験ではその傾向が見られたのはケース 1 の場合のみでケース 2，3 では逆に全体を通して配送頻度は低下し続けた。これはケース 2，3 でのパラメータ変動が、製造業者側が負担するコストに関係しているからだと考えられる。ケース 2 の場合では配送頻度を上げてより高い値の要求配分率を受ける際、より多くの製品を製造しなければならない。このとき、製造・輸送コストが増加する分、利益率も落ちてしまうので、ただ配送頻度を増加させるだけではいけないと考えられる。ケース 3 も同様に、配送頻度を増加する分、より多い回数配送することになるので配送コストが増加することで収益が落ちてしまうからだと考えられる。

6. 今後の課題

先行研究のモデルを再現し、そこで示された結果通り、配送頻度の高い製造業者が高い要求配分率を得られること、製品価格、各コストを増加させても、条件次第で配送頻度を減少させることがあることを示せた。よって、2 社の場合での数値実験を的確に行えたと言える。

今後の課題として、2 社の場合と 3 社の場合での結果の差異がなぜ起こったのか、を追求しなければならない。また、今回のモデルで設定されていないものをパラメータに加え、定数・変数の設定をより詳しくすること、要求配分率・配送頻度以外を変数として加え、今回のモデルの定数・変数設定以外のパラメータが作用しているかを確認することが挙げられる。

7. 参考文献

[1]野田峻弘　“サプライチェーンにおける配送戦略の競合モデル〞　2011

[2]神谷和也・浦井憲　 “経済学のための数学入門”東京大学出版会