文章编号 :1000-6788(2005)07-0009-08

协调供应链如何应对突发事件

于 辉[1],陈 剑[1],于 刚[2]
(1. 清华大学经济管理学院,北京 100084;2. 美国德州大学奥斯汀分校,迈康管理学院,管理科学信息系统系,奥斯汀)

摘要: 研究了突发事件对于经典的利用数量折扣协约协调的供应链所造成的影响,给出了供应链对突发事件的最优应对策略,建议了新的具有抗突事件的数量折扣协约.
关键词: 突发事件应急管理;供应链;协调机制;抗突发事件性
中图分类号: F406.7 文献标识码: A

How to Coordinate Supply Chain under Disruptions

YU Hui[1], CHEN Jian[1], YU Gang[2]
(1. School of Economics and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. McCombs school of Business, The University of Texas at Austin, Austin, USA)

Abstract: Study the impact of demand disruptions upon the supply chain coordinated by classical quantity discount contract, give the optimal response of the supply chain as a whole to the disruptions, and suppose the new quantity discount contract which has anti-disruption ability.
Key words: disruption management; supply chain; coordination mechanism; anti-disruption-ability contract

1 引言与模型的描述

突发事件(如:911 恐怖事件、1999 年台湾地震和重大公共卫生事件“非典”“禽流感”)可能对协调的运作良好的供应链系统造成不同层面的巨大影响.它可能造成需求的巨大波动、供应商不能及时或中断原材料供应、交通设施不可用或延迟使用、工厂、仓库以及办公设备不可用以及信息通道堵塞,当然可能更直接的对商品或服务进行破坏.这些影响将直接导致供应链不再协调或者原有计划不再可行.故对于协调供应链系统如何应对突发事件的研究就显得格外重要.

本文,我们分析和刻划了一个单周期协调供应链如何应对突然事件.模型的描述如下:这个供应链系统由一个供应商和一个零售商组成,他们通过独立决策来追求企业自身的收益最大化.供应商把商品(一个短生命周期的商品)卖给零售商,而零售商所面对的需求是其零售价格的线性减函数.首先,供应商基于对市场的预测制定相应的生产计划.当现实需求被观测到以后供应商确定相关协约,而如果零售商接受协约则确定订货量与其零售价格.我们假定所有的信息都是完全的,并且供应商必须满足零售商的订货.设零售商所面临的价格需求函数为:$d = \bar{D} - kp$,其中 $\bar{D}$ 表示为市场规模(即:市场的最大需求),k 为价格需求敏感系数,d 为在零售价格 p 下的现实需求.对这样的供应链协调问题的研究经典的结果属于 Jeuland、Shugan[1,2] 和 Moorthy[3].他们对利用数量折扣机制来协调这样一个供应链作出了先驱性的工作.本文也考虑同样的模型,但我们更关注数量折扣机制协调的供应链能否应对突发事件.

我们考虑的问题是:当供应商跟据市场预测制定了相应的生产计划以后,突发事件发生了,而突发事件导致零售商面临的价格需求函数的敏感系数发生了变化.这样就造成需求的波动,这个波动可能直接导致原有协调的供应链不再协调.那么,供应链系统如何应对这样的突发事件?

这一研究属于供应链应急管理范畴.而应急管理是管理科学一个非常新颖和前沿的研究方向,它是针

收稿日期:2004-06-22
资助项目:国家自然科学基金(70321001,70329001);博士后科学基金(2004035049)
作者简介:于辉(1973-),男,重庆人,博士后,主要研究方向:供应链突发事件应急管理、博弈论.

对突发事件而作出最优应对决策的研究. 应急管理的产生是一个不断积累的过程,很难准确说明是谁最先提出来的且它也是一个不断深化和发展的研究领域,这一术语(disruption management)是由 Clausen[4] 等人首先提出. 应急管理首先是在解决航空公司如何运作来面对突发事件中得到了充分的应用[5~7],在 911 事件后其相关软件 OpsSolver 和 CrewSolver 为大陆航空公司立下了汗马功劳.

如何实现供应链协调是供应链管理的核心问题之一,经过近几十年的研究,现在已经有较多的协调机制研究的经典结果[8]. 从组织理论、经济理论、运作管理等不同的理论出发,以不同的研究视角学者们对供应链协调问题加以了研究. 在这些理论中,从策略和技术角度来说可能通过数量折扣协约、回购协约、收入共享协约,数量弹性协约等策略来形成各种不同的协调机制.

应急管理的思想应用到供应链管理中,是近年来的一个新发展,但已经引起了国内外学者对供应链突发事件应急管理研究的兴趣,如:在研究恐怖事件这种特殊的突发事件对供应链所造成的影响时,MIT[11] 的 Center For Transportation & Logistics 就发起了 Global Terrorism and Its Impact on Supply Chain Management 的研究,提出和研究了一些新的理论框架,主要是从供应链系统的风险防范机制来建立它的理论. 从恐怖事件给供应链所造成的影响来看,它和大的自然灾害很类似. 故我们在处理突发事件供应链应急管理时,不针对具体的突发事件,而根据突发事件所造成的影响来区分,如:需求的波动、原材料供应中断或延迟等等.

第一篇协调供应链应对突发事件的文献是 Qi, Bard 和 Yu[9] 给出. 它考虑了与本文类似的模型,分析了突发事件造成的市场规模的变化 ΔD 对协调供应链所带来的影响. 这样的影响可能破坏原有的供应商的生产计划使原有协调供应链不再协调,通过调整和管理原有协调机制使得供应链在新的协约下达到协调. 此文还分析了由于使用应急管理与没有使用应急管理所带来的收益差别.

突发事件的确可以造成市场规模的变化,如在"非典"时期,国内对口罩的需求量就有了巨大的增长 ΔD. 但我们同时注意到, 同一时期价格对于需求的敏感系数 Δk 也有很大变化,它的变化同样可以对供应链系统带来巨大的影响. 本文的研究与 Qi 等[9] 的研究有以下几点不同:(1)我们研究的是突发事件造成敏感系数变化而带来的供应链协调问题;(2)我们采用了不同的数量折扣协约,其出发点是考查不同协约应对突发事件的能力如何,由此我们提出了供应链的抗突发事件性的新概念. 由于 Qi 等[9] 建议的协约在经历突发事件时需要作出大的调整,可以认为其协约应对突发事件的能力不强. 而我们建议的一个新的数量折扣协约可以实现对突发事件的协调应对,从而有更强的应对突发事件的能力;(3)我们考查了由于突发事件所带来的额外成本是非线性二次函数情形,而在 Qi 等[9] 仅考虑了线性成本情形.

2 协调的供应链

对于这样的由一个供应商和一个零售商组成的供应链,可以把它看作为一个 Stackelberg 博弈. 在这个博弈里,供应商可以假定具有领导的作用,而零售商可以看作为一个跟随者. 在这个博弈里,首先,由供应商提供其产品的供应链协约或者说是转移支付的支付方法,零售商然后对这个协约作出反应来确定进入或不进入供应链,如果进入供应链它同时确定订货量与零售价格. 供应商一但确定了定价策略之后就必须提供给零售商所有的订货,即所有订货都需得到满足. 这里我们跟随 Jeuland、Shugan[1],假设两个博弈的参与者具有对称性,即是说:供应商和零售商都是这个博弈里的两个完全独立的决策者,通过独立的决策来追求自已收益最大化.

设供应商的单位生产成本为 c,零售商的订货量为 q,零售价格为 p,零售商面临的价格需求函数为 $d = \bar{D} - kp$,由于其订货 q 给供应商的转移支付为 $T(q)$. 则供应商的收益为:$\bar{f}^s = T(q) - cq$,零售商的收益为:$\bar{f}^r = pq - T(q)$,供应链系统的收益为:$\bar{f}^{sc} = \bar{f}^S + \bar{f}^r$. 由于供应商必须提供给零售商所有的订货量,故 $d = q$,且由 $d = \bar{D} - kp$,所以 $p = (\bar{D} - q)/k$. 于是 $\bar{f}^{sc}(q) = q(p - c) = q\left(\frac{\bar{D} - q}{k} - c\right)$. 通过简单的分析[9],供应链系统的最优订货量:$\bar{q} = (\bar{D} - kc)/2$;最优的零售价格为:$\bar{p} = (\bar{D} + kc)/(2k)$供应链的最大收益为:$\bar{f}^{sc}_{\max} = (\bar{D} - kc)^2/(4k)$.

下面我们利用一个对所有订货的数量折扣协约来协调上面的供应链系统,即找出适当的 $\bar{w}(q)$,使得

转移支付为 $T(q)=\bar{w}(q)\cdot q$ 来使供应链达到协调. 我们先定义协调供应链：

定义 1[10]　一个供应链称为在一个协约机制下是协调的，如果通过这个协约使得供应链的最优解是供应链的组成企业决策的 Nash 均衡点，即：如果供应商和零售商通过追求自身收益最大化过程中，也同时使得供应链的收益最大化，并且双方都不能在不损失对方的利益下获得更多利益.

进而，我们还要求整个供应链收益可以在零售商与供应商之间任意分配，因为这样使得协调的供应链协约能控制所有非协调协约[10]. 我们注意到数量折扣协约能实现供应链协调的一个充分条件是：

引理 1[1]　供应链是在数量折扣协约下是协调的，如果：对于任意的 η：$0<\eta<1$，使得 $\bar{f}^{r}=(1-\eta)\bar{f}^{sc}$，即零售商的收益是供应链收益函数的线性(仿射)函数.

引理 2　对于任意的 η：$0<\eta<1$，设 $\bar{w}(q)=(1-\eta)c+\eta\dfrac{\bar{D}-q}{k}$，则 $\bar{f}^{r}=(1-\eta)\bar{f}^{sc}$，即供应链在这个数量折扣的协约下实现了协调.

证明　对于 $0<\eta<1$ 和 $T(q)=\bar{w}(q)\cdot q$ 有

$$\begin{aligned}\bar{f}^{r}(q)&=pq-T(q)=pq-\bar{w}(q)q\\&=\frac{\bar{D}-q}{k}q-\left((1-\eta)c+\eta\frac{\bar{D}-q}{k}\right)q\\&=\left(-(1-\eta)c+(1-\eta)\frac{\bar{D}-q}{k}\right)q=(1-\eta)q\left(\frac{\bar{D}-q}{k}-c\right)\\&=(1-\eta)\bar{f}^{sc}(q)\end{aligned}$$

由引理 1，本引理得证.

3　集权供应链应对突发事件

我们考虑当供应商的生产计划安排好以后，突发事件发生了. 突发事件改变了零售商面对的价格需求函数的敏感系数. 即：敏感系数现在为 $k+\Delta k$，相对于零售价格 p，零售商所面临的需求是 $d=\bar{D}-(k+\Delta k)p$. 当突发事件发生之后，我们假设存在一个集权的决策者他追求整个供应链收益的最大化. 设 Q 是突发事件发生后相对于零售价格 p 的需求，即有：$p=\dfrac{\bar{D}-Q}{k+\Delta k}$. 对于这时的现实需求 Q 和供应商原有的生产计划 $\bar{Q}=\bar{q}$，设 $\Delta Q=Q-\bar{Q}$. 当 $\Delta Q<0$ 时，即库存多余需求，多余的产品可以在二级市场上以低于 p 的价格销售；当 $\Delta Q>0$ 时，必须增加生产来满足新的需求. 当然由于需要利用更多的额外资源且更重要的是要打破供应商原有的生产计划，这样每增加或者多余产品在二级市场上销售都将带来比原有成本更高的额外成本. Qi 等[9] 考虑这部分成本是线性依赖于 ΔQ 的. 在这里，我们考虑一个二次的成本函数.

从供应链集权的管理者来看，对于现实的需求 Q，在突发事件发生的情况下供应链收益函数可写作：

$$f^{sc}(Q)=Q\left(\frac{\bar{D}-Q}{k+\Delta k}-c\right)-\lambda_1(Q-\bar{Q})^{+}-\lambda_2(\bar{Q}-Q)^{+}-\lambda(Q-\bar{Q})^2 \tag{1}$$

其中 $\lambda_1,\lambda_2,\lambda>0$，$A^{+}=\max\{0,A\}$. 注意到：$-\lambda_1(Q-\bar{Q})^{+}-\lambda_2(\bar{Q}-Q)^{+}-\lambda(Q-\bar{Q})^2$ 是由于打破了原有生产计划而招致的额外成本，其中当 $\Delta Q=Q-\bar{Q}>0$ 时，λ_1 是由于需要重新利用新的原材料而增加的单位成本；$\Delta Q<0$ 时，λ_2 是由于多余的产品需要的二级市场以价格 $\bar{c}=c-\lambda_2$(我们假定：$0<\lambda_2<c$)销售而招致的单位成本. 对于最后一项 $\lambda(Q-\bar{Q})^2$，我们认为是由于打破了原有生产计划而招致的其它成本，这个成本考虑为 ΔQ 的二次非线性函数. 比如：供应商在制定了原生产计划以后就需要和工人签定用工合同，不论是增加生产还是把剩余产品放在二级市场上销售都需求打破用工合同，从而招致的这类成本.

注意到，如果 $\Delta k\leqslant -k$，则说明零售商可以以任意价格销售数量为 $\bar{D}$ 的商品，这在现实中不太可能，故考虑 $\Delta k>-k$. 于是我们有如下引理：

引理 3　假设 Q^{*} 是(1)的最优解，即对于突发事件集权供应链的最优应对，则 $Q^{*}\geqslant\bar{Q}$，如果 $-k<\Delta k<0$ 且 $Q^{*}\leqslant\bar{Q}$，如果 $\Delta k>0$.

证明　我们只证明，当 $-k<\Delta k<0$ 时，$Q^{*}\geqslant\bar{Q}$. 第二个结论可以类似证明.

利用反证法，假设 $-k<\Delta k<0$，有 $Q^{*}<\bar{Q}$.

首先,对于原最优订货量 $\bar{Q}$,

$$f^{sc}(\bar{Q}) = Q\left(\frac{\bar{D}-\bar{Q}}{k+\Delta k}-c\right) = \bar{Q}\left(\frac{\bar{D}-\bar{Q}}{k}-\frac{\Delta k}{k(k+\Delta k)}(\bar{D}-\bar{Q})-c\right)$$
$$=\bar{Q}\left(\frac{\bar{D}-\bar{Q}}{k}-c\right)-\frac{\Delta k}{k(k+\Delta k)}(\bar{D}-\bar{Q})\bar{Q} \tag{2}$$

并且,

$$\bar{f}^{sc}(Q^*) = Q^*\left(\frac{\bar{D}-Q^*}{k}-c\right)\leqslant \bar{Q}\left(\frac{\bar{D}-\bar{Q}}{k}-c\right)=\bar{f}^{sc}(\bar{Q}) = \bar{f}^{sc}_{\max}. \tag{3}$$

对于二次函数 $g(Q)=(\bar{D}-Q)Q$,其最大值在 $\hat{Q}=\frac{\bar{Q}}{2}$取得,并且函数 g 在$[0,\hat{Q}]$是增函数.我们注意到:

$$Q^* < \bar{Q} = \frac{\bar{D}-kc}{2} < \frac{\bar{D}}{2} = \hat{Q}.$$

故有

$$g(Q^*)\leqslant g(\bar{Q}),$$

即:

$$(\bar{D}-Q^*)Q^* \leqslant (\bar{D}-\bar{Q})\bar{Q}.$$

于是,更因为 $-k<\Delta k<0$,所以

$$-\frac{\Delta k}{k(k+\Delta k)}(\bar{D}-Q^*)Q^* \leqslant -\frac{\Delta k}{k(k+\Delta k)}(\bar{D}-\bar{Q})\bar{Q}.$$

那么,

$$\begin{aligned}
f^{sc}(Q^*) &= Q^*\left(\frac{\bar{D}-Q^*}{k+\Delta k}-c\right)-\lambda_2(\bar{Q}-Q^*)-\lambda(Q^*-\bar{Q})^2\\
&= Q^*\left(\frac{\bar{D}-\bar{Q}^*}{k}-c\right)-\frac{\Delta k}{k(k+\Delta k)}(\bar{D}-Q^*)Q^*-\lambda_2(\bar{Q}-Q^*)-\lambda(Q^*-\bar{Q})^2\\
&\leqslant \bar{Q}\left(\frac{\bar{D}-\bar{Q}}{k}-c\right)-\frac{\Delta k}{k(k+\Delta k)}(\bar{D}-\bar{Q})\bar{Q}-\lambda_2(\bar{Q}-Q^*)-\lambda(Q^*-\bar{Q})^2\\
&< f^{sc}(\bar{Q}).
\end{aligned}$$

这与 Q^* 是 $f^{sc}(Q)$的最优解矛盾.故结论得证.

从引理 3,当 $-k<\Delta k<0$,最大化 $f^{sc}(Q)$变为最大化严格凹函数

$$f_1(Q) = Q\left(\frac{\bar{D}-Q}{k+\Delta k}-c\right)-\lambda_1(Q-\bar{Q})-\lambda(Q-\bar{Q})^2 \tag{4}$$

且满足约束:$Q\geqslant\bar{Q}$.利用一阶充分(必要)条件 $f'_1(Q)=0$ 对于无约束问题,我们可得:

$$f'_1(Q) = -\frac{2\lambda(k+\Delta k)+2}{k+\Delta k}Q+\frac{\bar{D}-c(k+\Delta k)-(\lambda_1-2\lambda\bar{Q})(k+\Delta k)}{k+\Delta k} = 0.$$

解之可得:

$$Q_1 = \bar{Q}-\frac{(c+\lambda_1)\Delta k+\lambda_1 k}{2\lambda(k+\Delta k)+2}. \tag{5}$$

针对于约束条件 $Q\geqslant\bar{Q}$,我们分两种情况加以讨论.

情形 1 当 $-k<\Delta k\leqslant-\frac{\lambda_1 k}{c+\lambda_1}$. 这时,$Q_1$ 满足约束 $Q\geqslant\bar{Q}$,也即说 $f_1(Q)$在 Q_1 达到最大.令 $\alpha=\frac{(c+\lambda_1)\Delta k+\lambda_1 k}{2\lambda(k+\Delta k)+2}$.令 $Q^*_{\text{case1}}=Q_1=\bar{Q}-\alpha$.对于最优的订货量 Q^*_{case1},最优的零售价格为:

$$\begin{aligned}
p^*_{\text{case1}} &= \frac{\bar{D}-Q^*_{\text{case1}}}{k+\Delta k} = \frac{\bar{D}-(\bar{Q}-\alpha)}{k+\Delta k} = \frac{\bar{D}-\bar{Q}}{k+\Delta k}+\frac{\alpha}{k+\Delta k}\\
&= \frac{k\bar{p}}{k+\Delta k}+\frac{\alpha}{k+\Delta k} = \bar{p}+\frac{\alpha-\Delta k\bar{p}}{k+\Delta k}.
\end{aligned}$$

其最优的的收益为:

$$f^{sc}_{\text{case1}} = Q^*_{\text{case1}}(p^*_{\text{case1}}-c)+\lambda_1\alpha-\lambda\alpha^2$$

$$= (\bar{Q} - \alpha)\left(\bar{p} + \frac{\alpha - \Delta k\bar{p}}{k + \Delta k} - c\right) + \lambda_1\alpha - \lambda\alpha^2$$

$$= \bar{Q}(\bar{p} - c) + (\bar{Q} - \alpha)\left(\frac{\alpha - \Delta k\bar{p}}{k + \Delta k}\right) - \alpha(\bar{p} - c) + \lambda_1\alpha - \lambda\alpha^2$$

$$= \bar{f}^{sc}_{\max} + (\bar{Q} - \alpha)\left(\frac{\alpha - \Delta k\bar{p}}{k + \Delta k}\right) - \alpha(\bar{p} - c) + \lambda_1\alpha - \lambda\alpha^2.$$

情形 2 **当** $-\frac{\lambda_1 k}{c + \lambda_1} < \Delta k \leqslant 0$. **这时**，$Q_1 < \bar{Q}$，**，故** Q_1 **是不可行的**. **再由于** $f_1(Q)$ **在** $[\bar{Q}, -\infty]$ **是单调下降的，故** $f_1(Q)$ **在** $\bar{Q} = \frac{\bar{D} - kc}{2}$ **达到最大**. **令** $Q^*_{case2} = \bar{Q}$. **这时相应的最优零售价格是：**

$$p^*_{case2} = \frac{\bar{D} - Q^*_{case2}}{k + \Delta k} = \frac{\bar{D} - \bar{Q}}{k + \Delta k} = \frac{k\bar{p}}{k + \Delta k} = \bar{p} - \frac{\Delta k\bar{p}}{k + \Delta k}.$$

供应链最优的收益为：

$$f^{sc}_{case2} = Q^*_{case2}(p^*_{case2} - c) = \bar{Q}\left(\bar{p} - \frac{\Delta k\bar{p}}{k + \Delta k} - c\right)$$

$$= \bar{Q}(\bar{p} - c) - \frac{\Delta k\bar{p}}{k + \Delta k}\bar{Q} = \bar{f}^{sc}_{\max} - \frac{\Delta k\bar{p}}{k + \Delta k}\bar{Q}$$

与上面 $\Delta k < 0$ **的讨论类似，如果** $\Delta k > 0$，**则函数** $f^{sc}(Q)$ **的最优问题退化为求解如下问题的最优解**.

$$f_2(Q) = Q\left(\frac{\bar{D} - Q}{k + \Delta k} - c\right) - \lambda_2(\bar{Q} - Q) - \lambda(Q - \bar{Q})^2 \tag{6}$$

且满足约束 $\bar{Q} \geqslant Q$. **类似的，我们可以确定情形** $3\left(0 < \Delta k < \frac{\lambda_2 k}{c - \lambda_2}\right)$ **和情形** $4\left(\Delta k \geqslant \frac{\lambda_2 k}{c - \lambda_2}\right)$ **且其最优解为：**

$$Q^* = \begin{cases} Q^*_{case3} = \bar{Q}, & \text{如果 } 0 < \Delta k < \frac{\lambda_2 k}{c - \lambda_2} \\ Q^*_{case4} = \bar{Q} - \beta, & \text{如果 } \Delta k \geqslant \frac{\lambda_2 k}{c - \lambda_2} \end{cases}$$

最优的零售价格为：

$$p^* = \begin{cases} p^*_{scase3} = \bar{p} - \frac{\Delta k\bar{p}}{k + \Delta k} & \text{如果 } 0 < \Delta k < \frac{\lambda_2 k}{c - \lambda_2} \\ p^*_{case4} = \bar{p} + \frac{\beta - \Delta k\bar{p}}{k + \Delta k} & \text{如果 } \Delta k \geqslant \frac{\lambda_2 k}{c - \lambda_2} \end{cases}$$

最优收益为：

$$f^{sc} = \begin{cases} f^{sc}_{case3} = \bar{f}^{sc}_{\max} - \frac{\Delta k\bar{p}}{k + \Delta k}\bar{Q} & \text{如果 } 0 < \Delta k < \frac{\lambda_2 k}{c - \lambda_2} \\ f^{sc}_{case4} = \bar{f}^{sc}_{\max} - \beta(\bar{p} - c) + \frac{\beta - \Delta k\bar{p}}{k + \Delta k}(\bar{Q} - \beta) - \lambda_2\beta - \lambda\beta^2 & \text{如果 } \Delta k \geqslant \frac{\lambda_2 k}{c - \lambda_2} \end{cases}$$

其中 $\beta = \frac{(c - \lambda_2)\Delta k - \lambda_2 k}{2\lambda(k + \Delta k) + 2}$.

总结上面的结果有：

定理 1　**突发事件造成价格需求函数的敏感系数** k **发生变化** Δk，**即 此时的价格需求函数为：**$d = \bar{D} - (k + \Delta k)p$. **当零售商的的零售价格为** p^*，**而订货量为** Q^*，**整个供应链的收益达到最大化，即实现集权供应链对于突发事件的最优应对**.

$$p^* = \begin{cases} \bar{p} + \dfrac{\alpha - \Delta k\bar{p}}{k + \Delta k} & \text{如果} -k < \Delta k \leqslant -\dfrac{\lambda_1 k}{c + \lambda_1} \\ \bar{p} - \dfrac{\Delta k\bar{p}}{k + \Delta k} & \text{如果} -\dfrac{\lambda_1 k}{c + \lambda_1} < \Delta k < \dfrac{\lambda_2 k}{c - \lambda_2} \\ \bar{p} + \dfrac{\beta - \Delta k\bar{p}}{k + \Delta k} & \text{如果} \Delta k \geqslant \dfrac{\lambda_2 k}{c - \lambda_2} \end{cases}$$

$$Q^* = \begin{cases} \bar{Q} - \alpha, & \text{如果} -k < \Delta k \leqslant -\dfrac{\lambda_1 k}{c + \lambda_1} \\ \bar{Q}, & \text{如果} -\dfrac{\lambda_1 k}{c + \lambda_1} < \Delta k < \dfrac{\lambda_2 k}{c - \lambda_2} \\ \bar{Q} - \beta, & \text{如果} \Delta k \geqslant \dfrac{\lambda_2 k}{c - \lambda_2} \end{cases}$$

其中 $\alpha = \dfrac{(c + \lambda_1)\Delta k + \lambda_1 k}{2\lambda(k + \Delta k) + 2}$，$\beta = \dfrac{(c - \lambda_2)\Delta k - \lambda_2 k}{2\lambda(k + \Delta k) + 2}$.

假设 2　如果 $c - \lambda_2 > \lambda(\bar{D} - kc)$，设 $\Delta k < \dfrac{(\bar{D} - kc)(\lambda k + 1) + \lambda_2 k}{(c - \lambda_2) - \lambda(\bar{D} - kc)}$.

注意到，要达到供应链收益最优的一个必要条件是：最优订货量 $Q^* > 0$. 即必需要 $Q^*_{\text{case4}} = \bar{Q} - \beta > 0$. 由假设 2，这个条件成立.

我们注意到，在突发事件发生而造成价格需求敏感系数发生 Δk 变化的情况下，最优的应对策略——零售商的零售价格是需要作出积极的调整，而只有当 Δk 的变化超出一定的范围后才对订货量作出调整. 如果突发事件发生以后，集权的决策者没有意识到突发事件对供应链所带来的影响，作出不调整零售价格的决策. 这时供应链所面临的实际需求为 $d = \bar{D} - (k + \Delta k)\bar{p}$，故零售商的订货量为 $\hat{Q} = d = \bar{D} - (k + \Delta k)\bar{p} = \bar{Q} - \Delta k\bar{p}$. 如果 $\bar{D} - (k + \Delta k)\bar{p} > 0$，整个供应链的收益为：

$$\hat{f}^{sc} = \hat{Q}(\bar{p} - c) - \lambda_1(\Delta k\bar{p})^- - \lambda_2(\Delta k\bar{p})^+ - \lambda(\Delta k\bar{p})^2. \tag{7}$$

如果 $\bar{D} - (k + \Delta k)\bar{p} \leqslant 0$，订货量为 $\hat{Q} = 0$，零售商退出供应链，则供应商收益为：$-\lambda_2\bar{Q} - \lambda(\bar{Q})^2$. 把(7)分成两种情况($\Delta k < 0$、$\Delta k \geqslant 0$)考虑. 于是，我们有：

$$\hat{f}^{sc} = \begin{cases} \bar{f}^{sc}_{\max} - \Delta k(\bar{p} - c) + \lambda_1\Delta k\bar{p} - \lambda(\Delta k\bar{p})^2 & \text{如果} -k < \Delta k \leqslant 0 \\ \bar{f}^{sc}_{\max} - \Delta k(\bar{p} - c) - \lambda_2\Delta k\bar{p} - \lambda(\Delta k\bar{p})^2 & \text{如果} 0 \leqslant \Delta k < \dfrac{\bar{Q}}{\bar{p}} \\ -\lambda_2\bar{Q} - \lambda(\bar{Q})^2 & \text{如果} \Delta k \geqslant \dfrac{\bar{Q}}{\bar{p}} \end{cases}$$

我们知道对于突发事件的最优应对所产生的收益 f^{sc} 大于 $\hat{f}_{sc}$. 图 1 说明当 Δk 在有意义的区域内变化时，供应链的最优收益与保持零售价格不变所带来的收益差 $f^{sc} - \hat{f}^{sc}$. 令 $k = 5$，$c = 10$，$\bar{D} = 200$，$\lambda_1 = 3$，$\lambda_2 = 2$，$\lambda = 0.5$.

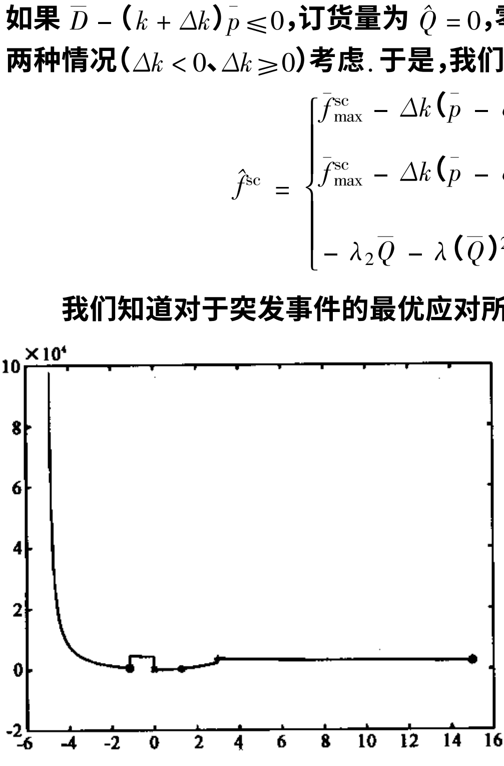

图 1　最优应对与不调整零售价格所带来的收益差

对于这样所引起的收益差，需要作如下说明：

1) 当突发事件导致 Δk 发生变化时，作出最优应对总是比保持零售价格不变的策略要好. 这就说明突发事件应急管理的重要性；

2) 收益差最明显的是当 $-k < \Delta k < -\dfrac{\lambda_1 k}{c + \lambda_1}$ 时. 此时价格对于需求的影响减少，即：$k - \Delta k$ 减少，作出应急管理就显得特别重要. 比如说，在'非典'时期对于口罩的需求，价格对于需求的灵敏系数就减少. 提高零售价格，调整增加生产就成为口罩供应链的最优应对(如果仅从供应链角度考虑)；

3)对于 $\Delta k > \frac{\bar{Q}}{p}$ 的情形,我们发现最优应对与保持价格不变所带来的收益差大于零,但大体保持一致.这是由于随着 Δk 的增加,最优订货量的减少,所带来的整个供应链收益减少且趋于零.这时的差额收益主要是 $\lambda_2\bar{Q} + \lambda\bar{Q}^2$,即 零售价格不变时,没有订货而导致供应商损失;

4)处于 $-\frac{\lambda_1 k}{c+\lambda_1} < \Delta k < \frac{\bar{Q}}{p}$ 时所带来的收益差为正值并且有部分跳跃,说明通过及时调整零售价格来应对突发事件是对这样的单周期供应链有益的应对.

4　分权供应链应对突发事件

上部分研究了,集权的供应链对于突发事件引起的价格需求函数的灵感系数发生变化时的最优应对策略是零售商选取零售价格为 p^* 并且其订货量为 Q^*.如果分权供应链中,供应商提供适当的协约使得零售商也选取 p^* 为零售价格、Q^* 为订货量,即分权供应链达到集权供应链最优的应对突发事件的能力,故分权供应链达到了对突发事件最优应对.也即是说,分权供应链在突发事件下达到了协调.这部分有两个目的,首先给出协调这样的突发事件的数量折扣协约,其次我们指出这个协约同样协调没有突发事件发生时的供应链.也就是说明,这样的协约有更强的应对突发事件的能力.而在 Qi 等[9] 中在做同样的供应链应急管理时,不得不调用其他的协约来实现突发事件情况下的新协调.

首先,令 $S(Q) = \lambda_1(Q-\bar{Q})^+ + \lambda_2(\bar{Q}-Q)^+ + \lambda(Q-\bar{Q})^2$.对于任意的 $0<\eta<1$,$w(Q) = (1-\eta)\left(c + \frac{S(Q)}{Q}\right) + \eta\frac{\bar{D}-Q}{k+\Delta k}$.

命题 1　由突发事件引起分权供应链中零售商面临的价格需求函数的敏感系数发生变化时,通过数量折扣协约 $T(Q) = w(Q)\cdot Q$,能实现供应链的 协调,并且能任意分配供应链最优收益.

证明　通过引理 1,我们只需说明 对于任意的 $0<\eta<1$,$f(Q) = (1-\eta)f^{sc}(Q)$即可.

事实上,

$$\begin{aligned} f(Q) &= \frac{\bar{D}-Q}{k+\Delta k}Q - T(Q) = \frac{\bar{D}-Q}{k+\Delta k}Q - w(Q)Q \\ &= \frac{\bar{D}-Q}{k+\Delta k}Q - \left[(1-\eta)\left(c+\frac{S(Q)}{Q}\right) + \eta\frac{\bar{D}-Q}{k+\Delta k}\right]Q \\ &= (1-\eta)\left[Q\left(\frac{\bar{D}-Q}{k+\Delta k} - c\right) - S(Q)\right] = (1-\eta)f^{sc}(Q). \end{aligned}$$

我们指出协约 $T(Q) = w(Q)Q$ 也能协调没有突发事件的供应链.对于数量折扣协调供应链,Moorthy[3] 指出如下协调的充要条件:

引理 4　供应链是协调的,如果供应商提供协约使得零售商的有效边际成本曲线和他的边际收入曲线在供应链的最优订货量点相交.

引理 3.1′　如果供应商提供数量折扣协约 $T(Q) = w(Q)Q$,则供应链协调.

证明　对于没考虑突发事件的供应链(即 $\Delta k = 0$),其最优订货量为 :$\bar{Q} = \frac{\bar{D}-kc}{2}$.零售商的收入为 :$Q\cdot p = Q\cdot\left(\frac{\bar{D}-Q}{k}\right)$,边际收入为 :$\frac{\bar{D}-2Q}{k}$.在供应链的最优订货量时的边际收益为 :$\frac{\bar{D}-2\bar{Q}}{k} = c$.

注意到 :$\partial S(\bar{Q}) = [-\lambda_2, \lambda_1]$,其中$\partial S(\bar{Q})$表示 $S(Q)$的在 $\bar{Q}$ 处的次微分.

零售商的成本为 :$T(Q) = w(Q)\cdot Q = (1-\eta)(cQ - S(Q)) + \eta\frac{\bar{D}-Q}{k}Q$.在 $\bar{Q}$ 处的边际成本为:

$$\begin{aligned} (1-\eta)(c-\partial S(Q)) + \eta\frac{\bar{D}-2\bar{Q}}{k} &= (1-\eta)(c-\partial S(Q)) + \eta c \\ &= [(1-\eta)(c-\lambda_1),(1-\eta)(c+\lambda_2)] + \eta c \\ &= [c-(1-\eta)\lambda_1, c+(1-\eta)\lambda_2] \end{aligned}$$

因为 $c \in [c-(1-\eta)\lambda_1, c+(1-\eta)\lambda_2]$,故零售商的有效边际成本曲线和他的边际收入曲线在供应链的最优订货量点相交.由引理 4 得证.

定义 3 如果一个协约能使突发事件前后的供应链都实现协调,则这个协约称为具有抗突发事件性.

由引理 3.1′,我们有下面的命题:

命题 2 数量折扣协约 $T(Q)$具有抗突发事件性.

5 总结

以上,我们研究了一个协调的单周期供应链对于突发事件的最优应对策略.对于集权供应链,我们给出了它对突发事件的最优应对以及举例说明了最优应对与不作出反应的利益差别.对于分权的供应链,我们对原有协调协约进行了调整,使得分权供应链也能实现集权供应链对突发事件的最优应对.最后,我们指出了调整后的协约也同样能协调没有突发事件发生时的供应链.由此,提出了协约具有抗突发事件性的概念.此外,我们还需要指出两点:

1)事实上,这里所考查的突发事件只是针对供应商而言的.供应商在突发事件造成 Δk 变化时必须调整原定的协调计划,Δk 变化且超出一定范围时必须打破原有生产计划、调整产量,由此都会造成额外的成本.而要实现供应链的协调必须使零售商也承担部分增加的额外成本.其实,对于零售商而言并没有突发事件直接造成的额外成本,它都是根据现实的需求和供应商所提供的协约来选择订货量与零售价格;

2)其次,如果供应商在协调原始的没有突发事件发生的供应链时就选择具有抗突发事件性的协约,那么供应商就对这类突发事件就有了抗突发事件性,突发事件对协调供应链的冲击就小了很多.

参考文献

[1] Jeuland A L, Shugan S M. Managing channal profits[J]. Marketing Science, 1983, 2(3):239 – 272.

[2] Jeuland A L, Shugan S M. Reply to: Managing channel profits: comment[J]. Marketing Science, 1988, 7(1):103 – 106.

[3] Moorthy K S. Managing channel profits: comment[J]. Marketing Science, 1987, 6(4):375 – 379.

[4] Causen J, Hansen J, Larsen J. Disruption management[J]. OR/MS Today, 2001, 28(5):40 – 43.

[5] Thengvall B, Bard J F, Yu G. Balancing user preferences for aircraft recovery during airline irregular operations[J]. IIE Transactions on Operations Engineering, 2000, 32(3):181 – 193.

[6] Yu G, Arguello M, Song M, McMowan S, White A. A new Era for crew recovery at continental airline[J]. Interfaces, 2003, 33(1):5 – 22.

[7] Yu G, Yang J. Optimization application in the airline industry[A]. Handbook of Combinatorial Optimization[C], Kluwer Norwell, MA, 1997, 14(2):635 – 726.

[8] Thomas D J, Griffin P M. Coordinated supply chain management[J]. European Journal of Operational Research, 1996, 94:1 – 15.

[9] Qi X T, Bard J, Yu G. Supply chain coordination with demand disruptions[J]. Omega, 2004, 32(4):301 – 312.

[10] Cachon G P, Supply chain coordination with contracts[EB/OL]. http://opim.wharton.upenn.edu/~cachon.

[11] http://web.met.edu/scresponse/events.