数理解析研究所講究録
第 1990 巻 2016 年 9-16

小売企業における供給不確実性を伴う競争分析

大阪府立大学大学院　理学系研究科　情報数理科学専攻
岡田 拓也　北條 仁志
Takuya Okada　Hitoshi Hohjo
Department of Mathematics and Information Sciences,
Graduate School of Science,
Osaka Prefecture University

1 はじめに

供給不確実性を考慮して企業の経営管理を行うことは近年ますます重要になってきている。地震や火山の噴火・津波といった自然災害を主として、供給分断の影響を緩和するために多くの経営戦略が検討されている。また、今日の工業化された世界で、サプライヤーを利用することは企業としての競争力を得るために生産を組織化する一般的な方法となっている。特に、サプライヤーの利用は自動車、コンピュータ、航空産業において重要な役割を担っている。

本研究では、供給不確実性を伴うサプライヤーの存在下で、2 つの小売企業の競争モデルについて分析する。このような供給不確実性を考慮した研究において、Chen and Guo[3] により 1 つの小売企業のデュアルソーシング戦略が 2 つの小売企業に対して小売価格と期待利得の増加を導き、win-win の関係を与えることが示された。彼らのモデルでは、供給不確実なサプライヤーの数が 1 つであったが、上記の産業におけるサプライヤーの数は多岐に亘る。そこで、本モデルでは供給不確実なサプライヤーが複数存在する状況を扱う。利用できるサプライヤーが複数存在することで、供給分断のリスクを軽減することができる。また、サプライヤーに生産制約を設けることで、より現実的なモデルとして小売企業の小売価格と発注量を考察する。

2 仮定

本稿では、A, B でラベル付けされた 2 つの小売企業と 0, 1, 2 でラベル付けされた 3 つのサプライヤーで構成される小売競争モデルを考える。2 つの小売企業 i ($i \in \{A, B\}$) は、最終消費者市場で製品 i をそれぞれ単位小売価格 p_i で販売する。サプライヤー j ($j \in \{0, 1, 2\}$) は、その製品に必要な部品を小売企業にそれぞれ単位供給価格 c_j で販売する。また、2 つの小売企業は異なるソーシング戦略を持っている。小売企業 A はすべてのサプライヤーを利用することができるのに対して、小売企業 B はサプライヤー 1 と 2 のみを利用することができる。

事象の流れは次のようになる。初めに 3 つのサプライヤーの供給価格 c_j が与えられ、その後、2 つの小売企業が同時に小売価格 p_i を決定する。この価格競争に基づいて、2 つの小売企業は最終消費者市場での需要を予測し、サプライヤー 1, 2 にそれぞれ q_{ij} の発注を行う。次に、サプライヤー 1, 2 は各小売企業から受けた発注を満たす。2 つの小売企業が共に利用できるサプライヤー 1, 2 はそれぞれ供給不確実性を伴う。確率 α ($\alpha \in (0,1)$) で生産量は Q ($Q \in (0,1)$) となる。このとき、事前公表分配ルールに従って、2 つの小売企業への供給量 g_{ij} を確定する。事前公表分配ルー

ルは、Sprumont[6] により提案されたもので、$\{i,\bar{i}\} = \{A,B\}$ とすると

$$g_{ij}(q_{ij},q_{\bar{i}j}) = \begin{cases} q_{ij}, & q_{ij} < \frac{1}{2}Q, q_{ij}+q_{\bar{i}j} < Q \\ Q-q_{\bar{i}j}, & q_{\bar{i}j} < \frac{1}{2}Q \leq q_{ij} \text{かつ} \, q_{ij}+q_{\bar{i}j} \geq Q \\ \frac{1}{2}Q, & min\{q_{ij},q_{\bar{i}j}\} \geq \frac{1}{2}Q \end{cases} \tag{1}$$

である。また確率 $1-\alpha$ で生産量は 0 となり、小売企業への供給が不可能になる。その後、小売企業 A は実現した部品供給量に基づいて、残りの需要を満たすようにサプライヤー 0 に q_{A0} の発注を行い、最終消費者市場の需要を満たす。2 つの小売企業は、サプライヤー 1, 2 に供給分断が生じる前に小売価格、発注量を決定する。また、2 つの小売企業はリスク中立で、モデル構造は互いに既知であるとする。各小売企業は相手が取り得る戦略に基づいて、最適な小売価格、発注量を決定する。

簡略化のため、小売企業は製品を 1 単位生産するのに、サプライヤーから仕入れる部品 1 単位を必要とする。また、両小売企業の限界生産コストは 0 とする。さらに、小売企業により生産される製品は、最終消費者市場の消費者によって、水平差別化されているとする。消費者の嗜好を表現するために、ホテリングの水平差別化モデルを用いる。製品 A, B は長さ 1 の線分 [0, 1] 上の 0, 1 にそれぞれ位置しているとする。そして、消費者は線分 [0, 1] 上に一様に分布しており、各消費者は単位需要をもつ。従って、最終消費者市場の総需要は 1 となる。また、x に位置する消費者の効用 $U(x)$ は、製品 A, B に対して同一の留保効用 V と各製品と消費者の嗜好のギャップから生じる非効用 t $(t>0)$ を用いて

$$U(x) = \begin{cases} V-p_A-tx, & \text{小売企業 } A \text{ から製品 } A \text{ を購入するとき} \\ V-p_B-t(1-x), & \text{小売企業 } B \text{ から製品 } B \text{ を購入するとき} \end{cases}$$

で定める。この $U(x)$ に基づいて、x に位置する消費者は自身の効用がより高くなる方から製品を購入するとき、製品 A, B の境界となる消費者の位置 $\hat{x}$ は

$$\hat{x} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2t}(p_B - p_A)$$

である。従って、小売企業 i の需要 D_i は

$$D_i = \frac{1}{2} + \frac{1}{2t}(p_{\bar{i}} - p_i) \tag{2}$$

である。また、小売企業 A がシングルソーシング戦略のみをとらないように、3 つのサプライヤーの供給価格は $c_0 > c_2 > c_1$ を満たすものとする。さらに、小売企業の在庫過多により生じるコストは比較的高いものとする。従って、$q_{i1}+q_{i2} = D_i$ である。

3 モデルの定式化

2 節の仮定に基づき、モデルの定式化を行う。各小売企業は相手の取り得る小売価格、発注量を考慮して、自身の期待利得を最大にするようにそれぞれの小売価格と発注量を決定する。各小売企業の利得は、それぞれの製品の売り上げからサプライヤーからの部品仕入れ費用を引いたもの

である。よって、小売企業 i の期待利得を π_i とすると本モデルの定式化は以下のようになる。

小売企業Aについて

$$\begin{aligned}\max_{p_A, q_{Aj}} \pi_A =& \alpha g_{A1}(p_A - c_1) + \alpha g_{A2}(p_A - c_2) \\ &+ \{1 - \alpha(g_{A1} + g_{A2}) - \alpha(g_{B1} + g_{B2})\}(p_A - c_0)\end{aligned} \tag{3}$$

小売企業Bについて

$$\max_{p_B, q_{Bj}} \pi_B = \alpha g_{B1}(p_B - c_1) + \alpha g_{B2}(p_B - c_2) \tag{4}$$

以上から、本モデルの問題は式 (3), 式 (4) についての均衡解となる小売価格と発注量を求めることである。

4 解析

この節では、3 節の定式化について、目的関数 π_A および π_B を解析する。2 節の仮定で示した事象の流れから、本モデルは各小売企業の小売価格の決定、サプライヤーへの発注量の決定を行う 2 段階ゲームとなり、その部分ゲーム完全均衡を求める。ここで、小売企業 A, B の発注量に関する領域 R_A^m, R_B^n $(m, n = 1, 2, 3, 4)$ を

$$\begin{aligned} R_i^1 &= \{(q_{i1}, q_{i2}) | q_{i1} \geq \frac{1}{2}Q, q_{i2} \geq \frac{1}{2}Q\} \\ R_i^2 &= \{(q_{i1}, q_{i2}) | q_{i1} \geq \frac{1}{2}Q, q_{i2} < \frac{1}{2}Q\} \\ R_i^3 &= \{(q_{i1}, q_{i2}) | q_{i1} < \frac{1}{2}Q, q_{i2} \geq \frac{1}{2}Q\} \\ R_i^4 &= \{(q_{i1}, q_{i2}) | q_{i1} < \frac{1}{2}Q, q_{i2} < \frac{1}{2}Q\} \end{aligned}$$

で定める。上記を用いた各領域 $R_A^m \times R_B^n$ と式 (1) から、各小売企業のサプライヤーへの発注量を決定し、それに基づいて小売価格を決定する。そして、それらと式 (3), 式 (4) から各小売企業の利得を比較することで均衡解を得ることができる。以下では明らかに均衡解が存在しない領域を省略して記す。

(1-2) 領域 $R_A^1 \times R_B^2$ に対して、$g_{i1} = \frac{1}{2}Q$, $g_{B2} = q_{B2}$ である。

(i)$q_{A2} + q_{B2} < Q$ のとき、$g_{A2} = q_{A2}$ である。従って、式 (3), 式 (4) より各小売企業の目的関数は

$$\begin{aligned} \pi_A =& \frac{1}{2}\alpha Q(p_A - c_1) + \alpha q_{A2}(p_A - c_2) \\ &+ \{1 - \alpha(Q + q_{A2} + q_{B2})\}(p_A - c_0) \\ \pi_B =& \frac{1}{2}\alpha Q(p_B - c_1) + \alpha q_{B2}(p_B - c_2) \end{aligned}$$

となり、π_A の q_{A1} に関する一階偏導関数、π_B の q_{B1} に関する一階偏導関数はそれぞれ

$$\begin{aligned} \tfrac{\partial \pi_A}{\partial q_{A1}} &= -\alpha(c_0 - c_2) < 0 \\ \tfrac{\partial \pi_B}{\partial q_{B1}} &= -\alpha(p_B - c_2) < 0 \end{aligned}$$

である。よって、$Q > \frac{1}{2}$ のとき、各小売企業の最適発注量は

$$\begin{cases} q_{A1}^* = \frac{1}{2}Q, \quad q_{A2}^* = D_A - \frac{1}{2}Q \\ q_{B1}^* = \frac{1}{2}Q, \quad q_{B2}^* = D_B - \frac{1}{2}Q \end{cases} \tag{5}$$

と求まる。目的関数 π_A, π_B より、各小売企業の最適反応関数は

$$\begin{cases} p_A = \frac{p_B+c_2-t}{2} + \frac{t}{\alpha} \\ p_B = \frac{p_A+c_2+t}{2} \end{cases}$$

で与えられ、これを解くと各小売企業の最適小売価格は

$$\begin{cases} p_A^* = c_2 + \frac{4-\alpha}{3\alpha}t \\ p_B^* = c_2 + \frac{2+\alpha}{3\alpha}t \end{cases} \tag{6}$$

である。これと式 (2) より、各小売企業の需要は

$$\begin{cases} D_A^* = \frac{5}{6} - \frac{1}{3\alpha} \\ D_B^* = \frac{1}{6} + \frac{1}{3\alpha} \end{cases} \tag{7}$$

で与えられる。条件より、$\frac{1}{2}Q \leq D_B^* \leq 1-Q$ $(\frac{1}{2} < Q \leq \frac{2}{3})$ となり、式 (7) から $D_B^* > \frac{1}{2}$ であることに矛盾する。従って、このとき均衡解は存在しない。

(ii)$q_{A2} + q_{B2} \geq Q$ のとき、$g_{A2} = Q - q_{B2}$ である。このとき、(i) と同様に均衡解は存在しない。

(2-1) 領域 $R_A^2 \times R_B^1$ に対して、$g_{i1} = \frac{1}{2}Q$, $g_{A2} = q_{A2}$ である。

(i)$q_{A2} + q_{B2} < Q$ のとき、$g_{A2} = q_{A2}$ である。このとき、(1-2)(i) と同様に解くと $Q \leq \frac{1}{6} + \frac{1}{3\alpha} \leq 1 - \frac{1}{2}Q$ $(\alpha \geq \frac{2}{5}, \frac{1}{2} < Q \leq \frac{2}{3})$, $c_0 - c_2 < \frac{4-\alpha}{3\alpha}t$ のとき、式 (5), 式 (7) より、各小売企業の最適発注量は

$$\begin{cases} q_{A1}^* = \frac{1}{2}Q, \quad q_{A2}^* = \frac{5}{6} - \frac{1}{3\alpha} - \frac{1}{2}Q \\ q_{B1}^* = \frac{1}{2}Q, \quad q_{B2}^* = \frac{1}{6} + \frac{1}{3\alpha} - \frac{1}{2}Q \end{cases} \tag{8}$$

と求まる。また、各小売企業の最適小売価格は式 (6) で与えられる。

(ii)$q_{A2} + q_{B2} \geq Q$ のとき、$g_{B2} = Q - q_{A2}$ である。よって、$Q \leq \frac{1}{2}$ のとき、各小売企業の最適発注量は

$$\begin{cases} q_{A1}^* = \frac{1}{2}Q, & q_{A2}^* = D_A - \frac{1}{2}Q \\ \frac{1}{2}Q \leq q_{B1}^* \leq 1 - \frac{3}{2}Q, & q_{B2}^* = D_B - q_{B1}^* \text{を満たす任意の値} \end{cases} \tag{9}$$

と求まる。目的関数 π_A, π_B より、各小売企業の最適反応関数は

$$\begin{cases} p_A = \frac{p_B+c_2+(1-3Q)t}{2} + \frac{t}{\alpha} \\ p_B = \frac{p_A+c_2+(4Q-1)t}{2} \end{cases}$$

で与えられ、これを解くと各小売企業の最適小売価格は

$$\begin{cases} p_A^* = c_2 + \frac{4+\alpha(1-2Q)}{3\alpha}t \\ p_B^* = c_2 + \frac{2+\alpha(5Q-1)}{3\alpha}t \end{cases} \tag{10}$$

である。これと式 (2) より、各小売企業の需要は

$$\begin{cases} D_A^* = \frac{1}{6} - \frac{2}{3\alpha} + \frac{7}{6}Q \\ D_B^* = \frac{5}{6} + \frac{2}{3\alpha} - \frac{7}{6}Q \end{cases} \tag{11}$$

で与えられる。しかし、$1-Q \le D_B^* \le 1-\frac{1}{2}Q$ $(Q \le \frac{1}{2})$ であることに矛盾する。従って、このとき均衡解は存在しない。

(2-2) 領域 $R_A^2 \times R_B^2$ に対して、$g_{i1}=\frac{1}{2}Q$, $g_{i2}=q_{i2}$ である。このとき、(1-2)(i) と同様に解くと $\frac{1}{6}+\frac{1}{3\alpha}<Q$ $(\alpha \ge \frac{2}{5}, \frac{1}{2}<Q \le \frac{2}{3})$ *or* $\frac{1}{6}+\frac{1}{3\alpha}<1-\frac{1}{2}Q$ $(\alpha \ge \frac{2}{5}, Q>\frac{2}{3})$, $c_0-c_2<\frac{4-\alpha}{3\alpha}t$ のとき、式 (5), 式 (7) より、各小売企業の最適発注量は式 (8)、各小売企業の最適小売価格は式 (6) で与えられる。

(2-3) 領域 $R_A^2 \times R_B^3$ に対して、$g_{A2}=q_{A2}$, $g_{B1}=q_{B1}$ である。

(i)$q_{A1}+q_{B1}<Q$ かつ $q_{A2}+q_{B2}<Q$ のとき、$g_{A1}=q_{A1}$, $g_{B2}=q_{B2}$ である。このとき、(1-2)(i) と同様に解くと

$\frac{1}{6}+\frac{1}{3\alpha} \le 1-\frac{1}{2}Q$ $(\alpha \ge \frac{2}{5}, Q>\frac{2}{3})$, $c_0-c_1<\frac{4-\alpha}{3\alpha}t$, $c_2-c_1<\frac{2+\alpha}{3\alpha}t$ のとき、各小売企業の最適発注量は

$$\begin{cases} q_{A1}^*=\frac{5}{6}-\frac{1}{3\alpha}, & q_{A2}^*=0 \\ q_{B1}^*=\frac{1}{6}+\frac{1}{3\alpha}-\frac{1}{2}Q, & q_{B2}^*=\frac{1}{2}Q \end{cases} \tag{12}$$

と求まる。また、各小売企業の最適小売価格は

$$\begin{cases} p_A^*=c_1+\frac{4-\alpha}{3\alpha}t \\ p_B^*=c_1+\frac{2+\alpha}{3\alpha}t \end{cases} \tag{13}$$

である。

(ii)$q_{A1}+q_{B1}<Q$ かつ $q_{A2}+q_{B2} \ge Q$ のとき、$g_{A1}=q_{A1}$, $g_{B2}=Q-q_{A2}$ である。このとき、(1-2)(i) と同様に解くと

$\frac{1}{6}+\frac{1}{3\alpha} \le 1-\frac{1}{2}Q$ $(\alpha \ge \frac{2}{5}, Q>\frac{1}{2})$, $c_0-c_2<\frac{4-\alpha}{3\alpha}t$ のとき、各小売企業の最適発注量は

$$\begin{cases} q_{A1}^*=\frac{1}{2}Q, & q_{A2}^*=\frac{5}{6}-\frac{1}{3\alpha}-\frac{1}{2}Q \\ q_{B1}^*=1-\frac{3}{2}Q, & q_{B2}^*=-\frac{5}{6}+\frac{1}{3\alpha}+\frac{3}{2}Q \end{cases} \tag{14}$$

と求まる。また、各小売企業の最適小売価格は式 (6) で与えられる。

(iii)$q_{A1}+q_{B1} \ge Q$ かつ $q_{A2}+q_{B2}<Q$ のとき、$g_{A1}=Q-q_{B1}$, $g_{B2}=q_{B2}$ である。このとき、(2-3)(i) と同様に解くと

$\frac{1}{2}Q \le \frac{1}{6}+\frac{1}{3\alpha}<Q$ $(\alpha \ge \frac{2}{5}, Q>\frac{1}{2})$, $c_0-c_1<\frac{4-\alpha}{3\alpha}t$, $c_2-c_1<\frac{2+\alpha}{3\alpha}t$ のとき、各小売企業の最適発注量は

$$\begin{cases} q_{A1}^*=-\frac{1}{6}-\frac{1}{3\alpha}+\frac{3}{2}Q, & q_{A2}^*=1-\frac{3}{2}Q \\ q_{B1}^*=\frac{1}{6}+\frac{1}{3\alpha}-\frac{1}{2}Q, & q_{B2}^*=\frac{1}{2}Q \end{cases} \tag{15}$$

と求まる。また、各小売企業の最適小売価格は式 (13) で与えられる。

(iv)$q_{A1}+q_{B1} \ge Q$ かつ $q_{A2}+q_{B2} \ge Q$ のとき、$g_{A1}=Q-q_{B1}$, $g_{B2}=q_{B2}$ である。よって、$Q \le \frac{1}{2}$ のとき、各小売企業の最適発注量は式 (15) で与えられる。しかし、$q_{A2}^*<\frac{1}{2}Q$ であることに矛盾する。従って、このとき均衡解は存在しない。

(2-4) 領域 $R_A^2 \times R_B^4$ に対して、$g_{A2}=q_{A2}$, $g_{Bj}=q_{Bj}$ である。

(i)$q_{A1}+q_{B1}<Q$ のとき、$g_{A1}=q_{A1}$ である。このとき、各小売企業の最適発注量は

$$\begin{cases} q_{A1}^*=D_A, & q_{A2}^*=0 \\ q_{B1}^*=D_B, & q_{B2}^*=0 \end{cases} \tag{16}$$

と求まる。しかし、$q^*_{A1}+q^*_{B1}<Q$ であることに矛盾する。従って、このとき均衡解は存在しない。
(ii)$q_{A1}+q_{B1}\geq Q$ のとき、$g_{A1}=Q-q_{B1}$ である。このとき、(1-2)(i) と同様に均衡解は存在しない。

(3-1) 領域 $R^3_A\times R^1_B$ に対して、$g_{A1}=q_{A1}, g_{i2}=\frac{1}{2}Q$ である。
(i)$q_{A1}+q_{B1}<Q$ のとき、$g_{B1}=q_{B1}$ である。このとき、(2-1)(i) との対称性から同様に解くと $Q\leq\frac{1}{6}+\frac{1}{3\alpha}\leq 1-\frac{1}{2}Q$ $(\alpha\geq\frac{2}{5},\frac{1}{2}<Q\leq\frac{2}{3})$, $c_0-c_1<\frac{4-\alpha}{3\alpha}t$, $c_2-c_1<\frac{2+\alpha}{3\alpha}t$ のとき、各小売企業の最適発注量は

$$\begin{cases} q^*_{A1}=\frac{5}{6}-\frac{1}{3\alpha}-\frac{1}{2}Q, & q^*_{A2}=\frac{1}{2}Q \\ q^*_{B1}=\frac{1}{6}+\frac{1}{3\alpha}-\frac{1}{2}Q, & q^*_{B2}=\frac{1}{2}Q \end{cases} \tag{17}$$

と求まる。また、各小売企業の最適小売価格は式 (13) で与えられる。
(ii)$q_{A1}+q_{B1}\geq Q$ のとき、$g_{B1}=Q-q_{A1}$ である。このとき、(2-1)(ii) との対称性から同様に均衡解は存在しない。
(4-1) 領域 $R^4_A\times R^1_B$ に対して、$g_{Aj}=q_{Aj}$ である。
(i)$q_{A1}+q_{B1}<Q$ かつ $q_{A2}+q_{B2}<Q$ のとき、$g_{Bj}=q_{Bj}$ である。このとき、(2-3)(i) と同様に解くと
$\frac{1}{6}+\frac{1}{3\alpha}\geq Q$ $(\alpha\geq\frac{2}{5},Q>\frac{2}{3})$, $c_0-c_1<\frac{4-\alpha}{3\alpha}t$, $c_2-c_1<\frac{2+\alpha}{3\alpha}t$ のとき、各小売企業の最適発注量は式 (12)、各小売企業の最適小売価格は式 (13) で与えられる。
(ii)$q_{A1}+q_{B1}<Q$ かつ $q_{A2}+q_{B2}\geq Q$ のとき、$g_{B1}=q_{B1}, g_{B2}=Q-q_{A2}$ である。このとき、(1-2)(i) と同様に解くと
$\frac{1}{6}+\frac{1}{3\alpha}>1-\frac{1}{2}Q$ $(\alpha\geq\frac{2}{5},\frac{1}{2}<Q\leq\frac{2}{3})$, $c_0-c_1\leq\frac{4-\alpha}{3\alpha}t$ のとき、各小売企業の最適発注量は

$$\begin{cases} q^*_{A1}=0, & q^*_{A2}=\frac{5}{6}-\frac{1}{3\alpha} \\ q^*_{B1}=1-Q, & q^*_{B2}=-\frac{5}{6}+\frac{1}{3\alpha}+Q \end{cases} \tag{18}$$

と求まる。また、各小売企業の最適小売価格は式 (6) で与えられる。
(iii)$q_{A1}+q_{B1}\geq Q$ かつ $q_{A2}+q_{B2}<Q$ のとき、$g_{B1}=Q-q_{A1}, g_{B2}=q_{B2}$ である。このとき、(4-1)(ii) と同様に解くと
$\frac{1}{6}+\frac{1}{3\alpha}>1-\frac{1}{2}Q$ $(\alpha\geq\frac{2}{5},\frac{1}{2}<Q\leq\frac{2}{3})$, $c_0-c_1<\frac{4-\alpha}{3\alpha}t$, $c_2-c_1<\frac{2+\alpha}{3\alpha}t$ のとき、各小売企業の最適発注量は

$$\begin{cases} q^*_{A1}=\frac{5}{6}-\frac{1}{3\alpha}, & q^*_{A2}=0 \\ q^*_{B1}=-\frac{5}{6}+\frac{1}{3\alpha}+Q, & q^*_{B2}=1-Q \end{cases} \tag{19}$$

と求まる。また、各小売企業の最適小売価格は式 (13) で与えられる。
(iv)$q_{A1}+q_{B1}\geq Q$ かつ $q_{A2}+q_{B2}\geq Q$ のとき、$g_{B1}=Q-q_{A1}, g_{B2}=Q-q_{A2}$ である。よって、$Q\leq\frac{1}{2}$ のとき、各小売企業の最適発注量は

$$\begin{cases} q^*_{A1}=D_A, & q^*_{A2}=0 \\ D_B-1+Q\leq q^*_{B1}\leq D_B-Q, & q^*_{B2}=D_B-q^*_{B1}\text{を満たす任意の値} \end{cases} \tag{20}$$

と求まる。目的関数 π_A,π_B より、各小売企業の最適反応関数は

$$\begin{cases} p_A=\frac{p_B+c_1+(1-4Q)t}{2}+\frac{t}{\alpha} \\ p_B=\frac{p_A+c_1+(4Q-1)t}{2} \end{cases}$$

で与えられ、これを解くと各小売企業の最適小売価格は

$$\begin{cases} p_A^* = c_1 + \frac{4+\alpha(1-4Q)}{3\alpha}t \\ p_B^* = c_1 + \frac{2+\alpha(4Q-1)}{3\alpha}t \end{cases} \tag{21}$$

である。これと式 (2) より、各小売企業の需要は

$$\begin{cases} D_A^* = \frac{1}{6} - \frac{1}{3\alpha} + \frac{4}{3}Q \\ D_B^* = \frac{5}{6} + \frac{1}{3\alpha} - \frac{4}{3}Q \end{cases} \tag{22}$$

で与えられる。従って

$\frac{5}{6} + \frac{1}{3\alpha} - \frac{4}{3}Q > 1 - \frac{1}{2}Q$ $(\alpha \geq \frac{2}{5}, Q \leq \frac{1}{2})$, $c_0 - c_1 < \frac{4+\alpha(1-4Q)}{3\alpha}t$, $c_2 - c_1 < \frac{2+\alpha(4Q-1)}{3\alpha}t$ のとき、式 (20), 式 (22) より、各小売企業の最適発注量は

$$\begin{cases} q_{A1}^* = \frac{1}{6} - \frac{1}{3\alpha} + \frac{4}{3}Q, & q_{A2}^* = 0 \\ -\frac{1}{6} + \frac{1}{3\alpha} - \frac{1}{3}Q \leq q_{B1}^* \leq \frac{5}{6} + \frac{1}{3\alpha} - \frac{7}{3}Q, & q_{B2}^* = \frac{5}{6} + \frac{1}{3\alpha} - \frac{4}{3}Q - q_{B1}^* \text{を満たす任意の値} \end{cases} \tag{23}$$

と求まる。また、各小売企業の最適小売価格は式 (21) で与えられる。

(4-3) 領域 $R_A^4 \times R_B^3$ に対して、$g_{Aj} = q_{Aj}$, $g_{B1} = q_{B1}$ である。

(i)$q_{A2} + q_{B2} < Q$ のとき、$g_{B2} = q_{B2}$ である。このとき、(2-3)(i) と同様に解くと $1 - \frac{1}{2}Q < \frac{1}{6} + \frac{1}{3\alpha} < Q$ $(\alpha \geq \frac{2}{5}, Q > \frac{2}{3})$, $c_0 - c_1 < \frac{4-\alpha}{3\alpha}t$, $c_2 - c_1 < \frac{2+\alpha}{3\alpha}t$ のとき、各小売企業の最適発注量は式 (12)、各小売企業の最適小売価格は式 (13) で与えられる。

(ii)$q_{A2} + q_{B2} \geq Q$ のとき、$g_{B2} = Q - q_{A2}$ である。このとき、(1-2)(i) と同様に解くと $\frac{1}{6} + \frac{1}{3\alpha} > 1 - \frac{1}{2}Q$ $(\alpha \geq \frac{2}{5}, Q > \frac{2}{3})$, $c_0 - c_1 < \frac{4-\alpha}{3\alpha}t$ のとき、各小売企業の最適発注量は式 (18)、各小売企業の最適小売価格は式 (6) で与えられる。

上記で得られた結果から、各小売企業の利得を比較すると均衡解となるのは (2-1)(i), (2-2), (4-1)(ii), (4-1)(iv), (4-3)(ii) の5つの場合である。

5 数値例

この節では、4節で導出した均衡結果に対して、数値例を与える。

(i)$\alpha = 0.68, Q = 0.65, t = 1.00, c_1 = 5.00, c_2 = 6.00, c_0 = 7.00$ のとき、均衡解は

$$\begin{cases} q_{A1}^* = 0.33, & q_{A2}^* = 0.02 \\ q_{B1}^* = 0.33, & q_{B2}^* = 0.33, \end{cases} \quad \begin{cases} p_A^* = 7.63 \\ p_B^* = 7.31 \end{cases}$$

で与えられる。これは (2-1)(i) の場合で、各小売企業の利得はそれぞれ $\pi_A^* = 0.80, \pi_B^* = 0.81$ である。

(ii)$\alpha = 0.57, Q = 0.95, t = 1.00, c_1 = 5.00, c_2 = 6.00, c_0 = 7.00$ のとき、均衡解は

$$\begin{cases} q_{A1}^* = 0, & q_{A2}^* = 0.25 \\ q_{B1}^* = 0.05, & q_{B2}^* = 0.70, \end{cases} \quad \begin{cases} p_A^* = 8.01 \\ p_B^* = 7.50 \end{cases}$$

で与えられる。これは (4-3)(ii) の場合で、各小売企業の利得はそれぞれ $\pi_A^* = 0.72, \pi_B^* = 0.67$ である。

(iii)$\alpha = 0.58, Q = 0.45, t = 1.00, c_1 = 5.00, c_2 = 6.00, c_0 = 7.00$ のとき、均衡解は

$$\begin{cases} q_{A1}^* = 0.19, & q_{A2}^* = 0 \\ 0.26 \leq q_{B1}^* \leq 0.36, & q_{B2}^* = 0.81 - q_{B1}^* \text{を満たす任意の値,} \end{cases} \quad \begin{cases} p_A^* = 7.03 \\ p_B^* = 6.42 \end{cases}$$

で与えられる。これは (4-1)(iv) の場合で、各小売企業の利得はそれぞれ $\pi_A^* = 0.24, \pi_B^* = 0.32$ である。

4 節と上記の数値例から、小売企業 A は、自身のみが利用できるサプライヤーが存在するという優位性から、最終消費者市場の需要を得るよりも、小売価格を上げることで高い利得を得ようとすることが分かった。そのため需要は下がるが、サプライヤーの生産制約の影響が比較的小さくなる。

しかし、数値例 (iii) のように小売企業 A の利得が小売企業 B の利得より低くなる場合も存在した。これは、小売企業 A が優位性に頼り過ぎて、供給分断のリスクをあまり考慮に入れていなかったためだと考えられる。

6 まとめ

本稿では、製品を水平差別化した複占小売市場において、供給不確実性を伴うサプライヤーが複数存在し、それらの生産制約を考慮したモデルを提案した。各小売企業の最適な戦略として、部分ゲーム完全均衡の概念を用いて、均衡小売価格と均衡発注量を導出した。

本研究では、小売企業はサプライヤーとの提携費用がかからないものとした。しかし、提携費用を導入することで、より現実的な問題となる。さらに提携費用を考慮することで、その条件下での最適なサプライヤー数の決定を行う研究が考えられる。また、サプライヤーに関して、生産制約が均一でないときや戦略的な分配ルールを考慮した研究も必要であると考えている。

参考文献

[1] J.Andaluz (2009), Vertical product differentiation with subcontracting, Papers in Regional Science, Volume 88, Issue 4, 785-798

[2] G.P.Cachon, M.A.Lariviere (1999), Capacity choice and allocation: strategic behavior and supply chain performance, Management Science, Volume 45, Issue 8, 1091-1108

[3] J.Chen, Z.Guo (2014), Strategic sourcing in the presence of uncertain supply and retail competition, Production and Operations Management, Volume 32, 1748-1760

[4] B.He, H.Huang, K.Yuan (2015), The comparison of two procurement strategies in the presence of supply disruption, Computers and Industrial Engineering, Volume 85, 296-305

[5] O.Shy, R.Stenbacka (2003), Strategic outsourcing, Journal of Economic Behavior and Organization, Volume 50, 203-224

[6] Y.Sprumont (1991), The division problem with single-peaked preferences: a characterization of the uniform allocation rule, Econometrica, Volume 59, 509-519