文章编号:1000-2995(2012)12-009-0050

供应链间Stackelberg博弈下纵向结构决策模型

李柏勋[1],周永务[2],王圣东[3]

(1.广东商学院工商管理学院,广东 广州 510320;
2.华南理工大学工商管理学院,广东 广州 510640;
3.解放军电子工程学院,安徽 合肥 230037)

摘要:以两条包含一个制造商和一个零售商的供应链为研究对象,讨论了两供应链采用不同决策结构时链间Stackelberg博弈问题,并对链间博弈四种决策结构(分散—分散、分散—集中、集中—分散、集中—集中)进行比较分析。研究结果表明,1)对于领导者供应链来说,集中决策是其占优策略;2)对于追随者供应链来说,采用集中决策还是分散决策,则取决于产品可替代性的高低和领导者供应链的选择;3)当产品替代度较低时,集中—集中结构是链间单次和多次重复博弈的均衡解;当产品替代度较高时,集中—分散结构是链间单次博弈均衡解,而分散—分散结构则是多次重复博弈均衡策略。

关键词:多供应链;价格竞争;决策;Stackelberg博弈

中图分类号: F272.3 **文献标识码**:A

1 前言

随着市场由卖方市场转向买方市场,消费需求日趋个性化、差异化和动态化,完全依靠自身的力量任何企业都难以为继,为了生存发展,企业竞相联合上、下游企业,通过分工合作获得整体竞争优势,最终达到共赢。这样,以往那种企业与企业之间单打独斗的竞争模式已不复存在,取而代之是以协同竞争和共赢为原则的供应链与供应链之间的竞争模式。如"宝洁-沃尔玛模式"就是供应链竞争成功的典范;但是现实中也不乏有失败的案例,如前期的"三鹿奶粉"事件,其实质是在供应链与供应链竞争中,由于供应链中某环节的质量缺陷而使整条供应链陷于崩溃。可见,开展多供应链间竞争决策模型与方法研究,对于指导供应链的实际运营以获取更多的竞争优势有着重要的实际价值。

目前,有关供应链竞争决策研究主要分为两类:第一类是以单条供应链为研究对象,主要研究供应链内部不同节点或不同企业间竞争决策方法,该类研究已取得了较为丰富的理论成果。其中以价格因素为视角的研究,主要讨论了线性或非线性需求下两种可相互替代的产品价格竞争模型,代表性文献如Choi[1](1991)研究了两生产商通过一个共同的零售商销售产品的情况,分别讨论了线性需求和非线性需求下双寡头Bertrand博弈竞争模型。而国内学者梁樑和王磊[2](2005)则在Choi[1](1991)的基础上,把产品间的替代度由"双向性"转为"单向性"。第二类研究是把单链的研究扩展到双链的情况,考虑供应链与供应链之间的竞争,根据所假设的需求类型不同,相关

收稿日期:2010-10-13;修回日期:2011-01-12.
基金项目:国家自然科学基金项目(70971041:2010-2012;71072165:2011-2013)。
作者简介:李柏勋(1981-),男,广东佛山,博士,讲师,研究方向:多供应链竞争,决策理论。
周永务(1964-),男,安徽庐江,教授,博士生导师,研究方向:供应链协调,库存控制。
王圣东(1974-),男,安徽肥东,副教授,研究方向:物流与供应链管理。

文献可分类为确定性需求和不确定性需求。代表性文献如 McGuire 和 Staelin[3](1983)探讨了确定性需求下,两制造商通过各自零售商销售产品的 Bertrand 竞争行为。Baron 和 Berman[4](2008)进一步扩展了 McGuire 和 Staelin[3](1983)的研究工作,分析了不同供应链权力结构下产业均衡问题。其他一些学者则在不确定性需求假设下进行了研究,如 Wu 和 Chen[5](2003)研究了库存水平影响需求下古诺双寡头竞争(数量竞争)模型。Wu 和 Baron[6](2008)讨论了需求不确定性环境下两竞争性供应链的多周期博弈行为。此外,一些学者进行了扩展性研究,在不确定性需求下,考虑了两供应链基于价格和服务水平的竞争。如 Boyaci 和 Galleyo[7](2004)在随机需求环境下,研究了两供应链价格相同下基于库存水平的竞争。Xiao 和 Yang[8](2008)分析了供应商和零售商的风险偏好类型对零售价格和服务水平决策的影响。国内学者黄培清和肖迪[9](2008)在考虑库存水平影响需求下,研究两条供应链之间的库存竞争行为。此外,一些学者还从其他方面进行了研究,研究方法包括博弈论和最优化理论,如 Majumder[10](2008)、徐兵和朱道立[11](2008)、Zhang[12](2006)、Dong 和 Zhang[13](2005)等。

上述文献分别从不同的角度讨论了供应链间竞争行为,但他们一方面仅考虑了两供应链同时决策的情况(如 McGuire 和 Staelin,1983;Wu 和 Chen,2003;Baron 和 Berman,2008 等),并没有考虑先后决策,也就是一条供应链是领导者先决策,另一条供应链是追随者后决策的情况。但现实中,这种供应链间先后决策现象是客观存在的,例如,在汽车行业,往往是某个品牌汽车先定价,其竞争品牌根据观察到的价格做出最优反应。此外,在研究链间博弈时,较少文献考虑链间重复博弈对均衡解的影响,但在现实中,供应链与供应链之间的竞争关系却更多地表现为长期重复博弈行为。

基于上述文献分析,本文拟假设两条供应链基于价格竞争,其中一条供应链(SC^1)是领导者,另一条供应链(SC^2)是追随者,运用博弈论相关知识讨论两条供应链采用不同决策结构时链间 Stackelberg 博弈情况(包括单次博弈和重复博弈),探索每条供应链的最优定价策略、供应链系统的最优决策模式,并对不同链内决策结构下的均衡结果加以比较分析。具体研究思路如下:假设考察的供应链系统是由两条包含一个制造商和一个零售商的供应链组成,并且经营着两种可相互替代的产品,不失一般性,根据链间博弈决策次序,假设作为领导者 SC^1 先决策,作为追随者 SC^2 后决策,而且两条供应链均可选择采用分散决策(Decentralized Decision)或集中决策(Centralized Decision),从而在链间博弈上产生了 DD 组合、DC 组合、CD 组合和 CC 组合四种情况。其中,分散决策是指链内各成员均以最大化自身利润为目标进行决策,并假设制造商为领导者而零售商为跟随者;集中决策是以最大化供应链整体利润为目标支配各方决策。在结果分析部分,首先讨论供应链间单次博弈均衡解情况,然后进一步考虑多次重复博弈均衡解情况。

2　模型假设、建立与求解

2.1　模型假设

在需求函数上,假设零售价格影响需求,参考 McGuire 和 Staelin(1983)、Choi(1991),假设顾客需求函数为:

$$D_i(p_i,p_j) = \alpha_i - bp_i + \theta p_j \quad i = 1,2; j = 3-i \tag{1}$$

上式参数 p_i、p_j、α_i 大于零,$0 < \theta < b < 1$,其中,p_i 和 p_j 表示零售价格;α_i 表示市场规模,它描述的是当零售价为零时的需求;b 是顾客需求对价格的敏感系数,表示当其他参数恒定,零售价格减少(增加)一个单位时,顾客需求的增加(减少)量;θ 表示产品的可替代性,反映了当某种产品的价格变化时,另一种产品对该产品的替代作用,也即当其他参数恒定,另一产品的零售价格增加(减少)一个单位时,顾客需求的增加(减少)量。

在成本和利润函数上,假设每条供应链的各成员对彼此的需求函数和成本结构拥有完全信息。对于零售商来说,其利润函数可表示为:

$$\pi_{R_i} = (p_i - w_i) \times D_i(p_i,p_j) \quad i = 1,2; j = 3-i \tag{2}$$

式中 p_i、w_i 分别表示零售价格和批发价格,$D_i(p_i,p_j)$ 表示顾客需求量。

对于制造商来说，假设其单位生产成本为 c_i，并且制造商和零售商的产销量相等，所以，制造商的利润函数可表示为：

$$\pi_{M_i} = (w_i - c_i) \times D_i(p_i, p_j) \quad i = 1,2; j = 3 - i \tag{3}$$

对于整条供应链来说，其总利润函数为：

$$\pi_{SC_i} = (p_i - c_i) \times D_i(p_i, p_j) \quad i = 1,2; j = 3 - i \tag{4}$$

2.2 不同链内决策结构下供应链间 Stackelberg 博弈模型建立与求解

在供应链间 Stackelberg 博弈中，作为领导者的 SC^1 首先决策，也即给出零售价格 p_1，追随者 SC^2 根据观察到的 p_1 做出最优反应。而且，由于两供应链均可选择采用分散决策（Decentralized Decision）或集中决策（Centralized Decision），从而在链间博弈上产生了 DD 组合、DC 组合、CD 组合和 CC 组合四种情况，下面针对每种情况分别建模求解。

2.2.1 两供应链均采用分散决策（DD 组合）

当两供应链均采用分散决策时，对于每条供应链，由于假设制造商为领导者而零售商为跟随者，所以在整个系统中，存在着链间动态博弈和链内动态博弈两种情况，链间博弈中，作为领导者的 SC^1 首先给出零售价格 p_1，追随者 SC^2 根据观察到的 p_1 做出最优反应，采用逆向归纳法求斯坦伯格均衡，首先分析追随者 SC^2 链内动态博弈情况。

① 追随者 SC^2 链内动态博弈。

在 SC^2 链内博弈第一阶段，SC^2 制造商以自身利润最大化为目标给出批发价格：

$$\max_{w_2^{DD} \geq 0} \pi_{M2}^{DD} = \left(w_2^{DD} - c_2\right) \times \left(\alpha_2 - b p_2^{DD} + \theta p_1^{DD}\right) \tag{5}$$

在链内博弈第二阶段，SC^2 零售商根据给定的批发价格，以自身利润最大化为目标做出最优反应：

$$\max_{p_2^{DD} \geq 0} \pi_{R2}^{DD} = \left(p_2^{DD} - w_2^{DD}\right) \times \left(\alpha_2 - b p_2^{DD} + \theta p_1^{DD}\right) \tag{6}$$

采用逆向归纳法求解，首先需求出追随者 SC^2 零售商的反应函数。容易验证 SC^2 零售商利润函数 π_{R2}^{DD} 是一个关于 P_2^{DD} 凹函数（$\partial^2 \pi_{R2}^{DD} / \partial^2 p_2^{DD} < 0$），所以，根据一阶条件，

由 $\dfrac{\partial \pi_{R2}^{DD}}{\partial p_2^{DD}} = 0$，得：$p_2^{DD} = \dfrac{\alpha_2 + \theta p_1^{DD} + b w_2^{DD}}{2b}$

$$\tag{7}$$

对于链内博弈第一阶段，即分析 SC^2 制造商的决策，把（7）式代入（5）式，求 w_2^{DD} 偏导，

$$w_2^{DD} = \frac{\alpha_2 + \theta p_1^{DD} + b c_2}{2b} \tag{8}$$

把（8）式代入（7）式，可求得 p_2^{DD} 关于 p_1^{DD} 的函数，

$$p_2^{DD}\left(p_1^{DD}\right) = \frac{3\alpha_2 + 3\theta p_1^{DD} + b c_2}{4b} \tag{9}$$

②领导者 SC^1 链内动态博弈。

领导者 SC^1 链内动态博弈与追随者 SC^2 链内动态博弈情况类似，不同的是，SC^1 能预测到，若自己选择 p_1^{DD}，则追随者 SC^2 将根据 $p_2^{DD}(p_1^{DD})$ 进行定价，所以，把（9）式代入（1）、（2）式，并求 p_1^{DD} 偏导，得：

$$p_1^{DD} = \frac{w_1^{DD}}{2} + \frac{4b\alpha_1 + 3\theta\alpha_2 + b\theta c_2}{2\left(4b^2 - 3\theta^2\right)} \tag{10}$$

把（10）式代入（1）、（3）式，求 w_1^{DD} 偏导，

$$w_1^{DD} = \frac{c_1}{2} + \frac{4b\alpha_1 + 3\theta\alpha_2 + b\theta c_2}{2\left(4b^2 - 3\theta^2\right)} \tag{11}$$

把（11）式代入（10）式即可求得领导者 SC^1 零售价的最终表达式 p_1^{*DD}：

$$p_1^{*DD} = \frac{c_1 B + 3A}{4B} \tag{12}$$

其中 $A = 4b\alpha_1 + 3\theta\alpha_2 + b\theta c_2$；$B = 4b^2 - 3\theta^2$。

根据上式进一步可求得两供应链均采用分散决策时每条供应链的顾客需求量和利润函数。

2.2.2 领导者采用分散决策，追随者采用集中决策（DC 组合）

当领导者供应链 SC^1 采用分散决策，追随者供应链 SC^2 采用集中决策时，在供应链间 Stackelberg 博弈中，作为领导者的 SC^1 采用分散决策给出零售价格 p_1，追随者 SC^2 根据观察到的 p_1 后采用集中决策做出最优反应。具体求解过程与 DD 组合类似，不同的是追随者 SC^2 以整条供应链利润最大化为决策目标。

$$\max_{p_2^{DC} \geq 0} \pi_{SC2}^{DC} = \left(p_2^{DC} - c_2\right) \times \left(\alpha_2 - b p_2^{DC} + \theta p_1^{DC}\right) \tag{13}$$

由一阶条件可求得追随者 SC²零售价为:

$$p_2^{*DC}=\frac{\theta\left(c_1F-E\right)+8b\left(b^2c_2+b\alpha_2+\theta\alpha_1\right)}{8bF} \tag{14}$$

式中,$E=2b\alpha_1+\theta\alpha_2+b\theta c_2$,$F=2b^2-\theta^2$。

同理,领导者供应链 SC¹的零售价和批发价为

$$p_1^{*DC}=\frac{c_1F+3E}{4F} \tag{15}$$

$$w_1^{*DC}=\frac{c_1F+E}{2F} \tag{16}$$

把(14)、(15)、(16)分别代人(1)式和(4)式,求得领导者供应链 SC¹采用分散决策,追随者供应链 SC²采用集中决策时的顾客需求量和利润函数。

2.2.3 领导者采用集中决策,追随者采用分散决策(CD 组合)

当领导者供应链采用集中决策,追随者供应链采用分散决策时,作为领导者的 SC¹采用集中决策给出零售价格 p_1,追随者 SC²根据观察到的 p_1后采用分散决策做出最优反应。与 DD 组合不同,领导者 SC¹以整条供应链利润最大化为决策目标。

$$\max_{p_1^{CD}\geq 0}\pi_{SC1}^{CD}=\left(p_1^{CD}-c_1\right)\times\left(\alpha_1-bp_1^{CD}+\theta p_2^{CD}\right) \tag{17}$$

由于采用逆向归纳法求解,所以,首先求得追随者 SC²采用分散决策时的零售价和批发价。

$$p_2^{*CD}=\frac{3c_1\theta B+6\alpha_2B+3\theta A+2c_2bB}{8bB} \tag{18}$$

$$w_2^{*CD}=\frac{c_1\theta}{4b}+\frac{\alpha_2+\theta A/2B+c_2b}{2b} \tag{19}$$

从而进一步求得领导者 SC¹采用集中决策时的零售价格:

$$p_1^{*CD}=\frac{c_1B+A}{2B} \tag{20}$$

把(18)、(19)、(20)分别代人(1)式和(4)式,求得领导者供应链采用集中决策,追随者供应链采用分散决策时的顾客需求量和利润函数。

2.2.4 两供应链均采用集中决策(CC 组合)

CC 组合假设两供应链均采用集中决策,并且 SC¹为领导者,SC²为追随者。首先 SC¹制造商和零售商从供应链总利润最大化来选择零售价格 p_1,追随者 SC²观察到 p_1后作出最优反应。由于采用逆向归纳法,首先求得追随者 SC²采用集中决策时的零售价:

$$p_2^{*CC}=\frac{(c_1\theta+2\alpha_2+2bc_2)F+\theta E}{4bF} \tag{21}$$

同理,也可求得领导者 SC²采用集中决策时的零售价:

$$p_1^{*CC}=\frac{c_1F+E}{2F} \tag{22}$$

把(21)、(22)分别代人(1)式和(4)式,求得两供应链均采用集中决策的顾客需求量和利润函数。

3 结果分析

本节拟对不同链间博弈框架下的均衡解进行比较分析,包括 DD 组合、DC 组合、CD 组合和 CC 组合四种情况。为了简化分析,假设 1,以整条供应链的利润为选择是否离散化的主要依据,也即当采取集中或分散决策获得超额利润时,假设供应链内成员可通过 Shapley 值法、核心法(Nucleolus)、最大最小费用法(Minimum Costs – Remaining Savings,MCRS)等方法合理分配超额利润;假设 2,两条供应链的单位生产成本、初始市场规模等变量相同,即

$c_1=c_2=c,\alpha_1=\alpha_2=\alpha$。

定理 1:不管追随者 SC²采用分散决策还是集中决策,领导者 SC¹采用集中决策时的供应链利润高于分散决策时的利润,其中,集中决策时的零售价低于分散决策的零售价,顾客需求量则相反。

证明:①当 SC²采用分散决策。

零售价格比较: $p_1^{*CD}-p_1^{*DD}=-\dfrac{3b\theta\left(b+\theta\right)\left(\alpha-cb+c\theta\right)}{2BF}$

$\because 0<\theta<b<1$, $\therefore B=4b^2-3\theta^2>0$, $F=2b^2-\theta^2>0$,

$\therefore$ 当假设 $\alpha > c(b-\theta)$ 时，$\alpha - cb + c\theta > 0$，$p_1^{*CD} - p_1^{*DD} < 0$

顾客需求量比较：$D_1^{*CD} - D_1^{*DD} = \dfrac{(4b+3\theta)(\alpha - cb + c\theta)}{16b} > 0$

供应链利润比较：$\pi_{SC1}^{*CD} - \pi_{SC1}^{*DD} = \dfrac{(4b+3\theta)^2(\alpha - cb + c\theta)^2}{64bB} > 0$

②当 SC^2 采用集中决策。

零售价格比较：$p_1^{*CC} - p_1^{*DC} = -\dfrac{(2b+\theta)(\alpha - cb + c\theta)}{4F} < 0$

顾客需求量比较：$D_1^{*CC} - D_1^{*DC} = \dfrac{(2b+\theta)(\alpha - cb + c\theta)}{8b} > 0$

供应链利润比较：$\pi_{SC1}^{*CC} - \pi_{SC1}^{*DC} = \dfrac{(2b+\theta)^2(\alpha - cb + c\theta)^2}{32bF} > 0$

证毕。

从定理 1 可知，不管追随者 SC^2 采用分散决策还是集中决策，领导者 SC^1 采用集中决策时的利润均优于分散决策，也即集中决策是领导者 SC^1 的占优策略。定理 1 说明了先动优势使得 SC^1 有动力通过增产降价，先发制人，以夺取更大的市场份额。

定理 2：(1) 领导者 SC^1 采用分散决策，且 $0 < \theta < 0.68b$，追随者 SC^2 采用集中决策时的供应链利润高于分散决策时的利润；当 $0.68b \leqslant \theta < b$，追随者 SC^2 采用分散决策时的供应链利润高于集中决策时的利润；在 $0 < \theta < b < 1$ 区域内，SC^2 采用集中决策时的零售价低于分散决策的零售价，顾客需求量则相反。

(2) 领导者 SC^1 采用集中决策，且 $0 < \theta < 0.73b$，追随者 SC^2 采用集中决策时的供应链利润高于分散决策时的利润；当 $0.73b < \theta < b$，追随者 SC^2 采用分散决策时的供应链利润高于集中决策时的利润；在 $0 < \theta < b < 1$ 区域内，SC^2 采用集中决策时的零售价低于分散决策的零售价，顾客需求量则相反。

证明：首先分析领导者 SC^1 采用分散决策的情况：

零售价格比较：$p_2^{*DC} - p_2^{*DD} = -\dfrac{\left[(32b^2 - 10\theta^2)b^2 + 24\theta b^3 + 3\theta^4\right](\alpha - cb + c\theta)}{16bBF}$

$\because 0 < \theta < b < 1$，$\therefore 32b^2 - 10\theta^2 > 0$，$\therefore p_2^{*DC} - p_2^{*DD} < 0$

顾客需求量比较：$D_2^{*DC} - D_2^{*DD} = \dfrac{\left[8b(4b+3\theta)(b^2 - \theta^2) + 3\theta^4\right](\alpha - cb + c\theta)}{16BF}$

$\because 0 < \theta < b < 1$，$\therefore b^2 - \theta^2 > 0$，$D_2^{*DC} - D_2^{*DD} > 0$

供应链利润比较：$\pi_{SC2}^{*DC} - \pi_{SC2}^{*DD} = \dfrac{G(\alpha - cb + c\theta)^2}{256bB^2F^2}$，其中，

$$G = 1536b^7\theta - 216b\theta^7 - 4512b^5\theta^3 + 2592b^3\theta^5 + 588\theta^6b^2 - 2368\theta^2b^6 + 9\theta^8 + 1024b^8 + 148\theta^4b^4$$

为了对 G 式进行因式分解,可先假设 b 为常量,通过 Matlab 求解关于 θ 的一元高价方程,从而求得,

$$G=9(\theta+1.29b)(\theta+1.07b)(\theta+0.95b)(\theta+0.83b)(\theta-0.68b)(\theta-1.25b)(\theta-6.18b)(\theta-20.02b)$$

$\because\ 0<\theta<b<1$，$\therefore$ 当 $0.68b\le\theta<b$ 时，$G\le 0$, 即 $\pi_{SC2}^{*DC}-\pi_{SC2}^{*DD}\le 0$；

当 $0<\theta<0.68b$ 时，$G>0$, 即 $\pi_{SC2}^{*DC}-\pi_{SC2}^{*DD}>0$。

对于领导者 SC^1 采用集中决策的情况,证明过程类似于分散决策的情况,在此不再详述。

证毕。

从定理 2 可知,在给定领导者供应链采用分散(集中)决策时,当产品的可替代性 θ 较低时 $0<\theta,0.68b$ $(0<\theta<0.73b)$,追随者供应链采用集中决策优于分散决策;当产品的可替代性 θ 较高时 $0.68b\leqslant\theta<b$ $(0.73b\leqslant\theta<b)$,追随者供应链采用分散决策优于集中决策。定理 1 和定理 2 说明了虽然先决策的供应链会率先采取攻击性策略,通过增产降价夺取更大的市场份额,但对于后决策的供应链来说,如何决策则取决于产品竞争激烈程度,即产品替代性的高低。

定理 3:当 $0<\theta<0.73b$ 时,两供应链均采用集中决策(即 CC 组合)是链间博弈均衡解;当 $0.73b\leqslant\theta<b$ 时,领导者 SC^1 采用集中决策,追随者 SC^2 采用分散决策(即 CD 组合)是链间博弈均衡解。

证明:首先给出两供应链的收益矩阵,见表 1。

由定理 1 可知,集中决策是领导者 SC^1 的占优策略;由定理 2 可知,当领导者 SC^1 采用集中决策,且 $0<\theta<0.73b$ 时,追随者采用集中决策优于分散决策;当 $0.73b\leqslant\theta<b$,追随者 SC^2 采用分散决策优于集中决策。所以,综合定理 1 和定理 2 可知,$0<\theta<0.73b$ 时,CC 组合是链间博弈均衡解;$0.73b\leqslant\theta<b$ 时,CD 组合是链间博弈均衡解,并在表 1 中给予下划线标注。证毕。

表 1　两供应链不同决策结构下的收益矩阵

Table 1　payoff matrix of two supply chains under different decision structures

SC^1 \ SC^2	分散决策(D)	集中决策(C)
分散决策(D)	$(\pi_{SC1}^{DD},\pi_{SC2}^{DD})$	$(\pi_{SC1}^{DC},\pi_{SC2}^{DC})$
集中决策(C)	$(\underline{\pi_{SC1}^{DD}},\underline{\pi_{SC2}^{DD}})$	$(\underline{\pi_{SC1}^{DC}},\underline{\pi_{SC2}^{DC}})$

定理 3 所给出的均衡解,也称为非合作均衡解,这是因为假设每条供应链都是利己的,即都寻求自身利益最大化,而不考虑其他供应链的利益,但事实上各条供应链追求利己行为所导致的均衡解有可能是对各参与方都不利的结局。

定理 4:当 $0<\theta<0.53b$ 时,两供应链均采用集中决策(即 CC 组合)是帕累托均衡,当 $0.53b\leqslant\theta<b$ 时,两供应链均采用分散决策(即 DD 组合)是帕累托最优,但不是均衡解。

证明：① $\pi_{SC1}^{*DD}-\pi_{SC1}^{*CC}=-\dfrac{I(a+c\theta-bc)^2}{64bBF}$，其中，

$$I=32b^4+3\theta^4-70b^2\theta^2-16b^3\theta-24b\theta^3=3(\theta-0.53b)(\theta-10.3b)(\theta+1.13b)(\theta+1.7b)$$

$\because\ 0<\theta<b<1$，$\therefore$ 当 $0<\theta<0.53b$ 时，$I>0$，$\pi_{SC1}^{*DD}-\pi_{SC1}^{*CC}<0$；

当 $0.53b\le\theta<b$ 时，$I\le 0$，$\pi_{SC1}^{*DD}-\pi_{SC1}^{*CC}\ge 0$。

② $\pi_{SC2}^{*DD}-\pi_{SC2}^{*CC}=-\dfrac{J(a+c\theta-bc)^2}{256bB^2F^2}$，其中，

$$J = 1024b^8 + 117\theta^8 - 512b^7\theta - 360b\theta^7 - 1696b^5\theta^3 + 1824b^3\theta^5 - 4672b^6\theta^2 - 996b^2\theta^6 + 3796b^4\theta^4$$

$$= 117(\theta + 1.33b)(\theta + 1.09b)(\theta - 0.42b)(\theta - 1.28b)(\theta - 2.29b)(\theta - 3.75b)(\theta^2 + 2.24b\theta + 1.31b^2)$$

由于 $0 < \theta < b < 1$，所以，当 $0 < \theta < 0.42b$ 时，$J > 0$，$\pi_{SC2}^{*DD} - \pi_{SC2}^{*CC} < 0$；

当 $0.42b \le \theta < b$ 时，$J \le 0$，$\pi_{SC2}^{*DD} - \pi_{SC2}^{*CC} \ge 0$。

综合①、②,以及定理 2 可知,$0 < \theta < 0.53b$ 时,偏离 CC 组合的任何其他决策组合都至少会使一供应链的境况变差,所以,CC 组合是帕累托最优,进一步由定理 3 可知,CC 组合是两供应链的均衡解,从而得出 CC 组合是帕累托均衡,也即达到个体理性和集体理性统一。同理可证得,当 $0.53b \leqslant \theta < b$ 时,DD 组合是帕累托最优,但不是均衡解。

证毕。

定理 4 说明了,当 $0 < \theta < 0.53b$ 时,CC 组合是供应链间一次或多次重复博弈的帕累托均衡解;当 $0.53b \leqslant \theta < b$ 时,DD 组合是帕累托最优的,也即定理 3 给出的均衡解需帕累托改进。考虑到,定理 3 给出的均衡解仅是一次博弈的结果,但现实中,供应链与供应链之间的竞争关系却更多地表现出长期性,链间博弈被反复地进行,每条供应链都有机会去“惩罚”另一条供应链前一回合的不合作行为,这时,欺骗的动机被受到惩罚的威胁所克服,最终在长远利益与眼前利益的作用下,使链间博弈走向帕累托均衡。在分析链间重复博弈时,一方面引入贴现因子 $\delta(0 < \delta < 1)$,表示后一阶段博弈得益折算成现值的贴现系数,另一方面,假设参与方使用冷酷战略(grim strategies),其实质是指任何参与方的一次性不合作将触发永远的不合作。

定理 5:当 $0.53b \leqslant i < b$ 时,且 $\delta \geqslant \dfrac{F(3\theta + 4b)^2}{4\theta(16b^3 + 18b^2\theta - 3\theta^3)}$,两供应链均采用分散决策(即 DD 组合)是重复博弈均衡策略。

证明:①对于追随者 SC^2 来说,在领导者 SC^1 选择分散决策的条件下,结合定理 2 可知,当 $0.68b \leqslant \theta < b$ 时,由于 $\pi_{SC2}^{*DD} > \pi_{SC2}^{*DC}$,所以,在 SC^1 选择分散决策的条件下,SC^2 积极选择分散决策。当 $0.53b \leqslant \theta < 0.68b$ 时,$\pi_{SC2}^{*DC} > \pi_{SC2}^{*DD}$,$SC^2$ 有可能为了眼前利益选择集中决策,但 SC^2 的机会主义行为将触发 SC^1 永远“不合作”的惩罚,即 SC^1 永远选择集中决策。所以,当 SC^2 选择集中决策时,无限次重复博弈的总得益为:

$$\pi_{SC2}^{DC} + \pi_{SC2}^{CC}\delta + \pi_{SC2}^{CC}\delta^2 + \cdots = \pi_{SC2}^{DC} + \pi_{SC2}^{CC}\frac{\delta}{1-\delta}$$

当 SC^2 选择分散决策时,无限次重复博弈的总得益为:

$$\pi_{SC2}^{DD} + \pi_{SC2}^{DD}\delta + \pi_{SC2}^{DD}\delta^2 + \cdots = \frac{\pi_{SC2}^{DD}}{1-\delta}$$

因此,若需确保领导者 SC^2 在重复博弈中始终选择分散决策,必须使其分散决策总得益不少于集中决策总得益,即:

$\dfrac{\pi_{SC2}^{DD}}{1-\delta} \geqslant \pi_{SC2}^{DC} + \pi_{SC2}^{CC}\dfrac{\delta}{1-\delta}$,整理可得,$\delta \geqslant \dfrac{Q}{4\theta B^2(\theta + 2b)(16\theta^2 + 10b\theta - 3\theta^2)} = \delta_1$,其中,

$Q = 1024b^8 + 9\theta^8 - 216b\theta^{\&} + 1536b^7\theta + 588b^2\theta^6 - 2368b^6\theta^2 - 4512b^5\theta^3 + 2592b^3\theta^5 + 148b^4\theta^4$

②对领导者 SC^1 来说,在追随者 SC^2 选择分散决策且 $0.53b \leqslant \theta < b$ 的条件下,$\pi_{SC1}^{CD} > \pi_{SC1}^{DD}$,$SC^1$ 有可能为了眼前利益选择集中决策,但 SC^1 的机会主义行为将触发 SC^2 永远“不合作”的惩罚,即 SC^2 永远选择集中决策。所以,当 SC^1 选择集中决策时,无限次重复博弈的总得益为:

$$\pi_{SC1}^{CD} + \pi_{SC1}^{CC}\delta + \pi_{SC1}^{CD}\delta^2 + \cdots = \pi_{SC1}^{CD} + \pi_{SC1}^{CC}\frac{\delta}{1-\delta}$$

当 SC^1 选择分散决策时,无限次重复博弈的总得益为:

$$\pi_{SC1}^{DD} + \pi_{SC1}^{DD}\delta + \pi_{SC1}^{DD}\delta^2 + \cdots = \frac{\pi_{SC1}^{DD}}{1-\delta}$$

因此,若需确保领导者 SC^1 在重复博弈中始终选择分散决策,必须使其分散决策总得益不少于集中决策总得益,即:

$\dfrac{\pi_{SC1}^{DD}}{1-\delta} \geqslant \pi_{SC1}^{CD} + \pi_{SC1}^{CD}\dfrac{\delta}{1-\delta}$,整理可得,$\delta \geqslant$

$\frac{F(3\theta+4b)^2}{4\theta(16b^3+18b^2\theta-3\theta^3)}=\delta_2$,容易证得 $\delta_1<\delta_2<1$。所以,当 $0.53b\leqslant\theta<b$,且 $\delta\geqslant\frac{F(3\theta+4b)^2}{4\theta(16b^3+18b^2\theta-3\theta^3)}=\delta_2$ 时,两供应链均采用分散决策(即 DD 组合)是重复博弈均衡策略。证毕。

4 结论

本文考察的供应链系统是由两条包含一个制造商和一个零售商的供应链组成,假设其中一条供应链先决策,另一条供应链后决策,研究两条供应链间 Stackelberg 博弈问题,讨论了分散—分散、分散—集中、集中—分散、集中—集中四种博弈结构。研究结果表明,不管追随者供应链采用分散决策还是集中决策,领导者供应链采用集中决策时的利润均优于分散决策,也即不管追随者供应链如何决策,领导者供应链均率先采取攻击性策略,通过增产降价夺取更大的市场份额;但对于追随者供应链来说,选择集中决策或分散决策,一方面取决于领导者供应链的决策选择,另一方面则取决于产品替代性的高低。在均衡解分析上,对于链间单次博弈情形,当 $0<\theta<0.73b$,CC 结构是链间博弈均衡解;反之,当 $0.73b\leqslant\theta<b$,CD 结构是链间博弈均衡解。对于链间多次重复博弈情形,当 $0<\theta<0.53b$,CC 结构是链间重复博弈均衡解;当 $0.53b\leqslant\theta<b$,DD 结构是链间重复博弈均衡解。

值得注意的是,本文的结论是在一些假设前提下得出的,放松这些假设可能得出不同的结论,这需我们进一步研究。例如,本文假设两供应链间是对称信息博弈,但现实中存在着大量不完全信息博弈情况(如不对称成本信息或需求信息),所以,供应链间不完全信息博弈是值得研究的方向。其二,本文仅考虑了确定性需求,现实中大多数情况下需求是不确定是,未来的研究值得我们引入需求不确定性(如报童模型)考虑相类似问题。其三,本文假设每条供应链仅包含一个零售商和一个制造商,但现实的供应链可能包含多个零售商或多个制造商。此外,本文仅考虑了链间价格竞争情况,事实上,随着价格竞争转向非价格因素竞争,考虑供应链间基于非价格因素竞争是另一个值得研究的课题。

参考文献:

[1] Choi S. C. Price Competition in a Channel Structure with a Common Retailer[J]. Marketing Science, 1991, 10(4): 271 - 297.

[2] 王磊,梁樑,戴更新. 产品替代度与分销渠道的价格竞争[J]. 科研管理, 2005, 26(6): 115 - 123.
Wang L, Liang L, Dai G X. Product Substitutability and Price Competition In A Distribution Channel[J]. Science Research Management, 2005, 26(6): 115 - 123.

[3] McGuire T. W. and Staelin R. An Industry Equilibrium Analysis of Downstream Vertical Integration [J]. Marketing Science, 1983, 2(2): 161 - 191.

[4] Baron O., Berman O., Wu D. Bargaining in the supply chain and its implication to coordination of supply chains in an industry [R]. In: Working paper. Joseph L. Rotman School of Management, University of Toronto, 2008.

[5] Wu O., Chen H. Chain - to - chain competition under demand uncertainty [R]. In: Working paper, University of Michigan, 2003.

[6] Wu D., Baron O., Berman O. Bargaining in competing supply chains with uncertainty [J]. European Journal of Operational Research, 2008, 6(3): 1 - 9.

[7] Boyaci T., Gallego G. Supply Chain Coordination in a Market with Customer Service Competition[J]. Production and Operation Management, 2004, 13(1): 3 - 22.

[8] Xiao T., Yang D. Price and service competition of supply chains with risk - averse retailers under demand uncertainty [J]. International Journal Production Economics, 2008, 114: 187 - 200.

[9] 肖迪,黄培清,顾锋. 需求不确定条件下供应链之间的库存竞争策略[J]. 上海交通大学学报, 2008, 42(9): 1511 - 1515.
Xiao D, Huang P Q, Gu F. The Stock Competition Policy between Supply Chains under Demand Uncertainty[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2008, 42(9): 1511 - 1515.

[10] Zhang D. A network economic model for supply chain versus supply chain competition [J]. Omega, 2006, 34(3): 283 - 295.

[11] Majumder S. Leadership and Competition in Network Supply Chains [J]. Management Science, 2008, 54(6): 1189 - 1204.

[12] 徐兵,朱道立. 竞争供应链的结构和链内协调策略分析[J]. 运筹与管理, 2008, 17(5): 51 - 58.
Xu B, Zhu D L. Analysis of the Competitive Supply Chains' Structure and the Strategy for Supply Chain Coordination[J]. Operations Research and Management Science, 2008, 17

(5): 51 - 58.

[13] Dong J., Zhang D., Yan H., Nagurney A. Multi - tiered Supply Chain Networks: Multicriteria Decision - Making Under Uncertainty [J]. Annals of Operations Research, 2005, 135(1): 155 - 178.

The decision model of vertical structure under Stackelberg game among supply chains

Li Baixun[1], Zhou Yongwu[2], Wang Shengdong[3]

(1. **School of Business Administration**, **Guangdong University of Business**, **Guangzhou** 510320, **China**;
2. **School of Business Administration**, **South China University of Technology**, **Guangzhou** 510640, **China**;
3. **Department of Mathematics**, **Electronic Engineering Institute of PLA**, **Hefei** 230037, **China**)

Abstract: By taking two supply chains as a research object, each of them containing one manufacturer and one retailer, the problem involving Stackelberg game is discussed, when two supply chains adopt different decision structures, respectively. In particular, four decision structures between these two supply chains are analyzed, including the structures of decentralized - decentralized, decentralized - centralized, centralized - decentralized, centralized - centralized. It is found that (1) centralized decision is the dominate strategy for the leader supply chain; (2) as for the follower supply chain, whether adopting centralized decision or decentralized decision, it is depended on the substitutability degree of products and the selection of the leader supply chain; (3) when the substitutability degree of product is low, the structure of centralized - centralized is the equilibrium solution of single and repeat games; and when the substitutability degree of product is high, the structure of centralized - decentralized is the equilibrium solution of single game; while the structure of decentralized - decentralized is the equilibrium solution of repeat games.

Key words: multi - supply chains; price competition; decision; Stackelberg game

---

(上接第 39 页)

The factors affecting key stakeholders' knowledge sharing behavior in the complex product development

Wang Juanru[1], Yang Jin[2]

(1. **School of Management**, **Northwestern Polytechnical University**, **Xi'an** 710072, **China**;
2. **School of Humanities**, **Economics**, **and Law**, **Northwestern Polytechnical University**, **Xi'an** 710072, **China**)

Abstract: Six factors that affect key stakeholders' knowledge sharing behavior in the complex product development, are analyzed; they are project strategy factor, stakeholders' characteristics, organization factor, technology factor, knowledge characteristics, and internal enable factor. Then, by using empirical study methods, survey objects which are the key stakeholders in the complex product development process are selected, confirmatory factor analysis for collecting data is conducted by applying software of SPSS 18.0 and Amos 7.0. And the relationship of each factors between key stakeholders' knowledge sharing behavior and among each factors are explored, the interaction degree are quantitatively studied. Finally, the conclusions are obtained as follows: project strategy factor, stakeholders' characteristics, organization factor, technology factor, and internal enable factor all have a significant positive effect on key stakeholders' knowledge sharing behavior in the complex product development, and knowledge characteristics have a significant negative effect on key stakeholders' knowledge sharing behavior in the complex product development.

Key words: complex product development; key stakeholder; knowledge sharing behavior