

考虑交通拥堵成本的零售商供货量决策模型*

李振兴¹, 徐丽群²

(1. 上海交通大学 中美物流研究院, 上海 200030; 2. 上海交通大学 安泰经济与管理学院, 上海 200052)

摘要: 引入交通拥堵成本因子, 考虑从零售商配送中心到市场间的路段存在交通拥堵情况下, 分别建立了供应链系统中供应商定价模型和零售商供货量模型; 运用动态博弈分析方法, 得出了零售商和供应商满足利润最大化条件下解的均衡方程; 最后, 研究了一个简化的供应链网络, 对上述模型进行了验证与分析。结果表明, 随着交通拥堵成本因子的不断增大, 零售商会逐渐减少对市场的商品供货量, 通过提高市场价格和减少运输费用来弥补拥堵成本的增加。

关键词: 交通拥堵成本; 供货量决策; 动态博弈; 零售商

中图分类号: TP301.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)09-3244-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.09.011

Supplying policy model of retailer considering traffic congestion cost

LI Zhen-xing¹, XU Li-qun²

(1. Sino-US Global Logistics Institute, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China; 2. Antai College of Economics & Management, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200052, China)

Abstract: Introduction to traffic congestion cost factor, assuming that there were some traffic congestion on the road between retailer's distribution centers and markets, this paper built the supplier's price choice model and retailer's supplying model. By using the method of dynamic game, this paper got the equilibrium of the supplier and the retailer based the maximum of profit respectively. Researched on the simplified supply chain network, it verified the model. The results show that, with the traffic congestion cost factor increasing, the retailer will decrease the supply quantity to markets, by rising the market price and reducing the transportation cost to make up for the increased cost of traffic congestion.

Key words: traffic congestion cost; supplying policy; dynamic game; retailer

0 引言

供应链中零售商的订货量和供货量决策一直是学者们研究探讨的热点, 20 世纪初 Harris^[1] 建立了经济订货批量 (EOQ) 模型, 在此后的实践中得到了广泛的应用, 产生了巨大的经济和社会效益。考虑到现实中的需求通常是随机不确定的, 报童模型变成了研究的焦点, Khouja^[2] 对报童模型的扩展研究进行了分类综述, 并对未来的研究方向进行了展望。之后, 研究人员分别采取了不同的研究角度和解决方法研究零售商订货量决策^[3,4]。

但是上述对零售商订货与供货策略的研究没有考虑路段交通情况。近几年来, 交通拥堵现象频发, 已经成为一种广泛的社会问题^[5]。McKinnon 等人^[6] 的研究表明, 平均而言, 交通拥堵大约占到了总的货运延迟时间的 23%, 而且这个比例在其他的一些行业可能会高到 34%。Femie 等人^[7] 的研究指出交通拥堵是影响英国零售食品店成本和服务最重要的因素之一。Sankaran 等人^[8] 也对交通拥堵随供应链运营的影响作了相应的研究。Weisbrod 等人^[9] 在其对于交通拥堵和供应链交叉研究的综述中探究了交通拥堵是怎样影响成本和生产的。

对于交通拥堵的处理, 现在大部分的研究还只是停留在经验的层次上, 缺乏理论结果的支持。Konur 等人^[10] 在研究交通拥堵对供应链运营产生的影响时, 引入了交通拥堵成本因子, 通过建立内在的交通拥堵成本, 研究了企业应对交通拥堵时所作的选择, 分析的指标是企业配送中心数量的选择以及从配送中心到市场供货量的选择。

但是他们研究的仅仅是供应链从零售商到市场的部分, 而现实中的供应链往往包括供应商、零售商和市场多个主体。因此从供应链完整性的角度分析供应链中交通拥堵的影响是必要的。本文研究了如图 1 所示的供应链系统, 上游供应商将产品出售给零售商, 并负责将产品送至零售商的配送中心; 然后零售商根据各市场的需求, 将产品运往每个市场出售给最终客户。假设配送中心至市场间的路段存在交通拥堵, 分析随着交通拥堵逐渐增加时, 零售商和供应商利润的变化以及零售商供货量的变化。

1 问题描述及假设

1.1 问题假设

本文对问题作如下假设:

收稿日期: 2012-03-12; **修回日期:** 2012-04-26 **基金项目:** 国家“863”计划资助项目(2006AA11Z209); 上海交通大学文科科研创新基金资助项目(11TS09)

作者简介: 李振兴(1987-), 男, 山东济南人, 硕士研究生, 主要研究方向为交通运营管理、物流与供应链管理(zxli0916@sjtu.edu.cn); 徐丽群(1963-), 女, 吉林人, 博导, 主要研究方向为交通运营管理、物流与供应链管理。

a) 只考虑单供应商、单零售商、多市场的情况,且供应商、零售商以及市场之间是完全信息的。

b) 零售商有 m 个配送中心,且每个配送中心的位置已经确定。

c) 零售商有 n 个市场,且每个市场的位置确定。

d) 供应商负责将产品从自身仓库送至零售商的配送中心,运输费用由供应商负责,且不考虑此段路径上的交通状况。运输费用仅由运输量和单位运输成本决定。

e) 零售商负责将产品从自身配送中心送到市场,运输费用由零售商负责,且必须考虑此段路径上的交通状况,即当交通拥堵时会产生拥堵成本。

f) 每个市场上产品的价格由零售商送到该市场的量决定,且零售商可以为了减少运输成本而减少向某个(些)市场的供货量。

g) 零售商的配送中心允许保持一定量的存货。

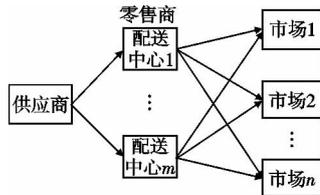


图1 本文所研究的供应链网络

1.2 参数符号

i 表示零售商配送中心, $i=1, 2, \dots, m$;

j 表示市场, $j=1, 2, \dots, n$;

p 表示供应商出售给零售商的产品价格;

c_{si} 表示供应商仓库至零售商配送中心 i 的单位运输成本;

c 表示供应商的产品成本;

p_j 表示产品在市场 j 的价格;

c_{ij} 表示零售商配送中心 i 至市场 j 的单位运输成本;

v_i 表示配送中心 i 的库存;

c_i 表示配送中心 i 的单位仓储成本;

C_i 表示配送中心 i 的运营成本;

θ 表示需求满足率下的安全库存系数;

q_{ij} 表示零售商从配送中心 i 到市场 j 的供货量。

本文试图解决如下问题:

a) 在考虑交通拥堵的情况下,零售商为达到利润最大化,应该决策的市场供货量。

b) 在完全信息的情况下,供应商为使自己利润最大化,应该出售给零售商的产品价格。

c) 随着道路交通拥堵的加剧,零售商和供应商的利润变化以及零售商供货量的变化等。

2 模型及分析

基于完全信息的假定,采用动态规划的研究思路,首先确定零售商至市场的最优供货量后,再探究供应商的最优定价。

2.1 零售商供货量决策模型

参考 Konur 等人^[10]的假设,假定每个市场上产品的价格是关于该市场上产品总供货量的线性递减函数。简便起见,市场 j 的产品价格 p_j 由式(1)确定:

$$p_j(q_{\cdot j}) = a_j - b_j q_{\cdot j} \quad (1)$$

其中:参数 $a_j \geq 0, b_j \geq 0$ 分别代表市场 j 的最大需求水平和价格敏感度。

假定函数 g_{ij} 是关于路段 (i, j) 上总供货量函数,它决定了路段 (i, j) 上的交通拥堵成本。特别地,假设 $g_{ij}(q_{ij}) = \alpha_{ij} q_{ij}$, 其中, α_{ij} 表示交通拥堵成本因子,显然当零售商运送到市场的量增加时,对应的交通拥堵成本也会相应增加。

假设零售商的每个配送中心会保持一定的安全库存,为计算简便,假设 $v_i = \theta \sum_{j \in J} q_{ij}$ 。其中 θ 为需求满足率下的安全库存系数。

零售商的利润函数表示为

$$\begin{aligned} \Pi_r(Q, p) = & \sum_{j \in J} p_j \left(\sum_{i \in I} q_{ij} \right) \sum_{i \in I} q_{ij} - \\ & \sum_{i \in I} p \left(v_i + \sum_{j \in J} q_{ij} \right) - \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} c_{ij} q_{ij} - \\ & \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} g_{ij}(q_{ij}) q_{ij} - \sum_{i \in I} (c_i v_i + C_i) = \\ & \sum_{j \in J} [(a_j - b_j q_{\cdot j}) q_{\cdot j} - \sum_{i \in I} p(\theta + 1) q_{ij} - \\ & \sum_{i \in I} c_{ij} q_{ij} - \sum_{i \in I} \alpha_{ij} q_{ij} q_{ij} - \sum_{i \in I} \theta c_i q_{ij}] - \sum_{i \in I} C_i \end{aligned} \quad (2)$$

其中:第一项为零售商在市场上的收入;第二项为采购成本;第三项为运输成本;第四项为交通拥堵成本;第五项为配送中心的库存成本和运营成本。

2.2 供应商定价模型

对于供应商而言,其利润可以表示为

$$\begin{aligned} \Pi_s(p) = & (p - c) \sum_{i \in I} \left(v_i + \sum_{j \in J} q_{ij} \right) - \sum_{i \in I} c_{si} \left(v_i + \sum_{j \in J} q_{ij} \right) = \\ & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} [(p - c - c_{si}) q_{ij}] \end{aligned} \quad (3)$$

其中:第一部分为供应商的利差;第二部分为从供应商仓库到零售商配送中心的运输费用,在此假定运输费用是路段上供货量的线性函数。

当零售商至市场的最佳销售量确定后,由一阶条件便可得出供应商的最优定价。

2.3 均衡分析

本文界定第一阶段为供应商的定价决策,第二阶段为零售商的供货量决策。借鉴动态博弈的方法,先确定第二阶段的零售商的最优供货量,然后确定第一阶段的供应商的最优定价。

对于给定的采购价格 $p = p_0$, 式(2)变换为

$$\begin{aligned} \Pi_r(Q | p = p_0) = & \sum_{j \in J} [(a_j - b_j q_{\cdot j}) q_{\cdot j} - \\ & \sum_{i \in I} p_0(\theta + 1) q_{ij} - \sum_{i \in I} c_{ij} q_{ij} - \\ & \sum_{i \in I} \alpha_{ij} q_{ij} q_{ij} - \sum_{i \in I} \theta c_i q_{ij}] - \sum_{i \in I} C_i \end{aligned} \quad (4)$$

对于式(4),其纳什均衡解满足一阶条件:对 $q_{ij} > 0$, $\partial \Pi_r(Q | p = p_0) / \partial q_{ij} = 0$ 。

具体地,对任意的纳什均衡解,下面的等式成立:

$$a_j - 2b_j q_{\cdot j} - p_0(\theta + 1) - c_{ij} - \theta c_i - 2\alpha_{ij} q_{ij} = 0 \quad (5)$$

命题1 给定路段 (i, j) 的单位运输成本 c_{ij} 与交通拥堵成本因子 α_{ij} , 若零售商增加某配送中心到某一市场的供货量,则必须同时增加其他配送中心到该市场的供货量;反之,若零售商减少配送中心到某一市场的供货量,则必须同时减少其他配送中心到该市场的供货量。

证明 对于给定的市场 j , 由式(5)得到

$$c_{ij} + \theta c_i + 2\alpha_{ij} q_{ij} = c_{i'j} + \theta c_{i'} + 2\alpha_{i'j} q_{i'j} \quad i \neq i'$$

证毕。

可以从式(4)中得到供货量 q_{ij} 关于采购价格 p 的函数,不妨设为 $q_{ij} = q_{ij}(p)$,将此函数代入供应商利润函数,即式(3),得到如下等式:

$$\Pi_s(p) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} [(\theta + 1)(p - c - c_{si})q_{ij}(p)] \quad (6)$$

对于式(6),其纳什均衡满足一阶条件:对 $p > 0, d\Pi_s(p)/dp = 0$ 。

具体地,对于任意的纳什均衡解,下面的等式成立:

$$\frac{d\Pi_s(p)}{dp} = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (\theta + 1) [q_{ij}(p) + (p - c - c_{si})q'_{ij}(p)] = 0 \quad (7)$$

3 数值分析

本章分析如图 2 所示的供应链网络。该供应链中,供应商负责将产品送到零售商的两个配送中心,运费由供应商负责,且不考虑它们之间的交通状况;零售商将商品从配送中心送到三个市场,运费由零售商负责,且零售商必须考虑路段间由于交通拥堵所造成的成本增加。

本文采用如下的原则采集本部分数值分析所用的数据:

- a) 假定零售商有两个配送中心、三个市场,即 $m = 2, n = 3$ 。
- b) 供应商仓库至零售商配送中心的单位运费、零售商配送中心到市场的运费分别服从 $[1, 2]$ 、 $[2, 3]$ 的均匀分布,即 $c_{si} \sim U[1, 2], c_{ij} \sim U[2, 3]$ 。假设 $c_{si} < c_{ij}$,主要是考虑到了供应商运输成本的规模效应。
- c) 零售商的仓储成本服从 $[5, 8]$ 的均匀分布,即 $c_i \sim U[5, 8]$ 。
- d) 市场 j 的最大需求水平和价格敏感度分别服从 $[100, 150]$ 和 $[1, 2]$ 的均匀分布,即 $a_j \sim U[100, 150], b_j \sim U[1, 2]$ 。
- e) 对于交通拥堵成本因子,以 0.5 为单位,在 $0 \sim 7$ 之间划分了共 14 个区间。

分别计算了配送中心安全库存系数为 $\theta = 0.0557$ 和 $\theta = 0.15$ 时零售商各指标的变化,具体的计算数据如表 1 所示。

表 1 表示当零售商采用较大的安全库存系数时,其供货量和拥堵成本将小于较小系数下的供货量和拥堵成本,但其利润却要高于采用较小系数下的利润。

图 3~5 分别展示了随着交通拥堵成本因子的增加(横轴),各指标的变化以及在不同系数下的对比(纵轴)。

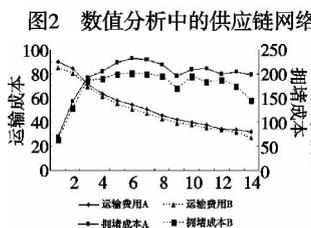
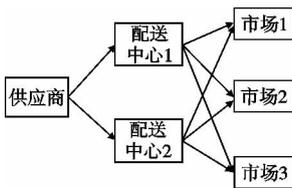


图2 数值分析中的供应链网络

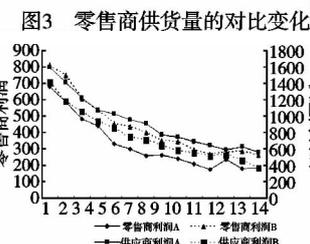
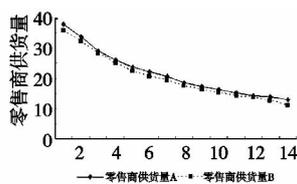


图3 零售商供货量的对比变化

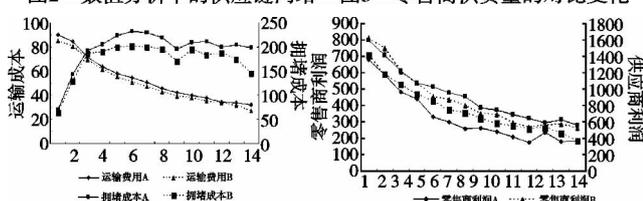


图4 零售商运输费用与交通拥堵成本的对比变化

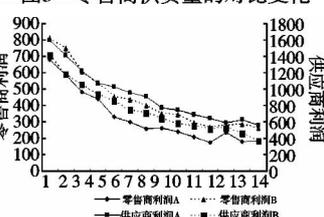


图5 零售商与供应商利润的对比变化

表 1 供应商和零售商各相关指标的计算比较

α_{ij}	A 安全库存系数 $\theta = 0.0557$				
	零售商供货量	零售商利润	供应商利润	运输费用	交通拥堵成本
(0,0.5]	37.99	678.08	1 586.60	89.85	70.57
[0.5,1]	33.85	584.67	1 406.19	84.14	143.65
[1,1.5]	29.19	481.45	1 216.30	71.59	192.11
[1.5,2]	26.01	440.32	1 065.95	63.54	204.44
[2,2.5]	23.73	329.66	1 025.37	58.06	222.95
[2.5,3]	22.15	298.23	950.32	54.41	231.51
[3,3.5]	20.65	258.08	900.13	50.55	228.98
[3.5,4]	18.58	262.28	771.45	45.42	219.52
[4,4.5]	17.32	237.23	736.87	42.34	194.59
[4.5,5]	16.26	203.40	681.31	39.69	209.26
[5,5.5]	15.21	173.74	642.77	37.48	210.13
[5.5,6]	14.16	231.29	587.33	34.54	198.75
[6,6.5]	13.90	178.95	618.23	33.65	203.41
[6.5,7]	13.03	180.74	560.55	31.90	198.01

α_{ij}	B 安全库存系数 $\theta = 0.15$				
	零售商供货量	零售商利润	供应商利润	运输费用	交通拥堵成本
(0,0.5]	35.87	807.48	1 408.29	4.80	63.81
[0.5,1]	32.16	744.31	1 174.38	80.18	129.86
[1,1.5]	28.26	601.29	1 054.34	69.26	185.00
[1.5,2]	25.02	533.26	930.55	61.30	189.84
[2,2.5]	22.54	453.53	851.40	54.97	199.92
[2.5,3]	20.56	435.70	743.84	50.64	200.43
[3,3.5]	19.26	398.73	699.45	47.22	199.77
[3.5,4]	17.59	347.25	640.84	42.55	195.43
[4,4.5]	16.17	344.39	574.94	39.33	170.17
[4.5,5]	15.35	292.12	552.27	37.76	194.05
[5,5.5]	14.26	263.16	511.85	34.71	182.90
[5.5,6]	13.66	276.49	518.59	33.45	186.89
[6,6.5]	12.77	285.22	452.87	31.34	174.68
[6.5,7]	11.22	262.40	368.98	27.09	144.32

图 3 表示随着交通拥堵的加剧,零售商产生的拥堵成本增加,使得零售商减少了供货量。

图 4 表示随着交通拥堵成本因子的增加,零售商供货量减少,因此其运输费用减少,但交通拥堵成本却先增加到某个点后缓慢下降。

图 5 表示零售商和供应商的利润都随着交通拥堵成本因子的增加而减少。

综合考虑上面的数据结果可以得出零售商面对交通拥堵成本增加所应该作出的反应:随着拥堵状况的加剧,零售商会逐渐减少订货量和市场供货量,通过提高市场价格和减少运输费用来弥补拥堵成本的增加,以此保证其利润不会发生很大的下滑。

4 结束语

零售商订货和供货决策历来是学者研究的焦点,但在之前的研究中,研究人员似乎忽略了配送时的交通状况这一关键因素。本文引入交通拥堵成本因子,考虑了从零售商配送中心到市场间的路段存在交通拥堵的情况;建立了供应商定价模型和零售商供货量决策模型,并得到了两者满足利润最大化时的均衡方程。通过数值分析,得出了一定的结论:随着交通拥堵状况的加剧,零售商会逐渐减少市场的供货量,通过提高市场价格和减少运输成本来弥补拥堵成本的增加。但是数值分析的结果显示,由于零售商供货量的减少,供应商和零售商的利润均出现了下滑,因此考虑采取一定的措施(如共同配送等)避

免两者利润的下降是接下来进一步研究的工作。

参考文献:

- [1] HARRIS F W. How many parts to make at once[J]. *Operations Research*,1990,38(6):947-950.
- [2] KHOUJA M. The single period (news-vendor) problem: literature review and suggestions for future research [J]. *Omega*,1999,27(5):537-553.
- [3] KONSTANTIN K, SHELDON L. Multi-stage newsboy problem: a dynamic model [J]. *European Journal of Operational Research*, 2003,149(2):448-458.
- [4] CACHON G P, KÖKA G. Implementation of the newsvendor model with clearance pricing: how to (and how not to) estimate a salvage value [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2007,9(3):276-290.
- [5] McKINNON A. The effect of traffic congestion on the efficiency of logistical operations [J]. *International Journal of Logistics: Research and Applications*,1999,2(2):111-129.
- [6] McKINNON A, EDWARDS J, PIECKY M, *et al.* Traffic congestion, reliability and logistical performance: a multi-sectoral assessment[J]. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 2009,12(5):331-345.
- [7] FERNIE J, PFAB F, MARCHANT C. Retail grocery logistics in the UK [J]. *International Journal of Logistics Management*,2000,11(2):83-90.
- [8] SANKARAN J, GORE A, COLDWELL B. The impact of road traffic congestion on supply chains: insights from Auckland, New Zealand [J]. *International Journal of Logistics: Research and Applications*,2005,8(2):159-180.
- [9] WEISBROD G, VARY D, TREYZ G. Economic implications of congestion, NCHRP report 463 [R]. Washington DC: Transportation Research Board, 2001.
- [10] KONOUR D, GEUNES J. Analysis of traffic congestion costs in a competitive supply chain [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*,2011,47(1):1-17.
- [11] KONOUR D, GEUNES J. Competitive multi-facility location games with non-identical firms and convex traffic congestion costs [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*,2012,48(1):373-385.
- [12] TIAN Li-jun, HUANG Hai-jun, LIU Tian-liang. Day-to-day route choice decision simulation based on dynamic feedback information [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*,2010,10(4):79-85.
- [13] LAPORTE G. Fifty years of vehicle routing [J]. *Transportation Science*,2009,43(4):408-416.
- [14] FREJINGER R, BIERLAIRE M, BEN-AKIVA M. Sampling of alternatives for route choice modeling [J]. *Transportation Research Part B: Methodological*,2009,43(10):984-994.
- [15] 谢识予. 经济博弈论[M]. 3版. 上海: 复旦大学出版社, 2008.
- [16] 朱·弗登博格, 让·梯若尔. 博弈论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2010.
- [17] 徐丽群. 交通拥挤控制的实时决策支持模型[J]. *控制与决策*, 2005,20(11):1221-1224.
- [18] 尹洪英, 徐丽群. 基于贝叶斯网络的路网脆弱路段识别模型[J]. *系统管理学报*,2010,19(6):656-661.