

基于讨价还价博弈的供应链协调研究

暨南大学管理学院 江春燕 苏保河

摘要: 本文对两级供应链系统进行研究,该系统由一个制造商和一个零售商组成。文章根据stackelberg博弈的分析框架,分析报童模型下两级供应链的双边际化效应,建立基于报童模型的分散式系统、集中式系统的制造商、零售商利润模型,讨论如何通过回购契约来消除“双边际化效应”。并且研究了在合作博弈的情况下,利用纳什讨价还价模型来讨论供应链的利益分配问题,确定回购契约的参数,最终实现供应链协调。

关键词: stackelberg博弈 纳什讨价还价 契约机制 供应链协调

中图分类号: F713 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-5800(2013)01(b)-029-02

供应链中的协调机制是用于使所有成员共同协作的一系列满足预定设定目标的有顺序的处理过程,用于规范系统的多个组成部分的行为。Spengler^[1]通过对报童模型的研究,定义了“双重双边际化效应”。针对供应链协调问题,国内外的学者已经取得了大量的研究成果,如收益共享契约、回购契约、柔性契约、数量折扣契约等等。对于供应链上的企业来说,选择合适的、简单实用的协调方法显得尤为重要。因此在设计供应链协调契约机制时必须要考虑两个问题:第一,什么样的契约能够协调供应链?第二,供应链中的利润如何分配?然而,由于供应链中的各个企业的市场地位和实力不尽相同,所以会导致各个节点企业的讨价还价能力有所不同,而讨价还价能力决定着利益分配的情况。因此本文就从讨价还价博弈的角度来研究供应链的协调问题。

1 基于报童模型的两级供应链契约分析

1.1 模型的假设及参数定义

为了便于相关的分析,假设产品是时令性,并且定货周期较长。零售商面临的市场需求是随机的。本文根据stackelberg博弈理论对制造商和零售商之间的相互作用进行研究,制造商是leader,零售商是follower,制造商给定相关契约参数,零售商据此确定最优产品订购量。同时假设市场是开放的,相关产品价格、需求参数等信息是对称的,而且制造商和零售商将根据利润最大化原则进行决策。

模型中涉及符号定义如下^[2]。c:单位产品的生产成本;w:制造商给予零售商的单位产品批发价;p:商品的中位零售价格;b:在销售季节末单位产品的回购价格;q:销售季节前,零售商向制造商订购的商品数量; π_m :表示制造商利润; π_r :表示零售商利润; π_{sc} :表示供应链总利润;x:顾客需求随机变量,f(x)和F(x)分别是顾客需求的概率密度函数和分布函数,并且; $v < c < w < p$ 。

1.2 stackelberg博弈下报童模型的供应链模型分析

1.2.1 集中式供应链系统模型分析

在集中式供应链系统下,制造商和供应商是一个利益共同体。两者协作的目的是实现供应链整体利润最大化,同时也是两者相互独立时分散供应链系统采取协作策略追求的最优目标。在集中式供应链系统的模式下,供应链系统生产q单位的产品,并且以价格p直接销售给消费者,它是以确定一个最优的订购量(或生产量)来实现使供应链整体利润最大化为目的。

用 $Q(x)$ 表示期望销售量,则销售量函数表示为:

$$Q(x) = \begin{cases} x, & x < q \\ q, & x \geq q \end{cases}$$

因此,产品的期望销售量为:

$$E[Q(X)] = \int_0^{\infty} Q(x)f(x)dx = q - \int_0^q F(x)dx \quad (1)$$

集中式供应链的期望总利润为:

$$\pi_{sc}(q) = pE[Q(X)] - cq$$

化简后期望总利润为:

$$\pi_{sc}(q) = (p-c)q - p \int_0^q F(x)dx \quad (2)$$

对 $\pi_{sc}(q)$ 关于q求一阶导数得到:

$$\frac{\partial \pi_{sc}(q)}{\partial q} = p - c - pF(q);$$

对 $\pi_{sc}(q)$ 关于q求二阶导数:

$$\frac{\partial^2 \pi_{sc}(q)}{\partial q^2} = -pf(q) < 0;$$

由上可知 $\pi_{sc}(q)$ 有最大值。

令 $\frac{\partial \pi_{sc}(q)}{\partial q} = 0$,得到最优订购量为:

$$q_{sc}^* = \arg \max \pi_{sc}(q) = F^{-1}\left(\frac{p-c}{p}\right) \quad (3)$$

此时,供应链系统的利润为:

$$\pi_{sc}(q) = (p-c)q_{sc}^* - p \int_0^{q_{sc}^*} F(x)dx \quad (4)$$

1.2.2 分散式供应链系统模型分析

在分散式供应链系统模型中,零售商的期望利润为:

$$\pi_r(q) = p \left[q - \int_0^q F(x)dx \right] - wq$$

化简后得到零售商的期望利润为:

$$\pi_r(q) = (p-w)q - p \int_0^q F(x)dx \quad (5)$$

同样,得到分散系统下零售商在最大化自己的期望利润时的最优订购量为:

$$q_r^* = \arg \max \pi_r(q) = F^{-1}\left(\frac{p-w}{p}\right)$$

分散供应链下制造商的利润函数为:

$$\pi_m(q) = w \left[q - \int_0^q F(x)dx \right] - cq = (w-c)q - (w-v) \int_0^q F(x)dx$$

分散供应链下制造商的最优决策:

$$q_m^* = \arg \max \pi_m(q) = F^{-1}\left(\frac{w-c}{w}\right)$$

1.3 报童模型下供应链的最优订购量的对比分析

由之前的假设条件 $v < c < w < p$,可以得到,

$$q_r^* = F^{-1}\left(\frac{p-w}{p-v}\right) < q_{sc}^* = F^{-1}\left(\frac{p-c}{p-v}\right), \quad q_r^* < q_{sc}^*$$

由上式可以看出,分散式供应链的订购量小于集中式供应链下的订购量。

供应链利润的变化 $\Delta \pi = \pi_{sc} - (\pi_m + \pi_r)$ 。

上述的式子表明了双边际化效应所带来的影响,即分散系统的产品最优订购量将比协作一体化模式的系统订购量更小,因而它们所带来的总体利润也比一体化决策条件下所获得的利润更小。

2 基于stackelberg博弈的供应链回购契约模型分析与研究

我们知道,回购的概念指的就是当零售商订购量大于市场需求时,允许下游成员以一定的返销价格将剩余的商品退售给上游成员,从而达到风险共担的协调。接下来我们根据报童模型所阐述的相关概念,来进行回购契约式达到供应链系统完美协调的研究。文中所描述的模型是基于由一个制造商和一个零售商所组成的供应链系统。模型假设系统存在的是单一制造商制造单一产品,然后将产品提供给单一零售商的情况。当制造商与零售商之间缺乏相互协作的时候,零售商将只会着重考虑自己利益最大化,而不会考虑制造商的利益,它会根据自身的利益来决定最佳的产品订货量;而制造商此时也只能根据零售商的订货需求来进行相关的生产安排并供应零售商所需要的货物量。这种情况下的最终后果就是双边边际化效应的产生,也就使整个供应链系统的利益都受到损失,而没有达到整体的利益最大化。

在文中所描述的回购契约模型中,制造商要详细说明批发价格 w 和回购价格 b 。双方作为供应链系统的合作者,都明白在回购契约下,零售商订货的灵活性会降低,而剩余库存量也会增加。为了补偿零售商的部分损失,生产商将会提供回购,一旦规定了回购价格 b ,零售商将确定其订货数量,以使其利润最大化。在这个模型系统中,由于各方面的信息实现共享透明化,所以制造商对零售商在销售商品时的产品价格、相关成本,以及市场的需求参数都了解,从而制造商能够用根据零售商的订购数量以及预期的产品回购数量,来进行最终产品回购价格的确定,最终实现制造商的利益最大化。因而这样一个通过回购契约来确定双方的订货产品价格数量以及相应的回购产品价格数量的问题研究就构成一个Stackelberg模型。同样,在这个模型中这里制造商为leader,零售商为follower。

集中式供应链的期望总利润为:

$$\Pi_{sc}(q) = (p-c)q - p \int_0^q F(x)dx.$$

集中式供应链系统的最优订购量为:

$$q_{sc}^* = \arg \max \Pi_{sc}(q) = F^{-1}\left(\frac{p-c}{p}\right).$$

分散系统下缔结契约时零售商的利润函数为:

$$\Pi_r^b(q) = p \left[q - \int_0^q F(x)dx \right] + b \int_0^q (q-x)f(x)dx - qw$$

其中,第一项是销售收入的期望值,第二项是退货款的期望值,第三项是购买成本。

$$\Pi_r^b(q) = (p-w)q - (p-b) \int_0^q F(x)dx \quad (6)$$

同样,得到分散系统下零售商在最大化自己的期望利润时最优订购量:

$$q_r^b = F^{-1}\left(\frac{p-w}{p-b}\right)$$

当 $q_r^b = q_{sc}^*$ 时,零售商选定的最优订货量也是供应链整体运作绩效达到最优时的订货量,这时零售商单方面的最优就是供应链整体的最优。

由 $\frac{p-w}{p-b} = \frac{p-c}{p}$ 得到 $b = \frac{p}{p-c}(w-c)$ 。可以看出 $b(w)$ 与需求的分布无关。

$$\text{令} \begin{cases} p-w = \lambda(p-c) \\ p-b = \lambda p \end{cases} \text{其中} 0 < \lambda < 1 \text{, 求得}$$

$$\begin{cases} w = (1-\lambda)p + \lambda c \\ b = (1-\lambda)p \end{cases} \quad (7)$$

将式(7)代入到分散系统下缔结契约时零售商的利润函数(6)中,得到:

$$\Pi_r^b(q) = \lambda(p-c)q - \lambda p \int_0^q F(x)dx = \lambda \left[(p-c)q - p \int_0^q F(x)dx \right] = \lambda \Pi_{sc} \quad (8)$$

分散系统下缔结契约时零售商的利润函数为:

$$\Pi_m^b(q) = (1-\lambda) \Pi_{sc} \quad (9)$$

根据帕累托改进的原则,在引入了回购契约机制后,供应链中各个节点企业的收益至少要大于或者等于没有这种契约时的收益。由此得到

$$\text{对于零售商而言 } \lambda \geq \frac{\Pi_{sc}}{\Pi_{sc} - \Pi_m}$$

$$\text{对于零售商而言 } \lambda \leq \frac{\Pi_{sc} - \Pi_m}{\Pi_{sc}}$$

$$\text{所以得到可行范围 } \lambda \in \left[\frac{\Pi_{sc}}{\Pi_{sc} - \Pi_m}, \frac{\Pi_{sc} - \Pi_m}{\Pi_{sc}} \right]$$

在分散的供应链系统中引入回购契约机制来使得分散系统的最优订购量达到集中式系统的最优订购量,即 $q_r^b = q_{sc}^*$ 。因此此时供应链的利润增量为 $\Delta \Pi = \Pi_{sc} - (\Pi_m + \Pi_r)$ 。

3 基于纳什讨价还价模型的利润分配

只有当利润分配都符合各个企业的利益时,供应链的合作关系才能够达到协调。借鉴合作博弈的纳什讨价还价博弈模型^[7],本文给出供应链的利润分配比例 λ 的具体表达式。

在合作博弈的情况下,双方就供应链利润的分配比例 λ 进行谈判。则 λ 的取值满足如下的优化问题:

$$\max_{\lambda_{\min} \leq \lambda \leq \lambda_{\max}} \left[\prod_{sc}^b - \prod_{sc}^r \right]^k \left[\prod_{sc}^b - \prod_{sc}^s \right]^{1-k} \quad (10)$$

其中 $0 < k < 1$ 表示零售商的议价能力。解得: $\lambda^* = k\lambda_{\max} + (1-k)\lambda_{\min}$

将式(10)代入到 $\Pi_r^b = \lambda \Pi_{sc}$ 中得到分散供应链下且缔结回购契约时的利润:

$$\Pi_r^b = \lambda^* \Pi_{sc} = [k\lambda_{\max} + (1-k)\lambda_{\min}] \Pi_{sc} = \Pi_{sc} + k \Delta \Pi \quad (11)$$

因此,零售商的利润分配和其自身的谈判能力成正比,谈判能力越大,其分到的利润就越大。

将 λ^* 代入到 $\Pi_m^b = (1-\lambda) \Pi_{sc}$ 中得到 $\Pi_m^b = \Pi_{sc} + (1-k) \Delta \Pi$ 。由此可见,制造商的利润分配和其自身的谈判能力成正比,谈判能力越大,其分到的供应链中的利润就越大。在合作博弈的情况下,双方通过讨价还价来确定供应链中的利润分配,且利润分配的结果与讨价还价的能力成正比。当确定之后,就可以来确定 (w, b) 来回购契约的参数。

4 结语

本文首先研究了stackelberg博弈下基于报童模型的集中式供应链系统模型,解出了集中式系统下的最优订购量和最优利润,然后分析了分散式供应链系统下的最优产品订购量,这个系统是基于报童模型。此外,文章分析了如何通过回购契约来消除“双边边际化效应”,使利润增加,从而实现独立个体最优决策与系统最优决策一致化的供应链整合。进一步地,文章分析了在合作博弈情况下,借助于纳什讨价还价模型讨论供应链利润分配问题,通过得到最优纳什解来确定回购契约参数,能确保在利用回购契约相关参数的条件下,使得制造商和零售商的利润比各自未曾合作决策的条件下更高。从而使得供应链的双方在风险分担和利润分配的两个关键方面达到一致。

参考文献

- [1] 王利良,王嵩.非对称信息下讨价还价的动态博弈——以三阶段讨价还价为例[J].系统工程理论与实践,2010,30(9).
- [2] 张维迎.博弈论与信息经济学[M].上海:上海人民出版社,2004.