供应链伙伴的合作博弈研究

郑君君[1], 刘　恒[1], 陈京华[2]

(1.武汉大学 经济与管理学院, 湖北 武汉 430072; 2.中兴通讯股份有限公司, 广东 518057)

摘　要: 尝试把合作博弈理论用于供应链研究中, 通过建立链主企业(生产商)与销售商的合作博弈模型, 分析了合作与否对供应链成本及效益的影响。在此基础上, 通过建立生产商补偿支付激励模型、重复博弈和惩罚博弈模型, 得到了合作博弈中 Nash 均衡的解——(合作, 合作), 从而证明了在整个供应链中供应链伙伴的合作能带来比不合作时更多的收益。

关键词: 合作博弈; 供应链; 博弈; 生产存储模型; 补偿支付

中图分类号: F253.9　　文献标识码: A　　文章编号: 1001- 7348(2006)07- 0144- 03

1　供应链伙伴合作博弈内涵

博弈论是研究决策主体行为相互作用以及决策均衡问题的一门学科, 它的基本概念包括局中人、战略、支付、行动、信息、结果和均衡, 以上也是一个完整博弈的基本要素。博弈论依据当事人是否达成具有约束力的协议分为合作博弈和非合作博弈, 合作博弈是指"参与者从自己的利益出发与其他参与者达成协同或形成联盟, 其结果对双方均有利; 非合作博弈是指参与者在行动选择时无法达成约束性的协议"[1]。可见, 合作博弈强调团体理性、效率、公平, 非合作博弈论强调个人理性、个人最优决策。

供应链是围绕产品或服务全过程组建的价值链条, 作为链主企业, 要提升自身企业的效率和效益, 首先要提升整个供应链的效率和效益, 这就需要与合作伙伴进行协商和合作, 以链主企业的理性来公平地对待伙伴, 创造一种和谐的氛围。这种和谐氛围中的分工与交换的经济活动, 就是一种合作性的博弈。当今, 供应链协同运作更强调伙伴间的协同商务理念, 即链主企业与合作伙伴协同预测市场、协同采购、协同研发、协同制造, 协同整个产品生产和服务的全过程, 不但协同行为有先后顺序, 更重要的是协同行为是透明的。所以, 供应链伙伴间的合作博弈又是动态的, 可以称其为动态合作博弈。

本文尝试把合作博弈理论运用到供应链研究中, 通过建立合作博弈模型, 探求均衡解, 来揭示供应链伙伴合作在何种条件下都能带来整个供应链相对于不合作时的最大收益, 以期望能从博弈的视角, 观察链主企业与合作伙伴如何在分工与合作的经济活动中达到均衡。

2　供应链伙伴合作博弈模型

供应链中的合作关系可以定义为在供应链上有相互关系的链主企业和非链主企业之间, 在一定时期内的共享信息、共担风险、共同获利的一种协议关系。这种合作关系, 形成于供应链中为了特定目标和利益的伙伴企业之间。供应链中的合作关系从总体上可概括为供给方和需求方之间的关系, 实际经济活动中通常表现为供应商和生产商、生产商和销售商、生产商和客户之间的关系。本文着重讨论供应链中的生产商和销售商之间的合作与否对整个供应链成本和效益的影响, 进而求得博弈均衡解, 并以此修正和指导供应链中的合作关系, 使供应链的效率和效益有效提升。

2.1　双方不合作的成本——收益模型

在博弈论中, 双方不合作是指参与者在行动选择时无法达成约束性的协议。为简化研究过程的复杂程度, 并考虑切合企业实际, 这里首先给出生产商和销售商博弈的基本假设: ①只考虑存在一个销售商和一个生产商的供应链情况; ②生产商的生产准备成本比较大; ③在一定时期里, 销售商的每次订货量保持不变; ④销售商的需求在时间上是均匀分布的, 且需求是连续的; ⑤单位存储费用不变, 缺货费用无穷大。

对于销售商来说, 假设: p_1 为销售商购买此商品的单价, s_1 为销售商的年销售量(也即销售商的年订货量), q_1 为销售商的每次订货批量, c_1 为销售商的每次订单处理费用, c_2 为销售商的单位库存费用, 则 $\frac{q_1c_2}{2}$ 为销售商的年平均库存费用, 销售商出售此商品的单价为 $p_2(p_2\geq p_1)$。

则销售商的年总成本 $C_1(q_1)$为:

$$C_1(q_1)=p_1s_1+\frac{s_1c_1}{q_1}+\frac{q_1c_2}{2} \tag{1}$$

收稿日期: 2005- 09- 09

基金项目: 国家自然科学基金项目(70271076)

作者简介: 郑君君(1966-), 女, 湖北松滋人, 武汉大学经济与管理学院副教授、博士研究生, 研究方向为投融资管理、物流管理; 刘恒(1975-), 男, 河南洛阳人, 武汉大学经济与管理学院管理科学与工程专业研究生, 研究方向为投融资管理、物流管理。

销售商的年收益为：

$$Y_1(q_1)=(p_2-p_1)s_1-\frac{s_1c_1}{q_1}-\frac{q_1c_2}{2} \qquad (2)$$

对于生产商来说，假设：i 为生产商的利润率；N 为生产商的年生产次数；n 为销售商的年订购次数；c_3 为生产商的每次生产准备成本；c_4 为生产商的每次订单处理成本；q_2 为生产商的每次生产的产品数量；q_3 为生产商的年库存量；c_5 为生产商的单位库存费用；R 为生产商的年生产能力，显然（$R\geq q_2$）。

则有：$q_2=nq_1$；$n=\frac{q_2}{q_1}$；$N=\frac{s_1}{q_2}=\frac{s_1}{nq_1}$

借用运筹学中关于'存储论'生产存储模型的相关知识[2]：生产商的年平均库存量 $q_3=\frac{q_1}{2}\left[(n-1)-(n-2)\frac{s_1}{R}\right]$，由此得出：生产商的总成本为：

$$C_2(q_1)=p_1s_1(1-i)+Nc_3+\frac{s_1c_4}{q_1}+c_5q_3(1-i) \qquad (3)$$

将 $N=\frac{s_1}{q_2}=\frac{s_1}{nq_1}$，$q_3=\frac{q_1}{2}\left[(n-1)-(n-2)\frac{s_1}{R}\right]$ 带入（3）式，得出：

$$C_2(q_1)=p_1s_1(1-i)+\frac{s_1c_3}{nq_1}+\frac{s_1c_4}{q_1}+c_5q_1(1-i)\left[\frac{n-1}{2}-\frac{n-2}{2R}\right] \qquad (4)$$

生产商的年收益为：$Y_2(q_1,q_2)$=利润－生产准备成本－年订单处理成本－年存储费用，即：

$$Y_2(q_1,q_2)=ip_1s_1-\frac{s_1c_3}{q_2}-\frac{s_1c_4}{q_1}-c_5q_3$$

$$=ip_1s_1-\frac{s_1c_3}{q_2}-\frac{s_1c_4}{q_1}-\frac{c_5q_1}{2}\left[(n-1)-(n-2)\frac{s_1}{R}\right]$$

$$=ip_1s_1-\frac{s_1c_3}{q_2}-\frac{s_1c_4}{q_1}-\frac{c_5[(2s_1-R)q_1+(R-s_2)q_1]}{2R} \qquad (5)$$

对（2）式中的 q_1 求偏导得：

$$\frac{\partial Y_1}{\partial q_1}=\frac{c_1s_1}{q_1^2}-\frac{c_2}{2}$$

令 $\frac{\partial Y_1}{\partial q_1}=0$，得出 $q_1^a=\sqrt{\frac{2s_1c_1}{c_2}}$（即在不合作时销售商每次以订货批量 q_1^a 订货时可获得最大收益）。

对（5）式中的 q_2 求偏导得：

$$\frac{\partial Y_2}{\partial q_2}=\frac{c_3s_1}{q_2^2}-\frac{(s_1-R)c_5}{2R}$$

令 $\frac{\partial Y_2}{\partial q_2}=0$，得出 $q_2^a=\sqrt{\frac{2c_3s_1R}{(R-s_1)c_5}}$（即在不合作时生产商以每次生产产品 q_2^a 数量时可获得最大收益）。

由上面的分析得出供应链双方不合作时销售商的最优订购批量 q_1^a 和生产商的最优生产批量 q_2^a，据此可以求得双方不合作时各自的最优年收益 $Y_1(q_1^a)$ 和 $Y_2(q_1^a,q_2^a)$，于是有：

$$Y_1(q_1^a)=(p_2-p_1)s_1-\sqrt{2s_1c_1c_2}$$

$$Y_2(q_1^a,q_2^a)=ip_1s_1-\sqrt{\frac{s_1c_3c_5(R-s_1)}{2R}}-\sqrt{\frac{s_1c_3c_4^2}{2c_2}}-\frac{c_5(2s_1-R)\sqrt{\frac{2s_1c_1}{c_2}}}{2R}-\sqrt{\frac{2s_1c_3c_5R(R-s_1)}{2R}}$$

2.2 双方合作博弈模型

双方合作是指，双方自愿的达成协议的合作。这里假定供应链的整体收益为：

$$Y(q_1,q_2)=Y_1(q_1)+Y_2(q_1,q_2)$$

$$Y(q_1,q_2)=(p_2-p_1)s_1-\frac{s_1c_1}{q_1}-\frac{q_1c_2}{2}+ip_1s_1-\frac{s_1c_3}{q_2}-\frac{s_1c_4}{q_1}-\frac{c_5[(2s_1-R)q_1+(R-s_2)q_1]}{2R} \qquad (6)$$

对（6）式中的 q_1 求偏导得：

$$\frac{\partial Y}{\partial q_1}=\frac{c_1s_1}{q_1^2}+\frac{c_4s_1}{q_1^2}-\frac{c_2}{2}-\frac{c_5(2s_1-R)}{2R}$$

令 $\frac{\partial Y}{\partial q_1}=0$，得：

$$q_1^*=\sqrt{\frac{2Rs_1(c_1+c_4)}{2s_1c_5+Rc_2-Rc_5}} \qquad (7)$$

（7）式表示在双方合作时，销售商以 q_1^* 的订购批量订货才能保证整个供应链的收益最大化。

对（6）式中的 q_2 求偏导得：

$$\frac{\partial Y}{\partial q_2}=\frac{c_3s_1}{q_2^2}+\frac{(s_1-R)c_5}{2R}$$

令 $\frac{\partial Y}{\partial q_2}=0$，得出：

$$q_2^*=\sqrt{\frac{2c_3s_1R}{(R-s_1)c_5}} \qquad (8)$$

（8）式表示在双方合作时，生产商需以每次生产 q_2 数量的产品才能保证整个供应链的收益最大化。

2.3 合作与非合作博弈模型分析

由上述两种不同的模型可知：对于生产商来说合作与不合作的最优生产批量是相同的，即 $q_2^a=q_2^*$；而对于销售商来说最优订购批量就不同了，即 $q_1^a\neq q_1^*$。由（7），（8）式可求出订购次数 n^*。

$$n^*=\frac{q_2}{q_1}=\sqrt{\frac{c_3s_1R(2s_1c_5+c_2R-c_5R)}{s_1c_5R(R-s_1)(c_1+c_4)}}$$

当 $n^*\leq1$ 时，取 $n^*=1$，此时 $q_1^*=q_2^*$，这时的供应链生产订购最佳模型为 JIT 批量模型，即生产商严格按销售商的订货订单生产，销售商每次需求多少生产商就生产多少，从而实现'零库存'。当 $n^*>1$ 时，n^* 即为双方合作时最优的订购次数 n。这里对 $n^*>1$ 时的供应链整体收益进行分析。假定：供应链伙伴双方合作与不合作时整个供应链的收益之差为 $\Delta Y(q_1,q_2)$，销售商的收益之差为 $\Delta Y_1(q_1)$；生产商的收益之差为 $\Delta Y_2(q_1,q_2)$。则：

$$\Delta Y(q_1,q_2)=Y(q_1^*,q_2^*)-Y_1(q_1^a)-Y_2(q_1^a,q_2^a)$$

由于伙伴双方的相互合作可以带来收益的增加已是不争的事实，所以有：$\Delta Y(q_1,q_2)\geq0$；又 $\Delta Y(q_1)=Y_1(q_1^*)-Y_1(q_1^a)$，得到：

$$\Delta Y_1(q_1)=-[c_1c_2R+(2s_1-R)c_1c_5-(c_1+c_4)c_2p_2)]\sqrt{\frac{s_1}{2R(c_1+c_4)(2s_1c_5+Rc_2-Rc_5)}}\leq0$$

同理有：$\Delta Y_2(q_1,q_2)=Y_2(q_1^*,q_2^*)-Y_2(q_1^a,q_2^a)=\Delta Y(q_1,q_2)-\Delta Y_1(q_1)\geq0$

由上得知：供应链双方的合作将使生产商的收益增加，而销售商的收益减少，这对于一次性的生产商与销售商的合作来说，生产商愿意合作，而销售商则不愿意合作。换句话说，这种博弈的结果无法达成均衡。

3 供应链伙伴合作博弈均衡解实现条件

依据博弈均衡理论，供应链中供需双方的博弈要达到均衡解需要以下 4 种条件：

（1）看合作是否能产生出优于不合作的结果。

（2）供应链双方可能合作的原因是一种激励机制，对合作不利的一方进行一定的补偿从而促使供应链双方合作。

（3）导致合作出现的原因是由于双方可能再次相遇，对未来的期望和担心将影响决策者的选择，显然决策者完全能够预见到同样或类似的情境将再次出现在双方的未来博弈中，因而促使决策者选择合作。在供应链中，供需双方的合作一面是它们有共同拓展市场的需要，另一面是双方可能在市场中再次相遇。从这个意义来看，选择与对方合作是着眼于未来长远利益，既是合作博弈的要求，也是明智之举。

（4）对实施非合作策略的背叛行为进行惩罚，即均衡是通过惩罚任何一个博弈者的不合作行为来实现的。在现实的供应链经济活动中，对非合作策略的背叛行为的惩罚，则是通过不合作带来的负面效应的影响来实施的。

正如前面所述，博弈均衡是一稳定的博弈结果，但并非所有博弈的结果都能成为均衡。因此，作为生产商的链主企业，更要清楚

地认识到，供应链上无处不存在博弈，博弈的非均衡将会使成本增加。链主企业实施供应链管理的目的，就是要使合作博弈达成均衡，这需要链主企业很好地把握合作博弈的均衡解策略，使供应链管理达到预期的目的。

4 供应链伙伴的合作博弈均衡解：(合作，合作)

在什么条件下才能使供应链上的生产商与销售商进行博弈合作，使整个供应链产生更大的收益？下面，从经济收益角度来分析链主企业的补偿支付激励、重复博弈和惩罚博弈，以寻求供应链伙伴合作博弈的均衡解，使供应链伙伴合作博弈的均衡解为：(合作，合作)。

4.1 补偿支付激励模型：生产商策略

由上面的分析得知，只有当生产商对由于合作引起的销售商利益的减少进行一定的补偿时，才有可能促使双方进行合作。

设：生产商对销售商的弥补支付为 x ($x \geq 0$) 则：对于生产商来讲 x 不应大于由于合作带来的利益增加值，即：$x \leq \Delta Y_2(q_1, q_2)$；对于销售商来讲 x 不应小于由于合作引起的利益减少值，即：$x \geq \Delta|Y_1(q_1)|$，于是有：$\Delta|Y_1(q_1)| \leq x \leq \Delta Y_2(q_1, q_2)$。

再设：参数θ为弥补支付系数，则θ满足 $[0, 1]$ 上的均匀分布，它表示生产商对销售商的弥补支付程度，则有 $x=\theta\Delta Y_2(q_1, q_2)+\Delta|Y_1(q_1)|$，于是生产商新的收益为：

$$Y_2^b(q_1^*, q_2^*)=Y_2(q_1^*, q_2^*)-x$$

销售商新的收益为$Y_1^b(q_1^*)=Y_1(q_1^*)+x$。则存在补偿支付情况下的博弈见附图。

		生产商	
		合作	不合作
供应商	合作	$Y_1(q_1^*)+x, Y_2(q_1^*, q_2^*)-x$	$Y_1(q_1^*), Y_2(q_1^*, q_2^a)$
	不合作	$Y_1(q_1^a), \quad Y_2(q_1^a, q_2^*)$	$Y_1(q_1^a), Y_2(q_1^a, q_2^a)$

附图 补偿支付情况下的博弈

由附图可知：对于生产商来说，因$Y_2(q_1^*, q_2^*)-x \leq Y_2(q_1^*, q_2^*)=Y_2(q_1^*, q_2^a)$，故生产商选择“不合作”。对于销售商来说，由于 $Y_1(q_1^*) \leq Y_1(q_1^a)$，故销售商选择“不合作”。对于此合作博弈问题的纳什均衡为：{不合作，不合作}。而唯一的纳什均衡解为{$Y_1(q_1^a)$, $Y_1(q_1^a, q_2^a)$}，这个均衡解表明在仅有一次博弈行为时，此双方不会进行合作。

此模型也同时说明了双方可以合作的可能性，即可以产生合作解，那就是双方的重复博弈。事实上，生产商的补偿支付激励行为，为双方的再次合作即重复博弈奠定了基础。

4.2 (合作，合作)：伙伴合作博弈的均衡解

供应链上一次性博弈行为的均衡解为(不合作，不合作)，即伙伴在行动选择时可能无法达成约束性协议。事实上，一个持续发展的供应链系统需要各合作伙伴的长期合作，即伙伴间的无限次重复博弈，并使其合作行为自觉地达成约束性协议。

(1)伙伴双方的重复博弈：帕累托最优解。要使供应链产生最大价值，伙伴双方的合作是基础。下面根据博弈理论的基本原理，来分析双方重复博弈的均衡解。

假定生产商的每个生产周期为 1 年，则合作双方每次博弈的周期也为 1 年，仍然采用补偿支付的激励机制来分析重复博弈情况。

设：合作双方重复博弈合作的年限为 n，设平均贴现率为 I。

对生产商来说，假如他在该供应链中的某个阶段(设第 t 年)退出合作时的截止收益为 $Y_{2t}(q_1^*, q_2^a)$，则当他与销售商一直合作下去的总净现值大于或者等于他某个阶段退出合作时的总净现值的话，即 $NPV_1 \geq NPV_2$，对于生产商来说他没有理由选择不合作。

则有，当$NPV_1=\sum_{i=1}^{n} Y_{2i}(q_1^*, q_2^*)(1+i)^{-i} \geq NPV_2$

$=\sum_{i=1}^{n} Y_{2i}(q_1^*, q_2^*)(1+i)^{-i}+\sum_{i=t}^{n} Y_{2i}(q_1^*, q_2^a)(1+i)^{-i}$ 时，生产商选择合作。同理，对于销售商来说也是如此。根据“在重复博弈中，从任何一个阶段开始的子博弈都与这个博弈的结果相同”[3]的定理，此战略是无限次重复博弈的一个子博弈精练 Nash 均衡，即：帕累托最优(合作，合作)是每一个阶段的均衡结果，所以对于此时的重复博弈战略来说，生产商和销售商都会选择合作。

(2)伙伴双方惩罚博弈。由前面所分析的伙伴双方要达到合作解的 4 种情况可知，在供应链仅仅一次性的博弈不能得到合作均衡解时，基于均衡是通过惩罚任何一个博弈者的不合作行为来实现的，则双方或者某一方可能会受到一定博弈惩罚。但从某种意义上说，市场的博弈惩罚将会促成伙伴合作成为可能。在供应链运作中，当一方发现对方采取不合作的策略，就可能中止与对方的供应链关系，用一个同质的企业来取代它的位置。虽然一方被对方“开除”出供应链，或者一方退出供应链，不会造成整个供应链的解散，但由于“被开除”或者退出会造成其相应的经济和信用损失，尤其是信用损失，对企业的生存将会造成巨大威胁。

假设供应链一方由于不合作而得到的惩罚支付为 T，这 T 也称作对不合作的一种惩罚损失，一般情况下 $T \geq \max\{\Delta|Y_1(q_1)|, \Delta Y_2(q_1, q_2)\}$。

如果在供应链的某个阶段，生产商选择了不合作，其截止收益为$Y_2(q_1^*, q_2^a)$，但由于其这一次的不合作，使得供应商会永远中止与生产商的合作，那么从这个阶段起，生产商的总收益为$Y_2(q_1^*, q_2^a)-T$，由于 T 很大，$T \geq \max\{\Delta|Y_1(q_1)|, \Delta Y_2(q_1, q_2)\}$，故生产商的总收益比起以前合作与否总是减少的。同样的情况对销售商也是如此：销售商的截止收益为$Y_1(q_1^*)$，其不合作时的总收益为$Y_1(q_1^*)-T$，这个总收益相对于以前的合作与否也都是减少的。所以任何一个理性的供应链成员都不会选择不合作，从而使得(合作，合作)成为此惩罚博弈策略中的一个 Nash 均衡结果。

4 结论

(1)把博弈理论用于供应链管理研究中，旨在提供一种从博弈的视角来解读、管理供应链的思维框架。

(2)博弈均衡是一稳定的博弈结果，但并非所有博弈的结果都能成为均衡。供应链上无处不存在博弈，博弈的非均衡将会使成本增加。从博弈论的视角看，对供应链管理之目的，就是要使合作博弈达成均衡，这需要链主企业很好地把握合作博弈的均衡解策略，以使供应链管理达到预期的目的。

(3)作为链主企业的补偿支付激励行为，无疑是重复博弈的基础，(合作，合作)是双方合作博弈的帕累托最优解，而不合作将会受到博弈惩罚。

参考文献：

[1] 潘天群.博弈生存[M].北京：中央编译出版社，2003.
[2] 钱颂迪等.运筹学[M].北京：清华大学出版社，2000.356-365.
[3] 张维迎.博弈论与信息经济学[M].上海：上海人民出版社，1996.

(责任编辑：赵贤瑶)