

供应链中的收益共享博弈与契约设计

张伟

(西安理工大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 从博弈的角度探讨了供应链中的收益共享契约设计问题。应用 LF 博弈方法研究了供应商与零售商在收益共享机制下的博弈过程, 得出了满足双方最优决策的博弈均衡解, 在此基础上设计了收益共享契约, 给出了双方能够接受契约的参数范围。

关键词: 收益共享; 契约设计; LF 博弈

DOI: 10.3969/j.issn.1001-7348.2010.21.07

中图分类号: F252.24

文献标识码: A

文章编号: 1001-7348(2010)21-0024-03

0 引言

由于供应链中的成员往往有着各自的优化目标和私有信息, 并且这些优化目标难以同供应链系统的整体优化目标相一致, 所以, 必须建立有效的协调机制, 使供应链成员利益共享、风险共担, 从而提高供应链整体绩效。通过设计供应链契约来建立协调机制, 可以为供应链中的成员提供激励, 使他们的决策更有利于供应链整体绩效的最优化。

根据供应链契约的研究现状, 可将供应链契约分为 4 类, 即收益共享契约、数量弹性契约、批发价格契约以及回购契约。其中, 收益共享契约可以使供应链达到很好的协调^[1]。然而, 即使是在收益共享契约下, 仍然会出现供应商与零售商之间的博弈^[2]。在契约给定的前提下, 可以看作是以供应商为领导者的 LF 博弈(Leader-Follower Game)问题。实际上, 契约下的博弈问题, 其主要目的已不是博弈均衡本身, 而是考察如何设置契约参数, 以使均衡策略更接近甚至等于整个供应链的最优解^[3]。

Padmanabhan 和 Png^[4]利用非合作博弈论与报童模型分析了回购契约下单个供应商与多个零售商的博弈过程。Tsay 和 Lovejoy^[5]运用合作博弈论研究数量弹性契约下的多需求阶段、多库存地点以及延迟交货问题, 得到了供应商与零售商之间的博弈均衡解。Dana 和 Spier^[6]研究了影碟租赁业中的收益共享契约, 发现其可以缓解零售商之间的价格竞争, 并且减少供应商与零售商之间的冲突。Giannoccaro 和 Pontrandolfo^[7]把收益共享契约扩展到三阶供应链, 并通过设定契约参数来提升供应链成员的收入以及供应链整体绩效。Shanhan 和 Proth^[8]建立了基于收益共享契约的制造商-销售商伙伴关系模型, 分析了收益共享机制下作为不同风险承担者的供应链成员的利润情况。

由文献回顾可看出: 在对供应链契约下的博弈研究

方面, 以往文献主要是针对回购契约和数量弹性契约; 在对收益共享契约的设计方面, 几乎没有文献从博弈的角度进行契约设计。因此, 本文从博弈的角度来探讨供应链中的收益共享契约设计问题: 首先应用 LF 博弈方法研究供应商与零售商在收益共享机制下的博弈过程, 找出博弈的均衡解, 在此基础上对收益共享契约进行设计, 分析如何设置契约参数以使双方都能接受该契约。

1 问题描述与变量说明

(1) 供应商与零售商是相互独立的, 且两者都是风险性和完全理性的。零售价格、生产成本、零售成本等信息都是共同知识。

(2) 供应商组织生产所花费的单位商品成本为 c_s , 零售商组织销售所花费的单位商品成本为 c_r (不含促销成本)。供应商以批发价 h 将产品批发给零售商。零售商以批发价从供应商处订购数量为 q 的产品, 并以零售价 p 销售给最终用户。

(3) 销售季节末期, 零售商将剩余产品以单位价格 r 进行处理, 且 $r < c_s$ 。

(4) X 为市场总需求, 由市场随机需求 a 和促销引致需求 $b(\theta)$ 共同构成, 即 $X = a + b(\theta)$ 。其中, a 为独立的随机变量, $f(a)$ 、 $F(a)$ 分别为其概率密度和分布函数; $b(\theta)$ 是由促销引起的需求量, 它仅由促销力度 $\theta (\theta \geq 0)$ 决定。根据现实情况易知 $b(\theta)$ 是单调增函数, 那么 X 的概率密度和分布函数分别为 $f(x|\theta) = f(x - b(\theta))$ 、 $F(x|\theta) = F(x - b(\theta))$ 。

(5) $g(\theta)$ 为零售商在促销力度为 θ 时的促销成本, $g(\theta)$ 为单调增函数。

(6) 供应商与零售商建立了收益共享机制, 产品销售完成之后两者共享整个供应链的总收益, 其中零售商获得的总收益份额为 λ , 而供应商获得的总收益份额为 $(1 - \lambda)$ 。

收稿日期: 2010-09-06

作者简介: 张伟(1976-), 男, 四川广安人, 西安理工大学经济与管理学院市场营销系讲师, 研究方向为营销策略和供应链管理。

2 供应链收益共享机制下供应商与零售商的博弈

根据问题描述和 LF 博弈方法可知, 供应商是领导者, 零售商是追随者, 其决策的先后顺序是: 供应商先决定以批发价 h 将产品批发给零售商, 零售商再根据 h 决定它的最优产品订购量, 待产品销售完成后按照收益共享契约分享收益。因此, 这是一个完全信息状态下的动态博弈, 可以采用逆向归纳法求解^[9]。下面就来考察供应商与零售商的决策及其相互作用。

2.1 分散决策状态下的博弈分析

在分散决策状态下, 供应商先决定 h , 之后零售商据此决定最优产品订购量, 以最大化自己的利润。

供应商的期望收益函数为

$$E\Pi_S^S = (h - c_s)q \quad (1)$$

零售商的期望收益函数为

$$E\Pi_R^S = p \left[q - \int_{b(\theta)}^q F(x - b(\theta)) dx \right] - (h + c_r)q + r \left[\int_{b(\theta)}^q F(x - b(\theta)) dx \right] - g(\theta) \quad (2)$$

对式(2)求关于 q 和 θ 的偏导数, 得

$$\frac{\partial E\Pi_R^S}{\partial q} = p[1 - F(q - b(\theta))] - h - c_r + rF(q - b(\theta)) \quad (3)$$

$$\frac{\partial E\Pi_R^S}{\partial \theta} = (p - h - c_r)b'(\theta) - g'(\theta) \quad (4)$$

令式(3)、(4)等于零, 得

$$q^\wedge = F^{-1} \left(\frac{p - h - c_r}{p - r} \right) + b(\theta) \quad (5)$$

$$(p - h - c_r)b'(\theta^\wedge) - g'(\theta^\wedge) = 0 \quad (6)$$

关于 q^\wedge 和 θ^\wedge 具体表达式的求解, 则需知道 $b(\theta)$ 和 $g(\theta)$ 的具体表达式以及随机变量 X 的分布函数才能给出。 $(q^\wedge, \theta^\wedge)$ 即为分散决策状态下的最优解, 亦为此博弈的均衡解。

将 $(q^\wedge, \theta^\wedge)$ 代入式(1)、(2), 得分散决策状态下供应商与零售商的最大期望收益分别为

$$E\Pi_S^{S^\wedge} = (h - c_s)q^\wedge \quad (7)$$

$$E\Pi_R^{S^\wedge} = p \left[q^\wedge - \int_{b(\theta^\wedge)}^{q^\wedge} F(x - b(\theta^\wedge)) dx \right] - (h + c_r)q^\wedge + r \left[\int_{b(\theta^\wedge)}^{q^\wedge} F(x - b(\theta^\wedge)) dx \right] - g(\theta^\wedge) \quad (8)$$

2.2 集中决策状态下的博弈分析

在集中决策状态下, 由于供应商和零售商之间达成了完全的协作关系, 故可以将两者作为一个整体, 此时供应链系统的收益是最大的。而建立收益共享契约的目的就是使供应链系统的绩效达到集中决策的水平。

集中决策下供应链系统的期望收益函数为

$$E\Pi_{SC} = p \left[q - \int_{b(\theta)}^q F(x - b(\theta)) dx \right] - (c_s + c_r)q + r \left[\int_{b(\theta)}^q F(x - b(\theta)) dx \right] - g(\theta) \quad (9)$$

对式(9)求关于 q 和 θ 的偏导数, 得

$$\frac{\partial E\Pi_{SC}}{\partial q} = p[1 - F(q - b(\theta))] - c_s - c_r + rF(q - b(\theta)) \quad (10)$$

$$\frac{\partial E\Pi_{SC}}{\partial \theta} = (p - c_s - c_r)b'(\theta) - g'(\theta) \quad (11)$$

令式(10)、(11)等于零, 得

$$q^* = F^{-1} \left(\frac{p - c_s - c_r}{p - r} \right) + b(\theta) \quad (12)$$

$$(p - c_s - c_r)b'(\theta^*) - g'(\theta^*) = 0 \quad (13)$$

关于 q^* 和 θ^* 具体表达式的求解, 也需知道 $b(\theta)$ 和 $g(\theta)$ 的具体表达式以及随机变量 X 的分布函数才能给出。

将 q^* 和 θ^* 代入式(9), 可得到供应链系统在集中决策下所能达到的最大期望收益, 即

$$E\Pi_{SC}^* = p \left[q^* - \int_{b(\theta^*)}^{q^*} F(x - b(\theta^*)) dx \right] - (c_s + c_r)q^* + r \left[\int_{b(\theta^*)}^{q^*} F(x - b(\theta^*)) dx \right] - g(\theta^*) \quad (14)$$

此时, 在收益共享机制下, 零售商的期望收益函数为

$$E\Pi_R^C = \lambda p \left[q - \int_{b(\theta)}^q F(x - b(\theta)) dx \right] - (h + c_r)q + \lambda r \left[\int_{b(\theta)}^q F(x - b(\theta)) dx \right] - \lambda g(\theta) \quad (15)$$

对式(15)求关于 q 的偏导数, 得

$$\frac{\partial E\Pi_R^C}{\partial q} = \lambda p[1 - F(q - b(\theta))] - h - c_r + \lambda rF(q - b(\theta)) \quad (16)$$

令式(16)等于零, 得

$$F(q^{**} - b(\theta)) = \frac{\lambda p - h - c_r}{\lambda(p - r)} \quad (17)$$

即

$$q^{**} = F^{-1} \left[\frac{\lambda p - h - c_r}{\lambda(p - r)} \right] + b(\theta) \quad (18)$$

将式(18)代入式(15), 然后求关于 θ 的偏导数, 得

$$\frac{\partial E\Pi_R^C}{\partial \theta} = (\lambda p - h - c_r)b'(\theta) - \lambda g'(\theta) \quad (19)$$

令式(19)等于零, 得

$$(\lambda p - h - c_r)b'(\theta^{**}) - \lambda g'(\theta^{**}) = 0 \quad (20)$$

在收益共享机制下, 供应商和零售商的决策应当使供应链系统达到集中决策状态下的水平, 要满足这一条件, 需令 $q^* = q^{**}$ 且 $\theta^* = \theta^{**}$ 成立。比较式(12)和式(18), 可知 $h = \lambda(c_s + c_r) - c_r$; 再比较式(13)和式(20), 可得同样结论。

将 $h = \lambda(c_s + c_r) - c_r$ 代入式(15), 可得集中决策状态下零售商的最大期望收益为

$$E\Pi_R^{C^*} = \lambda p \left[q - \int_{b(\theta)}^q F(x - b(\theta)) dx \right] - \lambda(c_s + c_r)q + \lambda r \left[\int_{b(\theta)}^q F(x - b(\theta)) dx \right] - \lambda g(\theta) \quad (21)$$

那么, 集中决策状态下供应商的最大期望收益为

$$E\Pi_S^{C^*} = E\Pi_{SC}^* - E\Pi_R^{C^*} = (1 - \lambda)E\Pi_{SC}^* \quad (22)$$

3 供应商与零售商收益共享契约的设计

根据个性理性原则，供应商和零售商会首先考虑自己的收益，只有在满足自己最大化收益的前提下才会考虑供应链系统收益的最大化。所以，双方都能接受收益共享契约的必要条件是：保证在该契约下双方的收益均是 Pareto 改进，也就是说，在该契约下双方所获得的收益应大于分散决策状态下各自所获得的收益，即满足 $E\Pi_S^{C^*} > E\Pi_S^{S^*}$ ，且 $E\Pi_R^{C^*} > E\Pi_R^{S^*}$ ，将式(14)、(21)、(22)代入这两个不等式，得

$$\frac{E\Pi_R^{S^*}}{E\Pi_{SC}^{S^*}} < \lambda < 1 - \frac{E\Pi_S^{S^*}}{E\Pi_{SC}^{S^*}} \quad (23)$$

在进行收益共享契约设计时，必须使 λ 的取值范围满足式(23)，只有这样供应商才愿意提出收益共享契约，同时零售商也愿意接受该契约。这里 λ 的具体取值需要供应链成员在谈判中协商确定，这一般取决于供应链成员之间的谈判能力。

4 数值算例分析

为了更好地说明供应链的收益共享博弈与契约设计过程，现选择某品牌奶粉的生产与销售供应链进行算例分析。根据对该产品的生产与销售情况调查可知， $h = 20$ ， $r = 6$ ， $c_s = 10$ ， $c_r = 2$ ， $p = 30$ ， $b(\theta) = 100\theta$ ， $g(\theta) = 100\theta^2$ ， a 服从 $[40, 200]$ 上的均匀分布，将这些数值代入前述相关式子，可得 $0.48 < \lambda < 0.80$ 。供应商在向零售商提出收益共享契约时，只要契约参数 λ 在上述区间内，零售商就可以接受。当契约参数 λ 在上述区间内取不同的数值时，各变量变化情况如表 1 所示。由表 1 可看出，建立收益共享契约后，在供应商与零售商的收益都得以提升的同时，供应链系统的收益也得到了提升。由于收益共享契约中契约参数 λ 在保证供应链协调的基础上，可以实现对供应链系统收

表 1 不同 λ 时分散决策与收益共享契约下的主要变量值

λ	$E\Pi_S^{S^*}$	$E\Pi_S^{C^*}$	$E\Pi_R^{S^*}$	$E\Pi_R^{C^*}$
0.50	1 780.00	2 238.75	689.00	746.25
0.54	1 780.00	2 179.05	689.00	805.95
0.58	1 780.00	2 119.35	689.00	865.65
0.62	1 780.00	2 059.65	689.00	925.35
0.66	1 780.00	1 999.95	689.00	985.05
0.70	1 780.00	1 940.25	689.00	1 044.75
0.74	1 780.00	1 880.55	689.00	1 104.45
0.78	1 780.00	1 820.85	689.00	1 164.15
0.80	1 780.00	1 791.00	689.00	1 194.00

益的任意分配，这就为供应商和零售商获取相关收益提供了柔性，有利于该契约的实施。

5 结语

本文分别从分散决策状态和集中决策状态研究了供应商与零售商的博弈过程，得出了满足双方最优决策的博弈均衡解，在此基础上设计了供应链收益共享契约，给出了双方能够接受契约的参数范围，并应用数值算例对契约参数变动时各主要变量的变化情况进行了说明。

参考文献：

[1] 杨德礼 等. 供应链契约研究进展 [J]. 管理学报, 2006, 3(1): 117-125.

[2] MORTIMER J H. The effects of revenue-sharing contracts on welfare in vertically separated markets: evidence from the video rental industry [R]. Los Angeles, USA: University of California at Los Angeles, 2000: 39-45.

[3] 赵晗萍 等. 供应链博弈问题综述 [J]. 北京航空航天大学学报: 社会科学版, 2005, 18(4): 1-4.

[4] PADMANABHAN V, PING I P L. Manufacturer's returns policy and retail competition [J]. Marketing Science, 1997, 16(1): 81-94.

[5] TSAY A A, LOVEJOY W S. Quantity-flexibility contracts and supply chain performance [J]. Manufacturing and Service Operations Management, 1999, 1(2): 118-149.

[6] DANA J, SPIER K. Revenue sharing and vertical control in the video rental industry [J]. The Journal of Industrial Economics, 2001, 49(3): 223-245.

[7] GIANNOCCARO I, PONTRANDOLFO P. Supply chain coordination by revenue sharing contracts [J]. Production Economics, 2004, (89): 131-139.

[8] SHANHAN S S, PROTH J M. Analysis of a supply chain partnership with revenue sharing [J]. International Journal of Production Economics, 2005, 97(1): 44-51.

[9] 汪贤裕, 肖玉明. 博弈论及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 86-87.

(责任编辑：胡俊健)

Game and Contract Design of Revenue Sharing in Supply Chain

ZHANG Wei

(School of Economics and Management, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: Revenue sharing contract is designed from a perspective of gaming in this paper. First of all, the game process between a supplier and a retailer under revenue sharing mechanism is studied by Leader-Follower Game. Then game-equilibrium solution which satisfies both parties' optimal decision is given. On the basis of game analysis, revenue sharing contract is designed. Finally, a parameter range of revenue sharing contract which both parties can accept is given.

Key Words: revenue sharing; contract design; Leader-Follower Game