

第IV部門

サプライチェーンネットワーク均衡モデルを用いた流通経路の比較分析

京都大学工学部

学生員 ○田辺 建二

京都大学大学院工学研究科 正会員

山田 忠史

京都大学大学院工学研究科 フェロー

谷口 栄一

1. 研究の背景と目的

消費市場ニーズの多様化や国際的な販売競争の激化に伴い、サプライチェーン形成の効率化が顕著にみられる。このような状況下において、適確な物流施策を実行するためには、サプライチェーン形態に伴う流通特性を把握し、施策がサプライチェーン上の何に影響を及ぼすのかについて分析する必要がある。

本研究では、その第一段階として、サプライチェーンネットワーク均衡(SCNE: Supply Chain Network Equilibrium)モデルを用いて、サプライチェーン上の流通経路特性について基礎的検討を行う。

2. モデルの定式化

本研究では、サプライチェーン上に存在する主体が2主体（製造業者、消費市場）の場合、3主体（製造業者、小売業者、消費市場）の場合、4主体（製造業者、卸売業者、小売業者、消費市場）の場合を想定する。紙面の都合上、本論文では4主体の場合のSCNEモデルについて、以下に定式化を示す。

ネットワーク上に m 個の製造業者、 n 個の卸売業者、 o 個の小売業者、 p 個の消費市場が存在すると仮定する。製造業者 i の行動は、利潤最大化を目的関数として、以下のように表される。なお、式中の*は均衡解を表す。

$$\text{Maximize } \sum_{j=1}^n \rho_{ij}^* q_{ij} - f_i(Q^1) - c_{ij}(Q^1) - g_i(Q^1) \quad (1)$$

$$\text{Subject to } q_{ij} \geq 0 \quad \forall j \quad (2)$$

ここで、

ρ_{ij} : 製造業者 i から卸売業者 j への販売価格

q_{ij} : 製造業者 i と卸売業者 j 間の商品取引量

Q^1 : q_{ij} を要素とする mn 次元列ベクトル

f_i : 製造業者 i の生産費用関数

c_{ij} : 製造業者 i と卸売業者 j 間の取引費用関数

g_i : 製造業者 i の施設費用関数

なお、生産費用には材料費や設備費等が含まれる。

また、取引費用には輸送費用が、施設費用には土地取

得費用や施設の維持管理費が含まれる。

次に、卸売業者 j の行動は利潤最大化を目的関数として、以下のように定式化できる。

$$\text{Maximize } \rho_{2j}^* \sum_{k=1}^o q_{jk} - c_j(Q^1) - g_j(Q^1) - \sum_{i=1}^m \rho_{ij}^* q_{ij} \quad (3)$$

$$\text{Subject to } \sum_{k=1}^o q_{jk} \leq \sum_{i=1}^m q_{ij}, \quad q_{ij} \geq 0, \quad q_{jk} \geq 0 \quad \forall i, k \quad (4)$$

ここで、

ρ_{2j} : 卸売業者 j の販売価格

q_{jk} : 卸売業者 j と小売業者 k 間の商品取引量

c_j : 卸売業者 j の保管費用関数

g_j : 卸売業者 j の施設費用関数

である。同様に、小売業者 k の行動は、

Maximize

$$\rho_{3k}^* \sum_{l=1}^p q_{kl} - c_k(Q^2) - c_{jk}(Q^2) - g_k(Q^2) - \sum_{j=1}^n \rho_{2j}^* q_{jk} \quad (5)$$

$$\text{Subject to } \sum_{l=1}^p q_{kl} \leq \sum_{j=1}^n q_{jk}, \quad q_{jk} \geq 0, \quad q_{kl} \geq 0 \quad \forall j, l \quad (6)$$

と表すことができる。ここで、

ρ_{3k} : 小売業者 k の販売価格

q_{kl} : 小売業者 k と消費市場 l 間の商品取引量

Q^2 : q_{jk} を要素とする no 次元列ベクトル

c_k : 小売業者 k の保管費用関数

c_{jk} : 卸売業者 j と小売業者 k 間の取引費用関数

g_k : 小売業者 k の施設費用関数

である。また、消費市場 l の消費者の行動は、以下の均衡条件で記述できる。

$$\rho_{3k}^* + c_{kl}(Q^{3*}) \begin{cases} = \rho_{4l}^* & \text{if } q_{kl}^* > 0 \\ \geq \rho_{4l}^* & \text{if } q_{kl}^* = 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$d_l(\rho_{4l}^*) \begin{cases} = \sum_{k=1}^o q_{kl}^* & \text{if } \rho_{4l}^* > 0 \\ \leq \sum_{k=1}^o q_{kl}^* & \text{if } \rho_{4l}^* = 0 \end{cases} \quad (8)$$

ここで、

c_{kl} : 小売業者 k と消費市場 l 間の取引費用関数

Q^3 : q_{kl} を要素とする op 次元列ベクトル

ρ_{4l} : 消費市場 l の商品価格

ρ_4 : ρ_{4l} を要素とする l 次元列ベクトル

d_l : 消費市場 l の需要関数

である. このとき, ネットワーク全体の均衡条件は, 以下の変分不等式の解と等価である.

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{\partial f_i(Q^{1*})}{\partial q_{ij}} + \frac{\partial c_{ij}(Q^{1*})}{\partial q_{ij}} + \frac{\partial c_j(Q^{1*})}{\partial q_{ij}} \right] \times [q_{ij} - q_{ij}^*] \\ & + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o \left[\frac{\partial c_k(Q^{2*})}{\partial q_{jk}} + \frac{\partial c_{jk}(Q^{2*})}{\partial q_{jk}} \right] \times [q_{jk} - q_{jk}^*] \\ & + \sum_{k=1}^o \sum_{l=1}^p [c_{kl}(Q^{3*}) + \delta_k^* - \rho_{4l}^*] \times [q_{kl} - q_{kl}^*] \\ & + \sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^m q_{ij}^* - \sum_{k=1}^o q_{jk}^* \right] \times [\gamma_j - \gamma_j^*] \\ & + \sum_{k=1}^o \left[\sum_{j=1}^n q_{jk}^* - \sum_{l=1}^p q_{kl}^* \right] \times [\delta_k - \delta_k^*] \\ & + \sum_{l=1}^p \left[\sum_{k=1}^o q_{kl}^* - d_l(\rho_4^*) \right] \times [\rho_{4l} - \rho_{4l}^*] \geq 0, \\ & \forall (Q^{1*}, Q^{2*}, Q^{3*}, \gamma^*, \delta^*, \rho_3^*) \in R_+^{mn+no+op+n+o+p} \quad (9) \end{aligned}$$

3. ケーススタディ

サプライチェーン上の意思決定主体が 2 主体 (図 1(A)), 3 主体 (図 1(B)), 4 主体 (図 1(C)) の場合の均衡解を求めることにより, 流通経路の相違が価格や需要量にもたらす影響を調べる. さらに, 保管費用や取引費用の変化がもたらす影響についても考察する.

以下に, 計算ケースを示す. なお, 経路の簡略化による保管費用の増大が Case2 に, 取引費用の増大が Case3 に相当する.

Case1 : ネットワーク A,B,C で各費用関数が同一である場合

Case2 : ネットワーク A の製造業者と B の小売業者について, 保管費用関数の係数を Case1 よりも増大させた場合

Case3 : ネットワーク A,B について, 製造業者との間で発生する取引費用の関数の係数を, Case1 よりも増大させた場合

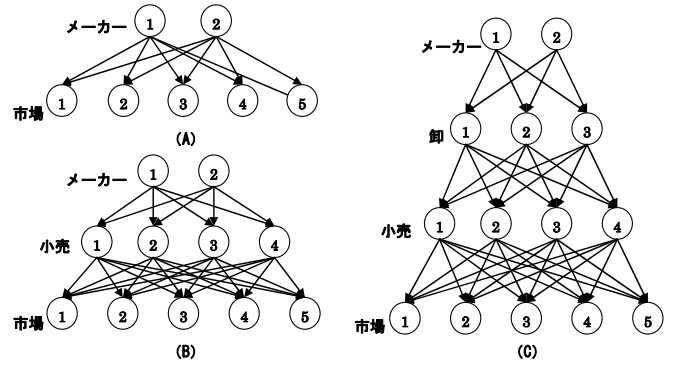


図 1 サプライチェーンネットワークの相違

表 1 計算結果

		需要量	市場価格		総保管費用	総取引費用	Case1のCとの係数比
Case1	A	14.6	281.5	Case1	C	1043.7	1344.0
	B	14.4	281.6	Case2	A	2328.7	
	C	12.0	282.3	Case2	B	1730.9	
Case3	A			Case3	A	3525.1	
	B			Case3	B	2603.9	

以下に, 計算結果の概要を述べる (表 1 参照). なお, ケーススタディで用いた関数形, パラメータの値, および, 計算結果の詳細については発表時に示す.

Case1 では, 当然ながら, 主体数が増加するにしたがい, 市場価格が増大し, 需要量が減少する. Case2, 3 では, 係数の増大に伴って, 保管費用あるいは取引費用が増大する. Case2 のネットワーク A と Case1 のネットワーク C を比較した場合, A の保管費用関数の係数が C の 2.6 倍になったときに, 双方の市場価格が等しくなった. また, Case3 のネットワーク A と Case1 のネットワーク C を比較した場合, 双方の市場価格が等しくなるのは, C の取引費用関数の係数が A の 5.4 倍のときであった. ネットワーク A が, 例えば e コマース進展後であると想定すると, e コマース進展後の市場価格は, 保管費用に左右されることを, この結果は示唆している. 同様のことが, 取引費用についても言える. 関数形と係数の値に依存するが, 本研究のケーススタディでは, 保管費用の方が, 取引費用よりも強い影響を与えることになった.

4. おわりに

本研究では, SCNE モデルを用いて, 流通形態の相違による需要, 価格, 費用の変化を考察した. 発表時には, サプライチェーンの空間的要因も考慮した結果も示す予定である.

参考文献

- 1) A. Nagurney, J. Dong, D. Zhang: A supply chain network equilibrium model, Transportation Research Part E 38, pp.281-303, 2002.